

การพัฒนาสารไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนวัสดุกันกระแทกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว

Development of TiO₂ Coat on Cushioning Material for Mango Postharvest Technology

บุษบากร คงเรือง^{1*} ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ¹ และ ธนภัทร มณีแสง¹

Budsabagorn Kongreong^{1*}, Saksirichai Srisawad¹ and Thanapat Maneeseng¹

บทคัดย่อ

การพัฒนาสารเคลือบชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกและสมบัติการในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกผลิตด้วยวิธีโซล-เจล และเคลือบลงบนวัสดุกันกระแทกโดยวิธีการสเปรย์ เมื่อนำสารละลาย (slurry) ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่โด๊ปด้วย 3SnO₂ และ 0.5 Fe³⁺ มาเคลือบบนวัสดุกันกระแทกได้ความเหมาะสมของสารละลายของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่โด๊ปด้วย 3SnO₂ และ 0.5 Fe³⁺ คือ 5%w/v ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่โด๊ปด้วย 3SnO₂ และ 0.5 Fe³⁺ จากนั้นนำวัสดุกันกระแทกที่ผ่านการเคลือบมาทำการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ 10 วัตต์ซึ่งอยู่ห่างจากตัวอย่างทดสอบ 40 เซนติเมตร เก็บข้อมูลและบันทึกรายละเอียดของตัวอย่างต่างๆ วันเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 วัน วัสดุกันกระแทกที่ผ่านการเคลือบสามารถลดความเสียหายและช่วยลดอัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้สด อายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สดเพิ่มขึ้นจาก 6 วัน เป็น 14 วันหรือคิดเป็นเวลาที่ยืดอายุได้เพิ่มขึ้นประมาณ 2.33 เท่า เมื่อเทียบกับวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบ

คำสำคัญ : ไทเทเนียมไดออกไซด์ โฟโตแคตะไลติก วัสดุกันกระแทก

Abstract

The development of coating materials of TiO₂ by doping with SnO₂ and Fe³⁺ to improve the photocatalytic efficiency and prolonging mango postharvest. TiO₂ powders were prepared by sol-gel method and coated on cushioning material using spray coating. For appropriate slurry of TiO₂/3SnO₂/0.5Fe³⁺ powders coated on cushioning materials was 5%w/v. The microbial disinfection test was also done for 5%w/v as coating by TiO₂/3SnO₂/0.5Fe³⁺ slurry spray on cushioning materials. Furthermore, study the use of prepared cushioning materials for prolonging mango life was done by wrapping mango with cushioning materials and keeping them at a constant temperature of 11°C under fluorescent lamp of 10 which was located 40 cm far from samples. The samples were observed during 14 days and the data was recorded in every 6 days – period. It was found that the TiO₂/3SnO₂/0.5Fe³⁺ cushioning materials can reduce damage and respiration rate of mango, resulting in the extension of fresh mango life from 6 days to be 14 days or about 2.33 times longer than that of uncoated cushioning materials.

Keywords : TiO₂, Photocatalytic, Cushioning Material

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เมืองเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

¹ Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Phetchabun Rajabhat University, Muang Phetchabun, Phetchabun 67000, Thailand

* Corresponding author. E-mail : tao_bud@hotmail.com

บทนำ

ผักและผลไม้ เป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งในแง่การบริโภคภายในประเทศและการส่งออก สำหรับ ในแง่การส่งออก ผัก ผลไม้ สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่งหลายพันล้านบาทและยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ข้อมูลการส่งออกผักและผลไม้ของกรมศุลกากร ผักและผลไม้ที่มีการส่งออกมากได้แก่ หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวโพดฝักอ่อน มะเขือเทศ ถั่วฝักยาว ต้นหอม มะม่วง ลำไย ลิ้นจี่ ทุเรียน กัญชงหอม และกล้วยไข่ เป็นต้น ตลาดที่มีการส่งออกมากได้แก่ ฮองกง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น ยุโรป และตะวันออกกลาง เป็นต้น (ที่มา : กรมศุลกากร, 2557) ปัญหาสำคัญที่มักประสบในการส่งออกคือ พบการสูญเสียโดยเฉลี่ยสูงถึง ร้อยละ 25 ทั้งนี้เนื่องจาก ผักและผลไม้เป็นสินค้าที่บอบช้ำ และเน่าเสียได้ง่าย สาเหตุที่ทำให้เกิดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้และผักสด เนื่องมาจากโครงสร้างของผักและผลไม้ประกอบด้วยผนังเซลล์ที่มีเพคติน (Pectin) ซึ่งเป็นสารเชื่อมระหว่างช่องว่าง เรียกว่า มิดเดิล ลามেলা (Middle lamella) โครงสร้างทางเคมีของเพคตินเป็นสารประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก และสารประกอบเพคตินอื่น ๆ สารเหล่านี้ถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์เพคติเนส (Pectinase) ซึ่งมีหลายชนิด พบว่าแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Escherichia coli* และ *Clostridium* สามารถสร้างเอนไซม์เพคตินเนสได้ และสามารถเจริญได้ดีในผักสด เนื่องจากผักสดมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์เพคตินเนสได้ นอกจากนี้ แบคทีเรียที่ไม่สร้างเอนไซม์เพคตินเนสก็สามารถเข้าทำลายภายในเซลล์ของพืชได้ โดยจะใช้สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดเล็กๆ ไม่ซับซ้อนก่อน ทำให้เกิดการหมักขึ้น และการเจริญของราในผักและผลไม้สด โดยทั่วไปจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชแตกสลาย และเกิดการเน่าเปื่อยขึ้น การสลายตัวของเนื้อเยื่อดังกล่าวเกิดจากการสลายของเยื่อชั้นใน มิดเดิล ลามেলা ผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึม โดยเกิดจากเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มาจากเชื้อรา เช่น ทรานเซลิมินาส (Transeliminase) และเอสเทอเรส (Esterase) จะเข้าไปทำลายเพคติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของลามেলা เซลลูเลส เอนไซม์ทั้ง 2 นี้ มีหน้าที่ในการทำลายผนังเซลล์ของผักและผลไม้ ส่วนเอนไซม์โปรตีนเนส แอไมเลส และเอนไซม์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตประเภทต่าง ๆ จะเข้าไปทำลายในส่วนของโปรโตพลาสซึม สำหรับเชื้อราที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผักและผลไม้สดได้แก่ *Collectrichum*, *Cladosporium* และ *Fusarium* และยีสต์ *Rhodotorula* ที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากผักสดยังมีสารประกอบไนโตรเจนเกลือแร่ และวิตามินต่างๆ ในปริมาณที่เพียงพอที่เชื้อต่างๆ สามารถเจริญอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผักสดจึงเกิดการเน่าเสียจากเชื้อเหล่านี้ได้มากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เพราะเชื้อราและแบคทีเรียทำให้มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เชื้อจุลินทรีย์แพร่พันธุ์ด้วยการเพิ่มเซลล์อย่างรวดเร็ว และเข้าไปในผลผลิตผลพืชโดยผ่านทางแผลหรือรูเปิดตามธรรมชาติ ปกติผลผลิตจะปนเปื้อนเชื้อจากการสัมผัสกับน้ำที่มีเชื้ออยู่หรือสัมผัสกับดินซึ่งเชื้ออาศัยอยู่ (<http://cyberlab.lh1.ku.ac.th>, 2557)

สารเคมีบางชนิดที่ใช้ป้องกันกำจัดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว ของผลไม้สด เช่น ไธอะเบนดาโซล (Thiabendazole) หรือเบนโนมิล (Benomyl) โดยการแช่จุ่มหรือฉีดพ่นกล้วย ไข่โซเดียมคาร์บอเนต บอแรกซ์ (Sodium carbonate borax) โซเดียม โอ ฟีนิลฟีนเนต (Sodium O-phenylphenate) ไธอะเบนดาโซล (Thiabendazole) หรือเบนโนมิล (Benomyl) ใช้กับส้ม ในลักษณะขี้ผึ้งเคลือบส้มและใช้ไดฟีนิล (Diphenyl) เคลือบกระดาษ สำหรับห่อผลส้มแต่ละผล ใช้โซเดียม โอ ฟีนิลฟีนเนต (Sodium O-phenylphenate) และซาลิซิลลานิลไนด์ (Salicylanilide) สำหรับสับปะรด และใช้เบนโนมิล (Benomyl) สำหรับมะม่วง เป็นต้น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันได้มีการนำสารสังเคราะห์จากไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) มาใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นทางการแพทย์ ทางเกษตร อุตสาหกรรม เช่น การบำบัดน้ำเสียและมีบางงานวิจัยได้นำ ไทเทเนียม

ไดออกไซด์มาผลิตเป็นฟิล์มบางเพื่อใช้ในการบรรจุภัณฑ์ผักผลไม้เพื่อลดอัตราการหายใจของผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว การนำเทคนิคโฟโตแคตะไลซิสมาใช้กับการบำบัดน้ำอาจเป็นผลจากการศึกษาวิจัยเมื่อ 10 กว่าปีมาแล้ว หลักการพื้นฐานของเทคนิคโฟโตแคตะไลซิสเริ่มจากการที่แสงไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (Valence-band) ของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีสิ่งเจือปนหลุดออกจากตำแหน่งส่งผลให้คู่อิเล็กตรอนที่หลุดไปและโฮล (Hole) ซึ่งเป็นช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอนและมีประจุบวกสามารถสร้างพลังงานความร้อนกลับมารวมตัวกัน หรือทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกโดยที่โฮลจะมีปฏิกิริยากับน้ำและหมู่ไฮดรอกซิล (OH) เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงสามารถไปทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่แตกตัวออกกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีการศึกษา

กระบวนการสังเคราะห์ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ไปด้วย 3SnO_2 และ 0.5Fe^{3+}

ใช้ Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) ปริมาณ 8.9 มิลลิลิตร เป็นสารตั้งต้นละลายในเอทานอลปริมาตร 143 มิลลิลิตร หลังจากนั้นได้ป 3mol% ของ Tin (IV) chloride pentahydrate ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (98% บริษัท Fluka Sigma-Aldrich) และ 0.5mol% ของ Iron (III) Chloride จากนั้นนำไปกวนด้วยความเร็ว 800 รอบต่อนาทีด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก เมื่อกวนครบ 15 นาทีได้ปน้ำกลั่นปริมาตร 1.62 มิลลิลิตรลงไป กวนต่อจนครบ 30 นาที หยดสารละลายแอมโมเนีย 4 โมลาร์ ลงไปปรับ pH ให้ได้ประมาณ 3-4 กวนต่อด้วยความเร็ว 800 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จนครบ 1 ชั่วโมง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเป็นเจล สัดส่วนของ TTIP: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: H_2O เท่ากับ 1:82:3 อัตราส่วนโดยโมล อ้างอิงจากงานวิจัยของ Qingju Liu และคณะ (2002) ขั้นตอนการสังเคราะห์แสดงดัง (Figure 2) เมื่อกวนเสร็จจะได้สารที่มีลักษณะเป็นเจล จากนั้นนำเจลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาภายใต้สภาวะบรรยากาศด้วยเตาเผาอุณหภูมิต่ำ (LINDBERG/BLUE) ที่อุณหภูมิ 400 °C อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาต่อนาที ควบคุมความร้อน ณ อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ผง $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ขั้นตอนการสังเคราะห์แสดงดัง (Figure 2) จะได้ชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบต่อไป และการสังเคราะห์ TiO_2 แสดงดัง (Figure 1)

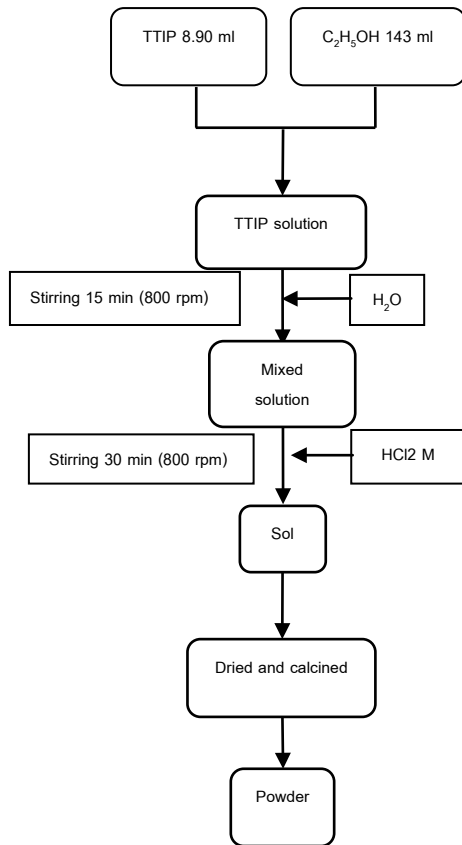


Figure 1 Preparation produce of pure TiO_2 by sol-gel method

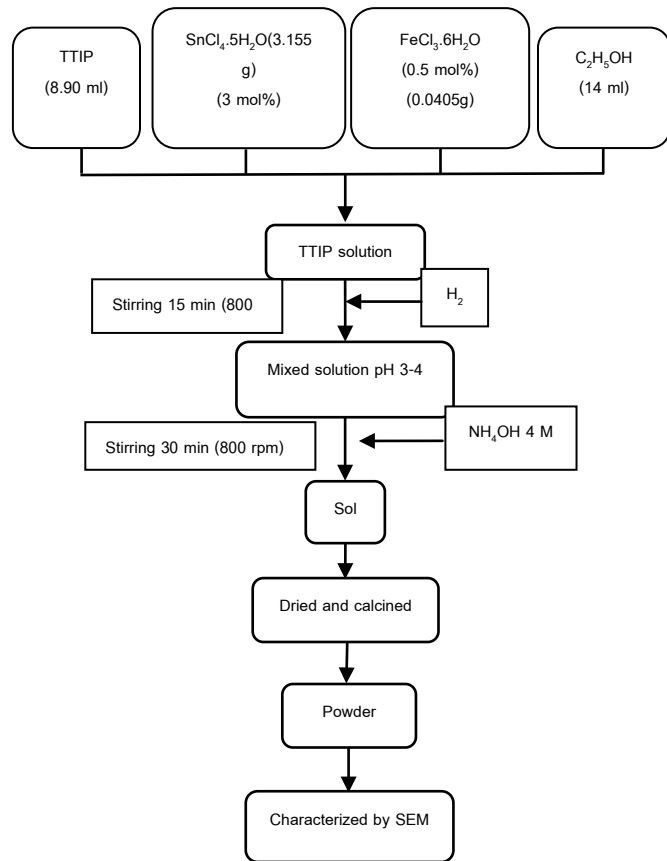


Figure 2 Preparation produce of $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ by sol-gel method

กระบวนการเคลือบวัสดุกันกระแทก

ในการเคลือบวัสดุกันกระแทกใช้วิธีการเคลือบแบบสเปรย์ หรือ ที่รู้จักกันในชื่อการเคลือบแบบสเปรย์ละออง วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ ผง $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ เติลแอลกอฮอล์ 95% ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) วัสดุกันกระแทก (โพลีเมตาซายาห์อ่อมะม่วง) สีรองพื้นพลาสติก (Polypropylene primer) กระจกหรือขวดและหัวสเปรย์ ขั้นตอนในการเคลือบเริ่มด้วยการนำผงผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตรโดยใช้ผงที่ปริมาณต่างๆ (1%w/v, 5%w/v และ 10%w/v) นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำใส่ขวดสเปรย์ ขั้นตอนการสเปรย์ ก่อนการสเปรย์ลงบนวัสดุกันกระแทกต้องทำการสเปรย์พอลิโพรพิลีนไพโรเมอร์ลงไปก่อนเพื่อเพิ่มสมบัติการยึดติดของวัสดุกันกระแทก จากนั้นสเปรย์สารผสมระหว่างผงผสมและเอทิลแอลกอฮอล์ ทำการสเปรย์ลงบนวัสดุกันกระแทกจำนวน 2 ชั้น ระยะห่างระหว่างวัสดุกันกระแทกกับหัวสเปรย์เท่ากับ 30 เซนติเมตร แล้ววางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10-15 นาที (Figure 3)

กระบวนการทดสอบการยึดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยผงที่สังเคราะห์ได้

เริ่มด้วยการนำวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วย slurry ของ $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ และวัสดุกันกระแทกที่ไม่เคลือบมาห่อหุ้มมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และให้วัสดุกันกระแทกที่ไม่เคลือบเป็นชุดควบคุม จากนั้นนำไปวางในตู้เย็นที่มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 วัตต์ โดยระยะห่างระหว่างข้าวโพด และหลอดเท่ากับ 40 เซนติเมตร และควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นให้อยู่ที่ 11 °C (Figure 4) ทำการทดลองภาวะทดลองครั้งละ 4 ตัวอย่าง สังเกตการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกๆ 2 วัน

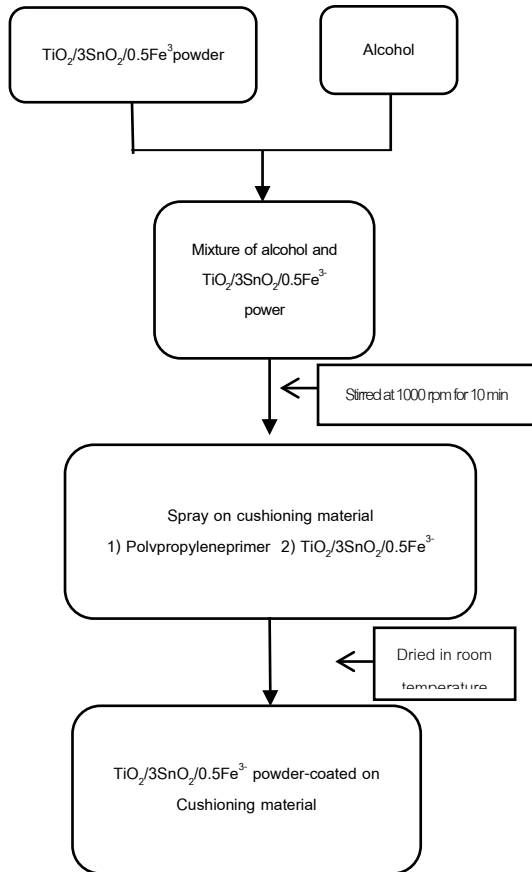


Figure 3 Preparation produce of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated Cushioning material



Figure 4 Photocatalytic reaction test for prolonging mango postharvest

ผลการศึกษา

ลักษณะของผงที่สังเคราะห์ได้

ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปรับด้วย $3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ เมาที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำมาบดด้วยครกบดสารจะได้ผงที่มีลักษณะละเอียดสีเหลืองอ่อน จากการส่งวิเคราะห์ลักษณะของผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ,Matersizer 2000) ทำให้เห็นลักษณะของผงมีการจับตัวกันเป็นก้อน (Figure 5) จึงต้องมีการส่งวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค(Zeta potential analyzer, Model Zeta PALS, Brookhaven)ทำให้ทราบขนาดที่แท้จริงของผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ที่เมาที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีขนาดอนุภาค 191 nm และจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง BET Surface Area ผงมีพื้นที่ผิว 117.16 ตารางเมตรต่อกรัม

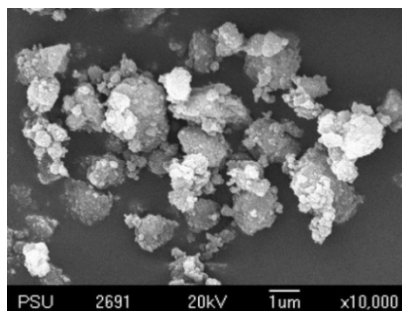


Figure 5 Scanning Electron Microscope (SEM) image of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ powder prepared by sol-gel method and calcined at $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 2 h.

ผลการเคลือบผงไทเทเนียมไดออกไซด์ได้กับด้วย $3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ บนวัสดุกันกระแทกด้วยวิธีสเปรย์

จากผลการทดสอบการเคลือบสารละลายของผงเคลือบ $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ เคลือบบนวัสดุกันกระแทก โดยนำผงซึ่งมีลักษณะค่อนข้างกลมเกาะตัวกันเป็นก้อนมาทำให้แขวนลอยในเอทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 1%w/v, 5%w/v และ 10%w/v เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเคลือบวัสดุกันกระแทก บางโดยนำวัสดุกันกระแทกที่เคลือบแล้วไปตรวจลักษณะพื้นผิว และความสม่ำเสมอของผงที่กระจายตัวบนพื้นผิวของวัสดุกันกระแทกด้วยเครื่อง SEM (Figure 6) ผลที่ได้คือ เมื่อใช้ผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ในสัดส่วน 1%w/v เคลือบลงบนวัสดุกันกระแทก ทำให้ได้ผงกระจายตัวบนวัสดุกันกระแทก แบบเบาบางมากทั้งการเคลือบแบบชั้นเดียวและ 2 ชั้น และเมื่อใช้ผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ในสัดส่วน 5%w/v เคลือบลงบนวัสดุกันกระแทก ด้วยความหนา 1ชั้นทำให้ได้ผงกระจายตัวบนฟิล์มอย่างสม่ำเสมอ แต่ปริมาณของผงน้อยเกินไป และเมื่อทำการเคลือบทับลงไปอีกชั้นเป็น 2 ชั้นในการเคลือบทำให้ได้วัสดุกันกระแทก ที่มีผงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีปริมาณผงที่เหมาะสม ส่วนการเคลือบโดยใช้ผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ในสัดส่วน 10%w/v เคลือบลงบนวัสดุกันกระแทก ด้วยความหนา 1 ชั้นทำให้ได้วัสดุกันกระแทก ที่มีผงกระจายตัวไม่สม่ำเสมอบางบริเวณหนาแต่บางบริเวณบาง แต่เมื่อเคลือบด้วยความหนา 2 ชั้นจะเห็นได้ว่าผงจะเกาะตัวกันเป็นก้อนๆในลักษณะที่ซ้อนทับกันดัง (Figure 6) ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองผง

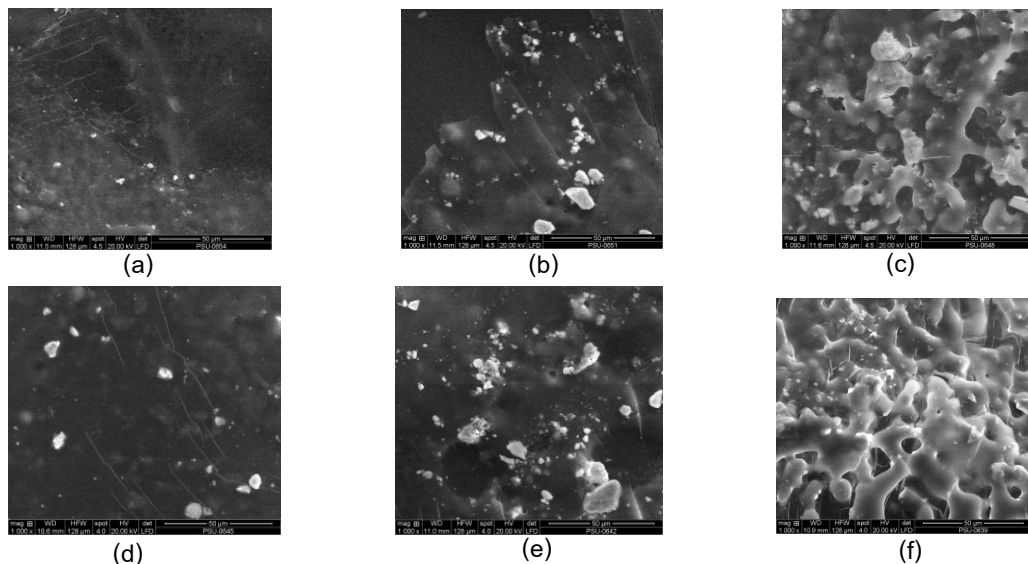


Figure 6 SEM image (1,000x) of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ powder-coated onCushioning material: a) 1%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 1 layer b) 5%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 1 layer c) 10%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 1 layer d) 1%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 2 layer e) 5%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 2 layer f) 10%w/v of $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry coated 2 layer

ผลการทดสอบการยืดอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยผงที่สังเคราะห์ได้

จากการทดสอบการยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วย slurry ของผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ slurry ของผง TiO_2 และวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ความเข้มแสง 10 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 11 °C จากการทดลองทำให้พบความแตกต่างได้อย่างชัดเจน คือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วย slurry ของผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ สามารถยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองได้นานถึง

14 วันและลักษณะมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในวันที่ 14 คือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยผง $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ เริ่มมีลักษณะผิวเหี่ยวเนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเกิดการสูญเสียน้ำ สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ยืดอายุด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยสารละลายของผงเคลือบ TiO_2 สามารถยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองได้นานถึง 10 วัน และลักษณะมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในวันที่ 10 คือมะม่วงเริ่มมีจุดดำๆเล็กน้อยบริเวณผิวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ส่วนผลการทดลองของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบจะเริ่มมีจุดดำๆขึ้นบนผิวมะม่วงตั้งแต่วันที่ 6 ของการทดลอง และจุดสีน้ำตาลดำเริ่มมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ทราบว่าผลการยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยสารละลายของผงเคลือบ $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ สามารถยืดอายุได้คิดเป็น 2.33 เท่าของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบ ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วย slurry ของผง TiO_2 สามารถยืดอายุได้คิดเป็น 1.67 เท่าของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบ (Figure 7)

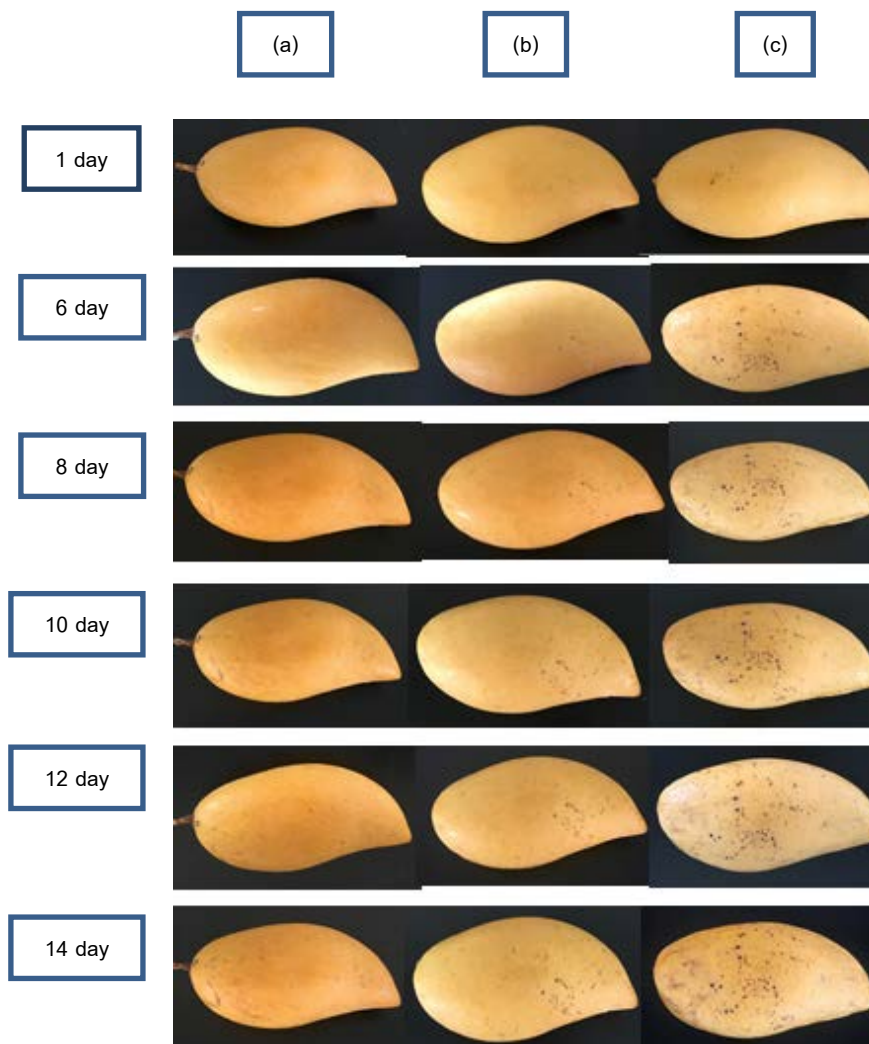


Figure 7 The effect of Cushioning material for prolonging mango postharvest at 1-14 day: (a) $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ coated cushioning material (b) pure TiO_2 coated cushioning material (c) uncoated.

อภิปรายผล

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ปด้วย $3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ เคลือบบนวัสดุกันกระแทกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lek Sikong and Budsabagorn Kongreong (2010) ที่พัฒนาสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Salmonella Typhi* ซึ่งเป็นสาเหตุของการนำเสียในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

สรุป

1. จากการทดลองทำให้ทราบขนาดของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ปด้วย $3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ หลังจากเผาที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 191 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิว $117.6\text{ ตารางเมตรต่อกรัม}$
2. จากการทดลองทำให้ทราบปริมาณผงที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารละลายของผงเคลือบบนวัสดุกันกระแทกคือ $5\% \text{W/v}$ ของผงที่เคลือบและความหนาของการเคลือบ 2 ชั้น
3. ผลการทดลองการยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยสารละลายของผงเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ปด้วย $3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 10 วัตต์ สามารถยืดอายุได้คิดเป็น 2.33 เท่าของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบ ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกที่เคลือบด้วยสารละลายของผงเคลือบ TiO_2 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 10 วัตต์ สามารถยืดอายุได้คิดเป็น 1.67 เท่าของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ได้เคลือบ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณประจำปี 2558

เอกสารอ้างอิง

- เล็ก สีคง. (2547). *วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม*, หน่วยโสตทัศนศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- Brinker, C.J., and Scherer, G.W. (1990). *Sol-Gel Science - The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press, New York, pp.
- Yosry, A. Attia. (1993). *Sol-gel Processing and Applications*, New York, pp.
- Benabbou, A.K., Derriche, Z., Felix, C., Lejeune, P., and Guillard, C. (2007). "Photocatalytic inactivation *Escherichia coli* effect of concentration of TiO_2 and microorganism, nature and intensity of UV irradiation." *Applied Catalysis B: Environmental*, 76, 257-263.
- Blake, D.M., Maness, P.C., Huang, Z., Wolfrum, E.J., Huang, J., and Jacoby, W.A. (1999). "Application of the photocatalytic chemistry of titanium dioxide to disinfection and the killing of cancer cells." *Separation and Purification Methods*, 28(1), 1-5.
- Chai, S.Y., Kim, Y.S., and Lee, W.I. (2006). "Photocatalytic property of TiO_2 loaded with SnO_2 nanoparticles." *Journal of Electroceram*, 17, 323-326.
- Cheng, P., Li, W., Zhou, T., Jin, Y., and Gu, M. (2004). "Physical and photocatalytic properties of zinc ferrite doped titania under visible light irradiation." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 168, 97-101.
- Duangkamon, V., Chamorn, C., and Sadao, M. (2008) "Preparation of well-dispersed TiO_2 slurry for oriented-polypropylene film (OPP) coating" The 2th Thailand Nanotechnology Conference Nanomaterials for Health, Energy and Environment, Phuket Graceland Resort & Spa Patong, Phuket, Thailand, 13th-15th August 2008.

- Evans, P., and Sheel, D.W. (2007). "Photoactive and antibacterial TiO₂ thin films on stainless steel" *Surface & coatings Technology*, 201, 9319-9324.
- Fujishima, A., Rao, T.N., and Tryk, D.A., (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 1 (1), 1-21.
- Guan, K., Lu, B., and Yin, Y. (2003). "Enhanced effect and mechanism of SiO₂ addition in super hydrophilic property of TiO₂ films." *Surface and Coatings Technology*, 173, 219-223.
- Hou, L.R., Yuan, C.Z., and Peng, Y. (2007). "Synthesis and photocatalytic property of SnO₂/TiO₂ nanotubes composites." *Journal of Hazardous Materials*, B139, 310-315.
- Huang, Z., Maness, P.C., Blake, D.M., Wolfrum, E.J., Smolinski, S.L., and Jacoby, W.A., (2000). Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology.A, Chemistry*. 130 (2-3) : 163-170.
- Hubbell, D.A., and Hubbell, M.C. (2005). "environmental coatings assemblies," U. S. Patent 0159309, July 21, 2005.
- Kanai, N., Nuida, T., Ueta, K., Hashimoto, K., Watanabe, T., and Ohsaki, H. (2004). "Photocatalytic efficiency of TiO₂/SnO₂ thin film stacks prepared by DC magnetron sputtering." *Vacuum*, 74, 723-727.
- Kim, S.Y., Chang, T.S., Lee, D.K., and Shin, C.H. (2004). "Photocatalytic decomposition of methylene blue over nanosized titania particles." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2, 194-201.
- Kuhn, K.P., Chaberny, I.F., Massholder, K., Stickler, M., Benz, V.W., Sonntag, H.G., and Erdinger, L., (2003). Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. *Chemosphere*. 53 (1), 71-77.
- Lee, Y.C., Hong, Lee, Y., H.Y., Kim, H., Young, Jung, J., Ko, K.H., Jung, H.S., and Hong, K.S. (2003). "Photocatalysis and hydrophilicity of doped TiO₂ thin films." *Journal of Colloid and Interface Science*, 267, 127-131.
- Lek Sikong, Budsabakorn Kongreong, Duangporn Kantachote and Weerawan Sutthisripok "Photocatalytic Activity and Antibacterial Behavior of Fe³⁺-Doped TiO₂/SnO₂ Nanoparticles" *Energy Research Journal* 1 (2) : 120-125, 2010, ISSN 1949-0151.
- Lek Sikong, Budsabakorn Kongreong, Duangporn Kantachote and Weerawan Sutthisripok "Inactivation of *Salmonella Typhi* using Fe³⁺ Doped TiO₂/3SnO₂ Photocatalytic powders and films" *Journal of Nano Research* Vol. 12 (2010) pp 89-97.
- Li, Y., Li, X., Li, J., and Yin, J. (2005). "TiO₂-coated active carbon composites with increased photocatalytic activity prepared by a properly controlled sol-gel method." *Materials Letters*, 59, 2659-2663.
- Mao, L., Li, Q., Dang, H., and Zhang, Z. (2005). "Synthesis of nanocrystalline TiO₂ with high photoactivity and large specific surface area by sol-gel method." *Materials Research Bulletin*, 40, 201-208.
- Rao, A.R., and Dutta, V. (2007). "Low-temperature synthesis of TiO₂ nanoparticles and preparation of TiO₂ thin films by spray deposition." *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 1075-1080.
- Sayilkan, F., Asilturk, M., Tatar, P., Kiraz, N., Arpac, E., and Sayilkan, H. (2007). "Photocatalytic performance of Sn-doped TiO₂ nanostructured mono and double layer thin films for malachite green dye degradation under UV and vis-lights." *Journal of Hazardous Materials*, 144, 140-146.
- Wanga, C., Xu, B.Q., Wang, X., and Zhao, J. 2005. "Preparation and photocatalytic activity of ZnO/TiO₂/SnO₂ mixture." *Journal of Solid State Chemistry*, 178, 3500-3506.
- Yanagisawa, K., and Ovenstone, J. (1999). "Crystallization of anatase from amorphous titania using the hydrothermal technique: effects of starting material and temperature." *Journal of Physical Chemistry B*, 103 (37), 7781-7787.
- Zhou, M., Yu, J., Liu, S., Zhai, P., and Jiang, L. (2007). "Effects of calcination temperatures on photocatalytic activity of SnO₂/TiO₂ composite films prepared by an EPD method." doi:10.1016/j.jhazmat.2007.11.021.
- Zheng, J., Yu, H., Li, X., and Shang. (2007). "Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ nano structured thin film with a silver hierarchical configuration." *Applied Surface Science*, 254, 1630 - 1635.