

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต รงควัตถุในการสังเคราะห์แสง และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวหอมที่ทดสอบด้วยวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

Investigation of the plant growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes changes of aromatic rice treated with nano-TiO₂

สุธี ชุตีไพจิตร^{1,*} และ ธนัฐคุณ มงคลอัครรัตน์²

¹วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

²สถาบันบัณฑิตศึกษาจุฬาราชมนตรี ราชวิทยาลัยจุฬาราชมนตรี เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

Sutee Chutipajit^{1,*} and Thanuttkhul Mongkolaussavarat²

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

E-mail: natadee24@hotmail.com

²Chulabhorn Graduate Institute, Chulabhorn Royal Academy,
Lak Si, Bangkok 10210, Thailand

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวหอม (*Oryza sativa* L.) ข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เจริญเติบโตในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100, 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้นกล้าที่เจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะใช้ในการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ร้อยละการงอก, ความยาวลำต้น และความยาวราก) และลักษณะทางสรีรวิทยา (รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ) ในต้นกล้าข้าวในช่วงระหว่าง 5-14 วัน หลังจากอยู่ในสภาวะทดสอบ ต้นกล้าข้าวที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะพบร้อยละการงอก (1.01-1.07 เท่า) ความยาวลำต้น (1.03-2.05 เท่า) และความยาวราก (1.04-1.96 เท่า) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระยังพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (1.02-1.75 เท่า) คลอโรฟิลล์บี (1.07-2.10 เท่า) และคาโรทีนอยด์ (1.10-1.87 เท่า) เช่นเดียวกับค่ากิจกรรมของเอนไซม์แคตตาลาส (1.05-1.35 เท่า) และเปอร์ออกซิเดส (1.11-1.79 เท่า) ในต้นกล้าข้าวที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้

รับ และที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เป็นบวกกับลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวที่เปลี่ยนแปลง ที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพืชจากวัสดุนาโน ซึ่งส่งผลต่อการส่งเสริมคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาในต้นพืชได้

คำสำคัญ: เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ, ข้าวดอกมะลิ 105, วัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, รงควัตถุในการสังเคราะห์แสง, ข้าว

Abstract

The aim of this research was to determine the effect of nano-TiO₂ at different concentrations on the morphological and physiological response of aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Khao Dawk Mali 105 rice cultivar (KDML105) were grown in NB medium supplemented with 100, 300, 500 and 1,000 mg L⁻¹ nano-TiO₂. Tissue culture grown seedlings were used to investigate morphological characterization (%germination, shoot length and root length parameters) and physiological characterization (photosynthetic pigments and antioxidant enzymes parameters) in rice seedlings during 5-14 days after treatment conditions. Rice seedlings treated with 100 and 300 mg L⁻¹ nano-TiO₂ were increased the %germination (1.01-1.07-fold), shoot length (1.03-2.05-fold) and root length (1.04-1.96-fold). Furthermore, the concentrations of photosynthetic pigments and the specific activities of antioxidant enzymes showed an increase of chlorophyll A (1.02-1.75-fold), chlorophyll B (1.07-2.10-fold) and carotenoids (1.10-1.87-fold) contents as well as catalase (1.05-1.35-fold) and peroxidase (1.11-1.79-fold) enzyme activities in rice seedling treated with 100 and 300 mg L⁻¹ nano-TiO₂ when compared with the untreated and treated with 500 and 1,000 mg L⁻¹ nano-TiO₂. The changes in the morphological characterization showed a positive correlation with the physiological characterization in rice seedlings treated with 100 and 300 mg L⁻¹ nano-TiO₂. The results indicated that the antioxidant enzyme system leads to more effective roles in plant protection against nanomaterials stress which enhance their morphological and physiological properties in plants.

Keywords: Antioxidant enzymes, KDML 105, nano-TiO₂, Photosynthetic pigments, Rice

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาในการเพาะปลูกพืช เนื่องด้วยสภาพแวดล้อมทั้งทางด้านกายภาพ และทางด้านชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกและปริมาณผลผลิตพืชหลากหลายชนิด รวมถึงข้าว ซึ่งเป็นธัญพืชหลักที่ใช้ในการบริโภคภายในประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศอีกด้วย [1-3] จึงมีการใช้องค์ความรู้ต่างๆ เข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก เช่น การใช้ปุ๋ย การเลือกพื้นที่เพาะปลูกให้เหมาะสมกับชนิดของพืช เป็นต้น [4] รวมถึงการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ หนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ได้แก่ นาโนเทคโนโลยี โดยเฉพาะการนำวัสดุนาโนมาประยุกต์ใช้ [5,6] ซึ่งวัสดุนาโนหลากหลายชนิด เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซิลเวอร์ (Ag) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้หรือทดสอบกับสิ่งมีชีวิตนั้น ส่งผลทั้งทางด้านที่เป็นประโยชน์ และผลทางด้านที่เป็นโทษ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาด รูปร่าง หรือสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ทดสอบ เป็นต้น [7-10]

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำวัสดุนาโนมาทดสอบกับต้นกล้าข้าวในระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว โดยในงานวิจัยนี้ได้นำวัสดุนาโนชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ (nano-TiO₂) ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กับสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย และมีระดับความเป็นพิษที่ต่ำในเซลล์พืช และสัตว์มาใช้ในการทดสอบกับต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวสายพันธุ์ที่เป็นสายพันธุ์ที่ความหอมมีคุณสมบัติที่โดดเด่น และเป็นข้าวสายพันธุ์ที่เป็นสินค้าออกที่สำคัญอีกด้วย [11,12] โดยทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาที่มีต่อต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อใช้เป็นองค์ความรู้ในการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนกับการเพาะปลูกข้าว หรือพืชสายพันธุ์อื่นต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 สายพันธุ์พืชและสถานะในการเพาะเลี้ยง

ในงานวิจัยนี้นำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dawk Mali 105) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยเมล็ดข้าวปทุมธานี นำมาแกะเปลือกออก แล้วจึงนำมาฟอกฆ่าเชื้อด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 เป็นเวลา 2-3 นาที และฟอกฆ่าเชื้อในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.80 เป็นเวลา 30-40 นาที แล้วทำการล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 5-6 ครั้ง และนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำส่วนเกินบนกระดาษชำระที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นนำไปวางบนอาหาร NB ตามงานวิจัยของ Li และคณะ [13] ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ขนาดอนุภาค 25-75 นาโนเมตร; Evonik Degussa GmbH, Germany) ที่ความเข้มข้น 0, 100, 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการปรับ pH ให้อยู่ที่ 5.6-5.8 โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M) ในการปรับ pH แล้วนำไปเพาะเลี้ยง

ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 1,000 ลักซ์ (luxs) และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2.2 การวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา

หลังจากทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะตามข้อ 2.1 เป็นระยะเวลา 5 วัน จะทำการบันทึกหรือระยะการงอก และเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน จะทำการบันทึกความยาวลำต้น (shoot length) และความยาวราก (root length) ของต้นกล้าข้าวที่ ได้รับและไม่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

2.3 การวิเคราะห์ทางสรีรวิทยา

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง

เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะตามข้อ 2.1 เป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน นำใบของต้นกล้าข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ มาสกัดด้วยอะซิโตน เพื่อทำการวัดหาปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง 3 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll A) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll B) และ คาร์ทีนอยด์ (carotenoid) ตามวิธีของ Lichtenthaler [14] และวิธีของ Shabala และคณะ [15]

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะตามข้อ 2.1 เป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน นำต้นกล้าข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ มาสกัดเอนไซม์หยาบ (crude enzyme) จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์แคตตาลาส (catalase) ตามวิธีของ Aebi [16] และวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ตามวิธีของ Beffa และคณะ [17]

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้การทดลอง 5 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง ($n=5$) ออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองที่มีแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ผลที่ได้จากการทดลองจะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD)

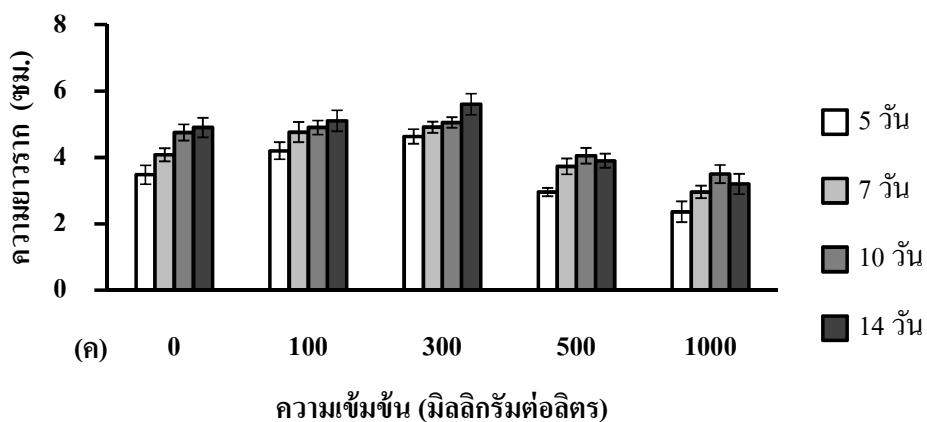
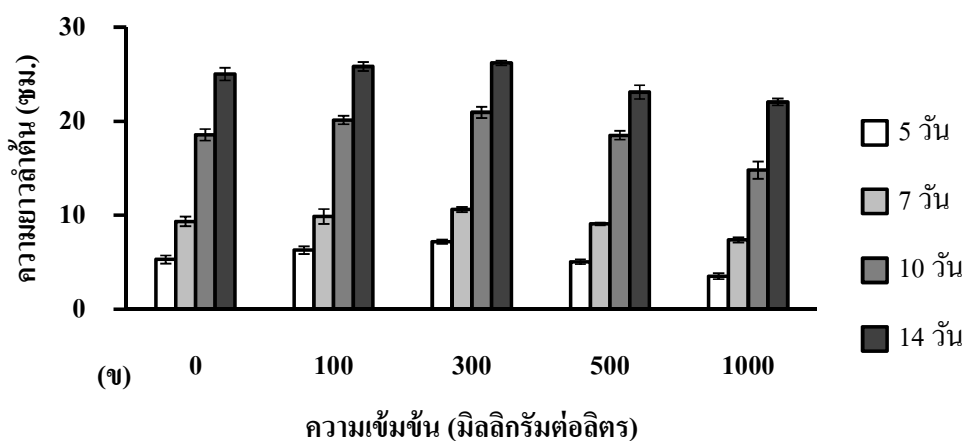
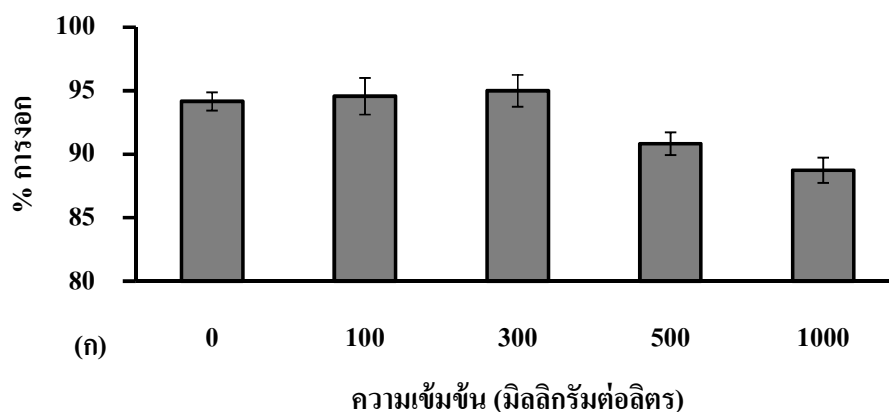
3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

จากการศึกษาผลของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาจากร้อยละการงอกของเมล็ด ความยาวลำต้น และความยาวรากของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับและไม่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืชที่ได้รับสภาวะเครียดหรือได้รับสารทดสอบชนิดต่างๆ [18,19] จากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในรูปแบบที่ 1 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง (500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 5 วันนั้น ให้ร้อยละ

การงอก (94.58 และ 95.00, ตามลำดับ; รูปที่ 1ก) ซึ่งสูงกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับและได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ร้อยละการงอกอยู่ที่ 94.17, 90.83 และ 88.75, ตามลำดับ (รูปที่ 1ก) แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตรจะไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการงอก ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปนั้นจะส่งผลให้ร้อยละการงอกลดลง

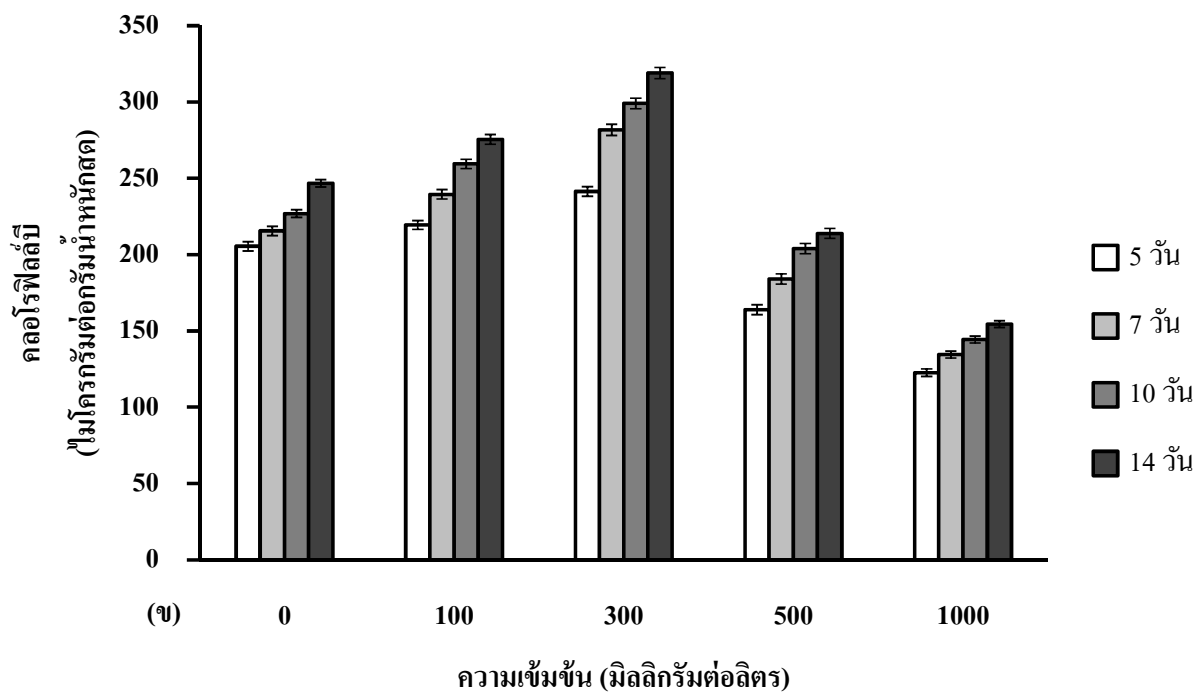
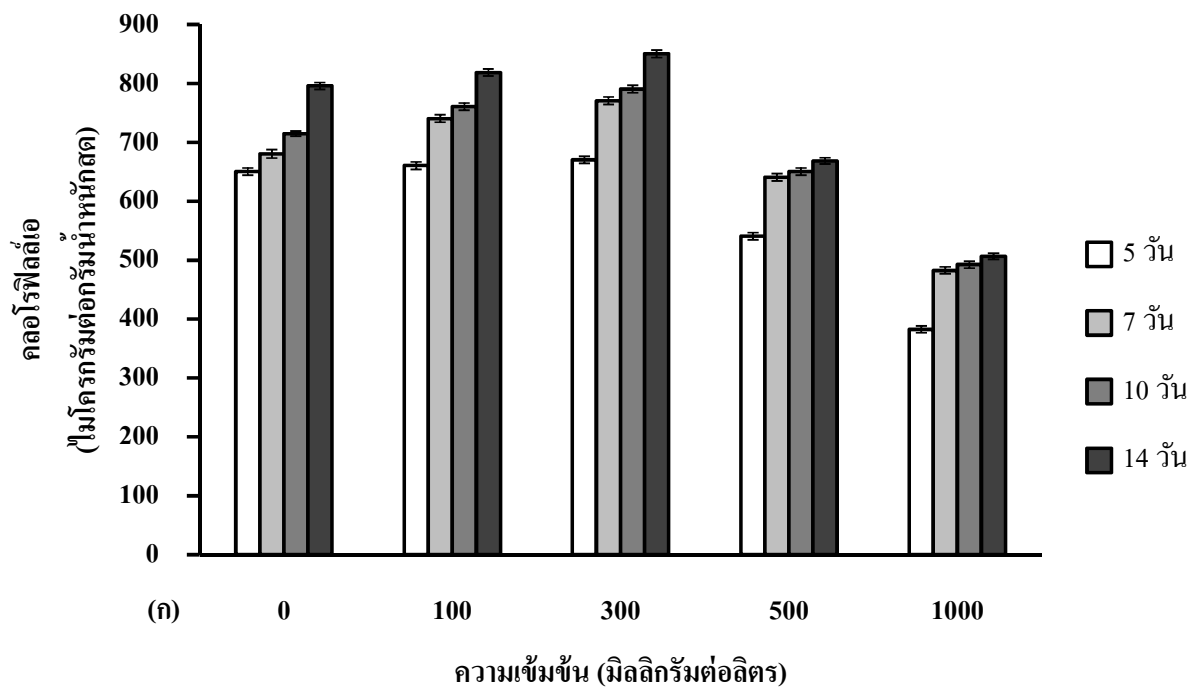
ในขณะที่ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงที่เวลา 5-14 วันนั้น ผลการทดลองที่ได้นั้นต้นกล้าข้าวที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความยาวลำต้น (6.29-25.80 ซม. และ 7.19-20.94 ซม., ตามลำดับ; รูปที่ 1ข) และความยาวราก (4.20-5.10 ซม. และ 4.63-5.05 ซม., ตามลำดับ; รูปที่ 1ค) ซึ่งสูงกว่าต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับและได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ให้ความยาวลำต้นอยู่ที่ 5.30-25.00 ซม. 5.06-18.50 ซม. และ 3.51-14.80 ซม., ตามลำดับ (รูปที่ 1ข) และความยาวรากอยู่ที่ 3.48-4.90 ซม. 2.96-3.90 ซม. และ 2.36-3.20 ซม., ตามลำดับ (รูปที่ 1ค)

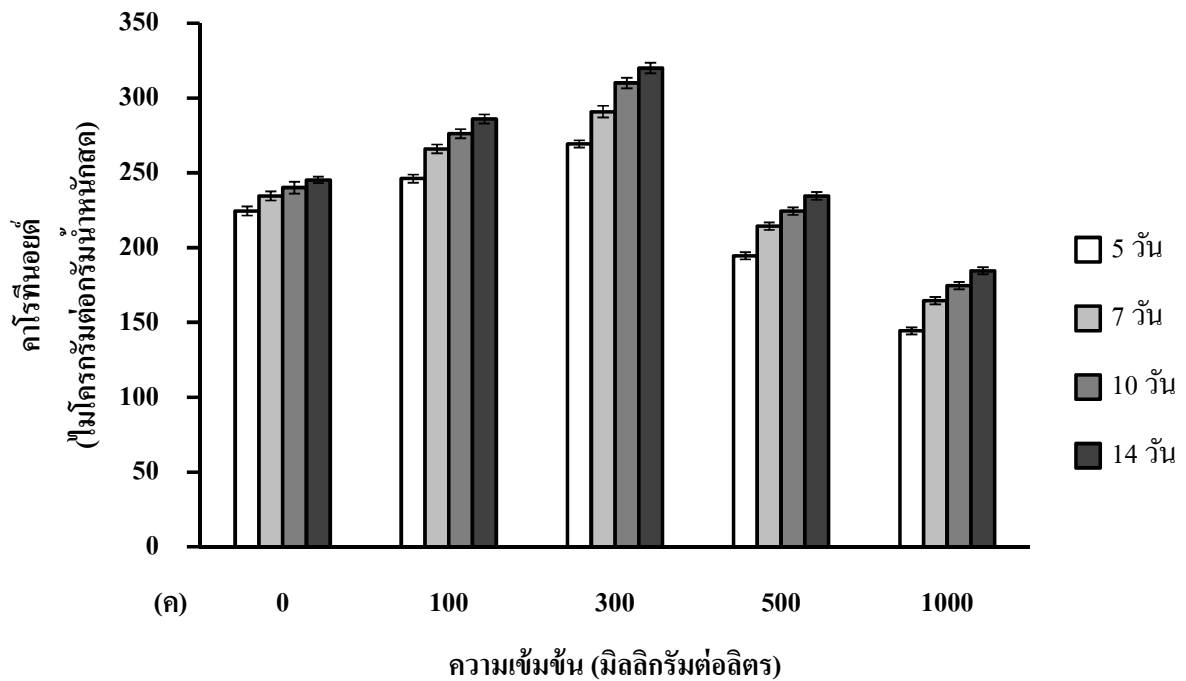
จากนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งทำการศึกษาจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ปัจจัยดังกล่าวแสดงถึงความสามารถและประสิทธิภาพของพืชที่มีต่อการผลิตสารอาหารภายในเซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช [20-22] และการศึกษาถึงปริมาณเอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อความอยู่รอดและการเจริญเติบโตของต้นพืช เมื่ออยู่ในสภาวะทดสอบหรือได้รับสารทดสอบชนิดต่างๆ [23-25] จากผลการทดลองที่ได้นั้นให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในการทดลองข้างต้นก่อนหน้านี โดยพบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์มีปริมาณที่ลดลงเมื่อต้นกล้าข้าวได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูง (500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) (รูปที่ 2) เช่นเดียวกับปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทั้งเอนไซม์แคตตาลาส และเปอร์ออกซิเดส (รูปที่ 3)



รูปที่ 1 (ก) แสดงถึงร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 5 วัน (ข) แสดงถึงความยาวง่าต้น (เซนติเมตร) และ (ค) ความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นกล้าข้าวสาลีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน

ในขณะที่ต้นกล้าข้าวได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5-14 วัน พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (660.43-818.57 และ 670.36-850.34 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ; รูปที่ 2ก) คลอโรฟิลล์บี (219.43-275.43 และ 241.40-318.96 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ; รูปที่ 2ข) และคาโรทีนอยด์ (246.17-286.05 และ 269.42-320.12 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ; รูปที่ 2ค) รวมถึงปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทั้งเอนไซม์แคตตาลาส (0.63-0.66 และ 0.65-0.69 ไมโครโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน, ตามลำดับ; รูปที่ 3ก) และเปอร์ออกซิเดส (15.07-18.49 และ 16.30-20.25 ไมโครโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน, ตามลำดับ; รูปที่ 2ข) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับและได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียม-ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 5-14 วัน ที่พบปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ที่ 650.38-795.68, 540.49-668.47 และ 382.54-506.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ (รูปที่ 2ก) คลอโรฟิลล์บีอยู่ที่ 205.47-246.67, 163.88-213.88 และ 122.57-154.43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ (รูปที่ 2ข) และคาโรทีนอยด์อยู่ที่ 224.49-245.27, 194.51-234.49 และ 144.40-184.48 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, ตามลำดับ (รูปที่ 2ค) และพบปริมาณเอนไซม์แคตตาลาสอยู่ที่ 0.59-0.63, 0.56-0.59 และ 0.48-0.51 ไมโครโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน, ตามลำดับ (รูปที่ 3ก) และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ที่ 13.46-16.72, 11.69-14.79 และ 9.09-12.47 ไมโครโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน, ตามลำดับ; รูปที่ 2ข) ซึ่งมีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่า การเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถเพิ่มอัตราการชักนำเซลล์แคลลัสให้เกิดเป็นต้นใหม่ในข้าวได้สูงขึ้น [26] และเมื่อใช้วัสดุนาโนในความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Rubisco carboxylase และกระบวนการสังเคราะห์ไนโตรเจน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของเซลล์พืช และการสร้างสารอาหารต่างๆ ภายในเซลล์ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชสูงขึ้น [27,28] และพบว่าวัสดุนาโนไทเทเนียม-ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่สูงนั้นส่งผลต่อการทำลายของคัพประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ รวมถึงดีเอ็นเอของเซลล์ และกระตุ้นการสะสมอนุมูลอิสระที่สูงเกินความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต [29-31] ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ นั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ทางสรีรวิทยา และสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นคล้ายคลึงกับการทดสอบต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ [32] และการทดสอบในพืชชนิดอื่นๆ โดยใช้วัสดุนาโนชนิดต่างๆ [32-34] ก่อนหน้านี้

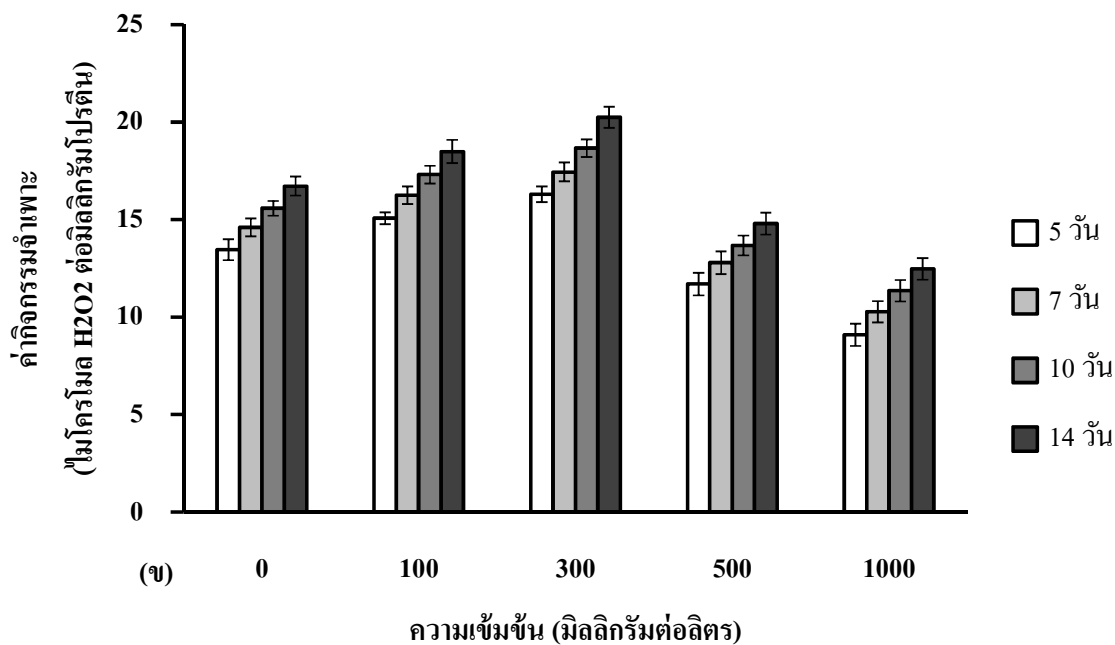
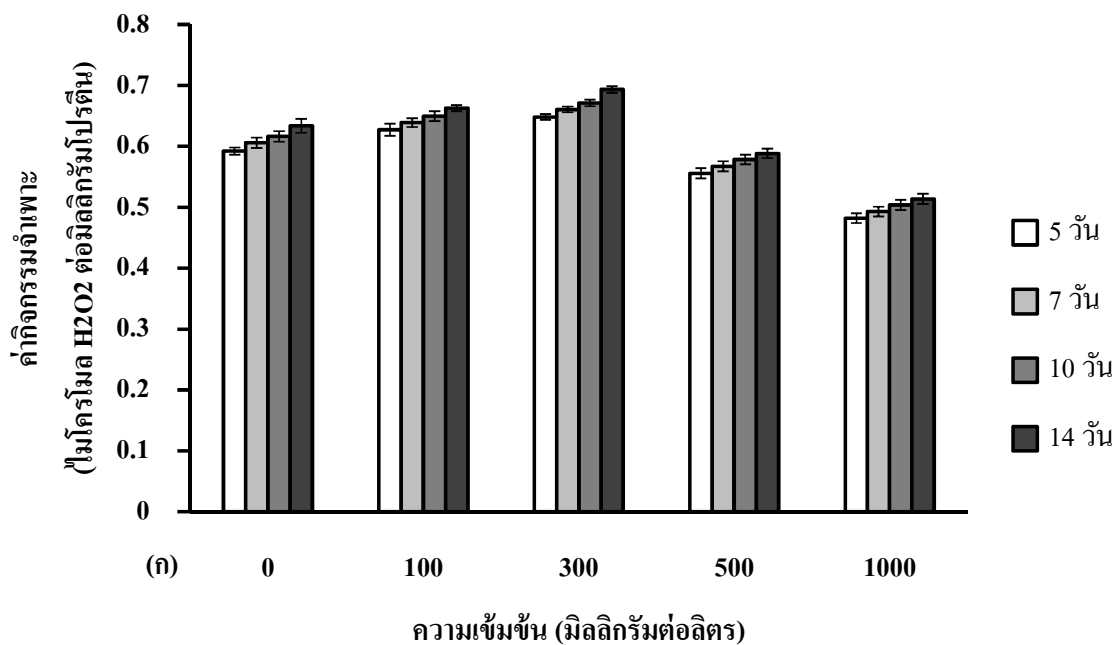




รูปที่ 2 (ก) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (ข) คลอโรฟิลล์บี และ (ค) คาโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน

4. สรุป

ผลการทดลองที่ได้รับจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้งผลที่เป็นประโยชน์และผลที่เป็นโทษ โดยศึกษาได้จากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาที่ลดลงของต้นกล้าข้าวที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่สูงมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาที่ดีขึ้นเมื่อต้นกล้าข้าวที่ได้รับวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ลดลงอยู่ที่ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร) จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุนาโนในการประยุกต์ใช้กับการเพาะปลูกของพืชนั้นจะต้องคำนึงถึงความเข้มข้น และระยะเวลาที่ได้รับวัสดุนาโน รวมถึงสายพันธุ์ของพืชที่จะนำไปใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืชต่อไป



รูปที่ 3 (ก) ค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แคตตาลาส และ (ข) เปอร้ออกซิเดส (ไมโครโมลไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน) ของต้นกล้าข้าวสาลีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีการเติมวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 5, 7, 10 และ 14 วัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (A118-0260-082) และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่เอื้อเพื่อเมล็ดพันธุ์ข้าว และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Jawjit, C. Kroeze, W. Soontaranun and L. Hordijk, "Options to reduce the environmental impact by eucalyptus-based Kraft pulp industry in Thailand: model description," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15, pp. 1827-1839, 2007.
- [2] T. Hiranoa, P. Bekhasut, W. Sommut, S. Zungsontiporn, A. Kondo, H. Saka and H. Michiyama, "Differences in elongation growth between floating and deepwater rice plants grown under severe flooding in Thailand," *Field Crops Research*, Vol. 160, pp. 73-76, 2014.
- [3] C. Buddhaboon, A. Jinrawet and G. Hoogenboom, "Effects of planting date and variety on flooded rice production in the deepwater area of Thailand," *Field Crops Research*, Vol. 124, pp. 270-277, 2011.
- [4] D. Jokela and A. Nair, "Effects of reduced tillage and fertilizer application method on plant growth, yield, and soil health in organic bell pepper production," *Soil and Tillage Research*, Vol. 163, pp. 243-254, 2016.
- [5] M. Hatami, K. Kariman and M. Ghorbanpour, "Engineered nanomaterial-mediated changes in the metabolism of terrestrial plants," *Science of the Total Environment*, Vol. 571, pp. 275-291, 2016.
- [6] Y. Picó, "Challenges in the determination of engineered nanomaterials in foods," *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 84, pp. 149-159, 2016.
- [7] B. Van Aken, "Gene expression changes in plants and microorganisms exposed to nanomaterials," *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 33, pp. 206-219, 2015.
- [8] E. Navarro, A. Baun, R. Behra, N. Hartmann, J. Filser, A. Miao, A. Quigg, P. Santschi and L. Sigg, "Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi," *Ecotoxicology*, Vol. 17, pp. 372-386, 2008.
- [9] K.J. Dietz and S. Herth, "Plant nanotoxicology," *Trends in Plant Science*, Vol. 16, pp. 582-589, 2011.
- [10] Z. Hossain, G. Mustafa and S. Komatsu, "Plant responses to nanoparticle stress," *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 16, pp. 26644-26653, 2015.

- [11] V. Kanjoo, K. Punyawaew, J.L. Siangliw, S. Jearakongman, A. Vanavichit and T. Toojinda, "Evaluation of agronomic traits in chromosome segment substitution lines of KDML105 containing drought tolerance QTL under drought stress," *Rice Science*, Vol. 19, pp. 117-124, 2012.
- [12] V. Rann, S. Anusontpornperm, S. Thanachit and T. Sreewongchai, "Response of KDML105 and RD41 rice varieties grown on a Typic Natrustalf to granulated pig manure and chemical fertilizers," *Agriculture and Natural Resources*, Vol. 50, pp. 104-113, 2016.
- [13] L. Li, R. Qu, A. De Kochko, C. Frauquet, and R.N. Beachy, "An improved rice transformation method using the biolistic method," *Plant Cell Reports*, Vol. 12, pp. 250-255, 1993.
- [14] H.K. Lichtenthaler, "Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes," *Methods in Enzymology*, Vol. 148, pp. 350-380, 1987.
- [15] S.N. Shabala, S.I. Shabala, A.I. Martynenko, O. Babourina and I.A. Newman, "Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospect for screenings," *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 25, pp. 609-616, 1999.
- [16] H. Aebi, "Catalase *in vitro*," *Methods in Enzymology*, Vol. 105, pp. 121-126, 1984.
- [17] R. Beffa, H.V. Martin and P.E. Pilet, "*In vitro* oxidation of indoleacetic acid by soluble auxin-oxidases and peroxidases from maize root," *Plant Physiology*, Vol. 94, pp. 485-491, 1990.
- [18] R.C. Monica, and R. Cremonini, "Nanoparticles and higher plants," *Caryologia*, Vol. 62, 161-165, 2009.
- [19] V. Shah and I. Belozeroval, "Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds," *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 197, pp. 143-148, 2009.
- [20] S. Majumdar, J.R. Peralta-Videa, J. Trujillo-Reyes, Y. Sun, A.C. Barrios, G. Niu, J.P. Flores- Margez and J.L. Gardea-Torresdey, "Soil organic matter influences cerium translocation and physiological processes in kidney bean plants exposed to cerium oxide nanoparticles," *Science of the Total Environment*, Vol. 569, pp. 201-211, 2016.
- [21] J.R. Conway, A.L. Beaulieu, N.L. Beaulieu, S.J. Mazer and A.A. Keller, "Environmental stresses increase photosynthetic disruption by metal oxide nanomaterials in a soil-grown plant," *ACS Nano*, Vol. 9, pp. 11737-11749, 2015.
- [22] W. Du, J.L. Gardea-Torresdey, R. Ji, Y. Yin, J. Zhu, J.R. Peralta-Videa and H. Guo, "Physiological and biochemical changes imposed by CeO_2 nanoparticles on wheat: a life cycle field study," *Environmental Science and Technology*, Vol. 49, pp. 11884-11893, 2015.
- [23] M. Ghosh, A. Jana, S. Sinha, M. Jothiramajayam, A. Nag, A. Chakraborty, A. Mukherjee and A. Mukherjee, "Effects of ZnO nanoparticles in plants: Cytotoxicity, genotoxicity, deregulation of antioxidant defenses, and cell-cycle arrest," *Mutation Research*, Vol. 807, pp. 25-32, 2016.

- [24] D. Stampoulis, S.K. Sinha and J.C. White, "Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants," Environmental Science and Technology, Vol. 43, pp. 9473-9479, 2009.
- [25] H. Yang, C. Liu, D.F. Yang, H.S. Zhang and Z.G. Xi, "Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: the role of particle size, shape and composition," Journal of Applied Toxicology, Vol. 29, pp. 69-78, 2009.
- [26] S. Chutipaijit, "Establishment of condition and nanoparticle factors influencing plant regeneration from aromatic rice (*Oryza sativa*)," International Journal of Agriculture and Biology, Vol. 17, pp. 1049-1054, 2015.
- [27] L. Zheng, S. Mingyu, W. Xiao, L. Chao, Q. Chunxiang, C. Liang, H. Hao, L. Xiaoqing and H. Fashui, "Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation," Biological Trace Element Research, Vol. 121, pp. 69-79, 2008.
- [28] F. Yang, F. Hong, W. You, C. Liu, F. Gao, C. Wu and P. Yang, "Influences of nano-anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach," Biological Trace Element Research, Vol. 110, pp. 179-190, 2006.
- [29] M. Castiglione, L. Giorgetti, C. Geri and R. Cremonini, "The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L.," Journal of Nanoparticle Research, Vol. 13, pp. 2443-2449, 2011.
- [30] S. Wang, J. Kurepa and J.A. Smalle, "Ultra-small TiO₂ nanoparticles disrupt microtubular networks in *Arabidopsis thaliana*," Plant, Cell and Environment, Vol. 34, pp. 811-820, 2011.
- [31] J. Kurepa, T. Paunesku, S. Vogt, H. Arora, B.M. Rabatic, J. Lu, M.B. Wanzer, G.E. Woloschak and J.A. Smalle, "Uptake and distribution of ultrasmall anatase TiO₂ Alizarin red S nanoconjugates in *Arabidopsis thaliana*," Nano Letters, Vol. 10, pp. 2296-2302, 2010.
- [32] สุทธิ ชุติไพจิต, "การประเมินการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) ที่ชักนำด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน," วารสารวิชาการปทุมวัน, ฉบับที่ 15, หน้า 15-23, 2559.
- [33] Z. Cifuentes, L. Custardoy, J.M. de la Fuente, C. Marquina, M.R. Ibarra, , D. Rubiales and A.P. de Luque, "Absorption and translocation to the aerial part of magnetic carbon-coated nanoparticles through the roots of different crop plants," Journal of Nanobiotechnology, Vol. 8, pp. 1-8, 2010.
- [34] L.R. Khot, S. Sankaran, J.M. Maja, R. Ehsani and E.W. Schuster, "Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review," Crop Protection, Vol. 35, pp. 64-70, 2012.