



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ
เยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

Effect of Maturity on Antioxidant Capacity and Antimicrobial Activity of Mango Peel Dietary
Fiber (MPDF) cv. Mahachanok and cv. Namdokmai

นามผู้วิจัย นายพงศธร ล้อสุวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์จิตศิริ ราชตะนันทน์, ป.ร.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของเยื่อใย
อาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

Effect of Maturity on Antioxidant Capacity and Antimicrobial Activity of Mango

Peel Dietary Fiber (MPDF) cv. Mahachanok and cv. Namdokmai

โดย

นายพงศธร ล้อสุวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2552

พงศธร ลือสุวรรณ 2552: ผลของระยะเวลาเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชา
วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D. 142 หน้า

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารพฤกษเคมีของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) ที่ผลิตจากมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกและสายพันธุ์น้ำดอกไม้ซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 49 77 100 และ 120 วันหลังจากปฏิสนธิ นอกจากนั้นยังศึกษาการใช้ประโยชน์จาก MPDF ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง การวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันศึกษาโดยวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl -1-picrylhydrazyl (DPPH) และอนุมูลอิสระ 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) สมบัติการต้านจุลินทรีย์ตรวจสอบด้วยวิธี agar dilution โดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (MIC) ผลการทดลองพบว่าสายพันธุ์และระยะเวลาเจริญเติบโตของมะม่วงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ยกเว้นปริมาณเถ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเจริญเติบโตมากขึ้น ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดใน MPDF มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลิตจากมะม่วงที่มีระยะเวลาเจริญเติบโตมากขึ้นในทั้ง 2 สายพันธุ์โดย MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ไม่มีปริมาณสูงกว่าสายพันธุ์มหาชนกในทุกระยะเวลาเจริญเติบโต นอกจากนี้พบว่า MPDF ที่ผลิตจากมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะเวลาเจริญเติบโต ($p \leq 0.05$) โดยสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MPDF ลดลงเมื่อผลิตจากผลมะม่วงที่มีระยะเวลาเจริญเติบโตมากขึ้น ($p \leq 0.05$) สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แครอทินอยด์ บีตา-แครอทิน และสารประกอบแมนจิเฟอร์รีนของ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสูงกว่าสายพันธุ์น้ำดอกไม้ และมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อผลิตจากเปลือกมะม่วงที่มีอายุ 120 วันในทั้ง 2 สายพันธุ์ ($p \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณลิกลินในทั้ง 2 สายพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดย MPDF ที่ผลิตจากมะม่วงอายุ 120 วันมีปริมาณลิกลินสูงที่สุด เมื่อเติม MPDF เพื่อเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์กุนเชียงในอัตราส่วนร้อยละ 10 พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเจริญของจุลินทรีย์ได้เมื่อเทียบกับสูตรพื้นฐานที่ไม่เติม MPDF แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้ butylated hydroxyanisole (BHA) ความเข้มข้น 30 ppm

Pongsatone Lorsuwan 2009: Effect of Maturity on Antioxidant Capacity and Antimicrobial Activity of Mango Peel Dietary Fiber (MPDF) cv. Mahachanok and cv. Namdokmai. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Mrs. Sasitorn Tongchitpakdee, Ph.D. 142 pages.

Antioxidant capacity, antimicrobial activity and phytochemical contents of mango peels dietary fiber (MPDF) prepared from mango cv. Mahachanok and cv. Namdokmai, which were harvested at 49, 77, 100 and 120 days after pollination, were investigated. Utilization of MPDF in Chinese sausage was also studied. Antioxidant capacity of samples were evaluated using 2, 2-diphenyl -1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging and 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) radical scavenging assays. Antimicrobial activity of MPDF extracts were tested using agar dilution assay to determine minimum inhibitory concentration (MIC). The results showed that cultivar and maturity of mango had no effect on proximate compositions of MPDF except ash, which were increased as maturity increased. Total dietary fiber contents increased as maturity increased in both cultivars and MPDF prepared from mango cv. Namdokmai had higher total dietary fiber contents than those prepared from cv. Mahachanok at all maturity stages. MPDF prepared from mango cv. Mahachanok had higher antioxidant capacity, antimicrobial activity and total phenol contents than those prepared from cv. Namdokmai at all maturity stages ($p \leq 0.05$). The antioxidant capacity, antimicrobial activity and total phenol contents of MPDF decreased when maturity increased ($p \leq 0.05$). Total flavonoid, total carotenoid, beta-carotene and mangiferin contents of MPDF prepared from mango cv. Mahachanok were higher than those prepared from cv. Namdokmai and the contents were highest in MPDF prepared from mangoes harvested at 120 days in both cultivars ($p \leq 0.05$). Lignin contents in both cultivars were no significantly differences ($p > 0.05$) and MPDF prepared from mango at 120 days had the highest lignin content. The results also showed that addition of 10% MPDF in Chinese sausage could inhibit lipid oxidation and microbial growth. However, the efficiency was lower when compared to 30 ppm butylated hydroxyanisole (BHA).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ศศิธร ตรงจิตภักดี ประธานกรรมการที่ปรึกษา และ ดร.จิตศิริ ราชตะนະພັນ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก เป็นอย่างสูง ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำในงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณขวัญชัย ชนะแก้ว และบริษัท ทิมฟู้ด จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างมะม่วง ขอขอบพระคุณ โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม ประจำปี 2550 ภายใต้งานความร่วมมือระหว่างสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนวิจัยเรื่องนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เลี้ยงดูข้าพเจ้า และให้โอกาสแก่สิ่งดีๆ ในชีวิตรวมถึงการให้โอกาสทางการศึกษา จนข้าพเจ้าสำเร็จในวันนี้ รวมทั้ง พี่ เพื่อน และน้องในห้องปฏิบัติการ 2411 และภายในอาคารอุตสาหกรรมเกษตร 2 สำหรับน้ำใจและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

พงศธร ล้อสุวรรณ

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	57
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
สรุป	82
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	95
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	142

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มูลค่าการส่งออกของมะม่วงที่ปลูกในประเทศไทย	9
2	โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิก	14
3	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของวิภาคเคลื่อนที่แบบ gradient ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบแมนนิฟอริน	53
4	การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ของเชื้อใยอาหารจาก เปลือกมะม่วง (MPDF)	59
5	ปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF	61
6	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (MIC) ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	65
7	ปริมาณสารประกอบลิกนินในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	72
8	ความสัมพันธ์ระหว่างสารฟลาโวนอยด์และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	75
9	ปริมาณกลุ่มสารของกุนเชียงสูตรพื้นฐาน กุนเชียงที่เติม BHA และ กุนเชียงที่เสริมเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	77
ตารางผนวกที่		
ข1	ขนาดของผล (ความกว้าง ความยาว เส้นรอบวง) ของมะม่วง พันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล	106
ข2	น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์ น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล	107
ข3	สีเปลือกของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล	108
ข4	สีเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข5	ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล 110
จ1	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณความชื้นในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 120
จ2	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณไขมันในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 121
จ3	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเถ้าในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 122
จ4	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 123
จ5	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยหยาบในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 124
จ6	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 125
จ7	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยอาหารในเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 126
จ8	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 127
จ9	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 128
จ10	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA 129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ11	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA	130
จ12	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA	131
จ13	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบบีตา-แคโรทีนของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA	132
จ14	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบลิกนินของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA	133
จ15	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รีนของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA	134
จ16	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	135
จ17	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณไขมันของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	136
จ18	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเถ้าของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	137
จ19	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	138
จ20	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยหยาบของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ21	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของกุ้งแช่แข็ง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	140
จ22	ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ กุ้งแช่แข็ง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA	141

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลักษณะผลของมะม่วง	5
2 กลไกการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	13
3 โครงสร้างของ C-glycosides mangiferin , isomangiferin และโครงสร้างทั่วไป รวมถึงการจัดเรียงตัวของ flavonol glycosides ที่ตรวจพบในเปลือกมะม่วง	16
4 กลไกการสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์	18
5 โครงสร้างหลักของสารประกอบแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแคโรทีน และกลุ่มแซนโทไฟว	19
6 โครงสร้างของบีตา-แคโรทีน	20
7 บทบาทของอนุมูลอิสระต่อการก่อให้เกิดสภาวะก่อโรค	22
8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน	23
9 กราฟการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์สัมพันธ์ของตัวอย่าง และสารมาตรฐาน	27
10 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH	29
11 โครงสร้างทางเคมีของ ABTS	30
12 การหาค่าบริเวณยับยั้ง โดยวิธี paper disk diffusion	33
13 การหาค่า MIC โดยวิธี broth dilution	35
14 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	62
15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	66
16 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเยื่อใยอาหาร จากเปลือกมะม่วง (MPDF)	68
17 ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบประกอบบีตา- แคโรทีนของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานบีตา-แคโรทีน (β -carotene) ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm และสารสกัดจากเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะ 120 วัน	71
19 ปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	73
20 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานแมนจิเฟอร์ริน (mangiferin) ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm และสารสกัดจากเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนกที่ระยะ 120 วัน	74
21 ปริมาณสารประกอบ TBAS ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง	78
22 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กุนเชียง	80
ภาพผนวกที่	
ก1 มะม่วงสายพันธุ์มหาชนกและสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโต 49 77 100 และ 120 วัน	97
ก2 ภาพแสดงการศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธี agar dilution assay ต่อเชื้อ <i>Bacillus cereus</i> ด้วยสารสกัดจากเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)	98
ก3 ลักษณะผลิตภัณฑ์กุนเชียงสูตรพื้นฐาน กุนเชียงที่เสริม MPDF และกุนเชียงที่เติม BHA	98
ก4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	99
ก5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	99
ก6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	100
ก8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	101
ก9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	101
ก10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบบีตา-แคโรทีนและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ DPPH	102
ก11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบบีตา-แคโรทีนอยด์และสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ ABTS	102
ก12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบลิกนินและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ DPPH	103
ก13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบลิกนินและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ ABTS	103
ก14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ DPPH	104
ก15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ ABTS	104
ค1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	112
ค2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	112
ค3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด	113
ค4 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานแคเทคิน (catechin) สำหรับการตรวจสอบ ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	113
ค5 กราฟมาตรฐานของสารประกอบบีตาแคโรทีน (β -carotene)	114

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค6 กราฟมาตรฐานของสารแมนจิเฟอร์ริน (mangiferin)	114
ค7 กราฟมาตรฐานของสาร 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane (malondialdehyde)	115

ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน และสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

Effect of Maturity on Antioxidant Capacity and Antimicrobial Activity of Mango Peel Dietary Fiber (MPDF) cv. Mahachanok and Namdokmai

คำนำ

มะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยและประเทศในกลุ่มเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนซึ่งสามารถบริโภคได้ทั้งขณะผลดิบและผลสุก โดยเฉพาะมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่นอกจากนิยมนำมาบริโภคแล้วยังสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้หลายประเภท เช่น น้ำมะม่วง น้ำมะม่วงเข้มข้น แยมมะม่วง มะม่วงดอง มะม่วงแช่แข็ง เป็นต้น และจากการแปรรูป ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เปลือกมะม่วงทั้งชนิดที่เป็นเปลือกมะม่วงดิบและชนิดที่เป็นเปลือกมะม่วงสุกจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากเปลือกมะม่วงเท่าที่ควรจึงก่อให้เกิดปัญหาด้านการกำจัด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของเยื่อใยอาหาร (dietary fiber) โดยเยื่อใยอาหารที่ได้จากเปลือกมะม่วงมีคุณสมบัติสามารถต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (Larrauri *et al.*, 1997) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิก (phytochemical) หลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) โดยเฉพาะสารประกอบแมนจิเฟอริน (mangiferin) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบในเปลือกมะม่วง (Berardini *et al.*, 2005b) และสารประกอบในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันและการต้านจุลินทรีย์ที่ดี อีกทั้งยังเป็นแหล่งของสารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoid compounds) (Ajila *et al.*, 2007) โดยเฉพาะสารประกอบบีตา-แคโรทีน (β -carotene) (สายชล, 2528) ที่นอกจากจะมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันแล้ว ยังเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ (vitamin A) ในร่างกาย นอกจากนี้เปลือกมะม่วงยังเป็นแหล่งของสารประกอบลิกนิน (lignin) ที่สำคัญ (Larrauri *et al.*, 1996) และในระหว่างการเจริญเติบโตของผลมะม่วงส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) ที่ผลิตจากมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ซึ่งเก็บเกี่ยวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติม MPDF ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง (chinese sausage) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเศษเหลือจากเปลือกมะม่วงให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) สมบัติการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) และการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) รวมทั้งปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber contents) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenol contents) สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid contents) สารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (total carotenoid contents) สารประกอบบีตา-แคโรทีน (β -carotene contents) สารประกอบลิกนิน (lignin contents) และสารประกอบแมนจิเฟอร์ริน (mangiferin contents) ของใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

2. ศึกษาผลของการเติม MPDF ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์กุนเชียง

การตรวจเอกสาร

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อนซึ่งเป็นที่รู้จักและมีการปลูกอย่างแพร่หลายในทุกภาคของประเทศไทย โดยมะม่วงจัดเป็นพืชที่อยู่ในชั้น (class) ไดคอติลเลโดนี (Dicotyledonae) ชั้นย่อย (sub-class) อาร์คิคลามิเดอี (Archichlamydeae) อันดับ (order) เซปินดอลิส (Sapindales) และวงศ์ (family) อะนาคาร์ดิอาซีอี (Anacardiaceae) (วิจิตร, 2529)

หลักฐานทางประวัติศาสตร์ โบราณคดีและภาษาศาสตร์แสดงว่า มะม่วงมีแหล่งกำเนิดมาจากตอนใต้ของเอเชียเพราะในบริเวณเหล่านั้นมีพันธุ์มะม่วงเป็นจำนวนมาก และชื่อพันธุ์มะม่วงก็เป็นภาษาเก่าแก่ของแถบนั้น (De Candolle, 1884) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงแหล่งกำเนิดของมะม่วงโดยพบว่ามะม่วงมีถิ่นกำเนิดในแถบอินเดีย-พม่า เพราะพบซากใบที่กลายเป็นหินของมะม่วงพันธุ์เก่าแก่บริเวณนั้น (Mukherjee, 1951)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะเด่นของมะม่วงคือเป็นพรรณไม้ที่มีทรงต้นสูง จากโคนถึงกิ่งแรกสั้น ไม่ผลัดใบ ส่วนต่างๆของต้นขณะสดมีกลิ่นหอมเฉพาะ ใบอ่อนมีสีม่วง ใบเกิดแบบสลับ ขอบใบเรียบ แผ่นใบเหนียว ดอกเกิดเป็นช่อแบบพENNikel ดอกย่อยมีขนาดเล็ก ผลเป็นแบบเฟลสชีดรีฟ (fleshy drupe) (ภาพที่ 1) คือมีเนื้อเป็นองค์ประกอบมาก เม็ดแบน มีเสี้ยนมากหรืออาจไม่มีเสี้ยนเลยก็ได้ เมล็ดมีขนาดโตแบน เมื่อผลยังอ่อนจะมีน้ำอย่างมาก มะม่วงมีหลายชนิด (species) ที่สามารถรับประทานผลได้ เช่น มะม่วงจี๊ยา (*M. duperreana* Pierre) มะม่วงป่า (*M. longipetiolata* King) มะม่วงแป็บ (*M. Flava* Evraed) เป็นต้น แต่ชนิดที่นิยมบริโภคและปลูกเพื่อการค้าในปัจจุบันคือมะม่วงบ้าน (*M. indica* L.) (เต็ม, 2518) โดยที่มะม่วงบ้านยังแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มโดยใช้ลักษณะใบและทรงผลเป็นหลักและลักษณะอื่นๆ ในการจำแนก ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มออกได้เป็น 8 กลุ่ม (เกียรติ เกษตร, 2547) ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มแก้ว มะม่วงในกลุ่มนี้ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่ ใบป้อมบริเวณโคนใบ ส่วนปลายใบเรียว ฐานใบแหลมและขอบใบเรียบ ตัวอย่างมะม่วงในกลุ่มนี้ได้แก่มะม่วงแก้วขาว แก้วเขียว แก้วจุก เป็นต้น

2. กลุ่มเขียวเสวย ลักษณะผลของมะม่วงกลุ่มนี้มีลักษณะขอบขนาน ทรงใบขอบขนาน ปลายใบสอบเรียว ลักษณะฐานใบสอบเรียวและขอบใบมีลักษณะเรียบ รายชื่อของมะม่วงพันธุ์ต่างๆที่จำแนกอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ มะม่วงเขียวเสวย ทองคำ ฟาลัน รจนา เป็นต้น



ภาพที่ 1 ลักษณะผลของมะม่วง

ที่มา: เกียรติเกษตร (2547)

3. กลุ่มน้ำดอกไม้ ผลมีลักษณะรี ทรงใบรีปลายใบเรียวแหลม ลักษณะฐานใบเรียวแหลม และขอบใบมีลักษณะเป็นคลื่น ได้แก่มะม่วงน้ำดอกไม้ น้ำดอกไม้ทวาย น้ำดอกไม้สีทอง หงษ์ทอง เจ้าพระยา เป็นต้น

4. กลุ่มหนังกกลางวัน ลักษณะผลเป็นรูปทรงกระบอก ทรงใบเป็นขอบขนานปลายใบสอบเรียวและมีขอบใบเรียบ มะม่วงในกลุ่มนี้ได้แก่มะม่วงหนังกกลางวัน งาเขียว งาแดง นวลจันทร์ เป็นต้น

5. กลุ่มกร่อง ลักษณะผลทรงรีทรงใบป้อมบริเวณโคนใบปลายใบเรียวแหลม ลักษณะฐานใบแหลมและขอบใบเรียบ ตัวอย่างมะม่วงในกลุ่มนี้ได้แก่ มะม่วงกร่องแดง กร่องมัน แก้มแดง เป็นต้น

6. กลุ่มพราหมณ์ มะม่วงในกลุ่มนี้มีผลเป็นทรงรูปไข่ ใบมีลักษณะป้อมบริเวณกลางใบ ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบแหลมและขอบใบเรียบ ได้แก่มะม่วงพราหมณ์เนื้อ ทองทวาย ทองหยด พราหมณ์ก้นขอ กระล่องทอง เป็นต้น

7. กลุ่มผลกลม ทรงผลมีลักษณะกลม ทรงใบมีลักษณะป้อมกลางใบ ปลายใบสอบเรียว ฐานใบแหลม และขอบใบเรียบ ได้แก่มะม่วงอินทรีชิต คลับนาค น้ำตาลเตา เป็นต้น

8. กลุ่มเบ็ดเตล็ด ทรงผลของกลุ่มนี้มีหลายแบบไม่สามารถจัดได้ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง เช่น พันธุ์เงาะ มันทะลุฟ้า ส่วนลักษณะทรงใบ ปลายใบ ฐานใบ และขอบใบ มีลักษณะไม่จัดอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง อาจมีลักษณะกลุ่มหนึ่งปนกับอีกกลุ่มหนึ่งก็ได้เช่น มะม่วงมันหมู มะปราง เงาะ มันทะลุฟ้า เป็นต้น

การเจริญของผลมะม่วง

โดยทั่วไปมะม่วงในประเทศไทยออกดอกในช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ผลที่ติดในระยะแรกมีขนาดประมาณ 2-6 มิลลิเมตร จากนั้นมีการแบ่งตัวและยึดตัวของเซลล์ หลังจากผสมเกสรแล้วประมาณ 14 วัน ซึ่งการเจริญเติบโตของผลมะม่วงแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน (Singh *et al.*, 1937) คือ

1. ระยะ Juvenile : เริ่มตั้งแต่ปฏิสนธิ – 21 วัน โดยในช่วงนี้ผลมะม่วงจะมีการเจริญเติบโตของเซลล์อย่างรวดเร็ว
2. ระยะ Adolescent: นับตั้งแต่อายุ 21 – 49 วัน หลังจากปฏิสนธิ เป็นช่วงที่ผลมะม่วงมีอัตราการเจริญสูงที่สุด
3. ระยะ Climacteric: นับตั้งแต่อายุ 49 – 77 วันหลังจากปฏิสนธิ ผลของมะม่วงในระยะนี้ จะมีการเจริญด้านขนาดอย่างเต็มที่

4. ระยะ Senescence: นับตั้งแต่ 77 วันหลังจากปฏิสนธิ ในระยะนี้การหายใจของผลมะม่วงจะลดลง ผลสุกและมีการพัฒนาของกลีบและรส

ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลมะม่วง

ดัชนีการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทานและอายุการเก็บรักษาของมะม่วง ดังนั้นการที่จะให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและเก็บไว้ได้นานจึงจะต้องเก็บเกี่ยวในวัย (ความแก่) ที่เหมาะสมพอดี การเก็บเกี่ยวผลที่มีวัยอ่อนหรือแก่เกินไปจะทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลง คือ ถ้าเก็บอ่อนเกินไปจะทำให้ผลเหี่ยวช่นเนื่องจากสูญเสียน้ำหนักเร็ว ทำให้บ่มสุกช้าและผลมีรสเปรี้ยว นอกจากนี้ยังทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง ส่วนการเก็บเกี่ยวผลที่แก่เกินไปมักจะทำให้ผลสุกไม่สม่ำเสมอ คือเนื้อในบริเวณใกล้เปลือกหุ้มเมล็ดสุกก่อน เนื้อผลจะเริ่มเสียและผลบอบช้ำได้ง่าย การที่จะกะประมาณหรือทดสอบดูว่ามะม่วงจะแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้นั้น อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน (สนทรรศน์, 2531) เช่น

1. การนับอายุผล โดยมากจะนับจากออกดอกหรือวันติดผล วันดอกบานจนถึงผลแก่
2. การวัดความถ่วงจำเพาะ โดยทดลองนำผลมะม่วงมาลอยในน้ำเกลือ 2.5% (เกลือ 500 กรัม น้ำ 20 ลิตร) ถ้าผลมะม่วงจมในน้ำเกลือเข้มข้น 2.5% แสดงว่าผลแก่เก็บเกี่ยวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมะม่วงแต่ละพันธุ์ เช่นเขียวเสวยแก่เต็มที่จะอาจไม่จม แต่มีคุณภาพสูงสุดที่ความถ่วงจำเพาะ 0.09 หรือความถ่วงจะเพาะที่ให้คุณภาพดีที่สุดของน้ำดอกไม้ คือ 1.03-1.04
3. การวัดอัตราส่วนร้อยละของน้ำตาลต่อปริมาณกรดหรือปริมาณกรด เช่นมะม่วงเขียวเสวยที่แก่เต็มที่มีคุณภาพดีที่สุดหลังติดผล 13 สัปดาห์ หรือ 91 วัน มีอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำตาลต่อกรดประมาณ 1 หรือปริมาณกรด 8-9%
4. การวัดร้อยละของของแข็งทั้งหมดที่สามารถละลายได้ (total soluble solid: TSS) เช่นมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อผลอายุได้ 16 สัปดาห์ (112 วัน) วัด TSS ได้ 10.0 องศาบริกซ์ เมื่อบ่มสุกจะมีค่า TSS 22.1 องศาบริกซ์

นอกจากวิธีการทั้ง 4 ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีที่ใช้กันมานานหรือวิธีเฉพาะพันธุ์ เช่น การดูแล การตัดฟางเลี้ยงหรือการบ่มทดสอบหรือดูปริมาณจุดสีน้ำตาลเป็นต้น และเพื่อให้ได้ผลที่แก่จัดและเหมาะสมนั้น ควรใช้วิธีตรวจสอบมากกว่า 1 วิธี เช่นหลังจากนับวันแล้วอาจนำผลมาลอยน้ำเพื่อตรวจสอบว่าจมถึงก้นภาชนะหรือยัง เป็นต้น

วัสดุเศษเหลือจากมะม่วง

นอกจากการบริโภคสดแล้ว ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะม่วง เช่น น้ำมะม่วง น้ำมะม่วงเข้มข้น แยมมะม่วง มะม่วงดอง มะม่วงแช่อิ่ม และ มะม่วงแช่แข็ง ฯลฯ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นผลไม้ส่งออกที่มีมูลค่าสูง (ตารางที่ 1) ซึ่งจากการบริโภคและการแปรรูปที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดวัสดุเศษเหลือของผลมะม่วงจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก โดยวัสดุเศษเหลือส่วนใหญ่ที่ได้จากผลมะม่วง คือ ส่วนของเปลือกมะม่วง ซึ่งมีประมาณ 35% ของน้ำหนักผล (Schieber *et al.*, 2001) ปัจจุบันยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากเปลือกมะม่วงเท่าที่ควร ส่งผลให้เกิดปัญหาการกำจัด อย่างไรก็ตามพบว่าเปลือกของมะม่วงเป็นแหล่งของเยื่อใยอาหาร (dietary fiber) ที่สำคัญ ซึ่งเมื่อนำมาศึกษาแบบ *in vitro* พบว่าเปลือกของมะม่วงมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาด้านออกซิเดชัน (Larrauri *et al.*, 1996) และเป็นแหล่งสารประกอบพฤษเคมี (phytochemical) ที่สำคัญหลายชนิด

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกของมะม่วงที่ปลูกในประเทศไทย

ประเทศ	2547		2548		2549 (ม.ค.-ก.ย.)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
1. ญี่ปุ่น	1,122	113.11	829	87.68	856	110.34
2. มาเลเซีย	2,123	22.07	622	9.08	8,365	84.19
5. เกาหลีเหนือ	65	6.30	73	9.80	94	12.44
6. อินโดนีเซีย	402	6.37	428	7.34	313	6.05
7.ฮ่องกง	97	3.56	77	3.74	130	5.48
8. สิงคโปร์	112	3.14	136	3.18	46	3.69
9. จีน	329	4.42	70	3.06	167	2.61
3. อเมริกา	22	2.88	131	31.14	88	28.58
4. ออสเตรเลีย	29	2.29	25	13.33	11	4.64
10. ยุโรป	30	3.60	43	4.55	51	5.70
รวม	4,731	176.54	2,674	182.22	11,011	278.56

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2549)

ปริมาณ : เมตริกตัน

มูลค่า : ล้านบาท

ใยอาหาร

ใยอาหาร (dietary fiber) คือส่วนประกอบที่อยู่ภายในเซลล์พืชซึ่งมีความสามารถต้านทานการย่อยสลายจากเอนไซม์ภายในร่างกาย (Prosky and Devries, 1992) โดยใยอาหารอาจปรากฏในลักษณะที่เป็นใยหรือไม่ปรากฏลักษณะใย เช่น เพกติน (pectin) บีตา-กลูแคน (β -glucan) ฯลฯ เมื่อทำการจำแนกประเภทของใยอาหารโดยใช้คุณสมบัติการละลายในน้ำพบว่าสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble dietary fiber) ใยอาหารในกลุ่มนี้ได้แก่ กัม (gum) ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่ต้องการใยอาหารในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มบีตา-กลูแคน (β -glucan) เพกติน (pectin) อาการ์ (agar) แอลจีเนต (alginate) กัมอะราบิก (gum arabic) และอื่นๆ

ซึ่งจะมีแหล่งที่มาและโครงสร้างแตกต่างกัน เชื้อใยอาหารในกลุ่มนี้เมื่อบริโภคเข้าสู่ร่างกายจะเพิ่มความหนืดในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลต่อการดูดซึมคอเลสเตอรอล (cholesterol) และกลูโคส (glucose) ให้ลดต่ำลง เมื่อบริโภคเชื้อใยอาหารปริมาณสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับปริมาณกลูโคส และอินซูลิน (insulin) ในร่างกาย สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคอ้วน เป็นต้น เชื้อใยอาหารอีกประเภทหนึ่งได้แก่ เชื้อใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (water insoluble dietary fiber) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) โดยจะไม่ละลายทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน แต่จะสามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนที่มีสารละลายกรดหรือด่างเนื่องจาก เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของพืช มีโครงสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 จากการเชื่อมต่อดังกล่าวพันธะ β -1,4 ทำให้เซลลูโลสเรียงตัวกันเป็นเส้นตรง และอินซูลินในร่างกายจึงไม่สามารถย่อยสลายได้ นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มลิกนิน (lignin) ซึ่งเป็นเชื้อใยอาหารที่มีสมบัติการไม่ละลายในน้ำสูงที่สุด โดยทั่วไปแล้วเชื้อใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้จะให้ประโยชน์แก่ผู้บริโภค โดยทำให้กากอาหารไม่ตกค้างอยู่ในระบบทางเดินอาหารเป็นเวลานาน มีประโยชน์ในด้านระบบทางเดินอาหาร ไม่ก่อให้เกิดถุงน้ำบริเวณลำไส้ (diverticula disease) เป็นต้น

เปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของเชื้อใยอาหารที่สำคัญทั้งชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ และไม่สามารถละลายน้ำได้โดยพบว่าเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งที่สำคัญของเพกติน (Berardini *et al.*, 2005a) นอกจากนี้ Larrauri *et al.* (1996) ได้ทำการเตรียมเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดยนำเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานน้ำหวานไปบดลดขนาด ล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อละลายน้ำตาลออกไป และผ่านการทำให้แห้ง พบว่าตัวอย่าง MPDF ที่บดลดขนาดเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และล้างน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที มีปริมาณเชื้อใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบ 281 กรัม/กิโลกรัมเปลือกมะม่วง และมีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (Larrauri *et al.*, 1999) นอกจากนี้ระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงก็ส่งผลต่อปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดเช่นกัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดจากเปลือกมะม่วงสุกพบว่ามีความร้อยละ 51.2 ของน้ำหนักเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตน้ำหวาน (Ajila *et al.*, 2008) และร้อยละ 50.95 ในเปลือกมะม่วงสุกสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (วรรณมณฑน์ และคณะ, 2551) ในขณะที่ปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของเปลือกมะม่วงดิบพบว่ามีความเชื้อใยอาหารเป็นองค์ประกอบเพียงร้อยละ 28.05 ของน้ำหนักเปลือกมะม่วง (Vergara-Valencia *et al.*, 2007)

ปัจจุบันมีการศึกษาผลของการเติมเปลือกมะม่วงเพื่อเสริมเยื่อใยอาหาร และสารสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด โดยพบว่าผลิตภัณฑ์บิสกิต (biscuit) ที่เติมเปลือกมะม่วงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บิสกิตมีปริมาณเยื่อใยอาหาร สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น (Ajila *et al.*, 2008) อีกทั้งผลิตภัณฑ์คุกกี้และขนมปังที่มีการแทนที่จมูกข้าวสาลีด้วยเปลือกมะม่วง พบว่ามีปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น (Vergara-Valencia *et al.*, 2007) เช่นกัน นอกจากนี้เมื่อทำการทดแทนแป้งสาลีด้วยเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วงในขนมปังแซนด์วิชพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อใยอาหารผงในปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดของขนมปังแซนด์วิชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ซึ่งบ่งบอกถึงระดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ในระหว่างการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรไพลีน (polypropylene: PP) ที่อุณหภูมิห้องช้ากว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (วรรณมณฑน์ และ คณะ, 2551)

MPDF ยังเป็นแหล่งของสารประกอบพฤษเคมีที่สำคัญ จึงมีรายงาน MPDF ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันประสิทธิภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านออกซิเดชันทางการค้าแล้วพบว่า MPDF สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าวิตามินอี (DL-tocopherol) แต่น้อยกว่าสาร butylated hydroxyanisole (BHA) และประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันของ MPDF มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเยื่อใยอาหารจากแหล่งอื่นพบว่า MPDF มีประสิทธิภาพสูงกว่าเยื่อใยอาหารที่ผลิตจากผลไม้ และเยื่อใยอาหารที่ผลิตจากผลแอปเปิ้ล (Larrauri *et al.*, 1997)

สารประกอบพฤษเคมี

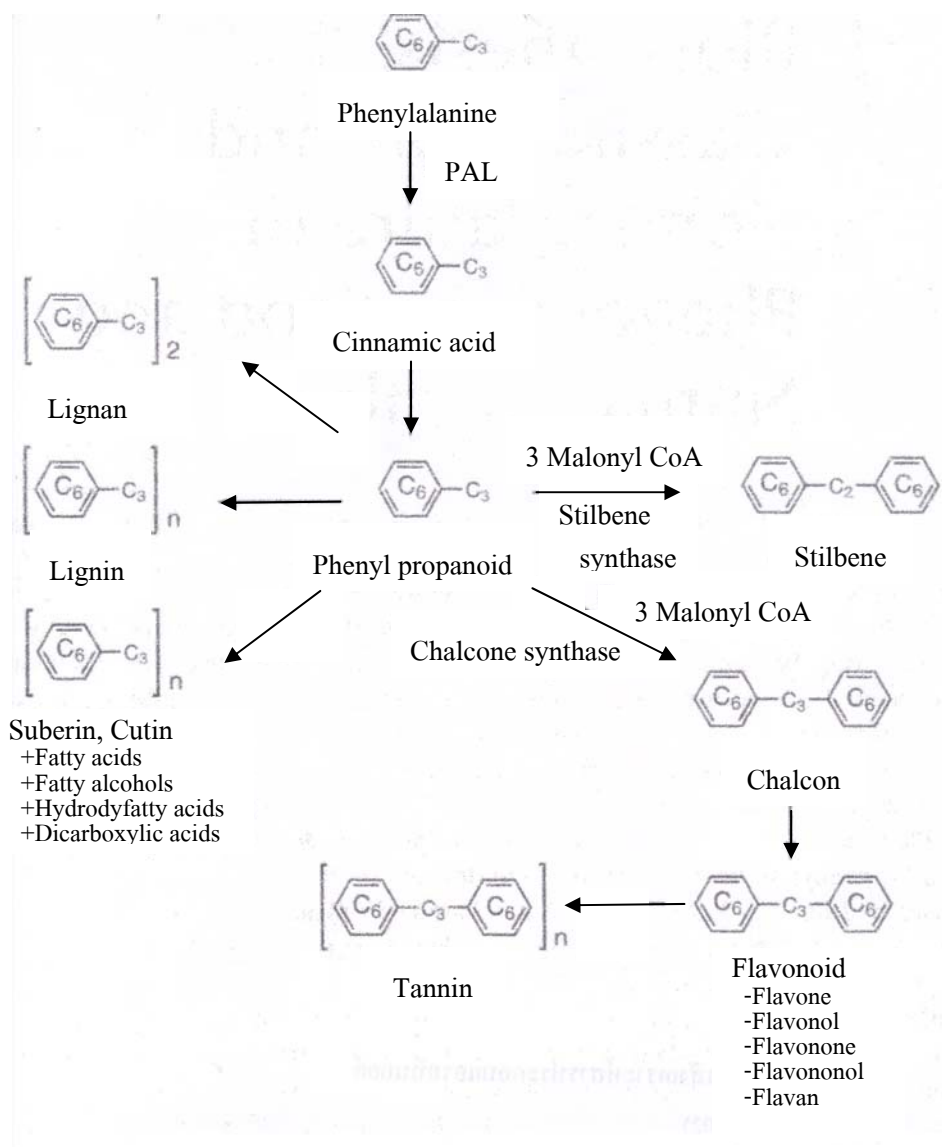
การบริโภคผักและผลไม้จำนวนมากลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแหล่งของสารพฤษเคมี (phytochemical) ที่สำคัญ (Sun *et al.*, 2002) สารประกอบพฤษเคมีคือสารประกอบที่พืชสร้างขึ้นมาโดยไม่จัดอยู่ในกลุ่มของสารอาหาร แต่เป็นสารประกอบในกลุ่ม secondary metabolite กล่าวคือเป็นสารประกอบที่นอกจากจะมีความสำคัญในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ยังส่งผลประเภทอื่นต่อพืช เช่น ช่วยป้องกันการติดเชื้อของ

เซลล์พืชที่ได้รับบาดเจ็บ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดสี และกลิ่นรสจำเพาะของผักและผลไม้แต่ละชนิด (Johnson and Williamson, 2003) สารประกอบพฤษเคมีแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ หลายกลุ่มดังนี้

1. สารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบ เช่น สารประกอบฟีนอลิก
2. สารประกอบในกลุ่มของสารประกอบแคโรทีนอยด์
3. สารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายสารในกลุ่มเอสโตรเจน (estrogen) เช่น สารในกลุ่มไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogen)
4. และสารประกอบที่มีหมู่ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น สารในกลุ่มกลูโคซิโนเลต (glucosinolate)

สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นสารประกอบที่พืชสังเคราะห์ขึ้นโดยมีกรดแอมิโนฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) เป็นสารตั้งต้น (ภาพที่ 2) แต่ในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้จากกรดแอมิโนไทโรซีน (tyrosine) (Shahidi and Naczk, 2004) โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยวงเบนซีนอยู่ภายในโมเลกุลและมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ โดยพืชสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ก่อให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติ ที่จำเพาะเจาะจง โดยส่วนใหญ่แล้วในพืชจะพบสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้จะอยู่ในรูปที่เกาะอยู่กับน้ำตาล (glycosylated derivative) มากกว่าอยู่ในรูปเดี่ยวๆ (aglycone) (Banias *et al.*, 1992)



ภาพที่ 2 กลไกการสร้างสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Shahidi and Naczk (2004)

โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกมีตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น แทนนิน (tannin) (Bravo, 1998) ตัวอย่างโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกแสดงในตารางที่ 2

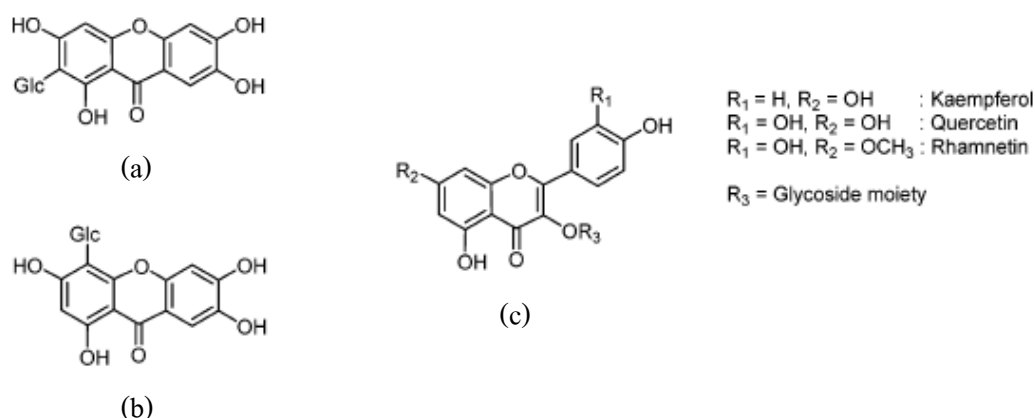
ตารางที่ 2 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิก

โครงสร้างพื้นฐาน	กลุ่ม	ตัวอย่าง
C_6	Simple phenols	Phenol, guaiacol
	Benzoquinones	2,6-Dimethoxybenzoquinone
C_6-C_1	Hydroxybenzoic acids	Gallic, p-hydroxybenzoic, salicylic
C_6-C_2	Acetophenones	3-Acetyl-6-ethoxybenzaldehyde
	Phenylacetic acids	p-Hydroxyphenylacetic
C_6-C_3	Hydroxycinnamic acids	Caffeic, ferulic, p-coumaric
	Phenylpropenes	Myristicin
	Coumarins	Aesculetin
	Isocoumarins	Bergenon
	Chromones	Eugenin
C_6-C_4	Napthoquinones	Juglone
$C_6-C_1-C_6$	Xanthones	Mangiferin
$C_6-C_2-C_6$	Stilbenes	Resveratrol
	Anthraquinoids	Emodin
$C_6-C_3-C_6$	Flavonoids	Quercetin, catechin
	Isoflavonoids	Genistein
$(C_6-C_3)_2$	Lignans	Pinoresinol
	Neolignans	Eusiderin
$(C_6-C_3-C_6)_2$	Biflavonoids	Amentoflavone
$(C_6-C_3)_n$	Lignins	
$(C_6)_n$	Catechol melanins	
$(C_6-C_3-C_6)_n$	Condensed Tannins	

ที่มา: Waterman (1994)

ผลมะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) เมตดาไดแกลลิกเอซิด (m-digallic acid) บีตา-กลูโคแกลลลิน (β-glucogallin: β-1-O-galloyl-D-glucose) แกลโลแทนนิน (gallotannin) เควอซีติน (quercetin) ไอโซเควอซีติน (isoquercetin) แมนจิเฟอริน (mangiferin) และกรดเอลลาจิก (ellagic acid) เป็นต้น (Bathai *et al.*, 1967) ทั้งนี้ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกของผลมะม่วงจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนของผลมะม่วง เช่น ส่วนเนื้อ เปลือก หรือเมล็ด สายพันธุ์ของมะม่วง และระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง (Masibo and He, 2008) ซึ่งเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ โดยพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 96 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/ กรัมของน้ำหนักแห้ง ใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตน้ำหวาน (Ajila *et al.*, 2008) และ 95.11 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/ กรัมตัวอย่าง ใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สุก (วรรณมณฑน์ และคณะ, 2551) นอกจากนี้พบว่าในเปลือกมะม่วงดิบสายพันธุ์ทอมมี แอทกินส์ (Tommy Atkins) ยังประกอบไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 16.14 ± 0.24 มิลลิกรัม/ กรัมตัวอย่าง (Vergara-Valencia *et al.*, 2007) ประเภทของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในปริมาณสูงในเปลือกมะม่วงได้แก่สารประกอบในกลุ่มของแซนโทน (xanthone) เช่นสารประกอบแมนจิเฟอริน (mangiferin) (ภาพที่ 3-1) และสารประกอบไอโซแมนจิเฟอริน (isomangiferin) (ภาพที่ 3-2) นอกจากนี้เปลือกมะม่วงยังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลาโวนอยด์จำนวนมาก โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ในกลุ่มย่อยฟลาโวนอลที่ต่อกับหมู่น้ำตาล (flavonol glycoside) (ภาพที่ 3-3) เช่นสารประกอบเควอซีติน (quercetin) และสารประกอบแคมเฟอรอล (khamferol) ทั้งนี้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของผลมะม่วง และระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงด้วย โดยเปลือกมะม่วงสายพันธุ์โฮเซ (Josde) และสายพันธุ์ทอมมี แอทกินส์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดตามลำดับเมื่อเทียบกับทุกสายพันธุ์ที่ได้ทำการศึกษา (Berardini *et al.*, 2005b) เมื่อพิจารณาเปลือกมะม่วงสายพันธุ์ที่ได้จากประเทศไทย ได้แก่สายพันธุ์แก้ว มันเดือนแก้ว มหานคร น้ำดอกไม้ และโชคอนันต์พบว่า เปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหานครมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกมะม่วงสายพันธุ์ที่ได้จากประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารประกอบแมนจิเฟอริน และสารประกอบเควอซีตินที่จับอยู่กับน้ำตาลกาแลคโตส (quercetin-3-O-galactose) นอกจากสายพันธุ์ของมะม่วงจะส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง โดยพบว่าเมื่อศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือกมะม่วงดิบและเปลือกมะม่วงสุกของมะม่วง 2

สายพันธุ์จากประเทศอินเดียพบว่าสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกมะม่วงดิบของมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณสูงกว่าเปลือกมะม่วงสุก (Ajila *et al.*, 2007) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกมะม่วงจะมีปริมาณสูงกว่าเนื้อมะม่วงในทุกะยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง (Lakshminarayana *et al.*, 1979)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ C-glycosides mangiferin (a) และ isomangiferin (b) และโครงสร้างทั่วไป รวมถึง การจัดเรียงตัวของ flavonol glycosides (c) ที่ตรวจพบในเปลือกมะม่วง

ที่มา: Berardini *et al.* (2005a)

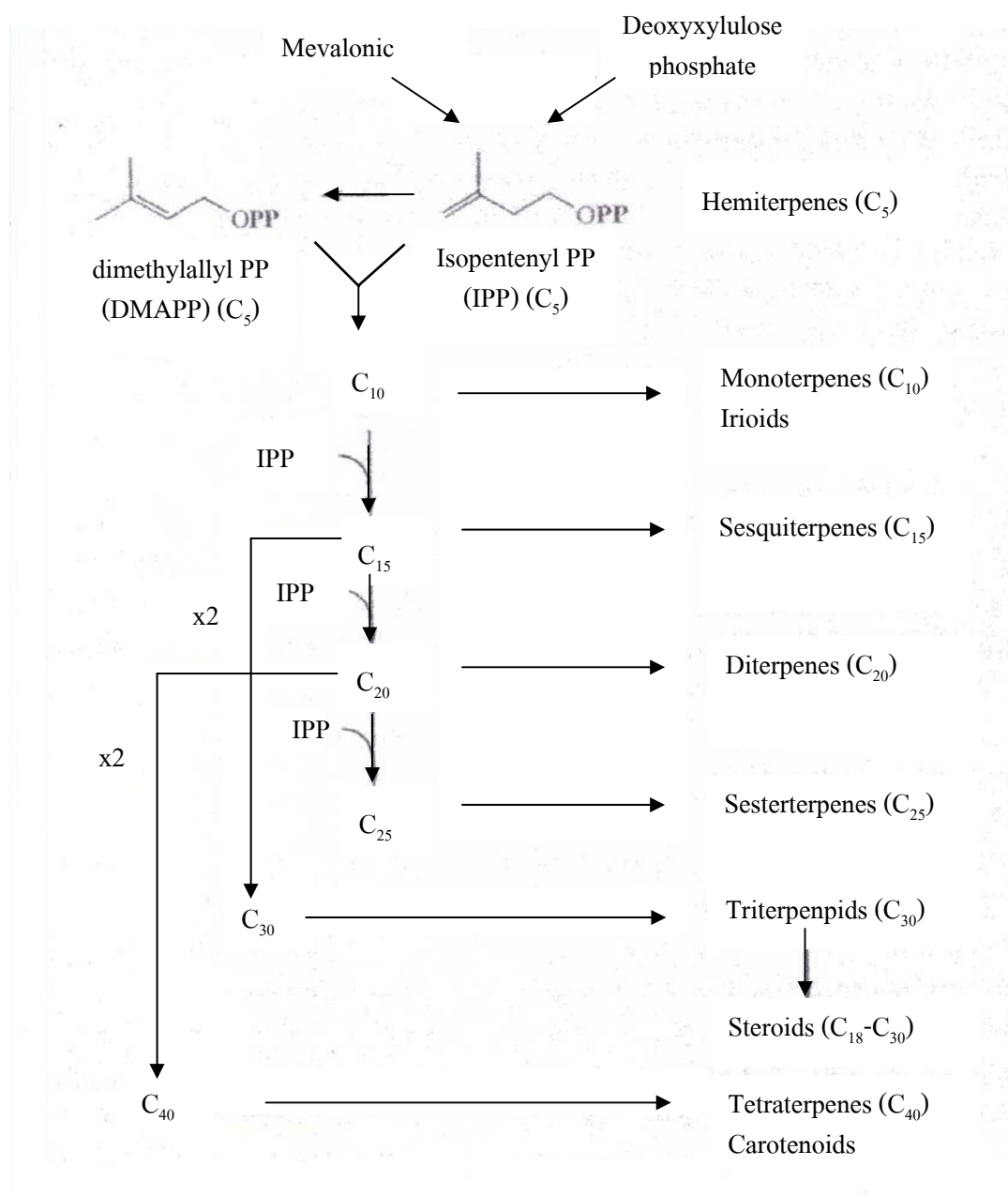
นอกจากวัตถุประสงค์ในการสังเคราะห์ สี กลิ่น และรสชาติ ของพืชแล้ว สารประกอบฟีนอลิกยังมีสมบัติการต้านออกซิเดชันและการต้านจุลินทรีย์เช่นกัน โดยพบว่าสารประกอบแมน-จิเฟอร์รินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักในเปลือกมะม่วงที่มีความเข้มข้น 10-100 ไมโครโมลาร์สามารถยับยั้ง superoxide anion (O₂⁻) ซึ่งเป็นสาร reactive oxygen species ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Leiro *et al.*, 2003) และพบว่า 1 กรัมของ MPDF มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงกว่าวิตามินอี 200 มิลลิกรัม ถึง 1.5 เท่า และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าวิตามินอีที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม 3.5 เท่า (วรรณมณฑน์ และคณะ, 2551) อีกทั้งยังพบว่าคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบแปรผันตามกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยผลไม้ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดในบรรดาผลไม้ที่ได้ทำการศึกษา จะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดเช่นกัน และสมบัติในการต้านออกซิเดชันของผลไม้ที่ได้ทำศึกษามีประสิทธิภาพลดลงเมื่อปริมาณของ

สารประกอบฟีนอลิกลดลง (Sun *et al.*, 2002) สมบัติการต้านออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทของผลไม้แล้ว (Leong and Shui., 2001) ส่วนของผลไม้ที่นำมาใช้ประโยชน์ก็มีสมบัติการต้านออกซิเดชันที่ต่างกัน โดยในผลไม้ส่วนใหญ่พบว่าบริเวณผิวและเมล็ดของผลไม้ส่วนใหญ่ จะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าบริเวณเนื้อ โดยเปลือกและเมล็ดของมะม่วงมีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าเนื้อของมะม่วง 26 และ 38 เท่าตามลำดับ เมื่อศึกษาด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP assay) (Guo *et al.*, 2003)

สารประกอบแคโรทีนอยด์

สารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นสารประกอบพฤษเคมีที่สร้างขึ้นจากพืช และจุลินทรีย์เท่านั้น สัตว์จะได้รับสารประกอบแคโรทีนอยด์จากการบริโภคเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ พืชสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์เพื่อวัตถุประสงค์ในการสร้างสี ดังนั้นแคโรทีนอยด์จึงจัดเป็นรงควัตถุที่สังเคราะห์จากธรรมชาติ โครงสร้างของสารประกอบในกลุ่มแคโรทีนอยด์อาจมีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือมีลักษณะเป็นวงก็ได้

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบเตตระเทอร์ปีน (tetraterpene) คือเป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) ที่มีคาร์บอน 40 อะตอม การสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์ของพืชและจุลินทรีย์เริ่มจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ อะซิติล โคเอ (acetyl CoA) จากขบวนการสังเคราะห์แสง จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นกรดเมวาโลนิก (mevalonic acid) และเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ในกระบวนการสังเคราะห์ของ mevalonate pathway (ภาพที่ 4) โดยกรดเมวาโลนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นสารไอโซพรีน (isoprene) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของสารประกอบแคโรทีนอยด์และเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ต่อกันจนเป็นคาร์บอน 40 อะตอม (Dewick, 2002)

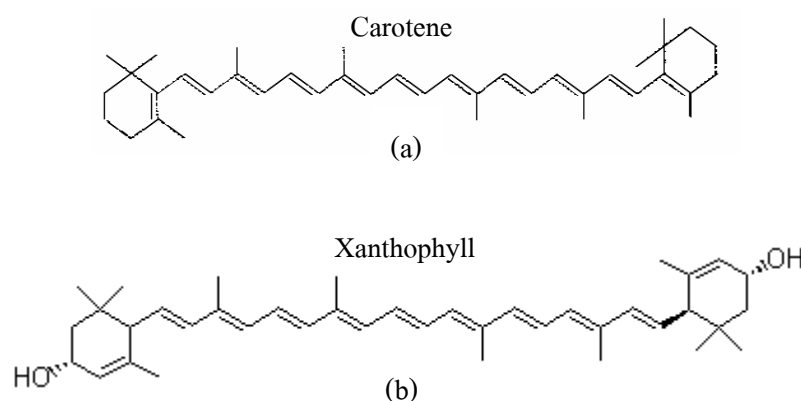


ภาพที่ 4 กลไกการสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์

ที่มา: Dewick (2002)

สารประกอบแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือสารประกอบแคโรทีน (carotene) (ภาพที่ 5-1) และสารประกอบออกซิแคโรทีนอยด์ (oxycarotenoid) หรือที่เรียกว่า

แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) (ภาพที่ 5-2) โดยโครงสร้างของสารประกอบแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแคโรทีน จะประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น ขณะที่สารประกอบแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแซนโทฟิลล์จะมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล ซึ่งออกซิเจนอาจอยู่ในรูปของหมู่ไฮดรอกซี หรือ อีพอกซี เป็นต้น (Klaui and Bauernfeind, 1981)



ภาพที่ 5 โครงสร้างหลักของสารประกอบแคโรทีนอยด์กลุ่มแคโรทีน (a) และแซนโทฟิลล์ (b)

ที่มา: Klaui and Bauernfeind (1981)

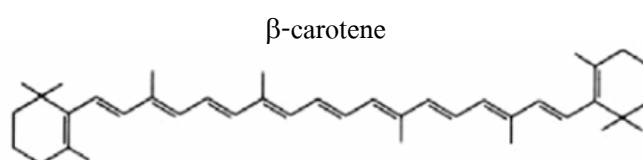
สารประกอบแคโรทีนอยด์นอกจากจะเป็นสารให้สีแก่พืชแล้วยังมีประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยพบว่าสารประกอบแคโรทีนอยด์ส่งผลต่อระบบการมองเห็นกับผู้บริโภค เนื่องจากสารประกอบแคโรทีนอยด์บางชนิดเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ เช่นสารประกอบบีตา-แคโรทีน ซึ่งวิตามินเอมีบทบาทสำคัญต่อการมองเห็น แต่แคโรทีนอยด์บางชนิดเช่นไลโคปีนและแซนโทฟิลล์ไม่มีสมบัติดังกล่าว (จริงแท้, 2549) นอกจากนี้สารประกอบแคโรทีนอยด์ยังมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง และโรคหัวใจ เป็นต้น

เปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบแคโรทีนอยด์ที่ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง โดยพบว่าปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ในเปลือกมะม่วง 2 สายพันธุ์จากประเทศอินเดียมีปริมาณที่แตกต่างกัน และพบว่าเปลือกมะม่วงสุกของทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าเปลือกมะม่วงดิบ (Ajila *et al.*, 2007)

บีตา-แคโรทีน

บีตา-แคโรทีน (β -carotene) เป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ในกลุ่มแคโรทีน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้โดยพืชและจุลินทรีย์ โครงสร้างของบีตา-แคโรทีนประกอบด้วย cyclohexane 2 ชนิด (ภาพที่ 6) บีตา-แคโรทีนเป็นแหล่งวิตามินเอของมนุษย์ ร่างกายมนุษย์จะเปลี่ยนบีตา-แคโรทีน เป็นวิตามินเอเมื่อต้องการ เปลือกของมะม่วงโดยเฉพาะเปลือกมะม่วงสุกเป็นแหล่งของ บีตา-แคโรทีนสูง ซึ่งมีรายงานว่า บีตาแคโรทีนสามารถจับอนุมูลอิสระ peroxy $\cdot$ โดยเฉพาะใน สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Berton and Ingold., 1984) สมบัติการต้านออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีนขึ้นอยู่กับสมบัติในการจับ singlet oxygen และอนุมูลอิสระ peroxy $\cdot$ ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างของโมเลกุล และจำนวนพันธะคู่ของโมเลกุล (Sergio *et al.*, 1999)

สีผิวและสีเนื้อของมะม่วงเมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้มเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณบีตา-แคโรทีนเป็นส่วนใหญ่ (สายชล, 2528) ทั้งนี้ปริมาณบีตา-แคโรทีนในผลมะม่วง แปรเปลี่ยนไปตามพันธุ์ สภาพของดิน และความแก่ของผล (Subramanyam *et al.*, 1975)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของบีตา-แคโรทีน

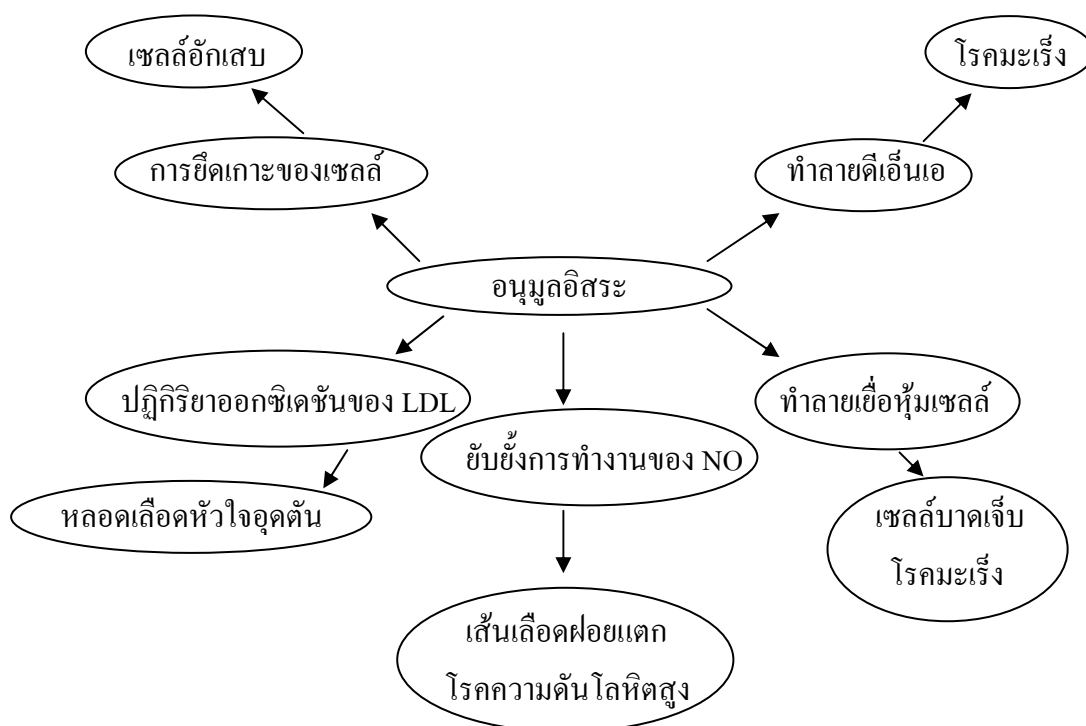
ที่มา: Stryer (1975)

สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึงสารที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (substrate) ทำหน้าที่ลดหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรือหมายถึง สารในอาหารที่มีผลในการลด reactive oxygen species (ROS) หรือ reactive nitrogen species (RNS) ในร่างกาย (Huang *et al.*, 2005) ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, $O_2^{\cdot-}$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $HO^{\cdot}$) กรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid, $HOCl$) อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical, $ROO^{\cdot}$) ซิงเกิลออกซิเจน (singlet oxygen, 1O_2) และเปอร์ออกซิลไนไตรท์ (peroxyl nitrite, $ONOO^{\cdot}$) (Sánchez-Moreno, 2002) สารต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญทั้งในระบบอาหารโดยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในอาหาร โดยเฉพาะไขมัน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา รวมทั้งมีประโยชน์ต่อระบบร่างกายโดยช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น

บทบาทของสารต้านออกซิเดชันต่อสุขภาพ

ในระบบร่างกายอนุมูลอิสระสามารถสังเคราะห์ขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น การสูบบุหรี่ การฉายรังสี และการรั่วของไมโทคอนเดรีย เป็นต้น (Yoshikawa, 1997) ซึ่งอนุมูลอิสระที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีน ดีเอ็นเอ (DNA) และไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ส่งผลให้เกิดความเสียหายและสูญเสียหน้าที่แก่เซลล์ ส่งผลให้เกิดสภาวะก่อโรครังแสดงในภาพที่ 7

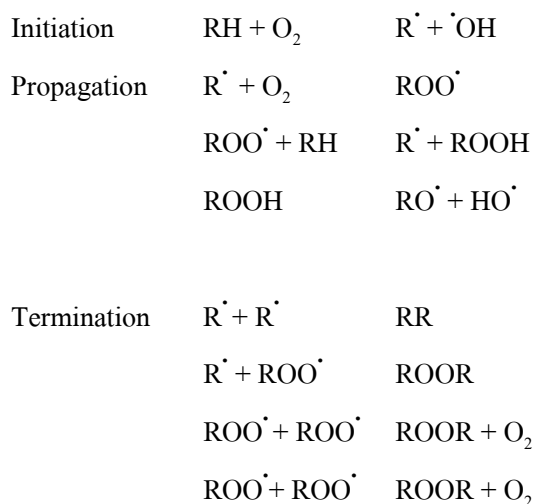


ภาพที่ 7 บทบาทของอนุมูลอิสระต่อการก่อให้เกิดสภาวะก่อโรค

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshikawa (1997)

บทบาทของสารต้านออกซิเดชันต่อความคงตัวของอาหาร

อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบเช่นกรดไขมันโอเลอิก (oleic) ลิโนลิก (linoleic) และลิโนลินิก (linolenic) อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันเหล่านี้เพิ่มขึ้นตามระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน กลไกโดยทั่วไปของการเกิดออกซิเดชันของไขมันประกอบด้วย 3 ขั้นตอน 1) ขั้น initiation ซึ่งเป็นขั้นตอนการสังเคราะห์อนุมูลอิสระ 2) ขั้น propagation เป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ และ 3) termination ซึ่งเป็นขั้นตอนการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไม่ใช่อนุมูลอิสระ ดังภาพที่ 8

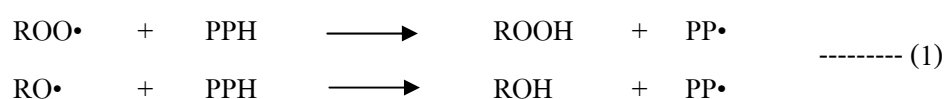


ภาพที่ 8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

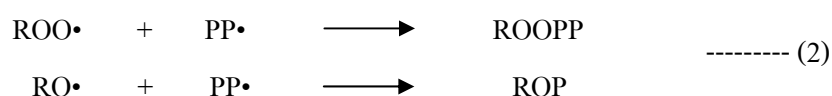
ที่มา: พิชญ์อร (2547)

โดยที่ RH คือกรดไขมันไม่อิ่มตัว $R^\cdot$ คืออนุมูลอิสระที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงไฮโดรเจนอะตอมออกจากคาร์บอนอะตอมบริเวณพันธะคู่ และ ROOH คือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ สารประกอบพวกเฮกซานัล (hexanal) เพนทานัล (pentanal) และ มาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนซึ่งก่อให้เกิดอนุมูลอิสระแล้วเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปนั้นจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น การแตกออกของ hydroperoxide แสง ความร้อน รวมทั้งโลหะหนักที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (พิชญ์อร, 2547)

กลไกการต้านออกซิเดชันในระบบร่างกายและการป้องกันกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระบบอาหาร คือสารต้านออกซิเดชันจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วดังสมการที่ 1 (Bravo, 1998)



เมื่อให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว ตัวของสารต้านออกซิเดชันจะกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง 2 เท่า ดังสมการที่ 2



แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ของสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับสเตรทที่เป็นเป้าหมายของระบบ (Frankel, 1999)

หลักการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน

1. วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (based on hydrogen atom transfer (HAT) reaction)

วิธีการนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการแข่งขันระหว่างสารต้านออกซิเดชัน กับสารตั้งต้นของปฏิกิริยา โดยจะมีการกระตุ้นสารประกอบอะโซ (azo compounds) ด้วยความร้อนเพื่อให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นอนุมูลเพอร์ออกซิลเพื่อเป็นตัวแทนอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (Huang *et al.*, 2005) วิธีการในกลุ่มนี้ได้แก่ oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay และ total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay มีกลไกดังแสดงในสมการที่ 3 ซึ่งวิธีการกลุ่มนี้จะวัดปริมาณอะตอมไฮโดรเจนที่มีการแลกเปลี่ยน โดยจะวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลงเมื่อเกิดการออกซิเดชัน เมื่อระบบมีสารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะไปแย่งจับสารเรืองแสง ส่งผลให้ความเข้มสารฟลูออเรสเซนต์ลดลงด้วยความเร็วที่ช้าลง ส่วนกลไกในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นเริ่มต้น (initiation stage) ขั้นต่อเนื่อง (propagation stage) ขั้นยับยั้ง (inhibition stage) และขั้นสิ้นสุด (termination stage) แสดงในสมการที่ 4-11



เมื่อ $X\cdot$ = สารประกอบต่างๆ
 AH = สารต้านออกซิเดชัน

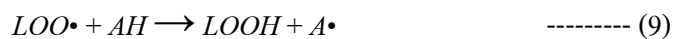
Initiation



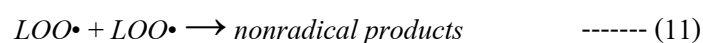
Propagation



Inhibition



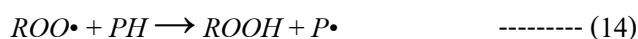
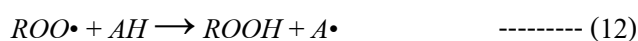
Termination



เมื่อ R_2N_2 = สารประกอบอะโซ (azo compound)
 $ROO\cdot$ = อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxyl radical)
 LH = สารตั้งต้น (substrate)
 AH = สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

วิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ORAC และ TRAP จำเป็นต้องใช้สารตัวแทนเพื่อเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา (probes หรือ substrates) โดยสารต้านออกซิเดชันจะแย่งกันทำปฏิกิริยากับสาร

ตั้งต้น ในระบบการทดลองจะประกอบด้วย สารกลุ่มอะโซเพื่อผลิตอนุมูลอิสระ (AAPH) probes เพื่อติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (สารฟลูออเรสซิน) และสารต้านออกซิเดชัน โดย AAPH จะถูกให้ความร้อนเพื่อสร้างอนุมูลเพอร์ออกซิล เมื่อใส่ฟลูออเรสซิน และสารต้านออกซิเดชันแล้ว จะเกิดการแย่งกันทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซิล โดยสารต้านออกซิเดชันจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว เมื่อสารต้านออกซิเดชันทำปฏิกิริยาจนหมดแล้วสารฟลูออเรสซินจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่อ การเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์จึงค่อยๆ ลดลง กลไกการแย่งทำปฏิกิริยาของสารต้านออกซิเดชันและฟลูออเรสซินแสดงในสมการที่ 12-15

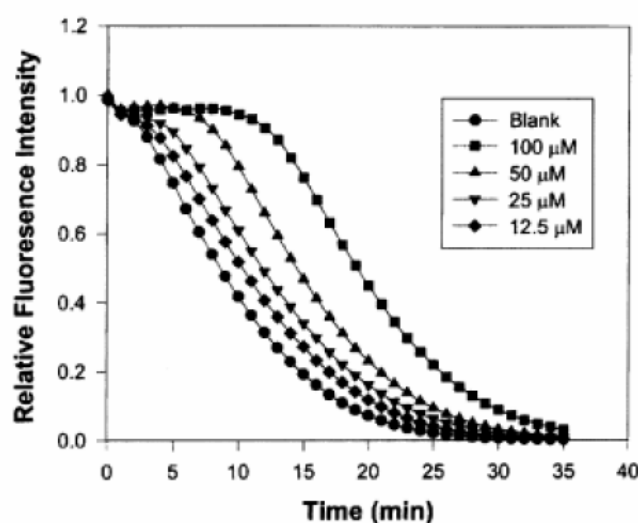


เมื่อ PH = สารตัวแทนสารตั้งต้น (oxidized probes)

1.1 Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay

วิธีนี้เป็นการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยอาศัยหลักการลดลงของแสงฟลูออเรสเซนซ์เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Prior *et al.*, 2005) โดยเมื่อฟลูออเรสซินทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซิลแล้วความเข้มของแสงจะลดลง หากในระบบมีปริมาณสารต้านออกซิเดชันน้อยจะทำให้ความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณสารต้านออกซิเดชันมากความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์จะลดลงช้า เนื่องจากอนุมูลอิสระต้องทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันจนหมดก่อนแล้วจึงทำปฏิกิริยากับฟลูออเรสซิน วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และสามารถใช้ได้ทั้งการวัดสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในพืชและระบบร่างกายวิธี ORAC นี้เป็นการรวมกันระหว่างการหาค่าเวลาในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (inhibition time) และปริมาณการยับยั้งอนุมูลอิสระ ในขณะที่วิธีการอื่นมักหาค่าเวลาในการยับยั้งเมื่อกำหนดปริมาณการยับยั้งอนุมูลอิสระ หรือหาปริมาณในการยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อกำหนดระยะเวลาหลักการโดยย่อของวิธี ORAC คือนำตัวอย่าง หรือตัวแทนควบคุม (control) หรือสารมาตรฐาน (standard) ผสมกับสารฟลูออเรสซิน แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วเติม AAPH เพื่อเริ่ม

ปฏิกิริยา วัดความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่น 485 nm excitation/525 nm emission เป็นเวลา 35 นาทีโดยประมาณ และตั้งอุณหภูมิภายในเครื่องที่ 37 องศาเซลเซียส โดยในการทดลองใช้สาร Trolox (สารจำลองของวิตามินอี) ความเข้มข้น 4-5 ระดับ เป็นสารมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11 นำผลที่ได้คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve, AUC) แล้วคำนวณเป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟสุทธิ (net AUC) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox (Y) (μM) กับพื้นที่ใต้กราฟ (X)



ภาพที่ 9 การลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์สัมพันธ์ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน

ที่มา: Huang *et al.* (2005)

การวัดค่าด้วยวิธี ORAC นี้ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีขึ้นควรใช้ปเปตชนิดหลายทาง (multichannel) เพื่อใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างลงในไมโครเพลตให้สั้นที่สุด ควบคู่กับเครื่องอ่านค่าพร้อมถาดชนิด 96 หรือ 48 หลุม นอกจากนั้นวิธีนี้ค่อนข้างไวต่ออุณหภูมิ จึงต้องควบคุมทั้งอุณหภูมิภายในเครื่อง และอุณหภูมิของบัฟเฟอร์ที่นำมาใช้ให้อยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาละลายสาร AAPH สิ่งสำคัญอีกเรื่องหนึ่งคือในการทดลองแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลาเกิน 1 ชั่วโมง เนื่องจากสารหมดประสิทธิภาพ

1.2 Total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้หลักการเดียวกับวิธี ORAC คือใช้สาร AAPH ในการผลิตอนุมูลเพอร์ออกซิล ผลที่ได้เปรียบเทียบกับ Trolox และใช้สารฟลูออเรสซินเป็นสารเรืองแสงเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงที่ วิธี ORAC ตรวจสอบความเข้มของแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ ในขณะที่วิธี TRAP ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาโดยดูที่เวลาการเกิดปฏิกิริยาเป็นหลัก ผลที่ได้คำนวณออกมาเป็นค่าไมโครโมลของอนุมูลเพอร์ออกซิลที่ถูกจับไว้ต่อพลาสมา 1 ลิตร แต่วิธีการนี้มีปัญหาเนื่องจากมีจุดสิ้นสุดของปฏิกิริยา (endpoint) หลายจุด ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนในการทดลองได้

2. วิธีการที่วัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (based on single electron transfer (SET) reaction)

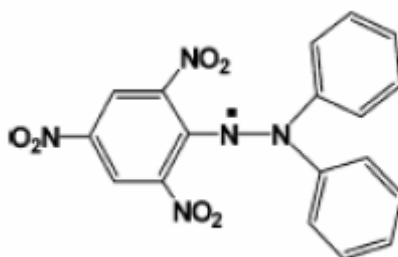
วิธีการนี้จะวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในปฏิกิริยาการรับของตัวรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยานี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนสีจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชัน คือถ้าสารต้านออกซิเดชันมีความเข้มข้นมากสีของสารละลายก็จะลดลงเร็วขึ้น วิธีการในกลุ่มนี้ ได้แก่ total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR), 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay, trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay และ ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay มีกลไกดังแสดงในสมการที่ 16



2.1 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay

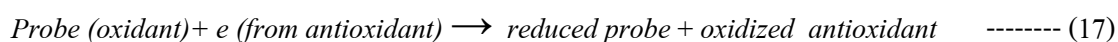
วิธีนี้จะวัดความสามารถในการยับยั้ง 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ดังภาพที่ 10 โดย DPPH เป็นสารอนุมูลในโตรเจนที่ค่อนข้างคงตัว โดยขณะเริ่มต้นการทดลองจะให้สารสีเข้ม เมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้นสารจะมีสีซีดจางลง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ตามระยะเวลาที่กำหนด หากในระบบมีปริมาณสารต้านออกซิเดชัน

มาก สีของสารละลายก็จะลดลงเร็ว กลไกของการเกิดปฏิกิริยาแสดงในสมการที่ 17 ค่าที่ได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แสดงเป็นร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity) ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ร้อยละ 50 จากปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้น (IC_{50}) หรือค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antiradical efficiency, AE)



ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH

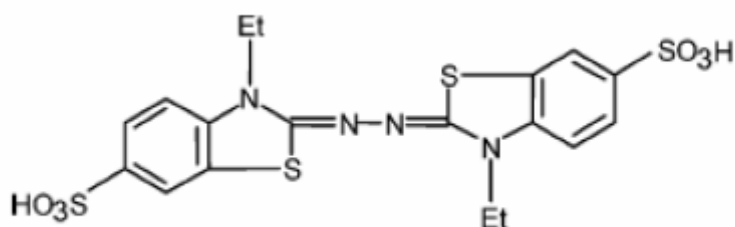
ที่มา: Prior *et al.* (2005)



วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย และใช้เครื่องมือแค่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงเท่านั้น เหมาะสำหรับวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันในน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือในสารสกัดผักและผลไม้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันในพลาสมา เนื่องจากสาร DPPH ต้องละลายในเมทานอล จึงส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Sánchez-Moreno, 2002) วิธีการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ เช่น DPPH TEAC และ FRAP จะมีความสัมพันธ์ดีมาก ($R^2 > 0.99$) กับการวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกเดียวกัน (Huang *et al.*, 2005) แต่ในบางกรณีสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดมีที่ประสิทธิภาพดี วัดผลได้รวดเร็วเมื่อวัดด้วยวิธีอื่น อาจให้ผลที่ไม่ดี หรือให้ผลการยังยั้งช้าเมื่อวัดด้วยวิธีนี้ เนื่องจากเป็นวิธีการวัดกลไกที่แตกต่างกัน

2.2 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS assay

วิธีนี้เป็นวิธีการวัดความเข้มข้นของ Trolox ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันต่อ 0.1 มิลลิโมลาร์ของสารตั้งต้นที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (ABTS radical cation, $ABTS^{\cdot+}$) โดยสาร ABTS (2, 2'-azobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate)) มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งในสภาวะปกติจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 342 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นให้ผลิตอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนมาดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร หลักการของวิธีนี้คือวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการยับยั้งอนุมูลเพอร็อกซิไลของ ABTS วัดได้จากการลดลงของสีในสารละลาย



ภาพที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของ ABTS

ที่มา: Prior *et al.* (2005)

สารต้านจุลินทรีย์

สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agents) หมายถึง สารประกอบเคมีที่ออกฤทธิ์ต่อต้านหรือทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้อยู่แบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 กลุ่ม (วันชัย, 2546) คือ

1. สารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ซึ่งแบ่งตามแหล่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1.1 แหล่งจากพืช (plant sources)

1.1.1 สมุนไพรและเครื่องเทศ เช่น อบเชย กระเทียม ขิง เป็นต้น

1.1.2 น้ำมันหอมระเหย เช่น ซินนามิกอัลดีไฮด์ (cinnamic aldehyde) ที่ทรีออยล์ (tea tree oil) เป็นต้น

1.2 แหล่งจากสัตว์ (animal sources) เช่น ไคโตซาน (chitosan) แลคโตเปอร์ออกซิเดส (lactoperoxidase system) เป็นต้น

1.3 แหล่งจากเชื้อจุลินทรีย์ (microbial sources) เช่น แบคทีริโอซิน (bacteriocins) เป็นต้น

2. สารที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี เช่น โซเดียมเบนโซเอต (sodium benzoate) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) ไนไตรท์ (nitrite) เป็นต้น

กลไกในการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์

สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็นกลุ่มตามกลไกการทำงานและเป้าหมายที่สารต้านจุลินทรีย์ออกฤทธิ์ ได้เป็น 3 กลุ่ม (วันชัย, 2546) คือ

1. สารต้านจุลินทรีย์ที่มีผลต่อผนังเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์จุลินทรีย์ผิดปกติ รวมถึงการเข้าไปขัดขวางกระบวนการสร้างผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย ตัวอย่างของสารต้านจุลินทรีย์ที่มีผลต่อผนังเซลล์จุลินทรีย์ ได้แก่ เอนไซม์ไลโซไซม์ เป็นต้น

2. สารต้านจุลินทรีย์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์เป็นสิ่งจำเป็นในปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์ ถ้ามีการยับยั้งเอนไซม์ก็ส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ตัวอย่างของสารต้านจุลินทรีย์ที่ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ ฮาโลเจน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไอออนของโลหะ เช่น เงิน เป็นต้น

3. สารต้านจุลินทรีย์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งหรือทำลายการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมผิดปกติไป ทำให้เซลล์ถูกทำลายได้ในที่สุด ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ที่ไปยับยั้งหรือทำลายการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ได้แก่ ซัลฟาไมด์ (sulfanilamide) เป็นต้น

การทดสอบประสิทธิภาพความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

ปัจจุบันมีสารหลายชนิดที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์และสามารถนำมาใช้ในอาหารได้ แต่การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ บางครั้งยากที่จะนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับโดยปกติวิธีทดสอบประสิทธิภาพสารต้านจุลินทรีย์ นิยมอ้างอิงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (minimum inhibitory concentration หรือ MIC) แต่การที่จะได้ค่า MIC นี้ได้จากเทคนิคหลายวิธีด้วยกัน ด้วยเหตุนี้ข้อมูลการเปรียบเทียบศักยภาพสารต้านจุลินทรีย์ในอาหารหลายๆ ชนิดจึงคลาดเคลื่อนได้เพราะวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามได้แบ่งวิธีทดสอบประสิทธิภาพความสามารถในการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ในอาหารเพื่อให้เกิดรูปแบบและมาตรฐานเดียวกัน (Davidson *et al.*, 2005) ดังมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบในหลอดทดลองหรือ “*in vitro*” ประกอบด้วย (1) วิธี endpoint เป็นวิธีที่จุลินทรีย์ทดสอบอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ ทิ้งให้สัมผัสในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลการทดลองแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด (2) วิธี descriptive เป็นการสุ่มตัวอย่างจุลินทรีย์ทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในแต่ละช่วงเวลาการเจริญนั้นๆ

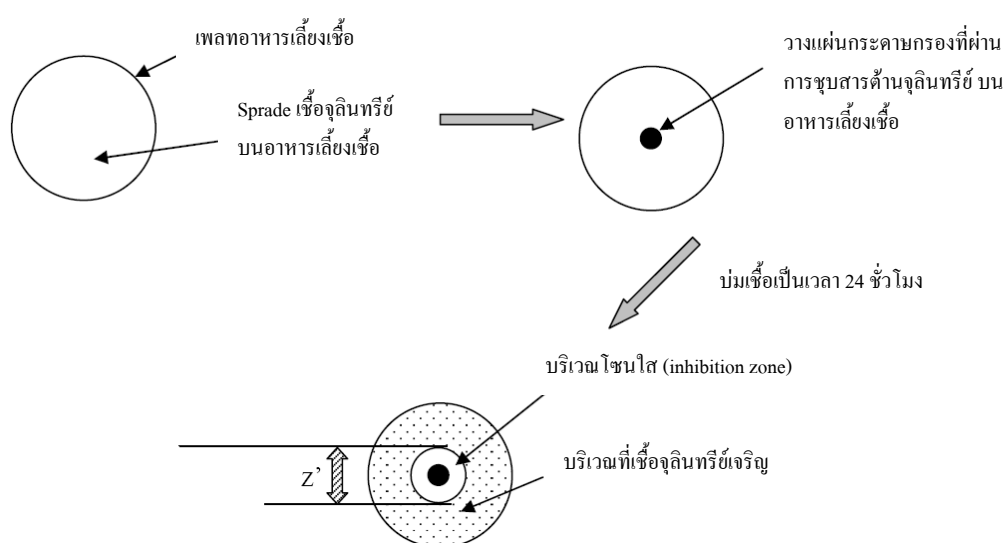
วิธี endpoint

เป็นวิธีที่นิยมโดยทั่วไปวิธีนี้แยกได้ 2 วิธี ได้แก่

1. วิธี agar diffusion

เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบกันอย่างแพร่หลาย โดยให้สารที่คาดว่าจะมีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ซึมเข้าไปในเนื้อวุ้นของอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วตรวจสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งอยู่บนผิววุ้นหรืออยู่ในเนื้อวุ้น สารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทดสอบอาจอยู่ในรูปของแผ่นกระดาษกรองรูปกลมหรือดิสก์ (disk) เนื่องจากคุณสมบัติของเหลวได้ดี รูปกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ชุบสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ หากไม่ใช้ดิสก์จะใช้วิธีเจาะเป็นหลุมในวุ้นโดยตรง หยดสารที่ต้องการทดสอบนั้นลงไป สารยับยั้งจุลินทรีย์จะค่อยๆ ซึมเข้าไป

ในวุ้นแผ่นเป็นรัศมีโดยรอบ ปริมาณสารลดลงเป็นสัดส่วนกับระยะทางจากจุดเริ่มต้น จุลินทรีย์ทดสอบถูกยับยั้งการเจริญได้ด้วยปริมาณของสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่เดิมในดิสก์หรือในหลุม บริเวณใดไม่มีจุลินทรีย์เจริญบริเวณนั้นเกิดเป็นวงใสรอบดิสก์ที่เรียกว่า บริเวณยับยั้ง (zone of inhibition, Z') แสดงว่า สารที่คาดว่ายับยั้งจุลินทรีย์นั้นมีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้จริง วงใสรอบดิสก์ขยายมากหรือน้อยก็สามารถเปรียบเทียบในแง่ปริมาณของสาร หรือในแง่ของประสิทธิภาพการยับยั้งที่ต่างกันได้ ดังแสดงภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การหาค่าบริเวณยับยั้งโดยวิธี paper disk diffusion

ที่มา: คัดแปลงจาก Davidson *et al.* (2005)

ข้อจำกัดของวิธี agar diffusion คือเป็นการทดสอบแบบกึ่งคุณภาพ แม้ว่าจะหาค่า MIC ได้แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากวิธีที่สองที่จะกล่าวถึงต่อไป คือวิธี dilution เหมาะสมในการทดสอบแบบปริมาณมากกว่า วิธี dilution ยังแก้ปัญหาจุลินทรีย์ที่เจริญช้าหรือจุลินทรีย์ชนิดไม่ต้องการออกซิเจน ในขณะที่วิธี agar diffusion มีข้อจำกัดคือสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ หากมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สูง จะแพร่ผ่านวุ้นไม่ดี สารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ จึงควรมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) หากสารมีสมบัติไม่ชอบน้ำ การทดสอบประสิทธิภาพยับยั้งจุลินทรีย์อาจเกิดความผิดพลาดได้

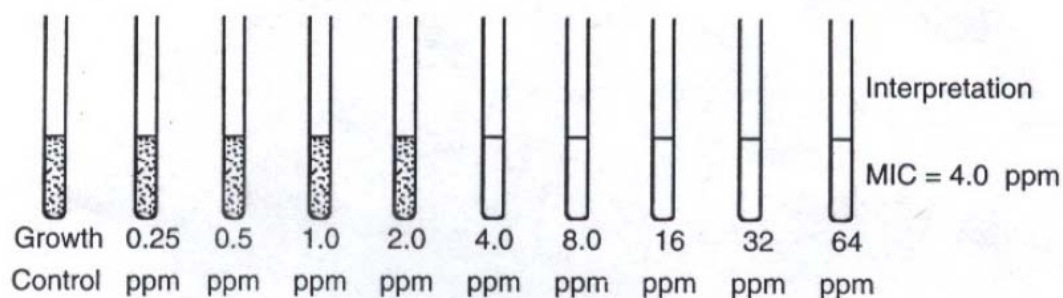
2. วิธี dilution

วิธีนี้สามารถทดสอบได้ทั้งในระบบอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง และระบบอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวเรียกว่าวิธี agar dilution และ broth dilution ตามลำดับ โดยทั่วไปเป็นการทดสอบแบบปริมาณวิเคราะห์เพื่อให้ทราบปริมาณสารที่จุลินทรีย์ถูกยับยั้ง โดยวิธี dilution สามารถทดสอบกับจุลินทรีย์ที่มีการเจริญแบบต้องการออกซิเจน ไม่ต้องการออกซิเจน และต้องการออกซิเจนน้อยในการเจริญได้ (microaerophilic) ดังนั้นจึงเหมาะสมในการตรวจประสิทธิภาพของสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดใหม่เนื่องจากยืดหยุ่นต่อปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

วิธี agar dilution เริ่มจากการนำสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องทดสอบ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่หลอมเหลว แล้วเทบนจานเพาะเชื้อจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง จากนั้นนำจุลินทรีย์ที่กำหนดความเข้มข้นเซลล์เป็น $7 \log \text{CFU/ml}$ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร หยดบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง จำนวนเชื้อเริ่มต้นบนจานเพาะเชื้อกำหนดให้มีปริมาณ $4 \log \text{CFU/ml}$ จากนั้นนำจานเพาะเชื้อ ไปบ่มให้เจริญตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ตรวจหาค่า MIC เป็นลำดับต่อไป ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถเห็นโคโลนีของจุลินทรีย์ทดสอบ ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อมีการกลายพันธุ์หรือมีการปนเปื้อนจากเชื้ออื่น ลักษณะโคโลนีที่ปรากฏก็จะแตกต่างกันไปและสามารถทดสอบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสีขุ่นได้

วิธี broth dilution ทดสอบโดยนำสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เติมจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการทดสอบที่มีความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้นเป็น $5.7 \log \text{CFU/ml}$ ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารยับยั้งที่ต้องการทดสอบนั้นๆ แล้วนำไปเพาะเชื้อในระยะเวลาที่กำหนดเช่น 24 และ 48 ชั่วโมง ตรวจหาค่า MIC ด้วยการวัดปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิต แสดงด้วยค่าการดูดกลืนคลื่นแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ข้อดีของ broth dilution คือสามารถหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ (minimum bactericidal concentration; MBC หรือ minimum lethal concentration; MLC) ได้ นอกจากนั้นวิธี broth dilution สามารถทดสอบสารยับยั้งในระดับปริมาณน้อยๆ ได้ เช่น 50-100 ไมโครลิตร ในไมโครไทเทอร์เพลท ทำให้ประหยัดสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ ได้ผลการทดสอบเร็วและสะดวก แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือไม่สามารถทราบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นกับจุลินทรีย์ทดสอบได้ และไม่สามารถใช้ทดสอบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสี

เช่น นอกจากนั้นอาจมีความผิดพลาดได้เนื่องจากการใช้สารในปริมาณที่น้อย หากการเจือจางคลาดเคลื่อนทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้



ภาพที่ 13 การหาค่า MIC โดยวิธี broth dilution

ที่มา: คัดแปลงจาก Davidson *et al.* (2005)

วิธี Descriptive

เป็นอีกวิธีที่นิยมมี 2 วิธีย่อย คือ

1. time-kill curve

ได้แก่การศึกษาประสิทธิภาพสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่เดิม เชื้อจุลินทรีย์ทดสอบ กลุ่มตัวอย่างที่ชั่วโมงต่างๆ กันตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง ตรวจสอบจำนวนหรือโคโลนีที่ปรากฏ ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนของจุลินทรีย์ที่เวลาต่างๆ กัน ทำให้ทราบว่าสารยับยั้งที่ต้องการทดสอบชนิดนั้นๆ ทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ หรือยั้งระยะ log phase ของจุลินทรีย์ ให้นานออกไปเท่าใดจากกราฟจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตและเวลา แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือจะต้องใช้แรงงานมากและมีค่าใช้จ่ายสูง

2. วัดความขุ่น (turbidimetric)

ได้แก่การศึกษาประสิทธิภาพสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่เพาะเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบ วัดความขุ่นของเชื้อที่ชั่วโมงต่างๆ กันด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ข้อเสียวิธีนี้คือขึ้นกับความไวต่อการวัดของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยทั่วไปเครื่องมือนี้สามารถวัดความขุ่นหรือการเจริญของเชื้อในช่วง 6-7 log CFU/ml แต่ถ้ามีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำกว่า 5 log CFU/ml จะไม่สามารถวัดความขุ่นหรือการเจริญได้ ทำให้แปลผลผิดพลาดว่าเชื้อไม่เจริญซึ่งให้ผลคลาดเคลื่อนได้

กุนเชียง

กุนเชียง (chinese sausage) เป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ชนิดหนึ่งที่คนไทยคุ้นเคยและนิยมบริโภคมานาน กุนเชียงส่วนใหญ่ทำด้วยเนื้อหมูปนไขมันหมูผสมกับสิ่งปรุงรสอื่นๆ เช่น เกลือ น้ำตาล ขณะนี้มีการผลิตกุนเชียงไปจำหน่ายในตลาดบ้างแล้ว (กาญจนารัตน์ และคณะ, 2532) กุนเชียงที่ทำจากเนื้อหมู ได้รับความนิยมบริโภคกันมากเนื่องจากมีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งมีไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 มีความชื้นไม่เกินกว่าร้อยละ 30 และเนื่องจากกุนเชียงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขายกันมาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่ทำจากเนื้อหมูและเนื้อไก่ไว้ตาม มอก 914-2539

กุนเชียงเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) ต่ำ ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์แบ่งได้ดังนี้ (Miller, 1958)

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากงานวิจัยพบว่าเนื้อที่มี pH ประมาณ 6.0 หรือต่ำกว่านั้นจะมีโอกาสเสื่อมเสียจากแบคทีเรียน้อยกว่าเนื้อที่มี pH สูงว่า ในสภาวะเดียวกัน

2. ปริมาณไขมันเกี่ยวข้องกับการหืน (rancidity) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณออกซิเจน อณูอนุมิ แสง และ pro-oxidant catalyst (เช่น เหล็ก หรือทองแดง) นอกเหนือจากนี้ก็มีพวกสารเคมีต่างๆ เช่น โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ strong oxidizing agent ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มของกลิ่นหืนเช่นกัน

3. จุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเน่าเสีย โดยการย่อยสลายโปรตีน ในปฏิกิริยาอาจเกิดได้ทั้งการเปลี่ยนกลิ่นรสหรือการเกิดก๊าซ จากการเจริญของแบคทีเรียในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งย่อยสลายสารคาร์โบไฮเดรต ทำให้เกิดกรด กรดส่วนใหญ่ที่เกิดเป็นพวกกรดแลกติก ซึ่งทำให้ค่า pH ต่ำ และรสเปรี้ยว ก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide; CO₂) ซึ่งไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส นอกจากนี้ปฏิกิริยาจากจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.1 การเปลี่ยนสี (microbial discoloration) อาจปรากฏเป็นสีเขียวตรงจุดกึ่งกลางของชิ้น (green cores) วงแหวนสีเขียว (green rings) การเกิดสีเขียวที่ผิว (surface greening) และสีซีดจาง (color fading)

- การเกิดสีเขียวตรงจุดกึ่งกลางของชิ้น เป็นสภาพที่เกิดจาก greening bacteria ไม่ได้ถูกทำลายระหว่างการทำให้สุก และจะแสดงสีเขียวเมื่อผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์นั้นถูกตัดให้สัมผัสกับอากาศ แบคทีเรียจำพวกนี้ได้แก่ *Lactobacillus viridescens* ซึ่งผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสาร oxidizing ที่จะทำให้สีเปลี่ยนไป การเปลี่ยนสีอาจเกิดขึ้นช้าหรือเร็วก็ได้ การทำลายแบคทีเรียพวกนี้ควรใช้อุณหภูมิ 66.0–68.3 องศาเซลเซียส

- การเกิดวงแหวนสีเขียว เป็นลักษณะปรากฏของวงแหวนสีเขียว ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากเสร็จขบวนการผลิตแล้ว 1-2 วัน จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดสภาพนี้สามารถเจริญได้ที่ 4 องศาเซลเซียส

- การเกิดสีเขียวที่ผิว เป็นลักษณะปรากฏที่ผิวเป็นสีเขียว เกิดจาก greening bacteria และสีเขียวที่เกิดขึ้นที่สังเกตยากจะปรากฏชัดหลังจากสิ้นสุดกระบวนการผลิต 5 วัน หรือ 2 สัปดาห์ไปแล้ว แบคทีเรียพวกนี้ปกติจะปนเปื้อนในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุที่ความดันบรรยากาศจะเกิด surface greening มาก เพราะแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องเป็นพวกใช้ออกซิเจน (aerobic) surface greening จะไม่เกิดขึ้นในการบรรจุระบบสุญญากาศ (vacuum-packaged)

3.2 การเจริญของจุลินทรีย์เป็นวงกว้าง (macroscopic microbial growth)

- Slime สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า มีลักษณะเป็นเมือกเหนียว อาจทำให้กลืนไม่ปกติ มีสีขาวบางครั้งสีเหลืองปรากฏบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ แต่ไม่ค่อยพบในการบรรจุระบบสุญญากาศ

- เชื้อรา เป็นการปนเปื้อนทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อ และขยายตัวเร็วกว่าแบคทีเรียและยีสต์ พวกเราต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต และจะไม่เจริญในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบสุญญากาศ สามารถถูกทำลายได้โดยการให้ความร้อน (Kramlich *et al.*, 1980)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

มะม่วงพันธุ์มหาชนกจากแหล่งปลูกในจังหวัดจันทบุรี และมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากแหล่งปลูกในจังหวัดตราดตามลำดับคัดเลือกมะม่วงที่มีความบริบูรณ์เท่ากันโดยใช้การนับวันหลังจากปฏิสนธิเป็นดัชนีวัดระดับความบริบูรณ์ (Singh *et al.*, 1937) มะม่วงที่นำมาทดลองมีความบริบูรณ์ 4 ระดับ คือ มะม่วงซึ่งเก็บเกี่ยวที่ระยะ 49 วัน 77 วัน 100 วัน และ 120 วันหลังปฏิสนธิ (ภาพผนวกที่ ก1) เนื้อหุ้มส่วนสะโพกหุ้ม มันหุ้ม น้ำตาล ผงชูรส เกลือ และเครื่องเทศ ได้แก่ พริกไทย ผงพะโล้ ผงอบเชย ผงเพร็ก และผงโซเดียมอริทโรเบท ซื้อมาจากศูนย์การค้าบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

2. สารเคมี

- 2.1 1,1,3,3-เตตระเอททอกซีโพรเพน (1,1,3,3-tetraethoxypropane approx 97%; $(C_2H_5O)_2CHCH_2CH(OC_2H_5)_2$; Sigma-Aldrich, St. Louise, Germany)
- 2.2 2, 2'-อะโซบิส (2-อะมิดีโนโพรเพน) ไฮโดรคลอริก; (2, 2'-azobis-(2-amidinopropane) HCl, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.3 2, 2'-อะซิโน-บิส(3-เอทิลเบนโซไทอะโซลิโน-6-ซัลโฟนิค แอซิด); (2, 2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt): ABTS, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.4 2, 2'-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดราซิล; (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Aldrich, Steinheim, Germany): DPPH, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.5 กรด 2 (เอ็น-มอร์โฟลิโน) อีเทนซัลโฟนิค; 2 (N-morpholino) ethanesulfonic acid: MES, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.6 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid; $C_6H_8O_6$; food grade, ห้างหุ้นส่วนจำกัดแซทเทอร์น เคมิกอล)

- 2.7 กรดแกลลิก (Gallic acid; $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{H}$: Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.8 กรดบอริก (Boric acid; H_3BO_3 : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.9 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4 : Analytical grade, J.T. Baker, U.S.A.)
- 2.10 กรดอะซิติก (Acetic acid; CH_3COOH : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.11 กรดแลกติก (Lactic acid; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$: Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.12 กรดไฮโดรคลอริก 37% (37% Hydrochloric acid; HCl : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.13 กรด 2-ไทโอบาบิทริก (2-Thiobarbituric acid; $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$, Sigma-Aldrich, St. Louise, Germany.)
- 2.14 แคททีน ((+)-Catechin hydrate minimum 98%: HPLC grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.15 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper(II)sulphate; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.16 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3 : Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.17 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.18 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate; Na_2SO_4 : Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.19 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl : Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.20 โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite; NaNO_2 : Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.21 เมทานอล (Methanol; CH_3OH : Analytical grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, New Jersey, U.S.A.)
- 2.22 เมทานอล (Methanol; CH_3OH : HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, New Jersey, U.S.A.)

- 2.23 ได-โพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Di-potassium hydrogen phosphate; K_2HPO_4 ; Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.24 ไตรเอทิลเอมีน (Triethylamine; $N(CH_2CH_3)_3$; Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.25 โฟลิน-ซีโอเคาท์ (Folin-Ciocalteu reagent; Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.26 โพแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Potassium di-hydrogen phosphate; KH_2PO_4 ; Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.27 บีตา-แคโรทีน (β -carotene type II synthetic $\geq 95\%$ crystalline; $C_{40}H_{56}$, HPLC, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.28 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether : Analytical grade, J.T. Baker, U.S.A.)
- 2.29 อะซีโตรไนล์ (Acetonitrile; CH_3CN ; HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, New Jersey, U.S.A.)
- 2.30 อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride; $AlCl_3 \cdot 6H_2O$; Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.31 เอทานอล (Ethanol; C_2H_5OH ; Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.32 อะซีโตน (Acetone; CH_3COCH_3 ; Analytical grade, Fisher Scientific, Leicestershire, UK)
- 2.33 เอนไซม์เทอร์โมสตาเบิล แอลฟา-แอมเลส (Thermostable α -amylase, Megazyme, Wicklow, Ireland)
- 2.34 เอนไซม์โปรติเอส (Protease, Megazyme, Wicklow, Ireland)
- 2.35 เอนไซม์แอมิโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase, Megazyme, Wicklow, Ireland)
- 2.36 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide; KOH; Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.37 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate; K_2SO_4 ; Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.38 ทริส (ไฮดรอกซีเมทิล)เอมีโนมีเทน; tris (hydroxymethyl)aminomethane: TRIS, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)
- 2.39 โบรโมไทมอลบลู (Bromothymol blue; $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

2.40 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green; $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

2.41 เบลนด์ฟอสเฟต (Blended phosphate (MP-Sausplus), Thai Polyphosphate & Chemicals Co., LTD, Samutphrakarn, Thailand)

2.42 เฮกเซน (Hexane; C_6H_{12} ; Analytical grade, J.T. Baker, U.S.A.)

3 จุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

3.1 เชื้อจุลินทรีย์

3.1.1 *Bacillus cereus* ได้รับความ จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

3.1.2 *Listeria monocytogenes* จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ 101 108 310 Scott A และ V7 ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3 *Salmonella enterica* serotype Typhimurium definitive phage type DT104 สายพันธุ์ 2380, 2486 และ 13311 ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ

3.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Plate count agar (PCA) (Merck, Germany)

3.2.2 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Potato dextrose agar (PDA) (Merck, Germany)

3.2.3 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Tryptic soy agar (TSA) (Merck, Germany)

3.2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Tryptic soy Broth (TSB) (Merck, Germany)

3.2.5 เปปโตน (Peptone) (Merck, Germany)

4. อุปกรณ์

4.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.)

- 4.2 เครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, U.S.A.)
- 4.3 เครื่องทำความสะอาดด้วยระบบคลื่นเสียง (Bandelin Sonorex, Model RK 52, Berlin, Germany)
- 4.4 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter, Orion, U.S.A.)
- 4.5 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) Model ATAGO N - α (0-32 %Brix)
- 4.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Model WB 7/14/22/29/45, Schwach, Germany)
- 4.7 เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer, T10 basic, Australia)
- 4.8 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
- 4.9 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer, genie II, U.S.A.)
- 4.10 เครื่องตีปั่นผสม (Window door(W), Interscience, France)
- 4.11 ตู้แช่เยือกแข็ง (Freezer) (SF-C995(GYN), Sanyo, Thailand)
- 4.12 เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (Waters, Mailford, Massachusetts, U.S.A.)
- 4.13 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 4.14 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 4.15 เครื่องบด (Grinder, Tritacarne type TS22, OSMA, Oggiona S. Stefano, Italy)
- 4.16 เครื่องสับผสม (Silent cutter, Scharfen, Germany)
- 4.17 มีดปอกผลไม้ (Skin Fruit knife)
- 4.18 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 4.19 นาฬิกาจับเวลา (Digital timer, Model TMR-71, Casio, China)
- 4.20 เครื่องปั่นผสมน้ำผลไม้ (Hitachi, Model VA-M11L, Thailand)
- 4.21 เครื่องบรรจุไส้กรอก (Stuffer, Dadaux, French)
- 4.22 เครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิเปอร์ (Vernier Caliper)
- 4.23 ครุฑชิลหาปริมาณแก้ว (Crucible)
- 4.24 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace Size 3, Gallenkamp, U.K.)
- 4.25 ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium disc)
- 4.26 ตู้ดูดความชื้น (Dessicator)
- 4.27 ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet extractor, Electrothermal ME, England)
- 4.28 ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Buchi, Model k-435, B-414 และ B-324, Switzerland)

- 4.29 กระจกบิลแก้วหาเชื้อไข (Robu-Glas filter, ROBU, Germany)
- 4.30 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freezer dryer, Model Heto FD 2.5, Hetosicc, Denmark)
- 4.31 เครื่องปั่นผสม (Blender, Model R201 ultra, Robot coupe, U.S.A.)
- 4.32 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer: Produce by RELIANCE TECH-SERVICE

Co., Ltd.

- 4.33 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Water bath shaker, Memmert, Germany)
- 4.34 เครื่องกวนสารให้ความร้อนแบบแท่งแม่เหล็ก (Hot plate stirrer, Model SLR, Schott instrument, Germany)
- 4.35 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Memmert, England)
- 4.36 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert, England)
- 4.37 เครื่องวัดสี (Miniscan XE, Hunter Lab, U.S.A.)
- 4.38 ปิเปตอัตโนมัติ (Autopipette, Gilson, France)
- 4.39 ชุดวิเคราะห์ไฟเบอร์ (fibertec system M, Model 1020 hot extractor, Foss, Bangkok, Thailand)
- 4.40 เครื่องผลิตน้ำ deionized (DI) (Model simpakor1, Millipore, U.S.A.)
- 4.41 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator: Buchi Rotavapor R-114, Germany)
- 4.42 ชุดกรอง mobile phase HPLC
- 4.43 อุปกรณ์เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

วิธีการ

1. การเตรียมเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF)

ปอกเปลือกมะม่วงและเตรียมตัวอย่างในรูปแบบเยื่อใยอาหารตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Larrauri *et al.* (1997) โดยนำเปลือกมะม่วงไปผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นบดลดขนาดขณะเปียกโดยใช้เครื่องปั่น (blender, Model R201 ultra, Robot coupe, U.S.A.) นำตัวอย่างเปลือกมะม่วงที่ผ่านการบดลดขนาดไปล้างด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกผลไม้:น้ำ เท่ากับ 1:2 แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำกากที่ได้ไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer, Reliance tech-service co., Ltd.) โดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบพฤกษเคมีของ MPDF สายพันธุ์ห่มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

เตรียม MPDF จากตัวอย่างมะม่วงสายพันธุ์ห่มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโต 49 77 100 และ 120 วันหลังปฏิสนธิ ตามวิธีข้อ 1 เก็บรักษาตัวอย่าง MPDF ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสก่อนการวิเคราะห์ จากนั้นศึกษาปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบพฤกษเคมี ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis)

วิเคราะห์ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และเยื่อใยหยาบของ MPDF ตามวิธีของ AOAC (2002) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดคำนวณจาก 100% ลบด้วยปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และเยื่อใยหยาบ

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber contents)

วิเคราะห์ตัวอย่าง MPDF ตามวิธีของ Lee *et al.* (1992) โดยชั่งตัวอย่าง MPDF น้ก 1 กรัมในบีกเกอร์ 400 มิลลิลิตร เติมสารละลาย MES-TRIS buffer (pH 8.2) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ขณะคนกวนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนแบบแท่งแม่เหล็ก (Hot plate stirrer, Model SLR, Schott instrument, Germany) จากนั้นเติมเอนไซม์ heat-stable α -amylase ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Water bath shaker, Memmert, Germany) อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้แท่งแก้วคนกวนเจลหรือตะกอนด้านข้างบีกเกอร์แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์ protease ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ขณะคนกวนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนแบบแท่งแม่เหล็ก บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 นอร์มอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.1-4.8 (ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5) เติมเอนไซม์ amyloglucosidase แล้วบ่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ตกตะกอนเยื่อใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที กรองตะกอนผ่านครุชเบิลแก้ว (Robu-Glas filter, ROBU, Germany) ล้างตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 78 ร้อยละ 95 และอะซิโตนตามลำดับโดยใช้ปริมาตร 15 มิลลิลิตรในแต่ละสารละลาย อบตะกอนในตู้บ่มลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดโดยนำน้ำหนักตะกอนที่ได้หลังอบลบด้วยน้ำหนักโปรตีนและเถ้า

2.3 สมบัติการต้านออกซิเดชันของ MPDF

2.3.1 การสกัดสารต้านออกซิเดชันจาก MPDF

สกัด MPDF ตามวิธีของ Kim *et al.* (2002) โดยชั่งตัวอย่าง MPDF น้ก 1 กรัม เติมเมทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizer, T10 basic, Australia) โดยหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งเป็นเวลา 2 นาที จากนั้น

โชนิเคด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบคลื่นเสียง (Bandelin Sonorex, Model RK 52, Berlin, Germany) เป็นเวลา 15 นาทีแล้วเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, U.S.A.) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เก็บส่วนใสด้านบน จากนั้นทำการสกัดตะกอนที่เหลือซ้ำด้วยเมทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เก็บส่วนใสและนำมารวมกับสารละลายใสที่สกัดได้จากครั้งแรกแล้วปรับปริมาตรจนได้ 25 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน (polyethylene; PE) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกระทั่งทำการวิเคราะห์

2.3.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity)

ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยใช้สารสกัดที่ได้จากข้อ 2.3.1 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร (หากต้องเจือจางให้ใช้เมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100) จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่า และตั้งที่ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ ค1) รายงานผลเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซี/กรัมน้ำหนักแห้ง)

2.3.3 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity)

ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2002) โดยนำขวดของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer saline: PBS) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปป้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Model WB 7/14/22/29/45, Schwach, Germany) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม AAPH ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ และ ABTS ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ (เตรียมโดยใช้ AAPH น้ำหนัก 27.117 มิลลิกรัมและ

ABTS น้ำหนัก 137.175 มิลลิกรัม)/ PBS 100 มิลลิลิตร) ลงไป ให้ความร้อน 20 นาที โดยกวนทุก 5 นาที และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที กรองสารละลาย อนุมูลอิสระด้วย GHP Acrodisc® 25 mm Syringe Filter with 0.45 μm GHP membrane เจือจางสารละลายที่ได้ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จนกระทั่งได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.650 ± 0.020 นาโนเมตร บ่มสารละลายที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจนกระทั่งวัด ผสมตัวอย่าง (ข้อ 2.3.1) 20 ไมโครลิตร และสารละลายอนุมูลอิสระ 980 ไมโครลิตร และ นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) นำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ ค2) รายงานผล เป็นสมบัตการด้านอนุมูลอิสระ ABTS (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซี/กรัมน้ำหนักแห้ง)

2.4 สมบัตการด้านจุลินทรีย์ของ MPDF

2.4.1 การสกัดสารด้านจุลินทรีย์จาก MPDF

สกัด MPDF โดยใช้วิธีดัดแปลงวิธีของ Kim *et al.* (2002) (ข้อ 2.3.1) โดยใช้ MPDF 5 กรัม และเติมเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปโสมจิไนซ์ ด้วยเครื่องปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizer, T10 basic, Australia) โดยหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นโซนิเคตด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยระบบคลื่นเสียง (Bandelin Sonorex, Model RK 52, Berlin, Germany) เป็นเวลา 15 นาทีแล้วเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, U.S.A.) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที สกัดซ้ำ 2 ครั้ง นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator: Buchi Rotavapor R-114) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (lyophilized: Heto model FD 2.5) ตามลำดับ จากนั้นเติมเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 40 จนได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 25 มิลลิลิตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) จนกระทั่งทำการวิเคราะห์

2.4.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านจุลินทรีย์

ทดสอบสมบัติการต้านจุลินทรีย์โดยวิธี Agar dilution assay ด้วยวิธีของ Thongson *et al.* (2004) โดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์ (minimum inhibitory concentration; MIC) ของ MPDF กับเชื้อจุลินทรีย์ดังต่อไปนี้ *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* สายพันธุ์ 101 108 130 V7 และ Scott A และ *Salmonella* Typhimurium สายพันธุ์ 2380 2486 และ 13311 โดยทำการผสมสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.4.1 กับ อาหารเลี้ยงเชื้อ (เตรียมตามภาคผนวก จ) ในอัตราส่วน ร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 10 โดยที่อัตราส่วน ระหว่างร้อยละ 0.5 ถึง 1 ให้เติมสารสกัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 และอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 1 ถึง 10 ให้เติมสารสกัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยที่ปริมาตรสุดท้ายของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสารสกัดคือ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสารสกัดลงใน plate แล้วทำการหยดเชื้อจุลินทรีย์ที่ เพาะเลี้ยงจนมีความเข้มข้น 10^8 CFU/ml (ทำการทดสอบโดยใช้เทคนิค pour plate (AACC, 2000)) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสารสกัด ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ บน plate อาหารเลี้ยงเชื้อคือค่า MIC (minimum inhibitory concentration) รายงานผลเป็นค่า มิลลิกรัมของ MPDF/ มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenol contents)

การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี total phenols assay ที่ คัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) โดยคลุ่ดสารสกัด (ข้อ 2.3.1) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงใน หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ นาน 6 นาที เติม Sodium carbonate ความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร วางไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตรด้วย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ ค3) รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูล ของกรดแกลลิก/ กรัม น้ำหนักแห้ง)

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid contents)

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.3.1 มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยวิธีของ Kim *et al.* (2003) โดยดูดสารสกัดปริมาตร 500 ไมโครลิตรลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 2,000 ไมโครลิตร และโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 นาทีแล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 1,200 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) ทำการวัดค่าเช่นเดียวกันนี้สารสกัดละ 3 ครั้งนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน แคทาคินความเข้มข้น 50- 250 ppm (ภาพผนวกที่ 4) รายงานผลเป็นรายงานผลเป็นมิลลิกรัม สมมูลของสารมาตรฐานแคทาคิน/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

2.7 ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (total carotenoid contents)

สกัดสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจาก MPDF โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงวิธีของ (Giusti *et al.*, 2005) โดยใช้ตัวอย่าง MPDF จำนวน 1 กรัม จากนั้นเติมตัวทำละลายโดยใช้เฮกเซน: อะซิโตน ในอัตราส่วน 1:1 โฮโมจิไนซ์ด้วยด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizer, T10 basic, Australia) โดยหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งเป็นเวลา 2 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, U.S.A.) ด้วยความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายส่วนบนไปเก็บไว้ ตะกอนที่เหลืออยู่นำไปสกัดซ้ำจนสารสกัดที่ได้ไม่มีสี จากนั้นนำสารสกัดมารวมกันแล้วนำไปทำปฏิกิริยา สaponification เพื่อแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่รงควัตถุออกไป โดยเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาทีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (water bath shaker, Memmert, Germany) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปใส่ในกรวยแยก แล้วเติมโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตรหนึ่งเท่าของสารสกัดที่ได้ เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น จากนั้นแยกเอาส่วนล่างออก แล้วล้างส่วนบนด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิกรัม จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นเติมโซเดียมซัลเฟตจำนวน 3 กรัม เพื่อดูดน้ำส่วนเกิน นำสารสกัดที่ได้ไปปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยเฮกเซน: อะซิโตน ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปวัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดคำนวณโดยใช้สมการที่ 19

$$\frac{A \times V_1}{A^{1\%}} \times C^{1\%} \text{ ----- (19)}$$

เมื่อ	A	คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ 450 นาโนเมตร
	V_1	คือ จำนวนเท่าของการเจือจางตัวอย่าง
	$C^{1\%}$	คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
	$A^{1\%}$	คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1

2.8 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ บีตา-แคโรทีน (β -carotene contents)

2.8.1 การสกัดสารประกอบบีตา-แคโรทีน

สกัดบีตา-แคโรทีน ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Ferruzzi *et al.* (1998) โดยนำตัวอย่าง MPDF น้ำหนัก 0.1 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เดิมสารละลายเมทานอล 5 มิลลิลิตร และเฮกเซน 5 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizer, T10 basic, Australia) โดยหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งเป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, U.S.A.) ด้วยความเร็วรอบ 2500g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แยกบีตา-แคโรทีนที่อยู่ในชั้นเฮกเซนใส่หลอดทดลองและระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจน เดิมเฮกเซน 5 มิลลิลิตรลงในส่วนที่เหลือในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง แล้วทำการสกัดซ้ำจนชั้นเฮกเซนไม่มีสี แล้วนำชั้นเฮกเซนที่ได้มารวมกัน จากนั้นระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้งแล้ว เดิมเฮกเซน 4 มิลลิลิตร ผสมสารละลายด้วยเครื่องผสมสารละลายกรองตัวอย่างผ่านแผ่นกรอง 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดใส่สารสีชาและฉีดเข้าเครื่อง high performance liquid chromatograph (HPLC) (Waters, Mailford, MA, U.S.A.)

2.8.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบบีตา-แคโรทีนด้วย HPLC

วิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีน โดยเทคนิค high performance liquid chromatography ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Craft (2001) โดยฉีดสารสกัดจากข้อ 2.8.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยฉีดตัวอย่างละ 2 ครั้งเข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (XTerra® RP18, 5µm, 3.9 mm x 150 mm) (Waters, Milford, MA, U.S.A.) โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นเมทานอลและอะซิโตรไนไตร ที่อัตราส่วน 90:10 ที่มีไตรเมทิลลามีน (trimethylamine) ร้อยละ 0.1 ด้วยอัตราไหล 1.5 มิลลิลิตร/นาที และใช้ UV diode-array detector ตรวจวัดบีตา-แคโรทีนที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของบีตา-แคโรทีน ความเข้มข้น 1-25 ppm (ภาคผนวกที่ ก5) รายงานผลเป็นไมโครกรัมบีตา-แคโรทีน/ กรัมน้ำหนักแห้ง

2.9 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบลิกนิน (lignin contents)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบลิกนินโดยการวิเคราะห์ปริมาณ klason lignin ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Hatfield *et al.* (1994) โดยชั่งตัวอย่าง MPDF น้ำหนัก 1 กรัม เติมเอนไซม์ heat-stable α -amylase ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (water bath shaker, Memmert, Germany) อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้แท่งแก้วคนกวนเจลหรือตะกอนด้านข้างบีกเกอร์แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 นอร์มอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.1-4.8 (ปรับ pH ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5) เติมเอนไซม์ amyloglucosidase แล้วบ่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดแป้งและองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่สามารถละลายได้ออกไป กรองแล้วนำตะกอนที่ได้ไปย่อยครั้งที่ 1 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 12 โมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 43.5 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางให้กรดซัลฟิวริกมีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ แล้วนำไปย่อยครั้งที่ 2 ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กรองตะกอนผ่านครุชิลเบลแก้ว (Robu-Glas filter, ROBU, Germany) แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven, Memmert, England) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณปริมาณ klason lignin โดยนำน้ำหนักตะกอนที่ได้ไปลบกับน้ำหนักของถ้ำ

2.10 ปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์ริน (mangiferin contents)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินใน MPDF โดยใช้เทคนิค high performance liquid chromatography ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Beradini *et al.* (2005a) โดยฉีดสารสกัดจากข้อ 2.3.1 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry Columns, 5 μ m, 4.6 mm x 250 mm) (Waters, Milford, MA, U.S.A.) โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่ 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2 ในน้ำกลั่น(A) และอะซิโตรินไไตรและน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 50:50 ที่มีสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 0.5 (B) และใช้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่แบบ gradient ดังนี้

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่แบบ gradient ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์ริน

เวลา (นาที)	% วัฏภาคเคลื่อนที่ A	% วัฏภาคเคลื่อนที่ B
0	100	0
15	75	25
50	70	30
60	20	80

ใช้ UV diode-array detector ตรวจวัดปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารประกอบแมนจิเฟอร์ริน ความเข้มข้น 5-100 ppm (ภาคผนวกที่ ค6) รายงานผลเป็น ไมโครกรัมสารประกอบแมนจิเฟอร์ริน/ 1 กรัม น้ำหนักแห้ง

3. การศึกษาผลของการเติม MPDF ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง

3.1 สูตรและการผลิตกุ้งแช่แข็ง

ผลิตกุ้งแช่แข็งสูตรพื้นฐาน (ไม่เติม MPDF) กุ้งแช่แข็งที่เสริม MPDF และกุ้งแช่แข็งที่เติมสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ butylated hydroxyanisole (BHA) โดยดัดแปลงสูตรและวิธีการของ Tan *et al.*, (2007) โดยผลิตสูตรพื้นฐานจากการบดเนื้อหมูส่วนสะโพกหมูและไขมันหมูด้วยเครื่องบด (Grinder, Tritacarne type TS22, OSMA, Oggiona s. Stefano, Italy) ผสมเนื้อหมูบดด้วยเกลือ ร้อยละ 1.8 และฟอสเฟตร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 5 นาที นำไปสับผสมในเครื่องสับผสม (Silent cutter, Scharfen, Germany) และเติมไขมันหมูร้อยละ 20 และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาลร้อยละ 8 น้ำ ร้อยละ 3 เกลือร้อยละ 1.3 ผงชูรสร้อยละ 1 พริกไทยขาวป่นร้อยละ 0.2 ผงพะโล้ร้อยละ 0.2 ผง อบเชยร้อยละ 0.2 ฟอสเฟตร้อยละ 0.15 โซเดียมอิทริทอเบตร้อยละ 0.05 และโซเดียมไนไตรท์ร้อยละ 0.012 สำหรับสูตรที่เสริม MPDF และสูตรที่เติม BHA ทำการเติม MPDF ที่ระดับร้อยละ 10 ของน้ำหนักกุ้งแช่แข็ง และเติม BHA ที่ระดับ 30 ppm ของน้ำหนักกุ้งแช่แข็งตามลำดับ ทำการสับผสม เป็นเวลา 5 นาที เก็บตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบรรจุใส่ ด้วยเครื่องบรรจุไส้กรอก (stuffer, Dadaux, French) นำไปอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer, Reliance tech-service co., Ltd.) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับ อุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง ตัวอย่างกุ้งแช่แข็งทั้ง 3 สูตรเก็บใส่ถุง polyethelene (PE) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน โดยทำการวิเคราะห์การ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ทุก 2 วัน

3.2 วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ malonaldehyde ด้วยวิธี thiobarbituric acid-reactive substaces (TBARS) โดยวิธีของ Fernandez-Lopez *et al.* (2005) โดยชั่งตัวอย่างกุ้งแช่แข็งหนัก 10 กรัม ลงในเครื่องปั่นผสมน้ำผลไม้ (Hitachi, Model VA-M11L, Thailand) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 2 นาที แล้วถ่ายตัวอย่างลงในขวดกลั่นตัวอย่าง ล้างโถปั่นด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 47.5 มิลลิลิตร เติม

กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำตัวอย่างเข้าสู่ชุดกลั่น ทำการกลั่นแล้วเก็บสารละลายที่กลั่นได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คูดสารละลายที่กลั่นได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย thiobarbituric acid (TBA) ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 90 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มสารละลายในน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.) เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน TEP (1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane) ความเข้มข้น 50- 250 ppm (ภาพผนวกที่ ก7) รายงานผลเป็นรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของสารมาโลแอลดีไฮด์/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

3.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด คัดแปลงวิธีของ AACC (2000) ใช้เทคนิค pour plate โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมนลงในถุงตีปั่นผสม จากนั้นเติมสารละลายเปปโตนปริมาตร 90 มิลลิลิตร และตีปั่นด้วยเครื่องตีปั่นผสม (Window door(W), Interscience, France) เจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายเปปโตนในระดับเจือจางต่างๆ ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน plate เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) (อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส) ลงใน plate ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร เขย่า plate ให้สารเข้ากัน และสารละลายเปปโตนที่ระดับเจือจางอื่นๆ ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับที่กล่าวข้างต้นจนครบทุกระดับ แล้วบรรจุในถุงพลาสติกจำนวน 10 คู่ต่อถุง 1 ใบ ปิดปากถุงด้วยหนังยาง แล้วเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้บ่มเชื้อ (incubator, Memmert, England) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา

วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ AACC (2000) ใช้เทคนิค spread plate โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ซึ่งได้ปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายกรดแลกติกความเข้มข้นร้อยละ 10 จนกระทั่งอาหารเลี้ยงเชื้อมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3.5 ลงใน plate รอให้อาหารแห้งตัวก่อนแล้วจึงนำมาใช้ หลังจากเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายเปปโตน

แล้วปิเปตตัวอย่างที่ระดับเจือจาง 10^{-1} มา 1 มิลลิลิตรปิเปตใส่ plate ละเท่าๆ กัน 3 plate แล้วทำการ spread จนทั่ว จะได้ตัวอย่างอาหารที่ระดับเจือจาง 10^{-1} ส่วนตัวอย่างอาหารที่ระดับเจือจาง 10^{-2} ปิเปตที่ระดับเจือจาง 10^{-1} มา 0.1 มิลลิลิตรปิเปตใส่ plate ทำการ spread จนทั่ว ส่วนที่ระดับเจือจางอื่นๆปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้นจนครบทุกระดับ แล้วบรรจุในถุงพลาสติกจำนวน 10 คู่ต่อถุง 1 ใบ ปิดปากถุงด้วยหนังยาง แล้วเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4. การประเมินผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) แบบ Two-Way ANOVA เมื่อเปรียบเทียบ 2 ปัจจัย และ Completely Randomized Design (CRD) เมื่อเปรียบเทียบ 1 ปัจจัย เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย LSD (Least Significant Difference) และ t-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

1. ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณของสารประกอบพฤษเคมีของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

1.1 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

เมื่อตรวจสอบปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ของ MPDF พบว่ามีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.22-2.79 (ตารางที่ 4) ปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 1.92 และปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3.94-7.86 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำและอยู่ในช่วงเดียวกับผลการทดลองของ Vergara-Valencia *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ของเปลือกมะม่วงสายพันธุ์ทอมมี แอทกินส์ในระยะก่อนผลสุก โดยพบปริมาณไขมันในเปลือกมะม่วงร้อยละ 2.35 ± 0.02 โปรตีนร้อยละ 4.28 ± 0.11 และเถ้าร้อยละ 2.83 ± 0.11 และพบว่า MPDF มีปริมาณเยื่อใยหยาบและคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงทั้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Ajila *et al.* (2008) ที่พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของเปลือกมะม่วงสุกซึ่งเป็นเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 80.7 ± 1.2

เมื่อศึกษาผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณกลุ่มสารของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงไม่มีผลต่อ ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเยื่อใยหยาบ และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ตารางผนวกที่ จ2 และ จ4-6) ของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าพบว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้นจะมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ จ3) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโตเดียวกัน พบว่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าใน MPDF สอดคล้องกับการเพิ่มของปริมาณเถ้าในผล muskmelon เมื่อมีระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของแร่ธาตุภายในต้นของพืชจากส่วนอื่นที่หยุดการเจริญไปยังส่วนที่กำลัง

เจริญเติบโต (Villanueva *et al.*, 2004) โดยอาจเกิดการส่งผ่านของแร่ธาตุในลำต้นของพืชผ่านท่อ
ลำเลียงน้ำและอาหารจากส่วนของใบของแตงโมที่ไม่พัฒนาแล้วไปยังผลของแตงโมที่กำลัง

เจริญเติบโต (Sánchez *et al.*, 1991)

ตารางที่ 4 ปริมาณกลุ่มสาร (proximate composition) ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

ตัวอย่าง MPDF		ปริมาณกลุ่มสาร (proximate composition) (%)					
		ความชื้น	ไขมัน	เถ้า	โปรตีน	เยื่อใยหยาบ	คาร์โบไฮเดรต
สายพันธุ์มหาชนก	49 วัน	3.86±0.01 ^b	2.66±0.34 ^{ns}	1.31±0.01 ^d	5.09±0.05 ^{ns}	28.12±4.30 ^{ns}	57.11±4.63 ^{ns}
	77 วัน	4.76±0.10 ^a	2.63±0.22	1.34±0.01 ^c	5.48±0.02	32.49±9.19	52.22±9.00
	100 วัน	4.64±0.55 ^{ab}	2.34±0.09	1.60±0.04 ^b	3.94±0.08	27.79±2.48	56.71±4.63
	120 วัน	3.91±0.10 ^b	2.55±0.25	1.89±0.02 ^a	4.70±0.03	26.43±4.49	57.41±4.50
สายพันธุ์น้ำดอกไม้	49 วัน	5.72±0.04 ^c	2.53±0.01 ^{ns}	1.11±0.01 ^d	5.13±0.14 ^{ns}	37.66±10.05 ^{ns}	49.71±9.88 ^{ns}
	77 วัน	5.82±0.05 ^c	2.22±0.06	1.34±0.02 ^c	4.49±0.05	27.89±1.35	59.30±1.24
	100 วัน	7.62±0.13 ^a	2.42±0.03	1.58±0.02 ^b	4.40±0.03	30.22±9.48	56.73±10.01
	120 วัน	7.01±0.30 ^b	2.79±0.20	1.92±0.02 ^a	7.86±0.06	25.93±2.51	57.58±2.68

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบภายในแต่ละสายพันธุ์

ตัวอักษร ns หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยเปรียบเทียบภายในแต่ละสายพันธุ์

1.2 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

ปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงอยู่ในช่วงร้อยละ 51.04 ± 1.32 ถึงร้อยละ 64.26 ± 2.37 ในสายพันธุ์มหาชนก และร้อยละ 72.24 ± 1.90 ถึงร้อยละ 72.24 ± 1.90 ในสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (ตารางที่ 5) โดยพบว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้มีปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดสูงกว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกในทุกระยะการเจริญเติบโต ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ ๖) เมื่อพิจารณาผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นในทั้ง 2 สายพันธุ์ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณของเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF ใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF สายพันธุ์ Raspuri และ Badami ซึ่งเป็นมะม่วงสายพันธุ์ของประเทศอินเดีย โดยพบว่าปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 44.70 ± 0.71 ในสายพันธุ์ Raspuri ที่ระยะผลดิบและร้อยละ 63.80 ± 3.80 ในสายพันธุ์ Raspuri ที่ระยะผลสุก ส่วนปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF สายพันธุ์ Badami อยู่ในช่วงร้อยละ 64.13 ± 0.25 ในระยะผลดิบและ 78.40 ± 0.20 ในระยะผลสุกตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเชื้อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกของมะม่วงสุกมีปริมาณสูงกว่าเปลือกมะม่วงดิบในทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยเพิ่มจากร้อยละ 45 ถึงร้อยละ 78 (Ajila, 2007)

เชื้อใยอาหารที่พบในเปลือกมะม่วงส่วนใหญ่คือเซลลูโลส (Ajila, 2007) ซึ่งเซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์เซลลูลัส (cellulose) อย่างไรก็ตาม จริงแท้ (2549) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลเซลลูโลสของผลไม้ในขณะที่ผลไม้มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณเชื้อใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มสูงขึ้นของ MPDF อาจเกิดจากการสังเคราะห์เชื้อใยอาหารชนิดอื่น เช่น ลิกนิน ซึ่งเป็นเชื้อใยอาหารที่มีคุณสมบัติการไม่ละลายน้ำสูงที่สุด (Prosky and Devries, 1992) โดยจริงแท้ (2549) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณลิกนินเมื่อผลิตผลมีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

ตัวอย่าง MPDF		ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมด (%)
สายพันธุ์มหาชนก	49 วัน	51.04±1.32
	77 วัน	57.07±2.28
	100 วัน	60.51±6.38
	120 วัน	64.26±2.37
สายพันธุ์น้ำดอกไม้	49 วัน	65.65±1.16
	77 วัน	60.16±1.51
	100 วัน	67.81±1.80
	120 วัน	72.24±1.90

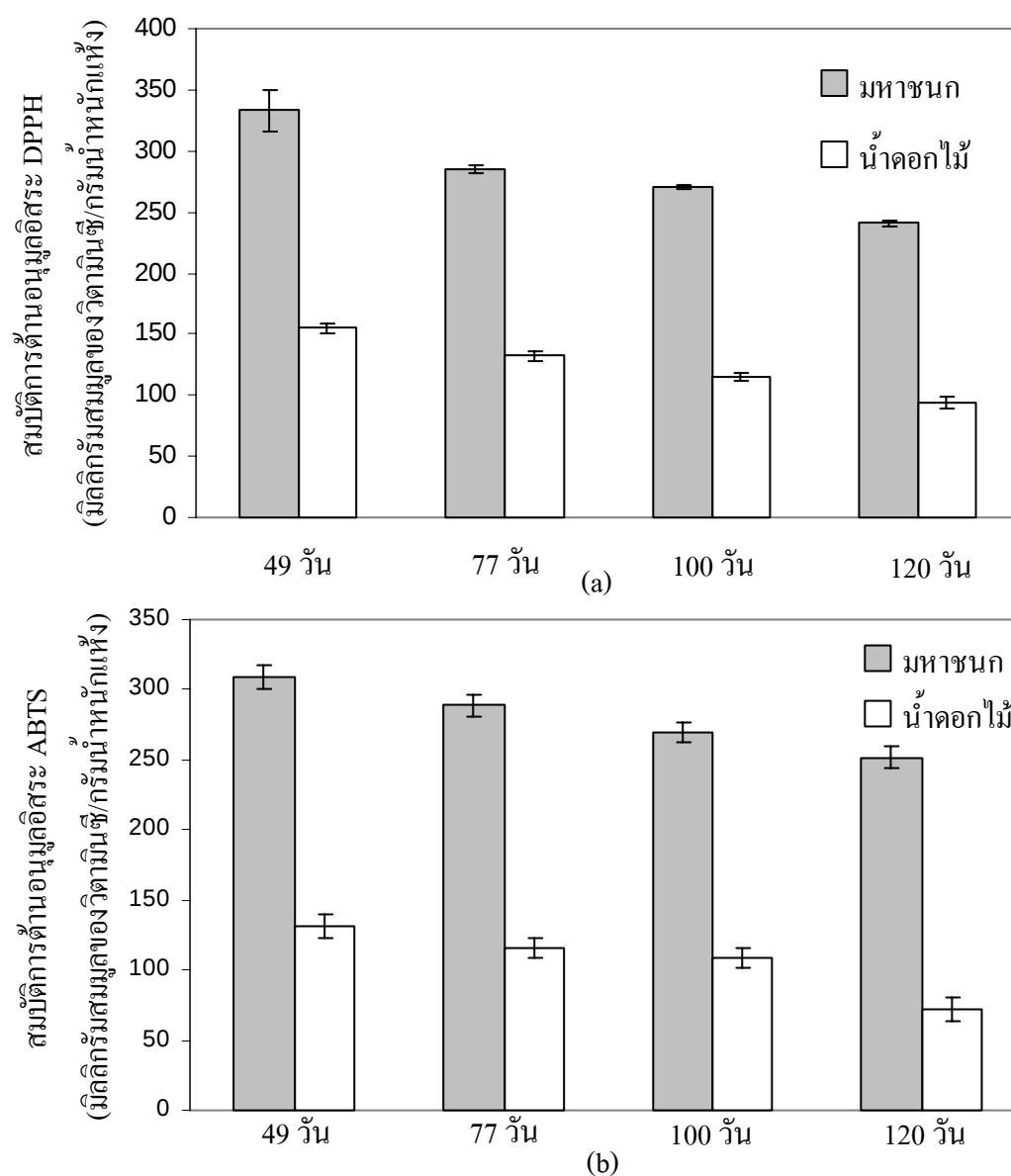
หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

1.3 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

1.3.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และอนุมูลอิสระ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt (ABTS)

เมื่อตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF พบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ อนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 14) โดย MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS สูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะการเจริญเติบโต ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ จ8 และ จ9 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาผลของระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ อนุมูลอิสระ ABTS พบว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงซึ่งเก็บเกี่ยวที่ระยะการเจริญเติบโต 49 วันหลังจากปฏิสนธิมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ

ABTS สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงที่ระยะการเจริญเติบโต 77 100 และ 120 วันตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองกับการทดลองของ Ajila *et al.* (2007) ที่พบว่าผลมะม่วงขณะดิบมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงและลดต่ำลงเมื่อเปลือกมะม่วงสุก



ภาพที่ 14 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (a) และอนุมูลอิสระ ABTS (b) ของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)

1.4 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ม

เมื่อตรวจสอบสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF โดยทดสอบด้วยวิธี agar dilution assay (ภาพผนวกที่ ก2) ทำให้ทราบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ได้จากค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (MIC) โดยสารที่มีค่า MIC ต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าสารที่มีค่า MIC สูง ผลการทดลองพบว่าสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF มีความสอดคล้องกับสมบัติการต้านออกซิเดชันของ MPDF โดย MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้มในทุกระยะการเจริญเติบโต และพบว่าเมื่อผลิต MPDF จากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ลดลง (ตารางที่ 6) ทั้งนี้สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF อาจเกิดจากอิทธิพลของสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกมะม่วง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (ชนะบุญ, 2548) สารประกอบฟีนอลิกอาจเข้าทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ และ/หรือ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นของแบคทีเรีย และ/หรือ ทำลายโครงสร้างหรือการทำงานของสารพันธุกรรม (Davidson and Brannen, 1993) ส่งผลให้เซลล์ของจุลินทรีย์ตาย ดังนั้นการที่เปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ม (Berardini *et al.*, 2005b) จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกสูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้มในทุกระยะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อผลิตจากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้นในทั้ง 2 สายพันธุ์ เนื่องจากผลมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลง (Ajila *et al.*, 2007)

นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจาก MPDF ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกเช่นเชื้อ *Bacillus cereus* และเชื้อ *Listeria monocytogenes* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ *Salmonella typhimurium* โดยมีเพียงสารสกัดจาก MPDF ซึ่งผลิตจากเปลือกมะม่วงที่ระยะ 49 และ 77 วัน ในสายพันธุ์มหาชนก และระยะ 49 วันในสายพันธุ์น้ำดอกไม้มเท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ 2486 ได้ ทั้งนี้เนื่องจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีชั้นไขมันเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่แบคทีเรียแกรมบวกไม่มี

(Davidson and Branen, 1993) ทำให้แบคทีเรียแกรมลบมีความต้านทานต่อสารต้านจุลินทรีย์จาก MPDF ได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาค่า MIC พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของ MPDF แตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยพบว่าเชื้อ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ 2486 และเชื้อ *Listeria monocytogenese* สายพันธุ์ 101 108 และ Scott A จะไวต่อสารสกัดจาก MPDF มากกว่าสายพันธุ์อื่น ทั้งนี้อาจเป็นผลจากองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่ต่างกันของเชื้อจุลินทรีย์ โดยผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไวต่อสารสกัดจาก MPDF อาจประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ในขณะที่เชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารสกัดจาก MPDF อาจมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ต่ำกว่า สารประกอบฟีนอลิกจึงเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผนังเซลล์ซึ่งประกอบไปด้วยไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สูญเสียการซึมผ่านของสารที่จำเป็น และตายได้ (Davidson and Branen, 1993)

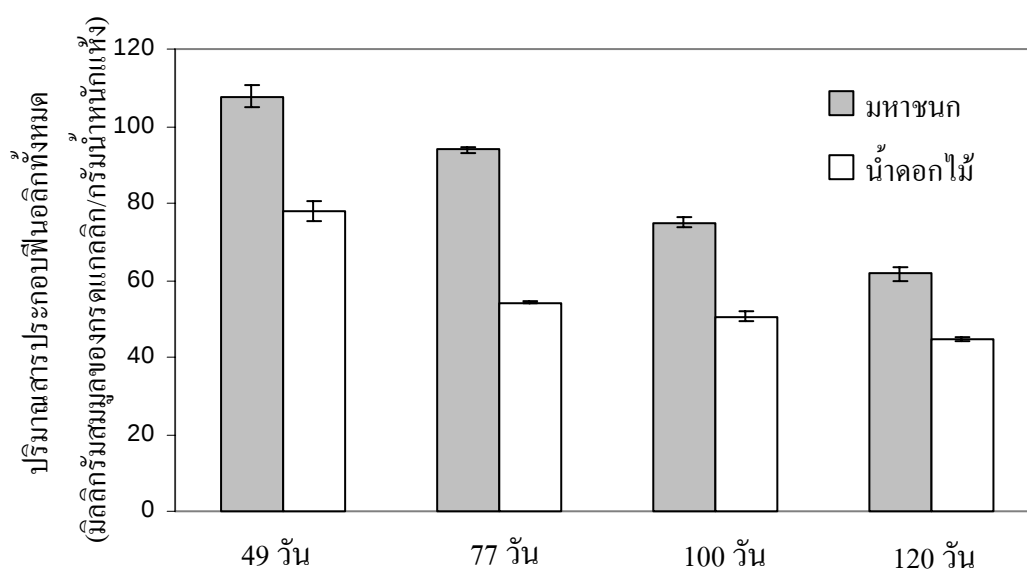
ตารางที่ 6 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (MIC) ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (MIC) (mg/mL agar) ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง							
	สายพันธุ์มหาชนก				สายพันธุ์น้ำดอกไม้			
	49 วัน	77 วัน	100 วัน	120 วัน	49 วัน	77 วัน	100 วัน	120 วัน
<i>Bacillus cereus</i>	1.7±0.2	2.0±0	4.0±0	4.0±0	6.7±2.3	8.0±0	8.0±0	8.0±0
<i>Salmonella Typhimurium</i>								
- สายพันธุ์ 2380	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40
- สายพันธุ์ 2486	36±0	36±0	>40	>40	36±0	>40	>40	>40
- สายพันธุ์ 13311	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40
<i>Listeria monocytogenese</i>								
- สายพันธุ์ 101	16±0	16±0	24±0	24±0	20±0	24±0	28±0	32±0
- สายพันธุ์ 108	16±0	18.7±2.3	24±0	24±0	20±0	24±0	28±0	32±0
- สายพันธุ์ 310	20±0	20±0	28±0	28±0	24±0	28±0	32±0	32±0
- สายพันธุ์ V7	20±0	20±0	28±0	28±0	24±0	28±0	32±0	32±0
- สายพันธุ์ Scott A	20±0	20±0	25.3±2.3	28±0	24±0	24±0	28±0	32±0

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.5 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

เมื่อตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MPDF พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะการเจริญเติบโต (ภาพที่ 15) (ตารางผนวกที่ จ10) และเมื่อพิจารณาผลของระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 49 วันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และเมื่อผลิต MPDF จากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลงในทั้ง 2 สายพันธุ์ ทั้งนี้สอดคล้องกับธนบุลย์ (2548) ที่กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิกจะพบได้สูงในผลิตผลที่ยังไม่แก่จัดมากกว่าผลิตผลที่แก่แล้วเพราะพืชต้องการปกป้องผลิตผลจากจุลินทรีย์ภายนอกและลดลงเมื่อผลิตผลสุกมากขึ้น



ภาพที่ 15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

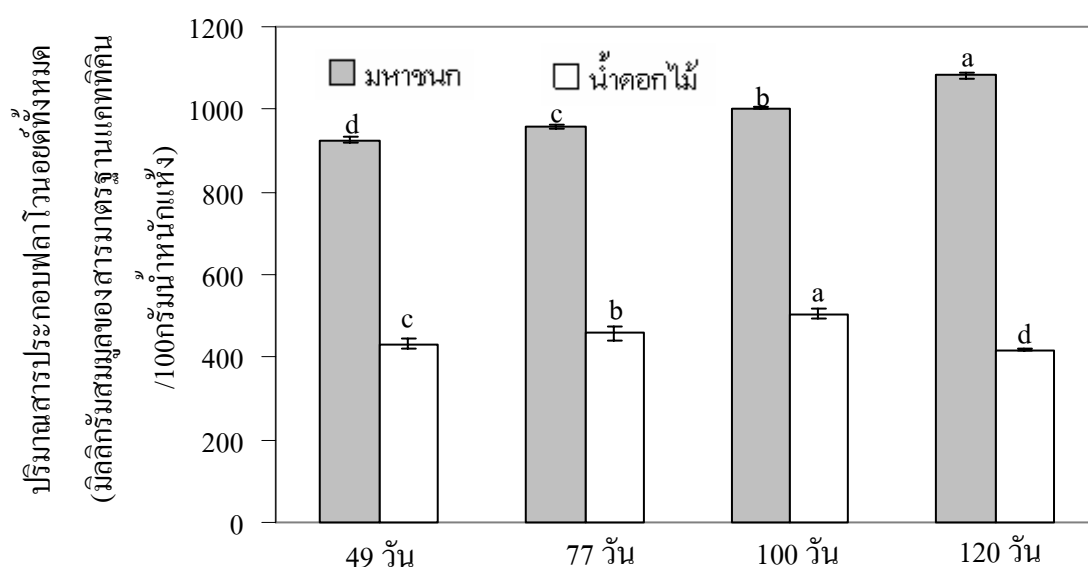
การลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกมะม่วงเมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น อาจเกิดเนื่องจากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ โดย Lima *et al.* (2005) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลอาเชลโรลาเชอร์รี่ (Acerola cherry) มีปริมาณลดลงเมื่อระยะการเจริญเติบโตของผลเชอร์รี่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์หรือการสลายของสารประกอบฟีนอลิกเหล่านั้น เช่น เอนไซม์ phenylalanine ammonialyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกจะมีกิจกรรมการทำงานลดลงเมื่อระยะการเจริญเติบโตของผลไม้เพิ่มสูงขึ้น หรือเอนไซม์ hydroxycinnamate CoA ligase (CoAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการสลายสารประกอบฟีนอลิกจะมีกิจกรรมการทำงานสูงขึ้นเมื่อระยะการเจริญเติบโตของผลไม้เพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

นอกจากนี้การลดลงของสารประกอบฟีนอลิกอาจเกิดจากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) โดยเอนไซม์ PPO จะใช้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ให้เกิดสีน้ำตาลในพืช (จริงแท้, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง Ajila *et al.* (2007) ที่พบว่าเอนไซม์ PPO ในเปลือกมะม่วงสุกจะมีกิจกรรมการทำงานสูงกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ ดังนั้นจึงส่งผลให้ MPDF มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดต่ำลงเมื่อผลิตจากผลมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งผลที่ได้ยังสอดคล้องกับผล medlar ซึ่งเป็นผลไม้แถบยุโรป คล้ายแอ็บเปิ้ล มีสีน้ำตาล ที่พบว่าเอนไซม์ PPO มีกิจกรรมการทำงานที่สูงขึ้นเมื่อระยะการเจริญเติบโตของผล medlar เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผล medlar ให้ลดลงเช่นกัน (Ayaz *et al.*, 2007)

1.6 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของ MPDF แสดงในภาพที่ 16 จากผลการทดลองพบว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ ($p < 0.05$) ในทุกระยะการเจริญเติบโต (ตารางผนวกที่ จ11) และพบว่าปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลิต MPDF จากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดใน MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสูงสุดเมื่อเตรียมจากเปลือกมะม่วงอายุ 120 วัน ในขณะที่ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้มีปริมาณสูงสุดเมื่อเตรียมจากเปลือกมะม่วงอายุ 100 วัน ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ

การเจริญเติบโตต่อปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับชนิดของผักผลไม้ โดยที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของMPDF ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอล (Berardini *et al.*, 2005a) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอลในผลแครนเบอร์รี่ขณะที่ผลแครนเบอร์รี่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Vvedenskaya and Vorsa, 2004) นอกจากนี้ยังให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟลาโวนอยด์ในถั่วเมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น (Tomas-Barberan *et al.*, 1991)



ภาพที่ 16 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาขนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

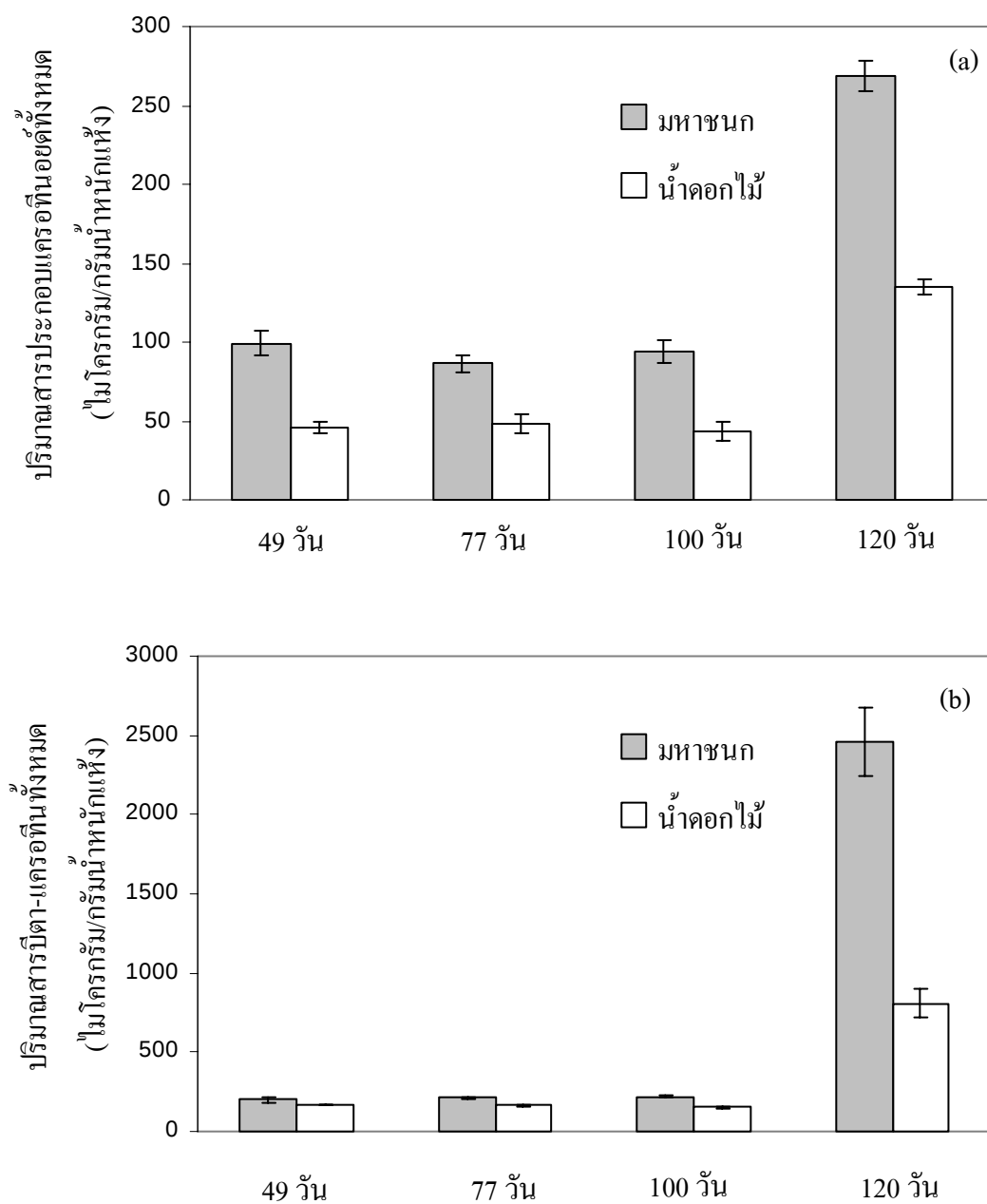
ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบภายในแต่ละสายพันธุ์

1.7 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบ บีตา-แคโรทีน ของ MPDF สายพันธุ์มหาขนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

เมื่อตรวจสอบปริมาณของสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและสารประกอบ บีตา-แคโรทีน (โครมาโตแกรมแสดงดังภาพที่ 18) ของ MPDF สายพันธุ์มหาขนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์และสารประกอบ บีตา-แคโรทีน มีแนวโน้มไป

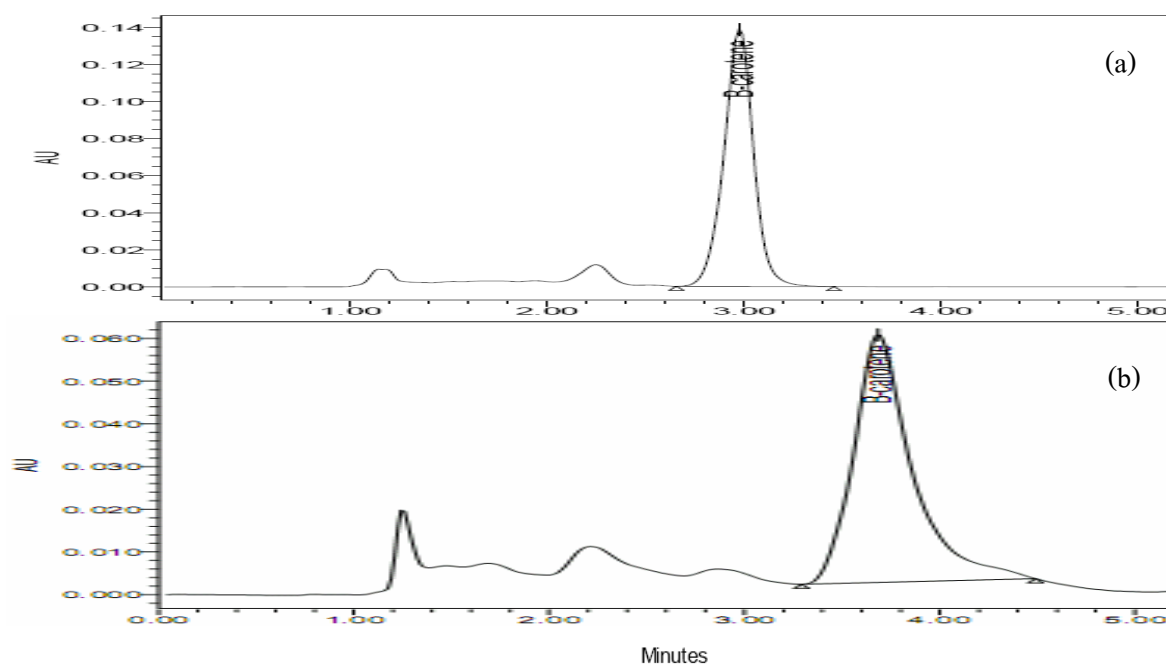
ในทิศทางเดียวกัน โดย MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกจะมีปริมาณของสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและสารประกอบบีตา-แคโรทีนสูงกว่า MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะการเจริญเติบโต (ภาพที่ 17) นอกจากนี้ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงซึ่งเก็บเกี่ยวที่ระยะ 120 วันหลังจากปฏิสนธิมีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบบีตา-แคโรทีนสูงที่สุดทั้งในสายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ จ12 และ จ13 ตามลำดับ) ในขณะที่ MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงที่ระยะ 49 77 และ 100 วันหลังจากปฏิสนธิมีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบบีตาแคโรทีน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากสารประกอบแคโรทีนอยด์มีการสังเคราะห์ในปริมาณเล็กน้อยในช่วงแรก และมีการสังเคราะห์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ (จริงแท้, 2549)

ผลการทดลองยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ajila *et al.* (2007) ที่พบว่าสารประกอบแคโรทีนอยด์ของเปลือกมะม่วงสายพันธุ์ Raspuri และ สายพันธุ์ Badami จากประเทศอินเดีย ที่ระยะสุกจะมีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์สูงกว่าเปลือกมะม่วงในระยะดิบในทั้ง 2 สายพันธุ์ อีกทั้งยังสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ของผลมะเขือเทศที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น (ชนะบุญ, 2548) โดยสารประกอบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดจากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์ ตัวอย่างเช่นเอนไซม์ geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP) synthase ที่มีกิจกรรมการทำงานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ ส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นเป็นต้น (Lima *et al.*, 2005)



ภาพที่ 17 ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (a) และสารประกอบบีตาแคโรทีน (b) ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ



ภาพที่ 18 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานบีตา-แคโรทีน (β -carotene) ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm (a) และสารสกัดจากเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะ 120 วัน (b)

1.8 ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบลิกนินของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

เมื่อตรวจสอบปริมาณสารประกอบลิกนินพบว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกและสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโตเดียวกันมีปริมาณลิกนินไม่ต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่ จ14) เมื่อศึกษาผลของระยะการเจริญเติบโต ต่อปริมาณสารประกอบลิกนินพบว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงซึ่งเก็บเกี่ยวที่ระยะ 120 วันหลังจากปลูกสนธิ มีปริมาณสารประกอบลิกนินสูงที่สุด ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารประกอบลิกนินของเชื้อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

ระยะเวลาเจริญเติบโต	ปริมาณสารประกอบลิกนิน (กรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง)	
	มหาชนก	น้ำดอกไม้
49 วัน	0.27 + 0.0073 ^b	0.22 + 0.023 ^b
77 วัน	0.28 + 0.0018 ^{ab}	0.20 + 0.020 ^b
100 วัน	0.25 + 0.015 ^b	0.21 + 0.014 ^b
120 วัน	0.30 + 0.013 ^a	0.36 + 0.003 ^a

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

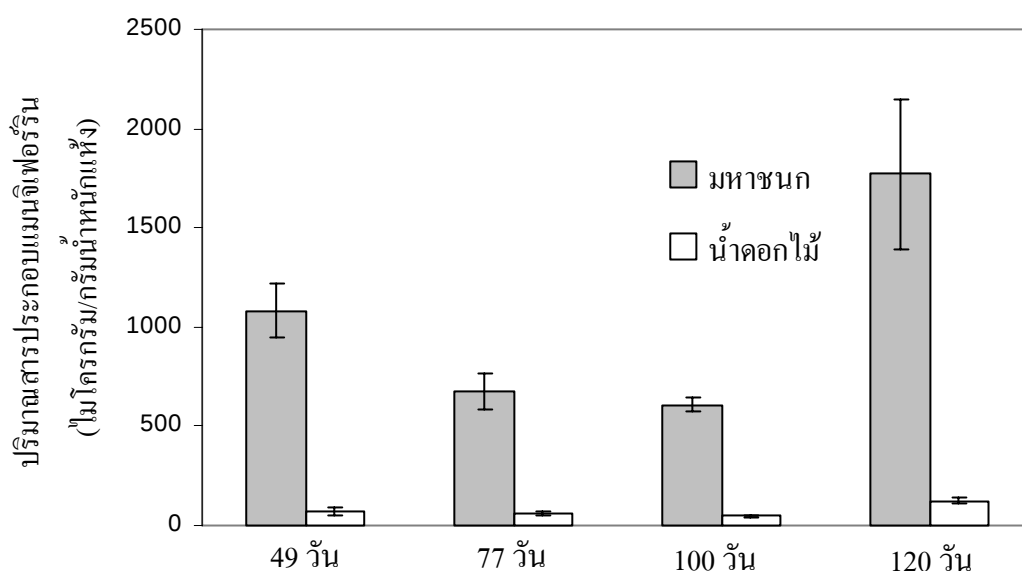
ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบภายในแต่ละสายพันธุ์

ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบลิกนินที่ได้ให้ผลอยู่ในช่วงเดียวกับปริมาณสารประกอบลิกนินของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์ Heyden ซึ่งมีปริมาณ 0.238 ± 0.029 กรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (Larrauri *et al.*, 1996) ปริมาณสารประกอบลิกนินที่เพิ่มสูงขึ้นใน MPDF ที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงที่ระยะ 120 อาจเกิดจาก เปลือกมะม่วงที่ระยะ 120 วันเป็นเปลือกมะม่วงสุก ซึ่งเมื่อมะม่วงเข้าสู่ระยะที่สุกจะมีการสร้างเอทิลีนในปริมาณสูงขึ้น ปริมาณเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ส่งผลให้มีการสร้างลิกนินเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2549)

1.9 ผลของระยะเวลาเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบแมนนิเฟอร์รินของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้

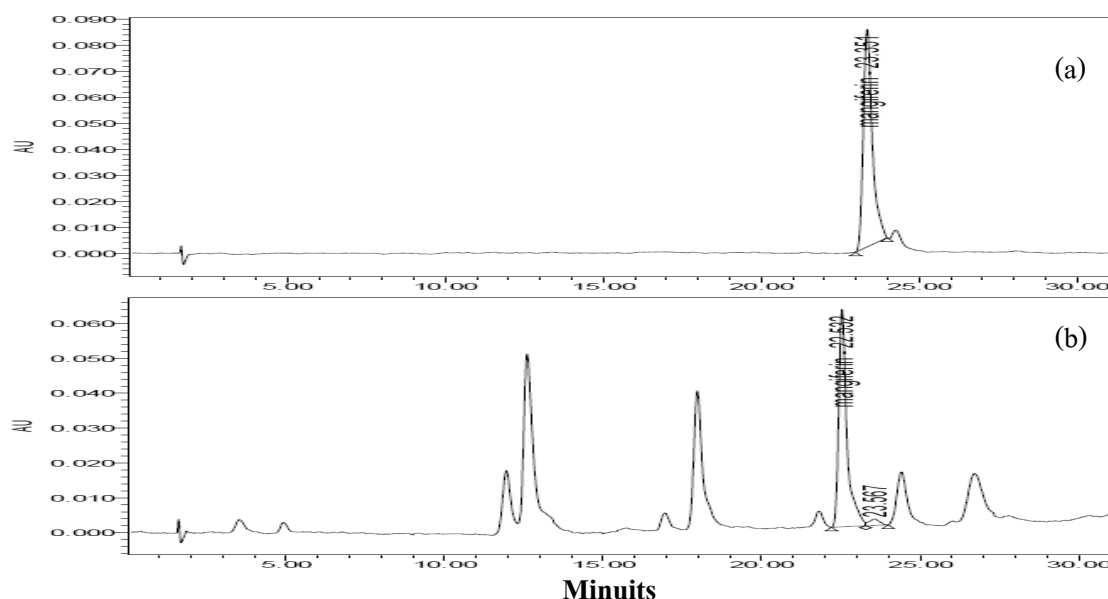
เมื่อตรวจสอบปริมาณสารประกอบแมนนิเฟอร์ริน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักในเปลือกมะม่วง (โครมาโตแกรมแสดงดังภาพที่ 20) พบว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสารประกอบแมนนิเฟอร์รินสูงกว่าสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (ตารางผนวกที่ 15) ในทุกระยะการเจริญเติบโต (ภาพที่ 19) ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ

Beradini *et al.* (2005b) ที่พบว่าสารประกอบแมนจิเฟอร์รินเป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักในเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก ขณะที่เปลือกของมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ไม่มีสารประกอบเคอซีดินเป็นสารประกอบฟีนอลิกหลัก นอกจากนี้พบว่าสารประกอบแมนจิเฟอร์รินมีแนวโน้มลดลงใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น และมีการสังเคราะห์เพิ่มสูงมากที่สุดเมื่อระยะการเจริญเติบโต 120 วัน ในทั้ง 2 สายพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบแมนจิเฟอร์รินเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ซึ่งพบได้มากในมะม่วงสุก (นิธิยา, 2549) ดังนั้นสีเหลืองของเปลือกมะม่วงที่ระยะ 120 วันนอกจากจะเป็นผลอันเนื่องมาจากการสังเคราะห์สารประกอบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์แล้วยังอาจเป็นผลจากการสังเคราะห์สารประกอบแมนจิเฟอร์รินเช่นกัน



ภาพที่ 19 ปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รินของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) สายพันธุ์มหาชนก และน้ำดอกไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)



ภาพที่ 20 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานแมนจิเฟอร์ริน (mangiferin) ที่ความ
ระดับความเข้มข้น 100 ppm (a) และสารสกัดจาก MPDF สายพันธุ์มหาชนกที่ระยะ
120 วัน (b)

เมื่อตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟลาโวนอยด์และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS (ตารางที่ 8) สารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบแคโรทีนอยด์ บีตา-แคโรทีน และสารประกอบลิกนิน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบแปรผกผันกับสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS (ภาพผนวกที่ ก6-ก13) ในขณะที่สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารประกอบแมนจิเฟอร์รินซึ่งเป็นพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกหลักใน MPDF มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบแปรผันตามกับสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS (ภาพผนวกที่ ก4-ก5 และ ก14-ก15 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าสารประกอบแมนจิเฟอร์รินมีผลต่อสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS มากกว่าสารประกอบฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น เมื่อพิจารณาสายพันธุ์ของเปลือกมะม่วงพบว่าสารประกอบแมนจิเฟอร์รินของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกส่งผลต่อสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระ ABTS มากกว่าสารประกอบแมนจิเฟอร์รินของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของ MPDF อาจเกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะสารประกอบแมนจิเฟอร์รินเป็นหลัก โดยสารประกอบฟีนอลิกจะให้ไฮโดรเจน แก่อนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ส่งผลให้อนุมูล

อิสระดังกล่าวถูกยับยั้งปฏิกิริยาและมีความเสถียรขึ้น (Bravo, 1998) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังมีสมบัติต้านออกซิเดชัน โดยสามารถถ่ายอิเล็กตรอนให้แก่สารอื่น จับกับโลหะหนักให้ไฮโดรเจน และยับยั้ง singlet oxygen ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (พิชญ์อร, 2547)

ตารางที่ 8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารพฤกษเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS

สารพฤกษเคมี	ค่าแสดงความสัมพันธ์ (R^2)			
	สมบัติการต้าน		สมบัติการต้าน	
	อนุมูลอิสระ DPPH		อนุมูลอิสระ ABTS	
	มหาชนก	น้ำดอกไม้ม	มหาชนก	น้ำดอกไม้ม
สารประกอบฟีนอลิก	0.914	0.939	0.855	0.860
สารประกอบฟลาโวนอยด์	0.815	1×10^{-6}	0.858	0.088
สารประกอบแคโรทีนอยด์	0.464	0.557	0.511	0.824
สารประกอบบีตา-แคโรทีน	0.501	0.543	0.522	0.812
สารประกอบลิกนิน	0.541	0.663	0.563	0.651
สารประกอบแมนนิเฟอริน	0.831	0.249	0.620	0.120

2. ผลของการเติม MPDF ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์กุนเชียง

2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) ของกุนเชียง

กุนเชียงสูตรพื้นฐาน กุนเชียงที่เสริม MPDF และกุนเชียงที่เติมสารต้านออกซิเดชัน BHA แสดงดังภาพผนวกที่ ก3 โดยกุนเชียงที่เสริม MPDF ผลิตโดยทำการเติม MPDF สายพันธุ์มหาชนกซึ่งผลิตจากมะม่วงที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 120 วัน ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ การเลือกใช้ MPDF ที่การเจริญเติบโต 120 เนื่องจากเปลือกมะม่วงที่ระยะนี้เป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตมะม่วงแปรรูปมากกว่าระยะอื่น จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) พบว่ากุนเชียงทั้ง 3 สูตรมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 30% (ตารางที่ 9) ปริมาณไขมันไม่เกิน 30 % และปริมาณของโปรตีนไม่ต่ำกว่า 15 % ซึ่งเป็น

หลักเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์กุนเชียง (มอก. 914-2539) นอกจากนี้พบว่า
กุนเชียงที่เสริม MPDF มีปริมาณเชื้อใยหยาบและสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงกว่าสูตรพื้นฐาน และ
สูตรที่เติม BHA ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 9 ปริมาณกลุ่มสาร (proximate composition) ของกุ้งแช่แข็งสูตรพื้นฐาน กุ้งแช่แข็งที่เสริม MPDF และกุ้งแช่แข็งที่เติม BHA

ตัวอย่าง	ปริมาณกลุ่มสาร (proximate composition) (%)						ฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมวิตามินซี/1กรัมน้ำหนักสด) *
	ความชื้น	ไขมัน	เถ้า	โปรตีน	เยื่อใยหยาบ	คาร์โบไฮเดรต	
สูตรพื้นฐาน	25.90+1.80 ^{ns}	25.45+0.72 ^c	5.90+0.04 ^a	20.77+0.12 ^{ns}	1.30+0.36 ^b	20.67+0.56 ^a	1.12+0.09 ^b
MPDF	25.73±0.41	27.71+0.41 ^b	5.31±0.01 ^c	19.95+1.27	2.49+0.25 ^a	18.81+0.71 ^b	15.45+0.94 ^a
BHA	25.71±0.04	31.53+0.06 ^a	5.76±0.04 ^b	20.91+0.38	1.33+0.14 ^b	14.74+0.18 ^c	1.13+0.11 ^b

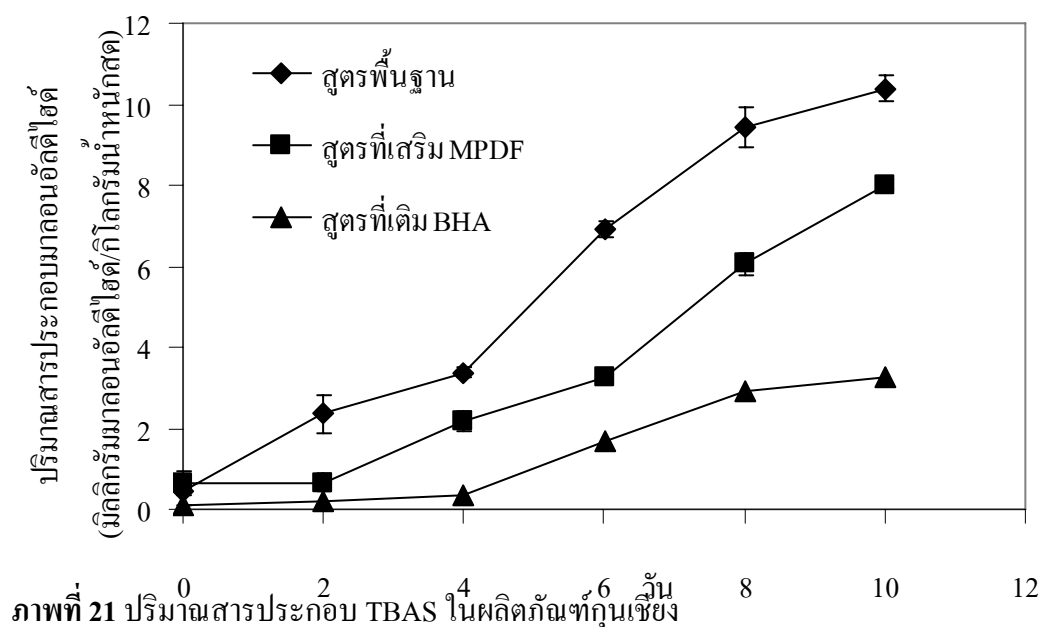
หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2) (* n=3)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ns หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2 การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง

จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษากุ้งแช่แข็งเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งทั้ง 3 สูตรมีอัตราการสร้างสารประกอบมาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สามารถเกิดได้แม้ในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้ำอิสระ (a_w) ต่ำ เช่น ผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า a_w อยู่ในช่วง 0.3-0.4 และจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุดเมื่อ a_w เป็น 0.8 (นิธิยา, 2549) โดยสารประกอบมาโลนัลดีไฮด์ของผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งสูตรพื้นฐานมีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่ากุ้งแช่แข็งสูตรที่เสริม MPDF และกุ้งแช่แข็งสูตรที่เติม BHA ตามลำดับ (ภาพที่ 21) ทั้งนี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งสูตรพื้นฐานมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงกว่ากุ้งแช่แข็งที่เสริม MPDF และกุ้งแช่แข็งสูตรที่เติม BHA เมื่อไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิด ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ สารประกอบพวกเฮกซานัล (hexanal) เพนทานัล (pentanal) และมาโลนัลดีไฮด์ (พิชญ์อร, 2547)



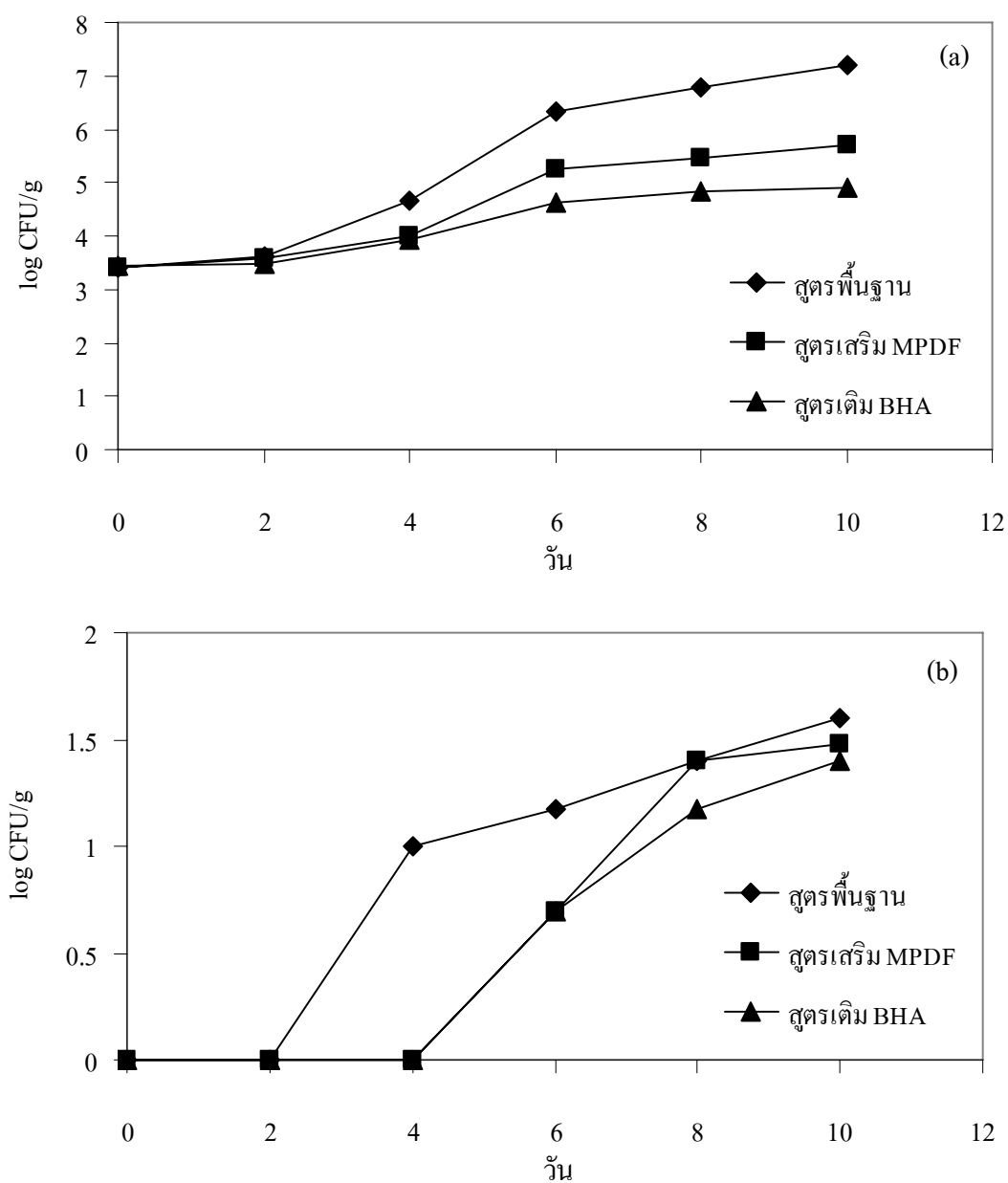
ภาพที่ 21 ปริมาณสารประกอบ TBAS ในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=3$)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกุนเชียงที่เสริม MPDF มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่ากุนเชียงสูตรพื้นฐานอาจเนื่องมาจากผลของสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบพฤษเคมี เช่น สารประกอบแคโรทีนอยด์ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกใน MPDF เช่น สารประกอบแมนจิเฟอร์ริน กรดแกลลิก กรดเอลลาจิก ฯลฯ (Masibo and He, 2008) จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว เมื่อให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว ตัวของสารประกอบฟีนอลิกจะกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพ จึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป (Bravo, 1998) ส่งผลให้ไม่สามารถสังเคราะห์สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบในกลุ่มมาโลนแอลดีไฮด์ได้ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากสารประกอบแคโรทีนอยด์ เช่น สารประกอบบีตา-แคโรทีนที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยสามารถจับกับอนุมูลอิสระ peroxyl โดยเฉพาะในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Berton and Ingold, 1984) แต่พบว่าประสิทธิภาพต่ำกว่า BHA ซึ่งสอดคล้องกับ Calixto and Diego (2003) ที่พบว่า BHA ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) ได้ดีกว่า MPDF

2.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

เมื่อทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กุนเชียงสูตรพื้นฐาน กุนเชียงที่เสริม MPDF และกุนเชียงที่เติม BHA พบว่าผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่ผลิตได้ทั้ง 3 สูตร (ที่ 0 วัน) มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^8 CFU/g และปริมาณยีสต์และราทั้งหมดไม่เกิน 1000 CFU/g (ภาพที่ 22) ซึ่งไม่เกินปริมาณที่มาตรฐานอุตสาหกรรมของกุนเชียงได้กำหนดไว้ (มอก. 914-2539) และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุนเชียงเป็นเวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์กุนเชียงทั้ง 3 สูตรมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ราทั้งหมดสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากในขั้นตอนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุนเชียงดูความชื้นจากภายนอก ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระ (water activity: a_w) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 22 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (a) และปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (b) ของผลิตภัณฑ์กุนเชียง

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของ MPDF และ BHA ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง โดยเทียบกับสูตรพื้นฐาน พบว่า BHA มีประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราทั้งหมดสูงสุด เนื่องจาก BHA มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ โดยพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียชนิด

ไซโครโทรฟ (psychrotroph) แบคทีเรียชนิดคอลลีฟอร์ม (coliform) และฟีคอลลีฟอร์ม (faecal coliform) ในเนื้อหมูตัดแต่งได้ดี (Davidson and Branen, 1993) นอกจากนี้ BHA สามารถยับยั้งการสังเคราะห์ DNA RNA และ โปรตีนที่สำคัญของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตและตายได้ (Surak, 1977) เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่เสริม MPDF พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าสูตรพื้นฐาน แต่สูงกว่ากุนเชียงที่เติม BHA

ทั้งนี้สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF ให้ผลสอดคล้องกับผลการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมะม่วง ที่พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์แก้ว สามารถยับยั้งเชื้อ *Staph. aureus* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ดี และประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบแปรผันตามกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (นภชลย์, 2549) อีกทั้งสารสกัดจากเปลือกมะม่วงสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Cladosporium* sp. และ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ (บุญญาวดี และ สมศิริ, 2546) ซึ่งสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของ MPDF อาจเกิดเนื่องจากกลไกการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากสารประกอบฟีนอลิกใน MPDF โดยสารประกอบฟีนอลิกอาจเข้าทำปฏิกิริยาบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ หรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นในการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ หรือเข้าทำลายโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของสารพันธุกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ (Davidson and Branen, 1993) และส่งผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง โดยเฉพาะสารประกอบแมนนิเฟอร์รีนที่เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักในเปลือกมะม่วง ซึ่งมีคุณสมบัติการต้านแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวก และแกรมลบ โดยแบคทีเรียแกรมบวกที่ไวต่อสารประกอบแมนนิเฟอร์รีนคือ *Bacillus pumilus* ในขณะที่แบคทีเรียแกรมลบที่ไวต่อสารประกอบแมนนิเฟอร์รีนคือ *Salmonella agona* นอกจากนี้กรดเกลือซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกมะม่วงยังมีสมบัติการต้านจุลินทรีย์เช่นกัน (Masibo and He, 2008)

แต่อย่างไรก็ตามการเติม MPDF ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงส่งผลต่อลักษณะปรากฏ และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยการเติม MPDF ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักกุนเชียงทำให้เนื้อสัมผัสของกุนเชียงแห้งกระด้าง นอกจากนั้นกลิ่นรสและรสชาติของผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกับการเติมเปลือกมะม่วงในผลิตภัณฑ์กุนเชียง (Vergara-Valencia *et al.*, 2007)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบกลุ่มสาร (proximate composition) ของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) ยกเว้นปริมาณเถ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลิต MPDF จากเปลือกมะม่วงที่ระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ไม่มีปริมาณสูงกว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกในทุกระยะการเจริญเติบโต และมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเตรียมจากมะม่วงที่มีระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้นในทั้ง 2 สายพันธุ์
2. สายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง ส่งผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเยื่อใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (MPDF) โดย MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะการเจริญเติบโต และสมบัติการต้านออกซิเดชัน สมบัติการต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MPDF ลดลงเมื่อผลิตจากเปลือกมะม่วงที่ระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้นในทั้ง 2 สายพันธุ์
3. สารสกัดจาก MPDF ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของ MPDF ขึ้นกับสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเชื้อ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ 2486 และเชื้อ *Listeria monocytogenes* สายพันธุ์ 101 108 และ Scott A จะไวต่อสารสกัดจาก MPDF มากกว่าสายพันธุ์อื่น
4. ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบแคโรทีนอยด์ บีตา-แคโรทีน และสารประกอบเมโนควิโนนของ MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสูงกว่า MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ในทุกระยะการเจริญเติบโต และมีปริมาณสูงที่สุดใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงที่ระยะการเจริญเติบโต 120 วัน ในขณะที่

ปริมาณสารประกอบลิกนิน ไม่แตกต่างกันใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโตเดียวกัน และมีปริมาณสูงสุดใน MPDF ที่เตรียมจากเปลือกมะม่วงที่ระยะการเจริญเติบโต 120 วัน

5. การเติม MPDF ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักกุนเชียง สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลงได้แต่ประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำกว่า BHA

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของตัวทำละลาย ต่อสมบัติการด้านออกซิเดชัน การต้านจุลินทรีย์ และปริมาณสารประกอบพฤษเคมีของ MPDF เปรียบเทียบกับตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองปัจจุบัน
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่เติม MPDF ทางด้านการยอมรับ หรือเปรียบเทียบความต่างระหว่างสูตรควบคุม และหาระดับของ MPDF ที่เติมในผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด
3. ควรทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยการแขวน เพื่อไม่ให้ผิวหน้ากุนเชียงสัมผัสกับภาชนะและเกิดการถ่ายเทความชื้น เพื่อยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์กุนเชียงให้นานขึ้น
4. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ MPDF ในรูปของสารสกัด โดยเปรียบเทียบกับกรณีเติม MPDF ในผลิตภัณฑ์โดยตรง ทั้งทางด้านสมบัติการด้านออกซิเดชัน การต้านจุลินทรีย์ และการยอมรับของผู้บริโภค
5. ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านการประยุกต์ใช้ MPDF ในผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่นนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กาญจนารัตน์ ทวีสุข, มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, ชิดชม วิวิธวงศ์ และ น้อย สาริกะภูติ. 2532. โปรตีนจากเนื้อหมูผสมโปรตีนเกษตร. วารสารอาหาร. 19(1): 1-6.
- เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ. 2547. คู่มือมะม่วง. เพ็ท-แพลัน พับลิชชิง, กรุงเทพฯ.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.
- ธนะบุลย์ สัจจานันตกุล. 2548. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดเกษตร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)
- เต็ม สมิตินันท์. 2518. สกุลไม้มะม่วง *Mangifera* L. ไม้มีค่าทางเศรษฐกิจของไทย ตอนที่ 2. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- นภชลย์ ยอดพรหม. 2549. สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีโอกาสปนเปื้อนในโยเกิร์ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. โอ เอส พริ้นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.
- บุญญวดี จิระวุฒิ และ สมศิริ แสงโชติ. 2546.ฤทธิ์ต่อต้านเชื้อราของสารสกัดเปลือกมะม่วงที่ได้จากพันธุ์ต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 34(4-6): 57-60.

พิชญ์อร ไหมสุทธกุล. 2547. ศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระและการตรวจประเมินกิจกรรมการเป็น
สารต้านอนุมูลอิสระของสารจากพืช. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

24 (2): 18-35.

วรรณมณฑน์ ชาญจารุจิตร, ตะวัน แสงสว่าง, กริณญา แกะประจักษ์ และ ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม.

2551. การศึกษาลักษณะเฉพาะของใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วง
และผลต่อคุณภาพของขนมปัง. อาหาร. 38(3): 241-253.

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. ศรีสมบัติการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

วันชัย พันธุ์ทวี. 2546. การคัดเลือกและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างสารต้านจุลชีพจาก
สาหร่ายขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนทรรศน์ นันทะไชย. 2531. ดัชนีการเก็บเกี่ยว วิธีการเก็บเกี่ยว และการกำหนดมาตรฐาน
คุณภาพมะม่วง, 49 ใน กฤษ์ ศยามานนท์, ผู้รวบรวม. มะม่วงเพื่อการส่งออก. โรงพิมพ์จุฬ
สภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุยา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์
ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วิทยาเขตกำแพงแสน,
นครปฐม. 304 น.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2539. มาตรฐานอุตสาหกรรมกุ้งแช่เย็น.

มอก. 914-2539

Ajila, C. M., K.A. Naidu, S.G. Bhat and U. J. S. Prasada Rao. 2007. Bioactive compounds and
antioxidant potential of mango peel extract. **Food Chem.** 105(3): 982-988.

- _____, K. Leelavathi, U. J. S. Prasada Rao. 2008. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. **J. Cereal Sci.** 48: 319-326.
- AOAC. 2002. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Horwitz, William: Association of Official Analytical Chemists. Inc.
- AACC. 2000. **American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. American Association of Cereal Chemists. Inc.
- Ayaz, F. A., O. Demir, H. Torun, Y. Kolcuoglu and A. Colak. 2008. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. **Food Chem.** 106: 291-298.
- Banias, C., V. Oreopoulou and C. D. Thomopoulos. 1992. The effect of primary antioxidants and synergists on the activity of plant extracts in lard. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 69: 520-524.
- Bathai, V. K., J. D. Ramanathan and T. R. Seshadri. 1967. Constitution of magniferin. **Tetrahedron**, 23: 1363-1368.
- Berton, G.W. and K.U. Ingold. 1984. Beta carotene: an unusual type of lipid antioxidant. **Science**. 224: 559-573.
- Berardini, N., M. K. d. Andreas Schieber and R. Carle. 2005a. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. **Innov. Food Sci. Emerg.** 6:442 – 452.

- _____, R. Fezer, J. Conrad, U. Beifuss, R. Carle and A. Schieber. 2005b. Screening of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol *O*- and xanthone *C*-glycosides, anthocyanins and pectin. **J. Agric. Food Chem.** 53:1563–1570.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. **Nutr. Rev.** 56: 317-333.
- Calixto, S. and F. Diego. 2003. Antioxidant dietary fiber. **J. Agric. Food Chem.** 2(1): 223-226.
- Craft, N.E. 2001. Chromatographic techniques for carotenoid separation. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. R.E. Wrolstad. New York, Wiley: F2.3.1-I2.3.15.
- Davidson, P. M., A. F. Branen. 1993. **Antimicrobials in Foods**. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- _____, J.N. Sofos and A.L. Branen. 2005. **Antimicrobials in Foods**. 3rd ed. CRC Press Taylor and Francis Group, New York.
- De Candolle, A. 1884. **Origin of Cultivated Plants**. Kegan Paul Trench & Co., London.
- Dewick, P. M. 2002. **Medicinal Natural Products**. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex.
- Fernandez-Lopez, J., N. Zhi, L. Aleson-Carbonell, J. A. Perez-Alvarez and V. Kuri. 2005. Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: application in beef meatballs. **Meat. Sci.** 69: 371-380.
- Ferruzzi, M. G., L. C. Sander, C. L. Rock and S. J. Schwartz. 1998. Carotenoid determination in biological microsample using liquid chromatography with a coulometric electrochemical array detector. **Anal. Biochem.** 256(1): 74-81.

- Frankel, E. N. 1999. Natural Phenolic Antioxidants and Their Impact on Health, 385-392. *In* L. Packer, M Hiramatsu and T. Yoshikawa, eds. **Antioxidant Food Supplements in Human Health**, T. Academic Press, San Diego.
- Giusti, M. M. and R. E. Wrolstad. 2005. Carotenoids, pp. 71-119 *In* R. E. Wrolstad, P. E. Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. T. Schwartz, C. E. Shoemaker, B. Smith and P. Storms, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Scboken, New Jersey.
- Guo, C., J. Y. Wei, Y. Li, J. Xu and Y. Jiang. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. **Nutr. Rev.** 23: 1719-1726.
- Hatfield, R. D., H. J. G. Jung, J. Ralph, D. R. Buxton and P. J. Weimer. 1994. A comparison of the insoluble residues produced by the klason lignin and acid detergent lignin Procedures. **J. Sci. Food Agric.** 65(1): 51-58.
- Huang, D., B. Ou and R. L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **J. Agric. Food Chem.** 53: 1841-1856.
- Johnson, I. and G. Williamson. 2003. **Phytochemical Functional Foods**. CRC press, New York.
- Kim, D.O. and C.Y. Lee. 2002. Extraction and isolation of polyphenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. R.E. Wrolstad, New York.
- _____, K.W. Lee, H.J. Lee and C.Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **J. Agric. Food Chem.** 50: 3713-3717.

- _____, S.W. Jeong and C. Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chem.** 81: 321-326.
- Klaui, H. and J. C. Bauernfeind. 1981. Carotenoids as Food Color, 48-317. *In* G. F. Stewart, B. S. Schweigert and J. Hawthorn, eds. **Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors**, Academic press, New York.
- Kramlich, W. E., A. M. Pearson and F. M. Tauber. 1980. **Processed Meats**. AVI, New York. 365 p.
- Lakshminarayana, S., N. V. Subhadra and N. Subramanayam. 1979. Some aspects of developmental physiology of mango fruit. **J. Hort. Sci.** 45: 133-142.
- Larrauri, J.A., P. Rupe'rez and F. Saura-Calixto. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. **Lebensm.-Wiss. u.-Tech.** 29: 729-733.
- _____, P. Ruperez and F. Saura-Calixto. 1997. Mango peel fibres with antioxidant activity. **Eur. Food. Res. Tech.** 205:39-42.
- _____, P. Ruperez and F. Saura-Calixto. 1999. New approaches in the preparation of high dietary fibre from fruit by-products. **Trends Food Sci. Tech.** 9: 729-733.
- Lee, S. C., L. Prosky and J. W. Devries. 1992. Determination of total, soluble, and insoluble, dietary fiber in foods-enzymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer: collaborative study. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.** 75: 395-416.

- Leiro, J. M., E. A'lvarez, J. A. Arranz, I. G. Siso and F. Orallo. 2003. *In vitro* effects of mangiferin on superoxide concentrations and expression of the inducible nitric oxide synthase, tumor necrosis factor- α and transforming growth factor- β genes. **Biochem. Pharmacol.** 65: 1361-1371.
- Leong, L.P. and G. Shui. 2001. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. **Food Chem.** 76: 69-75.
- Lima, L. A.G. V., E. A. Me'lo, M. S. Maciel, F. G. Prazeres, R. S. Musser and D. E. S. Lima. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chem.** 90: 565–568.
- Masibo, M. and Q. He. 2008. Major mango polyphenols and their potential significance to human health. **Compr. Rev. in Food Sci. and Food Safety.** 7: 309-319.
- Miller, A. R. 1958. **Meat Hygiene**, 2nd ed. Lea and Febiger, Washington D.C. 557 pp.
- Mukherjee, S.K. 1951. The origin of mango. **Indian J. Genet. Pl. Br.** 11:49-56.
- Prior, R.L., H. Hoang, L. Gu, X. Wu, M. Bacchiocca, L. Howard, M. Hampsch-woodill, D. Huang, B. Ou and R. Jacob. 2005. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORACFL) of plasma and other biological and food samples. **J. Agric. Food Chem.** 51: 3273-3279.
- Prosky, L. and J. W. Devries. 1992. Properties of food fibers/fibers in food product, 6-10. *In* **Controlling Delivery Fiber in Food Product**, Van Nosrand Reinhold, New York.
- Sánchez, A., F. Lorente, A. Ri'o, J. Valenzuela and L. Romero. 1991. Production and transport of carbohydrates in some cultivars of muskmelon. **Acta. Horticulturae.** 287: 485-293.

- Sánchez-Moreno, C. 2002. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological system. **Food Sci. Tech. Int.** 8: 121-137.
- Schieber, A., F. C. Stintzing and R. Carle. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. **Trends. Food Sci. Tech.** 12:401-413.
- Sergio, A.R. Paiva and M. Russell Robert. 1999. β -carotene and other carotenoids as antioxidant. **J. Am. Coll. Nutr.** 18: 426-433.
- Shahidi, F. and M. Nacz. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals**. CRC press, New York.
- Singh, B. N., P. V. V. Seshagiri, S. S. Gupta. 1937. Ontogenetic drifts in the physiology and chemistry of tropical fruits under orchard conditions. **Indian. J. Agr. Sci.** 7: 176-192.
- Singh, R. P., M. Chaidambara, and G. K. Jayaprakash. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. **J. Agric. Food Chem.** 50:81-86.
- Sinnhuber, R. O. and T. C. Yu. 1985. 2-thiobarbuturic acid method for the measurement of rancidity in fishery products. **Food Technol.** 12(9): 9-12.
- Stryer, L. 1975. **Biochemistry**. W.H. Freeman and Co, San Francisco.
- Subramanyam, H., S. Krishnamurthy and H. A. B. Parpia. 1975. Physiology and biochemistry of mango fruit. **Adv. Food Res.** 21: 223-305.

- Sun, J., Y. F. Chu, X. Wu and R. H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common Fruits. **J. Agric. Food Chem.** 50(25): 7449-7454.
- Surak, J. G. 1977. Monotertiary butyl hydroquinone effects on *Tetrahymena pyriformis*. **Life Sci.** 20: 1735.
- Tan, F. J., F. Y. Liao, Y. J. Jhan and D. C. Liu. 2007. Effect of replacing pork backfat with yams (*Dioscorea alata*) on quality characteristics of Chinese sausage. **J. Food Eng.** 79: 858-863.
- Tomas-Barberan, F. A., M. Garcia-Grau and F. Tomas-Lorente. 1991. Flavonoid concentration changes in maturing broad bean pods. **J. Agric. Food Chem.** 39: 255-258.
- Thongson, C., P.M. Davidson, W. Mahakarnchanakul and J. Weiss. 2004. Antimicrobial activity of ultrasound-assisted solvent-extracted spices. **Lett. Appl. Microbiol.** 39: 401-406.
- Vergara-Valencia, N., E. Granados-Perez, E. Agama-Acevedo, J. Tovar, J. Ruales and L. A. Bello-Perez. 2007. Fiber concentrate from mango fruit: characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. **LWT-Food Sci. Tech.** 40: 722-729.
- Villanueva, M. J., M. D. Tenorio, M.A. Esteban and M. C. Mendoza. 2004. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. **Food Chem.** 87: 179-185.
- Vvedenskaya, I. O. and N. Vorsa. 2004. Flavonoid composition over fruit development and maturation in American cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait. **Plant Sci.** 167(5): 1043-1054.

Waterman, P. G. and S. Mole. 1994. **Analysis of Phenolic Plant Metabolisms**. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Yoshikawa, T., Y. Naito and M. Kondo. 1997. Free radicals and diseases, 11-19.

In M. Hiramatsu, T. Yoshikawa and M. Inoue, eds. **Food and Free Radicals**, Plenum Press, New York and London.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพแสดงผลการทดลอง



49 วัน



77 วัน



100 วัน



120 วัน

มะม่วงสายพันธุ์มหาชนก



49 วัน



77 วัน



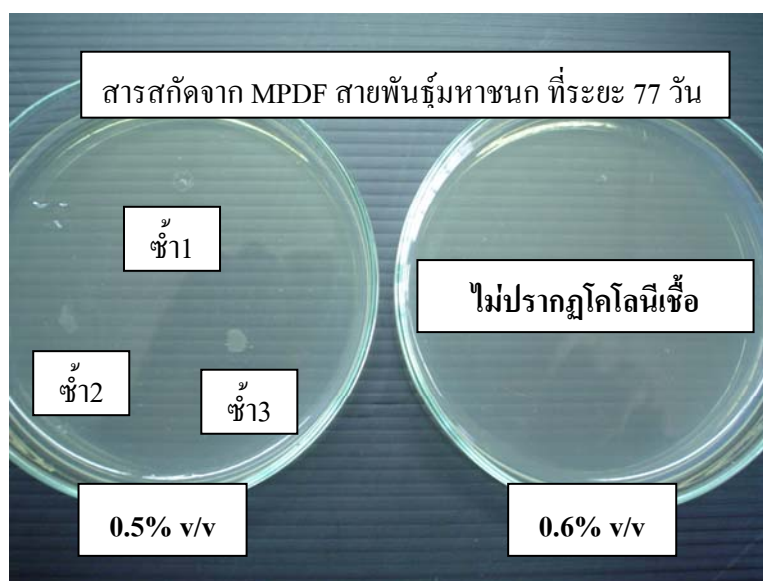
100 วัน



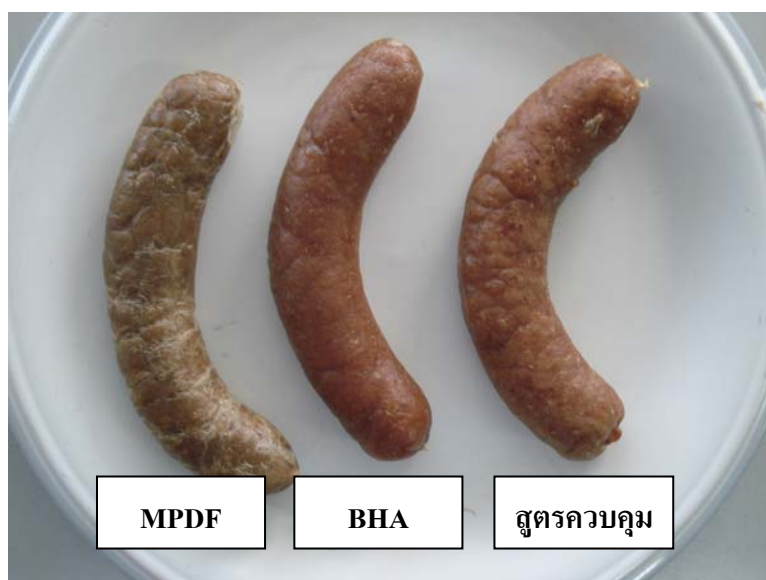
120 วัน

มะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้

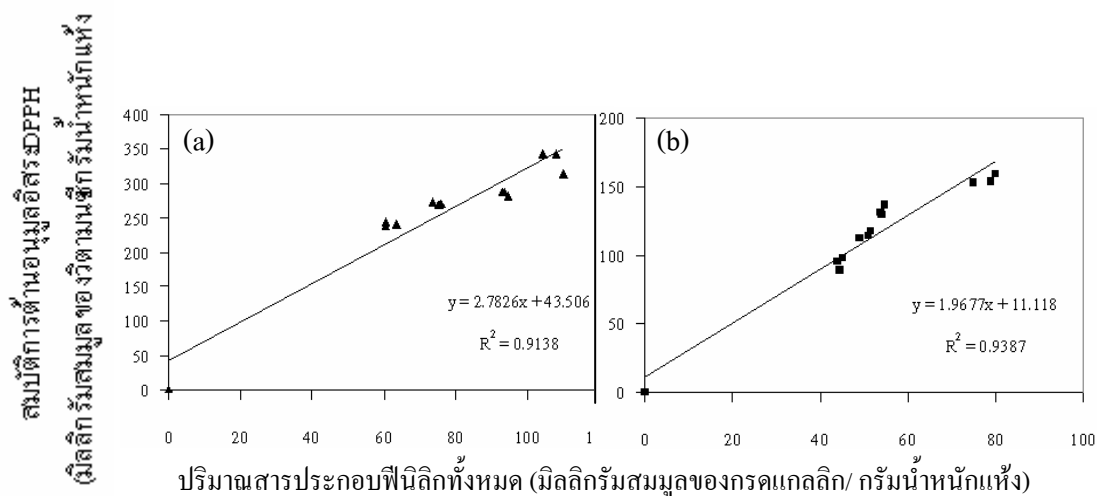
ภาพผนวกที่ ก1 มะม่วงสายพันธุ์มหาชนกและสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระยะการเจริญเติบโต 49 77
100 และ 120 วัน



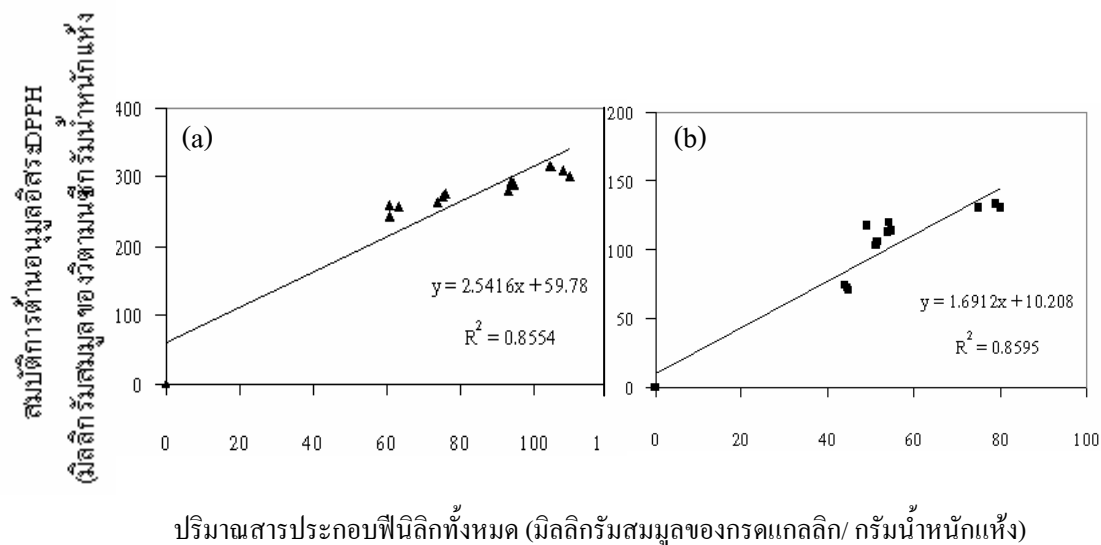
ภาพผนวกที่ ก2 ภาพแสดงการศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธี agar dilution assay ต่อเชื้อ *Bacillus cereus* ด้วยสารสกัดจาก MPDF



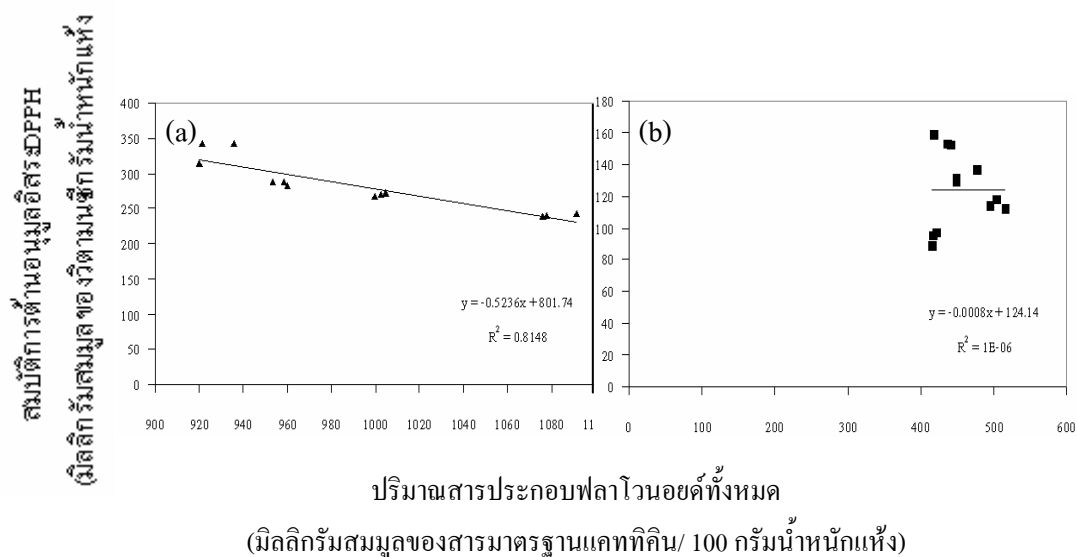
ภาพผนวกที่ ก3 ภาพแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์กุนเชียงสูตรพื้นฐาน กุนเชียงที่เสริม MPDF และ กุนเชียงที่เติม BHA



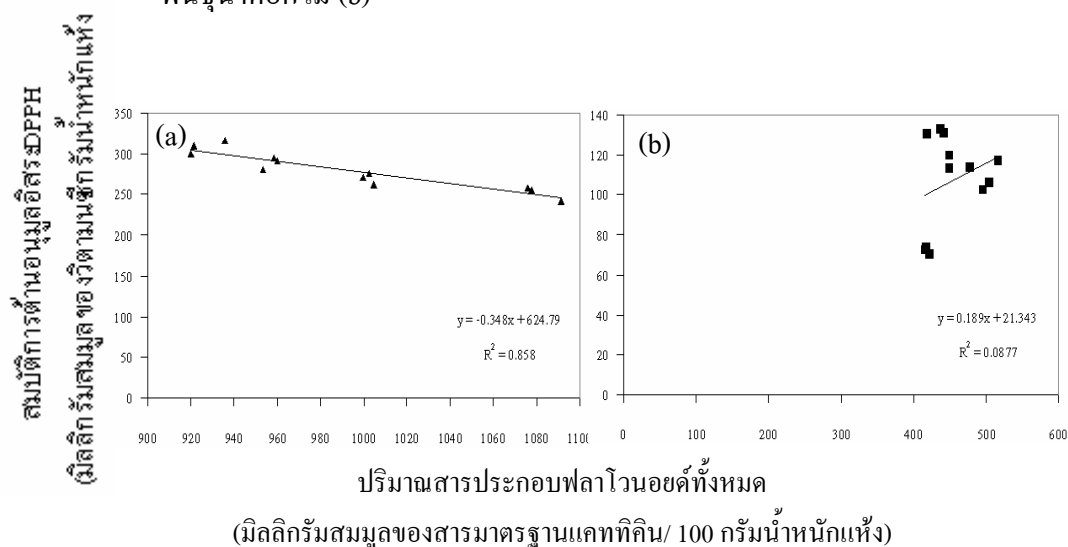
ภาพผนวกที่ ก4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



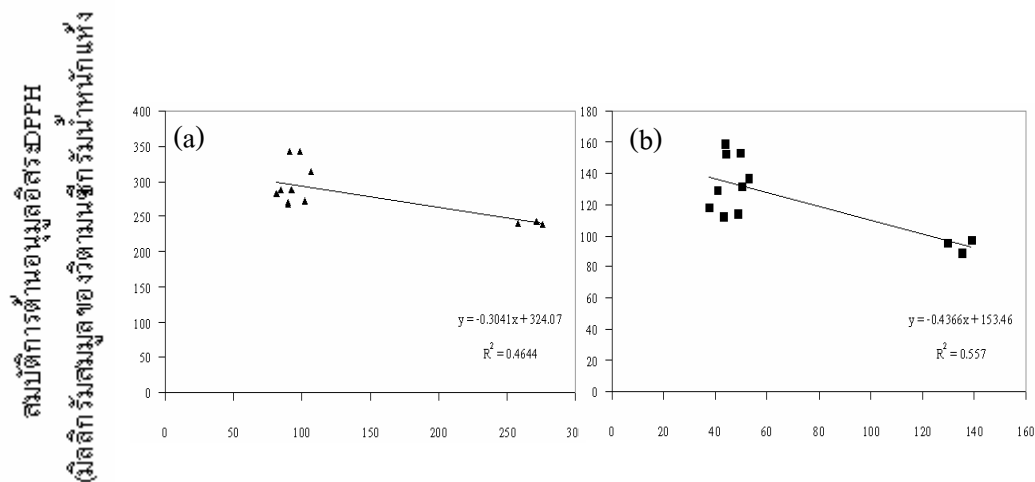
ภาพผนวกที่ ก5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



ภาพผนวกที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)

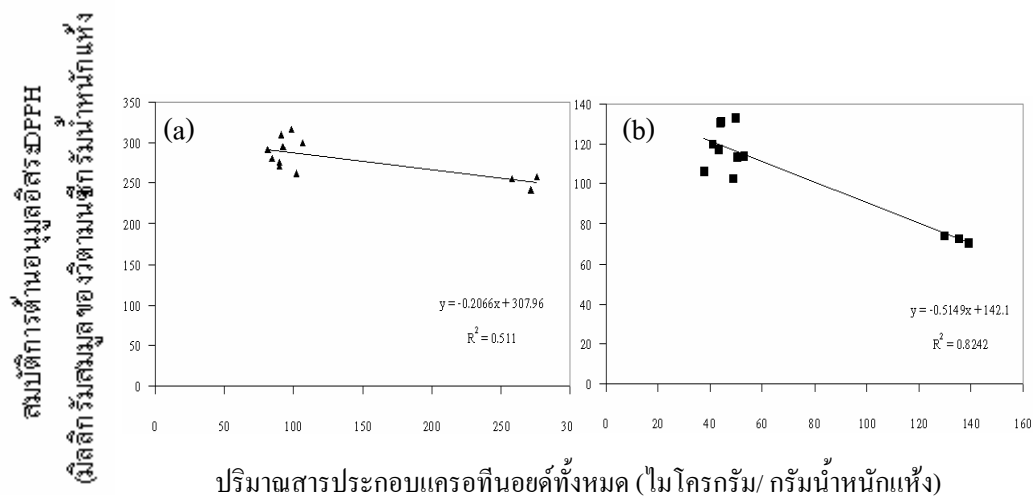


ภาพผนวกที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)

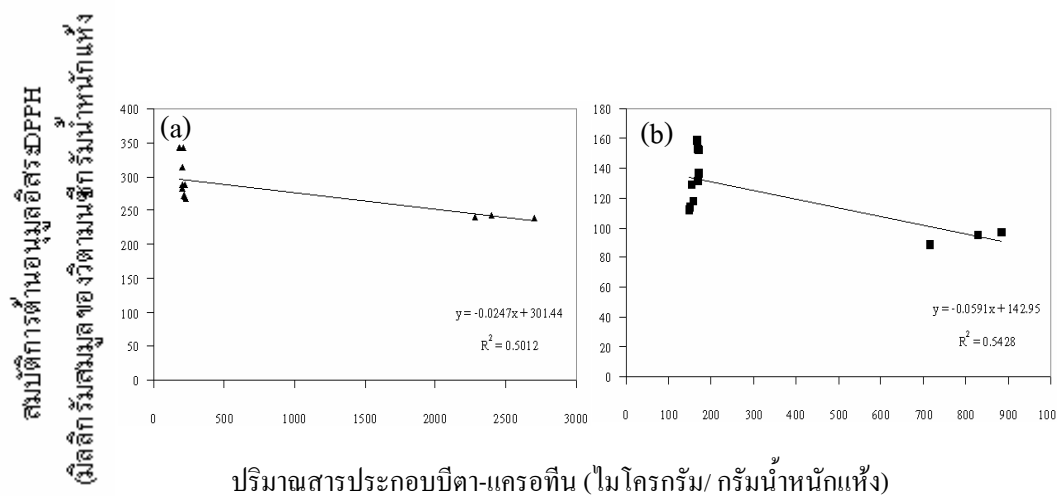


ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/ กรัม น้ำหนักแห้ง)

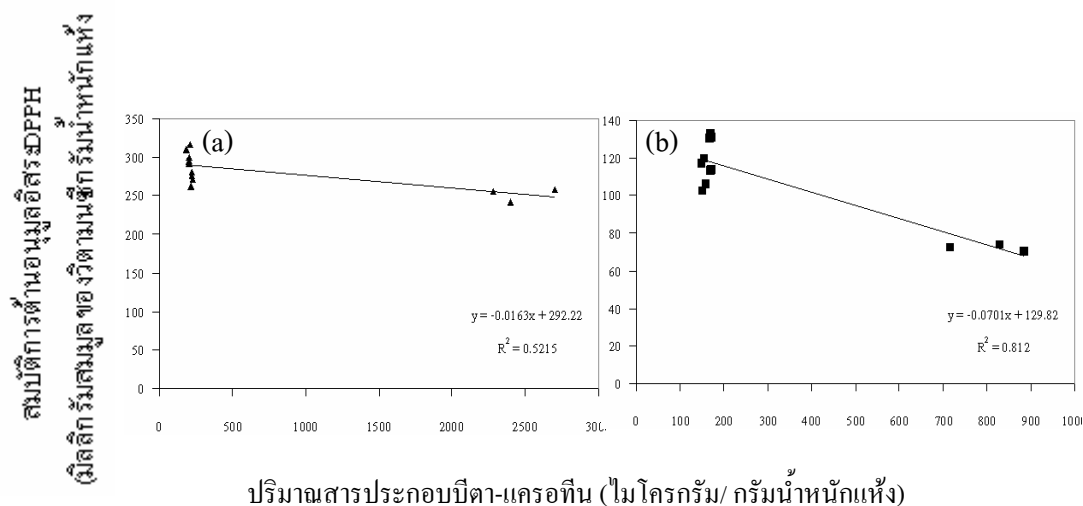
ภาพผนวกที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



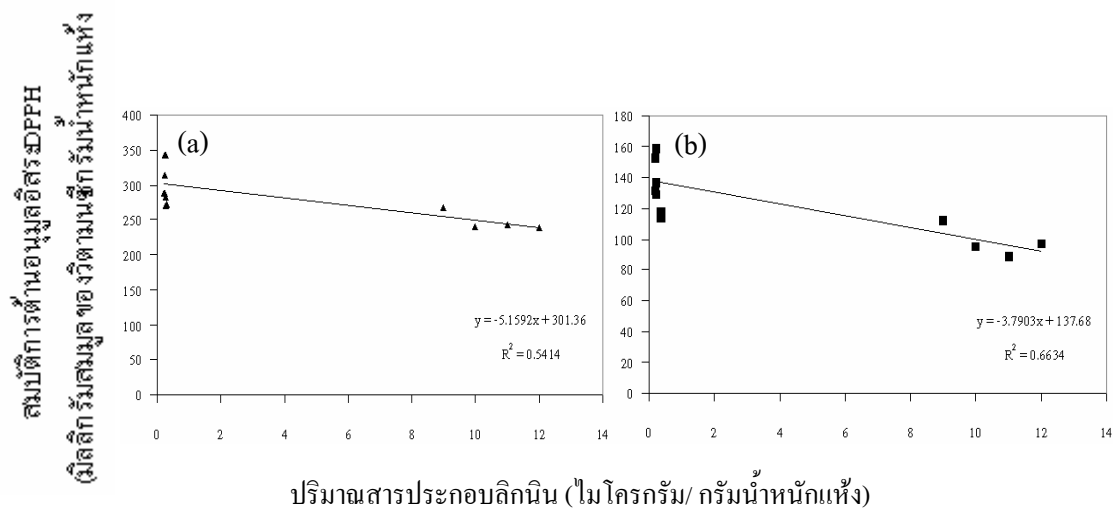
ภาพผนวกที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



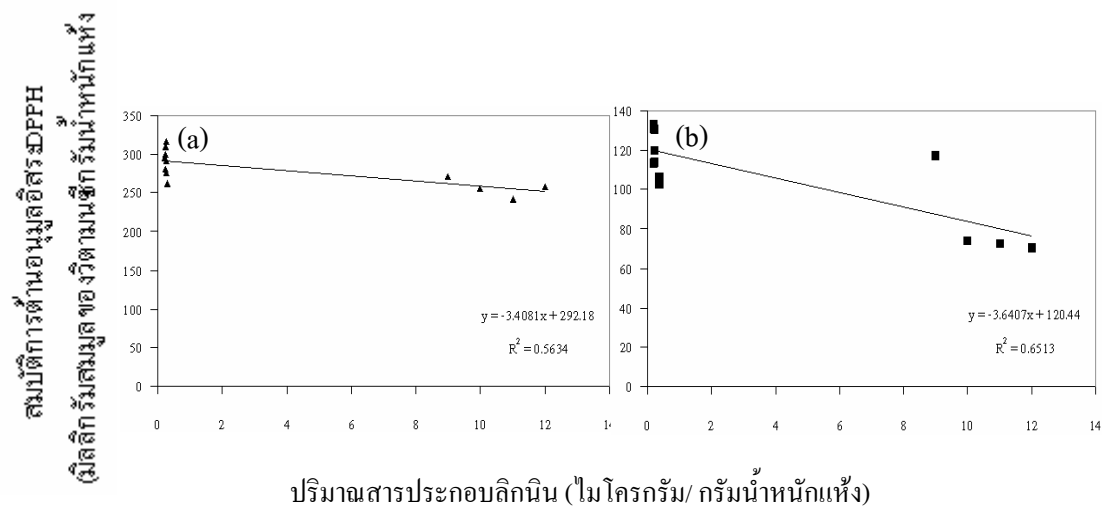
ภาพผนวกที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบปีตา-แคโรทีนและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



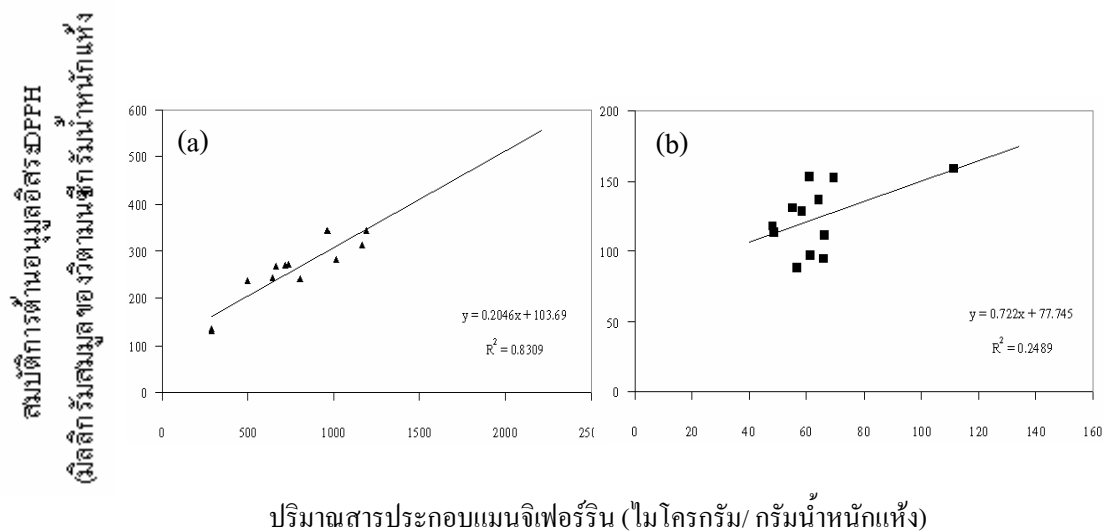
ภาพผนวกที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบปีตา-แคโรทีนและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



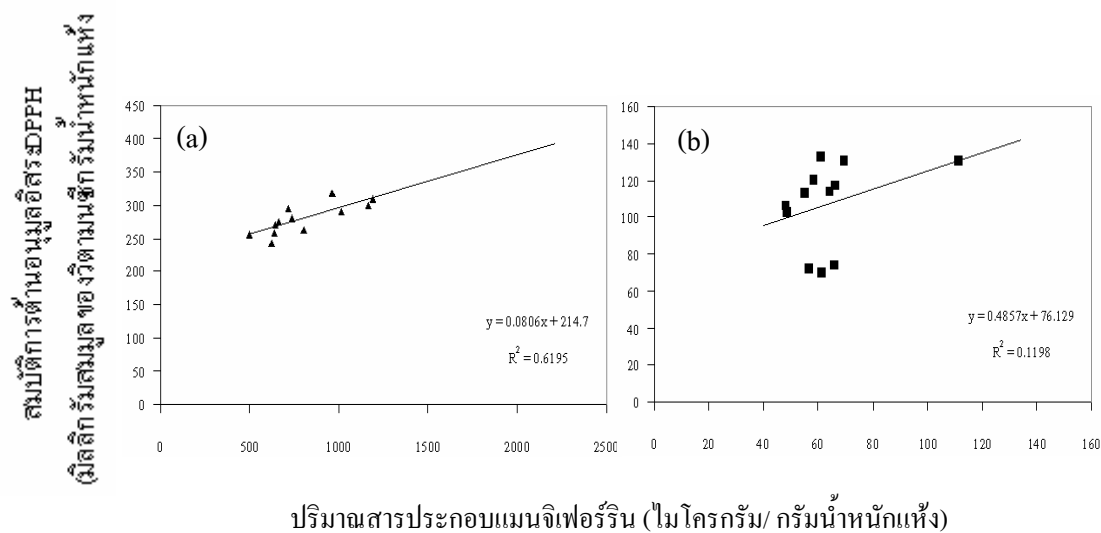
ภาพผนวกที่ ก12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก(a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้(b)



ภาพผนวกที่ ก13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก(a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้(b)



ภาพผนวกที่ ก14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รีนและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)



ภาพผนวกที่ ก15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบแมนจิเฟอร์รีนและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF สายพันธุ์มหาชนก (a) และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (b)

ภาคผนวก ข

ดัชนีบ่งชี้การเจริญเติบโตของผลมะม่วง

ตารางผนวกที่ ข1 ขนาดของผล (ความกว้าง ความยาว เส้นรอบวง) ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และ
สายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล

ตัวอย่าง	ความกว้าง	ความยาว	เส้นรอบวง
	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
มะม่วงมหาชนก อายุ (วัน)			
49	5.7 ± 0.1	14.2 ± 0.4	17.0 ± 0.4
77	6.1 ± 0.2	15.4 ± 0.5	17.5 ± 0.2
100	6.5 ± 0.3	17.1 ± 0.9	20.4 ± 0.7
120	7.0 ± 0.3	18.0 ± 1.0	21.0 ± 0.7
มะม่วงน้ำดอกไม้ อายุ (วัน)			
49	6.5 ± 0.1	12.6 ± 0.2	20.2 ± 0.8
77	6.7 ± 0.3	13.8 ± 0.5	21.7 ± 0.9
100	7.6 ± 0.3	14.9 ± 0.4	24.3 ± 0.9
120	————— รับเป็นเปลือกมะม่วง —————		

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข2 น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้
ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ความถ่วงจำเพาะ
	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
มะม่วงมหาชนก อายุ (วัน)		
49	218.4 $\pm$ 21.9	1.04 $\pm$ 0.02
77	250.4 $\pm$ 11.1	1.02 $\pm$ 0.02
100	340.1 $\pm$ 24.4	1.04 $\pm$ 0.07
120	403.5 $\pm$ 43.0	1.03 $\pm$ 0.01
มะม่วงน้ำดอกไม้ อายุ (วัน)		
49	257.0 $\pm$ 11.6	1.08 $\pm$ 0.12
77	333.8 $\pm$ 16.4	0.96 $\pm$ 0.04
100	400.4 $\pm$ 24.3	1.02 $\pm$ 0.02
120	— รับเป็นเปลือกมะม่วง —	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข3 สีเปลือกของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล

ตัวอย่าง	ค่า L	ค่า a	ค่า b
	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
มะม่วงมหาชนก อายุ (วัน)			
49	54.1 $\pm$ 1.8	-5.9 $\pm$ 1.6	22.9 $\pm$ 1.5
77	48.0 $\pm$ 4.3	-4.0 $\pm$ 3.8	21.0 $\pm$ 3.4
100	52.3 $\pm$ 3.0	-3.2 $\pm$ 2.4	20.8 $\pm$ 2.2
120	61.6 $\pm$ 2.0	15.0 $\pm$ 2.0	32.4 $\pm$ 1.1
มะม่วงน้ำดอกไม้ อายุ (วัน)			
49	52.5 $\pm$ 2.7	-8.4 $\pm$ 0.3	21.6 $\pm$ 1.3
77	60.0 $\pm$ 1.2	-4.9 $\pm$ 1.3	25.4 $\pm$ 0.7
100	63.1 $\pm$ 1.8	-3.5 $\pm$ 3.1	24.9 $\pm$ 1.4
120	—————	รับเป็นเปลือกมะม่วง	—————

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข4 สีเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล

ตัวอย่าง	ค่า L	ค่า a	ค่า b
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
มะม่วงมหาชนก อายุ (วัน)			
49	66.7 ± 1.2	-1.2 ± 0.7	28.9 ± 1.0
77	68.8 ± 3.1	6.2 ± 7.6	32.9 ± 2.7
100	70.9 ± 1.5	10.4 ± 2.0	35.5 ± 1.1
120	58.1 ± 0.5	24.6 ± 1.5	32.5 ± 0.5
มะม่วงน้ำดอกไม้ อายุ (วัน)			
49	75.0 ± 0.1	-5.0 ± 1.6	25.1 ± 1.4
77	78.1 ± 1.5	4.0 ± 0.4	32.7 ± 0.7
100	81.2 ± 0.8	-1.7 ± 0.3	26.8 ± 0.3
120	—————	รับเป็นเปลือกมะม่วง	—————

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข5 ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ของ มะม่วงพันธุ์มหาชนก และสายพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อายุต่างๆ หลังจากติดผล

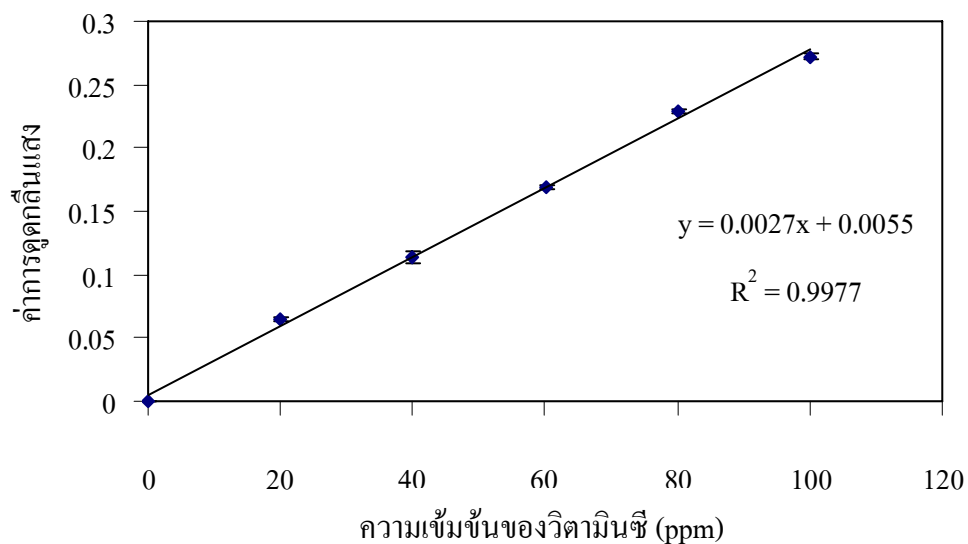
ตัวอย่าง	ความแน่นเนื้อ (ปอนด์)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)*
	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
มะม่วงมหาชนก อายุ (วัน)		
49	26.1 ± 2.5	10.3 ± 0.6
77	6.4 ± 0.6	11.5 ± 0.5
100	4.2 ± 0.2	13.8 ± 0.8
120	2.0 ± 0.2	13.9 ± 0.1
มะม่วงน้ำดอกไม้ อายุ (วัน)		
49	26.1 ± 1.7	9.7 ± 0.1
77	21.5 ± 1.5	11.3 ± 0.6
100	20.4 ± 3.0	13.5 ± 0.5
120	— รับเป็นเปลือกมะม่วง —	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

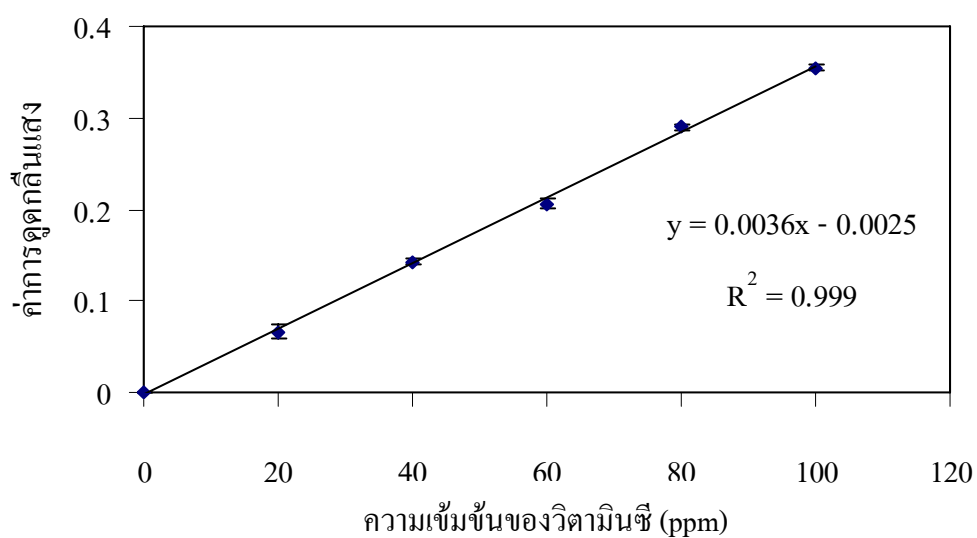
* ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำคือน้ำมะม่วงกั้น 10 ตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

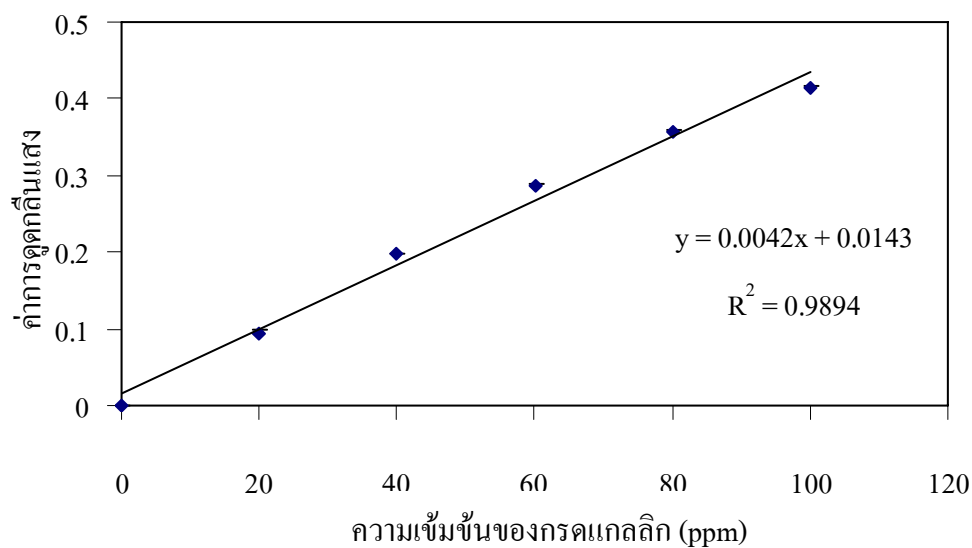
กราฟมาตรฐาน



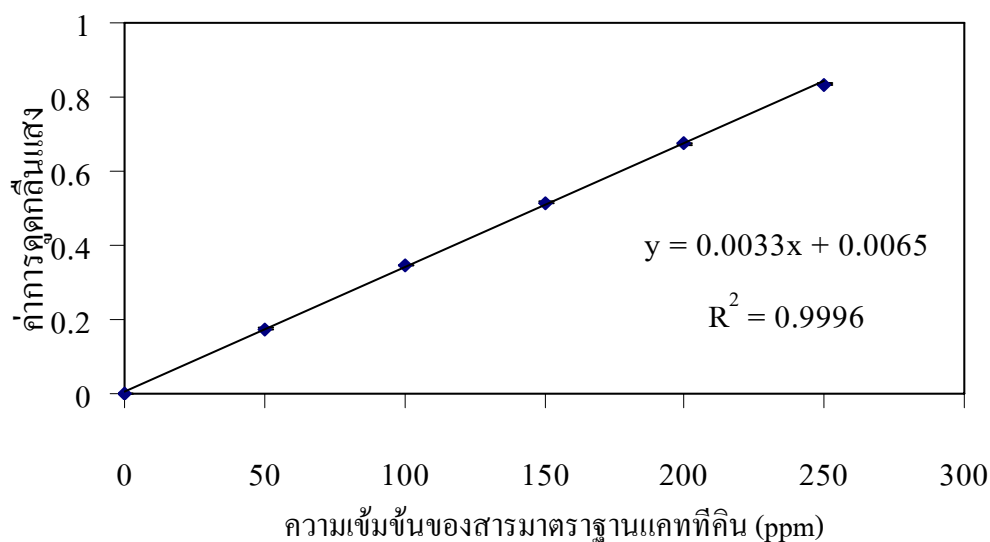
ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH



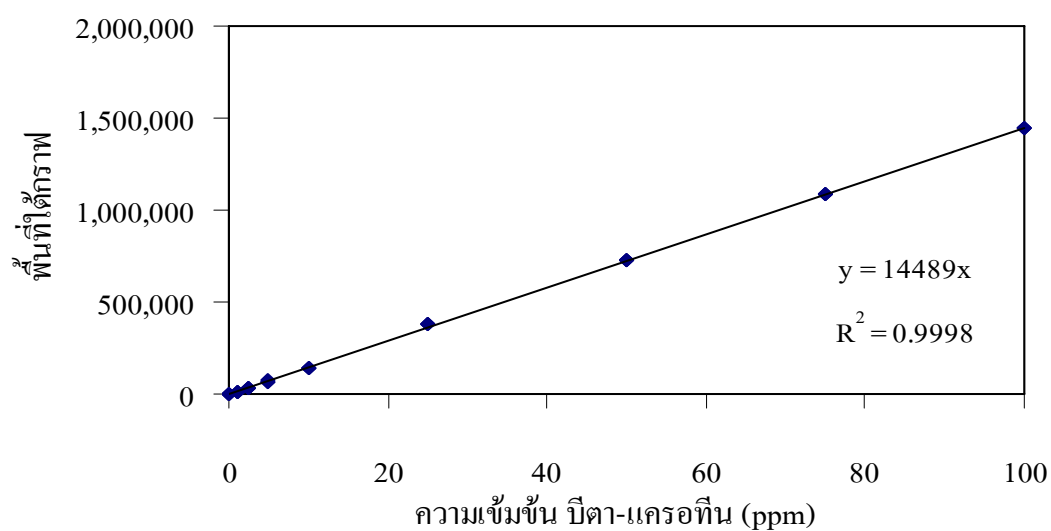
ภาพผนวกที่ ค2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS



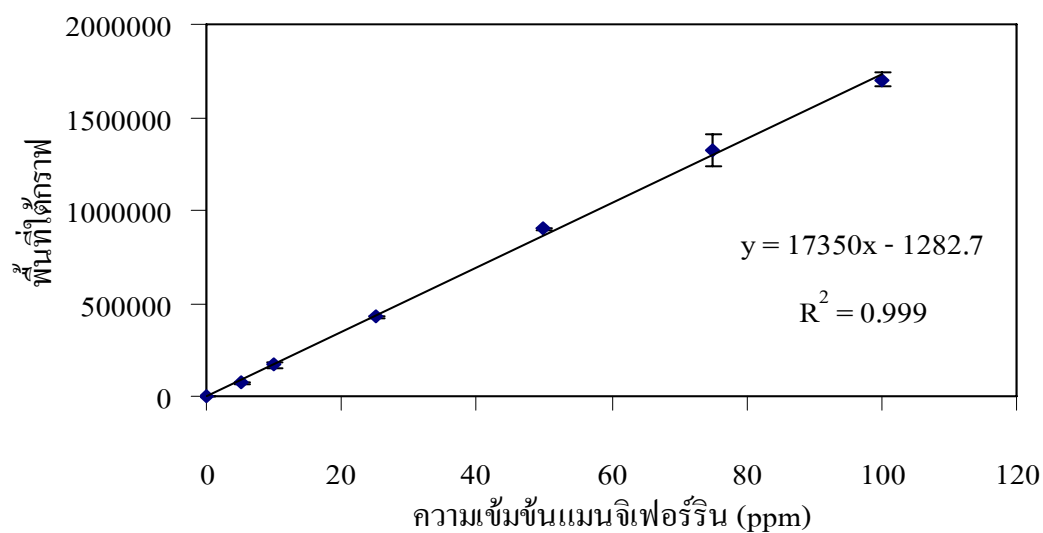
ภาพผนวกที่ ค3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด



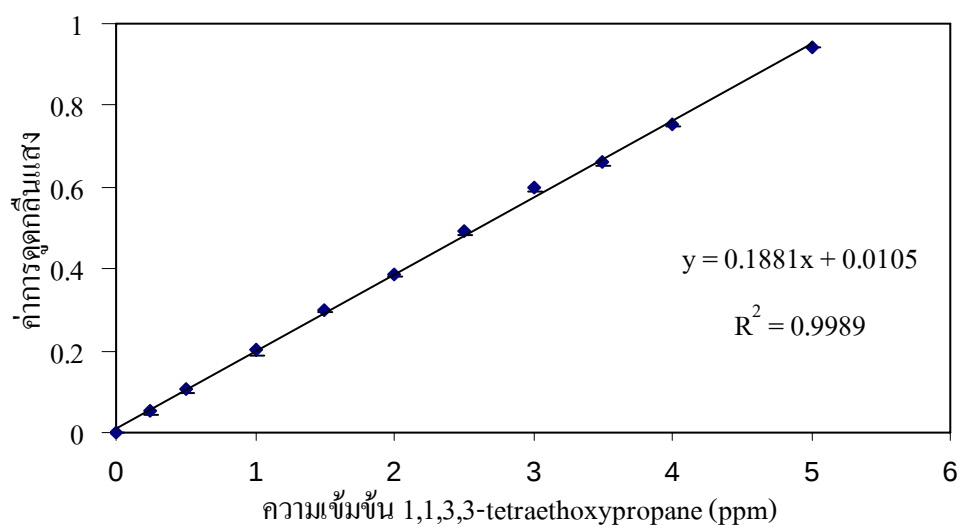
ภาพผนวกที่ ค4 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานแคททีคิน (catechin) สำหรับการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด



ภาพผนวกที่ ค5 กราฟมาตรฐานของสารประกอบบีตา-แคโรทีน (β -carotene)



ภาพผนวกที่ ค6 กราฟมาตรฐานของสารแมนจิเฟอร์รีน (mangiferin)



ภาพผนวกที่ ค7 กราฟมาตรฐานของสาร 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane (malondialdehyde)

ภาคผนวก ง
สูตรและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

สูตรและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Trypticase Soy Agar (TSA, Merck Laboratories, Darmstadt, Germany)

Peptone from casein	15.0	กรัม
Peptone from soymeal	5.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Agar-agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยต้มให้เดือดในอ่างน้ำร้อนหรือตั้งบนเปลวไฟโดยตรง นิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที

2. Trypticase Soy Agar + Yeast extract (TSAYE, Merck Laboratories, Darmstadt, Germany)

Peptone from casein	15.0	กรัม
Peptone from soymeal	5.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Agar-agar	15.0	กรัม
Yeast extract	6.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยต้มให้เดือดในอ่างน้ำร้อนหรือตั้งบนเปลวไฟโดยตรง นิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที

3. Trypticase Soy Broth (TSB, Merck Laboratories, Darmstadt, Germany)

Peptone from casein	17.0	กรัม
Peptone from soymeal	3.0	กรัม
D (+) Glucose	2.5	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
<i>di</i> -Potassium hydrogen phosphate	2.5	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น 1 ลิตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

4. Trypticase Soy Broth + Yeast extract (TSBYE, Merck Laboratories, Darmstadt, Germany)

Peptone from casein	15.0	กรัม
Peptone from soymeal	5.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Yeast extract	6.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยต้มให้เดือดในอ่างน้ำร้อนหรือตั้งบนเปลวไฟโดยตรง นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

5. Diluent (Merck Laboratories, Darmstadt, Germany)

Peptone from meat	1.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	กรัม

ละลายสารในน้ำกลั่นให้เข้ากัน เทใส่หลอดทดลองหลอดละ 9 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ภาคผนวก จ
ตารางวิเคราะห์สถิติ

ตารางผนวกที่ จ1 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณความชื้นใน MPDF โดยใช้การวิเคราะห์
แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: MOISTURE

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	3.864077	1.2422x10 ⁻²	2
	2	4.761926	0.101995	2
	3	4.641821	0.547492	2
	4	3.906935	0.101390	2
	Total	4.293690	0.488402	8
2	1	5.720290	4.01446x10 ⁻²	2
	2	5.823429	5.21862x10 ⁻²	2
	3	7.618029	0.126183	2
	4	7.007295	0.304818	2
	Total	6.542261	0.865609	8
Total	1	4.792183	1.071960	4
	2	5.292678	0.616419	4
	3	6.129925	1.748665	4
	4	5.457115	1.799576	4
	Total	5.417975	1.345089	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MOISTURE

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23.887 ^a	4	5.972	20.201	0.000
Intercept	469.671	1	4693671	1588.766	0.000
CULTIVAR	20.224	1	20.224	68.413	0.000
MATURITY	3.663	3	1.221	4.130	0.034
Error	3.252	11	0.296		
Total	496.810	16			
Corrected Total	27.139	15			

a. R Squared = 0.880 (Adjusted R Squared = 0.837)

ตารางผนวกที่ จ2 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณไขมันใน MPDF โดยใช้การวิเคราะห์
แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: LIPID

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	2.656155	0.343396	2
	2	2.633954	0.221275	2
	3	2.342373	8.86932x10 ⁻²	2
	4	2.549625	0.246588	2
	Total	2.545527	0.226226	8
2	1	2.530674	8.42158x10 ⁻³	2
	2	2.217939	5.98193x10 ⁻²	2
	3	2.423682	3.36130x10 ⁻²	2
	4	2.791052	0.195317	2
	Total	2.490837	0.234315	8
Total	1	2.593414	0.211137	4
	2	2.425946	0.274232	4
	3	2.383028	7.21285x10 ⁻²	4
	4	2.670339	0.228940	4
	Total	2.518182	0.224282	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: LIPID

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.234 ^a	4	5.858x10 ⁻²	1.239	0.350
Intercept	101.460	1	101.460	2145.314	0.000
CULTIVAR	1.196x10 ⁻²	1	1.196x10 ⁻²	0.253	0.625
MATURITY	0.222	3	7.411x10 ⁻²	1.567	0.253
Error	0.520	11	4.729x10 ⁻²		
Total	102.214	16			
Corrected Total	0.755	15			

a. R Squared = 0.311 (Adjusted R Squared = 0.060)

ตารางผนวกที่ จ3 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเถ้าใน MPDF) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ
Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: ASH

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	1.109277	5.68934x10 ⁻³	2
	2	1.341755	2.05018x10 ⁻²	2
	3	1.580523	2.19667x10 ⁻²	2
	4	1.923696	1.93695x10 ⁻²	2
	Total	1.488838	0.322396	8
2	1	1.312514	9.17676x10 ⁻³	2
	2	1.343319	8.45778x10 ⁻³	2
	3	1.600296	4.25469x10 ⁻²	2
	4	1.891178	2.27071x10 ⁻²	2
	Total	1.536827	0.249911	8
Total	1	1.210946	0.117447	4
	2	1.342537	1.28362x10 ⁻²	4
	3	1.590410	2.99095x10 ⁻²	4
	4	1.907437	2.54835x10 ⁻²	4
	Total	1.512833	0.279759	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ASH

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.137 ^a	4	0.284	83.813	0.000
Intercept	36.619	1	36.619	10880.24	0.000
CULTIVAR	9.212x10 ⁻³	1	9.212x10 ⁻³	2.717	0.128
MATURITY	1.127	3	0.376	110.845	0.000
Error	3.730x10 ⁻²	11	3.391x10 ⁻³		
Total	37.793	16			
Corrected Total	1.174	15			

a. R Squared = 0.968 (Adjusted R Squared = 0.957)

ตารางผนวกที่ จ4 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนใน MPDF โดยใช้การวิเคราะห์
แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: PROTEIN

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	5.094292	4.70318x10 ⁻²	2
	2	5.483402	1.93307x10 ⁻²	2
	3	3.938041	8.16275x10 ⁻²	2
	4	4.700563	2.91315x10 ⁻²	2
	Total	4.804075	0.612137	8
2	1	5.126718	0.142481	2
	2	4.487727	4.76858x10 ⁻²	2
	3	4.398908	3.28860x10 ⁻²	2
	4	7.861689	5.54737x10 ⁻²	2
	Total	5.468761	1.508403	8
Total	1	5.110505	8.86273x10 ⁻²	4
	2	4.985565	0.575620	4
	3	4.168474	0.270889	4
	4	6.281126	1.825435	4
	Total	5.136418	1.163820	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PROTEIN

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.850 ^a	4	2.713	3.152	0.059
Intercept	422.125	1	422.125	490.473	0.000
CULTIVAR	1.767	1	1.767	2.053	0.180
MATURITY	9.083	3	3.028	3.518	0.053
Error	9.467	11	0.861		
Total	442.442	16			
Corrected Total	20.317	15			

a. R Squared = 0.534 (Adjusted R Squared = 0.365)

ตารางผนวกที่ จ5 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยหยาบใน MPDF โดยใช้การ
วิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: CRUDE FIBER

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	28.10780	4.299307	2
	2	32.49106	9.194745	2
	3	27.79283	2.482807	2
	4	26.43804	4.490261	2
	Total	28.70743	4.937875	8
2	1	37.66092	10.052406	2
	2	27.89243	1.352236	2
	3	30.21518	9.479355	2
	4	25.93169	2.511015	2
	Total	30.42505	7.141981	8
Total	1	32.88436	8.382461	4
	2	30.19175	5.986633	4
	3	29.00401	5.827814	4
	4	26.18487	2.984629	4
	Total	29.56624	5.997413	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CRUDE FIBER

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	104.405 ^a	4	26.101	0.660	0.633
Intercept	13986.605	1	13986.605	353.579	0.000
CULTIVAR	11.801	1	11.801	0.298	0.596
MATURITY	92.604	3	30.868	0.780	0.529
Error	435.130	11	39.557		
Total	14526.139	16			
Corrected Total	539.534	15			

a. R Squared = 0.194 (Adjusted R Squared = -0.100)

ตารางผนวกที่ จ6 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตใน MPDF โดยใช้การ
วิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: CARBOHYDRATE

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	57.10895	4.626639	2
	2	52.22483	8.997867	2
	3	56.70843	2.481216	2
	4	57.41330	4.496652	2
	Total	55.86388	4.848525	8
2	1	49.70824	9.883391	2
	2	59.29822	1.241872	2
	3	56.73989	10.005606	2
	4	57.58494	2.679816	2
	Total	55.83282	6.690523	8
Total	1	53.40859	7.612660	4
	2	55.76153	6.646722	4
	3	56.72416	5.951739	4
	4	57.49912	3.023836	4
	Total	55.84835	5.644483	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CARBOHYDRATE

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	37.812 ^a	4	9.453	0.236	0.912
Intercept	49904.608	1	49904.608	1247.357	0.000
CULTIVAR	3.858x10 ⁻³	1	3.858x10 ⁻³	0.000	0.992
MATURITY	37.808	3	12.603	0.315	0.814
Error	440.091	11	40.008		
Total	50382.511	16			
Corrected Total	477.903	15			

a. R Squared = 0.079 (Adjusted R Squared = -0.256)

ตารางผนวกที่ จ7 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยอาหารใน MPDF โดยใช้การ
วิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: DIETARY FIBER

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	47.47798	4.057014	2
	2	57.06681	2.278863	2
	3	60.50933	6.383533	2
	4	64.25993	2.368303	2
	Total	57.32851	7.353699	8
2	1	65.64531	1.156359	2
	2	60.15625	11.517251	2
	3	67.81005	1.799012	2
	4	72.23593	1.893345	2
	Total	66.46188	6.458388	8
Total	1	56.56164	10.767985	4
	2	58.61153	7.009158	4
	3	64.15969	5.694631	4
	4	68.24793	4.926466	4
	Total	61.89520	8.182044	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DIETARY FIBER

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	672.532 ^a	4	168.133	5.576	0.011
Intercept	61296.248	1	61296.248	2033.006	0.000
CULTIVAR	333.674	1	333.674	11.067	0.007
MATURITY	338.858	3	112.953	3.746	0.045
Error	331.656	11	30.151		
Total	62300.435	16			
Corrected Total	1004.188	15			

a. R Squared = 0.670 (Adjusted R Squared = 0.550)

ตารางผนวกที่ จ8 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเชื้อ
MPDF โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: DPPH RADICAL SCAVENGING

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	332.9475	17.106675	3
	2	285.5710	3.349157	3
	3	270.1389	1.851852	3
	4	240.8179	2.549801	3
	Total	282.3688	35.625708	12
2	1	154.6838	3.647280	3
	2	132.2906	3.840452	3
	3	114.5128	3.108809	3
	4	93.65812	4.516995	3
	Total	123.7863	23.699409	12
Total	1	243.8156	98.263767	6
	2	208.9308	84.016961	6
	3	192.3259	85.270625	6
	4	167.2380	80.669463	6
	Total	203.0776	86.232709	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DPPH RADICAL SCAVENGING

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	169454.007 ^a	4	42363.502	510.780	0.000
Intercept	989772.045	1	989772.045	11933.77	0.000
CULTIVAR	150890.460	1	150890.460	1819.299	0.000
MATURITY	18563.547	3	6187.849	74.607	0.000
Error	1575.837	19	82.939		
Total	1160801.889	24			
Corrected Total	171029.844	23			

a. R Squared = 0.991 (Adjusted R Squared = 0.989)

ตารางผนวกที่ จ9 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของ MPDF
โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: ABTS RADICAL SCAVENGING

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	308.5069	8.554642	3
	2	288.7153	7.275113	3
	3	269.3866	6.744816	3
	4	251.9097	8.448281	3
	Total	279.6296	23.071501	12
2	1	131.5425	1.418466	3
	2	155.6601	3.803787	3
	3	108.8627	7.677165	3
	4	72.32680	1.863605	3
	Total	107.0980	22.975811	12
Total	1	220.0247	97.082458	6
	2	202.1877	94.928308	6
	3	189.1247	88.159755	6
	4	162.1183	98.513688	6
	Total	193.3638	90.952663	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ABTS RADICAL SCAVENGING

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	189300.416 ^a	4	47325.104	932.288	0.000
Intercept	897349.739	1	897349.739	17677.48	0.000
CULTIVAR	178602.898	1	178602.898	3518.415	0.000
MATURITY	10697.518	3	3565.839	70.246	0.000
Error	964.484	19	50.762		
Total	1087614.640	24			
Corrected Total	190264.900	23			

a. R Squared = 0.995 (Adjusted R Squared = 0.994)

ตารางผนวกที่ จ10 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ
MPDF โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TOTAL PHENOLS

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	107.6349	2.808223	3
	2	93.87831	0.814540	3
	3	75.04233	1.232929	3
	4	61.60317	1.649572	3
	Total	84.53968	18.429795	12
2	1	77.91997	2.662602	3
	2	54.20966	0.413029	3
	3	50.57209	1.275615	3
	4	44.45437	0.496032	3
	Total	56.78902	13.314924	12
Total	1	92.77745	16.458543	6
	2	74.04398	21.735091	6
	3	62.80721	13.449784	6
	4	53.02877	9.455758	6
	Total	70.66435	21.169076	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TOTAL PHENOLS

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9859.551 ^a	4	2464.888	104.670	0.000
Intercept	119842.815	1	119842.815	5089.047	0.000
CULTIVAR	4620.595	1	4620.595	196.211	0.000
MATURITY	5238.956	3	1746.319	74.156	0.000
Error	447.434	19	23.549		
Total	130149.800	24			
Corrected Total	10306.985	23			

a. R Squared = 0.957 (Adjusted R Squared = 0.947)

ตารางผนวกที่ จ11 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด
ของ MPDF โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TOTAL FLAVONOIDS

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	925.8838	8.780474	3
	2	957.4495	3.580163	3
	3	1002.399	2.660518	3
	4	1081.692	8.344804	3
	Total	991.8561	61.412613	12
2	1	432.7477	12.344315	3
	2	458.4234	15.995749	3
	3	505.2703	10.784973	3
	4	418.0330	3.447736	3
	Total	453.6186	35.994465	12
Total	1	679.3158	270.271628	6
	2	707.9365	273.524366	6
	3	753.8346	272.379233	6
	4	749.8625	363.545794	6
	Total	722.7373	279.279779	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TOTAL FLAVONOIDS

Type III Sum of					
Source	Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1761041.131 ^a	4	440260.283	254.297	0.000
Intercept	12536382.290	1	12536382.3	7241.100	0.000
CULTIVAR	1738197.264	1	1738197.264	1003.995	0.000
MATURITY	22843.868	3	7614.623	4.398	0.016
Error	32894.348	19	1731.281		
Total	14330317.769	24			
Corrected Total	1793935.479	23			

a. R Squared = 0.982 (Adjusted R Squared = 0.978)

ตารางผนวกที่ จ12 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของ
MPDF โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TOTAL CAROTENOIDS

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	99.0000	7.8019	3
	2	86.3000	5.6454	3
	3	94.3000	7.1014	3
	4	268.8000	9.2715	3
	Total	137.1000	79.8209	12
2	1	45.9000	3.3867	3
	2	48.1000	6.2952	3
	3	43.2000	5.6507	3
	4	134.7000	4.5902	3
	Total	67.9750	40.5118	12
Total	1	72.4500	29.5773	6
	2	67.2000	21.5956	6
	3	68.7500	28.5711	6
	4	201.7500	73.7405	6
	Total	102.5375	71.2644	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TOTAL CAROTENOIDS

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	107501.865 ^a	4	26875.466	54.870	0.000
Intercept	252334.534	1	252334.534	515.180	0.000
CULTIVAR	28669.594	1	28669.594	58.533	0.000
MATURITY	78832.271	3	26277.424	53.649	0.000
Error	9306.171	19	489.798		
Total	369142.570	24			
Corrected Total	116808.036	23			

a. R Squared = 0.920 (Adjusted R Squared = 0.904)

ตารางผนวกที่ จ13 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบบีตา-แคโรทีนของ MPDF
โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TOTAL BETA-CAROTENE

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	198.9000	13.2714	3
	2	210.1000	9.8727	3
	3	221.7000	3.8936	3
	4	2462.000	218.2727	3
	Total	773.1750	1022.7042	12
2	1	168.9000	2.2650	3
	2	165.1000	8.9705	3
	3	152.7000	4.6357	3
	4	809.7000	86.9725	3
	Total	324.1000	295.2661	12
Total	1	183.9000	18.5069	6
	2	187.6000	26.0514	6
	3	187.2000	37.9863	6
	4	1635.850	917.1213	6
	Total	548.6375	771.0573	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TOTAL BETA-CAROTENE

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10666307.775 ^a	4	2666576.944	16.844	0.000
Intercept	7724074.554	1	7724074.554	45.633	0.000
CULTIVAR	1210010.134	1	1210010.134	7.643	0.012
MATURITY	9456297.641	3	3152099.214	19.911	0.000
Error	3007867.861	19	158308.835		
Total	20898250.190	24			
Corrected Total	13674175.636	23			

a. R Squared = 0.780 (Adjusted R Squared = 0.734)

ตารางผนวกที่ จ14 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบลิกนินของ MPDF โดยใช้
การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: TOTAL LIGNIN

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	0.256392	7.28301×10^{-3}	2
	2	0.277236	1.80727×10^{-3}	2
	3	0.251145	1.47661×10^{-2}	2
	4	0.301560	1.29739×10^{-2}	2
	Total	0.271583	2.26804×10^{-2}	8
2	1	0.220306	2.25067×10^{-2}	2
	2	0.200544	2.00888×10^{-2}	2
	3	0.213051	1.37202×10^{-2}	2
	4	0.358425	3.12390×10^{-3}	2
	Total	0.248081	6.96687×10^{-2}	8
Total	1	0.238349	2.49117×10^{-2}	4
	2	0.238890	4.57841×10^{-2}	4
	3	0.232098	2.48826×10^{-2}	4
	4	0.329992	3.37227×10^{-2}	4
	Total	0.259832	5.15017×10^{-2}	16

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TOTAL LIGNIN

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.858×10^{-2a}	4	7.144×10^{-3}	7.010	0.005
Intercept	1.080	1	1.080	1059.964	0.000
CULTIVAR	2.209×10^{-3}	1	2.209×10^{-3}	2.168	0.169
MATURITY	2.637×10^{-2}	3	8.789×10^{-3}	8.624	0.003
Error	1.121×10^{-2}	11	1.019×10^{-3}		
Total	1.120	16			
Corrected Total	3.979×10^{-2}	15			

a. R Squared = 0.718 (Adjusted R Squared = 0.616)

ตารางผนวกที่ จ15 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบเมานิจิเฟอรินของ MPDF
โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA

Descriptive Statistics

Dependent Variable: MANGIFERINS

CULTIVAR	MATURITY	Mean	Std. Deviation	N
1	1	1083.594	133.635540	2
	2	677.7678	91.534678	3
	3	608.8256	33.298718	2
	4	1772.436	377.814602	3
	Total	1073.545	546.565925	10
2	1	69.85019	17.675170	3
	2	57.68401	8.902532	3
	3	45.93305	2.642948	3
	4	122.9006	16.891167	3
	Total	74.09197	32.690280	12
Total	1	475.3478	559.396067	5
	2	367.7259	344.578470	6
	3	271.0901	308.763816	5
	4	947.6685	934.613377	6
	Total	528.3889	622.932651	22

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MANGIFERINS

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6749502.776 ^a	4	1687375.694	20.498	0.000
Intercept	6883031.174	1	6883031.174	83.613	0.000
CULTIVAR	5194774.583	1	5194774.583	63.104	0.000
MATURITY	1300919.930	3	433639.977	5.268	0.009
Error	1399444.063	17	82320.239		
Total	14291233.357	22			
Corrected Total	8148946.839	21			

a. R Squared = 0.828 (Adjusted R Squared = 0.788)

ตารางผนวกที่ จ16 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของขุนเขียง 3 สูตรโดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: MOISTURE

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	25.90406	1.804011	1.275628	9.695665	42.112450	24.6284	27.1797
2	2	25.72678	0.413521	0.292404	22.011439	29.442123	25.4344	26.0192
3	2	25.70911	3.95178×10^{-2}	2.79×10^{-2}	25.354055	26.064162	25.6812	25.7371
Total	6	25.77998	0.833488	0.340270	24.905290	26.654674	24.6284	27.1797

ANOVA: MOISTURE

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.650×10^{-2}	2	2.325×10^{-2}	0.020	0.980
Within Groups	3.427	3	1.142		
Total	3.474	5			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LSD: MOISTURE

(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	0.177276	1.068802	0.879	-3.224130	3.578683
	3	0.194949	1.068802	0.867	-3.206458	3.596355
2	1	-0.177276	1.068802	0.879	-3.578683	3.224130
	3	1.76724×10^{-2}	1.068802	0.988	-3.383734	3.419079
3	1	-0.194949	1.068802	0.867	-3.596355	3.206458
	2	-1.7672×10^{-2}	1.068802	0.988	-3.419079	3.383734

ตารางผนวกที่ จ17 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณไขมันของกุ้งแช่แข็ง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: LIPID

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	25.45095	0.718934	0.508363	18.991583	31.910315	24.9426	25.9593
2	2	27.70719	0.412975	0.292017	23.996758	31.417616	27.4152	27.9992
3	2	31.53062	6.01845x10 ⁻²	4.26x10 ⁻²	30.989880	32.071353	31.4881	31.5732
Total	6	28.22958	2.773881	1.132432	25.318574	31.140594	24.9426	31.5732

ANOVA: LIPID

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37.781	2	18.891	82.010	0.002
Within Groups	0.691	3	0.230		
Total	38.472	5			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LSD: LIPID

(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-2.256238*	0.479943	0.018	-3.783631	-0.728844
	3	-6.079668*	0.479943	0.001	-7.607061	-4.552274
2	1	2.256238*	0.479943	0.018	0.72884	3.783631
	3	-3.823430*	0.479943	0.004	-5.350823	-2.296037
3	1	6.079668*	0.479943	0.001	4.552274	7.607061
	2	3.823430*	0.479943	0.004	2.296037	5.350823

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ จ18 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเถ้าของกุนเชียง 3 สูตรโดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: ASH

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	5.902875	4.46985x10 ⁻²	3.16x10 ⁻²	5.501275	6.304475	5.8713	5.9345
2	2	5.313389	8.43508x10 ⁻³	5.96x10 ⁻³	5.237603	5.389175	5.3074	5.3194
3	2	5.761456	4.22247x10 ⁻²	2.99x10 ⁻²	5.382082	6.140830	5.7316	5.7913
Total	6	5.659240	0.276655	0.112944	5.368908	5.949572	5.3074	5.9345

ANOVA: ASH

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.379	2	0.189	147.521	0.001
Within Groups	3.852x10 ⁻³	3	1.284x10 ⁻³		
Total	0.383	5			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LSD: ASH

(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	0.589486*	3.58x10 ⁻²	0.000	0.475449	0.703523
	3	0.141419*	3.58x10 ⁻²	0.029	2.73825x10 ⁻²	0.255456
2	1	-0.589486*	3.58x10 ⁻²	0.000	-0.703523	-0.475449
	3	-0.448067*	3.58x10 ⁻²	0.001	-0.562103	-0.334030
3	1	-0.141419*	3.58x10 ⁻²	0.029	-0.255456	-2.7383x10 ⁻²
	2	0.448067*	3.58x10 ⁻²	0.001	0.334030	0.568103

*. The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ จ19 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของกุ้งเขียง 3 สูตร โดยการใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: PROTEIN								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	20.77070	0.123260	8.72x10 ⁻²	19.663254	21.878145	20.6835	20.8579
2	2	19.95292	1.271419	0.899029	8.529673	31.376171	19.0539	20.8520
3	2	20.91823	0.380791	0.269260	17.496954	24.339501	20.6490	21.1875
Total	6	20.54728	0.756077	0.308667	19.753829	21.340737	19.0539	21.1875

ANOVA: PROTEIN					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.082	2	0.541	0.913	0.490
Within Groups	1.777	3	0.592		
Total	2.858	5			

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: LSD: PROTEIN						
(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	0.817778	0.769567	0.366	-1.631329	3.266885
	3	-0.147528	0.769567	0.860	-2.596635	2.301579
2	1	-0.817778	0.769567	0.366	-3.266885	1.631329
	3	-0.965306	0.769567	0.299	-3.414412	1.483801
3	1	0.147528	0.769567	0.860	-2.301579	2.596635
	2	0.965306	0.769567	0.299	-1.483801	3.414412

ตารางผนวกที่ จ20 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณเชื้อใยหยาบของกุนเชียง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: CRUDE FIBER

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	1.298717	0.357065	0.252483	-1.909384	4.506817	1.0462	1.5512
2	2	2.489186	0.254564	0.180004	0.202020	4.776352	2.3092	2.6692
3	2	1.332337	0.135393	9.5x10 ⁻²	0.115880	2.548794	1.2366	1.4281
Total	6	1.706746	0.640062	0.261304	1.035043	2.378450	1.0462	2.6692

ANOVA: CRUDE FIBER

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.838	2	0.919	13.088	0.033
Within Groups	0.211	3	7.021x10 ⁻²		
Total	2.048	5			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LSD: CRUDE FIBER

(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-1.190469*	0.264971	0.021	-2.033726	-0.347213
	3	-3.362x10 ⁻²	0.264971	0.907	-0.876877	0.809637
2	1	1.190469*	0.264971	0.021	0.347213	2.033726
	3	1.156849*	0.264971	0.022	0.313592	2.000106
3	1	3.36200x10 ⁻²	0.264971	0.907	-0.809637	0.876877
	2	-1.156849*	0.264971	0.022	-2.000106	-0.313592

*. The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ จ21 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของกุ้งแช่แข็ง 3 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: CARBOHYDRATE								
					95% Confidence Interval for Mean			
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
1	2	20.67270	0.560053	0.396018	15.640822	25.704582	20.2767	21.0687
2	2	18.81054	0.707922	0.500577	12.450106	25.170965	18.3100	19.3111
3	2	14.74825	0.182507	0.129052	13.108495	16.388014	14.6192	14.8773
Total	6	18.07716	2.740828	1.118939	15.200841	20.953487	14.6192	21.0687

ANOVA: CARBOHYDRATE					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	36.713	2	18.356	64.930	0.003
Within Groups	0.848	3	0.283		
Total	37.561	5			

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: LSD: CARBOHYDRATE							
		95% Confidence Interval					
(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
1	2	1.862167*	0.531702	0.039	0.170052	3.554282	
	3	5.924448*	0.531702	0.002	4.232333	7.616562	
2	1	-1.862167*	0.531702	0.039	-3.554282	-0.170052	
	3	4.062281*	0.531702	0.005	2.370166	5.754395	
3	1	-5.924448	0.531702	0.002	-7.616562	-4.232333	
	2	-4.062281*	0.531702	0.005	-5.754395	-2.370166	

*. The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ จ22 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกุ้งแช่แข็ง 3 สูตรโดยใช้การวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA

Descriptives: CARBOHYDRATE

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	3	1.124074	8.7503×10^{-2}	5.05×10^{-2}	0.906703	1.341445	1.0361	1.2111
2	3	15.45370	0.936376	0.540617	13.127616	17.779791	14.6944	16.5000
3	3	1.134259	0.114171	6.59×10^{-2}	0.850643	1.417875	1.0028	1.2083
Total	9	5.904012	7.177916	2.392639	0.386577	11.421447	1.0028	16.5000

ANOVA: CARBOHYDRATE

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	410.385	2	205.192	685.886	0.000
Within Groups	1.795	6	0.299		
Total	412.180	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LSD: CARBOHYDRATE

(I) FOMULAR	(J) FOMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-14.329630*	0.446590	0.000	-15.422396	-13.236863
	3	-1.0185×10^{-2}	0.446590	0.983	-1.102952	1.082581
2	1	14.329630*	0.446590	0.000	13.236863	15.422396
	3	14.319444*	0.446590	0.000	13.226678	15.412211
3	1	1.01852×10^{-2}	0.446590	0.983	-1.082581	1.102952
	2	-14.319444*	0.446590	0.000	-15.412211	-13.226678

*. The mean difference is significant at the .05 level

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพงศธร ลือสุวรรณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 พฤษภาคม พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	จ. กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)
ประวัติการทำงาน	-
ผลงานวิจัย	เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ เรื่อง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้ในการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 และผลงานทางวิชาการภาคบรรยาย เรื่อง ผลของระยะเวลาการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารพฤกษเคมี คุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน และการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก ในงานสัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 6
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม ประจำปี 2550 ภายใต้งานร่วมมือระหว่างสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.)