

การเปรียบเทียบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียม
ไดออกไซด์ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และผลผลิตของข้าว

Comparison of the phytotoxicity of zinc oxide and titanium dioxide
nanoparticles on the morphological, physiological and productivity
responses in rice (*Oryza sativa* L.)



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-NT-M-001-003

Comparison of the phytotoxicity of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles on the morphological, physiological and productivity responses in rice (*Oryza sativa* L.)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF SCIENCE IN NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2016

KMITL-2016-NT-M-001-003



COPYRIGHT 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ **COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

นักศึกษา

รหัสประจำตัว

ปริญญา

สาขาวิชา

พ.ศ.

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

การเปรียบเทียบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อ
สัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และผลผลิตของข้าว

นายสุธิชัย สามารถ

56607016

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

2559

ผศ.ดร.สุธี ชูดีไพจิตร

ผศ.ดร.นิตยา ผกามาศ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (nano-TiO₂) ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และผลผลิตของข้าวไทย 9 สายพันธุ์ ในการทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการทดสอบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ทั้งหมด 6 ความเข้มข้น ในอัตราส่วนความเข้มข้น 100, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่ละความเข้มข้นทุก 14 วันจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ต้นข้าวจะถูกเก็บที่ระยะเวลา 37, 44, 51, 58, 72, 86, 100 และ 114 วัน ทำการวัดการเจริญเติบโต (น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความสูง) ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์) เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (แคตาเลส และเปอร์ออกซิเดส) ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI), จำนวนรวงต่อกอ และค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลการศึกษาพบว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ และผลผลิต การเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับนั้น มีแนวโน้มที่จะทำให้ข้าวมีลักษณะสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าอัตราความเข้มข้นอื่นๆ การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสายพันธุ์อื่น รวมทั้งพืชชนิดอื่นในอนาคตได้

คำสำคัญ: ข้าวไทย, อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, การเจริญเติบโต, รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง, เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ, ดัชนีพื้นที่ใบ, ดัชนีเก็บเกี่ยว

Thesis Title	Comparison of the phytotoxicity of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles on the morphological, physiological and productivity responses in rice (<i>Oryza sativa</i> L.)
Student	Mr. Sutichai Samart
Student ID	56607016
Degree	Master of Science
Program	Nanoscience and Nanotechnology
Year	2016
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sutee Chutipajit
Thesis Co-adviser	Asst. Prof. Dr. Nittaya Phakamas

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of zinc oxide nanoparticle (nano-ZnO) and titanium dioxide nanoparticles (nano-TiO₂) on morphology, physiology and yield of nine Thai rice cultivars. The experiment was conducted in the field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang during February, 2014 to May, 2015. The experiment was laid out in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications. Six rates of nano-ZnO and nano-TiO₂ were tested at the different concentration i.e., 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹. Each rate of nano-ZnO and nano-TiO₂ was supplemented for every 14 days-interval until harvesting. The rice plants were collected 37, 44, 51, 58, 72, 86, 100 and 114 days old. The growth rate (fresh weight, dry weight and plant height) photosynthetic pigments (chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoid), antioxidant enzymes (catalase peroxidase), leaf area index (LAI), number of panicles (spike)/clump and harvest index (HI) were measured. The results showed that, the different concentrations of nano-ZnO and nano-TiO₂ were effect on growth photosynthetic pigment contents, antioxidant enzyme activities and yield of rice. The addition of nano-ZnO and nano-TiO₂ at a rate of 200 and 400 mg.L⁻¹, respectively trended to morphological characterization, leaf area index and harvest index greater than the other treatments. The application of nano-ZnO and nano-TiO₂ may be applied to other rice cultivars, including the other plant species in the future.

Keywords: Thai rice, Nano-ZnO, Nano-TiO₂, Growth rate, Photosynthetic pigments, Antioxidant enzymes, Leaf area index, Harvest index

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท และมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นสิ่งที่ทำให้นักศึกษาได้ฝึกฝนสติปัญญา การเรียนรู้ การปรับปรุงกระบวนการด้านความคิด และรู้จักแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ยังสามารถนำประสบการณ์ และความรู้ที่ได้รับนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตข้างหน้าต่อไป ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธี ชูดีไพจิตร และ ผศ.ดร.นิตยา ผกามาต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมาก รวมถึงช่วยอบรมสั่งสอนให้มีความรับผิดชอบ ความรอบคอบในการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ถูกต้องครบถ้วนอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.หุติยาภรณ์ ทิววงศ์ ผศ.ดร.อภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ ดร.ธนวิษ สุจริตรกุล ที่สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบ และกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยให้คำปรึกษา สนับสนุนช่วยเหลือในด้านกำลังร่างกาย แรงใจในการปฏิบัติงาน และทุนทรัพย์ ให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนางสาวพรเพ็ญ สมจิตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาและคำแนะนำในเรื่องการทำงานตลอดรวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ ขอขอบคุณน้อง เกษตรเจ้าคุณรุ่นที่ 40 และ 41 ที่คอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งช่วยเหลือในด้านกำลังร่างกาย แรงใจในการปฏิบัติงาน ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณ ศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว และ ดร.อดิเรก แรงกลสิกรณ์ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณส่วนบริหารงานทั่วไป วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ให้กำลังใจกันเสมอมา

สุดท้ายนี้หากมีผู้ใดสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาและความรู้ที่มีอยู่ในวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อท่านไม่มากนักน้อย และขอยกความดีที่มีให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีความบกพร่องผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุธีชัย สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป้นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon หรือ Liliopsida)	4
2.2 ข้าว	4
2.3 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)	13
2.4 การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางด้านการเกษตร	16
2.5 รงค์วัตถุสังเคราะห์แสง (Photosynthetic pigment)	18
2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities)	19
2.7 ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช (Physiological trait)	20
2.8 เครื่องมือและเทคนิคการวัด	22
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	30
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	31
3.3 วิธีการดำเนินงาน	32
3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	32
3.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ นานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้ 36 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	37
3.3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	38
3.3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	39
3.3.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	39
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	41
4.1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	41
4.2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	52
4.3 การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	59
4.4 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	62
4.5 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาในข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	77
4.6 การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์	88
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการทดลอง	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	92
บรรณานุกรม	92
ภาคผนวก	97
ประวัติผู้เขียน	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อคลอโรฟิลล์เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	44
4.2 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อคลอโรฟิลล์บี ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	45
4.3 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อแคโรทีนอยด์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	47
4.4 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อเอ็นไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	50
4.5 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อเอ็นไซม์แคตาเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	51
4.6 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	53
4.7 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	55
4.8 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะ (วัน) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	56
4.9 ผลของอนุภาคนาโนต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	58
4.10 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อผลผลิต จำนวนรวงต่อกอและดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	61
4.11 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อผลผลิตปริมาณอะไมโลสและอะไมแพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	62
4.12 ผลของอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	64
4.13 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อคลอโรฟิลล์เอที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	65
4.14 ผลของอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วย 67
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	68
4.16 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	70
4.17 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	71
4.18 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอ็นไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	73
4.19 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอ็นไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	74
4.20 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอ็นไซม์แคตาเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	76
4.21 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอ็นไซม์แคตาเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	77
4.21 ผลการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่ออัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	78
4.22 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	79
4.23 ผลของการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	81
4.24 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	82
4.25 ผลการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	83
4.26 ผลการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	84
4.27 ผลการใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	85
4.28 ผลการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.29 ผลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อจำนวนรวงต่อกอของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ที่ระยะเก็บเกี่ยว	89
4.30 ผลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการสะสมปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินของเมล็ดข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์	90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	6
2.2 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พันธุ์กข 41	7
2.3 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พันธุ์กข 47	8
2.4 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1	9
2.5 ลักษณะเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80	10
2.6 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2	10
2.7 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1	11
2.8 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2	12
2.9 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3	13
2.10 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	15
2.11 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	16
2.12 UV-VIS spectrum	23
2.13 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS	24
2.14 Double beam spectrophotometer	25
2.15 ตัวอย่างเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	27
3.1 เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ PG Instruments รุ่น T90 ⁺	34
3.2 เครื่อง Refrigerated Centrifuge ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK	35
3.3 กราฟมาตรฐานโปรตีน	36
3.4 กราฟมาตรฐานอะไมโลส	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก และยังเป็นแหล่งอาหารที่ให้การโภชนาการและพลังงานที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ โดยกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นหลัก สำหรับประเทศไทยข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สามารถทำรายได้ปีละหลายแสนล้านบาท โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 31.6 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) อย่างไรก็ตามในขณะที่โลกมีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ความต้องการของผู้บริโภคก็มากขึ้นด้วย แต่พื้นที่ในการปลูกข้าวในประเทศไทยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2557 มีจำนวนลดลงประมาณ 2.5 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และยังมีหลายพื้นที่ที่ให้ผลผลิตต่อไร่มีปริมาณต่ำ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการระบาดของโรคและแมลง ตลอดจนการปลูกที่ขาดประสิทธิภาพ ผนวกกับมีคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญอย่างประเทศเวียดนาม อินเดีย ปัญหาเหล่านี้จึงส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ทำให้ปัจจุบันเกษตรกรต้องเพิ่มปัจจัยในการผลิตข้าว เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น โดยการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีชนิดต่างๆ ทำให้มีปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นนาโนเทคโนโลยีที่สามารถทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดียิ่งขึ้น ที่สำคัญลดต้นทุนในการดูแลข้าว โดยการฉีดพ่นอนุภาคนาโน เช่น ซิงค์ออกไซด์ จะเฉลี่ยอยู่ที่ไร่ละ 100 บาท ในขณะที่การดูแลข้าวแบบเดิมที่ใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีชนิดต่าง ๆ จะเฉลี่ยอยู่ที่ไร่ละ 800 บาท ซึ่งนับเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ข้าว และเป็นการช่วยลดรายจ่ายให้เกษตรกรได้เป็นอย่างดี (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557) ซึ่งปัญหาเกิดจากการปลูกที่ขาดประสิทธิภาพ เช่น การเพาะกล้า การเติบโตไม่สม่ำเสมอ การใช้ปุ๋ยเคมีที่มีต้นทุนสูง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตต่อไร่ต่ำ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีความสามารถในการเพิ่มผลผลิตของข้าวได้นาโนเทคโนโลยีถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวได้

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กในช่วง 1-100 นาโนเมตร สารที่มีอนุภาคขนาดในช่วงดังกล่าวมีคุณสมบัติพิเศษต่างจากสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น AlO_2 , ZnO , TiO_2 และ Muti-walled carbon nanotube (MWCNT) เป็นต้น (Lin และ Xing, 2007) โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ที่หลากหลาย เช่น การสื่อสารพลังงาน เครื่องใช้ไฟฟ้า อาหาร ยา เครื่องสำอาง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (19-36

นาโนเมตร) มีความบริสุทธิ์สูงมีสีขาวไม่เปลี่ยนสี และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) มีลักษณะเป็นผงละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร มีสีขาวที่บีบประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากสารดังกล่าวไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับสูง (สุพิณ, 2550)

โดยอนุภาคนาโนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร เช่น การฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อป้องกันโรคแคงเกอร์ในมะนาว ทำให้มะนาวมีผลผลิตมากขึ้นถึงร้อยละ 20 ผลกลมใหญ่ ผิวเขียวมันเงาไม่พบรอยจุดบนสีน้ำตาลตามผลและไม่ถูกทำร้ายจากเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคแคงเกอร์ในมะนาวสามารถจำหน่ายได้ราคาสูง อีกทั้งประหยัดต้นทุนถึงร้อยละ 75 (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557) ใช้ในการแช่ท่อนมันสำปะหลังก่อนการปลูก ช่วยยับยั้งเชื้อรา และแบคทีเรีย ช่วยการเจริญเติบโตของราก ทำให้ได้ผลผลิตสูง, ใช้ผสมน้ำยาพารา ทำให้แผ่นยาพาราไม่ขึ้นรา ทำให้ขายได้ในราคาที่สูง (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557) และมีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มาประยุกต์ใช้ในการปลูกข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตอย่างไรก็ตามการที่พืชแต่ละชนิดจะมีผลผลิตสูงได้นั้น จะต้องมีการสะสมน้ำหนักแห้งหรือการเจริญเติบโตที่มากพอ น้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง และมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) โดยทั่วไปพืชที่มี CGR สูงย่อมให้น้ำหนักแห้งสูงเช่นกัน พืชจะมี CGR สูงหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์แสงจะมากหรือน้อยนั้นก็จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบ (Leaf area; LA) หรือดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) ที่ได้รับแสง โดยพืชที่มี LAI มากย่อมมีโอกาสที่จะรับแสงและสังเคราะห์แสงได้มากกว่าพืชที่มี LAI ต่ำ ฉะนั้นหากมีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการดูแลข้าวน่าจะสามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวได้

อย่างไรก็ตามอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ถือเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ยังไม่ได้นำมาใช้ในวงการเกษตรอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะการศึกษาวิจัยในระบบการผลิตข้าวยังมีข้อมูลอยู่ค่อนข้างน้อยจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตรวมถึงผลผลิตของข้าว ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการผลิตข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่าง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่าง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตของต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่าง

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกันของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

1.2.5 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

1.2.6 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตที่แตกต่างกันของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.3.1 ทราบถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่างที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาวิทยา

1.3.2 ทราบถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่างที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานวิทยา

1.3.3 ทราบถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่างที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตของต้นข้าวสายพันธุ์ตัวอย่าง

1.3.4 ทราบถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาวิทยาของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

1.3.5 ทราบถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานวิทยาของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

1.3.6 ทราบถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพผลผลิตของต้นข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon หรือ Liliopsida)

เป็นชั้นหนึ่งในส่วนพืชดอกที่มีความสำคัญอย่างยิ่งกลุ่มหนึ่ง ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นโลก และเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูงอีกด้วย โดยพืชใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์ใหญ่ที่สุดคือ กล้วยไม้ (Orchidaceae) โดยมีดอกที่ซับซ้อน และสวยงาม เพื่อดึงดูดแมลงชนิดต่างให้ช่วยในการผสมพันธุ์

ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสอง และอาจจะเป็นวงศ์ที่โดดเด่นกว่า ก็คือ หญ้า (Poaceae หรือ Gramineae) โดยมีวิวัฒนาการอีกทางหนึ่ง มีลักษณะพิเศษคือ การแพร่ขยายพันธุ์โดยอาศัยลม พืชในวงศ์หญ้านั้นมีดอกขนาดเล็ก แต่เมื่อรวมเป็นกลุ่มอาจปรากฏเป็นช่อดอกที่มองเห็นชัดเจนและสวยงาม ตัวอย่างของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์นี้ที่สำคัญคือ ข้าว เป็นต้น

2.2 ข้าว

ข้าว (*Oryza sativa* L.) วงศ์ Poaceae หรือ Gramineae เป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก และยังเป็นแหล่งอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตและพลังงานที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ โดยกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นหลัก สำหรับประเทศไทยข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สามารถทำรายได้ปีละหลายแสนล้านบาท โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 31.6 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ ข้าวอินดิกา (Indica) ซึ่งพันธุ์ข้าวพวกนี้ปลูกได้ทั่วไปในเขตร้อน มีลักษณะลำต้นสูง แตกกอมาก ใบกว้างมีสีเขียวอ่อน ลำต้นค่อนข้างอ่อน เมล็ดยาวเรียวยาวปานกลางและเมล็ดร่วงง่าย ซึ่งแบ่งความต้องการแสงในการสร้างผลผลิตได้ 2 ประเภท ได้แก่ ข้าวไวแสงและข้าวไม่ไวแสง

2.2.1 ข้าวไวแสง

เป็นพันธุ์ข้าวที่จะออกดอกได้ก็ต่อเมื่อช่วงเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืนเท่านั้น และความต้องการช่วงแสงของข้าวแต่ละพันธุ์ก็ไม่เท่ากันจึงทำให้ข้าวพันธุ์นี้ออกดอกไม่พร้อมกัน ลักษณะลำต้นของพันธุ์ข้าวไวต่อแสงจะมีการแตกกออ่อน ลำต้นสูง ให้ผลผลิตต่ำ และสามารถต้านทานต่อโรคและแมลงได้น้อย มีการตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยได้ไม่ดีเท่าไรนัก สามารถแบ่งช่วงเวลาในการออกดอกของพันธุ์ข้าวชนิดนี้ได้สามช่วงเวลาคือ พันธุ์ข้าวเบา ออกดอกประมาณกลางเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ต้องการช่วงแสงสั้นน้อยกว่า 12 ชั่วโมง, พันธุ์ข้าวกลาง ออกดอกในช่วงเดือนตุลาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายน และพันธุ์ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนัก ออกดอกในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม เช่น พันธุ์กข5, กข6, กข8, กข15, ขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น โดยการปลูกข้าวพันธุ์ไวต่อแสงเหมาะสำหรับการปลูกในพื้นที่ที่มีฝนตกไม่สม่ำเสมอ

2.2.2 ข้าวไม่ไวแสง

การออกดอกของข้าวพวกนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวได้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนดต้นข้าวก็จะออกดอกทันที ไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงใช้ปลูกได้ผลดีทั้งในฤดูนาปรัง และนาปี อย่างไรก็ตามพวกไม่ไวต่อช่วงแสงมักจะทำให้ผลิตผลสูงเมื่อปลูกในฤดูนาปรังข้าวไม่ไวแสงมีหลากหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์กข1, พันธุ์กข2, พันธุ์กข31, พันธุ์กข47, ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1, ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี, พันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์ชัยนาท 2, พันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นต้น

2.2.2.1 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ข้าวชัยนาท 1 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสม 3 ทาง ระหว่างสายพันธุ์ IR13146-158-1 และสายพันธุ์ IR15314-43-2-3-3 กับ BKN6995-16-1-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท เมื่อ พ.ศ. 2525 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ CNTBR82075-43-2-1 เป็นข้าวเจ้าที่มีความสูงประมาณ 113 เซนติเมตร และไม่ไวต่อช่วงแสง โดยอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ประมาณ 121-130 วัน ลักษณะของลำต้นคือ ทรงกอตั้ง ใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างยาวตั้งตรง คอรวงสั้น รวงยาวและแน่น ระแงะค่อนข้างถี่ ฟางแข็ง และเมล็ดข้าวเปลือกมีสีฟาง คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็งโดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีลักษณะเด่นอยู่ที่การให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนดี มีความสามารถในการต้านทานโรคใบหงิก และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์ชัยนาท 1 คือ ไม่ต้านทานต่อโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง และโรคใบขีดโปร่งแสง ในฤดูแล้งควรปลูกไม่เกินเดือนมีนาคม พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ทุกภาคในเขตชลประทาน (กรมการข้าว, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์ชยันนัท 1
ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.2 ข้าวพันธุ์ชยันนัท 41

ข้าวพันธุ์ชยันนัท 41 เป็นข้าวลูกผสม 3 ทาง ระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของ CNT85059-27-1-3-2 และสุพรรณบุรี 60 นำไปผสมพันธุ์กับ RP217-635-8 ที่สถานีทดลองข้าวชยันนัทในฤดูนาปี 2539 ปลูกข้าวอายุที่ 1 ในฤดูนาปี 2540 และปลูกคัดเลือกข้าวอายุที่ 2 และ 3 จนได้เมล็ดข้าวอายุที่ 4 ที่สถานีทดลองข้าวชยันนัท จากนั้นนำไปปลูกข้าวอายุที่ 5-6 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ตั้งแต่ฤดูนาปรัง 2541 ถึงฤดูนาปรัง 2542 จนได้สายพันธุ์ CNT96028-21-1-PSL-1-1 ปลูกศึกษาพันธุ์ฤดูนาปรัง 2543 และเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีฤดูนาปี 2544 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงของต้นประมาณ 140 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 105 วัน ลักษณะลำต้นแข็ง กอตั้ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบตรงตั้งตรง คอรวงโผล่พ้นจากกาบใบตรงเล็กน้อย ยอดเกสรตัวเมียสีขาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เปลือกเมล็ดมีขนสั้น รูปร่างเรียวยาวลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ชยันนัท 41 คือ ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ยประมาณ 722 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ด สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 % ได้ ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคใบไหม้

ข้อควรระวังสำหรับข้าวพันธุ์ชยันนัท 41 คือ อ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง ไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูงเกินไปจะทำให้เกิดโรครุนแรง อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในเขตจังหวัดนครปฐมและจังหวัดปทุมธานี ไม่ควรการปลูกในช่วงกลางเดือนกันยายน-พฤศจิกายน จะกระทบอากาศเย็นทำให้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ในพื้นที่นาชลประทาน ภาคเหนือตอนล่าง สำหรับเป็น
เอกสารนี้จัดทำโดยสถานีวิจัยข้าวพิษณุโลก ซึ่งงานที่กล่าวถึงในเอกสารฉบับนี้ เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ผ่านการพิจารณาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

ทางเลือกของเกษตรกรในการป้องกันการแพร่ระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ความรู้เกี่ยวกับข้าว - ชาวนา, 2558)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พันธุ์กช41

ที่มา: ความรู้เกี่ยวกับข้าว - ชาวนา (2558)

2.2.2.3 ข้าวพันธุ์กช47

ข้าวพันธุ์กช47 เป็นข้าวที่ได้จากการผสม 3 ทางระหว่าง ลูกผสมชั่วที่ 1 ของสุพรรณบุรี 1 กับ IR64 นำไปผสมกับ CNT86074-25-9-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาทในฤดูนาปี 2539 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสงมีความสูงของต้นประมาณ 90-100 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104-107 วัน ในนาหว่านน้ำตม และมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 112 วัน ในนาปักดำ ลักษณะลำต้นแข็งแรง ใบสีเขียว มุมใบตรงกว้างปานกลาง ลักษณะรวงยาว เมล็ดข้าวสีฟาง ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กช47 คือ ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ยประมาณ 793 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดข้าวมีสีขาวนวลไม่เลื่อมมัน ค่อนข้างร่วน และแข็ง มีปริมาณอมิโลส 26.81% คุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ด สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 % ได้ ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคใบไหม้

ข้อควรระวังสำหรับข้าวพันธุ์กช47 คือ อ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง ไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูงเกินไปจะทำให้เกิดโรครุนแรง และค่อนข้างอ่อนแอต่อเชื้อสาเหตุโรคไหม้ในภาคกลาง ไม่ทนอากาศเย็นจึงไม่ควรปลูกในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ในพื้นที่นาชลประทาน ภาคเหนือตอนล่าง สำหรับเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการป้องกันการแพร่ระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคไหม้ (กรมการข้าว, 2558)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พันธุ์กข47

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.4 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 กับสายพันธุ์ PTT85061-86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีในปี พ.ศ. 2533 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงของต้นประมาณ 104-133 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104-126 วัน ลักษณะลำต้นทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ทำมุม 45 องศา กาบคอรวง รวงอยู่ใต้ใบธง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีขน มีหางเล็กน้อย ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ยประมาณ 650-774 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 สามารถปลูกได้ทั้งฤดูนาปี และฤดูนาปรัง สามารถขยายพื้นที่ได้ ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคไหม้ และโรคขอบใบแห้งได้ดี ใช้น้ำไนโตรเจนไม่มาก

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ ค่อนข้างอ่อนแอเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ทุกภาคในเขตชลประทาน (ความรู้เกี่ยวกับข้าว - ชาวนา, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.5 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือพันธุ์ช31 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับสายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2536 ปลูกคัดเลือก ตั้งแต่ พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2539 ได้สายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-21 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุเก็บเกี่ยว 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม และ 118 วัน โดยวิธีปักดำ ลักษณะลำต้นทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง คอรวงยาว รวงยาว 29.9 เซนติเมตร เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดไม่มีหาง ข้าวกลี้ยงสีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียวยาว ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 คือ ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ยประมาณ 745 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาปักดำ และให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 738 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาหว่านน้ำตม ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์ปทุมธานี 80 คือ อ่อนแอ โรคใบหงิก ใบไหม้ และโรคใบสีส้ม พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ทุกภาคในเขตชลประทาน (กรมการข้าว, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ลักษณะเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.6 ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสม 3 ทาง ระหว่างลูกข้าวที่ 1 ของสายพันธุ์ CNTLR81122-PSL-37-2-1 และ SPRLR81041-195-2-1 กับ IR 56 ของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ในปี พ.ศ. 2533 จากนั้นได้ทำการคัดเลือกข้าวพันธุ์ผสมที่ศูนย์วิจัยข้าวดังกล่าว คัดเลือกได้สายพันธุ์ PSL91014-16-1-1-5-1 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงของต้นประมาณ 114 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 119-121 วัน ลักษณะลำต้นทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง รวงแก่ค่อนข้างถี่ คอรวงสั้น ฟางแข็ง ใบแก่ช้า ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 คือ ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ยประมาณ 807 กิโลกรัม/ไร่ ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์พิษณุโลก 2 คือ อ่อนแอ โรคใบหงิก ใบไหม้ และแมลงบั่ว พื้นที่แนะนำในการปลูกคือ ทุกภาคในเขตชลประทาน (กรมการข้าว, 2558)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.7 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสม ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของ IR25393-57-2-3 / กข23 / IR27316-96-3-2-2 และลูกผสมชั่วที่ 1 ของ SPRLR77205-3-2-1-1/ SPRLR79134-51-2-2 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ.2528 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPRLR85163-5-1-1-2 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงของต้นประมาณ 125 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน ลักษณะลำต้นทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้ม ใบสีเขียวเข้ม มีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ให้ผลผลิตสูง 806 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ทอบนองต่อการใช้ปุ๋ย ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง ต้านทานโรคใบหิก และโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 คือ พบโรคใบขีดสีน้ำตาลในระยะออกรวง อาจเป็นสาเหตุของโรคเมล็ดด่างได้ พื้นที่แนะนำในการปลูก คือ ทุกภาคในเขตชลประทาน (กรมการข้าว, 2558)



ภาพที่ 2.7 ลักษณะเมล็ดข้าวของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.8 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่าง ข้าวพันธุ์กข23 กับ IR60 ที่สถานีทดลองข้าว สุพรรณบุรีเมื่อปี พ.ศ. 2526 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPRLR83260-143-1-1 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีความสูงของต้นประมาณ 122 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 115 วัน ลักษณะลำต้นทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม การแก่ของใบปานกลาง กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวปานกลางและค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาว รวงยาว ระแง่ค่อนข้างถี่ ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2

ให้ผลผลิตสูง 700 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพการสีดี คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ทอบนองต่อปุ๋ยดี ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง ต้านทานโรคใบหงิก และโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ข้อควรระวังสำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 2 คือ ไม่ต้านทานโรคใบขีดสีน้ำตาลในระยะออกรวง อาจเป็นสาเหตุของโรคเมล็ดด่างได้ และโรคกาบใบเน่าในสภาพธรรมชาติ พื้นที่แนะนำในการปลูก คือ ในเขตชลประทานภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก (กรมการข้าว, 2558)



ภาพที่ 2.8 ลักษณะเมล็ดข้าวและรวงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2

ที่มา: กรมการข้าว (2559)

2.2.2.9 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างลูกผสมกลับครั้งที่ 2 (BC2) ของ Basmati370*3/กข7 กับพันธุ์ IR68 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี ในฤดูนาปรัง พ.ศ.2533 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPR90008-58-1-1-3 ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 114 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 115-120 วัน ลักษณะทรงกอตั้ง ต้นแข็ง ใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างตั้ง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์ ประมาณ 5 สัปดาห์ ท้องไข่น้อย ปริมาณอมิโลสสูง (28.3%) ไม่ผ่านการสี คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ประเภทข้าวเสาไห้ ผลผลิตประมาณ 772 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่น ต้านทาน

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ตีกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกับพันธุ์สุพรรณบุรี ข้อควรระวังไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม และโรคใบจุดสีน้ำตาลในสภาพธรรมชาติ พื้นที่แนะนำในการเพาะปลูก นาชลประทานภาคกลางที่ทำนาต่อเนื่อง และพื้นที่ที่มีปัญหาการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล



ภาพที่ 2.9 ลักษณะเมล็ดของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3
ที่มา: กรมการข้าว (2558)

2.3 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการการสร้าง การวิเคราะห์ การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอมรวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมากหรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการ ได้อย่างแม่นยำ และถูกต้องทำให้ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุ อุปกรณ์ หรือสสารมีคุณสมบัติพิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมีหรือชีวภาพสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย วิทยาการนี้มีการค้นคว้าวิจัยในระดับห้องทดลองเป็นเวลานานกว่า 30 ปี แต่นาโนเทคโนโลยีเพิ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเมื่อไม่กี่ปีมานี้ เมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะนำเอาทฤษฎีในห้องทดลองมาปรับใช้กับสินค้าทั่วไปในท้องตลาดเมื่อนาโนเทคโนโลยีเป็นเรื่องใกล้ตัวในชีวิตประจำวันจึงเป็นที่สนใจของคนจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 อนุภาคนาโน (Nanoparticle)

อนุภาคนาโนเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กในระดับ 1-100 นาโนเมตร ซึ่งโดยประมาณเทียบได้กับขนาดเฉลี่ยของไวรัส หรือมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของคน ประมาณ 1,000 ถึง 100,000 เท่า ซึ่งสามารถตรวจพบ หรือสัมผัสรับเข้าไปโดยไม่รู้ตัว วัสดุนาโนสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาจพบได้หลังเกิดไฟป่า หรือภูเขาไฟระเบิด บางชนิดอาจอยู่ในรูปของอนุภาคไวรัส ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่วนอนุภาคนาโน ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้จากการสังเคราะห์โดยตรง และเป็นสารปนเปื้อนออกมา เช่น การผลิตแผ่นฟิล์มบาง ชั้นเคลือบผิวและพื้นผิวต่างๆ ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ การผลิตเซลล์เชื้อเพลิง ที่ต้องการคุณสมบัติของวัสดุนาโนที่มีความไวต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฉพาะเจาะจง, ท่อนาโนคาร์บอนมีแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) ที่สามารถนำอิเล็กตรอนได้ดี มีความแข็งแรงในขณะที่ย้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นเป็นพิเศษ มีคุณสมบัติที่แข็งแรงและเหนียวกว่าเหล็กและสามารถนำไฟฟ้าหรือกลายเป็นฉนวน (ไม่นำไฟฟ้า) ก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบทิศทางการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน ใช้ทำเส้นลวดนาโน (Nanowires) และตัวนำไฟฟ้าในขนาดนาโน (Nanoscale transistors) ใช้ทอเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงและทนทานกว่าไหมเทเนียม หรือใช้ผลิตแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานนานนับสิบปี, การพัฒนาระบบไฟฟ้าเครื่องกลขนาดนาโน เพื่อการผลิตโซลาเซลล์, การผลิตนาโนดีคอย (nanodecoy) ที่มีโมเลกุลของรีเซพเตอร์นับล้านโมเลกุลเกาะอยู่บนผิวเพื่อดักจับไวรัสไข้หวัด (ยอดหทัย และประมวล, 2547), การผลิตครีมกันแดด สีทาบ้าน สีทารถ หรือภาชนะถนอมอาหารที่ทำจากวัสดุนาโน เพื่อการทนทานต่อความร้อนที่ดีกว่าเดิมในการป้องกันอาหารจากสิ่งปนเปื้อน เช่น แบคทีเรีย และสารเคมี

2.3.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO)

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร (10^9 เมตร) มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี ตัวอย่างการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซใช้สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในทางทันตกรรมใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสงและสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับคนโดยตรงคือเครื่องสำอางโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลชั่นกันแดดที่เริ่มนิยมนำนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้เป็นองค์ประกอบเนื่องจากมีระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับเดียวกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ขนาดใหญ่กว่านาโนแต่ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของโลชั่นกันแดดที่มีอนุภาคนาโนเป็นองค์ประกอบคือการส่งผ่านแสงได้ดีกว่าทำให้ไม่ทิ้งร่องรอยให้เห็นเป็นสีขาวอย่างชัดเจนบนผิวเมื่อเทียบกับโลชั่นกันแดดที่ใช้อนุภาคขนาดใหญ่จากเหตุนี้อนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์ได้รับความสนใจในการใช้ประโยชน์มากขึ้นทำให้เกิดการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งผลที่ตามมาคือการศึกษา

ด้านความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ในแง่มุมต่างๆไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อมหรือด้านความเป็นพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต



ภาพที่ 2.10 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

ที่มา: <http://th.aliexpress.com/w/wholesale-nano-oxides.html>

2.3.3 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งและเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดทั่วโลก ลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาวทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ คือ รูไทล์และอานาเทส ทั้ง 2 รูปแบบมีไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อยู่กับสารปนเปื้อนต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้เหลือไว้แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่มีประโยชน์และปลอดภัยไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ แต่เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น antioxidant ช่วยสะท้อนรังสี UV และมีราคาไม่แพง จึงถูกนำไปใช้หลากหลายวงการ เช่น เป็นส่วนผสมสีขาวของยาเม็ด ยาสีฟัน สีทาอาคาร เครื่องสำอาง สบู่ และใช้ในระบบบำบัดมลพิษ น้ำเสีย และอากาศ

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาดำวยแสง เมื่อมีอนุภาคแสงตกกระทบส่งผลให้อิเล็กตรอนย้ายตำแหน่งและเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อรังสี UV จากแสงอาทิตย์ตกกระทบไปยังไทเทเนียมไดออกไซด์ จะส่งผลให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลเรดิคัล และซูเปอร์ออกไซด์ประจุลบ ซึ่งมีอนุภาพในการ

เปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่มาเกาะติดอยู่ที่บนพื้นผิว ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อีกทั้งยังช่วยกำจัดเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อโรคชนิดอื่นๆได้อีกเช่นกัน (สุพิณ, 2550)



ภาพที่ 2.11 อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ที่มา: <http://www.siamchemi.com>

2.4 การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางการเกษตร

ในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและทางการเกษตร ได้มีการทดลองใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กับพืชหลายชนิด เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย และ จากการศึกษาของ Mohammad และคณะ (2013) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ช่วยปรับปรุงการงอกของถั่วเหลืองภายในสภาวะความแห้งแล้งและภายใต้ความเครียดได้ดีขึ้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีผลต่อการงอกของพืช ซึ่งจะส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ทำให้ผลผลิตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย เป็นต้นและได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางการเกษตรกันอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น

2.4.1 ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (2557) รายงานว่า ต้นข้าวที่เกิดจากเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการฉายรังสีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเมล็ดที่ปลงเนื้อทำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้น้ำไม่ใช้ที่แช่ด้วย ZnO มีอัตราการงอกคิดเป็นร้อยละ 93 มีอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าต้น

ข้าวที่เกิดจากเมล็ดที่ไม่ได้แช่ ZnO ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีผลในการกำจัดเชื้อรา และแบคทีเรียอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคที่ทำให้เกิดการตายของต้นข้าวและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยและยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย จากการศึกษาของ Boonyanitipong และคณะ (2011) พบว่าเมล็ดข้าวที่สัมผัสกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยตรงจะส่งผลให้ความยาวรากและจำนวนของรากลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้และระยะเวลาในการแช่เมล็ด นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แล้วยังพบว่ามีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวอีกด้วย จากการทดลองพบว่าเมล็ดข้าวที่ถูกแช่ในอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีการเจริญเติบโตที่ลดลงอย่างชัดเจน นั่นก็เป็นผลมาจากขนาดของอนุภาคและความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ หากมีการนำอนุภาคนาโนมาใช้ร่วมกับข้าว ควรพิจารณาถึงความเข้มข้น, ระยะเวลาในการแช่เมล็ดและขนาดอนุภาคนาโนที่นำมาใช้เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อข้าวที่ปลูก และควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม (Thuesombat และคณะ, 2014)

2.4.2 ยางพารา

คุณสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราบนแผ่นยางพารา โดยการผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในน้ำยางพาราดิบหลังจากนั้นนำน้ำยางที่ได้มารีดเป็นแผ่นยางแล้วนำไปตากในที่ที่ไม่มีลมพัดผ่านสังเกตเชื้อราบนแผ่นยางพารา พบว่าชุดควบคุมแผ่นยางพาราที่มีความยืดหยุ่นดีไม่ฉีกขาดง่าย และมีรอยดอกลายเห็นเด่นชัด มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย และมีเชื้อราร้อยละ 40 ของแผ่นยางพารา สำหรับยางพาราที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แผ่นยางพาราที่ได้มีลักษณะสีใสสม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่นเหม็นและไม่พบเชื้อราบนแผ่นยางพารา (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557)

2.4.3 ผักหวาน

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จะมาช่วยเร่งการงอกของเมล็ดการเจริญเติบโตของกล้าผักหวานซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่จำหน่ายได้ราคาดีมากกว่ากล้าไม้ชนิดอื่นๆ การงอกของเมล็ดผักหวานโดยการแช่ในอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับรดน้ำผสมด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมล็ดผักหวานจะงอกเร็วภายใน 2-3 วัน และพบว่าเมล็ดที่แช่ในอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จำนวนเมล็ดที่งอกมากกว่าที่แช่ในน้ำปกติ และไม่พบปัญหาปลายของรากเน่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้รดต้นกล้า ทำให้การเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชการฉีดสเปรย์หรือรดในรูปของสารละลายซึ่งจะถูกดูดซับจากราก โดยการแพร่ไปเลี้ยงส่วนประกอบต่างๆของพืช (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557)

2.4.4 มันสำปะหลัง

นำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมาแช่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ก่อนการเพาะปลูกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 15 กรัม ต่อน้ำ 50 ลิตร (พื้นที่ 1 ไร่ ปลูกได้ประมาณ 4000 ต้น) และทำการฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 15 กรัม ต่อน้ำ 50 ลิตร) ทุกๆ 15 วันหลังจากการเพาะปลูก หลังจากการใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการเพาะปลูก จนถึงอายุ 8 เดือนน้ำหนักมันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 40 ถึง 60 นับเป็นการเพิ่มผลผลิตได้มากถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับแปลงที่ปลูก โดยไม่ใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งผลผลิตดังกล่าวจะสูงถึง 15 ตันต่อไร่ซึ่งจะสามารถนำไปผลิตเป็นเอทานอลได้เป็นปริมาณ 2,500 ลิตรต่อไร่ (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557)

2.4.5 มะนาว

ใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมน้ำเพื่อฉีดพ่นสวนมะนาวในอัตราส่วน 50 กรัมต่อน้ำ 200 ลิตร สำหรับพื้นที่ 1 ไร่ และฉีดซ้ำทุก 10-15 วัน พบว่าอาการของโรคแคงเกอร์ลดลง (ช่วยยับยั้งเชื้อราที่กัดกินใบพืช และมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย) ผลจากการทดลองใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเป็นเวลา 1 ปีพบว่าโรคแคงเกอร์ไม่แพร่ระบาดส่วนลูกมะนาวจากต้นที่ไม่เป็นโรค มีผิวสวย ลูกโตขึ้น และจำหน่ายได้เต็มราคา เนื่องจากผลมะนาวที่เป็นโรคนั้นจะขายได้ราคาไม่ดี อีกทั้งประหยัดต้นทุนจากลดใช้สารเคมีกำจัดแบคทีเรีย (วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2557)

2.5 รงควัตถุสังเคราะห์แสง (Photosynthetic pigment)

ในพืชสีเขียวซึ่งจะสังเคราะห์แสงได้ต้องประกอบด้วยรงควัตถุจำพวกคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่ทำหน้าที่สำคัญในการดูดแสงและกระตุ้นปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุชนิดอื่นๆเช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งมีสีส้ม รงควัตถุเหล่านี้จัดเป็นรงควัตถุประกอบ (accessory pigments) ทำหน้าที่รับแสงและส่งพลังงานกระตุ้นให้แก่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ที่อยู่ถัดไป (เป็นส่วนช่วยเสริมในการสังเคราะห์แสงเท่านั้น)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืช ซึ่งมีหลายชนิดได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ บี เป็นต้น คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดแสงช่วงคลื่นต่างๆของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดต่างกันด้วย โดยพบว่าคลอโรฟิลล์เอ ดูดแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวช่วงคลื่น ซึ่งมีศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 680 และ 760 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์บีสามารถดูดกลืนแสงได้ดีในหลาย

เอกสารนี้ ความยาวคลื่น ได้แก่ 480, 640 และ 650 นาโนเมตร เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติคลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ อีเธอร์ อะซิโตน เป็นต้น โดยในพืชชั้นสูงอย่างข้าวจะพบคลอโรฟิลล์เอ และบี มากที่สุด (สมบุญ, 2548) โดยคลอโรฟิลล์มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในเซลล์ของพืช (วงษ์จันทร์, 2535)

สำหรับรงควัตถุประกอบพวก แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพบได้ในพืชเช่นข้าวโพดฝักทองใบกระถินกลีบดาวเรือง (Jeana, 1991) แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนแสงและผ่านพลังงานแสงไปยังคลอโรฟิลล์เอ ทำให้คลอโรพลาสต์เก็บเกี่ยวพลังงานที่คลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอ ไม่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกช่วงคลื่น นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังมีบทบาทที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปกป้องผลกระทบจากแสงแดดอย่างรุนแรง

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือโมเลกุลของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆ ได้ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจึงมีหน้าที่เข้ายุดิปฏิกิริยาถูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่พบว่ามีผลเสียเช่นกัน โดยพบว่าระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่น้อยเกินไป จะมีผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ตั้งนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบอันซับซ้อนของปฏิกิริยาโดยสารต้านอนุมูลอิสระเช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี วิตามินอี และเอนไซม์ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ เอนไซม์แคตะเลสและเปอร์ออกซิเดส (Benzie, 2003)

เอนไซม์แคตะเลสและเปอร์ออกซิเดส ซึ่งจัดว่าเป็นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งที่พบในเซลล์ โดยทำหน้าที่เข้าสลายพันธะทางเคมีของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ โดยจะทำปฏิกิริยาในน้ำ หลังทำปฏิกิริยาจะสลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) ไปเป็น น้ำ (H_2O) และก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งร่างกายสามารถหมุนเวียนกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นผลผลิตที่เกิดจากการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) ด้วยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase; SOD) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งมีข้อมูลที่จะสร้างเซลล์ใหม่ให้เหมือนเดิม แต่เมื่อถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระจะเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ทำให้มีโอกาสเกิดมะเร็งได้ ปฏิกิริยาที่เกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เรียกว่า เปอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) ที่มีอันตรายมาก คือ ที่เกิดกับไขมัน โดยจะเข้าทำลายผนังเซลล์ (lipid peroxidation) ซึ่งโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกทำปฏิกิริยาโดยเอนไซม์แคตะเลสและเปอร์ออกซิเดส เพื่อลดความเป็นพิษที่จะเกิดขึ้นกับเซลล์สิ่งมีชีวิต

2.7. ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช (Physiological trait)

2.7.1 ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI)

ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน ซึ่ง LAI มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เพราะพืชจะเจริญเติบโตได้นั้นต้องอาศัยใบเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่รับแสงและสังเคราะห์แสง ผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง คือ น้ำหนักแห้ง (Dry matter) ของพืชทั้งต้น ซึ่งการรับแสงของพืชจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่า LAI ของพืช ทางด้านพืชไร่เราจะให้ความสนใจหรือให้ความสำคัญของ LAI มากกว่าการวัดพื้นที่ใบต่อต้น แต่อย่างไรก็ตามการพัฒนาการของ LAI ก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการพัฒนาการของพื้นที่ใบต่อต้น โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ และการเปลี่ยนแปลงนี้จะมากหรือน้อยอาจขึ้นอยู่กับระยะปลูกหรือความหนาแน่นและปัจจัยอื่นๆ พืชจะมีการสังเคราะห์แสงสูงสุดเมื่อดัชนีพื้นที่ใบอยู่ในระดับที่เหมาะสมซึ่งพื้นที่ใบสามารถรับแสงได้ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชตามสภาพแวดล้อมตลอดจนความเข้มแสง

จากการศึกษาของ Takai และคณะ (2006) พบว่าข้าวพันธุ์ Takanari และพันธุ์ Nipponbare จะมีค่า LAI เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวและจะมีค่าสูงสุดเมื่อถึงระยะออกรวง และหลังจากนั้นค่า LAI จะลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการร่วงหล่นของใบ หรือใบแห้งเหี่ยวตายไปตามอายุ

2.7.2 อัตราการเจริญเติบโตของพืช (Crop growth rate; CGR)

อัตราการเจริญเติบโต (CGR) เป็นดัชนีบ่งบอกถึงอัตราการสะสมน้ำหนักของพืชต่อพื้นที่ดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา ในทางพืชไร่มีการใช้ค่านี้นี้กันมากในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช CGR ของพืชขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์แสงนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบ หรือดัชนีพื้นที่ใบ LAI ที่รับแสงเป็นประการสำคัญถ้าไม่มีปัจจัยอื่นเป็นตัวจำกัด พืชที่มี LAI มากย่อมมีโอกาสที่จะรับแสงและสังเคราะห์แสงได้มาก แต่ก็ไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าใบนั้นได้รับแสงทุกใบหรือมากน้อยอย่างไร หากพื้นที่ใบมากแต่มีการเรียงตัวของใบไม่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดการบังแสง เมื่อใบล่างไม่ได้รับแสง พื้นที่ใบนั้นก็ไม่มีประโยชน์ (เฉลิมพล, 2542)

พรเพ็ญ และนิตยา (2554) รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตระยะหลังออกดอก (ช่วงปลายระยะสืบพันธุ์) มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุด โดยพบว่าข้าวที่ให้ผลผลิตสูงสุดต้องเป็นพันธุ์ข้าวที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงในช่วงปลายระยะสืบพันธุ์ นอกจากนี้ Hori และคณะ (2003) ชี้ให้เห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตในช่วงระยะปลายการสืบพันธุ์ มีความสัมพันธ์กับศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าว เพราะข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรสูงด้วย (Yoshida, 1972) และพบว่าอัตราการเจริญเติบโตก่อนระยะออกดอก ไม่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว (Horie และคณะ 2003; Takai และคณะ 2006)

2.7.3 น้ำหนักแห้ง (Dry matter)

น้ำหนักแห้งเป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถใช้บ่งบอกระดับการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการให้ผลผลิตได้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าผลผลิตและน้ำหนักแห้งจะมีความสัมพันธ์กันในทางบวกระดับหนึ่ง น้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง และน้ำหนักแห้งที่เกิดขึ้นนี้จะมากหรือน้อย เราสามารถพิจารณาหรือวัดได้จากอัตราการเจริญเติบโต (CGR) โดยทั่วไปพืชที่มี CGR สูงย่อมให้น้ำหนักแห้งสูงด้วย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเจริญของพืชด้วย พันธุ์ที่มีอายุยาวกว่าโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักแห้งมากกว่าพันธุ์ที่มีอายุสั้น จึงต้องมีการวัดค่า CGR อยู่เสมอ เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างพันธุ์ เมื่อถึงขั้นนี้ก็จะเห็นได้ว่าน้ำหนักแห้งนั้นเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากผลคูณระหว่าง CGR กับช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต (เฉลิมพล, 2542) หากพืชจะให้ผลผลิตที่สูง พืชจะต้องมีการเจริญเติบโต หรือการสะสมน้ำหนักแห้งที่มากพอและนักสรีรวิทยาชี้ให้เห็นว่า น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจะมีความสำคัญกับศักยภาพการให้ผลผลิตข้าว (Jiang และคณะ 1988; Saitoh และคณะ 1993; Murchie และคณะ 2002) และข้าวสาลี (Siddique และคณะ 1989; Calderini และคณะ 1997)

เพราะผลผลิตของข้าวจะถูกกำหนดในช่วงการสะสมน้ำหนักของเมล็ดจนถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI)

ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) เป็นสัดส่วนของผลผลิตทางชีวภาพที่กลายมาเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจเป็นสิ่งที่บอกถึงประสิทธิภาพการลำเลียงและถ่ายเทสารที่เกิดจากระบวนการสังเคราะห์แสง (partitioning efficiency) จากต้นและใบ (source) ไปยังส่วนที่เจริญเป็นผลผลิตหรือส่วนที่ถูกเก็บเกี่ยว (sink) ยิ่งสัดส่วนหรือปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงมาเป็นผลผลิตมากขึ้นเท่าใดค่าดัชนีเก็บเกี่ยวก็จะเพิ่มสูงขึ้นผลผลิตของพืชก็จะเพิ่มขึ้นด้วยแสดงให้เห็นว่าผลผลิตจะเพิ่มสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของผลผลิตทางชีวภาพหรือน้ำหนักแห้งและการเพิ่มปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพเพื่อให้สัดส่วนของผลผลิตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นเพราะเมื่อผลผลิตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นแล้วผลผลิตของพืชก็สูงขึ้นไปด้วย ดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งแปรผันตามสภาพแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูง หรือได้รับการปรับปรุงพันธุ์จนมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูง สภาพแวดล้อมจะไม่มีผลกระทบมากนักยกเว้นในกรณีสภาพแวดล้อมนั้นแปรผันอย่างรุนแรง (เฉลิมพล, 2542)

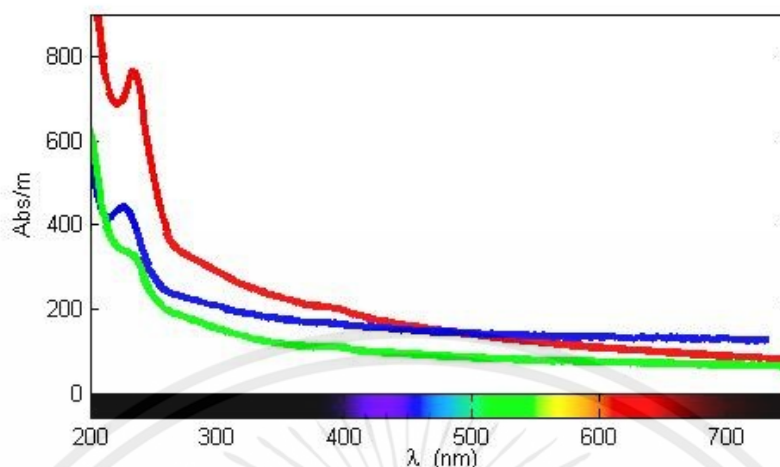
Yoshida (1981) กล่าวว่าผลผลิตของข้าวจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มน้ำหนักแห้งหรือดัชนีเก็บเกี่ยวหรือทั้งสองอย่าง ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิตของธัญพืชหลายชนิดระหว่างพันธุ์ใหม่กับพันธุ์พื้นเมือง พบว่าการเพิ่มของดัชนีเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง (Austin และคณะ 1980; Takeda และคณะ 1983; Evans และคณะ 1984) แต่เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มของพันธุ์ใหม่พบว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเนื่องจากการสะสมน้ำหนักแห้งมาก (Jiang และคณะ 1988; Akita, 1989; Amano และคณะ 1993)

2.8 เครื่องมือและเทคนิคการวัด

2.8.1 UV/VIS Spectroscopy

UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังภาพที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



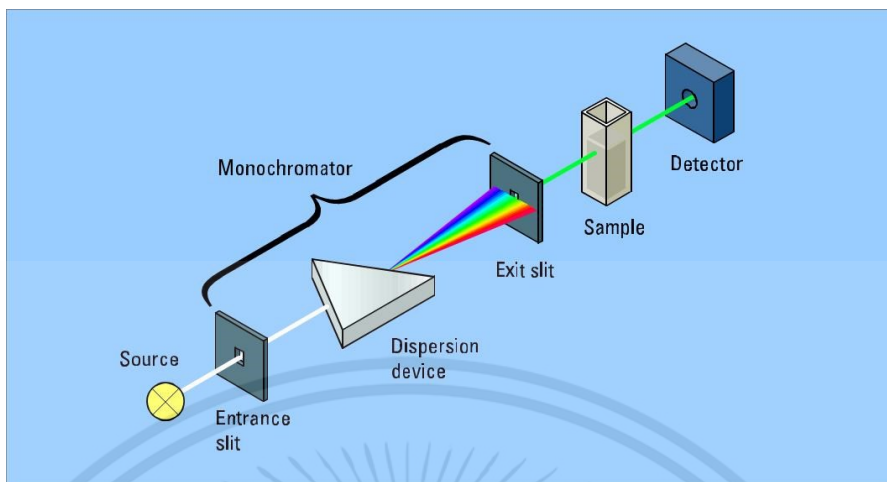
ภาพที่ 2.12 UV-VIS spectrum

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/File:UVVIS_spectrum_of_bisulphide_in_sewage.jpg

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

1. Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตร และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร เป็นต้น
2. Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือ เกรตติ้ง
3. Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล
4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS

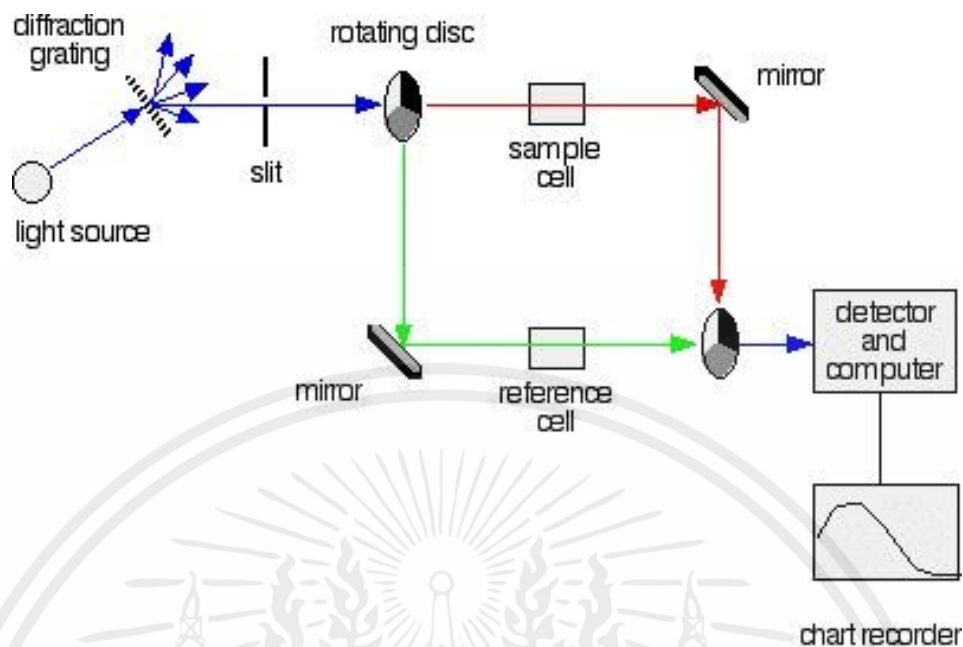
ที่มา: http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/UV_Vis/Cary50.htm

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Single-Beam spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับ สัญญาณ เนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน ดังภาพที่ 2.13

2. Double-Beam Spectrophotometer ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้วลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่ ดังภาพที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 Double beam spectrophotometer

ที่มา: <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html>

2.8.2 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นเครื่องมือพื้นฐานหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ตัวอย่างตะกอนก่อนเพื่อการทดสอบในขั้นตอนต่อไป เครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเร่งการตกตะกอนของอนุภาคที่ไม่ละลายออกจากของเหลว หรืออนุภาคหลายๆ ชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันออกจากกัน โดย อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge force) ที่เกิดจากการหมุนรอบจุดหมุน (Center of Centrifuge) มีแกนหมุนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์จะเหนี่ยวนำให้ เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทำให้แกนมอเตอร์หมุน ดังนั้นความเร็วรอบในการหมุน (rpm; round per minutes) จึงถูกควบคุมด้วยวงจรไฟฟ้า ส่วนเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยง ควบคุมด้วยสวิตซ์ ที่อาจควบคุมไปกับนาฬิกาจับเวลา ในการแยกสารด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงจำเป็นต้องมีการกำหนดเวลา และแรงหนีศูนย์กลางสำหรับงานนั้นๆ เสมอ บางครั้งการกำหนดเป็นค่าความเร็วรอบของการหมุนโรเตอร์อาจเกิดปัญหากับการใช้งานได้ในกรณีที่ต้องการ ความถูกต้องของแรงหนีศูนย์กลางเป็นหลัก เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางของโรเตอร์แต่ละชนิดสัมพันธ์โดยตรง กับการหมุนแตกต่างกันเพื่อก่อให้เกิดแนวคิดในการนำเครื่องหมุนเหวี่ยงไปประยุกต์ใช้ในงาน ทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มากขึ้น คำ

เอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของการเหวี่ยงแยก

หลักการของการเหวี่ยงแยกเป็นแรงที่ทำให้อนุภาคของแข็งและอนุภาคของเหลวเคลื่อนที่เป็นวงกลมผ่านชั้นของเหลวในแนวหนีศูนย์กลาง ซึ่งกระทบกับขอบภาชนะก่อให้เกิดการตั้งอนุภาคลงในแนวตั้ง

แรงเหวี่ยงที่กระทำต่ออนุภาคให้เคลื่อนที่ในแนวแรงหนีศูนย์กลาง มีลักษณะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม สร้างสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$F_C = ma_C \quad (1)$$

ปกติความเร่งหนีศูนย์กลาง (a_C) ขึ้นกับรัศมี, ความเร็วเชิงมุม และความเร็วเชิงเส้น ดังนั้น

$$F_C = mr\omega^2 = \frac{mv^2}{r} \quad (2)$$

เมื่อ	F_C	=	แรงเหวี่ยงที่กระทำต่ออนุภาคเพื่อให้อยู่ในทางเดินวงกลม ($\text{kg/m}^2\text{s}$ หรือ N)
	a_C	=	ความเร่งหนีศูนย์กลาง (m/s^2)
	r	=	รัศมีของทางเดิน (m)
	m	=	มวลของอนุภาค (kg)
	ω	=	ความเร็วเชิงมุมของอนุภาค (rad/s)
		=	$2\pi N$
	v	=	ความเร็วเชิงเส้นสัมผัส (m/s)
	N	=	ความเร็วการหมุน (rpm)

ในกรณีที่ความเร็วรอบแสดงในรูปรอบต่อนาที (rpm) หรือ r/min

$$\omega = 2\pi N / 60 \quad (3)$$

$$\text{และ } F_C = mr(2\pi N / 60)^2 = 0.011mrN^2 \quad (4)$$

จะเห็นว่าปริมาณแรงเหวี่ยงจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับรัศมี, ความเร็วของการหมุน และมวลของอนุภาค ถ้ารัศมีและความเร็วของการหมุนคงที่ ดังนั้นปัจจัยที่ควบคุมคือน้ำหนักของอนุภาค โดยอนุภาคที่หนักกว่าจะมีแรงเหวี่ยงที่มากกระทำมากกว่า

ในขณะที่แรงโน้มถ่วงโลก (F_g) ซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่ออนุภาค สร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4

$$F_g = mg \quad (5)$$

เมื่อ F_g = แรงโน้มถ่วงโลก ($\text{kg/m}^2\text{s}$ หรือ N)
 m = มวลของอนุภาค (kg)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

ถ้าเปรียบเทียบแรงหมุนเหวี่ยงกับแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับต่ออนุภาคดังสมการที่ 6

$$\frac{F_c}{F_g} = \frac{0.011}{g} r N^2 \quad (6)$$



ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

ที่มา: http://www.merittech.co.th/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=201234

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พบว่าการศึกษาของ Boonyanitipong และคณะ (2011) พบว่าเมล็ดข้าวที่สัมผัสกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยตรง จะส่งผลให้ความยาวรากและจำนวนของรากลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้และระยะเวลาในการแช่เมล็ด โดยคลอโรฟิลล์มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในเซลล์ของพืช (วงษ์จันทร์, 2535)

จากการศึกษาของ Chu Huang และคณะ (2014) พบว่าการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ในถั่วเหลืองไม่ส่งผลกระทบต่อการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองแต่การใส่ (ZnO) สามารถส่งผลกระทบต่อ ราก,

ความยาว, ลำต้น, พื้นที่ผิวใบ และการคายน้ำ ส่วนสังกะสี (Zn^{2+}) ที่ออกมาจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แสดงความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใน *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเสียหายของเซลล์ผิว เนื่องจาก (Zn^{2+}) ที่เป็นส่วนประกอบของ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอาจเกิดการก่อตัวของออกซิเจน ซึ่งทางสัณฐานวิทยาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวภาพที่สำคัญต่อการอยู่รอดของเชื้อแบคทีเรีย ภายใต้ความเครียดของสิ่งแวดล้อมบริเวณรากที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ต่อไรโซเบียมในพืชตระกูลถั่ว ยังทำให้มีการสร้างปมรากและการตรึงไนโตรเจนล่าช้ากว่าปกติก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของลำต้น และปมราก ผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) อาจจะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว

ด้วยความก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยี เริ่มมีการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในหลายอุตสาหกรรม รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเกษตร และคาดว่าจะแพร่หลายมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย และจากการศึกษาของ Sedghl และคณะ (2013) พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถปรับปรุงการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองภายใต้สภาวะแห้งแล้งได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการงอกของพืช ทั้งยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตและมีแนวโน้มต่อการให้ผลผลิตไปในทางที่ดีขึ้น

นอกจากนี้ Yang และคณะ (2007) ยังพบว่าผักโขมที่ได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีอัตราการงอก, การสร้างคลอโรฟิลล์และการสะสมน้ำหนักรากที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนนั้นมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และการเพิ่มผลผลิตของพืชและยังมีการศึกษาผลของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากนัก ข้าวจึงเป็นพืชที่น่าสนใจสำหรับการทดสอบอนุภาคนาโนเพราะข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งผลที่ได้อาจนำมาสู่การพัฒนาศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวได้

และยังมีงานวิจัยที่ใช้อนุภาคนาโนชนิดอื่นอีกมากมาย เช่น Mustafa และ Komatsu (2016) และ Gupta และคณะ (2013) มีการศึกษาผลของปรอท สารหนู และตะกั่วที่อยู่ในอนุภาคนาโนนำมาทดลองเพื่อหาทางชีววิทยาในพืชตัวอย่าง พบว่ามีความเป็นพิษในระบบการสังเคราะห์แสงของพืช โดยจะเข้าไปทำโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดน้อยลงตามไปด้วย และยังมีรายงานว่า เมื่อพืชได้รับค่าแคดเมียมให้ปริมาณสูง จะทำให้ความยาวของราก และขนาดของรากลดลง (Schutzendubel และ Polle 2002) จึงทำให้เกิดผลกระทบไปยังการเจริญเติบโตของพืชได้ไม่สมบูรณ์

เนื่องจากรากไม้แข็งแรง กระบวนการลำเลียงน้ำและอาหารเกิดความแปรปรวน โดยธาตุแคดเมียมนั้นเป็นธาตุที่มีความเป็นพิษสูงธาตุหนึ่ง (Liua และคณะ 2008)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีทั้งโทษและประโยชน์แตกต่างกันไป แต่ในขณะที่การใช้อนุภาคนาโนตัวอื่นๆ ส่วนมากจะมีผลทางด้านลบกับตัวอย่างทางชีวภาพ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกทดสอบการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการทดลองกับข้าวสาลีพันธุ์ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พืชทดลอง

1. ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1
2. ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1
3. ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80
4. ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2
5. ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1
6. ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2
7. ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3
8. ข้าวพันธุ์กข41
9. ข้าวพันธุ์กข47

3.1.2 อุปกรณ์ในแปลงทดลอง

1. อนุภาคนาโน ได้แก่
 - อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
 - อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)
 2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่
 - ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0
 - ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟส สูตร 16-20-0
 3. สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเช่นอะบาเม็กติน (abamectin) 1.8% EC
 4. บ่อปูนซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 0.35 เมตร จำนวน 30 บ่อ
 5. บั้มสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว, สายยาง, ถังเก็บน้ำขนาด 500 ลิตร
 6. อุปกรณ์ย่อยดิน เช่น จอบ
 7. อุปกรณ์สร้างโรงเรือน เช่น ลวดตาข่าย ตาข่าย ตาข่ายดกนก ไม้ไผ่ ลวด ครีมนัดลวด เชือก
 8. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น สมุด ปากกา ไม้บรรทัด กรรไกร เชือก ถุงกระดาษ ตลับเมตร
- อุปกรณ์เจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถุงพลาสติกใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
2. ไมโครปิเปต (Micropipette)
3. หลอดทดลอง (Test tube)
4. ปีกเกอร์ (Beaker)
5. ขวดดูแรน (Laboratory bottle)
6. ตะแกรงวางหลอดทดลอง (Test tube rack)
7. แท่งแก้วคนสาร (Glass 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. เครื่องซั่งน้ำหนักรัดจิตรอล 2, 3 และ 4 ตำแหน่ง
14. ตู้อบตัวอย่างพืซ (hot air oven)

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

แปลงทดลองของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และห้องปฏิบัติการของวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เริ่มทำการทดลอง เดือนกุมภาพันธ์ 2557 ถึง เดือนพฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินงาน

3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

การเตรียมดินและกระถางปลูกข้าว ดินที่เตรียมไว้ใช้ในการทดลองเป็นผิวนาดินจากแปลงนาเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีลักษณะเป็นดินเหนียว ขั้นตอนแรกนำดินที่ได้มาตากแดดทิ้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ในระหว่างการตากดินควรทำการหมั่นพลิกดินจากด้านล่างสลับขึ้นมาด้านบน เพื่อให้ดินแห้งสม่ำเสมอ และทำการย่อยดินให้มีขนาดเล็กลงโดยการใช้จอบ เมื่อย่อยดินเสร็จแล้ว จากนั้นนำดินมาใส่บ่อปูนซีเมนต์ทั้งหมด 36 บ่อ โดยแต่ละบ่อจะใส่ดินทั้งหมด 250 กิโลกรัมต่อบ่อ แบ่งเป็นดินเหนียว 2 ส่วนผสมกับทราย 1 ส่วน และใส่น้ำในบ่อปูนซีเมนต์ให้ถึงขอบบ่อ ปล่อยให้ทิ้งไว้ 4-5 วัน ใช้เท้าเหยียบดินในบ่อปูนซีเมนต์จนดินอ่อนตัวและผสมกันจนเป็นเนื้อเดียว ปรับพื้นที่ผิวนาดินให้สม่ำเสมอพร้อมสำหรับการปลูกข้าว

การปลูกและดูแลรักษา นำเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเมล็ดมาบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อมีรากขาวยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร นำเมล็ดมาวางปลูกในบ่อปูนซีเมนต์จำนวน 3 เมล็ดต่อหลุม จำนวน 16 หลุมต่อบ่อ ใช้ระยะในการวางเมล็ด 20×20 เซนติเมตร โดยรักษาระดับน้ำให้อยู่ระดับเดียวกับเมล็ดจากนั้นค่อย ๆ เพิ่มระดับน้ำให้อยู่ในระดับ 2-3 เซนติเมตร หากข้าวไม่มีการเจริญเติบโตหรือตาย ให้ทำการปลูกซ่อมแซมภายใน 7 วัน และในช่วงระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอจะใช้อะบาเม็กติน (abamectin) ฉีดพ่นเพื่อป้องกันหนอนกอไม่ให้เข้าทำลายต้นข้าว เมื่อข้าวมีอายุ 30 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นพื้นที่ 0.785 เมตร ใช้ปุ๋ย 24.53 กรัม พร้อมกำจัดวัชพืชโดยการถอนทิ้ง และรักษากระดับน้ำให้อยู่ในระดับ 5-10 เซนติเมตรตลอดฤดูปลูก เมื่อข้าวเริ่มสร้างข่อรวงถึงระยะตั้งท้อง คืออายุ 75-80 วันหลังปลูกจึงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นพื้นที่ 0.785 เมตร ใช้ปุ๋ย 7.36 กรัม

การเตรียมอนุภาคนาโน นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาซึ่งเตรียมไว้ โดยในบ่อปูนซีเมนต์สามารถใส่น้ำได้ 12 ลิตร ดังนั้น

- อัตราความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุภาคนาโนได้ 0.12 กรัม
- อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุภาคนาโนได้ 0.24 กรัม
- อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุภาคนาโนได้ 0.48 กรัม
- อัตราความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุภาคนาโนได้ 0.72 กรัม
- อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุภาคนาโนได้ 0.96 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จะใส่ทุกๆ 14 วัน เริ่มใส่ไม่ต่ำกว่าครั้งแรกเมื่อข้าวอายุ 30 วันจนถึงก่อนเก็บเกี่ยว 7 วัน ในอัตราความเข้มข้น 100, 200, 400, 600 และ

800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้มาผสมกับน้ำ 12 ลิตร แล้วนำเทใส่บ่อปูนซีเมนต์ ซึ่งข้าวแต่ละบ่อจะใส่ที่อัตราความเข้มข้นความเข้มข้นที่ต่างกัน ก่อนการเก็บเกี่ยวข้าวประมาณ 7 วัน หยดใส่ภาชนะอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อให้ข้าวมีความสุขแก่ทางสรีรวิทยาอย่างสม่ำเสมอ

การวางแผนการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัย A คือ อนุภาคนาโน ได้แก่

- อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)

ปัจจัย B คือ อัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ได้แก่

- อัตราความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

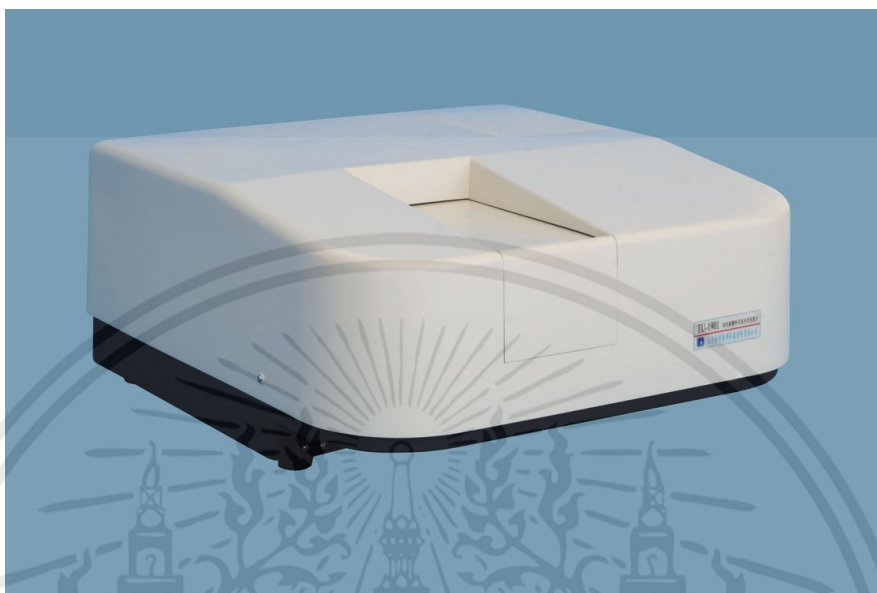
การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง สุ่มใบตัวอย่างโดยเลือกใบที่ 2 รองจากใบยอด และตัดใบให้ละเอียด ก่อนจะนำมาใส่หลอดทดลองในปริมาณ 0.1 กรัม เติมน้ำ Acetone 5 มิลลิตร แช่ทิ้งไว้ในความเย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนดใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายที่เป็นส่วนในมาวัดค่าดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 662, 644 และ 470 นาโนเมตร และนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่า คลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และ แคโรทีนอยด์ ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Lichtenthaler (1987) และ Shabala และคณะ (1998)

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ PG Instruments รุ่น T90⁺

ที่มา: <http://www.bangkokhighlab.com/>

การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ การสกัด Antioxidant enzyme activities จะสุ่มใบตัวอย่าง โดยเลือกใบที่ 3 นับจากใบยอด และตัดใบให้ละเอียด ก่อนนำมาใส่หลอด Centrifuge ในปริมาณ 0.25 กรัม เติม ice-cold 50 mM Sodium phosphate buffer (pH 7.8) 5 มิลลิลิตร นำมาปั่นเหวี่ยงในเครื่อง Refrigerated Centrifuge ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนด ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายที่เป็นส่วนใสใส่หลอดทดลองก่อน นำมาวิเคราะห์ค่า Peroxidase, Catalase และโปรตีน ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Aebi (1984) และ Beffa และคณะ (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 เครื่อง Refrigerated Centrifuge ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK

ที่มา: <http://www.indonetwork.co.id/>

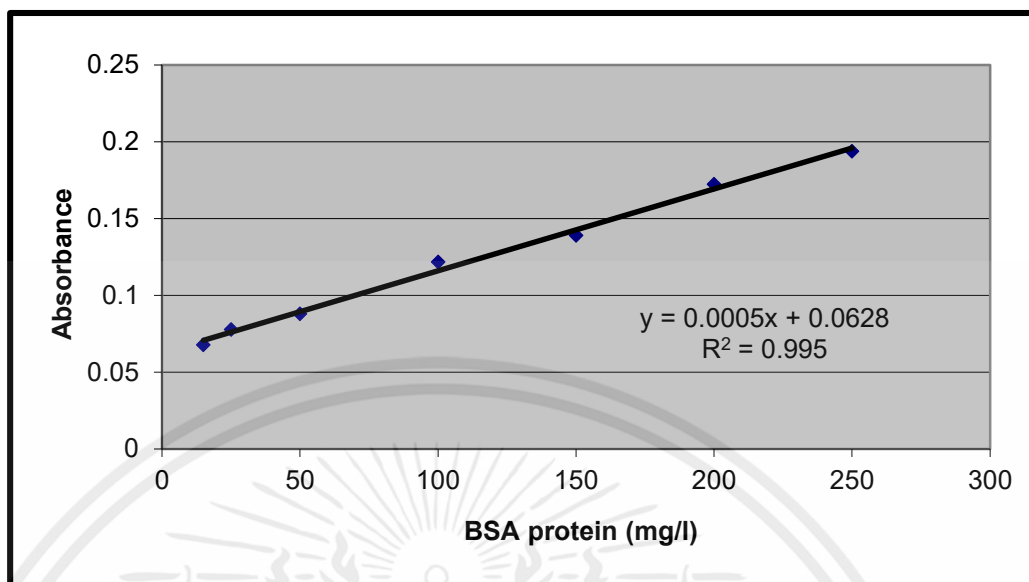
- **หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase** โดยทำการผสมสารละลาย (Reaction mixture) 3 มิลลิลิตร โดยแบ่งเป็น 100 mM $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$ buffer (pH 6.0), 2 มิลลิโมลาร์ H_2O_2 และ 9 มิลลิโมลาร์ guaiacol รวมเป็นปริมาตร 2.95 มิลลิลิตร และใส่สารละลายที่เป็นส่วนใส 0.05 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Beffa และคณะ 1990)

- **หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Catalase** โดยทำการผสมสารละลาย (Reaction mixture) 3 มิลลิลิตร โดยแบ่งเป็น 50 mM $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$ buffer (pH 7.0) และ 19 มิลลิโมลาร์ H_2O_2 รวมเป็นปริมาตร 2.80 มิลลิลิตร และเติมสารละลายที่เป็นส่วนใส 0.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 240 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Aebi, 1984)

- **หาค่าปริมาณโปรตีน** โดยเตรียม Bradford dye ในอัตรา 1 ส่วนต่อน้ำ 4 ส่วน เติมลงในหลอดทดลอง 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายที่เป็นส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Aebi, 1984) และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโปรตีน

นำผลที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณหาค่าของกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ Peroxidase และ Catalase เปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้บนเว็บไซต์ของโรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 กราฟมาตรฐานโปรตีน

3.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

การวางแผนการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ และทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยนำต้นข้าวมาวัดความสูง นับจำนวนหน่อ/กอ ตัดแยกส่วน ราก ลำต้นและใบ นำมาชั่งน้ำหนักสด ก่อนจะนำแต่ละส่วนใส่ถุงกระดาษก่อนจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ นำมาชั่งน้ำหนักแห้งและบันทึกผล นำผลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโดยใช้สูตรของ Radford (1967)

$$\text{Crop Growth Rate} = \frac{1}{\text{GA}} \times \frac{(W_2 - W_1)}{(T_2 - T_1)}$$

เมื่อ GA = พื้นที่ดิน (Ground Area)

W_1 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T_1

W_2 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T_2

T_1 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 1

T_2 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยไม่ได้มีไว้เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อข้าวมีอายุ 86, 100, 104 และ 122 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว) ตามลำดับ ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง แต่จะทำการเก็บตัวอย่าง 2 กอ นำมาล้างทำความสะอาดโดยไม่ให้มีดินหลงเหลืออยู่ นำมาวัดความสูงจากลำต้นถึงใบ นับจำนวนหน่อตอกอ นับจำนวนรวงตอกอ ตัดแยกส่วนลำต้น ราก ใบ นำไปชั่งน้ำหนักสด และนำมาใส่ถุงกระดาษเพื่อจะนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากทุกส่วนแห้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล นับเมล็ดดีแล้วตัดแยกมา 1,000 เมล็ดเพื่อจะนำไปชั่งน้ำหนัก นำเมล็ดข้าวที่ได้ในแต่ละกอมาชั่งน้ำหนักแห้งรวม เพื่อหาผลผลิตต่อไร่

โดยมีการเก็บตัวอย่างข้าวเหมือนกับการเก็บตัวอย่างในการทดลองที่ 2 แต่ครั้งที่ 2-9 สุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อข้าวมีการสุ่มการเจาะใบตัวอย่างจากข้าวโดยใช้อุปกรณ์เจาะ โดยสุ่มเจาะเป็นจำนวน 50 รวง และนำตัวอย่างใบสุ่มเจาะที่ได้มาชั่งน้ำหนักสด ก่อนจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง และบันทึกผล นำผลที่ได้มาคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ โดยใช้สูตร

$$\text{Leaf Area Index} = \frac{\text{LA}}{\text{GA}}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \text{LA} &= \text{พื้นที่ใบทั้งหมด} \\ \text{GA} &= \text{พื้นที่ดิน} \end{aligned}$$

3.3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยมีการหาค่าของผลผลิตโดยการนับจำนวนเมล็ดดี นับจำนวนเมล็ดเสีย นำไปชั่งน้ำหนักสด และนำมาใส่ถุงกระดาษเพื่อจะนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากทุกส่วนแห้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล นับเมล็ดดีแล้วตัดแยกมา 1,000 เมล็ด เพื่อจะนำไปชั่งน้ำหนัก นำเมล็ดข้าวที่ได้ในแต่ละกอมาชั่งน้ำหนักแห้งรวม เพื่อหาผลผลิตต่อไร่ น้ำหนักแห้งของข้าวรวมเป็นค่าที่ได้จากน้ำหนักจากส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมดของต้นข้าว และนำมาคำนวณดัชนีเก็บเกี่ยว

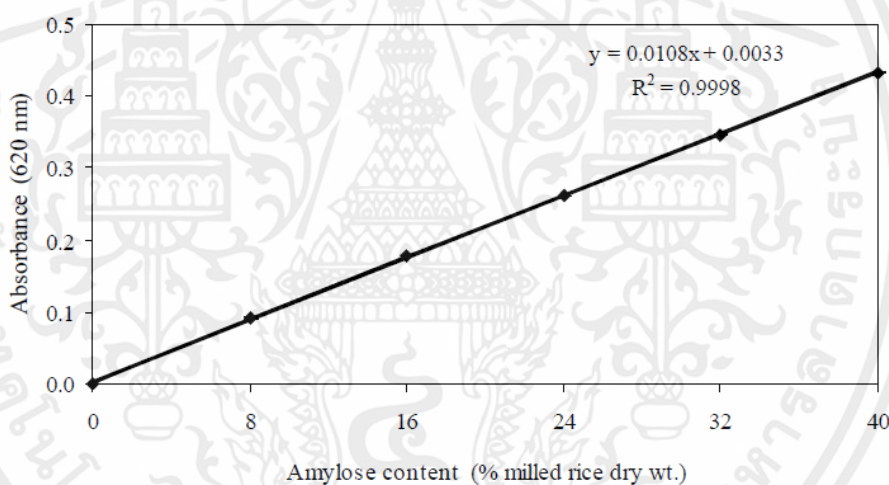
$$\text{โดยใช้สูตร Harvest index} = \frac{\text{Economic yield}}{\text{Biological yield}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อ $\text{Economic yield} = \text{น้ำหนักเมล็ดดี}$
 $\text{Biological yield} = \text{น้ำหนักแห้งรวม}$
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เอามาทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคติน

บดเมล็ดข้าวเพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ จำนวน 0.1 กรัม เติมน้ำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่า 10 นาที แล้วปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าอะไมโลสต่อไป

หลังจากได้ตัวอย่างสารละลายแล้ว ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้การเตรียมตัวอย่างข้างต้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายอะซีตต์เข้มข้น 1 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดความเข้มสีของสารละลายโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณอะไมโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ 3.4 กราฟมาตรฐานอะไมโลส

3.3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

ในการทดลองนี้จะมีการใช้พันธุ์ข้าวเป็นตัวแปรสำคัญ โดยใช้ข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์กข41, พันธุ์กข47, พันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์ปทุมธานี 80, พันธุ์พิษณุโลก 2, พันธุ์สุพรรณบุรี 1, พันธุ์สุพรรณบุรี 2, พันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในการทดลอง โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ 2x9 Factorial in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัย A คือ อนุภาคนาโน ได้แก่

- อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)

ปัจจัย B คือ พันธุ์ข้าว ได้แก่

- พันธุ์กข41
- พันธุ์กข47
- พันธุ์ชัยนาท 1
- พันธุ์ปทุมธานี 1
- พันธุ์ปทุมธานี 80
- พันธุ์พิษณุโลก 2
- พันธุ์สุพรรณบุรี 1
- พันธุ์สุพรรณบุรี 2
- พันธุ์สุพรรณบุรี 3

การปลูก การดูแลรักษา และการทดลองจะทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มาใช้ในการทดลองต่อไป และมีการเก็บตัวอย่างต้นข้าวในการวิเคราะห์แบบการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นที่กล่าวไว้ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบลักษณะสายพันธุ์ของข้าวไม่ไวแสง จำนวน 9 พันธุ์

3.3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสัณฐานวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

การปลูก การดูแลรักษา และการทดลองจะทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มาใช้เช่นกัน และมีการเก็บตัวอย่างต้นข้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 โดยการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบลักษณะสายพันธุ์ของข้าวไม่ไวแสง จำนวน 9 พันธุ์

3.3.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

การปลูก การดูแลรักษา และการทดลองจะทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มาใช้เช่นกัน และมีการเก็บตัวอย่างต้นข้าวเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ทางด้านผลผลิตของต้นข้าว

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 โดยการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบลักษณะสายพันธุ์ของข้าวไม่ไวแสง จำนวน 9 พันธุ์

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance; ANOVA) ประกอบด้วยผลผลิต จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ดัชนีเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด น้ำหนักเมล็ดสีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด มาทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของผลผลิตกับผลผลิต โดยใช้โปรแกรม Mstatc ของ Michigan State University



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าว

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้โดยใช้ค่าสถิติในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$ และ $P < 0.05$ ซึ่งในการทดลองจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโน ได้แก่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (A) และความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ได้แก่ 100, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (B) รวมถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโนและความเข้มข้นของอนุภาคนาโน (A x B)

4.1.1 การศึกษาการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุการสังเคราะห์แสงของข้าว

4.1.1.1 คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อการวิเคราะห์หาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญข้าวที่อายุ 86 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนมีค่าคลอโรฟิลล์เอที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 86 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 23.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าเท่ากับ 20.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ข้าวอายุอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อมีการเปรียบเทียบหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติการใช้อุณหภูมิที่อัตราความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าข้าวที่อายุ 37, 72 และ 86 วัน ของแต่ละอัตราความเข้มข้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 37 วัน ที่อัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 21.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด แต่ก็ไม่แตกต่างกับการที่ใช้อุณหภูมิความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 19.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนค่าคลอโรฟิลล์เอของข้าวที่อายุ 72 วัน ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังคงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 25.92 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 24.19 และ 23.30

มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอของข้าวที่อายุ 86 วัน พบว่าเมื่อใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 24.19 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 600 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 22.25 และ 21.62 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

การตอบสนองของคลอโรฟิลล์เอที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ พบว่าข้าวที่อายุ 58 วัน ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อข้าวได้รับการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการตอบสนองต่อคลอโรฟิลล์เอมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 29.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 28.33 (ตารางที่ 4.1)

เมื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโนและความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทั้ง 2 ปัจจัย พบว่าข้าวอายุ 72 และ 86 วันเช่นเดียวกับต้นข้าวอายุ 37 วัน ที่ได้รับอนุภาคนาโนในความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มากที่สุด โดยต้นข้าวอายุ 72 และ 86 วันที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มากที่สุด อยู่ดี ในขณะที่เดียวกัน ต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200–400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4.1.2 คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 44 และ 100 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่ข้าวอายุอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวที่อายุ 44 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุดเท่ากับ 4.97 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ZnO มีค่าคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 4.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.2)

เมื่อมีการเปรียบเทียบหาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าข้าวที่อายุ 44, 72 และ 86 วัน ของแต่ละอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าข้าวที่อายุ 44 และ 72 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุดเท่ากับ 5.24 และ 5.77 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนค่าคลอโรฟิลล์บีข้าวที่อายุ 86 วัน พบว่า เมื่อใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.80 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 200 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 5.24 และ 4.62

เอกสารนี้มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่ใส่ในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ทำให้ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวที่อายุ 72 และ 86 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าสูงที่สุด

เมื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโน และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทั้ง 2 ปัจจัย พบว่าข้าวอายุ 72 และ 85 วัน ที่ได้รับอนุภาคนาโนในความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์บี มากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อคลอโรฟิลล์ เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
อนุภาค								
ZnO	16.84	17.51	19.28	21.41	24.03	20.70b	11.32	2.38
TiO ₂	18.77	19.12	21.29	24.84	22.77	23.04a	10.56	2.45
ความเข้มข้น								
100	19.28ab	18.37	19.02	19.64	22.01b	19.79b	10.10	2.12
200	21.04a	20.38	20.96	23.31	25.92a	24.19a	11.50	2.81
400	17.17b	18.23	21.44	26.65	24.19ab	21.62ab	10.65	2.21
600	15.88b	17.67	20.28	21.62	23.30ab	22.25ab	11.32	2.87
800	15.67b	16.92	19.72	24.42	21.59b	21.51ab	11.14	2.07
อนุภาค x ความเข้มข้น								
ZnO x 100	19.03	18.43	17.93	23.61abcd	23.38	19.88	11.23	1.70
ZnO x 200	20.63	19.98	18.88	16.93cd	27.12	22.60	10.45	2.28
ZnO x 400	15.65	16.94	20.25	24.96abc	24.92	20.77	11.60	2.01
ZnO x 600	14.56	16.66	19.72	17.14bcd	23.31	19.81	11.24	3.39
ZnO x 800	14.32	15.52	19.59	24.43abcd	21.40	20.45	12.09	2.51
TiO ₂ x 100	19.53	18.31	20.11	15.67d	20.63	19.69	8.96	2.54
TiO ₂ x 200	21.45	20.78	23.04	29.70a	24.71	25.77	12.54	3.34
TiO ₂ x 400	18.69	19.51	22.62	28.33a	23.46	22.47	9.70	2.40
TiO ₂ x 600	17.21	18.69	20.83	26.10ab	23.29	24.69	11.39	2.35
TiO ₂ x 800	16.99	18.33	19.85	24.42abcd	21.78	22.57	10.20	1.62
F-test								
A	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
B	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.08	19.89	15.04	22.81	9.50	10.14	13.74	36.96

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.2 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อคลอโรฟิลล์ปี ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์ปี (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
อนุภาค								
ZnO	4.09	4.18b	5.16	6.46	5.11	4.75	3.67a	0.68
TiO ₂	4.60	4.97a	5.42	6.31	5.06	5.04	2.86b	0.68
ความเข้มข้น								
100	4.70	4.92ab	5.29	5.83	4.84bc	4.30b	3.08	0.64
200	4.90	5.24a	5.72	6.38	5.77a	5.24ab	3.32	0.85
400	4.13	4.50abc	5.30	6.48	5.28ab	5.80a	3.46	0.62
600	4.00	4.17bc	5.17	6.70	5.11abc	4.52b	3.33	0.90
800	3.97	4.06c	4.97	6.55	4.42c	4.62b	3.13	0.40
อนุภาค x ความเข้มข้น								
ZnO x 100	4.79	4.96	5.22	6.99a	5.12	4.52	3.43	0.48
ZnO x 200	5.05	5.21	5.50	5.82ab	5.86	5.02	3.38	0.63
ZnO x 400	3.64	3.81	5.20	6.30ab	5.43	5.40	4.20	0.59
ZnO x 600	3.49	3.44	4.97	5.90ab	5.11	4.39	3.48	1.05
ZnO x 800	3.46	3.46	4.89	7.32a	4.03	4.43	3.86	0.66
TiO ₂ x 100	4.60	4.88	5.36	4.67b	4.57	4.08	2.72	0.79
TiO ₂ x 200	4.76	5.26	5.93	6.93a	5.67	5.45	3.27	1.06
TiO ₂ x 400	4.62	5.19	5.39	6.66ab	5.14	6.21	2.71	0.65
TiO ₂ x 600	4.52	4.89	5.36	7.50a	5.10	4.65	3.17	0.76
TiO ₂ x 800	4.48	4.65	5.05	5.78ab	4.80	4.81	2.41	0.14
F-test								
A	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	ns
B	ns	*	ns	ns	**	**	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.55	14.32	8.26	14.04	9.91	14.30	19.34	47.89

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.3 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 100 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนมีปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่ข้าวอายุอื่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าข้าวที่อายุ 100 วัน เมื่อได้รับการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 134.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคืออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 119.9 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราความเข้มข้นในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าข้าวที่อายุ 72 และ 86 วัน ของแต่ละอัตราความเข้มข้นมีปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าข้าวที่อายุ 72 วัน เมื่อใส่ในอัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าสูงสุดเท่ากับ 214.7 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 206.3 และ 202.4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ของข้าวที่อายุ 86 วัน พบว่าที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าสูงสุดเท่ากับ 290.4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 248.8 และ 247.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

การตอบสนองของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ พบว่าข้าวที่อายุ 51 และ 58 วันมีปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 51 และ 58 วัน เมื่อข้าวได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับจะมีการตอบสนองต่อปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ ยกเว้นที่อัตราความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีการตอบสนองต่อแคโรทีนอยด์มากกว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ตารางที่ 4.3)

เมื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโนและความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทั้ง 2 ปัจจัย พบว่าข้าวอายุ 72 และ 86 วัน ที่ได้รับอนุภาคนาโนในความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
อนุภาค								
ZnO	189.4	177.5	190.8	204.1	204.7	238.4	134.0a	36.5
TiO ₂	193.2	181.3	200.8	220.4	200.4	253.8	119.9b	40.1
ความเข้มข้น								
100	177.7	165.8	175.7	185.5	196.7bc	211.7b	117.7	34.5
200	189.5	177.6	197.2	216.8	214.7a	290.4a	132.5	44.4
400	175.3	163.5	194.7	225.9	206.3ab	248.8b	126.1	35.3
600	203.8	192.0	205.4	218.8	202.4bc	247.0b	130.9	43.9
800	210.0	198.2	206.3	214.4	192.8c	232.7b	127.6	33.6
อนุภาค x ความเข้มข้น								
ZnO x 100	203.3	191.4	205.1ab	218.8abc	202.7	223.7	131.0	26.3
ZnO x 200	179.1	167.3	177.0ab	186.7cd	219.2	279.7	123.6	34.4
ZnO x 400	161.2	149.4	179.5ab	209.6abc	209.5	238.0	141.2	32.5
ZnO x 600	214.7	202.8	196.5ab	190.2bcd	202.4	222.1	131.5	52.3
ZnO x 800	188.6	176.7	196.1ab	215.4abc	189.9	228.7	142.5	37.1
TiO ₂ x 100	152.1	140.2	146.2b	152.2d	190.6	199.7	104.4	42.7
TiO ₂ x 200	199.8	188.0	217.4a	246.8a	210.3	301.2	141.4	54.4
TiO ₂ x 400	189.4	177.6	209.9a	242.2ab	203.1	259.6	111.0	38.1
TiO ₂ x 600	193.0	181.1	214.3a	247.4a	202.3	271.8	130.2	35.5
TiO ₂ x 800	231.5	219.6	216.5a	213.3abc	195.7	236.8	112.7	30.0
F-test								
A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
B	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns
A x B	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	15.95	17.01	13.19	14.69	4.86	9.70	13.82	30.51

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT มิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase enzyme)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว พบว่าต้นข้าวที่อายุ 37, 44, 51, 86 และ 100 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนแต่ละชนิด มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าต้นข้าว 37, 44 และ 51 วัน มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P < 0.01$) แต่ต้นข้าว 86 และ 100 วัน มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P < 0.05$) ส่วนใหญ่เมื่อใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ระหว่าง 0.55-1.30 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน การใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสระหว่าง 0.50-1.79 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน (ตารางที่ 4.4)

การใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ พบว่าข้าวที่อายุ 37, 44, 51, 58, 72 และ 114 วัน ของแต่ละอัตราความเข้มข้นมีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าข้าวแต่ละอายุส่วนใหญ่ที่ได้รับอนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมากที่สุด (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าข้าวมีการตอบสนองของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสต่อการใส่อนุภาคนาโนแต่ละชนิดที่อัตราความเข้มข้นแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งข้าวมีแนวโน้มการตอบสนองของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสต่อการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรและอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตรมากที่สุด

4.1.2.2 เอนไซม์แคตะเลส (Catalase enzyme)

ข้าวที่ใส่อนุภาคนาโนแต่ละชนิดมีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ข้าวอายุ 44, 51 และ 100 วัน โดยข้าวที่อายุ 44 วัน เมื่อได้รับการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.084 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.067 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ส่วนปริมาณเอนไซม์แคตะเลสที่ข้าวอายุ 51 วัน พบว่าเมื่อใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.075 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.049 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนและข้าวที่อายุ 100 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.056 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.050 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน (ตารางที่ 4.5)

การใส่อนุภาคนาโนแต่ละชนิดที่อัตราความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่าข้าวจะมีปริมาณเอนไซม์แค-
เอกสารนี้
เอนไซม์แคตะเลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยข้าวที่อายุ 51 และ 58 วัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 100-200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสของแต่ละอายุสูงที่สุด

แต่เมื่ออายุข้าว 86 วัน พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนแต่ละชนิดที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ปริมาณเอนไซม์แคตะเลสสูงสุดที่ 0.119 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน (ตารางที่ 4.5)

การตอบสนองของปริมาณเอนไซม์แคตะเลสที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ พบว่าข้าวที่อายุ 58 วัน มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 58 วัน เมื่อข้าวได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.058 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคืออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 0.045 และ 0.044 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความแตกต่างทางสถิติที่มีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) และ ($P < 0.05$) พบว่าการใช้อนุภาคนาโนทั้ง 2 ชนิดในการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้ผลของกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมถึงกระบวนการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างทางสถิติที่มีนัยสำคัญ ส่วนความเข้มข้นของอนุภาคนาโนที่มีค่าสูงสุดในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมถึงกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อข้าวได้รับอนุภาคนาโนที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าของกระบวนการสังเคราะห์แสงรวมถึงกระบวนการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีค่าปริมาณการสะสมของคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยล์รวมถึงกระบวนการสารต้านอนุมูลอิสระ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์แคตะเลส มีแนวโน้มอยู่ที่ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส(ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
อนุภาค							
ZnO	1.09b	1.08b	0.70b	0.50	1.15	1.30a	1.20a
TiO ₂	1.73a	1.69a	0.89a	0.55	1.12	1.15b	1.08b
ความเข้มข้น							
100	1.42b	1.38b	0.84ab	0.57ab	1.10ab	1.32	1.06
200	1.71a	1.68a	0.95a	0.63a	1.25a	1.24	1.19
400	1.4bab	1.44ab	0.78b	0.41c	1.20a	1.27	1.13
600	1.32bc	1.30bc	0.72b	0.47bc	1.11ab	1.20	1.18
800	1.13c	1.20c	0.70b	0.53abc	1.02b	1.12	1.15
อนุภาค x ความเข้มข้น							
ZnO x 100	0.98	0.96	0.71	0.53	1.08	1.28	1.18
ZnO x 200	1.33	1.30	0.80	0.55	1.30	1.37	1.11
ZnO x 400	1.19	1.17	0.71	0.41	1.22	1.35	1.27
ZnO x 600	1.01	1.01	0.67	0.47	1.12	1.32	1.18
ZnO x 800	0.95	0.94	0.62	0.52	1.03	1.19	1.28
TiO ₂ x 100	1.86	1.80	0.96	0.62	1.11	1.35	0.94
TiO ₂ x 200	2.08	2.06	1.09	0.71	1.20	1.10	1.27
TiO ₂ x 400	1.76	1.72	0.85	0.41	1.18	1.19	0.99
TiO ₂ x 600	1.63	1.58	0.77	0.47	1.11	1.07	1.17
TiO ₂ x 800	1.31	1.29	0.79	0.53	1.01	1.05	1.01
F-test							
A	**	**	**	ns	ns	*	*
B	**	**	**	**	**	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	10.80	10.41	11.77	15.95	8.51	12.61	13.73

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวดิ่งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.5 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อเอนไซม์แคตะเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	เอนไซม์แคตะเลส (ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
อนุภาค							
ZnO	0.071	0.067b	0.049b	0.035	0.045	0.082	0.056a
TiO ₂	0.081	0.084a	0.075a	0.039	0.046	0.057	0.050b
ความเข้มข้น							
100	0.083	0.086	0.073a	0.047a	0.052	0.063ab	0.049
200	0.086	0.084	0.071a	0.038a	0.044	0.061ab	0.056
400	0.077	0.078	0.062ab	0.036a	0.039	0.119a	0.053
600	0.071	0.069	0.053b	0.023b	0.038	0.048b	0.055
800	0.062	0.061	0.050b	0.040a	0.055	0.056b	0.053
อนุภาค x ความเข้มข้น							
ZnO x 100	0.064	0.060	0.050	0.035bcd	0.049	0.078	0.055
ZnO x 200	0.083	0.081	0.064	0.044abc	0.041	0.079	0.052
ZnO x 400	0.078	0.073	0.045	0.028cd	0.031	0.126	0.059
ZnO x 600	0.065	0.062	0.043	0.028cd	0.040	0.069	0.055
ZnO x 800	0.062	0.059	0.043	0.040abc	0.061	0.059	0.060
TiO ₂ x 100	0.101	0.112	0.097	0.058a	0.055	0.048	0.044
TiO ₂ x 200	0.088	0.086	0.079	0.031bcd	0.047	0.043	0.059
TiO ₂ x 400	0.076	0.082	0.079	0.045ab	0.046	0.112	0.046
TiO ₂ x 600	0.077	0.075	0.062	0.019d	0.036	0.026	0.055
TiO ₂ x 800	0.063	0.063	0.056	0.040bc	0.048	0.053	0.047
F-test							
A	ns	*	**	ns	ns	ns	*
B	ns	ns	*	*	ns	*	ns
A x B	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	18.61	22.74	20.10	27.43	49.96	51.28	14.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

4.2.1 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

อัตราการเจริญเติบโต (CGR)

จากตารางที่ 4.6 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีอัตราการเจริญเติบโต (CGR) พบว่าที่ระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยวมีค่า CGR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวที่ใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่า CGR สูงกว่าการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยข้าวจะมีค่า CGR เฉลี่ยที่ระยะออกดอก-เก็บเกี่ยวเท่ากับ 10.73 และ 9.34 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อข้าวได้รับการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตามลำดับ

เมื่อมีการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จะพบว่าข้าวมี CGR ในช่วงวันปลูกระยะออกดอกมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวที่ใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่า CGR สูงที่สุดเท่ากับ 3.30 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 100 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 2.58 และ 2.26 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และในช่วงระยะออกดอก-เก็บเกี่ยว ข้าวมีค่า CGR ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าเมื่อข้าวได้รับอัตราความเข้มข้น 200, 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ข้าวมีค่า CGR มากกว่า 10 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับการใส่อนุภาคนาโนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นแตกต่างกันทำให้ข้าวมีค่า CGR ไม่แตกต่างกัน แต่พบแนวโน้มว่าในช่วงตั้งแต่วັນปลูก-ออกดอก ข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และ อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ข้าวมีค่า CGR มากกว่า 3 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และในช่วงระยะออกดอก-เก็บเกี่ยว พบแนวโน้มว่าข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อัตราความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรข้าวมีค่า CGR มากกว่า 10 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ที่ระยะ ^{1/}	
	วันปลูก - ออกดอก	ระยะออกดอก - เก็บเกี่ยว
อนุภาค		
ZnO	2.39	9.34b
TiO ₂	2.23	10.73a
ความเข้มข้น		
100	2.58ab	9.18
200	1.72b	10.18
400	1.69b	10.37
600	2.26b	10.95
800	3.30a	9.48
อนุภาค x ความเข้มข้น		
ZnO x 100	2.61	9.09
ZnO x 200	1.94	9.12
ZnO x 400	1.86	9.04
ZnO x 600	2.05	11.03
ZnO x 800	3.51	8.41
TiO ₂ x 100	2.55	9.27
TiO ₂ x 200	1.50	11.24
TiO ₂ x 400	1.52	11.71
TiO ₂ x 600	2.48	10.87
TiO ₂ x 800	3.09	10.54
F-test		
A	ns	**
B	**	ns
A x B	ns	ns
C.V. (%)	23.68	12.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

พื้นที่ใบ (LA)

เนื่องจากต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในช่วงอายุ 37-58 วัน ไม่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้เนื่องจากข้าวยังมีขนาดที่เล็กมาก ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโต 72, 86, 100 และ 114 วัน ของข้าวชัยนาท 1 พบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนมีพื้นที่ใบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่ข้าวอายุอื่นไม่มีความแตกต่างกัน โดยพบว่า ข้าวที่อายุ 114 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีพื้นที่ใบสูงที่สุดเท่ากับ 426 ตารางเซนติเมตร รองลงมาคืออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีพื้นที่ใบเท่ากับ 191 ตารางเซนติเมตร

เมื่อมีการใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราการความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าข้าวทุกอายุไม่มีความแตกต่างกัน พบแนวโน้มว่าการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ข้าวมีการพัฒนาพื้นที่ใบมากกว่าการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้น 100, 200, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.8)

การตอบสนองของพื้นที่ใบของข้าวที่อัตราการความเข้มข้นแต่ละระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน มีแนวโน้มการตอบสนองต่อการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ทุกอัตราการความเข้มข้น (ตารางที่ 4.8)

ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

ในช่วงอายุ 37-58 วัน ไม่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้เนื่องจากข้าวยังมีขนาดที่เล็กมาก ผลการวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบ ที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน ของแต่ละอนุภาคนาโนมีค่า LAI ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีค่า LAI สูงที่สุดเท่ากับ 6.82 รองลงมาคืออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 3.05 (ตารางที่ 4.8)

การใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราการความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ทำให้ข้าวมีค่า LAI ไม่แตกต่างกัน แต่พบแนวโน้มว่าการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ข้าวมีค่า LAI สูงกว่าการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้น 100, 200, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.8)

จากตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดต่ออัตราการความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าข้าวมีค่า LAI ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าข้าวมีแนวโน้มการตอบสนองของค่า LAI สูงที่สุดคือ ที่ข้าวอายุ 86 วัน โดยข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า LAI เท่ากับ 10.85 และ 10.42 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}			
	72	86	100	114
อนุภาค				
ZnO	334	455	350	426a
TiO ₂	311	384	278	191b
ความเข้มข้น				
100	421	395	366	289
200	311	397	275	268
400	260	665	247	286
600	273	294	353	356
800	347	347	329	343
อนุภาค x ความเข้มข้น				
ZnO x 100	393	375	411	417
ZnO x 200	307	455	349	340
ZnO x 400	254	678	312	392
ZnO x 600	322	422	355	518
ZnO x 800	393	345	322	464
TiO ₂ x 100	450	414	320	161
TiO ₂ x 200	315	340	201	196
TiO ₂ x 400	266	651	183	180
TiO ₂ x 600	224	167	351	194
TiO ₂ x 800	301	350	335	223
F-test				
A	ns	ns	ns	**
B	ns	ns	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	46.00	55.28	46.41	30.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.8 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะ (วัน) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	ดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะ (วัน) ^{1/}			
	72	86	100	114
อนุภาค				
ZnO	5.34	7.28	5.60	6.82a
TiO ₂	4.98	6.15	4.44	3.05b
ความเข้มข้น				
100	6.74	6.32	5.85	4.63
200	4.98	6.36	4.39	4.29
400	4.16	10.63	3.95	4.58
600	4.37	4.71	5.65	5.69
800	5.55	5.55	5.26	5.49
อนุภาค x ความเข้มข้น				
ZnO x 100	6.29	6.01	6.58	6.68
ZnO x 200	4.91	7.28	5.58	5.44
ZnO x 400	4.06	10.85	4.98	6.27
ZnO x 600	5.15	6.75	5.69	8.29
ZnO x 800	6.29	5.51	5.16	7.42
TiO ₂ x 100	7.19	6.63	5.12	2.58
TiO ₂ x 200	5.04	5.43	3.21	3.14
TiO ₂ x 400	4.26	10.42	2.92	2.88
TiO ₂ x 600	3.58	2.67	5.61	3.10
TiO ₂ x 800	4.81	5.59	5.36	3.57
F-test				
A	ns	ns	ns	**
B	ns	ns	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	46.00	55.27	46.44	30.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

น้ำหนักแห้งรวม (Dry matter)

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน ของอนุภาคนาโนแต่ละชนิด มีน้ำหนักแห้งรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 114 วัน เมื่อข้าวได้รับการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ข้าวจะมีน้ำหนักแห้งรวมมากกว่าการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ตารางที่ 4.9)

การใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าข้าวที่อายุ 58 และ 86 วัน ของแต่ละอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนมีน้ำหนักแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าข้าวที่อายุ 58 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรมีน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุดเท่ากับ 11.97 กรัม/กอ ส่วนข้าวที่อายุ 86 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 45.25 กรัม/กอ (ตารางที่ 4.9)

การตอบสนองของน้ำหนักแห้งรวมของข้าวที่อัตราความเข้มข้นแต่ละระดับ แม้จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวที่อายุ 114 วัน เมื่อใส่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิด จะมีการตอบสนองต่ออัตราความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตรมากกว่าอัตราความเข้มข้นที่ระดับอื่น ๆ (ตารางที่ 4.9)

จากการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการทดลองการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การตอบสนองของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) และ ($P < 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าปริมาณการเจริญเติบโต พื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด และมีการคาดว่าจะเป็นผลผลิตจะสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Jiang และคณะ (1988), Saitoh และคณะ (1993) และ Murchie และคณะ (2002) พืชที่จะให้ผลผลิตที่สูงนั้น พืชจะต้องมีการเจริญเติบโต หรือการสะสมน้ำหนักแห้งที่มากพอ และนักสรีรวิทยาชี้ให้เห็นว่า น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจะมีความสำคัญกับศักยภาพการให้ผลผลิตข้าว

ตารางที่ 4.9 ผลของอนุภาคนาโนต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าว

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/กอ) ที่ระยะ (วัน) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
อนุภาค								
ZnO	0.63	2.34	7.65	8.67	16.59	29.96	27.18	41.36b
TiO ₂	0.46	1.81	6.56	8.08	17.05	25.81	24.07	45.61a
ความเข้มข้น								
100	0.58	2.32	6.76	9.34ab	17.49	24.10b	26.02	41.47
200	0.61	2.31	6.14	6.22b	17.12	25.84b	23.64	41.85
400	0.59	2.30	6.94	6.14b	14.31	45.25a	27.80	42.46
600	0.38	1.39	7.29	8.20b	14.94	19.34b	24.63	46.53
800	0.57	2.07	8.40	11.97a	20.25	24.91b	26.04	45.13
อนุภาค x ความเข้มข้น								
ZnO x 100	0.57	2.29	6.61	9.45	17.96	26.13	25.80	41.26
ZnO x 200	0.72	2.80	6.61	7.02	15.02	29.13	31.27	38.95
ZnO x 400	0.65	2.58	7.69	6.76	12.41	44.21	38.31	38.40
ZnO x 600	0.39	1.48	6.92	7.41	16.13	26.16	18.40	46.02
ZnO x 800	0.81	2.55	10.41	12.72	21.44	24.19	22.12	42.15
TiO ₂ x 100	0.59	2.35	6.90	9.23	17.02	22.06	26.25	41.67
TiO ₂ x 200	0.50	1.81	5.66	5.42	19.21	22.56	16.00	44.75
TiO ₂ x 400	0.53	2.02	6.18	5.52	16.21	46.28	17.30	46.51
TiO ₂ x 600	0.37	1.30	7.65	8.99	13.76	12.52	30.86	47.03
TiO ₂ x 800	0.32	1.58	6.39	11.22	19.06	25.63	29.96	48.12
F-test								
A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
B	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	45.88	52.1	28.75	23.70	45.06	47.25	41.31	11.50

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ผลผลิต (Yield)

การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่าเมื่อข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้รับการใส่อนุภาคนาโนต่างชนิดกันทำให้ข้าวมีผลผลิตไม่มีแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวที่ได้รับการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 45.14 กรัม/กอ ส่วนข้าวที่ได้รับการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 36.00 กรัม/กอ (ตารางที่ 4.10)

เมื่อมีการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าการที่ใส่อนุภาคนาโนในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ทำให้ข้าวให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวที่ได้รับการใส่อนุภาคนาโนที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 45.95 กรัม/กอ รองลงมาคือ อัตราความเข้มข้น 200 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 41.64 และ 41.16 กรัม/กอ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดต่ออัตราการความเข้มข้นที่ต่างกัน แม้ว่าข้าวมีการตอบสนองด้านผลผลิตต่ออนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่อัตราการความเข้มข้นแต่ระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลทำให้ข้าวมีผลผลิตที่สูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันข้าวได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราการความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลทำให้ข้าวมีผลผลิตที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนความเข้มข้นอื่นๆ ในชนิดเดียวกันอีกด้วย

ในขณะที่จำนวนรวงต่อกอ นั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโน โดยพบว่าจำนวนรวงต่อกอในข้าวที่เติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะสูงกว่าข้าวที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในการที่ใส่อนุภาคนาโนอัตราการความเข้มข้นที่ต่างกัน

ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) เป็นสัดส่วนของผลผลิตทางชีวภาพที่กลายมาเป็นผลผลิตจากในตารางที่ 4.10 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในการที่ใส่อนุภาคนาโนอัตราการความเข้มข้นที่ต่างกัน แต่เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดต่ออัตราการความเข้มข้นที่ต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่ว่าข้าวได้รับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราการความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลทำให้ข้าวมีดัชนีเก็บเกี่ยวที่สูงที่สุด

จากทดลองพบว่าเมื่อข้าวได้รับอนุภาคนาโนที่ต่างชนิดกัน และความเข้มข้นที่ต่างกันจะทำให้ข้าวมีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตที่ต่างกัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนทั้งชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตจะทำให้ค่าของดัชนีเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นและทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

แสดงให้เห็นได้ว่าการเพิ่มของค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ของ Austin และคณะ (1980), Takeda และคณะ (1983) และ Evans และคณะ (1984) ที่ได้กล่าวไว้

ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคติน

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในเมล็ดข้าวนั้นจะแสดงถึงคุณภาพและเนื้อสัมผัสของข้าว เมื่อนำไปแปรรูปหรือการนำไปบริโภค จากผลการทดลองพบว่าปริมาณอะไมโลสของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ได้รับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่มีผลต่อกระบวนการสะสมปริมาณอะไมโลสและปริมาณอะไมโลแพคตินในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพและเนื้อสัมผัสของข้าว ทำให้ผลผลิตที่ได้นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว

จากผลการทดลองที่ 1-3 พบว่าการเมื่อทำการทดสอบโดยใช้ข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ได้รับอนุภาคนาโนที่ต่างชนิดกันและความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จะทำให้ข้าวนั้นแสดงผลการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และผลผลิตที่แตกต่างกัน และพบว่าเมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ทั้งทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และผลผลิต ข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ข้าวมีลักษณะทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และผลผลิต อยู่ในปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการเติมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นอื่นๆ จึงนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มาใช้ในการทำการทดลองในการทดลองที่ 4-6 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อผลผลิต จำนวนรวงต่อกอ และดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	ผลผลิต (กรัม/กอ) ^{1/}	จำนวนรวงต่อกอ ^{1/}	ดัชนีการเก็บเกี่ยว ^{1/}
อนุภาค			
ZnO	36.00	33.93b	0.28
TiO ₂	45.14	36.40a	0.30
ความเข้มข้น			
100	37.78	35.59	0.27b
200	41.64	33.67	0.30ab
400	43.81	33.09	0.33a
600	41.16	36.75	0.29ab
800	37.17	36.75	0.26b
อนุภาค x ความเข้มข้น			
ZnO x 100	37.52	36.67	0.26
ZnO x 200	38.81	33.67	0.30
ZnO x 400	36.72	31.17	0.31
ZnO x 600	34.77	35.34	0.26
ZnO x 800	32.18	32.83	0.27
TiO ₂ x 100	38.04	34.50	0.28
TiO ₂ x 200	44.48	33.50	0.30
TiO ₂ x 400	50.91	33.67	0.34
TiO ₂ x 600	50.13	38.17	0.33
TiO ₂ x 800	42.16	40.17	0.24
F-test			
A	ns	*	ns
B	ns	ns	*
A x B	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.74	28.26	12.47

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลของชนิดและอัตราความเข้มข้นของอนุภาคนาโนต่อปริมาณอะไมโลสและอะไมแพคตินของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

กรรมวิธี	ปริมาณอะไมโลส (%)	ปริมาณอะไมโลแพคติน (%)
control	26.33	73.67
ZnO x 100	26.33	73.67
ZnO x 200	26.33	73.67
ZnO x 400	26.67	73.33
ZnO x 600	26.33	73.67
ZnO x 800	26.00	74.00
TiO ₂ x 100	26.33	73.67
TiO ₂ x 200	27.00	73.00
TiO ₂ x 400	26.33	73.67
TiO ₂ x 600	26.33	73.67
TiO ₂ x 800	26.33	73.67
t-test	ns	ns
C.V.%	2.59	2.45

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้โดยใช้ค่าสถิติในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$ และ $P < 0.05$ ซึ่งในการทดลองจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสายพันธุ์ข้าว 9 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข41,

พันธุ์กข47, พันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์ปทุมธานี 80, พันธุ์พิษณุโลก 2, พันธุ์สุพรรณบุรี 1, พันธุ์สุพรรณบุรี 2 และสุพรรณบุรี 3 โดยมีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลองที่ 1-3 ข้างต้น

4.4.1 การศึกษาการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก ของแต่ละพันธุ์ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 31.68 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และข้าวพันธุ์กข41 มีค่าเท่ากับ 27.25 และ 17.89 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยที่สุดเท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

แต่ในขณะเดียวกันยังพบว่า ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 72 และ 100 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก คือ ข้าวพันธุ์กข41 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 22.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 22.28 และ 21.12 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และยังพบว่าข้าวที่อายุ 100 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 24.27 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ กข41 มีค่าเท่ากับ 22.48 และ 18.82 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 37-58 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 58 วันหลังปลูก ของแต่ละพันธุ์ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 23.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ กข47 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 14.88 และ 10.61 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะเดียวกันยังพบว่าผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 86 และ 100 วันหลังปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก คือ พันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ

25.34 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์กข47 และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 16.59 และ 15.79 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และยังพบว่าข้าวที่อายุ 100 วันหลังปลูก คือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดเท่ากับ 27.26 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์กข41 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าเท่ากับ 14.02 และ 7.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 37, 44, 51, 72 และ 114 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.12 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	คลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	15.54	19.33	18.85	18.78	22.36a	17.89abc	18.82abc
กข47	16.80	17.26	11.72	18.71	19.92ab	17.47abc	17.41abcd
ชัยนาท 1	10.72	19.57	12.68	15.89	6.99c	4.20c	5.85d
ปทุมธานี 1	14.98	15.58	10.89	17.54	14.84abc	17.70abc	9.19cd
ปทุมธานี 80	18.44	20.46	15.10	18.71	10.68bc	9.47c	11.44bcd
พิษณุโลก 2	18.95	19.23	13.95	16.30	21.12a	15.33bc	22.48ab
สุพรรณบุรี 1	22.54	27.06	14.88	18.80	22.28a	31.68a	24.27a
สุพรรณบุรี 2	20.63	20.07	19.07	18.91	15.43abc	15.97bc	16.06abcd
สุพรรณบุรี 3	15.03	21.78	13.85	24.70	14.69abc	27.25ab	15.74abcd
F-test	ns	ns	ns	ns	*	**	*
C.V. (%)	29.14	29.83	35.66	27.22	38.61	38.42	46.14

ns, *, ** = ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.13 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อคลอโรฟิลล์เอที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของ ข้าวไม่วางแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	คลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	18.51	14.61	16.61	18.04 ab	20.83	16.40b	14.02 bcd
กข47	10.76	8.13	14.49	14.88 b	23.69	16.59b	10.92 bcd
ชัยนาท 1	12.72	6.26	15.19	18.83 ab	15.71	25.34a	7.15 d
ปทุมธานี 1	13.07	8.41	7.93	10.61 b	16.58	19.43ab	21.94 ab
ปทุมธานี 80	9.51	10.42	15.33	17.22 ab	26.28	22.74ab	19.56 abc
พิษณุโลก 2	10.83	13.62	14.60	18.09 ab	19.91	15.79b	9.59 cd
สุพรรณบุรี 1	12.59	11.44	18.18	23.35 a	18.92	19.83ab	27.26 a
สุพรรณบุรี 2	11.41	10.02	10.05	17.34 ab	15.45	14.81b	7.62 d
สุพรรณบุรี 3	13.17	16.18	16.14	13.16 b	16.70	18.89ab	9.17 cd
F-test	ns	ns	ns	**	ns	**	**
C.V. (%)	37.65	51.11	29.70	22.51	26.83	19.55	37.74

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่วางแสง 9 พันธุ์ พบว่า ข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก ของแต่ละพันธุ์ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทาง เอกสารนี้ สถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุดเท่ากับ 5.36 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ข้าว กข41 มีค่าเท่ากับ 4.85 และ 4.64

มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีน้อยที่สุดเท่ากับ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.14)

ผลของการใช้อุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีนี่ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 72 และ 100 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ข47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีน้อยที่สุดเท่ากับ 5.72 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์ข41 มีค่าเท่ากับ 5.63 และ 4.22 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีของข้าวที่อายุ 100 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.64 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ข41 และข้าวพันธุ์ข47 มีค่าเท่ากับ 5.38 และ 4.97 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 37-58 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.15 แสดงผลของอุณหภูมิโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีนี่ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 58 วันหลังปลูกของแต่ละพันธุ์ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ข41 มีค่าคลอโรฟิลล์บีนีสูงที่สุดเท่ากับ 14.66 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.81 และ 3.01 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อมีการเปรียบเทียบพบว่าผลของอุณหภูมิโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ โดยพบว่าข้าวที่อายุ 72 วัน 86 และ 100 วันหลังปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก คือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีสูงที่สุดเท่ากับ 25.63 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีค่าเท่ากับ 15.11 และ 4.94 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีนีของข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก คือข้าวพันธุ์ข41 มีค่าคลอโรฟิลล์บีนีสูงที่สุดเท่ากับ 25.06 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 13.95 และ 5.72 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และยังพบว่าข้าวที่อายุ 100 วันหลังปลูก คือข้าวพันธุ์ข41 มีค่าคลอโรฟิลล์บีนีสูงที่สุดเท่ากับ 18.93 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าเท่ากับ 7.70 และ 2.44 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 37-51 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีค่าคลอโรฟิลล์บีนีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	4.45	5.18	5.15	4.73	4.22ab	4.64a	5.38ab
กข47	4.71	4.52	3.44	4.70	5.72a	4.50a	4.97ab
ชัยนาท 1	3.19	3.98	3.56	4.03	1.93c	0.98b	1.77c
ปทุมธานี 1	4.65	4.51	3.23	4.65	4.10ab	4.85a	2.80bc
ปทุมธานี 80	5.35	3.95	4.23	5.18	3.11bc	2.79ab	3.45abc
พิษณุโลก 2	4.86	4.95	3.88	4.15	4.15ab	4.17a	3.73abc
สุพรรณบุรี 1	4.19	4.20	4.20	4.94	5.63a	5.36a	5.64a
สุพรรณบุรี 2	5.42	4.84	4.39	5.28	3.96ab	3.86a	3.90abc
สุพรรณบุรี 3	4.35	3.85	3.90	3.45	3.98ab	4.45a	4.53ab
F-test	ns	ns	ns	ns	*	**	*
C.V. (%)	22.60	23.11	27.55	25.05	31.43	32.79	39.77

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่วางแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	คลอโรฟิลล์บี (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	4.64	4.36	4.70	14.66 a	19.25 ab	25.06 a	18.93 a
กข47	2.46	2.40	3.80	4.04 bc	5.84 d	19.06 ab	3.44 b
ชัยนาท 1	3.01	1.95	6.50	5.19 bc	7.22 cd	8.05 cd	2.44 b
ปทุมธานี 1	3.15	2.57	2.28	3.01 c	5.97 d	5.72 d	6.46 b
ปทุมธานี 80	2.45	3.05	4.33	4.75 bc	9.17 cd	13.95bcd	17.12 a
พิษณุโลก 2	2.45	3.88	7.90	4.89 bc	6.07 d	19.27 ab	3.00 b
สุพรรณบุรี 1	2.90	3.27	4.92	6.81 b	25.63 a	17.19abc	7.70 b
สุพรรณบุรี 2	2.97	2.96	3.21	4.45 bc	4.94 d	5.52 d	2.59 b
สุพรรณบุรี 3	3.42	4.68	4.35	3.55 c	15.11 bc	17.41abc	3.00 b
F-test	ns	ns	ns	**	**	**	**
C.V. (%)	35.08	44.80	64.54	22.36	34.74	32.22	50.64

ns, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่วางแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูกของแต่ละพันธุ์ข้าวมีปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 253.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และข้าวพันธุ์กข47 มีค่าเท่ากับ 225.5 และ 194.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุดเท่ากับ 48.8 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

เมื่อวิเคราะห์ถึงอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 37, 72 และ 100 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่า ข้าวที่อายุ 37 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 209.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 2 มีค่าเท่ากับ 185.0 และ 179.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ช41 มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 251.9 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ข้าวพันธุ์ช47 มีค่าเท่ากับ 231.0 และ 226.5 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ของข้าวที่อายุ 100 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 228.9 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์ช 47 มีค่าเท่ากับ 213.8 และ 206.4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 44-58 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.16)

ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 51 วันหลังปลูก ของแต่ละพันธุ์ข้าวมีแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 186.4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือข้าวพันธุ์สุพรรณ 2 และ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 121.8 และ 99.8 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ พบว่าข้าวที่อายุ 58 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ช41 มีแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 259.4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 189.6 และ 101.3 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และยังพบว่าข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีค่าแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 273.5 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีค่าแคโรทีนอยด์เท่ากับ 172.3 และ 152.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และยังพบว่าข้าวที่อายุ 100 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีค่าแคโรทีนอยด์สูงที่สุด 270.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ช47 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าแคโรทีนอยด์เท่ากับ 109.6 และ 65.7 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 37, 44 และ 72 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	171.0ab	188.0	188.6	174.8	251.9a	168.7abc	190.9abc
กข47	162.0abc	184.7	146.2	181.3	226.5ab	194.4ab	206.4ab
ชัยนาท 1	107.0c	249.2	141.1	156.0	83.5d	48.8c	60.8d
ปทุมธานี 1	143.0bc	176.7	136.2	175.4	145.5bcd	193.5ab	97.5cd
ปทุมธานี 80	179.0ab	216.2	188.6	186.5	121.0cd	101.8bc	106.9bcd
พิษณุโลก 2	185.0ab	198.8	162.3	179.0	207.9abc	165.0abc	228.9a
สุพรรณบุรี 1	209.0a	266.5	182.0	193.5	231.0ab	253.0a	213.8ab
สุพรรณบุรี 2	154.0abc	178.6	185.5	186.4	157.6abcd	146.8abc	135.8abcd
สุพรรณบุรี 3	137bc	239.9	158.2	219.0	157.2abcd	225.5ab	150.2abcd
F-test	*	ns	ns	ns	*	**	*
C.V. (%)	22.37	33.64	29.80	19.29	35.72	34.54	42.28

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่วาสง 9 พันธุ์

พันธุ์	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	192.1	146.1	164.9 ab	259.4 a	245.1	157.8 c	231.6 a
กข47	131.8	101.1	154.8abc	139.1bcd	209.8	272.3 a	109.6bcd
ชัยนาท 1	180.6	76.0	186.4 a	189.6 bc	157.4	254.0 ab	65.7 d
ปทุมธานี 1	156.7	102.0	99.8 c	101.3 d	130.2	172.3 bc	192.5abc
ปทุมธานี 80	130.8	117.7	162.4 ab	155.4bcd	209.3	273.5 a	270.1 a
พิษณุโลก 2	127.1	140.7	151.8abc	155.6bcd	266.8	231.5abc	95.4 cd
สุพรรณบุรี 1	147.3	124.6	179.0 ab	197.0 ab	143.3	247.8 ab	205.3 ab
สุพรรณบุรี 2	152.0	109.5	121.8 bc	154.6bcd	157.5	152.2 c	84.7 cd
สุพรรณบุรี 3	155.3	167.8	166.0 ab	119.3 cd	293.1	217.8abc	89.2 cd
F-test	ns	ns	*	*	ns	*	**
C.V. (%)	37.54	41.95	22.78	26.76	37.98	24.49	34.37

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.4.2 การศึกษาการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวไม่วาสง 9 สายพันธุ์

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase enzyme)

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่วาสง 9 พันธุ์ พบว่า ข้าวที่อายุ 37, 58, 86 และ 100 วันหลังปลูก ของแต่ละพันธุ์มีค่า

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 100 วัน หลังปลูก ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดเท่ากับ 10.79 ยูนิตต่อมิลลิกรัม โปรตีน รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีค่าเท่ากับ 10.17 และ 9.42 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ และในส่วนข้าวที่อายุ 37 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่มีค่าเปอร์ออกซิเดสต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.20 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนรองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าเท่ากับ 0.22 และ 0.21 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนตามลำดับ ส่วนที่ระยะ 44, 51 และ 72 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีค่าเปอร์ออกซิเดสไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.18)

ผลของอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 37 และ 58 วันหลังปลูกของข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวที่อายุ 37 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดเท่ากับ 13.47 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนรองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ข้าวพันธุ์ชัชวาลย์ 1 มีค่าเท่ากับ 9.15 และ 7.25 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนตามลำดับ ในส่วนข้าวที่อายุ 58 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดเท่ากับ 17.62 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ชัชวาลย์ 1 มีค่าเท่ากับ 11.55 และ 7.03 ตามลำดับ

ในขณะที่เดียวกันยังพบว่าผลของการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ข้าวที่ระยะ 51 วันหลังปลูก มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดเท่ากับ 4.90 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคือข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัชวาลย์ 1 มีค่าเท่ากับ 2.44 และ 2.12 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนตามลำดับ ส่วนระยะ 44, 72, 86 และ 100 วันหลังปลูก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.18 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่วาสง 9 พันธุ์

พันธุ์	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	0.04c	0.40	2.42	2.59b	5.15	2.77c	4.16ab
กข47	0.07bc	1.26	1.62	3.87ab	6.10	5.49abc	5.97ab
ชยันต 1	0.21a	1.71	1.84	3.08b	7.01	6.16abc	6.65ab
ปทุมธานี 1	0.24a	1.00	1.74	3.52ab	5.00	6.59ab	10.17a
ปทุมธานี 80	0.16abc	1.46	3.23	5.23ab	7.45	5.29abc	10.79a
พิษณุโลก 2	0.21a	1.69	2.36	4.13ab	8.36	7.99a	6.38ab
สุพรรณบุรี 1	0.19ab	1.54	2.46	6.86a	8.28	4.89abc	7.27ab
สุพรรณบุรี 2	0.20ab	1.64	1.95	3.47b	7.90	3.79bc	1.86b
สุพรรณบุรี 3	0.22a	1.01	1.71	4.22ab	7.61	3.82bc	9.42a
F-test	**	ns	ns	**	ns	**	**
C.V. (%)	37.91	59.87	37.47	33.76	25.60	30.69	40.48

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	7.25 b	5.39	2.43 bc	9.46 bc	4.93	6.27	10.41
กข47	7.56 b	5.75	2.12 c	7.03 c	5.62	4.66	8.16
ชัยนาท 1	8.81 b	6.99	3.81abc	17.62 a	4.67	5.13	7.39
ปทุมธานี 1	13.47 a	5.65	2.44 bc	7.44 bc	6.20	4.23	6.69
ปทุมธานี 80	9.66 ab	5.45	3.68abc	11.55 bc	8.00	6.89	8.01
พิษณุโลก 2	11.28 ab	5.51	4.59 a	11.16 bc	14.35	5.35	6.03
สุพรรณบุรี 1	9.15 b	5.24	4.14 ab	13.03abc	8.64	7.29	7.95
สุพรรณบุรี 2	7.81 b	6.46	4.97 a	11.75 bc	15.26	4.52	4.59
สุพรรณบุรี 3	7.62 b	8.94	4.90 a	13.27 ab	6.01	5.37	7.83
F-test	**	ns	*	**	ns	ns	ns
C.V. (%)	20.22	31.79	29.94	24.27	64.16	36.51	36.34

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

เอนไซม์แคตะเลส (Catalase enzyme)

การเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 72 และ 86 วันหลังปลูก มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ($P < 0.01$) พบว่าข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.17 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์กข41 มีค่าต่ำกว่าเท่ากับ 0.16 และ 0.15 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ส่วนข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์กข47 มีปริมาณ

เอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 3.12 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์พุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 2.62 และ 2.05 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีนตามลำดับ (ตารางที่ 4.20)

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์เอนไซม์แคตะเลส ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 44 วันหลังปลูก มีปริมาณเอนไซม์เอนไซม์แคตะเลสที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.66 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์ชก47 มีค่าเท่ากับ 0.64 และ 0.53 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ชก41 มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสน้อยที่สุดเท่ากับ 0.18 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ส่วนที่ระยะ 37, 51, 58, และ 100 วันหลังปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.20)

ในขณะที่ผลของการเติมอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์แคตะเลส ที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวทุกช่วงอายุการเจริญเติบโตนั้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเอนไซม์แคตะเลสในข้าวไม่ไวแสงทั้ง 9 สายพันธุ์ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวที่อายุ 58 วันหลังปลูก ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณเอนไซม์แคตะเลสสูงที่สุดเท่ากับ 4.43 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 4.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์แคตะเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	เอนไซม์แคตะเลส (ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	1.09	0.18b	1.32	0.98	0.15ab	1.54abc	2.61
กข47	1.02	0.53a	1.65	0.49	0.11ab	3.12a	2.86
ชัยนาท 1	1.99	0.64a	1.56	0.73	0.16ab	2.62ab	1.52
ปทุมธานี 1	1.19	0.36a	0.71	0.46	0.04c	2.05abc	3.38
ปทุมธานี 80	1.28	0.64ab	0.83	0.33	0.11abc	1.94abc	3.52
พิษณุโลก 2	1.41	0.66a	1.08	0.68	0.12abc	1.08bc	2.34
สุพรรณบุรี 1	1.72	0.40ab	0.92	0.34	0.04c	0.78c	2.07
สุพรรณบุรี 2	1.57	0.31ab	0.72	0.50	0.17a	0.98bc	1.60
สุพรรณบุรี 3	1.33	0.37ab	0.61	0.49	0.06bc	2.02abc	2.25
F-test	ns	*	ns	ns	**	**	ns
C.V. (%)	41.56	45.57	48.82	43.92	44.47	41.35	49.96

ns, *, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ต่อปริมาณเอนไซม์แคตะเลสที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	เอนไซม์แคตะเลส (ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ที่ระยะ (วันหลังปลูก) ^{1/}						
	37	44	51	58	72	86	100
กข41	2.05	1.08	0.68	3.31	0.40	1.73	2.33
กข47	2.38	1.76	0.39	3.67	1.10	1.92	2.49
ชัยนาท 1	2.36	1.46	0.54	4.43	1.16	2.46	3.17
ปทุมธานี 1	2.86	1.50	0.79	1.97	0.27	1.71	3.15
ปทุมธานี 80	2.80	1.60	0.77	4.02	0.71	2.24	2.95
พิษณุโลก 2	2.61	2.19	0.74	4.29	0.76	2.23	2.47
สุพรรณบุรี 1	2.92	1.70	0.24	1.67	0.84	2.63	2.00
สุพรรณบุรี 2	2.17	1.27	0.74	2.94	0.42	1.94	2.19
สุพรรณบุรี 3	1.43	2.43	0.23	4.12	0.37	1.16	1.49
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	28.83	43.56	60.79	60.45	81.63	37.55	44.94

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทางสัณฐานวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

อัตราการเจริญเติบโต (CGR)

จากตารางที่ 4.21 ผลจากการศึกษาของอิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะปลูก-วันออกเอกสารนี้ต้องพบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ 4.46 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันว่ากันว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตราการเจริญเติบโต ที่ระยะวันออกดอก-วันเก็บเกี่ยว มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ 9.36 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์อื่นๆ

ตารางที่ 4.21 ผลการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่ออัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ที่ระยะ	
	วันปลูก - วันออกดอก	วันออกดอก - เก็บเกี่ยว
กข41	2.23	4.79
กข47	3.63	3.50
ชัยนาท 1	4.13	4.00
ปทุมธานี 1	4.46	3.72
ปทุมธานี 80	3.88	7.55
พิษณุโลก 2	2.61	4.99
สุพรรณบุรี 1	3.06	3.62
สุพรรณบุรี 2	2.98	6.07
สุพรรณบุรี 3	2.20	9.36
F-test	ns	ns
C.V. (%)	48.92	47.85

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 4.22 ผลจากการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะวันปลูก-วันออกดอก พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ 2.51 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีอัตราการเจริญเติบโตที่น้อยที่สุดเท่ากับ 1.18 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตที่ระยะวันออกดอก-เก็บเกี่ยว มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ

1.73 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุดเท่ากับ 0.51 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ตารางที่ 4.22 ผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ออัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ที่ระยะ	
	วันปลูก - วันออกดอก	ระยะออกดอก - เก็บเกี่ยว
กข41	1.76	0.96
กข47	1.46	1.62
ชัยนาท 1	1.18	1.36
ปทุมธานี 1	1.33	1.41
ปทุมธานี 80	1.55	1.73
พิษณุโลก 2	1.42	0.80
สุพรรณบุรี 1	2.51	1.45
สุพรรณบุรี 2	1.89	1.60
สุพรรณบุรี 3	1.72	0.51
F-test	ns	ns
C.V. %	41.74	44.95

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ใบ (LA)

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ใบจากการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 114 วันหลังปลูก ข้าวแต่ละพันธุ์มีพื้นที่ใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าพื้นที่ใบสูงที่สุดเท่ากับ 451 ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์กข47 มีค่าพื้นที่ใบเท่ากับ 447 และ 404 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวอายุอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ข้าวที่อายุ 72 วันหลังปลูก มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์กข47 มีค่าพื้นที่ใบมากที่สุดเท่ากับ 849 และ 801 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

การวิเคราะห์อิทธิพลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนความเข้มข้นที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อค่าพื้นที่ใบของข้าวไม่ไวแสงทั้ง 9 พันธุ์ พบว่าที่อายุ 72, 86 และ 100 วันหลังปลูก ข้าวมีพื้นที่ใบไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่อายุ 114 วันหลังปลูกพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการพัฒนาพื้นที่ใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และกข47 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 433, 364 และ 268 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 เท่ากับ 235 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์กข41 เท่ากับ 185 ตารางเซนติเมตร ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีพื้นที่ใบน้อยที่สุดคือ พันธุ์สุพรรณบุรี 3 และพิษณุโลก 2 เท่ากับ 157 และ 118 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.24)

ตารางที่ 4.23 ผลของการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ที่อายุ (วันหลังปลูก) ^{1/}			
	72	86	100	114
กข41	337	360	248	267ab
กข47	801	599	437	404a
ชัยนาท 1	484	677	268	132b
ปทุมธานี 1	849	553	232	382a
ปทุมธานี 80	532	614	319	376a
พิษณุโลก 2	534	669	400	451a
สุพรรณบุรี 1	414	268	192	447a
สุพรรณบุรี 2	440	382	230	343ab
สุพรรณบุรี 3	403	221	297	282ab
F-test	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	47.34	50.11	42.68	32.46

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใบ (LA) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ที่อายุ (วันหลังปลูก) ^{1/}			
	72	86	100	114
กข41	179	167	384	185 bc
กข47	430	146	365	268 abc
ชัยนาท 1	242	108	166	235 bc
ปทุมธานี 1	266	99	302	433 a
ปทุมธานี 80	159	123	183	364 ab
พิษณุโลก 2	138	86	491	118 c
สุพรรณบุรี 1	182	186	225	235 bc
สุพรรณบุรี 2	148	154	195	233 bc
สุพรรณบุรี 3	227	192	215	157 c
F-test	ns	ns	ns	*
C.V. %	54.69	36.47	56.48	48.78

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยวิธี DMRT

ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ไดออกไซด์ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าว พบว่าข้าวที่อายุ 107 วันหลังปลูก ข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดเท่ากับ 0.72 รองลงมาคือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ กข47 มีค่าเท่ากับ 0.71 และ 0.65 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวอายุอื่นๆไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ข้าวในอายุ 65 วันหลังปลูก มีแนวโน้มว่ากรณีข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์กข47 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากที่สุดเท่ากับ 1.36 และ 1.28 ตามลำดับ

แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตรา 400 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าข้าวทั้ง 9 พันธุ์มีค่าดัชนีพื้นที่ใบไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่มีพบว่าข้าวพันธุ์ข41 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบทุกระยะการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ที่อายุ 100 วันหลังปลูกพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ โดยมีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากที่สุดเท่ากับ 8.39 (ตารางที่ 4.26)

ตารางที่ 4.25 ผลการใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	ดัชนีพื้นที่ใบ ที่อายุ (วันหลังปลูก) ^{1/}			
	65	79	93	107
กข41	0.54	0.58	0.40	0.43ab
กข47	1.28	0.96	0.70	0.65a
ชัยนาท 1	0.77	1.08	0.43	0.21b
ปทุมธานี 1	1.36	0.89	0.37	0.61a
ปทุมธานี 80	0.85	0.98	0.51	0.60a
พิษณุโลก 2	0.85	1.07	0.64	0.72a
สุพรรณบุรี 1	0.66	0.43	0.31	0.71a
สุพรรณบุรี 2	0.70	0.61	0.37	0.55ab
สุพรรณบุรี 3	0.65	0.35	0.47	0.45ab
F-test	ns	ns	ns	**
C.V. (%)	47.26	50.18	42.86	32.42

ns, ** = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ผลการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	ดัชนีพื้นที่ใบที่อายุ (วันหลังปลูก)			
	72	86	100	114
กข41	3.05	2.85	6.56	3.35
กข47	3.19	2.50	6.23	4.78
สุพรรณบุรี 3	2.67	3.28	3.67	2.91
ชัยนาท 1	2.93	1.85	2.83	2.96
ปทุมธานี 1	2.54	1.68	5.15	4.23
ปทุมธานี 80	2.20	2.10	3.13	5.46
พิษณุโลก 2	1.73	1.47	8.39	2.02
สุพรรณบุรี 1	2.99	3.18	3.84	3.89
สุพรรณบุรี 2	2.34	2.63	3.33	3.86
สุพรรณบุรี 3	2.67	3.28	3.67	2.91
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. %	58.84	36.39	56.49	45.48

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 4.27 ผลการศึกษาอิทธิพลของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อระยะการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวที่อายุ 51 วันหลังปลูก ให้น้ำหนักแห้งรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุดเท่ากับ 8.02 กรัมต่อกอ รองลงมาคือข้าวพันธุ์กข41, กข47, ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 2 ให้น้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 6.37, 6.37, 6.08 และ 5.66 กรัม/กอ ตามลำดับ และได้พบว่าข้าวที่อายุ 86 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุดเท่ากับ 12.62 กรัมต่อกอ รองลงมาคือข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 10.46 และ 10.44 กรัมต่อกอ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.27 ผลการใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/กอ) ที่อายุ (วันหลังปลูก) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
กข41	2.67	4.22	6.37ab	10.32	9.05	7.32bc	9.02	16.71
กข47	3.18	3.06	6.37ab	8.72	14.75	9.30abc	11.24	13.29
ชัยนาท 1	2.99	4.17	6.08ab	11.44	16.76	7.22bc	7.88	8.01
ปทุมธานี 1	3.18	5.06	8.02a	10.11	18.13	10.44ab	7.73	13.30
ปทุมธานี 80	2.72	3.76	5.09abc	12.29	15.75	10.46ab	9.84	17.77
พิษณุโลก 2	2.67	2.69	4.40abc	14.30	10.62	12.62a	6.57	16.21
สุพรรณบุรี 1	1.32	2.33	2.01c	6.26	12.41	8.66abc	8.23	9.49
สุพรรณบุรี 2	2.01	3.12	5.66ab	6.88	12.10	6.31bc	5.42	14.68
สุพรรณบุรี 3	1.71	2.85	3.20bc	7.85	8.93	5.32c	8.81	18.70
F-test	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
C.V.%	46.11	44.12	43.06	44.44	48.92	30.30	40.42	38.97

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยวิธี DMRT

ผลการศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลต่อระยะการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวช่วงที่อายุ 86 วันหลังปลูก ให้น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ที่ให้น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินมากที่สุดคือ สุพรรณบุรี 1 เท่ากับ 5.31 กรัมต่อกอ รองลงมาคือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 เท่ากับ 4.61 กรัมต่อกอ และพันธุ์ข้าวที่ให้น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินน้อยที่สุดคือข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 เท่ากับ 2.32 กรัมต่อกอ ช่วงที่อายุ 100 วันหลังปลูก ให้น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินมี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ที่ให้น้ำหนักแห้งมากที่สุดคือข้าวพันธุ์ข47 เท่ากับ 6.23 กรัมตอกอ รองลงมาคือข้าวพันธุ์ข41 เท่ากับ 5.89 กรัมตอกอ และพันธุ์ข้าวที่ให้น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดคือ ชัยนาท 1 เท่ากับ 3.47 กรัมตอกอ (ตารางที่ 4.28)

ผลการศึกษาของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ต่อการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ที่มีความแตกต่างกันในลักษณะทางพันธุกรรม ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าข้าวที่อายุ 114 วันหลังปลูก ข้าวส่วนใหญ่มีการตอบสนองต่อการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยข้าวมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้านการพัฒนาพื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ค่อนข้างชัดเจน พืชจะเจริญเติบโตได้นั้นต้องอาศัยใบเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ในการรับและสังเคราะห์แสง ผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงคือ น้ำหนักแห้ง ดัชนีพื้นที่ใบและ Muchow และคณะ (1990) กล่าวว่าปริมาณแสงที่พืชได้รับมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับดัชนีพื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง ผลการศึกษายังพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะออกดอก-เก็บเกี่ยว สูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่ง CGR มีความสำคัญต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของข้าว แต่กลับพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ไม่ใช่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด

จากการศึกษาผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ต่อการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการตอบสนองต่ออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ดีทางด้านความสูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่นแล้ว พบว่าข้าวพันธุ์อื่นมีการตอบสนองต่ออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ทางด้านอัตราการเจริญเติบโต และการสะสมน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ยกเว้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ให้อัตราการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจมีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีการตอบสนองต่ออนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในระดับต่ำ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กับข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 แต่ใช้ได้ดีกับข้าวไม่ไวแสงสายพันธุ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการใส่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์

พันธุ์	น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน (กรัม/กอ) ที่อายุ (วันหลังปลูก) ^{1/}							
	37	44	51	58	72	86	100	114
กข41	2.22	2.79	3.36	2.22	3.65	3.24bc	5.89a	7.61
กข47	1.27	2.24	2.16	1.27	3.00	3.56abc	6.23a	6.32
ชัยนาท 1	1.39	1.96	3.00	1.39	2.42	3.22bc	3.47c	6.50
ปทุมธานี 1	0.98	1.17	2.24	0.98	2.74	2.62c	3.68bc	5.89
ปทุมธานี 80	1.58	1.91	3.09	1.58	3.18	2.32c	4.18abc	7.73
พิษณุโลก 2	1.02	1.71	2.25	1.02	2.92	3.36bc	4.38abc	5.01
สุพรรณบุรี 1	1.38	1.85	2.94	1.38	5.22	5.31a	5.84a	7.68
สุพรรณบุรี 2	1.55	1.72	2.62	1.55	3.93	4.61ab	4.59abc	7.53
สุพรรณบุรี 3	1.32	1.97	3.03	1.32	3.56	3.96abc	5.77ab	4.89
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
C.V. %	48.80	33.56	30.24	48.80	42.49	31.47	26.47	28.66

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยวิธี DMRT

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ใบ พบว่าพื้นที่ใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเฉลี่ยข้าวพันธุ์กข47 มีพื้นที่ใบมากที่สุด และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และชัยนาท 1 มีพื้นที่ใบน้อยที่สุด โดยพื้นที่ใบจะบ่งบอกถึงพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงของพืช และดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จะบ่งบอกพื้นที่ในการรับแสงของพืช ถ้าพืชมีการสังเคราะห์แสงได้มากก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยทั่วไปพืชที่มี CGR สูงย่อมให้น้ำหนักแห้งสูงด้วย (เฉลิมพล, 2542) เมื่อดูอัตราการเจริญเติบโตพบว่าในช่วงวันปลูกถึงระยะออกดอก ข้าวพันธุ์กข41 มี CGR ที่สูง และมีการสะสมน้ำหนักแห้งที่สูง แต่ในระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยวพบว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอัตราการเจริญเติบโตสูง และมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงที่สุด สอดคล้องกับ พรเพ็ญ และนิตยา (2554)

ว่าอัตราการเจริญเติบโตระยะหลังออกดอกมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุด แต่ผลการศึกษาพบว่าการปลูกข้าวพันธุ์ 47 เป็นพันธุ์ที่มีพื้นที่ใบสูง แต่กลับมีอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักรากต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวพันธุ์ 47 แม้ว่าจะมีพื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบมาก แต่มีการเรียงตัวของใบไม่เหมาะสมจึงอาจจะก่อให้เกิดการบังแสง เมื่อใบล่างไม่ได้รับแสง ส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงต่ำ อัตราการเจริญเติบโต และการสะสมน้ำหนักรากจึงต่ำไปด้วย

4.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์

ผลผลิต (Yield)

ตารางที่ 4.29 แสดงจำนวนรวงต่อกอของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าจำนวนรวงต่อกอนั้น มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ในข้าวแต่ละสายพันธุ์ โดยจะพบจำนวนรวงต่อกอมากที่สุดในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ที่ 31.00 และ 34.00 รวงต่อกอ ตามลำดับ ขณะที่ข้าวพันธุ์อื่นไม่พบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนรวงต่อกอในอีก 8 สายพันธุ์

ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคติน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.30 พบว่าปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในเมล็ดข้าว 9 สายพันธุ์ที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น ไม่พบแตกต่างของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในเมล็ดข้าวแต่ละสายพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินมาตรฐาน (กรมการข้าว, 2559) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์จึงไม่ส่งผลต่อคุณภาพและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว เมื่อศึกษาจากการสะสมปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในเมล็ดข้าวที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ผลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อจำนวนรวงต่อกอของข้าวไม่ไวแสง 9 พันธุ์ ที่ระยะเก็บเกี่ยว

พันธุ์ข้าว	จำนวนรวงต่อกอ ^{1/}	
	ZnO	TiO ₂
กข41	25.25b	26.00b
กข47	26.00b	25.50b
ชัยนาท 1	26.00b	27.00b
ปทุมธานี 1	31.00a	34.00a
ปทุมธานี 80	27.75a	27.00b
พิษณุโลก 2	27.00b	26.25b
สุพรรณบุรี 1	27.00b	27.25b
สุพรรณบุรี 2	30.50a	26.00b
สุพรรณบุรี 3	28.00b	29.00ab
F-test	*	*
C.V. %	12.75	17.77

ns, * = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ผลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการสะสมปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินของเมล็ดข้าวไม่วาสง 9 พันธุ์

พันธุ์ข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)		ปริมาณอะไมโลแพคติน (%)		กรรมกรข้าว	
	ZnO	TiO ₂	ZnO	TiO ₂	ปริมาตรอะไมโลส มาตรฐาน (%)	ปริมาตรอะไมโลแพคติน มาตรฐาน (%)
กข41	25.25	26.00	74.75	74.00	25-27	73-75
กข47	26.00	25.50	74.00	74.50	25-27	73-75
ชัยนาท 1	26.25	26.00	73.75	74.00	25-27	73-75
ปทุมธานี1	12.75	12.50	87.25	87.50	12-14	84-88
ปทุมธานี 80	27.75	27.00	72.25	73.00	26-28	72-74
พิษณุโลก 2	27.00	27.25	73.00	72.75	26-28	72-74
สุพรรณบุรี 1	27.00	27.25	73.00	72.75	26-28	72-74
สุพรรณบุรี 2	27.00	27.50	73.00	72.50	26-28	72-74
สุพรรณบุรี 3	28.00	27.00	72.00	73.00	26-28	72-74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้โดยใช้ค่าสถิติในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$ และ $P < 0.05$ ซึ่งหลายการทดลองจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของอนุภาคนาโน (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์) และความเข้มข้นของอนุภาคนาโน (100, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งทางด้านสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยทางด้านผลผลิต

และเมื่อทำการศึกษาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และปริมาณผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง 9 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข41, พันธุ์กข47, พันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์ปทุมธานี 80, พันธุ์พิษณุโลก 2, พันธุ์สุพรรณบุรี 1, พันธุ์สุพรรณบุรี 2 และสุพรรณบุรี 3 โดยทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันของปัจจัยต่างๆ ทั้งทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และปริมาณผลผลิตในข้าวไม่ไวแสงแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์กับการเพาะปลูกข้าวนั้น มีความจำเพาะทั้งทางด้านชนิดของวัสดุนาโน และความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าวแต่ละสายพันธุ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาในระดับแปลงทดลองจึงมีค่าความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุมไม่ได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น สภาพอากาศ เป็นต้น จึงควรที่จะทำการทดลองในช่วงสภาพอากาศหรือฤดูกาลที่แตกต่างกัน และความเพิ่มเติมในข้าวสายพันธุ์อื่นๆ โดยเฉพาะข้าวสายพันธุ์ที่ไวแสง หรือข้าวสายพันธุ์เศรษฐกิจต่อไปในอนาคต รวมถึงควรมีการวัดปริมาณการสะสมของ Zn^{+} และ Ti^{+} ภายในเมล็ดข้าว เพื่อตรวจสอบปริมาณไอออนดังกล่าวที่มีการตกค้างในเมล็ดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว.2559 . องค์ความรู้เรื่องข้าว.กรมการข้าว, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. Available from: URL: <http://www.brrd.in.th/rkb>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2558
- ความรู้เกี่ยวกับข้าว.2558. พันธุ์ข้าว, มุลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. Available from: URL: <http://www.thairice.org/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2558.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 284 หน้า.
- พรเพ็ญ สมจิตร และนิตยา ผกามาศ. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่าง ๆ และผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29 (3-1): 51-57.
- ยอดหทัย เทพธรรานนท์ และ ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. **นาโนเทคโนโลยี : เทคโนโลยีซูเปอร์จิ๋ว**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2547. 102 หน้า.
- วงษ์จันทร์ วงศ์แก้ว. 2535. **หลักสรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 157 หน้า.
- วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557. ความรู้เกี่ยวกับนาโน. Available from: URL : <http://www.nano.kmitl.ac.th/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. **สรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 121 หน้า.
- สุพิณ แสงสุข. 2550. องค์ความรู้เรื่องไทเทเนียมไดออกไซด์ 2550. Available from: URL: <http://www.theorganicmakeupcompany.com/CA/titnaniumdioxide.asp>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2558. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Aebi, H. Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology. 105. (1984) p. 121-126.
- Akita, S. Improving yield potential in rice. International Rice Research Institute, (1989) p. 41-73.
- Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka. Case studies on high yield of papdy rice in Jiangsu Province, China: I. Characteristics of grain production. Jpn. J. Crop Sci. 62(2). (1993) p. 267-274.

- Austin, R., B.J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan and M. Taylor. Genetic improvement in winter wheat yield since 1990 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci. (Camb.)*. 94. (1980) p. 675-689.
- Beffa, R., H.V. Martin and P.E. Pilet. In vitro oxidation of indoleacetic acid by soluble auxin-oxidases and peroxidases from maize root. *Plant Physiology*. 94. (1990) p. 485-491.
- Benzie, I.F. Evolution of dietary antioxidants. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*. 136(1). (2003) p. 113-26.
- Boonyanitipong, P., P. Kumar, B. Kositsup, S. Baruah and J. Dutta. Effects of zinc oxide nanoparticles on roots of rice (*Oryza Sativa* L.). *International Conference on Environment and Bioscience*. 21. (2011).
- Calderini, D.F., M.F. Dreccer and G.A. Slafer. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Field Crop. Res.* 52. (1997) p. 271-281.
- Huanga, Y.C., R. Fanc, M.A. Grusak, J.D. Sherriera, C.P. Huang, Effects of nano-ZnO on the agronomically relevant *Rhizobium-legume* symbiosis. *Science of the total environment*. 497-498. (2014) p. 78-93.
- Evans, L.T., Visperas, R.M. and Vergara, B.S. Morphological and physiological changes among rice varieties used in the Philippines over the last seventy years. *Field Crops Res.* 8. (1984) p. 105 -125.
- Gupta, D.K., H.G. Huang, F.T. Nicoloso, M.R. Schetinger, J.G. Farias, T.Q. Li, B.H. razafindrabe, N. Aryal, M. Inouhe, Effect of Hg, As and Pb on biomass production photosynthetic rate, nutrients uptake and phytochelatin induction in *Pfaffia glomerata*. *Ecotoxicology*. 22. (2013) p. 1403-1412.
- Horie, T., I. Lubis, T. Takai, A. Ohsumi, K. Kuwasaki, K. Katsura and A. Nii. Physiological traits associated with high yield potential in rice. *IRRI*. (2003) p. 117-145.
- Jeana, G., **Pigments in vegetables**. United States of America. (1991).
- Jiang, C.Z., T. Hirasawa and K. Ishihara. Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants. I. Yield and dry matter production. *Jpn. J. Crop Sci.* 57. (1988) p. 132-138.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Yang F., Liu C., Gao F., Su M., Wu X., Zheng L., Hong F., Yang P. The Improvement of spinach growth by nano-anatase TiO₂ treatment is related to nitrogen photoreduction. *Biol. Trace Elem. Res.* 119. (2007) p. 77-88.
- Lichtenthaler, H.K., Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Method Enzymol.* 148. (1987) p. 350-382.
- Liua, K., L. Shena, J. Shenga, Improvement in cadmium tolerance of tomato seedling with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-ccarboxylate synthase. *J. Plant Nutr.* 31. (2008) p. 809-827.
- Lin, D. and B. Xing.. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environ. Pollut.* 150. (2007) p. 243-250.
- Mohammad, S., H. Mitra and G. Sahar. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of seeds under drought stress. *Ann. West Uni. Timisoara, Biol.* 16(2). (2013) p. 73-78.
- Murchie, E.H., J. Yang, S. Hubbart, P. Horton and S. Peng. Are there associations between grain filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice?. *J. Exp. Bot.* 53. (2002) p. 2217-2224.
- Mustafa, G., S. Komatsu, Toxicity of heavy metals and metal – containing nanoparticles on plant. *Biochi. Biophys. Acta.* 1864. (2016) p. 932-944.
- Radford, P.J., Growth analysis formulae their use and abuse. *Crop Sci.* 7 (1967) p. 171-175.
- Saitoh, K., H. Shimoda and K. Ishihara. Characteristics of dry matter production process in high-yield rice varieties. VI. Comparisons between new and old rice varieties. *Jpn. J. Crop Sci.* 62. (1993) p. 509-517.
- Schutzendubel, A., A. Polle, Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J. Exp. Bot.* 53. (2002) p. 1351-1365.
- Sedghl, M., M. Hadi and S.G. Toluie. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seed under drought stress. *Ann. West Uni. Timisoara, Biol.* 16(2). (2013) p. 73-78.
- Siddique, K.H.M., R.K. Belford, M.W. Perry and D. Tennant. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 40. (1989) p. 473-487.

Shabala, S.N., S.I. Shabala, A.I. Martynenko, O. Babourina and A.I. Newman. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na⁺ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. *Aus. J. Plant Physiol.* 25. (1998) p. 609-616.

Takai, T., S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shaiwa and T. Horie. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. *Field Crops Res.* 96. (2006) p. 328-335.

Takeda, T., M. Oka and W. Agata.. Studies on the dry matter and grain production between old and new types of rice cultivars. *Jpn. J. Crop Sci.* 52. (1983) p. 299-306.

Thuesombat, P., S. Hannongbua, S. Akasit and S. Chadchawan. Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth. *Ecotoxic. Environ. Safe.* 104. (2014) p. 302-309.

Yoshida, S. Physiological aspects of grain yield. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 23. (1972) p. 437-464.

Yoshida, S. **Fundamental of Rice Crop Science**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, (1981) 296 p.

[online]. Availabel

http://en.wikipedia.org/wiki/File:UVVIS_spectrum_of_bisulphide_in_sewage.jpg

[online]. Availabel

http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/UV_Vis/Cary50.htm

[online]. Availabel

<http://th.aliexpress.com/w/wholesale-nano-oxides.html>

[online]. Availabel

<http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html>

[online]. Availabel

http://www.ehow.com/info_8552996_vegetable-fruit-sources-catalase.html

[online]. Availabel

<http://www.bangkokhighlab.com/>

[online]. Availabel

<http://www.indonetwork.co.id/>

[online]. Availabel

http://www.merittech.co.th/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=201234

[online]. Availabel

<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/02/090223131123.htm>

[online]. Availabel

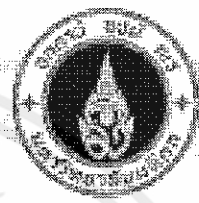
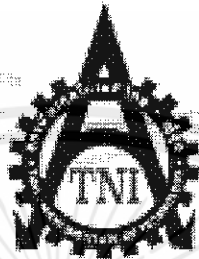
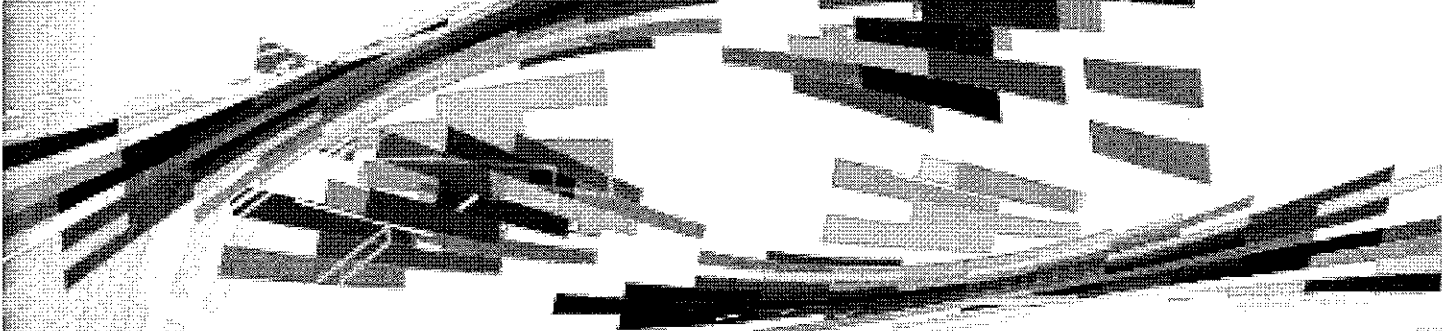
<http://www.siamchemi.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



JCREN 2014

The 3rd Joint Conference on
Renewable Energy and
Nanotechnology

Abstract Book

21-23 December 2014

MAHIDOL UNIVERSITY, KANCHANABURI CAMPUS
KANCHANABURI, THAILAND

JCREN 2014

สงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-organized by



Sponsored by



Evaluating the effect of zinc oxide nanoparticles on the physiological responses of Thai rice (*Oryza sativa* L.)

Sutichai Samart¹, Nittaya Phakamas², Sutee Chutipaijit*¹

¹ College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, KingMongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

* Corresponding author: e-mail: natadee24@hotmail.com

Abstract

Toxicity and the effect of nanoparticles on growth and metabolites have been reported in previous studies, but knowledge of the potential impacts of physiological responses is still unclear. Therefore, this study focuses on the effect of exposure of zinc oxide (ZnO) nanoparticles on photosynthetic pigments (chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoid) and antioxidant enzymes (catalase and peroxidase) in Thai rice plants. Rice plants were treated with ZnO nanoparticles using different concentrations i.e., 0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹ for every 7 days-interval. Rice plants were sampled at 37, 44 and 51 days after planting for evaluation of the toxicity of ZnO nanoparticles. The results showed that all concentration of ZnO nanoparticles caused toxicity, as determined by the reduction of photosynthetic pigment contents. The activities of antioxidant enzymes protected plant cell when exposed to the toxicity of ZnO nanoparticles. This study demonstrated that using high concentration of ZnO nanoparticles to Thai rice exert harmful effects to photosynthetic pigments higher than using low and moderate concentrations. The results indicated that accumulation of antioxidant enzyme activities could protect significant damage to photosynthetic pigments in plant cells. The results suggested that further studies, evaluating effects of ZnO nanoparticles in increasing or decreasing of seed yield of Thai rice will be required. **Keywords:** Antioxidant enzyme, Photosynthetic pigment, Rice, ZnO nanoparticle

1. Introduction

Nanoparticles have been shown to have higher and unique toxicity than their corresponding bulk materials [1]. The chlorophyll concentration usually is a good indicator of plant nutrient stress, photosynthesis and growing periods. The contents of chlorophyll in the plant leave indicate the growth status of the crops. Since ZnO nanoparticles is among the most toxic metal oxides nanoparticles and has been used widely in personal care products, ultimately, ZnO nanoparticles can enter the environment and reach the agricultural soil system during uses. The previous researchers have been studied the impact of ZnO nanoparticles on a number of plants and reported that ZnO nanoparticles could affect plant development and seed germination [2, 3]. In *Lolium perenne*, considerable effects of ZnO nanoparticles in the root epidermis and cortex, with internalization of nanoparticles in the endodermal and vascular tissues were observed [4]. Given the notable inconsistency among the studies assessing phytotoxicity of nanoparticles and the lack of understanding of whether alterations might occur in the cellular morphology of the vital structures [6-7].

In the present experiment, an attempt was made to unravel the ZnO nanoparticle stress induced activation of defense mechanism of monocot model plant; rice (*Oryza sativa* L.). In addition, the rice plants were treated with ZnO nanoparticles (0-800 mg.L⁻¹) and determined antioxidant enzyme activities (catalase and peroxidase) and photosynthetic pigment contents (chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoid). To our best knowledge, this study is the endeavor in dissecting ZnO nanoparticle stress in rice plants.

2. Experimental

2.1 The plant materials, treatments and sample collections

Rice seeds (*Oryza sativa* cv. Chainat1) were used as plant material for the present investigation. Seeds were germinated in distilled water for 2 days at room temperature. The germinated seeds were transferred to pots containing a mixture of soil:sand in a proportion 2:1 (v/v). Plants were irrigated daily with 15 L water. Four-week-old plants were irrigated with water supplement with different concentrations i.e., 0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹ ZnO nanoparticles (Zinc oxide, <50 nm particle size, Global Chemical Co., LTD, Thailand) for every 15 days. Rice plants were harvested at 37, 44 and 51 days after planting and then stored at -80 °C until further analysis.

2.2 Effect of ZnO nanoparticles on photosynthetic pigments

Photosynthetic pigments: The chlorophyll A (Chl_A), chlorophyll B (Chl_B) and the total carotenoids (Car) concentrations (mg.g⁻¹ FW) were measured according to the method of Lichtenthaler (1999) and Shabala et al. (1999) [8, 9].

2.3 Effect of ZnO nanoparticles on antioxidant enzyme activities

The antioxidant enzyme activities (catalase and peroxidase enzyme) were performed according to the method of Aebi (1984) and Beffa et al. (1990) [10, 11].

2.4 Statistical Analysis

The results were shown the mean values ±standard deviation (S.D.) of three independent experiments (n=3) and arranged in a Completely Randomized Design (CRD). The data for various parameters were analyzed using Mstat software (Mstat for Windows, V. 1.42, Michigan State University, USA).

3. Results and Discussion

3.1 Effect of ZnO nanoparticles on photosynthetic pigments

In order to examine the effect of ZnO nanoparticles in Thai rice plants (*Oryza sativa* cv. Chainat1), the photosynthetic pigment contents (Chl_A, Chl_B and Car) were determined in this research. After 37 days treatment in ZnO nanoparticles (100-800 mg.L⁻¹), Chl_A, Chl_B and Car contents were found to be change (58-84%, 73-106% and 58-84%, respectively when compared to the control plants). Rice plants were exposed to the continuous application of 400-800 mg.L⁻¹ ZnO nanoparticles (high concentration) showed significantly decrease 61-80%, 65-95% and 71-80% in the Chl_A, Chl_B and Car contents, respectively (at 44 and 51 days). Whereas, rice plants were subjected to 100-200 mg.L⁻¹ ZnO nanoparticles (low concentrations) presented non-significantly change contents of Chl_A, Chl_B and Car (Table 1). The results indicated that the concentration and period of metal nanoparticles in plants did limit the photosynthetic pigment contents as well as plant growth and has also been reported to several plants [12, 13].

3.2 Effect of ZnO nanoparticles on antioxidant enzyme activities

We investigated the effect of ZnO nanoparticles on the antioxidant enzyme activities of the Thai rice plants (Chainat1 cultivar). We compared the antioxidant enzyme activities of the treated plants and non-treated plants respond to ZnO nanoparticle treatments. Rice plants grown for 37, 44 and 51 days with various concentrations (100-800 mg.L⁻¹) of ZnO nanoparticles were observed the dynamic changes of catalase and peroxidase enzyme activities. The results showed that the activities of catalase enzyme in the treated plants were significantly decreased more than the non-treated plants (40-81%). After 37, 44 and 51 days treatments, 82-105% of the peroxidase activities were retained in the treated plants when compared to the non-treated plants (Table 2). These results indicated that the high levels of peroxidase activities in treated plants might help to scavenge toxic levels of reactive oxygen species induced by ZnO nanoparticles, and to improve tolerance of plants. Peroxidase enzyme has been found to play a key role in the oxidative-scavenging enzymes with environmental stress [14-16].

Table 1 Effect of different concentrations of ZnO nanoparticles (0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹) on the chlorophyll A (Chl_A), chlorophyll B (Chl_B) and carotenoid (Car) contents of rice plants.

Treatments (mg.L ⁻¹)	Chl _A (mg.L ⁻¹)			Chl _B (mg.L ⁻¹)			Car (mg.L ⁻¹)		
	37 days	44 days	51 days	37 days	44 days	51 days	37 days	44 days	51 days
0	24.66 ±1.05ab	25.32 ±1.68ab	23.29 ±0.97ab	4.77 ±1.55a	5.27 ±1.67a	5.49 ±0.38a	24.66 ±1.05ab	21.85 ±6.58a	25.35 ±3.56a
100	19.03 ±1.85b	18.43 ±1.79b	17.93 ±0.91bc	4.79 ±1.32a	4.96 ±1.32a	5.22 ±0.29a	19.03 ±1.85b	18.43 ±1.79a	17.93 ±0.91a
200	20.63 ±1.69b	19.98 ±1.64b	19.55 ±1.41b	5.05 ±0.28a	5.21 ±0.28a	5.50 ±0.43a	20.62 ±1.69b	19.98 ±1.64a	18.88 ±1.76a
400	15.65 ±0.52c	16.94 ±2.98b	18.57 ±1.68b	3.64 ±0.14a	3.81 ±0.14a	5.20 ±0.48a	15.64 ±0.52c	16.94 ±2.98a	20.25 ±3.43a
600	14.56 ±1.05c	16.66 ±5.14b	17.01 ±0.85bc	3.49 ±0.29a	3.44 ±0.45a	4.97 ±0.38a	14.56 ±1.05c	16.66 ±5.14a	19.72 ±0.75a
800	14.32 ±0.20c	15.51 ±1.08b	15.60 ±0.55c	3.46 ±0.83a	3.47 ±0.27a	4.89 ±0.26a	14.32 ±0.20c	15.51 ±1.08a	19.60 ±0.55a

Values show the means of three replicate ±S.D. Means followed by same letters in the column are not significant different at $P \leq 0.05$.

4. Conclusion

The results suggested that the ZnO nanoparticles were involved in plant toxicity and found to decline photosynthetic pigment contents. The high levels of peroxidase activities and levels of photosynthetic pigments (Chl_A, Chl_B and Car) in the rice plants may be correlated to their improved tolerance to ZnO nanoparticles. However, the activities of antioxidant enzymes could be delayed senescence rice plant from the toxicity of ZnO nanoparticles. Hence, the enhanced peroxidase activities were perhaps one of the mechanisms underlying the tolerance to ZnO nanoparticles that

observed in the treated plants and will be studied seed productivity in the future.

Table 2 Effect of different concentrations of ZnO nanoparticles (0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹) on the catalase and peroxidase enzyme activities of rice plants.

Treatments (mg.L ⁻¹)	Catalase (units)			Peroxidase (units)		
	37 days	44 days	51 days	37 days	44 days	51 days
0	102.91 ±16.07a	105.59 ±19.81a	109.06 ±5.73a	1245.57 ±18.43ab	1230.98 ±18.70a	995.69 ±10.78a
100	64.05 ±13.00b	59.45 ±10.45b	49.73 ±2.03b	976.19 ±8.97c	956.31 ±36.59bc	714.20 ±10.67b
200	83.43 ±2.95ab	81.14 ±2.70ab	63.90 ±11.83b	1332.73 ±27.76a	1298.88 ±28.96b	803.71 ±17.19ab
400	78.17 ±6.07ab	73.38 ±4.76b	44.80 ±5.61b	1192.38 ±21.13abc	1166.30 ±24.37bc	713.99 ±11.65b
600	64.81 ±2.76b	62.32 ±13.45b	43.46 ±9.83b	1010.32 ±55.61bc	1010.16 ±26.52bc	668.68 ±15.26b
800	61.40 ±16.65b	59.47 ±6.85b	42.83 ±8.61b	948.17 ±12.47c	945.43 ±18.64c	615.64 ±27.09b

Values show the means of three replicate ±S.D. Means followed by same letters in the column are not significant different at $P \leq 0.05$.

Acknowledgment

The authors are grateful to College of Nanotechnology and Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for financial support.

References

- [1] Shi, J.; Abid, A.D.; Kennedy, I.M.; Hristova, K.R.; Silk, W.K., *Environ. Pollut.*, **159**, 1277-1282 (2011)
- [2] Boonyannitipong, P.; Kossitsup, B.; Kumar, P.; Baruah, S.; Dutta, J., *Int. J. Biosci. Biochem Bioinfor.*, **1**, 282-285 (2011)
- [3] Lin, D.H.; Xing, B.S., *Environ. Pollut.*, **150**, 243-250 (2007)
- [4] Lin, D.; Xing, B., *Environ. Sci. Technol.*, **42**, 5580-5585 (2008)
- [5] Stampoulis, D.; Sinha, S.K.; White, J.C., *Environ. Sci. Technol.*, **43**, 9473-9479 (2009)
- [6] Yin, L.; Cheng, Y.; Espinasse, B.; Colman, B.P.; Auffan, M.; Wiesner, M.; Rose, J.; Liu, J.; Bernhardt, E.S. *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 2360-2367 (2011)
- [7] Lee, W.M.; Kwak, J.I.; An, Y.J., *Chemosphere*, **86**, 491-499 (2012)
- [8] Lichtenthaler, H.K., *Method Enzymol.*, **148**, 350-380 (1987)
- [9] Shabala, S.N.; Shabala, S.I.; Martynenko, A.I.; Babourina, O.; Newman, I.A., *Aust. J. Plant Physiol.*, **25**, 609-616 (1998)
- [10] Aebi, H., *Method Enzymol.*, **105**, 121-126 (1984)
- [11] Beffa, R.; Martin, H.V.; Pilet, P.E., *Plant Physiol.*, **94**, 485-491 (1990)
- [12] Shaw, A.K.; Ghosh, S.; Kalaji, H.M.; Bosa, K.; Brestic, M.; Zivcak, M.; Hossain, Z. *Environ. Exp. Bot.*, **102**, 37-47 (2014)
- [13] Wei, C.; Zhang, Y.; Guo, J.; Han, B.; Yang, X.; Yuan, J., *J. Environ. Sci.*, **22**, 155-160 (2010)
- [14] Mwaanga, P.; Carraway, E.R.; Hurk, P.V.D., *Aquatic Toxic.*, **150**, 201-209 (150)
- [15] Hao, L.; Chen, L., *Ecotoxic. Environ. Safety*, **80**, 103-110 (2012)
- [16] Hu, C.W.; Li, M.; Cui, Y.B.; Li, D.S.; Chen, J.; Yang, L.Y. *Soil Biol. Biochem.*, **42**, 586-591 (2010)



2nd International Symposium on

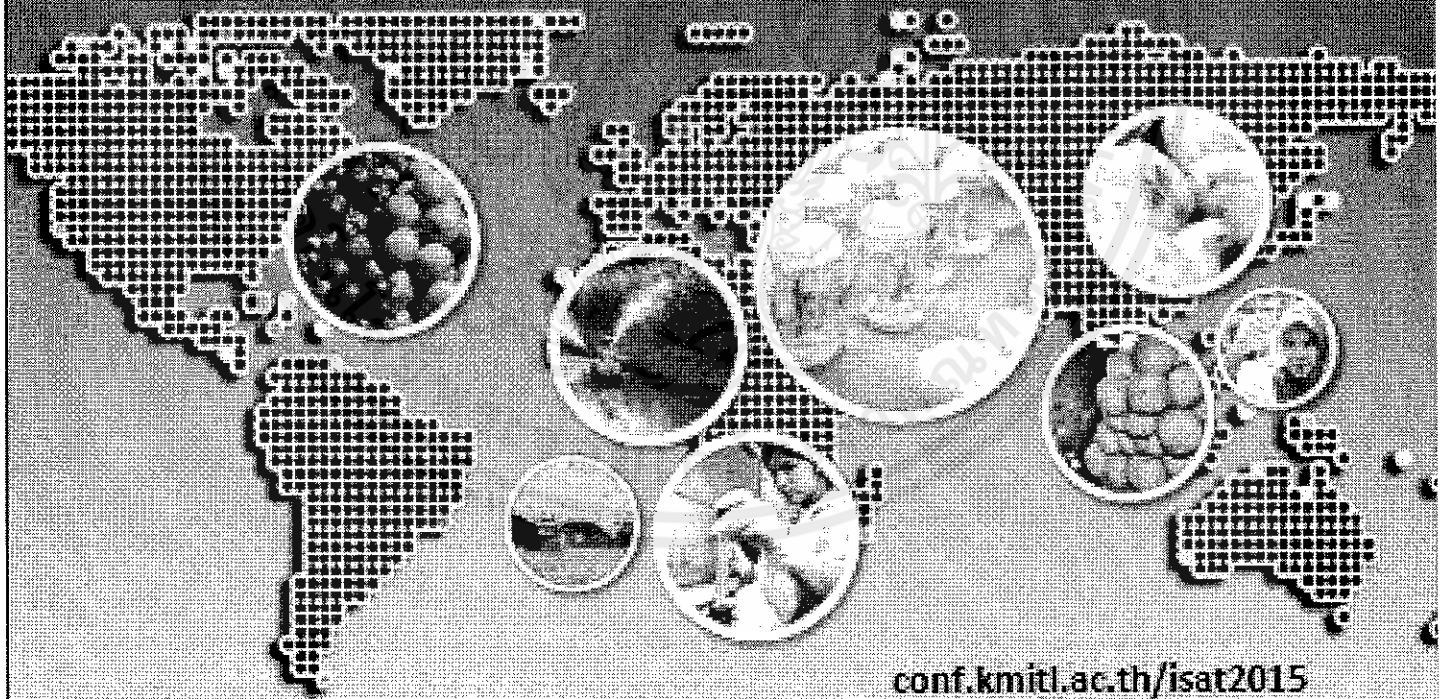
Agricultural Technology

Global Agriculture Trends for Sustainability

July 1-3, 2015

A-One The Royal Cruise Hotel
Pattaya, Thailand

Proceeding

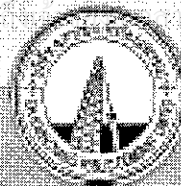


conf.kmitl.ac.th/isat2015

Organized by

Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Major Sponsors



บริษัท เอเชีย ฟีด จำกัด
ASIAN FEED CO.,LTD.

Effect of Nanoparticles on the Relationship between Crop Growth Rate and Yield of Chainat 1 Rice (*Oryza sativa* L.)

Sutichai SAMART^{1*}, Nittaya PHAKAMAS² and Sutee CHUTIPAIJIT¹

¹ College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

* Corresponding email: samarteen_oxiy@hotmail.com

ABSTRACT

Nanoparticle materials can be used in agriculture but knowledge is still limited. The objective of this study was to determine the effect of zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles on physiological traits relate to rice yield. The experiment was conducted in the field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang during February to June, 2013. Treatments were arranged in 2×5 factorials in RCBD with 3 replications. Zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles were used as the factor A. Factor B was the concentrations of nanoparticles i.e., 100, 200, 400, 600 and 800 mgL⁻¹. ZnO and TiO₂, both types nanoparticle were used for every 14-days interval until 7 days before harvesting. Crop growth rate (CGR) was recorded at two stages; during planting to flowering (0 to 58 days) and flowering to harvest (58 days to harvest). Spikelet per m², 1,000 grain weight, total dry matter, harvest index (HI) and grain yield were also collected. Analysis of variance and multiple regressions were done for all those traits. The results were found that there were significant effects of ZnO and TiO₂ nanoparticles on growth and yield of Chainat 1 rice. TiO₂ at a rate of 200-600 mg.L⁻¹ promoted greater growth and yield of Chainat 1 rice than utilizing of ZnO. CGR was significantly correlated to yield of Chainat 1 rice (R² =0.20*). Nanoparticles can promote CGR, especially, during flowering to harvest stage (58 days to harvest).

Keywords: Chainat 1 rice, Physiological traits, Nanoparticle, Crop growth rate (CGR)

Introduction

Presently, nanoparticle materials have been widely applied in agriculture in the world. Zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO₂) are metal oxide nanoparticles that have been used in agricultural research and only few studies have focused on their effects on plant growth. Boonyanitipong *et al.* (2011) reported that application of nano-ZnO stunted root length and reduced number of roots in rice (*Oryza sativa* L.), whereas nano-TiO₂ did not have significant effect. Monica and Cremonini (2009) explained that the effects of nanoparticles on the inhibition of root growth varied greatly among nanoparticles and plants, and concentration of nanoparticles was an important factor affecting the effects of nanoparticles. Zhang *et al.* (2005) indicated that the application of nano-TiO₂ could promoted seed germination and seed vigor of spinach (*Spinacia oleracea*) plant. Moreover, nano-TiO₂ could increase chlorophyll formation and photosynthetic rate, and the authors demonstrated that these physiological traits were related to dry matter accumulation during growth stage of spinach plant (Zhang *et al.*, 2005). The previous studies have revealed that nanoparticle materials may play some important role in plant growth. However, the knowledge of the effect and mechanisms of nanomaterial on plant growth and yield is still limited. In non-photoperiod sensitive rice, Somjit and Phakamas (2012) reported that crop growth rate (CGR) during flowering to

harvest stage was an important physiological trait related to rice yield as CGR is a function of photosynthetic rate, respiration losses by existing tissue and leaf area interception light, and these physiological traits affected plant growth. Therefore, the objective of this study was to determine the effects of ZnO and TiO₂ nanoparticles on physiological traits relate to yield of Chainat 1 rice cultivar.

Materials and Methods

The experiment was carried out at the experimental field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang during February to June 2013. Treatments were arranged in 2×5 factorials in RCBD with 3 replications. ZnO and TiO₂ nanoparticles were used as the factor A. Factor B included the concentrations of nanoparticles i.e., 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹. ZnO and TiO₂ were applied to the crop at 14-day intervals until 7 days before harvest. Chainat 1 rice cultivar was planted in the cement plots with diameter of 1 m and height of 0.35 m. Each plot contained 250 kg of mixed soil of loamy clay and sand in a proportion of 2:1 (v/v). The spacing was 0.2x0.2 m between rows and plants with 16 hills per a cement plot. Chemical fertilizer formula 16-20-0 of N-P-K was applied at 30 days after planting at the rate of 312.5 kg.ha⁻¹, and urea was applied at 75 days after planting at the rate of 93.8 kg.ha⁻¹. Irrigation water was monitored daily and supplied at the controlled level of 15 mm within a cement plot. CGR was recorded at two stages; during planting to flowering (0 to 58 days) and flowering to harvest (58 days to harvest). Spikelet per m², 1,000 grain weight, total dry matter, harvest index (HI) and grain yield were also collected. Analysis of variance and multiple regressions were done for all traits.

Results and Discussion

ZnO and TiO₂ nanoparticles were not significantly different for CGR during planting to flowering stage (Table 1). However, they were significantly different ($P \leq 0.01$) for CGR during flowering to harvest stage, and CGR of application TiO₂ (10.73 g m⁻² d⁻¹) were significantly higher than ZnO (9.34 g m⁻² d⁻¹). Concentrations of nanoparticles were significantly different ($P \leq 0.01$) for CGR during planting to flowering stage, whereas they were not significantly different at flowering to harvest. Application at a rate of 800 mg L⁻¹ gave the highest CGR (3.30 g m⁻² d⁻¹) followed by 100 mg L⁻¹ (2.58 g m⁻² d⁻¹), 600 mg L⁻¹ (2.26 g m⁻² d⁻¹), 200 mg L⁻¹ (1.72 g m⁻² d⁻¹) and 400 mg L⁻¹ (1.69 g m⁻² d⁻¹), respectively. However, only the rate of 800 mg L⁻¹ was significantly higher than the others. Nanoparticles at all concentrations, when they were separately applied to the crop, were not significantly different for CGR during flowering to harvest stage. The interactions between nanoparticles and concentrations were not significant for CGR at both growth stages.

ZnO and TiO₂ were significantly different ($P \leq 0.01$) for total dry matter, but they were not significantly different for grain yield. TiO₂ produced 136.85 g.plant⁻¹ of average total dry matter, which was significantly higher than ZnO (124.07 g.plant⁻¹). The concentrations of nanoparticles when considered as main effect and combination were not significantly different for total dry matter, and the interactions between type of nanoparticles and concentration were not significant for total dry matter.

Types and concentrations of nanoparticles were not significantly different for grain yield, and the interaction between type and concentration was not significant for this trait. However, there was a tendency that application of TiO₂ at the rate of 200-600 mg.L⁻¹ promoted greater grain yield of Chainat 1 rice than ZnO.

Table 1 Effect of nanoparticles on crop growth rate (CGR) at different growth stages, total dry matter and grain yield of Chainat 1 rice cultivar.

Treatments	CGR (g m ⁻² d ⁻¹) at each stage		Total dry matter (g.plant ⁻¹)	Grain yield (g.plant ⁻¹)
	Planting to flowering	Flowering to harvest		
Nanoparticles (A)				
ZnO	2.39	9.34b	124.07b	40.00
TiO ₂	2.23	10.73a	136.85a	45.34
Concentrations (B)				
100 mg L ⁻¹	2.58ab	9.18	124.40	37.78
200 mg L ⁻¹	1.72b	10.18	125.55	41.64
400 mg L ⁻¹	1.69b	10.37	127.37	45.81
600 mg L ⁻¹	2.26b	10.95	139.57	45.95
800 mg L ⁻¹	3.30a	9.48	135.40	42.17
A x B				
ZnO x 100 mg L ⁻¹	2.61	9.09	123.78	37.52
ZnO x 200 mg L ⁻¹	1.94	9.12	116.86	38.81
ZnO x 400 mg L ⁻¹	1.86	9.04	115.21	40.72
ZnO x 600 mg L ⁻¹	2.05	11.03	138.06	40.77
ZnO x 800 mg L ⁻¹	3.51	8.41	126.45	42.18
TiO ₂ x 100 mg L ⁻¹	2.55	9.27	125.02	38.04
TiO ₂ x 200 mg L ⁻¹	1.50	11.24	134.24	44.48
TiO ₂ x 400 mg L ⁻¹	1.52	11.71	139.53	50.91
TiO ₂ x 600 mg L ⁻¹	2.48	10.87	141.09	51.13
TiO ₂ x 800 mg L ⁻¹	3.09	10.54	144.35	42.16
F-test				
A	ns	**	*	ns
B	**	ns	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	23.68	12.78	11.50	16.74

ns = non significantly different

*, ** = significantly different at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$, respectively

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT

CGR during flowering to harvest stage was significantly correlated with grain yield of Chainat 1 rice ($R^2 = 0.20^*$; $P \leq 0.05$) (Figure 1). Multiple regression analysis identified that CGR was important physiological trait related to grain yield of Chainat 1 rice cultivar. Similarly results were reported by Somjit and Phakamas (2012) who indicated that CGR during flowering to harvest stage was important and related to rice yield of non-photoperiod sensitive rice.

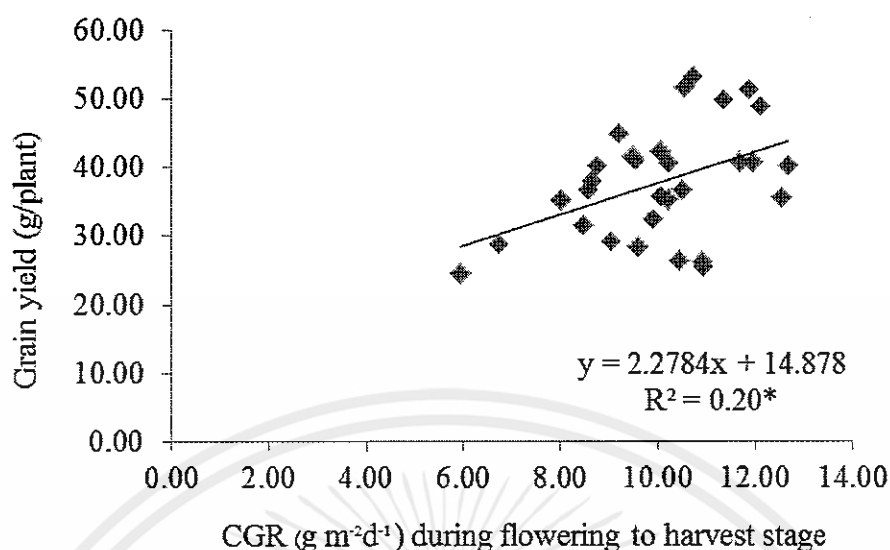


Figure 1 Relationship between CGR during flowering to harvest stage and yield of Chainat 1 rice cultivar.

Conclusion

The results of this study can be concluded that there were significant effects of ZnO and TiO₂ nanoparticles on CGR during flowering to harvest stage and total dry matter of Chainat 1 rice. TiO₂ at a rate of 200-600 mg L⁻¹ promoted greater growth and yield of Chainat 1 rice than utilizing of ZnO. CGR was substantially correlated to yield of Chainat 1 rice ($R^2 = 0.20^*$). Nanoparticles can promote CGR especially during flowering to harvest stage (58 days to harvest), and CGR is an important physiological trait that contributed yield of Chainat 1 rice cultivar.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for financial support, and also thank the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for experimental field and field equipments supporting.

References

- Boonyanitipong, P., B. Kositsup, P. Kumar, S. Baruah, and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and TiO₂ nanoparticles on germinating rice seed *Oryza sativa* L. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 4: 282-285.
- Monica, R. C. and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62: 161-165.
- Somjit, P. and N. Phakamas. 2012. Relationship between crop growth rate at different stages and yield in non-photoperiod sensitive rice variety (in Thai). King Mongkut's Agricultural Journal 29: 51-57.
- Zhang, L., Hong F., Lu S., and C. Liu. 2005. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of Spinach. Biological Trace Element Research 105: 83-91.

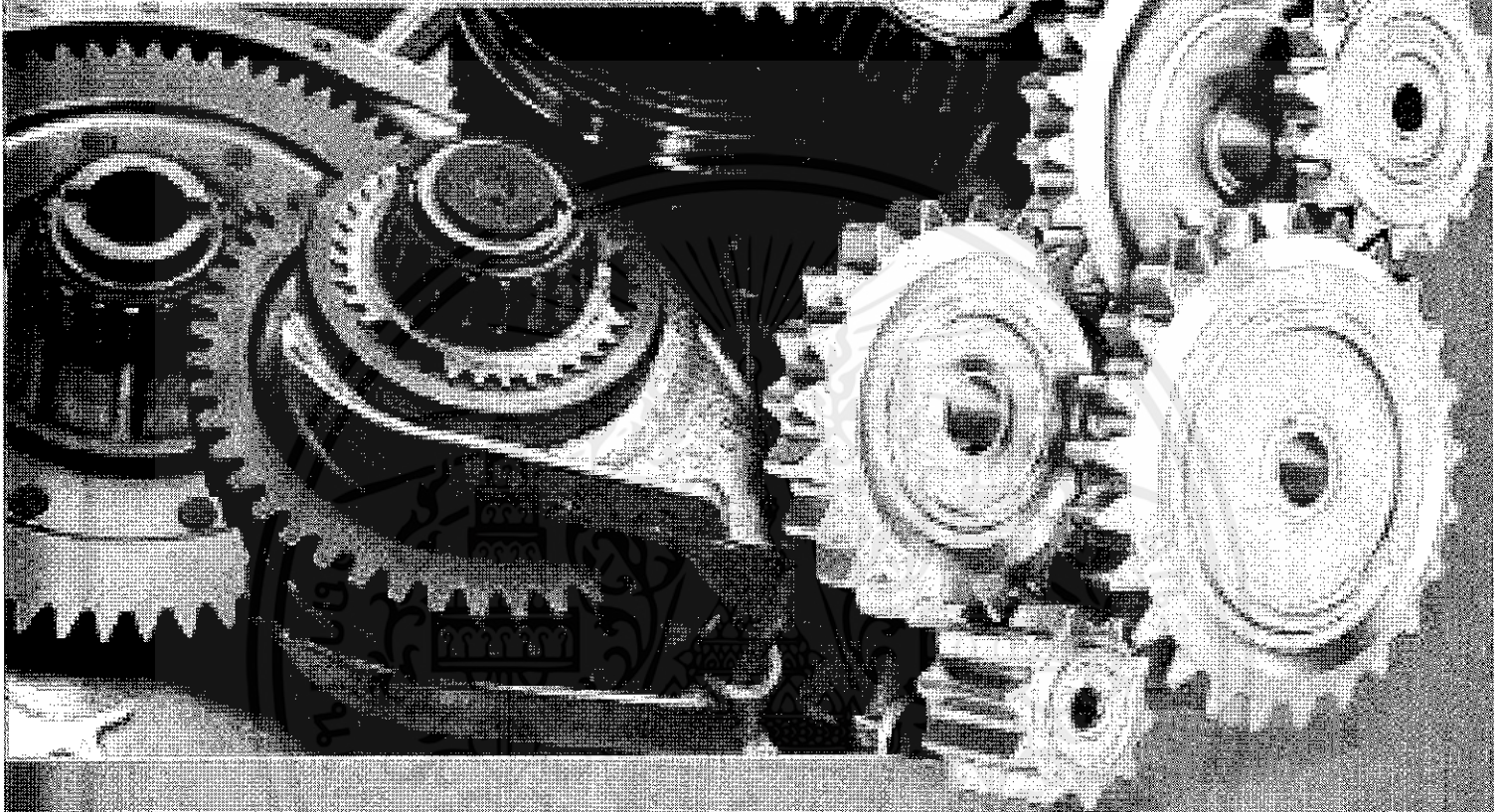


2558788

วิชาการปทุมวัน

Patumwan Academic Journal

ปีที่ ๖ ฉบับที่ ๑๖ พฤษภาคม - สิงหาคม ๒๕๖๑



- 1 Diversity Analysis of Phylogenetic Tree Derived from Jalisco and Pinar
 (การวิเคราะห์ความหลากหลายของต้นไม้สายวิวัฒนาการที่ได้ออกมาจาก Jalisco และ Pinar)
- 9 Discontinuous ZVZVD Technique for Design of Two-Phase Three-Leg V-Stack Switch Inverter
- 23 การวิจัยและพัฒนาการนำเครื่องวัดแรงดันแบบไร้สายไปใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส
- 31 การศึกษาการนำพลังงานจลน์ของรถจักรยานยนต์ไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 45 การออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยีบลูทูธ
- 61 การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของน้ำในระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 75 การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของน้ำในระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 91 การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของน้ำในระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

อิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าวอินดิกา

Influence of Nano-Zinc Oxide on Physiological and Productivity Change of *indica* Rice

สุทธิชัย สามารต¹ นิตยา ผกามาต² และ สุทธิ ชุตติไพจิตร^{1*}

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Sutichai Samart¹, Nittaya Phakamas² and Sutee Chutipaijit^{1*}

¹College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND.

²Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND. E-mail: natadee24@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) ที่มีผลต่อผลผลิตของข้าวอินดิกาสายพันธุ์ชัยนาท 1 ในการทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2557 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการทดสอบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด 6 ความเข้มข้น ในอัตราส่วนความเข้มข้น 0, 100, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แต่ละความเข้มข้นทุก 14 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ต้นข้าวจะถูกเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 72, 86, 100 และ 114 วัน ทำการวัดค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI), จำนวนรวงต่อกอ, น้ำหนัก 1,000 เมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลการศึกษาพบว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต และมีแนวโน้มว่าการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าอัตราความเข้มข้นอื่นๆ ดังนั้นการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จึงน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์อื่น รวมทั้งพืชชนิดอื่นในอนาคตได้

คำสำคัญ: ข้าวอินดิกา, อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, ดัชนีพื้นที่ใบ, ดัชนีเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of zinc oxide nanoparticles (nano-ZnO) on yield of *indica* rice cv. Chainat 1. The experiment was conducted in the field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang during February to June, 2013. The experiment was laid out in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications. Six rates of nano-ZnO were tested at the different concentrations i.e., 0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹. Each rate of nano-ZnO was supplemented for every 14 days-interval until harvesting. The rice plants were collected at 72, 86, 100 and 114 days old. Leaf area index (LAI), number of panicles/clump, 1,000 seed weights, percentage of unfilled grain and harvest index (HI) were measured. The results showed that, the different concentrations of nano-ZnO were effect on plant growth and yield of rice. The additions of nano-ZnO at a rate of 200-400 mg.L⁻¹ trended to promote leaf area index and harvest index greater than the other treatments. The application of nano-ZnO may be applied to other rice strains, including the other plant species in the future.

Keywords: *indica* rice, Nano-ZnO, Leaf area index, Harvest index

1. บทนำ

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรซึ่งเป็นอาชีพหลักของคนไทยมาตั้งแต่อดีต โดยพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือของประเทศ [1] สภาวะในการเพาะปลูกและอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าว จึงมีส่วนสำคัญต่อผลผลิตของข้าวที่เกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์สารอาหารของพืชนั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเป็นกระบวนการหลัก ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดที่บริเวณใบของพืชเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นดัชนีพื้นที่ใบของพืช (Leaf area index; LAI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และส่งผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการสร้างผลผลิตของพืชด้วย โดยที่การรับแสงของพืชจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช ในการศึกษาด้านพืชไร่จะให้ความสนใจหรือให้ความสำคัญของดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าการวัดพื้นที่ใบต่อต้น โดยค่าดัชนีพื้นที่ใบจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ ระยะเวลา สภาวะในการเพาะปลูก และปัจจัยอื่นๆ โดยที่พืชจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีค่าดัชนีพื้นที่ใบอยู่ในระดับที่เหมาะสม และค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชตามสภาพแวดล้อม ตลอดจนความเข้มแสงที่พืชได้รับ จากการศึกษาของ Takai และคณะ [2] พบว่าข้าวพันธุ์ Takanari และพันธุ์ Nipponbare จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวและจะมีค่าสูงสุดเมื่อถึงระยะ

ออกทรง และหลังจากนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบจะลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการร่วงหล่นของใบ หรือใบแห้งที่ร่วงตายไป ตามอายุ นอกจากนี้ในการศึกษาทางด้านพืชไร่ยังสนใจถึงค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI) ซึ่งเป็นสัดส่วนของผลผลิตทางชีวภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจ และเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการลำเลียงและถ่ายเทสารที่เกิดจากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (partitioning efficiency) ของพืช จากต้นและใบ (sources) ไปยังส่วนที่เจริญเป็นผลผลิตหรือส่วนที่ถูกเก็บเกี่ยว (sinks) สัดส่วนหรือปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงมาเป็นผลผลิตมากขึ้น ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย และจะส่งผลให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น [3] ผลผลิตของข้าวนั้นจะเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มของน้ำหนักแห้งหรือค่าดัชนีเก็บเกี่ยว หรือทั้งสองอย่าง และยังมีงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิตของธัญพืชหลายชนิดระหว่างพันธุ์ใหม่กับพันธุ์พื้นเมือง พบว่าการเพิ่มของค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง [4,5] แต่เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มของสายพันธุ์พบว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ยังพบการสะสมของน้ำหนักแห้งที่สูงเช่นกัน [6-8]

และในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยี จึงเริ่มมีการประยุกต์ใช้อุณหภูมิในอุตสาหกรรมการเกษตรที่หลากหลายนวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตรอีกด้วย และคาดว่าจะแพร่หลายมากขึ้นต่อไปในอนาคต เนื่องจากอนุภาคนาโนนั้นมีคุณสมบัติที่หลากหลาย จากการศึกษาของ Sedghi และคณะ [9] พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถปรับปรุงการออกของเมล็ดถั่วเหลือง ภายใต้สภาวะแห้งแล้งได้ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการงอกของพืช ทั้งยังส่งผลต่อการเจริญเติบโต และมีแนวโน้มต่อการให้ผลผลิตไปในทางที่ดีขึ้นอีกด้วย

ในผลการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนนั้นมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และการเพิ่มผลผลิตของพืช ซึ่งในปัจจุบันยังมีการศึกษาผลของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากนัก อีกทั้งข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ จึงเป็นพืชที่น่าสนใจสำหรับการทดสอบอนุภาคนาโน จึงควรมีการศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งผลที่ได้ก็น่าจะนำมาสู่การพัฒนาศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวต่อไปได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างพืชและวิธีการปลูก

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวอินทนิลสายพันธุ์ชัยนาท 1 (*Oryza sativa* L. cv. Chainat 1) โดยทำการทดลอง และดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2557 ใช้ดินในอัตรา 250 กิโลกรัมต่อ 1 บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง โดยเป็นดินเหนียว 2 ส่วน และดินทราย 1 ส่วน นำเมล็ดมาวางปลูกในบ่อปูนซีเมนต์ ทำการรดน้ำทุกวัน และทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ขนาดอนุภาค 50-80 นาโนเมตร; Global Chemical Co., Ltd., Thailand) ทุก 14 วัน เมื่อข้าวมีอายุ 30 วัน ทำการใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวเริ่มสร้างช่อรวงถึงระยะตั้งท้อง ทำการเติมปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตราส่วน 15 กิโลกรัมต่อไร่

2.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่มีอายุ 72, 86, 100 และ 114 วัน นำมาวิเคราะห์หาค่า LAI ตามวิธีของ Phakamas และคณะ [10] และนำตัวอย่างที่มีอายุ 114 วัน มาทำการนับจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดี เมล็ดเสีย จำนวนหน่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และจำนวนหาคัดชนีเก็บเกี่ยว (HI) ตามวิธีของ Assefaa และคณะ [11]

2.3 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ผล

การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับชุดทดลองที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละอายุของต้นข้าวจะมีค่าแตกต่างกัน โดยในช่วงวันที่ 86-100 จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงในวันที่ 114 และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200-600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่สูงในช่วงวันที่ 86-100 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ดินข้าวจะทำการสะสมสารอาหาร ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้ในการสารผลผลิตของพืชต่อไป จึงทำให้ต้นพืชที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่สูงในช่วงเวลาดังกล่าวนั้น จะส่งผลให้พืชมีปริมาณผลผลิตที่สูงต่อไป [12] และผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าอีกด้วย [13,14]

จากนั้นนำต้นข้าวที่อายุ 114 วัน มาทำการวิเคราะห์จำนวนรวงต่อกอ นับจำนวนหน่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และจำนวนหาคัดชนีเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของข้าว [15] ในแต่ละความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ดินข้าวได้รับ จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าตัวอย่างต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีจำนวนรวงต่อกอ (16.83 และ 15.58 ตามลำดับ) หน่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (29.45 และ 29.02 ตามลำดับ) และดัชนีเก็บเกี่ยวที่สูง (0.29 และ 0.25 ตามลำดับ) รวมทั้งยังมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ต่ำ (30.17 และ 37.80 ตามลำดับ) เมื่อ

เปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ หรือต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นอื่น โดยที่พืชที่มีแนวโน้มของค่าต่างๆ ในลักษณะดังกล่าวนี้ จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณผลผลิตของพืชที่สูง และมีลักษณะที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก [16,17]

ตารางที่ 1 แสดงค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นข้าวอินดิกาสายพันธุ์ชัชนาท 1 ที่อายุ 72, 86, 100 และ 114 วัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุก 14 วัน

ความเข้มข้นของ nano-ZnO (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)				เฉลี่ย
	72 วัน	86 วัน	100 วัน	114 วัน	
0	4.80 ±1.54	6.44 ±1.98	5.06 ±2.78	2.15 ±1.04	4.61 ±1.79
100	6.29 ±2.23	6.01 ±3.55	6.58 ±0.17	2.90 ±0.59	5.45 ±1.71
200	4.91 ±1.76	7.28 ±2.76	5.58 ±1.63	2.93 ±1.22	5.18 ±1.80
400	4.06 ±2.16	10.85 ±3.26	4.99 ±2.44	1.69 ±1.05	5.40 ±3.89
600	5.15 ±2.55	6.75 ±2.24	5.68 ±4.83	2.20 ±0.56	4.95 ±1.95
800	6.29 ±4.65	5.51 ±3.74	5.16 ±2.07	1.66 ±0.33	4.65 ±2.05

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ของต้นข้าวอินดิกาสายพันธุ์ชัชนาท 1 ที่อายุ 114 วัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุก 14 วัน

ความเข้มข้นของ nano-ZnO (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนรวง/กอ	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด		ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI)
		(กรัม)	% เมล็ดลีบ	
0	16.25 ±1.00	28.79 ±2.34	44.96 ±16.54	0.20 ±0.08
100	18.33 ±4.19	27.30 ±2.44	46.08 ±10.51	0.24 ±0.10
200	16.83 ±6.05	29.45 ±2.08	30.17 ±6.70	0.29 ±0.04
400	15.58 ±4.07	29.02 ±3.10	37.80 ±10.22	0.25 ±0.07
600	17.67 ±3.06	27.87 ±3.30	38.43 ±9.20	0.21 ±0.09
800	16.42 ±4.48	29.21 ±2.56	38.76 ±6.50	0.21 ±0.07

4. สรุป

จากปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อค่าดัชนีพื้นที่ใบ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และดัชนีเก็บเกี่ยว รวมถึงผลผลิตของข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 และพบว่าการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้น (200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีแนวโน้มการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์อื่น รวมทั้งพืชชนิดอื่นต่อไปในอนาคตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2556, สำนักงานเศรษฐกิจ การเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557.
- [2] T. Takai, S. Matsuura, T. Nishoio, A. Ohsumi, T. Shiaiwa And T. Horie, "Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period," *Field Crops Research* , Vol. 96, pp. 328-335, 2006.
- [3] S. Yoshida, "Fundamental of Rice Crop Science," International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 296 p., 1981.
- [4] R. Austin, B.J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan and M. Taylor, "Genetic improvement in winter wheat yield since 1990 and associated physiological changes," *Journal of Agricultural Science*, Vol. 94, pp. 675-689, 1980.
- [5] T. Takeda , M. Oka and W. Agata, "Studies on the dry matter and grain production of rice cultivars in the warm area of Japan. I. Comparison of the dry matter production between old and new types of rice cultivars," *Japanese Journal of Crop Science*, Vol .52, pp. 299-306, 1983.
- [6] C.Z. Jiang, T. Hirasawa and K. Ishihara, "Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants : I. Yield and dry matter production," *Japanese Journal of Crop Science*, Vol. 57, pp. 132-138, 1988.
- [7] S. Akita, "Improving yield potential in tropical rice," In: *Progress in Irrigate Rice Research*, International Rice Research Institute, Los Basnos, Philippines, pp. 41-73, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] T. Amano, Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka, "Case studies on high yield of paddy rice in Jiangsu Province, China: I. Characteristics of grain production," *Japanese Journal of Crop Science*, Vol. 62, pp. 267-274, 1993.
- [9] M. Sedghi, M. Hadi and S.G. Toluie, "Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seed under drought stress," *Annals of West University of Timisoara, ser. Biology*, Vol. 16, pp. 73-78, 2013.
- [10] N. Phakamas, A. Patanothai, S. Jogloy, K. Pannangpetch, and G. Hoogenboom, "Physiological determinants for pod yield of peanut lines," *Crop Science*, Vol. 48, pp. 2351-2360, 2008.
- [11] T. Assefaa, S.E. Beebeeb, I.M. Raob, J.B. Cuasquerb, M.C. Duqueb, M. Riverab, A. Battisti, M. Lucchinc, "Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean," *Field Crops Research*, Vol. 148, pp. 24-33, 2013.
- [12] D. Arias, J. Calvo-Alvarado, A. Dohrenbusch, "Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica," *Forest Ecology and Management*, Vol. 247, pp. 185-193, 2007.
- [13] S. Berrocal-Ibarra, J. Ortiz-Cereceres and C.B. Pena-Valdivia, "Yield components, harvest index and leaf area efficiency of a sample of a wild population and a domesticated variant of the common bean *Phaseolus vulgaris*," *South African Journal of Botany*, Vol. 68, pp. 205-211, 2002.
- [14] G. Jégo, E. Pattey and J. Liu, "Using Leaf Area Index, retrieved from optical imagery, in the STICS crop model for predicting yield and biomass of field crops," *Field Crops Research*, Vol. 131, pp. 63-74, 2012.
- [15] P.V.V. Prasad, K.J. Boote, L.H. Allen Jr., J.E. Sheehy and J.M.G. Thomas, "Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress," *Field Crops Research*, Vol. 95, pp. 398-411, 2006.
- [16] Y. Fang, L. Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An and Q. Hu, "Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, pp. 2079-2084, 2008.
- [17] K. Junga, T. Jang, H. Jeongc and S. Parkc, "Assessment of growth and yield components of rice irrigated with reclaimed wastewater," *Agricultural Water Management*, Vol. 138, pp. 17-25, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย)
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)
ที่อยู่

ประวัติการศึกษา

นายสุริชัย สามารถ

Mr. Sutichai Samart

142 หมู่3 ต.โคกไทย อ.ศรีมโหสถ

จ. ปราจีนบุรี

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนปราจีนกัลยาณี

จังหวัดปราจีนบุรี

- ระดับอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (พีซีไร)

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระ

จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้