

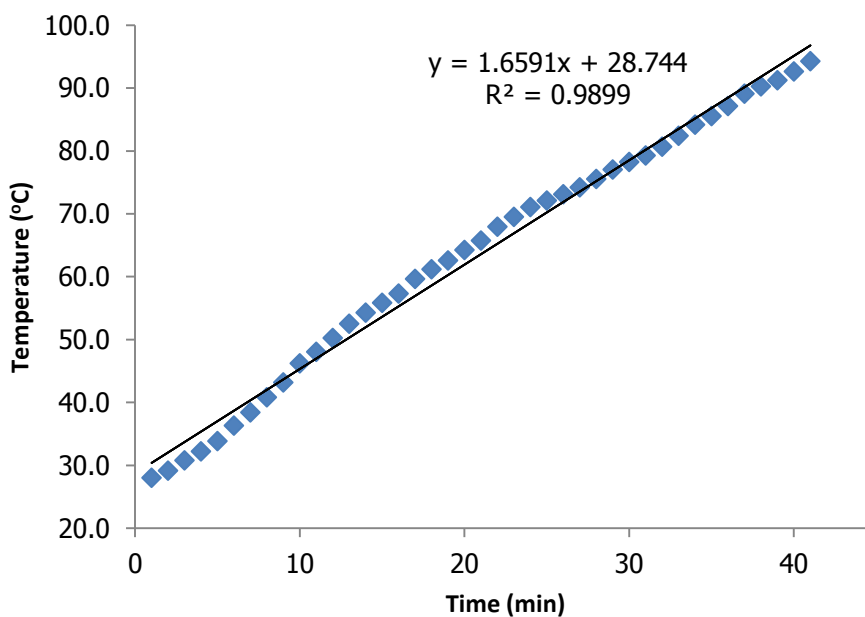
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

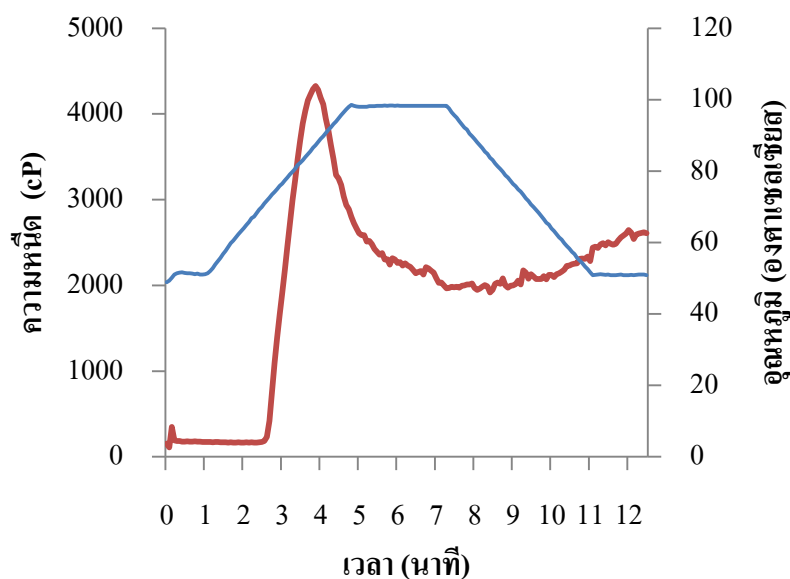
การผลิตแผ่นฟิล์มเป็งมันสำปะหลัง

จากการศึกษาเบื้องต้นในการผลิตแผ่นฟิล์มจากเป็งมันสำปะหลังที่อาศัยรังสีอัลตราไวโอเลตช่วยในการผลิต พบว่ามี 3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้คือ

1. อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล โดยทั่วไปแล้วเป็งมันสำปะหลังจะไม่ละลายในน้ำเย็นเนื่องจากส่วนที่เป็นผลึกของโมเลกุลมีการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบและทับซ้อนกัน (ฉัฐจริย์, 2548) แต่เมื่ออนุภาคเป็งที่แขวนลอยในน้ำเย็นได้รับความร้อนอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส (ภาพ 16 และ 17) ส่วนอสัณฐาน (amorphous) จะดูดซับหรือจับกับน้ำได้มากขึ้น และการจับตัวกันของโมเลกุลในส่วนผลึก (crystalline) เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะจับกับน้ำทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดเป็งซึ่งไม่สามารถฝืนกลับได้ ทำให้สารละลายของเป็งมีความหนืดและใสขึ้น ทั้งนี้ในการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมเป็งมันสำปะหลังถูกควบคุมอยู่ที่อัตรา 1.6 องศาเซลเซียส/นาที



ภาพ 16 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเป็งมันสำปะหลังในระหว่างการผลิตแผ่นฟิล์ม



ภาพ 17 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

2. ปริมาณกลีเซอรอล จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5 – 3.0 (หรือช่วงร้อยละ 30-60 ของปริมาณแป้งมันสำปะหลัง) ทั้งนี้หากใช้กลีเซอรอลในปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 1.5 จะส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะแห้งและแตก และเมื่อปริมาณกลีเซอรอลสูงกว่าร้อยละ 3 ส่วนผสมที่ได้จะมีความชื้นแฉะมาก คล้ายวุ้น ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐจริย์ (2548) ที่ศึกษาในแป้งกล้วย พบว่าปริมาณกลีเซอรอลในช่วงร้อยละ 30- 50 ของแป้งกล้วย มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตฟิล์มกล้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณกลีเซอรอลต่ำกว่าร้อยละ 30 ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะแตกแห้ง และเมื่อปริมาณกลีเซอรอลสูงกว่าร้อยละ 50 สารละลายที่ได้จะแฉะมาก คล้ายวุ้น ไม่เกาะตัวกันเป็นแผ่นหรือไม่สามารถเกิดฟิล์มได้

3. ระยะเวลาในการให้รังสี UVc จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระยะเวลาการให้รังสีอัลตราไวโอเลตที่เหมาะสมคือที่ 60 นาที ทั้งนี้หากให้รังสี UVc ต่ำกว่า 60 นาที จะตรวจพบเชื้อราปรากฏบนแผ่นฟิล์มได้เร็วกว่าบนแผ่นฟิล์มที่ให้รังสี UVc ที่ 60 นาที (ภาคผนวก ก)

อย่างไรก็ตามเมื่อควบคุมปัจจัยทั้งสามให้อยู่ในช่วงที่ระบุข้างต้น จะสามารถผลิตฟิล์มแป้งมันสำปะหลังได้ โดยพบว่าฟิล์มที่ได้มีความหนาประมาณ 0.20 มิลลิเมตร มีสีใส โปร่งแสง มันวาวและมีความเรียบมันทั้งสองด้านดังแสดงในภาพ 18



ภาพ 18 แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาอิทธิพลของกลีเซอรอลและโปแตสเซียมซอร์เบทที่มีต่อ สมบัติของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

จากการทดลองเบื้องต้นได้นำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตฟิล์มมาศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสีอัลตราไวโอเลต โดยในขั้นตอนการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง ได้ควบคุมปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 5 ปริมาณกลีเซอรอลที่ร้อยละ 0 - 3 ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบทที่ 0 - 2,000 ppm ตามแผนการทดลอง และให้ความร้อนแก่ส่วนผสมที่ระดับ 1.6 องศาเซลเซียส/นาทิต เป็นเวลา 30 นาที ผ่านการไล่ฟองอากาศด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ (47 kHz) เป็นเวลา 10 นาที (โซนฟองอากาศทิ้ง) แล้วแบ่งใส่ภาชนะที่ใช้ในการขึ้นรูปในปริมาณ 30 กรัมต่อฟิล์ม 1 แผ่น ซึ่งจัดเป็น 1 สิ่งทดลอง หลังจากนั้นแบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดที่หนึ่งผ่านการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนชุดที่สองนำสิ่งทดลองไปผ่านรังสี UVc เป็นเวลา 60 นาทีก่อน แล้วจึงนำไปลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการศึกษาอิทธิพลของกลีเซอรอลและโปแตสเซียมซอร์เบท พบว่าปริมาณกลีเซอรอลในช่วงที่ศึกษามีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความสามารถในการต้านแรงดึงขาด และความสามารถในการยืดตัว ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบทในช่วงที่ศึกษานั้นไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อสมบัติดังกล่าว (ตาราง 7 และตาราง 8) ทั้งนี้ปริมาณความชื้นจะแปรผันตามปริมาณของกลีเซอรอล (ภาพ 19) เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ซึ่งช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัวให้กับฟิล์ม (Bakker, 1986)

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐจริย์ (2548) ที่กล่าวว่า กลิเซอรอลมีสมบัติอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี (hydrophilic) ทำให้ฟิล์มมีความชื้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เกศศิณี และคณะ (2539) พบว่าปริมาณกลิเซอรอลที่เพิ่มขึ้นจะขัดขวางการระเหยของน้ำจากแผ่นฟิล์มทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้ยังคงมีความชื้นสูง และส่งผลต่อค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามค่า a_w ของฟิล์มที่ได้จากการคาดคะเนในช่วงระดับความเข้มข้นของกลิเซอรอลที่ร้อยละ 0 - 3 นั้น จะมีค่าต่ำกว่า 0.6 (ภาพ 20) ซึ่งมีความปลอดภัยจากแบคทีเรีย ยีสต์และรา (นภาพร, 2547) เมื่อเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศทั่วไปที่ อุณหภูมิประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60 นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของมณฑาทิพย์ (2534) ที่พบว่า ฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้วมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลิเซอรอลเพิ่มขึ้น

ในการศึกษาความแข็งแรงของฟิล์ม (ตาราง 7 และตาราง 8) พบว่าปริมาณกลิเซอรอลมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงขาด (tensile) และการยืดตัว (elongation) โดยค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดจะแปรผกผันกับปริมาณกลิเซอรอล (ภาพ 21) ส่วนความสามารถในการยืดตัวจะแปรผันตามปริมาณกลิเซอรอลที่เพิ่มขึ้น (ภาพ 22) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kester and Fennema (1986) และ Park et al. (1993) ที่พบว่าปริมาณกลิเซอรอลหรือพลาสติกไซเซอร์ที่เติมลงไปสามารถเกิดพันธะที่มีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนกับพอลิเมอร์ได้ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นหรือยืดตัวมากขึ้น แต่จะมีความต้านแรงดึงขาดลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของณัฐจริย์ (2548) ที่ว่าปริมาณกลิเซอรอลมีอิทธิพลต่อการต้านแรงดึงอัดสถิกโมดูลัส และการยืดตัว โดยเมื่อปริมาณกลิเซอรอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การต้านแรงดึงลดลง เนื่องจากโมเลกุลของกลิเซอรอลมีผลในการลดแรงกระทำระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ มีผลทำให้โครงสร้างพอลิเมอร์มีช่องว่างมากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์จึงเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นต่อเนื่องกันทั้งแผ่น และแผ่นฟิล์มสามารถยืดตัวได้มากขึ้น ค่าอัดสถิกโมดูลัสจึงมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณกลิเซอรอลที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้จะเป็นค่าสูงสุดที่ได้กำหนดในแผนการทดลอง ซึ่งช่วงที่กำหนดในการวางแผนแบบ Rotatable central composite design นั้นคือร้อยละ 0 - 3 แต่จะสามารถคาดคะเนได้ในช่วงร้อยละ 0.4 - 2.5 ดังนั้นปริมาณกลิเซอรอลที่เหมาะสมในการทดลองในครั้งนี้คือร้อยละ 2.5

สำหรับปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบตนั้น พบว่าไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในฟิล์ม ($p > 0.05$) ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงเลือกใช้ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบตที่ 2,000 ppm. โดยน้ำหนักของตัวทำละลาย โปแตสเซียมซอร์เบตเป็นวัตถุกันเสียที่มีหน้าที่หลักในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของโปแตสเซียมซอร์เบตจะเพิ่มขึ้นหากค่า pH ลดลงเช่นเดียวกับกรดซอร์บิก เพราะค่าคงที่ในการแตก

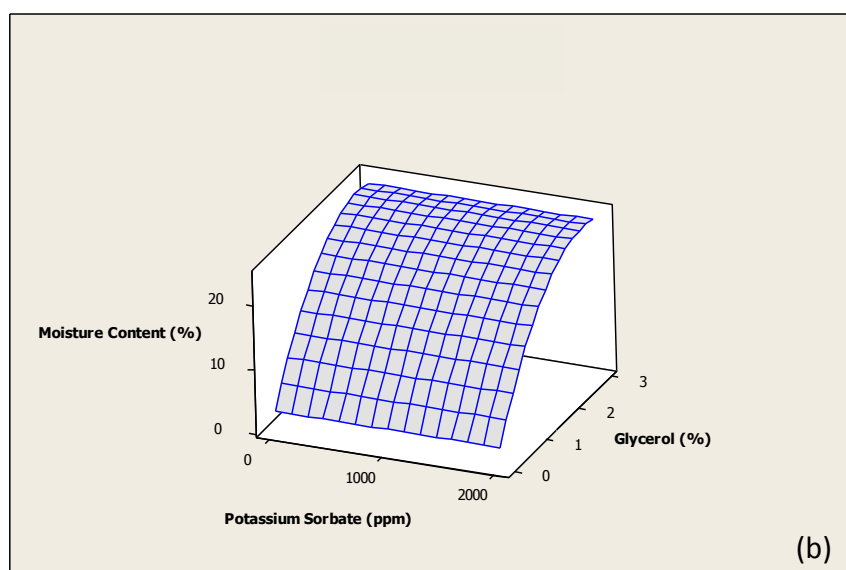
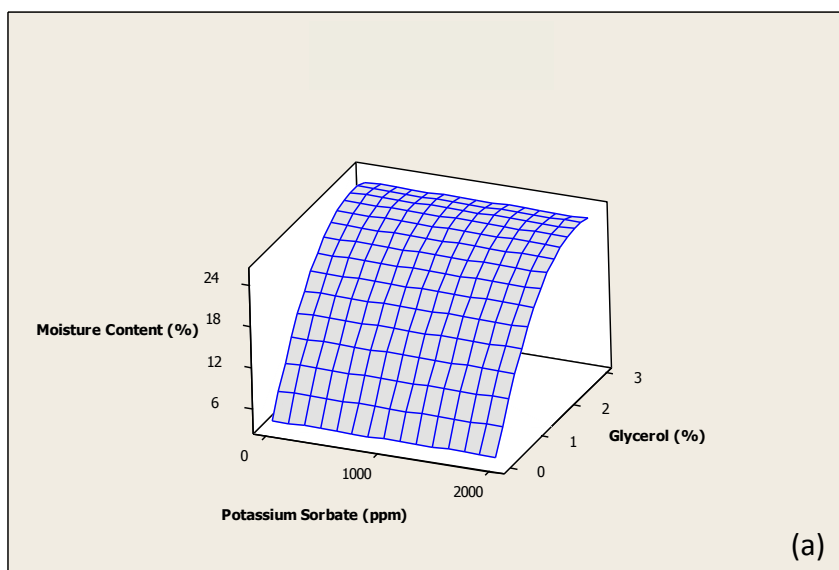
ตัว (dissociation constant, pK_a) เท่ากับ 4.76 แม้ว่าโปแตสเซียมซอร์เบทจะยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่าง(pH) ต่ำ ๆ แต่ก็มีรายงานว่าโปแตสเซียมซอร์เบทยังคงมีประสิทธิภาพที่ pH เท่ากับ 6.5 - 7.0 ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งของโปแตสเซียมซอร์เบท เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุกันเสียชนิดอื่น ๆ (Sofos and Busta, 1993) โดยทั่วไปแล้วโปแตสเซียมซอร์เบทมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อยีสต์และเชื้อราได้ดีกว่าแบคทีเรีย โปแตสเซียมซอร์เบทความเข้มข้นร้อยละ 0.05 - 0.3 จะให้การยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหารมากที่สุด (Giese, 1994) ได้มีรายงานว่าเชื้อราที่โปแตสเซียมซอร์เบทสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตในอาหารได้ ได้แก่เชื้อราในجنس *Alternaria*, *Ascochyta*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Colletotrichum*, *Cunninghamella*, *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Gliocladium*, *Helminthosporium*, *Heterosporium*, *Humicola*, *Molinia*, *Mucor*, *Penicillium*, *Phoma*, *Pepularia*, *Pestalotiopsis*, *Pullularia*, *Rhizopus*, *Rosellinia*, *Sporotrichum*, *Trichoderma* และ *Truncatella* เป็นต้น (Sofos and Busta, 1993)

ตาราง 7 สมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณกลีเซอรอลในการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง
ชุดที่ไม่ผ่านรังสี UVc

สมการ		Adj.R ²
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	$= 3.76 + (16.30 * \text{glycerol}) - (3.12 * \text{glycerol}^2)$	0.9290
ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w)	$= 0.53 + (0.07 * \text{glycerol}) - (0.01 * \text{glycerol}^2)$	0.9130
ความสามารถในการต้านแรง ดึงขาด (N/mm ²)	$= 3.39 - (3.29 * \text{glycerol}) + (0.75 * \text{glycerol}^2)$	0.9855
ความสามารถในการยึดตัว (ร้อยละ)	$= -6.75 + (47.15 * \text{glycerol}) - (8.61 * \text{glycerol}^2)$	0.9168

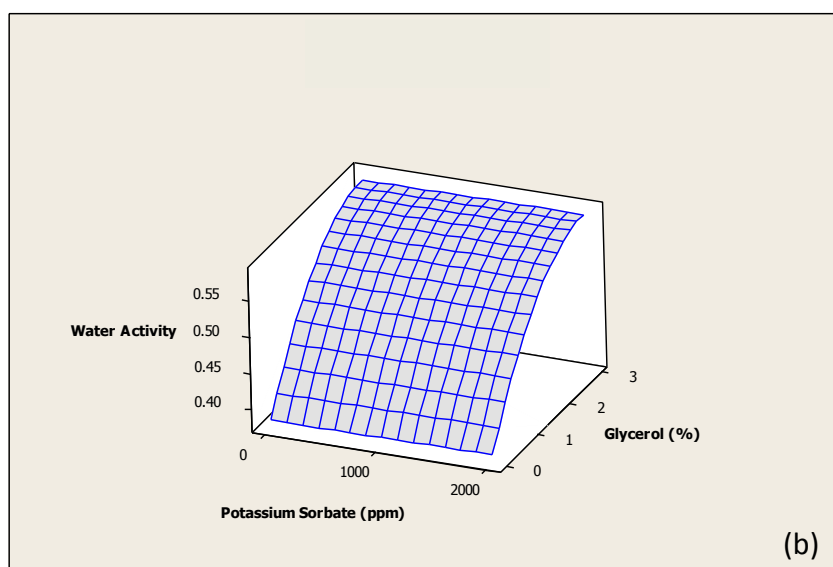
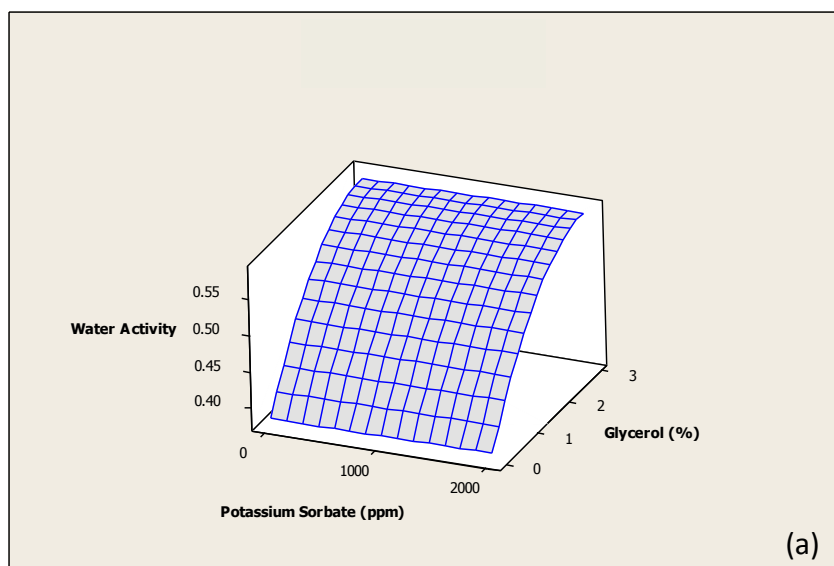
ตาราง 8 สมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณกลีเซอรอลในการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง
ชุดที่ผ่านรังสี UVc

สมการ		Adj.R ²
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	$= 3.02 + (15.91 * \text{glycerol}) - (3.02 * \text{glycerol}^2)$	0.9374
ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w)	$= 0.38 + (0.14 * \text{glycerol}) - (0.02 * \text{glycerol}^2)$	0.9680
ความสามารถในการต้านแรง ดึงขาด (N/mm ²)	$= 3.52 - (3.44 * \text{glycerol}) - (0.79 * \text{glycerol}^2)$	0.9798
ความสามารถในการยึดตัว (ร้อยละ)	$= -6.60 + (45.99 * \text{glycerol}) - (9.11 * \text{glycerol}^2)$	0.9184



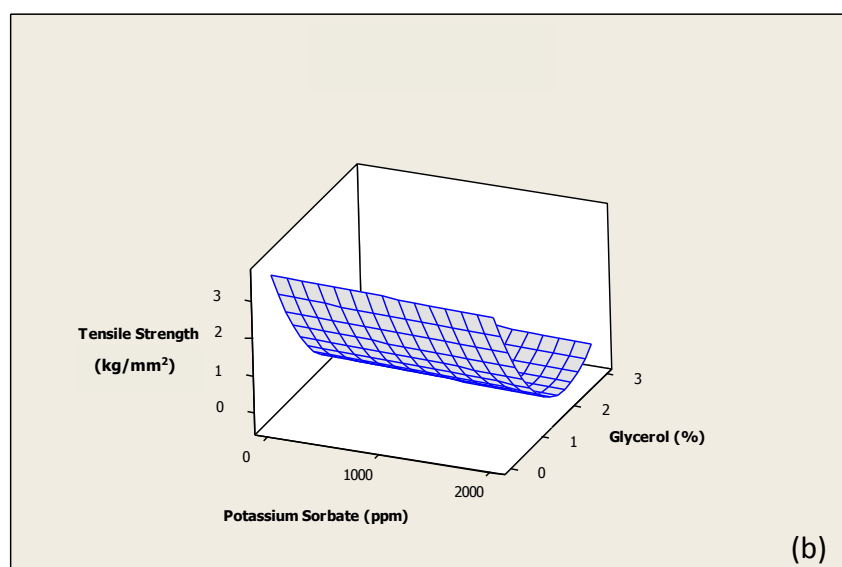
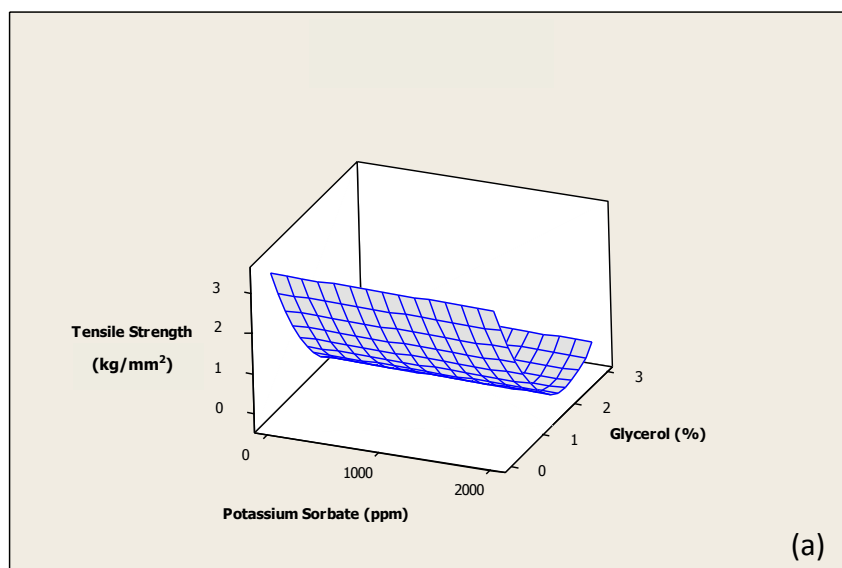
ภาพ 19 อิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลและโปแตสเซียมซอร์เบตที่มีต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง

(a) ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (b) ชุดทดลองที่ผ่านรังสี UVc



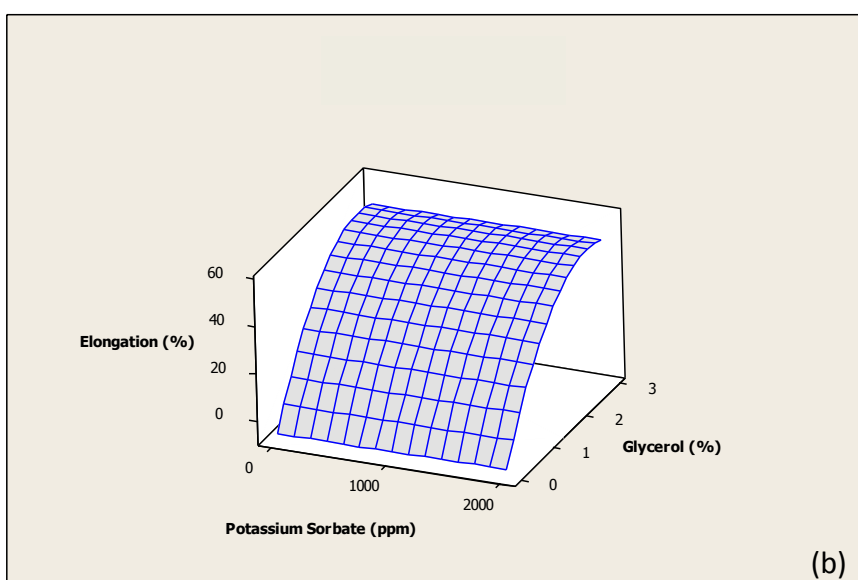
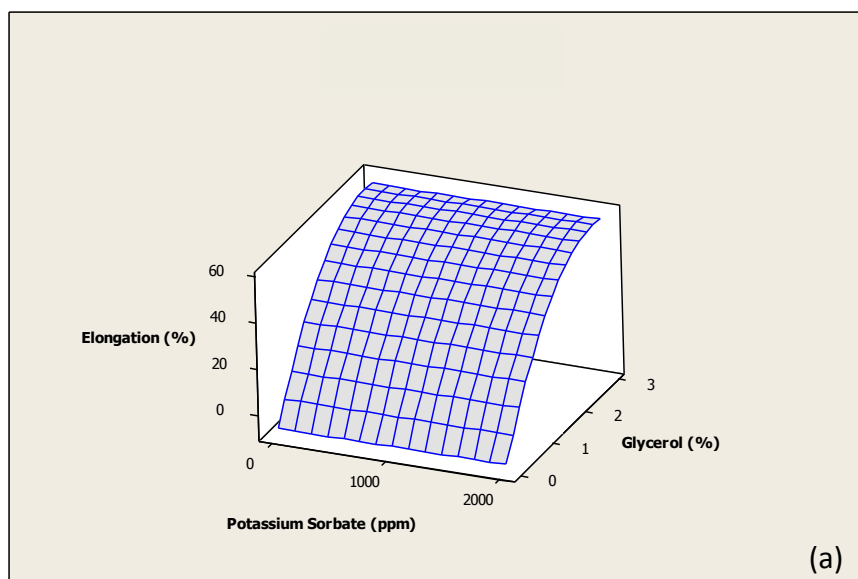
ภาพ 20 อิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลและ โปแตสเซียมซอร์เบทที่มีต่อปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง

(a) ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (b) ชุดทดลองที่ผ่านรังสี UVc



ภาพ 21 อิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลและโปแตสเซียมซอร์เบตที่มีต่อค่าการต้านแรงดึงขาด (tensile strength) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง

(a) ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (b) ชุดทดลองที่ผ่านรังสี UVc



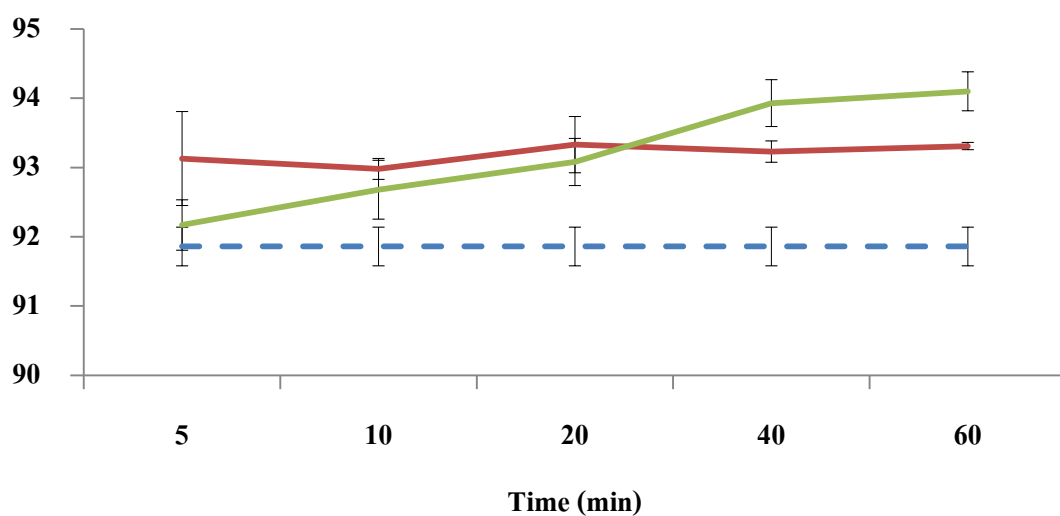
ภาพ 22 อิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลและโปแตสเซียมซอร์เบทที่มีต่อค่าความสามารถในการยืดตัว (elongation) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง

(a) ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (b) ชุดทดลองที่ผ่านรังสี UVc

การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีต่อฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล โปแตสเซียมซอร์เบท และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 5.0 : 2.5 : 0.2 : 92.3 โดยน้ำหนัก ได้ถูกคัดเลือกจากการทดลองที่ 1 เพื่อนำมาศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ให้รังสีอัลตราไวโอเลตที่มีต่อสมบัติของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีรังสี UVc (A) ชุดที่ผ่านการลดความชื้นก่อนการผ่านรังสี UVc (B) และชุดที่ผ่านการลดความชื้นหลังการผ่านรังสี UVc (C) ที่ระยะเวลา 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที โดยได้ศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ได้ดังนี้

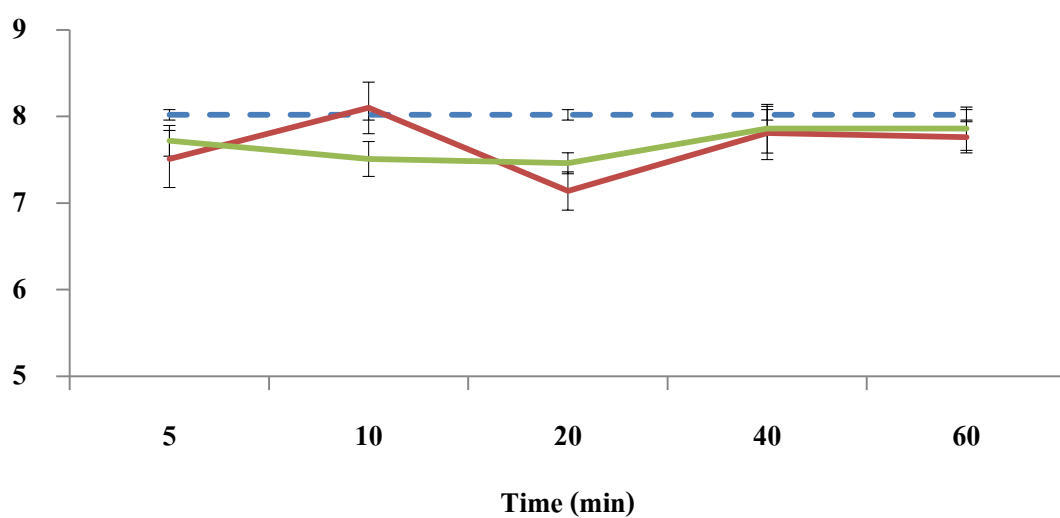
ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง ได้วัดค่าสีในระบบ CIE ที่ประกอบด้วยค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* หมายถึง ค่าความสว่างของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยที่ 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว ค่า $+a^*$ หมายถึงค่าความเป็นสีแดง ค่า $-a^*$ หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว ส่วนค่า $+b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่า $-b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ได้มีความเงาไปตามที่ระบุไว้ในการศึกษาของ สมศักดิ์ (2544) ซึ่งค่าสีของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc นั้นพบว่ามีค่าความสว่างของสี (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 91.86, 8.02 และ 6.93 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการให้รังสี UVc มีผลต่อค่าสีของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการฉายรังสี UVc ทั้ง 2 ชุดการทดลอง (ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้น และผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้น) นั้นมีค่า L^* อยู่ในช่วง 92.17 - 94.10 (ภาพ 23) ค่า a^* อยู่ในช่วง 7.14-8.10 (ภาพ 24) และค่า b^* อยู่ในช่วง 6.53 - 7.11 (ภาพ 25) จะเห็นว่าฟิล์มที่ได้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่าฟิล์มมีความใสเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการผ่านรังสี UVc ให้กับฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้มีความใสเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่ได้จากชุดทดลองที่ลดความชื้นในฟิล์มหลังการผ่านรังสี UVc (C) นั้นจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้รังสีเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพ 23 ค่าความสว่าง (L^*) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

เมื่อ

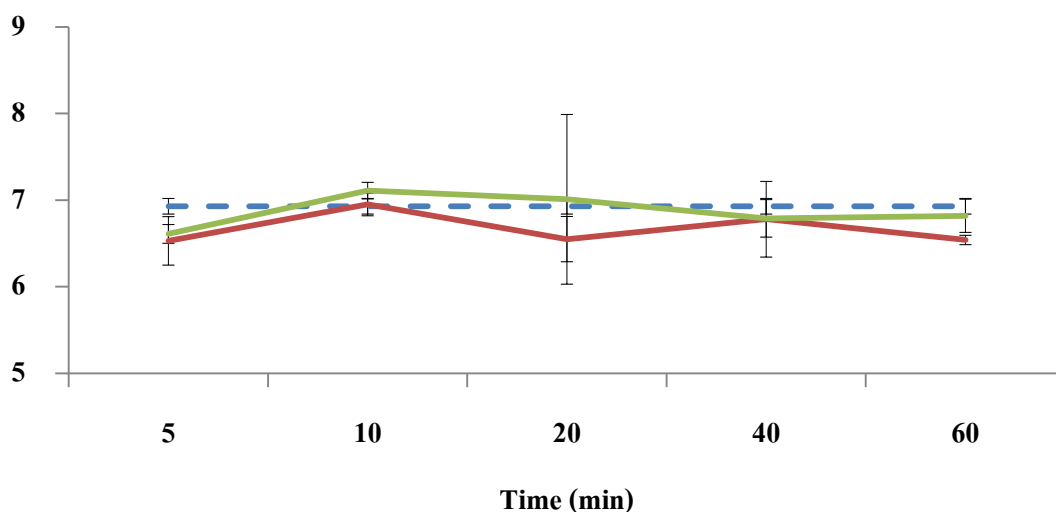
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
- ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
- ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม



ภาพ 24 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

เมื่อ

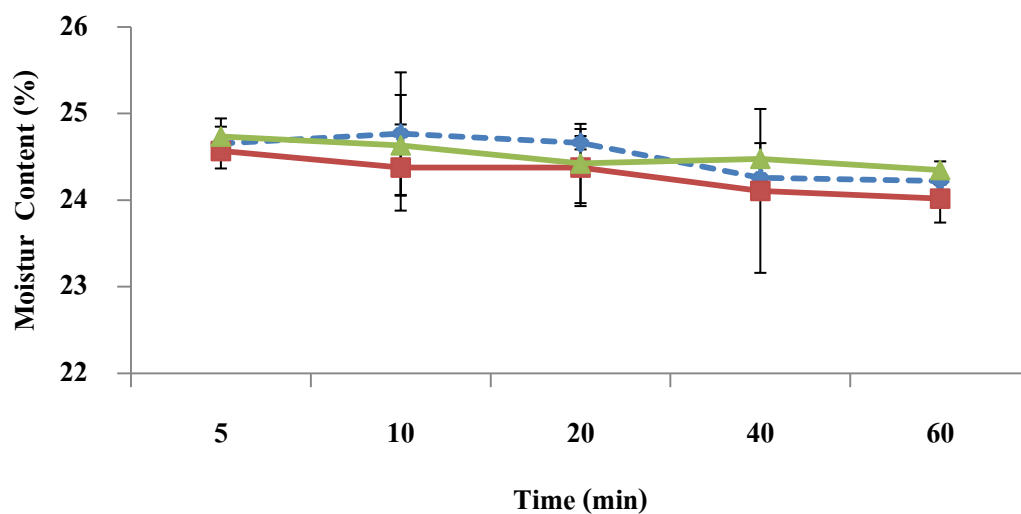
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
- ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
- ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม



ภาพ 25 ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

- เมื่อ
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
 - ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
 - ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม

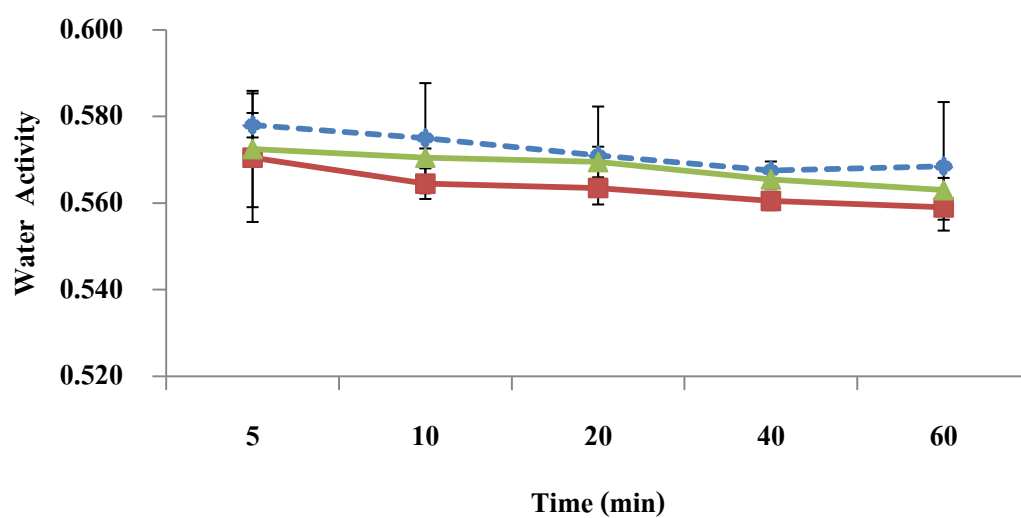
ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองนั้นไม่พบความแตกต่าง ($p>0.05$) (ภาพ 26 และภาพ 27) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลในฟิล์มได้ถูกควบคุมที่ปริมาณเท่ากัน คือ 2.5% และมีการเก็บรักษาไว้ในแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นเวลา 3 วัน ซึ่ง CaCl_2 สามารถรักษาความชื้นของฟิล์มให้มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันได้ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Flores et al. (2007) ที่พบว่าฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่เก็บรักษาไว้ใน chamber ที่มี CaCl_2 จะมีปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกันมากกว่าฟิล์มชนิดเดียวกันที่เก็บไว้ในนอก chamber



ภาพ 26 ปริมาณความชื้นของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

เมื่อ

- ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
- ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
- ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม

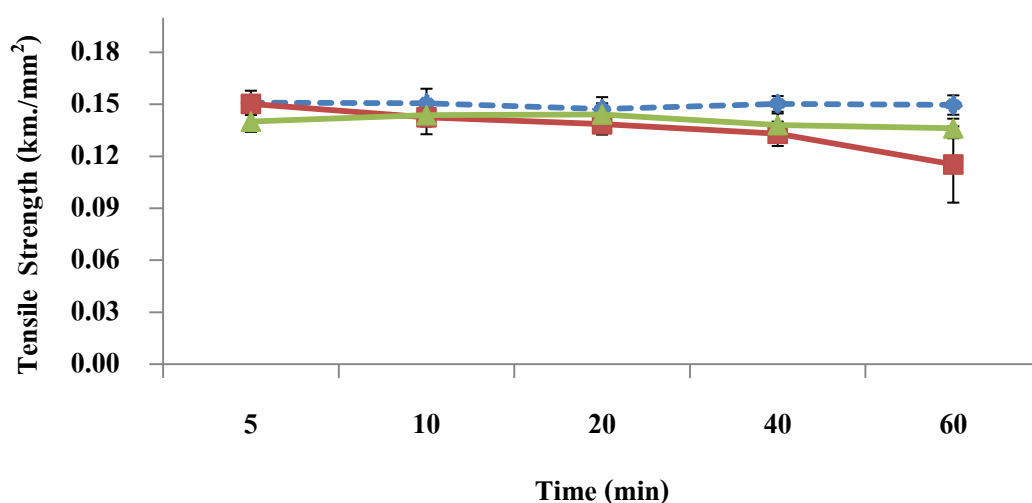


ภาพ 27 ปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

เมื่อ

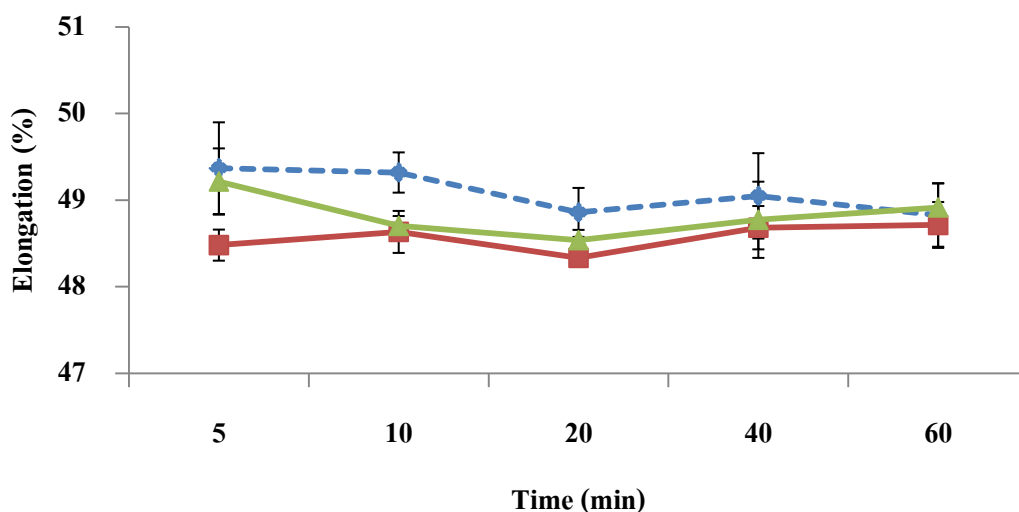
- ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
- ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
- ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม

ส่วนค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและค่าความสามารถในการยึดตัวพบว่าฟิล์มที่ลดความชื้นก่อนการผ่านรังสี UVc (B) ที่ 60 นาที มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม และชุดที่ให้รังสี UVc ก่อนการทำแห้ง (C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพ 28) ขณะที่ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์ม พบว่าการให้รังสี UVc ที่ 60 นาที ไม่พบความแตกต่างระหว่างทริตเมนต์ที่ศึกษา ($p > 0.05$) (ภาพ 29) แสดงให้เห็นว่าคลื่นรังสี UVc มีผลให้สายโมเลกุลของแป้งเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และเกาะเกี่ยวกันแบบพันธะเชื่อมข้าม (cross-linking) ทำให้แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีความเหนียวมากขึ้น (เนตรนภิส, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับ Gennadios et al. (1998) ที่พบว่าคลื่นรังสี UV มีผลต่อคุณสมบัติความทนทานของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลือง และเมื่อตรวจสอบชนิดโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE ของฟิล์มที่ได้รับรังสี UV จะเกิดการจับตัวรวมกันของแถบชนิดโปรตีนเพิ่มขึ้น หรือแยกออกไม่ได้ชัดเจน โดยเชื่อว่าเป็นพันธะแบบ covalent disulfide bond ที่ทำให้เกิดการเกาะอย่างเหนียวแน่นของโครงสร้างโปรตีนถั่วเหลือง



ภาพ 28 ค่าการต้านแรงดึงขาดของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

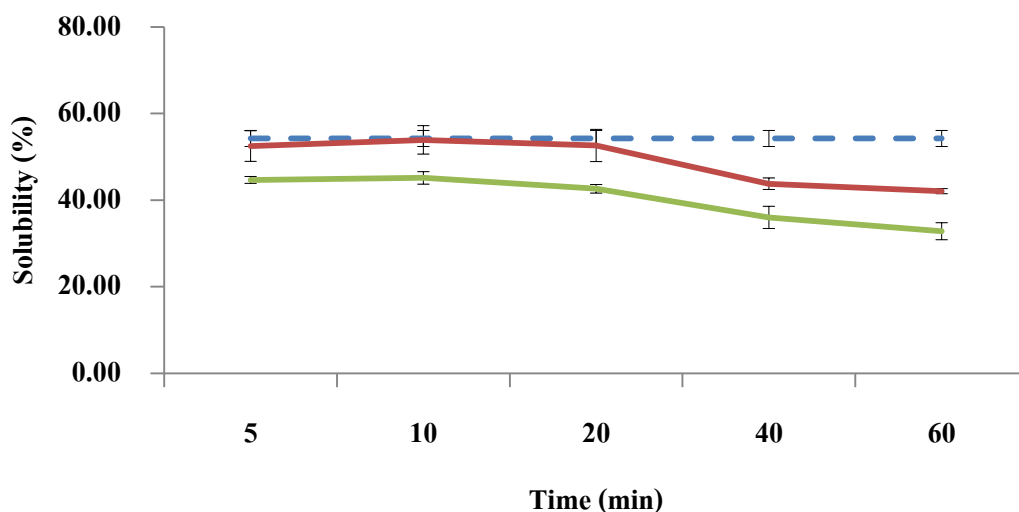
- เมื่อ
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
 - ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
 - ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม



ภาพ 29 ค่าการยืดตัวของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

- เมื่อ
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
 - ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
 - ▲— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม

สำหรับการละลายของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าการละลายของฟิล์มในชุดที่ลดความชื้นหลังการผ่านรังสี UVc (C) มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (A) และชุดที่ลดความชื้นในฟิล์มก่อนการผ่านรังสี UVc (B) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพ 30 อาจกล่าวได้ว่ารังสี UVc ทำให้โครงสร้างของแป้งเกิดเป็นโครงสร้างแบบพันธะเชื่อมข้ามของโมเลกุลสายสั้น ๆ ส่งผลให้กลุ่มไฮดรอกซี (-OH) มีค่าลดลง การทำปฏิกิริยากับน้ำจึงลดลง และส่งผลให้ค่าการละลายลดน้อยลงด้วย



ภาพ 30 ค่าการยึดตัวของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านรังสี UVc ในระยะเวลาต่างๆ

- เมื่อ
- +— ชุดควบคุมที่ไม่ให้รังสี UVc
 - +— ชุดที่ผ่านรังสี UVc หลังการลดความชื้นในฟิล์ม
 - +— ชุดที่ผ่านรังสี UVc ก่อนการลดความชื้นในฟิล์ม

สำหรับอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังได้เลือกใช้ฟิล์มที่ผ่านรังสี UVc เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากค่าความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการต้านแรงดึงขาด ความสามารถในการยึดตัว และการละลายของฟิล์มที่เวลา 60 นาทีมีความแตกต่างจากฟิล์มที่ผ่านรังสี UVc ที่เวลาอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกที่เวลา 60 นาที มาเป็นชุดทดสอบเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งพบว่าชุดที่ลดความชื้นในฟิล์มหลังการผ่านรังสี UVc (C) มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ผ่านรังสี UVc (A) และชุดที่ลดความชื้นในฟิล์มก่อนการผ่านรังสี UVc (B) ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านรังสี UVc เป็นเวลา 60 นาที เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

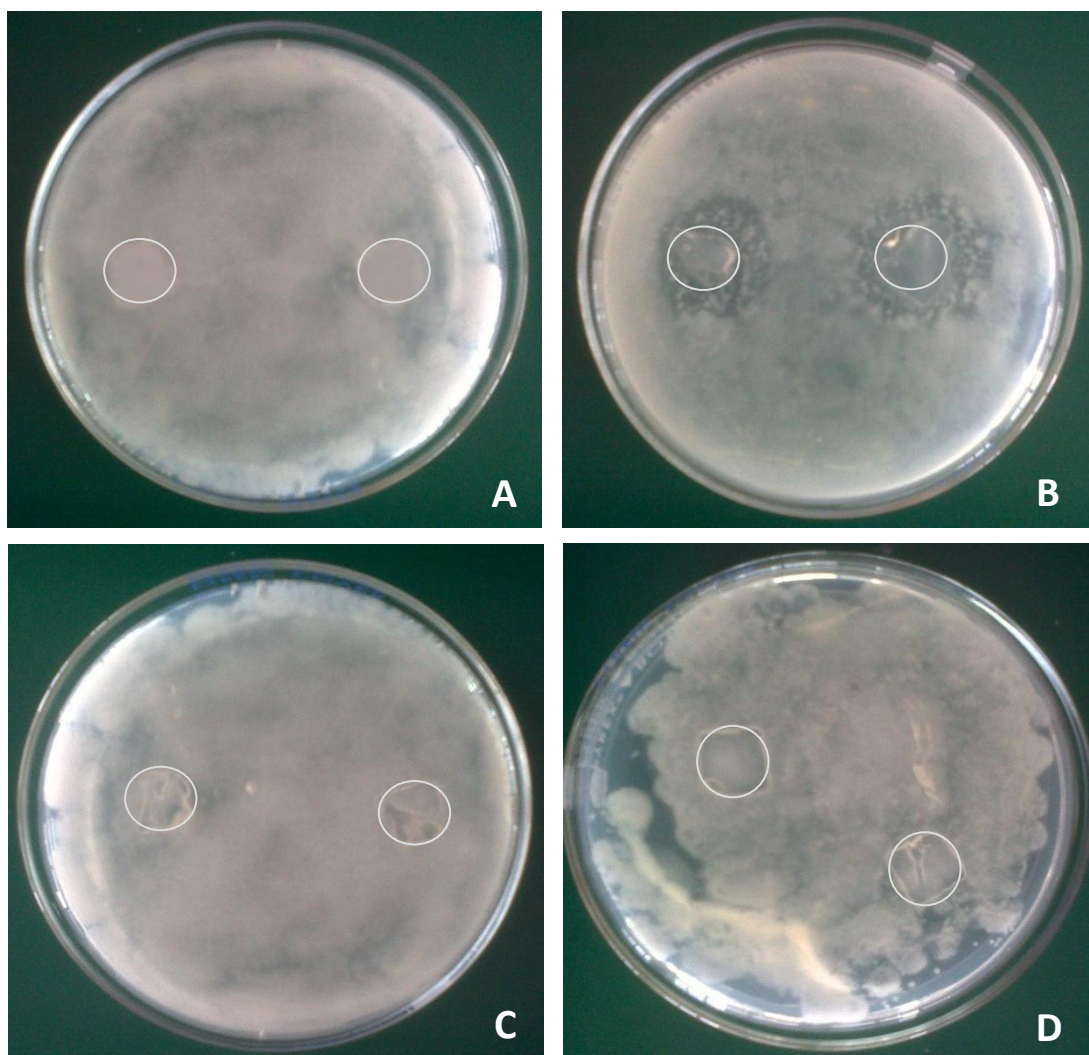
	ชุดควบคุมที่ไม่ มีรังสี UVc (A) $\times 10^{-3}$ (cm ³ /m ² .d.Pa)	ชุดที่ลดความชื้นใน ฟิล์มก่อนการผ่านรังสี UVc (B) $\times 10^{-3}$ (cm ³ /m ² .d.Pa)	ชุดที่ลดความชื้นใน ฟิล์มหลังการผ่านรังสี UVc (C) $\times 10^{-3}$ (cm ³ /m ² .d.Pa)
อัตราการซึมผ่านของก๊าซ ออกซิเจน	3.030 ± 0.42 ^c	2.066 ± 0.43 ^b	1.152 ± 0.24 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$)

ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Aspergillus niger* ของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

ในการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Aspergillus niger* ได้มีการเตรียมเชื้อ โดยนำน้ำกลั่นที่นิ่งมาเชื้อแล้ว 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดบรรจุเชื้อ คึงส่วน suspension ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ที่ 1×10^{10} CFU/ml และทำ dilution ให้มีปริมาณจุลินทรีย์ 1×10^3 CFU/ml ทั้งนี้ในการทดสอบจะคึง suspension ดังกล่าวมาอย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ทำการ spread plate ลงบนอาหาร Potato dextrose agar (ปริมาตร 20 มิลลิลิตร พื้นที่ 255 ตารางเซนติเมตร) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธี disc diffusion assay (Kumar et al., 2001; Gulluce et al., 2004) เกลี่ย suspension ให้ทั่ว ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นวางแผ่นฟิล์มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตรลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ 4 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 ฟิล์มที่ไม่ผ่านรังสี UVc และไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบท ชุดที่ 2 ฟิล์มที่ไม่ผ่านรังสี UVc และมีโปแตสเซียมซอร์เบท ชุดที่ 3 ฟิล์มที่ผ่านรังสี UVc และไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบท และชุดที่ 4 ฟิล์มที่ผ่านรังสี UVc และมีโปแตสเซียมซอร์เบท บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะให้ผลดังภาพ 31

โปแตสเซียมซอร์เบทเป็นวัตถุดิบเสียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรีย ในการทดลองได้เลือกใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ *Aspergillus niger* ซึ่งพบว่าฟิล์มที่มีโปแตสเซียมซอร์เบทสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Aspergillus niger* ได้ดี (ภาพ 32 – B, D) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบท (ภาพ 32 - A, C) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Aspergillus niger* ของโปแตสเซียมซอร์เบทจะลดลงเมื่อผ่านรังสี UVc (ภาพ 32 – D) จากการทดลองของ Sofos and Busta (1993) พบว่าโปแตสเซียมซอร์เบทเป็นสารประกอบที่ไวต่อความร้อน ความชื้น และแสงแดด เมื่อได้รับสิ่งเหล่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ในแสงแดดมีรังสี UVa และ UVb ที่สามารถทะลุทะลวงชั้นบรรยากาศในธรรมชาติได้ ส่วน UVc นั้นมีความยาวคลื่นสั้นกว่าที่ไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้ ดังนั้นจึงมีค่าพลังงานสูงกว่าและคาดว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโปแตสเซียมซอร์เบทที่ลดลงได้มากกว่ารังสี UVa และ UVb



ภาพ 31 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus niger* ของฟิล์มจากแป้ง

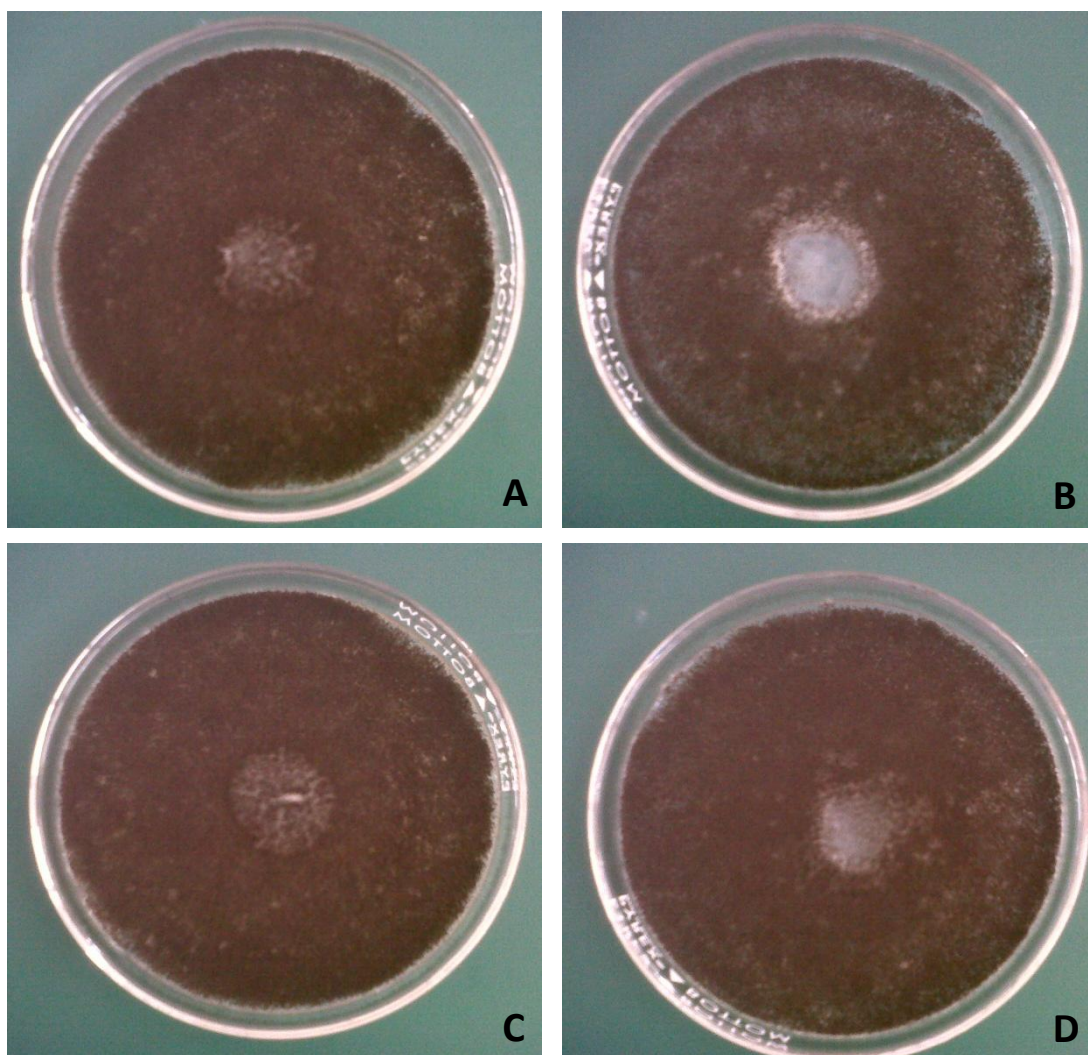
มันสำปะหลัง (ความเข้มข้นของเชื้อราเป็น 1×10^3 CFU)

A = ฟิล์มที่ไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและไม่ผ่านรังสี UVc

B = ฟิล์มที่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและไม่ผ่านรังสี UVc

C = ฟิล์มที่ไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและผ่านรังสี UVc

D = ฟิล์มที่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและผ่านรังสี UVc



ภาพ 32 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus niger* ของฟิล์มจากแป้ง

มันสำปะหลัง (ความเข้มข้นของเชื้อราเป็น 1×10^{10} CFU)

A = ฟิล์มที่ไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและไม่ผ่านรังสี UVc

B = ฟิล์มที่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและไม่ผ่านรังสี UVc

C = ฟิล์มที่ไม่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและผ่านรังสี UVc

D = ฟิล์มที่มีโปแตสเซียมซอร์เบทและผ่านรังสี UVc