



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอกขาวในแก้ว

โดย

นางชื่นสมณ ยิ้มถิ่น หัวหน้าโครงการ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางประนอมสุข เกื้อ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายเกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางอรุณี ชัยศรี	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายวิชณุ แฝงเมือง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
นายสาโรจน์ ยิ้มถิ่น	คณะเทคโนโลยีการเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

ชุดโครงการ

การปรับปรุงระบบการจัดการงานวิจัยเพื่อพัฒนาพื้นที่จังหวัดนนทบุรี
จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลสุวรรณภูมิ

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG59A0002/14

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ

การศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอกขาวในแก้ว

รายชื่อหัวหน้าโครงการและคณะวิจัย

นางชีนุสมณ ยิ้มถิ่น	หัวหน้าโครงการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางประนอมสุข เกื้อ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายเกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางอรุณี ชัยศรี	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายวิชณุ แผงเมือง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
นายสารโรจน์ ยิ้มถิ่น	คณะเทคโนโลยีการเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลสุวรรณภูมิ

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอกขาวในเห็ดนั้น สำเร็จลุล่วงด้วยความเรียบร้อยจากการสนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) รองศาสตราจารย์รวิวรรณ สุวรรณศรี รองอธิการบดีที่ดูแลงานวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ผู้ช่วยอธิการบดี และรองศาสตราจารย์นภัทร วัจนเทพินทร์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประกอบด้วย ดร.สีลาภรณ์ บัวสาย รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันทน์พรมมา ดร. กิตติ สัจจาวัฒนา และคุณเบญจมาศ ตีรมาศวนิช สำหรับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในโครงการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณชุมชนแปรรูปเห็ด ในการให้ข้อมูลและมีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

ผศ. ชื่นสมณ ยิ้มถิ่น

หัวหน้าโครงการ

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอกขาวในแห้วเป็นโครงการวิจัยย่อยของโครงการ การปรับปรุงระบบการจัดการงานวิจัยเพื่อพัฒนาพื้นที่ จังหวัดนนทบุรี สุพรรณบุรี และพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากลไกการจัดการงานวิจัยของมหาวิทยาลัยให้ตอบสนองความต้องการพัฒนา พื้นที่ และเชื่อมโยงกับการเรียนการสอน การบริการวิชาการและการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม สร้างความมั่นคงด้านอาชีพในชุมชน และสร้างความร่วมมือในการทำงานเป็นภาคี เครือข่าย ซึ่งในโครงการวิจัยย่อยนี้มีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับแห้วที่มีสีคล้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของกลุ่มแปรรูปทำให้ไม่น่ารับประทาน ถ้าไม่ใช้สารฟอกขาว หรือสารส้ม ซึ่งทั้งสารฟอกขาวและสารส้มนั้นถ้าตกค้างอยู่ในแห้วจะเกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดโดยใช้สารจากธรรมชาติมาใช้แทนสารฟอกขาวและสารส้ม ซึ่งพบว่าเมื่อนำมาใช้แล้วจะทำให้แห้วมีลักษณะที่น่ารับประทาน โดยการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบจำนวน 40 ฉบับในการใช้มะขามมาต้มแห้วจะมีลักษณะที่น่ารับประทานมากที่สุด ซึ่งจะพบว่าการลดการเกิดสีคล้ำของแห้ว โดยใช้พืชที่มีรสเปรี้ยวหรือมากรดอยู่จะสามารถลดการเกิดสีคล้ำได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้พืชที่มีรสเปรี้ยวชนิดต่างๆ ที่สามารถหาได้ง่ายในชุมชน ในฤดูกาลต่างๆ ได้

นอกจากนี้เพื่อเพิ่มจุดขายให้กับแห้ว ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสารสำคัญที่มีในแห้ว โดยพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกและเบต้าแคโรทีน และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในแห้วด้วย ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลที่เสริมคุณค่าของแห้วได้

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ RDG59A0002/14
ชื่อโครงการ การศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอก
ขาวในแก้ว
หัวหน้าโครงการ นางชื่นสมณ ยิ้มถิ่น
ระยะเวลาดำเนินงาน มีนาคม 2559 – กุมภาพันธ์ 2560

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในแก้วต้มของกลุ่มชาวบ้านที่แปรรูปแก้ว โดยนำแก้วไปต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ ได้แก่ เปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟืองเทียบกับน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำแก้วที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล นำแก้วมาสกัดด้วยกรดแอสซิดิก แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าสีน้ำตาล ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร พบว่าแก้วที่ต้มด้วยน้ำมะขามมีการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลน้อยที่สุด เท่ากับ 0.0145 ± 0.0008 OD ต่อน้ำหนักตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ นำแก้วมาสกัดด้วยเมทานอล เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60°C นำสารสกัดที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายฟอลิน ซีโอเคาบูล และ 7% โซเดียมคาร์บอเนต นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และการวัดการต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ Hydroxyl radical scavenging assay พบว่าแก้วที่ต้มด้วยน้ำมะนาวมีสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด คือ 10.3295 ± 0.0301 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ Hydroxyl radical scavenging assay นั้น แก้วที่ต้มด้วยน้ำเปลือกสับปะรด คือ 19.2203 ± 0.1051 และ 20.1537 ± 0.0916 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของแก้วที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาตินั้น พบว่าแก้วที่ต้มด้วยมะขามมีความชอบในระดับมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.50

คำสำคัญ : แก้ว ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล สารธรรมชาติ

Abstract

Project ID	RDG59A0002/14
Project title	<u>The study natural substances to replace bleach in water chesnut.</u>
Researcher	Mrs. Chuensumon Yimthin
Duration	March, 2016 – February, 2017

This research aims, reducing the browning, quantitative analysis of phenolic compounds and the ability of antioxidants in boiled water chesnut with natural substances of villagers. The water chesnut was boiled with natural substances, including peel of pineapple, lemon, lime tamarind garcina star gooseberry bilimbi solanum and star apple compared with the boiled water. After that, the boiled water chesnut was analyzed a browning reaction. The water chestnut was extracted with acetic acid, then analyzed a browning reaction by measuring the light absorption at a wavelength of 420 nm. The result showed that, the water chesnut which was boiled with tamarind juice has changed brown color at least equal to 0.0145 ± 0.0008 OD/weight.

For the analysis of phenolic compounds and the ability of antioxidants. The water chesnut was extracted with methanol for 120 minutes at a temperature of 60 °C, the extracted solution was reacted with the folin-ciocalteu and 7% sodium carbonate and measured the absorbance at 750 nm wavelength. The ability of antioxidants was analysed by DPPH assay and Hydroxyl radical scavenging assay. The result was found that the water chesnut that boiled with lemon juice had the highest phenolic compounds of 10.3295 ± 0.0301 mg / 100 g of weight of sample. The ability of antioxidants of the water chesnut that boiled with pineapple using DPPH assay and Hydroxyl radical scavenging assay was 19.2203 ± 0.1051 and 20.1537 ± 0.0916 percent, respectively.

The sensory taste tests, including color, aroma, taste, texture and overall liking of the water chesnut that boiled with natural substances. The water chesnut that boiled with tamarind had passion was equal to 8.5

Keywords: Water Chesnut, Browning Reaction, Natural Substances

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทสรุปผู้บริหาร	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
ประโยชน์ที่ได้รับ	3
กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
แก้ว	4
ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	7
สารฟอกขาว	15
สารประกอบฟีนอลิก	16
เบต้าแคโรทีน	17
สารต้านอนุมูลอิสระ	18
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound	27
การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณ β -Carotene	28
การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ	29
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี	30
ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	30
สรุปผลการดำเนินงานด้านการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานวิจัยตามแผนงานที่วางไว้	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	
ปริมาณ phenolic compound	35

ปริมาณ β -Carotene	34
หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ	35
การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี	37
ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	42
ข้อเสนอแนะ	43
ภาคผนวก	44
บรรณานุกรม	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แห้วในพื้นที่ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี	6
2.2 นาแห้วในพื้นที่ตำบลวังยาง อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี	6
2.3 ปฏิบัติการการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส	7
2.4 การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากเมลลาร์ด	9
2.5 การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน	10
2.5 กลไกการเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิก	11
2.6 การเกิด furfural อนุพันธ์ของ furfural และ complex	12
2.7 การเกิด furfural หรืออนุพันธ์ของ furfural	13
2.8 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง หรือม่วงแดง	13
2.9 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเขียวแกม น้ำเงิน และสีน้ำตาลเหลือง	14
2.10 เกิดเป็นสารประกอบสีแดง	14
2.11 แสดงสารต้านอนุมูลอิสระในในอาหาร ผลไม้ ผัก และสมุนไพร	17
2.12 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์	19
2.13 แสดงคุณสมบัติของวิตามินซีและกลไกการต้านอนุมูลอิสระ	20
2.14 โครงสร้างวิตามินอี	21
2.15 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอนุมูลอิสระ เมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระในการวิเคราะห์ด้วย DPPH	23

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงสารประกอบฟีนอลิกของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ	33
4.2 แสดงปริมาณ β -carotene ของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ	34
4.3 แสดงผลการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH	35
4.4 แสดงผลการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay	36
4.5 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเหหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันแรกที่ทดสอบ	37
4.6 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเหหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 1	37
4.7 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเหหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 3	38
4.8 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเหหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 5	38
4.9 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเหหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 7	39
4.10 ค่าสีน้ำตาลของเหหัวที่ต้ม ส่วนที่มีสีคล้ำและส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ	39
4.11 แสดงผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	40

บทที่ 1

บทนำ

สัญญาเลขที่	RDG59A0002/14
ชื่อโครงการ	การศึกษาสารจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารฟอกขาวในแห้ว
หัวหน้าโครงการ	: นางชื่นสมณ ยิ้มฉิน
หน่วยงานต้นสังกัด	: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
หน่วยงานร่วมโครงการ	: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
ระยะเวลาดำเนินการ	: 1 ปี (ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2559 ถึงวันที่ 1 มีนาคม 2560)

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในพื้นที่อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นแหล่งปลูกแห้วที่ใหญ่ที่สุดในจังหวัด มีการสนับสนุนเกษตรกรปลูกแห้วปลอดสารพิษกันเป็นจำนวนมาก ได้คุณภาพที่ดี มีรสชาติที่ไม่เหมือนใคร ทั้งหวาน มัน กรอบ การปลูกแห้วในแต่ละที่นั้น จะมีพ่อค้านำไปส่งตามหมู่บ้านให้ชาวบ้านนั้นปลูกเปลือก แต่พบปัญหาแห้วมีสีส้มไม่สวยงาม ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด จึงมีการใช้สารฟอกขาวใส่ลงไปเพื่อให้แห้วขาวสวย ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

สารฟอกขาวหรือสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ จะมีผลไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกาย และมีฤทธิ์ทำลายวิตามินบี 1 ด้วย หากร่างกายมีการสะสมสารนี้ในปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการหายใจไม่สะดวก ปวดท้อง ท้องร่วง เวียนศีรษะ อาเจียน และในรายที่มีอาการแพ้รุนแรงหรือผู้ป่วยโรคหอบหืดอาจช็อก หมดสติ และถึงแก่ความตายได้ สารฟอกขาวนี้สามารถสลายตัวได้ ประมาณร้อยละ 90 เมื่อถูกความร้อน ซึ่งมีตกค้างอยู่ในแห้ว (สุภมาศ วัยอุดมวุฒิ, 2554) ทำให้เกิดอันตรายจากสารฟอกขาวที่ตกค้างอยู่ได้

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์ (enzymatic browning) และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีปฏิกิริยาเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning)

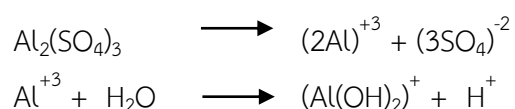
การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์เมื่ออาหารผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนจะทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์เสียไปได้ ส่วนปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารทุกชนิดได้รับความร้อนจะมีการสูญเสีย น้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และมีการ

รวมตัวกัน (condensation) ของหมู่อะมิโนกับสารประกอบคีโตวูชิงและพัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง และทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 แบบ คือการเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) คาราเมลไลเซชัน เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่ให้สีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น ส่วนการเกิดปฏิกิริยา maillard browning เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลทำให้เกิดพอลิเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ปฏิกิริยานี้บางครั้งก็เป็นประโยชน์ แต่ส่วนใหญ่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ในสภาวะที่เป็นกรดปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง รวมทั้งปฏิกิริยา maillard browning และ caramelization (รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549)

ซึ่งมีชาวบ้านบางกลุ่มที่ใช้สารส้มมานำมาต้มกับเห็ด ทำให้ลดสีคล้ำจากเห็ดได้ แต่เมื่อต้มแล้วจะทำให้เห็ดมีรสฝื่อน

เนื่องจากสารส้มเป็นสารประกอบของเกลือ เช่น เกลือโพแทส $K_2-SO_4 \cdot Al(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ เมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายที่เป็นกรดดังสมการ (สยามเคมี.คอม, 2557)



สารส้มมีอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ การได้รับอะลูมิเนียมเข้าสู่ร่างกายประมาณร้อยละ 3 ถูกดูดซึมแพร่กระจายผ่านทางระบบเลือดไปยังปอด ตับ กระดูก และสมอง และถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะผ่านไต ซึ่งอาจทำให้ไตเสื่อมได้ ผู้ป่วยที่เป็นโรคไตวาย หรือไตบกพร่อง จึงมีความเสี่ยงต่อพิษของอะลูมิเนียมสูงกว่าคนปกติ หากบริโภคน้ำที่มีอะลูมิเนียม หรือสารส้มปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูงอาจทำให้เกิดอาการอาเจียน ท้องร่วง เกิดผื่นคันเป็นแผลร้อนในได้ และที่สำคัญที่สุด คือ เกิดภาวะสมองเสื่อม และเป็นโรคอัลไซเมอร์ เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเนื้อเยื่อประสาท (หนังสือพิมพ์: ผู้จัดการออนไลน์, 2555)

พบว่าสารละลายที่มีเป็นกรด สามารถลดเกิดสีน้ำตาลในเห็ด ซึ่งสารที่มีความเป็นกรดที่มีอยู่ในธรรมชาติมีหลายชนิด ดังนั้นถ้านำสารจากธรรมชาติมาป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในเห็ด จะทำให้ได้เห็ดที่ขาวโดยปราศจากสารที่จะก่อให้เกิดอันตราย ได้อาหารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้สารจากธรรมชาติ 9 ชนิด ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ได้แก่ เปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม จากมะดัน มะยม ตะลิงปลิง น้ำมะอึก และมะเฟือง มาต้ม เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในเห็ด หลังจากการแช่ด้วยสารจากธรรมชาติ และวิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β -Carotene หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี

คือ วิธี DPPH radical scavenging assay และวิธี Hydroxyl radical scavenging assay รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการยับยั้ง browning reaction โดยใช้สารจากธรรมชาติแทนสารฟอกขาวในเห็ด
2. ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเมื่อใช้สารจากธรรมชาติแทนสารฟอกขาว
3. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี เมื่อใช้สารจากธรรมชาติ
4. ทดสอบทางประสาทสัมผัสของเห็ด เมื่อใช้สารจากธรรมชาติ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เห็ดที่นำรับประทาน ไม่มีสีคล้ำ และได้อาหารปลอดภัย
2. ทราบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหลังจากใช้สารจากธรรมชาติในการป้องกันการเกิด browning reaction
3. ทราบการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี เมื่อใช้สารจากธรรมชาติ
4. ทราบผลทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อใช้สารจากธรรมชาติ

กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน

จากปัญหาในการต้มเห็ดและพบว่าเห็ดนั้นเกิดสีคล้ำ ทำให้ไม่นำรับประทาน มีการใช้สารฟอกขาว หรือสารส้มซึ่งมีอันตรายจากการใช้สารทั้งสองชนิด จึงมีแนวคิดที่จะลดการเกิดสีคล้ำหรือสีน้ำตาลในเห็ดต้มให้น้อยลง โดยใช้สารจากธรรมชาติซึ่งมีความปลอดภัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการลดการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดต้ม โดยการใช้สารจากธรรมชาติมาต้มกับเห็ด เพื่อให้ได้เห็ดที่ปลอดภัย และมีลักษณะที่น่ารับประทาน โดยศึกษาจากค่าสีน้ำตาลที่วิเคราะห์ค่าสีทางเคมี ซึ่งนอกจากจะวิเคราะห์ค่าสีจากการต้มเห็ดด้วยสารจากธรรมชาติแล้ว ได้นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาความชอบของเห็ดที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ โดยใช้แบบทดสอบ

จากนั้นในงานวิจัยยังนำเห็ดที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาตินั้นมาวิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β -Carotene ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ วิธี DPPH radical scavenging assay และวิธี Hydroxyl radical scavenging assay เพื่อเพิ่มคุณค่าของเห็ด ซึ่งเป็นการเพิ่มจุดขายให้กับผู้แปรรูป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แห้ว (waternut)

แห้วหรือแห้วจีน มีชื่อภาษาอังกฤษว่า วอเตอร์นัท (waternut) หรือ ไชนีส วอเตอร์เชสเตอร์นัท (Chinese water chestnut) หรือ มาไต (Matai) แห้วเป็นพืชดั้งเดิมของแถบร้อน ขึ้นเองตามธรรมชาติในประเทศทางแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการนำแห้วมาปลูกเป็นครั้งแรกในประเทศทางแถบอินโดจีน หรือจีนภาคตะวันออก แห้วเป็นพืชปีเดียวขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ลำต้นแข็ง อวบ ลำต้นกลวง ตั้งตรงมีความสูง 1-1.5 เมตร ต้นเล็กเรียวยาวคล้ายต้นหอม หรือใบกอก หรือใบหญ้าทรงกระเทียม ใบน้อย

แห้ว Waternut/Chinese water chestnut/Matai

ชื่อวิทยาศาสตร์ Eleocharis dulcis Trin.

วงศ์ CYPERACEAE

ชื่ออื่น แห้วจีน

แห้วเป็นพืชปีเดียวจัดอยู่ในพืชตระกูลกกขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ต้นเล็กเรียวยาวคล้ายใบกอก หรือใบหญ้าทรงกระเทียม ดอกออกที่ยอดของลำต้น ดอกตัวเมียเกิดเมื่อต้นสูง 15 เซนติเมตร แล้วจึงออกดอกตัวผู้ตามมา เมล็ดมีขนาดเล็ก รากหรือหัวเป็นพวงไรโซม หรือ คอรัม

ลักษณะทั่วไป

แห้วเป็นพืชปีเดียวขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ต้นเล็กเรียวยาวคล้ายต้นหอม หรือใบกอก หรือใบหญ้าทรงกระเทียม ใบน้อย หัวเป็นประเภทคอรัม (corm) สีน้ำตาลไหม้ หัวกลมมีลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่ แต่ขนาดเล็กกว่ามาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-4 เซนติเมตร เนื้อสีขาว

ดอกเกิดที่ยอดของลำต้นเหนือน้ำ แล้วจึงเกิดดอกตัวผู้ตามมา เมล็ดมีขนาดเล็ก รากหรือหัวเป็นพวงไรโซม หรือ คอรัม (rhizomes or corms) มี 2 ประเภท

หัวประเภทแรก เกิดเมื่อต้นแห้วอายุ 6-8 สัปดาห์ ทำให้เกิดต้นแห้วขยายเพิ่มขึ้น

หัวประเภทที่สอง เกิดหลังจากแห้วออกดอกเล็กน้อยโดยทำมุม 45 องศากับระดับดิน และลึกประมาณ 12 เซนติเมตรจากระดับดิน ชื่อ: hawdibpa.jpg ครั้ง: 2 ขนาด: 25.8 กิโลไบต์

หัวแห้วระยะเริ่มแรกเป็นสีขาว ต่อมาเกิดเป็นเกล็ดหุ้มสีน้ำตาลไหม้ จนกระทั่งแก่ หัวมีขนาดแตกต่างกัน เนื้อสีขาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-4 เซนติเมตร ต้นหนึ่ง ๆ แตกหน่อออกไปมากและได้หัวประมาณ 7-10 หัว แห้วอ่อนผิวสีขาวนวล เนื้อฟาม เมื่อแก่ผิวสีน้ำตาลเข้ม เนื้อแข็งสีขาว แห้วมีสารอาหารต่างๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก วิตามินซี และคาร์โบไฮเดรต

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แห้วหรือแห้วจีนมาชื่อวิทยาศาสตร์ว่า เอลิโอชาร์ิสดัลซิส ทริน (Eleocharis dulcis Trin.) มีชื่ออื่นอีก ได้แก่ อี ทูเบอร์โซซา ชุลท์ (E. tuberosa Schult.) หรือซีปัส ทูเบอร์โรซัส รอกซ์บ (Scirpus tuberosus Roxb.) อยู่ในตระกูลไซเปอร์ราซี (Cyperaceae) เป็นกกชนิดหนึ่งคล้ายกับหญ้าทรงกระเทียม แต่เป็นคนละชนิด (specie) กัน แห้วเป็นพืชปีเดียว ลำต้นแข็ง อวบ ลำต้นกลวง ตั้งตรง มีความสูง 1-1.5 เมตร ดอกเกิดที่ยอดของลำต้น ดอกตัวเมียเกิดเมื่อต้นสูง 15 เซนติเมตร เหนือน้ำ แล้วจึงเกิดดอกตัวผู้ตามมา เมล็ดมีขนาดเล็ก ราก หรือหัวเป็นพวงไรโซม หรือคอร์ม (rhizomes or corms) มี 2 ประเภท หัวประเภทแรกเกิดเมื่อต้นแห้วอายุ 6-8 สัปดาห์ ทำให้เกิดต้นแห้วขยายเพิ่มขึ้น หัวประเภทที่สอง เกิดหลังจากหัวออกดอกเล็กน้อย โดยทำมุม 45 องศากับระดับดิน และลึกประมาณ 12 เซนติเมตรจากระดับดิน หัวแห้วระยะเริ่มแรกเป็นสีขาว ต่อมาเกิดเป็นเกล็ดหุ้มสีน้ำตาลไหม้จนกระทั่งแก่ หัวมีขนาดแตกต่างกัน ขนาดที่ส่ง ตลาด 2-3.5 ซม. ต้นหนึ่งๆ แตกหน่อออกไปมาก และได้หัวประมาณ 7-10 หัว

ชนิด

นอกจากแห้วซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ อี ดัลซิส (E. dulcis) แล้ว ยังมีแห้วซึ่งมีรูปร่างคล้ายๆ กันนี้ อีก 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นแห้วป่าขึ้นอยู่ในน้ำนิ่ง หัวเล็กมาก สีเข้มเกือบดำ บางทีเรียกว่า อี พลานทาจีนิ (E. plantaginea) หรือ อี พลานทาจีโนอิดีส (E. plantaginoides) อีกชนิดหนึ่งเป็นชนิดที่ต้องปลูก แห้วชนิดนี้มีหัวใหญ่ มีรสหวาน เดิมทีเคยจัดไว้ต่างชนิดออกไป คือเรียกว่า อี ทูเบอร์โซซา (E. tuberosa) ปัจจุบันจัดเป็นชนิดเดียวกัน

ประโยชน์

แป้งที่ได้จากหัวแห้วมีลักษณะคล้ายคลึงกับแป้งจากมันเทศหรือ มันสำปะหลัง เนื้อหัวสีขาวกรอบ รับประทานสด บรรจุกระป๋อง คั้นน้ำหรือจะต้มทำขนม หรือใช้ประกอบอาหารก็ได้ มักเป็นอาหารจีน นอกจากนี้ยังใช้ทำแป้งได้ด้วย หัวเล็กๆ ใช้เลี้ยงเป็ดไก่ได้ดี หัวแห้วบางชนิดใช้ทำยา ต้นแห้วใช้เลี้ยงปลาสลิด ใช้ในการบรรจุหีบห่อผลไม้ ใช้ทำตะกร้า ทอเสื่อ เป็นต้น

หัวแห้วประกอบด้วยส่วนที่กินได้ร้อยละ 46 ส่วนที่เป็นของแข็งประมาณร้อยละ 22 ในจำนวนนี้เป็นโปรตีนร้อยละ 1.4 คาร์โบไฮเดรต และเส้นใยต่ำกว่าร้อยละ 1 จากการวิเคราะห์หัวแห้วสดประกอบด้วย (เกษตรพอเพียงครับ.คอม, 2556)

แห้วที่อำเภอศรีประจันต์ เป็นแห้วจีน (Water chestnut) ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในดินชุดสระบุรีไฮเฟต ซึ่งดินชุดนี้มีลักษณะพิเศษคือ จะมีลักษณะคล้ายชั้นดินดาน ลึกประมาณ 50-70 เซนติเมตร ซึ่งเป็นประโยชน์ในการปลูกแห้วจีนเป็นอย่างมาก เพราะเมื่อแห้วจีนลงหัว หัวของแห้วจีนจะไปกองหรือแผ่ขยายในบริเวณชั้นดินดาน ทำให้สะดวกในการเก็บเกี่ยว (supan.biz, 2016)



ภาพที่ 2.1 แห้วในพื้นที่ตำบลวังยาง อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี



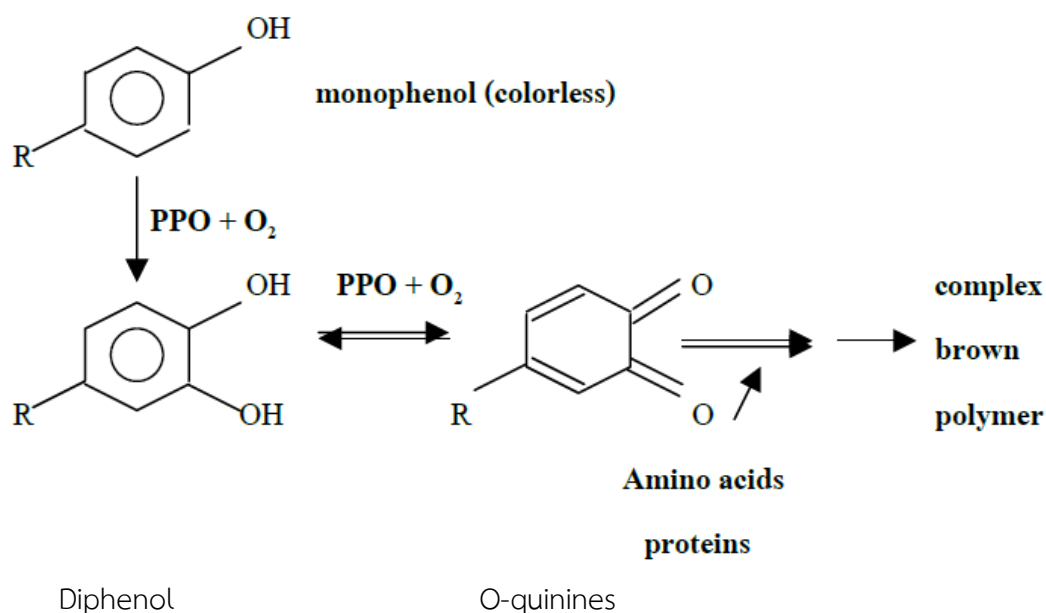
ภาพที่ 2.2 นาแห้วในพื้นที่ตำบลวังยาง อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร แบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ

1. ปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (enzymatic browning)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นการเปลี่ยนสีที่เป็นผลมาจากสารประกอบพวก โมโนฟีนอล ในเซลล์พืชหรือสัตว์ที่มีออกซิเจนและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ถูกเติมหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้เกิดเป็นสารออร์โทไดฟีนอล สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นออร์โทควิโนน pH ที่เหมาะสมของ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส อยู่ระหว่าง 5-7 เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสนี้ค่อนข้างจะไม่ทนความร้อนและสามารถถูกยับยั้งด้วยกรดเฮไลด์ ฟีนอลแอซิก ซัลไฟด์สารที่จับกับโลหะ สารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก สารจับควิโนน เช่น ซีสเตอีนและสารประกอบอื่นๆ อีกหลายชนิดที่สามารถจับกับสารที่เป็น ซับสเตรตได้สารควิโนนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับ สารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกรดอะมิโนได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ดังภาพที่ 2.3



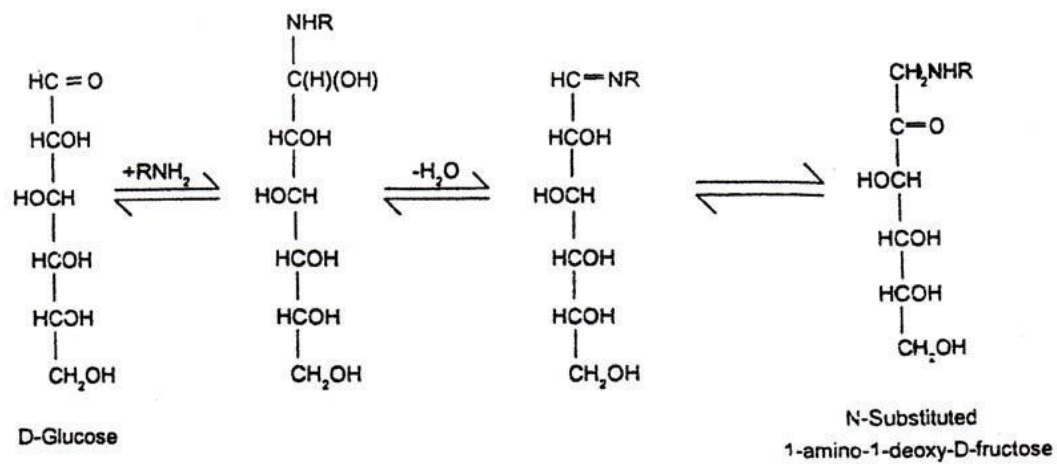
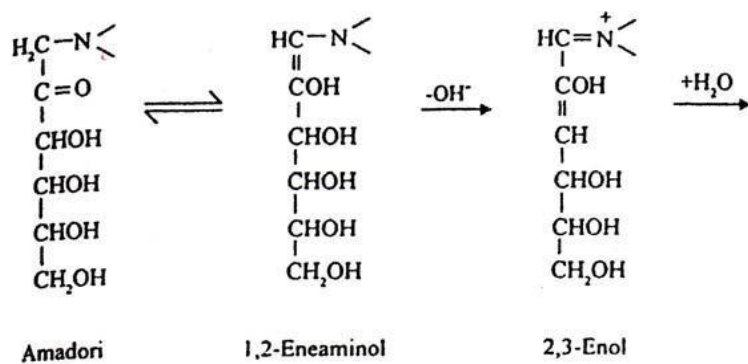
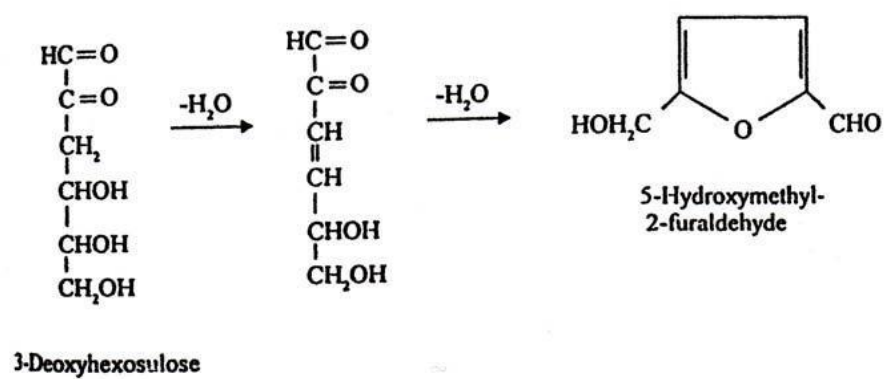
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Sapers อ้างโดย รุ่งทิพย์, 2549)

2. การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

การเปลี่ยนสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) และหมู่อะมิโนที่เป็นอิสระซึ่งนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานิดิน (melanoidin) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นการจำกัดอายุการเก็บของน้ำผักและผลไม้ ผักและผลไม้แห้งหลายชนิด และผลิตภัณฑ์จากสัสม นอกจากนี้ยังมีการเกิดสีน้ำตาลที่เป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของน้ำตาลเองหรือเกิดจากการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกแล้วเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลโดยผ่านทางขบวนการอัลโดลคอนเดนเซชัน หรือเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในอาหารนั้น เกิดได้มากน้อยขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือวิตามินซี pH ออกซิเจน เป็นต้น

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดจากน้ำตาลแอลโดส หรือคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำกับเอมีน จะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ มากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้ จะเกิดขึ้นขณะได้รับความร้อน หรือระหว่างเก็บรักษา น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ non-enzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

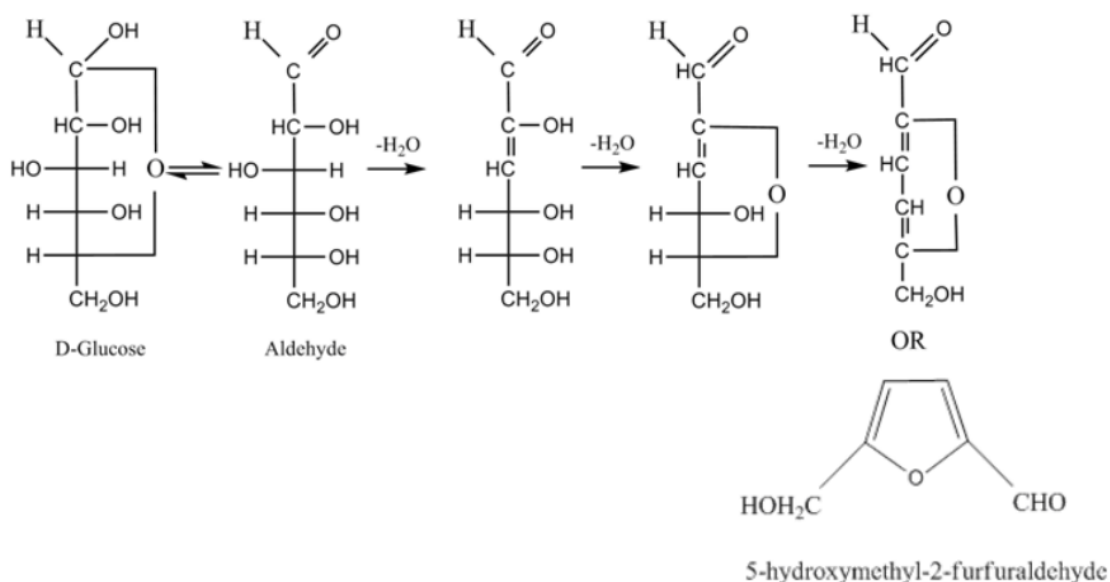
สำหรับการเกิดปฏิกิริยา maillard browning เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลทำให้เกิดพอลิเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ปฏิกิริยานี้บางครั้งก็เป็นประโยชน์ แต่ส่วนใหญ่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ในสภาวะที่เป็นกรด ปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง รวมทั้งปฏิกิริยา maillard browning และ caramelization



ภาพที่ 2.4 การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากเมลลาร์ด (Fennema, 1996)

3. การเกิดสีน้ำตาลจากคาราเมลไลเซชัน (caramelization)

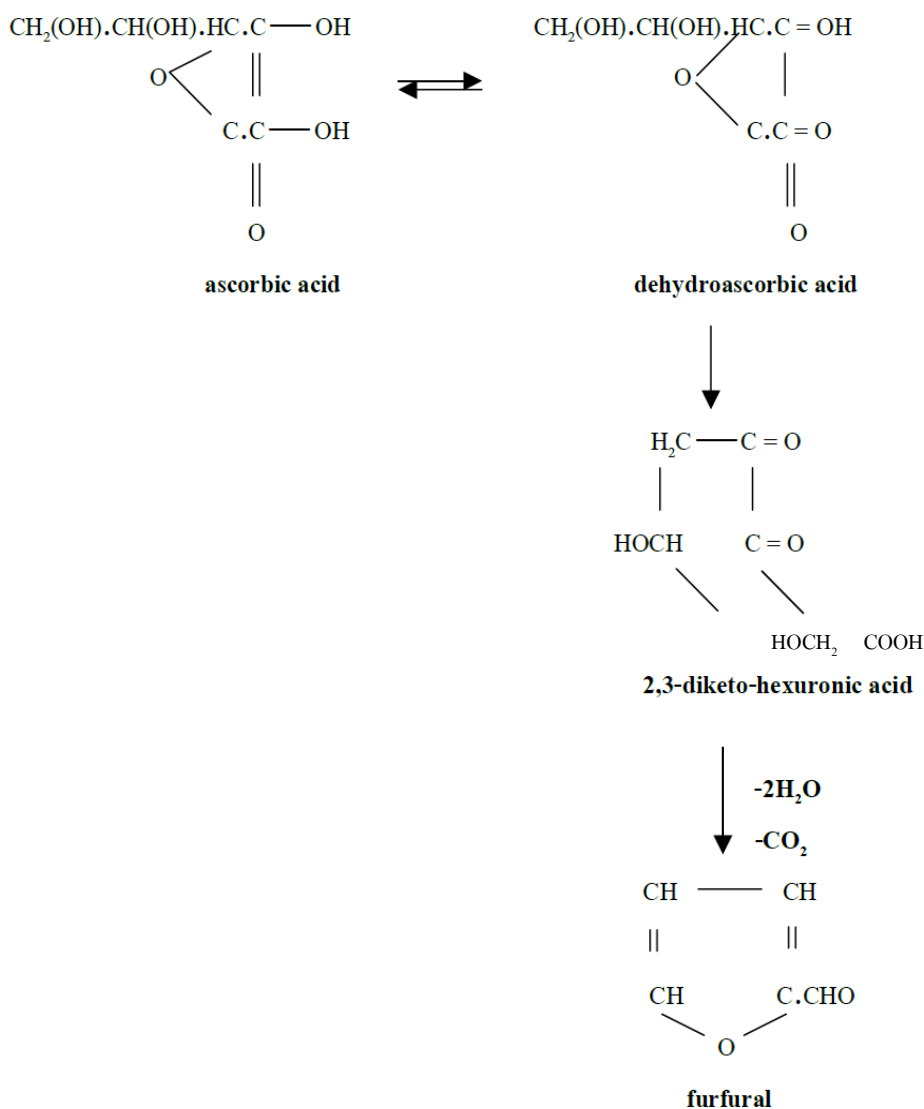
การเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากน้ำตาลเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงและเกิดการสูญเสียน้ำ โดยไม่มีสารประกอบพวกอะมิโนหรือโปรตีน น้ำตาลบริสุทธิ์จะเกิดคาราเมลไลเซชันอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส มีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ phosphate, alkalis, acids และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น citrate, fumarate และ malate สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาคลายกับการเกิดสีน้ำตาลและกรดอะมิโนเปลี่ยนเป็น enolization dehydration และแตกตัวเป็น hydroxymethylfurfural (HMF) (Berk, 1976)



ภาพที่ 2.5 การเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Braverman, 1963)

4. การเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์พวบน้ำผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้ตระกูลส้มที่มีความเข้มข้นสูงที่ผ่านการให้ความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอยู่ในสภาวะที่เป็นกรด มีออกซิเจน และเกิดออกซิเดชันสุดท้ายเปลี่ยนเป็นสารเฟอพิวรัล นอกจากนี้ยังเกิดสารตัวกลางอื่นๆ เช่น 2-furoic acid, threonic acid, oxalic acid, L-xylose และคาร์บอนไดออกไซด์ สารเฟอพิวรัลเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก หรือ dehydroascorbic acid สารเหล่านี้มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งต่อกลไกการเกิดสีน้ำตาล สารเฟอพิวรัลจะเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลมีสายโมเลกุลยาว และเมื่อใดที่สารเฟอพิวรัลทำปฏิกิริยากับโปรตีน หรือกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผลไม้ตระกูลส้มจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ ดังสมการ (รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549)



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิก (Braveman, 1963)

สารประกอบซัลไฟต์เป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพดีมาก เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารมาก ได้มีการนำมาใช้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) รวมทั้งเกลือในรูปของโพแทสเซียมด้วย นิยมเรียกสารประกอบในกลุ่มนี้ว่า “Sulfiting agents”

การปรับสภาพความเป็นกรด เบสนั้นทำได้ โดยการนำพืชนั้นไปแช่ในสารละลายต่างๆ เพื่อป้องกัน enzymatic browning เช่น 1% ascorbic acid, 0.005% 4-hexylresorcinol, 0.5% calcium chloride และ 20% sucrose (Ró_a Bieganska-Marecik, Janusz Czapski, 2007)

การเกิดสารสีน้ำตาลจากคาร์โบไฮเดรต

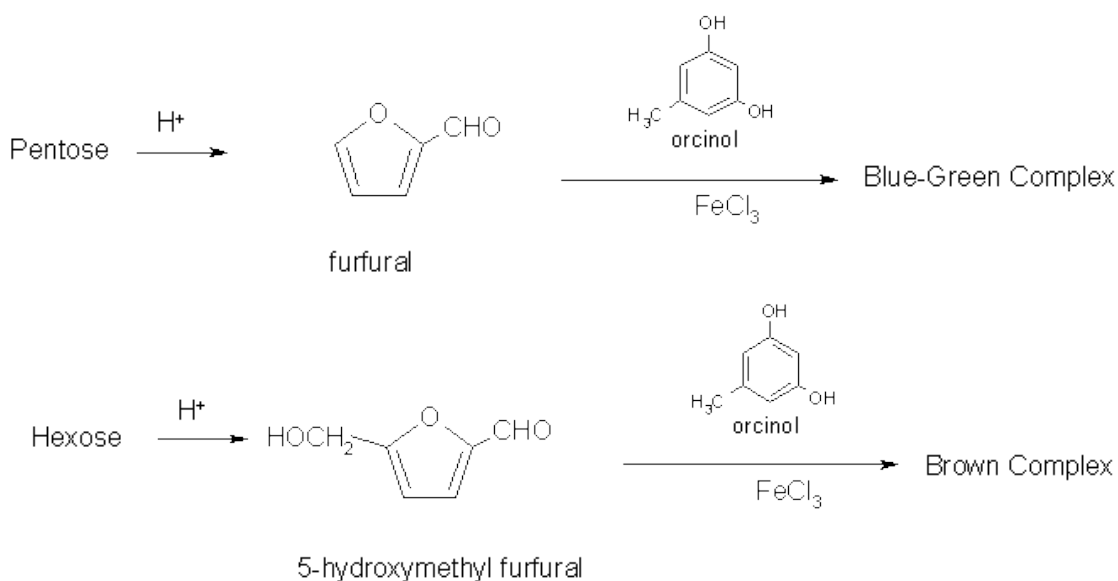
การสกัดแบ่งจากพืชหัวประเภทมันต่างๆ เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตสะสมพลังงาน จำพวกแป้ง โครงสร้างของแป้งประกอบ ด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) อะไมโลสประกอบด้วยกลูโคสมากกว่า 1,000 หน่วย ต่อกันด้วย α -D-linkage ระหว่างคาร์บอนอะตอม ตำแหน่ง ที่ 1 และ 4 (C1 และ C4) ซึ่งการเชื่อมด้วย α -D-glucosidic linkage ทำให้อะไมโลสมีการจัด ตัวแบบเกลียวเฮลิคซ์ (helix)

แป้งที่สกัดได้ สามารถทดสอบด้วยการใช้สารละลายไอโอดีน โดยโมเลกุลของ I_2 จะแทรกตัวเข้าไป ตรงส่วนที่เป็นแกนของเกลียวอะไมโลส ทำให้เห็นเป็นสีน้ำเงินขึ้น ส่วนพวก อะไมโลเพกติน หรือ ไกลโคเจน (glycogen) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนจะให้สีน้ำตาลแดง เนื่องจากรูปร่างของโมเลกุลแบบเกลียวมีความยาวไม่เพียงพอต่อการเข้าแทรกของไอโอดีน

ทั้งมอโนแซ็กคาไรด์และไดแซ็กคาไรด์ จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายไอโอดีน แต่ว่า คาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลเล็กเหล่านี้สามารถทำการทดสอบได้โดยอาศัยคุณสมบัติ 2 ประการ คือ

1. การเกิด furfural หรืออนุพันธ์ของ furfural

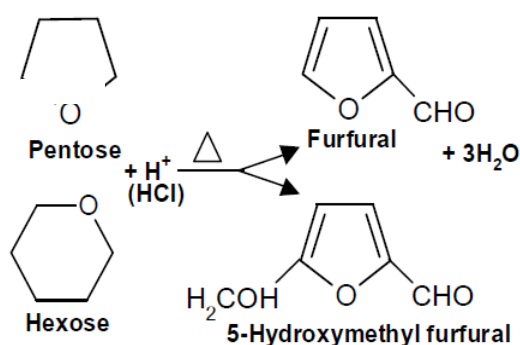
เมื่อคาร์โบไฮเดรตทำปฏิกิริยากับกรดเข้มข้น พันธะไกลโคซิดิกจะถูกทำลายได้ผลิตภัณฑ์เป็น มอโนแซ็กคาไรด์ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากโมเลกุลได้สารประกอบ furfural หรืออนุพันธ์ของ furfural ขึ้นอยู่กับชนิดของมอโนแซ็กคาไรด์นั้นๆ เช่น น้ำตาลเพนโทส จะถูกดึงน้ำออกมาได้ผลิตภัณฑ์เป็น furfural ส่วนน้ำตาลเฮกโซส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์ของ furfural



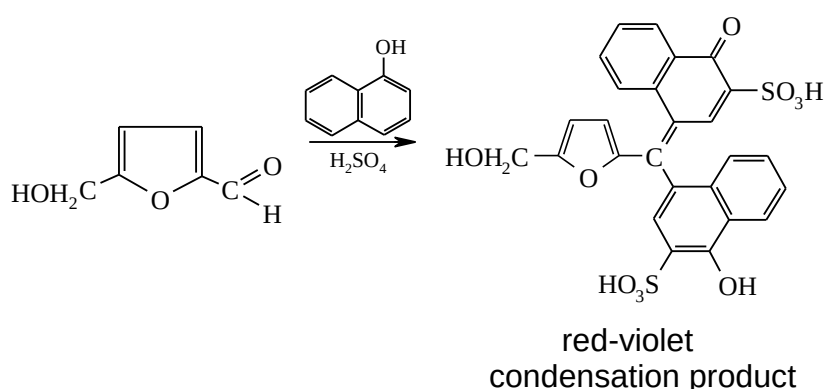
ภาพที่ 2.6 การเกิด furfural อนุพันธ์ของ furfural และ complex (Challenges. 2012)

Furfural หรือ อนุพันธ์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิก ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับสารที่เข้าทำปฏิกิริยา และสารตั้งต้น จึงใช้เป็นวิธีทดสอบคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- 1.1) **Molisch's test** เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบว่ามีคาร์โบไฮเดรตหรือไม่ คาร์โบไฮเดรตทุกชนิดให้ผลบวกต่อการทดสอบนี้ เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H₂SO₄) ทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตได้ furfural หรือ อนุพันธ์ของ furfural และเมื่อเติมสารละลาย Molisch ซึ่งมีสารกลุ่มฟีนอล คือ α -naphthol เป็นองค์ประกอบจะ เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง หรือม่วงแดงปรากฏตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารละลาย



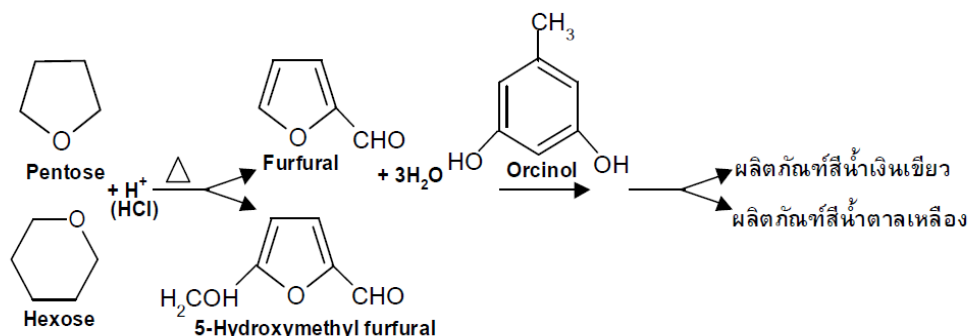
ภาพที่ 2.7 การเกิด furfural หรืออนุพันธ์ของ furfural (Ram.edu, 2017.)



ภาพที่ 2.8 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง หรือม่วงแดง (Zaporozhye State Medical University. 2017.)

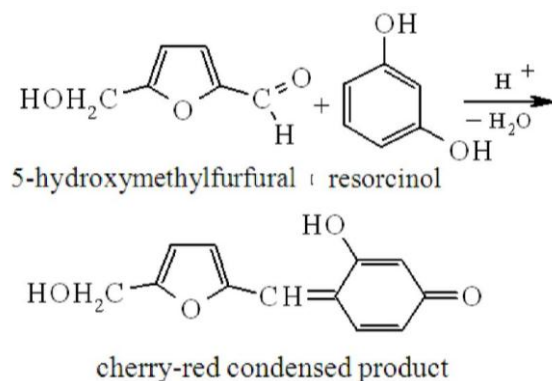
- 1.2) **Bial's test** เป็นการทดสอบน้ำตาลเพนโตส โดยให้ความร้อนช่วงสั้นๆ แก่น้ำตาล เพนโตส ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น น้ำตาลเพนโตสจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบ furfural ซึ่งจะ ทำปฏิกิริยา กับ orcinol ในสารละลาย Bial เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเขียวแกม น้ำเงิน แต่ว่า

ปฏิกิริยานี้ไม่จำเพาะต่อ เพนโทสเท่านั้น ไตรโอส เฮพโทสบางตัว และกรดยูโรนิค สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ผลเช่นเดียวกัน ส่วนเฮก โซสจะเกิดปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเหลือง



ภาพที่ 2.9 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเขียวน้ำเงิน และสีน้ำตาลเหลือง (Ram.edu, 2017.)

1.3) Seliwanoff's test เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบเฮกโซส โดยให้ความร้อนกับสารละลายในกรดไฮโดรคลอริก น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบ furfural ได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยากับ resorcinol ในสารละลาย Seliwanoff เกิดเป็นสารประกอบสีแดง ทั้งน้ำตาลคีโตสและน้ำตาลอัลโดส สามารถทำปฏิกิริยากับ resorcinol ได้ เช่นเดียวกัน แต่น้ำตาลคีโตส จะมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า



ภาพที่ 2.10 เกิดเป็นสารประกอบสีแดง (Ram.edu, 2017.)

2. การเป็น reducing agent

คาร์โบไฮเดรตที่มีหมู่อัลดีไฮด์ และคีโตนอิสระจะมีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ได้ เมื่อคาร์โบไฮเดรตอยู่ในสารละลายเบส จะเกิดการจัดตัวใหม่ของ คาร์บอนอะตอม ทำให้วงเปิดออกเป็นสายยาว และจะมีหมู่อัลดีไฮด์ หรือคีโตนอิสระเกิดขึ้น เกิดปฏิกิริยาการจัดตัวใหม่ของคาร์บอนอะตอมกลับไปกลับมาระหว่างรูปแบบ 2 ชนิด คือ คีโตและอีโนล คาร์โบไฮเดรตส่วนมากมีคุณสมบัตินี้ เช่น กลูโคส ฟรุคโตส มอลโตส และแมนโนส เป็นต้น ยกเว้นเพียงชนิดเดียว คือ ซูโครส เนื่องจากคาร์บอนอะตอมที่ 1 ไม่มีหมู่ อัลดีไฮด์อิสระ โดยคุณสมบัติของการเป็นน้ำตาล รีดิวซ์ สามารถทดสอบได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1) Benedict's test เป็นวิธีทดสอบน้ำตาลมอลโทสและไดแซ็กคาไรด์ทุกชนิด ยกเว้น น้ำตาลซูโครส โดยเมื่อต้มคาร์โบไฮเดรตกับสารละลาย Benedict ในภาวะที่เป็นด่าง น้ำตาลจะใช้อัลดีไฮด์ใน การรีดิวซ์ Cu^{2+} ในสารละลาย Benedict เกิดเป็นตะกอนสีแดงอิฐของ แต่หากให้ความร้อนไม่ มากพอ ตะกอนที่ได้อาจเป็นสีเหลือง สีเขียว หรือสีแดง

2.2) Barfoed's test เป็นวิธีทดสอบน้ำตาลมอลโทสและไดแซ็กคาไรด์ เช่น น้ำตาลเพนโทส หรือ น้ำตาลเฮกซอส ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าไดแซ็กคาไรด์ จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า โดยมอลโทสและไดแซ็กคาไรด์สามารถ รีดิวซ์ Cu^{2+} ในสารละลาย Barfoed ในภาวะที่เป็นกรดอ่อนๆ ให้กลายเป็นตะกอนสีแดงอิฐของ Cu_2O น้ำตาล ไดแซ็กคาไรด์ให้ผลบวกกับปฏิกิริยานี้ได้เช่นกัน หากให้ความร้อนกับปฏิกิริยาไปนานๆ

สารฟอกขาว

สารฟอกขาว หรือ sulphur dioxide ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีคุณสมบัติช่วยยับยั้งการเปลี่ยนสีของอาหารไม่ให้เปลี่ยนสีน้ำตาล (แวนดา เอกชานา, 2557)

สารฟอกขาว หรือ สารโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodiumhydrosulfite) หรือผงซักฟอก เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวที่มีกลิ่นกำมะถันอ่อนๆ (Sulfurous odor) ละลายในน้ำร้อนและในสารละลายกรด (Acid solutions) สารฟอกขาวใช้เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ในสารละลายน้ำ มีการใช้สารฟอกขาวกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ ย้อมสี ฟอกสี เยื่อกระดาษ ฝ้าย หนังสือ อาหารและเครื่องดื่ม โพลีเมอร์ ภาชนะ นอกจากนี้นี้ยังใช้เป็น ตัวทำความสะอาด บำบัดน้ำ (Water treatment) ทำให้แก๊สบริสุทธิ์ (Gas purification) แต่พบว่ามี การนำมาใช้ฟอกขาวในอาหาร เพื่อให้อาหารมีความขาว สดใส น่ารับประทานและดูใหม่อยู่เสมอ เพราะมีคุณสมบัติช่วยยับยั้งการเปลี่ยนสีของอาหารไม่ให้เปลี่ยนสีน้ำตาลเมื่ออาหารถูกความร้อนจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

อาหารที่มักตรวจพบสารฟอกขาว ได้แก่ ถั่วงอก ขิงฝอย ยอดมะพร้าว กระเทียม หน่อไม้ ดอก น้ำตาลมะพร้าว ทุเรียนกวน ขนมหิน น้ำตาลทราย เป็นต้น

หากสัมผัสสารฟอกขาว จะทำให้ผิวหนังอักเสบเป็นผื่นแดง และถ้าบริโภคจะทำให้เกิดอาการ อักเสบในอวัยวะที่ไปสัมผัส เช่น ปาก ลำคอ กระเพาะอาหาร ทำให้แน่นหน้าอก หายใจไม่สะดวก ความดันโลหิตต่ำ ปวดท้อง ปวดศีรษะ อาเจียน ท้องร่วง และหากแพ้สารนี้อย่างรุนแรงจะทำให้ถ่ายเป็น เลือด ชัก ช็อกหมดสติ หลอดลมหดตัว หายใจไม่ออก ทำให้หอบหืด ไตวาย และเสียชีวิตในที่สุด

วิธีที่จะหลีกเลี่ยงอันตรายจากสารฟอกขาว ทำได้โดยการเลือกซื้ออาหารที่มีสีใกล้เคียงกับธรรมชาติ ไม่ขาวจนผิดปกติ เช่น ทุเรียนกวนที่มีสีคล้ำตามธรรมชาติ

นอกจากนี้ก่อนบริโภคอาหารที่สงสัยว่ามีสารฟอกขาว ควรทำให้สุกก่อน เพราะสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ จะถูกทำลายด้วยความร้อน ซึ่งปลอดภัยกว่าการนำมารับประทานแบบสดๆ โดยเฉพาะอาหารแห้ง เช่น เห็ดหูหนูขาว ดอกไม้จีน เก๋ากี้ พุทราจีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มักพบว่ามีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ดังนั้นผู้บริโภคควรรู้จักวิธีการลดความเสี่ยงแบบง่าย ๆ ด้วยการล้างน้ำหรือลวกในน้ำเดือด โดยให้น้ำสะอาดไหลผ่านหรือลวกในน้ำเดือดประมาณ 2 นาทีก่อนนำไปปรุงอาหารทุกครั้ง ซึ่งจะช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ถึงกว่าร้อยละ 90

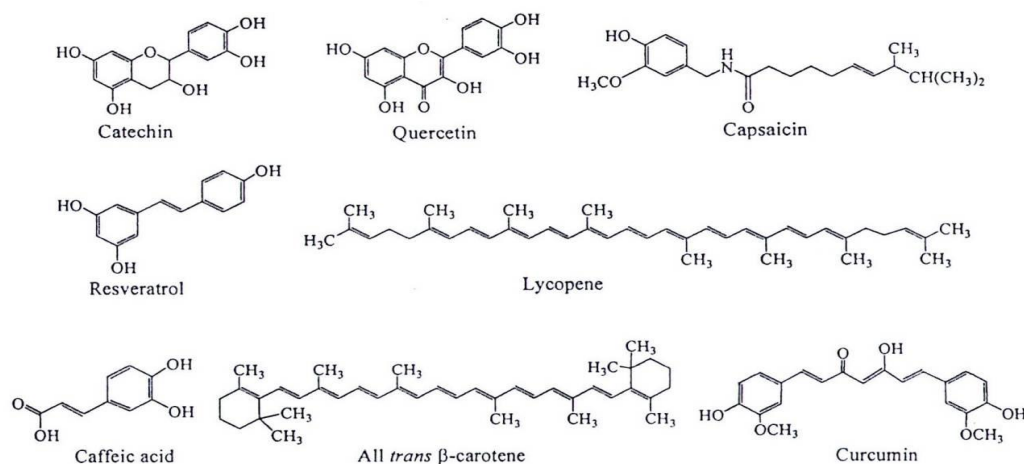
สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้อบแห้งที่สามารถบริโภคได้เลย ไม่ควรเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีสีจัด เนื่องจากในกระบวนการผลิตผลไม้อบแห้งต้องผ่านความร้อนสูง จึงมีผลทำให้สีสั่นและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เสียไปด้วย หากพบผลิตภัณฑ์ที่มีสีสั่นสวยงามมากผิดปกติ ให้สันนิษฐานว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จำนวนมาก (วันทนี โลหะประกิตกุล, 2557)

การปรับสภาพความเป็นกรด เบสนั้นทำได้ โดยการนำพืชนั้นไปแช่ในสารละลายต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น 1% ascorbic acid, 0.005% 4-hexylresorcinol, 0.5% calcium chloride และ 20% sucrose (Ró_a Bieganska-Marecik, Janusz Czapski, 2007) ซึ่งพบว่าเป็นสารละลายที่มีทั้งที่มีความเป็นกรด และเบส ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ ดังนั้นถ้านำสารจากธรรมชาติมาป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในหัว จะทำให้ได้หัวที่ขาวโดยปราศจากสารที่จะก่อให้เกิดอันตราย ได้อาหารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอก และพบได้มากใน ธรรมชาติ ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ช็อกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบ สารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด ในธรรมชาติ ตั้งแต่โมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟีนิลโพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น แม้ว่าปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 มิลลิกรัมถึง 1 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่บ่งชี้ถึงสุขภาพสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้าน การอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตในการสลายลิ่มเลือด เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลโครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี อย่างน้อย 1 หมู่ (ปริยานุช อินทร์รอด, 2551)

แหล่งอาหารที่พบสารโพลีฟีนอล เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ caffeic acid ในกาแฟ resveratrol ในไวน์แดง curcumin ในขมิ้น capsaicin ในพริกขี้หนู รวมทั้ง lycopene ในมะเขือเทศ (โอภา วัชรคุปต์ และคณะ, 2549)

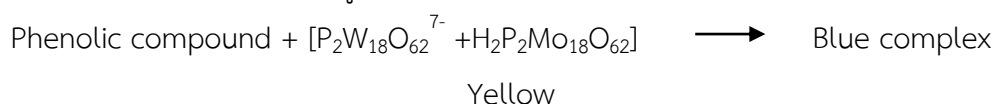


ภาพที่ 2.11 แสดงสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร ผลไม้ ผัก และสมุนไพร

ที่มา : โอภา วัชรคุปต์ และคณะ. 2549

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การหาสารประกอบฟีนอลิก ได้โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารฟอลิน-ซีโอเคทูล (Folin – Ciocalteu Reagent) และ Na_2CO_3 โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำปฏิกิริยาดังสมการ (กัลยาณี วัฒนธีรางกูร, 2551)



ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกนี้จะวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนมีสีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (Y.Y. Lim and J. Murtijaya. 2006) โดยใช้เกล็ดลิเป็นสารมาตรฐาน

เบต้าแคโรทีน (β-carotene)

เบต้าแคโรทีน (β-carotene) เป็นสารสีส้มหรือสีเหลืองที่จะพบได้ในผักผลไม้ที่มีสีส้ม เหลือง หรือแดง เมื่อเบต้าแคโรทีนเข้าสู่ร่างกาย จะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอโดยเอนไซม์ในลำไส้ในปริมาณที่ร่างกายต้องการ เบต้าแคโรทีนนั้นมีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งคอยกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่จะไปทำปฏิกิริยาทำลายส่วนประกอบภายในเซลล์ จนทำให้เซลล์นั้นมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังช่วยให้มองเห็นในที่มืดได้ดี ช่วยป้องกันผิวที่อาจเกิดจากอันตรายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้ผิวพรรณมีสุขภาพดีและลดริ้วรอยแก่ก่อนวัย ช่วยรักษาสุขภาพปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว กระงักตา ซ่องปาก ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจให้เป็นปกติ และยังช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานได้ดีอีกด้วย

แหล่งอาหารที่พบเบต้าแคโรทีน

จะพบได้ในผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม เหลือง หรือ แดง เพราะเบต้าแคโรทีนเป็นสารที่จะทำให้พืชผัก และผลไม้มีสีส้ม เช่น แครอท มะละกอสุก ฟักทอง แตงโม แคนตาลูป ข้าวโพดอ่อน และผักที่มีสีเขียว เช่น บรอกโคลี มะระ ผักตำลึง ผักบุ้ง ต้นหอม ผักคะน้า เป็นต้น

ผลข้างเคียงจากการได้รับเบต้าแคโรทีน

ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานใดที่ยืนยันแน่ชัดถึงพิษของเบต้าแคโรทีนถ้าได้รับในปริมาณสูงๆ แต่การได้รับเบต้าแคโรทีนปริมาณสูงมากเกินไปจะทำให้ผิวหนังมีสีเหลือง ซึ่งการได้รับเบต้า แคโรทีนจากการรับประทานผักและผลไม้ น่าจะเพียงพอและยังได้รับคุณค่าสารอาหารอย่างอื่นเพิ่มเติม ดังนั้นควรเลือกที่จะบริโภคผักและผลไม้ แทนการได้รับเบต้าแคโรทีนจากผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. 2554)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ

บทบาทสำคัญของสารต้าน อนุมูลอิสระคือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็น สาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบัน องค์การที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหาร และยาได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สารสกัดจากชาเขียว แอปเปิ้ลเขียว และผลไม้รสเปรี้ยว อย่างไรก็ตาม ในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีกลไกป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้วซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุลและส่วนที่สองคือ กลุ่มของสารต้านอนุมูล อิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือ เบต้าแคโรทีน (β - carotinoid) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น

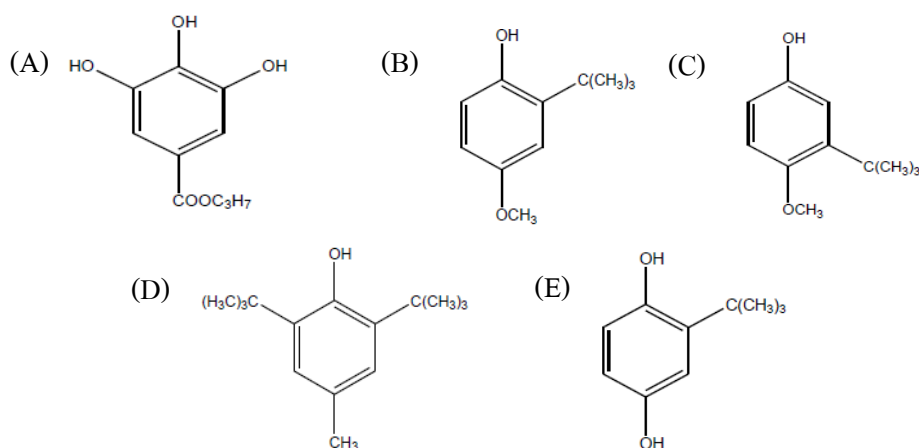
1) แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. 2554)

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ ฝรั่ง และสมุนไพร ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

1.1) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants)

สารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ได้แก่ propyl gallate, 2- butylated hydroxyanisole, 3- butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ

tertiary butylhydroquinone ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.4 เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (A) Propyl gallate, (B) 3- Butylated hydroxyanisole, (C) 2-Butylated hydroxyanisole, (D) Butylated hydroxytoluene, (E) Tertiary butyl hydroquinone
ที่มา : เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหนาม. 2554

1.2) สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants)

สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบ ฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แชนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่ง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชัน (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล H[•] แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้ สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH[•] ในปฏิกิริยาที่อนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe²⁺ และ Cu²⁺ เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) สารประกอบกลุ่มโพลี ฟีนอลซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาตินานาชนิด สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) และในสิ่งมีชีวิต

1.3) ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ (ปราณีรัตน์ แสงเกษตรชัย. 2555)

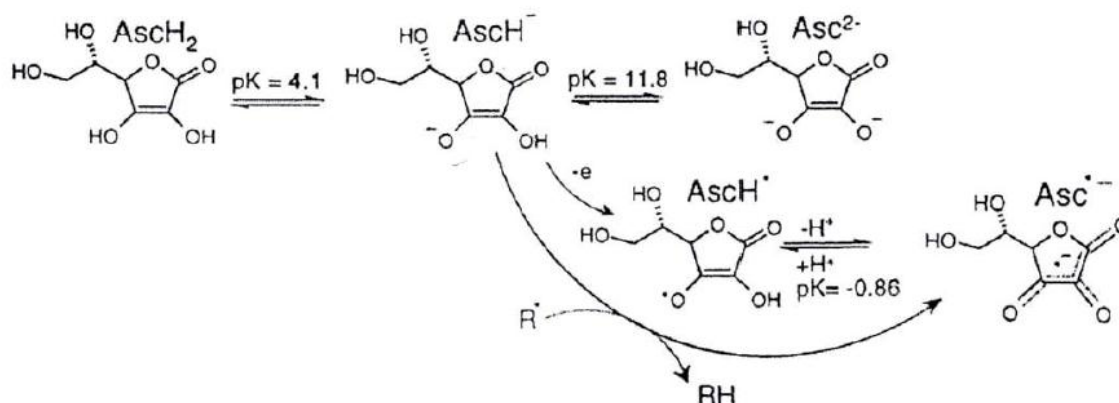
วิตามินซี (Ascorbic acid) มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี จึงทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในเซลล์และอวัยวะที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก วิตามินซีมีความสัมพันธ์กับวิตามินอีโดยทำหน้าที่เปลี่ยนวิตามินอีในรูปอนุมูลให้กลับเป็นวิตามินอีดั้งเดิม ดังนั้นวิตามินซีในร่างกายที่อยู่ในรูป AscH จะให้อิเล็กตรอน 1 ตัว เมื่อให้อิเล็กตรอนไปแล้วจะอยู่ในรูปอนุมูลแอสคอร์เบท (AscH[•]) ซึ่งมีค่า pK เท่ากับ -0.86 ซึ่งต่ำกว่า pH ของร่างกายจึงไม่ถูกโปรโตเนต แต่จะให้ไฮโดรเจนและเปลี่ยนเป็นอนุมูลเคมีดีไฮโดรแอสคอร์เบท (Asc⁻) ปฏิกิริยาโดยรวมคือการให้อิเล็กตรอน 1 ตัว ร่วมกับอะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ เป็นการกำจัดหรือสลายอนุมูลอิสระคือ R ให้เป็น RH จากการกำจัดนี้จะได้อนุมูลอิสระตัวใหม่ที่มีความไวต่ำคือ Asc⁻

แหล่งอาหารที่พบวิตามินซี

สามารถพบได้ในผลไม้ เช่น ฝรั่ง ส้ม มะขามป้อม และผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวอื่นๆ

ผลข้างเคียงจากการได้รับวิตามินซีในปริมาณสูงๆ

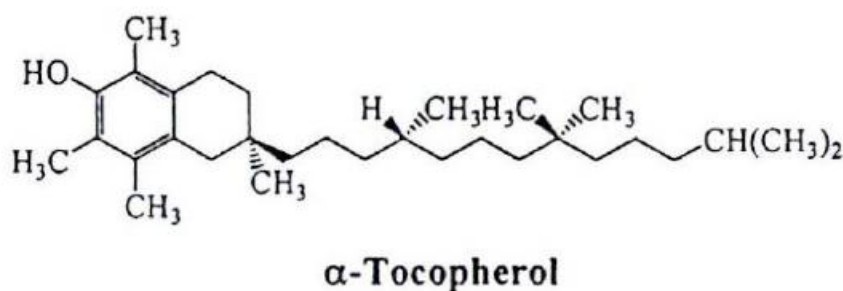
ขนาดที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นขนาด 250-1000 มิลลิกรัมต่อวัน การรับประทานวิตามินซี ในปริมาณสูงๆ ควรปรึกษาแพทย์เนื่องจากมีข้อควรระวังในหญิงตั้งครรภ์ผู้ที่เป็โรคเกาต์ นิ่วในไต และโดยเฉพาะผู้ที่เป็โรคไต อาจเกิดอาการท้องเสีย ปวดท้อง



ภาพที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติของวิตามินซีและกลไกการต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : ปราณีรัตน์ แสงเกษตรชัย. 2555

วิตามินอี (Tocopherols) เป็นวิตามินที่ดูดซึมพร้อมไขมันและละลายในไขมัน (fat soluble compound) ซึ่ง α -tocopherol เป็นไอโซเมอร์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดของวิตามินอี โดยวิตามินอีจะยับยั้งกระบวนการ lipidperoxidation ของ membrane ซึ่งมี lipid เป็นองค์ประกอบด้วยการให้ไฮโดรเจนแก่ lipid ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระหรืออนุมูลลิพิดเปอร์ออกซี ทำให้ lipid พ้นสภาพอนุมูลแล้วอนุมูลวิตามินอีจะถูกวิตามินซีรีดิวซ์กลับไปสภาพเดิมเพื่อใช้งานใหม่



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างวิตามินอี (α -Tocopherols)

ที่มา : ปราณีรัตน์ แสงเกษตรชัย. 2555

เบต้าแคโรทีน (β -carotene) เป็นสารสีส้มหรือสีเหลืองที่จะพบได้ในผักผลไม้ที่มีสีส้ม เหลือง หรือแดง เมื่อเบต้าแคโรทีนเข้าสู่ร่างกาย จะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอโดยเอนไซม์ในลำไส้ในปริมาณที่ร่างกายต้องการ เบต้าแคโรทีนนั้นมีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งคอยกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่จะไปทำปฏิกิริยาทำลายส่วนประกอบภายในเซลล์ จนทำให้เซลล์นั้นมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ช่วยให้มองเห็นในที่มืดได้ดี ช่วยป้องกันผิวที่อาจเกิดจากอันตรายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้ผิวพรรณมีสุขภาพดีและลดริ้วรอยแก่ก่อนวัย ช่วยรักษาสุขภาพปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว กระจุกตา ช่องปาก ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจให้เป็นปกติ และยังช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานได้ดีอีกด้วย

2) กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหามาม.

2554)

2.1) ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระดังสมการ



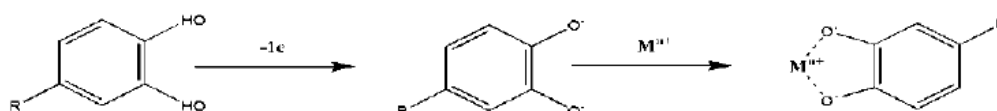
2.2) ยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1\text{O}_2^*$)

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1\text{O}_2^*$) ให้อยู่ใน รูปทริปเปรีท (triplet oxygen ($^3\text{O}_2$)) และ ปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อนโดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกิ้ลท ออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล



2.3) จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ได้แก่ ปฏิกริยาออกซิเดชัน (metal chelation)

โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และ ซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



2.4) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) วิตามินอี (α -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxyl ($\text{ROO}^{\cdot}$)

2.5) เสริมฤทธิ์ (synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่างวิตามินอี (α -tocopherol) กับวิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (α -tocopherol peroxyl) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-โทโคฟีรอล กับอนุมูลเปอร์ออกซิล ($\text{ROO}^{\cdot}$) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟา-โทโคฟีรอล ที่สามารถทำงานได้

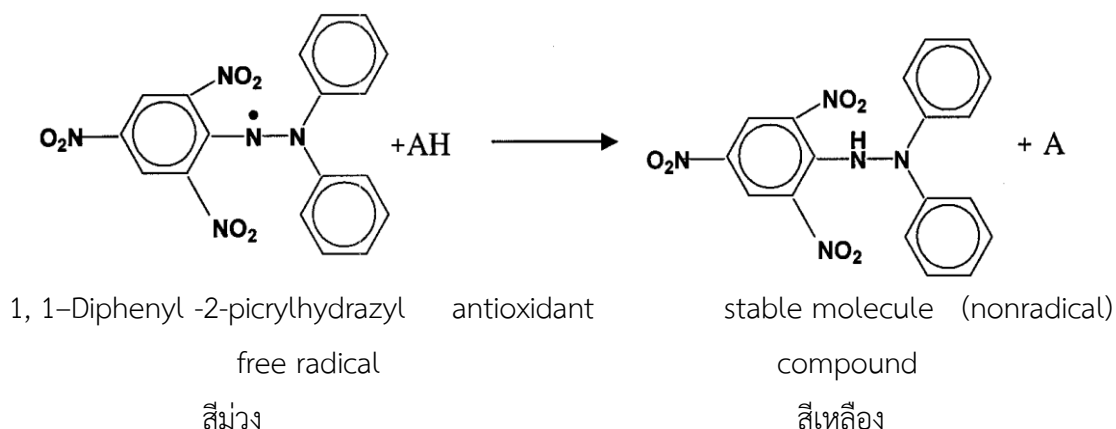
2.6) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition)

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

3) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.1) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ในการวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมทั่วไป มีดังนี้คือ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอนุมูลอิสระ เมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระ

ในการวิเคราะห์ด้วย DPPH

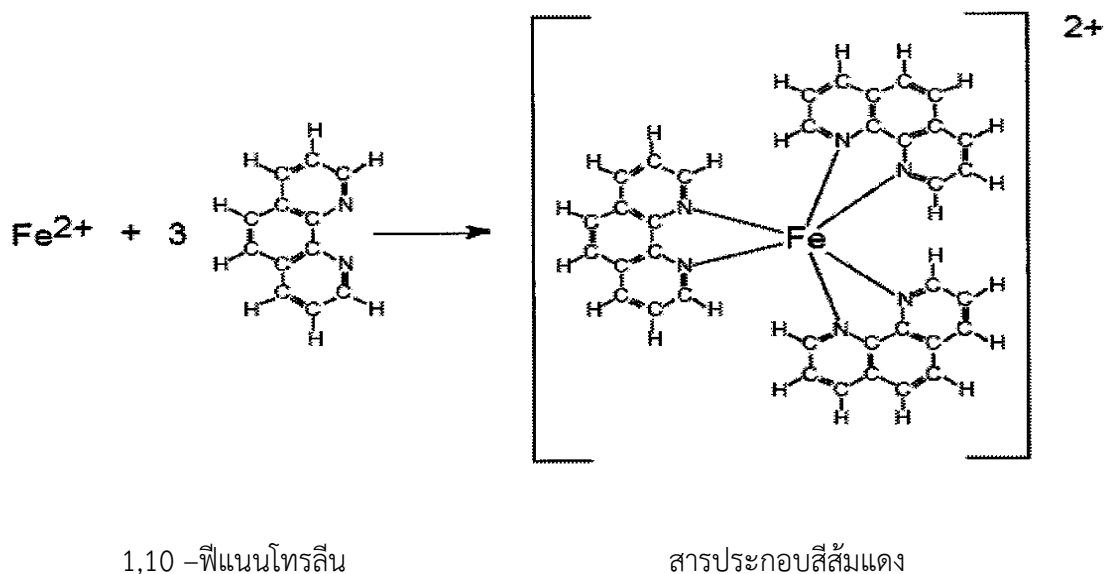
ที่มา : กัลยาณี วัฒนธีรางกูร. 2551

การศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระนี้เป็นการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรที่อยู่ในสารละลายซึ่งจะเกิดกลไกการต้านอนุมูลอิสระแบบ scavenging activity โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทดสอบสารละลาย DPPH ซึ่งมีสีม่วงเข้ม ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสีม่วงลดลง เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงนี้จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัด อนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (กัลยาณี วัฒนธีรางกูร, 2551)

3.2) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1, 10-ฟีแนนโทรีน

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ด้วยสารสกัดได้เป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จากนั้นเฟอร์รัสไอออนจะทำปฏิกิริยากับ 1, 10-ฟีแนนโทรีน เกิดเป็นสารประกอบสีส้มแดงซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ดังนั้น ค่าการดูดกลืนแสงนี้จึงมีค่าแปรผันตรงกับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่เกิดขึ้นและบ่งบอกถึงความสามารถของการเป็นรีดิวซิง เอเจนต์หรือนั่นก็คือเป็นความสามารถที่จะต้านอนุมูลอิสระได้โดยมีปฏิกิริยาดังแสดงดังภาพ 2.11 (กัลยาณี วัฒนธีรางกูร. 2551)





ภาพที่ 2.15 ปฏิบัติการเกิดสารประกอบสีส้มแดงในการทดสอบ
การต้านอนุมูลอิสระด้วย วิธี 1,10 -ฟีแนนโทรีน
ที่มา : กัลยาณี วัฒนธีรางกูร, 2551

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรพิมล ม่วงไทยและคณะ (2557) กล่าวว่า ปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารสามารถ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพด้านสี กลิ่น และรส และยังส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ ของอาหาร ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของ ผู้บริโภค เช่น สารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์ เป็นสารพิษชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเกิดได้จาก 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยในงานวิจัยนี้ สนใจที่จะศึกษาการเกิดสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์จากปฏิกิริยาทั้งสองในระบบต้นแบบ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิด สารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์ในระบบต้นแบบ ได้แก่ ชนิดของ น้ำตาล ชนิดของกรดอะมิโน อุณหภูมิที่ให้ความร้อน และเวลาที่ให้ความร้อน ทั้งนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะ สูง ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ คอลัมน์ชนิดรีเวิร์สเฟส C18 ทำการชะสารด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ คือ น้ำ อะซิโตน ไตรคลอโรเอทานอล อัตราส่วน 90:10 โดยปริมาตร ควบคุมอัตราการไหลที่ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที และตรวจวัดด้วยไดโอด อาร์เรย์ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าปฏิกิริยา คาราเมลไลเซชันมีแนวโน้มที่จะสามารถเกิดสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์ได้มากกว่าปฏิกิริยา เมลลาร์ดในทุกสถานการณ์ที่จำลองขึ้น

เชิญพร จันทรสนามและคณะ (2555) ศึกษาผลผลิตพันธุ์เห็ดทอดกรอบปรุงรส มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเห็ดทอดกรอบ โดยการวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยให้นำเห็ดดิบมาหั่นด้วยเครื่องหั่นผัก และผลไม้ รูปแบบที่ได้คือรูปแบบแผ่นตามขวางของผล ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดเห็ด คือ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เมื่อนำมาประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ผู้ชิมให้คะแนนคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมากที่สุด ส่วนด้านเนื้อสัมผัสให้คะแนนมากที่สุดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส โดยความชอบ ในคุณลักษณะด้านสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (0.05) ส่วนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (0.05) เมื่อนำเห็ด ทอดกรอบทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และกายภาพ สรุปได้ว่ามีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 59.99, 9.20 และ 33.54 ตามลำดับ ความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 4.22 ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.50 และเนื้อ สัมผัสเท่ากับ 87.07 กิโลกรัมต่อวินาที การศึกษาอายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยบรรจุ ผลผลิตพันธุ์เห็ดทอดกรอบในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์ ปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศตรวจสอบอายุการเก็บรักษาทุก 1 สัปดาห์ จนครบกำหนด 4 สัปดาห์ เพื่อเปรียบเทียบการอายุการเก็บรักษาของผลิตพันธุ์เห็ดทอดกรอบ จากนั้น นำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คะแนนด้านความชอบด้านสี, กลิ่น, รสชาติ และเนื้อสัมผัส ทดสอบ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุก 1 สัปดาห์ สรุปได้ว่าผู้ชิมให้การยอมรับใน ด้านกลิ่น และเนื้อสัมผัสลดลงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพของเห็ดทอดกรอบ การพัฒนาผลิตพันธุ์ เห็ดทอดกรอบ ปรุงรส โดยใส่ผงปรุงรสในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนัก ผู้ชิมให้การยอมรับผงปรุงรส ชีสมากกว่ารสต้มยำ และรสบาร์บีคิว

รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม (2549) ศึกษาผลของการอบแห้ง (อุณหภูมิและเวลา) ต่อคุณภาพด้านสี การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และความชอบทางประสาทสัมผัสของลำไยที่ผ่านการอบแห้งแบบทั้งผลพร้อมเปลือก โดยเลือกศึกษาใน ลำไย (*Euphoria longana* Lam.) พันธุ์อีดอ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมนำมาผลิตเป็นลำไยอบแห้งในทางการค้ามากที่สุดในประเทศไทย ลำไยสดที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 16.1-16.5 องศาบริกส์ มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ 0.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมส่วนที่รับประทานได้ เลือกลำไยสดเกรดเอเอที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 27 มิลลิเมตร และปราศจากตำหนิหรือโรคที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ลำไยสดทั้งผลถูกนำมาอบแห้งโดยเรียงชั้นเดียวที่อุณหภูมิการอบแห้งแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมร้อนคงที่ที่ 0.2 เมตรต่อวินาที ลมร้อนผ่านลำไยแบบผ่านด้านล่างผลขึ้นสู่ด้านบน (through-flow mode) ทำการอบแห้งจนกระทั่งเนื้อลำไยมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.6 ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง คือ 47 35 และ 28 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับการศึกษาพบว่า อัตราเร็วของการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น สำหรับลำไยสดและลำไยอบแห้งที่ศึกษามีปริมาณน้ำตาลที่พบมาก 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และ น้ำตาลฟรุคโทส ซึ่ง

น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโทสเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดและน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดยังสามารถเกิดจากการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสเมื่อใช้ความร้อนที่สูง และสอดคล้องกับปริมาณการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการอบแห้ง 28 ชั่วโมง พบว่าเกิดในปริมาณที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการอบแห้ง 47 และ 35 ชั่วโมงตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณสาร Hydroxymethylfurfural (HMF) สูงสุดในเนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เช่นกันสำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัสและ ความชอบรวม ที่มีต่อลำไยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการอบแห้ง 47 และ 35 ชั่วโมง มากกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการอบแห้ง 28 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า การเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยมีผลมากต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส และผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานตามขั้นตอน ได้แก่

1. สำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่ กลุ่มแปรรูปเห็ดของตำบลวังยาง อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี
2. นำข้อมูลและปัญหาที่ได้มาวิเคราะห์ และหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา และเพิ่มจุดเน้นของชุมชน โดยพบว่าเห็ดที่ตม้นั้นมีสีคล้ำไม่น่ารับประทาน แต่ถ้าใช้สารฟอกขาวก็มีสารที่เป็นอันตรายตกค้างอยู่ ถึงแม้จะนำสารส้อมมาใช้ทดลองแต่แต่ทำให้เห็ดที่ตมมีรสเฝื่อน และถ้าใช้สารส้อมในปริมาณมากก็จะทำให้เกิดอันตรายได้
3. ดำเนินการเพื่อหาวิธีการแก้ไขโดยการวิจัยและทดลอง ในหัวข้อต่อไปนี้

3.1 วิธีการศึกษา

3.1.1 วิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β -Carotene ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดสด เพื่อหาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดสด

3.1.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี เพื่อศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำมะกรูด น้ำจากเปลือกสับปะรด น้ำมะขาม มะยม น้ำมะดัน ตะลิงปลิง มะเฟือง และมะอึก มาต้มเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในเห็ด หลังจากการต้มด้วยสารจากธรรมชาติ

ขั้นตอนในการต้มเห็ด

- 1) นำเห็ดดิบ 1,000 กรัม มาต้มกับน้ำ 1,000 กรัม เป็นเวลา 10 นาที
- 2) การเตรียมน้ำที่ใช้ในการต้มเห็ด โดยอัตราส่วนของสารจากธรรมชาติ 100 กรัมต่อน้ำ 900 กรัม กับเห็ดที่ต้มแล้ว 1,000 กรัม โดยใช้เวลาในการต้มเป็นเวลา 5 นาที นำไปทดสอบ

3.1.3 ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างเห็ดที่ใช้ในการศึกษา เป็นเห็ดจากกลุ่มเห็ดแปรรูป ซึ่งเป็นกลุ่มแม่บ้าน ของตำบลวังยาง อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β -Carotene ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเห็ด เพื่อหาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ด

3.3.1 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงจาก Hou, 2003)

1) การเตรียมสารสกัด

ซึ่งตัวอย่างแห้งที่ต้มกับสารจากธรรมชาติในข้อ 3.1.2 มาบดละเอียด 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นมาเติมเมทานอล ให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และนำไปกวนด้วยเครื่องกวนควบคุมที่

อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยตัวทำละลายและนำไปเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่อไป

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกโดยการนำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มาเจือจางด้วย เมทานอล 95% ให้มีความเข้มข้นเป็น 100 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร และนำสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆมาอย่างละ 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายฟอลีน - ซีโอเคาทุล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติม 7% โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายต่างๆ ให้ได้ 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำค่าที่ได้และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกมาเขียนกราฟมาตรฐานและหาความชันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดต่อไป โดยทำการทดลองสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

3) การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

นำสารสกัด มาอย่างละ 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเติมสารละลายฟอลีนซีโอเคาทุล ปริมาตร 1 มิลลิลิตรแล้วเขย่าให้เข้ากันและเติม 7% โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายต่างๆ ให้ได้ 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยที่เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกและคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

3.3.2 การหาปริมาณ β -Carotene (Nagata and Yamashita)

ใช้ตัวอย่างที่บดละเอียด 1 กรัม มาสกัดด้วย 10 mL ของ สารผสม acetone-hexane (4:6) นำไปกรอง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 453, 505, 645, 663 นาโนเมตร และนำไปคำนวณผลดังสมการ

$$\beta\text{-Carotene (mg/100 mL)} = 0.216 A_{663} - 1.22 A_{645} - 0.304 A_{505} - 0.452 A_{453}$$

3.3.3 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

1) การหาเปอร์เซ็นต์การต้าน DPPH ของสารสกัด (ดัดแปลงจาก Takao *et al.*, 1994)

นำสารสกัดที่ได้ มาตัวอย่างละ 2 มิลลิลิตร จากนั้นมาทำปฏิกิริยากับ 2 มิลลิโมลาร์ DPPH ในเมทานอล 95% มาอย่างละ 1 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยเมทานอล 95% จากนั้นเขย่าและทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลานาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยให้เป็นค่า A_{sample} และนำ 2 มิลลิโมลาร์ DPPH ในเมทานอล 95% มา 1 มิลลิลิตร มาเติมลงในขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำมาปรับปริมาตรจนครบ 10 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล 95% มาทำปฏิกิริยากันในที่มืดเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วยความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเช่นเดียวกันโดยให้เป็นค่า A_{control} นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดตามสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การต้าน DPPH ของสารสกัด} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

2) การทดสอบการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay (ดัดแปลงจาก Ghiaba *et al.*, 2014; Amel *et al.*, 2014)

นำสารละลาย 1 mL ของ 1.865×10^{-3} M 1, 10 phenanthroline 2 mL ของ 0.2 M สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 เติมน้ำ 1 mL ของสารสกัด และเติมน้ำ 1 mL ของ 1.865×10^{-3} M $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ 1 mL ของ 0.03 % v/v H_2O_2

จากนั้นเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 536 นาโนเมตร เตรียม control โดยเติมตัวทำละลายที่ไม่มีสารสกัด และเตรียมแบลนด์โดยไม่ใช้ H_2O_2 คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

$$\text{HRSA (\%)} = \frac{A_{\text{sample}} - A_{\text{control}}}{A_{\text{cblank}} - A_{\text{control}}} \times 100$$

3.3.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี

เพื่อศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำมะกรูด น้ำจากเปลือกสับปะรด น้ำมะขาม มะยม น้ำมะดัน ตะลิงปลิง มะเฟือง และมะอึก มาต้ม เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในแก้ว หลังจากการต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ซึ่งจะรวมไปถึงการเก็บรักษาที่เวลาต่างๆ ได้แก่ ค่าสีในวันที่ต้มตัวอย่าง หลังจากเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (5 °C) 1, 3, 5, และ 7 วัน โดยมีวิธีการดังนี้

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล

ซึ่งตัวอย่างสด 10 กรัม (ถ้าเป็นตัวอย่างแห้ง 3-5 กรัม) หั่นตัวอย่างให้ละเอียด ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติม 1.5 % acetic acid 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 30 วินาที กรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้มาปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วย 1.5 % acetic acid ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ 1.5 % acetic acid ด้วย เป็น blank

3.3.5 ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เป็นการระบุความชอบของคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างแก้วที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ โดยใช้แบบสอบถาม จำนวน 40 ฉบับ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ครั้ง

4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ นำมาสรุปและเขียนรายงาน
5. คำนวณข้อมูลให้กับชุมชนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา

สรุปผลการดำเนินงานด้านการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานวิจัยตามแผนงานที่วางไว้

ระยะเวลาการดำเนินงาน (ระบุช่วงเวลาตามแผน)	กิจกรรม (ตามTOR)	ผลที่คาดหวัง (ตามTOR)	ผลที่เกิดขึ้นจริง	คำชี้แจง (ทำได้หรือไม่ได้ เพราะอะไร)
1 ปี	ใช้สารจากธรรมชาติ 9 ชนิด ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำมะกรูด น้ำจากเปลือกสับปะรด น้ำมะขาม มะยม น้ำมะดัน ตะลิงปลิง มะเฟือง และมะอึก	ถนอมย่นยั้ง browning reation โดยใช้สารจากธรรมชาติแทนสารฟอกขาวในหัว	สารจากธรรมชาติสามารถย่นยั้ง browning reation ได้	เป็นไปตาม TOR
1 ปี	นำหัวที่ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลส่วนที่ 3 เก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, และ 5 วัน นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลโดยวิธีทางเคมี	วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมี เมื่อใช้สารจากธรรมชาติ	มีการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล โดยวิธีทางเคมีไม่สูงซึ่งแสดงว่าสารจากธรรมชาติสามารถย่นยั้ง browning reation ได้	เป็นไปตาม TOR
1 ปี	นำหัวมาทดสอบทางประสาทสัมผัส คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม	การใช้สารจากธรรมชาติการยับยั้ง browning reation มีผลต่อทางประสาทสัมผัสในระดับที่ชอบหรือไม่	การใช้สารจากธรรมชาติการยับยั้ง browning reation มีผลต่อทางประสาทสัมผัสในระดับที่ชอบหรือไม่	เป็นไปตาม TOR

ระยะเวลาการดำเนินงาน (ระบุช่วงเวลาตามแผน)	กิจกรรม (ตามTOR)	ผลที่คาดหวัง (ตามTOR)	ผลที่เกิดขึ้นจริง	คำชี้แจง (ทำได้หรือไม่ได้ เพราะอะไร)
1 ปี	<p>1. วิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β-Carotene ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในหัวสด</p> <p>2. วิเคราะห์หาปริมาณ phenolic compound, β-Carotene ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในหัวที่ใช้สารจากธรรมชาติ</p>	<p>หัวสด และหัวต้ม มีสาร phenolic compound, β-Carotene และสารต้านอนุมูลอิสระ</p>	<p>หัวสด และหัวต้มมีสาร phenolic compound, β-Carotene และสารต้านอนุมูลอิสระ</p>	เป็นไปตาม TOR

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง

ตารางที่ 4.1 แสดงสารประกอบฟีนอลิกของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ

ตัวอย่างของสารสกัด ธรรมชาติ	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	10.0909	10.0455	10.1250	10.0871 $\pm$ 0.0399
น้ำมะนาว	10.3182	10.3636	10.3068	10.3295 $\pm$ 0.0301
น้ำมะกรูด	9.1477	9.0682	9.0909	9.1023 $\pm$ 0.0410
น้ำมะขาม	10.2727	10.2841	10.3068	10.2879 $\pm$ 0.0174
น้ำมะดัน	10.1316	10.1211	10.1284	10.1270 $\pm$ 0.0054
น้ำมะยม	10.1190	10.1254	10.1176	10.1207 $\pm$ 0.0042
น้ำตะลิงปลิง	10.0875	10.0822	10.0904	10.0867 $\pm$ 0.0042
น้ำมะอึก	10.0446	10.0264	10.0230	10.0313 $\pm$ 0.0116
น้ำมะเฟือง	9.8462	9.7600	9.8852	9.8305 $\pm$ 0.0641
เหหัวสด	15.8864	15.8409	15.8977	15.8750 $\pm$ 0.0301

จากการหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง นั้น พบว่าในเหหัวสดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด รองลงมาคือเหหัวที่นำมาต้มด้วยน้ำมะนาว ซึ่งในเหหัวต้มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่า อาจมีผลมาจากการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไปในระหว่างการต้มเหหัว

2. ปริมาณ β -carotene

จากการวิเคราะห์ปริมาณ β -carotene ของหัวสด และหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณ β -carotene ของหัวสด และหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ

ตัวอย่างของสารสกัด ธรรมชาติ	ปริมาณ β -carotene (มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	0.5444	0.5378	0.5598	0.5473 $\pm$ 0.0113
น้ำมะนาว	1.2843	1.2675	1.2868	1.2795 $\pm$ 0.0105
น้ำมะกรูด	0.1012	0.1006	0.1122	0.1047 $\pm$ 0.0065
น้ำมะขาม	0.9988	0.9756	1.0024	0.9923 $\pm$ 0.0145
น้ำมะดัน	1.1044	1.0966	1.1146	1.1052 $\pm$ 0.0090
น้ำมะยม	0.9894	0.9623	0.8729	0.9415 $\pm$ 0.0610
น้ำตะลิงปลิง	0.8754	0.8942	0.8636	0.8777 $\pm$ 0.0154
น้ำมะอึก	0.9228	0.9163	0.9471	0.9287 $\pm$ 0.0162
น้ำมะเฟือง	0.6113	0.5347	0.5876	0.5779 $\pm$ 0.0392
หัวสด	1.6345	1.6244	1.6500	1.6363 $\pm$ 0.0129

จากการวิเคราะห์ปริมาณ β -carotene ของหัวสด และหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟืองพบว่า ในหัวสดมีปริมาณ β -carotene มากที่สุด รองลงมาคือหัวที่นำมาต้มด้วยน้ำมะนาว ซึ่งในหัวต้มที่มีปริมาณ β -carotene น้อยกว่า อาจมีผลมาจากการสูญเสียปริมาณ β -carotene ไปในระหว่างการต้มหัว

3. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1) การหาเปอร์เซ็นต์การต้าน DPPH ของสารสกัด

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ตัวอย่างของสารสกัด ธรรมชาติ	เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	19.3401	19.1440	19.1767	19.2203 $\pm$ 0.1051
น้ำมะนาว	19.0039	18.9899	19.0226	19.0055 $\pm$ 0.0164
น้ำมะกรูด	16.9490	16.9304	17.8691	17.2495 $\pm$ 0.5367
น้ำมะขาม	15.6368	15.6321	15.5714	15.6134 $\pm$ 0.0365
น้ำมะดัน	18.0875	18.2453	18.1762	18.1697 $\pm$ 0.0392
น้ำมะยม	17.4236	17.5128	17.3211	17.4192 $\pm$ 0.0959
น้ำตะลิงปลิง	16.4718	16.3920	16.6568	16.5069 $\pm$ 0.1358
น้ำมะอึก	15.1274	15.0867	15.0991	15.1044 $\pm$ 0.0209
น้ำมะเฟือง	13.2842	13.1879	13.2055	13.2259 $\pm$ 0.0513
เหหัวสด	28.1245	28.1105	28.1479	28.1276 $\pm$ 0.0189

จากการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟืองพบว่าในเหหัวสดมีการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากที่สุด รองลงมาคือเหหัวที่นำมาต้มด้วยน้ำเปลือกสับปะรด ซึ่งในเหหัวต้มที่มีการน้อยกว่า อาจมีผลมาจากการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการต้มเหหัว

3.2) การหาการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay

ตัวอย่างของสารสกัด ธรรมชาติ	เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	20.1240	20.0806	20.2564	20.1537 $\pm$ 0.0916
น้ำมะนาว	19.6590	19.5776	19.3862	19.5408 $\pm$ 0.1400
น้ำมะกรูด	17.9854	17.8555	18.0246	17.9552 $\pm$ 0.0885
น้ำมะขาม	16.4222	16.1118	16.3954	16.3098 $\pm$ 0.1720
น้ำมะดัน	19.8652	19.6214	19.9347	19.8071 $\pm$ 0.1645
น้ำมะยม	19.4563	19.3225	19.6655	19.4814 $\pm$ 0.1729
น้ำตะลิงปลิง	18.4426	18.6781	18.3569	18.4925 $\pm$ 0.1663
น้ำมะอึก	16.5471	16.6542	16.3982	16.5332 $\pm$ 0.1286
น้ำมะเฟือง	15.3444	15.7266	15.4911	15.5207 $\pm$ 0.1928
เหหัวสด	30.4682	30.3998	30.5662	30.4781 $\pm$ 0.0836

จากการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay ของเหหัวสด และเหหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟืองพบว่าในเหหัวสดมีการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay มากที่สุด รองลงมาคือเหหัวที่นำมาต้มด้วยน้ำเปลือกสับปะรด ซึ่งในเหหัวต้มที่มีการน้อยกว่า อาจมีผลมาจากการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการต้มเหหัว

4. การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของหัวที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ

ตารางค่าสีของหัวที่ต้มโดยใช้สารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่าสีของหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันแรกที่ทดสอบ

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของหัว (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	2.0000	0.0189	0.0213	0.0186	0.0196 $\pm$ 0.0015
น้ำมะนาว	2.0457	0.0142	0.0151	0.0155	0.0149 $\pm$ 0.0007
น้ำมะกรูด	2.0000	0.0158	0.0159	0.0173	0.0163 $\pm$ 0.0008
น้ำมะขาม	2.0212	0.0145	0.0144	0.0146	0.0145 $\pm$ 0.0008
น้ำมะดัน	2.0034	0.0152	0.0158	0.0164	0.0158 $\pm$ 0.0006
น้ำมะยม	2.0048	0.0166	0.0167	0.0170	0.0168 $\pm$ 0.0002
น้ำตะลิงปลิง	2.0061	0.0165	0.0168	0.0169	0.0167 $\pm$ 0.0002
น้ำมะอึก	2.0078	0.0182	0.0183	0.0186	0.0184 $\pm$ 0.0002
น้ำมะเฟือง	2.0032	0.0201	0.0210	0.0207	0.0206 $\pm$ 0.0005

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่าสีของหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 1

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของหัว (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	2.0003	0.0270	0.0273	0.0276	0.0273 $\pm$ 0.0003
น้ำมะนาว	2.0100	0.0176	0.0182	0.0176	0.0178 $\pm$ 0.0003
น้ำมะกรูด	2.0001	0.0274	0.0280	0.0301	0.0285 $\pm$ 0.0014
น้ำมะขาม	2.0000	0.0184	0.0194	0.0195	0.0191 $\pm$ 0.0006
น้ำมะดัน	2.0012	0.0194	0.0199	0.0205	0.0199 $\pm$ 0.0006
น้ำมะยม	2.0023	0.0264	0.0262	0.0268	0.0265 $\pm$ 0.0003
น้ำตะลิงปลิง	2.0049	0.0271	0.0278	0.0277	0.0275 $\pm$ 0.0004
น้ำมะอึก	2.0028	0.0272	0.0276	0.0279	0.0276 $\pm$ 0.0004
น้ำมะเฟือง	2.0018	0.0286	0.0289	0.0287	0.0287 $\pm$ 0.0002

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเห็ดต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 3

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของเห็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	2.0782	0.0274	0.0283	0.0274	0.0277 ± 0.0005
น้ำมะนาว	2.0068	0.0221	0.0223	0.0220	0.0221 ± 0.0002
น้ำมะกรูด	2.0100	0.0314	0.0322	0.0310	0.0315 ± 0.0006
น้ำมะขาม	2.0859	0.0266	0.0258	0.0274	0.0266 ± 0.0008
น้ำมะดัน	2.0086	0.0287	0.0275	0.0284	0.0282 ± 0.0006
น้ำมะยม	2.0047	0.0302	0.0313	0.0304	0.0306 ± 0.0006
น้ำตะลิงปลิง	2.0042	0.0326	0.0329	0.0315	0.0323 ± 0.0007
น้ำมะอึก	2.0029	0.0361	0.0372	0.0377	0.0370 ± 0.0008
น้ำมะเฟือง	2.0016	0.0367	0.0388	0.0383	0.0379 ± 0.0011

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบค่าสีของเห็ดต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 5

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของเห็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	2.0350	0.0329	0.0340	0.0333	0.0334 ± 0.0006
น้ำมะนาว	2.0499	0.0269	0.0272	0.0277	0.0271 ± 0.0005
น้ำมะกรูด	2.0100	0.0335	0.0339	0.0334	0.0336 ± 0.0003
น้ำมะขาม	2.0859	0.0276	0.0268	0.0276	0.0273 ± 0.0005
น้ำมะดัน	2.0064	0.0294	0.0299	0.0288	0.0294 ± 0.0006
น้ำมะยม	2.0052	0.0312	0.0326	0.0331	0.0323 ± 0.0010
น้ำตะลิงปลิง	2.0033	0.0346	0.0351	0.0338	0.0345 ± 0.0007
น้ำมะอึก	2.0049	0.0376	0.0394	0.0385	0.0385 ± 0.0009
น้ำมะเฟือง	2.0039	0.0383	0.0397	0.0393	0.0391 ± 0.0007

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบค่าสีของหัวต้มในสารจากธรรมชาติของวันที่ 7

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของหัว (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
น้ำเปลือกสับปะรด	2.0400	0.0369	0.0378	0.0385	0.0377 ± 0.0008
น้ำมะนาว	2.0846	0.0296	0.0311	0.0304	0.0304 ± 0.0008
น้ำมะกรูด	2.0404	0.0398	0.0379	0.0385	0.0387 ± 0.0010
น้ำมะขาม	2.0203	0.0302	0.0319	0.0307	0.0309 ± 0.0009
น้ำมะดัน	2.0012	0.0315	0.0329	0.0308	0.0317 ± 0.0011
น้ำมะยม	2.0036	0.0332	0.0338	0.0347	0.0339 ± 0.0008
น้ำตะลิงปลิง	2.0048	0.0395	0.0406	0.0399	0.0400 ± 0.0006
น้ำมะอึก	2.0027	0.0412	0.0416	0.0427	0.0418 ± 0.0008
น้ำมะเฟือง	2.0031	0.0421	0.0425	0.0433	0.426 ± 0.0006

การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของหัวที่ต้ม ส่วนที่มีสีคล้ำและส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ

ตารางที่ 4.10 ค่าสีน้ำตาลของหัวที่ต้ม ส่วนที่มีสีคล้ำและส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ

ตัวอย่างของสาร สกัดธรรมชาติ	น้ำหนัก ของหัว (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
ส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ	2.0000	0.0205	0.0215	0.0235	0.0218 ± 0.0015
ส่วนที่มีสีคล้ำ	2.0457	0.1059	0.1173	0.1370	0.1201 ± 0.057

จากการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของหัวที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติในวันแรก วันที่เก็บไว้วันที่ 1, 3, 5 และ 7 นั้นพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลของหัวที่เก็บนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณของหัวบริเวณที่มีสีน้ำตาล

5. การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างแก้วที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ มีผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ดังตาราง

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ตัวอย่าง	คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส					
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม	เฉลี่ย
น้ำเปลือกสับปะรด	6.88	7.05	6.95	7.00	6.93	6.96
น้ำมะนาว	8.03	8.20	7.43	7.33	7.80	7.76
น้ำมะกรูด	6.90	6.68	6.60	7.38	6.83	6.88
น้ำมะขาม	8.78	8.18	8.15	8.58	8.80	8.50
น้ำมะดัน	8.95	7.73	8.15	8.20	8.48	8.30
น้ำมะยม	6.90	7.05	6.83	7.08	6.88	6.95
น้ำตะลิงปลิง	8.43	8.50	8.40	7.85	8.03	8.24
น้ำมะอึก	6.83	6.88	6.65	6.88	6.75	6.80
น้ำมะเฟือง	6.68	7.00	6.53	6.58	6.65	6.69

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า สารจากธรรมชาติที่มีระดับความชอบสูงสุด คือ มะขาม ซึ่งมีระดับความชอบในระดับชอบมาก มีค่าเท่ากับ 8.50 ดังตาราง

6. ค่า pH ของสารจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ค่า pH ที่ความเข้มข้นต่างๆ		
	10 %	20 %	30 %
น้ำเปลือกสับปะรด	4.95	4.82	4.70
น้ำมะนาว	3.17	3.11	3.03
น้ำมะกรูด	3.05	2.92	2.81
น้ำมะขาม	3.22	3.14	3.04

น้ำมะดัน	3.02	2.90	2.80
น้ำมะยม	3.44	3.40	3.35
น้ำตะลิงปลิง	2.80	2.54	2.45
น้ำมะอึก	4.25	4.12	4.04
น้ำมะเฟือง	4.54	4.51	4.48

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของหัวสด และหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของหัวสดมีค่าสูงที่สุด 15.8750 ± 0.0301 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มจะมีสารประกอบฟีนอลิกรองลงมา
2. จากการวิเคราะห์ปริมาณ β -carotene ของหัวสด และหัวที่นำมาต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง พบว่าปริมาณ β -carotene ของหัวสดมีค่าสูงที่สุด 1.6363 ± 0.0129 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มจะมี β -carotene รองลงมา
3. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
 - 3.1) การหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ของสารสกัด พบว่าปริมาณของหัวสดมีค่าสูงที่สุด 28.1276 ± 0.0189 รองลงมาคือการใช้น้ำเปลือกสับปะรดนำมาต้มจะมี การต้านอนุมูลอิสระรองลงมาเท่ากับ 19.2203 ± 0.1051
 - 3.2) การหาการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay พบว่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Hydroxyl radical scavenging assay ของหัวสดมีค่าสูงที่สุด 30.4781 ± 0.0836 การใช้น้ำเปลือกสับปะรดนำมาต้มจะมี การต้านอนุมูลอิสระรองลงมาเท่ากับ 20.1537 ± 0.0916
4. การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของหัวที่ต้มด้วยสารจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำจากเปลือกสับปะรด มะนาว มะกรูด มะขาม มะดัน มะยม ตะลิงปลิง มะอึก และมะเฟือง พบว่าค่าสีในวันที่ต้มวันแรก การใช้น้ำน้ำมะขามนำมาต้มมีค่าสีน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมะกรูด ค่าสีในวันที่เก็บไว้หลังจากต้มแล้ว 1 วัน การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มมีค่าสีน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมะขาม ค่าสีในวันที่เก็บไว้หลังจากต้มแล้ว 3 วัน การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มมีค่าสีน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมะขาม

ค่าสีในวันที่เก็บไว้หลังจากต้มแล้ว 5 วัน การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มมีค่าสีน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมะขาม

ค่าสีในวันที่เก็บไว้หลังจากต้มแล้ว 7 วัน การใช้น้ำมะนาวนำมาต้มมีค่าสีน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมะขาม

5. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของหัวต้ม ส่วนที่มีสีคล้ำและส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ
พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของหัวส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ มีค่าสูงกว่า 23.5883 ± 10.3440 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง หัวส่วนที่มีสีคล้ำ มีค่า 18.1317 ± 1.2106 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง
6. การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของหัวที่ส่วนที่มีสีคล้ำ 0.0934 ± 0.0065 มีค่าสูงกว่า หัวส่วนที่ไม่มีสีคล้ำ มีค่า 0.0248 ± 0.0040
7. การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าสารจากธรรมชาติที่มีระดับความชอบสูงที่สุด คือ มะขาม ซึ่งมีระดับความชอบในระดับชอบมาก มีค่าเท่ากับ 8.50 ดังตาราง

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สารจากธรรมชาติในการต้มหัวนั้น ควรเลือกพืชที่มีรสเปรี้ยวที่มีตามฤดูกาลมาใช้ในการต้มหัว เนื่องจากพืชที่มีรสเปรี้ยวนั้นมีกรดธรรมชาติที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในหัวได้
2. ในการต้มหัวนั้นไม่ควรใช้ระยะเวลาเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไป

ภาคผนวก

บทความที่มีการเผยแพร่



ที่ ศธ ๐๕๕๑.๑๒/๒๕๕๔

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
ปณ.ประตุน้ำพระอินทร์
จ.ปทุมธานี ๑๓๑๘๐

๒๕ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ ๔๑ และนานาชาติครั้งที่ ๕

เรียน ชื่นสมณ ยิ้มดิน สาโรจน์ ยิ้มดิน อรุณี ชัยศรี ประพนอม สุขแก้ว เกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล และวิชญ์ พ่างเมือง

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดต้มโดยสารจากธรรมชาติ” เพื่อร่วมนำเสนอในงานประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ ๔๑ และนานาชาติครั้งที่ ๕ ในวันที่ ๘-๙ ธันวาคม ๒๕๕๔ ณ ห้องประชุมราชนครินทร์ ชั้น ๕ อาคาร ๑๐๐ ปี สมเด็จพระศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี นั้น

บัดนี้ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้พิจารณาผลงานของท่านเรียบร้อยแล้ว และขอเรียนให้ท่านทราบว่า ผลงานของท่านได้รับการพิจารณาตอบรับให้นำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ (Poster Presentation) และได้รับการตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการในรูปแบบบทความฉบับเต็ม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และเข้าร่วมการนำเสนอผลงานตามวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าว

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรธนิษ ศรีโวหาร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

บัณฑิตวิทยาลัย

โทรศัพท์ ๐-๒๕๒๔ ๓๖๓๘ ต่อ ๔๐๓

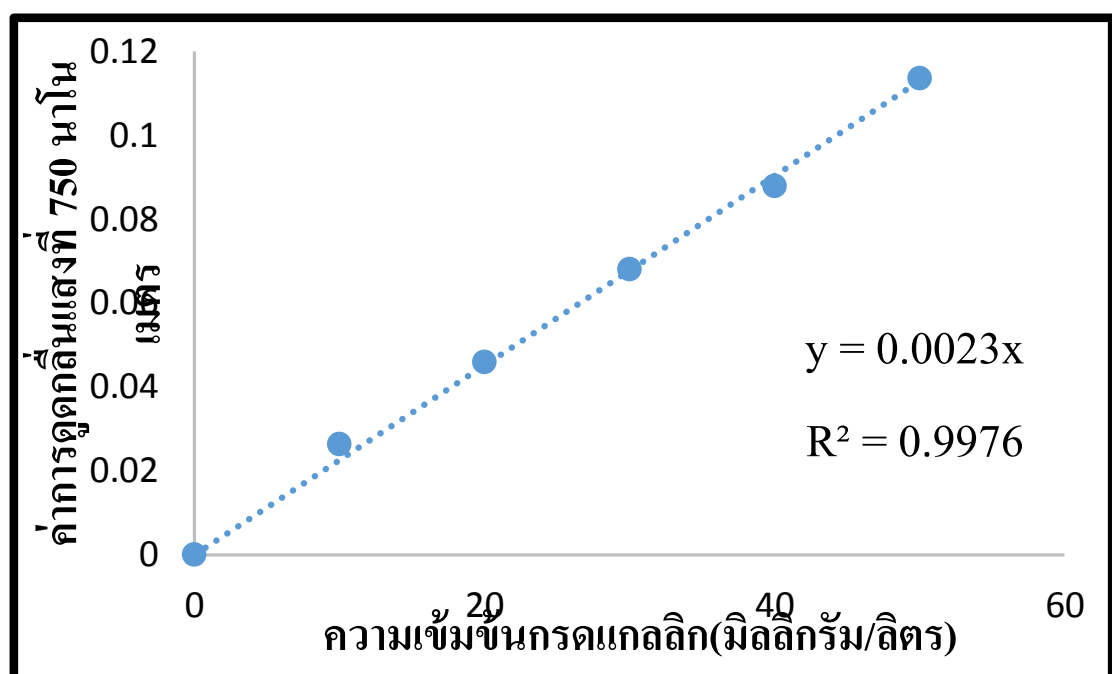
โทรสาร ๐-๒๕๒๔ ๓๖๓๘ ต่อ ๔๐๖



ภาพการทดลอง

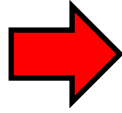
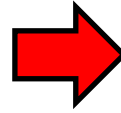
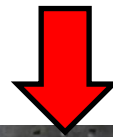
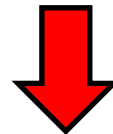
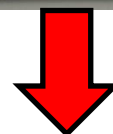
ตาราง แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแกลลิก

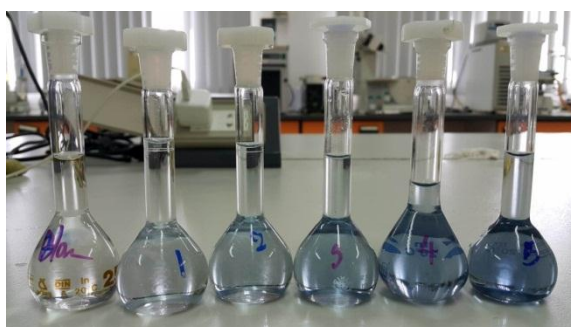
ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าการดูดกลืนแสง (750 nm)
0	0.0000
10	0.0263
20	0.0459
30	0.0681
40	0.0879
50	0.1136



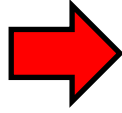
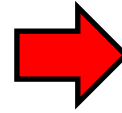
ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานแกลลิก

การหาสารประกอบฟีนอลิก

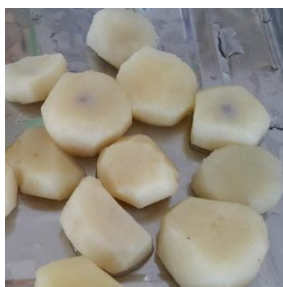
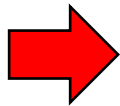
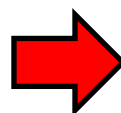
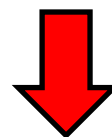
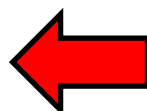




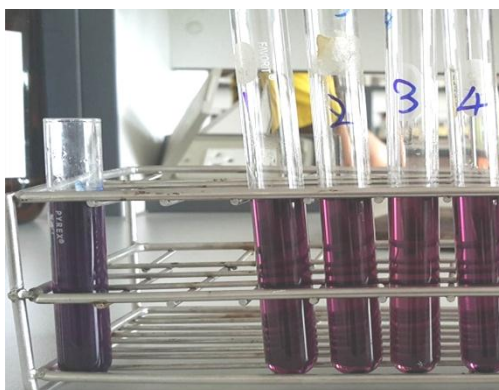
การหาสาร β -carotene



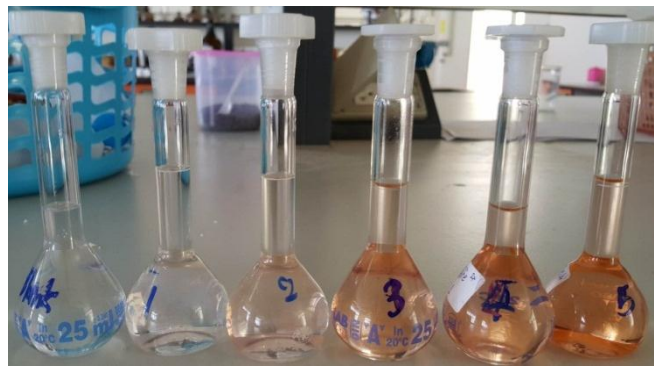
การทดสอบสี



DPPH scavenging assay



Hydroxyl radical scavenging assay



แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำชี้แจง กรุณาประเมินคุณภาพ

ทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างแก้วต่อไปนี้ โดยระบุความชอบของท่านที่มีต่อตัวอย่าง โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = รู้สึกเฉย ๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง	คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
น้ำเปลือกสับปะรด					
น้ำมะนาว					
น้ำมะกรูด					
น้ำมะขาม					
น้ำมะดัน					
น้ำมะยม					
น้ำตะลิงปลิง					
น้ำมะอึก					
น้ำมะเฟือง					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

บรรณานุกรม

- กัลยาณี วัฒนธีรวงศ์. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากกากเมล็ดสบู่ดำ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เกษตรพอเพียงคลับ.คอม> 2556. การปลูกเห็ด (สมหวัง). (ออนไลน์).
แหล่งที่มา: <https://www.facebook.com/เกษตรพอเพียงคลับ.คอม-335256716556240/?fref=nf> (29 มกราคม 2560)
- เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหนาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์.
- เชิญพร จันทรสนาม สุพรรณิการ์ โกสุม และอมรรัตน์ เจริญชัย. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดทอดกรอบปรุงรส. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 1. 54-63.
- ปราณีรัตน์ แสงเกษตรชัย. 2555. Oxidative stress and adverse human health effects. เอกสารประกอบการสอน วิชา เคมีคลินิก 1. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ปริยานุช อินทร์รอด. 2551.ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พรพิมล ม่วงไทย ยลรวี วิวัฒน์ชาญกิจ และมะยูไซะ กูโน. 2557. การศึกษาการเกิดไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟิวรัลดีไฮด์จากปฏิกิริยาการคาราเมลไลเซชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบต้นแบบ. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 6 ฉบับที่ 12. 59-76.
- รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. 2549” การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำไย (*Euphoria longana* Lam.) แบบแห้งผล. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วันทนี โลหะประภิตกุล. 2557. ระวัง ! กินสารปนเปื้อนโดยไม่รู้ตัว (ตอนที่ 5). (ออนไลน์).
แหล่งที่มา: <http://m.haamor.com/th/ระวังกินสารปนเปื้อนโดยไม่รู้ตัว-5/>. (19 มกราคม 2559).
- แววตา เอกชาวนา. 2557. ภัยจากอาหารแห้ง. (ออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://www.healthtoday.net/thailand/nutrition/nutrition.html>. (19 มกราคม 2559).
- สยามเคมี.คอม. 2557. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.siamchemi.com/สารสัมพันธ์/> (17 กันยายน 2559).

- สุภมาศ วัยอุดมวุฒิ. 2554. Full Version สารฟอกขาวหรือสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium hydrosulfite). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: [http://www.assist-impact.net/articles/41929708/สารฟอกขาวหรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ \(Sodium hydrosulfite\).html](http://www.assist-impact.net/articles/41929708/สารฟอกขาวหรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium hydrosulfite).html) (19 มกราคม 2559).
- หนังสือพิมพ์: ผู้จัดการออนไลน์. 2555. “น้ำแกว่งสารส้ม” ดื่มมากอะลูมิเนียมยิ่งมาก เสี่ยงอัลไซเมอร์ ภาวะ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9550000138174> (17 กันยายน 2559).
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจง จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดตสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระRadical Scavenging Agents. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- Amel B., Seddik K., Shtaywy A., Saliha D., Mussa A. Z., Assia B., Saliha D., Abderahmane B. and Smain A. 2014. Phytochemical Analysis, Antioxidant Activity And Hypotensive Effect Of Algerian Azarole(*Crataegus azarolus* L.) Leaves Extracts. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 5(2). 286-305.
- Berk Z. 1976. Braverman's Introduction to the biochemistry of Food. Elsevier Scientific. Amsterdam: New York. 315 p.
- Braveman, J.B.S. 1963. Introduction to the biochemistry of Food. Elsevier Scientific. Amsterdam: New York. 315 p.
- Challenges. 2012, 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) Production from Hexoses: 4 Limits of Heterogeneous Catalysis in Hydrothermal Conditions 5 and Potential of Concentrated Aqueous Organic Acids as 6 Reactive Solvent System. 3, 212-232; doi:10.3390/challe3020212.
- Daniel Ferreira Holderbaum, Tomoyuki Kon, Tsuyoshi Kudo and Miguel Pedro Guerra (2010) Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *HortScience*. 45(8) : 1150-1154.
- Fennema O.R. 1996. Food Chemistry. 3rd ed. New York: Marcel Dekker. 1067 p.
- Food info (1999) Enzymatic browning. [cited 2016 Jan 19]. Available from: <http://www.food-info.net/uk/colour/enzymaticbrowning.html>.

- Ghiaba Z., Yousfi M., Saidia M., Hadjadj M. and Dakmouche M. 2014. **Total phenolic contents, radical scavenging and cyclic voltammetry of three native Date (*Phoenix Dactylifera* L.) varieties grown in Ouargla.** *PhytoChem & BioSub Journal* Vol. 8(2) 70-79.
- Hinneburg I., Dorman H.J.D. and Hiltunen R. 2006. **Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices.** *Food Chem.* **97** 122–129.
- Hou W.C. 2003. **Free radical-scavenging activity of taiwanese native plant.** *Phytomedicine.* **70**, 2-3.
- Irina Ioannou and Mohamed Ghoul. (2013) **Prevention of Enzymatic Browning in Fruit and Vegetables.** *European Scientific Journal.* edition vol.9, 30 : 1857 – 7881.
- Lim Y.Y. and Murtijaya. J. 2006. **Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods.** *LWT* **40** (2007) 1664–1669.
- Nagata M. and Yamashita, I. (1992) **Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit,** *J. Food Sci. Technol.* **39.** 925–928.
- Ram.edu. 2017. **บทที่ 3 การแยกและวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: e-book.ram.edu/e-book/t/TN312(L)51/TN312-3.pdf. (3 เม.ย. 2017.)
- Ró_a Bieganska-Marecik, Janusz Czapski. (2007) **The Effect of Selected Compounds as Inhibitors of Enzymatic Browning and Softening of Minimally Processed Apples.** *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* **6(3)** 2007, 37-49.
- supan.biz. 2016. **นาเห้วสุพรรณบุรี.** (ออนไลน์).
แหล่งที่มา: <http://www.suphan.biz/waternut.htm>. (29 มกราคม 2560)
- Takao T., Watanabe N., Yagi I. and Sakata K. (1994) **A simple screening method for antioxidants and isolation of several antioxidants produced by marine bacteria from fish and shellfish.** *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **58** .1780–1783.
- The australian institute of food science and technology incorporated. (n.d.) **Enzymatic Browning of Apples.** สารฟอกขาวหรือสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium hydrosulfite). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: www.curriculumsupport.education.nsw.gov.au/.../apple_browning. (19 มกราคม 2559).

Zaporozhye State Medical University. Ministry of Public Health. 2017. **Lecture:**
Carbohydrates. mono-, di-, polysachcrides. [cited 2017 Apr 3]. Available from:
<http://ppt-online.org/105058>.