วิธีการทำให้เกิดการเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะแบบประจุ และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารทั้งสองชนิด (polyelectrolyte complexation) และศึกษาการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปโดยเลือกผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยมุ่งหวังให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ที่มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย โดยไม่ต้องใช้วัตถุกันเสียที่เป็นสารเคมี มีคุณลักษณะทางคุณภาพที่ดี มีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี โดยเฉพาะมีไขมันต่ำ และเหมาะสมต่อผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตอัลลิซิน-ไคโตซานคอมเพล็กซ์ที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพของคอมเพล็กซ์ที่ผลิตได้

2. เพื่อศึกษาผลของอัลลิซิน ไคโตซาน และอัลลิซิน-ไคโตซานคอมเพล็กซ์ ในการเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ และผลที่มีต่อคุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 อัลลิซิน: สารสกัดอัลลิซินสกัดได้จากกระเทียมสดในห้องปฏิบัติการ อ้างอิงวิธีสกัดของ Curtis *et al.* (2004) ซึ่งสารสกัดที่ได้จะนำมาใช้ทดลองต่อทันที หรือหากในกรณีที่ไม่ได้ใช้ทันทีจะเก็บไว้ในภาชนะปิดทึบแสงที่อุณหภูมิ 4°C และใช้ทดลองภายใน 24 ชั่วโมง

1.2 ไคโตซาน: ไคโตซานเตรียมได้จากเปลือกกุ้งที่แห้งและสะอาด จากบริษัท ต้าหมิง เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด (สมุทรสาคร) โดยอ้างอิงตามวิธีการเตรียมของ Tolaimate และคณะ (2003) และ Kachanechai และคณะ (2008) เพื่อให้ได้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10^6 Dalton และมีค่า DD 2 ระดับ คือ 70-85 และ 85-100%

2. การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน

2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน

2.1.1 ศึกษาอัตราส่วนของไคโตซานต่ออัลลิซินที่เหมาะสม

วิธีเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานในงานวิจัยนี้ อ้างอิงตามวิธีของ Takeuchi และคณะ (2000) โดยแปรอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินต่อไคโตซานเป็น 1:1 2:1 และ 3:1 และทำการศึกษาตัวอย่างไคโตซาน 2 ตัวอย่างที่ DD 2 ระดับ (จาก 1.2) ตรวจวัดปริมาณอัลลิซินที่คงเหลือในสารละลายใสส่วนบน ด้วยวิธี Spectrophotometric Assay ด้วยปฏิกริยาของ 4-mercaptopyridine กับ Thiosulfinates (Miron *et al.*, 2002) และเลือกอัตราส่วนของอัลลิซินต่อไคโตซานที่เหมาะสมที่สุดจากปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ และปริมาณอัลลิซินที่คงเหลือหลังจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

2.1.2 ศึกษาวิธีการทำแห้งสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เหมาะสม

นำตัวอย่างที่ได้ หลังจากการทิ้งไว้ให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอย่างสมบูรณ์แล้วมาตรวจวัดค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, ($^{\circ}$Brix)) จากนั้นนำมาทำแห้งโดยศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาวิธีการทำแห้งทั้งหมด 4 วิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่อง spray drier freeze drier vacuum drier และ tray drier ซึ่งวิธีในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากงานวิจัยนี้ (ดัดแปลงจากวิธีของ Takeuchi และคณะ (2000)) ชั่งน้ำหนักสารสกัดอัลลิซินจากกระเทียมและสารละลายไคโตซานตามอัตราส่วน นำสารสกัดอัลลิซินที่อยู่ในบีกเกอร์มา homogize ด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็วรอบ 11,000 rpm นาน 10 วินาที ค่อย ๆ หยดสารละลายไคโตซานด้วยหลอดหยดลงในสารสกัดอัลลิซิน (ปั่นด้วยความเร็วรอบ 11,000 rpm ต่อเนื่องจนกระทั่งหยดสารละลายไคโตซานจนหมด (ประมาณ 10 นาที)) ปั่นต่ออีก 30 วินาที นำสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้ใส่ลงในภาชนะปิด ทึบแสง เก็บไว้ที่ 4°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยสมบูรณ์ นามาปั่นเหวี่ยงแยกสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานด้วยเครื่อง centrifuge โดยใช้ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เทแยกส่วนใสลงในภาชนะปิด ทึบแสงและเก็บไว้ที่ 4°C เพื่อรอการตรวจวัดปริมาณอัลลิซินที่คงเหลืออยู่ด้วยวิธี Spectrophotometric Assay ด้วยปฏิกริยาของ 4-mercaptopyridine กับ Thiosulfinates (Miron *et al.*, 2002) ทำการทำแห้งตัวอย่างด้วยเครื่อง freeze drier ในการทดลองนี้ จะเลือกสภาวะการทำแห้งที่ให้ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) ที่สูงที่สุดเพื่อเตรียมตัวอย่างต่อไป โดยในงานวิจัยขั้นตอนนี้จะใช้การวางแผนการทดลองแบบ CRD และทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างด้วย Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 11.5 (SPSS, 2002)

2.2 ศึกษาคุณลักษณะ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน

นำสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เตรียมได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์สีด้วยเครื่อง chroma meter (Macdougall, 1994) รูปร่างของสารประกอบเชิงซ้อนโดยใช้วิธี Scanning electron microscopy (SEM) (Gómez-Guillén *et al.*, 2005) ลักษณะโครงสร้างของคอมเพล็กซ์ ด้วยวิธี Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) (Umemura and Kawai, 2007) ค่าความเป็นผลึก (crytallinity) ของคอมเพล็กซ์ ด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD) (Wang, Du and Liu, 2004) ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (Takeuchi *et al.*, 2000)

การทดลองในข้อนี้ วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล แบบ Completely Randomized Design เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของแต่ละตัวอย่างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 11.5 (SPSS, 2002) โดยใช้การวิเคราะห์ทางความแปรปรวนแบบ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแต่ละตัวอย่างด้วย Duncan's new multiple range test

2.3 ศึกษาการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน

ศึกษาการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ต่อเชื้อแบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ *Esherichia coli* *Staphylococcus aureus* *Streptococcus faecalis* และ *Salmonella typhimurium* โดยการทดสอบความไวของจุลินทรีย์ต่อสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Disk diffusion test (Kirby-Bauer) ซึ่งวัดผลโดยการวัดขนาดของ clear zone หรือ zone of inhibition และศึกษาปริมาณสารที่น้อยที่สุดที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) และปริมาณสารที่น้อยที่สุดที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Bactericidal Concentration, MBC) ด้วยวิธี Broth dilution method

3. ศึกษาผลของอัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ในการเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ และศึกษาผลของสารดังกล่าวต่อลักษณะทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ

3.1 สูตรและวิธีการเตรียมไส้กรอกหมูไขมันต่ำผสมอัลลิซิน ไคโตซาน หรือสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน

เตรียมไส้กรอกหมูไขมันต่ำโดยอ้างอิงวิธีของ Georgantelis และคณะ (2007b) แปรปริมาณ อัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน 2 ระดับ คือ 0.5 และ 1% โดยน้ำหนัก และเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมสารดังกล่าว

3.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ

เตรียมไส้กรอกหมูไขมันต่ำตามวิธีที่อ้างอิง ทำการศึกษาเบื้องต้นกับตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานทั้งหมดที่ผลิตได้ จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน 0.5 และ 1% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมสารประกอบเชิงซ้อน ประเมินคุณภาพโดยวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธี Total Plate Count (TPC) และวิเคราะห์เชื้อราและยีสต์โดยอ้างอิงวิธีของ Kok and Park (2007) เลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.3 ศึกษาผลของอัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และผลต่อลักษณะทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ

ผลิตไส้กรอกหมูไขมันต่ำผสมอัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบที่ความเข้มข้นเหมาะสมที่สรุปได้จากข้อ 3.2 มาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) โดยใช้วิธีมาตรฐานของ AOAC (1995) สีของตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำ ด้วยเครื่อง chroma meter (Macdougall, 1994) เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง texture analyzer

(Barbut, 2006) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) ด้วยวิธี Centrifugation method (Honikel and Hamm, 1994)

จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถาม ชนิด 9-point hedonic scale ทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยทดสอบผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 7 วัน จนกว่าตัวอย่างไส้กรอกจะเสื่อมเสีย และประเมินอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Total Plate Count (TPC) และปริมาณเชื้อราและยีสต์ อ้างอิงวิธีของ Kok and Park (2007) ทุก ๆ 5 วัน จนกว่าตัวอย่างไส้กรอกจะเสื่อมเสีย

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Completely Randomized Design ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 11.5 (SPSS, 2002) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแต่ละตัวอย่างด้วย Duncan's new multiple range test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

อัลลิซิน: สารสกัดอัลลิซินจากกระเทียมมีลักษณะเป็นของเหลว สีเหลืองใส และมีร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วง 50-52% ปริมาณอัลลิซินที่ตรวจวัดด้วยวิธี Spectrophotometric Assay ด้วยปฏิกริยาของ 4-mercaptopyridine กับ Thiosulfinates (Miron *et al.*, 2002) พบว่าอยู่ในช่วง 13.5-14.2 mg/ml จึงปรับความเข้มข้นเป็น 13.5 mg/ml ก่อนนำมาผสมกับสารละลายไคโตซานในขั้นตอนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในการทดลองขั้นต่อไป

ไคโตซาน: ไคโตซานที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ อ้างอิงตามวิธีของ Tolaimate และคณะ (2003) และ Kachanechai และคณะ (2008) โดยมีการดัดแปลงเล็กน้อย มีคุณลักษณะตรงตามต้องการ กล่าวคือ ไคโตซานตัวอย่างที่ 1 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.10×10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 78% และไคโตซานตัวอย่างที่ 2 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02×10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88%

สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน: จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกวิธีการทำแห้งที่เหมาะสม จากวิธีทำแห้งทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ freeze drying, spray drying, vacuum drying และ tray-drying โดยใช้ไคโตซานตัวอย่างที่ 2 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่ออัลลิซิน เท่ากับ 1:1 พบว่า การทำแห้งทั้ง 4 วิธีให้ร้อยละผลผลิตของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานเป็น 66.37, 37.84, 8.02, และ 5.11 ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกการทำแห้งด้วยวิธี freeze drying เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งวิธีนี้นอกจากจะให้ร้อยละผลผลิตสูงสุด ยังไม่มีการใช้ความร้อนในการทำให้ตัวอย่างแห้ง จึงไม่ทำให้เกิดการสลายของสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ สำหรับสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน พบว่าเป็นสารละลายสีเหลืองนวล มีค่า %total soluble solid ของตัวอย่างสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสกัดอัลลิซิน ทั้งยังมีผลทำให้ค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการ

เพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเนื่องจาก pH ของสารละลายอัลลิซิน ที่ สูงกว่าสารละลายไคโตซาน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักขึ้น จึงส่งให้ pH ของสารละลายอัลลิซิน-ไคโตซานสูงขึ้น ในขณะที่ร้อยละผลผลิตของสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้ ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสกัดอัลลิซินและอัตราส่วนที่ดีที่สุด ที่ให้ร้อยละผลผลิตของสารประกอบเชิงซ้อนสูงที่สุดและมีปริมาณอัลลิซินคงเหลือต่ำที่สุด คือ ตัวอย่างที่เตรียมจากไคโตซาน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.02×10^6 Dalton 88% DD ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่ออัลลิซิน เท่ากับ 1:1

คุณสมบัติของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน:

สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่ผลิตได้ มีสีเหลืองนวล มีค่า L* 81.00-87.30 ค่า a* -0.47-2.18 และ ค่า b* 16.82-21.18 และมีสีที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินเพิ่มขึ้น พบว่า ค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากสีที่ค่อนข้างเหลืองของสารละลายอัลลิซินที่สกัดได้

ภาพจาก scanning elentron micrograph แสดงให้เห็นว่า สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน มีลักษณะเป็นทรงกลม หลายขนาด โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 5-15 μm ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Shu และ Zhu (2000) Mi และคณะ (2002) และงานวิจัยของ Sankalia และคณะ (2007)

ลักษณะโครงสร้างและหมู่ function ของคอมเพล็กซ์ ด้วยวิธี Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 6 ตัวอย่างมีลักษณะโดยรวมของ spectra คล้ายคลึงกันมาก มีเพียงบางตำแหน่งของ spectra เท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน และลักษณะโครงสร้างของ spectra ก็แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบการ shift ของ spectra ที่ตำแหน่งบนแกน Y ที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า ลักษณะโครงสร้างและหมู่ function ของสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 6 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน มีเพียงหมู่ function บางหมู่เท่านั้น ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า spectra ของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมจากไคโตซาน 2 ตัวอย่างที่แตกต่างกัน (DD = 78% และ 88%) ไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซิน จะมีผลทำให้มีหมู่ function และโครงสร้างแตกต่างออกไปเล็กน้อย โดยมีหมู่ function เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานกับอัลลิซินที่เท่ากัน ซึ่งหมู่ function ที่พบหลัก ๆ คือ alkyl group-hydroxy or possibly amino substituent, hydroxyl or amino compound general และ Aliphatic alcohol with carbonyl substitution

ผลจาก X-ray diffraction (XRD) แสดงความคล้ายคลึงของ XRD patterns ของสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 6 ตัวอย่าง บ่งบอกลักษณะของผลึกแบบอสัณฐาน (Amorphous crystal) จากลักษณะของ patterns ค่อนข้างแบนและกว้าง ขณะที่ลักษณะรูปร่างของยอด (peak) ของ XRD pattern ที่เกิดขึ้น ก็แตกต่างจาก pattern ของไคโตซานเพียงอย่างเดียว (Ou *et al.*, 2010) Ou และ คณะ (2010) กล่าวว่า ลักษณะของไคโตซานจะให้ผลของยอดที่ 2θ แบบแคบ (narrow peak) เป็น 2 ตำแหน่งคือ ที่ 9.85° และ 19.70° แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดกับผลการทดลองที่ได้ของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ที่ให้ผลของยอดที่มีความกว้างมาก

(broad peak) ที่ 2θ เพียงตำแหน่งเดียว และเกิดขึ้นที่ตำแหน่งระหว่าง 20-21° ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซิน จะเห็นได้ว่า ยอดของ XRD pattern ของตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานตัวอย่างที่ 1-3 และตัวอย่างที่ 4-6 มีการเลื่อนเข้าหาตำแหน่งที่ 20° มากขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินต่อไคโตซานจาก 1:1 เป็น 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ ไม่ได้ส่งผลให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเกิดได้ดีขึ้น สารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จะแสดงลักษณะของยอดที่เข้าใกล้ตำแหน่งของไคโตซานมากขึ้น และแสดงสมบัติการเป็นไคโตซานมากขึ้น บ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซิน ไม่ช่วยทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้มากขึ้น

สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานทุกตัวอย่างละลายน้ำได้ช่วง pH ค่อนข้างกว้าง (pH 3-11) และความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซิน นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของค่า pH ของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินอีกด้วย

ผลการศึกษาการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ต่อเชื้อแบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ *E. coli* *S. aureus* *Strep. faecalis* และ *Sal. typhimurium* ด้วยวิธี Disk diffusion test (Kirby-Bauer) วัดขนาดของ clear zone หรือ zone of inhibition ซึ่งพบว่า clear zone มีความกว้างอยู่ระหว่าง 11.5-17 mm โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.02×10^6 Dalton 88% DD ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่ออัลลิซิน เท่ากับ 1:1 ให้ผลการยับยั้งเชื้อดีที่สุด โดยให้ผล และผลจากการศึกษาปริมาณสารที่น้อยที่สุดที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานให้ผลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *E. coli* และ *S. aureus* โดยให้ผลในการยับยั้งการเจริญได้แต่ไม่สามารถฆ่าทำลายเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้ จึงไม่สามารถหาปริมาณสารที่น้อยที่สุดที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Bactericidal Concentration, MBC) ได้ โดยค่า MIC ของเชื้อ *E. coli* ที่ต่ำที่สุดคือ ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.02×10^6 Dalton 88% DD ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่ออัลลิซิน เท่ากับ 1:1 (6.25 mg/ml) เมื่อเปรียบเทียบกับสารอัลลิซิน (25 mg/ml) และไคโตซาน (12.5 mg/ml) และสำหรับเชื้อ *S. aureus* จะให้ค่า MIC ที่เท่ากัน (12.5 mg/ml)

สมบัติการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ และผลต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส:

ในการทดลองนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คัดเลือกความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนที่เหมาะสมสำหรับเติมลงในไส้กรอกหมูไขมันต่ำ ซึ่งการทดลองส่วนแรกนี้ทำเพื่อให้การทดลองในส่วนที่ 2 มีหน่วยทดลองไม่มากเกินไป และลดการสิ้นเปลืองของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมไว้ ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบผลของอัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ต่อการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ และผลต่อลักษณะทางเคมี กายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และอายุ

การเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ในการทดลองส่วนแรก ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ โดยศึกษากับตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 6 ตัวอย่างที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0.5 และ 1.0%(w/w) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และปริมาณยีสต์-รา หลังการเตรียมเสร็จเพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดและนำมาใช้ต่อในการทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโคซาน ไม่มีผลในการช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และปริมาณยีสต์-รา ของตัวอย่างไส้กรอกที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างชัดเจน แสดงถึงความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารประกอบเชิงซ้อน เมื่อความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนเพิ่มจาก 0.5% เป็น 1.0% โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา-ยีสต์ ที่ตรวจวัดได้ไม่แตกต่างกัน จึงตัดสินใจเลือกความเข้มข้นที่ 0.5% โดยน้ำหนัก มาศึกษาต่อในการทดลองที่ 2 ต่อไป

ในการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของ อัลลิซิน ไคโตซานและสารประกอบเชิงซ้อน กับตัวอย่างควบคุม โดยวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Total Plate Count (TPC) และปริมาณเชื้อรา-ยีสต์ในตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำ (Kok and Park, 2007) ทุก ๆ 5 วัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลลิซินหรือไคโตซาน เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของทุก ๆ ตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์-รา สูงที่สุด โดยเพิ่มจาก 1.4×10^2 cfu/g เป็น 3.2×10^5 4.2×10^7 และ 6.7×10^7 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า ตัวอย่างควบคุมเกิดการเสื่อมเสียในอัตราเร็วสูงมาก อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาในภาวะบรรจุสนิทแต่ไม่ได้ใช้ระบบสุญญากาศร่วมด้วย จึงทำให้มีการเสื่อมเสียในอัตราเร็วที่สูงและไม่สามารถรับประทานได้เมื่อเก็บรักษาไว้นานกว่า 10 วัน เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่า 10^6 cfu/g ซึ่งอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างควบคุมจะอยู่ที่ประมาณ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมอัลลิซิน พบว่า ไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการสลายตัวของอัลลิซินอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับแสงและอุณหภูมิสูง ซึ่งธรรมชาติของสารอัลลิซินจะเป็นสารที่ไม่เสถียร เมื่อถูก catalyze ด้วยเอนไซม์ alliianse เกิดการเปลี่ยนสารอัลลิอิน (alliin) ให้เป็น อัลลิซิน (allicin) ภายหลังจากกลีบกระเทียมสัมผัสอากาศและมีแรงบด สับหรือทุบแล้วนั้น สารอัลลิซินก็จะค่อย ๆ สลายตัวลงไปเรื่อย ๆ และลดความสามารถในการเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ลง (Ankri and Mirelman, 1999; Yin and Cheng, 2003) ดังนั้นผลที่ได้จึงสอดคล้องกันกับผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้

เมื่อเปรียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างไส้กรอกที่ผสมไคโตซานเพียงอย่างเดียว พบว่า ไคโตซานสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ยังด้อยกว่าสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ซึ่งการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของไคโตซานจะดีกว่าการใช้สารอัลลิซิน และสามารถยับยั้งเชื้อยีสต์และรา ได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรีย สำหรับไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน จะพบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา ในอัตราที่ต่ำที่สุด และมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานที่สุดถึง 15 วัน แสดงให้เห็นความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารประกอบดังกล่าว โดยให้ผลออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราและยีสต์ได้ดีกว่าแบคทีเรีย ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการทดลองที่ได้จากตัวอย่างไส้กรอกผสมไคโตซานเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองนี้ ชี้ให้เห็นว่าการใช้ไคโคซานเพียงอย่างเดียว สามารถในผลในการยังยับเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อใช้สารประกอบเชิงซ้อนจะให้ผลที่ดีกว่า และแสดงให้เห็นถึงความสามารถของไคโตซานที่สามารถจับสารอัลลิซินไว้ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบได้ด้วยไคโตซานและอัลลิซินให้ผลในการออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ซึ่งตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.10 x 10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 78% จะมีอัตราการเพิ่มของเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่าตัวอย่างที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02 x 10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% แสดงให้เห็นว่า ไคโตซานที่มี DD เพิ่มขึ้น จะสามารถจับกับสารอัลลิซินได้มากขึ้น โดยอาจเนื่องมาจากค่า DD สูงกว่า แสดงถึงการมีหมู่อะมิโนที่สูงกว่า และเข้าถึงได้ง่ายกว่า เป็นผลให้มีความสามารถในการละลายที่ดี และมีหมู่ต่าง ๆ ในปริมาณที่มากกว่าในสายโมเลกุล อีกทั้งมีจำนวนประจุมากกว่า ทำให้สามารถมีความสามารถในการจับกับสารอัลลิซินได้มากกว่าและให้ผลในการยับยั้งเชื้อได้ดีกว่านั่นเอง ผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีที่สุด จะพบได้ในตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02 x 10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้วยวิธี disk diffusion ที่สารประกอบตัวอย่างนี้ก็ให้ผลในการเกิด clear zone ที่กว้างที่สุดแสดงถึงความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่สูงที่สุด และให้ค่า MIC ที่ต่ำที่สุดด้วย เมื่อนำมาใช้ในตัวอย่างไส้กรอก จึงให้ผลในการยับยั้งเชื้อและยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีที่สุดนั่นเอง และผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์จะพบว่ายับยั้งเชื้อยีสต์และรา ได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียสอดคล้องกับงานวิจัยของ Giatrakou และคณะ (2010) ที่พบการยับยั้งของไคโตซานร่วมกับน้ำมันจากไทม์ (thyme) ที่ยับยั้งเชื้อยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรียเช่นกัน สำหรับผลงานวิจัยที่พบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Georgantelis และคณะ (2007b) ที่ทำการศึกษาผลของการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกหมู fresh sausage ผสมสารสกัดโรสแมรี่ ไคโตซานหรือ แอลฟ่า-โทโคฟีรอล ที่ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวก็พบว่า ไคโตซานสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไส้กรอกได้ยาวนานกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ผลที่ดีที่สุดจะพบเมื่อใช้ไคโตซานร่วมกับสารสกัดโรสแมรี่ นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับ

งานวิจัยของนักวิจัยกลุ่มดังกล่าว ที่ทำการทดลองกับตัวอย่างไส้แฮมเบอร์เกอร์เนื้อวัว ซึ่งจะพบว่าการใช้ไคโตซานร่วมกับสารสกัดโรสแมรี่ จะให้ผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดเช่นกัน (Georgantelis *et al.*, 2007a)

สำหรับการศึกษาผลของอัลลิซิน ไคโตซาน และสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) โดยใช้วิธีมาตรฐานของ AOAC (1995) สีของตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำ ด้วยเครื่อง chroma meter (Macdougall, 1994) เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง texture analyzer (Barbut, 2006) และค่าความอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) (Honikel and Hamm, 1994) พบว่า การเติมสารไม่ว่าจะเป็น อัลลิซิน ไคโตซานหรือ สารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานลงในไส้กรอกหมูไขมันต่ำ ส่งผลให้สีของตัวอย่างไส้กรอกทั้งสีที่ผิวของไส้กรอกและสีด้านในเนื้อไส้กรอกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของทุกหน่วยทดลองที่ศึกษา มีความแตกต่างจากกัน ($p \leq 0.05$) การเติมสารประกอบเชิงซ้อนตัวอย่างที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินที่เพิ่มสูงขึ้น จะเป็นผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งผลนี้เกิดเนื่องมาจากสีของสารอัลลิซิน ไคโตซานหรือสารประกอบเชิงซ้อนที่เติมลงในไส้กรอก มีสีที่อ่อนกว่าเนื้อหมู เป็นผลให้สีของไส้กรอกที่ได้มีสีที่อ่อนลง

สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและความชื้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมสารอัลลิซิน หรือไคโตซาน หรือประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะต่ำที่สุดในตัวอย่างที่เติมไคโตซาน ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจาก pH ของสารละลายไคโตซานก่อนทำแห้งที่ค่อนข้างต่ำ เป็นผลให้เมื่อทำแห้งแล้วเติมลงในตัวอย่างไส้กรอกจะได้ตัวอย่างที่มี pH ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น จึงมีความสามารถในการจับกับน้ำต่ำที่สุด สำหรับตัวอย่างไส้กรอกผสมอัลลิซิน จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มเละกว่าตัวอย่างไส้กรอกอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวอย่างไส้กรอกที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนพบว่า มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำลงจากตัวอย่างควบคุม ยกเว้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินในปริมาณที่สูง สอดคล้องกับผลการทดลองของตัวอย่างที่ผสมอัลลิซินเพียงอย่างเดียว ซึ่งเมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินต่อไคโตซานในการผลิตสารประกอบเชิงซ้อนจาก 1:1 เป็น 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ จะพบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) แสดงผลของการอุ้มน้ำที่เพิ่มขึ้นจากสารอัลลิซิน ซึ่งค่าที่ได้ก็สอดคล้องกับค่าความชื้นของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความเชื่อมโยงกับการเสื่อมเสีย ก็พบว่า ตัวอย่างที่ยิ่งมีปริมาณน้ำมาก ก็ยิ่งมีอัตราการเสื่อมเสียที่เร็วขึ้น ดังนั้นตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซานที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02×10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 ที่พบว่ามีค่าอัตราการเสื่อมเสียที่ช้าที่สุดนั้น จึงเป็นตัวอย่างที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความชื้นต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาดูการยอมรับจากคะแนนความชอบของตัวอย่างจากการทดลองความชอบ 9 point hedonic scaling test ก็พบว่า

ตัวอย่างดังกล่าวได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่า ตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกหมูไขมันต่ำด้วย texture profile analysis พบว่า การเติมอัลลิซิน หรือไคโตซาน หรือสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ไม่มีผลต่อค่า cohesiveness springiness และ adhesiveness ($p>0.05$) แต่จะส่งผลต่อค่า hardness gumminess และ chewiness อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างไส้กรอกหมูควบคุมจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มที่สุด และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างที่มีการเติมสารอัลลิซิน ($p>0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาดูตัวอย่างทั้งหมด พบว่า ตัวอย่างไส้กรอกที่ผสมไคโตซาน จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างที่สุด ดังจะเห็นได้จากค่าความแข็ง (hardness) ที่สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนจะมีค่าความแข็งต่ำลงมาตามลำดับ โดยตัวอย่างไส้กรอกหมูที่ผสมกับสารประกอบเชิงซ้อน ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตัวอย่างทั้งหมดจะพบว่าตัวอย่างไส้กรอกหมูผสมสารประกอบเชิงซ้อน ที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02×10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 ให้ผลจากการทดสอบ texture profile analysis (hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, chewiness and adhesiveness) ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนอัลลิซิน-ไคโตซาน ตัวอย่างดังกล่าวให้ผลที่ดีที่สุด ทั้งในด้านความสามารถในการออกฤทธิ์เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และผลที่มีต่อคุณลักษณะทางด้านกายภาพและเคมี โดยได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดด้วย

สำหรับอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำ เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราที่วิเคราะห์ได้ สามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำสามารถมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยไม่ได้ทำการบรรจุแบบสุญญากาศ ได้เป็นระยะเวลาประมาณ 15 วัน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมดด้านบนสามารถสรุปได้ว่า ไคโตซานเป็นสารโพลีเมอร์ธรรมชาติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเป็นสารช่วยจับสารสกัดต่าง ๆ ที่ไม่เสถียร เช่น สารอัลลิซินที่สกัดจากกระเทียมได้ ด้วยกระบวนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (polyelectrolyte complexation) ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนคือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัลลิซินต่อไคโตซานเท่ากับ 1:1 ซึ่งระยะเวลาในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยสมบูรณ์คือ 48 ชั่วโมง ที่ 4 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบความไวในการออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ 4 ชนิด พบว่า ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02×10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% ที่อัตราส่วนไคโตซานต่ออัลลิซิน 1:1 ให้ผลดีที่สุด ทั้งในด้านความสามารถในการออกฤทธิ์เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และผลที่มีต่อ

ลักษณะทางด้านกายภาพและเคมีของไส้กรอกหมูไขมันต่ำ สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ตัวอย่างไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผสมสารประกอบเชิงซ้อนตัวอย่างดังกล่าว ได้รับการยอมรับมากที่สุด ดังนั้น ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.02 x 10^6 Dalton และค่า DD อยู่ที่ 88% ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 จึงเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุด ที่พบในงานวิจัยนี้ และความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 0.5% โดยน้ำหนัก ไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ผลิตได้มีอายุการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 15 วัน โดยที่ไม่จำเป็นต้องบรรจุแบบสุญญากาศ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 191093
เลขเรียกหนังสือ