



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ
สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลี้มแกง

Determination of Total Phenolic Contents and
Antioxidant Activity in Germinated Hang
Phrayaleamkeng Rice.

วิไลพร ปองเพียร
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ
สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลี้มแกง

Determination of Total Phenolic Contents and
Antioxidant Activity in Germinated Hang
Phrayaleamkeng Rice.

วิไลพร ปองเพียร
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนโดย สำนักงานบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา
และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ /มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์/งบประมาณ
แผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2558

ชื่องานวิจัย	การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลีมแกง
ชื่อผู้วิจัย	นางสาววิไลพร ปองเพียร
ผู้ร่วมวิจัย/ที่ปรึกษา	-
สาขาวิชา	เคมี
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2558

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวฮางอกพญาลีมแกง ศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลีมแกง สภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮางอกพญาลีมแกงที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดที่ระยะเวลาแช่น้ำเป็นเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง และการบ่มข้าวเป็นระยะเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง โดยมีตัวอย่างข้าวพญาลีมแกง 3 ช่วงการเก็บเกี่ยว คือ ระยะน้ำนม (milk stage) ระยะแป้งอ่อน หรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) และระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS และสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยงานวิจัยนี้พบว่า ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวแห้ง 12 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (radical scavenging) และ ABTS (% ABTS Scavenging effect) สูงที่สุด และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : ข้าวพญาลีมแกง ข้าวฮางอก สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก

Research Title Determination of Total Phenolic Contents and Antioxidant Activity in Germinated Hang Phrayaleamkeng Rice

Name Miss Wilaiporn Pongpian

Co – Researcher -

Faculty Chemistry

Phetchabun Rajabhat University **Year** 2015

ABSTRACT

This research studied, antioxidant activity and phenolic content from Hang Phrayaleamkeng Rice had 3 stage. (milk stage, dough stage and mature stage). This study was determine the processing method with the variation of germination conditions by soaked rice with water at 12, 24, 36 and 48 h. and incubation at 12, 24, 36 and 48 h. The obtained were determined for their levels of antioxidant activity by scavenged radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and ability antioxidants ABTS^{•+} and total phenolic content by Folin-Ciocalteau method. The results showed that mature rice stage soaked with water at 24 h and incubation at 12 h of total phenolic content DPPH free radical and ABTS^{•+} had the highest. The antioxidant activity was correlated significantly with and total phenolic content of rice.

Keyword : phrayaleamkeng rice, germinated hang rice, antioxidant activity and total phenolic content

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้เป็นเอกสารงานวิจัยการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลี้มแกง โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านผู้รู้ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณา ให้คำปรึกษาแนะนำ ให้แก่ผู้วิจัยและเป็นขวัญกำลังใจในการจัดทำมาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา อันจะส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพการศึกษาต่อไป และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

วิไลพร ปองเพียร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
3. คำสำคัญของงานวิจัย	2
4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
5. วิธีดำเนินงานวิจัย	3
6. คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1. ข้าวพญาลีมแกง	5
2. ข้าวฮางอก	8
3. สารต้านอนุมูลอิสระ	13
4. สารประกอบฟีนอลิก	22
5. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
1. ศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลีมแกง	28
1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย	28
1.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อทำข้าวฮาง	28
1.3 กระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลีมแกง	29
2. การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลีมแกง	31
2.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง	31
2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด Total phenolic content (TPC)	31
2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	34
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกและเผยแพร่องค์ความรู้ ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	35

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	36
1. ผลการศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง	36
2. ผลการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง	37
2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)	37
2.2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการทดสอบการ ทำลายอนุมูลอิสระ DPPH	39
2.3 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการฟอกสี อนุมูลอิสระ ABTS	40
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกและเผยแพร่องค์ความรู้ ถ่ายทอด เทคโนโลยีสู่ชุมชน ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	48
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการวิจัย	58
ภาคผนวก ข เครื่องมือและอุปกรณ์	61
ประวัติผู้วิจัย	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพญาลิสมแกง	7
2.2 อุณหภูมิระดับต่างๆที่เมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆสามารถงอกได้	10
3.1 ตัวอย่างของข้าวพญาลิสมแกงที่ใช้ในการทดลอง	28
3.2 แสดงระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาในการบ่มข้าว เพื่อศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮาง	30
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	32
3.5 สารละลาย gallic acid มาตรฐานที่เข้มข้นต่างๆ	33
3.6 ปริมาตรและสาร ที่ใช้สำหรับการทำกราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิก	33
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	38
4.2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH	39
4.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการฟอกจางสี 2,2'-Azino-bis(3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS ^{•+})	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ข้าวพญาลิ้มแกง	5
2.2 แสดงการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ	15
2.3 แสดงโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง EDTA กับโลหะไอออน	16
2.4 แสดงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก	22
2.5 แสดงบริเวณตำแหน่งที่สามารถดักจับไอออนโลหะของเคอร์ซีทิน	23
2.6 แสดงโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด	24
4.1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบฟีนอลิกของสารละลาย gallic acid	37
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง	42
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง	42
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง	43
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง	43
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง	44
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง	44
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง	45
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง	46
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง	46
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง	47
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง	48
ก-1 ข้าวที่ทำการแช่น้ำ	58
ก-2 ข้าวที่ทำการบ่มเพื่อให้เกิดการงอก	58
ก-3 การนึ่งข้าว	58
ก-4 การนำข้าวไปตากแดด	59
ก-5 การกระเทาะเปลือกข้าว	59
ก-6 ขั้นตอนการบดตัวอย่างข้าวและการเตรียมสารสกัดตัวอย่างข้าว	59
ก-7 การเตรียมสารวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี การทำลาย อนุมูลอิสระ (DPPH)	60
ก-8 การเตรียมสารวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS ^{•+})	60
ก-9 การเตรียมสารวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และ การเตรียมสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid)	60
ข-1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	61
ข-2 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง	61
ข-3 เครื่องหมุนเหวี่ยง	61
ข-4 เครื่องยู่วิสสเปกโตรสโกปี	61
ข-5 เครื่องให้ความร้อน (hot plate)	62
ข-6 ตู้อบลมร้อน	62
ข-7 ไมโครปิเปต	62
ข-8 Trip	62

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย

ข้าวพญาลิสมแกง เป็นพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง เป็นข้าวที่ขึ้นชื่อในเรื่องความอ่อนนุ่ม รสชาติอร่อย พญาลิสมแกงเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง ต้นสูงประมาณ 150 เซนติเมตร ลำต้นอ่อน ลมง่าย แตกกอน้อย ใบสีเขียวแก่ ใบธงห้อย รวงยาว จับถี่ เมล็ดแบน เปลือกเกลี้ยง สีเหลืองอ่อน มีหางยาว เมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น เก็บเกี่ยวประมาณเดือนตุลาคม ปลูกบนพื้นที่สูงในบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ ลักษณะเป็นข้าวเหนียว เหมาะสำหรับการปลูก(หนึ่ง)เพื่อบริโภคกับอาหารตามปกติ นอกจากนั้นจากลักษณะที่มีกลิ่นหอมอยู่ในตัวจึงนิยมนำไปแปรรูปหรือทำเป็นข้าวต้ม ข้าวเหนียวหรือข้าวหาลาม

ข้าวไร่พื้นเมืองพันธุ์พญาลิสมแกงเป็นข้าวไร่ข้าวเหนียว นับเป็นหนึ่งในพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกกระจายในหลายพื้นที่ บริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์จังหวัดเลยและชัยภูมิพญาลิสมแกง ทรงกอตั้งปล้องสีเหลืองใบสีเขียวอ่อน ยาวเรียวยาวดอกประมาณวันที่ 28 กันยายน ลำต้นค่อนข้างแข็งแรงจำนวนรวงต่อกอ 10 รวงต่อกอ เปลือกเมล็ดสีฟางรูปร่างเมล็ดใหญ่ ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ คือข้าวนี้สุกมีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม ความมีรสชาติดีนับเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าข้าวไร่พันธุ์อื่นๆ ชื่อ “พญาลิสมแกง” มาจากประวัติที่เล่าต่อกันมาว่าสมัยก่อนมีพญา (เจ้าเมือง) ไปเที่ยวป่าเกิดหิวข้าวผู้ติดตามจึงนำข้าวให้กิน ปรากฏว่ารสชาติข้าวนุ่ม อร่อยและมีกลิ่นหอมมาก พญาจึงกินแต่ข้าวไม่สนใจกับข้าว ดังนั้นข้าวพันธุ์นี้จึงได้ชื่อว่า “ข้าวพญาลิสมแกง” ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ด้วยอำเภอน้ำหนาวเป็นพื้นที่ภูเขาไม่มีที่ราบลุ่มสำหรับทำข้าวนาสวน เกษตรกรจึงต้องปลูกข้าวไร่เพื่อบริโภค ซึ่งสะท้อนภาพของวิถีการผลิตข้าวเพื่อความมั่นคงด้านอาหารของครัวเรือน และข้าวที่ปลูกในพื้นที่อำเภอน้ำหนาวล้วนเป็นข้าวไร่พื้นเมืองซึ่งมีหลากหลายพันธุ์ และเป็นข้าวเหนียว (เนื่องด้วยเกษตรกรในพื้นที่บริโภคข้าวเหนียว) และในจำนวนนั้นข้าวไร่พันธุ์พญาลิสมแกง เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกเกษตรกรให้ข้อมูลว่าพญาลิสมแกงมีอายุเบาให้ผลผลิตที่ดีและที่สำคัญที่สุดคือมีรสชาติของข้าวสุกที่ดีมาก ข้าวกล้อง จะมีเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) ไม่หนามาก ข้าวหุงสุกจึงมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เมื่อเคี้ยวไม่ساหรือกระด้างแข็ง มีความอ่อนนุ่มของแป้งข้าวและการมีกลิ่นหอม เป็นองค์ประกอบที่ผสมผสานกันอย่างลงตัวมีเอกลักษณ์เฉพาะ จากการทดสอบการประเมินความชอบ (preference analysis) ในระยะราวนี้นปีที่ผ่านมาในผู้บริโภคทั่วไปจากการจัดนิทรรศการและงานชิมข้าวต่างๆ พบว่า ผู้บริโภคมีความชื่นชอบเป็นอย่างมาก สาเหตุที่ชอบคือความอร่อย (สมกับชื่อพญาลิสมแกง) ผู้ทดสอบหลายรายบอกว่ารสชาติดีเหมือนกินข้าวโพดข้าวเหนียว บ้างก็ว่ารสชาติเหมือนลูกเดี๋ยหุง จากความโดดเด่นเรื่องรสชาตินี้เองทำให้ผู้ประกอบการหลายรายให้ความสนใจที่จะนำข้าวพันธุ์นี้ไปทำบรรจุภัณฑ์เพื่อจำหน่ายซึ่งทำให้ข้าวพันธุ์พญาลิสมแกงนี้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเชิงการค้าต่อไป (จริยจิต เพ็ชรรัตน์ และคณะ. 2556)

จากข้อมูลดังกล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงเห็นว่าข้าวพญาลิสมแกงเป็นข้าวที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่น น่าสนใจนำมาแปรรูปอยู่ในรูปของข้าวฮาง และข้าวฮางอก เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่ง ข้าวฮาง เป็นข้าวที่นุ่มที่มีวัยแก่เกินที่จะทำข้าวเม่า แต่ก็ยังไม่สุกพอที่จะเก็บเกี่ยวตามปกติได้ ซึ่งกล่าวได้ว่า ข้าวฮาง เป็นอาหารทางเลือกของคนรักสุขภาพที่คนไทยควรช่วยกันรักษาคุณค่าแห่งภูมิปัญญาท้องถิ่นเอาไว้ โดยเฉพาะการแช่ข้าวก่อนหุงหรือนึ่งนั้น ทางกรมแพทย์แผนไทยบอกว่า เป็นการปลูกพลังชีวิตในเมล็ดพืชให้ตื่น ทำให้คนกินมีพลังชีวิตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมล็ดพืชอื่นๆ ก่อนที่จะนำไปปลูกจะมีการแช่น้ำเพื่อกระตุ้นให้เมล็ดพืชคายพลังงานที่สะสมไว้ออกมา ก่อนนำไปปลูก (บุญยงค์ เกศเทศ, 2550) อีกทั้ง ข้าวที่ปลูกในพื้นที่สูง ที่น่าสนใจที่จะศึกษาสารสำคัญ เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) กำลังเป็นที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพมากมาย เพื่อป้องกันและต่อสู้กับอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นได้ง่ายมากกับสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นแสงแดดหรือมลพิษในสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอนุมูลอิสระ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคร้ายต่างๆ ดังนั้น จึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากข้าวที่ปลูกในพื้นที่สูง เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพญาลิสมแกงมาผลิตเป็นข้าวฮางอก เพื่อเพิ่มมูลค่า และยังได้อนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการทำข้าวฮาง พัฒนาองค์ความรู้และต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์และสาธารณะ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน นำไปสู่การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิสมแกง เขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการงอกข้าวพญาลิสมแกง ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ

2.3 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลิสมแกง และพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกสู่ชุมชน ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

2.4 เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

3. คำสำคัญ (Key word) ของงานวิจัย

3.1 ข้าวพญาลิสมแกง

3.2 ข้าวฮางอก

3.3 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

3.4 สารต้านอนุมูลอิสระ

4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ด้านพื้นที่ คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวพญาลีหมั่ง ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากข้าวที่ปลูกในพื้นที่สูงเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน

4.2 ด้านเนื้อหา

- บริบทชุมชน องค์ความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น และศักยภาพชุมชน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เอกชน ในการมีส่วนร่วมในการวิจัย อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์
- กระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลีหมั่ง อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์
- เพื่อเผยแพร่ข้อมูลผลิตภัณฑ์เวชสำอางจากข้าวไร้ลิ้มผั่ว

4.3 ด้านขอบเขตประชากร ได้แก่

กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวพญาลีหมั่ง ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 30 คน

5. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานของโครงการวิจัย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษา บริบทชุมชน องค์ความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่เกี่ยวข้องกับข้าวพญาลีหมั่ง ผลิตภัณฑ์จากข้าวพญาลีหมั่ง ข้าวฮาง ข้าวฮางอก ในอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ระยะที่ 2 ศึกษากระบวนการวิธีการผลิตข้าวฮาง และข้าวฮางอกพญาลีหมั่ง และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ระยะที่ 3 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการออกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระ

ระยะที่ 4 นำผลการวิเคราะห์ผลของการออกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเลือกระยะที่เหมาะสมของการออกและนำมาผลิตเป็นข้าวฮางอกพญาลีหมั่ง

ระยะที่ 5 เผยแพร่ข้อมูลจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ เพื่อถ่ายทอดข้อมูลและเทคโนโลยี

ระยะที่ 6 สรุปผลการศึกษา จัดทำรายงานวิจัยและเผยแพร่ผลงานวิจัย

6. คำนิยามศัพท์เฉพาะ

6.1 ข้าวพญาลีหมั่ง หมายถึง ข้าวพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง เป็นข้าวที่ขึ้นชื่อในเรื่องความอ่อนนุ่มรสชาติอร่อย พญาลีหมั่งเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น ปลูกบนพื้นที่สูงในบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ ลักษณะเป็นข้าวเหนียว ลักษณะที่มีกลิ่นหอมอยู่ในตัวจึงนิยมนำไปแปรรูปหรือทำเป็นข้าวต้ม ข้าวเม่าหรือข้าวหลาม

6.2 ข้าวฮาง หมายถึง ข้าวสารแปรรูปที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธี โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้ เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว แล้วจึงนำมานึ่ง เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้คงไว้ แล้วนำข้าวเปลือกไปตากให้แห้ง และนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก

6.3 ข้าวฮางอก หมายถึง ข้าวสารแปรรูปเหมือนข้าวฮาง แต่จะนำข้าวไปเพาะงอกก่อนการนึ่ง โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้ เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว จากนั้นนำข้าวไปเพาะงอก จะมีสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ ไฟเบอร์ และกลิ่นหอม จากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น แล้วจึงนำมานึ่ง เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้คงไว้ แล้วนำข้าวเปลือกไปตากให้แห้ง และนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก

6.4 สารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) หมายถึง สารเคมีที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้รวมถึงสารที่สามารถยับยั้ง และควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) ซึ่งได้แก่ บีเอชเอ (tert-butyl-4-hydroxyanisole, BHA) บีเอชที (tert-butyl-4-hydroxytoluene, BHT) และทีบีเอชคิว (tert-butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น

6.5 สารประกอบฟีนอลิก หมายถึง สารที่พบได้ในพืชทั่วไป เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีหลายกลุ่ม และมีลักษณะสูตรโครงสร้างแตกต่างกัน กลุ่มใหญ่ที่พบจะเป็น สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) นอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่าง ๆ เช่น ฟีนอล (phenol) ฟีนิล (phenyl) ควิโนน (quinone) โพรพานอยด์ (propanoid) ฟีนอลิก (phenolic) และ โพลีฟีนอลิก (polyphenolic) ซึ่งได้แก่ ลิกนิน (lignin) เมลานิน (melanin) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอลิก (phenolic Unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

7. ประโยชน์ของการวิจัย

1. ได้ผลิตข้าวฮางอกพญาลิสมังแก เขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์
2. ได้ข้อมูลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลิสมังแก จากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
3. ได้เผยแพร่องค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกพญาลิสมังแก ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้าวพญาลิมาแก

ข้าวพญาลิมาแก เป็นข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองพันธุ์ นับเป็นหนึ่งในพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก กระจายในหลายพื้นที่ บริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ จังหวัดเลย และชัยภูมิ มีลักษณะเป็นข้าวเหนียว ทรงกอตั้ง ปล้องสี่ เหลือง ใบสีเขียวอ่อน ยาวเรียว ออกดอกประมาณวันที่ 28 กันยายน ลำต้นค่อนข้าง แข็ง จำนวนรวงต่อกอ 10 รวงต่อกอ ผลผลิตประมาณ 343 กิโลกรัมต่อไร่ เปลือกเมล็ดสีฟาง รูปร่างเมล็ดใหญ่ ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์นี้คือ ข้าวนี้สุกมีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม มีรสชาติดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นของข้าวพันธุ์นี้ จากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ในอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าที่อำเภอน้ำหนาวเป็นพื้นที่ภูเขา ไม่มีที่ราบลุ่มสำหรับทำข้าวนาสวน เกษตรกรจึงต้องปลูกข้าวไร่ เพื่อบริโภค ซึ่งสะท้อนภาพของวิถีการผลิตข้าวเพื่อความมั่นคงด้านอาหารของครัวเรือน และการคงอยู่ในพื้นที่ ข้าวไร่พันธุ์พญาลิมาแก เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกมากที่สุด เกษตรกรให้ข้อมูลว่าพญาลิมาแกมีอายุเบา ให้ผลผลิตที่ดี และที่สำคัญ ที่สุดคือมีรสชาติของข้าวสุกที่ดีมาก (จรัญจิต เพ็ชรตันและคณะ. 2556)



รูปที่ 2.1 ข้าวพญาลิมาแก

ชื่อวิทยาศาสตร์ :	<i>Oryza sativa</i> L.
ชื่อวงศ์ :	Gramineae
ชื่อสามัญ :	ข้าวพญาลิ้มแกง
แหล่งกระจายพันธุ์ :	เทือกเขาเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ เลย ชัยภูมิ ผล
ลักษณะเด่น :	เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง อายุเบา ข้าวหนึ่งสุกนุ่มและมีกลิ่นหอม
คุณสมบัติ :	ชวานาแถบเทือกเขาสูง ส่วนใหญ่ปลูกเพื่อการบริโภคเป็นหลัก ส่วนที่เหลือนิยมนำไปทำขนมต่างๆ เช่น ข้าวเม่า ข้าวหลาม

ลักษณะประจำพันธุ์

เป็นข้าวไร่ข้าวเหนียว ทรงกอตั้ง ปล้องสีเหลือง ใบสีเขียวอ่อน ยาวเรียว ออกดอกประมาณวันที่ 20 กันยายน ลำต้นค่อนข้างแข็ง จำนวนรวงต่อกอ 8-10 รวงต่อกอ ผลผลิตประมาณ 310 กิโลกรัม/ไร่ เปลือกเมล็ดสีฟาง รูปร่างเมล็ดใหญ่

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและคุณภาพการสี

พันธุ์พญาลิ้มแกง เป็นข้าวเหนียว เปลือกสีฟาง ข้าวเปลือกมีความยาวเฉลี่ย 10.16 มิลลิเมตร กว้าง 3.93 มิลลิเมตร หนา 2.31 มิลลิเมตร ข้าวกล้องสีขาว ความยาวข้าวกล้องเฉลี่ย 7.59 มิลลิเมตร กว้าง 3.09 มิลลิเมตร หนา 2.08 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดใหญ่ คุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวร้อยละ 41.16

คุณภาพเมล็ดทางเคมีและคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

การประเมินคุณภาพเมล็ดทางเคมีและคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน พบว่าพันธุ์พญาลิ้มแกงมีความเลื่อมมัน เมล็ดข้าวมีการเกาะตัว และเนื้อสัมผัสนุ่ม ปานกลาง

คุณค่าทางโภชนาการในเมล็ด

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดพันธุ์ข้าวพญาลิ้มแกง พบสารที่มีประโยชน์ ในปริมาณสูง เช่น โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 โอเมก้า 9 แคลเซียม แมกนีเซียม โพลีแซคคาไรด์ คาเทชิน ทองแดง ซึ่งสารเหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกาย คือ โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 โอเมก้า 9 เป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ช่วยลดไขมันในเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง และโรคสมองขาดเลือดซึ่งทำให้เป็นอัมพาต โพลีแซคคาไรด์ (ไฟเบอร์) เป็นสารสำคัญที่จำเป็นสำหรับสตรีที่กำลังตั้งครรภ์ ช่วยสร้างและซ่อมแซมดีเอ็นเอ สารในกลุ่มโพลีฟีนอลมีคุณสมบัติต้านทานอนุมูลอิสระ ทองแดงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ทำงาน ร่วมกันกับสารต้านอนุมูลอิสระและเป็นส่วนประกอบในระบบภูมิคุ้มกันร่างกาย

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพญาลิสมแกง

Nutrient/100g	Brown rice	White rice
Energy: Kcal	366.15	345.99
Energy from fat: Kcal	29.79	4.95
Moisture : g	10.94	13.082
Protein : g	9.66	8.44
Fat : g	3.31	0.55
Carbohydrate : g	74.43	76.82
Fiber : g	4.47	1.04
Ash : g	1.66	0.37
Vitamin B1 : mg	0.06	0.270
Vitamin B2 : mg	0.01	0.010
Calcium :mg/kg	46.115	54.601
Copper mg/kg	1.052	2.85
Selenium mg/kg	0.134	> 0.115
Magnesium mg/kg	491.953	190.702
Phosphorus : mg	0.176 (g/100g)	670.889
Iron : mg	6.780	8.01
Zinc mg/kg	10.094	15.496
Niacin : mg	6.81	1.89
Antioxidants : mol TE	23.99	4.41
Folic acid (microgram/100 g)	42.60	19.80
GABA (mg/kg)	9.45	5.35
Omega 3 mg/100g	20.58	–
Omega 6 mg/100g	804.60	–
Omega 9 mg/100g	1444.39	160.60
Garlic acid	4.11	3.02
Eriodictyol mg/kg	2.70	–
Isoquercetin mg/kg	3.52	2.76
Quercetin mg/kg	8.07	7.27
Catechin mg/kg	31.27	5.69
Tannic acid mg/kg	4.72	–

ที่มา : บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สนับสนุนการทดสอบโดยสำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว

2. ข้าวฮางงอก

ข้าวฮาง หมายถึง ข้าวสารแปรรูปที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธี โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้ เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว แล้วจึงนำมานึ่ง เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้คงไว้ แล้วนำข้าวเปลือกไปตากให้แห้ง และนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก

2.1 ชนิดของข้าวฮาง

ข้าวฮาง เป็นการแปรรูปข้าวตามแบบภูมิปัญญาชาวภูไท ของชาวไทยอีสาน นับเป็นร้อยๆ ปี ที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธี โดยการนำเอา ข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าว ทำให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว แล้วจึงนำมานึ่ง เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้ คงไว้ แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง และนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก ดังนั้นการสีข้าวฮางเป็นการเอาเปลือกหรือเอาแกลบออกโดยที่จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดไม่แตกหักไปไหน เส้นใยและโปรตีนที่มีคุณค่าจึงอยู่ในเมล็ดครบเนื่องจากการนึ่งข้าวให้สุก เมล็ดข้าวจะเหนียวไม่มีเมล็ดแตกร้าว เมื่อนำไปสีจึงทำให้ข้าวฮางมีสีเหลือง

ข้าวฮางสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ข้าวฮางระยะนํ้านม ข้าวฮาง และข้าวฮางงอก

2.1.1 ข้าวฮางระยะนํ้านม

ข้าวระยะนํ้านม (milky) เป็นเมล็ดข้าวที่จะต้องเก็บเกี่ยวในช่วงหลังจากข้าวออกดอกหรือออกรวงประมาณ 20 วัน ถือเป็นระยะของข้าว ที่จะให้นํ้านมที่ดีใน ช่วงนี้ข้าวจะเร่งระบายนํ้าออก เพื่อเป็นการเร่งให้ข้าวสุกพร้อมๆ กัน และทำให้เมล็ดมีความชื้นไม่สูงเกินไป สามารถเก็บเกี่ยวได้ หลังจากการระบายนํ้าออกประมาณ 10 วัน ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว เรียกว่า ระยะพลับพลึง คือสังเกตที่ปลายรวงจะมีสีเหลือง กลางรวงเป็นสีทองอ่อน การเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้เมล็ดข้าวที่มีความแข็งแรง มีนํ้าหนัก และมีคุณภาพในการสี (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2558)

การทำข้าวฮางระยะนํ้านม นำข้าวเปลือกของข้าวในระยะนํ้านมที่จะผลิตข้าวฮาง ลงแช่นํ้าในภาชนะ ให้นํ้าท่วมข้าว แช่ไว้ 12 ชั่วโมง เมื่อแช่ครบ 12 ชั่วโมง นำข้าวไปนึ่ง ถ้าข้าวแห้งให้พรมนํ้า 2-3 ครั้ง เมื่อเมล็ดข้าวแตก แสดงว่าข้าวสุกแล้ว และนำข้าวที่สุกตากแดด หรือผึ่งลม ควรหมั่นกลับข้าวเพื่อให้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อข้าวแห้งสนิทแล้วไปสีเป็นข้าวกล้อง

2.1.2 ข้าวฮาง

ข้าวฮาง เป็นการนำข้าวสารแปรรูปผลิตขึ้นตามกรรมวิธีโดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่นํ้าไว้ ให้นํ้าท่วมข้าว แช่ไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว แล้วจึงนำมานึ่ง เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้คงไว้ แล้วนำข้าวที่สุกตากแดด หรือผึ่งลมให้แห้ง และเมื่อข้าวแห้งสนิทแล้วนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก

2.1.3 ข้าวฮางงอก

ข้าวฮางงอก เป็นการนำข้าวสารแปรรูปเหมือนข้าวฮาง แต่จะนำข้าวไปเพาะงอกก่อนการนึ่ง โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่นํ้าไว้ เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว จากนั้นนำข้าวไปเพาะงอก โดยนำข้าวที่แช่นํ้ามาบ่มในภาชนะที่มีอากาศถ่ายเทได้บ้าง เช่น บ่มในกระสอบ รดน้ำเช้า-เย็น บ่มไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง จะมีรากงอก ประมาณ 0.5 มม. หรือเท่าปลายเข็ม ข้าวที่ทำการบ่มจะมีสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ ไฟเบอร์ และกลิ่นหอม จากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น แล้วจึงนำมานึ่งให้สุก เพื่อจัดเก็บสารอาหารให้คงไว้ แล้วนำข้าวเปลือกไปตากให้แห้ง และนำไปสีโดยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก

การงอกของเมล็ดพันธุ์มีความซับซ้อนอยู่มาก เมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดต้องการปัจจัยสำหรับการงอกในระดับที่แตกต่างกัน และแต่ละชนิดก็มีลักษณะการงอกที่แตกต่างกันออกไปด้วย

2.2 ความหมายของการงอก

การงอกของเมล็ดพันธุ์หมายถึง การงอกและการพัฒนาการของต้นอ่อน ถึงขั้นที่โครงสร้างที่สำคัญของส่วนต่างๆของต้นอ่อน ที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปเป็นต้นพืชที่ปกติภายใต้สภาพแวดล้อมในดินที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม การให้คำจำกัดความหรือการให้ความหมายการงอกของเมล็ดพันธุ์ของบุคคลในแต่ละสาขาอาชีพมีความแตกต่างกัน บุคคลโดยทั่วไปอาจจะมองว่าต้นอ่อนโผล่พ้นขึ้นมาเหนือดินก็แสดงว่าเมล็ดนั้นงอก สำหรับนักสรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์ได้ให้ความหมายว่าเมื่อใดก็ตามที่เห็นรากโผล่ออกมา แสดงว่าเมล็ดพันธุ์งอก ส่วนนักวิทยาศาสตร์ทางด้านเมล็ดพันธุ์และนักวิชาการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชกล่าวว่า การงอกของเมล็ดพันธุ์หมายถึง เริ่มตั้งแต่เมล็ดพันธุ์มีกระบวนการต่างเกิดขึ้นในเมล็ดที่กำลังอยู่ในระยะพัก จนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโต และพัฒนาไปเป็นต้นกล้าที่แข็งแรง (จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529)

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ มีอยู่ 3 ปัจจัยคือ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิ เมื่อเมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยดังกล่าวที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เมล็ดพันธุ์จะสามารถงอก และเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงได้ ความสำคัญของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1) น้ำ เมื่อเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยมาก เมื่อเมล็ดพันธุ์จะงอก น้ำเป็นปัจจัยแรกที่จะกระตุ้นให้เมล็ดพันธุ์ตื่นตัว กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีและขบวนการเมแทบอลิซึม ในเบื้องต้น เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำเข้าไปทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม ทำให้เมล็ดพองโตขึ้น เนื่องจากการขยายของผนังเซลล์และโพรโทพลาสต์ เมื่อเปลือกเมล็ดอ่อนนุ่มทำให้รากแทงผ่านเปลือกได้สะดวกมากขึ้น เมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดต้องการน้ำสำหรับการงอกแตกต่างกัน บางชนิดหากได้รับน้ำมากเกินไปจะทำให้เมล็ดขาดออกซิเจนที่ใช้สำหรับหายใจและทำให้เมล็ดเน่า ในบางชนิด การที่เมล็ดพันธุ์ได้รับน้ำมากเกินไปจะทำให้เมล็ดเข้าสู่สภาวะพักตัวใหม่ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความหนาของเปลือก สารที่เคลือบอยู่ที่ผิวเปลือก ความเข้มข้นของน้ำ อุณหภูมิ และการสุกแก่ของเมล็ดที่ต่างกัน เป็นต้น

2) ออกซิเจน ขบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอก จะต้องใช้ออกซิเจนเป็นส่วนสำคัญต่อเมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอก คือจะต้องการพลังงาน และพลังงานนั้นได้จากขบวนการออกซิเดชัน (oxidation) โดยใช้ ออกซิเจน ในขบวนการหายใจ เมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอกจะมีอัตราการหายใจสูง เมื่อเทียบกับการหายใจในช่วงอื่นๆ และจะมีกิจกรรมการสลายและเผาผลาญอาหารที่เก็บสะสมไว้ เมล็ดพันธุ์โดยทั่วไปจะงอกในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีเมล็ดพันธุ์พืชที่งอกได้ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ เช่น พืชที่งอกได้ในน้ำ

เมล็ดพันธุ์ข้าวจะงอกได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ และสภาพที่มีออกซิเจนสูง ซึ่งลักษณะการงอกจะมีความแตกต่างกัน ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะงอกยอต่อออกมาก่อน แล้วจึงงอกในส่วนของรากออกมาทีหลัง และพลังงานที่ใช้ในการงอกจะมาจากขบวนการออกซิเดชัน ที่ไม่ใช้ออกซิเจนคือ ขบวนการหมัก (fermentation) เมล็ดที่งอกจึงทนต่อการสะสมแอลกอฮอล์หรือสารพิษที่เกิดจาก

ขบวนการหมักได้จนกว่าต้นกล้าจะงอกขึ้นเหนือหน้าและได้รับออกซิเจน ส่วนเมล็ดที่ต้องการออกซิเจนสูงสำหรับการงอกนั้น เมื่อได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ดังเช่นในกรณีเมล็ดที่ถูกฝังอยู่ลึกในดิน เมล็ดจะพักตัวจนกว่าจะมีการไถพรวนขึ้นมา จึงจะสามารถงอกได้ตามปกติ นอกจากนี้ อัตราการใช้ออกซิเจนจะเป็นตัวชี้การเกิดขบวนการงอก และเป็นตัววัดความแข็งแรงของเมล็ดอีกด้วย

3) อุณหภูมิ มีความสำคัญมากต่อการควบคุมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตามมา ด้วยความแตกต่างของชนิดและถิ่นกำเนิดของพืช ทำให้พืชมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่แตกต่างกัน เช่น พืชเขตร้อน เอนไซม์และปฏิกิริยาชีวเคมีในเมล็ดพันธุ์พืชเขตร้อนยังทำงานได้เมื่ออุณหภูมิใกล้เคียงเยือกแข็ง และเมล็ดยังสามารถงอกได้ ในขณะที่ที่จุดเยือกแข็งจะเป็นอันตรายสำหรับการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชเขตร้อน ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งเกินกว่าที่เมล็ดพันธุ์จะสามารถงอกได้ เมล็ดบางชนิดอาจจะมีการพักตัวหรือบางชนิดอาจจะเสียชีวิตได้ ดังนั้น เมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดจะมีระดับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เมล็ดจะสามารถงอกได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตามเมล็ดพันธุ์ยังมีการปรับตัวต่อช่วงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในรอบวัน คือ ถ้าอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกันมาก เมล็ดพันธุ์จะงอกได้ดีกว่าการได้รับอุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดเวลา

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิระดับต่างๆที่เมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆสามารถงอกได้

ชนิดพืช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
ข้าว	10-20	20-30	40-42
ข้าวโพด	3-5	15-20	30-40
ข้าวบาร์เลย์	8-10	25	40-44
ข้าวสาลี	3-5	15-20	30-43
ถั่วเหลือง	8	20-35	40
มะเขือเทศ	20	20-30	35-40
ยาสูบ	10	24	30
แคนตาลูป	16-19	20-30	45-50

ที่มา: จวงจันทร ดวงพัตรา (2529)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการงอกของเมล็ดพันธุ์

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการงอกของเมล็ดพันธุ์เกิดได้เนื่องจากมีน้ำเข้าไปกระตุ้น กล่าวคือ เมล็ดพันธุ์เมื่อแก่เต็มที่และแห้งจะอยู่ในสภาวะเฉื่อย คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อัตราการหายใจ และการใช้พลังงานภายในเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นน้อยมาก ต่อเมื่อเมล็ดได้รับน้ำเข้าไป ส่งผลให้ขบวนการสังเคราะห์ต่างๆภายในเซลล์เริ่มทำงาน เพราะฉะนั้น ขบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์จึงเกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ขบวนการย่อยสลาย และขบวนการลำเลียงสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ นำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอให้สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่ปกติ ซึ่งขบวนการต่างๆสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ DNA และ RNA ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน จะถูกชักนำในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นด้วย เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องได้มาจาก 2 แหล่งคือ เอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นขณะเมล็ดกำลังเจริญเติบโตจะถูกกระตุ้นให้ทำงาน เนื่องจากการเข้าไปของน้ำ เช่น amylopectin และ glucocidase เอนไซม์ 2 ตัวนี้จะปรากฏขึ้นทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์ดูดน้ำ แหล่งที่สองได้จากการเริ่มสังเคราะห์ขึ้นใหม่ โดยผ่านการควบคุมของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ที่เรียกว่า *de novo* syntersis โดยพบในเซลล์อะลิวโรน (aleulone) ในเมล็ดข้าวบาเลย์ เอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ amylase ribonuclease protease และ lipase เป็นต้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนต่างๆ ได้มาจาก ATP ซึ่งผลิตในไมโทคอนเดรียที่ตื่นตัวภายหลังจากเมล็ดได้รับน้ำเข้ามา การทำงานของไมโทคอนเดรียในการผลิต ATP ทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับสภาพที่เมล็ดยังไม่งอก

2) การย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดพันธุ์ สารอาหารที่เมล็ดพันธุ์เก็บสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ hydrolase เช่น amylase และ phosphorylase จากรูปน้ำตาลที่ละลายไม่ได้เป็นรูปน้ำตาลที่ละลายได้ โปรตีนถูกย่อยโดยเอนไซม์ protease ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ในระหว่างการงอกของเมล็ดพันธุ์ ได้กรดอะมิโน ส่วนการย่อยสลายไขมัน จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ lipase ได้กรดไขมันและกลีเซอรอล การย่อยสลายอาหารที่เก็บสะสมไว้ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่แตกต่างกัน

3) การลำเลียงอาหารที่เก็บสะสม ดังนี้

- คาร์โบไฮเดรต การลำเลียงอาหารสะสมประเภทคาร์โบไฮเดรตจากที่เคยอยู่ในรูปของ น้ำตาลที่ละลายไม่ได้ จะถูกย่อยให้อยู่ในรูปของน้ำตาลที่ละลายได้ ซึ่งเป็นรูปที่สามารถลำเลียงได้
- โปรตีน จะลำเลียงในรูปของสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายได้ เช่น amino acid โดย amino acid จะถูกลำเลียงไปที่เอ็มบริโอ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการสร้างโปรตีนใหม่ ในส่วนที่มีการเจริญเติบโต
- ลิพิด จะถูกลำเลียงในรูปของกรดไขมันและกลีเซอรอล บางส่วนจะถูกลำเลียงไปเป็นวัตถุดิบในการสร้างสารพวก phospholipid และ glycolipid เพื่อสร้างเมมเบรนของออร์แกเนลล์ และเซลล์ที่จะเกิดขึ้นใหม่

4) การเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ ในขณะที่เอ็มบริโอมีการเจริญเติบโต น้ำหนักของต้นอ่อนจะเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อสะสมอาหารจะลดลง และการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในเนื้อเยื่อของต้นอ่อน ขณะเดียวกัน ขบวนการเมแทบอลิซึมที่เนื้อเยื่อสะสมอาหารจะลดลง ยกเว้นในส่วนของใบเลี้ยงซึ่งจะทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงได้ ต่อมาจะมีการยืดตัวและการเจริญเติบโตของยอดอ่อนเกิดเป็นใบแรก (primary leaf) และแกนกลางของเอ็มบริโอ ส่วนใต้ใบเลี้ยงจะเติบโตไปเป็นลำต้นใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ส่วนเหนือใบเลี้ยงจะเจริญเป็นลำต้นเหนือใบเลี้ยง (epicotyl) จากนั้น ต้นอ่อนก็จะเจริญเติบโต

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการงอกของเมล็ดพันธุ์

เมื่อเมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการงอก ซึ่งได้แก่ปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้นแล้ว เมล็ดพันธุ์จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

1) เมล็ดพองโต จากสภาพโดยทั่วไปในเมล็ดพันธุ์ที่เจริญเติบโตเต็มที่ เมล็ดจะแข็ง เนื่องจากภายในเมล็ดมีความชื้นต่ำมาก เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเข้าไปโดยผ่านช่องเปิดธรรมชาติที่มีอยู่ เช่น ไฮลัม (hilum) หรือบาดแผลที่เกิดขึ้นที่บริเวณเปลือกเมล็ด เป็นต้น จะทำให้เมล็ดขยายขนาดใหญ่ขึ้น และเปลือกเมล็ดมีลักษณะอ่อนนุ่ม

2) การเจริญของราก ส่วนแรกที่จะเจริญออกมาจากเมล็ดพันธุ์ คือ รากแรกเกิด (radicle) ด้วยบทบาทของน้ำที่ทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม จึงทำให้รากแรกเกิดงอกได้สะดวกมากขึ้นรากแรกเกิดเมื่อเจริญพัฒนาต่อไปจะเป็นรากแก้ว เรียกว่า primary root เพื่อความอยู่รอดเมล็ดพันธุ์จะงอกส่วนรากออกมาก่อนเพื่อค้ำจุนต้นกล้า ดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารส่งไปยังใบเลี้ยงและยอดอ่อนเพื่อ ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของต้นกล้าต่อไป

3) การเจริญในส่วนของใบเลี้ยงและยอดอ่อน เมล็ดพันธุ์จะงอกส่วนที่เรียกว่า ลำต้นเหนือใบเลี้ยง (epicotyl) และลำต้นใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ออกมา หลังจากนั้น ใบเลี้ยงจะค่อยๆเจริญออกมาและสลัดส่วนของเปลือกเมล็ดทิ้งไป พืชใบเลี้ยงคู่มีใบเลี้ยงสองใบ เมื่อโผล่ขึ้นมาเหนือดิน จะเป็นส่วนแรกที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงในต้นกล้าได้ ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีใบเลี้ยงเพียงใบเดียว ส่วนใหญ่ใบเลี้ยงจะตกค้างอยู่ภายในเมล็ด ทำหน้าที่ดูดอาหารจากเอนโดสเปิร์มส่งไปเลี้ยงต้นอ่อนที่กำลังงอก ส่วนของลำต้นเหนือใบเลี้ยงและลำต้นใต้ใบเลี้ยง ในพืชใบเลี้ยงคู่จะเห็นได้ชัดเจนกว่าในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดจะมีลำต้นเหนือใบเลี้ยงที่มีลักษณะยาวเป็นพิเศษ เรียกว่าปล้องแรก (mesocotyl)

2.3 ลักษณะของข้าวฮางที่ดี

ข้าวทุกพันธุ์สามารถนำมาทำข้าวฮางได้ ลักษณะข้าวฮางที่ดีมีข้อสังเกตดังนี้ จมูกข้าวอยู่เต็มเมล็ด ไม่มีรอยแหว่งตรงปลายเมล็ด ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่มีประโยชน์ สีของเมล็ดข้าวเป็นสีน้ำตาลทอง อาจมีสีเข้มหรือจางกว่านี้ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แสดงว่าเส้นใยอาหารยังไม่ถูกขัดสีออก ไม่มีข้าวพันธุ์อื่นหรือสิ่งเจือปน สะอาด เป็นข้าวที่อบหรือตากจนแห้งสนิท ไม่มีกลิ่นอับชื้นขึ้นราหรือมีมอด บรรจุในภาชนะหรือถุงที่สะอาดปิดสนิท ระบุสถานที่ผลิต และราคาขาย การซื้อข้าวบริโภคควรซื้อในปริมาณที่บริโภคหมดภายใน 2- 3 สัปดาห์ เมื่อเปิดภาชนะหรือถุงใช้แล้ว ควรปิดฝาให้สนิทและควรเก็บในที่แห้งสนิท และสะอาด ประโยชน์ของข้าวฮางอก

- สารกาบา (GABA) มีมากกว่าข้าวกล้อง 15 เท่า มีประโยชน์มากมาย เช่น ช่วยรักษาระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลในสมอง ช่วยให้สมองผ่อนคลาย ลดความวิตกกังวล หลับสบาย คลายกล้ามเนื้อ ป้องกันความจำเสื่อม กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนที่ช่วยการเจริญเติบโต สร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อกระชับ ชะลอความชรา ช่วยขับเอนไซม์ขจัดสารพิษ ควบคุมระดับน้ำตาลและพลาสมา คลอเรสเตอรอลในเลือด ลดความดันเลือด ช่วยให้เลือดไหลเวียนดี กระตุ้นการขับถ่ายน้ำดีลงสู่ลำไส้ เพื่อสลายไขมัน ป้องกันมะเร็งลำไส้และช่วยขับสารพิษ

สารกาบา คือ สารกาบา GABA = gamma aminobutyric acid เป็นสารอะมิโนชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการการงอกของเมล็ด สารกาบาที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวงอกและจะเพิ่มถึง 15 เท่าเมื่อข้าวงอกมีอายุ 1-2 วัน หลังจากนั้นสารกาบาก็จะลดลงเรื่อยๆ

- โปรตีนที่ดี ช่วยซ่อมแซมส่วนสึกหรอของเนื้อเยื่อ ไม่มีสารกลูเตนที่ทำให้เกิดอาการแพ้
- ไฟเบอร์ชั้นดีสูง สูงกว่าข้าวขาว 15-20 เท่า ช่วยให้การย่อยอาหารเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้น้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดทีละนิด จึงทำให้อิ่มท้องนาน ไม่หิวง่าย ช่วยลดความอ้วน ป้องกันและรักษาโรคเบาหวานได้ดีมาก ช่วยให้ขับถ่ายสะดวก ช่วยดูดซับไขมันและสารพิษออกจากร่างกาย ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่

- ไขมันชนิดดี และสำคัญหลายชนิด เช่น ออริซานอล โทโคฟีรอล ไตรโคไตรอินอล ฯลฯ ช่วยลดไขมันในเลือดและหลอดเลือด ลดไขมันตัวร้าย (LDL) และเพิ่มไขมันตัวดี (HDL) ป้องกันโรคหัวใจ ยับยั้งเซลล์เนื้องอก ทำลายเซลล์มะเร็งเต้านม มีสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็งได้ดีกว่าวิตามินอี 6 เท่า ยับยั้งการเกิดฝ้า ช่วยลดอาการร้อนวูบวาบในสตรีวัยทอง

- มีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งช่วยขจัดอนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุของโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ได้ดี ช่วยป้องกันเชื้อไวรัสและแบคทีเรีย ป้องกันโรคหัวใจ ไขข้ออักเสบ โรคเกาต์ โรคแก่เร็ว ฯลฯ

- มีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญครบทุกตัว ช่วยให้อวัยวะในร่างกายทำงานได้ดี ทำให้สุขภาพแข็งแรง เช่น วิตามิน B1 มีมากกว่าข้าวขาว 4 เท่า ป้องกันโรคเหน็บชา วิตามิน B2 มีมากกว่าข้าวขาว 1 เท่า ป้องกันโรคปากนกกระจอก วิตามิน B3 มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยให้ระบบทางเดินอาหารเป็นปกติ ไม่อืด แน่น เพ้อ คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายเป็นเลือด ไม่สับสนซึมเศร้า วิตามิน B6 ช่วยสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ กรดโฟริก มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์ ป้องกันทารกสมองพิการในช่วงเริ่มตั้งครรภ์ วิตามิน E สูง ช่วยกระจายออกซิเจนไปตามกระแสเลือด ชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยให้ผิวพรรณดี สดใส เติ่งตึง ป้องกันแคลเซียมเกาะผนังหลอดเลือด ซึ่งทำให้เส้นเลือดมีความยืดหยุ่นน้อยลง ทำให้เปราะ และแตกง่าย โดยเฉพาะในสมอง ธาตุเหล็ก มีมากกว่าข้าวขาว 2 เท่า ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง

3. สารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) หมายถึง สารเคมีที่ทำหน้าที่ต่อต้าน หรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้รวมถึงสารที่สามารถยับยั้ง และควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) ซึ่งได้แก่ บีเอชเอ (tert-butyl-4-hydroxyanisole, BHA) บีเอชที (tert-butyl-4-hydroxytoluene, BHT) และ ทีบีเอชคิว (tert-butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น (วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และพัชรี บุญศิริ. 2542)

3.1 อนุมูลอิสระ (free radicals)

อนุมูลอิสระ (free radicals) หมายถึงสารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่ไม่มั่นคง ปกติโมเลกุลที่อยู่ในร่างกายของเราจะมีอิเล็กตรอนอยู่กันเป็นคู่และเป็นโมเลกุลที่คงตัวไม่เสถียร ในกรณีที่โมเลกุลมีการสูญเสียอิเล็กตรอนหรือ

ได้รับอิเล็กตรอนมาเพิ่ม จะทำให้โมเลกุลนั้นมีอิเล็กตรอนมากหรือน้อยเกินไป ทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร โมเลกุลที่ไม่เสถียร นี้จะไปแย่งอิเล็กตรอนมาจากโมเลกุลอื่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาดำยอิเล็กตรอนกัน เกิดขึ้นต่อเนื่องไปโมเลกุลอื่นเรื่อย ๆ ไม่รู้จบจึงเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระพบได้ทุกแห่งทั้งในสิ่งแวดล้อม ในสิ่งมีชีวิต และในเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ หรือจาก กระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) โดยมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลออกซิเจนไม่สมดุล กลายเป็นอนุมูลอิสระและว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยามาก และสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุล อื่นมาแทนที่อิเล็กตรอนที่ขาดหายไปเพื่อให้ตัวเองเกิด ความสมดุลหรือเสถียร ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่าง ต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา ดังสมการ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556)



ชนิดของอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายเอง หรือการออกกำลังกายอย่างหักโหม และอนุมูลอิสระที่เกิดในเซลล์ที่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ oxygen radical, อนุพันธ์ของ oxygen radical (เช่น superoxide radical และ hydroxyl radical), hydrogen peroxide, transition metals (โลหะ ทรานซิชัน), carbonate radical ($CO_3^{\cdot-}$), nitrate radical ($NO_3^{\cdot}$), methyl radical ($CH_3^{\cdot}$), superoxide radical ($O_2^{\cdot-}$), peroxy radical ($ROO^{\cdot}$), reactive oxygen species (ROS) เป็นต้น

2) อนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย

- การติดเชื้อ ทั้งจากแบคทีเรียและไวรัสการติดเชื้อ
- การอักเสบชนิดไม่ทราบสาเหตุ (autoimmune diseases) เช่น ข้ออักเสบ โรคเกาต์
- รังสี
- สิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ควันบุหรี่ ยาฆ่าแมลง

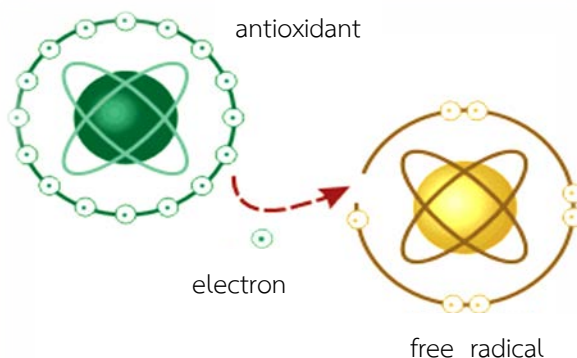
นอกจากนี้อนุมูลอิสระ สามารถทำลายชีวโมเลกุลทุกประเภท ทั้งในเซลล์และ ส่วนประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น ลิพิด (lipid) โปรตีน (protein) เอนไซม์ (enzyme) ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เซลล์เมมเบรน (cell membrane) คอลลาเจน (collagen) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เซลล์ ตาย การเกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอในเซลล์ และ ก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคชรา (aging) โรคมะเร็ง (cancer) โรคหัวใจขาดเลือด (coronary heart disease) โรคความจำเสื่อม (alzheimer's disease) โรคข้ออักเสบ (arthritis) โรคภูมิแพ้ (allergies) โรคความดันโลหิต โรคเหน็บชา โรคเกี่ยวกับสายตา ความผิดปกติของปอดและระบบ ประสาท โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ

โรคเกี่ยวกับความผิดปกติของผิวหนัง และโรคลำไส้อักเสบ เป็นต้น อนุมูลอิสระนอกจากจะเกิดภายในสิ่งมีชีวิตแล้วอนุมูลอิสระสามารถเกิดจากภายนอก สิ่งมีชีวิตหรือในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การได้รับเชื้อโรค เช่น การติดเชื้อโรคไวรัสหรือเชื้อแบคทีเรีย โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน (immune diseases) เช่น ข้ออักเสบรูมาตอยด์ เป็นต้น จากรังสี เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา จากมลภาวะ เช่น คาร์บอนหรือแก๊สจากท่อไอเสีย เช่น ไนโตรไดออกไซด์ ไนโตรเจน ไดออกไซด์ เขม่าจากเครื่องยนต์ ฝุ่นจากกระบวนการประกอบอาหาร เช่น การย่างเนื้อสัตว์ที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่มีอุณหภูมิสูงๆ กลับมาใช้ซ้ำ การทำให้เกิดอาหารประเภทเกรียมไหม้ หรือเกิดจากการปิ้งย่าง หรืออาจเกิดจากยา บางชนิด เช่น โดโซรูบิซิน (doxorubicin) เพนนิซิลลามีน (penicillamine) พาราเซตามอล (paracetamol)

3.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) คือสารเคมีที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้รวมถึงสารที่สามารถยับยั้ง และควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) ซึ่งได้แก่ บีเอชเอ (tert-butyl-4-hydroxyanisole, BHA) บีเอชที (tert-butyl-4-hydroxytoluene, BHT) และ ทีบีเอชคิว (tert-butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น (วัลยา เนาวัตรวัฒนา และพัชรี บุญศิริ. 2542)

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระกลายเป็นสารที่มีโมเลกุลคงตัว ดังภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ
ที่มา : Jasenka (2015)

3.2.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้
(อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545)

3.2.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (primary antioxidant)

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่สารประกอบฟีนอลิก (phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห์ (natural and synthetic tocopherol) อัลคิลแกลเลต (alkyl gallate) บีเอชเอ บีเอชที ทีบีเอชคิว และอื่น ๆ ซึ่งสารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

3.2.1.2 สารจับออกซิเจน (oxygen scavenger)

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี กรดแอสคอร์บิล-พาลมิเตต (ascorbyl palmitate) กรดไอโซแอสคอร์บิก (isoascorbic acid หรือ erythorbic acid) และ โซเดียมอีริทอร์เบต (sodium erythorbate) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3.2.1.3 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (secondary antioxidant)

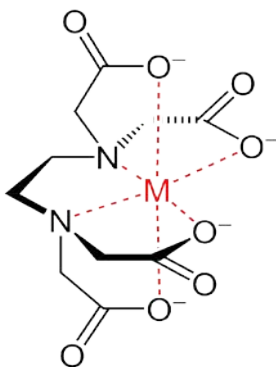
สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไดลอริลไทโอโพรพิโอเนต (dilauryl thiopropionate) และกรดไทโอโพรพิโอนิก (thiopropionic acid) ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของลิพิดไฮดรอปเปอร์ออกไซด์ (lipid hydroperoxide) ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

3.2.1.4 สารต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ (enzymic antioxidant)

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งแบ่งเป็น สารต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ชนิดปฐมภูมิ (primary antioxidant enzyme) และ สารช่วยเสริมสารต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ (ancillary antioxidant enzyme) สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.2.1.5 สารคีเลต (chelating agent หรือ sequestrant)

สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน กรดเอทิลีนไดแอมีนเททระแอะติก (ethylene diamine tetra-acetic acid, EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร ดังภาพที่ 2.3

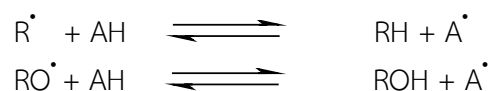


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง EDTA กับโลหะไอออน
ที่มา : วิลพร ปองเพียร (2552)

3.2.2 ผลของสารต้านอนุมูลอิสระ

เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) เป็นตัวจับไล่อนุมูลอิสระ จับกับไอออนโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยับยั้งการเกิดออกซิเจนในรูปแอกทีฟ ซึ่งพบในขั้นตอนอินิทิเอชันของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้จึงทำให้มีผลในการชะลอ หรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่โดยการทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้เป็นสารที่มีความเสถียรหรือเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกต่อไป หรือเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (non-radical product)

สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อ กระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือสามารถ ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบ การป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมาย หลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็น เอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของ ออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น ตัวอย่างแสดงการดักจับอนุมูลอิสระดังสมการ



โดย $\text{R}^\bullet$ และ $\text{RO}^\bullet$ คือ อนุมูลอิสระ และ AH

ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามินและสารอื่นๆ ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นวิตามิน เช่น vitamin C (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไฮโดรฟิลิก) vitamin E (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เมมเบรน) และ glutathione (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกัน อันตรายจากอนุมูลอิสระที่ไฮโดรฟิลิกและเมมเบรน) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ glutathione peroxidase (GPX), glutathione reductase และ glutathione transferase ซึ่งทำหน้าที่ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นออกซิเจนและน้ำ ส่วนเอนไซม์ superoxid dismutase (SOD) สามารถเปลี่ยน $\text{O}_2^\bullet$ เป็น H_2O_2 สารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้แก่ carotenoids และ ubiquinones เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันอนุมูลอิสระ ออกซิเจนทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ในภาพรวมปฏิกิริยาของร่างกายของเราจะมีการ ป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระโดยการสร้าง เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ขึ้นมาควบคุมปริมาณสารอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และอีกส่วนได้จากสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายรับประทานเข้าไป จำพวกวิตามิน เบต้าแคโรทีน และแคโรทีนอยด์ รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งสารดังกล่าวได้ จากพืชผักและผลไม้ ตัวอย่างอาหารที่มีเบต้าแคโรทีนสูง ได้แก่ ผักใบเขียว

เช่น ตำลึง และผักบุ้ง อาหาร ที่มีสีเหลือง เช่น แครอท มะละกอสุก มะม่วงสุก มะเขือเทศ ฟักทอง อาหารที่มีวิตามินซี (vitamin C หรือ ascorbic acid) สูง ได้แก่ พืช ผักสีเขียว และ ผลไม้รสเปรี้ยว เช่น ตำลึง ผักบุ้ง พริกหยวก ฝรั่ง มะขามป้อม ส้ม มะนาว สับปะรด (วิตามินซีจาก พืชผักดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระที่แรงมาก และละลายน้ำได้ดี) วิตามินอี (vitamin E หรือ tocopherol) ละลายได้ดีในน้ำมัน โดยวิตามินอีมีในน้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ เช่น รำละเอียดในพวก ธัญพืชที่ไม่ขัดขาว ข้าวโพด ข้าวกล้อง ถั่วแดง ถั่วเหลือง ผักกาดหอม เมล็ดทานตะวัน งา น้ำมันรำ เป็นต้น (บุหรัน พันธุ์สุวรรณและคณะ. 2553)

3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity determination)

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทจะมีหลาย วิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดย ปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและ สรุปผล

3.3.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพวิเคราะห์ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของสารต้าน อนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการต่าง ๆ เช่น การทำให้เกิดสี การทำให้เกิดตะกอน ความสามารถในการละลายในตัวทำละลาย และการ ถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระที่นิยม ได้แก่ การตรวจวัดสารโพลีฟีนอล ชนิดต่าง ๆ (เช่น shinoda test และ pew test) โครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) และการตรวจหาสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC)

3.3.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลชนิดต่าง ๆ โดยการทำให้เกิดสี (colorimetric assay) เป็นวิธีการนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง และดูสีที่เกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยา ตัวอย่างของวิธีนี้ ได้แก่

(1) วิธี shinoda test เป็นการทดสอบ ปฏิกิริยากับไซยานิดินส์ (cyanidins reaction) โดยการทำให้ปฏิกิริยาของสารตัวอย่างกับผงแมกนีเซียมหรือวงแหวนแมกนีเซียม (magnesium ribbon) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และออกทิลแอลกอฮอล์ (octyl alcohol) ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกชั้น ถ้าเกิดสีแดงแสดงว่ามี สารจำพวกฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวนอน (flavanone) ฟลาโวนอนอล (flavanonol) หรือแซนโทน (xanthone) เป็นต้น

(2) วิธี pew test หรือการทดสอบของพิว เป็นการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับผงสังกะสี (zinc dust) และกรดไฮโดรคลอริก ถ้าเกิดสีแดงเข้มภายใน 2-5 นาที แสดงว่ามีสารฟลาโวนอนอล (flavanonol) และฟลาโวนอล-3-ไกลโคไซด์ (flavonol-3-glycoside) แต่ถ้าเป็นสีจาง ๆ แสดงว่ามี สารฟลาโวนอน (flavanone) และฟลาโวนอล (flavonol)

วิธีการทั้งสองมีข้อดี คือ ทำได้หลายตัวอย่างพร้อมกัน ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน และใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์ แต่มี ข้อเสีย คือ มีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ (precision) ต่ำ และเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ เพราะสารหลายๆ ชนิดอยู่ด้วยกัน สีที่เกิดขึ้นสามารถบอกรวมกันได้ วิธีการดังกล่าว ข้างต้นได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาสารโพลีฟีนอล ตัวอย่าง เช่น เกสรตัวผู้ของบัวหลวง และย่านาง พบว่ามีสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

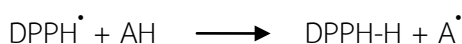
3.3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลด้วยวิธีThin Layer Chromatography (thin layer chromatography, TLC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสาร และวิเคราะห์สารโพลีฟีนอลในเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของสารด้วยตัวทำละลายหรือตัวพา (mobile phase) กับการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ (adsorbent หรือ stationary phase) ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างกับตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อสารตัวอย่างในแต่ละชนิด สารตัวอย่างที่แตกต่างกันจะถูกละลาย และถูกดูดซับได้ไม่เท่ากัน โดยสารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดีและถูกดูดซับน้อยจะเคลื่อนที่เร็ว ค่า R_f เข้าใกล้ 1.0 (R_f = ระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่/ ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่) ส่วนสารที่ละลายในตัวทำละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ค่า R_f จะเข้าใกล้ 0 ซึ่งตัวดูดซับที่นิยมใช้ คือ ซิลิกาเจล และตัวทำละลายหรือ ตัวพาที่นำมาใช้ในการแยกสารมีหลายชนิด เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล เอทิลอะซิเตต กรดฟอร์มิก คลอโรฟอร์ม อาจมีการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน เพื่อให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด สารตัวอย่างบางชนิดสามารถแยกโดยใช้ TLC แล้ว สามารถมองเห็นสีได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ชาโลน (chalcone) และออโรน (ourone) แต่บางชนิดต้องนำแผ่น TLC ไปทำปฏิกิริยา ต่อกับไอของแอมโมเนีย หรือส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) หรือฉีดพ่นด้วยสารต่าง ๆ เช่น สารละลายฟอสฟอรัส สารละลายวานิลลินในกรดซัลฟูริก สารละลายวานิลลินในกรดไฮโดรคลอริก สารละลาย โพแทสเซียมไอโอเดต สารละลายกิบบส์ (gibbs reagent) และสารละลาย DPPH ข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย วิเคราะห์สารหลายชนิด ได้พร้อมกัน ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง สามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างได้ทั้งที่มีสีและไม่มีสี แต่มีข้อเสีย คือ มีความไวและความแม่นยำต่ำ และในกรณีที่ต้องวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ใน ตัวอย่างมีค่า R_f ใกล้เคียงกันมาก จะไม่สามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านั้นออกจากกันได้ หรือแยกได้แต่ไม่บริสุทธิ์

3.3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ใช้หลักการคล้ายกับเทคนิคของ TLC โดยเครื่อง HPLC มีส่วนของปั๊มมาช่วยให้ตัวทำละลายหรือเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และตัวดูดซับหรือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) บรรจุเป็น ทรงกลมเล็ก ๆ หรือเรียกว่าคอลัมน์ (column) โดยสารตัวอย่างแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ หรือ stationary phase ได้แตกต่างกัน คอลัมน์ต่าง ชนิดกันแยกสารได้แตกต่างกัน ซึ่งสารที่ถูกดูดซับได้ น้อยจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาก่อน ส่วนสารที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาทีหลัง องค์ประกอบอีกส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนตรวจวัด สัญญาณ (detector) มีหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณของสาร ตัวอย่างที่แยกออกมาแต่ละชนิด ซึ่งสัญญาณที่ ตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค (peak) เรียกว่าโครมาโตแกรม (chromatogram) โดยส่วนตรวจวัดสัญญาณ สามารถตรวจวัดด้วย UV, fluorescence, IR เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสารแตกต่างกัน การแยกสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้เครื่อง HPLC สามารถตรวจหาสารได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณในเวลาเดียวกัน อีกทั้งสามารถหาสารหลายชนิดไปพร้อมๆ กัน ทั้งนี้ต้องมีสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ โดยสารชนิดเดียวกันจะมีพีคออกมาใน ระยะเวลา (retention time) เดียวกันเสมอ ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกัน และวิเคราะห์สารได้ในปริมาณต่ำๆ แต่มีข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเครื่อง HPLC มีราคาค่อนข้างแพง และ mobile phase ต้องใช้ประเภท HPLC grade

3.3.5 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิง ปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของ สารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยม ได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย วิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอซ (DPPH[•]) วิธีการพอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS^{•+}) และการ วิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ซึ่งวิธีการดังกล่าว ข้างต้นจะมี การสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้ง หรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากการ ดูดกลืนแสง สารอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ เช่น ABTS^{•+} และ DPPH[•] การคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูล อิสระ หาได้จากอัตราส่วนของการลดลงของค่าการดูดกลืน แสงของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน (เช่น trolox, vitamin C และ ferrous sulfate) หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ แสดงได้ 2 แบบ คือ (1) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้าน อนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลข สูงก็แสดงว่ามี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และ (2) แบบปริมาณความ เข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สาร อนุมูลอิสระลดลง 50 % (IC₅₀, 50 % of inhibitory concentration) โดยค่า ตัวเลขต่ำแสดงว่ามี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งสอง แบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ $\mu\text{M}/\text{mg}$, mM/mg , $\mu\text{M}/\text{mL}$, mM/mL เป็นต้น

3.3.5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอซ (diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ สารที่มี คุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีฟิฟิเอซ (DPPH[•], diphenyl-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัว และมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ DPPH[•] ทำ ปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วง จางลง ๆ จนเป็นสีเหลือง ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการ ดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มีดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้าน อนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลง ของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] สูตรคำนวณ ได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น (ก่อนใส่ สารตัวอย่าง) ดังนี้



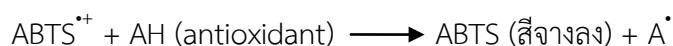
$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A_0 - A_s)/A_0] \times 100$$

โดย A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น และ
 A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระ คือ โทร็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy 2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ $\mu\text{M}/\text{mg}$ ข้อดีของ วิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

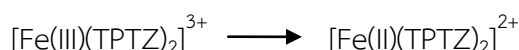
ส่วนข้อเสีย คือ DPPH[•] ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้ อีกทั้งสารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวน (interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรบกวนแล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้เช่นกัน

3.3.5.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay) เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS^{•+}, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6 sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาว คลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจากสีของ ABTS^{•+} ปกติ จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง ABTS^{•+} ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำ ABTS^{•+} ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือ จางซึ่งจะทำให้สีจางลง



และตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ซึ่งวิธีการ คำนวณและการเทียบกับสารมาตรฐาน trolox กระทำ เช่นเดียวกับวิธี DPPH ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ABTS^{•+} ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์จึงทำ ปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อเสีย คือ ABTS^{•+} ไม่เป็นสาร ธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิด เป็นอนุมูลอิสระ

3.3.5.3 การวัดความสามารถในการ รีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay) วิธีการนี้ อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเท อิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน [Fe(III) (TPTZ)₂]³⁺ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น [Fe(II) (TPTZ)₂]²⁺ ซึ่ง [Fe(II)(TPTZ)₂]²⁺

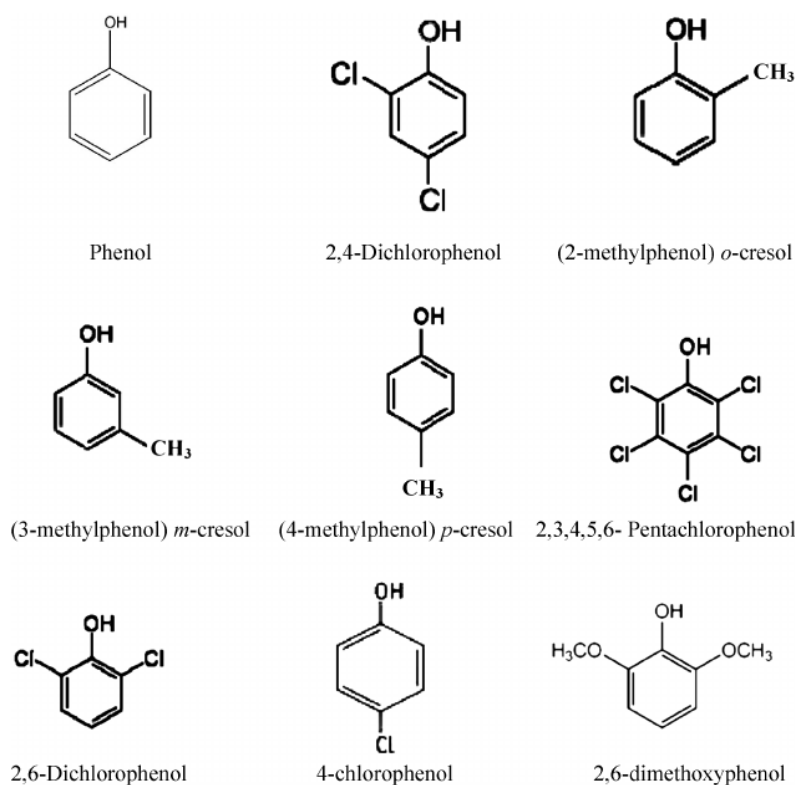


มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ปริมาณของ [Fe(II)(TPTZ)₂]²⁺ ที่เกิดขึ้น สามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้าน อนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟ มาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO₄) ซึ่งขั้นตอน โดยละเอียดของวิธีการนี้ ได้แก่ การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน [Fe(III)(TPTZ)₂]³⁺ ประกอบ ด้วย นำสารละลาย TPTZ (2,4,6-tri (2-pyridyl)-striazine) ที่ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางมาทำ ปฏิกิริยากับสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ และสาร ละลายเฟอร์ริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต จากนั้นทำ การรีดิวซ์เฟอร์ริกโดยการเติมสารละลายมาตรฐาน เฟอร์รัสซัลเฟตหรือสารตัวอย่าง (สารต้านอนุมูลอิสระ) และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ไม่แพง และสามารถทำซ้ำแล้วให้ผลเหมือนเดิม แต่ข้อเสีย คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกาย และสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

4. สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก หมายถึง สารที่พบได้ในพืชทั่วไป เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่ง หมู่ในโมเลกุล สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีหลายกลุ่มและมีลักษณะสูตรโครงสร้างแตกต่างกัน กลุ่มใหญ่ที่พบจะเป็น สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) นอกจากนั้น ยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น ฟีนอล (phenol) ฟีนิล (phenyl) ควิโนน (quinone) โพรพานอยด์ (propanoid) ฟีนอลิก (phenolic) และโพลีฟีนอลิก (polyphenolic) ซึ่งได้แก่ ลิกนิน (lignin) เมลานิน (melanin) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอลิก (phenolic unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic Ring) ที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล อย่างน้อยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล สามารถละลายได้ในน้ำ ดังรูปที่ 2.4

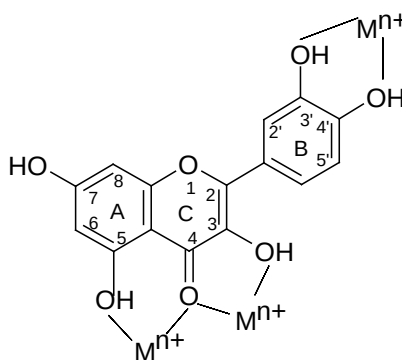


ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : Taghreed and Muftah (2012)

ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิก มักพบอยู่รวมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) หน้าที่ของสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีบางชนิดก็ทราบแน่ชัด เช่น ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ของพืช สารในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารที่ให้สีในผลไม้ และดอกไม้ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์มีความสำคัญในการควบคุมการเจริญของพืช จำพวกถั่ว เป็นต้น นอกจากนี้พบว่าสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิก ทำหน้าที่เป็นตัวจับไล่อนุมูลอิสระ ที่สำคัญคืออนุมูล โดยมีกลไก 2 แบบ คือ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเทียบกับสารออกซิไดส์ สารประกอบฟีนอลิกจะหน่วงเหนี่ยว หรือป้องกันการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร ดังนั้น จึงสามารถป้องกันการเกิดขึ้นตอนพรอพagationได้ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารที่รวมตัวกับโลหะ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (chelating agent) ดักจับไอออนของโลหะ เข้าไว้ในโมเลกุล เช่น เคอร์ซีทิน (quercetin) โดยโครงสร้างของเคอร์ซีทินมีตำแหน่ง (binding site) ที่สามารถดักจับไอออนของโลหะ เช่น ทองแดง ได้ 3 บริเวณ คือ บริเวณ 3',4'- ไดไฮดรอกซี (3',4'-dihydroxy) ของวงแหวน B บริเวณ 3-ไฮดรอกซิล (3-hydroxyl) 4-คีโต (4-keto) ของวงแหวน C และ บริเวณระหว่างตำแหน่ง 5-ไฮดรอกซิล (5-hydroxyl) ของวงแหวน A กับตำแหน่ง 4-คีโต ของวงแหวน C ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงบริเวณตำแหน่งที่สามารถดักจับไอออนโลหะของเคอร์ซีทิน

ที่มา : อัญชนา เจนวิถีสุข (2545)

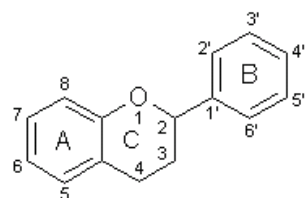
สารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ เป็นตัวให้ไฮโดรเจนและกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอกทีฟ ด้วยหน้าที่ต่าง ๆ ดังกล่าวจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป

ศักยภาพของสารประกอบฟีนอลิก ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (redox potential) ของหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล และโครงสร้างทางเคมีซึ่งแตกต่างกันไป แสดงดังภาพที่ 2.6 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารประกอบ ฟีนอลิกจะมีมากขึ้นถ้าในโครงสร้างโมเลกุลมีตำแหน่งดังต่อไปนี้ (อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545)

1) หมู่ 3-ไฮดรอกซิล (3-hydroxyl group) ของวงแหวน C : เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างเคอร์ซีทิน และลูทีโอลิน (luteolin) พบว่า ลูทีโอลิน มีแอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเคอร์ซีทิน เนื่องจากลูทีโอลินไม่มีตำแหน่งของหมู่ 3-ไฮดรอกซิล ที่วงแหวน C

2) 2,3-ดับเบิล บอนด์ (2,3-double bond) และ หมู่ 4- ออกโซ (4-oxo group) ของวงแหวน C : เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่าง เคอร์ซีทิน และเทซิโฟลีน (taxifolin) พบว่าเทซิโฟลีน มีแอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเคอร์ซีทิน เนื่องจากเทซิโฟลีน ไม่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่งดังกล่าว

3) หมู่ 3', 4'-ไฮดรอกซิล (3', 4'-hydroxyl group) ของวงแหวน B : เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างเคอร์ซีทิน และแคมป์เฟอร์อล (kaempferol) พบว่า แคมป์เฟอร์อล มีแอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเคอร์ซีทิน เนื่องจากแคมป์เฟอร์อลไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' ของวงแหวน B



โครงสร้างฟลาโวนอยด์

A : ฟลาโวน / ฟลาโวนอล

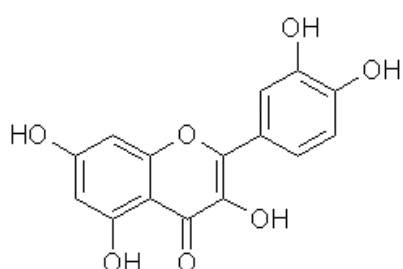
เคอร์ซีทิน = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

แคมป์เฟอร์อล = OH : 3, 5, 7, 4'

ลูทีโอสีน = OH : 5, 7, 3', 4'

อาพิจีนิน = OH : 5, 7, 4'

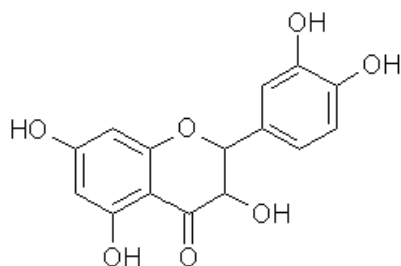
คริซีทิน = OH : 5, 7



B : ฟลาโวนโนน / ฟลาโวนโนล

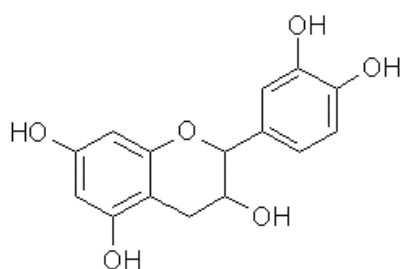
เทชิโอสีน = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

เนรินเจนิน = OH : 5, 7, 4'



C : ฟลาวานอล

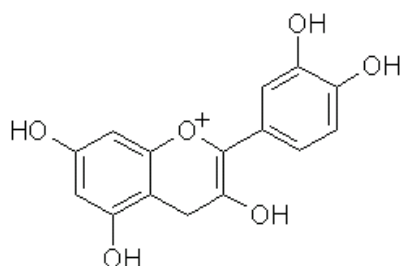
แคทีชิน = OH : 3, 5, 7, 3', 4'



D : แอนโทไซยานิดิน

ไซยานิดิน = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

เดลฟินิดิน = OH : 3, 5, 7, 3', 4', 5'



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด

ที่มา : อัญญา เจนวิถีสุข (2545)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยาภรณ์ จันตรี (2554) ได้ศึกษาเปรียบเทียบและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณของสารฟีนอลของสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องอกที่สกัดด้วยเอทานอลและไดคลอโรมีเทนทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดย 4 วิธี ได้แก่ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) antioxidant assay, 2,2-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) antioxidant assay และ potassium ferricyanide reduction assay และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม ด้วยวิธี folin Ciocalteu เทียบกับกรดแกลลิก จากวิธี DPPH antioxidant assay พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวกล้องและข้าวกล้องอก พบว่าสารสกัดจากข้าวกล้องอกชั้นเอทานอลมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับและจากวิธี ABTS antioxidant assay รายงานโดยใช้ค่า พบว่า สารสกัดข้าวกล้องอกชั้นเอทานอลมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุด โดยรายงานผลเป็นค่า IC_{50} เท่ากับ การหาความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ พบว่า สารสกัดข้าวกล้องอกชั้นเอทานอลเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีที่สุด ร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 63.41 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ร้อยละของการยับยั้งกรดลิโนเลอิกเท่ากับ 26.79 และ ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก ผลการวิจัยพบว่า สารสกัดข้าวกล้องและข้าวกล้องอกชั้นเอทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเทียบเท่ากับกรดแกลลิกเท่ากับ 118.70 ± 15.37 และ 131.20 ± 10.84 มิลลิกรัม ตามลำดับ

ดวงกมล และคณะ (2551) ได้สกัดสารสีแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อุณหภูมิ 62°C – 65°C เป็นเวลา 67–75 นาที โดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำ : น้ำ เป็น 1 ต่อ 3 w/w ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า เช่นเดียวกับ บุศรารัตน์ และเกียรติศักดิ์ (2545) ได้ศึกษาการสกัดสารละลายสีแอนโทไซยานินจากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง เพื่อใช้เป็นสีย้อมอาหาร รายงานว่าสารสีแอนโทไซยานินที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่แข็งที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินผง (maltodextrin powder) เข้มข้น 3% w/v เป็นสารที่ให้ความคงตัวดีที่สุด และมีค่าดัชนีการเสื่อมสลายต่ำที่สุด (degradation index) นั่นคือ สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 สัปดาห์ มีค่าครึ่งชีวิตมากที่สุด คือ 86 วัน

อรุษา เขาวนลิขิต (2554) ได้ทำการศึกษาการสกัด และมีวิธีวิเคราะห์สารแอนโทไซยานิน ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารสีที่พบในธรรมชาติ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ นอนอะซิลเลตเทดแอนโทไซยานิน (non acylated anthocyanin) และอะซิลเลตเทด แอนโทไซยานิน (acylated anthocyanin) โครงสร้างของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วย แอนโทไซยานิดิน น้ำตาล หรือกรด และตัวทำละลายที่ใช้ในตัวทำการศึกษาแอนโทไซยานิน ได้แก่ น้ำ เอทานอล เมทานอล และอะซิโตน วิธีการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทำให้แอนโทไซยานินทั้งหมด เช่น วิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH-differential) ด้วยสเปคโตรมิเตอร์ และการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแอนโทไซยานิน โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography) การย่อยด้วยกรด และการย่อยด้วยด่างหรือการใช้แมสสเปคโตรมิเตอร์ เป็นเทคนิคที่ใช้ร่วมกับ HPLC เพื่อวิเคราะห์แอนโทไซยานินไม่ทราบชนิด

เศฐินี จันทรภิรมย์ และคณะ (2547) ได้มีการพัฒนาตำรับโลชั่นที่ประกอบด้วยสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามไทยเพื่อใช้เป็นโลชั่นลดเลือนริ้วรอย ซึ่งมีความปลอดภัยและคงตัวทางกายภาพภายใต้สภาวะเร่ง ผู้วิจัยได้เตรียมสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามด้วยเอทิลอะซิเตท พบว่า สารสกัดมีสาร(-)-epicatechin เท่ากับ 0.5860 ± 0.2517 mg/kg เปลือกเมล็ดมะขาม

ปิลันธนา เลิศสถิตธนากร และคณะ (2547) ได้มีการพัฒนาตำรับครีมรักษาสิวแห้งแตกจากยางมะละกอดิบ และน้ำคั้นจากผลสับปะรด ตัวยาสำคัญคือ สารยูเรีย (urea) เริ่มจากการพัฒนาตำรับยาพื้นครีม (cream base) ที่เหมาะสม ศึกษาความเข้ากันได้ของส่วนประกอบในตำรับด้วยการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น (freeze-thaw cycling) แล้วศึกษาประสิทธิภาพในการรักษาสิวแห้งแตกในอาสาสมัคร โดยเปรียบเทียบระหว่าง ครีมยางมะละกอ ครีมน้ำสับปะรด ครีมยูเรีย ยาพื้นครีม และครีมรักษาสิวแห้งแตกในท้องตลาด 1 ยี่ห้อ เป็นเวลานาน 1 เดือน ควบคุมการศึกษาความคงตัวทางกายภาพของครีม 5 ตำรับ ณ อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 45°C นาน 6 สัปดาห์ และประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์ด้วยแบบสอบถาม พบว่าครีมยางมะละกอ สมานรอยเท้าแตกดีกว่าชนิดอื่นภายใน 14 วัน ($P < 0.05$) ครีมทุกตำรับไม่เกิดการแพ้ทางผิวหนัง ครีมยางมะละกอ และสับปะรดมีปัญหา เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C นาน 1 เดือน เรื่อง ความคงตัว การแยกชั้น การเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น ถ้าจะผลิตเชิงการค้าควรปรับปรุงสูตร

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และ คณะ (2551) ได้พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เจลแต้มสิวผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เหมาะสม พบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย น้ำ ร้อยละ 94.2, carbopol ultrez-10 ร้อยละ 0.5, triethanolamine ร้อยละ 0.5, panthenol ร้อยละ 0.5, dimethicone ร้อยละ 2.0, germaben II ร้อยละ 0.8, polysorbate20 ร้อยละ 1.0 และสารสกัดเย็นจากเปลือกมังคุดสด ร้อยละ 0.5 เมื่อศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เจลแต้มสิวผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.07 เจลขุ่นมีสีเหลืองน้ำตาล มีค่า L^* เท่ากับ 31.39 ค่าสี a^* เท่ากับ 2.19 ค่าสี b^* เท่ากับ 4.49 มีค่าความหนืด 8023.33 cP. จากการศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อสิว *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis* และ *Propionibacterium acnes* พบว่า เจลแต้มสิวที่ได้จากการพัฒนามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดได้ดี การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเป้าหมาย จำนวน 120 คน ผู้บริโภคร้อยละ 71.7 ยอมรับผลิตภัณฑ์โดยมีความชอบรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

Hiemori, M., Koh, E., and Mitchell, AE. (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินใน black rice (*Oryza sativa* L. japonica var. SBR) โดยแอนโทไซยานิน 6 ชนิดถูกนำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC-PDA และ LC-(ESI)MS/MS พบว่า แอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ cyanidin-3-glucoside (572.47 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็น 91.13% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) และ peonidin-3-glucoside (29.78 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็น

4.74% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) รองลงมาคือ cyaniding-dihexoside isomer 3 ไอโซเมอร์ และ cyaniding hexoside อีก 1 ชนิด นอกจากนี้ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่ประเมินจากการหุงข้าวและความดันที่ใช้ พบว่าวิธีการทั้งหมดของกระบวนการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของแอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความดัน (pressure) ที่ใช้ในการหุงข้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณของ cyanidin-3-glucoside ลดลง รองลงมาคือ หม้อหุงข้าว (rice cooker) และปริมาณก๊าซที่ใช้ คิดเป็น 79.8 %, 74.2% และ 65.4 % ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของ protocatechuic acid มีการเพิ่มขึ้นอีก 2.7-3.4 เท่า ในทุกวิธีการของกระบวนการหุงข้าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ cyanidin-3-glucoside และการเกิดของ protocatechuic acid ขึ้นพร้อมกัน

Mori, K., et al. (2007) ได้ศึกษาการสูญเสียแอนโทไซยานินในองุ่นแดงที่อุณหภูมิสูง คือ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส (control) พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะมี 3-monoglucoside, 3-acetylglucoside และ 3-*p*-coumaroylglucoside ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ delphinidins, cyanidins, petunidins, peonidins และ malvidins อยู่ในปริมาณมาก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส พบว่าแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีปริมาณลดลง ยกเว้นอนุพันธ์ของ malvidins ได้แก่ 3-glucoside, 3-acetylglucoside และ 3-*p*-coumaroylglucoside อาจเป็นเพราะว่ายีนที่ได้จากชีวสังเคราะห์ (biosynthesis genes) นั้นไม่สามารถต้านการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยได้กำหนดรูปแบบการศึกษาไว้ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง
2. ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง และเปรียบเทียบผลของการงอกข้าวพญาลิ้มแกง ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกและเผยแพร่องค์ความรู้ ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

1. ศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองนี้ใช้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองพญาลิ้มแกง อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีตัวอย่างข้าวทั้งหมด 3 ช่วงการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างของข้าวพญาลิ้มแกงที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างข้าวพญาลิ้มแกง	วัน/เดือน/ปี การเก็บตัวอย่าง
ระยะน้ำนม (milk stage)	29/10/2557
ระยะแป้งอ่อน หรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage)	04/11/2557
ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)	15/11/2557

1.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อทำข้าวฮาง

นำข้าวเปลือกพญาลิ้มแกงมาทำความสะอาดและคัดข้าว โดยการฟัดให้เมล็ดสีออกและสิ่งเจือปนออกให้หมด แล้วนำไปล้างทำความสะอาด

1.3 กระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลี้มแกง

ในการศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลี้มแกง ผู้ทำการวิจัยจะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮางเพื่อให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยจะศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาในการต้มข้าว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกข้าวเพื่อทำ ข้าวฮาง

คัดเลือกข้าวพญาลี้มแกง แล้วนำไปทำความสะอาด โดยการผัดหรือคั่วให้เมล็ดสีออกและสิ่งเจือปนออกให้หมด

ขั้นตอนที่ 2 การแช่ข้าว

นำข้าวพญาลี้มแกงเปลือกที่ทำความสะอาดไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยเติมน้ำพอท่วมข้าว ทำการแช่น้ำเป็นเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ต้องทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวไม่กิ่นเหม็น

ขั้นตอนที่ 3 การต้มข้าว

นำข้าวพญาลี้มแกงที่ผ่านการแช่น้ำ แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง และนำมาต้มในกระสอบปุยเพื่อ รดน้ำเข้า-เย็น รอให้ข้าวฮางอก ระยะเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 4 การนึ่งข้าว

เมื่อข้าวพญาลี้มแกงเปลือกที่ต้มแล้วให้นำ ไปนึ่งในเตาที่มีความร้อนสม่ำเสมอประมาณ 2 ชั่วโมง สังเกตเห็นข้าวพญาลี้มแกงเปลือกที่นึ่งแตกทุกเม็ด แล้วยกลงไปตามในตระแกรงที่เตรียมไว้

ขั้นตอนที่ 5 การตากข้าว

การตากข้าวพญาลี้มแกงให้นำข้าวพญาลี้มแกงที่นึ่งสุกแล้วไปตากแดดให้แห้งประมาณ 2 แดด

ขั้นตอนที่ 6 การสีข้าว

นำข้าวที่ตากแดดแห้งแล้วไปสี โดยเครื่องสีข้าวกล้องเท่านั้น หรือใช้วิธีการตำกระเทาะเปลือกออก แล้วนำไปตากแดด อีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 3.2 แสดงระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาในการบ่มข้าว เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮาง

ตัวอย่างข้าวพญาลิสมแกง	ระยะเวลาในการแช่ข้าว	ระยะเวลาในการบ่มข้าว
ระยษนํานม (milk stage)	12	12
		24
		36
		48
	24	12
		24
		36
		48
	36	12
		24
		36
		48
	48	12
		24
		36
		48
ระยษแบ่งอ่อน หรืระยษข้าวเม้า (dough stage)	12	12
		24
		36
		48
	24	12
		24
		36
		48
	36	12
		24
		36
		48
	48	12
		24
		36
		48

ตารางที่ 3.2 แสดงระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาในการบ่มข้าว เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮาง (ต่อ)

ตัวอย่างข้าวพญาลิ้มแกง	ระยะเวลาในการแช่ข้าว	ระยะเวลาในการบ่มข้าว
ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)	12	12
		24
		36
		48
	24	12
		24
		36
		48
	36	12
		24
		36
		48
	48	12
		24
		36
		48

2. การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางงอกพญาลิ้มแกง

ตารางที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	บริษัทผู้ผลิต
- เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง	SATORIUS
- เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)	SHIMADZU รุ่น PharmaSpec UV-1700
- อุปกรณ์เครื่องแก้ว	SCHOTT DURAN
- กระดาษกรอง	WHATMAN

ตารางที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
absolute ethanol น้ำกลั่น	CARLO ERBA (RCI-Labscan)
2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	SINGMA ALDRCH
Gallic acid monohydrate	ACROS ORGANICS
folin – ciocalteu reagent	CARLO ERBA
sodium carbonate anhydrous	LORA CHRMIE
2,2'-Azino-bis(3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)	SINGMA ALDRCH

2.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างข้าวพญาสีมแห้งผ่านกระบวนการทำข้าวฮางและข้าวฮางอกแล้ว มาที่บดเป็นผงตัวอย่างละ 10 กรัม เติมด้วย 95% เอทานอล ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ทำการแช่สกัดเป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายที่ได้มารองและเก็บแต่สารสกัดที่ได้ไว้ในตู้เย็นเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ต่อ

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด Total phenolic content (TPC)

2.2.1 การเตรียมสารละลาย

2.2.1.1 สารละลาย 10% Folin-Ciocalteu reagent ปิเปต Folin-Ciocalteu reagent จากขวดมา 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นจนครบ

2.2.1.2 สารละลาย 60% w/v Sodium Carbonate ชั่ง Sodium Carbonate มา 60 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2.2 วิธีการวิเคราะห์

นำสารสกัดของข้าวที่ได้มา 200 ไมโครลิตรเติม 1.8 มิลลิลิตรของ 10% Folin-Ciocalteu reagent จากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยาด้วย 1.8 มิลลิลิตร ของ 60% w/v Sodium Carbonate ผสมสารให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 90 นาทีแล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร Blank ใช้เอทานอลแทนสารสกัด แล้วหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยใช้เอทานอลเป็น blank แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ยในรูปมิลลิกรัมของกรดแกลลิก (GAE) ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (mg GAE / 100g dry) (Qiu Y, Liu Q, Beta T.,2007)

2.2.3 การทำกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การเตรียมสารมาตรฐาน stock solution ด้วยการละลาย gallic acid 0.05 g ด้วยเอทานอล 80% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ได้สารละลาย gallic acid มาตรฐานที่เข้มข้น 0 25 50 75 100 125 และ 150 mg/l ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สารละลาย gallic acid มาตรฐานที่เข้มข้นต่างๆ

สารละลาย gallic acid มาตรฐาน (mg/L)	ปริมาตร stock solution (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)
0	0	50
25	0.25	50
50	0.50	50
75	0.75	50
100	1.00	50
125	1.25	50
150	1.50	50

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารตัวอย่าง ทำโดยการปิเปตสารสกัดสารประกอบฟีนอลิกมา 200 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 10% v/v Folin – Ciocalteu Reagent 1.8 มิลลิลิตร และสารละลาย 60% w/v Sodium Carbonate 1.8 มิลลิลิตร เช่นเดียวกับในการทำกราฟมาตรฐาน วัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร สำหรับแปลงค่าให้ใช้สารละลายผสมของ ethanol แทนสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากตัวอย่าง (ดังตารางที่ 3.6)

ตารางที่ 3.6 ปริมาตรและสาร ที่ใช้สำหรับการทำกราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิก

สารที่ใช้	ขวดที่				
	1	2	3	...	6
1. ความเข้มข้นของสารละลาย gallic acid (mg/L)	0	25	50	...	150
2. สารละลาย gallic acid (μL)	-	200	200	...	200
3. สารละลาย 10% v/v Folin–Ciocalteu Reagent (mL) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที	1.8	1.8	1.8	...	1.8
4. เติมสารละลาย 60% w/v Sodium Carbonate (mL)	1.8	1.8	1.8	...	1.8
5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที					
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm					

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

2.3.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ(DPPH)

2.3.1.1 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM โดยทำการชั่ง DPPH มา 0.00394 กรัม ละลายในเอทานอล 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.3.1.2 วิธีวิเคราะห์

นำสารสกัดตัวอย่างของข้าวมา 200 ไมโครลิตรเติม 4 มิลลิลิตร ของ 2,2-diphenyl- 1-picrylhydrazyl (DPPH) 0.1 mM จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โดย Blank ใช้เอทานอลแทนสารสกัด แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณดังสมการ

$$\% \text{ Radicals scavenging activity} = [(\text{Control OD} - \text{Sample OD}) / \text{Control OD}] \times 100$$

โดยที่ Control OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (DPPH) ที่ไม่เติมสารสกัดตัวอย่าง
Sample OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (DPPH) ที่เติมสารตัวอย่าง

2.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการฟอกจางสี ABTS^{•+} (2,2'-Azino-bis(3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid))

2.3.2.1 เตรียมสารละลาย

1) เตรียมสารละลาย ABTS^{•+}

ชั่ง ABTS 0.0360 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์

2) เตรียมสารละลาย potassium persulfate (K₂S₂O₈)

ชั่งสาร potassium persulfate (K₂S₂O₈) จำนวน 0.0662 กรัม ผสม น้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 4.9 มิลลิโมลาร์

3) นำสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ potassium persulfate (K₂S₂O₈) ความเข้มข้น 4.9 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนใช้นำสารละลาย ABTS^{•+} มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.700 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

2.3.2.2 วิธีวิเคราะห์

ปีเปตสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ จำนวน 4 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดจากข้าว 10 ไมโครลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 6 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร (ดัดแปลงมาจาก รัชฎาพร และคณะ, 2554) จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (%) ตามสมการ

$$ABTS \text{ scavenging effect } \% = [(A_0 - A_1)] / A_0 \times 100$$

โดย A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ + สารสกัด

3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกและเผยแพร่องค์ความรู้ ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ในเขตอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและทำเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอก และได้ทำการเป็นเผยแพร่โดยการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่พญาสีมแกง ในเขต อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง และนำมาวิเคราะห์หาฤกษ์ที่ด้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เปรียบเทียบผลของการงอกข้าวพญาลิ้มแกงต่อปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดและฤกษ์สารด้านอนุมูลอิสระ โดยทำการเตรียมตัวอย่างจากการนำข้าวพญาลิ้มแกง 3 ช่วงการเก็บเกี่ยว คือ ระยะน้ำนม (milk stage) ระยะแป้งอ่อน หรือระยะข้าวเฝ้า (dough stage) และระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) จากนั้นทำการเตรียมสารสกัดโดยใช้ข้าวฮางพญาลิ้มแกงที่บดเป็นผง 10 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล และนำไปทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยได้ผลการทดลองดังนี้

1. ผลการศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง

ในการศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง ผู้ทำการวิจัยจะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวฮางเพื่อให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยจะศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาในการบ่มข้าว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คัดเลือกข้าวพญาลิ้มแกง แล้วนำไปทำความสะอาด โดยการผัดหรือคัดให้เมล็ดลีบออกและสิ่งเจือปนออกให้หมด

ขั้นตอนที่ 2 นำข้าวพญาลิ้มแกงเปลือกที่ทำความสะอาดไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยเติมน้ำพอท่วมข้าว ทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต้องทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวมีกลิ่นเหม็น

ขั้นตอนที่ 3 นำข้าวพญาลิ้มแกงที่ผ่านการแช่น้ำ แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง และนำมาบ่มในกระสอบปุ๋ยเพื่อ รดน้ำเช้า-เย็น รอให้ข้าวงอก ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อข้าวพญาลิ้มแกงเปลือกที่บ่มงอกแล้วให้นำ ไปนึ่งในเตาที่มีความร้อนสม่ำเสมอ ประมาณ 2 ชั่วโมง สังเกตเห็นข้าวพญาลิ้มแกงเปลือกที่นึ่งแตกทุกเม็ด แล้วยกลงไปตามในตระแกรงที่เตรียมไว้

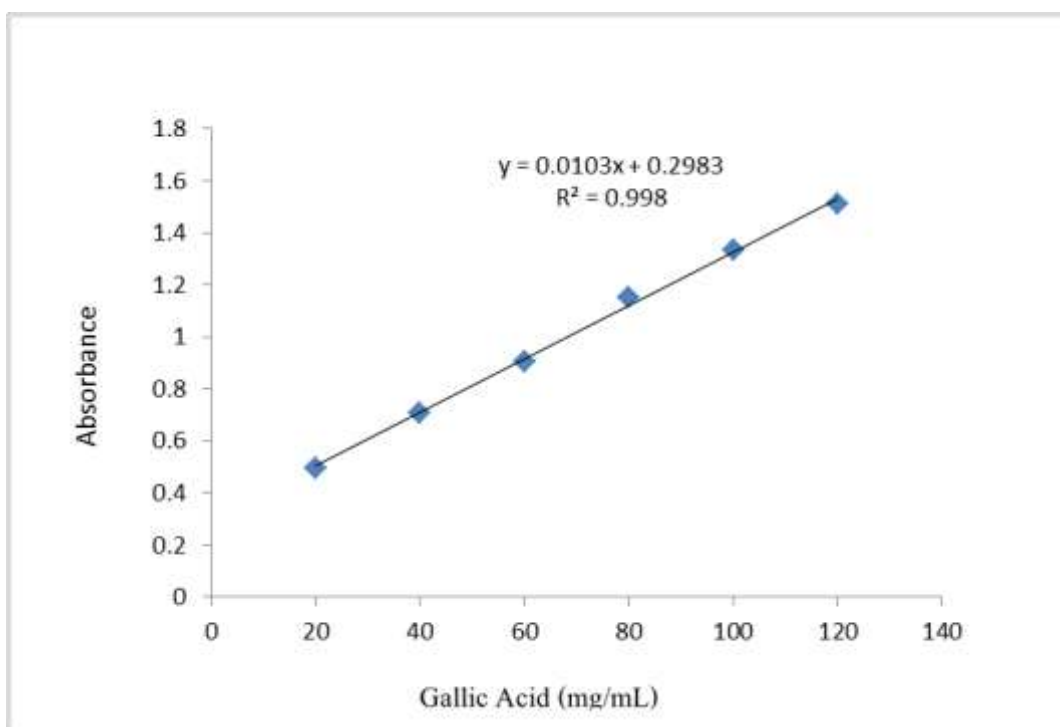
ขั้นตอนที่ 5 การตากข้าวพญาลิ้มแกงให้นำข้าวพญาลิ้มแกงที่นึ่งสุกแล้วไปตากแดดให้แห้ง ประมาณ 2 แดด

ขั้นตอนที่ 6 นำข้าวที่ตากแดดแห้งแล้วไปสี โดยเครื่องสีข้าวกล้องเท่านั้น หรือใช้วิธีการตำกระเทาะเปลือกออก แล้วนำไปตากแดด อีกครั้งหนึ่ง

2. ผลการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลีมแกง

2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวฮางพญาลีมแกงที่มี 3 ช่วงระยะคือระยะข้าวก่อน ระยะข้าวน้ำนม และระยะข้าวเต็มเมล็ดมาทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐานทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent และวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ได้กราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบฟีนอลิกของสารละลาย gallic acid

จากการนำตัวอย่างของข้าวฮางพญาลีมแกงมาวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก ผลการคำนวณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างข้าวฮางพญาลีมแกงในรูปของมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100g น้ำหนักแห้ง (mg GAE/100g dry) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ระยะเวลา		ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในสารสกัดข้าวพญาลีมแลง (mg GAE/100g dry)		
การแช่ข้าว	การบ่มข้าว	ระยะน้ำนม (milk stage)	ระยะแป้งอ่อน หรือ ระยะข้าวเม้า (dough stage)	ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)
12		13.46	18.80	23.59
	12	26.50	40.24	42.85
	24	37.98	39.50	45.59
	36	17.93	17.37	43.59
	48	17.63	22.93	37.72
24	0	26.33	23.20	25.46
	12	45.59	23.41	45.93
	24	44.85	40.50	43.02
	36	31.63	36.85	42.72
	48	32.15	23.41	26.50
36	0	16.89	19.33	23.63
	12	30.11	38.24	42.54
	24	33.54	38.24	27.07
	36	27.41	28.85	45.02
	48	18.07	29.07	43.54
48	0	21.85	16.15	17.46
	12	30.11	26.50	18.41
	24	30.45	18.11	23.07
	36	28.32	22.89	18.72
	48	25.87	21.59	18.11

จากผลการคำนวณค่าสารประกอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวฮางพญาลีมแลงที่ค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดคือ ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) เท่ากับ 45.93 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และ 45.93 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 12 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 24 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับข้าวระยะน้ำนม (milk stage) มีค่าสูงสุดคือ 45.93 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และ ระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเม้า (dough stage) มีค่าสูงสุดคือ 40.50 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 24 ชั่วโมง

2.2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการทดสอบการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)

การทดสอบนี้เป็น การทดสอบฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (radical scavenging) เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มี คุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระ DPPH (DPPH[•], diphenyl-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัว และมีสีม่วง พบว่าข้าวฮางพญาลีมีแกมมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH โดยสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) มีสีม่วงเข้มที่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระแล้วจะทำให้สารละลายสีม่วงเข้มมีสีที่จางลงหรือเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

ระยะเวลา		ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพญาลีมีแกม (%Radicals scavenging activity (DPPH))		
การแช่ข้าว	การบ่มข้าว	ระยะน้ำนม (milk stage)	ระยะแป้งอ่อน หรือ ระยะข้าวเฝ้า (dough stage)	ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)
12	0	33.30	25.97	27.30
	12	41.07	28.63	30.63
	24	43.95	26.97	40.18
	36	35.41	28.63	40.95
	48	38.62	24.75	42.40
24	0	24.31	16.03	24.64
	12	49.50	21.86	48.28
	24	35.85	30.85	43.29
	36	26.42	26.53	33.30
	48	21.09	25.08	25.97
36	0	23.09	11.32	18.87
	12	38.96	24.64	32.30
	24	38.07	23.53	35.29
	36	30.85	22.20	25.86
	48	28.52	16.20	22.09
48	0	23.97	20.98	12.43
	12	25.86	12.65	27.41
	24	28.41	22.97	26.19
	36	14.05	24.64	27.08
	48	10.97	24.75	24.64

จากตารางที่ 4.2 การทดสอบฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (radical scavenging) พบว่าข้าวฮางพญาลีมีค่า %Radicals scavenging activity (DPPH) สูงที่สุด คือ ข้าวระยะนํ้านม (milk stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวไห้งอก 12 ชั่วโมง และระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวไห้งอก 12 ชั่วโมง เช่นกัน ซึ่งมี ค่า %Radicals scavenging activity (DPPH) เท่ากับ 49.50 และ 48.28 ตามลำดับ

2.3 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS (ABTS radical cation decolorization assay)

การทดสอบนี้เป็น การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS^{•+}, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงิน เมื่อนำ ABTS^{•+} ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือจางซึ่งจะทำให้สีจางลง ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการฟอกจางสี 2,2'-Azino-bis(3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS^{•+})

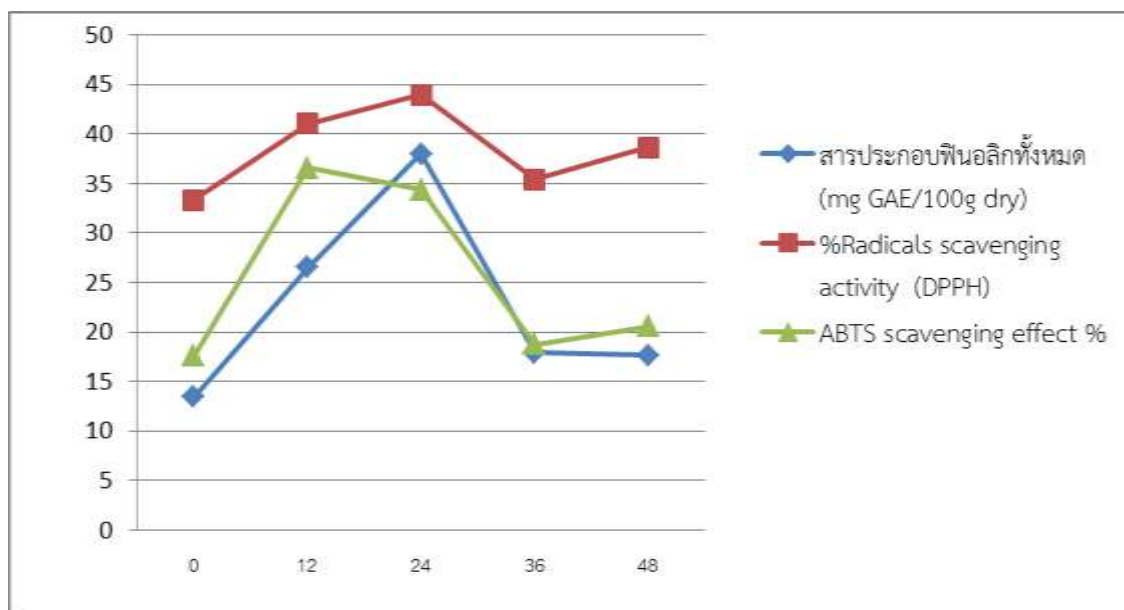
ระยะเวลา		ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพญาลีมีแกง (% ABTS Scavenging effect)		
การแช่ข้าว	การบ่มข้าว	ระยะนํ้านม (milk stage)	ระยะแบ่งอ่อน หรือ ระยะข้าวเฝ้า (dough stage)	ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)
12	0	17.59	16.80	18.97
	12	36.56	31.82	23.12
	24	34.39	33.60	33.99
	36	18.77	20.75	21.94
	48	20.55	16.80	20.75
24	0	14.62	18.18	27.87
	12	34.39	29.84	36.56
	24	32.81	33.40	34.78
	36	16.80	22.92	26.48
	48	21.15	25.49	36.36

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการฟอกจางสี 2,2'-Azino-bis(3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS^{•+}) (ต่อ)

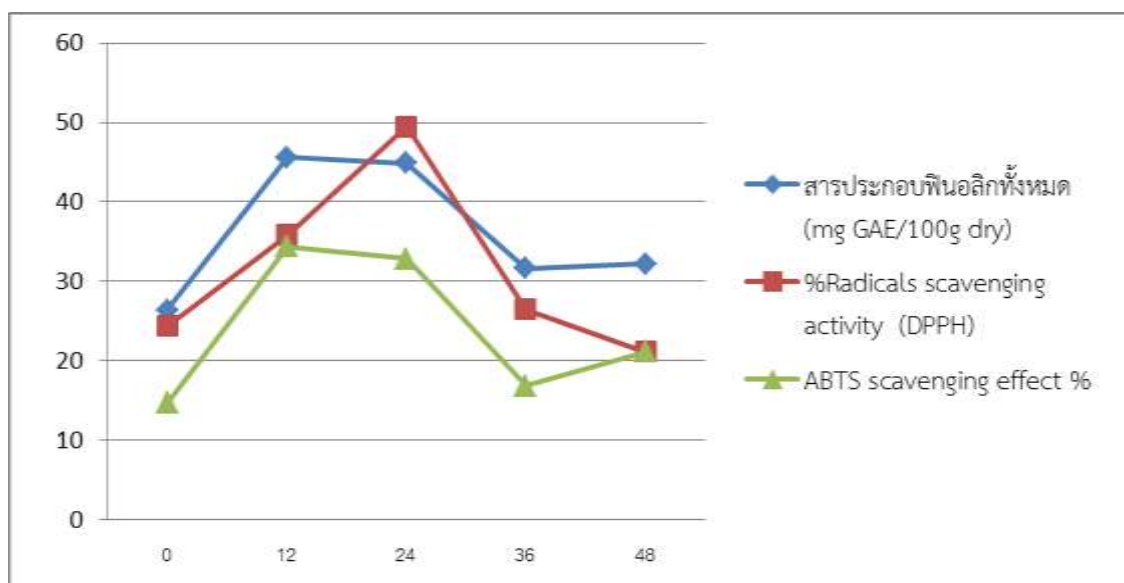
ระยะเวลา		ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพญาลิ้มแกง (% ABTS Scavenging effect)		
การแช่ข้าว	การบ่มข้าว	ระยะน้ำนม (milk stage)	ระยะแป้งอ่อน หรือ ระยะข้าวเม้า (dough stage)	ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage)
36	0	20.75	25.89	18.97
	12	10.67	23.12	29.84
	24	29.84	20.55	31.82
	36	16.80	16.60	27.08
	48	19.96	20.75	24.70
48	0	16.80	14.62	26.09
	12	21.15	10.47	29.45
	24	20.16	14.43	19.96
	36	17.98	10.47	18.77
	48	6.72	10.47	18.97

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS โดยการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (% ABTS Scavenging effect) พบว่าข้าวฮางพญาลิ้มแกงที่ค่า % ABTS Scavenging effect สูงที่สุด คือ ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และ ข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง เช่นกัน ซึ่งมี ค่า % ABTS Scavenging effect เท่ากับ 36.56 และ 34.39 ตามลำดับ

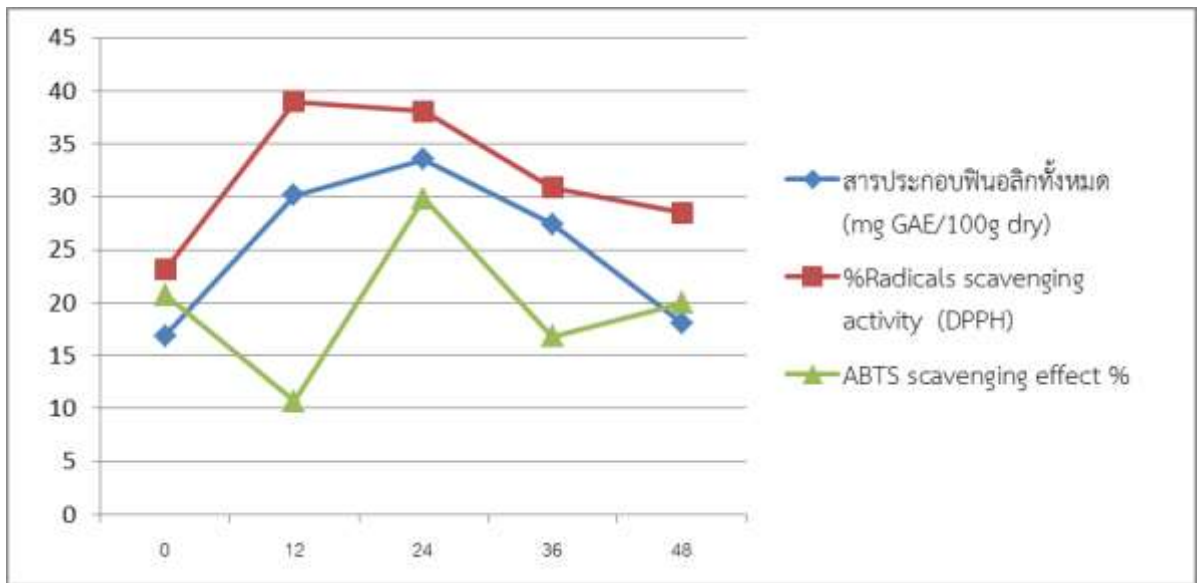
เมื่อเปรียบเทียบผลของการงอกข้าวพญาลิ้มแกง ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ โดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (correlation) การวิเคราะห์ก็พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS จึงสรุปได้ว่า การแปรรูปโดยการกระตุ้นให้เกิดการงอกมีบทบาทในการส่งเสริมข้าวไทยบางสายพันธุ์ให้มี สารประกอบ ฟีนอลิกและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น



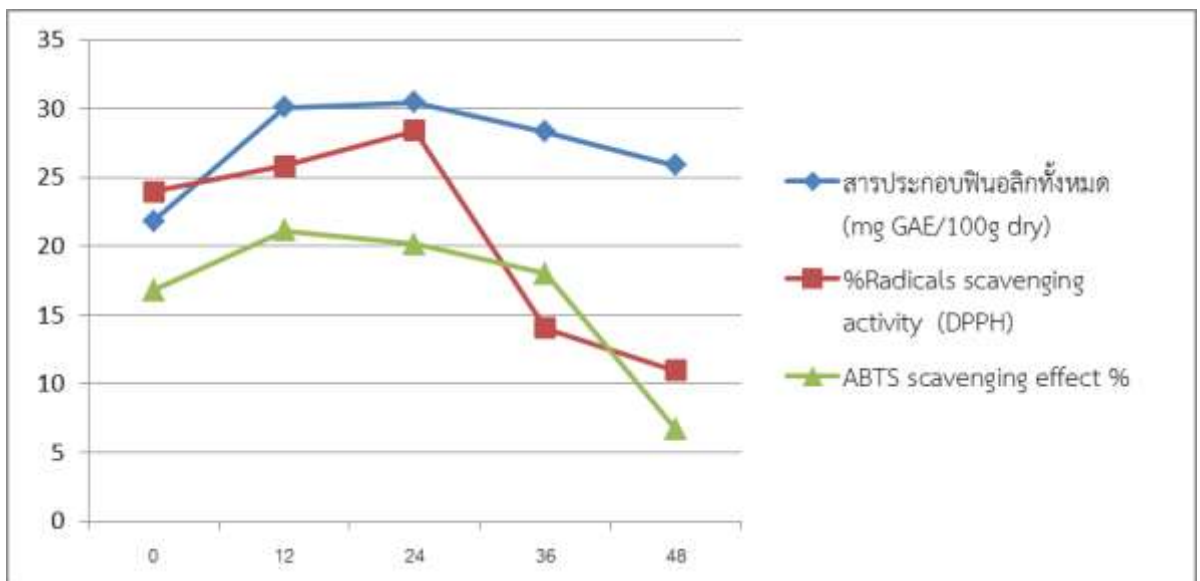
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง



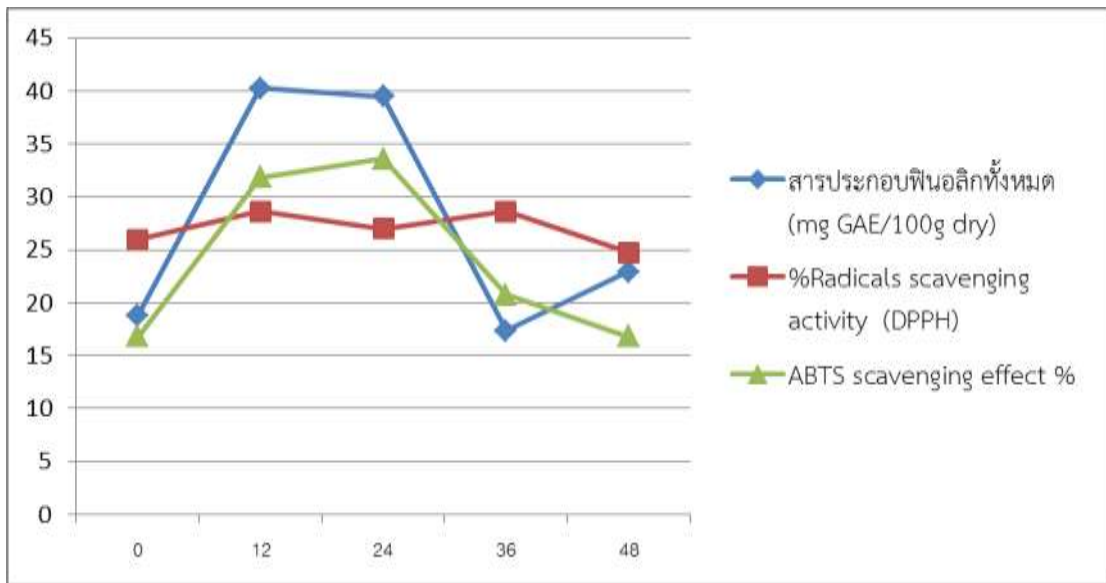
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง



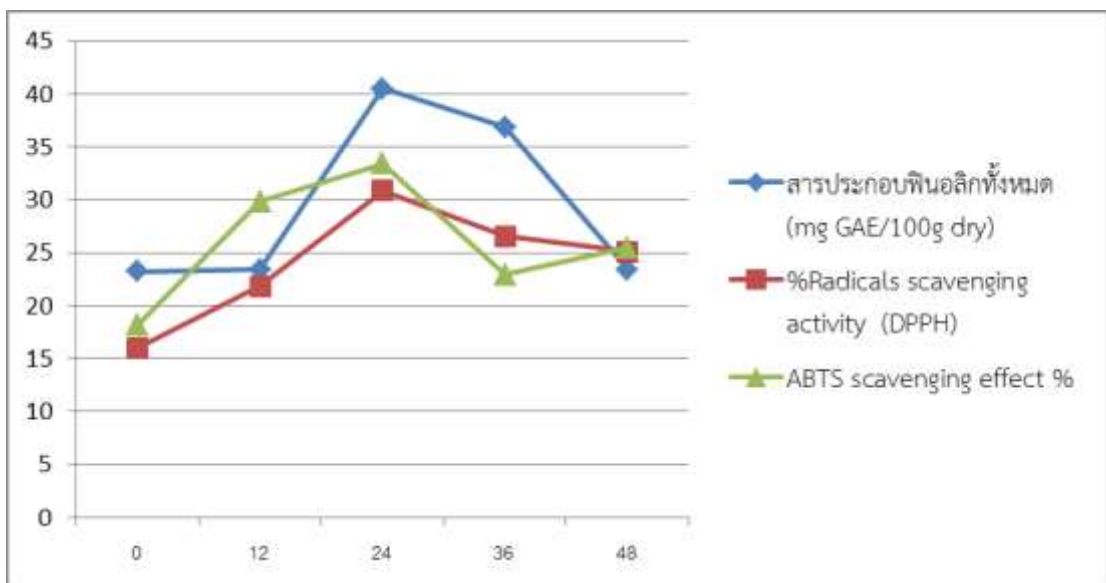
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง



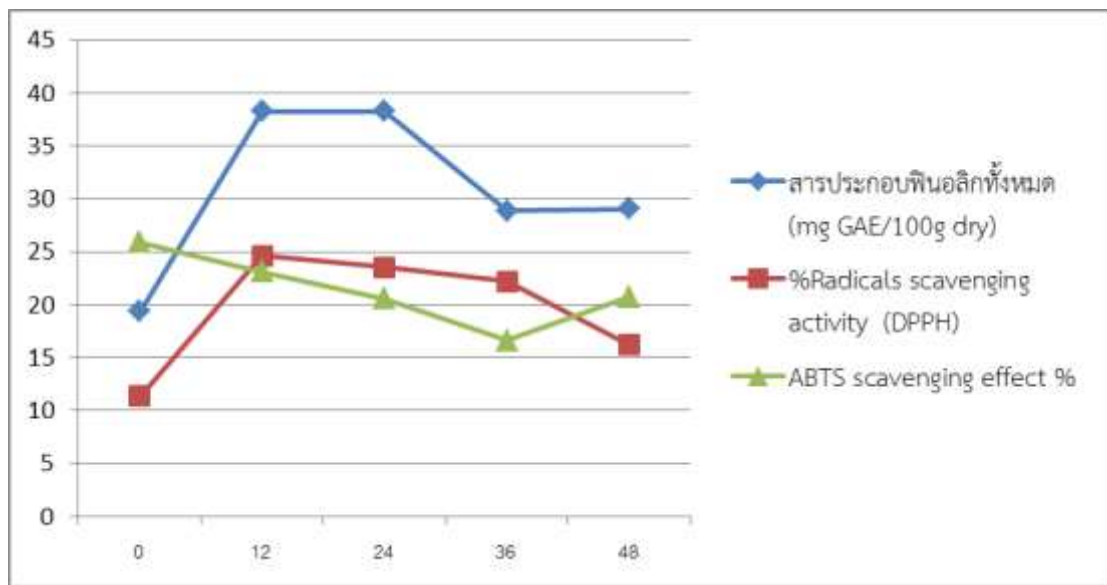
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง



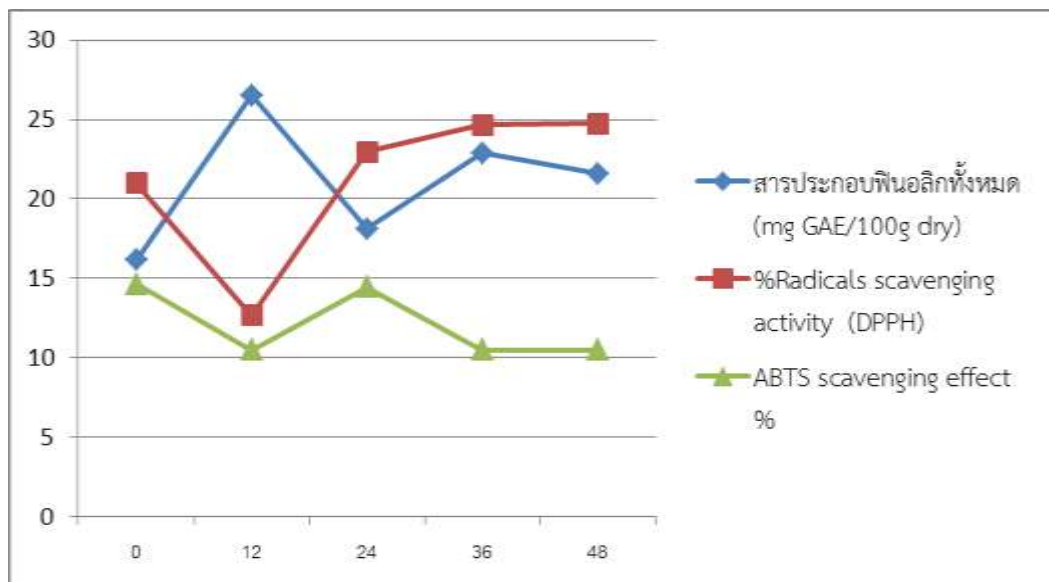
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเด้ง (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง



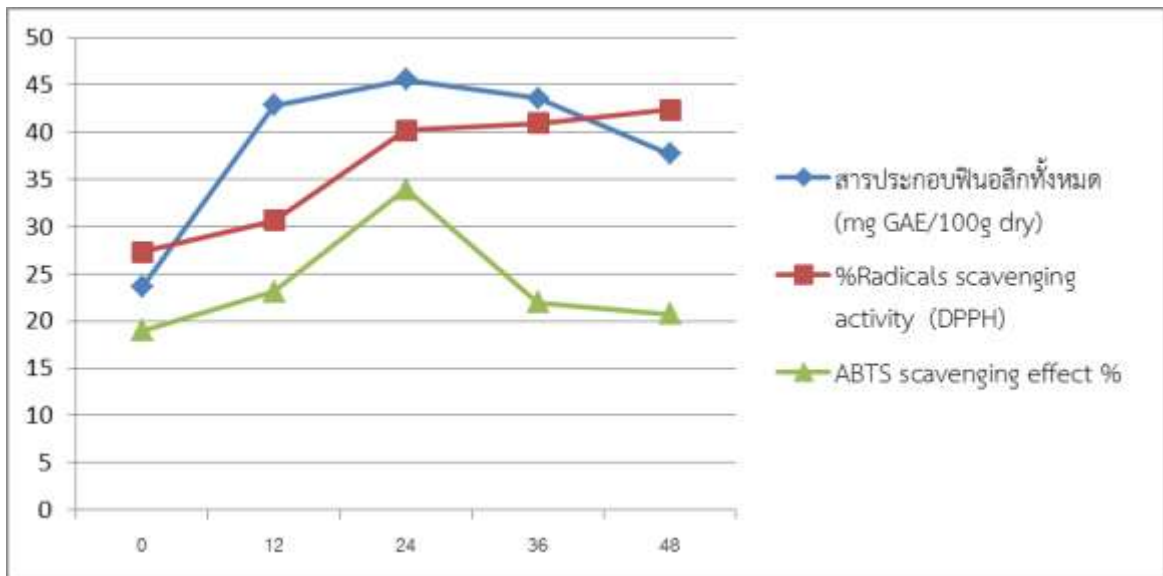
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเด้ง (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง



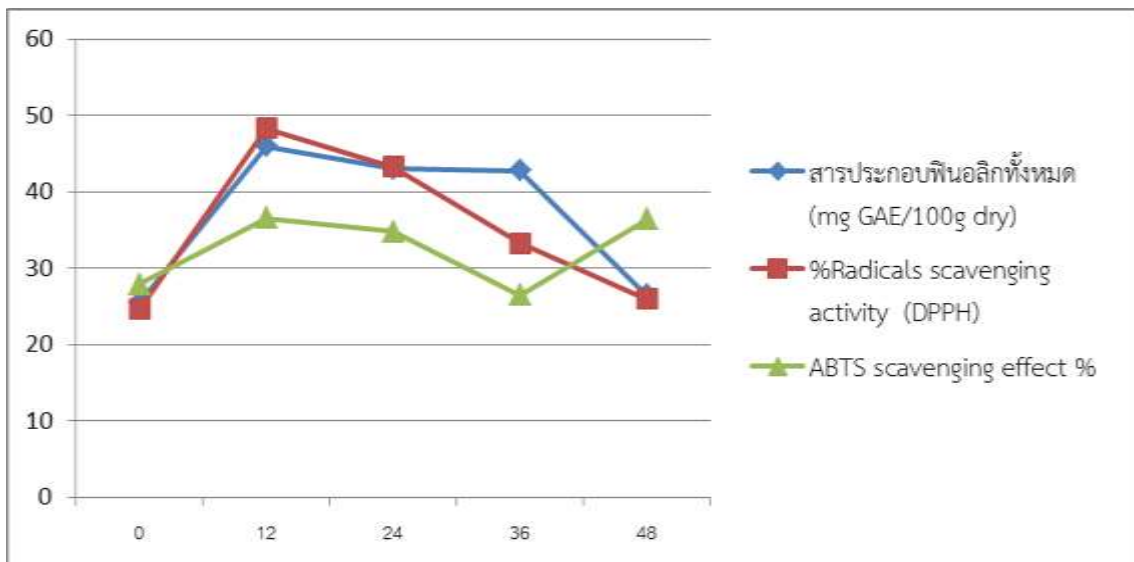
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเด้ง (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง



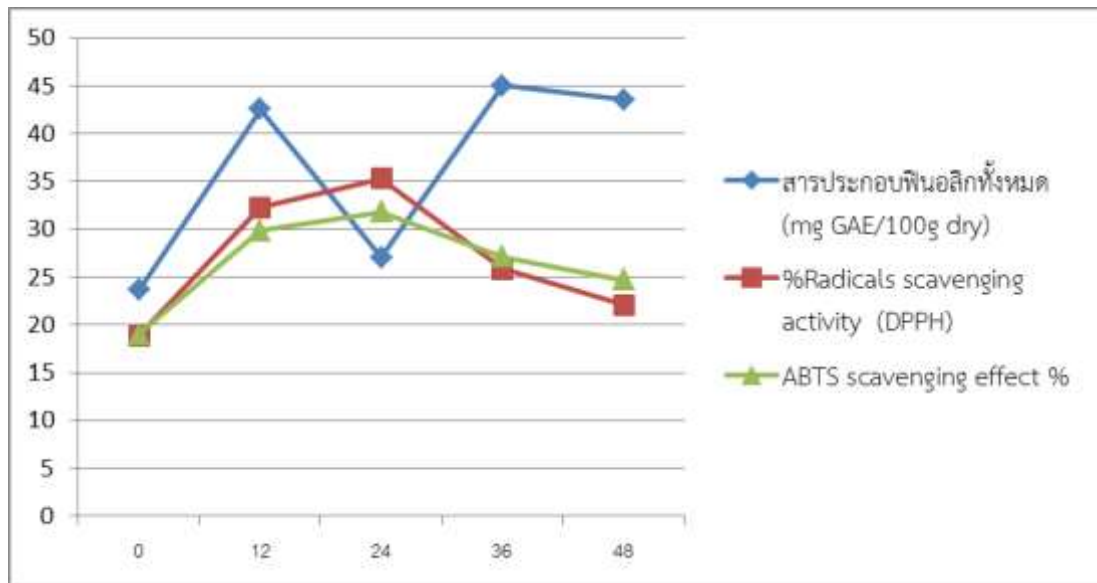
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเด้ง (dough stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง



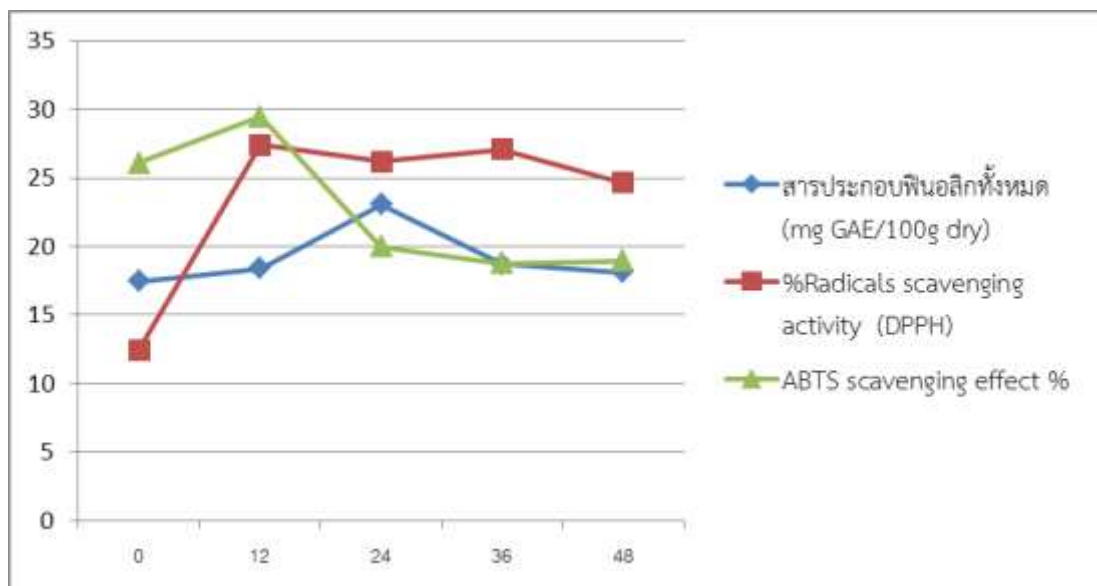
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของข้าวระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 48 ชั่วโมง

3. พัฒนาลิขิตภัณฑ์ข้าวฮางอกและเผยแพร่องค์ความรู้ ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ในเขต อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและทำเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอก และได้ทำการเป็นเผยแพร่ โดยการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร้พญาลิ้มแกง ในเขต อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในหัวข้อเรื่อง การทำผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง ณ หอประชุมที่ว่าการ อำเภอน้ำหนาวตำบลน้ำหนาว อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในวันที่ 6 กันยายน 2558 และ 13 กันยายน 2558



เริ่มจากผู้เข้าอบรมลงทะเบียนเพื่อเข้ารับการอบรม และ ท่านนายอำเภอน้ำหนาวกล่าวเปิดงาน และวิทยากรเริ่มบรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับข้าวฮาง ข้าวฮางคืออะไรและประโยชน์ของข้าวฮาง และ กระบวนการผลิตข้าวฮางและข้าวฮางอก เพื่อให้ได้ข้าวฮางและข้าวฮางอกที่มีคุณภาพ วิธีการเตรียม ข้าวและการแช่ข้าว และวิธีการเพาะข้าวฮางอก วิธีการนึ่งข้าวฮางอก และวิธีการทำข้าวฮางอก วิธีการ เก็บรักษาและการหุงข้าวฮางอก



ผู้เข้าอบรมดูตัวอย่างข้าวพญาลีมแกงที่ผ่านกระบวนการทำข้าวฮางอก และเริ่มเข้าสู่การกระบวนการทำข้าวฮางและข้าวฮางอกพญาลีมแกง



นำข้าวพญาลีมแกงเปลือกทำความสะอาด และนำไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยเติมน้ำพอท่วมข้าว ทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



นำข้าวพญาลิสมแกงที่ผ่านการแช่น้ำ แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง และนำมาบ่มในกระสอบปุ๋ยเพื่อ
รดน้ำเช้า-เย็น รอให้ข้าวงอก ระยะเวลา 12 ชั่วโมง



ตัวอย่างการนึ่งข้าวพญาลิสมแกง เมื่อข้าวพญาลิสมแกงเปลือกที่บ่มงอกแล้วให้นำ ไปนึ่งในเตาที่มีความร้อน
สม่ำเสมอประมาณ 2 ชั่วโมง สังเกตเห็นข้าวพญาลิสมแกงเปลือกที่นึ่งแตกทุกเม็ด แล้วยกลงไปตากใน
ตระแกรงที่เตรียมไว้



การตากข้าวพญาลิสมแกงให้นำข้าวพญาลิสมแกงที่นึ่งสุกแล้วไปตากแดดให้แห้ง นำไปสีด้วยเครื่องสีข้าว
กล้อง หรือใช้วิธีการตำกระเทาะเปลือกออก



บรรยากาศถ่ายรูปร่วมกันหลังสิ้นสุดโครงการ



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกพญาลี้มแกง



ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูลพญาลิ้มแกที่ทำจากข้าวฮางพญาลิ้มแก ของกลุ่มเกษตรกร อำเภอน้ำหนาว ที่ผ่านการอบรมจากโครงการ “การทำผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกพญาลิ้มแก” ซึ่งเป็นนำความรู้ที่ได้จากการอบรมไปต่อยอดให้เกิดประโยชน์ โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูลพญาลิ้มแก “ข้าวฮาง” ซึ่งนำมาแสดงและจำหน่ายในงานประเพณีเผาข้าวหลาม และมหกรรมของดี อำเภอน้ำหนาว ระหว่างวันที่ 25 - 27 ธันวาคม 2558

สรุปผลการดำเนินโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “การทำผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกพญาลิ้มแก” จากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่พญาลิ้มแก ที่เข้าร่วมโครงการมีจำนวนทั้งหมด 48 คน ได้ประเมินผลแบบสอบถามเพื่อประเมินความคิดเห็นในการเข้าร่วมโครงการ ด้านหัวข้อการบรรยาย ได้ให้ความสนใจและความร่วมมือเป็นอย่างดี ด้านสถานที่/การบริการให้บริการของเจ้าหน้าที่ ด้านกระบวนการขั้นตอนการให้บริการ ด้านความรู้ความเข้าใจ/คุณภาพในการให้บริการ ด้านการนำความรู้ใช้ประโยชน์ สรุปผลการประเมินในภาพรวมทั้งหมด ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจในภาพรวม โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับที่ดี

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวฮางพญาลี้มแกง ศึกษากระบวนการผลิตข้าวฮางอกพญาลี้มแกง สภาพที่เหมาะสมในการแช่ข้าว ระยะเวลาต่างๆ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำข้าวฮางอกพญาลี้มแกงที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด เปรียบเทียบผลของการงอกข้าวพญาลี้มแกง ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ โดยทำการเตรียมตัวอย่างจากการนำข้าวพญาลี้มแกง 3 ช่วงการเก็บเกี่ยว คือ ระยะน้ำนม (milk stage) ระยะแป้งอ่อน หรือระยะข้าวเม้า (dough stage) และระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) โดยทำการแช่น้ำเป็นเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง และการบ่มข้าวเป็นระยะเวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการเตรียมสารสกัดโดยใช้ข้าวฮางอกพญาลี้มแกงที่บดเป็นผง 10 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย เอทานอล และนำไปทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ผลการวิจัยพบว่าสารประกอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดข้าวฮางพญาลี้มแกงที่ค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดคือ ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) เท่ากับ 45.93 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และ 45.59 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 12 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 24 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับข้าวระยะน้ำนม (milk stage) มีค่าสูงสุดคือ 45.59 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และระยะแป้งอ่อนหรือระยะข้าวเม้า (dough stage) มีค่าสูงสุดคือ 40.50 mg GAE/100g ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 24 ชั่วโมง และการทดสอบฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (radical scavenging) พบว่าข้าวฮางอกพญาลี้มแกงที่ค่า %Radicals scavenging activity (DPPH) สูงที่สุด คือ ข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง เช่นกัน ซึ่งมี ค่า %Radicals scavenging activity (DPPH) เท่ากับ 49.50 และ 48.28 ตามลำดับ และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS โดยการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (% ABTS Scavenging effect) พบว่าข้าวฮางพญาลี้มแกงที่ค่า % ABTS Scavenging effect สูงที่สุด คือ ระยะข้าวเต็มเมล็ด (mature stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง และ ข้าวระยะน้ำนม (milk stage) ที่ระยะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงและบ่มข้าวให้งอก 12 ชั่วโมง เช่นกัน ซึ่งมี ค่า % ABTS Scavenging effect เท่ากับ 36.56 และ 34.39 ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแปรรูปข้าวให้เป็นข้าวฮาง โดยการกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าวสามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในข้าวพญาลิมาแกงได้ โดยเมื่อข้าวพญาลิมาแกงที่ได้รับการแปรรูปเป็นข้าวฮางและข้าวฮางงอก จะทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป และข้าวพญาลิมาแกงที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นข้าวฮางงอกพญาลิมาแกงแล้ว ยังทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อนำเมล็ดข้าวไปแช่น้ำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการงอกของเมล็ดพันธุ์เกิด เนื่องจากมีน้ำเข้าไปกระตุ้น กล่าวคือ เมล็ดพันธุ์เมื่อแก่เต็มที่และแห้งจะอยู่ในสภาวะงีบ คือ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นอัตราการหายใจ และการใช้พลังงานภายในเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นน้อยมาก แต่เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเข้าไป ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ต่างๆ ภายในเซลล์เริ่มทำงาน (จวงจันทร ดวงพัตรา. 2529) อาจเป็นไปได้ว่าการแช่ข้าวในน้ำหรือการบ่มให้ข้าวฮางนั้นจะทำให้ปฏิกริยาทางชีวเคมีในข้าวพญาลิมาแกงได้รับการกระตุ้น สารอาหารต่าง ๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ทำให้เกิดการผลิตและสะสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Tian et al. 2004) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกระบวนการแปรรูปข้าวเป็นข้าวฮางงอก ระยะเวลาการแช่ข้าวต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (ทั้งวิธี DPPH และ ABTS) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก จึงสรุปได้ว่าการแปรรูปโดยการกระตุ้นให้เกิดการงอกมีบทบาทในการส่งเสริมข้าวพญาลิมาแกงให้มี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตัวอย่างข้าวเป็นข้าวเปลือก ดังนั้น ควรเก็บตัวอย่างข้าวในที่แห้งไม่ก่อให้เกิดความชื้นแก่ข้าว เพราะความชื้นจะทำให้ข้าวเกิดการสูญเสียสภาพได้
2. ในการเตรียมตัวอย่างข้าวที่จะทำเป็นข้าวฮาง ขั้นตอนในการแช่น้ำต้องทำการเปลี่ยนน้ำเป็นระยะๆ เพราะข้าวที่แช่น้ำเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ขาดออกซิเจน ส่งผลให้ข้าวเกิดการเน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็น
3. ในการเก็บตัวอย่างข้าวฮางต้องทำการนึ่งให้สุกและนำไปตากแดดให้แห้งสนิท เพราะข้าวฮางที่มีความชื้นอยู่จะทำให้เกิดราได้

บรรณานุกรม

- กัลยาภรณ์ จันตรี. การศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวดำและข้าวกล้อง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2554.
- จักรวาล จันทรหล้า. ภูมิปัญญาท้องถิ่นข้าวฮาง ในเขตเทศบาลตำบลปลาไหล อำเภวาริชภูมิ
จังหวัดสกลนคร. รายงานการศึกษาอิสระ ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา
วิชาการปกครองท้องถิ่น วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
2529.
- เจริญจิต เพ็งรัตน์ และคณะ. การประชุมวิชาการชาวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 30. พญาลีแกง :
มหัศจรรย์ข้าวพื้นเมืองไทย Pa-yah Leum Gaeng : Miracle of Thai Traditional Rice.
[online]. กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2556. แหล่งที่เข้าถึง : http://www.brrd.in.th/main/index.php?option=com_content&view=article&id=949:-m-m-&catid=82:19-20-2556&Itemid=37. [5 October 2015]
- ดวงกมล ลิ้มจันทร์, วิษฐิดา จันทราพรชัย และวิชัย หลุยธนาสันต์. การสกัด แอนโทไซยานินจาก
ข้าวเหนียวดำ (Extraction of Antrocyanin from black Glutinous Rice (*Oryza Sativa* L.)). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- บุญยงค์ เกศเทศ. “ข้าวฮาง อาหารพื้นบ้านทางเลือกของคนรักสุขภาพ จากภูมิปัญญาคนผู้ไท
วาริชภูมิ.” มติชนบท เทคโนโลยีชาวบ้าน. 20(พฤศจิกายน 2550) : 110.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. “อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
Free radicals, Antioxidants and Antioxidant Activity Determination.” วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยพะเยา. 21,3(กรกฎาคม - กันยายน 2556) :
275-286.
- ปิยาภัทร ไตรสนธิ. ผลของความสูงพื้นที่และสายพันธุ์ต่อกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระของ
ตะไคร้ต้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
เชียงใหม่, 2550.
- รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์ และคณะ. ฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดย่านาง เครือ
หมาน้อย และรางจืด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา, 2554.
- วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และพัชรี บุญศิริ. “โปรออกซิแดนซ์ : อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนซ์,”
วารสารวิทยาศาสตร์. 53,3 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2542) : 196-198.
- วิไลพร ปองเพียร. (2552) ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ
แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

เศฐินี จันทร์ภิรมย์ และคณะ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดเลือนริ้วรอยจากสารสกัดเปลือกเมล็ด
มะขามไทย. 2547.

อรุษา เขาวนลิขิต. “การสกัดและวิธีวิเคราะห์แอนโทไซยานิน.” วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
(สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 3,6(กรกฎาคม – ธันวาคม 2554) : 26 – 34.

อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ และอภิชาติ เนินพลับ. ข้อมูลเกี่ยวกับข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มฟัว.

[online]. กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2553. แหล่งที่เข้าถึง :

http://www.brrd.in.th/main/document/pr53/pr12may53_1.pdf

[12 มีนาคม 2556]

อัญญา เจนวิถีสุข. การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

อุดมลักษณ์ สุขอัสตะ และ คณะ. งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเจลแต้มสิวจากสารสกัดเปลือกมังคุด.

กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

Hiemori, M., Koh, E., and Mitchell, AE. “Influence of Cooking on Anthocyanins in Black Rice (*Oryzasativa* L. *japonica* var. SBR).” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57(January 2009) : 1908-1914.

Jasenska Piljac Zegarac. Antioxidants : Mechanisms of Action and Effectiveness. 2015.

Availble : <http://www.brunswicklabs.com/blog/antioxidants-mechanisms-of-action-and-effectiveness>. [25 November 2015]

Mori, K., et al. “Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature.”

Journal of Experimental Botany.” 58,8 (April 2007) : 1935-1945.

Qiu Y, Liu Q, Beta T. “Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids.” **Food Chemistry**. 121(July 2010) : 140-147.

Taghreed Al, Khalid and Muftah H, El-Naas. Chemical structure of common phenolic compounds. [online]. San Francisco. 2012. Availble :

https://www.researchgate.net/figure/234137696_fig1_FIGURE-1-Chemical-structure-of-common-phenolic-compounds. [5 October 2015]

Tian, S., Nakamura, K. and Kayahara, H. “Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice.” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 52(May 2004) : 4808-4813.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการวิจัย



รูปที่ ผก-1 ข้าวที่ทำการแช่น้ำ



รูปที่ ผก-2 ข้าวที่ทำการบ่มเพื่อให้เกิดการงอก



รูปที่ ผก-3 การนึ่งข้าว



รูปที่ ผก-4 การนำข้าวไปตากแดด



รูปที่ ผก-5 การกระเทาะเปลือกข้าว



รูปที่ ผก-6 ขั้นตอนการบดตัวอย่างข้าวและการเตรียมสารสกัดตัวอย่างข้าว



รูปที่ ผก-7 การเตรียมสารวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี การทำลายอนุมูลอิสระ (DPPH)



รูปที่ ผก-8 การเตรียมสารวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS^{•+})



รูปที่ ผก-9 การเตรียมสารวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และ
การเตรียมสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid)

ภาคผนวก ข
เครื่องมือและอุปกรณ์



รูปที่ ผข-1 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง



รูปที่ ผข-2 เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง



รูปที่ ผข-3 เครื่องหมุนเหวี่ยง



รูปที่ ผข-4 เครื่องยู่วิวิสสเปกโทรสโกปี



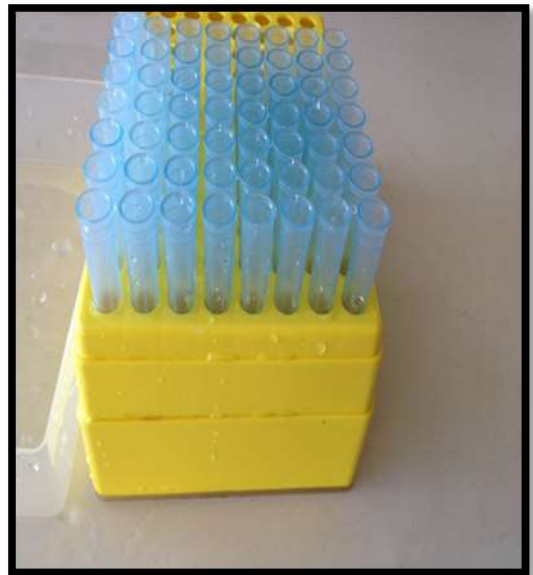
รูปที่ ผข-5 เครื่องให้ความร้อน (hot plate)



รูปที่ ผข-6 ตู้อบลมร้อน



รูปที่ ผข-7 ไมโครปิเปต



รูปที่ ผข-8 Trip

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิไลพร ปองเพียร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wilaiporn Pongpian
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-6705-00335-37-0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาเคมี
4. หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000 โทรศัพท์ (056) 717100 ต่อ 2713 โทรสาร (056) 717110 โทรศัพท์มือถือ 081-9538551 E – mail : atom2414@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่สำเร็จ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	ชื่อสถานการศึกษา	ประเทศ
2546	ตรี	วท.บ. (เคมี)	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบูรณ์	ไทย
2552	โท	วท.ม. วิทยาศาสตร์ศึกษา (เคมี)	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบูรณ์	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สาขาวิชาเคมีอนินทรีย์ เคมีสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 งานวิจัยที่สำเร็จแล้ว: ชื่อโครงการวิจัย ปีที่ดำเนินโครงการ และแหล่งทุน

1. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขามของชุมชน จังหวัดเพชรบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2549
2. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วง ในปี พ.ศ. 2550 ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2550
3. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผักแม้ว ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2551
4. ทำงานวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ แอนโท-ไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดง เป็นงานวิจัยระดับปริญญาโท 2552
5. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากงา เพื่อช่วยยับยั้งการหมื่นหมื่น ในปี พ.ศ. 2552 ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2552

6. ทำงานวิจัย เรื่อง การใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารประกอบไอออนิก เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ สำหรับนักศึกษาที่มีข้อจำกัดในการสืบค้นเอกสารตำราฯ ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2553

7. ทำงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาสูตรสบู่แฟนซีจากน้ำมันที่ใช้แล้ว ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2554

8. ผู้ร่วมวิจัย เรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามที่เสียหายจากราเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

9. ทำงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาสูตรสบู่ข้าวลิ้มผั่วและสบู่ถ่านฝักมะขาม ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2556

10. หัวหน้าแผนงาน เรื่อง การพัฒนาศักยภาพการผลิต เชื่อมโยงการตลาดสินค้า “ข้าวไร้ลิ้มผั่ว” ในระบบเกษตรอินทรีย์ เพื่อพัฒนาเศรษฐกิจจังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

11. หัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เวชสำอาง เพื่อเพิ่มมูลค่า “ข้าวไร้ลิ้มผั่ว”สู่เศรษฐกิจอย่างยั่งยืน จังหวัดเพชรบูรณ์ ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

12. หัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฮางอกพญาลิ้มแกง

7.2 การเผยแพร่งานวิจัย: ชื่อผลงานวิจัย ชื่อวารสารที่เผยแพร่ ปีที่พิมพ์

1. นำเสนอผลงานวิจัยปากเปล่า ในงานเกษตรแห่งชาติ ปี 2551 (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกษตร) ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร เรื่อง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแอนโธไซยานิน และสารประกอบ ฟีนอลิกจากพืชพื้นบ้านที่มีสี

2. งานวิจัย เรื่อง การพัฒนาสูตรสบู่แฟนซีจากน้ำมันที่ใช้แล้ว พ.ศ. 2554 และได้ตีพิมพ์ลงในราชภัฏเพชรบูรณ์สาร ปีที่ ๑๔ ฉบับที่ ๑