Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 114 - 118 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 114 - 118 (2567)

การควบคุมโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยวโดยจุ่มด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์
Controlling Anthracnose Disease on Post-Harvest 'Nam Dok Mai Sri Thong' Mango Fruit with Nano Zinc Oxide

ไอศวรรย์ ศรีคร้าม[1] วิภาวี ลี้สุทธิพรชัย[1] ปาริชาติ ผดุงกิจ[1] และเนตรนภิส เขียวขำ[1]
Aisawan Srikram[1], Wiphawee Leesutthiphonchai[1], Parichat Phadungkit[1] and Netnapis Khewkhom[1]

Abstract

The research focuses on investigating the efficacy of nano zinc oxide in inhibiting fungal pathogens and controlling anthracnose on 'Nam Dok Mai Sri Thong' mango fruits after harvesting. Zinc oxide, is known for its antimicrobial properties and has been certified as a chemical that is safe for addition and contact with food (GRAS: Generally Recognized as Safe). In the study, different concentrations of nano zinc oxide, were tested for their effectiveness in inhibiting the growth of *Colletotrichum siamense* a fungal pathogen causing anthracnose on 'Nam Dok Mai Sri Thong' mango fruits after harvesting. The research utilized the poison food method on potato dextrose agar to assess fungal colony growth inhibition. It was observed that a concentration of1.5, 2.0 and 2.5 grams/liter inhibited fungal colony growth by 64.1, 67.1 and 69.4 percent respectively. Furthermore, the minimum inhibitory concentration of nano zinc oxide (P10) that prevented the germination of fungal conidia at 2.5 g/L. In terms of controlling anthracnose on Nam 'Dok Mai Sri Thong' mango fruits were dipped with nano zinc oxide at concentrations of 1.5, 2.0 and 2.5 g/L and wound-inoculated with mycelium discs. The results indicated a significant control anthracnose on mango fruit disease occurrence visible symptoms after stored at 25±2 °C 85-90 %RH for 12 days while the control exhibited 100% of disease incidence with 7.2 cm of lesion. Additionally, mango fruits dipped in nano zinc oxide P10 at concentrations of 1.5, 2.0, 2.5 and 0 (control) g/L showed percentage of weight loss at 8.12, 8.62, 8.03 and 9.21 respectively with similar firmness and color value (L*, a*, b* and hue) compared to the control.
Keywords: control anthracnose, mango, nano zinc oxide

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคและควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยว ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับการรับรองว่าเป็นสารเคมีที่ปลอดภัยในการเจือปนและสัมผัสอาหาร (GRAS: Generally Recognized As Safe Substances) การทดสอบผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum siamense* ซึ่งแยกได้จากโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยว ทดสอบโดยใช้วิธี poison food บนอาหาร potato dextrose agar พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1.5, 2.0 และ2.5 กรัม/ลิตร ยับยั้งการเจริญโคโลนีของเชื้อราเท่ากับ 64.1, 67.1 และ 69.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในขณะเดียวกันค่าความเข้มข้นต่ำสุดของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ยับยั้งการงอกของโคนิเดีย เท่ากับ 2.5 กรัม/ลิตรส่วนการควบคุมโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยวโดยจุ่มด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัมต่อลิตรโดยทำแผลแล้วปลูกเชื้อด้วย mycelium disc บนผลมะม่วง ไม่พบการเกิดโรคและความผิดปกติ หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ ผลมะม่วงที่จุ่มนาโนซิงค์ออกไซด์ มีการสูญเสียน้ำหนัก 9.21, 8.12, 8.62 และ 8.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว
คำสำคัญ: การควบคุมโรคแอนแทรคโนส มะม่วง ซิงค์ออกไซด์

[1] ที่ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[1] Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University 50 Ngam Wong Wan Rd, Ladyao Chatuchak Bangkok 10900

คำนำ

มะม่วงน้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* L.) 'Nam Dork Mai' เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีการปลูกเพื่อการค้ามาเป็นเวลายาวนาน นิยมรับประทานทั้งแบบผลไม้สดและนำมาแปรรูป (วีระ. 2564) ซึ่งมะม่วงเกือบร้อยละ 8 ของโลกเป็นมะม่วงที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิต แม้ว่าจะมีแนวโน้มการส่งออกและความต้องการมะม่วงน้ำดอกไม้ของไทยเพิ่มมากขึ้น แต่พบปัญหาการเน่าเสียของผลมะม่วงที่เกิดจากโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญอย่างโรคแอนแทรคโนสซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. asianum* และ *C. siamense* ซึ่งมีลักษณะการเข้าทำลายแบบแฝงตั้งแต่อยู่บนต้นและจะเริ่มแสดงอาการของโรคเมื่อผลมะม่วงเริ่มสุก (Rattanakreetakul *et al.*, 2023) ทำให้เกิดความเสียหายทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวมีการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราซึ่งอาจตกค้างในผลมะม่วงส่งกระทบต่อและความปลอดภัยของผู้บริโภคและอาจถูกกีดกันทางการค้า (วีรภรณ์, 2556) การศึกษาการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับการรับรองว่าเป็นสารเคมีที่ปลอดภัยในการเจือปนและสัมผัสอาหาร (GRAS, generally recognized as safe substances) Hmmam *et al.* (2023) พบว่าซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่ปนเปื้อนมากับผลมะม่วงพันธุ์ Kiett ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการสุกแก่ของผลมะม่วงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุของโรคแอนแทรคโนสใน มะม่วง อะโวคาโด และมะละกอ (González-Estrada *et al.*, 2021) งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อควบคุมโรคแอนแทรคโนสของผลมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เตรียมเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส

เชื้อราที่ทดสอบแยกได้จากผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนส จำนวน 10 ผล ด้วยวิธี Tissue transplanting บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) จำแนกตามลักษณะทางสัณฐานและชีวโมเลกุลตามลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน ITS GADPH ACT และ CAL (Leesutthiphonchai *et al.*, 2024) จำแนกได้เป็นเชื้อรา *Colletotrichum siamense* เก็บรักษาในห้องปฏิบัติการโรคหลังการเก็บเกี่ยวและเมล็ดพันธุ์ภาควิชาโรคพืช ย้ายเชื้อมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มที่อุณหภูมิห้องและให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน นาน 7 วัน สำหรับการทดลองต่อไป และเตรียมสารแขวนลอยสปอร์โดยย้ายเชื้อมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ครึ่งสูตร บ่มที่อุณหภูมิห้องและให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน นาน 10 วัน เทน้ำกลั่นฆ่าเชื้อและใช้แท่งแก้วฆ่าเชื้อขูดเบา ๆ บนโคโลนี กรองเส้นใยเชื้อราผ่านกระดาษกรองฆ่าเชื้อ (Whatman no. 1) แล้วนับจำนวนด้วย haemacytometer เตรียมให้ได้ความเข้มข้นสปอร์ 10^4 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร

2. การทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. siamense* ด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์

2.1 ทดสอบการยับยั้งการงอกของโคนิเดียด้วยวิธี micro dilution ใน micro titer plate (96 well) เตรียมสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ (P10, Global Chemical Co.,Ltd.) ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรในอะซีโตน ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วเจือจาง แบบ serial dilution ด้วย potato dextrose broth จะได้ความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ 20, 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0 (ควบคุม) กรัมต่อลิตร แล้วใส่สารแขวนลอยสปอร์ 50 ไมโครลิตร ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ลงในทุกหลุม บ่มที่อุณหภูมิห้องและให้แสงสลับมืด 12 ชั่วโมง นับจำนวนการงอกของโคนิเดียโดยสังเกตภายใต้กล้องสเตอริโอที่กำลังขยาย 15x และหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการงอกของสปอร์ (minimum inhibitory concentration, MIC) เมื่อบ่มนาน 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

2.2 ทดสอบการยับยั้งการเจริญของเส้นใยด้วยวิธี poison food โดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5, 2.0, 2.5 และ 0 (ควบคุม) กรัมต่อลิตร จากนั้นวาง mycelium disc ของเชื้อรา *C. siamense* ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้องโดยให้แสงสลับมืด 12 ชั่วโมง นาน 7 วัน วัดขนาดโคโลนีเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

3. ทดสอบการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยวโดยจุ่มด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์

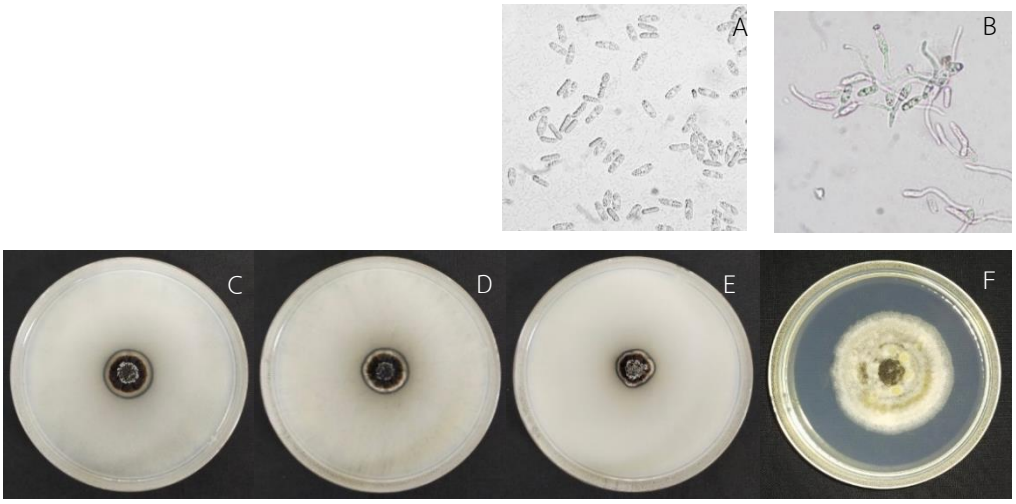
เตรียมผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระยะสุกแก่ผลยังมีสีเขียวและปราศจากความเสียหายจากโรค แมลง และทางกล ขนาดผลประมาณ 200-280 กรัมต่อผล ตัดขั้วโดยไว้ขั้วไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วทำแผลบนผลมะม่วงด้วยเข็มเขี่ยโดยที่ผลมีความลึกประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นวาง mycelium disc ขนาด 5 มิลลิเมตร บนแผลแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงสลับมืด 24

ชั่วโมง จากนั้นนำ mycelium disc ออกแล้วจุ่มผลมะม่วงในสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 0 (ควบคุม) กรัมต่อลิตร นาน 2 นาที แล้ววางผลมะม่วงในตะกร้าที่รองด้วยกระดาษ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ นาน 12 วัน

นับจำนวนผลที่เกิดโรค วัดขนาดแผลเพื่อประเมินความรุนแรงของโรค และประเมินคุณภาพหลังการเก็บรักษา 1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 2) ค่าสีที่เปลือกมะม่วง (L*, a*, b* และ hue angle) ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (KONICA MINOLTA รุ่น CR-400) 3) ความแน่นเนื้อ (TX,Texture Analyser รุ่น TA.XT.plus) โดยใช้หัวกดเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร 4) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, %Brix, ATAGO) และ 5) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำๆ ละ 3 ผล วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติแบบ one-way ANOVA และเปรียบเทียบข้อมูลโดยวิธี Duncan's multiple-range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลอง

การทดสอบการยับยั้งการงอกของโคนิเดียด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 20, 10, 5, 2.5 และ 1.25 กรัมต่อลิตร พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ยับยั้งการงอกของโคนิเดียเท่ากับ 2.5 กรัมต่อลิตร หลังจากบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง (Figure 1A) เมื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญของเส้นใยบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัมต่อลิตร พบว่ามีการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเท่ากับ 64.1, 67.1 และ 69.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ : ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Figure 1B)



1A

1B

Figure1 1A: Minimum inhibitory concentration (MIC) of nano ZnO at 2.5 g/L against *C. siamense* (A) compared to control (B) using micro dilution test incubated at room temperature for 24 h.
1B: *C. siamense* colony growth on potato dextrose agar mixed with nano ZnO at concentration 1.5 (C), 2.0 (D), and 2.5 (E) g/L compared to control (F) using poison food technique incubated at room temperature for 7 days.

การควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการเก็บเกี่ยวโดยการจุ่มด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5, 2 และ2.5 กรัมต่อลิตร หลังการเก็บรักษา 12 วัน ไม่พบการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ และความรุนแรงของโรคมีขนาดแผล 12-52 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 30 มิลลิเมตร) โดยเมื่อวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการจุ่มด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ทุกกรรมวิธีมีค่าความแน่นเนื้อ (TX) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการสูญเสียน้ำหนัก (WL) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และค่าสี (L*, a*, b* และ hue) ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Table 1, Figure 2)

Table1 Effect of Nano ZnO treatment on disease incidence, disease severity of mongo fruits inoculated with *Colletotrichum siamense*, and quality parameters of uninoculated mango fruits kept at 25±2 °C for 12 days after treatment.

nano ZnO (g/L)	Disease incidence (%)	Disease severity (mm)	TX (N)	TSS (%Brix)	WL (%)	TA (%)	Color			
							L*	a*	b*	hue
0 (control)	100 a	30 a	1.04 b	14.30 b	9.21	0.85	72.45	7.42	50.25	81.16
1.5	0 b	0 b	1.19 a	15.47 a	8.12	1.07	72.30	8.26	53.62	81.26
2.0	0 b	0 b	1.23 a	15.97 a	8.62	0.85	72.85	8.54	53.39	80.87
2.5	0 b	0 b	1.21 a	15.70 a	8.03	1.07	72.82	8.24	53.40	81.22
	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Values followed by different letters within the same column are significantly different ($p < 0.05$). 'ns' denotes non-significant differences.

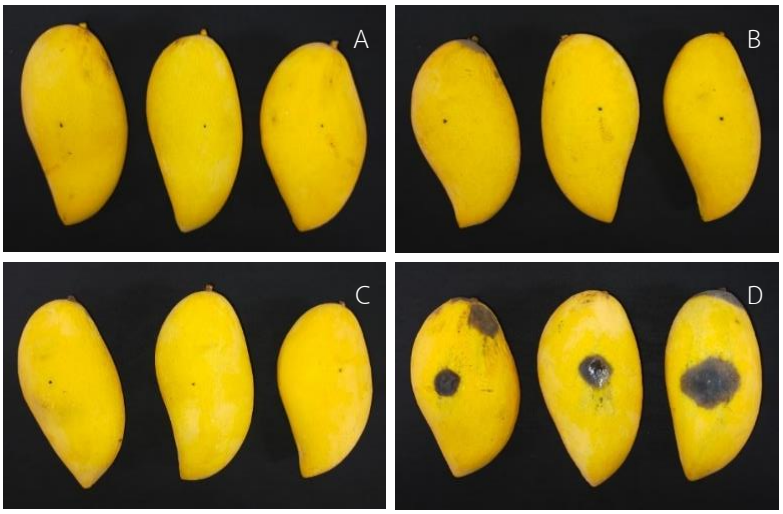


Figure 2 Inoculated mango fruits after dipped in nano ZnO at concentrations of 1.5 (A), 2.0 (B), and 2.5 (C) g/L compared to untreated control (D) kept at 25±2 °C for 12 days after treatment.

วิจารณ์ผล

นาโนซิงค์ออกไซด์ (P10) สามารถยับยั้งการงอกของโคนิเดียเชื้อรา *C. siamense* มีค่า MIC ที่ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ 69.4 เปอร์เซ็นต์ มีการศึกษาคุณสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถต้านจุลินทรีย์โดยส่งผลต่อกระบวนการทางเคมีเกิด reactive oxygenated species (ROS) ทำให้เกิด H_2O_2 และปลดปล่อยซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ทำให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดความเสียหาย มีรูปร่างผิดปกติและมีการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์ (Kumar *et al.* 2016; Li *et al.*, 2011; Song *et al.,* 2010) และทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ที่รุนแรงต่อ lipid vesicles ของแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยตรวจพบการเรืองแสงจากการเกิด H_2O_2 (Zhang *et al.,* 2013) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์สามารถควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุของโรคแอนแทรคโนสของ มะม่วง อะโวคาโด และมะละกอ (González-Estrada *et al.*, 2021) และการรายงานของ Hmmam *et al.* (2023) พบว่า alginate-based นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (E. *coli* และ *Staphylococcus aureus*) บนผลมะม่วงพันธุ์ Kiett โดยไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าการจุ่มผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1.5-2.5 กรัมต่อลิตร สามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีโดยไม่มีผลกระทบเชิงลบต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนัก และค่าความหวาน

สรุปผลการทดลอง

นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถในการยับยั้งการงอกของโคนิเดียเชื้อรา *C. siamense* มีค่า MIC ที่ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร และยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ 69.4 เปอร์เซ็นต์ การจุ่มผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5-2.5 กรัมต่อลิตร สามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนสได้ดี และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนัก และค่าความหวาน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยการประเมินคุณภาพหลังการเก็บรักษา

เอกสารอ้างอิง

วีรภรณ์ เดชนำบัญชาชัย. 2556. การกระตุ้นความต้านทานในผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ปลอดภัยที่มีต่อโรคแอนแทรคโนส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 93 หน้า.

วีระ ศรีอริยะกุล. 2564. การอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดไกลร่วมกับอากาศร้อน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 17(3): 169-182.

Hmmam, I., M.A.S. Ali and A. Abdellatif. 2023. Alginate-based zinc oxide nanoparticles coating extends storage life and maintains quality parameters of mango fruits “cv. Kiett”. Coatings 13(2): 362.

Leesutthiphonchai, W., O. Piasai, S. Vajrodaya, S. Umrung, J. Schinnerl, S. Steinkellner and N. Khewkhom. 2024. Evaluation of efficacy of four *Cinnamomum* species extracts and cinnamaldehyde to control anthracnose of mango fruit. European Journal of Plant Pathology 170: 263–279.

Li, M., L. Zhu and D. Lin. 2011. Toxicity of ZnO nanoparticles to *Escherichia coli*: Mechanism and the influence of medium components. Environmental Science & Technology 45: 1977–1983.

Kumar, R., A. Umar, G. Kumar and H.S. Nalwa. Antimicrobial properties of ZnO nanomaterials: a review. Ceramics International 43(5): 3940-3961.

González-Estrada, R.R., F.J. Blancas-Benitez, B. Montaño-Leyva, M.L. Zambrano-Zaragoza, L. Aguirre-Güitrón, C. Moreno-Hernández, H.J. Cortés-Rivera, A. Fonseca-Cantabrana, J.A. Herrera-González, E. Rayón-Díaz and P. Gutierrez-Martinez. 2021. Zinc nanomaterials: A safe tool for postharvest disease management. pp. 243-265. *In*: K.A. Abd-Elsalam (ed.). Nanobiotechnology for Plant Protection, Zinc-Based Nanostructures for Environmental and Agricultural Applications. Elsevier.

Rattanakreetakul, C., P. Keawmanee, S. Bincader, O. Mongkolporn, V. Phuntumart, S. Chiba and R. Pongpisutta. 2023. Two newly identified *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in central Thailand. Plants 12: 1130.

Song, W., J. Zhang, J. Guo, J. Zhang, F. Ding, L. Li and Z. Sun. 2010. Role of the dissolved zinc ion and reactive oxygen species in cytotoxicity of ZnO nanoparticles. Toxicology Letters 199: 389–397.

Zhang, Y., T.R. Nayak, H. Hong and W. Cai. 2013. Biomedical applications of zinc oxide nanomaterials. Current Molecular Medicine 13(10): 1633–1645.