



การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติไบโอดีเอสของข้าวพันธุ์สุโขทัย 1
กับข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

จันทิมา ทองบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติไบโອนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1
กับข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

โดย

จันทิมา ทองบุญ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

ศุภ. .

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธา พิมพ์พิไล)

วันที่ 19 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช ศรีชัยรัตนกุล)

วันที่ 19 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองชัย จูวัฒนสำราญ)

วันที่ 19 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี)

วันที่ 19 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 19 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

ชื่อเรื่อง	การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 กับข้าวสาเลีและข้าวบาร์เลย์เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม
ชื่อผู้เขียน	นางสาวจันทิมา ทองบุญ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรยา พิมพ์พิไล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกระแสการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมอย่างสูง ดังเห็นได้จากการมีผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่หลากหลายออกมาจำหน่ายในท้องตลาด น้ำที่สกัดได้จากใบอ่อนของธัญพืชอุดมไปด้วยสารอาหารและเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งนี้พบว่าสายพันธุ์ อายุของใบ รวมทั้งกระบวนการในการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการผลิตน้ำใบข้าวยังคงมีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่มีคุณภาพและยังคงคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายให้ได้มากที่สุด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 กับข้าวสาเลีพันธุ์ฝาง 60 และข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยมุ่งเน้นด้านกระบวนการผลิตในส่วนของสภาวะการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องและคงไว้ซึ่งสมบัติการต้านออกซิเดชัน ตลอดจนสารประกอบพอลิฟีนอลและสมบัติทางชีวเคมีสูงสุด จากการศึกษาอายุการปลูกพบว่า อายุการปลูกที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงสุด คือ ที่ 9 วัน ส่วนใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 คือ ที่ 15 วัน ใบข้าวอ่อนที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวบรรจุขวดและเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง เป็นระยะเวลา 6 เดือนจากการเปรียบเทียบสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวพบว่า พันธุ์ของใบข้าวอ่อนระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลต่อคุณสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ ($p < 0.05$) โดยเครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสุโขทัย 1 มีสมบัติทางชีวเคมีและได้คะแนนการยอมรับรวมจากผู้บริโภคสูงกว่าเครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เชิงพาณิชย์และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่ได้มีศักยภาพในการนำไปศึกษากับผู้ป่วยโรคไตที่มีภาวะเหล็กเกินต่อไปในอนาคต

Title	Comparative Study on Properties of Rice Grass (Sukhothai 1 var.) with Wheatgrass and Barley Grass for Development of Health Beverages
Author	Miss Jantima Thongboon
Degree of	Master of Science in Food Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Suthaya Phimphilai

ABSTRACT

Today healthy food and drink products have become very popular for consumption as seen from the wide variety of healthy food products in the markets. These include extracts from young cereal grass which are rich in nutrients and enzymes that are beneficial to the body. The varieties, leaf age and production process served as main factors affecting the biochemical properties of these products. However, there is still a great need for the development of the production process of organic rice beverage to produce a rice grass beverage as good quality health drink. This research was aimed to compare the properties of rice grass (Sukhothai 1 var.) with wheatgrass (Fang 60) and barley grass (Samoeng 1) for development of healthy beverages with focus on the storage conditions of the products to enable them to be stored at room temperature and to maintain their antioxidant properties including polyphenol contents and biochemical properties. The study showed that to attain suitably young wheatgrass and barley grass with highest antioxidant properties, optimum date should be 9 days but 15 days for the rice strain. All the leaves were collected at the optimum age, extracted, kept in clear glass bottles and heated under sterilized conditions. An ambient temperature was set for the storage test under normal light and without light for six months. Comparison of biochemical properties of young rice healthy drink showed that varieties, storage conditions and storage time had significant effects on the biochemical properties of the beverages ($p < 0.05$). Beverage from Sukhothai 1 had higher biochemical properties and overall acceptability than that of wheatgrass and barley grass beverages. Results of this study could be applied on the commercialized production of healthy drinks or beverages and in the future, have the potential to be used in a study with thalassemia patients having hyper amount of iron.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธยา พิมพ์พิไล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา รวมถึงคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนคอยติดตามการทำวิจัย ช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองชัย จูวัฒนสำราญ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช ศรีชัยรัตนกุล กรรมการที่ปรึกษา และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ไมตรี สุทธจิตต์ ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่และวัสดุอุปกรณ์ในการดำเนินการทดลอง จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง มูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และบริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย ที่ช่วยสนับสนุนวัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม ประจำปี 2553 ในการสนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ โดยความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ณิษฐา ทองบุญ รวมถึงบุคคลในครอบครัวข้าพเจ้าที่ได้ส่งเสริม สนับสนุน ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรและสาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยสนับสนุน เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

จันทิมา ทองบุญ

ตุลาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญภาพผนวก	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
รัฐพิธี	5
การรอกของเมล็ด	6
ความหมายของการรอกของเมล็ดพืช	6
ปัจจัยที่มีผลต่อการรอกของเมล็ดพืช	7
คุณค่าของใบอ่อนรัฐพิธี	8
อนุมูลอิสระ	13
สารต้านออกซิเดชัน	16
กลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน	16
ประเภทของสารต้านออกซิเดชัน	18
สารประกอบฟีนอลิก	20
สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก	20
คุณสมบัติทางชีวเคมีของสารประกอบฟีนอลิก	24
คลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลีน	25
โครงสร้างของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลีน	25
คุณสมบัติทางชีวเคมีของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลีน	27

ภาวะเหล็กเกิน	29
การรักษาด้วยการใช้ยาขับธาตุเหล็ก	29
การแปรรูปอาหารด้วยความร้อน	30
บรรจุภัณฑ์	30
บรรจุภัณฑ์ทำด้วยแก้ว	31
อะลูมิเนียมฟอยล์	31
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	33
วัสดุอุปกรณ์	33
วัตถุดิบ	33
เครื่องมือ	33
อุปกรณ์	34
สารเคมี	35
อาหารเลี้ยงเชื้อ	36
วิธีการทดลอง	37
การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อน	37
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าว	37
การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว	38
การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว	38
การศึกษาระยะเวลาและสถานะการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	40
การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อน	40
การศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าว	46
การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว	49

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว	63
การศึกษาระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	78
สรุปผลการทดลอง	78
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก วัตถุประสงค์	101
ภาคผนวก ข ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว	104
ภาคผนวก ค ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	106
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี	109
ภาคผนวก จ แบบสอบถามการยอมรับทางประสาทสัมผัส	116
ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย	118

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ระดับอุณหภูมิที่เมล็ดพันธุ์พืชสามารถงอกได้	8
2 ปริมาณสารอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุของคั้นอ่อนข้าวสาลีเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลีทั้งเมล็ด	10
3 ชนิดและกลุ่มของอนุมูลอิสระ	15
4 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มต่างๆ	21
5 ตัวอย่างสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในอาหาร	23
6 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลีและไบอ่อนข้าวบาร์เลย์	47
7 ค่าสีของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลี และไบอ่อนข้าวบาร์เลย์	47
8 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล และปริมาณ คลอโรฟิลล์ของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลีและ ไบอ่อนข้าวบาร์เลย์	48
9 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำไบข้าวจากไบอ่อนข้าวพันธุ์ สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลี และไบอ่อนข้าวบาร์เลย์	50
10 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เครื่องคั้นน้ำไบข้าวจากไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลี และไบอ่อนข้าวบาร์เลย์	64

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 สูตร โครงสร้างของ 2"-O-glycosylisovitexin	12
2 วงจรการเกิดอนุมูลอิสระ	14
3 วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ	17
4 ปฏิกิริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก	22
5 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลลิน	26
6 โครงสร้าง โมเลกุลของฮีมในเม็ดเลือดแดง	27
7 ค่าสี (L* a* b*) ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและ ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน	41
8 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ⁺ ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน	43
9 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน	43
10 ปริมาณสารประกอบฟอลิฟีนอลของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลี และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน	44
11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและ ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน	44
12 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ⁺ ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว จากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์	51
13 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจาก ใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์	51
14 ปริมาณสารประกอบฟอลิฟีนอลของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าว พันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์	52
15 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูป เฟอร์รัส (Fe ²⁺) (25-400 ไมโครโมลาร์)	55
16 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูป เฟอร์ริก (Fe ³⁺) (25-400 ไมโครโมลาร์)	56

ภาพ		หน้า
17	สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	56
18	สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	57
19	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	57
20	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	58
21	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	58
22	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	59
23	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	60
24	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	60
25	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	61
26	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)	61
27	การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่มืดแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	66

ภาพ	หน้า
28 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	67
29 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS ^{•+}) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	69
30 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS ^{•+}) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	70
31 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	70
32 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	71
33 ปริมาณสารประกอบฟอลิฟินอลของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	71
34 ปริมาณสารประกอบฟอลิฟินอลของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	72
35 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอิมินของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	73
36 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอิมินของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	73
37 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอิมินของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	74
38 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอิมินของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน	74

ภาพ

หน้า

- 39 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน
น้ำไบข้าวกับอิออนของธาตุทองแดง ($100\ \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วง
ระยะเวลา 6 เดือน 75
- 40 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน
น้ำไบข้าวกับอิออนของธาตุทองแดง ($100\ \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วง
ระยะเวลา 6 เดือน 75
- 41 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน
น้ำไบข้าวกับอิออนของธาตุสังกะสี ($100\ \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วง
ระยะเวลา 6 เดือน 76
- 42 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน
น้ำไบข้าวกับอิออนของธาตุสังกะสี ($100\ \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วง
ระยะเวลา 6 เดือน 76

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก	หน้า
1 ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1	102
2 เมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	102
3 เมล็ดข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1	102
4 ใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ที่อายุ 15 วัน	103
5 ใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 ที่อายุ 9 วัน	103
6 ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 ที่อายุ 9 วัน	103
7 ผลิภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว	105
8 ตัวอย่างการนำเสนอผลิภัณฑ์ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค	105
9 ผลิภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วฝาเกลียวแบบใส	107
ระหว่างการรักษา	
10 ผลิภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วฝาเกลียวที่หุ้ม	107
ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ทึบแสงระหว่างการรักษา	
11 สภาวะในการเก็บรักษาผลิภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว	108
ฝาเกลียวใสบนชั้นวางผลิภัณฑ์	
12 สภาวะในการเก็บรักษาผลิภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว	108
ฝาเกลียวใสที่หุ้มขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์บนชั้นวางผลิภัณฑ์	

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในวงการแพทย์ว่า พยาธิสภาพ พยาธิวิทยา รวมถึงพยาธิสรีระวิทยาของการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคในระบบหัวใจ ระบบหลอดเลือด รวมทั้งโรคเมเรียมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ดังนั้นการทำลายหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระดังกล่าว อาจมีส่วนช่วยในการป้องกันหรือรักษาโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ และจากการศึกษาทางระบาดวิทยาจำนวนมากพบว่า การลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคต่างๆ ที่กล่าวมา มีความสัมพันธ์กับสมมติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กลุ่มของวิตามินต่างๆ เบต้าแคโรทีน แลโรทีนอยด์ รวมถึงสารประกอบในกลุ่มพอลิฟีนอลิก จึงส่งผลให้ในปัจจุบันมีการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระในรูปอาหารเสริมเพื่อนำมาบำบัดรักษาหรือป้องกันโรคดังกล่าวกันมากขึ้น โดยเฉพาะในปัจจุบันที่กระแสการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมอย่างสูง การหันมาใช้สารสกัดที่ได้จากธรรมชาติที่พบได้ในพืชต่างๆ เช่น พืชผัก ผลไม้ สมุนไพรหรือธัญพืชต่างๆ จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภคในการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งอาหารตามธรรมชาติ

ธาตุเหล็กมีความสำคัญในปฏิกิริยาเคมีในร่างกายหลายชนิด ตามปกติเหล็กในร่างกายอยู่ในเม็ดเลือดแดง โดยเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ (enzyme) ต่างๆ ที่ทำหน้าที่ขนถ่ายหรือแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน ซึ่งในสภาวะปกติร่างกายจะมีขบวนการพิเศษในการดูดซึม ขนถ่าย และเก็บสะสมเหล็กเอาไว้ใช้ ทำให้ร่างกายสามารถรักษาภาวะสมดุลของธาตุเหล็กเอาไว้ได้ แต่ในบางกรณีอาจจะมีปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดความผิดปกติของระดับธาตุเหล็กในร่างกาย ซึ่งภาวะเหล็กเกินพบว่าเป็นปัญหาสำคัญที่พบมากในผู้ป่วยธาลัสซีเมีย เนื่องจากร่างกายมีการดูดซึมเหล็กเพิ่มขึ้นจากทางเดินอาหาร การได้รับเลือดจากการรักษาโรคโลหิตจาง รวมทั้งการรับประทานยาบำรุงเลือดที่มีธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบ (อัจฉราและชนนชัย, 2550) ซึ่งเหล็กที่เกินความจำเป็นนี้จะทำให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลเสียต่อระบบการทำงานของอวัยวะภายใน (วิปร, 2552) รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระที่รุนแรงและเป็นอันตรายต่อเซลล์ร่างกายได้ (Glickstein et al., 2006; Prabhu et al., 2009) ปัจจุบันการรักษาที่ดีที่สุด คือ การป้องกันไม่ให้เกิดภาวะเหล็กเกิน โดยการรักษาระดับความเข้มข้นของเหล็กในเลือดด้วยการให้ยาขับเหล็กและกำจัดเหล็กที่เกินออกจากร่างกายทางปัสสาวะและ

อูจจาระ แต่พบว่าการใช้ยาขับเหล็กดังกล่าวมีผลแทรกซ้อนและผลข้างเคียงจากการใช้ยาในระยะยาว เช่น ภาวะเม็ดเลือดขาวต่ำ (Hoffbrand et al., 1998) อาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ผลต่อการมองเห็นและการได้ยิน (Viprakasit et al., 2004) เป็นต้น การกำจัดเหล็กและอนุมูลอิสระที่เกินจึงเป็นปัจจัยส่วนสำคัญในการลดผลข้างเคียงของภาวะเหล็กเกินและภาวะอนุมูลอิสระเกินในร่างกายได้ (Ebrahimzadeh et al., 2009) ในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงการนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดและบรรเทาภาวะธาตุเหล็กเกินและภาวะอนุมูลอิสระเกินในผู้ป่วย รวมทั้งการช่วยเสริมสร้างสุขภาพในการดำรงชีวิต เช่น การใช้สารสกัดจากใบชาในการลดระดับธาตุเหล็กในเม็ดเลือดแดง (ชลธิชา และคณะ, 2549) การใช้สารสกัดจากใบอ่อนข้าวสาลีในการรักษาโรคโลหิตจาง (Ben-Ary, 2002) ช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด (Iyer, 2010) ช่วยรักษาระดับฮีโมโกลบินในร่างกายเพื่อลดความถี่ในการถ่ายเลือด (Marwaha et al., 2004) รวมถึงความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระจากการใช้สารสกัดจากใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ (Osawa et al., 1992; Nishiyama et al., 1993; 1994) ซึ่งพบว่าสารที่สกัดได้จากใบอ่อนธัญพืชมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยเฉพาะสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในใบอ่อนข้าวที่มีคุณสมบัติบางประการในการจับธาตุโลหะและต้านอนุมูลอิสระได้ดี (ฉัฐธิดา, 2554)

ธัญพืชมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ธัญพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจมี 8 ชนิด คือ ข้าวสาลี (wheat) ข้าว (rice) ข้าวโพด (maize) ข้าวบาร์เลย์ (barley) ข้าวโอ๊ต (oat) ข้าวฟ่าง (sorghum) ข้าวไรย์ (rye) และข้าวเดือย (millet) (อาคม, 2542) การใช้ประโยชน์จากธัญพืชนั้น นอกจากการนำเมล็ดธัญพืชมาบริโภคเป็นอาหารโดยตรงแล้ว ยังมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดธัญพืชระหว่างการพัฒนาไปเป็นต้นอ่อน ซึ่งพบว่าในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ด (germination) ในสภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่เหมาะสมจะเกิดการย่อยสลายของสารเคมีในเมล็ดตามกระบวนการทางชีวเคมีได้เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน นอกจากนี้ในการพัฒนาเป็นต้นอ่อนของธัญพืช (cereals grass) จะมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) รวมทั้งสารประกอบพอลิฟีนอล คลอโรฟิลล์ วิตามินและแร่ธาตุหลากหลายชนิด ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ที่พืชสร้างขึ้นมาในระหว่างการงอกและการพัฒนาไปเป็นต้นอ่อนเพื่อใช้ในการป้องกันการทำลายของศัตรูพืช (Lin and Lai, 2006) มีการศึกษาวิจัยถึงการนำสารสกัดจากใบอ่อนธัญพืช โดยเฉพาะธัญพืชตระกูลหญ้า เช่น ใบอ่อนจากข้าว ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเมื่อนำมาผ่านการสกัดเป็นน้ำพบว่า น้ำที่สกัดได้จากใบอ่อนของธัญพืชสดจะอุดมไปด้วยสารอาหารและเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จากงานวิจัยในต่างประเทศแสดงถึงคุณประโยชน์ของสารอาหารที่โดดเด่นในสารสกัดที่ได้จากใบอ่อนธัญพืช เช่น สารคลอโรฟิลล์ที่เป็นประโยชน์ใน

หลากหลายด้าน เช่น ระบบขับถ่าย เสริมภูมิคุ้มกัน ช่วยขับสารพิษในร่างกาย ลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยบรรเทาอาการเบาหวาน ชะลอความชรา (Rosenfeld and Forsberg, 2009) รวมทั้งสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันเซลล์จากความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Osawa et al., 1992) นอกจากนี้ยังพบว่าวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ มากกว่าผักทั่วไปอยู่หลายเท่า (ลักขณา, 2545) อย่างไรก็ตามไบออนซ์พืชสดไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เนื่องจากจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าต่างๆ ไประหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งพันธุ์ของข้าวอายุของไบออนซ์ข้าว และกระบวนการในการผลิต พบว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำไบออนซ์ โดยเฉพาะในส่วนของสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสามารถคงคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายให้มากที่สุด โดยศึกษาสมบัติไบออนซ์ข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 กับข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้คาดว่าจะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำไบออนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้องและยังคงสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอลและสมบัติทางชีวเคมีที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในเชิงการค้าและเป็นการต่อยอดผลิตภัณฑ์จากข้าวไทยไปสู่ระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเพาะกล้าข้าวที่เหมาะสมของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฟาง 60 และข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 ที่มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีสูงสุด สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางชีวเคมีของใบอ่อนข้าววัตถุดิบทั้งสามพันธุ์
3. เพื่อศึกษาผลของพันธุ์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว
4. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว
5. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระยะเวลาการเพาะใบอ่อนข้าวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสมบัติการด้านออกซิเดชันและสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีในใบอ่อนข้าวทั้งสามพันธุ์
2. ได้สภาวะการเก็บรักษาและการจัดการกับผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ดี ซึ่งผลิตภัณฑ์ยังคงสมบัติการด้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอลและสมบัติทางชีวเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย
3. ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่สามารถผลิตและจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ธัญพืช

ธัญพืช (cereals) หมายถึง พืชในวงศ์หญ้า (gramineae) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีอยู่หลายชนิด อาทิเช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง ข้าวไรย์ ข้าวโอ๊ต เป็นต้น ธัญพืชเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์มานานหลายพันปี มีคุณค่าทางอาหารและให้พลังงานสูง เพราะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนั้นยังมีโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ และวิตามินที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ธัญพืชเป็นอาหารที่มีราคาถูก ปลูกได้ง่าย เมล็ดของธัญพืชเมื่อได้รับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและเกิดกระบวนการงอกของเมล็ดเกิดขึ้น (germination) ในต่างประเทศนั้นพบว่ามีการศึกษาและนำเมล็ดธัญพืชมาเพาะเป็นใบอ่อนเพื่อนำมาบริโภคมากมาย เช่น เมล็ดข้าวสาลี เมล็ดอัลฟัลฟา (alfalfa) เมล็ดถั่ว เมล็ดทานตะวัน ซึ่งในกระบวนการงอกของเมล็ดธัญพืชมาเป็นใบอ่อน (young leave) นี้จะมีการสร้างวิตามินและแร่ธาตุเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการสลายสารอาหารที่เก็บสะสมในเมล็ด เพื่อนำไปใช้ในการงอกและเจริญเติบโตของต้นอ่อน ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จัดเป็นสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุและเอนไซม์ที่สำคัญ รวมทั้งยังมีสารประกอบบางชนิดที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่สามารถป้องกันหรือกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย อันเป็นสาเหตุของความผิดปกติและพยาธิสภาพหลายอย่าง เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง รวมทั้งโรคการเสื่อมสภาพของร่างกาย เป็นต้น ซึ่งโรคเหล่านี้มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการมีอนุมูลอิสระมากเกินไประดับที่ร่างกายจะกำจัดออกไป ใบอ่อนของพืชตระกูลหญ้า ตัวอย่างเช่น ใบอ่อนจากข้าว ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ เมื่อนำมาสกัดพบว่าน้ำที่สกัดได้จากใบอ่อนของพืชดังกล่าว จะอุดมไปด้วยสารอาหารและเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์ เป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญ เช่น Fe Zn Mn Na K Mg และ Ca เป็นต้น (Schnabel, 1940; Kulkarni et al., 2006) รวมทั้งมีสารประกอบทางชีวเคมีที่มีประโยชน์ต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย ช่วยขับสารพิษ และเป็นสารป้องกันมะเร็ง นอกจากนี้เอนไซม์ที่พบในใบอ่อนของพืชมีคุณสมบัติช่วยในกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย ช่วยเสริมสร้างเซลล์ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และช่วยชะลอความแก่ (Fernandez-Orozco et al., 2006; Lin and Lai, 2006; Lopez-Amoros et al., 2006)

การงอกของเมล็ด

ความหมายของการงอกของเมล็ดพืช

การงอก (germination) ของเมล็ด หมายถึง การเกิดขบวนการต่างๆ ภายในเมล็ดพืช ที่มีชีวิต (visible) ที่อยู่ในระยะพักหรือสภาวะสงบนิ่ง (resting หรือ quiescent stage) แล้วได้รับ ปัจจัยที่ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอก เช่น ความชื้น อุณหภูมิ อากาศ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน เมล็ด กระตุ้นให้เกิดรากต้นอ่อน (radical) แทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา ซึ่งทางสรีรวิทยาและ ชีวเคมีถือว่า คือ การงอกของเมล็ด (ISTA, 2003) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ด พืชเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ด เอนไซม์ที่มีอยู่ภายในเมล็ดจะถูกกระตุ้นให้มีการทำงาน สารอาหารที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการชีวเคมีให้ได้เป็น คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โดยการทำงานของเอนไซม์กลุ่มที่ย่อยแป้ง เช่น เอนไซม์อะไมเลส (amylase enzymes) เอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) เป็นต้น นอกจากนี้โปรตีนจะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโน (amino acid) และเปปไทด์ (peptide) และยังมีการสะสมสารต่างๆ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารกาบา (gamma aminobutyric acid, GABA) โทโคเฟอรอล (tocopherol) โทโคไตรเอนอล (tocotrienol) แกมมาออไรซานอล (gamma-oryzanol) (Juliano et al., 2005) เป็นต้น การงอกของเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว พบว่า เมื่อดันข้าวเจริญเติบโตในระยะเวลาที่มีการแตกยอดอ่อนจะมีสร้างสารที่เรียกว่าสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) สารประกอบพอลิฟีนอล (polyphenol) สารสเตกมาสเตอรอล (7-oxo stigmasterol) สารเออร์โกสเตอรอล (ergosterol) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของต้นข้าว โดยผ่านกระบวนการต่อต้านการเกิดโรคของพืช (defense mechanism) (จุไรทิพย์, 2551)

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพืช (จวงจันทร, 2529)

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพืชมี 3 ปัจจัย ได้แก่ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิ เมื่อเมล็ดได้รับปัจจัยดังกล่าวที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เมล็ดจะสามารถงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงได้ ความสำคัญของแต่ละปัจจัย มีดังนี้

1. น้ำ

หน้าที่ของน้ำต่อการงอกของเมล็ด คือ ทำให้เมล็ดอ่อนนุ่มและช่วยให้อากาศซึมผ่านเข้าสู่เมล็ด เนื่องจากเมล็ดพืชนั้นเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดจะมีน้ำอยู่เป็นส่วนประกอบน้อยมาก เมื่อเมล็ดจะผ่านกระบวนการงอกน้ำจึงเป็นปัจจัยแรกที่จะกระตุ้นให้เมล็ดพืชมีการคืบคาน และกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี รวมทั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมให้เกิดขึ้น ในเบื้องต้นเมล็ดพืชจะดูดน้ำเข้าไปทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม เกิดการขยายของผนังเซลล์และโปรโตพลาสต์ (protoplast) ทำให้รากแทงผ่านเปลือกได้สะดวก เมล็ดพืชแต่ละชนิดต้องการน้ำสำหรับการงอกแตกต่างกัน บางชนิดหากได้รับน้ำมากเกินไปจะทำให้เมล็ดขาดออกซิเจนที่ใช้สำหรับหายใจและจะทำให้เมล็ดเน่า ในบางชนิดการได้รับน้ำมากเกินไปอาจจะทำให้เมล็ดเข้าสู่สภาวะพักตัวใหม่ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดพืช ได้แก่ ความหนาของเปลือก สารที่เคลือบอยู่ที่ผิวเปลือก ความเข้มข้นของน้ำ อุณหภูมิ และการสุกแก่ของเมล็ดที่ต่างกัน เป็นต้น

2. ออกซิเจน

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของเมล็ดพืชที่กำลังงอก เมล็ดพืชที่กำลังงอกต้องการพลังงาน และพลังงานนั้นได้จากกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหายใจ เมล็ดพืชที่กำลังงอกจะมีอัตราการหายใจสูง เมื่อเทียบกับการหายใจในช่วงอื่นๆ และจะมีกิจกรรมการสลายและเผาผลาญอาหารที่เก็บสะสมไว้ โดยทั่วไปเมล็ดพืชจะงอกในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนประมาณ ร้อยละ 20 และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ ร้อยละ 0.03 แต่มีเมล็ดพืชหลายชนิดที่งอกได้ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปกติ เช่น พืชที่งอกได้ในน้ำ เป็นต้น

3. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญมากต่อการควบคุมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ด้วยความแตกต่างของชนิดและถิ่นกำเนิดของพืช ทำให้พืชมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่แตกต่างกัน พืชในเขตอบอุ่น มักมีเอนไซม์ที่

สามารถเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีได้ที่อุณหภูมิใกล้เคียงเยือกแข็งและทำให้เมล็ดสามารถงอกได้ ในขณะที่ที่จุดเยือกแข็งดังกล่าวอาจเป็นอันตรายสำหรับการงอกของเมล็ดพืชในเขตร้อน ทั้งนี้หากสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม เกินกว่าที่เมล็ดพืชจะสามารถงอกได้ เมล็ดบางชนิดอาจจะมีการพักตัวหรือบางชนิดอาจจะเสียชีวิตไป ระดับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เมล็ดพืชแต่ละชนิดจะสามารถงอกได้แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ระดับอุณหภูมิที่เมล็ดพันธุ์พืชสามารถงอกได้

ชนิดพืช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
ข้าว	10-20	20-30	40-42
ข้าวโพด	3-5	15-20	30-40
ข้าวบาร์เลย์	8-10	25	40-44
ข้าวสาลี	3-5	15-20	30-43

ที่มา: ดัดแปลงจาก จวงจันท์ (2529)

คุณค่าของใบอ่อนธัญพืช

เมล็ดธัญพืชที่นำมาผ่านกระบวนการงอกจะมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่จำเป็นและเกิดการลดลงของสารประกอบที่ไม่มีประโยชน์ในการบำรุงร่างกาย (anti-nutrition) (Jimenez et al., 1985; Khalil et al., 2007) ซึ่งในระหว่างกระบวนการงอกเป็นต้นอ่อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารภายในเมล็ด สารอาหารที่สะสมไว้ในเอนโดสเปิร์มจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังเอ็มบริโอเพื่อสร้างพลังงานและเอนไซม์เพื่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (Miranda, 2001) ซึ่งสารอาหารเหล่านี้จัดว่าเป็นแหล่งของอาหารที่มีคุณค่า อาทิเช่น วิตามิน แร่ธาตุ และเอนไซม์ต่างๆ อีกทั้งในกระบวนการดังกล่าวจะเกิดการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ การสังเคราะห์ไกลโคไซด์ (glycoside) ตลอดจนการสร้างสารประกอบในกลุ่มพอลิฟีนอลขึ้น (Calzuola et al., 2004) มีการศึกษาพบว่าเมล็ดธัญพืชที่งอกมาเป็นใบอ่อน (young leave) มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าเมื่อเทียบกับเมล็ดธัญพืชที่ไม่งอก (Rozan et al., 2000) ในใบอ่อนธัญพืชพบว่ามีเอนไซม์ P4D1 ซึ่งมีคุณสมบัติในการซ่อมแซมโมเลกุลของ DNA และด้านการก่อมะเร็ง และพบสารต้านอนุมูลอิสระ

ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) ซึ่งเป็นสารต้านการอักเสบ อาการบวม น้ำ เหนียว และถุงไขมันต่อต้านอักเสบ รวมทั้งโรคอื่นๆ อีกมากมาย จากข้อมูลการศึกษาสารอาหารในไบโອนธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด พบว่าการงอกของเมล็ดมาเป็นไบโອนเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น (Chavan and Kadam, 1989)

สำหรับประเทศไทย พบว่าข้าวเป็นธัญพืชหลักของคนไทยที่นิยมนำมาบริโภค ในรูปของเมล็ดข้าวขัดสีหรือเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งในการศึกษาไบโອนธัญพืชจากเมล็ดข้าวมาเพาะเป็นต้นอ่อนเพื่อนำมาบริโภคพบว่า สารสกัดจากไบโອนข้าวดังกล่าวมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดอะมิโน ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย วิตามินและแร่ธาตุเพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีสารอาหารเพิ่มขึ้นจากเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการงอก (Lorenz, 1980) โดยเฉพาะสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด หรือ γ -aminobutyric acid (GABA) ซึ่งนอกจากจะพบในข้าวกล้องงอกแล้ว ยังพบได้ไบโອนของพืชตระกูลหญ้า เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ในไบโອนธัญพืชงอก เช่น พืชจำพวกถั่ว (clover) ถั่วเหลือง อัลฟาฟ่า (alfafa) พบว่ามีสารไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogens) ที่มีบทบาทในการป้องกันอาการวัยทอง โรคกระดูกพรุน โรคเมตาบอลิก และโรคหัวใจได้ (Kurzer and Xu, 1997; Davila et al., 2003) ในไบโອนข้าวมีสารไฟโตอเล็กซิน (phytoalexin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดระดับน้ำตาลในเลือด (hypoglycemic) และลดระดับไขมันในเลือด (hypolipidemic) (Uma et al., 2010) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ และจากงานวิจัยของ Verma and Dubey (2003) พบว่าไบโອนข้าวในช่วงอายุ 5-20 วัน จะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Burkholder and McVeigh (1942) ที่พบว่าต้นอ่อนธัญพืชที่มีอายุ 0-12 วัน จะมีปริมาณของไทอามิน (thiamin, B1) และไรโบฟลาวิน (riboflavin, B2) เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในเมล็ดแห้ง

จากงานวิจัยของอรทัย (2552) ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและคุณค่าทางอาหารของต้นอ่อนธัญพืชพบว่า การเปลี่ยนแปลงของคุณค่าทางอาหารในต้นอ่อนข้าวจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเมล็ดที่ไม่งอก และพบว่ามีปริมาณวิตามินบี 1 สารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด และสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้ในการงอก เช่น ระยะเวลาในการเพาะปลูก อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส เป็นต้น

นอกจากนี้ในการศึกษาไบโອนจากธัญพืชชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะไบโອนข้าวสาลี (wheatgrass) พบว่าเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในการบริโภคเพื่อสุขภาพ ทั้งในรูปแบบของน้ำสกัดจากไบโອนข้าวสาลี (wheatgrass juice) หรือแบบผงไบโອนข้าวสาลีอัดเม็ด (wheatgrass tablets) จากการศึกษาคุณค่าทางอาหารในไบโອนของข้าวสาลีที่เจริญในระยะแตกไบโອน (jointing stage)

ซึ่งเป็นระยะที่ใบอ่อนมีการขยายขนาดและเริ่มเจริญเป็นลำต้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับระยะการเจริญเติบโตอื่นที่แตกต่างกัน (Kohler, 1944) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hamilton และคณะ (1989) ที่ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของใบอ่อนข้าวสาลีในระยะเดียวกันและพบว่าใบอ่อนข้าวสาลีจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าในแป้งจากเมล็ดข้าวสาลีปกติ สำหรับปริมาณสารอาหารในใบอ่อนข้าวสาลีเมื่อเทียบกับแป้งจากเมล็ดข้าวสาลีปกติ แสดงได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณสารอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุของต้นอ่อนข้าวสาลีเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลีทั้งเมล็ด

สารอาหาร	ต้นอ่อนข้าวสาลี	แป้งข้าวสาลี
โปรตีน (กรัม)	32	13
ไขมัน (กรัม)	37	10
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	37	71
วิตามินเอ (I.U.)	23,136	0
คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม)	543	0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	34	4
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	277	41
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	51	0
กรดโฟลิก (มิลลิกรัม)	100	38
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	6.1	4.3
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	2.03	0.12

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hamilton et al. (1989)

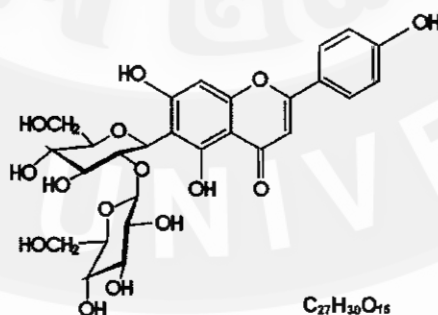
หมายเหตุ: ปริมาณสารอาหารต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในใบอ่อนข้าวสาลี พบว่าในช่วงอายุการปลูก 8-10 วัน จะมีปริมาณแร่ธาตุที่เหมาะสม (Kulkarni et al., 2006) และพบวิตามินเอ คลอโรฟิลล์ ในอะซิน กรดโฟลิก และแร่ธาตุต่างๆ เพิ่มขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโต แต่จะพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนจะลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kohler (1944) และ Seibold (1991) ที่ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของใบอ่อนของพืชในกลุ่มธัญพืช (cereal grass) ซึ่งได้แก่ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าในเมล็ดปกติ โดยที่ระยะแตกใบอ่อนหรือระยะ jointing stage นั้น จะมีค่าสูงกว่าในระยะการเจริญเติบโตอื่น และเมื่อต้นพืชเจริญเติบโตผ่านจุดดังกล่าว ปริมาณสารอาหารต่างๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ โปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ จะมีปริมาณลดลงพร้อมกันกับการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลส จากการศึกษาของ จริงแท้ (2538) พบว่า เมื่อพืชเริ่มพัฒนาเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์สารประกอบพอลิฟีนอลจะมีปริมาณลดลง และเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ขึ้นจากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ รวมทั้งเกิดการสังเคราะห์เป็นสารประกอบพอลิกลินิน และแทนนินแก่ผนังเซลล์พืช (Tomas-Barberan and Espin, 2001) เช่นเดียวกับ นนทิภา และคณะ (2552) ที่ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าว เนื่องจากการสังเคราะห์สารเพื่อสร้างเป็นส่วนประกอบของต้นในการเติบโตในระยะต่อไป

จากการวิจัยถึงคุณประโยชน์ของใบอ่อนธัญพืชในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้นนั้น ยังพบว่าใบอ่อนของข้าวสาลีในรูปสารสกัดมีคุณสมบัติในการลดการก่อตัวของสารก่อมะเร็ง ยับยั้งการกลายพันธุ์ของเซลล์ ซึ่งองค์ประกอบในการต้านการกลายพันธุ์ของเซลล์ในสารสกัดดังกล่าวเกิดจากกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Peryt et al., 1992) ในการวิจัยถึงประสิทธิภาพของใบอ่อนข้าวสาลีสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคลำไส้ใหญ่อักเสบ (ulcerative colitis) โดยการให้ดื่มน้ำสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีสดจำนวน 100 ซีซี เป็นประจำทุกวัน พบว่าช่วยลดอาการรุนแรงของการมีเลือดออกทางทวารหนักได้เป็นอย่างดี (Ben-Ayre et al., 2002) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marwaha et al. (2004) พบว่าสารสกัดจากน้ำคั้นใบอ่อนข้าวสาลีมีศักยภาพในการช่วยลดความถี่ของถ่ายเลือดในผู้ป่วยโรคโลหิตจางให้ต่ำลง โดยลดระยะเวลาระหว่างการถ่ายเลือดแต่ละครั้งห่างออกไปถึง 25-50 เปอร์เซ็นต์จากเดิม เช่นเดียวกับการใช้สารสกัดจากใบอ่อนข้าวสาลีอัดเม็ดร่วมกับการรักษาในผู้ป่วยโรคโลหิตจาง (Singh et al., 2009) เนื่องจากสารสกัดจากใบอ่อนข้าวสาลีดังกล่าวมีผลไปเพิ่มระดับฮีโมโกลบินในเลือดให้สูงขึ้น และจากการศึกษาของ Reynold (2005) พบว่าสารสกัดจากใบอ่อนข้าวสาลีมีคุณสมบัติในการเร่งให้เกิดฮีโมโกลบินกับตัว

อ่อนในครรภ์ (HbF) ส่งผลให้ตัวอ่อนในครรภ์สามารถเพิ่มระดับออกซิเจนในเลือดและสามารถผลิตเลือดเพิ่มขึ้น 3-5 เท่า ซึ่งให้ผลดีกว่าการรักษาด้วยยาแพทย์แผนปัจจุบัน

ในใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พบว่ามีการสะสมสารอาหารคล้ายกับใบอ่อนข้าวสาลี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้าวบาร์เลย์นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่างๆ เช่น เบียร์ วิสกี้ และเหล้า รวมทั้งเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพและอาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อน นอกจากนี้ยังมีการนำข้าวบาร์เลย์หุงสุกมารับประทาน เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินบี ในอาซิน ไทอามีน และแร่ธาตุโปแตสเซียม เป็นต้น โดยพบว่าเมล็ดของข้าวบาร์เลย์ที่กำลังงอกจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเมล็ดสูงขึ้น และมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์เป็นแหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ คือ 2"-O-glycosylisovitexin (2"-O-GIV) ซึ่งเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) (ภาพ 1) มีคุณสมบัติละลายน้ำและไขมัน มีความคงตัวสูง อีกทั้งยังพบว่ามีคุณสมบัติในการป้องกันเซลล์จากความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ลดการเกิดมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลต ช่วยลดปริมาณไขมัน โคเลสเตอรอลชนิดเลว (low-density lipoproteins, LDL) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคความดันโลหิตสูงและโรคหลอดเลือดหัวใจ อีกทั้งยังพบเอนไซม์และสารอาหารที่สำคัญ เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (superoxide dismutase, SOD) เอนไซม์คะตะเลส (catalase, CAT) วิตามินอี วิตามินซี และแคโรทีน (Bamforth, 1983; Aruoma and Halliwell, 1987; Kitta et al., 1992; Osawa et al., 1992; Nakajima et al., 1998; Acar et al., 2001; Janda et al., 2003; Lee et al., 2003) ใบอ่อนของต้นข้าวบาร์เลย์ที่อายุ 15 วัน มีสารเบต้ากลูแคน (β -Glucan) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดโคเลสเตอรอลในร่างกาย ลดความดันโลหิต และมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด (ตัวเล็ก, 2545)



ภาพ 1 สูตรโครงสร้างของ 2"-O-glycosylisovitexin

ที่มา: Osawa et al. (1992)

การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารสกัดจากใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พบว่า มีคุณสมบัติในการช่วยรักษาความผิดปกติด้านสุขภาพมากมาย อาทิ โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคไขข้อ โรคโลหิตจาง ภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดสูงเกินปกติ โรคไตและโรคเมะเร็ง (Nishiyama et al., 1994; Shibamoto et al., 1994) เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ohtake et al. (1985) ที่พบว่าสารสกัดจากน้ำใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีผลในการป้องกันภาวะคอเลสเตอรอลสูงในหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีไขมันสูง (hypercholesterolemia dietary, HCD) และยังพบสารประกอบพวกไกลโคโปรตีน เช่น เอนไซม์ D1G1 เอนไซม์ P4D1 ที่มีคุณสมบัติในการต้านการอักเสบที่ดีกว่าแอสไพริน (Kubota et al., 1983) ในงานวิจัยของ Badamchian et al. (1994; 1998) ได้นำสารสกัดจากใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ทดสอบลงในเซลล์พบว่า สารสกัดดังกล่าวจะไปกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายและกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่มีผลต่อการเจริญเติบโต (growth hormone) และโปรแลกติน (prolactin) ออกมา ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวเกี่ยวข้องกับระบบการสืบพันธุ์และระบบการทำงานของร่างกาย

อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ คือ อะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนอิสระคู่โดดเดี่ยว (unpaired electrons) ที่ไม่เสถียรอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุด มีพลังงานสูงและว่องไวมาก รวมถึงอะตอมของไฮโดรเจนและไอออนของโลหะทรานซิชัน (โอภา และคณะ, 2550) นอกจากนี้ยังรวมถึงโมเลกุลของออกซิเจนด้วย อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสถานะที่เป็นกลางทางไฟฟ้าและสถานะที่มีประจุไฟฟ้า โดยมีสัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลอิสระ คือ อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลที่แสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี โดยมีสัญลักษณ์ทั่วไป คือ $R^\bullet$ ตัวอย่างของออกซิเจนที่แตกตัวไปเป็นอนุมูลอิสระ เช่น อนุมูล superoxide anion radical ($O_2^\bullet$), hydroxyl ($OH^\bullet$), hydroperoxyl ($HOO^\bullet$), peroxy ($ROO^\bullet$) และ alkoxyl ($RO^\bullet$) เป็นต้น อนุมูลอิสระสามารถแบ่งตามชนิดและบทบาทหน้าที่ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตเป็น 4 กลุ่ม (ตาราง 3) (Halliwell and Gutteridge, 1999; Halliwell, 2006) ดังนี้

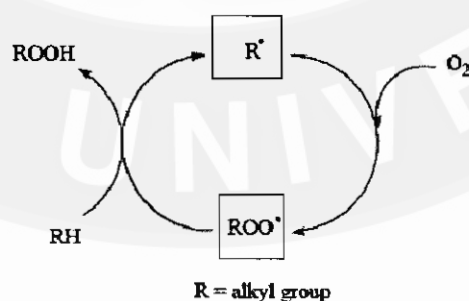
1. Reactive oxygen species (ROS) หมายถึง สารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยอะตอมออกซิเจนที่เป็นสารอนุมูลอิสระ เช่น superoxide anion radical ($O_2^\bullet$), hydroxyl radical ($HO^\bullet$) และที่ไม่ใช่อนุมูลแต่มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์หรือถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย เช่น hydrogen peroxide (H_2O_2), hypochlorous acid (HOCl) และ ozone (O_3) เป็นต้น ซึ่ง reactive oxygen species (ROS) ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายนั้น เป็นผลพลอยได้มาจากการหายใจและกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย (Kaur and Kapoor, 2001)

2. Reactive nitrogen species (RNS) หมายถึง สารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย อะตอมไนโตรเจน เช่น nitric oxide radical ($\text{NO}^\bullet$) และ nitrogen dioxide radical ($\text{NO}_2^\bullet$) เป็นต้น

3. Reactive chlorine species (RCS) หมายถึง สารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย อะตอมคลอรีน เช่น hypochlorous acid (HOCl) และ nitryl chloride (NO_2Cl) เป็นต้น

4. Reactive bromine species (RBS) หมายถึง สารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย อะตอมโบรมีน เช่น hypobromous acid (HOBr) และ bromine gas (Br_2) เป็นต้น

อนุมูลอิสระเหล่านี้มักเป็นสารที่มีความเสถียรต่ำจึงว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง มีความสามารถในการรวมตัวกับสารประกอบอื่น ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยการจับกับอิเล็กตรอนของโมเลกุลอื่นเพื่อให้ตัวเองมีความเสถียร เมื่อโมเลกุลนั้นสูญเสียอิเล็กตรอนก็จะกลายเป็นอนุมูลอิสระใหม่เกิดขึ้น โดยทั่วไปอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย อย่างไรก็ตามสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ เช่น รังสี ก๊าซออกซิเจน สารเคมี ยา สิ่งปนเปื้อนในอากาศ มลพิษ การสูบบุหรี่ การดื่มเหล้า ความเครียด สารปรุงแต่งอาหาร และการรับประทานอาหารไหม้ เป็นต้น (Kaur and Kapoor, 2001; ประภาศรี, 2547; ลักขณา, 2551) หรือเกิดขึ้นเองโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์หรือถูกกระตุ้นจากปัจจัยภายนอกเซลล์ แล้วสร้างความเสียหายแก่เซลล์ในร่างกายได้ (Cheeseman and Slater, 1993) โดยปกติแล้วร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระออกไป แต่ในกรณีที่ร่างกายมีอนุมูลอิสระสะสมมากเกินไป เกินกว่าที่ร่างกายจะสามารถกำจัดได้หมด อนุมูลอิสระที่เกินดังกล่าวจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์และมีผลทำให้เกิดโรคต่างๆ ตามมา เช่น โรคหัวใจ เบาหวาน โรคมะเร็ง เป็นต้น ดังนั้นเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่มีอยู่ได้หมด จึงจำเป็นต้องพึ่งพาสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชันจากภายนอก เพื่อมาช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Papad, 1998)



ภาพ 2 วงจรการเกิดอนุมูลอิสระ

ที่มา: นงนภัศ (2551)

ตาราง 3 ชนิดและกลุ่มของอนุมูลอิสระ

Free Radicals	Nonradicals
ROS Superoxide, $O_2^{\bullet-}$ Hydroxyl, $OH^{\bullet}$ Hydroperoxyl, $HO_2^{\bullet}$ (protonated superoxide) Carbonate, $CO_3^{\bullet-}$ Peroxyl, $RO_2^{\bullet}$ Alkoxyl, $RO^{\bullet}$ Carbon dioxide radical, $CO_2^{\bullet-}$ Singlet $O_2^1\Sigma_g^+$ Reactive nitrogen species Nitric oxide, $NO^{\bullet}$ Nitrogen dioxide, $NO_2^{\bullet c}$ Nitrate radical, $NO_3^{\bullet c, f}$ Reactive chlorine species Atomic chlorine, $Cl^{\bullet}$ Reactive bromine species Atomic bromine, $Br^{\bullet}$	ROS H_2O_2 Hypobromous acid, $HOBr^a$ Hypochlorous acid, $HOCl^b$ Ozone, O_3^c Singlet oxygen ($O_2^1\Delta_g$) Organic peroxides, $ROOH$ Peroxynitrite, $ONOO^{-d}$ Peroxynitrate, O_2NOO^{-d} Peroxynitrous acid, $ONOOH^d$ Peroxomonocarbonate, $HOOCO_3^{-}$ Reactive nitrogen species Nitrous acid, HNO_2 Nitrosyl cation, NO^+ Nitroxyl anion, NO^- Dinitrogen tetroxide, N_2O_4 Dinitrogen trioxide, N_2O_3 Peroxynitrite, $ONOO^{-d}$ Peroxynitrate, O_2NOO^{-d} Peroxynitrous acid, $ONOOH^d$ Nitronium cation, NO_2^+ Alkyl peroxynitrites, $ROONO$ Alkyl peroxynitrates, RO_2ONO Nitryl chloride, NO_2Cl Peroxyacetyl nitrate, $CH_3C(O)OONO_2^c$ Reactive chlorine species Hypochlorous acid, $HOCl^b$ Nitryl chloride, NO_2Cl^e Chloramines Chlorine gas (Cl_2) Bromine chloride ($BrCl$)^a Chlorine dioxide (ClO_2) Reactive bromine species Hypobromous acid ($HOBr$) Bromine gas (Br_2) Bromine chloride ($BrCl$)^a

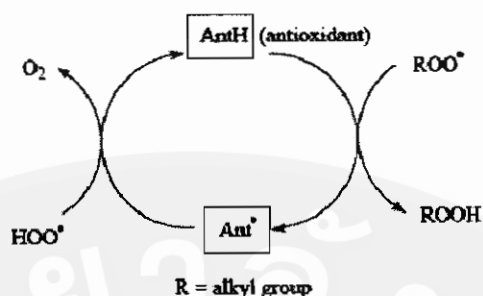
ที่มา: ดัดแปลงจาก Halliwell (2006)

สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารที่สามารถยืดระยะเวลาหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) (Shahidi and Naczk, 2004) สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรงเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavengers) หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระไม่ให้ดำเนินต่อไป สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ชับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sies et al., 1992) ช่วยป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์และสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด ความดันโลหิต และโรคพาร์กินสัน รวมทั้งการแก่ก่อนวัย เป็นต้น (Macrea et al., 1993) ซึ่งโรคเหล่านี้เกิดจากการที่ร่างกายมีอนุมูลอิสระมากเกินไปเกินกว่าที่ร่างกายจะกำจัดออกไปได้ สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เบต้าแคโรทีน (β -carotinoid) คาเทชิน (catechin) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นต้น (Velioglu et al., 1998) เราจะพบว่าในผักและผลไม้หลายชนิดเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันที่ดี ในปัจจุบันมีการศึกษาพัฒนาการใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติมากมาย ซึ่งพฤษเคมีที่พบในพืชผักและผลไม้พบว่าสามารถเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น (Shapoval and Gromovaia, 2003) ซึ่งอาจมีส่วนช่วยในการป้องกันการเกิดโรคต่างๆ หรือสามารถป้องกันและบรรเทาอาการให้ดีขึ้นโดยการรักษาจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) (Macrea et al., 1993)

กลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน

โดยทั่วไปกลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน คือ จะเข้าไปรบกวนปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว แล้วอนุมูลอิสระดังกล่าวจะเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอื่นที่มีความเสถียรหรือคงตัว (Eskin and Przybylski, 2001)



ภาพ 3 วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: นงนภัส (2551)

สามารถเขียนสมการการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ ดังนี้



สารต้านออกซิเดชันมีบทบาทที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสาร ซึ่งกลไกของการต้านออกซิเดชันมีหลากหลายและสามารถสรุปได้ดังนี้ (Papad, 1998; กัมปนาท, 2551)

1. ขนย้ายออกซิเจนออกไปจากระบบหรือเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
2. กำจัด reactive oxygen species (ROS) ต่างๆ รวมถึงอนุมูลอิสระเริ่มต้น (initiating radical)
3. ยับยั้งการเกิดออกซิเจนในรูป active form ซึ่งพบในขั้นตอนอินิทิเอชันของปฏิกิริยาออกซิเดชัน
4. เข้าจับกับไอออนของโลหะ (เหล็กและทองแดง) เพื่อป้องกันการสร้าง ROS ในรูปอื่นๆ
5. ยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation และสลายอนุมูลเปอร์ออกไซด์ เพื่อลดการเกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น
6. เป็นสารรีดิวซ์โดยให้ไฮโดรเจนและอิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระไปดึงไฮโดรเจนจากสารชีวโมเลกุลสำคัญ

7. ส่งเสริมระบบการทำงานของสารต้านออกซิเดชันภายในร่างกาย (endogenous antioxidant defense)

ประเภทของสารต้านออกซิเดชัน

1. สารต้านออกซิเดชัน แบ่งตามแหล่งที่มาได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1. สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ สารประกอบที่กล่าวถึงในกลุ่มนี้พบตามธรรมชาติมีอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น สมุนไพร เครื่องเทศต่างๆ สารสกัดจากพืช เมล็ดพืช น้ำมัน ธัญพืช และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ tocopherols, ascorbic acid, carnosol, carnosic acid, rosmanol, rosmaridiphenol, rosmariquinone, gallic acid, flavonoids, catechins, sesamol, lignin, β -carotene, orizanol, lecithin และ epicatechin เป็นต้น (Macrea et al., 1993)

1.2. สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ ใช้เพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และบางชนิดก็ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร (food additives) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), t-butyl hydroquinone (TBHQ), ethyl protocatechuate, propyl gallate (PG), nordihydroguaiaretic acid (NDGA), trolox, ethoxyquin, capsaicin, vanillylamide, thioldipropionic acid (TDPA), 2,4,5 trihydroxy butyrophenone และ 4 hydroxy methyl-2, 6-ditert-butylphenone เป็นต้น (Macrea et al., 1993)

2. สารต้านออกซิเดชัน แบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.1. สารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (primary antioxidants) เป็นสารต้านออกซิเดชันที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระยุติลงโดยเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความคงตัว ได้แก่ gallates, hydroquinone, trihydroxybutyrophenone, plastochromanols, tocopherols, tocotrienols, nondihydroguaiaretic acid, ethoxyquin, anoxomer, trolox, flavonoids, BHA, BHT และ TBHQ เป็นต้น (Eskin and Pzybylski, 2001)

2.2. สารจับออกซิเจน (oxygen scavengers) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วทำให้เกิดอนุมูลอิสระลดลง ได้แก่ ascorbic acid, ascorbyl, palmitate และ erythorbic acid เป็นต้น ซึ่งสารจับกับออกซิเจนจะช่วยเสริมฤทธิ์หรือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน (Kochhar and Rossell, 1990)

2.3. สารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary antioxidants) เป็นสารที่ทำให้ hydroperoxide อยู่ในสภาพที่เสถียรหรือคงตัว ไม่สลายเป็นอัลดีไฮด์หรือคีโตน ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหืน สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ TDPA, dilauryl และ distearyl esters ของ TDPA เป็นต้น (Kochhar and Rossell, 1990; Eskin and Pzybylski, 2001)

2.4. เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant enzyme) เช่น catalase, glucose oxidase, superoxide dismutase และ glutathione peroxidase เป็นต้น เอนไซม์เหล่านี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน เช่น glucose oxidase หรือกำจัดสารที่เกิดการออกซิเดชันได้ง่าย เช่น superoxide dismutase เป็นต้น (Kochhar and Rossell, 1990)

2.5. ตัวจับอนุมูลอิสระ (chelating agent or sequestrants) ทำหน้าที่จับอนุมูลโลหะ เช่น ทองแดง (Cu^{2+}) เหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งอนุมูลเหล่านี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวจับอนุมูลโลหะนี้ซึ่งเป็นสารเสริมฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชัน เช่น polyphosphates, EDTA, tartaric acid, citric acid, phytic acid และ lecithin เป็นต้น (Kochhar and Rossell, 1990; Eskin and Pzybylski, 2001)

3. สารต้านออกซิเดชัน แบ่งตามกลไกการทำงานของร่างกาย

ร่างกายมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งเกิดจากการทำงานของสารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์และไม่จัดเป็นเอนไซม์ ดังนี้

3.1. สารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์และพบในร่างกาย ได้แก่ superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPX), glutathione S-transferase (GST), catalases (CAT), thioredoxin reductase transferring, ferritin และ ceruloplasmin เป็นต้น

3.2. สารต้านออกซิเดชันที่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ แบ่งตามแหล่งที่พบ ได้แก่

3.2.1 พบในร่างกาย ได้แก่ albumin, glutathione, lipoic acid, ceruloplasmin, transferrin, haptoglobin, hemopexin, uric acid, bilirubin และ cysteine เป็นต้น

3.2.2 พบในอาหาร ได้แก่ ascorbic acid, tocopherols, carotenoids, steroids, ubiquinones, thiols, inosine, taurine, pyruvate, gallic acid, flavonoids, trolox, BHA, BHT เป็นต้น

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

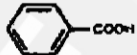
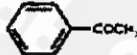
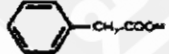
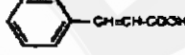
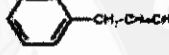
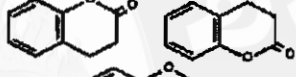
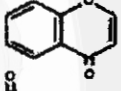
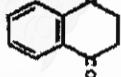
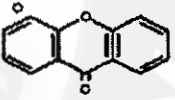
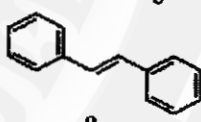
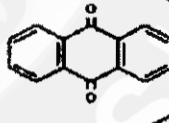
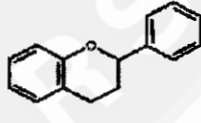
สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอก พบได้มากในธรรมชาติ อันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ชอคโกแลตและไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด ในธรรมชาติ ตั้งแต่โมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟีนิลโพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโมเลกุลพอลิเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น

โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงแหวนวงเบนซีน (aromatic ring) ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) อย่างน้อย 1 หมู่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล โดยน้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) (Shahidi and Naczk, 2004) สารประกอบฟีนอลิกถือเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ของพืช โดยส่วนใหญ่ได้มาจาก phenylalanine และในพืช บางชนิดได้มาจาก tyrosine ได้แก่ ฟีนอล (phenols) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) แทนนิน (tannins) ลิกแนน (lignans) และลิกนิน (lignins) เป็นต้น ซึ่งสารในกลุ่มนี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืช อีกทั้งพบว่ามีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงสารต้านการก่อมะเร็ง มีฤทธิ์ด้านแบคทีเรีย ไวรัส ลดการอักเสบและการแพ้ (โอภา, 2550)

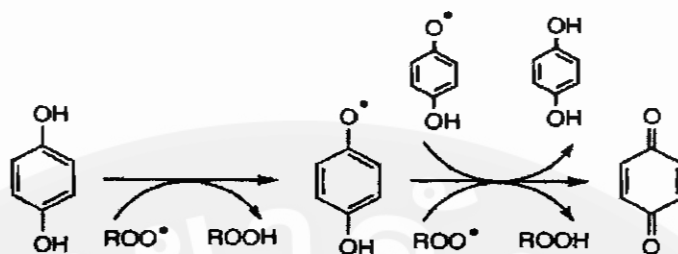
สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

การเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง เนื่องจากมีหมู่ที่สามารถให้อิเลคตรอนหรือไฮโดรเจน คือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทอกซี (-OCH₃) แก่สารที่เป็นอนุมูลอิสระได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้อนุมูลอิสระมีความเสถียร และตัวสารประกอบฟีนอลิกจะกลายเป็น phenoxy radical ซึ่งจะไปจับคู่กันเองระหว่าง phenoxy radical อีกตัวหนึ่งเพื่อให้โมเลกุลเสถียรและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปได้ (ภาพ 4) ดังนั้นสารประกอบฟีนอลิกจึงมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันไม่ให้ร่างกายได้รับความเสียหายจากอนุมูลอิสระ (Shahidi and Naczk, 2004)

ตาราง 4 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม		โครงสร้างพื้นฐาน
ฟีนอล (Simple phenols)	(C ₆)	
เบนโซควิโนน (Benzoquinones)	(C ₆)	
กรดฟีนอลิก (Phenolic acids)	(C ₆ -C ₁)	
อะซิโตนฟีนอน (Acetophenones)	(C ₆ -C ₂)	
กรดฟีนิลอะซิติก (Phenylacetic acids)	(C ₆ -C ₂)	
กรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acids)	(C ₆ -C ₃)	
ฟีนิลโพรเพน (Phenylpropenes)	(C ₆ -C ₃)	
คูมาริน (Coumarins) ไอโซคูมาริน (isocoumarins)	(C ₆ -C ₃)	
โครโมน (Chromones)	(C ₆ -C ₃)	
นาฟโทควิโนน (Nafthoquinones)	(C ₆ -C ₄)	
แซนโทน (Xanthenes)	(C ₆ -C ₁ -C ₆)	
สติลเบน (Stilbenes)	(C ₆ -C ₂ -C ₆)	
แอนทราควิโนน (Anthraquinones)	(C ₆ -C ₂ -C ₆)	
ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)	(C ₆ -C ₃ -C ₆)	
ลิกแนน (Lignans) นีโอลิกแนน (neolignans)	((C ₆ -C ₃) ₂)	
ลิกนิน (Lignins)	((C ₆ -C ₃) _n)	

ที่มา: Fine and Candidate (2000)



ภาพ 4 ปฏิกิริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Shahidi and Naczk (2004)

สารประกอบฟีนอลิกพบได้ทั่วไปในผักและผลไม้หลายชนิด รวมถึงธัญพืชและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากการแปรรูปผักและผลไม้ อาทิ ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เช่น แบล็กเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ แครนเบอร์รี่ สตอเบอร์รี่และองุ่น เป็นต้น ผลไม้ที่มีเมล็ดเคี้ยวและแข็ง เช่น เชอร์รี่ พีช พลัมและพ룬 เป็นต้น ผักประเภทหัวและราก เช่น แครอท หัวหอม หัวไชเท้า มันฝรั่งและหัวผักกาดแดง เป็นต้น ผักประเภทใบก้านและลำต้น เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ขึ้นฉ่าย ผักกาดหอมและผักขม เป็นต้น สมุนไพรและเครื่องเทศ เช่น สะเดา กานพลู อบเชยและพริกไทย เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป เช่น ไวน์และน้ำผลไม้ เป็นต้น (Shahidi and Naczk, 2004) โดยปัจจัยที่มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่พบอยู่ในพืชผักและผลไม้มีปริมาณและสมบัติการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พันธุกรรมสิ่งแวดล้อม แหล่งที่ปลูก วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา ส่วนของพืช รสชาติ และส่วนประกอบทางเคมีของพืชนั้นๆ (ไมตรี และคณะ, 2545; Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545)

ตาราง 5 ตัวอย่างสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในอาหาร

สารประกอบพอลิฟีนอล	แหล่งที่พบ
Hydroxybenzoic acids	
Protocatechuic acid, Gallic acid	แบล็คเบอร์รี่ แบล็คเคอร์แรนท์ ราสเบอร์รี่ สตอเบอร์รี่
Hydroxycinnamic acids	
Caffeic acid, Chlorogenic acid	องุ่นขาว ไวน์ขาว มะกอก น้ำมันมะกอก มะเขือเทศ
<i>p</i> -Coumaric acid	แอปเปิ้ล ลูกแพร์ สาลี่ บลูเบอร์รี่ เชอร์รี่ กีวี พลัม พืช
Ferulic acid, Sinapic acid	แอปริคอต ผักโขม ผักกาดขาว หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวสาลี ข้าวโพด
Anthocyanins	
Cyanidin, Pelargonidin	แบล็คเบอร์รี่ แบล็คเคอร์แรนท์ บลูเบอร์รี่ สตอเบอร์รี่
Peonidin, Delphinidin, Malvidin	เชอร์รี่ องุ่นดำ ไวน์แดง พลัม กะหล่ำปลีแดง
Flavanols	
Quercetin, Kaempferol, Myricetin	หัวหอม กระเทียม ผักกาด บล็อกโคลี่ บลูเบอร์รี่
	แบล็คเบอร์รี่ แครนเบอร์รี่ เชอร์รี่ แอปพริคอต
	แอปเปิ้ล ถั่ว องุ่นดำ มะเขือเทศ ชาดำ ชาเขียว ไวน์แดง
Flavones	
Apigenin, Luteolin	พาร์สลีย์ ผักชีฝรั่ง พริกไทย
Flavanones	
Hesperetin, Naridictyol, Eriodictyol	น้ำส้ม น้ำองุ่น น้ำมะนาว
Isoflavones	
Daidzein, Genistein, Glycitein	แป้งถั่วเหลือง ถั่วเหลือง มิโซะ
	เต้าหู้ เทมเป้ น้านมถั่วเหลือง
Monomeric flavanols	
Catechin, Epicatechin	ชอคโกแลต ถั่ว แอปพริคอต เชอร์รี่ องุ่น พืช
	แบล็คเบอร์รี่ แอปเปิ้ล ชาดำ ไวน์แดง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Manach et al. (2004)

คุณสมบัติทางชีวเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะในกลุ่มของสารประกอบพอลิฟีนอล (polyphenol) ซึ่งมีโครงสร้างของฟีนอลหรือฟีนิลโพรพานอยด์หลายๆ วงมาต่อกัน มีสูตร โครงสร้างทางเคมี คือ $(-C_6-C_3-C_6)_n$ และ $(-C_6-C_3)_n$ ตามลำดับ ในธรรมชาติสารประกอบพอลิฟีนอลจะมีอยู่ในรูปของ โมเลกุลเดี่ยว เช่น สารประกอบคลอโรฟลาสต์ในส่วนของเซลล์พืชไปจนถึง โครงสร้างพอลิเมอร์ ซึ่งจะเกิดกระบวนการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) กลายเป็น โมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ จัดเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นสารประกอบพอลิกินีและแทนนินระหว่างการ เจริญเติบโตและสร้างความแข็งแรงของพืช (Tomas-Barberan and Espin, 2001; Kefeli et al., 2003) ทำให้พืชมีภูมิคุ้มกันจากการติดเชื้อต่างๆ และสามารถทนต่อปฏิกิริยา photooxidation ในการสร้าง อาหารได้ (วาริน, 2546) สารประกอบพอลิฟีนอลมีคุณสมบัติในการเป็นสารคีเลต (chelating agent) สามารถยังยั้งโลหะหนักซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ โดยจะทำหน้าที่ให้โปรตอน หรืออิเล็กตรอนแก่โลหะ (Rice-Evans et al., 1997) เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นออร์โธไดไฮดรอกซี ฟีนอล (ortho-dihydroxyl phenol) จึงสามารถจับหรือฟอร์มพันธะโคออร์ดิเนตกับโลหะหนักได้ดี เช่น ทองแดงและเหล็ก ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวจะเป็นตัวกระตุ้นการสร้าง รวมทั้งปฏิกิริยาถูกไขของ อนุมูลอิสระให้ไวขึ้น (โอภา และคณะ, 2550)

สารประกอบพอลิฟีนอลเป็นผลพลอยได้จากเมแทบอลิซึมของเซลล์พืชที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืช รวมทั้งเพื่อการต้านทานโรค (Harborne and Williams, 2000) ได้มีการศึกษาถึงประโยชน์ของสารประกอบพอลิฟีนอลในพืช มากมาย Kim et al. (2004) พบว่าในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดธัญพืชจะมีการสังเคราะห์ ของสารประกอบพอลิฟีนอลเกิดขึ้น ในการศึกษาถึงสมบัติทางชีวเคมีของสารประกอบพอลิฟีนอล พบว่ามีคุณสมบัติในจับไอออนของธาตุโลหะ โดยมีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กในร่างกาย ทำให้ ปริมาณเหล็กในเม็ดเลือดลดลง (Deng et al., 1997) ในงานวิจัยของ Guo et al. (2007) ได้ศึกษาและ พบว่าสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในพืชดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติในการจับเหล็ก (iron-binding properties) ซึ่งเกิดจากกลไกการออกฤทธิ์ของสารฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bio-active phenolics) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khokhar and Apenten (2003) ที่พบว่าความสามารถในการจับเหล็กของสารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวมีความเกี่ยวพันกับสารออกฤทธิ์เคเดซินสารแทนนิน และฟลาโวนอยด์ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติทางชีวเคมีของ สารประกอบพอลิฟีนอลในด้านความสามารถในการจับเหล็กยังสามารถพบได้ในพืชต่างๆ เช่น ชา เขียว มัลเบอร์รี่ จิง ผลรวมถึงใบอ่อนของข้าว ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อ

ป้องกันหรือบรรเทาภาวะเหล็กเกินและภาวะอนุมูลอิสระที่มากเกินไปได้ (สะแกวัลย์, 2546; ชลธิดา, 2547; ณัฐธิดา, 2554; Ebrahimzadeh et al., 2009; Mladenka et al., 2011)

คลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลิน (Chlorophyll and chlorophyllin)

คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นเม็ดสีที่พบในพืชและสาหร่ายสีเขียว คลอโรฟิลล์เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เนื่องจากมีหน้าที่ในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานทางชีวเคมี เพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรตและน้ำ คลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลที่ไม่ค่อยเสถียร สลายตัวได้ง่ายจากความร้อน ออกซิเจนและสารอื่นๆ ซึ่งเมื่อพืชเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวไปเป็นสีอื่นๆ (จริงแท้, 2549) คลอโรฟิลล์ในอาหารมีอยู่ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี

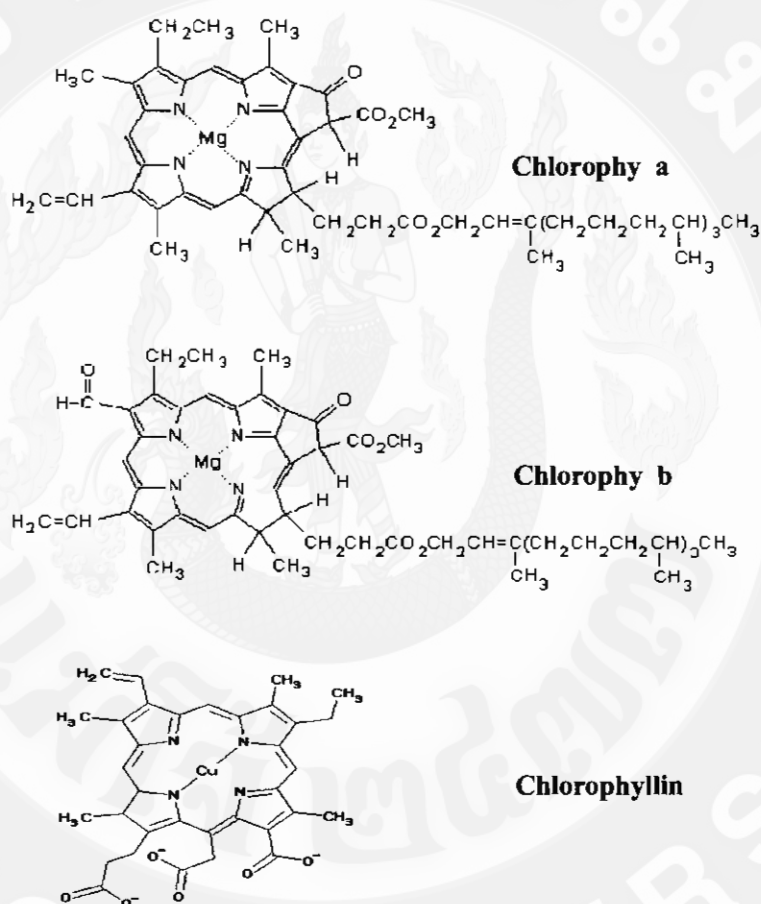
คลอโรฟิลลิน (chlorophyllin) เป็นสารอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลลินเป็นสารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพดีเช่นเดียวกับเรตินอล (retinol) เบต้าแคโรทีน (β -carotene) วิตามินซีและวิตามินอี และยังพบว่าคลอโรฟิลลินมีฤทธิ์ต้านทานสารก่อกลายพันธุ์และฤทธิ์ด้านการเกิดมะเร็ง (William et al., 2004; Jubert et al., 2009)

โครงสร้างของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลิน

คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ละลายได้ดีในอะซีโตนและแอลกอฮอล์ โครงสร้างของคลอโรฟิลล์แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัวและส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง (tetrapyrrole) และมีธาตุแมกนีเซียมเชื่อมยึดอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนที่ทำพันธะกับไนโตรเจน และส่วนหาง (phytol) ของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน คือ วงแหวนไพโรล 4 วง แต่โซ่ข้าง (side chain) ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป ซึ่งคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียว คือ ที่วงแหวนไพโรลวงที่สอง คลอโรฟิลล์เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) ส่วนของคลอโรฟิลล์บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ($-\text{CHO}$) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วยโดยเฉพาะด้านการละลายโดยที่หมู่เมทิลของคลอโรฟิลล์ทำให้โมเลกุลมีขั้ว ดังนั้นจึงละลายได้ดีในสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ ส่วน

หมู่แอลดีไฮด์ซึ่งไม่มีขั้ว จึงทำให้คลอโรฟิลล์บี ละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น ปีโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์เอ มีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์บี มีสีเขียวอ่อน

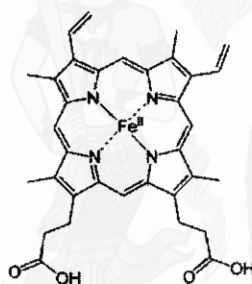
ในส่วนโครงสร้างของคลอโรฟิลลิน (chlorophyllin) จะมีอะตอมกลางเป็นทองแดง (Cu) สายโซ่ยาวในโครงสร้างถูกตัดออกไปและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียม (Na-salt) ทำให้คลอโรฟิลลินละลายในน้ำได้ดี



ภาพ 5 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลลิน
ที่มา: ภาควิชา (2550)

คุณสมบัติทางชีวเคมีของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลิน

โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของคลอโรฟิลล์มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างกับโมเลกุลของฮีมในเม็ดเลือดแดง แตกต่างกันเฉพาะตรงกลางที่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์เป็นแมกนีเซียม (Mg) และเม็ดเลือดแดงมีเหล็ก (Fe) (ภาพ 6) ในงานวิจัยหลายฉบับพบว่า คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมีโครงสร้างคล้ายเซลล์เม็ดเลือดแดงในร่างกายคน ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของคลอโรฟิลล์ในร่างกายสามารถกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดงได้ จึงมีส่วนช่วยในขบวนการผลิตเม็ดเลือดในร่างกาย ส่งผลให้ลดความเสี่ยงของการเกิดสภาวะเลือดน้อยจากโรคโลหิตจาง (anemia) และสามารถลดความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายโลหิตในผู้ป่วยธาลัสซีเมียได้



ภาพ 6 โครงสร้างโมเลกุลของฮีมในเม็ดเลือดแดง

ที่มา: Seibold (1991)

จากการวิจัยจากสถาบันวิจัยมะเร็งแห่งชาติ (National Cancer Institute) ได้ศึกษากลไกการป้องกันมะเร็งของสารสกัดของคลอโรฟิลล์ โดยการศึกษาตั้งแต่ในระดับเซลล์ ปลา หนูทดลองและในคนพบว่า คลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลินช่วยลดการทำลายดีเอ็นเอโดยสารอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ที่เกิดจากเชื้อราได้ (Bailey et al., 2001; Egner et al., 2003) และยังมีผลต่อการดูดซึมอะฟลาทอกซินในเซลล์ (Carter et al., 2004) ปลาเทราต์ (Simonich et al., 2008) และหนูทดลอง (Blum et al., 2003; Simonich et al., 2007) การศึกษาในอาสาสมัครชาวจีนที่มีความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งจากสารอะฟลาทอกซิน พบว่าคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลินช่วยลดการดูดซึมสารอะฟลาทอกซินเข้าสู่ร่างกาย (Jubert et al., 2009) เช่นเดียวกับกับผลที่พบในสัตว์ทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับกลไกที่ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตับเนื่องจากการได้รับสารอะฟลาทอกซินได้

William et al. (2004) ได้ศึกษาสมบัติของสารคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลินในการป้องกันมะเร็งที่เกิดจากสารไดเบนโซไพรีน (dibenzopyrene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่พบในควัน

บุหรื และการเผาไหม้ต่างๆ โดยผลการศึกษาในหนูทดลองที่ได้รับสารก่อมะเร็ง พบว่าคลอโรฟิลลินสามารถลดการดูดซึมสารก่อมะเร็งเข้าสู่ร่างกายได้ โดยกลไกที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการจับสารก่อมะเร็งด้วยคลอโรฟิลลิน (Castro et al., 2009) สอดคล้องกับการทดลองในเซลล์ที่พบว่าคลอโรฟิลลินสามารถลดการจับของสารไดเบนโซไพรีนกับดีเอ็นเอได้ (Harttig and Bailey, 1998; Bertrand and Poirier, 2005; Keshava et al., 2010) นอกจากนี้งานวิจัยของ Mata และคณะ (2004) ก็พบว่าคลอโรฟิลลินสามารถลดการผ่านของสารไดเบนโซไพรีนและอะฟลาทอกซินเข้าไปในเซลล์ของลำไส้ใหญ่สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งของลำไส้ใหญ่ได้ โดยพบว่าคลอโรฟิลลินมีศักยภาพในการใช้รักษามะเร็งหรืออาจใช้ร่วมกับยารักษามะเร็งชนิดอื่นๆ (Diaz et al., 2003; Chimpoy et al., 2009) การดูดซึมสารก่อมะเร็งที่น้อยลงนั้นอาจเป็นกลไกที่ทำให้คลอโรฟิลลินสามารถช่วยป้องกันโรคมะเร็งได้ ผลการวิจัยของคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลลิน และสารอื่นที่มีโครงสร้างคล้ายกัน พบคุณสมบัติในการเป็นตัวยับยั้งโปรตีนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammalian phase 2 protein) (Fahey et al., 2005) ซึ่งโปรตีนชนิดนี้ช่วยปกป้องเซลล์จากตัวออกซิแดนท์และตัวทำปฏิกิริยาอื่นซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคต่างๆ รวมถึงโรคมะเร็ง และการเสื่อมสภาพของเซลล์ทำให้เกิดการแก่ชรา สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของคลอโรฟิลล์ลิน (Thakur et al., 2008; Zhang et al., 2008) ผลการศึกษาสมบัติในการต่อต้านสารที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutagenicity) ของสารสกัดที่ได้จากอาหาร ได้แก่ คลอโรฟิลลิน วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน วิตามินอีและวิตามินซี พบว่าคลอโรฟิลลินมีสมบัติดังกล่าวดีกว่าสารอื่นๆ ที่ทดสอบ (Ong et al., 1994)

งานวิจัยอีกหลายฉบับยังพบคุณสมบัติต่างๆ ของคลอโรฟิลล์อีกมากมาย นอกเหนือจากคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ด้านสารก่อมะเร็ง (anticarcinogenicity) ด้านการก่อกลายพันธุ์ (antigenotoxic) เช่น คลอโรฟิลล์ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย ช่วยให้ผิวพรรณสดใส เปล่งปลั่ง ฟื้นฟูริ้วรอย และลดการเกิดมะเร็งผิวหนังจากแสงแดด (Cho et al., 2006)

ภาวะเหล็กเกิน

ภาวะเหล็กเกิน (iron overload หรือ hemochromatosis) หมายถึง สภาวะที่ร่างกายมีธาตุเหล็กสะสมอยู่ในอวัยวะ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ มากกว่าปกติ และเหล็กที่สะสมนั้นเป็นพิษและส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกาย และเป็นสาเหตุที่ทำให้อายุขัยสั้นลงหรือเสียชีวิตได้ สามารถแบ่งสาเหตุของภาวะเหล็กเกินในมนุษย์ได้ 2 กลุ่มหลัก (วิปร, 2552) คือ

1. ภาวะเหล็กเกินจากความผิดปกติทางพันธุกรรม (hereditary hemochromatosis) เกิดจากยีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของธาตุเหล็ก (Robson et al., 2004 อ้างโดย วิปร, 2552)
2. ภาวะเหล็กเกินทางพันธุกรรมแบบทุติยภูมิ (secondary iron overload) เกิดขึ้นจากการรับธาตุเหล็กเพิ่มเติมจากการรับเลือดในกลุ่มผู้ป่วยธาลัสซีเมียหรือการดูดซึมที่ผิดปกติจากระบบทางเดินอาหาร

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ภาวะเหล็กเกินเกิดขึ้นได้ เนื่องจากร่างกายไม่มีกลไกในการกำจัดธาตุเหล็กออกไป ทำให้เหล็กที่สะสมในร่างกาย ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย อาทิ ตับ หัวใจ ไต ระบบต่อมไร้ท่อ รวมทั้งการนำไปสู่โรคแทรกซ้อนอื่นๆ ตามมามากมาย

การรักษาด้วยการใช้ยาจับธาตุเหล็ก (Iron chelating therapy)

การรักษาด้วยการใช้ยาจับธาตุเหล็ก desferrioxamine (DESFERAL®) ซึ่งเป็นยาจับเหล็กชนิดฉีดเข้าใต้ผิวหนัง พบว่าการใช้ยาจับเหล็กดังกล่าวผู้ป่วยมักไม่ให้ความร่วมมือในการฉีดยา (ทิสารัตน์ และคณะ, 2551) จึงมีการศึกษาวิจัยการใช้ยาจับเหล็กชนิดใหม่ๆ ซึ่งสามารถรับประทานได้โดยตรง (deferiprone) แต่พบว่าประสิทธิผลของยาดังกล่าวมีความหลากหลายของการตอบสนองต่อยา และมีผลจำกัดในการลดระดับธาตุเหล็กในร่างกาย ซึ่งจะพบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่มีภาวะเหล็กเกินนั้นมักเกิดจากการที่ร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้เพียงพอ จึงมีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระในพืชต่างๆ เช่น สารเคเดชินในใบชา (สมเดช, 2546; 2548) ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายเพื่อเป็นแนวทางในการรักษาหรือใช้เป็นอาหารเสริมในการบรรเทาหรือลดภาวะเหล็กเกินในผู้ป่วย

การแปรรูปอาหารด้วยความร้อน

การทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) เป็นการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อทำลายทำลายจุลินทรีย์ รวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และสปอร์ส่วนใหญ่ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย กรรมวิธีการฆ่าเชืื่อนี้ต้องใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่เหมาะสม ปริมาณความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะอยู่ในระดับที่เรียกว่า การฆ่าเชื้อเชิงการค้า (commercial sterilization) ซึ่งเป็นภาวะที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และสารพิษที่เกิดจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด แต่อาจมีสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อนเหลือรอดอยู่ได้เล็กน้อย และจะต้องไม่เพิ่มจำนวนขึ้นในภายหลัง อาหารที่ผ่านการสเตอริไลส์ทางการค้าจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานประมาณ 2 ปี ทำให้อาหารเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง และปลอดภัยต่อการบริโภค (วิไล, 2547)

ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการสเตอริไลซ์อาหาร (อัศวิน, 2554) ได้แก่

1. จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อน
2. เงื่อนไขการให้ความร้อน
3. pH ของอาหาร
4. ขนาดบรรจุภัณฑ์
5. ลักษณะทางกายภาพของอาหาร
6. ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง ภาชนะที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ สามารถคุ้มครองและรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา (ปุ่น และสมพร, 2541) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ควรเป็นภาชนะบรรจุที่สามารถทนต่อความร้อนได้ดี เนื่องจากหลักการทำแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ คือ หลังจากการบรรจุอาหารและปิดภาชนะแล้ว จะทำการฆ่าเชื้ออาหารพร้อมภาชนะบรรจุ โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดหรือสูงกว่า ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

คุณสมบัติของภาชนะที่ใช้บรรจุ

1. ความสามารถทนต่อความร้อน ความดันสูง และป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้

2. การไม่เปลี่ยนแปลงสภาพระหว่างการฆ่าเชื้อ และสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน โดยคุณภาพของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง
3. การปิดผนึกต้องปิดสนิทไม่รั่ว หรือปริแตก อันจะเป็นช่องทางให้เชื้อโรค จุลินทรีย์ต่างๆ จากภายนอกเข้าสู่ภาชนะบรรจุแล้วทำให้อาหารเสียได้

บรรจุภัณฑ์ทำด้วยแก้ว

แก้วมีปฏิกิริยากับสารเคมีชีวภาพที่เฉื่อย (inert) ไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่ถ้าเทียบกับวัสดุประเภทอื่นที่นำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ทำด้วยแก้วมีคุณภาพในการรักษาคุณภาพสินค้าภายในได้ดี มีความใสเงางาม สามารถทนแรงกดได้สูง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตลอดอายุการใช้งานยาวนานใช้ได้หลายครั้ง และสามารถนำมาหลอมใช้ใหม่ได้ง่าย (recycle) ข้อควรระวังในการใช้บรรจุภัณฑ์แบบแก้ว คือ ฝาที่ปิดขวดแก้ว จะต้องเลือกใช้ฝาขวดแก้วที่ได้ขนาดและต้องสามารถปิดได้สนิทแน่น ไม่มีฟองอากาศเข้าได้หรือไหลหกอออกมาได้ และสามารถทนความร้อนและความดันได้ เพื่อช่วยรักษาคุณภาพและอายุของสินค้าให้อยู่ได้ยาวนาน ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์จากแก้วได้แก่ ขวดแก้ว โหลแก้ว ขวดปากแคบ ขวดปากกว้าง เป็นต้น (กาญจนา, 2544)

อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

อะลูมิเนียมฟอยล์ คือ อะลูมิเนียมแผ่นบางที่มีความหนาน้อยกว่า 152.4 ไมครอน (0.15 มิลลิเมตรหรือ 0.006 นิ้ว) อะลูมิเนียมฟอยล์ผลิตจากโลหะผสมของอะลูมิเนียมที่มีส่วนผสมของอะลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 90 โดยการนำโลหะอะลูมิเนียมมาหลอมและรีดให้เป็นแผ่น จากนั้นนำแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์สองแผ่นประกบกัน แล้วรีดผ่านเครื่องรีดพร้อมกันเพื่อป้องกันการฉีกขาดจนได้ตามความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งในกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมฟอยล์นั้นจะทำการรีดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ด้วยลูกกลิ้ง โดยที่ด้านที่ติดกับลูกกลิ้งจะมีผิวมันเป็นเงา ส่วนด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับลูกกลิ้งจะเป็นผิวด้าน จึงทำให้อะลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้มีผิวหน้าของแผ่นทั้งสองด้านแตกต่างกัน

คุณสมบัติของอะลูมิเนียมฟอยล์ที่นิยมใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร มีดังนี้

1. สามารถทนอุณหภูมิได้ดี สามารถทนอุณหภูมิที่ -40 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวสูงที่ 600 องศาเซลเซียส
2. มีความเหนียว สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย
3. ด้านทานการกัดกร่อน ทนต่อการเกิดเป็นสนิม และสารละลายอินทรีย์

4. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
5. มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านออกซิเจน อากาศ ความชื้น และแสง



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

วัสดุดิบ

1. ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1 (บริษัท ข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)
2. เมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ฟาง 60 (ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง มูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่)
3. เมล็ดข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 (ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง มูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius BP 610, Germany)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius CP 224S, Germany)
3. เครื่องเขย่าสารชนิดสาย (platform mixer: Ratex)
4. เครื่องหมุนเหวี่ยงตกตะกอนความเร็วสูง (centrifuge: Hettich, England)
5. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer: Reyleigh VIS-723G, China)
6. เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter: Metrohm 744, Switzerland)
7. เครื่องวัดค่าสี (colorimeter: Tri-stimulus colorimeter, Japan)
8. เครื่องย่อย (digestion block)
9. เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน (kjeldahl nitrogen equipment: Tecator, Sweden)
10. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet apparatus: Tecator, Sweden)
11. หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave: All American, USA)
12. ตู้ถ่ายเชื้อ (laminar flow: Holten Laminar HB 2472, Denmark)
13. ตู้บ่มเชื้อ (incubator: Heraeus B12, Germany)
14. เตาให้ความร้อน (hotplate: Kika, Malaysia; Gerhardt, Germany)
15. เตาเผาถ้ำ (muffle furnace: Carbolite, England)

16. ตู้อบลมร้อน (hot air oven: Termaks, Norway)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (beaker)
2. หลอดทดลอง (tube)
3. Digestion tube ขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร
4. กระบอกตวง (cylinder)
5. ขวดรูปชมพู่ (flask)
6. กรวยกรอง (funnel)
7. ขวดปริมาตร (volumetric flask)
8. แท่งแก้วคนสาร (stirring rod)
9. ขวดปริมาตรก้นกลม (round bottom flask)
10. ชุดกลั่น (distillation apparatus)
11. หลอดวัดการดูดกลืนแสง (cuvettes)
12. บิวเรต (burette)
13. ปิเปต (pipette)
14. ไมโครปิเปต (micropipette)
15. ปิเปตทิป (pipette tip)
16. โถดูดความชื้น (desiccator)
17. ครุฑชิลิเกรเบิ้ล (crucible)
18. กระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)
19. ช้อนตักสารเคมี (dispensing spoons)
20. ขวดน้ำกลั่น (wash bottle)
21. ลูกยาง (rubber)
22. กระดาษกรอง (filter paper: Whatman No. 93)
23. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
24. นาฬิกาจับเวลา (stopwatch)
25. ตะแกรง (sieve)
26. ถาดอะลูมิเนียม (aluminum tray)

27. กระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)
28. ขวด duran
29. จานเพาะเชื้อ (plate)
30. พาราฟิล์ม
31. กระดาษปลอก

สารเคมี

1. Ethanol (Merck, Cat No. 1.00983)
2. Hydrochloric acid (Merck, Cat No.100317)
3. Trolox (Fluka, Cat No. 56510)
4. Ascorbic acid (Fisher, Cat No. A/8382/48)
5. ABTS [2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] (Fluka, Cat No.11557)
6. Potassium persulfate (Carlo, Cat No.473701)
7. Ferrous sulfate heptahydrate (Merck, Cat No.103965)
8. Sodium acetate trihydrate (Fisher, Cat No.S/2040/60)
9. Glacial acetic acid (Merck, Cat No.100063)
10. Ferric chloride (Merck, Cat No.103943)
11. TPTZ [2,4,6-tris (2-pyridyl) s-triazine] (Fluka, Cat No.93285)
12. Sodium hydroxide (Merck, Cat No. 106498)
13. Gallic acid (Fluka, Cat No.48630)
14. Folin-Ciocalteu (Merck, Cat No. 109001)
15. Sodium carbonate (Ajax, Cat No. A463)
16. Boric acid (Merck, Cat No.100165)
17. Bromocresol green (Fisher, Cat No.B/4320/44)
18. Methyl red (Riedel, Cat No.32654)
19. Petroleum ether (Ajax, Cat No.A361)
20. Acetone (Merck, Cat No. 1.00014.2500)
21. Tartaric acid (Ajax, Cat No. 0803150)

22. Sodium bicarbonate (Asahi glass, Cat No.20051028)
23. Ammonium ferrous sulfate (Merck)
24. Ferric nitrate (Asia Pacific chemical)
25. Cupric chloride dehydrate (Sigma-Aldrich)
26. Zinc sulphate-7-hydrate (Seelze-Hamnover)
27. Citric acid (BDH chemical)
28. Nitrilotriacetic acid disodium salt (Sigma-Aldrich)
29. Nitrilotriacetic acid trisodium salt (Fluka)
30. 3-[N-Morpholino]propanesulfonic acid (MOPS) (Sigma-Aldrich)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (Difco, Cat No.247940)
2. Plate dextrose agar (Difco, Cat No.213400)
3. Peptone water (Himedia, Cat No. M028)

วิธีการทดลอง

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อน

เตรียมเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์สุโขทัย 1 เมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ฟาง 60 และเมล็ดข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 โดยการล้างและแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปสะเด็ดน้ำและบ่มต่อในผ้าขาวบางอีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส รักษาความชื้นอยู่เสมอโดยการพรมน้ำทุกๆ 6 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกจะสังเกตเห็นตุ่มรากเกิดขึ้น จากนั้นนำไปเพาะในกระบะเพาะกล้าข้าวขนาด 30x60 เซนติเมตร และรดน้ำพอชุ่ม ในการศึกษาจะสุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อนข้าวทุกๆ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ค่าสี (ระบบ CIE; L^* , a^* , b^*) ปริมาณความชื้น สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS^{•+}) (ดัดแปลงจาก Re et al., 1999) และวิธี Ferric reducing ability of power (FRAP) (ดัดแปลงจาก Benzie and Strain, 1996) ปริมาณสารประกอบฟีนอล (ดัดแปลงจาก ประพันธ์ และวันทนี, 2545) และปริมาณคลอโรฟิลล์ (ดัดแปลงจาก Amon, 1948) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS) แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าว

ใบอ่อนข้าวที่ได้จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเพาะในข้อ 1 ที่มีสมบัติดีที่สุด จะถูกสุ่มตรวจเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี ได้แก่ ค่าสีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2005) สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS^{•+} และ FRAP ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว

ใบอ่อนข้าวทั้งสามพันธุ์ที่ได้จากการเพาะตามจำนวนวันที่เหมาะสม ได้ถูกนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มน้ำใบข้าว (ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ข้าวธรรมชาติ จำกัด) ในการศึกษาจะล้างใบอ่อนข้าวทั้งหมดด้วยน้ำสะอาดและผ่านการสกัดและฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีการผลิตในระบบปิดจากสถานประกอบการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวบรรจุขวดแก้วใสฝาเกลียว ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ จะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์คุณภาพด้านสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอล และความสามารถในการจับธาตุโลหะในรูปเฟอร์รัส เฟอร์ริก ทองแดง และสังกะสี (ดัดแปลงจาก Srichairatanakool et al., 2006) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS) แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตจากข้อ 3 ได้นำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้สเกลแบบเส้นตรง (unstructured line scale) ความยาว 15 เซนติเมตร โดยทำการทดสอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคจำนวน 80 คน ตามแบบฟอร์มการทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก จ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS) แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การทดลองในตอนนี้จะศึกษาระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ระยะเวลาในการเก็บรักษา (0, 2, 4 และ 6 เดือน)

และสภาวะในการเก็บรักษา (แสงธรรมชาติและที่บแสง) โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตจากข้อ 3 จะถูกเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 รูปแบบ ได้แก่ ขวดแก้วฝาเกลียวแบบใสและขวดแก้วใสฝาเกลียวที่หุ้มขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่บแสง จากนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 2 เดือน โดยวัดค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบฟอสฟีนอล ความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส เฟอร์ริก ทองแดง และสังกะสี ปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (total plate count) และปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS) แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

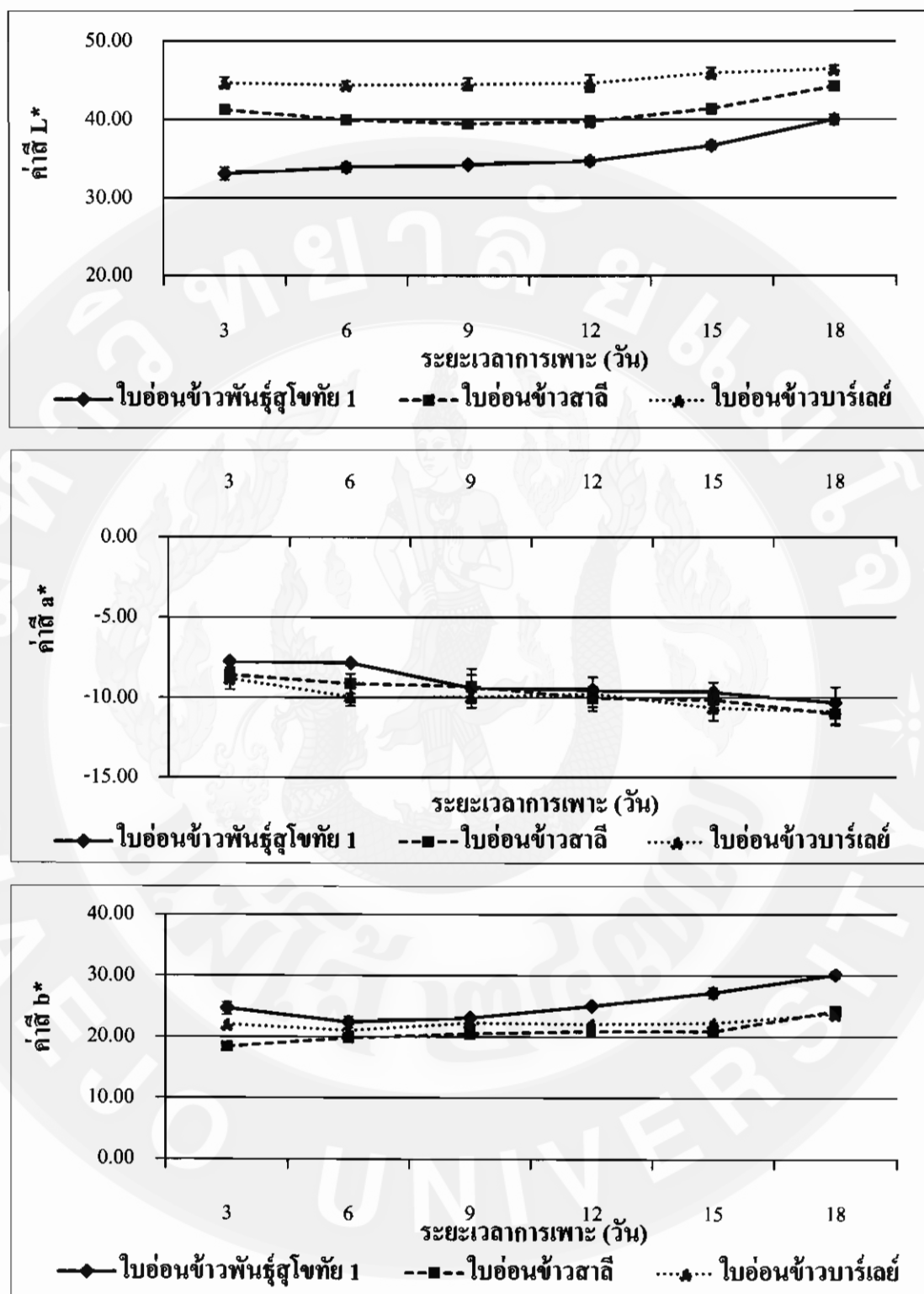
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อน

เมล็ดข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าพันธุ์สุโขทัย 1 ข้าวสาทิพันธุ์ฝาง 60 และข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 ที่เพาะในกระบะปลูก โดยใช้จี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุในการเพาะ พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการงอก เมล็ดข้าวจะผลิตใบอ่อนข้าวขึ้นประมาณ 2-3 ใบ ในการศึกษาได้สุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อนข้าวหลังการเพาะที่อายุ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสี สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล และปริมาณคลอโรฟิลล์

จากการวิเคราะห์ค่าสีในตัวอย่างใบอ่อน โดยใช้ค่าสีในระบบ CIE ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 หมายถึง ค่าความเป็นสีดำ และ 100 หมายถึง ค่าความเป็นสีขาว ค่า $+a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ค่า $-a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว ส่วนค่า $+b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่า $-b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความสว่างของสี (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของใบอ่อนข้าวทั้ง 3 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามช่วงอายุการเพาะที่มากขึ้น โดยค่าความสว่างของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีค่าอยู่ในช่วง 33.14-40.00 ใบอ่อนข้าวสาทิมีค่าอยู่ในช่วง 41.27-44.28 และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์อยู่ในช่วง 44.73-46.46 ส่วนค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ของใบอ่อนทั้ง 3 พันธุ์ พบว่ามีแนวโน้มลดลง โดยในช่วงอายุการเพาะที่ 9-18 ค่าความเป็นสีเขียวของแต่ละพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพ 7) ทั้งนี้ความเป็นสีเขียวดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนข้าวที่ลดลง

จากการศึกษาสมบัติทางชีวเคมีในใบอ่อนข้าว โดยการวิเคราะห์สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล และปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าใบอ่อนข้าวทั้ง 3 พันธุ์ มีแนวโน้มของสมบัติทางชีวเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของอายุการเพาะที่ศึกษา และจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุมากขึ้น (ภาพ 8-10) โดยใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ในช่วงอายุการเพาะที่ 6-9 วัน และใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ในช่วงอายุการเพาะที่ 12-15 วัน มีสมบัติการด้านออกซิเดชันสูงสุด โดยใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ มีสมบัติการด้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ เท่ากับ 25.71-26.68, 27.35-30.00 และ 20.66-20.74 มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ส่วนสมบัติการด้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 45.17-46.05, 38.17-39.15 และ 26.37-27.35 มิลลิกรัมสมมูล



ภาพ 7 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสุโขทัยและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน

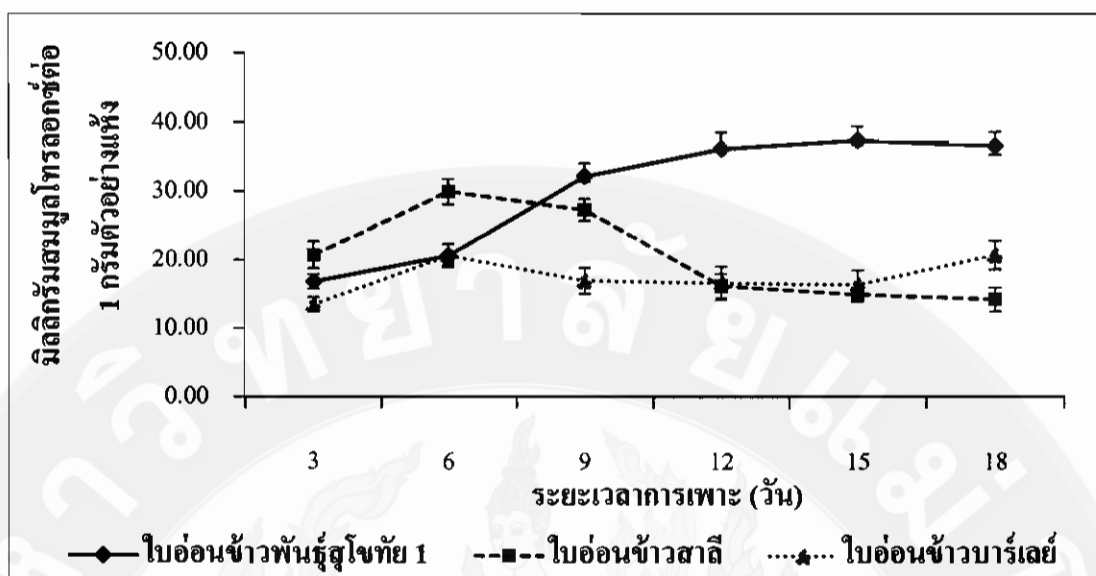
เฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลนั้นมีค่า 14.43-14.47, 12.20-12.61 และ 9.50-11.64 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จากการศึกษาเปรียบเทียบในแต่ละอายุการเพาะของทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงต้นของอายุการเพาะ โดยใบอ่อนข้าวสาลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 6-9 วัน ส่วนใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 9-15 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชจะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พืชจะมีการสร้างและสลายสารประกอบชีวเคมีที่สำคัญหลายชนิด รวมทั้งสารต้านออกซิเดชันที่พืชจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชเมื่อมีอายุมากขึ้น

จากการศึกษาของ Chavan and Kadam (1989) พบว่าเมล็ดของธัญพืช อาทิเช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์และข้าวโพด เมื่อผ่านกระบวนการงอกมาเป็นใบอ่อนจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าในรูปเมล็ดดิบ เช่นเดียวกับ Verma and Dubey (2003) ที่พบว่า ใบอ่อนของข้าวที่อายุ 5-20 วัน จะมีการเพิ่มขึ้นของสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารชีวเคมีที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในพืช ซึ่งระยะการเจริญเติบโตของธัญพืชในช่วงแตกใบอ่อน (jointing stage) จะพบปริมาณสารอาหารที่สะสมสูงกว่าระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ

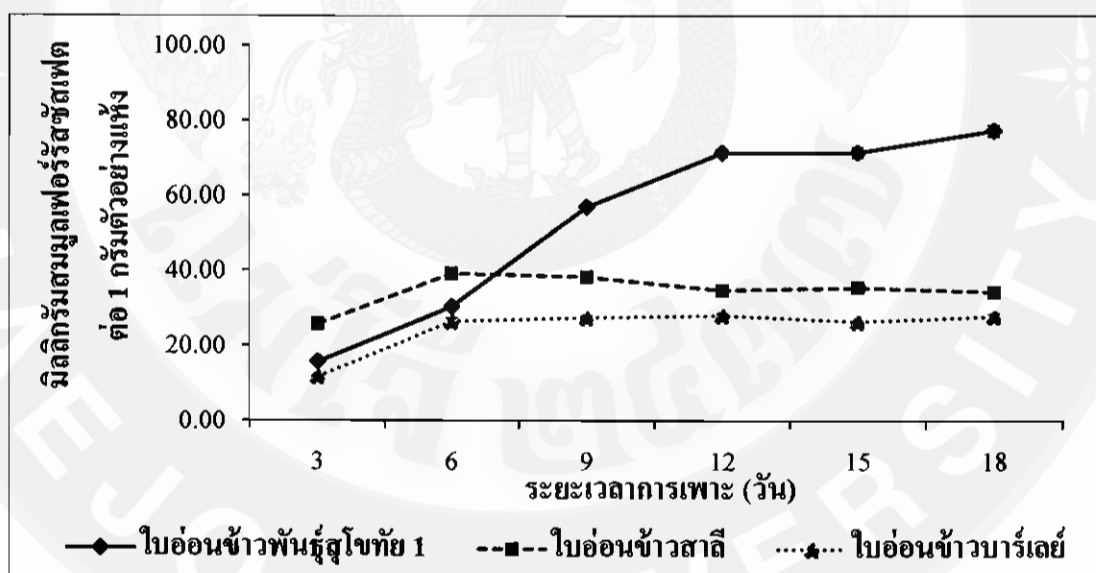
Calzuola et al. (2004) พบว่าต้นกล้าข้าวสาลีในระยะ jointing stage มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ คือ rutin และ quercetin ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ehrbergerova et al. (2009) ที่พบว่าใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ในระยะแตกกอ จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากที่สุด เช่น catalase, superoxide dismutase

Paulickova et al. (2007) ที่พบว่าใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ในช่วงต้นของการเจริญเติบโตจะมีปริมาณพอลิฟีนอล รวมทั้งวิตามินซี โปรตีน กรดอะมิโนและน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในปริมาณที่สูง และจะมีปริมาณลดลงเมื่ออายุการปลูกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Randhir และคณะ (2008) ที่ศึกษาถึงกิจกรรมการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันในเมล็ดบักวีต ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวโอ๊ต ที่ผ่านการงอกเป็นระยะเวลา 0-10 วัน พบว่าในวันที่ 2 ของการงอกจะมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันสูงสุด

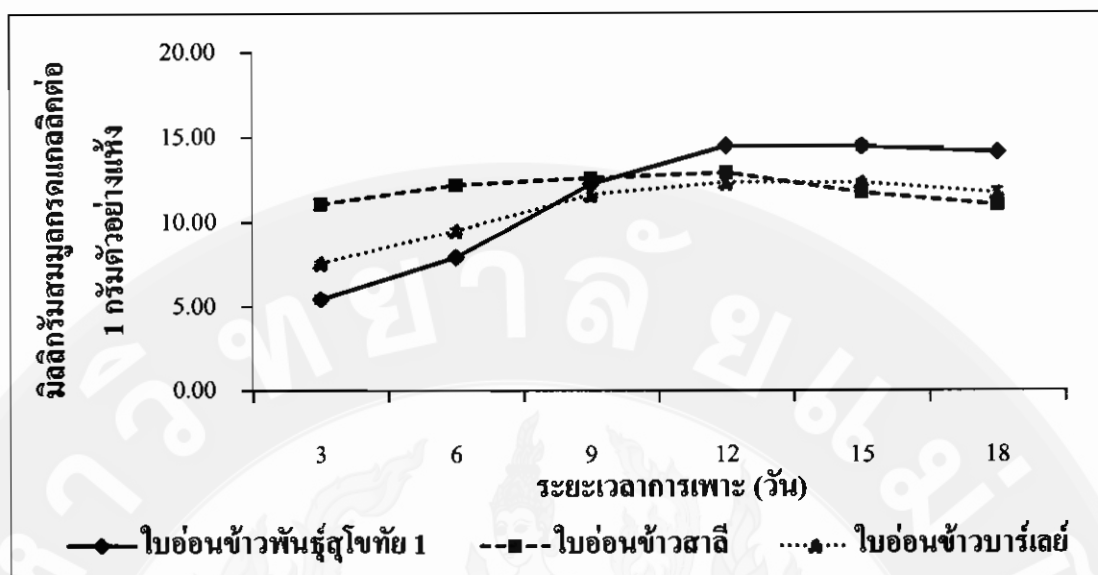
Kulkarni et al. (2006) ได้ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC และ FRAP ของใบอ่อนข้าวสาลีในช่วงอายุการปลูกที่ 6, 7, 8, 10 และ 15 วัน พบว่าช่วงอายุการปลูกที่ 10-15 วัน มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่า ใบอ่อนข้าวสาลีในช่วงอายุ 8-10 วัน จะมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ เหมาะสมที่สุด (Kulkarni et al., 2006)



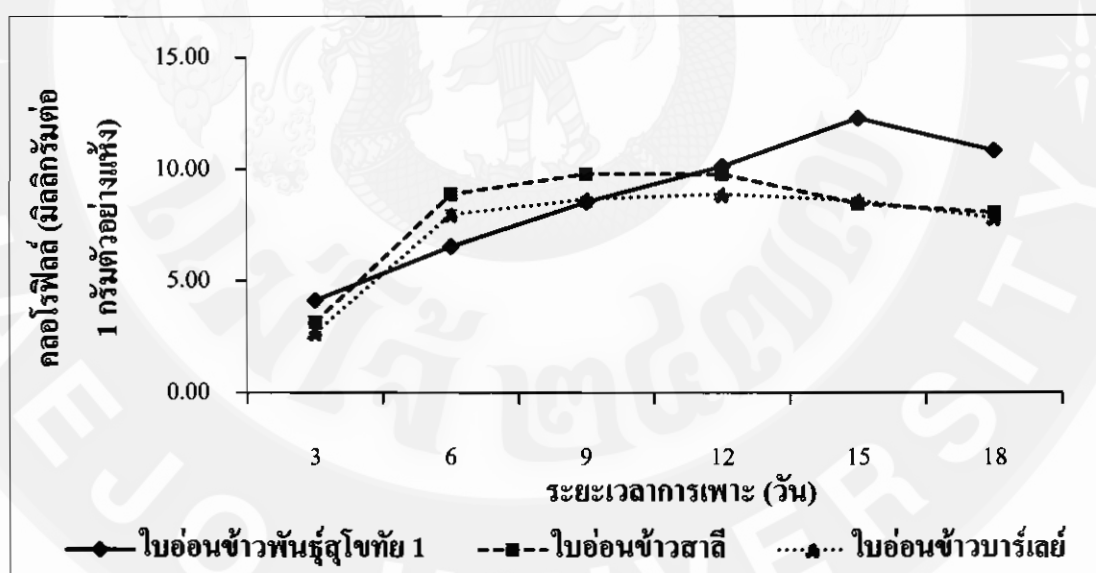
ภาพ 8 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺) ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน



ภาพ 9 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP) ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน



ภาพ 10 ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาละและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน



ภาพ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาละและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 3-18 วัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาละและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของอายุการเพาะที่ศึกษา (3-12 วัน)

และลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุการเพาะเพิ่มขึ้น (15-18 วัน) (ภาพ 11) โดยพบว่าในช่วงวันที่ 9-12 วันของการเพาะ ตัวอย่างใบอ่อนข้าวสาลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.77-9.79 และ 8.67-8.89 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ส่วนใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดที่ 15 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 12.98 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง จากการศึกษาพบว่า เมื่ออายุการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นจากในช่วงที่ระยะข้างต้น สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์จะมีปริมาณลดลง

จากงานวิจัย Cevallos-Casals and Cisneros Zevallos (2010) พบว่าสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในระยะใบอ่อนของพืชจัดเป็นสารชีวเคมีที่พืชใช้เพื่อป้องกันผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมและเป็นสารตั้งต้นเพื่อสร้างเป็นโครงสร้างของต้นพืช เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Randhir et al. (2008) ที่พบว่าช่วงต้นของการเจริญเติบโตของใบอ่อนข้าวโพดจะมีการสังเคราะห์สารประกอบพอลิฟีนอลในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ (soluble form) แต่เมื่อเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตที่มากขึ้น พืชจะดึงสารประกอบพอลิฟีนอลดังกล่าวไปเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสร้างลำต้นและเนื้อเยื่อ

นอกจากนี้ในรายงานของ นนทิกา และคณะ (2552) ที่ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนข้าวงอกพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์จะมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ดังกล่าวเป็นผลจากการสังเคราะห์สารเพื่อสร้างเป็นส่วนประกอบของต้นในระยะอื่นต่อไป เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Panda et al. (2003) ที่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะมีค่าลดลงเมื่ออายุการปลูกเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วใบพืชที่เป็นใบอ่อนจะมีการสังเคราะห์สารคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงชีวิตสุดท้ายของเซลล์และการสังเคราะห์แสงจะลดลงเมื่อใบเสื่อมสภาพหรือพืชเริ่มเกิดกระบวนการวายส่งผลให้ใบพืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้เพราะไม่มีสารคลอโรฟิลล์ที่จะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงทำให้สีเขียวของพืชลดลง (จริงแท้, 2549)

จากผลการทดลองในตอนนี้ได้คัดเลือกอายุการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อนที่เหมาะสมของข้าวแต่ละพันธุ์ ซึ่งพบว่าใบอ่อนข้าวสาลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ มีอายุการเพาะกล้าข้าวที่เหมาะสมที่ 9 วัน ส่วนใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 คือ ที่ 15 วัน ทั้งนี้อายุการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อนดังกล่าวจะนำไปศึกษาในตอนต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าว

จากการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่อายุการเพาะ 9 วัน และใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ที่อายุการเพาะ 15 วัน พบว่าใบอ่อนข้าวทั้ง 3 พันธุ์ มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากที่สุดกว่าร้อยละ 70 โดยใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีปริมาณน้ำที่แสดงผลในรูปความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าสูงกว่าใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ($p < 0.05$) โดยใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 87.41 และ 88.27 ตามลำดับ ส่วนใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 74.41 องค์ประกอบที่พบรองลงมา คือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้าและไขมัน ตามลำดับ โดยใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าสูงกว่าใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ($p < 0.05$) ใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ ร้อยละ 17.28, 8.70 และ 7.71 ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.11, 2.83 และ 2.92 ตามลำดับ ปริมาณเถ้า ร้อยละ 3.07, 0.66 และ 0.95 ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบที่พบน้อยที่สุด คือ ไขมัน ซึ่งพบว่าใบอ่อนข้าวสาทิมีปริมาณไขมันมากกว่าใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ร้อยละ 0.43, 0.18 และ 0.17 ตามลำดับ (ตาราง 6) จากการศึกษาของฉฐธิดา (2554) ที่ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 พบว่าองค์ประกอบที่พบมากที่สุด คือ ปริมาณความชื้น และองค์ประกอบที่พบน้อยที่สุด คือ ไขมัน เช่นเดียวกับผลการศึกษาจาก New Zealand Institute for Plant and Food Research ที่วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พบว่า มีองค์ประกอบของความชื้นมากที่สุด รองลงมา คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบของวิตามิน แร่ธาตุ รวมทั้งกรดอะมิโนต่างๆ มากมาย (Lister, 2002)

ตาราง 6 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลิและไบอ่อนข้าวบาร์เลย์

องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	ไบอ่อนข้าว		
	ข้าวพันธุ์สุโขทัย 1	ข้าวสาลิ	ข้าวบาร์เลย์
ความชื้น (ร้อยละ)	74.41 ± 0.04 ^b	87.41 ± 0.14 ^a	88.27 ± 0.23 ^a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	17.28 ± 0.17 ^a	8.70 ± 0.33 ^b	7.71 ± 0.32 ^b
โปรตีน (ร้อยละ)	5.11 ± 0.17 ^a	2.83 ± 0.13 ^b	2.92 ± 0.13 ^b
เถ้า (ร้อยละ)	3.07 ± 0.11 ^a	0.66 ± 0.11 ^c	0.95 ± 0.02 ^b
ไขมัน (ร้อยละ)	0.18 ± 0.05 ^b	0.43 ± 0.08 ^a	0.17 ± 0.02 ^b

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการวัดค่าสีของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลิและไบอ่อนข้าวบาร์เลย์พบว่ามีค่าความสว่างของสี (L*) เท่ากับ 48.74, 40.79 และ 43.24 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) มีค่าเท่ากับ -9.84, -10.64 และ -11.47 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) มีค่าเท่ากับ 38.63, 19.89 และ 22.78 ตามลำดับ (ตาราง 7)

ตาราง 7 ค่าสีของวัตถุดิบไบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ไบอ่อนข้าวสาลิและไบอ่อนข้าวบาร์เลย์

ค่าสี	ไบอ่อนข้าว		
	ข้าวพันธุ์สุโขทัย 1	ข้าวสาลิ	ข้าวบาร์เลย์
L*	48.74 ± 0.16 ^a	40.79 ± 1.29 ^c	43.24 ± 0.50 ^b
a*	-9.84 ± 0.39 ^b	-10.64 ± 1.11 ^a	-11.47 ± 0.39 ^a
b*	38.63 ± 0.46 ^a	19.89 ± 1.07 ^c	22.78 ± 0.92 ^b

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการศึกษาสมบัติทางชีวเคมี โดยวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ และวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลและปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าตัวอย่างใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ (ตาราง 3) ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่เมล็ดของข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีเชื้อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีแดงซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และลักษณะดังกล่าวได้ส่งทอดมาสู่ลักษณะของใบอ่อนของข้าวพันธุ์สุโขทัย 1

ตาราง 8 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลและปริมาณคลอโรฟิลล์ของวัตถุดิบใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์

คุณสมบัติทางชีวเคมี*	ใบอ่อนข้าว		
	ข้าวพันธุ์สุโขทัย 1	ข้าวสาเลี	ข้าวบาร์เลย์
สมบัติการต้านออกซิเดชัน	23.85 ± 0.83 ^a	24.19 ± 1.71 ^a	20.62 ± 1.10 ^b
วิธีวิเคราะห์ ABTS ⁺ (มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์)			
สมบัติการต้านออกซิเดชัน	36.70 ± 0.32 ^a	33.56 ± 0.52 ^b	27.21 ± 0.60 ^c
วิธีวิเคราะห์ FRAP (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต)			
ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล	11.81 ± 0.11 ^c	12.59 ± 0.09 ^b	13.41 ± 0.11 ^a
(มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก)			
ปริมาณคลอโรฟิลล์	8.08 ± 0.00 ^a	8.02 ± 0.01 ^b	7.19 ± 0.01 ^c
(มิลลิกรัม)			

- หมายเหตุ
- *ในตัวอย่าง 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง)
 - ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย (p<0.05)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว

จากการศึกษาอายุการเพาะที่เหมาะสมของใบอ่อนข้าวเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ คือ ใบอ่อนข้าวสาลิพันธุ์ฝาง 60 ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 และใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ได้ทำการคัดเลือกอายุการเพาะกล้าข้าวเพื่อเก็บเกี่ยวใบอ่อนที่ให้สมบัติของใบข้าวดีที่สุด คือ ที่ 9, 9 และ 15 วัน ตามลำดับ ซึ่งจากการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวบรรจุขวด โดยผ่านกรรมวิธีการสกัดและฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายในระบบปิดของสถานประกอบการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะบรรจุลงในขวดแก้วใสฝาเกลียว ปริมาตรบรรจุ 200 มิลลิลิตรต่อขวด จากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว

จากการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวพบว่ามีค่าความสว่างของสี (L^*) มากกว่าตัวอย่างใบอ่อนข้าวสด ส่วนค่าความเป็นเขียว ($-a^*$) ที่พบในใบอ่อนข้าวสดเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปมาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวพบว่ามีค่าเปลี่ยนเป็นสีแดง ($+a^*$) และในส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงจากตัวอย่างใบอ่อนข้าวสด โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาลิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ มีค่าความสว่างของสี (L^*) เท่ากับ 95.21, 95.18 และ 79.39 ตามลำดับ ในส่วนค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) มีค่าเท่ากับ 7.06, 7.44 และ 9.57 ตามลำดับ และสำหรับค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่ามีค่าเท่ากับ 16.40, 16.55 และ 22.53 ตามลำดับ (ตาราง 9)

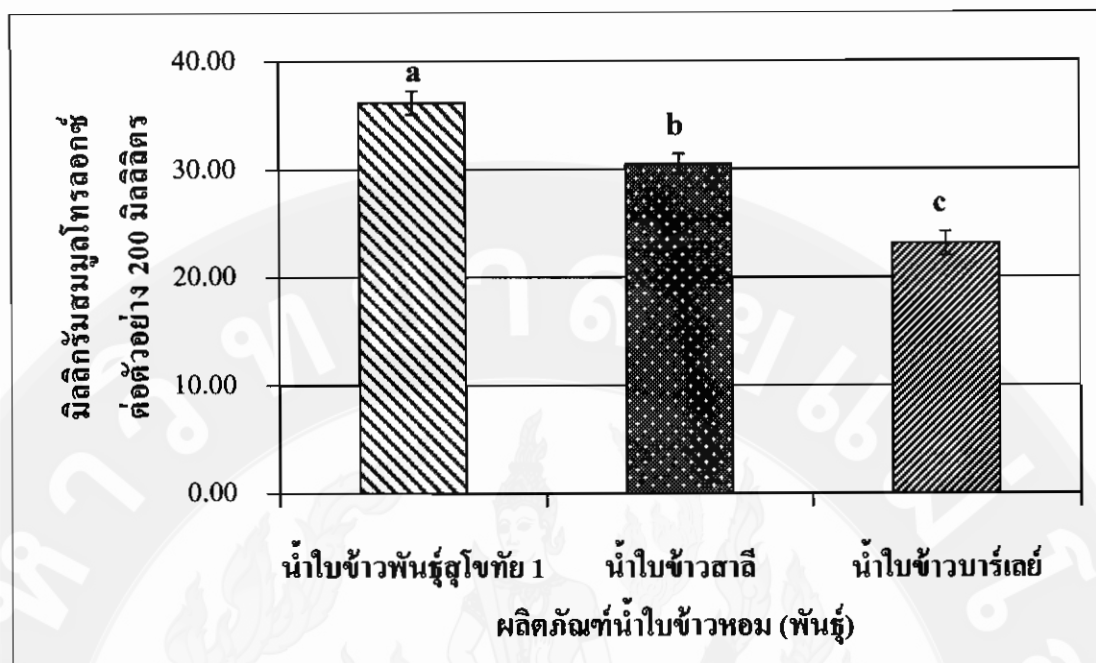
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากใบข้าวสดที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการให้ความร้อนในการผลิต ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติทางชีวเคมีดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Katsube et al. (2009) ที่กล่าวว่ากระบวนการในการผลิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระในวัตถุดิบอาหารจากพืช นอกจากนี้ในการศึกษาของ Ananingsih et al. (2011) พบว่าปริมาณสาร catechin ในผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นข้าวเขียวสำเร็จรูปพร้อมดื่มจะมีการสูญเสียไปในระหว่างการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน (sterilization) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะสาร catechin มีคุณสมบัติที่ไวต่อความร้อน ส่งผลให้เกิดการสลายตัว (degradation) และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสาร (isomerisation) ไปในระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษาได้ (Ito et al., 2003; Bazinet et al., 2010; Ananingsih et al., 2011) จากรายงานการศึกษาพบว่า ร้อยละ 50 ของสารประกอบฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นข้าวเขียว

ตาราง 9 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์

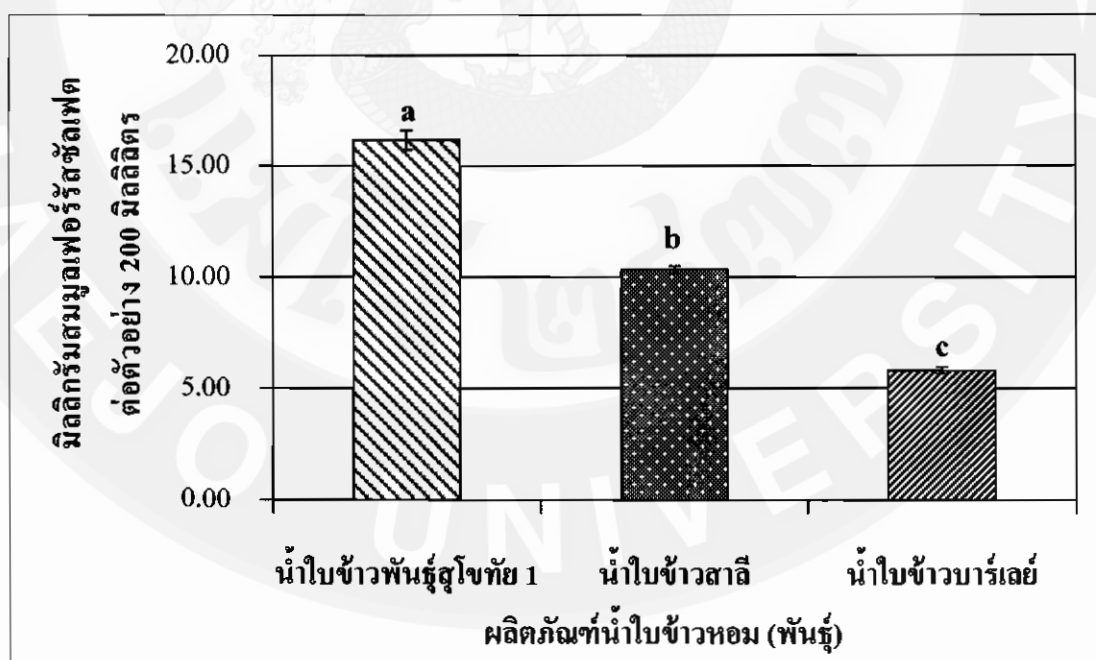
ค่าสี	ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว		
	ใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1	ใบอ่อนข้าวสาเล	ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์
L^*	95.21 ± 0.04^a	95.18 ± 0.06^a	79.39 ± 0.07^b
a^*	7.06 ± 0.19^b	7.44 ± 0.20^b	9.57 ± 0.35^a
b^*	16.40 ± 0.18^b	16.55 ± 0.18^b	22.53 ± 0.12^a

หมายเหตุ - ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=3$)

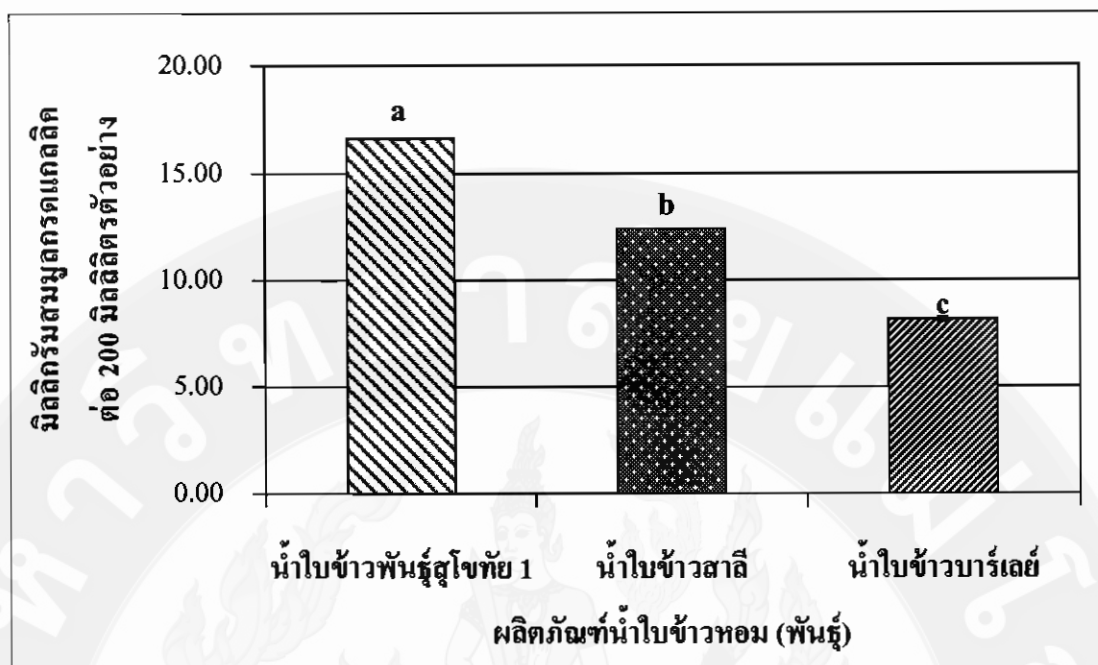
สำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล เนื่องจากปฏิกิริยาอิพิเมอไรเซชัน (epimerization) ที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อนเช่นกัน (Chen et al., 2001; Kim et al., 2006) อย่างไรก็ตามยังพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตยังคงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบพอลิฟีนอลหลงเหลืออยู่โดยพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสาเลและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีค่าสมบัติการต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ เท่ากับ 36.20, 30.51 และ 23.14 มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 12) ส่วนสมบัติการต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 15.99, 10.26 และ 5.65 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 13) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลมีค่าเท่ากับ 16.61, 12.45 และ 8.17 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 14) และเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในแต่ละพันธุ์พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีสมบัติทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์หลงเหลือมากที่สุด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในวัตถุดิบใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ที่มีปริมาณสูงกว่าตัวอย่าง



ภาพ 12 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ (200 มิลลิตร)



ภาพ 13 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ (200 มิลลิตร)



ภาพ 14 ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ (200 มิลลิลิตร)

ใบอ่อนข้าวสาเลิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ จึงส่งผลให้เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวแล้ว ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ยังคงมีสมบัติทางชีวเคมีมากที่สุด

ในระหว่างกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ใช้ความร้อนในการสกัดนั้น ความร้อนจากกระบวนการผลิตจะส่งผลให้ผนังเซลล์พืชแตกสลาย องค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบพอลิฟีนอลที่ละลายน้ำได้ในเซลล์พืชเกิดการสลายตัว (Scalzo et al., 2004; Whitehead, 2005; Randhir et al., 2008; Harbourne et al., 2011) ส่งผลให้สมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลที่สกัดออกมาในผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมากขึ้น จากการศึกษาของ Hunter and Fletcher (2002) พบว่าในกระบวนการผลิตที่วัตถุดิบมีการสัมผัสกับน้ำในระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อนนั้น จะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มที่ละลายน้ำสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Turkmen et al. (2005) ที่ได้ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปผักใบเขียว (green vegetables) โดยการนึ่งและต้ม พบว่ากระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกในผักเปลี่ยนโครงสร้างมาอยู่ในรูปที่เป็นอิสระ ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH[•] ที่สกัด

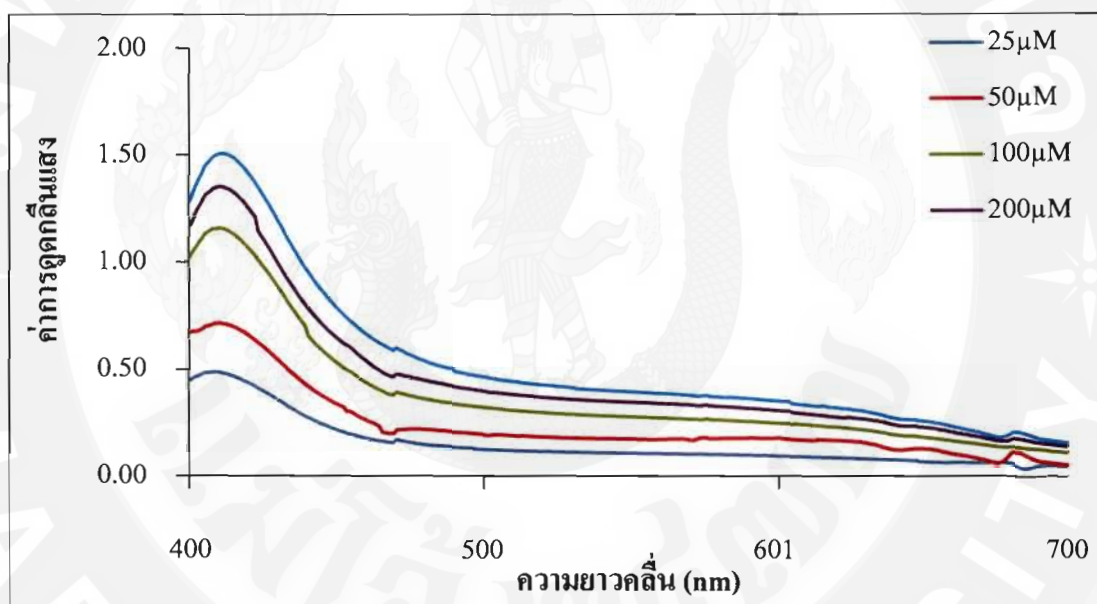
ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นกระบวนการให้ความร้อนในการผลิตส่งผลให้เกิดเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกที่มีการสลายตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซินนามेट (cinnamates) (Scalzo et al., 2004) และยังส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์ (non-enzymatic browning) หรือผลิตภัณฑ์เมลลาร์ดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น oxygen scavenging activities (Nicoli et al., 1999; Manzocco et al., 2001) นอกจากนี้ความร้อนยังส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำส้มสัคคิ์เข้มข้นที่เกิดจากการสลายตัวของถุงน้ำส้ม (juice sac membrane) ในกลีบส้มได้ด้วย (Manthey and Grohmann, 2001) สำหรับในการศึกษาของ Choi และคณะ (2006) พบว่าอิทธิพลของความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่ให้แก่เห็ดหอมสด (shiitake mushroom) เป็นเวลา 15-30 นาที จะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าตัวอย่างเห็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่นเดียวกับ Shobana and Naidu (2000) ที่ศึกษาการสกัดเครื่องเทศอินเดียที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าสารสกัดจากเครื่องเทศดังกล่าวยังคงสมบัติการต้านออกซิเดชันและทนต่อความร้อนในการแปรรูป ซึ่งในระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนที่ทำให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระในรูปอิสระ (free form) ออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้คุณสมบัติต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลที่พบสูงขึ้นตามไปด้วย (Pinelo et al., 2005; Spigno and De Faveri, 2007)

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ในการจับธาตุโลหะและลดอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาช่วยบำบัดหรือบรรเทาภาวะธาตุเหล็กและอนุมูลอิสระเกินในผู้ป่วยที่มีภาวะเหล็กเกิน เนื่องจากภาวะเหล็กเกินเป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยในผู้ป่วยธาลัสซีเมียอันมีสาเหตุจากความผิดปกติของเม็ดเลือดแดงที่แตกง่ายและมีอายุสั้นกว่าปกติ ดังนั้นผู้ป่วยจึงต้องได้รับการถ่ายเลือดจากภายนอกเพิ่มขึ้นจากการรักษาอาการของโรคโลหิตจาง รวมทั้งการที่ร่างกายมีการดูดซึมธาตุเหล็กจากทางเดินอาหารที่ผิดปกติซึ่งธาตุเหล็กที่เกินความจำเป็นจะทำให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลเสียต่อระบบการทำงานของอวัยวะภายในและเกิดอาการแทรกซ้อนอื่นๆ ตามมา (อังฉรา และ ธนัชชัย, 2550) รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระที่รุนแรงและเป็นอันตรายต่อเซลล์ร่างกายได้ (Prabhu, 2009) ในปัจจุบันการดูแลรักษาภาวะเหล็กเกินจะกระทำโดยการให้ยาขับเหล็ก เพื่อขับเหล็กออกจากร่างกายโดยใช้สารจับเหล็ก (iron chelator) โดยยาจะเข้าจับกับธาตุเหล็กในร่างกายและขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ (จิรัญญา, 2550) ซึ่งคุณสมบัติของสารจับเหล็กที่ควรจะมีพัฒนาต่อยอด คือ สามารถให้ทางปากได้สามารถดูดซึมแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อได้ดีและสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเหล็กและสารจับเหล็กสามารถ

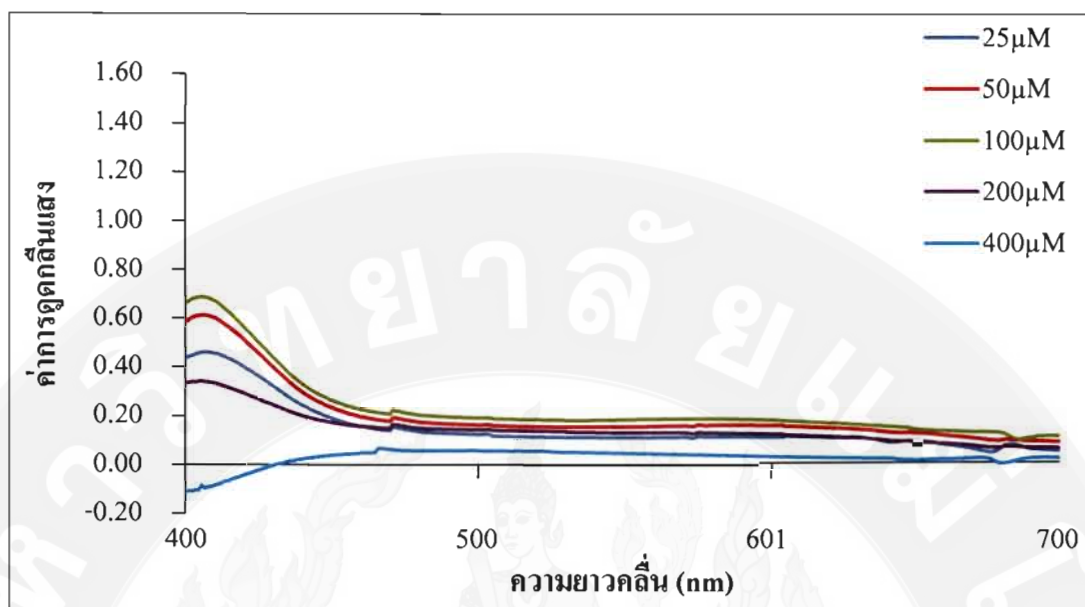
ถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ง่าย (ชนกร, 2550) และที่สำคัญควรมีความจำเพาะในการจับกับธาตุเหล็กและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของธาตุทองแดงและสังกะสีในร่างกาย แต่พบว่าการรักษาโดยให้ยาขับเหล็กมักจะมีผลข้างเคียงจากการใช้ยาในระยะยาว เช่น ผลต่อการมองเห็น การได้ยิน ผลต่อระบบภูมิคุ้มกันต่อการเจริญเติบโตและความผิดปกติของกระดูก เป็นต้น (กิตติ, 2549; วิพร, 2552) ดังนั้นในการทดลองจึงได้ทำการศึกษาถึงความจำเพาะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวต่อความสามารถในการจับธาตุโลหะ โดยเฉพาะธาตุเหล็ก แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำใบข้าวและธาตุเหล็ก ซึ่งความสามารถในการจับอออนของธาตุเหล็กจะมีความสัมพันธ์ถึงความสามารถในการลดระดับธาตุเหล็กที่เกินในร่างกายได้ ในการวิเคราะห์จะนำสารสกัดจากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่ได้จากการผลิตไปทำปฏิกิริยากับอออนของธาตุโลหะ (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จากผลการวิเคราะห์พบว่าสารสกัดจากเครื่องดื่มน้ำใบข้าวสามารถจับกับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก แล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรได้ ดังแสดงในภาพ 15 และ 16 ตามลำดับ และเมื่อจับกับอออนของธาตุทองแดงและสังกะสี แล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตรได้ ดังแสดงในภาพ ภาพ 17 และ 18 ตามลำดับ

จากการศึกษาความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุโลหะทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้นสุดท้ายของสารผสมที่ความเข้มข้น 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ เป็นระยะเวลา 0-30 นาที โดยเลือกค่าความยาวคลื่นจากสเปกตรัมที่ศึกษา โดยที่อออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริกใช้ความยาวคลื่นที่ 415 นาโนเมตร ส่วนอออนของธาตุทองแดงและสังกะสีใช้ความยาวคลื่นที่ 424 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์พบว่าสารสกัดจากเครื่องดื่มน้ำใบข้าวสามารถจับกับอออนธาตุโลหะในรูปเฟอร์รัส เฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสีได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 5 นาที แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีความคงตัวอย่างน้อย 30 นาที ทั้งนี้ค่าการดูดกลืนของที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารสกัดจากเครื่องดื่มน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสจะให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด โดยมีลักษณะที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าความเข้มข้นของเฟอร์รัสอออน (ภาพ 19) สำหรับความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริกนั้น พบว่าเมื่อใช้สารละลายเหล็กเฟอร์ริกอออนที่ความเข้มข้นเกิน 200 ไมโครโมลาร์ สารสกัดจากเครื่องดื่มน้ำใบข้าวไม่สามารถจับกับอออนดังกล่าวได้ (ภาพ 20) ส่วนความสามารถในการจับกับธาตุทองแดงและสังกะสีที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตรนั้นพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าของธาตุเหล็กทั้งในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์

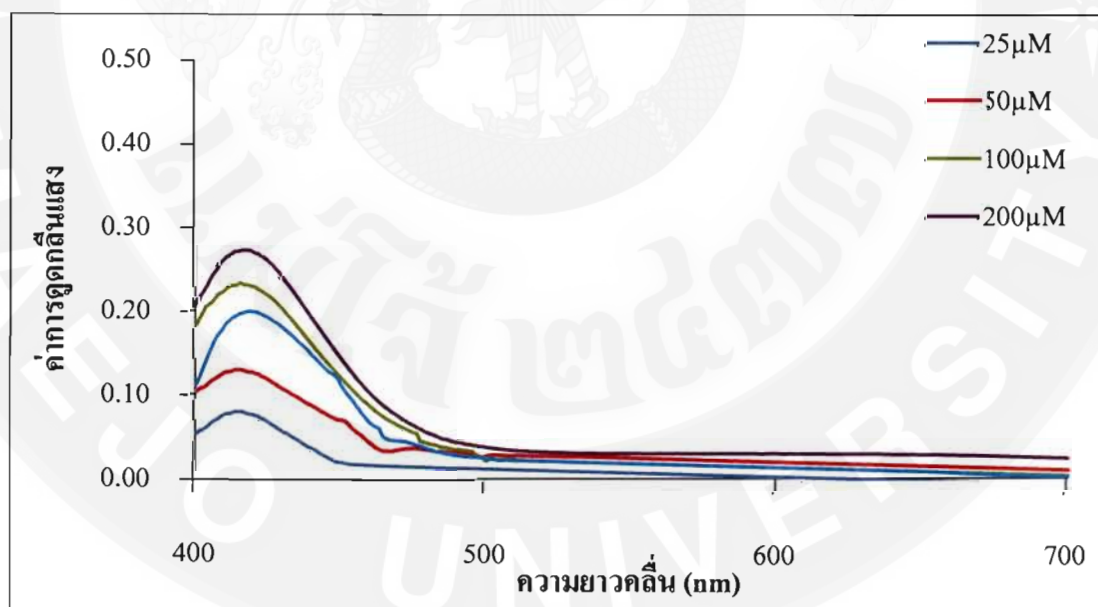
ริกฮิออน (ภาพ 21-22) หรืออีกนัยหนึ่ง คือ สารสกัดจากเครื่องคั้นน้ำใบข้าวมีความจำเพาะในการจับฮิออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ได้ดีกว่าในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ทองแดง (Cu^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+}) ตามลำดับ และการจับกันระหว่างสารสกัดน้ำใบข้าวกับฮิออนของธาตุโลหะสามารถเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 5 นาที และคงที่เป็นเวลานานอย่างน้อย 30 นาที ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ศึกษาจากกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมีบทบาทสำคัญในการลดระดับเหล็กเกินในร่างกาย โดยสามารถตรึงหรือจับฮิออนของธาตุเหล็กที่เกินได้อย่างมีประสิทธิภาพในลักษณะที่ขึ้นกับความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งความสามารถและศักยภาพดังกล่าวของสารสกัดจากเครื่องคั้นน้ำใบข้าวมีลักษณะคุณสมบัติทางชีวเคมีและกลไกของปฏิกิริยาล้ำกับยาขับเหล็กสังเคราะห์ที่ใช้ในการรักษาผู้มีภาวะเหล็กเกิน



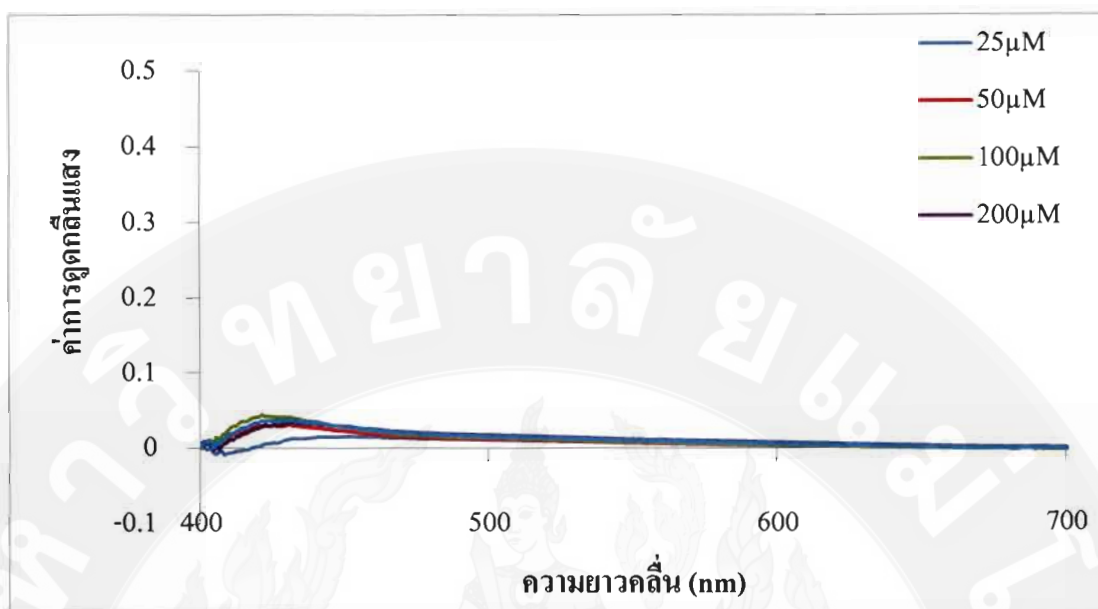
ภาพ 15 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับฮิออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโคร โมลาร์)



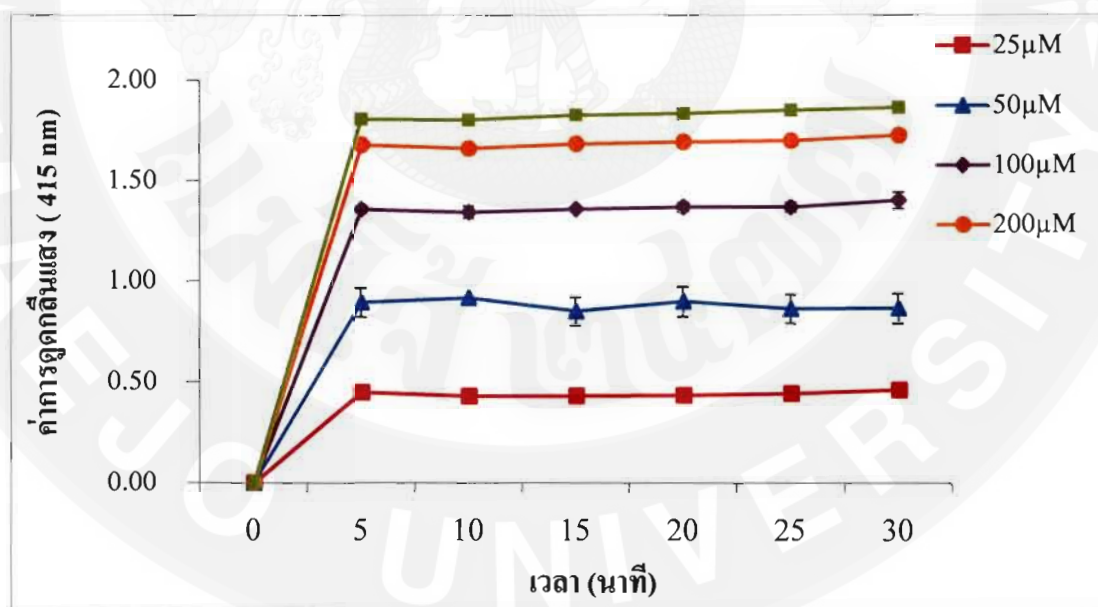
ภาพ 16 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



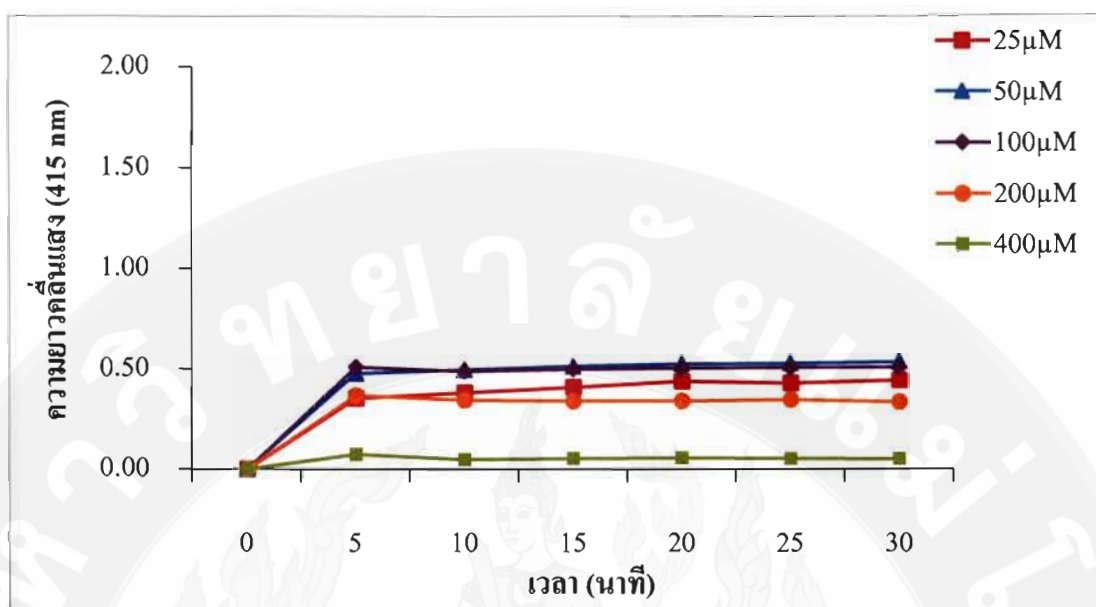
ภาพ 17 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



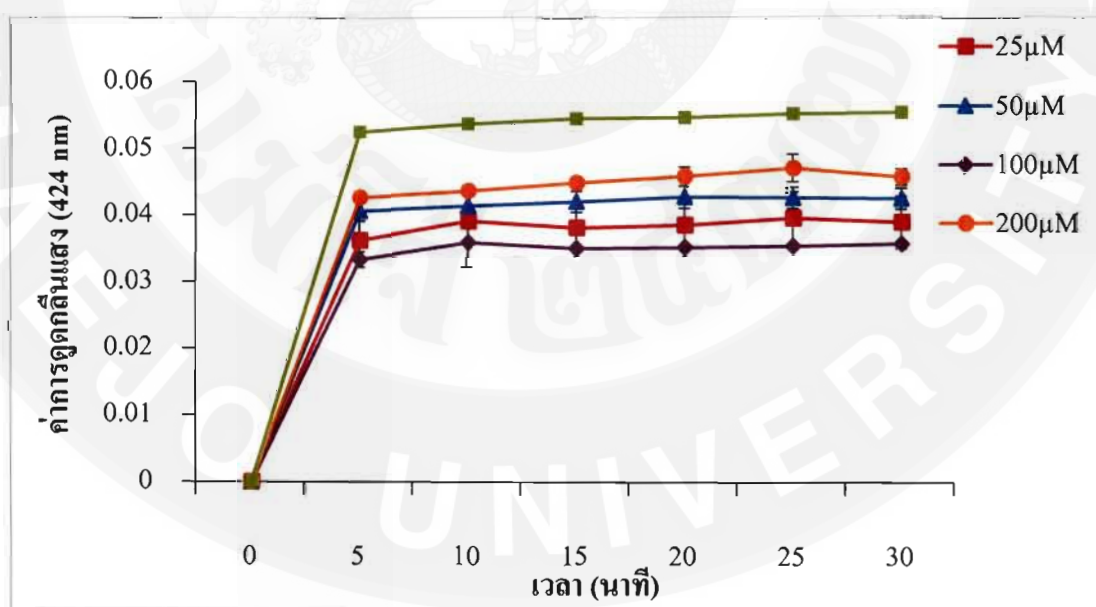
ภาพ 18 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



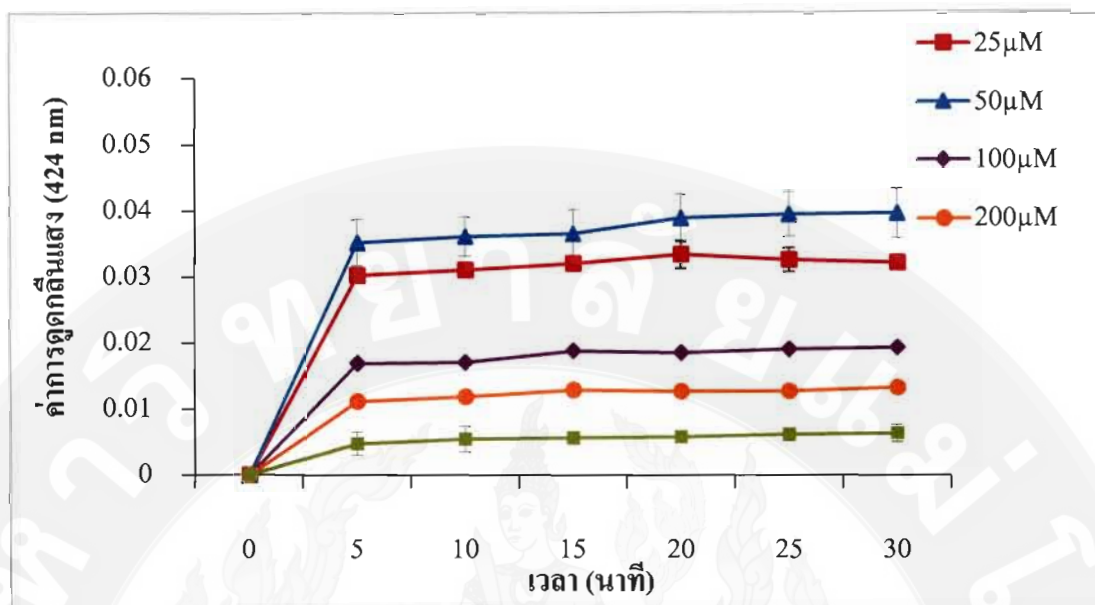
ภาพ 19 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที



ภาพ 20 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที

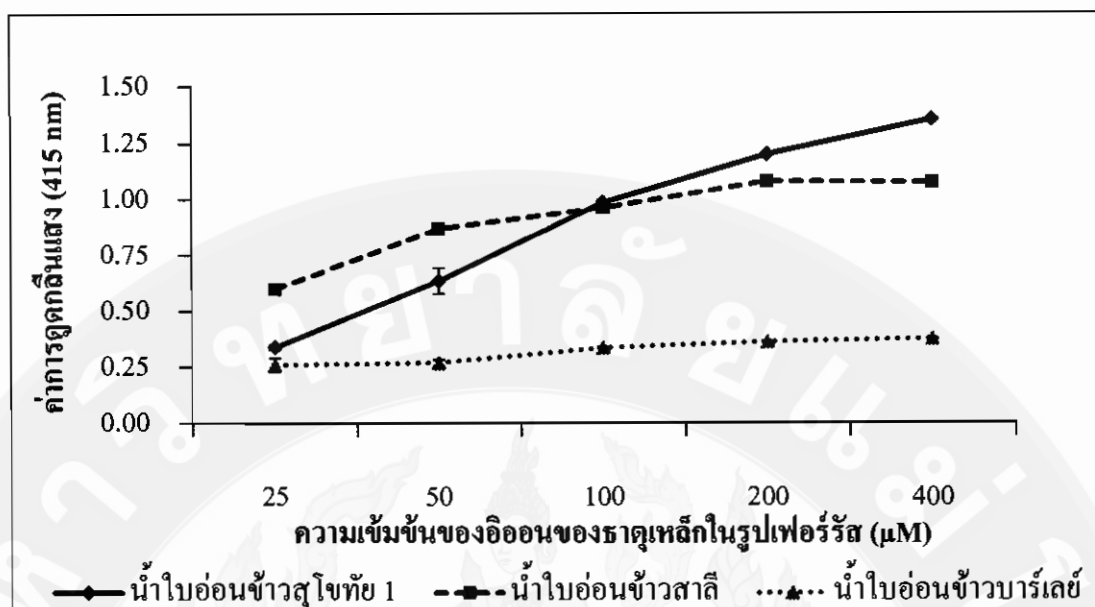


ภาพ 21 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที

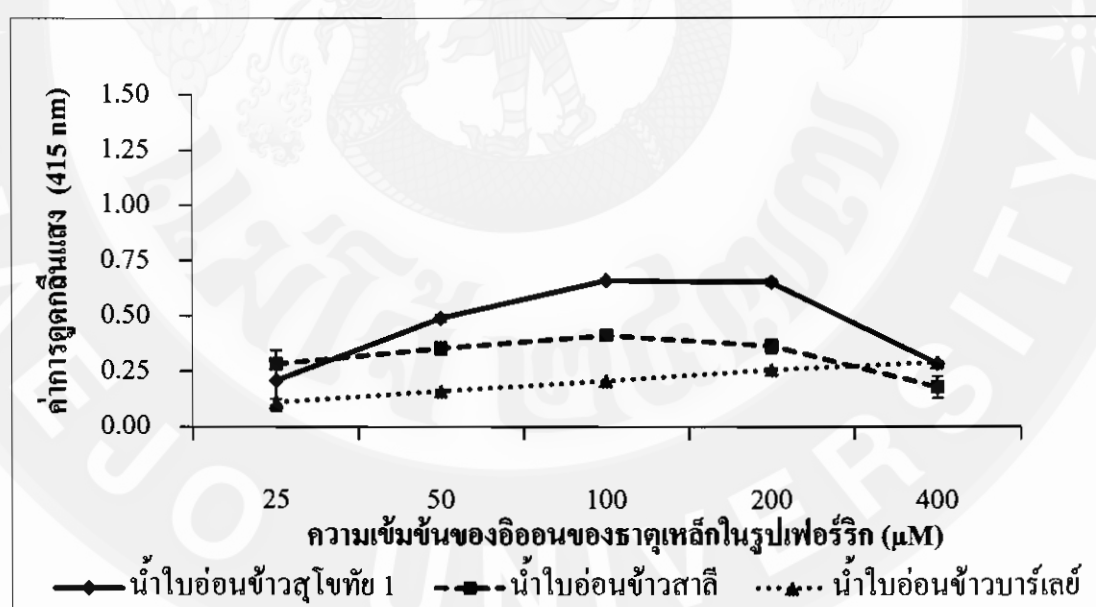


ภาพ 22 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที

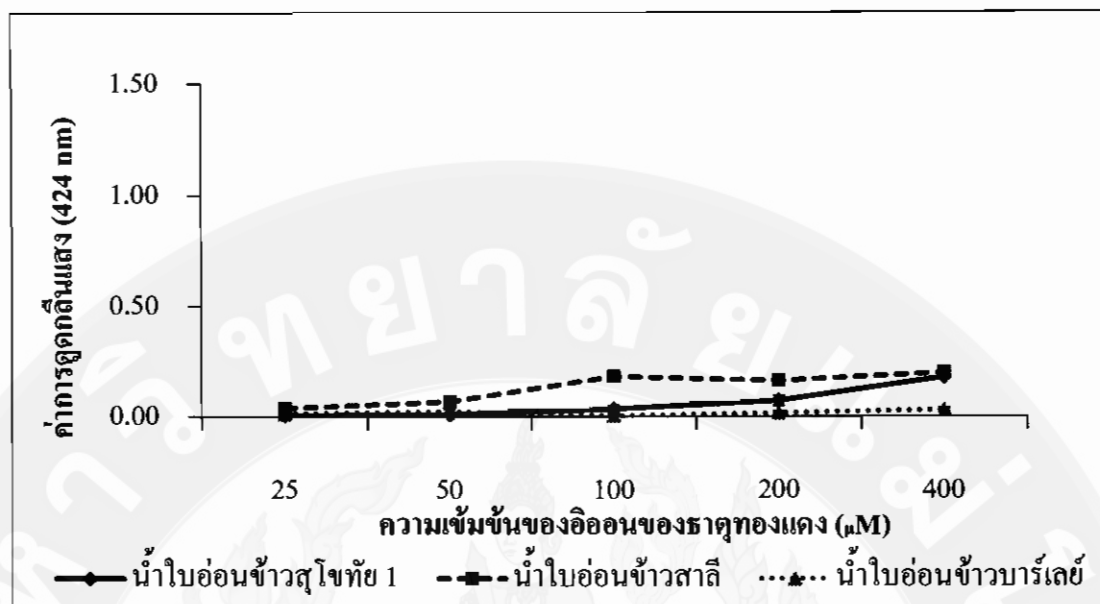
จากการศึกษาความสามารถในการจับไอออนของสารสกัดน้ำใบข้าว โดยการนำสารสกัดน้ำใบข้าวมาทดสอบกับไอออนของธาตุโลหะที่ความเข้มข้นต่างๆ (25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์) พบว่าสารสกัดจากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวมีความสามารถในการจับกับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่ใช้ (ภาพ 23) สำหรับส่วนความสามารถในการจับกับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริกจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ค่าความเข้มข้นของธาตุเหล็กเท่ากับ 100 ไมโครโมลาร์ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของธาตุเหล็กขึ้นไปเป็น 200 ไมโครโมลาร์ จะพบว่าความสามารถในการจับธาตุเหล็กของสารสกัดน้ำใบข้าวลดน้อยลง (ภาพ 24) สำหรับการจับกับธาตุทองแดงและสังกะสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว พบว่ามีความสามารถในการจับค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถในการจับกับธาตุเหล็ก (ภาพ 25 และ 26) ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 มีความสามารถในการจับกับไอออนของธาตุเหล็กทั้งในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) และเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ได้ดีกว่าสารสกัดจากเครื่องดื่มน้ำใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ และมีความสามารถในการจับกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+}) ที่น้อย โดยความสามารถในการจับไอออนของธาตุเหล็กที่ดีกว่า อาจเป็นผลมาจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่เกิดจากสมบัติการคัดเลือกของสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีคุณสมบัติ



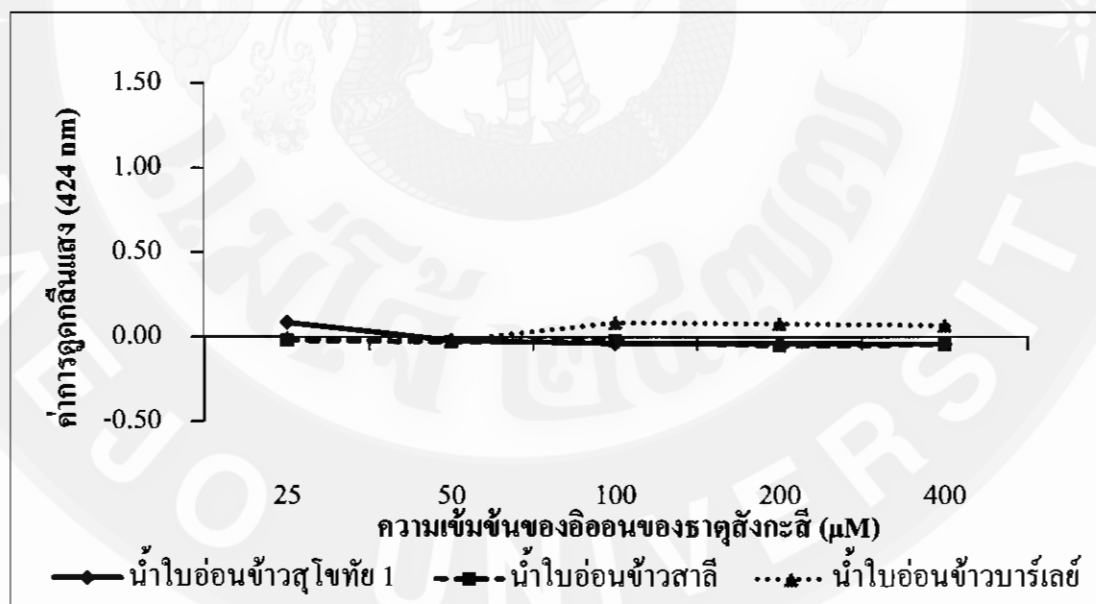
ภาพ 23 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



ภาพ 24 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



ภาพ 25 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



ภาพ 26 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)

ในการรวมตัวกับโลหะ (chelating agent) เนื่องจากมีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenols อยู่ในโมเลกุล ซึ่งจะทำหน้าที่จับหรือฟอร์มพันธะโคออร์ดิเนตกับโลหะหนัก เช่น เหล็กและทองแดง ได้ดี จากการศึกษาของ Zijp et al. (2000) พบว่าสารประกอบพอลิฟีนอลมีคุณสมบัติในจับและยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็กได้ดี จากผลการศึกษาของ Mladcnka et al. (2011) พบว่าสารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิฟีนอลมีคุณสมบัติในการจับเหล็กและสามารถช่วยป้องกันการถูกทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อร่างกายจากอนุมูลอิสระและออกซิเจนอิสระ (reactive oxygen species, ROS) ได้ ซึ่งสารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในพืช เช่น รูติน (rutin) catechin (catechin) เควอร์ซีติน (quercetin) ซึ่งเป็นสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่เกิดจากขบวนการชีวสังเคราะห์ในพืชมีคุณสมบัติในการจับธาตุเหล็กได้เช่นกัน (Duthie, et al., 2000; Prior and Cao, 2000; Khokhar and Apenten, 2003; Omololu, et al., 2011) สมเดชและคณะ (2546) ได้ศึกษาและพบว่าสารสกัดจากชาเขียวสามารถช่วยป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระที่มีธาตุเหล็กเป็นตัวเหนี่ยวนำได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสารสกัดจากชาเขียว และการให้สารสกัดชาเขียวสามารถช่วยลดการดูดซึมธาตุเหล็กชนิด non-heme ที่อยู่ในรูปสารละลายในพลาสมาของหนูทดลองได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Samman et al. (2001) ที่พบว่าสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีอยู่ในชาเขียวและสารสกัดจากโรสแมรี่มีคุณสมบัติในการช่วยลดการดูดซึมธาตุเหล็กในรูปแบบ non-heme ได้เช่นกัน จากผลการทดลองในหลอดทดลองของการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบพอลิฟีนอล ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบอ่อนข้าวมีความสามารถในการจับกับธาตุเหล็กและช่วยลดอนุมูลอิสระได้ดี ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบอ่อนข้าวจึงอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นยาขับเหล็กชนิดธรรมชาติที่สามารถช่วยลดระดับธาตุเหล็กและอนุมูลอิสระที่เกินในผู้ป่วยภาวะเหล็กเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว

ตัวอย่างใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิพันธุ์ฝาง 60 และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 60 ที่เก็บเกี่ยวตามระยะเวลาการเพาะที่เหมาะสม จะถูกนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว โดยการสกัดและฆ่าเชื้อด้วยความร้อนตามกรรมวิธีการผลิตของผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ที่ได้จะบรรจุลงในขวดแก้วฝาเกลียวใส ปริมาตรบรรจุ 200 มิลลิลิตรต่อ 1 ขวด สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคจะนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวไปแช่ในตู้แช่ทำความเย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการทดสอบจะทำการเตรียมและนำเสนอตัวอย่างแก่ผู้บริโภคในรูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวแบบเย็น โดยนำเสนอตัวอย่างละ 30 มิลลิลิตร ในภาชนะแก้วพลาสติกใสที่มีฝาปิด จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านความเข้มของกลิ่น (odor intensity) กลิ่น (flavor) สี (color) รสชาติ (taste) และการยอมรับรวม (acceptance) โดยใช้สเกลแบบเส้นตรง (line making scale) ที่ความยาว 15 เซนติเมตร ซึ่งในการทดสอบจะเป็นการวัดความรู้สึกรู้สึกของผู้บริโภคแต่ละคนที่มีต่อตัวอย่าง ซึ่งผู้ทดสอบจะทำการให้เครื่องหมายลงไปบนเส้นตรงตรงจุดที่คิดว่าบ่งบอกปริมาณหรือความเข้มที่รับรู้ได้ในตัวอย่างนั้นๆ จากนั้นทำการแปลผลที่ได้เป็นคะแนน

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 80 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว (ตาราง 10) พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และใบอ่อนข้าวสาทิได้รับคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านความเข้มของกลิ่น สี และรสชาติ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยได้รับคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ อยู่ในระดับปานกลาง สำหรับคะแนนการยอมรับรวมในผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับน้อยถึงปานกลาง เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ทดสอบได้ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรส จึงส่งผลให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสมีผลต่อการยอมรับรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยในการทดสอบพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ได้รับคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสาทิและใบข้าวบาร์เลย์ ตามลำดับ

ตาราง 10 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์

น้ำใบข้าว	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความเข้มข้น	กลิ่น	สี	รสชาติ	การยอมรับรวม
ข้าวเจ้าสุโขทัย 1	5.21 ± 2.19 ^a	5.69 ± 2.24 ^a	5.73 ± 2.38 ^a	5.10 ± 2.27 ^a	5.69 ± 2.29 ^a
ข้าวสาทิ	4.71 ± 2.39 ^a	5.13 ± 2.30 ^a	5.16 ± 2.15 ^a	4.83 ± 2.20 ^a	4.58 ± 2.22 ^b
ข้าวบาร์เลย์	3.32 ± 2.36 ^b	2.97 ± 2.18 ^b	2.89 ± 2.20 ^b	2.56 ± 1.86 ^b	2.78 ± 1.97 ^c

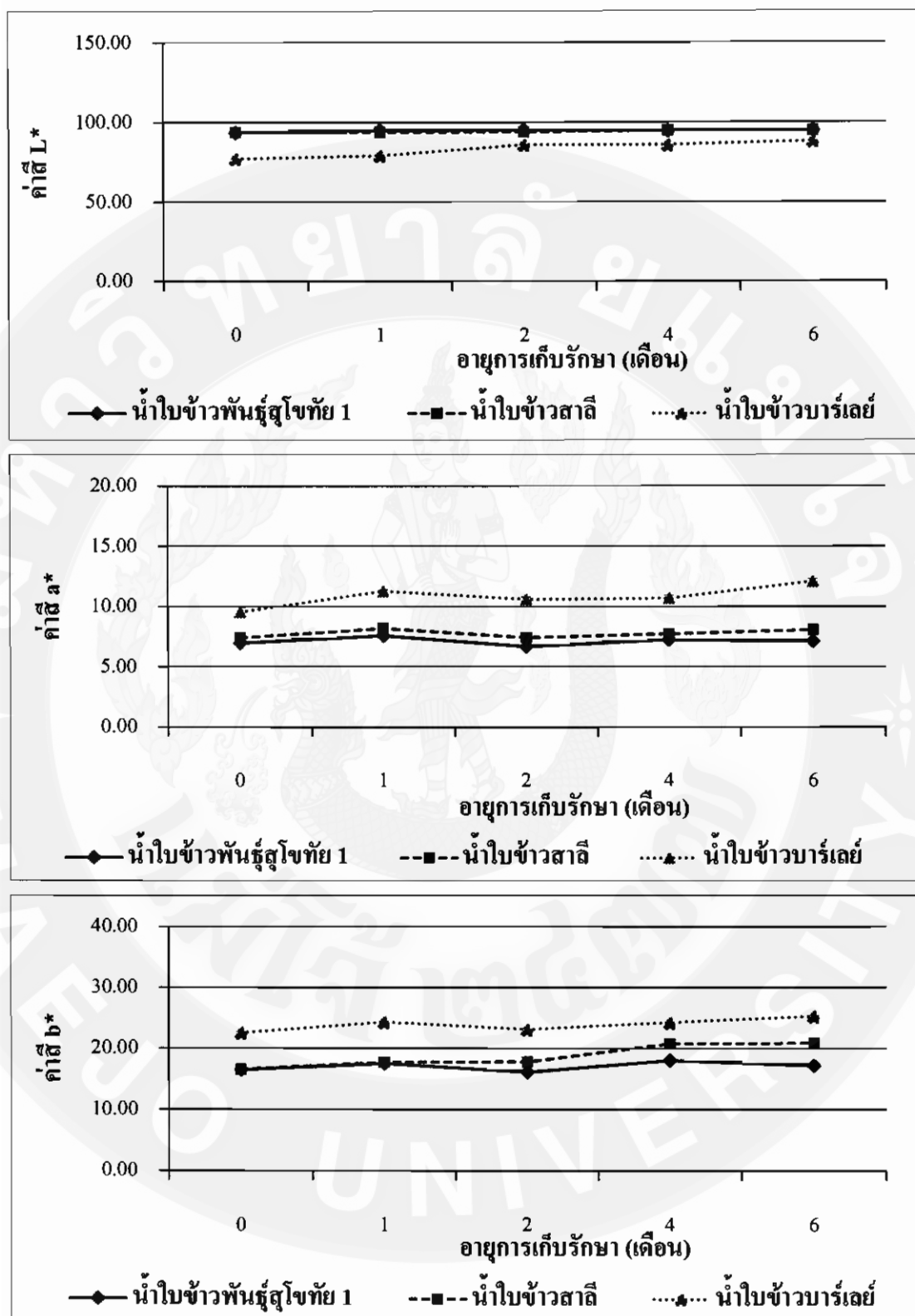
หมายเหตุ

- ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวสคมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=80)

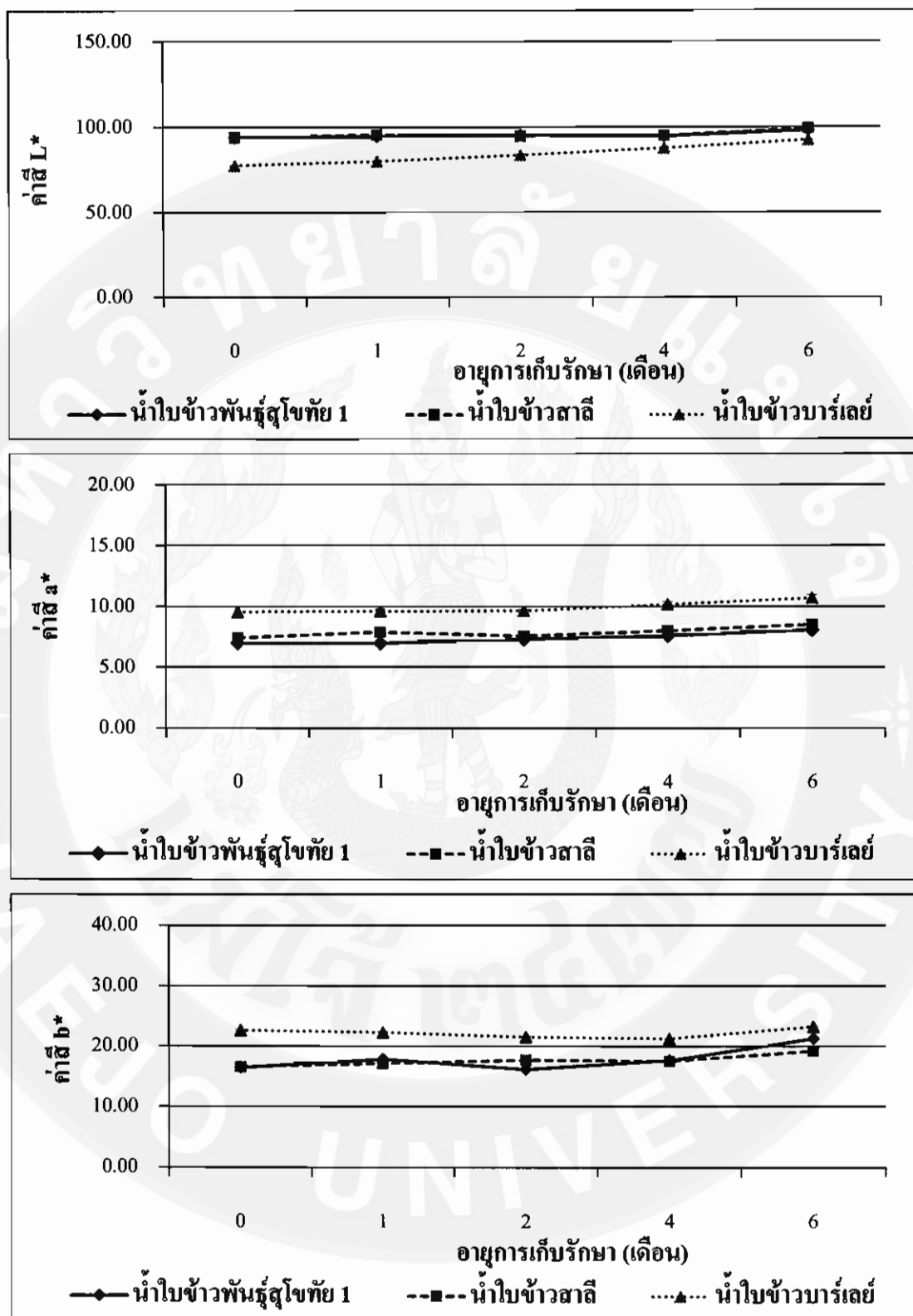
การศึกษาระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ผลิตจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์นี้ได้อาศัยบรรจุภัณฑ์ชนิดขวดแก้วฝาเกลียวใสและปรับสภาวะการเก็บรักษาเป็น 2 สภาวะ คือ ขวดแก้วใสและขวดแก้วใสที่หุ้มขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งการเลือกใช้อะลูมิเนียมฟอยล์ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์นั้นเพื่อต้องการศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสง เพื่อเปรียบเทียบกับสภาพการเก็บรักษาในสภาพทั่วไป ณ อุณหภูมิห้อง ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว โดยในการศึกษาระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาได้จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน และติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล และความสามารถในการจับอออนของธาตุโลหะ รวมถึงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางชีวเคมีในผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อพิจารณาค่าสี พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมีแนวโน้มของค่าความสว่างของสี (L^*) ค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) และค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ไม่มีแสงสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวได้ดีกว่าสภาวะการเก็บรักษาที่มีแสงปกติ ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิ และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่เก็บรักษาในสภาวะแสงปกติมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสี จาก 93.85 เป็น 95.22, 94.07 เป็น 95.06 และ 77.51 เป็น 88.47 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าจาก 7.00 เป็น 7.15, 7.43 เป็น 8.09 และ 9.56 เป็น 12.09 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.46 เป็น 17.15, 16.55 เป็น 20.90 และ 22.59 เป็น 25.33 ตามลำดับ (ภาพ 27) สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสีดังกล่าวเช่นเดียวกัน โดยพบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสีมากกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะแสงปกติ แต่ในส่วนค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยกว่า โดยที่ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาทิและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสี จาก 93.85 เป็น 98.10, 94.07 เป็น 99.13 และ 77.51 เป็น 92.26 ส่วนค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าจาก 7.00 เป็น 8.09, 7.43 เป็น 8.51 และ 9.56 เป็น 10.71 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.46 เป็น 21.27, 16.55 เป็น 19.21 และ



ภาพ 27 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่มืดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



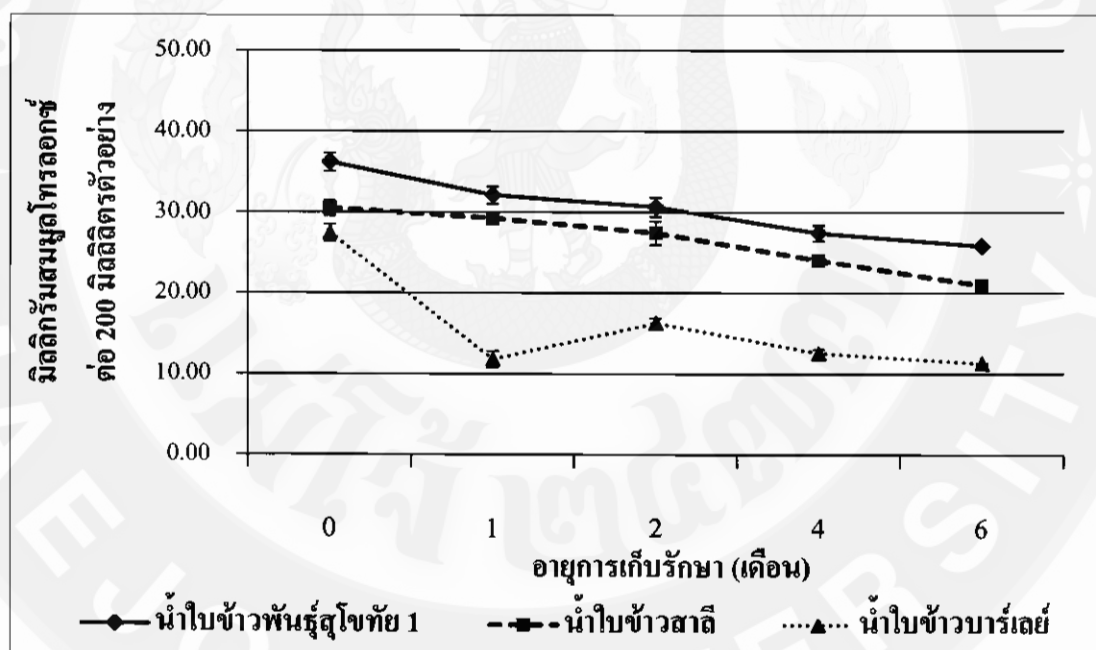
ภาพ 28 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L* a* b*) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

22.59 เป็น 23.27 ตามลำดับ (ภาพ 28) ซึ่งสถานะในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม เช่น สถานะการเก็บรักษาที่มีแสง ก๊าซออกซิเจน รวมถึงความร้อน อาจนำไปสู่การสูญเสียคุณค่าและองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้ (Rahman, 1999)

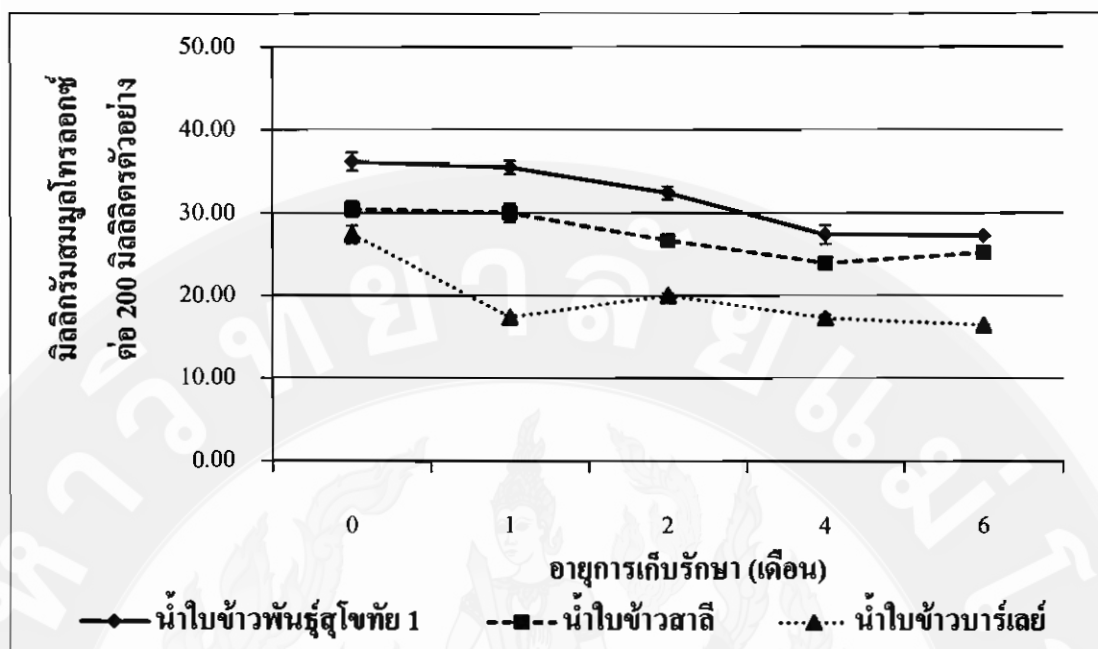
ระยะเวลาการเก็บรักษาและสถานะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวเคมีในผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของคุณสมบัติดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่เก็บรักษาในสถานะแสงปกติมีสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ ลดลงจาก 36.20 เป็น 25.83, 30.51 เป็น 20.93 และ 27.43 เป็น 11.32 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอคซ์ต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 29) สำหรับสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP พบว่ามีแนวโน้มลดลงเช่นกันจาก 38.64 เป็น 26.51, 23.21 เป็น 15.64 และ 11.13 เป็น 3.93 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 31) ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลลดลงจาก 16.61 เป็น 15.29, 12.45 เป็น 12.07 และ 8.46 เป็น 7.42 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร (ภาพ 33)

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่เก็บรักษาในสถานะที่ไม่มีแสง พบว่าการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบพอลิฟีนอลลดน้อยกว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่เก็บรักษาในสถานะแสงปกติ โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ที่เก็บรักษาในสถานะไม่มีแสงมีสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ ลดลงจาก 36.20 เป็น 27.27, 30.51 เป็น 25.21 และ 27.43 เป็น 16.41 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอคซ์ต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 30) สำหรับสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP พบว่ามีแนวโน้มลดลงเช่นกันจาก 38.64 เป็น 29.37, 23.21 เป็น 22.60 และ 11.13 เป็น 8.47 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร ตามลำดับ (ภาพ 32) สารประกอบพอลิฟีนอลลดลงจาก 16.61 เป็น 16.07, 12.97 เป็น 12.45 และ 8.46 เป็น 8.17 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 200 มิลลิตร (ภาพ 34) ในการศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบพอลิฟีนอลในผลิตภัณฑ์ชาและเครื่องดื่มชาบรรจุขวดและกระป๋องที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าจะมีปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลจำพวกสารเคเตชินหลงเหลืออยู่ในปริมาณต่ำ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอนุพันธ์ของสารเคเตชินไปในช่วงการแปรรูปและการเก็บรักษา (Chen et al., 2001; Friedman et al., 2009; Harboure, et al.,

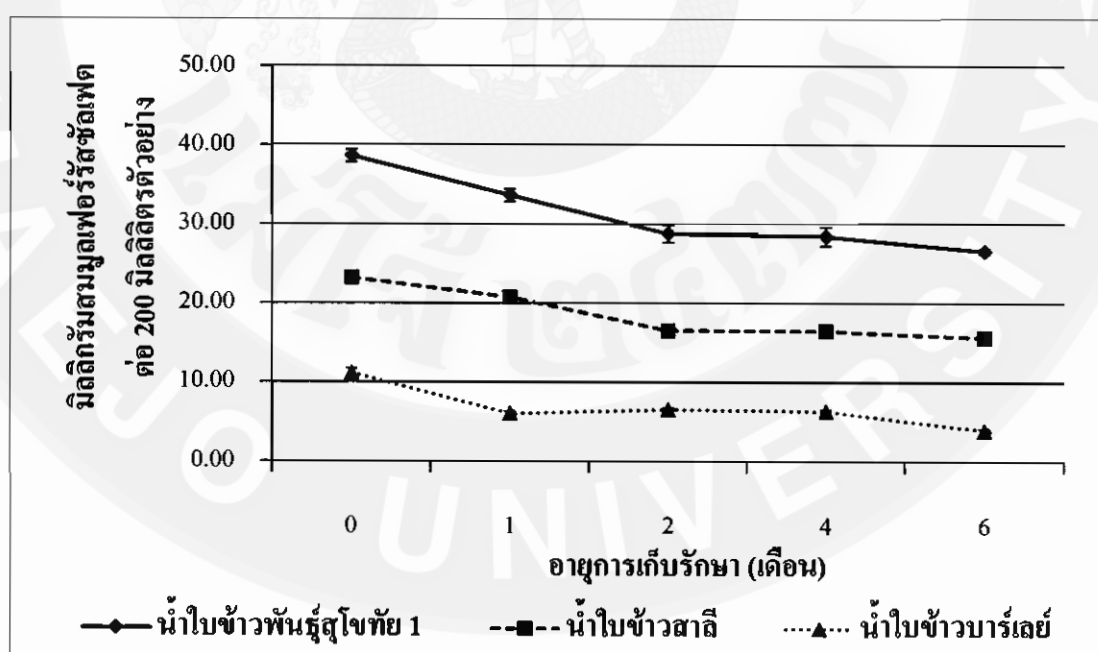
2011) สอดคล้องกับการศึกษาของ Su et al. (2003) ที่พบว่าสารประกอบพอลิฟีนอลในผลิตภัณฑ์ชา จะมีการสลายตัวไปอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับของ Chang et al. (2006) ได้รายงานว่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผล hawthorn fruit จะมีปริมาณลดลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ และในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพร (hawthorn drink) จะลดลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน และจากรายงานการศึกษาของ Labbe et al. (2008) ที่พบว่าการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบพอลิฟีนอลในเครื่องดื่มชาเขียวพร้อมดื่มจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคูอิพิเมอร์ (epimer) ของโมเลกุลน้ำตาลในสารประกอบพอลิฟีนอลโดยเฉพาะสารเคเคซินที่พบมากในผลิตภัณฑ์ชาเขียว และพบว่าปริมาณสารเคเคซินจะมีความคงตัวที่ดีในระหว่างการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเกิน 8 สัปดาห์ ปริมาณสารเคเคซินที่พบจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



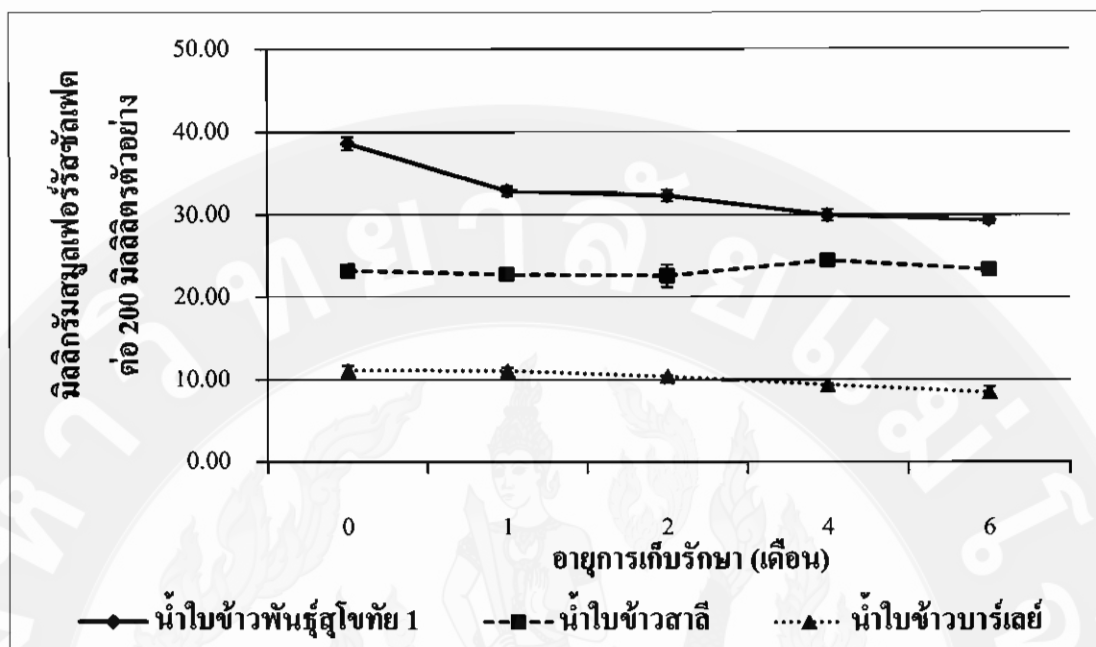
ภาพ 29 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS⁺) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบชาในสภาวะการเก็บรักษาในที่มืดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



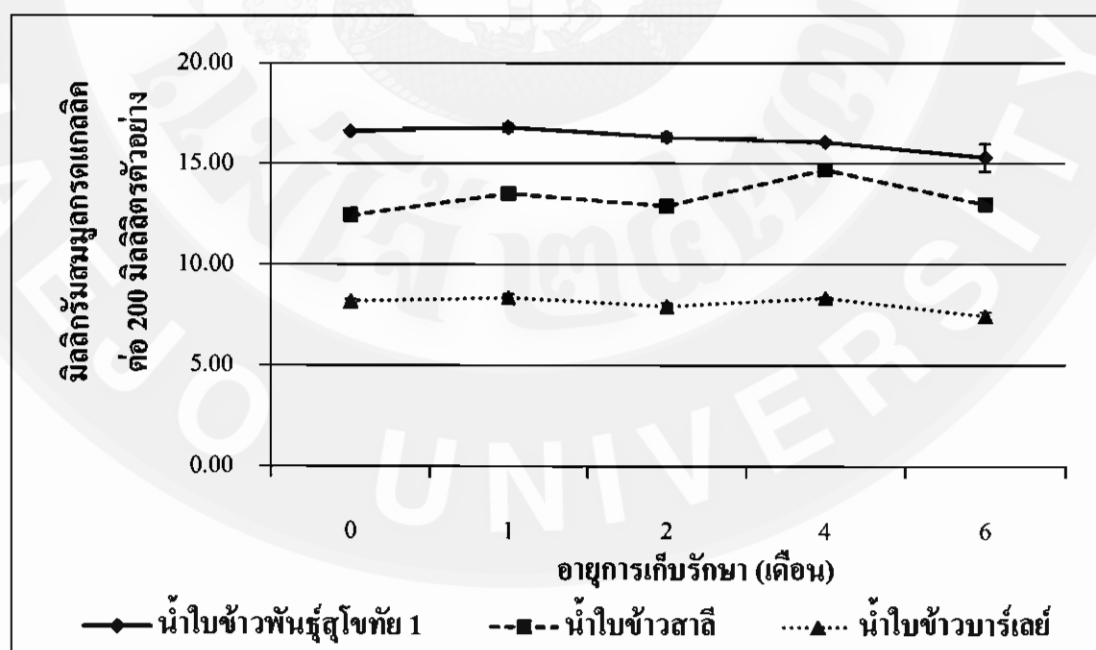
ภาพ 30 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS⁺) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



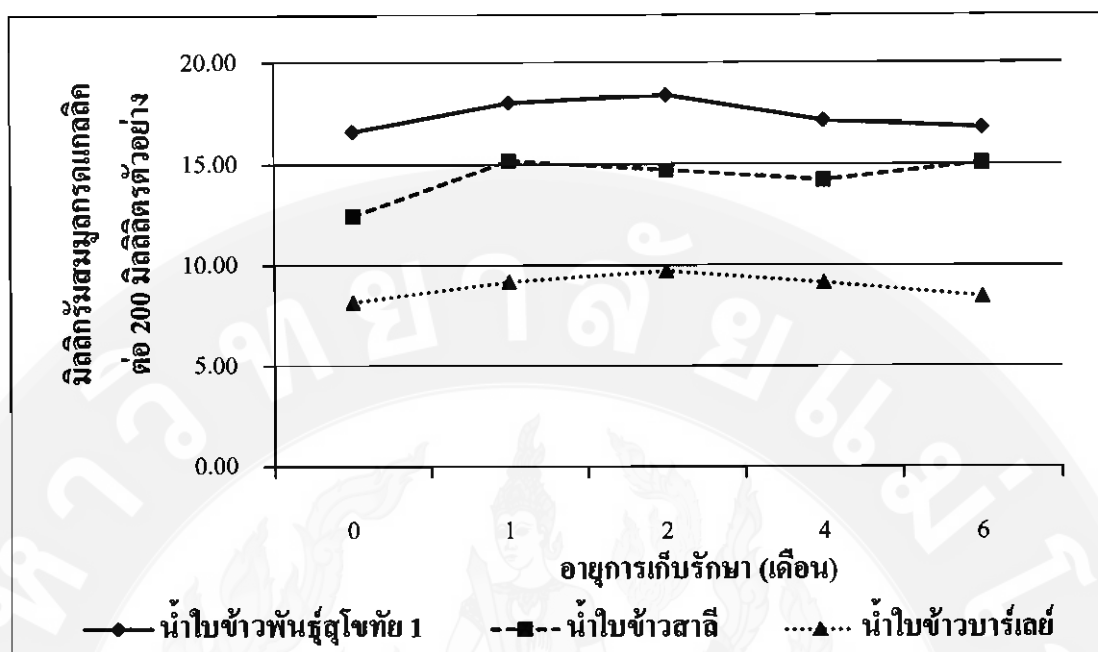
ภาพ 31 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



ภาพ 32 สมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่มืดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

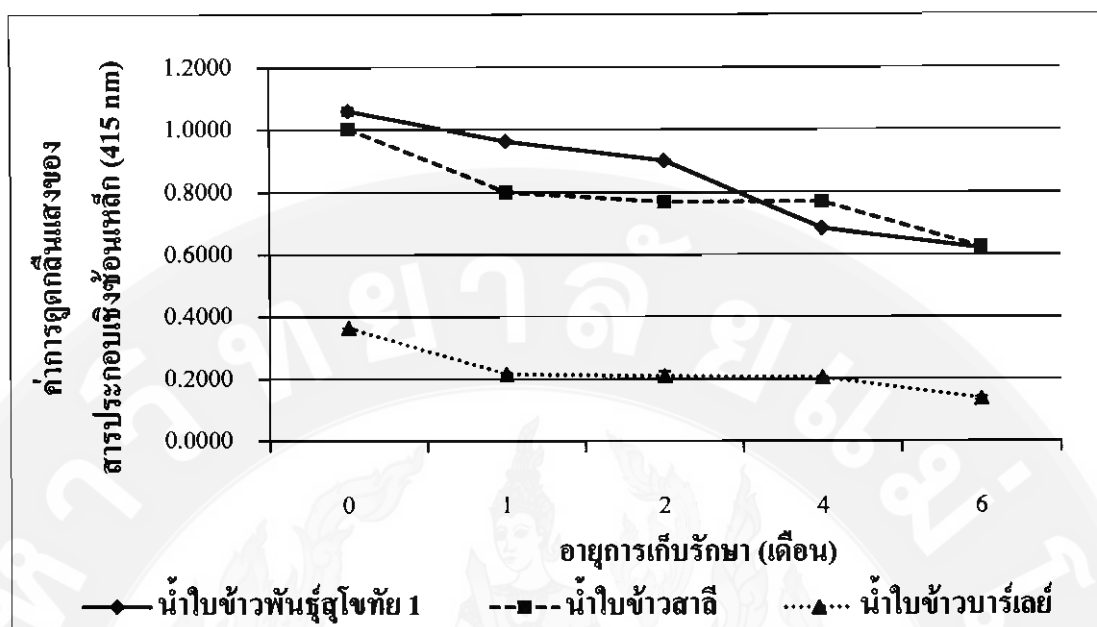


ภาพ 33 ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่มืดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

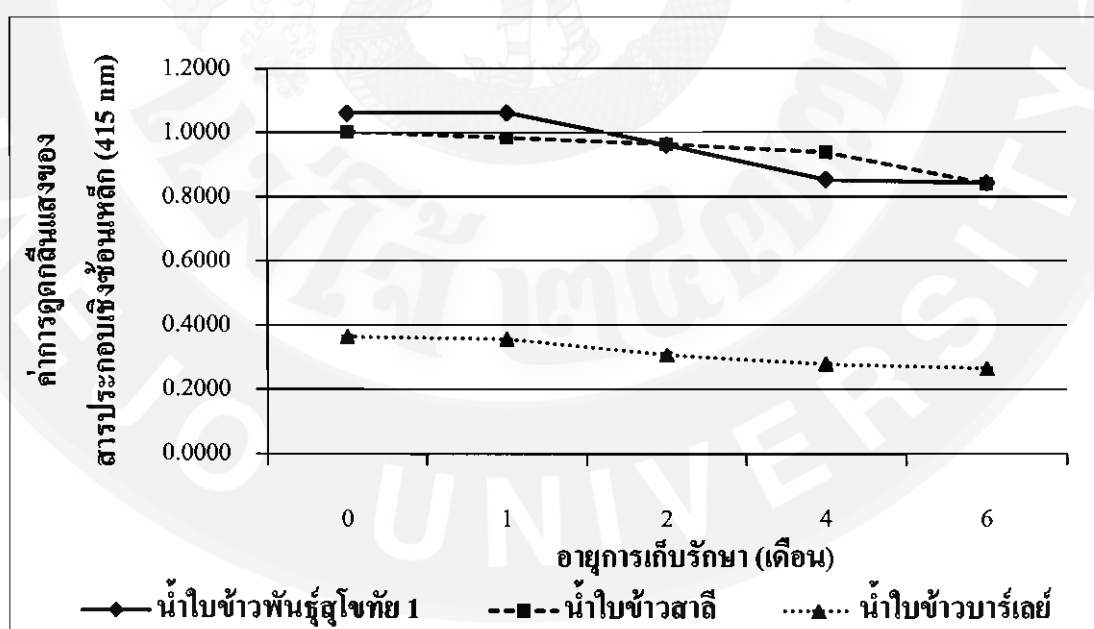


ภาพ 34 ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวในสภาวะการเก็บรักษาในที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

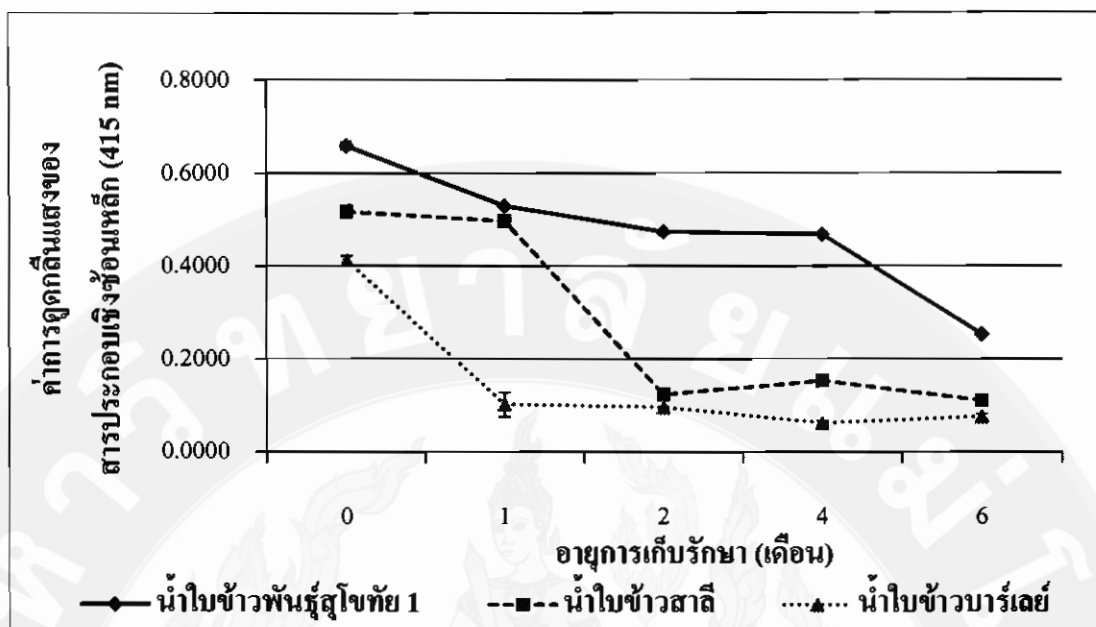
สำหรับผลของระยะเวลาการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการจับอออนของธาตุโลหะที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อความสามารถในการจับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ทองแดง (Cu^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+}) โดยพบว่าความสามารถในการจับเฟอร์รัสและเฟอร์ริกอออนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ภาพ 35-38) สำหรับความสามารถในการจับกับอออนของธาตุทองแดงและสังกะสีพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อความสามารถในการจับกับธาตุทั้งสองลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการจับกับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริกอออน (ภาพ 39-42) ความสามารถในการจับอออนของธาตุโลหะที่ลดลงดังกล่าวสอดคล้องกับการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลที่สูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษา จะส่งผลต่อความสามารถในการจับอออนของธาตุโลหะในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวให้ลดลงตามไปด้วย และนอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในสภาวะที่ไม่มีแสงมีประสิทธิภาพในการช่วยชะลอและลดการสูญเสียความสามารถในการจับกับธาตุโลหะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในระหว่างการเก็บรักษาไว้ได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในสภาวะที่มีแสงปกติ



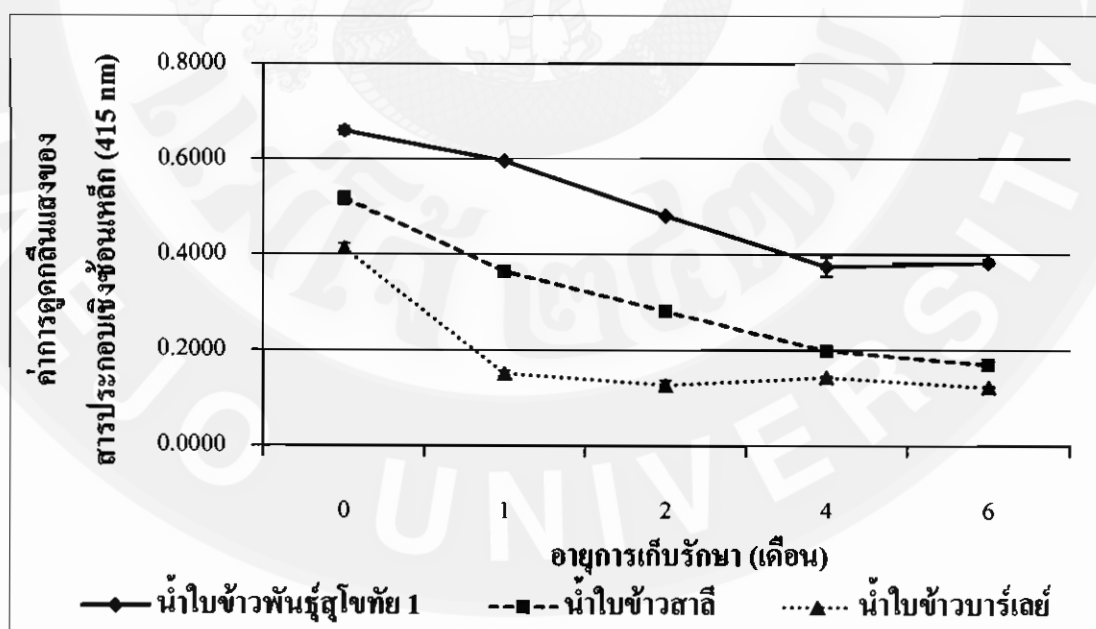
ภาพ 35 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



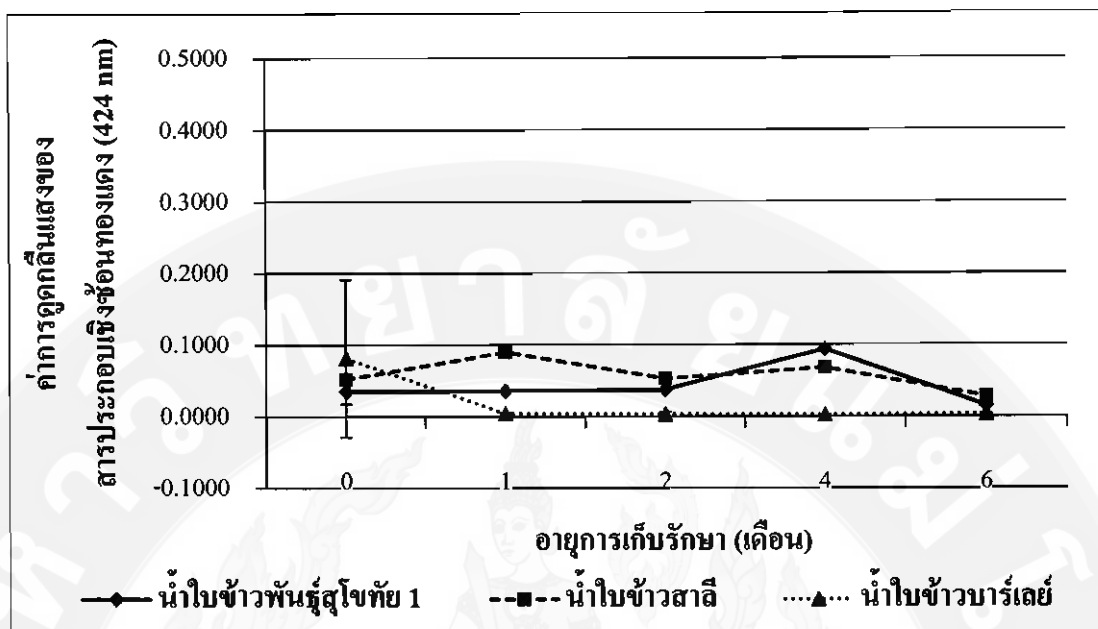
ภาพ 36 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



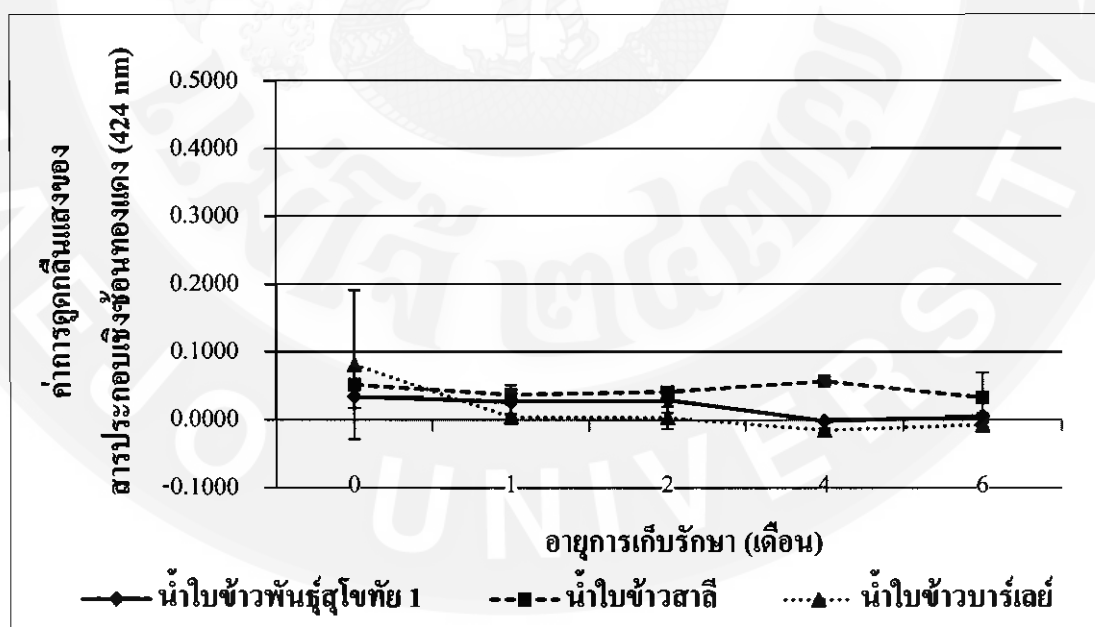
ภาพ 37 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าว กับอ็อกซาลิออสของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



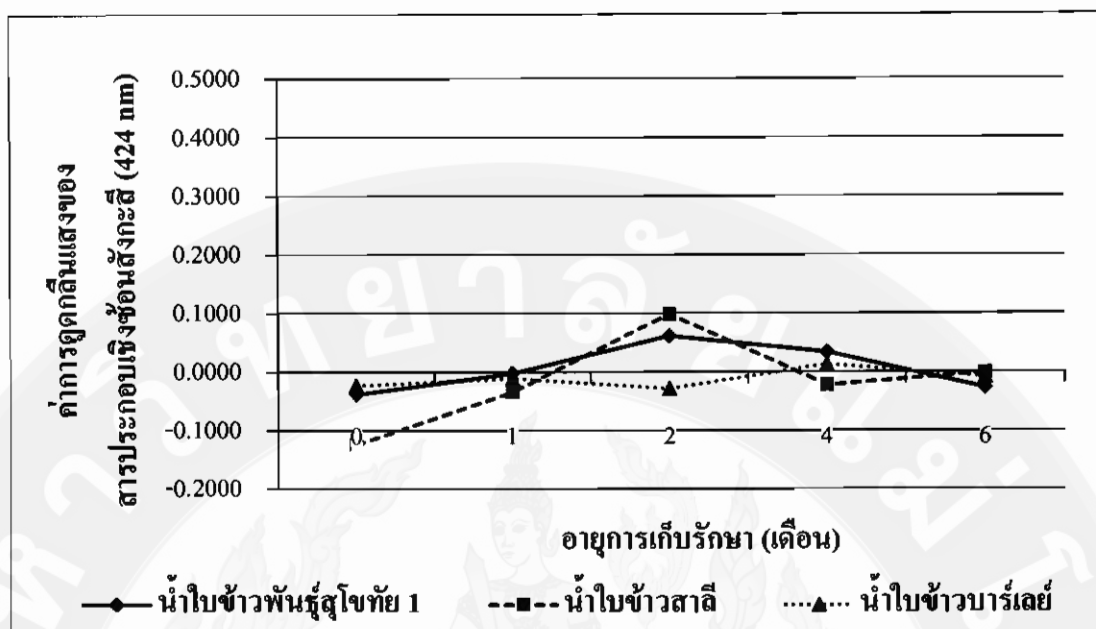
ภาพ 38 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าว กับอ็อกซาลิออสของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 μ M) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



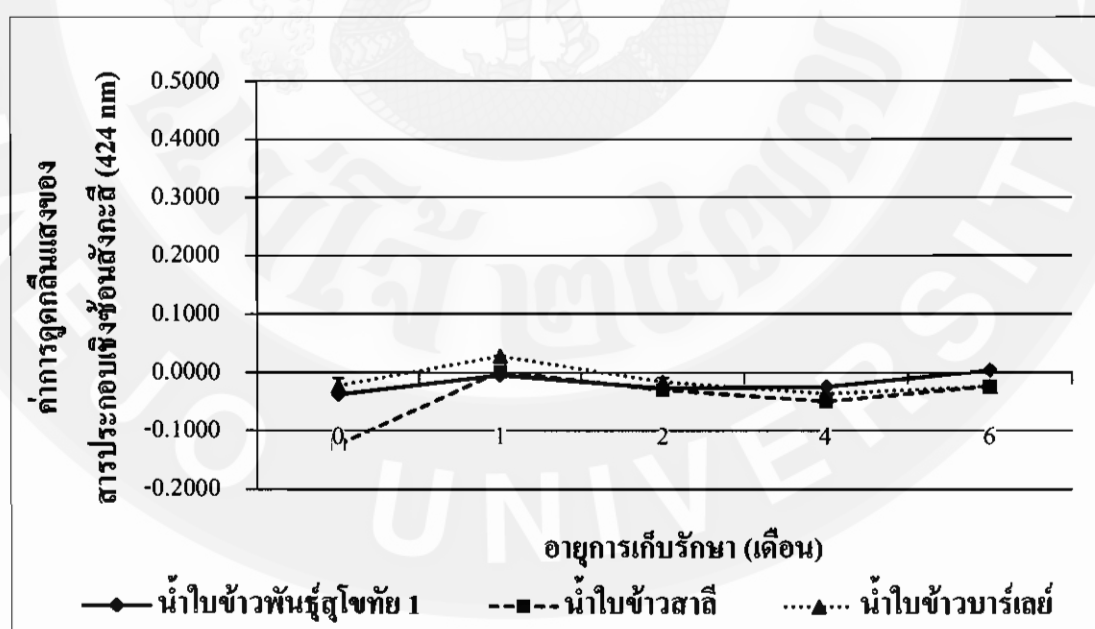
ภาพ 39 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าว กับอิออนของธาตุทองแดง ($100 \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



ภาพ 40 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าว กับอิออนของธาตุทองแดง ($100 \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



ภาพ 41 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุสังกะสี ($100 \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน



ภาพ 42 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุสังกะสี ($100 \mu\text{M}$) ที่สภาวะการเก็บที่ไม่มีแสงในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

ในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมทั้งยีสต์และราของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ผลิตจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาเลีและใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบตลอดระยะเวลา 6 เดือนนั้นพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา แสดงให้เห็นว่าการระยะเวลาการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษาที่กำหนดสามารถรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการทดลอง

1. ใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 มีอายุที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวอยู่ในช่วง 9-12 วัน ส่วนใบอ่อนข้าวเจ้าพันธุ์สุโขทัย 1 มีอายุที่เหมาะสมของการเพาะกล้าข้าวอยู่ในช่วง 12-15 วัน ซึ่งอายุเพาะของกล้าข้าวที่เหมาะสมดังกล่าว จะให้ใบอ่อนข้าวที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอล และสารคลอโรฟิลล์สูงที่สุด ดังนั้นผู้ทดลองได้ทำการคัดเลือกใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 ที่มีอายุการเพาะ 9 วัน และใบอ่อนข้าวเจ้าพันธุ์สุโขทัย 1 ที่มีอายุการเพาะ 15 วัน เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวขั้นตอนของการทดลองต่อไป
2. ใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 และใบอ่อนข้าวเจ้าพันธุ์สุโขทัย 1 ที่อายุการเพาะ 9, 9 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาลี และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ มีองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 74.41, 87.41 และ 88.27 ตามลำดับ ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.07, 0.66 และ 0.95 ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.11, 2.83 และ 2.92 ตามลำดับ ปริมาณไขมัน ร้อยละ 0.18, 0.43 และ 0.17 ตามลำดับ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.28, 8.70 และ 7.71 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ พบว่าใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ใบอ่อนข้าวสาลี และใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ มีค่าเท่ากับ 23.85, 24.19 และ 20.62 มิลลิกรัมสมมูลโทรอกซ์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ สำหรับวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 36.70, 33.56 และ 27.21 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลมีค่าเท่ากับ 11.81, 12.59 และ 13.41 มิลลิกรัมสมมูลแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 8.08, 8.02 และ 7.19 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ
3. ใบอ่อนข้าวที่มีอายุการเพาะเหมาะสม เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบพอลิฟีนอล โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสุโขทัย 1 มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบพอลิฟีนอลมากที่สุด ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวสามารถจับธาตุโลหะในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ได้ดี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างธาตุเหล็กกับน้ำ

ใบข้าวที่ให้คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างธาตุทองแดงและสังกะสี (Cu^{2+} , Zn^{2+}) ที่ให้คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวสามารถจับออรอนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ได้สูงที่สุด ในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น รองลงมา คือ ธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ธาตุทองแดง (Cu^{2+}) และธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) ตามลำดับ และสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างออรอนของธาตุโลหะกับน้ำใบข้าวที่เกิดขึ้นมีความคงตัวเป็นเวลายาวนานอย่างน้อย 30 นาที โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสุโขทัย 1 มีความสามารถในการจับธาตุเหล็กสูงที่สุด ($p < 0.05$)

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ในตัวอย่างเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวเจ้าสุโขทัย 1 และใบอ่อนข้าวสาลีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ได้รับคะแนนความชอบในด้านต่างๆ รวมทั้งคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบอ่อนข้าวสาลีและใบข้าวบาร์เลย์ ($p < 0.05$)

5. ในการทดสอบระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน พบว่าระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอล และความสามารถในการจับธาตุโลหะ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ไม่มีแสงมีประสิทธิภาพในการป้องกันและลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบพอลิฟีนอล และความสามารถในการจับธาตุโลหะได้ดีกว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่มีแสงปกติ โดยผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวยังสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 6 เดือน

บรรณานุกรม

- กฤติยา (นามปากกา). 2550. คลอโรฟิลล์ คุณอนันต์ โทษมพันธ์. *ชีวจิต* 9(199): 62-64.
- กฤษณา สุตทสาร, สุภาณี จงดี และ รานี เคนเหลื่อม. 2551. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอม. น. 398-406. ใน *รายงานการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2551*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- กัมปนาท สุขนิตย์. 2551. กิจกรรมด้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันบางชนิดในเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) ที่กำลังงอก. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 128 น.
- กาญจนา ทุมมานนท์. 2544. *บรรณจุฬารักษ์แก้ว*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.mew6.com/composer/package/package_30.php (15 มิถุนายน 2554).
- กิตติ ต่อจรัส. 2549. **Thalassemia: Iron overload, clinical consequences and iron chelators**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http:// www.thalassemia.or.th/iron-overload3.pdf](http://www.thalassemia.or.th/iron-overload3.pdf) (9 กรกฎาคม 2554).
- จริงแท้ สิริพานิช. 2538. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 น.
- _____. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 453 น.
- จงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 194 น.
- จิรัญญา บุรีมาศ. 2550. ภาวะผิดปกติในการทำงานของเซลล์นิวคลีโอลัสในผู้ป่วยธาลัสซีเมีย. *ศรีนครินทร์เวชสาร* 22(2): 190-194.
- จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล. 2551. มหัศจรรย์ข้าวงอก. *เกษตรธรรมชาติ* 11(12): 29-32.
- ชลธิดา เทพหินสัพ. 2547. **สัมฤทธิ์ผลของสารเคเตชินจากสารสกัดชาเขียวในการทำลายอนุมูลอิสระและการจับธาตุเหล็กที่ไม่ได้จับกับทรานส์เฟอร์รินในซีรัมผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียชนิดบีตา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 151 น.
- ชลธิดา เทพหินสัพ, อุดมกัญช์ ขาลสุวรรณ, ชัยวัฒน์ ชุ่มปิ่น, จันทรศิริ วาทะหงส์ และ สมเดช ศรีชัยรัตน์กุล. 2549. สารอีพิกัลโลเคเตชินและอีพิกัลโลเคเตชินจากชาเขียวสามารถลดระดับธาตุเหล็กที่ไม่ได้จับกับทรานส์เฟอร์รินในพลาสมาและออกซิเดทีฟสเตรสในเม็ดเลือดแดง. *วารสารโครงการหลวง* 12(2): 4-11.

- ณัฐริดา กาบคำ. 2554. การศึกษากระบวนการทำแห้งและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบข้าวอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 149 น.
- ตัวเล็ก (นามปากกา). 2545. วิทยาการก้าวน้ำ: ชาเขียวข้าวบาร์เลย์. แม่บ้าน 26(392): 130-131.
- ทิสารัตน์ อุตสุวรรณ, เลขา แห่งนุเคราะห์, วนิดา ลีกำเนิดไทย, ดวงรัตน์ แสงพรายพรรณ และ วิปร วิประกษิต. 2551. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสม่ำเสมอของการฉีดยาฆ่าศัตรูหลักในผู้ป่วยเด็กโรคเลือดจางธาลัสซีเมีย. พยาบาลศิริราช 2(1): 1-14.
- ธนกร ศิริสมุทร. 2550. การใช้ยาฆ่าแมลงในโรคธาลัสซีเมีย. วารสารธาลัสซีเมีย 17(1): 62-64.
- นงนภัส ดวงดี. 2551. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant). กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 5 น.
- นนทิกา เสรีสงแสง, วิษฐิดา จันทราพรชัย, เพ็ญขวัญ ชมปริดา และ มะลิวัลย์ หฤทัยนาสันดี. 2552. การศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนข้าววงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1. น. 776-783. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นันทน์ภัส เตมวงศ์. 2551. ความสัมพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในพืช. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ 8(2): 114-124.
- เนตรชนก เกียรติ์นันทพัทธ์, ชวนพิศ อรุณรังสิกุล และ ศิริวรรณ ทิพรักษ์. 2010. วัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตต้นอ่อนข้าวเจ้าและข้าวสาลีเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำคั้นใบข้าว. น. 1650-1657. ใน รายงานการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และ วันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร 32(4): 300-307.
- ประกาศรี เลหาเวชวานิช. 2547. อาหารต้านอนุมูลอิสระ. นิตยสารหมอชาวบ้าน 26: 50-51.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: แพคเมทส์. 358 น.
- พรทิพย์ วิรัชวงศ์. 2547. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ. วารสารออนไลน์ ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์องค์การเภสัชกรรม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.gpo.or.th/rdi/html/antioxidants.html> (26 พฤศจิกายน 2554).
- ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2550. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 174 น.

- ไมตรี สุทธจิตต์, ปกฤษฎาพงศ์ แก้วสุริยะ, ศิริวรรณ สุทธจิตต์ และ อุดมภักดิ์ ขาลสุวรรณ. 2545. แอนติออกซิแดนท์และสารสำคัญในพืชสมุนไพรไทย. วารสารเภสัชศาสตร์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ 3: 254-260.
- ลักขณา สิริรัตนกุล. 2545. มารูจักแอนติออกซิเดชันกันเถอะ. *For Quality* 8(54): 127-129.
- วาริน แสงกิตติโกมล. 2546. การเปรียบเทียบปริมาณสาร โพลีฟีนอลิกส์และปริมาณรวมการต้านสารอนุมูลอิสระในผักและสมุนไพร. วารสารสหเวชศาสตร์ 3:91-99.
- วิปร วิประภษิต. 2552. แนวทางเวชปฏิบัติในการรักษาภาวะเหล็กเกินด้วยยาดีเฟอริโพรน. มหาวิทยาลัยมหิดล คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ สาขาโลหิตวิทยาและออร์โคโลยี. กรุงเทพฯ: องค์การเภสัชกรรม. 36 น.
- วิไล รังสาทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 500 น.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. *อาหาร* 32(4): 245-253.
- ศิริวรรณ สุทธจิตต์ และ สุวรรณ เวชอภิกุล. 2527. สารประกอบฟีนอลิก. เอกสารประกอบการสอนกระบวนวิชาเภสัชเวชชั้นสูง 2. เชียงใหม่: ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 49 น.
- สมเดช ศรีชัยรัตนกุล, อุดมภักดิ์ ขาลสุวรรณ, จันทรีศิริ วาทะหงส์, ชัยวัฒน์ ชุ่มปิ่น และ สะแกวัลย์ อุ่นใจจัน. 2546. การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติด้านออกซิเดชันและจับธาตุเหล็กของสารเคเดชินในใบชาจากโครงการหลวง. น. 348-349. ใน รายงานการประชุมวิชาการผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2546. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง.
- _____ . 2548. การตรวจวัดความสามารถในการลดภาวะธาตุเหล็กและอนุมูลอิสระมากเกินไปโดยสาร Epigallocatechin gallate และ Epicatechin gallate ในใบชาของโครงการหลวง. น. 131-142. ใน รายงานการประชุมวิชาการผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2547-2548. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง.
- สะแกวัลย์ อุ่นใจจัน. 2546. คุณสมบัติการจับธาตุเหล็กของสารสกัดชาเขียวในสถานะที่มีธาตุเหล็กเกิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 637 น.
- สะแกวัลย์ อุ่นใจจัน, อุดมภักดิ์ ขาลสุวรรณ และสมเดช ศรีชัยรัตนกุล. 2548. ผลของการสกัดชาเขียวในการต้านภาวะธาตุเหล็กเกินและภาวะอนุมูลอิสระมากเกินไปที่ถูกเหนี่ยวนำโดยธาตุเหล็ก. *ASEAN Food* [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.aseanfood.info/Articles/13006024.pdf> (16 พฤศจิกายน 2554).
- สุวรรณ ชีระวรพันธ์. 2551. ชากับการดูดซึมธาตุเหล็ก. *จุลสารข้อมูลสมุนไพร* 26(1): 6-14.

- อรดา ชุมภูคำ, ปวีณา พิทาคำ, มยุรี จันละคร และไมตรี สุทธจิตต์. 2550. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว 6 พันธุ์ที่กำลังออก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคเหนือ 1: 8-16.
- อรัญย์ จำคำ. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและคุณค่าทางอาหารของต้นอ่อนธัญพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 139 น.
- อัญญา รัชธิธรรม และ ชัยชัย สุระ. 2550. เหล็กเกินในธาลัสซีเมีย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.st.mahidol.ac.th/thalassemia/uploads/3a09631c-53aa-1c37.pdf> (3 มกราคม 2555).
- อัมพร แซ่เอียว. 2543. คุณค่าทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์จากเมล็ดพืชงอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 94 น.
- อัศวิน อมรสิน. 2554. การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน. เอกสารประกอบการสอนวิชา Food Processing. มหาสารคาม: คณะเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 33 น.
- อาคม กาญจนประโชติ. 2542. ธัญพืช. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 220 น.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: นิเวศมิตรการพิมพ์. 262 น.
- A.O.A.C. 2005. **Official Method of Analysis**. 17th ed. Association of Official Analytical Chemistry: Washington D.C. 1298 p.
- Abdel-Aal E-SM, and P. Hucl. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleuone and purple pericarp wheats. **Cereal Chem** 76(3): 350-354.
- Abdel-Aal, E.S.M., J.C. Young, and I. Rabalski. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. **Journal of Agriculture and food Chemistry** 54(13): 4696-4704.
- Acar, O., I. Turkan and F. Ozdemir. 2001. Superoxide dismutase and peroxidase activities in drought sensitive and resistant barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. **Acta Physiologiae Plantarum** 23(3): 351-356.
- Alighourchi, H. and M. Barzegar. 2009. Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. **Journal of Food Engineering** 90(2): 179-185.

- Ananingsih, V.K., A. Sharma, and Z. Weibiao. 2011. Green tea catechins during food processing and storage: A review on stability and detection. **Food Research International online Article Science Direct** [Online]. Available <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691100161X> (10 March 2011).
- Arnon, D. I. 1948. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. **Plant Physiology** 24: 1-15.
- Aruoma, O.I. and B. Halliwell. 1987. Superoxide-dependent and ascorbate-dependent formation of hydroxyl radicals from hydrogen peroxide in the presence of iron. Are lactoferrin and transferrin promoters of hydroxyl-radical generation?. **Biochemical Journal** 241(1): 273-278.
- Badamchian, M., B. Spangelo, Y. Bao, Y. Hagiwara, H. Hagiwara, H. Ueyama and A. Goldstein. 1994. Isolation of a vitamin E analog from a green barley leaf extract that stimulates release of prolactin and growth hormone from rat anterior pituitary cells in vitro. **The Journal of Nutritional Biochemistry** 5(3): 145-150.
- Badamchian, M., Y. Hagiwara and H. Hagiwara. Isolation of novel peptidase from green barley leaf extracts and use same to inhibit human platelet aggregation. **United States Patent 5,705,486**. 6 January 1998.
- Bailey, G.S., P.A. Egner, J.B. Wang, Y.R. Zhu, B.C. Zhang, Y. Wu, Q.N. Zhang, G.S. Qian, S.Y. Kuang, S.J. Gange, L.P. Jacobson, K.J. Helzlsouer, J.D. Groopman and T.W. Kensler. 2001. Chlorophyllin intervention reduces aflatoxin-DNA adducts in individuals at high risk for liver cancer. **Medical Sciences** 98(25): 14601-14606.
- Balder, H.F., J. Vogel, M.C. Jansen, M.P. Weijnenberg, P.A. van den Brandt, S. Westenbrink, R. van der Meer and R.A. Goldbohm. 2006. Heme and chlorophyll intake and risk of colorectal cancer in the Netherlands cohort study. **Cancer Epidemiol Biomarkers and Prevention** 15(4): 717- 725.
- Bamforth, C.W. 1983. Superoxide dismutase in barley. **Journal of Institute of Brewing** 89(3): 420-423.
- Bartlett, J.M. 1988. Effect of sprouting on nutritional value of wheat. pp. 1057-1059. In **Proceeding of the 10th International Conference on wheat utilization research 16-18 November 1988**. Tucson: AZ.

- Bau, H., C. Villaume, J. Nicolas and L. Mejean. 1997. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycinemax*) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 73(1): 1-9.
- Bazinet, L., M.A. Farias, A. Doyen, D. Trudel and T. Bernard. 2010. Effect of process unit operations and long-term storage on catechin contents in EGCG-enriched tea drink. **Food Research International** 43(6): 1692–1701.
- Ben-Ayre, E., E. Goldin, D. Wengrower, A. Stamper, R. Kohn and E. Berry. 2002. Wheat grass juice in the treatment of active distal ulcerative colitis: a randomized double-blind placebo-controlled trial. **Scandinavian Journal of Gastroenterology** 37(4): 444-449.
- Benzie, I.F.F. and J.J. stvain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry** 239(1): 70-76.
- Benzie, I.F.F. and J.J. stvain. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version of simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. **Methods Enzymol** 299: 15-27.
- Bertrand, M. and I. Poirier. 2005. Photosynthetic organisms and excess of metals. **Photosynthetica** 43: 345–353.
- Blum, C.A., M. Xu, G.A. Orner, G. Darío Díaz, Q. Li, W.M. Dashwood, G.S. Bailey and R.H. Dashwood. 2003. Promotion versus suppression of rat colon carcinogenesis by chlorophyllin and chlorophyll: modulation of apoptosis, cell proliferation, and beta-catenin/Tcf signaling. **Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis** 58: 143-152.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. อ้างโดย วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ (Health benefits of phenolic compounds). **อาหาร** 32(4): 245-253.
- Burkholder, R. and I. Mcveigh. 1942. The Increase of B vitamins in germinating seeds. **Botany** 28(10): 440-446.
- Cahyana, A.H., Y. Shuto and Y. Kinoshita. 1993. Antioxidant activity of porphyrin derivatives. **Bioscience, Biotechnology, Agrochemistry** 57(4):680-681.

- Calzuola, I., V. Marsili and G.L. Gianfranceschi. 2004. Synthesis of antioxidant in wheat sprouts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 52(16): 5201-5206.
- Carter, O., G.S. Bailey and R.H. Dashwood. 2004. The dietary phytochemical chlorophyllin alters e-cadherin and beta-catenin expression in human colon cancer cells. **Journal of Nutrition** 134(12): 3441S-3444S.
- Castelluccio, C., G. Paganga, N. Melikian, G.P. Bolwell, J. Pridham, J. Sampson and C. Rice-Evans. 1995. Antioxidant potential of intermediates in phenylpropanoid metabolism in higher plants. **FEBS Letter** 368(1): 188-192.
- Castro, D.J., C.V. Lohr, K.A. Fischer, K.M. Water, B. Webb-Robertson, R.H. Dashwood, G.S. Bailey and D.E. Williams. 2009. Identifying efficacious approaches to chemoprevention with chlorophyllin purified chlorophylls and freeze-dried spinach in a mouse model of transplacental carcinogenesis. **Carcinogenesis** 30(2): 315-320.
- Cevallos-Casals, B.A. and L. Cisneros-Zevallos. 2010. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. **Food Chemistry** 119(4): 1485-1490.
- Chang, Q., Z. Zuo, M.S.S. Chow and W.K.K. Ho. 2006. Effect of storage temperature on phenolics stability in hawthorn (*Crataegus pinnatifida* var. major) fruits and a hawthorn drink. **Food Chemistry** 98: 426-430.
- Chavan, J.K. and S.S. Kadam. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 28(5): 401-437.
- Cheeseman, K.H. and T.F. Slater. 1993. **Free Radical in Medicine**. Churchill Livingstone: London. 320 p.
- Chen, Z.Y., Q.Y. Zhu, D. Tsang and Y. Huang. 2001. Degradation of green tea catechins in tea drink. **Journal of Agriculture and food Chemistry** 49(1): 477-482.
- Chimploy, K., G.D. Diaz, Q. Li, O. Carter, W.M. Dashwood, C.K. Mathews, D.E. Williams, G.S. Bailey and R.H. Dashwood. 2009. E2F4 and ribonucleotide reductase mediate S-phase arrest in colon cancer cells treated with chlorophyllin. **International Journal of Cancer** 125(9): 2086-2094.
- Cho, S., D.H. Lee, C.H. Won, S.M. Kim, S. Lee, M.J. Lee and J.H. Chung. 2006. Drink containing chlorophyll extract improves signs of photo aging and increases type I

- procollagen in human skin in vivo. **Korean Journal of Investigative Dermatology** 13(4): 111-119.
- Choi, Y., S.M. Lee, J. Chun, H.B. Lee and J. Lee. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compound of Shitake (*Lentinus edodes*) mushroom. **Food chemistry** 99(2): 381-387.
- Chung, T., E.N. Nwokolo and J.S. Sim. 1989. Composition and digestibility changes in sprouted barley and canola seed. **Plant Food for Human Nutrition** 39(3): 267-278.
- Crisponi, G. and M. Remelli. 2008. Iron chelating agent for the treatment of iron overload. **Coordination Chemistry Reviews** 252(11): 1225-1240.
- Davila, M.A., E. Sangronis and M. Granito. 2003. Germinate of fermented legumes: Food or ingredient of functional food. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion** 53(4): 348-354.
- Deng, W., X. Fang and J. Wu. 1997. Flavonoids function as antioxidants: by scavenging reactive oxygen species or by chelating iron. **Radiation Physics and Chemistry** 50(3): 271-276.
- Diaz, G.D., Q.J. Li and R.H. Dashwood. 2003. Caspase-8 and apoptosis-inducing factor mediate a cytochrome c-independent pathway of apoptosis in human colon cancer cells induced by the dietary phytochemical chlorophyllin. **Cancer Research** 63(6): 1254-1261.
- Duthie, G.G., S. Duthie and J.A.M. Kyle. 2000. Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. **Nutrition Research Reviews** 13(1): 79-106.
- Ebrahimzadeh, M.A., F. Pourmorad and A.R. Bekhrad. 2009. Iron chelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. **African Journal of Biotechnology** 7(18): 3188-3192.
- Egner, P.A., A. Munoz and T.W. Kensler. 2003. Chemoprevention with chlorophyllin in individuals exposed to dietary aflatoxin. **Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis** 523-524: 209-216.
- Egner, P.A., J.B. Wang, Y.R. Zhu, B.C. Zhang, Y. Wu, Q.N. Zhang, G.S. Qian, S.Y. Kuang, S.J. Gange, L.P. Jacobson, K.J. Helzlsouer, G.S. Bailey, J.D. Groopman and T.W. Kensler. 2001. Chlorophyllin intervention reduces aflatoxin-DNA adducts in individuals at high risk for liver cancer. **Proceedings of the National Academy of sciences of the United States of America** 98(25): 14601-14606.

- Ehrenbergerova, J., N. Brezinova Belcredi, J. Kopacek, L. Melisova, P. Hrstkova, S. Macuchova, K. Vaculova and I. Paulickova. 2009. Antioxidant enzymes in barley green biomass. **Plant Foods for Human Nutrition** 64: 122-128.
- Eskin, N.A.M. and R. Przybylski. 2001. Antioxidant and shelf life food. pp.175-209. In Eskin, N. A. M. and D. S. Robinson. (eds.) **Food Self Life Stability Chemical, Biochemical and Microbiological Changes**. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Fahey, J.W., K.K. Strphenson, P.A. Egner, T.W. Kensler and P. Talalay. 2005. Chlorophyll, chlorophyllin and related tetrapyrroles are significant inducers of mammalian phase 2 cytoprotective genes. **Carcinogenesis** 26(7): 1247-1255.
- Fernandez-Orozco, R., J. Frias, H. Zielinski, K. Piskula, H. Kozłowska and C. Vidal-Valverde. 2006. Germination as a process to improve the antioxidant capacity of *Lupinus angustifolius* L. var. *zapaton*. **European Food Research and Technology** 223: 495-502.
- Ferruzzi, M.G. and J. Blakeslee. 2007. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. **Nutrition Research** 27: 1-12.
- Fine, A.M. and C.N. Candidate. 2000. Oligomeric proanthocyanidin complexes: History, structure and phytopharmaceutical applications. **Alternative Medicine Review** 5(2): 144-151.
- Fisher, H. and A. Hendschel. 1933. Isolation of chlorophyll derivatives from the feces of elephants and human beings. **Hoppe Seylers Z Physiol Chem** 216: 56-59.
- Frank, S. and A. Kenney. 1955. Chlorophyll and carotenoid destruction in the absence of light in seedling of *Zea mays* L. **Plant Physiology** 30(5): 413-418.
- Friedman, M., C.E. Levin, S.U. Lee and N. Kozukue. 2009. Stability of green tea catechins in commercial tea leaves during storage for 6 months. **Journal of Food Science** 74(2): 47-51.
- Glickstein, H., R.B. El, G. Link, W. Breuer, A.M. Konijn, C. Hershko, H. Nick and Z.I. Cabantchik. 2006. Action of chelators in iron-loaded cardiac cells: Accessibility to intracellular labile iron and functional consequences. **Blood** 108(9): 3195-3203.

- Guo, M., C. Perez, Y. Wei, E. Rapoza, G. Su, F.B. Abdallah and N.D. Chasteen. 2007. Iron-binding properties of plant phenolics and cranberry's bio-effects. **National Institutes of Health** 21(43): 4951-4961.
- Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology** 141(2): 312-322.
- Halliwell, B. and J.M.C. Gutteridge. 1999. **Free Radicals in Biology and Medicine**. New York: Oxford University Press Inc. 936 p.
- Hamilton, E., E. Whitney and F. Sizer. 1989. **Nutrition: Concepts and Controversies**. 4th edition. St. Paul., Minn: West. 736 p.
- Harborne, J. B., and C. A. Williams. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. **Phytochemistry** 55: 481-504.
- Harborne, J.B. 1964. **Biochemistry of Phenolic Compounds**. London: Academic Press. 84. p.
- Harbourne, N., E. Marete, J.C. Jacquier and D. O'Riordan. 2011. Stability of phytochemicals as sources of anti-inflammatory nutraceuticals in beverages-A review. **Food Research International** [Online]. Available <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691100161X> (12 March 2011).
- Harttig, U. and G.S. Bailey. 1998. Chemoprotection by natural chlorophylls in vivo: inhibition of dibenzo[a,l]pyrene-DNA adducts in rainbow trout liver. **Carcinogenesis** 19(7): 1323-1326.
- Hoffbrand, A.V., F.A.L. Refaie, B. Davis, N. Siritanakatkul, B.F. Jackson, J. Cochrane, E. Prescott and B. Wonke. 1998. Long-term trial of deferiprone in 51 transfusion dependent iron overloaded patients. **Blood** 91(1): 295-300.
- Hu, C., J. Zawistowski, W. Ling. and D.D. Kitts. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agriculture and food Chemistry** 51(18): 5271-5277.
- Huang, D., O. Boxin and R.L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assay. **Agricultural and Food Chemistry** 53(6): 1841-1856.

- Hunter, K.J. and J.M. Fletcher. 2002. The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 3(4): 399-406.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2003. **Handbook on Seedling Evaluation** 3rd edition. Cambridge, United Kingdom: ISTA. 333 p.
- Ito, R., A. Yamamoto, S. Kodama, K. Kato, Y. Yoshimura, A. Matsunaga and H. Nakazawa. 2003. A study on the change of enantiomeric purity of catechins in green tea infusion. **Food Chemistry** 83(4): 563–568.
- Iyer, U., M. Sharma, S. Dhruv and U.V. Mani. 2010. Glycemic and lipemic response of wheat grass incorporated recipes. **Journal of Herbal Medicine and Toxicology** 4(1): 161-164.
- Janda, T., G. Szalai, K. Rios-Gonzales, O. Veisz and E. Pldi. 2003. Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. **Plant Science** 164(2): 301-306.
- Jimenez, M.J., L.G. Elias, R. Bressani, D.A. Navarrete, R. Gomez-Brenes and M.R. Molina. 1985. Biochemical and nutritional studies of germinated soybean seeds. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion** 35(3): 480-490.
- John, K., R.L. Divi, C. Keshava, C.C. Orozco, M.E. Schockley, D.L. Richardson, M.C. Poirier, J. Nath and A. Weston. 2010. CYP1A1 and CYP1B1 gene expression and DNA adduct formation in normal human mammary epithelial cells exposed to benzo[a]pyrene in the absence or presence of chlorophyllin. **Cancer Letters** 292(2): 254-260.
- Johnson, D.W. and D.J. Mokler. 2000. Barley grass and green barley grass juice. **New Hope Institute of Retailing**. Continuing Education Module, pp. 2-7.
- Jubert, C., J. Mata, G. Bench, R. Dashwood, C. Pereira, W. Tracewell, K. Turteltaub, D. Williams and G. Bailey. 2009. Effects of chlorophyll and chlorophyllin on low-dose aflatoxin B-1 pharmacokinetics in human volunteers. **Cancer Prevention Research** 2(12): 1015-1022.
- Juliano, C., M. Cossu, M.C. Alamanni and L. Piu. 2005. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidation stability of pharmaceutical oil. **International Journal of Pharmaceutics** 299(1-2): 146-154.
- Katsube, T., Y. Tsurunaga, M. Sugiyama, T. Furuno and Y. Yamasaki. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. **Food Chemistry** 113: 964-969.

- Kaur, C. and H.C. Kapoor. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology** 36(7): 703-725.
- Kay, R.E. and B. Phinney. 1956. Plastid pigment changes in the early seeding leaves of *Zea mays* L. **Plant Physiology** 31(3): 226-231.
- Kefeil, V.I., M.V. Kalevitch and B. Borsari. 2003. Phenolic cycle in plants and environment. **Cell and Molecular Biology** 2: 13-18.
- Keshava, C., R.L. Divi, D.L. Whipkey, B.L. Frye, E. McCanlies, M. Kuo, M.C. Poirier and A. Weston. 2005. Induction of CYP1A1 and CYP1B1 and formation of carcinogen-DNA adducts in normal human mammary epithelial cells treated with benzo[a]pyrene. **Cancer Lett** 221(2): 213-224.
- Keshava, C., R.L. Divi, T.L. Einem, D.L. Richardson, S.L. Leonard, N. Keshava, M.C. Poirier and A. Weston. 2010. Chlorophyllin significantly reduces benzo[a]pyrene-DNA adduct formation and alters cytochrome P450 1A1 and 1B1 expression and EROD activity in normal human mammary epithelial cells. **Environ Mol Mutagen** 50(2): 134-144.
- Khalil, A.W., A. Zeb, F. Mahmood, S. Tariq, A.B. Khattak and H. Shah. 2007. Comparison of sprout quality characteristics of desi and kabuti type chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). **Swiss Society of Food Science and Technology** 40: 937-945.
- Khokhar, S. and R.K.O. Apenten. 2003. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure-activity relations. **Food Chemistry** 81: 133-140.
- Kim, E. S., Y.R. Liang, J. Jin, Q.F. Sun, J.L. Lu, Y.Y. Du and C. Lin. 2006. Impact of heating on chemical compositions of green tea liquor. **Food Chemistry** 103(4): 1263-1267.
- Kim, S. L., S.K. Kim and C.H. Park. 2004. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. **Food Research International** 37(4): 319-327.
- Kitta, K., H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1992. Antioxidant activity of an isoflavonoid, 2''-O-glycosylisovitexin isolated from green barley leaves. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 40(10): 1843-1845.
- Kochhar, S.P. and J.B. Rossell. 1990. Detection, estimation and evaluation of antioxidation in food system. pp. 19-65. In B.J.F. Hudson (Ed). **Food Antioxidant**. England: Elsevier Science Publishers Ltd.

- Kohler, G. 1944. The effect of stages of growth on the chemistry of the grasses. **The Journal of Biological Chemistry** 152: 215-223.
- Kubota, K., Y. Matsuoka and H. Seld. 1983. Isolation of potent anti-inflammatory protein from barley leaves. **The Japanese Journal of Inflammation** 3(4): 145-150.
- Kulkarni, S.D., J. Tilak, R. Acharya, N.S. Rajurkar, T. P. A. Devasagayam and A. V. R. Reddy. 2006. Evaluation of the antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions. **Phytotherapy Research** 20(3): 218–227.
- _____. 2006. Determination of elemental concentration profiles in tender wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) using instrumental neutron activation analysis. **Food Chemistry** 4: 699-707.
- Kurzer, M.S. and X. Xu. 1997. Dietary phytoestrogens. **Annu. Rev Nutr** 17: 353-387.
- Labbe, D., B. Tetu, D. Trudel and L. Bazinet. 2008. Catechin stability of EGC and EGCG enriched tea drinks produced by a two-step extraction procedure. **Food Chemistry** 111(1): 139–143.
- Lee, S.H., S.S. Jew, P.S. Chang, I.J. Hong, E.S. Hwang, K.S. Kim, K.T. Kim and H.L. Sung. 2003. Free radical scavenging effect and antioxidant activities of barley leaves. **Food Science and Biotechnology** 12(3): 263-273.
- Lin, P.Y. and H.M. Lai. 2006. Bioactive compound in legumes and their germinated products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 54(11): 3807-3814.
- Lister, C. 2002. **Organic Barley Nutritional Analyses. The New Zealand Institute for Crop and Food Research** [Online]. Available <http://www.barleyleaf.co.nz/rightpages/WheatGrass.html> (11 September 2012).
- Lopez-Amoros, M.L., T. Hernandez and I. Estrella. 2006. Effect of germinating on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis** 19: 277-283.
- Lorenz, K. 1980. Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications Critical Reviews. **Food Science and Nutrition** 13(4): 353-385.
- Macrae, R., R.K. Robinson and M.J. Sadler. 1993. **Encyclopaedia of Food Science: Food Technology and Nutrition**. London: Academic Press. 4998 p.

- Manach, C., A. Scalbert, C. Morand, C. Remesy and L. Jimenez. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition** 79: 727-747.
- Manthey, J. A. and K. Grohmann, 2001. Phenols in citrus peel byproducts. Concentrations of hydroxycinnamates and polymethoxylated flavones in citrus peel molasses. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 49: 3268–3273.
- Manzocco, L., S. Calligaris, D. Mastrocola, M.C. Nicoli and C.R. Lerici. 2001. Review of nonenzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. **Trends in Food Science and Technology** 11: 340–346.
- Martell, A.E., R.J. Motekaitis, Y. Sun, R. Ma, M.J. Welch and T. Pajean. 1999. New chelating agent suitable for the treatment of iron overload. **Inorganic Chimica Acta** 291: 238-246.
- Marwaha, R.K., D. Bansal, S. Kaur and A. Trehan. 2004. Wheat grass juice reduces transfusion requirement in patients with thalassemia major: a pilot study. **Indian Pediatrics** 41(7): 716-720.
- Mata, J.E., Z. Yu, J.E. Gray, D.E. Williams and R. Rodriguez-Proteau. 2004. Effects of chlorophyllin on transport of dibenzo(a, l)pyrene, 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo-[4,5-b]pyridine, and aflatoxin B-1 across Caco-2 cell monolayers. **Toxicology** 196(1-2): 117-125.
- Miranda, M., L. Borisjuk, A. Tewes, U. Heim, N. Sauer, U. Wobus and H. Weber. 2001. Amino acid permeases in developing seeds of *Vicia faba* L.: expression precedes storage protein synthesis and is regulated by amino acid supply. **The Plant Journal** 28: 61-71.
- Mladenka, P., K. Macakova, T. Filipsky, L. Zatloukalova, L. Jahodar, P. Bovicelli, I.P. Silvestri, R. Hrdina and L. Saso. 2011. In vitro analysis of iron chelating activity of flavonoids. **Journal of Inorganic Biochemistry** 105: 693–701.
- Nakajima, S., Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1998. Effect of the antioxidant 2''-O-glycosyl isovitexin from young green barley leaves on acetaldehyde formation in beer stored at 50°C for 90 days. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46(4): 1529-1531.

- Nakamura, Y., A. Murakami, K. Koshimizu and H. Ohigashi. 1996. Inhibitory effect of pheophorbide a, a chlorophyll-related compound, on skin tumor promotion in ICR mouse. **Cancer Letters** 108(2): 247-255.
- Negishi, T., H. Rai and H. Hayatsu. 1997. Antigenotoxic activity of natural chlorophylls. **Mutation Research** 376(1-2): 97-100.
- Nicoli, M.C., M. Anese and M. Parpinel. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology** 10: 94-100.
- Nishiyama T., Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1993. Inhibition of malondialdehyde formation from lipids by an isoflavonoid isolated from young green barley leaves. **Journal of the American Oil Chemists Society** 70: 911-913.
- Nishiyama, T., Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1994. Inhibitory effect of 2''-O-glycosyl isovitexin and α -tocopherol on genotoxic glyoxal formation in a lipid peroxidant system. **Food and Chemical Toxicology** 32(11): 1047-1051.
- Ohtake, H., S. Nonaka, Y. Sawada, Y. Hagiwara, H. Hagiwara and K. Kubota. 1985. Studies on the constituents of green juice from young barley leaves (Effect on dietarily induced hypercholesterolemia in rats). **Journal of The Pharmaceutical Society of Japan** 105(11): 1052-1057.
- Omololu, P.A., J.B.T. Rocha and I.J.Kade. 2011. Attachment of rhamnosyl glucoside on quercetin confers potent iron-chelating ability on its antioxidant properties. **Experimental and Toxicologic Pathology** 63: 249-255.
- Ong, T., H.E. Brockman and W.Z. Whong. 1994. Chlorophyllin: an antigenotoxic agent. **Food Phytochemicals for Cancer Prevention I** 22: 272-281.
- Osawa, T., H. Katsuzaki, Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1992. A novel antioxidant isolated from green barley leaves. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 40(7): 1135-1138.
- Panda, S.K., I. Chaudhury and M.H. Khan. 2003. Heavy metals induce lipid peroxidation and affect antioxidants in wheat leaves. **Biologia Plantarum** 2: 289-294.
- Papas, A. M. 1998. **Antioxidant Status, Diet, Nutrient and Health**. CRC Press LLC. London. 650 p.

- Park, J.Y., C.M. Park, J.J. Kim, K.H. Noh, C.W. Cho and Y.S. Song. 2007. The protective effect of chlorophyll a against oxidative stress and inflammatory process in LPS-stimulated macrophages. **Food Science and Biotechnology** 16(2): 205-211.
- Park, J.Y., W.Y. Lee, B.S. Hahn, M.J. Han, W.I. Yang and B.S. Kim. 1989. Chlorophyll derivatives-A new photosensitizer for photodynamic therapy of cancer in mice. **Yonsei Medical Journal** 30(3): 212-218.
- Paulickova, I., J. Ehrenbergerova, V. Fiedlerova, D. Gabrovska, P. Havlova, M. Holasova, J. Kopacek, J. Ouhרבkova, J. Pinkrova, J. Rysova, K. Vaculova and R. Winterova. 2007. Evaluation of barley grass as a potential source of some nutritional substances. **Czech Food Science** 25(2): 65-72.
- Peryt, B., T. Szymczyk and P. Lesca. 1992. Mechanism of antimutagenicity of wheat sprout extracts. **Mutation research** 269(2): 201-215.
- Pinelo, M., M. Rubilar, M. Jerez, J. Sineiro and M.J. Nunez. 2005. Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53, 2111-2117.
- Prabhu, P.N., P. Ashokkumar and G. Sudhandiran. 2009. Antioxidative and antiproliferative effects of astaxanthin during the initiation stages of 1,2-dimethyl hydrazine-induced experimental colon carcinogenesis. **Fundamental and Clinical Pharmacology** 23(2): 225-234.
- Prior, R.L. and G. Cao. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. **Horticultural Science** 35: 588-592.
- Quettier-Deleu, C., B. Gressier, J. Vasseur, T. Dine and C. Brunet., 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Pagopyrum esculentum moench*), hulls and flour. **Journal of Ethnopharmacology** 72: 35-42.
- Rahman, M. S. 2007. **Handhook of Food Preservation**. 2th ed. New York: Marcel Dekker. 1068 p.
- Rahman, M.A., H. Hasegawa, M.M. Rahman, M. N. Islam, M.A.M. Miah and A. Tasmen. 2007. Effect of arsenic on photosynthesis, growth and yield of five widely cultivated rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Bangladesh. **Chemosphere** 67: 1072-1079.

- Randhir, R., Y.I. Kwon and K. Shetty. 2008. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 9: 355–364.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidation activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine** 26(9-10): 1231-1237.
- Reynold, C. 2005. A DNA-technology-based cellular assay used to measure specific biological activity in a wheatgrass extract. **Journal of Australasian Integrative Medicine Association** 1: 80-82.
- Rice-Evans, C. A., N.J. Miller, P.G. Bolwell, P.M. Bramlery and J. B. Pridham. 1995. The relative antioxidant activities of plant derived polyphenolic flavonoids. **Free Radical Research** 22(4): 375-379.
- Rice-Evans, C.A., N.J. Miller and G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science** 2(4): 152-159.
- Robson, K., A.T. Merryweather-Clarke, E. Cadet, V. Viprakasit, M. Zaahl, J. Pointon, D. Weatherall and J Rochette. 2004. Recent advances in understanding haemochromatosis: a transition state. **Journal of Medical Genetics**. 41(10): 721-730.
- Rosenfeld, M.J. and S.R. Forsberg. 2009. Compounds for use in weight loss and appetite suppression in humans. **Patent no.: US 7,524,877 B2**. 28 April 2009.
- Rozan, P., Y.H. Kuo and F. Lambein. 2000. Free amino acids presented in commercially available seeding sold for human consumption. A potential hazard for consumers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 48(3): 716-723.
- Samman, S., B. Sandstrom, M.B. Toft, K. Bukhave, M. Jansen, M. Hansen. 2001. Green tea or rosemary extract added to foods reduces non heme iron absorption. **The American Journal of Clinical Nutrition** 73(3): 607-612.
- Scalzoa, R.L., T. Iannoccaria, C. Summaa, R. Morellib and P. Rapisardac. 2004. Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. **Food Chemistry** 85(1): 41–47.
- Schnabel, C. 1940. We're harvesting our crops too late! **Magazine Digest**. November, 1940.
- Seibold, R.L. 1991. **Cereal Grass**. New Canaan: Keats Publishing, Inc. 141 p.

- Shahidi, F. and M. Naczk. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals**. Boca Raton, Fla.: CRC Press. 558 p.
- Shapoval, G.S. and V.F. Gromovaia. 2003. Mechanism of antioxidant protection of an organism from oxidative stress. **Ukrainskii Biokhimicheskii Zhurnal**. 75(2): 5-13.
- Shibamoto, T., Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Osawa. 1994. A flavonoid with strong antioxidative activity isolated from young green barley leaves. pp. 154–163. In Chi-Tang Ho, Toshihiko Osawa, Mou-Tuan Huang and Robert T Rosen. (eds). **Food Phytochemicals for Cancer Prevention II**. Washington, D.C: ACS Symposium Series. American Chemical Association.
- Shobana, S. and K.A. Naidu. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. **Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids**. 62(2): 107-110.
- Sies, H., W. Stahl and A. Sundquist. 1992. Antioxidant functions of vitamins, vitamin E and C, beta-carotene and other carotenoids. **Annals of the New York Academy of sciences**. 368: 7-19.
- Simonich, M.T., P.A. Egner, B.D. Roebuck, G.A. Orner, C. Jubert, C. Pereira, J.D. Groopman, T.W. Kensler, R.H. Dashwood, D.E. Williams and G.S. Bailey. 2007. Natural chlorophyll inhibits aflatoxin B1-induced multi-organ carcinogenesis in the rat. **Carcinogenesis** 28(6): 1294-1302.
- Simonich, M.T., T. McQuistan, C. Jubert, C. Pereira, J.D. Hendricks, M. Schimerlik, B. Zhu, R.H. Dashwood, D.E. Williams and G.S. Bailey. 2008. Low-dose dietary chlorophyll inhibits multi-organ carcinogenesis in the rainbow. **Food and Chemical Toxicology** 46(3): 1014-1024.
- Singh, K., M.S. Pannu, P. Singh and J. Singh. 2009. Effect of wheat grass tablets on the frequency of blood transfusion in thalassemia Major. **Indian Journal of Pediatrics** 77(1): 90-91.
- Singleton, V.L., R. Orthofer and R.M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by mean of Folin-Ciocalteu Reagent. **Methods in Enzymology** 299: 152-177.

- Spigno, G. and D.M. De Faveri. 2007. Antioxidants from grape stalks and marc: influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts. **Journal of Food Engineering** 78: 793–801.
- Spigno, G., L. Tramelli and D.M. De Faveri. 2007. Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. **Journal of Food Engineering** 81: 200–208.
- Srichairatanakool, S., S. Ounjaijean, C. Thephinlap, U. Khansuwan, C. Phisalpong and S. Fucharoen. 2006. Iron-chelating and free-radical scavenging activities of microwave-processed green tea in iron overload. **Hemoglobin** 30(2): 311–327.
- Su, Y.L., L.K. Leung, Y. Huang and Z.Y. Chen. 2003. Stability of tea the aflavins and catechins. **Food Chemistry** 83(2): 189–195.
- Thakur, C., B.K. Kumar, A.G. Reddy, A.R. Reddy and Y.N. Reddy. 2008. Antioxidant and immunomodulatory effect of chlorophyllin on induced aflatoxicosis in broiler. **Indian Journal of Animal Sciences** 78(7): 696–699.
- Tomas-Barberan, F.A. and J.C. Espin. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81(9): 853–876.
- Turkmen, N., F. Sari and S. Velioglu. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. **Food Chemistry** 93(4): 713–718.
- Uma, I., S. Minal, D. Swati and V.M. Uliyar. 2010. Glycemic and lipemic response of wheat grass incorporated recipes. **Journal of Herbal Medicine and Toxicology** 4(1): 161–164.
- Van Acker, S.A.B.E., G.P. Van Balen, D.J. Van den Berg, A. Bast and W.J.F. Van der Vijgh. 1998. Influence of iron chelation on the antioxidant activity of flavonoids. **Biochemical Pharmacology** 56: 935–943.
- Velioglu, Y.S., G. Mazza, L. Gao and B.D. Oomah. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46: 4113–4117.
- Verma, S. and R.S. Dubey. 2003. Lead toxicity induces lipids peroxidation and alters the activities of antioxidant enzyme in growing rice plants. **Plant Science** 164(4): 645–655.

- Viprakasit, V., P. Vathesathokit, W. Chinchang, K. Tachavanich, P. Pung-Amritt, V.L. Wimhurst, P.T. Yenchitsomanus, A.T. Merryweather-Clarke, V.S. Tanphaichitr. 2004. Prevalence of HFE mutations among the thai population and correlation with iron loading in haemoglobin E disorder. **European Journal of Haematology** 73(1): 43-49.
- Whitehead, J. 2005. Functional drinks containing herbal extracts. pp. 300-335. In P. R. Ashurst (eds.). **Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices**. Oxford: Blackwell Publishing.
- Williams, D.E., G.S. Bailey, A. Reddy, J.D. Hendricks, A. Oganesian, G.A. Orner, C.B. Pereira and J.A. Swenberg. 2004. The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) tumor model: recent applications in low-dose exposures to tumor initiators and promoters. **Toxicologic Pathology**. 31: 58-61.
- Zhang, Y., L. Guan, X. Wang, T. Wen, J. Xing and J. Zhao. 2008. Protection of chlorophyllin against oxidative damage by inducing HO-1 and NQO1 expression mediated by PI3K/Akt and Nrf 2. **Free Radical Research** 42(4): 362-371.
- Zijp, I.M., O. Korver and L.B.M. Tijburg. 2000. Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 40(5): 371-398.



ภาคผนวก





ภาพผนวก 1 เม็ล็ดข้าวเจ้า พันธุ์สุโขทัย 1



ภาพผนวก 2 เม็ล็ดข้าวสาลี พันธุ์ฟาง 60



ภาพผนวก 3 เม็ล็ดข้าวบาร์เลย์ พันธุ์สะเมิง 1



ภาพผนวก 4 ใบอ่อนข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 ที่อายุ 15 วัน



ภาพผนวก 5 ใบอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฟาง 60 ที่อายุ 9 วัน



ภาพผนวก 6 ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์พันธุ์สะเมิง 1 ที่อายุ 9 วัน



ภาคผนวก ข
ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว



ภาพผนวก 7 ผลิตรักณ์เครื่องดื่มน้ำใข้าว



ภาพผนวก 8 ตัวอย่างการนำเสนอผลิตรักณ์ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ภาพภาคผนวก 7 และ 8 แสดงตัวอย่างผลิตรักณ์เครื่องดื่มน้ำใข้าวที่ผ่านการกระบวนการผลิตโดยการสกัดและฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีการผลิตในระบบปิดของสถานประกอบการ และตัวอย่างการนำเสนอผลิตรักณ์ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (เครื่องดื่มน้ำใข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 เครื่องดื่มน้ำใข้าวอ่อนข้าวสาลีและเครื่องดื่มน้ำใข้าวบาร์เลย์ ตามลำดับ)



ภาคผนวก ค

ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มน้ำใบข้าวในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพผนวก 9 ผลิตรภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วฝาเกลียวแบบใสระหว่างการเก็บรักษา



ภาพผนวก 10 ผลิตรภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วฝาเกลียวที่หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่บดแสงระหว่างการเก็บรักษา



ภาพผนวก 11 สภาวะในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว
เกลือแบบใสบนชั้นวางผลิตภัณฑ์



ภาพผนวก 12 สภาวะในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว
ฝาเกลียวที่หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่บดแสงบนชั้นวางผลิตภัณฑ์



ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

นำตัวอย่างมาบดละเอียดแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2-5 กรัม ใส่กระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จากนั้นอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ในครุชีเบลกระเบื้องที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จากนั้นนำไปเผาบนเตาให้ความร้อนจนหมดควัน ก่อนนำไปเผาต่อในเตาเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรือเผาข้ามคืนจนได้เถ้าสีขาว และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วประมาณ 1 กรัม ลงบนกระดาษกรองแล้วห่อให้มิดชิดใส่ลงในทิมเบล และเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายลงในถ้วยสกัดไขมันประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาสกัดไขมันด้วยเครื่อง Soxhlet System HT (Tecator, Swenden) จากนั้นนำถ้วยสกัดไขมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

4. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 1 กรัม ในกรณีที่เป็นตัวอย่างอาหารเปียก ถ้าเป็นตัวอย่างอาหารแห้งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 0.3 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย และใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ Kjeldahl catalyst ลงไป 1 เม็ด เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 5 มิลลิลิตร แล้วย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากลั่นด้วยเครื่อง Kjeltac System รุ่น 1026 (Tecator, Swenden) โดยใช้ระบบอัตโนมัติ (น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร และค่า 20 มิลลิลิตร) ซึ่งใช้

สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร เพื่อคักจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น แล้วนำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเทอมน้ำเงิน

5. การวัดค่าสี

ก่อนการวิเคราะห์ควรอุ่นเครื่องวัดสี (Tri-stimulus colorimeter รุ่น JC801) ประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นเลือกแท่นรองให้สัมพันธ์กับขนาดของวัตถุที่วัด วางบนช่องแสงผ่าน แล้วปรับมาตรฐานเครื่องวัดสีด้วย standard white plate ก่อนการวัดค่าสีของตัวอย่าง ซึ่งการวัดค่าสีระบบ CIE ประกอบด้วยตัวแปรของค่าสี 3 ตัวคือ

1. ค่าสี L^* หมายถึง ค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่าจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือ สีขาว
2. ค่าสี a^* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง เมื่อ a^* มีค่าบวก จะแสดงถึงความเป็นสีแดง และเมื่อ a^* มีค่าลบ จะแสดงถึงความเป็นสีเขียว
3. ค่าสี b^* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าบวก จะแสดงถึงความเป็นสีเหลือง และเมื่อ b^* มีค่าลบ จะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน

6. การวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน

6.1 การสกัดตัวอย่างใบข้าว

นำตัวอย่างที่ตัดละเอียดแล้วจำนวน 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่ที่เครื่องเขย่าสารที่ค่าความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลานาน 10 ชั่วโมง ณ ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองตัวอย่างบนกระดาษกรองเบอร์ 93

6.2 วิธี Ferric reducing ability power (FRAP) (ดัดแปลงจาก Benzie and Strain, 1996)

เตรียม working FRAP reagent โดยผสมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 25 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร แล้วทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง ในกรณีที่เป็นตัวอย่างใบข้าวสดจะใช้สารสกัดที่ได้จากข้อ 6.1 ถ้ากรณีเป็นตัวอย่างเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจะใช้เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ได้จากการผลิต

โดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 60 ไมโครลิตร และ working FRAP reagent 600 ไมโครลิตร หลังจากนั้น 4 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน

6.3 วิธี ABTS⁺ radical cation decolorization assay (ABTS⁺) (Re *et al.*, 1999)

เตรียม ABTS stock solution โดยใช้สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1:0.5 โมล/โมล ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบ ABTS⁺ working solution โดยนำ ABTS stock solution มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้อยู่ในช่วง 0.7-0.9 นาโนเมตร แล้วทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นตัวอย่างใบข้าวสาคงจะใช้สารสกัดที่ได้จากข้อ 6.1 ถ้ากรณีเป็นตัวอย่างเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจะใช้เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ได้จากการผลิตโดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 80 ไมโครลิตร และ ABTS⁺ working solution 2 มิลลิลิตร หลังจากนั้น 3 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน

7. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล (ประพันธ์ และวันทนิย์, 2545)

7.1 การสกัดตัวอย่างใบข้าว

ชั่งตัวอย่างจำนวน 5 กรัม ผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดตัวอย่างด้วยวิธีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น กรองตัวอย่างสารสกัดบนกระดาษกรองเบอร์ 93 โดยใช้กรวยบุชเนอร์ แล้วปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้ด้วยขวดปรับปริมาตรโดยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จนได้ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

7.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟอลิฟินอล

วิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัด ในกรณีที่เป็นตัวอย่างใบข้าวสาคจะใช้สารสกัดที่ได้จากข้อ 7.1 ถ้ากรณีเป็นตัวอย่างเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจะใช้เครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ได้จากการผลิต โดยผสมตัวอย่างสารสกัด 0.5 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร และ Folin-ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

8. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ดัดแปลงจาก Amon, 1949)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ผสมกับอะซิโตนเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าสารที่ค่าความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลานาน 10 ชั่วโมง จนตัวอย่างมีสีซีดจางลง กรองตัวอย่างบนกระดาษกรองเบอร์ 93 แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ตามสมการ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ } (\mu\text{g/ml}) &= 12.7A_{663} - 2.69A_{645} \\ \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์บี } (\mu\text{g/ml}) &= 22.9A_{645} - 4.68A_{663} \\ \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด } (\mu\text{g/ml}) &= \text{คลอโรฟิลล์เอ} + \text{คลอโรฟิลล์บี} \end{aligned}$$

หมายเหตุ A หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

9. การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะ (ดัดแปลงจาก Srichairatanakool *et al.*, 2006)

10.1 การเตรียมอ็อนของธาตุโลหะ

การเตรียมอ็อนของธาตุเหล็กเฟอรัส (Fe^{2+} -citrate)

ชั่ง Ammonium ferrous sulfate น้ำหนัก 0.3291 กรัม ผสมกับสารละลาย citrate buffer pH 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 10 มิลลิโมลาร์ โดยการนำ

สารละลายเหล็กที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 990 ไมโครลิตร

การเตรียมอออนเหล็กเฟอร์ริก (Fe^{3+} -NTA)

ผสมสารละลาย Ferric nitrate ความเข้มข้น 17.86 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 559.9 ไมโครลิตร กับสารละลาย NTA (Nitrilotriacetic acid) ความเข้มข้น 80 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 440.1 ไมโครลิตร จะได้สารละลายเหล็กเฟอร์ริก ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

การเตรียมอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+} -citrate)

ชั่ง Cupric chloride dihydrate น้ำหนัก 0.1705 กรัม ผสมกับสารละลาย citrate buffer pH 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 10 มิลลิโมลาร์ โดยการนำสารละลายทองแดงที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 990 ไมโครลิตร

การเตรียมอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+} -citrate)

ชั่ง Zinc sulphate-7-hydrate น้ำหนัก 0.2875 กรัม ผสมกับสารละลาย citrate buffer pH 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 10 มิลลิโมลาร์ โดยการนำสารละลายสังกะสีที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 990 ไมโครลิตร

10.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะ

การวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม

ผสมสารสกัดเครื่องคั้นน้ำใบข้าวกับอออนของธาตุโลหะ ที่สารผสมมีความเข้มข้นสุดท้ายของธาตุโลหะเท่ากับ 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะในลักษณะที่ขึ้นกับเวลา

ผสมสารสกัดเครื่องคั้นน้ำใบข้าวกับธาตุโลหะ ที่สารผสมมีความเข้มข้นสุดท้ายของธาตุโลหะเท่ากับ 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม) ทุกๆ ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะในลักษณะที่ขึ้นกับความเข้มข้นของธาตุโลหะ

ผสมสารสกัดเครื่องคั้นน้ำใบข้าวกับสารละลายธาตุโลหะ ที่สารผสมมีความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายโลหะเท่ากับ 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ ที่ระยะเวลา 15 นาที สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม)

10. การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

10.1 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

โดยการสุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมา 1 ขวดต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว 1 พันธุ์ จากนั้นจุดน้ำใบข้าวจากขวดมา 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วย peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

10.2 ปริมาณยีสต์และรา

โดยการสุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวมา 1 ขวดต่อผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าว 1 พันธุ์ จากนั้นจุดน้ำใบข้าวจากขวดมา 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วย peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการ spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA นำไปบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน



ภาคผนวก จ

แบบสอบถามการยอมรับทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถามการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าว

ชื่อผู้ทดสอบ..... อายุ..... วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์และประเมินระดับความเข้มข้นของกลิ่นและความชอบในด้านต่างๆ ของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยขีดเส้นขวางลงบนสเกลที่กำหนดตรงตำแหน่งที่ตรงกับความเห็นของท่านพร้อมระบุรหัสตัวอย่างดังตัวอย่างการใช้สเกลต่อไปนี้

ตัวอย่างการใช้	(รหัสตัวอย่าง)	471	834	218	746	935
สเกลเส้นตรง						
	น้อย					มาก
การประเมินตัวอย่าง						
1. ระดับความเข้มข้นของกลิ่น (จากการดม)						
	น้อย					มาก
2. ความชอบด้านกลิ่น						
	น้อย					มาก
3. ความชอบด้านสี						
	น้อย					มาก
4. ความชอบด้านรสชาติ						
	น้อย					มาก
5. ความชอบโดยรวม						
	น้อย					มาก

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ



ภาคผนวก ด
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวจันทิมา ทองบุญ
วันเดือนปีเกิด	20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนลำปางกัลยาณี จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2552 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่