การศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ในข้าวสีสายพันธุ์ไทย

COMPARATIVE STUDY OF PLANT RESPONSES TO TITANIUM DIOXIDE AND ZINC OXIDE NANOMATERIALS IN THAI PIGMENTED RICE

ปริภาคย์ เรืองเทพ
PARIPARK RUANGTHEP

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARATIVE STUDY OF PLANT RESPONSES TO TITANIUM DIOXIDE AND ZINC OXIDE NANOMATERIALS IN THAI PIGMENTED RICE

PARIPARK RUANGTHEP

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ในข้าวสีสายพันธุ์ไทย
Special Project Title	Comparative study of plant responses to titanium dioxide and zinc oxide nanomaterials in Thai pigmented rice
นักศึกษา	ปริภาคย์ เรืองเทพ
รหัสประจำตัว	56110023
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชุติไพจิตร

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.อดิเรก แรงกสิกรณ์	
ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ	
ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชุติไพจิตร)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่.....๒..... เดือน.....กรกฎาคม.....พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ในข้าวสีสายพันธุ์ไทย
นักศึกษา	นาย ปริภาคย์ เรืองเทพ
รหัสประจาตัว	56110023
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอรี่ โดยในงานวิจัยนี้มีการกำหนดปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยทำการเติมอนุภาคนาโนในต้นข้าวทุก 7 วัน ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ (39, 46, 53 และ 60 วัน) และระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ความยาวลำต้น, ความยาวราก, น้ำหนักสดของลำต้นและราก, น้ำหนักแห้งของลำต้นและราก, จำนวนกอต่อต้น และจำนวนรวงต่อต้น) ศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช (คลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์) ศึกษาปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์คะตาเลส) และศึกษาการสะสมของแป้งในเมล็ดข้าว (เปอร์เซ็นต์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมอนุภาคนาโนมีผลช่วยในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ โดยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ความสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตในต้นข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอรี่ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Comparative study of plant responses to titanium dioxide and zinc oxide nanomaterials in Thai pigmented rice
Student	Mr. Paripark Ruangthep
Student ID	56110023
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2016
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutee Chutipaijit

ABSTRACT

The purpose of this research was investigated the effect of titanium dioxide nanoparticles (TiO_2) and zinc oxide nanoparticles (ZnO) for enhancement in agricultural productivity of Riceberry cultivar. This research was studied the difference concentration TiO_2 and ZnO (0, 200, 400 and 800 mgL^{-1}) that supplemented in rice plants for every 7 days. This research was studied divided into two phases: sprout stage to crocus stage (39, 46, 53 and 60 days) and crocus stage to produce grains (67, 81, 95 and 109 days). The rice plants were determined the growth rate (stem length, root length, fresh weight of stem and root, dry weight of stem and root, number of clump per plant and number of spike). Moreover, this research was investigated the contents of photosynthetic pigments (chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids), antioxidant enzymes (peroxidase and catalase enzymes) and the accumulation of starch in rice seeds (the presentations of amylose and amylopectin). The experimental revealed that the concentrations of TiO_2 at 800 mg L^{-1} and ZnO at 200 mg L^{-1} were the optimum condition could be increase the growth rate and production yields in Riceberry cultivar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ในข้าวสีสายพันธุ์ไทยได้สำเร็จลุล่วง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิชาโครงงานพิเศษ วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำในด้านต่างๆ และคอยดูแลช่วยเหลือตลอดการทำโครงงานพิเศษ ขอกราบขอบพระคุณดร.อดิเรก แรงกสิกรณ์ และ ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ ที่ได้ให้ให้เกียรติมาเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิชาโครงงานพิเศษ และให้คำชี้แนะถึงข้อผิดพลาดเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข และขอขอบพระคุณนายสุธิชัย สามารถ ที่คอยดูแลและให้คำปรึกษาทางด้านการทดลองและการวิเคราะห์ผลตลอดในการทำโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆและสถานที่ในการทำวิจัยจนโครงงานพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้ความรักอันอบอุ่น และคอยให้กำลังใจเสมอมา ซึ่งเป็นแรงผลักดันที่สำคัญในการทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี และข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ท่านผู้อ่านไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยมานะที่นี้ สำหรับคุณงามความดีจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอใช้บูชาคุณแก่บิดามารดา ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปริภาคย์ เรืองเทพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
คำย่อและสัญลักษณ์ XI
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย 2
1.4 ขอบเขตการดำเนินการ 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 4
2.1 ข้าว 4
2.1.1 ลักษณะที่สำคัญของข้าว 4
2.1.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต 4
2.1.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ 5
2.1.2 ความไวต่อแสง 7
2.1.2.1 ข้าวที่ไวต่อแสง 7
2.1.2.2 ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง 8
2.1.3 วงจรชีวิตของข้าว 8
2.1.3.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น 8
2.1.3.2 ระยะการสืบพันธุ์ 9
2.1.3.3 ระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด 9
2.1.4 ระยะพัฒนาการของดอก 10
2.1.5 ข้าวไรซ์เบอรี่ 10
2.2 การสังเคราะห์ด้วยแสง 13
2.2.1 รงควัตถุสังเคราะห์แสง 13
2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช 17
2.4.2 นำหนักแห้ง 17
2.4.3 ดัชนีเก็บเกี่ยว 17
2.5 นาโนเทคโนโลยี 17
2.5.1 อนุภาคนาโน 18
2.5.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 19
2.5.3 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 19
2.6 การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางด้านการเกษตร 21
2.6.1 การใช้ซิงค์ออกไซด์เพื่อเพิ่มปริมาณการงอกของเมล็ดข้าว 21
2.6.2 การใช้วัสดุนำโนคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการปรับปรุงดิน 21
2.6.3 การยับยังการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา 22
2.6.4 ผลการทดสอบการยืดอายุของข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์ม 22
2.7 เครื่องมือและเทคนิคการวัด 22
2.7.1 UV-VIS Spectroscopy 22
2.7.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer 23
2.7.1.2 รูปแบบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer 24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 31
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 31
3.1.1 พืชทดลอง 31
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง 31
3.1.3 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ 31
3.2 สถานที่ทำการทดลอง 32
3.3 วิธีการดำเนินงาน 32
3.3.1 วิธีการเตรียม 32
3.3.1.1 ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ 33
3.3.1.2 ช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง 34
3.3.2 การทดลองที่ 1 35
3.3.3 การทดลองที่ 2 35
3.3.4 การทดลองที่ 3 38
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 41
4.1 ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ 41
4.1.1 การศึกษาผลของอนุภาคนำโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต 41
4.1.2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรี่ 49
4.1.2.1 การวิเคราะห์รงควัตถุสังเคราะห์แสง 49
4.2 ช่วงระยะออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว 55
4.2.1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต 55
4.2.2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรี่ 69
4.2.2.1 การวิเคราะห์รงควัตถุสังเคราะห์แสง 69
4.2.2.2 กำรวิเคราะห์เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 75
4.2.3 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต 79

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา 86
5.1 สรุปผลการทดลอง 86
5.2 แนวทางการพัฒนา 86

บรรณานุกรม 87

ประวัติผู้เขียน 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงสารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวไรซ์เบอร์รี่และคุณประโยชน์ต่อร่างกาย..... 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงลักษณะของต้นข้าว 4
2.2 ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ 11
2.3 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 19
2.4 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ 20
2.5 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 20
2.6 UV-Vis spectrum 23
2.7 หลอดดิวเทอเรียม และหลอดทังสเตน 23
2.8 ตัวอย่าง cuvettes แบบต่างๆ 24
2.9 ภาพตัดขวางของหลอด PMT และลักษณะหลอด PMT ในสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 25
2.10 องค์ประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer 25
2.11 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลาแสงเดี่ยว 26
2.12 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลาแสงคู่ 27
2.13 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ 27
3.1 เมล็ดต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่นาไปแช่น้ำและผ่านการบ่มแล้ว 32
3.2 ถาดเพาะชาที่ทาการปรับพื้นที่ผิวหน้าดิน 33
3.3 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่อายุประมาณ 1 เดือน 33
3.4 เตรียมดินเหนียวใส่กระถางขนาดใหญ่ 34
3.5 นาต้นข้าวไรซ์เบอร์รีอายุ 48 วัน ปลูกลงกระถางขนาดใหญ่ 35
3.6 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ PG Instruments รุ่น T92+ 36
3.7 เครื่อง Refrigerated Centrifuge ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK 37
3.8 กราฟมาตรฐานโปรตีน 38
3.9 กราฟมาตรฐานอะไมโลส 38
3.10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย 39
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) แ ล ะ 800 (T800, Z800) มิล ลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง 42
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) แล ะ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.3 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้า โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....46

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้า โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200(T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....48

4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....50

4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800)มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....52

4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด แคโรทีนอยด์ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....54

4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....56

4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....60
4.11 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....62
4.12 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของต้นข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....64
4.13 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....66
4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจานวนกอต่อต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....68
4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด คลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200),400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด คลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, 200), 400 (T400, Z400) แ ล ะ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....72

4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) แล ะ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....74

4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....76

4.19 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, 400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....78

4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจานวนรวง/ต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....80

4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยอะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....82

4.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยอะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทาการทดลอง.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

%	ร้อยละ
ml	มิลลิลิตรต่อลิตร
L	ลิตร
µg	ไมโครกรัม
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
p	ความแปรปรวน
nm	นาโนเมตร
TiO_2	ไทเทเนียมไดออกไซด์
ZnO	ซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตมรสุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศ ทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และภูมิอากาศเอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตรหรือเกี่ยวข้องมาโดยตลอด จากการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ จำนวน 321 ล้านไร่ และแบ่งเป็นพื้นที่สำหรับทำ การเกษตรกรรมประมาณ 182 ล้านไร่ แบ่งเป็นภาคกลาง 27 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 77 ล้านไร่ ภาคตะวันออก 14 ล้านไร่ ภาคเหนือ 36 ล้านไร่ และ ภาคใต้ 28 ล้านไร่ ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้นำของโลกในการผลิตและส่งออกสินค้าทางการเกษตร เช่น ข้าว ยาง และกุ้งกุลาดำ เป็นต้น [1]

เกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยนิยมปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ซึ่งข้าวเป็นธัญพืชที่มีการเพาะปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสองทั่วโลกรองจากข้าวโพด โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 36.5 ล้านตันข้าวเปลือก [2] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ แต่ยังมีอีกหลายพื้นที่ที่ผลผลิตต่อไร่มีปริมาณต่ำเพราะประสบปัญหาจากการระบาดของโรคและแมลงตลอดจนการปลูกที่ขาดประสิทธิภาพ ผนวกกับมีคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญตัวอย่างเช่น ประเทศเวียดนามและอินเดีย ที่มีการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันประชากรโลกนับวันจะเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ โดยกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรในแถบเอเชียที่มีความต้องการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักทุกวัน จากสถิติพบว่า ประชากรโลกบริโภคข้าวเฉลี่ย 118 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ส่วนคนไทยบริโภคข้าวเฉลี่ยสูงถึง 335 กิโลกรัมต่อคนต่อปี อย่างไรก็ตามในขณะที่โลกมีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ความต้องการของผู้บริโภคก็มากขึ้นด้วย แต่ในขณะที่พื้นที่ในการเพาะปลูกข้าวในประเทศไทยนับวันจะมีจำนวนลดลงไม่เพียงพอ ต่อการผลิตข้าวให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการและยังมีปัญหาทั้งทางด้านกายภาพและชีวภาพที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวอีกด้วย [2,3]

จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในนำเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดกับการเพาะปลูกข้าวโดยมีการนำเทคโนโลยีด้านวัสดุนาโนมาประยุกต์ใช้ คือ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มาประยุกต์ใช้ในการปลูกข้าวเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางด้านการเกษตร อย่างไรก็ตามการที่จะทราบว่าพืชแต่ละชนิดจะมีผลผลิตสูงได้นั้น ต้องมีการทดสอบในด้านต่างๆ เช่น การทดสอบการสะสมน้ำหนักแห้งหรือการเจริญเติบโตที่มากพอ ซึ่งน้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง และมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) โดยทั่วไปพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มี CGR สูงย่อมให้น้ำหนักแห้งสูง พืชจะมี CGR สูงหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงเช่นกัน อย่างไรก็ตามอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ถือเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ยังไม่ได้นำมาใช้ในวงการเกษตรอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะการศึกษาวิจัยในระบบการผลิตข้าวยังมีข้อมูลอยู่ค่อนข้างน้อย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงชนิดและสายพันธุ์ของข้าวรวมถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นข้าว

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตในข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นข้าวสายพันธุ์หนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาในการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.2.2 เพื่อศึกษาเข้มข้นความของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.2.3 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.2.4 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลในการช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ โดยทดสอบจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงและปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ รวมถึงปริมาณผลผลิตของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ หากความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีความเหมาะสม จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวและส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของเมล็ดข้าวให้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ

งานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดปริมาณสารอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อดูความเข้มข้นที่เหมาะสม (0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่รวมถึงปริมาณผลผลิตของเมล็ดข้าวที่มีอัตราสูงที่สุด โดยมีการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ระยะเมล็ดจนถึงระยะ 60 วันแรกและระยะ 60 วันแรกจนถึงระยะออกรวง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาในการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.5.2 ทราบถึงผลของเข้มข้นความของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.5.3 ทราบถึงผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในต้นข้าวไรซ์เบอรี่

1.5.4 ทราบถึงผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ข้าว

ข้าว (*Oryza sativa L.*) วงศ์ Poaceae หรือ Gramineae ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า และจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่สามารถกินเมล็ดได้ ข้าวมีประมาณ 23 ชนิด แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก และยังเป็นแหล่งอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตและพลังงานที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ โดยกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นหลัก สำหรับประเทศไทยข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สามารถทำรายได้ปีละหลายแสนล้านบาทซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 36.5 ล้านตันข้าวเปลือก [5]

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของต้นข้าว [6]

2.1.1 ลักษณะที่สำคัญของข้าว

ลักษณะที่สำคัญของข้าวแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต และลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

2.1.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ ส่วนต่างๆของต้นกล้าซึ่งเพาะให้งอกในที่มีแสงแดด ส่วนต่างๆของต้นกล้า ซึ่งเพาะให้งอกในที่มีแสงแดด [7]

(1) ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดิน เพื่อไม่ให้ต้นล้ม แต่บางครั้งก็มีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อ ซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีราก ฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน ด้วยเหตุนี้รากของ ข้าวจึงไม่ได้อยู่ลึกมากจากพื้นผิวดิน แต่ละแขนงของ รากฝอยจะมีรากขนอ่อน ราก ของต้นข้าวนอกจากจะ เกิดที่โคนต้นแล้ว รากอาจเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่ใต้ดินและ อยู่ใต้น้ำด้วย ต้นข้าวใช้รากสำหรับดูดเอาอาหารจากดิน อาหารของต้นข้าวประกอบด้วย แร่ธาตุต่างๆ และน้ำ อาหารเหล่านี้จะถูกส่งไปที่ใบ เพื่อเปลี่ยนเป็นแป้ง โดยวิธีการที่เรียกว่า สังเคราะห์แสง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ลำต้น มีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง ปล้องซึ่งอยู่ที่โคนต้น จะสั้นกว่าและหนากว่าปล้อง ซึ่งอยู่ที่ปลายของลำต้น นอกจากนี้ ปล้องซึ่งอยู่ที่โคนจะมีขนาดโตกว่าปล้อง ที่อยู่ตรงส่วนปลาย ยกเว้นข้าวขึ้นน้ำ ที่ต้องยืดต้นให้สูง เมื่อมีน้ำลึก ปล้องของข้าวขึ้นน้ำยาวมาก และปล้องที่อยู่ใกล้ผิวน้ำ จะโตกว่าที่อยู่ลึกลงไปในน้ำ ที่ข้อ ซึ่งเป็นส่วนที่แบ่งลำต้นออกเป็นปล้องๆ นั้น มีตา สำหรับเจริญเติบโตออกมาเป็นหน่อ ข้อละหนึ่งตา และอยู่สลับกันไปจากข้อหนึ่งไปอีกข้อหนึ่ง สีของข้อก็แตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว ซึ่งอาจจะเป็นสีเหลือง หรือสีม่วงก็ได้ ส่วนความยาวของปล้องนั้น ก็แตกต่างไปตามชนิดของพันธุ์ พันธุ์ต้นสูงจะมีปล้องยาวกว่าพันธุ์ต้นเตี้ย ต้นข้าวถูกห่อด้วยกาบใบ จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นลำต้น หรือปล้องของต้นข้าวในระยะแตกกอ แต่ต้นข้าวมีการยืดลำต้นสูงในระยะออกรวง จนสามารถมองเห็นลำต้นได้ ต้นข้าวกำลังงอก ต้นข้าวกำลังงอก [7]

(3) ใบ ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับทำการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และสร้างเมล็ดของต้นข้าว ใบประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ กาบใบ และแผ่นใบ เชื่อมติดกันด้วยข้อต่อของใบ กาบใบ คือ ส่วนที่ติดอยู่กับข้อของลำต้น และห่อหุ้มต้นข้าวไว้ แต่ละข้อมีเพียงหนึ่งกาบใบเท่านั้น แผ่นใบ คือ ส่วนที่อยู่เหนือ ข้อต่อของใบ มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางๆ พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความยาว ความกว้าง รูปร่าง สีของใบ ตลอดถึงการทำมุมของใบกับลำต้นไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ ที่แผ่นใบของข้าวบางพันธุ์ ก็มีขนหรือไม่มีขนด้วย เมื่อใช้มือจับแผ่นใบที่มีขน จะรู้สึกว่าใบนั้นไม่เรียบ แต่แผ่นใบที่ไม่มีขน จะรู้สึกเรียบๆ ใบข้าวมีขนาดรูปร่างแตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว และบางพันธุ์มีแผ่นใบทำมุมกว้าง หรือทำมุมแคบกับลำต้น เส้นใบของข้าวมองเห็นได้ชัด จากด้านบนของแผ่นใบ เส้นใบจะขนานกัน เพราะข้าวเป็นพืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยว ใบข้าว ใบสุดท้าย ซึ่งหมายถึง ใบที่อยู่ติดกับรวงข้าว เรียกว่า ใบธง ปกติใบธงจะมีลักษณะสั้น และทำมุมกับลำต้น แตกต่างจากใบอื่นๆ ที่อยู่ข้างล่าง ที่ข้อต่อของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างกาบใบ และแผ่นใบ มีลักษณะคล้ายๆ กับข้อที่กั้นแบ่งต้นข้าวออกเป็นปล้องๆ และที่ข้อต่อของใบนี้ มีเยื่อกันน้ำฝน และเขี้ยวกันแมลงติดอยู่ด้วย เขี้ยวกันแมลงมีสองอัน ลักษณะเป็นพู่คล้ายหางกระรอก ติดอยู่ข้างละอันของข้อต่อของใบ ส่วนเยื่อกันน้ำฝนนั้น มีอันเดียว มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ อยู่ด้านในของข้อต่อของใบ และประกบติดอยู่กับลำต้น เยื่อกันน้ำฝนมีขนาดและสีแตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตาม ใบแก่ๆ อาจไม่มีเขี้ยวกันแมลงเหลือติดอยู่เลย เพราะได้ร่วงหล่นไปเสียแล้ว ต้นข้าวต้นเดียวอาจแตกออกเป็นหน่อใหม่ ประมาณ 5-15 หน่อ หน่อใหม่ที่แตกออกมา จะมีจำนวนใบน้อยกว่าต้นแรกของมัน และบางหน่ออาจไม่มีรวง [7]

2.1.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมีย เพราะฉะนั้น ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการ ขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าว และเมล็ดข้าว ส่วนต่างๆของรวงข้าว ส่วนต่างๆของรวงข้าว [7]

(1) รวง หมายถึง ช่อดอกของข้าว (inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อของปล้องอันสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้าย กับข้อต่อของใบธง เรียกว่า คอรวง ดังนั้น คอรวงจะสั้นหรือยาว ย่อมขึ้นอยู่กับระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องสุดท้ายกับข้อต่อ ของใบธง ชาวนาในภาคใต้ที่เก็บเกี่ยวข้าวด้วยแกระ มีความต้องการจะปลูกข้าว ชนิดที่มีคอรวงยาว แต่ชาวนาที่เก็บเกี่ยวด้วยเคียวนั้น ไม่คำนึงถึงความยาวของคอรวงเลย นอกจากนี้ ที่ข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฐานของรวง หรือฐานของช่อดอก รวงข้าวประกอบด้วยก้านอันใหญ่ต่อจากคอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวงขึ้นไป แล้วแตกแขนงแบบราซีมอสโมดบรานชิง (racemose mode branching) ออกไปมากมาย โดยแต่ละข้อของก้านอันใหญ่แตกแขนงออกไปเรียกว่า แขนงที่หนึ่ง (primary branches) และแต่ละข้อของแขนงที่หนึ่ง จะแตกแขนงออกไปอีกเป็นแขนงที่สอง (secondary branches) ดอกข้าว (spikelets) มีก้านดอก ซึ่งเรียกว่า เพดิเซล (pedicel) จะติดอยู่ที่แขนงที่สองของรวงข้าว ลักษณะของรวงข้าว เช่น ความยาว รูปร่าง ความถี่ห่างของข้อของแขนงหรือระแง้ ตลอดถึงมุมของการแตกแขนงออกไปเป็นแขนงที่หนึ่งและแขนงที่สองนั้น แตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว การมีข้อของแขนงที่หนึ่ง และแขนงที่สองถี่นั้น เรียกว่า ระแง้ถี่ ทำให้มีจำนวนดอกต่อรวงมาก ซึ่งเป็นลักษณะของพันธุ์ข้าวที่จะให้ผลิตผลสูง ดอกข้าว ดอกข้าว [7]

(2) ดอกข้าว หมายถึง ส่วนที่มีเกสรตัวผู้และเกสร ตัวเมียสำหรับผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วย เปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกัน เพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก เรียกว่า เลมมา (lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นใน เรียกว่า พาเลีย (palea) ทั้งสองเปลือกนี้ ภายนอกของมันอาจมีขน หรือไม่มีขนก็ได้ ถ้าที่เปลือกนี้ไม่มีขน ที่ใบของมันก็มักจะไม่มีขนและผิวเรียบด้วย ที่ปลายสุดของเปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก จะมีลักษณะเป็นปลายแหลมยื่นออกมา เรียกว่า หาง (awn) พันธุ์ข้าวบางพันธุ์มีหางสั้น บางพันธุ์มีหางยาว พันธุ์ที่มีหางยาว เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ เพราะทำให้เก็บเกี่ยว และนวดยาก นอกจากนี้ อาจทำให้ผู้เข้าไปเก็บเกี่ยวเกิดเป็นแผลตามผิวหนังได้ง่าย ที่ปลายด้านล่างของเปลือกนอกใหญ่ทั้งสองแผ่นเท่านั้น ที่ประสานติดกันอยู่บนก้านสั้นๆ ที่เรียกว่า ราชิลลา (rachilla) และที่ด้านบนของราชิลลานี้ จะมีแผ่นบางๆ สองแผ่นขนาดเท่าๆกัน ทำหน้าที่บังคับให้เปลือกนอกทั้งสองแผ่นดังกล่าว เปิดหรือปิดได้ แผ่นบางๆ สองแผ่นนี้ เรียกว่า โลดิคูลส์ (lodicules) ที่ฐานของราชิลลาจะมีเปลือกบางๆ อีกสองแผ่น ขนาดเล็กกว่าเลมมาและพาเลีย และมีรูปร่างค่อนข้างยาว ประกบอยู่ที่ฐานของเปลือกนอกใหญ่ เรียกว่า เปลือกนอกเล็ก (sterile lemmas) ซึ่งที่ปลายด้านล่างของเปลือกนอกเล็กจะประสานติดกันอยู่รอบๆ ข้อ ที่เรียกว่า รูดิเมนทารี กลูมส์ (rudimentary glumes) ต่อลงมาก็จะเป็นก้านดอก ซึ่งติดอยู่บนแขนงที่สองของรวงข้าว ส่วนที่อยู่ภายในซึ่งเปลือกนอกใหญ่ห่อหุ้มไว้นั้น ได้แก่ เกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) เกสรตัวผู้ประกอบด้วย กระเปาะเกสรตัวผู้ (anther) เป็นสีเหลือง ซึ่งภายในมีละอองเกสรตัวผู้ (pollen grains) ขนาดเล็กจำนวนมาก กระเปาะนี้ติดอยู่บนก้านยาว เรียกว่า ฟิลาเมนต์ (filament) และเชื่อมติดอยู่กับฐานของดอก ในดอกข้าวแต่ละดอก จะมีกระเปาะเกสรตัวผู้จำนวน 6 อัน ส่วนเกสรตัวเมียนั้น ประกอบด้วย ที่รับละอองเกสรตัวผู้ (stigma) ซึ่งมีลักษณะคล้ายหางกระรอกขนาดเล็ก จำนวนสองอัน แต่ละอันมีก้าน (style) เชื่อมติดอยู่กับรังไข่ (ovary) ในรังไข่จะมีไข่ เมื่อถูกผสมเกสรแล้วจะกลายเป็นเมล็ด ดอกข้าวเป็นดอกชนิดที่เรียกว่า ดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) เพราะมีเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมีย อยู่ในดอกเดียวกัน ฉะนั้น การผสมเกสร (pollination) ส่วนใหญ่จึงเป็นแบบการผสมตัวเอง (self-pollina- tion) และมีการผสมเกสรแบบข้ามต้น (cross-po-llination) เป็นจำนวนน้อยมาก หรือประมาณ 0.5-5% เท่านั้น ปกติการผสมเกสร เกิดขึ้นภายในดอกเดียวกัน ในเวลาเช้า และก่อนที่เปลือกนอกใหญ่จะบานออกเล็กน้อยดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายรวงลงมาสู่โคนของรวงข้าวและรวงหนึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7 วัน เพื่อให้ดอกทุกดอกได้บาน และมีการผสมเกสร [7]

(3) เมล็ดข้าว หมายถึง ส่วนที่เป็นแป้งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่เราบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิต และงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ เมล็ดข้าว เมล็ดข้าว การที่ละอองเกสรตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกลงบนที่รับละอองเกสรของเกสรตัวเมียนั้น เรียกว่า การผสมเกสร หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อย ละอองเกสรตัวผู้ก็จะงอกลงไปในก้าน ของที่รับละอองเกสร เพื่อจะได้นำนิวเคลียสจากละอองเกสรตัวผู้ ลงไปผสม โดยรวมตัวกับไข่ และนิวเคลียสอื่นๆ ในรังไข่ นิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับไข่ จะเจริญเติบโตเป็นคัพภะ ส่วนนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่นๆ (polar nuclei) ก็จะเจริญเติบโตเป็นแป้ง ที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม หลังจากการผสมเกสร ประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ เมื่อได้แกะเปลือกนอกใหญ่ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมา จะได้เมล็ดข้าว ที่เรียกว่า ข้าวกล้อง (brown rice) เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ และเมื่อผ่าตัดเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาวแล้ว ศึกษาลักษณะของมันอย่างละเอียด จะพบว่า เมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย เยื่อชั้นนอกบางๆ เรียกว่า เพอริคาร์พเลเยอร์ (pericarp layers) จำนวน 3 ชั้น เยื่อชั้นกลางบางหนึ่งชั้น เรียกว่า เท็กเมน (tegmen) และเยื่อชั้นในบางๆ อีกหนึ่งชั้น เรียกว่า อะลูโรนเลเยอร์ (aleurone layer) ถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีน้ำตาล เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีน้ำตาล และถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีแดง ส่วนภายในที่เป็นแป้ง จะมีลักษณะเป็นแป้งสีขาวหรือใส เป็นจำนวนน้อยมาก ที่มีแป้งเป็นสีแดง ข้าวเหนียวจะมีแป้งเป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามีแป้งใสกว่า อย่างไรก็ตาม ที่แป้งของเมล็ดข้าวเจ้า อาจมีจุดสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้าง หรือตรงกลางของเมล็ดก็ได้ ซึ่งเรียกว่า ท้องไข่ หรือท้องปลาชิว (chalkiness หรือ white center) [7,8]

2.1.2 ความไวต่อช่วงแสง (sensitivity to photoperiod)

ระยะความยาวของช่วงเวลากลางวันมีอิทธิพลต่อการออกดอกของต้นข้าว ดังนั้น พันธุ์ข้าวจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด โดยถือเอาความไวต่อช่วงแสงหรือระยะความยาวของกลางวันเป็นหลัก คือ ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง และข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง [9]

2.1.2.1 ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ข้าวพวกนี้ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น ปกติเราถือว่ากลางวันมีความยาว 12 ชั่วโมง และกลางคืน มีความยาว 12 ชั่วโมง ฉะนั้น กลางวันที่มีความยาวน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันสั้น และกลางวันที่มีความยาวมากกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันยาวและพบว่า ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงในประเทศไทยมักจะเริ่มสร้างช่อดอกและออกดอกในเดือนที่มี ความยาวของกลางวันระยะเวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือมีระยะสั้นกว่านี้ ดังนั้น ข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที จึงได้ชื่อว่าเป็นข้าวที่มีความไวน้อยต่อช่วงแสง (less sensitive to photo period) และพันธุ์ที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10 นาที ก็ได้ชื่อว่าเป็นพันธุ์ที่มีความไวมากต่อช่วงแสง (strongly sensitive to photoperiod) ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์ จึงเรียกข้าวว่า พืชวันสั้น (short-day plant) พันธุ์ข้าวในประเทศไทยที่เป็นพันธุ์พื้นเมืองส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกเป็นข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ

การปลูกข้าวพวกที่ไวต่อช่วงแสงจะต้อง ปลูกในฤดูนาปี (โดยอาศัยน้ำฝน บางครั้งจึงเรียกว่าข้าวนาน้ำฝน) เพราะในฤดูนาปรังกลางวันมีความยาวกว่า 12 ชั่วโมง เดือนที่มีกลางวันสั้นที่สุด ได้แก่ เดือนธันวาคม และเดือนที่มีกลางวันยาวที่ได้สุด ได้แก่ เดือนมิถุนายน ความยาวของกลางวันจะเริ่มสั้นจนมากพอที่จะทำให้ข้าวพวกไวต่อช่วงแสงออกดอก ได้นั้นคือ วันในเดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ข้าวที่มีความไวน้อยต่อช่วงแสงจะออกดอกในเดือนกันยายน ตุลาคม ซึ่งเรียกว่า ข้าวเบา ข้าวที่ออกดอกในเดือนพฤศจิกายน เรียกว่าข้าวกลาง และข้าวที่ออกดอกในเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธันวาคม มกราคม เรียกว่า ข้าวหนัก ด้วยเหตุนี้ ข้าวพวกที่ไวต่อช่วงแสงจะออกดอกในเดือนดังกล่าวนี้เท่านั้น ไม่ว่าจะปลูกในเดือนอะไรก็ตามมันจึงมีระยะการเจริญเติบโตมากพอสมควร เนื่องจากข้าวพวกไวต่อช่วงแสงจะออกดอก เฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันที่ต้องการเท่านั้น ข้าวพวกไวต่อช่วงแสงจึงมีประโยชน์สำหรับชาวนาในบางท้องที่ เช่นในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีฝนตกไม่สม่ำเสมอ ซึ่งหมายความว่า บางปีฝนก็มาเร็วและบางปีฝนก็มาล่า แต่การสิ้นสุดของฤดูฝนนั้นค่อนข้างแน่นอน ปกติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะหมดฤดูฝนในต้นเดือนพฤศจิกายน เพราะฉะนั้น การปลูกข้าวด้วยพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสง และเป็นข้าวเบาหรือข้าวกลาง ถึงแม้จะปลูกช้ากว่าปกติ มันก็จะออกดอกให้เก็บเกี่ยวได้ แต่ผลิตผลอาจลดต่ำลงบ้าง [9]

2.1.2.2 ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง การออกดอกของข้าวพวกนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวได้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันทีไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว ตัวอย่างเช่น ข้าวพันธุ์ กข.1 เป็นพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อมีอายุเจริญเติบโตนับจากวันปลูกกล้าจนครบ 90-100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้น พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงใช้ปลูกได้ผลดีทั้งในฤดูนาปรังและนาปี อย่างไรก็ตาม พวกไม่ไวต่อช่วงแสงมักจะให้ผลิตผลสูงเมื่อปลูกในฤดูนาปรังปกติระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งไวและไม่ไวต่อช่วงแสงแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะการสืบพันธุ์ [9]

2.1.3 วงจรชีวิตของข้าว

วงจรชีวิตของข้าวเริ่มหลังจากการปฏิสนธิเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน และพัฒนาเป็นต้นแก่ออกรวงจนกระทั่งเมล็ดสุกแก่ จะมีระยะเวลาประมาณ 100-200 วัน สามารถแบ่งวงชีวิตของข้าวเป็น 3 ระยะ คือ

2.1.3.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth phase) เริ่มตั้งแต่เมล็ดงอกจนกระทั่ง ระยะกำเนิดช่อดอก (PI) การเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวมีความสำคัญเกี่ยวกับการดำรงชีวิตและ เตรียมสารอาหารต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างส่วนต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าวและ อีกส่วนหนึ่งนำ ไปสะสมไว้สำหรับใช้ในระยะการสืบพันธุ์และระยะการยืดปล้องจนถึงก่อนระยะกำเนิดช่อดอก สามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นออกเป็น 2 ระยะย่อยคือ [9]

(1) basic vegetative phase (BVP) คือ ระยะที่ข้าวยังมีการเจริญเติบโตทางลำต้น ซึ่งความ ยาวนานของระยะ BVP ถูกควบคุมด้วยพันธุกรรมและช่วงแสงไม่มีอิทธิพลต่อระยะ BVP จากรายงานของ IRRI (1985) [10] กล่าวว่า ข้าวมีระยะ BVP เมื่ออายุ 10-63 วัน ซึ่งแตกต่างกัน ไปตามพันธุ์ส่วน Yin et al., (1997) [11]ได้ศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อช่วงแสงในระยะก่อนการกำเนิดช่อดอกของข้าว คือ ระยะ BVP โดยทดลองปลูกข้าว indica type และ japonica type จำนวน 20 พันธุ์ในเรือนทดลองกระจกที่ มีอุณหภูมิช่วงกลางวัน /กลางคืน เท่ากับ 32/24 องศาเซลเซียส (0 องศาเซลเซียส) ให้ได้รับช่วงแสง 9 ชม./วัน (ตั้งแต่ 8.00-17.00 น.) จากนั้น แบ่งข้าวออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งปลูก ในสภาพวันสั้น (ช่วงแสง 10 ชม.) และอีกส่วนหนึ่งอยู่ในสภาพวันยาว (ช่วงแสง 14 ชม.) และ สังเกตระยะ PI จากระยะที่ปลายยอดมีขนาดประมาณ 0.2-0.5 มิลลิเมตร และมีขนสั้นปกคลุมพบว่า 6 ข้าว indica type มีระยะ BVP ที่ ยาวนานกว่า ข้าว japonica type โดยข้าว indica type จะมีระยะ BVP 20-45 วัน ในขณะที่ข้าว japonica type จะมีระยะ BVP 16-34 วัน ส่วน กมรินทร์และคณะ (2548) [12] ได้ศึกษาระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พบว่า มีระยะ BVP ประมาณ 23 วันเมื่อปลูกในสภาพธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) photoperiod sensitive phase (PSP) คือระยะที่ พืชมีการตอบสนองต่อช่วงแสง และ กระตุ้น ให้เกิดการออกดอกได้ความยาวนานของระยะ PSP ขึ้นกับการได้รับช่วงแสงของข้าว จากรายงานของ IRRI (1985) [10] กล่าวว่า ระยะ PSP ของข้าวพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง จะอยู่ที่ 0-30 วัน ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ที่ ตอบสนองต่อช่วงแสงจะมีระยะ PSP ไม่ต่ำกว่า 31 วัน Yin et al. (1997) [11]ศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อแสงในระยะก่อนการกำเนิดช่อดอกของ ข้าวได้แก่ระยะ PSP และPPP (post-photoperiod sensitive phase) หรือระยะหลังจากตอบสนองต่อ ช่วงแสง โดยทดลองปลูกข้าว indica type และ japonica type จำนวน 20 พันธุ์ในเรือนกระจก ทดลองที่ มีอุณหภูมิช่วงกลางวัน /กลางคืน เท่ากับ 32/24 องศาเซลเซียส ให้ได้รับช่วงแสง 9 ชม./วัน (ตั้งแต่ 8.00- 17.00 น.) จากนั้น แบ่งข้าวออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งปลูกในสภาพวันสั้น (ช่วงแสง 10 ชม.) และ อีกส่วนหนึ่งอยู่ในสภาพวันยาว (ช่วงแสง 14 ชม.) และสังเกตระยะ PI จากระยะที่ปลายยอดมีขนาด ประมาณ 0.2-0.5 มิลลิเมตร และมีขนสั้นๆ ปกคลุม พบว่าการตอบสนองต่อช่วงแสงเกิดขึ้นเพียงในช่วง PSP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงแสงที่ได้รับ โดยระยะ PSP ไม่จำเป็นว่าจะต้องยุติลงเมื่อถึง ระยะ PI แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะหยุดที่ 4-5 วันหลังระยะ PI และ ส่วนระยะ PPP จะมีระยะเวลาโดยเฉลี่ย 18-37 วัน ช่วงเวลาของแต่ละระยะนั้นจะผันแปรแตกต่างกนไปตามชนิดและสายพันธุ์ของข้าวด้วย และในทุกๆ พันธุ์ช่วง PSP ในสภาพวันสั้น (24–36 วัน) จะสั้นมากกว่า ในสภาพวันยาว (10- 76 วัน) นอกจากนี้ยังพบว่า หากข้าวได้รับรอบการชักนามากกว่า ความต้องการขั้นต่ำแล้ว ช่วงแสงที่ตามมาต่อจากนั้นจะมีผลต่อการออกดอกและการยืดยาวของช่อดอกน้อยมาก [9]

2.1.3.2 ระยะการสืบพันธุ์ (reproductive phase) เป็นช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะกำเนิดช่อดอกจนถึงระยะดอกข้าวบาน (flowering) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-35 วัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ

(1) ระยะเริ่มสร้างดอกอ่อน เมื่อข้าวได้รับช่วงแสงที่ เหมาะสมจะเริ่มยืดตัวสูงขึ้นโดน เปลี่ยนลักษณะจากลำต้น แบน มาเป็นลำต้นกลม และต้นข้าวจะสร้างปุ่มกำเนิดช่อดอกและพัฒนา ช่อดอก

(2) ระยะตั้งท้อง (booting stage) เป็นระยะที่ ช่อดอกอ่อนของข้าวเริ่มขยายตัวเติบโตขึ้นจนกระทั่ง เป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ กาบใบของใบธงจะทำหน้าที่ ห่อหุ้ม ช่อดอกไว้ภายใน

(3) ระยะออกดอกและการผสมพันธุ์ (flowering and fertilization stage) เป็นระยะที่ต้นข้าวส่งช่อดอกออกจากกาบใบ จากนั่นดอกข้าวจะบานและเกิดการผสมระหว่างเกสรเพศผู้และเพศเมีย

2.1.3.3 ระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด (ripening phase) ตั้งแต่ระยะดอกบานจนกระทั่งเมล็ดมีการพัฒนาเต็ม ที่ช่วงการเจริญเติบโตของเมล็ดเริ่มหลังจากผสมเกสรถึงการสุกแก่ของเมล็ดใช้เวลา ประมาณ 25-35 วัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

(1) ระยะเมล็ดน้ำนม (milk stage) เป็นระยะหลังจากดอกข้าวผสมติดและเริ่มเจริญเป็นเมล็ดขนาดเล็กในดอกข้าว มีการเริ่มสะสมแป้ง ภายในมีของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม

(2) ระยะแป้งในเมล็ดแข็งตัว (soft dough stage) เป็นระยะที่เมล็ดมีการสะสมแป้งมากขึ้น แป้งเริ่มมีการแข็งตัว แต่ยังคงนุ่มอยู่

(3) ระยะเมล็ดสุกแก่ (mature grain stage) เป็นระยะที่มีการสะสมแป้งจนเต็มเมล็ดและแป้งแข็งตัว สีของกลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ความชื้นสัมพัทธ์ในเมล็ดน้อยกว่า 20% [10, 13, 14, 15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ระยะพัฒนาการของดอก

(1) induction stage เป็นการเปลี่ยนแปลงขั้นแรกของการเกิดดอก พืชเริ่มมีการตอบสนองต่อ การกระตุ้นหรือชักนา จากปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย แสง ความสมบูรณ์ของต้น อุณหภูมิ เป็นต้น induction stage เป็นระยะที่ มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสร้างสารเมทาโบไลท์ต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อสังเคราะห์ฮอร์โมนที่ กระตุ้นการเกิดดอกและลำเลียงฮอร์โมนนี้ไปยังส่วนเนื้อเยื่อที่ตาหรือยอด เพื่อเปลี่ยนเป็นตาดอกต่อไป

(2) initiation stage เป็นระยะที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของตาที่จะเจริญเป็นดอก (floral promodia) โดยเซลล์เนื้อเยื่อเจริญเริ่มขยายตัว ทำ ให้มีการพองตัวของตาดอก (floral bud)

(3) floral development เป็นระยะที่ มีการเกิดส่วนประกอบของดอกคือ มีกลีบเลี้ยง (sepal) กลีบดอก (petal) อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (stamen) และอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย (pistil)

(4) emergence เป็นระยะที่ หลังจากดอกพัฒนาอวัยวะต่างๆ อยู่ภายในเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะมีการแทงตาดอกหรือช่อดอกออกมาภายนอก

(5) blooming หลังจากที่แทงช่อดอกออกมาแล้วก็จะเริ่มมีการบานของดอกเกิดขึ้น

(6) anthesis เป็นระยะดอกบาน ซึ่งถือว่าเป็นระยะสุดท้ายของการพัฒนาดอก

(7) senescence หลังจากดอกบานก็จะมีการเหี่ยวของกลีบดอก กลีบเลี้ยงและหลุดร่วงไป เพราะมีการผสมพันธุ์ระหว่างเกสรเพศผู้และเพศเมียเรียบร้อยแล้ว สามารถจำแนกระยะสืบพันธุ์ (reproductive phase) ประกอบไปด้วย 10 ระยะ ย่อย ได้แก่ ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation, R0) ระยะระยะเริ่มสร้างแกนช่อดอกย่อย สร้าง glume, lemma และ palea (panicle differentiation, R1) ระยะตั้งท้องมีการพัฒนาช่อดอกและสร้าง microspore (flag leaf collar formation, R2) ระยะช่อดอกโผล่พ้นใบธง (panicle exertion, R3) ระยะการถ่ายละอองเกสร (anthesis, R4) ระยะที่ช่อดอกย่อยมีการเพิ่มขนาดทั้งด้านยาวและด้านกว้าง (grain length and width expansion, R5) ระยะน้ำนมเมล็ดข้าวมีสีเขียว (grain depth expansion, R6) ระยะเมล็ดมีการสะสมแป้งเป็นลักษณะนิ่ม เมล็ดสีเหลือง (grain dry down, R7) ระยะเมล็ดมีการ สะสมแป้งเป็นลักษณะแข็ง เมล็ดสีน้ำตาล (single grain maturity, R8) และระยะเมล็ดมีสีน้ำตาล และสุกแก่เต็มที่ (complete panicle maturity, R9) โดยระยะ R0 - R3 หมายถึงช่วงการพัฒนาช่อดอก (developing panicle) ส่วนระยะ R4 -R8 หมายถึงช่วงการพัฒนาดอกย่อย (floret) จนกระทั่งเป็นเมล็ด (grain) ที่สุกแก่เต็มที่โดยช่วงปลายของระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น นั้นจะปรากฏขึ้นพร้อมกับช่วงต้นของระยะการสืบพันธุ์คือระยะ R0 - R2 [16]

2.1.5 ข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวไรซ์เบอรี่ (riceberry) เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการผสมพันธุ์ข้ามสายพันธุ์ ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลร่วมกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวฯมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และได้รับความร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและให้ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้บริโภค คุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการของข้าวไรซ์เบอรี่ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน, แกมมาโอไรซานอล, วิตามินอี, แทนนิน, สังกะสีและโฟเลตสูง นอกจากนี้มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งได้แล้ว ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ด้านอาหารโภชนบำบัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ [17]

ในสารสีม่วงของข้าวหอมมะลิสีนิลมีสารประกอบที่สำคัญก็คือ "แอนโทไซยานิน" ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในองุ่นแดงและพรุน โดยที่ข้าวหอมมะลิสีนิล เช่น ข้าวไรซ์เบอรี่ ก็มีสารนี้อยู่มากด้วยเช่นกัน สารแอนโทไซยานินที่มีในข้าวไรซ์เบอรี่ สามารถช่วยในการลดการหลุดร่วง แตกหักของเส้นผม และช่วยให้เส้นผมดำเงางาม รากผมแข็งแรง และช่วยให้เลือดไหลเวียนดีขึ้น ป้องกันคุณไม่ให้เจ็บป่วยง่าย ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง สุขภาพดีและดูอ่อนกว่าวัย

จากรายงานการวิจัยของประเทศญี่ปุ่นในการทดสอบสารแอนโทไซยานินพบว่า สามารถกระตุ้นการเจริญของเส้นผมได้เร็วขึ้นถึง 2 เท่าและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการการมองเห็น ช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดการอุดตันของไขมันในเส้นเลือด ช่วยป้องกันโรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตา สามารถป้องกันมะเร็งทรวงอก มะเร็งกระเพาะอาหารและมะเร็งเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ยังพบว่ามีสารอาหารที่มีประโยชน์จำนวนมากที่มีในสีในเมล็ดข้าว ดังนั้นการบริโภคข้าวไรซ์เบอรี่จึงเป็นอีกทางเลือกที่ดีเยี่ยมสำหรับการมีสุขภาพร่างกายที่ดีอีกด้วย [18]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวไรซ์เบอร์รีและคุณประโยชน์ต่อร่างกาย [18]

สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวไรซ์เบอรี่		
สารอาหาร	**ปริมาณ**	**ประโยชน์ต่อร่างกาย**
โอเมกา 3	25.51 mg/kg	กรดไขมันจำเป็น มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg	ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน รักษาสิว ป้องกันผมร่วง กระตุ้นรากผม
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg	สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินใน เม็ดเลือดแดง และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจน ในร่างกาย และสมอง
วิตามินอี	678 µg/100g	ชะลอความแก่ ผิวพรรณสดใส ลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือด สมองและหัวใจ ทำให้ปอดทำงานดีขึ้น
วิตามินบี 1	0.42 mg/100g	จำเป็นต่อการทำงานของสมอง ระบบประสาท ระบบย่อย ป้องกันโรคเหน็บชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวไรซ์เบอร์รี่และคุณประโยชน์ต่อร่างกาย (ต่อ) [18]

เบต้าแคโรทีน (สารตั้งต้นของวิตามินเอ)	63 µg/100g	ชะลอความแก่ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง บำรุงสายตา
ลูทีน	84 µg/100g	ป้องกันจอประสาทตาเสื่อม บำรุงการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยที่หล่อเลี้ยงตา
โพลิฟีนอล	113.5 mg./100 g	ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้
แทนนิน	89.33 mg/100g	แก้ท้องร่วง แก้บิด สมานแผล แผลเปื่อย
แกมมา โอไรซานอล	462 µg/100g	ลดระดับคอเรสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือด ทำให้เลือดหมุนเวียนไปเลี้ยงอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างเป็นปกติ ลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง สมองเสื่อม
เส้นใยอาหาร (Fiber)	มีอยู่ปริมาณมาก	ช่วยลดระดับไขมันและโคเลสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนัก ช่วยระบบขับถ่าย

ข้าวไรซ์เบอรี่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีเนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระทั้ง quinolone alkaloid, vitamin E, phytate, g-oryzonol, polyphenol และ anthocyanin ในปริมาณที่สูง และในข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่ามี polyphenolic, anthocyanin และbeta carotene ซึ่งพบอยู่มากในส่วน pericarp ซึ่งสารทั้งสามชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะ polyphenolic

อนุมูลอิสระของออกซิเจน หรือ reactive oxygen species (ROS) เกิดขึ้นได้จากกระบวนการปกติของร่างกายและเพิ่มขึ้นจากการอักเสบ การได้รับสารเคมีจากมลพิษ ยาบางชนิด การสูบบุหรี่หรือการได้รับรังสี ROS ทำให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งส่งผลทำให้สารพิษสามารถเข้าไปทำให้เกิดความเสียหายกับเยื่อหุ้มเซลล์ โครงสร้าง DNA และ RNA ตลอดจนชีวโมเลกุลในเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด, โรคไต, โรคข้อรวมทั้งโรคมะเร็ง [18]

การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การรับประทานผัก ผลไม้ รวมทั้งธัญพืช ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถลดอัตราการเกิดโรคเรื้อรังดังกล่าวได้นอกจากนี้การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากอาหารหลายๆประเภทจะให้ผลในการป้องกัน มากกว่าการได้รับจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งเนื่องจากมีฤทธิ์สร้างเสริมกัน โดยธัญพืชจะให้สารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดซึ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อได้รับร่วมกับสารกลุ่มอื่นที่มาจากผักและผลไม้ ฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระในข้าวได้มาจากกลุ่มสารประกอบฟีนอล (Phenolic acid derivatives) ซึ่งสามารถพบได้มากในส่วนของรำข้าว

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ยิ่งมีสีม่วงเข้มมากจะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยิ่งมีมากขึ้นโดยมีค่าระหว่าง 35.3 ถึง 214.7 µmole/g จากการศึกษาด้วยวิธี ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) โดยเฉพาะในรำข้าวไรซ์เบอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ถึง 304.7 μmole/g และเมื่อนำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ มาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำชาเขียว พบว่าข้าวมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่า

สำหรับกระบวนการหุงต้มข้าวที่มีสีม่วงเข้ม ด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า พบว่ามีผลทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงประมาณร้อยละ 50 หรือลดประสิทธิภาพลงประมาณครึ่งหนึ่งของข้าวดิบ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแล้วข้าวสีม่วง ยังมีคุณภาพและมีประสิทธิสูงกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่ม หรือน้ำดื่มชาเขียวที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งสีในเมล็ดข้าวยิ่งมีความเข้มเท่าไรยิ่งทำให้มีปริมาณสารที่ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้นเท่านั้น

จากงานวิจัยพบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอรี่เมื่อหุงสุกแล้ว ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่ไม่ได้ถูกความร้อนทำลายหมด จึงเป็นแหล่งอาหาร ที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง การที่ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด และ โรคมะเร็งได้ [18]

2.2 การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis)

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พืช ,สาหร่าย และแบคทีเรียบางชนิดเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้มาอยู่ในรูปของ พลังงานเคมีที่อยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลสารอินทรีย์นี้ ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของพืชและสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้อาจถือได้ว่าเป็นเพียงกระบวนการเดียวของพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถดึงพลังงานจากดวงอาทิตย์ให้เข้ามาหมุนเวียนในโลก สิ่งมีชีวิตแทบทั้งหมดล้วนอาศัยพลังงานที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโตทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้ยังมีการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่มากของบรรยากาศโลก ด้วย สิ่งมีชีวิตที่สร้างพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ เรียกว่า "phototrophs" พืชหรือสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จะต้องมีสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นไปใช้ในการสร้างพันธะเคมี (chemical bond) ในโมเลกุลของสารอินทรีย์

โมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตนี้คือ รงควัตถุ (pigment) รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic pigment) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของโครงสร้างของโมเลกุล ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll), ไฟโครบิลิน (Phycobilins) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) [19,20]

2.2.1 รงควัตถุสังเคราะห์แสง (Photosynthetic pigment)

(1) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบได้ในแบคทีเรียบางชนิด โครงสร้างของคลอโรฟิลล์อาจแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพรอล (pyrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางโดยทำพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวนี้มีขนาดประมาณ 1.5x1.5 อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีที่ช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีฟ้าและสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว คลอโรฟิลล์จะทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต คลอโรฟิลล์ อยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า เยื่อหุ้มไทลาคอยล์ (Thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายใน คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) โดยปกติคลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ อีเธอร์ อะซิโตน เป็นต้น โดยในพืชชั้นสูงอย่างข้าวจะพบคลอโรฟิลล์เอ และบี มากที่สุด [21] ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ล่ะชนิดมีโครงสร้างหลัก ที่เหมือนกันคือ วงแหวนไพรอล 4 วง แต่โซ่ข้าง (side chain) ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป เช่น คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น นั่นคือที่วงแหวนไพรอลวงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมททิล (-CH3) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ก็ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวเข้ม สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 680 และ 760 นาโนเมตร ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวอ่อนสามารถดูดกลืนแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น ได้แก่ 480, 640 และ 650 นาโนเมตร [19]

(2) ไฟโครบิลิน (Phycobilins) เป็นรงควัตถุที่เป็น accessory light-harvesting pigments ที่พบใน cyanobacteria และสาหร่ายสีแดง มีโครงสร้างเป็น open-chain tetrapyrroles โดยไฟโครบิลินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปมี 3 ชนิดคือ phycoerythrin, phycocyanin และ allophycocyanin (allophycocyanobilin) ซึ่งทั้งสามชนิดนี้จะไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบเฉพาะใน cyanobacteria และสาหร่ายสีแดงเท่านั้น [19]

(3) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสง accessory light-harvesting pigment เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยป้องกันอันตรายจากแสง (photoprotective agents) ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสมและช่วยป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) แคโรทีนอยด์นั้นจะสามารถดูดกลืนแสงและผ่านพลังงานแสงไปยังคลอโรฟิลล์เอ เพื่อทำให้คลอโรพลาสต์เก็บเกี่ยวพลังงานที่คลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอ ไม่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกช่วงคลื่น [19]

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant enzyme activites)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หรือที่นิยมเรียกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ หมายถึงสารประกอบที่สามารถช่วยป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารได้ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมีได้หลายรูปแบบ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้ทำให้แอปเปิ้ลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันถือเป็นกระบวนการที่สำคัญ แต่เนื่องจากเป็นปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ [22] จึงมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่เข้าไปยุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ถ้าสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยเกินไป จะมีผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) [23] ดังนั้นพืชและสัตว์จึงมีวิธีการในการรักษาสมดุลด้วยกลไลที่ซ้อนของปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ เช่น

(1) Superoxide dismutase (SOD) เป็นกลไกแรกในการป้องกันอนุมูลอิสระต่อเซลล์ SOD เป็นเอนไซม์ที่ทำงานร่วมกับโลหะ (metal enzyme) ในเซลล์ eurkaryote SOD ที่อยู่ใน cytoplasm (cytosolic SOD) ใช้ทองแดงและสังกะสีช่วยในการทำงาน หรือเป็น prosthetic group ในขณะที่ SOD ใน mitochondria (mitochondrial SOD) ใช้แมงกานีส การทำงานของ SOD เกิดปฏิกิริยาทั้งออกซิเดชันและรีดักชันพร้อมกัน เรียกว่าดิสมิวเทชัน (dismutation) SOD รีดิวซ์ 1 โมเลกุลของ O_2^- ให้เป็น H_2O_2 และออกซิไดซ์อีก 1 โมเลกุลของ O_2^- ให้เป็นออกซิเจน

(2) Catalase (CAT) เป็นเอนไซม์ที่กำจัด H_2O_2 จากเนื้อเยื่อต่างๆ ป้องกันไม่ให้เซลล์ถูกทำลายและป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เป็นอันตราย ทั้ง SOD และ catalase มักพบร่วมกันในธรรมชาติ การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ทั้งสองจะทำให้เกิดระบบต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง [22]

(3) Glutathione peroxidase (GPx) เป็นเอนไซม์ที่พบทั้งใน cytoplasm และใน mitochondria เอนไซม์ GPx ทำงานร่วมกับซีลิเนียม จัดเป็น selenoenzyme ทำหน้าที่กำจัด hydroperoxides โดยอาศัยรีดิวซ์กลูตาไทโอน (reduced glutathione) ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นออกซิไดซ์กลูตาไทโอน (oxidized glutathione) พร้อมทั้งเกิดการรีดิวซ์ hydroperoxide หรือ lipid hydroperoxide (LOOH) Glutathione S transferase (GSH transferase) เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารพิษต่างๆ [24,25]

(4) วิตามินอี (tocopherols) เป็นวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน จึงมีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายส่วนที่ละลายในไขมัน โดยพบมากสุดที่ lipoprotein และทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระกลุ่ม peroxyl ซึ่งละลายในไขมัน (lipid-soluble peroxyl radical scavenger) และช่วยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิด lipid peroxidation เพื่อป้องกันอันตรายและรักษาไว้ซึ่งคุณสมบัติทางชีวภาพ (bioactivity) ของ polyunsaturated fatty acid ที่เยื่อหุ้มของเซลล์ วิตามินอีทำหน้าที่ให้ hydrogen atom แก่อนุมูล peroxyl ส่งผลให้เกิด อนุมูล tocopherol ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูล peroxyl อื่นได้สารที่มีความเสถียร บทบาทในการ scavenge อนุมูล peroxyl ของวิตามินอีมีหลักฐานทั้ง *in vitro* และ *in vivo* วิตามินอีช่วยลด lipid peroxidation และการตายของเซลล์ Jurkat ที่ถูกเหนี่ยวนำให้ขาด Selenium และในเซลล์ประสาท (immature primary cortical neuron) ที่ขาด glutamate งานวิจัยในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการเป็น peroxyl radical scavenger เป็นกลไกหลักหรืออาจเป็นเพียงกลไกเดียวในการต้านอนุมูลอิสระของวิตามินอี และวิตามินอีไม่มีประสิทธิภาพในการ scavenge อนุมูล hydroxyl, alkoxyl, nitrogen dioxide, และ thiyl ใน *in vivo* ดังนั้น ในการเกิดประสิทธิภาพสูงสุด วิตามินอีต้องทำงานร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น เช่น วิตามินซี และซิลิเนียม เป็นต้น [26,27,28] วิตามินอี สามารถพบได้ในน้ำมันจากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ดอกคำฝอย เมล็ดทานตะวัน ข้าวโพด ถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) วิตามินเอ (retinoids) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) แหล่งของวิตามินเอได้รับจากพืชอยู่ในรูปของแคโรทีนอยด์ที่ร่างกายสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์โปรวิตามินเอ (provitamin A) แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุธรรมชาติ (natural pigment) ที่พบในพืช จุลินทรีย์ และสัตว์บางชนิด เช่นใน lobster แคโรทีนอยด์มีอยู่มากในผักและผลไม้ที่มีสีเหลือง แดง และส้ม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ conjugated polyenes สายยาว (long chain of conjugated polyenes) ที่พบในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ ส่วนใหญ่ ในธรรมชาติมีแคโรทีนอยด์กว่า 600 ชนิดจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลักคือ carotenes, xanthophylls และlycopene แคโรทีนอยด์เป็นโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ จึงทำหน้าที่ในบริเวณที่เป็น hydrophobic ของเซลล์ คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของทั้งวิตามินเอและแคโรทีนอยด์เกิดผ่านส่วนที่เป็น hydrophobic chain ของ polyene ที่ต้าน thiyl (RS) และ peroxyl radical และระงับสัญญาณ (Quench) singlet oxygen โดยทั่ว ไป ถ้าสายของ polyene (polyene chain) ยิ่งยาวความสามารถในการทำให้ peroxyl radical เสถียรยิ่งสูง [29,30,31]

(6) วิตามินซี (ascorbic acid) เป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ดี สลายตัวง่ายเมื่อได้รับความร้อน แสง และอากาศที่มีความชื้น วิตามินซีพบมากในพืชจำพวก ส้ม ฝรั่ง มะเขือเทศ กะหล่ำปลี และผักสีเขียว พืชและสัตว์ส่วนใหญ่จึงสามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้เอง วิตามินซี มีบทบาทและหน้าที่ต่างๆ เช่น ช่วยสังเคราะห์และป้องกันความเสียหายที่เกิดต่อ collagen ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ (neutralize free radical) ได้ทั้งภายในเซลล์และใน plasma เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี [32]

(7) สารประกอบโพลิฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารกลุ่มฟีนอลที่สามารถละลายน้ำได้ พบได้ในพืชผักและผลไม้ทั่ว ไป เช่น องุ่น หม่อน เปลือกมะขาม ชา บล็อกเคอลี่ เป็นต้น สูตรโครงสร้างเคมีของสารประกอบโพลิฟีนอลเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่า สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลากหลายชนิดซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน สารประกอบโพลิฟีนอลสามารถจำแนกเป็นกลุ่มที่มีฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และกลุ่มที่ไม่มีฟลาโวนอยด์ (non-flavonoids) กลุ่มที่ใหญ่ที่สุดคือกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีสารประกอบมากกว่า 2000 ชนิด ตัวอย่างสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผัก ผลไม้และธัญญาพืช ใน 6 กลุ่มย่อย คือ flavanols (flavan-3-ols) (เช่น catechin, epicatechin, epigallocatechin gallate เป็นต้น) flavanones (เช่น naringin, taxifolin เป็นต้น), flavonols (เช่น kaempferol, quercetin, myricetin เป็นต้น), flavones (เช่น chrysin, apigenin เป็นต้น), anthocyanidins (เช่น cyanidin, malvidin, apigenidin เป็นต้น) และ isoflavonoids (เช่น genistein, daidzein เป็นต้น) ตัวอย่างสารประกอบโพลีฟีนอลที่ไม่ใช่ฟลาโวนอยด์ที่เป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ transresveratrol ซึ่งเป็นสารสกัดจากเมล็ดองุ่น คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบโพลีฟีนอลเกิดได้หลายกลไก เช่น เป็นตัวให้ไฮโดรเจน กำจัดอนุมูล peroxyl และหยุดปฏิกริยาลูกโซ่ (chainbreaking peroxyl-radical scavenger) ยับยั้ง lipid peroxidation กำจัด Reactive oxygen srecies โดยตรง ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (chelator) สามารถดักจับ transition metal ions โดยเฉพาะเหล็กและทองแดงที่สามารถเร่งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช (Physiological trait)

2.4.1 อัตราการเจริญของพืช (Crop growth rate; CGR)

อัตราการเจริญเติบโต (CGR) เป็นดัชนีบ่งบอกถึงอัตราการสะสมน้ำหนักของพืชต่อพื้นที่ดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา ในทางพืชไร่มีการใช้ค่านี้กันมากในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช โดยอัตราการเจริญเติบโต ของพืชขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์แสงนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบ หรือดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน ซึ่งดัชนีพื้นที่ใบมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช อัตราการเจริญเติบโตของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ถ้าพืชที่มีดัชนีพื้นที่ใบมากย่อมมีโอกาสที่จะรับแสงและสังเคราะห์แสงได้มาก แต่ก็อาจจะไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของใบ หากมีการเรียงไม่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดการบังแสงกับใบอื่น พื้นที่ใบจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกและปัจจัยอื่นๆ พืชจะมีการสังเคราะห์แสงสูงสุดเมื่อดัชนีพื้นที่ใบอยู่ในระดับที่เหมาะสมและค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชตามสภาพแวดล้อมตลอดจนความเข้มแสง ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ของพืชแต่ละชนิด [33]

2.4.2 น้ำหนักแห้ง (Dry matter)

น้ำหนักแห้งเป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถใช้บ่งบอกระดับการเจริญเติบโตของพืช น้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง และน้ำหนักแห้งที่เกิดขึ้นนี้จะมากหรือน้อย เราสามารถพิจารณาหรือวัดได้จากอัตราการเจริญเติบโต (CGR) โดยทั่วไปพืชที่มี CGR สูงย่อมให้น้ำหนักแห้งสูงด้วย และยังสามารถใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงระดับการให้ผลผลิตได้ด้วยเช่นกัน น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจะมีความสำคัญกับศักยภาพการให้ผลผลิตข้าว หากพืชจะให้ผลผลิตที่สูง พืชจะต้องมีการเจริญเติบโตหรือการสะสมน้ำหนักแห้งที่มากพอ [33]

2.4.3 ดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI)

ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) เป็นสัดส่วนของผลผลิตในทางชีวภาพที่กลายมาเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจ เป็นสิ่งที่บอกถึงประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืช (partitiontingefficiency) จากต้นและใบ (source) ไปยังส่วนที่เจริญเป็นผลผลิตหรือส่วนที่ถูกเก็บเกี่ยว (sink) ถ้าสัดส่วนหรือปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพเปลี่ยนแปลงมาเป็นผลผลิตมากขึ้นเท่าใดค่าดัชนีเก็บเกี่ยวก็จะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นเท่านั้น [33]

2.5 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยีเป็นการประยุกต์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้าง การวิเคราะห์ การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอมรวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมากหรือการจัดเรียงอะตอมและโมเลกุลของสารในตำแหน่งที่ต้องการ ได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุ อุปกรณ์ หรือสสารมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมีหรือชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยได้ วิทยาการนี้มีการค้นคว้าวิจัยในระดับห้องทดลองเป็นเวลานานกว่า 30 ปีแต่นาโนเทคโนโลยีเพิ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเมื่อไม่กี่ปีมานี้เมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะนำเอาทฤษฎีทางด้านนาโนเทคโนโลยีในห้องทดลองมาปรับใช้กับสินค้าทั่วไปตามท้องตลาดเช่น ทางด้านการเกษตร ด้านบรรจุภัณฑ์และด้านเครื่องสำอาง เป็นต้น เมื่อนาโนเทคโนโลยีเป็นเรื่องใกล้ตัวในชีวิตประจำวันจึงเริ่มเป็นที่สนใจของคนจำนวนมาก [34]

2.5.1 อนุภาคนาโน (Nanoparticle)

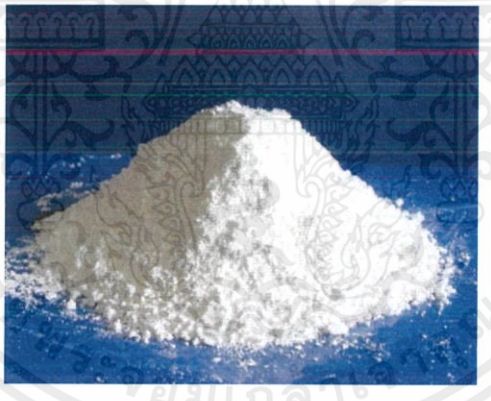
อนุภาคนาโนเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร) ซึ่งโดยประมาณเทียบได้กับขนาดเฉลี่ยของไวรัส หรือมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของคน ประมาณ 1,000 ถึง 100,000 เท่า เนื่องจากอนุภาคนาโนมีขนาดที่เล็กมากทำให้สามารถตรวจพบได้ยากหรืออาจสัมผัสรับเข้าไปโดยไม่รู้ตัวคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอนุภาคนาโนก็คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรค่อนข้างสูง สัดส่วนพื้นที่ผิวของอะตอมที่สูงมากทำให้อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากก้อนปริมาตรของวัสดุในขนาดใหญ่ วัสดุนาโนสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาจพบได้หลังเกิดไฟป่า หรือภูเขาไฟระเบิดหรือบางชนิดอาจอยู่ในรูปของอนุภาคไวรัส ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่วนอนุภาคนาโนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ได้จากการสังเคราะห์โดยตรง และเป็นสารปนเปื้อนออกมาเช่น จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เครื่องจักร หรือยานพาหนะ หรือจากกระบวนการผลิตทั้งทางเคมี และชีวภาพ [34,35]

ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น เทคนิคไอระเหยอาจเตรียมจากการเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางฟิสิกส์ (physical vapor deposition, PVD) การเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางเคมี (chemical vapor deposition, CVD) กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของเหลวจะเกี่ยวข้องกับวิธีการโซลเจล (sol-gel) และสารละลายเคมี กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของแข็งสามารถเตรียมจากการบด การขัดสี หรือการสังเคราะห์ทางเคมีเชิงกล (mechanochemical) แต่ละวิธีที่กล่าวถึงจะมีประโยชน์และข้อบกพร่องเป็นลักษณะเฉพาะของตนเอง สำหรับการเตรียมผงแป้งนาโนที่มีปริมาณมากๆ วิธีการที่นิยมใช้ทั่วไปคือกระบวนการบดหรือการขัดสีเชิงกล (ball milling) และการฉีดพ่นละอองสาร (spraying) โดยอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์จากหลายๆวิธีการทำให้อนุภาคนาโนอาจจะมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุ กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนให้มีความหนาแน่นมากเป็นก้อนขนาดใหญ่หรือเคลือบให้มีความหนาของเม็ดผลึกอยู่ในระดับนาโนค่อนข้างลำบากและยุ่งยากมากในทางปฏิบัติ เนื่องจากอนุภาคนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง และมีการเกาะกลุ่มกันอย่างแข็งแรงเหนียวแน่น ในบางครั้งการสังเคราะห์ของอนุภาคนาโนอาจจะต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อไม่ให้เกินการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือผลลัพธ์ของกระบวนการนั้น [34,35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zine oxide; ZnO)

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร) มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรียและยังสามารถช่วยป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ตัวอย่างการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซเพื่อใช้สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสงและสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง นอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับคนโดยตรงคือเครื่องสำอางโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลชั่นกันแดดที่เริ่มนิยมนำนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้เป็นองค์ประกอบเนื่องจากมีระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับเดียวกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ขนาดใหญ่กว่านาโนแต่ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของโลชั่นกันแดดที่มีอนุภาคนาโนเป็นองค์ประกอบคือการส่งผ่านแสงได้ดีกว่าทำให้ไม่ทิ้งร่องรอยให้เห็นเป็นสีขาวอย่างชัดเจนบนผิวเมื่อเทียบกับโลชั่นกันแดดที่ใช้อนุภาคขนาดใหญ่จากเหตุนี้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จึงได้รับความสนใจในการใช้ประโยชน์มากขึ้นทำให้เกิดการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งผลที่ตามมาคือการศึกษาด้านความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในแง่มุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อมหรือด้านความเป็นพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต [35]



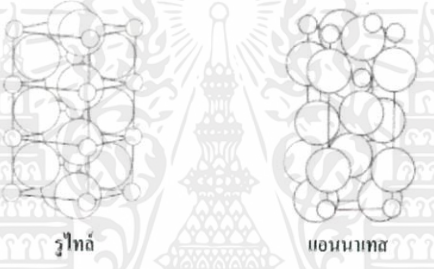
รูปที่ 2.3 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [36]

2.5.3 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร) ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดทั่วโลก ลักษณะโดยทั่วไปมีเป็นผงสีขาว ทึบแสง เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติซึ่งมีการจัดแบบโครงสร้างผลึกอยู่ 2 รูปแบบใหญ่ คือ รูไทล์และอานาเทส โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 2 รูปแบบจะมีไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อยู่กับสารปนเปื้อนจึงต้องผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อจะนำสารปนเปื้อนออกเหลือไว้แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์

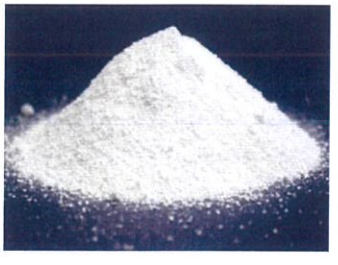
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบผลึกรูไทล์ (rutile) สามารถดูดกลืนแสง UV ได้ จึงถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจำพวกไวท์เทนนิงและครีมกันแดดส่วนอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของผลึกแอนนาเทส (anatase) มีสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น สามารถฆ่าเชื้อจำพวก E.coli ซึ่งทำให้เกิดโรคท้องเสีย ท้องรวง เป็นต้น โดยเมื่ออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง UV จะทำปฏิกิริยากับน้ำที่อยู่บนผิวของเชื้อโรค จะได้อนุมูลอิสระซึ่งไปทำหน้าที่ออกซิไดซ์ผนังเซลล์ของเชื้อโรครวมถึงสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ ทำให้เชื้อโรคและสารต่างๆเหล่านั้นแตกสลายในที่สุด จากสมบัติดังกล่าวอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงถูกนำมาใช้เคลือบเส้นด้ายหรือสิ่งทอเช่น เสื้อผ้า เบาะรถยนต์ และยังนำมาใช้ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ เช่น นำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศเพื่อช่วยในการกำจัดมลพิษต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการนำมาทำโลหะผสมที่มีสมบัติป้องกันการผุกร่อน ใช้ในการผลิตเม็ดสีขาวสำหรับสีทาอาคารและใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ [37]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ [38]

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยาแตกตัวเป็นประจุที่เรียกว่า ปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสง (Photocatalyst) ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่อยู่ในน้ำ อากาศและสิ่งมีชีวิต เมื่ออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสง UV จะเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนคู่บนผิวหน้าของอนุภาคซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ เช่น ไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl ions, OH^-) และซูปเปอร์ออกไซด์ไอออน (superoxide ions, O_2^{2-}) ขึ้นซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย (oxidation) ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ต่างๆ [37,39,40]



รูปที่ 2.5 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางด้านการเกษตร

ในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเช่น ทางด้านการเกษตร ได้มีการทดลองใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กับพืชหลายชนิด เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย และจากการศึกษาของ Mohammad (2013) [42] อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ช่วยปรับปรุงการงอกของถั่วเหลืองภายในสภาวะความแห้งแล้งและภายใต้ความเครียดได้ดีขึ้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีผลต่อการงอกของพืชซึ่งจะส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นทำให้ผลผลิตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณและค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลัก คือ NPK และยังเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย สามารถเก็บรักษาได้ตามปกติเหมือนสารเคมีทั่วไป มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเพราะเป็นอนุภาพที่มีความเสถียรแล้วจนในปัจจุบันได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางด้านการเกษตรกันอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีอนุภาคนาโนที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้คือ อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสง (Photocatalyst) ของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) สามารถไปทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ จากการทดลองส่วนใหญ่นิยมทำอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มาทำให้อยู่ในรูปของสารเคลือบผิวหรือฟิล์มบางเพื่อป้องกันวัสดุจากเชื้อแบคทีเรีย

2.6.1 การใช้ซิงค์ออกไซด์เพื่อเพิ่มปริมาณการงอกของเมล็ดข้าว

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (2557) [3] รายงานว่า ต้นข้าวที่เกิดจากเมล็ดข้าวที่ทำการแช่ด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีอัตราการงอกคิดเป็นร้อยละ 93 โดยมีอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าต้นข้าวที่เกิดจากเมล็ดที่ไม่ได้แช่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลในการกำจัดเชื้อราและแบคทีเรียอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคที่ทำให้เกิดการตายของต้นข้าวและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

2.6.2 การใช้วัสดุนาโนคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการปรับปรุงดิน

จากการศึกษาของ พงศกร เทียนดี (2558) [43] ในงานวิจัยการปรับปรุงดินเสื่อมสภาพโดยเติมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี โดยสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอน (2:1, 4:1 และ 8:1) และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ (200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต, โครงสร้างสัณฐานวิทยาและปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในต้นข้าวโพด ข้าว และถั่วลิสง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 4:1 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถเพิ่มค่าอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนที่ 1:0 และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ที่ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา

จากการศึกษาของ นิสาชล เทศศรี (2558) [44] ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราก่อโรคพืช 3 ชนิด ได้แก่ *Fusarium sp., Alternaria sp.*และ *Colletotrichum sp.* โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 ชนิด ได้แก่ นาโนซิงค์ออกไซด์รูปแท่ง นาโนซิงค์ออกไซด์รูปแผ่น นาโนคอปเปอร์-ซิงค์ออกไซด์และนาโนซิลเวอร์-ซิงค์ออกไซด์ มาทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อราด้วยวิธี poisoned food technique ที่ความเข้มข้น 500 ppm พบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แต่ละชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยแตกต่างกันโดยนาโนซิลเวอร์-ซิงค์ออกไซด์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใย *Alternaria sp.* ได้ดีที่สุดที่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 64 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งกับสารเคมีเกษตร แมนโคเซบ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งใกล้เคียงกันจากนั้นทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใย *Alternaria sp.* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่านาโนซิลเวอร์-ซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยโดยมีผลต่อกลไกการทำงานภายในเซลล์ทำให้เส้นใยเชื้อรามีรูปร่างผิดปกติ และนาโนซิลเวอร์-ซิงค์ออกไซด์ยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งในการสร้างสปอร์ของ *Alternaria sp.* การใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์-ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้ควบคุมโรคพืชทดแทนการใช้สารเคมีในปัจจุบัน

2.6.4 ผลการทดสอบการยืดอายุของข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์ม

จากการศึกษาของ บุษบากร คงเรือง (2553) [45] โดยการทดสอบการยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อน ด้วยฟิล์มที่ทำการเคลือบ ด้วยอนุภาค $TiO_2/3SnO_2/0.5Fe^{3+}$ และฟิล์มที่ไม่เคลือบ จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างได้อย่างชัดเจน คือ ข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มเริ่มมีราเกิดขึ้นหลังการทดลอง 7 วัน และราเริ่มขยายบริเวณมากขึ้นเรื่อยๆกลิ่นความสดของข้าวโพดเริ่มหายไปในวันที่ 7 แต่ข้าวโพดฝักอ่อนที่หอด้วยฟิล์มที่เคลือบสามารถยืดอายุข้าวโพดได้นานถึง 22 วัน โดยลักษณะของข้าวโพดในวันที่ 22 คือ ข้าวโพดฝักอ่อนเริ่มมีลักษณะเหี่ยวเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำของข้าวโพดฝักอ่อนในระหว่างการเก็บรักษา กลิ่นของข้าวโพดฝักอ่อนเริ่มไม่มีกลิ่นความสด โดยจากการทดลองพบว่าฟิล์มที่เคลือบ $TiO_2/3SnO_2/0.5Fe^{3+}$ สามารถยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อนได้ถึง 16 วัน เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบซึ่งมีอายุความสดของข้าวโพดฝักอ่อนได้ไม่เกิน 7 วัน

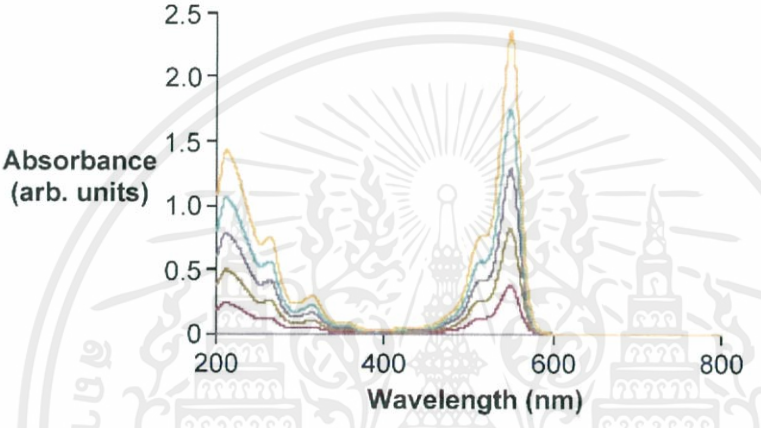
2.7 เครื่องมือและเทคนิคการวัด

2.7.1 UV-VIS Spectroscopy

UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity โดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และVisible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบเชิงซ้อน, สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี โดยสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มของสารนั้น [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

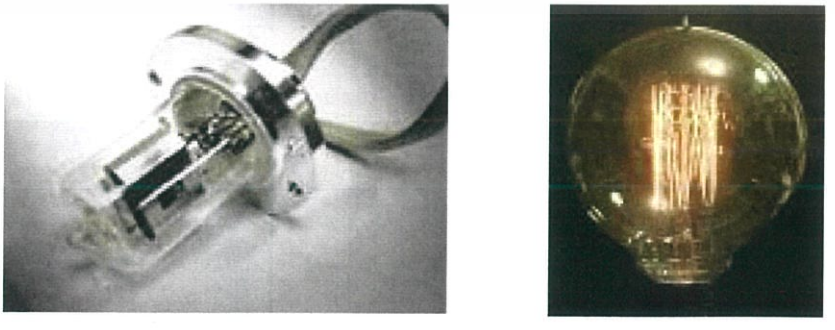
ซึ่งคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่ มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยน สถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่า ต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังรูป



รูปที่ 2.6 UV-VIS spectrum [47]

2.7.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

(1) แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลาซึ่งหลอดกำเนิดแสงจะมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง เช่น แหล่งกำเนิดแสง ช่วง Ultra violet (UV) ใช้หลอด H_2 and D_2 lamp โดยให้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 160-380 นาโนเมตร ส่วนช่วงUV molecular absorption และ Visible (VIS) จะใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร เป็นต้น



รูปที่ 2.7 หลอดดิวเทอเรียม (ซ้าย) และหลอดทังสเตน (ขวา) [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ส่วนเลือกความยาวคลื่น (wavelength selector) เป็นส่วนที่ใช้แยกความยาวคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลายๆ ความยาวคลื่น (polychromatic wavelength) ให้เป็นแถบแสงในช่วงแคบๆ หรือ เป็นความยาวคลื่นเดี่ยว (monochromatic wavelength) เครื่องมือสมัยก่อนจะใช้ปริซึมหรือ ฟิลเตอร์สำหรับแยกความยาวคลื่น แต่ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้โมโนโครเมเตอร์ (monochromater) แบบเกรตติ้ง (grating) สะท้อนแสงซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กๆ ขนานกันจำนวนมาก แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะตกกระทบลงบนผิวหน้าของร่อง แล้วสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เฉพาะความยาวคลื่นที่เราเลือกเท่านั้นจึงจะผ่าน ช่องแสงออก (exit slit) ไปสู่สารตัวอย่าง [46]

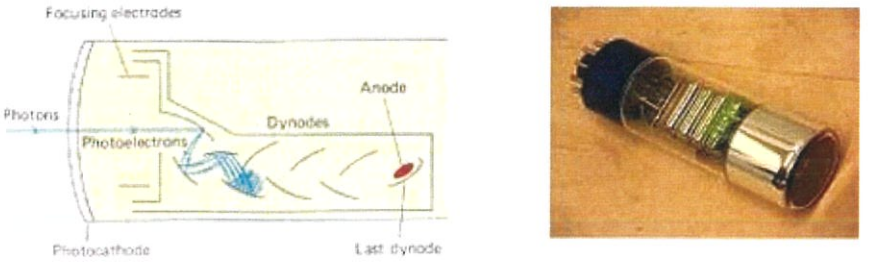
(3) ภาชนะใส่สารตัวอย่าง (cell sample) ภาชนะใส่สารตัวอย่างจะเรียกว่า เซลล์หรือคิวเวทท์ (cuvette) มีหลายแบบหลายขนาดด้วยกันขึ้นกับการใช้งาน หลักสำคัญในการเลือกใช้ก็คือ การวัดในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต จะต้องใช้เซลล์ที่ทำจากควอตซ์ (quartz) เท่านั้น เนื่องจากแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตได้ ส่วนเซลล์ที่ทำจากแก้วจะใช้วัดในช่วงแสงที่มองเห็นได้ นั่นหมายความว่าถ้าเราต้องการวัดสารในช่วงแสงที่มองเห็นได้ก็ควรจะใช้เซลล์ ที่ทำจากแก้ว การใช้เซลล์ควอตซ์ไม่ได้มีผลให้การวัดแสงดีขึ้นแต่จะสิ้นเปลืองเปล่าประโยชน์เพราะควอตซ์ราคาแพงกว่าแก้วมาก [46]

รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง cuvettes แบบต่างๆ [46]

(4) ตัวจับสัญญาณ (detector) เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ ปัจจุบันเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวตรวจจับสัญญาณ 2 ชนิดคือ [46]

(4.1) หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube; PMT) หลอด PMT ประกอบไปด้วยแคโทด (cathode) ที่ฉาบผิวด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้เมื่อถูกแสงจำนวน 9 ชุด เรียกว่า ไดโนด (dynode) แต่ละไดโนดจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อแสงตกกระทบกับไดโนดตัวที่หนึ่งสารที่ฉาบผิวจะเกิดอิเล็กตรอนขึ้น แล้ววิ่งไปกระทบไดโนดที่สอง สาม สี่ จนครบทั้งเก้าตัว ดังนั้นปริมาณอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นถึง 106-107 เท่า แล้วจึงชนแอโนดให้กระแสไฟฟ้าออกมาเข้าเครื่องขยายสัญญาณต่อไป

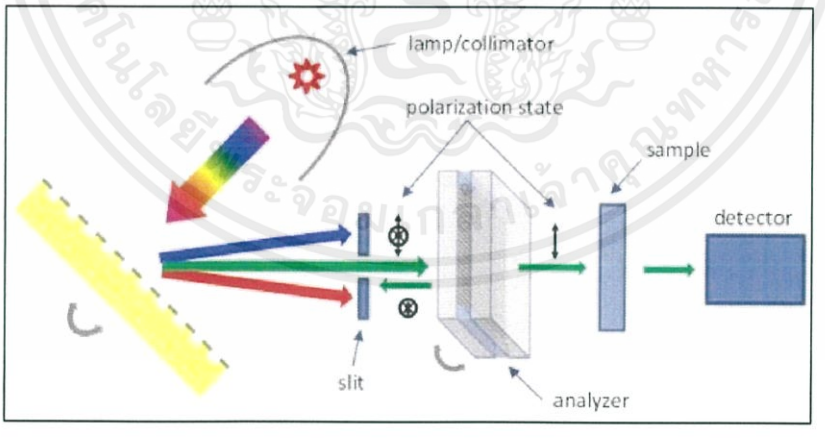
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวางของหลอด PMT (ซ้าย) และลักษณะหลอด PMT ในสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ขวา) [46]

(4.2) **โฟโตไดโอดอาร์เรย์ (photodiodearrays; PDA)** ตัวตรวจจับสัญญาณชนิดนี้สามารถจับสัญญาณได้ครอบคลุมทั้งสเปกตรัมโดยใช้ ไดโอดนี้ มาเรียงต่อกันเป็นแถว ซึ่งสามารถวัดครอบคลุมสเปกตรัมได้ตั้งแต่ 200-1100 nm ตัวตรวจจับสัญญาณนี้ประกอบไปด้วยโฟโตไดโอดและตัวเก็บประจุ (capacitor) ประมาณ 200- 4000 ตัวเรียงต่อกันเป็นแถว หลักการเริ่มต้นด้วยการให้ประจุผ่านผิวหน้าไดโอด ซึ่งไดโอดก็จะเก็บประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุ เมื่อแสงตกลงบนไดโอดจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าไปทำลายประจุที่เก็บไว้ที่ตัวเก็บ ประจุ ทำให้ต้องใส่ประจุเพิ่มเข้าไปใหม่ซึ่งเป็นช่วงของการสแกนแต่ละครั้งนั่นเอง ปริมาณของประจุที่ต้องใส่เข้าไปใหม่ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มแสงที่วัดได้ของแต่ละไดโอด ดังนั้นจากการวัดปริมาณแสงที่แตกต่างกันตลอดช่วงความยาวคลื่นจะได้เป็น สเปกตรัมการดูดกลืนของสารนั้นออกมา

(5) **ส่วนบันทึกและแปรผลสัญญาณ (recorder and processor)** ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และแปรผลสัญญาณให้ออกมาในมาตราส่วนแบบล็อก (log scale) [46]



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

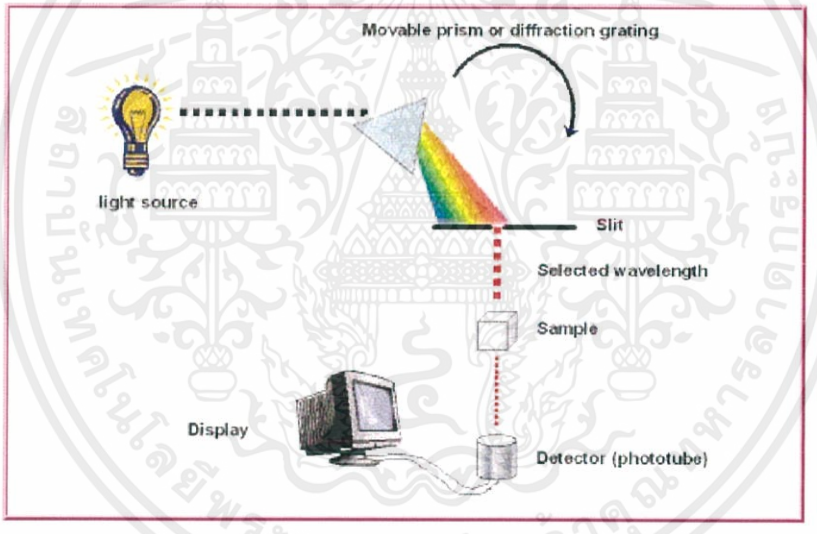
2.7.1.2 รูปแบบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

(1) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว (single beam spectrophotometer) เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) แล้ว จะผ่านโมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติ้ง (grating) และสารตัวอย่าง (sample) ตามลำดับ แล้วจึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector) ตลอดเส้นทางของลำแสงนี้มีลำแสงเดียว จึงเรียก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำแสงเดี่ยว เนื่องจากสเปกโทรโฟโต มิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำแสงเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดและเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณเลย ดังนั้นการวัดจึงต้องวัด 2 ครั้ง ดังนี้ [45]

- ครั้งแรกเซลล์บรรจุแบลงค์ (blank) ซึ่งเป็นตัวทำละลายของตัวอย่างที่เราต้องการวัดเมื่อลำแสงผ่านเซลล์ ปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง “ศูนย์” (set zero)

- ส่วนครั้งหลังบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด (sample) แล้วจึงให้ลำแสงผ่านเซลล์ ความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนแสงของทั้ง 2 ครั้งจะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์จากนั้นก็สามารถวัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นอื่นๆ ต่อไปได้เลย โดยไม่ต้องกลับไปวัดแบลงค์อีก

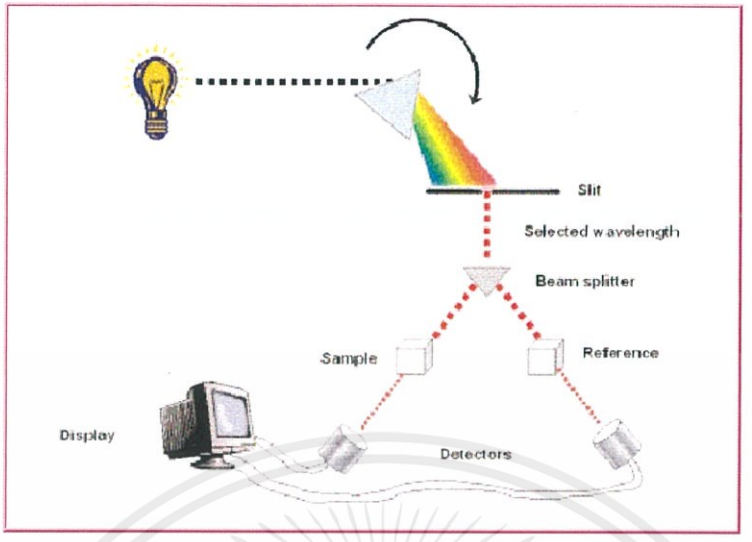
- การเปลี่ยนความยาวคลื่น จะต้องวัดแบลงค์ใหม่ทุกครั้ง



รูปที่ 2.11 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว [46]

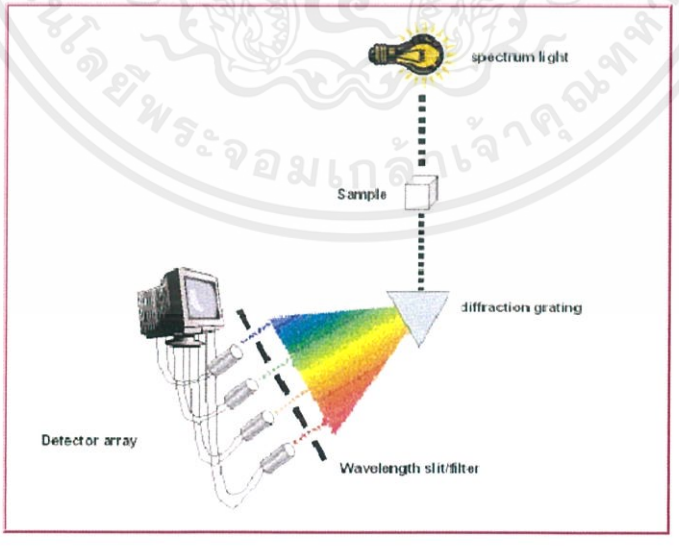
(2) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ (double beam spectrophotometer) เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงออกจากช่องแสงออก (exit slit) แล้วลำแสงจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำแสง (beam chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนลำแสงไปผ่านสารตัวอย่าง (sample) ในขณะต่อมาจะสะท้อนลำแสงไปผ่านสารอ้างอิง (reference) ซึ่งก็คือแบลงค์นั่นเอง โดยที่ลำแสงทั้งสองจะมีความเข้มแสงเท่ากันก่อนที่จะผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิง เมื่อลำแสงทั้งสองนี้ไปตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ ความแตกต่างของความเข้มแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิงจะกลายเป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ [46]

(3) **สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ** (spectrophotometer แบบ diode array detector) เป็นการตรวจจับสัญญาณ โดยวัดการดูดกลืนของแสง เช่นเดียวกับสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทั่วไป เพียงแต่การเก็บข้อมูลมิใช่การเก็บเพียง 1 หรือ 2 ความยาวคลื่นเท่านั้น แต่สามารถเก็บข้อมูลได้เป็นช่วงของความยาวคลื่น ที่ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกได้ โดยใช้เวลาเพียงนิดเดียว เนื่องจากสามารถวัดทุก ความยาวคลื่นได้ในเวลาเดียวกัน เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลที่เป็นสเปกตรัม หรือต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนของสารที่หลายความยาวคลื่น



รูปที่ 2.13 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.L.L aware ในงานวิจัยนี้ได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เติมใน หัวหอม *(Allium cepa L.)* เพื่อดูการเพิ่มลักษณะทางกายภาพในด้านต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขึ้นมาโดยใช้ส่วนผสม sodium hydroxide (NaOH) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ 1-thioglycerol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และสารละลาย zinc acetate ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ซึ่งอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 18 นาโนเมตร อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ทำการผสมกับน้ำเพื่อนำไปเติมให้กับ ต้นหัวหอมโดยทำการเติมทุกๆ 15 วัน จำนวน 3 ครั้ง ในอัตราส่วนอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10, 20, 30 และ 40 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร การทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 3 การทดลองคือการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของต้นหัวหอม การทดลองเพื่อศึกษาน้ำหนักของเมล็ดและการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะและเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด ในการทดลองที่ 1 ได้มีการศึกษาความสูงของต้น พบว่าที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร ต้นหัวหอมมีความสูงมากที่สุดคือ 32.24 เซนติเมตรหรือเพิ่มขึ้น 3.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม น้อยที่สุดคือ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 40 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร ต้นมีความสูง 30.88เซนติเมตรหรือเพิ่มขึ้น 0.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แล้วนำไปทดสอบจำนวนใบของต้นหัวหอมพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร มีปริมาณจำนวนใบสูงที่สุดและนำไปศึกษาจำนวนวันในการให้ผลผลิตพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 และ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตรให้ผลผลิตก่อนชุดควบคุมเป็นระยะเวลา 12 และ 14 วันตามลำดับ การทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาน้ำหนักของเมล็ดพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตรมีอัตราน้ำหนักของเมล็ดสูงที่สุด และในการทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาลักษณะและเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดจากการทดสอบพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ 96.52 เปอร์เซ็นต์ โดยชุดควบคุมมีอัตราการงอกเพียง 94.28 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาได้นำมาทดสอบความยาวของรากและของเมล็ดพบว่าเมล็ดที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร มีค่าความยาวของรากและของเมล็ดสูงที่สุดคือ 7.78 เซนติเมตรและ 12.46 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการทดลองทั้งหมดพบว่าที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร มีแนวโน้มในการเจริญเติบโตของต้นหัวหอมสูงสุด อย่างไรก็ตามต้นหัวหอมที่ได้รับการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทุกความเข้มข้นมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดควบคุมจึงสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลในการช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต [48]

P. Sudhakar ได้ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และ chelated bulk zinc sulfate ($ZnSO_4$) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ Peanut ทางด้านสัณฐานวิทยาและรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง รวมถึงวิธีการสังเคราะห์และลักษณะของ ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 นาโนเมตร ซึ่งสังเคราะห์ด้วยวิธีการ oxalate decomposition เตรียม zinc acetate และ oxalic acid จากนั้นผสมลงใน deionized water (DI-water) และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำ อนุภาคนาโน ซิงค์ออกไซด์ ไปทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่อง HIRTEM, SEM และ EDAX ในการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ chelated bulk zinc sulfate ที่ความเข้มข้น 400, 1000 และ 2000 ppm นำผลที่ได้ไปเทียบกับชุดควบคุม ผลทดสอบลักษณะสัณฐานในช่วงเมล็ดได้ผลดังนี้การทดสอบเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด คือ 99.02 เปอร์เซ็นต์ ส่วน และ chelated bulk zinc sulfate จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ต่ำกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แต่ยังสูงกว่าชุดควบคุม การทดลองความยาวรากพบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีความยาวรากที่สูงที่สุด คือ 11.81 เซนติเมตร ซึ่งมีความยาวเป็นสองเท่าของชุดควบคุม ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานและปริมาณรงควัตถุสังเคราะห์แสงในระยะออกผลผลิตได้ผลดังนี้ ความยาวของต้นพบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีความยาวของต้น 15.40 เซนติเมตร รองลงมาคืออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 400 ppm มีความยาวของต้น 13.46 เซนติเมตร ส่วนชุดควบคุมมีความยาวต้น 8.22 เซนติเมตร ต่อมานำมาวัดช่วงเวลาในการออกผลผลิตพบว่า มีเพียง อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm ที่ออกผลผลิตเร็วกว่าชุดควบคุม คือ 27.24 วัน นอกนั้นออกผลิตช้ากว่าชุดควบคุม (29.00 วัน) จากนั้นนำไปหาปริมาณ Chlorophyll พบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีค่าสูงที่สุดคือ 1.97 mg/g fresh wt. โดยชุดควบคุมมี 1.39 mg/g fresh wt. จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีผลต่อการเจริญเติบโตของ Peanut สูงที่สุดทั้งในระยะเมล็ดและระยะออกผลผลิต [49]

S. Narendhran ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยกระบวนการสร้างทางชีวภาพ (BZnO) และกระบวนการสร้างทางเคมี (CZnO) และนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ด้วยเครื่องมือ Ultra Violet–visible spectroscopy (UV-Vis), Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR), Energy dispersive X-ray spectrometer (EDX), X-ray diffractometer (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) และ High-Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM) โดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ที่ 12 และ 18 นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำมาทดสอบผลกระทบของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของ *Sesamum indicum* โดยใช้ Bulk ZnO, BZnO และ CZnO ที่อัตราส่วน 0.1, 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัมต่อลิตร จากนั้นทำไปทดสอบผล ความยาวราก, น้ำหนักสด, น้ำหนักแห้ง, Chlorophyll A, Chlorophyll B, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และ น้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าแนวโน้มผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปในทางเดียวกันคือ ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของ *Sesamum indicum* สูงที่สุด ลองลงมาคือ 0.25, 1, 0.1, 2 และ ตัวควบคุม ตามลำดับ ส่วนกระบวนในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ก็มีผลโดย Bulk ZnO มี ผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของ *Sesamum indicum* สูงที่สุด ลองลงมาคือ BZnO และ CZnO ตามลำดับ จึงสามารถสรุปผลได้ว่า อัตราความเข้มข้นและกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของ *Sesamum indicum* [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Taheri ได้ทำการศึกษาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าวโพด (corn-SC704) โดยจะทำการทดลองกับซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ คือ zinc nanocolloid, zinc nanoparticles และ micrometric zinc oxide ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ไปเทียบกับชุดควบคุม ในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อ พื้นที่ใบของใบข้าวโพด และน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพด จากข้อมูลผลการทดลองพบว่า zinc nanocolloid ทำให้ต้นข้าวโพดมี ค่าพื้นที่ใบของใบข้าวโพด และน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดมากที่สุด รองลงมาคือ zinc nanoparticles และ micrometric zinc oxide โดยการเติมสารทั้ง 3 ทำให้ค่าพื้นที่ใบของใบข้าวโพด และน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมจากข้อมูลผลการทดลองสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด [51]

M.S. khater ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นผักชี *(Coriandrum Sativum L.)* ที่มีอายุ 60 วัน ที่ความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ppm โดยนำไปทดสอบ ความสูงของต้นผักชี, จำนวนกิ่ง/กอ, Chlorophyll a, Chlorophyll b และ Carotenoids พบว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 6 ppm จะส่งผลต่อการเจริญเติบของต้นผักชีและปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงที่สูงที่สุด จากผลการทดลอง ต้นผักชีที่เป็นตัวควบคุมมีความยาวต้น 75.3 เซนติเมตร และมีจำนวนกิ่ง/กอประมาณ 5.2 กิ่ง ส่วนต้นผักชีที่เติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 6 ppm มีความยาวต้น 106.5 เซติเมตร และมีจำนวนกิ่ง/กอประมาณ 7.4 กิ่ง นอกจากนี้ต้นผักชีที่ได้รับการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่าช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตด้วยเช่นดัน โดยที่ความเข้มข้น 6 ppm มีค่ามากที่สุดลองลงมาคือ 4 และ 2 ppm ตามลำดับ และในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษารูปทรงของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเครื่อง TEM พบว่ามีรูปทรงเป็นทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตร [52]

H. Mahmoodzadeh ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของ Canola (*Brassica napus*) หรือต้นผักกาดก้านขาว โดยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตร ได้นำมาทดสอบที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 10, 100, 1,000, 1,200, 1,500, 1700 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีการศึกษาผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดต้นผักกาดก้านขาว, เวลาที่ใช้ในการงอกของเมล็ด, ความยาวของรากต้นผักกาดก้านขาว จากผลการทดลองพบว่าต้นผักกาดก้านขาวที่เติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดต้นผักกาดก้านขาวสูงที่สุด ส่วนอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการงอกของเมล็ดและมีความยาวของรากมากที่สุด [53]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พืชทดลอง

(1) ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง

(1) อนุภาคนาโน ได้แก่
- อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

(2) ดินสำหรับเพราะปลูก

(3) ปุ๋ยเคมี ได้แก่
- ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0
- ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟส สูตร 16-20-0

(4) ถาดเพาะชำ

(5) กระถางต้นไม้ขนาดใหญ่

(6) ปั๊มสูบน้ำ, สายยาง, ถังรดน้ำต้นไม้

(7) อุปกรณ์ย่อยดิน เช่น จอบ

(8) อุปกรณ์สร้างโรงเรือน เช่น ลวด ตาข่าย ตาข่ายดักนก ลวด ครีมมัดลวด เชือก

(9) อุปกรณ์อื่นๆ เช่น สมุด ปากกา ไม้บรรทัด กรรไกร เชือก ถุงกระดาษ ตลับเมตร ถุงพลาสติกใส

3.1.3 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

(1) สารเคมี ได้แก่
- Acetone
- Sodium phosphate buffer (pH 7.8)
- NaH_2PO_4-Na_2HPO_4 buffer (pH 6.0)
- NaH_2PO_4-Na_2HPO_4 buffer (pH 7.0)
- H_2O_2
- Guaiacol reagent
- Bradford reagent

(2) ไมโครปิเปต (Micropipette)

(3) หลอดทดลอง (Test tube)

(4) บีกเกอร์ (Beaker)

(5) ขวดดูแรน (Laboratory bottle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ตะแกรงวางหลอดทดลอง (Test tube rack)
(7) แท่งแก้วคนสาร (Glassc rod)
(8) คีมคีบ (Forcep)
(9) เครื่องวัดค่า pH
(10) เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ PG Instruments รุ่น $T90^+$
(11) เครื่อง Refrigerated Centrifuge ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK
(12) หลอดปั่น Centrifuge
(13) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล
(14) ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

แปลงทดลองของวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและห้องปฏิบัติการของวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เริ่มทำการทดลองเดือนสิงหาคม 2559

3.3 วิธีการดำเนินงาน

3.3.1 วิธีการเตรียม

การเตรียมดินและอุปการณ์ที่ใช้ในการปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ นำดินมาใส่ถาดเพาะชำขนาด 50 หลุม ทั้งหมด 7 ถาดและถาดเพาะชำขนาด 104 หลุม ทั้งหมด 2 ถาด แล้วทำการปรับพื้นที่ผิวหน้าดินให้สม่ำเสมอพร้อมสำหรับการปลูกข้าวไรซ์เบอรี่และการดูแลรักษา นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดมาบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อมีรากขาวยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่มาปลูกในถาดเพาะชำจำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม ทำทุกหลุมในถาดเพาะชำ จากนั้นทำการรดน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื่นอยู่ตลอดเวลา

รูปที่ 3.1 เมล็ดต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่นำไปแช่น้ำและผ่านการบ่มแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ถาดเพาะชำที่ทำการปรับพื้นที่ผิวหน้าดิน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาช่วงระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ (ระยะ 30-60 วัน) และช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง (ตั้งแต่ 60 วันเป็นต้นไป)

3.3.1.1 ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ นำถาดเพาะชำขนาด 50 หลุม จำนวน 7 ถาด มาเพาะเลี้ยงจนต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีอายุ 30 วัน จากนั้นทำการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยมีการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนี้

- อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จะเติมทุกๆ 7 วัน เริ่มเติมครั้งแรกเมื่อข้าวไรซ์เบอรี่อายุ 30 จนอายุครบ 60 วัน ในอัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้มาผสมกับรวมน้ำปริมาตร 1 ลิตร แล้วนำมารดใส่กระถางเพาะชำ ซึ่งข้าวไรซ์เบอรี่แต่ละถาดจะใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกันและทำการเก็บเกี่ยวทุกๆ 7 วัน จากนั้นนำไปทดสอบในลำดับต่อไป

รูปที่ 3.3 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่อายุประมาณ 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 ช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง เตรียมกระถางขนาดใหญ่โดยใส่ถุงพลาสติกรองไว้ประมาณ 2 ชั้นเพื่อกักน้ำให้อยู่ในกระถางเท่านั้น แล้วใส่ดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวลงในกระถางขนาดใหญ่ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของกระถาง จากนั้นทำการเติมน้ำจนเต็มกระถาง นำถาดเพาะชำขนาด 104 หลุมจำนวน 2 ถาด มาเพาะเลี้ยงต้นข้าวไรซ์เบอรี่จนมีอายุ 46 วัน แล้วทำการย้ายต้นข้าวไรซ์เบอรี่ไปเพาะเลี้ยงต่อที่กระถางขนาดใหญ่ จำนวน 35 กระถาง กระถางละ 5 ต้น โดยมีการปลูกอย่างเป็นระเบียบและมีลักษณะการจัดเรียงเหมือนกันทุกกระถางเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาเปรียบเทียบ แล้วทำการรดน้ำจนท่วมกระถางตลอด จากนั้นพักต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่พึ่งปลูกลงดินไว้ประมาณ 14 วัน แล้วทำการใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อข้าวไรซ์เบอรี่เริ่มสร้างช่อรวงถึงระยะตั้งท้อง คืออายุ 75-80 วันหลังปลูกจึงใส่ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือมีปริมาณ 5.5 กรัมต่อหนึ่งกระถาง หากมีต้นข้าวที่ตายให้ทำการเปลี่ยนเป็นต้นใหม่โดยทันที ทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยมีการเติมอนุภาคนาโนแบบสุ่มกระถางเพื่อป้องกันปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลต่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ พร้อมกำจัดวัชพืชที่ขึ้นอยู่ภายในกระถางโดยการถอนทิ้ง การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาชั่งเตรียมไว้ได้ ดังนี้

- อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

การใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จะใส่ทุกๆ 7 วัน เริ่มใส่ครั้งแรกเมื่อต้นข้าวอายุประมาณ 60 วัน จนถึงระยะเก็บเกี่ยวในอัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้มาผสมรวมกับน้ำ ปริมาตร 2 ลิตร แล้วนำเทใส่กระถางขนาดใหญ่ ซึ่งข้าวไรซ์เบอรี่แต่ละกระถางจะใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และทำการเก็บเกี่ยวทุกๆ 14 วัน จากนั้นนำไปทดสอบในลำดับต่อไป

รูปที่ 3.4 เตรียมดินเหนียวใส่กระถางขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 นำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 48 วัน ปลูกลงกระถางขนาดใหญ่

การวางแผนการทดลองโดยวางแผนการทดลอง RCBD จำนวน 5 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัย A คือ อนุภาคนาโน ได้แก่

- อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ปัจจัย B คือ อัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ได้แก่

- อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.2 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ

การวางแผนการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 5 ซ้ำ โดยจะทำการเก็บเกี่ยวตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 กอ นำมาล้างทำความสะอาดรากโดยไม่ให้มีดินหลงเหลืออยู่ ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง แล้วนำต้นข้าวไรซ์เบอรี่มาวัดความสูงจากลำต้นถึงใบ ความยาวของราก นับจำนวนหน่อต่อกอ นับจำนวนรวงต่อกอ จากนั้นตัดแยกส่วน ราก ลำต้นและใบ นำไปชั่งน้ำหนักสด แล้วนำแต่ละส่วนมาใส่ถุงกระดาษเพื่อจะนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งและบันทึกผล นำผลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโดยใช้สูตรของ Radford (1967) [54]

3.3.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 การวิเคราะห์รงควัตถุสังเคราะห์แสง โดยทำการสุ่มใบตัวอย่างใบที่ 2 รองจากใบยอด จากนั้นตัดใบให้ละเอียด ก่อนจะนำมาใส่หลอดทดลองหนัก 0.05 กรัม และเติมอะซิโตนปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 662, 644 และ 470 นาโนเมตรและนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่า Chlorophyll A, Chlorophyll B และ Carotenoid โดยใช้สูตร ดังนี้ [55,56]

$$\text{Chlorophyll A } (Chl_A) = 9.784D_{662} - 0.99D_{644}$$

$$\text{Chlorophyll B } (Chl_B) = 21.42D_{644} - 4.65D_{662}$$

$$\text{Carotenoid (Car)} = \frac{1000D_{470} - 1.9Chl_A - 63.14Chl_B}{214}$$

รูปที่ 3.6 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ PG Instruments รุ่น $T92^+$ [57]

3.3.3.2 การวิเคราะห์เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ การสกัดเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระ จะทำการสุ่มใบตัวอย่าง โดยเลือกใบที่ 3 รองจากใบยอด และตัดใบให้ละเอียด ก่อนนำมาใส่หลอดทดลองน้ำหนัก 0.25 กรัม จากนั้นเติม Sodium phosphate buffer (pH 7.8) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงในเครื่อง Refrigerated Centrifuge ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนด ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายที่เป็นส่วนใสใส่หลอดทดลองก่อนนำมาวิเคราะห์ค่า Peroxidase, Catalase และ Protein [58,59]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

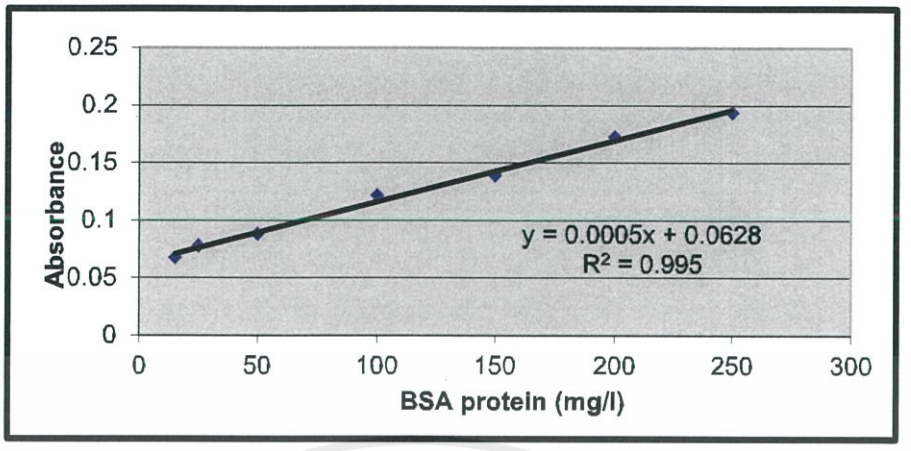
รูปที่ 3.7 เครื่อง Refrigerated Centrifuge ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK [60]

(1) หาค่า Peroxidase ทำการผสมสารละลาย (Reaction mixture) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร โดยแบ่งเป็น NaH_2PO_4-Na_2HPO_4 buffer (pH 6.0) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร H_2O_2 0.3 มิลลิลิตรและ guaiacol reagent ปริมาตร 1.35 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 2.95 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง แล้วดูดสารละลายที่เป็นส่วนใส จากการสกัดเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายในหลอดทดลองจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer[59]

(2) หาค่า Catalase ทำการผสมสารละลาย (Reaction mixture) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร โดยแบ่งเป็น NaH_2PO_4-Na_2HPO_4 buffer (pH 7.0) ปริมาตร 150 มิลลิลิตรและ H_2O_2 ปริมาตร 0.57 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 2.6 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง แล้วดูดสารละลายที่เป็นส่วนใส จากการสกัดเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายในหลอดทดลองจากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 240 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer [58]

(3) หาค่า Protein ทำการผสมสารละลาย (Reaction mixture) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร โดยการเตรียม Bradford dye ในอัตรา 1 ส่วนต่อน้ำ 4 ส่วน จากนั้นเติมลงในหลอดทดลอง 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายที่เป็นส่วนที่ได้จากการสกัดเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วทำการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้นำสารละลายมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโปรตีน นำผลที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณหาค่าของความจำเพาะของ Peroxidase และ Catalase [58, 59]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

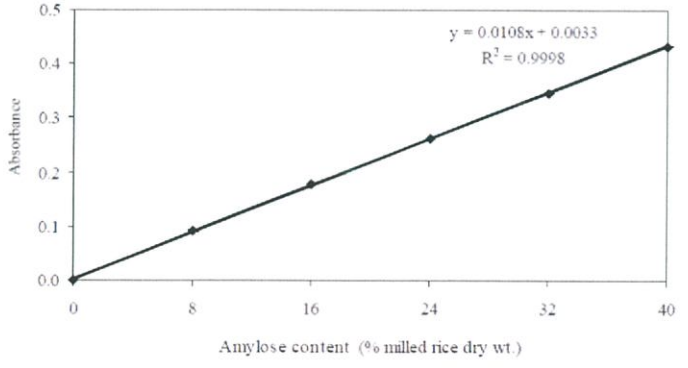


รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐานโปรตีน

3.3.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต

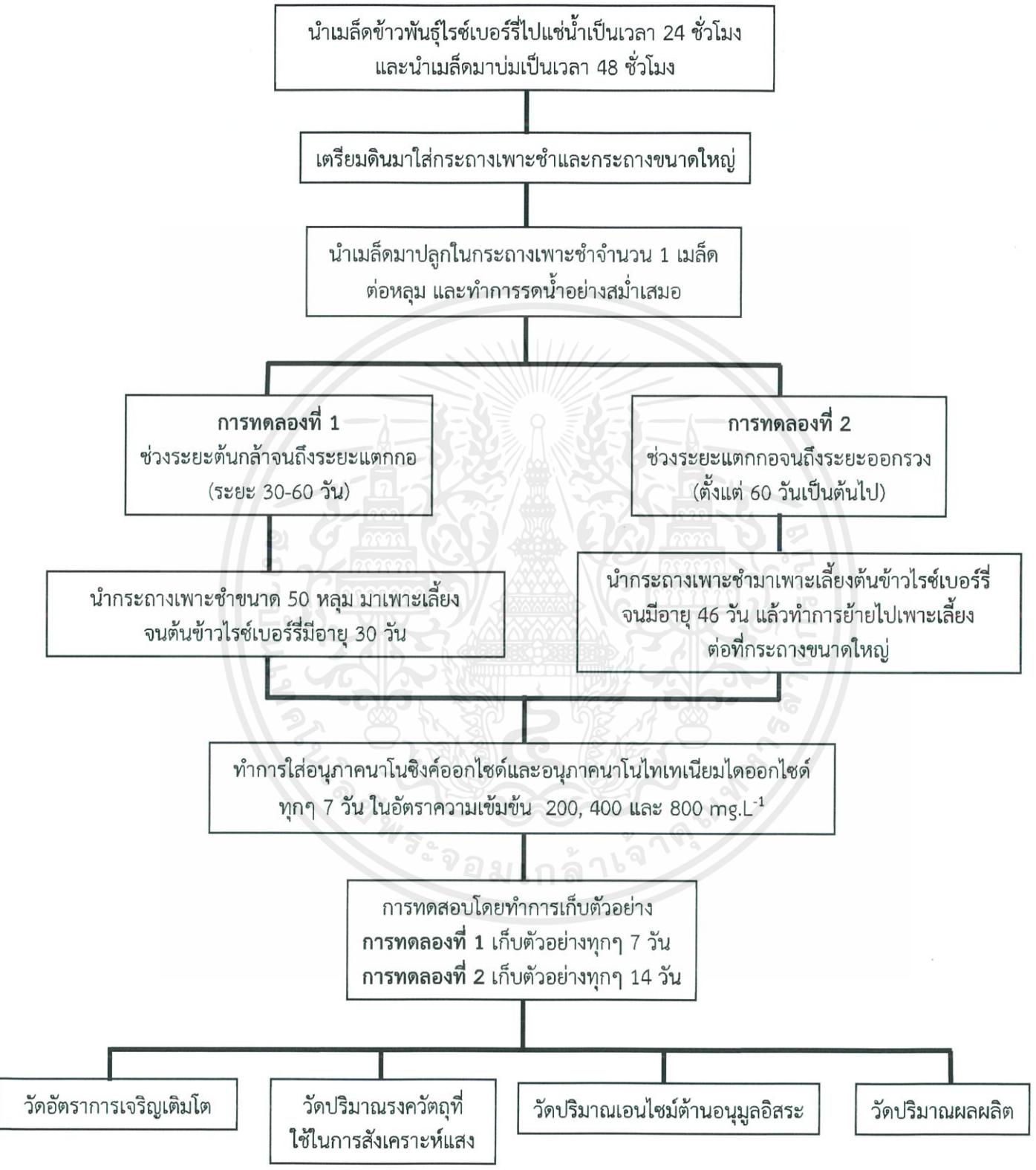
3.3.4.1 การหาปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคติน แกะเปลือกและขูดสีที่เมล็ดข้าวออกจนหมดจากนั้นทำการบดเมล็ดข้าวเพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ น้ำหนัก 0.05 กรัม แล้วเติมสารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.025 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร แล้วทำการเขย่าเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าอะไมโลสและอะไมโลแพคติน ต่อไป

หลังจากได้ตัวอย่างสารละลายที่เตรียมแล้ว ให้ดูดสารละลายตัวอย่างที่ได้การเตรียม ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วดูดสารละลายอะซิติดเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงไปในสารตัวอย่าง แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที จึงนำไปวัดปริมาตรโดยดูจากความเข้มสีของสารละลายโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer สามารถวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณอะไมโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน เมื่อได้ค่า อะไมโลส ให้นำไปไปลบกับ 100 เปอร์เซ็นต์จะได้ค่าอะไมโลเพคติน



รูปที่ 3.9 กราฟมาตรฐานอะไมโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance: ANOVA) เมล็ดมาทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan Mutiple Range Test; DMRT เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของผลผลิตกับผลผลิต โดยใช้โปรแกรม Mstatc ของ Michigan State University

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอ

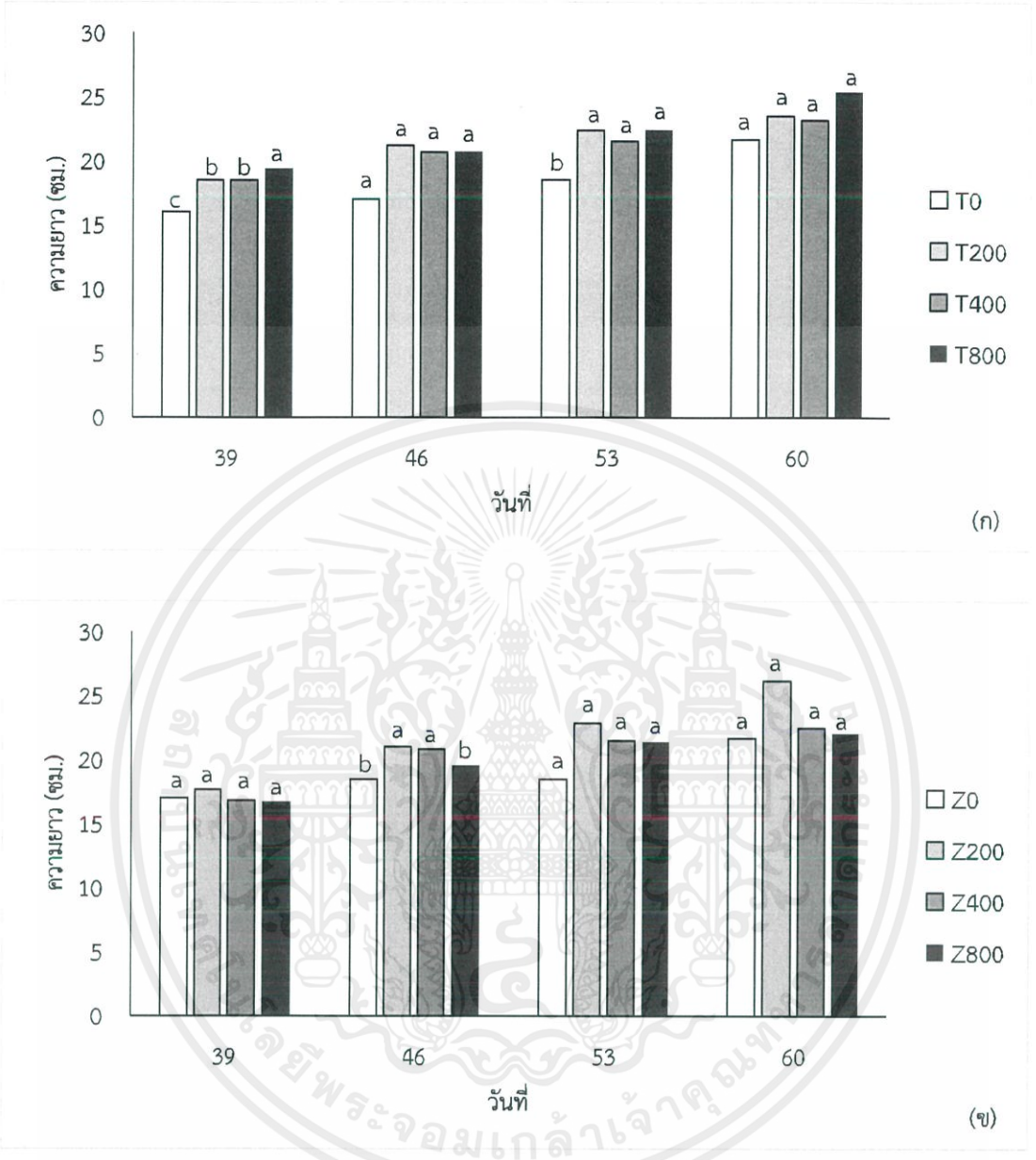
4.1.1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต

รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่ามีความยาวของต้นที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.1ก) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 19.33 เซนติเมตร รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นที่เท่ากันคือ 18.50 เซนติเมตร ส่วนค่าความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่าต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 21.17 และ 22.34 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความยาวของต้นใกล้เคียงกันคือ 20.67 และ 22.23 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 25.34 เซนติเมตร รองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้น 23.50 เซนติเมตร

เมื่อศึกษาถึงต้นข้าวที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.1ข) อัตราความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีความยาวของต้นสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (39, 46, 53 และ 60 วัน) โดยมีความยาวของต้น 17.67, 21.00, 22.83 และ 26.17 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความสูงคือ 16.67, 19.50, 21.33 และ 22.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

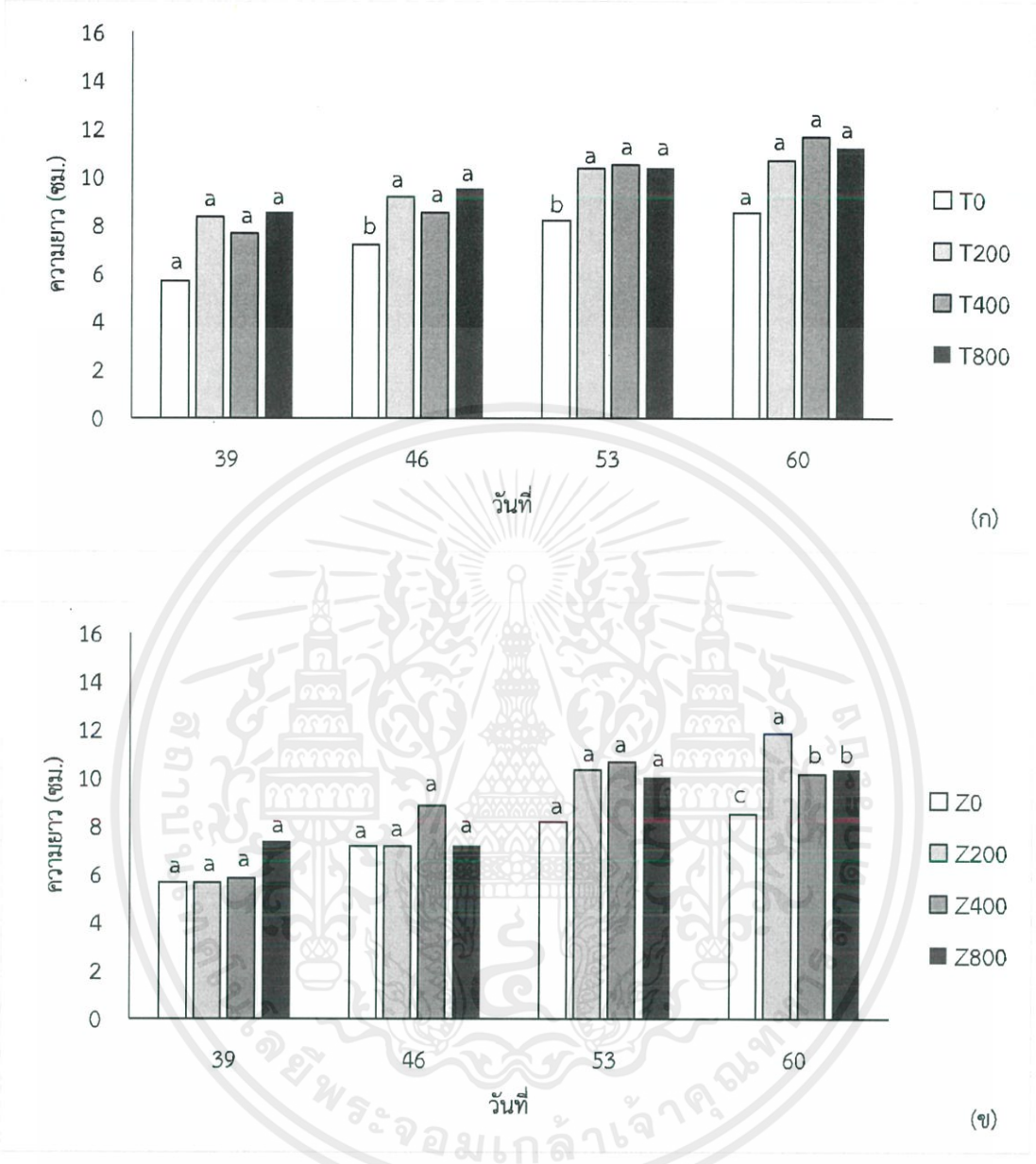
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ารากต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีความที่ยาวที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 และ 46 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.2ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีความยาวรากสูงที่สุดคือ 8.50 และ 9.50 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากที่ใกล้เคียงกันคือ 8.33 และ 9.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวรากของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 53 วัน พบว่าต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 10.50 เซนติเมตร และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความยาวของรากเท่ากัน คือ 10.34 เซนติเมตร ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของรากสูงที่สุด คือ 11.67 เซนติเมตร และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าความยาวรากเท่ากับ 11.17 เซนติเมตร แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อศึกษาถึงความยาวรากของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.2ข) ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากของต้นข้าวมีความยาวสูงที่สุด คือ 7.33 เซนติเมตร รองลงมาคือ อนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวราก 8.33 เซนติเมตร ส่วนความยาวรากของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 วัน พบว่าอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสูงที่สุด คือ 8.33 เซนติเมตร รองลงมาคือ ที่อัตราความเข้มข้น 200 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความยาวรากเท่ากันคือ 7.17 เซนติเมตร ส่วนตอนข้าวไรซ์เบอรรี่ที่มีอายุ 53 วัน พบว่า ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสูงที่สุดคือ 10.67 เซนติเมตร รองลงมาคือ อนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความยาวรากคือ 10.33 เซนติเมตร ส่วนต้นข้าวที่มีอายุ 60 วัน พบว่าอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสูงที่สุดคือ 13.83 เซนติเมตร รองลงมาคือ อนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความยาวรากคือ 10.33 และ 10.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

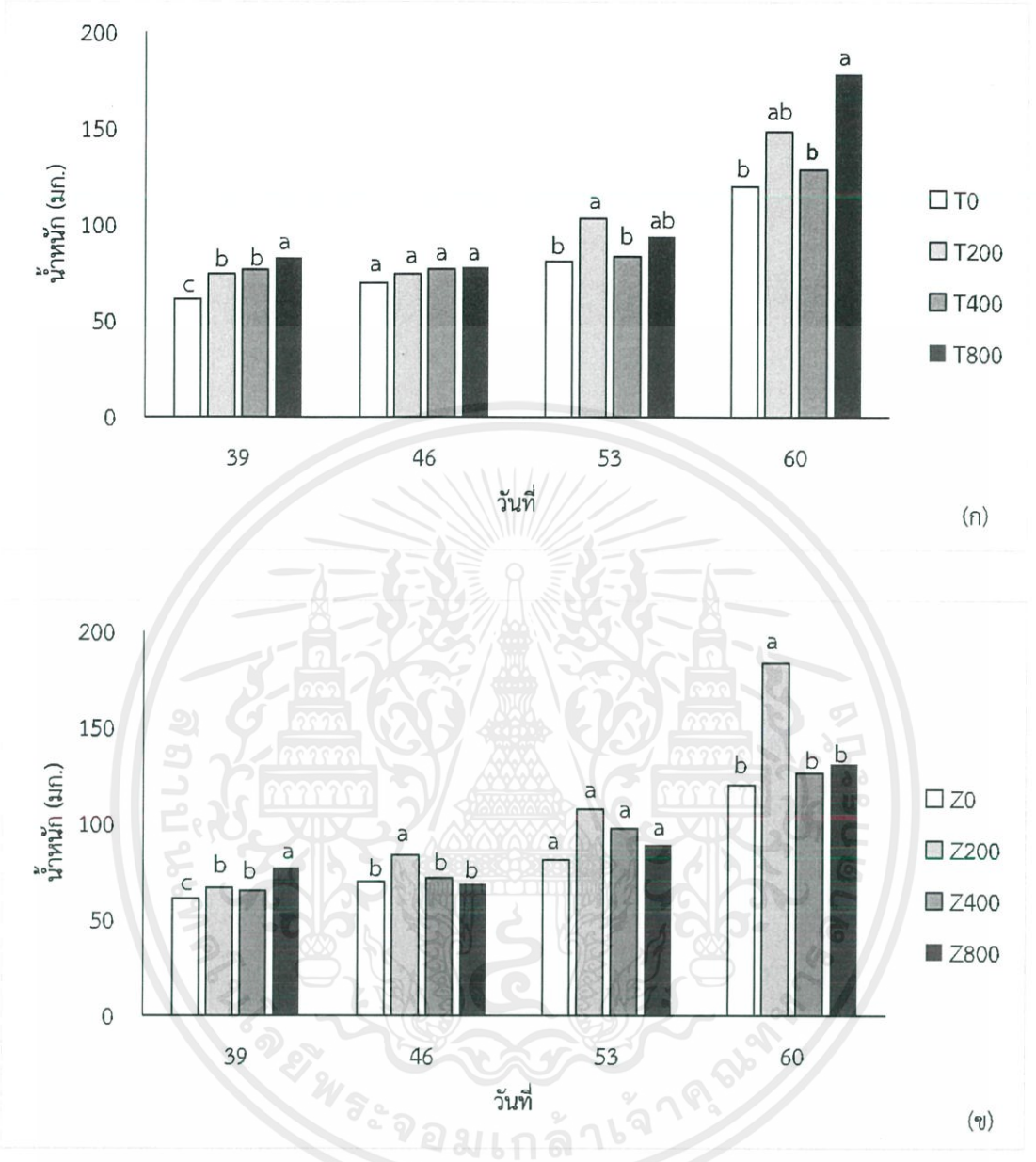
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 และ 46 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.3ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีน้ำหนักสดสูงที่สุดคือ 82.33 และ 77.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดที่ใกล้เคียงกันคือ 76.67 และ 77.00 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 53 วัน พบว่าน้ำหนักสดของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 103.00 มิลลิกรัม และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสด 93.33 มิลลิกรัม แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดสูงที่สุด คือ 178.00 มิลลิกรัม และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสด 148.33 มิลลิกรัม

เมื่อศึกษาน้ำหนักสดของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.3ข) ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักมากที่สุด คือ 76.67 มิลลิกรัม รองลงมาคือ อนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีน้ำหนักสดที่ใกล้เคียงกัน คือ 66.67 และ 65.00 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักสดของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่า อนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดสูงที่สุดคือ 83.67 และ 107.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ รองลงมาคือ ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีน้ำหนักสดคือ 71.67 และ 97.33 มิลลิกรัม ส่วนต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 183.33 มิลลิกรัม รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสด 130.67 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้า โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

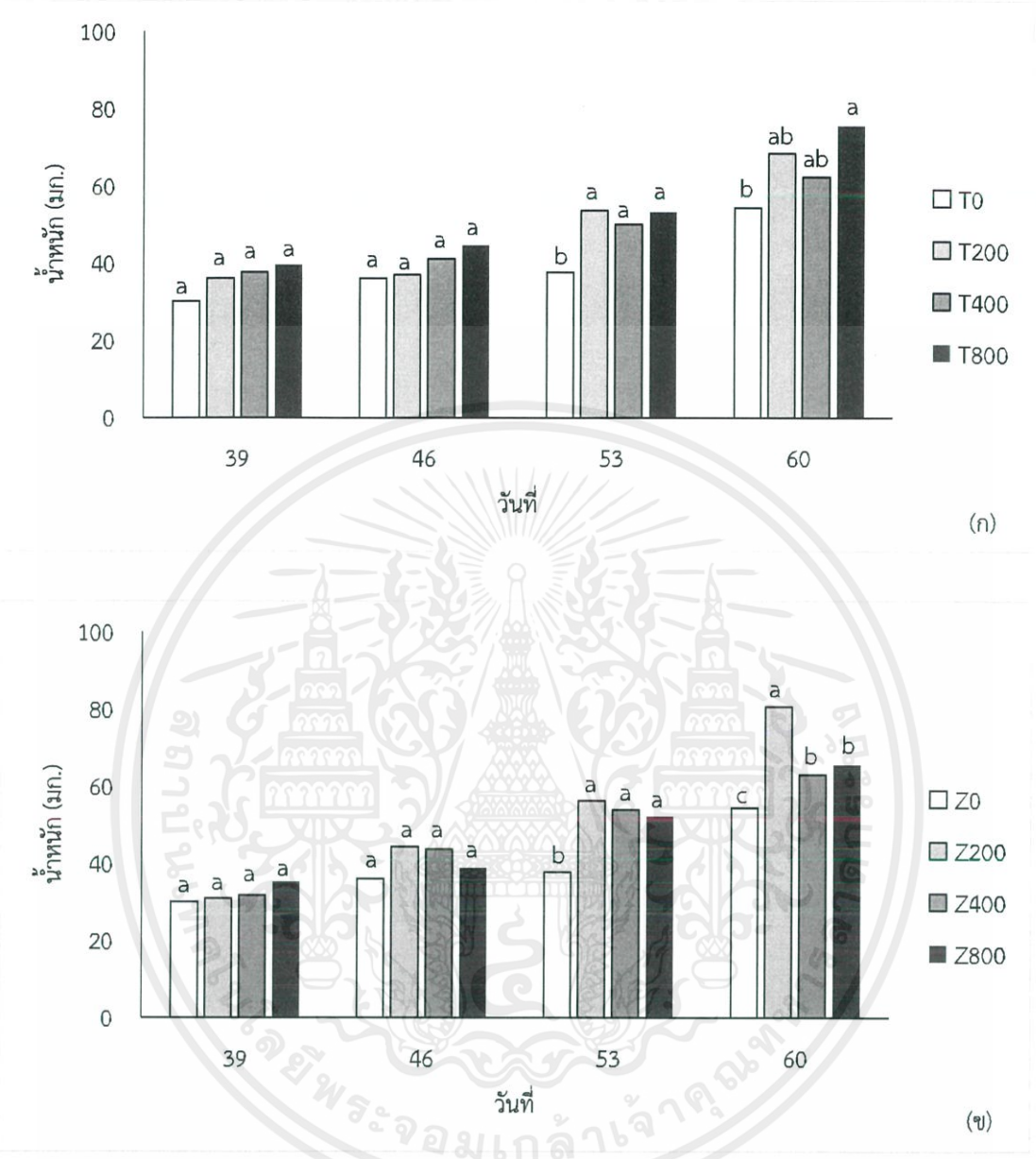
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 และ 46 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.4ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดคือ 39.33 และ 44.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งที่ใกล้เคียงกันคือ 37.67 และ 41.00 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 53 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 53.67 มิลลิกรัม และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกันคือ 53.00 มิลลิกรัม แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ 75.33 มิลลิกรัม และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักแห้ง 68.33 มิลลิกรัม

เมื่อศึกษาน้ำหนักแห้งของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.4ข) ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 35.00 มิลลิกรัม รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีน้ำหนักแห้งที่ใกล้เคียงกัน คือ 31.00 และ 31.67 มิลลิกรัม ส่วนน้ำหนักสดของข้าวที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่า อนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดสูงที่สุดคือ 44.33 และ 56.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ รองลงมาคือ ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีน้ำหนักแห้งคือ 43.67 และ 54.00 มิลลิกรัม ส่วนต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 80.67 มิลลิกรัม รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้ง 65.33 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้า โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรี่

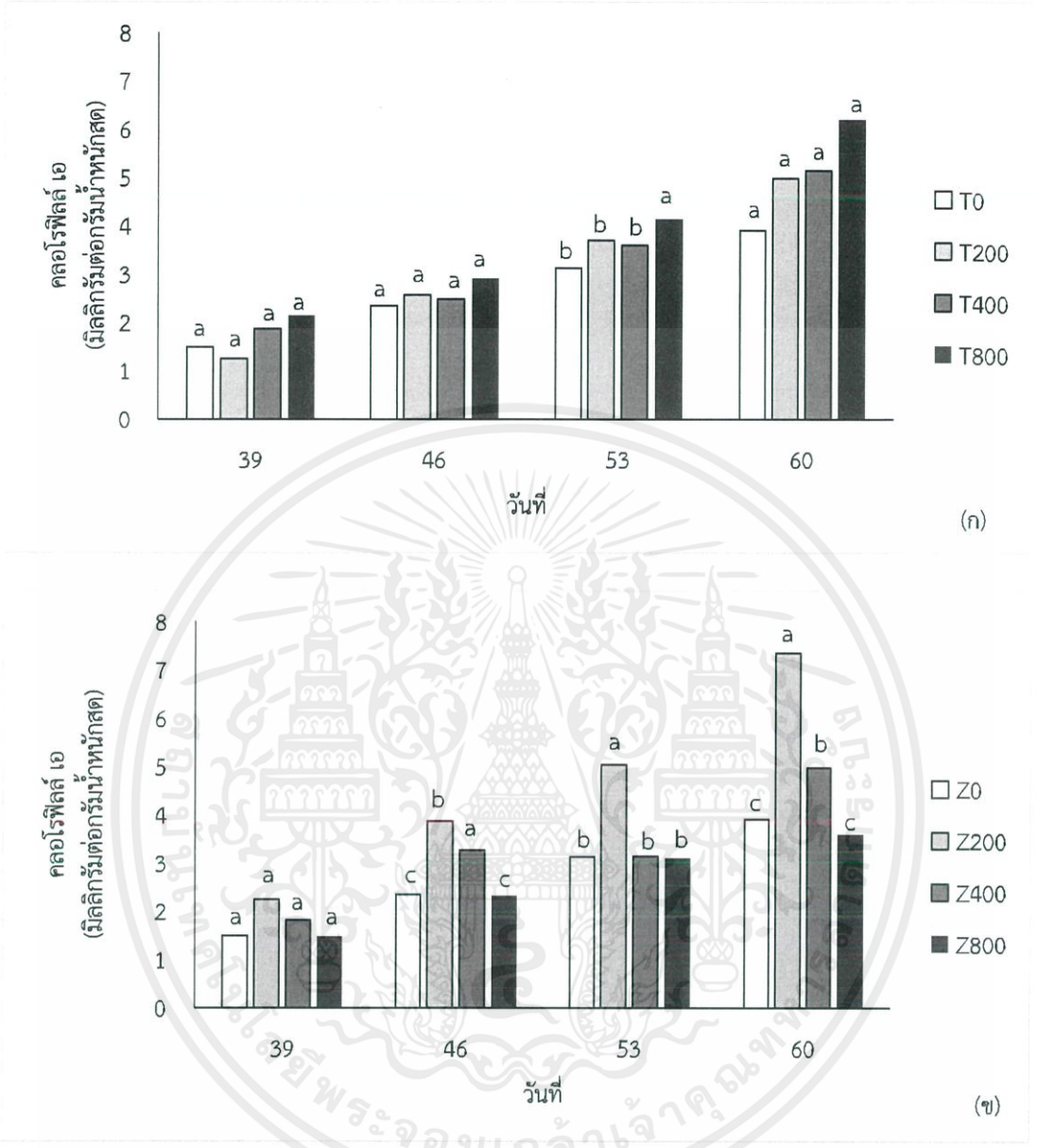
4.1.2.1 การวิเคราะห์รงควัตถุสังเคราะห์แสง

รูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.5ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดคือ 2.14 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 1.87 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงมากที่สุดคือ 2.89 และ 4.13 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 2.57 และ 3.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ คือ 6.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 5.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.5ข) ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุด คือ 2.25, 3.86, 5.04 และ 7.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 1.82, 3.27, 3.15 และ 4.98 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

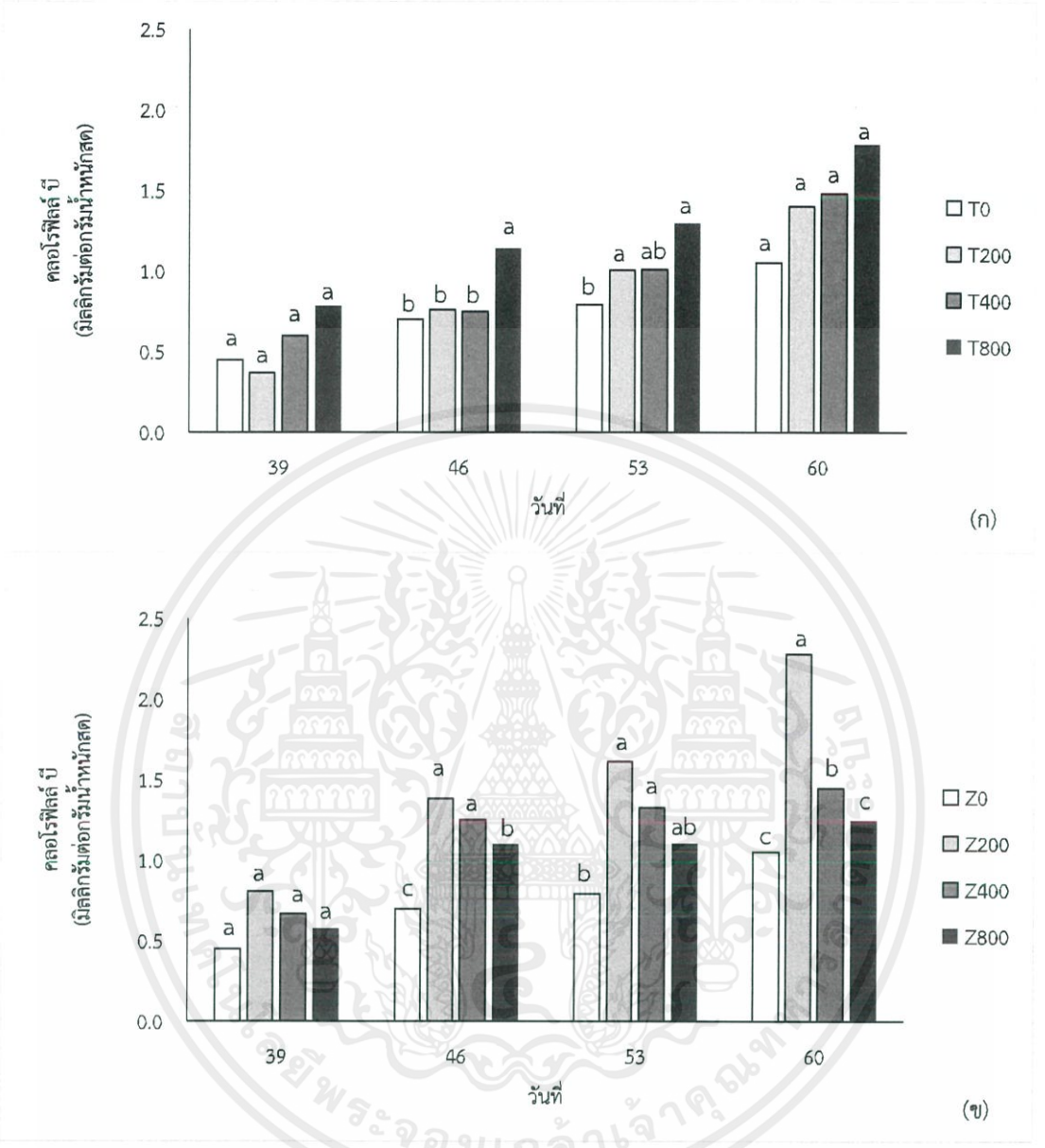
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.6ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ คือ 0.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 0.60 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงมากที่สุด คือ 1.14 และ 1.29 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 0.75 และ 1.01 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุด คือ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 1.48 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.5ข) ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุด คือ 0.80, 1.61, 1.38 และ 2.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 0.67, 1.25, 1.32 และ 1.45 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

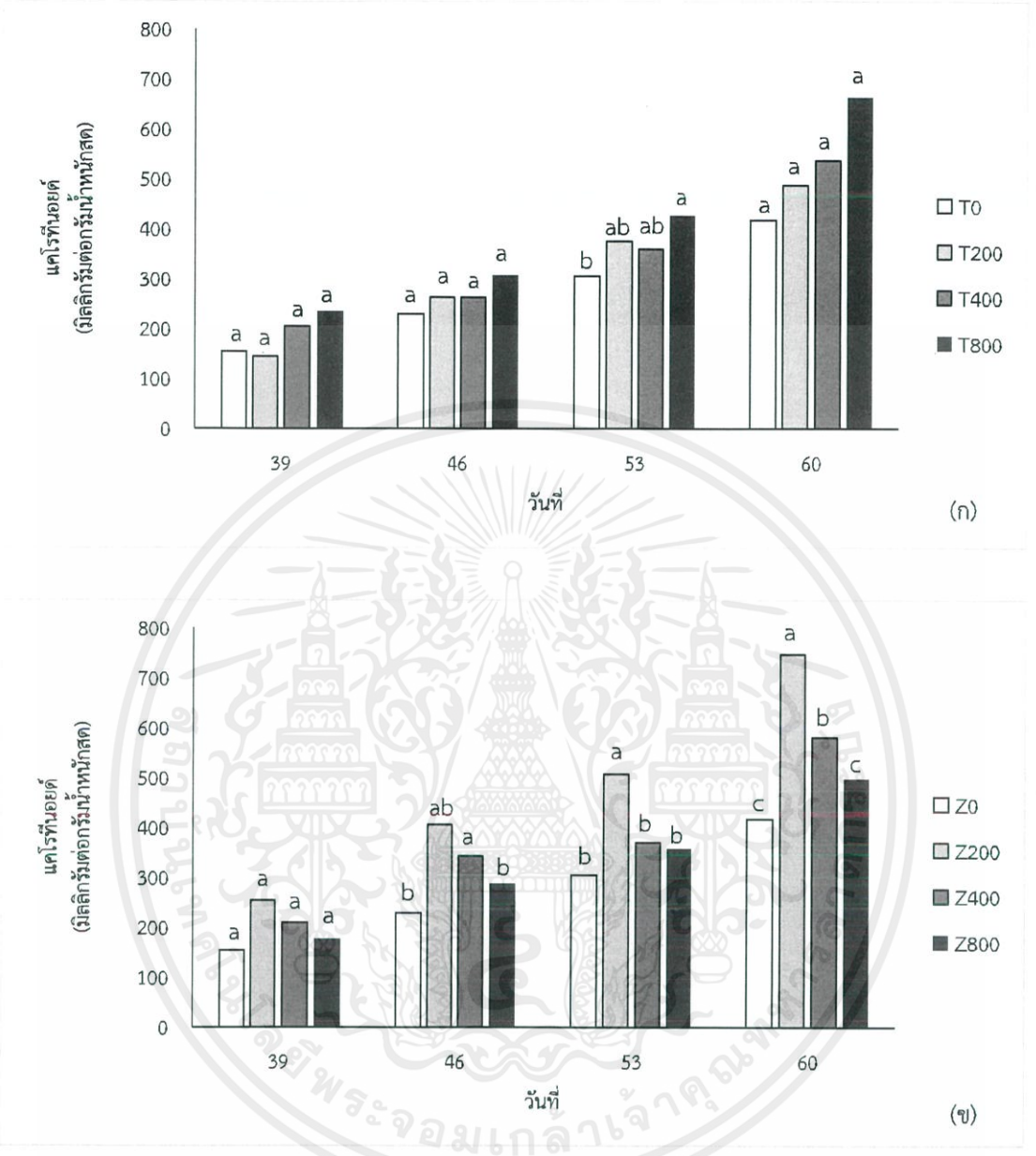
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด แคโรทีนอยด์ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด แคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดแคโรทีนอยด์ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดแคโรทีนอยด์ ของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.6ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ คือ 234.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 205.03 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 46 และ 53 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงมากที่สุดคือ 306.16 และ 426.45 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 262.90 และ 374.57 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 60 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ คือ 662.50 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 536.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดแคโรทีนอยด์ ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการเติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.5ข) ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดแคโรทีนอยด์ มากที่สุด คือ 254.49, 405.76, 507.95 และ 747.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 208.84, 343.92, 369.98 และ 581.31 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด แคโรทีนอยด์ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 39, 46, 53 และ 60 วัน ในระยะต้นกล้าโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ช่วงระยะออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

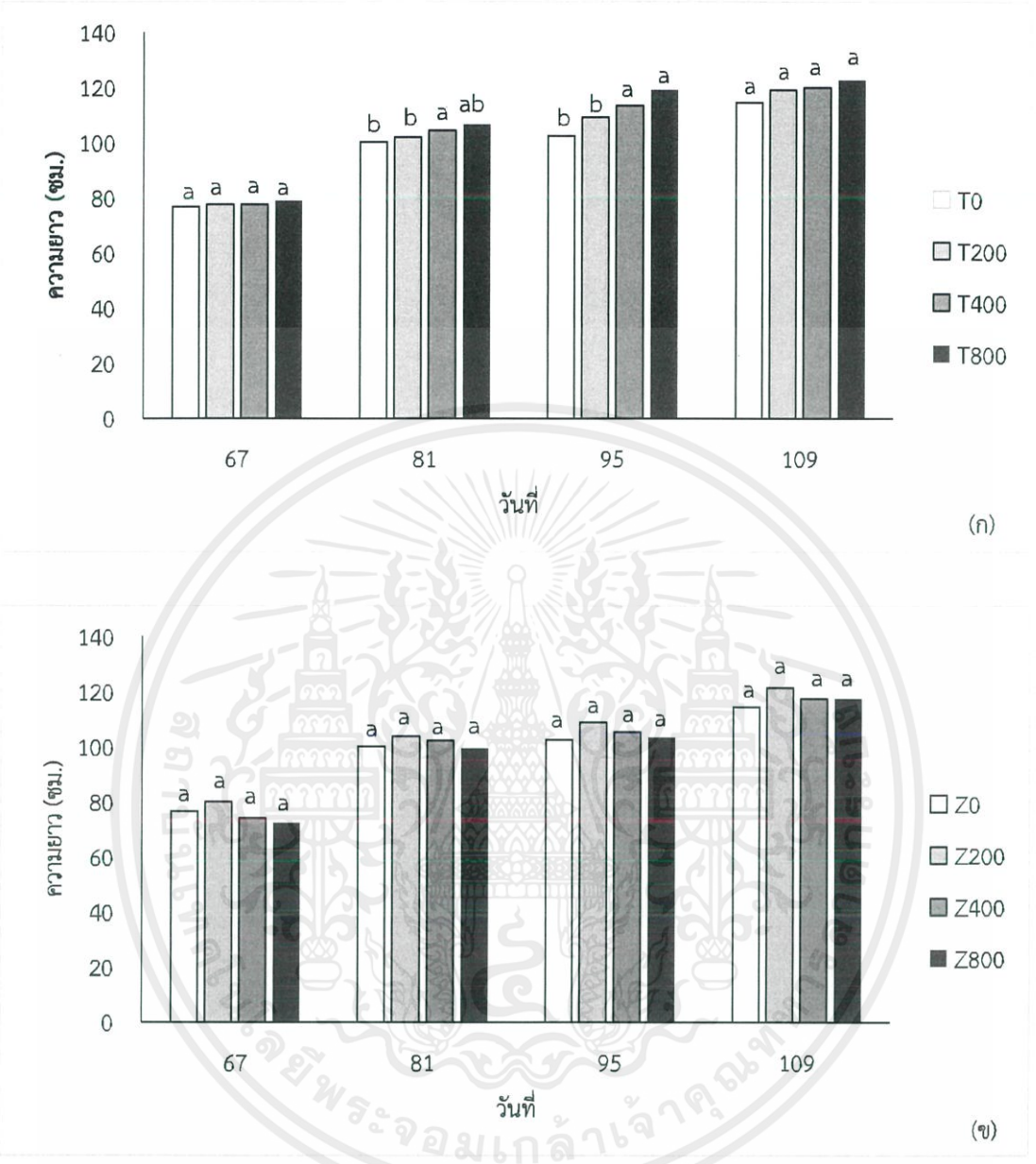
4.2.1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต

รูปที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่ามีความยาวของต้นที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.8ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีความยาวของต้นสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยมีความยาวของต้น คือ 78.70, 106.40, 118.90 และ 122.40 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความ เข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นคือ 77.50, 104.25, 113.30 และ 120.00 เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.8ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 76.70, 103.75, 108.90 และ 121.32 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นคือ 74.10, 102.20, 105.40 และ 117.50 เซนติเมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความยาวต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

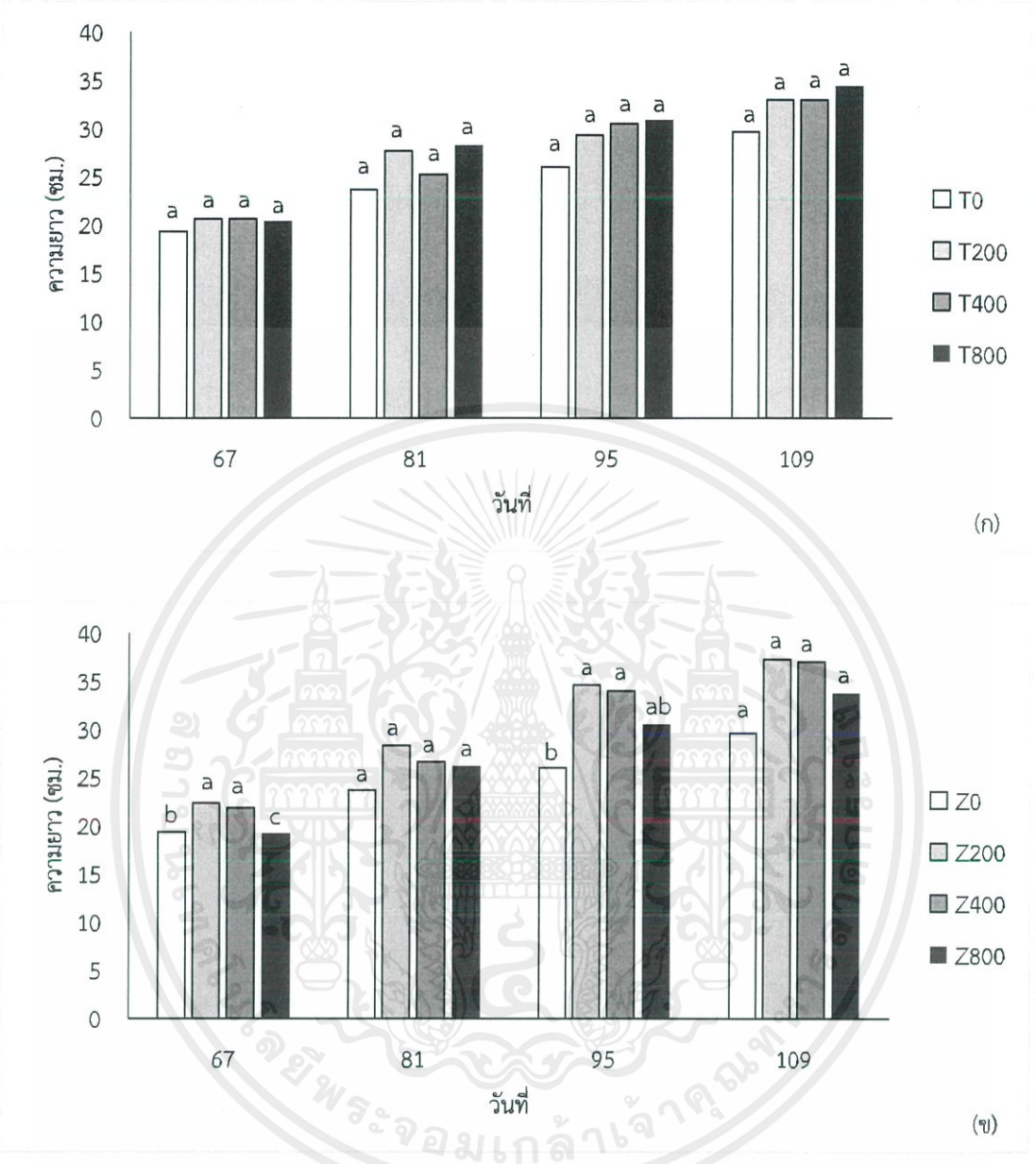
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ารากต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีความที่ยาวรากที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.9ก) อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสูงที่สุดคือ 20.67 เซนติเมตร รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากคือ 20.33 เซนติเมตร ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความยาวรากของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 วัน พบว่าต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นสูงที่สุด คือ 28.17 เซนติเมตร และรองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความยาวของรากเท่ากัน คือ 27.67 เซนติเมตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 และ 109 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของรากสูงที่สุด คือ 30.83 และ 34.33 เซนติเมตร ตามลำดับ และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าความยาวรากเท่ากับ 30.50 และ 33.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากของต้นข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.9ข) อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีความยาวรากของต้นสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยมีความยาวของราก คือ 22.38, 28.33, 34.67 และ 37.25 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความ เข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของต้นคือ 21.88, 26.67, 34.00 และ 37.00 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความยาวรากของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

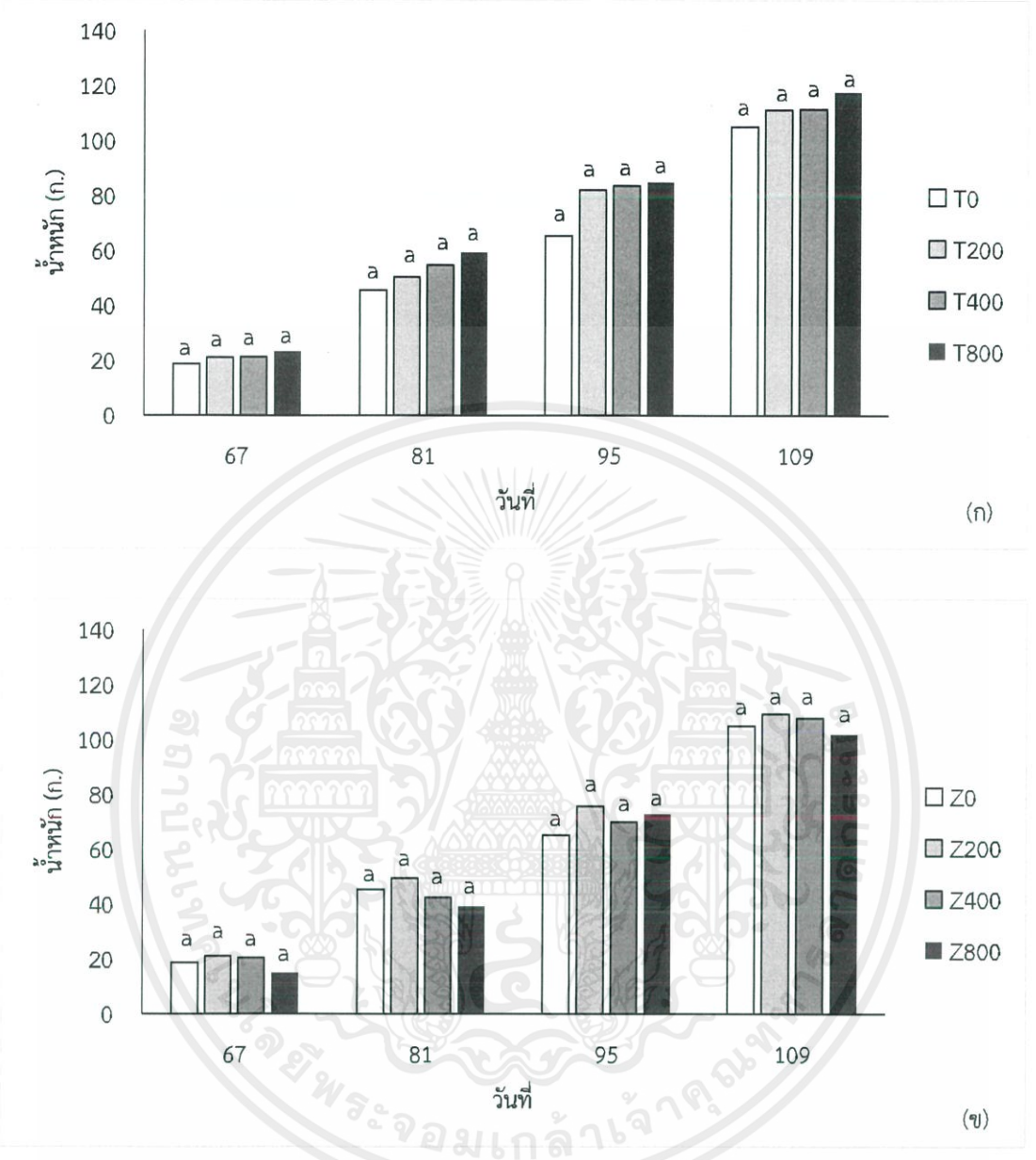
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของต้นข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.10ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักสดสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยมี น้ำหนักดังนี้ 22.94, 54.04, 84.45 และ 117.38 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความ เข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของต้นคือ 21.08, 54.71, 83.50 และ 111.46 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81 และ 109 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.10ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 21.13, 49.51 และ 109.23 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดดังนี้ 20.43, 42.41 และ 107.78 กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 75.74 กรัม และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 72.52 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

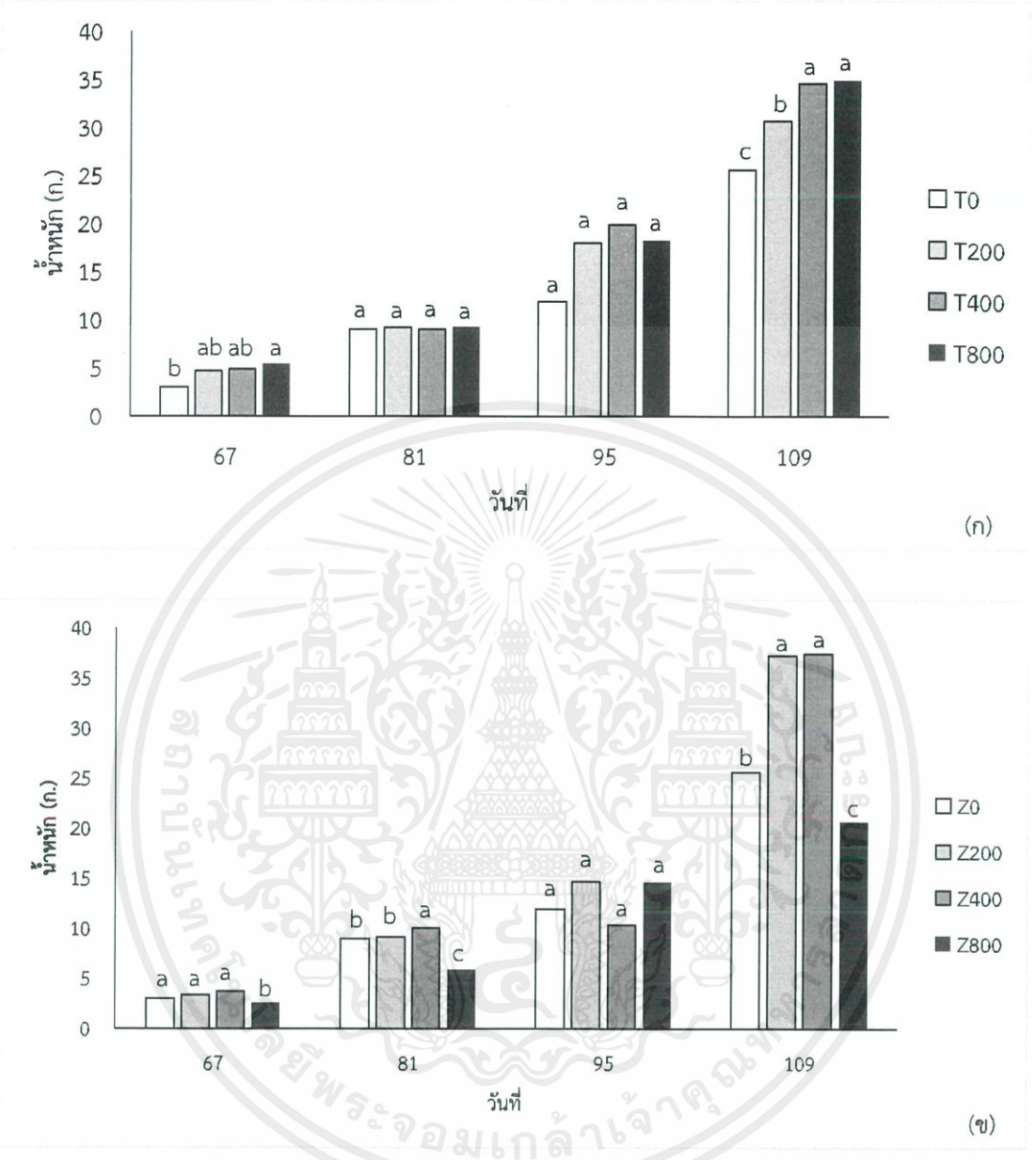
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของรากข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.11ก) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 5.37 กรัม รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสด 4.87 กรัม ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 วัน พบว่ารากของข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 9.21 กรัม และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดของรากคือ 9.20 กรัม ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 19.93 กรัม และรองลงมาคือรากของข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 18.20 กรัม ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ส่วนข้าวที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 34.88 กรัม และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 34.62 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของรากข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่มีอายุ 67 และ 81 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.11ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากของข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 3.71 และ 10.04 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสด 3.33 และ 9.14 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 14.71 กรัม และรองลงมาคือรากของข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 14.53 กรัม ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด คือ 37.38 กรัม และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 37.24 กรัม ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

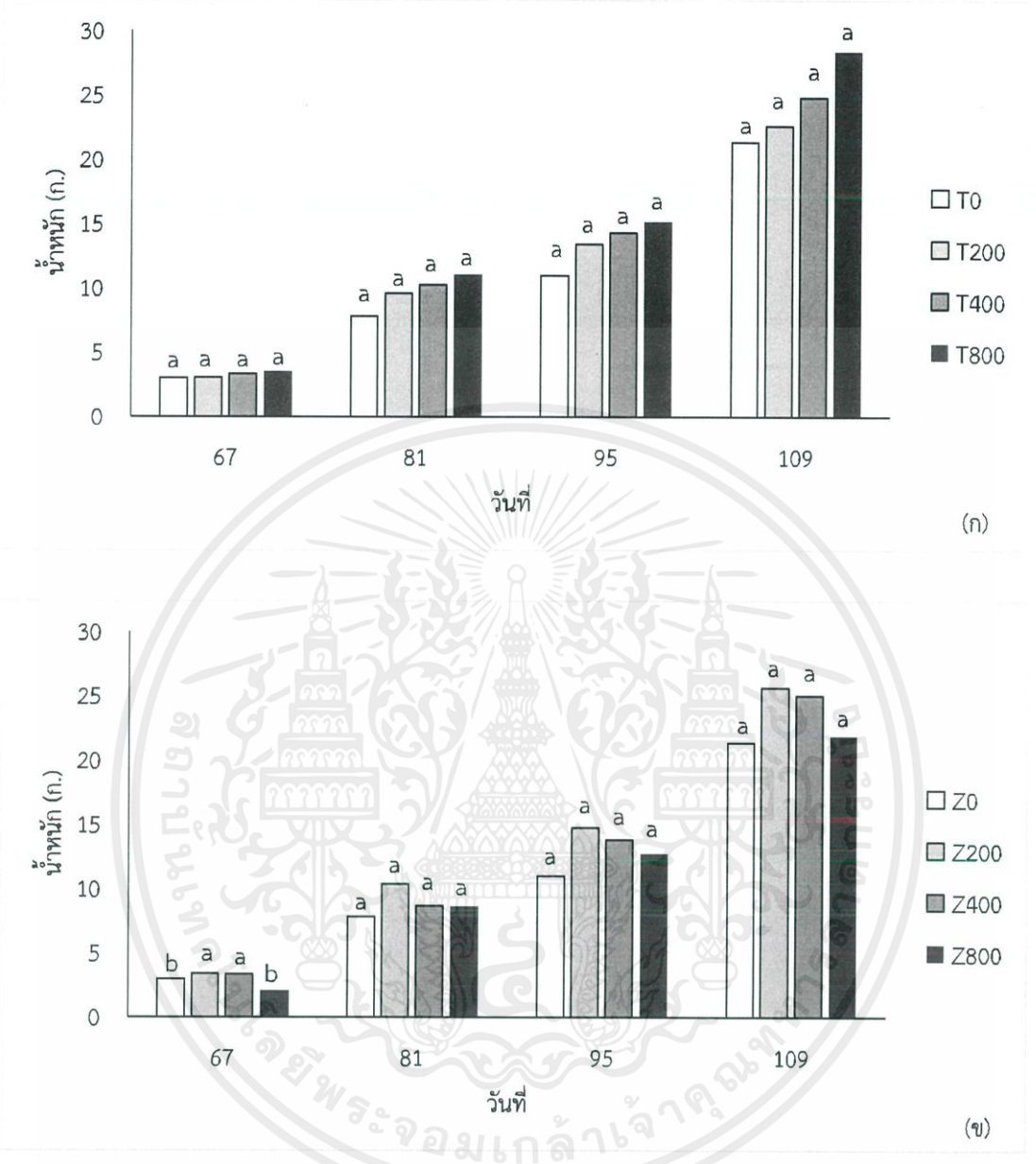
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของต้นข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.12ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยมี น้ำหนักดังนี้ 3.47, 11.01, 15.10 และ 28.38 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความ เข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งของต้น คือ 3.30, 10.24, 14.33 และ 24.84 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.12ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักแห้งของต้นมากที่สุด คือ 3.36, 10.37, 14.75 และ 25.63 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งดังนี้ 3.34, 8.70, 13.78 และ 25.03 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของต้นข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

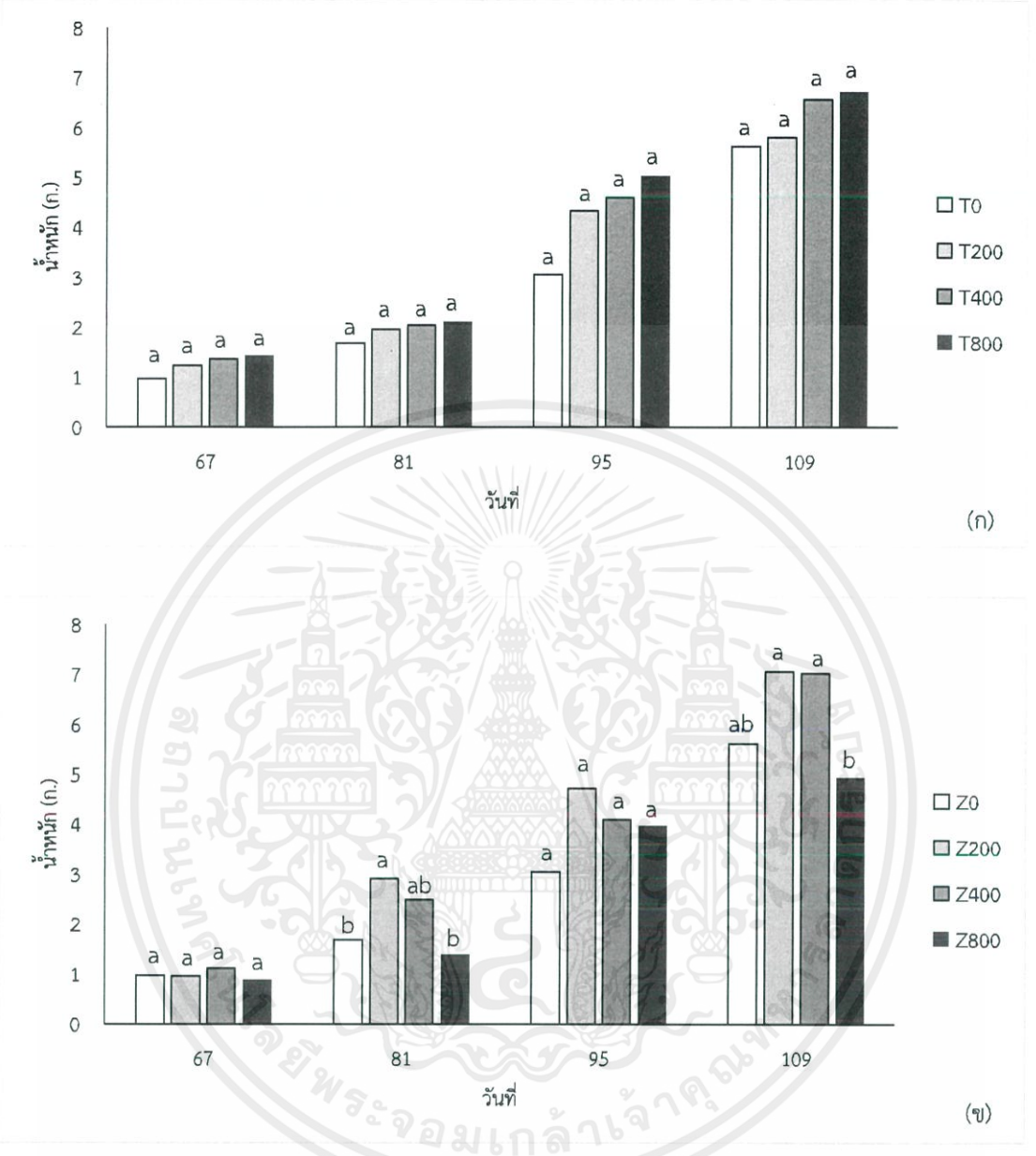
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของรากข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.13ก) อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดในต้นข้าวทุกระยะ (67, 81, 95 และ 109 วัน) โดยมี น้ำหนักดังนี้ 1.42, 2.10, 5.02 และ 6.71 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งของราก คือ 1.36, 2.03, 4.60 และ 6.56 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของรากข้าวไรซ์เบอรี่พบว่าที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.13ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากของข้าวไรซ์เบอรี่มีน้ำหนักมากที่สุด คือ 1.11 กรัม รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสด 0.96 กรัม ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81, 95 และ 109 วัน พบว่ามีลักษณะการเจริญเติมโตในรูปแบบเดียวกัน โดยข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุด คือ 2.91, 4.72 และ 7.06 กรัม ตามลำดับ และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักแห้งของรากข้าวไรซ์เบอรี่ดังนี้ 2.50, 4.10 และ 7.02 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

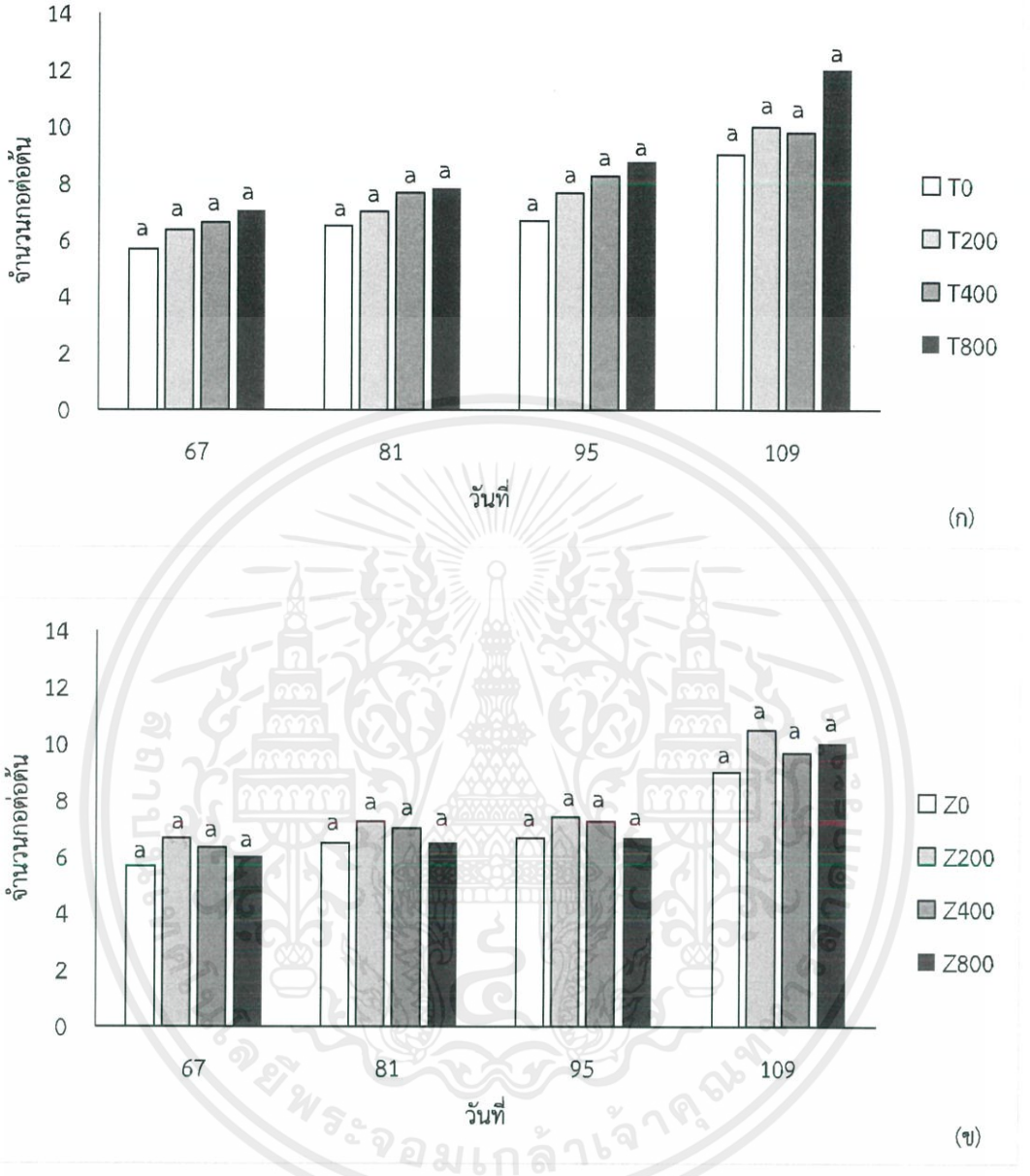
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.14ก) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด คือ 7.00, 7.80 และ 8.80 กอ ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นคือ 6.60, 7.70 และ 8.30 กอ ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นมากที่สุด คือ 12.00 กอ และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้น 10.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.14ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นมากที่สุด คือ 6.70, 7.30 และ 7.40 กอ ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้น คือ 6.30, 7.00 และ 7.30 กอ ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นมากที่สุด คือ 10.50 กอ และรองลงมาคือต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้น 10.00 กอ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจำนวนกอต่อต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรี่

4.2.2.1 การวิเคราะห์รงควัตถุสังเคราะห์แสง

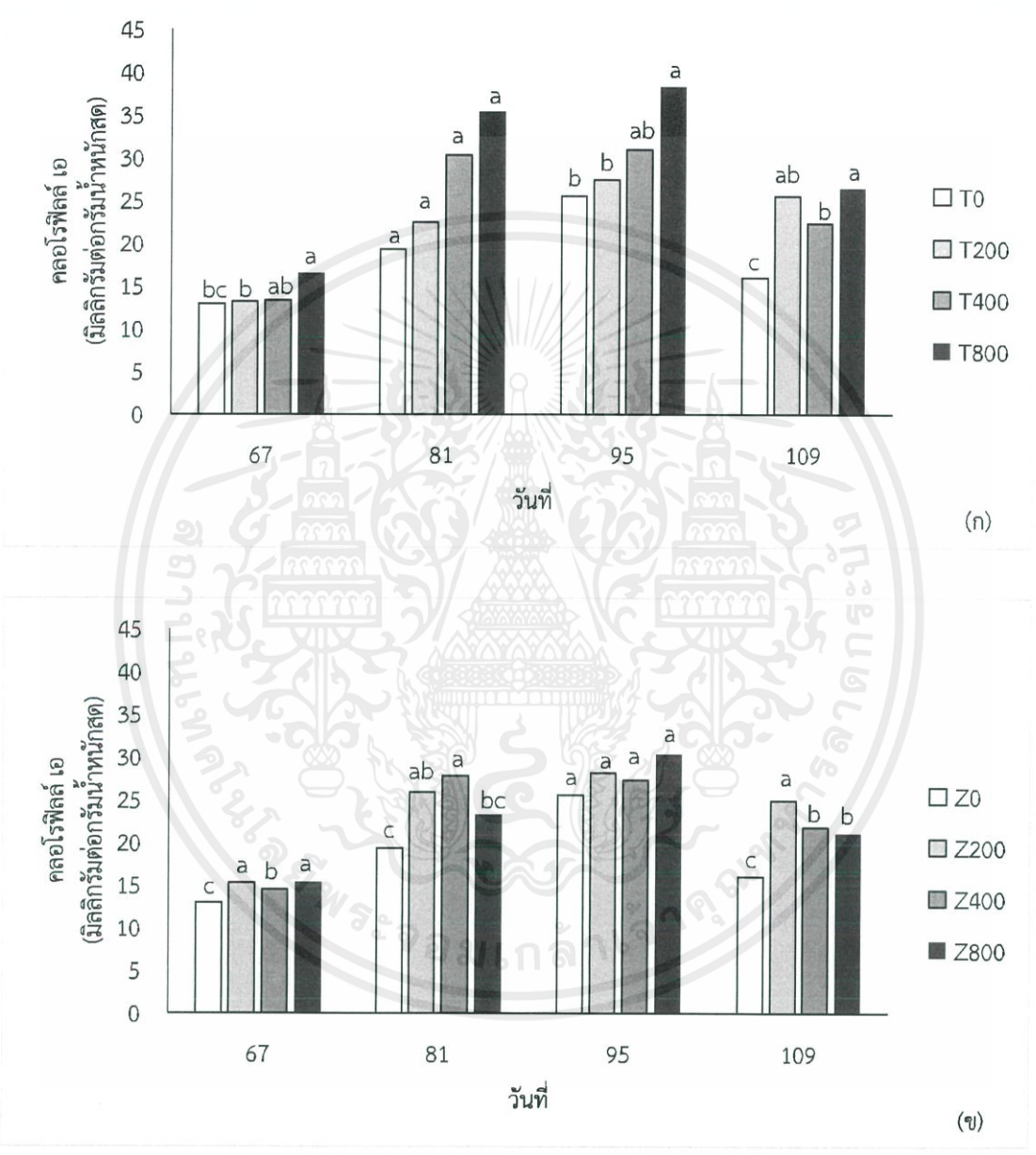
รูปที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.15ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 16.49, 35.37 และ 38.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 13.38, 30.30 และ 30.40 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดคือ 26.38 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 25.52 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.15ข) ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 15.31 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 15.30 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดคือ 27.77 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 25.90 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดคือ 30.26 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 27.12 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดคือ 24.94 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 21.80 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด คลอโรฟิลล์ เอ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

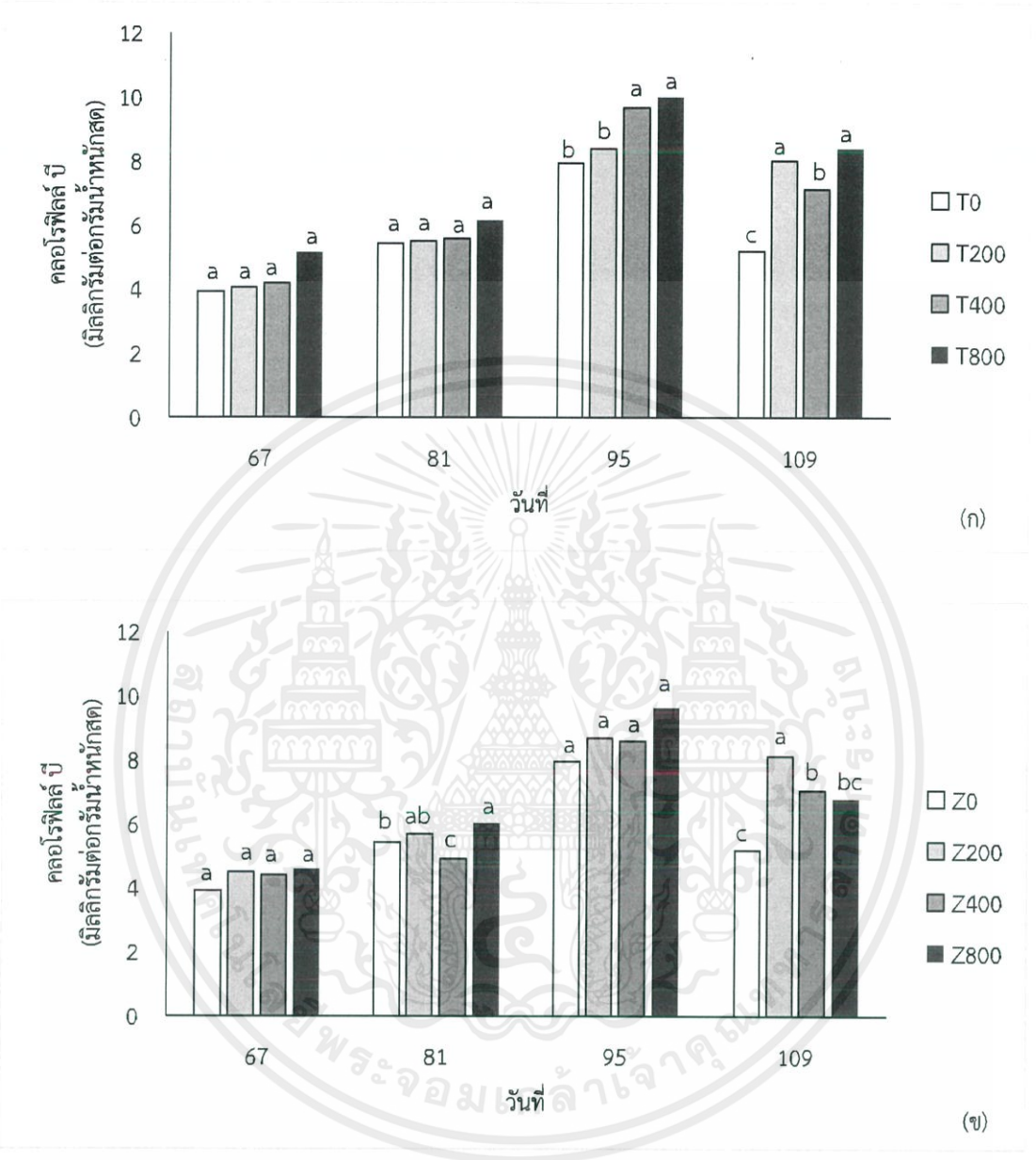
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บีของต้นข้าวที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.16ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 5.14, 6.14 และ 9.99 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 4.18, 5.60 และ 9.68 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุดคือ 8.38 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 8.02 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวที่มีอายุ 67 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.16ข) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 4.58 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 4.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุดคือ 6.01 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 5.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุดคือ 9.62 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 8.69 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ชนิดคลอโรฟิลล์ บี มากที่สุดคือ 8.13 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงคือ 7.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด คลอโรฟิลล์ บี ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, 200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

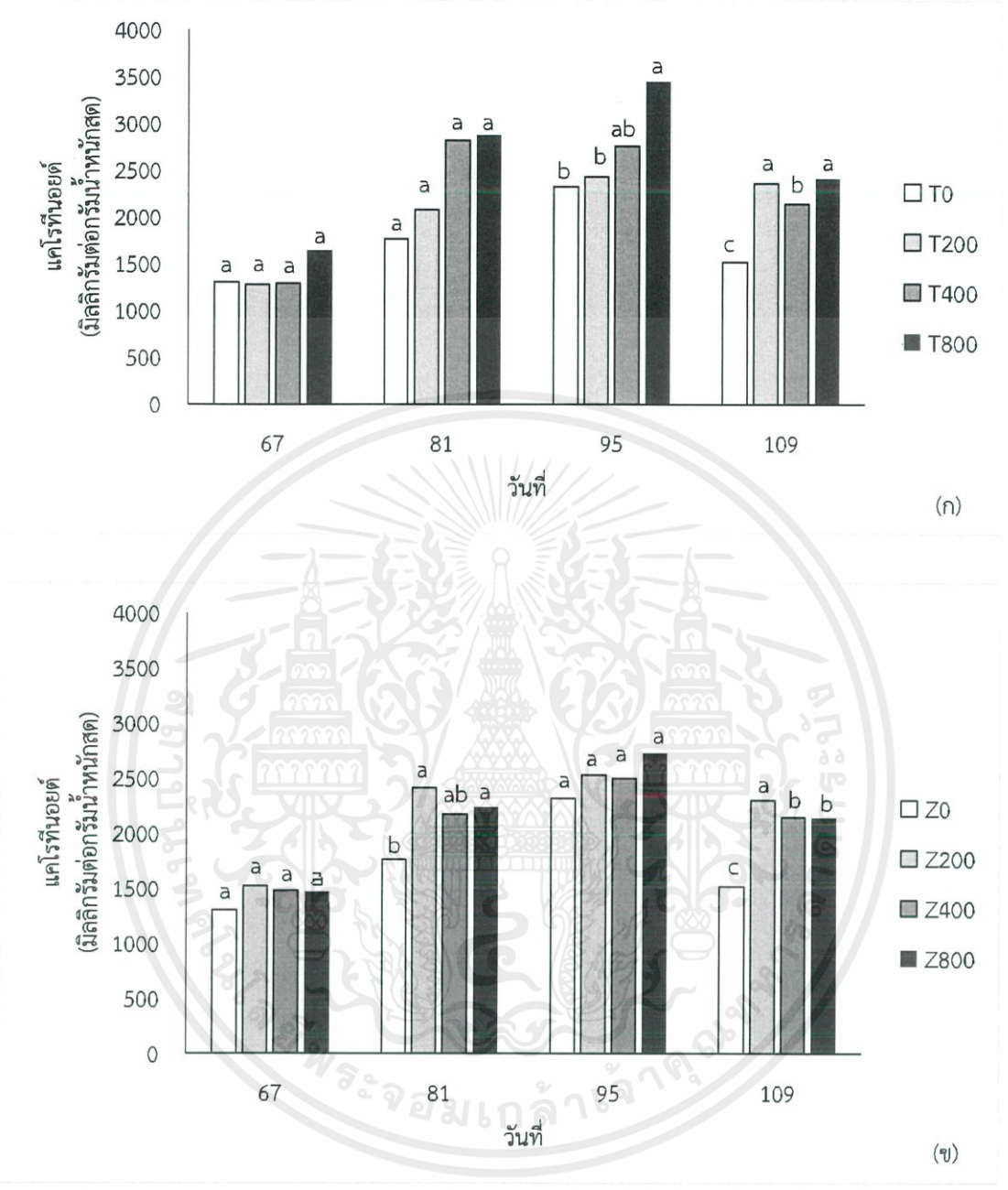
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.17ก) ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 1,637.83, 2,866.72 และ 3,436.88 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 1,286.84, 2,820.25 และ 2,757.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ มากที่สุดคือ 2,403.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 2,413.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน พบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.17ข) ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุดดังนี้ 1,521.92 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 1,479.79 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ มากที่สุด คือ 2,413.77 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 2,232.06 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ มากที่สุด คือ 2,721.67 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 2,530.01 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิด แคโรทีนอยด์ มากที่สุดคือ 2,302.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 2,143.82 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงชนิดแคโรทีนอยด์ ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การวิเคราะห์เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

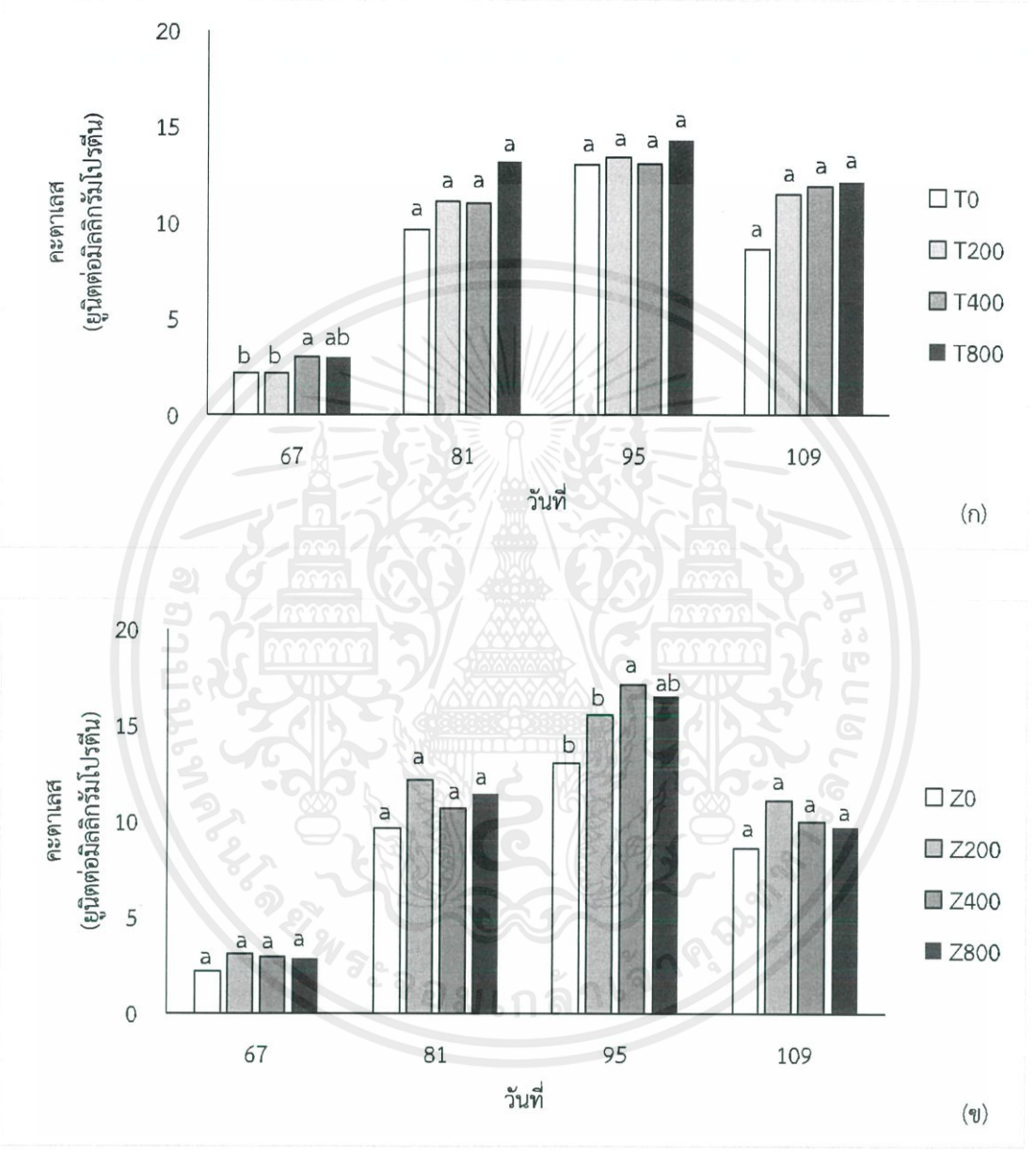
รูปที่ 4.18 แสดงผลการปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลสที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลสของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.18ก) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ มากที่สุด คือ 3.04 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 2.98 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุด คือ 13.15 และ 14.28 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คือ 11.02 และ 13.04 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส มากที่สุด คือ 12.09 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส 11.90 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.18ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ มากที่สุด คือ 3.11 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 2.97 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ส่วนข้าวที่มีอายุ 81 วัน พบว่าปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณมากที่สุด คือ 12.16 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คือ 11.41 ยูนิตต่อโปรตีน ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 95 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คะตาเลส มากที่สุด คือ 17.15 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน และรองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีน้ำหนักสดคือ 16.49 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 109 วัน พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลสมากที่สุด คือ 11.08 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลสคือ 10.00 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระคะตาเลส ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 67, 81, 95 และ 109 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวง โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

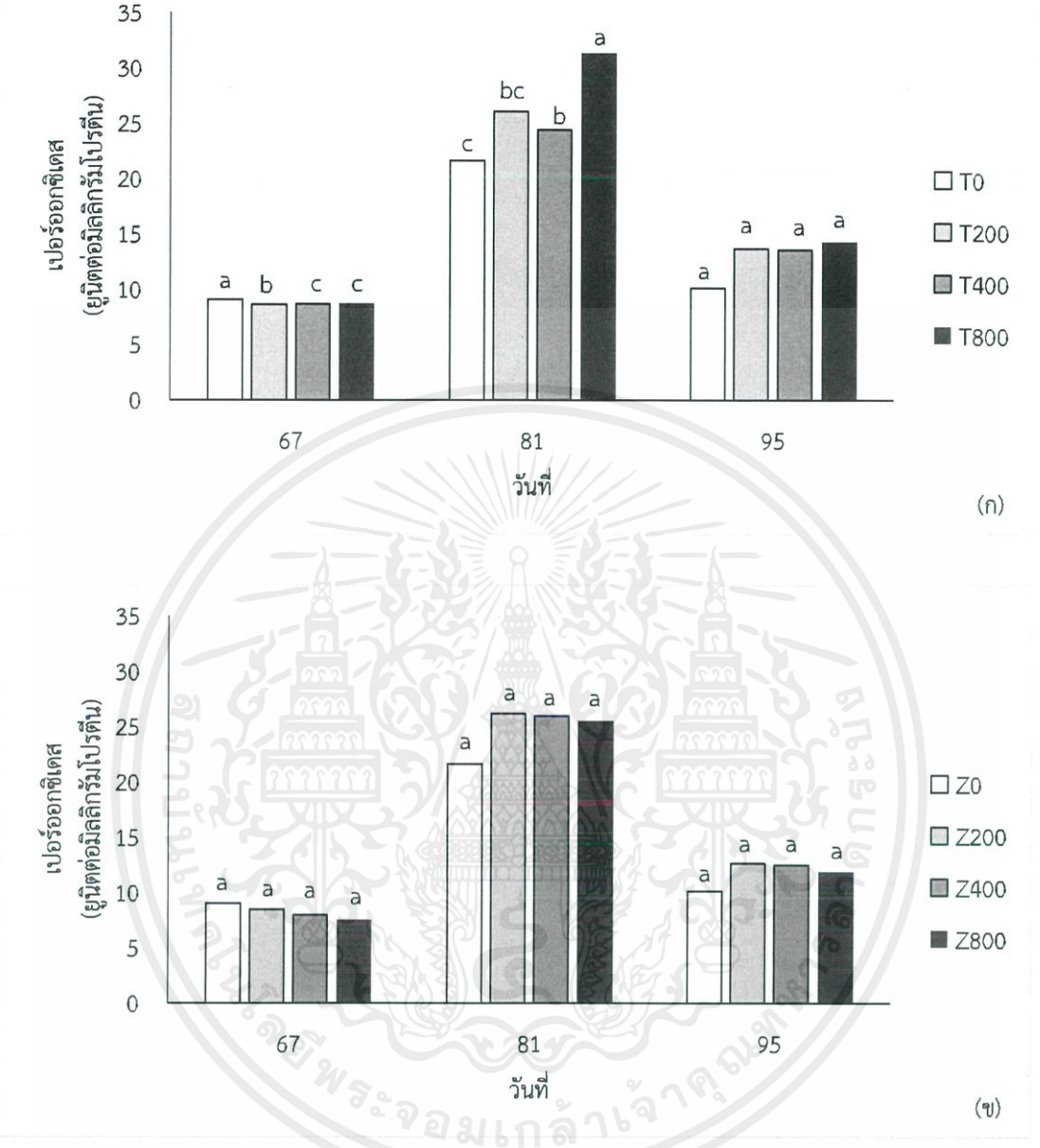
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 แสดงผลการปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดสของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดสที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.19ก) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ มากที่สุด คือ 9.02 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 8.68 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุด คือ 31.25 และ 14.23 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คือ 26.01 และ 13.65 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 67 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.19ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ มากที่สุด คือ 9.02 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 8.46 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 81 และ 95 วัน พบว่าปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวไรซ์เบอรี่ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุด คือ 26.18 และ 12.61 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวที่เติมอนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คือ 25.92 และ 12.45 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิเดส ของข้าวพันธุ์ ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆที่มีอายุ 67, 81 และ 95 วัน ในระยะแตกกอถึงระยะออกรวงโดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, 400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

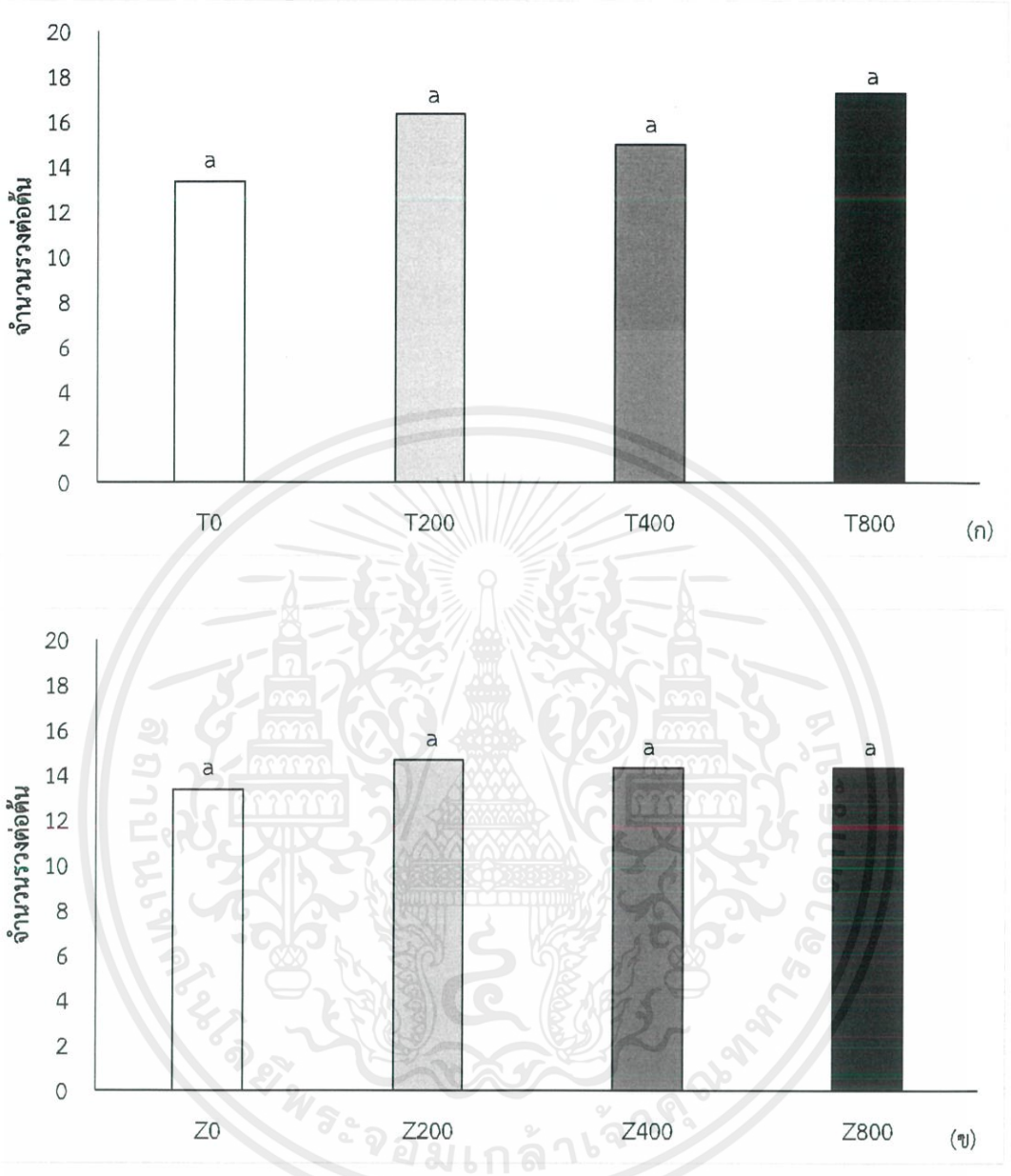
4.2.3 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต

รูปที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ารากต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.20ก)พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด คือ 17.25 รวง รองลงมาคืออนุภาคนาโน TiO_2 อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นคือ 16.33 รวง

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.20ข) พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอรี่มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นมากที่สุด 14.67 รวง ตามลำดับ รองลงมาคืออนุภาคนาโน ZnO อัตราความเข้มข้น 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อต้นคือ 14.33 รวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจำนวนรวง/ต้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

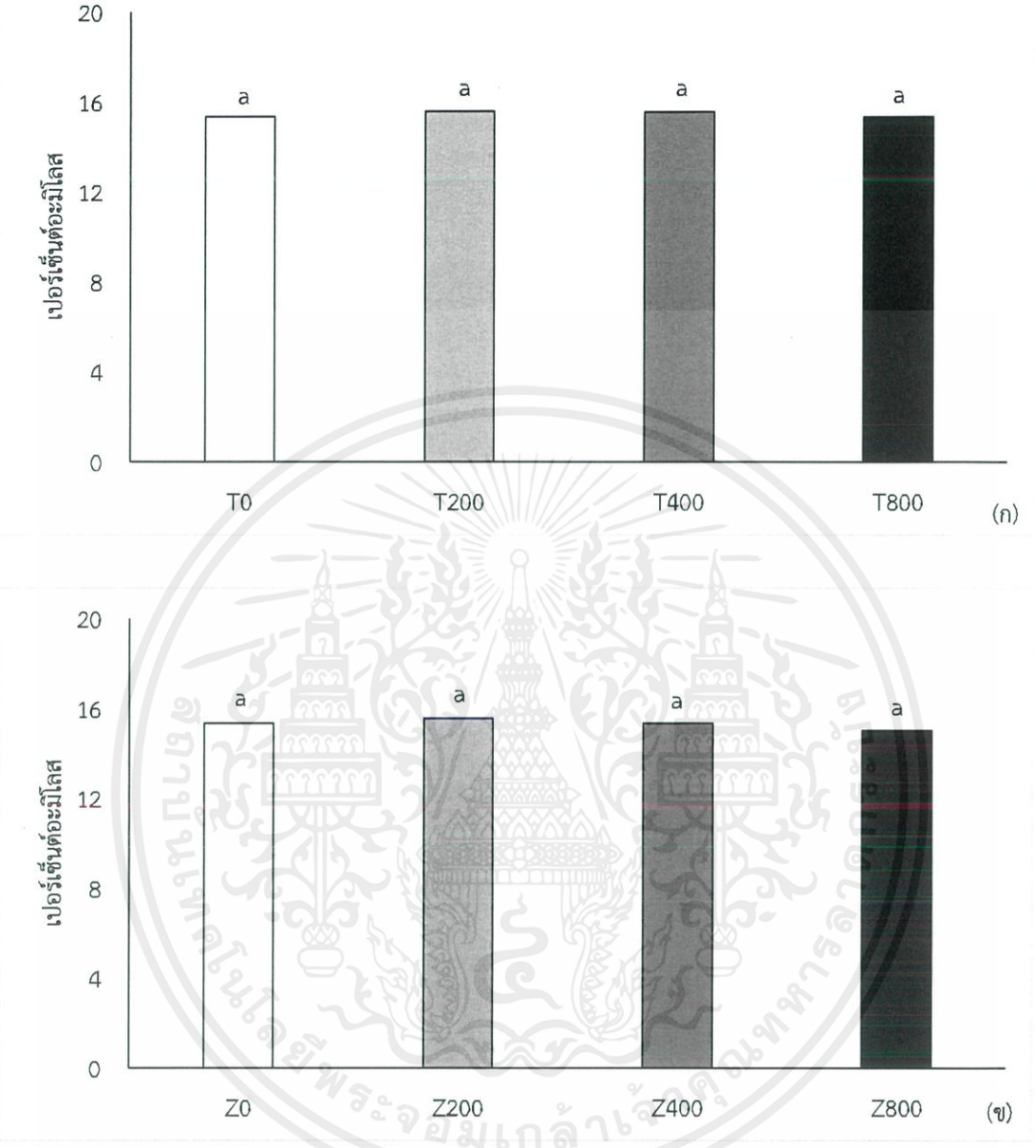
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.21ก) พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสอยู่ที่ 15.36, 15.61, 15.58 และ 15.36 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.21ข) พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสอยู่ที่ 15.36, 15.57, 15.36 และ 15.02 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

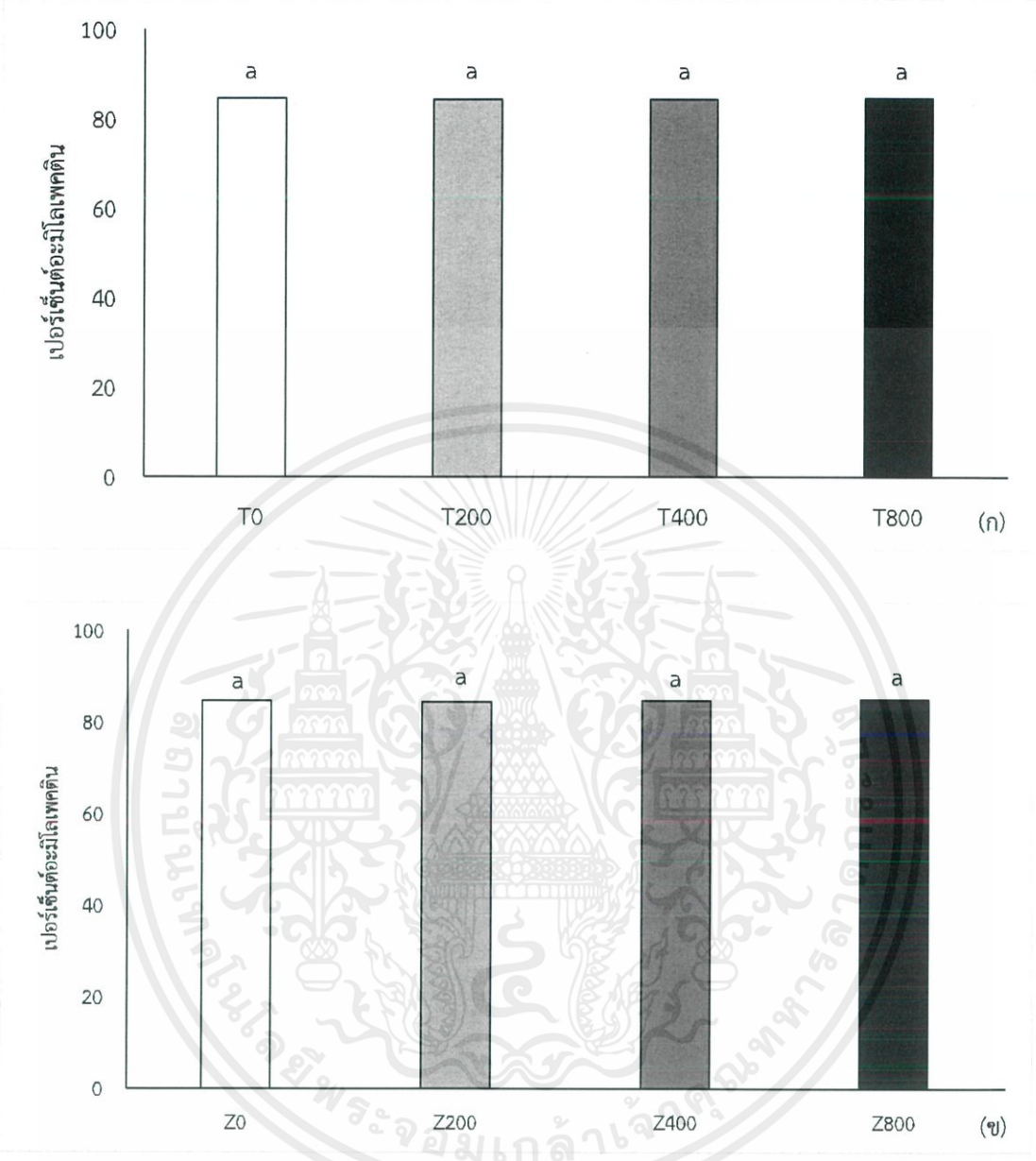
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่ระยะการเจริญเติบโต ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 และ ZnO ที่อัตราความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน TiO_2 (รูปที่ 4.22ก) พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินอยู่ที่ 84.64, 84.38, 84.42 และ 84.64 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน ที่เติมอนุภาคนาโน ZnO (รูปที่ 4.22ข) พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินอยู่ที่ 84.64, 84.43, 84.64 และ 84.98 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีอายุ 130 วัน โดยทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 (ก) และ ZnO (ข) ที่อัตราความเข้มข้น 0 (T0, Z0), 200 (T200, Z200), 400 (T400, Z400) และ 800 (T800, Z800) มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่โดยทำการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด ในส่วนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าที่อัตราความเข้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด โดยการศึกษาการสะสมของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและ, ความยาวต้นและความยาวราก ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยทดสอบจาดค่าคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ หรือดูจากความเข้นของสีใบ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโต [33] โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตของพืชจะขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงง ซึ่งสอดคล้องกับ Mohamed S. khater (2014) [52] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของผลผลิตของพืช พบว่าพืชที่ให้ผลผลิตสูงจะมีค่าคลอโรฟิลล์ที่สูงและจะสงผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงด้วยเช่นกัน

การศึกษาผลอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีส่วนช่วยในการกระตุ้นเอนไซม์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำเข้าสู่เซลล์ซึ่งจะส่งผลให้พืชได้รับน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโต [52] นอกจากนี้ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืช [41] ส่วนอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง เมื่อเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมากจะทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น [48] หากความเข้มข้นของอนุภาคนาโนมีความเข้มข้นมากเกินไปอาจเกิดความเป็นพิษต่อข้าว หากมีปริมาณน้อยเกินไปอาจจะไม่เพียงพอต่อการสร้างเอนไซม์ของข้าวเพื่อช่วยในการเพิ่มผลผลิต

การศึกษาผลอนุภาคนาโนที่ส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ ของเอนไซม์คะตาเลสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จากผลการทดลองพบว่าในช่วงก่อนการเก็บผลผลิตค่าเอนไซม์คะตาเลสจะเพิ่มขึ้นแต่ในช่วงเก็บผลผลิตพบว่าค่าเอนไซม์คะตาเลสมีปริมาณน้อยลง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์คะตาเลสในการเร่งปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ [23] ส่วนผลการทดลองของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสพบว่าข้าวในช่วงก่อนช่วงเก็บผลผลิตจะเริ่มมีค่ากิจกรรมของไอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงช่วงเก็บผลผลิตพบว่าค่าเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีปริมาณที่น้อยลงจนไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากเอนไซม์คะตาเลสซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณน้อยลง เนื่องจากข้าวพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวจึงไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันเซลล์จากสารอนุมูลอิสระ [23]

การศึกษาผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสและอะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าอนุภาคนาโนที่ทำการเติมลงไปไม่ส่งผลต่อปริมาณของเปอร์เซ็นต์อะมิโลสและอะมิโลเพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ จากผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อะมิโลสประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และอะมิโลเพคตินประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐภูมิ (2007) [61] กล่าวว่า ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่มีค่าเปอร์เซ็นต์อะมิโลสและอะมิโลเพคตินประมาณ 15.60 และ 84.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอและช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะออกรวง โดยทำการศึกษาจาก การสะสมของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น, ความยาวต้นและความยาวราก, จำนวนกอ, จำนวนรวงต่อกอ, ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และ ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ของข้าวพันธ์ไรซ์เบอรี่ พบว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด ในส่วนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าที่อัตราความเข้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ

5.2 แนวทางการพัฒนา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ ซึ่งได้มีการกำหนดความเข้มข้นของอนุภาคที่ 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีระยะห่างของความเข้มข้นที่สูงหากมีการนำไปทดสอบโดยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของอนุภาคนาโนรวมถึงเพิ่มความถี่ของระยะห่างระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ซึ่งอาจทราบความเข้มข้นที่ทำให้ช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด และในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอนุภาคนาโนที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่โดยใช้เวลาในการทดลองเพียง 1 รอบการเพาะปลูก จึงควรเพิ่มการทดลองในช่วงหลากหลายฤดูกาลและเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 รอบการเพาะปลูกเพื่อดูอัตราการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตว่ามีความสอดคล้องกันในทุกฤดูกาลเพาะปลูกหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บริษัทวีโกเทค. 2558. **ต้นเหตุของดินเสื่อม**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.vigotech.co.th.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **ประวัติความเป็นมาของข้าว**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html#HisCharecter.

[3] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2557. **หมู่บ้านข้าวนาโนฯ**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.zincinfothailand.com.

[4] Nakarin-Chaichana. 2012. **Nanotechnology**. [Online]. Available : http://nanotecheducation.blogspot.com/2012/04/blog-post_05.html.

[5] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2558**. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th/download/download_journal/2559.pdf.

[6] สมโชค เฉตระการ. 2553. **ต้นข้าวที่กำลังแย่งกันออกรวง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://oknation.nationtv.tv/blog/somchoke101/2010/11/02/entry-1.

[7] ประพาส วีระแพทย์. 2520. **"ข้าว."** สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. เล่มที่ 3 : 8-49.

[8] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2555. **หมู่บ้านข้าวนาโนฯ**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.zincinfothailand.com.

[9] นันทิยา คาบุญเรือง. 2554. "ผลของช่วงแสงต่อการกำเนิดช่อดอก และประโยชน์ของการใช้ช่วงแสงสั้นในการปลูกข้าวนอกฤดู ของข้าวขาวดอกมะลิ 105." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[10] The International Rice Resherch Institute (IRRI). 1985. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. The International Rice Research Institute. Philippines.

[11] X. Yin, M.J. Kropff and M.A. Ynalvez. 1997. Photoperiodically sensitive and insensitive phases of preflowering development in rice. Crop Sci.

[12] กมรินทร์ พรหมรัตน์รักษ์, ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร และ รังสฤษฏ์ กาวีต๊ะ. 2548. **อิทธิพลของช่วงแสงต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของปลายยอดข้าว**.น. 491-498 ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 : (สาขาพืช). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[13] วรวิทย์ พาณิชย์พัฒน์, สุเทพ ลิ้มทองกุล และ สุเทพ นุชสวาท. 2529. **ความรู้เรื่องข้าว**, พิมพ์ครั้งที่ 7. ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร.

[14] ทวี คุปต์กาญจนากุล. 2541. "ความรู้เรื่องข้าวและเทคโนโลยีการผลิตข้าว." เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร เทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดี. กรมวิชาการ เกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์.

[15] Moldenhauer and J.H. Gibbons. 2003. Rice morphology and development, In C.W. Smith and R.H. Dilday, eds. Rice : Origin History Technology and Production. Inc, USA.

[16] ยุวดี มานะเกษม. 2550. "สรีรวิทยาการออกดอกและติดผล." สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] ฟาร์มสุขพอเพียง. 2558. **การทำนาหว่านข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ทุ่งกุลาร้องไห้.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://riceberry101.blogspot.com/2015/11/blog-post_28.html.

[18] ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. 2558. **ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry).** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.graceherb.com.

[19] ธาราทิพย์ สอดสุข. 2559. **การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis).** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sc.chula.ac.th/add_topics/2_photosynthesis.html

[20] ปรารถนา จันทร์ทา. 2558. **การสังเคราะห์ด้วยแสง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org.

[21] สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. "สรีรวิทยาของพืช." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[22] เบ็ญจมาศ จิตรสมบูรณ์. 2557. "การตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของสารแอนติออกซิแดนท์ในเมล็ดมะขามและผลิตภัณฑ์." สาขาวิชาเภสัชวิทยา, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[23] I.F Benzie. 2003. Evolution of dietary antioxidants. Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology.

[24] S.M. El-Bahr. 2013. Biochemistry of free radicals and oxidative stress. Science International.

[25] Noguchi and E. Niki. 1999. Chemistry of active oxygen species and antioxidants. In Antioxidant status. nutrition and health. Boca Raton.

[26] E. Niki. 2013. Role of vitamin E as a lipid-soluble peroxyl radical scavenger: in vitro and *in vivo* evidence. Free Radical Biology and Medicine.

[27] M. Traber and J. Atkinson. 2007. Vitamin E, antioxidant and nothing more. Free Radical Biology and Medicine

[28] N. Abudu, J.J. Miller, M. Attaelmannan and S.S. Levinson. 2004. Vitamins in human arteriosclerosis with emphasis on vitamin C and vitamin E. Clinical Chimica Acta.

[29] V.P. Palace, N. Khaper, Q. Qin and P.K. Singal. 1999. Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. Free Radical Biology & Medicine.

[30] B. Halliwell, and J.M.C Gutteridge. 2016. Free radicals in biology and medicine. Oxford University Press, Oxford.

[31] I. Jaswir, M. Kobayashi, T. Koyama, E. Kotake-Nara และ A. Nagao. 2012. Antioxidant behavior of carotenoids highly accumulated in HepG2 Cells. Food Chemistry.

[32] K.M. Walingo. 2005. Role of vitamin C (Ascorbic acid) on human health-A review. African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development.

[33] เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. **"สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่."** เกษตรศาสตร์ สาขาวิชาพืชไร่. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิยาลัยเชียงใหม่.

[34] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2557. **ความรู้เกี่ยวกับนาโน**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.nano.kmitl.ac.th.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[35] กิตติพงศ์ อำนวยสวัสดิ์. 2557. วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) และการประยุกต์ใช้ วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) . **Zinc Oxideและการประยุกต์ใช้**. [Online]. Available : http://www.nano.kmitl.ac.th/files/nano_innovation/2557/training.

[36] CCE-Group. 2016. **Zinc Oxide**. [Online]. Available : http://cn-zinc-oxide.com/product.html.

[37] สุพิณ แสงสุข. 2550. **องค์ความรู้เรื่องไทเทเนียมไดออกไซด์ 2550**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.theorganicmakeupcompany.com/CA/titnaniumdioxide.asp.

[38] สุพิณ แสงสุข. 2550. **ไทเทเนียมไดออกไซด์**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.chemtrack.org.

[39] นวพันธ์ ขยันกิจ. 2557. **Titanium Dioxide (TiO_2); Propreties and Applications.** [Online]. Available : http://www.nano.kmitl.ac.th/files/nano_innovation/training.pdf.

[40] National Institute of Standards and Technology. 2016. **Titanium Dioxide**. [Online]. Available : http://nict.sc.chula.ac.th/site/index.php/technology.

[41] H.Unchalee. 2016. **TiO_2**. [Online]. Available : http://www.siamchemi.com.

[42] S. Mohammad, H. Mitra and G. Sahar. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of seeds under drought stress. Department of Agronomy and Plant breeding. Faculty of Agricultural Science. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran.

[43] พงศกร เทียนดี. 2558. "ผลของวัสดุนาโนคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการปรับปรุงดินเพื่อประยุกต์ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน. บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[44] นิสาชล เทศศรี และการะเกด เทศศรี. 2558. "ฤทธิ์การต้านเชื้อราก่อโรคพืชของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

[45] บุษบากร คงเรือง. 2553. "การพัฒนาสารเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[46] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2559. **ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.il.mahidol.ac.th

[47] Luke Sutherland. 2007. **UV-VIS spectrum of bisulphide in sewage**. [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/File:UVVIS_spectrum _sewage.jpg

[48] S.L. Laware and Shilpa Raskar. 2014. Influence of Zinc Oxide Nanoparticles on Growth, Flowering and Seed Productivity in Onion. PG Department of Botany. Fergusson College. University of Pune (MS), India

[49] P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T. S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal. and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particle on the germination, growth and yield of peanut. Regional Agricultural research Station. Acharya N.G Ranga Agricultural University, Tirupati, India

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[50] S. Narendhran, P. Rajiv and Raeshwar Sivaraj. 2016. Influence of Zincoxide nanoparticle on growth of *Seamum Indicum L.*. Department of Biotechnology, School of Life Sciences. Karpagam Academy of Higher Education. Eachanari Post. Tamil Nadu, India

[51] Melika Taheri, Hania Ataiei Qarache, Alimohammad Ataei Qarache, and Mahdieh Yoosefi. 2016. The Effects of Zincoxide Nanoparticles on Growth Parameters of Corn (SC704). Department of Education and Training. Shahreza, Iran.

[52] S. Mohamed khater. 2014. Effect of Titanium Nanoparticles (TiO_2) on Growth, Yield and Chemical Constituents of Coriander Plants. National Institute of Laser Enhanced Science (NILES) Cairo University. Egypt.

[53] H. Mahmoodzadeh, M. Nabavi and H. Kashefi. 2012. Effect of Nanoscale Titanium Dioxide Particles on the Germination and Growth of Canola (Brassica napus). Department of Biology. Mashhad Branch. Islamic Azad University. Mashhad, Iran.

[54] P.J. Radford. 1967. "Growth analysis formulae their use and abuse." Crop Sei.

[55] H.K. Lichtenthaler. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Method Enzymol.

[56] S.N. Shabala, S.I. Shabala, A.I. Martynenko, O. Babourina and A.I. Newman. 1998. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. Australian Journal of Plant Physiology.

[57] Bangkokhighlab. 2016. UV-vis spectrophotometer (PG Instruments $T92^+$). [Online]. Available : http://www.bangkokhighlab.com.

[58] H. Aebi. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology.

[59] R. Beffa, H.V. Martin and P.E. Pilet. 1990. In vitro oxidation of indoleacetic acid by Soluble Auxinoxidases and peroxidases from maize root. Plant Physiology.

[60] HERMLE Labortechnik Gmb. 2016. **Centrifuge Z 36 HK.** [Online]. Available : http://www.hermle-labortechnik.de/en/our-products/high-speed-centrifuges.html.

[61] ณัฐภูมิ สุดแก้ว. "รำข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่สารต้านอนุมูลอิสระสูง แปรรูปน้ำมันรำข้าวและลูกกลอนรำข้าวใช้รักษาโรค". เกษตรกรรมธรรมชาติ. 2550, 10(4), 13-17.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปริภาคย์ เรืองเทพ
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤศจิกายน 2537
ที่อยู่	106/387 ต.คลองสองต้นนุ่น อ.ลาดกระบัง จ.กรุงเทพ 10520
E-mail address	nanoframeza@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนนวมินทราชินูทิศเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ประวัติการฝึกงาน	ห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน บริษัท บางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

[1] สรกิต เวทยาวงศ์,พรหมพร เรืองฉิม, ศิวกร สังข์น้อย, **ปริภาคย์ เรืองเทพ**, นาวิน วิริยะเอี่ยมพิกุล และอภิลักษณ์ เอียดเอื้อ, นิภาวรรณ เฉลียวฉลาด,**หลังคากันความร้อนจากวัสดุนาโน** , การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศครั้งที่ 5 ระดับอุดมศึกษาและบุคคลทั่วไป 1-2 กันยายน 2557, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

[2] Apiluck Eid-ua, Panuruj Asawaorait, Sorakit wettayavong, Promporn Reangchim, Siwakron Sangnoi, **Paripark Ruangthep**, Nipawan Chaleiwchalarh, Nawin Viriya-empikul, **Natural Kaolin/Carbon Nanocomposites for Roof Insulation Material**, 8th international Conference on Material Science and Technology, December 15-16th, 2014, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).

[3] Paripark Ruangthep, Sutichai Samart, Sutee Chutipaijit, **ZnO nanoparticles affect differently the morphological and physiological responses of Riceberry plants (*Oryza sativa* L.)**, The 3rd International Conference on Applied Physics and Material Applications, Pattaya, May 31th - June 1st, 2016, Thailand (Poster Presentation).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้