

การประเมินการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ 105

(*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) ที่ชักนำด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

Evaluation of Morphological and Physiological Response in Khao Dawk Mali 105 Rice

(*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) Induced by Zinc Oxide Nanoparticles

สุธี ชูตีไพจิตร*

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: natadee24@hotmail.com

Sutee Chutipaijit*

College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand. E-mail: natadee24@hotmail.com

บทคัดย่อ

อนุภาคนาโนนั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับทางด้านเกษตรกรรม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีต่อข้าวสายพันธุ์อินดิกา (ขาวดอกมะลิ 105) ซึ่งเป็นพันธุ์พืชที่สำคัญของประเทศไทย ในการทดลองได้ทำการศึกษารงอก เจริญเติบโตของต้นกล้า (มวลชีวภาพ) และการตอบสนองทางสรีรวิทยา (ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง) หลังจากที่ได้รับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (0-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สูง (500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะพบการลดลงของการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโต นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสูงยังพบการลดลงการสะสมรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์) ซึ่งทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้ ในการทดลองความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ 100-300 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นช่วยเพิ่มการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตได้ ต้นกล้าข้าวที่ได้รับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการเพิ่มขึ้นของการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงอย่างมีนัยสำคัญ การชักนำด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตซึ่งสัมพันธ์กับการสะสมรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง จากข้อมูลที่ได้จึงคาดว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (300 มิลลิกรัมต่อลิตร) สามารถชักนำการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของพืชต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต ขาวดอกมะลิ 105 ข้าว ชิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

Abstract

Nanoparticles have been widely used in industrial applications, as well as agriculture. This research investigated the effect of zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) on the important crop plants in Thailand, *indica* rice (Khao Dawk Mali 105; KDML 105). The seed germination, seedling growth (biomass) and physiological responses (photosynthetic pigment contents) were determined after exposure to different concentrations of ZnONPs (0-1000 mg L⁻¹). The results observed the impact of ZnONPs at different concentrations. The seed germination and growth reductions were observed in the high concentrations of ZnONPs (500-1000 mg L⁻¹). In addition, the accumulations of photosynthetic pigments (chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoid contents) were decreased in the high concentrations of ZnONPs which could inhibit plant growth. ZnONPs at 100-300 mg L⁻¹ enhanced the seed germination and plant growth of rice seedlings. The rice seedlings exposed to 300 mg L⁻¹ ZnONPs had significantly increase the plant growth and photosynthetic pigment contents. The ZnONPs-induced growth alterations were correlated with photosynthetic pigment accumulations. The data suggested that ZnONPs (300 mg L⁻¹) induced the plant growth of KDML 105, which could affect the productivity of plants in the future.

Keywords: Growth, KDML 105, Rice, ZnO nanoparticles

1. บทนำ

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโลหะอนุภาคนาโนที่มีการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น สิ่งทอ เครื่องสำอาง หรืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น [1, 2] และยังมีการนำอนุภาคนาโนมาใช้เกี่ยวกับทางด้านเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [3, 4] ทำให้อนุภาคนาโนนั้นมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยพบว่าการนำอนุภาคนาโนมาใช้กับทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อมนั้น มีทั้งที่ส่งผลก่อให้เกิดประโยชน์ แต่บางครั้งก็ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดการสะสมในสภาพแวดล้อม [5, 6] จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงอนุภาคนาโนที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถนำอนุภาคนาโนเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ข้าวนั้นจัดเป็นสินค้าที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย เป็นทั้งสินค้าบริโภคของประชากรภายในประเทศ และยังเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศในลำดับต้นๆ อีกด้วย [7] โดยเฉพาะข้าวไทยสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวสายพันธุ์ที่มีคุณลักษณะที่จำเพาะของข้าวสายพันธุ์ไทย และเป็นข้าวสายพันธุ์ที่เป็นที่

ต้องการของตลาดต่างประเทศ [8] ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (zinc oxide nanoparticles; ZnO nanoparticles) มาประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระดับที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาถึงผลของอนุภาคดังกล่าวที่มีต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นข้าว ในระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อเป็นพื้นฐานในการนำอนุภาคนาโนไปใช้กับข้าวในระดับแปลงทดลองต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างพืช

ใช้ข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dawk Mali 105) โดยการนำเมล็ดมาแกะเปลือกออกด้วยมือ แล้วนำมาฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของเมล็ดด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2-3 นาที และฟอกฆ่าเชื้อในสารละลายไฮเตอร์ (โซเดียมไฮโปคลอไรด์ 6 เปอร์เซ็นต์) ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 5 ครั้ง และนำเพาะเลี้ยงในอาหาร NB [9] ที่มีน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ู่น 8 กรัมต่อลิตร ที่ pH 5.6-5.8 และมีการเติมซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (ขนาดอนุภาค 30-80 นาโนเมตร; Global Chemical Co., Ltd., Thailand) ที่ความเข้มข้น 0-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ (luxs) และทำการเก็บตัวอย่าง ในวันที่ 5 7 10 และ 14 วัน หลังจากได้รับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.2 การวัดการเจริญเติบโต

ทำการบันทึกเปอร์เซ็นต์การงอก ที่ระยะเวลา 5 วันหลังจากทำการเพาะเลี้ยง และทำการบันทึกน้ำหนักสด (fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นข้าว ที่ระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน หลังจากได้รับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.3 การวัดปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง

นำตัวอย่างต้นกล้าข้าว ที่ระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน หลังจากได้รับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ มาทำการวัดหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll A) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll B) และคาโรทีนอยด์ (carotenoid) ตามวิธีของ Lichtenthaler [10] และวิธีของ Shabala และคณะ [11]

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้การทดลอง 5 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง (n=5) ออกแบบการทดลองโดยใช้ CRD ผลที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA และ Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 15.0 (SPSS for Windows, SPSS Inc., USA)

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

การนำอนุภาคนาโนมาประยุกต์ใช้กับพืชหรือผลผลิตทางการเกษตรนั้น มีทั้งผลที่เป็นด้านบวกและผลที่เป็นด้านลบต่อการเจริญเติบโตหรือผลผลิตของพืชเหล่านั้น [12,13] ในงานวิจัยนี้ได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาประยุกต์ใช้กับการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ นั้นส่งผลต่อต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สูง (500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวลดลง (81.25-87.50%) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ (100-300 มิลลิกรัมต่อลิตร; 92.00-93.75%)

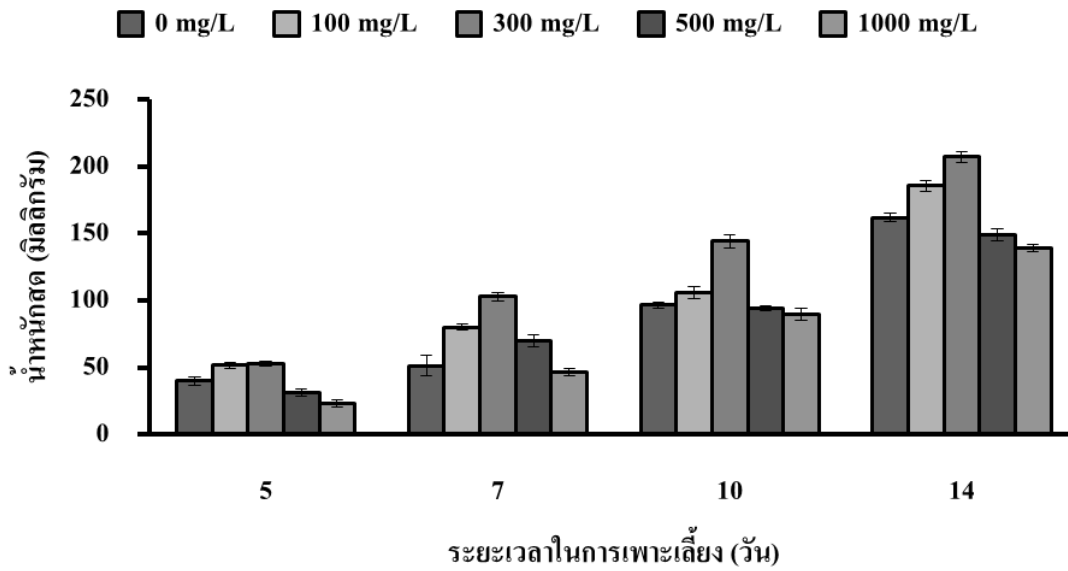
ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์การงอก (% ±SD)
0	92.00 ±0.125 a
100	92.50 ±0.211 a
300	93.75 ±0.204 a
500	87.50 ±0.199 b
1000	81.25 ±0.185 c

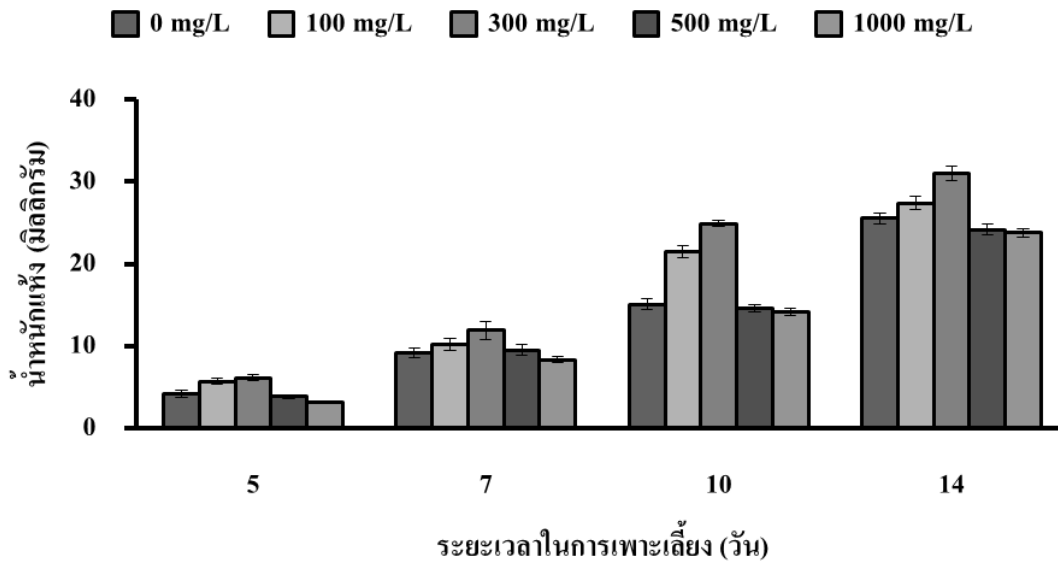
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$

และเมื่อทำการศึกษาถึงมวลชีวภาพ (biomass) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต [14-16] โดยศึกษาจากปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง จะพบว่าเมื่อทำการเพาะเลี้ยงต้นกล้าข้าวในอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นระยะเวลา 5 7 10 และ 14 วัน ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าข้าวจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยที่ต้นกล้าข้าวที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สูง (500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะมีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ลดลง และน้อยกว่าต้นกล้าข้าวที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ (100-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยในอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่

ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นจะให้ปริมาณของน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งสูงสุด (50-200 มิลลิกรัม และ 6-30 มิลลิกรัม ตามลำดับ; รูปที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 ปริมาณน้ำหนักราก (มิลลิกรัม) ของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105



รูปที่ 2 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม) ของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา โดยศึกษาจากปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช 3 ชนิด ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช [17-19] จากผลการทดลองในตารางที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่าปริมาณรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดนั้น จะมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับปริมาณมวลชีวภาพ โดยที่ต้นกล้าข้าวที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สูง (500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะมีปริมาณการสะสมรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าข้าวที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ (100-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยในอาหารที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นจะมีปริมาณการสะสมรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุด เช่นเดียวกับปริมาณมวลชีวภาพ

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าสามารถนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสม (300 มิลลิกรัมต่อลิตร) มาใช้กับการชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ด และการเพิ่มการเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิได้ อาจเนื่องมาจากซิงค์นั้นจัดเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นโคแฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพในพืช อีกทั้งการที่มีขนาดที่เล็กในระดับนาโนเมตร ยังส่งผลต่อการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์กับสภาพแวดล้อมอีกด้วย [20-24] ดังนั้นการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมจึงส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นได้

ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	คลอโรฟิลล์เอ (ไมโครกรัม/น.น.สด)	คลอโรฟิลล์บี (ไมโครกรัม/น.น.สด)	คาโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/น.น.สด)
5	0	650.45 c	205.12 c	224.12 c
	100	660.23 b	216.33 b	231.51 b
	300	670.44 a	236.21 a	251.63 a
	500	421.33 d	158.34 d	189.22 d
	1000	312.63 e	105.36 e	124.23 e
7	0	680.42 c	214.36 c	235.63 c
	100	700.12 b	224.63 b	241.52 b
	300	722.65 a	256.33 a	284.23 a

	500	432.12 d	160.23 d	190.32 d
	1000	322.56 e	112.32 e	126.36 e
10	0	715.55 c	226.35 c	240.21 c
	100	732.63 b	233.65 b	255.27 b
	300	764.23 a	296.32 a	302.56 a
	500	442.16 d	165.32 d	195.24 d
	1000	339.58 e	115.26 e	129.54 e
14	0	795.26 c	245.56 c	245.63 c
	100	805.21 b	256.25 b	256.36 b
	300	826.34 a	304.56 a	322.63 a
	500	451.39 d	168.95 d	199.32 d
	1000	350.11 e	120.45 e	130.25 e

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$
ในแต่ละระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง

4. สรุป

จากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการชักนำให้เกิดการงอก และเพิ่มการเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปศึกษาถึงผลที่มีต่อปริมาณผลผลิต รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์อื่นหรือพืชชนิดอื่นในอนาคตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่เอื้อเฟื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] F.D. Pelle, D. Vilela, María Cristina González, Claudio Lo Sterzo, Darío Compagnone, Michele Del Carlo, Alberto Escarpa, "Environmentally responsible development of nanotechnology," Environmental Science and Technology, Vol. 39, pp. 106A–112A, 2005.
- [2] 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.

- [3] S.C.C. Arruda, A.L.D. Silva, R.M. Galazzi, R.A. Azevedo and M.A.Z. Arruda, "Nanoparticles applied to plant science: A review," *Talanta*, Vol. 131, pp. 693–705, 2015.
- [4] X. Ma, J. Geiser-Lee, Y. Deng and A. Kolmakov, "Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation," *Science of the Total Environment*, Vol. 408, pp. 3053–3061, 2010.
- [5] H. Jiang, J.K. Liu, J.D. Wang, Y. Lu, M. Zhang, X.H. Yang and D.J. Hong, "The biotoxicity of hydroxyapatite nanoparticles to the plant growth," *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 270, pp. 71–81, 2014.
- [6] C. Krishnaraj, E.G. Jagan, R. Ramachandran, S.M. Abirami, N. Mohan and P.T. Kalaichelvan, "Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism," *Process Biochemistry*, Vol. 47, pp. 651–658, 2012.
- [7] FAOSTAT. (2013, March). *Production and trade data of rice in China, Thailand and Vietnam*. [On-line]. Available: <http://faostat.fao.org/> [May 10, 2015].
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] H.K. Lichtenthaler, "Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes," *Methods in Enzymology*, Vol. 148, pp. 350–380, 1987.
- [11] 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 florescence of maize leaves: a comparative survey and prospect for screenings," *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 25, pp. 609–616, 1999.
- [12] J.R. Peralta-Videa, J.A. Hernandez-Viezcas, L. Zhao, B.C. Diaz, Y. Ge, J.H. Priester, P.A. Holden and J.L. Gardea-Torresdey, "Cerium dioxide and zinc oxide nanoparticles alter the nutritional value of soil cultivated soybean plants," *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 80, pp. 128–135, 2014.
- [13] L.R. Pokhrel and B. Dubey, "Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver and zinc oxide nanoparticles," *Science of the Total Environment*, Vol. 452–453, pp. 321–332, 2013.
- [14] S. Bandyopadhyay, G. Plascencia-Villa, A. Mukherjee, C.M. Rico, M. José-Yacamán, J.R. Peralta-Videa and J.L. Gardea-Torresdey, "Comparative phytotoxicity of ZnO NPs, bulk ZnO, and ionic zinc onto the

- alfalfa plants symbiotically associated with *Sinorhizobium meliloti* in soil,” Science of the Total Environment, Vol. 515–516, pp. 60–69, 2015.
- [15] F. Schwabe, R. Schulin, L.K. Limbach, W. Stark, D. Bürge and B. Nowack, “Influence of two types of organic matter on interaction of CeO₂ nanoparticles with plants in hydroponic culture,” Chemosphere, Vol. 91, pp. 512–520, 2013.
- [16] D. Zhang, T. Hua, F. Xiao, C. Chen, R.M. Gersberg, Y. Liu, D. Stuckey, W.J. Ng and S.K. Tan, “Phytotoxicity and bioaccumulation of ZnO nanoparticles in *Schoenoplectus tabernaemontani*,” Chemosphere, Vol. 120, pp. 211–219, 2015.
- [17] S. Rao and G.S. Shekhawat, “Toxicity of ZnO engineered nanoparticles and evaluation of their effect on growth, metabolism and tissue specific accumulation in *Brassica juncea*,” Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 2, pp. 105–114, 2014.
- [18] A. Mukherjee, S. Pokhrel, S. Bandyopadhyay, L. Mädler, J.R. Peralta-Videa and J.L. Gardea-Torresdey, “A soil mediated phyto-toxicological study of iron doped zinc oxide nanoparticles (Fe@ZnO) in green peas (*Pisum sativum* L.),” Chemical Engineering Journal, Vol. 258, pp. 394–401, 2014.
- [19] E. Morteza, P. Moaveni, H.A. Farahani, and M. Kiyani, “Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO₂ spraying at various growth stages,” Springerplus, Vol. 2, pp. 247–251, 2013.
- [20] G.R. Rout and P. Das, “Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc,” Agronomie, Vol. 23, pp. 3–12, 2003.
- [21] C.O. Dimkpa, L.E. McLean, D.W. Britt and A.J. Anderson, “Bioactivity and biomodification of Ag, ZnO, and CuO nanoparticles with relevance to plant performance in agriculture,” Industrial Biotechnology, Vol. 8, pp. 344–357, 2012.
- [22] X. Jiang and C. Wang, Zinc distribution and zinc-binding forms in *Phragmites australis* under zinc pollution,” Journal of Plant Physiology, Vol. 165, pp. 697–704, 2008.
- [23] S.L. Laware, and S. Raskar, “Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion,” International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Vol. 3, pp. 874–881, 2014.
- [24] B. Kisan, H. Shruthi, H. Sharanagouda, S.B. Revanappa, and N.K. Pramod, “Effect of nano-zinc oxide on the leaf physical and nutritional quality of spinach,” Agrotechnol, Vol. 5, pp. 1–3, 2015.