บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของ TiO_2 ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV ที่เหมาะสมในการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* ในจานเพาะเชื้ออาหาร PDA

1.1 ผลต่อการงอกของสปอร์

จากการศึกษาผลของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเจริญของสปอร์เชื้อ *C. gloeosporioides* บนจานเพาะเชื้ออาหาร PDA เพื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยับยั้งการเจริญของสปอร์เชื้อรา พบว่า ที่ความเข้มข้น 1 mg/ml มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสปอร์ของเชื้อดีกว่า ที่ 5 และ 10 mg/ml อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของ TiO_2 ในรูปสารละลายที่มากเกินไปทำให้สารละลายมีความขุ่นส่งผลให้ปริมาณของแสง UV ที่ส่องลงไปบนจานเพาะเชื้ออาหาร PDA ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการทดลองของ Kim *et al*. (2003) ที่พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 1.25 mg/ml ร่วมกับการให้แสง UV นาน 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง จะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ทดลอง คือ *Salmonella cholearesuis* , *Vibrio parahaemolyticus* และ *Listeria monocytogenes* โดยที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 mg/ml ร่วมกับการเพิ่มระยะเวลาการให้แสง UV จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากขึ้น ซึ่งแสง UV ทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอน (e^-) และอิเล็กตรอนโฮล (h^+) ของเม็ดผงไทเทเนียมไดออกไซด์แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับ H_2O และ O_2 ในน้ำ และอากาศ ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระคือ super oxide anion ($\bullet O_2^-$) และ hydroxyl radical ($\bullet$OH) ซึ่งสารอนุมูลอิสระทั้ง 2 ตัวนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์บริเวณผนังสปอร์ชั้นนอกของเชื้อ *C. gloeosporioides* ให้แตกสลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นผลให้สารประกอบต่างๆ ภายในสปอร์ของเชื้อรั่วไหลออกมา สอดคล้องกับการทดลองของ Sunada *et al.* (2003) พบว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV จะทำให้องค์ประกอบของเซลล์เชื้อ *E. coli* เกิดการย่อยสลายโดยตรวจวัดจากสาร lipopolysaccharide ซึ่งเป็นองค์ประกอบของชั้นผนังเซลล์ และสามารถสังเกตการสลายตัวของเชื้อ *E. coli* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสปอร์

จากการศึกษาผลของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเชื้อ *C. gloeosporioides* บนจานเพาะเชื้อ พบว่า ทุกชุดการทดลองที่มีการใช้ TiO_2 ร่วมกับการให้แสง UV จะทำให้โครงสร้างของสปอร์ถูกย่อยสลายโดยเม็ดผงของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้มีขนาดประมาณ 1.0-1.7 ไมครอน จะเคลื่อนที่เข้าไปจับกับสปอร์ของเชื้อ *C. gloeosporioides* ที่มีขนาดประมาณ 9.8-25.7 x 2.5-12.3 ไมครอน (รัฐกร, 2549) และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอนุมูลอิสระ $\bullet O_2^-$ และ •OH กับผนังชั้นนอกของสปอร์ที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ ทำให้ผนังชั้นนอกของสปอร์ถูกทำลาย เปิดออกเป็นช่องว่างให้เม็ดผงไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างภายในสปอร์ของเชื้อ *C. gloeosporioides* ได้ สอดคล้องกับ Seven *et al.* (2004) และ Akiba *et al.* (2005) พบว่าปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Candida albicans*

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งของ TiO_2 ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *C. gloeosporioides* และคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

ความรุนแรงของการเกิดโรค

สำหรับความรุนแรงของการเกิดโรคบนผิวเปลือกมะม่วงที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *C. gloeosporioides* ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า มะม่วงชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV 60 นาที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* ที่เป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสได้ดีกว่าชุดควบคุม อาจเป็นเพราะการใช้ปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลทำให้เชื้อ *C. gloeosporioides* บนผิวเปลือกมะม่วงถูกทำลายให้มีปริมาณเชื้อลดลง การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนผิวเปลือกมะม่วงจึงเกิดเป็นแผลจุดสีดำเป็นวงกว้างได้ช้ากว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับการทดลองของ Maneerat and Hayata (2006) พบว่าการใช้ปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Penicillium expansum* บนผลแอปเปิลและมะเขือเทศได้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า มะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV 60 นาที มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะการเข้าทำลายของโรคแอนแทรคโนสโดยเชื้อ *C. gloeosporioides* บนผิวเปลือกมะม่วงของชุดควบคุมเกิดขึ้นมากกว่า ทำให้เปลือกมะม่วงเกิดบาดแผลเป็นวงกว้างมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV เป็นเหตุให้ปริมาณน้ำบริเวณผิวเปลือกมะม่วงสูญเสียไป เนื่องจากเซลล์ของมะม่วงบริเวณผิวเปลือกถูกเชื้อ *C. gloeosporioides* เข้าทำลายทำให้เกิดการตายของเซลล์จำนวนมาก

การเปลี่ยนสีของเปลือก

และจากการศึกษาการเปลี่ยนสีของเปลือกมะม่วงที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจากสีเหลืองอ่อนเป็นเหลืองแก่มากขึ้น อาจเป็นเพราะเกิดการสลายตัวของสารคลอโรฟิลล์บนผิวเปลือกมะม่วง ทำให้สีของคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินที่อยู่ภายในโครโมพลาสต์ในเนื้อเยื่อของพืชปรากฏชัดขึ้น (ดนัย, 2540 และ Wills *et al*., 1998) โดยค่าความสว่างของสี (L*) ของมะม่วงชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลา การให้แสง UV 60 นาที มีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยมะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV จะมีค่าความสว่างของสี (L*) ลดลงน้อยกว่ามะม่วงชุดควบคุมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าสีเขียว (a*) และค่า สีเหลือง (b*) ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมะม่วงชุดควบคุม จะมีค่าสีเขียว (a*) เพิ่มขึ้นมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าสีเหลือง (b*) มะม่วงชุดควบคุม จะมีค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะการเกิดโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงชุดควบคุมมีความรุนแรงของการเกิดโรคมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV ทำให้สภาพโดยรวมที่สามารถสังเกตจากการมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าของผลมะม่วงชุดควบคุมเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วมากขึ้น ค่าความสว่างของสี (L*) ค่าสีเขียว (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของมะม่วงชุดควบคุมจึงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการให้แสง UV ซึ่ง Tucker (1993) พบว่า สีเปลือกและสีเนื้อของผลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้นานขึ้น ทั้งนี้เพราะในระหว่างการสุกของผลมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และ Ketsa *et al*. (1999) พบว่า ในระหว่างการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้แอคติวิตี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) จะเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีน เพิ่มขึ้นอีกด้วย จึงมีผลทำให้เปลือก และเนื้อเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น

ความแน่นเนื้อ

ส่วนการศึกษาความแน่นเนื้อของผลมะม่วงที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่า มะม่วงชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV 60 นาที กับมะม่วงชุดควบคุม มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงจะลดลงอย่างมากในช่วงวันแรก ถึง วันที่ 6 ของการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมีภายในผลมะม่วงโดยธรรมชาติให้เกิดการสุกของผล สอดคล้องกับการทดลองของ Chaplin *et al*. (1991) ที่พบว่า ผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ผลจะเกิดการสุก และทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลงเนื่องจากเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ในผลไม้ เพคตินจะอยู่ในรูปโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำเมื่อผลไม้เริ่มสุก โปรโตเพคตินจะถูกสลายตัวกลายเป็น เพคติน และกรดเพคติกซึ่งละลายน้ำ โดยมีเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลไม้นิ่มลง (ดนัย, 2540) และหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษาพบว่าค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงลดลงเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสช่วยทำให้การเสื่อมสภาพของผลมะม่วงทุกๆ ชุดการทดลองชะลอให้ช้าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่พบอาการหนาวสะท้าน (chilling injury) ของเนื้อมะม่วงที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำทุกๆ ชุดการทดลอง และยังทำให้การเกิดโรคแอนแทรคโนสบริเวณผิวเปลือกมะม่วงมีความรุนแรงที่จะแผ่เป็นวงกว้างสีดำได้ช้าลง ทำให้มะม่วงทุกๆ ชุดการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 6 ถึงวันที่ 20 ของการเก็บรักษา

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

มะม่วงชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV 60 นาที กับมะม่วงชุดควบคุม มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Vazquez-Salinas and Laksminarayan (1985) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลสุกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสลายตัวของแป้ง ผลมะม่วงจะมีการสะสมอาหารไว้ในรูปสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือการเก็บรักษา แป้งจะมีการสลายตัวเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์ amylase และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารที่ละลายอยู่ในน้ำคั้น (soluble solids) (สายชล, 2528)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณกรดที่ไทเทรต

ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า มะม่วงชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้น 1 mg/ml ร่วมกับระยะเวลาการให้แสง UV 60 นาที กับมะม่วงชุดควบคุม มีแนวโน้มของค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เมื่อผลไม้มีการพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ ปริมาณกรดจะลดลง (จริงแท้, 2541) โดยมีการลดลงเรื่อยๆ เมื่อผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุก และกรดจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาล (Wills *et al.,* 1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved