

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ



ดีมาก



ดี



ดี



ปานกลาง





การศึกษากระบวนการทำแห้งและฤทธิ์ทางชีวภาพ
ของสารสกัดจากใบข้าวอินทรีย์

**A STUDY OF DRYING PROCESS AND BIOLOGICAL ACTIVITIES
IN ORGANIC RICE GRASS EXTRACT**

ณัฐธิดา กาบคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
สำนักบริหารและพัฒนวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง
การศึกษากระบวนการทำแห้งและฤทธิ์ทางชีวภาพ
ของสารสกัดจากใบข้าวอินทรีย์

โดย
ณัฐธิดา กาบคำ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

ศ.ดร.

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธา พิมพ์พิไล)

วันที่ 26 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

ดร.สมเดช ศรีชัยรัตนกุล

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช ศรีชัยรัตนกุล)

วันที่ 26 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

ดร.จิตติ วัฒนวิทย์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติ วัฒนวิทย์)

วันที่ 26 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2554

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

ดร.นพพร วัฒนวิทย์

(อาจารย์ ดร.นพพร วัฒนวิทย์)

วันที่ 26 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2554

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

ดร.นพพร วัฒนวิทย์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร วัฒนวิทย์)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 30 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2554

ชื่อเรื่อง	การศึกษากระบวนการทำแห้งและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบข้าวอินทรีย์
ชื่อผู้เขียน	นางสาวณัฐริดา กาบคำ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรยา พิมพ์พิไล

บทคัดย่อ

ใบข้าวอ่อนอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ โภชนาการและมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน รวมถึงสารยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ในการศึกษาเน้นเน้นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตใบข้าวอบแห้งที่สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยให้มีการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลน้อยที่สุดและยังคงมีความสามารถในการจับออรอนของธาตุเหล็ก ผลการทดลองพบว่าใบข้าวอ่อนสายพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีอายุการปลูกที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12-15 วัน จากการศึกษาวิธีการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อนพบว่าอุณหภูมิ (50-80 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (2-4 ชั่วโมง) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลและคลอโรฟิลล์ โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ส่งผลต่อการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างใบข้าวอบแห้งน้อยที่สุด จากการเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งดังกล่าวกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และไม่โครเวฟแบบสุญญากาศ (960, 1920 และ 2880 วัตต์) พบว่าการใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ สามารถลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้เทียบเคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่สารสกัดใบข้าวที่ได้นั้นสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับออรอนของธาตุโลหะ (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} และ Zn^{2+}) ได้น้อยที่สุด ขณะที่ตัวอย่างใบข้าวอบแห้งที่ได้จากการอบลมร้อนมีการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ ($p < 0.05$) ซึ่งสารสกัดใบข้าวสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุเหล็กได้ดี และพบว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในรูปเฟอร์รัสได้ดีกว่ารูปเฟอร์ริก ทองแดง และสังกะสี ตามลำดับ จากการสกัดน้ำใบข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ด้วยน้ำอุณหภูมิ 80-98 องศาเซลเซียสในเวลา 3-9 นาที พบว่าเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอล สารสกัดที่ได้จากตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และสกัดด้วยน้ำเดือด 6-9 นาที มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุเหล็กได้ดี จากการศึกษาสภาวะการเก็บ

รักษาพบว่าตัวอย่างใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) และอบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลและคลอโรฟิลล์ลดลง โดยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้น รวมถึงลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าถุงโพลีโพรพิลีน อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสีของน้ำสกัดใบข้าวที่ได้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อสารสกัดใบข้าว พบว่าสารสกัดใบข้าวจากตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีอบลมร้อนได้รับคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมสูงกว่าเครื่องคั้นน้ำใบข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ($p < 0.05$)

Title	A Study of Drying Process and Biological Activities in Organic Rice Grass Extract
Author	Miss Nuttida Kapkum
Degree of	Master of Science in Food Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Suthaya Phimphilai

ABSTRACT

Young rice grass is rich in vitamins, minerals, fiber, antioxidant as well as tyrosinase inhibitor. This research was aimed to study the optimum drying condition for dried young rice grass. The product was intended to be stored at room temperature with least reduction in antioxidant properties and polyphenol contents and with an ability in iron binding affinity (*in vitro*). The study showed optimum ages of young rice grass, Sukhothai 1 and Sukhothai 2, between 12th-15th days. In drying study using a hot air oven (HA) with increasing drying temperature (50-80°C) and drying time (2-4 hrs.), results showed higher loss in antioxidant properties, polyphenol and chlorophyll contents. Drying conditions under 50°C for 2 hours showed minimum loss in antioxidant properties and polyphenol contents in both dried samples. Comparing the HA sample with other dried samples from freeze drying (FD) and vacuum-microwave drying (VM) under 960, 1920 and 2880 watts, FD samples with VM (2880 watts) showed minimum loss in antioxidant properties and polyphenol contents. However, sample extracts revealed the least ability in complex formation with metal ions (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} and Zn^{2+}). HA samples had the highest loss in antioxidant properties and polyphenol contents ($p < 0.05$) but extracts were able to form more complexes with iron ion (preferably ferrous ion than ferric ion), copper ion and zinc ion, respectively. In sample extraction study, hot water (80-98°C) was used for 3-9 minutes. In higher temperature with the longer extracting time proposed for the VM (2880 watts) products, higher antioxidant properties and polyphenol contents of the extracts were found. HA samples (50°C 2 hrs.) extracted under boiling water for 6-9 minutes had better iron binding affinity than in other extracting conditions. In product shelf-life study with VM (2880 watts) and HA (50°C 2 hrs.), products were packed in aluminum foil and polypropylene bags then placed under ambient temperature for 6 months. The antioxidant properties,

polyphenol and chlorophyll contents decreased throughout the storage time. Samples packed in aluminum foil bags had better values in moisture content as well as antioxidant properties, polyphenol and chlorophyll content than in polypropylene bags. However, storage time and packaging material reduced iron binding abilities. In consumer study, young rice grass drinks from HA process had higher scores in color, odor, taste and overall acceptability than that from the VM (2880 watts) process ($p < 0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนคอยติดตามงานวิจัย รวมถึงตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช ศรีชัยรัตนกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาดุพงศ์ วาฤทธิ์ กรรมการที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ เพ็ชรมงคล ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการดำเนินการทดลองจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงบริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย ที่สนับสนุนวัตถุดิบและเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม ประจำปี 2552 ในการสนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ โดยความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประจวบ และคุณแม่ยุพา กาบคำ รวมถึงพี่สาวที่ได้ส่งเสริม สนับสนุน ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณ คุณวัลลีย์ ปราสาททองโอสธ และคุณสุทธาวดี เจริญรัต ที่ได้กรุณาช่วยสนับสนุนด้านกำลังทรัพย์ ตลอดจนคอยติดตามงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยสนับสนุน เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

ณัฐธิดา กาบคำ

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
สารบัญภาพภาคผนวก	(19)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ค้นคว้า	3
คุณค่าของไบโອอนรัณพีซ	3
อนุมูลอิสระ	10
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	10
สารต้านออกซิเดชัน	11
ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน	12
สารประกอบโพลีฟีนอล	13
สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล	14
คลอโรฟิลล์	17
คุณสมบัติทางเคมีของคลอโรฟิลล์	18
ผลของกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา	19
ภาวะเหล็กเกิน	19
ผลเสียของการมีเหล็กเกินในร่างกาย	19
การรักษาภาวะธาตุเหล็กเกิน	20
กระบวนการทำแห้งอาหาร	21

กลไกการทำแห้ง	21
ชนิดของเครื่องอบแห้ง	22
การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ	22
การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	23
บรรจุภัณฑ์	24
โพลีโพรพิลีน	24
อะลูมิเนียมฟอยล์	25
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	26
วัสดุอุปกรณ์	26
วัตถุดิบ	26
เครื่องมือ	26
อุปกรณ์	27
สารเคมี	28
อาหารเลี้ยงเชื้อ	29
วิธีการทดลอง	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	34
การศึกษาระยะเวลาการผลิตใบข้าวอ่อน	34
การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของใบข้าวอ่อน	39
การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งใบข้าวอ่อนที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	42
การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาของน้ำร้อนในการสกัดเครื่องดื่มจากใบข้าวอบแห้ง	71
การศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	83
การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มสกัดจากใบข้าวอบแห้ง	106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	111
สรุปผลการทดลอง	111
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก	128
ภาคผนวก ก วัตถุดิบ	129
ภาคผนวก ข ใบข้าวอ่อนหลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	132

ภาคผนวก ค	น้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาต่างๆ	135
ภาคผนวก ง	ผลิตภัณฑ์ใบข้าวอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา	137
ภาคผนวก จ	วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี	139
ภาคผนวก ฉ	แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	146
ภาคผนวก ช	ประวัติผู้วิจัย	148

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ปริมาณสารอาหาร วิตามินและแร่ธาตุในใบชาจากใบข้าวอ่อนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และสกทนคร ที่ 21 วัน	4
2 ปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดที่พบในใบข้าวอ่อน	5
3 ปริมาณสารอาหารในจมูกข้าวสาลี รำข้าวสาลีและใบอ่อนข้าวสาลีใบอ่อนข้าวสาลี	7
4 ปริมาณสารอาหารในใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่ 14 วัน	9
5 โครงสร้างหลักของสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มต่างๆ	15
6 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในผักและผลไม้บางชนิด	16
7 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2	39
8 ค่าสีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2	40
9 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์ของ ใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2	41
10 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนสายพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังผ่านการ ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่างๆ	43
11 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนหลังผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่างๆ	44
12 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มน้ำใบชา จากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์)	107
13 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของเครื่องดื่มน้ำใบชาจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์)	108
14 สมบัติทางเคมีของเครื่องดื่มน้ำใบชาจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ 2880 วัตต์	109

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 โครงสร้างของ 6-aminopurine	5
2 สูตรโครงสร้างของ 2"-O-glycosylisovitexin	8
3 ปฏิกริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล	14
4 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์	17
5 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์	18
6 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	21
7 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากไมโครเวฟ	23
8 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ	35
9 สมบัติการต้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ⁺ และ FRAP ใช้โธรลอกซ์และเพอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน ตามลำดับ	37
10 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน	38
11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ	38
12 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	46
13 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	47
14 ร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS ⁺) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	49
15 ร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	50
16 ร้อยละการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	51

ภาพ	หน้า
17 ร้อยละการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ	52
18 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้ง ด้วยวิธีต่างๆ	53
19 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการ ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	54
20 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการ ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	55
21 ภาพถ่ายโครงสร้างภายในด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ของใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	57
22 ร้อยละการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	58
23 ร้อยละการสูญเสียสมบัตการต้านออกซิเดชัน (ABTS ⁺ และ FRAP) ของ ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	61
24 ร้อยละการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	62
25 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็ก ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	64
26 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนของสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุ ทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	64
27 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	65
28 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ ระยะเวลา 0-30 นาที	65
29 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	66

ภาพ		หน้า
30	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวกับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที	66
31	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุเหล็ก ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	67
32	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุเหล็ก ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	67
33	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุเหล็ก ในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	68
34	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุเหล็ก ในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	68
35	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	69
36	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	69
37	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	70
38	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อน น้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)	70

ภาพ		หน้า
39	การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์)	72
40	การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์)	73
41	การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	74
42	การเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	75
43	สมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ⁺ ใช้โทรลอคซ์เป็นสารมาตรฐาน	77
44	สมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน	78
45	สมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน	79
46	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	81

ภาพ	หน้า	
47	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	81
48	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 424 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	82
49	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 424 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)	82
50	ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ	85
51	ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ	85
52	ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ	87
53	ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ	88
54	การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ	90

ภาพ

หน้า

- 55 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 91
- 56 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 92
- 57 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 93
- 58 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 95
- 59 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 96
- 60 สมบัติการด้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ ใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน 98
- 61 สมบัติการด้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน 99
- 62 สารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน 100

ภาพ	หน้า
63	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 102
64	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 103
65	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอออนของธาตุทองแดง (100 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 104
66	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอออนของธาตุสังกะสี (100 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 105
67	ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 กับอออนของธาตุโลหะ (25-400 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 110
68	ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 กับอออนของธาตุโลหะ (25-400 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 110

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวก	หน้า
1 ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1	130
2 ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 2	130
3 ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่อายุใบ 15 วัน	131
4 ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่อายุใบ 15 วัน	131
5 ใบข้าวอ่อนอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	133
6 ใบข้าวอ่อนอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	133
7 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 จากตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ	134
8 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 จากตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ	134
9 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาต่างๆ	136
10 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาต่างๆ	136
11 ใบข้าวอ่อนอบแห้งในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์และโพลีโพรพิลีน ระหว่างการเก็บรักษา	138

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว คนไทยจึงนิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ซึ่งรวมถึงผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว ปัจจุบันมีการนำใบข้าวอ่อนมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ชาใบข้าว (กฤษณาและคณะ, 2553; อาทร, 2553) น้ำคั้นใบข้าวพร้อมดื่ม วุ้นกะทิ ไอศกรีมและโยเกิร์ตผสมน้ำคั้นใบข้าว (อาทร, 2553) ซึ่งนอกจากจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ วิตามินและแร่ธาตุ (กฤษณาและคณะ, 2553) ยังพบว่ามีปริมาณสารต้านออกซิเดชัน รวมถึงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ xanthine oxidase และเสริมสร้างภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย (Chen *et al.*, 2008) คลอโรฟิลล์ที่พบมากในใบอ่อนธัญพืช ยังมีประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น ลดการเกิดเซลล์มะเร็งที่ผิวหนัง ลดการอักเสบ (Nakamura *et al.*, 1996) รวมถึงลดการเกิดการกลายพันธุ์ (Negishi *et al.*, 1997)

ผู้ป่วยโรคสตีเมียที่มีภาวะธาตุเหล็กเกิน จะเกิดการสะสมของธาตุเหล็กตามอวัยวะและต่อมไร้ท่อต่างๆ ซึ่งส่งผลทำให้ทำงานผิดปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ยาขับธาตุเหล็กเพื่อลดอาการแทรกซ้อน ยาที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ดีเฟอร์โรซามีน โดยใช้ฉีดเข้าใต้ผิวหนัง และดีเฟอร์-ริโพรน ซึ่งเป็นชนิดรับประทาน อย่างไรก็ตามแม้จะมีประสิทธิภาพในการขับธาตุเหล็กแต่ยังพบผลข้างเคียงต่อผู้ป่วย เช่น ความสามารถในการได้ยินและการมองเห็นลดลง การเจริญเติบโตช้า และกระดูกผิดปกติเมื่อใช้ในปริมาณมากในเด็ก เป็นต้น (กิตติ, 2551; Breuer *et al.*, 2000) ในปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำสารสกัดจากธรรมชาติ เช่น ชาเขียว (Srichairatanakool *et al.*, 2006) สารสกัดขมิ้นชัน (Sroijit, 2003) รวมถึงใบอ่อนข้าวสาลี (Marwaha *et al.*, 2004) มาใช้บำบัดผู้ป่วยที่มีภาวะธาตุเหล็กเกินเพื่อลดภาวะแทรกซ้อนจากการใช้ยา

ใบข้าวชนิดสดมีข้อจำกัดด้านอายุการเก็บรักษา การนำใบข้าวผ่านกระบวนการทำแห้งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณน้ำอิสระ มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง รวมถึงเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค (วิไล, 2546) อย่างไรก็ตามการทำแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารต่างๆ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษารวมวิธีการลดความชื้นในใบข้าวที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดการสูญเสียสมบัติทางด้านออกซิเดชัน สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง และยังคงคุณสมบัติที่มี

คุณค่าต่อร่างกาย ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมเพื่อประโยชน์ในเชิงการค้าต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาการปลูกข้าวเพื่อให้ได้ใบข้าวอ่อนสายพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของใบข้าวอ่อนทั้งสองสายพันธุ์
3. เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบข้าวอบแห้ง
4. เพื่อศึกษาผลของชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของใบข้าวอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา
5. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำใบข้าวชนิดผง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระยะเวลาการปลูกใบข้าวอ่อนที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอล
2. ได้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับผลของกระบวนการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีในใบข้าวอบแห้ง
3. ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มใบข้าวอ่อนชนิดผงที่สามารถผลิตในเชิงการค้าได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ต้นข้าว

ต้นข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า มีอายุเพียงหนึ่งปี (annual grass) ถูกจัดอยู่ในตระกูลอไรซา (Genus *Oryza*) ของวงศ์เกรมินี (Family Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) ใบข้าวส่วนใหญ่มีขนอ่อน (pubescence) บนใบทำให้รู้สึกสากมือเมื่อสัมผัสที่ใบ กาบใบทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากรากและลำต้นไปยังตัวใบเพื่อใช้ปรุงอาหาร และลำเลียงอาหารส่งเคราะห์จากตัวใบไปยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว (บุญหงษ์, 2547)

คุณค่าของใบอ่อนธัญพืช

ใบอ่อนธัญพืช หรือ cereal grass เป็นต้นอ่อนที่จะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเป็นเมล็ดธัญพืชในเวลาต่อมา ใบอ่อนของธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวโอต เป็นต้น จัดว่าเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณค่า เช่น วิตามิน แร่ธาตุ โภชนาการ สารต้านออกซิเดชัน รวมถึงเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยลดการดูดซึมคอเรสเตอรอลและช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้สารจากพืชในวงศ์เกรมินีหรือพืชตระกูลหญ้ายังพบ γ -aminobutyric acid (GABA) ซึ่งนอกจากจะพบมากในเมล็ดข้าวที่กำลังงอกแล้ว ยังพบในต้นอ่อนด้วย ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติป้องกันความดันโลหิตสูง (antihypertensive) (Hattori, 2001; Hattori, 2002) ปัจจุบันมีการแปรรูปต้นอ่อนในรูปแบบผงแห้งและอัดเม็ด เพื่อสะดวกในการรับประทานและการเก็บรักษา (Takaoka, 2002)

สำหรับในประเทศไทย ข้าวเป็นธัญพืชหลักที่นิยมบริโภค ดังนั้นใบข้าวอ่อนจึงหาง่ายและสามารถเพาะปลูกเองได้ จากการศึกษาของกฤษณา และคณะ (2551) พบว่าอายุต้นข้าวอ่อนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 14-21 วัน เนื่องจากใบมีลักษณะอ่อนและมีกลิ่นหอม หากมีอายุการปลูกเพิ่มขึ้น ลำต้นและใบจะแข็ง บางใบปลายใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ใบชาจากใบข้าวอ่อน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และสกลนคร ซึ่งแปรรูปโดยการคั่วและอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ ดังแสดงในตาราง 1 และจากการศึกษาของชวนพิศ และคณะ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

ในน้ำคั้นจากใบข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเจ้าสุพรรณบุรี 1 และข้าวเหนียวดำ พบว่าสามารถยับยั้งอนุมูล DPPH* อยู่ในช่วงร้อยละ 0.6-8.4

ตาราง 1 ปริมาณสารอาหาร วิตามินและแร่ธาตุในใบชาจากใบข้าวอ่อนพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และสกลนคร ที่ 21 วัน

สารอาหาร mg/100g	สายพันธุ์ข้าว		
	ข้าวดอกมะลิ 105	ปทุมธานี 1	สกลนคร
แคลเซียม	415.00	365.40	422.30
โซเดียม	29.00	20.40	31.60
โพแทสเซียม	1180.60	1925.20	1672.20
แมกนีเซียม	194.20	276.90	421.40
เหล็ก	8.09	6.06	11.00
วิตามินบี 1	0.51	0.49	0.55
วิตามินบี 2	0.90	0.86	0.70
วิตามินซี	5.91	4.42	6.60
วิตามินอี	5.34	4.88	4.18
กลูโรฟิลล์	8.69	7.68	8.13
บีตา-กลูแคน	4.16	4.01	4.07

ที่มา: ดัดแปลงจาก กฤษณา และคณะ (2551)

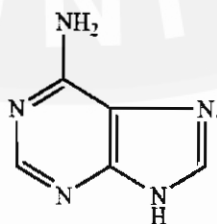
จากงานวิจัยของ Takaoka (2004) พบว่าใบข้าวอ่อนมีปริมาณ γ -aminobutyric acid ประมาณ 19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และพบว่ามีสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร แร่ธาตุ วิตามิน และกลูโรฟิลล์ โดยปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในใบข้าวอ่อนแสดงในตาราง 2 จากงานวิจัยของ Chen and Hsieh (2008) พบว่าใบข้าวอ่อนที่มีอายุ 15 วัน มีโปรตีนที่สกัดได้มากกว่า 120 ชนิด สารที่ได้จากการสกัดสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวที่สร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย นอกจากนี้ยังพบกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ที่ 64,135 ยูนิตต่อ 1 กิโลกรัมตัวอย่าง ในน้ำสกัดจากใบข้าวอ่อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ยังพบสารประกอบที่ชื่อว่า 6-

aminopurine ที่มีสูตรโครงสร้างแสดงในภาพ 1 ซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ xanthine oxidase เนื่องจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของ xanthine โดยเอนไซม์ xanthine oxidase ทำให้มีระดับของกรดยูริก (uric acid) ในเลือดสูงกว่าปกติ และเข้าไปสะสมในเยื่อตามข้อและปลายกระดูกทำให้เกิดอาการปวดและอักเสบ และสารสกัดจากใบข้าวอ่อนยังเพิ่มระดับของอินซูลิน (insulin) ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือดได้ รวมถึงลดกิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase

ตาราง 2 ปริมาณของกรดยูริกในจำเป็นแต่ละชนิดที่พบในใบข้าวอ่อน

ชนิดกรดยูริก	ปริมาณกรดยูริก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)
ทรีโอซีน	42.7
วาลีน	102.5
เมไทโอนีน	38.9
ไอโซลูซีน	34.4
ลูซีน	47.3
เฟนิลอะลานีน	44.9
ฮิสติดีน	15.7
ไลซีน	40.6

ที่มา: คัดแปลงจาก Takaoka (2004)



ภาพ 1 โครงสร้างของ 6-aminopurine

ที่มา: Chen and Hsieh (2008)

นอกจากนี้ยังมีไบอ่อนจากพืชตระกูลหญ้าอีกหลายชนิดที่มีรายงานการวิจัยว่ามีคุณค่าทางอาหารและทางยาสูง เช่น ไบอ่อนข้าวสาลี หรือ wheatgrass ซึ่งนิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย มักบริโภคในรูปน้ำคั้นสกัดหรือเครื่องดื่มน้ำสำเร็จรูป (Hagiwara and Hagiwara, 1995) ซึ่งไบอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณแร่ธาตุและวิตามิน กรดอะมิโน ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์รวมถึงเอนไซม์หลายชนิด (Sagliano and Sagliano, 1998) ซึ่งนอกจากจะมีเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) แล้ว ยังพบเอนไซม์หลายชนิดที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน เช่น catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), glutathione reductase (GR) และ ascorbate peroxidase (APX) เป็นต้น (Panda *et al.*, 2003) ซึ่งปัจจัยในการออกจะส่งผลต่อปริมาณสารอาหารในไบอ่อน เช่น เวลาที่ใช้ในการเพาะปลูก อุณหภูมิ การแช่น้ำ และความชื้น (Price, 1998) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ส่วนต่างๆ ของพืช (Zagoskina *et al.*, 2005) และชนิดของแสงที่ให้ระหว่างการออก (Khattak *et al.*, 2007) การศึกษาของ Kulkarni และคณะ (2006b) พบว่าไบอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกโดยใช้ดินอายุ 15 วัน มีสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) สูงที่สุด สำหรับไบอ่อนที่สภาวะการปลูกเดียวกันที่อายุ 10 วัน มีสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี oxygen radical absorbance capacity (ORAC) สูงที่สุด เช่นเดียวกับ Kulkarni และคณะ (2006a) ที่ศึกษาปริมาณแร่ธาตุในไบอ่อนข้าวสาลีในช่วงอายุ 5-20 วัน พบว่าไบอ่อนข้าวสาลีอายุ 8-10 วัน จะมีปริมาณแร่ธาตุที่เหมาะสม แต่พบว่าปริมาณแร่ธาตุส่วนใหญ่ที่ศึกษาพบในเมล็ดข้าวสาลีมากกว่าในไบอ่อน อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวสาลีมีปริมาณกรดไฟติกสูง จึงขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุในระบบทางเดินอาหาร แต่สำหรับแร่ธาตุในไบอ่อนข้าวสาลีเมื่อศึกษาในหลอดทดลอง พบว่ามีการดูดซึมนำไปใช้ได้มากกว่าเนื่องจากมีวิตามินซีมากจึงเพิ่มการนำไปใช้ในร่างกายได้ดีกว่า (Kulkarni *et al.*, 2007) และจากการศึกษาของ Yang และคณะ (2000) ไบอ่อนข้าวสาลีอายุ 7 วัน หลังผ่านการทำให้แบบแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณวิตามินซี เบต้า-แคโรทีน วิตามินอี และสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นจากเมล็ดข้าวสาลี ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญของดินอ่อนจะมีการสร้างผนังเซลล์ โดยมีการสังเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลที่ใช้ในการสังเคราะห์แทนนินเพื่อเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของพืช (Maillard and Berset, 1995) ปริมาณสารอาหารในไบอ่อนข้าวสาลีเมื่อเปรียบเทียบกับจมูกข้าวสาลีและรำข้าวสาลี แสดงดังตาราง 3

การศึกษาของ Shukla และคณะ (2009) พบว่าสารสกัดไบอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณวิตามินซีและอีสูงกว่าสาหร่ายสไปรูลินา สำหรับปริมาณโพลีฟีนอลพบว่ามีปริมาณต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ไบอ่อนข้าวสาลียังมีสรรพคุณทางยา ซึ่งจากการศึกษาของ Randhir และคณะ (2008) พบว่าไบอ่อนข้าวสาลี ข้าวโพดและข้าวโอตที่ 10 วัน มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลอยู่ในช่วง 0.65-2.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และสามารถจับกับอนุมูลอิสระ DPPH[•] อยู่

ตาราง 3 ปริมาณสารอาหารในจมูกข้าวสาลี รำข้าวสาลีและไบอ่อนข้าวสาลีไบอ่อนข้าวสาลี

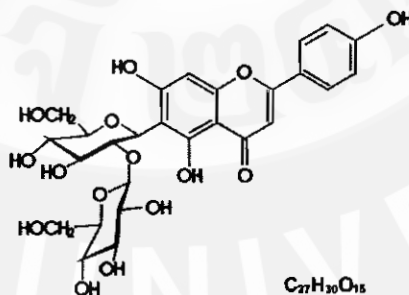
สารอาหาร	จมูกข้าวสาลี	รำข้าวสาลี	ไบอ่อนข้าวสาลี
ความชื้น (กรัม)	11.10	9.90	12.20
เถ้า (กรัม)	4.20	5.80	6.80
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	51.80	64.50	3.10
ใยอาหาร (กรัม)	13.20	42.80	17.30
โปรตีน (กรัม)	23.10	15.50	20.50
ไขมัน (กรัม)	9.70	4.30	0.00
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	9.20	9.50	14.10
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	1.90	0.40	0.10
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.50	0.10	0.10
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	6.80	4.30	0.10
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	1.30	1.20	0.20
กรดโฟลิก (ไมโครกรัม)	281	100	86
วิตามินบี 12 (ไมโครกรัม)	2.30	103	99
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	39	73	242
เหล็ก (มิลลิกรัม)	6.30	10.60	0.60
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	239	611	24
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	842	1013	1210
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	892	1182	147
โซเดียม (มิลลิกรัม)	12.00	2.00	15.60
สังกะสี (มิลลิกรัม)	12.30	7.30	0.30
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.80	1.00	0.20
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	13.30	11.50	10.20

ที่มา: ดัดแปลงจาก Premakumri and Haripriya (2010)

ในช่วงร้อยละ 46-57 รวมถึงพบสารแอล-โดปามีน (L-dopamine) ที่สามารถลดอาการของโรคพาร์กินสันได้ และผลของการหลั่งของสารโดปามีนทำให้ตื่นตัว กระฉับกระเฉงและมีสมาธิมากขึ้น

(วรวิฑู, ม.ป.ป.) โดยค้นอ่อนธัญพืชที่ศึกษามีปริมาณสารแอล-โคปามีนอยู่ในช่วง 0.34-0.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด สำหรับ α -amylase และ α -glucosidase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคเบาหวาน ทั้งนี้สารประกอบโพลีฟีนอลในใบอ่อนสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ α -amylase และ α -glucosidase เมื่อทำการเปรียบเทียบจากตัวอย่างควบคุมพบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อยู่ในช่วงร้อยละ 40-55 และ 20-29 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยลดกิจกรรมของ angiotensin converting enzyme 1 (ACE) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งสารสกัดจากใบอ่อนสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวได้ประมาณร้อยละ 34-47 รวมถึงลดการเจริญของเชื้อ *Helicobacter pylori* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ สามารถเจริญได้ในระบบทางเดินอาหารและเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคแผลในกระเพาะอาหารและมะเร็งกระเพาะอาหาร

ใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีสารสำคัญที่ชื่อว่า 2"-O-glycosylisovitexin (ภาพ 2) (Osawa *et al.*, 1992) จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยลดการเกิด malonaldehyde จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และลดปริมาณ low-density lipoprotein (LDL) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและความดันโลหิตสูง เพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึม ป้องกันการอักเสบ รวมถึงเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย (Nishiyama *et al.*, 1993; Liu, no date; Johnson and Mokler, 2001) ปริมาณสารอาหารของใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ แสดงในตาราง 4



ภาพ 2 สูตรโครงสร้างของ 2"-O-glycosylisovitexin

ที่มา: Osawa *et al.*, (1992)

Badamchian และคณะ (1998) ได้ทดลองนำใบอ่อนข้าวบาร์เลย์อายุ 14 วัน ศึกษาผลต่อการลดการจับตัวกันของเกล็ดเลือดในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจ พบว่าสารสกัดใบอ่อนข้าวบาร์เลย์มีชนิดของโปรตีนชนิดที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันด้วยกรดอะมิโน 5 ตัว ซึ่งมีการจัดลำดับ คือ

Asp-Asp-Asn-Asp-Asn และ Asp-Asp-Ser-Gln-Gln สามารถลดการจับตัวกันของเกล็ดเลือดในผู้ป่วยได้ นอกจากนี้เอนไซม์ SOD ที่พบในใบอ่อนยังมีสมบัติกำจัดอนุมูลอิสระเริ่มต้นที่เกิดขึ้นในร่างกาย คือ superoxide anion ($O_2^{\cdot-}$) โดยเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และน้ำ รวมถึงลดการอักเสบ (Anti-inflammatory) (Johnson and Mokler, 2001) คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวยังมีฤทธิ์ป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็งผิวหนัง ลดการอักเสบ (Nakamura *et al.*, 1996) รวมถึงมีสมบัติต้านออกซิเดชัน (Cahyana *et al.*, 1992; Cahyana *et al.*, 1993; Lanfer-Marquez *et al.*, 2005)

ตาราง 4 ปริมาณสารอาหารในใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่ 14 วัน

สารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร
โปรตีน (กรัม)	34.11
ไขมัน (กรัม)	4.97
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	52.58
ใยอาหาร (กรัม)	1.97
2"-O-Glycosylisovitexin (กรัม)	0.52
เบต้า-แคโรทีน (IU)	24.96
วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	0.23
วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	1.01
วิตามินบี3 (มิลลิกรัม)	4.00
วิตามินบี5 (มิลลิกรัม)	1.40
วิตามินบี6 (มิลลิกรัม)	0.30
วิตามินเค (มิลลิกรัม)	0.57
ไบโอติน (มิลลิกรัม)	0.02
กรดโฟลิก (มิลลิกรัม)	0.48

หมายเหตุ: ปริมาณสารอาหารต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ที่มา: คัดแปลงจาก Liu (no date)

อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ อะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูง ซึ่งจำกัดความนี้หมายรวมถึงอะตอมของไฮโดรเจนและไอออนของโลหะทรานซิชันส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังรวมถึงโมเลกุลของออกซิเจน อนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากอิเล็กตรอนเดี่ยวจะไม่เสถียรและพยายามจับคู่กับอิเล็กตรอนเดี่ยวอื่น ดังนั้นอนุมูลอิสระจึงมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีความไวสูงในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ อนุมูลอิสระที่มีความสำคัญในทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\cdot -}$) อนุมูลไฮดรอกซี ($\cdot OH$) อนุมูลอัลคอกซี ($RO^{\cdot}$) และอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซี ($HO_2^{\cdot}$) อนุมูลอิสระเหล่านี้จัดเป็นอนุมูลที่ไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงมาก ขณะที่ไนตริกออกไซด์ (NO) หรืออนุมูลไนตริกออกไซด์ ($\cdot NO$) อนุมูลวิตามินอี และอนุมูลวิตามินซี เป็นอนุมูลที่มีความไวสูงรองลงมา อนุมูลอิสระในระบบของสิ่งมีชีวิตเป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาผลาญของเซลล์โดยการใช้ออกซิเจน อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\cdot -}$) อนุมูลไฮดรอกซี ($\cdot OH$) เป็นอนุมูลที่พบในเซลล์มากกว่าอนุมูลอื่นๆ โดยเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความผิดปกติของระบบการทำงานของไมโทคอนเดรีย เมตาบอลิซึมของสารสื่อประสาท ภาวะขาดเลือด ภาวะช็อกและการอักเสบ เป็นต้น (โอภา, 2549) นอกจากนี้ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ช่วยเร่งการเกิดอนุมูลอิสระภายในร่างกาย เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเหล้า และชา กาแฟ การทานอาหารไหม้เกรียม ความเครียด แสงแดด และไอเสียรถยนต์ เป็นต้น โดยอนุมูลอิสระมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคภาวะความจำเสื่อม และโรคการเสื่อมของเซลล์หรือเกิดภาวะแก่ เป็นต้น (สุวรรณี, 2544)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิพิดหรืออาหารที่มีลิพิด ทำให้อาหารเสียคุณภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อไขมันหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง (free-radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกเกิดเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (นิธิยา, 2548)

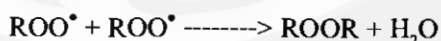
1. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ โดยลิปิด (RH) จะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งปฏิกิริยาจะถูกเร่งโดยแสง ความร้อน และ โลหะหนัก เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004)



2. Propagation เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสารอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO^\bullet$) แล้วดึงไฮโดรเจนอะตอม ($H^\bullet$) จากโมเลกุลของสารอินทรีย์ (RH) เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ($ROOH$) ที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ด้วย อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือสารอินทรีย์เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกันไปเป็นลูกโซ่ จนกระทั่งสารอินทรีย์หรือออกซิเจนได้ถูกใช้ไปหมด



3. Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดสารที่ไม่เป็นอนุมูล (non-radical products) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบางอย่างสามารถรวมตัวเกิดเป็นสารใหม่ที่ไม่ใช้อนุมูลอิสระและมีความคงตัวจึงส่งผลให้ปฏิกิริยาลูกโซ่หมดไป



สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร โดยอาจพบในอาหารตามธรรมชาติหรือมีการเติมลงไประหว่างกระบวนการแปรรูปหรืออาจเกิดขึ้นเองใน

อาหารระหว่างกระบวนการแปรรูป ซึ่งสารต้านออกซิเดชันไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของอาหารที่เสื่อมเสียแล้วให้ดีขึ้นได้แต่ช่วยคงรักษาด้านคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา (Akoh and Min, 2008) สารต้านออกซิเดชันยังทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในร่างกาย อาจอยู่ในกลุ่มของสารที่สังเคราะห์ขึ้นภายในร่างกายหรือได้รับจากภายนอก (สุวรรณิ, 2554)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน แบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 2 ประเภท (Akoh and Min, 2008) ดังนี้

1. สารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (primary antioxidants) เป็นสารต้านออกซิเดชันที่จับกับอนุมูลอิสระ จึงเป็นการตัดโซ่ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ อนุพันธ์ของอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร และอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันที่มีความไวในการทำปฏิกิริยาน้อยมาก โดยสามารถจับกับอนุมูลอิสระและอนุมูลสารต้านออกซิเดชันได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันชนิดปฐมภูมิ เช่น butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), propyl gallate (PG), tertiary butylhydroquinone (TBHQ), tocopherols และ carotenoids เป็นต้น

2. สารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary antioxidants) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 ตัวจับอนุมูล (chelators) อนุมูลโลหะหนักหลายชนิดเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส โครเมียม นิกเกิล สังกะสี และอะลูมิเนียม เป็นต้น โดยโลหะเหล่านี้จะเร่งทำปฏิกิริยากับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) หรือโมเลกุลของลิพิดได้อนุมูลอิสระ ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันที่สามารถจับอนุมูลโลหะได้ เช่น citric acid, phosphoric acid, ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), malic acid, tartaric acid, oxalic acid และ succinic acid เป็นต้น

2.2 สารจับออกซิเจน (oxygen scavengers) เป็นสารจับออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างของสารจับออกซิเจน เช่น ascorbic acid, ascorbyl palmitate, erythorbic acid และ sulfites เป็นต้น

2.3 สารจับซิงเกิ้ลตออกซิเจน (singlet oxygen quenchers) ซิงเกิ้ลตออกซิเจน (1O_2) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูง เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ตัวอย่างสารจับซิงเกิ้ลตออกซิเจน เช่น β -carotene, lycopene และ lutein เป็นต้น

สารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol compounds)

สารประกอบโพลีฟีนอลเป็นสารที่ถูกสังเคราะห์ในพืชและในดิน อาจพบอยู่ในรูปของโมเลกุลเดี่ยวไปจนถึงโครงสร้างพอลิเมอร์ โดยโพลีฟีนอลโมเลกุลเดี่ยวจะพบอยู่ในส่วนคลอโรพลาสต์ของเซลล์พืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการ polymerization ในการสร้างลิกนินระหว่างการเจริญเติบโตและสร้างความแข็งแรงของพืช (Kefeli *et al.*, 2003) นอกจากนี้พบว่าใบอ่อนพืชที่งอกออกจากเมล็ดในระยะแรก มีปริมาณโพลีฟีนอลมากกว่าในเมล็ดแห้งและเมล็ดที่กำลังงอก เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวช่วยปกป้องยอดอ่อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก และสร้างเนื้อเยื่อในการเจริญเติบโต (Cevallos-Casals and Cisneros-Zevallos, 2010) นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลยังเป็นสารที่มีฤทธิ์ในทางยา เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ไวรัส การอักเสบ และการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมไปถึงเป็นสารด้านการก่อกัมเริงและสามารถลดความดันโลหิตได้ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (โอภา, 2549)

โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบโพลีฟีนอล ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก (aromatic ring) และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี (OH-group) อย่างน้อย 1 หมู่ (Kefeli *et al.*, 2003) ดังแสดงในตาราง 5

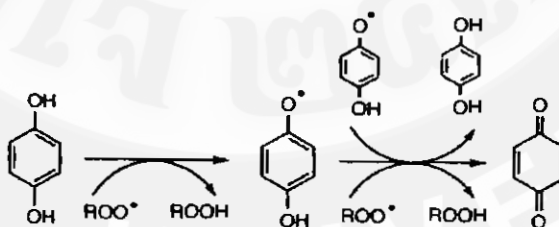
สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปและมีความสำคัญ ได้แก่

1. ฟีนอล (phenols, C_6) ได้แก่ phenol, cresol, thymol, resorcinol, orcinol เป็นต้น ซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปในพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ รวมทั้ง hydroquinone และอนุพันธ์ (เช่น arbutine และ sesamol เป็นต้น) และ phloroglucinol ด้วย
2. กรดฟีนอลิก (phenolic acid, C_6-C_1) ได้แก่ gallic acid, syringic acid, vanillic acid, protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid และอัลคิลไฮดรอกซีของกรดฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น
3. ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, C_6-C_3) ได้แก่ hydroxycinnamic acid (เช่น p-cumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, และ sinapic acid เป็นต้น) และอนุพันธ์, coumarins (เช่น umbelliferone, aesculetin และ scopoletin เป็นต้น) ซึ่งเป็นสารพวกไกลโคไซด์ (glycosides), cinamyl alcohols (เช่น coniferyl alcohol หรือ guaiacyl alcohol, sinapyl alcohol หรือ syringyl alcohol และ p-coumaryl alcohol หรือ p-hydroxyphenyl alcohol เป็นต้น) ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของลิกนิน

4. ฟลาโวนอยด์ (flavonoids, $C_6-C_3-C_6$) โครงสร้างสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมาก ได้แก่ ฟลาโวน (flavones เช่น chrysin, rutin, apigenin, luteolin และ diosmetin เป็นต้น) และฟลาโวนอล (flavonols เช่น quercetin, myricetin และ kaempferol เป็นต้น) รวมทั้งไกลโคไซด์ของฟลาโวนและฟลาโวนอลซึ่งพบได้ในพืชเกือบทุกชนิด ยกเว้นในสาหร่ายและ fungi สำหรับฟลาโวนอยด์ในกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ ฟลาโวนอน (flavonones เช่น naringin, naringenin, isosakuranetin, taxifolin, eriodictyol และ hesperidin เป็นต้น) ซึ่งพบมากในพืชตระกูลส้มและพ룬ไอโซฟลาโวน (isoflavones เช่น genistein, daidzin และ daidzein เป็นต้น) ซึ่งพบมากในพืชตระกูลถั่วที่มีลักษณะเป็นฝัก ฟลาวานอล (flavanols เช่น epicatechin, gallic catechin, epigallocatechin, catechin และ epicatechin gallate เป็นต้น) ซึ่งพบมากในชา และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงแดง พบได้ในดอกไม้ ฝักและผลไม้ (Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545)

สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของสารประกอบโพลีฟีนอล คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน เนื่องจากสารประกอบโพลีฟีนอลจะไปรบกวนปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของไขมัน เกิดเป็นอนุมูล phenoxy ขึ้น ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่รอบวงเบนซิน อนุมูลอิสระที่จะเกิดขึ้นยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลของไขมันอื่นๆ ได้อีก ดังภาพ 3 (Shahidi and Naczk, 2004)

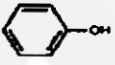
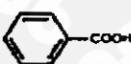
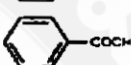
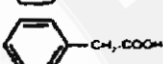
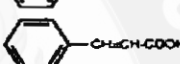
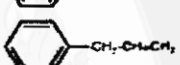
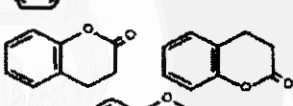
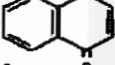
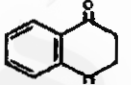
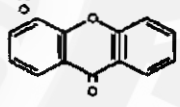
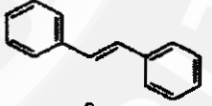
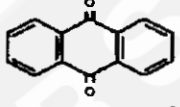
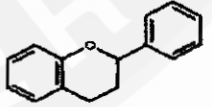


ภาพ 3 ปฏิกิริยาการต้านออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล

ที่มา: Shahidi and Naczk (2004)

นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลยังมีสมบัติเป็นสารคีเลต (chelating agent) ทำหน้าที่จับกับโลหะหนัก เช่น ทองแดง และเหล็ก ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการสร้างปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ (โอภา, 2549) นอกจากนี้คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจของสารประกอบโพลีฟีนอล คือ

ตาราง 5 โครงสร้างหลักของสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม		โครงสร้างพื้นฐาน
ฟีนอล (Simple phenols)	(C ₆)	
เบนโซควิโนน (Benzoquinones)	(C ₆)	
กรดฟีนอลิก (Phenolic acids)	(C ₆ -C ₁)	
อะซิโตน (Acetophenones)	(C ₆ -C ₂)	
กรดฟีนิลอะซิติก (Phenylacetic acids)	(C ₆ -C ₂)	
กรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acids)	(C ₆ -C ₃)	
ฟีนิลพรอพีน (Phenylpropenes)	(C ₆ -C ₃)	
คูมาริน (Coumarins) ไอโซคูมาริน (isocoumarins)	(C ₆ -C ₃)	
โครโมน (Chromones)	(C ₆ -C ₃)	
นาฟโตควิโนน (Nafthoquinones)	(C ₆ -C ₄)	
แซนโทน (Xanthenes)	(C ₆ -C ₁ -C ₆)	
สตีลเบน (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)

เป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) และใช้ป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง (Bravo, 1998 อ้างโดย วิวัฒน์, 2545) สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบอยู่ในผักและผลไม้บางชนิด แสดงในตาราง 6

ตาราง 6 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในผักและผลไม้บางชนิด

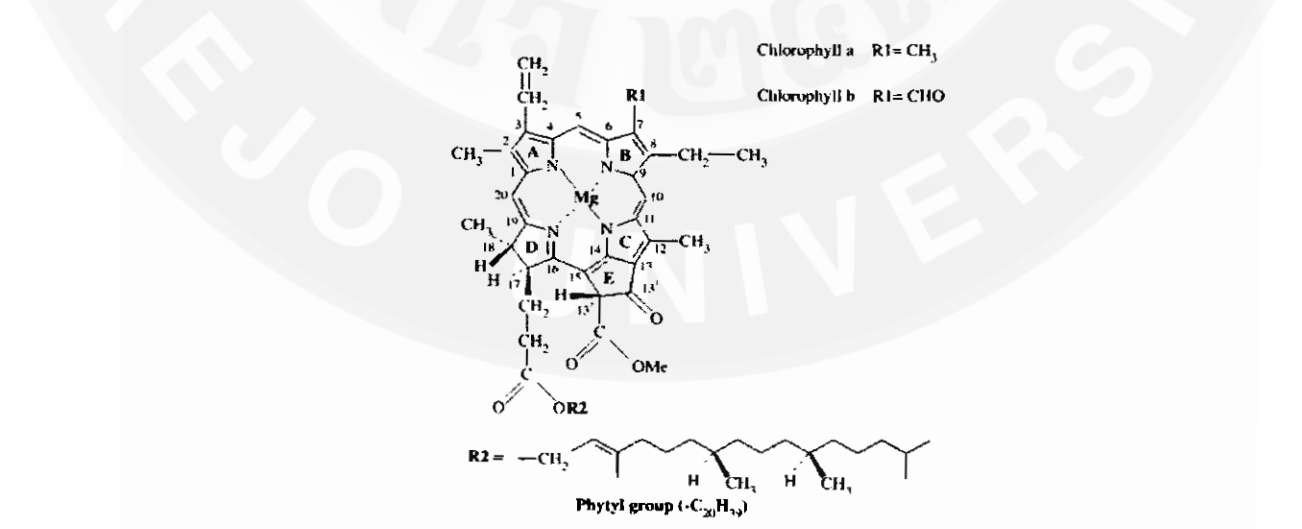
สารประกอบ โพลีฟีนอล	ตัวอย่างผักและผลไม้
Flavanol	
Epicatechin	
Catechin	
Epigallocatechin	ชาเขียว ชาดำ และไวน์แดง
Epicatechin gallate	
Epigallocatechin gallate	
Flavanone	
Naringin	เปลือกผลไม้ตระกูลส้ม
Taxifolin	ผลไม้ตระกูลส้ม
Flavonol	
Kaempferol	ต้นหอม บล๊อคโคลี่ ผักกาด ผลไม้จำพวกส้ม และชาดำ
Quercetin	หัวหอม ผักกาด บล๊อคโคลี่ แครนเบอร์รี่ ผีเสื้อแอปเปิล เบอร์รี่ มะกอก ชา และไวน์แดง
Flavon	
Chrysin	ผิวผลไม้ชนิดต่างๆ
Apigenin	เชอร์รี่ และพาร์สลีย์
Phenyl Propanoids	
Ferulic acid	ข้าวสาลี ข้าวโพด มะเขือเทศ ผักกาดขาว และหน่อไม้ฝรั่ง
Caffeic acid	องุ่นขาว ไวน์ขาว มะกอก น้ำมันมะกอก และผักโขม
p-Coumaric acid	องุ่นขาว มะเขือเทศ ผักโขม ผักกาดขาว และหน่อไม้ฝรั่ง
Chlorogenic acid	แอปเปิล สาลี่ เชอร์รี่ พลัม พีช แอปริคอต และบลูเบอร์รี่

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rice-Evans *et al.* (1996)

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบอยู่ในพืช โดยเฉพาะผักใบเขียวและผลไม้ดิบบางชนิด มีหน้าที่สำคัญคือสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในพืชชั้นสูงจะมีอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีประมาณ 3:1 และพบอยู่ในพลาสติด เรียกว่า คลอโรพลาสต์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็กๆ เรียกว่า กรานา (grana) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลามลลา (lamellae) โดยมีคลอโรฟิลล์โมเลกุลฝังตัวอยู่ที่ลามลลา และเกาะตัวอยู่กับลิพิด โปรตีนและไลโปโปรตีน

คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโครงสร้างเป็นเตตระไพโรล มีแมกนีเซียมอะตอมอยู่ตรงกลางโมเลกุล มีหมู่เมทิล ที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 และ 8 มีหมู่ไวนิล (vinyl) ที่ตำแหน่ง 2 หมู่เอทิลที่ตำแหน่ง 4 หมู่โพรพิโอเนต (propionate) ที่ตำแหน่ง 7 ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยไฟติลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) มีหมู่คีโต (keto) ที่ตำแหน่ง 9 และมีหมู่คาร์โบเมทอกซี (carbomethoxy) ที่ตำแหน่ง 10 ทำให้คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ สำหรับคลอโรฟิลล์บีมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลึงกับคลอโรฟิลล์เอมาก ยกเว้นที่ตำแหน่ง 3 ซึ่งในคลอโรฟิลล์เอเป็นหมู่เมทิล ($-CH_3$) แต่คลอโรฟิลล์บีเป็นหมู่ฟอร์มิล ($-COH$) และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ในส่วนของไฟติลแอลกอฮอล์หรือไฟดอล (phytol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม มีโครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) ช่วยยึดตรึงกับระบบแสง (นิชิยา, 2549) โครงสร้างคลอโรฟิลล์แสดงดังภาพ 4

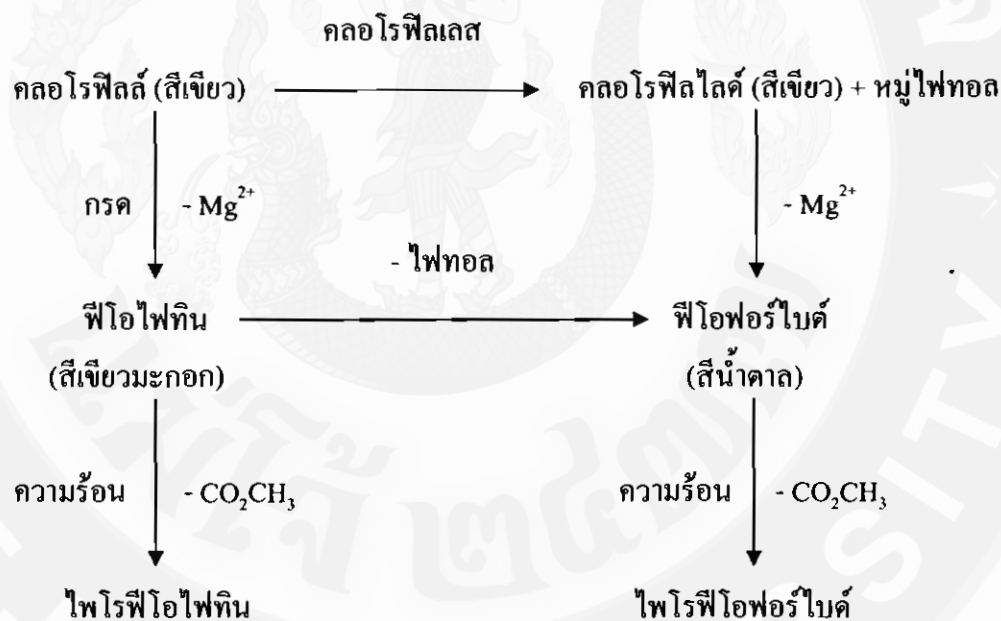


ภาพ 4 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์

ที่มา: Fernandes *et al.* (2007)

คุณสมบัติทางเคมีของคลอโรฟิลล์

ในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) ของฟีโอไฟติน นอกจากนั้นคลอโรฟิลล์ยังอาจเปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllide) โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส เกิดการสูญเสียหมู่ไฟติลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ทำให้คลอโรฟิลไลด์ละลายน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ แผนภูมิการสลายตัวของคลอโรฟิลล์แสดงดังภาพ 5



ภาพ 5 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์

ที่มา: Von Elbe and Schwartz (1996) อ้างโดย นิธิยา (2549)

คลอโรฟิลล์และฟีโอไฟตินไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ เบนซีนและอะซีโตน สำหรับคลอโรฟิลไลด์และฟีโอฟอร์ไบด์ซึ่งไม่มีหมู่ไฟตอลจะละลายได้ในน้ำ และไม่ละลายในน้ำมัน ในธรรมชาติคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืชจะรวมตัวอยู่กับไลโปโปรตีน ทำให้ช่วยป้องกันการถูกทำลายด้วยกรดได้ แต่การใช้ความร้อนในการแปรรูปจะทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและความสามารถในการป้องกันปฏิกิริยาจากกรดจะลดลงด้วย

ผลของกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

ผักและผลไม้ที่มีสีเขียวเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟดินอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำไปเก็บรักษาสีจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น อัตราเร็วของการเปลี่ยนสีของคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย และคลอโรฟิลล์เองจะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟดินเอได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บีเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟดินบีประมาณ 5-10 เท่า

ในระหว่างการเก็บรักษานั้นมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เช่น ผักแห้งที่บรรจุในภาชนะใสจะเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) และมีการสูญเสียรงควัตถุทำให้สีเปลี่ยนไปได้ ถ้าผักแห้งที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.32 จะทำให้คลอโรฟิลล์ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟดินได้ ในสภาวะที่ปริมาณน้ำอิสระสูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่าย หากอาหารแห้งมีปริมาณน้ำอิสระต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในปฏิกิริยาการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นฟีโอไฟดิน

ภาวะเหล็กเกิน (Iron overload)

ธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุในร่างกายที่มีความสำคัญในกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง ซึ่งในผู้ป่วยธาลัสซีเมียมักมีภาวะเหล็กเกินในร่างกายโดยมาจาก 2 สาเหตุหลัก (อัจฉรา และธัญชัย, 2550) คือ

1. มีการเพิ่มการดูดซึมธาตุเหล็กจากระบบทางเดินอาหาร ทั้งนี้เพราะไขกระดูกในผู้ป่วยธาลัสซีเมียต้องการเหล็กในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดง
2. การได้รับเลือดติดต่อกันหลายๆ ครั้งในผู้ป่วยที่มีอาการซีดมาก ซึ่งมักเกิดขึ้นในผู้ป่วยธาลัสซีเมียชนิดรุนแรงและปานกลาง

ผลเสียของการมีเหล็กเกินในร่างกาย

ธาตุเหล็กที่มากเกินไปจนเป็นส่งผลเสียต่อการทำงานของอวัยวะหลายระบบในร่างกาย ก่อให้เกิดอาการที่ไม่เฉพาะเจาะจง เช่น อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย อึดแน่นท้อง และอาการผิดปกติที่เฉพาะเจาะจงในแต่ละอวัยวะที่มีเหล็กส่วนเกินมาสะสม (อัจฉรา และธัญชัย, 2550) ได้แก่

1. เนื้อเยื่อตับถูกทำลายและมีเนื้อเยื่อพังผืดมาแทนที่จนเกิดเป็นตับแข็งในที่สุด
2. หัวใจจะมีขนาดใหญ่ผิดปกติและประสิทธิภาพในการบีบตัวลดลง เกิดภาวะหัวใจล้มเหลวได้ง่าย นอกจากนี้เหล็กที่เกินยังก่อให้เกิดเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบได้
3. เกิดความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ ซึ่งระบบนี้มีความสำคัญในการผลิตฮอร์โมนต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของร่างกาย เช่น ตับอ่อนทำหน้าที่ผลิตอินซูลิน ซึ่งมีความสำคัญในการผลิตน้ำตาลในเลือด เมื่อผิดปกติจะทำให้เกิดโรคเบาหวานขึ้น ต่อมใต้สมอง ทำหน้าที่ควบคุมการผลิตฮอร์โมนหลายชนิด เช่น ฮอร์โมนเพศ เด็กที่เป็นธาลัสซีเมียจึงมีการเจริญทางเพศช้ากว่าปกติหรือเป็นหมันในผู้ใหญ่
4. ผิวหนังจะมีสีคล้ำขึ้นจากเหล็กที่สะสมในชั้นใต้ผิวหนัง
5. เกิดข้อเสื่อมได้ง่าย โดยมักพบในภาวะเหล็กเกินจากสาเหตุของการดูดซึมธาตุเหล็กผิดปกติมาแต่กำเนิดมากกว่าจากโรคธาลัสซีเมีย
6. เกิดกระดูกบางเนื่องจากไขกระดูกถูกกระตุ้นให้ขยายขนาด เพื่อสร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนของเนื้อกระดูกบางลงและหักได้ง่าย

การรักษาภาวะธาตุเหล็กเกิน

ดีเฟอรัโรซามีน (Deferoxamine) เป็นยาขับธาตุเหล็กชนิดฉีดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่การฉีดติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปัญหาหยาบแผลฉีดแข็งเป็นไต ปัจจุบันได้มีการผลิตยาดีเฟอรัโพรน (Deferiprone) ซึ่งเป็นยาขับธาตุเหล็กชนิดรับประทาน แต่อย่างไรก็ตามยาทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ข้างเคียงหลายอย่าง เช่น ตับและไตทำงานผิดปกติ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย และคลื่นไส้ เป็นต้น (กิตติ, 2551; Breuer *et al.*, 2000)

ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยในการใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่สามารถขับธาตุเหล็กที่เกินได้เพื่อลดผลข้างเคียงของการใช้ยา จากงานวิจัยของ Srichairatanakool และคณะ (2006) พบว่าสารเคเดซินที่สกัดจากชาเขียวมีคุณสมบัติในการขับธาตุเหล็กในหลอดทดลองและดึงธาตุเหล็กในรูป Non-transferrin bound iron (NTBI) จากซีรัมผู้ป่วยธาลัสซีเมีย ซึ่งเป็นธาตุเหล็กในพลาสมาที่จับกับลิแกนด์อื่นๆ นอกเหนือจากทรานส์เฟอริน โดยเหล็กรูปนี้มีความเป็นพิษและสามารถทำลายสารชีวโมเลกุลและเยื่อหุ้มเซลล์ได้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Sroijit (2003) ในการนำมึนชันให้กับผู้ป่วยธาลัสซีเมียเป็นระยะ 6 เดือน พบว่าทำให้ระดับธาตุเหล็กที่ไม่ได้จับกับฮีโมโกลบิน เหล็กที่ไม่ได้จับกับทรานส์เฟอริน และระดับของมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเป็นการลดสภาวะเครียดในผู้ป่วยได้ และจากการศึกษาของ Marwaha และคณะ (2004) ได้นำน้ำคั้นใบอ่อนข้าวสาลี

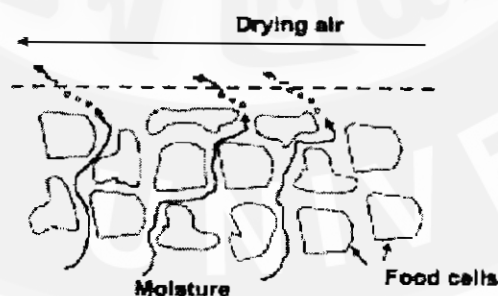
สด และ Singh และคณะ (2010) ได้นำไบอ้อนข้าวสาลีอัดเม็ดมาทดลองในผู้ป่วยธาลัสซีเมีย พบว่าช่วยลดความถี่ในการถ่ายเลือดลงได้

กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) โดยวัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารโดยการลดค่ากิจกรรมของน้ำซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิลโลว์, 2546)

กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนผ่านผิวหนังอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหนังของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อน ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

ที่มา: วิลโลว์ (2546)

ชนิดของเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบ่งเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการให้ความร้อนเพื่อให้ความชื้นเกิดการระเหย คือ

1. เครื่องอบแห้งที่ให้ความร้อนโดยตรง (อาศัยการพาความร้อน) โดยมีการสัมผัสระหว่างวัตถุและลมร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และการอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ เป็นต้น
2. เครื่องอบแห้งที่ให้ความร้อนโดยอ้อม มีการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำหรือแผ่รังสีจากพื้นผิวร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งสุญญากาศ เป็นต้น

การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

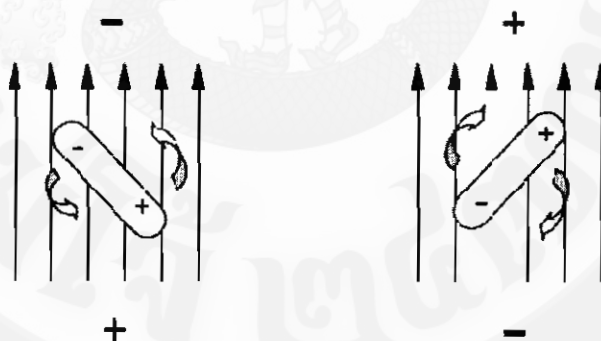
ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำแต่มีความยาวคลื่นสูง คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะเหมือนลำแสงเดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อกระทบโลหะจะสะท้อนกลับมา แต่สามารถทะลุอากาศ แก้ว กระดาษและพลาสติกได้ หรือถูกดูดซับโดยส่วนประกอบในอาหารซึ่งมีน้ำเป็นส่วนใหญ่ ถ้าคลื่นไมโครเวฟถูกสะท้อนกลับหมดหรือทะลุผ่านวัตถุโดยไม่มีการดูดซับ วัตถุหรืออาหารนั้นก็จะไม่ร้อน ดังนั้นการที่อาหารร้อนขึ้นเพราะมีการดูดซับคลื่นหรือพลังงานไว้ วัตถุที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก คือ วัตถุที่มีการเคลื่อนที่ภายในโมเลกุลมากกว่าวัตถุอีกชนิดหนึ่ง เรียกลักษณะดังกล่าวว่า ความหลวม (lossy) ระดับความหลวมนี้จะแปรผันกับคลื่นความถี่ อุณหภูมิ และลักษณะของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหลวมมาก จะสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มาก นั่นคือวัตถุจะร้อนมาก (วิไล, 2546)

การนำไมโครเวฟมาใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารในการอบแห้ง จะอาศัยสมบัติของการเกิดความร้อน 2 แบบร่วมกัน ดังนี้

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากไอออนในสารละลาย เมื่อเข้าอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ และเกิดการเสียดสีกันกับไอออนอื่นๆ และจะวิ่งผ่านไปมาในสารละลายของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบ เกิดเป็นพลังงานจลน์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด
2. Dipole Rotation จากการที่คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีผลไปเหนี่ยวนำให้ประจุของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติขั้ว (dipole) ที่ตามปกติจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของน้ำจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทาง

เพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและเกิดพลังงานความร้อนขึ้น (ภาพ 7)

การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สมบูรณ์ประกอบด้วย 3 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นช่วงให้ความร้อน ซึ่งพลังงานไมโครเวฟจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในวัสดุอาหารที่ขึ้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันความดันไอและความชื้นในอาหารจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเหนือความดันสิ่งแวดล้อม ทำให้เริ่มเกิดการสูญเสียความชื้นออกจากชิ้นวัสดุแต่ยังเป็นอัตราการสูญเสียความชื้นต่ำอยู่ ช่วงที่สองเป็นช่วงการทำแห้งอย่างรวดเร็ว เป็นช่วงที่พลังงานความร้อนเกือบทั้งหมดที่ได้จากการเปลี่ยนจากพลังงานไมโครเวฟจะใช้ในการระเหยไอน้ำความชื้น และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงที่อัตราการแห้งลดลง เพราะปริมาณความชื้นลดลง แต่อุณหภูมิยังคงสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจนำไปสู่การไหม้ได้ แต่พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นมักไม่สม่ำเสมอ จึงนำเอาโรตารีคริมมาใช้ร่วมกับการทำแห้งเพื่อให้วัสดุได้รับคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งมีความสม่ำเสมอซึ่งมีผลต่อคุณภาพที่ได้ ระดับพลังงานไมโครเวฟมีผลต่อความชื้นสุดท้ายที่ได้ ส่วนระดับความดันในการทำแห้งมีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพการทำแห้ง



ภาพ 7 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากไมโครเวฟ
ที่มา: สายสนม และคณะ (2546)

การทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบการทำแห้งภายใต้สุญญากาศ ใช้หลักการลดจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์ลงโดยใช้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งสามารถทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อคลื่นไมโครเวฟพุ่งเข้าสู่อาหารด้านในจะถูกดูดกลืนไว้ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการลดพลังงาน

ความร้อนที่เป็นความร้อนสัมผัส ทำให้อาหารทั้งด้านนอกและด้านในได้รับคลื่นความร้อนพร้อมกันจึงไม่ทำให้อาหารเกิดการไหม้เกรียม ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย สามารถรักษาสี รูปทรง รส กลิ่น และสารอาหาร ได้ใกล้เคียงกับของสด (สายสนม และคณะ, 2546)

บรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะแห้ง บดละเอียด หรือที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ๆ เช่น ชา กาแฟและเครื่องเทศ มักมีปัญหาในเรื่องการดูดซึมความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดเชื้อราและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ สำหรับผลิตภัณฑ์ชา ยังพบว่าสามารถดูดซับกลิ่นจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ดี (ปริญญา, 2542) ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องช่วยในการเก็บรักษาคุณค่าของอาหารนั้น เช่น ช่วยเก็บรักษากลิ่น และความชื้น เป็นต้น และตัวบรรจุภัณฑ์เองต้องไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร (ปุ่น และสมพร, 2541)

บรรจุภัณฑ์จะทำหน้าที่ปกป้องผลิตภัณฑ์จากปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1. การซึมผ่านของวัตถุ โดยเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ

1.1 ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซจากภายนอกสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนซึ่งอาจทำให้เกิดการเหม็นหืน หรือกลิ่นจากภายนอกที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของกลิ่นในผลิตภัณฑ์ได้

1.2 ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซจากภายในสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์ เช่น ป้องกันการสูญเสียกลิ่น ลดการระเหยของน้ำ รวมถึงหลีกเลี่ยงการรั่วซึมของก๊าซที่บรรจุไว้เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2. การถ่ายเทพลังงาน พลังงานแสงและความร้อนจากสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น สีของผลิตภัณฑ์เกิดการซีดจาง สูญเสียวิตามิน และเร่งการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น

3. จุลินทรีย์ โดยบรรจุภัณฑ์จะปกป้องผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในบรรยากาศ และจากตัวผลิตภัณฑ์เอง

โพลีโพรพิลีน (polypropylene)

มีคุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา มีความเงามาก และใสความแข็งแรงสูง ทนต่อกรดและด่างได้ดีมาก ราคาถูก รวมถึงสามารถป้องกันความชื้นได้เป็นอย่างดี แต่ต้องปิดผนึกอย่าง

ถูกต้องและเหมาะสม และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการป้องกันความชื้นจะลดลง นอกจากนี้การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และ กลิ่นยังไม่ดีนัก (ปริญญา, 2542)

อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)

เป็นการประกบของวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาเชื่อมติดกันและสามารถรวมกันเป็นแผ่นเดียว เพื่อรวมคุณสมบัติที่ดีของแต่ละวัสดุ วัสดุที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับผลิตภัณฑ์ชา คือ พอลิเอทิลีนพทาเลต/อะลูมิเนียม/พอลิเอทิลีน (PET/Al/PE) เรียงชั้นจากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน ซึ่งพอลิเอทิลีนพทาเลต จะให้ความแข็งแรงและความทรงตัว อะลูมิเนียมจะป้องกันความชื้น ออกซิเจนและแสงสว่าง และพอลิเอทิลีนให้การปิดผนึกที่ดี (ปริญญา, 2542)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)
2. ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 2 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)
3. ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)
4. ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 (บริษัทข้าวธรรมชาติ จำกัด จังหวัดสุโขทัย)

เครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven: Termaks, Norway)
2. หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave: All American, USA)
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius CP 224S, Germany)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius BP 610, Germany)
5. เครื่องเขย้าสารชนิดสาย (platform mixer: Ratex)
6. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge: Hettich, England)
7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer: Perkin Elmer, Germany)
8. เครื่องวัดค่าสี (colorimeter: Tri-stimulus colorimeter, Japan)
9. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (water activity meter: Aqualab 3TE, U.S.A.)
10. เครื่องย่อย (digestion block)
11. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl nitrogen equipment: Tecator, Sweden)
12. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet apparatus: Tecator, Sweden)
13. เตาให้ความร้อน (hotplate: Kika, Malaysia; Gerhardt, Germany)
14. เตาเผาถ่าน (muffle furnace: Carbolite, England)

15. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (vacuum-microwave dryer: Marchcool, Thailand)

16. เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer: Heto Power Dry PL3000, USA)

17. เครื่องปั่น (blender: Moulinex, China)

18. ตู้ถ่ายเชื้อ (laminar flow: Holten Laminar HB 2472, Denmark)

19. ตู้บ่มเชื้อ (incubator: Heraeus B12, Germany)

20. เครื่องกวนผสมพร้อมใบกวน

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. ปิเปต (pipette)

13. ไมโครปิเปต (micropipette)

14. ปิเปตทิป (pipette tip)

15. โถดูดความชื้น (desiccator)

16. ครุฑิเบิลกระเบื้อง (crucible)

17. กระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)

18. ช้อนตักสารเคมี (dispensing spoons)

19. ขวดน้ำกลั่น (wash bottle)

20. ลูกยาง (rubber)
21. กระดาษกรอง (filter paper: Whatman No. 93)
22. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
23. นาฬิกาจับเวลา (stopwatch)
24. ตะแกรง (sieve)
25. ถาดอะลูมิเนียม (aluminum tray)
26. ซองชา (tea bag)
27. ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil bag)
28. ถุงโพลีโพรพิลีนชนิดหนา (polypropylene bag)
29. จานเพาะเชื้อ (plate)
30. ขวด duran

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)

หมายเหตุ

สารเคมีจากข้อ 23-30 ได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการของภาควิชา
ชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อาหารเลี้ยงเชื้อ

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

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาระยะเวลาการผลิตใบข้าวอ่อน

นำข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มาแช่น้ำเป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปสระเด็ดน้ำ และบ่มในผ้าขาวบาง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปเพาะในแปลงดิน รดน้ำให้ชุ่ม โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อนทุกๆ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน นำมาวิเคราะห์ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS⁺) (ดัดแปลงจาก Re *et al.*, 1999) และวิธี Ferric reducing ability of power (FRAP) (ดัดแปลงจาก Benzie and Strain, 1996) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (ดัดแปลงจาก ประพันธ์ และวันทนี, 2545) และคลอโรฟิลล์ (ดัดแปลงจาก Amon, 1948) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก จ

การทดลองในคอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มคลอ (Completely Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของใบข้าวอ่อน

ใบข้าวอ่อนวัตถุดิบทั้งสองสายพันธุ์ที่ได้จากข้อ 1 ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดจะถูกสุ่มตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1995) สมบัติการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์ ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก จ

3. การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งใบข้าวอ่อนที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษาในคอนนี้ได้นำผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ที่ให้คุณภาพใบข้าวดีที่สุดมาศึกษาวิธีการทำแห้งที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพใบข้าวอ่อน การลดความชื้นในตัวอย่างจะอาศัยตู้อบลมร้อน (Termaks, Norway) โดยมีปัจจัยการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิการให้ความร้อน (50-80 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการให้ความร้อน (2-4 ชั่วโมง) ในการศึกษาจะล้างใบข้าวอ่อนด้วยน้ำสะอาด และแช่ในสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตความเข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 15 นาที ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งจะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์

การทดลองในตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2 การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพใบข้าวอ่อน ในการศึกษาได้คัดเลือกสถานะการทำแห้งที่ดีที่สุดจากตอนที่ 3.1 เปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Heto Power Dry PL3000, USA) และไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (Marchcool, Thailand) ที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 960 1920 และ 2880 วัตต์ ตัวอย่างอบแห้งจะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับตอนที่ 3.1 และความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสี (ดัดแปลงจาก Srichairatanakool *et al.*, 2006) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก จ

การทดลองในตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาของน้ำร้อนในการสกัดเครื่องดื่มจากใบข้าวอบแห้ง

ใบข้าวอ่อนอบแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ดีที่สุดจากตอนที่ 3.2 จะนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (moulinex, China) จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 30 mesh ผงใบข้าวอบแห้ง น้ำหนัก 1.50 กรัม จะนำไปบรรจุในซองชา การทดลองในตอนนี้จะศึกษาปัจจัยในการสกัดด้วยน้ำร้อน 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำในการสกัด (80-98 องศาเซลเซียส) และ

ระยะเวลาในการสกัด (3-9 นาที) ในการสกัดจะใช้เครื่องกวนผสมพร้อมใบกวน ที่มีความเร็วของใบพัดคงที่ (60 รอบต่อนาที) ตัวอย่างน้ำสกัดจะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส และเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสี

การทดลองในตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. การศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ใบข้าวอ่อนทำแห้งจากตอนที่ 3.2 ที่มีสมบัติดีที่สุดจะนำไปเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสโพลีโพรพิลีนชนิดหนาขนาด 4x6 นิ้ว ความหนา 0.07 มิลลิเมตร และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 4x6 นิ้ว ความหนา 0.1 มิลลิเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตัวอย่างในแต่ละเดือนจะถูกสุ่มเพื่อวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล คลอโรฟิลล์ และ ความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสี และปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (total plate count) และปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก จ

การทดลองในตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องคั้นสกัดจากใบข้าวอบแห้ง

ใบข้าวอ่อนอบแห้งทั้ง 2 สายพันธุ์จากการทำแห้งด้วยวิธีที่ดีที่สุด จะนำไปสกัดเครื่องคั้นด้วยน้ำร้อนที่ปราศจากเชื้ออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที เนื่องจากเป็นระดับอุณหภูมิร้อนที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำในครัวเรือนทั่วไป โดยมีการควบคุมสภาวะในการสกัดด้วยเครื่องเขย่าสารชนิดสายที่ความเร็วคงที่ 90 รอบต่อนาที เพื่อควบคุมสภาวะการสกัดเครื่องคั้นของแต่

ตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอ เครื่องดื่มที่ได้จะนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค 80 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale โดยทดสอบในด้านสี กลิ่น รสชาติและการยอมรับรวม ตามแบบฟอร์มการทดสอบทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก จ รวมถึงสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสี

การทดลองในตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

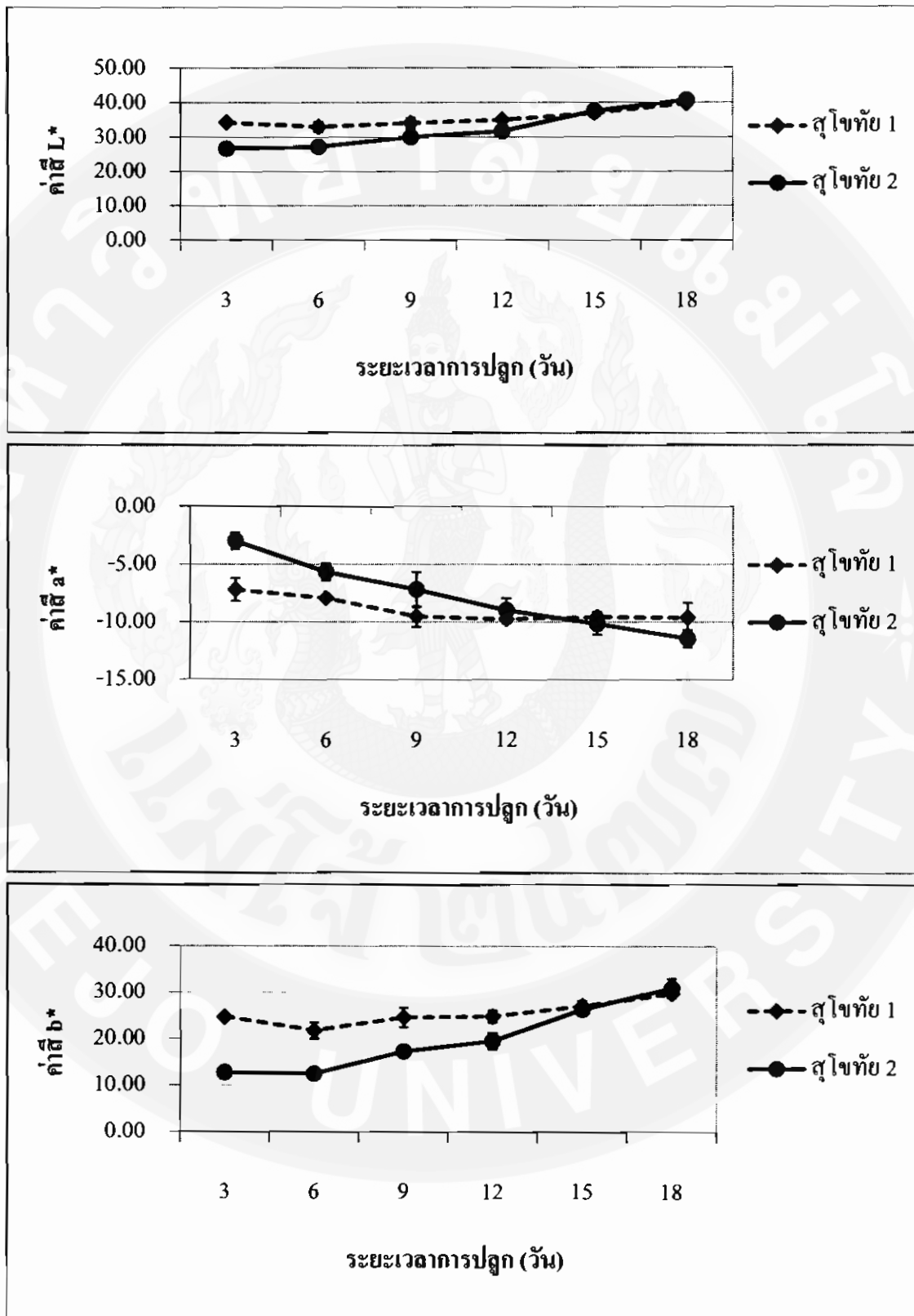
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การศึกษาระยะเวลาการผลิตใบข้าวอ่อน

ข้าวเปลือกทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านกระบวนการงอก เบื้องต้นจะผลิตใบข้าวอ่อนประมาณ 2-3 ใบ ในการศึกษาได้สุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อนหลังจากเพาะ บนแปลงดินเมื่อเวลาผ่านไป 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน มีการวิเคราะห์ค่าสี ($L^* a^* b^*$) สมบัติการ ด้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และปริมาณคลอโรฟิลล์ สำหรับค่าสีในการวิเคราะห์ ตัวอย่างจะใช้ค่าสีในระบบ CIE ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* หมายถึงความสว่างมี ค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 หมายถึง สีดำ และ 100 หมายถึง สีขาว ค่า a^* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ค่า $-a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว ส่วนค่า b^* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง และค่า $-b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน โดยพบว่าค่าความสว่างของสี (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของใบข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุการปลูก สำหรับค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) มีแนวโน้มลดลง โดยในช่วงอายุการปลูกวันที่ 12-18 ค่าความเป็นสีเขียวไม่แตกต่างกันทาง สถิติ (ภาพ 8)

จากการวิเคราะห์สมบัติการด้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและ คลอโรฟิลล์ พบว่าใบข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์มีแนวโน้มของค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาการ ปลูกที่ศึกษา (ภาพ 9-11) โดยอายุการปลูกในช่วงวันที่ 12-15 วัน มีสมบัติการด้านออกซิเดชัน วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ (ABTS radical cation decolorization assay) และ FRAP (Ferric reducing ability of power) และสารประกอบโพลีฟีนอลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพันธุ์สุโขทัย 1 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 25.71-26.63, 45.17-54.09 และ 14.09-14.44 และในตัวอย่างพันธุ์สุโขทัย 2 มี ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 27.29-29.35, 65.49-69.90 และ 17.83-18.08 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต และมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จากการศึกษาของ Randhir and Shetty (2005) พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในใบข้าวโพด อ่อนที่ระยะการปลูกในช่วงต้นจะอยู่ในรูปของสารประกอบที่ละลายได้ (soluble form) แต่เมื่อ ระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้นจะพบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เนื่องจากเกิด กระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) ในพืช โดยมีการใช้สารประกอบโพลีฟีนอลไป เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสร้างสารประกอบลิกนินและลิกแนนผ่านกระบวนการ lignification เพื่อใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อโครงสร้างการเจริญของพืชต่อไป รวมถึงมีการเพิ่มขึ้นของสมบัติการด้าน

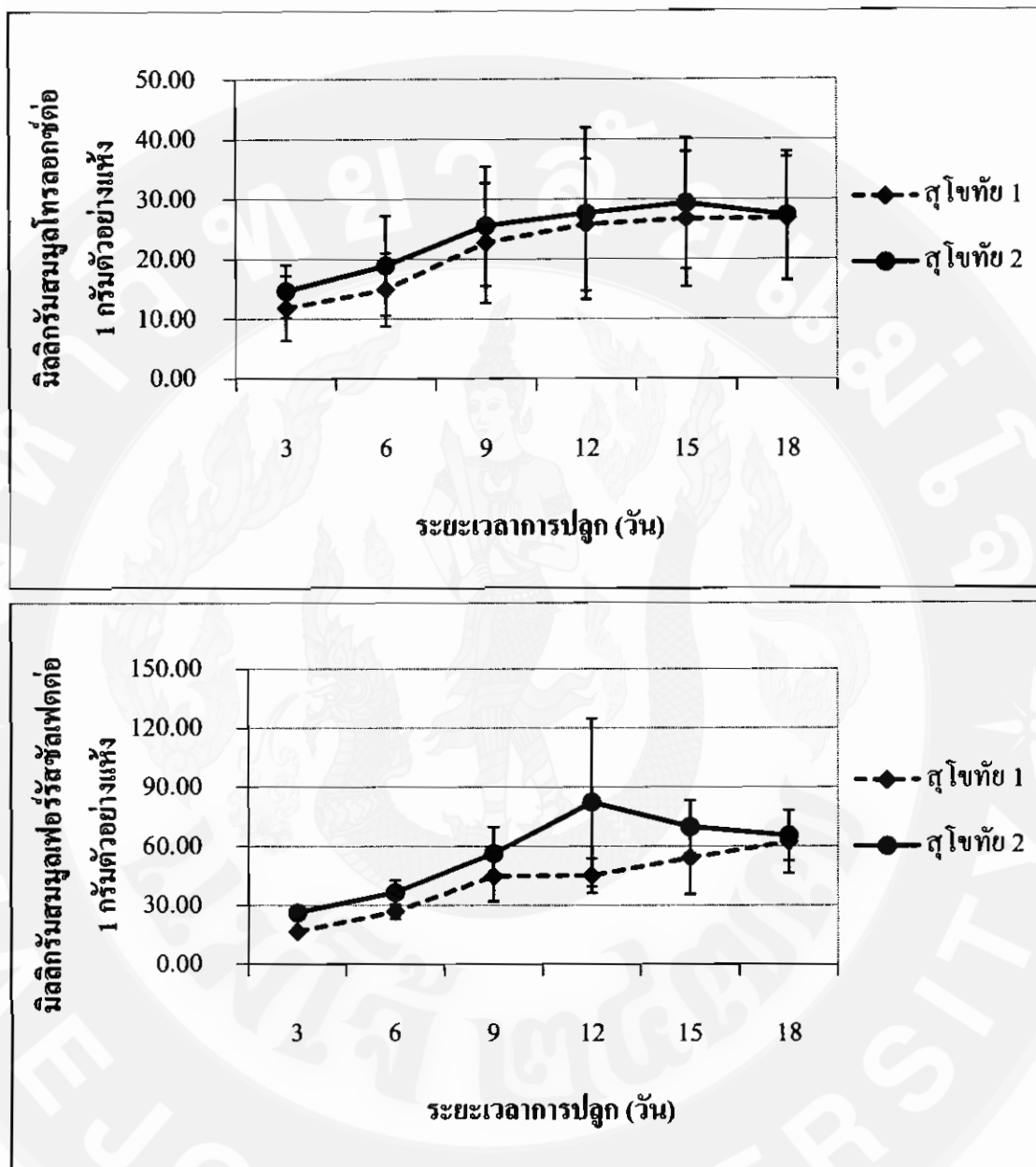


ภาพ 8 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ

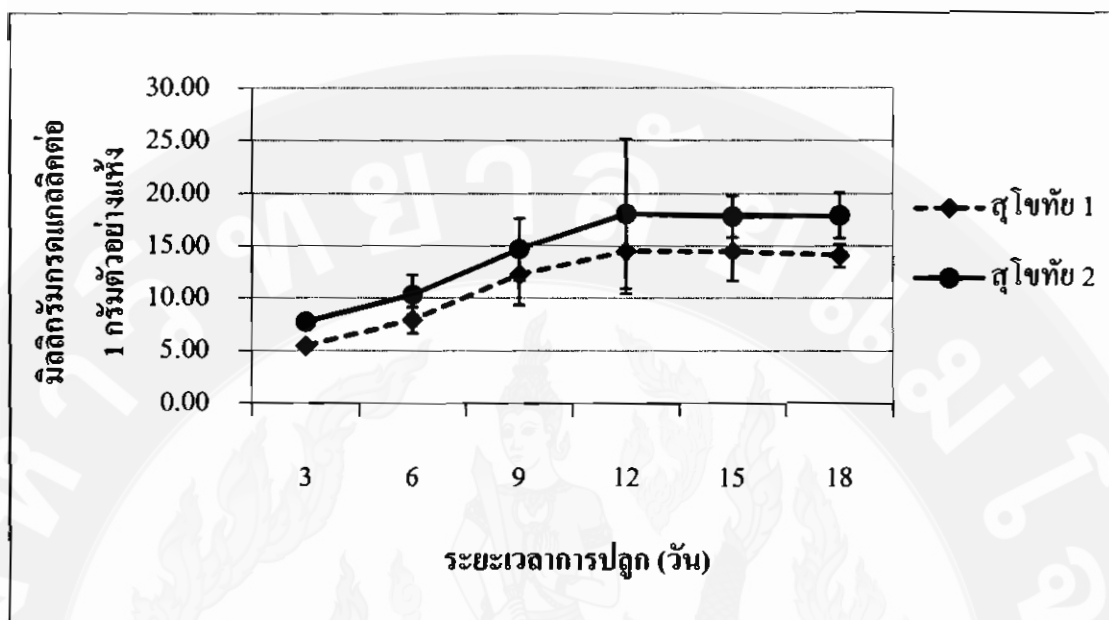
ออกซิเดชัน และเอนไซม์ guaiacol peroxidase ตลอดช่วงเวลาที่เพาะปลูก (1-9 วัน) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2010) ที่พบว่าใบอ่อนถั่วแระ (pigeon pea) ที่งอกในระยะแรกจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าในอายุใบที่มากขึ้น เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Paulickova และคณะ (2007) ที่พบว่าใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ที่มีอายุการปลูกในช่วงต้นจะมีปริมาณโพลีฟีนอล รวมถึงวิตามินซี กรดอะมิโน และน้ำตาลชนิดโมโนแซ็กการไรด์มากกว่าในใบแก่ สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบมากในระยะแรกเนื่องจากเป็นสารป้องกันใบอ่อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก และเป็นสารตั้งต้นในการเจริญเป็นโครงสร้างของพืช (Cevallos-Casals and Cisneros-Zevallos, 2010) และการศึกษาของ Kulkarni และคณะ (2006b) ได้ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบโพลีฟีนอลในใบอ่อนข้าวสาลีที่มีอายุ 6, 7, 8, 10 และ 15 วัน พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการปลูก โดยมีปริมาณสูงสุดในตัวอย่างที่อายุ 15 วัน จากงานวิจัยของ Verma and Dubey (2003) พบว่าใบข้าวอ่อนที่มีการเจริญในระยะแรก (0-20 วัน) จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เช่น superoxide dismutase, catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase โดยพบปริมาณสูงสุดในช่วง 15-20 วัน ของการปลูก นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างใบข้าวสาลีอ่อนที่ศึกษาในช่วงอายุการปลูก 5-20 วัน จะมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ เพิ่มขึ้น (Kulkarni *et al.*, 2006a)

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุการปลูกที่ศึกษาและลดลงเล็กน้อยในช่วง 15-18 วัน (ภาพ 10) โดยพบว่าในช่วงวันที่ 9-18 วัน ของการปลูก ตัวอย่างใบข้าวอ่อนของทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.54-12.29 และ 9.69-13.15 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จากการศึกษาของ Kohler (1943) พบว่าใบของข้าวโอตที่มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง รวมถึงสารอาหารต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมันและวิตามินหลายชนิด และพบว่าปริมาณเซลล์ลูไลสเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Panda และคณะ (2003) ที่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลงเมื่ออายุการปลูกเพิ่มขึ้น

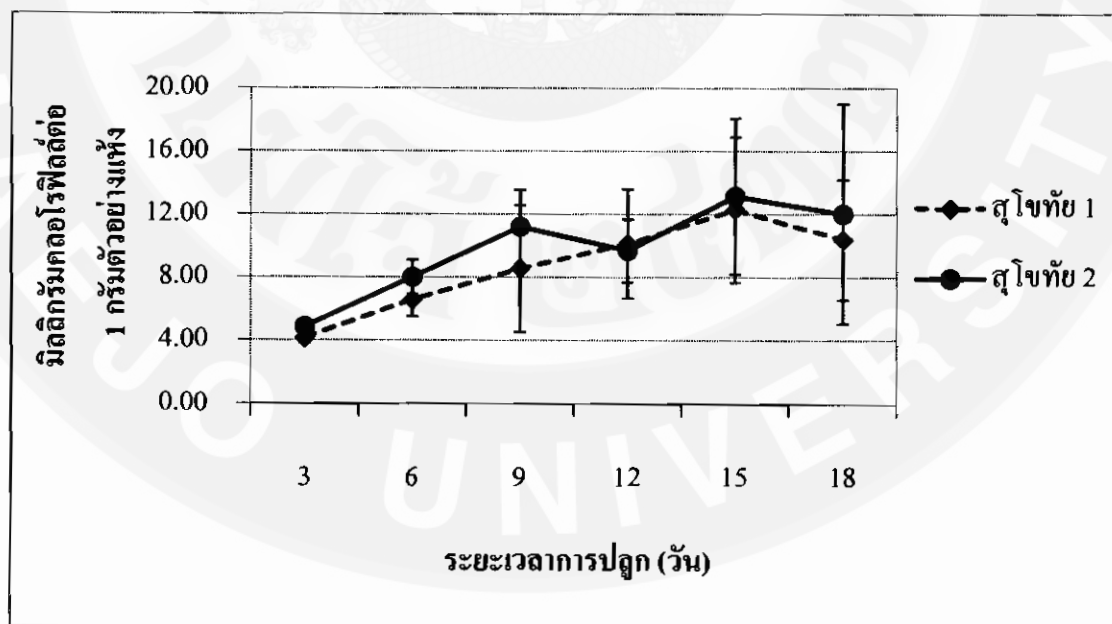
จากผลการทดลองในตอนนี้ได้ทำการคัดเลือกอายุการปลูกที่เหมาะสมของใบข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ คือที่ 15 วัน เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 9 สมบัติการต้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลาการปลูกต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP ใช้โพลอกรักซ์และเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน ตามลำดับ



ภาพ 10 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลากการปลูกต่างๆ ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน



ภาพ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และ สุโขทัย 2 ที่ระยะเวลากการปลูกต่างๆ

2. การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของใบข้าวอ่อน

จากการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่อายุการปลูก 15 วัน พบว่ามีปริมาณความชื้นมากที่สุดถึงร้อยละ 74.41-75.14 รองลงมาคือคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 15.57-17.28 สำหรับปริมาณโปรตีนมีอยู่ร้อยละ 5.11-5.46 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.07-3.59 และน้อยที่สุดคือไขมันมีอยู่ร้อยละ 0.18-0.27 (ตาราง 7)

ตาราง 7 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2

องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี	สายพันธุ์	
	ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2
ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	74.41 ± 0.04	75.14 ± 0.14
เถ้า (ร้อยละ) ^{ns}	3.07 ± 0.11	3.59 ± 0.21
โปรตีน (ร้อยละ) ^{ns}	5.11 ± 0.17	5.40 ± 0.17
ไขมัน (ร้อยละ) ^{ns}	0.18 ± 0.05	0.27 ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) ^{ns}	17.28 ± 0.17	15.57 ± 0.46

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ในการวิเคราะห์ค่าสีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 พบว่ามีค่าความสว่างของสี (L^*) เท่ากับ 33.16 และ 32.29 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) มีค่าเท่ากับ -10.96 และ -11.56 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) มีค่าเท่ากับ 24.42 และ 23.73 ตามลำดับ (ตาราง 8) จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่า ใบข้าวอ่อนของข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีสีที่ใกล้เคียงกัน ($p \geq 0.05$) หากแต่พันธุ์สุโขทัย 1 จะมีสีเขียวสว่างกว่าพันธุ์สุโขทัย 2

จากการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP และสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 29.62 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ 53.34 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต และ 14.28 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 8.67 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง สำหรับพันธุ์สุโขทัย 1 มีสมบัติการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP และ

สารประกอบโพลีฟีนอล เท่ากับ 25.52 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอคซ์ 44.57 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต และ 11.58 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 7.28 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ดังแสดงในตาราง 9 ซึ่งข้าวหอมพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีเชื้อหุ้มเมล็ดมีสีสีแดงและดำ ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงสารประกอบแอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน (คำเนิน และสันสนีย์, 2543) จากการการศึกษาของลัสพรณ (2553) พบว่าเมล็ดข้าวหอมดำสุโขทัย 2 ให้สมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าเมล็ดข้าวหอมแดงสุโขทัย 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yun และคณะ (2008) พบว่าเมล็ดข้าวที่มีเชื้อหุ้มเมล็ดสีดำ มีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าเมล็ดข้าวที่มีเชื้อหุ้มสีแดงและขาว ตามลำดับ ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่พบมากกว่าพันธุ์สุโขทัย 1 ($p \geq 0.05$)

ตาราง 8 ค่าสีของใบข้าวอ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2

สายพันธุ์	ค่าสี		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	33.16 ± 1.37	-10.96 ± 0.22	24.42 ± 1.90
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2	32.29 ± 2.47	-11.56 ± 0.69	23.73 ± 1.56

หมายเหตุ - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=3$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 9 สมบัติการต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และกลอโรฟิลล์ของใบข้าว
อ่อนวัตถุดิบพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2

วิธีวิเคราะห์	สารละลายมาตรฐาน (มิลลิกรัม)	ใบข้าวอ่อนพันธุ์ สุโขทัย 1	ใบข้าวอ่อนพันธุ์ สุโขทัย 2
ABTS ^{ns}	โทรลอกซ์	25.52 ± 1.27	29.62 ± 2.88
FRAP ^{ns}	เฟอร์รัสซัลเฟต	44.57 ± 12.66	53.34 ± 7.01
สารประกอบโพลีฟีนอล ^{ns}	กรดแกลลิก	11.58 ± 2.77	14.28 ± 1.63
กลอโรฟิลล์ ^{ns}	-	7.28 ± 0.87	8.67 ± 1.79

หมายเหตุ

- เปรียบเทียบกับตัวอย่าง 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง)
- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
- ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3. การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งใบข้าวอ่อนที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.1 การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพใบข้าวอ่อน

หลังจากทำการคัดเลือกอายุการปลูกเพื่อผลิตใบข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ ที่ 15 วัน นำมาศึกษาวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยทำการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิการอบ (50-80 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการอบ (2-4 ชั่วโมง) จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ ($p < 0.05$) ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการทำแห้งมีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 4.01-7.56 และ 4.47-8.53 ตามลำดับ (ตาราง 10) โดยพบว่าสภาวะการทำที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความชื้นสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นยังอยู่ในมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 280 พุทธศักราช 2547 เรื่อง มาตรฐานไพร โดยความชื้นให้มีได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 0.401-0.554 และ 0.420-0.570 ตามลำดับ (ตาราง 11) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Doymaz (2006) ได้ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งใบมันในช่วง 35-60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0-700 นาที พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการทำแห้งตัวอย่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารมายังผิวหน้าและเกิดการระเหยได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการศึกษาในพืชหลายชนิด เช่น กากอ์น (Maskan *et al.*, 2002) มันฝรั่งแผ่น (Hassini *et al.*, 2004) ผักคะน้า (Mwithiga and Olwal, 2005) ถั่วลิสง (Wiriyampaiwong and Wiset, 2008) และใบพาร์สเลย์และผักชีฝรั่ง (Doymaz *et al.*, 2006) เป็นต้น

ตาราง 10 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนสายพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่างๆ

ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1			
อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการทำแห้ง (ชั่วโมง)		
	2	3	4
50	7.57 ± 0.42^{ax}	6.86 ± 0.48^{axY}	6.93 ± 0.48^{aY}
60	6.16 ± 0.43^{bx}	5.39 ± 0.38^{bxY}	5.87 ± 0.31^{bY}
70 ^{ns}	5.10 ± 0.22^c	5.17 ± 0.37^b	5.12 ± 0.53^{bc}
80	4.64 ± 0.19^{cx}	4.0 ± 0.24^{cXY}	4.37 ± 0.60^{cY}
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2			
อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการทำแห้ง (ชั่วโมง)		
	2	3	4
50 ^{ns}	8.53 ± 1.44^a	7.84 ± 1.03^a	8.07 ± 2.72^a
60 ^{ns}	6.57 ± 1.08^{ab}	6.35 ± 1.71^{ab}	6.62 ± 1.57^{ab}
70 ^{ns}	6.50 ± 1.75^{ab}	5.32 ± 0.64^b	5.08 ± 1.07^b
80 ^{ns}	4.74 ± 1.01^b	4.64 ± 1.30^b	4.47 ± 0.72^b

- หมายเหตุ
- ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ^{x-y} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=2$)

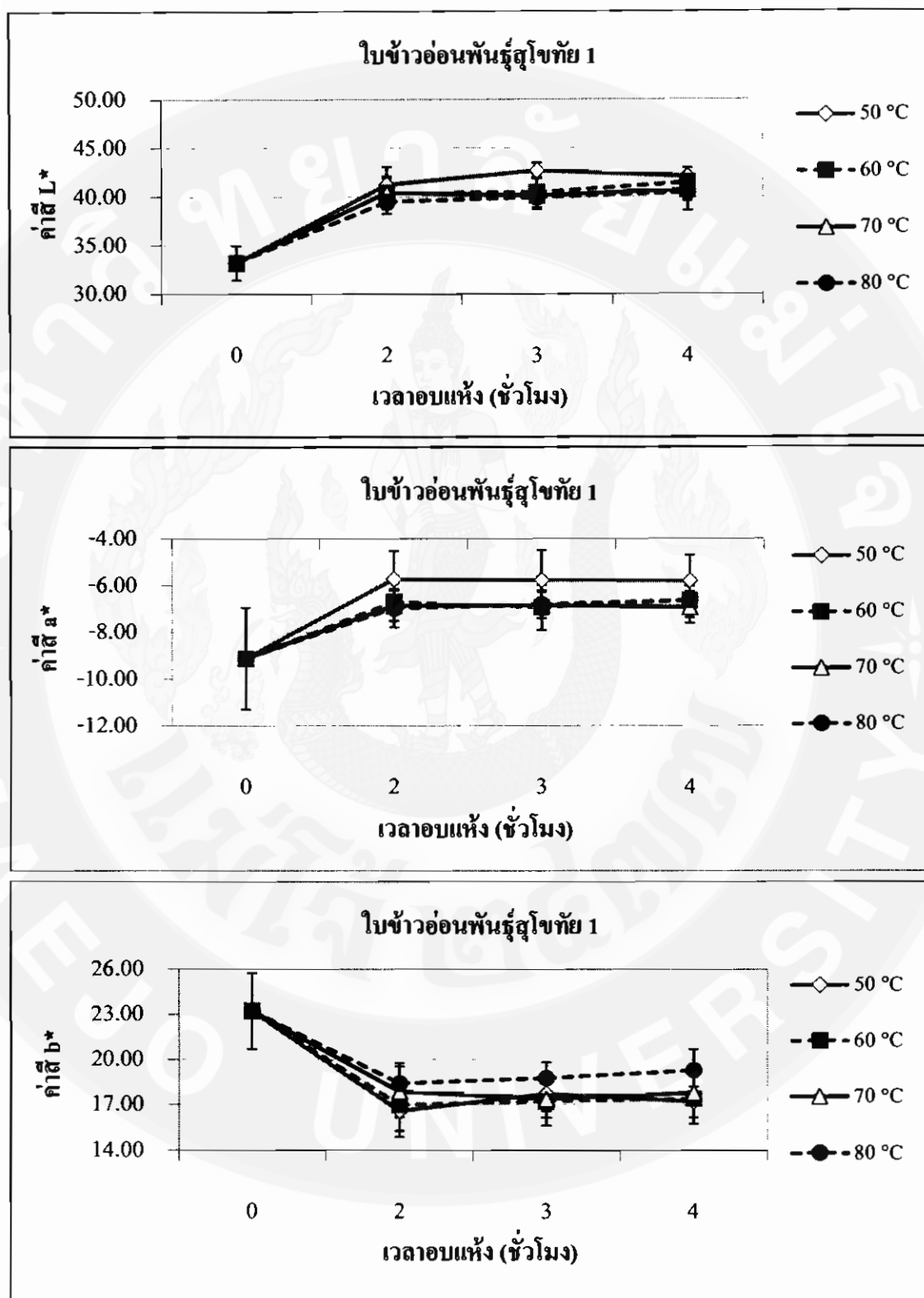
ตาราง 11 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนหลังผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่างๆ

ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1			
อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการทำแห้ง (ชั่วโมง)		
	2	3	4
50	0.554 ± 0.02^{aX}	0.504 ± 0.01^{aY}	0.501 ± 0.03^{aY}
60 ^{ns}	0.486 ± 0.04^b	0.449 ± 0.05^a	0.480 ± 0.02^{ab}
70 ^{ns}	0.446 ± 0.04^b	0.465 ± 0.03^{ab}	0.450 ± 0.07^{ab}
80 ^{ns}	0.441 ± 0.03^b	0.401 ± 0.04^b	0.426 ± 0.02^b
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2			
อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการทำแห้ง (ชั่วโมง)		
	2	3	4
50	0.562 ± 0.01^{aX}	0.570 ± 0.01^{aX}	0.507 ± 0.04^{aY}
60 ^{ns}	0.499 ± 0.02^b	0.487 ± 0.054^b	0.480 ± 0.02^{ab}
70	$0.520 \pm 0.03b^X$	0.477 ± 0.02^{bY}	0.461 ± 0.01^{bcY}
80	0.442 ± 0.01^{cX}	0.423 ± 0.02^{cXY}	0.420 ± 0.02^{cY}

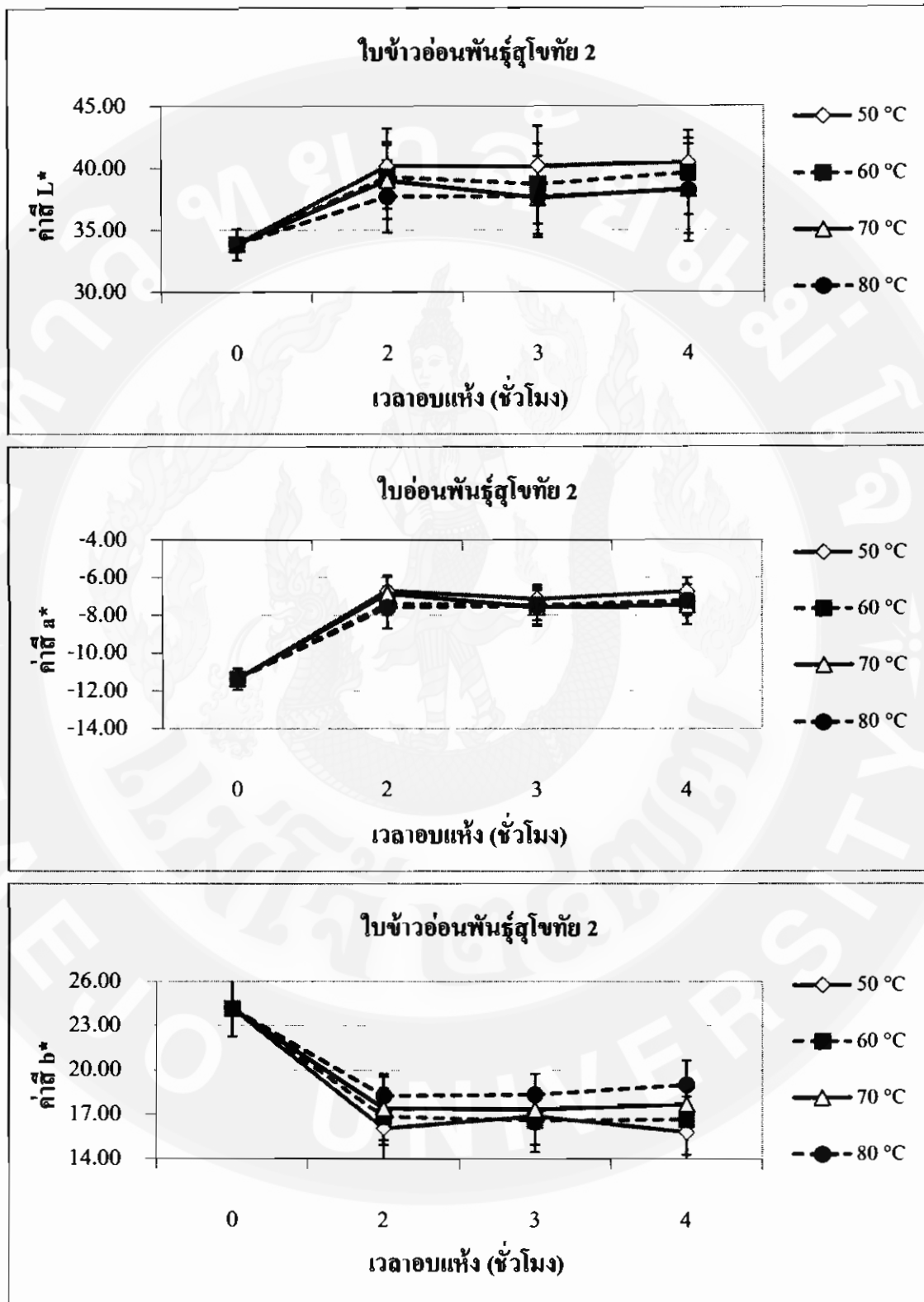
- หมายเหตุ
- ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ^{x-y} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=2$)

จากการวัดค่าสีพบว่าใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งจะมีค่าความสว่างของสี (L^*) มากกว่าตัวอย่างสด ส่วนค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และเหลือง (b^*) มีค่าลดลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Boudhrioua และคณะ (2009) ในการศึกษาของผลของการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของใบมะกอก ซึ่งพบว่าใบมะกอกอบแห้งมีค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลืองมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับใบสด สำหรับผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีใบข้าวอ่อน พบว่าการเพิ่มขึ้นของปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลให้ค่าความสว่างของสีมีแนวโน้มลดลงหรือตัวอย่างมีสีเข้มขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีเขียวและค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพ 12-13) แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Hosseini (2005) ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งใบตำร่ากอน (tarragon) ส่งผลให้ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Wiriyampaiwong and Wiset (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของคื่นฉ่ายในระหว่างกรอบแห้ง (40-60 องศาเซลเซียส) โดยพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างมีค่าลดลง สำหรับค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลการทำแห้งกั้ว ตัวอย่างมีสีเข้มขึ้นจากสภาวะการทำแห้งที่ใช้ความร้อนสูงและระยะเวลานาน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) (Mohammadi *et al.*, 2008)

จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งพบว่าขั้นตอนดังกล่าวส่งผลทำให้สมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด โดยอุณหภูมิในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลที่มากขึ้น ดังนั้นที่สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลได้สูงที่สุด สำหรับผลของระยะเวลาในการทำแห้ง (2-4 ชั่วโมง) ไม่มีผลต่อการสูญเสียสมบัติดังกล่าว ($p \geq 0.05$) โดยร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP และร้อยละการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมีค่าอยู่ในช่วง 33.80-41.82, 25.71-39.20 และ 34.21-38.83 ตามลำดับ (ภาพ 14-16) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garau และคณะ (2007) ที่พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งเปลือกส้มที่เพิ่มขึ้น (30-90 องศาเซลเซียส) ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน จากการศึกษาของ Kuljarachanan และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งมะนาว พบว่าการเพิ่มขึ้นของปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างแห้ง เช่นเดียวกับการศึกษาในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus*) (Lim and Martijaya, 2007) เปลือกแคโรท (Chantaro *et al.*, 2008) ชาใบชิง (Chan *et al.*, 2009) และเชื้อหุ้มถั่วลิสง (Francisco and Resurreccion, 2009) เป็นต้น ซึ่งใน



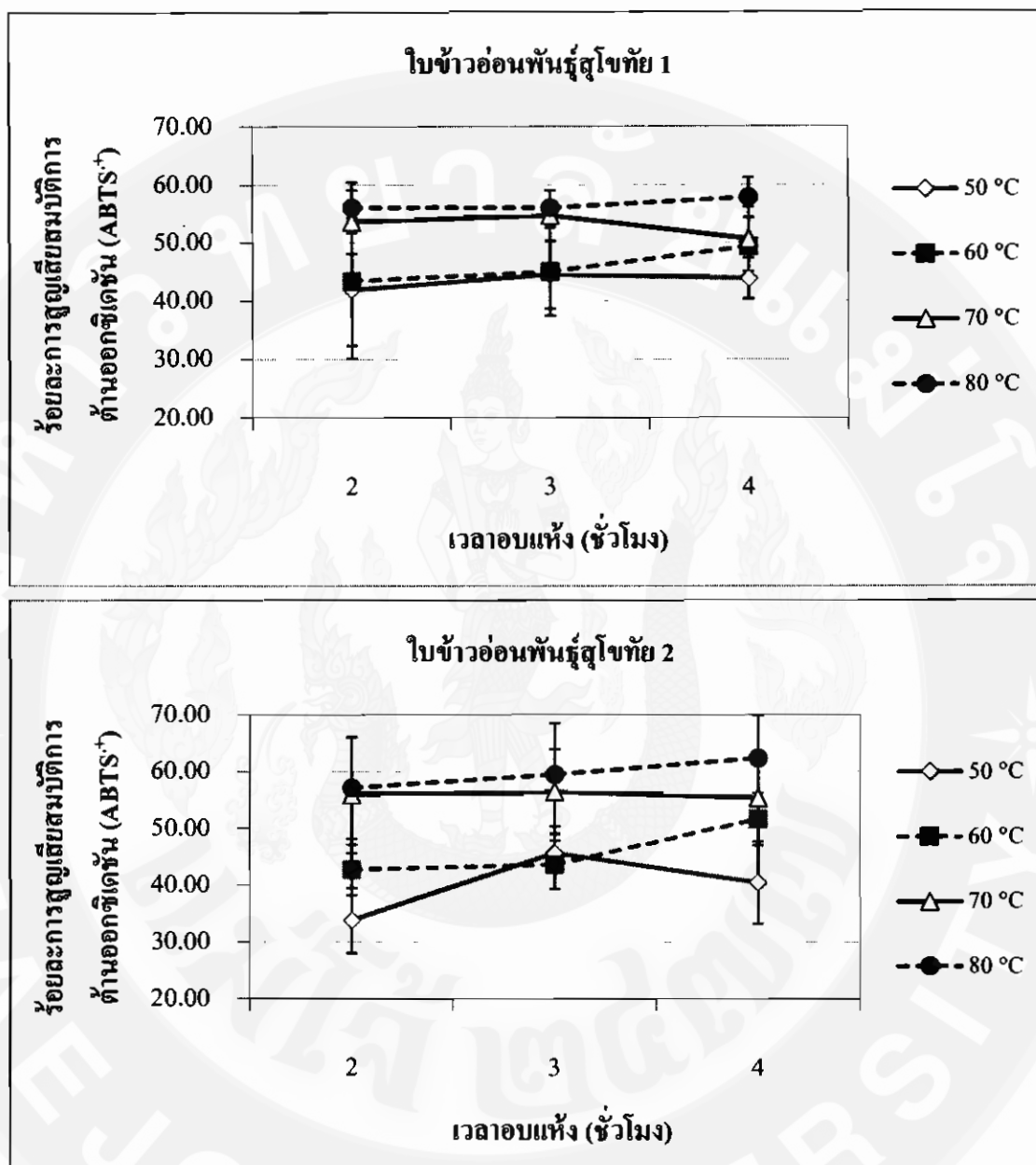
ภาพ 12 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L* a* b*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำแห้งด้วย
ตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



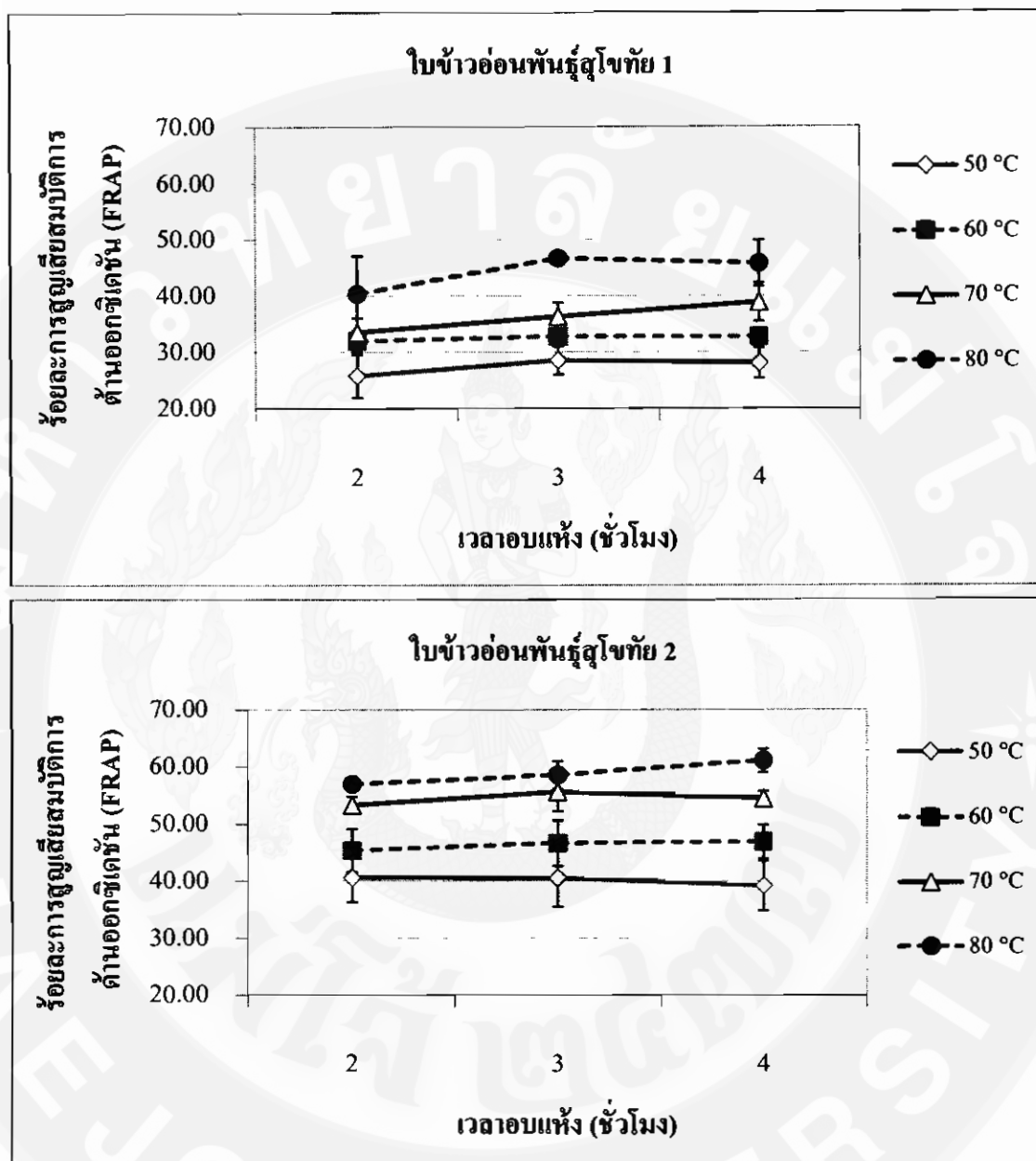
ภาพ 13 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วย
ตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

กระบวนการทำแห้งส่วนใหญ่ส่งผลต่อการสูญเสียสารประกอบที่มีสมบัติด้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในตัวอย่างสด (Tomaino *et al.*, 2005) นอกจากนี้สภาวะในกระบวนการให้ความร้อนสูงหรือใช้เวลานานทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันเนื่องจากความไม่คงตัวต่อการแปรรูปด้วยความร้อน (Nicolli *et al.*, 1999) รวมถึงเซลล์พืชในตัวอย่างแห้งจะมีการเกาะติดกันเนื่องจากการระเหยของน้ำออกไปจึงเป็นการยากต่อการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Garau *et al.*, 2007) จากผลการทดลองจะพบว่า การลดลงของสารประกอบโพลีฟีนอลมีความสัมพันธ์กับการลดลงกับสมบัติการต้านออกซิเดชัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Katsube และคณะ (2009) ที่พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านออกซิเดชันในใบหม่อนหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และในตัวอย่างเปลือกแครอทอบแห้ง (Chantaro *et al.*, 2008)

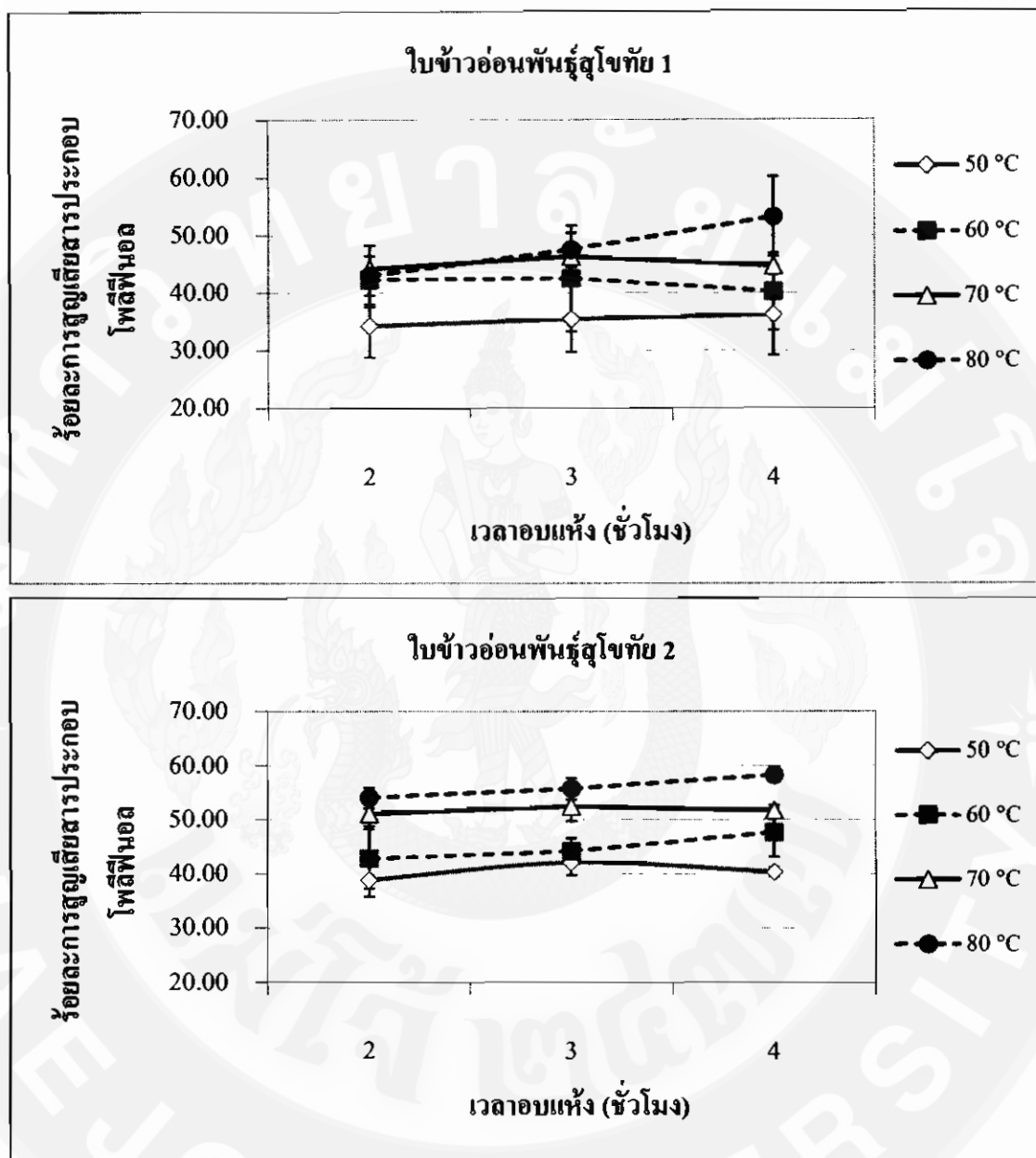
จากการทดลองยังพบว่าผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยสภาวะการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง สามารถลดการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังผ่านการทำแห้งในสภาวะดังกล่าว มีการสูญเสียคลอโรฟิลล์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดอยู่ในช่วงร้อยละ 7.79-8.53 และ 5.46-5.47 ตามลำดับ (ภาพ 17) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ahmed และคณะ (2001) โดยทำการทดลองทำแห้งผักชี (coriander) ในช่วงอุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่าง โดยที่อุณหภูมิการทำแห้งที่ 45 องศาเซลเซียส สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างได้ดีที่สุด ในสภาวะการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลคลอโรฟิลล์โดยโมเลกุลของแมกนีเซียมจะถูกแทนที่โดยอะตอมของไฮโดรเจนให้ฟีโอฟิตินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีเขียวอมน้ำตาล (นิธิยา, 2549) จากการศึกษาของ Maharaj and Sankat (1996) พบว่าการทำแห้งใบเผือก (dasheen leave) ด้วยอุณหภูมิร้อนจะมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งจะแปรผันตามกับปริมาณฟีโอฟิตินที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่าง โดยทั่วไปโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะอยู่ระหว่างชั้นของไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนจะเป็นชั้นป้องกันคลอโรฟิลล์จากกรดที่มีอยู่ในเซลล์พืช ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนจะทำให้เกิดการเสถียรภาพของโปรตีน ทำให้คลอโรฟิลล์ละลายในชั้นของไขมันได้และสัมผัสกับกรดได้จึงง่ายต่อการเสถียรภาพเมื่อโดนความร้อน (Cesare *et al.*, 2004) เช่นเดียวกับการทดลองในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ผักปลัง (Indian spinach) (Oladele and Aborisade, 2009) พืชสมุนไพร 8 ชนิดในประเทศมาเลเซีย (Mahanom *et al.*, 1999) ใบออรัริกาน (Cesare *et al.*, 2004) และสาหร่ายเกลียวทอง (สินีนานู, 2550) เป็นต้น



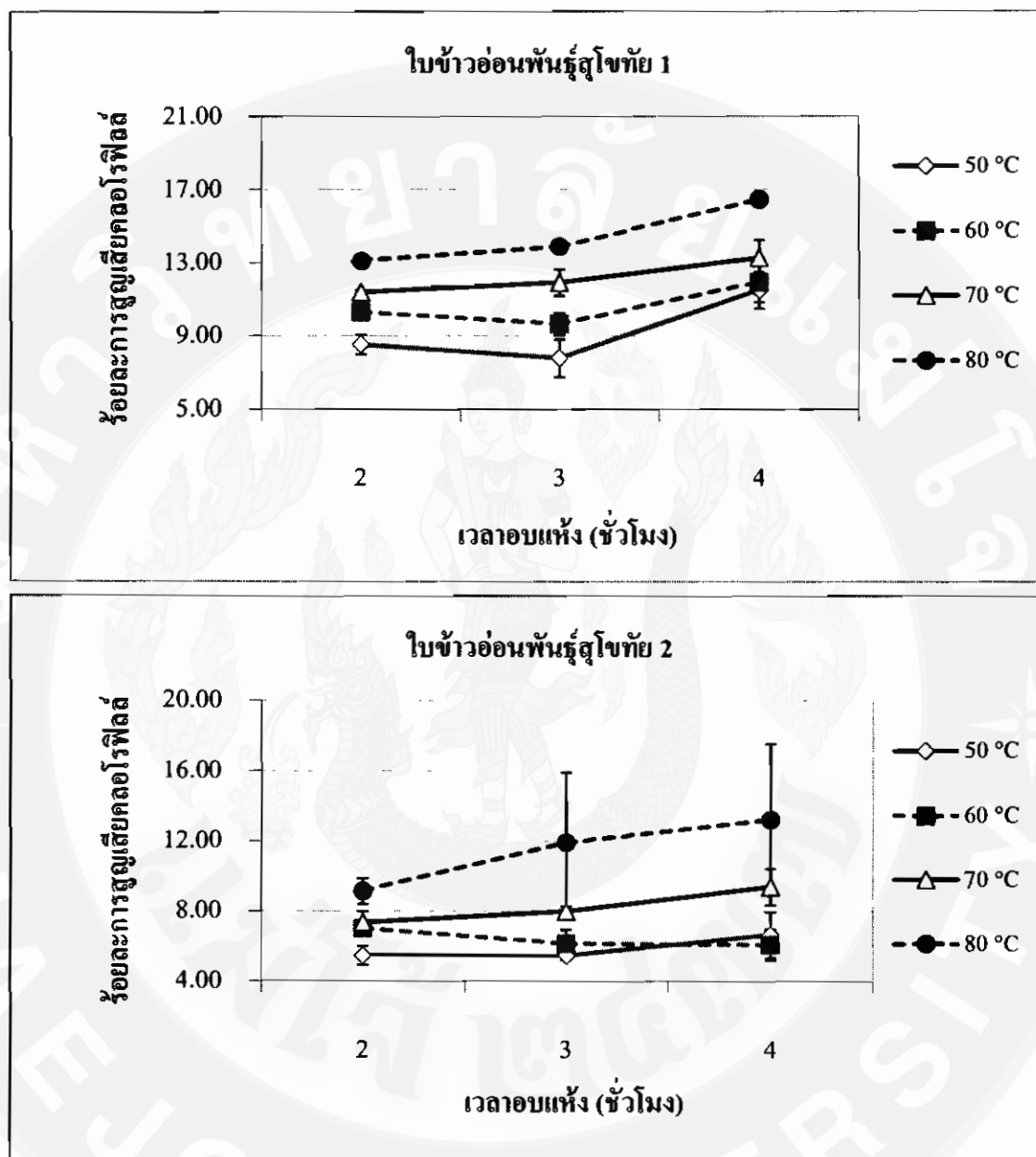
ภาพ 14 ร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS⁺) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาพ 15 ร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



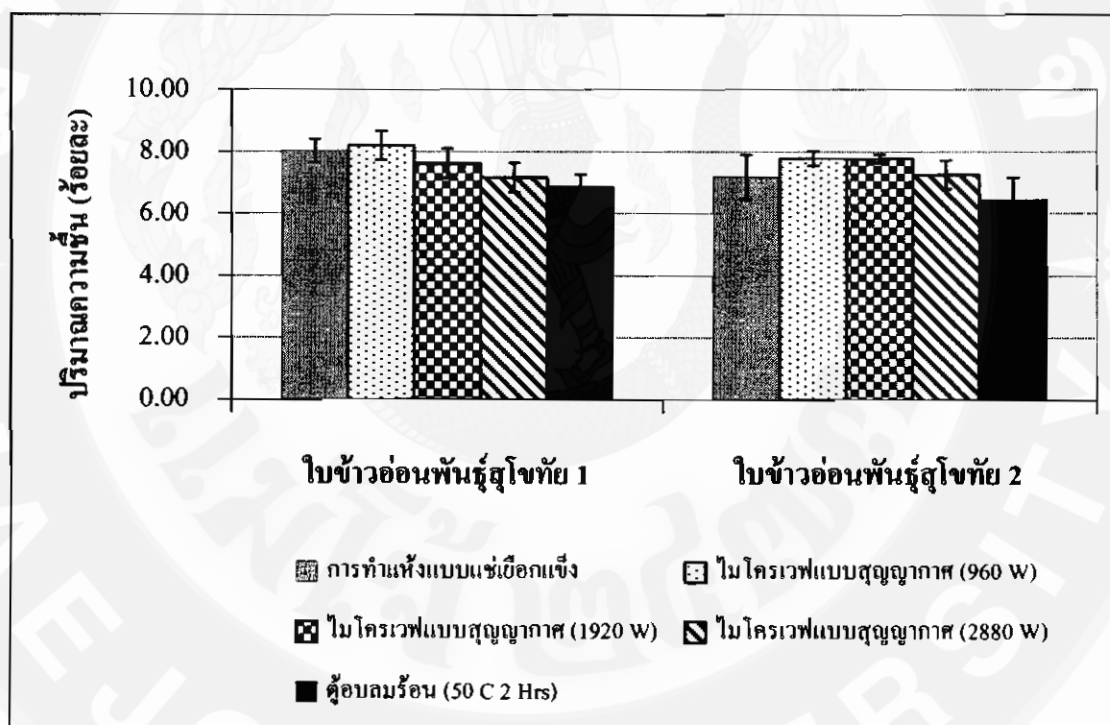
ภาพ 16 ร้อยละการสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาพ 17 ร้อยละการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

3.2 การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพใบข้าวอ่อน

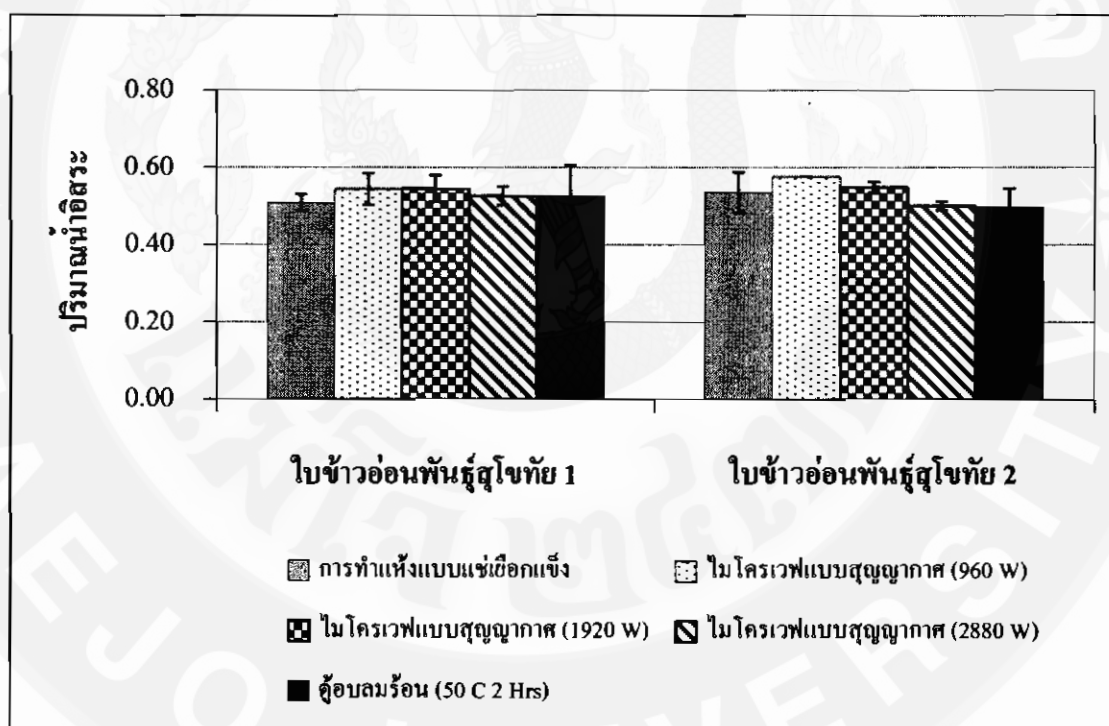
หลังจากทำการศึกษาสภาวะการทำแห้งที่ดีที่สุดด้วยตู้อบลมร้อน คือที่ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง นำมาเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ (960, 1920 และ 2880 วัตต์) จากการศึกษาพบว่า ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีความชื้นหลังผ่านการทำแห้งไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.87-8.21 และ 6.44-7.79 ตามลำดับ (ภาพ 18) สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 0.509-0.546 และ 0.497-0.576 ตามลำดับ (ภาพ 19)



ภาพ 18 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

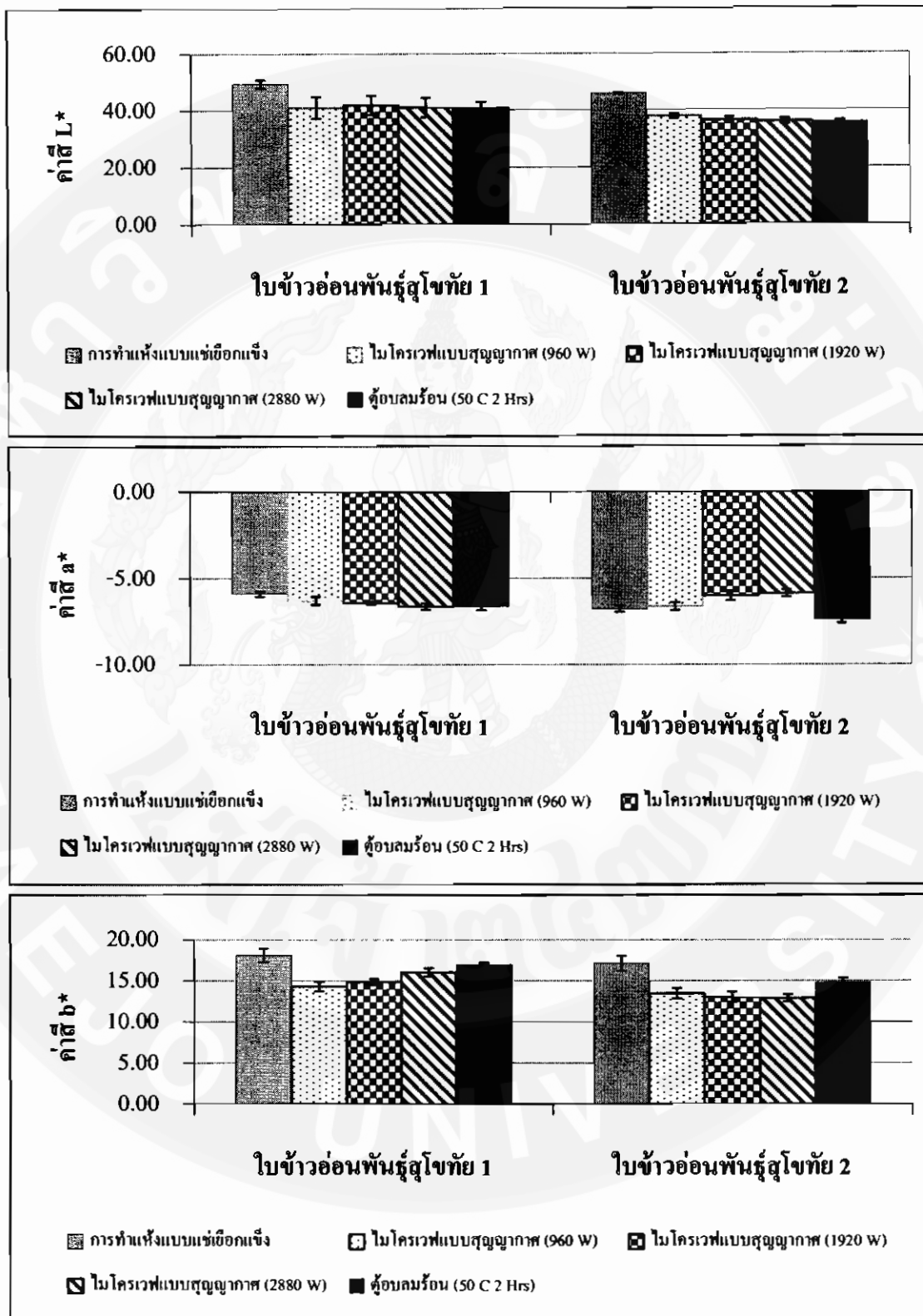
ในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศจะใช้เวลาระเหยน้ำออกจากตัวอย่างได้เร็วกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากในระบบสุญญากาศจะช่วยลดอุณหภูมิการระเหยน้ำจึงช่วยลดระยะเวลาการทำแห้ง (Li *et al.*, 2007) เช่นเดียวกับไนเท็ด (Giri and Prasad, 2007) ใบออรัร์กาโน (Jaloszynski *et al.*, 2008) และพริกแกงผง (Inchuen *et al.*, 2010) เป็นต้น และพบว่าการใช้กำลังไมโครเวฟระดับสูงจะใช้เวลาการทำแห้งที่สั้นลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Giri and Prasad (2007)

ที่พบว่า การเพิ่มระดับกำลังไมโครเวฟสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งเห็ดได้ การใช้ไมโครเวฟในระดับที่สูงขึ้นน้ำในอาหารจะสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก จึงทำให้เกิดความร้อนและระเหยตัวได้อย่างรวดเร็ว (Drouzas *et al.*, 1999) ในสภาวะสุญญากาศนอกจากจะช่วยลดจุดเดือดของน้ำแล้วยังช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้ง (Li *et al.*, 2007) จากผลการทดลองพบว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ 960, 1920 และ 2880 วัตต์ จะใช้เวลาทำแห้งให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นประมาณร้อยละ 6-8 ประมาณ 30, 16 และ 9 นาที ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ถั่วลิสง (Maskan, 2000) ผักโขม (Ozkan *et al.*, 2007) มะละกอ (Zaki *et al.*, 2007) พริกทองแผ่น (Liamkaew *et al.*, 2008) กระเทียม (Figiel, 2009) และพริกแกงผง (Inchuen *et al.*, 2010) เป็นต้น ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาการทำแห้งที่สั้นลง



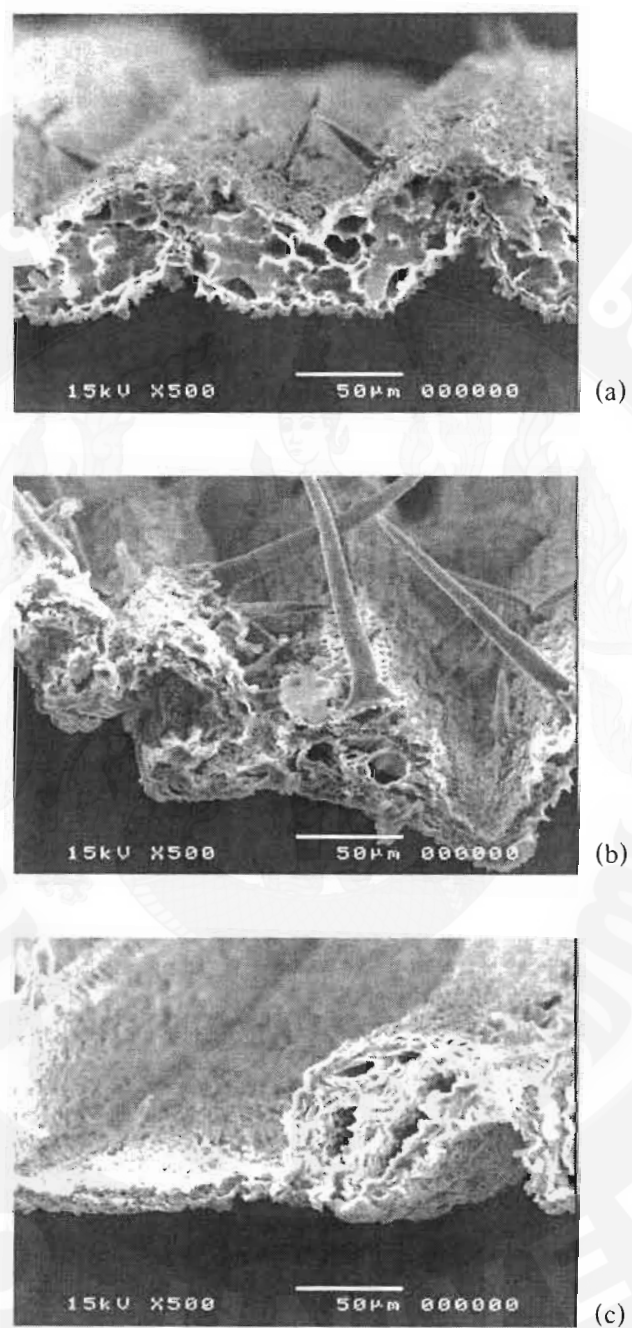
ภาพ 19 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีของใบข้าวอ่อนหลังการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่าใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ค่าความสว่างสูงสุด มีค่าเท่ากับ 49.41 และ 45.85 ตามลำดับ (ภาพ 20) สำหรับตัวอย่างจากตุ๋นบลูร้อนจะให้ค่าความสว่างน้อยที่สุด แต่มีค่าแตกต่างจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพียงเล็กน้อย ($p \geq 0.05$)



ภาพ 20 ค่าสี (L* a* b*) ของข้าวอณพัญสุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

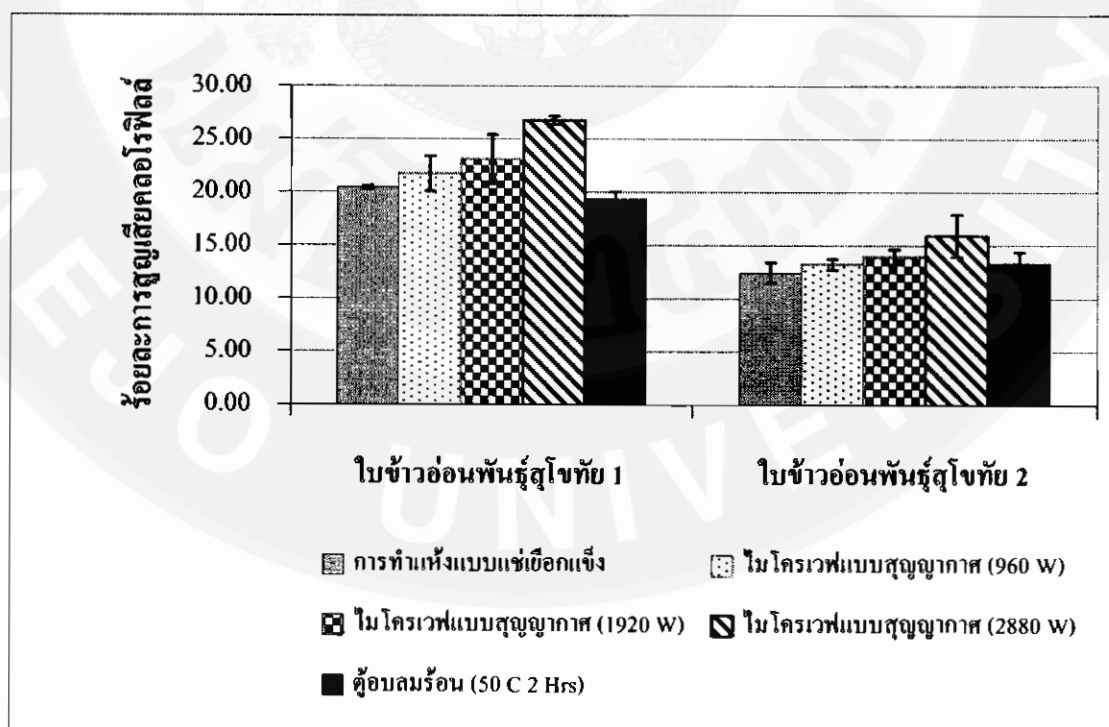
สำหรับค่าความเป็นสีเขียวพบว่าตัวอย่างอบแห้งจากตู้อบลมร้อนมีค่าความเป็นสีเขียวมากที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าลงไม้โครเวฟแต่ละระดับส่งผลต่อค่าความเป็นสีเขียวไม่แตกต่างกัน ตัวอย่างจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าตัวอย่างจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะให้สีเขียวเข้ม (dark-green) มากกว่าการทำแห้งวิธีอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการทำแห้งที่นานและอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (enzymatic browning) จากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Howard *et al.*, 1996) และจากผลการศึกษาของ Lin และคณะ (1998) พบว่าแครอทอบแห้งจากวิธีอบลมร้อนและไม้โครเวฟแบบสุญญากาศ จะมีสีเข้มมากกว่าวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากผลของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้น นอกจากนี้ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อนและไม้โครเวฟแบบสุญญากาศมีความหนาแน่น (density) มากกว่าวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงทำให้มีปริมาณรงควัตถุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หนาแน่นกว่าตัวอย่างแห้งจากวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สีของตัวอย่างจึงเข้ม การอธิบายด้านความหนาแน่นสอดคล้องกับผลการทดลองของ Setiady และคณะ (2009.) ที่พบว่ามันฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไม้โครเวฟแบบสุญญากาศและอบลมร้อน ตามลำดับ จากผลการทดลองของ Yousif และคณะ (2000) พบว่าสีของไบออร์ริโนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างของสีและค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไม้โครเวฟแบบสุญญากาศและอบลมร้อน และจากการทดลองของ Lin และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพของแครอทแผ่น พบว่าการใช้วิธีอบลมร้อนทำให้ตัวอย่างมีสีเข้มมากกว่าวิธีการทำแห้งด้วยไม้โครเวฟแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง จากภาพถ่ายโครงสร้างภายในของไบข้าวอ่อนอบแห้งแต่ละวิธี (ภาพ 21) จะสังเกตได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีรูพรุนมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ สำหรับตัวอย่างไบข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยไม้โครเวฟสุญญากาศจะเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนใหญ่กว่าตัวอย่างจากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเล็กน้อย



ภาพ 21 ภาพถ่ายโครงสร้างภายในด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ของใบข้าว
อ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

- หมายเหตุ
- (a) การทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง
 - (b) การทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ
 - (c) การทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อน

จากการวิเคราะห์ร้อยละการสูญเสียคลอโรฟิลล์ พบว่าตัวอย่างใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบลมร้อนสามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดีใกล้เคียงกัน ($p \geq 0.05$) โดยใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีร้อยละการสูญเสียจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบลมร้อนอยู่ในช่วง 19.37-21.71 และ 12.45-13.66 ตามลำดับ (ภาพ 22) สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ พบว่าการเพิ่มระดับไมโครเวฟส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ ส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด โดยมีร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 26.76 และ 15.91 ตามลำดับ จากการศึกษาของ Inchuen และคณะ (2010) พบว่าอุณหภูมิของพริกแกงผงที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 180, 360 และ 540 วัตต์ อุณหภูมิตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการขึ้นสูงถึง 83.8, 95.4 และ 96.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Chua and Chou (2005) ที่พบว่าอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งและแครอทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับพลังงานไมโครเวฟในระดับที่สูงขึ้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิในอาหารที่เพิ่มขึ้นสูงจากการใช้ไมโครเวฟนั้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของคลอโรฟิลล์เป็นฟิโอฟิติน



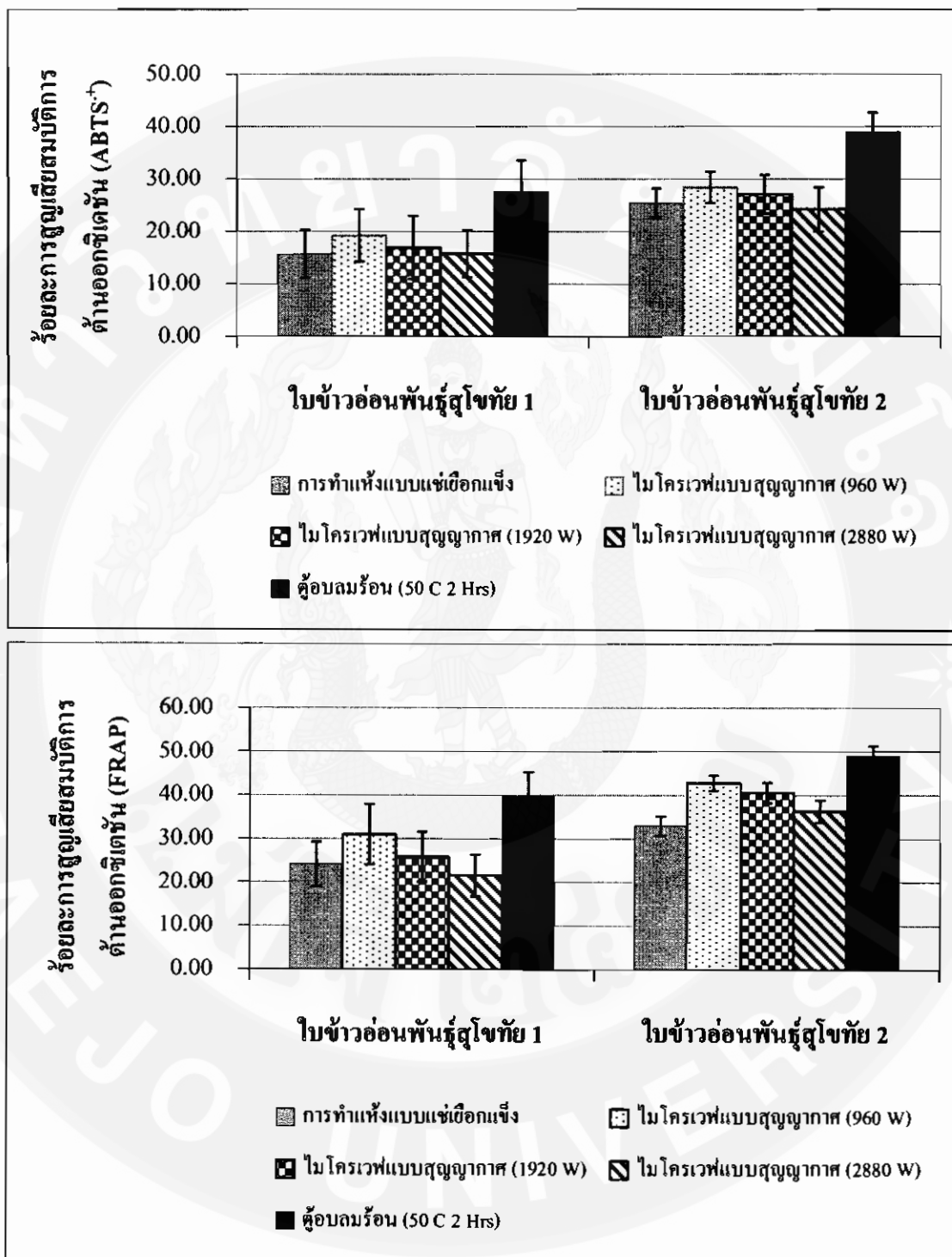
ภาพ 22 ร้อยละการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์การสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างหลังผ่านการทำแห้งแต่ละวิธี พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและไม่โครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ สามารถรักษาสมบัติการต้านออกซิเดชันในตัวอย่างที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนวิธีการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนส่งผลต่อการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันมากที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้ระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงสามารถลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันได้มากกว่าที่กำลังระดับต่ำ (ภาพ 23)

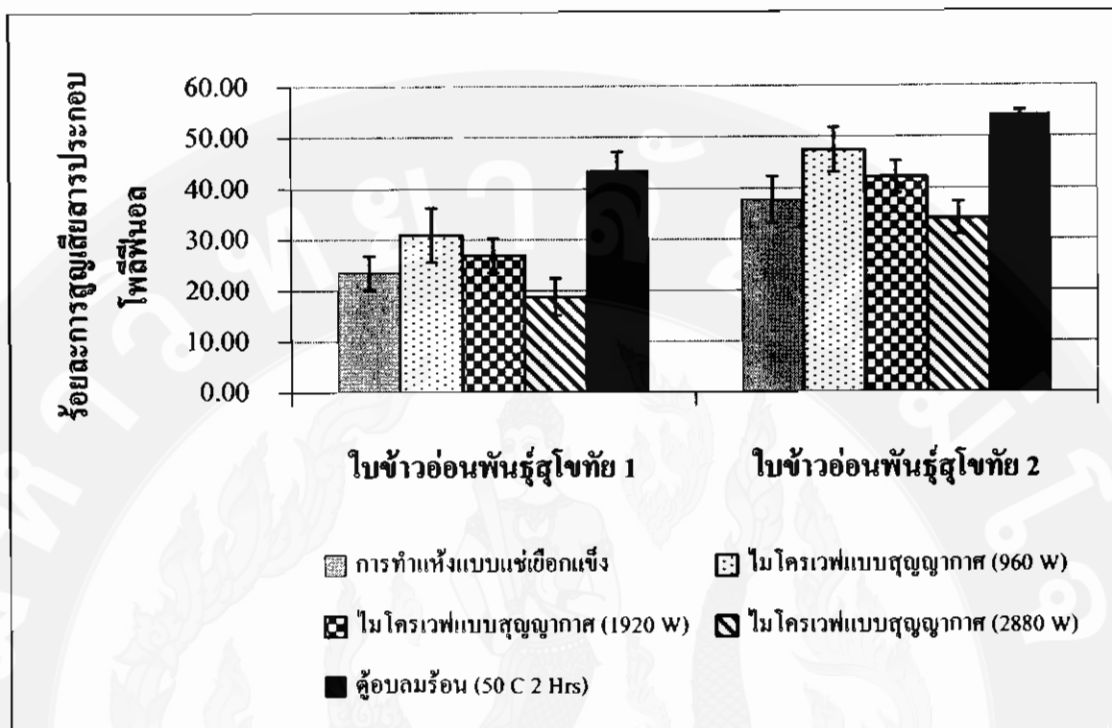
สำหรับการวิเคราะห์ร้อยละการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ สามารถลดการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดีเทียบเคียงกับวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ($p \geq 0.05$) ตัวอย่างใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีร้อยละการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลเท่ากับ 18.82 และ 34.16 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างจากวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 23.55 และ 37.77 ตามลำดับ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนส่งผลต่อการสูญเสียมากที่สุด ($p < 0.05$) และพบว่าผลของระดับไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นสามารถลดการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดีกว่าที่ระดับต่ำ ดังแสดงในภาพ 24 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Jalozyński และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งแต่ละวิธีต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในใบออริกาโน พบว่าตัวอย่างผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศและการใช้ตู้อบลมร้อน ตามลำดับ และพบว่าการใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ (240-480 วัตต์) ที่เพิ่มขึ้น สามารถลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้มากกว่าการใช้ที่ระดับต่ำ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองในพริกแกงผง (Inchuen *et al.*, 2010) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเนื่องมาจากพลังงานไมโครเวฟที่สูงขึ้นสามารถทำลายผนังเซลล์พืชได้มากขึ้น ส่งผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลหลุดออกจากเซลล์พืชได้ดี สอดคล้องกับผลการทดลองการอบแห้งในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ชาเขียว (Gulati *et al.*, 2003) และสตอเบอรี่ (Wojdyło *et al.*, 2009) เป็นต้น ที่พบว่าการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ระดับสูงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่าง จากผลการทดลองของ Durancie และคณะ (2001) พบว่าลูเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาสมบัติการต้านออกซิเดชันได้ดีกว่าการใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศและลมร้อน ตามลำดับ แต่การใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศสามารถลดการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดีกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ส่วนการใช้ตู้อบลมร้อนส่งผลต่อการสูญเสียมากที่สุด สำหรับการศึกษาของ Kwok (2000) พบว่าผลชัคคาทูนเบอรี่ (Saskatoon berry) ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สามารถรักษาสมบัติการต้าน

ออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดีกว่าการใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศและอบลมร้อนตามลำดับ เนื่องจากในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดกระบวนการที่น้ำในเซลล์พืชเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งจึงเกิดการทิ่มแทงเซลล์พืช และหลังจากการทำแห้งพบว่าการเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนที่มากกว่าวิธีอบลมร้อน ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ในระหว่างกระบวนการสกัดจะสามารถเข้าไปสกัดสารต่างๆ ภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ความร้อนจากการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อนจะสามารถทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลได้ (Keinanen and Julkunen-Tiitto, 1996) ในขณะที่การใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศสามารถลดความชื้นในอาหารได้รวดเร็วกว่าการใช้วิธีอบลมร้อน รวมถึงเป็นสถานะที่ไม่ออกซิเจนในระหว่างการทำแห้งเนื่องจากเป็นระบบสุญญากาศจึงส่งผลให้พบความแตกต่างขึ้น ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่าง การใช้คลื่นไมโครเวฟและสถานะสุญญากาศส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายได้มากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลเกิดการหลุดตัวออกจากผนังเซลล์ได้มากกว่าการใช้วิธีอบลมร้อน (Inchuen *et al.*, 2010) ตัวอย่างจากการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อนนอกจากจะเสียคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากการใช้ความร้อนแล้ว ในช่วงต้นของกระบวนการทำแห้งอาจเกิดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ส่งผลต่อการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลบางส่วน ส่วนการใช้คลื่นไมโครเวฟโมเลกุลของน้ำในอาหารจะสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้น จึงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามกระบวนการทำแห้งที่มีความร้อนเกิดขึ้นมักส่งผลต่อการสูญเสียสารประกอบฟิสิกเคมี (phytochemical) ได้ง่าย (Lim and Murtijaya, 2007)

ดังนั้นตัวอย่างใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ สามารถรักษาสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้ใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน จึงคัดเลือกวิธีการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ ในการทำแห้งใบข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์เพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 23 ร้อยละการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS⁺ และ FRAP) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีต่างๆ



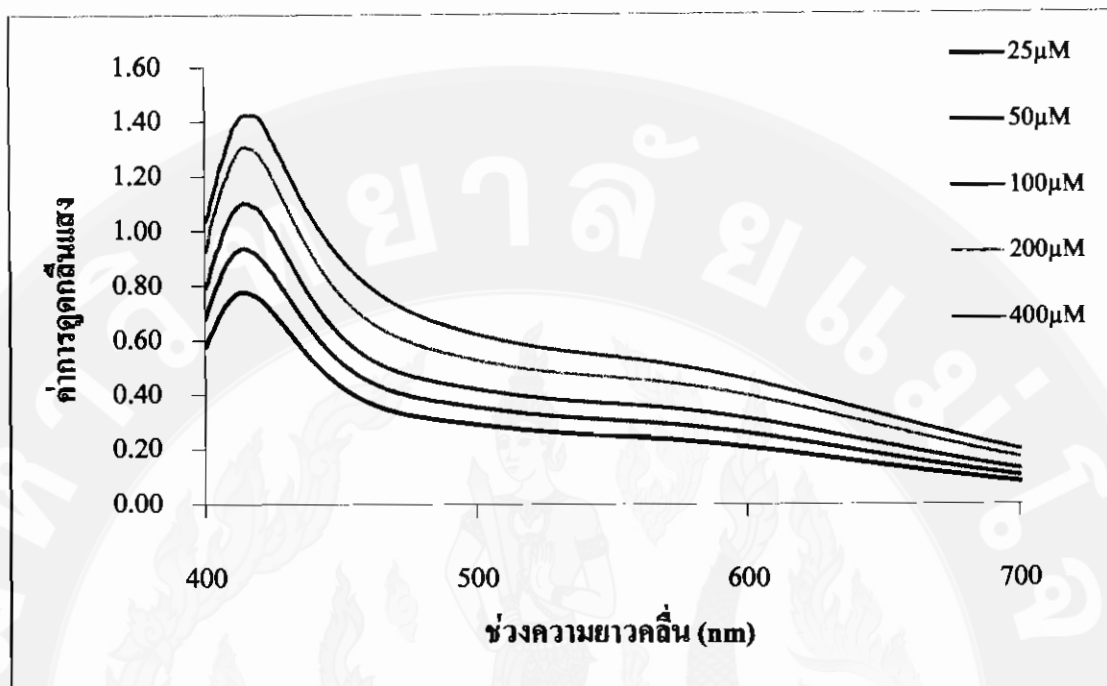
ภาพ 24 ร้อยละการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลของข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุเหล็กเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาสารสกัดจากธรรมชาติเพื่อใช้ในการบำบัดผู้ป่วยที่มีภาวะธาตุเหล็กเกินในเลือดซึ่งเกิดจากการได้รับการถ่ายเลือดติดต่อกันหลายๆ ครั้งรวมถึงเกิดการดูดซึมธาตุเหล็กมากกว่าปกติ (อังฉร และธันษชัย, 2550) ยาจับธาตุเหล็กที่ใช้ในการบำบัดต้องมีความจำเพาะในการจับธาตุเหล็กและขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ และการใช้ยาในระยะยาวต้องไม่ส่งผลต่อการลดลงของธาตุทองแดงและสังกะสีในร่างกาย ดังนั้นจึงมีการศึกษาความจำเพาะของสารสกัดน้ำใบข้าวต่อการจับธาตุโลหะชนิดต่างๆ โดยมุ่งเน้นความจำเพาะในการจับธาตุเหล็ก ซึ่งในการวิเคราะห์จะนำตัวอย่างข้าวอ่อนแห้งนำไปสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผ่านการกรอง นำสารสกัดที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับไอออนของธาตุโลหะ (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตร จากภาพ 25 และ 26 พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำใบข้าวกับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริก มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ขณะที่สารประกอบ

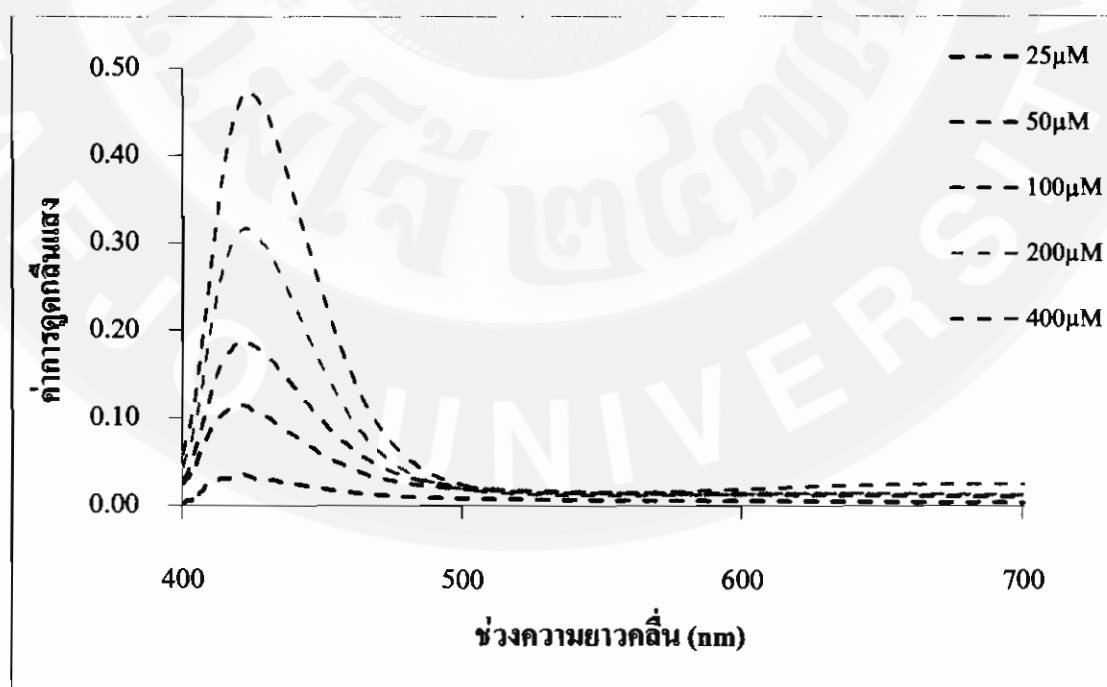
เชิงซ้อนของน้ำไบข้าวกับธาตุทองแดงและสังกะสีให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร

จากการวิเคราะห์ความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าวและอออนของธาตุโลหะที่ระดับความเข้มข้นสุดท้ายของสารผสมที่ 0-400 ไมโครโมลาร์ ระยะเวลา 0-30 นาที พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนของสารผสมน้ำไบข้าวกับธาตุเหล็กเฟอร์รัส ที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (0-400 ไมโครโมลาร์) ส่งผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับค่าความเข้มข้น สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวมีความคงตัวที่ระยะเวลามากกว่า 30 นาที สำหรับความสามารถในการจับกับธาตุเหล็กเฟอร์ริกนั้น จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์ ส่วนความสามารถในการจับกับธาตุทองแดงและสังกะสี ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตรนั้น มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าของธาตุเหล็ก แต่มีความคงตัวที่ระยะเวลามากกว่า 30 นาที เช่นกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าสารสกัดน้ำไบข้าวมีความจำเพาะต่อการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสสูงกว่ารูปเฟอร์ริก ทองแดงและสังกะสี จากผลการทดลองผู้วิจัยให้ข้อสันนิษฐานว่า คลอโรฟิลล์ในน้ำสกัดน่าจะเป็นตัวจับอออนของโลหะ (metal chelator) เนื่องจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีโครงสร้างแบบวงพอร์ไฟริน (porphyrin ring) ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับอออนของโลหะชนิดที่มีประจุแบบ divalent กับไนโคเจนอะตอม เช่น Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} และ Fe^{2+} เป็นต้น เมื่อโมเลกุลที่มีโครงสร้างแบบพอร์ไฟรินจับกับอออนของโลหะ จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร (Biesaga *et al.*, 2000)

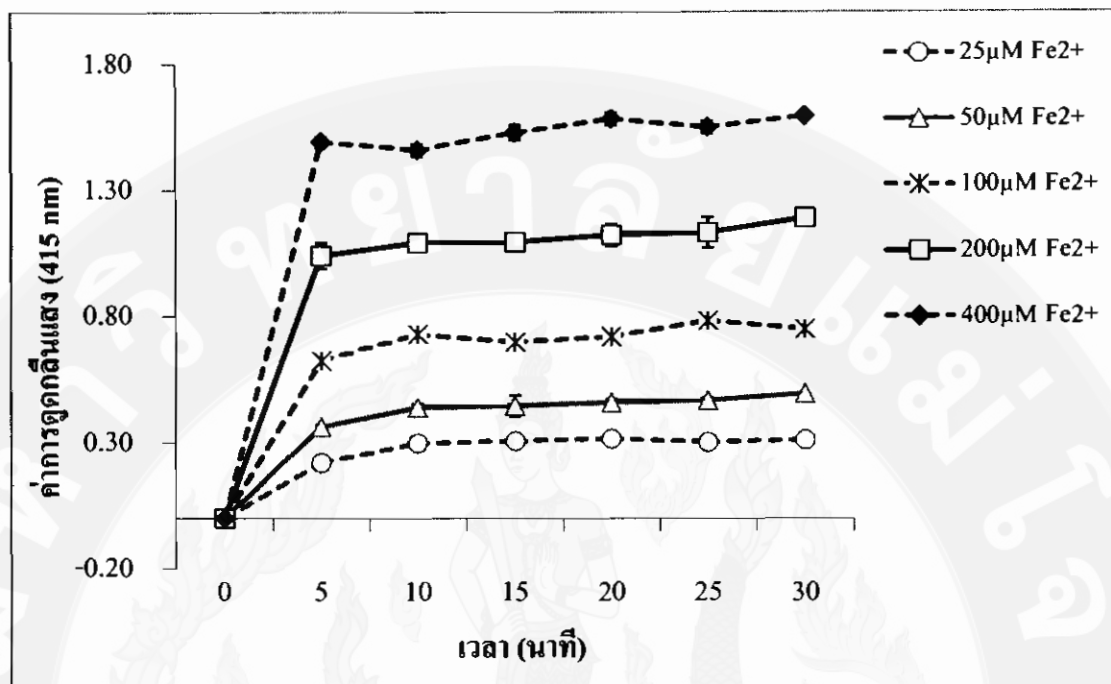
จากการศึกษาความสามารถในจับอออนของธาตุโลหะของสารสกัดน้ำไบข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ภาพ 31-34) พบว่าสารสกัดไบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ 960 วัตต์ และตู้อบลมร้อน สามารถจับอออนธาตุเหล็กได้สูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับ 1920 และ 2880 วัตต์ ตามลำดับ และมีความสามารถในการจับอออนของธาตุทองแดงและสังกะสีน้อยที่สุดเช่นกัน (ภาพ 35-38) อย่างไรก็ตามด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าและเครื่องมือหาได้ง่าย จึงเลือกวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนในการทำแห้งไบข้าวอ่อนเพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



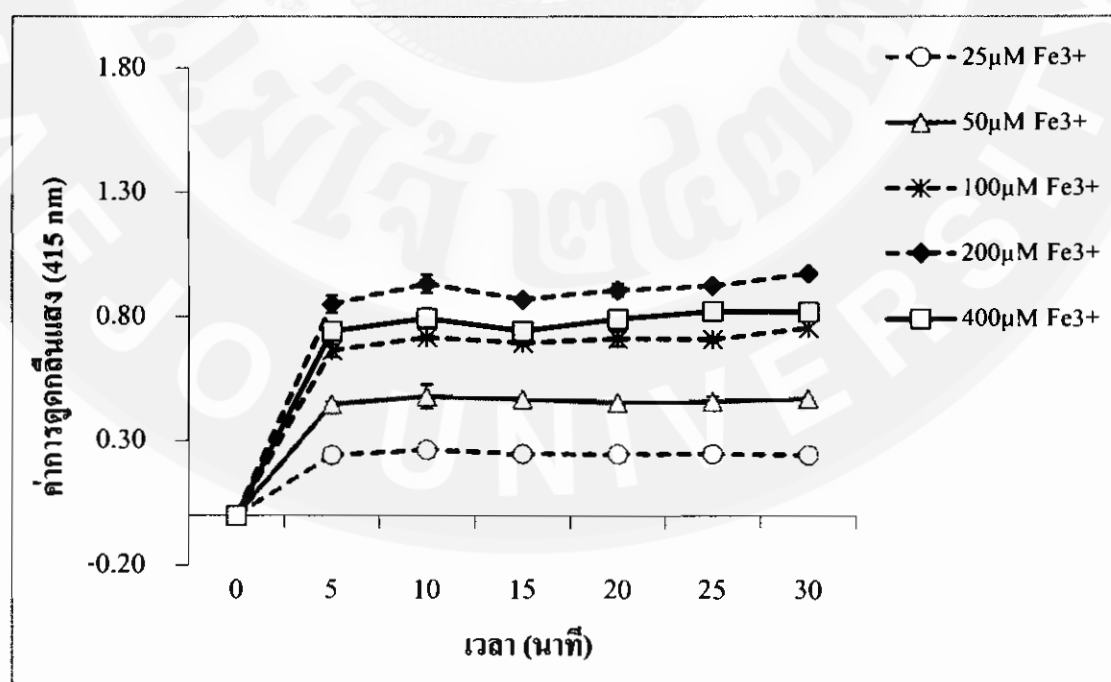
ภาพ 25 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



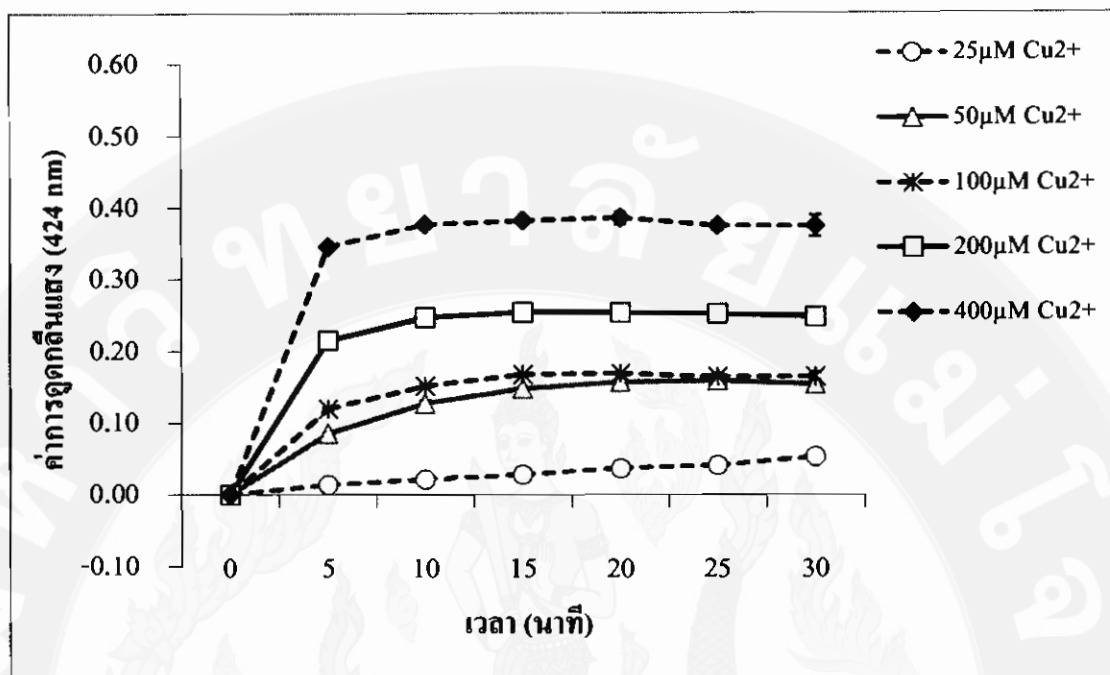
ภาพ 26 สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนของสารสกัดน้ำใบข้าวกับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



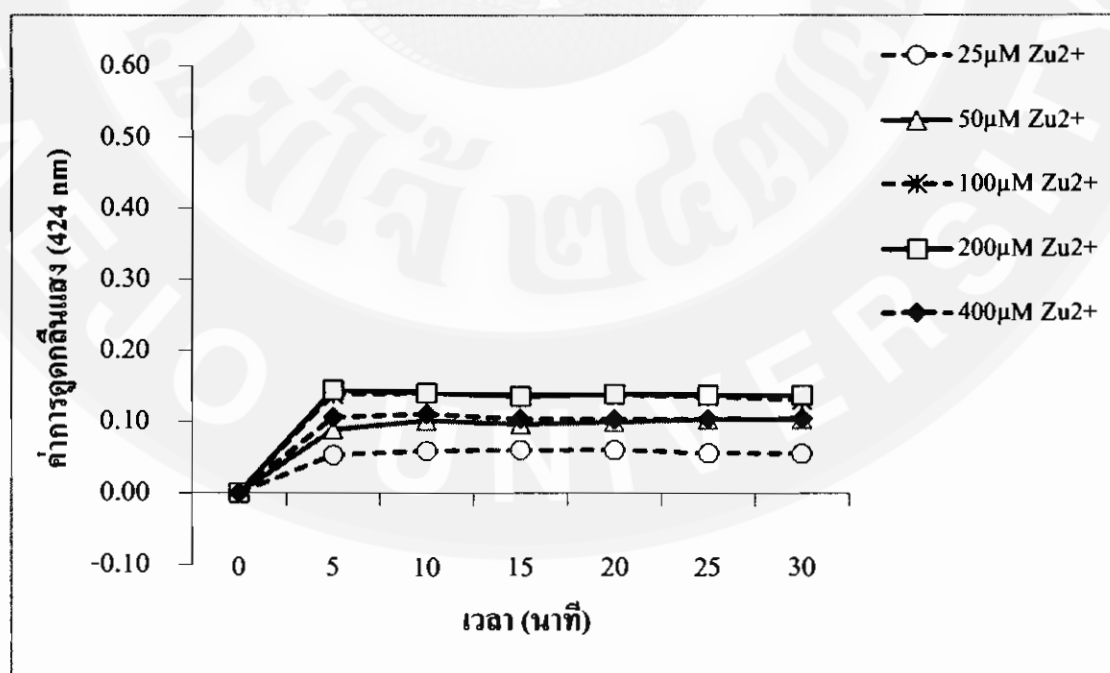
ภาพ 27 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบซาว
กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที



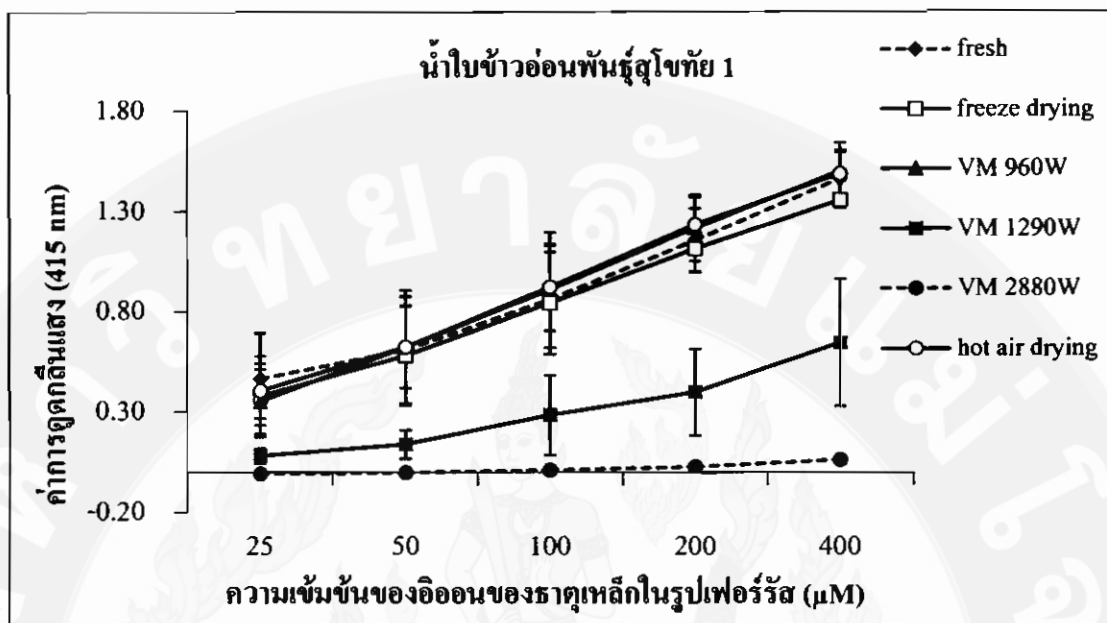
ภาพ 28 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบซาว
กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที



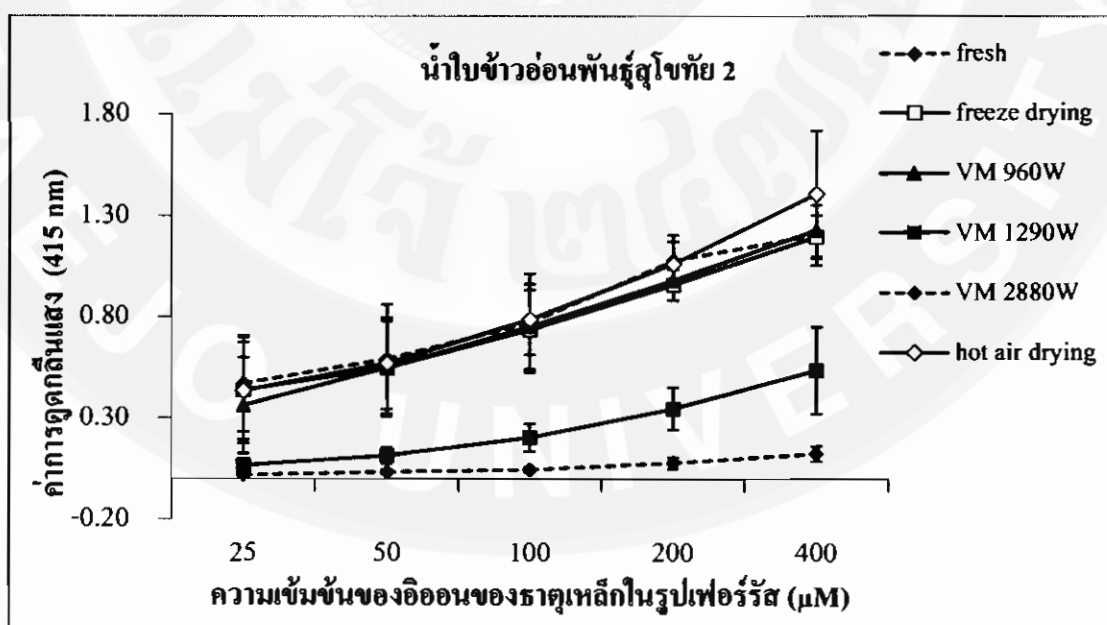
ภาพ 29 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าว
กับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที



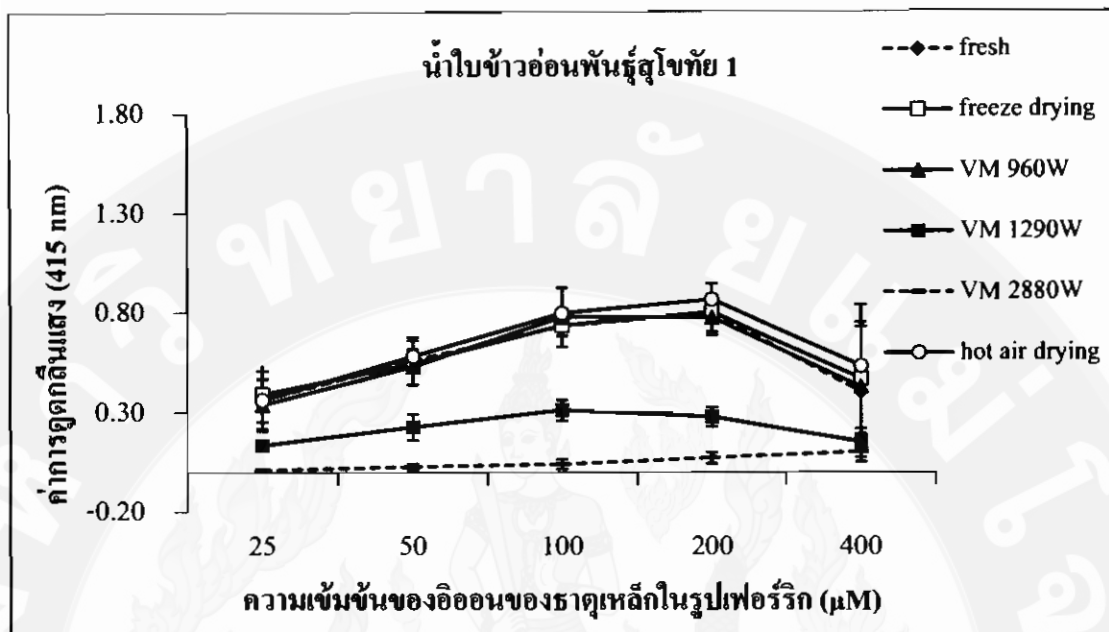
ภาพ 30 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำไบข้าว
กับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) ที่ระยะเวลา 0-30 นาที



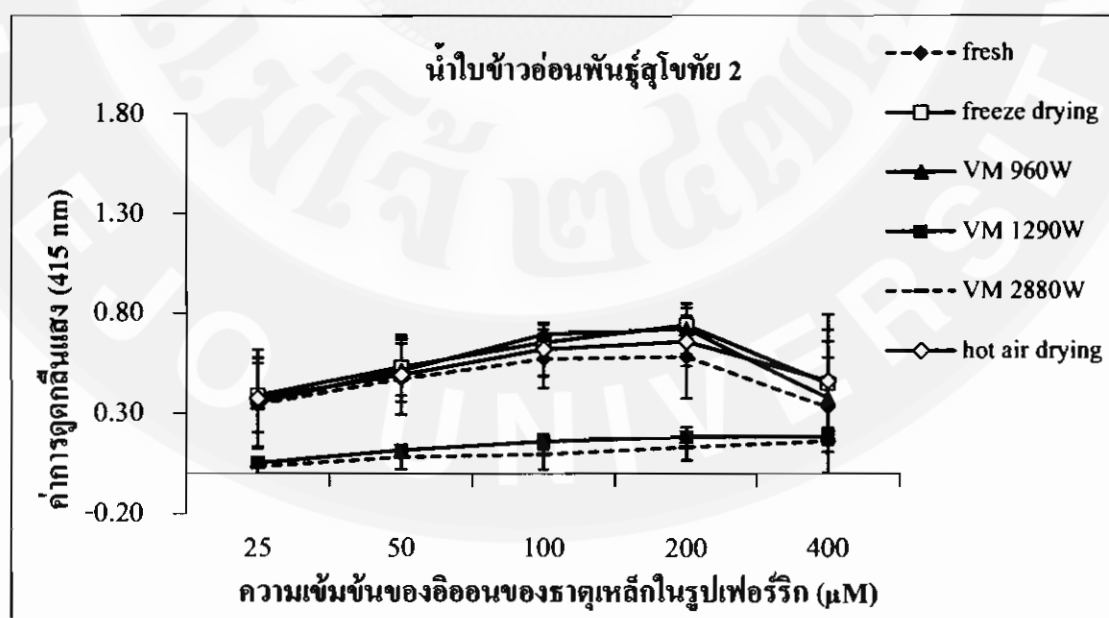
ภาพ 31 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



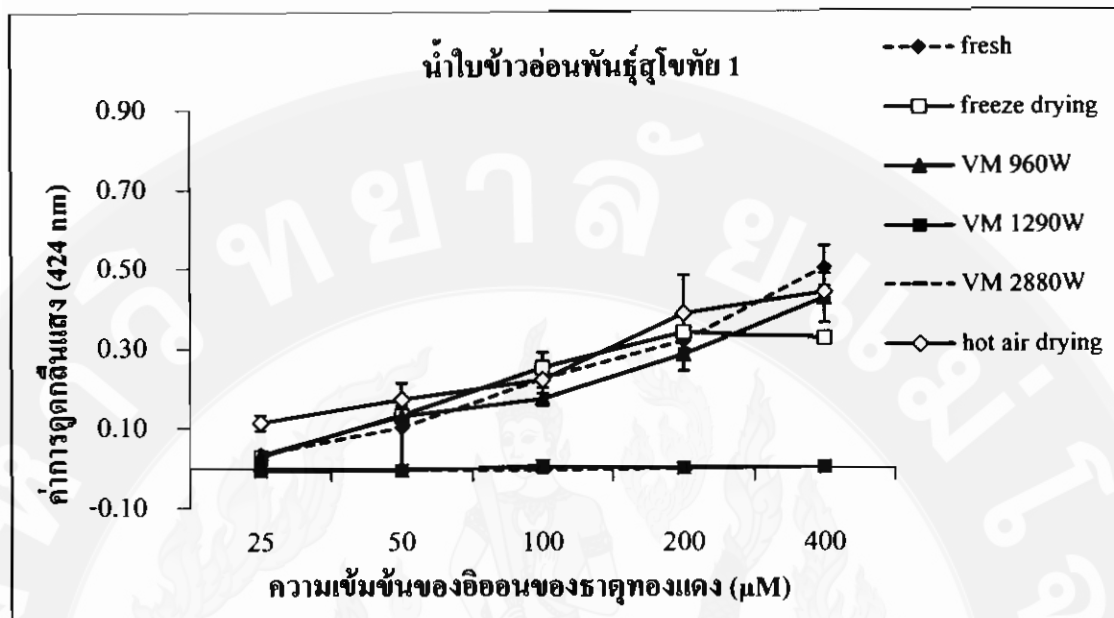
ภาพ 32 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



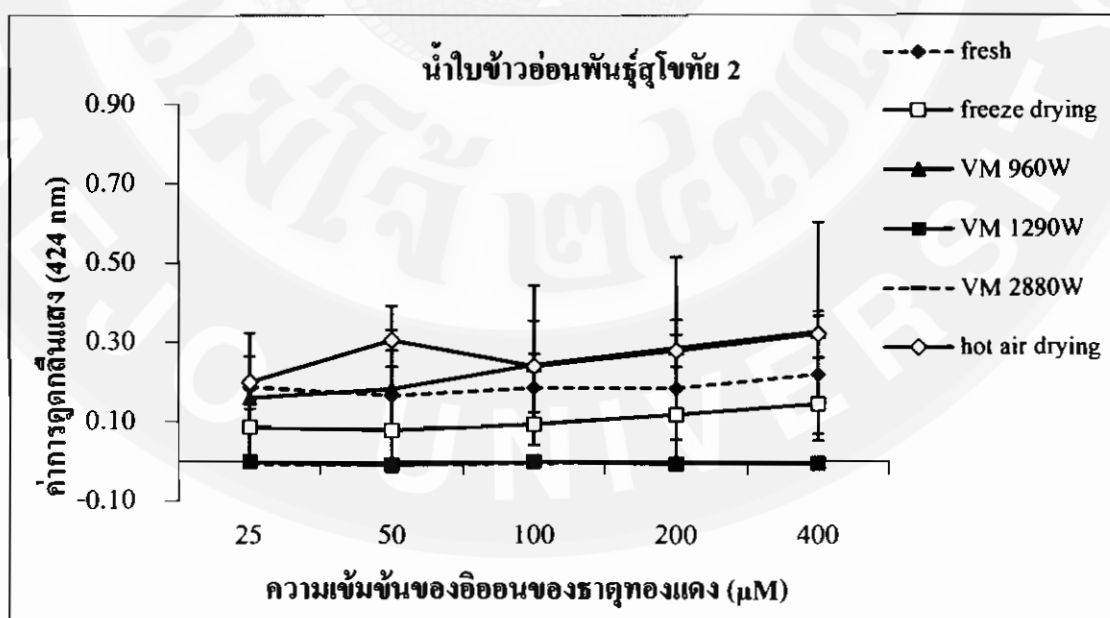
ภาพ 33 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



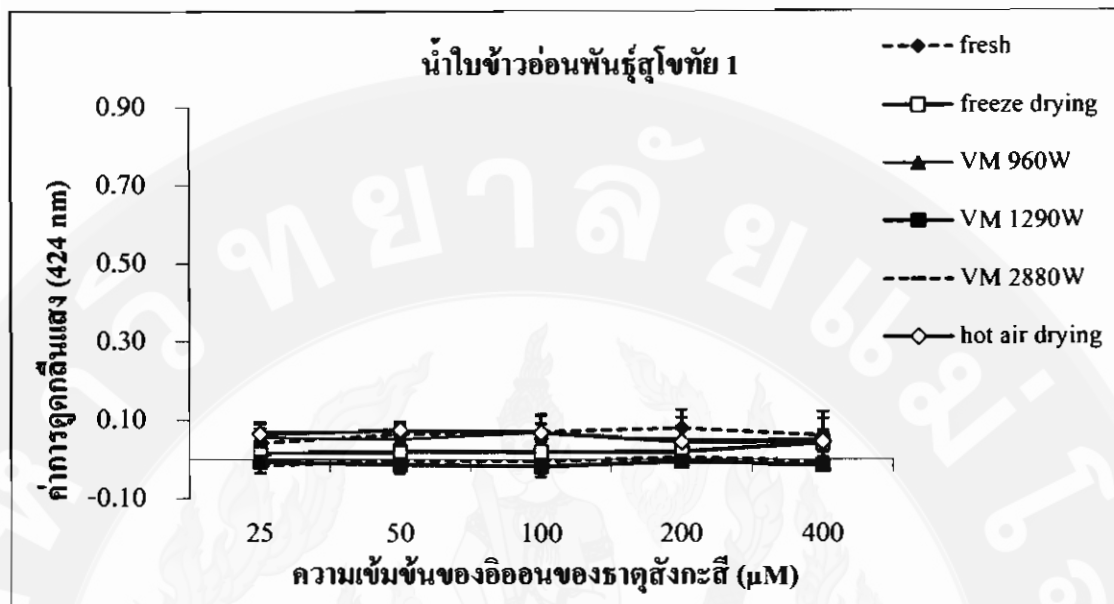
ภาพ 34 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



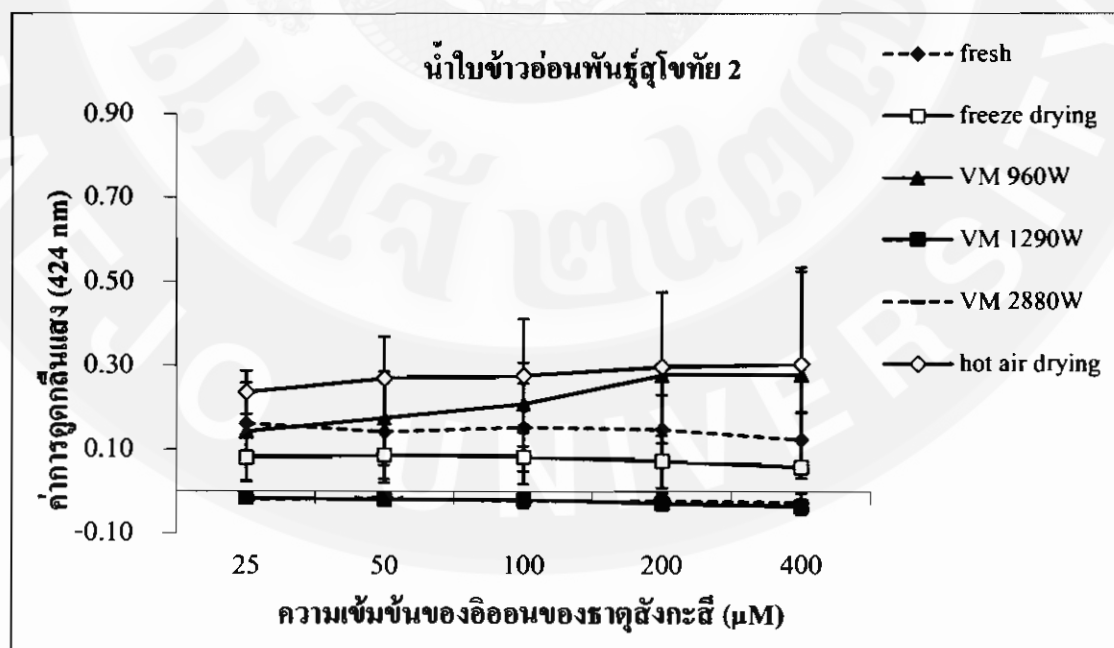
ภาพ 35 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



ภาพ 36 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



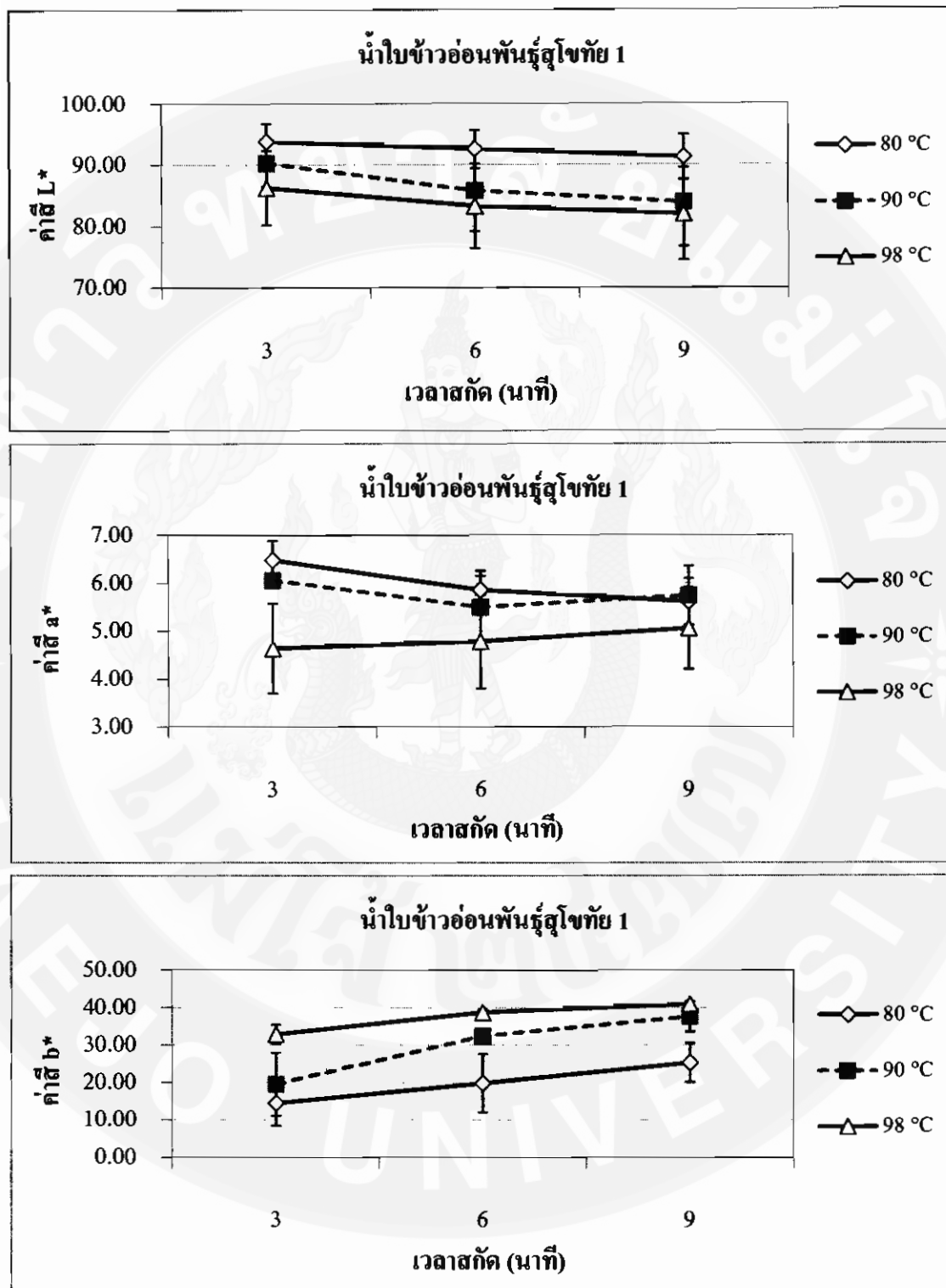
ภาพ 37 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)



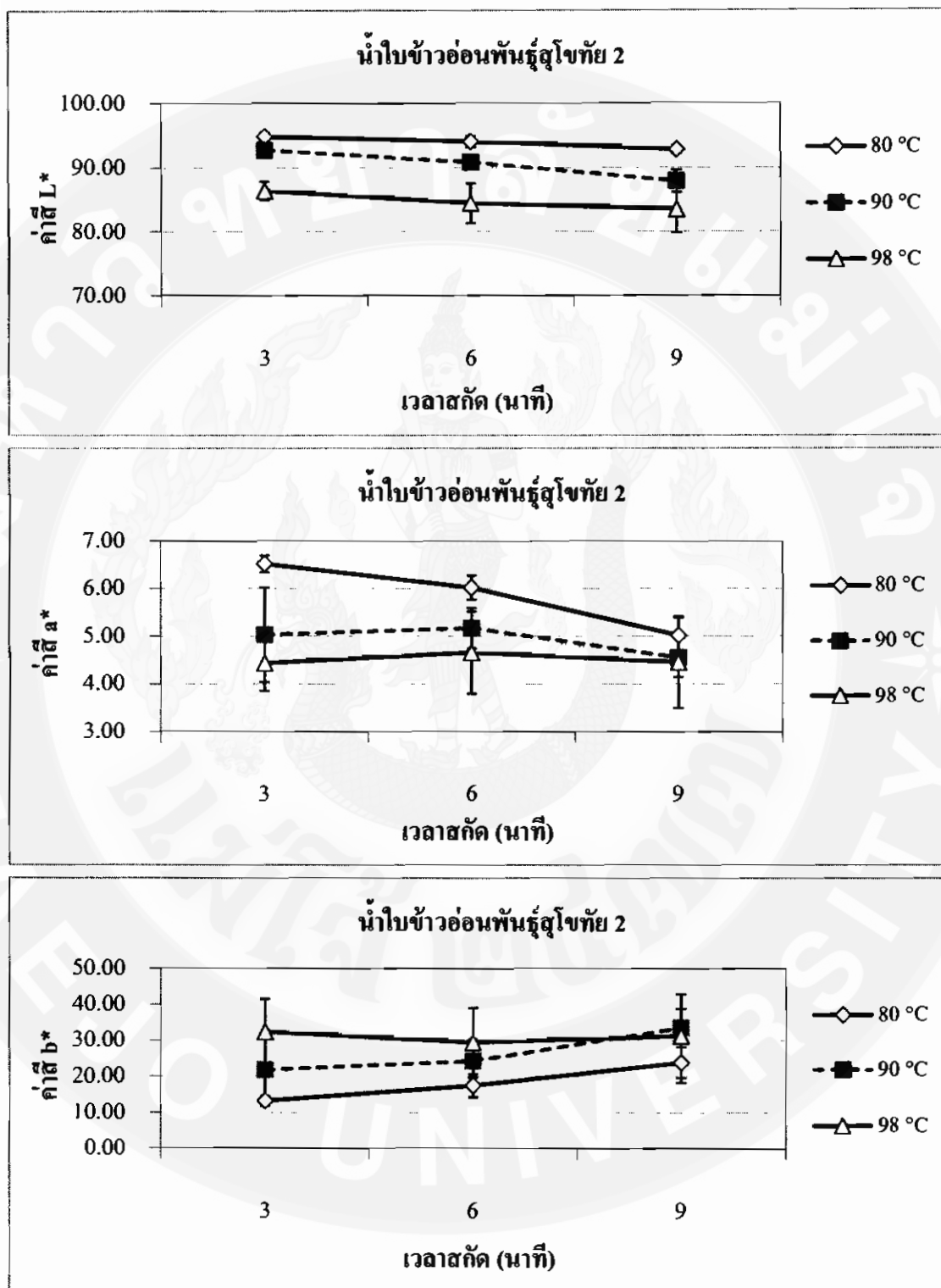
ภาพ 38 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 จากการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ กับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์)

4. การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาของน้ำร้อนในการสกัดเครื่องคั่วจากใบข้าวอบแห้ง

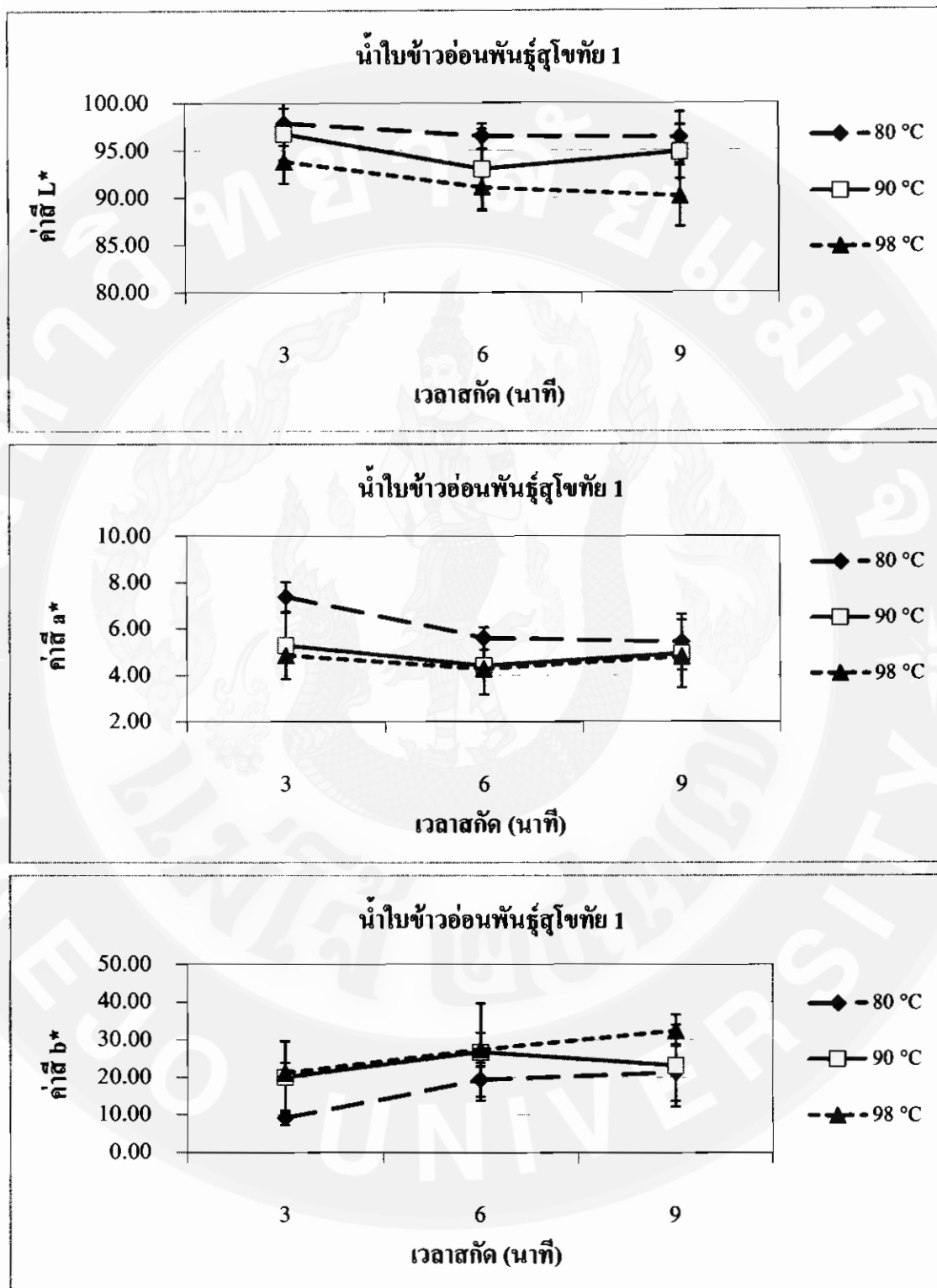
ใบข้าวอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังผ่านการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ ได้นำไปศึกษาสภาวะการสกัดด้วยน้ำร้อนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องคั่วสกัดจากใบข้าวอบแห้งที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลมากที่สุด และเช่นเดียวกันใบข้าวอบแห้งทั้ง 2 สายพันธุ์หลังการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนได้ถูกนำไปศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการจับธาตุเหล็ก ในการศึกษาได้ให้ความสำคัญกับ 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ (80-98 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการสกัด (3-9 นาที) ซึ่งพบว่าระดับของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อค่าความสว่างของสี (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเครื่องคั่วหลังการสกัด โดยอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของสีและค่าความเป็นสีแดงมีค่าลดลง แต่ค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น (ภาพ 39-42) จากการศึกษาของ Garza และคณะ (1999) พบว่าการให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นแก่น้ำลูกพีชส่งผลต่อการลดลงของค่าความสว่างของสี เช่นเดียวกับการทดลองของ Rattanathanalerk และคณะ (2005) ที่ศึกษาผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำสับปะรด โดยพบว่าการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น (55-95 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ค่าความสว่างของสีมีค่าลดลง และค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในกลไกไม่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลในอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนสูง (Yaylayan, 1997) Cohen และคณะ (1998) ได้ศึกษาการให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแก่น้ำแอปเปิลพบว่าส่งผลทำให้เกิดเมลลาร์ดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาในน้ำลูกแพร์ (Ibarz *et al.*, 1999) และน้ำบลูคโคลี (Weemaes *et al.*, 1999) เป็นต้น



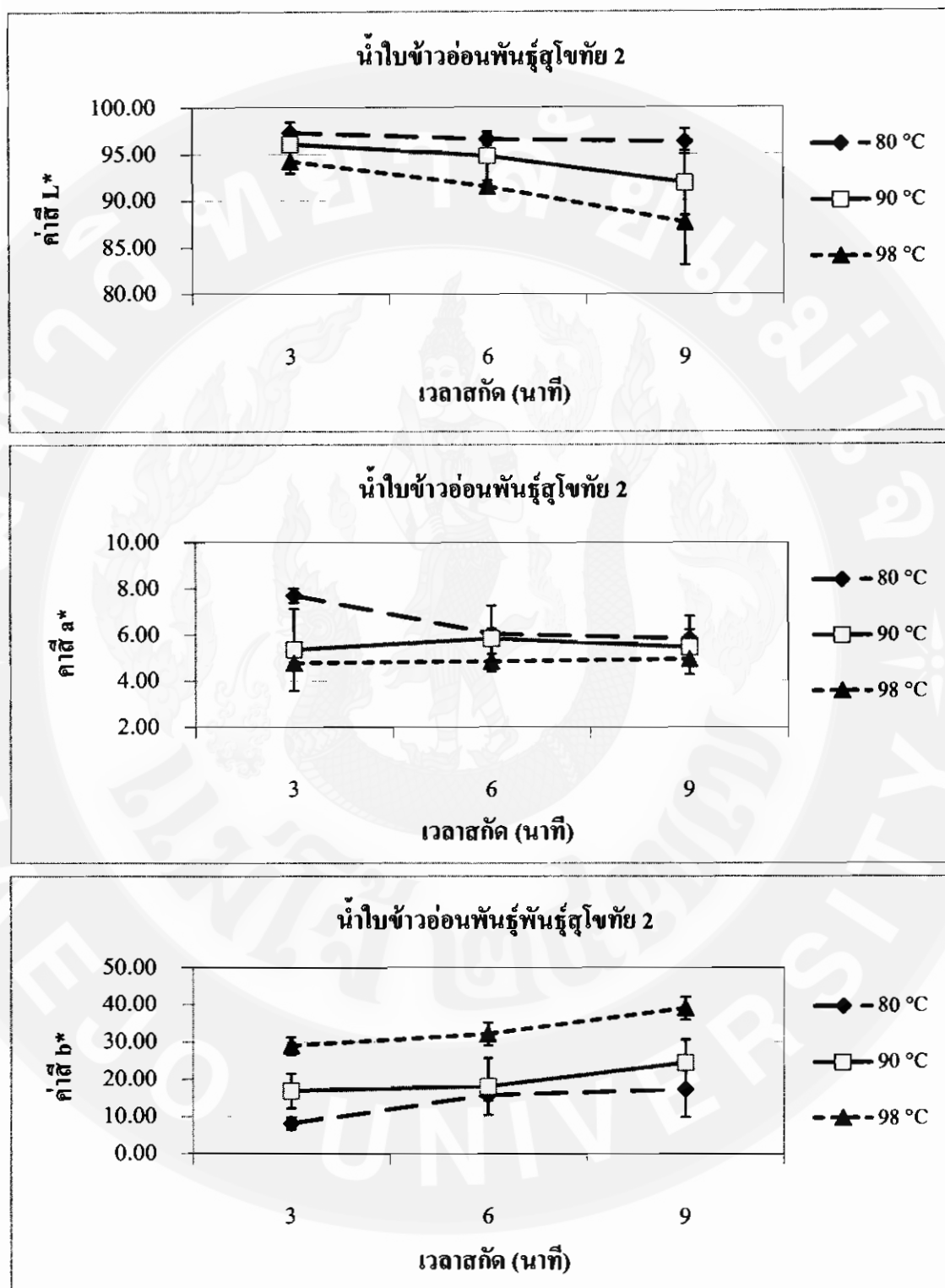
ภาพ 39 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์)



ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์)

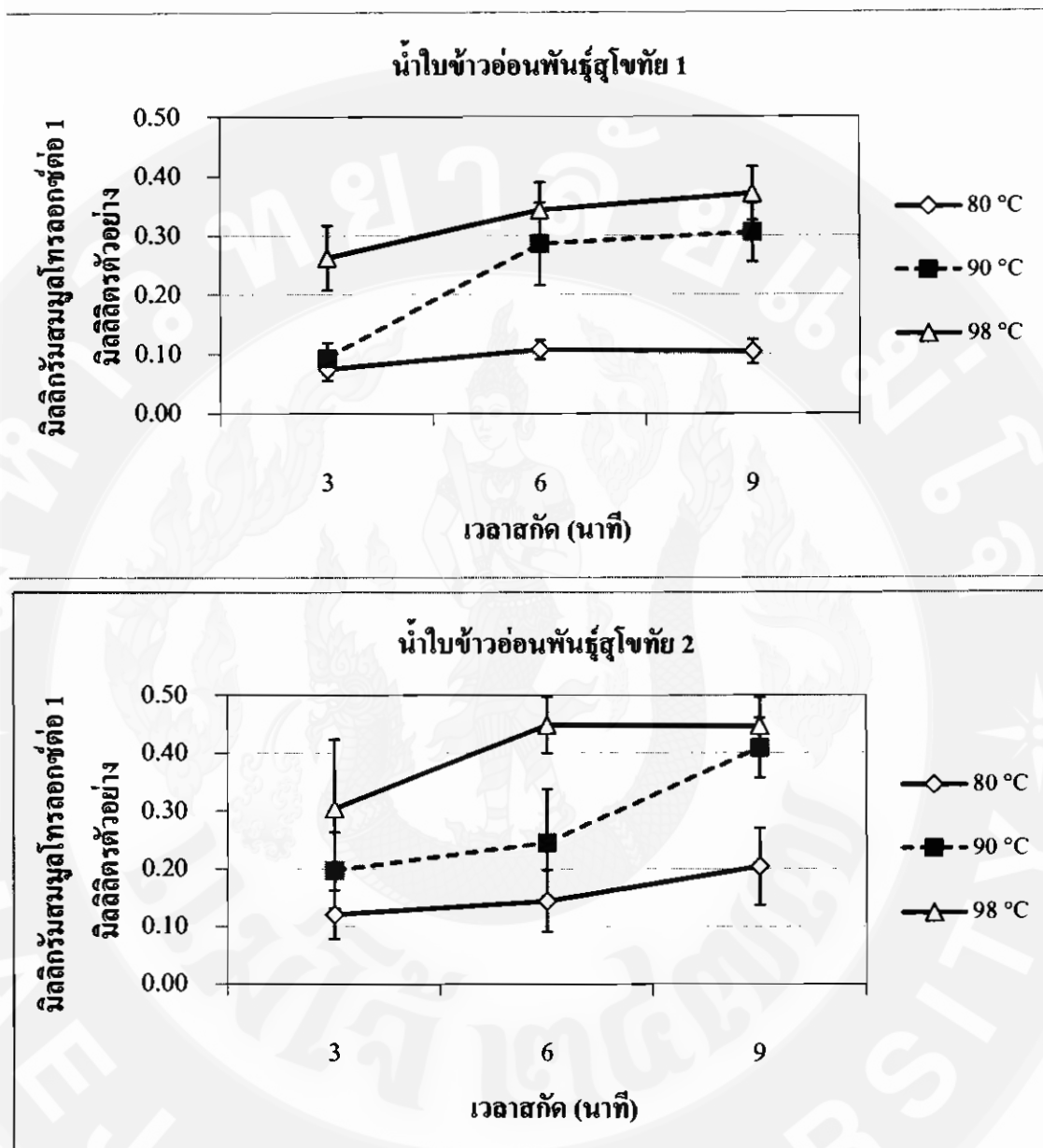


ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L* a* b*) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)

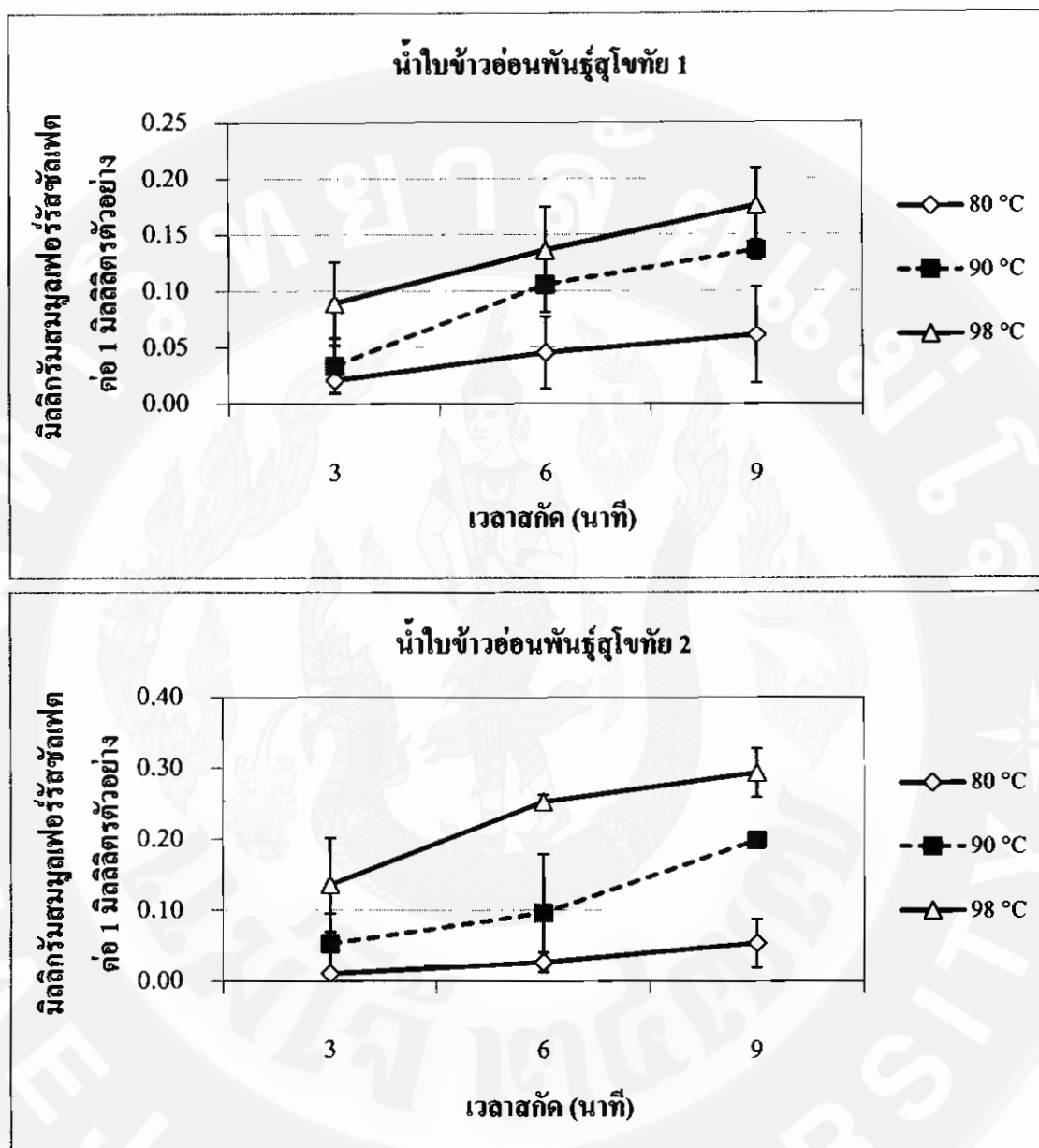


ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)

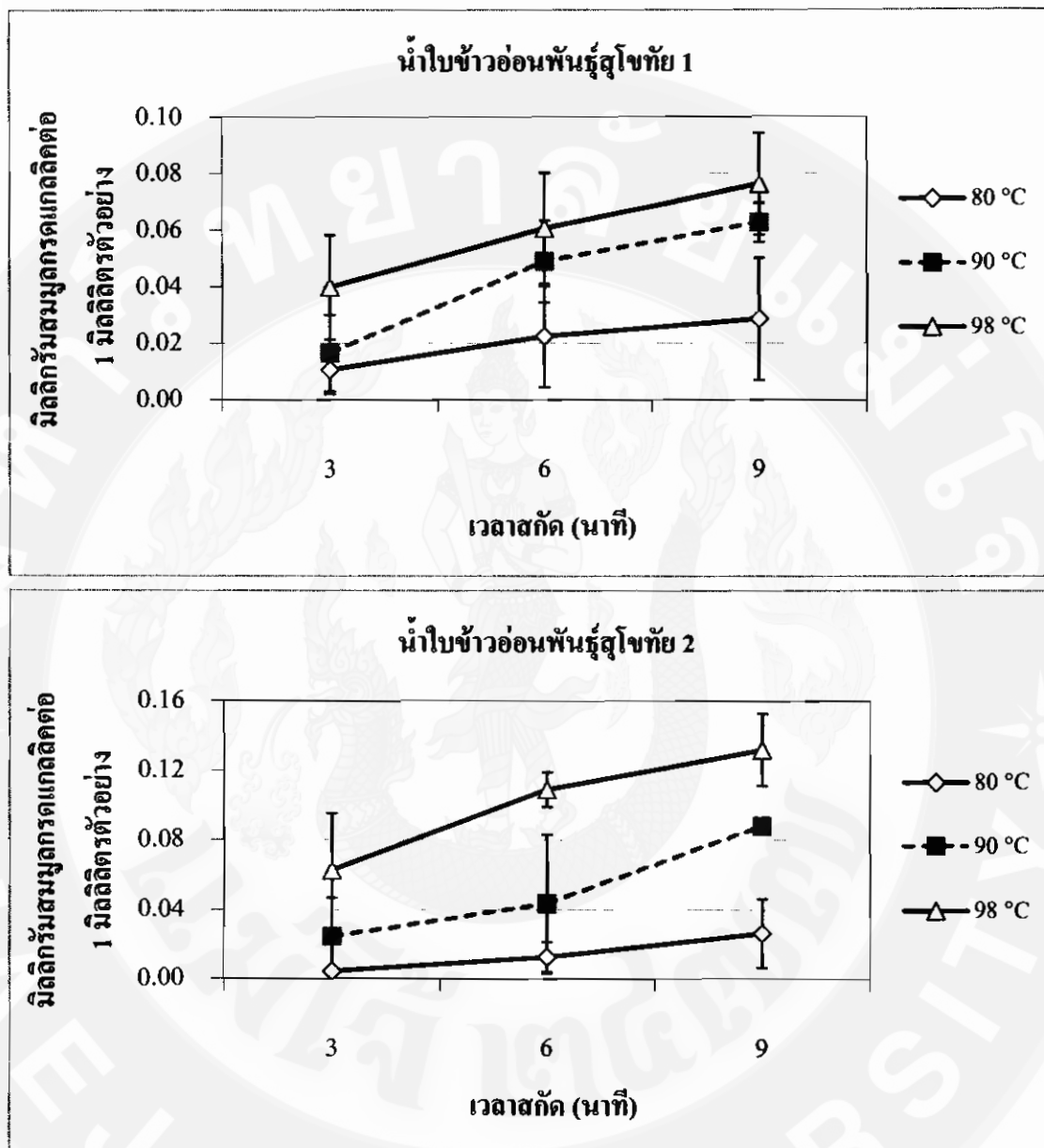
จากการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดเครื่องดื่มใบชาอ่อน ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอล ($p < 0.05$) (ภาพ 43-45) จากการใช้น้ำเดือดในการสกัดสารสกัดจากใบชาอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ระยะเวลา 9 นาที พบว่าสารสกัดที่ได้มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP และสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด เท่ากับ 0.37, 0.18 และ 0.08 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ มิลลิกรัมสมมูลเฟอรรัสซัลเฟต และมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างใบชาอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 มีค่าเท่ากับ 0.45, 0.29 และ 0.13 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ มิลลิกรัมสมมูลเฟอรรัสซัลเฟต และมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Su และคณะ (2006) และ Su และคณะ (2007) พบว่าอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำชาอู่หลง (Oolong tea) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Liebert และคณะ (1999) ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดชาเขียวและชาดำ พบว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น (0-9 นาที) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในน้ำชา และจากการศึกษาของ Labbe และคณะ (2006) พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการชงชาเขียวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการละลายที่เพิ่มขึ้นของสารคาเคชินและคาเฟอีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kovittayavong (2005) และ Sharma และคณะ (2005) Komes และคณะ (2009) และ Suteerapataranon และคณะ (2009) เป็นต้น ที่ได้ศึกษาในตัวอย่างชาเขียวเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการช่วยให้สารประกอบโพลีฟีนอลหลุดออกจากผนังเซลล์พืชได้ดีขึ้น (Dewanto *et al.*, 2002; Toor and Savage, 2006; Randhir *et al.*, 2008) จากการศึกษาของ Sthishkumar และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลของน้ำร้อนต่อการสกัดสารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในพืช *Enicostemma littorale* พบว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิน้ำเดือดสามารถสกัดสารประกอบโพลีฟีนอลและน้ำที่สกัดได้มีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า เช่นเดียวกับการทดลองของ Lim and Murtijaya (2007) พบว่าน้ำถูกได้ใบหลังสกัดด้วยน้ำเดือด สามารถสกัดสารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลได้ดี ซึ่งความร้อนของน้ำที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของสารประกอบโพลีฟีนอล (Amin *et al.*, 2006) โดยน้ำร้อนช่วยให้เนื้อเยื่อของพืชอ่อนตัวลง สารต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์จึงสามารถสกัดออกมาได้ง่ายขึ้น (Bernhardt and Schlich, 2005) นอกจากนี้ความร้อนในกระบวนการส่งผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะเกิดการสลายตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ค่าจากการวิเคราะห์มีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น



ภาพ 43 สมบัติการด้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์) วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ ใช้โพลีฟีนอลเป็นสารมาตรฐาน



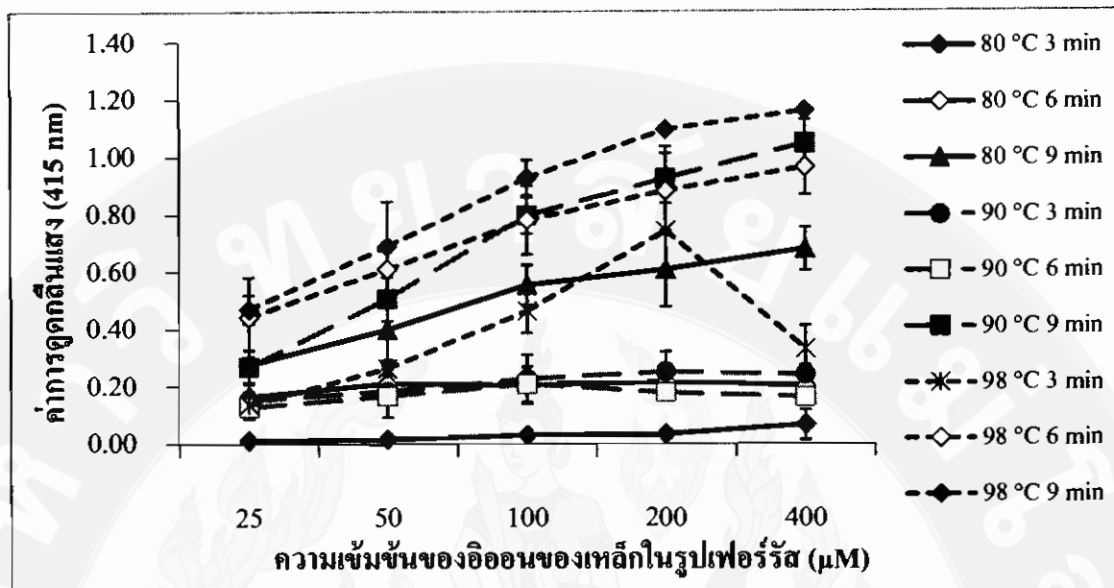
ภาพ 44 สมบัติการด้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ใช้เฟอรัลซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน



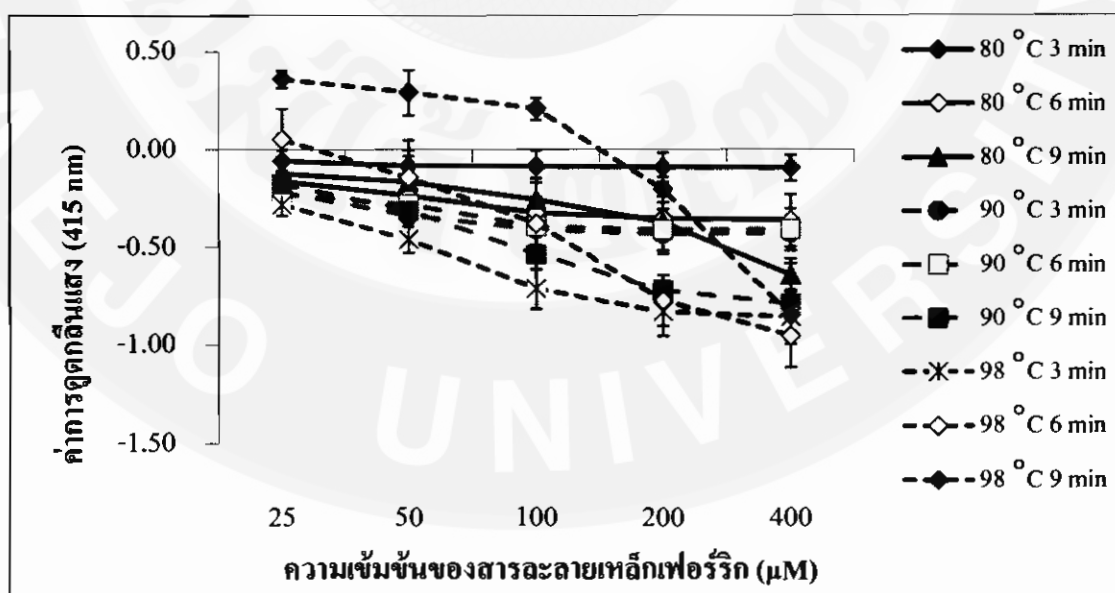
ภาพ 45 สมบัติการด้านออกซิเดชันของน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังการสุกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

(Cheng *et al.*, 2006) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Choi และคณะ (2006) พบว่าระยะเวลาการให้ความร้อนแก่เห็ดชิตาเกะ (Shitake) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ตัวอย่างมีสมบัติการด้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้น โดยความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์พืชถูกทำลาย ส่งผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลอยู่ในรูปอิสระ (free form) มากขึ้น นอกจากนี้ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งมีสมบัติด้านออกซิเดชัน (Yoshimura *et al.*, 1997; Nicoli *et al.*, 1999; Manzocco *et al.*, 2001; Kim and Lee, 2009) จากการศึกษาของ Kusznieiewicz และคณะ (2008) พบว่าการเพิ่มความร้อนแก่น้ำคองกะหล่ำปลีทำให้สมบัติการด้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Perez-Conesa และคณะ (2009) ที่พบว่าน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติด้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวยังพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน เช่น น้ำลูกพีช (Garza *et al.*, 1999) น้ำแอปเปิล (Ibarz *et al.*, 2000) น้ำผึ้ง (Turkmen *et al.*, 2006) รำข้าวสาลี (Li *et al.*, 2007) และใบอ่อนธัญพืช (Randhir *et al.*, 2008) เป็นต้น

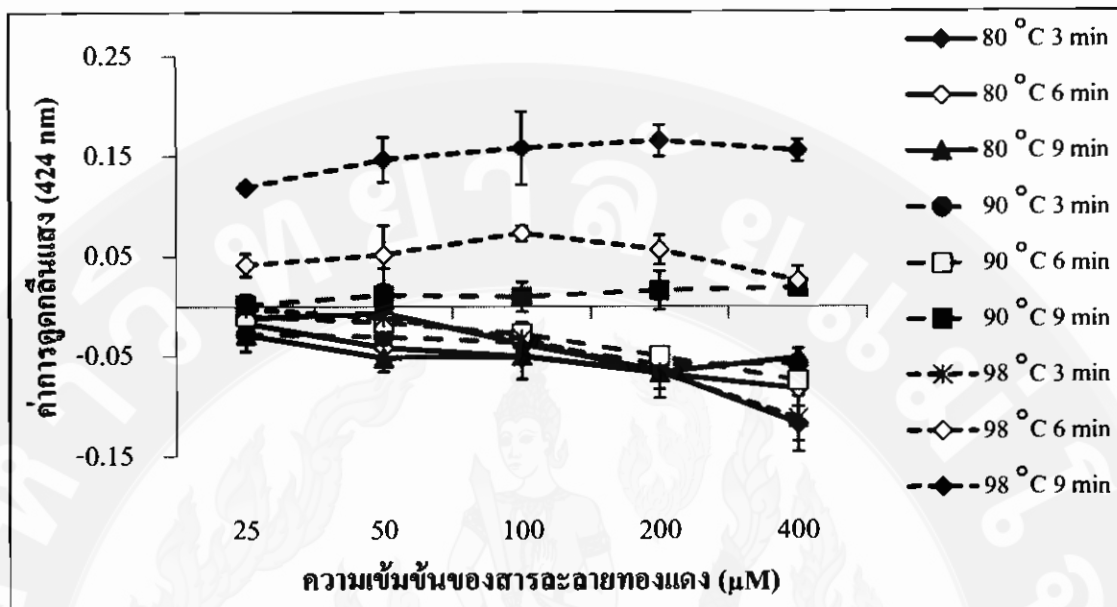
ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดสารสกัดน้ำใบข้าวอ่อนด้วยน้ำร้อน ที่มีต่อคุณสมบัติการจับไอออนของธาตุโลหะนั้น ได้ใช้ใบข้าวแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น จากภาพ 46 พบว่าน้ำใบข้าวอ่อนจากสภาวะการสกัดด้วยน้ำเดือดที่ระยะเวลาการสกัด 6-9 นาที มีความสามารถในการจับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ได้มากกว่าการสกัดที่ระยะเวลาสั้น สำหรับความสามารถในการจับเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) พบว่าตัวอย่างที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำเดือดที่ระยะเวลา 9 นาที ให้คุณสมบัติดังกล่าวดีที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์ริกไอออนตัวอย่างจะไม่สามารถจับเหล็กได้ทั้งหมด จึงทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กมีสีที่เจือจางกว่าน้ำใบข้าวเริ่มต้น (ภาพ 47) นอกจากนี้ในสภาวะการสกัดน้ำใบข้าวอ่อน ตัวอย่างจะถูกบรรจุในถุงชาจึงอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดสารต่างๆ ลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโดยให้ตัวอย่างสัมผัสกับน้ำร้อนโดยตรง (loose leaf) (Astill *et al.*, 2001) นอกจากนี้สารสกัดใบข้าวที่จากการสกัดในอุณหภูมิน้ำเดือด ระยะเวลา 6-9 นาที สามารถจับกับไอออนของธาตุทองแดงและสังกะสีได้มากที่สุด น้ำใบข้าวจากสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์เมลลาร์ดเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Yoshimura และคณะ (1997) ได้ศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลกลูโคสและกรดอะมิโนไกลซีนหลังได้รับความร้อน พบว่าผลิตภัณฑ์เมลลาร์ดที่เกิดขึ้นสามารถจับกับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+})



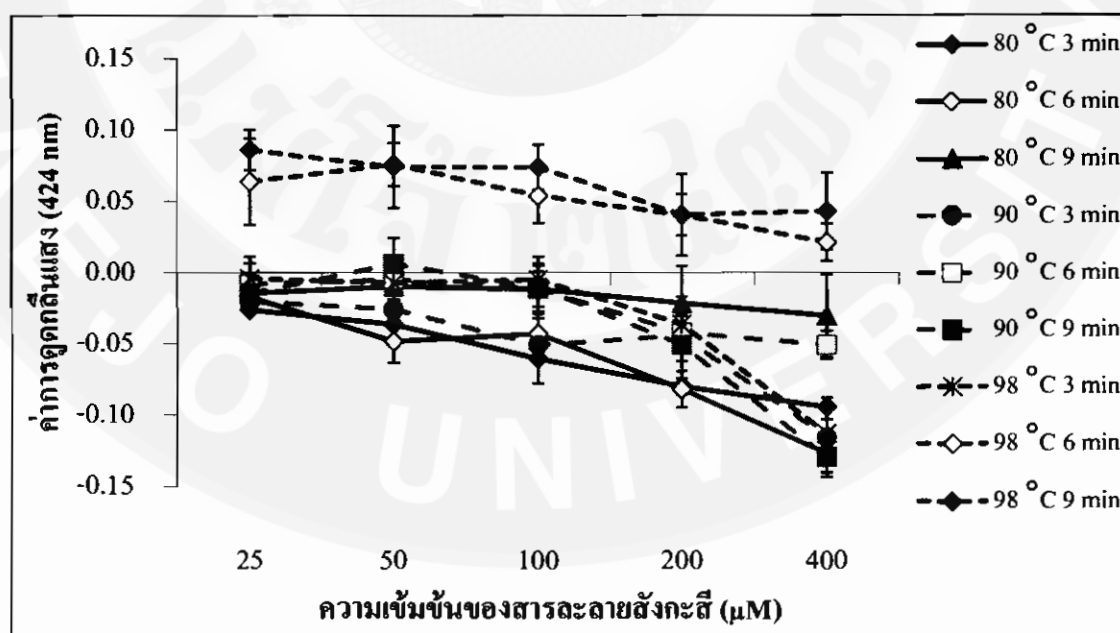
ภาพ 46 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)



ภาพ 47 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)



ภาพ 48 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 424 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุทองแดง (Cu^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)



ภาพ 49 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 424 นาโนเมตร ของสารผสมน้ำใบข้าวอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กับไอออนของธาตุสังกะสี (Zn^{2+}) (25-400 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)

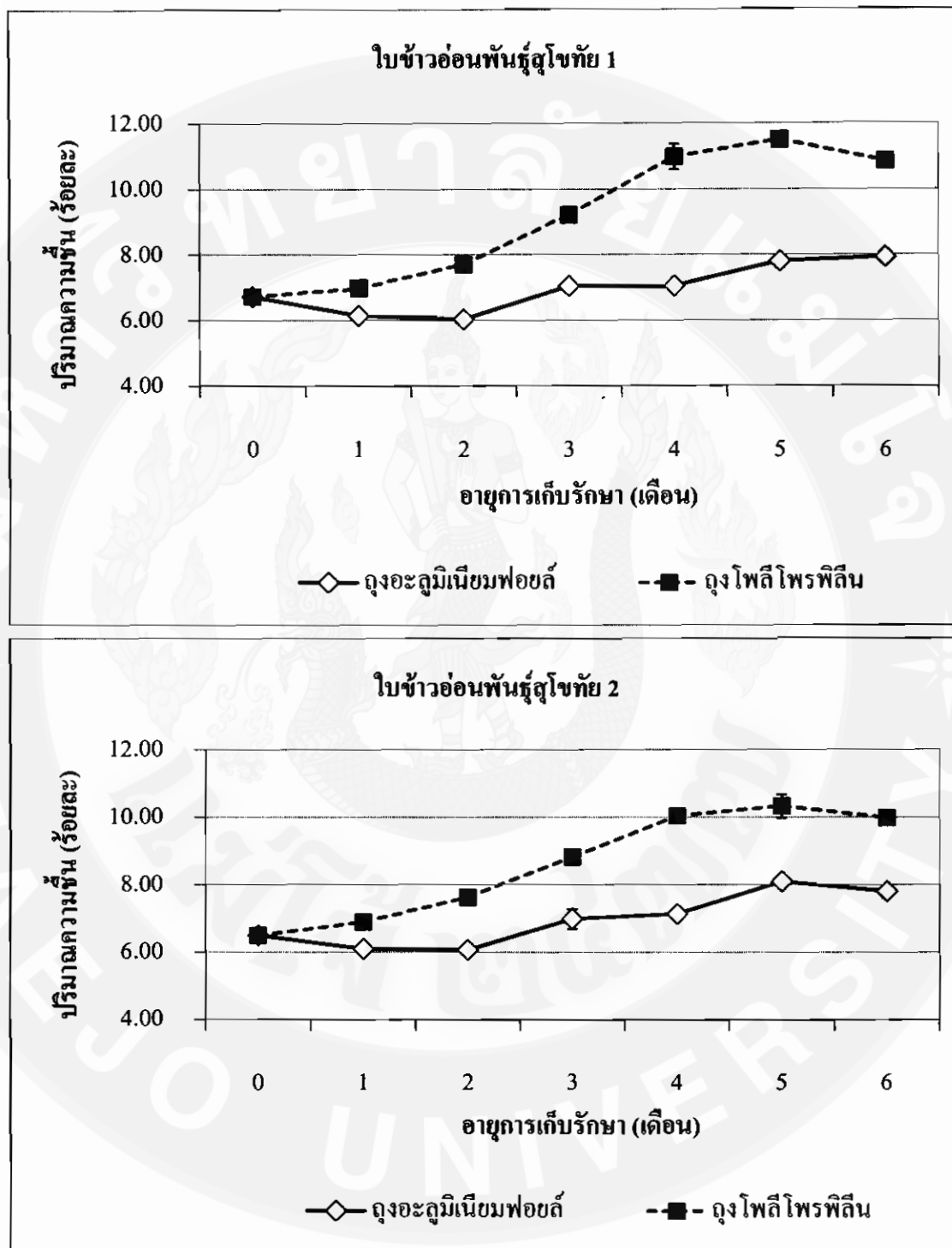
5. การศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาใบข้าวอ่อนอบแห้งที่ผลิตจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ใบบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงโพลีโพรพิลีนชนิดหนา (polypropylene) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) การเลือกใช้ถุงโพลีโพรพิลีนซึ่งจะสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในได้ ส่งผลให้เป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้ดี ในการศึกษาได้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน มีการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี (L^* a^* b^*) ปริมาณคลอโรฟิลล์ สมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบโพลีฟีนอล รวมถึงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด บีสต์และรา

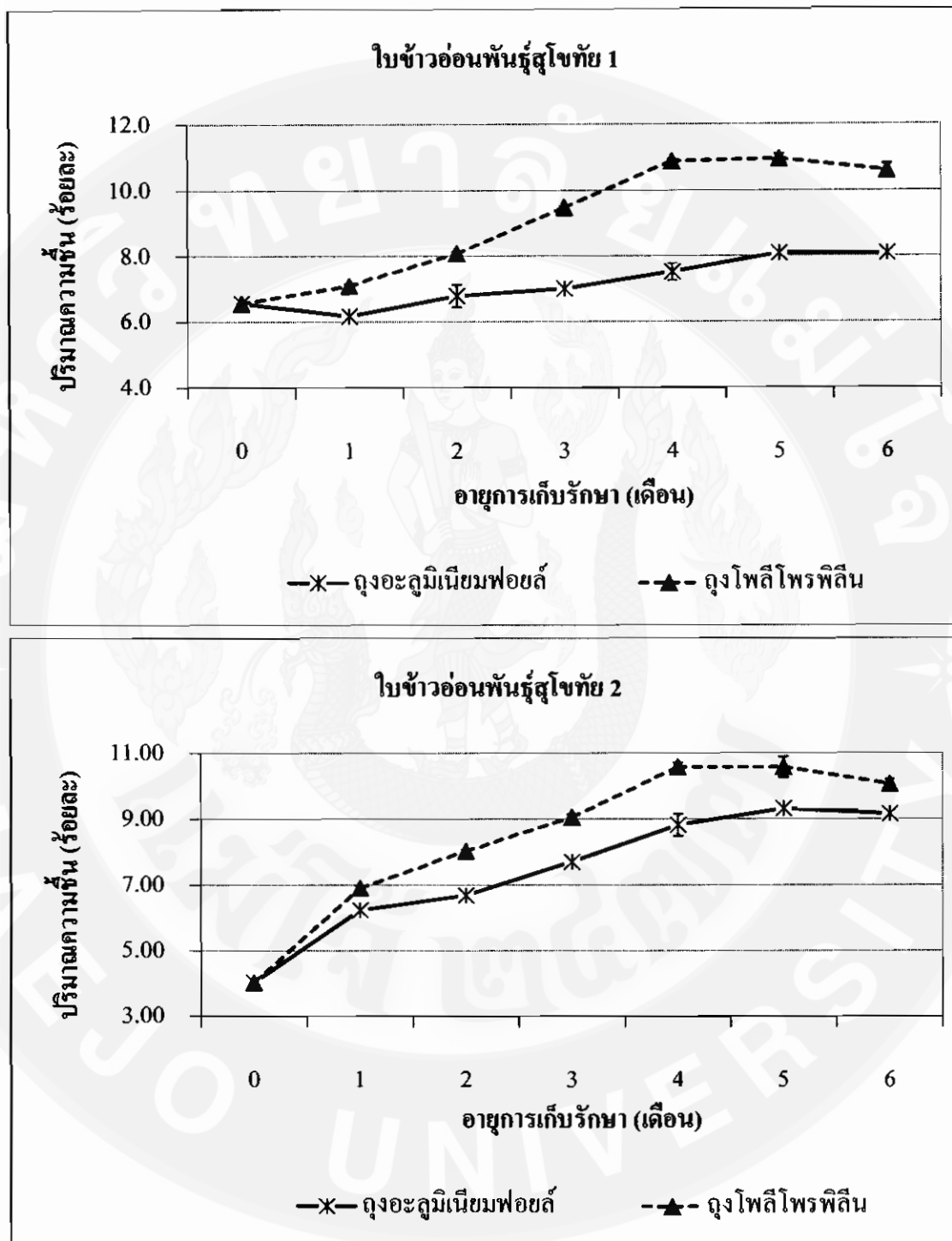
จากผลการวิเคราะห์พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ทำการศึกษา โดยปริมาณความชื้นในตัวอย่างใบข้าวอ่อนสุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ 2880 วัตต์ ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีความชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอยู่ในช่วงร้อยละ 6.72-7.93 และ 6.50-8.09 ตามลำดับ มีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.423-0.628 และ 0.393-0.659 ตามลำดับ สำหรับใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน (ภาพ 50-53) ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 280 พุทธศักราช 2547 เรื่องชาสมุนไพร ซึ่งกำหนดไว้ว่าชาสมุนไพรมีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ขณะที่ตัวอย่างที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเพียง 3 เดือนเท่านั้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.72-9.20 และ 6.50-8.82 ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.423-0.6453 และ 0.393-0.672 ตามลำดับ หลังจากนั้นพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงกว่าร้อยละ 10 คือ 10.85-11.50 และ 9.98-10.33 ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.705-0.713 และ 0.709-0.714 ตามลำดับ ซึ่งอาหารแห้งจะมีความปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการจัดเก็บได้นั้น ควรมีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.70 (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549) สำหรับใบข้าวอ่อนอบแห้งที่ทำการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานกว่า 6 เดือน อย่างไรก็ตามต้องขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของพัชรเพ็ญ (2549) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพของกาแฟคั่วบดตลอดระยะเวลา 6 เดือน พบว่าตัวอย่างมีความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา และจากการศึกษาของ Singh and Sagar (2010) พบว่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างใบกะหรี่

(curry leaves) และใบมะรุมอบแห้ง (drumstick leaves) มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh และคณะ (2003) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผักสมุนไพรและแครอทอบแห้ง โดยพบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน สำหรับผลการทดลองของ Lavelli and Vantaggi (2009) พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างแอปเปิลอบแห้ง ในการศึกษาของ Kumar และคณะ (2008) พบว่าการใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันความชื้นในผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งได้ดีกว่าถุงโพลีเอทิลีน (polyethylene) ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นวัสดุประกอบที่มีวัสดุหลัก คือ อะลูมิเนียมซึ่งสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำรวมถึงออกซิเจนและแสงได้ดี (Brown, 1992) ซึ่งถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและโพลีเอทิลีนมีอัตราการซึมผ่านของความชื้นสูงกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ถึง 137 เท่า และ 102 เท่า ตามลำดับ (Taoukis *et al.*, 1988)

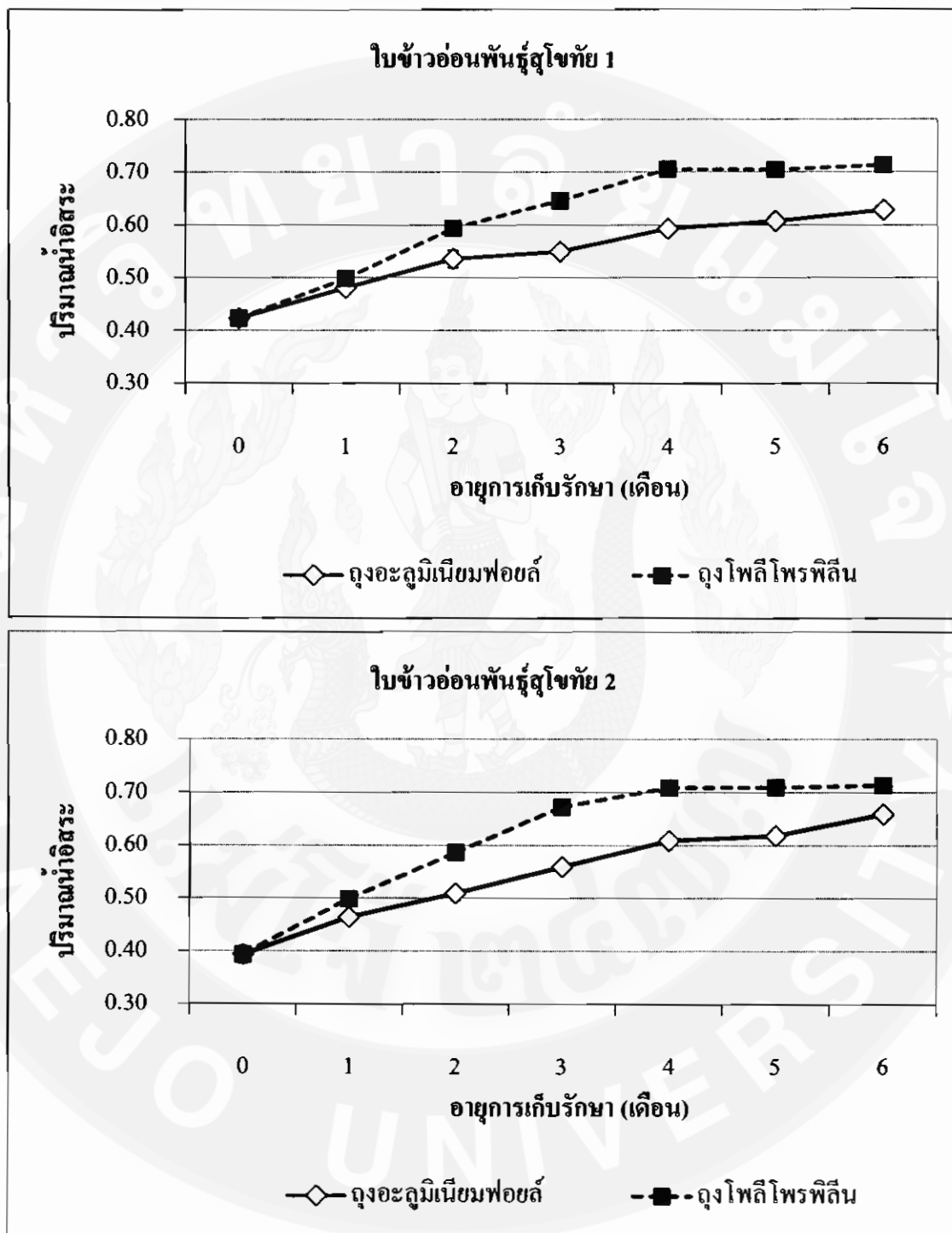
สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดของตัวอย่างใบข้าวอบแห้งหลังเก็บรักษาในเดือนที่ 6 โดยชงตัวอย่างในน้ำร้อนที่ปราศจากเชื้ออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งอ้างอิงจากอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากกาต้มน้ำในครัวเรือนทั่วไป ปริมาตร 200 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างใบแห้ง 1 กรัม ชงเป็นเวลา 9 นาที พบว่าน้ำหลังการชงจากทุกตัวอย่างมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในช่วง $1-22.2 \times 10^2$ cfu/ml และไม่พบยีสต์และรา ซึ่งมีปริมาณไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขา (มผช. 120/2549) ซึ่งกำหนดไว้ว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 cfu/ml และต้องไม่พบยีสต์และรา



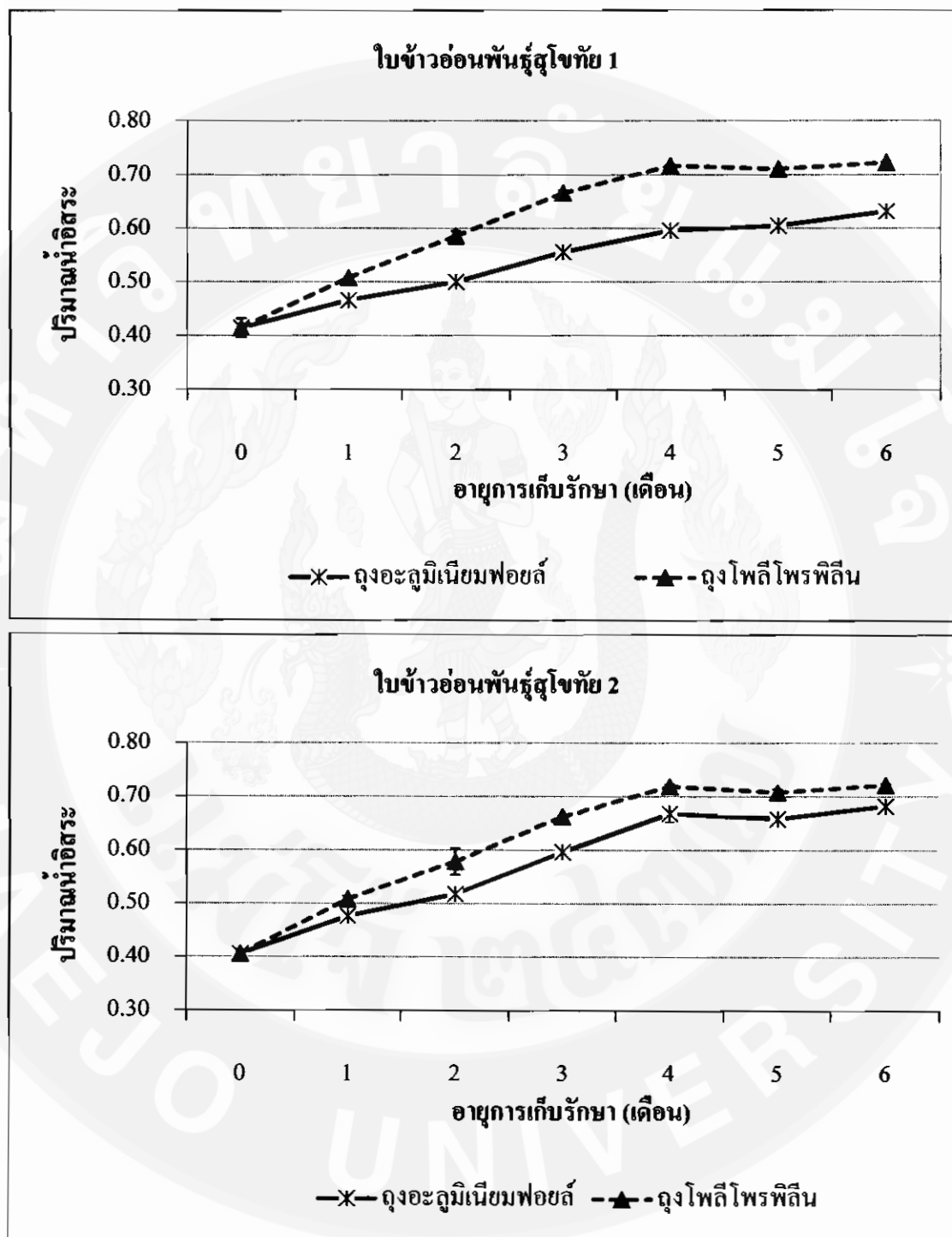
ภาพ 50 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีไพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 51 ปริมาณความชื้นของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในดุงอะลูมิเนียมฟอยล์และดุงโพลิโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

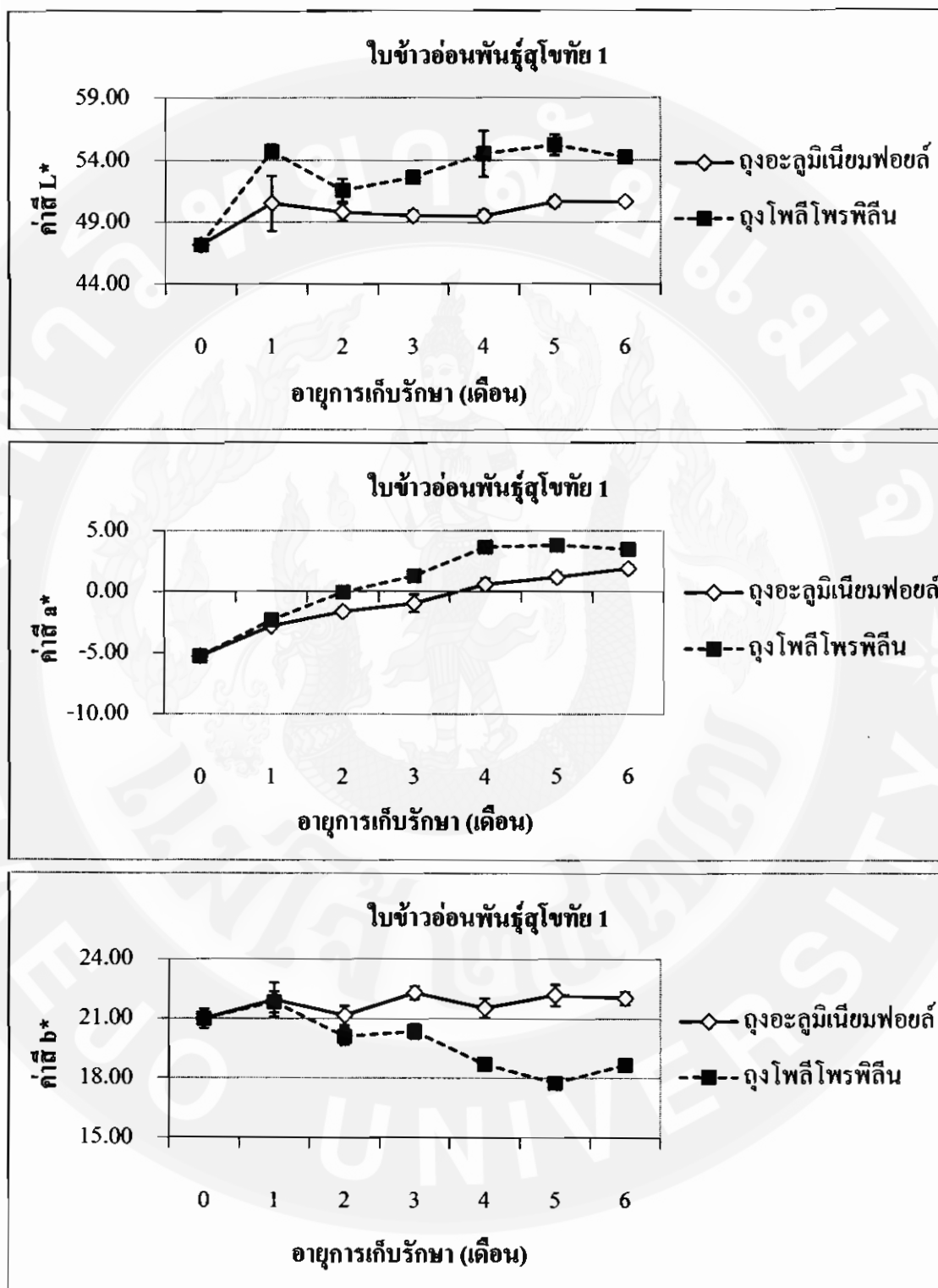


ภาพ 52 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

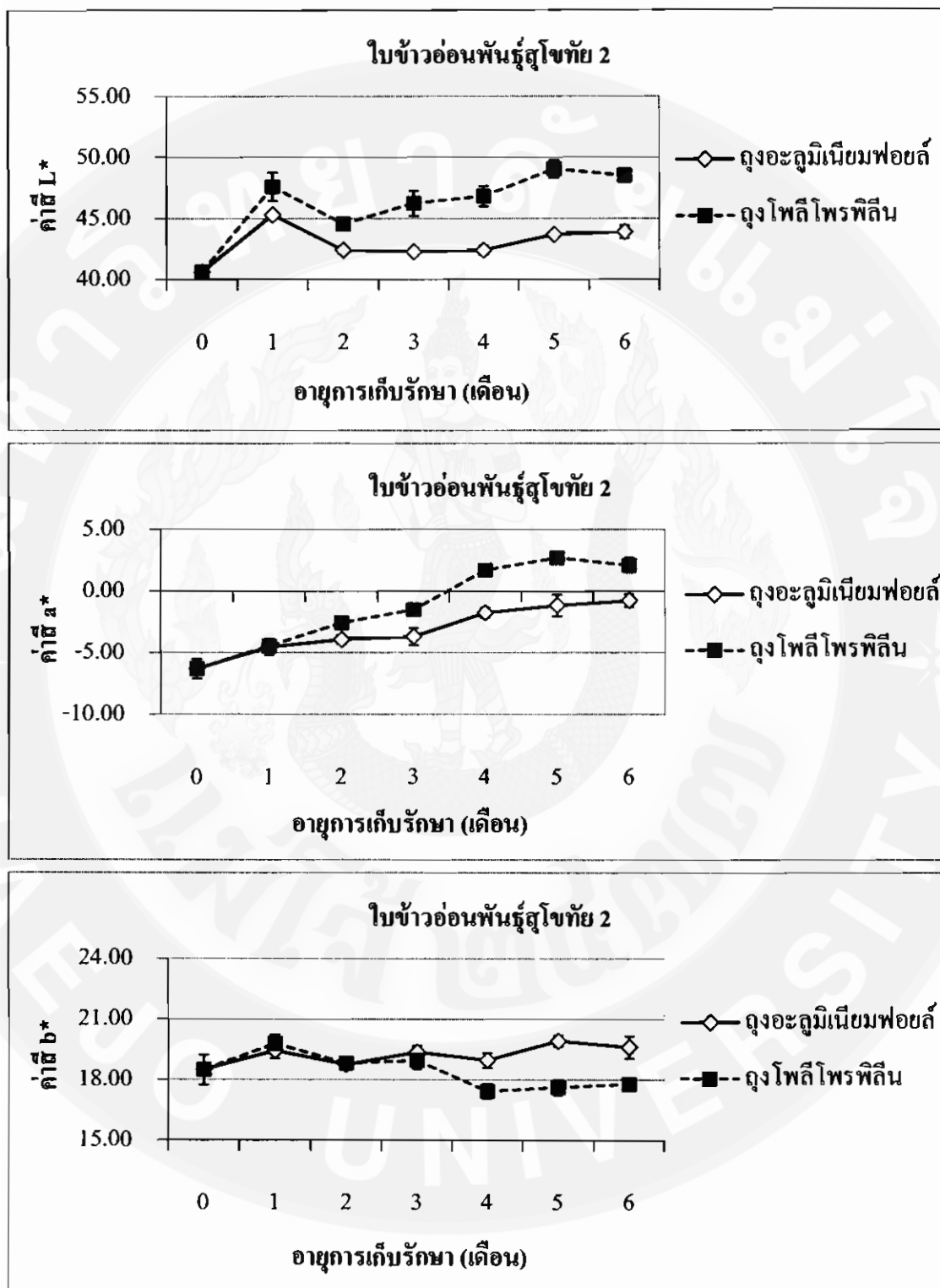


ภาพ 53 ปริมาณน้ำอิสระของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอสเฟตและถุงโพลีโพรฟิตินที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

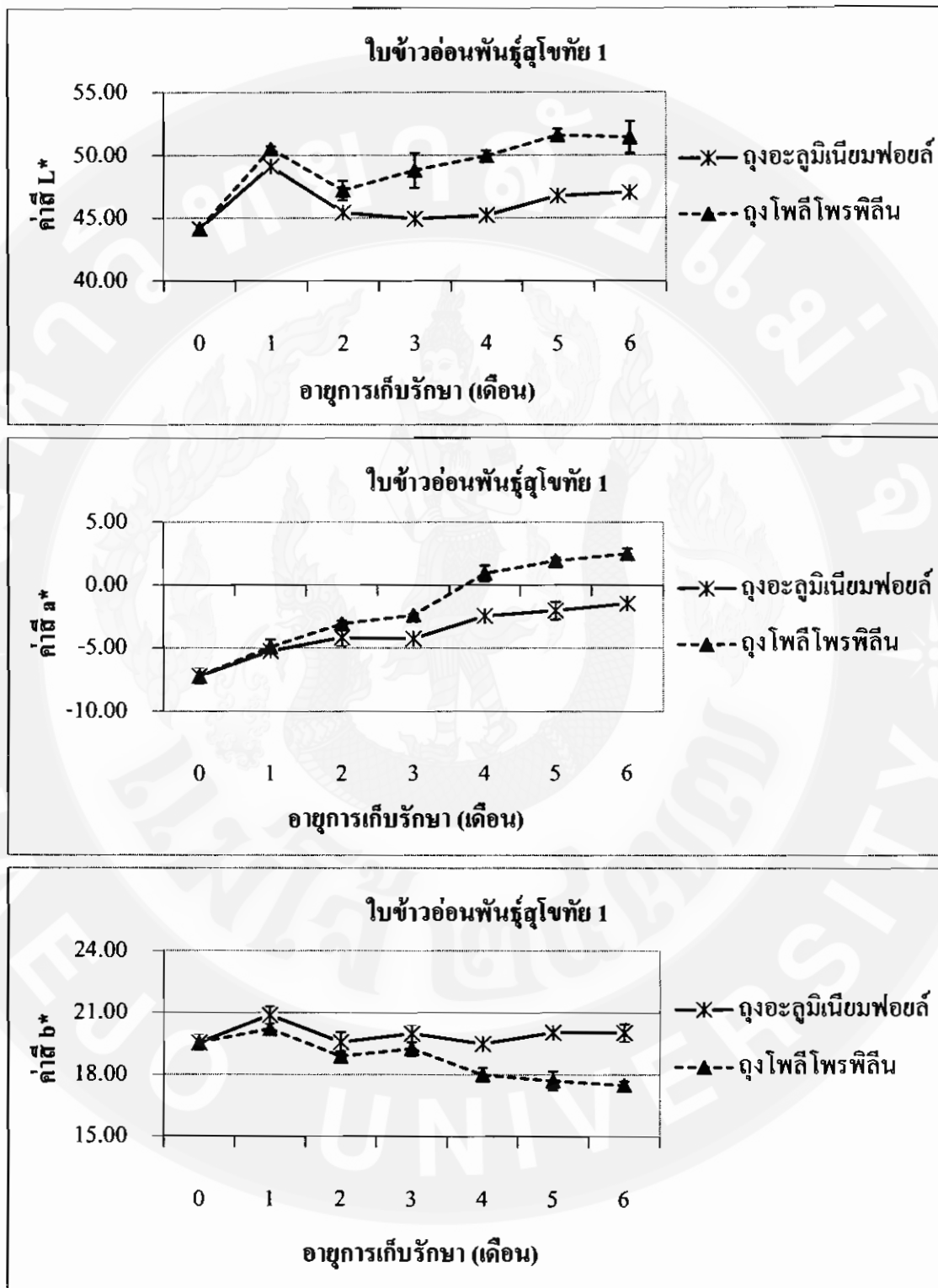
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสี พบว่าใบข้าวอ่อนอบแห้งทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ 2880 วัตต์ มีแนวโน้มค่าความสว่างของสี (L^*) เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา การใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการใช้ถุงโพลิโพรพิลีน ใบข้าวอ่อนแห้งพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสีจาก 47.13 เป็น 50.65 และ 40.60 เป็น 45.30 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสีเขียวมีค่าลดลงและมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น โดยมีค่าจาก -5.26 เป็น 1.89 และ -6.32 เป็น -0.77 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงโพลิโพรพิลีน มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสีจาก 47.13 เป็น 55.23 และ 40.60 เป็น 49.05 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสีเขียวมีค่าลดลงจาก -5.26 เป็น 3.82 และ -6.23 เป็น 2.72 ตามลำดับ และพบว่าการลดลงของค่าความเป็นสีเหลืองที่สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (ภาพ 54-55) สำหรับตัวอย่างใบข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน (ภาพ 56-57) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maicu (2008) พบว่าชาฮันนีบูชที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีเขียวและค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Arabhosseini และคณะ (2007) พบว่าค่าความสว่างของสีของใบทาร์รากอน (tarragon leave) อบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ผักอบแห้งที่บรรจุในภาชนะใสระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งต่อการสูญเสียคลอโรฟิลล์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ และผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำอิสระมากกว่า 0.32 จะทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิตินได้ง่าย (นิธิยา, 2549) ดังนั้นการเก็บรักษาตัวอย่างในถุงโพลิโพรพิลีนจึงพบการซีดจางของสีมากกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์



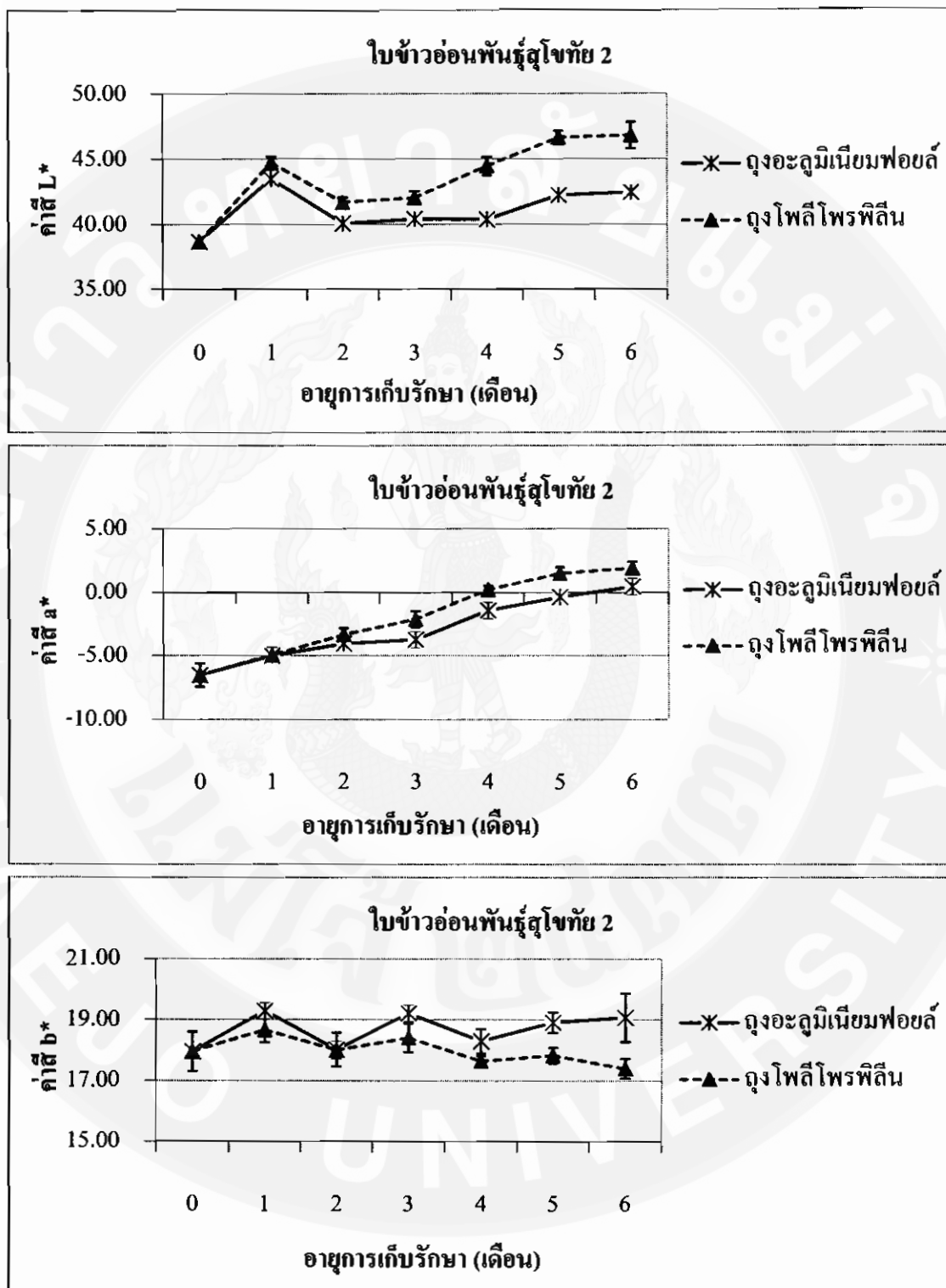
ภาพ 54 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L* a* b*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 55 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

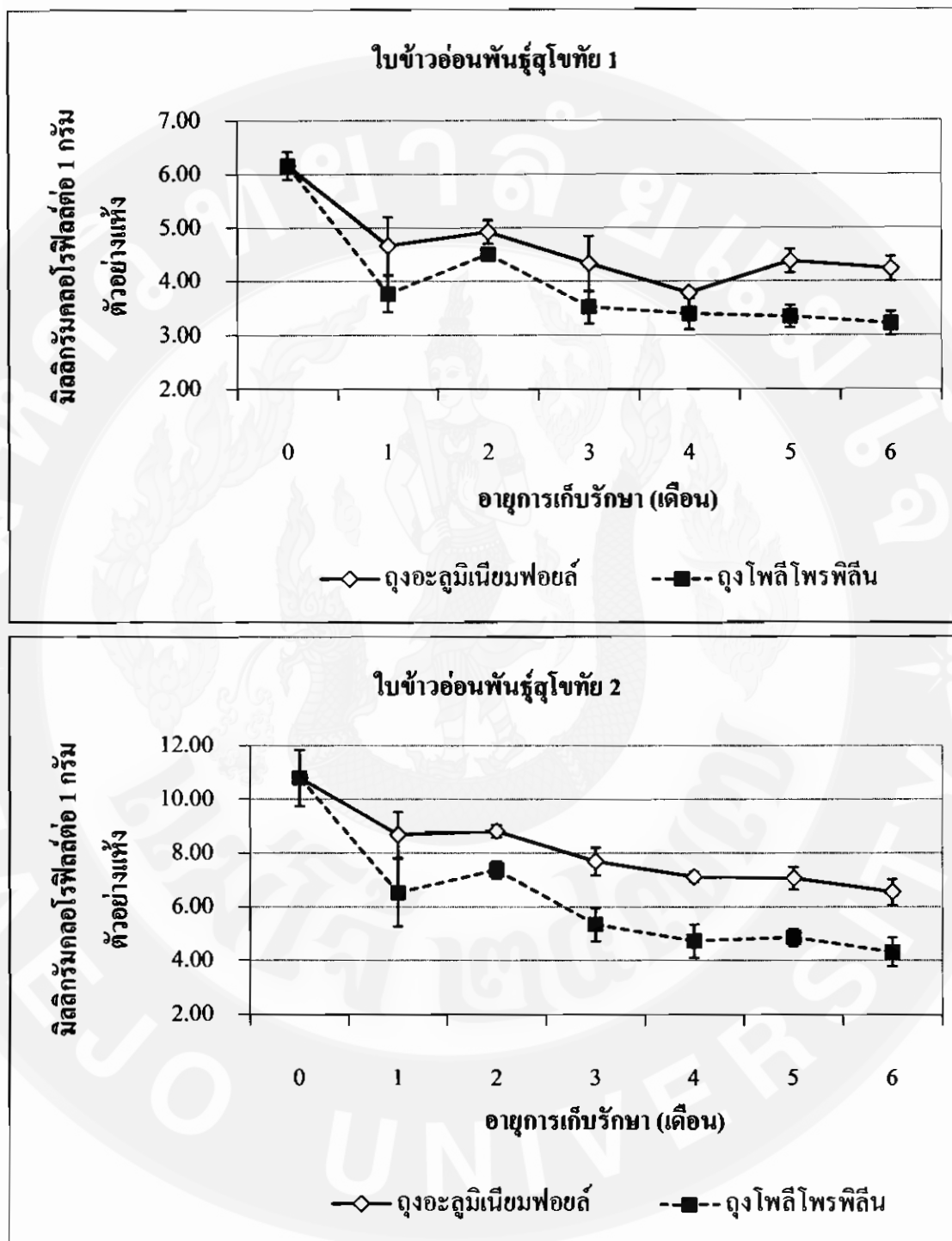


ภาพ 56 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

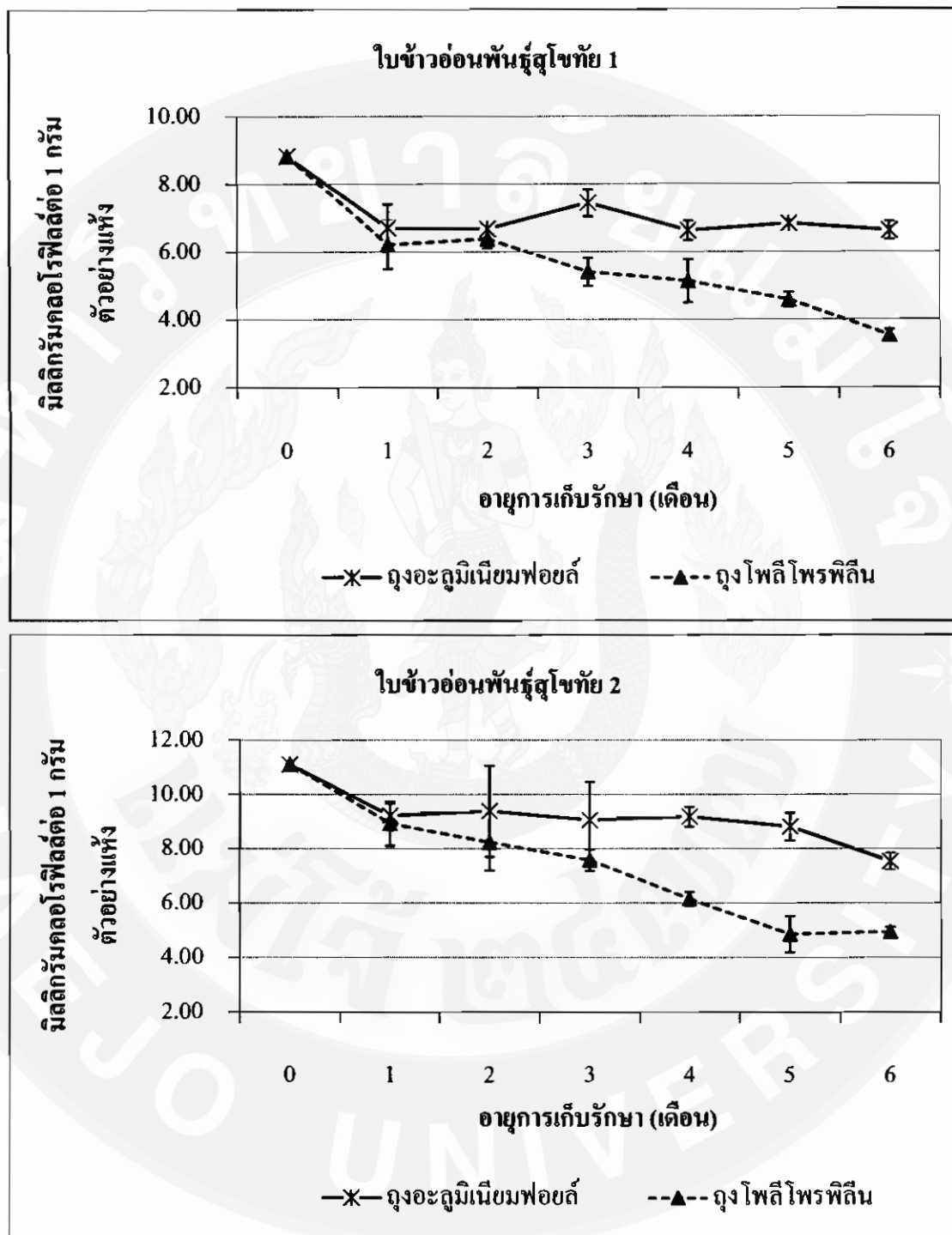


ภาพ 57 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* a^* b^*) ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาดังกล่าว

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่ามีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ซึ่งตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าถุงโพลีโพรพิลีน (ภาพ 58-59) เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้น แสง และออกซิเจนได้ดี (ปริญญา, 2542) เช่นเดียวกับการทดลองของ Singh and Sagar (2010) ที่พบว่าคลอโรฟิลล์ในใบกะหรี่ปะและใบมะรุบอบแห้งจะมีปริมาณลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Negi and Roy (2001) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาผักขวยและผักโขมอบแห้ง จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 9 เดือน และในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง งานทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองในพืชอบแห้งชนิดอื่นๆ เช่น บล็อกโคลี่ (Sanjuan *et al.*, 2004) ใบรางจืด (Oonsivilai, 2006) ชาเขียว (Huang *et al.*, 2007) และผักปวยเล้ง (Oladele and Aborisade, 2009) เป็นต้น นอกจากนี้ปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นขณะเก็บรักษายังส่งผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0-0.32 คลอโรฟิลล์จะมีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาแต่เมื่อปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 0.52-0.75 จะพบการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เป็นฟิโอฟิตินอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในสภาวะที่มีปริมาณน้ำอิสระสูงจะเอื้อทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์และเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่ายรวมถึงแสงและก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านบรรจุภัณฑ์เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้คลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวได้ (นิธิยา, 2549; จามทิพย์, 2550)



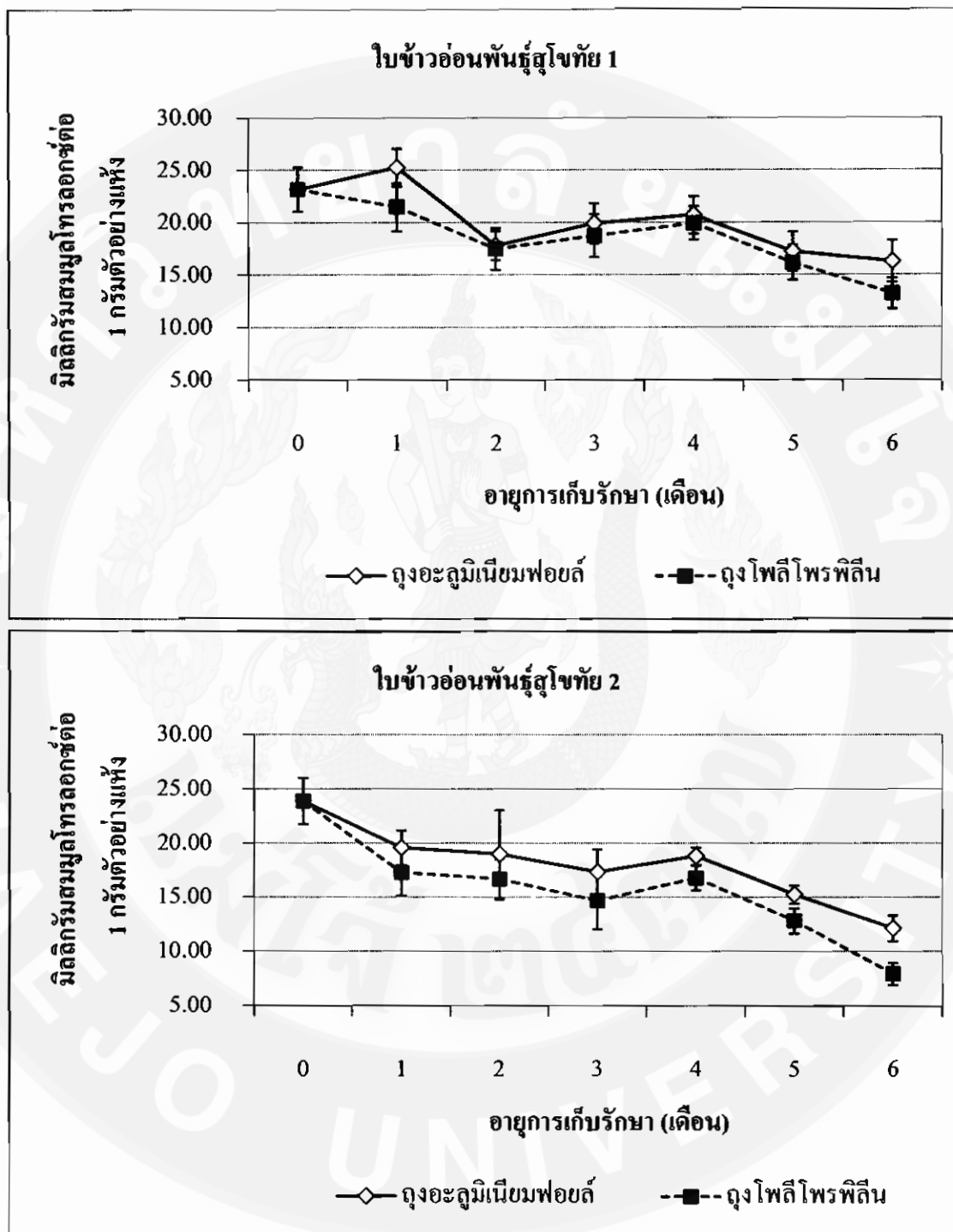
ภาพ 58 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในดุงอะลูมิเนียมฟอยล์และดุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



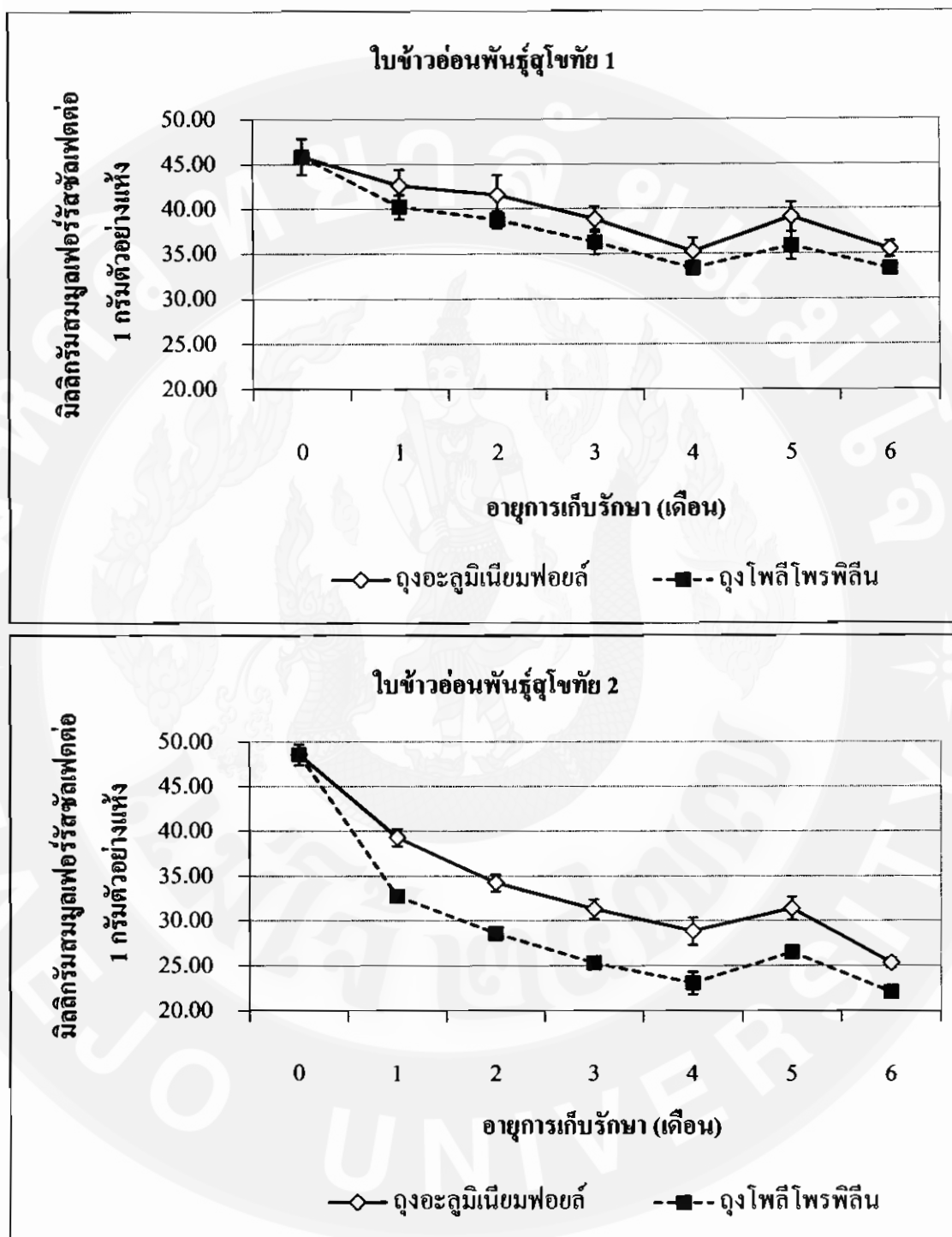
ภาพ 59 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอสเฟตและถุงโพแทสเซียมฟอสเฟตที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

จากการวิเคราะห์ผลของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลในใบข้าวอบแห้ง พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของสมบัติดังกล่าว ใบข้าวอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ ลดลงจาก 23.15 เป็น 16.26 และ 23.89 เป็น 12.12 มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ สำหรับสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP พบว่ามีค่าลดลงเช่นกันจาก 45.74 เป็น 35.50 และ 48.51 เป็น 25.33 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ สารประกอบโพลีฟีนอลมีค่าลดลงจาก 10.86 เป็น 8.90 และ 9.46 เป็น 6.36 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

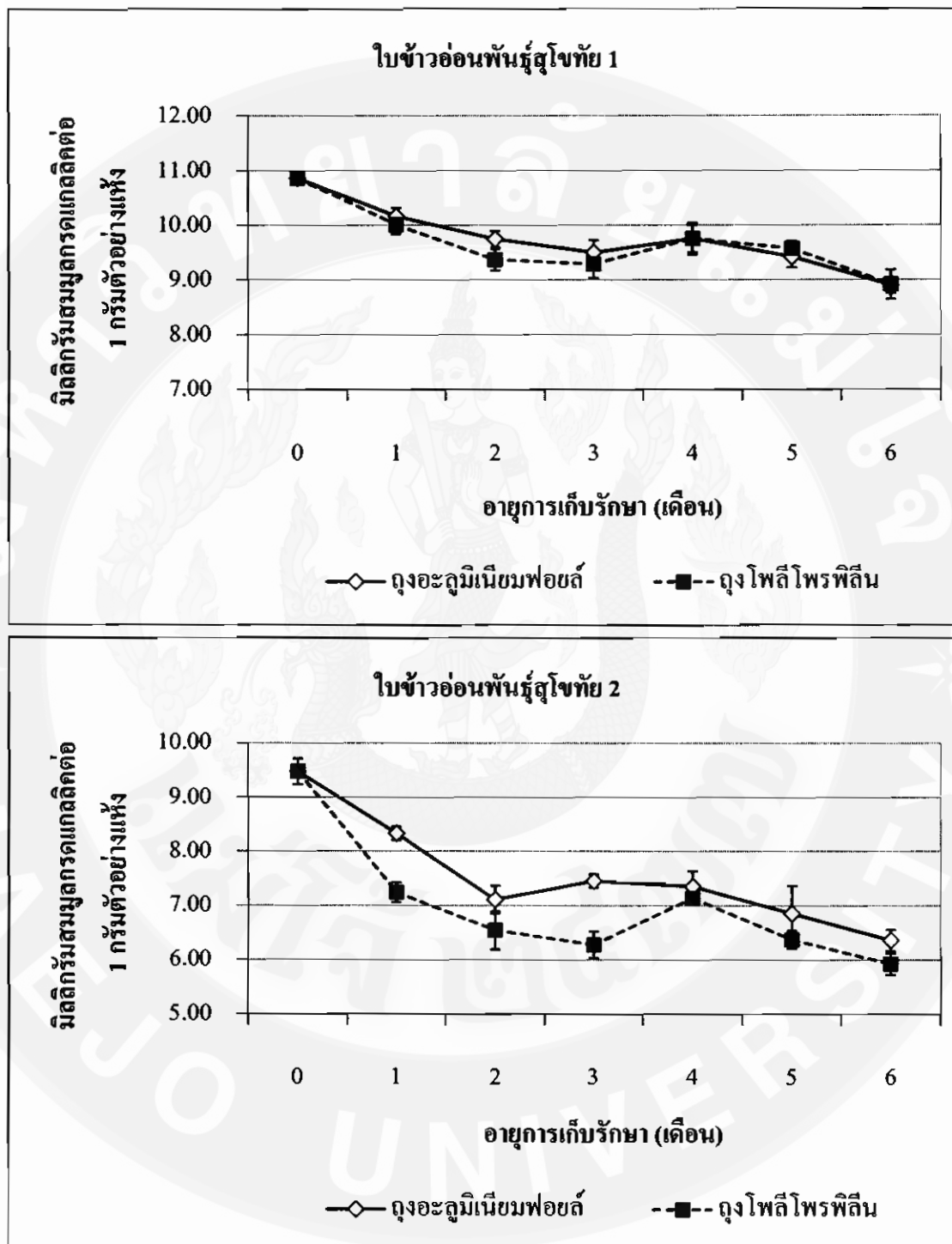
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างใบข้าวอบแห้งที่เก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีน พบว่ามี การลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ดังแสดงในภาพ 60-62 ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Naithani และคณะ (2006) ที่พบว่าชาสมุนไพรจากประเทศอินเดียมีสมบัติการต้านออกซิเดชันลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 15 เดือน การลดลงของสมบัติดังกล่าวพบได้เช่นเดียวกันใน ถั่วแระ (Ferreira *et al.*, 2004) ใบกระโดนบอบแห้ง (Maisuthisakul and Pongsawatmanit, 2004) สมุนไพรอบแห้ง (Horvathova *et al.*, 2007) ฝรั่ง (Patthamakanokpoom *et al.*, 2008) ถั่วแขก (Granito *et al.*, 2008) ชาใบชิ่ง (Chan *et al.*, 2009) และแอปเปิลอบแห้ง (Lavelli and Vantaggi, 2009) เป็นต้น เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติมีความคงตัวน้อยต่อสภาวะการเก็บรักษาที่มีก๊าซออกซิเจน แสง รวมถึงความร้อนสูง (Pokorny *et al.*, 2001) นอกจากนี้ อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยตัวอย่างแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ไม่พบการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ สำหรับอาหารที่มีองค์ประกอบของไขมันน้อยส่งผลต่อความคงตัวของสารต้านออกซิเดชันมากกว่าอาหารที่มีไขมันสูง (Lavelli and Vantaggi, 2009) จากการศึกษาของ Lavelli and Vantaggi, (2009) พบว่าปริมาณน้ำอิสระที่มากกว่า 0.316 ส่งผลต่อการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างแอปเปิลอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maisuthisakul and Pongsawatmanit (2004) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณน้ำอิสระ (0.3-0.6) ในใบกระโดนบก (*Careya sphaerica* Roxb.) อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา 80 วัน ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอล



ภาพ 60 สมบัติการต้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน

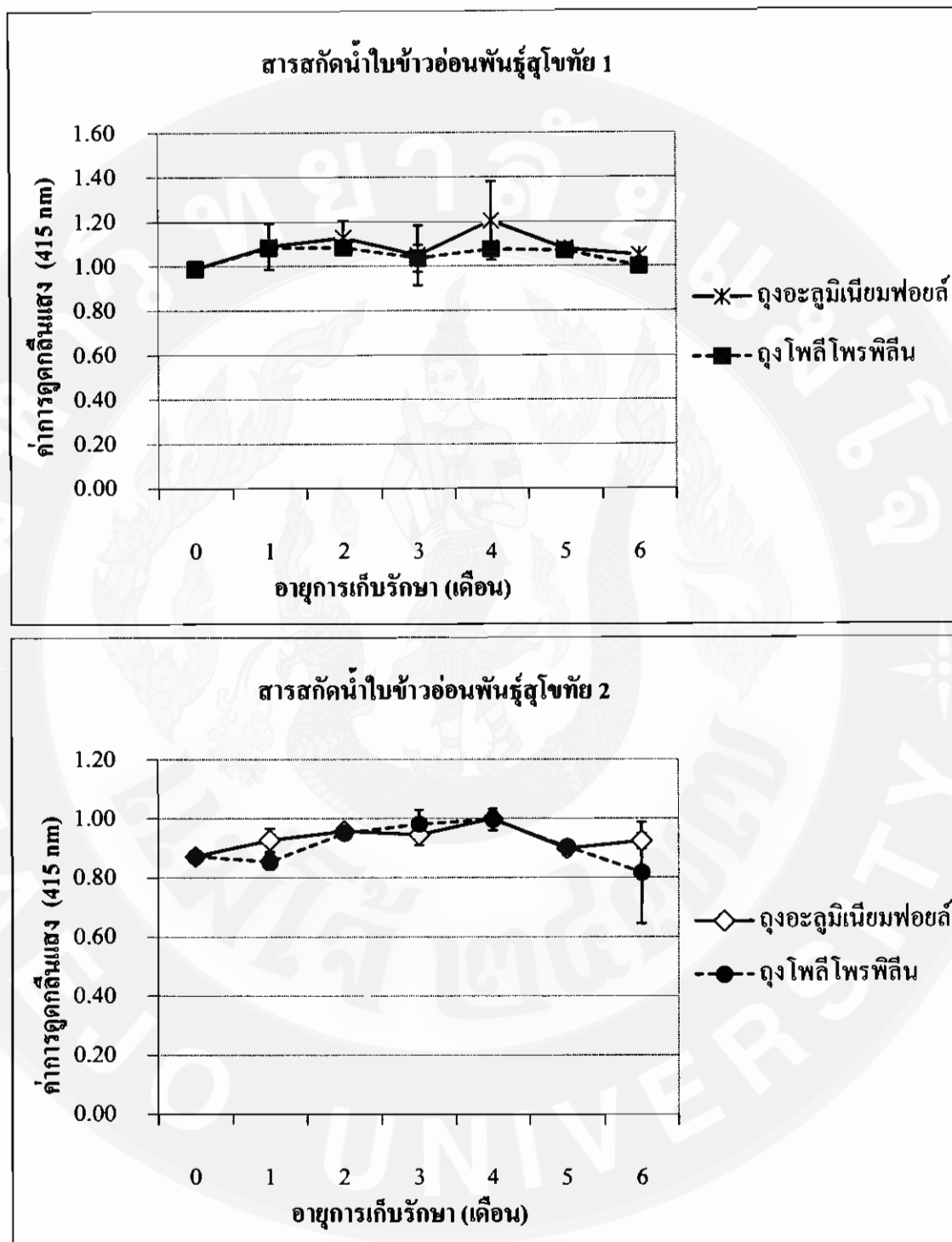


ภาพ 61 สมบัติการด้านออกซิเดชันของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในดุงอะลูมิเนียมฟอสฟอรัสและดุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ใช้เฟอรรัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน

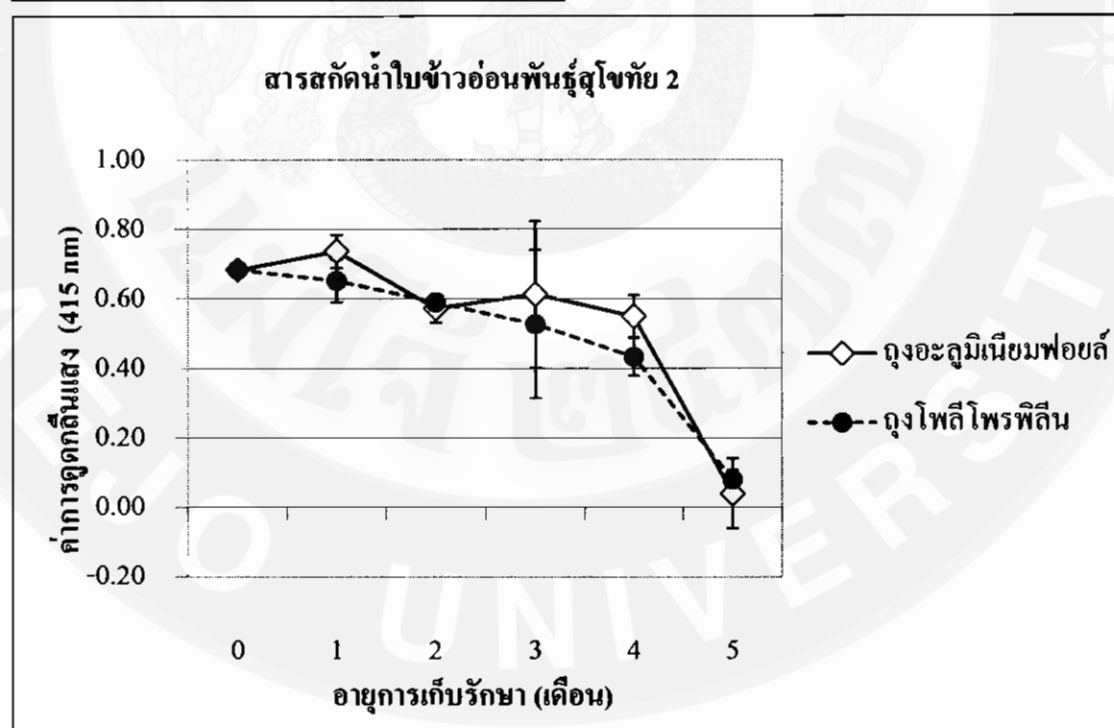
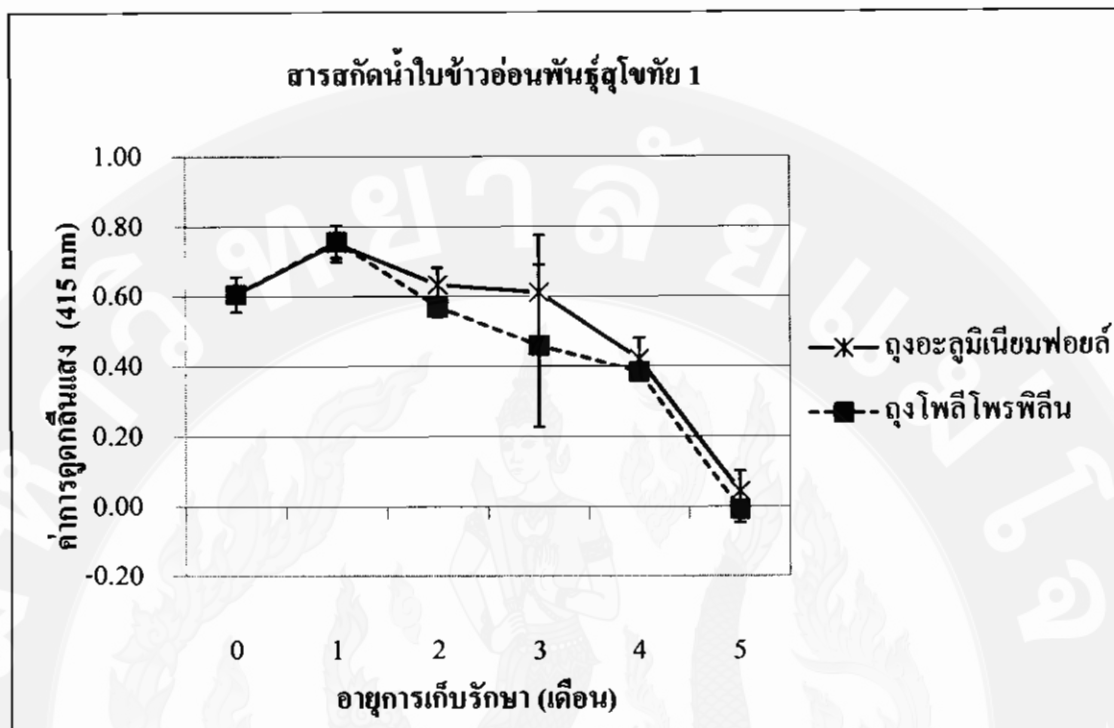


ภาพ 62 สารประกอบโพลีฟีนอลของใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ที่บรรจุในดุงอะลูมิเนียมฟอสล์และดุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

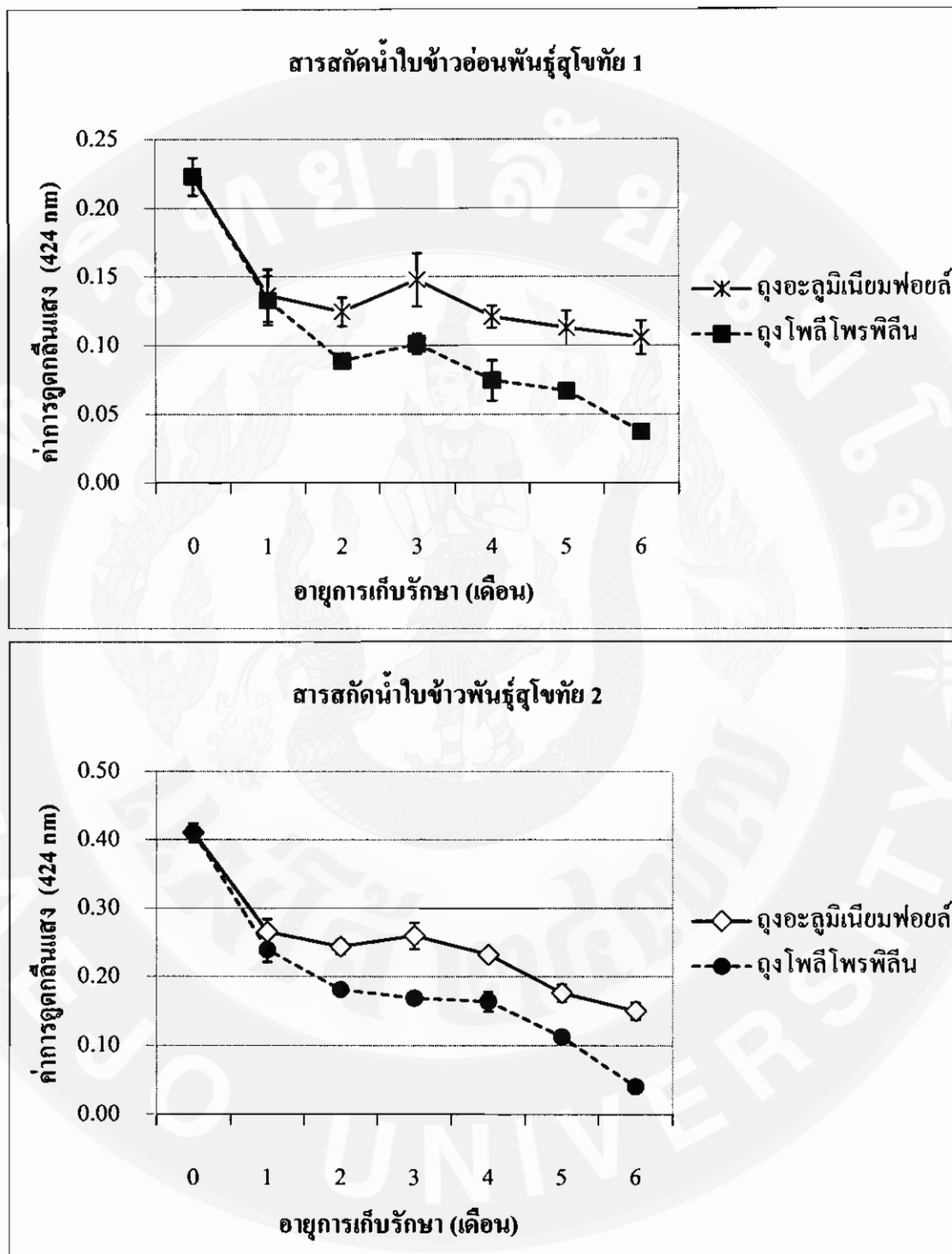
สำหรับผลของระยะเวลาการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการจับอออนของธาตุโลหะที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อความสามารถในการจับอออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ของสารสกัดน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 เพียงเล็กน้อย ($p \geq 0.05$) (ภาพ 63) แต่พบว่าความสามารถในการจับเฟอร์ริกอออน (Fe^{3+}) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาตัวอย่างเพิ่มขึ้น (ภาพ 64) สำหรับความสามารถในการจับอออนของธาตุทองแดงและสังกะสี พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างส่งผลต่อความสามารถในการจับธาตุทั้งสองลดลง นอกจากนี้ น้ำสกัดใบข้าวอ่อนจากตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีความสามารถในการจับอออนของธาตุทองแดงและสังกะสีมากกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงโพลิโพรพิลีน (ภาพ 65-66)



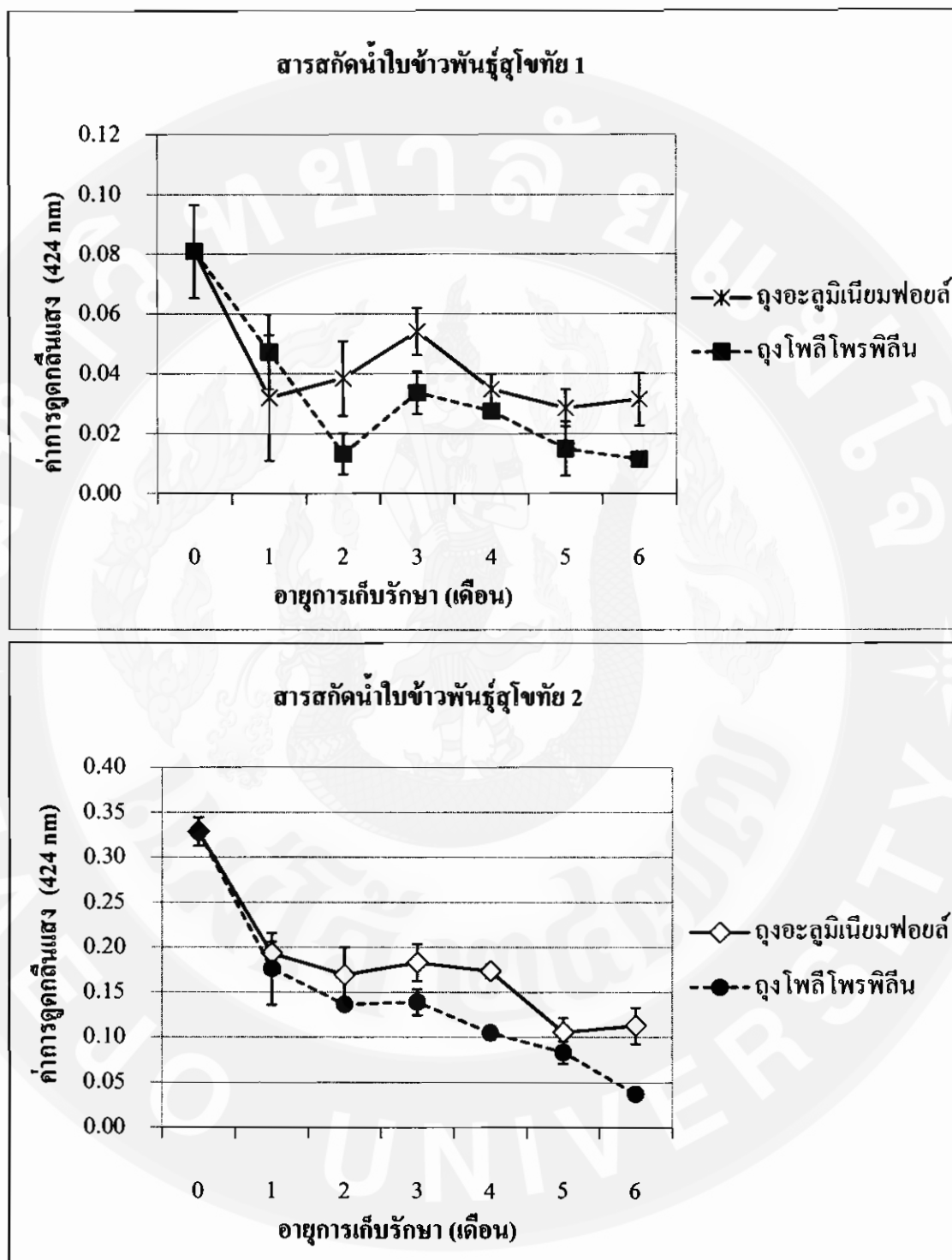
ภาพ 63 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอ็อกซอนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัส (100 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 64 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอิออนของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์ริก (100 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยอบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 65 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอ็อกซิดของธาตุทองแดง (100 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 66 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร ของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 กับอิมูนของธาตุสังกะสี (100 ไมโครโมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงโพลีโพรพิลีนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

6. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องคั้นสกัดจากใบข้าวอบแห้ง

ตัวอย่างใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 หลังผ่านการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับ 2880 วัตต์ และตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จนกระทั่งความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงร้อยละ 7-8 จะถูกนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำไปบรรจุในซองชา สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค จะนำตัวอย่างที่บรรจุในซองชา นำไปชงในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที ด้วยกาน้ำสำหรับชงชา โดยควบคุมสถานะการสกัดให้คงที่ด้วยเครื่องเขย่าสารชนิดสายด้วยความเร็วคงที่ 90 รอบต่อนาที ในอัตราส่วนใบข้าวอ่อนอบแห้ง 1 กรัม ค่อน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านสี กลิ่น รสชาติและการยอมรับรวม

หลังจากทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 80 คน ที่มีต่อเครื่องคั้นน้ำใบข้าว พบว่าเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีและรสชาติสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ($p < 0.05$) สำหรับคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและการยอมรับรวมพบว่าตัวอย่างจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 จากวิธีอบลมร้อนได้รับคะแนนสูงที่สุด ดังแสดงในตาราง 12

ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำใบข้าวอ่อนแห้งที่นำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจะนำมาวิเคราะห์ค่าสี สมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าเครื่องคั้นน้ำใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ได้จากการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ 2880 วัตต์ และตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) มีค่าสีแสดงในตาราง 13 สังเกตได้ว่าเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนให้สีเหลืองเข้มมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) สำหรับค่าจากการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP และสารประกอบโพลีฟีนอลของเครื่องคั้นน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 จากตัวอย่างอบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) แสดงในตาราง 14 เครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากตัวอย่างอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีความจำเพาะในการจับอนุมูลของธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสมากกว่ารูปเฟอร์ริก รวมถึงอนุมูลของธาตุทองแดง และสังกะสี โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับค่าความเข้มข้นของอนุมูล ดังแสดงในภาพ 63-64

ตาราง 12 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มน้ำใบข้าวจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์)

ตัวอย่าง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
ไมโครเวฟแบบสุญญากาศ				
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	6.29 ± 1.70^b	5.91 ± 1.88^{bc}	5.64 ± 1.93^b	5.91 ± 1.60^b
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2	6.66 ± 1.54^b	5.68 ± 1.59^c	5.68 ± 1.94^b	5.88 ± 1.57^b
ตู้อบลมร้อน				
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	7.34 ± 1.22^a	7.18 ± 1.29^a	6.65 ± 1.54^a	7.01 ± 1.18^a
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2	7.11 ± 1.25^a	6.26 ± 1.40^b	6.12 ± 1.49^{ab}	6.31 ± 1.27^b

หมายเหตุ - ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวสมมุติฐานแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=80$)

ตาราง 13 ค่าสี (L^* a^* b^*) ของเครื่องคั้นน้ำใบข้าวจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และไมโครเวฟแบบสูญญากาศ (2880 วัตต์)

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
ไมโครเวฟแบบสูญญากาศ			
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	99.16 ± 0.06^a	8.60 ± 0.13^a	8.30 ± 0.37^c
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2	95.64 ± 0.88^b	8.34 ± 0.15^b	14.90 ± 1.09^b
ตู้อบลมร้อน			
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1	96.23 ± 0.18^b	5.20 ± 0.16^c	35.03 ± 0.85^a
ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2	96.11 ± 0.31^b	5.24 ± 0.25^c	35.71 ± 1.25^a

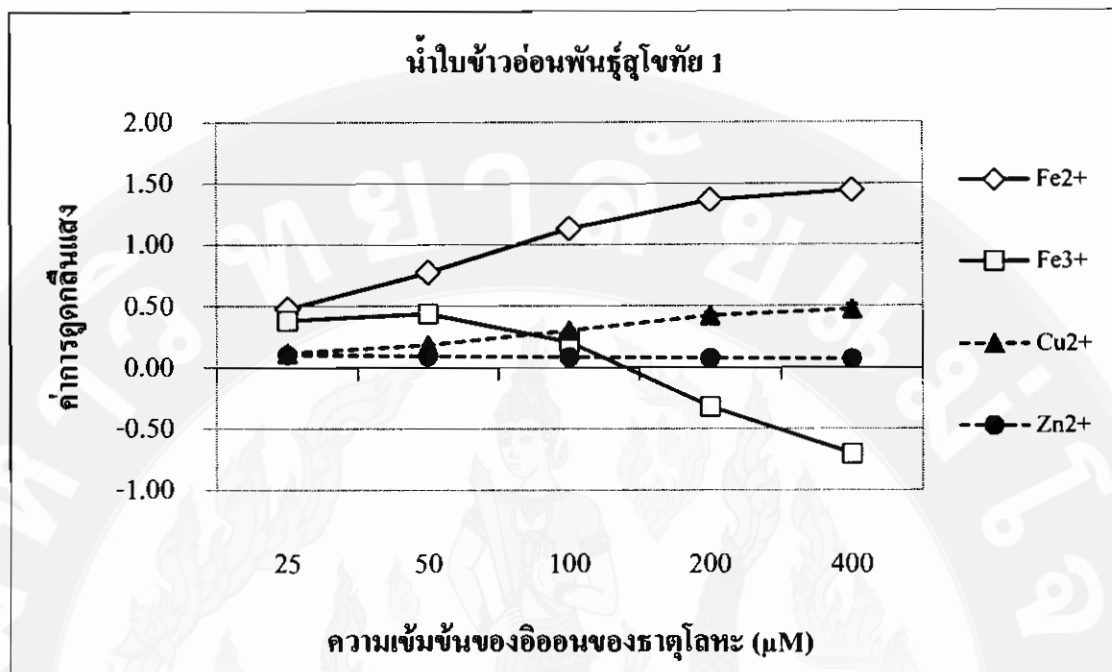
หมายเหตุ - ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวสมบ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
 - ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=3$)

ตาราง 14 สมบัติทางเคมีของเครื่องต้มน้ำใบข้าวจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ 2880 วัตต์

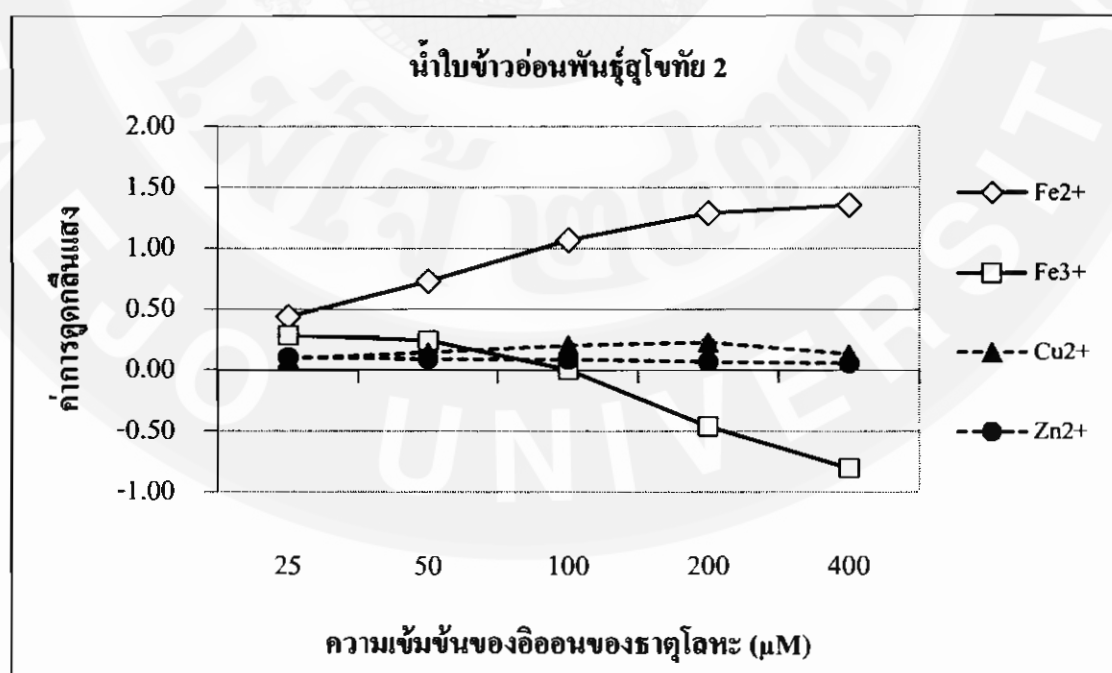
คุณภาพผลิตภัณฑ์	น้ำใบข้าวอ่อน พันธุ์สุโขทัย 1	น้ำใบข้าวอ่อน พันธุ์สุโขทัย 2
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี ABTS) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อ 1 มิลลิตรตัวอย่าง)	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01
สมบัติการต้านออกซิเดชัน (วิธี FRAP) ^{ns} (มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 1 มิลลิตรตัวอย่าง)	0.31 ± 0.01	0.31 ± 0.02
ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิตรตัวอย่าง)	0.10 ± 0.00 ^b	0.11 ± 0.01 ^a

หมายเหตุ

- ^{a,b} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$)
- ^{ns} ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)
- ค่าของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=3$)



ภาพ 67 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 1 กับไอออนของธาตุโลหะ (25-400 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน



ภาพ 68 ค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนน้ำใบข้าวพันธุ์สุโขทัย 2 กับไอออนของธาตุโลหะ (25-400 ไมโคร โมลาร์) จากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการทดลอง

1. ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีอายุการปลูกที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12-15 วัน ซึ่งจะให้สมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด ซึ่งผู้ทดลองได้คัดเลือกใบข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ที่มีอายุการปลูก 15 วัน เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำใบข้าวอ่อนในขั้นตอนต่อไป

2. ใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 ที่ 15 วัน มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 74.41-75.14 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.07-3.59 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.11-5.40 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.18-0.27 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15.57-17.28 และจากการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ พบว่าใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 และสุโขทัย 2 มีค่าเท่ากับ 25.52 และ 29.62 มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ สำหรับวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 44.57 และ 53.34 มิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมีค่าเท่ากับ 11.58 และ 14.28 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 7.28 และ 8.67 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

3. ใบข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลัง 2880 วัตต์ มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลเทียบเคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ($p \geq 0.05$) แต่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลมากที่สุด ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามสารสกัดน้ำใบข้าวจากตัวอย่างอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แบบแช่เยือกแข็ง และไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (960 วัตต์) สามารถจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสและเฟอร์ริกได้ดี ซึ่งเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุเหล็กที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนธาตุทองแดงและสังกะสีที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร โดยสามารถจับกับไอออนเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ได้สูงที่สุดในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสามารถดำเนินการได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงได้คัดเลือกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) และตู้อบลมร้อนในการลดความชื้นตัวอย่างเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4. การสักรีดน้ำใบข้าวอ่อนด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสักรีดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำสักรีดจากตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) มีสมบัติการต้านออกซิเดชันและสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้น ขณะที่สภาวะการสักรีดที่อุณหภูมิน้ำเดือด ระยะเวลา 6-9 นาที ส่งผลให้น้ำสักรีดจากตัวอย่างอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีความสามารถในการจับธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อความสามารถในการจับธาตุทองแดงและสังกะสีที่เพิ่มขึ้นด้วย

5. การเก็บรักษาใบข้าวอ่อนอบแห้งตลอดระยะเวลา 6 เดือน ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และส่งผลต่อการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลและคลอโรฟิลล์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งอุณหภูมิเย็บมฟอยล์ที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันความชื้นและลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอลและคลอโรฟิลล์ได้มากกว่าถุงโพลีโพรพิลีน โดยสามารถเก็บรักษาใบข้าวอ่อนอบแห้งได้นานกว่า 6 เดือน ขณะเดียวกันระยะเวลาการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อความสามารถในการจับธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสของสารสักรีดน้ำใบข้าวอ่อนจากตัวอย่างอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง)

6. ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อเครื่องดื่มน้ำใบข้าวที่สักรีดด้วยน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9 นาที ในอัตราส่วนใบข้าวอ่อนอบแห้ง 1 กรัม ต่อน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติและการยอมรับรวม ในตัวอย่างอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมากกว่าตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (2880 วัตต์) ทั้งนี้เครื่องดื่มที่ผลิตจากใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 ให้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ สูงกว่าพันธุ์สุโขทัย 2

บรรณานุกรม

- กฤษณา สุทธะสาร, สุภาณี จงดี และ รานี เคนเหลื่อม. 2551. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอม. น. 398-406. ใน การประชุมวิชาการ ข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2551. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- กิตติ ต่อจรัส. 2551. การประชุมทางวิชาการที่โฮเปนเฮเกน. จุลสารชมรมโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียแห่งประเทศไทย [ระบบออนไลน์] 17, 3 (กันยายน-ธันวาคม). แหล่งที่มา <http://www.thalassemia.or.th/tf-magazine-11.pdf> (19 สิงหาคม 2552).
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 น.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์. 389 น.
- ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, เนตรชนก เกียรติเนนทพัทธ์, ลักษณา เป็ญจวรรณ, รงรอง หอมหวาน, ศิริพร วิหคโต และ เจริญ ขุนพรม. ม.ป.ป. คุณค่าทางโภชนาการและสหสัมพันธ์ของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและธาตุอาหารในผลิตภัณฑ์ต้นกล้าธัญพืชไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/03foods/chuanpis_ThaiCereals/food_00.html (18 กรกฎาคม 2552).
- ดำเนิน กาละดี และ ศันสนีย์ จำจด. 2543. ความหลากหลายของลักษณะพันธุ์พืชไร่. น. 12-27. ใน รายงานการวิจัยพันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนปณนธ์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โอเคียนสโตร์. 256 น.
- _____. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเคียนสโตร์. 504 น.
- บุญหงษ์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 184 น.
- ประพันธ์ ปันศิริโรดม และ วันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร 32(4): 300-307.
- ปริญญา จำสาธร. 2542. การบรรจุภัณฑ์กาแฟ ชา และเครื่องดื่ม. การบรรจุภัณฑ์ 7(4): 4-7.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: แพคเมทส์. 358 น.

พัชรเพ็ญ เพ็ญจรัส. 2549. ผลของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อคุณภาพของกาแฟคั่วบดระหว่างการเก็บ

รักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 121 หน้า.

ลัสพรณ ระวีวัฒน์. 2553. อิทธิพลของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกไว้ที่มีต่อปริมาณไฟเตทและ
สมบัติการต้านออกซิเดชันในข้าวกล้องที่มีสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
122 น.

วรวิมล เจริญศิริ. ม.ป.ป. โดปามีน (Dopamine). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.bangkokhealth.com/index.php/2009-01-19-03-15-03/1240--dopamine> (27 สิงหาคม 2552).

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์
แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชัน จำกัด. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 500 น.
สายสนม ประดิษฐ์ดวง และ คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2546.

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 202 น.

สินีนานู อักโขสุวรรณ. 2550. ผลของการแปรรูปและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อซี-ไฟโคไซยานิน
และสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*).

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 85 น.

สุวรรณี สายสิน. 2544. บทบาทอนุมูลอิสระกับการเกิดโรค. มฉก. วิชาการ 5(9): 77-87.

อัจฉรา ธัญธีรธรรม และ ธนชัย สุระ. 2550. เหล็กเกินในธาลัสซีเมีย. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา <http://www.st.mahidol.ac.th/thalassemia/uploads/3a09631c-53aa-1c37.pdf> (19
สิงหาคม 2552).

อาธร สิทธิสาร. 2553. น้ำคั้นใบข้าว: คุณค่าทางโภชนาการสูง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
[http://www.creativeenterprise.in.th/detail/creativeenterprise/creative-research/
20100218/101267/“น้ำคั้นใบข้าว”-คุณค่าทางโภชนาการสูง.html](http://www.creativeenterprise.in.th/detail/creativeenterprise/creative-research/20100218/101267/“น้ำคั้นใบข้าว”-คุณค่าทางโภชนาการสูง.html) (10 ตุลาคม 2553).

โอภา วัชรคุปต์. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พรินท์. 200 น.

Ahmed, J., U.S. Shivhare and G. Singh. 2001. Drying characteristics and product quality of
coriander leaves. **Chemical Engineers** 79: 103-106.

Akoh, C.C. and D.B. Min. 2008. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**.
3rd ed. Boca Raton: CRC Press. 914 p.

Amin, I., Y. Norazaidah and K.I.E. Hainida. 2006. Antioxidant activity and phenolic content of
raw and blanched *Amaranthus* species. **Food Chemistry** 94: 47-52.

- AOAC. 1995. **Official Method of Analysis**. 16th ed. Arlington: The Association of Analytical Chemists: Gaithersburg, MD. 1 v.
- Arabhosseini, A., W. Huisman, A.V. Boxtel and J. Muller. 2007. Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. **Food Engineering** 79: 561-566.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. **Plant Physiology** 24: 1-15.
- Astill, C., M.R. Birch, C. Dacombe, P.G. Humphrey and P.T. Martin. 2001. Factors affecting the caffeine and polyphenol contents of black and green tea infusions. **Agricultural and Food Chemistry** 49: 5340-5347.
- Badamchian, M., Y. Hagiwara and H. Hagiwara. Isolation of novel peptidase from green barley leaf extract and use same to inhibit human platelet aggregation. **United States Patent 5,705,486**. 6 January 1998.
- Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical Biochemistry** 239: 70-76.
- Bernhart, S. and E. Schlich. 2005. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. **Food Engineering** 17: 327-333.
- Biesaga, M., K. Pyrzynska and M. Trojanowicz. 2000. Porphyrins in analytical chemistry: A review. **Talanta** 51: 209-224.
- Boudhrioua, N., N. Bahloul, I.B. Slimen and N. Kechaou. 2009. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. **Industrial Crops and Products** 29: 412-419.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. อ้างอิง วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ (Health benefits of phenolic compounds). **อาหาร** 32(4): 245-253.
- Breuer, W., C. Herskho and Z.I. Cabantchik. 2000. The importance of non-transferrin bound iron in disorders of iron metabolism. **Transfusion Science** 23: 185-192.
- Brown, W.E. 1992. **Plastic in Food Packaging**. New York: Marcel Dekker. 539 p.

- Cahyana, A.H., Y. Shuto and Y. Kinoshita. 1992. Pyropheophytin a as an antioxidative substance from the Marine Alga, Arame (*Eisenia bicyclis*). **Bioscience, Biotechnology, Agrochemistry** 56(10): 1533-1535.
- Cahyana, A.H., Y. Shuto and Y. Kinoshita. 1993. Antioxidant activity of porphyrin derivatives. **Bioscience, Biotechnology, Agrochemistry** 57(4): 680-681.
- Cesare, L.F.D., E. Forni, D. Viscardi and R.C. Nani. 2004. Influence of drying techniques on the volatile phenolic compounds, chlorophyll and colour of oregano (*Origanum vulgare* L. SSP *Prismaticum gaudin*). **Italian Journal of Food Science** 2(16): 165-175.
- Cevallos-Casals, B.A., L. Cisneros-Zevallos. 2010. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. **Food Chemistry** 119: 1485-1490.
- Chan, E.W.C., Y.Y. Lim, S.K. Wong, K.K. Lim, S.P. Tan, F.S. Lianto and M.Y. Yong. 2009. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry** 113: 166-172.
- Chantaro, P., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2008. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. **LWT** 41: 1987-1994.
- Chen, S.T. and J.F. Hsieh. Monocotyledon plant indication extract compositions, method of preparation and pharmaceutical composition containing them. **United States Patent 2008/0089957 A1**. 17 April 2008.
- Cheng, Z., L. SU, J. Moore, K. Zhou, M. Luther, J. Yin and L. Yu. 2006. Effect of post harvest treatment and heat stress on availability of wheat antioxidants. **Agriculture and Food Chemistry** 54: 5623-5629.
- Choi, Y., S.M. Lee, J. Chun, H.B. Lee and J. Lee. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. **Food Chemistry** 99: 381-387.
- Chua, K.J. and S.K. Chou. 2005. A comparative study between intermittent and infrared drying of bioproducts. **International Journal of Food Science and Technology** 40: 23-39.
- Cohen, E., Y. Birk, C.H. Mannheim and I.S. Saguy. 1998. A rapid method to monitor quality of apple juice during thermal processing. **LWT** 31: 612-616.

- Dewanto, V., X. Wu, K.K. Adom and R.H. Liu. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Agricultural and Food Chemistry** 50: 3010-3014.
- Doymaz, I. 2006. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Food Engineering** 74: 370-375.
- Doymaz, I., N. Tugrul and M. Pala. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Food Engineering** 77: 559-565.
- Drouzas, A.E., E. Tsami and G.D. Saravacos. 1999. Microwave-vacuum drying of model fruit gels. **Food Engineering** 39: 117-122.
- Durance, T.D., Z. Vaghri and C.H. Scaman. Process for dehydration of berries. **United States Patent 6312745 B1**. 6 November 2001.
- Fernandes, T.M., B.B. Gomes and U.M. Lanfer-Marquez. 2007. Apparent absorption of chlorophyll from spinach in an assay with dogs. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 8: 426-432.
- Ferreira, E.C., A.R.A. Nogueira, G.B. Souza and L.A.R. Batista. 2004. Effect of drying method and length of storage on tannin and total phenol concentrations in *Pigeon pea* seeds. **Food Chemistry** 86: 17-23.
- Figiel, A. 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. **Food Engineering** 94: 98-104.
- Fine, A.M. and C.N. Candidate. 2000. **Oligomeric Proanthocyanidin Complexes: History, Structure and Phytopharmaceutical Applications**. [Online]. Available <http://www.thorne.com/altmedrev/fulltext/opc5-2-tab1.jpg>. (16 December 2007).
- Francisco, M.L.L.D. and A.V.A. Resurreccion. 2009. Total phenolics and antioxidant capacity of heat-treated peanut skins. **Food Composition and Analysis** 22: 16-24.
- Garau, M.C., S. Simal, C. Rossello and A. Femenia. 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. **Food Chemistry** 104: 1014-1024.
- Garza, S., A. Ibarz, J. Pagan and J. Giner. 1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. **Food Research International** 32: 335-343.
- Giri, S.K. and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Food Engineering** 78: 512-521.

- Granito, M., M. Paolini and S. Perez. 2008. Polyphenols and antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. **LWT** 41: 994-999.
- Gulati, A., R. Rawat, B. Singh and S.D. Ravindranath. 2003. Application of microwave energy in the manufacture of enhanced-quality green tea. **Agricultural and Food Chemistry** 51: 4764-4768.
- Hagiwara, Y. and H. Hagiwara. Powders of plant green juice and process for their production. **United States Patent 5,445,839**. 29 August 1995.
- Hassini, L., S. Azzouz and A. Belghith. 2004. Estimation of the moisture diffusion coefficient of potato during hot-air drying. pp. 1488-1495. In **Drying 2004**. Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004).
- Hattori, T. Method for retaining or enriching γ -aminobutyric acid in green grass leaves. **United States Patent 6,306,344 B1**. 23 October 2001.
- _____. Young leaves of a grass plant. **United States Patent 6,379,717 B1**. 30 April 2002.
- Horvathova, J., M. Suhaj and P. Simko. 2007. Effect of thermal treatment and storage on antioxidant activity of some spices. **Food and Nutrition Research** 46(1): 20-27.
- Hosseini, A.A.M. 2005. **Quality, energy requirement and costs of drying tarragon (*Artemisia dracunculus* L.)**. Doctoral dissertation. Wageningen University. 117 p.
- Howard, L.R., D.D Braswell and J. Aselage. 1996. Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. **Food Science** 61: 327-330.
- Huang, Y., J. Sheng, F. Yang and Q. Hu. 2007. Effect of enzyme inactivation by microwave and oven heating on preservation quality of green tea. **Food Engineering** 78: 687-692.
- Ibarz, A., J. Pagan and S. Garza. 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. **Food Engineering** 39: 415-422.
- _____. 2000. Kinetic models of non-enzymatic browning in apple puree. **Science of Food and Agriculture** 80: 1162-1168.
- Inchuen, S., W. Narkrugs and P. Pornchaloempong. 2010. Effect of drying methods on chemical composition, color and antioxidant properties of Thai red curry powder. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 44: 142-151.

- Jaloszynski, K., A. Figiel and A. Wojdylo. 2008. Drying kinetics and antioxidant activity of oregano. **Acta Agrophysica** 11(1): 81-90.
- Johnson, D.W. and D.J. Mokler. 2001. **Barley Grass and Green Barley Grass Juice**. [Online]. Available http://www.easyhealth.eu.com/Portals/0/documents/barley_grass_juice_the_therapeutic_value.pdf (14 August 2009).
- 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.
- Kefeil, V.I., M.V. Kalevitch and B. Borsari. 2003. Phenolic cycle in plants and environment. **Cell and Molecular Biology** 2: 13-18.
- Keinanen, M and R. Julkunen-Tiitto. 1996. Effect of sample preparation method on birch (*Betula pendula* Roth) leaf phenolics. **Agricultural and Food Chemistry** 44: 2724-2727.
- Khattak, A.B., A. Zeb, N. Bibi, S.A. Khalil and M.S. Khattak. 2007. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry** 104: 1074-1079.
- Kim, J.S. and Y.S. Lee. 2009. Antioxidant activity of Maillard reaction products derived from aqueous glucose/glycine, diglycine, and triglycine model systems as a function of heating time. **Food Chemistry** 116: 227-232.
- Kohler, G.O. 1943. The effect of stage of growth on the chemistry of the grasses. **Biological Chemistry** 152: 215-223.
- Komes, D., D. Horzic, A. Belscak, K.K. Ganic and I. Vulic. 2009. Green tea preparation and its influence on the content of bioactive compounds. **Food Research International** 43(1): 167-176.
- Kovittayavong, K. 2005. **Effect of Tea Processing on Antioxidant Agents in Green Tea**. Master's thesis. King Mongkut's University of technology Thonburi. 92 p.
- Kuljarachanan, T., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2009. Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. **Food Chemistry** 113: 944-949.

- Kulkarni, S.D., R. Acharya, A.G.C. Nair, N.S. Rajurkar and A.V.R. Reddy. 2006a. Determination of elemental concentration profiles in tender wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) using instrumental neutron activation analysis. **Food Chemistry** 95: 699-707.
- Kulkarni, S.D., J. Tilak, R. Acharya, N.S. Rajurkar, T.P.A. Devasagayam and A.V.R. Reddy. 2006b. Evaluation of the antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions. **Phytotherapy Research** 20: 218-227.
- Kulkarni, S.D., R. Acharya, N.S. Rajurkar and A.V.R. Reddy. 2007. Evaluation of bioaccessibility of some essential elements from wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) by in vitro digestion method. **Food Chemistry** 103: 681-688.
- Kumar, P.S., V.R. Sagar and Lata. 2008. Quality of osmo-vac dehydrated ripe mango slices by packaging material and storage temperature. **Scientific and Industrial Research** 67: 1108-1114.
- Kusznierewicz, B., A. Smiechowska, A. Bartoszek and J. Namiesnik. 2008. The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage. **Food Chemistry** 108: 853-861.
- Kwok, B. 2000. **Chemical Constituents Comprising the Antioxidant Activity of Fresh and Dehydrated Saskatoon Berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt. cv. Smoky and Thiessen)**. Master's thesis. University of British Columbia. 139 p.
- Labbe, D., A. Tremblay and L. Bazinet. 2006. Effect of brewing temperature and duration on green tea catechin solubilization: Basis for production of EGC and EGCG-enriched fractions. **Separation and Purification Technology** 49: 1-9.
- Lanfer-Marquez, U.M., R.M.C. Barros and P. Sinnecker. 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. **Food Research International** 38: 885-891.
- Lavelli, V. and C. Vantaggi. 2009. Rate of antioxidant degradation and color variations in dehydrated apples as related to water activity. **Agricultural and Food Chemistry** 57: 4733-4738.
- Li, W., M.D. Pickard and T. Beta. 2007. Effect of thermal processing on antioxidant properties of purple wheat bran. **Food Chemistry** 104: 1080-1086.

- Li, Y., S.Y. Xu and D.W. Sun. 2007. Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave-vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. **Food Engineering** 83: 76-83.
- Liamkaew, R., A. Thipayarat and W. Koetsinchai. 2008. **Kinetics Model of Vacuum Microwave Drying of Dried Pumpkin Slices**. Proceeding of the Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008) 28-29 January 2008. Khon Kaen: Faculty of Engineering, Khon Kaen University.
- Liebert, M., U. Licht, V. Bohm and R. Bitsch. 1999. Antioxidant properties and total phenolics content of green and black tea under different brewing conditions. **Z Lebensm Unters Forsch A** 208: 217-220.
- Lim, Y.Y. and J. Murtijaya. 2007. Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. **LWT** 40: 1664-1669.
- Lin, T.M., T.D. Durance and C.H. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International** 31(2): 111-117.
- Liu, W.C. no date. **Young Barley Leaf Prevents LDL Oxidation in Humans**. [Online]. Available <http://www.edoc.ypu.edu.tw:8080/paper/ypfood/Young%20barley%20leaf%20prevents%20LDL%20oxidation%20in%20humans.pdf> (13 July 2009).
- Liu, W., Y.G. Zu, Y.J. Fu, Y. Kong, W. Ma, M. Yang, J. Li and N. Wu. 2010. Variation in contents of phenolic compounds during growth and post-harvest storage of pigeon pea seedlings. **Food Chemistry** 121: 732-739.
- Mahanom, H., A.H. Azizah and M.H. Dzulkifly. 1999. Effect of different drying methods on concentrations of several phytochemicals in herbal preparation of 8 medicinal plants leaves. **Mal J Nutr** 5: 47-54.
- Maharaj, V. and C.K. Sankat. 1996. Quality changes in dehydrated dasheen leaves: effects of blanching pre-treatments and drying conditions. **Food Research International** 29: 563-568.
- Maicu, M.C. 2008. **Optimization of Retention of Mangiferin in *Cyclopia subternata* During Preparation for Drying and Storage of Green Huneybush and Development of NIR Spectroscopy Calibration Models for Rapid Quantification of Mangiferin and Xanthone Contents**. Master's thesis. Stellenbosch University. 153 p.

- Maillard, M.N. and C. Berset. 1995. Evolution of antioxidant activity during kilning: role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. **Agricultural and Food Chemistry** 43(7): 1789-1793.
- Maisuthisakul, P. and R. Pongsawatmanit. 2004. Effect of sample preparation methods and extraction time on yield and antioxidant activity from kradonbok (*Careya sphaerica* Roxb.) leaves. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 38: 8-14.
- Manzocco, L., S. Calligaris, D. Mastrocola, M.C. Nicoli and C.R. Lerici. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. **Trends in Food Science and Technology** 11: 340-346.
- 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: 716-720.
- Maskan, A., S. Kaya and M. Maskan. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). **Food Engineering** 54: 81-88.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Food Engineering** 44: 71-78.
- Mohammadi, A., S. Rafiee, Z. Emam-Djomeh and A. Keyhani. 2008. Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. **Agricultural Sciences** 4(3): 376-383.
- Mwithiga, G. and J.O. Olwal. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. **Food Engineering** 71: 373-378.
- Naithani, V., S. Nair and P. Kakkar. 2006. Decline in antioxidant capacity of Indian herbal teas during storage and its relation to phenolic content. **Food Research International** 39: 176-181.
- Nakamura, Y., A. Murakami, K. Koshimizu and H. Ohigashi. 1996. Inhibitory effect of phcophorbide a, a chlorophyll-related compound, on skin tumor promotion in ICR mouse. **Cancer Letters** 108: 247-255.
- Negi, P.S. and S.K. Roy. 2001. Effect of drying conditions on quality of green leaves during long term storage. **Food Research International** 34: 283-287.
- Negishi, T., H. Rai and H. Hayatsu. 1997. Antigenotoxic activity of natural chlorophylls. **Mutation Research** 376: 97-100.

- Nicoli, M.C., M. Anese and M. Parpinel. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. **Trends in Food Science and Technology** 10: 94-100.
- Nishiyama, T., Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1993. Inhibition of Malonaldehyde Formation from Lipids by an Isoflavonoid Isolated from Young Green Barley Leaves. **American Oil Chemists Society** 70(8): 811-813.
- Oladele, O.O. and A.T. Aborisade. 2009. Influence of different drying methods on the quality of Indian spinach (*Basella rubra* L.). **American Journal of Food Technology** 4(2): 66-70.
- Oonsivilai, R. 2006. **Functional and Nutraceutical Properties of Rang Chuet (*Thunbergia laurifolia* Lindl.) Extracts**. Master's thesis. Suranaree University. 125 p.
- Osawa, T., H. Katsuzaki, Y. Hagiwara, H. Hagiwara and T. Shibamoto. 1992. A novel antioxidant isolated of young green barley leaves. **Agricultural and Food Chemistry** 40: 1135-1138.
- Ozkan, I.A., B. Akbudak and N. Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. **Food Engineering** 78: 577-583.
- 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.
- Patthamakanokporn, O., P. Puwastie, A. Nitithamyong and P.P. Sirichakwal. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. **Food Composition and Analysis** 21: 241-248.
- Paulickova, I., J. Ehrenbergerova, V. Fiedlerova, D. Gabrovskaa, P. Havlova, M. Holasova, J. Kopacek, J. Ouhrabkova, 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.
- Perez-Conesa, D., J. Garcia-Alonso, V. Garcia-Valverde, M.D. Iniesta, K. Jacob, L.M. Sanchez-Siles, G. Ros and M.J. Periago. 2009. Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 10(2): 179-188.
- Pokorny, J., N. Yanishlieva and M. Gordon. 2001. **Antioxidants in food**. New York: Woodhead Publishing. 380 p.

- Premakumari, S. and S. Haripriya. 2010. **Effect of Supplementation of Wheat Germ, Wheat Bran and Wheat Grass to Subjects with Health Issues**. UGC minor research project No. F33-439/2007(SR). Avinashilingam University for Women. 100 p.
- Price, T.V. 1998. Seed sprouts production for human consumption. **Food Science and Technology** 21(1): 57-65.
- Randhir, R. and K. Shetty. 2005. Developmental stimulation of total phenolics and related antioxidant activity in light and dark-germinated corn by natural elicitors. **Process Biochemistry** 40: 1721-1732.
- 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 seedling. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 9: 355-364.
- Rattanathanalerk, M., N. Chiewchan and W. Srichumpoung. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. **Food Engineering** 66: 259-265.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine** 26: 1231-1237.
- Rice-Evans, C.A., N.J. Miller and G. Paganga. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine** 20(7): 933-956.
- Sagliano, F.S. and E.A. Sagliano. Method for growing and preserving wheatgrass nutrients and products thereof. **United States Patent 5,820,916**. 13 October 1998.
- Sanjuan, N., J. Bon, G. Clemente and A. Mulet. Changes in the quality of dehydrated broccoli florets during storage. **Food Engineering** 62: 15-21.
- Setiady, D., J. Tang, F. Younce, B.A. Swanson, B.A. Rasco and C.D. Clary. 2009. Porosity, color, texture and microscopic structure of russet potatoes dried using microwave vacuum, heated air and freeze drying. **Engineering in Agriculture** 25(5): 719-724.
- Shahidi, F. and M. Naczki. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals**. Boca Raton, Fla: CRC Press. 558 p.
- Sharma, V., A. Gulati and S.D. Ravindranath. 2005. Extractability of tea catechins as a function of manufacture procedure and temperature of infusion. **Food Chemistry** 93: 141-148.

- Shukla, V., M. Vashistha and S.N. Singh. 2009. Evaluation of antioxidant profile and activity of analaki (*Embllica Officinalis*) spirulina and wheat grass. **Clinical Biochemistry** 24(1): 70-75.
- Singh, G., A. Kawatra, S. Sehgal and Pragati. 2003. Effect of storage on nutritional composition of selected dehydrated green leafy vegetable, herb and carrot powders. **Plant Foods for Human Nutrition** 58: 1-9.
- Singh, K., M.S. Pannu, P. Singh and J. Singh. 2010. Effect of wheat grass tablets on the frequency of blood transfusions in thalassemia major. **Indian Journal of Pediatrics** 77(1): 90-91.
- Singh, U. and V.R. Sagar. 2010. Quality characteristics of dehydrated leafy vegetables influenced by packaging materials and storage temperature. **Scientific and Industrial Research** 69: 785-789.
- Srichairatanakool, S., S. Ounjaijean, C. Thephinlap, U. Khansuwan, C. Phisalpong and S. Fuecharoen. 2006. Iron-chelating and free-radical scavenging activities of microwave-processed green tea in iron overload. **Hemoglobin** 30(2): 311-327.
- Sroijit, O. 2003. **Effect of Curcumin on Nonheme Iron and Platelet Factor 3 Like Activity in Beta-Thalassemia/HbE Patients**. Master' thesis. Mahidon University. 272 p.
- Sthishkumar, R., P.T.V. Lakshmi and A. Annamalai. 2009. Effect of drying treatment on the content of antioxidants in *Enicostemma littorale* Blume. **Medical Plant** 3: 93-101.
- Su, X., J. Duan, Y. Jiang, J. Shi and Y. Kakuda. 2006. Effects of soaking conditions on the antioxidant potentials of oolong tea. **Food Composition and Analysis** 19: 348-353.
- Su, X., J. Duan, Y. Jiang, X. Duan and F. Chen. 2007. Polyphenolic profile and antioxidant activities of oolong tea infusion under various steeping conditions. **Molecular Sciences** 8: 1196-1205.
- Suteerapataranon, S., J. Butsoongnern, P. Punturat, W. Jorpalit and C. Thanomsilp. Caffeine in Chiang Rai tea infusions: Effects of tea variety, type, leaf form and infusion conditions. **Food Chemistry** 114: 1335-1338.
- Takaoka, T. Process of collecting young leaves of rice plant and its processing method, processed goods and foods. **United States Patent 6,491,962 B2**. 10 December 2002.

- _____. Food provided for emergencies. **United States Patent 2004/0185163 A1**. 23 September 2004.
- Taoukis, P.S., A.E. Meskine and T.P. Labuza. 1998. Moisture transfer and shelf life of packaged foods. **Food Packaging Interactions** 365: 243-261.
- Tomaino, A., F. Cimino, V. Zimbalatti, V. Venuti, V. Sulfaro, A. De Pasquale. 2005. Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. **Food Chemistry** 89: 549-554.
- Toor, R.K. and G.P. Savage. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. **Food Chemistry** 94: 90-97.
- Turkmen, N., F. Sari, E.S. Poyrazoglu and Y.S. Velioglu. 2006. Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. **Food Chemistry** 95(4): 653-657.
- Verma, S. and R.S. Dubey. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. **Plant Science** 164: 645-655.
- Von Elbe, J.H. and S.J. Schwartz. 1996. Colorant. In Food Chemistry. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. อ้างโดย นิธิยา รัตนปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเคียนสโตร์. 504 น.
- Weemaes, C.A., V. Ooms, A.M.V. Loey and M.E. Hendrickx. 1999. Kinetics of chlorophyll degradation and color loss in heated broccoli juice. **Agricultural and Food Chemistry** 47: 2404-2409.
- Wiriyaumpaiwong, S. and L. Wiset. 2008. Thin layer drying equation and the changes in color of celery under different drying temperatures. **Agricultural Science** 39(3): 323-326.
- Wojdylo, A., A. Figiel and J. Oszmianski. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color and antioxidant activity of strawberry fruits. **Agricultural and Food Chemistry** 257: 1337-1343.
- Yang, F., T.K. Basu and B. Ooraikul. 2000. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. Cited by Z.V. Edward. 2001. **An In Vivo Study of the Antioxidant Potentials of Plant Food Concentrates**. Master's thesis. University of Alberta. 111 p.
- Yaylayan, V.A. 1997. Classification of the maillard reaction: a conceptual approach. **Trends in Food Science and Technology** 81: 13-18.

- Yoshimura, Y., T. Iijima, T. Watanabe and H. Nakazawa. 1997. Antioxidative effect of maillard reaction products using glucose-glycine model system. **Agricultural and Food Chemistry** 45: 4106-4109.
- Yousif, A.N., T.D. Duranee, C.H. Scaman and B. Girard. 2000. Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave, air and freeze-dried oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). **Food Science** 65(6): 926-930.
- Yun, S., L. Jin, P. Xiao, Y. Lu, and J. Bao. 2008. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relation to grain color, size and weight. **Cereal Science** 49: 106-111
- Zagoskina, N.V., N.A. Olenichenko, C. Yunvei and E.A. Zhivukhina. 2005. Formation of Phenolic Compounds in Various Cultivars of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Applied Biochemistry and Microbiology** 41(1): 99-102.
- Zaki, N.A.M., I.I. Muhamad and L.M. Salleh. 2007. Drying characteristics of papaya (*Carica papaya* L.) during microwave-vacuum treatment. **Engineering and Technology** 4(1): 15-21.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

วัดสุดับ



ภาพภาคผนวก 1 ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 1

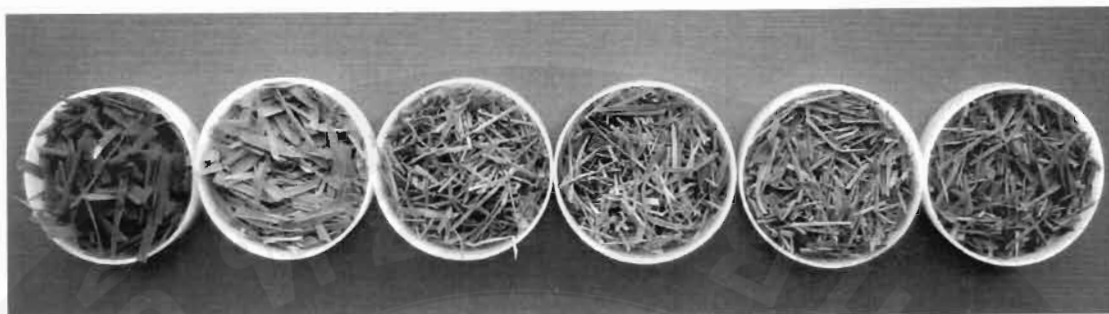


ภาพภาคผนวก 2 ข้าวเปลือกพันธุ์สุโขทัย 2



ภาคผนวก ข

ใบข่าวอ่อนหลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

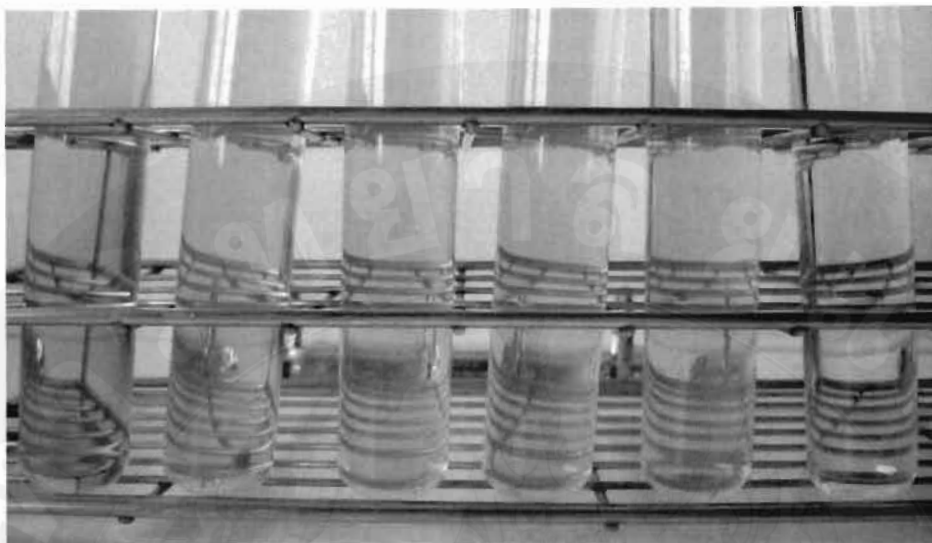


ภาพภาคผนวก 5 ใบชาอ่อนอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

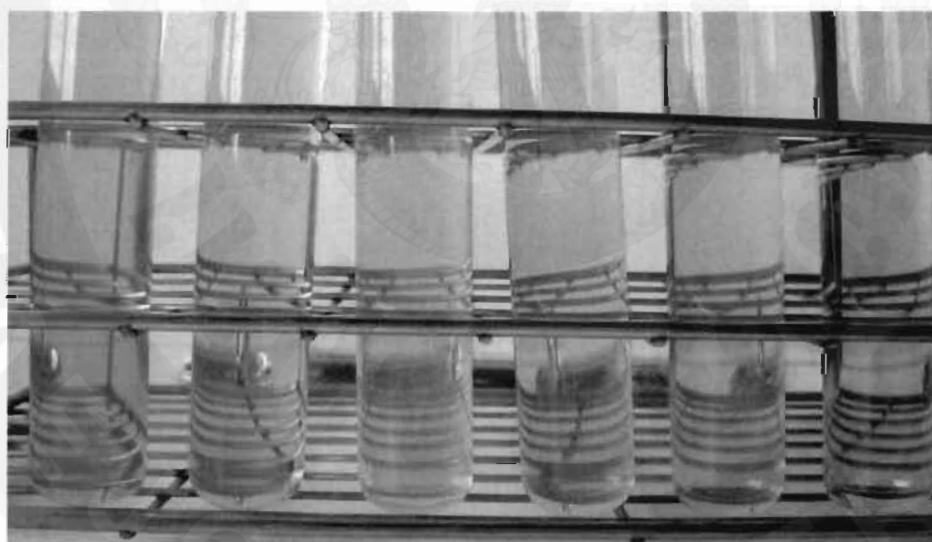


ภาพภาคผนวก 6 ใบชาอ่อนอบแห้งพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ภาพภาคผนวก 5 และ 6 แสดงตัวอย่างใบชาสด ใบชาอ่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ระดับกำลัง 960, 1920 และ 2880 วัตต์ และตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ตามลำดับ



ภาพภาคผนวก 7 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 จากตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ



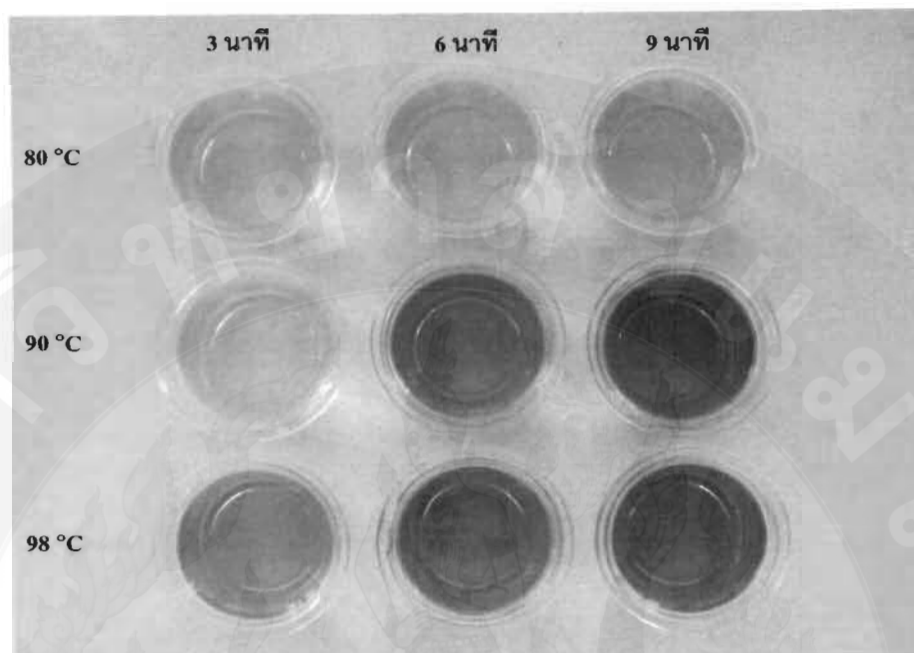
ภาพภาคผนวก 8 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 จากตัวอย่างอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ภาพภาคผนวก 7 และ 8 แสดงน้ำสกัดใบข้าวอ่อนจากตัวอย่างใบข้าวสด ตัวอย่างจากการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ตู้อบลมร้อน (50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) และไมโครเวฟแบบสูญญากาศที่ระดับกำลัง 960, 1920 และ 2880 วัตต์ ตามลำดับ

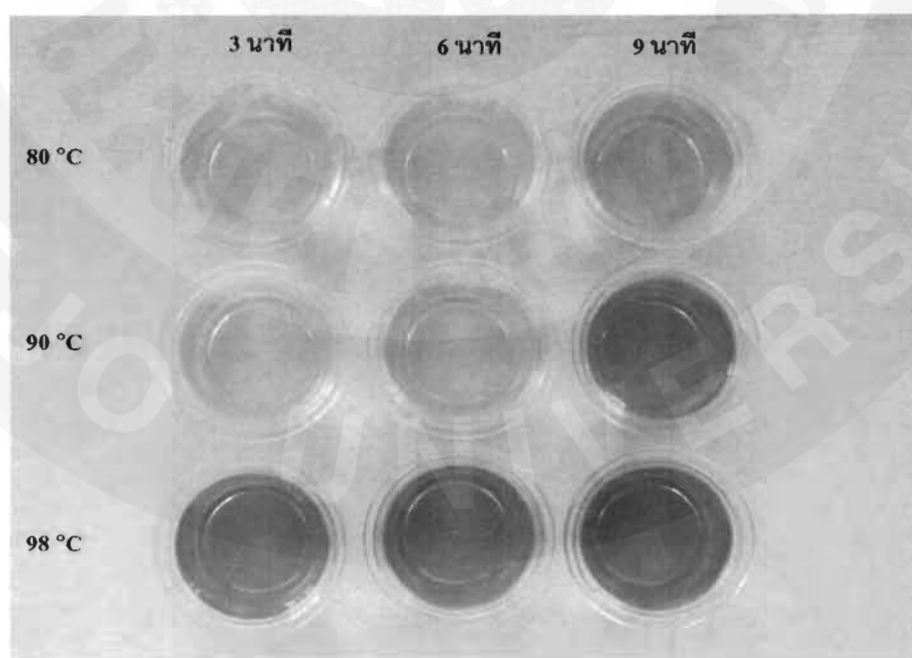


ภาคผนวก ค

น้ำไข้วอ่อนหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาพภาคผนวก 9 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 1 หลังการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาพภาคผนวก 10 น้ำสกัดใบข้าวอ่อนพันธุ์สุโขทัย 2 หลังการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาคผนวก ง

ผลิตภัณฑ์ใบข้าวอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา



ภาพภาคผนวก 11 ใบข้าวอ่อนอบแห้งในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์และโพลีโพรพิลีนระหว่างการเก็บรักษา



ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

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

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

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

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วประมาณ 1 กรัม ลงบนกระดาษกรองแล้วห่อให้มิดชิดใส่ลงในทิมเบิล และเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายลงในด้วยสกัดไขมันประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาสกัดไขมันด้วยเครื่อง Soxhlet System HT (Tecator, Swenden) จากนั้นนำด้วยสกัดไขมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

4. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)

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

สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร เพื่อดักจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น แล้วนำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเทาอมน้ำเงิน

5. การวัดค่าสี

ก่อนการวิเคราะห์ควรอุ่นเครื่องวัดสี (Tri-stimulus colorimeter รุ่น JC801) ประมาณ 100 นาที หลังจากนั้นเลือกแท่นรองให้สัมพันธ์กับขนาดของวัตถุที่วัด วางบนช่องแสงผ่าน แล้วปรับมาตรฐานเครื่องวัดสีด้วย standard white plate ก่อนการวัดค่าสีของตัวอย่าง ซึ่งการวัดค่าสีระบบ CIE ประกอบด้วยค่าแปรของค่าสี 3 ตัวคือ

1. ค่าสี L^* หมายถึง ค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว
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. การวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

การวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab 3TE, U.S.A.) ทำการอุ่นเครื่อง 30 นาที และ calibrate เครื่องก่อนใช้งาน นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกใส่ลงในที่ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำใส่เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ หมุนปุ่มไปที่ load รอจนกระทั่งเครื่องอ่านค่าที่ได้จากตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน

7.1 การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างที่หั่นละเอียดแล้วจำนวน 5 กรัม ในกรณีที่เป็นตัวอย่างอาหารเปียก ถ้าเป็นตัวอย่างอาหารแห้งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ 1 คืน กรองตัวอย่างบนกระดาษกรองเบอร์ 93

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

เตรียม working FRAP reagent โดยผสมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.5 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร แล้วทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง โดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 60 ไมโครลิตร และ working FRAP reagent 600 ไมโครลิตร หลังจากนั้น 4 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้เฟอร์ริซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน

7.3 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 โดยผสมตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ตัวทำละลายของตัวอย่าง 80 ไมโครลิตร และ ABTS⁺ working solution 2 มิลลิลิตร หลังจากนั้น 3 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน

8. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (ประพันธ์ และวันทนีย์, 2545)

8.1 การสกัดตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างจำนวน 5 กรัม ในกรณีที่เป็นตัวอย่างอาหารเปียก ถ้าเป็นตัวอย่างอาหารแห้งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดตัวอย่างด้วยวิธีรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น กรองตัวอย่างสารสกัดบนกระดาษกรองเบอร์ 93 โดยใช้กรวยบุชเนอร์ แล้วปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้ให้เป็น 50 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95

8.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล

ผสมตัวอย่างสารสกัด 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

9. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ดัดแปลงจาก Amon, 1949)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม ในกรณีที่เป็นตัวอย่างอาหารเปียก ถ้าเป็นตัวอย่างอาหารแห้งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ผสมกับอะซิโตนเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องจนตัวอย่างมีสีเขียวจางลง 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)

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

10.1 การสกัดตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างใบข้างอบแห้ง 2 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 98 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นนำไปกรอง

10.2 การเตรียมอออนของธาตุโลหะ

การเตรียมอออนของธาตุเหล็กเฟอร์รัส (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 โดยการนำสารละลายเหล็กที่ความเข้มข้น 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

10.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะ

การวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม

ผสมสารสกัดน้ำใบข้าวความเข้มข้นร้อยละ 2 (ปริมาตรค่อน้ำหนัก) กับอิมูนของธาตุโลหะ ที่สารผสมมีความเข้มข้นสุดท้ายของธาตุโลหะเท่ากับ 25, 50, 100, 200 และ 400 ไมโครโมลาร์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะในลักษณะที่ขึ้นกับเวลา

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

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับธาตุโลหะในลักษณะที่ขึ้นกับความเข้มข้นของธาตุโลหะ

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

11. การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

11.1 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

โดยการสุ่มผลิตภัณฑ์ใบข้าวอ่อนผง น้ำหนัก 1 กรัม มาชงด้วยน้ำร้อนที่ปราศจากเชื้อ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 9 นาที จากนั้นนำน้ำใบข้าวสกัด 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วย peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

11.2 ปริมาณยีสต์และรา

โดยการสุ่มผลิตภัณฑ์ใบข้าวอ่อนผง น้ำหนัก 1 กรัม มาชงด้วยน้ำร้อนที่ปราศจากเชื้อ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 9 นาที จากนั้นนำน้ำใบข้าวสกัด 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วย peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการ spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA นำไปบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน



ภาคผนวก จ
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ เครื่องคัมนสมุนไพรจากใบข้าวอ่อน

ชื่อผู้ทดสอบ..... อายุ..... วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างแต่ละรหัสแล้วให้คะแนนตามระดับคะแนนความชอบ ให้ตรงกับ
ความรู้สึกของท่าน

ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน	ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน
ชอบมากที่สุด	9	ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ชอบมาก	8	ไม่ชอบปานกลาง	3
ชอบปานกลาง	7	ไม่ชอบมาก	2
ชอบเล็กน้อย	6	ไม่ชอบมากที่สุด	1
อื่นๆ	5		

ลักษณะทาง ประสาทสัมผัส	รหัสตัวอย่าง			
				
1. สี				
2. กลิ่น				
3. รสชาติ				
4. การยอมรับรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ



ภาคผนวก ข
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นางสาวณัฐริดา กาบคำ

เกิดเมื่อ

7 กรกฎาคม 2528

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสวนบุญโญปถัมภ์ ลำพูน

พ.ศ. 2550 วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยแม่โจ้