



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การสกัดและใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากผลสำรองแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

Extraction and Utilization of Polysaccharide from Dried Malva Nut Fruits
(*Scaphium macropodium* Beume) in Restructured Pork Meat

นามผู้วิจัย นางสาวรัตติ ปทุมพูลสิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนະบุษย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิรภักย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทิจิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสกัดและใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากผลสำรองแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

Extraction and Utilization of Polysaccharide from Dried Malva Nut Fruits

(*Scaphium macropodum Beume*) in Restructured Pork Meat

โดย

นางสาวรัตจิ ปคุณพูลสิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร. ปณณพุดสิน 2557: การสกัดและใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากผลสำรองแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีระบุญย สัจจอนันตกุล, Ph.D. 202 หน้า

นำผงสำรอง ผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น และผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (ไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์) มาทำละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ให้ได้กัมสำรอง 3 ชนิด จากนั้นทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และบดให้เป็นผง ความหนืดของสารละลายกัมสำรองจากผงสำรองตามธรรมชาติ (MG), กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) (0.5% w/v) ที่อุณหภูมิ 90 °ซ มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อปล่อยให้เย็นคืนสู่อุณหภูมิห้อง สารละลายกัมสำรองดังกล่าวกลับมามีความหนืดเทียบเท่ากับก่อนการให้ความร้อน โดยสารละลาย MG มีความหนืดสูงที่สุดในทุกช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา (30-90 °ซ) จากการศึกษพบว่าที่ pH 6-10 สารละลาย MG (0.5% w/v) มีค่าความหนืดสูงกว่าสารละลาย WMG และ AMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณของเกลือ (1-5%) มีผลต่อความหนืดของสารละลาย MG WMG และ AMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับเกลือ 2% (w/v) สารละลาย MG WMG และ AMG จะมีค่าความหนืดลดลง 3.29 2.83 และ 2.30 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเกลือ

ศึกษาการใช้ประโยชน์กัมสำรองโดยการเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปพบว่า MG 0.3% (w/w) ให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาลดลง 16.08% 50.98% และ 47.73% ตามลำดับ และทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น 5.26% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม แต่เมื่อพิจารณาค่าแรงเฉือนพบว่ามีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีความนุ่มมากขึ้น การใช้ MG WMG และ AMG ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน (0.1-0.3% w/w) มีคุณสมบัติทางด้านการหุงต้มและทางด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน การใช้ MG 0.1% ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.5% มีคุณสมบัติทางด้านการหุงต้มและคุณลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการใช้เกลือเต็มสูตร (2%) คือสามารถลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปลงได้ถึง 25% เมื่อศึกษาการใช้ MG 0.1% ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต 0.2% เนื้อหมูขึ้นรูปมีคุณสมบัติทางด้านการหุงต้มและคุณลักษณะเนื้อสัมผัสเทียบเท่ากับการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (0.3%) คือสามารถลดปริมาณการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ถึง 33% เมื่อทำการเก็บรักษาเนื้อหมูขึ้นรูปสุกไว้เป็นเวลา 10 วัน ตัวอย่างที่มีการใช้ MG 0.1% จะมีค่า TBARS น้อยกว่าการใช้ BHT 0.02% 1.3 เท่า แสดงว่า MG สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า BHT ซึ่งเป็นสารด้านการเกิดออกซิเดชันทางการค้า

Radjai Porkunpoolsin 2014: Extraction and Utilization of Polysaccharide from Dried Malva Nut Fruits (*Scaphium macropodium Beume*) in Restructured Pork Meat. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Tanaboon Sajjaanantakul, Ph.D. 202 pages.

Malva nut powder, water treated malva nut powder, and acid treated malva nut powder (0.02M HCl, 40 °C for 16 h) were solubilized to each respected gum with 0.05 M NaOH at 40 °C for 16 h, then freeze dried and grinded to powder. The viscosity of 0.5% w/v malva nut gum (MG), water treated malva nut gum (WMG), and acid treated malva nut gum (AMG) solutions at 90 °C were significantly decreased as compare to the sample at room temperature (25 °C) ($p \leq 0.05$). Upon cooling back to the room temperature, they regained the original viscosity. MG solutions gave higher viscosity at all temperature range (30-90 °C). MG solution (0.5%w/v) at pH 6-10 exhibited significantly higher viscosity as measured by Brookfield digital rheometer, than WMG and AMG solutions ($p \leq 0.05$). In addition, the viscosity of MG, WMG and AMG were affected by sodium chloride (NaCl) at a level of 1-5% ($p \leq 0.05$). At 2% NaCl (w/v) the viscosity of MG, WMG and AMG solution decreased 3.29, 2.83 and 2.30 times respectively, as compare to the sample in absence of NaCl.

Utilization of malva nut gums in restructured pork patty was studied. With addition of 0.3% (w/w) MG, the cooking loss, diameter change, and thickness change of restructured pork patties were decreased 16.08%, 50.98% and 47.73%, respectively. While water holding capacity was increased 5.26% when compared with control without gum. But the shear force was lower than control so the sample was more tender. At the same level (0.1-0.3% w/w), MG, WMG and AMG were not significantly different in the cooking and textural property. Using 0.1% MG combined with 1.5% NaCl in restructured pork patties resulted in comparable cooking and textural property values as compared to full NaCl formula (2%). The combined level (0.1%MG + 1.5%NaCl) could decrease NaCl content used in restructured pork patties process up to 25%. Restructured pork patties with 0.1% MG combined with 0.2% sodium tripolyphosphate (STPP) gave comparable cooking and textural property values with full STPP formula (0.3%). This could reduce the usage of STPP up to 33%. After 10 days of storage, cooked restructured pork patties with 0.1% MG added sample had 1.3 times lower TBARS value than the 0.02% BHT added sample ($p \leq 0.05$). Addition of 0.1% MG could better inhibit oxidation reaction than the use of 0.02% commercial antioxidant BHT.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาอบรมสั่งสอน และแนะนำในเรื่องการเรียน งานวิจัยตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัทรชพันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ภายใต้งานโครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม ประจำปี 2550 และบริษัท อุตสาหกรรมอาหาร ส.ขอนแก่น จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. สายพิน ทานัฒนาศัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุทัย กลิ่นเกษร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ตู้แช่แข็ง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชา เจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร เจ้าหน้าที่ห้องสมุด ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย ขอขอบคุณคุณชนินท์ ลิ้มปิยะวาลย์ ที่ช่วยแนะนำสถานที่ซื้อวัตถุดิบและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสำรอก ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโทและเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณพิชญ์ คุณวัชรวิภา คุณจิรพร คุณปิยรัตน์ คุณสุทธินิ และคุณมยุรีที่ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น รวมถึงกำลังใจและความสนุกสนานที่มีให้ตลอดระยะเวลาการศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

รัศมี ปุณณพูลสิน

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(14)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	122
สรุป	122
ข้อเสนอแนะ	124
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	125
ภาคผนวก	145
ภาคผนวก ก การเตรียมกัมจากผงสำรอง	146
ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์	148
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี	151
ภาคผนวก ง ผลการทดลองสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	162
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ	186
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ทางสถิติ	191
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	202

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเนื้อขึ้นรูปที่ผลิตจากกรรมวิธีที่แตกต่างกัน	7
2	ความสามารถต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี DPPH แสดงในรูป IC 50 ของสารเมื่อจากพืชชนิดต่างๆ	27
3	กิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสำรองด้วยเมทานอล	28
4	ส่วนผสมแห่งที่ใช้ในการศึกษาชนิดของกัมและปริมาณการใช้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป (%w/w) เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต	45
5	ส่วนผสมแห่งที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)	47
6	ส่วนผสมแห่งที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียม ไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)	49
7	ส่วนผสมแห่งที่ใช้ในการศึกษาผลของการใช้ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปสุก (%w/w meat)	51
8	ปริมาณผลได้ (yield) ของกัมสำรองในรูปผงแห้ง (gum powder) ที่ได้จากการสกัดผงสำรอง (malva nut powder) ที่เตรียมจากสภาวะที่ต่างกันด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์	53
9	ลักษณะโดยรวมของกัมสำรองจากผงสำรองตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และ กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG)	55
10	ค่าสีของกัมสำรองจากผงสำรองตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรองจาก ผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรองจากผงสำรอง ด้วยที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ในรูปแบบผงกัมแห้ง	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ค่าสีของสารละลายกัมตำรวจจากผงตำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมตำรวจจากผงตำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมตำรวจจากผงตำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	58
12	องค์ประกอบทางเคมีของผงตำรวจและกัมจากตำรวจ	62
13	ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมตำรวจชนิดต่างๆ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหมูขึ้นรูป	85
14	ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมตำรวจชนิดต่างๆ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป	88
15	ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมตำรวจชนิดต่างๆ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าแรงเหวี่ยง และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูป	90
16	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป	96
17	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป	99
18	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อค่าแรงเหวี่ยง และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูป	101
19	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)	103
20	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าแรงเฉือนและค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูปเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)	105
22	ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป	108
23	ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป	111
24	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าแรงเฉือน และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัส ที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูป	113
25	ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความสามารถในการอุ้มน้ำ ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)	115
26	ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)	116
27	ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตค่าแรงเฉือนและค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูปเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)	117

ตารางผนวกที่

ข1	การเตรียมสารละลาย citric acid-sodium citrate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์	149
ข2	การเตรียมสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์	150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข3 การเตรียมสารละลาย sodium carbonate-sodium bicarbonate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์	150
ง1 ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และ กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0- 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	163
ง2 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดที่อุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	164
ง3 ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น(WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	167
ง4 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	168

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง5 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	169
ง6 ความเข้มข้นและความแรงไอออนของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	175
ง7 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0-0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	177
ง8 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย	177
ง9 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0-5% เป็นตัวทำละลาย	178
ง10 ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมสารชนิดต่างๆ โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตต่อค่า Total colour difference ของเนื้อหมูขึ้นรูป	178

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง11 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า Total colour difference ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป	179
ง12 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตต่อค่า Total colour difference ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป	179
ง13 ค่า TBARS ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 10 วัน	180
ฉ1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์	192
ฉ2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงความหนา (thickness changes) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์	192
ฉ3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์	193
ฉ4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ของตัวอย่างเนื้อหมู ชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	193
ฉ5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า L * ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	193
ฉ6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า a * ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	194
ฉ7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า b * ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	194
ฉ8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า C * ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	194
ฉ9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า h * ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	195
ฉ10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแรงเฉือน (shear force) ของตัวอย่างเนื้อหมู ชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	195

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ฉ11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	195
ฉ12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการคืนตัว (springiness) ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	196
ฉ13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	196
ฉ14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl	196
ฉ15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	197
ฉ16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	197
ฉ17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	198
ฉ18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	198
ฉ19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า L^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	198
ฉ20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า a^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	199
ฉ21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า b^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	199
ฉ22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า C^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	199
ฉ23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า h^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	200

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
จ24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแรงเฉือน (shear force) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	200
จ25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	200
จ26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการคืนตัว (springiness) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	201
จ27 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	201
จ28 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP	201

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ผลสำรวจแห้ง	23
2 การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารเมือกชนิดต่างๆ ร้อยละ 0.5	29
3 วิธีการเตรียมผงสำรวจ	35
4 แผนภาพการเตรียม malva nut gum (MG) water treated malva nut gum (WMG) และ acid treatment malva nut gum (AMG)	37
5 ขั้นตอนการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป	42
6 ผลสำรวจ (ก) เมล็ดสำรวจ (ข) เปลือกและเนื้อสำรวจ (ค) และผงสำรวจบดที่ร่อนผ่านตะแกรง 35 เมช (ง)	52
7 กัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) (ก) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) (ข) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) (ค)	56
8 สารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) (ก) สารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) (ข) และสารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) (ค) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	56
9 ความหนืดของสารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0-0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	65
10 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดที่อุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	68
12	ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	70
13	ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	74
14	ค่า TBARS ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 10 วัน	118
ภาพผนวกที่		
ก1	การเตรียมกัมสารจากจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) โดยนำผงสารละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ และทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น (ก) แล้วทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ (ข)	147

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก2 การเตรียมกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) โดยนำผงสํารองละลายใน HCl 0.02 M (ก) ปรับ pH ให้เป็น 6 ด้วย NaOH 2 M (ข) ละลายใน NaOH ให้มีความเข้มข้น 0.05 M และทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น (ค) แล้วทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วย HCl 2 M (ง)	147
ค1 ค่าสีระบบ CIE L * a * b *	155
ค2 แผนภาพการกดตัวอย่าง 2 ครั้งของ texture profile analysis (a) การกดลง (downstroke actions) ในระหว่างการกดครั้งที่ 1 และ 2 (b) การยกขึ้น (upstroke actions) ในระหว่างการกดครั้งที่ 1 และ 2	156
ค3 กราฟ texture profile analysis จากเครื่อง Instron Universal Testing Machine	157
ค4 กราฟมาตรฐานของมาลอนอัลดีไฮด์	161
ง1 กราฟอาร์เรเนียสแสดงผลของอุณหภูมิในช่วง 30-90 องศาเซลเซียส ต่อค่าความหนืดของกัมสํารองชนิดต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	166
ง2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏและค่าความแรงไอออนของโซเดียมคลอไรด์ของสารละลายกัมสํารองจากผงสํารองตามธรรมชาติ (MG) กัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที	176
ง3 สารละลายกัมสํารองจากผงสํารองตามธรรมชาติ (MG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1–0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	180
ง4 สารละลายกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ (WMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1–0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	180
ง5 สารละลายกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1–0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	181

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง6	สารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10	181
ง7	สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ (WMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10	182
ง8	สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10	182
ง9	สารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%	183
ง10	สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างน้ำ (WMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%	183
ง11	สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%	184

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AMG	=	Acid treated malva nut gum
BHT	=	Butylated hydroxytoluene
CMG	=	Crude malva nut gum
EDTA	=	Ethylenediaminetetraacetic acid
HCl	=	Hydrochloric acid
MG	=	Malva nut gum
NaOH	=	Sodium hydroxide
NaCl	=	Sodium chloride
PMG	=	Purified malva nut gum
STPP	=	Sodium tripolyphosphate
TBA	=	Thiobarbituric acid
TBARS	=	Thiobarbituric acid reactive substances
TCA	=	Trichloroacetic acid
WOF	=	Warmed-Over Flavor
WMG	=	Water treated malva nut gum

การสกัดและใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากผลตำรองแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

Extraction and Utilization of Polysaccharide from Dried Malva Nut Fruits (*Scaphium macropodium Beume*) in Restructured Pork Meat

คำนำ

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ได้ขยายตัวมากยิ่งขึ้น มูลค่าการส่งออกของสินค้าประเภทเนื้อสัตว์นํารายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก ในปี 2551 ประเทศไทยมีการส่งออกเนื้อสุกรปริมาณ 5,747 ตัน คิดเป็นมูลค่าถึง 538 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, 2551) แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีความเสี่ยงเนื้อต่างๆ หลงเหลืออยู่ค่อนข้างมาก ส่วนที่เหลือซึ่งมีปริมาณมากจะถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ ซึ่งมีมูลค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเนื้อที่ขายเป็นชิ้นๆ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาชิ้นเนื้อส่วนที่เหลือมาทำการแปรรูปเป็น “ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป” ซึ่งจะมีลักษณะด้านการบริโภคเหมือนหรือคล้ายเนื้อก้อน

สิ่งที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูปคือการทำให้ชิ้นเนื้อยึดเกาะกันเป็นก้อน วิธีการโดยทั่วไปจะใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ฟอสเฟต และแรงทางกลร่วมกันในการสกัดโปรตีนกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดของเหลวที่มีความข้นเหนียว (tacky, sticky exudates) เมื่อนำไปให้ความร้อน น้ำที่ข้นเหนียวนี้จะเกิดเป็นโครงร่างที่มีความคงตัว ซึ่งจะช่วยให้ชิ้นเนื้อเกิดการยึดเกาะกันมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อทั้งก้อน ซึ่งเรียกกลไกการยึดเกาะเช่นนี้ว่า การยึดเกาะกันด้วยความร้อน (heat set binding) (Trout and Schmidt, 1987) แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจในด้านสุขภาพกันมากขึ้น การบริโภคเกลือในปริมาณสูงมีความเกี่ยวข้องกับโรคไต โรคหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น นอกจากนี้การทำให้ชิ้นเนื้อยึดเกาะกันด้วยความร้อนทำให้มีปัญหาเมื่อนำมาในลักษณะเนื้อดิบ (raw state) เนื่องจากชิ้นเนื้อจะเกาะตัวกันได้ไม่ดีด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการนำเอาไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) มาใช้ในการทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดเกาะในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปกันมากขึ้น

ผลตำรองหรือพุททะลาย (*Scaphium macropodium Beume*) พบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เมื่อแช่น้ำเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกจะเกิดการพองตัวคล้ายเจล มีสีน้ำตาล ปัจจุบันมีการใช้

ประโยชน์จากผลสำรองในรูปของวุ้นสำรองในน้ำสมุนไพรเท่านั้น ขณะที่ประเทศไทยยังคงมีการนำเข้าจากต่างประเทศจำนวนมากเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาสูงถึง 246.5 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) การศึกษาการสกัดเพื่อนำมาใช้ในด้านวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ยังมีน้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กัมที่สกัดได้จากผลสำรองในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป (restructured meat) ที่มีการลดปริมาณเกลือหรือฟอสเฟต เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลสำรองยังมีประสิทธิภาพเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) (ชนินันท์, 2551) ดังนั้นการเติมกัมจากสำรองในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ในขณะเก็บรักษา ซึ่งการใช้ผลสำรองในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปนี้จะเป็นการพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ อีกทั้งยังเป็นการใช้ประโยชน์ผลิตผลในประเทศ ลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ และเป็นการสร้างมูลค่าใหม่ให้กับผลิตผลพื้นบ้านอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. สกัดกัมจากผลสำรวจ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG)
2. ศึกษาผลของ MG WMG และ AMG และปริมาณการใช้ต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ตี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต
3. ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ตี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร และศึกษาผลของ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปสุก

การตรวจเอกสาร

เนื้อขึ้นรูป

เนื้อขึ้นรูป (restructured meat) เป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อที่ผลิตได้จากการนำชิ้นเนื้อขนาดเล็ก หรือเศษชิ้นเนื้อที่เหลือจากการตัดแต่งมาผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การตีเนื้ว หรือการผสม การอัดหรือการขึ้นรูป ทำให้ชิ้นเนื้อเหล่านั้นเกิดการยึดเกาะเข้าด้วยกัน ได้เป็นก้อนเนื้อใหม่ที่มีขนาดและรูปร่างตามแบบของฟิมพ์ (John, 1987; Pearson and Gillet, 1996) โดยผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่ดีจะต้องคงรูปได้ดี มีการเกาะกันระหว่างชิ้นเนื้อทั้งหมดเป็นก้อนเดียวกัน เมื่อหั่นหรือตัดชิ้นเนื้อจะต้องไม่แยกตัวหลุดออกมา (ขวัญสุตา, 2547)

เนื้อสัตว์ที่นำมาผลิตเป็นเนื้อขึ้นรูปนั้นได้จากสัตว์ปีก วัว หมู แพะ และแกะ จึงทำให้เนื้อขึ้นรูปที่ผลิตขึ้นมามีชื่อเรียกต่างๆ กันออกไปตามชนิดของเนื้อสัตว์ที่นำมาผลิต ตัวอย่างเช่น เนื้อขึ้นรูปที่ผลิตจากเนื้อหมูจะเรียกว่า เนื้อหมูขึ้นรูป จากเนื้อวัวจะเรียกว่า เนื้อวัวขึ้นรูป เป็นต้น (นันทโรจน์, 2535)

การผลิตเนื้อขึ้นรูปเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเนื้อที่เหลือจากการตัดแต่ง หรือจากการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกจากนี้ยังได้เนื้อที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากสามารถปรับปริมาณส่วนผสมในส่วนที่เป็นเนื้อ ไขมัน และอื่นๆ ได้ หรือแม้แต่เสริมธาตุอาหารลงไปก็ทำได้เช่นกัน ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปตามความต้องการของผู้บริโภคต่อไป (John, 1987)

1. กรรมวิธีการผลิตเนื้อขึ้นรูปในระดับอุตสาหกรรม

การผลิตเนื้อขึ้นรูปในระดับอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ตามขนาดของชิ้นเนื้อ ได้แก่ (John, 1987; Pearson and Gillet, 1996)

1.1 การผลิตจากชิ้นเนื้อแผ่นขนาดเล็ก (flaking and forming)

การผลิตจากชิ้นเนื้อแผ่นขนาดเล็กเป็นการผลิตโดยนำชิ้นเนื้อมาผ่านเครื่องสไลด์ (slicing machine) หรือเครื่องหั่นแบบแผ่น (flaking machine) อุณหภูมิในการลดขนาดเป็นสิ่งสำคัญ

มาก ชื่นเนื้อจะต้องมีลักษณะเย็นจัดคล้ายหิมะ (particle similar to snow) ในกรณีที่อุณหภูมิของชื่นเนื้อสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำไปลดขนาดชื่นเนื้อจะยังคงเป็นแผ่น (flake) แต่จะต้องใช้ระยะเวลาในการผสมนานขึ้น เพื่อให้เกิดการเกาะรวมตัวกันได้ดี แต่ถ้าชื่นเนื้อมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป ชื่นเนื้อจะไม่สามารถผ่านเครื่องลดขนาดออกมาได้ เนื่องจากจะเกาะเป็นก้อนของเหลวละ (mushy mass) ที่หว่าดัด ซึ่งเมื่อนำไปปรุงอาหารจะทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายยาง (rubbery) โดย Army Natick Laboratory ได้แนะนำว่าอุณหภูมิของชื่นเนื้อที่เหมาะสมควรจะอยู่ที่ -4 ถึง 4 องศาเซลเซียส เมื่อได้ขนาดชื่นเนื้อตามต้องการแล้วให้นำมาผสมกับเกลือและฟอสเฟต การผสมเป็นการสกัดโปรตีนกล้ามเนื้อและทำให้ชื่นเนื้อแต่ละชิ้นเกิดการยึดเกาะตัวกัน นำของผสมที่ได้อัดใส่ถุงพลาสติกขนาดที่เหมาะสมภายใต้ระบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปแช่แข็งและทำให้อ่อนตัวลง (tempered) นำก้อนเนื้อที่อ่อนตัวแล้วไปอัดและขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดเนื้อระบบไฮดรอลิก (hydraulic meat press) จากนั้นนำไปสไลด์ให้ได้ขนาดตามต้องการ ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่ได้จากกรรมวิธีนี้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสระหว่างเนื้อบด (ground meat) และเนื้อก้อน (intact meat cut) มีข้อดีคือเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นเนื่องจากสามารถนำเศษที่เหลือจากการตัดแต่งมาผลิตได้ แต่อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการผลิตนี้ต้องการแรงงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตมีราคาค่อนข้างสูง และยังเกิดปัญหาการเกิดออกซิเดชัน (autoxidation) อีกด้วย (Pearson and Gillet, 1996) ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจนหรืออากาศในระหว่างกระบวนการผลิต หรือการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชัน

1.2 การผลิตจากเนื้อขึ้นหยาบ (chunking and forming)

เนื้อขึ้นหยาบได้จากการนำชื่นเนื้อมาผ่านเครื่องบด (grinder) เครื่องหั่นแบบลูกเต๋า (dicer) เครื่องสับผสม (silent cutter) หรือเครื่องมืออื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยชื่นเนื้อที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน 1.5 ลูกบาศก์นิ้ว อุณหภูมิของชื่นเนื้ออยู่ที่ 4-10 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้เนื้อขึ้นหยาบที่มีคุณภาพ เนื้อขึ้นหยาบที่ผลิตจากเครื่องบดจะมีพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระ เมื่อเทียบกับชื่นเนื้อที่ได้จากเครื่องหั่นแบบลูกเต๋า การที่ชื่นเนื้อมีพื้นผิวแบบขรุขระนี้จะทำให้ชื่นเนื้อเชื่อมต่อกันได้ดีในระหว่างการผสม เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเกาะตัวกันดีไม่หลุดแยกตัวออกจากกัน การขึ้นรูปทำได้โดยอัดใส่ในไส้หรือแม่แบบ (meat logs) หลังจากที่ทำเสร็จแล้วนำไปแช่แข็งทันที ก้อนเนื้อที่ได้จะต้องนำมาทำให้อ่อนตัวก่อนการสไลด์ สไลด์ให้มีความหนาตามต้องการด้วยมีดหรือเครื่องสไลด์ นอกจากนี้ในการขึ้นรูปอาจใช้เครื่องขึ้นรูปแพตตี้ (patty formers) จากนั้นนำไปแช่แข็งและเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปจากเนื้อขึ้นหยาบมีข้อดีตรงที่ยังคงมีลักษณะโครงสร้างและเนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อก้อน แต่อย่างไรก็ตาม ในการตัดแต่งจะต้องกำจัดเอ็น เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และ

ไขมันออก เนื่องจากจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยทั่วไปสิ่งที่ต้องระวังในการผลิตเนื้อขึ้นรูป คือ ขั้นตอนของการผสม หากระยะเวลาในการผสมน้อยเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูญเสียเนื้อสัมผัสและยึดเกาะกันได้ไม่ดี ในทางตรงกันข้ามหากใช้ระยะเวลาในการผสมมากเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสเหนียวคล้ายยางและไม่เป็นที่ยอมรับ (Pearson and Gillet, 1996) ข้อเสียของกรรมวิธีการผลิตนี้คือสามารถเกิดออกซิเดชันได้ หากไม่มีการเติมไนเตรทหรือไนไตรท์ การเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชันในระหว่างกระบวนการผลิตจะช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้

1.3 การผลิตจากเนื้อที่ฉีกเป็นเส้นใย (tearing and forming)

กรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีนี้ต้องใช้เครื่องมือในการฉีกเนื้อให้เป็นเส้นใย แล้วจึงทำการผลิตต่อไปเหมือน 2 วิธีแรก วิธีนี้ได้รับความนิยมไม่มากนัก เนื่องจากการออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสมกับการฉีกเนื้อนั้นค่อนข้างยาก แต่อย่างไรก็ตาม ข้อดีของวิธีการนี้คือผนังเซลล์ถูกทำลายน้อย ทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันได้น้อยกว่า นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อทั้งก้อนมาก

1.4 การผลิตจากเนื้อทั้งก้อน (sectioning and forming)

การผลิตเนื้อขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธีผลิตทั้ง 3 ข้อที่ผ่านมา เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการลดขนาดของชิ้นเนื้อ เป็นการใช้เนื้อทั้งก้อนมาทำการผลิตโดยตรง วิธีนี้ประกอบด้วย การคัดเลือก ตัดแต่งชิ้นเนื้อ ตัดไขมัน เ็น และพังผืดออก หมักด้วยสารเคมีที่ต้องการ หลังจากนั้นนำไปนวดในสภาวะที่มีอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม อัดใส่พิมพ์ให้ได้ลักษณะและขนาดที่ต้องการ เนื่องจากวิธีการนี้ไม่มีขั้นตอนการลดขนาดของชิ้นเนื้อ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงยังคงมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อทั้งก้อน

2. กระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูป

การผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดเจล ซึ่งการเกิดเจlnั้นสามารถเกิดได้จากกระบวนการทางความร้อน (thermally-set) หรือกระบวนการทางเคมี (chemically-set) ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปโดยทั่วไปจะยึดจับกันด้วยความร้อนผ่านทางโปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งสกัดได้จากโปรตีนเนื้อสัตว์เมื่อมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ฟอสเฟต และแรงทางกลร่วมด้วย (Boles and Shand, 1998) ซึ่งกระบวนการนี้ผลิตภัณฑ์จะต้องขายในลักษณะกึ่งสุก (precooked) สุก หรือแช่แข็ง

เท่านั้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดิบ (raw state) ยึดเกาะกันไม่แข็งแรง สำหรับกระบวนการยึดเกาะกันทางเคมี (chemically-set binding systems) ผลิตภัณฑ์สามารถขายในรูปของเนื้อแข็งเย็นหรือเนื้อดิบได้ และมีคุณลักษณะด้านการบริโภคคล้ายเนื้อทั้งก้อน (Means and Schmidt, 1986) โดยทั้งสองกระบวนการนี้มีกลไกและชนิดของสารยึดเกาะ (binders) แตกต่างกันไป การผลิตเนื้อขึ้นรูปเพื่อให้ได้เนื้อก้อนใหม่ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการมีขั้นตอนต่างๆ ไปอยู่ 4 ขั้นตอนคือ การเตรียมวัตถุดิบ การตีเนื้อหรือการผสม การขึ้นรูป และการแช่แข็ง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเนื้อขึ้นรูปที่ผลิตจากกรรมวิธีที่ต่างกัน

คุณสมบัติ	การผลิตจาก ชิ้นเนื้อขนาดเล็ก	การผลิตจาก เนื้อชิ้นหยาบ	การผลิตจาก เนื้อทั้งก้อน
ข้อดี ^a			
- ทำให้มีรูปร่างตามต้องการ	XXX	XX	X
- สร้างมูลค่าเพิ่ม	XXX	XX	X
- กำหนดคุณค่าทางโภชนาการ	XXX	XX	-
- ลักษณะคล้ายเนื้อทั้งก้อน	X	XX	XXX
ข้อเสีย (ปัญหา) ^b			
- เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ	XXX	XX	X
- การเปลี่ยนแปลงทางด้านสี	XXX	XX	-
- เกิดกลิ่นหืน	XXX	XX	X

หมายเหตุ ^a = X มีข้อดีน้อยกว่า XXX = มีข้อดีมากกว่า

^b = X มีปัญหาน้อยกว่า XXX = มีปัญหามากกว่า

ที่มา: John (1987)

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ (raw material preparation)

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตเนื้อขึ้นรูปประกอบด้วยเนื้อสัตว์
เกลือ และน้ำ

2.1.1 เนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ที่นิยมใช้ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปเป็นเนื้อที่มีคุณภาพปานกลาง หรือเนื้อที่มีขนาดเล็กจากการตัดแต่งซาก (Mamdigo, 1986) ไม่ควรใช้เนื้อที่มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูปจะมีขั้นตอนการนวดผสม หากเนื้อชิ้นใดชิ้นหนึ่งเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียจะมีผลกระทบต่อชิ้นเนื้อชิ้นอื่นๆ เป็นการเพิ่มโอกาสในการเน่าเสียให้มากยิ่งขึ้น เนื้อที่มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงไม่ควรนำมาใช้ในการผลิต เนื่องจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเหล่านี้จะขัดขวางการสกัดไมโอซินและโปรตีนไมโอไฟบริลลาอื่นๆ นอกจากนี้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันยังมีคุณสมบัติในการยึดเกาะต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียการยึดเกาะกันหลังจากการแปรรูป ดังนั้นการก่อนแปรรูปจึงควรตัดแต่งเอาเนื้อเยื่อเกี่ยวพันออกให้มากที่สุด เนื้อที่นำมาผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปควรจะมีปริมาณไขมันน้อยด้วยเช่นกัน เพราะไขมันจะทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลง การคัดเลือกเนื้อที่มีไขมันต่ำและตัดแต่งเอาไขมันส่วนเกินออกไปจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก (ชัยณรงค์, 2529) Lu and Chen (1999) พบว่าไขมันจะลดความสามารถในการยึดเกาะกันของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปลง ซึ่งข้อสรุปนี้สอดคล้องกับ Berrys (1994) ที่ทำการศึกษาพบว่าแพตตี้ที่มีไขมันร้อยละ 20 จะให้ค่าแรงเฉือน (shear) และค่าแรงกด (compression) น้อยกว่าแพตตี้ที่มีไขมันร้อยละ 4

การบด การสไลด์ การหั่นเป็นลูกเต๋า การหั่นเป็นแผ่น ล้วนแล้วแต่เป็นการลดขนาดทั้งสิ้น เนื้อขนาดใหญ่สามารถหั่นให้เป็นชิ้นหยาบได้โดยการหั่นด้วยมือ ผ่านเครื่องบดหยาบ หรือเครื่องหั่นแบบลูกเต๋า เนื้อชิ้นหยาบที่ได้จากเครื่องบดที่ไม่ใช่ใบมีดจะมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระ วิธีการนี้เองจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสกัดโปรตีนไมโอซิน และทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายยึดเกาะกันได้ดี (Pearson and Gillet, 1996)

2.1.2 เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเกลือเพียงชนิดเดียวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป และเป็นเพียงชนิดเดียวที่กฎหมายอนุญาตให้ใช้ได้ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทุกชนิด เนื่องจากเกลือชนิดอื่นๆ จะทำให้เกิดสารพิษและกลิ่นรสที่ผิดปกติ ซึ่งปริมาณการใช้จะถูกจำกัดด้วยรสชาติและกลิ่นรส โดยทั่วไปแล้ว ถ้าทำการผลิตเนื้อขึ้นรูปจากชิ้นเนื้อขนาดเล็กจะใช้เกลือปริมาณร้อยละ 3 แต่ถ้าผลิตจากเนื้อทั้งก้อนจะใช้เกลือในปริมาณร้อยละ 2.5-3.5 การผลิตโดยใช้ชิ้นเนื้อขนาดเล็กและเนื้อชิ้นหยาบสามารถเติมเกลือลงไปในรูปแบบแห้งได้โดยตรงในขั้นตอนของ

การผสม แต่ถ้าผลิตจากเนื้อทั้งก้อน จะต้องละลายเกลือในน้ำก่อน แล้วจึงค่อยฉีดเข้าไปในชิ้นเนื้อ ก่อนขั้นตอนการนวด การเติมเกลือลงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปเพื่อเหตุผล 3 ประการ คือ

ก. เกลือจะเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเกลือจะสกัดโปรตีน โครงสร้างออกมาจากเซลล์กล้ามเนื้อในระหว่างการนวดผสม โดยโปรตีน โครงสร้างตัวที่สำคัญที่สุดคือไมโอซิน ซึ่งจะเกิดเป็นชั้นที่มีความข้นเหนียวรอบๆ ผิวหน้าของชิ้นเนื้อ ในระหว่างการทำให้สุกโปรตีนนี้จะเกิด โครงสร้าง 3 มิติที่มีความแข็งแรง โอบอุ้มน้ำอิสระเอาไว้ และยังทำให้ชิ้นเนื้อเกิดการยึดเกาะกันอีกด้วย

ข. เกลือจะลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยและอายุการเก็บมากขึ้น การใช้เกลือร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ จะช่วยจำกัดการเจริญเติบโตของ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดโรคโบทูลิซึม (botulism) ได้

ค. เกลือจะช่วยปรับปรุงกลิ่นรสให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเมื่อเติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 1.0-2.0 จะช่วยเพิ่มกลิ่นเนื้อ (meaty flavor) ให้แก่ผลิตภัณฑ์ การเติมเกลือน้อยกว่าร้อยละ 1.0 จะไม่ช่วยในเรื่องกลิ่นรส และถ้าหากใช้มากกว่าร้อยละ 2.0 ก็จะทำให้เกิดกลิ่นเกลือ (salty flavor) ขึ้น ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Trout and Schmidt, 1987)

2.1.3 น้ำ

ปริมาณน้ำที่เติมลงในเนื้อขึ้นรูปจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยทั่วไปปริมาณน้ำจะมีความหลากหลายตั้งแต่ไม่ต้องเติมเลย เช่น ในกระบวนการผลิตสเต็กและโรติจากชิ้นเนื้อขนาดเล็กหรือเนื้อชิ้นหยาบ ไปจนถึงต้องเติมน้ำถึงร้อยละ 30 เช่น ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อทั้งก้อน ในผลิตภัณฑ์จากชิ้นเนื้อขนาดเล็กหรือเนื้อชิ้นหยาบสามารถเติมน้ำลงในผลิตภัณฑ์ได้โดยตรงในขั้นตอนการผสม ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากเนื้อทั้งก้อน จะเติมน้ำโดยใช้เข็มฉีดลงในชิ้นเนื้อก่อนขั้นตอนการให้แรงทางกล (เช่น การผสม หรือการตีนวด) วัตถุประสงค์หลักในการเติมน้ำสำหรับการผลิตเนื้อสเต็กหรือโรติจนรูป คือเพื่อช่วยให้การผสมดียิ่งขึ้น แต่ในกรณีของผลิตภัณฑ์จากเนื้อทั้งก้อน น้ำจะทำหน้าที่หลักในการทำลายเกลือและฟอสเฟต เพื่อให้สารทั้งสองสามารถกระจายตัวในชิ้นเนื้อได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้น

จุดมุ่งหมายหลักในการเติมน้ำคือเพื่อช่วยให้กระบวนการแปรรูปง่ายยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติมน้ำนั้นจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปด้วยเช่นกัน หากเติมน้ำมากเกินไป จะไปลดคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตีนเนื้อและเกลือที่อยู่ภายในเนื้อสัตว์ตามธรรมชาติ (endogenous salt) ลดลง ในทางตรงกันข้าม หากเติมน้ำน้อยจนเกินไป ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแห้งและไม่มีการลิ้นรส เนื่องจากน้ำที่เติมลงไปมีความจำเป็นในการชดเชยน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการระเหยหรือนเนื่องมาจากกระบวนการแปรรูปอื่นๆ ดังนั้นน้ำจึงมีความจำเป็นต่อผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปในด้านของความชุ่มฉ่ำ (juiciness) และทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสารให้กลิ่นรสอีกด้วย (Trout and Schmidt, 1987)

2.1.4 สารช่วยยึดเกาะ (binders)

สารช่วยยึดเกาะจะทำหน้าที่เสมือนกาวที่เชื่อมชิ้นเนื้อเข้าด้วยกัน โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์หลากหลายชนิดถูกใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิสูง (heat-set binders) ในขณะที่สารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำ (cold-set binders) นั้นมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ตัวอย่างของสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิสูง เช่น สตาร์ชและอนุพันธ์ กลูเตน อัลบูมิน โซเดียมเคซีนท เป็นต้น การเติมสารช่วยยึดเกาะเหล่านี้เพื่อช่วยด้านเนื้อสัมผัส และเพื่อรักษาความคงตัวของน้ำและอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่สารช่วยยึดเกาะหลักในการเกิดเจลด้วยความร้อนยังคงเป็น โปรตีนกล้ามเนื้อ (Booren and Mandigo, 1987) ส่วนสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีเพียงพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนไม่กี่ชนิด เช่น อัลจินต เอนไซม์ครอสลิงค์ (cross-linking enzyme) สารสกัดพลาสมา (plasma factors) การเติมสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีคุณลักษณะทางการบริโภคคล้ายเนื้อทั้งก้อน (Alting *et al.*, 2003) สารช่วยยึดเกาะจะเติมในขั้นตอนการผสมในรูปของผงแห้งหรือของเหลวผสมก็ได้

Devatkal and Mendiratta (2001) กล่าวว่าสารช่วยยึดเกาะในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจุดประสงค์ในการใช้ที่เหมือนกันคือ เพื่อช่วยในการยึดเกาะของชิ้นเนื้อ แต่เนื่องจากกระบวนการแปรรูปที่ต่างกันหรือวัตถุประสงค์ในการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น การผลิตเนื้อขึ้นรูปชนิดดิบหรือสุก จึงได้มีการศึกษาสารช่วยยึดเกาะชนิดต่างๆ เพื่อความเหมาะสมดังกล่าว โดยสารช่วยยึดเกาะที่มีการศึกษากันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ โปรตีนจากเนื้อสัตว์ (meat protein) โปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ (non meat protein) และสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide)

ก. โปรตีนจากเนื้อสัตว์ (meat protein) โปรตีนจากเนื้อสัตว์เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารช่วยยึดเกาะในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่ดีที่สุด ซึ่งโปรตีนเหล่านี้จะอยู่ในส่วนของโปรตีนกล้ามเนื้อ ได้แก่ โปรตีนไมโอซิน (myosin) แอคโตไมโอซิน (actomyosin) และ แอคติน (actin) โดยโปรตีนเหล่านี้สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือ และถูกสกัดออกมาได้มากขึ้นเมื่อได้รับแรงทางกล แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนกล้ามเนื้อตัวที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารช่วยยึดเกาะที่ดีที่สุดคือไมโอซิน ซึ่งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านความร้อน โปรตีนไมโอซินจะเกิดเป็นเจล และเจลที่ได้มีความคงตัว ทำให้ชิ้นเนื้อยึดติดกันแน่น (Trout and Schmidt, 1987)

ข. สารในกลุ่มโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ (non meat protein) เนื่องจากโปรตีนจากเนื้อสัตว์จะถูกสกัดออกมาได้นั้นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของเกลือและแรงทางกล แต่เนื่องจากความห่วงใยในด้านสุขภาพในการบริโภคเกลือ จึงทำให้โปรตีนที่มาจากแหล่งอื่นเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น เนื่องจากโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และเกิดเจลโดยการเหนี่ยวนำด้วยความร้อน เช่น กลูเตนจากแป้งสาลี หางนมผง โซเดียมเคซีนเต โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากไข่ขาว โดยที่บริเวณโซ่ข้างของโปรตีนเหล่านี้จะมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับโปรตีนของเนื้อสัตว์และเกิดปฏิกิริยากันเองได้ ทำให้ได้โครงสร้างของโปรตีนที่แข็งแรง ความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลของโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ (ขวัญสุตา, 2547)

Lu and Chen (1999) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ไข่ขาวผง (egg white powder) และพลาสมาผง (plasma powders) ในการเป็นสารช่วยยึดเกาะในผลิตภัณฑ์เนื้อ พบว่าไข่ขาวผงทั้งที่กำจัดน้ำตาลและไม่กำจัดน้ำตาล (desugared egg white and non-desugared egg white powder) นั้น จะทำให้ชิ้นเนื้อยึดเกาะกันสูงที่สุด รองลงมาคือพลาสมาผง (plasma powders) ผงเนื้อ (meat powder) และ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (isolated soy protein) ตามลำดับ ทางผู้ทดลองกล่าวว่าการที่ไข่ขาวมีความสามารถในการยึดเกาะได้ดีนั้นอาจเนื่องมาจากโปรตีนโอวัลบูมินในอัลบูมินมีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลอยู่ถึง 4 หมู่ในแต่ละโมเลกุล

ค. สารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ ถึงแม้โปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์จะถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่โปรตีนจากเนื้อสัตว์เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้เกลือลง แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์จะทำให้ชิ้นเนื้อยึดเกาะกันได้ดีต่อเมื่อได้รับความร้อน (heat induced gelation) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเมื่อขายในลักษณะเนื้อดิบ เพราะชิ้นเนื้อยึดเกาะกันไม่แข็งแรง ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ทาง

อาหารจึงได้มีแนวคิดในการประยุกต์ใช้สารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ขึ้นมา เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์บางตัวสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งราคาไม่สูงมากนัก และใช้ในปริมาณน้อยก็เพียงพอ

แคลเซียมอัลจินเตสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งในเนื้อขึ้นรูปดิบและสุกโดยผ่านทางการเกิดเจลโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี โดยโซเดียมอัลจินเตจะทำอันตรกิริยากับแคลเซียมไอออนที่ได้มาจากการปลดปล่อยของแคลเซียมคาร์บอเนตอย่างช้าๆ ซึ่งจะทำให้เกิดเจลแคลเซียมอัลจินเตที่มีความแข็งแรง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ระยะเวลาประมาณ 2-48 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเจลที่ต้องการ (Means and Schmidt, 1986; Means *et al.*, 1987) Bernal and Stanley (1989) พบว่าเมื่อใช้เมทิลเซลลูโลสจะช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (binding strength) ให้เนื้อขึ้นรูป เมทิลเซลลูโลสจะมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยยึดเกาะที่ดีกว่าการจีแนและแซนแทนกัม เนื่องจากเจลที่เกิดจากเมทิลเซลลูโลสเป็นแบบไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible gel) ส่วนการจีแนและแซนแทนกัมเป็ลเจลชนิดสามารถผันกลับได้ (reversible gel) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเยิ้มของน้ำ (syneresis) ขึ้น

2.2 การตีนวดหรือการผสม (mixing)

ในการสกัดโปรตีนจากชิ้นเนื้อ ต้องอาศัยกลไกการทำงานของเกลือ การสกัดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้แรงกระทำจากภายนอกพร้อมด้วย เช่น การนวดผสม เมื่อนำเนื้อผ่านความร้อนเพื่อให้สุก โปรตีนที่ถูกสกัดได้จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมชิ้นเนื้อให้ติดกัน

กระบวนการที่ใช้ในการสกัดโปรตีนได้แก่ การนวด (thumbling, massaging) การผสม (mixing) แรงจากการผสมจะทำให้เนื้อเยื่อฉีกขาด ซึ่งจะช่วยให้สกัดโปรตีนได้ดียิ่งขึ้น ถ้ามีการเติมส่วนผสมอื่นจะต้องใช้เวลาในการผสมนานขึ้น เพื่อให้สารนั้นสามารถเคลือบชิ้นเนื้อได้อย่างทั่วถึง (Booren and Madigo, 1981) อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการผสมยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของเครื่องผสม ความเร็วรอบ และเนื้อสัมผัสที่ต้องการ การผสมเป็นเวลานานเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อสัมผัส และเกิดเนื้อสัมผัสคล้ายฟองน้ำ การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการผสมเป็น ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งต่อคุณภาพของเนื้อขึ้นรูป เพราะนอกจากจะช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการผสมแล้ว ยังสามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ในระหว่างการผลิตได้ด้วย (Huffman, 1980)

2.3 การอัดหรือการขึ้นรูป (restructuring)

การอัดหรือการขึ้นรูปเป็นขั้นตอนการบีบอัดชิ้นเนื้อที่ผสมแล้วลงในแม่แบบเพื่อให้ได้ก้อนเนื้อตามรูปแบบที่ต้องการ โดยโปรตีนที่สกัดได้จะช่วยให้ชิ้นเนื้อสามารถยึดติดกันได้ดี การขึ้นรูปนิยมทำเป็นก้อน (meat log) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ กันตามความประสงค์ของผู้ผลิต การอัดเนื้อทำได้โดยการอัดเนื้อที่นวดผสมแล้วลงในไส้พลาสติก (casing) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูปที่มีการยึดเกาะกันทางเคมี หลังจากอัดตัวอย่างได้รูปร่างดังต้องการแล้ว ตัวอย่างจะถูกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิต่ำภายใต้เวลาที่เหมาะสม พันธะทางเคมีระหว่างโปรตีนเนื้อสัตว์และสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำ (cold-set binders) จะเกิดขึ้น เป็นผลให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป (Pearson and Gillet, 1996)

2.4 การแช่แข็ง (freezing)

การแช่แข็งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูปแบบอาศัยกลไกการยึดเกาะกันด้วยความร้อน เนื่องจากแรงยึดเกาะในผลิตภัณฑ์ดิบต่ำมาก ดังนั้นการแช่แข็งจะช่วยใหรูปร่างของผลิตภัณฑ์อยู่ตัวและง่ายต่อการตัดหรือการสไลด์ (Huffman, 1981) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนนี้ควรต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไมโอโกลบิน (Pearson and Gillet, 1996) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยึดเกาะกันที่อุณหภูมิไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนนี้ โดยผลิตภัณฑ์จะถูกตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำและเก็บไว้ภายในตู้เย็นเพื่อให้เกิดกระบวนการเกิดเจลอย่างสมบูรณ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0-5 องศาเซลเซียสและผลิตภัณฑ์สามารถเก็บและขายในรูปแช่เย็นได้ (Means and Schmidt, 1987)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดเกาะของชิ้นเนื้อ

3.1 สภาวะของเนื้อ

Turner *et al.* (1979) รายงานว่า เนื้อโคก่อนเกิดการเกร็งตัว (pre rigor) จะสามารถสกัดโปรตีนไมโอซินได้มากกว่าเนื้อโคที่ผ่านการเกร็งตัวแล้ว (post rigor) ซึ่งทำให้ชิ้นเนื้อที่มีแรงยึดเกาะระหว่างกันเพิ่มมากขึ้น

3.2 ขนาดของชิ้นเนื้อ

Acton (1972) ได้ทำการศึกษาขนาดของชิ้นเนื้อไก่ที่มีผลต่อการสกัดโปรตีน โดยทำการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ ปริมาตรร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อขนาดของชิ้นเนื้อลดลงมีผลทำให้โปรตีนที่สกัดได้และแรงยึดเกาะในระหว่างชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้น

3.3 ปริมาณเกลือที่ใช้

Gillett *et al.* (1977) ทำการศึกษาปริมาณเกลือที่ใช้ในการสกัดโปรตีนโดยใช้เนื้อ 50 กรัมต่อน้ำเกลือ 150 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.69 และ 12 ตามลำดับ พบว่าปริมาณเกลือที่มีความเข้มข้นมากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโปรตีนได้ดีขึ้น มีผลให้แรงยึดเกาะในระหว่างชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้เกลือในการสกัดโปรตีนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อและยังเร่งให้เกิดการหืนในระหว่างการแช่แข็งอีกด้วย

3.4 ระยะเวลาในการผสม

การผสมทำให้เซลล์ของชิ้นเนื้อถูกทำลายมากขึ้น จึงมีผลให้เกลือสกัดโปรตีนได้ดี ทำให้การยึดเกาะระหว่างชิ้นเนื้อดีขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการผสมนานขึ้น ชิ้นเนื้อจะมีแรงยึดเกาะกันมากขึ้น แต่ก็พบว่าถ้าเพิ่มเวลาในการผสมจะทำให้เซลล์ถูกทำลายมากขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (Siegel *et al.*, 1979) Theno *et al.* (1978) พบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมนานกว่า 18 นาที ปริมาณโปรตีนไมโอซินที่สกัดได้จะลดลง เนื่องจากในระหว่างการผสมจะมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้โปรตีนเสียสภาพ ไม่สามารถสกัดออกมาได้ ทำให้ชิ้นเนื้อยึดเกาะกันน้อยลง

3.5 อุณหภูมิในการสกัดโปรตีน

Acton (1972) พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัด 4-35 องศาเซลเซียส จะให้ผลในการสกัดโปรตีนใกล้เคียงกัน แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้สกัดโปรตีนได้ลดลง เนื่องจากโปรตีนบางส่วนเกิดการเสียสภาพ เป็นผลให้ชิ้นเนื้อที่มีแรงยึดเกาะลดน้อยลง

3.6 ปริมาณไขมัน

ไขมันจะทำให้ความสามารถในการยึดจับกันของซันเน็อลลดลง โดย Berrys (1994) พบว่าแพตตี้ที่มีไขมันร้อยละ 20 จะมีค่าแรงเฉือนและค่าแรงกดน้อยกว่าแพตตี้ที่มีไขมันร้อยละ 4

4. กลไกในการยึดเกาะกันของซันเน็

การยึดเกาะกันของซันเน็ (binding) หมายถึง ความสามารถของเนื้อที่จะประสานเข้าด้วยกันเป็นก้อน เนื้อชนิดต่างๆ จะมีความสามารถในการยึดเกาะกันแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น กล้ามเนื้อโครงร่างจากโคนั้นจะมีความสามารถในการยึดเกาะสูงกว่าเนื้อหมูหรือเนื้อไก่ เนื้อที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของซันเน็ลดลง และในเนื้อที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่สูงก็จะมีผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันลดลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอลลาเจน เมื่อถูกความร้อนจะเปลี่ยนรูปเป็นเจลาติน ซึ่งมีความสามารถในการยึดเกาะต่ำมาก (ชัยณรงค์, 2529)

กลไกในการยึดเกาะกันของซันเน็ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเกิดเจลแบบอาศัยความร้อน (conventional heat set gelation) และการเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำ (cold set gelation)

กลไกในการเกิดเจลแบบอาศัยความร้อน (conventional heat set gelation) นั้นอาศัยคุณสมบัติการยึดเกาะของโปรตีนเส้นใยที่สกัดออกมาได้ด้วยเกลือ เมื่อทำการผสมซันเน็กับเกลือจะทำให้เกิดของเหลวที่มีความข้นเหนียว (tacky, sticky exudate) ที่ผิวหน้าของซันเน็ โปรตีนที่ไหลออกมาจากซันเน็จะแทนที่อากาศที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างซันเน็และจะทำหน้าที่คล้ายกาวหรือตัวประสาน (glue) ทำให้ซันเน็ยึดเกาะกันได้ โดยในซันเน็ที่ยังดิบจะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันต่ำแต่เมื่อนำไปให้ความร้อน โปรตีนเส้นใยเหล่านี้จะเกิดการคลายตัวและเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีน-โปรตีน (protein-protein association) ที่อุณหภูมิ 36-40 องศาเซลเซียส หลังจากให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส โปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดการเสียสภาพเป็นบางส่วนจะเกิดการรวมมวล (aggregate) และเกิดเป็นโครงข่ายเจล การเกิดเจลแบบอาศัยความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส (Tormberg, 2005)

การเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำ (cold set gelation) ต้องอาศัยความสามารถในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำของโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ การเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำนั้นจะเกิดได้โดยการลดแรงผลักกันระหว่างประจุ (electrostatic repulsion) (Bryant and McClement, 1998) กลไกในการเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำต้องอาศัยการเกิดพันธะทางเคมีของโปรตีนเนื้อสัตว์ สารช่วยยัดเกาะและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งสารช่วยยัดเกาะที่เติมลงไปนั้นอาจจะเป็นโปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ก็ได้ แต่ต้องมีความสามารถในการเกิดพันธะทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะโควาเลนต์และพันธะไอออนิก (covalent and ionic bonds) ส่วนพันธะทางเคมีและอันตรกิริยาชนิดอื่นๆ เช่น อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interactions) อันตรกิริยาทางไฟฟ้า (electrostatic interactions) รวมทั้งสะพานเกลือ (salt bridge) อันตรกิริยาไดโพลไดโพล (dipole-dipole interaction) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) จะทำหน้าที่ช่วยให้เจลที่เกิดจากความเย็นมีความคงตัว (Wong, 1989)

สารช่วยยัดเกาะที่อุณหภูมิต่ำ (cold-set binders) จะเป็นสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์หรือโปรตีนที่มีความสามารถในการเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัตินี้ เช่น อัลจิเนต (alginate) และแคปปาคาราจีแนน (κ -carrageenan) ส่วนโปรตีน เช่น preheated globular proteins, plasma factors และ cross-linking enzymes

อัลจิเนตนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ (retain water) และเกิดเจล (gelling) มีคุณสมบัติในการให้ความข้นหนืด (viscosifying properties) และรักษาความคงตัว (stabilizing properties) อัลจิเนตจะทำปฏิกิริยากับเกลือแคลเซียมที่ละลายได้ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเกิดเป็นเจล แคลเซียมอัลจิเนตที่ไม่ละลาย การใช้อัลจิเนตในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีรายงานตั้งแต่ปี 1986 โดย Schmidt and Means (1986) ได้ทำการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปดิบ (raw products) โดยการผสมเนื้อบด (comminuted meat) เข้ากับโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคาร์บอเนต จากการทดลองพบว่า กลูโคโนเดลตาแลคโตน (glucono-delta lactone) กรดซิตริก (citric acid) หรือกรดแลคติก (lactic acid) สามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาอย่างช้าๆ และเพียงพอที่กระตุ้นการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนจากเกลือแคลเซียม ส่งเสริมให้เกิดเจลอัลจิเนต/แคลเซียมที่มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปดิบมีการเกาะตัวกันได้ดี Means *et al.* (1987) ได้ทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่มีการใช้อัลจิเนต/แคลเซียมกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือ/ฟอสเฟตพบว่าเมื่ออยู่ในรูปของเนื้อดิบ การใช้อัลจิเนต/แคลเซียมจะมีการยัดเกาะและสีที่ดีกว่า แต่จะมีคะแนนการยอมรับน้อยกว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านการทำสุก Devatkal and Mendiratta (2001) ได้

ยืนยันผลของการใช้ประโยชน์ของอัลจินต/แคลเซียมในการเป็นสารช่วยยึดเกาะในเนื้อจิ้นรูปดิบ โดยพวกเขาได้ศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตทกับโซเดียมอัลจินตในผลิตภัณฑ์โรลเนื้อหมูจิ้นรูป (restructured pork rolls) พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตทส่งเสริมให้เกิดเจลแบบอาศัยความเย็น (cold-set gel) ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อ (firmness) การยึดเกาะ (cohesiveness) ลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory characteristics) และอายุการเก็บ (shelf life) ดีขึ้น และพบว่าเมื่อมีการใช้ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต จะทำให้เกิดการเสริมฤทธิ์กัน (synergistic)

แคลปาคาร์ราจีแนน มีความสามารถในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ด้านการอุ้มน้ำ และด้านการเกิดเจลในเจลเนื้อได้ Pietrasik and Jarmoluk (2003) ได้ทำการศึกษาผลของแคลปาคาร์ราจีแนนต่อคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และเนื้อสัมผัสของเจลเนื้อหมู พบว่าเมื่อปริมาณแคลปาคาร์ราจีแนนเพิ่มมากขึ้น ปริมาณผลได้หลังการทำสุก (yield) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เพิ่มสูงขึ้น การเติมแคลปาคาร์ราจีแนนจะเพิ่มความแข็ง (hardness) ของเจลเนื้อหมู แต่ไม่สามารถช่วยปรับปรุงการคืนตัว (springiness) และการยึดเกาะ (cohesiveness) ได้ ผู้ทำการทดลองกล่าวถึงผลของแคลปาคาร์ราจีแนนที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อบดนั้นเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของกายภาพ (physical rearrangement) ของแคลปาคาร์ราจีแนนและ โมเลกุลโปรตีนเนื้อสัตว์ ไม่ได้มาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์

Preheated globular proteins: โกลบูลาโปรตีน (globular proteins) จะสามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำได้ก็ต่อเมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำให้เสียสภาพบางส่วน (partial denaturing) ด้วยความดันหรือความร้อนเสียก่อน เนื่องจากจะทำให้หมู่ไทโอล (thiol groups) ที่อยู่บริเวณสายโซ่ข้างเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์กับองค์ประกอบอื่นๆ ในระบบของอาหารและเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำได้ (Alting *et al.*, 2003) สำหรับการประยุกต์ใช้ในอาหาร นิยมเลือกใช้โปรตีนเวย์มากที่สุด เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและมีความสามารถในการเกิดเจลได้ดี Hongsprabhas and Barbut (1999) พบว่า การเติม preheated whey protein isolates (WPI) จะทำให้แรงที่ใช้ในการเจาะ (penetration force) แบบเทอร์โมโคคิบบีมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า WPI สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ (cold gelation) และสามารถเพิ่มการยึดเกาะให้กับแบบเทอร์โคคิบบีได้ดี นอกจากนี้ WPI ยังเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและลดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มได้อีกด้วย

Plasma factors: สารสกัดพลาสมา (plasma factors) จะเกิดเจลได้โดยอาศัยกลไกการประสานกัน (clotting) ของไฟบริโนเจน (fibrinogen) และทรอมบิน (thrombin) องค์ประกอบของ

พลาสมาสามารถเกิดการรวมมวล (aggregate) การเชื่อมข้าม (cross-link) และเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำได้ Boles and Shand (1998) ได้ทำการศึกษาผลของอัลจินเตและ Fibrinex ต่อการยึดเกาะของเนื้อดิบ พวกเขาพบว่าเนื้อสัตว์ที่ขึ้นรูปดิบที่มีการใช้อัลจินเตจะมีค่าการยึดเกาะมากกว่าการใช้ Fibrinex อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเนื้อสัตว์ที่มีการใช้ Fibrinex จะมีการยึดเกาะกันระหว่างชิ้นเนื้อที่ดี หลังจากนำไปผ่านกระบวนการหุงต้ม การยึดเกาะจะเกิดมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Fibrinex เพิ่มขึ้น

เอนไซม์ทรานสกลูตามิเนส (cross-linking enzyme): เอนไซม์ทรานสกลูตามิเนส (transglutaminase, TGase, glutamyl-peptide: amine -glutamyltransferase) มีความสามารถในการเชื่อมข้ามโปรตีน เปปไทด์ และเอมิโนกลุ่มอื่น ๆ ได้ ปฏิกิริยาของ TGase เกิดขึ้นโดยการเร่ง (catalyze) การถ่ายโอนหมู่เอซิล (acyl) ระหว่างหมู่ λ - carboxylamide of glutamine และหมู่เอมิโนไลซีน (lysine) ในโปรตีน และเกิดเป็น ϵ - (λ - glutamyl) lysine cross-link ซึ่งจะนำไปสู่การเชื่อมข้ามทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล การเชื่อมข้ามทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลเปปไทด์ เป็นผลให้เกิดการเพิ่มมวลและเกิดเจลแบบอาศัยอุณหภูมิต่ำตามมา (De Jong and Koppelman, 2002; Walsh *et al.*, 2003) มีงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาถึงการใช้ TGase ในการเป็นสารช่วยยึดเกาะที่อุณหภูมิต่ำ เช่น Nielsen *et al.* (1995) พบว่า TGase ทำให้สัตว์เนื้อขึ้นรูปดิบที่มีค่าการยึดเกาะ (cohesion) ค่าความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเอนไซม์ทรานสกลูตามิเนสจะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารยึดเกาะได้ดีและสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ก็ยังพบว่ามีราคาค่อนข้างสูง

พอลิแซ็กคาไรด์จากพืช (plant polysaccharide)

พอลิแซ็กคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมาต่อกันมากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไปจนถึงจำนวนร้อยหรือพันหน่วย พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในธรรมชาติมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างไม่แน่นอน พอลิแซ็กคาไรด์จากแหล่งที่มาต่างกันทำให้มีองค์ประกอบทางเคมี น้ำหนักโมเลกุล การจัดเรียงตัวของโมเลกุลต่างกัน สามารถจำแนกพอลิแซ็กคาไรด์ได้หลายหลักเกณฑ์ โดยอาจจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลได้เป็น 1) โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์เพียงชนิดเดียว เช่น สตาร์ช โกลโคเจน เซลลูโลส 2) เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่โมเลกุลประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ตั้งแต่ 2 หรือมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป เช่น เพกทิน เฮมิเซลลูโลส 3) สารประกอบคอนจูเกต เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกาะรวมอยู่กับสารอื่น เช่น

รวมกับไขมันเป็นไกลโคลิปิด หรือรวมกับโปรตีนเป็นไกลโคโปรตีน หรืออาจแบ่งพอลิแซ็กคาไรด์ตามแหล่งที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืชก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น มาจากผนังเซลล์พืช เช่น เพกทิน มาจากยางไม้ เช่น กัมอะราบิก กัมคารายา มาจากส่วนของเมล็ด เช่น กวักม โลคัสปินกัม (Belitz *et al.*, 2009)

1. องค์ประกอบของผนังเซลล์พืช

1.1 พอลิแซ็กคาไรด์ในเซลล์พืชจะพบพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ในโครงสร้างผนังเซลล์ มีอยู่ประมาณร้อยละ 90-95 ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ และมีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของพืช ผนังเซลล์พืชประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่

เซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงขนาดใหญ่ของน้ำตาลกลูโคส มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -D-(1 $\rightarrow$ 4) มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ สายยาว ไม่มีแขนง ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลกลูโคส ไม่ละลายน้ำ อยู่ในผนังเซลล์พืชชั้นแรก (primary cell wall) และชั้นที่สอง (secondary cell wall) โดยพบมากในผนังเซลล์พืชชั้นที่สอง เป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดในโลก เซลลูโลสที่ได้จากแต่ละส่วนของพืชจะมีความแข็งแรง ความเหนียวแตกต่างกัน ขึ้นกับอายุและชนิดของพืช มนุษย์ไม่มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ สัตว์กินพืชสามารถย่อยเซลลูโลสได้เนื่องจากในกระเพาะอาหารมีจุลินทรีย์ที่สามารถปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยเซลลูโลสได้ (Whistler and Bemiller, 1999)

เฮมิเซลลูโลส มีโครงสร้างที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ในผนังเซลล์พืชมีเฮมิเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 20-30 เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป น้ำตาลที่พบมากคือ ไซโลส และอะราบิโนส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และกาแลคโตสอีกด้วย เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ร่วมกับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายเบส (Whistler and Bemiller, 1999)

เพกทิน เป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -D-(1 $\rightarrow$ 4) มีโครงสร้างกิ่งก้านเป็นแรมโนกาแล็กทูโรแนน อะราบิโนกาแล็กแตน โดยหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิกบางส่วนอาจถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่

เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ เพกทินเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วน middle lamella ของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน (Whistler and Bemiller, 1999)

1.2 ไกลโคโปรตีนที่ผนังเซลล์พืช ไกลโคโปรตีนประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์มาเชื่อมต่อกับโอลิโกแซ็กคาไรด์หรือพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยพันธะ N-glycosyl หรือพันธะ O-glycosyl สำหรับในพืชส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ O-glycosyl ในผนังเซลล์พืชมีไกลโคโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 10 ที่ผนังเซลล์ชั้นแรก โดยไกลโคโปรตีนบางประเภทอาจพบได้ในพืชบางชนิดเท่านั้น ตัวอย่างไกลโคโปรตีนได้แก่

เอ็กเทนซิน (extensins) เอ็กเทนซินจัดอยู่ในกลุ่มไกลโคโปรตีนที่มีไฮดรอกซีโพรลีนจำนวนมาก (hydroxyproline-rich glycoproteins, HRGPs) จะพบในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง เอ็กเทนซินมีปริมาณของไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline, Hyp) และเซอรีน (serine, Ser) เป็นจำนวนมาก เอ็กเทนซินไม่ละลายน้ำ มีค่า isoelectric point ประมาณ 10 เนื่องจากมีไลซีนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก นอกจากนี้ยังสามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามแบบโควาเลนต์ (covalently cross-linked) กับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นในผนังเซลล์ได้ เช่น เพกทิน โดยเอ็กเทนซินจะเกิดอันตรกิริยาเชิงไอออนกับเพกทิน ซึ่งประจุบวกของไลซีนและฮิสทีดีนที่สูญเสียโปรตอน (protonated histidine) ของเอ็กเทนซินจะเข้าทำอันตรกิริยาเชิงไอออนกับประจุลบในกรดยูโรนิกของเพกทิน ซึ่งอันตรกิริยาดังกล่าวนี้ถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนแปลง pH ของผนังเซลล์และแคลเซียมไอออน ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณสมบัติเชิงเคมีกายภาพของผนังเซลล์ (Cassab, 1998; José-Estanyol and Puigdomènech, 2000)

อะราบินอกาแลคแตนโปรตีน (arabinogalactanprotein, AGPs) AGPs กระจายอยู่ทั่วไปในพืช มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบเพียงร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนัก สามารถละลายน้ำได้มากและเกิดไกลโคซิเลชันได้สูง น้ำหนักโมเลกุลมีความหลากหลาย ขึ้นกับปริมาณการเกิดไกลโคซิเลชัน (glycosylation) AGPs สามารถละลายได้อย่างง่ายในระหว่างการสกัดเนื้อเยื่อด้วยสารละลายที่มีความแรงไอออนต่ำ (low ionic strength) โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของ AGPs ส่วนมากจะประกอบด้วยไฮดรอกซีโพรลีน ซีรีน อะลานีน ทรีโอนีน และไลซีน ในสภาวะธรรมชาติ โปรตีนเหล่านี้ยากต่อการเกิดโปรตีโอไลซิส (proteolysis) AGPs มีค่า isoelectric points อยู่ในช่วง pH 2-5 น้ำหนักส่วนมากของ AGPs มาจากส่วนของคาร์โบไฮเดรต โดยมี ดี-กาแลคโตส (D-galactose) และ แอล-อะราบินอส์ (L-arabinose) เป็นองค์ประกอบหลัก AGPs มีความหนืดต่ำ สามารถเกิดการเชื่อมข้ามกับสายของเพกทินในผนังเซลล์พืชด้วยแรงทางประจุ และเกิดโครงสร้างเป็นกระเปาะหรือโพรงรอบบริเวณที่มีการเชื่อมข้าม ในผนังเซลล์พืชทำหน้าที่สื่อสารสัญญาณระหว่างเซลล์ ควบคุมระดับน้ำ

ภายในเซลล์ และเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต หากอยู่บริเวณท่อแอสทมาทที่ เป็นสารให้ความหนืดเพื่อให้ละอองแอสมาติด (Cassab, 1998; José-Estanyol and Puigdomènech, 2000)

นอกจากพอลิแซ็กคาไรด์และไกลโคโปรตีนแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นที่สำคัญในผนัง เซลล์ด้วยเช่นกัน ลำดับแรกคือน้ำ ซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 60 ของน้ำหนักเซลล์สด น้ำมี ความสำคัญต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพของผนังพอลิแซ็กคาไรด์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและมี ผลต่อความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ องค์ประกอบอื่นๆ ของผนังเซลล์จะมีความผันแปร เป็นอย่างมากขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อ ระยะเวลาในการพัฒนา นอกจากนี้ยังพบ แร่ธาตุ ลิแกนด์และ สารประกอบฟีนอลิกซึ่งเกาะกับเฮมิเซลลูโลสด้วยพันธะไฮโดรเจนและสามารถเกิดพันธะเอสเทอร์ กับเพกทินได้อีกด้วย

2. การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากพืช

พอลิแซ็กคาไรด์จากพืชส่วนมากพบอยู่ในผนังเซลล์ ยึดเกาะกันด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อน การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ในพืชทำได้โดยการใช้เอนไซม์และสารละลายเคมี ได้แก่ น้ำ สารละลาย กรด สารละลายคีเลตติ้ง (chelating agents) และสารละลายเบส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการ ละลายของพอลิแซ็กคาไรด์และโครงสร้างในการยึดเกาะของพอลิแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์พืช การ สกัดพอลิแซ็กคาไรด์ นอกจากจะต้องคำนึงถึงสารละลายที่ใช้ในการสกัดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความ เข้มข้นและอุณหภูมิที่ใช้เนื่องจากหากใช้กรดหรือเบสที่มีความเข้มข้นสูงอาจทำให้โครงสร้างของ พอลิแซ็กคาไรด์เสียหายซึ่งอาจมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของพอลิแซ็กคาไรด์นั้น

2.1 Pectins

โดยทั่วไปวิธีในการสกัดเพกทินจากผนังเซลล์นิยมใช้สารละลายคีเลตติ้ง ส่วนมากแล้ว จะมีการให้ความร้อนร่วมด้วย วิธีการในการสกัดเพกทินอาจจะสกัดจากผนังเซลล์พืชทั้งหมด (whole isolated cell walls) หรือจากส่วนที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol-insoluble residue, AIR) ก็ได้ นิยมใช้สารละลายคีเลตติ้ง ที่ pH เป็นกลางและอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในการสกัด การสกัดจะ เกิดได้ดีขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อนร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนจะทำให้เพกทินเกิดการ แตกตัวบางส่วน (partial degradation) ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล การให้ ความร้อนที่ pH 4 จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเพกทินน้อยที่สุด (Fry, 2011)

2.2 Hemicelluloses

การใช้สารละลายที่เลวติ่งไม่สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสจากผนังเซลล์ได้ วิธีการโดยทั่วไปจะใช้สารละลายเบสความเข้มข้นสูงในการสกัด สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำหน้าที่เป็น chaotropic agent ทำให้พันธะไฮโดรเจน (H-bond) ระหว่างเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสลดลง เมื่ออยู่ในภาวะที่ pH สูง คาร์โบไฮเดรตจะเกิดการไฮดรอลิซิสของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH groups) ทำให้โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะมีประจุเป็นลบ สามารถละลายได้มากขึ้น เฮมิเซลลูโลสแต่ละชนิดต้องการสารละลายเบสความเข้มข้นแตกต่างกันในการสกัด โดยไซแลน (xylans) ที่มีสายโซ่ข้างมาก ต้องการสารละลายเบสเจือจางในการสกัด สารละลายเบสที่เข้มข้นสูงขึ้นใช้ในการสกัดไซแลนที่มีสายโซ่ข้างเพียงเล็กน้อย ส่วนการสกัดไซลوجلูแคน (xyloglucans) ต้องใช้สารละลายความเข้มข้นสูงๆ ในการสกัดไซลوجلูแคนให้ได้สมบูรณ์จำเป็นต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในการสกัด (Fry, 2011)

2.3 Cellulose

ไมโครไฟบริล (microfibrils) เป็นส่วนประกอบเซลลูโลส มีความเป็นไปได้ว่าบางส่วนอาจเกิดการจับกับเฮมิเซลลูโลส เมื่อทำการสกัดผนังเซลล์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ส่วนที่เหลือซึ่งไม่ละลายคือเซลลูโลส การเตรียมด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้เซลลูโลสเจือปนกับไกลโคโปรตีน (โดยเฉพาะเอ็กเทนซิน) และเพกทินบางส่วน (เป็นไปได้ว่าเกิดพันธะโควาเลนต์กับเอ็กเทนซิน) เซลลูโลสทนต่อการไฮโดรไลซิสด้วย TFA 2 โมลาร์ ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แม้ว่ากลูโคสจะถูกปลดปล่อยมาบางส่วนก็ตาม วิธีการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นกลูโคสที่ดีที่สุดคือการไฮโดรไลซิสด้วยกรด 2 ครั้ง (ตามวิธีของ Saeman: ทำการละลายพอลิแซ็กคาไรด์ ด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ร้อยละ 72 ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปให้ความร้อนในสารละลายกรดซัลฟูริก 2 โมลาร์ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการย่อย จากนั้นปรับให้เป็นกลางด้วยเบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) ที่มากเกินไป) อย่างไรก็ตามการย่อยเซลลูโลสด้วย Driselase เป็นวิธีการที่สะดวกและง่ายกว่า มีปริมาณผลได้เป็นกลูโคสค่อนข้างสูง (Fry, 2011)

สารอง

สารองเป็นพรรณไม้ในสกุล *Scaphium* และวงศ์ Sterculiaceae ในประเทศไทยมี 3 ชนิด คือ *Scaphium scaphigerum* (all. Ex G. Don) Guibourt & G. Planch, *S. linearicarpum* (Mast.) Pierre และ

S. lychnophorum (Hace) Pierre มีชื่อเรียกตามท้องถิ่นว่าพุททะลาย หมาจ้อง บักจ้อง และท้ายเถา พบมากในภาคตะวันออก (ระยอง จันทบุรี และตราด) ตะวันออกเฉียงเหนือ (อุบลราชธานี) และภาคใต้ (ยะลา) ของประเทศไทย แต่ปัจจุบันสํารองกลายเป็นพืชที่พบเห็นได้เฉพาะในพื้นที่บางแห่งเท่านั้น เช่น บริเวณอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏจังหวัดจันทบุรี และอุทยานแห่งชาติภูจองนายอย จังหวัดอุบลราชธานี นอกจากประเทศไทยแล้วยังพบแพร่กระจายในประเทศลาว กัมพูชา เวียดนาม และอินโดนีเซีย (พงษ์ศักดิ์, 2550)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

สํารองเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่ มีความสูงประมาณ 30-40 เมตร ลักษณะใบเดี่ยวเรียงแบบสลับ ใบมีหลายรูปร่าง เช่น รูปไข่แกมขอบขนานหรือรูปไข่แกมใบหอก ปลายเรียวแหลม โคนใบมนหรือเว้าเล็กน้อยเป็นรูปหัวใจ ขนาดใบกว้างประมาณ 5-20 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร และมีใบรูปร่างเป็นแฉกเว้าลึก 2-5 แฉก ดอกมีลักษณะเป็นช่อออกที่ปลายกิ่ง แยกเพศ กลีบดอกสีเขียวอ่อน ออกดอกรวมกันเป็นช่อใหญ่ แตกกิ่งก้านสาขาเฉพาะช่วงปลายยอดของต้น ผลอ่อนจะมีสีเขียว ลักษณะกลมรี บริเวณโคนผลมีปีกที่มีลักษณะแผ่เป็นแผ่นขนาดใหญ่ มีลักษณะโค้งงอคล้ายเรือ เรียกว่า ลำเถา เมื่อผลสํารองแก่จัด มีลักษณะเป็นผลแห้ง ผิวขรุขระ สีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 1) ขนาดกว้างประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร เมล็ดติดอยู่ด้านล่างของปีกหลุดออกจากหัวและปลิวไปตามลม เป็นการเพิ่มระยะทางและโอกาสในการขยายพันธุ์ โดยปกติต้นสํารองจะออกผลปีละ 1 ครั้ง เมื่ออายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไป แต่ไม่ได้ออกผลทุกปีขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้นสํารอง มีระยะออกดอกในช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม



ภาพที่ 1 ผลสํารองแห้ง

สำรอกเป็นพืชที่ชอบขึ้นตามป่าที่มีความชื้นสูง และเป็นพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 80-700 เมตร มีการกระจายพันธุ์หนาแน่นบริเวณชายป่า มักขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เนื่องจากในปัจจุบันได้รับความนิยมนมาก จึงทำให้ชาวบ้านมักโค่นหรือตัดกิ่งของต้นสำรอกในขณะที่ยังไม่แก่จัดเพื่อความสะดวกในการเก็บลูกสำรอก ไม่นิยมรอให้ผลหล่นตามธรรมชาติ ทำให้ปริมาณต้นสำรอกในธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการศึกษาวิธีการขยายพันธุ์ต้นสำรอกโดยการตอนกิ่ง ปักชำติดตา เสียบกิ่ง และเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังได้มีการส่งเสริมให้อนุรักษ์ต้นสำรอก โดยการขยายพันธุ์และปลูกในสภาพไร่หรือสวน เพื่อทดแทนการเก็บผลสำรอกในป่าธรรมชาติและช่วยลดการโค่นต้นสำรอกในป่าเพื่อเก็บลูกอีกด้วย (เอี่ยมพร, 2547; มาโนชญ์, 2553)

2. การสกัด องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติของเนื้อสำรอก

Singthong *et al.* (2007) ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมสำรอกด้วยน้ำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือที่อัตราส่วนระหว่างของแข็งต่อน้ำ 1:75 ที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที ที่ระดับ pH เป็นกลาง (6.5-7.0) เมื่อนำสารสกัดหยาบนี้นามาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์และทำแห้ง พบว่ากัมที่ได้ประกอบด้วยเอ็ลร้อยละ 8.07 โปรตีนร้อยละ 4.47 ไขมันร้อยละ 0.10 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 77.56 (จากการคำนวณ) สอดคล้องกับการทดลองของวัญญาและคณะ (2549) ที่ทำการสกัดแยกเนื้อสำรอกโดยการแช่น้ำ แยกเปลือกและกากใยออก แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง พบว่าเนื้อสำรอกประกอบด้วยเอ็ล โปรตีน และไขมันร้อยละ 5.84 3.75 และ 0.41 ตามลำดับ

Somboonpanyakul *et al.* (2006a) ได้ทำการสกัดกัมสำรอกด้วยวิธีการสกัดแบบตามลำดับ (sequential extraction) โดยทำการสกัดผลสำรอกด้วยน้ำ จากนั้นเหวี่ยงแยกสำรอกส่วนที่ไม่ละลายน้ำมาทำการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และทำการเหวี่ยงแยกสำรอกส่วนที่ไม่ละลายในกรดมาทำการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการสกัดสำรอกด้วยน้ำ และกรดให้ปริมาณผลได้ร้อยละ 1 และ 6 ของน้ำหนักผลแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดกัมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณผลได้ร้อยละ 20 โดยเทียบกับน้ำหนักผลแห้งเริ่มต้น และเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกัมสำรอกที่ได้จากการสกัดด้วยเบสพบว่า ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเอ็ลร้อยละ 62.0 8.3 และ 8.4 ตามลำดับ มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนกาแลคโตส: อะราบีโนส: แรมโนส 1.0: 1.1: 1.0 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกัมสำรอกที่สกัดด้วยน้ำของ Singthong *et al.* (2007) ที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลกาแลคโตส: อะราบีโนส: แรมโนส 1.0:1.5:1.0 โดย Somboonpanyakul *et al.* (2006a) ยังพบกรดยูโรนิกในกัมสำรอกที่สกัดด้วยเบสในปริมาณร้อย

ละ 6.40 มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกัมสำรองที่สกัดได้คือ 6.65×10^6 ดาลตัน แต่จะมีขนาดลดลงเหลือ 3.30×10^6 และ 2.27×10^6 ดาลตัน เมื่อนำไปผ่านขบวนการไดอะไลซิสและขบวนการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบว่ากัมสำรองที่สกัดด้วยเบสมีโครงสร้างคล้ายกัมอะราบิก

นอกจากการสกัดกัมจากผลสำรองแล้ว ยังได้มีการศึกษาการสกัดกัมจากเมล็ดสำรองซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำสำรองด้วยเช่นกัน โดยญูชกา และคณะ (2552) ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมจากเมล็ดสำรอง พบว่าการสกัดเมล็ดสำรองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.05 อัตราส่วนระหว่างเมล็ดสำรอง (ที่บดให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช) ต่อตัวทำละลายเป็น 1:10 สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4,000xg เป็นเวลา 15 นาที แล้วปรับ pH เป็น 7 จากนั้นจึงนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 จะได้ปริมาณกัมสูงสุดร้อยละ 21.2 กัมที่ได้มีเส้นใยหยาบร้อยละ 45.2 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 38.9 โปรตีนร้อยละ 4.9 เกลือร้อยละ 1.4 นอกจากนี้ยังมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 32.3 และกรดยูโรนิกร้อยละ 4.6

นอกจากการศึกษาถึงสารพอลิแซ็กคาไรด์ในผลสำรองแล้ว ยังได้มีการศึกษาสารอัลคาลอยด์ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างเป็นวง มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 1 อะตอมหรือมากกว่า ไม่มีสี มีรสขม โดย Wang *et al.* (2003) ได้ทำการสกัด *Sterculia lychnophora* Hance ด้วยเอทานอล พบอัลคาลอยด์ 2 ชนิดได้แก่ sterculinine I และ sterculinine II นอกจากนี้ยังพบสารประกอบอื่นอีก 13 ชนิด ได้แก่ soya-cerebroside II, 1-*O*- β -D-glucopyranosyl-(2*S*,3*R*,4*E*,8*Z*)-2-[(2-hydroxy-icosanoyl) amido]-4,8-octadecadiene-1,3-diol, kaempferol-3-*O*- β -D-glucoside, uracil, succinic acid, 2, 4-dihydroxy benzoic acid, daucosterol, β -sitosterol, sucrose, isorhamnetin-3-*O*- β -D-rutinoside, kaempferol-3-*O*- β -D-rutinoside, *n*-butyl- α -D-mannopyranside และ adenosine ซึ่งสารประกอบเหล่านี้บางตัวจัดอยู่ในกลุ่มของสารฟีนอลิก นอกจากนี้ยังพบสารประกอบฟลาโวนอยด์ เทอร์ฟีนอยด์ และฮิสตามีนในสปีชีส์อื่นของตระกูล *Sterculia* อีกด้วย

ชนินันท์ (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน พบว่ากัมจากผลสำรอง (MG) ผลสำรองที่ล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และล้างด้วย HCl 0.02M (AMG) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย MG มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่า WMG และ AMG ตามลำดับ (ร้อยละ 10.84 8.01 และ 6.41 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) เนื่องจากสำรองที่ผ่านกระบวนการลดปริมาณโปรตีนด้วยน้ำและด้วย

สารละลายกรดเจือจางทำให้สารแทนนินและสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่ละลายน้ำได้ ละลายออกมา นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดความสามารถด้านออกซิเดชันของกัมสำรองที่สกัดได้ โดยทำการวัดความสามารถด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จำนวนเป็นค่า % radical scavenging activity นำค่าที่ได้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันมาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารสกัด (ไมโครกรัมในสารสกัดกัมสำรอง 1 มิลลิลิตร) ที่สามารถทำให้ค่า % radical scavenging activity ลดลงร้อยละ 50 (IC 50) หลังจากนั้นนำค่า IC 50 ที่ได้มาคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antiradical efficiency, AE) ค่า AE บ่งบอกถึงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ หากมีค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพมาก ทำการศึกษาความสามารถด้านอนุมูลอิสระของกัม MG WMG และ AMG พบว่า MG มีค่า AE มากกว่า WMG และ AMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (0.00122 0.00089 และ 0.00074 ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ของค่า AE และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า ค่า AE ของกัมสำรองมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ($r = 0.835$) และเมื่อทำการทดสอบการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกัมสำรองด้วยวิธี ORAC โดยแบ่งการสกัดสารออกเป็นส่วนของไขมัน (lipophilic) และส่วนของน้ำ (hydrophilic) ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity, AC) ของส่วนของไขมัน (L-ORAC) และส่วนของน้ำ (H-ORAC) มีหน่วยเป็นไมโครโมลของสาร Trolox (TE) ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม จากการศึกษาพบว่ากัมสำรองทั้ง 3 ชนิดมีค่า L-ORAC น้อยมากเมื่อเทียบกับค่า H-ORAC ดังนั้นจึงขอลำดับถึงผลของค่า H-ORAC ซึ่งน่าจะมีผลต่อค่า AC โดยรวมของกัมสำรองมากกว่าค่า L-ORAC โดย MG มีค่า AC ดีกว่า WMG และ AMG (17×10^8 14×10^8 และ 6.8×10^8 ไมโครโมลของสาร Trolox (TE) ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการวัดความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

Palanuvej *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสมุนไพรไทยที่มีเมือกชนิดต่างๆ พบว่า เมือกที่ได้จาก *S. scaphigerum* มี IC 50 น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (ดังตารางที่ 2) Sudjaroen (2008) ได้ศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันทั้งหมด (total antioxidant activity) ในอิมัลชันกรดไขมันของสารสกัดด้วยเมทานอลพบว่าสารสกัดสำรองที่ทุกความเข้มข้น (1-20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ในกรดไขมันได้ดีถึงร้อยละ 87-91 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิตามินอี (ร้อยละ 94.45 ที่ 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 3

นอกจากนี้ *S. scaphigerum* ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (alpha-glucosidase) โดยพบว่าสารเมือกจาก *S. scaphigerum* (ร้อยละ 0.5) สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ถึงร้อยละ 82.6 เมื่อเทียบกับ 1-Deoxynorjirimycin ซึ่งยับยั้งได้ร้อยละ 47.6 (Palanuvej *et al.*, 2009) ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 ความสามารถต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี DPPH แสดงในรูป IC₅₀ ของสารเมือกจากพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของพืช	IC ₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
<i>B. alba</i>	2.00
<i>S. scaphigerum</i>	0.61
<i>H. esculentus</i>	0.70
<i>T. foenum-graecum</i>	1.52
<i>L. glutinosa</i>	0.49
<i>O. canum</i>	>10
<i>P. ovata</i>	>10

ที่มา: Palanuvej *et al.* (2009)

3. การใช้ประโยชน์ผลสำรอง

เนื้อสำรองมีสรรพคุณตามตำรายาพื้นบ้าน พบว่าการรับประทานเนื้อสำรองร่วมกับน้ำตาลจะช่วยแก้อาการร้อนใน ลดไข้ แก้ไอ ขับเสมหะ แก้กระหายน้ำ ทำให้ชุ่มคอ แก้โรคหอบหืด ตาแดง ปวดบวม และมีฤทธิ์ช่วยระบาย (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2543; สุภาภรณ์, 2550; น้ำฝน, มปป.) นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยทางด้านสุขภาพและการแพทย์ พบว่าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารปรับภูมิคุ้มกันจากเนื้อสำรอง ช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์เม็ดเลือดขาวของมนุษย์ สร้างภูมิคุ้มกัน ป้องกันและทำลายเชื้อโรค สิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าสู่ร่างกาย (เพ็ญพิชญา, 2550) ช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ (รัตติยา, 2548) โดยช่วยเพิ่มกากใยอาหารในลำไส้ใหญ่และช่วยกระตุ้นให้เกิดการขับถ่ายอุจจาระได้สะดวกขึ้น จึงช่วยลดโอกาส

เสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้ (นุชนาฏ, 2549) นอกจากนี้สารยังช่วยลดพิษของโลหะในร่างกายได้ (ฉาภูวดี และคณะ, 2553)

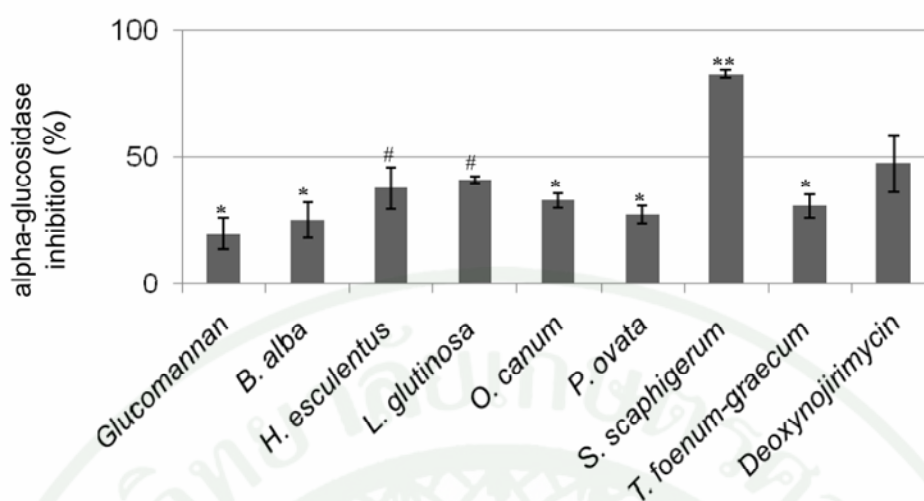
ตารางที่ 3 กิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสำรองด้วยเมทานอล

สารสกัด	ความเข้มข้น(mg/ml)	total antioxidant activity (%) ^a
ผลสำรอง	1	87.51±9.91
	2.5	87.64±10.95
	5	89.28±8.20
	10	91.24±7.22
	20	89.93±4.70
วิตามิน อี	0.1	94.45±2.20

หมายเหตุ ^a % การยับยั้ง (ความสามารถในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ในกรดคลิโนเลอิก)

ที่มา: Sudjaroen (2008)

ในปัจจุบันได้มีผู้นำเนื้อสำรองมาใช้ประโยชน์หลากหลายมากขึ้น เช่นการนำเนื้อสำรองมาแทนที่แป้งสาลีในการผลิตขนมปัง โดยขนมปังที่ได้จะมีความสามารถในการยืดและความเหนียวลดลง เมื่อใช้เนื้อสำรองปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สีเข้มขึ้นอีกด้วยด้วยอุลิสาน์ และคณะ (2552) ได้ศึกษาการใช้วุ้นจากผลสำรอง (*Scaphium scaphigerum*) ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์บราวนี่ เพื่อพัฒนาขนมบราวนี่สูตรลดไขมัน พบว่าเมื่อใช้วุ้นสำรองทดแทนเนยในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) และความชื้นของบราวนี่เพิ่มขึ้น บราวนี่สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดได้แก่ สูตรที่ใช้วุ้นสำรองทดแทนเนยร้อยละ 50 ซึ่งมีปริมาณไขมันและพลังงานลดลงร้อยละ 9.10 และ 17.53 ตามลำดับ ลำพิ่ง และคณะ (2551) ได้ทำการการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่สกรูจ๊อบจากผลสำรอง พบว่าเมื่อใช้เจลจากผลสำรองมากขึ้น เจลลี่จะมีความนุ่ม มีความสามารถอุ้มน้ำได้มาก และทำให้ค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดเกาะ (cohesiveness) และการเคี้ยว (chewiness) ลดลง



ภาพที่ 2 การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารเมือกชนิดต่างๆ ร้อยละ 0.5

หมายเหตุ # % การยับยั้งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Deoxynojirimycin) ($p > 0.05$)

** % การยับยั้งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* % การยับยั้งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ที่มา: Palanuvej *et al.* (2009)

นอกจากนี้ Phimolsiripol *et al.* (2011) ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของเพส (pasting behaviour) ต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส (textural properties) และความคงตัวเมื่อนำไปแช่แข็งทำละลาย (freeze-thaw stability) ของแป้งสาลีเมื่อถูกแทนที่ด้วย crude malva nut gum (CMG) พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเพส (pasting temperature) ของแป้งสาลี รวมทั้งคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น การยึดเกาะ การเกี่ยวของเจลแป้งสาลีจะมีค่าลดลง เมื่อใช้ CMG แทนที่แป้งสาลีมากขึ้น การใช้ CMG ในปริมาณสูง (ร้อยละ 7.5-10) สามารถช่วยลดการเยิ้มของน้ำ (syneresis) ได้ดี

ในด้านการประยุกต์ใช้สารองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ก็พบได้เช่นกัน โดยประภาศรี และคณะ (2549) ได้ศึกษาการใช้ผลสารองเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมูยอ พบว่าอัตราส่วนของผลสารองต่อไขมัน 2:1 จะมีค่าแรงต้านการตัดขาด ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงตัวของอิมัลชัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเหมาะสมที่สุด โดยหมูยอสูตรดังกล่าวมีปริมาณไขมันต่ำกว่าสูตรปกติร้อยละ 11.20 Barbut and

Somboonpanyakul (2007) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ crude malva nut gum (CMG) ร่วมกับฟอสเฟตในเบทเทอร์เนื้อไก่ พบว่าการเพิ่มปริมาณการใช้ CMG ในเบทเทอร์จะช่วยเพิ่มผลได้ (yield) ให้มากขึ้น เบทเทอร์ที่มีทั้ง CMG และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตจะมีการค่าการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้ม (cooked losses) และการสูญเสียไขมัน (fat losses) น้อยกว่าเบทเทอร์ที่มีการใช้ CMG เพียงอย่างเดียว การใช้ CMG ร้อยละ 0.6 จะทำให้ค่าความสว่างและสีแดงของผลิตภัณฑ์ที่สูงแล้วมีค่าลดลง Somboonpanyakul *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาถึงคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสและทางประสาทสัมผัสของเบทเทอร์ไก่ที่มีการใช้กัมสำรอง เกลือ และฟอสเฟตร่วมกัน พบว่า การเติม CMG (0.2 กรัม/100กรัม) ร่วมกับเกลือทุกระดับจะช่วยปรับปรุงผลได้ แต่ค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) มีค่าลดลง จากนั้นได้มีการใช้ CMG ร่วมกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าคือแฟรงเฟอ์เตอร์ พบว่าแฟรงเฟอ์เตอร์ที่มี CMG 0.2 กรัม/100 กรัม จะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม และคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่าแฟรงเฟอ์เตอร์ที่ไม่มี CMG แฟรงเฟอ์เตอร์ดังกล่าวจะมีค่าความสว่างและสีแดงลดลง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

- 1.1 ผลสำรวจแห้ง ซึ่งจากมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรบุรี ในเดือนกรกฎาคม 2552 ระหว่างรอการสกัดเก็บในภาชนะปิดสนิทและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
- 1.2 เนื้อหมูส่วนสะโพก ซึ่งจากตลาดอมรพันธ์ ใช้เวลาในการขนส่งมาถึงห้องวิจัยไม่เกิน 30 นาที อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส ทำการล้างและเก็บรักษาที่ตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทำการแปรรูปภายใน 3 ชั่วโมง
- 1.3 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) (บริษัทปทุมทิพย์ จำกัด ประเทศไทย)
- 1.4 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) (บริษัทไทยฟู้ด จำกัด ประเทศไทย)
- 1.5 ไม้เซลลูโลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร (บริษัทบีไอที จำกัด ประเทศไทย)

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีในการเตรียมกัมสำรวจ
 - 2.1.1 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (hydrochloric acid; HCl) (Univar, Australia)
 - 2.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) (Univar, Australia)
- 2.2 สารในเคมีการวิเคราะห์โปรตีน
 - 2.2.1 กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) (Merk, Germany)
 - 2.2.2 คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate) (Fisher Scientific, England)
 - 2.2.3 โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate) (Ajax Finechem, Newzeland)
 - 2.2.4 กรดบอริก (boric acid) (Ajax Finechem, Newzeland)
 - 2.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2
 - 2.2.6 โบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green) (Ajax Finechem, Newzeland)
 - 2.2.7 เมทิลเรด (methyl red) (Panreac, Spain)
 - 2.2.8 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (hydrochloric acid; HCl) เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1
 - 2.2.9 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) (Ajax Finechem, Newzeland)

2.3 สารในเคมีการเตรียมบัฟเฟอร์

2.3.1 กรดซิตริกโมโนไฮเดรต (citric acid monohydrate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.3.2 ไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรต (trisodium citrate dehydrate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.3.3 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโดเดคาไฮเดรต (disodium hydrogen phosphate dodecahydrate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.3.4 โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (sodium hydrogen phosphate monohydrate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.3.5 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.3.6 โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.4 สารในเคมีการวิเคราะห์ TBARS

2.4.1 กรดไทรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid: TCA) (Poch, Poland)

2.4.2 โพรพิลแกลเลต (propylgallate) (Fluka, China)

2.4.3 กรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติก (ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) (Ajax Finechem, Newzealand)

2.4.4 เอทานอล (ethanol) (Carlo Erba, French)

2.4.5 กรดฟอสฟอริก 85% (phosphoric acid) (Mallinckrodt, USA.)

2.4.6 กรดไทโอบาบิทูริก (thiobarbituric acid: TBA) (Fluka, Germany)

2.4.7 เตตระเมทอกซีโพรเพน (1,1,3,3 - tetramethoxypropane: TMP) (Aldrich, Germany)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องปั่นผสม (super blender, MX-T31GN, National, Matsushita Electric Co., Ltd., Taiwan)

3.2 ตะแกรงร่อนขนาด 35 เมช (sieve) (Endecotts Ltd., England)

3.3 โถดูดความชื้น (desiccator)

3.4 เครื่องชั่งแบบ 2 ตำแหน่ง (ARC 120, Ohaus, USA)

3.5 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (model SPB 31, Scale Tech, Germany)

3.6 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) (Multistirrer 6, Velp scientifica, Italy)

- 3.7 เครื่องแก้ว
- 3.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (Eyela, Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)
- 3.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH meter) (Orion 5 star, Thermo Fisher scientific Inc., USA)
- 3.10 เครื่องดันระบบไฮดรอลิก (hydraulic press, ประเทศไทย) และถุงกรอง polypropylene สำหรับใส่ตัวอย่าง
- 3.11 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dryer)
- 3.12 เครื่องมีโอวีเคราะห์ความชื้น: ตู้อบลมร้อน (heating oven) (ED115, Binder, Germany) และถ้วยอะลูมิเนียมมีฝาปิด (moisture can)
- 3.13 เครื่องมีโอวีเคราะห์โปรตีน: ชุดเครื่องมีโอวีเคราะห์โปรตีน (BÜCHI Distillation Unit B-324, Digestion Unit K-435 และ Scrubber B-414 BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)
- 3.14 เครื่องมีโอวีเคราะห์เถ้า: เตาเผา (muffle furnace) (Tactical 308, Gallenkamp, UK) และถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)
- 3.15 เครื่องวัดความหนืด (brookfield Model DV-III Programmable Rheometer, Brookfield Engineering Labs, Stoughton, MA., USA)
- 3.16 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (thermocouple)
- 3.17 อุปกรณ์งานครัว
- 3.18 เครื่องบดเนื้อ (meat grinder) (Tritacarne TS 22 ; OMAS, USA)
- 3.19 ตู้เย็น (refrigerator) (SJ D55G GY, Sharp)
- 3.20 ตู้แช่แข็ง (freezer) (SF-C65, Sanyo, ประเทศไทย)
- 3.21 เครื่องตีผสม (Kitchen Aid Type: K5ss, USA)
- 3.22 เครื่องหั่นเนื้อ (Omega type GL 300)
- 3.23 ตะแกรงลวดขนาด 14 mesh
- 3.24 เตาย่างไฟฟ้า (Otto King Glass, Thailand)
- 3.25 กระดาษกรอง Whatman no.1
- 3.26 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier calipers)
- 3.27 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (Hermale Labortechnik GmbH Type: Z 206A, Germany)
- 3.28 เครื่องวัดสี (spectrophotometer) (CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan)

3.29 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XT2i SMS Stable Micro Systems Texture Analyser Stable Microsystems Ltd., Surrey, England)

3.30 เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer) (VX100, Labnet International, Inc., USA)

3.31 เตาไฟฟ้า (hotplate) (TOE-12, Tema Dis Ticaret A.S., Turkey)

3.32 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Genesys 10S UV-VIS Spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, USA)

วิธีการ

1. การเตรียมผงตำรอง

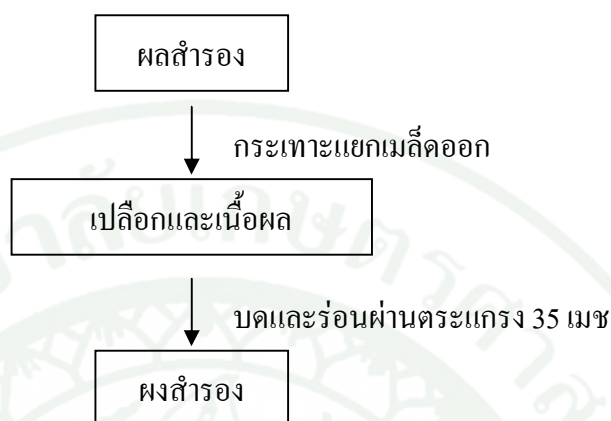
ผลตำรอง ซื้อจากมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรบุรี ในเดือนกรกฎาคม 2552 ราคา กิโลละ 200 บาท ผลตำรองมีขนาดและน้ำหนักเฉลี่ย 1.4 x 2.5 เซนติเมตร และ 1.44 กรัม ตามลำดับ นำผลตำรองมาแกะเปลือกและเนื้อผลไปทำการบดด้วยเครื่องปั่น (super blender, MX-T31GN, National, Matsushita Electric Co., Ltd., Taiwan) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (sieve, Endecotts Ltd., England) ได้เป็นผงตำรอง (malva nut powder) เก็บไว้ในโถสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง

2. การเตรียมกัมตำรอง

2.1 กัมตำรองจากผงตำรองตามธรรมชาติ (malva nut gum: MG) (ดัดแปลงจากชนินันท์, 2551)

นำผงตำรองที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ในอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มล.): ผงตำรอง (กรัม น้ำหนักแห้ง) เป็น 70:1 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (water bath, Eyela, Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan) ทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 เท่าของปริมาณการสกัด ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ (วัดด้วย pH meter, Orion 5 star, Thermo Fisher scientific Inc., USA) (ชนินันท์, 2551) แยกส่วนที่ละลายได้ในเบสกับส่วนกาก (ส่วนที่ไม่ละลายในเบส) ด้วยเครื่องคั้นระบบไฮดรอลิก (hydraulic press, ประเทศไทย)

จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งมีลักษณะขุ่นเหนียวสีน้ำตาลไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้กัม
ตำรอนจากผงตำรอนตามธรรมชาติ (MG) เก็บตัวอย่างกัมแห้งไว้ในโถดูดความชื้น



ภาพที่ 3 วิธีการเตรียมผงตำรอน

2.2 กัมตำรอนจากผงตำรอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (water treated malva nut gum: WMG) (คัดแปลงจากชนินันท์, 2551)

นำผงตำรอนที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาแช่ด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วนน้ำกลั่น (มล.): ผง
ตำรอน (กรัม น้ำหนักแห้ง) เป็น 70:1 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อน
ควบคุมอุณหภูมิ พร้อมกับการเขย่า จากนั้นรินน้ำทิ้ง เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยให้ความ
ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.05 โมลาร์ และให้ใช้อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มล.): ผงตำรอน
(กรัม น้ำหนักแห้ง) เป็น 70:1 แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16
ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ ทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 เท่าของปริมาณ
การสกัด ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2
โมลาร์ (ชนินันท์, 2551) แยกส่วนที่ละลายได้ในเบสกับส่วนกาก (ส่วนที่ไม่ละลายในเบส) ด้วย
เครื่องคั่นระบบไฮดรอลิก จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธีเดียวกับข้อ 2.1 ได้เป็นกัมตำรอนจากผงตำรอน
ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) เก็บตัวอย่างกัมแห้งไว้ในโถดูดความชื้น

2.3 กัมสารจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (acid treatment malva nut gum: AMG) (ดัดแปลงจากชนินันท์, 2551)

นำผงสารองที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์ ในอัตราส่วน กรดไฮโดรคลอริก (มล.): ผงสารอง (กรัม น้ำหนักแห้ง) เป็น 70:1 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 16 ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ พร้อมกับการเขย่า จากนั้นทำการปรับ pH ให้เป็น 6 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ แล้วจึงกรองแยกส่วนของเหลวออก จากนั้นนำ ตัวอย่างมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.05 โมลาร์ และให้มีอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มล.): ผงสารอง (กรัม น้ำหนักแห้ง) เป็น 70:1 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ ทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำ กลั่นจำนวน 2 เท่าของปริมาณการสกัด เพื่อให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ (ชนินันท์, 2551) แยกส่วนที่ละลายได้ในเบสกับส่วนกาก (ส่วนที่ไม่ละลายในเบส) ด้วยเครื่องคั่นระบบไฮดรอลิก จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธีเดียวกับข้อ 2.1 ได้กัมสารจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) เก็บตัวอย่างกัมแห้งไว้ในโถสุญญากาศ

3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของกัมสารอง

3.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกัมสารอง

3.1.1 การวิเคราะห์ค่าสี วิเคราะห์ค่าสีของกัมสารองที่อยู่ในรูปผงแห้ง และสารละลาย ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (Chroma: C^*) และค่ามุมของสี (Hue angle: h^*) ด้วยเครื่อง spectrophotometer (CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan) โดยตั้งค่าดังนี้

Illuminates : D (daylight: 6500 Kelvin)

Observation angle : 10 degree

Color Space : CIE $L^*a^*b^*/CIE L^*C^*h^*$

ตั้งค่าเครื่องมือเป็น exclude โดยใช้ white calibration plate CM-A120 และ Zero calibration box CM-A124 ในการสอบเทียบเครื่อง แผนภาพของสีในระบบ CIELAB แสดงใน ภาพผนวกที่ ค1



ภาพที่ 4 แผนภาพการเตรียม malva nut gum (MG) water treated malva nut gum (WMG) และ acid treatment malva nut gum (AMG)

ที่มา: ดัดแปลงจากชนินันท์ (2550)

3.1.2 การวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (2000) องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดรายงานเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก (%w/w, wet basis) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก1-ก3

3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอง

3.2.1 การเตรียมสารละลายกัมจากสำรองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความหนืด

เตรียมสารละลายกัมจากสำรองให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยชั่งกัมสำรองที่อยู่ในรูปผงแห้ง ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ค่อยๆ เทลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นพร้อมกวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer, Multistirrer 6, Velp scientifica, Italy) ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้สารละลายกัมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน (16 ชั่วโมง) ก่อนนำไปวิเคราะห์ความหนืด รายงานผลเป็นค่าความหนืดปรากฏ (มิลลิปาสคาล. วินาที, mPa.s)

3.2.2 การวิเคราะห์ความหนืด

เตรียมสารละลายกัมจากสำรองความเข้มข้นตามต้องการ ใช้ตัวอย่างปริมาตร 16 มิลลิลิตร วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield รุ่น DV-III (brookfield Model DV-III Programmable Rheometer, Brookfield Engineering Labs, Stoughton, MA., USA) หัววัดเบอร์ 0 ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และใช้เวลาวัดความหนืด 30 วินาที ค่าความหนืดมีหน่วยเป็นมิลลิปาสคาล.วินาที (mPa.s) รายงานผลเป็นค่าความหนืดปรากฏ

3.2.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่อความหนืดของกัมสำรอง

เตรียมสารละลายกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย นำมาวัดความหนืดตามข้อ 3.2.2

3.2.4 ศึกษาผลของความร้อนต่อความหนืดของกัมสำรอง

เตรียมสารละลายกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย วิเคราะห์ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง เทสารละลายกัมสำรองลงในหลอดทดสอบ นำหลอดทดสอบมาแช่ในอ่างน้ำร้อน (water bath, Eyela, Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan) จนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ทำการวัดความหนืดสารละลายที่อุณหภูมิดังกล่าว จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นจนสารละลายกัมมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงวัดความหนืดซ้ำอีกครั้ง รายงานผลเป็น ค่าความหนืดปรากฏ

3.2.5 ศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอง

เตรียมสารละลายกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย (ดังตารางผนวกที่ ข1-ข3) นำมาวัดความหนืดตามข้อ 3.2.2

3.2.6 ศึกษาผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอง

เตรียมสารละลายกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0 1 2 3 4 และ 5 เป็นตัวทำละลาย นำมาวัดความหนืดตามข้อ 3.2.2

วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (analysis of variance) และความแตกต่าง ระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. การศึกษาผลของการใช้กัมสารรองต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

4.1 วิธีการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป (ดัดแปลงจากรัชชัย, 2537)

4.1.1 นำเนื้อหมูส่วนสะโพก (อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส) มาทำการตัดแต่งไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันออก แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดเนื้อ (meat grinder, Tritacarne TS 22 ; OMAS, USA) ผ่านรูตะแกรงขนาด 0.4 เซนติเมตร

4.1.2 ผสมเนื้อหมูที่ผ่านการบดกับน้ำ (อุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส) ร้อยละ 10 (ของน้ำหนักเนื้อ) และส่วนผสมอื่นๆ โดยใช้เครื่องตีผสม (Kitchen Aid Type: K5ss, USA) เป็นเวลา 3 นาที ที่ความเร็วต่ำสุด (เบอร์ 1)

4.1.3 นำของผสมที่ได้มาอัดใส่ไส้เซลลูโลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร (ที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว นานประมาณ 5 นาที) ด้วยมือ จากนั้นนำไปแช่ที่ตู้เย็น (refrigerator, SJ D55G GY, Sharp) อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และนำไปแช่แข็งต่อที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3.5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสไลด์ด้วยเครื่องหั่นเนื้อ (Omega type GL 300) ให้มีความหนาประมาณ 1.3 เซนติเมตร

4.1.4 นำเนื้อขึ้นรูปที่ได้วางเรียงในกล่องพลาสติก นำไปเก็บในตู้แช่แข็ง (freezer, SF-C65, Sanyo, ประเทศไทย) อุณหภูมิ -22 องศาเซลเซียส จนกระทั่งวิเคราะห์และประเมินผล รวมเก็บไม่เกิน 7 วัน

4.2 ศึกษาผลของ MG WMG และ AMG และปริมาณการใช้ต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

ศึกษาผลของการใช้กัมสารรองในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป โดยทำการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมกัมจากสารรองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ MG WMG และ AMG ในปริมาณร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 (ของน้ำหนักเนื้อ) เปรียบเทียบกับเนื้อหมูขึ้นรูปที่ไม่มีการเติมส่วนผสมอื่น (NG) เนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 (S) เนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3 (P) และเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3 (SP) (ดังตารางที่ 4) ทำการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 4.1 วิธีการในการเติมนั้นจะนำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (กัมสารรอง หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์และฟอสเฟต) มาละลายในน้ำ และเติมลงไปในช่วงตอนของการผสม ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้ดังนี้

4.2.1 การสูญเสียจากการหุงต้ม (cooking loss) (ดัดแปลงจาก Pietrasik and Li-Chan, 2002)

ทำละลายตัวอย่างบนตะแกรงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างซึ่งน้ำหนักก่อนและหลังการให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า (Otto King Glass, Thailand) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จนกระทั่งใจกลางตัวอย่างถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มดังนี้

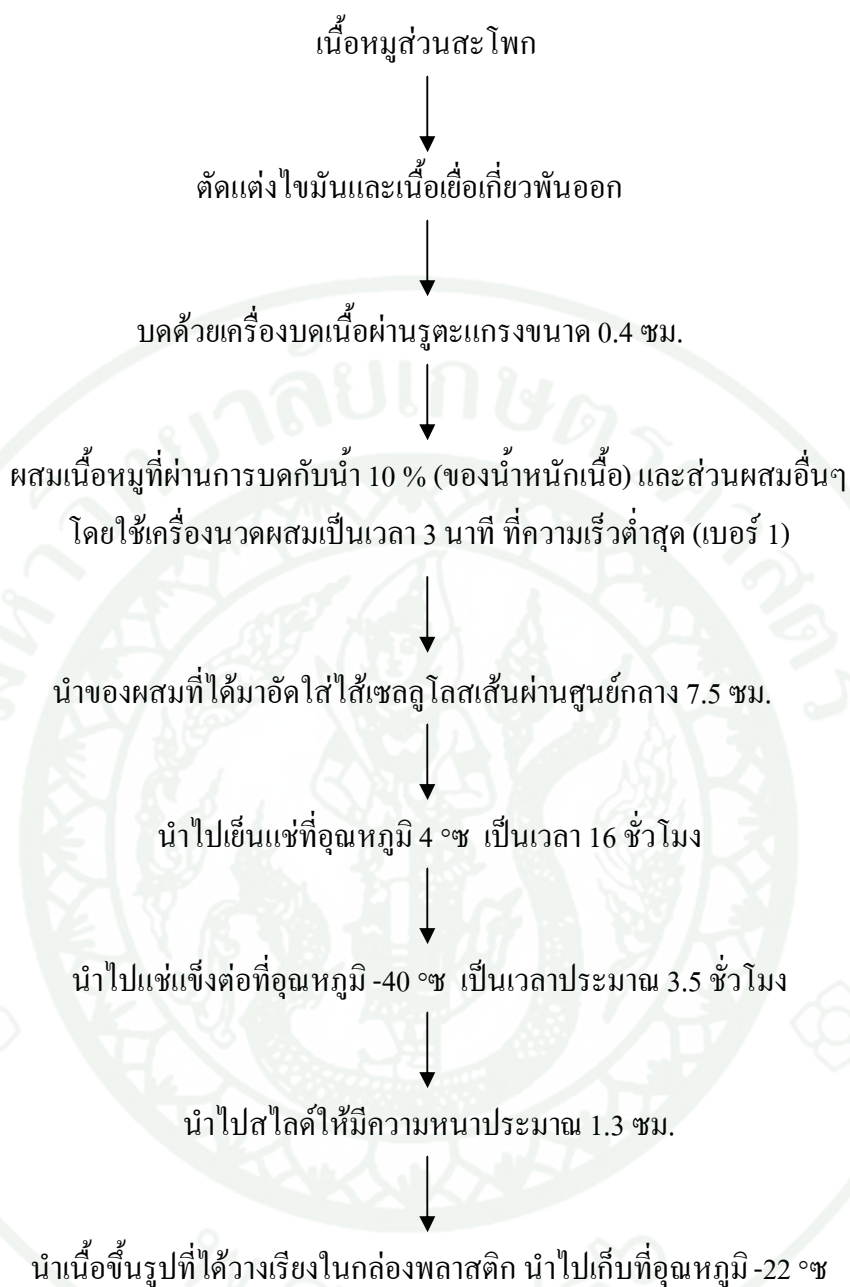
$$\% \text{ cooking loss} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อก่อนสุก} - \text{น้ำหนักเนื้อหลังสุก}}{\text{น้ำหนักเนื้อก่อนสุก}} \times 100$$

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา (dimensional and thickness changes) (ดัดแปลงจาก Boles and Shand, 1999)

ทำละลายตัวอย่างเนื้อหมูจี่นรูปคิบบนตะแกรงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาอย่างละ 3 จุดก่อนและหลังการให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จนใจกลางตัวอย่างมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ คำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความหนาดังนี้

$$\% \text{ diameter change} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อก่อนสุก} - \text{เส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อหลังสุก}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อก่อนสุก}} \times 100$$

$$\% \text{ thickness change} = \frac{\text{ความหนาเนื้อก่อนสุก} - \text{ความหนาเนื้อหลังสุก}}{\text{ความหนาเนื้อก่อนสุก}} \times 100$$



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป

ที่มา: ดัดแปลงจาก ธวัชชัย (2537)

4.2.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) (ดัดแปลงจาก Ramirez *et al.*, 2002)

นำตัวอย่างขนาด 5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 สองชั้น ใส่ในกระบอกหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge, Hermale Labortechnik GmbH Type: Z 206A, Germany) ที่ความเร็วรอบ 1500g เป็นเวลา 5 นาที คำนวณร้อยละความสามารถในการอุ้มน้ำดังนี้

$$\% \text{water holding capacity} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการหมุนเหวี่ยง} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการหมุนเหวี่ยง}}$$

4.2.4 ค่าสี

ทำการวัดค่าสีของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปด้วยเครื่องวัดสี (spectrophotometer, CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan) ทำการตัดตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปขนาดประมาณ 2x2 เซนติเมตร วัดค่าสีตรงส่วนรอยหน้าตัด วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (chroma: C^*) และค่ามุมของสี (hue angle: h^*) ทำการสอบเทียบด้วย zero calibration box CM-A12 และ white calibration plate CMA120 ทำการวัด 3 จุดต่อชิ้น เป็นจำนวน 3 ชิ้นแล้วหาค่าเฉลี่ย (average)

4.2.5 แรงเนียน (shear force)

ทำการวิเคราะห์ค่าแรงเนียนของเนื้อหมูขึ้นรูปสุกด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XT2i SMS Stable Micro Systems Texture Analyser Stable Microsystems Ltd., Surrey, England) โดยใช้หัววัด Warner Bratzler Shear (HDP/BS) ตัดตัวอย่างเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เลือกรูปแบบการวัดเป็น compression โดย Load cell รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม กำหนดค่าความเร็วหัววัดก่อนทดสอบและระหว่างการทดสอบเป็น 2.0 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วหัววัดหลังการทดสอบ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง 30.0 มิลลิเมตร กำหนดจุดเริ่มทดสอบ (trigger) เป็น type: Auto, force: 20 กรัม data acquisition rate: 200 pps กำหนดค่าแรงเนียนคือแรงสูงสุดที่ต้านการตัดตัวอย่าง หน่วยเป็นนิวตัน (N)

4.2.6 ค่าเนื้อสัมผัส (texture profile analysis)

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูป ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XT2i SMS Stable Micro Systems Texture Analyser Stable Microsystems Ltd., Surrey, England) โดยใช้หัววัด compression plate No. P25 ด้วยวิธี TPA ตัดตัวอย่างเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เลือกรูปแบบการวัดเป็น compression โดย load cell รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม กำหนดค่าความเร็วหัววัดก่อนทดสอบ ระหว่างการทดสอบ และความเร็วหัววัดหลังการทดสอบเป็น 2.0 1.0 และ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที กำหนดจุดเริ่มทดสอบ (trigger) เป็น type: Auto force: 40 กรัม ระยะเวลาระหว่างการกดครั้งแรกและครั้งที่สอง: 5.0 วินาที data acquisition rate: 200 pps ประมวลผลกราฟโดยใช้โปรแกรม texture profile analysis (TPA) เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟและคำนวณค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) การคืนตัว (springiness) การเกาะตัว (cohesiveness) และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) (ตัวอย่างกราฟ texture profile analysis แสดงดังภาพผนวกที่ 3)

วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (analysis of variance) และความแตกต่าง ระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (NaCl ร้อยละ 2)

ศึกษาผลของปริมาณการใช้กัมสารร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลง โดยมีสูตรควบคุมคือเกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตรร้อยละ 2.0 (ของน้ำหนักเนื้อ) (Seideman and Durland, 1983) ส่วนสูตรที่มีการลดปริมาณเกลือจะใช้เกลือร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 1.5 ของน้ำหนักเนื้อ ร่วมกับชนิดของกัมจากสารรองที่เหมาะสมจากข้อ 4.2 โดยเดิมในปริมาณร้อยละ 0.0 0.1 และ 0.2 (ดังตารางที่ 5) ทำการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 4.1 วิธีการในการเดมนั้นจะนำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (กัมจากสารรองและเกลือโซเดียมคลอไรด์) มาละลายในน้ำ และเติมลงไปในส่วนตอนของการผสม ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ส่วนผสมแห้งที่ใช้ในการศึกษาชนิดของกัมสำรองและปริมาณการใช้ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป (%w/w meat) เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียม-คลอไรด์ และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

Treatment	MG	WMG	AMG	NaCl	STPP	Water
NG	-	-	-	-	-	10
S	-	-	-	2	-	10
P	-	-	-	-	0.3	10
SP	-	-	-	2	0.3	10
MG 0.1	0.1	-	-	-	-	10
MG 0.2	0.2	-	-	-	-	10
MG 0.3	0.3	-	-	-	-	10
WMG 0.1	-	0.1	-	-	-	10
WMG 0.2	-	0.2	-	-	-	10
WMG 0.3	-	0.3	-	-	-	10
AMG 0.1	-	-	0.1	-	-	10
AMG 0.2	-	-	0.2	-	-	10
AMG 0.3	-	-	0.3	-	-	10

หมายเหตุ MG (malva nut gum) = กัมสำรองจากผงสำรองตามธรรมชาติ

WMG (water treated malva nut gum) = กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น

AMG (acid treated malva nut gum) = กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการแช่ด้วยกรด

NaCl = sodium chloride

STPP = sodium tripolyphosphate

4.3.1 การสูญเสีย น้ำ (cook loss) ตามวิธีข้อ 4.2.1

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา (dimensional and thickness changes) ตามวิธีข้อ 4.2.2

4.3.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ตามวิธีข้อ 4.2.3

4.3.4 ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer CM-3500d อ่านค่าสีในระบบ L^* , a^* , b^* , C^* และ h^* ตามวิธีข้อ 4.2.4

4.3.5 แรงเฉือน (shear force) ตามวิธีข้อ 4.2.5

4.3.6 ค่าเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ตามวิธีข้อ 4.2.6

วางแผนการทดลอง 2 ขั้นตอน คือ 1. วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ 3x4 แฟกทอเรียลใน CRD โดยใช้ MG 3 ระดับ (ร้อยละ 0.0 0.1 0.2) และร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) 4 ระดับ (ร้อยละ 0.0 0.5 1.0 1.5) ดังนั้นจึงมีทรีทเมนต์คอมบินชันของการทดลองเป็น $3 \times 4 = 12$ สูตร วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) เพื่อดูอิทธิพลรวมและอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัย จากนั้นทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักที่แต่ละระดับ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีคุณลักษณะเหมาะสมไปวิเคราะห์ทางสถิติใหม่อีกครั้งในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่คัดเลือกมาจากขั้นตอนที่ 1 และตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ตารางที่ 5 ส่วนผสมแห้งที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ลดปริมาณลงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป (%w/w meat) เปรียบเทียบกับ ตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2)

Treatment	MG	NaCl	Water
M0.0-S0.0	-	-	10
M0.0-S0.5	-	0.5	10
M0.0-S1.0	-	1.0	10
M0.0-S1.5	-	1.5	10
M0.0-S-2.0	-	2.0	10
M0.1-S0.0	0.1	-	10
M0.1-S0.5	0.1	0.5	10
M0.1-S1.0	0.1	1.0	10
M0.1-S1.5	0.1	1.5	10
M0.2-S0.0	0.2	-	10
M0.2-S0.5	0.2	0.5	10
M0.2-S1.0	0.2	1.0	10
M0.2-S1.5	0.2	1.5	10

หมายเหตุ MG (malva nut gum) = กัมสำรองจากพวงสำรองตามธรรมชาติ

NaCl = sodium chloride

4.4 ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อ คุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป เปรียบเทียบกับ ตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3)

ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลง โดยมีสูตรควบคุมคือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตรร้อยละ 0.3 (ของน้ำหนักเนื้อ) ส่วนสูตรที่มีการลดปริมาณฟอสเฟตจะใช้ฟอสเฟตร้อยละ 0.0 0.1 0.15 และ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อ (Offer and Trinick, 1983) ร่วมกับชนิดของกัมจากสำรองที่เหมาะสมจากข้อ 4.2 โดยเติมในปริมาณร้อยละ 0.0

0.1 และ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อ (ดังตารางที่ 6) ทำการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 4.1 โดยวิธีการในการเติมนั้นจะนำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (ผงสํารองและฟอสเฟต) มาละลายในน้ำ และเติมลงไปในส่วนตอนของการผสม ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้ดังนี้

4.4.1 การสูญเสีย น้ำ (cook loss) ตามวิธีข้อ 4.2.1

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา (dimensional and thickness changes) ตามวิธีข้อ 4.2.2

4.4.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ตามวิธีข้อ 4.2.3

4.4.4 ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer CM-3500d อ่านค่าสีในระบบ L^* , a^* , b^* , C^* และ h^* ตามวิธีข้อ 4.2.4

4.4.5 แรงเฉือน (shear force) ตามวิธีข้อ 4.2.5

4.4.6 ค่าเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ตามวิธีข้อ 4.3.6

วางแผนการทดลอง 2 ขั้นตอน คือ 1. วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ 3x4 แฟกทอเรียลใน CRD โดยใช้ MG 3 ระดับ (ร้อยละ 0.0 0.1 0.2) และร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟต (P) 4 ระดับ (ร้อยละ 0.0 0.1 0.15 0.2) ดังนั้นจึงมีทรีตเมนต์คอมบินชันของการทดลองเป็น $3 \times 4 = 12$ สูตร วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) เพื่อหาอิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัย จากนั้นทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักที่แต่ละระดับ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมไปวิเคราะห์ทางสถิติใหม่อีกครั้งในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่คัดเลือกมาจากขั้นตอนที่ 1 และตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ตารางที่ 6 ส่วนผสมแห้งที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป (%w/w meat) เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

Treatment	MG	STPP	Water
M0.0-P0.00	-	-	10
M0.0-P0.10	-	0.1	10
M0.0-P0.15	-	0.15	10
M0.0-P0.20	-	0.2	10
M0.0-P0.30	-	0.3	10
M0.1-P0.00	0.1	-	10
M0.1-P0.10	0.1	0.1	10
M0.1-P0.15	0.1	0.15	10
M0.1-P0.20	0.1	0.2	10
M0.2-P0.00	0.2	-	10
M0.2-P0.10	0.2	0.1	10
M0.2-P0.15	0.2	0.15	10
M0.2-P0.20	0.2	0.2	10

หมายเหตุ MG (malva nut gum) = กัมสำรองจากผงบำรุงตามธรรมชาติ

STPP = sodium tripolyphosphate

5. ศึกษาผลของ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

การเสื่อมคุณภาพทางเคมีของเนื้อชิ้นรูปส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์ จะเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วยิ่งขึ้น จากการทดลองของชนินันท์ (2550) พบว่ากัมสำรองมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของการใช้ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป โดยเลือกใช้ปริมาณกัมจากผลสำรองและเกลือโซเดียมคลอไรด์จากสูตรที่เหมาะสมในข้อ 4.3 มาทำการทดสอบเปรียบเทียบ โดยมีทริทเมนต์ที่ศึกษาตามตารางที่ 7 ดังนี้

- 1) เนื้อหมูจื้นรูปที่ไม่มีเติมสารใดๆ เป็นสูตรควบคุม (No Additive: NA)
- 2) เนื้อหมูจื้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2.0 (ของน้ำหนักเนื้อ) และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.3 (ของน้ำหนักเนื้อ) เป็นสูตรเกลือปริมาณสูง (high salt and phosphate: SPH)
- 3) เนื้อหมูจื้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 (ของน้ำหนักเนื้อ) และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.1 (ของน้ำหนักเนื้อ) เป็นสูตรเกลือปริมาณต่ำ (low salt and phosphate: SPL)
- 4) เนื้อหมูจื้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 (ของน้ำหนักเนื้อ) และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.1 (ของน้ำหนักเนื้อ) ร่วมกับ MG ร้อยละ 0.2 (ของน้ำหนักเนื้อ) (low salt and phosphate plus MG: SPLM)
- 5) เนื้อหมูจื้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 (ของน้ำหนักเนื้อ) และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.1 (ของน้ำหนักเนื้อ) ร่วมกับสารต้านการเกิดออกซิเดชัน Butylatedhydroxytoluene (BHT) ร้อยละ 0.02 (ของน้ำหนักเนื้อ) (low salt and phosphate plus BHT: SPLBHT)

นำเนื้อหมูจื้นรูปในแต่ละสูตรมาให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จนใจกลางถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน โดยวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ด้วยวิธีการสกัด (extraction method) (ดังภาพผนวกที่ ๓6) ในวันที่ 0 2 4 6 8 และ 10 ของการเก็บรักษา รายงานค่า TBARS เป็น เทียบเท่ามิลลิกรัม มาลอนัลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อสัตว์ (mg malonaldehyde eq/ kg meat)

วางแผนการทดลองหาผลของกัมจากสารก่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูจื้นรูป โดยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (analysis of variance) และความแตกต่างระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

ตารางที่ 7 ส่วนผสมแห้งที่ใช้ในการศึกษาผลของการใช้ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุก (%w/w meat)

Treatment	NaCl	STPP	MG	BHT	Water
NA	-	-	-	-	10
SPH	2	0.3	-	-	10
SPL	1	0.1	-	-	10
SPLM	1	0.1	0.2	-	10
SPLBHT	1	0.1	-	0.02	10

หมายเหตุ MG (malva nut gum) = กัมถั่วจากฝงถั่วตามธรรมชาติ

NaCl = sodium chloride

STPP = sodium tripolyphosphate

BHT = butylatedhydroxytoluene

ผลและวิจารณ์

1. การเตรียมผงตำรอน (malva nut powder preparation)

ผลตำรอน (malva nut fruit) ที่นำมาใช้ในการสกัดกัมตำรอนมีขนาดและน้ำหนักเฉลี่ย 1.4×2.5 เซนติเมตร และ 1.44 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำผลตำรอนมากระเทาะแยกเมล็ด แล้วนำส่วนเปลือกและเนื้อผลมาทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช ได้เป็นผงตำรอน (malva nut powder, MP) ดังภาพที่ 6 โดยมีปริมาณผลได้ (yield) ในรูปของน้ำหนักผงตำรอนเทียบกับผลตำรอน คือร้อยละ 37.09 โดยน้ำหนัก (w/w) แล้วนำผงตำรอนที่ได้มาเป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 6 ผลตำรอน (ก) เมล็ดตำรอน (ข) เปลือกและเนื้อตำรอน (ค) และผงตำรอนบดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ง)

2. การเตรียมกัมจากตำรอน (malva nut gum preparation)

ในการทดลองนี้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายสำหรับการสกัดกัมตำรอน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อกับองค์ประกอบอื่นๆ ด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ซึ่งสามารถปลดปล่อยได้ดีภายใต้สภาวะเบส (Harris and Smith, 2006) การทำละลายด้วยเบสนี้มีความเกี่ยวข้องกับการขัดขวาง (disruption) และแตก (breaking) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) นอกจากนี้สารประกอบชนิดแทนที่ที่เชื่อมด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester-linked

substituents) ก็ถูกแยกออกด้วยเช่นกัน มีผลทำให้สารมีความเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilicity) เพิ่มขึ้นจึงสามารถละลายน้ำได้ (water solubility) (Sun *et al.*, 1995) ดังนั้นการทำละลายพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยเบสจะมีปริมาณผลได้ (yield) ในการสกัดมากกว่าการใช้ตัวทำละลายชนิดอื่นๆ ในงานวิจัยของ Somboonpanyakul *et al.* (2006a) ได้ทำการสกัดกัมสารองด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับส่วน (sequential extraction) โดยทำการสกัดผลสารองด้วยน้ำ แล้วนำส่วนที่ไม่ละลายน้ำมาทำการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.05 โมลาร์และนำส่วนที่ไม่ละลายในกรดมาสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ตามลำดับ พบว่าการสกัดกัมสารองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณผลได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักผลแห้งเริ่มต้น ในขณะที่การสกัดด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณผลได้เพียงร้อยละ 1 และ 6 โดยน้ำหนักผลแห้งเริ่มต้น ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม สารละลายเบสแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสกัดกัมได้แตกต่างกัน มนุษยา (2552) พบว่าการสกัดกัมจากสารองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.05 จะมีปริมาณผลได้มากกว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.05 ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 18.54 และ 10.54 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ปริมาณผลได้ (yield) ของกัมสารองในรูปผงแห้ง (malva nut gum powder) ที่ได้จากการสกัดผงสารอง (malva nut powder) ที่เตรียมจากสภาวะที่ต่างกัน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์

สภาวะ	ปริมาณผลได้ เทียบกับ ผลสารองแห้ง (%)	ปริมาณผลได้ เทียบกับ ผงสารองแห้ง (%)
MG	16.50 ^a	44.49 ^a
WMG	16.19 ^a	43.66 ^a
AMG	19.00 ^b	51.22 ^b

หมายเหตุ MG (malva nut gum) = กัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ

WMG (water treated malva nut gum) = กัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น

AMG (acid treated malva nut gum) = กัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด

ตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณผลได้ (yield) ของการสกัดกัม (malva nut gum powder) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากผงสารรอง (malva nut powder) ที่เตรียมได้จากสภาวะที่ต่างกัน กัมสารรองจากผงสารรองตามธรรมชาติ (malva nut gum, MG) กัมสารรองจากผงสารรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (water treated malva nut gum, WMG) และกัมสารรองจากผงสารรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (acid treated malva nut gum, AMG) มีปริมาณผลได้ในรูปของกัมสารรองเทียบกับผลสารรอง (malva nut fruits) คือร้อยละ 16.50 16.19 และ 19.00 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับผงสารรอง (malva nut powder) จะมีปริมาณผลได้เป็นร้อยละ 44.49 43.66 และ 51.22 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า MG และ WMG มีปริมาณผลได้ใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่า AMG ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง โดย AMG ผ่านขั้นตอนการแช่ด้วยกรด อาจทำให้โมเลกุลของสารรองมีขนาดเล็กลง สามารถผ่านถุงกรองในขั้นตอนการแยกกากได้มากกว่า MG ที่ไม่ผ่านการแช่สารใดๆ และ WMG ที่ผ่านการแช่เพียงแต่น้ำกลั่น เมื่อพิจารณาปริมาณผลได้ในรูปของกัมสารรองเทียบกับผลสารรอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ Somboonpanyakul *et al.* (2006a) ที่ทำการสกัดสารรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ใช้วิธีการสกัดแบบลำดับส่วน (sequential extraction) จะมีปริมาณผลได้ในรูปของกัมสารรองร้อยละ 20 โดยน้ำหนักผลแห้ง

Wu *et al.* (2007) ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์หยาบจาก Boat-fruited sterculia seed (*Semen Sterculiae Lychnophorae*) ด้วยวิธี response surface methodology (RSM) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำ Boat-fruited sterculia seed มาบดละเอียด (420 ไมโครเมตร) แล้วสกัดเอาไขมันออก ล้างด้วยแอลกอฮอล์ และนำไปประเหยตัวทำละลายออก จะได้เป็นผงแห้งจากการเตรียมตัวอย่าง (pretreated dry powder) จากนั้นนำผงแห้งนี้มาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์หยาบ ซึ่งพบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.3 ชั่วโมง ที่ pH 7.0 โดยใช้สัดส่วนของน้ำต่อเมล็ดเป็น 75:1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีปริมาณผลได้ร้อยละ 17.36 ของน้ำหนักเมล็ดที่ใช้เตรียมเป็นผงแห้ง (seeds pretreated dry powder) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Phimolsiripol *et al.* (2011) ที่สกัดกัมสารรองหยาบ (crude malva nut gum, CMG) ด้วยการแช่ผลสารรองในน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารเมือกที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอล แล้วนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณผลได้เป็นร้อยละ 19.4

จากผลการวิจัยที่ได้รวบรวมมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณผลได้ของกัมที่สกัดจากผลสารรองมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับวิธีที่ใช้ในการสกัด ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิ

เวลา pH สัดส่วนของน้ำต่อเมล็ด ความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ และอื่นๆ

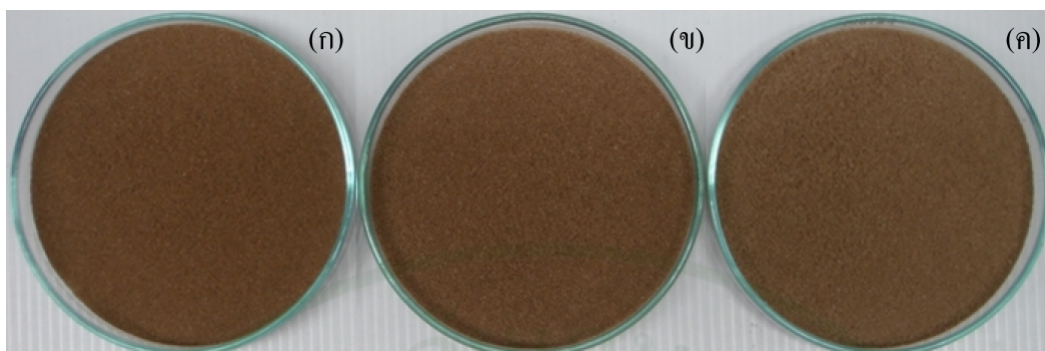
3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของกัมสำรอง

3.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกัมสำรอง

กัมสำรองที่สกัดได้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ MG WMG และ AMG เมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และบดละเอียด จะได้สารสกัดที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง สีน้ำตาล (ภาพที่ 7) สามารถดูดซับความชื้นได้ง่าย หากวางทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศจะเกาะตัวกัน ทำให้ยากต่อการนำไปละลายน้ำ จึงต้องบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท และเก็บรักษาในโถดูดความชื้น (desiccator) เพื่อเตรียมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองต่อไป เมื่อนำกัมสำรองทั้ง 3 ชนิดไปละลายในน้ำกลั่น พบว่าสามารถละลายในน้ำได้ดี ได้สารละลายสีน้ำตาลใส (ภาพที่ 8) มีสารแขวนลอยอยู่บ้างเล็กน้อย สารละลายกัมสำรองมีสีน้ำตาลเข้มอาจนำไปใช้ในอาหารที่มีสีเหลือง สีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้ม เช่น ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ หรืออาจใช้เป็นสารให้สีน้ำตาลแก่ผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 9 ลักษณะโดยรวมของกัมสำรองจากผงสำรองตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG)

คุณลักษณะ	กัมสำรองทั้ง 3 ชนิด
ลักษณะปรากฏของผงกัม	ผงแห้งสีน้ำตาลเข้ม
ความชื้น	6.3-7.3 % (w/w)
การกระจายตัวในน้ำ	กระจายตัวได้ในน้ำที่มีการกวนอย่างรวดเร็ว
ลักษณะปรากฏของสารละลายกัม 0.5 % (w/v)	สารละลายสีน้ำตาลใส
pH ของสารละลายกัม 0.5 % (w/v)	6.13-6.33
กลิ่นของสารละลายกัม	มีกลิ่นสำรองตามธรรมชาติ



ภาพที่ 7 กัมตำรอนจากผงตำรอนตามธรรมชาติ (MG) (ก) กัมตำรอนจากผงตำรอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) (ข) และกัมตำรอนจากผงตำรอนที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) (ค)



ภาพที่ 8 สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของกัมตำรอนจากผงตำรอนตามธรรมชาติ (MG) (ก) กัมตำรอนจากผงตำรอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) (ข) และสารละลายกัมตำรอนที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) (ค)

กัมตำรองทั้ง 3 ชนิดได้แก่ MG WMG และ AMG มีลักษณะเป็นผงแห้ง สีน้ำตาลเข้ม (ดังภาพที่ 7) เมื่อนำมาวัดค่าสีด้วยระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ได้ผลดังตารางที่ 10 โดยในระบบนี้ ค่า L^* หมายถึงความสว่าง $+a^*$ หมายถึงความเป็นสีแดง $+b^*$ หมายถึงความเป็นเหลือง C^* หมายถึงความเข้มของสี h^* หมายถึงเฉดสี (ภาคผนวก ค4)

จากตารางที่ 10 แสดงถึงค่าสีของกัมในรูปแบบผงแห้งพบว่า AMG มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า MG และ WMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ AMG มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเข้มของสี (C^*) น้อยกว่ากัมอีกสองชนิด ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การแช่ผงตำรองด้วยกรดในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมีผลทำให้กัมตำรองที่ได้ มีความสว่างมากขึ้น และความเข้มสีลดลง โดยเมื่อพิจารณาจากภาพผนวกที่ ก2 ซึ่งเป็นภาพการเตรียมกัมตำรองจากผงตำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด พบว่าหลังการแช่ผงตำรองด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์ และปรับ pH ให้มีค่าเป็น 6 (ภาพผนวกที่ ก2 (ข)) สีของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะมีสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีเม็ดสี (pigment) บางส่วนจากผงตำรองละลายปะปนออกมาทำให้สารละลายเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นสีน้ำตาลอ่อน จากนั้นเมื่อแยกเอาสารละลายกรดไฮโดรคลอริกออก เม็ดสีเหล่านี้จะถูกชะทิ้งไปด้วย ทำให้ผงตำรองดังกล่าวมีปริมาณเม็ดสีลดลง เมื่อนำไปสกัดเป็นกัมจึงมีค่าความสว่างมากกว่ากัมอีกสองชนิด แต่ความเข้มของสีน้อยกว่า การวิเคราะห์ค่าสีกัมตำรองในรูปของสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.5 แสดงดังตารางที่ 11 พบว่าสารละลาย AMG มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า MG และ WMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ AMG มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) น้อยกว่ากัมอีกสองชนิด ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับกัมในรูปแบบของผงแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบสีของ MG WMG และ AMG ในรูปแบบผงที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 10 กับกัมตำรองหยาบ (crude malva nut gum, CMG) ของ Phimolsiripol *et al.* (2011) ที่ได้จากการสกัดผลตำรองด้วยน้ำ ตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า MG WMG และ AMG มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) มากกว่า CMG แต่มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกัน (CMG มีค่า L^* a^* และ b^* เป็น 47.02 6.60 และ 12.20 ตามลำดับ) ค่าสีของกัมตำรองที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการสกัดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 ค่าสีของกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ในรูปแบบผงแห้ง

ค่าสี	ชนิดของกัมสำรวจ		
	MG	WMG	AMG
L [*]	52.41 ^a ±0.09	52.42 ^a ±0.13	54.42 ^b ±0.46
a [*]	8.61 ^b ±0.05	8.70 ^b ±0.14	7.92 ^a ±0.09
b [*]	11.22 ^a ±0.04	11.19 ^a ±0.19	11.22 ^a ±0.13
C [*]	14.14 ^b ±0.06	14.15 ^b ±0.22	13.74 ^a ±0.14
h [*]	52.51 ^b ±0.13	52.07 ^a ±0.15	54.78 ^c ±0.20

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ตารางที่ 11 ค่าสีของสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของกัมสำรวจจากผงสำรวจตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG)

ค่าสี	ชนิดของกัมสำรวจ		
	MG	WMG	AMG
L [*]	25.03 ^a ±0.02	25.05 ^a ±0.03	25.09 ^b ±0.02
a [*]	2.20 ^b ±0.02	2.22 ^b ±0.02	2.08 ^a ±0.02
b [*]	2.24 ^a ±0.02	2.28 ^b ±0.01	2.36 ^c ±0.04
C [*]	3.14 ^a ±0.02	3.18 ^b ±0.01	3.15 ^{ab} ±0.05
h [*]	45.61 ^a ±0.27	45.79 ^a ±0.37	48.55 ^b ±0.24

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

กัมจากสารองที่สกัดได้จากการเตรียมผงสารองที่สภาวะต่างกัน มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันดังตารางที่ 12 โดย MG WMG และ AMG มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.44 3.19 และ 2.75 ของน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าลดลงจากผงสารองซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.59 โดยกัมทั้งสามนี้ผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยเบส (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์) เหมือนกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยเบสสามารถลดโปรตีนได้และทำให้พอลิแซ็กคาไรด์มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sriramroen and Chavasit (2011) ที่พบว่ากัมสารองที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเบสจะมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 5.9 ของน้ำหนักเปียก ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์มีปริมาณโปรตีนเหลือเพียงร้อยละ 1.9 ของน้ำหนักเปียก

Somboonpanyakul *et al.* (2006a) กล่าวว่า เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างของกัมสารองที่สกัดด้วยเบสด้วยวิธี FT-IR spectroscopy พบว่ากัมสารองมีโครงสร้างคล้ายกัมอะราบิก (arabic gum) ซึ่งเป็นกัมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมขนมหวาน (confectionary) ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ กลิ่นรส (flavors) และเครื่องดื่ม รวมทั้งในงานทางด้านอุตสาหกรรมยา (Idris and Haddad, 2012) กัมอะราบิกมีโครงสร้างหลักที่สำคัญชนิดหนึ่งคือ อะราบิโนกาแลคแตนโปรตีน (arabinogalactan proteins, AGPs) AGPs พบได้ในกัมหรือสารเมือกที่ได้จากพืช ประกอบด้วยโปรตีนเพียงร้อยละ 10 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 90 เกิดการเชื่อมต่อกันผ่านทาง O-glycosylated โดยมีโปรตีนเป็นสายโซ่หลัก (Kreuger and Hoist, 1996; Seifert and Roberts, 2007) พอลิแซ็กคาไรด์จะประกอบด้วยน้ำตาลอะราบิโนสและกาแลคโตสเป็นหลัก เกิดการจับ (attached) กับโปรตีนได้หลายจุด โดยส่วนมากจะจับกับสายโซ่หลักของเปปไทด์ที่ Hyp หรืออาจเกิดการจับกับ Ser หรือ Thr ได้ในบางครั้ง (Showalter, 2001)

การที่กัมอะราบิกซึ่งมี AGPs เป็นองค์ประกอบมีปริมาณโปรตีนลดลงหลังจากการสกัดด้วยเบส อาจเนื่องมาจาก AGPs นั้นมีความไวต่อการแตกตัวในเบส (sensitivity to alkaline degradation) โดยจะเกี่ยวข้องกับพันธะเปปไทด์มากกว่าพันธะไกลโคซิดิก เนื่องจาก Hydroxyproline-O-glycosidic linkages นั้นมีความคงตัวในเบสเป็นอย่างมาก ไม่เกิดการแตกตัวด้วยขบวนการ β -elimination การเกิดไฮโดรไลซิสด้วยเบสเป็นบางส่วน (partial alkaline hydrolysis) ภายใต้สภาวะไม่รุนแรง (mild conditions) สามารถแตก AGPs เป็นไกลโคเปปไทด์ขนาดใหญ่ที่มีเปปไทด์สายสั้นๆ เป็นองค์ประกอบ การแตกตัวนี้แสดงให้เห็นว่า พันธะที่ไม่คงตัวในเบส (base-labile bonds) เกิดขึ้นในส่วนของ Ser-Hyp-Ser-Hyp-Thr-Hyp ในสายหลักของพอลิเปปไทด์ (Goodrum *et al.*, 2000)

เนื่องจากกัมสารรองที่สกัดด้วยเบสมีโครงสร้างคล้ายกัมอะราบิก (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) ซึ่งมี AGPs เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นโปรตีนที่อยู่ในกัมสารรองอาจจะอยู่ในรูปของ AGPs การที่กัมสารรองที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีโปรตีนลดลง (ตารางที่ 12) อาจเกิดเนื่องจาก AGPs เกิดไฮโดรไลซิสด้วยเบสบางส่วน ได้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ แล้วถูกชะทิ้งไปในขั้นตอนการบีบเอาน้ำออก

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทั้งสามชนิดพบว่าปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างผงสารรองด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน โดย WMG และ AMG ได้จากการนำผงสารรองมาแช่ด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ตามลำดับ ทำให้กัมทั้งสองมีโปรตีนน้อยกว่า MG ซึ่งไม่ผ่านขั้นตอนใดๆ โดยพบว่า WMG และ AMG มีโปรตีนน้อยกว่า MG ร้อยละ 7.3 และ 20.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก WMG นั้นผ่านการแช่ด้วยน้ำ โปรตีนอิสระขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้อาจจะถูกชะออกไป Benhura and Chidewe (2011) กล่าวว่าโปรตีนอิสระหรือโปรตีนที่ไม่เกิดพันธะโควาเลนต์กับพอลิแซ็กคาไรด์ สามารถกำจัดออกไปด้วยวิธีการทางกายภาพ

ในส่วนของ AMG ซึ่งผ่านการแช่ด้วยกรด อาจเกิดการทำลายโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ โดยพันธะไกลโคไลซิสเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสที่สภาวะ pH ต่ำ และการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดอัตราการทำลายโครงสร้างได้ดีขึ้น (BeMiller and Whistler, 1996) จึงทำให้โปรตีนที่เชื่อมอยู่กับสายพอลิแซ็กคาไรด์เกิดการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเป็นสายที่สั้นลง แล้วละลายอยู่ในสารละลายกรดที่ชะทิ้งไป ซึ่งสอดคล้องกับ Bhat and Tharanathan (1986) ที่พบว่าเมื่อสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สามารถลดปริมาณโปรตีนลงได้มาก โดยพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนเพียงร้อยละ 1.6

นอกจากนี้ยังพบว่ากัมสารรองที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับผงสารรอง ดังตารางที่ 12 เนื่องมาจากผ่านการสกัดด้วยไฮดรอกไซด์ของแร่ธาตุ (mineral hydroxide) และการทำให้เป็นกลาง (neutralize) โดยเป็นการทำปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกเกิดเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ หลังจากผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์) MG และ WMG มีค่าเถ้าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าน้ำไม่สามารถชะล้างเถ้าในวัตถุดิบเริ่มต้น (ผงสารรอง) ออกไปได้ ส่วน AMG ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์จะมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำให้เป็นกลางถึงสองครั้งในขั้นตอนการสกัด (ในขั้นตอนการปรับ pH ให้เท่ากับ 6 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ หลังจากผ่านการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์และขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ หลังจากผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์) จึงทำให้มีเถ้าสูงกว่ากัมอีกสองชนิดที่ผ่านการทำให้เป็นกลางเพียงครั้งเดียว Sun *et al.* (1995) พบว่าเพกทินที่สกัดได้จาก wheat straw ที่ผ่านการแช่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1.5 จะมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 15.7 ทั้งนี้เนื่องมาจากการแช่ด้วยไฮดรอกไซด์ของแร่ธาตุ

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกัมสำรองพบว่าผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในกัมสำรองมีค่าเป็นร้อยละ 0.0 (Somboonpanyakul *et al.*, 2006; Barbut *et al.* 2007; Somboonpanyakul *et al.*, 2007; Barbut *et al.*, 2009 and Srichamroen and Chavasit, 2011) ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในครั้งนี้หาได้จากการคำนวณ โดยใช้หลักการ Total carbohydrate by difference จากผลการทดลองพบว่ากัมสำรองทั้ง 3 ชนิด มีคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 62-67 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Somboonpanyakul *et al.* (2006) ที่พบว่ากัมสำรองที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 62

3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอง

3.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายกัมจากสำรอง

การใช้กัมเป็นสารให้ความหนืดในอุตสาหกรรมอาหาร โดยทั่วไปใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25-0.5 (Whistler and Bemiller, 1999) ดังนั้นในการวัดสมบัติด้านความหนืดของกัมสำรองจึงวัดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ซึ่งครอบคลุมช่วงความเข้มข้นดังกล่าว ในการทดลองนี้วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Model DV-III หัววัดเบอร์ 0 ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และใช้เวลาวัดความหนืด 30 วินาที เครื่องนี้จะใช้สปริงเป็นทอร์คเซนเซอร์ (torque sensor) วัดค่าความหนืดโดยอาศัยการวัดค่าทอร์ค (torque) ที่ต้องการใช้ในการหมุนเข็ม/หัววัดที่จุ่มอยู่ในของเหลว ซึ่งเข็มจะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ผ่านสปริง ในกระบวนการวัดจะมีการตั้งค่าความเร็วรอบในการหมุนของหัวเข็ม (rotation speed, rpm) และนำไปคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเฉือน (shear rate, γ) โดยเมื่อเข็มเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่าง ความหนืดจะต้านทานการไหลอย่างอิสระ ซึ่งแสดงให้เห็นจากองศาการม้วนตัวของสปริง (degree of spring

windup) การเบี่ยงเบนตำแหน่งของสปริงจะแสดงออกมาในเทอมของค่าทอร์ก ซึ่งใช้ในการหาค่าความเค้นเฉือน (shear stress, σ) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของหัวเข็ม ค่าเหล่านี้สามารถนำมาหาค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity, η) ได้ตามสมการ (Daubert and Foegeding, 1998)

$$\eta = \frac{\sigma}{\gamma}$$

เมื่อ η คือค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity)
 σ คือค่าความเค้นเฉือน (shear stress)
 γ คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเฉือน (shear rate)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของผงตำรองและกัมจากตำรอง

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (%w/w) (โดยน้ำหนักเปียก)			
	ผงตำรอง	MG	WMG	AMG
ความชื้น	14.06 ^d ±0.12	6.58 ^b ±0.11	6.29 ^a ±0.15	7.34 ^c ±0.35
โปรตีน	4.59 ^d ±0.05	3.44 ^c ±0.05	3.19 ^b ±0.07	2.75 ^a ±0.07
เถ้า	5.35 ^a ±0.04	23.99 ^b ±1.20	24.00 ^b ±1.30	27.47 ^c ±0.16
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด**	76.00	65.99	66.52	62.44

หมายเหตุ *โดยจากงานวิจัยที่รวบรวมมาพบว่าตำรองไม่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงไม่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

** คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดโดยการคำนวณ หาได้จากหลักการ Total carbohydrate by difference ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 - (น้ำหนักในหน่วยกรัมของ [โปรตีน + ไขมัน + น้ำ + เถ้า] ใน 100 กรัมของอาหาร)

ตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ผลของความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอง แสดงดังภาพที่ 9 MG WMG และ AMG มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นมากขึ้น โดยโครงสร้างของกัมสำรอง ประกอบด้วย terminal L-Araf, 1,3-linked L-Araf, 1,4-linked D-Galp, 1,4-linked D-GalAp กับ หน่วยที่มีกิ่งก้านจำนวนเล็กน้อย ได้แก่ 1,2,4-linked D-Galp and 1,2,3,4-linked Rhamp (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) การที่กัมมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่บนสายทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์มากขึ้น การเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำจึงมากขึ้น ทำให้รูปแบบของการไหลของน้ำเปลี่ยนไป (Kar and Arslan, 1999a) พฤติกรรมนี้พบได้ทั่วไปในสารประกอบกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ โดย Whistler and Bemiller (1999) กล่าวว่าเมื่อพอลิเมอร์กระจายตัวอยู่ในน้ำหรือตัวทำละลายในปริมาณมากขึ้น โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายของพอลิแซ็กคาไรด์มีมาก การต้านการไหลจึงมากขึ้น ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น

จากภาพที่ 9 พบว่า MG มีความหนืดใกล้เคียงกับ WMG และมีความหนืดมากกว่า AMG อย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาของ Christensen *et al.* (1993) พบว่าเมื่อทำการไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) แชนแทนกัมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้น ทำให้แชนแทนกัมมีมวลโมเลกุลลดลงและ intrinsic viscosity ก็มีค่าลดลงเช่นกัน (ระดับการลดลงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้) ดังนั้นการที่ AMG มีความหนืดน้อยที่สุด อาจเป็นเพราะในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง มีการแช่ผงสำรองในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์ ซึ่งอาจเกิดการทำลายโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์โดยพันธะไกลโคไลซิสถูกไฮโดรไลซิสที่สภาวะความเป็นกรดสูง ทำให้เกิดกระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) พอลิแซ็กคาไรด์จึงมีสายที่สั้นลง มวลโมเลกุลมีขนาดน้อยลง ความหนืดจึงมีค่าลดลง ดังนั้น AMG จึงมีความหนืดน้อยกว่า MG และ WMG อิทธิพลของกรดที่ทำให้พอลิแซ็กคาไรด์มีความหนืดลดลงยังพบได้ในพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นด้วย เช่น Kar and Arslan (1999b) กล่าวว่า กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic) จะทำให้เพกตินที่สกัดได้จากผิวส้ม (orange peel pectin) เกิดการแตกตัว (degraded) โดยกระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชัน เป็นผลให้ความหนืดของสารละลายเพกตินมีค่าลดลง กระบวนการไฮโดรไลซิสของพันธะไกลโคซิดิกที่เชื่อมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวแต่ละหน่วยเข้าด้วยกันเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์หรือพอลิแซ็กคาไรด์ สามารถเร่ง (catalyzed) ให้เกิดได้เมื่อมีการใช้กรดหรือเอนไซม์ โดยการเกิดกระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชันนี้จะมีผลทำให้ความหนืดลดลง ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่น ความเข้มข้นของกรด ระยะเวลา อุณหภูมิ และโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ (BeMiller and Whistler, 1996)

Miyamoto and Chang (1992) กล่าวว่าปริมาณเถ้ามีผลกระทบต่อการศึกษาของ เพกทิน ดังนั้นความหนืดของกัมสำรอนทั้ง 3 ชนิดอาจได้รับผลกระทบจากปริมาณเถ้าที่แตกต่างกัน ได้ จากตารางที่ 12 พบว่า AMG มีปริมาณเถ้าสูงกว่า MG และ WMG อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ อย่างไรก็ตาม Chinnith (2550) พบว่าสารละลายกัมสำรอนที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์แตกต่างกัน 10 มิลลิโมลาร์นั้นมีความหนืดไม่แตกต่างกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนี้ สารละลายกัม สำรอนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของ MG และ AMG มีปริมาณเถ้าแตกต่างกันเพียง 3 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าปริมาณเถ้าในกัมสำรอนที่แตกต่างกัน ไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อความหนืดของ สารละลายกัมสำรอนทั้ง 3 ชนิด (โดยในที่นี้ assume ให้เถ้าคือเกลือโซเดียมคลอไรด์)

การที่ MG และ WMG มีปริมาณโปรตีนมากกว่า AMG นั้น (ตารางที่ 12) อาจ ส่งผลผลกระทบต่อความหนืดได้ เนื่องจากอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างน้ำและโปรตีน (water-protein interaction) โดยผ่านทางพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Kilara and Vaghela, 2004) แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองของ Chinnith (2550) พบว่า กัมสำรอนที่มีปริมาณ โปรตีนแตกต่างกันร้อยละ 1 จะมีความหนืดไม่แตกต่างกัน จากการทดลองในตารางที่ 12 พบว่า MG WMG และ AMG มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันเพียงร้อยละ 0.25-0.69 ดังนั้นการที่ความหนืด ของกัมสำรอนมีค่าแตกต่างกัน ไม่น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 9 การที่ WMG มีความหนืดใกล้เคียงกับ MG อาจเนื่องมาจากใน ขั้นตอนที่มีการแช่น้ำ น้ำไม่สามารถทำลายหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ได้ ความหนืดของ WMG จึงไม่แตกต่างจาก MG ซึ่งไม่ผ่านขั้นตอนการแช่น้ำ จากการทดลองพบว่า MG และ WMG ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่าความหนืด 20.33 และ 20.67 มิลลิปาสคาล.วินาที ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนืดของกัมอะราบิกความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีความหนืด 20 มิลลิปาสคาล.วินาที (วัดที่แรงเฉือน 85 วินาที⁻¹ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) (Mothé and Rao, 1999) และมีค่ามากกว่าสารละลายสตาร์ชมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่มีความหนืดเพียง 10 มิลลิ- ปาสคาล.วินาที (วัดที่แรงเฉือน 20 วินาที⁻¹ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (Che *et al*, 2008) อย่างไรก็ตาม ความหนืดของกัมสำรอนทั้ง 3 ชนิดยังมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่นๆ เช่น กัมคารา- ย (karaya gum) โลคัสบีนกัน (locust bean gum) และกัมทาร์กานแคน (tragacanth gum) ซึ่งมีค่าความ หนืดอยู่ในช่วง 1100-3400 มิลลิปาสคาล.วินาที (Paula *et al.*, 2001)

3.2.2 ศึกษาผลของความร้อนต่อความหนืดของสารละลายกัมจากสำโรง

การให้ความร้อนแก่สารละลาย MG WMG และ AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และมีค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 6.13 6.33 และ 6.29 ตามลำดับ โดยแช่ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้ววัดความหนืดของสารละลายที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารละลาย MG WMG และ AMG มีความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 10 เมื่อทำการเปรียบเทียบความหนืดของสารละลายกัมสำโรงที่อุณหภูมิห้องก่อนการให้ความร้อนและที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลาย MG มีความหนืดลดลงร้อยละ 23.27 ในขณะที่สารละลาย WMG และ AMG มีความหนืดลดลงถึงร้อยละ 46.78 และ 45.77 ตามลำดับ และจากการทดลองยังพบว่าสารละลาย MG ให้ค่าความหนืดสูงกว่า WMG และ AMG ในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา การที่กัมสำโรงมีความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของวรัญญา และคณะ (2549) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 เป็น 85 องศาเซลเซียส ความหนืดของสารละลายกัมสำโรงร้อยละ 1 มีค่าลดลง 0.54 ปาสคาล.วินาที (วัดที่แรงเฉือน 200 วินาที⁻¹)

Medina-Torres *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 5-70 องศาเซลเซียสต่อความหนืดของมิวซีเลจ (*Opuntia ficus indica*) ความเข้มข้นร้อยละ 3-10 (โดยน้ำหนัก) พบว่าความหนืดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายจะมีค่าลดลง คณะผู้ทำการทดลองกล่าวว่าความหนืดที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมินั้น สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius type equation) ดังนี้

$$\eta = A \exp \left[\frac{E_a}{RT} \right]$$

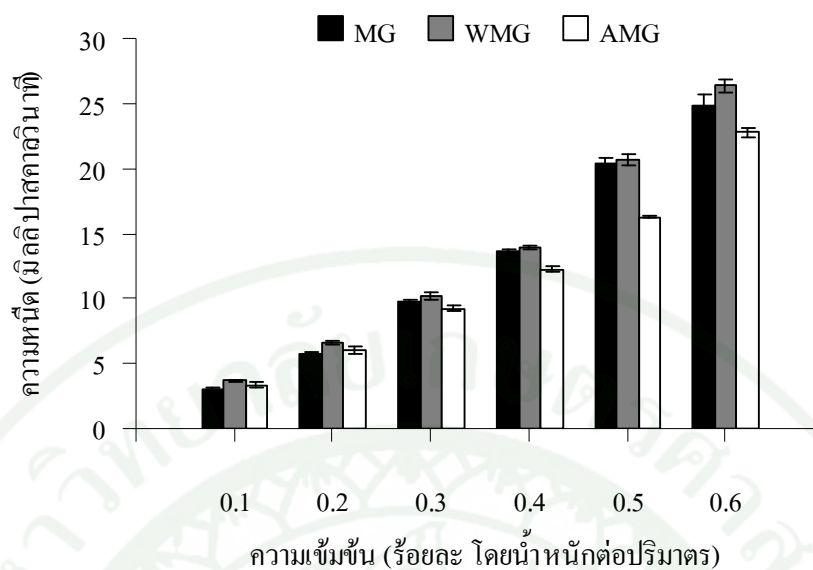
เมื่อ η คือ ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์

A คือ fitting constant

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (energy of activation)

R คือค่าคงที่ของแก๊ส (universal gas constant)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)



ภาพที่ 9 ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1- 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

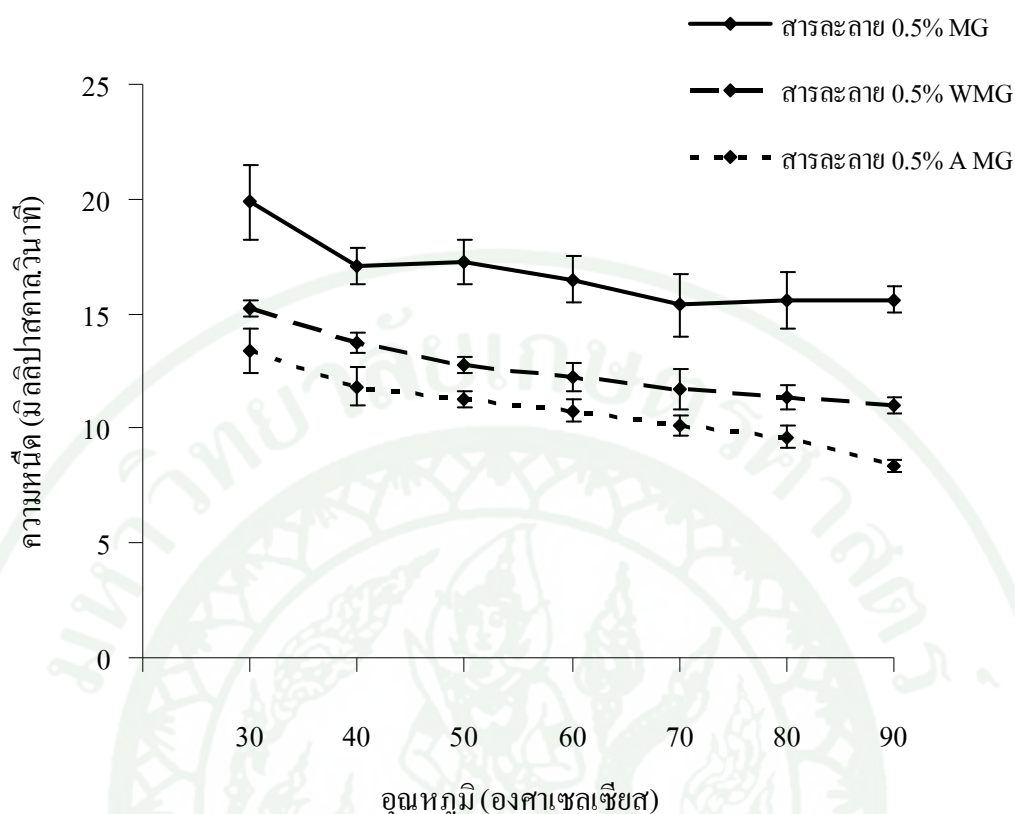
ความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์ส่วนมากมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นไปตามโมเดลอาร์เรเนียส (Marcotte *et al.*, 2001) ดังนั้นจึงได้ใช้สมการอาร์เรเนียสในการคำนวณพลังงานกระตุ้นของระบบ (E_a) พบว่า MG WMG และ AMG มีค่าพลังงานกระตุ้น 3431.94 4781.38 และ 6333.94 J/mol ตามลำดับ (กราฟอาร์เรเนียสและตัวอย่างการคำนวณดังภาพผนวกที่ 1) โดย Medina-Torres *et al.* (2000) กล่าวว่าตัวอย่างที่มีพลังงานกระตุ้นมากจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป นั่นแสดงให้เห็นว่า AMG จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 10 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบความหนืดของสารละลายกัมสารที่อุณหภูมิห้องก่อนการให้ความร้อนและที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลาย AMG มีความหนืดลดลงถึงร้อยละ 45.77 ในขณะที่สารละลาย MG มีความหนืดลดลงเพียงร้อยละ 23.27 ตามลำดับ

เมื่อให้ความร้อน ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จะมีค่าลดลง เนื่องจากในภาวะที่สารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้น ระบบมีพลังงานความร้อน (thermal energy) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น การต้านทานการไหลลดลง ดังนั้นความหนืดของ

ระบบจึงลดลง (Kulicke and Clasen, 2004) นอกจากนี้การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ยังทำให้ระบบมีค่าเอนโทรปี (entropy) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสม (unfavorable) ต่อการขยายตัวของโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ จึงทำให้ความหนืดมีค่าลดลง (Masuelli, 2011)

เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้โปรตีนดังกล่าวเกิดการเสียสภาพ Woolfe *et al.* (1977) รายงานว่าพบตะกอนของโปรตีนในสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวหลังผ่านการให้ความร้อน ซึ่งตะกอนดังกล่าวไม่สามารถละลายกลับ (redissolve) ได้หลังจากทิ้งไว้ให้เย็น แต่จากการทดลองผลของความร้อนต่อกัมถ่วงในครั้งนี้อาจเกิดจากการสังเกตไม่พบตะกอนของโปรตีนในสารละลายกัมถ่วงทั้งสามหลังจากผ่านการให้ความร้อน

การให้ความร้อนอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พอลิแซ็กคาไรด์อาจเกิดการแตกตัว (degradation of polymer) ได้ แต่อย่างไรก็ตาม Paula *et al.* (2001) กล่าวว่ากัมที่ยังคงมีความหนืดคงที่หลังจากผ่านการให้ความร้อนและปล่อยให้เย็นตัวลง แสดงว่ากัมชนิดนั้นไม่เกิดการแตกตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้าง (conformational transition) ในระหว่างการให้ความร้อน จากภาพที่ 11 แสดงความหนืดของกัมถ่วงทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) แล้วนำมาวัดความหนืดเทียบกับกัมถ่วงที่ไม่ผ่านความร้อน พบว่ากัมทั้งสองสถานะให้ค่าความหนืดไม่แตกต่างกัน โดย MG WMG และ AMG มีความคงตัวหลังการให้ความร้อน สามารถรักษาสมบัติทางด้านความหนืดหลังผ่านความร้อนได้ นั่นแสดงให้เห็นว่าสายของพอลิแซ็กคาไรด์ของสารกัมไม่เกิดการแตกตัวเมื่อนำไปผ่านความร้อน Paula *et al.* (2001) ยังกล่าวอีกว่าสมการอาร์เรเนียสสามารถประยุกต์ใช้เพื่อพิจารณาว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกัมหรือไม่ในระหว่างการให้ความร้อน สารละลายกัมที่มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \eta$ กับ T^{-1} เป็นเส้นตรง จะแสดงให้เห็นว่าไม่เกิด order-disorder transition เมื่อพิจารณากราฟอาร์เรเนียสของกัมถ่วงทั้ง 3 ชนิดในภาพผนวกที่ 1 พบว่า $\ln \eta$ มีความสัมพันธ์กับ T^{-1} ในลักษณะเส้นตรง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าความร้อนไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกัมถ่วงได้ การลดลงของความหนืดของกัมถ่วงอาจเนื่องมาจากระยะห่างระหว่างโมเลกุลในขณะให้ความร้อน แต่เมื่อลดอุณหภูมิลง สายพอลิเมอร์ของพอลิแซ็กคาไรด์สามารถเคลื่อนที่กลับเข้ามาใกล้กันได้อีกครั้ง จึงทำให้ความหนืดของกัมถ่วงยังคงเดิม ดังนั้นกัมถ่วงจึงจัดอยู่ในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผันกลับด้วยความร้อนได้ (heat reversible)

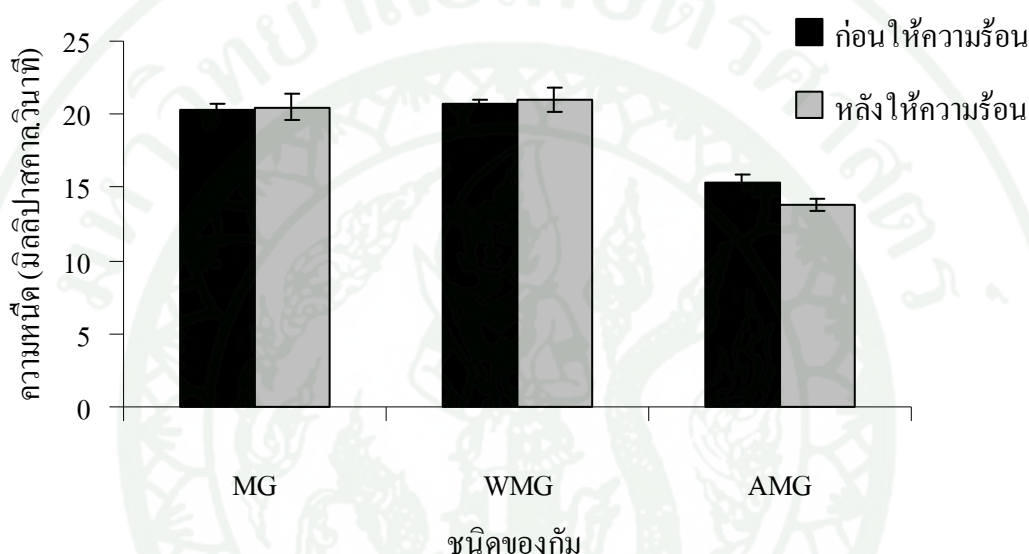


ภาพที่ 10 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

3.2.3 ศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสาร

จากภาพที่ 12 เป็นการศึกษาความหนืดของ MG WMG และ AMG ในสารละลายบัฟเฟอร์ชนิดต่างๆ (ภาคผนวก ข) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ pH 3-10 พบว่าในช่วงกลาง-เบส (pH 7-10) MG WMG และ AMG มีค่าความหนืดเฉลี่ยสูงกว่าในช่วงที่เป็นกรด (pH 3-6) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ Chen *et al.* (2006) ที่พบว่าความแข็งแรงของเจลที่ได้จาก flaxseed gum จะมีค่าลดลงในช่วง pH 2-6 และช่วงที่มากกว่า pH 9 โดยเจลจะมีความแข็งแรงมากที่สุดที่ pH 6-9 จากผลการทดลองในภาพที่ 12 พบว่า WMG และ AMG มีค่าความหนืดสูงสุดที่ pH 5 และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเบส ส่วน MG มีค่าความหนืดในช่วงเบสค่อนข้างคงที่ และมีค่า

ความหนืดสูงที่สุดที่ pH 7-9 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ pH 10 (ตารางผนวกที่ 4) ในช่วง pH ที่เป็นกรด สารละลายกัมสารองมีสีน้ำตาลอ่อน และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่ออยู่ในช่วงเบส (ภาพผนวกที่ 6) Eddy *et al.* (2013) กล่าวว่ากัมที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ pH แสดงว่ากัมชนิดนั้นมีความเป็นประจุ (ionic gum) ในการทดลองนี้การที่กัมสารองทั้งสามชนิดแสดงควมมีประจุอาจเนื่องมาจากภายในโครงสร้างมีโมเลกุล D-GalAp เป็นองค์ประกอบ (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a)



ภาพที่ 11 ความหนืดของสารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) กัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก่อนและหลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

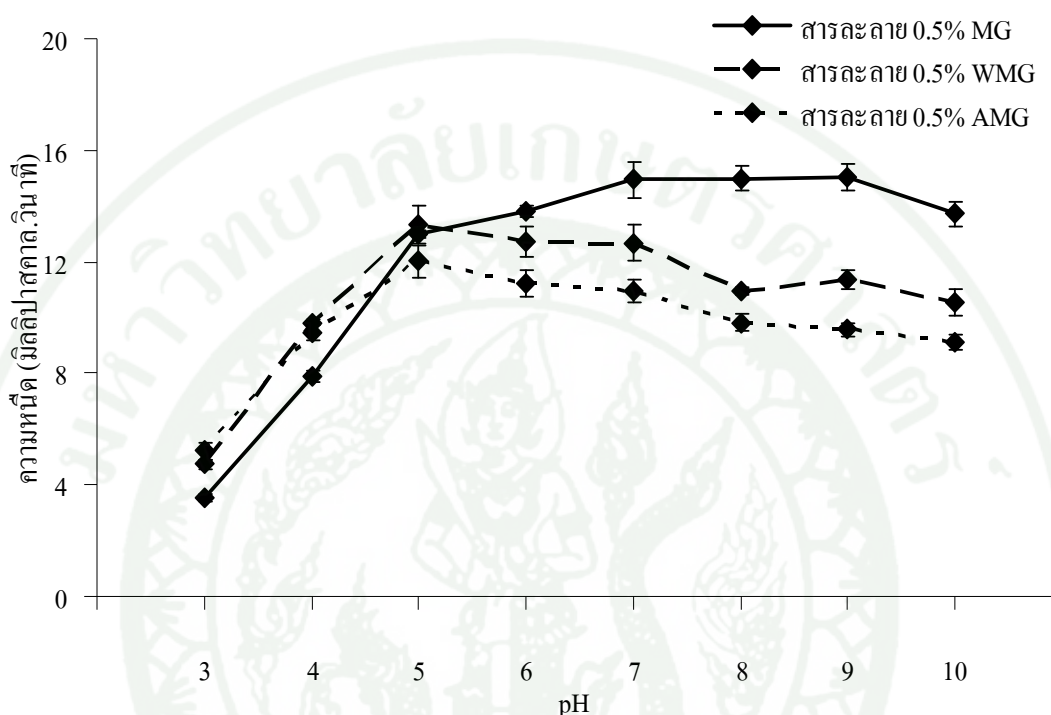
การที่ความหนืดของกัมสารอง มีค่าต่ำในภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากในภาวะดังกล่าวจะเกิดการสลาย (degradation) ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (acid hydrolysis) ส่งผลให้เกิดการแตกออกของพันธะไกลโคซิดิก การแตกออกของพันธะดังกล่าวทำให้เกิดขบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้กัมสารองมีความหนืดลดลง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและดีพอลิเมอร์ไรเซชันในภาวะกรด คือลักษณะของพันธะไกลโคซิดิก ค่า pH ระยะเวลา และอุณหภูมิในระหว่างเกิดปฏิกิริยา โดยในภาวะที่มี pH ต่ำ จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและดีพอลิเมอร์ไรเซชันเร็วกว่าภาวะที่

มี pH สูงกว่า ณ อุณหภูมิเดียวกัน และอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการไฮโดรไลซ์เพิ่มขึ้น (Whistler and BeMiller, 1999) Yudianti *et al.* (2009) รายงานว่า Salvia Hydrogels จะมีความหนืดลดลงในช่วง pH ต่ำ (pH 1-6) เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลเกิดการโปรโตเนต ซึ่งจะผลทำให้ความหนาแน่นของประจุลบลดลง ลดแรงผลักระหว่างประจุ (electrostatic repulsion) ที่มีอยู่เดิม ความหนืดของเจลจึงมีค่าลดลง

สำหรับในภาวะที่เป็นเบส (pH 7-9) พบว่าสารละลาย MG มีค่าความหนืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับความหนืดในภาวะที่เป็นกรด (ภาพที่ 12 และตารางผนวกที่ 4) Zakaria and Rahman (1996) กล่าวว่าในภาวะที่มีความเป็นเบส องค์ประกอบที่มีความเป็นกรด (acidic components) ภายใน โมเลกุลจะเกิดการแตกตัว สายพอลิเมอร์จะเกิดการขยายตัว (expand) เนื่องจากแรงผลักระหว่างประจุ ส่งผลให้พอลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการต้านทานการไหลมากขึ้น สารละลายกัมในภาวะที่เป็นเบสจึงมีความหนืดสูงขึ้น Mesbahi *et al.* (2005) รายงานว่าในภาวะที่มีความเป็นเบส หมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูตาเมตที่อยู่ใน โครงสร้างของเพกตินจะแตกตัวเป็นประจุลบอย่างสมบูรณ์ (complete ionisation) ทำให้สายของเพกตินถูกเปิดออก โครงสร้างดังกล่าวเป็น โครงสร้างที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารอื่นได้มากขึ้น เช่น เกิดอันตรกิริยากับน้ำ ส่งผลให้เพกตินมีความสามารถในการต้านทานการไหลมากขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าภาวะที่มีความเป็นเบสสูงจะทำให้สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์มีความหนืดสูงขึ้น แต่ในภาวะดังกล่าวก็ยังสามารถทำให้สายพอลิแซ็กคาไรด์เกิดการแตกสลายได้ด้วยปฏิกิริยา β -elimination (Ponder and Richards, 1997) ดังนั้นจึงพบว่าที่ pH 10 สารละลาย MG มีความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับความหนืดที่ pH 9 (ตารางผนวกที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yudianti *et al.* (2009) ที่พบว่า เมื่อ pH มากกว่า 9 ความหนืดของ Salvia Hydrogels มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลและเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุล (molecular conformation) ซึ่งลดการเกิดแรงผลักทางประจุไฟฟ้าทางคณะผู้วิจัยกล่าวว่าการสูญเสียพันธะไฮโดรเจนที่ pH สูงนี้ เป็นหลักการเดียวกับการใช้เบสเข้มข้นในการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากไม้

ความหนืดของสารละลาย MG มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง pH 7-9 (ภาพที่ 12) สอดคล้องกับการทดลองของ Koocheki *et al.* (2009) ที่ได้ทำการศึกษา *Alyssum homolocarpum* seed hydrocolloid และพบว่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนถึง pH 7 จากนั้นจะค่อนข้างคงที่ในช่วง pH 7-9 พวกเขาถือว่าความหนืดจะมีค่าสูงที่สุด ณ จุดที่หมู่คาร์บอกซิลเกิดการแตกตัวได้มากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้เกิดขึ้นที่ pH 7 Medina-Torres *et al.* (2000) กล่าวว่าสารละลาย

mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) จะมีค่าความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วระหว่าง pH 7 ถึง 2 แต่ความหนืดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเบสการที่ในระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากหมู่คาร์บอกซิลในมิวซิเลจเกิดการแตกตัวเมื่อ pH มากกว่า 7



ภาพที่ 12 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) กัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

3.2.4 ศึกษาผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ต่อความหนืดของสารละลายกัมสารอง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ MG WMG และ AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 0-5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) แสดงดังภาพที่ 13 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น กัมสารองทั้งสามชนิดมีค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5) โดยความหนืดของ MG WMG และ AMG ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 มีค่าลดลงร้อยละ 80.62 76.85 และ 70.70 (ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับความหนืดในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0 (น้ำกลั่น) จะเห็นได้ว่า MG มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุด พบว่า MG ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 มีค่าความหนืดลดลงเกินกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลาย MG ในน้ำกลั่น (เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0) Wang *et al.* (2002) กล่าวว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่มีประจุ (non-polyelectrolyte polysaccharide) จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมเกลือ แต่จากภาพที่ 13 พบว่าความหนืดของกัมสำรองทั้ง 3 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีเกลือในระบบ นั้นแสดงให้เห็นว่ากัมสำรองเป็นกัมที่มีประจุ โดยความเป็นประจุของกัมนี้อาจเนื่องมาจากภายในโครงสร้างมี D-GalAp เป็นองค์ประกอบ (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) การที่ความหนืดของกัมสำรองมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในระบบ สอดคล้องกับการทดลองของ Singthong *et al.* (2007) ที่พบว่าการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ความหนืดของสารสกัดหมากจอบ (ชื่อภาษาถิ่นของสำรอง) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) วรรณญา และคณะ (2549) รายงานว่าสารละลายกัมสำรองที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่มีไอออนของโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมลาร์ (เท่ากับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.3) มีค่า storage modulus 145 ปาสคาล ซึ่งสูงกว่าสารละลายกัมสำรองที่มีไอออนของโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ (เท่ากับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.6) ที่มีค่าเพียง 53 ปาสคาล โดยค่า storage modulus บ่งบอกถึงการคงรูปของของไหล (rigid) ดังนั้นเมื่อของไหลมีค่า storage modulus มาก หมายถึงการต้านทานการไหลมาก นั่นคือกัมสำรองที่มีโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมลาร์มีความหนืดมากกว่ากัมสำรองที่มีโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์

Higiro *et al.* (2007) รายงานว่าสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.025 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 มิลลิโมลาร์ (เท่ากับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.03) จะมีค่าความหนืดลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับความหนืดในภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ (75.44 และ 214.21 dl/g ตามลำดับ) ทางคณะผู้ทำการทดลองกล่าวว่า การที่ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมอยู่ในระบบ เนื่องจากในสารละลายที่ไม่มีการเติมไอออน โมเลกุลของแซนแทนขยายตัวออก (extended) เนื่องจากแรงผลักระหว่างประจุ (electrostatic repulsion) ของประจุลบบนหมู่ acetyl แต่เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ลงไปในระบบ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุรวม ประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์จะไปลดแรงผลักระหว่างประจุในโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นสาเหตุให้สายโซ่ข้างเกิดการ collapse กับสายโซ่หลัก (backbond) ทำให้โมเลกุลมีรูปร่างคล้ายแบบแท่ง (rod-like shape) และลด hydrodynamic

volume ลง ทำให้มีแรงด้านการไหลลดลง ความหนืดที่วัดได้จึงมีค่าลดลง Medina-Torres *et al.* (2000) กล่าวว่าความหนืดของ mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) จะมีค่าลดลงเมื่อในระบบมี Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ หรือ K^+ โดย Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะทำให้ความหนืดของกัมลดลงมากกว่า Na^+ หรือ K^+ นั้นแสดงให้เห็นว่า mucilage gum เป็นโมเลกุลที่มีความเป็นประจุ โดยในระบบที่มีความแรงไอออนเท่ากับศูนย์หรือไม่มีประจุตรงข้าม (counter ion) ประจุลบจะเกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุล (intermolecular repulsion) และทำให้โมเลกุลเกิดการขยายตัว (expand) จึงทำให้ mucilage gum ในน้ำกลั่นมีค่าความหนืดสูง ในทางตรงกันข้าม การเติมประจุบวกจะลดแรงผลักและการขยายตัวของโมเลกุล ทำให้ความหนืดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Srichamroen (2007) รายงานว่าสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้กั้วกัมมีความหนืดลดลง เนื่องจากเกลือเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ (hydrophilic molecules) สามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้สูงมาก โดยเกลือจะไปลดความเป็นอิสระของน้ำ (availability) ในสารละลาย ทำให้น้ำเกิดอันตรกิริยากั้วกัมได้น้อยลง ดังนั้นความหนืดของระบบกัมที่มีเกลือจึงมีค่าลดลง

คุณสมบัติทางวิทยากระแส (rheological properties) ของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่แสดงความเป็นกรด (acidic group) จะได้รับผลกระทบจากอิเล็คโตรไลต์ (polyelectrolyte effect) intrinsic viscosity เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพอลิแซ็กคาไรด์ในสารละลาย เป็นการวัดค่า hydrodynamic volume ของพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเพิ่มความหนืด ความสัมพันธ์ระหว่าง intrinsic viscosity และความแรงของไอออน (ionic strengths) ในสารละลาย แสดงได้ดังสมการ (Yang and Zhang, 2009)

$$[\eta] = [\eta]_{\infty} + SI^{-1/2}$$

เมื่อ $[\eta]$ คือ intrinsic viscosity $[\eta]_{\infty}$ คือ intrinsic viscosity ที่ความแรงไอออนอนันต์ (the intrinsic viscosity at infinite ionic strength) I คือค่าความแรงของไอออนในสารละลาย (ionic strength of the solution) และ S คือค่าคงที่ ค่า $[\eta]_{\infty}$ และ S สามารถหาได้จากจุดตัด (intercept) และความชันของสมการเส้นตรงที่ได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่า $[\eta]$ ของพอลิเมอร์กับค่าความแรงของไอออน ($I^{-1/2}$)

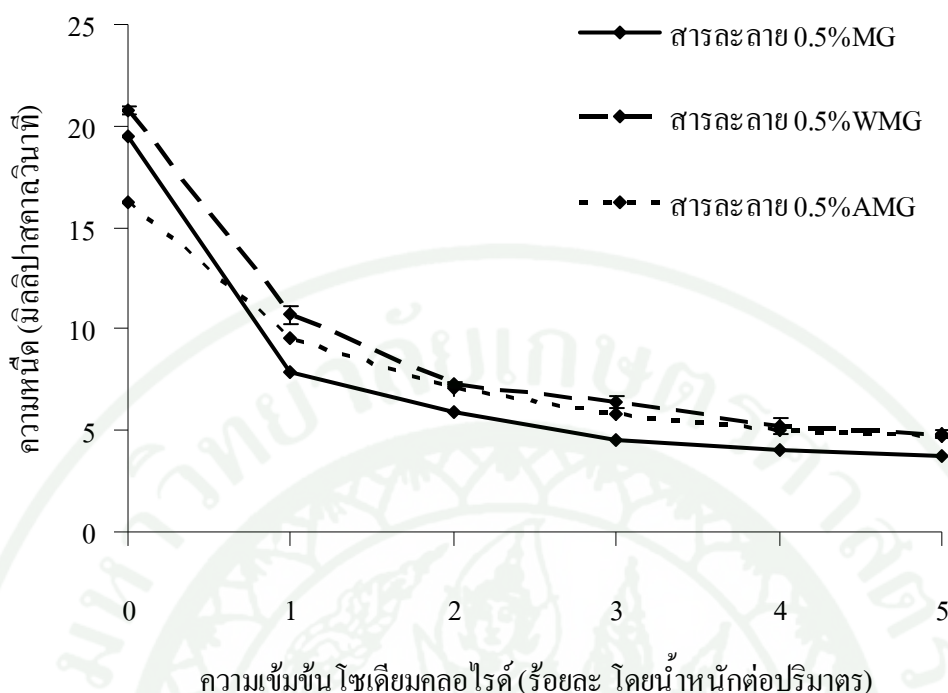
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏของกั้วสารองทั้ง 3 ชนิด และความแรงไอออนแสดงดังภาพผนวกที่ 2 พบว่า ค่าความหนืดปรากฏแปรผกผันกับค่าความแรง

ไอออน ดังนั้นเมื่อค่าความแรงของไอออนในสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ความหนืดปรากฏของสารละลายจึงมีค่าลดลง

นอกจากนี้ Yudianti *et al.* (2009) ยังพบว่าไอออนที่มีจำนวนประจุเท่ากัน แต่มีขนาดต่างกัน จะมีผลต่อการลดลงของความหนืดไม่เท่ากัน โดยพบว่าการเติมไอออนที่มีขนาดใหญ่ (Cs^+) จะทำให้ความหนืดของ Salvia Hydrogels ลดลงมากกว่าการเติมไอออนที่มีขนาดเล็ก (Na^+) ทั้งนี้เนื่องมาจากไอออนที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ระยะห่างระหว่าง carboxylate anions เกิดขึ้นมากกว่า ไอออนขนาดเล็ก ส่งผลให้แรงผลักทางประจุระหว่างหมู่ carboxylate ลดลง ความหนืดของเจลที่มีไอออนขนาดใหญ่จึงน้อยกว่าไอออนที่มีขนาดเล็ก

เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะมีผลต่อความหนืดของกัมตำรองลดลง จากภาพที่ 13 จะพบว่าความหนืดของสารละลายกัม (ร้อยละ 0.5) ที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0-3 (คิดเป็น $0.00-11.73 \times 10^3$ ppm) มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว (กราฟมีค่าความชันสูง) และจะค่อนข้างคงที่ (กราฟมีค่าความชันต่ำ) ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 4-5 (คิดเป็น $15.64-19.55 \times 10^3$ ppm) จากการเปรียบเทียบพบว่าที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 ความหนืดเฉลี่ยของกัมทั้งสามชนิดลดลงร้อยละ 49.72 เมื่อเทียบกับความเข้มข้นร้อยละ 0 (น้ำกลั่น) แต่ที่ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 4 และ 5 มีความแตกต่างกันเพียงร้อยละ 1.07 การที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงๆ มีผลกระทบต่อความหนืดน้อยลงนั้นอาจเนื่องมาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงๆ โมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์จะลดการดูดซับไอออนที่มีประจุตรงข้ามลง (Kar and Arslan, 1999b)

เนื่องจากกัมตำรองมีกรดกาแลกทูโรนิกเป็นองค์ประกอบ Somboonpanyakul *et al.* (2006b) จึงได้ทำการศึกษาผลของแคลเซียมไอออนต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลายกัมตำรอง โดยทำการวัดค่า storage modulus (G') และ loss modulus (G'') ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติความเหมือนของแข็งและของเหลว (ตามลำดับ) ของสารที่มีคุณสมบัติเป็น viscoelastic จากการทดลองพบว่า G' และ G'' ของสารละลายกัมตำรอง (malva nut gum, MNG) ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 5-15 มิลลิโมลาร์ แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมข้ามระหว่าง Ca^{2+} และหมู่คาร์บอกซิลในกัมตำรองไม่มีบทบาทต่อการเกิดโครงข่ายของเจลตำรอง จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าโครงสร้างแบบ weak gel ของสารละลายกัมตำรองส่วนใหญ่เกิดจากโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์สอดประสานกันเอง เกิดเป็นโครงข่ายเจล (entangled networks)



ภาพที่ 13 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่า MG WMG และ AMG มีความสามารถในการให้ความข้นหนืดได้ดี สามารถทนต่อความร้อนได้ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตาม กัมสารทั้งสามชนิดอาจไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในอาหารที่มีความเป็นกรดหรือที่มีการเติมสารอเล็กโทรไลต์ เนื่องจากกัมสารจะไม่ทนสภาวะดังกล่าว

4. การศึกษาผลของการใช้กัมจากสารต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

มีรายงานการวิจัยมากมายที่กล่าวถึงการประยุกต์ใช้กัมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยอาจใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะ (binders) สารเพิ่มความคงตัวของเนื้อสัมผัส (texture stabilizers) และ/หรือใช้เป็น

สารทดแทนไขมัน (fat substitutes) (Hsu and Chung, 1999) Gordon and Barbut (1992a) กล่าวว่าความนิยมในการนำกัมไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำ เกิดขึ้นเนื่องจากกัมมีความสามารถในการเกิดเจล (gel forming ability) ปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity improvement) และให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (textural characteristic contribution) ในผลิตภัณฑ์ได้ดี Kumar and Sharma (2004) กล่าวว่ากัมมีความสามารถในการยึดเกาะได้ดี (high binding ability) จึงนิยมใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะ (binder) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อย่างแพร่หลาย

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่ากัมสำรองมีความหนืดคงที่หลังผ่านการให้ความร้อน จึงจะนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความร้อนหรือผ่านการปรุงสุกได้ดี เช่น ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นอกจากนี้กัมสำรองยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง (Phimolsiripol *et al.*, 2011) และมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) โดย Belitz *et al.* (2009) กล่าวว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน (branched polysaccharides) มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะ (binders) ได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจศึกษาการใช้ประโยชน์กัมสำรองที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป ซึ่งข้อมูลที่ได้ในครั้งนี้จะเป็นการเพิ่มองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ผลสำรองให้มากขึ้น และยังเป็นการสร้างมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์พื้นบ้านอีกด้วย

4.1 ศึกษาผลของชนิด และปริมาณการใช้กัมสำรองต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

ศึกษาชนิดของกัมสำรองที่สกัดได้ ได้แก่ MG WMG และ AMG ในปริมาณร้อยละ 0.1-0.3 ของน้ำหนักเนื้อ ต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (dimensional changes) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม (No add gum, NG) ตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อ (Salt, S) ตัวอย่างที่มีการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเนื้อ (Phosphate, P) และตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเนื้อ (Salt+Phosphate, SP) โดยตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (P) และเกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (SP) ถูกเตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิต

เนื้อขึ้นรูปด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (traditional) การใช้เกลือร่วมกับการนวด (tumbling) เพื่อสกัดโปรตีนที่ทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะ และนิยมใช้เกลือร่วมกับสารประกอบฟอสเฟตเพื่อช่วยให้สกัดโปรตีนได้ดียิ่งขึ้น (Lu and Chen, 1999) ในการศึกษาครั้งนี้เลือกเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.3 โดยอ้างอิงจาก Seideman and Durland (1983) ที่ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อขึ้นรูป และพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อ การใช้เกลือในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 2 อาจทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากเกิดการหืน (rancidity) และไม่สามารถเพิ่มคุณภาพทางด้านอื่นๆ ได้อีก Offer and Trinick (1983) กล่าวว่าในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ส่วนมากจะใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ร่วมกับสารประกอบฟอสเฟต เช่น ไพรฟอสเฟต หรือ ไตรฟอสเฟต ในปริมาณร้อยละ 0.3 เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ Dimitrakopoulou *et al.* (2005) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นิยมใช้เกลือร้อยละ 2-2.5 ร่วมกับฟอสเฟตร้อยละ 0.3 เนื่องจากปริมาณดังกล่าวสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลได้ (yield) และการยึดเกาะ (cohesion) ให้กับผลิตภัณฑ์ได้ดี

การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss) เป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ (Ulu, 2006) ในระหว่างให้ความร้อน โปรตีนเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ผนังเซลล์ถูกทำลาย (destruction of cell membranes) การหดตัวในแนวตามขวาง และตามยาว (transverse and longitudinal shrinkage) ของเส้นใยกล้ามเนื้อ การเกิดการรวมมวลของโปรตีนซาร์โคพลาสมิก (aggregation of sarcoplasmic proteins) และการหดตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (shrinkage of the connective tissue) เป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (Honikel, 1998) การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่สูญเสียไปของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการทำสุก (น้ำหนักเนื้อดิบ-น้ำหนักเนื้อสุก) ต่อ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ดิบ (Pietrasik and Li-Chan, 2002) ของเหลวที่สูญเสียไปในระหว่างการให้ความร้อน ประกอบด้วยน้ำ โปรตีนที่ละลายได้ (dissolved proteins) เกลือ และไขมัน (Sheard, 2002) การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม มีผลต่อต้นทุนการแปรรูปเนื้อสัตว์ เพราะเกี่ยวข้องกับ น้ำหนักสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ การสูญเสียความชื้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน จะมีผลกระทบเชิงลบ (negative effect) ต่อลักษณะคุณภาพอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น ความนุ่ม (tenderness) เนื้อสัมผัส (texture) กลิ่นรส (flavors) ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้เกิดการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มให้น้อยที่สุด (Pietrasik and Shand, 2003)

ผลของการศึกษาชนิดของกัมสำรอง MG WMG AMG และปริมาณในการใช้ ร้อยละ 0.1-0.3 ของน้ำหนักเนื้อ ต่อการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อหมูขึ้นรูปแสดงดังตารางที่ 13 พบว่าเมื่อเติมกัมสำรองในปริมาณเท่ากัน กัมสำรองแต่ละชนิดทั้ง MG WMG และ AMG มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าชนิดของกัมสำรองไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม เมื่อใช้กัมสำรองในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างมีการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) และการใช้กัมสำรองทุกชนิดในปริมาณร้อยละ 0.2 ขึ้นไป สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อหมูขึ้นรูปได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม (NG) โดยตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่เติมกัมสำรองในปริมาณร้อยละ 0.2 และ 0.3 จะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 2.50 และ 4.73 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อนำเนื้อหมูขึ้นรูปไปผ่านความร้อน ตัวอย่างที่มีการเติมกัมสำรองร้อยละ 0.2 และ 0.3 จะสูญเสีย น้ำหนักและ องค์ประกอบอื่นๆ น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติม หรืออาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างที่มีการเติมกัมสำรองมี น้ำหนักหลังผ่านการทำสุกมากกว่า ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Barbut and Somboonpanyakul (2007) ที่พบว่า เมื่อใช้กัมสำรองหยาบ (crude malva nut gum, CMG) ในปริมาณร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อ ทำให้แบทเทอร์เนื้อไก่ลดการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มลงได้ร้อยละ 1.5 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม และการเติม CMG เพิ่มขึ้น แบทเทอร์มีการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มลดลงอย่าง มีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) Barbut *et al.* (2009) รายงานว่าเมื่อเติมกัมสำรองบริสุทธิ์ (purified malva nut gum, PMG) ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักเนื้อ ลงในการผลิตแบทเทอร์เนื้อไก่ สามารถลดการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มลงได้ร้อยละ 14.86 เมื่อเทียบกับแบทเทอร์ที่ไม่มีการเติมกัม

จากผลการทดลองในตารางที่ 13 พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้กัมสำรองใน ปริมาณร้อยละ 0.2 ทุกชนิด (MG WMG และ AMG) มีค่าการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มเทียบเท่า กับการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟต (P) ร้อยละ 0.3 ($p>0.05$) โดยโซเดียมไตรฟอสเฟตเป็นสาร ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น ลดการ สูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้ม (Weiss *et al.*, 2010) การที่กัมสำรองมีความสามารถในการลดการ สูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มได้เทียบเท่าโซเดียมไตรฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่ากัมสำรองมี โอกาสในการใช้เป็นสารทดแทนโซเดียมไตรฟอสเฟต ในแง่ของการช่วยลดการสูญเสีย น้ำหนัก จากการหุงต้มการในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้

เนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกัน (SP) จะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยในตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกันจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ (S) หรือโซเดียมไตรฟอสเฟต (P) เพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 17.53 19.62 และ 27.18 ตามลำดับ) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตมีฤทธิ์เสริมกัน (synergistic) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าเมื่อนำแบทเทอร์ (batter) เนื้อไก่ไปผ่านการทำสุก ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ มีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มถึงร้อยละ 34.35 ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 2 และตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟต ร้อยละ 0.5 มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 18.54 และ 14.60 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (dimensional changes) เป็นการเปรียบเทียบขนาดของชิ้นเนื้อก่อน (ดิบ) และหลังให้ความร้อน (สุก) Pan and Singh (2001) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดของเนื้อในระหว่างการให้ความร้อนคือ การหดตัว (shrinkage) การปลดปล่อยของเหลว (juice release) และการเปลี่ยนสี (discoloration) ซึ่งทั้งหมดเป็นผลมาจากการที่โปรตีนเนื้อเกิดการเสียสภาพ (muscle protein denaturation) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกของแพตตี้ (patties) จะเกิดในสองทิศทาง ทั้งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้าง และแนวสูงหรือความหนา (Sheard, 2002) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลาง (หรือความหนา) ของชิ้นเนื้อดิบและสุก ต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (หรือความหนา) ของชิ้นเนื้อดิบ (Boles and Shand, 1999) Pan and Singh (2001) กล่าวว่าความร้อนทำให้แพตตี้แฮมเบอร์เกอร์ (hamburger patties) เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนมากชิ้นเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนจะหดตัวและมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับชิ้นเนื้อดิบ ดังนั้นในการรายงานผลการทดลอง จึงใช้เครื่องหมาย “~” (ลบ) เพื่อแสดงว่าตัวอย่างที่สุกแล้วมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือหดตัวลงจากชิ้นเนื้อดิบมากหรือน้อย โดยตัวอย่างชิ้นเนื้อที่มีค่าติดลบมาก หมายถึงตัวอย่างที่ผ่านการทำสุกมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการหดตัวจากชิ้นเนื้อดิบไปมาก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างที่มีค่าติดลบมากจะมีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างที่มีค่าติดลบน้อย ดังนั้นลักษณะของเนื้อขึ้นรูปที่ดีควรมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกน้อยที่สุด (มีค่าติดลบน้อยที่สุด)

การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter change) แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่ใช้ MG WMG และ AMG ในปริมาณที่เท่ากัน มีการเปลี่ยนแปลงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงว่าชนิดของกัมสำรองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

เส้นผ่านศูนย์กลาง และการใช้กัมสำรองในปริมาณมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง (ค่าคิดลบน้อยลง) นั่นคือเมื่อนำชิ้นเนื้อไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน ตัวอย่างที่ใช้กัมสำรองในปริมาณมากจะมีการหดตัวน้อยลงหรือมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้กัมสำรองน้อย ตัวอย่างที่เติมกัมสำรองในปริมาณร้อยละ 0.3 จะมีเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม (NG) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าหลังจากผ่านการให้ความร้อน ตัวอย่างที่เติมกัมสำรองในปริมาณร้อยละ 0.3 จะมีการหดตัวน้อยกว่าหรือมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัมสำรอง (NG) อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนาของเนื้อหมูขึ้นรูปสุก (thickness changes) พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมกัมสำรองในปริมาณมากขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนาลดลง (ค่าคิดลบน้อยลง) นั่นคือหลังผ่านการให้ความร้อน ตัวอย่างที่มีการเติมกัมมากจะมีความหนามากกว่าตัวอย่างที่มีกัมน้อย ตัวอย่างที่ใช้ WMG และ AMG ร้อยละ 0.2 ขึ้นไป และ MG ร้อยละ 0.3 สามารถลดการเปลี่ยนแปลงความหนาได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม (NG) โดยจากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อตัวอย่างควบคุม (NG) มีการเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการทำสุกร้อยละ -24.27 ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการใช้กัมสำรองร้อยละ 0.3 มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ -11.34 แสดงให้เห็นว่าการเติมกัมสำรองร้อยละ 0.3 สามารถลดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม

ผลการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกในการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้กัมชนิดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดย Ulu (2006) พบว่าการเติมกัมในปริมาณร้อยละ 1 จะลดการหดตัวของลูกชิ้น (meatballs) จากร้อยละ 27.71 เหลือร้อยละ 21.09 Kumar and Sharma (2004) กล่าวว่าเมื่อเติมการจีเนนเพิ่มมากขึ้น ขนาด (size) และรูปร่าง (shape) ของแพตตี้หมูไขมันดำในระหว่างการทำสุกจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยพบว่าเมื่อเติมการจีเนนในปริมาณร้อยละ 0.75 แพตตี้จะมีการหดตัวร้อยละ 10.45 ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมมีค่าการหดตัวถึงร้อยละ 13.83 Onweluzo *et al.* (2004) กล่าวว่าเบอร์กอร์ที่มีการเติมกัมมีค่าการหดตัวน้อยลง เนื่องจากคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic properties) ของกัม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการจับ (bind) น้ำอิสระไว้ Clarke *et al.* (1988) อธิบายว่าการที่ไฮโดรคอลลอยด์มีประสิทธิภาพในการลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้เนื่องจากมีความสามารถในการยับยั้งการเคลื่อนที่ (migration) ของน้ำโดยผ่านทางกระบวนการเกิดเจล

จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่ผ่านการทำสุกมีการเปลี่ยนแปลงในแนวความหนาแน่นกว่าในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยมีค่าเป็นร้อยละ 9.39-24.27 และ 5.01-10.22 ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับ Sheard (2002) ที่กล่าวว่าหลังการให้ความร้อน แพตตี้เนื้อวัวจะหดตัวในแนวสูงหรือความหนาแน่นร้อยละ 27-35 ซึ่งมากกว่าในแนวกว้างหรือแนวเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีค่าร้อยละ 14-21 ผู้ทดลองอธิบายว่าการหดตัวจะมีความเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัว (alignment) ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่อยู่บริเวณผิวหนังผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปให้ความร้อน เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะเกิดการหดตัว ทำให้เกิดแรงดึง (tension) เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวในทิศทางที่เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเกิดการจัดเรียงตัว

จากตารางที่ 13 พบว่าเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้กัมสารรองทุกชนิดที่ปริมาณร้อยละ 0.3 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแน่นเทียบเท่ากับการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกัน (SP) ($p>0.05$) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือหดตัวน้อยที่สุด จากข้อมูลนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้กัมสารรองในผลิตภัณฑ์เนื้อ เพื่อช่วยลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกของผลิตภัณฑ์

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) เป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภค ความสามารถในการอุ้มน้ำจะบ่งบอกถึงความสามารถของโปรตีนในการยึดจับกับน้ำ โดยทั่วไปใช้เป็นปัจจัยในการบ่งบอกคุณภาพและปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Sun *et al.*, 2011) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์เกี่ยวข้องกับการเสียสภาพด้วยความร้อน (heat denaturation) ของโปรตีนไมโอไฟบริลลา (myofibrillar proteins) ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น การเสียสภาพของโปรตีนไมโอซินและแอคตินจะทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงและขับเอา sarcoplasmic fluid ออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ เป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นเนื้อ (Murphy and Marks, 2000) ในการทดลองนี้หาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยหลักการเซนตริฟิวน์ (centrifugation method) ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของน้ำหนักตัวอย่างหลังการเซนตริฟิวน์ต่อน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (Pietrasik and Janz, 2009)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหมูชิ้นรูปที่ผ่านการทำสุกจะมีความเกี่ยวเนื่องกับการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มในทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือถ้าผลิตภัณฑ์นั้นมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อย จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อเติมกัมสารรอง MG WMG และ AMG ลงในเนื้อหมูชิ้นรูปปริมาณที่เท่ากัน เนื้อหมูชิ้นรูปจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำ

ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ร้อยละ 0.1 MG มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่า AMG และการใช้กัมจากสารรองในปริมาณร้อยละ 0.2 ช่วยให้น้ำเพิ่มสูงขึ้นรูปมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่า ตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัมจากสารรอง (NG) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น MG ที่ร้อยละ 0.1 ก็เพียงพอ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้กัมสารรองในปริมาณร้อยละ 0.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำจะเพิ่มเป็นร้อยละ 79 จากในสถานะที่ไม่มีการเติมกัมซึ่งมีค่าร้อยละ 75 และการใช้กัมสารรองในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นด้วยพบว่าการเพิ่มปริมาณกัมขึ้น 3 เท่า (จากร้อยละ 0.1 เป็น 0.3) ตัวอย่างจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.24 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้กัมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ต่างๆ Onweluzo *et al.* (2004) รายงานว่าการเพิ่มปริมาณกัมทรากาแคนต์ (tragacanth) จากร้อยละ 0.5 เป็น 0.75 ทำให้เบอร์เกอร์มีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 Sun *et al.* (2011) รายงานว่า เมื่อเติม Flaxseed Gum ปริมาณร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีนเนื้อหมูได้ร้อยละ 7.0 15.5 และ 25.8 ตามลำดับ คณะผู้วิจัยให้เหตุผลว่า Flaxseed Gum เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความเป็นกรด (acidic polysaccharides) ซึ่งมีไฮดรอกซิลเลท (hydroxylated) และคาร์บอกซิลเลท (carboxylated) จำนวนมาก ดังนั้นจึงสามารถจับ (bind) น้ำไว้ได้ ผ่านทางอันตรกิริยาทางไฟฟ้า (electrostatic interactions) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) Pietrasik and Li-Chan (2002) กล่าวว่าคาราจีแนนมีความสามารถในการลดการสูญเสีย น้ำหลังการเซนทรีฟิวส์ของเจลเนื้อวัวเนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ช่วยเพิ่มการกักเก็บน้ำของเจลเนื้อสัตว์เอาไว้ได้

จากตารางที่ 13 พบว่า ตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 (S) จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่มีการใช้กัมสารรองชนิดและทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) Hongsprabhas and Barbut (1999) กล่าวว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2.5 เพียงอย่างเดียวก็สามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเบทเทอร์เนื้อไก่ดิบได้ โดยมีค่าร้อยละ 99.80 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเกลือที่มีค่าเพียงร้อยละ 59.68 ในงานวิจัยทั่วไปพบว่าการเติมสารประกอบฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำให้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ (Long *et al.* 2011) จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกัน (SP) จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งสูงกว่าการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว (S) ประมาณร้อยละ 4

สารประกอบฟอสเฟตนิยมใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและปริมาณผลได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป (Moiseev and Cornforth, 1997) จากตารางที่ 13 พบว่าตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปที่มีโซเดียมไตรฟอสเฟต (P) มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าตัวอย่างควบคุม (NG) อย่างมี

นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมกำมะถันสารรองทุกชนิดในปริมาณร้อยละ 0.3 มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 79-80 จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ากำมะถันอาจเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ใช้เป็นสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปได้

จากผลการทดลองทั้งหมดในตารางที่ 13 พบว่าปริมาณกำมะถันที่เติมในระหว่างการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปมีผลต่อค่าคุณภาพต่างๆ หลังการทำสุก โดยเมื่อเติมกำมะถันในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้เนื้อหมูขึ้นรูปมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดลง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก น้อยลงหรือตัวอย่างมีการหดตัวลดลง และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากกำมะถันมีโครงสร้างประกอบด้วย terminal L-Araf, 1,3-linked L-Araf, 1,4-linked D-Galp, 1,4-linked D-GalAp กับหน่วยที่มีกิ่งก้านจำนวนเล็กน้อย ได้แก่ 1,2,4-linked D-Galp and 1,2,3,4-linked Rhamp (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) การที่กำมะถันมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่บนสายของพอลิเมอร์ หมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้สามารถจับน้ำที่อยู่ภายในชิ้นเนื้อได้ การเพิ่มปริมาณกำมะถันในตัวอย่างมากขึ้น จึงทำให้สามารถจับ/โอบอุ้มน้ำภายในระบบไว้ได้มากขึ้น (Feiner, 2006)

ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ (S) มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี และมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อย (ตารางที่ 13) เนื่องจากในขณะนวดผสม เคลือบจะทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (แอคตินและไมโอซิน) บางส่วนละลายออกมาจากเซลล์กล้ามเนื้อ เมื่อนำไปให้ความร้อน โปรตีนเหล่านี้จะเกิดเป็นเจล ช่วยกักเก็บน้ำไว้ในตัวอย่าง เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ปริมาณผลได้หลังการทำสุกสูงขึ้น (Matthews and Strong, 2005) โดยเกลือที่แทรกซึมเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อจะเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อได้จากกลไก 2 ข้อคือ 1) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะแทรกซึม (penetrate) เข้าไปยังเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้เกิดการพองตัว Hamm (1986) กล่าวว่าผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อโปรตีนเนื้อสัตว์ เป็นผลมาจาก Cl^- สามารถเข้าจับกับโปรตีนได้แข็งแรงกว่า Na^+ การดูดซับ (adsorption) ของ Cl^- กับหมู่ที่เป็นประจุบวกบนไมโอซิน จะทำให้ isoelectric point ขยับไปสู่ pH ที่ต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการเพิ่มประจุลบให้กับโปรตีน ซึ่งจะทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาเกิดแรงผลักรัน (repulsion) และเกิดการพองตัว (swelling) เนื่องจากแรงผลักระหว่างแต่ละโมเลกุล การที่โปรตีนเกิดการพองตัวทำให้มีพื้นที่ว่างในการโอบอุ้มของเหลวไว้ได้มากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และ 2) โซเดียมไอออน (Na^+) จะเกิด ion cloud รอบๆ เส้นใยกล้ามเนื้อ Offer and Trinick (1983) กล่าวว่าแรงทางไฟฟ้า (electrical forces) จะทำให้ Na^+ เคลื่อนที่เข้าใกล้บริเวณผิวหน้าของเส้นใยกล้ามเนื้อ ทำให้ไอออนเกิดการกระจายตัวอย่าง

ไม่สม่ำเสมอในเฟสน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงที่คล้ายกับแรงดันออสโมติก (osmosis-like force) ภายในเส้นใย ทำให้โมเลกุลของน้ำถูกดึงเข้าสู่ระบบเป็นผลให้เส้นใยกลั่นเนื้อเกิดการพองตัว

จากตารางที่ 13 พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดลงและมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติม โดยสารประกอบฟอสเฟตนั้นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีความสามารถในการแยกสารประกอบแอคโตไมโอซินได้ โดยในช่วง rigor mortis จะเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างแอคตินและไมโอซินเกิดเป็นสารประกอบแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ซึ่งปัจจัยสำคัญต่อการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อซึ่งเกี่ยวข้องกับการยึดเกาะกันของแอคตินและไมโอซินคือไอออน Mg^{2+} หรือ Ca^{2+} โดยเมื่อเติมสารประกอบฟอสเฟตลงไป ประจุลบของฟอสเฟตจะเข้าจับกับประจุบวกของ Mg^{2+} หรือ Ca^{2+} ทำให้เกิดการแยกสารประกอบแอคโตไมโอซินเป็นแอคตินและไมโอซินได้ ช่วยให้สัคคิโพรตีนที่ละลายออกมาในเกลือได้ง่ายขึ้น (Feiner, 2006) การใช้อัลคาไลน์ฟอสเฟตจะช่วยเพิ่ม pH ให้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เมื่อค่า pH ห่างจาก isoelectric point ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากแรงผลักทางประจุไฟฟ้า (electrostatics repulsive forces) ที่มากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างแอคตินและไมโอซิน สามารถโอบอุ้มน้ำเอาไว้ได้ปริมาณมาก (Long *et al.*, 2011) นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตยังสามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อได้โดยเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ซึ่งทำให้ประจุลบที่อยู่บนโปรตีนเป็นอิสระ (frees negatively charged sites) โปรตีนสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น (Desmond, 2006)

จากตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปทั้งหมดในตารางที่ 13 พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และสารประกอบฟอสเฟตร่วมกัน (SP) มีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกน้อยที่สุด และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด โดยพบว่าการใช้สารสองชนิดนี้ร่วมกันจะให้ค่าคุณภาพหลังการทำสุกดีกว่าการใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีฤทธิ์เสริมกัน (synergistic) Dimitrakopoulou *et al.* (2005) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการทำสุก นิยมใช้พอลิฟอสเฟตร่วมกับเกลือร้อยละ 2.0-2.5 เพื่อเพิ่มปริมาณผลได้ (yield) และความสามารถในการอุ้มน้ำ

ตารางที่ 13 ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมสำหรับชนิดต่างๆ โหเดียมคโลไรด์และโหเดียมไทร
 พอลิฟอสเฟตต่อการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) การ
 เปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (dimensional changes) และความสามารถในการอุ้มน้ำ
 (water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

Treatments	Cooking loss (%)	Dimensional changes		Water holding capacity (%)
		Diameter change (%)	Thickness changes (%)	
NG	29.30 ^g ±0.34	-10.22 ^f ±0.55	-24.27 ^d ±0.54	75.08 ^a ±1.21
MG 0.1	28.27 ^{fg} ±0.44	-9.14 ^{ef} ±0.18	-23.58 ^d ±0.50	76.99 ^{bc} ±0.67
MG 0.2	26.03 ^{de} ±1.03	-8.55 ^{def} ±0.23	-21.33 ^d ±0.29	78.20 ^{cd} ±0.47
MG 0.3	24.59 ^{cd} ±0.76	-5.01 ^a ±1.26	-13.90 ^b ±0.80	79.03 ^{de} ±0.91
WMG 0.1	28.52 ^{fg} ±1.38	-8.54 ^{def} ±0.47	-23.78 ^d ±2.41	76.18 ^{ab} ±0.16
WMG 0.2	26.96 ^{ef} ±0.85	-7.53 ^{cde} ±1.61	-17.40 ^c ±0.26	77.95 ^{cd} ±0.51
WMG 0.3	24.44 ^{cd} ±1.42	-5.57 ^{ab} ±0.56	-9.94 ^a ±1.46	79.52 ^e ±0.70
AMG 0.1	28.94 ^g ±0.47	-10.13 ^f ±0.89	-22.26 ^d ±2.04	75.72 ^a ±0.43
AMG 0.2	26.32 ^c ±1.08	-8.35 ^{def} ±1.44	-14.42 ^b ±0.73	78.12 ^{cd} ±0.64
AMG 0.3	23.60 ^c ±1.43	-6.23 ^{abc} ±0.54	-10.18 ^a ±1.65	80.07 ^{ef} ± 0.20
S	19.62 ^b ±0.11	-7.06 ^{bcd} ±0.87	-11.96 ^{ab} ±1.34	85.69 ^g ±1.00
P	27.18 ^{ef} ±0.21	-9.24 ^{ef} ±0.23	-17.29 ^c ±0.02	80.74 ^f ±0.74
SP	17.53 ^a ±0.37	-5.96 ^{abc} ±1.31	-9.39 ^a ±1.92	89.44 ^h ±0.73

หมายเหตุ ตัวอักษร a-h ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter change และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

NG = no added gum

MG= malva nut gum

WMG = water treated malva nut gum AMG = acid treated malva nut gum

S = sodium chloride (Salt) 2 %

P = sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %,

SP = sodium chloride (Salt) 2 % + sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปที่มีการเติมกัมสำรองทุกชนิดจะมีสีน้ำตาลและคล้ำมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อหุ้มขึ้นรูป จะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Minolta Spectrophotometer วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (C^*) และค่ามุมสี (h^*) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14 จากการศึกษา พบว่าการเติมกัมสำรองทุกชนิดในปริมาณที่มากขึ้น ตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปที่ได้มีค่าสีขึ้น (ค่า L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)) สีแดง (a^*) มากยิ่งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง (b^*) เมื่อพิจารณาจากค่ามุม (h^*) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกัมสำรองในสูตร เนื้อขึ้นรูปจะมีค่ามุมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นั่นคือตัวอย่างมีแนวโน้มลดค่าความเป็นสีเหลือง (90°) และเพิ่มค่าความเป็นสีแดง (0°) มากยิ่งขึ้น ส่วนค่าความเข้ม (C^*) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อนำค่าในตารางที่ 14 มาคำนวณหา total colour difference (ΔE) จากสูตร $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ ได้ผลดังตารางผนวกที่ 10 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัม (NG) กับตัวอย่างที่มีการเติมกัม 0.1 พบว่า MG0.1 WMG0.1 และ AMG0.1 มีค่า ΔE เป็น 5.06 4.64 และ 3.79 ตามลำดับ Ganhão *et al.* (2011) กล่าวว่าสายตาของมนุษย์จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของสีระหว่างวัตถุออก เมื่อวัตถุนั้นถูกวัดด้วยเครื่องมือแล้วมีค่า total colour difference มากกว่า 2 ดังนั้นตัวอย่างที่มีการเติมกัมสำรอง 0.1 จึงมีสีแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัมอย่างเห็นได้ชัด และการเติมกัมในปริมาณที่มากขึ้น จะยิ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างสีเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากธรรมชาติของกัมสำรองที่เป็นสีน้ำตาลเข้ม (ดังภาพที่ 7)

ดังนั้นเมื่อเติมกัมสำรองลงไปในการผลิตจึงทำให้เนื้อขึ้นรูปที่ได้มีสีคล้ำและมีสีน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าการเติมกัมสำรองหยาบ (crude malva nut gum) และกัมสำรองที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยขบวนการไดอะไลซิส (purified malva nut gum) ทำแบบเทอร์เนโอโกมีค่าความสว่างลดลง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) มากยิ่งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 14 พบว่าเมื่อใช้กัมในปริมาณที่เท่ากัน ตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปที่ใช้ MG มีแนวโน้มที่จะมีค่า a^* ที่สูงกว่าและค่า h^* น้อยกว่า AMG โดยความแตกต่างนี้จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อมีการใช้กัมในปริมาณสูง โดยที่ปริมาณร้อยละ 0.1 ตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปที่เติม MG และ AMG มีค่า a^* และ h^* ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกัมเป็นร้อยละ 0.3 พบว่าตัวอย่างทั้งสองมีค่า a^* และ h^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเม็ดสีที่อยู่ในผงสำรองในขั้นตอนการเตรียม AMG เกิดการละลายไปกับกรดและถูกชะทิ้งไปในระหว่างขั้นตอนการสกัด (ภาพผนวกที่ ก2 (ข)) จึงทำให้ AMG มีความสว่างมากกว่าและสีแดงน้อยกว่า MG ที่ไม่ผ่านการสกัด โดยปกติแล้ว การเติมไฮโดรคอลลอยด์จะไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเติมลงไป ปริมาณน้อยมาก (ร้อยละ 0.5) (Montero *et al.*, 2000) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ เนื่องจากกัม

สารรมมีสีน้ำตาลเข้ม จึงส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์โดยตรง ตัวอย่างของไฮโดรคอลลอยด์ที่ส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ เช่น โปรตีนถั่วสกัดเข้มข้น (isolated soy protein, ISP) โดย Min and Green (2008) พบว่าตัวอย่างแพตตีดิบที่มีการเติม ISP จะมีสีเหลืองมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความเป็นสีเหลืองของ ISP นั้นเอง ดังนั้น แม้จะมีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยในกระบวนการผลิต แต่ถ้าไฮโดรคอลลอยด์นั้นมีสีเข้ม ก็จะส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน จากตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว (P) มีค่าสีใกล้เคียงกับเนื้อหมูขึ้นรูปสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมสารปรุงแต่งใดๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่สารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการรักษาความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Prestat *et al.*, 2002) การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) จะทำให้ตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลืองลดลง (b^*) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Baublits *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสีของสเต็กเนื้อวัวพบว่าสเต็กที่มีโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.4 จะมีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของสเต็กมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเกลือมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ายิ่งตัวอย่างมีเกลือมาก ตัวอย่างยิ่งมีสีคล้ำและเหลืองลดลง ทั้งนี้ผู้วิจัยกล่าวว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มากขึ้น จะเป็นการเพิ่มความแรงของไอออน โดยจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งจะทำให้มองเห็นขึ้นเนื้อมีสีคล้ำ

การวัดค่าแรงเฉือน (shear force) โดยใช้ใบมีด Warner-bratzler shear เป็นการทดสอบการตัดหรือการฉีกเนื้อตัวอย่าง นิยมใช้กับเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เพื่อหาเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของเนื้อ (meat tenderness) (Caine *et al.*, 2003) จากตารางที่ 15 พบว่าการเพิ่มปริมาณกัมสารรม จะทำให้ค่าแรงเฉือนของเนื้อหมูขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมกัมจากสารรมในปริมาณร้อยละ 0.3 จะมีค่าแรงเฉือนน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม (NG) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมกัมสารรม จะมีความนุ่ม (tenderness) มากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติม Pietrasik and Janz (2009) กล่าวว่าปริมาณน้ำในตัวอย่างเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ น้ำที่อยู่ในตัวอย่างจะอยู่ในรูปของ protein-water matrix เมื่อผลิตภัณฑ์มีน้ำอยู่ในปริมาณมาก แรงที่ใช้ในการฉีกจะน้อยลง ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มตัวอย่างที่เติมกัมสารรมร้อยละ 0.0-0.3 ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีกัมสารรมร้อยละ 0.3 ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด จึงมีแรงเฉือนน้อยสุดด้วยเช่นกัน การใช้กัมจากสารรมแต่ละชนิดที่ปริมาณเดียวกันทำ เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และพบว่าตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร่วมกัน (SP) จะมีค่าแรงเฉือนมากที่สุด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมสารองชนิดต่างๆ โขเดียมกลอไรด์ และ โขเดียมไตร
ฟอสเฟตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

Treatments	L [*]	a [*]	b [*]	C [*]	h [*]
NG	67.41 ^h ±1.74	1.89 ^a ±0.36	14.00 ^{def} ±0.35	14.13 ^{cd} ±0.40	82.32 ^e ±1.26
MG 0.1	62.46 ^{de} ±0.76	2.92 ^{de} ±0.20	13.80 ^{cdef} ±0.22	14.11 ^{cd} ±0.21	77.95 ^d ±0.91
MG 0.2	60.58 ^{bc} ±1.22	3.62 ^{gh} ±0.26	13.64 ^{cde} ±0.34	13.95 ^{cd} ±0.34	75.26 ^{bc} ±0.70
MG 0.3	58.26 ^a ±1.05	4.16 ⁱ ±0.34	13.37 ^c ±0.30	13.79 ^c ±0.32	72.85 ^a ±1.00
WMG 0.1	62.89 ^{ef} ±0.71	2.93 ^{de} ±0.21	14.08 ^{efg} ±0.18	14.40 ^{cde} ±0.19	78.04 ^d ±0.87
WMG 0.2	60.56 ^{bc} ±1.41	3.34 ^{fg} ±0.31	13.77 ^{cdef} ±0.39	14.20 ^{cde} ±0.46	76.40 ^c ±0.94
WMG 0.3	58.61 ^a ±1.38	3.74 ^h ±0.27	13.40 ^c ±0.29	13.82 ^c ±0.28	74.39 ^b ±0.85
AMG 0.1	63.99 ^{fg} ±1.47	2.71 ^{cd} ±0.26	14.24 ^{fg} ±0.33	14.54 ^{de} ±0.34	78.45 ^d ±1.46
AMG 0.2	61.41 ^{cd} ±1.09	3.12 ^{ef} ±0.14	13.79 ^{cdef} ±0.41	14.24 ^{cde} ±0.44	77.95 ^d ±1.46
AMG 0.3	59.62 ^{ab} ±0.79	3.38 ^{fg} ±0.13	13.47 ^{cd} ±0.31	14.10 ^{cd} ±0.39	75.86 ^c ±0.55
S	60.77 ^{bc} ±0.71	2.60 ^c ±0.09	12.49 ^b ±0.33	12.76 ^b ±0.33	78.23 ^d ±0.49
P	64.74 ^g ±0.71	2.16 ^{ab} ±0.27	14.58 ^g ±1.12	14.75 ^c ±1.13	81.52 ^e ±0.91
SP	59.56 ^{ab} ±0.50	2.43 ^{bc} ±0.14	11.42 ^a ±0.32	11.67 ^a ±0.34	77.99 ^d ±0.42

หมายเหตุ ตัวอักษร a-h ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

NG = no added gum

MG= malva nut gum

WMG = water treated malva nut gum AMG = acid treated malva nut gum

S = sodium chloride (Salt) 2 %

P = sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %,

SP = sodium chloride (Salt) 2 % + sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %

การวัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) เป็นการให้แรงกด (compression test) ลงบนตัวอย่างอาหารจำนวน 2 ครั้ง เพื่อเป็นการจำลองการใช้ฟันบด/เคี้ยวอาหาร การทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis นิยมใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิดอาหารที่พร้อมรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัตว์ (meat) และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น แฮม ไส้กรอก เพราะค่าคุณภาพที่ได้สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) (Caine *et al.*, 2003) ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่ตรวจวัดในครั้งนี้ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ซึ่งเป็นแรงต้านสูงสุดที่เกิดขึ้น

ระหว่างการกดครั้งแรกหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก การคืนตัว (springiness) เป็นค่าที่บอกลถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก การเกาะตัว (cohesiveness) เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟ ส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 ต่อครั้งที่ 1 และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) คือพลังงานที่ต้องใช้เคี้ยวอาหารแข็งเพื่อให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนลงคอ

ตารางที่ 15 แสดงการวัดค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อใช้กัมจากสารongปริมาณเพิ่มมากขึ้นความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปมีแนวโน้มลดต่ำลง แสดงว่าการเติมกัมสารongลงไปทำให้แรงในการเคี้ยวครั้งแรกลดน้อยลง การใช้กัมสารongแต่ละชนิดที่ระดับเดียวกันทำให้เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยเนื้อขึ้นรูปที่มีการใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกัน (SP) จะมีค่าความแข็งสูงที่สุดนั่นคือต้องใช้แรงในการเคี้ยวครั้งแรกสูงที่สุด

การใช้กัมสารongทุกชนิดและทุกระดับไม่มีผลต่อค่าการคืนตัว (springiness) ของเนื้อขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Andr s *et al.* (2006) ที่พบว่าการเติมกัมผสมจากกัวกัมและแซนแทนกัม (3:7) ในปริมาณร้อยละ 0.13 และ 0.32 ไม่มีผลต่อค่าการคืนตัวของไส้กรอกไก่ โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.946 ± 0.0078 จากตารางที่ 15 การใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตสามารถช่วยเพิ่มค่าการคืนตัวของเนื้อขึ้นรูปได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการเติมกัม แสดงว่าหลังจากกดตัวอย่างลงไปครั้งแรก ตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟตจะสามารถคืนตัวจากการเสียรูปได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีการใช้กัมสารong

ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ของเนื้อขึ้นรูปที่มีการเติมกัมจากสารongในปริมาณร้อยละ 0.1-0.2 ให้ผลไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อใช้ในปริมาณร้อยละ 0.3 จะทำให้เนื้อขึ้นรูปมีค่าการเกาะตัวกันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) แสดงว่าเมื่อใช้กัมที่ปริมาณนี้ ทำให้ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปมีการยึดเกาะกันน้อย โดยชนิดของกัมไม่มีผลต่อค่าการเกาะตัวกันของเนื้อขึ้นรูป ($p>0.05$) Ulu (2006) พบว่าลูกชิ้นที่มีการเติมกัวกัมร้อยละ 1 จะมีการเกาะตัวกันลดลงเหลือ 0.239 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติม ซึ่งมีค่า 0.380 เมื่อมีการใช้กัมจากสารongในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) จะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าต้องใช้ปริมาณกัมร้อยละ 0.3 ขึ้นไป ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวถึงจะน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เนื้อขึ้นรูปที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรฟอสเฟต (SP) จะมีค่าการเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวสูงที่สุด

ตารางที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมสำหรับชนิดต่างๆ โหเดียมกลอไรด์ และโหเดียมไตร
ฟอสเฟตต่อค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วย
โปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูป

Treatments	Shear force (N)	Hardness (N)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Chewiness (N.mm)
NG	25.96 ^{de} ±1.54	83.40 ^{bcd} ±10.52	0.869 ^{ab} ±0.017	0.670 ^{cd} ±0.005	49.74 ^{def} ±6.64
MG 0.1	24.66 ^{cde} ±1.99	80.17 ^{abc} ±11.82	0.865 ^a ±0.055	0.667 ^{bcd} ±0.006	46.08 ^{cde} ±6.03
MG 0.2	22.36 ^{abcd} ±2.64	78.65 ^{abc} ±2.70	0.852 ^a ±0.033	0.654 ^{bc} ±0.020	44.61 ^{bcd} ±3.71
MG 0.3	20.57 ^{abc} ±1.19	74.33 ^{ab} ±4.14	0.838 ^a ±0.040	0.632 ^a ±0.011	36.97 ^a ±5.03
WMG 0.1	24.08 ^{abcde} ±1.03	80.45 ^{abc} ±6.88	0.865 ^a ±0.030	0.669 ^{cd} ±0.013	46.68 ^{cde} ±2.22
WMG 0.2	22.04 ^{abcd} ±2.95	78.61 ^{abc} ±6.45	0.851 ^a ±0.024	0.652 ^b ±0.007	42.09 ^{abc} ±1.87
WMG 0.3	20.03 ^a ±3.03	72.20 ^a ±4.14	0.839 ^a ±0.037	0.625 ^a ±0.010	37.05 ^a ±3.53
AMG 0.1	24.44 ^{bcd} ±2.63	80.68 ^{abc} ±3.94	0.868 ^{ab} ±0.045	0.669 ^{bcd} ±0.011	46.95 ^{cde} ±3.42
AMG 0.2	22.20 ^{abcd} ±3.86	78.75 ^{abc} ±4.25	0.852 ^a ±0.025	0.654 ^{bc} ±0.016	44.57 ^{bcd} ±4.05
AMG 0.3	20.45 ^{ab} ±2.37	74.21 ^{ab} ±8.71	0.838 ^a ±0.035	0.629 ^a ±0.009	37.94 ^{ab} ±6.74
S	32.56 ^f ±3.88	88.21 ^{cd} ±4.54	0.880 ^{ab} ±0.033	0.691 ^c ±0.007	52.95 ^{ef} ±5.29
P	26.59 ^e ±4.21	84.58 ^{cd} ±2.83	0.874 ^{ab} ±0.021	0.683 ^{de} ±0.003	51.41 ^{def} ±4.43
SP	36.96 ^g ±6.48	89.99 ^d ±3.38	0.909 ^b ±0.009	0.725 ^f ±0.012	55.43 ^f ±6.08

หมายเหตุ ตัวอักษร a-g ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter change และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

NG = no added gum

MG= malva nut gum

WMG = water treated malva nut gum AMG = acid treated malva nut gum

S = sodium chloride (Salt) 2 %

P = sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %,

SP = sodium chloride (Salt) 2 % + sodium tripolyphosphate (STPP) 0.3 %

จากผลการทดลองในตารางที่ 15 เนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์และ โซเดียมไตรฟอสเฟต ร่วมกันจะมีค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด เนื่องมาจากเกลือและฟอสเฟตจะทำหน้าที่ในการสกัดโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อม (bind) ชิ้นเนื้อเข้าด้วยกัน ทำให้เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีความแข็งแรง เกิดการยึดเกาะได้ดี (Ruusunen and Puolanne, 2005)

ผลของการใช้กัมสำรองต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูปในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Barbut and Somboonpanyakul (2007) ที่รายงานว่าเมื่อเปรียบเทียบ แบบเทอร์เนื้อไก่ที่ไม่มีการเติมกัมและเติมกัมสำรองหยาบร้อยละ 0.6 พบว่าแบบเทอร์ดังกล่าวมีความแข็งแรงและค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวลดลงจาก 34.70 และ 4.66 เหลือเพียง 24.99 และ 2.72 ตามลำดับ Pietrasik and Jarmoluk (2003) พบว่าการใช้เคปลา-คาร์ราจีแนนเป็นสารช่วยยึดเกาะไม่สามารถเพิ่มค่าการคืนตัวและค่าการเกาะตัวของเจลของเนื้อวัวได้ Mittal and Barbut (1993) รายงานว่าค่าการคืนตัวของแฟรงเฟอเดอร์หมูไขมันต่ำมีค่าลดลง เนื่องมาจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกัมไปรบกวนการยึดจับตัวของชิ้นเนื้อ Foegeding and Ramsey (1986) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัมจะทำให้แบบเทอร์เนื้อมีความแข็งแรงลดลง Andr s *et al.* (2006) กล่าวว่า การเติมกัมผสมระหว่างกัวกัมและแซนแทนกัม (3:7) จากร้อยละ 0.13 เป็นร้อยละ 0.32 จะทำให้ความแข็งแรงของไส้กรอกไก่ลดลงจาก 8.59 นิวตัน เหลือเพียง 6.93 นิวตัน และผลการทดลองนี้ยังพบว่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวลดลงจาก 4.43 เหลือ 3.58 นิวตัน.มิลลิเมตรด้วยเช่นกัน ทางผู้วิจัยกล่าวว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเติมแซนแทนกัมและกัวกัมลงในระบบ จะไปขัดขวางการเกิดโครงข่ายเจลโปรตีน-โปรตีน (protein-protein gel network) ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงของเจล (gel strength) และความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ (firmness) ลดลง Montero *et al.* (2000) พบว่าแซนแทนกัมจะลดความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา ซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าของแรงที่ใช้ในการทำให้แตก (breaking force) งานที่ใช้ในการเจาะ (penetration work) และความแข็ง (hardness) มีค่าลดลง พวกเขาอธิบายว่ามวลโมเลกุลที่สูงของแซนแทนกัมอาจจะไปขัดขวางการสร้างโครงข่ายโปรตีน จากผลการทดลองในตารางที่ 15 พบว่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติมกัมจากสำรองทั้งค่าความแข็ง (hardness) การเกาะตัว (cohesiveness) และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจมีความเป็นไปได้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากการที่กัมสำรองมีมวลโมเลกุลสูง โดยมีขนาดโมเลกุลเฉลี่ย 6.65×10^6 ดาลตัน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ากัมที่มีขายในท้องตลาด เช่น กัวกัม โคลัสปีน และเพกทิน (Somboonpanyakul *et al.*, 2006a) อาจไปขัดขวางการสร้างโครงข่ายโปรตีน จึงทำให้ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสลดลง

จากการศึกษาพบว่า การเติมเกลือจากสารละลายการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมเกลือ อย่างไรก็ตาม ค่าคุณภาพดังกล่าวนี้ยังดีกว่าการใช้เกลือและฟอสเฟตซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงได้ศึกษาการใช้เกลือร่วมกับเกลือหรือฟอสเฟตเพื่อให้มีลักษณะคุณภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น โดยการลดปริมาณการใช้เกลือและฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ลงจากผลการทดลองจะเห็นว่า การใช้ MG WMG และ AMG ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปจะมีคุณลักษณะทางด้านกายภาพและทางด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้เลือก MG มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากมีกรรมวิธีในการเตรียมง่ายที่สุดและจะนำมาใช้ในปริมาณ ร้อยละ 0.1-0.2 เนื่องจากให้คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างไปจากสูตรควบคุม

4.2 ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร

เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นส่วนผสมที่ใช้กันมาช้านานและบ่อยที่สุดในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกลิ่นรส (flavour) เนื้อสัมผัส (texture) และอายุการเก็บ (shelf life) ของผลิตภัณฑ์ (Ruusunen and Puolanne, 2005) โซเดียมคลอไรด์มีบทบาทต่อโปรตีนเนื้อสัตว์ในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (water binding capacity) เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ (binding properties) เพิ่มความเหนียวให้กับเบทเทอร์ เป็นต้น (Desmond, 2006) วิธีการดั้งเดิมในการผลิตเนื้อขึ้นรูปนิยมใช้เกลือเพื่อทำการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลา เกิด sticky exudates ที่ผิวหน้าของชิ้นเนื้อ ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อม (bind) ชิ้นเนื้อแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันเมื่อนำไปให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการนวดเพื่อสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลาทำให้เนื้อสัมผัสเกิดความเสียหาย และโซเดียมยังมีบทบาทต่อการเกิดโรคความดันสูง ซึ่งสร้างความกังวลให้กับผู้บริโภค จึงได้มีการแนะนำให้ลดการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลง แต่การลดปริมาณการใช้โซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์เนื้อจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการจับน้ำ เช่น การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ด้อยลง (Dimitrakopoulou *et al.*, 2005) ดังนั้นนักวิจัยส่วนใหญ่จึงสนใจนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กันมากขึ้นเพื่อลดข้อด้อยที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเนื่องจากมีความสามารถในการเกิดเจล (gel form ability) เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity improvement) และให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture characteristic) แก่ผลิตภัณฑ์ได้ดี (Gorgon and Barbut, 1992a)

โดยอ้างอิงจาก Seideman and Durland (1983) ที่ได้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับเนื้อขึ้นรูป และพบว่างานวิจัยส่วนมากนิยมใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อสัตว์ ในการศึกษา ครั้งนี้จึงเลือกใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 เป็นเกลือเติมสูตร ใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างที่มีการลดปริมาณเกลือลง โดยทำการลดปริมาณเกลือเหลือร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 1.5 ของ น้ำหนักเนื้อ และใช้ร่วมกับ MG ที่เลือกมาจากผลการทดลองในข้อ 4.1 ปริมาณร้อยละ 0.0 0.1 และ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อ

การที่ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีการการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยเป็นคุณลักษณะที่ ต้องการ เนื่องจากการขายผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะขายโดยการชั่งน้ำหนัก หากผลิตภัณฑ์มีการ สูญเสียน้ำหนักในระหว่างการแปรรูปน้อย จะทำให้ขายสินค้าได้มูลค่ามากขึ้น

การวิเคราะห์ทางสถิติคุณสมบัติด้านการทำสุกได้แก่ ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการ หุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก และความสามารถในการอุ้มน้ำ ด้วยแผนการทดลอง แฟกทอเรียลใน CRD แสดงดังตารางผนวกที่ ๑1-๑4 จากผลการวิเคราะห์ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่าง MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นจึงพิจารณาหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักได้แก่ MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ทันที

การศึกษาผลของการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อแสดงดังตารางที่ 16 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นร้อยละ 1.0 ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปจะมีการ สูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติม เกลือ และการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 1.0 ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุง ต้มได้ไม่แตกต่างจากการใช้ในปริมาณร้อยละ 1.5 โดยในตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเกลือ การเพิ่มปริมาณ เกลือจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1.5 จะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลงได้ประมาณร้อย ละ 5 จากน้ำหนักเนื้อดิบเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Baublits *et al.* (2006) ที่พบว่า สัตว์ที่มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น จะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลดลง โดย ตัวอย่างสัตว์ที่ไม่มีการเติมเกลือจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มร้อยละ 34.98 ในขณะที่ ตัวอย่างที่มีเกลือร้อยละ 1.5 จะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเพียงร้อยละ 22.65 Gordon and Barbut (1992b) รายงานว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือจากร้อยละ 1.5 เป็นร้อยละ 2.0 ในเบทเทอร์เนื้อไก่ จะทำให้สก็ดโปรตีนได้ดีขึ้นและรูปแบบของโปรตีนที่สก็ดได้ (protein extraction profiles) จะ แตกต่างออกไป จากตารางที่ 16 การเติม MG เพียงอย่างเดียวสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักจากการ หุงต้มลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการเติม MG ในปริมาณร้อยละ 0.0 0.1 และ 0.2

ตัวอย่างจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มร้อยละ 32.57 29.42 และ 26.84 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลง นั่นหมายถึงการเติม MG ในปริมาณมากขึ้น ตัวอย่างจะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยลง มีปริมาณผลได้ (yield) เพิ่มสูงขึ้น การเติม MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มได้มากกว่าการใช้เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง การใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ตั้งแต่ร้อยละ 1.0 ขึ้นไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มอยู่ในช่วงร้อยละ 20-22 ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลยถึง 0.34 เท่า

เมื่อพิจารณาทางด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (ตารางที่ 16) พบว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกหรือหัดตัวมากที่สุดทั้งในด้านของเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเมื่อเทียบกับเนื้อขึ้นรูปดิบ การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 หรือ MG ร้อยละ 0.1 อย่างใดอย่างหนึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของเนื้อขึ้นรูปได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นั่นคือเมื่อมีการเติม MG หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ตัวอย่างมีการหดตัวน้อยลง ตัวอย่างมีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติม ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 จะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลยประมาณร้อยละ 50 (-5.45 และ -11.00 ตามลำดับ)

เมื่อพิจารณาทางด้านการเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการทำสุกก็ให้ผลสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงร้อยละ 0.5 ก็สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการทำสุกได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณเพิ่มขึ้น จะทำให้ตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้น (ลดการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนาได้ดีขึ้น) การเติม MG ช่วยเพิ่มความหนาให้แก่เนื้อหมูขึ้นรูปเช่นกัน โดยพบว่าการเติม MG ร้อยละ 0.1 สามารถลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ การเติม MG ร้อยละ 0.1 ให้ผลไม่แตกต่างจากการเติม MG ร้อยละ 0.2 ตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการทำสุกน้อยกว่าตัวอย่างเนื้อที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ลงไปถึง 3 เท่า (-8.40 และ -27.41 ตามลำดับ)

กล่าวโดยสรุปคือเมื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพทางด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ควรใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ตั้งแต่ร้อยละ 1.0 ขึ้นไป หรือใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.1 ขึ้นไป และการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับ MG จะให้ผลดีกว่าการเลือกใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง

จากตารางที่ 16 พบว่าการเติมเกล็ดโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มค่าความสามารถในการอุ้มน้ำให้กับตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การใช้ MG เพียงอย่างเดียว เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น ($p > 0.05$) โดยพบว่าการเติม MG ร้อยละ 0.2 ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1.67 ในขณะที่การเติมเกล็ดโซเดียมคลอไรด์เป็นร้อยละ 1.5 ตัวอย่างจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 8.74 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลย นั้นอาจกล่าวได้ว่า MG มีประสิทธิภาพพด้อยกว่าเกล็ดโซเดียมคลอไรด์ในแง่ของการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และเมื่อใช้สารทั้งสองร่วมกันจะทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากกว่าการใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งการใช้ MG ร้อยละ 0.2 เพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปมีความสามารถในการอุ้มน้ำร้อยละ 80.11 แต่ถ้ามมีการเติมเกล็ดโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 ร่วมด้วย จะทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 88.06

จากตารางที่ 17 พบว่าเมื่อมีการเติม MG จะทำให้เนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ทุกระดับการเติม ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) ที่ปริมาณ MG ร้อยละ 0.1 และ 0.2 ให้ค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barbut and Somboonpanyakul (2007) ที่พบว่ากัมสำโรงหยาบ (crude malva nut gum, CMG) เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความสว่าง (L^*) และสีแดง (a^*) ของเบทเทอร์เนื้อไก่ เมื่อพิจารณาจากค่ามุม (h^*) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MG ในสูตร เนื้อขึ้นรูปจะมีค่ามุมลดลง โดยมีแนวโน้มลดความเป็นสีเหลือง (90°) และเพิ่มความเป็นสีแดง (0°) มากยิ่งขึ้น ส่วนค่าความเข้ม (C^*) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติม MG จะมีสีน้ำตาลคล้ำ จากการคำนวณหาค่า Total colour difference (ตารางผนวกที่ 11) พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูที่มีการเติม MG (ทั้งที่เติมเพียงตัวเดียวและที่เติมร่วมกับเกล็ดโซเดียมคลอไรด์) จะมีค่า ΔE มากกว่า 2 นั้นแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการเติม MG จะมีสีแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ อย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า ทั้งนี้เนื่องมาจากสีของ MG ตามธรรมชาติที่เป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม (ดังภาพที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าเบทเทอร์เนื้อไก่ที่มีการเติมกัมสำโรงหยาบ (crude malva nut gum, CMG) และกัมสำโรงบริสุทธิ์ (purified malva nut gum, PMG) จะมีสีคล้ำขึ้น (darker) เนื่องมาจากสีที่เข้มของกัมสำโรง

ตารางที่ 16 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลง ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (dimensional and thickness changes) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

คุณสมบัติ	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) (%)			
		0.0	0.5	1.0	1.5
Cooking loss (%)	0.0	32.57 ^{bC} ±1.27	30.94 ^{bC} ±0.65	27.37 ^{aC} ±0.44	25.60 ^{aC} ±0.41
	0.1	29.42 ^{bb} ±0.62	29.32 ^{bb} ±0.89	26.06 ^{ab} ±0.85	23.34 ^{ab} ±0.57
	0.2	26.84 ^{bA} ±0.91	26.78 ^{bA} ±1.23	21.99 ^{aA} ±0.53	20.47 ^{aA} ±1.21
Diameter changes (%)	0.0	-11.00 ^{cB} ±0.62	-10.59 ^{cB} ±0.04	-10.05 ^{bB} ±0.31	-9.79 ^{ab} ±1.02
	0.1	-9.54 ^{cA} ±0.14	-9.21 ^{cA} ±0.84	-8.42 ^{bA} ±1.36	-6.31 ^{aA} ±0.69
	0.2	-8.57 ^{cA} ±0.89	-8.38 ^{cA} ±0.19	-7.38 ^{bA} ±0.20	-5.45 ^{aA} ±1.27
Thickness changes (%)	0.0	-27.41 ^{cB} ±1.31	-18.74 ^{bB} ±0.68	-16.78 ^{ab} ±0.16	-14.10 ^{ab} ±1.12
	0.1	-21.76 ^{cA} ±1.00	-15.42 ^{bA} ±1.25	-12.11 ^{aA} ±1.95	-10.25 ^{aA} ±0.35
	0.2	-19.07 ^{cA} ±0.70	-14.13 ^{bA} ±0.66	-10.56 ^{aA} ±0.85	-8.40 ^{aA} ±2.06
Water holding capacity (%)	0.0	77.41 ^{aNs} ±1.12	80.41 ^{bNs} ±0.32	84.54 ^{cNs} ±0.40	86.19 ^{dNs} ±0.50
	0.1	77.65 ^{aNs} ±0.90	81.66 ^{bNs} ±1.82	84.99 ^{cNs} ±0.58	87.14 ^{dNs} ±1.00
	0.2	80.11 ^{aNs} ±1.17	81.71 ^{bNs} ±0.97	85.33 ^{cNs} ±1.33	88.06 ^{dNs} ±0.86

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ตัวอักษร A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 Ns ในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter change และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

ตัวอย่างเนื้อหมูจื๋นรูปที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น จะมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าต้องใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 ขึ้นไปจึงจะมีค่า Total colour difference มากกว่า 2 (ตารางผนวกที่ 11) ซึ่งหมายความว่าตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 ขึ้นไปจะมีสีแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ อย่างชัดเจนซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในผลิตภัณฑ์แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีสอดคล้องกับการทดลองของ Baublits *et al.* (2006) ที่พบว่าเนื้อสัตว์ที่มีการเติมเกลือในปริมาณสูงจะมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง โดยสัตว์ที่มีเกลือร้อยละ 1.5 มีค่า L^* และ b^* เป็น 31.33 และ 18.33 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสัตว์ที่ไม่มีการเติมเกลือที่มีค่า 36.19 และ 21.30 อย่างมีนัยสำคัญ ทางผู้วิจัยกล่าวว่าการเติมเกลืออาจทำให้เกิด myoglobin oxidation เป็นผลให้เนื้อมีสีคล้ำขึ้น Knock *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสีของเนื้อวัวที่มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์แตกต่างกัน พบว่าสัตว์ที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณสูงจะมีสีคล้ำที่สุด (L^* ต่ำสุด) ผู้วิจัยให้เหตุผลว่าเมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์มากขึ้น จะเป็นการเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) เป็นสาเหตุให้ชั้นเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากขึ้น น้ำที่บริเวณผิวหนังตัวอย่างมีน้อย ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ผิวหนังเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้มองเห็นตัวอย่างมีสีคล้ำขึ้น และมีสีเหลืองลดลง

การวิเคราะห์ทางสถิติคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูจื๋นรูปได้แก่ ค่าแรงเค้น ค่าความแข็ง การคืนตัว การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว ด้วยแผนการทดลองแฟกทอเรียลใน CRD แสดงดังตารางผนวกที่ 10-14 จากผลการวิเคราะห์ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่าง MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นจึงพิจารณาหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักได้แก่ MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ทันที

จากผลการทดลองในตารางที่ 18 พบว่าการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในผลิตภัณฑ์มากขึ้นจะทำค่าแรงเค้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ให้ค่าแรงเค้นไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติม โดยเมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 0.0-1.5 ตัวอย่างเนื้อหมูจื๋นรูปจะมีแรงเค้นเฉลี่ย 19.34-24.99 นิวตัน ตามลำดับ ในขณะที่การเพิ่มปริมาณการใช้ MG ในการผลิตเนื้อหมูจื๋นรูปจะทำให้ค่าแรงเค้นของเนื้อหมูจื๋นรูปมีค่าลดลง แต่ต้องใช้ในปริมาณร้อยละ 0.2 จึงจะทำให้ค่าแรงเค้นแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ การเติม MG ร้อยละ 0.0-0.2 จะทำให้ตัวอย่างมีค่าแรงเค้นเฉลี่ย 23.56-20.33 นิวตัน ตามลำดับ ตัวอย่างเนื้อหมูจื๋นรูปที่มีการเติม MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์จะมีค่าแรงเค้นไม่แตกต่างกับเนื้อหมูจื๋นรูปที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ($p > 0.05$)

ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี TPA ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) การคืนตัว (springiness) การเกาะตัว (cohesiveness) และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) แสดงดังตารางที่ 18 พบว่าให้ผลสอดคล้องกันไปในทิศทางเดียวกับค่าแรงเคี้ยว โดยค่าความแข็ง การคืนตัว การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของเนื้อหุ้มขึ้นรูปจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการผลิต การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 1.0 จะทำให้ตัวอย่างมีความแข็งและการเกาะตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ แต่ถ้าต้องการเพิ่มค่าการคืนตัวและพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวควรใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 1.5 ขึ้นไป การที่เนื้อขึ้นรูปมีค่าแรงเคี้ยว และค่าคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสสูงขึ้น เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์นั้น เนื่องมาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำหน้าที่สกัดโปรตีนที่ละลายได้ เช่น โปรตีนกลามเนื้อซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (binder) ระหว่างชิ้นเนื้อ จึงเกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ทำให้เนื้อขึ้นรูปที่ได้มีค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสสูง (Min and Green, 2008)

การเพิ่มปริมาณการใช้ MG ในการผลิตเนื้อหุ้มขึ้นรูป จะทำให้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเนื้อหุ้มขึ้นรูปมีค่าลดลง ยกเว้นค่าการคืนตัวที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดย MG จะส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งและพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวมากที่สุด เนื่องจากการเติม MG เพียงร้อยละ 0.1 ก็ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ในขณะที่ต้องใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 จึงจะพบความแตกต่างในค่าการเกาะตัว การที่กัมสารองทำให้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสลดลงนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าความแข็ง การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของแบบเทอร์เนื้อไก่ที่มีการเติมกัมสารองบริสุทธิ์ (purified malva nut gum, PMG) ร้อยละ 0.1 มีค่า 20.9 นิวตัน 0.25 และ 1.38 นิวตัน.มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัมซึ่งมีค่าเป็น 32 นิวตัน 0.27 และ 2.93 นิวตัน.มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกัมไปรบกวนการจับกันของอนุภาคชิ้นเนื้อ Xiong *et al.* (1999) กล่าวว่าคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของไส้กรอกที่มีการเติมกัมมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติม ทางผู้วิจัยให้เหตุผลว่า ที่ pH ของเนื้อสัตว์ (5.6-5.7) อาจเกิดสภาวะ incompatibility ระหว่างกัมและโปรตีนไมโอไฟบริลลา เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองมีความเป็นประจุทั้งคู่ อาจเกิดการแข่งขันกันจับน้ำ (complete for water) เพื่อให้อยู่ในรูปของ viscous sol หรือ viscoelastic gel ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเกิดโครงสร้างและการเกิดเจล เมทริกซ์ของโปรตีนเนื้อ (structure-forming ability and gel matrix formation) เป็นผลให้คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสลดลง

ตารางที่ 17 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

ค่า	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) (%)			
		0.0	0.5	1.0	1.5
L *	0.0	72.60 ^{bc} ±0.93	71.19 ^{abC} ±1.11	69.82 ^{abC} ±0.97	67.26 ^{aC} ±1.90
	0.1	67.57 ^{bb} ±3.36	66.59 ^{abB} ±2.05	65.09 ^{abB} ±1.66	63.98 ^{aB} ±1.76
	0.2	65.36 ^{ba} ±1.70	64.44 ^{abA} ±2.25	63.67 ^{abA} ±2.05	62.14 ^{aA} ±1.69
a *	0.0	2.21 ^{nsA} ±0.69	1.76 ^{nsA} ±0.08	1.66 ^{nsA} ±0.52	1.18 ^{nsA} ±0.62
	0.1	2.62 ^{nsB} ±0.21	2.18 ^{nsB} ±0.30	2.09 ^{nsB} ±0.27	2.18 ^{nsB} ±0.26
	0.2	3.30 ^{nsC} ±0.24	3.23 ^{nsC} ±0.36	3.24 ^{nsC} ±0.61	3.21 ^{nsC} ±0.59
b *	0.0	13.24 ^{bb} ±0.49	13.13 ^{bb} ±0.61	12.30 ^{ab} ±0.36	11.89 ^{aB} ±0.41
	0.1	12.33 ^{ba} ±0.17	11.93 ^{ba} ±0.49	11.41 ^{aA} ±0.22	11.01 ^{aA} ±0.44
	0.2	12.21 ^{ba} ±0.48	11.21 ^{ba} ±0.13	11.29 ^{aA} ±0.61	10.45 ^{aA} ±0.24
C *	0.0	13.41 ^{bb} ±0.50	13.30 ^{bb} ±0.71	12.36 ^{ab} ±0.37	11.99 ^{aB} ±0.43
	0.1	12.40 ^{ba} ±0.51	12.21 ^{ba} ±0.57	11.65 ^{aA} ±0.24	11.20 ^{aA} ±0.40
	0.2	12.44 ^{ba} ±0.43	11.75 ^{ba} ±0.38	11.63 ^{aA} ±0.49	10.86 ^{aA} ±0.33
h *	0.0	84.81 ^{cC} ±1.97	83.70 ^{bcC} ±2.21	82.10 ^{abC} ±1.95	81.09 ^{aC} ±1.67
	0.1	79.90 ^{cB} ±0.99	79.87 ^{bcB} ±0.78	79.01 ^{abB} ±1.20	77.48 ^{aB} ±0.53
	0.2	77.07 ^{cA} ±1.25	76.05 ^{bcA} ±0.78	75.73 ^{abA} ±0.62	74.83 ^{aA} ±0.82

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษร A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

จากตารางที่ 16 และตารางที่ 18 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มสูงขึ้น ลดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ส่วนค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ แรงเคี้ยว ความแข็ง การกินตัว การยึดเกาะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาการเติม MG แม้ว่าการเติม MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 จะลดค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำให้สูงขึ้นก็ตาม แต่ก็มีผลกระทบทำให้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสลดลง ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกสูตรที่มีการใช้ MG ทั้งสองระดับ คือร้อยละ 0.1 และ 0.2 และใช้ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 1.0 และ 1.5 มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติด้านต่างๆ กับสูตรที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 19-21

ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มของตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) แสดงดังตารางที่ 19 จากผลการทดลองพบว่าการใช้ MG 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งสองระดับ (ร้อยละ 1.0 และ 1.5) มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) จากผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้สามารถลดการใช้เกลือลงได้มากที่สุดถึงร้อยละ 50 โดยที่ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่ได้ยังคงมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มไม่แตกต่างจากสูตรที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)

เมื่อพิจารณาด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (ตารางที่ 19) พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 (M0.1-S1.0) มีการเปลี่ยนแปลงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) และตัวอย่างมีการใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 (M0.1-S1.5) หรือการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 ขึ้นไป (M0.2-S1.0 และ M0.2-S1.5) จะมีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางหลังการทำสุกหรือหดตัวน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า M0.2-S1.5 มีการหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตรถึงเกือบร้อยละ 4 (เมื่อเทียบกับขนาดของเนื้อดิบเริ่มต้น) ส่วนการเปลี่ยนแปลงในแนวความหนาพบว่าให้ผลสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 หรือ 1.5 จะมีการหดตัวในแนวความหนาเทียบเท่ากับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือเต็มสูตร

ตารางที่ 18 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ลดปริมาณลงต่อค่าแรง
เฉือน (shear force) และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี TPA ของ
เนื้อหมูชิ้นรูป

ค่าคุณภาพ	MG (%)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) (%)			
		0.0	0.5	1.0	1.5
Shear force (N)	0.0	21.11 ^{aB} ±2.16	23.06 ^{abB} ±2.08	24.14 ^{bB} ±1.08	25.94 ^{cB} ±1.58
	0.1	20.58 ^{aAB} ±3.43	20.60 ^{abAB} ±1.68	23.13 ^{bAB} ±4.88	23.53 ^{cAB} ±2.60
	0.2	16.32 ^{aA} ±1.58	18.42 ^{abA} ±2.34	23.04 ^{bA} ±3.40	25.49 ^{cA} ±3.29
Hardness (N)	0.0	81.54 ^{aB} ±4.56	84.61 ^{abB} ±11.30	86.14 ^{bcB} ±6.70	89.26 ^{cB} ±6.95
	0.1	74.24 ^{aA} ±5.38	76.71 ^{abA} ±7.71	80.24 ^{bcA} ±2.23	84.22 ^{cB} ±5.96
	0.2	70.78 ^{aA} ±10.26	73.59 ^{abA} ±10.78	77.24 ^{bcA} ±5.77	80.41 ^{cA} ±10.42
Springiness (mm)	0.0	0.847 ^{aNs} ±0.023	0.846 ^{abNs} ±0.022	0.857 ^{abNs} ±0.015	0.861 ^{bNs} ±0.026
	0.1	0.835 ^{aNs} ±0.030	0.840 ^{abNs} ±0.030	0.847 ^{abNs} ±0.028	0.850 ^{bNs} ±0.027
	0.2	0.832 ^{aNs} ±0.019	0.848 ^{abNs} ±0.028	0.856 ^{abNs} ±0.020	0.865 ^{bNs} ±0.012
Cohesiveness	0.0	0.644 ^{aB} ±0.021	0.649 ^{abB} ±0.023	0.656 ^{bB} ±0.008	0.669 ^{cB} ±0.004
	0.1	0.636 ^{aAB} ±0.010	0.645 ^{abAB} ±0.015	0.651 ^{bAB} ±0.005	0.662 ^{cAB} ±0.008
	0.2	0.621 ^{aA} ±0.007	0.641 ^{abA} ±0.015	0.645 ^{bA} ±0.017	0.658 ^{cA} ±0.013
Chewiness (N.mm)	0.0	47.75 ^{aB} ±5.43	47.63 ^{aB} ±10.48	48.45 ^{abB} ±7.57	52.05 ^{bB} ±5.38
	0.1	41.55 ^{aA} ±5.90	42.21 ^{aA} ±2.91	45.22 ^{abA} ±6.49	49.54 ^{bA} ±4.58
	0.2	38.31 ^{aA} ±7.02	41.21 ^{aA} ±7.41	43.28 ^{abA} ±6.76	44.54 ^{bA} ±8.16

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
Ns ในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การที่ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกน้อย แสดงว่าตัวอย่างมีการหดตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากชั้นเนื้อดิบน้อย ตัวอย่างยังคงมีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการ จากผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกในครั้งนี้ สามารถกล่าวโดยรวมได้ว่าการใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.5 (M0.1-S1.5) หรือการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.0 ขึ้นไป (M0.2-S1.0 และ M0.2-S1.5) สามารถลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกได้ดีเทียบเท่าหรือมากกว่าสูตรที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 2.0 นั่นคือสามารถลดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ในสูตรลงได้ถึงร้อยละ 25-50 โดยที่ตัวอย่างยังคงมีคุณสมบัติทางด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการหดตัวเทียบเท่าสูตรควบคุมที่มีเกลือเต็มสูตร

จากตารางที่ 19 พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่า MG โดยพิจารณาที่ระดับปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากัน การเพิ่ม MG จากร้อยละ 0.1 เป็น 0.2 ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับ MG เท่ากัน การเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์จากร้อยละ 1.0 เป็นร้อยละ 1.5 จะทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.5 (M0.2-S1.5) จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำเทียบเท่ากับสูตรที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 2.0 นั่นคือสามารถลดเกลือในสูตรลงได้ร้อยละ 25

ผลการทดลองในตารางที่ 19 สามารถสรุปได้ว่า MG มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป โดยสามารถลดการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ร้อยละ 25-50 โดยที่ยังมีคุณสมบัติเทียบเท่าตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้เกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2)

ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าสีของเนื้อหมูขึ้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) แสดงดังตารางที่ 20 ผลการทดลองพบว่าการใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.5 (M0.2-S1.5) จะทำให้ตัวอย่างมีค่า L^* และ h^* น้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า M0.2-S1.5 มีสีคล้ำมากกว่าและมีสีแดงมากขึ้น แต่ที่ MG และเกลือโซเดียมคลอไรด์ระดับนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อค่า b^* และ C^* ส่วนค่า a^* ที่แสดงถึงความเข้มสีแดง พบว่าตัวอย่างที่มีการเติม MG (ทั้งร้อยละ 0.1 และ 0.2) จะมีค่า a^* สูงกว่าตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก

เนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก (dimensional and thickness changes) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)

Treatments	Cooking loss (%)	Dimensional changes		Water holding capacity (%)
		Diameter changes (%)	Thickness changes (%)	
S2.0	21.80 ^{ab} ±0.32	-9.28 ^d ±0.33	-8.86 ^a ±0.43	89.21 ^c ±0.50
M0.1-S1.0	26.06 ^d ±0.85	-8.42 ^{cd} ±1.36	-12.11 ^b ±1.95	84.99 ^a ±0.58
M0.1-S1.5	23.34 ^c ±0.57	-6.31 ^{ab} ±0.69	-10.25 ^{ab} ±0.35	87.14 ^b ±1.00
M0.2-S1.0	21.99 ^{bc} ±0.53	-7.38 ^{bc} ±0.20	-10.56 ^{ab} ±0.85	85.33 ^a ±1.33
M0.2-S1.5	20.47 ^a ±1.21	-5.45 ^a ±1.27	-8.40 ^a ±2.06	88.06 ^{bc} ±0.86

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากน้อยไปมาก

เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter changes และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

S2.0 = NaCl (salt) 2.0%

M0.1-S1.0 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.0% M0.1-S1.5 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.5%

M0.2-S1.0 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.0% M0.2-S1.5 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.5%

เมื่อนำค่าสีในตารางที่ 20 มาคำนวณหา total colour difference (ΔE) จากสูตร $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตรร้อยละ 2 (S2.0) กับตัวอย่างที่มีการเติม MG ร้อยละ 0.1 และ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 และ 1.5 พบว่า M0.1-S1.0 M0.1-S1.5 M0.2-S1.0 และ M0.2-S1.5 มีค่า ΔE เป็น 1.36 1.36 2.47 และ 3.30 ตามลำดับ โดย M0.2-S1.0 และ M0.2-S1.5 มีค่า ΔE มากกว่า 2 ซึ่ง Ganhão *et al.* (2011) ได้กล่าวว่าสายตาของมนุษย์จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของสีระหว่างวัตถุออก เมื่อวัตถุนั้นถูกวัดด้วยเครื่องมือแล้วมีค่า total colour difference มากกว่า 2 นั้นแสดงให้เห็น

ว่าสูตรนี้ที่มี MG ปริมาณร้อยละ 0.2 จะมีสีที่แตกต่างจากสูตรที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 อย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 20 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)

Treatments	L [*]	a [*]	b [*]	C [*]	h [*]
S2.0	64.69 ^b ±0.43	1.12 ^a ±0.44	10.54 ^a ±0.31	10.68 ^a ±0.32	79.28 ^c ±1.77
M0.1-S1.0	65.09 ^b ±1.66	2.09 ^b ±0.27	11.41 ^b ±0.22	11.65 ^c ±0.24	79.01 ^c ±1.20
M0.1-S1.5	63.98 ^{ab} ±1.76	2.18 ^b ±0.26	11.01 ^{ab} ±0.44	11.20 ^{bc} ±0.40	77.48 ^b ±0.53
M0.2-S1.0	63.67 ^{ab} ±2.05	3.24 ^c ±0.61	11.29 ^b ±0.61	11.63 ^c ±0.49	75.73 ^a ±0.62
M0.2-S1.5	62.14 ^a ±1.69	3.21 ^c ±0.59	10.45 ^a ±0.24	10.86 ^{ab} ±0.33	74.83 ^a ±0.82

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

S2.0 = NaCl (salt) 2.0%

M0.1-S1.0 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.0% M0.1-S1.5 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.5%

M0.2-S1.0 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.0% M0.2-S1.5 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.5%

ค่าแรงเหวี่ยงและค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ และตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) แสดงดังตารางที่ 21 จากผลการทดลองพบว่าค่าแรงเหวี่ยงของตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสูตรมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าการคืนตัวพบว่าทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) การเติม MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 1.5 (M0.1-S1.5) เท่านั้นที่ทำให้ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปมีค่าความแข็ง การยืดเกาะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่มีการใช้เกลือเต็มสูตร ($p > 0.05$) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าค่าแรงเหวี่ยงได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการลดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และใช้ร่วมกับ MG ส่วนค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากวิธี TPA จะมีค่าเทียบเท่ากับเกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2.0) เมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง (ร้อยละ 1.5)

ร่วมกับ MG ปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0.1) นั่นคือสามารถลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ ร้อยละ 25 โดยที่ตัวอย่างยังคงมีค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากการใช้เกลือเต็มสูตร

ตารางที่ 21 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เต็มสูตร (ร้อยละ 2)

Treatments	Shear force (N)	Hardness (N)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Chewiness (N.mm)
S2.0	30.44 ^b ±4.15	90.78 ^b ±10.37	0.874 ^{ns} ±0.027	0.670 ^c ±0.018	52.79 ^b ±6.36
M0.1-S1.0	23.13 ^a ±4.88	80.24 ^a ±2.23	0.847 ^{ns} ±0.028	0.651 ^{ab} ±0.005	45.22 ^a ±6.49
M0.1-S1.5	23.53 ^a ±2.60	84.22 ^{ab} ±5.96	0.850 ^{ns} ±0.027	0.662 ^{bc} ±0.008	49.54 ^{ab} ±4.58
M0.2-S1.0	23.04 ^a ±3.40	77.24 ^a ±5.77	0.856 ^{ns} ±0.020	0.645 ^a ±0.017	43.28 ^a ±6.76
M0.2-S1.5	25.49 ^a ±3.29	80.41 ^a ±10.42	0.865 ^{ns} ±0.012	0.658 ^{abc} ±0.013	44.54 ^a ±8.16

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ns ในแนวดิ่ง หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

S2.0 = NaCl (salt) 2.0%

M0.1-S1.0 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.0% M0.1-S1.5 = MG0.1% + NaCl (salt) 1.5%

M0.2-S1.0 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.0% M0.2-S1.5 = MG0.2% + NaCl (salt) 1.5%

จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า MG มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป โดยสามารถลดการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ร้อยละ 25-50 โดยที่ยังมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพหลังการทำสุกในด้านของการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างจากการใช้เกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ร้อยละ 25 โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสหมูขึ้นรูป ดังนั้นการใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพราะสามารถลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ถึงร้อยละ 25 โดยที่ยังคงมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการใช้เกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2)

4.3 ศึกษาผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ สี และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร

สารประกอบฟอสเฟตถูกใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์อย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุผลหลากหลายประการเช่น เปลี่ยนแปลงค่า pH ของระบบ เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำซึ่งจะทำให้ปริมาณผลได้ (yield) มีค่ามากขึ้น สูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำสุกลดลง ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ (Long *et al.*, 2011) แต่อย่างไรก็ตาม การบริโภคฟอสเฟตมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อสมดุลของปริมาณแคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียมในร่างกายเพิ่มอัตราเสี่ยงในการเป็นโรคกระดูกได้ ในปัจจุบันนี้นักวิจัยส่วนใหญ่จึงได้พยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ปราศจากฟอสเฟตกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การนำสารประกอบฟอสเฟตออกจากกระบวนการผลิตนั้นย่อมส่งผลกระทบต่อความสามารถในการจับน้ำ ซึ่งจะนำไปสู่การลดลงของปริมาณผลได้หลังการทำสุก ดังนั้นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์หลากหลายชนิดจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ปราศจากฟอสเฟตกันมากขึ้น (Min and Green, 2008)

ปริมาณการใช้สารประกอบฟอสเฟตส่วนหนึ่งถูกจำกัดด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัส การใส่สารประกอบฟอสเฟตมากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (unpleasant) โดยส่วนมากแล้วนิยมเติมในปริมาณร้อยละ 0.3-0.5 หากเติมในปริมาณที่มากกว่านี้อาจทำให้เกิดรสขม (bitter taste) ในผลิตภัณฑ์ได้ (Long *et al.*, 2011) Offer and Trinick (1983) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ส่วนมากจะใช้สารประกอบฟอสเฟต เช่น ไพโรฟอสเฟต หรือ ไตรพอสเฟต ในปริมาณร้อยละ 0.3 เพื่อช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3 เป็นฟอสเฟตเต็มสูตร ใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการลดปริมาณฟอสเฟตลง โดยทำการลดปริมาณฟอสเฟตเหลือร้อยละ 0.00 0.10 0.15 และ 0.20 ของน้ำหนักเนื้อ และใช้ร่วมกับกัมสารอง MG ที่เลือกมาจากการทดลองในข้อ 4.1 ปริมาณร้อยละ 0.0 0.1 และ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อ

การวิเคราะห์ทางสถิติคุณสมบัติด้านการทำสุกได้แก่ ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก และความสามารถในการอุ้มน้ำ ด้วยแผนการทดลองแฟกทอเรียลใน CRD แสดงดังตารางผนวกที่ ๑15-๑18 จากผลการวิเคราะห์ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่าง MG และ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ดังนั้นจึงพิจารณาหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักได้แก่ MG และ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตได้ทันที

จากตารางที่ 22 พบว่า MG มีความสามารถในการลดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มได้ดี โดยพบว่าการเติม MG ในปริมาณเพียงร้อยละ 0.1 ตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปจะลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 0.1-0.2 ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ($p > 0.05$) การเติม MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 ตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มเท่ากับเติมในปริมาณร้อยละ 0.1 ตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต จะมีแนวโน้มลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มได้มากกว่าตัวอย่างที่มีการใช้ MG หรือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่า เมื่อใช้กัมสารองบริสุทธิ์ (purified malva nut gum, PMG) ร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.5 จะทำให้แบบเทอร์เนื้อไก่ลดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มลงเหลือร้อยละ 8.51 เมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวซึ่งมีค่าร้อยละ 14.60 จากตารางที่ 22 จะพบว่าการใช้ MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 (M0.2-P0.20) จะทำให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยที่สุด ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลย (M0.0-P0.00) ถึงร้อยละ 6

จากการศึกษาพบว่าต้องใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 ขึ้นไปจึงจะทำให้ตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกแนวเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 22) การใช้ MG เพียงอย่างเดียวไม่สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกแนวเส้นผ่านศูนย์กลางได้ แต่เมื่อนำไปใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตจะทำให้ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือหดตัวหลังการทำสุกน้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตหรือ MG เพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาทางด้านการเปลี่ยนแปลงความหนาพบว่า MG สามารถลดการหดตัวในแนวนี้ได้เมื่อใช้ในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาเฉลี่ยร้อยละ -20.08 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ -25.34 การใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตตั้งแต่ร้อยละ 0.15 ขึ้นไปสามารถลดการเปลี่ยนแปลงความหนาได้ และยังมีค่าไม่แตกต่างจากเมื่อใช้ในปริมาณร้อยละ 0.2 อีกด้วย

กล่าวโดยสรุปคือเมื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพทางด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ควรใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตตั้งแต่ร้อยละ 0.15 ขึ้นไป หรือใช้ MG ร้อยละ 0.2 และการใช้สารทั้งสองตัวร่วมกันจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าการเลือกใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง

ตารางที่ 22 ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (dimensional and thickness changes) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

คุณสมบัติ	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (P) (%)			
		0.00	0.10	0.15	0.20
Cooking loss (%)	0.0	35.01 ^{nsB} ±1.32	34.86 ^{nsB} ±0.68	33.44 ^{nsB} ±1.58	32.16 ^{nsB} ±0.80
	0.1	32.54 ^{nsA} ±0.58	32.10 ^{nsA} ±0.53	30.79 ^{nsA} ±1.74	29.74 ^{nsA} ±2.63
	0.2	30.69 ^{nsA} ±0.64	30.49 ^{nsA} ±3.08	29.54 ^{nsA} ±0.65	29.15 ^{nsA} ±1.00
Diameter changes (%)	0.0	-10.92 ^{cNs} ±0.49	-9.18 ^{bNs} ±0.18	-9.02 ^{bNs} ±0.69	-7.77 ^{aNs} ±0.32
	0.1	-10.62 ^{cNs} ±0.49	-8.66 ^{bNs} ±0.23	-7.95 ^{bNs} ±0.53	-6.76 ^{aNs} ±0.42
	0.2	-8.76 ^{cNs} ±0.66	-8.09 ^{bNs} ±1.70	-7.38 ^{bNs} ±1.35	-6.15 ^{aNs} ±0.75
Thickness changes (%)	0.0	-27.41 ^{bB} ±1.15	-25.33 ^{bB} ±0.98	-24.35 ^{aB} ±0.69	-24.28 ^{aB} ±1.69
	0.1	-21.65 ^{bA} ±1.95	-20.54 ^{bA} ±1.27	-20.45 ^{aA} ±1.12	-18.71 ^{aA} ±0.59
	0.2	-20.62 ^{bA} ±1.13	-18.83 ^{bA} ±2.09	-19.43 ^{aA} ±1.09	-16.88 ^{aA} ±0.48
Water holding capacity (%)	0.0	77.56 ^{aNs} ±0.41	78.25 ^{abNs} ±1.27	80.03 ^{abNs} ±2.47	80.58 ^{bNs} ±0.21
	0.1	78.52 ^{aNs} ±0.36	79.97 ^{abNs} ±0.54	80.37 ^{abNs} ±0.59	81.96 ^{bNs} ±0.74
	0.2	79.61 ^{aNs} ±1.48	80.33 ^{abNs} ±1.32	80.52 ^{abNs} ±0.54	82.32 ^{bNs} ±0.03

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษร A-B ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 Ns ในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter changes และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

ผลการทดลองในตารางที่ 22 พบว่าการใช้ MG ในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป จะทำให้ตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำขึ้นเพียงเล็กน้อย ($p > 0.05$) การใช้โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ขึ้นไปทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่ามีความสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.06 ตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตร่วมกับ MG จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตหรือ MG เพียงตัวเดียว

เมื่อปริมาณโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตเพิ่มมากขึ้น เนื้อหมูขึ้นรูปจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกน้อยลง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีขึ้น เนื่องมาจากเมื่อมีการใช้สารประกอบฟอสเฟตที่มีความเป็นเบส (alkaline phosphate) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ จะทำให้ pH ของระบบเพิ่มสูงขึ้น เมื่อ pH ของระบบมีค่าห่างจาก isoelectric point (IEP) จะทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากแรงผลักระหว่างประจุ (electrostatics repulsive forces) ทำให้เกิดช่องว่าง (gaps) ระหว่างแอกตินและไมโอซิน น้ำปริมาณมากถูกจับ (bound) ไว้ได้ (Feiner, 2006) นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตยังเป็น polyelectrolytes ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของประจุไอออน (ionic charge distributions) ดังนั้นการเติมฟอสเฟตจึงช่วยเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของเนื้อสัตว์ และการเพิ่มขึ้นของความแรงไอออนนี้จะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการพองตัว (swelling) โปรตีนที่เกิดการพองตัวนี้จะช่วยยับยั้งไม่ให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ (immobilization of the water) (Long *et al.* 2011)

ผลการใช้โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตและ MG ร่วมกันนั้น จะทำให้ตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น ลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ MG สามารถจับน้ำไว้ได้เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวอย่างที่มีการใช้ทั้งโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตและ MG มีความสามารถในการรักษาน้ำไว้ในตัวอย่างได้มาก

จากตารางที่ 23 พบว่าต้องเติมโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตในปริมาณสูงถึงร้อยละ 0.2 จึงจะทำให้ค่าสีแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ($p \leq 0.05$) ซึ่งทำให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง ค่าสีแดง (a^*) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าการเติมโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.4 ลงในการผลิตจะทำให้เบทเทอร์เนื้อไก่มีความสว่าง (L^*) ลดลงและค่าสีแดง (a^*) สูงขึ้น เมื่อเติมกับ MG ลงในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูป จะทำให้

ตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปจะมีความสว่าง (ค่า L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในสูตร เนื้อขึ้นรูปจะมีค่ามุมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างจะลดความเป็นสีเหลือง (90°) และมีความเป็นสีแดง (0°) เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วพบว่าเนื้อหุ้มขึ้นรูปที่มีการเติม MG มีสีน้ำตาลคล้ำ เนื่องมาจากสีธรรมชาติของ MG ซึ่งเป็นสีน้ำตาลแดง (ดังภาพที่ 7)

เมื่อพิจารณาตารางที่ 23 พบว่า MG มีอิทธิพลต่อค่าสีมากกว่าโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต โดยพิจารณาที่ระดับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตคงที่ การเติม MG ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้สีของตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่น ที่ระดับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 การเติม MG ร้อยละ 0.0-0.2 ตัวอย่างมีค่า L^* อยู่ในช่วง 70.62-65.54 และ a^* 1.63-3.20 แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณ MG คงที่ การเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมากขึ้น จะทำให้ค่าสีเปลี่ยนไปเล็กน้อยเท่านั้น เช่น ที่ระดับ MG ร้อยละ 0.1 การเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.00-0.20 ตัวอย่างจะมีค่า L^* อยู่ในช่วง 67.91-66.92 และ a^* 2.25-2.82 ซึ่งนับว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการเติม MG นอกจากนี้ยังดูได้จากค่า Total colour difference โดย Ganhaõ *et al.* (2011) กล่าวว่าสายตาของมนุษย์จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของสีระหว่างวัตถุออก เมื่อวัตถุนั้นถูกวัดด้วยเครื่องมือแล้วมีค่า total colour difference มากกว่า 2 จากตารางผนวกที่ 12 พบว่าการเติม MG ทำให้ค่า ΔE มากกว่า 2 นั้นแสดงให้เห็นว่าสีของตัวอย่างแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารใดๆ เลยอย่างชัดเจน ในขณะที่ต้องใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตถึงร้อยละ 0.2 จึงจะพบความแตกต่าง จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าถึงแม้สารในกลุ่มกำมะถันจะเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพียงเล็กน้อย แต่ในบางกรณีสีของกัมอาจจะส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหุ้มขึ้นรูปได้แก่ ค่าแรงเหวี่ยง ค่าความแข็ง การกินตัว การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว ด้วยแผนการทดลองแฟกทอเรียลใน CRD แสดงดังตารางผนวกที่ 24-28 จากผลการวิเคราะห์ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่าง MG และ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ดังนั้นจึงพิจารณาหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักได้แก่ MG และ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตได้ทันที

จากผลการทดลองในตารางที่ 24 พบว่าการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงในผลิตภัณฑ์มากขึ้นจะทำให้ค่าแรงเหวี่ยงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 0.2 จะทำให้ตัวอย่างเนื้อหุ้มขึ้นรูปมีค่าแรงเหวี่ยงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณการใช้ MG ในการผลิตเนื้อหุ้มขึ้นรูปจะทำให้

ค่าแรงเหวี่ยงของเนื้อหมูขึ้นรูปมีค่าลดลง แต่ต้องใช้กัมในปริมาณร้อยละ 0.2 จึงจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อหมูขึ้นรูปที่มี MG ร้อยละ 0.2 จะมีความนุ่มมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกัมและตัวอย่างที่มีการเติม MG ร้อยละ 0.1 อย่างชัดเจน

ตารางที่ 23 ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูป

ค่าสี	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (P) (%)			
		0.00	0.10	0.15	0.20
L *	0.0	71.37 ^{cC} ±0.73	70.62 ^{bcC} ±0.73	69.92 ^{abC} ±0.90	69.31 ^{aC} ±0.65
	0.1	68.40 ^{cB} ±0.77	67.91 ^{bcB} ±0.90	67.48 ^{abB} ±0.53	66.92 ^{aB} ±0.95
	0.2	65.80 ^{cA} ±0.36	65.54 ^{bcA} ±0.73	64.44 ^{abA} ±0.79	63.86 ^{aA} ±0.38
a *	0.0	1.39 ^{aA} ±0.15	1.63 ^{abA} ±0.10	1.96 ^{bcA} ±0.17	2.39 ^{cA} ±0.08
	0.1	2.25 ^{abB} ±0.19	2.45 ^{abB} ±0.13	2.67 ^{bcB} ±0.14	2.82 ^{cB} ±0.26
	0.2	3.08 ^{aC} ±0.12	3.20 ^{abC} ±0.05	3.38 ^{bcC} ±0.27	3.50 ^{cC} ±0.10
b *	0.0	13.23 ^{bA} ±0.55	12.86 ^{abA} ±0.36	12.75 ^{abA} ±0.23	12.52 ^{aA} ±0.33
	0.1	12.73 ^{bB} ±0.37	12.41 ^{abB} ±0.28	12.18 ^{abB} ±0.37	11.53 ^{aB} ±0.31
	0.2	12.20 ^{bC} ±0.19	12.00 ^{abC} ±0.32	11.88 ^{abC} ±0.28	11.62 ^{aC} ±0.52
C *	0.0	13.29 ^{cB} ±0.70	13.12 ^{bcB} ±0.26	12.84 ^{abB} ±0.31	12.56 ^{aB} ±0.32
	0.1	12.73 ^{cA} ±0.42	12.60 ^{bcA} ±0.19	12.36 ^{abA} ±0.30	11.70 ^{aA} ±0.45
	0.2	12.60 ^{cA} ±0.26	12.32 ^{bcA} ±0.30	12.02 ^{abA} ±0.43	11.71 ^{aA} ±0.40
h *	0.0	84.80 ^{bc} ±1.36	84.15 ^{bc} ±1.83	82.82 ^{abC} ±1.78	81.75 ^{aC} ±2.57
	0.1	78.94 ^{bB} ±0.46	78.26 ^{bB} ±0.81	77.75 ^{abB} ±1.59	76.76 ^{aB} ±1.30
	0.2	76.42 ^{bA} ±0.87	74.99 ^{bA} ±0.27	74.54 ^{abA} ±0.49	73.88 ^{aA} ±0.94

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ค่าความแข็ง การคืนตัว การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของเนื้อหมูชิ้นรูปจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p > 0.05$) ตามปริมาณโซเดียมไตรฟอสเฟตที่ใช้ (ตารางที่ 24) การที่ คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตสามารถแยกสารประกอบ แอคโตไมโอซินได้ ช่วยให้สกัดโปรตีนที่ละลายออกมาในเกลือได้ง่ายขึ้น (Feiner, 2006) นอกจากนี้ สารประกอบฟอสเฟตยังเป็น polyelectrolytes การเติมฟอสเฟตจึงช่วยเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของเนื้อสัตว์ และการเพิ่มขึ้นของความแรงไอออนนี้จะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการพองตัว (swelling) และโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ละลายได้ (Long *et al.* 2011) โปรตีนเหล่านี้จะทำให้ หน้าที่เชื่อม (bind) ขึ้นเนื้อเข้าด้วยกัน จึงทำให้เนื้อชิ้นรูปมีความแข็งแรง มีค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัส สูง (Sofos, 1986) จากตารางที่ 24 พบว่าการเติมโซเดียมไตรฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 0.1-0.2 จะให้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสสูงขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากโดยปกติแล้วฟอสเฟตนิยมเติม ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากฟอสเฟตจะช่วยเสริมฤทธิ์ (synergis) ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ในการสกัดโปรตีน (Dimitrakopoulou *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามพบว่าหากต้องการใช้ฟอสเฟต เพียงอย่างเดียว จะต้องใช้ฟอสเฟตปริมาณค่อนข้างสูง โดยต้องใช้ปริมาณเกินร้อยละ 0.5 (Martin, 2001) ปริมาณการใช้สารประกอบฟอสเฟตอาจถูกจำกัดด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยการใส่ สารประกอบฟอสเฟตมากจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (unpleasant) และอาจทำให้เกิดรสขมใน ผลิตภัณฑ์ได้ (Long *et al.*, 2011) นอกจากนี้ปริมาณการเติมฟอสเฟตยังถูกจำกัดด้วยข้อกำหนด โดยอนุญาตให้มีฟอสเฟตไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Moisee and Cornforth, 1997)

การเติม MG จะส่งผลกระทบต่อค่าความแข็ง การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว ของเนื้อหมูชิ้นรูปมากที่สุด เนื่องจากการเติม MG ในปริมาณร้อยละ 0.1 ก็ส่งผลให้ค่าดังกล่าวลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าการคืนตัวต้องเติมในปริมาณร้อยละ 0.2 จึงจะทำให้ค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตจะมีค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสสูงกว่าการใช้ MG เพียงตัวเดียว โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Barbut *et al.* (2009) ที่พบว่าแบทเทอรีไก่ที่มีการใช้กัมสารองบริสุทธิ (purified malva nut gum, PMG) ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตจะมีค่าการคืนตัว ค่าความแข็ง การเกาะตัว และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวสูงกว่าแบทเทอรีที่มี PMG เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 24 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ลดปริมาณลงต่อค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยโปรแกรม TPA ของเนื้อหมูชิ้นรูป

ค่าคุณภาพ	MG (%)	ปริมาณเกลือโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (P) (%)			
		0.00	0.10	0.15	0.20
Shear force (N)	0.0	18.93 ^{ab} ±1.50	21.10 ^{abB} ±2.59	22.38 ^{abB} ±2.33	23.91 ^{bB} ±1.25
	0.1	18.87 ^{ab} ±2.22	19.72 ^{abB} ±0.97	21.12 ^{abB} ±2.00	22.22 ^{bB} ±1.36
	0.2	15.19 ^{aA} ±0.50	16.27 ^{abA} ±1.38	17.09 ^{abA} ±2.18	18.78 ^{bA} ±1.39
Hardness (N)	0.0	84.09 ^{nsB} ±9.86	86.75 ^{nsB} ±11.96	87.14 ^{nsB} ±14.69	90.33 ^{nsB} ±14.17
	0.1	67.11 ^{nsA} ±10.55	71.26 ^{nsA} ±7.61	76.68 ^{nsA} ±10.73	81.27 ^{nsA} ±9.61
	0.2	62.77 ^{nsA} ±10.97	68.82 ^{nsA} ±9.79	69.83 ^{nsA} ±13.55	70.40 ^{nsA} ±12.00
Springiness (mm)	0.0	0.876 ^{nsB} ±0.054	0.892 ^{nsB} ±0.020	0.894 ^{nsB} ±0.038	0.897 ^{nsB} ±0.051
	0.1	0.866 ^{nsB} ±0.038	0.869 ^{nsB} ±0.034	0.879 ^{nsB} ±0.036	0.891 ^{nsB} ±0.051
	0.2	0.839 ^{nsA} ±0.027	0.853 ^{nsA} ±0.031	0.862 ^{nsA} ±0.048	0.863 ^{nsA} ±0.034
Cohesiveness	0.0	0.662 ^{nsC} ±0.009	0.672 ^{nsC} ±0.016	0.672 ^{nsC} ±0.065	0.675 ^{nsC} ±0.017
	0.1	0.632 ^{nsB} ±0.021	0.644 ^{nsB} ±0.027	0.653 ^{nsB} ±0.014	0.663 ^{nsB} ±0.011
	0.2	0.612 ^{nsA} ±0.018	0.619 ^{nsA} ±0.015	0.620 ^{nsA} ±0.007	0.628 ^{nsA} ±0.027
Chewiness (N.mm)	0.0	49.08 ^{nsC} ±6.98	50.43 ^{nsC} ±8.15	51.22 ^{nsC} ±15.43	54.50 ^{nsC} ±9.44
	0.1	39.87 ^{nsB} ±7.50	40.20 ^{nsB} ±5.58	46.50 ^{nsB} ±4.28	46.59 ^{nsB} ±7.60
	0.2	32.79 ^{nsA} ±7.09	36.40 ^{nsA} ±7.64	36.92 ^{nsA} ±8.78	37.45 ^{nsA} ±6.22

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 ตัวอักษร A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

จากตารางที่ 22 และตารางที่ 24 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตจะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มสูงขึ้น ลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุก ส่วนค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ แรงเฉือน ความแข็ง การคืนตัว การยึดเกาะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวจะถูก

ปรับปรุงให้ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการเติม MG แม้ว่าการเติม MG ในปริมาณร้อยละ 0.2 จะลดค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกได้ก็ตาม แต่ก็ยังมีผลกระทบทำให้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสลดลง ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกสูตรที่มีการใช้ MG ทั้งสองระดับ คือร้อยละ 0.1 และ 0.2 และใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 0.15 และ 0.20 มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติด้านต่างๆ กับสูตรที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 25-27

เมื่อพิจารณาในตารางที่ 25 พบว่าทุกสูตรที่มีการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่ากับสูตรที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) ($p > 0.05$) ตัวอย่างที่มีการใช้ MG (ร้อยละ 0.1 หรือ 0.2) ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.15 จะมีการเปลี่ยนแปลงในแนวความหนาและความสามารถในการอุ้มน้ำไม่ต่างจากโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตรและเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นร้อยละ 0.2 ตัวอย่างจะมีการหดตัวน้อยกว่า และมีการอุ้มน้ำมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวโดยสรุปคือ MG มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต โดยสามารถลดการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ร้อยละ 33-50 โดยที่ยังมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

การทดลองตารางที่ 26 พบว่า เมื่อมีการเติม MG ลงในการผลิตเนื้อหมูชิ้นรูปจะทำให้ตัวอย่างมีค่า L^* และ h^* น้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีการเติม MG มีสีคล้ำมากกว่าและมีเนื้อสีแดงมากขึ้น การเติม MG ในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0.1) ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0.15) จะมีค่า a^* b^* และ C^* ไม่แตกต่างจากสูตรที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.3

เมื่อนำค่าสีในตารางที่ 26 มาคำนวณหาความแตกต่าง total colour difference (ΔE) จากสูตร $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) (P0.3) กับตัวอย่างที่มีการเติม MG ร้อยละ 0.1 และ 0.2 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.15 และ 0.2 พบว่า M0.1-P0.15 M0.1-P0.20 M0.2-P0.15 และ M0.2-P0.20 มีค่า ΔE เป็น 1.17 1.86 4.27 และ 4.88 ตามลำดับ โดย M0.2-P0.15 และ M0.2-P0.20 มีค่า ΔE มากกว่า 2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวอย่างที่มีการเติม MG ตั้งแต่ร้อยละ 0.2

ขึ้นไปร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตจะทำให้มองเห็นความแตกต่างทางด้านสีได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร

ตารางที่ 25 ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการหุงต้ม (cooking loss) การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (dimensional and thickness changes) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

Treatments	Cooking loss (%)	Dimensional changes		Water holding capacity (%)
		Diameter changes (%)	Thickness changes (%)	
P0.30	31.88 ^{ns} ±1.56	-7.05 ^{ns} ±0.27	-21.57 ^c ±1.94	80.70 ^a ±0.40
M0.1-P0.15	30.79 ^{ns} ±1.74	-7.95 ^{ns} ±0.53	-20.45 ^{bc} ±1.12	80.37 ^a ±0.59
M0.1-P0.20	29.74 ^{ns} ±2.63	-6.76 ^{ns} ±0.42	-18.71 ^{ab} ±0.59	81.96 ^b ±0.74
M0.2-P0.15	29.54 ^{ns} ±0.65	-7.38 ^{ns} ±1.35	-19.43 ^{abc} ±1.09	80.52 ^a ±0.54
M0.2-P0.20	29.15 ^{ns} ±1.00	-6.15 ^{ns} ±0.75	-16.88 ^a ±0.48	82.32 ^b ±0.03

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก ns ในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เครื่องหมาย “-” ที่อยู่หน้าตัวเลขในคุณสมบัติ diameter changes และ thickness changes เป็นเพียงสัญลักษณ์ที่บอกว่าตัวอย่างหลังการทำสุกมีการหดตัวจากตัวอย่างเนื้อดิบเท่านั้น ไม่มีความหมายในเชิงคณิตศาสตร์

P0.30 = STPP 0.30%

M0.1-P0.15 = MG 0.1% + STPP 0.15% M0.1-P0.20 = MG 0.1% + STPP 0.20%

M0.2-P0.15 = MG 0.2% + STPP 0.15% M0.2-P0.20 = MG 0.2% + STPP 0.20%

ตารางที่ 26 ผลของการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมู ขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

Treatments	L*	a*	b*	C*	h*
P0.30	68.65 ^c ±1.14	2.77 ^a ±0.22	12.22 ^b ±0.33	12.22 ^b ±0.34	80.68 ^c ±1.33
M0.1-P0.15	67.48 ^b ±0.53	2.67 ^a ±0.14	12.18 ^b ±0.37	12.36 ^b ±0.30	77.75 ^b ±1.59
M0.1-P0.20	66.92 ^b ±0.95	2.82 ^a ±0.26	11.53 ^a ±0.31	11.70 ^a ±0.45	76.76 ^b ±1.30
M0.2-P0.15	64.44 ^a ±0.79	3.38 ^b ±0.27	11.88 ^{ab} ±0.28	12.02 ^{ab} ±0.43	74.54 ^a ±0.49
M0.2-P0.20	63.86 ^a ±0.38	3.50 ^b ±0.10	11.62 ^a ±0.52	11.71 ^a ±0.40	73.88 ^a ±0.94

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

P0.30 = STPP 0.30%

M0.1-P0.15 = MG 0.1% + STPP 0.15% M0.1-P0.20 = MG 0.1% + STPP 0.20%

M0.2-P0.15 = MG 0.2% + STPP 0.15% M0.2-P0.20 = MG 0.2% + STPP 0.20%

จากผลการทดลองในตารางที่ 27 พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตทุกสูตรมีค่าแรงเหนียวน้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าไม่มีผลกระทบต่อการคืนตัว ($p > 0.05$) การเติม MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 (M0.1-P0.20) จะมีความแข็ง การยืดเกาะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างจากโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร แต่หากเพิ่มปริมาณการใช้ MG เป็นร้อยละ 0.2 จะทำให้ตัวอย่างมีค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 0.20 ไม่สามารถช่วยปรับปรุง/เพิ่มค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีใช้ MG ร้อยละ 0.2 ได้ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าสามารถใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 โดยที่ตัวอย่างยังคงมีลักษณะเนื้อสัมผัสเทียบเท่ากับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร นั่นคือสามารถลดปริมาณโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ร้อยละ 33

ตารางที่ 27 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี TPA ของเนื้อหมูขึ้นรูปเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

Treatments	Shear force (N)	Hardness (N)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Chewiness (N.mm)
P0.30	27.10 ^d ±2.13	90.31 ^b ±17.38	0.903 ^{ns} ±0.030	0.676 ^c ±0.007	54.93 ^c ±13.15
M0.1-P0.15	21.12 ^{bc} ±2.00	76.68 ^a ±10.73	0.879 ^{ns} ±0.036	0.653 ^b ±0.014	46.50 ^{bc} ±4.28
M0.1-P0.20	22.22 ^c ±1.36	81.27 ^{ab} ±9.61	0.891 ^{ns} ±0.051	0.663 ^{bc} ±0.011	46.59 ^{bc} ±7.60
M0.2-P0.15	17.09 ^a ±2.18	69.83 ^a ±13.55	0.862 ^{ns} ±0.048	0.620 ^a ±0.007	36.92 ^a ±8.78
M0.2-P0.20	18.78 ^{ab} ±1.39	70.40 ^a ±12.00	0.863 ^{ns} ±0.034	0.628 ^a ±0.027	37.45 ^{ab} ±6.22

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns ในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
 P0.30 = STPP 0.30%

M0.1-P0.15 = MG 0.1% + STPP 0.15% M0.1-P0.20 = MG 0.1% + STPP 0.20%

M0.2-P0.15 = MG 0.2% + STPP 0.15% M0.2-P0.20 = MG 0.2% + STPP 0.20%

จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า MG มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในการผลิตเนื้อหมูขึ้นรูปได้ โดยสามารถลดการใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ร้อยละ 33-50 โดยที่ยังมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพหลังการทำสุกในด้านการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างจากการใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3) นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ร้อยละ 33 โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูขึ้นรูป ดังนั้นการใช้ MG ในปริมาณร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร้อยละ 0.2 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดเพราะสามารถลดปริมาณการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตลงได้ถึงร้อยละ 33 โดยที่ยังคงมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

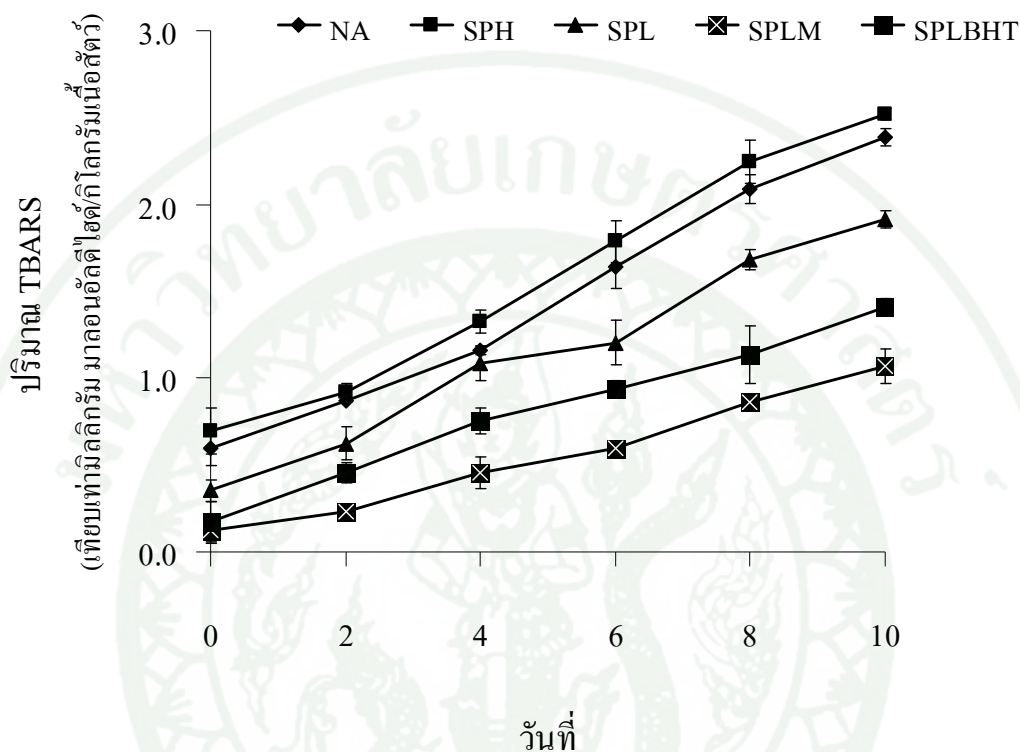
5. ศึกษาผลของ MG ต่อการเกิด Warmed Over Flavor ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุก

การเสื่อมคุณภาพทางเคมีของเนื้อชิ้นรูปส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ในระหว่างขั้นตอนการนวดผสมเนื้อสามารถสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติในระหว่างเก็บรักษา ปัญหาที่สำคัญมากและเกิดขึ้นเสมอในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์คือการเกิด Warmed-Over Flavor (WOF) ซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งต่างจากการเกิดกลิ่นหืนทั่วไปที่ใช้เวลานับเดือนที่จะเกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาจากการแช่แข็ง WOF ยังสามารถเกิดขึ้นได้ในเนื้อสัตว์สดๆ แต่มักเกิดได้มากกว่าในเนื้อที่ทำการสุกแล้วและเนื้อสัตว์ที่ผนังเซลล์ถูกทำให้ฉีกขาดเช่น เนื้อสัตว์ชิ้นรูป หรือเนื้อสัตว์บด กล่าวได้ว่าไม่ว่ากระบวนการใดที่ทำให้เกิดการฉีกขาดของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิด WOF ได้ทั้งสิ้น (Gray *et al.*, 1996; Fernández *et al.*, 1997)

ในปัจจุบันนี้ ความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยทางด้านพิษวิทยา (toxicological safety) ของสารต้านการเกิดออกซิเดชันสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) มีเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการใช้สารต้านการเกิดออกซิเดชันจากธรรมชาติ (natural antioxidative substances) จึงมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น สารสกัดจากธรรมชาติหลากหลายชนิด เช่น โรสแมรี่ (rosemary) ใบชาเขียว (green tea) ออริกาโน (oregano) มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่สูงมาก เนื่องมาจากมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง และสารเหล่านี้ได้รับการอนุญาตให้ใช้ในอาหารเพื่อแทนที่สารต้านการเกิดออกซิเดชันแบบสังเคราะห์ (Reihani *et al.*, 2014) ผลสำรวจเป็นผลผลิตจากธรรมชาติและมีการวิจัยที่กล่าวถึงคุณสมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันของสาร (ชนินันท์, 2550; Palanuvej *et al.*, 2009) ดังนั้นการนำกัมที่สกัดได้จากสารมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการหลีกเลี่ยงการใช้สารต้านการเกิดออกซิเดชันแบบสังเคราะห์ได้

ผลของการใช้ MG ต่อการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุกที่เก็บไว้เป็นเวลา 10 วันในตู้เย็นแสดงดังภาพที่ 14 พบว่าแม้ว่าจะเป็นวันที่ 0 ในการเก็บรักษาก็สามารถตรวจพบค่า TBARS ได้แล้ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหล็กที่เป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ในเลือดและไมโอโกลบิน (myoglobin) ในกล้ามเนื้อซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญที่ทำให้เลือดและเนื้อสัตว์มีสีแดง ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (catalysts) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดในระหว่างการผสมหรือการทำสุก เหล็กเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการหืนในเนื้อสัตว์และพบว่าเหล็กที่ไม่ใช่ฮีโม (non-haem iron) เป็นตัวเร่งหลักในการเกิดปฏิกิริยาในเนื้อสัตว์ที่ผ่านการทำสุกแล้วเนื่องจากความร้อนจะทำให้เหล็กที่ประกอบอยู่ในฮีโม (haem iron) ลดลง ในขณะที่ปริมาณเหล็กอิสระเพิ่มขึ้น (Han *et*

al.,1993) โดย Gray and Pearson (1987) กล่าวว่าฟอสโฟลิปิดที่ผนังเซลล์ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะเป็นสารเริ่มต้นในการพัฒนาการเกิดออกซิเดชันในเนื้อสัตว์ที่ผ่านการทำสุกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 14 ค่า TBARS ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 10 วัน

โดย NA = No additive = เนื้อหมูชิ้นรูปที่ไม่มีการเติมสารใดๆ

SPH= High salt and phosphate = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 2%+STPP 0.3%

SPL = Low salt and phosphate = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1%+STPP 0.1%

SPLM = Low salt and phosphate plus MG = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1%+STPP 0.1%+MG 0.2%

SPLBHT = Low salt and phosphate plus BHT = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1%+STPP 0.1%+BHT 0.02%

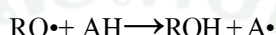
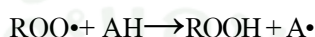
เมื่อพิจารณาค่า TBARS ในวันที่ 0 พบว่าตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปสูตร SPLM และ SPLBHT จะมีค่า TBARS ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจะเพิ่มมากขึ้นในสูตร SPL NA และ SPH ตามลำดับ ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสารต้านการเกิดออกซิเดชันสามารถช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการผสมและการทำสุกได้อย่างทันที ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ahn *et*

al. (2002) ที่พบว่าค่า TBARS ในวันที่ 0 ของตัวอย่างเนื้อมูที่ผ่านการทำสุกที่มีการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (ActiVin™, BHA/BHT, rosemary และ tocopherol) มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โดยภายในระยะเวลาการเก็บทั้ง 10 วัน ตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปสุกทุกสูตรมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยสามารถเรียงลำดับปริมาณ TBARS จากน้อยไปมากได้ดังนี้ SPLM SPLBHT SPL NA และ SPH ตามลำดับ การที่สูตร NA มีปริมาณ TBARS อยู่สูง เนื่องจากในสูตรไม่มีการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชัน จึงทำให้สามารถเกิดการออกซิเดชันได้ง่าย ในสูตร SPH จะมีปริมาณ TBARS อยู่สูงที่สุด เนื่องจากในสูตรมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง (ร้อยละ 2) โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำหน้าเป็นโปรออกซิเดนท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Rhee and Ziprin, 2001) กลไกในการทำหน้าที่เป็นโปรออกซิเดนท์เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1) จะทำลายความสมบูรณ์ของผนังเซลล์ จึงทำให้สารเร่งเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันได้โดยง่าย 2) จะปลดปล่อยเหล็กให้เป็นอิสระจากโมเลกุลที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนฮีโม 3) จะยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ต้านการเกิดออกซิเดชัน เช่น คีตาเลส กลูตาไธโอน เปอร์ออกซิเดส (Min *et al.*, 2010) ตัวอย่าง SPH จึงมีปริมาณ TBARS อยู่ในระดับสูง ถึงแม้ว่าในสูตรจะมีการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร่วมด้วยก็ตาม โดยสารประกอบฟอสเฟตมีความสามารถในการจับโลหะได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ ซึ่ง Trout and Dale (1990) รายงานว่าต้องใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 0.5 จึงจะเพียงพอที่จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ได้ ดังนั้นการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตปริมาณร้อยละ 0.3 ในสูตร SPH จึงอาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน จึงทำให้ SPH มีค่า TBARS สูงที่สุด โดยสูตร SPL จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วยเร่งการเกิดเช่นเดียวกับ SPH แต่เนื่องจากในสูตรมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงร้อยละ 1 ร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 จึงทำให้เกิดการออกซิเดชันได้น้อยกว่า ค่า TBARS จึงต่ำกว่า SPH

ในสูตร SPLBHT จะมีการใช้สารต้านการเกิดออกซิเดชันทางการค้าคือ butylated hydroxytoluene (BHT) ร้อยละ 0.02 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร้อยละ 1 และร้อยละ 0.1 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าสูตร SPLBHT จะมีค่า TBARS ต่ำกว่าสูตร SPL ซึ่งมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ระดับเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า BHT สามารถลดการเกิดออกซิเดชันได้ดี แต่อย่างไรก็ตามพบว่าสูตร SPLM มีค่า TBARS ต่ำที่สุด โดยในสูตรนี้มีการเติม MG ร้อยละ 0.2 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร้อยละ 1 และร้อยละ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า MG มีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิด

ออกซิเดชันที่ดีกว่า BHT ทั้งนี้ Wang *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษามลพิษของ *Sterculia lychnophora* (Pangdahai) พบว่ามีสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ เช่น 2, 4-dihydroxy benzoic acid, β -sitosterol, kaempferol- 3-*O*- β -D-rutinoside เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชัน โดยสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (AH) จะขัดขวางการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยทำหน้าที่เป็นตัวให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระของไขมัน ตามปฏิกิริยา ดังนี้ (Shahidi and Naczki, 2004)



สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนที่ดีมาก ซึ่งอนุมูลอิสระของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกจะมีความคงตัวเนื่องจาก resonance delocalization และขาดตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะเข้าจับกับออกซิเจน (lack of suitable sites for attack by molecular oxygen) (Shahidi and Naczki, 2004) โดยชนิดนั้นที่ (2550) กล่าวว่ากัมสำรองมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันมากกว่าออริกานอ (oregano) และอบเชย (cinnamon) ซึ่งเป็นเครื่องเทศถึง 1,000 เท่า Sudjaroen (2008) ได้ทำการศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันทั้งหมด (total antioxidant activity) ในอิมัลชันกรดไขมันของสารสกัดด้วยเมทานอลพบว่าสารสกัดสารที่ทุกความเข้มข้น (1-20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ในกรดไขมันได้ถึงร้อยละ 87-91 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิตามินอี (ร้อยละ 94.45 ที่ 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) Greene and Cumuze (1982) ได้ศึกษาค่ากั้นต่ำสุด (threshold) ของค่า TBARS เพื่อแสดงถึงกลิ่นออกซิไดส์ในเนื้อวัวสุกพบว่าผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์จะมีค่ากั้นต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.6-2.0 ซึ่งเมื่อใช้ค่ากั้นต่ำสุดนี้เป็นเกณฑ์ การใช้ MG สามารถชะลอการรับรู้ทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในเนื้อที่ผ่านการทำสุกแล้วมาเป็นเวลา 10 วัน จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่ากัมสำรองมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูขึ้นรูปได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. เตรียมผงตำรอนโดยการนำผลตำรอนมากระเทาะแยกเมล็ด แล้วนำส่วนเปลือกและเนื้อผลมาทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมชพบว่าปริมาณผลได้ในรูปของผงตำรอน (malva nut powder:MP) เทียบกับผลตำรอนแห้ง (malva nut fruit) คือร้อยละ 37.09 (โดยน้ำหนัก) และเมื่อนำผงตำรอน (MP) มาสกัดด้วยสภาวะต่างๆ พบว่ามีปริมาณผลได้ (% yield) ของ MG WMG และ AMG ในรูปของผงกัมแห้ง (gum powder) เป็นร้อยละ 16.50 16.19 และ 19.00 ของน้ำหนักผลตำรอน (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และมีค่าเป็นร้อยละ 44.49 43.66 และ 51.22 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของผงตำรอน (MP)

2. การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของ MG WMG และ AMG พบว่ากัมตำรอนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.44 3.19 และ 275 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ MG และ WMG มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

3. ความหนืดของสารละลายกัมตำรอนทั้ง MG WMG และ AMG จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของกัมมากขึ้น สารละลายกัมตำรอนทั้ง 3 ชนิด (ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จะมีค่าความหนืดลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยสารละลาย MG จะมีความหนืดสูงกว่า WMG และ AMG ในทุกช่วงอุณหภูมิการศึกษา (30-90 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ยังพบว่า สารละลายกัมตำรอนที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นมีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากตัวอย่างกัมตำรอนที่ไม่ผ่านความร้อน แสดงให้เห็นว่า กัมตำรอนมีความสามารถในการคงตัวต่อความร้อน

WMG และ AMG มีค่าความหนืดสูงที่สุดที่ pH 5 และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเบส ส่วน MG มีค่าความหนืดในช่วงเบสค่อนข้างคงที่ และมีค่าความหนืดสูงที่สุดที่ pH 7-9 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ pH 10 เมื่อปริมาณเกลือเพิ่มมากขึ้น สารละลายกัมตำรอนทุกชนิดมีความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ MG มีความคงทนต่อเกลือน้อยกว่า WMG และ AMG

4. การเติม MG WMG และ AMG มีศักยภาพในการเพิ่มผลได้ (yield) ทางด้านน้ำหนักและขนาดของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุก เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติม เมื่อเติมปริมาณกัมตำรองมากขึ้น (ร้อยละ 0.1-0.3) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการทำสุกหรือหัดตัวน้อยลง มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีขึ้น แต่ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสและแรงเคียนน้อยลง การใช้ MG WMG และ AMG ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปจะมีคุณลักษณะทางด้านผลได้และทางด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้เลือก MG มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

5. MG ร้อยละ 0.2 มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการผลิตเนื้อหมูชิ้นรูปได้ โดยสามารถลดการใช้เกลือลงได้ร้อยละ 25-50 โดยที่ยังมีคุณสมบัติทางด้านการการทำสุกไม่แตกต่างจากการใช้เกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2) จากการศึกษาพบว่าการใช้กัมตำรอง MG ในปริมาณร้อยละ 0.1 ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 เป็นที่รพที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ลงได้ถึงร้อยละ 25 โดยที่ยังคงมีคุณสมบัติทางด้านการทำสุกและคุณลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการใช้เกลือเต็มสูตร (ร้อยละ 2)

6. MG มีประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตในการผลิตเนื้อหมูชิ้นรูปได้ โดยพบว่าการใช้ MG ร้อยละ 0.1-0.2 ทำให้ผลิตภัณฑ์ลดการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้ไม่แตกต่างจากการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ซึ่งเป็นสูตรควบคุม การใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ขึ้นไปจะมีค่าคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมที่ใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ดังนั้นการใช้ MG ร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 0.2 จึงเป็นที่รพที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตลงได้ถึงร้อยละ 33 โดยที่ยังคงมีคุณสมบัติทางด้านการทำสุกและคุณลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตเต็มสูตร (ร้อยละ 0.3)

7. การเติมกัมตำรองมีผลต่อค่าสีของเนื้อหมูชิ้นรูปอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยทำให้เนื้อหมูชิ้นรูปมีความสว่าง (L^*) และสีเหลือง (b^*) ลดลง และค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากธรรมชาติของตำรองที่มีสีน้ำตาลเข้ม

8. ในระยะเวลาการเก็บทั้ง 10 วัน ตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปทุกสูตรมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเนื้อหมูชิ้นรูปที่เติมเกลือสูง (NaCl ร้อยละ 2+ STPP ร้อย

ละ 0.3, SPH) มีค่า TBARS สูงที่สุด ส่วนเนื้อหมูชิ้นรูปที่เดิม MG (NaCl ร้อยละ 1 + STPP ร้อยละ 0.1+ MG ร้อยละ 0.2, SPLM) มีค่าน้อยที่สุด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเนื้อหมูชิ้นรูปที่เดิม BHT (NaCl ร้อยละ 1 + STPP ร้อยละ 0.1+ BHT ร้อยละ 0.02, SPLBHT) ซึ่งเป็นสารด้านการเกิดออกซิเดชันทางการค้า พบว่า SPLM มีค่า TBARS น้อยกว่า SPLBHT ถึง 0.34 มิลลิกรัม มาลอนัลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อสัตว์ แสดงให้เห็นว่า MG มีคุณสมบัติเป็นสารด้านการเกิดออกซิเดชันที่ดี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำให้กัมสำรองมีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยการแยกเอาเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสกัดออก เช่นนำไปผ่านกระบวนการไดอะไลซิส เป็นต้น
2. กัมสำรองแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน เช่น MG เหมาะสมกับอาหารที่มีความเป็นกลางและผ่านอุณหภูมิสูงได้ เช่น ไข่กรอกเฟรนช์เฟอเตอร์ เนื้อชิ้นรูป แต่หากต้องการใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดหรือไม่ต้องผ่านความร้อน เช่น ไข่กรอกหมักหรือแฮม ควรใช้ WMG หรือ AMG
3. ควรมีการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค เนื่องจากการลดปริมาณเกลือลง อาจส่งผลกระทบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้
4. จากคุณสมบัติของกัมสำรองที่เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและทำให้เนื้อสัมผัสมีความนุ่มขึ้น ดังนั้นอาจมีการประยุกต์ใช้กัมสำรองร่วมกับเนื้อคุณภาพต่ำ เช่น เนื้อที่ติดเอ็น ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำและความนุ่มเพิ่มสูงขึ้น
5. เนื่องจากกัมสำรองมีความสามารถในการเป็นสารด้านการเกิดออกซิเดชันที่ดี สามารถลดการเกิด WOF ในระหว่างการเก็บรักษาที่สถานะแช่เย็นได้ การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารด้านการเกิดออกซิเดชันในสถานะแช่แข็ง จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ขวัญสุตา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2547. การใช้โคโคซานโอลิโกเมอร์ในผลิตภัณฑ์เนื้อกวางขึ้นรูป
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2543. สมุนไพร ไม้พื้นบ้าน พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท
ประชาชน, กรุงเทพฯ.
- ชนินันท์ ลิ้มปิยะวาลย์. 2551. ผลของโปรตีนในกัมสำรองต่อสมบัติอิมัลชัน และปริมาณกรดไขมัน
ลิก สารฟลาโวนอลและสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยณรงค์ กันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ.
- ณาวุฒิ เอี้ยวเจริญ, สัมพันธ์ วงศ์นาวา, ภูซงค์ วรรณานุรักษ์ และ มาลินี วงศ์นาวา. 2553. การ
เกิดปฏิกิริยาของแมงกานีส(II) ไอออนกับผลสำรอง. แหล่งที่มา: [http://www.scisoc.or.th/
stt/36/sec_c/paper/STT36_C2_C0060.pdf](http://www.scisoc.or.th/stt/36/sec_c/paper/STT36_C2_C0060.pdf), 20 มีนาคม 2555.
- ธวัชชัย ศุภวิทิตพัฒนา. 2537. การใช้ไข่ขาวผงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุชนาฏ กิจเจริญ. 2549. อาหารสมุนไพรระยะบาย: เส้นใยอาหาร. ว.ไทยเภสัชศาสตร์และ
วิทยาการสุขภาพ. 1: 153-158.
- นันทโรจน์ เชื้อนแก้ว. 2535. ผลของไขมันวัวและสารกันหืนต่อคุณภาพของเนื้อขึ้นรูป
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- น้ำฝน ปิยะตระกูล. มปป. นำสำรองลดความอ้วนได้จริงหรือ. แหล่งที่มา: [http://www.pharmacy.
cmu.ac.th/dic/newsletter/newpdf/newsletter10_3/sumrong.pdf](http://www.pharmacy.cmu.ac.th/dic/newsletter/newpdf/newsletter10_3/sumrong.pdf), 10 กันยายน 2553.

ประกาศรี เทพรักษา, นณิน อ่อนหวาน และ อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์. 2549. การใช้ลูกสำรองทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมูยอ. **อาหาร** 36: 238-246.

พงษ์ศักดิ์ พลเสนา. 2550. **คู่มือจำแนกความแตกต่างระหว่างสำรองกับสำรองกะโหลก**. พิมพ์ครั้งที่

1. สวนพฤกษศาสตร์ภาคตะวันออก (เขาหินซ้อน). ฉะเชิงเทรา.

เพ็ญพิชญา เตียว. 2550. **วิจัยผลิตภัณฑ์หมากจอบ เป็นเวชภัณฑ์ปรับภูมิคุ้มกันร่างกาย** แหล่งที่มา:

http://news.cedis.or.th/detail.php?id=3770&lang=en&group_id=1, 20 มีนาคม 2555.

มณูชฎา กลิ่นสุคนธ์. 2552. **ผลของวิธีสกัดต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติต้านรีโอไลย์ของกัมจากเมล็ดสำรอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

_____, พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล และ ญัฐฐา เล่าหกุลจิตต์. 2552. การสกัดและองค์ประกอบทางเคมีของกัมจากเมล็ดสำรอง. **ว. วิทย. กษ.** 40(3) (พิเศษ): 333-336.

มานิชญ์ ภูลพุกภัย. 2553. ชีววิทยาของดอกสำรอง. **ว. วิทยาศาสตร์บูรพา**. 15: 42-52.

รัตติยา วีระนิตินันท์. 2548. **ผลทางคลินิกของการบริโภคน้ำลูกสำรองในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่โรงพยาบาลสองพี่น้อง จังหวัดจันทบุรี**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลำพึง พุ่มจันทร์, กิรณา ด้านสุนทรวงศ์, ฐาปนี สงวนชนวิทย์, พรทิพย์ วรศิลป์ และ วรรณดา ตั้งเจริญชัย. 2551. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่รสกระเจียบจากลูกสำรอง**. แหล่งที่มา:

http://www.scisoc.or.th/stt/34/sec_h/paper/STT34_H_H0050.pdf, 20 มีนาคม 2555.

วรัญญา สุกมิตร, ภาวิณี ภูศรี และ ปริญดา เพ็ญโรจน์. 2548. **การศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาของกัมผงจากผลสำรอง**. แหล่งที่มา: http://www.irpus.org/project_file/2548_2006-08-25_I4803052.pdf, 15 มีนาคม 2555.

ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2551. **สถิติการนำเข้าส่งออก สัตว์ปีกปี 2551**. แหล่งที่มา:
http://www.dld.go.th/ict/stat_web/yearly/yearly51/imex51.html, 18 มิถุนายน 2555.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ ปี 2553-2554**. แหล่งที่มา:
<http://www.oae.go.th/download/journal/trade-eco54.pdf>, 11 กันยายน 2555.

สุภาภรณ์ ปิติพร. 2550. **สำรวจ. หมอชาวบ้าน**. 335: 18-22.

อุลิสสัน พาศิทธิพาฬ, รัตนชดา เอี่ยมกล้า และ ดุลยา จันทร์ศิริ. 2552. การใช้วุ้นสำรวจทดแทนไขมันในเค้กบราวนี่. **ว.วิทย์. กษ.** 40: 397-400.

เอี่ยมพร วิสมหมาย. 2547. **ไม้ป่ายืนต้น**. โรงพิมพ์เอช เอ็น กรุป. กรุงเทพมหานคร.

Acton, J.C. 1972. Effect of heat processing on extractability of salt soluble protein, binding strength and cooking loss in poultry meat loaves. **J. Food Sci.** 37: 24-27.

Ahn, J., I.U. Grün and L.N. Fernando. 2002. Antioxidant properties of natural plant extracts containing polyphenolic compounds in cooked ground beef. **J. Food Sci.** 67: 1364-1369.

Allais, I. 2010. Emulsification, pp. 143-168. In T. Fidel, ed. **Handbook of Meat Processing**. Blackwell publishing, USA.

Alting, A.C., R.J. Hamer, C.G. de Kruif, M. Paques and R.W. Visschers. 2003. Number of thiol groups rather than the size of the aggregates determines the hardness of cold-set whey protein gels. **Food Hydrocolloid.** 17: 469-479.

Andrès, S., N. Zaritzky and A. Califano. 2006. The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages. **Int. J. Food Sci. Technol.** 41: 954-961.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 17th ed.

Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.

Barbut, S. and P. Somboonpanyakul. 2007. Effect of crude malva nut gum and phosphate on yield, texture, color, and microstructure of emulsified chicken meat batter. **Poultry Sci.** 86: 1440-1445.

_____, _____, M. Quinton and A. Smith. 2009. Effect of malva nut gum (purified and crude), sodium chloride and phosphate on cooking, texture, colour, rheology and microstructure of different chicken meat batters. **British Poultry Sci.** 50: 83-94.

Baublits, R.T., F.W. Pohlman, A.H. Brown, E.J. Yancey and Z.B. Johnson. 2006. Impact of muscle type and sodium chloride concentration on the quality, sensory, and instrumental color characteristics of solution enhanced whole-muscle beef. **Meat Sci.** 72: 704-712.

Belitz, H.D., W. Grosch and P. Schieberle. 2009. **Food Chemistry**. 4th ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

BeMiller, J. N. and R. L. Whistler. 1996. Carbohydrates, pp. 157-224. In O.R. Fennema, ed. **Food chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc. New York.

Benhura, M.A.N. and C. Chidewe. 2011. Characterization of the polysaccharide material that is isolated from the fruit of *Cordia abyssinica*. **Afr. J. Biol. Chem. Res.** 5: 95-101.

Bernal, V.M. and D.W. Stanley. 1989. Technical note: Methylcellulose as a binder for reformed beef. **Int. J. Food Sci. Technol.** 24: 461-464.

Berry, B.W. 1994. Fat level, high temperature cooking and degree of doneness affect sensory, chemical and physical properties of beef patties. **J. Food Sci.** 59, 10-14.

- Bhat, U.R. and R.N. Tharanathan. 1986. Fractionation of okra mucilage and structural investigation of an acidic polysaccharide. **Carbohydr. Res.** 148:143-147.
- Boles, J.A. and P.J. Shand. 1998. Effect of comminution method and raw binder system restructured beef. **Meat Sci.** 49: 297-307.
- Booren, A.M. and R.W. Mandigo. 1987. Fundamentals of production, pp. 351-382. In A.M. Pearson and T.R. Dutson, eds. **Advance in Meat Research Volume 3: Restructured Meat and Poultry Products**. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- _____, _____, D.G. Olson and K.W. Jones. 1981. Effect of muscle type and mixing time on sectioned and formed beef. **J. Food Sci.** 46: 1665-1672.
- Bourne, M. C. 2002. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2nd ed. Academic Press. USA.
- Bryant, C.M. and D.J. McClements. 1998. Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey. **Trends Food Sci. Tech.** 9: 143-151.
- Caine, W.R., J.L. Aalhus, D.R. Best, M.E.R. Dugan and L.E. Jeremiah. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. **Meat Sci.** 64: 333-339.
- Cassab, G. I. 1998. Plant cell wall proteins. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 49: 281-309.
- Che, L., D. Li., W. Li-jun., N. Özkan, X. D. Chen and Z. Mao. 2008. Rheological properties of dilute aqueous solutions of cassava starch. **Carbohydr. Polym.** 74: 385-389.

- Chen, H.H., S.Y. Xu and Z. Wang. 2006. Gelation properties of flaxseed gum. **J. Food En.** 77: 295–303.
- Chen, R.H. and W.Y. Chen. 2001. Rheological properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidum*. **J. Appl. Biol.** 13: 481-488.
- Christensen, B.E., O. Smidsrød, A. Elgsaeter and B. T. Stokket. 1993. Depolymerization of double-stranded xanthan by acid hydrolysis: characterization of partially degraded double strands and single-stranded oligomers released from the ordered structures. **Macromol.** 26: 6111-6120.
- Clarke, A.D., I.N. Sofos and G.R. Schmat. 1988. Influence of varying pH and algin/calcium binders on selected physical and sensory characteristics of structured beef. **J Food Sci.** 53: 1266–1269, 1277.
- Comer, F.W. and P. Allan-Wojtas. 1988. Functional and microstructural effects of fillers in comminuted meat products. **Food Microstructure** 7: 25–46.
- Daubert, C.R. and E.A. Foegeding. 1998. Rheological principles for food analysis, pp 551-570. In S.S. Nielsen, ed. **Food Analysis**. 2nd ed. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.
- De Jong G.A.H. and S.J. Koppelman. 2002. Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications. **J. Food Sci.** 67: 2798- 2806.
- Desmond, E. 2006. Reducing salt: A challenge for the meat industry. **Meat Sci.** 74: 188–196.
- Cited R. Hamm. 1986. Functional properties of the myofibrillar system, pp 135-200. In P.J. Bechtel, ed. **Muscle as Food**. Academic Press, New York.
- Devatkal, D. and S.K. Mendiratta. 2001. Use of calcium lactate with salt-phosphate and alginate-calcium gels in restructure pork roll. **Meat Sci.** 58: 371-379.

- Dimitrakopoulou, M.A., J.A. Ambrosiadis, F.K. Zetou and J.G. Bloukas. 2005. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. **Meat Sci.** 70: 743–749.
- Eddy, O.N., P.O. Ameh, C.E. Gimba and E.E. Ebenso. 2013. Rheological modeling and characterization of *Ficus platyphylla* gum exudates. **Journal of Chemistry**. 2013: 1-10.
- Feiner, G. 2006. **Meat Products Handbook Practical Science and Technology**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Fennema, O.R. 1996. Water and Ice, pp. 17-94. In O.R. Fennema, ed. **Food Chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Fernández, J., J A. Pérez-Álvarez and J.A. Fernández-Lópezb. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food Chem.** 59: 345-353.
- Foegeding, E.A. and T.C. Lanier. 1988. Rheological and water-holding properties of gelled meat batters containing iota carageenan, kappa carageenan or xanthan gum. **J. Food Sci.** 52: 549-553.
- _____ and S.R. Ramsey. 1986. Effect of gums on lowfat meat batters. **J. Food Sci.** 51: 33–36, 46.
- Fry, S. C. 2011. Cell wall polysaccharide composition and covalent crosslinking. **Annu. Plant Rev.** 41: 1-42.
- Gah, D.J. and S.J. Koppelman. 2002. Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications. **J. Food Sci.** 67: 2798–806.

- Ganhão, Rui., D. Morcuende and M. Estévez. 2010. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. **Meat Sci.** 85: 402-409.
- Gillett, T.A., D.E. Meiburg, C.L. Brown and D. Dimon. 1977. Parameter affecting meat product extraction and interpretation of model system data for meat emulsion formation. **J. Food Sci.** 42: 1606-1618.
- Goodrum, L.J., A. Patel, J.F. Leykam and M.J. Kieliszewski. 2000. Gum arabic glycoprotein contains glycomodules of both extension and arabinogalactan-glycoproteins. **Phytochemistry** 54: 99-106.
- Gordon, A., and S. Barbut. 1992a. Mechanisms of meat batter stabilization: A review. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 4: 299-332.
- _____. 1992b. Effect of chloride salts on protein extraction and interfacial protein film formation in meat batters. **J. Sci. Food Agri.** 58: 227-238.
- Gray, J.I., E.A. Gomaa and D.J. Buckley. 1996. Oxidation quality and shelf life of meats. **Meat Sci.** 43: 111-123.
- Gray, J.I., and A.M. Pearson. 1987. Rancidity warmed over flavour, pp. 221-269. In A.M. Pearson and T.R. Dutson, eds. **Advance in Meat Research Volume 3: Restructured Meat and Poultry Products.** Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Greene, B.E. and T.H. Cumuze. 1982. Relationship between TBA numbers and inexperienced panelists assessments of oxidized flavour in cooked beef. **J. Food Sci.** 47: 52-54, 58.
- Han, D., K.W. McMillon, J.S. Godbor, T.D. Binder, M.T. Younathan D.L. Marshall and L.T. Hart. 1993. Iron distribution in heated beef and chicken muscles. **J. Food Sci.** 4: 697-700.

- Harris, P.J. and Smith B.G. 2006. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products. **Int. J. Food Sci. Technol.** 41: 129–143.
- Higiro J., T.J. Herald, S. Alavi and S. Bean. 2007. Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution: Effect of salt. **Food Res. Int.** 40: 435–447.
- Hongsprabhas, P and S. Barbut. 1999. Effect of pre-heated whey protein level and salt on texture development of poultry meat batters. **Food Res. Int.** 32: 145–149.
- Honikel, K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Sci.** 49: 447–457.
- Hsu, S.Y. and H.-Y. Chung. 1999. Comparisons of 13 edible gum-hydrate fat substitutes for low fat Kung-wan (an emulsified meatball). **J. Food Eng.** 40: 279–285.
- Huffman, D.L. 1980. **Process for production of a restructured fresh meat product.** U.S. Patent 4,210,677.
- _____. 1981. **Process for production of a restructured fresh meat product.** U.S. Patent 4,258,068.
- Hughes, E., S. Cordes and D.J. Troy. 1997. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. **Meat Sci.** 45: 273–281.
- Idris, O.H.M. and G.M. Haddad. 2012. Gum Arabic's (Gum acacia's) journey from tree to end user, pp 3-17. *In* J.F. Kennedy, G.O. Philips and P.A. Williams, eds. **Gum Arabic.** RSCPublishing, Cambridge.
- John, J.S. 1987. Restructured Meats-The Past and Present, pp. 1-19. *In* A.M. Pearson and T.R. Dutson, eds. **Advances in Meat Research: Vol 3. Restructured Meat and Poultry Products.** Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Josè-Estanyol, M. and P. Puigdomènech. 2000. Plant cell wall glycoproteins and their genes.

Plant Physiol. Biochem. 38: 97-108.

Kar, F. and A. Arslan. 1999a. Effect of temperature and concentration on viscosity of orange peel pectin solutions and intrinsic viscosity-molecular weight relationship. **Carbohydr.**

Polym. 40: 277-284.

_____ and _____. 1999b. Characterization of orange peel pectin and effect of sugars, l-ascorbic acid, ammonium persulfate, salts on viscosity of orange peel pectin solutions.

Carbohydr. Polym. 40: 285–291.

Kilara, A. and M.N. Vaghela. 2004. Whey proteins, pp 72-99. In R.Y. Yada, ed. **Proteins in Food Processing**. Woodhead Publishing, Philadelphia.

Knock, R.C., M. Seyfert, M.C. Hunt, M.E. Dikeman, R.A. Mancini, J.A. Unruh, J.J. Higgins and R.A. Monderen. 2006. Effects of potassium lactate, sodium chloride, sodium tripolyphosphate, and sodium acetate on colour, colour stability and oxidative properties of injection-enhanced beef rib steaks. **Meat Sci.** 74: 312–318.

Koocheki, A., S.A. Mortazavi, F. Shahidi, S.M.A. Razavi and A.R. Taherian. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. **J. Food Eng.** 91: 490–496.

Kreuger, M. and G.J. Hoist. 1996. Mini-review: Arabinogalactan proteins and plant differentiation. **Plant Mol. Biol.** 30: 1077-1086.

Kulicke, W. and C. Clasen. 2004. **Viscosimetry of Polymers and Polyelectrolytes**. Springer Laboratory, Germany.

- Kumar, M. and B.D. Sharma. 2004. The storage stability and textural, physico-chemical and sensory quality of low-fat ground pork patties with carrageenan as fat replacer. **Int. J. Food Sci. Technol.** 39: 31–42.
- Lipponen, J., J. Grön, S.E. Bruun and T. Laine. 2003. Surface sizing with starch solutions at solids contents up to 30%. **Professional Papermaking** 1: 55-59.
- Long, N.H.B.S., R. Gál and F. Bunka. 2011. Use of phosphates in meat products. **Afr. J. of Biotechnol.** 10: 19874-19882.
- Lu, G.H. and T.C. Chen. 1999. Application of egg white and plasma powders as muscle food binding agents. **J. Food Eng.** 42: 147-151.
- Lurueña-Martínez, M.A., A.M. Vivar-Quintana and I. Revilla. 2004. Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. **Meat Sci.** 68:383–389.
- Mandigo, R.W. 1986. Restructured muscle foods, texturizing processes for engineered foods. **Food Tech.** 40: 85-91.
- Marcotte M., A.R.T. Hoshahili and H.S. Ramaswamy. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Res. Int.** 34: 695–703.
- Martin, M. 2001. Meat curing technology, pp. 468-495. *In* Y.H. Hui, W.K. Nip, R.W. Rogers and O.A. Young, eds. **Meat Science and Application**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Masuelli, M. A. 2011. Viscometric study of pectin. Effect of temperature on the hydrodynamic properties. **Int. J. Biol. Macromol.** 48: 286–291.

- Matthews, K. and M. Strong. 2005. Salt - its role in meat products and the industry's action plan to reduce it. **British Nutrition Foundation**. 30:55-61.
- Means, W.J., A.D. Clarke, A.D. Sofos and G.R. Schmidt. 1987. Binding, sensory, and storage properties of algin/calcium structured beef steaks. **J. Food Sci.** 52: 252-256.
- Means, W.J. and G.R. Schmidt. 1986. Algin/calcium gel as a raw and cooked binder in structured beef steaks. **J. Food Sci.** 51: 60-65.
- _____ and _____. 1987. Restructuring fresh meat without the use of salt or phosphate, pp. 469-488. In A.M. Pearson and T.R. Dutson, eds. **Advance in Meat Research Volume 3: Restructured Meat and Poultry Products**. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Medina-Torres, L., E. Brito-De La Fuente, B. Torrestiana-Sanchez and R. Kattthain. 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). **Food Hydrocolloid** 14: 417-424.
- Mesbahi, G., J. Jamalian and A. Farahnaky. 2005. A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. **Food Hydrocolloid** 19: 731-738.
- Min, B. and B.W. Green. 2008. Use of Microbial transglutaminase and nonmeat proteins to improve functional properties of low NaCl, phosphate-free patties made from Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) belly flapmeat. **J. Food Sci.** 73: 218-226.
- _____, J.C. Orday and D.U. Ahn. 2010. Effect of NaCl, myoglobin, Fe(II), and Fe(III) on lipid Oxidation of raw and cooked chicken breast and beef loin. **J. Agric. Food Chem.** 58: 600-605.
- Mittal, G.S. and S. Barbut. 1993a. Effects of various cellulose gums on the quality parameters of low-fat breakfast sausages. **Meat Sci.** 35: 93-103.

- Mittal, G.S. and S. Barbut. 1994b. Effects of carrageenans and xanthan gum on the texture and acceptability of low fat frankfurters. **J. Food Process. Preserv.** 18: 201–216.
- Miyamoto, A. and K. C. Chang. 1992. Extraction and physicochemical characterization of pectin from sunflower head residues. **J. Food Sci.** 57: 1439–1443.
- Moiseev, I.V. and D.P. Cornforth. 1997. Sodium hydroxide and sodium tripolyphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. **Meat Sci.** 45: 53–60.
- Montero, P., J. L. Hurtado and M. Pérez-Mateos. 2000. Microstructural behavior and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. **Food Hydrocolloid** 14: 455–461.
- Mothé, C.G. and M.A. Rao. 1999. Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: effect of concentration and blending. **Food Hydrocolloid.** 13: 501–506.
- Murphy, R.Y. and B.P. Marks. 2000. Effect of meat temperature on proteins, texture, and cook loss for ground chicken breast patties. **Poult. Sci.** 79: 99–104.
- Nielsen, G.R., B.R. Pedersen, and A.J. Møller. 1995. Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a transglutaminase (FXIIIa) on the texture of restructured meat. **Meat Sci.** 41: 293–299.
- Offer, G. and J. Trinick. 1983. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. **Meat Sci.** 8: 245–281.
- Onweluzo, J.C., Z.A. Obanu and M.C. Okwandu. 2004. Potentials of gum from *Detarium microcarpum* (DM) and *Mucuna flagellipe* (MF) seeds as raw beef burger stabilizers. **Plant Food Hum Nutr.** 59: 137–141.

- Palanuvej, C., S. Hokputsa, T. Tunsaringkarn and N. Ruangrunsi. 2009. *In vitro* glucose entrapment and alpha-glucosidase inhibition of mucilaginous substances from selected thai medicinal plants. **Sci Pharm.** 77: 837–849.
- Pan, Z. and R. Paul Singh. 2001. Physical and thermal properties of ground beef during cooking. **LWT.** 34: 437-444.
- Paula, R.C.M., S.A. Santana and J.F. Rodrigues. 2001. Composition and rheological properties of Albizia lebbeck gum exudates. **Carbohydr. Polym.** 44: 133-139.
- Pearson, A. M. and T. A. Gillet. 1996. **Processed Meats.** 3rd ed. Aspen publication. Maryland.
- Phimolsiripol, Y., U. Siripatrawan and C.J.K. Henry. 2011. Pasting behaviour, textural properties and freeze–thaw stability of wheat flour–crude malva nut (*Scaphium scaphigerum*) gum system. **J. Food Eng.** 105: 557–562.
- Pietrasik, Z. and A. Jarmoluk. 2003. Effect of sodium caseinate and k-carrageenan on binding and textural properties of pork muscle gels enhanced by microbial transglutaminase addition. **Food Res. Int.** 36: 285–294.
- _____ and E.C.Y.Li-Chan. 2002. Binding and textural properties of beef gels as affected by protein, κ -carrageenan and microbial transglutaminase addition. **Food Res. Int.** 35: 91-98.
- _____ and J.A.M. Janz. 2009. Influence of freezing and thawing on the hydration characteristics, quality and consumer acceptance of whole muscle beef injected with solutions of salt and phosphate. **Meat Sci.** 81: 523–532.
- Ponder, G.R. and G.N. Richards. 1997. Arabinogalactan from Western larch, Part III: alkaline degradation revisited, with novel conclusions on molecular structure. **Carbohydr. Polym.** 34: 251-261.

- Prestat, C., J. Jensen, F.K. McKeith and M.S. Brewer. 2002. Cooking method and endpoint temperature effects on sensory and color characteristics of pumped pork loin chops. **Meat Sci.** 60: 395–400.
- Ramirez, J., R. Uresti, S. Tellez and M. Vazquez. 2002. Using salt and microbial transglutaminase as binding agents in restructured fish products resembling hams. **J. Food Sci.** 67: 1778-1784.
- Reihani, S.F.S., T. Tan, N. Huda and A. M. Easa. 2014. Frozen storage stability of beef patties incorporated with extracts from ulam raja leaves (*Cosmos caudatus*). **Food Chem.** 155: 7-23.
- Rhee, K.S. and Y.A. Ziprin. 2001. Pro-oxidant effects of NaCl in microbial growth-controlled and uncontrolled beef and chicken. **Meat Sci.** 57: 105–112.
- Ruusunen, M. and E. Puolanne. 2005. Review: Reducing sodium intake from meat products. **Meat Sci.** 70: 531–541.
- Seideman, S.C. and P.R. Durland. 1983. Restructured red meat products: in review. **Journal of Food Quality** 6: 81-101.
- Seifert, G.J. and K. Roberts. 2007. The biology of arabinogalactan proteins. **Annu. Rev. Plant Biol.** 58:137–161.
- Shahidi, F. and M. Naczki. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals**. CRC Press, Florida. USA.
- Shao, C.H., J.S. Avens, G.R. Schmidt and J.A. Maga. 1999. Functional, sensory, and microbiological properties of restructured beef and emu steaks. **J. Food Sci.** 64: 1052–1054.

- Sheard, P. 2002. Processing and quality control of restructured meat. *In* J. Kerry, J. Kerry and D. Ledward. Eds. **Meat Processing Improving Quality**. Woodhead Publishing Limited, England.
- Showalter, A.M. 2001. Arabinogalactan-proteins: structure, expression and function. **Cell. Mol. Life Sci.** 58: 1399–1417.
- Siddiqui, A. and S. Nazzal. 2007. Measurement of surface color as an expedient QC method for the detection of deviations in tablet hardness. **Int. J. Pharm.** 341: 173–180.
- Siegel, D.G., K.E Church, G.R. Schmidt. 1979. Gel structure of non meat protein as related to their ability to bind meat pieces. **J. Food Sci.** 44: 126-179.
- Singthong, J., M. Ounthuang, K. Chommala and C. Thongkaew. 2007. **Extraction and functional properties of malva nut extract**. Food Innovation Asia 2007 “Q” Food for Good Life, BITEC, Bangna, Bangkok, 14-15 June 2007.
- Sofos, N.J. 1986. Use of phosphates in low-sodium meat products. **Food Tech.** 40: 53–63.
- Somboonpanyakul, P., S. Barbut, P. Jantawat, and N. Chinprahast. 2007. Textural and sensory quality of poultry meat batter containing malva nut gum, salt and phosphate. **LWT.** 40: 498-505.
- _____, _____, _____, Q. Wang and W. Cui. 2006a. Malva nut gum (Part I): Extraction and physicochemical characterization. **Carbohydr. Polym.** 64: 247-253.
- _____, _____, _____, _____ and _____. 2006b. Solution characteristics of malva nut gum extracted under alkaline conditions, pp 124-134. *In* P.A. Williams and G.O. Phillips, eds. **Gum and Stabilisers for the Food Industry**. RSC Publishing, London.

- Spiridon, I. and V.I. Popa. 2005. Hemicellulose: structure and properties, pp. 475-489. *In* S. Dumitriu, eds. **Polysaccharides Structural Diversity and Functional Versatility**. Marcel Dekker, New York.
- Srichamroen, A. 2007. Influence of temperature and salt on viscosity property of Guar Gum. **Naresuan University Journal**. 15: 55-62.
- Srichamroen, A. and V. Chavasit. 2011. Rheological properties of extracted malva nut gum (*Scaphium scaphigerum*) in different conditions of solvent. **Food Hydrocolloid** 25: 444-450.
- Sudjaroen, Y. 2008. Antihypertensive and antioxidant activities of methanol extract from malva nut (*Scaphium scaphigerum*). **The Public Health Journal of Burapha University** 3(1): 24-28.
- Sun, J., X. Li, X. Xu and G. Zhou. 2011. Influence of various levels of flaxseed gum addition on the water holding capacities of heat-induced porcine myofibrillar protein. **J. Food Sci.** 76: 472-478.
- Sun, R., J.M. Lawther and W.B. Banks. 1995. Influence of alkaline pre-treatments on the cell wall components wheat straw. **Industrial Crops and Products** 4: 127-145.
- Theno, D.M., D.G. Siegel and G.R. Schmidt. 1978. Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the microstructure of binding junctions in sections and firmed hams. **J. Food Sci.** 43: 493-498.
- Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins implications on structure and quality of meat products. **Meat Sci.** 70: 493-508.
- Trius, A., J.G. Sebranek, R.E. Rust and J.M. Carr. 1994. Carrageenans in beaker sausage as affected by pH and sodium tripolyphosphate. **J. Food Sci.** 59: 946-951.

- Trout, G.R. 1989. Color and bind strength of restructured pork chops: Effect of calcium carbonate and sodium alginate concentration. **J. Food Sci.** 54: 1466-1475.
- _____ and G.R. Schmidt. 1987. Nonprotein Additives, pp 307-312. *In* A.M. Pearson and T.R. Dutson, eds. **Advances in Meat Research: Vol 3. Restructured Meat and Poultry Products.** Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Trout, G.R. and S. Dale. 1990. Prevention of warmed-over flavor in cooked beef: Effect of phosphate type, phosphate concentration, a lemon juice/phosphate blend and beefnextract. **J. Agric. Food Chem.** 38:665-669.
- Ulu, H. 2006. Effects of carrageenan and guar gum on the cooking and textual properties of low fat meatballs. **Food Chem.** 95: 600–605.
- Walsh, D.J., D. Cleary, E. McCarthy, S. Murphy and R.J. FitzGerald. 2003. Modification of the nitrogen solubility properties of soy protein isolate following, proteolysis and transglutaminase cross-linking. **Food Res. Int.** 36: 677-683.
- Wang, F., Y. J. Wang and Z. Sun. 2002. Conformational role of xanthan in its interaction with locust bean gum. **J. Food Sci.** 67: 2609–2614.
- Wang, R.F., X-W. Yanga., C-M. Maa., M-Y. Shanga., J-Y. Lianga., X. Wanga, S-Q. Caia and Y. Shoyama. 2003. Alkaloids from the seeds of *Sterculia lychnophora* (Pangdahai) **Phytochem.** 63: 475–478.
- Weiss, J., M. Gibis, V. Schuh and H. Salminen. 2010. Review: Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. **Meat Sci.** 86: 196–213.
- Whistler, R.L. and J.N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate chemistry for food scientists.** Eagan press. Minnesota.press, Minnesota.

- Wong, D.W.S. 1989. **Mechanism and theory in food chemistry**. AVI Publishing, New York.
- Woolfe, M.L., M.F. Chaplin and G. Otchere. 1977. Studies on the mucilages extracted from okra Fruits (*Hibiscus esculentus* L.) and baobab leaves (*Adansonia digitata* L.). **J. Sci. Food Agric.** 28: 519-529.
- Wrolstad, R.E., T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns. 2005. **Handbook of Food Analytical Chemistry: Water, Proteins, Enzymes, Lipids and Carbohydrates**. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Wu, Y., S. W. Cui, J. Tang and X. Gu. 2007. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited sterculia seeds by response surface methodology. **Food Chem.** 105: 1599–1605.
- Xiong, Y.L., D.C. Noel and W.G. Moody. 1999. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. **J. Food Sci.** 64: 550–554.
- Yang, L. and L. Zhang. 2009. Review: Chemical structural and chain conformational characterization of some bioactive polysaccharides isolated from natural sources. **Carbohydr. Polym.** 76: 349–361.
- Yudiant, R., M. Karina, M. Sakamoto and J. Azuma. 2009. Effects of salts on rheological behaviour of *Salvia* hydrogels. **Macromolecular Research** 17: 332-338.
- Zakaria, M.B. and Z. Rahman. 1996. Rheological properties of cashew gum. **Carbohydr. Polym.** 29: 25-27.

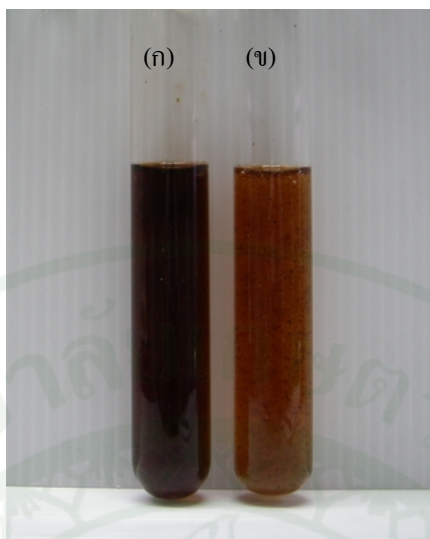
Zhang, L.M., J.F. Zhou and P.S. Hui. 2005. A comparative study on viscosity behavior of water-soluble chemically modified guar gum derivatives with different functional lateral groups. **J. Sci. Food Agric.** 85: 2638-2644.



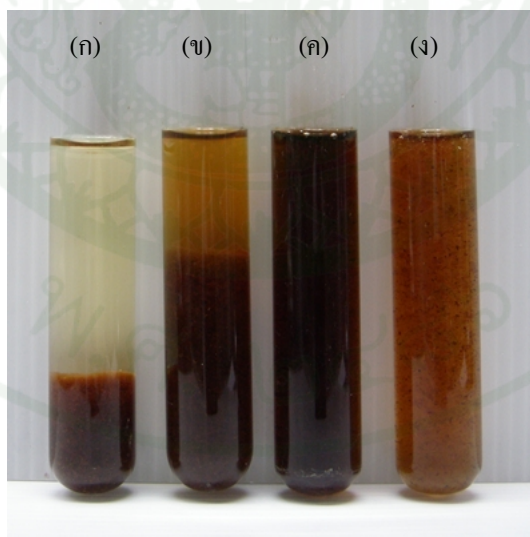




ภาคผนวก ก
การเตรียมกัมจากพงสํารอง



ภาพผนวกที่ ก1 การเตรียมกัมสารจากผงสารธรรมชาติ (malva nut powder gum: MG) โดยนำผงสารละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ และทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น (ก) แล้วทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ (ข)



ภาพผนวกที่ ก2 การเตรียมกัมสารจากสารผงที่ผ่านการล้างด้วยกรด (acid treatment malva nut gum: AMG) โดยนำผงสารละลายใน HCl 0.02 M (ก) ปรับ pH ให้เป็น 6 ด้วย NaOH 2 M (ข) ละลายใน NaOH ให้มีความเข้มข้น 0.05 M และทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น (ค) แล้วทำการปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วย HCl 2 M (ง)



ภาคผนวก ข
การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ในช่วง pH 3-10 เพื่อใช้ในการศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมจากสำโรง

ข1. การเตรียมสารละลาย citric acid-sodium citrate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, pH 3.0-6.0

ผสมสารละลาย citric acid monohydrate ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (x มิลลิลิตร) กับ สารละลาย trisodium citrate dehydrate ($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (y มิลลิลิตร) ในสัดส่วนตามตารางผนวกที่ ข1 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร

ตารางผนวกที่ ข1 การเตรียมสารละลาย citric acid-sodium citrate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

pH	x ml 0.1 M citric acid	y ml 0.1M trisodium citrate
3.0	82.0	18.0
4.0	59.0	41.0
5.0	35.0	65.0
6.0	11.5	88.5

ข2. การเตรียมสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, pH 7.0-8.0

ผสมสารละลาย disodium hydrogen phosphate dodecahydrate ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (x มิลลิลิตร) กับ สารละลาย sodium hydrogen phosphate monohydrate ($NaH_2PO_4 \cdot H_2O$) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (y มิลลิลิตร) ในสัดส่วนตามตารางผนวกที่ ข2 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร

ตารางผนวกที่ ข2 การเตรียมสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

pH	x ml 0.2 M Na_2HPO_4	y ml 0.2M NaH_2PO_4
7.0	30.5	19.5
8.0	47.35	2.65

ข3. การเตรียมสารละลาย sodium carbonate-sodium bicarbonate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, pH 9.0-10.0

ผสมสารละลาย sodium carbonate (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (x มิลลิลิตร) กับ สารละลาย sodium bicarbonate (NaHCO_3) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (y มิลลิลิตร) ในสัดส่วนตาม ตารางผนวกที่ ข3 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร

ตารางผนวกที่ ข3 การเตรียมสารละลาย sodium carbonate-sodium bicarbonate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

pH	x ml 0.1 M Na_2CO_3	y ml 0.1 M NaHCO_3
9.0	10	90
10.0	60	40



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี

ค1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

ค1.1 ออบาชนะสำหรับหาความชื้น (moisture can) ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออก จากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

ค1.2 ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้น ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างที่อบแล้ว จากนั้นนำเข้าตู้อบอีกครั้งนานประมาณ 1 ชั่วโมง และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม คำนวณร้อยละปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}-\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ค2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

ค2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1 กรัม ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไนโตรเจนใส่ลงในหลอดย่อย และใช้กระดาษกรองเปล่าเป็น blank

ค2.2 ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต (อัตราส่วน 0.5:10) 10 กรัม รวมทั้งลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2-3 เม็ด และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร

ค2.3 วางหลอดย่อยในเตาย่อย แล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ค้าง และเครื่องจับไอกรด เปิดสวิตช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย ทำการย่อยนานประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนได้สารละลายใส

ค2.4 หลังจากสารละลายเย็นแล้ว ต่อดูดซับเข้ากับเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 95 มิลลิลิตร รองรับของเหลวที่กลั่นด้วยขวดรูปชมพู่ที่บรรจุกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างโบรโมครีซอลกรีน และเมทิลเรด 3 หยด (สารละลายสีชมพูอ่อน) ระยะเวลาการกลั่นประมาณ 5 นาที

ค2.5 เมื่อสิ้นสุดการกลั่น (ได้สารละลายสีฟ้าหรือเขียว) ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N (ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนจากการ standardize

ด้วยโซเดียมคาร์บอเนตที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว) ไตรเทรทอนได้สารละลายสีชมพูอ่อนอีกครั้ง แล้วคำนวณร้อยละปริมาณโปรตีนดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N \times 14.007 \times 100}{W}$$

$$\text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} = \text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ A คือ ปริมาณสารละลายกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณสารละลายกรดที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรด (นอร์มัล)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ค3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

ค3.1 เฝ้ายกกระเบื้องเคลือบ (crucible) ในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา รอประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาตกลง จึงนำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

ค3.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาด้วยตะเกียงเบนเสนในตู้ดูดควันจนหมดควัน

ค3.3 นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผาใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม คำนวณร้อยละปริมาณเถ้าดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังเผาของถ้วยที่มีตัวอย่าง}-\text{น้ำหนักถ้วยเปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ค4. การวัดสี (Siddiqui and Nazzal, 2007)

การวิเคราะห์ค่าสีของกัมสำรองและเนื้อหมูขึ้นรูป ใช้การวิเคราะห์ค่าในระบบ CIE โดยทำการวัดค่า L^* , a^* , b^* , C^* และ h^* ด้วย Minolta spectrophotometer 3500 d

CIE ย่อมาจาก “Commission Internationale de l'Eclairage” หรือในภาษาอังกฤษคือ “International Commission on Illumination” ระบบ CIE มีความถูกต้องสูง จึงใช้เป็นโมเดลสี (color model) และทฤษฎีเชิงปริมาณในการวัดค่าสี (quantitative methods for color measurement) ค่า L^* , a^* , b^* จะแสดงในระนาบ Z, X, Y ในแผนภาพ 3 มิติของระบบ CIE ตามลำดับ ดังภาพผนวกที่ ค1

ค่า L^* ในระนาบ Z แสดงถึงความสว่าง (lightness) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยค่า 0 หมายถึงไม่มีความสว่างเลย (ดำสมบูรณ์, absolute black) ซึ่งจะอยู่ที่ปลายล่างสุดของแกน หมายถึงวัตถุนั้นไม่สะท้อนแสงหรือดูดซึมแสงได้อย่างสมบูรณ์ (perfect absorber or non-reflecting object) ค่า 100 จะมีความสว่างสูงที่สุด (ขาวสมบูรณ์, absolute white) ซึ่งจะอยู่ที่ปลายบนสุดของแกน หมายถึงวัตถุนั้นสะท้อนแสงได้อย่างสมบูรณ์ (perfect reflecting object)

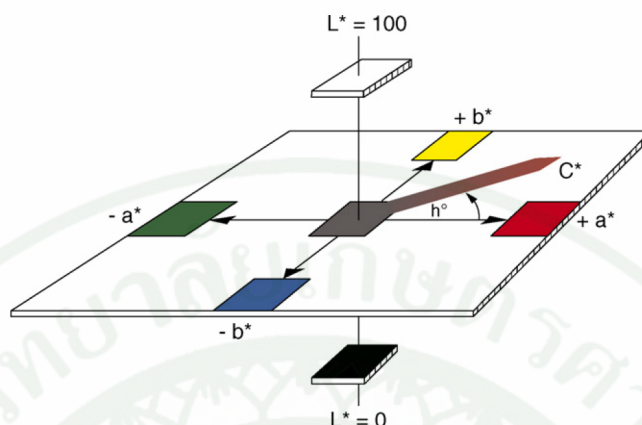
ค่า a^* และ b^* จะมีทั้งค่าบวกและลบ ค่าบวกและลบของค่า a^* จะหมายถึง สีแดงและเขียว ในขณะที่ค่า b^* จะหมายถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน ตามลำดับ ในทางทฤษฎี ไม่มีการกำหนดค่าสูงสุด-ต่ำสุดของค่า a^* และ b^* แต่ในทางปฏิบัติ จะมีค่าตัวเลขอยู่ในช่วง -128 ถึง +127

ค่า C^* แสดงถึงความอิ่มตัว/ความเข้มของสี (saturation) ณ ที่ค่าความสว่างหนึ่งๆ จะมีค่าจาก 0 ซึ่งอยู่ที่จุดกึ่งกลางของวงกลม โดยหมายถึงมีความไม่อิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (completely unsaturated) ถึง 100 หรือมากกว่าที่บริเวณขอบของวงกลม ซึ่งเป็นจุดที่ค่าสีอิ่มตัวสูงที่สุดหรือเรียกว่าเป็นจุดที่สีมีความบริสุทธิ์ (colour purity) ค่า C^* สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

h^* หมายถึงค่า Hue จะแสดงถึงสีพื้นฐาน (basic colors) เช่น เขียว แดง น้ำเงิน หรือสีที่เกิดจากการรวม 2 สีพื้นฐานเข้าด้วยกัน เช่น เหลือง เขียว ค่า hue อธิบายได้จากค่าเฉลี่ยหรือความเข้มที่สูงที่สุดของความยาวคลื่นในสเปกตรัมแสง ค่าที่วัดได้จะแสดงออกมาในรูปของ มุม หรือ องศา ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0° (แดง) 90° (เหลือง) 180° (เขียว) 270° (น้ำเงิน) และกลับมาที่ค่า 0° ค่า h^* สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h^* = \tan^{-1} b^*/a^*$$



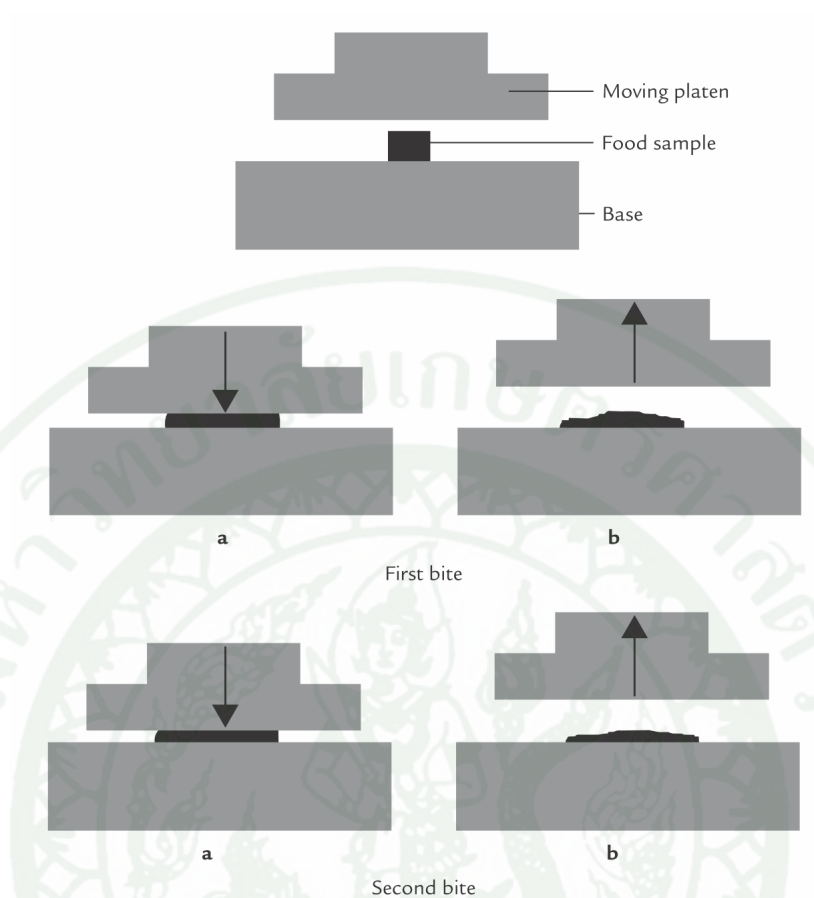
ภาพผนวกที่ ค1 ค่าสีระบบ CIE L*a*b*

ที่มา: Siddiqui and Nazzal, 2007

ค5. การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส(Texture profile analysis) (Bourne, 2002)

General Foods Corporation Technical ได้ทำการทดสอบการกด (compresses) ซินอาหาร 2 ครั้ง เพื่อจำลองการทำงานของชากรรไกร และได้ผลออกมาในรูปของกราฟแรง-เวลา คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส (textural parameters) ที่ได้จากกราฟนี้จะมีความสัมพันธ์กับการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

หลักการของ TPA แสดงดังภาพผนวกที่ ค2 ซินตัวอย่างจะถูกวางบนฐาน (baseplate) และถูกกด (compressed) และถอนขึ้น (decompressed) เป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยหัวทดสอบแบบแผ่น (plate) ที่มีขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของซินอาหาร เพื่อเป็นการจำลองการเคี้ยวของฟัน



ภาพผนวกที่ ค2 แผนภาพการกดตัวอย่าง 2 ครั้งของ texture profile analysis (a) การกดลง (downstroke actions) ในระหว่างการกัดครั้งที่ 1 และ 2 (b) การยกขึ้น (upstroke actions) ในระหว่างการกัดครั้งที่ 1 และ 2

ที่มา: Bourne, 2002

ภาพผนวกที่ ค 3 แสดงกราฟ texture profile analysis โดย hardness คือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการกดตัวอย่างครั้งแรกหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก fracturability คือแรงซึ่งทำให้ตัวอย่างหรืออาหารเกิดการแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 1 (เดิมเรียกว่า brittleness)

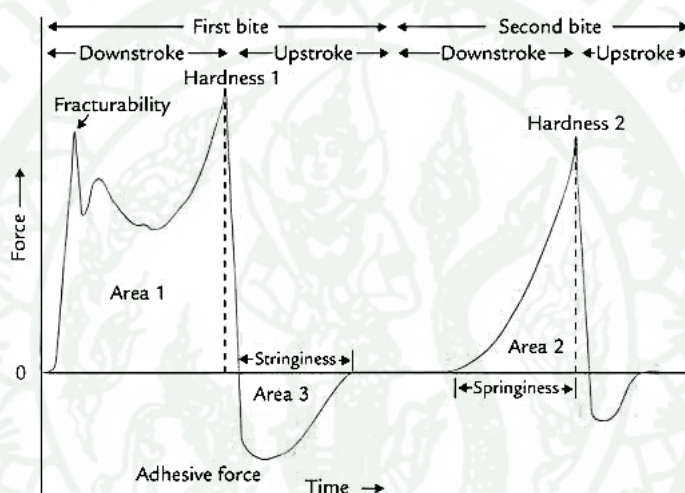
cohesiveness เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (area 2) และครั้งที่ 1 (area 1)

$$\text{cohesiveness} = \text{Area 2} / \text{Area 1}$$

adhesiveness งานที่ใช้ในการดึงห้วัดหรือห้วักออกจากตัวอย่างหรืออาหาร ในกราฟTPA คือพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่มีค่าเป็นลบของช่วงการกด หรือการเคี้ยวที่ 1 (area 3)

springiness เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก คิดจากระยะทางของตัวอย่างที่คืนกลับมาในช่วงเวลาระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งที่ 1 และเริ่มการกดครั้งที่ 2 (เดิมเรียกว่า elasticity)

chewiness พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร คำนวณจาก hardness x cohesiveness x springiness



ภาพผนวกที่ ค3 กราฟ texture profile analysis จากเครื่อง Instron Universal Testing Machine

ที่มา: Bourne, 2002

ค6. การวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (ดัดแปลงจาก Wrolstad *et al.*, 2005)

การวิเคราะห์หาค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ในตัวอย่างอาหารด้วยวิธีการสกัด (extraction method) มีหลักการคือมาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) และ TBARS ตัวอื่นๆ จะถูกสกัดจากตัวอย่างอาหารด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกและกรดฟอสฟอริก (trichloroacetic acid/o-phosphoric acid) นำสารสกัดที่ได้มากรองและทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid (TBA) ที่มากเกินไป โดยมีการเทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานผลเป็น เทียบเท่ามาโลนัลดีไฮด์ (มิลลิกรัม) ต่อ น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม) (mg malonaldehyde eq/ kg sample)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างอาหาร
2. สารละลายแอนติออกซิแดนซ์
3. TCA reagent (เย็น)
4. TCA reagent /water 1:1 (v/v)
5. 2-Thiobarbituric acid (TBA) 0.02 โมลาร์
6. Laboratory Blender
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
8. กระดาษกรอง Whatman no.1
9. หลอดทดลอง
9. หลอดเซนตริฟิวส์ขนาด 50 มิลลิลิตร
10. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
11. Spectrophotometer
12. Glass cuvet

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายแอนติออกซิแดนซ์

ชั่ง Propylgallate 0.25 กรัม (ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.5) และ ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA 0.25 กรัม (ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.5) ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายตัวอย่างด้วยสารละลายผสม เอทานอล/ น้ำ 1:1 (v/v) เตรียมแล้วใช้ทันที

2. TCA reagent (เย็น)

ชั่งกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid: TCA) 200 กรัม (ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 20) ลงในบีกเกอร์แล้วละลายสารด้วยน้ำเล็กน้อย เตรียมขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำลงไปเล็กน้อยแล้วเติมกรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 (w/w) จำนวน 16 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น

สุดท้ายร้อยละ 1.6) เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม TCA จากบีกเกอร์ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ

การเตรียมสารสกัด

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 2.5 กรัมลงใน blender
2. เติมน้ำกลั่นเย็น 25 มิลลิลิตร และ TCA เย็น 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย blender เป็นเวลา 2 นาที
3. เติมน้ำกลั่นเย็น 25 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วย blender ให้เข้ากันอีก 1 นาที
4. วางกรวยกรองลงบนขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และวางกระดาษกรอง Whatman no.1 ทำให้กระดาษกรองเปียกโดยใช้สารละลาย 1:1 TCA/น้ำ
5. เทสารสกัดลงบนกระดาษกรองที่เตรียมไว้
6. ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วย 1:1 TCA/น้ำ และผสมให้เข้ากัน

การทำปฏิกิริยากับ TBA

7. ปิเปตตัวอย่างจำนวน 5 มิลลิลิตร จากขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรลงในหลอดทดสอบ จากนั้นเติม TBA 0.02 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร เตรียม blank โดยใช้ 1:1 TCA/น้ำ 5 มิลลิลิตร และ TBA 0.02M 5 มิลลิลิตร
8. ปิดฝาหลอด ผสมให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนในน้ำเดือดในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 35 นาที
9. ทำให้เย็นโดยการแช่ในน้ำไหลเป็นเวลา 10 นาที หรือจุ่มในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที
10. ถ่ายใส่หลอดเซนตริฟิวซ์ขนาด 50 มิลลิลิตรนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5500 rpm เป็นเวลา 25 นาที)

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

11. เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และตั้งค่าความยาวคลื่นที่ 532 nm โดยทำการวอร์มเครื่องก่อนการอ่านค่า 30 นาทีขึ้นไป
 12. เซต 0 โดยใช้เบลนค์ ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างโดยใช้คิวเวตแก้ว
- การเตรียมกราฟมาตรฐาน

13. ทำการปิเปตสารละลาย TMP 0.2 มิลลิโมลาร์ จำนวน 0.25-2.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml และปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วย 1:1 TCA/น้ำ

สารละลาย TMP 0.2 มิลลิโมลาร์ จะมีความเข้มข้นเท่ากับมาโลนัลดีไฮด์ 0.2 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานจะมีทั้งหมด 5 ความเข้มข้น โดยมีความเข้มข้น ตั้งแต่ 1×10^{-6} - 1×10^{-5} โมลาร์มาโลนัลดีไฮด์ ตัวอย่าง TMP 0 มิลลิลิตร ถูกเตรียมเพื่อใช้เป็นแบลนด์ในการตั้งค่า 0 สำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

14. นำไปทำปฏิกิริยากับ TBA ตามข้อ 7-9

15. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ 532 นาโนเมตร และสร้างกราฟเทียบกับโมลมาโลนัลดีไฮด์ในปฏิกิริยา

16. คำนวณค่าคงที่ K จากสมการต่อไปนี้

$$K = [(mol\ MA/5\ ml)/A_{532} \times MA\ mol.\ Wt. \times DF \times 10^6] / m$$

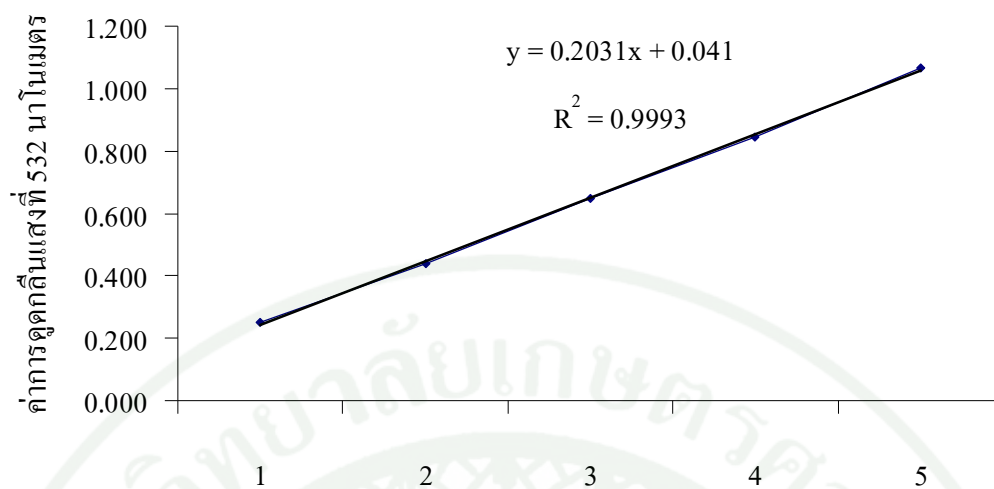
เมื่อ $[(mol\ MA/5\ ml)/A_{532}]$ คือ 1/ความชันของกราฟมาตรฐาน (จากข้อที่ 15) MA mol. Wt คือ 72.03 กรัม/โมล DF คือ dilution factor 10^6 คือ ตัวแปลงหน่วยให้เป็นเทียบเท่ากับมาโลนัลดีไฮด์ (มิลลิกรัม) ต่อ น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม) (mg malonaldehyde eq/ kg sample) และ m คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{นั่นคือ } K = [(1/slop) \times 72.03\ g/mol \times (100\ ml/5\ ml) \times 10^6] / 5\ g$$

17. คำนวณค่า TBA ตามสมการ และแสดงผลเป็น เทียบเท่ากับมาโลนัลดีไฮด์ (มิลลิกรัม) ต่อ น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม):

$$TBA\ value = K \times A_{532}$$

เมื่อ A_{532} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่วัดที่ความยาวแสง 532 nm



ปริมาณมาลอนแอตติไซน์ ($\times 10^{-6}$ มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)

ภาพผนวกที่ ค4 กราฟมาตรฐานของมาลอนแอตติไซน์



ตารางผนวกที่ ง1 ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสำรองตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรองจากผงสำรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0–0.6 โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

ความเข้มข้น	ความหนืด (มิลลิปาสคาล. วินาที)		
	MG	WMG	AMG
0.0	1.59 ^{nsA} ±0.02	1.59 ^{nsA} ±0.02	1.59 ^{nsA} ±0.02
0.1	3.05 ^{aB} ±0.04	3.70 ^{cB} ±0.05	3.33 ^{bB} ±0.22
0.2	5.80 ^{aC} ±0.09	6.67 ^{cC} ±0.14	6.09 ^{bC} ±0.29
0.3	9.72 ^{bD} ±0.16	10.18 ^{cD} ±0.28	9.25 ^{aD} ±0.27
0.4	13.57 ^{bE} ±0.15	13.90 ^{cE} ±0.13	12.25 ^{aE} ±0.18
0.5	20.33 ^{bF} ±0.42	20.67 ^{bF} ±0.37	16.28 ^{aF} ±0.08
0.6	24.85 ^{bG} ±0.78	26.35 ^{bG} ±0.54	22.77 ^{aG} ±0.37

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของกัม ($p \leq 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (แนวนอน)
 ตัวอักษร A-G หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้น ($p \leq 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ตารางผนวกที่ ๑2 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดที่อุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (มิลลิพาสคาล. วินาที)		
	MG	WMG	AMG
25	20.33 ^{bF} ±0.42	20.67 ^{bF} ±0.37	15.38 ^{aF} ±0.50
30	19.87 ^{cE} ±1.63	15.23 ^{bE} ±0.37	13.40 ^{aE} ±0.94
40	17.08 ^{cD} ±0.79	13.77 ^{bD} ±0.44	11.83 ^{aD} ±0.85
50	17.28 ^{cD} ±0.97	12.80 ^{bD} ±0.35	11.25 ^{aD} ±0.34
60	16.48 ^{cC} ±0.99	12.20 ^{bC} ±0.61	10.78 ^{aC} ±0.46
70	15.37 ^{cB} ±1.35	11.70 ^{bB} ±0.86	10.10 ^{aB} ±0.45
80	15.57 ^{cB} ±1.20	11.38 ^{bB} ±0.52	9.63 ^{aB} ±0.50
90	15.60 ^{cA} ±0.57	11.00 ^{bA} ±0.33	8.34 ^{aA} ±0.26

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของกัม ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิเดียวกัน (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-F หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอุณหภูมิ ($p \leq 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

การคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นอาร์เรเนียส (E_a)

ความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์ที่แต่ละความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งสามารถประยุกต์หาความสัมพันธ์ได้ด้วยโมเดลอาร์เรเนียส (Arrhenius model) (Marcotte et al., 2001)

$$\eta = A \exp^{(E_a / RT)}$$

เมื่อ η คือ ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์, A คือ fitting constant

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (energy of activation) R คือค่าคงที่ของแก๊ส (universal gas constant) และ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)

กราฟที่พล็อตระหว่างค่าลอการิทึมธรรมชาติของค่าความหนืด กับ $1/T$ จะได้กราฟเส้นตรง เรียกว่า กราฟอาร์เรเนียส (Arrhenius plot)

$$\ln \eta = \ln A - E_a / RT$$

ค่าพลังงานกระตุ้นอาร์เรเนียส (E_a) ของปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากค่าความชันของกราฟเส้นตรงของอาร์เรเนียส

จากภาพผนวกที่ 1 แสดงกราฟอาร์เรเนียสของความหนืดของกัมตำรองชนิดต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส

พบว่า สมการอาร์เรเนียสของ MG คือ $y = -412.79x + 5.3365$

นั่นคือ E_a / R มีค่า 412.79 โดย R มีค่า 8.314 J/Kmol

ดังนั้น E_a ของ MG มีค่า $412.79 \times 8.314 = 3431.94$ J/mol

สมการอาร์เรเนียสของ WMG คือ $y = -575.22x + 6.114$

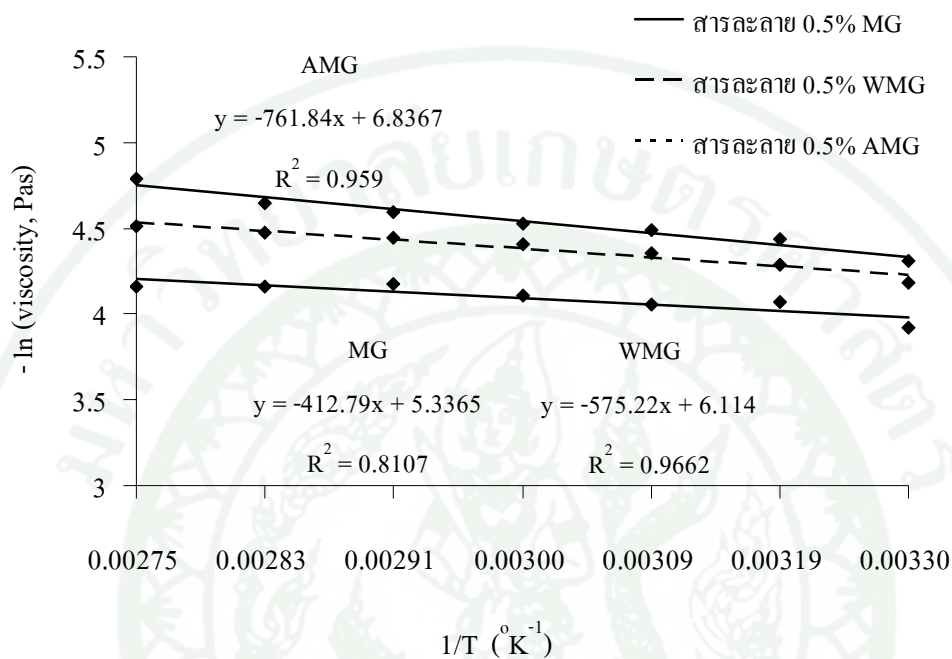
นั่นคือ E_a / R มีค่า 575.22 โดย R มีค่า 8.314 J/Kmol

ดังนั้น E_a ของ WMG มีค่า $575.22 \times 8.314 = 4782.38$ J/mol

สมการอาร์เรเนียสของ AMG คือ $y = -761.84x + 6.8367$

นั่นคือ E_a/R มีค่า -761.84 โดย R มีค่า 8.314 J/Kmol

ดังนั้น E_a ของ AMG มีค่า $-761.84 \times 8.314 = 6333.94$ J/mol



ภาพผนวกที่ ๑1 กราฟอาร์เรเนียสแสดงผลของอุณหภูมิในช่วง 30-90 องศาเซลเซียส ต่อค่าความหนืดของกัมสารชนิดต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

ตารางผนวกที่ 33 ความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (มิลลิพาสคาล. วินาที)		
	MG	WMG	AMG
ก่อนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C	20.33 ^{b,ns} ±0.42	20.67 ^{b,ns} ±0.37	15.38 ^{aB} ±0.50
หลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C	20.48 ^{b,ns} ±0.93	21.00 ^{b,ns} ±0.82	13.78 ^{aA} ±0.44

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของกัม ($p \leq 0.05$) (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
 ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนและหลังให้ความร้อน ($p > 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง)
 ตัวอักษร A-B หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนและหลังให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ตารางผนวกที่ 4 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดของสารละลายกัมสารจากผงสารรองตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารรองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารรองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

pH	ความหนืด (มิลลิพาสคาล. วินาที)		
	MG	WMG	AMG
3	3.52 ^{aA} ±0.15	4.73 ^{bA} ±0.19	5.21 ^{cA} ±0.31
4	7.89 ^{aB} ±0.18	9.81 ^{cB} ±0.11	9.47 ^{bBC} ±0.28
5	13.00 ^{bC} ±0.13	13.32 ^{bF} ±0.68	12.02 ^{aE} ±0.57
6	13.82 ^{cD} ±0.20	12.70 ^{bE} ±0.55	11.23 ^{aD} ±0.48
7	14.93 ^{cE} ±0.64	12.67 ^{bE} ±0.64	10.97 ^{aD} ±0.43
8	15.00 ^{cD} ±0.44	10.95 ^{bCD} ±0.12	9.82 ^{aC} ±0.29
9	15.03 ^{cE} ±0.48	11.35 ^{bD} ±0.33	9.58 ^{aBC} ±0.23
10	13.72 ^{cD} ±0.42	10.55 ^{bC} ±0.48	9.14 ^{aB} ±0.28

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของกัม ($p \leq 0.05$) ที่ pH เดียวกัน (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-E หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง pH ($p \leq 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ตารางผนวกที่ 5 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารละลายกัมสำรอนจากผงสำรอนตามธรรมชาติ (MG) กัมสำรอนจากผงสำรอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสำรอนจากผงสำรอนที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ความหนืด (มิลลิปาสคาล. วินาที)		
	MG	WMG	AMG
0	19.50 ^{bF} ± 0.35	20.73 ^{cF} ± 0.26	16.28 ^{aF} ± 0.08
1	7.86 ^{aE} ± 0.12	10.70 ^{cE} ± 0.37	9.60 ^{bE} ± 0.19
2	5.92 ^{aD} ± 0.15	7.31 ^{bD} ± 0.18	7.08 ^{bD} ± 0.32
3	4.50 ^{aC} ± 0.08	6.41 ^{cC} ± 0.29	5.80 ^{bC} ± 0.23
4	4.05 ^{aB} ± 0.05	5.21 ^{bB} ± 0.32	5.06 ^{bB} ± 0.25
5	3.78 ^{aA} ± 0.12	4.80 ^{bA} ± 0.18	4.77 ^{bA} ± 0.29

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของกัม ($p \leq 0.05$) ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-E หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ($p \leq 0.05$) ในกัมชนิดเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

ความสัมพันธ์ระหว่าง intrinsic viscosity และความแรงของไอออน (ionic strengths)

คุณสมบัติทางวิทยากระแส (rheological properties) ของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่แสดงความเป็นกรด (acidic group) จะได้รับผลกระทบจากอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte effect) (Yang and Zhang, 2009) intrinsic viscosity เป็นการวัดค่า hydrodynamic volume ของโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเพิ่มความหนืด โดยมีความสัมพันธ์กับขนาด (size) และ โครงสร้าง (conformation) ของสายโซ่โมเลกุลเมื่ออยู่ในตัวทำละลาย intrinsic viscosity $[\eta]$ สามารถหาได้จากการวัดความหนืดของสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำ (C) กำหนดให้ η_{solution} และ η_{solvent} คือความหนืดของสารละลายและตัวทำละลาย $[\eta]$ หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Relative viscosity: } \eta_{\text{rel}} = \eta_{\text{solution}} / \eta_{\text{solvent}}$$

$$\text{Specific viscosity: } \eta_{\text{sp}} = \eta_{\text{rel}} - 1$$

$$\text{Intrinsic viscosity: } [\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{sp}}}{C}$$

intrinsic viscosity $[\eta]$ สามารถหาได้จากการวัด specific viscosity ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่แรงเฉือนเดียวกัน $[\eta]$ คำนวณจากการประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) ณ จุดที่ความเข้มข้นของสารละลายเป็นศูนย์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression) (Higiro *et al.*, 2007) ความสัมพันธ์ระหว่าง intrinsic viscosity และความแรงของไอออน (ionic strengths) ในสารละลาย แสดงได้ดังสมการ

$$[\eta] = [\eta]_{\infty} + SI^{-1/2}$$

เมื่อ $[\eta]$ คือ intrinsic viscosity, $[\eta]_{\infty}$ คือ intrinsic viscosity ที่ได้จากการประมาณค่านอกช่วงที่ความแรงไอออนอนันต์ (the intrinsic viscosity at infinite ionic strength) I คือค่าความแรงของไอออนในสารละลาย (ionic strength of the solution) (Medina-Torres *et al.*, 2000)

ความแรงของไอออนในสารละลาย (ionic strength, I) หมายถึง ความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลาย โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i z_i^2$$

เมื่อ I คือ ความแรงไอออน c_i คือความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ของไอออน i (M, mol/L) และ z_i คือจำนวนประจุของไอออน สำหรับอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและลบเป็น 1:1 เช่น โซเดียมคลอไรด์ ความแรงไอออนจะมีค่าเทียบเท่ากับ ความเข้มข้น

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ MG WMG และ AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 0 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เนื่องจากความแรงของไอออนในสารละลายจะคำนวณจากความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลาย ดังนั้น

ในการทดลองครั้งนี้ไอออนทั้งหมดเกิดจาก 1) ไอออนที่อยู่ในผงสารเริ่มต้น+ 2) เกลีโอโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นจากการสกัดกัมสาร+ 3) เกลีโอโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไปในระบบ

ตัวอย่างการคำนวณความแรงไอออนของสารละลายกัมสารแต่ละชนิดที่แต่ละความเข้มข้นแสดงดังนี้

1. สารละลาย MG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จากข้อมูลในตารางที่ 12 ผงสารซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสกัดกัมสาร มีเถ้าร้อยละ 5.35 ในการคำนวณครั้งนี้ assume ให้เถ้าในที่นี้คือเกลีโอโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้น ผงสาร 100 กรัม จะมีเกลีโอโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่ตั้งแต่แรกเริ่ม 5.35 กรัม

จากภาคผนวกที่ จ1 ผงสาร 100 กรัม จะมีเกลีโอโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน 5.50 กรัม

ดังนั้นในผงสาร 100 กรัม เกลีโอโซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดหาได้จากเกลีโอโซเดียมคลอไรด์จากวัตถุดิบเริ่มต้น+เกลีโอโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน ซึ่งมีค่าเป็น $5.35+5.50 = 10.85$ กรัม

จากตารางที่ 8 ผงสาร 100 กรัม เมื่อผ่านการสกัด จะได้ MG 44.49 กรัม

นั่นคือ MG 44.49 กรัม จะมีเกลีโอโซเดียมคลอไรด์ 10.85 กรัม

ในการทดลองนี้ทำการเตรียมสารละลาย MG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นั่นคือต้องชั่ง MG มา 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

โดยกัม MG	44.49 กรัม มี NaCl	10.85 กรัม
ถ้ากัม MG	0.25 กรัม จะมี NaCl	$0.25 \times 10.85 / 44.49 = 0.06$ กรัม

ในการเตรียมสารละลาย MG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จะมีปริมาณเกลีโอโซเดียมคลอไรด์อยู่แล้ว 0.06 กรัม โดยนำเกลือจำนวนนี้ไปคิดรวมกับเกลือที่มีการเติมลงในระบบด้วย

ดังนั้นในสารละลาย MG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์รวมทั้งหมดร้อยละ 0.56 1.06 1.56 2.06 และ 2.56 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์จะได้เป็น 0.19 0.36 0.53 0.70 และ 0.88 โมลาร์ ตามลำดับ และเนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและลบเป็น 1:1 เช่น โซเดียมคลอไรด์ ความแรงไอออนจะมีค่าเทียบเท่ากับค่าความเข้มข้น ดังนั้นจึงมีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.53 0.70 และ 0.88 ตามลำดับ (ดังตารางผนวกที่ 6)

สรุป ในสารละลาย MG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร มีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.53 0.70 และ 0.88 ตามลำดับ

2. สารละลาย WMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จากข้อมูลในตารางที่ 12 ผงสำรองซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสกัดกัมสำรอง มีถักร้อยละ 5.35 ในการคำนวณครั้งนี้ assume ให้ถั่วในที่นี้คือเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้น ผงสำรอง 100 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่ตั้งแต่แรกเริ่ม 5.35 กรัม

จากภาคผนวกที่ จ1 ผงสำรอง 100 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน 5.62 กรัม

ดังนั้นในผงสำรอง 100 กรัม เกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดหาได้จากเกลือโซเดียมคลอไรด์จากวัตถุดิบเริ่มต้น+เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน ซึ่งมีค่าเป็น $5.35 + 5.62 = 10.97$ กรัม

จากตารางที่ 8 ผงสำรอง 100 กรัม เมื่อผ่านการสกัด จะได้ WMG 43.66 กรัม

นั่นคือ WMG 43.66 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10.97 กรัม

ในการทดลองนี้ทำการเตรียมสารละลาย WMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นั่นคือต้องชั่ง MG มา 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

โดยกัม WMG	43.66 กรัม มี NaCl	10.97 กรัม
ถ้ากัม WMG	0.25 กรัม จะมี NaCl	$0.25 \times 10.97 / 43.66 = 0.06$ กรัม

ในการเตรียมสารละลาย WMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์อยู่แล้ว 0.06 กรัม โดยนำเกลือจำนวนนี้ไปคิดรวมกับเกลือที่มีการเติมลงในระบบด้วย

ดังนั้นในสารละลาย WMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์รวมทั้งหมดร้อยละ 0.56 1.06 1.56 2.06 และ 2.56 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์จะได้เป็น 0.19 0.36 0.53 0.71 และ 0.88 โมลาร์ ตามลำดับ และเนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและลบเป็น 1:1 เช่น โซเดียมคลอไรด์ ความแรงไอออนจะมีค่าเทียบเท่ากับค่าความเข้มข้น ดังนั้นจึงมีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.53 0.71 และ 0.88 ตามลำดับ (ดังตารางผนวกที่ 6)

สรุป ในสารละลาย WMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร มีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.53 0.71 และ 0.88 ตามลำดับ

3. สารละลาย AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จากข้อมูลในตารางที่ 12 ผงสำรองซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสกัดกัมสำรอง มีเถ้าร้อยละ 5.35 ในการคำนวณครั้งนี้ assume ให้เถ้าในที่นี้คือเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้น ผงสำรอง 100 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่ตั้งแต่แรกเริ่ม 5.35 กรัม

จากภาคผนวกที่ จ1 ผงสำรอง 100 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน 8.19 กรัม

ดังนั้นในผงสำรอง 100 กรัม เกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดหาได้จากเกลือโซเดียมคลอไรด์จากวัตถุดิบเริ่มต้น+เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดจากการสะเทิน ซึ่งมีค่าเป็น $5.35+8.19=13.54$ กรัม

จากตารางที่ 8 ผงสำรอง 100 กรัม เมื่อผ่านการสกัด จะได้ AMG 51.22 กรัม

นั่นคือ AMG 51.22 กรัม จะมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ 13.54 กรัม

ในการทดลองนี้ทำการเตรียมสารละลาย AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นั่นคือต้องชั่ง AMG มา 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

โดยกัม AMG	51.22 กรัม มี NaCl	13.54 กรัม
ถ้ากัม AMG	0.25 กรัม จะมี NaCl	$0.25 \times 13.54 / 44.49 = 0.07$ กรัม

ในการเตรียมสารละลาย AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์อยู่แล้ว 0.07 กรัม โดยนำเกลือจำนวนนี้ไปคิดรวมกับเกลือที่มีการเติมลงในระบบด้วย

ดังนั้นในสารละลาย AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์รวมทั้งหมดร้อยละ 0.57 1.07 1.57 2.07 และ 2.57 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์จะได้เป็น 0.19 0.36 0.54 0.71 และ 0.88 โมลาร์ ตามลำดับ และเนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและลบเป็น 1:1 เช่น โซเดียมคลอไรด์ ความแรงไอออนจะมีค่าเทียบเท่ากับค่าความเข้มข้น ดังนั้นจึงมีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.54 0.71 และ 0.88 ตามลำดับ (ดังตารางผนวกที่ 6)

สรุป ในสารละลาย AMG ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร มีความแรงไอออนเป็น 0.19 0.36 0.54 0.71 และ 0.88 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ ๖ ความเข้มข้นและความแรงไอออนของโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของ

สารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

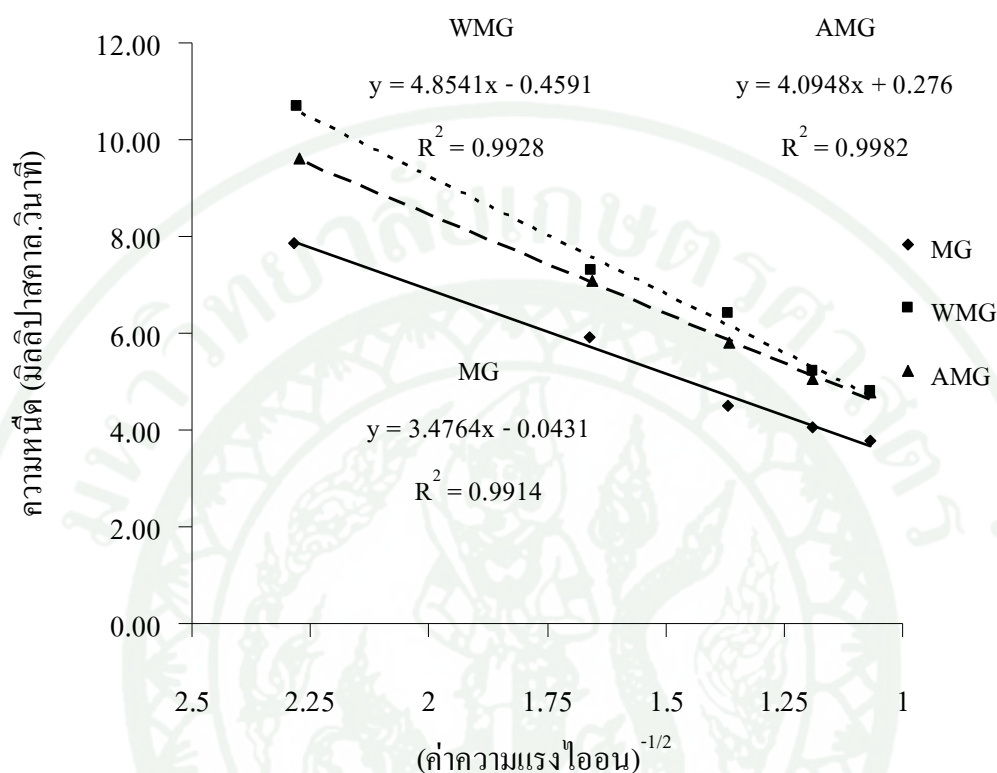
ชนิดของกัม	NaCl _{gum} (กรัม/50ml)	NaCl _{add} (กรัม/50ml)	NaCl _{total} (กรัม/50ml)	NaCl _{total} (M, mol/L)	ionic strength (I)	I ^{-1/2}	ความหนืด (mPa.s)
MG	0.06	0.5	0.56	0.19	0.19	2.28	7.86
	0.06	1.0	1.06	0.36	0.36	1.66	5.92
	0.06	1.5	1.56	0.53	0.53	1.37	4.50
	0.06	2.0	2.06	0.70	0.70	1.19	4.05
	0.06	2.5	2.56	0.88	0.88	1.07	3.78
WMG	0.06	0.5	0.56	0.19	0.19	2.28	10.70
	0.06	1.0	1.06	0.36	0.36	1.66	7.31
	0.06	1.5	1.56	0.53	0.53	1.37	6.41
	0.06	2.0	2.06	0.71	0.71	1.19	5.21
	0.06	2.5	2.56	0.88	0.88	1.07	4.80
AMG	0.07	0.5	0.57	0.19	0.19	2.27	9.60
	0.07	1.0	1.07	0.36	0.36	1.66	7.08
	0.07	1.5	1.57	0.54	0.54	1.37	5.80
	0.07	2.0	2.07	0.71	0.71	1.19	5.06
	0.07	2.5	2.57	0.88	0.88	1.07	4.77

หมายเหตุ NaCl_{gum} คือปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในกัม ซึ่งมีค่าเท่ากับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัววัตถุดิบ+เกลือโซเดียมคลอไรด์จากการปรับ pH ให้เป็นกลาง

NaCl_{add} คือปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไปเพื่อให้สารละลายมีความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (w/v)

NaCl_{total} คือปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดในระบบ มีค่าเท่ากับปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในกัม (NaCl_{gum}) + ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติม (NaCl_{add})

ทำการสร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง intrinsic viscosity กับ $I^{-1/2}$ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการทดสอบหาค่า intrinsic viscosity จึงขอใช้ค่า apparent viscosity แทน



ภาพผนวกที่ ๒ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) และค่าความแรงไอออนของโซเดียมคลอไรด์ของสารละลายกัมสารจากผงสารตามธรรมชาติ (MG) กัมสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสารจากผงสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

จากภาพผนวกที่ ๒ จะเห็นได้ว่า เมื่อความแรงไอออนสูงขึ้น กัมสารทั้ง 3 ชนิดจะมีความหนืดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Zhang *et al.* (2005) ที่กล่าวว่า ความหนืดจะมีค่าลดลงเมื่อความแรงของไอออนเพิ่มสูงขึ้น

ตารางผนวกที่ 7 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมสํารองจากผงสํารองตามธรรมชาติ (MG) กัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.0-0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ความเข้มข้น	ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย		
	MG	WMG	AMG
0.1	6.44	6.52	6.49
0.2	6.39	6.42	6.36
0.3	6.33	6.33	6.32
0.4	6.31	6.29	6.30
0.5	6.24	6.27	6.26
0.6	6.24	6.27	6.25

ตารางผนวกที่ 8 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมสํารองจากผงสํารองตามธรรมชาติ (MG) กัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมสํารองจากผงสํารองที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย

pH	ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย		
	MG	WMG	AMG
3	3.23	3.20	3.21
4	4.09	4.08	4.08
5	5.01	5.01	5.01
6	5.99	5.96	5.95
7	6.98	6.98	7.00
8	7.78	7.79	7.71
9	8.96	9.02	9.02
10	9.84	9.85	9.84

ตารางผนวกที่ 9 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายกัมส้มสารจากผงส้มสารตามธรรมชาติ (MG) กัมส้มสารจากผงส้มสารที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น (WMG) และกัมส้มสารจากผงส้มสารที่ผ่านการล้างด้วยกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5% เป็นตัวทำละลาย

ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย		
	MG	WMG	AMG
0	6.13	6.33	6.29
1	6.04	6.11	6.17
2	6.00	6.09	6.07
3	5.97	6.03	6.03
4	5.95	6.01	6.03
5	5.95	6.00	6.03

ตารางผนวกที่ 10 ผลของชนิดและปริมาณการใช้กัมส้มสารชนิดต่างๆ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไตรฟอสเฟตต่อค่า Total colour difference ของเนื้อหมูชิ้นรูป

Treatments	Total colour difference (ΔE)
NG	-
MG 0.1	5.06
MG 0.2	7.05
MG 0.3	9.45
WMG 0.1	4.64
WMG 0.2	7.01
WMG 0.3	9.01
AMG 0.1	3.53
AMG 0.2	6.13
AMG 0.3	7.95
S	6.85
P	2.75
SP	8.28

ตารางผนวกที่ 11 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า Total colour difference ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

ค่า	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (S) (%)			
		0.0	0.5	1.0	1.5
ΔE	0.0	-	1.48	2.99	5.60
	0.1	5.13	6.15	7.73	8.90
	0.2	7.39	8.47	9.20	10.87

ตารางผนวกที่ 12 ผลของปริมาณการใช้ MG ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟตต่อค่า Total colour difference ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูป

ค่า	ปริมาณ MG(%)	ปริมาณเกลือโซเดียมไตรฟอสเฟต (P) (%)			
		0.00	0.10	0.15	0.20
ΔE	0.0	-	0.87	1.63	2.40
	0.1	3.13	3.71	4.23	4.97
	0.2	5.91	6.23	7.34	7.97

ตารางผนวกที่ 13 ค่า TBARS ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูชิ้นรูปสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 10 วัน

Treatments	Day					
	0	2	4	6	8	10
NA	0.601 ^{cA} ±0.101	0.874 ^{dB} ±0.015	1.161 ^{dC} ±0.028	1.641 ^{dd} ±0.123	2.086 ^{dE} ±0.082	2.383 ^{df} ±0.050
SPH	0.695 ^{cA} ±0.133	0.917 ^{dB} ±0.054	1.326 ^{cC} ±0.069	1.786 ^{dd} ±0.122	2.244 ^{dE} ±0.125	2.518 ^{eF} ±0.035
SPL	0.354 ^{bA} ±0.064	0.623 ^{cB} ±0.096	1.083 ^{cC} ±0.099	1.206 ^{cC} ±0.125	1.684 ^{cd} ±0.060	1.915 ^{cE} ±0.051
SPLM	0.123 ^{aA} ±0.067	0.228 ^{aA} ±0.035	0.454 ^{aB} ±0.090	0.599 ^{aC} ±0.030	0.858 ^{aD} ±0.030	1.069 ^{aE} ±0.099
SPLBHT	0.170 ^{abA} ±0.118	0.453 ^{bb} ±0.058	0.754 ^{bc} ±0.076	0.937 ^{bd} ±0.047	1.136 ^{bE} ±0.167	1.409 ^{bE} ±0.049

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทริทเมนต์ ($p \leq 0.05$) ที่วันเดียวกัน (แนวตั้ง) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก
ตัวอักษร A-E หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวัน ($p \leq 0.05$) ในทริทเมนต์เดียวกัน (แนวนอน) เรียงตัวอักษรจากค่าน้อยไปมาก

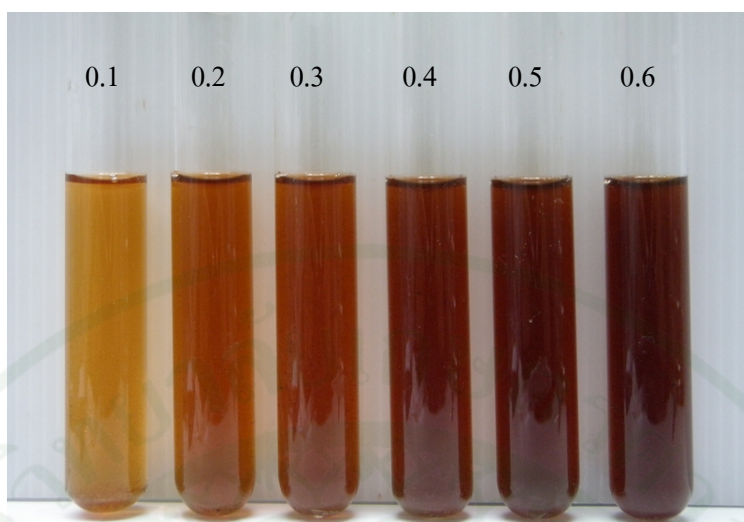
NA = No Additive = เนื้อหมูชิ้นรูปที่ไม่มีการเติมสารใดๆ

SPH= High Salt and Phosphate = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 2% + STPP 0.3%

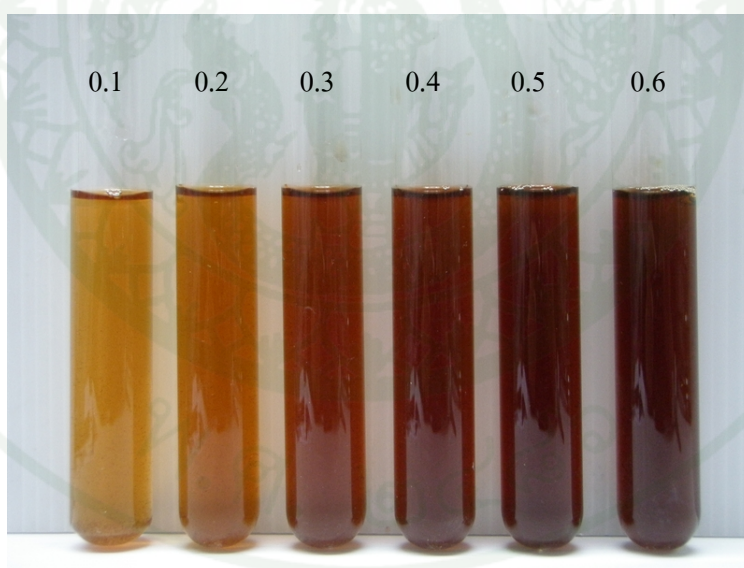
SPL = Low Salt and Phosphate = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1% + STPP 0.1%

SPLM = Low Salt and Phosphate plus MG = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1% + STPP 0.1%+ MG 0.2%

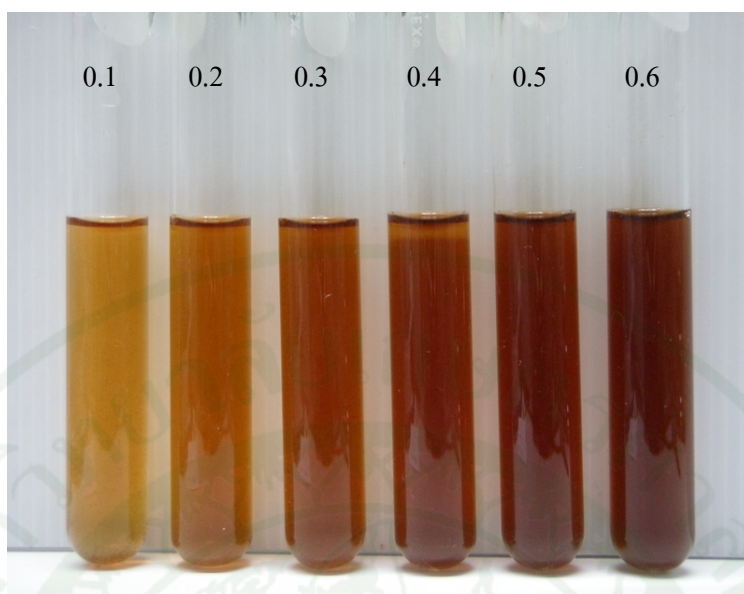
SPLBHT = Low Salt and Phosphate plus BHT = เนื้อหมูชิ้นรูปที่เติม NaCl 1% +STPP 0.1%+ BHT0.02%



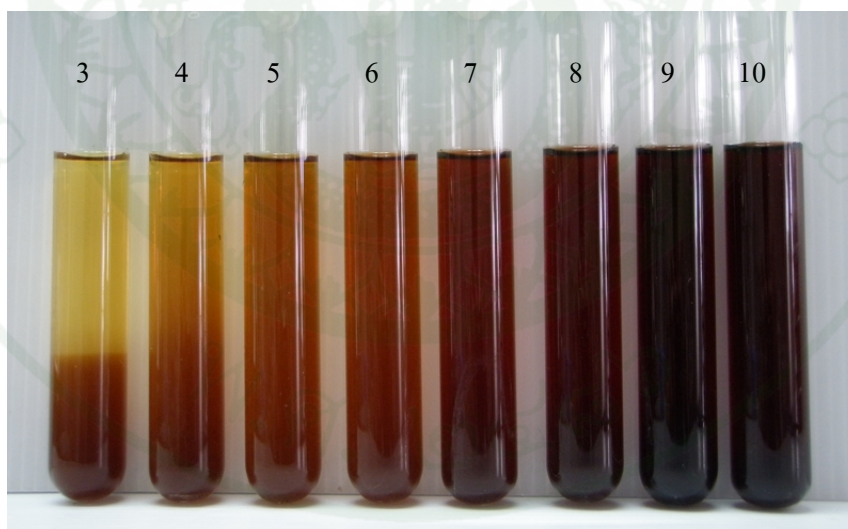
ภาพผนวกที่ 33 สารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1– 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



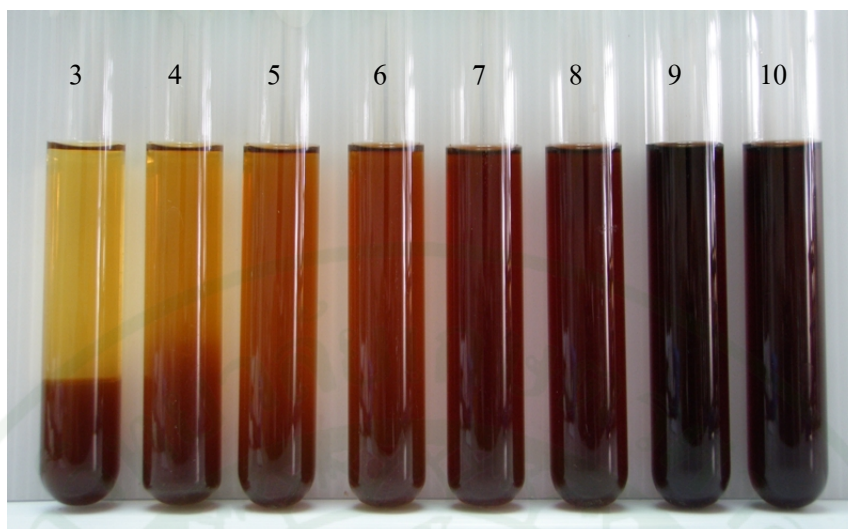
ภาพผนวกที่ 34 สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างน้ำ (WMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1– 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



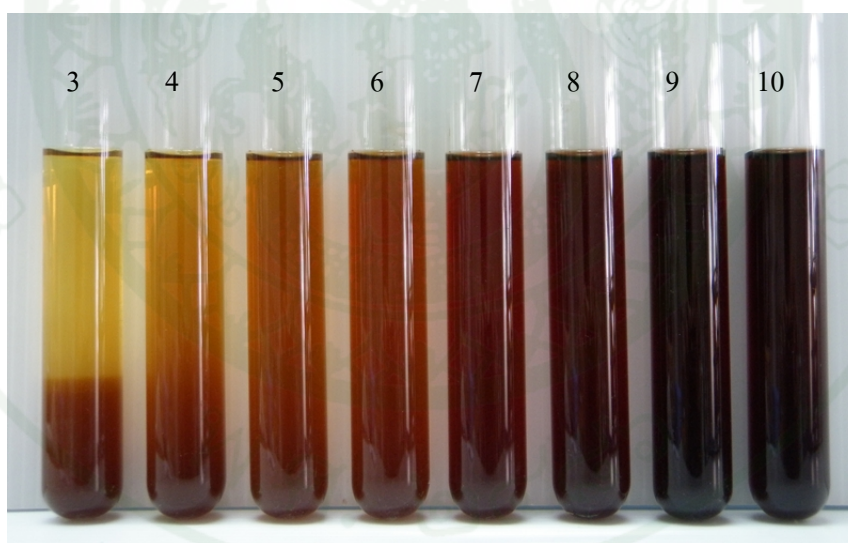
ภาพผนวกที่ ๖5 สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1– 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



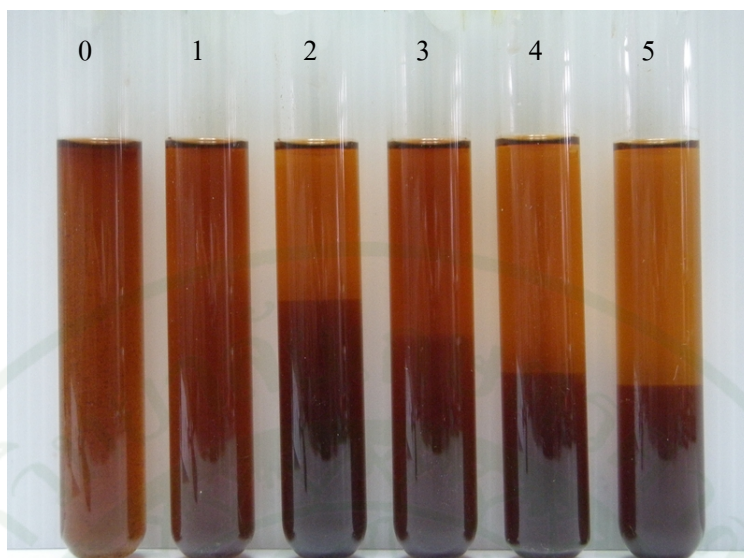
ภาพผนวกที่ ๖6 สารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย



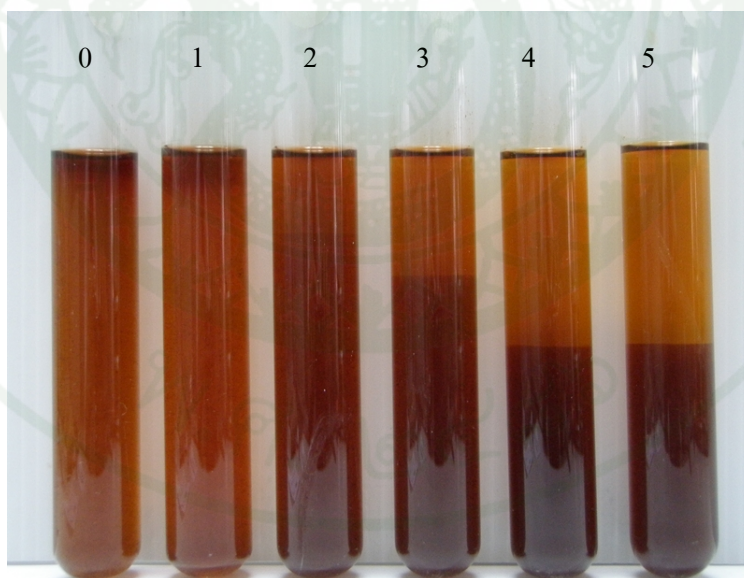
ภาพผนวกที่ ๗ สารละลายกัมตำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างน้ำ (WMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย



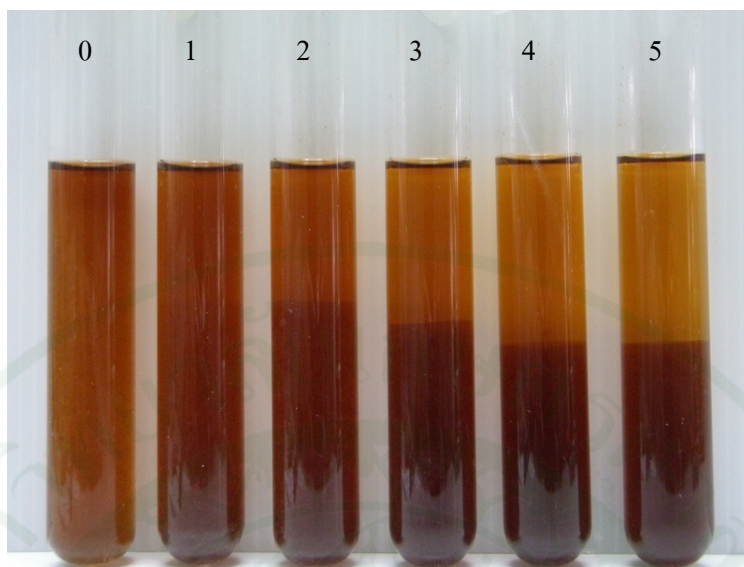
ภาพผนวกที่ ๘ สารละลายกัมตำรวจจากผงสำรวจที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3-10 เป็นตัวทำละลาย



ภาพผนวกที่ ๙ สารละลายกัมสารองจากผงสารองตามธรรมชาติ (MG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%



ภาพผนวกที่ ๑๐ สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างน้ำ (WMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%



ภาพผนวกที่ ง11 สารละลายกัมสารองจากผงสารองที่ผ่านการล้างกรด (AMG) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็น 0-5%



ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อมีการปรับ pH

ในขั้นตอนการสกัดกัมสารอง จะมีเกลือ (NaCl) เกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากการทำให้เป็นกลาง (neutralize) โดยเป็นการทำปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกเกิดเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นเราสามารถคำนวณปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นในระบบได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังนี้



จำนวนโมลของ HCl = จำนวนโมลของ NaOH = จำนวนโมลของ NaCl

จ1. การคำนวณปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นใน MG

ทำการสกัดผงสารอง 10 กรัม ด้วยสารละลาย NaOH 0.05 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:70 และปรับ pH ให้เป็น 4.5 โดยใช้สารละลาย HCl 2 โมลาร์จำนวน 4.7 มิลลิลิตร

$$\text{จำนวนโมลของ HCl} = (2 \text{ mmol/ml}) \times 4.7 \text{ ml} = 9.4 \text{ mmol}$$

เนื่องจาก จำนวนโมลของ HCl = จำนวนโมลของ NaCl

ดังนั้นจำนวนโมลของ NaCl จะเท่ากับ 9.4 mmol คิดเป็นน้ำหนัก $9.4 \times 58.5 / 1000 = 0.5499 \text{ g}$

นั่นคือ ถ้าเริ่มต้นจากผงสารอง 10 g จะมีเกลือเกิดขึ้น 0.5499 g

ถ้าเริ่มต้นจากผงสารอง 100 g จะมีเกลือเกิดขึ้น $(0.5499 \times 100) / 10 = 5.5 \text{ g}$

แต่จากผลการทดลองในตารางที่ 12 ผงสารองมีเถ้าที่เกิดตามธรรมชาติ 5.35 g/100g ดังนั้น ในผงสารอง 100 g ที่ผ่านการสกัดและปรับ pH จะมีเถ้าที่เกิดจากธรรมชาติรวมกับเกลือที่เกิดขึ้นทำให้เป็นกลาง $5.35 + 5.5 = 10.85 \text{ g}$ _____(1)

จากตารางที่ 8 พบว่า MG มีปริมาณผลได้เทียบกับผงสารองเป็นร้อยละ 44.49 นั่นคือ ถ้าใช้ปริมาณผงสารอง 100 g จะสกัดได้ MG 44.49 g _____(2)

ซึ่งเมื่อทำการเทียบเคียง (1) และ (2) จะได้ว่า

ผงสำรอง 100 g สกัดได้ MG 44.49 g จะมีปริมาณเอ้ารวม 10.85 g

ดังนั้น ถ้า MG 100 g จะมีปริมาณเอ้ารวม $(10.85 \times 100) / 44.49 = 24.38$ g

สรุป MG มีปริมาณเอ้าที่เกิดจากการคำนวณร้อยละ 24.38 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเอ้าที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าร้อยละ 23.99

จ2. การคำนวณปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นใน WMG

ทำการแช่ผงสำรอง 10 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:70 แยกเอาน้ำออก จากนั้นสกัดด้วยสารละลาย NaOH 0.05 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:70 และปรับ pH ให้เป็น 4.5 โดยใช้สารละลาย HCl 2 โมลาร์ไป 4.8 มิลลิลิตร

จำนวนโมลของ HCl = $(2 \text{ mmol/ml}) \times 4.8 \text{ ml} = 9.6 \text{ mmol}$

เนื่องจาก จำนวนโมลของ HCl = จำนวนโมลของ NaCl

ดังนั้นจำนวนโมลของ NaCl จะเท่ากับ 9.6 mmol คิดเป็นน้ำหนัก $9.6 \times 58.5 / 1000 = 0.5616$ g

นั่นคือ ถ้าเริ่มต้นจากผงสำรอง 10 g จะมีเกลือเกิดขึ้น 0.5616 g

ถ้าเริ่มต้นจากผงสำรอง 100 g จะมีเกลือเกิดขึ้น $(0.5616 \times 100) / 10 = 5.616$ g

แต่จากผลการทดลองในตารางที่ 12 ผงสำรองมีเอ้าที่เกิดตามธรรมชาติ 5.35 g/100g ดังนั้น ในผงสำรอง 100 g ที่ผ่านการสกัดและปรับ pH จะมีเอ้าที่เกิดจากธรรมชาติรวมกับเกลือที่เกิดขึ้นทำให้เป็นกลาง $5.35 + 5.62 = 10.97$ g _____(1)

จากตารางที่ 8 พบว่า WMG มีปริมาณผลได้เทียบกับผงสำรองเป็นร้อยละ 43.66 นั่นคือถ้ามีปริมาณผงสำรอง 100 g จะสกัดได้ WMG 4.66 g _____(2)

ซึ่งเมื่อทำการเทียบ (1) และ (2) จะได้ว่า

ผงสำรอง 100 g สกัดได้ WMG 43.66 g จะมีปริมาณเอ้ารวม 10.97 g

ดังนั้น ถ้า WMG 100 g จะมีปริมาณเอ้ารวม $(10.97 \times 100) / 43.66 = 25.12$ g

สรุป WMG มีปริมาณเถ้าที่เกิดจากการคำนวณร้อยละ 25.12 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเถ้าที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าร้อยละ 24.00

จ3. การคำนวณปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นใน AMG

ทำการแช่ผงสำรอง 10 กรัม ด้วยสารละลาย HCl 0.02 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:70 และปรับ pH ให้เป็น 6.0 ด้วยสารละลาย NaOH 2 โมลาร์ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ทำการแยกเอากรดออก 350 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดด้วยสารละลาย NaOH 0.05 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:70 และปรับ pH ให้เป็น 4.5 โดยใช้สารละลาย HCl 2 โมลาร์ไป 4.5 มิลลิลิตร

จ3.1 การปรับ pH ให้เท่ากับ 6 ด้วยสารละลาย NaOH 2 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร หลังจากผ่านการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์

$$\text{จำนวนโมลของ NaOH} = (2 \text{ mmol/ml}) \times 5 \text{ ml} = 10 \text{ mmol}$$

เนื่องจาก จำนวน โมลของ NaOH = จำนวน โมลของ NaCl

ดังนั้นจำนวนโมลของ NaCl จะเท่ากับ 10 mmol คิดเป็นน้ำหนัก $10 \times 58.5 / 1000 = 0.585 \text{ g}$

$$\text{ดังนั้นในระบบมีเกลือความเข้มข้น } 0.585/700 \text{ g/ml}$$

ทำการแยกเอากรดออก 350 มิลลิลิตร นั่นคือจะมีเกลือถูกกำจัดไปพร้อมกรด $(0.585/700) \times 350 = 0.2925 \text{ g}$ นั่นคือจะเหลือเกลือในระบบ $0.585 - 0.2925 = 0.2925 \text{ g}$

จ3.2 การปรับ pH ให้เท่ากับ 4.5 ด้วยสารละลาย HCl 2 โมลาร์ จำนวน 4.5 มิลลิลิตร หลังจากผ่านการสกัดด้วยสารละลาย NaOH 0.05 โมลาร์

$$\text{จำนวนโมลของ HCl} = (2 \text{ mmol/ml}) \times 4.5 \text{ ml} = 9 \text{ mmol}$$

เนื่องจาก จำนวน โมลของ NaOH = จำนวน โมลของ NaCl

ดังนั้นจำนวนโมลของ NaCl จะเท่ากับ 9 mmol คิดเป็นน้ำหนัก $9 \times 58.5 / 1000 = 0.5265 \text{ g}$

ดังนั้นเกลือที่เกิดขึ้นจากการทำให้เป็นกลางทั้งสองครั้งมีค่า $0.2925 + 0.5265 = 0.819 \text{ g}$

นั่นคือ ถ้าเริ่มต้นจากผงสำรอง 10 g จะมีเกลือเกิดขึ้น 0.819 g
 ถ้าเริ่มต้นจากผงสำรอง 100 g จะมีเกลือเกิดขึ้น $(0.819 \times 100)/10 = 8.19$ g

แต่จากผลการทดลองในตารางที่ 12 ผงสำรองมีเถ้าที่เกิดตามธรรมชาติ 5.35 g/100g

ดังนั้น ในผงสำรอง 100 g ที่ผ่านการสกัดและปรับ pH จะมีเถ้าที่เกิดจากธรรมชาติรวมกับเกลือที่เกิดขึ้นทำให้เป็นกลาง $5.35 + 8.19 = 13.54$ g _____ (1)

จากตารางที่ 8 พบว่า AMG มีปริมาณผลได้เทียบกับผงสำรองเป็นร้อยละ 51.22
 นั่นคือ ถ้ามีปริมาณผงสำรอง 100 g จะสกัดได้ AMG 51.22 g _____ (2)

ซึ่งเมื่อทำการเทียบ (1) และ (2) จะได้ว่า

ผงสำรอง 100 g สกัดได้ AMG 51.22 g จะมีปริมาณเถ้ารวม 13.54 g

ดังนั้น ถ้า AMG 100 g จะมีปริมาณเถ้ารวม $(13.54 \times 100)/51.22 = 26.43$ g

สรุป AMG มีปริมาณเถ้าที่เกิดจากการคำนวณร้อยละ 26.43 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเถ้าที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าร้อยละ 27.47



ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ฅ1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้มของตัวอย่าง
เนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	151.830	2	75.915	100.078	.000
NaCl	254.680	3	84.893	111.914	.000
MG * NaCl	5.142	6	.857	1.130	.375
Error	18.205	60	.759		
Total	26495.675	72			

ตารางผนวกที่ ฅ2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของเนื้อหมูชิ้นรูปที่ใช้
MG ร่วมกับ NaCl

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	253.869	2	126.934	103.528	.000
NaCl	785.976	3	261.992	213.682	.000
MG * NaCl	12.676	6	2.113	1.723	.157
Error	30.652	60	1.226		
Total	10982.664	72			

ตารางผนวกที่ ๓ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	50.679	2	25.339	44.604	.000
NaCl	29.820	3	9.940	17.497	.000
MG * NaCl	5.546	6	.924	1.627	.187
Error	12.498	60	.568		
Total	2725.445	72			

ตารางผนวกที่ ๔ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	21.487	2	10.743	11.187	.150
NaCl	475.127	3	158.376	164.914	.000
MG * NaCl	7.385	6	1.231	1.282	.293
Error	30.731	60	.960		
Total	303012.369	72			

ตารางผนวกที่ ๕ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า L* ของเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	483.321	2	241.661	67.803	.000
NaCl	162.104	3	54.035	15.161	.000
MG * NaCl	9.279	6	1.547	.434	.853
Error	206.720	60	3.564		
Total	312525.833	72			

ตารางผนวกที่ ๓๖ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า a^* ของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	25.520		2	12.760	70.754	.000
NaCl	2.305		3	.768	4.260	.009
MG * NaCl	1.575		6	.262	1.455	.211
Error	9.739		60	.180		
Total	413.457		72			

ตารางผนวกที่ ๓๗ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า b^* ของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	17.966		2	8.983	48.622	.000
NaCl	15.783		3	5.261	28.476	.000
MG * NaCl	1.194		6	.199	1.077	.390
Error	8.683		60	.185		
Total	8523.528		72			

ตารางผนวกที่ ๓๘ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า C^* ของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	15.844		2	7.922	37.220	.000
NaCl	20.337		3	6.779	31.850	.000
MG * NaCl	1.172		6	.195	.918	.489
Error	12.345		60	.213		
Total	10321.900		72			

ตารางผนวกที่ ๙ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า h^* ของเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	558.781	2	279.390	146.286	.000
NaCl	75.659	3	25.220	13.205	.000
MG * NaCl	8.887	6	1.481	.776	.593
Error	106.954	60	1.910		
Total	429850.522	72			

ตารางผนวกที่ ๑๐ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแรงเนียนของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	91.499	2	45.749	6.230	.003
NaCl	355.095	3	118.365	16.118	.000
MG * NaCl	80.393	6	13.399	1.825	.109
Error	440.622	60	7.344		
Total	36175.131	72			

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความแข็งของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	1178.126	2	589.063	9.809	.000
NaCl	821.684	3	273.895	4.561	.006
MG * NaCl	18.392	6	3.065	.051	.999
Error	3543.028	60	60.051		
Total	458278.197	72			

ตารางผนวกที่ ๑๑2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการคืนตัวของเนื้อหมูขึ้นรูปที่ใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	.002	2	.001	1.716	.189
NaCl	.004	3	.001	2.307	.008
MG * NaCl	.000	6	3.53E-005	.062	.999
Error	.032	60	.001		
Total	49.054	72			

ตารางผนวกที่ ๑๑3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเกาะตัวของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	.002	2	.001	5.900	.005
NaCl	.008	3	.003	14.612	.000
MG * NaCl	.000	6	6.65E-005	.367	.897
Error	.011	60	.000		
Total	30.257	72			

ตารางผนวกที่ ๑๑4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ NaCl

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	772.647	2	386.323	8.614	.000
NaCl	487.281	3	162.427	3.622	.017
MG * NaCl	72.664	6	12.111	.270	.949
Error	3543.156	60	44.850		
Total	190243.263	72			

ตารางผนวกที่ ๑๑๕ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม ของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	74.343	2	37.172	18.588	.000
P	28.784	3	9.595	4.798	.211
MG * P	1.948	6	.325	.162	.984
Error	39.996	36	2.000		
Total	32055.430	48			

ตารางผนวกที่ ๑๑๖ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	12.859	2	6.430	8.283	.063
P	34.164	3	11.388	14.670	.000
MG * P	1.836	6	.306	.394	.873
Error	13.196	36	.776		
Total	2105.848	48			

ตารางผนวกที่ ๑๗ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้น
รูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	233.270	2	116.635	65.050	.000
P	44.539	3	14.846	8.280	.001
MG * P	7.631	6	1.272	.709	.646
Error	35.860	36	1.793		
Total	15256.949	48			

ตารางผนวกที่ ๑๘ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของตัวอย่างเนื้อหมูชิ้น
รูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	14.153	2	7.076	5.645	.111
P	36.527	3	12.176	9.714	.000
MG * P	3.214	6	.536	.427	.852
Error	26.322	36	1.253		
Total	210517.821	48			

ตารางผนวกที่ ๑๙ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า L* ของเนื้อหมูชิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Type III Sum					
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	340.670	2	170.335	318.146	.000
P	33.775	3	11.258	21.028	.000
MG * P	1.367	6	.228	.426	.859
Error	31.589	36	.535		
Total	325671.787	48			

ตารางผนวกที่ ๓20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า a^* ของเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	16.419		2	8.209	309.861	.000
P	2.944		3	.981	37.041	.000
MG * P	.324		6	.054	2.038	.081
Error	1.166		36	.026		
Total	422.514		48			

ตารางผนวกที่ ๓21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า b^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	10.775		2	5.388	41.118	.000
P	6.763		3	2.254	17.204	.000
MG * P	.889		6	.148	1.131	.355
Error	8.386		36	.131		
Total	11541.829		48			

ตารางผนวกที่ ๓22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า C^* ของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	8.576		2	4.288	28.253	.000
P	8.323		3	2.774	18.281	.000
MG * P	.358		6	.060	.393	.881
Error	9.561		36	.152		
Total	11710.640		48			

ตารางผนวกที่ ๓23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า h^* ของเนื้อหมูจิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	907.986	2	453.993	243.942	.000
P	65.229	3	21.743	11.683	.000
MG * P	4.115	6	.686	.369	.896
Error	113.525	36	1.861		
Total	456054.940	48			

ตารางผนวกที่ ๓24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแรงเหวี่ยงของเนื้อหมูจิ้นรูปที่ใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	223.681	2	111.840	36.796	.000
P	122.877	3	40.959	13.476	.000
MG * P	5.048	6	.841	.277	.945
Error	130.697	36	3.039		
Total	21775.105	48			

ตารางผนวกที่ ๓25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความแข็งของตัวอย่างเนื้อหมูจิ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum				
	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MG	6024.053	2	3012.027	23.030	.000
P	1122.169	3	374.056	2.860	.072
MG * P	248.440	6	41.407	.317	.927
Error	10855.523	36	130.789		
Total	573506.158	48			

ตารางผนวกที่ ๓26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการคืนตัวของเนื้อหมูขึ้นรูปที่ใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	.020		2	.010	6.349	.003
P	.008		3	.003	1.564	.204
MG * P	.001		6	.000	.087	.997
Error	.133		36	.002		
Total	72.634		48			

ตารางผนวกที่ ๓27 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการเกาะตัวของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	.040		2	.020	31.103	.000
P	.005		3	.002	2.482	.067
MG * P	.001		6	.000	.273	.948
Error	.053		36	.001		
Total	39.781		48			

ตารางผนวกที่ ๓28 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของตัวอย่างเนื้อหมูขึ้นรูปที่มีการใช้ MG ร่วมกับ STPP

Source	Type III Sum		df	Mean Square	F	Sig.
	of Squares					
MG	3740.612		2	1870.306	27.067	.000
P	452.609		3	150.870	2.183	.096
MG * P	119.345		6	19.891	.288	.941
Error	5735.201		36	69.099		
Total	190380.543		48			

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นางสาวรัดใจ ปทุมพลสิน
เกิดวันที่ 11 มีนาคม 2528
สถานที่เกิด เขตบางกอกน้อย จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ
ประวัติการศึกษา วท. บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งปัจจุบัน -
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับ
 ปริญญาโท (สกว.-สว.) ประจำปี 2550