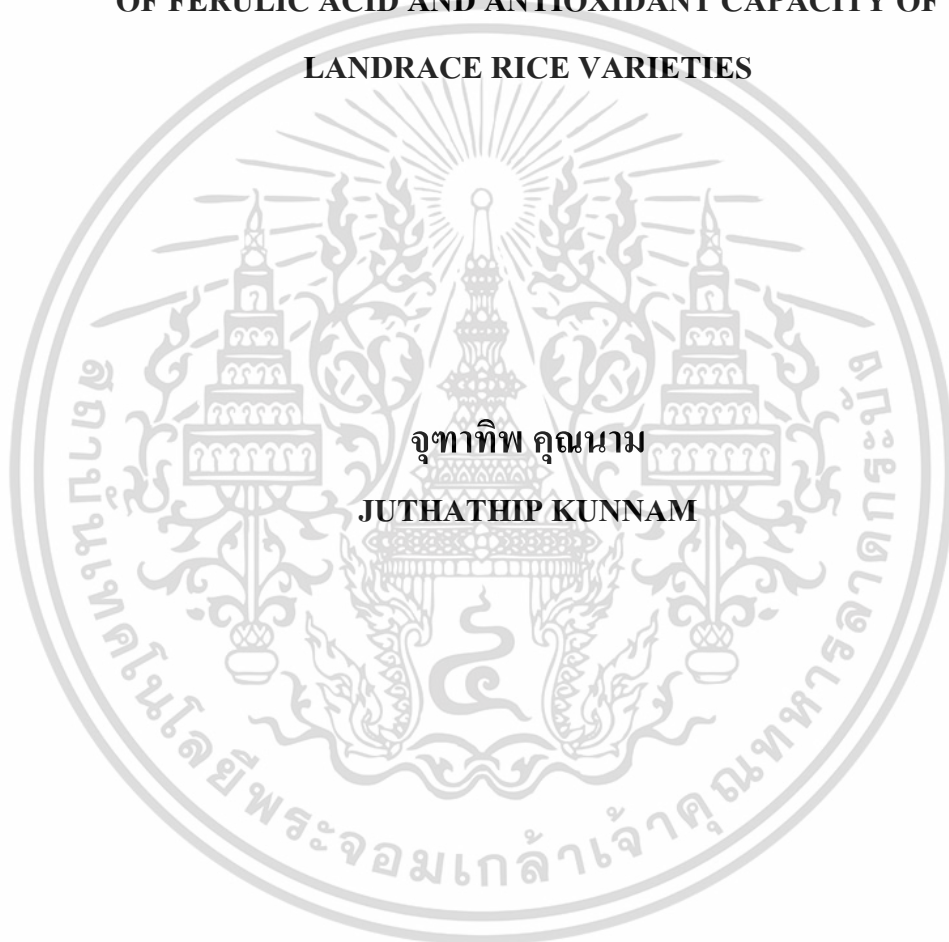


องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกใน
ระบบการจัดการแบบอินทรีย์ และเสถียรภาพของกรดเฟอร์ูลิกและ
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง

**CHEMICAL COMPOSITIONS AND PHYTOCHEMICALS OF RICEBERRY
RICE GROWN IN ORGANIC MANAGEMENT SYSTEM AND STABILITY
OF FERULIC ACID AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF
LANDRACE RICE VARIETIES**



จุฑาทิพ คุณนาม

JUTHATHIP KUNNAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-065-361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CHEMICAL COMPOSITIONS AND PHYTOCHEMICALS OF RICE
BERRIES RICE GROWN IN ORGANIC MANAGEMENT SYSTEM AND
STABILITY OF FERULIC ACID AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF
LANDRACE RICE VARIETIES**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2022

KMITL-2022-AG-M-065-361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ และเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง
ชื่อนักศึกษา	จุฑาทิพ คุณนาม
รหัสประจำตัว	61604053
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ช่อแก้ว อนิลบล

บทคัดย่อ

ข้าวจัดเป็นพืชที่มีความหลากหลายในด้านพันธุ์และมีเอกลักษณ์เฉพาะที่โดดเด่นตามสภาพภูมิประเทศที่เพาะปลูก และเป็นแหล่งรวมของสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิด งานวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 งานทดลองย่อย โดยงานทดลองที่ 1 จะเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ ทำการทดลองในฤดูนาปี ช่วงเดือนกรกฎาคม-เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2562 และทำซ้ำช่วงเดือนเดียวกันในปีพ.ศ. 2563 ที่ศูนย์การเรียนรู้เกษตรอินทรีย์บ้านไร่ภาสกร จังหวัดตราด วางแผนการทดลอง T-test จำนวน 4 ซ้ำ ทรีตเมนต์คือ ระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมี ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตข้าว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างระบบการจัดการสองระบบในปี 2562 แต่พบความแตกต่างกันทางสถิติในปี 2563 นอกจากนี้พบว่า การปลูกข้าวในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี สารกาบา สารฟีนอลิกรวม และแอนโทไซยานิน มีค่าสูงกว่าข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบเคมี ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลมีค่าสูงในข้าวที่ปลูกด้วยระบบเคมี

งานทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาเสถียรภาพของปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพื้นเมือง วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมือง ทำการทดลองในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 ปลูกข้าวใน 3 สภาพแวดล้อมที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย 1) จังหวัดกรุงเทพมหานคร 2) จังหวัดตราด และ 3) จังหวัดสกลนคร วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองคือข้าวพื้นเมืองจำนวน 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์กำลิมฝัว ข้าวพันธุ์หอมนางนวล 1 ข้าวพันธุ์ชิวเกี๋ยง ข้าวพันธุ์มะลินิลโบราณ ข้าวพันธุ์กล้าเฟื่อง ข้าวพันธุ์เหลืองทอง ข้าวพันธุ์มะลินิลสุรินทร์ ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 และพันธุ์ เปรียบเทียบมาตรฐาน 3 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ไรซ์เบอร์รี่ และทับทิมชุมแพ เก็บข้อมูล ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของข้อมูล และวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ข้าว ผลการศึกษาพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ส่วนพันธุ์ข้าวพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกลักษณะที่ทำการศึกษ พันธุ์ข้าวที่มี เสถียรภาพของผลผลิตมากที่สุดคือ พันธุ์ทับทิมชุมแพ ซึ่งมีผลผลิต 583.70 กิโลกรัมต่อไร่ ค่า สัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 ($b=1.32$) ส่วนค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2= 5514.34$) พันธุ์ที่มีเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกสูงที่สุดคือ พันธุ์กำลิมฝัว ซึ่งมีปริมาณกรดเฟอรูลิก เท่ากับ 28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 ($b=1.14$) และ ค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2= 1.64$) ส่วนพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของความสามารถใน การต้านอนุมูลอิสระ คือ พันธุ์กำลิมฝัว โดยมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 55.91 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 ($b=1.35$) และมีค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่ แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2= 26.50$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Chemical compositions and phytochemicals of Riceberry rice grown in organic management system and stability of ferulic acid and antioxidant capacity of landrace rice varieties
Student	Miss. Juthathip Kunnam
Student ID	61604053
Degree	Master of Science
Program	Agricultural
Year	2022
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chorkaew Aninbon

Abstract

Rice is a plant that has a diverse of species and unique characteristics which stand out according to the landscape in which it is cultivated. In addition, rice is a source of many valuable nutrients. This research was divided into two experiments. Experiment 1 was a study of chemical compositions and phytochemicals of Riceberry rice grown in organic management system. This study aimed to study the chemical composition and phytochemical of Riceberry rice grown in an organic management system. The experiment was conducted in the wet season during July to February 2019 and repeated during the same time in 2020 at Banraipasakorn organic agriculture learning center, Trat Province. This study used T-test with four replications. Treatment were organic and chemical management systems. Results found that there were no significantly differences in rice yields between the two management systems in 2019, but significantly differences were observed in 2020. In addition, growing rice in an organic system had higher in iron, zinc, GABA, total phenolic contents and anthocyanins than conventional rice, while sugar content was high in conventional system.

Experiment 2 was a study of the stability of ferulic acid and antioxidant capacity of landrace rice varieties. This study aimed to stability of ferulic acid and antioxidant capacity of landrace rice varieties. The experiment was conducted in the wet season in 2020. This study used a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The rice was grown in three different geographical environments including 1) Bangkok province, 2) Trat province and 3) Sakon Nakhon province. The eight landrace rice varieties were used in this experiment, including Kam Lum Pua,

Hom Nang Nuan 1, Siew Kiang, Mali Nilboran, Klam Feuang, Leuang Tawng, Mali Nilsurin, San Pah Tawng 1, and three commercial rice varieties namely Khao Dawk Mali 105, Riceberry rice and Tubtim Chum Phae. Data was collected for yield and yield components, ferulic acid content and antioxidant capacity. The data were analyzed by combined analysis of variance and stability of rice varieties was evaluated. The results from combined analysis revealed that location was significantly affect on ferulic acid and antioxidant capacity. Rice varieties were significantly different for all traits. The most stability of yield was Tubtim Chum Phae, which had a yield of 583.70 kilogram per rai, regression coefficient was not different from 1 ($b=1.32$), while deviation means square was not different from 0 ($S_{di}^2=5514.34$). The highest stability for ferulic acid was Kam Lum Pua, whose ferulic acid content was 28.53 mg per 100 g seed, regression coefficient was not different from 1 ($b=1.14$) and deviation means square was not different from 0 ($S_{di}^2=2.57$). The stability variety for antioxidant capacity was Kam Lum Pua which the antioxidant capacity was 55.91 percent, and the regression coefficient was not different from 1 ($b=1.35$) and the deviation was not different from 0 ($S_{di}^2=26.50$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง องค์ประกอบทางเคมีและสารพิษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ และเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมืองเล่มนี้ สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ช่อแก้ว อนิลบล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (รหัสโครงการ MSD62I0042) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 รหัสโครงการ 2563-02-04-021 ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณนายภาสกร เขียวขจี (พี่เจี๊ยบ) เจ้าของสถานที่บ้านไร่ภาสกร เขียวขจี จังหวัดตราด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีวิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร รวมถึงคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ปลูกข้าวในงานทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงมีประโยชน์ไม่มากนักสำหรับผู้สนใจ

จุฑาทิพ คุณนาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของงาน.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้าว (<i>Oryza sativa</i>).....	4
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว.....	4
2.1.2 ข้าวพื้นเมือง.....	5
2.1.3 ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	5
2.2 สารพฤษเคมี.....	7
2.2.1 สารพฤษเคมี.....	7
2.2.2 อนุมูลิสรและสารต้านอนุมูลิสร.....	9
2.2.3 การสังเคราะห์สารทุติยภูมิ.....	11
2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤษเคมีในข้าว.....	14
2.2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสมสารพฤษเคมีในพืช.....	16
2.2.6 การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสารสำคัญในพืช.....	19
2.3 เกษตรอินทรีย์.....	21
2.3.1 เกษตรอินทรีย์.....	21
2.3.2 ปุ๋ยอินทรีย์.....	22
2.3.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤษเคมี.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอรรี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์.....	25
3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	34
4.1 งานทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอรรี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์.....	34
4.1.1 คุณสมบัติดินของแปลงปลูก.....	34
4.1.2 สภาพภูมิอากาศ.....	35
4.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม.....	36
4.1.4 ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอรรี่.....	40
4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอรรี่.....	42
4.1.6 สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต และสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมี.....	45
4.2 งานทดลองที่ 2 การศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง.....	48
4.2.1 ข้อมูลสภาพอากาศ.....	48
4.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม.....	48
4.2.3 ลักษณะทางการเกษตร ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว 11 พันธุ์.....	51
4.2.4 ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพันธุ์ข้าว 11 พันธุ์.....	52
4.2.5 ค่าเฉลี่ยของผลผลิต กรดเฟอรูลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....	58
4.2.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....	60
4.2.7 การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์โดยวิธี GGE.biplot.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจัยผลการศึกษาทดลอง.....	65
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลองและข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของดิน 3 สถานที่.....	30
3.2 รายชื่อพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองและสีเชื้อหุ้มเมล็ด.....	31
4.1 คุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา.....	34
4.2 แสดงความแปรปรวนรวมของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีใน 2 ปี.....	37
4.3 แสดงความแปรปรวนรวมของลักษณะองค์ประกอบทางเคมี ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีใน 2 ปี.....	38
4.4 แสดงความแปรปรวนรวมของสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีใน 2 ปี.....	39
4.5 เปรียบเทียบลักษณะองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้การเพาะปลูกระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเคมีในปี 2562 และปี 2563.....	41
4.6 เปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมี สารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเคมี ในปี 2562 และ 2563.....	44
4.7 สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	46
4.8 สหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	47
4.9 แสดงความแปรปรวนรวม (combined analysis) ของความสูงต้น (เซนติเมตร) จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวจำนวน 11 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ที่แตกต่างกัน.....	50
4.10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะความสูงต้นของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	51
4.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนหน่อต่อกอของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	52
4.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนรวงต่อกอของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	53
4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะความยาวรวง (เซนติเมตร) ของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	55
4.15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	56
4.16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนรวงต่อกอของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่ ที่.....	57
4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดเฟอรูลิกของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่.....	58
4.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าว 11 พันธุ์ที่ ปลูกใน 3 สถานที่.....	59
4.19 ค่าดัชนีสภาพแวดล้อมของลักษณะผลผลิตเมล็ด กรดเฟอรูลิก และความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระของ 3 สถานที่ปลูก.....	60
4.20 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กิโกลกรัมต่อไร่) กรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (b) และค่าเบี่ยงเบนสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (S_{b^2}) ของข้าวพื้นเมือง 11 พันธุ์ที่เพาะปลูก ใน 3 สถานที่ปลูก.....	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การผสมพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	6
2.2 Metabolic pathway ของพืชทั่วไป.....	12
2.3 กระบวนการเมแทบอลิซึมในพืช 2 ประเภท คือ เมแทบอลิไต์ปฐมภูมิ (Primary metabolite) และเมแทบอลิไต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite)	13
2.4 Phenylpropanoids pathway เอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีการสะสมมากเมื่อพืชเจอกับสภาวะเครียด โดยเป็นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชเมื่อเจอกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม.....	13
2.5 เปอร์เซ็นต์ของแอนโทไซยานิน กรดคลอโรจีนิก ฟลาโวนและฟลาโวนอล แคลโรทินอยด์ แกมมาออริซานอล และฟลาเวน-3-อลในข้าวสีดำ สีแดง สีน้ำตาล และสีขาว.....	16
2.6 แสดงปัจจัยความเครียดจากสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่สามารถปกป้องพืช และกระตุ้นในการปรับตัวเพื่อรับมือกับสภาวะที่ไม่เหมาะสม.....	19
3.1 แผนที่ฟาร์มเกษตรอินทรีย์บ้านไร่ภาสกร.....	26
4.1 ค่าอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature ;T max, °C) และอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature ;T min, °C) ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูก (rainfall, mm) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ; %) และความเข้มแสง (solar radiation ; SRAD, MJ m ⁻¹ day ⁻¹) ในปี พ.ศ 2562 และ พ.ศ 2563.....	35
4.2 ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature ;T max, °C) และอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature ;T min, °C) ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูก (rainfall ;mm) และความค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ;%) ของกรุงเทพมหานคร (location1; a and b), จังหวัดตราด (location 2; c and d) และจังหวัดสกลนคร (location 3; e and f).....	49
4.3 GGE.biplot แสดงการตอบสนองของข้าว 11 พันธุ์ ใน 3 สภาพแวดล้อม.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นธัญพืชที่ประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชียซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสองทั่วโลก (Smith, 1995) ในเมล็ดข้าวอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากมายที่เป็นองค์ประกอบทางเคมี เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีหลายชนิด (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556) เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) โทโคฟีโนล (tocopherol) คาเทชิน (catechin) เบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบสารแกมมาออร์ซานอล และกาบา ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ (อิงฟ้า คำแพง และคณะ, 2552) ที่มีรายงานว่า ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ และช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีแก่ผู้บริโภค

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่รู้จักกันดีว่ามีคุณสมบัติทางโภชนาการสูง ข้าวพันธุ์นี้มาจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คุณสมบัติทางด้านโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ มีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง การมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงจะสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และสมองเสื่อมได้อีกด้วย (อภิชาติ วรรณวิจิตร และคณะ, 2551) นอกจากนี้ ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูง จึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้น้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดสีทั่วไป (เช่นจิต สีพญา และจอย ผิวสะอาด, 2558)

องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในเมล็ดข้าวนั้นแตกต่างกันตามสายพันธุ์ สภาวะการปลูก อายุการเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร โดย Zhou et al. (2004) พบว่า ปริมาณกรดเฟอร์ูลิกในข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน และมีค่าอยู่ระหว่าง 278-362 ไมโครกรัมต่อกรัมแกลลิก นอกจากนี้พบว่า ในข้าวสาลี 18 สายพันธุ์มีปริมาณกรดเฟอร์ูลิกอยู่ระหว่าง 343.2-579.7 ไมโครกรัมต่อกรัมแกลลิก อีกทั้ง Gong et al. (2017) พบว่าในข้าวกล้อง 8 สายพันธุ์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่ระหว่าง 72.45-120.14 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแกลลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมอยู่ในช่วง 75.90-112.03 มิลลิกรัม catechin/100 กรัม กรดเฟอร์ูลิกในช่วง 161.42-374.81 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม สารอื่นๆ วิตามินอี เช่น tocopherols tocotrienols

และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระประมาณ 67.2-77.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Bergman and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xu (2003) พบว่าในไร่ข้าว 7 สายพันธุ์ที่ปลูกใน 4 สถานที่ ได้แก่ Arkansas, Louisiana, Mississippi และ Texas โดยสถานที่ที่มีสารแกมมาอริซานอลสูงที่สุด คือ Arkansas มีปริมาณสาร 4,717.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ Mississippi, Louisiana และ Texas (4,273.42, 4,096.99 และ 3,966 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) โดยรายงานกล่าวว่าสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูกนั้นมีผลต่อปริมาณสารแกมมาอริซานอลมากกว่าจีโนไทป์

ปัจจุบันความสมดุลทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง มลภาวะที่เป็นพิษสูงขึ้น ทำให้ผู้บริโภคเริ่มใส่ใจสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้อาหารอินทรีย์ได้รับความนิยมมากขึ้น (สุณัฐวิทย์ น้อยโสภกา, 2558) การผลิตพืชอินทรีย์หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตพืช นอกจากผลผลิตจะปลอดภัยต่อผู้บริโภคแล้ว ยังเป็นการปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดินร่วนซุย ถ่ายเทอากาศได้สะดวก และมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545) ประเสริฐ สองเมือง และคณะ (2542) ได้ศึกษาการใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบเพื่อเป็นปุ๋ยในนาข้าว พบว่า การใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบติดต่อกัน 21 ปี ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นและทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์นั้นจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการขยายตัวของรากข้าว ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นด้วย มีรายงานว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการผลิตพืชส่งผลต่อปริมาณการสะสมสารสำคัญ โดยพบว่าข้าวสาลีที่ใส่ปุ๋ยหมัก (compost) จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มาจากเนื้อและกระดูกวัวปน (meat and bone meal: MBM) (Konopka et al., 2012) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณกรดฟีนอลิกของข้าวสาลีที่ปลูกในระบบอินทรีย์จะสูงกว่าข้าวสาลีที่ปลูกโดยการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Zuchowski et al., 2011) Pangaribuan and Hendarto (2018) พบว่าข้าวโพดหวานที่เพาะปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 18.57 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ปกรวมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลและทำให้คุณภาพของดินดีขึ้น

ในปัจจุบันหน่วยงานของรัฐเข้ามามีบทบาทในการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวพันธุ์ใหม่ทดแทนข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งจะเน้นการพัฒนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตมากกว่าจะคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการ ส่งผลให้ข้าวพื้นเมืองในอดีตที่มีมานานต้องสูญหายและมีแนวโน้มลดลง ทั้งที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองส่วนใหญ่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพันธุ์ข้าวที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ (ดวงพร ภูษะกา, 2559) จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม โดย Settapramote et al. (2018) พบว่า ข้าวที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง เพชรบูรณ์ สิงห์บุรีและสุรินทร์ มีปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในจังหวัดลำปาง มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดรองลงมาคือ เพชรบูรณ์ สุรินทร์ เชียงใหม่ และน้อยที่สุดคือ สิงห์บุรี นอกจากนี้ Guo et al. (2011) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในบักวีต 2 สายพันธุ์ ที่เจริญเติบโตใน 3 สภาพแวดล้อม พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และ

สภาพแวดล้อมมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่ามีสภาพแวดล้อมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสารประกอบฟีนอลิกในบักวีท

จากรายงานที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นอิทธิพลของสายพันธุ์พืช ชนิดปุ๋ย หรือสถานที่ปลูก ดังนั้น สมมติฐานของการศึกษาในครั้งนี้คือ 1) การปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระบบอินทรีย์อาจจะส่งผลให้ข้าวมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีและสารสำคัญในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น และ 2) ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีการตอบสนองในลักษณะปริมาณสารฟีนอลิกรวมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่อสถานที่ปลูกที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ เพราะสามารถเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้ อีกทั้งยังสามารถคัดเลือกพันธุ์และใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพแวดล้อมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์

1.2.2 เพื่อศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมือง

1.3 ขอบเขตของงาน

1.3.1 ศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ โดยศึกษาปริมาณโปรตีน น้ำตาล ไขมัน กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว สารประกอบฟีนอลิก กรดเฟอรูลิก แอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

1.3.2 ศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 8 พันธุ์และพันธุ์เปรียบเทียบกับมาตรฐาน 3 พันธุ์ ทำการศึกษาใน 3 สถานที่

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์

1.4.2 ทราบถึงเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว (*Oryza sativa*)

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อมวลมนุษยชาติ ประชากรส่วนใหญ่ใช้บริโภคเป็นอาหารหลัก สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และเขตอบอุ่น (temperate zone) (จิรวุฒิ เสนาคำ และ พรพณา คิ้วเจริญ, 2539) โดยข้าวที่ปลูกเพื่อเป็นอาหารมนุษย์มีประมาณ 20 ชนิด (บุญหงษ์ จงกิต, 2547) สามารถแบ่งข้าวตามสภาพทางภูมิศาสตร์ (ecogeographic races) ได้ 3 กลุ่ม คือ Indica group ได้แก่ ข้าวเมล็ดยาวและยาวปานกลาง (long and medium grains) ปลูกทั่วไปในบริเวณแถบเขตร้อน (tropical regions) เช่น ไทย อินเดีย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น ต่อมาคือ Japonica group ได้แก่ ข้าวเมล็ดสั้น (short grains) ปลูกโดยทั่วไปในบริเวณแถบกึ่งร้อน (sub-tropical regions) เช่น ประเทศจีน ตอนเหนือของญี่ปุ่นและเกาหลี และ Javanica group ได้แก่ ข้าวเมล็ดกว้างและหนา ปลูกในบริเวณเส้นศูนย์สูตร เช่น ชาว พม่า เป็นต้น (บริสุทธิ์ สัมฤทธิ์, 2537)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ลำต้นที่อยู่เหนือดินจะเห็นข้อปล้องชัดเจนในระยะที่แตกกอและออกรวง ส่วนของตาใบจะเจริญพัฒนาเป็นใบข้าว ในขณะที่ตายอดจะพัฒนาเป็นหน่อและรวงสำหรับตารากจะสามารถพัฒนาเป็นรากได้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ใบข้าวเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งของต้นข้าวในการให้ผลผลิตสูง โดยมีหน้าที่ในการสร้างอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง พันธุ์ข้าวอายุสั้นจะมีจำนวนใบมากกว่าพันธุ์ข้าวเบา ต้นข้าวจะมีจำนวนใบเฉลี่ยประมาณ 14 ใบ ตั้งแต่เริ่มงอกจนถึงออกรวง โดยใบสุดท้ายจะเป็นใบธง ก่อนที่ช่อดอกจะโผล่ขึ้นมา โดยช่อดอกข้าวจะพัฒนาจากปล้องสุดท้ายของต้น ดอกข้าวหลังจากการผสมพันธุ์จะพัฒนากลายเป็นเมล็ดข้าว ภายในเมล็ดประกอบด้วยส่วนของกะพาะและแป้งซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวอะไมโลเพคติน (amylopectin) และบางส่วนเป็นอะไมโลส (amylose) (จารีต โปรงศิริวัฒนา, 2534)

การเจริญเติบโตของข้าวโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) การเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth phase) เริ่มตั้งแต่ต้นข้าวงอกออกจากเมล็ดข้าวไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก ใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ระยะนี้อาจประกอบด้วยระยะย่อย 2 ระยะ คือ basic vegetative phase หรือ active vegetative phase หมายถึงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ข้าวต้องการเพื่อการเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนที่ข้าวจะเริ่มสร้างรวงอ่อน (initiate a panicle primordium) และ photoperiod sensitive phase หรือ lag vegetative phase หมายถึง

ช่วงเวลาที่ต้องการจำนวนชั่วโมงที่รับแสงต่อวันเพื่อการออกดอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth phase) เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 – 40 วัน หรือประมาณ 35 วัน ระยะแรกเรียกข้าวแตงตัว ต่อมารวงมีขนาดใหญ่พอสมควรทำให้ต้นข้าวอ้วน กลมป่องออก เรียกว่าข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่าข้าวโผล่ง ต้นข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ ของช่อดอก (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

2.1.2 ข้าวพื้นเมือง

ข้าวมีวิวัฒนาการจากข้าวป่ามาเป็นข้าวปลูกมากกว่า 7,000 ปี หลักฐานที่มีการปลูกข้าวในประเทศไทยอายุเก่าแก่มากกว่า 5,500 ปี เมื่อนุญษ์มีการเก็บรวบรวมเมล็ดไว้ให้ได้ปริมาณมากพอและเก็บเมล็ดพันธุ์ติดตัวไปเพื่อเป็นอาหารในการเดินทางอพยพย้ายถิ่นฐาน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของพันธุ์ข้าวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เมื่อมีพันธุ์ข้าวในแต่ละท้องถิ่น ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวจึงเริ่มขึ้น การเรียกชื่อพันธุ์ข้าวในแต่ละท้องถิ่นตามถิ่นกำเนิดหรือตามลักษณะเด่นประจำพันธุ์หรือแม้แต่ตามชื่อบุคคล กลายเป็นชื่อที่เรียกขานกันจนติดปากเป็นชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในที่สุด (ฉวีวรรณ วุฒิญาโณ, 2543)

พันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยนับว่ามีความหลากหลายทางด้านพันธุกรรม (genetic diversity) ชื่อพันธุ์ข้าวเหล่านี้มีคุณค่าและมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ เช่น ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช คุณภาพเมล็ดหรือความทนทานต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ข้าวพื้นเมืองบางพันธุ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวพันธุ์ส่งเสริม รุจิรา ปรีชา และคณะ (2554) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในข้าวพันธุ์พื้นเมือง ไช้มศรีน คำขุนทอง และเล็บนกปัตตานี สูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ และยก 7 อีกทั้งยังพบการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ สารฟีนอลิกรวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวไทย 12 พันธุ์ จากการทดลองพบว่า เหนียวคำพันธุ์พื้นเมือง ข้าวเหนียวคำพันธุ์ลิ้มผิว ข้าวเหนียวคำพันธุ์พื้นเมืองหอมภูเขียว ข้าวพันธุ์กำดอยสะเก็ด และข้าวคำพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งเป็นข้าวที่มีสีคำที่มีฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกรวมเป็นองค์ประกอบสูง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่มีสีขาวในทุกๆ วิธีการทดสอบ โดยข้าวเหนียวคำพันธุ์ลิ้มผิวให้สารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (นวลอนงค์ เสมสังข์ และ วิรพงษ์ จันทะชัย, 2558)

2.1.3 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาษาอังกฤษ: Rice Berry) เป็นผลงานการปรับปรุงสายพันธุ์ของ รศ.ดร.อภิชาติ และทีมนักวิจัยจาก ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และความร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยเป็นการผสมข้ามสายพันธุ์ ระหว่าง ข้าวเจ้าหอมนิล ซึ่งเป็นสายพันธุ์พ่อ x ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นสายพันธุ์แม่ (รูปที่ 2.1) ทำให้ได้ลักษณะที่ดีและคุณประโยชน์เด่นออกมา ซึ่งพันธุ์ข้าวนี้ได้รับการจดทะเบียนเป็นพันธุ์พืชใหม่ (กรมการข้าว, 2557)



รูปที่ 2.1 การผสมพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่
ที่มา: กรมการข้าว (2557)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเรียวยาว ผิวมันวาว เป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้มคล้ายกับลูกเบอร์รี่ที่มีสีม่วงเข้มเมื่อสุก หากเป็นข้าวกล้องจะมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว อีกทั้งยังมีรสชาติหอมมัน เนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม เนื่องจากผ่านการขัดสีเพียงแค่บางส่วนเท่านั้น จึงยังทำให้คงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้อย่างครบถ้วน ข้าวสายพันธุ์พิเศษสีม่วงนี้สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีอายุเก็บเกี่ยว 130 วัน ให้ผลผลิตปานกลาง มีความสามารถต้านทานต่อโรคไหม้ แต่ไม่ต้านทานโรคหาลาว จึงแนะนำให้เปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ทุกรอบของการปลูก (กรมการข้าว, 2557)

คุณค่าทางโภชนาการในรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในระดับความเข้มข้น 15.7 มิลลิกรัมต่อกรัม งานวิจัยล่าสุดพบว่าในรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีสารออกฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง และสารอื่นๆ ที่กำลังอยู่ในระหว่างการสกัด นับเป็นครั้งแรกที่มีรายงานการค้นพบ Lupeol ในข้าวมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบเป็นสารกลุ่ม triterpenes ในส่วนของน้ำมันรำข้าวหีบเย็น เมื่อเทียบกับน้ำมันงาแบบหีบเย็น มี beta-carotene อยู่ถึง 23 ไมโครกรัมต่อกรัม และ lutein 14-15 ไมโครกรัมต่อกรัม (ไม่มีในน้ำมันงา) พร้อมทั้งสารแกมมาออริซานอล 135 ไมโครกรัมต่อกรัม (กรมการข้าว, 2557)

จากการทดสอบคุณสมบัติของสารสกัดจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในการต่อต้านเซลล์มะเร็ง 3 ชนิด คือเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (Caco-2) เซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) และเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (HL-60) พบว่า สารสกัดทั้งชนิด ที่ไม่สกัดน้ำมันออก (DCM fraction) และชนิดที่สกัดน้ำมันออกไปบ้าง (MeOH fraction) ให้ผลยับยั้งเซลล์มะเร็งทั้ง 3 ชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะสารสกัดจาก DCM fraction ให้ผลที่ดีกว่าสารสกัดจาก MeOH fraction และเซลล์มะเร็งในเม็ดเลือดขาว มีความไวต่อการถูกชักนำให้เกิดการตายภายหลังการได้รับสารสกัดได้เร็วที่สุด ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า รำข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ต้านมะเร็ง (กรมการข้าว, 2557)

2.2 สารพฤกษเคมี

2.2.1 สารพฤกษเคมี

สารพฤกษเคมี หรือเรียกอีกชื่อว่าไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrients) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันอันตรายให้กับเซลล์และ นิวเคลียสที่อาจได้รับจากสิ่งแวดล้อม เช่น ป้องกันอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เชื้อรา นอกจากนี้ สารชนิดนี้จัดเป็นสารอาหารตามธรรมชาติที่มนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จะต้องได้รับการบริโภคอาหารเท่านั้น โดยสารเหล่านี้มักมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ เช่นต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดได้และยังเป็นสารที่ทำให้ผัก ผลไม้มีสี สีสัน รสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวอีกด้วย ปัจจุบันพบสารพฤกษเคมีที่ทราบโครงสร้างและฤทธิ์ทางชีวภาพแล้วกว่า 20,000 ชนิด สารพฤกษเคมีเหล่านี้ในพืชถูกสังเคราะห์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) (สุกัญญา มหาธีรานนท์, 2560)

กลุ่มสารฟีนอลิกรวมเป็นกลุ่มสารในกลุ่มพฤกษเคมีที่สำคัญ ในธรรมชาติพบมากกว่า 8,000 ชนิด พบได้ทั่วไปในผัก ผลไม้ ไข่ ไขมันมะกอก และซีอิ๊วกลูต เป็นต้น โดยมีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีเกาะอยู่กับวงแหวนเบนซีน สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะพบในรูปอนุพันธ์หรือไอโซเมอร์ของฟลาโวนส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์ คาร์ทีซิน และกรดฟีนอลิก สารเหล่านี้มีฤทธิ์หลายอย่าง เช่น ด้านการเกิดสภาวะออกซิเดชัน ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งต่างๆ เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งผิวหนัง มะเร็งลำไส้ มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งตับ เป็นต้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางยาโดยเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ด้านภาวะการอักเสบต่างๆ และช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระ และโครงสร้างมีความเสถียร สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ low-density lipoprotein (LDL) ป้องกันเนื้อเยื่อและดีเอ็นเอจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Butkhu, 2012) สามารถจำแนกชนิดของสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้แก่

(1) กลุ่มกรดฟีนอลิกที่มาจาก hydroxybenzoic acids ได้แก่ กรดแกลลิก และกรดฟีนอลิกที่มาจาก hydroxycinnamic acid ซึ่งมีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของโพลีฟีนอลทั้งหมด สารในกลุ่มนี้พบมากที่สุด คือ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) รองลงมา คือ กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) กรดฟีนอลิกในธรรมชาติจะสร้างพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาลส่วนมาก คือ กลูโคส อยู่ในรูป polyol เช่น gallic acid (Scalbert and Williamson, 2000)

(2) กลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มใหญ่ประกอบด้วยกลุ่ม ฟลาโวนส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์ แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอลส์ มีประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ มีสูตรโครงสร้าง เป็น 3-คาร์บอนเชื่อมกับวงแหวนไพแรนหรือวงแหวนไพโรน เรียกว่า CHO Tricyclic flavalium cation ($C_6-C_3-C_6$) หรือ flavone skeleton มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันเซลล์ (Walle, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) กลุ่มสติลบีน (stilbenes) พบไม่มาก โดยตัวที่เป็นหลักของกลุ่มนี้ คือ resveratrol พบในพืชสมุนไพรต่างๆ และไวน์แดง มีฤทธิ์การต้านมะเร็ง โดยการยับยั้งเอนไซม์ cytochrome P450 1B1 (Guengerich et al., 2003)

(4) กลุ่มลิกนินและโพลีเมอร์ของลิกนิน สารประกอบฟีนอลิก พบมากในผลไม้ ผัก และเครื่องดื่ม

กลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอล ที่พบได้ในธรรมชาติมากกว่า 4,000 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างเคมีได้ดังนี้ ฟลาโวนอล ฟลาโวน ฟลาวาโนน ฟลาวาโนนอล ไอโซฟลาโวน และแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์เป็นสารเมทาบอลิท์ขั้นทุติยภูมิในพืช สร้างจากกรดอะมิโนที่มีวงแหวน (aromatic amino acids) ได้แก่ phenylalanine tyrosine และ malonate โดยทำหน้าที่เป็นสารให้สีที่สำคัญในพืช ช่วยในการกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการช่วยตรึงไนโตรเจน ฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่จับอยู่กับน้ำตาลเบต้า-ไกลโคไซด์ ในระบบทางเดินอาหาร ฟลาโวนอยด์จะถูกย่อยโดยน้ำย่อยและถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กเป็นส่วนใหญ่ (วิกิพจนานุกรม, 2556)

แอนโทไซยานินเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบมากในพืชหลายชนิด โดยเป็นสารรงควัตถุ มีมากใน kernel, aleurone และ pericarp ของพืช พืชที่พบแอนโทไซยานินมากจะเป็นผลไม้สีแดงดำนั้นเอง เช่น เชอร์รี่ บลูเบอร์รี่ พลัม องุ่น สตรอเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ เป็นต้น นอกจากนี้จะพบในผลไม้หรือดอกไม้แล้วยังสามารถพบได้ในธัญพืช เช่น ข้าวโอ๊ตสีน้ำเงินดำ (*Triticum aestivum* L.CV. Hedong Wumai) แอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถจับกับโลหะต่างๆ เช่น Cu ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อได้ โดยธรรมชาติแล้วแอนโทไซยานินเป็นสารที่ขาดอิเล็กตรอนอยู่ 1 ตัว จึงทำให้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเป็นกรดต่าง การเก็บรักษาแอนโทไซยานินเป็นเรื่องยาก เนื่องจากแอนโทไซยานินไวต่อสภาพแวดล้อมรอบข้างมากดังที่กล่าวมาแล้วจากการวิจัยพบว่า monomeric anthocyanins 50 เปอร์เซ็นต์ จะคงสภาพได้นานประมาณ 6 เดือนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และมักสูญเสียไป 25 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จากกระบวนการคั้นน้ำ แอนโทไซยานินจะทนทานความร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินจะลดลงถึง 53 เปอร์เซ็นต์ (อภิตยา โรจสโรช, 2551; นุชจรี กองพลพรหม และคณะ, 2558)

มีรายงานเกี่ยวกับสารสำคัญในพืชต่างๆ มากมาย โดย Guo et al. (2011) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในบักวีท 2 สายพันธุ์ คือ Xingku No.2 และ Diqing พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 5,150 ถึง 9,660 ไมโครโมลแกลลิกต่อ 100 กรัม ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองพบการศึกษาความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองของไทย 19 พันธุ์ พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 9.73 – 54.68 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (สุภาภรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญะเมืองมอญ และ ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, 2559) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาสารพฤกษเคมีจาก ใบมะม่วง ใบฝรั่งและใบสับปะรด พบว่าใบสับปะรดให้จำนวนสารพฤกษเคมีมากที่สุดซึ่งประกอบด้วย สเตอรอยด์ แอลคาลอยด์ เทอร์พีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน และยังให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุดเท่ากับ 64.20 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมแต่สารสกัดจากใบสับปะรดให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 15.14 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม (ปานทิพย์ บุญส่ง และ วัลภา เนตรดวงตา, 2557)

2.2.2 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

2.2.2.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อะตอมหรือโมเลกุลของสารใด ๆ ที่มีอิเล็กตรอนอิสระที่ขาดคู่ (unpaired electron) สารดังกล่าวไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและมีความเป็นพิษสูงมาก สารอนุมูลอิสระที่มีการศึกษาจำนวนมาก คือ Reactive Oxygen Species (ROS) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide anion radical, hydroxyl radical, peroxy radical, peroxy nitrite, methyl radical เป็นต้น เนื่องจากเป็นสารอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ที่พบในร่างกายมนุษย์ จากการศึกษาพบว่า ROS สามารถกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การตายของเซลล์ และ ROS ทำหน้าที่ส่งสัญญาณต่างๆ ไปในเซลล์ (Valko et al., 2006) ROS เกิดจากการเผาผลาญอาหาร สารต่างๆ กระบวนการสร้างพลังงาน การหายใจระดับเซลล์ รวมไปถึงเกิดขึ้นในกลไกการป้องกันตัวเองของร่างกายจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ หากร่างกายมีกระบวนการดังกล่าวที่มากเกินไป หรือการที่ร่างกายขาดสารต้านอนุมูลอิสระทำให้มีการสะสมของ ROS มากขึ้นและทำให้เกิดภาวะ oxidative stress ขึ้นได้

2.2.2.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระคือสารที่ช่วยยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยปกติแล้วการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายนั้นมีอย่างเพียงพอต่อการเกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในร่างกาย แต่หากมีสภาวะผิดปกติในร่างกาย เช่น ความเครียด การนอนดึกติดต่อกันนาน ๆ การรับประทานยาที่มีผลลด antioxidant enzyme หรือสภาวะโรคต่าง ๆ ก็อาจจะทำให้การสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจนเสียสมดุลระหว่าง antioxidant และอนุมูลอิสระ เกิดเป็นภาวะ oxidative stress อนุมูลอิสระที่ไม่ได้ถูกกำจัดจะไปทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ได้ เช่น เป็นต้นเหตุของภาวะหลอดเลือดอุดตัน มะเร็ง โรคพาร์กินสัน รวมถึงอาการอักเสบต่างๆ จะเห็นได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายนั้นมีความสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคและความเสื่อมของร่างกายเป็นอย่างมาก สารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในอาหารและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติส่วนใหญ่ เช่น vitamin E และ vitamin C สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ และสารกลุ่มฟีนอลิก โดยลักษณะสำคัญของ

สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ที่มีร่วมกันก็คือ การมี conjugated double bond อยู่ในโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะเมื่อสารเหล่านี้รับหรือสูญเสีย electron ไป free radical ที่เกิดขึ้นจะ delocalized ภายในโครงสร้างได้และทำให้โมเลกุลมีความเสถียรมากกว่าสารที่ไม่มี conjugated double bond ดังนั้นความรุนแรงของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมาใหม่ก็จะลดลง (Maughan et al., 2004) สารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายผลิตขึ้นเอง เช่น superoxide dismutase, glutathione peroxidase, ferritin, ceruloplasmin และได้รับจากอาหาร เช่น ซีลีเนียม วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี (Halliwell and Gutteridge, 2015)

กลไกการต้านอนุมูลอิสระ

1) Free radical scavenging สารต้านอนุมูลอิสระจะให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระและทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระได้ให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนไปแล้วก็จะเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ซึ่งมีความรุนแรงน้อยกว่าอนุมูลอิสระเดิม ซึ่งอาจจะไปรวมตัวกันกับอนุมูลอิสระอีกโมเลกุลหนึ่งเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียร หรือมีสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ มาให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนเพื่อเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อไป

2) Singlet oxygen quenching (1O_2) ออกฤทธิ์โดยไปยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen โดยการเปลี่ยน singlet oxygen (1O_2) ให้ไปอยู่ในรูป triplet oxygen (3O_2) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน สารที่ออกฤทธิ์ผ่านกลไกนี้เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) โดยแคโรทีนอยด์ 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับ single oxygen ได้ 1,000 โมเลกุล

3) Metal chelating โลหะหนักเช่น Fe^{2+}/Fe^{3+} และ Cu^{2+} มีผลเร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ในร่างกาย ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวจะไปเร่งการเกิดอนุมูลอิสระหลายประเภทเช่น peroxy radical, hydroxyl radical และ alkyl radical รวมทั้ง singlet oxygen ดังนั้นการที่มีสารจับกับโลหะหนักเหล่านี้จะช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ สารที่ออกฤทธิ์ผ่านกลไกนี้ได้แก่ flavonoids, phosphoric acid, citric acid และ ascorbic acid เป็นต้น

4) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (enzyme inhibitor) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็น cofactor ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (Vertuani et al., 2004)

จากรายงาน พบการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชาจากต้นอ่อนข้าว โดยทำการศึกษาพันธุ์ข้าว 3 สายพันธุ์ (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียวกำใหญ่ และข้าวหอมนิล) ร่วมกับกรรมวิธีในการผลิตชาจากต้นอ่อนข้าว (ใบสดและใบแห้งซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส) ที่มีผลต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าพันธุ์ข้าวและกรรมวิธีการผลิตชาที่มีผลต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของชาใบข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แบบใบสดมีค่าสูงสุดคือ 86 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากชาจากใบข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกสูง จึงส่งผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูง (ชญญรินทร์ สมพร และคณะ, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2561) นอกจากนี้ การศึกษาการต้านอนุมูลอิสระในมะม่วงด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบว่าสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์มหาชนกเนื้อผลสุกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 1.91 mmol/100g ซึ่งมากกว่าเนื้อผลดิบ (1.45 mmol/100g) แสดงให้เห็นว่าในเนื้อผลสุกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนเนื้อผลดิบ (ดวงพร ภูษะกา, 2558)

2.2.3 การสังเคราะห์สารทุติยภูมิ

สารที่มีอยู่ในธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ 1) เมทาบอลไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) เป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ตัวอย่างของสารเหล่านี้ประกอบด้วย กรดอะมิโน (amino acid) กรดไขมัน (fatty acids) นิวคลีโอไทด์ (nucleotides) น้ำตาล (sugar) สารเหล่านี้จะเป็นสารตั้งต้น (building blocks/precursors) ในการผลิต และ 2) เมทาบอลไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) มีในสิ่งมีชีวิตบางจำพวกเท่านั้นและไม่จำเป็นต่อการดำรงชีพ แต่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารนั้นๆ เช่น อาจจะเป็นสารที่ใช้ในขบวนการป้องกันตัวเอง (self-defense) จากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่นสารปฏิชีวนะ สารหอมระเหย หรือสารที่มีฤทธิ์ทางยา (morphine, cocaine) (รูปที่ 2.2) (จิตรลดา เหมรา, 2558) รวมทั้งสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกด้วยการจำแนก secondary metabolites ของพืช สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 2.3) คือ

1) Terpenes หรือที่เรียกว่า terpenoids สารในกลุ่มนี้มักไม่ละลายน้ำ โครงสร้างของเทอร์พีนเกิดจากการรวมตัวของคาร์บอน 5 อะตอมเกาะกันด้วยพันธะ isopentane เทอร์พีนนั้นเป็นพิษและเป็นอุปสรรคต่อการให้อาหารแก่พืชที่กินแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกลิ่นของเทอร์พีน ดังนั้นเทอร์พีนจึงมีบทบาทในการป้องกันอาณาจักรพืช อนุพันธ์ของเทอร์พีนที่เรียกว่า ซาโปนิน (saponins) คือ steroid และ triterpene glycoside ที่มีคุณสมบัติคล้ายสบู่ อนุพันธ์อีกชนิดหนึ่งคือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ให้สีเหลือง สีแดง และสีส้ม ในพืชบางชนิด เช่น แครอท ตัวอย่างพืชที่มี terpenoids ได้แก่ เฟิร์น สน เฟอร์ สระระแห่น มะนาว ข้าวโพด โหระพา ฝ้าย และยาสูบป่า

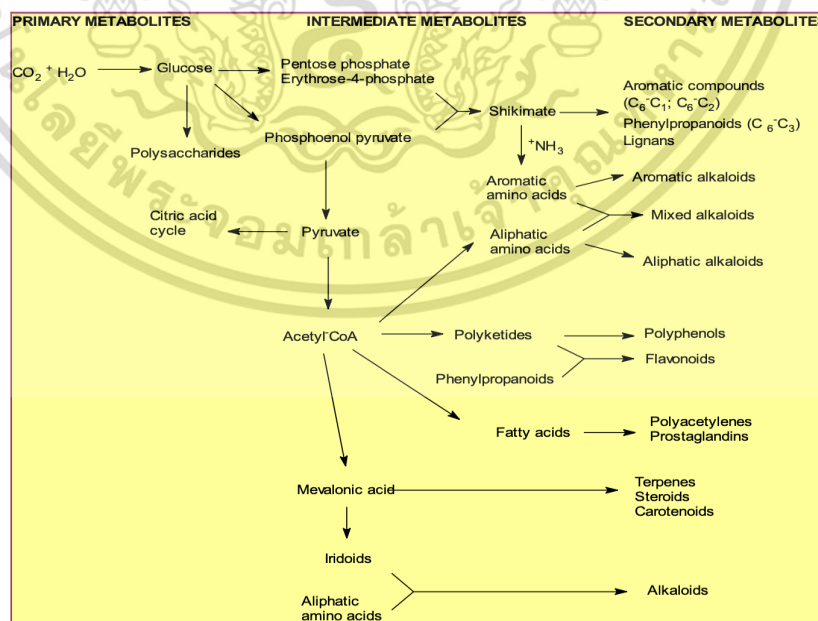
2) Phenolic compounds สารฟีนอลิกรวม (กรดฟีนอลิกและโพลีฟีนอล) พบส่วนใหญ่ในพืช เป็นอนุพันธ์ของ shikimic pentose-phosphate และ phenylpropanoid pathways ในพืช โพลีฟีนอลเป็นวงแหวนอะโรมาติกที่มีหมู่ฟีนิลและหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลจากพืช ได้แก่ ลิกนิน ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ แทนนิน แอนโทไซยานิน และไฟโตอเล็กซิน สารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ต่อต้านริ้วรอยและต้านการอักเสบ พบได้ในผัก ผลไม้ และเครื่องดื่มน้ำ

3) Nitrogen containing compounds เมทาบอลไลต์ทุติยภูมิจำนวนมากมีในโตรเจนอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงอัลคาลอยด์ ไชยาโนเจนกลูโคไซด์ กลูโคซิเนต โดยอัลคาลอยด์เป็นกลุ่มใหญ่ที่มีในโตรเจนมากกว่า 15,000 อะตอม ตัวอย่างของอัลคาลอยด์ คือ มอร์ฟีน นอกจากนี้อัลคา

ลอคค์กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า pyrrolizidine alkaloid ในสัตว์กินพืช ทำให้สัตว์สามารถปรับตัวให้ทนต่อสารป้องกันพืชและใช้ในการป้องกันตัวเอง (Anulika et al., 2016)

การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก โดยการสังเคราะห์สาร phosphoenolpyruvate (PEP) และ erythrose 4-phosphate จะถูกนำเข้าสู่วิถี shikimate เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ aromatic amino acid ซึ่งได้แก่ กรดอะมิโน ฟีนิลอะลานีน ไทโรซีน และทริปโตเฟน เพื่อนำไปสร้างโปรตีน แต่ในพืชที่มีการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโน phenylalanine จะถูกนำเข้าสู่วิถี phenylpropanoid เพื่อสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ ซึ่ง phenylpropanoid นั้นได้มาจากกรด cinnamic ที่เกิดจาก phenylalanine โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) (Herrmann, 1995) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่แยกแยะระหว่าง primary และ secondary metabolism (Dixon and Paiva, 1995) (รูปที่ 2.4)

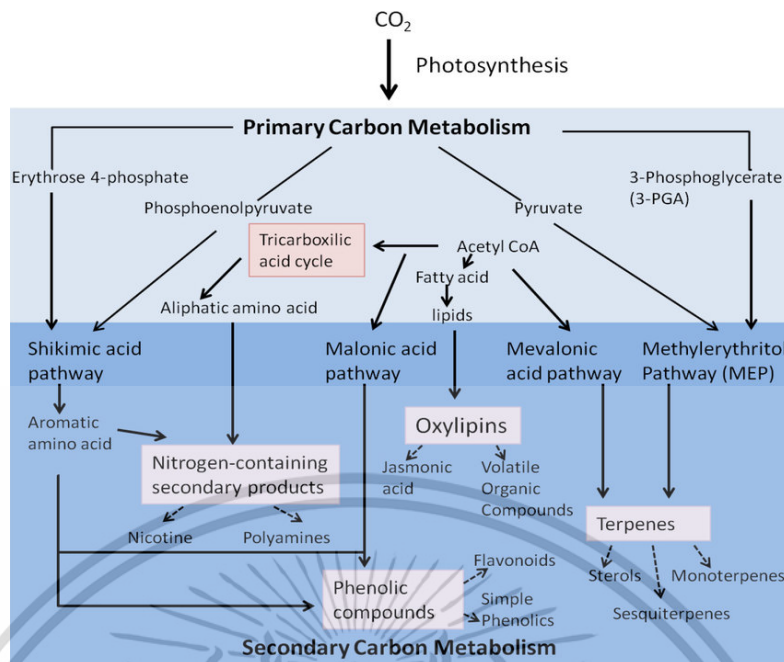
วิถี phenylpropanoids นั้นเป็นแหล่งสำคัญของ secondary metabolites ในพืช มีบทบาทสำคัญในการควบคุมสรีรวิทยาของพืช การสังเคราะห์โมเลกุลด้วยการส่งสัญญาณและป้องกันพืชภายใต้สภาวะความเครียด ทำให้พืชเกิดความทนทาน และมีการสร้างสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สะสมในผักและผลไม้ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ โดยบริเวณใบ ดอก ราก สามารถสะสม phenylpropanoids ในปริมาณที่สูง วิถีของฟีนิลโพรพานอยด์นั้นประกอบด้วย เอนไซม์หลายชนิด เช่น phenylalanine ammonia-lyase (PAL, EC 4.3.1.5), chalcone synthase (CHS, EC 2.3.1.74), chalcone isomerase (EC 5.5.1.6), dihydroflavonol reductase (EC 1.1.1.219) และ anthocyanidin synthase (ANS, EC 1.14.11.19) (Francini et al., 2019)



รูปที่ 2.2 Metabolic pathway ของพืชทั่วไป

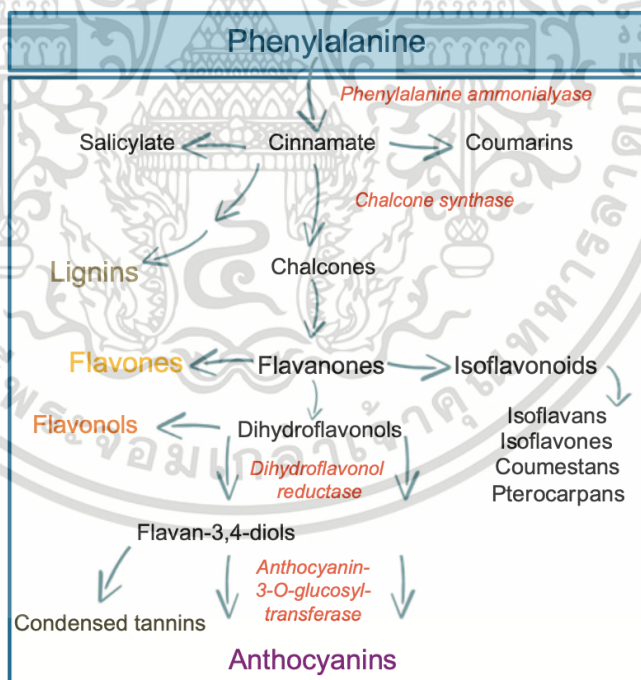
ที่มา : Bahl and Bahl (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการเมทาบอลิซึมในพืช 2 ประเภท คือ เมแทบอลไลต์ปฐมภูมิ (Primary metabolite) และเมแทบอลไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite)

ที่มา: Sinha et al. (2019)



รูปที่ 2.4 Phenylpropanoids pathway เอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีการสะสมมากเมื่อพืชเจอกับสภาวะเครียด โดยเป็นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชเมื่อเจอกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ที่มา: Francini et al. (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมีหรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหาร และโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว (Juliano, 1993) ส่วนไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrients) หรือเรียกอีกชื่อว่า สารพฤกษเคมี หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น สารชนิดนี้จัดเป็นสารอาหารตามธรรมชาติที่มนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จะต้องได้รับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น (สุกัญญา มหาธีรานนท์, 2560)

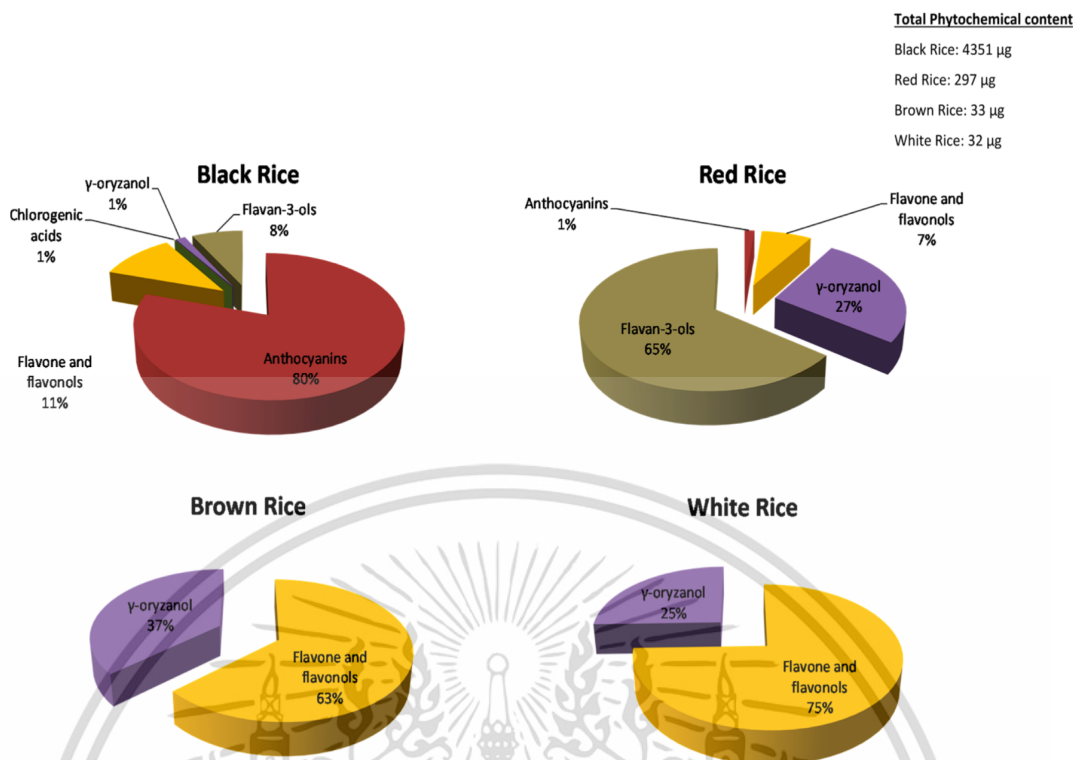
มีรายงานเกี่ยวกับสารพฤกษเคมี กรดไขมัน และองค์ประกอบทางเคมี ในข้าวกล้อง 6 สายพันธุ์ (Inpari 42, Inpari 43, Situ Bagendit, IPB3 S, Inpari 17, and Inpara 3) พบว่าข้าวมีความชื้นในช่วง 11-12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 1.3-1.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมันหยาบ 2-3 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ 7-11 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 84-89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟีนอลิกของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์อยู่ในช่วง 47-70 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม และปริมาณแกมมาออริซานอลในช่วง 37-55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Munarko et al., 2020) นอกจากนี้ Isaac et al. (2012) ได้ทำการศึกษาพันธุ์ข้าว 10 สายพันธุ์ รวบรวมจากทางตอนใต้ของอินเดียเพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางพฤกษเคมี ปริมาณสารอาหาร และการต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์พบว่าข้าว 10 สายพันธุ์มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงถึง 176 ± 6.12 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณฟีนอลสูงที่สุดคือ 152 ± 3.80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณโปรตีน 10.92 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดถึง 74.5 ± 2.65 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงปีที่ผ่านมาพันธุ์ข้าวที่มีสีเยื่อหุ้มแตกต่างกัน เช่น สีดำ สีน้ำตาล และสีแดง ได้รับความนิยมนำขึ้นในเอเชีย เนื่องจากในข้าวเหล่านั้นเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล วิตามินบี วิตามินอี แกมมาออริซานอล และสารประกอบฟีนอลิกที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ Pereira et al. (2013A) รายงานว่าในข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีดำ สีแดง สีน้ำตาล และสีขาวที่ปลูกใน Camargue ของฝรั่งเศส ข้าวดำมีสารประกอบ ได้แก่ แอนโทไซยานิน (3.5 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือฟลาโวน และฟลาโวนอล (0.5 มิลลิกรัมต่อกรัม) flavin-3-ols (0.3 มิลลิกรัมต่อกรัม) แกมมาออริซานอล และแคโรทีนอยด์ต่ำกว่า 6.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ข้าวแดงมีลักษณะเด่นประกอบด้วยโอลิโกเมอริกโปรไซยานิน (Oligomeric procyanidins 0.2 มิลลิกรัมต่อกรัม) คิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมทาบอลิต์ทุติยภูมิ แคโรทีนอยด์ และแกมมาออริซานอล คิดเป็น 26.7 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ฟลาโวน ฟลาโวนอล แอนโทไซยานินมีค่าน้อยกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ข้าวกล้องและข้าวขาวพบว่ามีไฟโตเคมีคอลในปริมาณที่ต่ำ พบในรูปฟลาโวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อฟลาโวนอล (21-24 ไมโครกรัมต่อกรัม) แกมมาออริซานอล และแคโรทีนอยด์ 12.3-8.2 ไมโครกรัมต่อกรัม แต่ไม่พบแอนโทไซยานินและโพรแอนโทไซยานินในข้าวกล้องและข้าวขาว (รูปที่ 2.5) นอกจากนี้ในข้าวสีม่วงดำมีความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน 7 ชนิด ปริมาณรวม 1,400 ไมโครกรัมต่อกรัม สารฟลาโวนอลไกลโคไซด์ (flavonol glycosides) 5 ชนิด ปริมาณรวม 189 ไมโครกรัมต่อกรัม แคโรทีนอยด์ 3.9 ไมโครกรัมต่อกรัม และแกมมาออริซานอล (279 ไมโครกรัมต่อกรัม) (Pereira et al., 2013B) ส่วนในข้าวแดง นั้นพบกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 302.06 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) 17.21 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟิจีนิน (apigenin) 7.03 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดแกลลิก (gallic acid) 0.98 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (Samyot et al., 2016) อีกทั้งยังมีปริมาณสารฟีนอลิกรวม (total phenolic contents) 433-2,213 ไมโครกรัม ferulic acid ต่อกรัม และ แอนโทไซยานิน 11.6 – 16.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (Niu et al., 2013) ขณะที่ข้าวกล้อง (brown rice) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่ระหว่าง 72.45 ถึง 120.13 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม ของ ฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 75.90 ถึง 112.03 มิลลิกรัม catechin ต่อ 100 กรัม ปริมาณกรดทรานส์เฟอร์ูลิกในช่วง 161.42 ถึง 374.81 ไมโครกรัมต่อ 100 (Gong et al., 2017) ในข้าวขาว มีปริมาณเคอควิทิน (quercetin) 611.46 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดคาเฟอีน (caffeic acid) 1.83 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (Samyot et al., 2016) นอกจากนี้ การศึกษาในข้าวอินดิกา (Dasan 1) และจาโปนิก้า (Ipum) พบว่าปริมาณวิตามินอีสูงที่สุด (23.51 มิลลิกรัมต่อกรัม) และ phytosterol (390.25 มิลลิกรัมต่อกรัม) ถูกพบในพันธุ์ Dasan 1 ขณะที่พันธุ์ Ipum มีปริมาณ total policosanol และ squalene สูงที่สุด คือ 232.73 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 99.31 มิลลิกรัมต่อ กรัมตามลำดับ (Yeon et al., 2020) จากรายงานการศึกษาข้างต้นเห็นได้ว่าข้าวที่มีความแตกต่างกันทั้งสีเยื่อหุ้ม และสายพันธุ์ ส่งผลต่อสารพฤกษเคมีในปริมาณที่ต่างกัน สารพฤกษเคมีส่วนใหญ่ที่พบ คือ สารฟีนอลิกรวม ซึ่งสารพฤกษเคมีกลุ่มนี้มีหลายชนิด เช่น แอนโทไซยานิน กรดเฟอร์ูลิก กรดแกลลิก ฟลาโวนอยด์ และอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย



รูปที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของแอนโทไซยานิน กรดคลอโรจินิก ฟลาโวนและฟลาโวนอล แครทีนอยด์ แกมมา-ออริซานอล และฟลาเวน-3-ออลในข้าวสีดำ สีแดง สีน้ำตาล และสีขาว
 ที่มา: Pereira et al. (2013A)

2.2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสมสารฟลิกษเคมีในพืช

1) ความเครียดจากน้ำ

ความเครียดจากน้ำมักจะเพิ่มการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ phenylpropanoids ในพืชชนิดต่างๆ (Parida et al., 2007) ความเครียดจากน้ำหรือความแห้งแล้งช่วยลดการใช้พลังงานของพืช ลดกิจกรรมการคายน้ำ และการสังเคราะห์แสง กระบวนการทางสรีรวิทยาทั้งหมดที่ใช้น้ำจะลดลงอย่างมาก การลดลงของน้ำเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพืชด้วย การหายใจที่เพิ่มขึ้นและการลดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้ใบเกิดสภาวะความเครียดสำหรับแสงที่มากเกินไป เงื่อนไขเหล่านี้นำไปสู่การสะสมของ reactive oxygen species (ROS) และความเสียหายของเซลล์ ส่วน phenylpropanoids จะเกี่ยวข้องกับกลไกการล้างพิษและการป้องกัน มีการเหนี่ยวนำให้เกิดการสังเคราะห์และการสะสมของ phenylpropanoids ในพืชชนิดต่าง ๆ และอวัยวะต่าง ๆ ของพืชภายใต้สภาวะความเครียดจากน้ำ การสะสมของฟีนอลเกิดขึ้นในพืชทุกชนิด ทั้งในส่วนยอดและราก (Francini et al., 2019)

2) ความเครียดจากความเย็น

อุณหภูมิต่ำสามารถสร้างความเสียหายให้กับอวัยวะต่าง ๆ ของพืชที่ทำหน้าที่ในระดับเมมเบรนในพลาสมา ความเสียหายที่เกิดจากอากาศเย็นจัดยังกระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้นด้วยการสะสมของ ROS (Suzuki and Mittler, 1996) ซึ่งสามารถสะสมจากความเครียดได้ แต่ก็สามารถทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณได้เช่นกัน อุณหภูมิแวดล้อมต่ำจะเพิ่มกิจกรรม PAL ด้วยการสะสมของฟีนอล พบพฤติกรรมนี้ในต้นมะเขือเทศและแตงโมที่ปลูกที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เทียบกับ 25 องศาเซลเซียส (Rivero et al., 2001) ผลการศึกษายืนยันว่าการสะสมของสารประกอบฟีนอลิกอาจเป็นกลยุทธ์ของพืชเพื่อเพิ่มความทนทานและปรับปรุงการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม พืชที่อยู่ภายใต้สภาวะความเครียด เช่น ความเค็มตอบสนองโดยการกระตุ้นกลไกความทนทานในหลายระดับ (กายวิภาค สัณฐานวิทยา และโมเลกุล) (Francini et al., 2019)

3) ความเครียดจากความเค็ม

พืชที่ได้รับเกลือมักจะได้รับความเสียหายจากการสะสมโซเดียมที่มากเกินไปในเซลล์ โซเดียมส่วนใหญ่จะถูกเคลื่อนย้ายและสะสมในแวคิวโอล แต่เมื่อเพิ่มขึ้นในไซโตพลาสซึม กระบวนการทางสรีรวิทยาจำนวนมากจะถูกทำลายลง กระบวนการทางชีวเคมีวิธีที่ซับซ้อนของวิถี phenylpropanoids มักจะถูกกระตุ้นเพื่อตอบสนองต่อความเครียดจากเกลือ วิธีนี้เป็นจุดสำคัญสำหรับการผลิต secondary metabolites จำนวนมากที่ควบคุมการสังเคราะห์ทางชีวภาพภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือ (Francini et al., 2019) การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความเค็มต่อสารประกอบฟีนอลิกในต้นมะกอก Wiesman et al. (2004) แสดงให้เห็นว่าปริมาณ โพลีฟีนอลสูงในน้ำมันของพืชที่ให้น้ำเกลือสามารถอธิบายได้ด้วยการเร่งการสุกของมะกอก ซึ่งอาจอธิบายระดับฟีนอลที่สูงขึ้นได้

4) ความเครียดจากแสง

แสงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช และแต่ละชนิดมีความต้องการเฉพาะเพื่อให้วงจรชีวิตทางสรีรวิทยาสมบูรณ์ ปริมาณแสง (ความเข้มและระยะเวลา) และคุณภาพ (องค์ประกอบสเปกตรัม) ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และกายวิภาคของพืชขั้นพื้นฐาน (Devlin et al., 2007) นอกจากนี้ คุณภาพและความเข้มของแสงมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง และการพัฒนา อย่างไรก็ตาม แสงที่มากเกินไปเมื่อเทียบกับความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชสามารถทำลายเซลล์ของใบได้ แสงส่วนเกินสามารถกระจายไปในรูปของแสงฟลูออเรสเซนส์และความร้อน โดยกระบวนการ photosystem แต่พลังงานที่ได้รับจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอน ทำให้สามารถสร้าง ROS และสะสมในเนื้อเยื่อ ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายต่อเซลล์พืชเพื่อการป้องกันกระตุ้นเอนไซม์ล้างพิษและเมแทบอลิต์หลายชนิด เช่น แอนโท

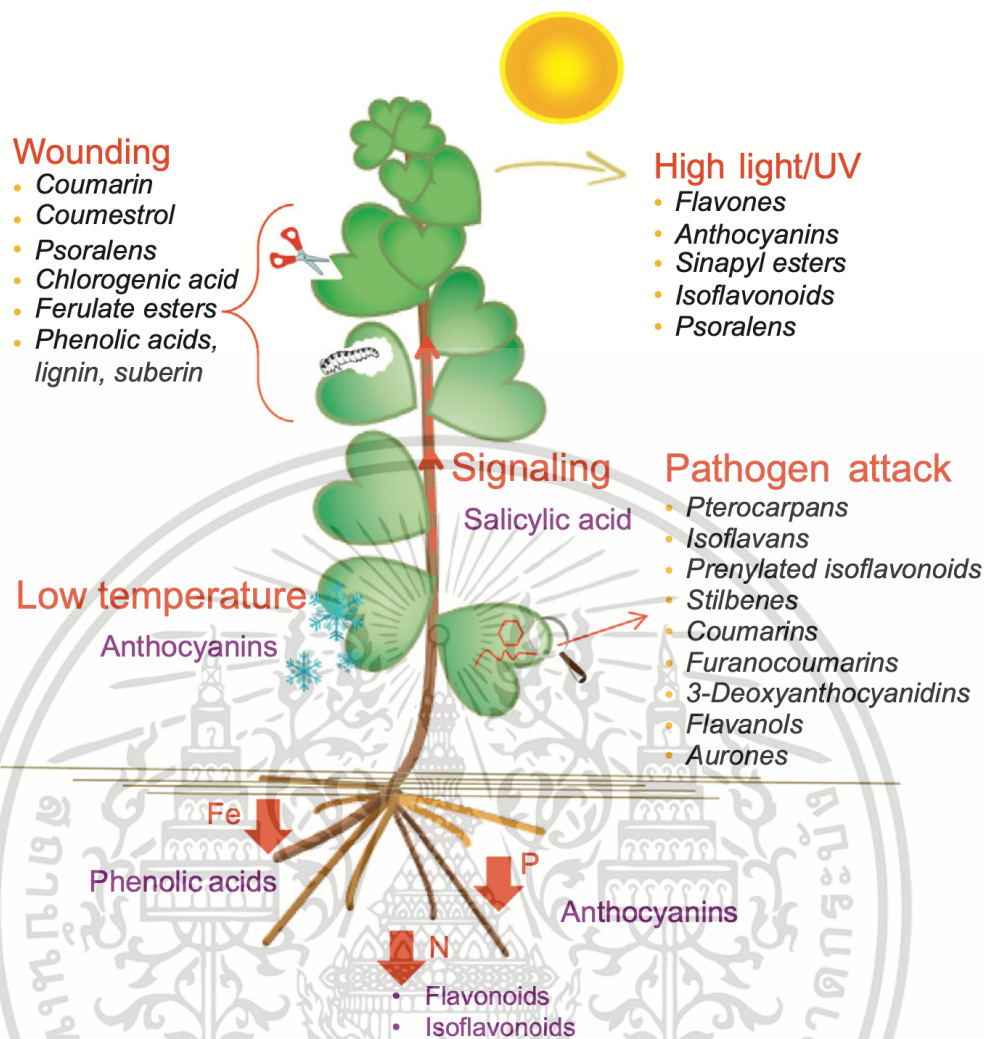
ไซยานิน ที่สามารถไล่ ROS เพื่อลดความเสียหายของอนุมูลเหล่านี้ (Niyogi, 1999) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งแอนโทไซยานินจึงถูกสะสมภายใต้ความเครียดจากแสงที่มีความเข้มสูง การสะสมของแอนโทไซยานินภายใต้สภาวะความเข้มแสงสูง ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าทำหน้าที่เป็นกลยุทธ์ในการป้องกันแสงของพืช (Chalker, 1999; Field et al., 2001) แสงยูวีจะกระตุ้นให้พืชสังเคราะห์ฟีนอลโพรพานอยด์เป็นกลยุทธ์ในการป้องกัน ในความเป็นจริง UV-A และ UV-B สามารถกระตุ้นการทำงานของวิถีฟีนอลโพรพานอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการได้รับแสง UV-A/B ในช่วงเวลาสั้นๆ จะเพิ่มสารประกอบฟีนอล โดยไม่เพิ่มระบบต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งหมายความว่าสารประกอบฟีนอลิกสามารถต้านทานความเสียหายจากแสงได้ (Mariz et al., 2018)

5) การขาดไนโตรเจน

การขาดสารอาหารทำให้ลดการเจริญเติบโตและทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาในพืช การขาดสารอาหารที่ทำให้เกิดความเครียดที่สุดสามารถพบได้ในพืชที่อยู่ในภาวะขาดไนโตรเจน ไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืช (Rubio-Wilhelmi et al., 2011) อีกทั้งยังเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโน (Fukushima and Kusano, 2014) การเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมหลายอย่างเกิดขึ้นในพืชภายใต้สภาพที่มีไนโตรเจนต่ำ เนื่องจากการดูดซึมของไนโตรเจนสัมพันธ์กับ primary metabolites (Fritz et al., 2006) นอกจากนี้ ฟลักซ์ของเมตาบอลิต์ปฐมภูมิ (the flux of primary metabolites) เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน ถูกถ่ายโอนไปยัง secondary metabolites โดย phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ภายใต้วิถี phenylpropanoids สารที่สังเคราะห์ได้ในวิถีนี้คือ ลิกนิน ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ดังนั้นการสะสมในพืชจึงมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของ PAL โดย PAL นั้นจะควบคุมขั้นตอนการเริ่มต้นสังเคราะห์ฟีนอลโพรพานอยด์ในการย้ายไนโตรเจนออกจาก phenylalanine (Olsen et al., 2008) ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ จะไปกระตุ้นการสังเคราะห์ทางชีวเคมีของฟีนอล เพราะในการตอบสนองต่อการขาดไนโตรเจน พืชจะเพิ่มกิจกรรม PAL เพื่อนำเอมีนจาก phenylalanine มาใช้ใหม่ เพื่อขัดขวางการนำเอมีนอิสระไปสังเคราะห์กรดอะมิโนใหม่อีกครั้ง นอกจากนี้เอนไซม์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อจากวิถีของแอนโทไซยานิน เช่น ANS ถูกควบคุมในทางบวกและทางลบ โดยปัจจัยการถอดรหัส MYB ที่ถูกกระตุ้นเมื่อขาด N (Soubeyrand et al., 2014; Sun et al., 2018) ดังนั้นการใช้การปุ๋ยที่ไม่เพียงพอจึงเป็นไปได้ที่จะเพิ่มการสะสมของฟีนอลและแอนโทไซยานินในพืช (Francini et al., 2019)



รูปที่ 2.6 แสดงปัจจัยความเครียดจากสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถปกป้องพืช และกระตุ้นในการปรับตัวเพื่อรับมือกับสภาวะที่ไม่เหมาะสม
ที่มา : Francini et al. (2019)

2.2.6 การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสารสำคัญในพืช

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสารสำคัญในพืช โดย Menga et al. (2010) ศึกษาผลของสถานที่ปลูกต่อปริมาณฟีนอลิกและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของธัญพืชชนิดต่างๆ เพื่อประเมินผลของสถานที่และการมีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณฟีนอลิกรวม โดยได้ทำการประเมินทั้งเมล็ดของข้าวสาลี คุรัม ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ และทริติคัล ผลการวิจัยพบว่าสภาพแวดล้อมส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกมากกว่าปัจจัยทางพันธุกรรม ปริมาณฟีนอลิกที่สูงขึ้นพบในข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลีที่ปลูกในพื้นที่ทางตอนใต้ ซึ่งอาจเป็นผลจากปัจจัยภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับสภาวะเมดิเตอร์เรเนียน (เช่น ความเครียดจากภัยแล้ง อุณหภูมิสูงในระหว่างการเติมเมล็ดพืช) หรือชนิดของดิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ฌัฐยาพร หนั่นตะ และคณะ (2559) ศึกษาการเปรียบเทียบสารพฤกษเคมีในพืชข้าว 13 สายพันธุ์ในสองฤดู โดยเก็บผลผลิตระหว่างเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน 2557 และ เดือนมกราคม-เดือนพฤษภาคม 2558 วิเคราะห์สารไลโคปีนและเบต้า-แคโรทีน พบว่าพืชข้าวที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความเข้มข้นของไลโคปีนเฉลี่ยสูงกว่าพืชข้าวที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน และพืชข้าวพันธุ์ KKU ac.10-098 มีความเข้มข้นของไลโคปีน เบต้า-แคโรทีนและแคโรทีนอยด์สรวมสูงสุดในทั้งสองฤดูที่ทำการทดสอบ

โปรตีนเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและมีปริมาณมากเป็นที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรตโดยไม่คิดปริมาณน้ำในเมล็ดข้าว และจัดเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับผู้บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก จากผลการวิจัยของนักวิจัยหลายกลุ่มพบว่าสภาพแวดล้อมในการปลูกข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนในข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยในโตรเจนในระยะต่างๆ มีผลต่อการสร้างโปรตีนในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะในขณะที่ข้าวออกดอกจะเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวได้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการปลูกที่สั้น สภาพอากาศที่มีเมฆปกคลุมมากในขณะที่สร้างเมล็ด เช่น ฤดูฝน จะมีผลให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสูงขึ้น สภาพแวดล้อมที่ผิดปกติบางช่วง เช่น มีเกลือหรือเบสในดินสูง อุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก เกิดโรคหรือแมลงทำลาย จะทำให้เมล็ดข้าวมีโปรตีนสูงขึ้นได้ และเมื่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดข้าวลดลง (Juliano, 1993)

นอกจากนี้ยังมีศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่จากสถานที่แตกต่างกันในประเทศไทย โดยทำการศึกษาข้าวไรซ์เบอร์รี่จาก 5 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง เพชรบูรณ์ สิงห์บุรี และสุรินทร์ เพื่อประเมินคุณภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณแอนโทไซยานิน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในพื้นที่ต่างก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวที่ปลูกในจังหวัดลำปางมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องจากพื้นที่ปลูกในจังหวัดลำปางอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 500 เมตร มีน้ำพุร้อนในอำเภอเมืองปาน ซึ่งการสะสมแอนโทไซยานินอาจเกี่ยวข้องกับสถานที่และอุณหภูมิ (Settapramote et al., 2018) สอดคล้องกับ Kushwaha (2016) ระบุว่าปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวดำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความสูงของพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น

2.3 เกษตรอินทรีย์

2.3.1 เกษตรอินทรีย์

สหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movement : IFOM) ให้คำนิยามของเกษตรอินทรีย์ว่าเป็น “ระบบการเกษตรที่ผลิตอาหารและเส้นใยด้วยความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยเน้นหลักการปรับปรุงบำรุงดิน การเคารพต่อศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์ และนิเวศการเกษตร เกษตรอินทรีย์จึงลดการใช้ปัจจัยการผลิตภายนอกและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์ และในขณะเดียวกันก็พยายามประยุกต์ใช้ธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิตและพัฒนาความต้านทานของโรคของพืชและสัตว์เลี้ยง” นอกจากนี้ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์และอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ให้คำนิยามของเกษตรอินทรีย์ว่า คือระบบการจัดการด้านการเกษตรอินทรีย์แบบองค์รวมที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศ วงจรชีวภาพ และความหลากหลายทางชีวภาพโดยเน้นการใช้วัชพืชนาตามธรรมชาติ หลีกเลี่ยงวัตถุเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์และไม่ใช้พืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ที่ได้มาจากการตัดแปลงพันธุกรรม (genetic modification) หรือพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) มีการจัดการกับผลิตภัณฑ์โดยเน้นการแปรรูปด้วยความระมัดระวัง เพื่อรักษาสภาพการเป็นเกษตรอินทรีย์ และคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

อินทรีย์หรือออแกนิก หมายถึงผลผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ต้องมีการปฏิบัติตามข้อกำหนดการตรวจรับรองที่เชื่อถือได้ ผู้ประกอบการเกษตรอินทรีย์ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการตรวจรับรองที่ครอบคลุมตั้งแต่แหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์และปัจจัยการผลิต (ปุ๋ย อาหารสัตว์ ยาป้องกันและรักษาโรค ฯลฯ) วิธีการใช้ปัจจัยการผลิต วิธีการดูแลรักษา วิธีการป้องกันการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมซึ่งรวมถึงแหล่งผลิตแบบเคมีที่อยู่ข้างเคียง ตลอดไปถึงวิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิต คัดแยกทำความสะอาด เก็บรักษาผลผลิต การบรรจุขาย (ภาชนะบรรจุ ฉลากกำกับ) และการจัดการระหว่างการขนส่ง ซึ่งรายละเอียดจะแตกต่างกันไปตามขอบเขตและระบบมาตรฐานระดับสากล มีข้อกำหนดพื้นฐานที่ผู้ประกอบการทุกคนต้องปฏิบัติในทุกขั้นตอนการผลิตไปจนถึงมือผู้บริโภค โดยต้องไม่ใช้ปัจจัยการผลิตที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์หรือสมุนไพรต้องห้าม เน้นการป้องกันศัตรูพืชและรักษาโรคสัตว์โดยคำนึงถึงระบบนิเวศ (ไม่เพิ่มปัญหาภาวะโลกร้อนทำให้สภาพภูมิอากาศแปรปรวน เป็นต้น) มีการจดบันทึกข้อมูลเพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (traceability) อย่างน้อย 5 ปี นอกจากนี้ยังรวมถึงการดูแลสวัสดิภาพของ

ลูกจ้างในฟาร์มหรือโรงงานอย่างเป็นทางการและเป็นธรรมและดำเนินการอย่างสอดคล้องกับประเพณีวัฒนธรรมท้องถิ่นด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

2.3.1.1 หลักพื้นฐานของการทำเกษตรอินทรีย์

- 1) ห้ามใช้สารเคมีสังเคราะห์ทางการเกษตรทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง ยาป้องกันกำจัดศัตรูพืช และฮอร์โมน
- 2) เน้นการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ตลอดจนการปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อให้พืชแข็งแรงมีความต้านทานต่อโรค
- 3) รักษาความสมดุลของธาตุอาหารภายในฟาร์ม โดยใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นมาหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 4) ป้องกันมิให้มีการปนเปื้อนของสารเคมีจากนอกฟาร์ม ทั้งจากดิน น้ำและอากาศ โดยจัดสร้างแนวกันชน ด้วยการขุดคู หรือปลูกพืชยืนต้น และพืชล้มลุก
- 5) ใช้พันธุ์พืชหรือสัตว์ที่มีความต้านทาน และมีความหลากหลาย ห้ามใช้พันธุ์พืช สัตว์ ที่ได้จากการตัดต่อพันธุกรรม
- 6) การกำจัดวัชพืชใช้การเตรียมดินที่ดี และแรงงานคนหรือเครื่องมือกลแทนการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช
- 7) การป้องกันกำจัดวัชพืชให้สมบูรณ์ไฟรกำจัดศัตรูพืชแทนการใช้ยาเคมีกำจัดศัตรูพืช
- 8) ใช้ฮอร์โมนที่ได้จากธรรมชาติ เช่น จากน้ำสกัดชีวภาพแทนการใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์
- 9) รักษาความหลากหลายทางชีวภาพ โดยการรักษาไว้ซึ่งพันธุ์พืช หรือสัตว์สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดที่มีอยู่ในท้องถิ่น ตลอดจนปลูกหรือเพาะเลี้ยงขึ้นมาใหม่
- 10) การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปให้ใช้วิถีธรรมชาติ และประหยัดพลังงาน
- 11) ให้ความเคารพสิทธิมนุษยย์และสัตว์
- 12) ต้องเก็บบันทึกข้อมูลไว้อย่างน้อย 3 ปี เพื่อรอการตรวจสอบ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

2.3.2 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ที่เราทราบกันทั่วไป เช่น ปุ๋ยมูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก และ ปุ๋ยพืชสด ซึ่งมีส่วนช่วยในการปรับปรุงดินโดยทั่วไปคือการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ สมบัติทางกายภาพของดิน คือส่งเสริมให้อุณหภูมิของดินจับตัวเป็นก้อนทำให้ดินมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยเว็บไซต์นี้เป็นการรับประกันว่าไม่มีผิดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างที่ดีและร่วนซุย มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก มีการระบายน้ำดี ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และสมบัติทางเคมีของดินสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน เพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้สูง เพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินและช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางชนิด ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ดินและช่วยยับยั้งการเจริญและการเกิดโรคพืชของเชื้อโรคบางชนิดได้ (บัญชา รัตนิภู, 2552)

2.3.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมี

รายงานการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวพบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลไก่+มูลวัว+ฟางข้าว อัตราส่วน 1:1:0.5) ปริมาณ 2.0 ตันต่อเฮกตาร์ทำให้ผลผลิตข้าวและองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยเคมีในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา (Siavoshi et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีศึกษาผลผลิตและค่าวิเคราะห์ดินที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในข้าวหอมมะลิพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง (นุชจรี กองพลพรหม และคณะ, 2015) นอกจากนี้ยังพบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือ มีธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไป มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตราส่วนที่แตกต่างกันในข้าวหอมมะลิ ปริมาณ โปรตีนในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่เพิ่ม แต่ความหอมของข้าวจะลดลงเมื่ออัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกมากที่สุดโดยเฉลี่ย 892 กิโลกรัมต่อไร่ (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ, 2560) จากงานทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ให้ธาตุเป็นประโยชน์แก่พืชเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้พืชได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและยังทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้นอีกด้วย

สารทุติภูมิ หรือสารพฤกษเคมีในพืชสามารถเกิดขึ้นได้จากความเครียดภายนอกที่พืชได้รับ โดยถูกควบคุมโดยสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต มีสมมติฐานที่ว่าเมื่อพืชไม่ได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและปุ๋ยเคมี จะนำไปสู่ความกดดันและความเครียดที่เพิ่มสูงขึ้นจากสิ่งมีชีวิต ดังนั้นพืชจึงมีการกระตุ้นระบบป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระในผลผลิตพืชที่ปลูกภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์สูงขึ้น (Lima and Vianello, 2011)

การผลิตพืชในระบบอินทรีย์และเคมี มีรายงานว่าระบบการผลิตส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญในพืช Bagchi et al. (2016) เปรียบเทียบสารสำคัญในข้าวที่ปลูกภายใต้ระบบปลูกแบบอินทรีย์และเคมี พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ แกมมาออริซานอล ของข้าวที่ปลูกในระบบอินทรีย์มีค่าสูงกว่าข้าวที่ปลูกในระบบเคมี ก่อนหน้านี้นี้มีรายงานว่าพืชและลูกแพร์ที่ปลูกแบบอินทรีย์ได้เพิ่มความเข้มข้นของโพลีฟีนอลรวม (สูงกว่า 10-36 เปอร์เซ็นต์; $P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกแบบระบบเคมี (Carbonaro et al., 2002) การศึกษาอิทธิพลการทำเกษตรอินทรีย์และ

ระบบเคมีต่อความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกในข้าวสาลี พบว่าความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกมีความแตกต่างกันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันในข้าวสาลีทั้งสองระบบปลูก ซึ่งปริมาณกรดฟีนอลิกรวมในข้าวสาลีที่ปลูกในระบบอินทรีย์จะสูงกว่าข้าวสาลีที่ปลูกในระบบเคมี (Zuchowski et al., 2011)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสารพฤกษเคมีในข้าวสาลี แสดงให้เห็นว่าชนิดของปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยหมัก ข้าวสาลีจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยที่ได้จากเนื้อและกระดูกวัวป่น (Meat and Bone Meal: MBM) (Konopka et al., 2012) นอกจากนี้ Kesarwani et al. (2013) ได้ศึกษาเมทาบอลไลต์ทุติยภูมิของข้าวที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบปลูกแบบมาตรฐานที่ประเทศไต้หวัน พบว่าข้าวอินทรีย์มีศักยภาพในการผลิตเมทาบอลไลต์ทุติยภูมิสูงกว่าการปลูกแบบมาตรฐาน โดยข้าวอินทรีย์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 172.70 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม สูงกว่าข้าวที่ปลูกระบบมาตรฐาน 141.91 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม ซึ่งคล้ายกับงานของ Sirikul et al. (2009) ศึกษาข้าวอินทรีย์ที่ปลูกในประเทศไทย พบว่าสารประกอบฟีนอลิกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ปลูกแบบทั่วไป (1.88 และ 1.39 มิลลิกรัม GAE ต่อกรัม)

นอกจากนี้พบการศึกษาในผักกาดหอม กระหล่ำปลี และกวางตุ้ง ที่เพาะปลูกในระบบอินทรีย์เทียบกับระบบทั่วไปที่ใช้สารเคมี โดยศึกษาสารฟีนอล 9 ชนิด รวมถึงกรดฟีนอลิก (caffeic acid และ gallic acid) และ aglycone หรือ glycoside flavonoids (เช่น apigenin kaempferol luteolin และ quercetin) พบว่าสารฟีนอลิกรวมไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในผักกาดหอมและกระหล่ำปลี ขณะที่ปริมาณสารฟีนอลิกรวมในกวางตุ้งอินทรีย์นั้นพบว่า สูงกว่าที่เพาะปลูกแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ รายงานกล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของสารฟีนอลิกรวมนั้น อาจเกี่ยวข้องกับการเข้าทำลายของด้วงในแปลงกวางตุ้งที่เพาะปลูกระบบอินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าการผลิตแบบระบบอินทรีย์ไม่ได้ส่งผลให้ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีในผักกาดหอมและกระหล่ำปลี แต่ระบบอินทรีย์ที่มีการเข้าทำลายของแมลง ส่งผลให้มีสารฟีนอลิกรวมในระดับที่สูงขึ้นในกวางตุ้ง (Young et al., 2005) จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การตอบสนองของพืชในการสะสมฟีนอลจะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พืช แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่การทำเกษตรแบบอินทรีย์จะสามารถช่วยเพิ่มการสะสมสารสำคัญต่างๆ ในพืชได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 งานทดลอง โดยงานทดลองที่ 1 จะเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ และงานทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาเสถียรภาพของปริมาณกรดฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมือง

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์

3.1.1 การวางแผนการทดลอง การปลูก และดูแลรักษา

ทำการทดลองในฤดูนาปี ช่วงเดือนกรกฎาคม-เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2562 และทำซ้ำช่วงเดือนเดียวกันในปีพ.ศ. 2563 ที่ศูนย์การเรียนรู้เกษตรอินทรีย์บ้านไร่ภาสกรจังหวัดตราด โดยแปลงอินทรีย์และเคมีอยู่ห่างกันประมาณ 1 กิโลเมตร สำหรับแหล่งน้ำที่ใช้ในงานทดลองจะปล่อยจากสระสู่คลองใส่ไถ่เข้าแปลงอินทรีย์และเคมี โดยแปลงเคมีจะไม่มีกรปล่อยน้ำไหลกลับคืนสู่แหล่งน้ำเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารเคมี (รูปที่ 3.1)

วางแผนการทดลองแบบ t-test จำนวน 4 ซ้ำ ตรีตเมนต์คือ ระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมี กำหนดให้ขนาดแปลงย่อยเท่ากับ 3×5 เมตร ระยะปลูกเท่ากับ 25×25 เซนติเมตร พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกอยู่แล้วในพื้นที่

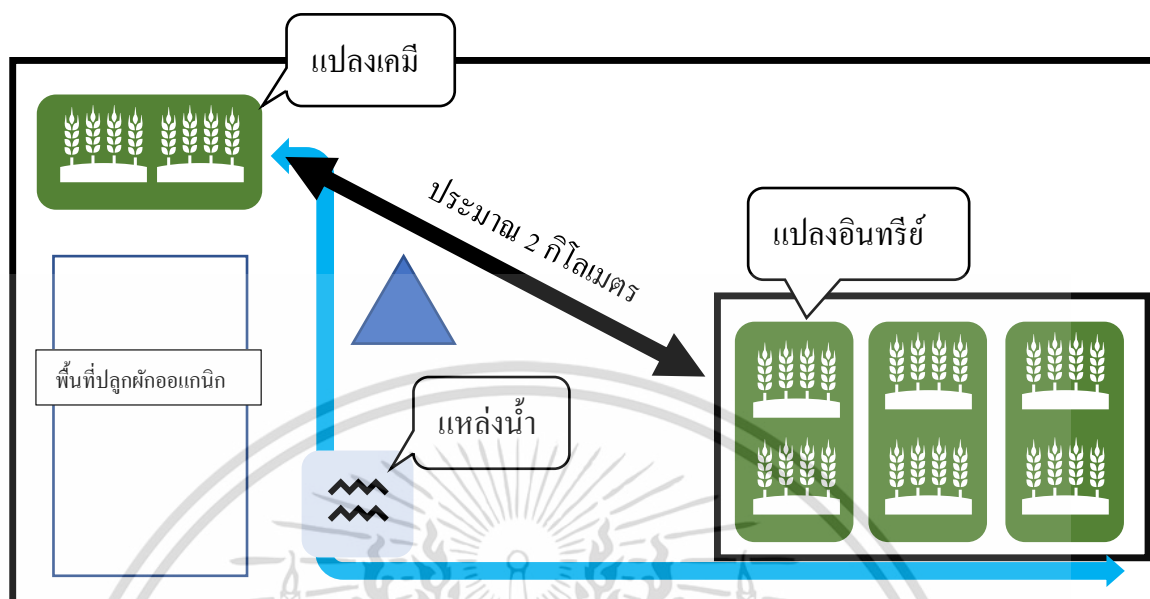
ก่อนปลูกทำการเตรียมดินทั้งสองแปลง โดยไถตะ 2 ครั้งและไถแปรอีก 1 ครั้ง เพื่อให้ดินมีความละเอียดมากขึ้น ทำการตากกล้าในกระถางเพาะกล้า โดยใช้ดินผสมกับดินปลูกในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นหว่านเมล็ดข้าวโดยโรยให้มีความสม่ำเสมอ หลังจากข้าวอายุ 21 วันทำการย้ายปลูกลงแปลงทดลอง เมื่อข้าวมีอายุ 30 วันหลังจากย้ายปลูก (Day after transplanting; DAT) ทำการใส่ปุ๋ย โดยแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี จะใส่สูตร 16-20-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่ระยะแตกกอเต็มที่โดยใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

สำหรับการจัดการปุ๋ยในระบบปลูกอินทรีย์ จะทำการให้ปุ๋ยมูลหมูผ่านทางระบบน้ำ ซึ่งจะได้รับตลอดในช่วงฤดูปลูก (จัดการโดยเกษตรกรผู้ดูแลแปลง) ปุ๋ยมูลหมูที่ใช้ในแปลงอินทรีย์ จะได้มาจากกากตะกอนมูลหมูมาจากฟาร์มข้างเคียงที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอแก๊ส หลังจากนั้นเกษตรกรจะสูบน้ำของเหลวมูลหมูมายังบ่อน้ำในแปลงเพื่อกระจายสู่แปลงนา ทำ

การสุ่มวิเคราะห์อาหารในบ่อน้ำปุ๋ยพบว่า ปุ๋ยน้ำมูลหมูมีคุณสมบัติทางเคมีดังนี้; pH = 6.99 ค่าการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใจขอประโชยณดานการคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า = 1.01 ไมโครเจนทั้งหมด = 0.02 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ทั้งหมด = 0.15 เปอร์เซ็นต์ และ K_2O ทั้งหมด = 0.0043 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.1 แผนที่ฟาร์มเกษตรอินทรีย์บ้านไร่ภาสกร

3.1.2 การบันทึกข้อมูล

3.1.2.1. ข้อมูลดินและสภาพอากาศของพื้นที่

ทำการสุ่มตัวอย่างดินของแปลงปลูกอินทรีย์และเคมีก่อนการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินให้ทั่วแปลง เดินสุ่มแบบสลับฟันปลาประมาณ 15 จุด การเก็บดินแต่ละจุดให้ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร นำดินที่เก็บได้รวบรวมใส่ถุง นำไปผึ่งในที่ร่มให้แห้งแล้วแบ่งเป็น 4 ส่วน โดยใช้เพียง 1 ส่วนให้ได้ประมาณ 0.5 กิโลกรัม นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วยค่า pH, EC, Organic matter, Available P, Extractable K, Extractable Ca, Extractable Mg, Extractable Fe, Extractable Mn, Extractable Cu และ Extractable Zn

เก็บข้อมูลสภาพอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) และความเข้มแสง (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) โดยใช้ข้อมูลจาก RUcore

3.1.2.2 ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต

- ความสูง โดยสุ่มวัดความสูงจำนวน 5 กอต่อแปลงย่อย ซึ่งจะวัดความสูงจากระดับผิวดินจนถึงปลายสุดของใบในช่วงก่อนข้าวออกดอก แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความสูง

- การแตกกอ โดยนับจำนวนหน่อต่อกอที่ระยะแตกกอสูงสุด (45-50 วันหลังปักดำ) จำนวน 5 กอต่อแปลงย่อยแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนหน่อต่อกอ

- จำนวนรวงต่อกอ สุ่มตัวอย่างจำนวน 5 กอต่อแปลงย่อย แล้วนับจำนวนรวงข้าวในแต่ละกอแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนเมล็ดต่อรวง สุ่มมา 5 รวง นับจำนวนเมล็ดทั้งหมดของข้าวแต่ละรวง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเมล็ดต่อรวง
- ความยาวรวง สุ่มตัวอย่างจำนวน 5 รวง วัดความยาวแต่ละรวง วัดที่ตำแหน่งคอรวงจนถึงปลายรวง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
- น้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยสุ่มนับเมล็ดข้าวจำนวน 1,000 เมล็ด แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง
- ผลผลิตต่อไร่ โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดทั้ง 15 ต้น แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักผลผลิตต่อไร่

3.1.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว โดยศูนย์บริการรับประกันคุณภาพอาหาร มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

ปริมาณ โปrotein: ชั่งตัวอย่างข้าว 2 กรัม ใส่หลอดสำหรับย่อยโปรตีน เติม copper sulphate. Crystals 2 เมล็ด และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95-98% ปริมาณ 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำหลอดสำหรับย่อยโปรตีนเข้าเครื่องย่อยโปรตีน ทำการย่อยโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 150-400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดเครื่องย่อย แล้วตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลด จนกระทั่งเย็น หลังจากนั้นนำหลอดย่อยเข้าเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ตามด้วย 40% NaOH 80 มิลลิลิตร และไตเตรตด้วยสารละลาย 0.1 N HCl ทำการบันทึกปริมาตร 0.1 N HCl ที่ใช้

ปริมาณน้ำตาล: ทำการชั่งตัวอย่างข้าวจำนวน 10 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อนประมาณ 50 มิลลิลิตรแล้วเขย่า จากนั้นนำไป Ultrasonic bath 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตกตะกอนโปรตีนด้วย 15% $K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3H_2O$ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม 30% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที กรองสารละลายด้วยกรองด้ายกรองเบอร์ 42 นำส่วนที่กรองได้กรองผ่าน Nylon syringe filter 0.45 ไมครอน ทดสอบน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC เทียบกับสารละลาย เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล

ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสี: ชั่งตัวอย่างข้าวน้ำหนักประมาณ 2 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง จากนั้นทำ Blank, Recovery และ QC Sample เติมกรดผสม (Nitric : Perchloric อัตราส่วน 2:1) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง นำไปย่อยด้วย digestion block จนกระทั่งได้สารละลายตัวอย่างที่ใส จากนั้นปรับปริมาตรใน Volumetric Flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) จนถึงขีดปรับปริมาตร จี๊ดตัวอย่างด้วยเครื่อง ICP-OES คำนวณในหน่วย mg/100g

ปริมาณกาบา: ชั่งตัวอย่างข้าว 2 กรัม และเติม 0.3% sulfosalicylic acid กวนบน magnetic stirrer เทสารละลายใส่หลอด ปั่นเหวี่ยงเอาสารละลายส่วนใส แล้วปิเปิดตัวอย่างเฉพาะ สารละลายส่วนใสแล้วเติม 0.01 M NaHCO₃ และ 3.98 mM Dabsyl-Cl แขนำไป water bath ที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปิเปิดสารละลายตัวอย่างแล้วเติม ethanol และ 0.025 K KH₂PO₄ กรอง สารละลายด้วย nylon syringe filter และนำไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC ประกอบด้วยเครื่องตรวจวัดชนิด DAD

ปริมาณแกมมาออริซานอล: ชั่งตัวอย่างข้าว 2 กรัม ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ แกมมาออริซานอล โดยการนำน้ำมันที่สกัดได้ด้วยปิโตรเลียมลิเทอร์มาทำระเหยตัวทำละลายออกจนแห้ง เจือจางส่วนที่เหลือด้วยเฮกเซน ให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน แสงที่ความยาวคลื่น 315 นาโนเมตร จากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณของแกมมาออริซานอลต่อ น้ำหนักแห้งของน้ำมันได้โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.1.2.4 การวิเคราะห์สารพฤษเคมีในข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปริมาณสารฟีนอลิกรวม: ทำการสกัดสารตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างข้าวกล้อง บดละเอียด 2 กรัม ในเมทานอล 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปกรองด้วย กระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารที่ได้เก็บในขวด viral เพื่อแล้วนำไปวิเคราะห์หรือเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์ตามวิธีของ Torres et al. (1987) โดยใช้ปฏิกิริยา Folin-ciocalteu's reaction นำน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ตามด้วยสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร สารละลายของ Folin-ciocalteu's reagent ปริมาตร 250 ไมโครลิตร จากนั้นเติม สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 20 (20% Na₂CO₃) ปริมาตร 750 ไมโครลิตร และเติม น้ำกลั่น 950 ไมโครลิตร เขย่าสารให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำไป วัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดย เปรียบเทียบค่าที่วัดกับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic

ปริมาณกรดเฟอรูลิก: วิเคราะห์ตามวิธีการของ Lilitchan et al. (2008) โดยการ ชั่งตัวอย่างข้าวที่บดละเอียด 1.0 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วย้ายลงอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์หาปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยสภาวะการทำงานของเครื่อง HPLC ที่ใช้คือ คอลัมน์ C18 stable bond, mobile phase คือ methanol 99.5 + acetic acid 0.5 (w/v) อัตราการไหล (flow rate) 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนนำที่ วัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ความยาวคลื่น 329 นาโนเมตร วัดตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร และ Retention time เท่ากับ 15 นาที

ปริมาณแอนโทไซยานิน: ซึ่งตัวอย่างแล้วละลายด้วยสารละลาย buffer pH 1.0 และ buffer pH 4.5 จากนั้นปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง จนได้สารละลายใส วัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ 700 เมตรแล้วบันทึกผล นำค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) ที่จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ: การทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ตามวิธีของ Heinonen et al. (1998) เตรียม stock DPPH solution ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสาร DPPH 0.1972 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล จากนั้นเตรียม DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปต 2.0 มิลลิลิตร ของ stock DPPH solution แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

ทำการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH Radical Scavenging Activity) จากสมการ

$$\text{DPPH Radical Scavenging Activity (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดตัวอย่าง

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของข้อมูล (combine analysis) (Gomez and Gomez, 1984) โดยใช้โปรแกรม Statitix 8 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้ T-test

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง

3.2.1 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองในฤดูนาปี ช่วงเดือนกรกฎาคม-เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ 2562 สถานที่ดำเนินการทดลอง 3 สภาพแวดล้อม ได้แก่ 1) แปลงทดลองคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 2) บ้านไร่ภาสกร อำเภอเมืองจังหวัดตราด และ 3) แปลงทดลองคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละสภาพแวดล้อมดังตารางที่ 3.1

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดระยะปลูกเท่ากับ 25×25 เซนติเมตร ขนาดแปลงย่อยเท่ากับ 1.0×1.5 เมตร พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพื้นเมืองจำนวน 8 พันธุ์ ซึ่งคัดเลือกมาจากการทดสอบผลผลิต และเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน 3 พันธุ์ ได้แก่ 1) ขาวดอกมะลิ 105 2) ไรซ์เบอร์รี่ และ 3) ทับทิมชุมแพ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของดิน 3 สถานที่

สภาพภูมิประเทศ	กรุงเทพมหานคร	ตราด	สกลนคร
ละติจูด (Latitude)	13.73	12.18	17.39
ลองจิจูด (Longitude)	100.78	102.55	103.70
ชนิดดิน	บางกอก (Bk)	มูโน๊ะ (Mu)	ปักธงชัย (Ptc)
เนื้อดิน	ดินเหนียว	ดินร่วนเหนียว	ดินร่วนปนทราย
pH	6.0-6.5	4.5-5.0	5.0-6.5
EC	สูง	สูง	ต่ำ
Organic matter	ต่ำ	สูง	สูง
Available P	ต่ำ	สูง	ต่ำ
Extractable K	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
การระบายน้ำ	เลว	เลว	ดี
การซึมผ่านของน้ำ	ช้า	ปานกลาง	ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รายชื่อพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองและสีเยื่อหุ้มเมล็ด

No.	ชื่อพันธุ์ข้าว	เยื่อหุ้มสี
G1	กำลังมณี	ดำ
G2	หอมนางนวง 1	ขาว
G3	ชีวกเกลี้ยง	ขาว
G4	ทับทิมชุมแพ	แดง
G5	มะลินิลโบราณ	ดำ
G6	กล้าเฟื่อง	ดำ
G7	เหลืองทอง	ขาว
G8	มะลินิลสุรินทร์	ดำ
G9	ไรซ์เบอร์รี่	ม่วงเข้ม
G10	สันป่าตอง	ขาว
G11	ขาวดอกมะลิ 105	ขาว

3.2.2 การปลูกและดูแลรักษา

ก่อนปลูกทำการไถตะ 2 ครั้ง และทำการไถแปรอีก 1 ครั้งเพื่อให้ดินมีความละเอียดมากขึ้น ทำการตกกล้าในกระถางเพาะกล้า โดยใช้ดินผสมกับดินปลูกในอัตรา 1:1 ส่วน จากนั้นหว่านเมล็ดข้าวพันธุ์ละ 10 กรัม โดยโรยให้มีความสม่ำเสมอ หลังจากข้าวอายุ 21 วัน ทำการย้ายปลูกลงแปลงทดลองโดยวันปลูกของจังหวัดกรุงเทพมหานครคือวันที่ 30 กรกฎาคม 2562 ส่วนจังหวัดตราด และจังหวัดสกลนคร ปลูกวันที่ 1 สิงหาคม 2562

ทำการกำจัดวัชพืชพร้อมกับใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อข้าวมีอายุ 30 วันหลังจากย้ายปลูก และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่ระยะแตกกอสูงสุด (อายุ 45-50 วัน) ด้วยปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในกรณีที่มีการระบาดของโรคและแมลง ให้ใช้วิธีการกำจัดอย่างเหมาะสมโดยเลี่ยงการใช้สารเคมีให้มากที่สุด

3.2.3 การบันทึกข้อมูล

3.2.3.1 ข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่

เก็บข้อมูลสภาพอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) โดยใช้ข้อมูลจาก RUcore

3.2.3.2 ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต

- ความสูง โดยสุ่มวัดความสูงจำนวน 5 กอต่อแปลงย่อย ซึ่งจะวัดความสูงจากระดับผิวดินจนถึงปลายสุดของใบในช่วงก่อนข้าวออกดอก แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแตกกอ โดยนับจำนวนหน่อต่อกอที่ระยะแตกกอสูงสุด (45-50 วันหลังปักดำ) จำนวน 5 กอต่อแปลงย่อยแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนหน่อต่อกอ
- จำนวนรวงต่อกอ สุ่มตัวอย่างจำนวน 5 กอต่อแปลงย่อย แล้วนับจำนวนรวงข้าวในแต่ละกอแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อกอ
- จำนวนเมล็ดต่อรวง สุ่มมา 5 รวง นับจำนวนเมล็ดทั้งหมดของข้าวแต่ละรวงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเมล็ดต่อรวง
- ความยาวรวง สุ่มตัวอย่างจำนวน 5 รวง วัดความยาวแต่ละรวง วัดที่ตำแหน่งคอรวงจนถึงปลายรวง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
- น้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยสุ่มนับเมล็ดข้าวจำนวน 1,000 เมล็ด แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง
- ผลผลิตต่อไร่ โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดทั้ง 15 ต้น แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อไร่

3.2.3.3 การวิเคราะห์กรดเพอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ตามหัวข้อ 3.1.2.4 ในการวิเคราะห์กรดเพอรูลิกและวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลในแต่ละสภาพแวดล้อมตามแผนการทดลองแบบ RCBD และวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างสถานที่ (Gomez and Gomez, 1984) โดยใช้โปรแกรม SAS และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

3.2.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ข้าว

ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ข้าวทั้ง 11 พันธุ์ ในลักษณะผลผลิต ปริมาณกรดเพอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในการศึกษาครั้งนี้จะวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ตามวิธีการของ Eberhart and Russell (1966) โดยใช้สัมประสิทธิ์ของรีเกรสชันของค่าเฉลี่ยของทุกพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อม (environmental index) ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient = b) และค่าเบี่ยงเบนสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (S_{du}^2) เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของพันธุ์ ซึ่งค่า b นี้จะใช้คาดการณ์ถึงการตอบสนองของข้าวแต่ละพันธุ์เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่า S_{du}^2 จะใช้แสดงค่าทำนายบนเส้นรีเกรสชันของแต่ละพันธุ์ ว่าจะมีความใกล้เคียงกับค่าสังเกตของผลผลิตที่วัดออกมาได้จริงมากน้อยแค่ไหน ในการศึกษาพันธุ์ที่เป็นที่ต้องการจากแต่ละกลุ่มสภาพแวดล้อมนั้น จะต้องมียieldเฉลี่ยสูง คือให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างไปจากพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและจะต้องมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิตดีด้วย คือมีค่า $b = 1$

หรือใกล้เคียง และมีค่า S_{du}^2 ไม่แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือมีค่าค่อนข้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพ ของพันธุ์ข้าว โดย GGE biplot

โดยพิจารณาค่า PC 1 ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ ถ้าค่า PC 1 > 0 แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ส่วนค่า PC 1 < 0 แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ เมื่อพิจารณาค่า PC 2 ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงเสถียรภาพของพันธุ์จากการทดสอบหลายสภาพแวดล้อม ถ้าค่า PC 2 เข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าพันธุ์นั้นมีเสถียรภาพ (Yan et al., 2000)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 งานทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์

4.1.1 คุณสมบัติของดินในแปลงปลูก

การทดสอบคุณสมบัติของดินก่อนปลูก พบว่าแปลงปลูกข้าวอินทรีย์ เป็นดินที่มีลักษณะเป็นกรดจัดมาก (pH 4.60) มีค่า EC เท่ากับ 0.457 เดซิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง (2.30 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณฟอสฟอรัสปานกลาง (15.4 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณโพแทสเซียมปานกลาง (80.0 ppm) (ตารางที่ 4.1) ส่วนแปลงปลูกข้าวเคมี เป็นดินที่มีลักษณะเป็นกรดจัดมาก (pH 4.72) เช่นเดียวกัน มีค่า EC เท่ากับ 0.470 เดซิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง (2.43 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง (27.3 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณโพแทสเซียมสูง (91.1 ppm) (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา

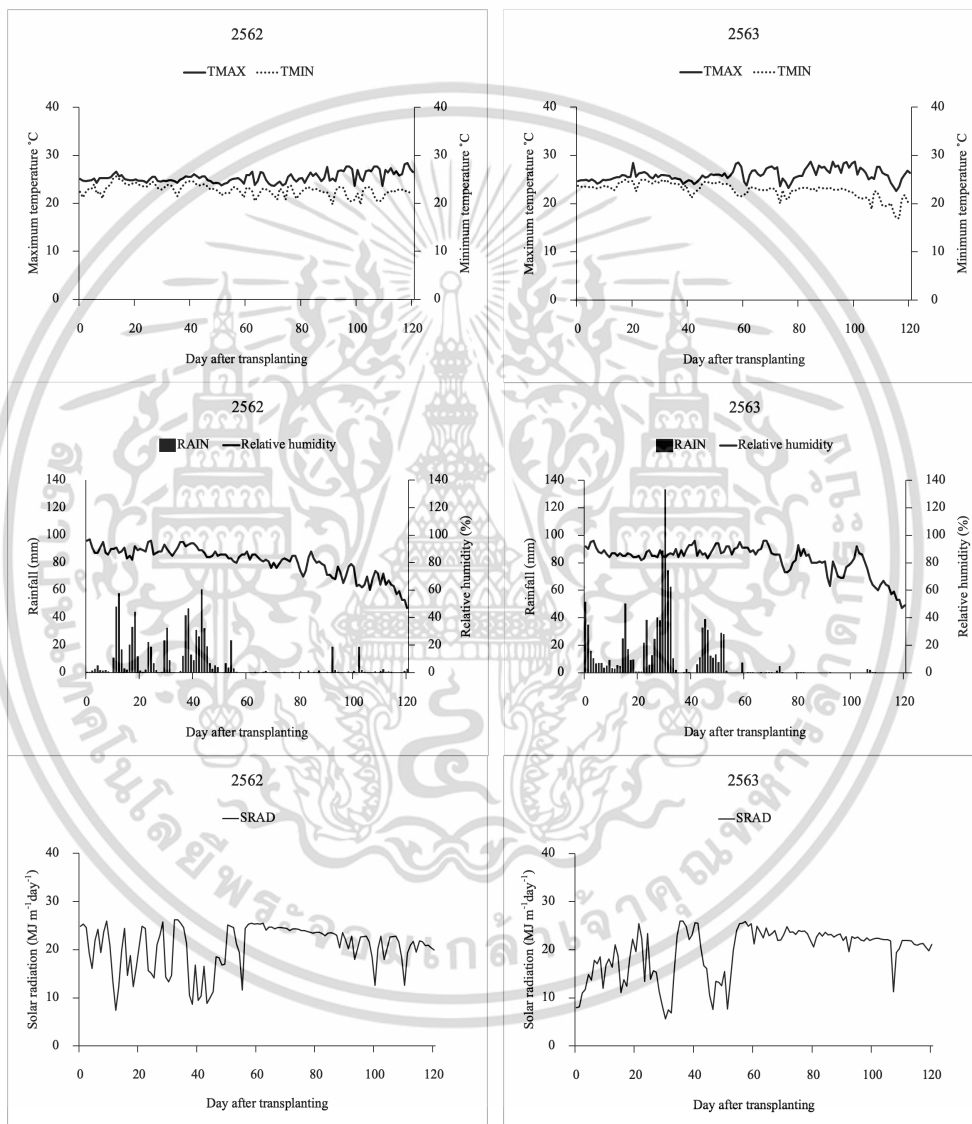
คุณสมบัติดิน	แปลงปลูกข้าวอินทรีย์	แปลงปลูกข้าวเคมี
pH (1:1)	4.60	4.72
EC (1:5) ^{2/} (dS/cm)	0.457	0.470
Organic matter (%) ^{3/}	2.30	2.43
Available P (%) ^{4/}	15.4	27.3
Extractable K (ppm) ^{5/}	80.0	91.1
Extractable Ca (ppm) ^{5/}	416	546
Extractable Mg (ppm) ^{5/}	257	236
Extractable Fe (ppm) ^{6/}	189	241
Extractable Mn (ppm) ^{6/}	4.52	3.27
Extractable Cu (ppm) ^{6/}	2.38	2.12
Extractable Zn (ppm) ^{6/}	1.91	1.73

^{1/}1:1, soil:H₂O, ^{2/}1:5, soil:H₂O, ^{3/}Walkley and Black method, ^{4/}BrayII, ^{5/}สกัดด้วย 1N NH₄OAc, pH 7.0, ^{6/}สกัดด้วย DTPA

4.1.2 สภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพอากาศในปี พ.ศ 2562 มีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 25.39 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิต่ำสุดที่ 22.76 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำฝน 770 มิลลิเมตร ตลอดฤดูปลูก และความเข้มแสง 20.55 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนในปี พ.ศ 2563 อุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 25.92 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 22.81 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82.49 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำฝน 1071.3 มิลลิเมตรตลอดฤดูปลูก และความเข้มแสง 19.62 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature ;T max, °C) และอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature ;T min, °C) ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูก (rainfall ;mm) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidit %) และความเข้มแสง (solar radiation ;SRAD, MJ m⁻¹ day⁻¹) ในปี พ.ศ 2562 และ พ.ศ 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมพบว่า ปีที่เพาะปลูกมีผลทำให้ลักษณะความสูงต้น จำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอ และผลผลิตต่อไร่แตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 4.2) แต่พบว่าความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างกันในแต่ละปี สำหรับระบบการจัดการส่งผลให้ลักษณะจำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อไร่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปีที่เพาะปลูกและระบบการจัดการในลักษณะจำนวนหน่อตอกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อไร่

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าปีที่เพาะปลูกมีผลทำให้ปริมาณ โปรตีน น้ำตาล สังกะสี แกรมมาออริซานอล กาบา แอนโทไซยานิน สารฟีนอลิกรวม กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ในลักษณะปริมาณธาตุเหล็ก ส่วนระบบการจัดการพบว่า มีผลต่อปริมาณน้ำตาล กาบา ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี แอนโทไซยานิน สารฟีนอลิกรวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทางสถิติ ยกเว้นปริมาณ โปรตีนและแกรมมาออริซานอล นอกจากนี้พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปีที่เพาะปลูกและระบบการจัดการในลักษณะปริมาณน้ำตาล สังกะสี สารฟีนอลิกรวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4.2 แสดงความแปรปรวนรวมของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีใน 2 ปี

Source	DF	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนหน่อ	จำนวนรวง	ความยาวรวง (เซนติเมตร)	เมล็ดต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)
ปีที่เพาะปลูก (Y)	1	270.60*	66.42**	80.10**	2.402 ^{ns}	23.040 ^{ns}	3.890 ^{ns}	983.29**
ปีที่เพาะปลูก*ซ้ำ	6	15.27	3.61	2.95	0.434	129.960	0.877	388.57
ระบบการจัดการ (AP)	1	15.21 ^{ns}	28.63**	21.62*	1.102 ^{ns}	224.345 ^{ns}	42.543*	3841.83**
Y*AP	1	56.25 ^{ns}	17.22*	6.50 ^{ns}	2.402 ^{ns}	640.090 ^{ns}	36.511**	2120.83**
Error	6	174.62	1.37	2.39	0.884	444.885	1.571	71.06
Total	15							
CV (%)		6.70	8.91	12.65	3.55	11.79	5.84	7.89

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.3 แสดงความแปรปรวนรวมของลักษณะองค์ประกอบทางเคมี ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีใน 2 ปี

Source	DF	โปรตีน (กรัมต่อ100 กรัมเมล็ด)	น้ำตาล (กรัมต่อ100 กรัมเมล็ด)	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อ100 กรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)
ปีที่เพาะปลูก (Y)	1	2.463**	1.880**	0.086*	0.543**
ปีที่เพาะปลูก*ซ้ำ	4	0.024	0.023	0.015	0.008
ระบบการจัดการ (AP)	1	0.171 ^{ns}	1.340*	12.106**	1.016**
Y*AP	1	0.281 ^{ns}	0.088**	0.026 ^{ns}	0.901**
Error	4	0.604	0.00013	0.007	0.004
Total	11				
CV (%)		2.58	1.51	2.84	2.59

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.4 แสดงความแปรปรวนรวมของสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมี
ใน 2 ปี

Source	DF	แกมมาออริซานอล (มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมเมล็ด)	กาบา (มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมเมล็ด)	แอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมเมล็ด)	สารฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมเมล็ด)	กรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมเมล็ด)	ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)
ปี	1	1798.24**	7.756**	31.958**	2843.73**	11.05**	820.632**
ปี*ซ้ำ	4	0.82	0.237	0.082	5.92	0.60	4.049
ระบบการจัดการ	1	59.44**	1.199**	365.170**	931.87**	0.08 ^{ns}	70.766*
ปี*ระบบการจัดการ	1	0.88 ^{ns}	0.008 ^{ns}	14.155**	928.98**	2.16 ^{ns}	7.058*
Error	4	2.15	0.015	0.228	4.77	0.54	2.732
Total	11						
CV (%)		4.33	5.78	2.92	3.95	3.46	4.12

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

4.1.4 ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์ความสูงต้นของข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า ในปี 2562 ระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีทำให้ข้าวมีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) ในขณะที่ในปี 2563 ความสูงของข้าวมีความแตกต่างกัน โดยข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบเคมี มีความสูงมากกว่าข้าวที่จัดการแบบอินทรีย์ (87.50 และ 81.80 เซนติเมตร ตามลำดับ) สำหรับจำนวนหน่อต่อกอพบว่า ในปี 2562 จำนวนหน่อต่อกอของข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมี (ตารางที่ 4.5) แต่ในปี 2563 พบว่าจำนวนหน่อต่อกอในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าสูงกว่าระบบการจัดการแบบเคมี โดยจำนวนหน่อต่อกอของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 13.50 หน่อต่อกอ ซึ่งมากกว่าระบบการจัดการแบบเคมีที่มีจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 8.75 หน่อต่อกอ ส่วนจำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างทั้งสองระบบการจัดการในทั้ง 2 ปี

การวิเคราะห์น้ำหนัก 1,000 เมล็ด พบว่าในปี 2562 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระบบการจัดการแบบเคมีมีค่ามากกว่าการจัดการแบบอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) โดยน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 17.83 กรัม ส่วนระบบการจัดการแบบเคมีมีน้ำหนักเท่ากับ 24.12 กรัม แต่ในปี 2563 พบว่าระหว่างระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (21.84 กรัม และ 22.08 กรัม ตามลำดับ)

สำหรับผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในปี 2562 (ตารางที่ 4.5) โดยพบว่าผลผลิตข้าวในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 662.7 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนระบบการจัดการแบบเคมีมีน้ำหนักผลผลิตเท่ากับ 640.4 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ในปี 2563 พบว่าน้ำหนักผลผลิตเมล็ดข้าวในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าสูงกว่าระบบการจัดการแบบเคมี ซึ่งระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีน้ำหนักผลผลิตเท่ากับ 632.1 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ระบบการจัดการแบบเคมีมีน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 400.5 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบลักษณะองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้การเพาะปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเคมี ในปี 2562 และปี 2563

ลักษณะ	ปี 2562			ปี 2563		
	ระบบอินทรีย์	ระบบเคมี	T-test	ระบบอินทรีย์	ระบบเคมี	T-test
ความสูงต้น (เซนติเมตร)	77.32	75.52	ns	81.88	87.50	**
จำนวนหน่อตอกอ	15.50	14.90	ns	13.50	8.75	*
จำนวนรวงตอกอ	15.00	13.95	ns	11.80	8.20	ns
ความยาวรวง (เซนติเมตร)	25.47	26.77	ns	27.02	26.77	ns
จำนวนเมล็ดต่อรวง	171.00	189.35	ns	181.25	174.30	ns
น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	17.83	24.12	*	21.85	22.08	ns
ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	662.7	640.4	ns	632.1	400.5	**

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีและสารพฤษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ โปรตีนในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกด้วยระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 2 ปี (ตารางที่ 4.6) โดยในปี 2562 ปริมาณโปรตีนในข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณ โปรตีนเท่ากับ 10.41 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบเคมีมีปริมาณ โปรตีน 10.28 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนในปี 2563 ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 9.72 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งระบบการจัดการแบบเคมีนั้นมีปริมาณ โปรตีนเท่ากับ 9.21 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด สำหรับปริมาณน้ำตาลพบว่าข้าวในระบบการจัดการแบบเคมีมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าข้าวอินทรีย์ (ตารางที่ 4.6) โดยในปี 2562 ปริมาณน้ำตาลในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 2.91 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งน้อยกว่าระบบการจัดการแบบเคมีที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 3.46 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด พบผลการศึกษาเช่นเดียวกันในปี 2563 ปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าน้อยกว่าระบบการปลูกแบบเคมี โดยมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 1.99 และ 2.80 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุเหล็กพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าระบบเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ปี (ตารางที่ 4.6) โดยในปี 2562 ปริมาณเหล็กในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 4.15 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการแบบเคมีที่มีปริมาณธาตุเหล็กเท่ากับ 2.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด นอกจากนี้ในปี 2563 ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 4.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด และระบบการจัดการแบบเคมีมีปริมาณเท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุเหล็กในระบบการจัดการแบบเคมีลดจากจากปี 2562 ในส่วนของธาตุสังกะสี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าสูงกว่าระบบเคมีในปี 2562 (ตารางที่ 4.6) โดยปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 2.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด และระบบการจัดการแบบเคมีเท่ากับ 2.73 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด แต่ในปี 2563 ระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณธาตุสังกะสีสูงกว่าระบบเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 2.90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการแบบเคมีที่มีปริมาณเท่ากับ 1.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด

จากการศึกษาสารพฤษเคมีพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบปลูกอินทรีย์และเคมีมีปริมาณสารแกมมาออริซานอลไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้ง 2 ปี (ตารางที่ 4.6) สำหรับปริมาณสารกาบาของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีในทั้งสองปี (ตารางที่ 4.6) โดยปี 2562 ปริมาณสารกาบาในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าสูง

กว่าระบบการจัดการแบบเคมี ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 1.67 และ 1.11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ตามลำดับ ส่วนในปี 2563 ปริมาณสารกาบาในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เท่ากับ 3.37 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนในระบบการจัดการแบบเคมีมีปริมาณเท่ากับ 2.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมล็ด จะเห็นได้ว่าปริมาณกาบาในปี 2563 มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในสองระบบการจัดการเมื่อเทียบกับปี 2562 สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่า สูงกว่าระบบเคมี (ตารางที่ 4.6) โดยในปี 2562 ระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 20.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนระบบการจัดการแบบเคมีมีค่าเท่ากับ 6.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ขณะที่ปี 2563 ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเล็กน้อยจากปี 2562 โดย ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณเท่ากับ 14.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมล็ด ส่วนระบบการจัดการแบบเคมีเท่ากับ 5.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด สำหรับปริมาณกรด เพอรูติกพบว่า ระบบการจัดการไม่มีผลต่อลักษณะนี้ทางสถิติ (ตารางที่ 4.6)

จากการศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกรวมพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการ แบบอินทรีย์มีสารฟีนอลิกรวมสูงกว่าระบบเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ปี (ตารางที่ 4.6) โดยในปี 2562 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มี ค่าเท่ากับ 41.30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนในระบบการจัดการแบบเคมีมีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 38.82 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ขณะที่ปี 2563 พบว่าปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2562 โดยในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 89.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนระบบการจัดการแบบเคมีมีค่าเท่ากับ 54.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด นอกจากนี้พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างกันทางสถิติ ระหว่างการจัดการสองแบบในปี 2562 แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในปี 2563 โดยในปี 2562 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำ กว่าจัดการแบบเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 28.02 เปอร์เซ็นต์ และ 35.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง ที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมี สารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเคมีในปี 2562 และ 2563

องค์ประกอบทางเคมี/สารพฤกษเคมี	ปี 2562			ปี 2563		
	ระบบอินทรีย์	ระบบเคมี	T-test	ระบบอินทรีย์	ระบบเคมี	T-test
โปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	10.41	10.28	ns	9.72	9.21	ns
น้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	2.91	3.46	**	1.99	2.80	**
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	4.15	2.25	**	4.06	1.95	**
สังกะสี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	2.77	2.73	ns	2.90	1.69	**
แกมมาออริซานอล (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	19.58	23.97	ns	43.31	47.93	ns
กาบา (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	1.67	1.11	**	3.37	2.77	*
กรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	20.83	20.16	ns	21.91	22.93	ns
แอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	20.10	6.89	**	14.66	5.71	**
สารฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)	41.30	38.82	ns	89.65	54.09	**
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	28.02	35.42	*	46.43	48.24	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

4.1.6 สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต และสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมี

จากการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตพบว่า จำนวนรวงต่อกอมีสหสัมพันธ์ทางลบกับความสูงต้น (ตารางที่ 4.7) โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.9584 ซึ่งให้เห็นว่าจำนวนหน่อต่อกอจะเพิ่มขึ้นหากต้นข้าวมีความสูงลดลง แต่พบว่าจำนวนรวงต่อกอมีสหสัมพันธ์ทางบวกต่อจำนวนหน่อต่อกอ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9834 ซึ่งให้เห็นว่าจำนวนหน่อต่อกอที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวมีจำนวนรวงเพิ่มขึ้น และยังพบสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อจำนวนหน่อต่อกอ โดยค่าสหสัมพันธ์ 0.9819 ซึ่งให้เห็นว่าข้าวจะมีผลผลิตสูงเมื่อมีจำนวนหน่อต่อกอสูง

สำหรับสหสัมพันธ์ของลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมี (ตารางที่ 4.8) พบว่า โปรตีนมีสหสัมพันธ์กับธาตุสังกะสีทางบวก (0.7188) แต่พบว่ามีสหสัมพันธ์ต่อแกมมาออริซานอล กาบา กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในทางลบ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับเท่ากับ -0.9112 , -0.6812 , -0.8685 และ -0.8859 ตามลำดับ นอกจากนี้พบสหสัมพันธ์ทางลบของปริมาณน้ำตาลกับแกมมาออริซานอล กาบา และสารฟีนอลรวม (ตารางที่ 4.8) โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.6120 , -0.8916 และ -0.9299 ตามลำดับ สำหรับแกมมาออริซานอลพบว่ามีสหสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณสารกาบา สารฟีนอลิก กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้พบว่า สารกาบามีสหสัมพันธ์ทางบวกกับสารฟีนอลิกรวมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.8651 และ 0.7137 ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีสหสัมพันธ์ทางบวก กับสารฟีนอลิกรวมและกรดเฟอรูลิก โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.6341 และ 0.7414 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในข้าวไรซ์เบอร์รี่

ลักษณะ	ความสูงต้น	จำนวนหน่อ	จำนวนรวง	ความยาวรวง	จำนวนเมล็ดต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด
จำนวนหน่อ	-0.9477ns					
จำนวนรวง	-0.9584*	0.9834*				
ความยาวรวง	0.4030ns	-0.4589ns	-0.5854ns			
จำนวนเมล็ดต่อรวง	-0.4285ns	0.2786ns	0.1859ns	0.6391ns		
น้ำหนัก 1,000 เมล็ด	0.0751ns	-0.2677ns	-0.3435ns	0.8711ns	0.8494ns	
ผลผลิต	-0.8867ns	-0.9819*	-0.9332ns	-0.3491ns	0.3084ns	-0.2375ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 สหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีในข้าวไรซ์เบอร์รี่

ลักษณะ	โปรตีน	น้ำตาล	เหล็ก	สังกะสี	แกมมาออริซานอล	กาบา	แอนโทไซยานิน	สารฟีนอลิกรวม	กรดเฟอรูลิก
น้ำตาล	0.4665ns								
เหล็ก	0.2929ns	-0.5754ns							
สังกะสี	0.7188**	-0.1405ns	0.6962*						
แกมมาออริซานอล	-0.9112**	-0.6120*	-0.2570ns	-0.5788*					
กาบา	-0.6812*	-0.8916**	0.2679ns	-0.1991ns	0.7976**				
แอนโทไซยานิน	0.3911ns	-0.3575ns	0.9515**	0.6178*	-0.4347ns	0.0758ns			
สารฟีนอลิกรวม	-0.8685**	-0.4435ns	-0.1344ns	-0.6014*	0.8147**	0.5753ns	-0.2131ns		
กรดเฟอรูลิก	-0.8685**	-0.4435ns	-0.1344ns	-0.6014*	0.8147**	0.5753ns	-0.2131ns	0.4016ns	
ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ	-0.8859**	-0.5429ns	-0.3449ns	-0.5450ns	0.9756**	0.7137**	-0.5362ns	0.6341*	0.7414**

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$), ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

4.2 งานทดลองที่ 2 การศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง

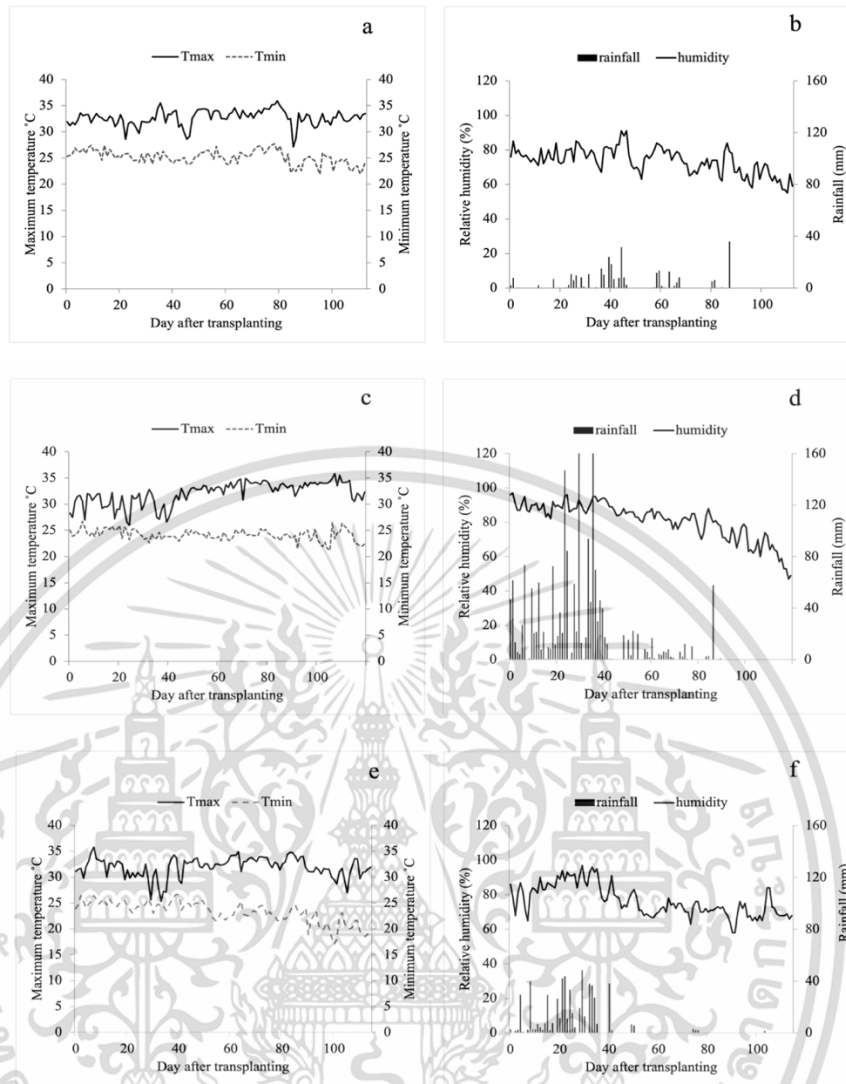
4.2.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

สภาพแวดล้อมของแต่ละสถานที่ปลูก มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สำหรับระดับความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า กรุงเทพมหานครมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55 ถึง 91 เปอร์เซ็นต์ จังหวัดตราดอยู่ในช่วง 47 ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ และจังหวัดสกลนครพบว่าอยู่ในช่วง 58 ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่จังหวัดตราด โดยมีค่าเท่ากับ 1,905.4 มิลลิเมตรตลอดฤดูปลูก ส่วนในกรุงเทพมหานคร มีปริมาณน้ำฝน 300.3 มิลลิเมตรตลอดฤดูปลูก และในจังหวัดสกลนครมีปริมาณน้ำฝน 581.3 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก (รูปที่ 4.2)

4.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของลักษณะทางการเกษตรและผลผลิตที่ได้จากการปลูกทดสอบในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ตราด และสกลนคร พบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อลักษณะความสูงต้น จำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและผลผลิต (ตารางที่ 4.9) ส่วนพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ปลูกและพันธุ์ข้าวในทุกลักษณะ ยกเว้นลักษณะความยาวรวง

สำหรับการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อลักษณะความสูงต้น จำนวนรวงตอกอ และความยาวรวงในสัดส่วนที่สูง (83.45, 63.68 และ 54.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับแหล่งความแปรปรวนอื่นๆ (ตารางที่ 4.9) ขณะที่พันธุ์ข้าวนี้มีผลต่อลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในโดยคิดเป็น 73.87, 53.19 และ 78.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature ;T max, °C) และอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature ;T min, °C) ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูก (rainfall ;mm) และความค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ;%) ของกรุงเทพมหานคร (location1; a and b), จังหวัดตราด (location 2; c and d) และจังหวัดสกลนคร (location 3; e and f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงความแปรปรวนรวม (combined analysis) ของความสูงต้น (เซนติเมตร) จำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวจำนวน 11 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ที่แตกต่างกัน

SOV	df	ความสูงต้น	จำนวนหน่อ ตอกอ	จำนวน รวงตอกอ	ความยาวรวง	จำนวนเมล็ด ต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด	ผลผลิต	กรดเฟอรูลิก	ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ
สถานที่ปลูก	2	11061.30 (83.45) **	69.12 (43.42) **	69.90 (63.68) **	93.10 (54.93) **	2888.26 (29.07) *	1.92 (4.78) ns	5907.6 (3.00) ns	149.72 (39.25) **	373.36 (8.84) **
สถานที่ x ไร่	6	901.70 (6.80)	7.69 (4.83)	14.80 (13.48)	4.87 (2.87)	353.05 (3.55)	0.19 (0.47)	70645.5 (35.87)	18.92 (4.96)	266.54 (6.31)
พันธุ์ข้าว	10	545.30 (4.11) **	38.82 (24.39) **	12.22 (11.13) **	60.71 (35.82) **	4251.89 (42.80) **	29.64 (73.87) *	62064.1 (31.52)	202.91 (53.19) **	3323.21 (78.71) **
สถานที่ปลูก x พันธุ์ข้าว	20	541.50 (4.09) **	32.66 (20.52) **	9.44 (8.59) **	5.86 (3.46) ns	1690.33 (17.02) **	6.00 (14.96) **	44739.1 (22.72)	7.03 (1.84) **	178.60 (4.23) **
Error	60	205.20 (1.54)	10.89 (6.84)	3.41 (3.11)	4.96 (2.92)	750.75 (7.56)	2.37 (5.91)	13551.1 (6.88)	2.85 (0.75)	80.17 (1.89)
C.V (%)		14.60	25.18	15.15	8.84	15.51	6.56	20.98	8.86	24.25

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ, * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$),

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$), จำนวนในวงเล็บคือเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวน

4.2.3 ลักษณะทางการเกษตร ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว 11 พันธุ์

ลักษณะความสูงต้น: จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นจังหวัดที่ข้าวมีค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุด เท่ากับ 119.13 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.10) รองลงมา คือ จังหวัดสกลนคร และจังหวัดตราด โดยมีค่าความสูงเท่ากับ 89.44 และ 85.72 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าข้าว 11 พันธุ์มีความสูงแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวมีความสูงอยู่ในช่วง 86.89 - 110.57 เซนติเมตร ข้าวที่มีความสูงต้นสูงที่สุดคือพันธุ์เหลืองทอง ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 110.57 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์หอมนางนวล 1 และพันธุ์ชีวเกี๋ยง ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 105.95 และ 105.51 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่มีความสูงต้นน้อยที่สุดได้แก่ พันธุ์กล้าเฟือง และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะความสูงต้นของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่ปลูก

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
ความสูงต้น (เซนติเมตร)				
กำลังมีผิว	119.48	94.75 ^{ab1/}	82.00 ^b	99.74 ^{AB2/}
หอมนางนวล 1	131.81	92.29 ^{abc}	93.75 ^b	105.95 ^A
ชีวเกี๋ยง	135.26	98.85 ^{ab}	82.41 ^b	105.51 ^A
ทับทิมชุมแพ	118.14	68.06 ^c	110.33 ^a	98.84 ^{AB}
มะลิณีล ไบราณ	130.85	89.17 ^{bc}	64.00 ^c	94.67 ^{AB}
กล้าเฟือง	88.12	82.25 ^{cd}	91.08 ^b	87.15 ^B
เหลืองทอง	140.86	96.09 ^{ab}	94.75 ^b	110.57 ^A
มะลิณีลสุรินทร์	117.57	75.14 ^{de}	93.83 ^b	95.51 ^{AB}
ไรซ์เบอร์รี่	94.12	76.48 ^{de}	90.08 ^b	86.89 ^B
สันป่าตอง 1	123.18	67.80 ^e	88.50 ^b	93.16 ^{AB}
ขาวดอกมะลิ 105	110.95	102.01 ^a	93.08 ^b	102.01 ^{AB}
เฉลี่ย	119.13 ^A	85.72 ^B	89.44 ^B	
F-test	ns	**	**	
CV (%)	18.51	7.39	9.92	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะจำนวนหน่อต่อกอ: จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าสถานที่ปลูกมีผลทำให้ลักษณะจำนวนรวงต่อกอแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.11) โดยจังหวัดตราดมีจำนวนหน่อต่อกอสูงที่สุด มีค่า 14.62 หน่อต่อกอ รองลงมาคือ จังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดสกลนคร นอกจากนี้พบว่า ข้าวที่มีจำนวนหน่อต่อกอมากที่สุดคือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 18.46 หน่อต่อกอ รองลงมาคือพันธุ์ลิ้มผิว พันธุ์กล้าเฟื่อง และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (14.06, 13.70 และ 13.52 หน่อต่อกอ) ส่วนข้าวที่มีจำนวนหน่อต่อกอน้อยที่สุดคือ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (12.01 หน่อต่อกอ) พันธุ์เหลืองทอง (11.28 หน่อต่อกอ) และพันธุ์มะลินิลสุรินทร์ (10.59 หน่อต่อกอ)

ตารางที่ 4.11 เปรียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนหน่อต่อกอของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่ปลูก

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
จำนวนหน่อต่อกอ				
กำลังผิว	13.42	14.19	14.58 ^{b1/}	14.06 ^{B2/}
หอมนางนวล1	9.05	14.06	13.16 ^b	12.09 ^B
ชีวกเลี้ยง	12.99	14.12	10.33 ^b	12.48 ^B
ทับทิมชุมแพ	13.62	14.44	12.50 ^b	13.52 ^B
มะลินิลโบราณ	11.52	14.19	12.83 ^b	12.85 ^B
กล้าเฟื่อง	12.28	16.74	12.08 ^b	13.70 ^B
เหลืองทอง	11.28	12.06	10.50 ^b	11.28 ^B
มะลินิลสุรินทร์	7.35	14.84	9.58 ^b	10.59 ^B
ไรซ์เบอร์รี่	12.57	14.62	8.83 ^b	12.01 ^B
สันป่าตอง1	15.67	13.12	10.50 ^b	13.10 ^B
ขาวดอกมะลิ 105	9.38	18.46	27.54 ^a	18.46 ^B
เฉลี่ย	11.74 ^B	14.62 ^A	12.95 ^B	
F-test	ns	ns	**	
CV (%)	24.05	14.32	34.5	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะจำนวนรวงต่อกอ: จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อจำนวนรวงต่อกอ (ตารางที่ 4.12) โดยจังหวัดตราดมีจำนวนรวงต่อกอสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 13.29 รวง รองลงมาคือจังหวัดสกลนครและจังหวัดกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้พบว่า พันธุ์ข้าวมีผลต่อลักษณะจำนวนรวงต่อกอ โดยข้าวที่มีจำนวนรวงต่อกอสูงที่สุดคือ พันธุ์ก่ำลิ้มผัว โดยมีจำนวนรวงเท่ากับ 14 รวงต่อกอ รองลงมา คือ พันธุ์ทับทิมชุมแพ และไรซ์เบอร์รี่ ที่มีจำนวนรวงต่อกอเท่ากับ 12.96 และ 12.79 รวงต่อกอ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนรวงต่อกอของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
จำนวนรวงต่อกอ				
ก่ำลิ้มผัว	12.57	13.69	17.58 ^{a1/}	14.61 ^{A2/}
หอมนางนวล	8.95	13.5	11.66 ^{ab}	11.37 ^{BC}
ชีวเกี๋ย	10.85	12.31	13.00 ^{bcd}	12.05 ^{BC}
ทับทิมชุมแพ	13.00	13.39	12.50 ^{bcde}	12.96 ^{AB}
มะลินิลโบราณ	10.38	14.19	12.83 ^{bcde}	12.47 ^{BC}
กล้าเฟื่อง	11.47	15.65	10.33 ^{cde}	12.48 ^{ABC}
เหลืองทอง	10.38	11.25	9.41 ^c	10.35 ^C
มะลินิลสุรินทร์	7.21	14.46	9.58 ^{de}	10.42 ^C
ไรซ์เบอร์รี่	11.99	14.23	12.16 ^{bcde}	12.79 ^{AB}
สันป่าตอง	9.76	12.46	13.50 ^{bc}	11.91 ^{BC}
ขาวดอกมะลิ 105	9.47	12.11	14.75 ^{ab}	12.11 ^{BC}
เฉลี่ย	10.55 ^B	13.29 ^A	12.75 ^A	
F-test	ns	ns	**	
CV (%)	18.54	13.59	14.18	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะความยาวรวง: จากการวิเคราะห์พบว่าสถานที่ปลูกมีผลต่อความยาวรวง โดยจังหวัดกรุงเทพมหานครส่งผลให้ข้าวมีความยาวรวงมากที่สุด (ตารางที่ 4.13) เท่ากับ 27.06 เซนติเมตร รองลงมาคือ จังหวัดตราด (24.78 เซนติเมตร) และจังหวัดสกลนคร (23.79 เซนติเมตร) นอกจากนี้พบว่า พันธุ์ข้าวมีผลต่อความยาวรวง โดยพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เป็นพันธุ์ที่มีความยาวรวงมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 27.85 เซนติเมตร รองลงมาคือ พันธุ์ก่ำลิ้มผิว (26.99 เซนติเมตร) พันธุ์ชีวกเลี้ยง (26.59 เซนติเมตร) และพันธุ์ที่มีความยาวรวงสั้นที่สุดคือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 18.10 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบลักษณะความยาวรวง (เซนติเมตร) ของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
ความยาวรวง (เซนติเมตร)				
ก่ำลิ้มผิว	27.75	25.65 ^{abc1/}	27.58 ^a	26.99 ^{AB2/}
หอมนางนวล	25.50	23.10 ^{bc}	24.25 ^{bc}	24.28 ^C
ชีวกเลี้ยง	28.56	26.35 ^{abc}	24.86 ^{abc}	26.59 ^{ABC}
ทับทิมชุมแพ	29.80	27.53 ^a	26.23 ^{ab}	26.51 ^{ABC}
มะลินิลโบราณ	27.90	26.06 ^{abc}	25.58 ^{ab}	25.48 ^{ABC}
กล้าเฟื่อง	29.25	22.86 ^c	24.33 ^{bc}	24.83 ^{BC}
เหลืองทอง	26.76	25.50 ^{abc}	22.23 ^c	25.60 ^{ABC}
มะลินิลสุรินทร์	28.00	24.36 ^{abc}	24.43 ^{bc}	24.96 ^{BC}
ไรซ์เบอร์รี่	28.36	27.76 ^{ab}	23.33 ^{bc}	27.85 ^A
ต้นป่าตอง	24.40	26.36 ^{abc}	24.11 ^{bc}	26.48 ^{ABC}
ขาวดอกมะลิ 105	21.44	18.10 ^d	14.75 ^d	18.10 ^B
เฉลี่ย	27.06 ^A	24.78 ^B	23.79 ^B	
F-test	ns	**	**	
CV (%)	10.95	8	6.43	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะจำนวนเมล็ดต่อรวง: จากการวิเคราะห์ผลพบว่าสถานที่ปลูกมีผลต่อจำนวนเมล็ดต่อรวง โดยจังหวัดกรุงเทพมหานครมีจำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 187.38 เมล็ดต่อรวง (ตารางที่ 4.14) รองลงมาคือจังหวัดสกลนคร และจังหวัดตราด โดยมีค่าเท่ากับ 171.96 และ 170.49 เมล็ดต่อรวง สำหรับพันธุ์ข้าวผลพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติในข้าว 11 พันธุ์ โดยข้าวที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงที่สุดได้แก่ พันธุ์ชีวเกลี้ยง ซึ่งมีจำนวนเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 224.57 เมล็ดต่อรวง รองลงมาคือพันธุ์เหลืองทองและพันธุ์ทับทิมชุมแพ ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 202.62 และ 192.32 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์สันป่าตอง 1 พบมีจำนวนเมล็ดต่อรวงน้อยที่สุด (133.61 เมล็ดต่อรวง)

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
จำนวนเมล็ดต่อรวง				
กำลังม้วน	173.20 ^{bcl/}	159.90 ^{bcd}	190.25 ^{ab}	174.45 ^{BC2/}
หอมนางนวล	173.33 ^{abc}	155.53 ^{bcd}	153.33 ^{de}	160.73 ^{BCD}
ชีวเกลี้ยง	244.40 ^a	233.00 ^a	204.74 ^{ab}	224.57 ^A
ทับทิมชุมแพ	207.07 ^{ab}	179.73 ^{bc}	177.58 ^{bcd}	192.32 ^B
มะลิณีลโบราณ	202.87 ^{ab}	174.67 ^{bcd}	146.50 ^e	174.68 ^{BC}
กล้าเฟื่อง	185.07 ^{abc}	127.47 ^d	159.92 ^{cde}	172.49 ^{CD}
เหลืองทอง	189.67 ^{abc}	162.60 ^{bcd}	215.58 ^a	202.62 ^B
มะลิณีลสุรินทร์	159.50 ^{bc}	141.33 ^{cd}	187.00 ^{abc}	173.25 ^{BCD}
ไรซ์เบอร์รี่	226.40 ^{ab}	197.87 ^{ab}	135.17 ^e	180.78 ^B
สันป่าตอง 1	126.40 ^c	168.80 ^{bcd}	140.83 ^e	133.61 ^D
ขาวดอกมะลิ 105	168.27 ^{bc}	174.47 ^{bcd}	180.67 ^{bcd}	174.47 ^{BC}
เฉลี่ย	187.38 ^A	170.49 ^B	171.96 ^B	
F-test	*	**	**	
CV (%)	19.51	14.27	9.33	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด: จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าสถานที่ปลูกไม่มีผลต่อลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ขณะที่พันธุ์ข้าวทั้ง 11 พันธุ์มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.15) โดยข้าวที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุดได้แก่ พันธุ์กล้าเฟื่องซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 27.68 กรัม รองลงมาคือพันธุ์สันป่าตอง 1 ซึ่งมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 24.86 กรัม และพันธุ์หอมนางนวล 1 ซึ่งมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 23.73 กรัม โดยพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์ชีวเกลี้ยง และพันธุ์มะลิณีลโบราณ

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)				
กำลังผิว	23.30	23.38 ^{cd1/}	23.66 ^{de}	23.45 ^{BCD2/}
หอมนางนวล 1	24.37	23.51 ^c	23.30 ^{bc}	23.73 ^{BC}
ชีวเกลี้ยง	22.37	21.90 ^{de}	20.76 ^g	21.68 ^E
ทับทิมชุมแพ	21.75	22.44 ^{cd}	22.76 ^{de}	22.32 ^{DE}
มะลิณีลโบราณ	23.17	21.27 ^e	19.90 ^g	21.45 ^E
กล้าเฟื่อง	25.54	27.97 ^a	29.53 ^a	27.68 ^A
เหลืองทอง	26.26	23.36 ^{cd}	24.00 ^{cd}	24.54 ^{BC}
มะลิณีลสุรินทร์	24.84	21.11 ^e	21.13 ^{fg}	22.36 ^{DE}
ไรซ์เบอร์รี่	23.21	20.87 ^e	22.43 ^{ef}	22.17 ^{DE}
สันป่าตอง 1	22.69	26.33 ^b	25.56 ^b	24.86 ^B
ขาวดอกมะลิ 105	23.99	23.28 ^{cd}	22.56 ^{de}	23.28 ^{CD}
เฉลี่ย	23.77	23.31	23.42	
F-test	ns	**	**	
CV (%)	10.05	3.59	3.36	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

ลักษณะผลผลิต: จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าสถานที่ปลูกไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว แต่พบว่าพันธุ์ข้าว 11 พันธุ์มีผลต่อผลผลิต โดยพันธุ์ที่มีน้ำหนักรวมผลผลิตสูงที่สุดได้แก่ พันธุ์กล้าเฟื่อง ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 697.37 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 4.16) รองลงมาคือพันธุ์ชีวเกลี้ยง (633.84 กิโลกรัมต่อไร่) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (583.70 กิโลกรัมต่อไร่) และพันธุ์มะลิณีลโบราณ (557.95 กิโลกรัมต่อไร่) โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเมล็ดต่อไร่ค่อนข้างน้อย ได้แก่พันธุ์สันป่าตอง 1 (459.12 กิโลกรัมต่อไร่) และพันธุ์ที่มีน้ำหนักรวมผลผลิตเมล็ดน้อยที่สุดคือพันธุ์มะลิณีลสุรินทร์ (427.09 กิโลกรัมต่อไร่)

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)				
กำลังผิว	600.16 ^{a-d1/}	468.41 ^{cd}	884.89 ^a	651.15 ^{AB2/}
หอมนางนวล	584.00 ^{a-d}	472.70 ^{cd}	625.57 ^b	560.75 ^{BC}
ชีวเกลี้ยง	620.23 ^{abc}	668.88 ^{abc}	612.41 ^b	633.84 ^{AB}
ทับทิมชุมแพ	515.29 ^{bcd}	669.70 ^{abc}	566.10 ^{bc}	583.70 ^{ABC}
มะลิณีลโบราณ	687.89 ^{ab}	564.98 ^{a-d}	420.98 ^c	557.95 ^{BC}
กล้าเฟื่อง	816.27 ^a	727.53 ^a	548.30 ^{bc}	697.37 ^A
เหลืองทอง	493.89 ^{bcd}	455.78 ^d	549.42 ^c	499.70 ^{CD}
มะลิณีลสุรินทร์	422.83 ^{bcd}	435.85 ^d	422.58 ^c	427.09 ^D
ไรซ์เบอร์รี่	399.93 ^{cd}	677.88 ^{ab}	412.42 ^c	496.74 ^{CD}
สันป่าตอง 1	325.30 ^d	510.09 ^{bcd}	541.96 ^{bc}	459.12 ^{CD}
ขาวดอกมะลิ 105	500.05 ^{bcd}	434.38 ^d	673.90 ^b	536.11 ^{BCD}
เฉลี่ย	542.35	553.29	568.96	
F-test	*	*	**	
CV (%)	26.11	19.38	16.75	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

4.2.4 ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพันธุ์ข้าว 11 พันธุ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดเฟอรูลิก พบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก โดยจังหวัดกรุงเทพมหานครมีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงที่สุด มีค่า 21.54 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด (ตารางที่ 4.17) รองลงมา คือ จังหวัดตราด และจังหวัดสกลนคร มีค่า 18.08 และ 17.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด นอกจากนี้พบว่า พันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงที่สุดคือพันธุ์กำลัมผัว (28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) รองลงมาคือพันธุ์มะลินิลสุรินทร์และพันธุ์มะลินิลโบราณ (23.85 และ 21.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ตามลำดับ) พันธุ์ที่มีปริมาณกรดเฟอรูลิกน้อยที่สุดคือพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณกรดเฟอรูลิกเท่ากับ 13.84 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดเฟอรูลิกของข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด)				
กำลัมผัว	31.48 ^{a1/}	26.14 ^a	27.98 ^a	28.53 ^{A2/}
หอมนางนวล	16.25 ^{cd}	15.78 ^c	14.13 ^{fgh}	15.38 ^{DE}
ชีวเกลี้ยง	14.81 ^d	13.92 ^c	12.83 ^h	13.85 ^E
ทับทิมชุมแพ	17.53 ^{cd}	16.11 ^c	16.48 ^{def}	16.70 ^D
มะลินิลโบราณ	25.28 ^b	20.10 ^b	20.50 ^c	21.95 ^C
กล้าเฟื่อง	25.76 ^b	20.98 ^b	19.08 ^{cd}	21.94 ^C
เหลื่องทอง	18.13 ^{cd}	15.35 ^c	15.58 ^{ef}	15.58 ^D
มะลินิลสุรินทร์	26.28 ^b	21.49 ^b	23.79 ^b	23.85 ^B
ไรซ์เบอร์รี่	27.07 ^b	19.38 ^b	17.74 ^{cde}	21.46 ^C
สันป่าตอง 1	19.09 ^c	15.62 ^c	15.88 ^{fgh}	16.86 ^D
ขาวดอกมะลิ 105	15.02 ^d	14.07 ^c	12.44 ^h	13.84 ^E
เฉลี่ย	21.54 ^A	18.08 ^B	17.64 ^B	
F-test	**	**	**	
CV (%)	8.3	9.5	8.74	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทางสถิติ โดยจังหวัดสกลนครเป็นจังหวัดที่ข้าวมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (39.25 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 4.18) ในส่วนของพันธุ์ข้าวพบว่าข้าวที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน โดยพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 78.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพันธุ์กำลังผิว และพันธุ์มะลินิกสุรินทร์ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 55.91 และ 53.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดได้แก่ พันธุ์ชีวเกลี้ยง พันธุ์เหลืองทอง และพันธุ์หอมนางนวล 1 ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 20.41, 20.23 และ 18.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระข้าว 11 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ข้าว	สถานที่			เฉลี่ย
	กรุงเทพฯ	ตราด	สกลนคร	
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ(เปอร์เซ็นต์)				
กำลังผิว	56.14 ^{b1/}	50.94 ^b	60.64 ^{bc}	55.91 ^{B2/}
หอมนางนวล	20.09 ^c	19.54 ^d	17.05 ^e	18.89 ^E
ชีวเกลี้ยง	22.36 ^c	22.07 ^d	16.79 ^e	20.41 ^E
ทับทิมชุมแพ	79.32 ^a	69.44 ^a	85.40 ^a	78.05 ^A
มะลินิก โบราณ	39.64 ^{cd}	27.63 ^{cd}	53.49 ^c	40.25 ^{CD}
กล้าเฟื่อง	31.29 ^{cde}	33.98 ^{bcd}	30.84 ^{de}	32.04 ^D
เหลืองทอง	22.56 ^c	20.52 ^d	17.63 ^e	20.23 ^E
มะลินิกสุรินทร์	44.89 ^{bc}	42.65 ^{bc}	71.68 ^{ab}	53.07 ^B
ไรซ์เบอร์รี่	57.15 ^b	34.30 ^{bcd}	35.72 ^d	42.39 ^C
สันป่าตอง	19.16 ^{de}	22.07 ^d	26.47 ^{de}	22.56 ^E
ขาวดอกมะลิ 105	30.23 ^c	20.54 ^d	16.05 ^e	22.27 ^E
เฉลี่ย	38.44 ^A	33.06 ^B	39.25 ^A	
F-test	**	**	**	
CV (%)	20.48	29.47	22.34	

^{1/}ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT, ^{2/}อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานที่ปลูก และระหว่างพันธุ์ที่ $P \leq 0.05$ โดย DMRT

4.2.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของผลผลิต ปริมาณกรดเพอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

4.2.6.1 ดัชนีสภาพแวดล้อม (Environmental index)

ดัชนีสภาพแวดล้อมเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นโดยตรงถึงสภาพแวดล้อมว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่อุดมสมบูรณ์ต่ำ (poor) หรือเป็นสภาพแวดล้อมที่อุดมสมบูรณ์สูง (rich) จะแสดงในรูปของค่าลบหรือค่าบวกตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ดัชนีสภาพแวดล้อมของผลผลิต พบว่า จังหวัดกรุงเทพมหานครมีค่าดัชนีสภาพแวดล้อมเท่ากับ 6.24 (ตารางที่ 4.19) จังหวัดตราดมีค่าเท่ากับ 17.18 และจังหวัดสกลนครมีค่าเท่ากับ 32.84 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสกลนครจัดเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่สุด ขณะที่ กรุงเทพมหานครและจังหวัดตราดจัดว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในการให้ผลผลิตของข้าวพื้นเมือง

นอกจากนี้การวิเคราะห์ดัชนีสภาพแวดล้อมของปริมาณกรดเพอรูลิกพบว่า จังหวัดกรุงเทพมหานครมีค่าดัชนีสภาพแวดล้อมเท่ากับ 7.69 (ตารางที่ 4.19) จังหวัดตราดมีค่าเท่ากับ 4.24 และจังหวัดสกลนครมีค่าเท่ากับ 3.80 จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงคือจังหวัดกรุงเทพมหานคร ขณะที่จังหวัดตราดและจังหวัดสกลนครจัดว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในการสร้างกรดเพอรูลิก

ส่วนค่าดัชนีสภาพแวดล้อมของลักษณะความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า จังหวัดกรุงเทพมหานครมีค่าดัชนีสภาพแวดล้อมเท่ากับ 1.52 จังหวัดตราดมีค่าเท่ากับ -3.86 และจังหวัดสกลนครมีค่าเท่ากับ 2.33 ดังนั้นสภาพแวดล้อมที่มีอุดมสมบูรณ์สูง และมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง คือ จังหวัดสกลนคร รองลงมาคือจังหวัดกรุงเทพมหานคร ขณะที่จังหวัดตราดจัดว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ตารางที่ 4.19 ค่าดัชนีสภาพแวดล้อมของลักษณะผลผลิตเมล็ด กรดเพอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ 3 สถานที่ปลูก

ดัชนีสภาพแวดล้อม	ผลผลิตเมล็ด	กรดเพอรูลิก	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ
กรุงเทพมหานคร	6.24	7.69	1.52
ตราด	17.18	4.24	-3.86
สกลนคร	32.84	3.80	2.33

4.2.6.2 ค่าพารามิเตอร์ของความเสถียรภาพ (stability parameters)

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (b) ของผลผลิตพบว่า ข้าวพันธุ์กำลิมฝัว หอม นางนวล 1 ทับทิมชุมแพ เหลืองทอง สันป่าตอง 1 และขาวดอกมะลิ 105 มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน ไม่แตกต่างจาก 1 ($P > 0.05$) ขณะที่พันธุ์ชีวเกี๋ยง มะลินิลโบราณ กล้าเฟื่อง มะลินิลสุรินทร์ และ ไรซ์เบอร์รี่ มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันแตกต่างจาก 1 (ตารางที่ 4.20) ส่วนค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชัน (S_{di}^2) ของทุกพันธุ์มีค่าไม่ต่างจาก 0 ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของความเสถียรภาพ (ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชัน) พบว่าสายพันธุ์ที่จัดเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพตามกฎของ Eberhart and Russell ในลักษณะผลผลิตคือ พันธุ์ทับทิมชุมแพ เนื่องจากพันธุ์นี้มีผลผลิตมากกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตรวม (583.70 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 ($b = 1.32$) ส่วนค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2 = 5514.34$) จึงจัดเป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของผลผลิตมากที่สุด

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของกรดเฟอรูลิกในข้าว 11 พันธุ์ พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 (ตารางที่ 4.20) และทุกพันธุ์มีค่าเบี่ยงเบนสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (S_{di}^2) ไม่ต่างจาก 0 เมื่อพิจารณาความเสถียรภาพ (ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชัน) พบว่าสายพันธุ์ที่จัดว่ามีเสถียรภาพตามกฎของ Eberhart and Russell ในลักษณะของกรดเฟอรูลิก คือ พันธุ์กำลิมฝัว ซึ่งมีปริมาณกรดเฟอรูลิกเท่ากับ 28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันแสดงค่าไม่แตกต่างจาก 1 ($b = 1.14$) และค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2 = 1.64$) จึงจัดเป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพในลักษณะของกรดเฟอรูลิก

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวทุกพันธุ์มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 (ตารางที่ 4.20) ยกเว้นพันธุ์กล้าเฟื่อง และค่าเบี่ยงเบนสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (S_{di}^2) ของทุกพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างจาก 0 ยกเว้นพันธุ์มะลินิลสุรินทร์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เมื่อพิจารณาความเสถียรภาพของสายพันธุ์ (ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชัน) พบว่า พันธุ์ที่จัดว่ามีเสถียรภาพตามกฎของ Eberhart and Russell ในลักษณะของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ พันธุ์กำลิมฝัว ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยมีค่าเท่ากับ 55.91 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 1 ($b = 1.35$) และมีค่าเบี่ยงเบนรีเกรสชันไม่แตกต่างจาก 0 ($S_{di}^2 = 26.50$) จึงจัดเป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพในลักษณะของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) กรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (b) และค่าเบี่ยงเบนสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (S_{di}^2) ของข้าวพื้นเมือง 11 พันธุ์ที่เพาะปลูกใน 3 สถานที่ปลูก

สายพันธุ์	ผลผลิต	b	S_{di}^2	กรดเฟอรูลิก	b	S_{di}^2	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	b	S_{di}^2
กำลัมพัว	651.15	11.78	34598.89	28.53	1.14	1.64	55.91	1.35	26.50
หอมนางนวล	560.75	2.12	4628.76	15.38	0.38	0.02	18.89	-0.22	28.20
ชีวกกล้วย	633.84	-0.51	4472.32	13.85	0.41	0.72	20.41	-0.52	18.98
ทับทิมชุมแพ	583.70	1.32	5514.34	16.70	0.32	1.00	78.05	2.31	23.40
มะลิชนิดโบราณ	557.95	-9.97*	6132.96	21.95	1.33	0.64	40.25	3.47	29.24
กล้าเฟื่อง	697.37	-10.16*	5943.72	21.94	1.58	0.40	32.04	-0.50**	32.36
เหลืองทอง	499.70	2.35	3797.27	15.58	1.08	0.16	20.23	-0.16	20.71
มะลิชนิดสุรินทร์	427.09	-0.06	6133.62	23.85	0.92	2.57	53.07	3.14	265.63**
ไรซ์เบอร์รี่	496.74	-0.72	42854.89	21.46	2.33*	0.96	42.39	1.68	231.30**
สันป่าตอง	459.12	7.72	205.47	16.86	0.89	0.92	22.56	0.82	30.65
ขาวดอกมะลิ 105	536.11	7.13	6162.46	13.84	0.51	0.14	22.27	-0.38	17.65
ค่าเฉลี่ย	554.87			19.08			36.92		

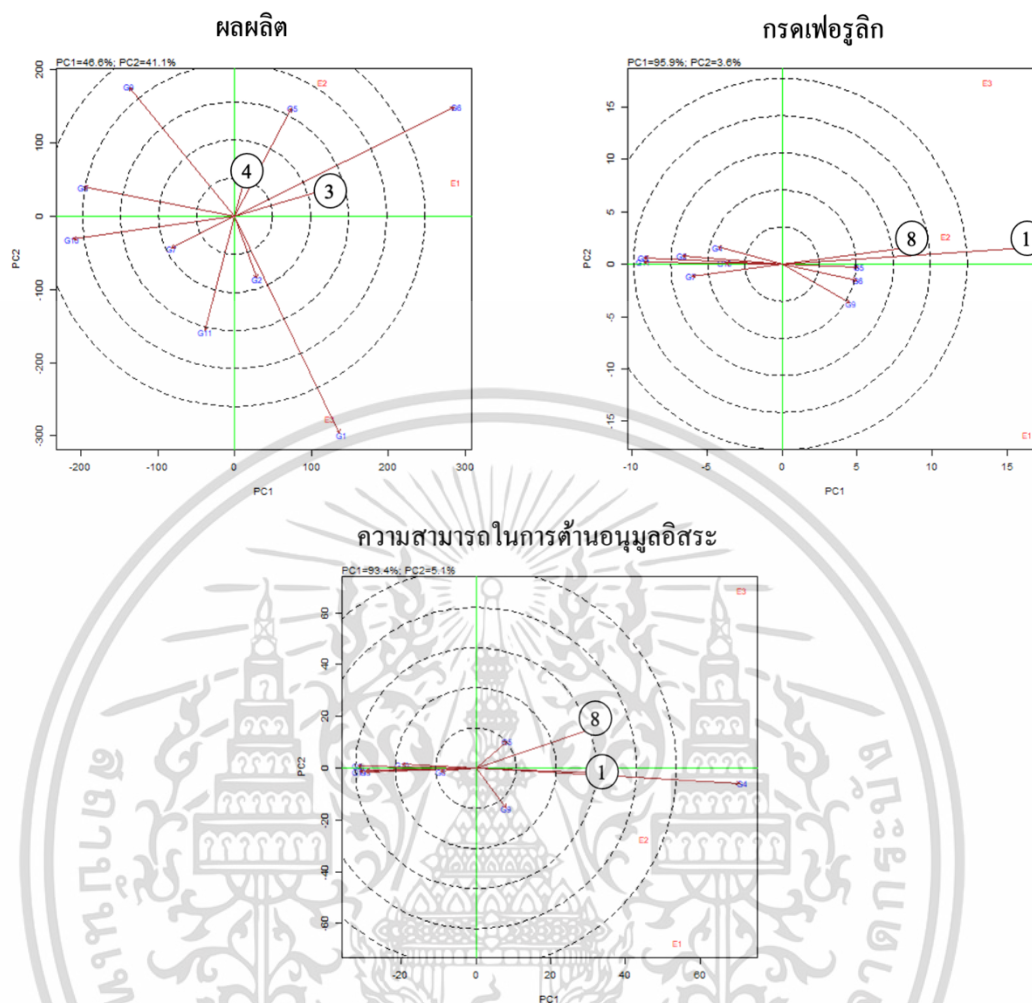
* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$), ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

4.2.7 การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์โดยวิธี GGE biplot

การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์โดยวิธี GGE biplot (รูปที่ 4.3) เมื่อพิจารณาค่า PC 1 ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ ถ้าค่า PC 1 > 0 แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ส่วนค่า PC 1 < 0 แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ จากการพิจารณาพบว่า พันธุ์กล้าเฟื่อง (6) มีค่า PC 1 ของผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้พันธุ์ที่มีค่า PC 1 > 0 คือพันธุ์กำลิมพร้าว (1) ชิวเก๋เลี้ยง (3) มะลินิลโบราณ (5) หอมนางนวล1 (2) และทับทิมชุมแพ (4) เมื่อพิจารณาค่า PC 2 ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงเสถียรภาพของพันธุ์จากการทดสอบหลายสภาพแวดล้อม ถ้าค่า PC 2 เข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าพันธุ์นั้นมีเสถียรภาพ โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ดีและมีเสถียรภาพสูงนั้น ได้แก่ พันธุ์ชิวเก๋เลี้ยง (3) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (4) และพันธุ์หอมนางนวล1 (2)

ในส่วนของเสถียรภาพของปริมาณกรดเฟอรูลิก เมื่อพิจารณาพบว่าพันธุ์กำลิมพร้าวมีค่า PC 1 > 0 สูงที่สุด (รูปที่ 4.3) ตามด้วยพันธุ์มะลินิลสุรินทร์ มะลินิลโบราณ กล้าเฟื่อง และไรซ์เบอร์รี่ เมื่อพิจารณา PC 2 ควบคู่กัน โดยพันธุ์ที่ให้ปริมาณกรดเฟอรูลิกอยู่ในเกณฑ์ดีและมีเสถียรภาพสูงนั้น ได้แก่ พันธุ์กำลิมพร้าว (1) มะลินิลสุรินทร์ (8) มะลินิลโบราณ (5) และพันธุ์กล้าเฟื่อง (6) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า พันธุ์ทับทิมชุมแพ พันธุ์กำลิมพร้าว พันธุ์มะลินิลสุรินทร์ มะลินิลโบราณ และไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีค่า PC 1 > 0 (รูปที่ 4.3) เมื่อพิจารณา PC 2 ควบคู่กัน โดยพันธุ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในเกณฑ์ดีและมีเสถียรภาพสูงนั้น ได้แก่ พันธุ์ทับทิมชุมแพ (4) พันธุ์กำลิมพร้าว (1) มะลินิลสุรินทร์ (8) มะลินิลโบราณ (5) และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (9)

ทั้งนี้จากการทดสอบในหลายสภาพแวดล้อมซึ่งได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกในคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พื้นที่จังหวัดสกลนคร และพื้นที่บ้านไร่ภาสกรเขียวจิ จังหวัดตราด โดยแต่ละพื้นที่จะมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทั้งอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาวะเครียดอื่น เนื่องจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตที่มีผลทำให้ผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าความเสถียรภาพของทั้งลักษณะผลผลิต กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า พันธุ์กำลิมพร้าวจัดเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพมากที่สุดที่สามารถนำไปปลูกในทั้ง 3 สภาพแวดล้อม เพราะมีผลผลิตที่ค่อนข้างสูง (651.15 กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณกรดเฟอรูลิกสูง (28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง (55.91 เปอร์เซ็นต์) ตามด้วยพันธุ์ทับทิมชุมแพ (ผลผลิต 583.70 กิโลกรัมต่อไร่ กรดเฟอรูลิกปานกลาง 16.70 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด และมีค่าสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง 78.05 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.3 GGE.biplot แสดงการตอบสนองของข้าว 11 พันธุ์ ใน 3 สภาพแวดล้อม

พันธุ์ข้าว :

- | | | | |
|------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| 1 = กำลัมฝัว | 2 = หอมนางนวล 1 | 3 = ชิวเกิ้ลียง | 4 = ทับทิมชุมแพ |
| 5 = มะลินิลโบราณ | 6 = กล้าเฟื่อง | 7 = เหลืองทอง | 8 = มะลินิลสุรินทร์ |
| 9 = ไรซ์เบอร์รี่ | 10 = ต้นป่าตอง 1 | 11 = ข้าวดอกมะติ 105 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

งานทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ผลผลิตข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์และเคมีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในปี 2562 ในขณะที่ปี 2563 แปลงเคมีจะมีผลผลิตข้าวต่ำกว่าแปลงอินทรีย์มาก การลดลงของผลผลิตข้าวในแปลงเคมีนี้อาจสืบเนื่องมาจากการกระจายตัวของฝนในปี 2563 จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในปี 2563 มีฝนตกหนักต่อเนื่องกันหลายวันช่วงระยะ 40-60 หลังปลูกทำให้เกิดน้ำท่วมขัง และพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้มีชุดดินแบบมูโนะ ซึ่งเป็นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากและระบายน้ำได้ไม่ดี (วุฒิชชาติ สิริช่วยชู และคณะ, 2536) ทำให้ข้าวถูกน้ำท่วมขังอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 7 วัน) อีกทั้งแปลงเคมีจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบลุ่มมากกว่าแปลงอินทรีย์ จึงทำให้เกิดผลกระทบกับข้าวได้มากกว่า จึงส่งผลให้ผลผลิตข้าวในแปลงเคมีลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยในงานทดลองครั้งนี้ไม่สามารถทำการทดลองในแปลงเดียวกันได้เนื่องจากจะขัดต่อมาตรฐานการผลิตข้าวแบบอินทรีย์ และการที่ข้าวถูกน้ำท่วมขังในระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลให้ต้นข้าวมีการยืดสูงขึ้นเพื่อตอบสนองต่อระดับน้ำที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า ในปี 2563 ข้าวที่ปลูกในแปลงเคมีจะมีความสูงที่เพิ่มขึ้น แต่จำนวนหน่อตอกและจำนวนรวงตอกกลับลดลง เช่นเดียวกับที่ Chomchat and Rungrat (2020) รายงานว่าข้าวจะมีการยืดตัวสูงขึ้นเพื่อปรับตัวให้อยู่รอดในสถานะน้ำท่วม และกระบวนการนี้ข้าวจะมีการใช้พลังงานที่สะสมไว้ ดังนั้นเมื่อน้ำลดข้าวจะฟื้นตัวได้น้อยและทำให้หน่อบางส่วนได้รับความเสียหายและตายในที่สุด ด้วยเหตุนี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบเคมีจึงมีผลผลิตที่ต่ำลงในปี 2563

นอกจากนี้พบว่า ผลผลิตเมล็ดข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีค่าสูงไม่แตกต่างจากแปลงเคมีในปีแรก ซึ่งอาจเนื่องมาจากแปลงอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีการทำเกษตรอินทรีย์มาอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่า 5 ปี ดังนั้นการที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์มาเป็นระยะเวลาเวลานาน อาจไปช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินทำให้เหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าว อีกทั้งแปลงปลูกอินทรีย์ยังพบธาตุอาหารรองที่มากกว่าแปลงเคมีอีกด้วย (ตารางที่ 4.1) จึงอาจส่งผลให้ผลผลิตข้าวแปลงอินทรีย์สูงกว่าผลผลิตแปลงเคมีได้ เช่นเดียวกับ Surekha et al. (2010) ที่รายงานว่าการผลิตข้าวที่ปลูกในระบบมาตรฐานทั่วไปจะมีค่าสูงกว่าข้าวอินทรีย์ในช่วง 5 ปีแรกของการทดลอง หลังจากนั้นในปีต่อๆ มา ข้าวอินทรีย์สามารถให้ผลผลิตได้เทียบเท่ากับข้าวที่ปลูกในระบบ

มาตรฐานทั่วไปได้ จะเห็นได้ว่า การเพาะปลูกแบบอินทรีย์อาจมีประโยชน์ในระยะยาวมากกว่าเมื่อเทียบกับการเพาะปลูกแบบเคมี ทั้งในแง่ของผลผลิตและการลดต้นทุนการผลิต (Bagchi et al., 2016)

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ระบบการจัดการไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน โดยปริมาณโปรตีนในการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 9.21-10.41 กรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับรายงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 7.6-8.7 เปอร์เซ็นต์ (Kakar et al., 2020) ความแตกต่างของปริมาณโปรตีนอาจเนื่องมาจากความแตกต่างในเรื่องของพันธุ์และชนิดของข้าว โดย Yang et al., (2014) รายงานว่า ปริมาณโปรตีนในข้าวจาโปนิก้าและอินดิกาจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงข้าวเพื่อให้มีปริมาณโปรตีนสูงยังมีโอกาสประสบความสำเร็จได้ สำหรับปริมาณน้ำตาลพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์มีปริมาณต่ำกว่าข้าวแปลงเคมี อาจเนื่องมาจากในแปลงอินทรีย์ ข้าวได้รับแต่ปุ๋ยคอกซึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจนต่ำเมื่อเทียบกับแปลงเคมี การที่ข้าวได้รับไนโตรเจนน้อยลง จะไปส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้น้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่ง Ibrahim et al. (2011) พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะขึ้นอยู่กับระดับไนโตรเจนที่พืชได้รับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ben Mariem et al. (2020) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณไนโตรเจน จะสามารถเพิ่มการสังเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในข้าวสาลีได้

ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีจะมีค่าสูงในข้าว ไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ เป็นไปได้ว่า พืชอาจจะสามารถดูดซึมธาตุสังกะสีจากดินเข้าไปสะสมไว้ที่เมล็ดได้ เนื่องจากปริมาณสังกะสีในดินของแปลงอินทรีย์มีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแปลงเคมี (ตารางที่ 4.5) ในทางกลับกัน ดินในแปลงอินทรีย์มีปริมาณธาตุเหล็กที่ต่ำกว่าแปลงเคมี แต่ข้าวอินทรีย์นั้นกลับมีการสะสมธาตุเหล็กที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ปลูกโดยระบบเคมี การที่ปริมาณธาตุเหล็กมีค่าสูงในข้าวอินทรีย์นั้น อาจเนื่องมาจากข้าวดูดซึมธาตุเหล็กได้จากปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ปุ๋ยมูลสุกรเหหลวง และได้มีรายงานว่าปุ๋ยมูลสุกรเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง (226 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Sánchez et al., 2019) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณสารกาบา สารฟีนอลิกรวม และแอนโทไซยานิน จะมีค่าสูงในเมล็ดข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์อีกด้วย จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า สารเหล่านี้เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และจะมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง ดินเค็ม ความเข้มแสง และการขาดธาตุอาหาร (Sharma et al., 2019) ผลการทดลองสอดคล้องกับกับ Asami et al. (2003) ที่รายงานว่า ระดับฟีนอลิกรวมในพืชแบบออแกนิก (มัลเบอร์รี่ สตอเบอร์รี่ และข้าวโพด) จะมีค่าสูงกว่าพืชที่ผลิตโดยการผลิตแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังพบผลการทดลองที่คล้ายกันนี้ในข้าวสาลี (Zuchowski et al., 2011) และข้าว (Bagchi et al., 2016) อีกด้วย อีกทั้ง

Bown and Shelp (2016) พบว่า กุยามมีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้การขาดธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มปริมาณกาบา แอนโทไซยานิน และสารฟีนอลิกรวม และส่งผลต่อการลดปริมาณน้ำตาลในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ โดยการขาดไนโตรเจนจะกระตุ้นทำให้เกิดการสังเคราะห์เอนไซม์ PAL มากขึ้น ซึ่งเอนไซม์นี้จะทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์สารในกลุ่มฟีนอล ในดอกคาโมไมล์ (*Matricaria chamomilla*) ที่เป็นพืชสมุนไพร พบว่ากิจกรรมของ PAL เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในใบที่ขาดไนโตรเจน (Kovacic et al., 2007)

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ในลักษณะ โปรตีนและน้ำตาลต่อแกมมาออร์นิทานอล สารกาบา สารฟีนอลิกรวม กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อข้าวมีปริมาณโปรตีนและน้ำตาลสูงจะทำให้มีปริมาณสารเหล่านี้ลดลง อาจเนื่องจากการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ น้ำตาล และกรดอะมิโน ถูกถ่ายโอนไปยัง secondary metabolites โดย phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ภายใต้วิถี phenylpropanoids เพื่อเปลี่ยนเป็นสารพฤษเคมี ดังนั้นเมื่อน้ำตาลสูงแต่สารพฤษเคมีต่ำ อาจเป็นไปได้ว่ามีการนำน้ำตาลไปสร้างสารทุติยภูมิค่อนข้างน้อย จึงส่งผลให้มีสารพฤษเคมีมีปริมาณน้อยแต่มีปริมาณน้ำตาลและโปรตีนสูง

งานทดลองที่ 2 การศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง

การตอบสนองระหว่างพันธุ์ในการให้ผลผลิตในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ($G \times E$ interaction) ซึ่งจะพบได้เมื่อพืชพบกับสภาพความเครียดต่าง ๆ เช่น สภาพแห้งแล้ง (Becker and Leon, 1988) จากการเปรียบเทียบลักษณะทางการเกษตร ผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวจำนวน 11 พันธุ์ ที่ปลูกในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ตราด และสกลนคร โดยมีพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไรซ์เบอร์รี่ และทับทิมชุมแพเป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่และสายพันธุ์ในลักษณะความสูงต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า สายพันธุ์ที่นำมาทดสอบในครั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ดังเช่นที่ สมใจ สาลีโท และคณะ (2552) กล่าวว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ($G \times E$ interaction) เป็นปัจจัยที่ทำให้การแสดงออกของข้าวไม่ตรงตามพันธุกรรมที่มีอยู่

นอกจากนี้จากผลการศึกษาในข้าวทั้ง 11 พันธุ์ซึ่งแต่ละพันธุ์นั้นมีเชื้อหุ้มสีที่แตกต่างกันและเชื้อหุ้มสีนั้นก็ยังมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าพันธุ์ก่ำลิ้มผิวเป็นข้าวที่มีเชื้อหุ้มสีดำและมีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงที่สุด (28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) ขณะที่พันธุ์ชีวเลี้ยงและข้าวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีเชื้อหุ้มสีขาวจึงทำให้มีปริมาณกรดเฟอรูลิกต่ำที่สุด (13.85 และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.84 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด) โดยผลการทดลองที่คล้ายกันพบว่า ในข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีม่วงเข้ม จะมีปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สูงกว่าข้าวพันธุ์ที่มีเยื่อหุ้มสีอ่อนกว่า (Sing et al., 2015) ปริมาณของกรดเฟอรูลิกในการศึกษานี้พบว่าอยู่ระหว่าง 12.82-31.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ผ่านมา ที่พบว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกในเมล็ดข้าวมีค่าเท่ากับ 42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด (Boz, 2015)

ในส่วนของเสถียรของพันธุ์ข้าวพบว่า สภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ของผลผลิตที่สูงจะเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องจากพืชจะให้ผลผลิตสูงเมื่อเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งตรงข้ามกับการสะสมสารฟลาโวนอยด์ โดยเมื่อพืชเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะมีการสะสมสารฟลาโวนอยด์เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ข้าวมีการสะสมปริมาณกรดเฟอรูลิกที่แตกต่างกันเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมือนกัน ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Settapramote et al. (2018) ที่ทำการศึกษาริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ปลูกใน 5 สถานที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟีนอลิกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในจังหวัดลำปางและเพชรบูรณ์จะมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการปลูกในจังหวัดอื่น ส่วนศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากการศึกษานี้พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 18.89-78.05 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Butsat and Siriamornpun (2010) ที่พบว่าข้าวมีการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) อยู่ในช่วง 30.3-86.5 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองนี้พันธุ์ทับทิมชุมแพเป็นข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าข้าวพันธุ์นี้มีเยื่อหุ้มสีแดง โดยได้มีรายงานว่า ข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีแดง จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีดำและสีขาว (Deng et al., 2013)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาของคัพประกอบทางเคมีและสารพฤษเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์ พบว่าผลผลิตข้าวที่ปลูกในทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในปีแรก แต่ในปีที่สองพบว่าผลผลิตของข้าวอินทรีย์มีค่าสูงกว่าแปลงเคมี นอกจากนี้ระบบการจัดการแบบอินทรีย์นั้นส่งผลให้ปริมาณธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี สารกาบา สารฟีนอลิกรวม กรดเฟอรูลิก และแอนโทไซยานิน มีค่าสูงกว่าข้าวที่ปลูกในระบบการจัดการแบบเคมี ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลมีค่าสูงในข้าวที่ปลูกด้วยระบบเคมี

สำหรับการศึกษาเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมืองพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนพันธุ์ข้าวพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกลักษณะที่ศึกษา สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ข้าวพบว่า พันธุ์ข้าวที่มีเสถียรภาพของผลผลิตมากที่สุดคือ พันธุ์ทับทิมชุมแพซึ่งมีผลผลิตเท่ากับ 583.70 กิโลกรัมต่อไร่ และพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกสูงที่สุดคือ พันธุ์กำลัมผัว ซึ่งมีปริมาณกรดเฟอรูลิกเท่ากับ 28.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเมล็ด ส่วนพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ คือ พันธุ์กำลัมผัว โดยมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 55.91 เปอร์เซ็นต์

6.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เพาะปลูกในระบบการจัดการแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับภายในปีเดียวกันแต่ฤดูปลูกต่างกัน และในการศึกษาเสถียรภาพของผลผลิตข้าวควรมีเพิ่มสถานที่ในการศึกษาโดยอาจจะคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่จัดมาว่าเสถียรภาพของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างสูงมาเปรียบเทียบเพื่อหาพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว. 2557. ข้าวไรซ์เบอร์รี่. <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-ricersc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-0415/53-riceberry> (7 สิงหาคม 2564)
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. ระบบมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จิตรลดา เหมรา. 2558. สารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์.
- ฉวีวรรณ วุฒินา โณ. 2543. ข้าวพื้นเมืองไทย. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว.
- ชญญ์รินทร์ สมพร ชินานาคย์ ไกรนารถ และเจนจิราพร โทบุตร. 2561. การศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชาเขียวจากต้นอ่อนข้าว. วารสารเกษตรราชภัฏ. 17(1): 27-33.
- ชื่นจิต สีพญา และจอย ผิวสะอาด. 2558. ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวดีมีประโยชน์. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- จิรวุฒิ เสนาคำ และพรพณา ก๊วยเจริญ. 2539. พันธุ์กรรมข้าวบทบาทการอนุรักษ์และพัฒนาโดยชุมชน. เครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก.
- ณัฐยาพร หนั่นตะ พัชริน ส่งศรี พลัง สุรหาร คมศรี ลม ไชสง และกมล เลิศรัตน์. 2559. การเปรียบเทียบสารพิษเคมีในฟักข้าว 13 สายพันธุ์ในสองฤดู. วารสารแก่นเกษตร. 44: 167-174.
- ดวงพร ภูษะกา. 2558. การประเมินปริมาณสารพิษเคมีบางประการ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของมะม่วงพื้นเมืองจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 43(3): 267-283.
- ดวงพร ภูษะกา. 2559. ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมเสริมอาหาร และอาหารสุขภาพของจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 40(3): 93-96
- นวลอนงค์ เสมสังข์ และวีรพงษ์ จันทะชัย. 2558. ปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

- บุษจรี กองพลพรหม ฤทธิรงค์ จังโกฏี และชวัลชัย ธานี. 2558. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง และปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105. **ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์**. 15(1): 66-77.
- บริสุทธี สัมฤทธิ์. 2537. ข้าวญี่ปุ่นในประเทศไทย. **ข่าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 39(4): 1-5.
- บัญชา รัตน์ภู. 2552. ปุ๋ยอินทรีย์พื้นฟูสภาพดิน. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**. 1(2): 1-16.
- บุญหงษ์ จงกิด. 2547. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ธาตุที่ต้านอนุมูลอิสระ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 21(3): 275-286.
- ประเสริฐ สองเมือง กรรณิกา นากลาง สว่าง โรจนกุลศล วิทยา ศรีทานันท์ อานนท์ สุขสวัสดิ์ กิรพล ถิ่นสมวงศ์ และดิเรก อินตะพรหม. 2542. **การใช้แกลบและขี้เถ้าเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว**. รายงานการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยข้าว และธัญพืชเมืองหนาว. ประจำปี 2536-2539., กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยข้าว และธัญพืชเมืองหนาว: กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ปานทิพย์ บุญส่ง และวัลภา เนตรดวงตา. 2557. ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางพฤกษเคมี ของใบพืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 23(3): 624-633.
- พัศตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ วรภัทร ถักนทินวงศ์ ชวินทร์ ปลื้มเจริญ ภิญญา ชมพูผิว และอรประภา เทพศิลป์ วิสุทธี. 2560. ผลของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการผลิตข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 25(2): 248-259.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน.
- รุจิรา ปรีชา สุนันทา วงศ์ปัทม กัญญา เชื้อพันธุ์ และวัชรวิ สุขวิวัฒน์. 2554. คุณภาพเมล็ดและโภชนาการของข้าวพันธุ์ดีและพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ ใน การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2, 21-23 ธันวาคม 2555 ณ โรงแรมสวิสโซเทล เลอ คองคอร์ด, กรุงเทพฯ.
- วิภพ สุทชนะ. 2556. ธาตุที่ด้านมะเร็งของพลาไวโนอยด์: กลไกการออกฤทธิ์. **ศรีนครินทร์เวชสาร**. 567-582.
- วุฒิชชาติ สิริช่วยชู ณรงค์ ตรีสุวรรณ พิสุทธี วิจารณ์ และสุรพล เจริญพงศ์. 2536. **คุณสมบัติของชุดดินที่จัดตั้งในภาคใต้และพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือและความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ที่ดิน**. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมใจ สาลีโท ฌราวดี ปิยโชติ สกฤชชัย อัฒพล สุวรรณวงศ์ สุขวิทยา ภาโสภะ ชนะ ศรีสมภาร รณชัย ช่างศรี วีระศักดิ์ หอมสมบัติ ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์ และเอกสิทธิ์ สกฤช. 2552. เสถียรภาพผลผลิตของข้าวเหนียวต้านทานโรคไหม้. ในเอกสารประกอบการประชุมแสดงผลงาน กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2551. กรุงเทพฯ : กรมการข้าว สุกัญญา มหาธีรานนท์. 2560. สารพฤกษเคมีในอาหารเสริมคุณภาพจากข้าวสีดํา. กองวิจัยและพัฒนาข้าว: กรมการข้าว.
- สุกัญญา น้อยโสภะ. 2558. เกษตรอินทรีย์ โอกาสการส่งออกของเกษตรกรไทยในตลาดโลก. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี. 9(18): 83-91.
- สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ และชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. 2559. ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวกำแพงพื้นที่เมืองของไทย. วารสารเกษตร. 32(2): 191-199.
- อติตยา โรจสโรช. 2551. สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวดำ ข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวแดง: การป้องกันการเป็นพิษต่อเซลล์และสารพันธุกรรมจากอนุมูลอิสระและการแสดงออกของยีนสะสมไขมันในเซลล์เพาะเลี้ยง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมีคลินิกและอณูทางการแพทย์ ภาควิชาเคมีคลินิก คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร พรรรัตน์ สีนชัยพานิช สุกัญญา วงศ์พรชัย รัชนี คงกาญจนา ประไพศรี ศิริจักรวาล ศรีวัฒนา ทรงจิตสมบูรณ์ และวิจิตรา เลิศกมลกาญจน์. 2551. รายงานการวิจัยโครงการบูรณาการ เทคโนโลยีชีวภาพในการสร้างพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าและคุณค่าสูง ปีงบประมาณ 2551. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- อิงฟ้า คำแพง อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เล่ากุลจิตต์. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีในข้าวและธัญพืช 4 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 40(3): 93-96.
- Anulika, N. P., Ignatius, E. O., Raymond, E. S., Osasere, O. I., and Abiola, A. H. 2016. The chemistry of natural product: Plant secondary metabolites. **International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research**. 4(8): 1-9.
- Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M. and Mitchell, A. E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51(5): 1237-1241.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bagchi, T. B., Ghosh, A., Kumar, U., Chattopadhyay, K., Sanghamitra, P., Ray, S., Adak, T. and Sharma, S. 2016. Comparison of nutritional and physicochemical quality of rice under organic and standard production systems. **Cereal Chemistry**. 93(5): 435-443.
- Bahl, B. S. and Bahl, A. 2007. **Advanced Organic Chemistry of Natural Product**. Charp and Company Ltd.
- Becker, H. C. and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**. 101(1): 1-23.
- Ben Mariem, S., González-Torralba, J., Collar, C., Aranjuelo, I., and Morales, F. 2020. Durum wheat grain yield and quality under low and high nitrogen conditions: insights into natural variation in low- and high-yielding genotypes. **Plants**. 9 (1636): 1-19.
- Bergman, C. and Xu, Z. 2003. Genotype and environment effects on tocopherol, tocotrienol, and γ -oryzanol contents of Southern US rice. **Cereal Chemistry**. 80(4): 446-449.
- Bown, A. W. and Shelp, B. J. 2016. Plant GABA: not just a metabolite. **Trends in Plant Science**. 21(10): 811-813.
- Boz, H. 2015. Ferulic acid in cereals-a review. **Czech Journal of Food Sciences**. 33(1): 1-7.
- Butkhup, L. 2012. Dietary Polyphenols and Their Biological Effects. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. 31(4): 443-445.
- Butsat, S. and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. **Food Chemistry**. 119(2): 606-613.
- Carbonaro, M., Mattera, M., Nicoli, S., Bergamo, P. and Cappelloni, M. 2002. Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach, *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50(19): 5458-5462.
- Chalker, S. L. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. **Photochemistry and Photobiology**. 70(1): 1-9.
- Chomchat, W. and Rungrat, T. 2020. Effects of flash flood on growth and some physiological changes in Thai rice at tillering stage. **Naresuan Agriculture Journal**. 17: 68-76.
- Deng, G. F., Xu, X. R., Zhang, Y., Li, D., Gan, R.Y. and Li, H. B. 2013. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 53(3): 296-306.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Devlin, P. F., Christie, J. M. and Terry, M. J. 2007. Many hands make light work. **Journal of Experimental Botany**. 58(12): 3071-3077.
- Dixon, R. A. and Paiva, N. L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **The Plant Cell**. 7(7): 1085.
- Eberhart, S. T. and Russell, W. 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop Science**. 6(1): 36-40.
- Feild, T. S., Lee, D. W. and Holbrook, N. M. 2001. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. **Plant Physiology**. 127(2): 566-574.
- Francini, A., Giro, A. and Ferrante, A. 2019. Biochemical and molecular regulation of phenylpropanoids pathway under abiotic stresses. **In Plant Signaling Molecules** (pp. 183-192): Elsevier.
- Fritz, C., Palacios-Rojas, N., Feil, R. and Stitt, M. 2006. Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. **The Plant Journal**. 46(4): 533-548.
- Fukushima, A. and Kusano, M. 2014. A network perspective on nitrogen metabolism from model to crop plants using integrated 'omics' approaches. **Journal of Experimental Botany**. 65(19): 5619-5630.
- Gomez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. **Statistical procedures for agricultural research**. John wiley and sons.
- Gong, E. S., Luo, S. J., Li, T., Liu, C. M., Zhang, G. W., Chen, J., Zeng, Z. C. and Liu, R. H. 2017. Phytochemical profiles and antioxidant activity of brown rice varieties. **Food Chemistry**. 227: 432-443.
- Guengerich, F. P., Chun, Y. J., Kim, D., Gillam, E. M. and Shimada, T. 2003. Cytochrome P450 1B1: a target for inhibition in anticarcinogenesis strategies. **Mutation Research**. 523: 173-182.
- Guo, X. D., Ma, Y. J., Parry, J., Gao, J. M., Yu, L. L. and Wang, M. 2011. Phenolics content and antioxidant activity of tartary buckwheat from different locations. **Molecules**. 16(12): 9850-9867.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. 2015. **Free radicals in biology and medicine**: Oxford university press, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Heinonen, I. M., Lehtonen, P. J. and Hopia, A. I. 1998. Antioxidant activity of berry and fruit wines and liquors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46(1): 25-31.
- Herrmann, K. M. 1995. The shikimate pathway: early steps in the biosynthesis of aromatic compounds. **The Plant Cell**. 7(7): 907.
- Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A. and Rahman, Z. A. 2011. Effects of nitrogen fertilization on synthesis of primary and secondary metabolites in three varieties of kacip fatimah (*Labisia pumila Blume*). **International Journal of Molecular Sciences**. 12(8): 5238-5254.
- Isaac, R., Nair, A. S., Varghese, E. and Chavali, M. 2012. Phytochemical, antioxidant, and nutrient analysis of medicinal rice (*Oryza sativa L.*) varieties found in south India. **Advanced Science Letters**. 11(1): 86-90.
- Juliano, B. O. 1993. **Rice in human nutrition**. 26. International Rice Research Institute.
- Kakar, K., Xuan, T. D., Noori, Z., Aryan, S. and Gulab, G. 2020. Effects of organic and inorganic fertilizer application on growth, yield, and grain quality of rice. **Agriculture**. 10(11): 544.
- Kesarwani, A., Chiang, P. Y., Chen, S. S. and Su, P. C. 2013. Antioxidant activity and total phenolic content of organically and conventionally grown rice cultivars under varying seasons. **Journal of Food Biochemistry**. 37(6): 661-668.
- Konopka, I., Tanska, M., Faron, A., Stepien, A. and Wojtkowiak, K. 2012. Comparison of the phenolic compounds, carotenoids and tocopherols content in wheat grain under organic and mineral fertilization regimes. **Molecules**. 17(10): 12341-12356.
- Kovacik, J., Klejdus, B., Bačkor, M., and Repečak, M. 2007. Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. **Plant Science**. 172(2): 393-399.
- Kushwaha, U. 2016. Black rice anthocyanin content increases with increase in altitude of its plantation. **Advances in Plants and Agriculture Research**. 5(1): 1-4.
- Lilitchan, S., Tangprawat, C., Aryasuk, K., Krisnangkura, S., Chokmoh, S. and Krisnangkura, K. 2008. Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ -oryzanol contents in rice bran. **Food Chemistry**. 106(2): 752-759.
- Lima, G. P. and Vianello, F. 2011. Review on the main differences between organic and conventional plant-based foods. **International Journal of Food Science and Technology**. 46(1): 1-13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mariz, P. N., Mendes, R., Sario, S., De Oliveira, J. F., Melo, P. and Santos, C. 2018. Tomato plants use non-enzymatic antioxidant pathways to cope with moderate UV-A/B irradiation: A contribution to the use of UV-A/B in horticulture. **Journal of Plant Physiology**. 221: 32-42.
- Maughan, R. J., King, D. S. and Lea, T. 2004. Dietary supplements. **Food, Nutrition and Sports Performance II**: 153-185.
- Menga, V., Fares, C., Troccoli, A., Cattivelli, L. and Baiano, A. 2010. Effects of genotype, location and baking on the phenolic content and some antioxidant properties of cereal species. **International Journal of Food Science and Technology**. 45(1): 7-16.
- Munarko, H., Sitanggang, A. B., Kusnandar, F. and Budijanto, S. 2020. Phytochemical, fatty acid and proximal composition of six selected Indonesian brown rice varieties. **CyTA-Journal of Food**. 18(1): 336-343.
- Niu, Y., Gao, B., Slavin, M., Zhang, X., Yang, F., Bao, J., Shi, H., Xie, Z. and Yu, L. L. 2013. Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang. **LWT-Food Science and Technology**. 54(2): 521-527.
- Niyogi, K. K. 1999. Photoprotection revisited: genetic and molecular approaches. **Annual Review of Plant Biology**. 50(1): 333-359.
- Olsen, K. M., Lea, U. S., Slimestad, R., Verheul, M. and Lillo, C. 2008. Differential expression of four Arabidopsis PAL genes; PAL1 and PAL2 have functional specialization in abiotic environmental-triggered flavonoid synthesis. **Journal of Plant Physiology**. 165(14): 1491-1499.
- Pangaribuan, D. H. and Hendarto, K. 2018. The effect of organic fertilizer and urea fertilizer on growth, yield and quality of sweet corn and soil health. **Asian Journal of Agriculture and Biology**. 6(3): 335-344.
- Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., Umalkar, G. and Aurangabadkar, L. P. 2007. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. **Plant Biotechnology Reports**. 1(1): 37-48.

- Pereira, C. G., Cros, G., Yokota, T. and Crozier, A. 2013. Phytochemical profiles of black, red, brown, and white rice from the Camargue region of France. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 61(33): 7976-7986.
- Pereira, C. G., Watanabe, S., Crozier, A., Fujimura, T., Yokota, T. and Ashihara, H. 2013. Phytochemical profile of a Japanese black–purple rice. **Food Chemistry**. 141(3): 2821-2827.
- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., García, P. C., Lopez-Lefebvre, L. R., Sánchez, E. and Romero, L. 2001. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. **Plant Science**. 160(2): 315-321.
- Rubio-Wilhelmi, M. M., Sanchez-Rodriguez, E., Rosales, M. A., Begona, B., Rios, J. J., Romero, L., Blumwald, E. and Ruiz, J. M. 2011. Effect of cytokinins on oxidative stress in tobacco plants under nitrogen deficiency. **Environmental and Experimental Botany**. 72(2): 167-173.
- Samyori, D., Deka, S. C. and Das, A. B. 2016. Phytochemical and antioxidant profile of pigmented and non-pigmented rice cultivars of Arunachal Pradesh, India. **International Journal of Food Properties**. 19(5): 1104-1114.
- Sánchez, B. M., Antolín-Rodríguez, J. M., Bravo-Sánchez, C. T., Martín-Gil, J. and Martín-Ramos, P. 2019. Dried pig manure from a cogeneration plant as a fertilizer for nitrate vulnerable zones. **Agronomy**. 9(2): 46.
- Scalbert, A. and Williamson, G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. **Journal of Nutrition**. 130(8S Suppl): 2073s-2085s.
- Settapramote, N., Laokuldilok, T., Boonyawan, D. and Utama-ang, N. 2018. Physiochemical, antioxidant activities and anthocyanin of Riceberry rice from different locations in Thailand. **Food and Applied Bioscience Journal**. 6 (Special Issue on Food and Applied Bioscience): 84–94.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. and Zheng, B. 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. **Molecules**. 24(13): 2452.
- Siavoshi, M., Nasiri, A. and Laware, S. L. 2011. Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural Science**. 3(3): 217.

- Sing, S. X., Lee, H. H., Wong, S. C., Bong, C. F. J. and Yiu, P. H., 2015. Ferulic acid, gamma oryzanol and GABA content in whole grain rice and their variation with bran colour. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. 27(9): 706-711.
- Sinha, S., Sandhu, K., Bisht, N., Naliwal, T., Saini, I. and Kaushik, P. 2019. Ascertaining the paradigm of secondary metabolism enhancement through gene level modification in therapeutic plants. **Journal of Young Pharmacists**. 11(4): 337.
- Sirikul, A., Moongngarm, A. and Khaengkhan, P. 2009. Comparison of proximate composition, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran and defatted rice bran from organic rice and conventional rice. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 2(4):731-743.
- Smith, B. D. 1995. **The emergence of agriculture**. Scientific American Library New York.
- Soubeyrand, E., Basteau, C., Hilbert, G., van Leeuwen, C., Delrot, S. and Gomès, E. 2014. Nitrogen supply affects anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in grapevine cv. Cabernet-Sauvignon berries. **Phytochemistry**. 103: 38-49.
- Sun, X., Jia, X., Huo, L., Che, R., Gong, X., Wang, P. and Ma, F. 2018. MdATG18a overexpression improves tolerance to nitrogen deficiency and regulates anthocyanin accumulation through increased autophagy in transgenic apple. **Plant, Cell and Environment**. 41(2): 469-480.
- Surekha, K., Jhansilakshmi, V., Somasekhar, N., Latha, P. C., Kumar, R. M., Rani, N. S., Rao, K. V. and Viraktamath, B. C. 2010. Status of organic farming and research experiences in rice. **Europe**. 7(1.87): 10-12.
- Suzuki, N. and Mittler, R. 2006. Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. **Physiologia Plantarum**. 126(1): 45-51.
- Torres, A. M., Mau-Lastovicka, T. and Rezaaiyan, R. 1987. Total phenolics and high-performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 35(6): 921-925.
- Valko, M., Rhodes, C., Moncol, J., Izakovic, M. and Mazur, M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. **Chemico-biological Interactions**. 160(1): 1-40.
- Vertuani, S., Angusti, A. and Manfredini, S. 2004. The antioxidants and pro-antioxidants network: an overview. **Current Pharmaceutical Design**. 10(14): 1677-1694.

- Walle, T. 2004. Absorption and metabolism of flavonoids. **Free Radical Biology and Medicine**. 36(7): 829-837.
- Wiesman, Z., Itzhak, D. and Dom, N. B. 2004. Optimization of saline water level for sustainable Barnea olive and oil production in desert conditions. **Scientia Horticulturae**. 100(1-4): 257-266.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**. 40(3): 597-605.
- Yang, Y., Zhu, K., Xia, H., Chen, L. and Chen, K. 2014. Comparative proteomic analysis of indica and japonica rice varieties. **Genetics and Molecular Biology**. 37: 652-661.
- Yeon, J., Lee, J. and Kim, Y. 2020. Comparison of phytochemical contents and cytoprotective effects of different rice bran extracts from Indica and Japonica rice cultivars. **Preventive Nutrition and Food Science**. 25(4): 432.
- Young, J. E., Zhao, X., Carey, E. E., Welti, R., Yang, S. S. and Wang, W. 2005. Phytochemical phenolics in organically grown vegetables. **Molecular Nutrition and Food Research**. 49(12): 1136-1142.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**. 87(3): 401-406.
- Zuchowski, J., Jonczyk, K., Pecio, L. and Oleszek, W. 2011. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 91(6): 1089-1095.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาว จุฑาทิพ คุณนาม
 วัน เดือน ปีเกิด 16 กุมภาพันธ์ 2539
 ที่อยู่ 161 หมู่ 10 ตำบล เจริญ อำเภอ เมือง ถนน สุรินทร์-ปราสาท
 จังหวัด สุรินทร์ 32000

ประวัติการศึกษา - พ.ศ 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียนวิวัฒน์โยธิน จังหวัดสุรินทร์
 - พ.ศ 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขา เทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - พ.ศ 2561 เริ่มศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขา เทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทุนวิจัยที่ได้รับ - โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (รหัส
 MSD62I0042) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
 - โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ
 พ.ศ. 2563 รหัสโครงการ 2563-02-04-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้