Agricultural Sci. J. 44 : 3 (Suppl.) : 326-329 (2013) ว. วิทย. กษ. 44 : 3 (พิเศษ) : 326-329 (2556)

ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกจากไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อรา หลังเก็บเกี่ยวบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้

Effects of Titanium Dioxide Photocatalytic Reaction on Control of Postharvest Fungal Spoilage of 'Nam Doc Mai' Mango Fruit

ปริญญา จันทรศรี[1,2,3] สุวิทย์ วงศ์ศิลา[1]และ วิลาวัลย์ คำปวน[1,2,3]
Parinya Chantrasri [1,2,3], Suwit Wongsila[1] and Wilawan Kumpoun [1,2,3]

Abstract

Effects of titanium dioxide (TiO_2) photocatalytic were investigated for the control of postharvest storage rots caused by anthracnose pathogen in 'Nam Doc Mai' mango fruit. The TiO_2 photocatalytic process inhibited conidial germination of the fungal pathogen *in vitro*. *In vivo* tested, mangoes were treated with 5 different conditions in the prototype storage boxes as followed: Treatment 1 using electric fan (Ef) + UV-A ; Treatment 2 using Ef + ligh bulb+ metal coated with TiO_2 ; Treatment 3 using Ef + UV-A + fabric coated with TiO_2; Treatment 4 using Ef + UV-A + metal coated with TiO_2, and Treatment 5 using Ef + Black light + metal coated with TiO_2 and stored at 15 °C for 25 days. The results reveal that TiO_2 photocatalytic was not effective in controlling latent infections of anthracnose pathogen in mango fruit tissues, but apparently reduced disease development. This finding suggests that TiO_2 photocatalytic can be developed for an alternative method for postharvest disease control of mango fruit as it comply with food safety standard.

Keywords: 'Nam Doc Mai' mango, postharvest rots, Titanium dioxide

บทคัดย่อ

ผลของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากกระบวนการโฟโตแคตาไลติกต่อการควบคุมโรคเน่าหลังเก็บเกี่ยวที่เกิดจากเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อราในสภาพห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในกล่องต้นแบบปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ที่ติดตั้งแตกต่างกัน 5 รูปแบบดังนี้คือ ภายในกล่องกรรมวิธีที่ 1 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A กรรมวิธีที่ 2 ใช้พัดลมร่วมกับหลอดไฟและแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ กรรมวิธีที่ 3 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A และ แผง TiO_2 เคลือบบนผ้า กรรมวิธีที่ 4 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A และแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ กรรมวิธีที่ 5 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด Black light และแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25 วัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของกล่องปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อก่อโรคแอนแทรคโนสที่เจริญแบบแฝง แต่สามารถช่วยลดการเกิดโรคเน่าบนผลมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อใช้เป็นวิธีทางเลือกในการควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยวของมะม่วงซึ่งสอดคล้องในด้านมาตรฐานอาหารปลอดภัยได้อีกวิธีการหนึ่ง

คำสำคัญ: มะม่วงน้ำดอกไม้ โรคเน่าหลังเก็บเกี่ยว ไทเทเนียมไดออกไซด์

บทนำ

โรคผลเน่าหลังเก็บเกี่ยวที่เกิดจากโรคแอนแทรคโนส นับว่าเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการส่งออกของมะม่วง ซึ่งโรคนี้เกิดจากการทำลายของเชื้อราหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา *Collectotrichum gloeosporioides (Penz) Penz and Sacc.* สาเหตุโรคแอนแทรคโนส โดยการเข้าทำลายของเชื้อราชนิดนี้สามารถเจริญแฝงอยู่กับมะม่วงในทุกระยะของการเจริญเติบโตจนกระทั่งมาปรากฏพบอาการชัดเจนเมื่อมะม่วงสุกแก่หลังเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ในสภาพการเก็บรักษามะม่วง มักพบการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดต่างๆ เช่น *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. และ *Rhizopus* spp. ตลอดจนแบคทีเรียและยีสต์

[1]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200
[1] Science and Technology Research Institute Chiang Mai University Chiang Mai, 50200,Thailand
[2]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ. เชียงใหม่50200
[2]Postharvest Technology research Institute/ Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[3]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400
[3] Postharvest Technology Innovation Center, Commission on higher Education, Bangkok, 10400, Thailand

ชนิดต่างๆ และถ้ามะม่วงมีบาดแผลเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เมื่อมาอยู่ในสภาพการเก็บรักษาที่มีการปนเปื้อนดังกล่าว ก็ย่อมทำให้เกิดมีการเน่าเสียเกิดขึ้นได้เช่นกัน ปัจจุบันได้มีการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มาใช้ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช เนื่องจากคุณสมบัติของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกภายใต้สภาพที่มีแสงอุลตร้าไวโอเล็ต มีผลต่อกลุ่ม hydroxyl free radical ที่มี amino group ในโมเลกุลของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ที่เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ โดยทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการตายของเซลล์ โดยเฉพาะที่มีรายงานการนำมาใช้กับกลุ่มของแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Streptococcus faealis* เป็นต้น (Kuhn *et al*., 2003) และรายงานเกี่ยวกับการนำ TiO_2 มาใช้ควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชในผลไม้เช่น ผลกีวี และเลมอน คือการควบคุมโรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Penicillium expansum* ซึ่งเป็นเชื้อที่พบทั่วไปและแพร่กระจายในอากาศ (Maneerat and Hayata, 2006) และ *Curvularia lunata* ซึ่งเป็นเชื้อราที่พบในดิน นอกจากนี้ก็มีการนำมาใช้ควบคุมยีสต์ *Candida albican* และ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาผลของเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของ TiO_2 ที่มีต่อการควบคุมโรคผลเน่าของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยวซึ่งมีเชื้อสาเหตุหลักเกิดจากเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งเป็นเชื้อราที่เจริญแบบแฝงภายในผล และเชื้อราสาเหตุผลเน่าอื่นๆที่ปนเปื้อนทั่วไป ในกล่องต้นแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ลดการเข้าทำลายของเชื้อแอนแทรคโนสในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้

อุปกรณ์และวิธีการ

กล่องต้นแบบปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก จำนวน 5 แบบ คือ กล่องที่ 1 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A กล่องที่ 2 ใช้พัดลมร่วมกับแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ กล่องที่ 3 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A และ แผงTiO_2เคลือบบนผ้า กล่องที่ 4 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด UV-A และแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ และกล่องที่ 5 ใช้พัดลมร่วมกับหลอด Black light ร่วมกับแผง TiO_2เคลือบบนโลหะ (Figure 1) ได้นำมาใช้ทดสอบการควบคุมเชื้อราก่อโรคผลเน่า ในสภาพห้องปฏิบัติการและในผลมะม่วงดังนี้ เตรียมสปอร์แขวนลอยของเชื้อ (spore suspension) จากเชื้อบริสุทธิ์ *C. gloeosporioides* ที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน และมีการสร้างกลุ่มสปอร์สีส้มบนอาหาร นำมาผสมในน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วให้ได้ความเข้มข้นของสปอร์ ประมาณ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (ตรวจนับด้วย hemacytometer) **การทดลองที่ 1** ทดสอบการยับยั้งการงอกของสปอร์และเส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*C. gloeosporioides*) ในกล่องต้นแบบปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก โดยหยดสปอร์แขวนลอยที่เตรียมไว้บนแผ่นกระดาษกรอง (Whatman no.1) ที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆวาง บนแผ่นสไลด์ แล้วนำไปวางในจานเพาะเชื้อที่มีกระดาษกรองที่ผ่านการแช่น้ำกลั่นเพื่อให้ความชื้น และใช้สปอร์แขวนลอย 100 ไมโครลิตร เกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร PDA ที่ผสมผง TiO_2 ชนิด nano particles ในอัตรา 100 มิลลิกรัมต่ออาหาร PDA 250 มิลลิลิตร แล้วเทลงในจานเพาะเชื้อ นำทั้งหมดไปวางในกล่องต้นแบบทั้ง 5 กรรมวิธี โดยแต่ละวิธีการ ทำกรรมวิธีละ 5 ซ้ำ เมื่อครบเวลา 10 ชั่วโมง นำแผ่นกระดาษกรองจากทุกกรรมวิธีมาย้อมด้วย lactophenol cottonblue เพื่อตรวจสอบการงอกของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ด้วยการสุ่มนับทุก 100 สปอร์จากจำนวน 3 พื้นที่ภายใต้กล้อง แล้วบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การงอก และนำจานอาหารออกมาบ่มเชื้อต่อภายนอกที่อุณหภูมิ 25±2°C หลังจากเก็บไว้ในกล่องครบ 48 ชั่วโมง เพื่อบันทึกผลการเจริญของเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยแต่ละวิธีการทำกรรมวิธีละ 5 ซ้ำ และ**การทดลองที่ 2** ทดสอบการยับยั้งการเกิดโรคผลเน่าในผลมะม่วง โดยปลูกเชื้อบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ด้วยการฉีดพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อที่เตรียมไว้ให้ทั่วผล แล้วนำไปไว้ในกล่องต้นแบบทั้ง 5 กรรมวิธี และทำชุดควบคุมโดยบรรจุมะม่วงในกล่องที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ โดยแต่ละกรรมวิธีใช้ 20 ผล แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C บันทึกผลการเกิดโรค หลังการบ่มเชื้อไว้ที่ 10, 15, 20 และ 25 วัน โดยให้คะแนนความรุนแรงของโรคดังนี้ : 0 = ไม่เกิดโรค; 1 = เกิดเล็กน้อยเพียง 2-3 จุด; 2 = เกิดแผลน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวผล; 3 = เกิดแผลน้อยกว่า 50% ของพื้นที่ผิวผล: 4 = เกิดแผลมากกว่า 50% แต่น้อยกว่า 75% ของพื้นที่ผิวผล; 5 = เกิดแผลตั้งแต่ 75% ของพื้นที่ผิวผล และแยกเชื้อจากรอยแผลเพื่อพิสูจน์โรค

ผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ TiO_2 ที่มีต่อการเจริญของเชื้อราก่อโรคผลเน่าของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยว ในกล่องต้นแบบปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก TiO_2 ที่แบ่งเป็นกรรมวิธีต่างๆ พบว่าการใช้ UV-A ร่วมกับแผง TiO_2 ที่เคลือบบนโลหะ (กรรมวิธีที่ 4) มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. gloeosporioides* โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์ต่ำสุดเมื่อเทียบกับทุกกรรมวิธี คือเท่ากับ 39.13 % (Table 1; Figure 1) และพบเชื้อ *C. gloeosporioides* เจริญเป็นโคโลนีเดี่ยวๆบนอาหาร PDA ที่ผสม TiO_2 ที่นำไปบ่มไว้ในกล่องกรรมวิธีที่ 4 ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆพบเส้นใยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* เจริญ

เต็มทั่วผิวหน้าอาหาร สำหรับผลการทดลองในผลมะม่วงที่ผ่านการปลูกเชื้อ *C. gloeosporioides* แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในกล่องต้นแบบ พบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในกรรมวิธีที่ 1 เริ่มพบรอยแผลแอนแทรคโนสเกิดขึ้นในวันที่ 10 ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆยังไม่พบรอยแผล และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นตั้งแต่ 15 วันขึ้นไป พบว่าในทุกกรรมวิธีพบรอยแผลแอนแทรคโนสบนผิวผล แต่ในกรรมวิธีที่ 4 มีรอยแผลเกิดขึ้นค่อนข้างน้อยกว่าทุกกรรมวิธี แต่ยังคงเกิดความรุนแรงของโรคในระดับที่มากกว่า 50% เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 25 วัน (Figure 2)

Table1 Effect of Titanium dioxide different treatment in prototype boxes on the conidia germination of *Colletotrichum gloeosporioides* on the filter paper disc

Treatment	conidia germination of *C. gloeosporioides* (%)
Tr1 : electric fan + UV-A	74.42 ± 0.22^{bc} *
Tr2 : electric fan + ligh bulb+ metal coated with TiO_2	78.60 ± 1.36^{b}
Tr3 : electric fan + UV-A+ fabric coated with TiO_2	64.53 ± 1.95^{c}
Tr4 : electric fan + UV-A+ metal coated with TiO_2	39.13 ± 1.73^{d}
Tr5 : electric fan + Black Light + metal coated with TiO_2	52.17 ± 0.77^{c}
control	100.00 ± 0.00^{a}

*The results are presented as means of 5 replicated plates, Figures followed by different superscript letters differ significantly at 95% according to Duncan's new multiple range test

Figure1 Conidia germination of *Colletotrichum gloeosporioides* : (A) normal germination ; (B) none germinated conidia on filter paper after incubated in prototype boxes with the presence of TiO_2 and UV-A for 10 hours.

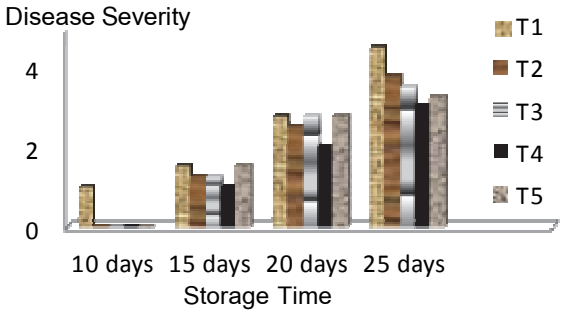

Figure 2 Severity score of fruit rot development on 'Nam Doc Mai' mango fruit during storage in prototype boxes. Severity score:

0 = none; 1 = very slight; 2 = less than 25% of whole fruit area; 3 = less than 50% of fruit area; 4 = more than50% of fruit area; 5 = more than 75% of fruit area, (n = 20 fruits)

วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของ TiO_2 ที่มีต่อการเจริญของเชื้อราก่อโรคผลเน่าของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยว ในกล่องต้นแบบ TiO_2 ที่แบ่งเป็นกรรมวิธีต่างๆ พบว่าการใช้ UV-A ร่วมกับแผง TiO_2 ที่เคลือบบนโลหะ (กรรมวิธีที่ 4) มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. gloeosporioides* โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์ต่ำสุดเมื่อเทียบกับทุกกรรมวิธี และพบเชื้อ *C. gloeosporioides* เจริญเป็นโคโลนีเดี่ยวๆบนอาหาร PDA ที่ผสม TiO_2 ที่นำไปบ่มไว้ในกล่องกรรมวิธีที่ 4 ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆพบเส้นใยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* เจริญเต็มทั่วผิวหน้าอาหาร แสดงให้เห็นว่าแสง UV-A ร่วมกับแผง TiO_2 ที่เคลือบบนโลหะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่สามารถลดการเจริญของเชื้อ *C. gloeosporioides* ลงในสภาพห้องปฏิบัติการ แต่ขณะเดียวกันผลการแยกเชื้อจากรอยแผลผลเน่า ยังพบการเจริญของเชื้อรา *Penicillium* spp. *Aspergillus* spp. และ *Rhizopus* spp. เจริญบนอาหารร่วมกับเชื้อ *C. gloeosporioides* ในทุกกรรมวิธี สำหรับผลการทดลองในผลมะม่วงที่ผ่านการปลูกเชื้อ *C. gloeosporioides* แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในกล่องต้นแบบ พบว่า ผลมะม่วงในชุดควบคุมที่เก็บไว้ในกล่องที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ เกิดแผลแอนแทรคโนสขึ้นมากกว่า 75% ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลในกรรมวิธีที่ 1 เริ่มมีการพัฒนารอยแผลแอนแทรคโนส แต่เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น พบว่าในทุกกรรมวิธี การพัฒนารอยแผลแอนแทรคโนสเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามในกรรมวิธีที่ 4 มีการพัฒนารอยแผลค่อนข้างช้ากว่าทุกกรรมวิธี แต่ยังคงเกิดความรุนแรงของโรคในระดับที่มากกว่า 50% และผลที่อยู่ใกล้แผงเคลือบ TiO_2 มีการพัฒนาของรอยแผลช้ากว่าผลที่อยู่ในตำแหน่งที่ห่างออกไป (ไม่ได้นำมาแสดงผล) โดยทั่วไปมีการนำแสง UV ใช้ควบคุมจุลินทรีย์บางชนิด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิค “light cleaning” มาประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของ TiO_2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบวัสดุที่ใช้เคลือบ TiO_2 ที่เหมาะสม และตำแหน่งการวางของแผง TiO_2 และหลอด UV ที่ติดตั้ง อย่างไรก็ตามผลของปฏิกิริยา TiO_2 นี้ไม่สามารถควบคุมเชื้อที่มีการเจริญแบบแฝง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jae-Seoun Hur *et al*. (2005) ซึ่งพบว่าผลของปฏิกิริยา TiO_2 ไม่มีผลต่อการควบคุมเชื้อโรคที่เจริญแบบแฝงในผลกีวี แต่สามารถยับยั้งการปนเปื้อนของเชื้อที่ผิวได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลมะม่วงในชุดการทดลองนี้ ยังคงเกิดแผลแอนแทรคโนสที่เกิดจากการติดเชื้อแบบแฝง แต่ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของ TiO_2 ที่สามารถลดการปนเปื้อนเชื้อที่ผิวของผล จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ช่วยชะลอการเน่าเสียของผลผลิตได้ ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาพัฒนาต่อ เพื่อใช้เป็นวิธีทางเลือกในการควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยวของมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับด้านมาตรฐานอาหารปลอดภัยได้อีกวิธีการหนึ่ง

สรุปผลการทดลอง

ผลของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์กับแสงอุลตร้าไวโอเลตชนิด UV-A สามารถลดการเจริญของเส้นใยของเชื้อ *C. gloeosporioides* บนอาหารเพาะเชื้อ และมีผลต่อการงอกของสปอร์ในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์ต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ UV-A ร่วมกับแผง TiO_2 ที่เคลือบบนโลหะ และไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อก่อโรคแอนแทรคโนสที่เจริญแบบแฝงในผลมะม่วงที่เก็บรักษาในกล่องต้นแบบ แต่ลดความรุนแรงและชะลอการเกิดโรคในผลระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดโรคของผลมะม่วงภายในกล่องที่ออกแบบ ขึ้นอยู่ความหนาของการเคลือบ และตำแหน่งของแผงไทเทเนียมไดออกไซด์และหลอด UV

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Hur, J.S., S.O. Oh, K.M. Lim, J.S. Jung, J.W. Kim and Y.S. Koh. 2005. Novel effects of photocatalytic ozonation on control of postharvest fungal spoilage of kiwifruit. Postharvest Biology and Technology 35(1):109-113.

Kuhn, K.P.,I.F Chaberny, K. Masholder, M.Stickler, V.W Benz, H.G. Sonntag and L. Erdinger, 2003. Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. Chemoshere 53(1):71 – 77.

Maneerat, C. and Y. Hayata. 2006. Antifungal activity of TiO_2 photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. International Journal of Food Microbiology 107(2):99-103.