รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยการยืดอายุการเก็บข้าวกล้อง โดยการเคลือบด้วยไคโตซาน

Prolonging Shelf Life of Brown Rice by Coating with Chitosan

โดย

ผศ.ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง
นางสาวชญานิษฐ์ จำปี
นางสาววรีภรณ์ รัตนิสสัย

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน พ.ศ. 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2556

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาสนับสนุนโครงการวิจัยนี้และจัดสรรงบประมาณแผ่นดินให้อย่างเพียงพอ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ที่ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับไคโตซานตลอดโครงการวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้ข้อแนะนำในการปรับปรุงงานวิจัยนี้ให้ดีขึ้นและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ฉายรังสีแกมมาไคโตซาน

บทคัดย่อ

ได้ฉายรังสีแกมมาไคโตซานในสถานะของแข็งที่ความแรงรังสี 10, 30, 50, 70 และ 90 kGy ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานโดยการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ผลที่ได้คือไคโตซานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักหลังการฉายรังสีแกมมา ทำการวัดน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานด้วยเทคนิค GPC การเตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อเคลือบข้าวกล้องทำโดยนำผงไคโตซานที่ฉายรังสีแล้วมาละลายในกรดอะซิติก 2% (v/v) ให้ได้ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) หลังจากนั้นปรับค่า pH ให้เป็น 5.6 ด้วย 6 M NaOH ทำการเคลือบข้าวกล้องด้วยการฉีดพ่นและทดสอบในตู้อะคริลิคที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% และที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้คือที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณรังสี 90 kGy สามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานที่สุด โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาจาก 22 วัน (ไม่ได้เคลือบ) ออกไปได้ถึงประมาณ 33 วัน เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35 - 45^{o}C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% พบว่ายิ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เชื้อราก็จะขึ้นได้ไวขึ้น เช่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เชื้อราจะขึ้นภายใน 4 – 7 วัน เมื่อทดลองเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณรังสี 90 kGy และนำมาบรรจุในถุงพลาสติกใสเพื่อจำลองการเก็บตามสภาวะปกติของชาวบ้าน เมื่อเวลาผ่านไปถึง 4 เดือนก็ยังไม่สามารถสังเกตเห็นเชื้อราขึ้นทั้งข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบและที่เคลือบ ดังนั้นการเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอาจจะไม่ให้ประโยชน์ในสภาวะการเก็บที่มีความชื้นต่ำ อย่างไรก็ตามหากต้องเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่นในโกดังในพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วม การเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอย่างเหมาะสมนี้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี

Abstract

Chitosan was gamma-ray irradiated with the doses of 10, 30, 50, 70 and 90 kGy, after which characteristic functional groups were analyzed for using FTIR technique. Results indicated no alteration in the main structure of irradiated chitosan. Molecular weight of chitosan was measured using GPC technique. Chitosan solutions for coating brown rice were prepared by dissolving irradiated chitosan powder in 2% (v/v) acetic acid to obtain concentrations of 0.5, 1, 2 and 5% (w/v), and the pH was adjusted to 5.6 using 6 M NaOH. Chitosan was sprayed onto brown rice, which was placed in an acrylic enclosure at room temperature with controlled relative humidity at 80%. Results indicated that at 5% (w/v) concentration and 90 kGy of irradiated dose, chitosan prolonged shelf life of brown rice the most -- from 22 days (uncoated) to ~ 33 days. When tested at 35 - 45^{o}C and 70 - 90% relative humidity, it was found that higher relative humidity resulted in faster fungi growth. For example, at 90% relative humidity, the fungi became visible in 4 - 7 days. When coated with chitosan of 5% (w/v) concentration and irradiation dose of 90 kGy and stored in a clear plastic bag to simulate normal storage condition, no fungi became visible even after 4 months for both coated and uncoated brown rice. Therefore, chitosan coating may not offer benefit in low-humidity storage conditions. However, if brown rice needs to be stored in a high-humidity environment such as in a flooded silo, appropriately coating brown rice with chitosan can effectively prolong the storage lifetime.

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทนำ 1

เนื้อเรื่อง 15

อภิปรายผลการทดลอง 62

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70

บรรณานุกรม 73

ภาคผนวก 75

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สมบัติของไคโตซานที่นำมาใช้ในการวิจัย	15
ตารางที่ 2	ระยะเวลาที่เชื้อราขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และอุณหภูมิห้อง	36
ตารางที่ 3	ผลการทดลองการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องเคลือบไคโตซาน ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	52

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1	โครงสร้างพันธะของไคโตซาน	3
รูปที่ 2	ไคโตซานในถุงบรรจุ	16
รูปที่ 3	เครื่องฉายรังสีแกมมา Gammacell 220 Excel ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ	17
รูปที่ 4	ไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสีและที่ผ่านการฉายรังสีที่ความแรงรังสีต่างๆ	18
รูปที่ 5	Spectrum ที่ได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ไคโตซานด้วยเทคนิค FTIR	19
รูปที่ 6	ผลการวัดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) 2 ครั้ง	21
รูปที่ 7	สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ที่เตรียมจากไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ	22
รูปที่ 8	ข้าวกล้องที่ใช้ในการทดลอง	23
รูปที่ 9	ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการอบด้วยสารป้องกันเชื้อราซึ่งนำมาใช้ในการทดลองนี้	24
รูปที่ 10	ตัวอย่างข้าวกล้องเคลือบไคโตซานที่วางในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สร้างขึ้น	25
รูปที่ 11	ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	26

หน้า

รูปที่ 12	ด้านหน้าของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	27
รูปที่ 13	องค์ประกอบภายในของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	27
รูปที่ 14	ด้านหน้าของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	29
รูปที่ 15	หัววัดความชื้นสัมพัทธ์ Thermocouple พัดลมขนาดเล็ก และเครื่องเป่าผม	30
รูปที่ 16	การทดสอบข้าวกล้องเคลือบไคโตซานที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และที่อุณหภูมิห้อง	32
รูปที่ 17	การขึ้นของเชื้อราที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และอุณหภูมิห้อง	33 - 36
รูปที่ 18	กราฟที่ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2	37
รูปที่ 19	เชื้อราที่ขึ้นบนข้าวกล้องโดยการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง	38 - 51
รูปที่ 20	กราฟที่สร้างจากข้อมูลในตารางที่ 3	53 - 57
รูปที่ 21	การทดลองเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณรังสี 90 kGy และบรรจุในถุงปิดเพื่อจำลอง สภาวะการเก็บตามปกติ	58 - 61
รูปที่ 22	ตัวอย่างตามทฤษฎีน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ลดลงตาม ปริมาณรังสีที่ฉาย	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

kGy (kilo Grey)

หน่วยวัดความแรงรังสี โดยปริมาณรังสี 1 เกรย์ (Grey) หมายถึง ปริมาณรังสีที่ถ่ายเทพลังงานจำนวน 1 Joule ให้แก่ตัวกลางซึ่งมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่าง

GPC (Gel Permeation Chromatography)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง

บทนำ

ข้าวกล้อง

เมื่อกล่าวถึงข้าวกล้อง แทบทุกคนคงทราบประโยชน์อันมากมายที่มีในอาหารประเภทนี้ที่ให้ทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใยอาหาร วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ที่สำคัญมากมาย ข้าวกล้องผ่านแค่กระบวนการกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกออกโดยที่ไม่ได้ผ่านการขัดเมล็ดข้าวให้ขาว ทำให้ยังมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ซึ่งให้ประโยชน์แก่ร่างกายเรามาก แต่อย่างไรก็ตามเยื่อหุ้มเมล็ดก็ยังเป็นเหล่งอาหารที่สมบูรณ์ของมอด ไรข้าวและเชื้อราด้วย โดยเฉพาะเชื้อรา Aspergillus ที่ผลิตสารอะฟลาท็อกซินที่ก่อให้เกิดมะเร็งตับ ทำให้มีปัญหาในการเก็บรักษาเนื่องจากหลังแกะถุงบรรจุพลาสติกแล้วก็จะเก็บไว้ได้นานเพียงไม่กี่เดือน และหากเก็บไว้ในที่ชื้นอายุการเก็บก็จะสั้นลงไปอีก นอกจากนี้ข้าวกล้องที่เปิดถุงพลาสติกแล้วอาจมีเชื้อราเกาะและเจริญอยู่ แต่ในปริมาณน้อยที่ไม่อาจสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่เชื้อราปริมาณน้อยนี้ถ้ารับประทานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานก็อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งตับได้เช่นกัน ดังนั้นหากเราสามารถยืดอายุการเก็บข้าวกล้องโดยป้องกันไม่ให้มีเชื้อรามาขึ้นบนข้าวกล้องได้แล้ว ก็จะเป็นการรักษาคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปแล้วได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจน้อยลงและเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ที่นิยมรับประทานข้าวกล้องด้วย

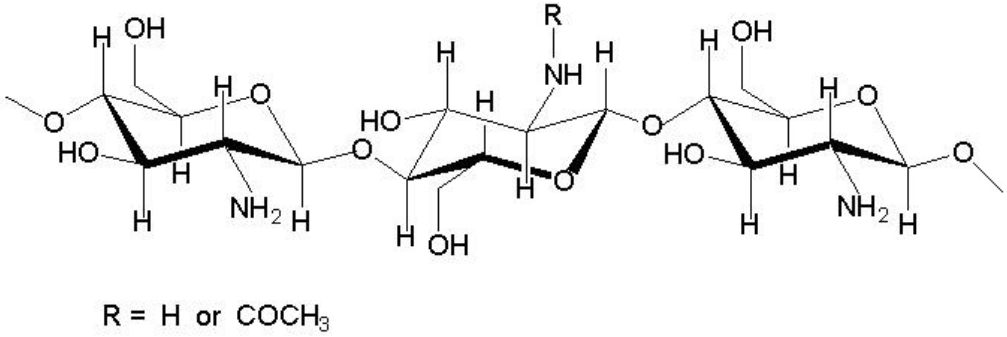
ไคโตซาน

ไคโตซาน (Chitosan) มีสูตรทางเคมีคือ poly-β(1,4)-2-deoxy-D-glucose จัดเป็นสารประเภทไบโอพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกแข็งของสัตว์จำพวก ปู กุ้ง หอย โดยอาจรวมถึงแมลงหรือเชื้อราบางชนิดด้วย ไคโตซานเป็นอนุพันธุ์ของไคติน (Chitin) ที่ถูกตัดหมู่ Acetyl (Deacetylation) ในส่วนของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกเป็น Glucosamine ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้ไม่เกิดมลภาวะหรือสิ่งตกค้างที่เป็นพิษต่อพืช สัตว์ และมนุษย์

องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซานนั้นเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเดี่ยวต่อกันเป็นสายโซ่ขนาดใหญ่ มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและละลายน้ำไม่ได้ แต่เนื่องจากโครงสร้างของไคซานนั้นมีหมู่ฟังก์ชั่นของเอมีนที่มีอนุพันธ์ของแอมโมเนีย ($R\text{-}NH_2$) ซึ่งทำหน้าที่จับหมู่ฟังก์ชั่นอื่นๆ ได้ จึงส่งผลให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกรด เช่นกรดอินทรีย์ต่างๆ อย่างเช่นกรดอะซีติกและกรดไนตริก เป็นต้น

โครงสร้างทางเคมีของไคโตซานนั้นมีสภาพเป็นขั้วประจุบวก ดังนั้นจึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารที่มีสภาพขั้วประจุเป็นลบได้ เช่นทำปฏิกิริยากับโปรตีนหรือน้ำตาลหลายโมเลกุล ไม่เพียงเท่านั้นโครงสร้างของไคโตซานที่มีประจุบนสายโซ่พันธะนั้นยังสามารถดักจับธาตุโลหะได้อีกหลายชนิดด้วยการใช้อนุพันธ์ของแอมโมเนียเป็นตัวดักจับสารประกอบของโลหะหนักเชิงซ้อน เช่นธาตุแคดเมียม (Cd) และโครเมี่ยม (Cr) เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังมีคุณสมบัติต้านทานเชื้อราหรือเชื้อโรคที่เป็นเชื้อศัตรูพืชหรือผลไม้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติในการชักนำให้เกิดเชื้อปฏิปักษ์ (Trichoderma harzianum) เช่น เอนไซม์ไคติเนส (Chitinase Enzyme) หรือเอนไซม์กลูแคน (β-1, 3-glucanase) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีคุณสมบัติในการย่อยสลายผนังเส้นใยของเชื้อรา

หรือเชื้อโรคต่างๆ จากนั้นจึงเข้าไปเจริญเติบโตอยู่ภายในเส้นใยของเชื้อราหรือเชื้อโรคพืชนั้นๆ ส่งผลให้เชื้อราหรือเชื้อโรคค่อยๆ ตายและลดปริมาณลง ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถใช้เป็นสารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคหรือเชื้อราบนพืชหรือผลไม้ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1 โครงสร้างพันธะของไคโตซาน

ที่มา: http://www.mn.uio.no/kjemi/english/people/aca/bony/research/chitosan.html

<u>การย่อยสลายโครงสร้างพันธะพอลิเมอร์ของไคโตซานด้วยการฉายรังสี</u>

วัสดุหลายชนิดเมื่อได้รับการฉายรังสีในปริมาณต่างๆ ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายในของวัสดุ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นกับชนิดและปริมาณของรังสีซึ่งจะให้ผลที่แตกต่างกันไป เช่นหากวัสดุได้รับการฉายรังสีนิวตรอน ผลที่ได้คืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซโทปของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุนั้นๆ ส่วนการฉายรังสีแกมมากับไคโตซานนั้น เนื่องจากไคโตซานจัดเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแบบพอลิเมอร์ ผลลัพธ์จากการฉายรังสีจึงสามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบดังต่อไปนี้

การย่อยสลายโมเลกุล (Degradation)

การใช้รังสีตัดหรือย่อยสลายโครงสร้างพันธะพอลิเมอร์ ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์ถูกตัดจนมีขนาดสั้นลงกว่าก่อนได้รับการฉายรังสี ซึ่งความยาวของสายโซ่ที่สั้นลงนี้ย่อมส่งผลถึงน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงด้วย ดังนั้นการย่อยสลายโมเลกุลจึงส่งผลให้การขึ้นรูปของโครงสร้างพอลิเมอร์นั้นง่ายขึ้น เช่นการสลายพันธะพอลิเมอร์ของเซลลูโลสหรือการสลายพอลิเมอร์ที่มีพันธะ PTFE (Polytetrafluoroethylene) สำหรับผงกาว เป็นต้น

การเชื่อมโยงข้ามพันธะ (Cross-linking)

การที่รังสีเข้าไปเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ระหว่างขั้วพันธะส่งผลให้เกิดการเชื่อมข้ามพันธะเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติขึ้นนั้น โครงสร้างพันธะใหม่นี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น มีความเหนียวมากขึ้น มีความทนทานต่อสารเคมีและความร้อนมากขึ้นเป็นต้น โดยตัวอย่างพอลิเมอร์ที่นิยมเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการฉายรังสีเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามพันธะ เช่นการปรับปรุงคุณภาพของโมเลกุล PE “O” ring สำหรับการทำ Drum fitting หรือฉนวนสายไฟทนความร้อนที่ใช้ในยานยนต์เป็นต้น

การต่อกิ่ง (Grafting)

การต่อกิ่งเป็นผลมาจากการที่โครงสร้างพันธะหลักได้รับรังสีจนเกิดอนุมูลอิสระหรือ Active site ขึ้น หรืออาจทำให้หมู่ฟังก์ชั่นอื่นที่เคยเชื่อมต่อกับพันธะหลักหลุดออกไป ทำให้พอลิเมอร์พันธะเดี่ยว (Monomer) ต่างๆ สามารถเข้ามาทำปฏิกิริยากับ Active site เหล่านี้ได้จนเกิดเป็นโครงสร้างสายโซ่ใหม่บนโครงสร้างหลักเก่า การ Graft นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับหรือแปลงสภาพ

ผิวของพอลิเมอร์โดยที่คุณสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ (Bulk property) ยังคงเดิม เช่นการ Graft หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ที่สามารถดูดจับโลหะหนักในน้ำบนแผ่น Polyethylene ซึ่งก็จะได้แผ่น Polyethylene ที่สามารถดูดจับโลหะหนักนั้นๆ ในน้ำได้ ยกตัวอย่างเช่นหาก Graft หมู่ Amidoxime functional group บนแผ่นหรือเส้นใย PE และนำไปจุ่มแช่ในน้ำทะเล ก็จะสามารถดูดจับยูเรเนียมในน้ำทะเลออกมาได้ เป็นต้น

สำหรับไคโตซาน เมื่อได้รับการฉายรังสีแล้วจะเกิดการสลายของพันธะ (Depolymerization) โดยปริมาณการเสื่อมสลายของพันธะจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับและจะขึ้นอยู่กับค่าการเสื่อมสลาย (G_d) ด้วย โดยค่า G_d คือปริมาณโมเลกุลที่เสื่อมสลายต่อปริมาณพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 100 eV ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 1 (Charlesby–Pinner equation [1])

$$M_n^{-1} - M_{n0}^{-1} = G_d \times 1.04 \times 10^{-7} \times D \qquad (1)$$

โดย M_{n0} และ M_n = ค่า Molecular Weight ของพอลิเมอร์ก่อนและหลังการฉายรังสีตามลำดับ

D = ปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉาย

G_d = ค่าการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์

โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อไคโตซานได้รับการฉายรังสีแกมมา สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเคมีดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
R-H &\xrightarrow{\text{Gamma}} R^o(C_4 - C_6) + H^o \\
R-H + H^o &\longrightarrow R^o(C_1 - C_6) + H_2 \\
R^o(C_1, C_4) &\longrightarrow F_1^o + F_2(\text{scission}) \\
R-NH_2 + H^o &\longrightarrow R^o(C_2) + NH_3
\end{aligned}$$

โดย $R^{\circ}(C_n)$ คือโมเลกุลของไคโตซานขนาดมหภาคที่เกาะอยู่บนอนุมูลอิสระบนสายโซ่คาร์บอนหลัก ส่วน F°_1 และ F_2 คือเศษของโซ่หลักหลังจากเกิดการตัดทอนขนาดโมเลกุล

<u>วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย</u>

เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บข้าวกล้องโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน

<u>ขอบเขตของโครงการวิจัย</u>

โครงการวิจัยนี้มีขอบเขตคือ หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน โดยศึกษาตัวแปรเหล่านี้

1. ปริมาณรังสีแกมมาที่ฉายไคโตซานอย่างน้อยในช่วง 10 – 100 kGy
2. ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 0.5, 1, 2, และ 5% (w/v)
3. ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา อย่างน้อยในช่วง 35 – 45°C
4. ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ศึกษา อย่างน้อยในช่วง 70 – 90%

<u>สมมุติฐาน</u>

เนื่องจากไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคหรือเชื้อราบนพืชหรือผลไม้ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นหากนำไคโตซานมาเคลือบข้าวกล้องสดใหม่ด้วยความเข้มข้นและขนาดโมเลกุลที่เหมาะสม ควรจะสามารถยืดระยะเวลาที่ไม่เกิดการขึ้นของเชื้อราบนเมล็ดข้าวกล้องได้ที่อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หากผลการวิจัยออกมาดี สามารถนำผลการวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติได้ และสามารถจดสิทธิบัตรได้ กลุ่มผู้ที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ คือกลุ่มผู้ประกอบการผลิตและบรรจุข้าวกล้องถุง รวมถึงประชาชนทั่วไปด้วย

วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป

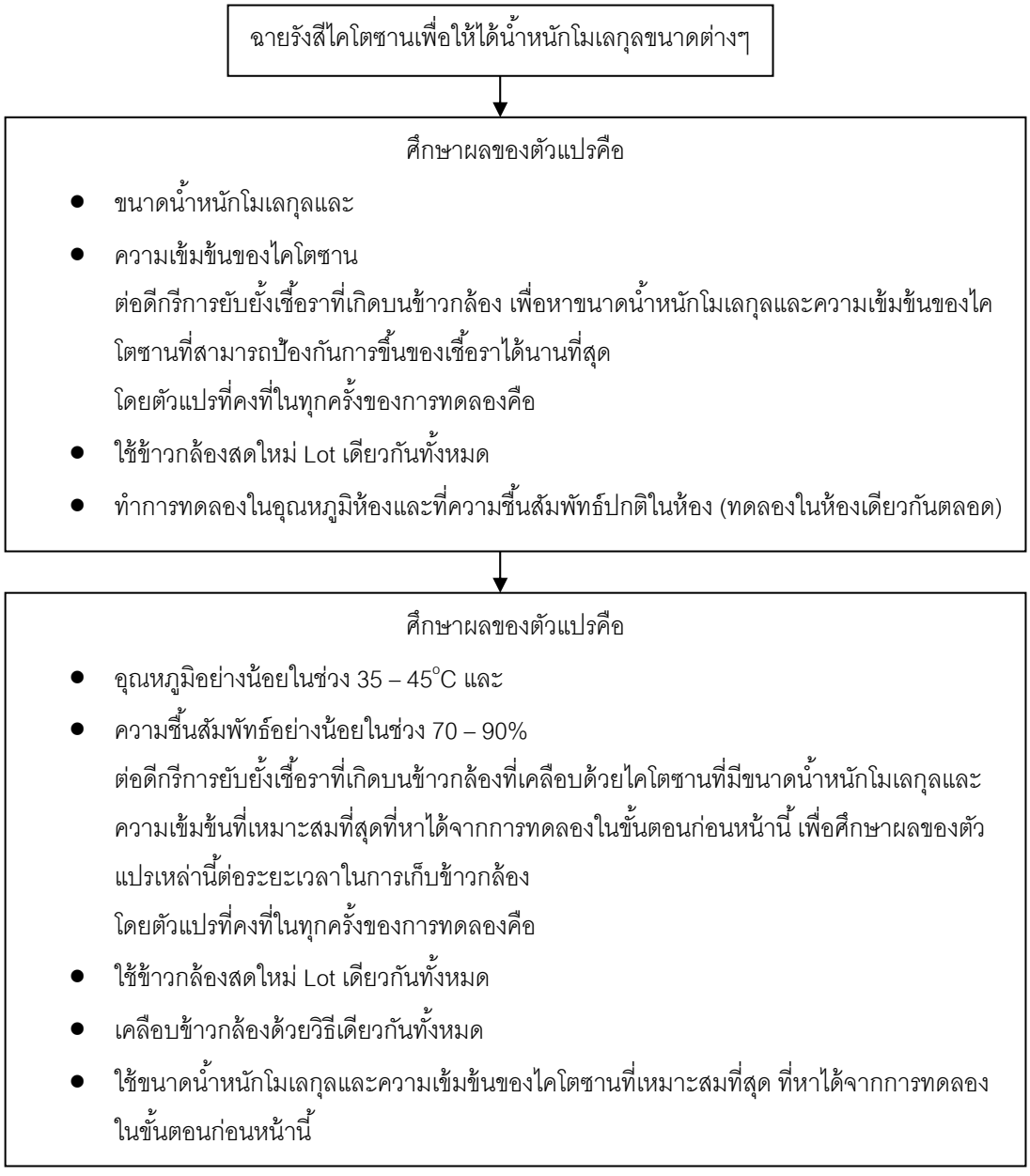
งานวิจัยนี้ มีวิธีดำเนินการโดยสรุปดังนี้

1. วางแผนงานและกำหนดขอบเขตของงานอย่างเป็นขั้นตอน
2. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นในการทดลอง
3. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ในช่วงอย่างน้อยที่ระบุในขอบเขตของโครงการวิจัย
4. ฉายรังสีแกมมาไคโตซานในสภาวะที่เหมาะสมที่ปริมาณรังสีในช่วงอย่างน้อย 10 – 100 kGy
5. ทดสอบดีกรีการยับยั้งเชื้อราที่เกิดบนข้าวกล้องโดยการเคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆ และที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) เพื่อหาขนาดโมเลกุลและความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยทดสอบที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ปกติ
6. ทดสอบกับเมล็ดข้าวกล้องโดยใช้ขนาดโมเลกุลและความเข้มข้นที่เหมาะสมตามที่หาได้จากข้อ 5 โดยในแต่ละสภาวะของการทดลอง
   6.1. ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา อย่างน้อยในช่วง 35 – 45°C
   6.2. ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ศึกษา อย่างน้อยในช่วง 70 – 90%
7. ติดตามการคุกคามของเชื้อราทุกวัน

8. วิเคราะห์ สรุป วิจารณ์ผลงานวิจัยและเขียนรายงานวิจัย รวมถึงให้ข้อเสนอแนะ

สถานที่ทำการทดลองคือ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิต่อไปนี้แสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการทดลอง และตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษาและควบคุมในแต่ละขั้นตอน



<u>การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง</u>

1. ธนาภรณ์ ศรีศิริพันธุ์, จำนงค์ อุทัยบุตร และ กอบเกียรติ แสงนิล [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลพริกหวาน” โดยนำผลแก่จัดของพริกหวานสองพันธุ์ คือพันธุ์ Torcal และพันธุ์ Gold Frame มาเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% เปรียบเทียบกับชุดไม่เคลือบผิว แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 82% เป็นเวลา 15 วัน พบว่าผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.0% และ 1.5% มีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียน้ำหนัก การเหี่ยวและการเข้าทำลายของเชื้อรา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เคลือบผิวและชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 0.5% ในผลพริกหวานทั้งสองพันธุ์ ทั้งนี้ชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.0% และ 1.5% ให้ผลไม่แตกต่างกันในการลดการสูญเสียน้ำหนัก การเหี่ยวและการเข้าทำลายของเชื้อรา อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลในทุกชุดการทดลองในระหว่างการเก็บรักษา
2. อัธยา กังสุวรรณ [3] ได้ทดลองใช้ไคโตซานฉีดพ่นเคลือบผิวมังคุด ปรากฏว่าไคโตซานทำปฏิกิริยาปกป้องและรักษาสีสันเปลือกมังคุดไว้ได้นานประมาณ 1 เดือน หรือ 30 วัน โดยมังคุดเปลือกแข็งเกิดขึ้นเพียงร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดที่ไม่ได้ฉีดพ่นเคลือบด้วยไคโตซาน ซึ่งมีการแข็งตัวของเปลือกสูงถึง 22% (ในตู้เย็น) และถึง 90% ในอุณหภูมิห้อง ส่วนผลมังคุดที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานมีสีซีดจาง กลีบเลี้ยงสีซีด เหี่ยวเฉา กลายเป็นลักษณะไม่เป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นและฮ่องกงซึ่งถือว่าเป็นตลาดส่งออกขนาดใหญ่ โดยผู้รับซื้อจะยึดหลักสีสันลักษณะภายนอกในการตัดสินใจซื้อมังคุดของไทย และเมื่อทดลองผ่าผลมังคุดชิมเนื้อด้านในดู ปรากฏว่ายังมีรสชาติอร่อยไม่เน่าเสียก่อน 30 วัน ตรงกันข้ามกับผลมังคุดที่ไม่ได้ฉีดพ่นเคลือบด้วยไคโตซาน ซึ่งมีลักษณะเน่าเสียอย่างชัดเจน

3. Y. Jiang, J. Li และ W. Jiang [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Effect of chitosan coating on shelf life of cold-store litchi fruit at ambient temperature” โดยศึกษาทดลองเคลือบผิวลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ด้วยไคโตซาน พบว่าที่ความเข้มข้นไคโตซาน 2.0% สามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียได้ 92% รวมถึงมีอายุการเก็บได้นานถึง 20 วัน
4. ข้อมูลจากนิตยสารหมอชาวบ้าน เล่มที่ 248 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2542 [5] แสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถบริโภคได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยไคโตซานมีคุณสมบัติในการดักจับไขมันบางชนิด จึงมีการนำมาบรรจุแคปซูลเพื่อช่วยลดไขมันส่วนเกิน โดยไคโตซานจะไปเกาะกับไขมันบางตัวทำให้เกิดการรวมกลุ่มและไม่ถูกย่อยสลายและถูกขับถ่ายออกมาในที่สุด โดยไม่เป็นอันตรายหรือมีผลข้างเคียงต่อร่างกายมนุษย์แต่อย่างใด
5. ข้อมูลจากเว็บไซต์เกษตรออนไลน์ วันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2551 [6] ระบุประโยชน์ของสารละลายไคโตซานในการเกษตร เช่นการ "นำไปเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการงอก ป้องกันแมลง เชื้อรา รากเน่า และศัตรูพืช" และ "ช่วยยืดอายุการเก็บเกี่ยว ของผลผลิตทางการเกษตร เมื่อ ไปพ่นบนผิวผักและผลไม้ จะมีลักษณะเป็นฟิลม์ บาง ใส ปราศจากสีกลิ่น ช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการผลิตก๊าซ เอทธิลิน ลดการรบกวนของแมลง และเชื้อราทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเน่าช้าลง" เป็นต้น
6. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง, ชญานิษฐ์ จำปี และ วรีภรณ์ รัตนิสสัย [7] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “การยับยั้งการขึ้นของเชื้อราแอสเปอร์จิลลัสบนถั่วลิสงโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน” โดยได้ฉายรังสีแกมมาไคโตซานด้วยความแรงรังสี 10, 30, 50, 70 และ 90 kGy ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีโดยการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ผลที่ได้คือไคโตซานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักหลังการฉายรังสีแกมมา หลังจากนั้นเตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อเคลือบถั่วลิสง โดยนำผงไคโตซานมาละลายในกรดอะซิติก 2% (v/v)

ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายไคโตซานเป็น 1, 2, 5 และ 10% (w/v) และปรับค่า pH ให้เป็น 5.6 ด้วย 6 M NaOH ผลที่ได้คือการเคลือบถั่วลิสงด้วยไคโตซานสำหรับทุกความเข้มข้นและทุกน้ำหนักโมเลกุล สามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาถั่วลิสงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบนั้น สามารถสังเกตเห็นเชื้อราขึ้นได้ใน 16 วันโดยเฉลี่ย แต่ชุดที่เคลือบสามารถยืดระยะเวลาการขึ้นของเชื้อราได้อย่างน้อยประมาณ 22 วันโดยเฉลี่ย และถั่วลิสงที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 50 kGy และที่ความเข้มข้น 5% สามารถต้านการขึ้นของเชื้อราได้ดีที่สุดเพราะสามารถยืดระยะเวลาการขึ้นของเชื้อราได้นานถึง 32 วันโดยเฉลี่ย เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30 - 40°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% โดยใช้ถั่วลิสงที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 50 kGy และที่ความเข้มข้น 5% พบว่ายิ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ราก็จะขึ้นไวขึ้น โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 90% ที่ 30°C ราได้ขึ้นภายใน 5 วัน

7. สุกัญญา ยาเสร็จ [8] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา” โดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีต่างๆ คือ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 kGy ที่ pH เท่ากับ 5.6 และนำมาชุบไข่ไก่ โดยแบ่งการชุบออกเป็น 1, 2 และ 3 ชั้น ทิ้งไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าไข่ที่ได้รับการชุบสารละลายไคโตซานที่ปริมาณรังสี 10 kGy สามารถยืดอายุการเก็บได้นานที่สุดถึง 6 สัปดาห์เมื่อเทียบกับไข่ไก่ที่ไม่รับการชุบ ซึ่งมีอายุเพียง 2 สัปดาห์เท่านั้น

8. S. Leleu et. al. [9] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Selection of a chitosan type for eggshell coating to reduce salmonella shell contamination” โดยทดลองเคลือบเปลือกไข่ด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.25% มีค่า pH เท่ากับ 5.0 โดยสารละลายไคโตซานที่ใช้นี้มีขนาด

โมเลกุลอยู่ระหว่าง 28,000 - 375,000 Dalton ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 20°C และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 60% พบว่าสารละลายไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลระหว่าง 310,000 – 375,000 Dalton มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ซาลโมเนลลาดีที่สุด

9. ชนิตา เรืองผัน [10] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชโดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี” โดยนำไคโตซานที่ฉายด้วยรังสีแกมมา 100 kGy และละลายในกรดอะซิติก 2.5% เป็นสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 10% แล้วนำไปผ่านกระบวนการฉายรังสีอีกครั้งที่ปริมาณรังสี 20, 40, 60, 70 และ 80 kGy ซึ่งจะได้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยคือ 68,000 26,000 12,000 8,000 และ 4,000 Dalton ตามลำดับ สำหรับสารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุล 26,000 Dalton จะถูกนำไปแยกด้วยการตกตะกอนลำดับส่วนจนได้สารละลายที่มีขนาดโมเลกุลช่วง 20,000 Dalton ก่อนจะนำสารละลายทั้งหมดไปผสมกับปุ๋ยความเข้มข้น 200 ppm และนำไปทดสอบกับคะน้า ผักกาดหอม และผักโขม ใช้ระยะเวลาการปลูกทั้งหมด 26 วัน พบว่าคะน้าที่ได้รับสารละลายไคโตซานขนาดโมเลกุล 4,000 และ 8,000 Dalton มีการเจริญเติบโตมากที่สุด (วัดจากความสูง) สารละลายไคโตซานที่ใช้กับผักกาดหอมได้ผลดีที่สุดที่ขนาดโมเลกุล 20,000 Dalton และสารละลายไคโตซานที่ใช้กับผักโขมได้ผลดีที่สุดที่ขนาดโมเลกุล 8,000 และ 12,000 Dalton ตามลำดับ

10. ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ [11] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สาหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหมอนทอง” โดยทำการเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ชีวภาพ 2 ชนิดคือ ไคโตซานและเจลาติน ที่ผสมสารซอร์บิทอลแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น ความทนแรงดึง การยืดตัว การแพร่ผ่านของไอน้ำ และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ

คล้ายแก้ว โดยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ในระหว่าง - 20 ถึง 5°C มีความทนแรงดึงของฟิล์มระหว่าง 2.40 – 13.74 MPa การยืดตัวอยู่ที่ 99.8 – 216.68% และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ 1.7 – 4.4 x 10^{-10} กรัม-เมตรต่อพื้นที่-วินาที-ความดัน จากนั้นนำมาเคลือบเนื้อทุเรียน 1 กิโลกรัมแล้วเป่าแห้งและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5°C ความชื้น 100% เป็นเวลาทั้งหมด 26 วัน พบว่าเนื้อทุเรียนที่ทำการเคลือบสารยืดอายุมีการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้รับการเคลือบ โดยองค์ประกอบส่วนผสมที่พบว่าให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือมีสัดส่วนของเจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.2% โดยน้ำหนัก ซึ่งช่วยให้สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนลง 36% และลดอัตราการหายใจลง 48.5% และลดการผลิตเอทิลีนลง 27.5%

11. นวลนภา เจริญรวย [12] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียว” ทำการทดลองโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 ppm และไคโตซานที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 50 และ 100 ppm จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 และ 18°C โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 9°C แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50 ppm สามารถรักษาลักษณะน้ำหนักและลักษณะทางกายภาพได้ ในขณะที่ความเข้มข้น 0.25 ppm สามารถรักษาความแน่นของเนื้อและสีของฝักได้ ส่วนไคโตซานความเข้มข้น 20 ppm สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีที่สุด สำหรับที่อุณหภูมิ 18°C ไคโตซานที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm สามารถรักษาน้ำหนักของฝักรวมถึงยับยั้งการคุกคามของโรคได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์หรือไคโตซานเพียงอย่างเดียวให้ผลดีกว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานร่วมกัน

12. วรรณวิมล ปาสาณพันธ์, รังรอง ยกส้าน และสุวบุญ จิรชาญชัย [13] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การลดมวลโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา” โดยนำไคโตซานมาฉายรังสีแกมมาโดยแยกฉายในปริมาณรังสีหลายระดับ ซึ่งมากที่สุดอยู่ที่ 160 kGy พบว่าขนาดโมเลกุลของไคโตซานลดลงจากช่วง 650,000 – 1,200,000 Dalton เหลือ 100,000 Dalton โดยที่สภาพของโครงสร้างพันธะหลักยังคงเดิม และพบว่าเมื่อฉายรังสีปริมาณ 50 kGy แก่ไคโตซานเกล็ดในสภาพของแข็งและไคโตซานเกล็ดในสภาพกระจายตัวในน้ำ การลดลงของโมเลกุลระดับเดียวกันสามารถทำได้ด้วยการฉายรังสีปริมาณเพียง 20 kGy เมื่อมีตัวเริ่มปฏิกิริยาแรดิคัล (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) อยู่ในระบบ ซึ่งส่งผลให้ความไวต่อปฏิกิริยาของไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 50 - 60%

13. Le Hai et. al. [14] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Radiation depolymerization of chitosan to prepare oligomers” โดยได้ทำการทดลองฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างกันกับไคโตซานโดยตรง และวิเคราะห์ค่าการเสื่อมสลายด้วยวิธี Gel Permeation Chromatography โดยค่าการเสื่อมสลายมีค่าเท่ากับ 0.9 และ 1.8 สาหรับไคโตซานประเภท 10B และ 8B ตามลำดับ ซึ่งไคโตซานที่ถูกลดน้ำหนักโมเลกุลนี้จะถูกนำไปทำละลายในเมทานอลผสมสารละลายอะซีโตนและน้ำ และนำไปวัดผลทางชีวภาพโดยทดสอบกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา Aspergillus nidulans ซึ่งพบว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 20,000 Dalton สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าวได้ มีเพียงที่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 800 Dalton เท่านั้นที่พบว่าเชื้อรามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

เนื้อเรื่อง

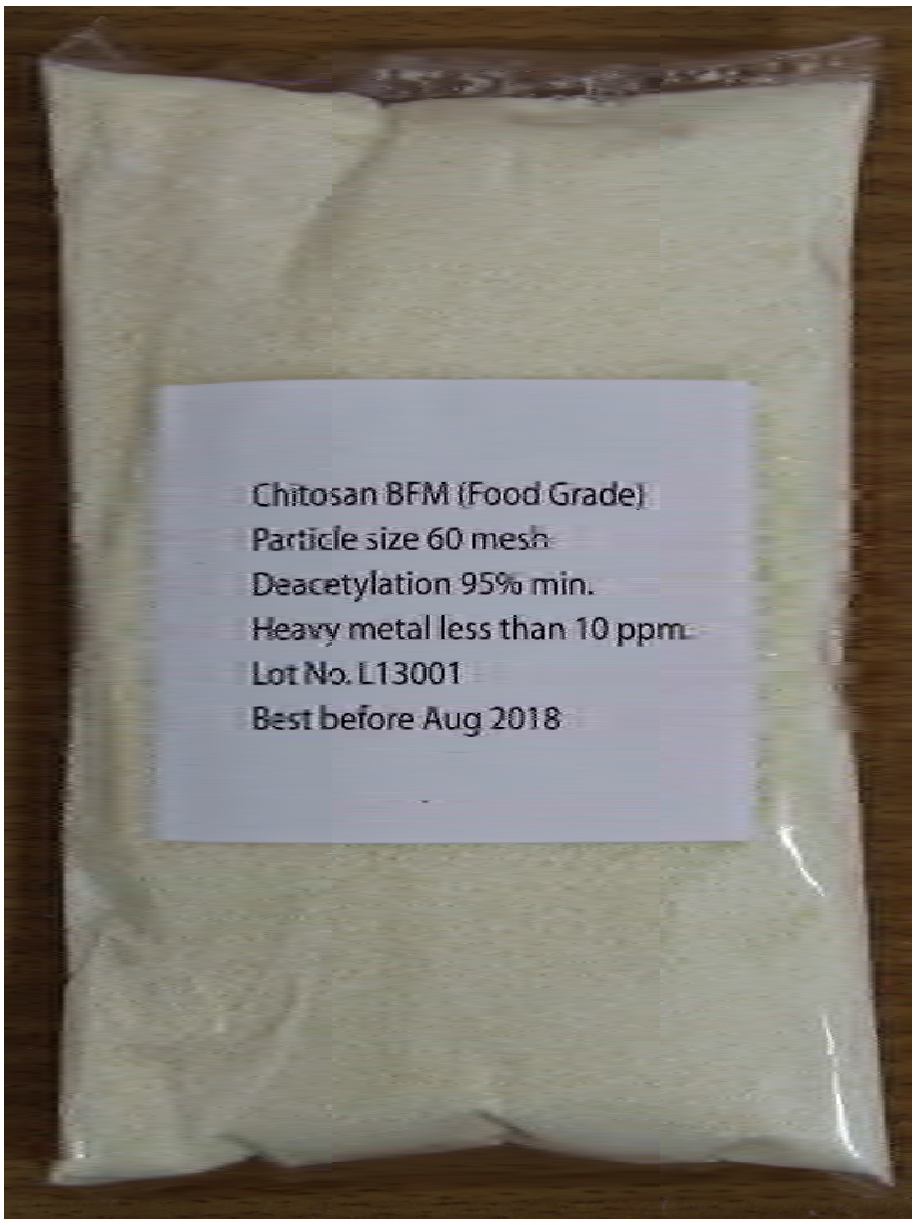
การฉายรังสีแกมมาไคโตซาน

ได้จัดซื้อไคโตซานผงความบริสุทธิ์สูงแบบ Food grade จากบริษัทโบนาฟิเดสมาเก็ตติ้ง จำกัด โดยมีสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 แสดงไคโตซานในถุงบรรจุ ซึ่งไคโตซานมีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว

ตารางที่ 1 สมบัติของไคโตซานที่นำมาใช้ในการวิจัย

สมบัติ	ค่า
Appearance	White to Yellow
Moisture content	Less than 10%
Ash content	Less than 1.0%
Solution (1% in 1% acetic acid)	Clear
Solubility	More than 99.9%
Insolubility (%)	Less than 1.0%
Turbidity	Less than 50 NTUs
Viscosity	500 – 1,000 (mPa.S(cPs))*
Molecular weight	500,000 – 1,000,000
Deacetylation	95% Min
Particle size	30 Mesh
Heavy metal	Less than 10 PPM
Microbial content Total Plate Count Yeast & Mold E.coli Salmonella Coliform	 Less than 100 Cfu/g Less than 50 Cfu/g - - -

ที่มา: http://bonafidesmarketing.com/wizContent.asp?wizConID=33&txtmMenu_ID=7



รูปที่ 2 ไคโตซานในถุงบรรจุ

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่า Molecular weight ของไคโตซานที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีค่า Molecular weight ที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งเมื่อทำการฉายรังสีแล้วจะทำให้ได้ไคโตซานที่ฉายรังสีแต่ละปริมาณรังสีมีค่า Molecular weight ที่กว้างเช่นกัน

ในการฉายรังสีแกมมาไคโตซานเพื่อลดขนาดโมเลกุลนั้น ได้ทำการบรรจุผงไคโตซานในถุง Polystyrene ที่ปิดปากถุงจำนวน 6 ถุง การที่เลือกใช้ถุง Polystyrene เนื่องจากจะไม่เกิดการเสื่อมสลายเมื่อได้รับรังสีแกมมาในช่วงที่ทำการวิจัย การฉายรังสีทำที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ ด้วยเครื่อง Gamma cell (Gammacell 220 Excel) ซึ่งใช้โคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาดังแสดงในรูปที่ 3 โดยฉายรังสีไคโตซานสถานะผงตามที่ได้รับมาที่ความแรงรังสี 10, 30, 50, 70 และ 90 กิโลเกรย์ (kGy) และที่อัตราปริมาณรังสี (Dose rate) ของเครื่องเท่ากับ 5.63 kGy ต่อชั่วโมง (วัดเมื่อมีนาคม 2555) ส่วนอุณหภูมิในเครื่องฉายรังสีมีค่าประมาณ 40°C

รูปที่ 3 เครื่องฉายรังสีแกมมา Gammacell 220 Excel ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ

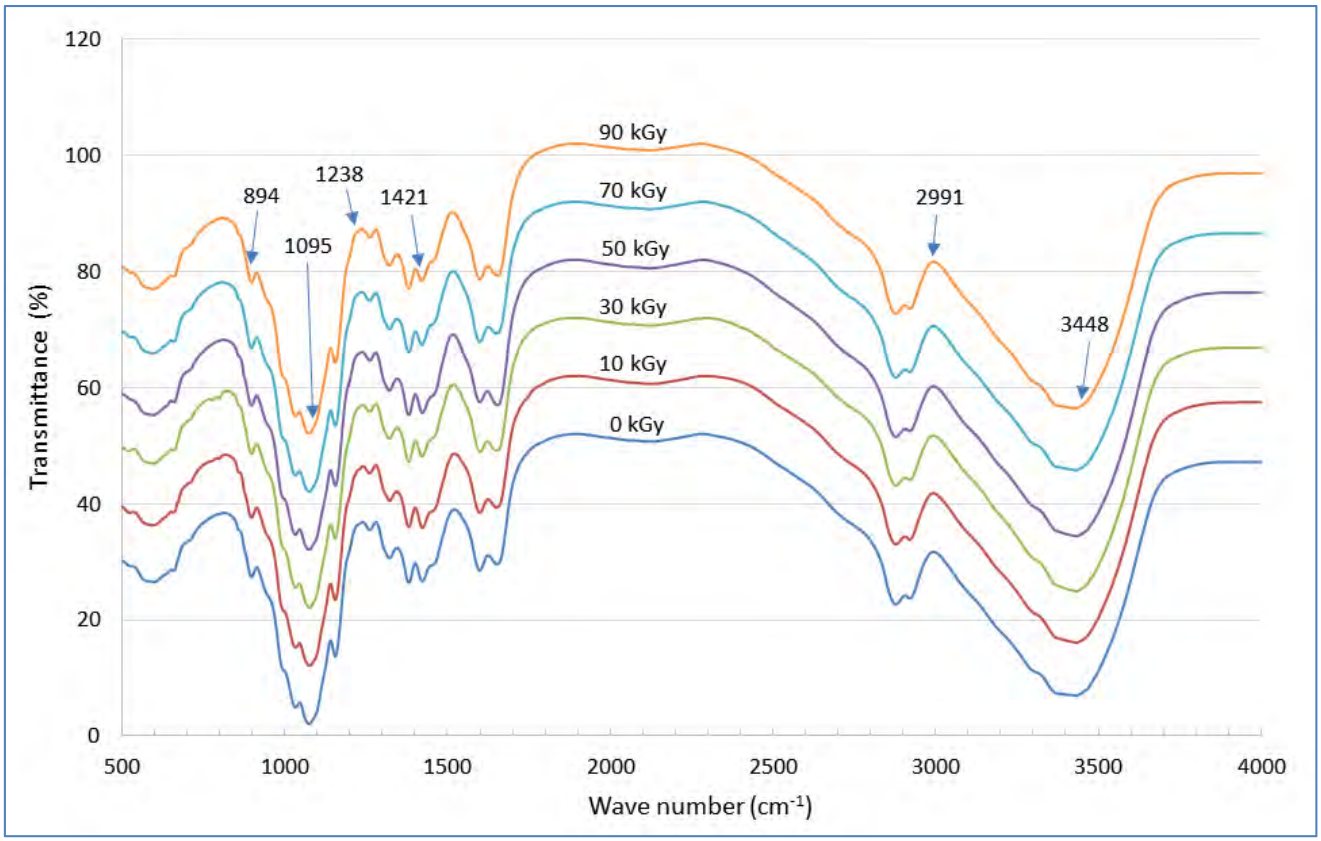
รูปที่ 4 แสดงไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีที่ความแรงรังสีต่างๆ และที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแล้วจะมีลักษณะทางกายภาพเป็นเกล็ดเช่นเดิม แต่จะมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับเพิ่มขึ้น โดยที่ 90 kGy จะมีสีเข้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ปริมาณรังสีอื่นๆ

รูปที่ 4 ไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสีและที่ผ่านการฉายรังสีที่ความแรงรังสีต่าง ๆ

<u>การพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา</u>

การฉายรังสีแกมมาจะต้องไม่ทำให้ไคโตซานเปลี่ยนเอกลักษณ์และสูญเสียสมบัติความเป็นไคโตซานไป จึงต้องยืนยันโดยทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา โดยสามารถตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR) ซึ่งเทคนิค FTIR นี้ใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่าง โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง Infrared ทำให้เกิดการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุล ค่าความถี่ต่างๆ ของการสั่นในสเปกตรัมสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโมเลกุลของสารที่แน่นอนได้ การวิเคราะห์ทำโดยนำไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาแล้ว

(และที่ยังไม่ได้ฉาย) มาวัดคุณลักษณะในรูปของผงละเอียดในช่วงความยาวคลื่น 400 – 4000 cm^{-1} โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รูปที่ 5 แสดง Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์

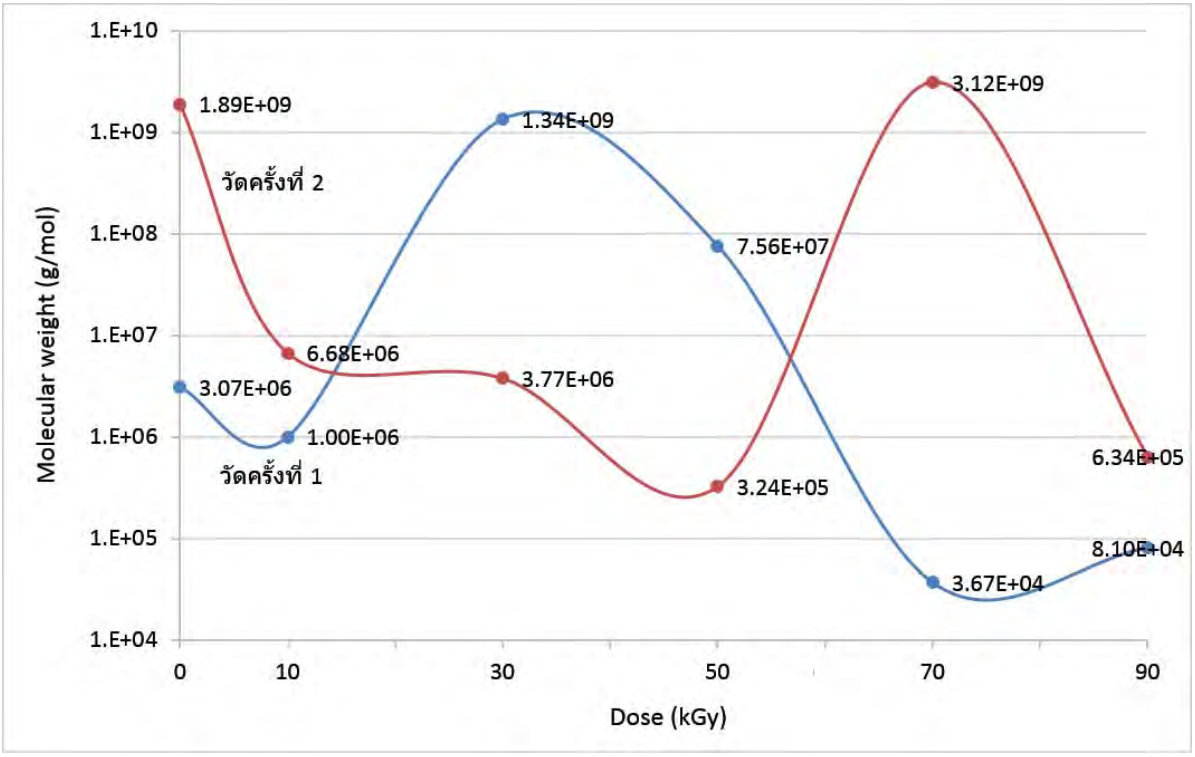


รูปที่ 5 Spectrum ที่ได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ไคโตซานด้วยเทคนิค FTIR (เนื่องจากต้องการแสดงกราฟในรูปเดียวกันทั้งหมด ทำให้ต้องเลื่อนกราฟของแต่ละปริมาณรังสีขึ้นเพื่อให้สามารถเห็นแต่ละกราฟอย่างชัดเจน)

<u>การหาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน</u>

ไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาจะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงตามปริมาณรังสีที่ได้รับ เนื่องจากรังสีแกมมาไปทำลายพันธะของสายโซ่โมเลกุลไคโตซาน ส่งผลให้พันธะถูกตัดทอนให้สั้นลง

งานวิจัยนี้วิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานโดยใช้เทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด) โดยได้เตรียมตัวอย่างสารละลายไคโตซานด้วย 2% กรดอะซิติก (v/v) ให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.1% (w/v) และปรับ pH ให้มีค่า 5.6 ด้วยการเติม 6 M NaOH ในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งคือประมาณ 20 mL การหาน้ำหนักโมเลกุลทำโดยเปรียบเทียบกับ Polystyrene standard ที่ทราบน้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอน อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลที่ได้ในครั้งแรกนี้มีแนวโน้มที่ไม่ถูกต้องจึงทำการวัดครั้งที่ 2 ซึ่งผลที่ได้ครั้งที่ 2 นี้ก็ยังมีแนวโน้มที่ไม่ถูกต้องโดยเฉพาะที่ 70 kGy จึงได้ติดต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รายละเอียดว่า Column ที่ห้องปฏิบัติการมีนั้นใช้ Tetrahydrofuran (THF) เป็น Mobile phase แต่จากการทดลองละลายพบว่าไคโตซานไม่สามารถละลายได้ใน THF จึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์ให้ได้ หลังจากนั้นได้ติดต่อศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center -- MTEC) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ให้แต่ปรากฏว่าค่าที่ได้มีการแกว่งโดยเมื่อทำการวัดซ้ำแล้วค่าไม่เท่ากันทั้ง 3 รอบ ทางห้องปฏิบัติการจึงไม่สามารถทำรายงานผลการวิเคราะห์ให้ได้เนื่องจากผลไม่ถูกต้อง ท้ายสุดแล้วจึงได้ส่งไปที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด) ที่เดิม ซึ่งครั้งท้ายสุดนี้ได้รับแจ้งว่าสามารถวัดได้เพียงตัวอย่างเดียว ส่วนตัวอย่างอื่นๆ ไม่ปรากฏ Peak จึงไม่สามารถหาค่า Molecular weight ได้ รูปที่ 6 แสดงผลการวัดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน 2 ครั้งแรกที่ได้ค่าครบถ้วน ภาคผนวก ก แสดงรายงานผลการวิเคราะห์รวมถึง Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัด

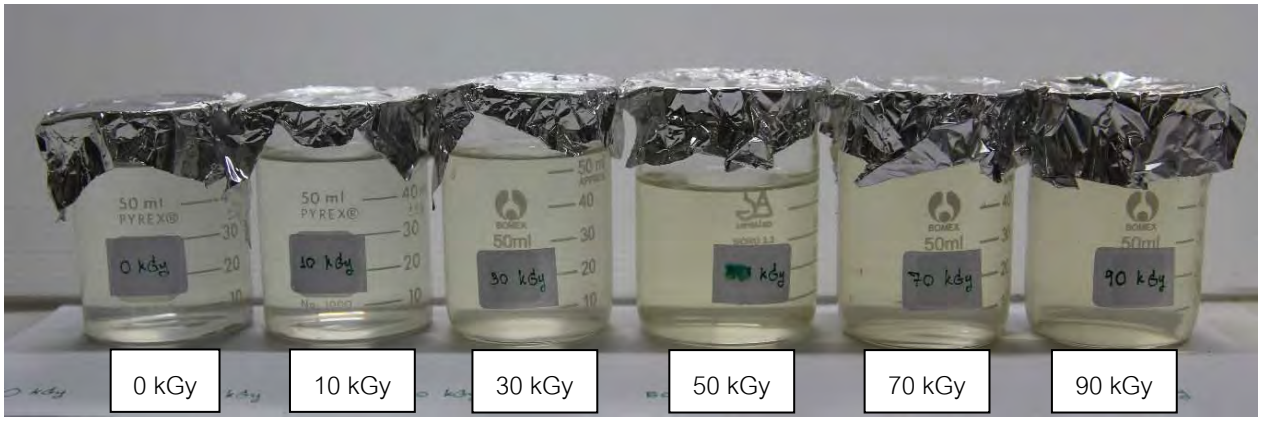


รูปที่ 6 ผลการวัดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) 2 **ครั้ง**

<u>การเตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อเคลือบข้าวกล้อง</u>

การเตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อเคลือบข้าวกล้อง ดำเนินการโดยนำไคโตซานปริมาณเหมาะสมที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีแกมมาต่างๆ (รวมถึงที่ไม่ได้ฉายรังสีด้วย) มาละลายในกรดอะซิติก 2% (v/v) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายไคโตซานเป็น 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) หลังจากนั้นปรับค่า pH ให้มีค่าเป็น 5.6 ด้วยการเติม 6 M NaOH ในปริมาณที่เหมาะสม โดยค่อยๆ หยดสารละลาย NaOH ลงในสารละลายไคโตซานนั้น พบว่า NaOH กลายเป็นเจลและต้องกวนด้วย Magnetic bar บน Hot plate stirrer (ที่อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลานานจึงจะละลายหมด นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นไคโตซานที่สูงขึ้นและที่ปริมาณรังสีที่ต่ำ (น้ำหนักโมเลกุลสูง) สารละลายไคโตซานที่เตรียมได้ก็จะมีความหนืดมากขึ้นรวมถึงมีสีที่เข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณ

ไคโตซานที่มากขึ้นและมี Molecular chain ที่ยาวขึ้น รูปที่ 7 แสดงสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ที่เตรียมจากไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีแกมมาต่างๆ



รูปที่ 7 สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ที่เตรียมจากไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

<u>การเคลือบข้าวกล้อง</u>

ได้ซื้อข้าวกล้องสดใหม่บรรจุถุงจากบริษัท เอก-ชัย ดีสทริบิวชั่น ซิสเท็ม จำกัด (หรือที่รู้จักกันในนาม Tesco Lotus) สาขาจตุรัสจามจุรี ดังแสดงในรูปที่ 8

(a) (b)

รูปที่ 8 ข้าวกล้องที่ใช้ในการทดลอง

อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลที่ได้รับจากผู้ประเมินงานวิจัยนี้ ได้ทราบว่าข้าวกล้องบรรจุถุงเหล่านี้จะผ่านการอบด้วยสารกำจัดเชื้อราและจุลินทรีย์มาก่อน และจากการทดลองในเบื้องต้นพบว่าข้าวกล้องบรรจุถุงลักษณะนี้ ทั้งที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานและที่เคลือบด้วยไคโตซาน เมื่อวางไว้ในห้องปฏิบัติการวิจัยตามปกติที่อุณหภูมิห้อง หลังจากผ่านไปนานถึง 2 เดือนก็ยังไม่สามารถสังเกตเห็นราขึ้นแต่อย่างไร จึงเปลี่ยนเป็นใช้ข้าวกล้องที่ซื้อจากตลาดสดสามย่านแทนดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งข้าวกล้องเหล่านี้แบ่งขายจากกระสอบขนาดใหญ่และจากการสอบถามจากผู้ขายไม่ได้ผ่านการอบด้วยสารป้องกันเชื้อรามาก่อน

รูปที่ 9 ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการอบด้วยสารป้องกันเชื้อราซึ่งนำมาใช้ในการทดลองนี้

ได้ทำการเคลือบข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซาน โดยฉีดพ่นสารละลายไคโตซานบนข้าวกล้องที่อยู่ในถาดแก้ว โดยในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองจะใช้ข้าวกล้องที่ปริมาณเท่ากันโดยประมาณ (จากการชั่งน้ำหนัก) และฉีดพ่นที่จำนวนครั้งเท่ากัน เมื่อฉีดเสร็จแล้วก็เอียงภาชนะบรรจุไปมาเพื่อให้มั่นใจว่าไคโตซานได้เคลือบข้าวทุกเม็ดโดยรอบ หลังจากนั้นทำการอบแห้งในเครื่องอบแบบ Forced convection oven ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาประมาณ 30 นาทีเพื่อให้ข้าวแห้งสนิทจะได้ไม่มีความชื้นหลงเหลือในข้าว หลังจากนั้นนำภาชนะบรรจุวางในระบบที่ทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 10 โดยระบบนี้ตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการวิจัย แต่ได้เปิดหน้าต่างไว้เล็กน้อยด้วยเพื่อไม่ให้เป็นห้องที่สะอาด นอกจากนี้ด้านหลัง

ของห้องนี้ยังมีถังเก็บรวมขยะขนาดใหญ่ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าห้องที่ทำการวิจัยนี้ไม่ใช่ห้องที่สะอาด ซึ่งก็ควรจะมีสภาพใกล้เคียงกับการเก็บของชาวบ้านโดยทั่วไป

รูปที่ 10 ตัวอย่างข้าวกล้องเคลือบไคโตซานที่วางในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สร้างขึ้น

<u>ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์</u>

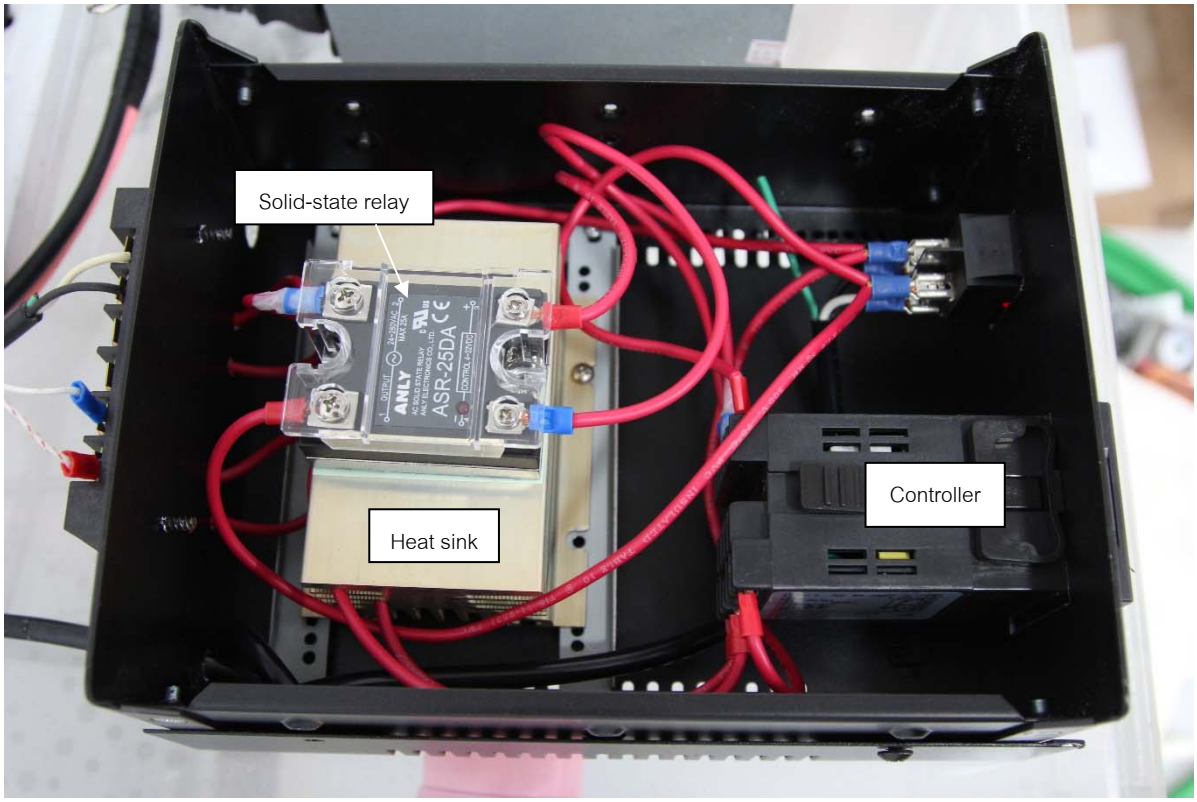
ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ มีตัวจ่ายไอน้ำและตัวทำความร้อนให้กับตู้ที่ทำจากอะคริลิคใสหนา 1.5 ซ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งการที่เลือกใช้อะคริลิคหนาเพื่อลดการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิทำได้ดีขึ้นและแม่นยำขึ้น

รูปที่ 11 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

(มีไอน้ำอยู่ในตู้จึงเห็นเป็นหมอกสีขาว)

ในส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย Thermocouple probe ที่มีปลายอยู่ใกล้กับภาชนะบรรจุข้าวกล้องในตู้อะคริลิคและต่อสัญญาณเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รูปที่ 12 แสดงด้านหน้าของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและรูปที่ 13 แสดงองค์ประกอบภายในของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 12 ด้านหน้าของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 13 องค์ประกอบภายในของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

หลักการทำงานคือสัญญาณจาก Thermocouple probe จะต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (ยี่ห้อ Maxtech รุ่น MC-2438) ซึ่งอุณหภูมิที่อ่านได้จะแสดงด้วยตัวเลขสีแดงในบรรทัดบน ส่วนอุณหภูมิที่ตั้งไว้จะแสดงด้วยตัวเลขสีเขียวในบรรทัดล่าง โดยเมื่ออุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมก็จะจ่ายไฟแรงดันต่ำให้กับ Solid-state relay (ยี่ห้อ ANLY รุ่น ASR-25DA) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายไฟแรงดันสูง (220 V AC) ให้กับเครื่องเป่าผม โดยเครื่องเป่าผมจะเป็นตัวให้ความร้อนกับอากาศภายในกล่องอะคริลิค ส่วนอากาศที่เข้าเครื่องเป่าผมจะถูกดูดมาจากภายในกล่องอะคริลิค ดังนั้นในส่วนของระบบให้ความร้อนนี้จึงเป็นระบบปิด เมื่ออุณหภูมิที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ เครื่องเป่าผมก็จะทำงานจนอุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งไว้ก็จะหยุดการทำงาน โดยเมื่อระบบเข้าถึงสมดุลจะสามารถควบคุมอุณหภูมิโดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้กับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ไม่เกินประมาณ 0.5°C เท่านั้น

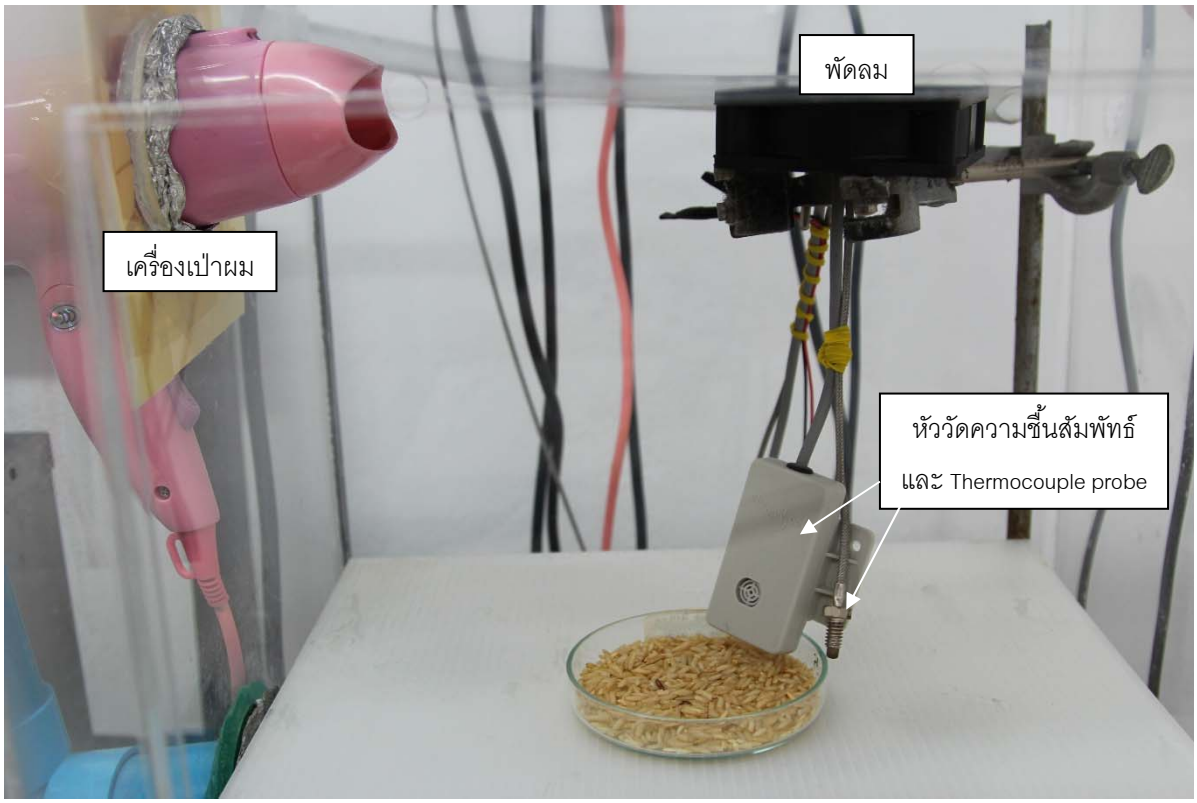
ในส่วนของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบ Ultrasonic เนื่องจากสามารถผลิตไอน้ำโดยไอน้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้เมื่อไอน้ำเข้าสู่กล่องอะคริลิคแล้วจะไม่รบกวนการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิมากนัก ทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ไอน้ำที่ผลิตได้จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กมากด้วย

ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ จะมีหัววัดความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ใกล้กับภาชนะบรรจุข้าวกล้องในตู้อะคริลิค สัญญาณจะต่อเข้ากับระบบควบคุมของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยหากความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้เครื่องกำเนิดไอน้ำก็จะผลิตไอน้ำ ภายในเครื่องกำเนิดไอน้ำนี้จะมีพัดลมแรงสูงซึ่งจะดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในเครื่อง อากาศจะผลักดันไอน้ำที่ผลิตขึ้นจากเครื่องนี้ผ่านไปตามท่อ PVC ที่เชื่อมต่อกับตู้อะคริลิคใส ดังนั้นเชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ใน

อากาศรอบๆ ในห้องที่ทำการทดลองก็จะถูกดูดเข้าไปในตู้อะคริลิค นอกจากนี้ด้านหลังตู้อะคริลิคจะมีช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ซ.ม. อยู่ 3 ช่องเพื่อร้อยสายสัญญาณต่างๆ และเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศจากภายนอกอย่างช้าๆ ด้วย ดังนั้นระบบที่ออกแบบนี้จะมีการนำเอาเชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆ จากภายนอกระบบเข้ามาภายในระบบได้

นอกจากนี้ภายในตู้อะคริลิคจะมีพัดลมขนาดเล็กติดตั้งอยู่ด้านบนเพื่อปั่นกวนอากาศตลอดเวลาเพื่อให้บรรยากาศภายในตู้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากันในทุกบริเวณ รูปที่ 14 แสดงด้านหน้าของเครื่องกำเนิดไอน้ำ รูปที่ 15 แสดงหัววัดความชื้นสัมพัทธ์ Thermocouple probe พัดลมขนาดเล็กและเครื่องเป่าผม

รูปที่ 14 ด้านหน้าของเครื่องกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 15 หัววัดความชื้นสัมพัทธ์ Thermocouple **พัดลมขนาดเล็กและเครื่องเป่าผม**

อย่างไรก็ตามเนื่องจากถึงแม้ว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ถึงค่าที่ตั้งไว้และระบบตัดการผลิตไอน้ำแล้ว แต่ก็จะยังมีไอน้ำหลงเหลืออยู่ในเครื่องกำเนิดไอน้ำและในท่อ PVC ปริมาณหนึ่งซึ่งก็จะถูกเป่าจากเครื่องเข้ามายังตู้อะคริลิค ส่งผลให้ในการใช้งานจริงความชื้นสัมพัทธ์ในตู้จะสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้เล็กน้อยและก็จะสูงอยู่เป็นเวลานานเนื่องจากไอน้ำจะค่อยๆ ออกจากตู้อะคริลิคช้าๆ ตามช่องเปิดต่างๆ ด้านหลัง เช่นหากตั้งไว้ที่ 80% ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จริงจะอยู่ในช่วงประมาณ 80 – 85% หรือหากตั้งไว้ที่ 90% ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จริงจะอยู่ในช่วงประมาณ 90 – 95% เป็นต้น นอกจากนี้หากทำการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง จะทำให้เกิดหยดน้ำเกาะบนตู้อะคริลิคด้วย เนื่องจากไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเมื่อมาสัมผัสกับผิวของตู้อะคริลิคซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะเกิดการกลั่นตัวขึ้น

ค่าความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่ฉายไคโตซานที่เหมาะสมที่สุด

สารละลายไคโตซานที่ใช้เคลือบข้าวกล้อง ทดลองที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) (เหตุผลที่ไม่ได้ทดลองที่ 10% (w/v) เนื่องจากสารละลายที่ได้มีความหนืดมากทำให้ฉีดพ่นและเคลือบได้ยาก และเมื่อเคลือบข้าวกล้องและอบให้แห้งแล้วจะทำให้ข้าวกล้องจับตัวเป็นก้อนแข็ง) และสำหรับแต่ละความเข้มข้น ได้ใช้ไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 0, 10, 30, 50, 70 และ 90 kGy และข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน รวมทั้งสิ้น 25 สภาวะ โดยในการทดลองได้วางข้าวกล้องเคลือบไคโตซานในตู้อะคริลิคที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% แต่ไม่ได้เปิดเครื่องเป่าผม ทำให้อุณหภูมิในตู้อยู่ในช่วง 25 – 30°C เหตุผลที่ไม่ได้วางข้าวกล้องไว้ในห้องตามปกติเนื่องจากเกรงว่าจะใช้เวลานานในการที่เชื้อราจะขึ้นบนข้าวกล้อง และได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง รูปที่ 16 แสดงการทดลองในส่วนนี้ รูปที่ 17 แสดงการขึ้นของเชื้อรา ส่วนตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองในส่วนนี้โดยค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง รูปที่ 18 แสดงกราฟที่ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2 เพื่อให้สามารถเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจน

จากตารางจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 10 และ 90 kGy ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานที่สุด และเนื่องจากที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณรังสีแกมมา 10 kGy สารละลายไคโตซานมีความหนืดค่อนข้างสูง ทำให้การเคลือบข้าวกล้องค่อนข้างลำบาก จึงควรใช้ปริมาณการฉายรังสีที่ 90 kGy เนื่องจากสารละลายไคโตซานมีความหนืดต่ำที่สุดและสามารถฉีดพ่นเพื่อเคลือบบนข้าวกล้องได้ง่ายที่สุด (คณะผู้วิจัยให้ความสำคัญกับความง่ายในการนำไปใช้จริงด้วย เนื่องจากหากใช้งานยากก็อาจไม่มีผู้ใดนำไปใช้เลย)

รูปที่ 16 การทดสอบข้าวกล้องเคลือบไคโตซานที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และที่อุณหภูมิห้อง

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

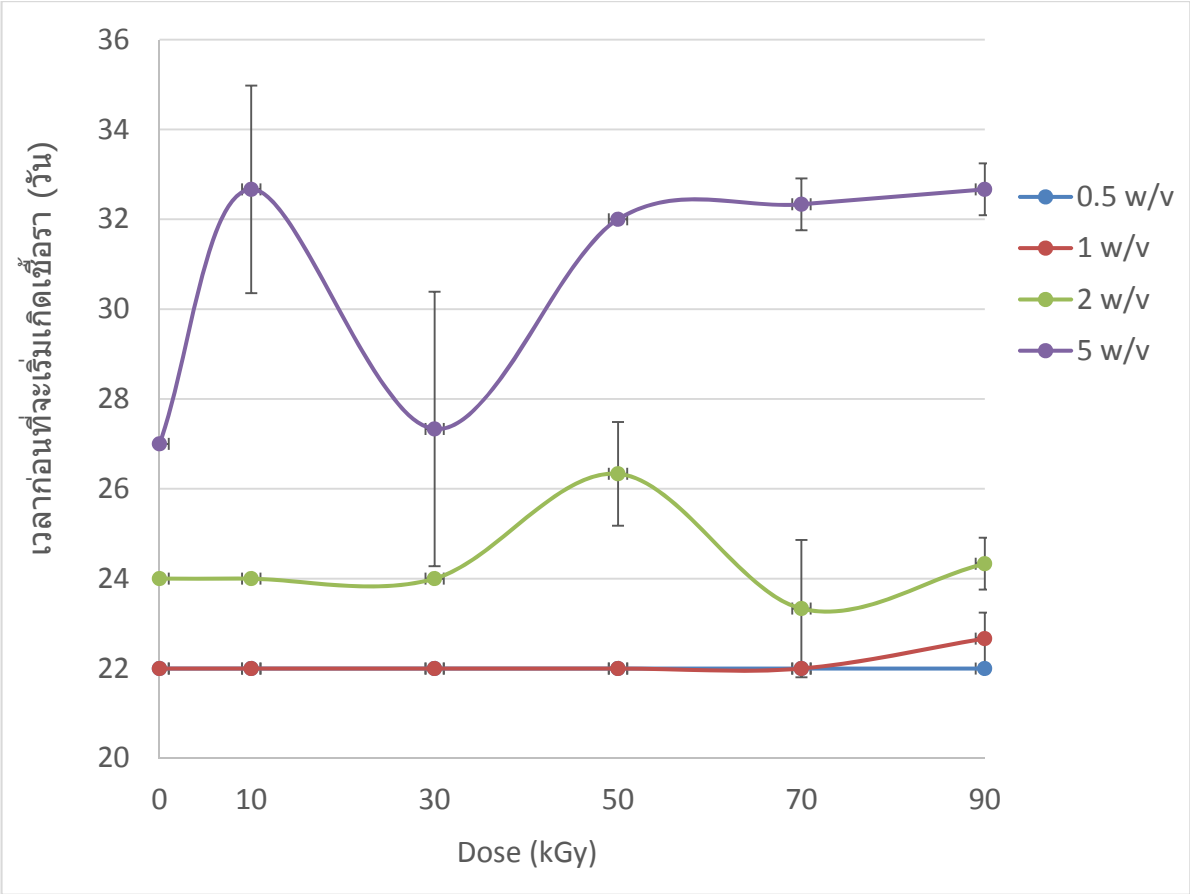
(f)

(g)

รูปที่ 17 การขึ้นของเชื้อราที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และอุณหภูมิห้อง

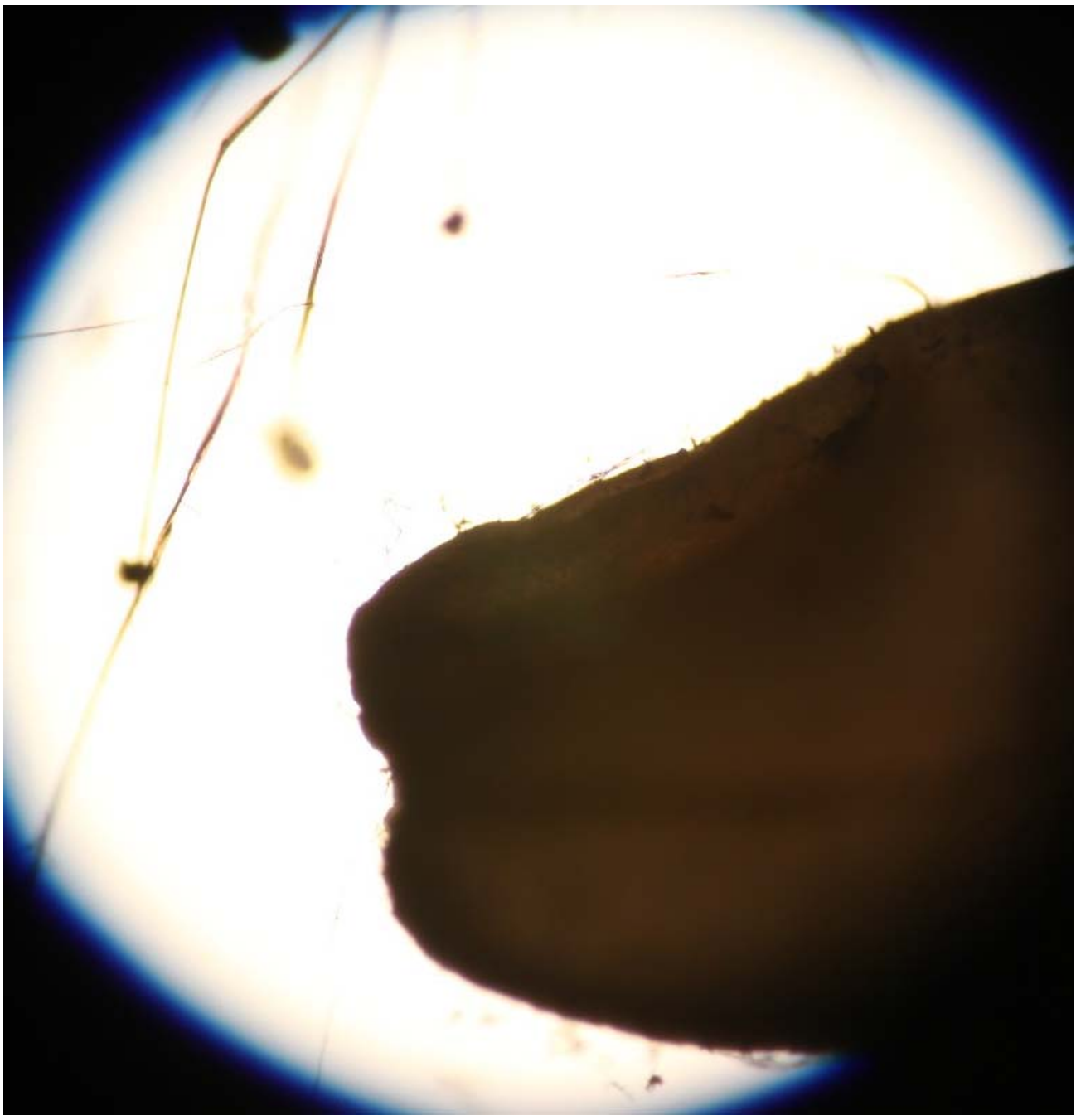
ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่เชื้อราขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และอุณหภูมิห้อง

Dose (kGy)	เวลาก่อนที่จะเริ่มเกิดเชื้อรา (วัน)			
	0.5% (w/v)	1% (w/v)	2% (w/v)	5% (w/v)
Control (no chitosan)	22			
0	22.0	22.0	24.0	27.0
10	22.0	22.0	24.0	32.7
30	22.0	22.0	24.0	27.3
50	22.0	22.0	26.3	32.0
70	22.0	22.0	23.3	32.3
90	22.0	22.7	24.3	32.7

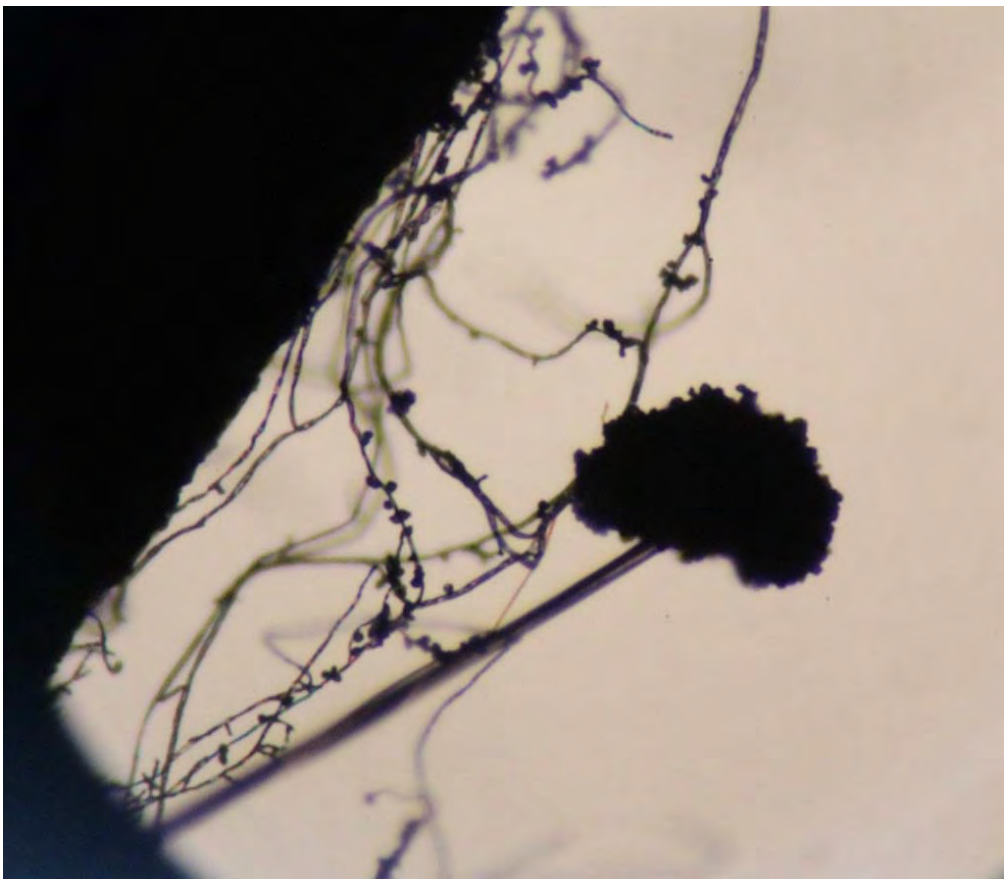


รูปที่ 18 กราฟที่ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2

รูปที่ 19 แสดงเชื้อราที่ขึ้นบนข้าวกล้องโดยการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง โดยรูปที่ a – k แสดงราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน ส่วนรูปที่ l – v แสดงราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน โดยรูปทั้ง 2 ชุดนี้ทำการเร่งการขึ้นของเชื้อราโดยพรมน้ำไปบนเมล็ดข้าวที่วางในภาชนะแก้วและปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและถ่ายรูป 7 วันหลังจากนั้น ซึ่งผลที่ได้คือข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานเชื้อราเจริญไวกว่ามากและมีปริมาณเชื้อรามากกว่ามาก

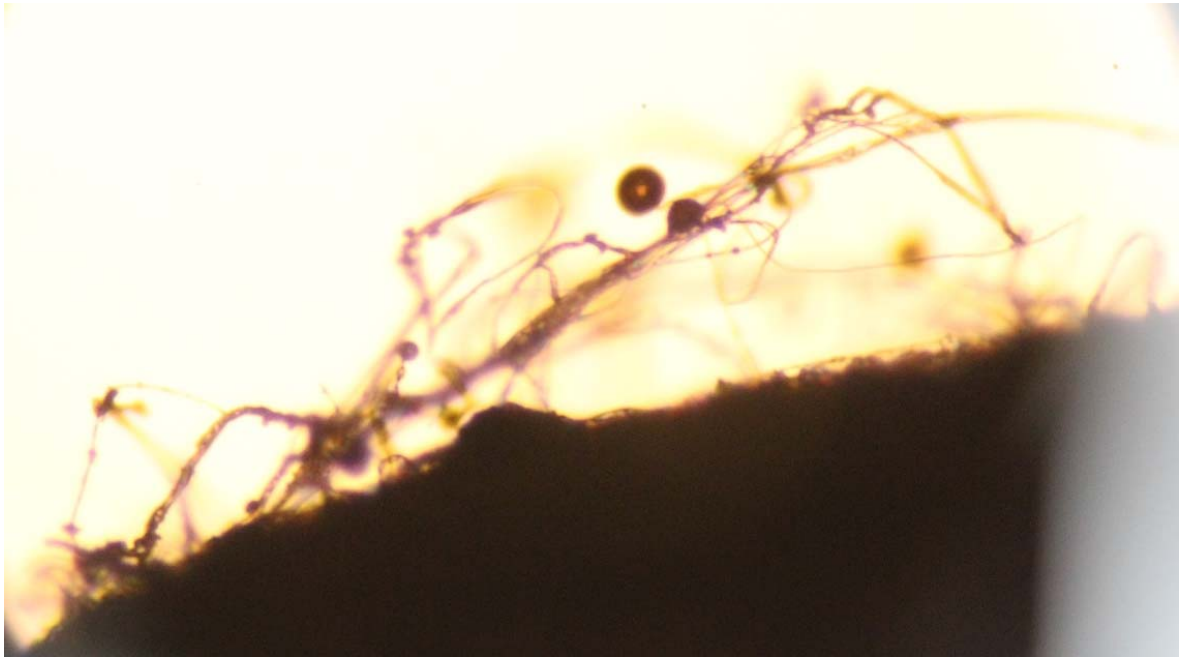


(a) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน

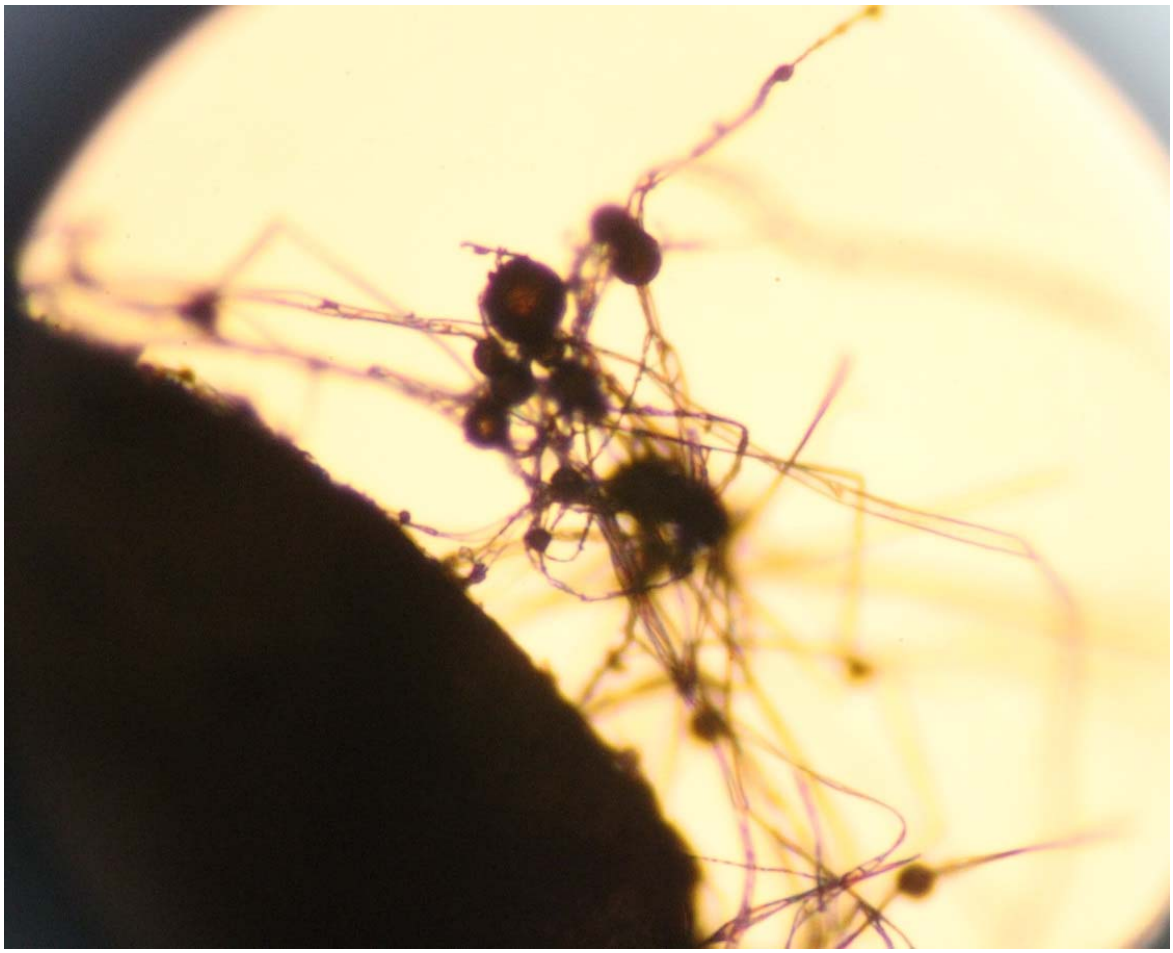


(b) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน

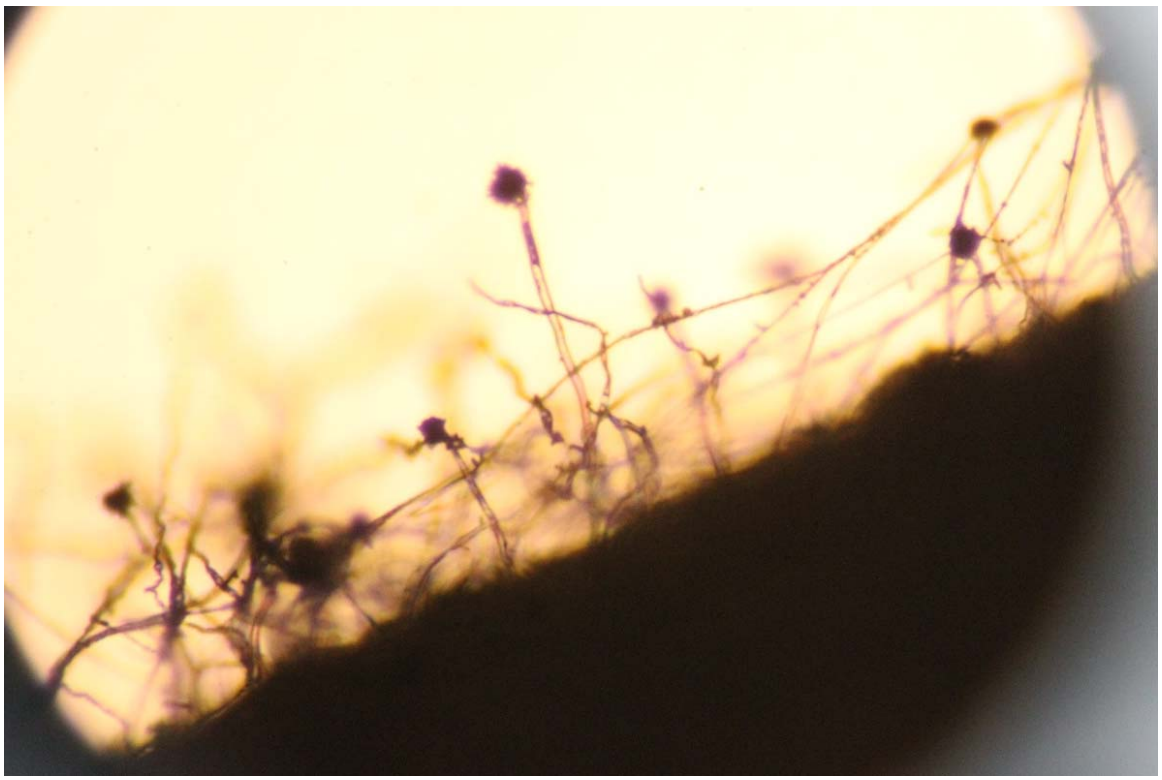
(c) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน



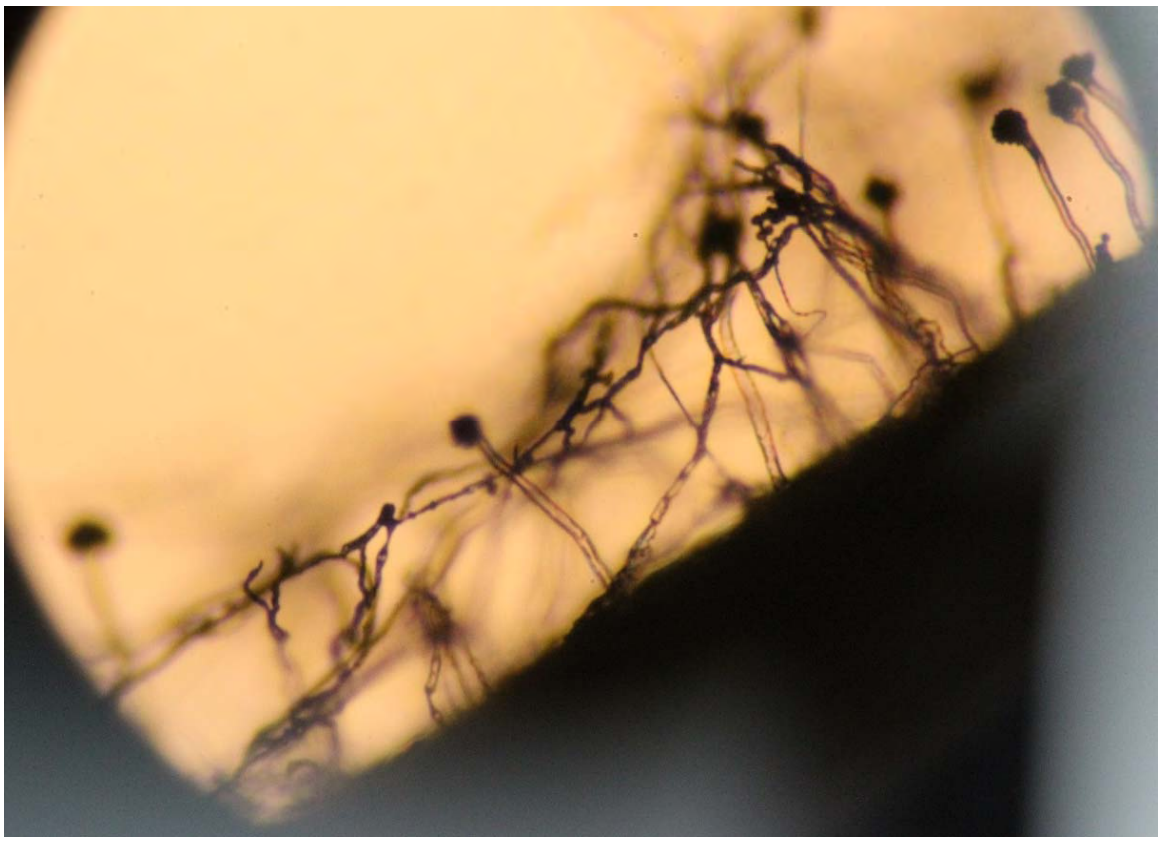
(d) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน**



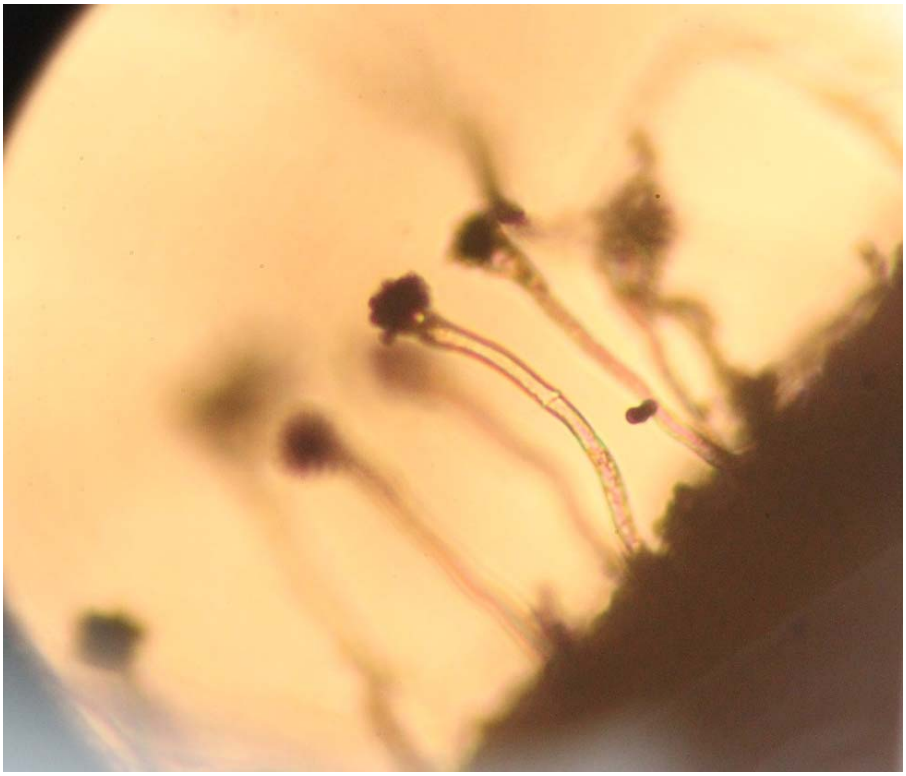
(e) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน**



(f) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน

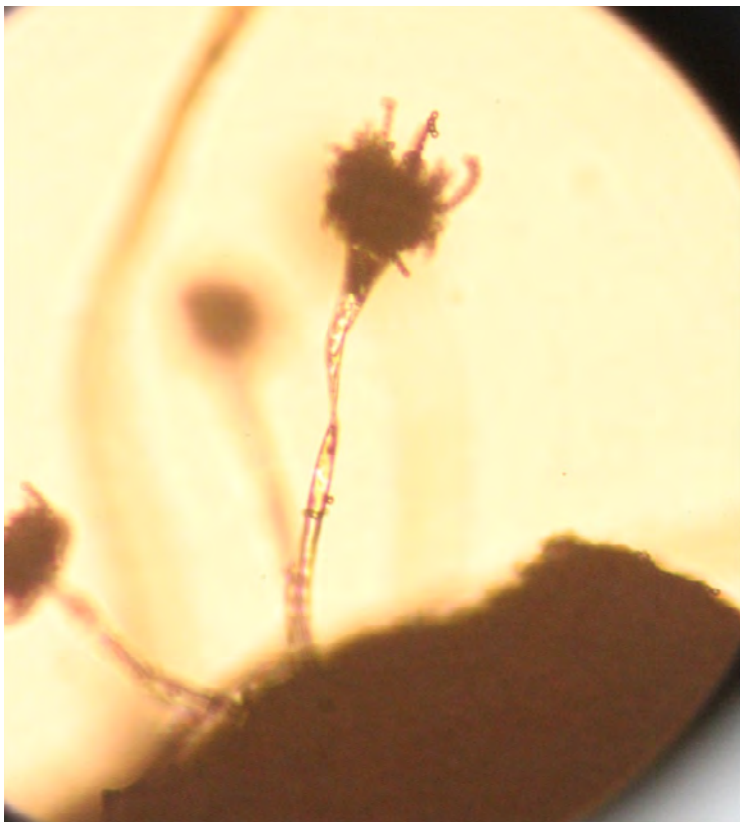


(g) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน

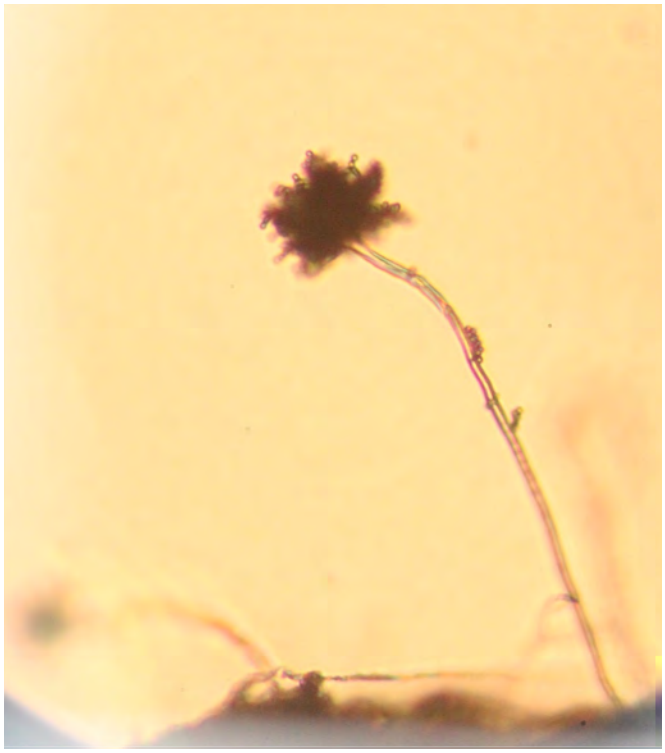


(h) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน**

(i) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน**

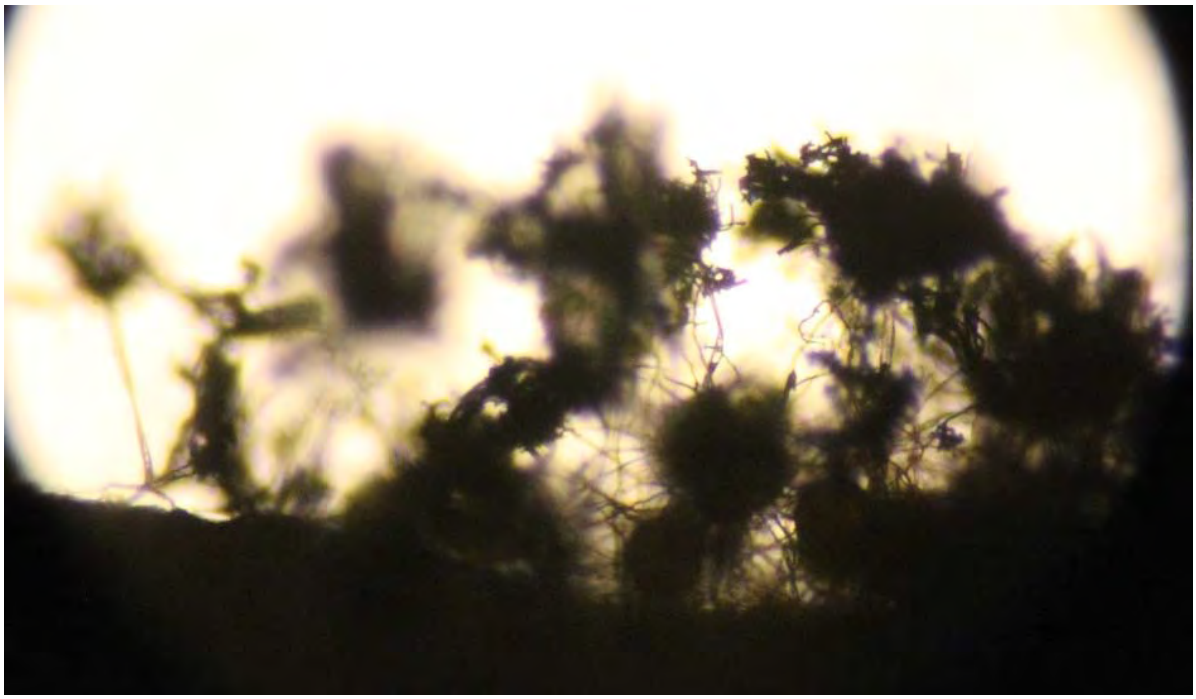


(j) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน



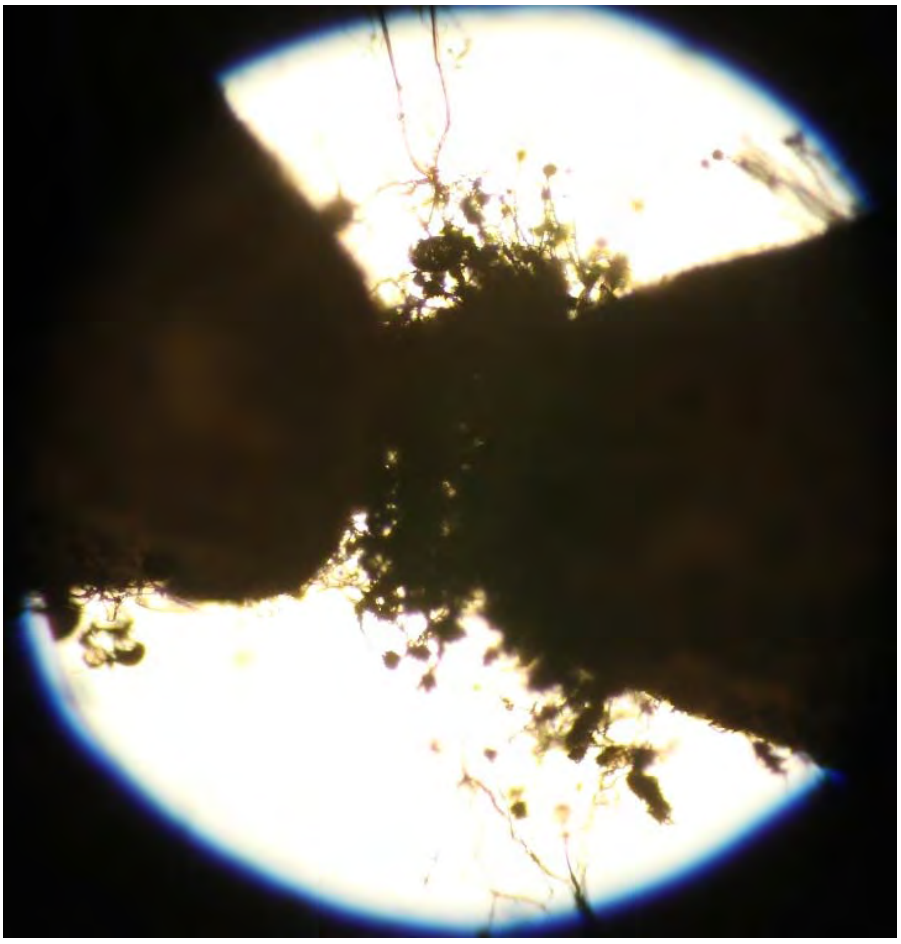
(k) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซาน

(l) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**

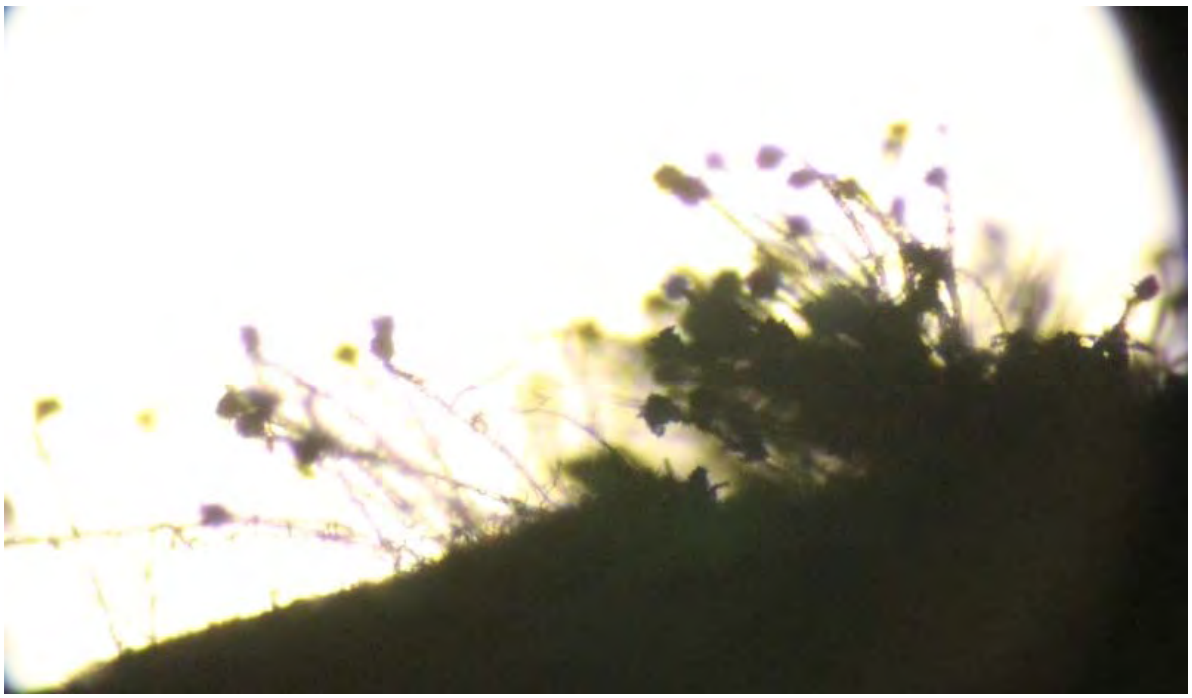


(m) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**

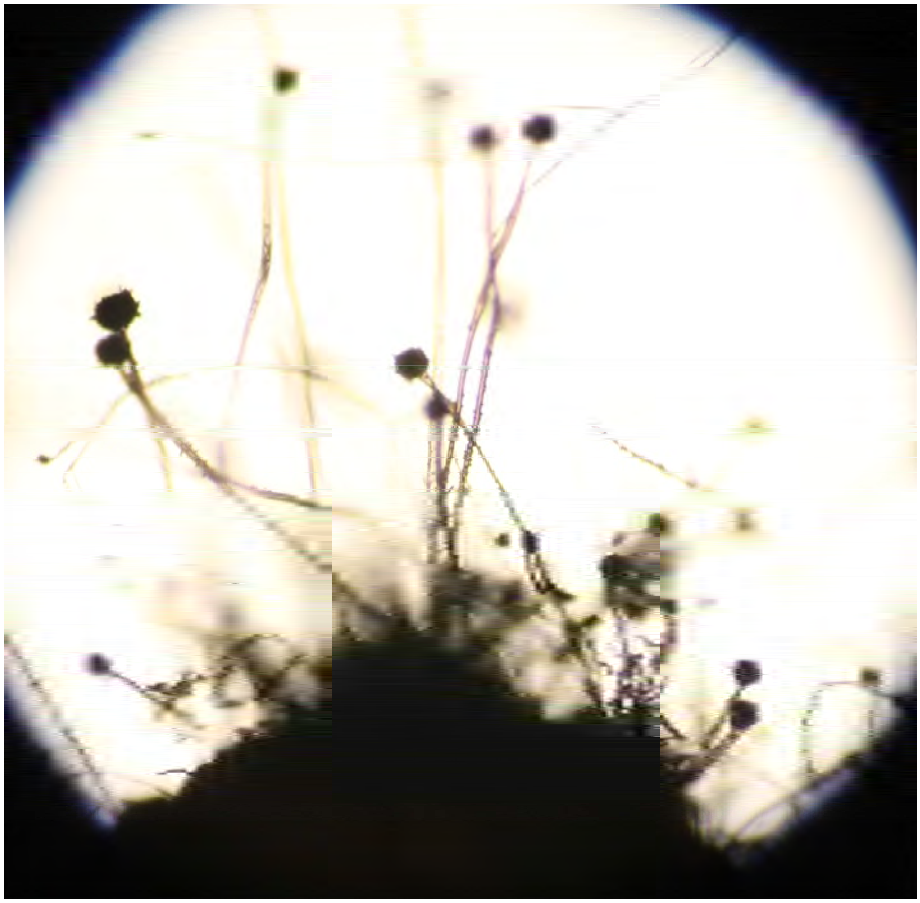
(n) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



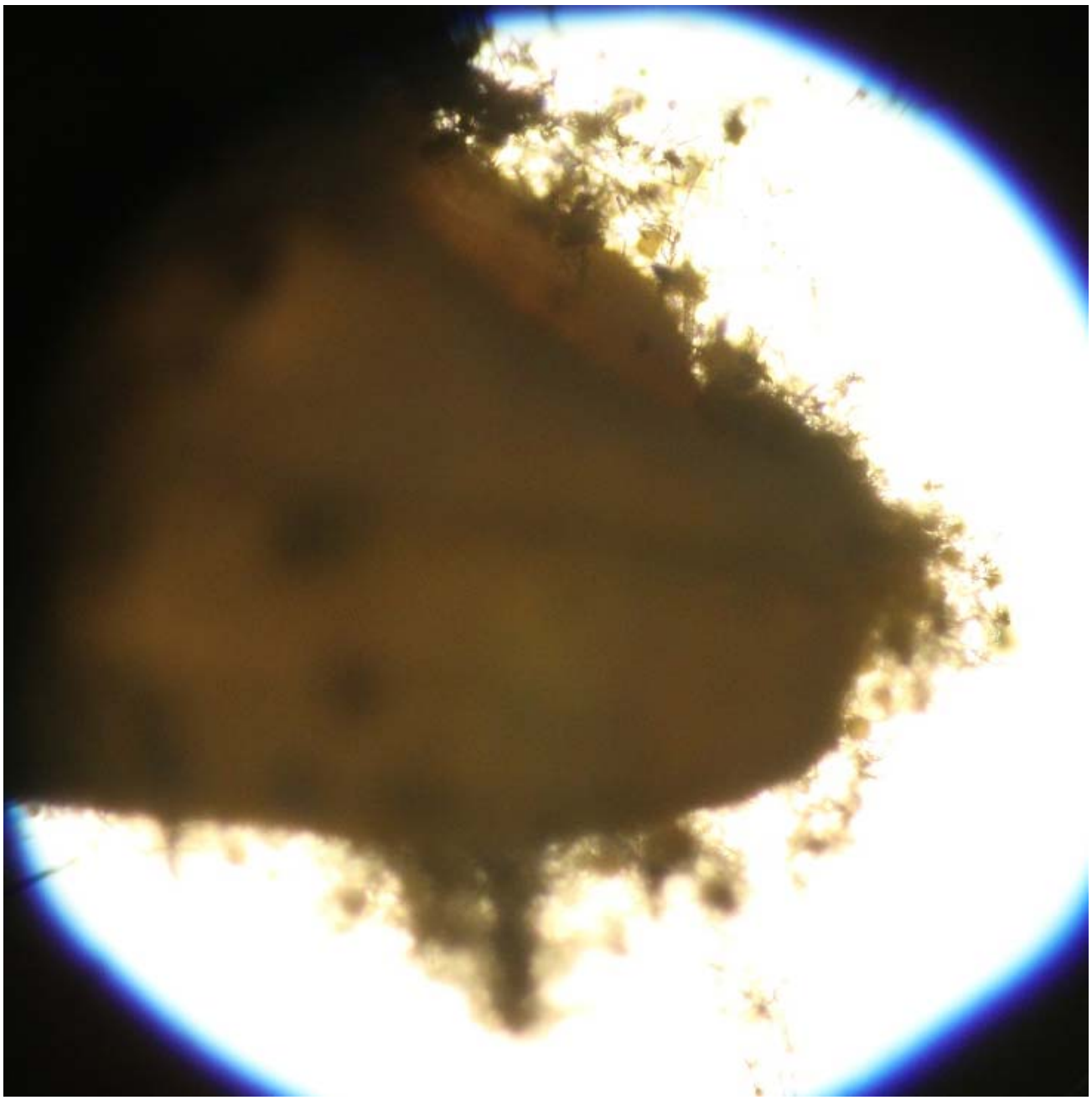
(o) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



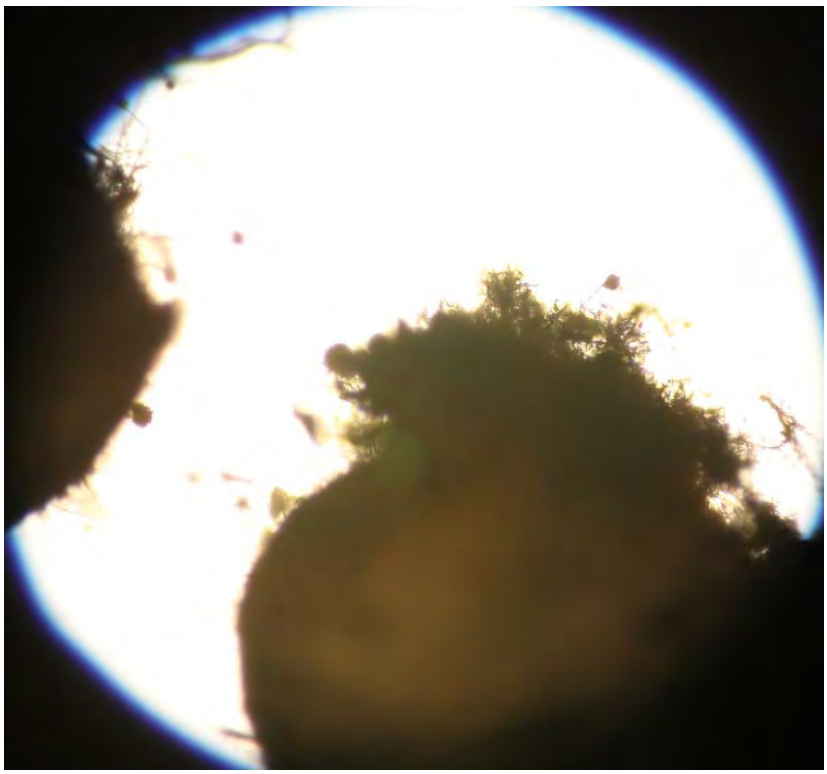
(p) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



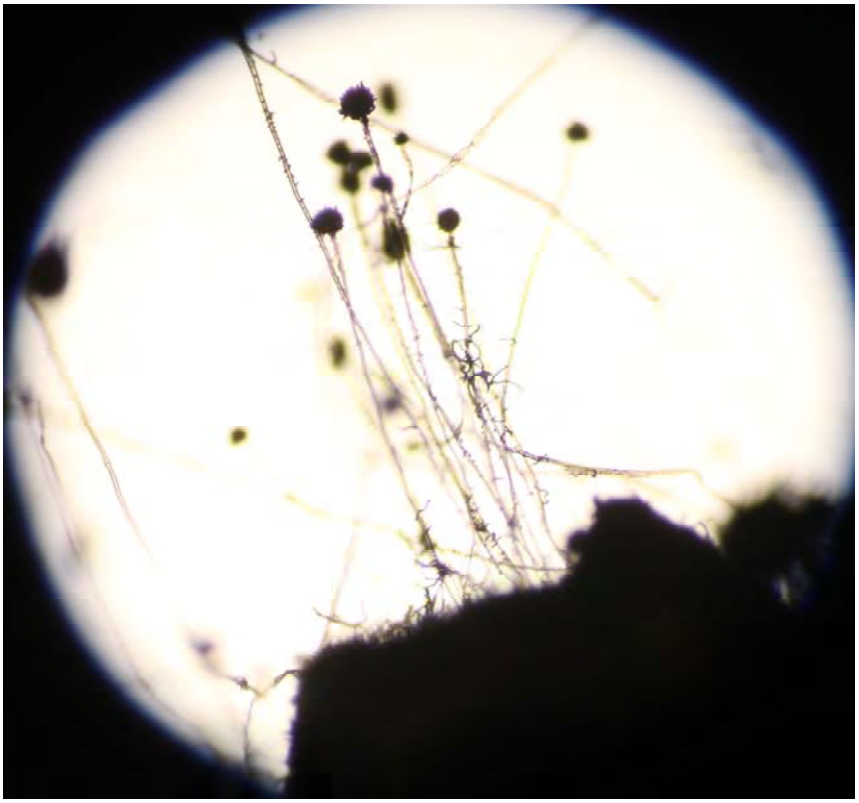
(q) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



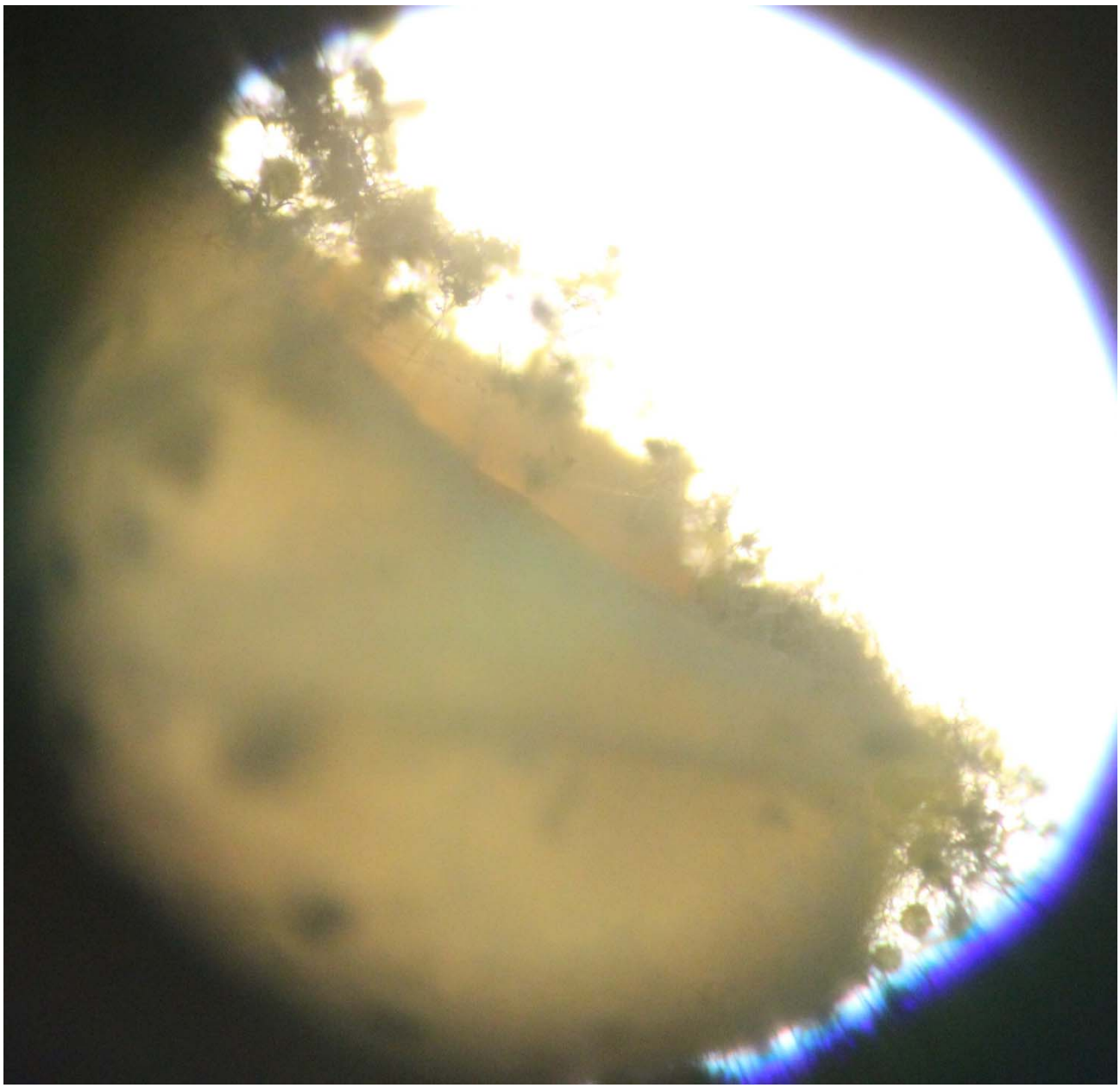
(r) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



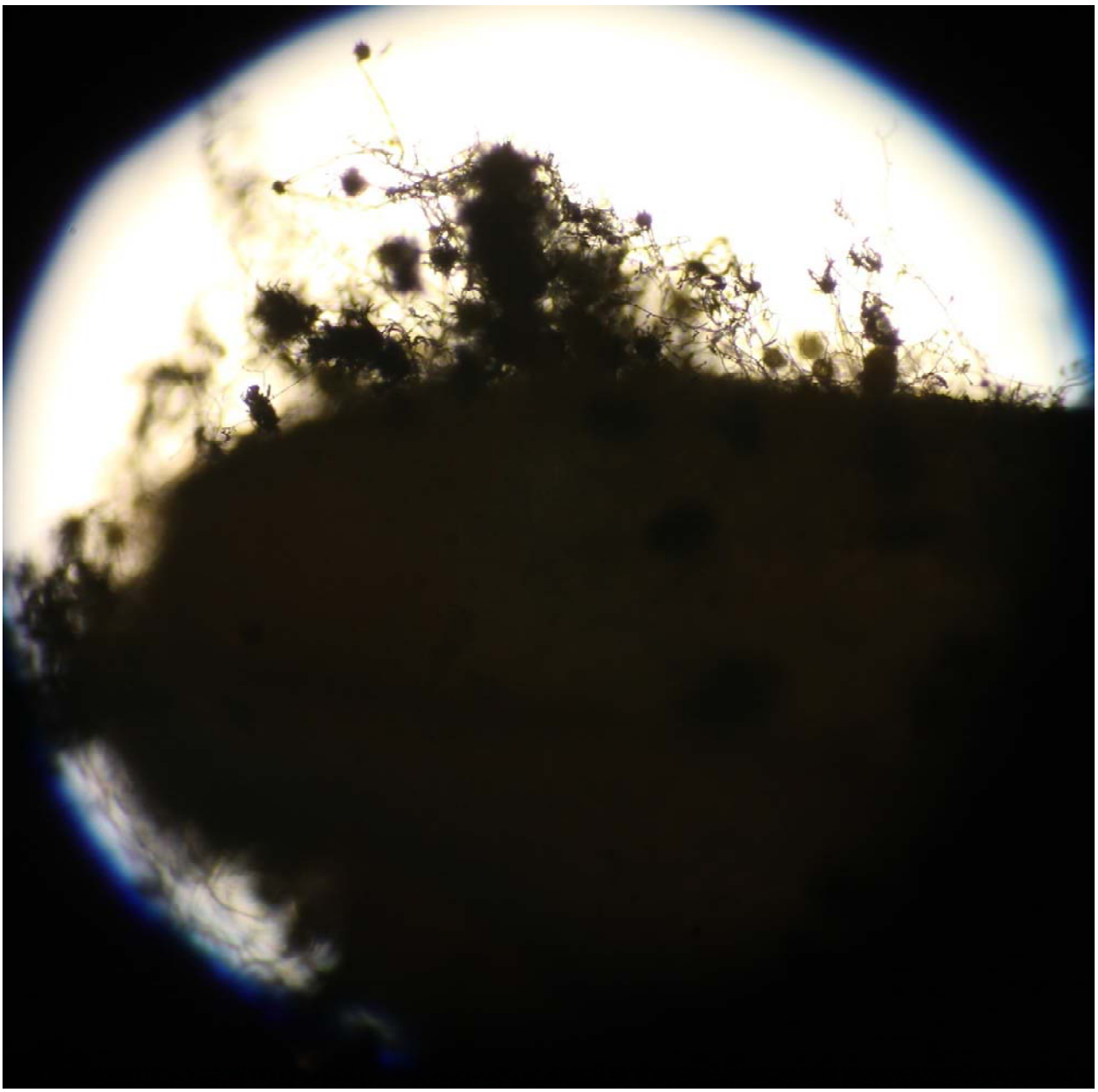
(s) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน



(t) ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน



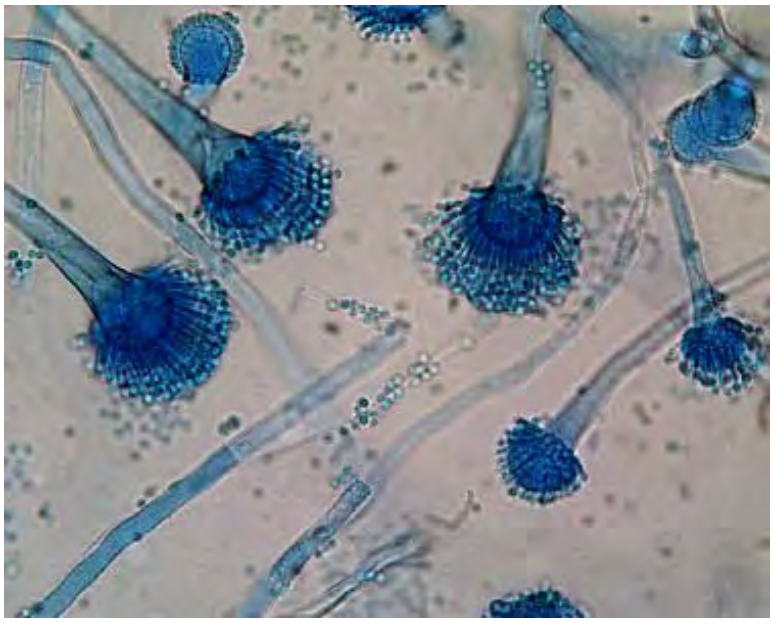
(u) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**



(v) **ราที่ขึ้นบนข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน**

(w) รา Aspergillus

ที่มา: http://www.emlab.com/s/sampling/env-report-09-2006.html



(x) รา Aspergillus

ที่มา: http://www.eapcri.eu

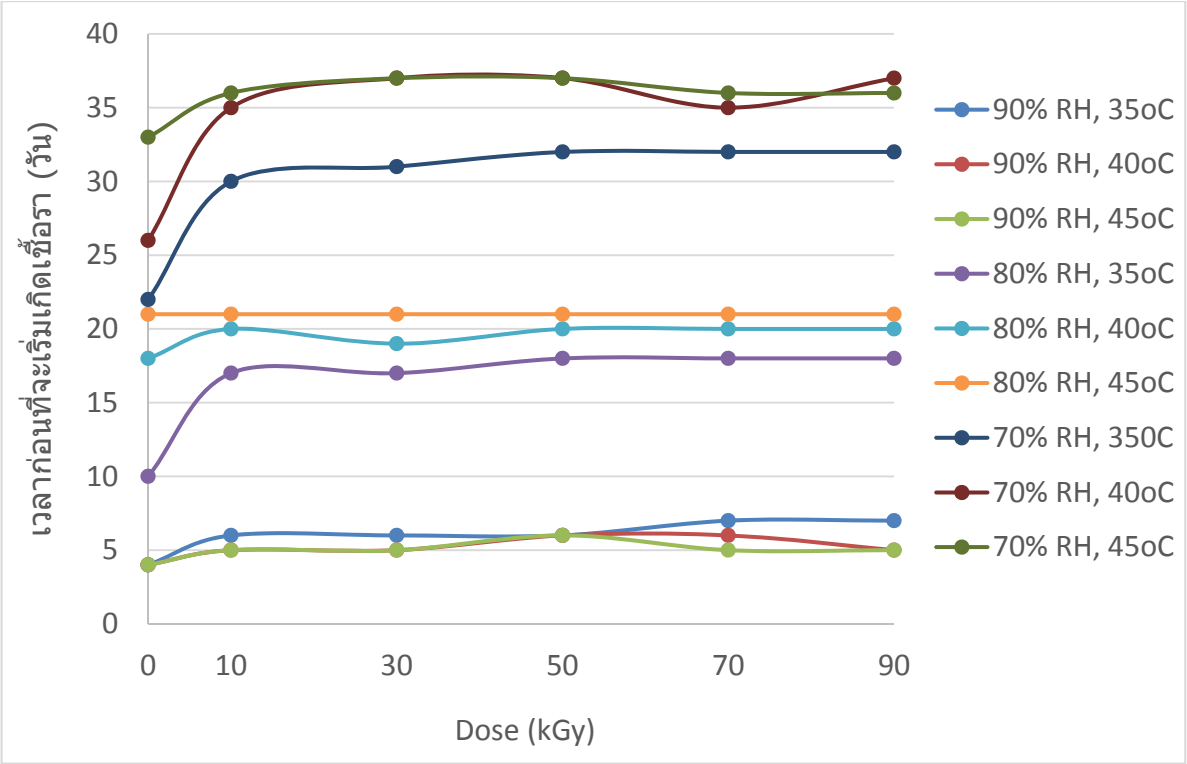
รูปที่ 19 เชื้อราที่ขึ้นบนข้าวกล้องโดยการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

การขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

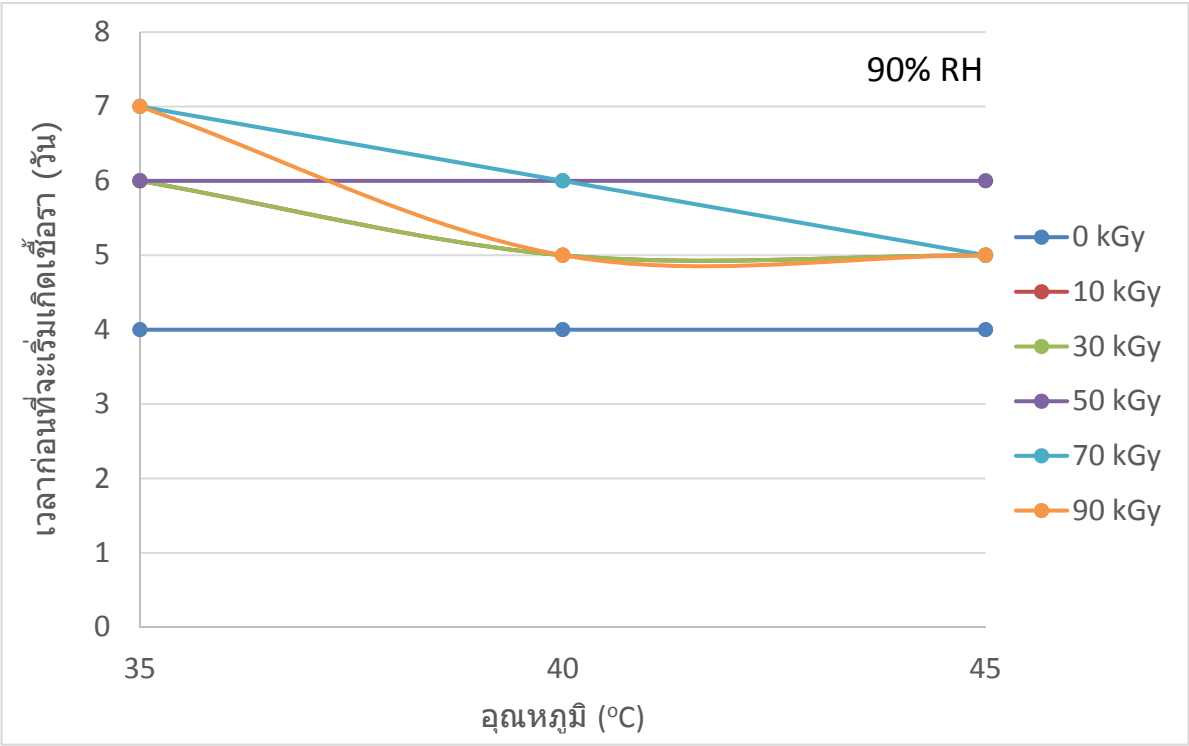
เนื่องจากค่าความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่ฉายไคโตซานที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ข้อสรุปจากขั้นตอนที่แล้วคือ 5% (w/v) และ 90 kGy แต่เพื่อให้การทดลองครบถ้วนยิ่งขึ้น ได้ใช้ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 5% (w/v) และใช้ไคโตซานที่ทุกปริมาณการฉายรังสี โดยศึกษาการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องที่อุณหภูมิในช่วง 35 – 45°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 70 – 90% และได้ติดตามการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องทุกวัน (ยกเว้นวันเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์บางวัน) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3 รูปที่ 20 แสดงกราฟที่สร้างจากข้อมูลในตารางที่ 3 เพื่อให้สามารถเห็นแนวโน้มและผลของตัวแปรต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องเคลือบไคโตซานที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

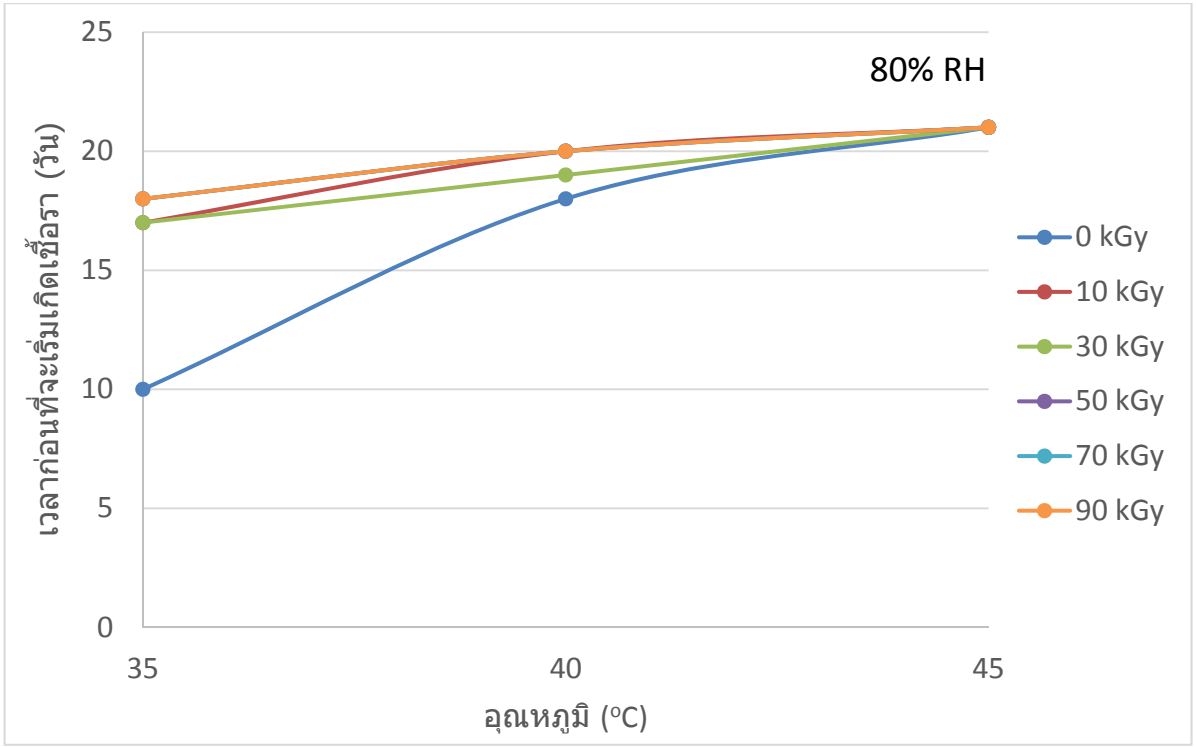
สภาวะ	เวลาก่อนที่จะเริ่มเกิดเชื้อรา (วัน)					
	0 kGy	10 kGy	30 kGy	50 kGy	70 kGy	90 kGy
90% RH, 35°C	4	6	6	6	7	7
90% RH, 40°C	4	5	5	6	6	5
90% RH, 45°C	4	5	5	6	5	5
80% RH, 35°C	10	17	17	18	18	18
80% RH, 40°C	18	20	19	20	20	20
80% RH, 45°C	21	21	21	21	21	21
70% RH, 35°C	22	30	31	32	32	32
70% RH, 40°C	26	35	37	37	35	37
70% RH, 45°C	33	36	37	37	36	36



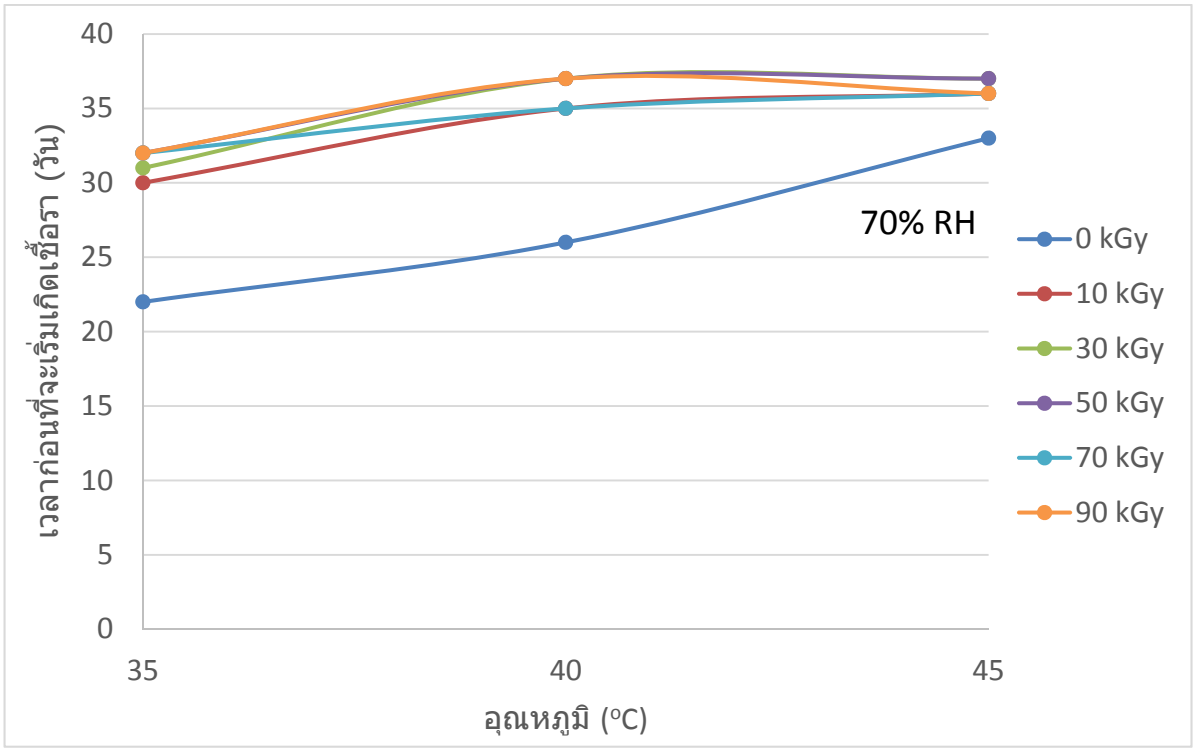
(a) กราฟข้อมูลทั้งหมดจากตารางที่ 3



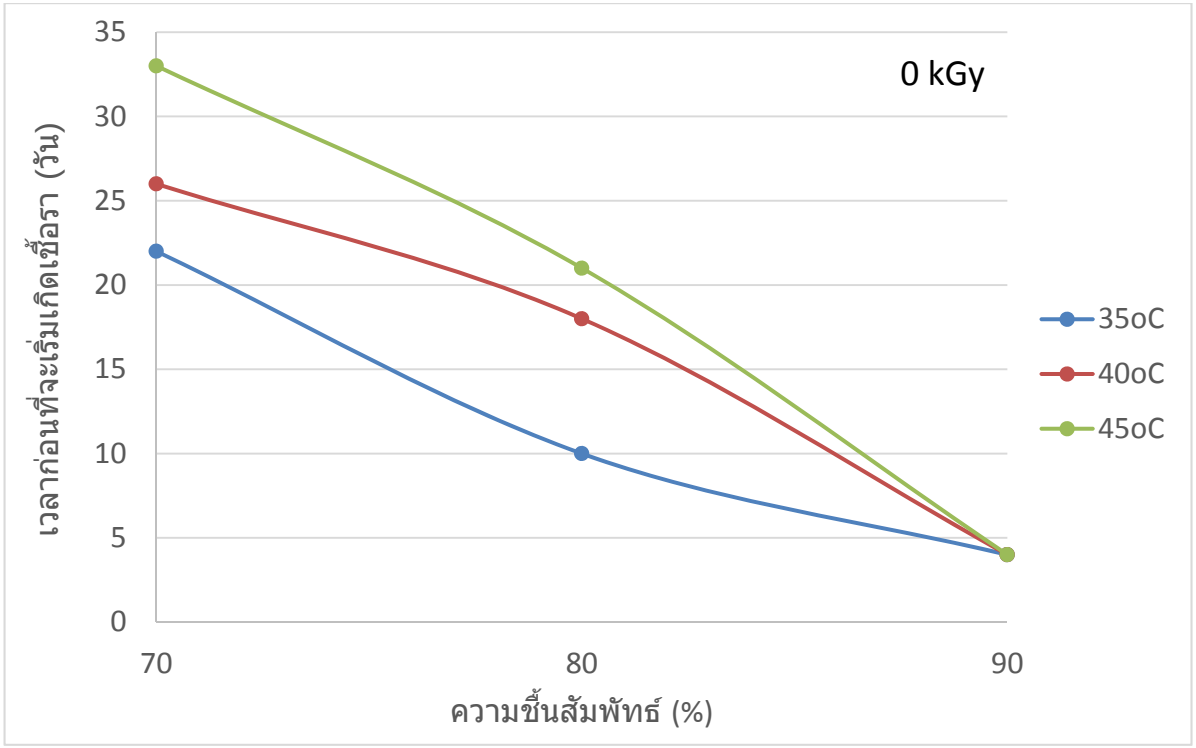
(b) ผลของอุณหภูมิและปริมาณรังสีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90%



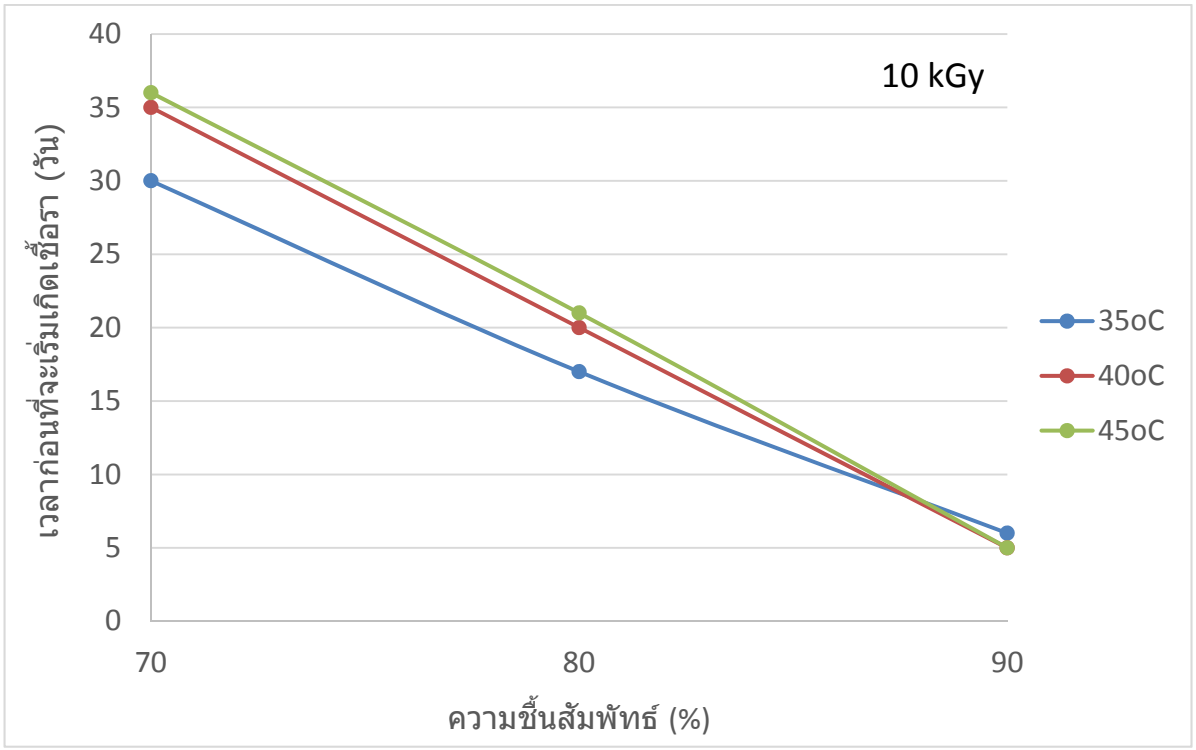
(c) ผลของอุณหภูมิและปริมาณรังสีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80%



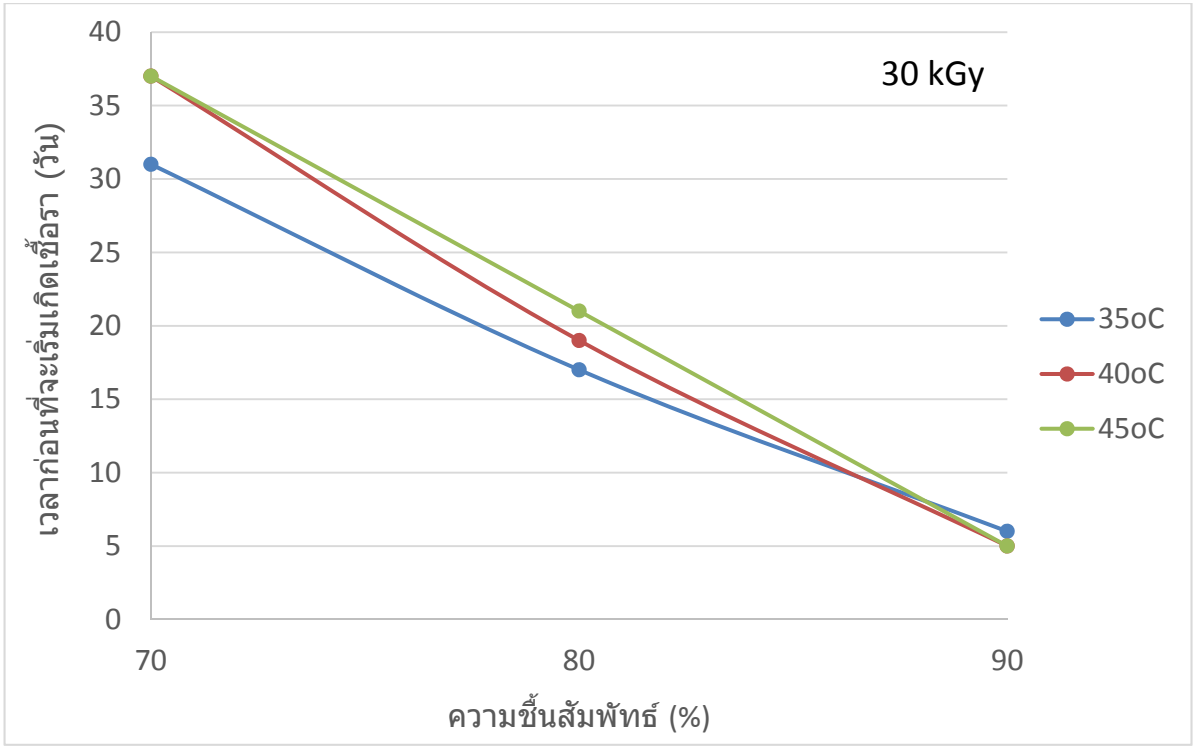
(d) ผลของอุณหภูมิและปริมาณรังสีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%



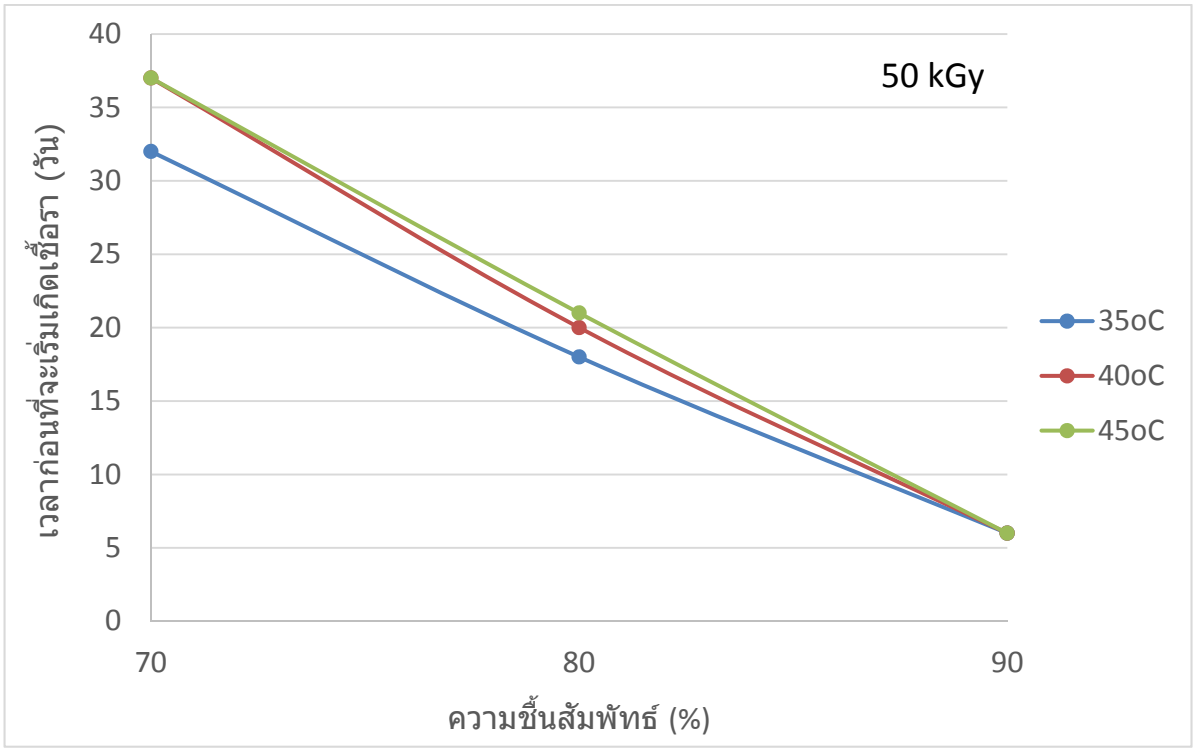
(e) ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี 0 kGy



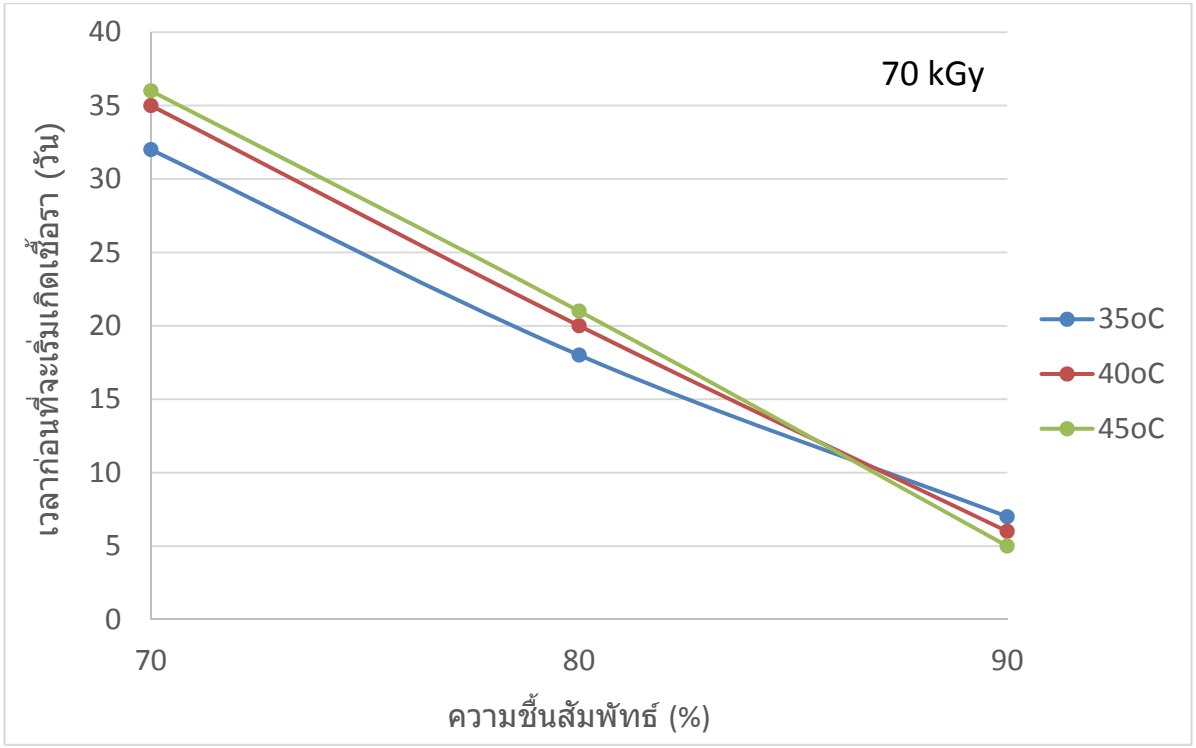
(f) ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี 10 kGy



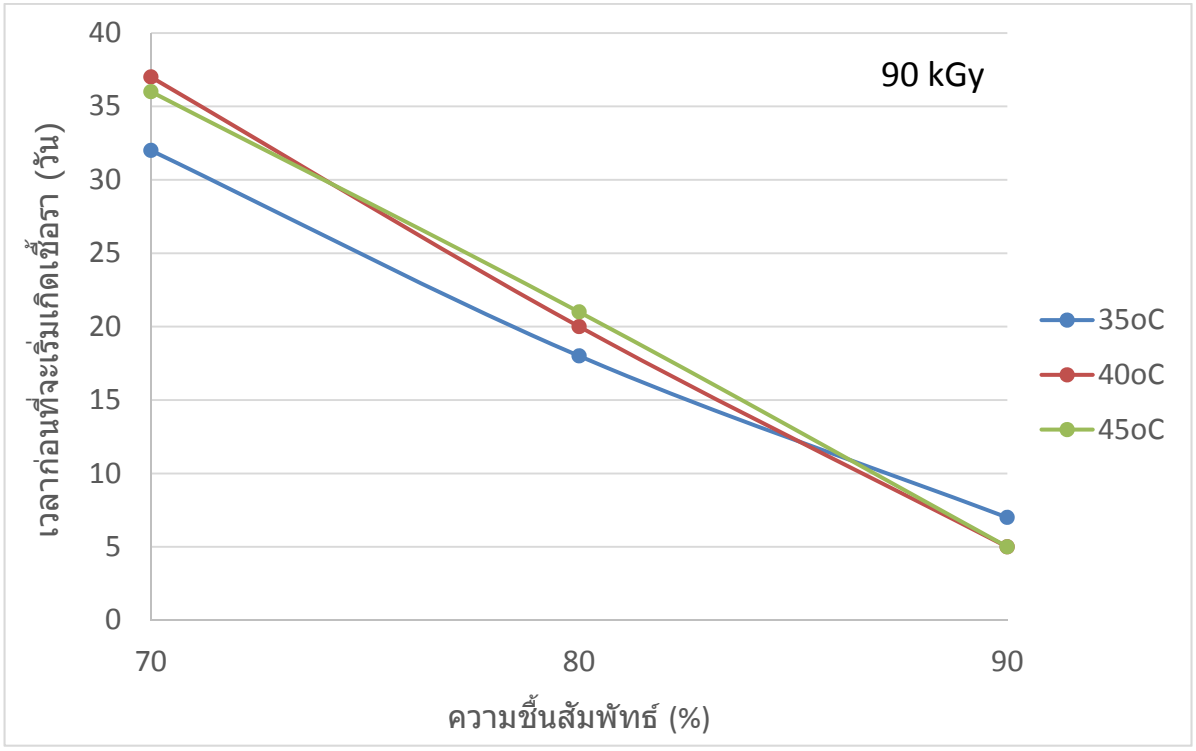
(g) **ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี** 30 kGy



(h) **ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี** 50 kGy



(i) ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี 70 kGy



(j) ผลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ปริมาณรังสี 90 kGy

รูปที่ 20 กราฟที่สร้างจากข้อมูลในตารางที่ 3

<u>การเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานและบรรจุในถุงปิดเพื่อจำลองการเก็บตามสภาวะปกติ</u>

การทดลองลำดับสุดท้ายเป็นการจำลองการเก็บตามสภาวะปกติของชาวบ้าน โดยเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 90 kGy โดยเมื่อเคลือบเสร็จและอบจนแห้งดีแล้วก็นำมาบรรจุในถุงพลาสติกใสในบรรยากาศปกติและปิดปากถุงไว้ (เหตุผลที่ไม่ได้บรรจุในสุญญากาศเนื่องจากเกรงว่าจะไม่ใช่การจำลองการเก็บตามสภาวะปกติของชาวบ้านที่ไม่ได้มีเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ) และแบ่งส่วนหนึ่งวางไว้ในภาชนะบรรจุด้วย โดยมีชุดควบคุมคือข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน และทำการวางทั้งหมดในห้องวิจัยตามปกติเพื่อจำลองสภาวะการเก็บตามปกติที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ตามปกติที่ไม่ได้ควบคุม โดยในแต่ละถุงบรรจุข้าวกล้องประมาณ 1 กิโลกรัม ผลที่ได้คือเมื่อเวลาผ่านไปถึง 4 เดือน ก็ยังไม่สามารถสังเกตเห็นเชื้อราขึ้นทั้งข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบและที่เคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 21

(a) **ข้าวกล้องที่แบ่งวางในภาชนะบรรจุ ด้านขวาเคลือบด้วยไคโตซาน**

(b) **ข้าวกล้องที่แบ่งวางในภาชนะบรรจุ ด้านขวาเคลือบด้วยไคโตซาน**

(c) ข้าวกล้องที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ถุงด้านล่างเคลือบด้วยไคโตซาน

(d) **ข้าวกล้องที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ถุงด้านหน้าเคลือบด้วยไคโตซาน**

(e) **ข้าวกล้องที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ถุงด้านขวาเคลือบด้วยไคโตซาน**

รูปที่ 21 **การทดลองเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น** 5% (w/v) **และที่ปริมาณรังสี** 90 kGy **และบรรจุในถุงปิดเพื่อจำลองสภาวะการเก็บตามปกติ**

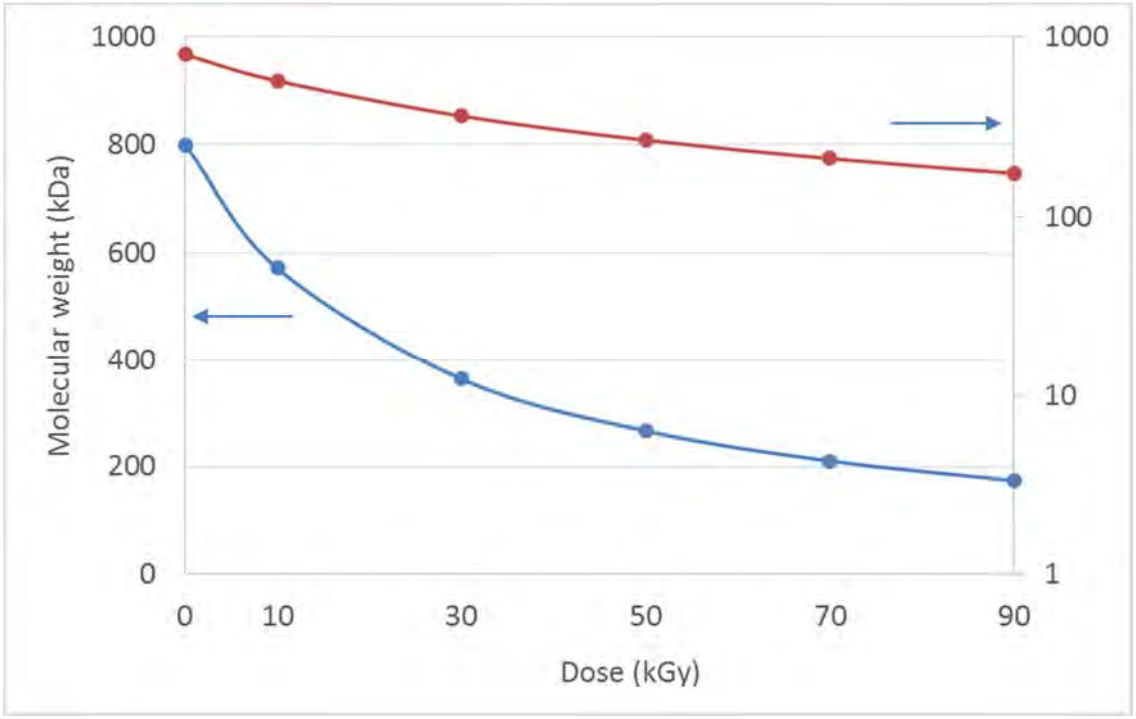
อภิปรายผลการทดลอง

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา

จาก Spectrum ที่ได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ไคโตซานด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ในรูปที่ 5 สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างหลักของไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาทุกๆ ปริมาณรังสีไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสีแต่อย่างใด โดยยังพบหมู่หลักๆ ของโครงสร้างไคโตซานที่เลขคลื่น (Wave number) 894 (หมู่วงแหวนไพราโนส), 1095 (กลูโคไซด์), 1421 (อะเซตาไมด์) และ 3448 (หมู่ไฮดรอกซี) cm^{-1} ในทุกปริมาณการฉายรังสี แต่สำหรับที่เลขคลื่น 1238 (อะมิโน) และ 2991 (คาร์บอนิล) cm^{-1} ซึ่งควรจะพบเช่นกันกลับไม่พบ อย่างไรก็ตาม Spectrum ของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสีก็ไม่พบ 2 หมู่นี้เช่นกันและพบ 4 หมู่ที่เหลือเช่นเดียวกับ Spectrum ของไคโตซานที่ฉายรังสี ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าไคโตซานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักหลังการฉายรังสีแกมมาในทุกๆ ปริมาณรังสีที่ใช้ในการทดลองนี้

การหาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

ตามทฤษฎีแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานควรจะลดลงตามปริมาณรังสีที่ฉายเพิ่มขึ้นในลักษณะดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 22 (ทั้งการพลอตแบบ Linear scale และแบบ Log scale)



รูปที่ 22 ตัวอย่างตามทฤษฎีน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ลดลงตามปริมาณรังสีที่ฉาย

ซึ่งผลที่ได้จากการวัดครั้งที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6 น้ำหนักโมเลกุลได้ลดลงเมื่อฉายรังสีที่ 10 kGy แต่หลังจากนั้นกลับเพิ่มขึ้นถึง 3 Order of magnitude และลดลงเมื่อปริมาณรังสีที่ฉายเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรจะเป็นไปได้เนื่องจากไคโตซานได้รับปริมาณรังสีที่สูงขึ้นจริงและไคโตซาน/สารละลายไคโตซานก็มีสีเข้มขึ้นด้วย ส่วนผลการวัดครั้งที่ 2 น้ำหนักโมเลกุลได้ลดลงตามปริมาณรังสีที่ฉายเพิ่มขึ้นจนถึง 50 kGy แต่เมื่อปริมาณรังสีที่ฉายเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ น้ำหนักโมเลกุลที่วัดได้กลับมีค่าสูงขึ้น ซึ่งไม่ควรจะเป็นไปได้เช่นกันเนื่องจากได้รับปริมาณรังสีที่สูงขึ้นจริงและไคโตซานก็มีสีเข้มมากขึ้นด้วย (หากผลการวัดครั้งที่ 2 ที่ 70 kGy นี้ได้ค่าในช่วง 10^5 g/mol ก็จะเป็นไปตามแนวโน้มที่ควรจะเป็น) ดังนั้นผลการวัดทั้ง 2 ครั้งนี้จึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาข้อสรุปเรื่องน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างๆ ได้

อย่างไรก็ตาม จากข้อสรุปว่าไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 90 kGy และที่ความเข้มข้น 5% (w/v) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานที่สุดนั้น จากข้อมูลในรูปที่ 6 ค่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 8.10×10^4 ถึง 6.34×10^5 g/mol (หากผลการวัดเหล่านี้ถูกต้อง) ซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่าค่าที่วิเคราะห์ได้นี้มีความแม่นยำระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าภายในขอบเขตการทดลองของงานวิจัยนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานในช่วงนี้เหมาะสมที่สุดในการนำมาเคลือบข้าวกล้อง

<u>การขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้อง</u>

จากการวิเคราะห์เชื้อราที่ขึ้นโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงดังแสดงในรูปที่ 19 สามารถสรุปได้ว่าเป็นราประเภท Aspergillus เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่มีก้านที่ยาวและมีลักษณะเป็นช่อสปอร์บริเวณปลายก้าน รวมถึงเม็ดสปอร์ก็มีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งผลนี้ก็เป็นไปตามที่ได้คาดหมายไว้

จากข้อมูลในตารางที่ 2 และในรูปที่ 18 ซึ่งทำการเคลือบไคโตซานบนข้าวกล้องที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) โดยแต่ละความเข้มข้นใช้ไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 0 (ไม่ฉายรังสี), 10, 30, 50, 70 และ 90 kGy และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% และอุณหภูมิห้องในช่วง 25 – 30°C สามารถวิเคราะห์ประเด็นที่สำคัญได้หลายประเด็นดังนี้

1. ข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน เชื้อราจะขึ้นใน 22 วัน ซึ่งข้าวกล้องที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1% (w/v) สำหรับทุกๆ ปริมาณการฉายรังสี เชื้อราก็ขึ้นใน 22 วันเช่นกัน ดังนั้นการเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) และต่ำกว่า จะไม่มีผลอย่างไรในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้อง ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำระดับนี้ มีปริมาณไคโต

ซานน้อยเกินไปที่จะสามารถป้องกันการขึ้นของเชื้อราได้ เชื้อราจึงขึ้นได้ง่าย นอกจากนี้ผลในส่วนนี้ยังช่วยยืนยันด้วยว่าฟิล์มที่เกิดจากไคโตซานปริมาณเล็กน้อยและเกลือของโซเดียมอะซีเตท ไม่ได้ช่วยป้องกันเชื้อราแต่อย่างใด ดังนั้นผลของการป้องกันเชื้อราอย่างมีประสิทธิภาพจะมาจากไคโตซานที่เคลือบเกาะอยู่ในปริมาณมากเท่านั้น

2. เมื่อความเข้มข้นไคโตซานเพิ่มขึ้นเป็น 2 และ 5% (w/v) จะเห็นได้ว่าดีกรีการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเนื่องจากมีไคโตซานปริมาณเพียงพอที่จะช่วยยับยั้งการขึ้นของเชื้อรา โดยที่ความเข้มข้น 2% (w/v) จะเริ่มสังเกตเห็นเชื้อราโดยเฉลี่ยที่ประมาณ 24 วัน ส่วนผลของปริมาณการฉายรังสีที่ความเข้มข้นนี้ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ยกเว้นที่ปริมาณรังสี 50 kGy ซึ่งจะสามารถป้องกันเชื้อราได้นานถึง 26 วัน ส่วนที่ความเข้มข้น 5% (w/v) ดีกรีการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราเพิ่มขึ้นมาก โดยสามารถป้องกันเชื้อราได้นานถึงประมาณ 33 วัน หรือเพิ่มขึ้นจากการที่ไม่ได้เคลือบถึง 50% ส่วนผลของปริมาณการฉายรังสีที่ความเข้มข้นนี้ ที่ 10, 50, 70 และ 90 kGy สามารถป้องกันเชื้อราได้นานถึง 32 – 33 วัน ส่วนที่ 0 และ 30 kGy สามารถป้องกันเชื้อราได้ประมาณ 27 วัน (แต่ที่ปริมาณรังสีนี้ค่า Standard deviation สูงมาก)

3. สำหรับทุกๆ ความเข้มข้นของไคโตซานที่ทำการศึกษา ความสามารถในการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราจะไม่แปรผันตรง (หรือแปรผกผัน) กับปริมาณรังสีที่ฉายแต่อย่างใด ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถป้องกันเชื้อราได้ดีกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (หรือในทางกลับกัน) โดยผลดีที่ได้จากการฉายรังสีคือทำให้สารละลายมี

ความหนืดลดลง ส่งผลให้สามารถผสมไคโตซานในสารละลายได้มากยิ่งขึ้นและสามารถทำการเคลือบได้ง่ายขึ้น รวมถึงจะไม่ทำให้ข้าวกล้องเกาะกันเป็นก้อนแข็ง

4. ดังที่ได้วิเคราะห์ในเนื้อหาแล้วว่าที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 10 และ 90 kGy ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานที่สุด และเนื่องจากที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณรังสี 10 kGy สารละลายไคโตซานมีความหนืดค่อนข้างสูง ทำให้การเคลือบข้าวกล้องค่อนข้างลำบาก จึงได้เลือกปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุดที่ 90 kGy เนื่องจากสารละลายไคโตซานมีความหนืดต่ำที่สุดและสามารถฉีดพ่นเพื่อเคลือบบนข้าวกล้องได้ง่ายที่สุด ซึ่งการเลือกที่ 90 kGy นี้คณะผู้วิจัยให้ความสำคัญกับความง่ายในการนำไปใช้จริงด้วย เนื่องจากหากใช้งานยากก็อาจไม่มีผู้ใดนำไปใช้เลย

จากข้อมูลในตารางที่ 3 และในรูปที่ 20 ซึ่งทำการเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และใช้ไคโตซานที่ทุกปริมาณการฉายรังสี และนำไปศึกษาการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องที่อุณหภูมิในช่วง 35 – 45°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 70 – 90% สามารถวิเคราะห์ประเด็นที่สำคัญได้หลายประเด็นดังนี้

1. ที่อุณหภูมิในช่วง 35 – 45°C ที่ทำการทดลอง เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เชื้อราจะขึ้นได้เร็ว เช่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เชื้อราจะขึ้นภายใน 4 – 7 วันเท่านั้น ส่วนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เชื้อราจะขึ้นโดยเฉลี่ยภายในประมาณ 17 – 21 วัน และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เชื้อราจะขึ้นโดยเฉลี่ยภายในประมาณ 30 – 37 วัน ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ชื้น ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะส่งผลต่อการขึ้นของเชื้อราเป็นอย่างมาก

2. ที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน ผลของอุณหภูมิเป็นดังนี้ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเชื้อราจะเกิดได้เร็วขึ้น (ยกเว้นที่ปริมาณรังสี 0 และ 50 kGy) ส่วนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และ 70% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เชื้อราจะเกิดได้ช้าลง ซึ่งผลที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และ 70% นี้ เป็นไปตามที่คาดคิดไว้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ส่วนผลที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ซึ่งเชื้อราเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้น อาจเนื่องจากเพราะเชื้อราเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและในช่วงแคบๆ ภายใน 4 – 7 วันเท่านั้น จึงอาจสังเกตเห็นผลของอุณหภูมิได้ไม่ชัดเจนนัก นอกจากนี้จากการค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าเชื้อรา Aspergillus ในทุก Species สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 30 - 35ºC หากเก็บไว้ในอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราลดลง [15]

3. ที่ปริมาณรังสีเท่ากัน ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นดังนี้ สำหรับทุกๆ ปริมาณรังสีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และ 80% ในภาพรวมแล้วที่อุณหภูมิสูงกว่าการขึ้นของเชื้อราจะเกิดช้ากว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ไม่ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิเท่าใด เชื้อราจะเกิดขึ้นภายในเวลาที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในภาพรวมแล้ว ปริมาณการฉายรังสีไคโตซานที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อดีกรีการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราอย่างมีนัยยะสำคัญ (ยกเว้นที่ 0 kGy ซึ่งเชื้อราจะขึ้นไวกว่าที่ปริมาณรังสีอื่นๆ ในเกือบทุกสภาวะการทดลอง) โดยความชื้นสัมพัทธ์จะส่งผลมากที่สุด

นอกจากนี้ข้อมูลในตารางที่ 2 ซึ่งทำการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และที่อุณหภูมิห้อง (25 – 30°C) เชื้อราจะขึ้นภายในเวลาประมาณ 27 – 33 วัน ส่วนข้อมูลในตารางที่ 3 ในสภาวะการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และอุณหภูมิ 35°C เชื้อรากลับขึ้นเร็วกว่าที่ 17 – 18 วัน ทั้งนี้เนื่องจาก 2 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงประมาณ 80% และอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง จะทำให้เกิดหยดน้ำเกาะด้านในของตู้อะคริลิค ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะมีหยดน้ำหยดลงมาจากผนังอะคริลิคด้านบนลงบนภาชนะบรรจุข้าวกล้อง ส่งผลให้เชื้อราเกิดขึ้นได้ไวยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากการทดลองในตารางที่ 3 ดำเนินการต่อจากการทดลองในตารางที่ 2 ดังนั้นจะมีเชื้อรา จุลินทรีย์และสปอร์รามากมายสะสมอยู่ในตู้อะคริลิคและเอื้อต่อการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องที่นำมาทดลองต่อ จึงเป็นเหตุผลที่เมื่อทำการทดลองต่อ เชื้อราจึงเกิดขึ้นได้ไวกว่า ดังนั้นการทดลองในตารางที่ 3 นี้สามารถตีความได้ด้วยว่าเป็นการจำลองการเก็บข้าวกล้องเคลือบไคโตซานในสภาวะที่ไม่สะอาดเป็นอย่างมาก (เช่นในห้องครัวหรือโกดังเก็บข้าวที่ไม่สะอาด มีเชื้อราและจุลินทรีย์รอบๆ มาก) ดังนั้นไคโตซานจะไม่สามารถช่วยป้องกันการขึ้นของเชื้อราได้เมื่อเทียบกับการจัดเก็บในสภาวะแวดล้อมที่สะอาด

จากผลการทดลองลำดับสุดท้าย ซึ่งเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 90 kGy และนำมาใส่ถุงพลาสติกใสและปิดไว้เพื่อจำลองการเก็บตามสภาวะปกติของชาวบ้าน และแบ่งส่วนหนึ่งวางในภาชนะบรรจุด้วย โดยวางทั้งหมดในห้องวิจัยตามปกติเพื่อจำลองสภาวะการเก็บตามปกติที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ตามปกติที่ไม่ได้ควบคุม เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปถึง 4 เดือน ก็ยังไม่สามารถสังเกตเห็นเชื้อราขึ้นทั้งข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบและที่เคลือบ ดังนั้นการเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอาจจะไม่ให้ประโยชน์ในสภาวะการเก็บที่มีความชื้นต่ำเนื่องจากความชื้นที่ต่ำจะไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามหากต้องเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่นในกรณีที่ต้องเก็บรักษาข้าวกล้องในโกดังในพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วมหรือในห้องหรือบริเวณที่มีความชื้นสูง การเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอย่างเหมาะสมนี้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% จะ

สามารถยืดอายุการเก็บรักษาจาก 22 วัน (ไม่ได้เคลือบ) ออกไปได้ถึงประมาณ 33 วัน หรือสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าปกติถึง 50%

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาการยืดอายุการเก็บข้าวกล้องโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน โดยได้ฉายรังสีแกมมาไคโตซานในสถานะของแข็งที่ความแรงรังสี 10, 30, 50, 70 และ 90 kGy ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีโดยการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ผลที่ได้คือไคโตซานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักหลังการฉายรังสีแกมมาแต่อย่างใด ทำการวัดน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานด้วยเทคนิค GPC หลังจากนั้นเตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อเคลือบข้าวกล้องโดยนำผงไคโตซานที่ฉายรังสีมาละลายในกรดอะซิติก 2% (v/v) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายไคโตซานเป็น 0.5, 1, 2 และ 5% (w/v) หลังจากนั้นปรับค่า pH ให้เป็น 5.6 ด้วยการเติม 6 M NaOH ในปริมาณที่เหมาะสม หลังจากนั้นเคลือบข้าวกล้องด้วยการฉีดพ่นและอบแห้งในเครื่องอบแบบ Forced convection oven ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาประมาณ 30 นาทีเพื่อให้ข้าวแห้งสนิท หลังจากนั้นทดสอบข้าวกล้องเคลือบไคโตซานในตู้อะคริลิคที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% และที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้คือที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 90 kGy สามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานที่สุด โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาจาก 22 วัน (ไม่ได้เคลือบ) ออกไปได้ถึงประมาณ 33 วัน หรือสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าปกติถึง 50% นอกจากนี้สำหรับทุกความเข้มข้นของไคโตซานที่ทำการศึกษา ความสามารถในการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราจะไม่แปรผันตรง (หรือแปรผกผัน) กับปริมาณรังสีที่ฉายแต่อย่างใด ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถป้องกันเชื้อราได้ดีกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (หรือในทางกลับกัน) โดยผลดีที่ได้จากการฉายรังสีคือทำให้สารละลายมีความหนืดลดลง ส่งผลให้

สามารถผสมไคโตซานในสารละลายได้มากยิ่งขึ้นและสามารถทำการเคลือบได้ง่ายขึ้น รวมถึงจะไม่ทำให้ข้าวกล้องเกาะกันเป็นก้อนแข็ง

เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35 - 45°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% โดยใช้ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 5% (w/v) และใช้ไคโตซานที่ทุกปริมาณการฉายรังสี พบว่ายิ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เชื้อราก็จะขึ้นได้เร็วขึ้น เช่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เชื้อราจะขึ้นภายใน 4 – 7 วัน ส่วนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เชื้อราจะขึ้นภายใน 30 – 37 วัน ดังนั้นนอกจากการเคลือบด้วยไคโตซานอย่างเหมาะสมแล้ว ความชื้นที่ต่ำในสถานที่จัดเก็บก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้อง

เมื่อทดลองเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) และที่ปริมาณการฉายรังสี 90 kGy และนำมาบรรจุในถุงพลาสติกใสและเก็บในห้องวิจัยตามปกติโดยที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อจำลองการเก็บตามสภาวะปกติของชาวบ้าน เมื่อเวลาผ่านไปถึง 4 เดือนก็ยังไม่สามารถสังเกตเห็นเชื้อราขึ้นทั้งข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบและที่เคลือบ ดังนั้นการเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอาจจะไม่ให้ประโยชน์ในสภาวะการเก็บที่มีความชื้นต่ำเนื่องจากความชื้นที่ต่ำจะไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามหากต้องเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่นในกรณีที่ต้องเก็บรักษาข้าวกล้องในโกดังในพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วมหรือในห้องหรือบริเวณที่มีความชื้นสูง การเคลือบข้าวกล้องด้วยไคโตซานอย่างเหมาะสมนี้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี

ผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพึงพอใจมาก และที่สำคัญสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริงเนื่องจากการเคลือบด้วยไคโตซานอย่างเหมาะสมจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงได้เป็นอย่างดี

จากผลการทดลองต่างๆ ที่ได้มา ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไปคือควรจัดหาไคโตซานที่มีช่วงของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้ (มี Degree of disparity ต่ำ) และควรศึกษาเพิ่มเติมที่ปริมาณการฉายรังสีแกมมาที่สูงกว่า 90 kGy ด้วยเนื่องจากอาจสามารถป้องกันการขึ้นของเชื้อราบนข้าวกล้องได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรใช้ข้าวกล้องจากหลายๆ แหล่งเนื่องจากอาจให้ผลที่แตกต่างกันและเนื่องจากการทดสอบเกี่ยวกับการขึ้นของเชื้อราอาจมีความแปรปรวนได้มาก

บรรณานุกรม

[1] A. Charlesby, In IAEA-TECDOC-834. Advanced Radiation Chemistry Research: Current Status. IAEA. Vienna, p. 151 (1995).

[2] ธนาภรณ์ ศรีศิริพันธุ์, จำนงค์ อุทัยบุตร และ กอบเกียรติ แสงนิล, “ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลพริกหวาน,” ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 87-90 (2550)

[3] อัธยา กังสุวรรณ, ประโยชน์จากเปลือกสัตว์น้ำผลิตไคโตซานพ่นเคลือบคงความสดผลไม้, หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ ฉบับวันที่ 3 มีนาคม 2546

[4] Jiang, Y., Li, J. and Jiang, “Effect of chitosan coating on shelf life of cold-store litchi fruit at ambient temperature,” LWT. 38 : 757-761.

[5] http://www.doctor.or.th/node/2348

[6] http://www.kasetonline.com

[7] ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง, ชญานิษฐ์ จำปี และ วรีภรณ์ รัตนิสสัย, “โครงการวิจัยการยับยั้งการขึ้นของเชื้อราแอสเปอร์จิลลัสบนถั่วลิสงโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน,” รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กันยายน 2556

[8] สุกัญญา ยาเสร็จ, “การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา,” วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554

[9] S. Leleu et. al., “Selection of a chitosan type for eggshell coating to reduce salmonella shell contamination” CAB Direct.

[10] ชนิตา เรืองผัน, “การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชโดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี,” วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549

[11] ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ, “ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สาหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหมอนทอง,” วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

[12] นวลนภา เจริญรวย, “ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียว,” วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

[13] วรรณวิมล ปาสาณพันธ์, รังรอง ยกส้าน และสุวบุญ จิรชาญชัย, “การลดมวลโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา” http://www.aseanfood.info/Articles/13005969.pdf

[14] Le Hai et. al., “Radiation depolymerization of chitosan to prepare oligomers,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 208 : 466–470 (2003).

[15] K Shehu, MT Bello, "Effect of Environmental Factors on the Growth of Aspergillus Species Associated with Stored Millet Grains in Sokoto," Nigerian Journal of basic and applied science, 19(2) : 218-223 (2011).

ภาคผนวก

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

.....

ใบแจ้งผลการทดสอบ

หมายเลข : 054 – 56 - 2
วันที่รายงานผล : 22 เมษายน 2556
แหล่งตัวอย่าง : ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชนิดตัวอย่าง : ไคโตซาน
จำนวน : 6 ตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ : Gel Permeation Chromatography (GPC)
ผลการวิเคราะห์

No.	Samples	M_n (g/mol)	M_w (g/mol)	D
1	1	1.7809×10^8	3.3710×10^8	1.89
		1.8722×10^6	3.0731×10^6	1.64
2	2	5.6101×10^7	8.5568×10^7	1.53
		7.9953×10^5	1.0045×10^6	1.26
3	3	1.0986×10^6	1.3436×10^9	1.22
4	4	4.7750×10^5	7.5638×10^7	1.58
5	5	1.5450×10^9	2.2840×10^9	1.48
		1.5631×10^4	3.6704×10^4	2.35
6	6	1.2505×10^8	3.3393×10^9	2.67
		5.1509×10^4	8.1017×10^4	1.57

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

นางเพ็ญพิมล เต็กชื่น
ผู้ทำการวิเคราะห์

.....
(รศ. ดร. เพลินพิศ บูชาธรรม)
อาจารย์ผู้ควบคุมและตรวจสอบคุณภาพ

รายงาน - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบเท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างอิง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ
โทร. 02-470-8907 โทรสาร 02-470-8900

(ผ-1) ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) ครั้งที่ 1

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ (662) 470-8814-15 โทรสาร (662) 427-8050
126 Pracha-uthit Rd., Bangmod, Thungkru Bangkok 10140, Thailand.
Tel. (662) 470-8814-15 Fax. (662) 427-8050
http://science.kmutt.ac.th

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

.....

ใบแจ้งผลการทดสอบ

หมายเลข : 077-56-2
วันที่รายงานผล : 24 มิถุนายน 2556
แหล่งตัวอย่าง : ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชนิดตัวอย่าง : ไคโตซาน
จำนวน : 6 ตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ : Gel Permeation Chromatography (GPC)

ผลการวิเคราะห์

No.	Samples	$\overline{M}_n$ (g/mol)	$\overline{M}_w$ (g/mol)	$\overline{D}$
1	1	1.2465×10^8 6.8297×10^3	1.8886×10^9 9.3130×10^3	1.52 1.36
2	2	2.8680×10^5	6.6768×10^6	2.33
3	3	1.5598×10^6	3.7745×10^6	2.42
4	4	1.1429×10^9 2.8947×10^4	4.7128×10^9 3.2371×10^5	4.12 1.12
5	5	1.5879×10^8	3.1204×10^9	1.96
6	6	1.3891×10^4	6.3443×10^5	4.57

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

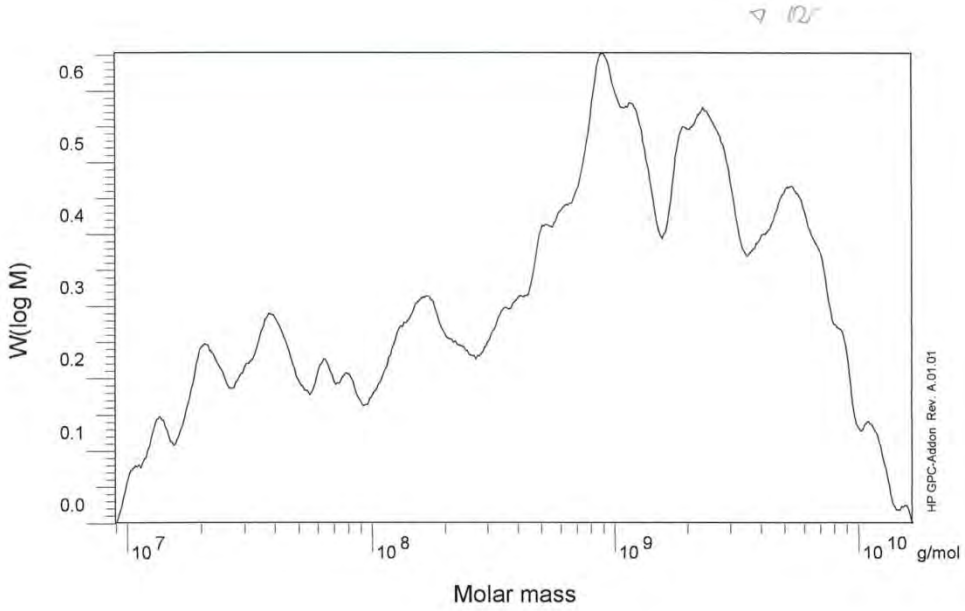
นางเพ็ญพิมล เต็กชื่น
ผู้ทำการวิเคราะห์

.....
(รศ. ดร. เพลินพิศ บูชาธรรม)
อาจารย์ผู้ควบคุมและตรวจสอบคุณภาพ

รายงาน - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบเท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างอิง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ
โทร. 02-470-8907 โทรสาร 02-470-8900

(ผ-2) ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) ครั้งที่ 2



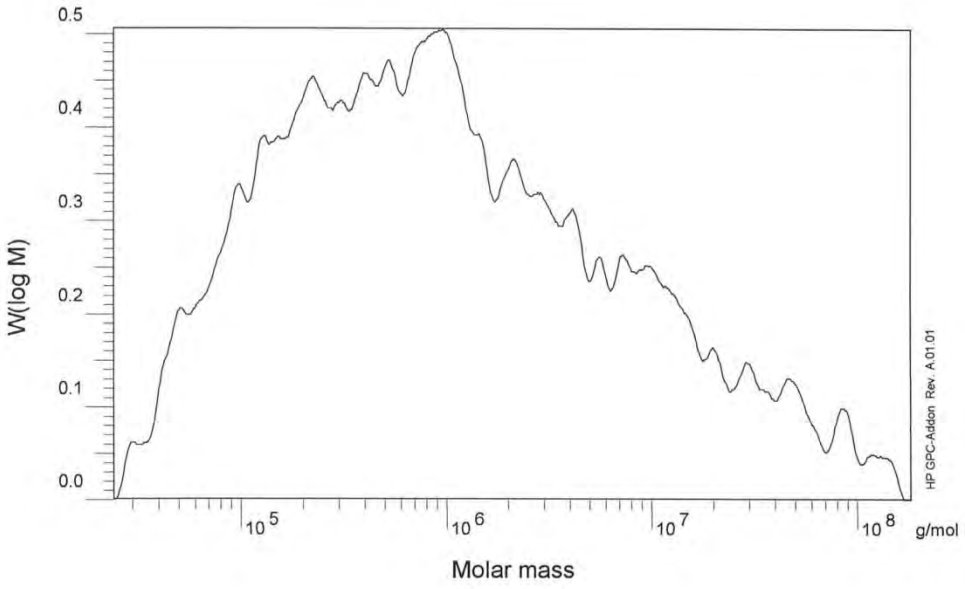
Sample :	1		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	0.867 ml	**Integration to :**	4.211 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	1.2465e8	g/mol
Mw :	1.8886e9	g/mol
Mz :	5.1965e9	g/mol
Mv :	1.8886e9	g/mol
D :	1.5151e1	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	2.1672e0	ml
Mp :	8.8939e8	g/mol
A :	1.6836e1	ml*V
< 88942	0.00	
w% :	100.00	
> -5257:	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01556.D
Date : Friday 06/07/13 15:49:41 **Sign :**

(ผ-3) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (0 kGy)



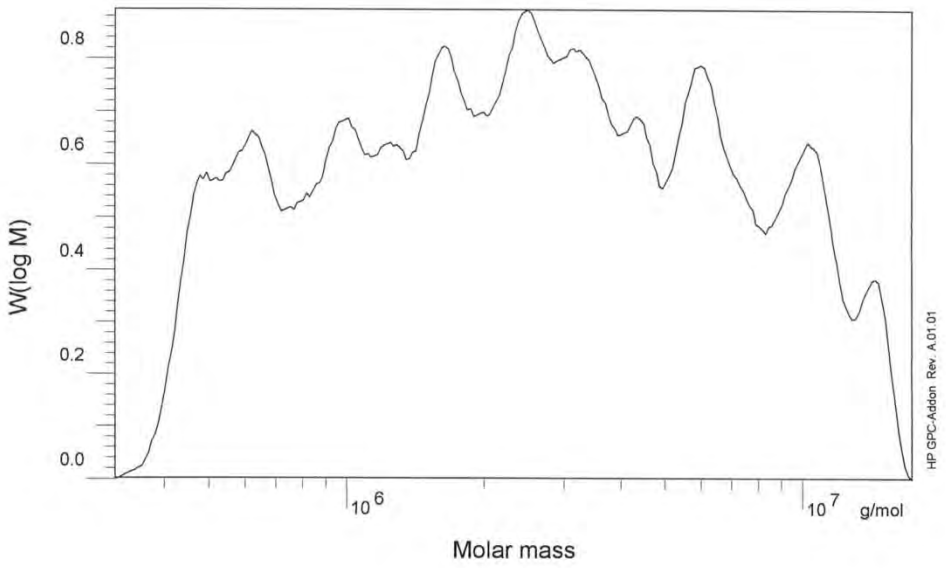
Sample :	2		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	2.871 ml	**Integration to :**	6.831 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	2.8680e5	g/mol
Mw :	6.6768e6	g/mol
Mz :	5.2356e7	g/mol
Mv :	6.6768e6	g/mol
D :	2.3281e1	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	5.1983e0	ml
Mp :	9.6103e5	g/mol
A :	2.7268e1	ml*V
< 24284	0.00	
w% :	100.00	
> 18216	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01563.D
Date : Friday 06/07/13 16:09:29 **Sign :**

(ผ-4) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (10 kGy)



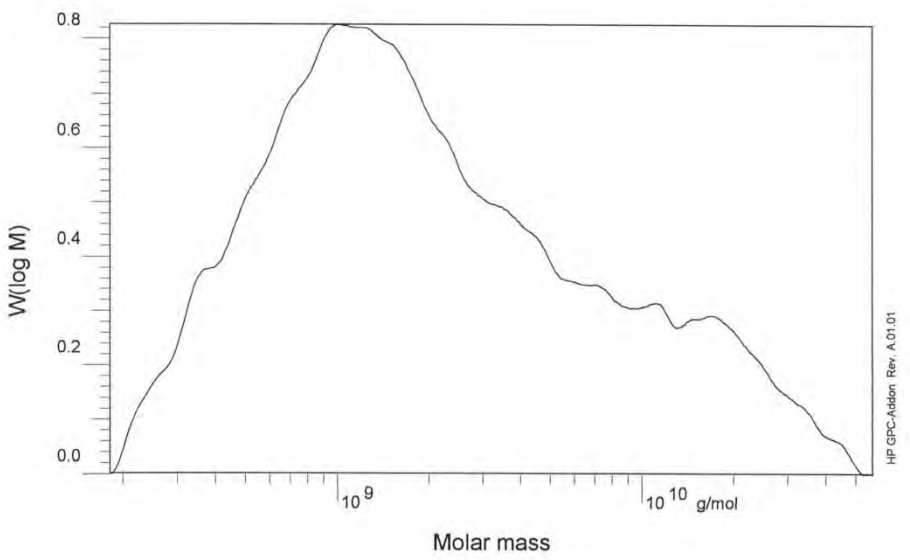
Sample :	3		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	3.914 ml	**Integration to :**	5.697 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	1.5598e6	g/mol
Mw :	3.7745e6	g/mol
Mz :	7.1049e6	g/mol
Mv :	3.7745e6	g/mol
D :	2.4199e0	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	4.7735e0	ml
Mp :	2.5031e6	g/mol
A :	6.3598e0	ml*V
< 31239	0.00	
w% :	100.00	
> 17377	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01562.D
Date : Friday 06/07/13 16:10:36 **Sign :**

(ผ-5) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (30 kGy)



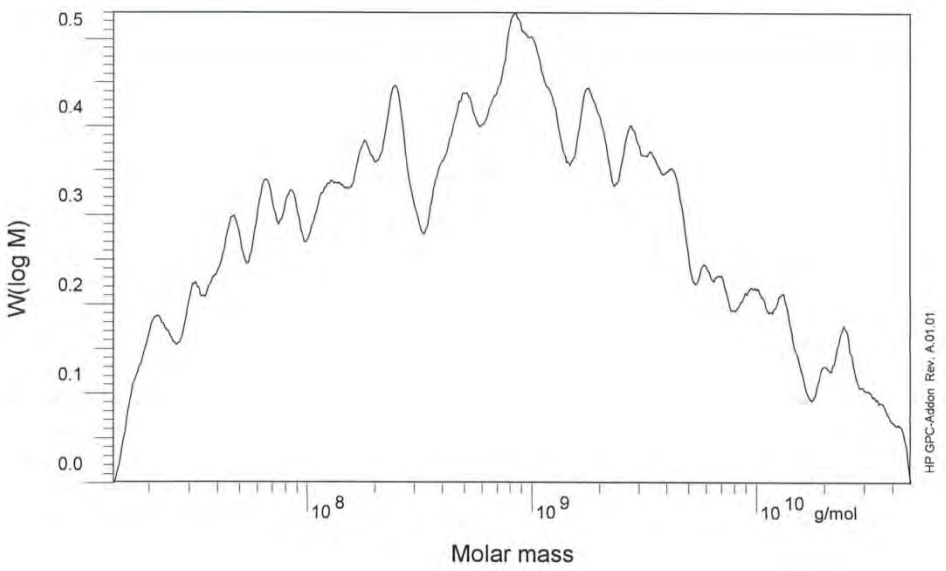
Sample :	4		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	0.322 ml	**Integration to :**	2.873 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	1.1429e9	g/mol
Mw :	4.7128e9	g/mol
Mz :	1.575e10	g/mol
Mv :	4.7128e9	g/mol
D :	4.1237e0	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	2.1023e0	ml
Mp :	1.0293e9	g/mol
A :	4.2396e1	ml*V
< 18116	0.00	
w% :	100.00	
> 10250	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01561.D
Date : Friday 06/07/13 15:41:59 **Sign :**

(ผ-6) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (50 kGy)



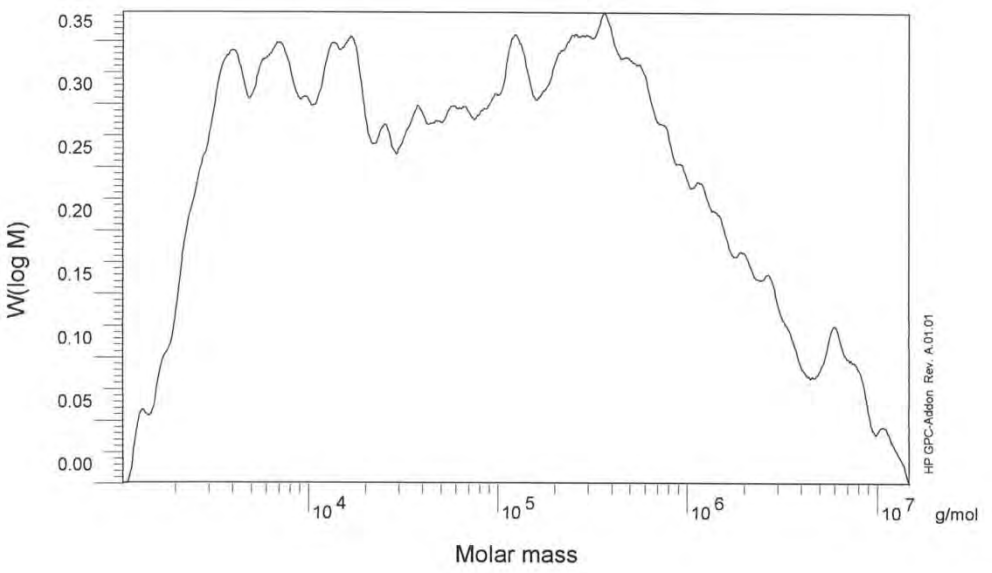
Sample :	5		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	0.396 ml	**Integration to :**	4.013 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	1.5879e8	g/mol
Mw :	3.1204e9	g/mol
Mz :	1.630e10	g/mol
Mv :	3.1204e9	g/mol
D :	1.9652e1	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	2.1887e0	ml
Mp :	8.4733e8	g/mol
A :	1.9246e1	ml*V
< 13900	0.00	
w% :	100.00	
> 84857	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01560.D
Date : Friday 06/07/13 15:43:07 **Sign :**

(ผ-7) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (70 kGy)



Sample :	6		
Calibration file :	VA3B-4750.CAL		
Integration from:	3.985 ml	**Integration to :**	8.217 ml
MHK - A (Cal.):	1.000E+0	**MHK - K (Cal.):**	0.000E+0 ml/g
Eluent :	....?	**Flowrate :**	1.000 ml/min
Concentration :	1.000 g/l	**Inject volume :**	20.000 ul
Column 1 :	....?	**Temperature :**	23.000 C
Detector 1 :	RID A, Refractive Index Signal	**Delay volume :**	0.000 ml
Operator :	scientist	**Acquisition interval :**	0.430 sec

rid1A

Mn :	1.3891e4	g/mol
Mw :	6.3443e5	g/mol
Mz :	4.3547e6	g/mol
Mv :	6.3443e5	g/mol
D :	4.5673e1	
[n]:	0.000000	ml/g
Vp :	5.6232e0	ml
Mp :	3.6897e5	g/mol
A :	4.1662e1	ml*V
< 1070	0.00	
w% :	100.00	
> 14810	0.00	

Path : D:\HPCHEM\1\DATA\TEST\RID01559.D
Date : Friday 06/07/13 15:45:10 **Sign :**

(ผ-8) Spectrum ของ Molar mass ที่ได้จากการวัดครั้งที่ 2 (90 kGy)

ประวัตินักวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง ได้รับทุนการศึกษาจากรัฐบาลไทยให้ไปศึกษาในสาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ระดับปริญญาตรี-โท-เอก เป็นระยะเวลา 10 ปี โดย ดร. ดุลยพงศ์ ได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก University of California at Berkeley ในปี พ.ศ. 2550

ปัจจุบัน ดร. ดุลยพงศ์ เป็นอาจารย์ประจำอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการเรียนการสอนและงานวิจัย เน้นด้านวัสดุที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบอุณหภูมิสูงที่ใช้ก๊าซระบายความร้อน (High-temperature gas-cooled reactor) การแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในอากาศ การสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเล การสังเคราะห์วัสดุและการปรับปรุงคุณภาพวัสดุโดยใช้รังสีและพลาสมา

ในปี พ.ศ. 2554 ดร. ดุลยพงศ์ ได้รับคัดเลือกให้เป็นนักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ดาวรุ่ง จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยได้รับพระราชทานโล่รางวัลจากสมเด็จพระเจ้าลูกเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณวลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 12 ซึ่งจัดในวันที่ 6 - 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2554 ณ โรงแรมแชงกรี-ลา กรุงเทพฯ

ในวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2555 ดร. ดุลยพงศ์ ได้รับรางวัล "ศักดิ์อินทาเนีย" ประจำปี พ.ศ. 2555 ประเภทผู้ทำชื่อเสียงให้คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>นางสาวชญานิษฐ์ จำปี</u>

นางสาวชญานิษฐ์ จำปี เกิดเมื่อวันที่ 20 เดือนมกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (รังสีเทคนิค) จากภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันกำลังศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>นางสาววรีภรณ์ รัตนิสสัย</u>

นางสาววรีภรณ์ รัตนิสสัย จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปี พ.ศ. 2543 และเข้าทำงานตำแหน่งอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

ในปี พ.ศ. 2549 นางสาววรีภรณ์ รัตนิสสัย จบการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้รับการบรรจุเข้าทำงานตำแหน่ง อาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

ปัจจุบัน นางสาววรีภรณ์ รัตนิสสัย ได้รับอนุมัติให้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอก หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อศึกษาวิชาภายในประเทศ เน้นเทคโนโลยีด้านพลังงาน