รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อิทธิพลของซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียนไดออกไซด์อนุภาคนาโนต่อข้าวสายพันธุ์ไทยในสภาวะหลอดทดลอง

Influence of ZnO and TiO_2 nanoparticles on Thai rice cultivars in *in vitro* culture

นายสุธี ชุติไพจิตร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อิทธิพลของซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียนไดออกไซด์อนุภาคนาโนต่อข้าวสายพันธุ์ไทยในสภาวะหลอดทดลอง

Influence of ZnO and TiO_2 nanoparticles on Thai rice cultivars in *in vitro* culture

นายสุธี ชุติไพจิตร

RCH
ส786อ
2560

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149689
วัน,เดือน,ปี 22 มิ.ย. 2561

.b 12889416
.i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) อิทธิพลของซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียนไดออกไซด์อนุภาคนาโนต่อข้าวสายพันธุ์ไทยในสภาวะหลอดทดลอง

แหล่งเงิน// งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 280,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 59 ถึง 30 ก.ย. 60

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายสุธี ชุติไพจิตร วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ความเข้มข้นที่มากเกินไปของวัสดุโลหะนาโนเป็นสาเหตุให้เกิดความเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อเซลล์พืช วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์จะรบกวนกิจกรรมต่างๆ ทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของพืช เช่น ลักษณะการเจริญเติบโต การสะสมรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ในงานวิจัยนี้แสดงถึงผลของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวสายพันธุ์อินดิกา ข้าวอินดิกา 7 สายพันธุ์จะถูกเพาะปลูกในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น 5-14 วัน เปอร์เซ็นต์การงอก ลักษณะการเจริญเติบโต (ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง) ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์) และกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแคตาเลส) จะถูกตรวจวัด ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 กข31 กข41 และกข49 ที่เพาะปลูกที่ความเข้มข้นของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ต่ำ (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะมีเปอร์เซ็นต์การงอก ลักษณะการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบทียบกับสภาวะควบคุม (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสภาวะที่ความเข้มข้นของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สูง (300-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การงอก ลักษณะการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวสายพันธุ์กข6 และกข15 จะลดลง เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวสายพันธุ์กข47 นั้นจะมีการลักษณะเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ต่ำ (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่การตอบสนองดังกล่าวจะลดลง เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าข้าวสายพันธุ์อินดิกานั้นไวต่อวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยศึกษาจากการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาที่ลดลง ความเข้มข้นที่เหมาะสมของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์จะสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและการเมแทบอลิซึมในข้าวอินดิกาบางสายพันธุ์ได้

คำสำคัญ : ข้าว, นาโนเทคโนโลยี, อนุภาคนาโน, สัณฐานวิทยา, สรีรวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Influence of ZnO and TiO_2 nanoparticles on Thai rice cultivars in *in vitro* culture

Researcher: Mr.Sutee Chutipaijit

Faculty: College of Nanotechnology **Department:** Nanoscience and Nanotechnology

ABSTRACT

Excessive concentrations of metal nanomaterials cause toxicities and other harmful effects in plant cells. ZnO and TiO_2 nanomaterials disrupt many morphological and physiological activities in plant, including growth performances, photosynthetic pigment accumulation and antioxidant enzyme activities. This research demonstrated the effects of ZnO and TiO_2 nanomaterials on the morphological and physiological responses of *indica* rice cultivars. Seven *indica* rice cultivars were grown in NB medium supplemented with 0-1,000 mg L^{-1} of ZnO and TiO_2 nanomaterials. After 5-14 days, the percentages of germination, plant growth performances (shoot lengths, root lengths, fresh weights and dry weights), photosynthetic pigment contents (chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoids) and antioxidant enzyme activities (peroxidase and catalase enzymes) were determined. Results of the morphological and physiological responses showed that Pathumthani1 (PT1), RD31, RD41 and RD49 cultivars were grown with low concentration (100 mg L^{-1}) of ZnO and TiO_2 nanomaterials revealed the enhancement of the percentages of germination, plant growth performances, photosynthetic pigment contents and antioxidant enzyme activities when compared to the control (0 mg L^{-1}) and high concentrations (300-1,000 mg L^{-1}) of ZnO and TiO_2 nanomaterials. While, the percentages of germination, plant growth performances, photosynthetic pigment contents and antioxidant enzyme activities of RD6 and RD15 cultivars decreased under ZnO and TiO_2 nanomaterials conditions. The morphological and physiological responses of RD47 cultivar significantly increased under low concentration (100 mg L^{-1}) of TiO_2 nanomaterials condition, whereas these response decrease under ZnO nanomaterials conditions. According to results, *indica* rice cultivars were sensitive to ZnO and TiO_2 nanomaterials with a retardation of morphological and physiological responses. The appropriation concentration of ZnO and TiO_2 nanomaterials was able to enhance the plant growth and metabolism of some *indica* rice cultivars.

Keywords : Rice, Nanotechnology, Nanoparticles, Morphology, Physiology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่พิจารณาสนับสนุนการทำงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวร้อยเอ็ดที่เอื้อเฟื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ใช้สถานที่ในการทำงานวิจัยนี้ และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

นายสุธี ชุติไพจิตร
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 คำสำคัญของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 6
3.1 การเพาะปลูกต้นกล้าข้าว 6
3.2 การศึกษาการเจริญเติบโต 6
3.3 การหาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง 6
3.4 การหาปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ 7
3.5 การออกแบบทางสถิติ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย 8

4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์ 8

4.2 การศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์ 21

4.3 การศึกษาปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์ 28

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 34

5.1 สรุปผลการวิจัย 34

5.2 ข้อเสนอแนะ 34

บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย 35

เอกสารอ้างอิง 36

ภาคผนวก 41

ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย 42

ประวัตินักวิจัย 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การนำวัสดุอนุภาคนาโนชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับพืชหลากหลายสายพันธุ์ 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

4.1 เปอร์เซ็นต์การงอก (%Germination) ของเมล็ดข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) กข47 (RD47) กข49 (RD49) กข6 (RD6) และกข15 (RD15) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ก) และไทเทเนียม-ไดออกไซด์ (ข) ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 วัน 9

4.2 ลักษณะของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 14 วัน 11

4.3 ลักษณะของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 14 วัน 12

4.4 ความยาวต้น (Shoot length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 13

4.5 ความยาวราก (Root length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 14

4.6 น้ำหนักสด (Fresh weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.7 น้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 16

4.8 ความยาวต้น (Shoot length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 17

4.9 ความยาวราก (Root length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 18

4.10 น้ำหนักสด (Fresh weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 19

4.11 น้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 20

4.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 22

4.13 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 24

4.15 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 25

4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 26

4.17 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 27

4.18 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี 1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข 15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 30

4.19 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แคตาเลส (Catalase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 31

4.20 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี 1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข 15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.21 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แคตาเลส (Catalase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีนั้นมีความแพร่หลายเป็นอย่างมาก จากที่มีการใช้นาโนเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ หรือด้านวัสดุศาสตร์ เริ่มมีการนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีทางด้านการเกษตรมากขึ้น ทั้งด้านพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ (Antunes et al., 2012; Uskokovic, 2013) ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีความน่าสนใจที่จะนำศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เป็นอย่างยิ่ง

โดยที่สินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยอย่างหนึ่ง ได้แก่ ข้าว ซึ่งเป็นสินค้าที่ใช้ในการบริโภคทั้งในประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกที่ใช้แข่งขันกับตลาดในต่างประเทศ อีกทั้งยังสร้างรายได้ให้กับประเทศในระดับต้นๆ อีกด้วย (John, 2013) และจากที่ประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกข้าวที่มากมาย และมีสายพันธุ์ข้าวที่หลากหลาย ซึ่งจากความแตกต่างของพื้นที่เพาะปลูกและสายพันธุ์ข้าวนี้ ทำให้ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีการเจริญเติบโต และมีการสร้างผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป รวมทั้งยังมีความแตกต่างกันระหว่างข้าวสายพันธุ์ไทยกับข้าวสายพันธุ์ในต่างประเทศอีกด้วย (Haefele and Konboon, 2009; Hayashi et al., 2009; Hirano et al., 2014)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาถึง ผลของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ไทยที่หลากหลาย เพื่อเป็นพื้นฐานในการนำอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้ในระดับแปลงต่อไป หรือนำไปประยุกต์ใช้กับข้าว/พืช สายพันธุ์อื่นในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในนำอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้ในระดับแปลงทดลองต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงอนุภาคนาโน 2 ชนิด ได้แก่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide nanoparticles; nano-ZnO) และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide nanoparticles; nano-TiO_2) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันที่มีผลต่ออัตราการงอก การเจริญเติบโต การสะสมปริมาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรฟิลล์ และการสะสมเอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ภายใต้สภาวะเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาในระดับแปลงทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยด้านผลผลิตต่างๆ ต่อไปในอนาคตได้

1.4 คำสำคัญของการวิจัย

ข้าว, นาโนเทคโนโลยี, อนุภาคนาโน, สัณฐานวิทยา, สรีรวิทยา

Rice, Nanotechnology, Nanoparticles, Morphology, Physiology

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถทราบถึงผลกระทบของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ไทย

1.5.2 สามารถทราบถึงผลกระทบของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ไทย

1.5.3 สามารถทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลของอนุภาคนาโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ไทย

1.5.4 สามารถใช้เป็นแนวทางในนำไปประยุกต์ใช้ในระดับแปลงทดลอง เพื่อใช้ในการศึกษาถึงปัจจัยทางด้านผลผลิตต่างๆ ต่อไปได้

1.5.5 สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณข้าวสายพันธุ์ไทย และนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการที่ศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีได้เข้ามาในชีวิตประจำวันของเรามากยิ่งขึ้น และนาโนเทคโนโลยีได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาถึงศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับทางด้านการเกษตร โดยการนำอนุภาคนาโนมาประยุกต์ใช้กับข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ โดยทำการศึกษาในระดับห้องทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับแปลงทดลองต่อไป เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางนาโนเทคโนโลยีกับทางด้านเกษตรกรรมให้มากยิ่งขึ้น อันจะส่งผลต่อการเพิ่มปัจจัยที่มีต่อการเพิ่มคุณค่าของข้าวสายพันธุ์ไทย ให้สามารถแข่งขันกับสายพันธุ์ข้าวต่างๆ จากต่างประเทศได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นาโนวิทยา (nanoscience) และนาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) จัดเป็นศาสตร์ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์ และมีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น (Rejeski and Lekas, 2008; Kingsley et al., 2013) ทำให้ในปัจจุบันศาสตร์ดังกล่าวค่อนข้างมีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร อาหาร และทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับมนุษย์เรามาก จึงมีการประยุกต์ใช้วัสดุอนุภาคนาโน (nanoparticles) ในด้านต่างๆ แต่ยังไม่แพร่หลายเท่ากับอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ (Rico et al., 2011; Kumar et al., 2012)

จากคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ (physicochemical) ของวัสดุอนุภาคนาโน ที่ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง พื้นที่ผิว ประจุ และลักษณะพื้นผิว ทำให้วัสดุอนุภาคนาโนมีคุณสมบัติที่หลากหลาย จึงส่งผลให้นำคุณสมบัติเหล่านั้นไปประยุกต์กับอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เหมาะสมได้ (Galbraith, 2007; Dhawan and Sharma, 2010) ในด้านการเกษตรนั้นจะพบการนำวัสดุอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการควบคุมโรคในพืช การบำบัดน้ำเสีย การทำงานของเอนไซม์ หรือการใช้ร่วมกับปุ๋ยในการเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ยังคงมีการศึกษาในวงที่จำกัด (Zhang, 2003; Nair et al., 2010) การนำวัสดุอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้นั้น ทำให้วัสดุอนุภาคนาโนเหล่านี้จะต้องมีการสัมผัส และ/หรือสะสมในสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ค่อนข้างจะเกี่ยวข้องกับทางด้านการเกษตรของประเทศเป็นส่วนใหญ่ (Sayes and Warheit, 2009) ส่งผลให้มีการนำวัสดุอนุภาคนาโนต่างๆ มาศึกษาเพื่อทดสอบกับสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นในด้านต่างๆ ที่มีต่อวัสดุอนุภาคนาโนชนิดและความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่ามีการนำวัสดุอนุภาคนาโนหลากหลายชนิดมาประยุกต์ใช้กับสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชนั้น ส่งผลทั้งที่เป็นบวก (positive) และส่งผลที่เป็นลบ (negative) โดยปัจจัยที่ส่งผลในลักษณะต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ชนิด อายุ สภาวะในการเพาะปลูกของพืช และยังขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของวัสดุอนุภาคนาโนที่ใช้กับพืชต่างๆ ด้วย (Ma et al., 2010) ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 การนำวัสดุอนุภาคนาโนชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับพืชหลากหลายสายพันธุ์

ชนิดของวัสดุอนุภาคนาโน	**สายพันธุ์พืช**	**ปัจจัยทดสอบ**	**เอกสารอ้างอิง**
ZnO	*Cicer arietinum* L	น้ำหนักต้น	Burman et al. (2013)
	Vigna radiate	มวลชีวภาพ	Dhoke et al. (2013)
	Arachis hypogaea	การงอก	Prasad et al. (2012)
	Vigna radiate L.	น้ำหนักแห้ง	Prasad et al. (2013)
Carbon nanotube	*Lycopersicum esculantum*	การงอก	Morla et al. (2011)
	Medicago saliva	ความยาวราก	Miralles et al. (2012)
	Allium cepa	ความยาวราก	Cañas et al. (2008)
	Nicotiana tabacum	การเจริญเติบโต	Khodakovskaya et al. (2012)
Ag	*Boswellia ovaliofoliolata*	การงอกและการเจริญเติบโต	Savithramma et al. (2012)
	Phaseolus vulgaris L., *Zea mays* L.	ความยาวต้นและราก	Salama (2012)
	Vigna radiata	การเจริญเติบโต	Karuppanapandian et al. (2011)
Sulfur	*Vigna radiata*	น้ำหนักแห้ง	Patra et al. (2013)
SiO_2	*Zea mays L.*	การเจริญเติบโต	Suriyaprabha et al. (2012)
TiO_2	*Arabidopsis thaliana*	ความยาวราก	Lee et al. (2010)
	Foenicutum vulgare	การงอก	Feizi et al. (2013)
	Lemna minor	การเจริญเติบโต	Song et al. (2012)
	Triticum aestivum	ปริมาณคลอโรฟิลล์	Mahmoodzadeh et al. (2013)
Aluminum oxide	*Arabidopsis thaliana*	ความยาวราก	Lee et al. (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในงานวิจัยนี้ได้สนใจทำการทดสอบวัสดุอนุภาคนาโนกับตัวอย่างของข้าวสายพันธุ์ไทยชนิดต่างๆ เนื่องจากข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศ และในด้านการเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ และปัจจุบันข้าวสายพันธุ์ไทยนั้นได้รับผลกระทบ ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพเป็นอย่างมาก (Haefele and Konboon, 2009; Hirano et al., 2014) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ เพิ่มเติม เพื่อศึกษาถึงผลกระทบทั้งในด้านบวกและด้านลบ ที่มีต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของข้าวสายพันธุ์ไทย ซึ่งจะส่งผลต่อการส่งเสริมทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของข้าวสายพันธุ์ไทยต่อไปได้ ข้าวจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จำพวกหญ้าในวงศ์ Gramineae ข้าวที่เพาะปลูกกันในปัจจุบันมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวจาปอนิกา (Japonica) ข้าวจาวานิกา (Javanica) และข้าวอินดิกา (indica) (Zhai et al., 2001) ซึ่งข้าวสายพันธุ์ไทยนั้นจัดอยู่ในชนิดข้าวอินดิกา และข้าวอินดิกานั้นมีความหลากหลายในด้านลักษณะ และคุณสมบัติเป็นอย่างมาก เฉพาะภายในประเทศไทยได้มีการจัดแบ่งสายพันธุ์ข้าวมากกว่า 100 สายพันธุ์ (กรมการข้าว) ทำให้ข้าวสายพันธุ์ไทยนั้นมีความแตกต่างกันในด้านคุณภาพ ปริมาณ สภาวะการเพาะปลูก หรือสภาพภูมิอากาศ เป็นอย่างมาก รวมทั้งในปัจจุบันสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของข้าวที่เพาะปลูก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อช่วยในการส่งเสริมคุณภาพ และปริมาณของข้าวสายพันธุ์ไทยเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ และสามารถแข่งขันกับตลาดในต่างประเทศได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจเกี่ยวกับการศึกษาถึง ผลของวัสดุอนุภาคนาโนสองชนิด อันได้แก่ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน ที่มีผลต่อปัจจัยทางด้านสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ไทยสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดไปใช้ศึกษาในระดับแปลงทดลองต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างพืชชนิดอื่นต่อไปในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเพาะปลูกต้นกล้าข้าว

นำเมล็ดข้าวสายพันธุ์อินดิกา (Oryza sativa L. spp. indica) ทั้ง 7 สายพันธุ์ (ปทุมธานี1 กข31 กข 41 กข47 กข49 กข6 และกข15) นำมาแกะเปลือกออกด้วยมือ แล้วนำมาฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของเมล็ดด้วย เอธานอล 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2-3 นาที และย้ายมาฟอกฆ่าเชื้อในสารละลายไฮเตอร์ (โซเดียมไฮโปร คลอไรด์ 6% w/w) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นย้ายลงในสารละลายไฮเตอร์ความ เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการล้างสารละลายไฮเตอร์ออกโดยใช้น้ำกลั่นที่ ฆ่าเชื้อแล้ว 5-6 ครั้ง และนำการชักนำให้เกิดการงอกโดยการเพาะเลี้ยงในอาหาร NB (Li et al., 1993) ที่มี น้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร วุ้น 8 กรัมต่อลิตร และมีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ หรืออนุภาค นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 100, 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ pH ให้ เท่ากับ 5.6-5.8 นำไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ±2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 1,000 ลักซ์ (luxs) ทำการ เก็บตัวอย่างที่เวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน หลังจากได้รับอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.2 การศึกษาการเจริญเติบโต

ทำการวัดเปอร์เซ็นต์การงอก (% germination) ที่ระยะเวลา 5 วันหลังจากทำการเพาะเลี้ยงใน อาหาร NB ทั้งที่มีการเติมและไม่เติมอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ

และนำตัวอย่างที่เก็บที่ระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วันหลังจากที่มีการเติมและไม่เติมอนุภาคนา โนทั้งสองชนิด มาวัดขนาดความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

3.3 การหาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง

นำตัวอย่างต้นข้าวที่เก็บที่ระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วันหลังจากที่มีการเติมและไม่เติมอนุภาคนา โนทั้งสองชนิด มาบดด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นสกัดด้วยสารละลายอะซิโตน (acetone) นำไปบ่มที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662, 644 และ 470 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll A) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll B) และคาโรทีนอยด์ (carotenoid) ตามวิธีของ Shabala และคณะ (1999) และวิธีของ Lichtenthaler (1987)

3.4 การหาปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

การสกัดเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำตัวอย่างต้นข้าวที่เก็บที่ระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วันหลังจากที่มีการเติมและไม่เติมอนุภาคนาโนทั้งสองชนิด มาบดด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นเติมสารละลาย sodium phosphate buffer pH 7.8 ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และมี polyvinylpolypyrolidone (PVPP) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000g เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD)

นำสารสกัดที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของ sodium phosphate buffer pH 6.0 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มิลลิโมลาร์ และ guaiacol 9 มิลลิโมลาร์ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ตามวิธีของ Beffa และคณะ (1990)

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT)

นำสารสกัดที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของ sodium phosphate buffer pH 7.0 ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 19 มิลลิโมลาร์ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ตามวิธีของ Aebi (1984)

3.5 การออกแบบทางสถิติ

ใช้การทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง (n=3) ออกแบบการทดลองโดยใช้ CRD ผลที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA และ Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 15.0 (SPSS for Windows, SPSS Inc., USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

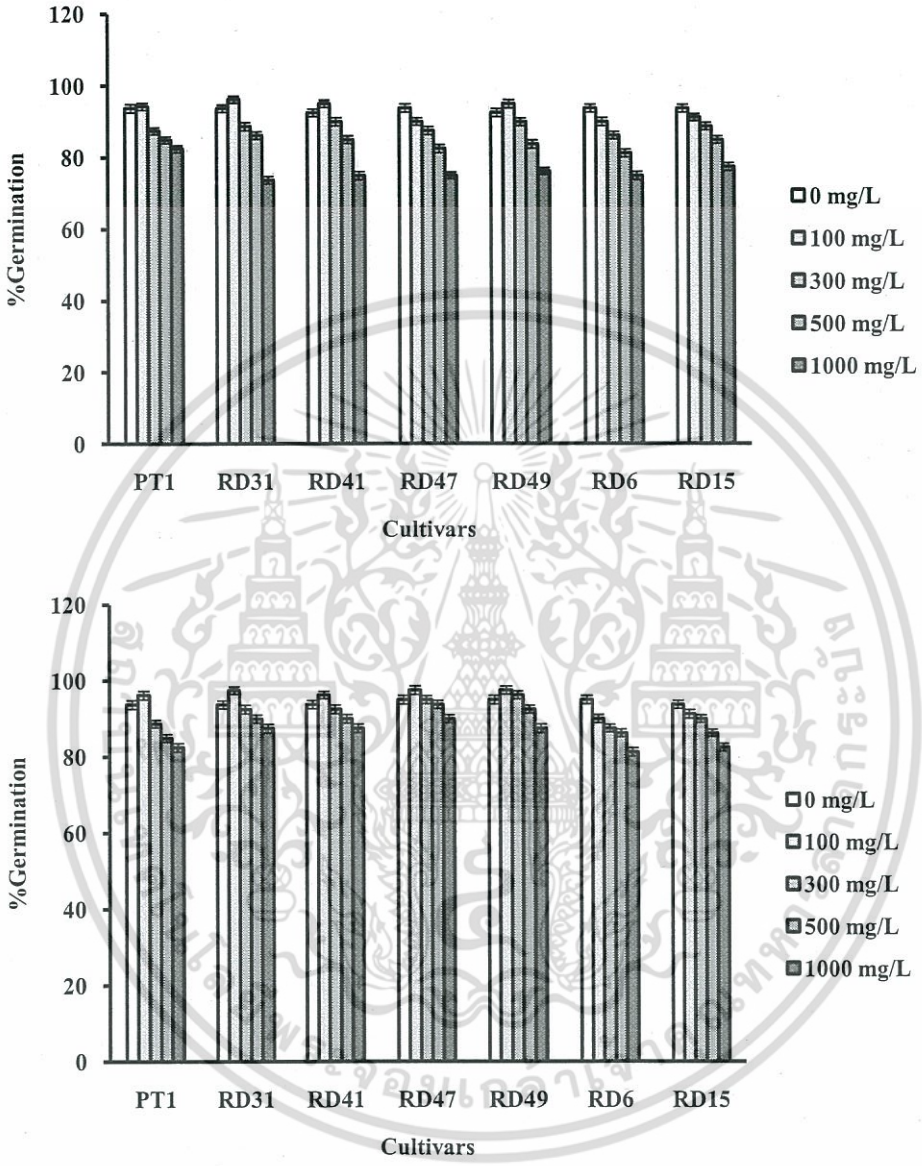
4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanoparticles) และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 nanoparticles) ที่มีต่อต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในสภาวะหลอดทดลอง (*in vitro*) เนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆ ได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แมลงศัตรูพืช หรือเชื้อก่อโรค เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาต้นกล้าข้าวทั้งหมด 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) กข47 (RD47) กข49 (RD49) กข6 (RD6) และกข15 (RD15) และทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต (เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง) ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์) และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (peroxidase และ catalase) ซึ่งในการทดลองขั้นต้นจะทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตเป็นลำดับแรก

จากผลการทดลองในด้านปัจจัยต่างๆ ทางด้านการเจริญเติบโตจะพบว่ามีความแตกต่างกันในต้นกล้าข้าวแต่ละสายพันธุ์ รวมถึงอนุภาคนาโนที่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอก (% Germination) ของเมล็ดข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าเมล็ดข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) และกข49 (RD49) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ขณะที่เมล็ดข้าวสายพันธุ์กข6 (RD6) และกข15 (RD15) มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ และในเมล็ดข้าวสายพันธุ์กข47 (RD47) นั้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์-ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่กลับพบว่าในสภาวะที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงขึ้น และสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียม-ไดออกไซด์ (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การงอก (%Germination) ของเมล็ดข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) กข47 (RD47) กข49 (RD49) กข6 (RD6) และกข15 (RD15) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ก) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (ข) ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 วัน

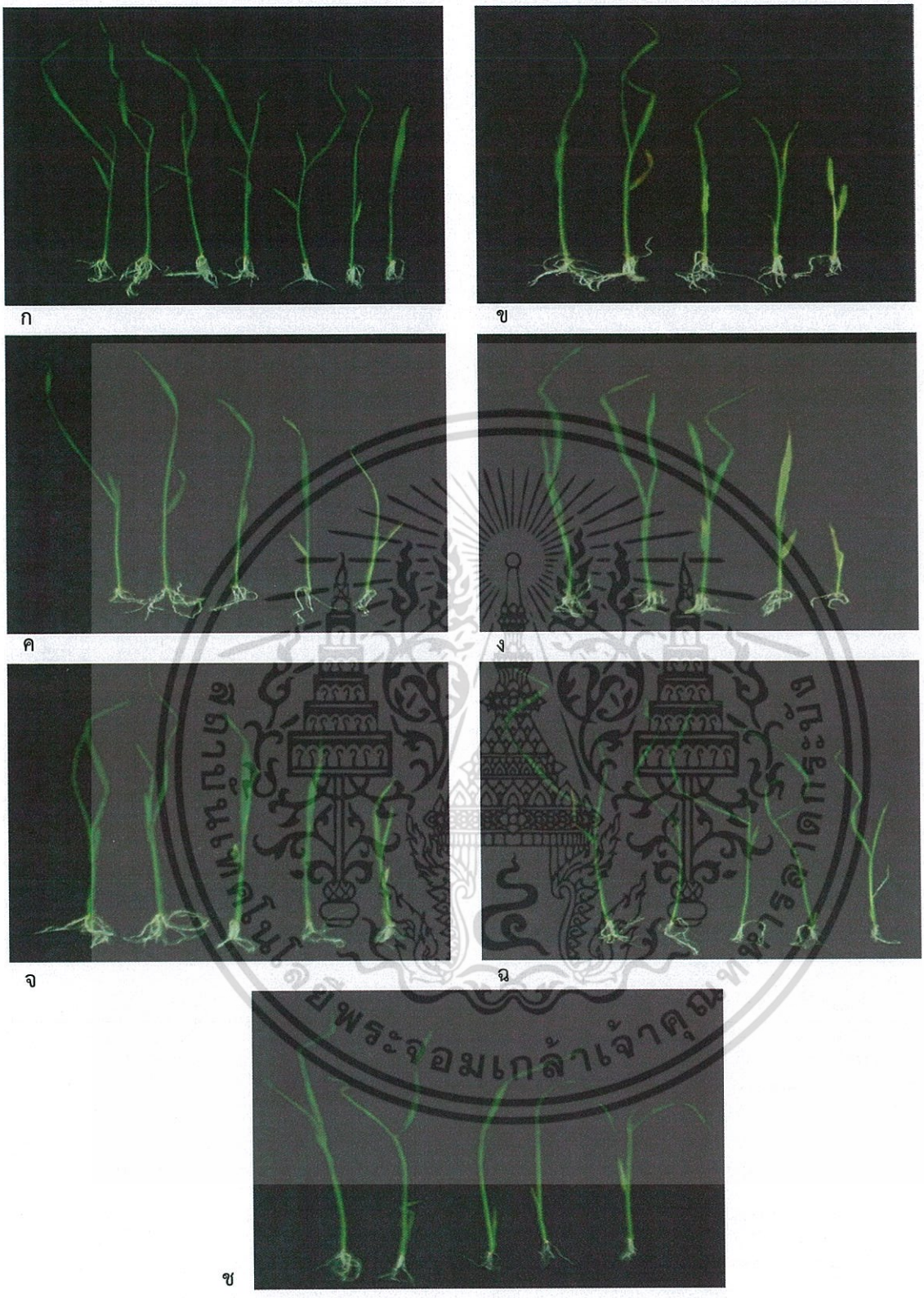
และเมื่อศึกษาจากปัจจัยทางสัณฐานวิทยา (morphology) ด้านการเจริญเติบโตอื่นๆ ได้แก่ ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง จะให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การงอก โดยพบว่าต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) และกข49 (RD49) ที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียม-ไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วันนั้น มีความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ขณะที่ต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข6 (RD6) และกข15 (RD15) มีความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์-ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ และในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข 47 (RD47) นั้นมีความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่กลับพบว่าในสภาวะที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น มีความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ภาพที่ 4.2-4.11)

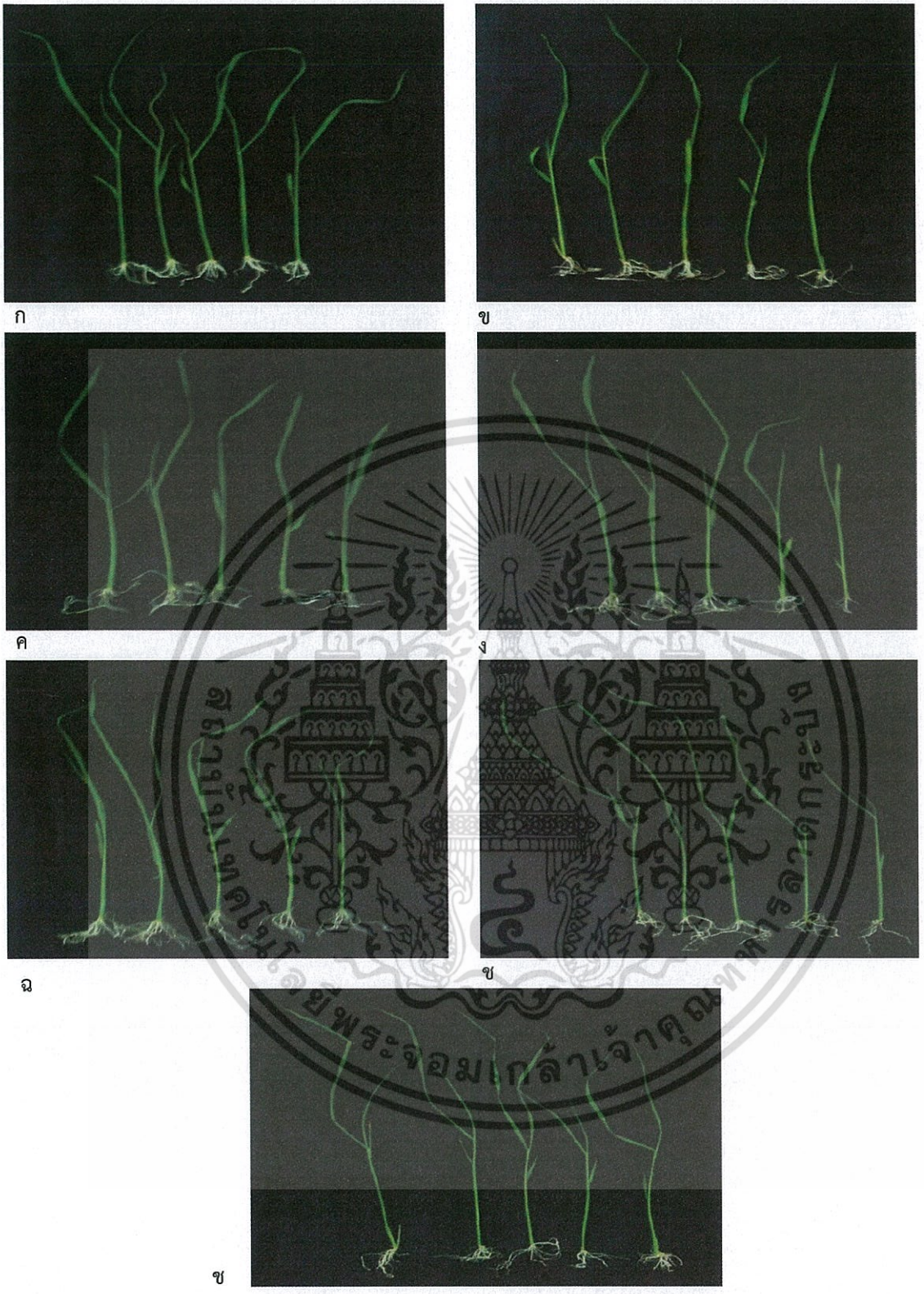
การศึกษาการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา โดยศึกษาการเจริญเติบโตของพืชนั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ และเปรียบเทียบการตอบสนองของพืชที่มีต่อปัจจัยภายนอกต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบการตอบสนองที่เป็นบวก (positive) หรือการตอบสนองที่เป็นลบ (negative) ที่มีต่อพืชสายพันธุ์ต่างๆ (Rico et al., 2011; Sabaghnia and Janmohammadi, 2014; Almutairi, 2016; Syu et al., 2014; Torabian et al., 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



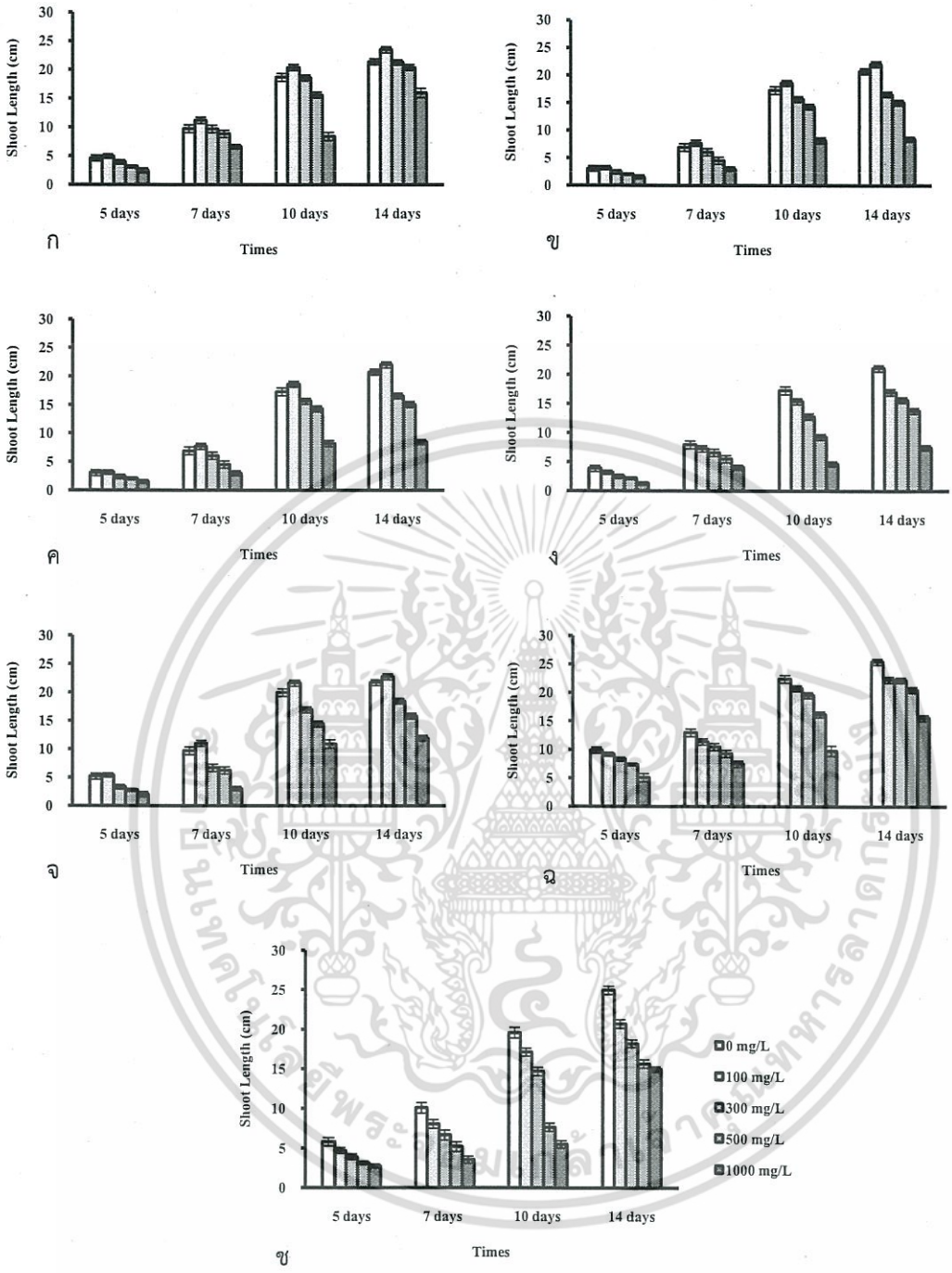
ภาพที่ 4.2 ลักษณะของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



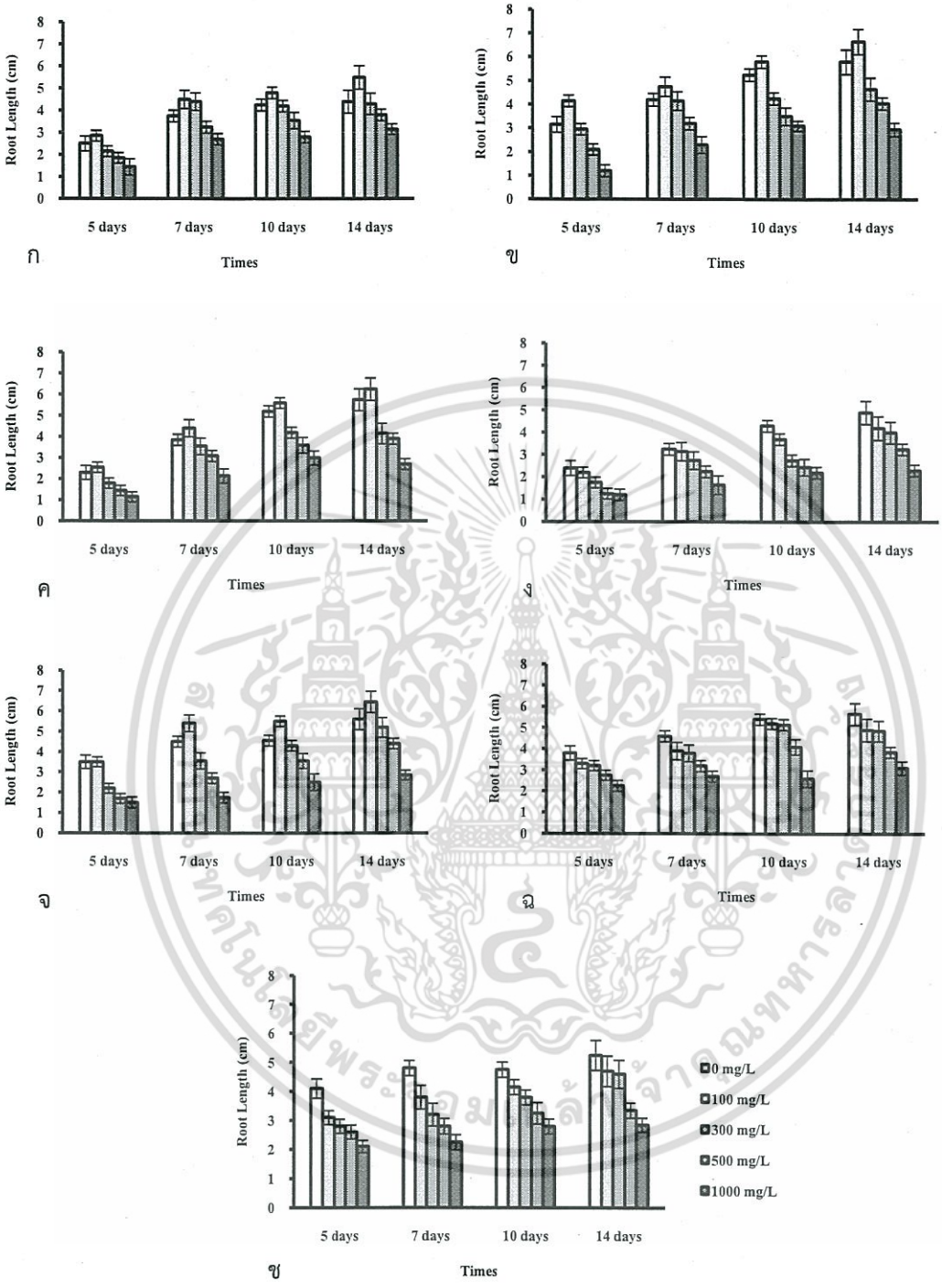
ภาพที่ 4.3 ลักษณะของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



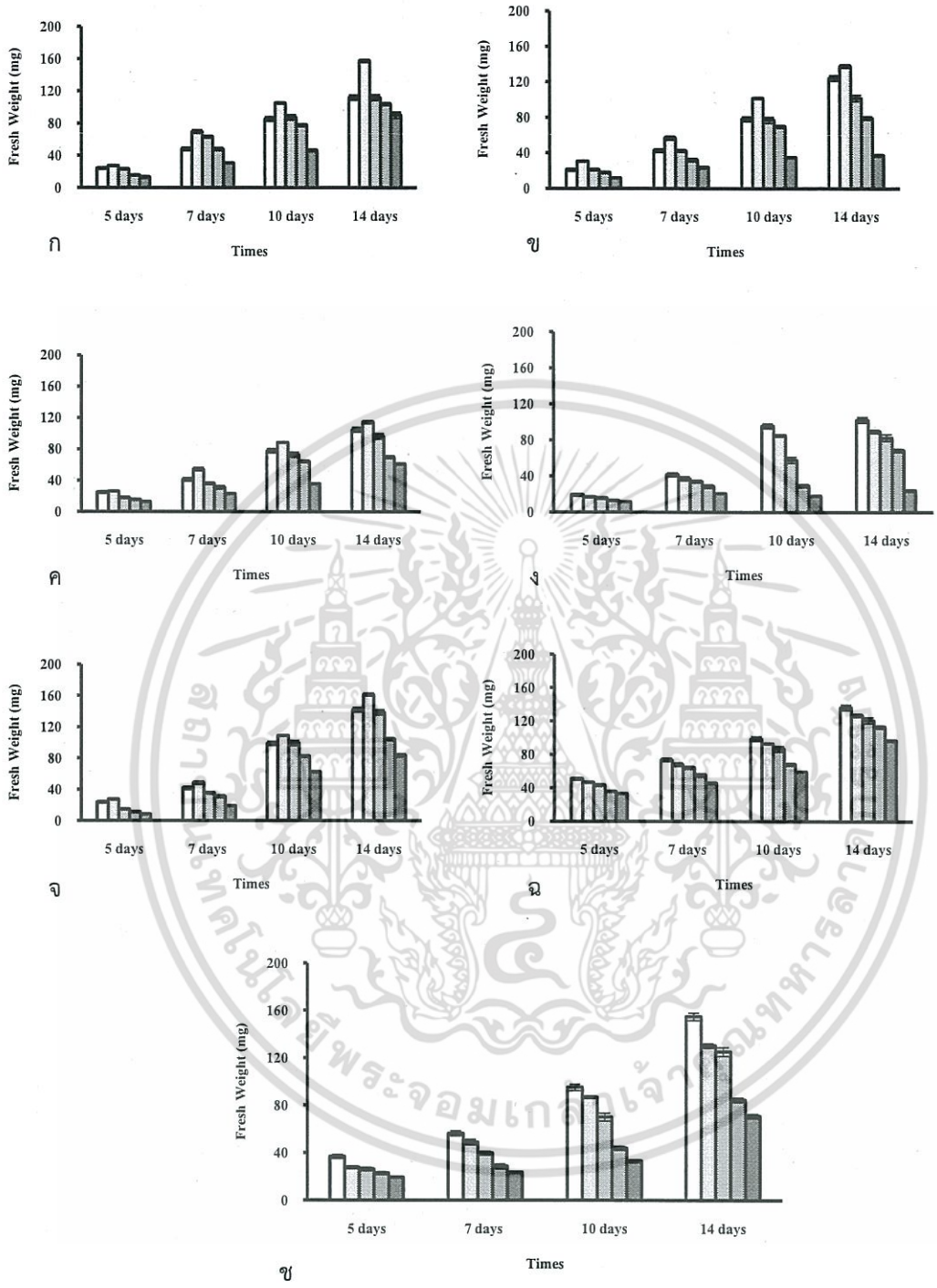
ภาพที่ 4.4 ความยาวต้น (Shoot length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



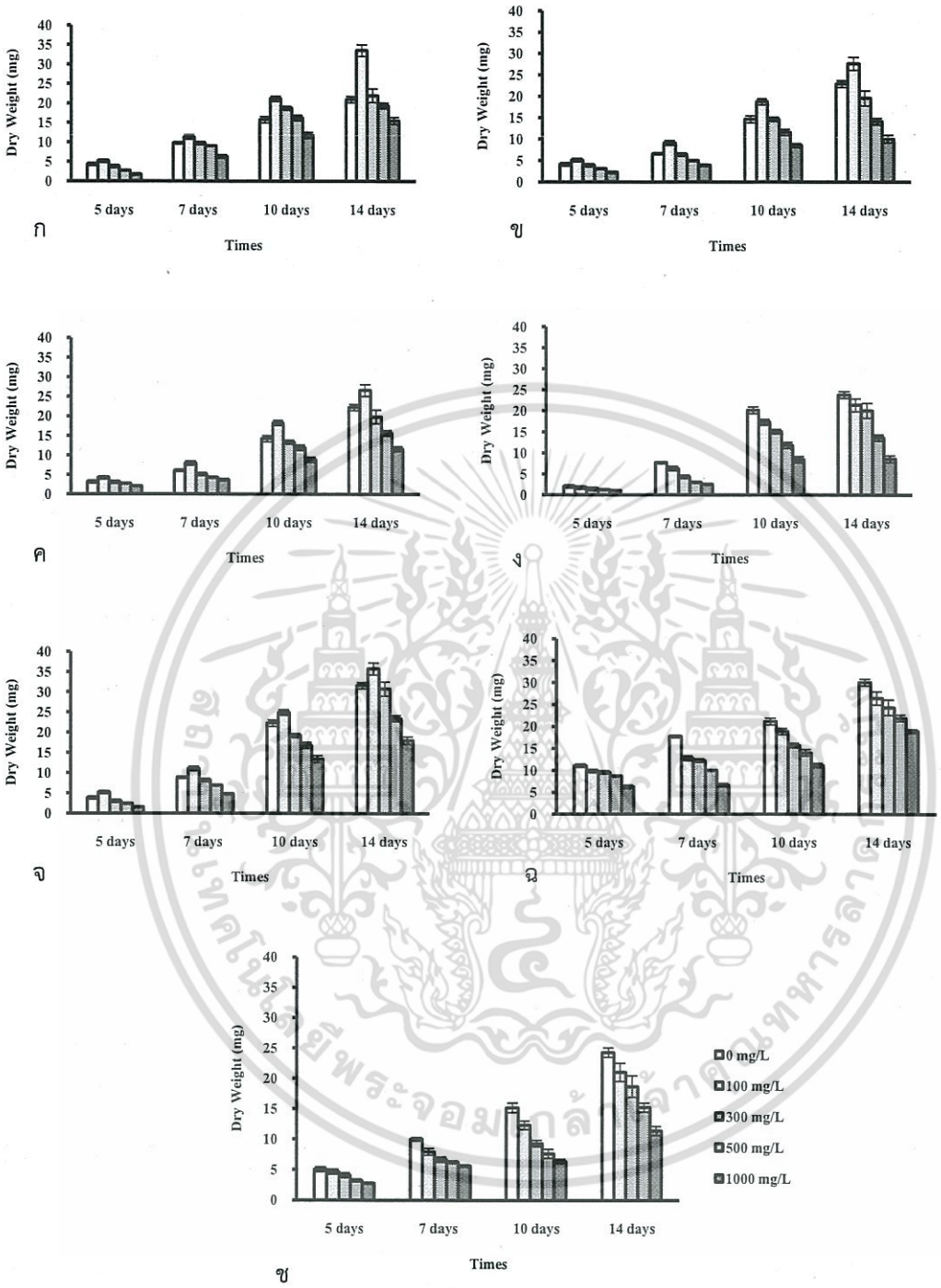
ภาพที่ 4.5 ความยาวราก (Root length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 น้ำหนักสด (Fresh weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

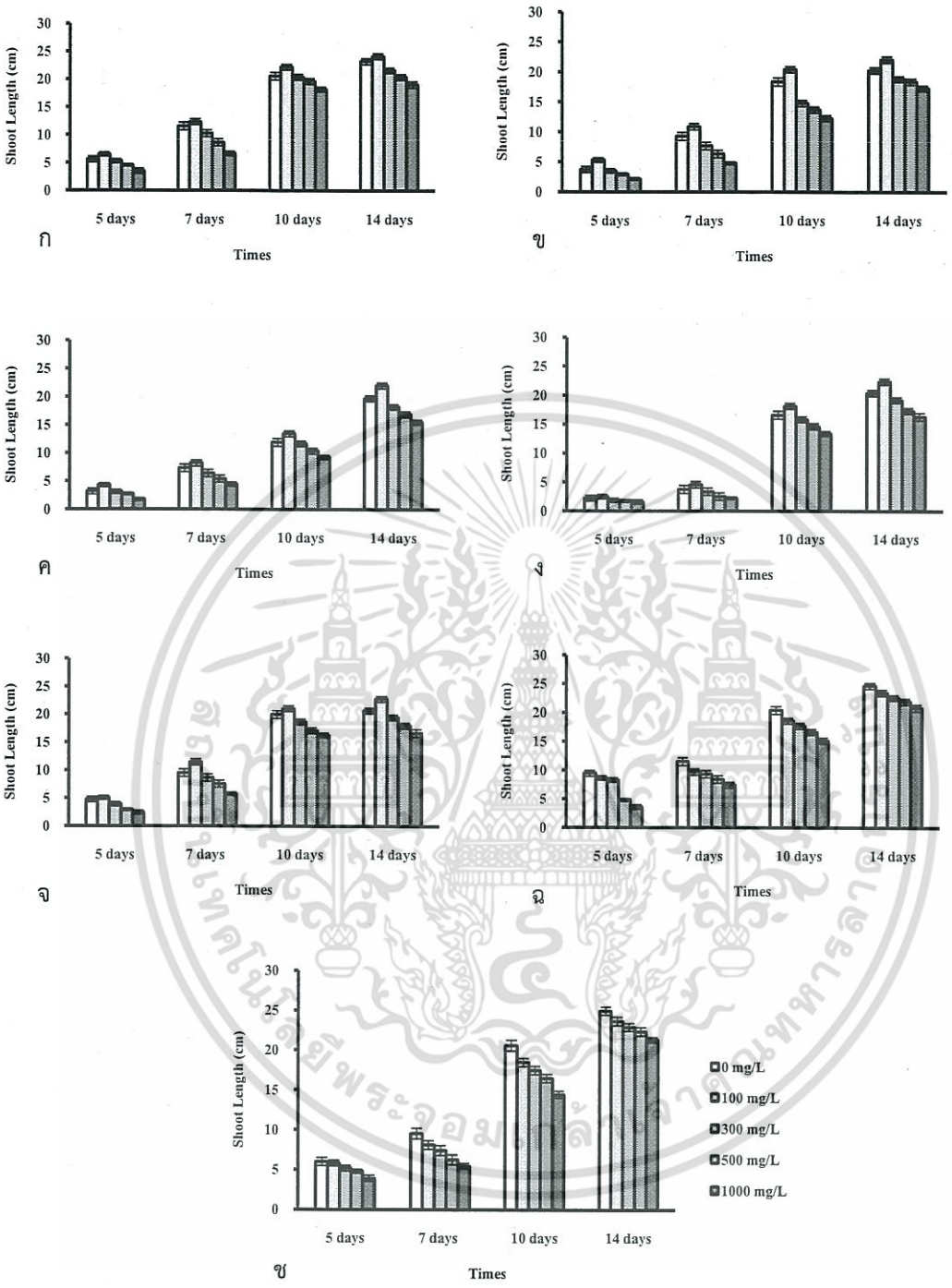
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 น้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

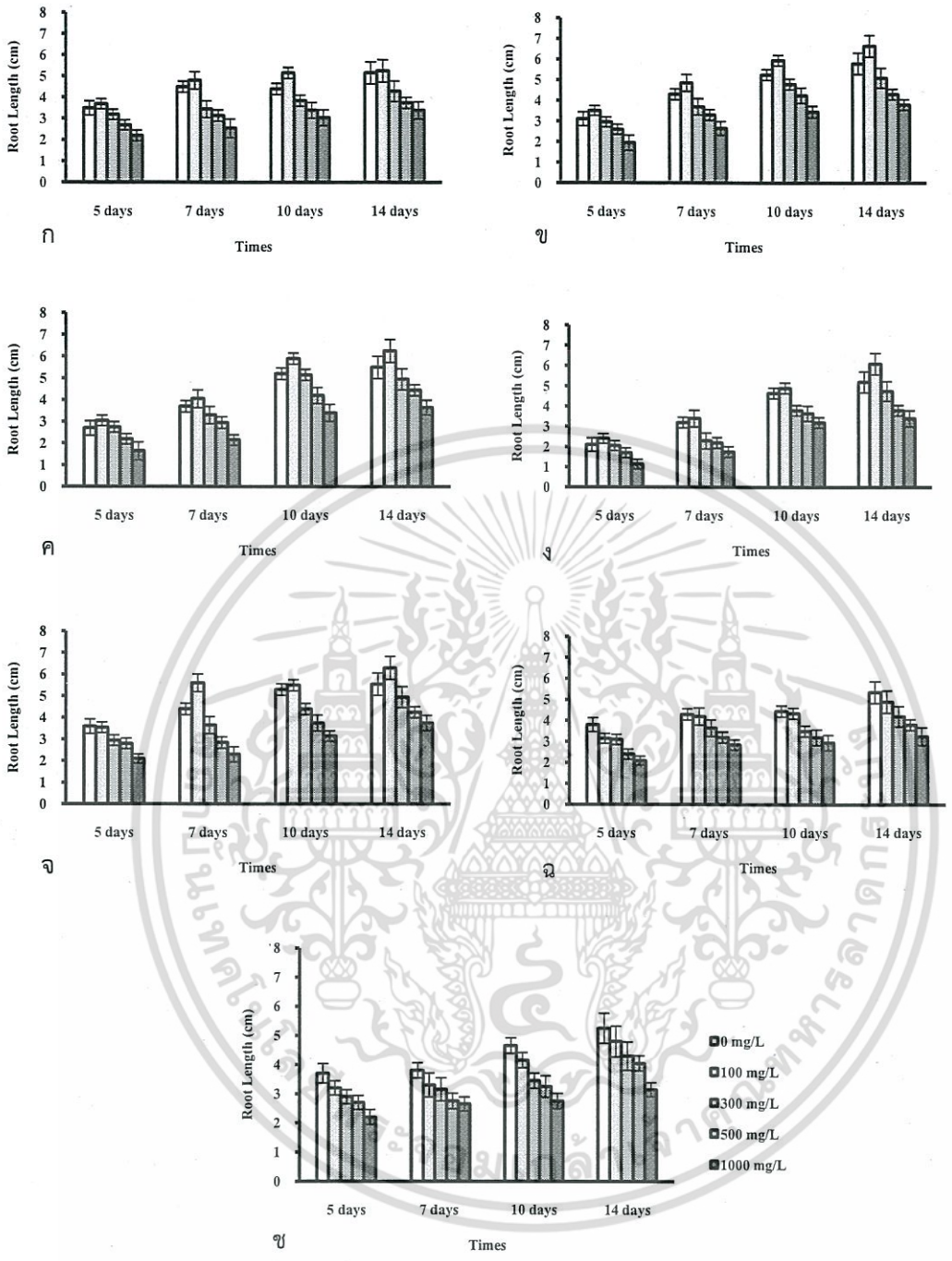
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 4.8 ความยาวต้น (Shoot length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

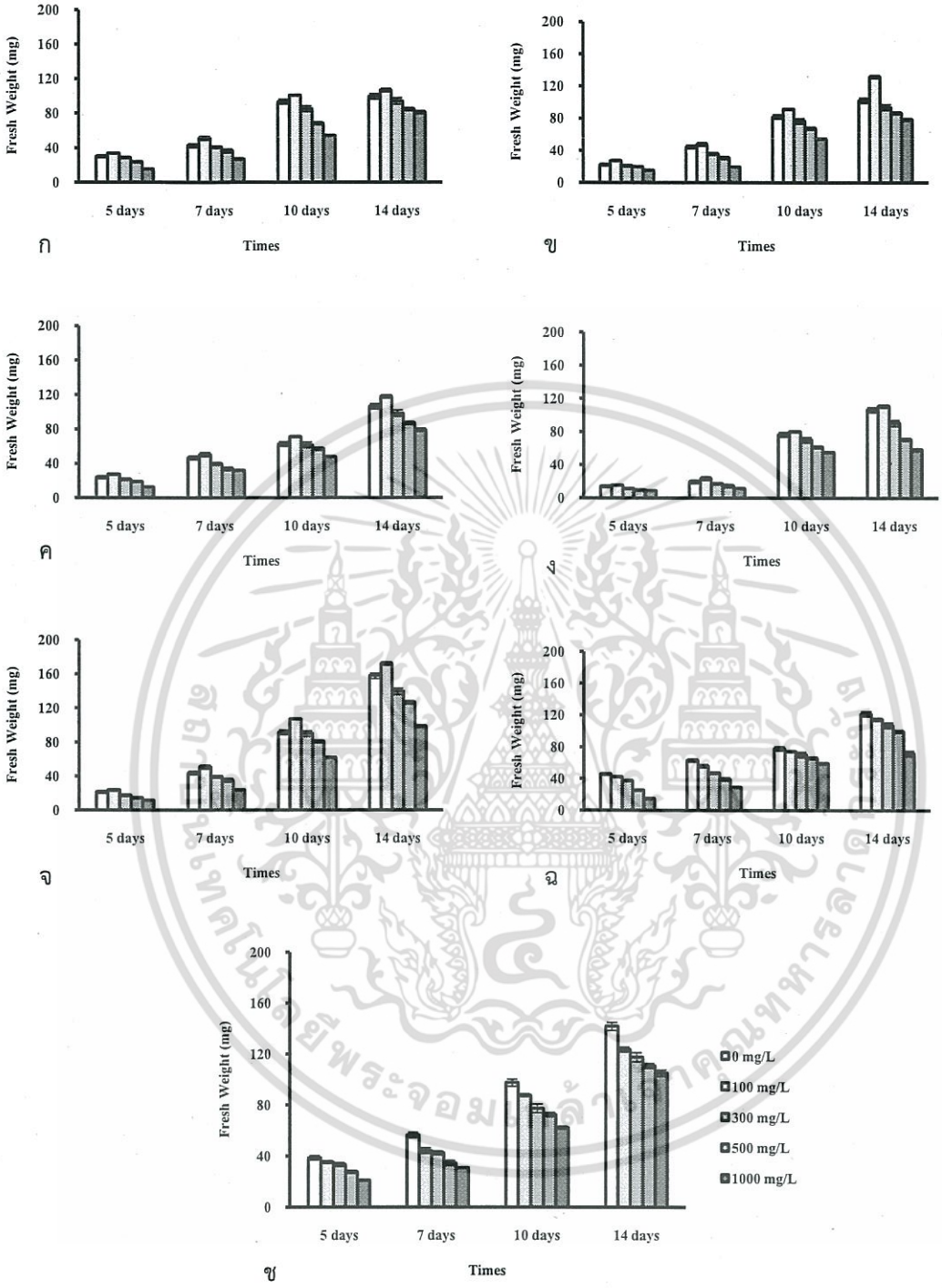
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149689



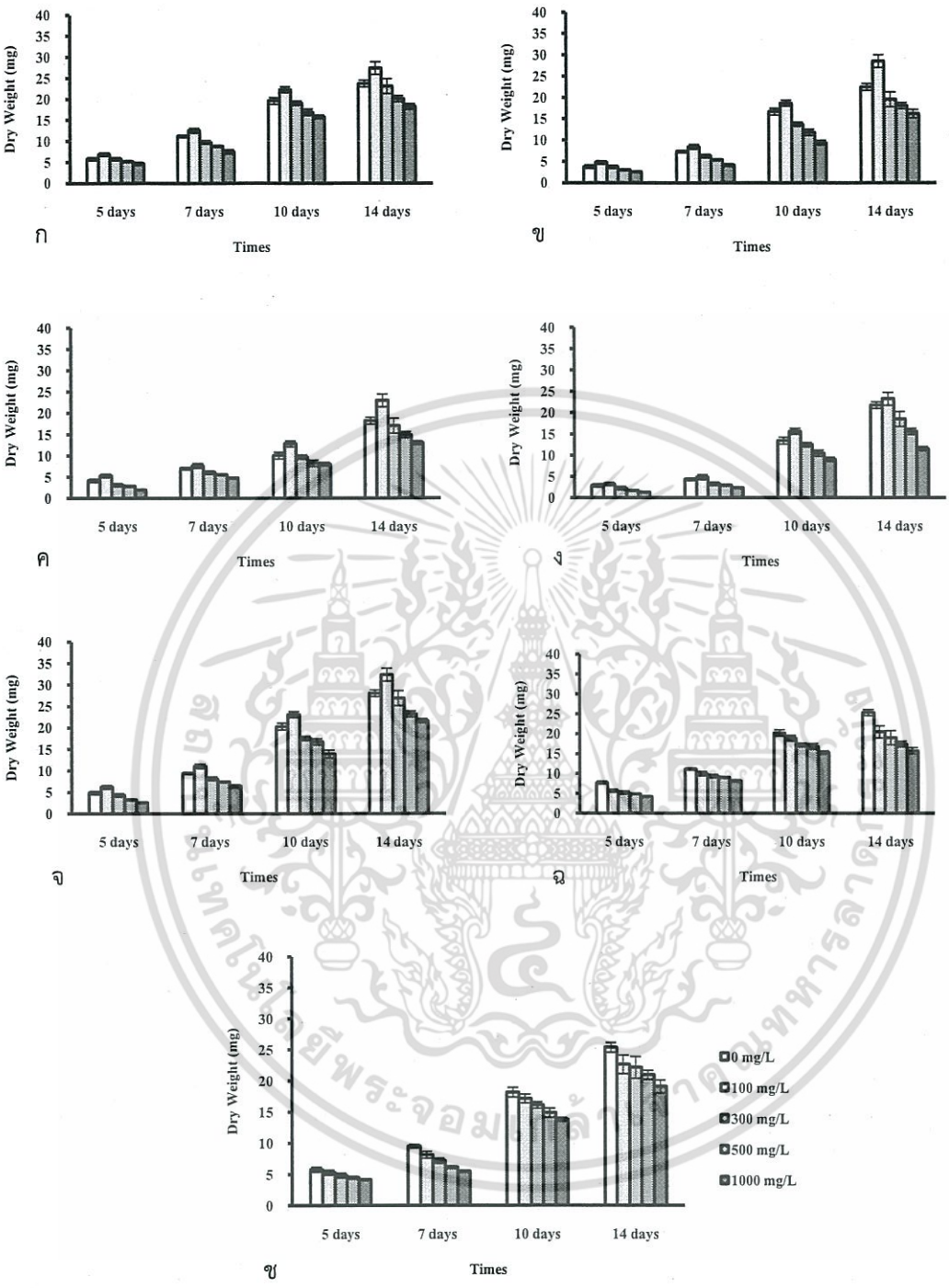
ภาพที่ 4.9 ความยาวราก (Root length) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 น้ำหนักสด (Fresh weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 น้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

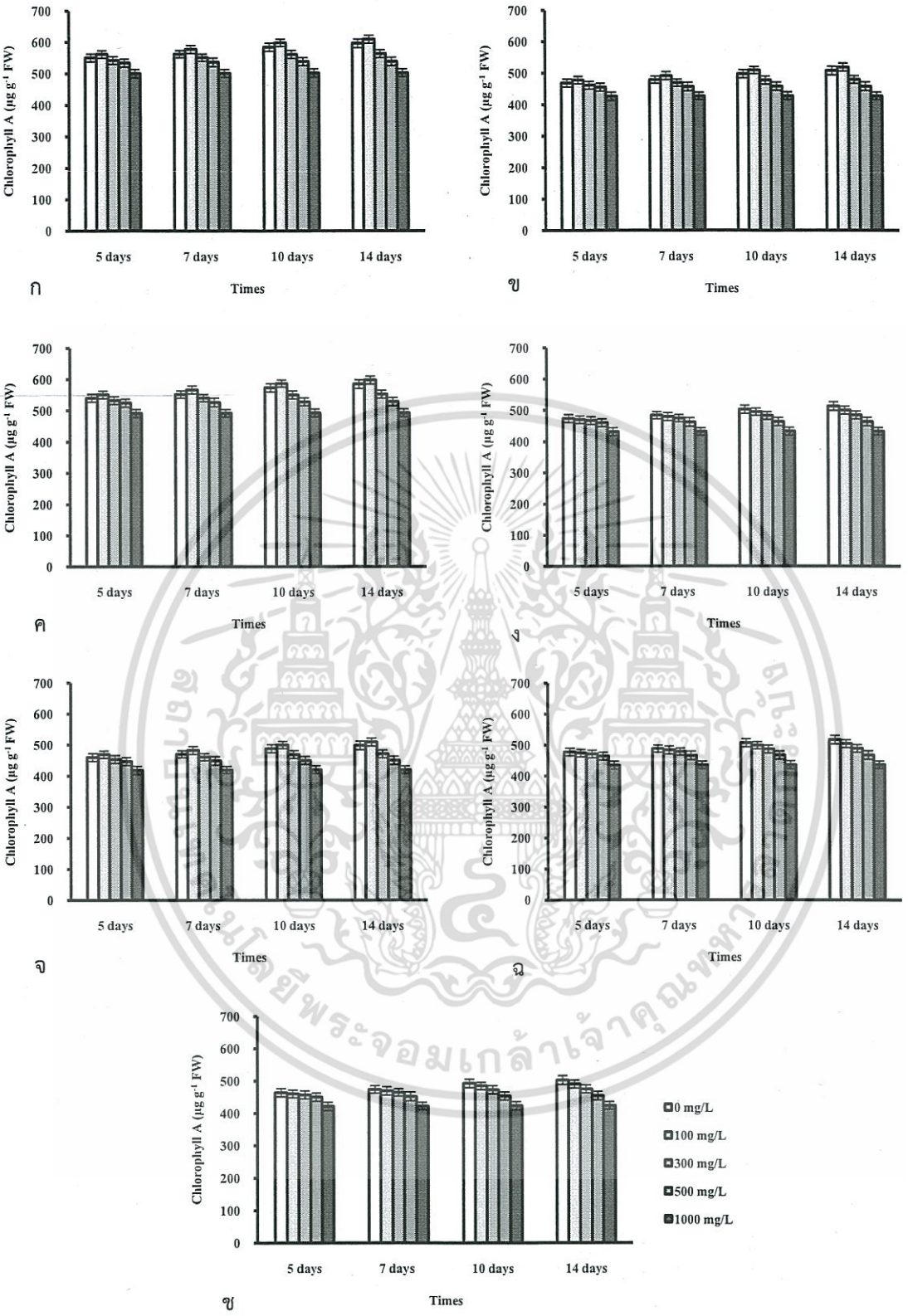
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์

จากผลการทดลองในตอนที่ 4.1 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง) ของข้าวอินดิกาทั้ง 7 สายพันธุ์นั้นมีการตอบสนองต่ออนุภาคนาโนซิงค์-ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน และเมื่อทำการศึกษาถึงลักษณะทางสรีรวิทยา (physiology) โดยศึกษาจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ (indicator) ในการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้า (inducer) ต่างๆ ทั้งทางกายภาพ (abiotic) และชีวภาพ (biotic) (Gao et al., 2006; Barhoumi et al., 2015; Hasanpour et al., 2015; Da Costa and Sharma, 2016)

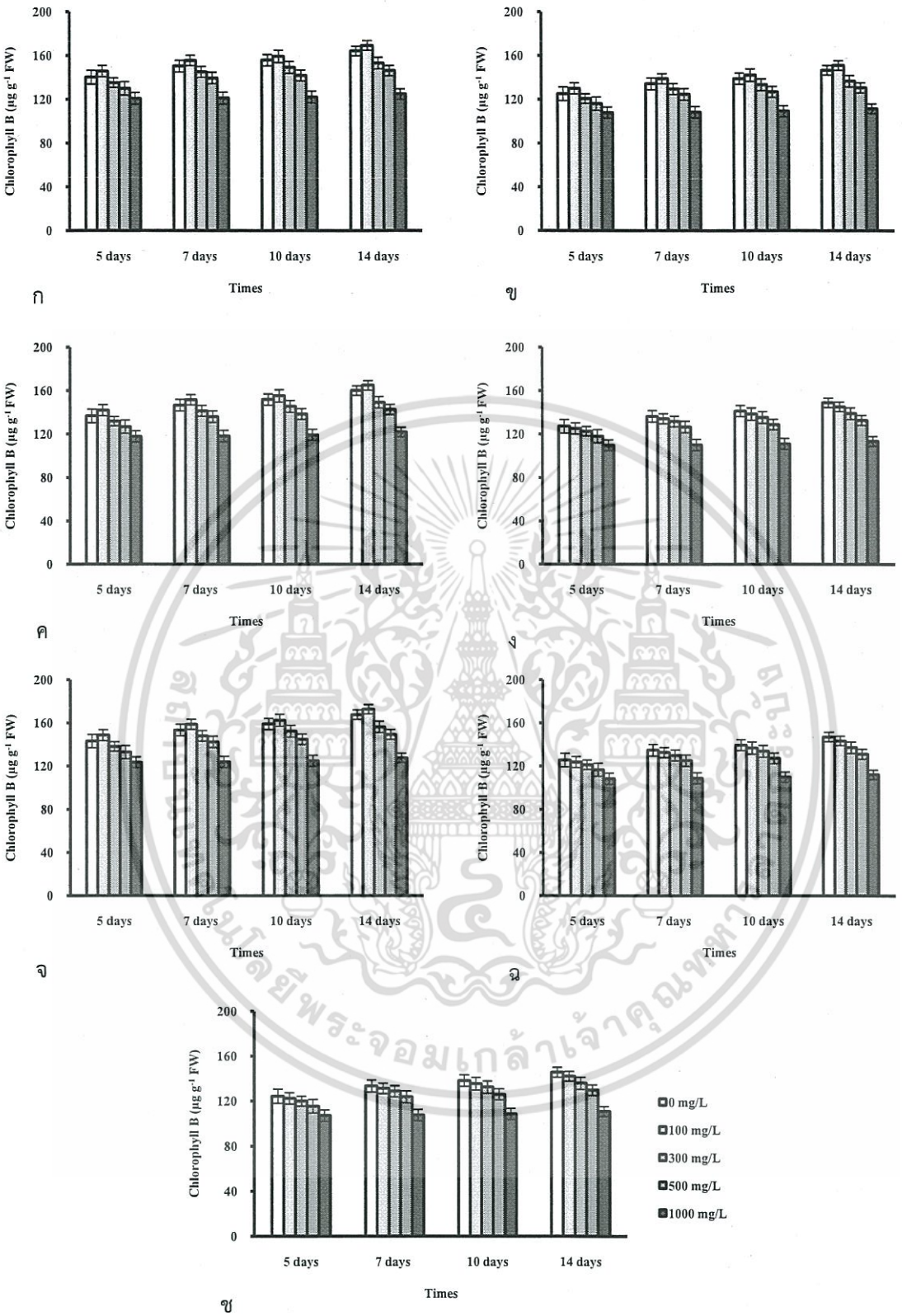
ผลการทดลองที่ได้นั้นสอดคล้องกับการศึกษาปัจจัยทางสัณฐานวิทยา โดยพบว่าต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) และกข49 (RD49) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วันนั้น มีปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ขณะที่ต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข6 (RD6) และกข15 (RD15) มีปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ และในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข47 (RD47) นั้นมีปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่กลับพบว่าในสภาวะที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น มีปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ภาพที่ 4.12-4.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



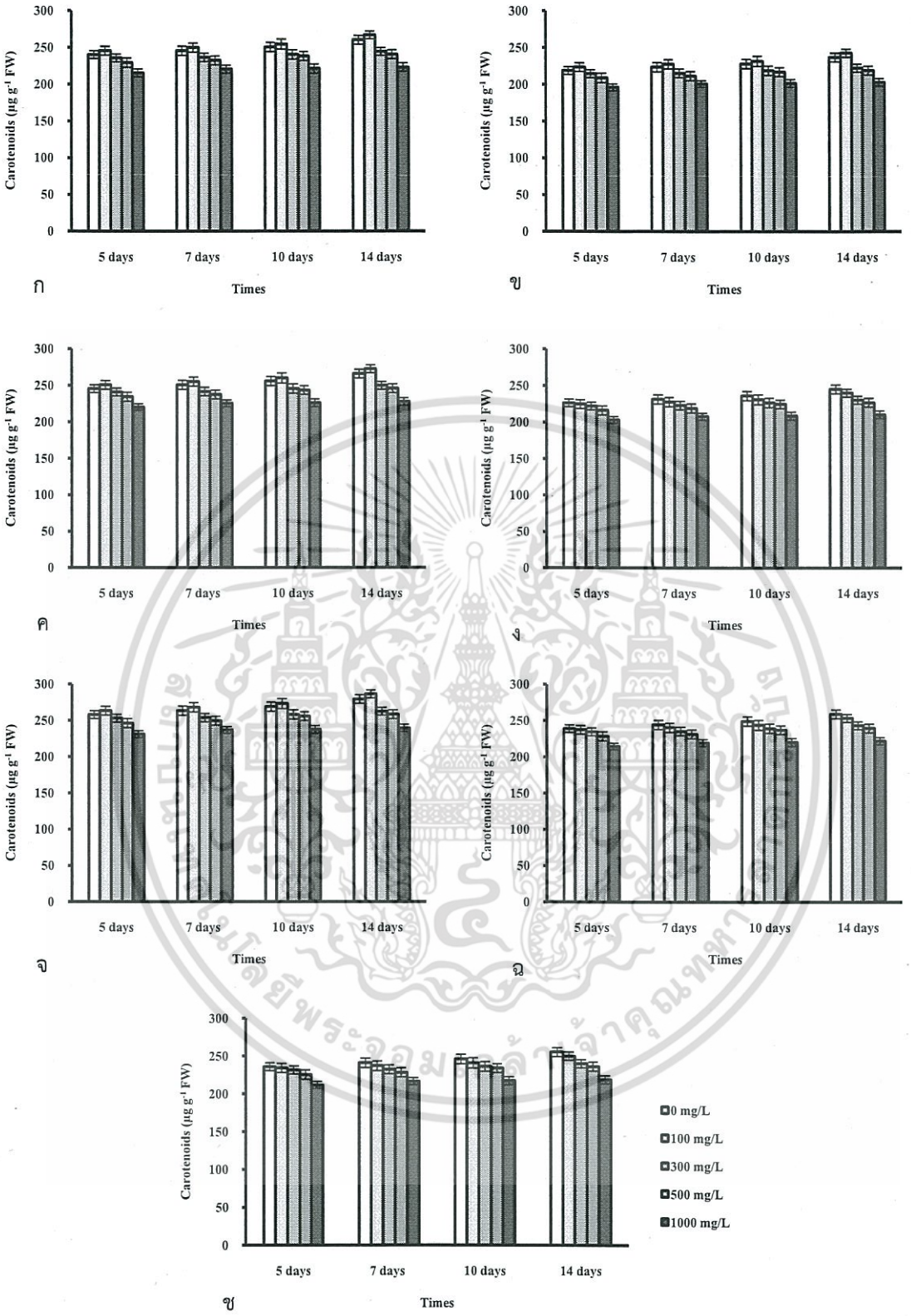
ภาพที่ 4.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข 31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



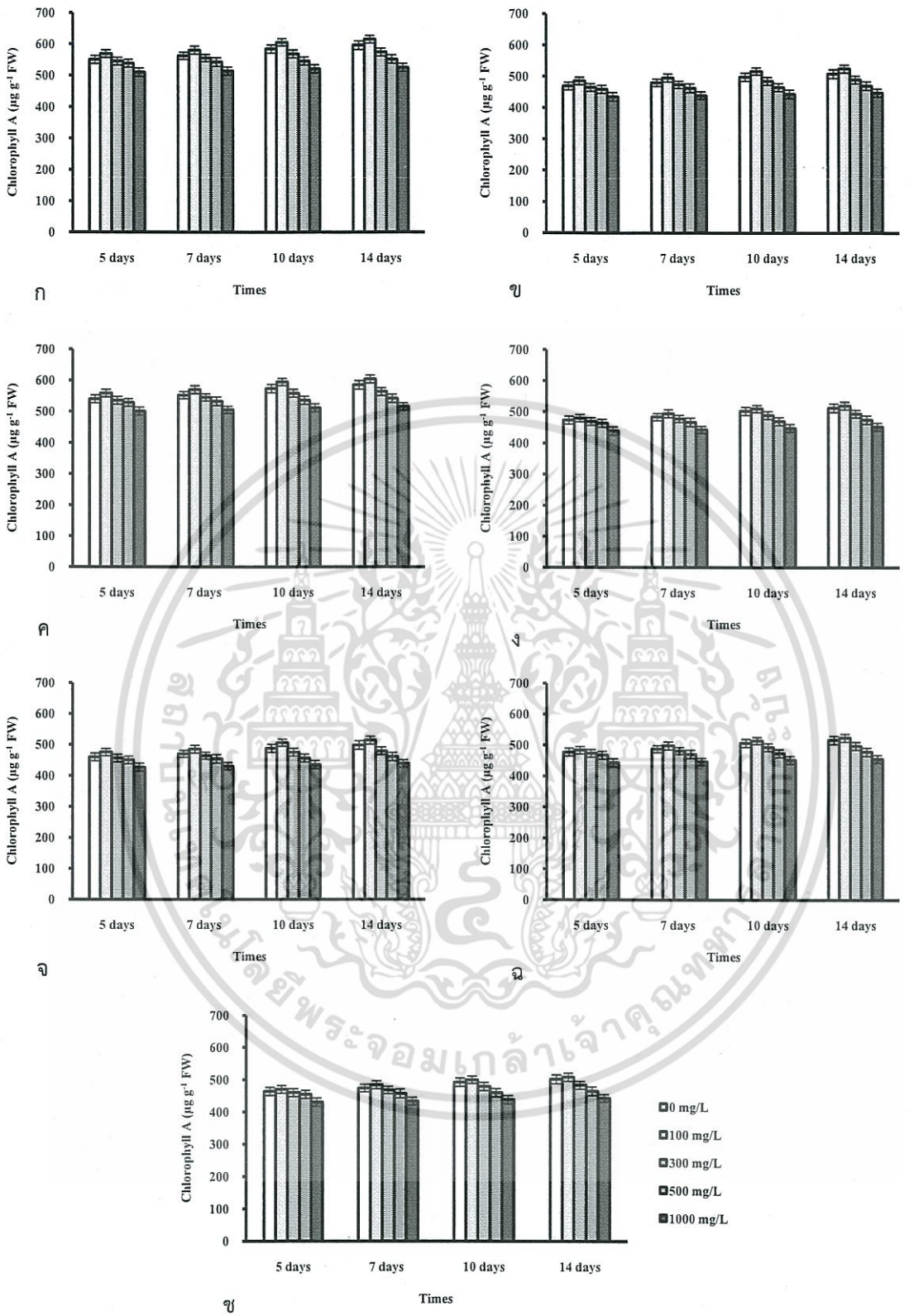
ภาพที่ 4.13 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข 31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



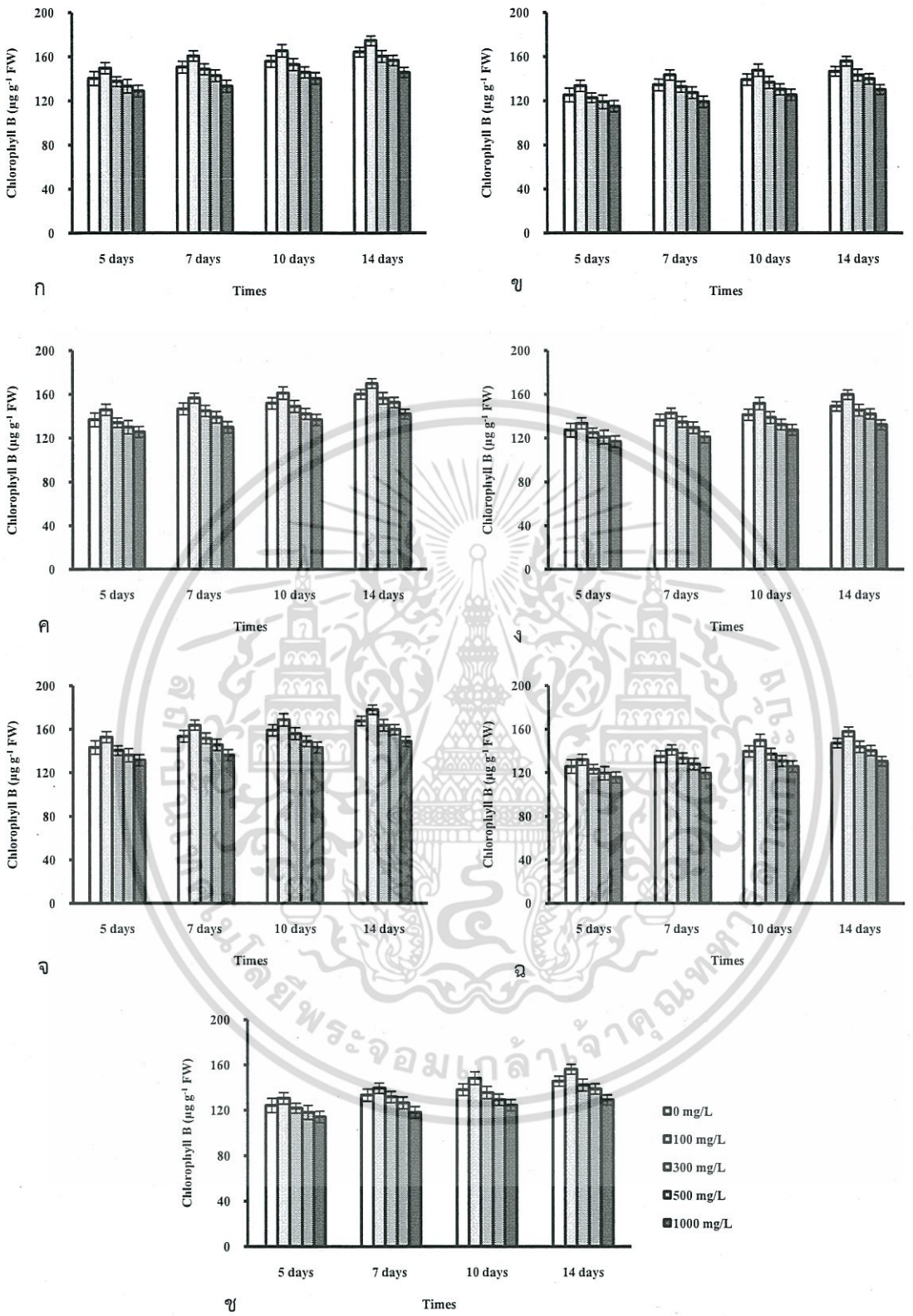
ภาพที่ 4.14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



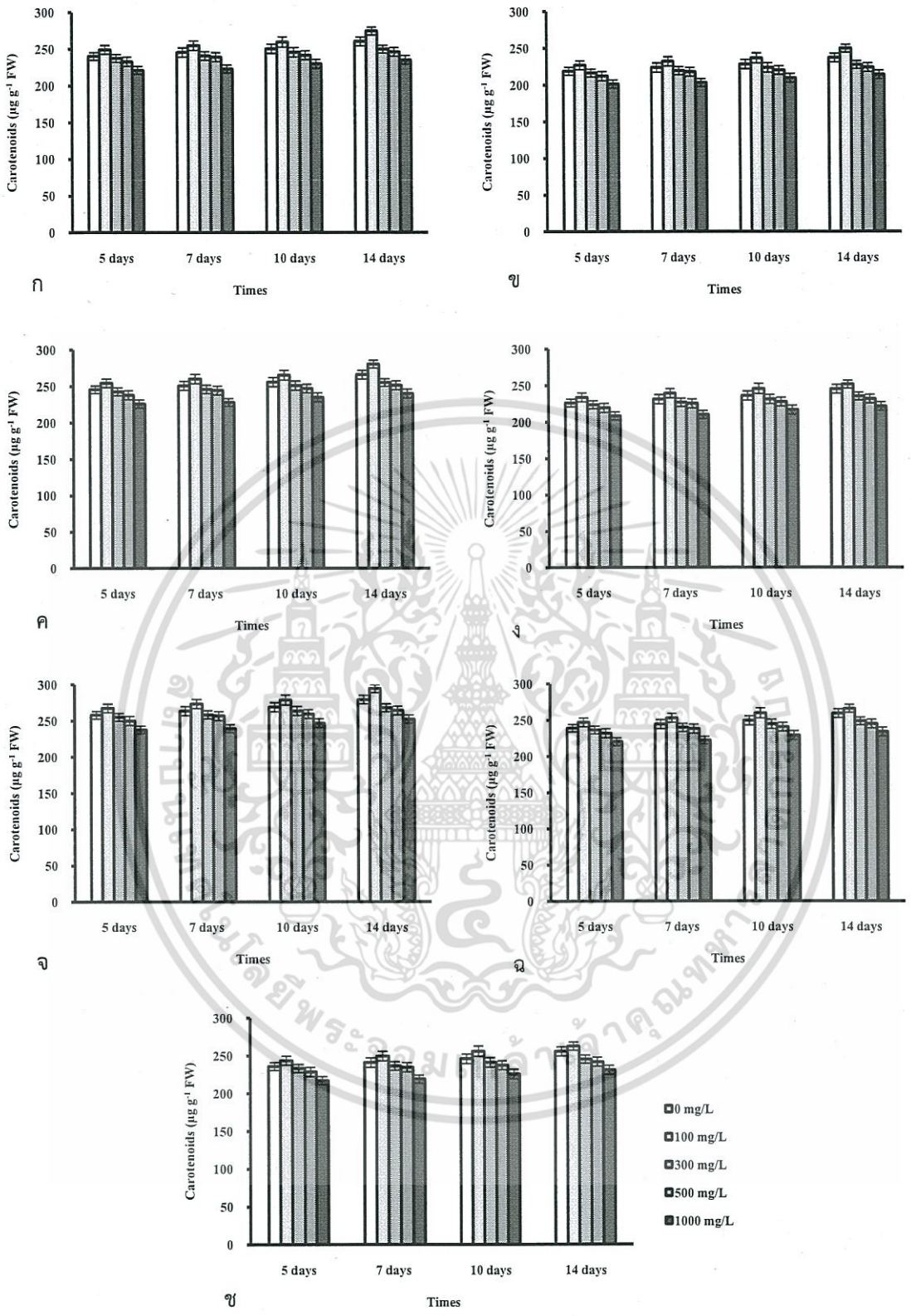
ภาพที่ 4.15 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข 31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข 31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) ทั้ง 7 สายพันธุ์

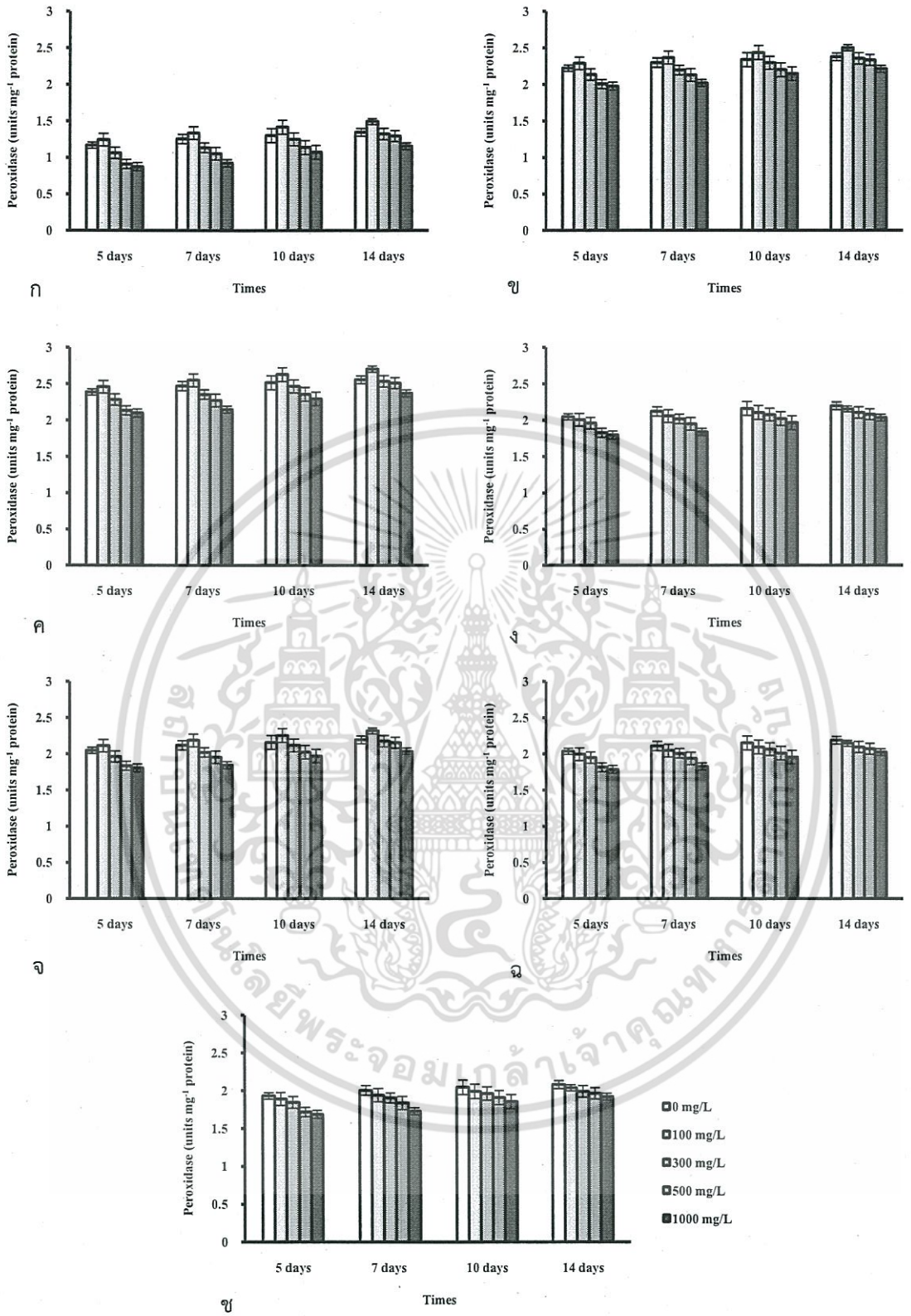
ในงานวิจัยนี้นอกจากจะทำการศึกษาถึงลักษณะทางสรีรวิทยา โดยศึกษาจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชแล้วนั้น ยังได้ศึกษาถึงปัจจัยทางสรีรวิทยาเพิ่มเติม ได้แก่ ปริมาณการสะสมกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase enzyme) และเอนไซม์แคตาเลส (catalase enzyme) ซึ่งมีคุณสมบัติในการสลายความเป็นพิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่มีการสะสมภายในเซลล์พืช เมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอก (Prochazkova and Wilhelmova, 2007; Wei and Wang, 2013; Chen et al., 2014; Hatami and Ghorbanpour, 2014) โดยที่การสะสมกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานอนุมูลอิสระที่สูงนั้น จะแสดงให้เห็นว่าพืชสามารถปรับตัวให้อยู่รอดในสภาวะที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกได้ดีกว่าพืชที่มีการสะสมกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานอนุมูลอิสระที่ต่ำ เนื่องจากอนุมูลอิสระที่สะสมในเซลล์พืชไม่ถูกยับยั้งด้วยเอนไซม์ในปริมาณที่เหมาะสม จึงส่งผลให้อนุมูลอิสระเหล่านั้นเข้าไปทำลายเซลล์ หรือองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ได้ ส่งผลให้เซลล์ถูกทำลาย และทำให้พืชไม่สามารถอยู่รอด และเจริญเติบโต รวมไปถึงสร้างผลผลิต ในสภาวะที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกเหล่านั้นได้ (Rico et al., 2013; Ghorbanpour and Hatami, 2014; Laware and Raskar, 2014)

ผลการทดลองที่ได้นั้นสอดคล้องกับการศึกษาปัจจัยทางสัณฐานวิทยา และการศึกษาปัจจัยทางสรีรวิทยา (physiology) โดยศึกษาจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยพบว่าต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) และกข49 (RD49) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วันนั้น มีปริมาณการสะสมค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแคตาเลสที่สูงขึ้น และสูงมากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ขณะที่ต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข6 (RD6) และกข15 (RD15) มีปริมาณการสะสมค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแคตาเลสที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ และในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข47 (RD47) นั้นมีปริมาณการสะสมค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแคตาเลสที่ลดลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่กลับพบว่าในสภาวะที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น มีปริมาณการสะสมค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และแคตาเลสที่สูงขึ้น และสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

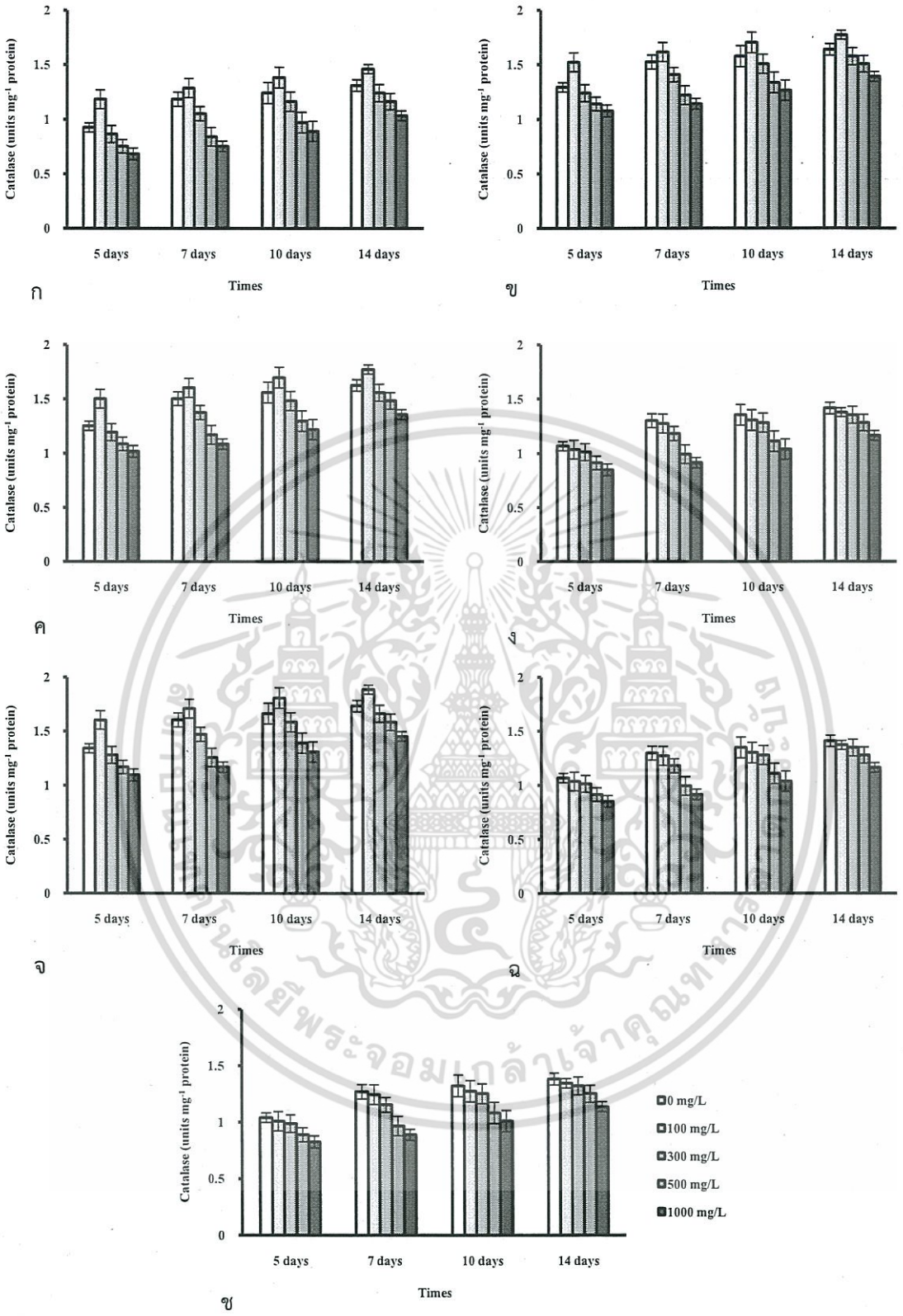
มากกว่าชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ภาพที่ 4.18-4.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



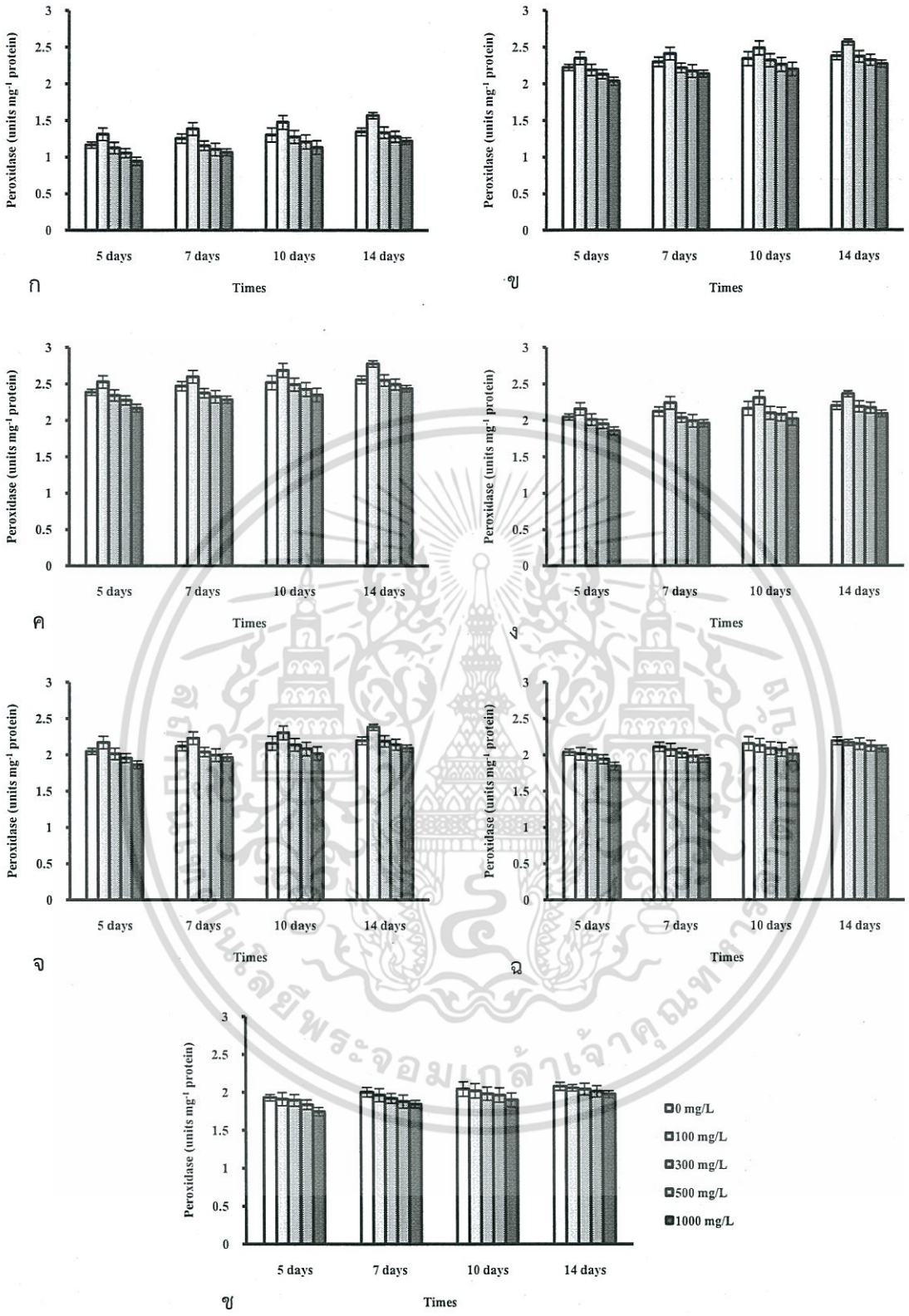
ภาพที่ 4.18 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



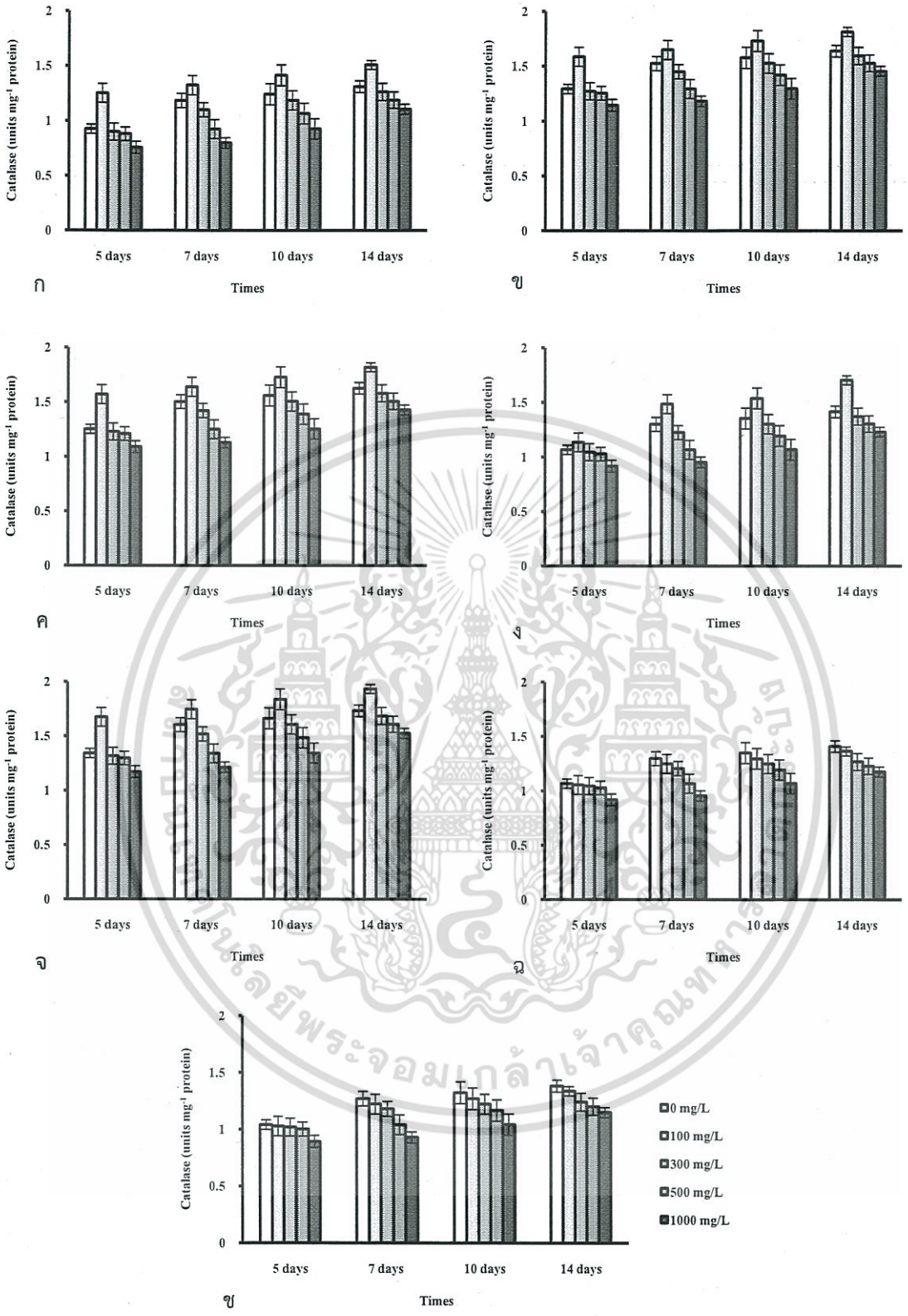
ภาพที่ 4.19 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แคตาเลส (Catalase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ปริมาณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แคตาเลส (Catalase) ของต้นกล้าข้าวไทยสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1; ก) กข31 (RD31; ข) กข41 (RD41; ค) กข47 (RD47; ง) กข49 (RD49; จ) กข6 (RD6; ฉ) และกข15 (RD15; ช) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ NB ที่มีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้นั้น แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของต้นข้าวต่ออนุภาคนาโนซิงค์-ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ของข้าวอินดิกา โดยพบว่าต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี1 (PT1) กข31 (RD31) กข41 (RD41) และกข49 (RD49) นั้น สามารถชักนำให้มีการเจริญเติบโต และการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ดี โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นตัวกระตุ้น ในขณะที่ต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข6 (RD6) และกข15 (RD15) นั้นไม่สามารถใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และไทเทเนียม-ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวกระตุ้นได้ เนื่องจากมีการแสดงออกทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่มีอนุภาคนาโน และในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์กข47 (RD47) นั้นสามารถใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตได้ แต่ไม่สามารถใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการกระตุ้น ผลการทดลองแสดงถึงความแตกต่างกันในการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนในการชักนำการเจริญเติบโตในพืช รวมถึงการสร้างผลผลิตในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของข้าวอินดิกา 7 สายพันธุ์ในสภาวะเพาะเลี้ยงเนื้อเลี้ยง จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้นั้นอาจจะมีความคลาดเคลื่อน เมื่อทำการศึกษาในข้าว หรือพืชสายพันธุ์อื่น รวมถึงการศึกษาในสภาวะแปลงทดลองที่มีปัจจัยทางธรรมชาติอื่นๆ ที่ควบคุมไม่ได้ จึงควรทำการทดลองในสภาวะแปลงทดลองเพิ่มเติม รวมถึงการศึกษาในสายพันธุ์ของข้าวที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตงานวิจัย

ผลการทดลองจากโครงการวิจัยนี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ ดังนี้

- Chutipaijit, S. and Mongkolaussavara, T. 2017. Investigation of the plant growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes changes of aromatic rice treated with nano-TiO_2. Pathumwan Academic Journal. 7(18): 27-39.
- Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2017. Evaluating the effect of zinc oxide nanoparticles on the physiological responses of nine non-photoperiod sensitive rice cultivars. Materials Today: Proceedings, 4: 6430-6435.
- Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2017. Assessment of antioxidant enzymes in response to exogenous titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles in Chainat 1 rice cultivar. Materials Today: Proceedings (Article in Press).
- Chutipaijit, S., Whalley, A.J.S. and Sutjaritvorakul, T. 2017. *In vitro* plant growth promotion by ZnO nanomaterials in *indica* rice seedlings (*Oryza sativa* L.). Key Engineering Materials (Article in Press).

และผลการทดลองอีกส่วนหนึ่งจะตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus หรือ ISI ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Aebi, H., 1984. Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology, 105: 121-126.

Almutairi, Z.M., 2016. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. Plant Omics J., 9: 106-114.

Antunes, A.M.D., Alencar, M.S.D., da Silva, C.H., Nunes, J. and Mendes, F.M.L., 2012. Trends in nanotechnology patents applied to the health sector, Recent Pat. Nanotech., 6: 29-43.

Barhoumi, L., Oukarroum, A., Taher, L.B., Smiri, L.S., Abdelmelek, H. and Dewez, D., 2015. Effects of superparamagnetic iron oxide nanoparticles on photosynthesis and growth of the aquatic plant *Lemna gibba*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 68: 510-520.

Beffa, R., Martin, H.V. and Pilet, P.E. 1990, *In vitro* oxidation of indoleacetic acid by soluble auxin-oxidases and peroxidases from maize root. Plant Physiol., 94: 485-491.

Burman, U., Saini, M. and Kumar, P., 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings, Toxicol. Environ. Chem., 95: 605–612.

Cañas, J.E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M., Ambikapathi, R., Lee, E.H. and Olszyk, D., 2008. Effects of functionalized and nonfunctionalized single walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species, Environ. Toxicol. Chem., 27: 1922–1931.

Chen, H., Gong, Y., Han, R., 2014. Cadmium telluride quantum dots (CdTe-QDs) and enhanced ultraviolet-B (UV-B) radiation trigger antioxidant enzyme metabolism and programmed cell death in wheat seedlings. PLoS ONE 9: e110400.

Da Costa, M.V.J. and Sharma, P.K., 2016. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. Photosynthetica 54: 110-119.

Dhawan, A. and Sharma, V., 2010. Toxicity assessment of nanomaterials: Methods and challenges, Anal. Bioanal. Chem., 398: 589–605.

Dhoke, S.K., Mahajan, P., Kamble, R. and Khanna, A., 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method, Nanotechnol. Dev., 3: e1.

Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L., Rezvani Moghaddam, P., 2013. Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill), Chemosphere, 91: 506–511.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Galbraith, D.W., 2007. Nanobiotechnology: silica breaks through in plants, Nat. Nanotechnol., 2: 272–273.

Gao, F.Q., Hong, F.S., Liu, C., Zheng, L., Su, M.Y., Wu, X., Yang, F., Wu, C. and Yang, P., 2006. Mechanism of nanoanatase TiO2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: inducing complex of Rubisco-Rubisco activase. Biol. Trace Elem. Res., 11: 239-254.

Ghorbanpour, M. and Hatami, M., 2014. Spray treatment with silver nanoparticles plus thidiazuron increases anti-oxidant enzyme activities and reduces petal and leaf abscission in four cultivars of geranium (*Pelargonium zonale*) during storage in the dark. J. Hort. Sci. Biotech., 89: 712-718.

Haefele, S.M. and Konboon, T., 2009. Nutrient management for rainfed lowland rice in northeast Thailand, Field Crops Res., 114: 374–385.

Hasanpour, H., Maali-Amiri, R. and Zeinali, H., 2015. Effect of TiO_2 nanoparticles on metabolic limitations to photosynthesis under cold in chickpea. Russ. J. Plant Physiol., 62: 779-787.

Hatami, M. and Ghorbanpour, M., 2014. Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage. Turk. J. Biol., 38: 130-139.

Hayashi, S., Kamoshita, A., Yamagishi, J., Kotchasatit, A. and Jongdee, B., 2009. Spatial variability in the growth of direct-seeded rainfed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in northeast Thailand, Field Crops Res., 111: 251–261.

Hirano, T., Bekhasut, P., Sommut, W., Zungsontiporn, S., Kondo, A., Saka, H. and Michiyam, H., 2014. Differences in elongation growth between floating and deepwater rice plants grown under severe flooding in Thailand, Field Crops Res., 160: 73–76.

John, A. 2013. Price relations between export and domestic rice markets in Thailand, Food Policy, 42: 48–57.

Karuppanapandian, T., Wang, H.W., Prabakaran, N., Jeyalakshmi, K., Kwon, M., Manoharan, K. and Kim, W., 2011. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-induced leaf senescence in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and senescence inhibition by co-treatment with silver nanoparticles, Plant Physiol. Biochem., 49: 168–177.

Khodakovskaya, M.V., de Silva, K., Biris, A.S., Dervishi, E. and Villagarcia, H., 2012. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells, ACS Nano, 6: 2128–2135.

Kingsley, D.J., Ranjan, S., Dasgupta, N. and Saha, P., 2013. Nanotechnology for tissue engineering: Need, techniques and applications, J. Pharm. Res., 7: 200–204.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kumar, R., Roopan, S.M., Prabhakarn, A., Khanna, V.G. and Chakroborty, S., 2012. Agricultural waste Annona squamosa peel extract: biosynthesis of silver nanoparticles, Spectro. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc., 90: 173–176.

Laware, S.L. and Raskar, S., 2014. Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci., 3: 749-760.

Lee, C.W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y.C., Braam, J. and Alvarez, P.J.J., 2010. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*, Environ. Toxicol. Chem., 29: 669–675.

Li, L., Qu, R., De Kochko, A., Frauquet, C. and Beachy. R.N., 1993. An improved rice transformation method using the biolistic method, Plant Cell Rep., 12: 250-255.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, Methods Enzymol., 148: 350-380.

Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y. and Kolmakov, A., 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation, Sci. Total Environ., 408: 3053–3061.

Mahmoodzadeh, H., Nabavi, M. and Kashefi, H., 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*), J. Ornamental Hortic. Plants, 3: 25–32.

Miralles, P., Johnson, E., Church, T.L. and Harris, A.T., 2012. Multiwalled carbon nanotubes in alfalfa and wheat: toxicology and uptake, J. Rl. Soc. Interface, 9: 3514–3527.

Morla, S., Ramachandra Rao, C.S.V. and Chakrapani, R., 2011. Factors affecting seed germination and seedling growth of tomato plants cultured *in vitro* conditions, J. Chem. Bio. Phys. Sci. B, 1: 328–334.

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants, Plant Sci., 179: 154–163.

Patra, P., Choudhury, S.R., Mandal, S., Basu, A., Goswami, A., Gogoi, R., Srivastava, C., Kumar, R. and Gopal, M. 2013. Effect sulfur and ZnO nanoparticles on stress physiology and plant (*Vigna radiata*) nutrition. In: Advanced Nanomaterials and Nanotechnology, Springer Berlin Heidelberg, pp. 301-309.

Prochazkova, D. and Wilhelmova, N., 2007. Leaf senescence and activities of the antioxidant enzymes. Biol. Plant 51: 401-406.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rejeski, D. and Lekas, D., 2008. Nanotechnology field observations: scouting the new industrial west, J. Cleaner Prod., 16: 1014–1017.

Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L., 2011. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain, J. Agric. Food Chem., 59: 3485–3498.

Rico, C.M., Morales, M.I., McCreary, R., Castillo-Michel, H., Barrios, A.C., Hong, J., Tafoya, A., Lee, W.Y., Varela-Ramirez, A., Peralta-Videa, J.R. and GardeaTorresdey, J.L., 2013. Cerium oxide nanoparticles modify the antioxidative stress enzyme activities and macromolecule composition in rice seedlings. Environ. Sci. Technol., 47: 14110-14118.

Sabaghnia, N., Janmohammadi, M., 2014. Effect of nanosilicon particles application on salinity tolerance in early growth of some lentil genotypes. Ann. UMCS Biol., 69: 39-55.

Salama, H.M.H., 2012. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.), Int. Res. J. Biotech., 3: 190–197.

Savithramma, N., Ankanna, S. and Bhumi, G., 2012. Effect of nanoparticles on seed germination and seedling growth of *Boswellia ovalifoliolata* an endemic and endangered medicinal tree taxon, Nano Vision, 2: 61–68.

Sayes, C.M. and Warheit, D.B., 2009. Characterization of nanomaterials for toxicity assessment. Wiley Interdisciplinary Reviews. Nanomedicine and Nanobiotechnology, 1: 660–670.

Shabala, S.N., Shabala, S.I., Martynenko, A.I., Babourina, O. and Newman, I.A., 1999. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+ accumulation and chlorophyll flovorescence of maize leaves: A comparative survey and prospect for screenings, Aust. J. plant Physiol., 25: 609-616.

Song, G., Gao, Y., Wu, H., Hou, W., Zhang, C. and Ma, H., 2012. Physiological effect of anatase TiO_2 nanoparticles on *Lemna minor*, Environ. Toxicol. Chem., 31: 2147–2152.

Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Rajendran, V. and Kannan, N., 2012. Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays* L) seeds under hydroponic conditions, Curr. Nanosci., 8: 902–908.

Syu, Y.Y., Hung, J.H., Chen, J.C. and Chuang, H.W., 2014. Impact of size and shape of silver nanoparticles on Arabidopsis plant growth and gene expression. Plant Physiol. Biochem., 83: 57-64.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshgoftar, A.H., 2016. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of suflower cultivars under salt stress. J. Plant Nutr., 39: 172-180.

Uskokovic, V., 2013. Entering the era of nanoscience: time to be so small, J. Biomed. Nanotechnol., 9: 1441-1470.

Wei, H. and Wang, E., 2013. Nanomaterials with enzyme-like characteristics (nanozymes): next-generation artficial enzymes. Chem. Soc. Rev., 42: 6060-6093.

Zhang, W.X., 2003. Nanoscale iron particles for environmental remediation: an overview, J. Nano. Res., 5: 323–332.

Zhai, C.K., Lu, C.M., Zang, Q., Sun, G.J. and Lorenz, K.J., 2001. Comparative study on nutritional value of Chinese and North American wild rice, J. Food Compos. Anal., 14: 371-382.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2560

☑ แหล่งงบประมาณแผนดิน (แบบปกติ) ☐ แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) อิทธิพลของซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียนไดออกไซด์อนุภาคนาโนต่อข้าวสายพันธุ์ไทยในสภาวะหลอดทดลอง

(ภาษาอังกฤษ) Influence of ZnO and TiO_2 nanoparticles on Thai rice cultivars in *in vitro* culture

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559 **ถึงวันที่** 30 กันยายน 2560

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 238,000.00 บาท 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 26 ม.ค. 60

งวดที่ 2 42,000.00 บาท 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 15 มิ.ย.60

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	110,000.00	110,000.00	0.00
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าจ้างเหมา	-	-	-
ค่าวัสดุ	170,000.00	170,016.60	-16.60
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	280,000.00	280,016.60	-16.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2560

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย						รวมรายจ่าย
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน				งบลงทุน	
							ค่าจ้างชั่วคราว	ค่าตอบแทน	ค่าใช้สอย	ค่าวัสดุ	ค่าสาธารณูปโภค	ค่าครุภัณฑ์	
	งบประมาณที่ได้รับการอนุมัติ (ตามแผน)		280,000.00										-
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 1 = 85%)		238,000.00										
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 2 = 15%)		42,000.00										

	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 3)												
	หัก ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 1)			20,000.00			20,000.00	-	-	-	-	-	20,000.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 2)			107,722.77			30,000.00	-	-	77,722.77	-	-	107,722.77
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 3)			106,000.00			30,000.00	-	-	76,000.00	-	-	106,000.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 4)			46,293.83			30,000.00	-	-	16,293.83	-	-	46,293.83
	งบประมาณคงเหลือ		280,000.00		**- 16.60**	**0.00**							
	รายละเอียดค่าใช้จ่าย												
ครั้งที่ 1													
30 พ.ย. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
30 ธ.ค. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
													-

										-
	รวมครั้งที่ 1		-	-	-	-	20,000.00	-	-	-	-	20,000.00
ครั้งที่ 2										
30 ม.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00					10,000.00
28 ก.พ. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00					10,000.00
31 มี.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00					10,000.00
27 ม.ค. 60	กระดาษกรองขนาด 47mm Membrane filter 0.45um	IV17-02-0077							23,112.00			23,112.00
	ชุดกรองสารเคมีขนาด 13mm Nylon Syringe filter 0.22											-
31 ม.ค. 60	ชุดกรองสารเคมีขนาด	IV17-02-0076							26,750.00			26,750.00

	25mm Nylon Syringe filter 0.45									
	Ultra Grade 19 Oil สำหรับงานสารเคมี									-
2 ก.พ. 60	25 มม Nylon syringe size 0.22um	IV17-02-0075					17,537.30			17,537.30
	Nytrogen Cylinder 47 L									-
	Nytrogen Gas 99.5% Content 7 Qubic									-
27 ก.พ. 60	Zinc acetate / Zinc oxide / ซิลิก้าเจล / filter paper	IV-60030288					3,596.70			3,596.70
15 มี.ค. 60	Iodine / acetone / sodium hydroxide /	IV-60070788					6,726.77			6,726.77

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

	ethanol											
	รวมครั้งที่ 2		-	-	-	-	30,000.00	-	-	77,722.77	-	-	107,722.77
ครั้งที่ 3												
28 เม.ย. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
31 พ.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
30 มิ.ย. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
17 เม.ย. 60	ammonium sulpahte / magnesium sulphate /	BL60/32								27,820.00			27,820.00
	sodium dihydrogen phophate / cobalt chloride												-
15 พ.ค. 60	glutamic acid / nitrate agar / methanol /	BL60/33								25,680.00			25,680.00

	acetone									
2 มิ.ย. 60	beaker / pipette volumetric/ erlenmayer flask /	BL60/34					22,500.00			22,500.00
	volumetric flask / laboratory bottle									-
										-
										-
										-
										-
	รวมครั้งที่ 3			30,000.00	-	-	76,000.00	-	-	106,000.00
ครั้งที่ 4										
31 ก.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน		10,000.00						10,000.00
31 ส.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน		10,000.00						10,000.00

20 ก.ย. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	ใบสำคัญรับเงิน					10,000.00						10,000.00
7 ก.ย. 60	แผ่นอะลูมิเนียน / สกรูร่มรีเวท / ลวดตาข่าย	VC6009-0031								6,543.05			
6 ก.ค. 60	น๊อตสกรู / สายไฟ / ปลั๊กอีเกิล / สวิตซ์เปิด-ปิด /	8566								4,344.20			
	บาลาส / หลอดไฟ 18W												
1 ส.ค. 60	เข็มเขี่ยเชื้อ / ช้อนตักสารสแตนเลส / 96 well plate /	IV-60080915								5,406.58			5,406.58
	petri dish 15*90 mm												-
													-
	รวมครั้งที่ 4		-	-	-	-	30,000.00	-	-	16,293.83	-	-	35,406.58

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายสุธี ชุติไพจิตร

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
ปร.ด.	เทคโนโลยีชีวภาพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2552
ส.บ.	อาชีวอนามัยและความปลอดภัย	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช	2554
วท.บ.	เทคโนโลยีชีวภาพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2548

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) Extraction and analysis plant metabolites, Plant tissue culture, Phytochemistry, Nanobiotechnology

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2549	ทุนการศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST)	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
2554-2555	ทุนวิจัย รูปแบบการสะสมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในการตอบสนองต่อสภาวะเกลือและความแห้งแล้งในข้าวสายพันธุ์ไทย	กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	การศึกษาผลกระทบของการเติมสารอินทรีย์และโลหะอนุภาคนาโนต่อการชักนำให้เกิดต้นใหม่ในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เพื่อประสิทธิภาพในการถ่ายโอนยีน	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2557	การศึกษาการใช้แหล่งคาร์บอนชนิดนาโนในการเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสำหรับข้าวสายพันธุ์ไทย (*Oryza sativa* L.)	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2558-2559	การเปรียบเทียบการสะสมสารฟีนอลิก สารเฟลโวนอยด์ และอนุพันธ์ของสารกลุ่มเฟลโวนอยด์ในข้าวสายพันธุ์ไทยที่หลากหลาย (*Oryza sativa* L. spp. *indica*)	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Sompornpailin, K., and Chutipaijit, S. 2005. Effect of abiotic stresses on adaptive response in cereal. Journal Science-Ladkrabang, 14(2): 64-71.

Sompornpailin, K., Chutipaijit, S. and Cha-um, S. 2007. Effects of salt and mannitol on physiological alteration and flavonoids production in Thai rice (*Oryza sativa* L. spp. *indica*). Journal Science-Ladkrabang, 16(2): 41-55.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Alteration of proline and anthocyanin levels affects salinity tolerance in *indica* rice seedlings. KMITL Science Journal, 8(2): 6-11.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Influence of drought stress on proline and anthocyanin accumulations in *indica* rice cultivars. KMITL Science Journal, 8(2): 78-85.

Sompornpailin, K., Chutipaijit, S. and Cha-um, S. 2008. Influence of salinity and drought stresses on physiological characteristic and proline synthesis of Thai rice cultivars (*Oryza sativa* L. spp. *indica*). Journal Science-Ladkrabang, 17(2): 64-79.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Modulation of proline and anthocyanin levels improves salt tolerant in *indica* rice seedlings. Journal of Biotechnology, 136s: s152.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2009. Differential accumulations of proline and flavonoids in *indica* rice varieties against salinity. Pakistan Journal of Botany, 41(5): 2497-2506.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2009. Proline accumulation and physiological responses of *indica* rice genotypes differ in tolerance to salt and drought stresses. The Philippine Agricultural Scientist, 93(2): 165-169.

Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2011. Polyamines in plant response to various abiotic stress. Srinakharinwirot Science Journal, 27(1): 215-229.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sompornpailin, K., and Chutipaijit, S. 2011. Relation of the flavonoid contents to antioxidant activity in Thai rice seeds. Journal of Srinakharinwirot University, 3: 95-101.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2011. High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. *indica*. Australian Journal of Crop Science, 5(10): 1191-1198.

Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2011. The biotechnology applications in the chemical industry. King Mongkut's Agro-Industry Journal, 3(1): 29-42.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2012. An evaluation of water deficit tolerance screening in pigmented *indica* rice genotypes. Pakistan Journal of Botany, 44(1): 65-72.

Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2012. Enhancement of plant regeneration efficiency from mature grains of Thai *indica* rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML105). Pakistan Journal of Botany 44(4):1385-1390.

Orachaipunlap, K., Suwannasai, N., Chutipaijit, S., Whalley, A.J.S. and Sihanonth, P. 2015. Antioxidant properties derived from stromata of *Xylaria* species collected from tropical forest. Research Journal of Biotechnology. 10(3): 1-7.

Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2015. Influence of nano-zinc oxide on physiological and productivity change of *indica* rice. Pathumwan Academic Journal. 5(13): 23-29.

Chutipaijit, S. 2015. Establishment of condition and nanoparticle factors influencing plant regeneration from aromatic rice (*Oryza sativa*). International Journal of Agriculture and Biology 17: 1049-1054.

Chutipaijit, S. 2016. Evaluation of morphological and physiological response in Khao Dawk Mali 105 rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) induced by zinc oxide nanoparticles. Pathumwan Academic Journal. 6(15): 15-23.

Chutipaijit, S. and Sutjaritvorakul, T. 2016. Application of nanomaterials in plant regeneration of rice (*Oryza sativa* L.). Materials Today: Proceedings, 4: 6140-6145.

Sutjaritvorakul, T., Chutipaijit, S. and Sihanonth, P. 2016. Solubilization and bioprecipitation of zinc oxide nanoparticles by fungi isolated from zinc sulfide mineral ores. Materials Today: Proceedings, 4: 6562-6566.

Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2016. Evaluating the effect of zinc oxide nanoparticles on the physiological responses of nine non-photoperiod sensitive rice cultivars. Materials Today: Proceedings, 4: 6430-6435.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2017. Assessment of antioxidant enzymes in response to exogenous titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles in Chainat 1 rice cultivar. Materials Today: Proceedings (Article in Press).

Chutipaijit, S., Whalley, A.J.S. and Sutjaritvorakul, T. 2017. *In vitro* plant growth promotion by ZnO nanomaterials in *indica* rice seedlings (*Oryza sativa* L.). Key Engineering Materials (Article in Press).

การเสนอผลงานวิชาการ

Chutipaijit, S., Intawong, B. and Sompornpailin, K. 2006. Factors of callus and combination of plant growth regulators effect on the plant regeneration from scutellum of *indica* rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105). KMITL International Conference on Science and Applied Science. Swissotel Le Concorde, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Sompornpailin, K. and Cha-um, S. 2006. An effective procedure of flavonoid antioxidant accumulation in *indica* rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) varieties using sodium chloride elicitor. The 8th Annual Meeting BIOTEC Research Unit. 1-3 June, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Sompornpailin, K. and Cha-um, S. 2007. Physiological response and flavonoid accumulation of Thai rice varieties (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) to salinity and drought stresses. The Annual Conference NSTDA. 28-30 March, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2007. The impact of flavonoid compounds on salinity and drought tolerances in *indica* rice varieties (*Oryza sativa* L. spp. *indica*). Asia Pacific Conference on Plant Tissue Culture and Agribiotechnology (APaCPA). 17 – 21 June, Kuala Lumpur, Malaysia.

Sompornpailin, K., Chutipaijit, S., Sukomon, N. and Cha-um, S. 2007. Differential expression profile of protective metabolites in various varieties of Thai rice impact on abiotic stress tolerances. The 6th Asian Crop Science Association Conference and the 2nd International Conference on Rice for the Future. 5-9 November, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2007. Accumulation of flavonoid in abiotic stressed young seedlings of *indica* rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*). International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November, Swissotel Le Concorde, Bangkok, Thailand. (Oral)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Osmoprotentant and antioxidant accumulation of *indica* rice (*Oryza sativa* L. cv. *indica*) elevated salt stress tolerance. The 2nd International Conference on Science and Technology for Sustainable Development of the Greater Mekong Sub-region, 2-3 October, Hanoi Agricultural University, Hanoi, Vietnam.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Alteration of proline and anthocyanin levels affects salinity tolerance in *indica* rice seedlings. The 34th Congress on Science and Technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center, 31 October-2 November, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2008. Impact of proline accumulation on physiological response in *indica* rice genotypes (*Oryza sativa* L.) exposed to salt and drought stresses. BioAsia 2008, International Conference on Life Sciences 2008, Queen Sirikit National Convention Center, 25-27 November, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. 2010. Differential responses of flavonoids to abiotic stress in rice seedling cultivars. Pure and Applied Chemistry International Conference 2010, Sunee Grand Hotel and Convention Center, 21-23 January, Ubonratchathani, Thailand.

Darachai, P., Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2010. Carbon sources and supporting materials in callus induction effects on regeneration of *indica* rice (*Oryza sativa* L. cv. RD6 and RD15). The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology, Ambassador City Jomtien Hotel, 4-6 October, Pataya, Thailand

Sompornpailin, K. and Chutipaijit, S. 2011. Relation of the flavonoid contents to antioxidant activity in Thai rice seeds, Miracle Grand Hotel, 5-7 January, Bangkok, Thailand.

Darachai, P., Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2012. Effect of carbon sourcese and gelling agents on callus induction and regeneration efficiency of Thai rice (*Oryza sativa* L. cv. RD6). 1st International Symposium on Technology for Sustainable, KMITL, 26-29 January, Bangkok, Thailand.

Chutipaijit, S. and Sompornpailin, K. 2012. Influence of salinity on growth and antioxidant enzyme activities in *indica* rice cultivars (*Oryza sativa* L.). 1st International Symposium on Technology for Sustainable, KMITL, 26-29 January, Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chutipaijit, S. 2012. Antioxidant activities in indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings during salinity treatment. The 38th Congress on Science and Technology of Thailand, Empress Convention Centre, 17-19 October, Chiang Mai, Thailand.

Chutipaijit, S. 2014. Phenolic attractive substances improve *in vitro* plant regeneration of Thai rice cultivar. The 40th Congress on Science and Technology of Thailand, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, 2-4 December, Khon Kaen, Thailand.

Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2014. Evaluating the effect of zinc oxide nanoparticles on the physiological responses of Thai rice (*Oryza sativa* L.). The 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology, Mahidol University, Kanchanaburi Campus, 23-24 December, Kanchanaburi, Thailand.

Nakaphan, K., Nantanapirom, P., Chutipaijit, S. and Eiad-ua, A. 2014. Porous carbon xerogel beads by simple method. The 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology, Mahidol University, Kanchanaburi Campus, 23-24 December, Kanchanaburi, Thailand.

Samart, S., Phakamas, N. and Chutipaijit, S. 2015. Effect of nanoparticles on the relationship between crop growth rate and yield of Chainat 1 rice (*Oryza sativa* L.). 2nd International Symposium on Agricultural Technology, A-One Star Hotel, 1-3 July, Pattaya, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้