

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ
และความคงตัวของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในระหว่างการเก็บรักษา

Application of Hydrocolloid for Improving Physico-Chemical Property and
Stability of Boiled Duck Blood during Storage

ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดิ์

นางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ
และความคงตัวของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในระหว่างการเก็บรักษา

Application of Hydrocolloid for Improving Physico-Chemical
Property and Stability of Boiled Duck Blood during Storage

นางสาวศุภลักษณ์ สรภักดิ์
นางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148555**
ใน,เดือน,ปี **31 ต.ค. 2560**

.b.....12870614.....
.i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และความคงตัวของ
ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตัมในระหว่างการเก็บรักษา

แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ประจำปีงบประมาณ.....2559.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน.....100,000..บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย...2.. ปี ตั้งแต่.....1 ตุลาคม 2558...ถึง.....30 กันยายน 2560

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดิ์ และนางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตัมใน
อุณหภูมิที่ปิดสนิท โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกมาทดสอบ ได้แก่ คาร์ราจีแนนผสมกับโกลด์สปิงกัม
(อัตราส่วน 50:50 และ 60:40 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0) เจลาติน อะการ์ และเจลแลนกัน (ความ
เข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0) จากผลการทดลองพบว่าอะการ์มีความสามารถในการเกิดเจล
ร่วมกับโปรตีนของเลือดเปิดตัมได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 หลังจากการ
แปรรูป 1 วันจะมีคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุด แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงใน
ระหว่างการเก็บรักษานานขึ้นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บ
รักษาผลิตภัณฑ์ของเลือดเปิดตัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ทั้งชุดการทดลองที่เติมและ
ไม่เติมอะการ์ พบว่าเลือดเปิดตัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ มี
คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุดทางด้านสี ลักษณะปรากฏโดยรวม เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ
ความรู้สึกสากในปาก และคุณภาพโดยรวม ($p < 0.05$) ส่วนผลด้านจำนวนจุลินทรีย์ พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์
ทั้งหมดต่ำกว่าค่าที่สามารถนับได้ ($< 10^4$ cfu/g) ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้กับ
กระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตัมให้มีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคต้องการได้

คำสำคัญ : เลือดเปิด, เลือดเปิดตัม, ไฮโดรคอลลอยด์

Research Title: Application of Hydrocolloid for Improving Physio-Chemical Property and Stability of Boiled Duck Blood during Storage

Researcher: Assist. Prof. Dr. Supaluk Sorapukdee and Miss Supawadee Narunatsopanon

Faculty: Agricultural Technology Department: Animal Production Technology and Fisheries

ABSTRACT

The effect of hydrocolloid on quality of duck blood boiled in hermetically sealed bag was study. Carrageenan blend with locust bean gum (ratio 50:50 and 60:40 concentration 0.5 and 1.0 % respectively), gelatin (concentration 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 and 2.0 %), agar (concentration 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 and 2.0 %), and gellan gum (concentration 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 and 2.0 %) were assigned. The results shown that boiled duck blood mixed with agar had the most superior quality of textural characteristic and product apparent. Although boiled duck blood mixed with agar at the concentration of 0.8% after 1 day of processing had the highest overall liking scores as evaluated by the train panelists, the diminish quality of these products could be found during prolong period (4°C for 30 days). Comparing among 40% and 60% duck blood concentration during 4°C for 30 days, boiled duck blood at the concentration of 60% exhibited higher scores of overall appearance, texture, flavor, the rugged feel in the mouth and overall quality than 40% duck blood ($p < 0.05$). Total microbial counts of various treatments were lower than limit of detection (< 10 cfu). The results obtained from this study can be used to improve the manufacturing processes of boiled duck blood with desirable texture.

Keywords: Duck blood, Boiled duck blood, hydrocolloid

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท ดั๊กคิง จำกัด ที่ร่วมสนับสนุนทุนวิจัย รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเลือดเปิดสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนจะเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ทางด้านการใช้ประโยชน์จากเลือดสัตว์ต่อไป



ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดี
นางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition).....	2
2.2 การแข็งตัวของเลือด.....	3
2.3 สารประกอบฮีมไอออน (heme iron) และนอนฮีมไอออน (non-heme iron).....	6
2.4 การแยกโปรตีนในเลือด.....	9
2.5 กระบวนการผลิตเลือดเปิดตำ.....	10
2.6 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids).....	11
2.7 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดตำในอุณหภูมิที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids).....	21
3.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ.....	23
3.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดตำบรรจุในอุณหภูมิปิดสนิท.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	28
4.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดตำในอุณหภูมิที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids).....	28
4.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ.....	37
4.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดตำบรรจุในอุณหภูมิปิดสนิท.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก ก เอกสารหลักฐานอ้างอิงของผลผลิต.....	53
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	68
ประวัตินักวิจัย.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณธาตุเหล็ก สารประกอบฮีม และความชื้นของเนื้อไก่พร้อมรับประทานส่วนเนื้อน่อง.....	6
2.2	ปริมาณธาตุเหล็ก สารประกอบฮีม และความชื้นของเนื้อไก่พร้อมรับประทานส่วนเนื้ออก.....	7
2.3	ปริมาณธาตุเหล็กทั้งหมด สารประกอบนอนฮีมไอรอน และสารประกอบฮีมไอรอนที่เตรียมได้ จากการทดลองที่แตกต่าง 4 การทดลองในเนื้อดิบ และเนื้อหลังปรุงสุก (μVg)	8
2.4	ผลของการใช้คาร์ราจีแนน และสารช่วยตกตะกอนต่อองค์ประกอบของเต้าหู้.....	18
2.5	ค่าความหนืดและค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่.....	19
4.1	องค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition) และค่าพลังงานของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม ในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และสูตรที่ใช้ร่วมกับการไฮโดรคอลลอยด์.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเลือด.....	4
2.2 ส่วนประกอบของเม็ดเลือด.....	5
2.3 การแยกชั้นของเลือดเมื่อไม่มีการเติมสารการป้องกันการแข็งตัว (ก.) และ หลังเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ข.).....	6
2.4 การแยกโปรตีนในเลือดออกเป็นส่วนของเซลล์เม็ดเลือด และพลาสมา รวมทั้งการแยก โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของพลาสมา.....	9
2.5 กระบวนการต้มเลือดเปิด.....	10
2.6 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของ Kappa-, Iota- และ Lambda-carrageenan.....	12
2.7 กลไกการเกิดเจลของ Carrageenan.....	13
2.8 โครงสร้างของ Agarose.....	14
2.9 กลไกการเกิดเจลของ Agarose.....	15
2.10 โครงสร้างโมเลกุลของไลคัสต์บินกัม	16
2.11 กรรมวิธีการผลิตเจลาติน.....	17
2.12 ลักษณะโดยทั่วไปของเจลแลน กัม เจลแลน กัมผสมกับโปรตีนถั่วเหลือง หรือเจลผสม (A), เจลผสมที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีโดยตรง (B), เจลผสมที่เติมโพแทสเซียมด้วยวิธีโดยตรง (C), เจลผสมที่เติมคลอไรด์ และเติมแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย (D), เจลผสมที่เติมคลอไรด์ และเติมโพแทสเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย(E), และ เจลผสมที่เติมคลอไรด์ (F)	20
2.13 ภาพโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เจลแลนผสมกับโพแทสเซียม (A), โปรตีนถั่วเหลือง 7% ผสมกับแคลเซียม (B), โปรตีนถั่วเหลือง 8% ผสมกับแคลเซียม (C), และโปรตีนถั่วเหลือง 8% ผสมกับแคลเซียม (กำลังขยาย 2000 เท่า) (D).....	20
3.1 การตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียทั้งหมดด้วยวิธีการ drop plate method.....	23
4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์.....	29
4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์.....	31
4.3 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์.....	32
4.4 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudative) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์.....	33
4.5 คุณภาพทางด้านสีในรูปแบบ CIE L*a*b* ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์.....	35
4.6 ปริมาณฮีมโอโรนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และ สูตรที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์.....	38
4.7 ปริมาณนอนฮีมโอโรนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และสูตรที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.8	ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	40
4.9	ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudative) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิท ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	41
4.10	ค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีแดง) และ b* (ค่าสีเหลือง) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	42
4.11	ปริมาณฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน.....	43
4.12	ปริมาณฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน.....	43
4.13	รูปแบบของโปรตีนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชุดการทดลองควบคุมในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทหลังระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน.....	44
4.14	การเปลี่ยนแปลงของคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาในด้านสี (ก) ทางด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (ข) ด้านเนื้อสัมผัส (ค) ทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ง) ด้านความรู้สึกสากในปาก (จ) และด้านคุณภาพโดยรวม (ฉ).....	46

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เลือดเป็นผลพลอยได้ปริมาณมากจากอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ ที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ในบางประเทศนิยมนำเลือดมาบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์ ซึ่งได้นำมาใช้เตรียมเป็นอาหารหรือเป็นส่วนหนึ่งของอาหารในยุโรปจะนิยมนำเลือดมาเป็นส่วนประกอบของอาหารโดยอาจทำเป็นไส้กรอกเลือด บิสกิต ขนมปัง พุดดิ้งจากเลือด (blood pudding) ในขณะที่ประเทศในแถบเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศไทยจะนำเลือดมาต้ม และนำเอาเลือดที่ต้มแล้วเหล่านี้มาปรุงและประกอบเป็นอาหารได้หลากหลายชนิด เช่น ไส้ในอาหารพวกก๋วยเตี๋ยว ต้มเลือดหมู และแกงเขียวหวาน เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีในเลือดจะพบว่าเลือดสัตว์จะประกอบด้วยน้ำ 80.9% โปรตีน 17.3% ไขมัน 0.23% คาร์โบไฮเดรต 0.07% และแร่ธาตุ 0.62% (Duarte, Carvalho Simões and Sgarbieri. 1999) ดังนั้นเลือดจึงจัดเป็นอาหารที่เป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ในแง่ของโภชนาการ เลือดมีฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์เม็ดเลือดแดงคิดเป็นประมาณ 10% ของโปรตีนที่มีอยู่ในเลือด (Ockerman et al. 1988) และเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของฮีโมโกลบินที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เลือดมีปริมาณธาตุเหล็กสูง ประกอบกับธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีโมโกลบินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฮีมไอรอน (heme iron) มากกว่าปริมาณนอนฮีมไอรอน (non-heme iron) ซึ่งเป็นรูปแบบของธาตุเหล็กที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารจากเลือดสัตว์ปรุงสุกเหมาะในการใช้เสริมให้กับผู้ป่วยโรคที่เป็นโรคโลหิตจาง เนื่องจากภาวะการขาดธาตุเหล็ก (Kikafunda and Sserumaga. 2005; Walter et al. 1993)

ในด้านภาพรวมของกำลังการผลิตเนื้อเป็ดในประเทศไทย พบว่า ในปี 2552 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตเนื้อเป็ดมากเป็นอันดับ 3 ของโลก ด้วยปริมาณ 92 พันตันต่อปี (กรมปศุสัตว์, 2552) ดังนั้นจึงมีเลือดที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเนื้อเป็ดเป็นจำนวนมาก ซึ่งเลือดเป็ดที่ได้จะถูกนำไปต้มเป็นก้อนและจำหน่ายให้กับลูกค้า อย่างไรก็ตามความต้องการในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดต้มอาจไม่เหมือนกันในผู้บริโภคแต่ละกลุ่ม ผู้บริโภคบางคนอาจต้องการเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดที่นิ่ม ในขณะที่บางคนอาจต้องการเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงผลของการแปรรูปที่เหมาะสมโดยมีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดต้ม ส่วนใหญ่สารไฮโดรคอลลอยด์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันเมื่อนำมาใช้จะสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) และอื่นๆ โดยในการศึกษาจะใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่ช่วยทำให้เลือดเป็ดเกิดเจลโปรตีนได้ดีขึ้น เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan), อะการ์ (agar), โลคัสต์บินกัม (Locust bean gum), เจลแลนกัม (gellan gum) และ เจลลาติน (gelatin) ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการได้ความรู้ที่สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตเลือดต้มให้มีเนื้อสัมผัสตามต้องการได้ นอกจากนี้เนื่องจากอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มนั้นจะสั้น เก็บรักษาได้ไม่นาน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตเลือดต้มในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทก่อนตามด้วยการให้ความร้อนซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดต้มได้ และเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเลือดเป็ดได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำของเลือดเปิดตัม

1.2.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตัมทั้งสูตรที่ไม่ใช้ และใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

1.2.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตัมในอุณหภูมิที่ปิดสนิทเปรียบเทียบกับระหว่างใช้ และไม่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

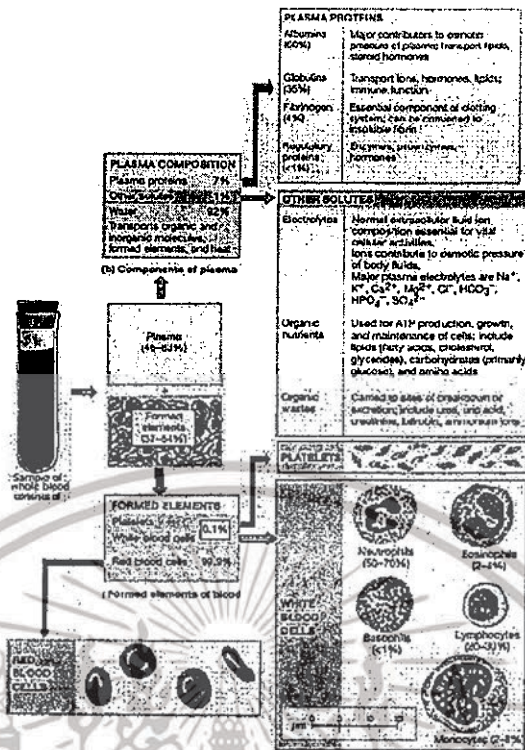
ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดตัมในอุณหภูมิที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ทำการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเลือดเปิดตัมที่ได้ร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ดังนี้ carrageenan, locust bean gum, gelatin, agar และ gellan gum จากนั้นตรวจติดตามคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture Profile Analysis, TPA), ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity, WHC), คุณภาพทางด้านสี (CIE L^*, a^*, b^*), ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) การทดลองที่ 2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางด้านโภชนาการของเลือดเปิดตัม โดยนำเลือดเปิดตัมที่ผ่านการคัดเลือกร่วมกับทางบริษัท ตึกคิง จากการทดลองก่อนหน้านี้ มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition) และ ตรวจหาปริมาณ Heme และ Non-heme iron การทดลองที่ 3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาเลือดเปิดตัมบรรจุลงในอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 1 เดือน และสุ่มตรวจวัดคุณภาพ ณ วันที่ 0, 3, 7, 9, 13, 15, 17, 21, 23, 27 และ 30 วัน โดยตรวจวัดคุณภาพทางด้าน ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม, ความสามารถในการอุ้มน้ำ, คุณภาพทางด้านสี, ปริมาณ Heme และ Non-heme iron, วิเคราะห์รูปแบบโปรตีนทั้งหมด (Total protein pattern) ด้วยเทคนิค SDS-PAGE, ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด, และประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition)

เลือดเป็นส่วนหนึ่งของของเหลวที่สำคัญในร่างกาย สำหรับวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับเลือดเรียกว่า haematology เลือดประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าน้ำเลือด หรือพลาสมา (plasma) มีอยู่ประมาณ 45-65% ที่เหลือคือส่วนของเซลล์เม็ดเลือด (corpuscles) ชนิดต่าง ๆ เช่นเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocytes) เซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocytes) และเกล็ดเลือด (platelet) ส่วนของน้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณ 90 % ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนชนิดต่าง ๆ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ฮอร์โมน Fe^{2+} และ Ca^{2+} เป็นต้น เซลล์เม็ดเลือดแดงจะเป็นส่วนที่ลอยอยู่ในเส้นเลือดและหัวใจ เซลล์เม็ดเลือดแดงเคลื่อนที่เองไม่ได้ ส่วนเซลล์เม็ดเลือดขาวบางส่วนสามารถจะแทรกตัวผ่านผนังเลือด ออกมาทำลายเชื้อโรคที่อยู่ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อได้ เลือดจะไหลเวียนไปตามส่วนต่างๆของร่างกายตามระบบเลือด (blood system) โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อนำเลือดออกจากร่างกายมาใส่ในหลอดแก้ว (test tube) และตั้งทิ้งไว้ พบว่าเลือดมีการแข็งตัวและแยกออกเป็น 2 ชั้น ส่วนของเลือดที่แข็งตัวเรียกว่าลิ่มเลือด (blood clot) จะเกาะรวมกันเป็นก้อนอยู่ด้านล่างของหลอดแก้ว ส่วนที่เป็นน้ำใสๆ ด้านบนลิ่มเลือดมีสีเหลืองเรียกว่าซีรัม (serum) ถ้านำเลือดใส่ในหลอดแก้วที่มีสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด (anticoagulant) เช่น สาร sodium citrate ammonium oxalate heparin หรือ EDTA (ethylene-diamine-tetraacetate) จากนั้นนำหลอดแก้วที่มีเลือดอยู่ไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จะพบว่าเลือดมีการแยกชั้นเป็น 2 ชั้นเช่นกัน ชั้นล่างเป็นส่วนที่มีสีแดงคือเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆที่อัดตัวกันแน่นหรือฮีมาโตคริต (hematocrit) ชั้นบนเป็นส่วนหนึ่งของเหลวเรียกว่า พลาสมา หรือ น้ำเลือด (plasma) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 55-60% ส่วนประกอบของซีรัม และพลาสมา แตกต่างกันว่าซีรัมจะไม่มีส่วนของโปรตีนในเลือดเป็นองค์ประกอบ รวมถึงไม่มีสารที่ป้องกันการแข็งตัวของเลือด เช่น fibrinogen โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น ในแกะจะมีเลือดประมาณ 8% ของน้ำหนักตัว ในโคมีเลือดประมาณ 7.7 % และในม้ามีเลือดประมาณ 9.7% เป็นต้น ค่าความถ่วงจำเพาะของเลือดมีค่าประมาณ 1.042-1.060 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH ระหว่าง 7.20-7.68) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition)

ที่มา : Martini (2006)

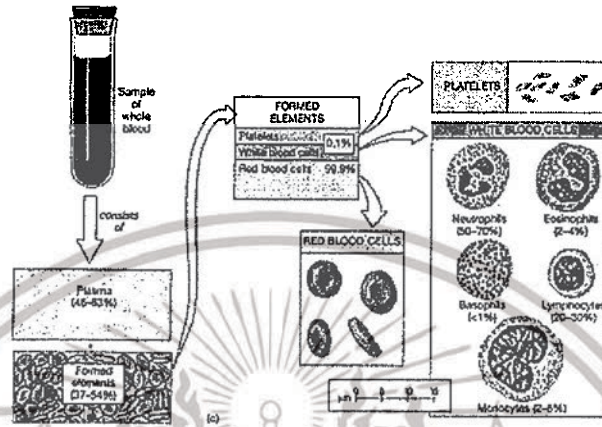
2.1.1 น้ำเลือดหรือพลาสมา (plasma)

น้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณ 90-92% ที่เหลือ 8-9% เป็นส่วนของแข็งได้แก่ โปรตีนชนิดต่างๆ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ชนิดต่าง ๆ (ภาพที่ 2) ในน้ำเลือดมีโปรตีนที่สำคัญได้แก่ albumin globulin fibrinogen และ prothrombin โปรตีน albumin เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในน้ำเลือดทำหน้าที่รักษาสมดุออสโมติกของเลือด โดยปกติโปรตีน fibrinogen prothrombin และ α -globulin เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด โดยทั่วไปหน้าที่หลักของโปรตีนในน้ำเลือดคือการควบคุมความดันออสโมซิสของเลือด albumin เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในน้ำเลือดและยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องในการขนส่งสารต่าง ๆ ที่จะเดินทางไปกับเลือด

2.1.2 เซลล์เม็ดเลือด (corpuscles)

ส่วนของเลือดที่ไม่ใช่ของเหลวหรือน้ำเลือดประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ โดยมีเซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cell หรือ erythrocyte) ประมาณ 99% ที่เหลืออีก 1% เป็นเม็ดเลือดขาว (white blood cell หรือ leukocytes) และเกล็ดเลือด (blood platelets หรือ thrombocytes) ดังภาพที่ 2.2 เม็ดเลือด (Formed Elements) เลือดมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเม็ดเลือดรวมทั้งเกร็ดเลือด (formed elements) และส่วนที่เป็นของเหลว ที่เรียกพลาสมา (plasma) ส่วนของเม็ดเลือดนั้นมีองค์ประกอบหลักได้แก่ เม็ดเลือดแดง (red blood cells; erythrocytes) เม็ดเลือดขาว (white blood cells; leukocytes) และเกร็ดเลือด (platelets) หากนำเอาเลือดจากคนปกติมาปั่นในหลอดทดลองจะพบว่าส่วนของเม็ดเลือดนั้นจะจมอยู่ที่ส่วนล่างของหลอดทดลอง โดยที่ส่วนที่เป็นของเหลวจะอยู่ด้านบนของหลอด สัดส่วนปริมาตรของเม็ดเลือดแดง ที่อัดแน่นกันอยู่ต่อปริมาตรทั้งหมดเรียกฮีมาโตคริต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

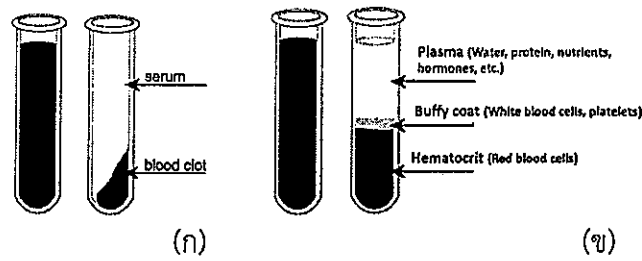
(hematocrit) มักมีค่าประมาณ 40-45% ของปริมาตร เลือดทั้งหมด หมายความว่าในปริมาตรเลือดทั้งหมด 100% จะมีปริมาตรเม็ดเลือดแดงเท่ากับ 40-45% โดยที่ปริมาตรของเม็ดเลือดขาวจะไม่ค่อยอัดแน่นนักเห็นเป็นชั้นบางๆ สีขาวเรียก buffy coat อยู่บนชั้นของเม็ดเลือดแดงอีกที ส่วนที่เหลืออีก 55-60% เป็นส่วนของน้ำเลือด (plasma)



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของเม็ดเลือด (corpuscles หรือ formed elements composition)
ที่มา : Martini (2006)

2.2 การแข็งตัวของเลือด

เมื่อนำเลือดออกจากร่างกายมาใส่ในหลอดแก้ว (test tube) และตั้งทิ้งไว้ พบว่าเลือดมีการแข็งตัวและแยกออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ส่วนของเลือดที่แข็งตัวเรียกว่าลิ่มเลือด (blood clot) จะเกาะรวมกันเป็นก้อนอยู่ด้านล่างของหลอดแก้ว และส่วนที่เป็นน้ำใสๆ ด้านบนลิ่มเลือดมีสีเหลืองเรียกว่าซีรัม (serum) ดังภาพที่ 2.3 (ก) ขบวนการแข็งตัวของเลือดเกิดจากการหลั่ง thromboplastin ออกมาจากเศษเกล็ดเลือด จากนั้นมีการรวมกันระหว่าง Ca^{2+} ในเลือด และโปรตีนทรอมบิน (prothrombin) ให้กลายเป็นโปรตีนทรอมบิน (thrombin) โดยการกระตุ้นของ thromboplastin จากนั้นโปรตีนทรอมบิน (prothrombin) จะไปเปลี่ยนโปรตีนไฟบริโนเจน (fibrinogen) ในเลือดให้เป็นโปรตีนไฟบริน (fibrin) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดการแข็งตัวของเลือดจะใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของสัตว์ แต่ถ้านำเลือดใส่ในหลอดแก้วที่มีสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด (anticoagulant) เช่น สาร sodium citrate, ammonium oxalate, heparin หรือ EDTA (ethylene-diamine-tetraacetate) จากนั้นนำหลอดแก้วที่มีเลือดอยู่ไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จะพบว่าเลือดมีการแยกชั้นเป็น 3 ชั้น ชั้นล่างเป็นส่วนที่มีสีแดงคือเซลล์เม็ดแดงที่อัดตัวกันแน่นหรือฮีมาโตคริต (hematocrit) ชั้นกลางเป็นชั้นของเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ส่วนชั้นบนจะเป็นของเหลวที่เรียกว่า พลาสมา หรือน้ำเลือด (plasma) ทั้งนี้ส่วนประกอบของซีรัม และพลาสมาแตกต่างกันที่ซีรัมจะไม่มีส่วนมีสารที่ป้องกันการแข็งตัวของเลือดเช่น fibrinogen



ภาพที่ 2.3 การแยกชั้นของเลือดเมื่อไม่มีการเติมสารการป้องกันการแข็งตัว (ก.) และ หลังเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ข.)

ที่มา : Vander *et al.* (2010)

2.3 สารประกอบฮีมไอออน (heme iron) และนอนฮีมไอออน (non-heme iron)

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสารประกอบฮีมไอออน และนอนฮีมไอออน

1) ชนิดของกล้ามเนื้อ

การทดลองของ Clark *et al.* (1997) ได้มีการทดลองในตัวอย่างเนื้อไก่พร้อมรับประทาน โดยจากการทดลองมีการเปรียบเทียบระหว่างเนื้อไก่ส่วนหน้าอก และเนื้อไก่ส่วนน่อง พบว่าเนื้อไก่ส่วนน่อง (ตารางที่ 2.1) มีธาตุเหล็กทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฮีมไอออนมากกว่า เนื้อไก่ส่วนหน้าอก (ตารางที่ 2.2) เนื่องจากเนื้อไก่ส่วนน่องเป็นแบบกระดูกขา (dark chicken meat) ทำให้มีปริมาณของไมโอโกลบิน และฮีโมโกลบินที่เป็นแหล่งของธาตุเหล็กในกล้ามเนื้อส่วนน่องมากกว่ากล้ามเนื้อส่วนหน้าอกที่เป็นแบบกระดูกเร็ว (light chicken meat) (McCance *et al.* 1991)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุเหล็ก สารประกอบฮีม และความชื้นของเนื้อไก่พร้อมรับประทานส่วนน่อง^า

Supplier	Heme iron ($\mu\text{g/g}$)	Total iron ($\mu\text{g/g}$)	Percent heme	Moisture (%)
A	5.5	11.3	48	66
B	3.4	11.5	32	63
C	4.6	13.7	34	64
D	5.1	11.3	45	68
E	5.6	13.8	41	64
F	5.5	11.3	48	66
Mean \pm SD ^บ	4.9 \pm 1.0	12.5 \pm 1.3	40 \pm 8	65 \pm 3

^าปริมาณฮีมเป็นไมโครกรัมต่อกรัมของเนื้อสัตว์ (น้ำหนักเปียก)

^บเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD เมื่อค่า F มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.01$

ที่มา : Clark *et al.* (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณธาตุเหล็ก สารประกอบฮีม และความชื้นของเนื้อไก่พร้อมรับประทานส่วนเนื้ออก^a

Supplier	Heme iron (µg/g)	Total iron (µg/g)	Percent heme	Moisture (%)
A	2.3	6.5	36	65
B	1.6	6.1	29	66
C	1.4	5.8	25	63
D	1.6	6.0	30	63
E	1.6	8.5	22	69
F	2.0	6.1	33	67
Mean ± SD ^b	1.7 ± 0.5	6.5 ± 2.0	29 ± 11	65 ± 3

^a ปริมาณฮีมเป็นไมโครกรัมต่อกรัมของเนื้อสัตว์ (น้ำหนักเปียก)

^b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD เมื่อค่า *F* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.01$

ที่มา : Clark *et al.* (1997)

2) ไนไตรท์

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักเกลือ (cured cooked meat) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเอกลักษณ์ สีที่เป็นลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หมักเกลือมีความสำคัญในการเลือกซื้อสำหรับผู้บริโภค (Sindelar *et al.* 2007) ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักเกลือจะมีสีชมพูเนื่องจากการเติมไนไตรท์ (nitrite) ในน้ำหมัก ไนไตรท์จะเปลี่ยนเป็นไนเตรท (nitrate) ซึ่งทำให้เกิดสีในผลิตภัณฑ์ และยังช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วย โดยไนไตรท์จะถูกรีดิวซ์ (reduced) ให้เป็นไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) แล้วรวมตัวกับฮีโมโกลบินซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุเหล็กอยู่ภายใน ให้กลายเป็นไนโตรซิลไมโอโกลบิน (nitrosylmyoglobin) (Pegg *et al.* 1997)

อย่างไรก็ตามในผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ เนื่องจากสารไนโตรซิลฮีม (nitrosylheme) ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เกิดการออกซิไดส์ (oxidized) ในระหว่างการเก็บรักษา การขนย้าย และการรอจำหน่าย ซึ่งจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดลง เนื่องจากมีปริมาณของนอนฮีมไอรอนเพิ่มขึ้น และฮีมไอรอนลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (Mattos *et al.* 2003)

3) อุณหภูมิ แสง และออกซิเจน

แสง และออกซิเจนเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยรองลงมาซึ่งจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเกิดสี หรือการสลายของไนโตรซิลฮีม ทั้งนี้สามารถพิสูจน์ได้จาก 2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนโตรซิลฮีมกลายเป็นเฟอร์ริคฮีม (ferric heme) ในสภาวะการเก็บรักษาที่มีแสง (illumination) และออกซิเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเหล็กที่อยู่ภายในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน แต่อย่างไรก็ตามการเก็บดังกล่าวจะทำให้ฮีมไอรอนเพิ่มมากขึ้น และฮีมไอรอนในเนื้อสัตว์ลดลง (Purchas *et al.* 2003) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของฮีมไอรอนในระหว่างการเก็บรักษาสามารถอธิบายได้ว่ามีความสัมพันธ์กับสารไนโตรซิลฮีมที่เกิดขึ้น

จากการทดลองของ Li *et al.* (2012) ที่เกี่ยวกับปัจจัยของแสง การบรรจุที่ส่งผลต่อสารประกอบฮีมไอรอน ฮีมไอรอน และสีของผลิตภัณฑ์เนื้อแฮมสไลด์ จากการทดลอง พบว่า แสง และการบรรจุแบบมีออกซิเจนไม่มีผลต่อสารประกอบฮีมไอรอน ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อสารประกอบฮีมไอรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และจะลดลงภายใน 14

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากสารไนโตรซิลฮีมลดลง ซึ่งจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Estévez *et al.* (2004) ที่ได้มีการทดลองในผลิตภัณฑ์แพ็คเกจ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณสารประกอบฮีมไอรอนจะเพิ่มขึ้น และสารประกอบฮีมไอรอนจะลดลงเนื่องจากไนโตรซิลฮีมลดลง

2.3.2 การวิเคราะห์สารประกอบฮีมไอรอน (Heme Iron)

เนื้อสัตว์เป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน แร่ธาตุที่มีความสำคัญอย่างมากที่นิยมนำมาประกอบเป็นอาหารสำหรับมนุษย์ นอกจากนี้เนื้อสัตว์แล้วยังเป็นแหล่งที่สำคัญของธาตุเหล็ก พบในรูปของสารประกอบฮีมไอรอน 15 – 35% และพบในรูปของสารประกอบฮีมไอรอน 2-20% จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าธาตุเหล็กนั้นมีประโยชน์หลากหลายต่อร่างกายมนุษย์ จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบฮีมไอรอนอย่างกว้างขวาง และมีวิธีการทดลองที่แตกต่างกันออกไปแต่ในปัจจุบันจะใช้อ้างอิงตามวิธีการทดลองของ Hornsey (1956) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ละเอียด และสามารถปรับใช้ให้เหมาะสมกับเนื้อแต่ละประเภทได้ (Kalpalathika *et al.* 1991; Carpenter *et al.* 1995)

การทดลองของ Pourkhalili *et al.* (2013) ได้มีการทดลองในตัวอย่างเนื้อแกะ โดยมี การปรับสัดส่วนของสารละลาย acidified acetone กับปริมาณของเนื้อสัตว์โดยใช้วิธีการทดลองที่แตกต่างกัน 4 วิธี แล้วนำเนื้อสัตว์นั้นไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยผ่านกระบวนการปรุงอาหารที่แตกต่างกัน คือ การต้ม การทอด การย่าง ดังตารางที่ 2.3 พบว่า การต้ม การทอด การย่างทำให้ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total iron) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณเหล็กทั้งหมดในเนื้อสัตว์จะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นในเนื้อสัตว์ การปรุงอาหารด้วยความร้อนจะทำให้ความชื้นลดลงจึงทำให้ปริมาณเหล็กทั้งหมดในเนื้อสัตว์ลดลงด้วย นอกจากนี้การหาสารประกอบฮีมไอรอนที่มีวิธีการแตกต่างกัน 4 วิธี โดยในแต่ละวิธีไม่พบความแตกต่างกัน ยกเว้นในการปรุงอาหารโดยการต้มด้วยวิธีการที่ 4 จะทำให้สารประกอบฮีมไอรอนมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองที่ 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Lombardi-Boccia *et al.* 2012)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณธาตุเหล็กทั้งหมด สารประกอบฮีมไอรอน และสารประกอบฮีมไอรอนที่เตรียมได้จากการทดลองที่แตกต่าง 4 การทดลองในเนื้อดิบ และเนื้อหลังปรุงสุก ($\mu\text{L/g}$)

	Total iron	Heme iron			
		1*	2	3	4
Raw	67.91±8.07 ^a	44.62±1.38 ^{ad}	38.92±2.49 ^{ad}	73.67±14.19 ^{ad}	73.31±31.4 ^a
Boiled	32.41±13.63 ^b	21.96 ±1.08 ^{bc}	21.42±6.61 ^{bc}	41.37±7.09 ^b	62.67 ± 32.6 ^a
Fried	45.25±6.35 ^b	32.57±6.39 ^{acd}	31.36±2.00 ^{acd}	65.94±9.62 ^{acd}	82.01 ± 18.48 ^a
Grilled	47.24±16.22 ^{ab}	35.91±6.97 ^{ad}	33.74±3.85 ^{ad}	72.19±22.33 ^{acd}	82.0 ± 40.4 ^a

^{a b c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

*วิธีการทดลองที่แตกต่างกัน 4 วิธี(1) ตัวอย่าง 10 g ในสารละลาย 40 ml, (2) ตัวอย่าง 10 g ในสารละลาย 45 ml, (3) ตัวอย่าง 5 g ในสารละลาย 45 ml, (4) ตัวอย่าง (freeze-dried) 0.05 g ในสารละลาย 20 ml

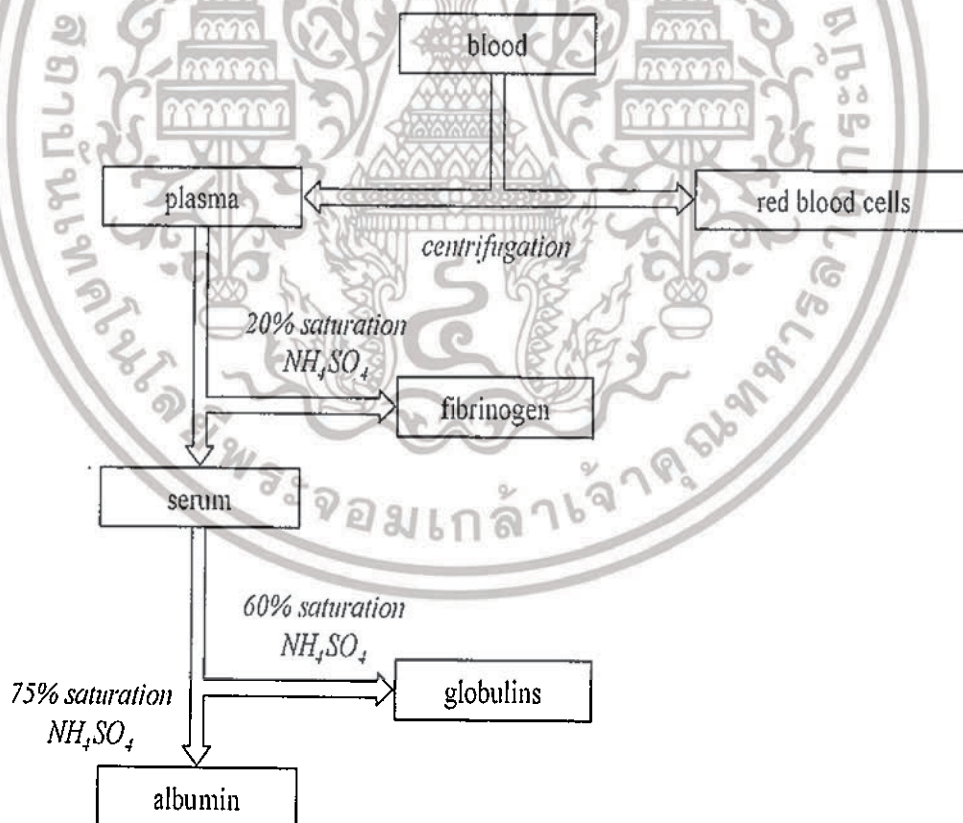
ที่มา : Pourkhalili *et al.* (2013)

2.3.3 การวิเคราะห์สารประกอบนอนฮีมีไอรอน (Non-heme Iron)

ในปัจจุบันมีวิธีการหาสารประกอบนอนฮีมีไอรอนที่หลากหลาย และแตกต่างกันออกไป สำหรับการวิเคราะห์หาสารประกอบนอนฮีมีไอรอนในเนื้อสัตว์ของ Ahn *et al.* (1993) ทำให้ทราบถึงผลของการวิเคราะห์หาสารประกอบนอนฮีมีไอรอนในวิธีการที่ต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ใช้สาร Ferrozine (Rebouche *et al.* 2004), วิธี Schricker (1983) และวิธีที่ดัดแปลงจาก Schricker (1983) โดยทำการทดลองในตัวอย่างเนื้อไก่วงส่วนหน้าอก น่อง และเนื้อส่วนที่เลาะกระดูกออก (ตารางที่ 8) พบว่า วิธีที่ใช้สาร Ferrozine มีค่าสารประกอบนอนฮีมีไอรอนสูงกว่าอีก 2 วิธี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในเนื้อดิบ และเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกแล้ว

2.4 การแยกโปรตีนในเลือด

โปรตีนที่สำคัญที่พบในเลือดสามารถแยกได้ด้วยกระบวนการ salting out ตามวิธีการของ Spadaro *et al.* (2003) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เริ่มจากเซลล์เม็ดเลือดแดงจะแยกออกจากพลาสมาได้ด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) จากนั้นเมื่อตกตะกอนด้วย ammonium sulphate ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 20%, 60% และ 75% จะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในพลาสมาได้แก่ fibrinogen globulins และ albumin สามารถแยกออกจากกันได้ ซึ่งสามารถนำส่วนของโปรตีนที่แยกได้เหล่านี้ไปศึกษาสมบัติการนำไปใช้ที่เหมาะสมได้ต่อไป



ภาพที่ 2.4 การแยกโปรตีนในเลือดออกเป็นส่วนของเซลล์เม็ดเลือด และพลาสมา รวมทั้งการแยก โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของพลาสมา

ที่มา : Spadaro *et al.* (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กระบวนการผลิตเลือดเปิดต้ม

กระบวนการผลิตเลือดเปิดต้มของบริษัท ดี้กคิง จำกัด โดยในการต้มเลือดจะทำการต้มเลือดทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งต้มเลือดครั้งแรกจะเป็นการทำให้ก้อนเลือดแข็งตัวโดยใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วต้มให้สุกอีกรอบหนึ่งด้วยอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปลดอุณหภูมิด้วยการแช่น้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที จนก้อนเลือดมีอุณหภูมิใจกลางที่ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุก้อนเลือดลงถุง ๆ ละ 5 ก้อน แล้วนำไปแช่น้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที เพื่อลดอุณหภูมิอีกรอบหนึ่ง แล้วจึงจัดเก็บก้อนเลือดเข้าห้องแช่เย็นโดยใช้อุณหภูมิที่ 12.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนทำการขนส่งไปยังผู้บริโภคร่าง ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กระบวนการต้มเลือดเปิด
ที่มา : บริษัท ดี้กคิง จำกัด (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids)

ไฮโดรคอลลอยด์ คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และอาจจะเป็น polyelectrolyte อื่นๆ โพลีเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (Phillips and Williams, 2000)

2.6.1 ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์แบ่งตามแหล่งที่มา

- 1) ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids) ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืชได้แก่เมล็ด ยาง เช่น โลกัสบินกัม (locust bean gum) กัมอาราบิก (gum arabic) ราก ลำต้น เช่น แป้งหรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan) หรือได้จากสัตว์ เช่น ไคติน (chitin) หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum)
- 2) ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) ได้แก่ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)
- 3) ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids) เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์โพลีเมอร์ (polyethylene oxide polymers) ส่วนใหญ่ไฮโดรคอลลอยด์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติ และดัดแปรจากธรรมชาติ ไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันเมื่อนำมาใช้จะสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) และอื่นๆ

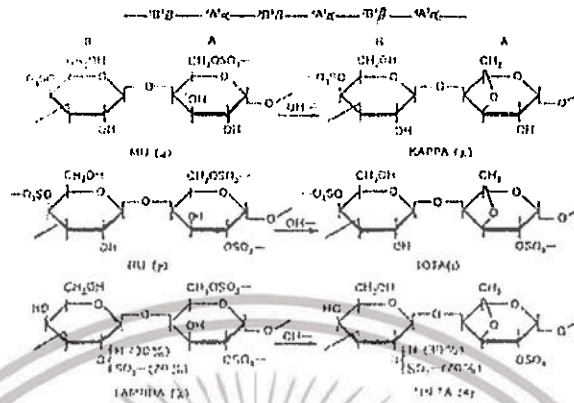
2.6.2 คาร์ราจีแนน (carrageenan)

คาร์ราจีแนนเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้าได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็น galactose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage และเป็น sulphated polysaccharides ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่ม ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ Kappa, Iota และ Lambda ซึ่ง carrageenan ทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำๆ กันหลายหน่วย (ภาพที่ 6) Unit-B แสดง 1,3-linked galactoside ในขณะที่ Unit A แสดง 1,4-linked galactoside

Kappa carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6 AG) โดยมีสารตั้งต้นเป็น mu-carrageenan ถ้ามีปริมาณ anhydride จากการปิดวงเป็น 3,6 anhydride มากถึง 28-35% จะมีผลทำให้ไวต่อโปแตสเซียมและมีความสามารถในการเกิดเจลถึงแม้จะมีการดัดแปรให้มี 3,6-AG สูงที่สุดแต่อาจจะมีผลแตกต่างกันที่จำนวนของ sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 ใน 1,3-linked galactoside และกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 6 ใน 1,4-linked galactoside จะทำให้คาร์ราจีแนนชนิด kappa มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

Iota carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น nu-carrageenan ความแตกต่างระหว่าง anhydride ในคาร์ราจีแนนชนิด kappa และ iota คือ จำนวนกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 1,4-linked galactoside ของ Iota จะมีมากกว่า kappa ประมาณ 25-50% ความไวต่อโปแตสเซียมลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้ามี sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 มากถึง 80% จะไวต่อแคลเซียม

Lambda carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactose ซึ่งมีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณ 70% และ 1,4-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 6 ซึ่ง carrageenan ชนิดนี้ จะไม่เกิดการปิดวงเป็น 3,6AG จึงมีผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

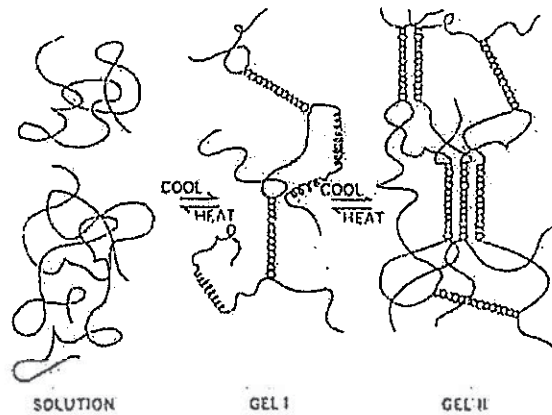


ภาพที่ 2.6 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของ Kappa-, Iota- และ Lambda-carrageenan
ที่มา : Thomus (1992)

คาร์ราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน ถ้าเป็นเกลือ sodium ของ Carrageenan ชนิด Kappa และ Iota จะสามารถละลายได้ในน้ำเย็น ในขณะที่เกลือของไอออนชนิดอื่นๆ เช่น โปแตสเซียม หรือ แคลเซียมไม่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ ส่วน Carrageenan ชนิด lambda จะละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของไอออนซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Carrageenan และไอออนที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ คาร์ราจีแนนชนิด Kappa และ Iota ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70°C นอกจากนี้คาร์ราจีแนนทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายใน water miscible solvent เช่น alcohol และ propylene glycol

คาร์ราจีแนนชนิด Kappa และ Iota มีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของคาร์ราจีแนนเย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็น thermoreversible aqueous gel คือ สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง ในปี ค.ศ. 1969 Rees ได้กล่าวว่าเมื่อคาร์ราจีแนนละลายน้ำจะเกิดเจลเนื่องจากการเกิด form เป็น double helix ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกววนจะสามารถทำให้ helices คลายตัวเป็น random coil เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้าง polymer net work 3 มิติ แต่ละสายของโพลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจลดังภาพที่ 2.7 การเติมโลหะไอออนจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น Kappa carrageenan เมื่อเติม K^+ จะเกิด elastic gel ถ้าเติม Ca^{2+} จะเกิด rigid gel ส่วน Iota carrageenan เมื่อเติม Ca^{2+} จะเกิด elastic gel ถ้าผสมคาร์ราจีแนนชนิด Kappa กับ Iota เข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มี elastic เพิ่มขึ้นและเกิด syneresis น้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น dessert gels, whipped topping และ fluid milk products

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 กลไกการเกิดเจลของ Carrageenan

ที่มา : Rees (1969)

ถ้าผสม locust bean gum ใน kappa carrageenan จะช่วยเสริมให้มี gel strength เพิ่มขึ้น เปลี่ยนลักษณะเนื้อเจล จากที่เปราะและแตกง่ายเป็นมีความยืดหยุ่นดีและเกิด syneresis ลดลง อัตราส่วนที่เหมาะสมของ kappa ต่อ locust bean gum คือ 2:1 จะทำให้เกิด gel strength เพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 1:4 จะทำให้เกิด syneresis น้อยที่สุด ในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต้องทำให้ทั้งคาร์ราจีแนน และ locust bean gum ละลายให้หมดเสียก่อนที่จะเกิดเจล นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเช่น fish gels และ dessert gels แต่การผสม locust bean gum กับ iota carrageenan จะไม่มีผลต่อ gel strength แต่จะมีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล (gelling temperature) และความข้นหนืดของเจล ถ้าผสม locust bean gum 1 ส่วนกับคาร์ราจีแนนชนิด iota 10 ส่วน จะช่วยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเจลที่ได้มีคุณสมบัติเป็น pseudoplastic

คาร์ราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่ pH เป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ถ้า pH ต่ำจะเกิดการ hydrolysis ของ glycosidic linkage มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจล นอกจากนี้ความร้อนยังเป็นตัวเร่งการเกิดไฮโดรไลซ์มากขึ้นที่ pH ต่ำ คาร์ราจีแนนสามารถนำมาใช้ร่วมกับวัตถุบิอื่น ๆ ได้ เช่น แป้ง น้ำตาล กัม เนื่องจากคาร์ราจีแนนเป็น anionic ซึ่งจะเข้ากันได้กับ anionic อื่น ๆ รวมทั้งกับ nonionic อย่างไรก็ตามคาร์ราจีแนนจะไม่สามารถเข้ากันได้กับ cation เช่น ปฏิกริยากับ gelatin และโปรตีนอื่น ๆ

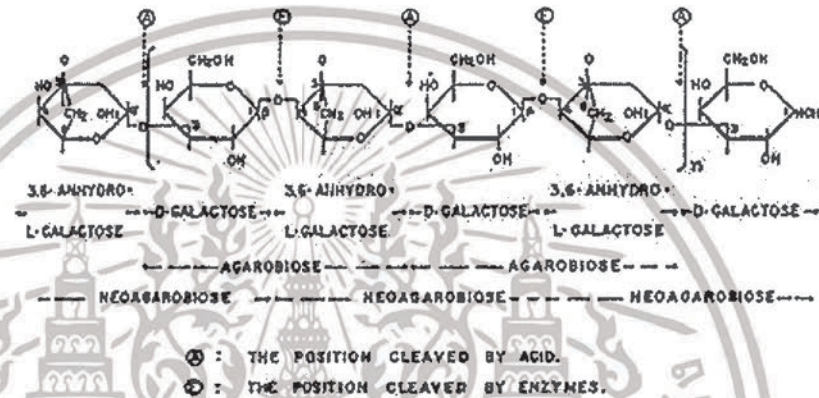
ในการนำคาร์ราจีแนนไปใช้ในอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึง ionic content ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย เช่น ใช้คาร์ราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาร์ราจีแนน จะทำปฏิกริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ ได้แก่ การนำ Carrageenan ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์นม เช่น Calcium fortified milk, Chocolate milk, Mousse, Pudding และ Ice cream ซึ่งจะเติมคาร์ราจีแนนลงในส่วนผสมของไอศกรีมเพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัว ช่วยให้ส่วนผสมของไอศกรีมผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกมา (whey off) ระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณคาร์ราจีแนนที่ใช้ประมาณ 0.01-0.02 % ของส่วนผสมทั้งหมด นอกจากนี้ยังนำไปใช้ใน Water-based food systems เช่น Fruits in gel, Fruit beverages, Pie filling และ Surimi เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 อะการ์ (agar)

อะการ์เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ที่นิยมใช้มากคือ *Gelidium cartilagineum*, *Gracilaria confervoides* และ *Pteroclaia capillacea* ซึ่งสองชนิดแรกใช้ผลิตอะการ์ทางการค้า ประเทศที่ผลิตได้แก่ ญี่ปุ่น สเปน ชิลี และเกาหลี

อะการ์ประกอบด้วย agarose และ agaropectin ซึ่ง agarose เป็นโพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked b-D-galactose เรียงสลับกันไป (ภาพที่ 2.8) ส่วน agaropectin เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน agarose แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณ 5-8 %



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของ agarose
ที่มา : Lahaye and Rochas (1991)

อะการ์ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายได้อย่างช้า ๆ ในน้ำร้อน ละลายได้ดีที่ความเข้มข้นไม่เกิน 4% ในน้ำเดือด ถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงให้ autoclave ที่ 120°C เพื่อช่วยในการละลาย อะการ์มีความสามารถดูดน้ำได้ดีทำให้เกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.04% เกิดเจลได้โดยไม่ต้องอาศัยสารอื่น ๆ ช่วยในการเกิดเจล ซึ่งการเกิดเจลแบบนี้เรียกว่า physical gels โดยเมื่อโมเลกุลของ agarose ละลายอยู่ในน้ำจะมีลักษณะเป็น random coil และเมื่ออุณหภูมิลดลงใกล้อุณหภูมิเกิดเจลจะเกิดการจับกันของสายโพลีเมอร์เป็นแบบ B1 (antisymmetric double helices) หรือ B2 (symmetric double helices) และจะได้โครงสร้างลักษณะเป็นแบบ C, D (ส่วนบน) หรือ C,D (ส่วนล่าง) ตามลำดับ ดังภาพที่ 2.9 การที่จะเกิดรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการลดลงของอุณหภูมิ ถ้าลดลงเร็วจะได้โครงสร้างเป็นแบบรูป B1 และ C,D (ส่วนบน) และเจลที่ได้สมบัติเป็น thermoreversible gel โดยทั่วไปอุณหภูมิเกิดเจลประมาณ 35-40°C และมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 85-90°C เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อแข็ง ชุ่มสีเหลืองอ่อน เปราะแตกได้ง่าย (brittle) เนื้อสัมผัสเป็นแบบ juiciness และ crunchy และเกิด syneresis การเติมน้ำตาล หรือเดกซ์ทริน หรือผสมกับ locust bean gum จะทำให้เจลที่เกิดขึ้นมี gel strength และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดการเกิด syneresis แต่ถ้าเติมแป้งหรือโซเดียมอัลจินเนตจะให้ผลตรงกันข้ามคือทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง เจลที่เกิดจากอะการ์ทนความร้อนเพราะอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล และจุดหลอมเหลวของเจลมีช่วงห่างกัน การใช้อะการ์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bakery Industry ใช้อะการ์เพื่อแก้ปัญหาการลอมตัวของน้ำตาลที่เคลือบ (icing) การเกาะติดของ icing กับวัสดุหุ้ม ลดการแตกหักและหลุดร่วงของ icing
- Confectioneries เช่น ใช้ใน jelly candies, meringues และ pudding
- Meat and fish product เช่น canned tuna in jelly หรือ ผสมใน fish extract ผงเพื่อใช้เตรียม flavor และผลิต soup
- Vegetarian and health products ใช้เป็น Bulking agent แทนแป้ง
- ใช้ทางเภสัชศาสตร์จะใช้เป็น slow release ingredient เพราะอะการ์ไม่สามารถย่อยในร่างกายมนุษย์ได้เนื่องจากไม่มีเอนไซม์
- ใช้เป็น tissue culture media ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ



ภาพที่ 2.9 กลไกการเกิดเจลของ Agarose
ที่มา : Medin (1995)

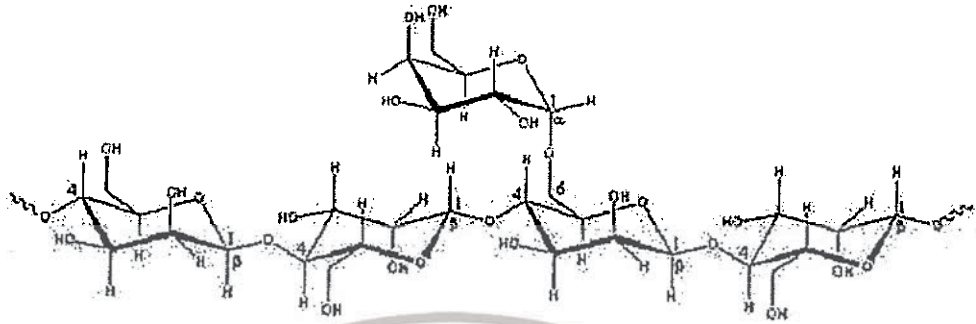
2.6.4 โลคัสต์บินกัม (Locust bean gum)

โลคัสต์บินกัมได้จาก endosperm ของเมล็ดต้น carob (*Ceratonia siliqua*) บางครั้งเรียกว่า carob seed gum ต้น carob เป็นพืชที่ปลูกในแถบเมดิเตอร์เรเนียน โมร็อกโก และโปรตุเกตุ Locust bean gum ไม่สามารถละลายในน้ำเย็นต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อรับความร้อนสูงถึง 95°C หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาโลคัสต์บินกัมให้มีสมบัติพองตัวได้ในน้ำเย็น และนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์นม โครงสร้างของโลคัสต์บินกัมเป็นโพลีเมอร์สายยาวของ mannose ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4 และมีกิ่งแขนงของ galactose ต่อกันด้วยพันธะ 1,6 อัตราส่วนของ mannose ต่อ galactose เป็น 4:1 ดังภาพที่ 2.10 โดยลักษณะโครงสร้างเช่นนี้จึงทำให้โมเลกุลมีส่วนที่เป็นสายหลักของ mannose ที่เรียกว่า smooth สลับกับส่วนที่เป็นกิ่งแขนง

โลคัสต์บินกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ต้องนำมาผสมกับ Xanthan gum จึงจะทำให้เกิดเจลได้หรืออาจผสมรวมกับ Kappa carrageenan จะช่วยเพิ่ม gel strength และลดการเกิด syneresis หน้าที่หลักของ Locust bean gum คือ เพิ่มความหนืด และความคงตัวให้กับอิมัลชัน และยับยั้งการเกิด syneresis ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวาน เนยแข็ง ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์เนื้อ ในเนยแข็งโลคัสต์บินกัมช่วยเร่งให้เกิด coagulation เร็วขึ้น และทำให้ได้เนื้อตะกอนของ curd เพิ่มมากขึ้นประมาณ 10% ในไอศกรีมโลคัสต์บินกัมจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน นอกจากนี้ยังใช้เป็น mould สำหรับผลิต gum drops หรือ jelly candies และใช้เป็น body agent สำหรับเครื่องตีคนเป็นโรคเบาหวาน



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสต์ปีนกัม
ที่มา : Međin (1995)

2.6.5 เจลแลนกัม (gellan gum)

เจลแลนกัม เป็นพอลิแซ็กคาไรด์กัมที่มีประจุลบ ได้จากการหมักโดยแบคทีเรีย *Pseudomonas elodea* ประกอบด้วยหน่วยย่อยซ้ำๆ ของเทตระแซ็กคาไรด์ (tetra saccharide) มีองค์ประกอบเป็น น้ำตาลแรมโนส กรดกลูคูโรนิก และน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล เป็นสารก่อเจลในอาหาร และจะเกิดเจลได้ในภาวะที่มีไอออนประจุบวก

2.6.6 เจลลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากการเสียสภาพธรรมชาติ และสกัดได้จาก คอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนธรรมชาติที่มีอยู่ใน กระดูก หนังสัตว์ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ของสัตว์ เช่น ควาย หมู วัว โดยใช้ความร้อนและกรด หรือ ด่าง เพื่อย่อยหรือสลายให้โมเลกุลของคอลลาเจนเล็กลง เปลี่ยนเป็นเจลาติน

เจลาตินมีลักษณะเป็นแผ่น ชื่น เกร็ด หรือผงสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองอำพัน ละลายได้ในน้ำร้อน ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะอ่อนนุ่ม พองตัว และอุ้มน้ำได้ 5-10 เท่าของน้ำหนักเดิม ละลายได้ในกรดแอสติก (acetic acid) ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเอทานอล 98%

เจลาติน ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เมื่อนำผงเจลาตินผสมในน้ำและให้ความร้อน จะเป็นของเหลวหนืด เมื่อดั่งทิ้งไว้ให้เย็นของเหลวจะกลายเป็นเจล (gel) ใช้ผสมในอาหารได้หลายวัตถุประสงค์ดังนี้

- ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) ที่คืนตัวเป็นของเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน (thermoreversible gel)
- ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้น้ำกับไขมันรวมตัวกันได้ดี ไม่แยกชั้น
- ใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ใช้ในอาหารที่มีไขมันต่ำ
- ใช้สำหรับการจับและเก็บรักษากลิ่นรส (flavor encapsulation)
- ใช้เคลือบผิว แสม ขนมหัก เพื่อรักษาความชุ่มชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การผลิตเจลาตินโดยใช้กรด (Acid Manufacturing Process)

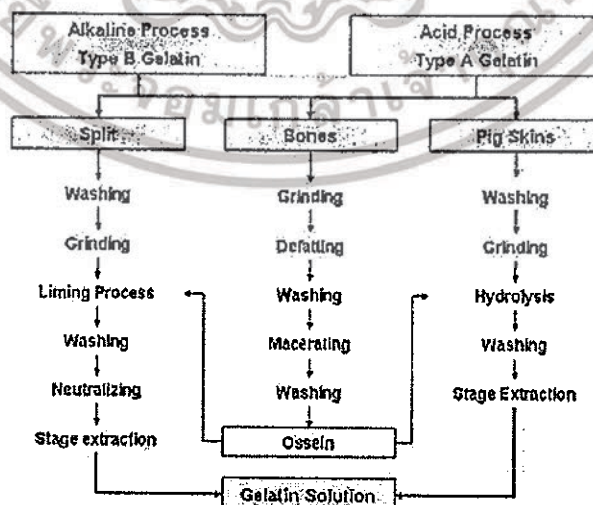
วิธีการย่อยด้วยกรด เป็นวิธีการหลักที่ใช้กระดูกหมู และหนังปลาเป็นวัตถุดิบ โดยคอลลาเจนที่สกัดได้จากวัตถุดิบจะถูกปรับให้เป็นกรด ที่มีค่า pH ประมาณ 4 และให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส จนเดือด เพื่อให้โปรตีนคอลลาเจนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) และทำให้ละลายได้ หลังจากนั้นสารละลายจะถูกนำไปสกัดไขมันออก และกรอง (filtration) เพื่อให้ใส แล้วจึงทำให้เข้มข้น (concentration) โดยการระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (vacuum evaporator) หรือการกรองด้วยเยื่อ (membrane filtration) โดยใช้เยื่อชนิด ultra filtration เพื่อให้ได้เจลาตินเข้มข้นพอที่จะนำไปทำแห้ง (dehydration) ซึ่งมักใช้การอบในตู้อบลมร้อน ขั้นตอนสุดท้ายคืออบ ผสม และบรรจุในบรรจุภัณฑ์

เจลาตินที่ได้ มี isoelectric point อยู่ระหว่าง 7 ถึง 9 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความรุนแรงของการย่อยคอลลาเจนด้วยกรด ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยา hydrolysis ของกรดแอมิโนแอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามีน (glutamine)

2) การผลิตเจลาตินโดยใช้ด่าง (Alkali Manufacturing Process)

กรรมวิธีการผลิตเจลาตินด้วยด่างใช้สำหรับหนังวัวและแหล่งวัตถุดิบจากสัตว์ที่มีอายุมาก โดยคอลลาเจนจะถูกแช่ในด่างแก่ ก่อนการสกัด ด่างจะย่อย side chains บนโมเลกุลของ asparagine และ glutamine ให้เป็นกรดกลูตามิก (glutamic acid) และกรดแอสพาทิก (aspartic acid) ทำให้ได้เจลาตินที่มี isoelectric point อยู่ระหว่าง 4.8 ถึง 5.2 จากนั้นจึงล้างด่างออกและกำจัดเกลือส่วนเกินที่เกิดขึ้นด้วยการใช้ การแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange) ย่อยต่อด้วยกรด ที่ระดับค่า pH ที่ต้องการ ซึ่งระดับค่า pH มีผลต่อความหนืดและความแข็งแรงของเจล จากนั้นนำไปต้มต่อเพื่อเปลี่ยนคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินเหมือนในกรรมวิธีการใช้กรดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น (ภาพที่ 2.11)

เจลาตินที่ได้จากวัวและลูกวัวนั้น สามารถใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ ถ้ามีการเชือดที่ถูกต้องตามหลักการศาสนาอิสลาม ส่วนเจลาตินที่ได้จากหมูไม่สามารถที่จะใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ เจลาตินจากปลาเป็นเจลาตินอีกชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ โดยส่วนใหญ่ได้จากปลาทะเลน้ำลึก เช่น ปลา cod, haddock และ Pollock เป็นต้น



ภาพที่ 2.11 กรรมวิธีการผลิตเจลาติน

ที่มา : Medin (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำ

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเลือดสัตว์นั้นยังไม่มีการศึกษาถึงการนำมาใช้ แต่ได้มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น จาก การทดลองของ Karim *et. al.* (1999) ได้มีศึกษาผลของคาร์ราจีแนนต่อน้ำหนักผลได้ (yield) และ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอด โดยการทดลองมีการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับ glucono-d-lactone (GDL), calcium sulphate (CS) และ calcium acetate (CA) พบว่าการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับ CA สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอดมีน้ำหนักผลได้ ความคงตัว และลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มมากกว่าการใช้ คาร์ราจีแนนร่วมกับ GDL และ CS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) เนื่องจากการใช้คาร์ราจีแนน ร่วมกับ GDL และ CS จะทำให้ค่า pH ลดลง มีผลทำให้โครงสร้างโปรตีนเกิดการหดตัวและปลดปล่อยน้ำ ภายในโครงสร้างออกมา (Smith and Circle, 1972) จึงทำให้น้ำหนักผลได้ ความคงตัว และมีความแข็ง ลดลง ปริมาณความชื้นของการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับ GDL สูงกว่า CS และ CA ซึ่งสามารถสังเกตได้จาก น้ำหนักผลได้ของเวย์ (whey) ที่มีค่าต่ำดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลของการใช้คาร์ราจีแนน และสารช่วยตกตะกอนต่อองค์ประกอบของเต้าหู้

Coagulant ^b	Carrageenan (g l ⁻¹)	Yield ^c (g)	Moisture (%)	Protein (%)	Moisture retention ^e (g g ⁻¹)	pH	Whey (ml)
Calcium sulphate	0	140.5 ^f	78.1 ^f	11.5 ^f (52.30)	6.82 ^f	5.57	623 ^f
	1.0	153.8 ^g	81.3 ^g	9.49 ^f (50.83)	8.57 ^g	5.62	590 ^g
	2.0	186.9 ^h	82.8 ^h	8.77 ^f (50.88)	9.44 ^h	5.60	558 ^h
Calcium acetate	0	136.3 ^f	79.0 ^f	11.0 ^f (52.29)	7.20 ^f	5.62	622 ^f
	1.0	159.6 ^g	82.4 ^g	8.93 ^f (50.86)	9.23 ^g	5.82	596 ^g
	2.0	200.0 ^h	84.6 ^g	7.45 ^g (48.46)	11.36 ^g	5.76	532 ^h
Glucono-d-lactone	0	161.1 ^f	81.3 ^f	9.41 ^f (50.29)	8.64 ^f	4.52	586 ^f
	1.0	183.5 ^g	83.1 ^f	8.29 ^f (48.94)	10.02 ^f	4.55	561 ^f
	2.0	164.2 ^f	79.7 ^f	10.41 ^f (51.4)	7.66 ^f	4.52	580 ^f

^a ค่ากลางข้อมูลมีความแปรปรวน <5% สัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$,

^b Calcium sulphate ที่ระดับ 0.02 mol l⁻¹; Glucono-d-lactone ที่ระดับ 0.02 mol l⁻¹, ^c น้ำหนักสดของนมถั่วเหลือง 700 ml, ^d น้ำหนักแห้งในหน่วย g/g ของโปรตีน

ที่มา : Karim *et. al.* (1999)

จากการทดลองของ วิลาสินี ตีปัญญา (2551) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มะขาม โดยศึกษาผลของปริมาณเจลาตินต่ออัตราส่วนของซูโครส/กลูโคสไซรัป และกรดซิตริก มีผลต่อความหนืด ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเพิ่มของปริมาณเจลาติน และอัตราส่วนของซูโครส/กลูโคสไซรัป มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกทำให้ความหนืดลดลง แต่ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าความหนืดและค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

สูตร	ปัจจัย			ความหนืด (cP)	water activity
	เจลาติน (%)	ซูโครส/กลูโคสไซรัป	กรดซิตริกเข้มข้น 50%		
1	5.00	0.50	3.00	392.62(0.97) ^e	0.726(0.001) ^e
2	5.00	1.50	4.00	267.75(1.99) ^b	0.734(0.002) ^f
3	9.00	0.50	3.00	878.28(2.85) ^p	0.696(0.002) ^b
4	9.00	1.50	4.00	776.75(1.43) ^m	0.718(0.002) ^d
5	7.00	1.00	2.74	552.91(3.39) ^k	0.714(0.002) ^d
6	7.00	1.76	3.50	451.84 (1.90) ^f	0.734(0.002) ^f
7	3.95	1.00	3.50	242.97(2.37) ^a	0.806(0.005) ^h
8	10.05	1.00	2.74	932.88(2.79) ^l	0.675(0.004) ^a
9	7.00	1.00	3.50	515.39(1.08) ⁱ	0.723(0.002) ^e
10	7.00	1.00	3.50	505.43(2.74) ^j	0.726(0.005) ^e

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

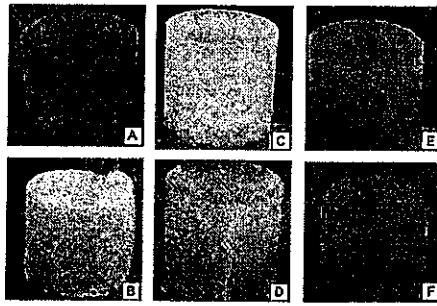
ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

ที่มา : วิชาลีนี ดีปัญญา (2551)

และจากการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเจลาติน 10.05 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนซูโครส / กลูโคสไซรัป เท่ากับ 1/1 และสารละลายกรดซิตริก (เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์) 2.74 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มะขามโดยทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำมะขามทั้งหมด 3 สูตร คือที่ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30% (w/v) ตามลำดับ เมื่อทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า สูตรที่ใช้ความเข้มข้น 320% (w/v) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

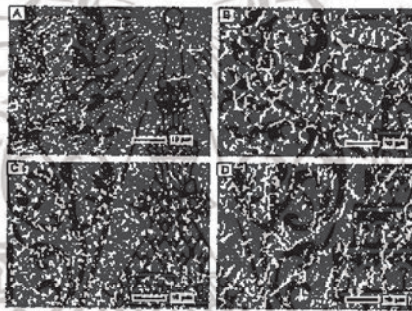
จากการทดลองของ Pires Vilela *et. al.* (2011) ศึกษาอิทธิพลของอัตราการเกิดเจลของเจลาแลน กัม (gellan gum) จากโปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับการใช้เกลือต่อสมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างทางจุลภาค โดยทำการทดลองการเกิดเจลด้วยความเย็น (cold-set gelation) ของโปรตีนถั่วเหลือง (SPI) ที่ใส่เจลาแลน กัม จะถูกนำมาเติมเกลือ (KCl หรือ CaCl₂) โดยมีการใช้วิธีที่แตกต่างกันสองวิธี คือ การเติมเกลือโดยตรง (fast gelation) และการเติมเกลือด้วยวิธีการแพร่กระจายผ่านเมมเบรน (slow gelation) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงกล การไหลซึมของน้ำ (Syneresis) และโครงสร้างทางจุลภาค จากผลการทดลอง พบว่าเจลที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย จะมีความแข็ง และเกิดการเสียรูปร่าง (deformable) ได้มากกว่าเจลที่เติมมีการเติมแคลเซียมโดยตรง ในขณะที่การเติมโพแทสเซียมจะให้ผลตรงข้ามกัน ถ้าสังเกตด้วยตาเปล่าจะมองเห็นเจลเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 2.12) แต่ถ้านำมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 2.13) จะสังเกตเห็นได้ถึงความแตกต่างกัน การเติมแคลเซียมจะทำให้โครงสร้างของโปรตีนแยกออกจากกันชัดเจนกว่า ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน และ polysaccharide อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากองค์ประกอบ และความเข้มข้นของโพลิเมอร์จากธรรมชาติผลการศึกษพบว่าชนิดของเกลือ และความเร็วของการรวมตัวกันนำไปสู่การเจลที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน และทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 ลักษณะโดยทั่วไปของเจลแลน กัม เจลแลน กัมผสมกับโปรตีนถั่วเหลือง หรือเจลผสม (A), เจลผสมที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีโดยตรง (B), เจลผสมที่เติมโพแทสเซียมด้วยวิธีโดยตรง (C), เจลผสมที่เติมคลอไรด์ และเติมแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย (D), เจลผสมที่เติมคลอไรด์ และเติมโพแทสเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย(E), และ เจลผสมที่เติมคลอไรด์ (F)

ที่มา : Pires Vilela *et. al.* (2011)



ภาพที่ 2.13 ภาพโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เจลแลนผสมกับโพแทสเซียม (A), โปรตีนถั่วเหลือง 7% ผสมกับแคลเซียม (B), โปรตีนถั่วเหลือง 8% ผสมกับแคลเซียม (C), และโปรตีนถั่วเหลือง 8% ผสมกับแคลเซียม (กำลังขยาย 2000 เท่า) (D)

ที่มา : Pires Vilela *et. al.* (2011)

จากการทดลองของ Norziah *et al.* (2006) ได้ศึกษาสมบัติของสารผสมระหว่างวุ้น และ แคปปา-คาราจีแนนในอัตราส่วนวุ้น /แคปปา-คาราจีแนนที่ระดับ 100/0, 80/20, 60/40, และ 20/80 โดยให้ความเข้มข้นของเจลผสมรวมเท่ากับร้อยละ 1.5 พบว่าในการผสมแคปปา-คาราจีแนนลงในวุ้นนั้น มีผลทำให้คุณสมบัติในการเกิดเจล และคุณสมบัติในการหลอมเหลวของเจลของวุ้นลดลงเมื่อสัดส่วนของ แคปปา-คาราจีแนนสูงขึ้น

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดตั้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

3.1.1 การเก็บตัวอย่างเลือดเปิด และการเก็บรักษาขณะทำการขนส่ง

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ได้จากโรงฆ่าเปิดของบริษัทตักคิงส์ จำกัด จ.ฉะเชิงเทรา ที่เก็บได้ในขั้นตอนการฆ่า จะถูกนำมาเติมสาร trisodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) ที่ความเข้มข้น 10% (w/v) ในอัตราส่วน sodium citrate : เลือดเปิดเท่ากับ 1:9 (v/v) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ sodium citrate เท่ากับ 1% (w/v) ผสมให้เข้ากันเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (coagulation) จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างเลือดเปิดโดยการแช่ในภาชนะปิดสนิทที่มีการใช้น้ำแข็งเพื่อให้เย็นโดยมีอุณหภูมิประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส และทำการขนส่งกลับมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (กรุงเทพฯ) ภายใน 3 ชั่วโมงหลังการเก็บตัวอย่าง

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างเลือดเปิดตั้มในอุณหภูมิร้อน

ข้อมูลเบื้องต้นในการเตรียม และตั้มเลือดจากโรงงานจะถูกนำมาปรับใช้ในการทดลอง โดยชุดการทดลองควบคุม (control) จะใช้ความเข้มข้นเลือดเท่ากับ 65% (v/v) ความเข้มข้นเกลือสุดท้ายเท่ากับ 0.16% (w/v) หรือ 0.0273 M แล้วบรรจุในอุณหภูมิร้อน (Nylon) ที่ปิดสนิท จากนั้นนำไปตั้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นโดยใช้วิธีการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส)

3.1.3 ปรับปรุงคุณภาพของเลือดเปิดตั้ม

นำเลือดเปิดตั้มจากข้อ 1.2 มาปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำโดยใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ที่บรรจุในอุณหภูมิร้อน (Nylon) ที่ปิดสนิท ดังนี้

- Carrageenan + locust bean gum (50:50) : 0.5, 1.0%
- Carrageenan + locust bean gum (60:40) : 0.5, 1.0%
- Gelatin : 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0 %
- Agar : 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0 %
- gellan gum : 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0 %

3.1.4 เลือดเปิดตั้มที่ได้จากข้อ 1.3 จะนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพเลือดเปิดตั้มดังต่อไปนี้

3.1.4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture Profile Analysis, TPA)

วิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ม ด้วยการประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Instron model 1011 (Calibration Laboratory, USA) โดยทำการตั้มเลือดเปิดที่ทำการประเมินในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นตัดตัวอย่างเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \times 2$ เซนติเมตร ทำการวัดค่าด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยทำการวัดค่าด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ไม่ทำการฉีกขาดชิ้นเนื้อ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน โดยกำหนดการวัดค่าของตัวอย่างจะถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 10 ครั้ง (Bourne, 2002; Colmenero *et al.* 2004) บันทึกค่าความแข็ง (hardness, N) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess, N) ค่าความยากในการเคี้ยว (chewiness, N) ค่าความยืดหยุ่น (springiness, ratio) และค่าการเกาะตัวกัน (cohesiveness, ratio)

3.1.4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity, WHC)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเลือดเปิดต้มด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากของ Schafer *et al.* (2002) ที่แสดงผลด้วยปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (free exudates %) โดยตัดก้อนเลือดต้มให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \times 1$ เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (A) นำมาวางบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) โดยนำก้อนเลือดมาวางบนกระดาษกรอง 2 แผ่น แล้วปิดทับด้านบนอีก 1 แผ่น ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ชั่งน้ำหนักก้อนเลือดอีกครั้ง (B) หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำโดยคิดเป็นน้ำหนักของน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด

$$\% \text{ Free exudate} = (A-B/A) \times 100$$

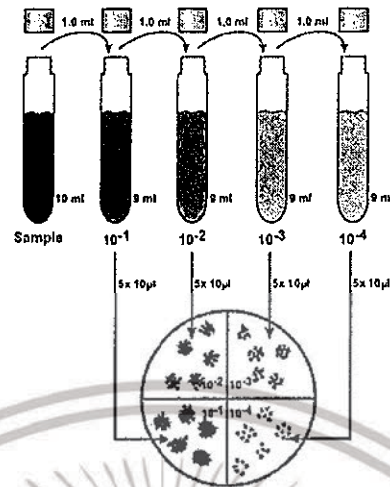
3.1.4.3 สีของเลือดเปิดต้ม

ทำการประเมินคุณภาพทางด้านสีของเลือดเปิดต้ม โดยตัดก้อนเลือดเปิดต้มเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \times 2$ เซนติเมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่พอดีกับรูรับแสง (aperture size) ของเครื่องวัดสี ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 3 ครั้งและแสดงผลเป็นค่า L* (Lightness), a* (Redness), b* (Yellowness) ในรูปแบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter MiniScan EZ 4000L (Hunter Lab Inc., Reston, VA, USA) ปรับเทียบค่าเครื่อง (calibrate) ด้วยแผ่นสีมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง

3.1.4.4 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ทำการตรวจวัดการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม โดยชั่งตัวอย่างเลือดเปิดต้ม 25 กรัม ใส่ในสารละลายเกลียวโซเดียมคลอไรด์ 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 60 วินาที หลังจากนั้นนำมาเจือจางที่ 4 ระดับ โดยเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายเกลียวโซเดียมคลอไรด์ 0.85% ที่เตรียมไว้ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่เหมาะสม และแม่นยำ จึงต้องทำการเจือจางให้ลดลงที่สิบเท่า (ten-fold dilution) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่แบ่งเป็น 4 ส่วน (ภาพที่ 3.1) แต่ละระดับความเจือจางจะทำการทดสอบบนอาหาร PCA จำนวน 2 จานเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อน หลังจากนั้นนำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) ถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophile)ให้นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrophile)ให้นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกนับจานที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวน colony-forming unit (cfu) ต่อ 1 มิลลิลิตร หรือ 1 กรัม (Downes and Ito, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 การตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียทั้งหมดด้วยวิธีการ drop plate method
ที่มา : Downes and Ito (2001)

3.1.4.5 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

ทำการทดสอบการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสความชอบโดยรวม (Hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน (trained panel) จำนวน 12 คน ซึ่งเป็นอาจารย์ และนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยประเมินคุณลักษณะ (attributes) ของผลิตภัณฑ์ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ (เค็ม) และเนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น-แข็งเปราะ) (Stone, 1992)

3.1.4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 11.5: SPSS Inc.) (Steel and Torrie, 1980)

3.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ

3.2.1 เลือกเลือดเปิดต้มตามสูตรที่เตรียมโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์จากข้อ 1.3 ที่ผ่านการคัดเลือกคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาในข้อ 1.4 หลังจากนั้นนำมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของเลือดเปิดต้มเปรียบเทียบกับเลือดเปิดต้มสูตรที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์

3.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition) และคำนวณค่าพลังงาน

เลือดเปิดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทแล้ว จะถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ได้แก่ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า โดยใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเลือดเปิดตั้สูตรปกติ (control) และสูตรที่ผ่านการคัดเลือกพร้อมกับทางบริษัท ตักคิง แต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 3 ครั้งด้วยเทคนิค AOAC (2006) ค่าที่ได้จะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (wet weight basis) วิเคราะห์ค่าพลังงานจากตัวอย่างได้โดยประมาณค่าจากโปรตีน ($\times 4$ kcal/g) คาร์โบไฮเดรต ($\times 4$ kcal/g) และไขมัน ($\times 9$ kcal/g) ที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้

3.2.3 ตรวจหาปริมาณ Heme-iron

ตรวจหาปริมาณ Heme-iron ด้วยวิธีการของ Hornsey (1956) ซึ่งดัดแปลงโดยนำตัวอย่างเลือดเปิดตั้ 4-5 กรัม ใส่ในหลอดเซนต์ปีฟักขนาด 50 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย acid-acetone ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย acidified acetone 16 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 3.6 มิลลิลิตร และ HCl 0.4 มิลลิลิตร (ควรมีปรับปริมาตรการใช้ให้เหมาะสมตามตัวอย่างทดลอง) โดยแบ่งใส่สารละลาย acidified acetone ในหลอดเซนต์ปีฟักขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำมา homogenized (T25 ultra turrax, Krackeler Scientific, USA.) ที่ความเร็วรอบ เป็นเวลา 30 วินาที เติมสารละลาย acid-acetone ที่เหลืออีก 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร แล้วคำนวณหา Heme iron ($\mu\text{g/g}$) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Heme iron } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{OD} \times \text{std. curve} \times \text{dilution} \times 0.0882}{\text{Weight of sample}}$$

สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ Hematin ($\text{C}_{35}\text{H}_{42}\text{FeN}_4\text{O}_5$) ที่ช่วงความเข้มข้น 0-1500 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$

3.2.4 ตรวจหาปริมาณ Non-heme iron

ตรวจหาปริมาณ non-heme iron ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Rebouche *et al.* (2004) โดยนำตัวอย่างเลือดเปิดตั้ประมาณ 50 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น (1:10 w/v) นำมาบดผสมด้วย glass - glass duall homogenizer บนน้ำแข็ง นำสารละลายเลือดเปิดตั้ได้ 200 ไมโครลิตร มาตกตะกอนโปรตีนด้วยการใส่สารละลายผสมของ HCl ที่มาความเข้มข้น 1N และ Trichloroacetic acid 10% (w/v) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร จากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปิดน้ำไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนของเหลวใสที่ได้มาปริมาตร 60 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมของ chromogen solution ที่ประกอบด้วย ferrozine 0.508 mM, sodium acetate 1.5 M และ thioglycolic acid 0.1% (w/v) ปริมาตร 60 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำไปบ่มในที่มืดภายใต้อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายมาตรฐาน (Fe^{3+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 0-60 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ และใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วย sodium acetate 1.5 M และ thioglycolic acid 0.1% (v/v) สำหรับเป็น sample blank solution

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความ

แตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 11.5: SPSS Inc.) (Steel and Torrie. 1980)

3.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดต้มบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท

เลือดเปิดต้มที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์จากข้อ 1.3 ที่ผ่านการคัดเลือกคุณภาพทางด้านต่าง ๆ และสูตรที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ จะถูกนำมาทดสอบอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน และสุ่มมาตรวจวัดคุณภาพ ณ วันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22, 26 และ 30 วันโดยตรวจวัดคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture Profile Analysis, TPA)

วิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม ด้วยการประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Instron model 1011 (Calibration Laboratory, USA) โดยทำการต้มเลือดเปิดที่จะทำการประเมินในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นตัดตัวอย่างเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 × 2 × 2 เซนติเมตร ทำการวัดค่าตัวอย่างด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน โดยกำหนดการวัดค่าของตัวอย่างจะถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 10 ครั้ง (Bourne. 2002; Colmenero et al. 2004) บันทึกค่าความแข็ง (hardness, N) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess, N) ค่าความยากในการเคี้ยว (chewiness, N) ค่าความยืดหยุ่น (springiness, ratio) และค่าการเกาะตัวกัน (cohesiveness, ratio)

3.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity, WHC)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเลือดเปิดต้มด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากของ Schafer et al. (2002) ที่แสดงผลด้วยปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (free exudates %) โดยตัดก้อนเลือดต้มให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 × 2 × 1 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (A) นำมาวางบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) โดยนำก้อนเลือดมาวางบนกระดาษกรอง 2 แผ่น แล้วปิดทับด้านบนอีก 1 แผ่น ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ซึ่งน้ำหนักก้อนเลือดอีกครั้ง (B) หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยคิดเป็นน้ำหนักของน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด

$$\% \text{ Free exudate} = (A-B/A) \times 100$$

3.3.3 สีของเลือดเปิดต้ม

ทำการประเมินคุณภาพทางด้านสีของเลือดเปิดต้ม โดยตัดก้อนเลือดเปิดต้มเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 × 2 × 2 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่พอดีกับรูรับแสง (aperture size) ของเครื่องวัดสี ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 3 ครั้งและแสดงผลเป็นค่า L* (Lightness), a* (Redness), b* (Yellowness) ในรูปแบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter MiniScan EZ 4000L (Hunter Lab Inc., Reston, VA, USA) ปรับเทียบค่าเครื่อง (calibrate) ด้วยแผ่นสีมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง

3.3.4 ตรวจสอบปริมาณ Heme-iron

ตรวจสอบปริมาณ Heme-iron ด้วยวิธีการของ Hornsey (1956) ซึ่งดัดแปลงโดยนำตัวอย่างเลือด เบ็ดต้ม 4-5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลาย acid-acetone ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย acidified acetone 16 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 3.6 มิลลิลิตร และ HCl 0.4 มิลลิลิตร (ควรมีปรับปริมาตรการใช้ให้เหมาะสมตามตัวอย่างทดลอง) โดยแบ่งใส่สารละลาย acidified acetone ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำมา homogenized (T25 ultra turrax, Krackeler Scientific, USA.) ที่ความเร็วรอบ เป็นเวลา 30 วินาที เติมน้ำสารละลาย acid-acetone ที่เหลืออีก 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร แล้วคำนวณหา Heme iron ($\mu\text{g/g}$) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Heme iron } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{OD} \times \text{std. curve} \times \text{dilution} \times 0.0882}{\text{Weight of sample}}$$

สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ Hematin ($\text{C}_{35}\text{H}_{42}\text{FeN}_4\text{O}_5$) ที่ช่วงความเข้มข้น 0-1500 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$

3.3.5 ตรวจสอบปริมาณ Non-heme iron

ตรวจสอบปริมาณ non-heme iron ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Rebouche *et al.* (2004) โดยนำตัวอย่างเลือดเบ็ดประมาณ 50 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น (1:10 w/v) นำมาบดผสมด้วย glass - glass duall homogenizer บนน้ำแข็ง นำสารละลายเลือดเบ็ดที่ได้ 200 ไมโครลิตร มาตกตะกอนโปรตีนด้วยการใส่สารละลายผสมของ HCl ที่มีความเข้มข้น 1N และ Tricholoacetic acid 10% (w/v) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร จากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปิดน้ำไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนของเหลวใสที่ได้มาปริมาตร 60 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำสารละลายผสมของ chromogen solution ที่ประกอบด้วย ferrozine 0.508 mM, sodium acetate 1.5 M และ thioglycolic acid 0.1% (w/v) ปริมาตร 60 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำไปปั่นในที่มืดภายใต้อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายมาตรฐาน (Fe^{3+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 0-60 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ และใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วย sodium acetate 1.5 M และ thioglycolic acid 0.1% (v/v) สำหรับเป็น sample blank solution

3.3.6 วิเคราะห์รูปแบบโปรตีน (protein pattern) ด้วยเทคนิค SDS-PAGE

ทำการแยกโปรตีนในเลือดเบ็ด โดยกระแสไฟฟ้าตามความแตกต่างของมวลโมเลกุลด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (SDS-PAGE) ตามวิธีการของ Laemmli (1970) นำตัวอย่างโปรตีนเลือดเบ็ด ณ วันที่เก็บรักษาที่วันต่าง ๆ มาผสมกับสารละลาย SDS ความเข้มข้น 5% ไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 g เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกระทั่งนำมาวิเคราะห์หาโปรตีนด้วยวิธี Lowry (Lowry *et al.* 1951) ก่อนนำมาไหลลงเจล 15 $\mu\text{g}/\text{gel}$ แบบแนวตั้งด้วยเครื่อง Electrophoresis (AE-6530 mPEG, ATTO, Japan.) โดยใช้ความเข้มข้นของเจลอะครีลาไมด์สำหรับการแยก (running gel) ที่ความเข้มข้น 15% และความเข้มข้นของเจลสำหรับการทำให้โปรตีนเข้มข้น (stacking gel) ที่ความเข้มข้น 4% หลังจากแยกโปร

ตียเสร็จแล้วนำเจลที่ได้มาข้อมสีด้วย coomassie brilliant blue R-250 ที่ประกอบด้วยสารละลายผสมของเอทานอล 45% และกรดอะซิติก 10% แช่ทิ้งไว้ข้ามคืนด้วยเครื่อง Incubator shaker (Daiki Model KBLee 1001, Bio-Active, USA.) และล้างสีข้อมด้วยตัวทำละลายผสมเอทานอล 30% และกรดอะซิติก 10%

3.3.7 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ทำการตรวจวัดการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม โดยชั่งตัวอย่างเลือดเปิดต้ม 25 กรัม ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 60 วินาที หลังจากนั้นนำมาเจือจางที่ 4 ระดับ โดยปิเปตตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.85% ที่เตรียมไว้ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่เหมาะสม และแม่นยำ จึงต้องทำการเจือจางให้ลดลงทีละสิบเท่า (ten-fold dilution) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่แบ่งเป็น 4 ส่วน (ภาพที่ 11) แต่ละระดับความเจือจางจะทำการทดสอบบนอาหาร PCA จำนวน 2 จานเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อน หลังจากนั้นนำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) ถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophile)ให้นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrophile)ให้นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกนับจานที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวน colony-forming unit (cfu) ต่อ 1 มิลลิลิตร หรือ 1 กรัม (Downes and Ito, 2001)

3.3.8 ทำการทดสอบการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis; QDA)

โดยใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน (trained panel) จำนวน 12 คน ซึ่งเป็นอาจารย์ และนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยประเมินคุณลักษณะ (attributes) ของผลิตภัณฑ์ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ (เค็ม) และเนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น-แข็งเปราะ) (Stone, 1992)

3.3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน 2 ทาง (Two-way analysis of Variance, ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของการใช้/ไม่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ และระยะเวลาที่เก็บรักษาต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 11.5: SPSS Inc.) (Steel and Torrie, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

4.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

จากการเปรียบเทียบลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม (Control) กับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร (Betagro) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม เมื่อผ่านกระบวนการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะให้ลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ทั้งนี้ทางบริษัท ดักคิง จำกัด จึงมีความต้องการที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทให้ มีลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร โดยในลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง (ภาพที่ 4.1A) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้วันในระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% และคาร์ราจีแนนผสมโลคัสปีนัมอัตราส่วน 60:40 ที่ระดับความเข้มข้น 1.0% และอัตราส่วน 50:50 ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สามารถช่วยปรับปรุงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่สำหรับการใช้เจลาตินจะส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

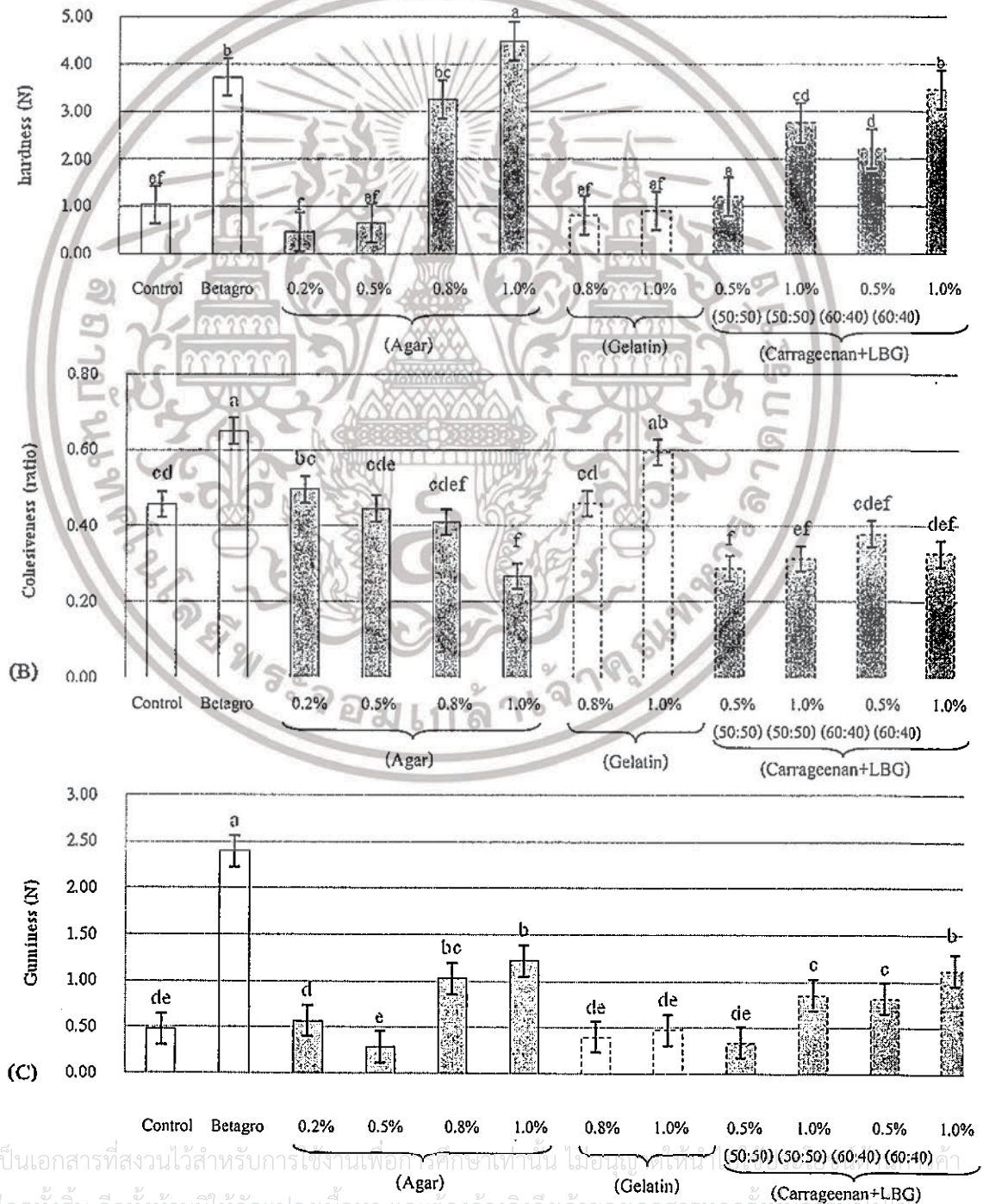
เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านการเกาะรวมตัวกันดังแสดงในภาพที่ 4.1B พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าการเกาะรวมตัวกันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ($p < 0.05$) โดยการใช้เจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 1.0% และวันที่ระดับความเข้มข้น 0.2% สามารถช่วยปรับปรุงค่าความเหนียวคล้ายยาง ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่การใช้คาร์ราจีแนนผสมโลคัสปีนัมไม่สามารถช่วยปรับปรุงค่าการเกาะรวมตัวกันในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมได้ ($p < 0.05$)

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความเนื้อคล้ายยางดังแสดงในภาพที่ 4.1C พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความเนื้อคล้ายยางต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ($p < 0.05$) การใช้วันในระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% และคาร์ราจีแนนผสมโลคัสปีนัมอัตราส่วน 60:40 ที่ระดับความเข้มข้น 1.0% จะให้ค่าการเกาะรวมตัวกันสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และนอกจากนี้การใช้เจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% มีค่าการเกาะรวมตัวกันเท่ากับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม ($p < 0.05$)

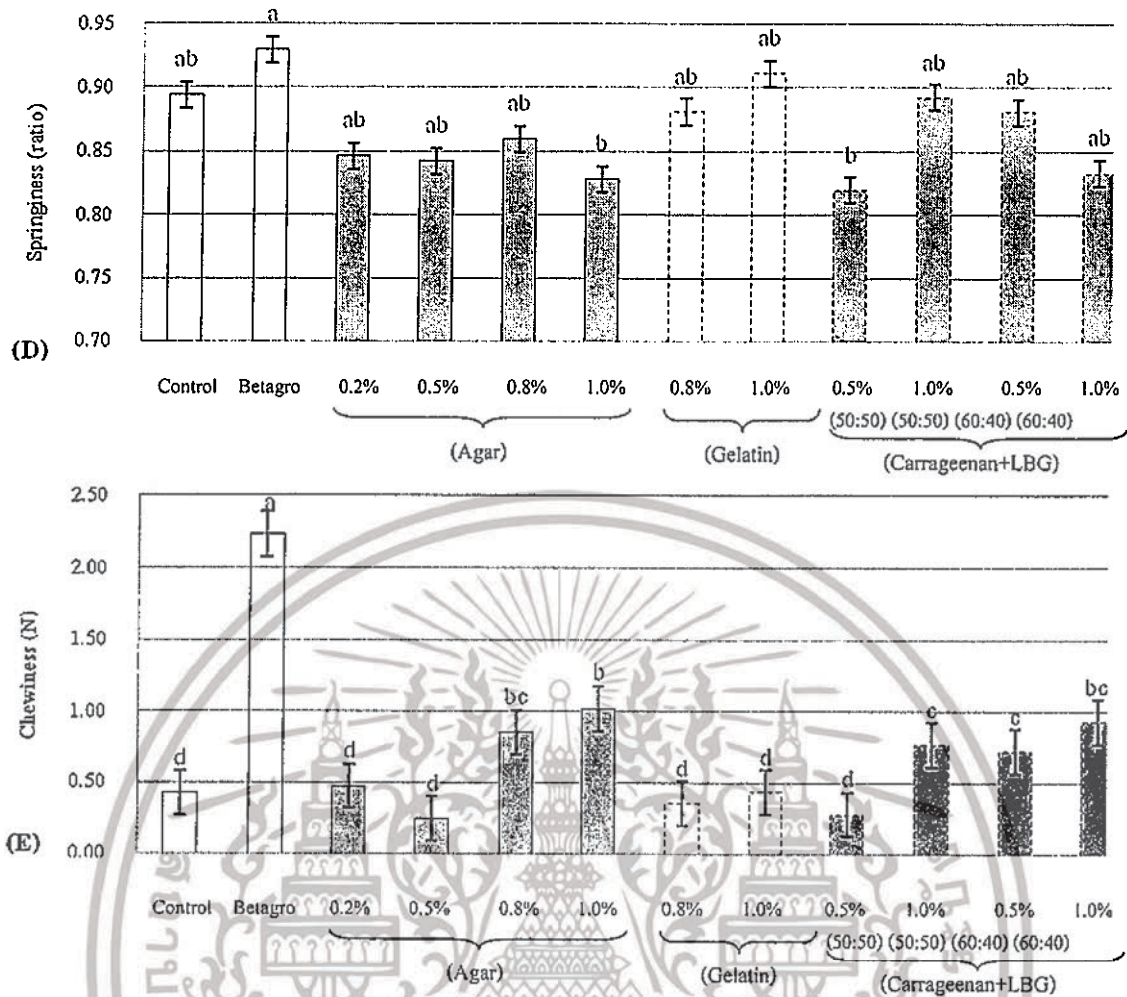
ในลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่น (ภาพที่ 4.1D) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนิทยี่ห้อเบทาโกร ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้คาร์ราจีแนนผสมโลคัสبینกัม, เจลาติน และวุ้นทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นยกเว้น คาร์ราจีแนนผสมโลคัสبینกัมอัตราส่วน 50:50 ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% และวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 1.0% ส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทยี่ห้อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสทางการเคี้ยวได้ดังแสดงในภาพที่ 4.1E พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าการเคี้ยวได้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทยี่ห้อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% กับคาร์ราจีแนนผสมโลคัสبینกัมอัตราส่วน 50:50 และ 60:40 ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ตามลำดับสามารถช่วยปรับปรุงค่าการเคี้ยวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และนอกจากนี้การใช้เจลาตินจะไม่ส่งผลต่อค่าการเคี้ยวได้ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิท ($p < 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่ (50:50) (50:50) (60:40) (60:40) คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนําไปใช้



ภาพที่ 4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

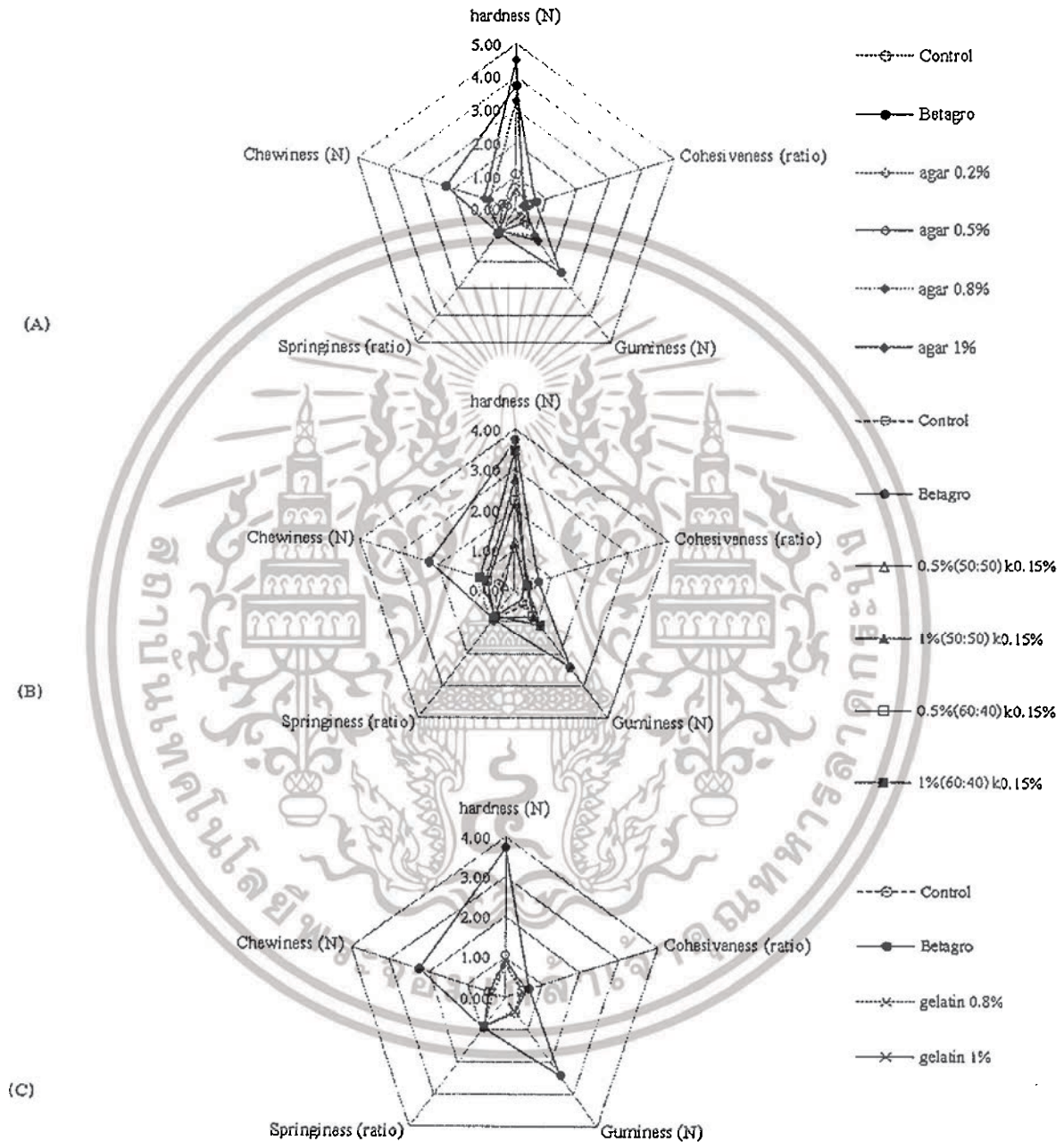
*กลุ่มควบคุม (control)คือ เลือดต้มที่ไม่ได้ผสมไฮโดรคอลลอยด์

เจลาติน (gelatin) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5% ไม่เกิดเจล

เจลแลนกัน (gelatin gum) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5, 0.8, 1.0% ไม่เข้ากับเลือดเนื่องจากเกิดเจลก่อนที่จะผสมกับน้ำเลือด

กล่าวโดยสรุปแล้วว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมทางด้านความแข็ง, ความเหนียวคล้ายยาง, การเกาะรวมตัวกัน และการเคี้ยวได้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ($p < 0.05$) แต่มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับการใส่ไฮโดรคอลลอยด์พบว่าการใช้วันี่ระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% (ภาพที่ 4.2A) สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทได้โดยสามารถปรับปรุงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง, การเกาะรวมตัวกัน และการเคี้ยวได้ให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมากที่สุดแต่การใช้วันี่ระดับความเข้มข้น 1.0% กลับพบว่าลักษณะของเจลที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อทรายมากกว่าวันี่ระดับความเข้มข้น 0.8 % ดังแสดงในภาพที่ 4.3 การใช้คาร์ราจีแนนผสมโลคัสปีนัมอัตราส่วน 60:40 ที่ระดับความเข้มข้น 1.0%(ภาพที่ 2B) สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง, การเกาะรวมตัวกัน และค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคี้ยวได้เช่นกันแต่เจลที่ได้มีลักษณะไม่เข้ากันกับเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วุ้นดังแสดงในภาพที่ 4.3 และการใช้เจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 1.0% (ภาพที่ 4.2C) สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้น้อยที่สุดทั้งในด้านความแข็ง, ความเหนียวคล้ายยางและการเคี้ยวได้ แต่จะช่วยปรับปรุงในด้านการเกาะรวมตัวกันให้กับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมร้อนปิดสนิทได้



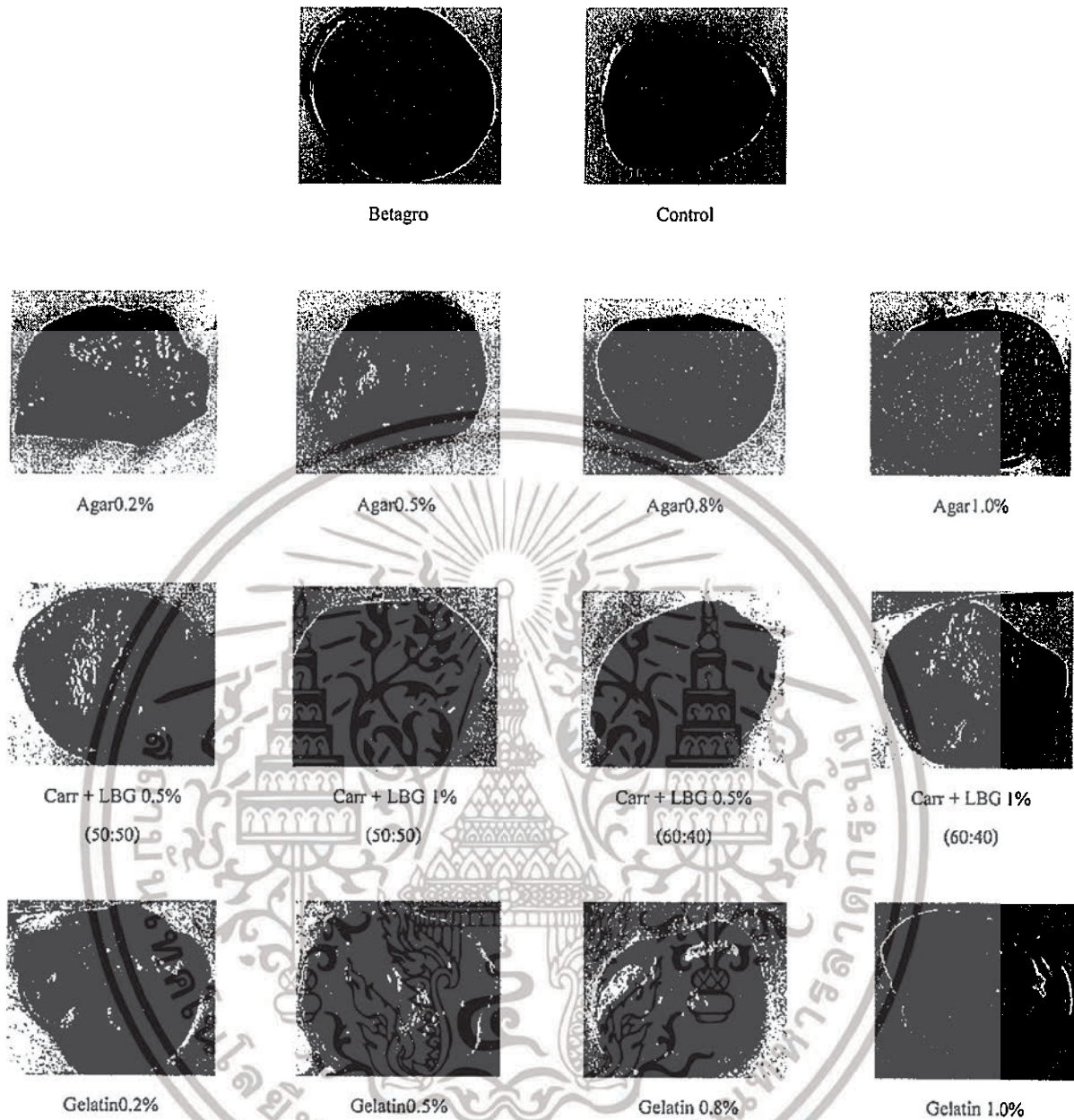
ภาพที่ 4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA)ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

*กลุ่มควบคุม (control)คือ เลือดต้มที่ไม่ได้ผสมไฮโดรคอลลอยด์

เจลาติน (gelatin) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5% ไม่เกิดเจล

เจลแลนกัม (gellan gum) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5, 0.8, 1.0% ไม่เข้ากันกับเลือดเนื่องจากเกิดเจลก่อนที่จะผสมกับน้ำเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

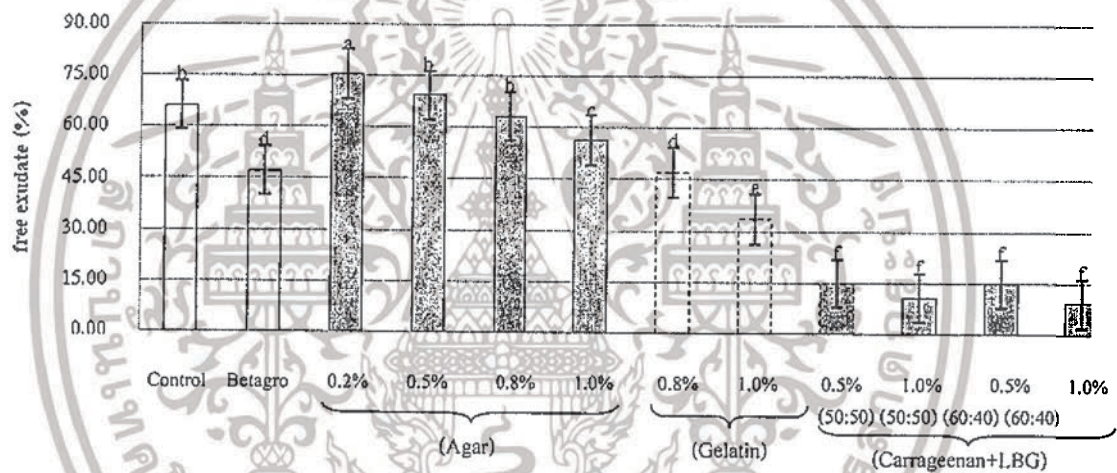


ภาพที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม กับผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรดังแสดงในภาพที่ 4.4 พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudate) ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ชุดการทดลองควบคุมมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ชุดการทดลองควบคุมนอกจากนี้การใช้คาร์ราจีแนนผสมโลคัส บีนกัมทุกระดับความเข้มข้นสามารถช่วยปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดต่ำที่สุด ($p < 0.05$) สำหรับการใช้เจลาตินที่ความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% สามารถปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้รองลงมา แต่การใช้วุ้นไม่สามารถปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudative) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

*กลุ่มควบคุม (control) คือ เลือดหมูตั้ที่ไม่ได้ผสมไฮโดรคอลลอยด์

เจลาติน (gelatin) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5% ไม่เกิดเจล

เจลาแลนกัม (gellan gum) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5, 0.8, 1.0% ไม่เข้ากับเลือดเนื่องจากเกิดเจลก่อนที่จะผสมกับน้ำเลือด

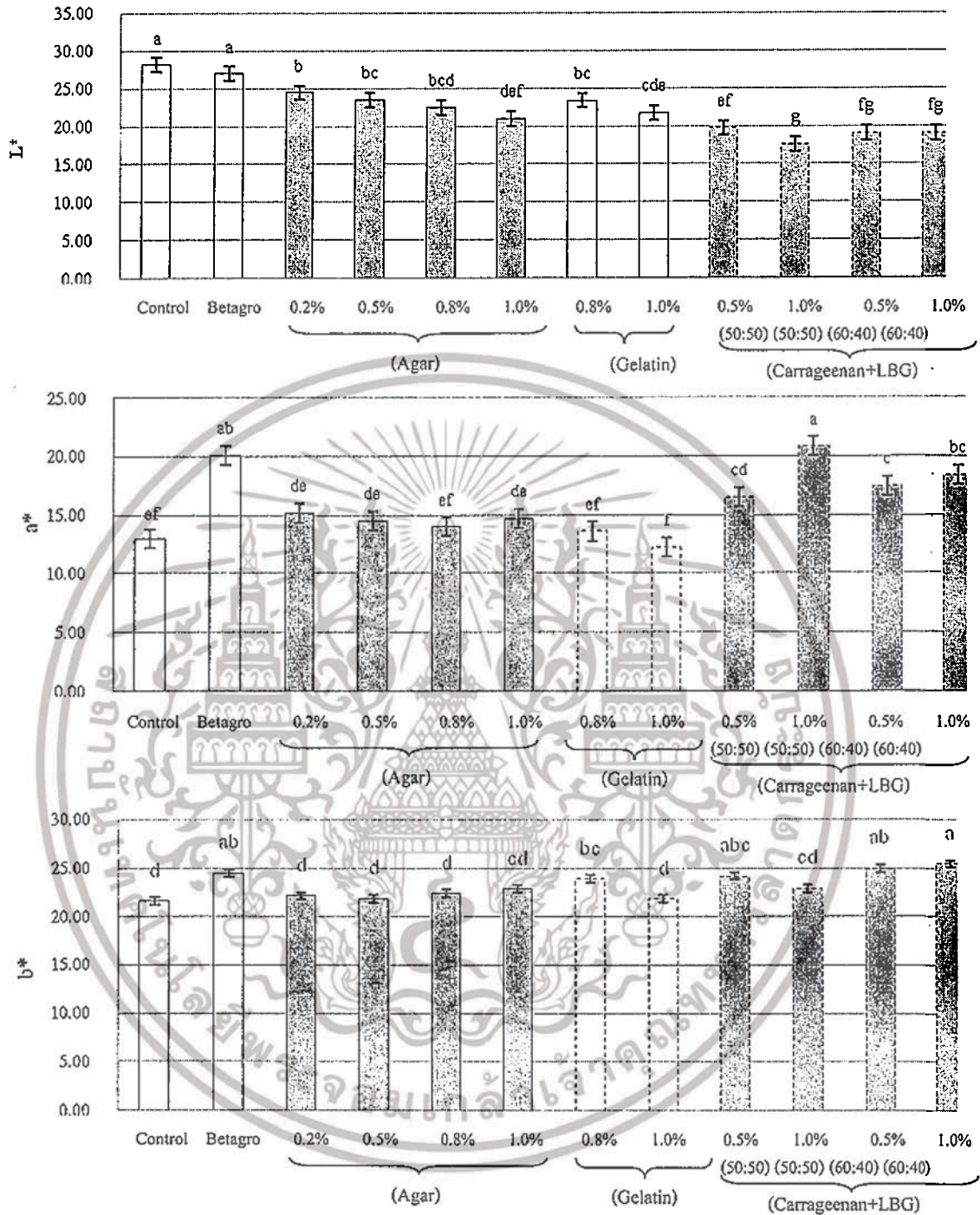
4.1.3 คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม กับผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรดังแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร แต่เนื่องจากทางบริษัทตั้งกิง จำกัด มีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์มีค่าสีใกล้เคียงกับสีเดิมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้คุณภาพด้านความสว่าง (L^* value) (ภาพที่ 4.5A) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิท ชุดการทดลองควบคุมมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) กับผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทยี่ห้อเบทาโกร นอกจากนี้การใช้น้ำที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5 และ 0.8% และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 0.8% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับใช้คาร์ราจีแนผสมโลคัสปีนกันมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับคุณภาพทางด้านสีแดง (a^* value) (ภาพที่ 4.5B) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าสีแดงต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทยี่ห้อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้น้ำทุกระดับความเข้มข้น และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 0.8 และ 0.1% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้คาร์ราจีแนผสมโลคัสปีนกันมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้คุณภาพทางด้านสีเหลือง (b^* value) (ภาพที่ 4.5C) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าสีเหลืองต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทยี่ห้อเบทาโกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การใช้น้ำทุกระดับความเข้มข้น และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 1.0% ไม่ส่งผลเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง ($p < 0.05$) ส่วนการใช้คาร์ราจีแนผสมโลคัสปีนกันมทุกระดับความเข้มข้นมีผลเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองให้กับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.5 คุณภาพทางด้านสีในรูปแบบ CIE L*a*b* ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงนร้อนปิดสนิท ร่วมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์

*กลุ่มควบคุม (control) คือ เลือดต้มที่ไม่ได้ผสมไฮโดรคอลลอยด์

เจลาติน (gelatin) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5% ไม่เกิดเจล

เจแลนแกม (gellan gum) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2, 0.5, 0.8, 1.0% ไม่เข้ากับเลือดเนื่องจาก เกิดเจลก่อนที่จะผสมกับน้ำเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุปแล้วว่าจากการเปรียบเทียบผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม พบว่าการใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8 และ 1.0% สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมากที่สุด แต่การใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 1.0% กลับพบว่าลักษณะของเจลที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อทรายมากกว่าวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8 % สำหรับการปรับปรุงคุณภาพทางด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าการใช้คาร์ราจีแนนผสมโลคัสบีนกัมสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีที่สุด และนอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทการใช้ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าการใช้วุ้นจะให้ค่าสีใกล้เคียงกับสีเดิมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดควบคุมมากที่สุด ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพของเลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิทจะขึ้นอยู่กับความต้องการของบริษัท คี๊กคิง จำกัด ซึ่งทางบริษัทต้องการให้ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิทที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (Proximate composition) และค่าพลังงานของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์

จากการทดลองที่ 1 ได้มีการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์โดยเลือกใช้วันที่ความเข้มข้น 0.8% มาใช้สำหรับการทดลองที่ 2 ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ, โปรตีน, ไขมัน และเถ้าเท่ากับ 94.19%, 5.45%, 0.07% และ 0.51% ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ, โปรตีน, ไขมัน และเถ้าเท่ากับ 92.53%, 5.48%, 0.04% และ 1.08% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองกลุ่มการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน และไขมันไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) เพราะในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทมีระดับความเข้มข้นเลือดที่ 40% เท่ากัน แต่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ และเถ้าแตกต่างกัน ($p < 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทกลุ่มที่มีการเติมวันจะมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีกว่า โดยที่โมเลกุลของวันจะจับน้ำไว้ในโครงสร้างโมเลกุล (Thomus, 1992) ทำให้น้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทกลุ่มที่มีการเติมวันมีน้ำออกมาน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เติม จึงมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำในก้อนเลือดต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อคำนวณค่าพลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม (22.46 kcal/100 g) และผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์ (22.28 kcal/100 g) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition) และค่าพลังงานของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และสูตรที่ใช้ร่วมกับการใช้ไฮโดรคลอไรด์

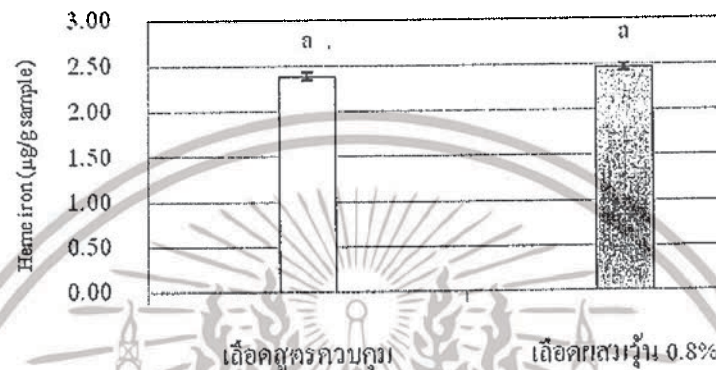
Parameter	ผลจากการวิเคราะห์	
	เลือดเปิดต้มสูตรควบคุม	เลือดเปิดต้มผสมวัน 0.8%
Moisture (%)	94.19 ± 0.01 ^a	92.53 ± 0.04 ^b
Protein (%)	5.45 ± 0.29 ^a	5.48 ± 0.05 ^a
Fat (%)	0.07 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.02 ^a
Ash (%)	0.51 ± 0.00 ^b	1.08 ± 0.01 ^a
Energy value (kcal/100 g)	22.46 ± 1.22 ^a	22.28 ± 0.30 ^a
- Calories from Protein (kcal/100 g)	21.80 ± 1.14 ^a	21.92 ± 0.21 ^a
- Calories from Fat (kcal/100 g)	0.66 ± 0.19 ^a	0.36 ± 0.16 ^a
- Calories from Protein (%)	97.07 ± 0.80 ^a	98.93 ± 0.85 ^a
- Calories from Fat (%)	2.93 ± 0.80 ^a	1.16 ± 1.40 ^a

* Mean ± SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทในสูตรที่ใช้ร่วมกับการไฮโดรคอลลอยด์

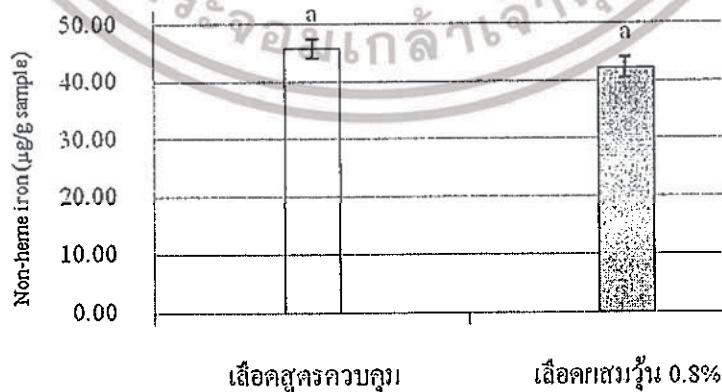
จากการเปรียบเทียบปริมาณฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทพบว่า ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมและผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์มีค่าฮีมไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 4.6) โดยทั้งสองกลุ่มการทดลองมีค่าฮีมไอออนประมาณ 2.4-3.0 $\mu\text{g/g}$



ภาพที่ 4.6 ปริมาณฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และสูตรที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์

4.2.3 ปริมาณนอนฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทในสูตรที่ใช้ร่วมกับการไฮโดรคอลลอยด์

จากการเปรียบเทียบปริมาณนอนฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทพบว่า ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมและผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์มีค่าอนฮีมไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 4.7) โดยทั้งสองกลุ่มการทดลองมีค่าอนฮีมไอออนประมาณ 42.0-46.0 $\mu\text{g/g}$



ภาพที่ 4.7 ปริมาณนอนฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม และสูตรที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิท

4.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (TPA)

จากการทดลองที่ 2 ได้มีการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทรวมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์โดยพบว่าการใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมากที่สุด แต่การใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทยังพบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมด้านความแข็งมีค่าต่ำ และปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมูตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ซึ่งในการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 เดือน อาจทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมด้านความแข็งมีค่าต่ำลง และปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมีค่าสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการปรับระดับความเข้มข้นของเลือดเพิ่มขึ้นเนื่องจาก การเพิ่มระดับความเข้มข้นของเลือดทำให้โปรตีนมีความสามารถในการเกิดเจลสูง และมีเจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Ferry, 1948) นอกจากนี้การเพิ่มของระดับความเข้มข้นเลือดเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนในเลือดซึ่งจะช่วยให้โมเลกุลโปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น (Zayas, 1997) โดยมีการปรับระดับความเข้มข้นเลือดเพิ่มเป็น 40 และ 60% ผลมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% เพื่อใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิท โดยในลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็งดังแสดงในภาพที่ 4.8A พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทที่ระดับความเข้มข้นเลือด 60% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% จะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง ($p < 0.05$)

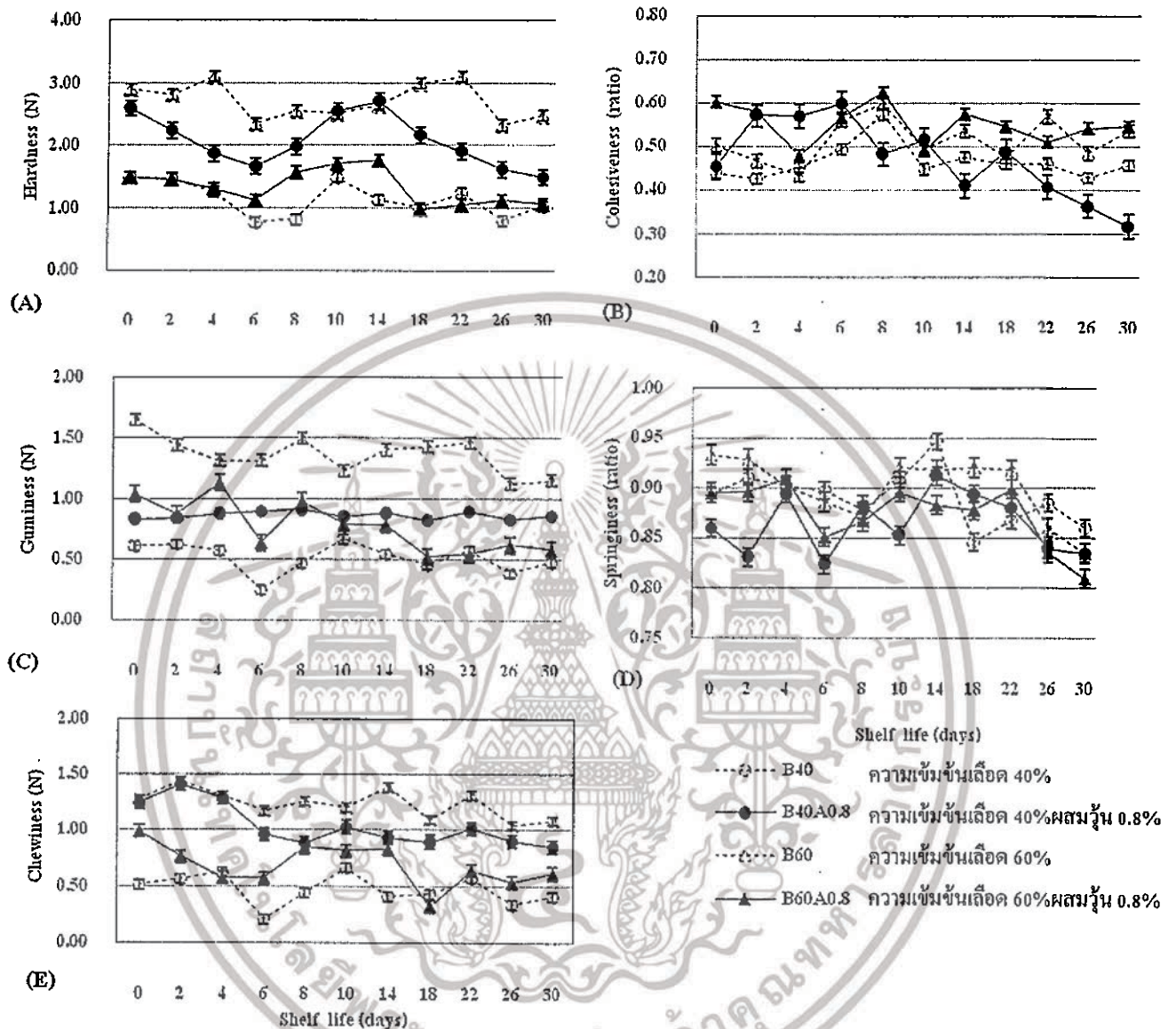
สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านการเกาะรวมตัวกัน (ภาพที่ 4.8B) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ที่เติมวุ้นระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าการเกาะรวมตัวกันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทในชุดการทดลองอื่น ๆ จะไม่ส่งผลต่อค่าการเกาะรวมตัวกัน ($p < 0.05$)

ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความเหนียวคล้ายยาง (ภาพที่ 4.8C) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ที่เติมวุ้นระดับความเข้มข้น 0.8% และผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 60% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าความเหนียวคล้ายยางลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทในชุดการทดลองอื่น ๆ จะไม่ส่งผลต่อค่าความเหนียวคล้ายยาง ($p < 0.05$)

ในลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่น (ภาพที่ 4.8D) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 60% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน จะมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% จะไม่ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่น ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสทางด้านการเคี้ยวได้ (ภาพที่ 4.8E) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บรรจุในถุงพ่นร้อนปิดสนิทที่ระดับความเข้มข้นเลือด 40 และ 60% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่

ระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน จะไม่ส่งผลต่อค่าการเคี้ยวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

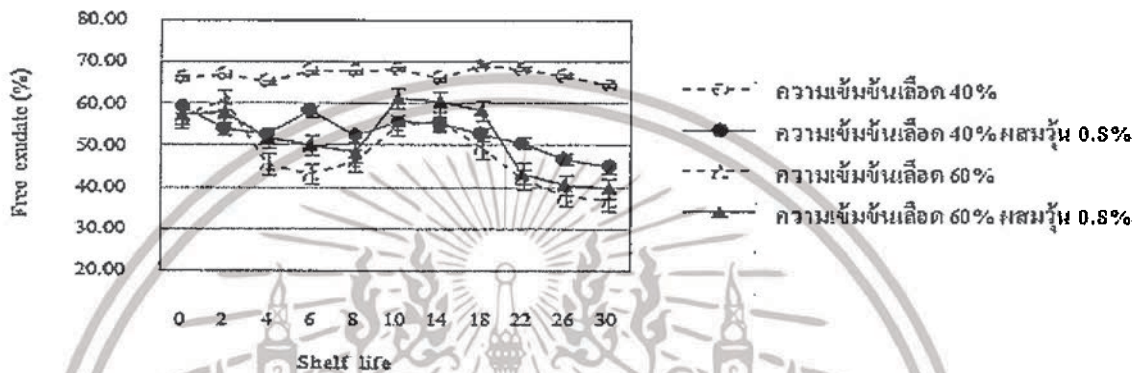


ภาพที่ 4.8 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC)

จากการเปรียบเทียบความสามารถของการอุ้มน้ำต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดตั้บบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิทดังแสดงในภาพที่ 4.9 พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudate) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40 และ 60% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น



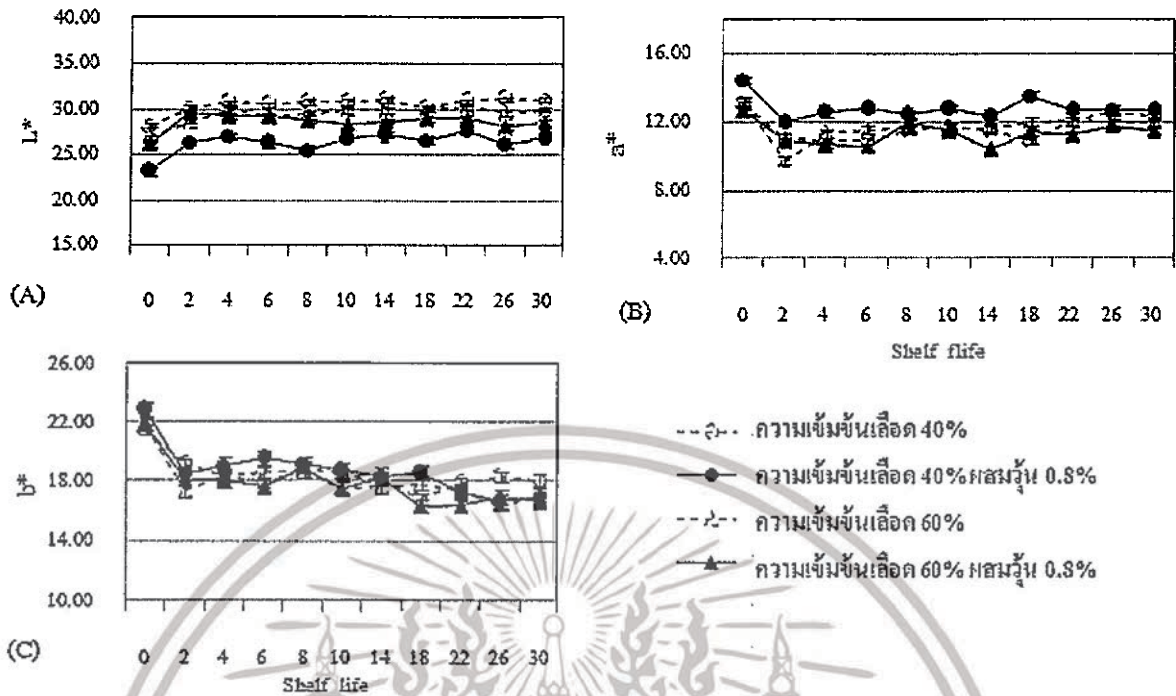
ภาพที่ 4.9 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudate) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิท ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน

4.3.3 ค่าสี (color)

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านความสว่างดังแสดงในภาพที่ 4.10A พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 60% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% ไม่ส่งผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับคุณภาพทางด้านสีแดง (ภาพที่ 4.10B) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40 และ 60% ที่เติมวุ้นระดับความเข้มข้น 0.8% ระหว่างอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40 และ 60% ไม่เติมวุ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

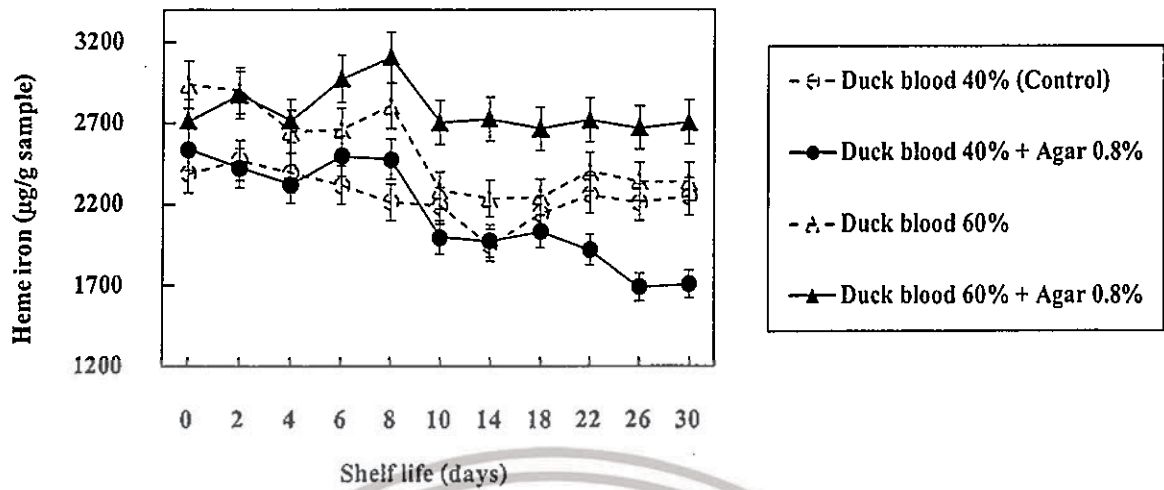
นอกจากนี้คุณภาพทางด้านสีเหลือง (ภาพที่ 4.10C) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 40% ทั้งในชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติมวุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8% และผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 60% ที่เติมวุ้นระดับความเข้มข้น 0.8% มีค่าสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้บในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือด 60% ไม่เติมวุ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าสีเหลือง ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าสีแดง) และ b^* (ค่าสีเหลือง) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน

4.3.4 ปริมาณฮีมไอออน (heme iron)

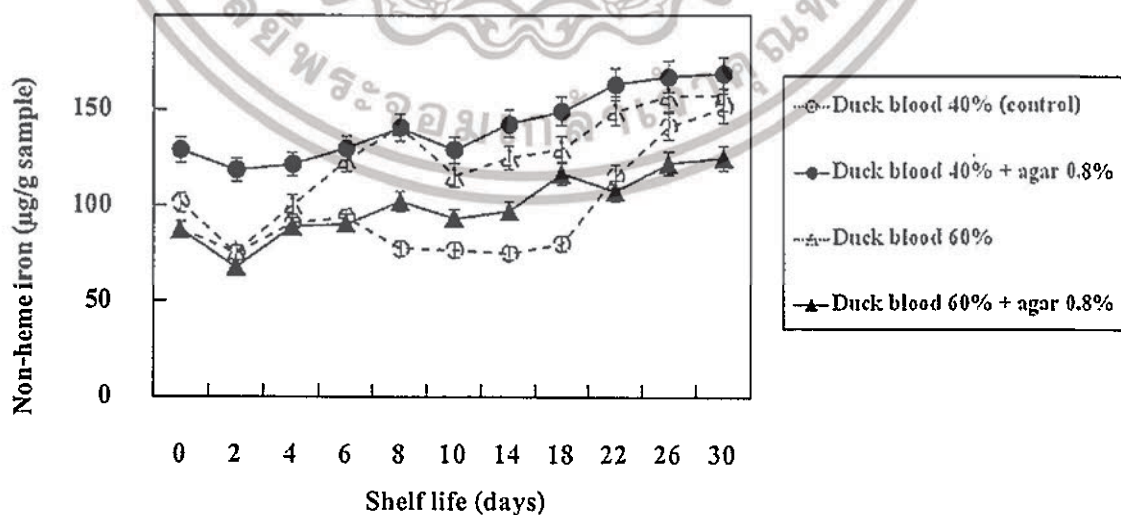
จากการวิเคราะห์ปริมาณฮีมไอออนต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดต้มที่บรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.11) พบว่าในช่วงแรกของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 0-8) ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มทุกชุดการทดลองมีปริมาณฮีมไอออนมากกว่าช่วงท้ายของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 10-30) ($p < 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 2,604.60 และ 2,264.85 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ทั้งชุดการทดลองที่เติม และไม่เติมอะการ์) มีปริมาณฮีมไอออนสูงกว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 (ทั้งชุดการทดลองที่เติม และไม่เติมอะการ์) เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือดจะส่งผลทำให้ปริมาณฮีมไอออนเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.11 ปริมาณฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.5 ปริมาณนอนฮีมไอออน (non-heme iron)

จากการวิเคราะห์ปริมาณนอนฮีมไอออนต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดต้มบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.12) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ในชุดการทดลองควบคุมมีปริมาณนอนฮีมไอออนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 22 และชุดการทดลองที่เติมอะการ์มีปริมาณนอนฮีมไอออนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 ของอายุการเก็บรักษา ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ปริมาณนอนฮีมไอออนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 และชุดการทดลองที่เติมอะการ์มีปริมาณนอนฮีมไอออนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 18 ของอายุการเก็บรักษา ($p < 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ์ และชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ที่ไม่เติมอะการ์ มีปริมาณนอนฮีมไอออนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ

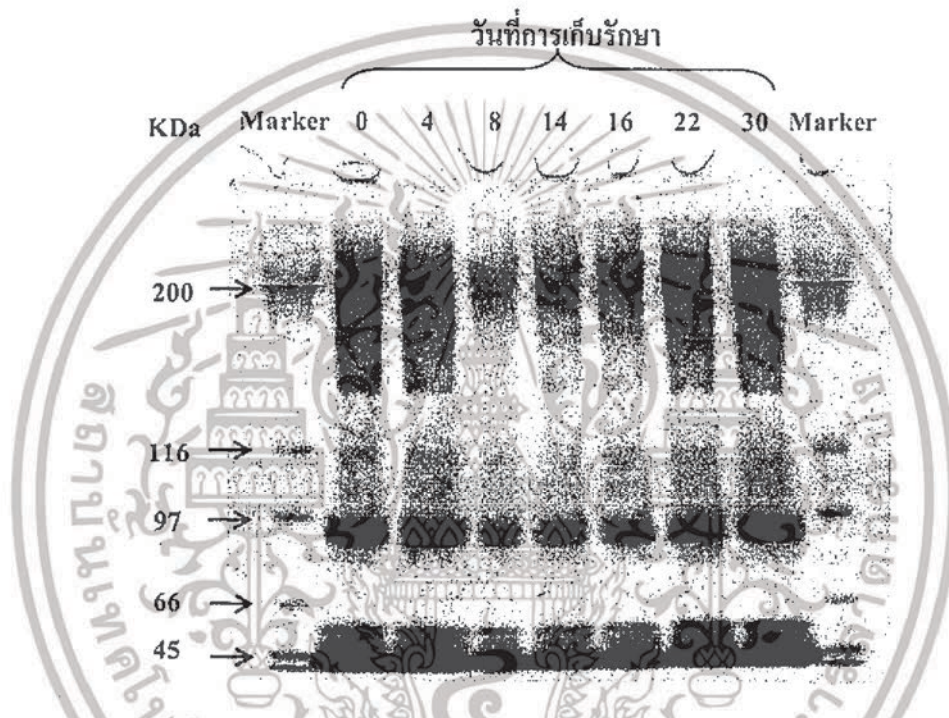


ภาพที่ 4.12 ปริมาณนอนฮีมไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 วิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE

ผลการแยกโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้าภายใต้เทคนิค SDS-PAGE รูปแบบของโปรตีนจากผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่ไม่เติมอะการ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีค่าความแข็งแรงลดลงมากที่สุด ($p < 0.05$) ที่เตรียมในสภาพ Reducing ดังแสดงในภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบโปรตีนในระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ และชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ทั้งชุดที่เติมอะการและไม่เติมอะการ ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการย่อยสลายของโปรตีนส่วนใหญ่ที่อาจจะเกิดจากเอนไซม์ (endogenous enzyme) และ กิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ (Ueng *et al.* 1998)



ภาพที่ 4.13 รูปแบบของโปรตีนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชุดการทดลองควบคุมในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสระยะเวลา วันที่ 30 พบว่าทุกชุดการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (< 10 cfu/g) ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารปรุงสุกที่กำหนดว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (DMSC. 2010) ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างอายุการเก็บรักษาไส้กรอกที่ทำให้เย็นด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่มตัวอย่างไส้กรอกที่ทำให้เย็นด้วยวิธีการแช่ในน้ำเย็นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ทำให้เย็นด้วยวิธีแช่ในน้ำร้อน และทำเย็นแบบเชิงพาณิชย์ โดยสามารถเก็บรักษาได้ 15 วัน เป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำเย็นสามารถขยายเวลาในการเจริญเติบโตที่เหมาะสมสำหรับเชื้อแบคทีเรียได้โดยเฉพะอย่างยิ่งสปอร์ของเชื้อที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเชื้อก่อโรค (Burfoot *et al.* 1990; Drummond *et al.*, 2009) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือดเปิดตำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทำเย็นด้วยการแช่น้ำผสมน้ำแข็งสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ได้

4.3.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบ

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านสี (ภาพที่ 4.14 ก) พบว่าในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0-8) ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ในชุดการทดลองที่เติมอะการผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่ำที่สุด แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (วันที่ 10-26) ผู้บริโภคกลับให้คะแนนความชอบด้านสีในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม (ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40) เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (ภาพที่ 4.14 ข) พบว่าในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0-6) ผู้ทดสอบค่อนข้างชอบลักษณะปรากฏโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่ำที่สุด แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (วันที่ 8-26) ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏโดยรวมในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่เติมอะการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 4.14 ค) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการมากที่สุด ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 แต่เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสทุกชุดการทดลองมีค่าลดลง ($p < 0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ภาพที่ 4.14 ง) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นและรสชาติมีค่าลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำทุกชุดการทดลองเริ่มมีกลิ่นคาวตั้งแต่วันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา

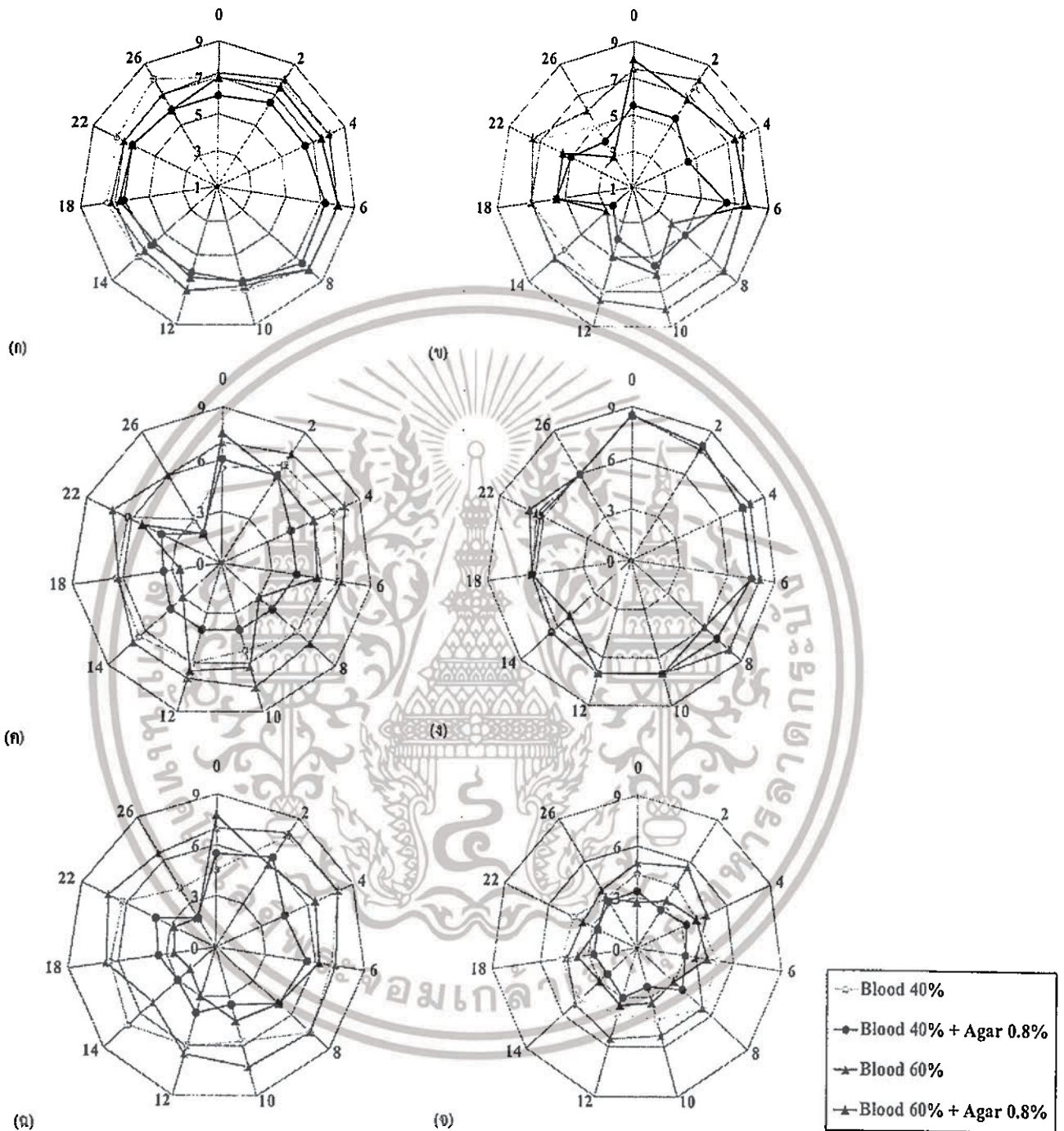
การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านความรู้สึกสากในปาก (ภาพที่ 4.14 จ) และพบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านความรู้สึกสากในปาก ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการมากกว่าในชุดการทดลองที่เติมอะการ ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ($p < 0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านคุณภาพโดยรวม (ภาพที่ 4.14 ฉ) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการมากกว่าในชุดการทดลองที่เติมอะการ ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ($p < 0.05$) แต่เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านคุณภาพโดยรวมมีค่าลดลง ($p < 0.05$)

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตำในอุณหภูมิห้องปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงที่สุดทางด้านสี ด้านลักษณะปรากฏโดยรวม ด้านเนื้อสัมผัส ด้านกลิ่นและรสชาติ ด้านความรู้สึกสากในปาก และด้านคุณภาพโดยรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ชุดการทดลองที่เติมอะการ์ ($p < 0.05$) แต่ทั้งนี้อาจมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น



ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาในด้านสี (ก) ทางด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (ข) ด้านเนื้อสัมผัส (ค) ทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ง) ด้านความรู้สึกสากในปาก (จ) และด้านคุณภาพโดยรวม (ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิท (ที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 1 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที) ร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (คาร์ราจีแนน: โลกัสปีนัม, วุ้น, เจลาติน, แกลแลนกัน) ที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะนำผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชุดการทดลองควบคุม ชุดที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ และผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร มาเปรียบเทียบกับพบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมทางด้านความแข็ง, ความเหนียวคล้ายยาง, การเกาะรวมตัวกัน และการเคี้ยวได้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกร ($p < 0.05$) แต่มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับการใส่ไฮโดรคอลลอยด์พบว่าการใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8 สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดหมุ่ต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทที่ห่อเบทาโกรมากที่สุดโดยไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์

เมื่อทำการทดลองผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนที่ปิดสนิทร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่ออายุการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มทุกชุดการทดลองสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน โดยไม่พบการเสื่อมเสียทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ แต่ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่ไม่เติมวุ้น พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบทางด้านสี ลักษณะปรากฏโดยรวม เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ ความรู้สึกสากในปาก และคุณภาพโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์กับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทจากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้ให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นหรือให้นิ่มลงได้เพื่อให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค

บทที่ 6
สรุปผลผลิตงานวิจัย

Sorapukdee, S., Narunatsopanon, S. 2017. Comparative study on compositions and functional properties of porcine, chicken and duck blood. Korean Journal for Food Science of Animal Resources. 37(2):228-241 (IF 2016 = 0.484)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. 2552. การนำเข้า-ส่งออกเนื้อเป็ดและผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.dld.go.th/ict/th/images/stories/im_ex_livestock_good/2552/dec-52.pdf. (23/04/56).
- นิธิยา รัตนปานนท์. 2549. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 504 น.
- วิลาสินี ดีปัญญา. 2551. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะขาม." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- Ahn, D. U., Wolfe, F. H. and Sim, J S. 1993. "Three methods for Determining nonheme iron in turkey meat." Food Technol. 58: 288-291.
- AOAC. 2006. Chapter 17 AOAC Official Method 966.23c-24. In Horwitz, W. and Latimer, W. Official methods of analysis of AOAC international. Maryland : AOAC international.
- Bourne, M. 2002. Principles of objective texture measurement. In M. Bourne ed. Food Texture and Viscosity. Academic Press, New York.
- Buchowski, M.S., Mahoney, A.W., Carpenter, C.E. and Cornforth, D.P. 1988. "Heating and distribution of total and heme iron between meat and broth." Food Sci. 53: 43-45.
- Carpenter, C.E. and Clark, E. 1995. "Evaluation of methods used in meat iron analysis and iron content of raw and cooked meats." Food Chem. 43: 1824-1827.
- Cho S.M., Y.S. Gu and S.B. Kim. 2005. Extracting optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatin compared to mammalian gelatins. Food Hydrocolloids 19: 221-229.
- Clark, E.M., Mahoney, A.W. and Carpenter, C.E. 1997. "heme and total iron in Ready-to-Eat chicken." Food Chem. 45: 124-126.
- Colmenero, F.J., Ayo, M.J., and Carballo, J. 2004. "Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers." Meat Sci. 69: 781-788.
- Dàvila, E. 2006. "Doctoral thesis. Advances in animal blood processing: development of a biopreservation system and insights on the functional properties of plasma." Universitat de Girona.
- Davila, E., Pares, D., Cuvelier, G. and Relkin, P. 2007. "Heat induced gelation of porcine blood plasma proteins as affected by pH." Meat Sci. 76: 216-225.
- Downes, F.P. and Ito, K. 2001. "Compendium of methods for the microbiological examination of food." Washington, DC., American Public Health Association.
- Duarte, R.T., Carvalho Simões, M.C. and Sgarbieri, V.C. 1999. "Bovine blood components: fractionation, composition, and nutritive value." Food Chem. 47: 231-236.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Estévez, M. and Cava, R. 2004. "Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté." *Meat Sci.* 68: 551-558.
- FAO/WHO. 1973. "Energy and protein requirements." Report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee. Technical report series 522. WHO, Geneva, Italy.
- Foegeding, E. A. and S. R. Ramsey. 1987. Rheological and water holding properties of gelled meat batters containing iota carrageenan, kappa carrageenan or xanthan gum. *Food Sci.* 52: 549-553.
- from Thai traditional liquor distillation." *Meat Sci.* 62: 205-216.
- Glicksman, M. 1983. Red seaweed extracts (agar, carrageenan, furcelleran). In M. Glicksman ed. *Food hydrocolloids*. CRC Press, Inc., Fla, USA.
- Hean, P. J. 1995. "Principle of Hematology." Wm. C. Publishers, United state of America. 209 p.
- Hornsey, H.C. 1956. "The colour of cooked cured pork Estimation of the nitricoxide-heme pigments." *Food Agricul.* 7: 534-540.
- Kalpalathika, P.V.M., Clark, E.M. and Mahoney, A.W. 1991. "Heme iron content in selected ready-to-serve beef products." *Food Chem.*39: 1091-1093.
- Karim, A.A., Sulebele, G.A., Azhar, M.E. and Ping, C.Y. 1999. "Effect of carrageenan on yield and properties of tofu." *Food Chem.* 66: 159-165
- Kikafunda, J. K., and P. Sserumaga. 2005. Production and use of a shelf-stable bovine blood powder for food fortification as a food-based strategy to combat iron deficiency anaemia in sub-saharan Africa. *Food agriculture nutrition and development.* 5: 1-18
- Laemmli, U.K. 1970. "Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4." *Nature* 227: 680-5.
- Lahaye, M. and Rochas, C., 1991, "Chemical structure and physico-chemical properties of agar", *Hydrobiologia*, 126, pp. 137-148
- Lamkey, J. W. 2009. Nonstarch hydrocolloid. In R. Tarte ed. *Ingredients in Meat Product: Properties, Fuctionality and Appliation*. Springer, New York.
- Li, H., Li, C.B., Xu, X.L. and Zhou, G.H. 2012. "Effects of illumination and packaging on nonheme iron and color attributes of sliced ham." *Meat sci.* 91: 521-526.
- Lombardi-Boccia, G. Martinez-Dominguez, B. and Aguzzi, A. 2012. "Total heme and non-heme iron in raw and cooked meats." *Food Sci.* 67: 1738-1741.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. "Protein measurement with the Folin phenol reagent." *Bio. Chem.* 193: 265-275.
- Martini, H. 2006. "Fundamentals of anatomy and physiology." 7th ed. Pearson Education Inc., New York

- Mattos, E. C., Norena, C. P. Z. and Brandelli, A. 2003. "Kinetics of pigment degradation in sliced cooked ham." *J. Muscle Foods*. 14: 221-231.
- McCance, R., Holland, B. and Widdowson, S. 1991. "The Composition of Foods." 5th ed. U.K, Cambridge.
- Medin, A., 1995, "Studies of structure and properties of agarose", Ph.D. Thesis., Acta Universitatis Upsaliensis, 126
- Norziah M.H., S.L. Foo and A.A. Karim. 2006. Rheological studies on mixtures of agar (*Gracilaria changii*) and kappa-carrageenan. *Food Hydrocolloids*. 20: 204-217.
- Ockerman, H.W. and Hansen, C.L. 2000. "Animal Byproduct Processing and Utilization." Lancaster, PA, Technomic.
- Ockerman, H.W. and C.L. Hansen. 1988. Ellis Horwood. Chichester Ltd., England.
- Pegg, R.B., Shahidi, F. and Fox, J.B. 1997. "Unraveling the chemical identity of meat pigments." *Food Sci*. 37: 561-589.
- Phillips, L.G., Whitehead, D.M. and J. Kinsella. 1994. "Structure-Function Properties of Food Proteins." Academic Press, San Diego. p 179-204.
- Pires Vilela, J.A., Fazani Cavallieri, A.L., Cunha, R.L. D. 2011. "The influence of gelation rate on the physical properties/structure of salt-induced gels of soy protein isolate/gellan gum." *Food Hydro*. 25: 1710-1718.
- Pourkhalili, A., Mirlohi, M. and Rahimi, E. 2013. "Heme iron content in lamb meat is differentially altered upon boiling, Grilling, or Frying as assessed by four Distinct analytical methods." *Food Sci*. 54: 173-179.
- Purchas, R.W. Simcock, D.C., Knight, T.W. and Wilkinson, B.H.P. 2003. "Variation in the form of iron in beef and lamb meat and losses of iron during cooking and storage." *Food Sci. and Technol*. 38: 827-837.
- Rebouche, C.J., Wilcox, C.L. and Widness, J.A. 2004. "Microanalysis of non-heme iron in animal tissues." *Biochem. Biophys*. 58: 239-251.
- Reece, O.W. 2006. "Functional Anatomy and Physiology of Domestic Animals." 3th ed. Blackwell Publishing, Ames, Iowa.
- Rees, R.A. 1969. "Structure Conformation and Mechanism in the Formation of Polysaccharide Gels and Networks, edited by Wolfrom, M.L., Tipson, R.S. and Horton, D., New York, Academic Press, pp. 104-148.
- Reizenstein, P. 1980. "Hemoglobin fortification of food and prevention of iron deficiency with heme iron." *Acta Medica Scandinavian Supplement*, pp. 1-47.
- Schafer, A., K. Rosenvold and P.P. Purslow. 2002. Physiological and structural events postmortem of importance for drip loss in pork. *Meat sci*. 61: 355-366.
- Schrieber, R. and H. Gareis. 2007. Gelatin handbook theory and industrial practice. Weinheim Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Springer, New York

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sindelar, J.J., Cordray, J.C., Olson, D.G., Sebranek, J.G. and Love, J. A. 2007. "Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and Frankfurters." *Food Sci.* 72: 551-559.
- Spadaro, A.C.C., Assis-Pandochi, A.I., Lucisano-Valim, Y.M. and Rothschild, Z. 2003. "Salt fractionation of plasma proteins." In *A procedure to teach principles of protein chemistry. Biochemistry and Molecular Biology Education.* pp. 249-252.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. *Principle and Procedure of Statistics.* (2nd ed.) Macgraw-Hill, New York.
- Stone, H. 1992. "Quantitative Descriptive Analysis (QDA)." In: *Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation.* pp. 15-21.
http://www.stories/im_ex_livestock_good/2552/dec-52.pdf, 23/04/56.
- Stryer, L. 1995. "Biochemistry." 4th ed. W H Freeman & Co, New York.
- Swenson, M.J. and Reece, W.O. 1993. "Dukes Physiology of Domestic Animals." 11th ed. Comstock Publishing, London.
- Thomus, W.R., 1992, "Carrageenan," in *Thickening and Gelling Agents for Foods*, Edited by Imeson, A., London, Blackie Academic & Professional, pp. 25-39.
- Toldra, M., Elias, A., Pares, D., Sauer, E. and Carretero, C. 2004. "Functional properties of a spray-dried porcine red blood cell fraction treated by high hydrostatic pressure." *Food Chem.* 88: 461-468.
- Tybor, P.T., Dill, C.W. and Landmann, W.A. 1975. "Functional properties of proteins isolated from bovine blood by a continuous pilot plant process." *Food Sci.* 40: 155-159.
- University of Arizona 2006. "The biology project." [Online]. Available : <http://www.biology.arizona.edu/>. (26-09-2014).
- Vander, A., Sherman, J. and Luciano, D. 2010. "Human Physiology. 8th ed. McGraw." Hill Inc., Singapore.
- Walter, T., E. Hertrampf, F. Pizarro, M. Olivares, S. Llaguno and A. Letelier. 1993. Effect of bovine-hemoglobinfortified cookies on iron status of schoolchildren a nationwide program in Chile. *Food sci.* 57: 190-194.
- Wang, P., Xu, X., Huang, M., Huang, M. and Zhou, G. 2013. "Effect of pH on heat-induced gelation of duck blood plasma protein." *Food Hydrocolloids.* In press
- Wisner - Pedersen, J. 1988. "Use of Haemoglobin in Foods." *Meat Sci.* 24: 31-45
- Young, C.R., Lewis, R.W., Landmann, W.A. and Dill, C.W. 1973. "Nutritive value of globin and plasma protein fractions from bovine blood." *Nutrition Reports International.* 8: 211-217.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Comparative Study on Compositions and Functional Properties of Porcine, Chicken and Duck Blood

Supaluk Sorapukdee* and Supawadee Narunatsopanon

Department of Animal Production Technology and Fisheries, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract

Hematological, chemical and functional characteristics of porcine, chicken and duck blood were evaluated. A porcine blood sample showed the most abundant red blood cell, hemoglobin concentration, packed cell volume and plasma protein content as well as its freeze-dried blood possessed the highest contents of protein, fat, Cu and Cr with the highest percentage of heme iron ($p < 0.05$). Unlike porcine blood, chicken blood showed a well balance in some essential amino acids, specifically for a higher isoleucine content ($p < 0.05$). Furthermore, it possessed the highest contents of carbohydrate, Zn and non-heme iron ($p < 0.05$). The most rapid response to form a strong gel, especially at 70°C and 80°C, was found in chicken blood, followed by duck and porcine blood, respectively. The result of emulsion activity index (EAI) and emulsion stability index (ESI) at the low protein concentration indicated that chicken blood had the most superior emulsion properties ($p < 0.05$). Regarding duck blood, it exhibited the highest content of Mg and Mn ($p < 0.05$). Moreover, duck blood had similar foaming properties to porcine blood in which they showed higher values than chicken blood ($p < 0.05$). Specific characteristics of blood were therefore diminished by animal species in which this information could be used as food supplementation or product development based on their potential applications.

Keywords blood, animal by-product, chemical composition, heme iron, functional property

Introduction

Animal blood was considered as the first by-product obtained during the slaughtering process. Blood is composed of blood cells (20–40% of total blood volume, mostly red cells with smaller amounts of white cells and platelets) and suspended in liquid plasma (60–80%) (Leoci, 2014; Tarté, 2011). It composes of 17–18% protein and 75–82% moisture, where hemoglobin, a protein found in red blood cells, makes up approximately 70% of total blood proteins (Leoci, 2014). In plasma fraction, the major proteins are albumin, globulins (α_1 -, α_2 -, β - and γ -globulins) and fibrinogen, representing approximately 56%, 40.2% and 0.6%, respectively (Tarté, 2011). Blood is a good source of nutrients, especially for the high content of essential amino acids, and the high bioavailability of iron namely heme iron, and it is considered as non-allergenic protein when compared to dairy and soy proteins (Leoci, 2014). However blood proteins are deficient in some essential amino acids, methionine and isoleucine (Ockerman and Hansen, 2000), and their levels in the blood can vary depending on age and animal species (Gorbatov, 1988).

Due to dark color and unpalatability of whole blood, its application as food

Received December 1, 2016
Revised February 13, 2017
Accepted February 19, 2017

*Corresponding author
Supaluk Sorapukdee
Department of Animal Production
Technology and Fisheries, Faculty of
Agricultural Technology, King Mon-
gkut's Institute of Technology Lad-
krabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel: +66-2-3298000 ext. 6052
Fax: +66-2-3298519
E-mail: supaluk.so@kmitl.ac.th

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ingredients is limited. There were extensively researches and reviews regarding the use of fractionated blood in food application based on their functional forms (Bah *et al.*, 2013; Leoci, 2014; Ofori and Hsieh, 2013; Tarté, 2011). They summarized that the primary utilization of blood in food products, such as gelling agent, binder, emulsifier, stabilizer, fat replacer and protease inhibitors, are obtained by plasma protein and its components. On the contrary, spray-dried red blood cell and hemoglobin have been used for iron fortification and color enhancement.

Although several countries, especially in Europe and Asia, have extensively utilized whole blood as a source of protein and have been commercially available in such products as blood sausage, blood pudding, blood cake and blood curd or blood tofu (Liu, 2002), the information of nutritive value and functional properties of whole blood have been explored to a lesser extent. Especially for comparative data among blood from different animal species, there is the only report from Márquez *et al.* (2005), who reported the differences in protein and isoleucine, lysine and methionine contents of bovine, porcine and poultry blood. To better utilization of whole blood, the objective of this investigation was to compare the hematological and chemical compositions as well as functional properties of the animal blood obtained from pig, chicken and duck.

Material and Methods

Animal blood sampling and preparation

Porcine, chicken and duck blood samples (bleeding from Three-way cross-bred pigs from Duroc × (Landrace × Large white) at 6 mon of age, Arber Acer broilers at 42 d, Cherry valley crossbred ducks at 47 d, respectively) were collected in three batches at different days in the bleeding line of industrial slaughterhouses. Immediately, porcine blood was placed into an EDTA collection tube, and avian blood samples were placed into a lithium heparin collection tube for hematological evaluation. To prevent coagulation of blood for determination of chemical compositions and functional properties, animal blood samples were mixed with tri-sodium citrate solution (10%, w/v) at a ratio of 1:9 (v/v) to obtain the final concentration of 1% (w/v). All samples were kept in polystyrene box containing ice and transported to the Department of Animal Production Technology and Fisheries, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang within 3 h for further analysis. Blood samples for

chemical and functional analyses were then freeze-dried in a FD4 Floral Freeze Dryer (Epsilon Co. Ltd., Thailand). Freeze-dried blood samples from the three batches per species were stored at -20°C until analysis.

Determination of hematological parameters

Hematological of porcine blood

Values of red blood cell (RBC), packed cell volume + mean corpuscular hemoglobin (MCH), and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were performed using a semi-automate analysis, Mindray BC-5300 wet (Mindray Medical International Co., Ltd, China).

Hematological of avian blood

RBC count

The total RBC concentration of avian blood was determined manually with the improved Neubauer counting chamber after the blood was diluted 200 times with Natt and Herrick solution (Natt and Herrick, 1952). The total number of RBCs was expressed as the number of RBCs (10^6 cell) per microliter.

PVC

The PCV was determined after the blood had been transferred to microcapillary tubes and centrifuged at 12,500 g for 5 min. Thereafter, the PCV was read as a percentage directly from a PCV reading chart (Schalm *et al.*, 1975).

Hb and RBC indices

The Hb concentration was determined by the cyanmethemoglobin method (Schalm *et al.*, 1975), and reported as g/dL. Values of RBC indices including MCV, MCH and MCHC were calculated from the PCV, Hb concentration, and RBC count as the following equations (Schalm *et al.*, 1975):

$$\text{MCV (femtoliter, fL)} = \frac{\text{PCV (\%)} \times 10}{\text{RBC count} (\times 10^6 / \mu\text{L})}$$

$$\text{MCH (pictogram, pg)} = \frac{\text{Hb (g/dL)} \times 10}{\text{RBC count} (\times 10^6 / \mu\text{L})}$$

$$\text{MCHC (g/dL)} = \frac{\text{Hb (g/dL)} \times 10}{\text{PCV (\%)}}$$

RBC morphology

Porcine, chicken and duck blood smears were stained

with Wright-Giemsa Stain (Schalm *et al.*, 1975) and was observed under a light microscope at 100 of magnification. The RBC diameter of porcine blood as well as the RBC width and length of avian blood were measured on the image files, using UTHSCSA Image Tool® Version 3.00 software (The University of Texas Health Science Center, USA).

Plasma protein concentration

Plasma protein concentrations in porcine, chicken and duck blood were determined by the biuret photometric method (Sirois, 2015). To separate the plasma fraction, collected blood was centrifuged at 2,520 g at 4°C for 15 min according to the procedure of Dávila *et al.* (2007). The supernatant was collected, designed for plasma protein, and then stored at 20°C. Plasma protein concentration in thawed sample was determined by the biuret method with bovine serum albumin as the standard and expressed value as g/dL.

Determination of chemical compositions

Proximate composition

Moisture, protein, fat, carbohydrate and ash contents of freeze-dried blood sample were analyzed according to the method of AOAC (2012). The values were expressed as % (dry weight basis).

Mineral composition

Iron (Fe), magnesium (Mg), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), chromium (Cr), and selenium (Se) contents of freeze-dried blood were determined by the inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer, ICP-OES (Optima 8000, Perkin Elmer Instruments, USA) according to the method of AOAC (2012). Samples (4 g) were mixed with 4 mL of concentrated nitric acid and shaken vigorously for 5 min. The mixtures were then heated using a hot plate until digestion was completed. The digested samples were transferred to a volumetric flask and the volume was made up to 25 mL with deionized water. The solution was subjected to ICP-OES analysis. The wavelengths for analysis of Fe, Mg, Zn, Cu, Mn, Cr and Se were 238.204, 285.213, 206.200, 327.393, 257.610, 267.716 and 196.026 nm, respectively. The concentration of mineral was calculated and expressed as mg/kg dry weight.

Heme iron

Heme iron was determined using acidified acetone ext-

raction according to the method of Hornsey (1956) with a slight modification. Freeze-dried blood sample (0.5 g) was weighted into 50 mL centrifuge tubes. To this was added about half of an acidified acetone solution containing 16 mL of acetone, 3.6 mL of distilled water and 0.4 mL of concentrated hydrochloric acid. Each sample was homogenized for 15 s with an Ultra Turrax T25 (IKA-Labortechnik, Germany). Then, the remaining acidified acetone solution (10 mL) was added. The sample was mixed thoroughly and kept in the dark for 1 h. The obtained solution was centrifuged at 2,200 g for 10 min and supernatant was then filtered through Whatman filter paper No.1. The absorbance was measured at 640 nm against reagent blank. Hematin was used as standard (0-50 mg/mL). The hematin concentration in the sample was calculated from the standard curve. Then the iron content in hematin was calculated with the factor of 0.0882 mg iron/mg hematin (Budavari, 1989), and the value was reported as mg/g dry weight.

Non-heme iron

Non-heme iron content was measured as described by Rebouche *et al.* (2004) with minor modification. Freeze-dried blood sample (25 mg) was homogenized in deionized water (1:10 w/v) using glass-glass Duall homogenizer on slush ice. Two hundred microliters of homogenates and protein precipitation solution (1 N HCl and 10% (v/v) trichloroacetic acid) were combined in 1.5 mL microcentrifuge tubes, vortex mixed and incubated at 95°C for 60 min and subsequently cooled to room temperature. After centrifugation at 10,000 g for 10 min at room temperature, 250 mL of supernatant aliquots were mixed with 250 mL of chromogen solution (0.508 mM ferrozine, 1.5 M sodium acetate and 0.1% (v/v) thioglycolic acid). Sample blank consisted of tissue extract supernatant and 250 mL of 1.5 M sodium acetate containing 0.1% (v/v) thioglycolic acid. After incubation for 30 min at room temperature, absorbance was read at 562 nm in quartz microcuvette using double beam UV-VIS spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu Corporation, Japan). Iron standards (2-10 mg/mL) was used to construct a standard curve. The non-heme iron content was calculated and reported as mg/g dry weight.

Amino acid composition

For all amino acids, except for methionine, acid hydrolysis was performed in which freeze-dried blood sample (100 mg) was hydrolyzed with 6 N HCl (5 mL) and placed

in a heating block at 110°C for 22 h. Regarding methionine, performic acid oxidation followed by acid hydrolysis was applied according to the method of Bosch *et al.* (2006). The internal standard (10 mL of 2.5 mM α -aminobutyric acid) was added into the cooled hydrolysate, mixed, and then diluted with deionized water. The diluted sample was filtered through 0.45 μ m syringe filter. Filtrate (10 mL) was mixed with AccQ Fluor derivative buffer (70 mL) and then added with AccQ Fluor derivative reagent (20 mL) for derivatization at 55°C for 10 min. The AccQ-Fluor amino acid derivatives were separated by reverse phase HPLC (Waters Alliance 2695, Waters, USA) at 35 \pm 1°C and detected by a fluorescence detector (Jasco FP-2020, JASCO International Co., Ltd, Japan) with excitation wavelength at 250 nm and emission wavelength at 395 nm. Samples (5 μ L) were injected into a Hypersil Gold C18 Column (4.6 mm \times 150 mm, 3 μ m) (Thermo Scientific, USA). The separation gradient was performed according to the manufacture's protocol, which sodium acetate buffer, pH 4.9 as eluent A and 60% acetonitrile as eluent B were used.

Determination of functional properties

Solubility

The solubility was tested at different pHs following the method of Intarasirisawat *et al.* (2012). The sample was dispersed in distilled water and the pH was adjusted to different pHs (2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0) using either 6 N HCl or 6 N NaOH. The volume of the mixture was adjusted to the desired volume to obtain the final concentration of 10 mg sample/mL using distilled water with the corresponding pH. After stirring for 90 min, the mixtures were centrifuged at 1,800 g for 30 min. Protein concentration in the supernatant was determined using the Lowry method with bovine serum albumin as a standard. Total protein content in the sample was determined after solubilization of the sample in 0.5 N NaOH. Protein solubility was calculated as follows:

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{Protein content in supernatant}}{\text{Total protein content in sample}} \times 100$$

Gelation

To determine effects of temperature and time on gel quality during thermally induced gelation, the method of Nowsad *et al.* (2000) was applied. Prepared blood samples (100 mg/mL dissolved in distilled water) were placed

into small nylon bags (50 mm \times 150 mm), heat-sealed and then heated in a temperature-controlled water bath (Memmert, Germany) at 70, 80 and 90°C for 15, 30, 45, 60, 75 and 90 min, respectively. After the heat treatment, gels were cooled on ice water. After storage for 24 h, the gels were cut into 6 cube samples for each heat treatment (20 mm \times 20 mm \times 20 mm). Texture profile analysis using an Instron universal testing machine model 1011 (Instron Engineering Corp., USA) equipped with a cylinder plate aluminum (155 mm diameter) was conducted. Samples were compressed at room temperature with the following testing conditions: crosshead speed was 60 mm/min and compressed twice to 40% of their original height. The Bluehill 2 software (Instron Engineering Corp., USA) was used to collect and process the data, where hardness (N) and springiness (ratio) were expressed.

Emulsion properties

The emulsion activity index (EAI) and the emulsion stability index (ESI) were determined according to the method of Pearce and Kinsella (1978), with slight modification. Samples at different concentrations (5, 10 and 20 mg/mL) were prepared using distilled water. Sample solution (6 mL) and soybean oil (2 mL) were homogenized (Ultra Turrax T25, IKA-Labortechnik, Germany) at a speed of 20,000 rpm for 1 min. The emulsions were pipetted out at 0 and 10 min and 100-fold diluted with 0.1% (w/v) SDS. The mixture was mixed thoroughly for 10 s using a vortex mixer. The absorbance was measured immediately (A_0) and after 10 min (A_{10}) of emulsification using a spectrophotometer, and was used to calculate EAI and ESI as follows:

$$\text{EAI (m}^2/\text{g)} = (2 \times 2.303A)DF / ? \phi C$$

$$\text{ESI (min)} = A_0 \times \Delta t / (A_0 - A_{10})$$

where A , A_{500} ; $?$, path length of cuvette (m); DF, the dilution factor (100); F , oil volume fraction; C , protein concentration in aqueous phase (g/m^3) and Δt , 10 min. The control was prepared by mixing distilled water and oil in the absence of sample.

Foaming properties

Foam expansion (FE) and foam stability (FS) of sample solutions were performed as described by Nalinanon *et al.* (2011) with slight modification. The samples were dissolved in distilled water (pH 7.0) to obtain designated protein concentrations (5, 10 and 20 mg/mL). Twenty milliliters of solutions were homogenized in a 100 mL-cylinder

at a speed of 13,400 rpm to incorporate the air for 1 min at room temperature. The samples were allowed to stand for 0 and 30 min. FE and FS were then calculated using the following equations:

$$FE (\%) = (V_T/V_0) \times 100$$

$$FS (\%) = (V_i/V_0) \times 100$$

where V_T is total volume after whipping, V_0 is the original volume before whipping, and V_i is total volume after leaving at room temperature for 30 min.

Statistical analysis

Data was subjected to analysis of variance (ANOVA) and mean comparison was performed by Duncan's multiple-range test. Pearson's correlation coefficients were evaluated to determine the relationship among parameters. These statistical analyses were performed by using the Statistical Package for Social Science (SPSS for Windows version 11.5, SPSS Inc., USA).

Results and Discussion

Hematological parameters

There were significant differences in hematological parameters among animal blood as shown in Table 1. Porcine blood had a higher number of RBC than chicken and duck blood ($p < 0.05$). A higher Hb concentration was found in porcine and duck blood than in chicken blood ($p < 0.05$). The highest percentage of PCV was observed in porcine blood, followed by duck and chicken blood, respectively ($p < 0.05$), and this value correlated with Hb concentration ($r = 0.962$, $p < 0.01$) (Table 2). Although MCHC value was not significant differences among samples ($p > 0.05$), the highest values of MCH was shown in duck blood, followed by chicken and porcine blood, respectively ($p < 0.05$). The MCV value indicated that duck blood had the largest RBC size, while porcine blood had the lowest value ($p < 0.05$). All hematological parameters in this report were comparable within the ranges for porcine blood, chicken and duck (Weiss and Wardrop, 2010), where

Table 1. Hematological parameters of whole blood derived from pig, chicken and duck

Hematological parameters	Porcine blood	Chicken blood	Duck blood	SEM ^a	P-Value
Red blood cell, RBC ($\times 10^6$ cell/ μ L)	7.43 \pm 0.16 ^{3a}	2.11 \pm 0.11 ^b	1.98 \pm 0.23 ^b	1.14	0.000
Hemoglobin, Hb (g/dL)	13.00 \pm 0.14 ^a	8.90 \pm 0.85 ^b	11.75 \pm 0.49 ^a	0.79	0.012
Packed cell volume, PCV (%)	40.50 \pm 0.71 ^a	25.50 \pm 0.72 ^c	34.50 \pm 2.12 ^b	2.79	0.004
Mean corpuscular volume, MCV (fL)	56.30 \pm 1.84 ^c	121.38 \pm 9.47 ^a	174.77 \pm 9.26 ^b	21.80	0.001
Mean corpuscular hemoglobin, MCH (pg)	17.50 \pm 0.57 ^a	42.23 \pm 1.90 ^b	59.59 \pm 4.31 ^b	7.77	0.001
Mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC (g/dL)	31.10 \pm 1.98 ^a	34.96 \pm 4.30 ^a	34.08 \pm 0.66 ^b	1.14	0.445
Plasma protein (g/dL)	7.6 \pm 0.57 ^a	4.35 \pm 0.36 ^b	4.52 \pm 0.28 ^b	1.00	0.000

¹Values are given as mean \pm SD of triplicate blood sampling.

²Different superscripts in the same row indicate significant differences ($p < 0.05$).

³SEM is standard error of mean.

Table 2. Pearson's correlation coefficients (r) of hematological parameters of whole blood

	RBC	HB	PVC	MCV	MCH	MCHC	RBCW	RBCL	PLP	HE	NHE
RBC											
HB	0.708										
PVC	0.786	0.962**									
MCV	-0.899*	-0.365	-0.447								
MCH	-0.917*	-0.382	-0.496	0.991**							
MCHC	-0.627	-0.411	-0.644	0.446	0.560						
RBCW	-0.969**	-0.559	-0.522	0.974**	0.968**	0.493					
RBCL	-0.972**	-0.563	-0.527	0.971**	0.965**	0.497	0.979**				
PLP	0.968**	0.830*	0.851*	-0.814*	-0.817*	-0.499	-0.919**	-0.922**			
HE	0.485	0.924**	0.915*	-0.077	-0.128	-0.464	-0.227	-0.272	0.617		
NHE	-0.893*	-0.926**	-0.975**	0.626	0.665	0.648	0.631	0.671*	-0.938**	-0.873**	
PHE	0.795	0.963**	0.994**	-0.469	-0.513	-0.613	-0.521	-0.564	0.871*	0.940**	-0.987**

*Correlation is significant at $p < 0.05$. **Correlation is significant at $p < 0.01$.

RBC, red blood cell; HB, hemoglobin concentration; PVC, packed cell volume; MCV, mean corpuscular volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, Mean corpuscular hemoglobin concentration; PLP, plasma protein; HE, heme iron content; NHE, non-heme iron content; PHE, percentage of heme iron.

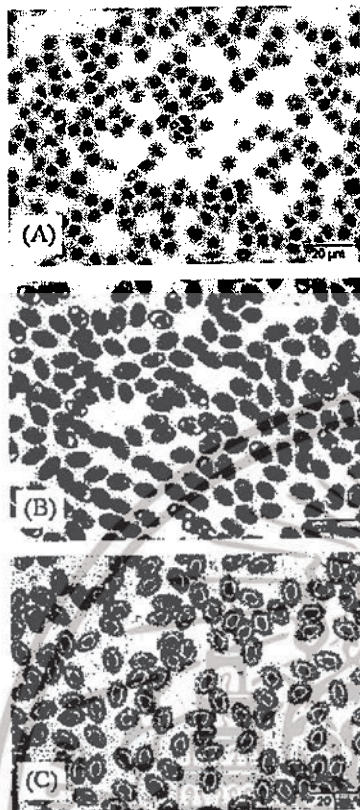


Fig. 1. Red blood cells of porcine (A) chicken (B) and duck (C) blood. Magnification: 100 \times . Scale bar = 20 μ m.

the differences reported for blood hematological parameters are mainly affected by animal species, geographical location and maturity of the animal (Bah *et al.*, 2013).

Morphologically, porcine blood had a round RBC with lack a cell nucleus (Fig. 1A) resulted from maximum space for hemoglobin of mammalian species (Weiss and Wardrop, 2010). The erythrocytes of avian blood were oval shaped and, unlike those of mammals, were nucleated cell as represented by centrally positioned purple nucleus and a uniform orange-pink cytoplasm in Wright-Giemsa stained blood (Fig. 1B and 1C). The RBC sizes of duck blood (11.91 \pm 0.78 mm of RBC length and 7.78 \pm 0.63 mm of RBC width) exhibited the largest value, followed by chicken (10.48 \pm 0.28 mm of RBC length and 7.12 \pm 0.17 mm of RBC width) and porcine (5.85 \pm 0.08 mm of RBC diameter) blood, which was positively correlated with MCV values ($r \sim 0.97$, $p < 0.01$) (Table 2). Hartman and Lessler (1963) stated that RBC sizes of birds are much larger than

mammalian erythrocytes (5-7 mm for many species), but smaller than the cells of reptiles (18 \times 7 mm to 23 \times 12 mm). As compared among avian species, the cytoplasm duck blood was less blue than chicken blood. This feature likely represents older aging of avian cells (Weiss and Wardrop, 2010), which related to the older of ducks than broiler ages in the present study.

The concentration of plasma protein in avian blood was nearly twice lower than in porcine blood (Table 1). Generally, this value was reported in the range of 6-8 g/dL for mammals (Weiss and Wardrop, 2010), while it had been reported approximately 4 g/dL in birds (Griminger and Scanes, 1986). It was probably related to blood glucose in plasma of avian species which are typically more than double those in mammals (Scanes, 2015). Glucose is an active osmotic substance that reduces the protein concentration in order to maintain the colloid-osmotic pressure (Filipović *et al.*, 2007).

Proximate, mineral and heme and non-heme Iron contents

The proximate composition (dry basis) indicated that porcine blood had the highest protein and fat contents, followed by duck and chicken blood, respectively (Table 3), but lower ash and moisture contents as compared with chicken and duck blood ($p < 0.05$). The carbohydrate content of chicken blood was evidently higher than those of other samples ($p < 0.05$).

A higher content of protein in whole porcine blood than in chicken blood was also observed by Márquez *et al.* (2005). As a result of sodium citrate was added to blood samples for preventing coagulation, a high content of ash was expectedly observed in all samples.

Fe, Mg, Zn, Cu, Mn, Cr and Se are trace elements which are essential for well-defined physiological functions of human biological system and insufficient intake of these trace minerals can cause nutritional problems (Guardia and Garrigues, 2015). Among these elements, Fe is one of the vital minerals needed for the optimum function of blood. The World Health Organization (WHO) estimates that some 2 billion people suffer from anemia due to iron deficiency, whose high-risk populations including adolescents, menstruating women and the elderly (Guardia and Garrigues, 2015). The result showed that although Fe content from porcine blood was lower than duck and chicken blood, its heme iron content was similar to duck blood, and was shown a higher content as compared to chicken blood ($p < 0.05$) (Table 3). Additionally, the highest per-

Table 3. Proximate, mineral, heme and non-heme iron compositions of freeze-dried blood powders derived from pig, chicken and duck

Parameters	Porcine blood	Chicken blood	Duck blood	SEM ^a	P-Value
Proximate composition (% dry basis)					
Protein	90.97 ± 0.05 ^{a,1,2}	88.27 ± 0.04 ^c	89.70 ± 0.08 ^b	0.49	0.000
Ash	7.81 ± 0.08 ^b	9.93 ± 0.34 ^a	9.45 ± 0.16 ^a	0.41	0.005
Moisture	2.19 ± 0.03 ^b	2.83 ± 0.04 ^a	2.71 ± 0.03 ^a	0.12	0.000
Fat	0.86 ± 0.09 ^a	0.15 ± 0.06 ^c	0.43 ± 0.04 ^b	0.13	0.004
Carbohydrate	0.36 ± 0.12 ^b	1.65 ± 0.36 ^a	0.41 ± 0.29 ^b	0.28	0.030
Mineral composition (mg/kg dry weight)					
Fe	1490.14 ± 38.14 ^b	1816.62 ± 10.19 ^a	1803.06 ± 55.88 ^a	54.52	0.000
Mg	309.93 ± 4.22 ^c	387.67 ± 5.54 ^b	471.15 ± 10.20 ^a	23.37	0.000
Zn	33.26 ± 0.11 ^c	42.53 ± 0.38 ^a	41.50 ± 0.31 ^b	1.47	0.000
Cu	36.71 ± 0.62 ^a	26.32 ± 0.30 ^b	20.74 ± 0.29 ^c	2.34	0.000
Mn	3.33 ± 0.03 ^b	2.89 ± 0.09 ^b	49.75 ± 0.49 ^a	7.77	0.000
Cr	1.07 ± 0.01 ^a	0.61 ± 0.02 ^c	0.78 ± 0.02 ^b	0.06	0.000
Se	ND ^d	ND	ND	-	-
Heme and non-heme iron content (µg/g dry weight)					
Heme iron content	832.46 ± 39.99 ^a	526.23 ± 39.18 ^b	833.05 ± 59.82 ^a	52.88	0.000
Non-heme iron content	645.99 ± 11.04 ^c	1276.49 ± 35.66 ^a	943.21 ± 163.09 ^b	95.23	0.001
Heme iron (%) ^e	56.13 ± 1.34 ^a	29.19 ± 2.11 ^c	47.14 ± 6.07 ^b	4.13	0.000

¹Values are given as means ± SD of triplicate blood sampling.

²Different superscripts in the same row indicate significant differences ($p < 0.05$).

³SEM is standard error of mean.

⁴ND: this value is lower than limit of detection.

⁵Percentage of heme iron is computed as the ratio of heme iron to total iron.

centage of heme iron was the markedly found in porcine blood ($p < 0.05$). A higher amount of heme iron content or percentage of heme iron of pork and duck blood as compared with chicken blood was related to they contained a higher Hb concentration ($r = 0.924$, $p < 0.01$ and $r = 0.963$, $p < 0.01$, respectively) (Table 2). While the highest content of Fe in chicken blood resulted from a dense in non-heme iron content. Not only a high content of bioavailability of iron, but also the largest values of Cu and Cr were found in porcine blood ($p < 0.05$). The highest Zn was found in chicken blood and the highest Mg and Mn were found in duck blood ($p < 0.05$). Regarding Se content, there was a lower content than the limit of detection of analyzed method. This composition data indicated that the minerals in blood powders depended mainly on the species of animal and could be used as product development or food supplementation to meet the recommended daily intake of expected minerals.

Amino acid composition

Amino acid composition of freeze-dried blood samples is presented in Table 4. Despite the lack of information regarding cysteine and tryptophan due to the limitation of evaluated method, the summation of essential amino acid

contents (leucine, lysine, valine, histidine, phenylalanine, tyrosine, threonine, isoleucine and methionine) of all samples were higher than total non-essential amino acid contents. Essential amino acid/non-essential amino acid ratios of porcine, chicken and duck blood were 1.06, 1.09 and 1.07, respectively. When amino acid profile was compared with amino acid requirements of adults recommended by FAO/WHO/UNU (2007), blood samples were an excellent source of essential amino acids, except for isoleucine. Similar amino acid patterns were observed compared with those reported by Donkoh *et al.* (1999) and Ockerman and Hansen (2000) for amino acid compositions of blood meals in which they possessed the highest content of leucine and rich in other essential amino acids including lysine, valine, histidine, phenylalanine, tyrosine and threonine, but limiting isoleucine and methionine contents. However, quite difference among reports relating isoleucine was observed, where this amino acid from avian blood in the present study was higher than those reports. The deficiency in isoleucine of whole blood from cow (9.3 mg/g protein) and pig (6.9 mg/g protein) than those from chicken (27.5 mg/g protein) was also reported by Márquez *et al.* (2005). Regarding methionine, there were no significant differences among blood samples in the present study

Table 4. Amino acid composition (mg/g protein) of freeze-dried blood powders derived from pig, chicken and duck

Parameters	WHO/FAO/UNO (2007)	Porcine blood	Chicken blood	Duck blood	SEM ²	P-Value
Essential amino acid						
Leucine	59 ⁴	116.30 ± 2.31 ^{1,2}	94.75 ± 1.29 ^b	89.30 ± 0.99 ^a	0.41	0.000
Lysine	45	86.04 ± 1.00 ³	75.98 ± 4.97 ^b	82.13 ± 2.95 ^a	0.18	0.029
Valine	39	72.44 ± 4.29 ³	52.91 ± 3.12 ^b	53.18 ± 3.47 ^b	0.34	0.001
Histidine	15	57.82 ± 2.51 ³	48.07 ± 2.78 ^b	45.45 ± 1.34 ^b	0.20	0.001
Phenylalanine	38 (Phe+Tyr)	57.49 ± 2.72 ³	56.00 ± 4.73 ^a	53.21 ± 1.81 ^a	0.11	0.344
Tyrosine		25.83 ± 0.44 ^b	31.34 ± 2.33 ^a	28.39 ± 1.71 ^b	0.09	0.020
Threonine	23	36.24 ± 0.28 ^c	49.13 ± 1.10 ^a	40.80 ± 0.40 ^b	0.19	0.000
Isoleucine	30	10.37 ± 0.73 ^b	30.55 ± 1.70 ^a	27.57 ± 1.89 ^a	0.32	0.000
Methionine	16	7.23 ± 0.30 ^a	6.30 ± 0.88 ^a	6.65 ± 0.43 ^a	0.21	0.253
Non-essential amino acid						
Aspartic acid		111.25 ± 2.12 ^a	79.00 ± 2.81 ^b	82.05 ± 2.24 ^b	0.52	0.000
Glutamic acid		95.89 ± 1.69 ^a	97.43 ± 2.89 ^a	98.25 ± 2.40 ^a	0.08	0.508
Alanine		71.49 ± 0.44 ^a	67.48 ± 1.19 ^b	72.80 ± 0.87 ^a	0.08	0.001
Arginine		42.94 ± 0.99 ^c	52.83 ± 2.33 ^a	47.94 ± 0.78 ^b	0.15	0.001
Serine		46.02 ± 0.34 ^a	41.20 ± 1.26 ^b	35.27 ± 1.12 ^c	0.16	0.000
Glycine		40.64 ± 1.46 ^a	35.57 ± 1.36 ^b	32.81 ± 0.67 ^b	0.12	0.001
Proline		36.94 ± 0.33 ^a	35.65 ± 0.58 ^b	31.18 ± 0.39 ^c	0.09	0.000

¹Values are given as means ± SD of triplicate blood sampling.

²Different superscripts in the same row indicate significant differences ($p < 0.05$).

³SEM is standard error of mean.

⁴Amino acid requirements of adults (mg/g protein) estimated by WHO/FAO/UNO (2007).

(values were between 6.30 and 7.23 mg/g protein) ($p > 0.05$). Márquez *et al.* (2005) also reported that methionine contents of whole blood from those species was not significantly different, which value was in the range of 2.8-9.6 mg/g protein and all blood represented deficiency in methionine requirement from FAO/WHO/UNO (2007), presently estimated as 16 mg/g protein. Generally, amino acid imbalance of blood because of the deficit in isoleucine and methionine has usually been reported (Ockerman and Hansen, 2000). For cystine and tryptophan contents, blood meal contained 15 and 11 mg/g, respectively (Ockerman and Hansen, 2000), which was under their requirements as recommend by FAO/WHO/UNO (2007), each approximately 6 mg/g protein.

As comparison among animal species, higher contents of non-polar amino acid with aliphatic hydrocarbon side chain (leucine, valine, glycine and proline) as well as histidine, aspartic acid and serine were observed in porcine blood, compared with other blood ($p < 0.05$). Chicken blood had higher amounts of arginine, threonine and tyrosine, but lower levels of lysine and alanine, as compared with other blood ($p < 0.05$). Blood from avian species, chicken and duck, contained a higher content of isoleucine than porcine blood ($p < 0.05$), while no differences in phenylalanine and glutamic acid contents were observed among

samples ($p > 0.05$). Due to the highest content of isoleucine, chicken blood seems to be a better amino acid balance and alternative protein source to formulated food products.

Solubility

The solubility of blood powders at pH 2-10 is presented in Fig. 2. Porcine and chicken blood showed a similar trend concerning solubility with value in the range of 83-91% (Fig. 2A and 2B). Differently, duck blood exhibited lower protein solubility at pH 2 and 3 as compared to other samples (Fig. 2C). Most studies on the functional attributes of the blood proteins were usually carried out on whole plasma and hemoglobin fractions. For example, Del Hoyo *et al.* (2008) stated that solubility of porcine plasma is quite high ranging from 68 to 80% at pH between 3.0 and 8.0, with a very slight effect of pH. Regarding hemoglobin, its solubility varied in the range of 75-95%, with the lowest value corresponding to pH 5.0 (Álvarez *et al.*, 2009). However, blood samples in present study were not tested on their fraction, so the presence of several proteins composing in blood could be responsible for modifying the solubility profiles. Protein solubility is dependent on several intrinsic factors such as amino acid composition and amino acid sequence (Hettiarachchy,

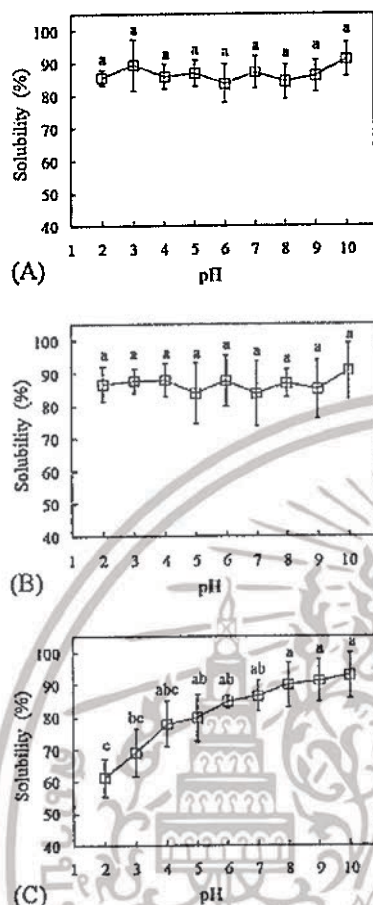


Fig. 2. Solubility of freeze-dried samples from porcine (A) chicken (B) and duck (C) blood. Bars represent the standard deviation (n=3). Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

2012). Consideration of correlation analysis between solubility at different pH and amino acid composition as summarized in Table 5, solubility of blood at pH 2 and 3 had positive correlation with proline ($r = -0.897$, $p < 0.01$ and $r = -0.859$, $p < 0.01$, respectively) and serine ($r = -0.822$, $p < 0.01$ and $r = -0.741$, $p < 0.05$, respectively). Additionally, the glycine content had a positive correlation with solubility at pH 2 ($r = -0.680$, $p < 0.05$) and tended to correlate with solubility at pH 3 ($r = -0.634$, $p < 0.07$). It was shown that a higher content of these amino acids in blood samples (porcine and chicken blood) allowed an easy solubilization in acidic condition. The solubilities of amino acids in water are highly variable in which proline possesses its

highest solubility in water (162.3 g/ 100 g H₂O at 25°C), followed by glycine (24.99 g/ 100 g H₂O at 25°C) as compared to other amino acids (Belitz *et al.*, 2009). Among the hydrophilic amino acids, serine contributes more favorable solubility in water (5.02 g/ 100 g H₂O at 25°C) than the other hydrophilic amino acids (Belitz *et al.*, 2009). The wide range of obtained results on solubility at different pH informed a good indication of the potential application of sample, because it influences on other functional properties.

Gelation

The differences in textural characteristics of blood gels among species during heating were observed (Fig. 3A-3F). At 70°C, chicken blood showed the most rapid response to form gels, followed by duck and porcine blood, respectively (Fig. 3A). Heating at 70°C for 30 min resulted in a stronger gel with a higher hardness value of chicken blood as compared to duck blood, while porcine blood started to form a soft gel at 70°C for 60 min. Thereafter, as the time increase, the gel strength of chicken and duck blood tended to increase, while hardness value of porcine blood gel remain unchanged. With increasing temperature to 80°C, the hardness value of duck blood gel was largely increased as the heating time increased ($p < 0.05$) (Fig. 3B). Boiled duck blood at 80°C for 90 min could provide a hard texture (3.40±0.12 N) similar to chicken blood gel (3.34±0.13 N) ($p > 0.05$). As expected, when heating at 90°C, the maximum gel strength of chicken and duck blood were achieved within 60 min, and their gel hardness was similar (around 4.84-5.18 N) (Fig. 3C). Unlike blood from poultry, porcine blood required a minimum temperature of 90°C for 45 min for the formation of a self-supporting porcine blood gel (approximately hardness value > 2 N) as shown in Fig. 3G. Moreover, the maximum gel strength of porcine blood gel was perceived by heating at 90°C for 90 min (~4.15 N). In porcine and bovine plasma, the gel strength increased with increasing heating temperature of gels from 72 to 92°C probably due to an increase in density and the formation of larger aggregates of protein (Zayas, 1997). Concerning on springiness value, the gel obtained from porcine blood showed a higher elasticity during heating at 80 and 90°C than avian blood ($p < 0.05$) (Fig. 3E and 3F).

The results of textural characteristic suggested that chicken blood showed the most rapid response to form gels, followed by duck and porcine blood, respectively. The formation of a three-dimensional network, a gel system, in

Table 5. Pearson's correlation coefficients (*r*) between functional properties and amino acid composition of whole blood

	Leu	Lys	Val	His	Phe	Tyr	Thr	Ile	Met	Asp	Glu	Ala	Arg	Ser	Gly	Pro
Solubility																
S ₂	0.599	-0.096	0.426	0.576	0.514	0.035	0.193	-0.307	0.033	0.379	-0.162	-0.604	0.043	0.822**	0.680*	0.897**
S ₃	0.616	-0.007	0.505	0.588	0.411	-0.041	0.073	-0.347	0.319	0.412	-0.387	-0.501	-0.067	0.741*	0.634	0.859**
S ₄	0.347	-0.355	0.217	0.400	0.508	0.284	0.283	-0.112	-0.210	0.149	-0.399	-0.565	0.219	0.515	0.454	0.687*
S ₅	0.401	0.452	0.419	0.285	-0.029	-0.433	-0.166	-0.265	0.354	0.416	0.503	0.050	-0.294	0.382	0.326	0.333
S ₆	-0.212	-0.426	-0.346	-0.207	-0.041	0.355	0.371	0.220	-0.607	-0.334	-0.366	-0.469	0.348	-0.014	-0.139	0.044
S ₇	0.089	0.254	0.136	0.011	-0.290	-0.313	-0.260	-0.197	-0.282	0.200	-0.082	0.167	-0.310	-0.030	0.014	-0.036
S ₈	-0.400	0.111	-0.275	-0.446	-0.403	-0.051	0.108	0.408	0.028	-0.330	0.573	0.253	0.168	-0.489	-0.509	-0.480
S ₉	-0.203	-0.012	-0.168	-0.126	0.110	0.056	-0.094	0.103	0.084	-0.163	0.116	0.324	0.063	-0.263	-0.198	-0.383
S ₁₀	-0.089	-0.131	-0.159	-0.049	0.127	0.073	-0.003	-0.014	-0.643	-0.064	0.013	0.040	0.066	-0.037	-0.019	-0.135
Emulsion property																
EAI ₅	-0.294	-0.624	-0.451	-0.311	-0.099	0.585	0.750*	0.456	-0.562	-0.470	-0.077	-0.645	0.601	0.045	-0.149	0.233
EAI ₁₀	-0.513	-0.856**	-0.697*	-0.482	-0.037	0.848**	0.947**	0.684*	-0.665	-0.707*	0.033	-0.678	0.859**	-0.113	-0.338	0.094
EAI ₂₀	0.234	-0.373	0.045	0.223	0.293	0.280	0.450	-0.017	-0.408	0.008	-0.259	-0.618	0.280	0.541	0.401	0.645
ES ₅	-0.199	-0.362	-0.278	-0.280	-0.214	0.376	0.712*	0.483	-0.188	-0.352	0.368	-0.604	0.533	0.067	-0.163	0.292
ES ₁₀	-0.094	-0.751*	-0.260	0.063	0.618	0.683*	0.586	0.280	-0.575	-0.349	-0.366	-0.648	0.650	0.180	0.128	0.302
ES ₂₀	-0.064	0.027	-0.164	-0.141	-0.327	-0.068	-0.100	-0.140	-0.245	-0.022	-0.367	-0.093	-0.179	0.014	-0.073	-0.094
Foaming property																
FE ₅	-0.472	0.303	-0.271	-0.473	-0.508	-0.244	-0.371	0.169	-0.018	-0.200	0.332	0.796*	-0.210	-0.765*	-0.600	-0.888**
FE ₁₀	0.093	0.575	0.261	0.098	-0.105	-0.564	-0.729*	-0.355	0.163	0.335	0.116	0.888**	-0.575	-0.257	-0.040	-0.456
FE ₂₀	0.133	0.777*	0.286	0.027	-0.441	-0.759*	-0.791*	-0.423	0.311	0.397	0.133	0.848**	-0.738*	-0.202	-0.083	-0.429
FS ₅	0.069	0.500	0.259	0.077	-0.135	-0.595	-0.732*	-0.338	0.259	0.286	0.035	0.852**	-0.586	-0.285	-0.042	-0.506
FS ₁₀	0.336	0.806**	0.518	0.300	-0.109	-0.800**	-0.708*	-0.585	0.511	0.562	-0.013	0.888**	-0.819**	-0.047	0.181	-0.287
FS ₂₀	0.057	0.562	0.176	-0.019	-0.378	-0.651	-0.752*	-0.393	0.087	0.340	0.150	0.851**	-0.672*	-0.242	-0.117	-0.492

*Correlation is significant at $p < 0.05$. **Correlation is significant at $p < 0.01$.

S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉ and S₁₀ = Solubility at pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10, respectively. EAI₅, EAI₁₀ and EAI₂₀ = Emulsion activity index of protein concentration at 5, 10 and 20 mg/mL, respectively. ES₅, ES₁₀ and ES₂₀ = Emulsion stability of protein concentration at 5, 10 and 20 mg/mL, respectively. FE₅, FE₁₀ and FE₂₀ = Foam expansion of protein concentration at 5, 10 and 20 mg/ml, respectively. FS₅, FS₁₀ and FS₂₀ = Foam stability of protein concentration at 5, 10 and 20 mg/mL, respectively.

the present of adequate environmental condition, results from the unfolding or denaturation of protein molecules upon heating, followed by the aggregation reactions (Zayas, 1997). However, there were no significant differences in an endothermic peak of samples (100 mg/mL of dried sample solubilized in distilled water) during heating by differential scanning calorimetry, which showed the endothermic peaks between around 60°C and 100°C with the temperature of maximum heat flow (T_p) was approximately 78-82°C (data not shown). The result implied that protein molecules in blood samples should undergo denaturation and unfold during heating with the similar level. Thus, the differences in texture of gels among blood species might be related to their protein aggregation. The formation of aggregates via non-covalent interactions of hydrophobic surfaces, thiol/disulfide exchange reactions and electrostatic interactions of charged groups occur on the surface may occur simultaneously after the partial unfolding of the protein diminishing gel quality (Ockerman and

Hansen, 2000; Wang *et al.*, 2010). In the present study, the correlation between hydrophobic amino acids or proximate compositions or hematological parameters and hardness values at various heating conditions were not observed ($p < 0.05$). Surprisingly, there was a significant positive correlation between hardness and Fe or Zn at all heat treatments, except for a period of 15-45 min at 70°C, which shown coefficient values (r) range from 0.683-0.984. The generally accepted argumentation on the divalent metals role in protein aggregation is based on their ability to act as bridges between the negatively charged groups of the neighboring protein molecules (Navarra *et al.*, 2009). Moreover, Tseng *et al.* (1998) found that the higher endogenous clotting enzyme activity, transglutaminase (TGase), in duck blood rather than porcine blood contributed the increased breaking strength of duck blood curd. The ability of TGase to cross-link different proteins has been generally known for over two decades and some of this enzyme used was purified from mammalian sources such as

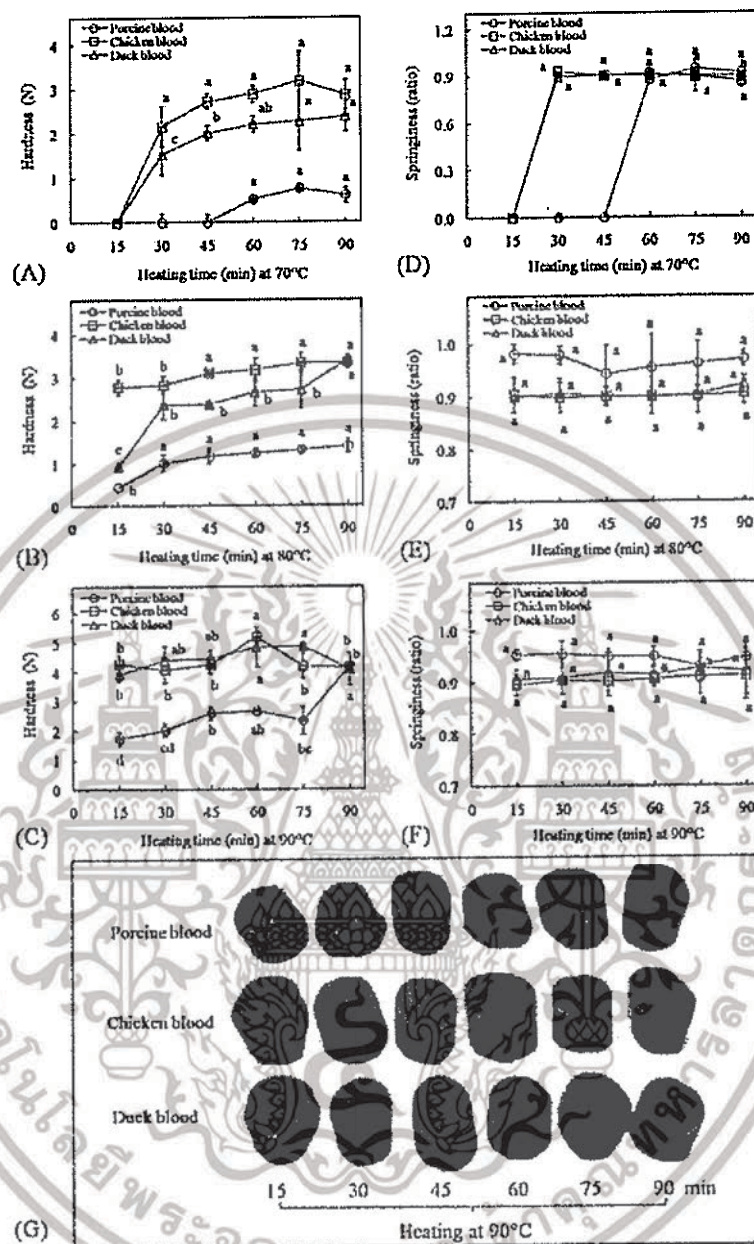


Fig. 3. Hardness and springiness of gels from porcine, chicken and duck blood boiled at different temperatures (A-F). Pictures of boiled porcine, chicken and duck blood at 90°C with various heating times (G). Bars represent the standard deviation ($n=3$). Different letters indicate significant differences of samples during heating ($p<0.05$).

bovine plasma (Kurth and Rogers, 1984). Therefore, in the case of porcine blood gels, a higher temperature above 7p may be required for accelerating protein aggregation,

might be because of the low content of surface hydrophobicity and their endogenous bridging ions as well as blood clotting enzyme. However, for appropriated condition, at

90°C for 90 min, porcine blood could form a strong gel with similar gel hardness to chicken and duck blood, but a slower aggregation of this sample allowed to form an elastic gel in comparison to other gels. On the contrary, the formation of large aggregation, particularly in chicken blood, probably brought about a hard (high hardness value) and brittle texture (low springiness value). The differences in gelation among animal blood samples could provide a unique texture of blood curd or blood tofu that are a traditional food in China, Thailand, Vietnam and other countries close to the Chinese border, where it made from a mixture of fresh blood and water and coagulated by heat.

Emulsion properties

There was a converse relationship between blood concentration and EAI as reported in Fig. 4A. All blood powders showed that the amount of fat emulsified per unit of protein decreased as the protein in the system increased, indicating increased emulsifying efficiency at low protein concentration ($p < 0.05$). This behavior can be observed in other protein such as sodium caseinate and whey protein concentrate, possibly due to self-aggregation of protein at

high concentration (Ye, 2008). Comparatively among blood, a higher EAI was obtained from chicken blood rather than porcine and duck blood ($p < 0.05$). Additionally, chicken blood at the concentration of 0.5% exhibited a higher ESI than other species ($p < 0.05$) (Fig. 4B). This evident might be result from the differences in intrinsic property of protein among samples in which Hettiarachchy (2012) stated that the emulsification and emulsion stability of protein was mainly governed by three factors: (1) electrostatic repulsion caused by some of the charged amino acid residues in the adsorbed protein molecule at interface, (2) the steric hindrance via the hydrophilic amino acid residues affinity to water and (3) viscoelastic properties of the protein films absorbed at the oil-water interfaces. Consideration for correlation among tested parameters, regardless effect of protein content and its constituent, there was a significant correlation among threonine content and EAI at the concentration of 0.5% or 1.0% ($r = -0.750$, $p < 0.05$ and $r = -0.947$, $p < 0.01$, respectively) (Table 5). Moreover, a significant correlation was also found between threonine content and ESI at the concentration of 0.5% ($r = -0.712$, $p < 0.05$) (Table 5). Threonine is polar amino acid, hydrophilic uncharged side chain with a hydroxyl group

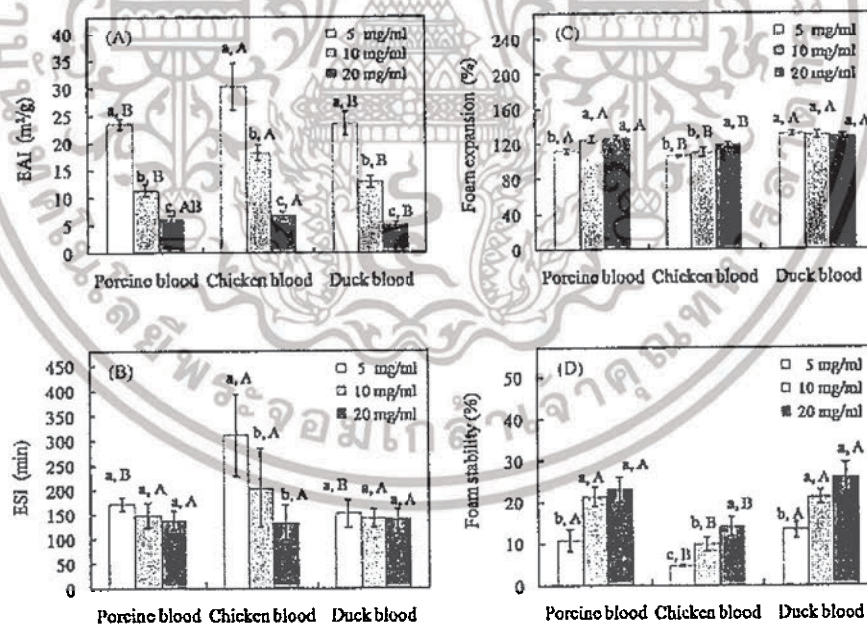


Fig. 4. Emulsion activity index (A), emulsion stability (B), foam expansion (C) and foam stability (D) of porcine, chicken and duck blood. Different lowercase letters within the same blood indicate significant differences among protein concentration ($p < 0.05$). Different uppercase letters within the same concentration indicate significant differences among species ($p < 0.05$).

and its hydration property was 2 moles of water per mole of amino acid (Hettiarachchy, 2012). The higher content of this amino acid in chicken blood might partly support the steric hindrance effect via binding of water and structuring of the water molecules around this side chain and then express superior emulsifying property than pork and duck blood. Blood proteins have good emulsifying properties and can adequately replace casein and egg in emulsified meat system, especially in low salt meat products (Ofori and Hsieh, 2013). A superior of such properties were found in chicken blood than in pork and duck blood would be a benefit for processing of blood sausage, where the black color is expected and acceptable.

Foaming properties

The FE and FS were seenly enhanced by high protein concentration (Fig. 4C and 4D), as high protein concentration increases the viscosity and facilitates the formation of a multilayer, cohesive protein film at the interface (Damodaran, 1997). At the same concentration, pork and duck blood had higher FE and FS than chicken blood at any tested concentration ($p < 0.05$). The basic function of proteins in foams is to decrease air-water interfacial tension, to increase viscous and elastic properties of the liquid phase and to form strong films (Zayas, 1997). Protein molecules can unfold to a certain degree and reorient at the interface with polar groups exposed towards water phase and the non-polar groups towards the air phase (Wierenga and Gruppen, 2010). Zayas (1997) summarized that there was a report of a positive correlation between the content of hydrophobic amino acids and the foaming properties of proteins. In the present investigation, some hydrophobic amino acid in blood, alanine, was correlated with improved foaming properties, which significant correlation between this amino acid and FE or FS among samples were observed ($r = 0.796-0.888$, $p < 0.05$) (Table 5). Moreover, the influences of plasma components on foaming capacity and related food product have been reported (Raeker and Johnson, 1995; Vuono *et al.*, 1979). Vuono *et al.* (1979) found that among blood components, globin showed the highest foaming capacity followed by albumin, globulin and plasma. Raeker and Johnson (1995) noted that the separating fibrinogen from plasma increased cake volume. Therefore, the differences in these proteins among blood might be also related to their foaming properties. A higher foaming behavior of porcine and duck blood rather than chicken one might be practical means of improving the foaming dependence products such as blood cake, bread

and biscuits that are usually consumed in Europe and Asia (Liu, 2002).

Conclusion

Species-specific hematology among blood samples was observed in which higher RBC, hemoglobin, and plasma protein contents with a smaller RBC size were found in porcine blood as compared to chicken and duck blood. The porcine blood seemed to be less nutritive amino acid composition than avian blood due to a larger deficiency in isoleucine, but it was rich in heme iron content that related to higher hemoglobin content rather than avian blood. Based on functional properties, the chicken blood exhibited a superior gelation and emulsion properties, but was quite lower foaming properties as compared to duck and porcine blood.

Acknowledgements

This work was supported by a grant from the Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The authors would like to express their sincere thanks to Ducking Co., Ltd. for the financial support, and Betagro Safety Meat Packing Co., Ltd. and B. Foods Products International Co., Ltd. for samples used in this study.

References

1. Alvarez, C., Bances, M., Rendueles, M., and Diaz, M. (2009) Functional properties of isolated porcine blood proteins. *Int J. Food Sci. Technol.* 44, 807-814.
2. AOAC (2012) The official methods of analysis. 19th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
3. Bah, C. S. F., Bekhit, A. E. D. A., Carne, A., and McConnell, M. A. (2013) Slaughterhouse blood: An emerging source of bioactive compounds. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 12, 314-331.
4. Belitz, H. D., Grosch, W., and Schieberle, P. (2009). Food Chemistry, 4th ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
5. Bosch, L., Alegria, A., and Farré, R. (2006). Application of the 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC) reagent to the RP-HPLC determination of amino acids in infant foods. *J. Chromatogr. B.* 831, 176-183.
6. Budavari, S. (1989) The merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. 11th ed, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ.
7. Damodaran, S. (1997) Food proteins and their applications Marcel Dekker, NY.
8. Dávila, E., Parés, D., Cuvelier, G., and Relkin, P. (2007) Heat-

- induced gelation of porcine blood plasma proteins as affected by pH. *Meat Sci.* 76, 216-225.
9. Del Hoyo, P., Rendueles, M., and Diaz, M. (2008) Effect of processing on functional properties of animal blood plasma. *Meat Sci.* 78, 522-528.
 10. Donkoh, A., Atuahene, C. C., Anang, D. M., and Ofori, S. K. (1999) Chemical composition of solar-dried blood meal and its effect on performance of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81, 299-307.
 11. FAO/WHO/UNU. (2007) Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation (WHO technical report series no. 935). World Health Organization, Geneva, Switzerland.
 12. Filipović, N., Stojčević, Z., Milinković-Tur, S., Beer Ljubić, B., and Zdelar-Tuk, M. (2007) Changes in concentration and fractions of blood serum proteins of chickens during fattening. *Vet. Arhiv* 77, 319-326.
 13. Gorbатов, V. M. (1988) Collection and utilization of blood and blood proteins for edible purposes in the USSR. In: *Advances in meat research; Vol. 5. edible meat by-products*. Pearson, A. M. and Dutton, T. R. (eds) Elsevier Applied Science, London, pp. 167-195.
 14. Griminger, P. and Scanes, C. G. (1986) Protein metabolism. 4th ed. In: *Avian physiology* Sturkie, P. D. (ed) Springer Verlag, NY, pp. 326-345.
 15. Guardia, M. D. L. and Garrigues, S. (2015) *Handbook of mineral elements in food*. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK.
 16. Hartman, F. A. and Lessler, M. A. (1963) Erythrocyte measurements in birds. *Auk* 80, 467-473.
 17. Hettiarachchy, N. S. (2012) Food protein and peptide chemistry, functionality, interaction, and commercialization. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
 18. Hornsey, H. C. (1956) The colour of cooked cured pork. *J. Sci. Food and Agric.* 7, 534-540.
 19. Intarasirisawat, R., Benjakul, S., Visessanguan, W., and Wu, J. (2012) Antioxidative and functional properties of protein hydrolysate from defatted skipjack (*Katsuwonuspelamis*) roe. *Food Chem.* 135, 3039-3048.
 20. Kurth, K., and Rogers, P. J. (1984) Transglutaminase catalyzed cross-linking of myosin to soya protein, casein and gluten. *J. Food Sci.* 49, 573-576.
 21. Leoci, R. (2014) Animal by-products (ABPs): origins, uses, and European regulations. Universitas Studiun, Mantova, Italy, Chapter 4.
 22. Liu, D. C. (2002) Better utilization of by-product from the meat industry, available from: <http://www.agnct.org/library.php?func=view&id=20110706135001/>. Accessed September 16, 2016.
 23. Márquez, E., Bracho, M., Archile, A., Rangel, L., and Benítez, B. (2005) Proteins, isoleucine lysine and methionine content of bovine, porcine and poultry blood and their fractions. *Food Chem.* 93, 503-505.
 24. Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishinura, H., and Shahidi, F. (2011) Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food Chem.* 124, 1354-1362.
 25. Natt, M. P. and Herrick, C. A. A. (1952) New blood diluent for counting erythrocytes and leukocytes of the chicken. *Poultry Sci.* 31, 735-738.
 26. Navarra, G., Giacomazza, D., Leone, M., Librizzi, F., Militello, V., and San Biagio, P. L. (2009) Thermal aggregation and ion-induced cold-gelation of bovine serum albumin. *Eur. Biophys. J.* 38, 437-446.
 27. Nowsad, A. A., Kanoh, S., and Niwa, E. (2000) Thermal gelation properties of spent hen mince and surimi. *Poultry Sci.* 79, 117-125.
 28. Ockerman, H. W. and Hansen, C. L. (2000) *Animal by-product processing & utilization*. Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, USA, Chapter 9.
 29. Ofori, J. A. and Hsieh, Y. H. P. (2013) Issues related to the use of blood in food and animal feed. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54, 687-697.
 30. Pearce, K. N. and Kinsella, J. E. (1978) Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbid metric technique. *J. Agric. Food Chem.* 26, 716-723.
 31. Raker, M. O. and Johnson, L. A. (1995) Thermal and functional properties of bovine blood plasma and egg white proteins. *J. Food Sci.* 60, 685-690.
 32. Rebouche, C. J., Wilcox, C. L., and Widness, J. A. (2004) Microanalysis of non-heme iron in animal tissues. *J. Biochem. Biophys. Meth.* 58, 239-251.
 33. Scanes, C. G. (2015) *Sturkie's avian physiology*. 6th ed, Elsevier Inc., London, UK, Chapter 10.
 34. Schalm, O. W., Jain, N. C., and Carroll, E. J. (1975) *Veterinary haematology*. 3rd ed, Lea & Febiger, Philadelphia.
 35. Sirois, M. (2015) *Laboratory procedures for veterinary technicians*. 6th ed, Elsevier/Mosby, St. Louis, MO.
 36. Tarté, R. (2011) Meat protein ingredients. In: *Handbook of food proteins*. Phillips, G. O. and Williams, P. A. (eds) Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 56-91.
 37. Tseng, T. F., Chen, M. T., and Liu, D. C. (1998) Comparison of the transglutaminase activity, rheological properties and microstructure of pig and poultry blood. *Fleischwirtschaft* 78, 1211-1213.
 38. Yuono, C. P., Lajolo, F. M., and Pereira dos Santos, N. (1979) Functional and nutritional properties of isolated bovine blood proteins. *J. Sci. Food Agric.* 30, 809-815.
 39. Wang, W., Nema, S., and Teagarden, D. (2010) Protein aggregation-pathways and influencing factors. *Int. J. Pharm.* 390, 89-99.
 40. Weiss, D. J. and Wardrop K. J. (2010) *Schalm's veterinary hematology*. 6th ed, Blackwell Publishing, Ames, IA.
 41. Wicrenga, P. A. and Gruppen, H. (2010) New views on foams from protein solutions. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 15, 365-373.
 42. Ye, A. (2008) Interfacial composition and stability of emulsions made with mixtures of commercial sodium caseinate and whey protein concentrate. *Food Chem.* 110, 946-952.
 43. Zayas, J. F. (1997) *Functionality of protein in foods*. Springer, NY.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รายงานฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ.....2559.....

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน(แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในระหว่างการเก็บรักษา

ภาษาอังกฤษ) Application of Hydrocolloid for Improving Physio-Chemical Property and Stability of Boiled Duck Blood during Storage

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย..... ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดี.....

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่..... 14 ตุลาคม 2558..... ถึงวันที่..... 15 กันยายน 2560.....

ระยะเวลาดำเนินการ..... 1..... ปี..... 11..... เดือนตั้งแต่วันที่..... 14 ตุลาคม 2558..... ถึงวันที่..... 15 กันยายน 2560.....

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1..... 85,000..... บาท..... 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป)..... 22 มกราคม 2559.....

งวดที่ 2..... 15,000..... บาท..... 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป)..... 2 กันยายน 2559.....

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ
งบบุคลากร:ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	60,000	60,000	0
ค่าใช้สอย	9,000	9,000	0
ค่าวัสดุ	31,000	31,000	0
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	100,000	100,000	0

(ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดี)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

15/9/2560

(ดร.เอกนส รมภักดี)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

15/9/2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อสกุล นางสาว ศุภลักษณ์ สรภักดี
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่ยจบ
วท.บ.	เทคโนโลยีอาหาร (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง เหรียญทอง)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2546
ปร.ด.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2555

ประวัติการทำงาน

2546-2548

เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท อาหารเบทเทอร์ จำกัด
(ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แปรรูปส่งออก)

2548-2550

เจ้าหน้าที่พัฒนาการใช้ผลิตภัณฑ์ บริษัท นิวทรีชั่น เอส ซี จำกัด
(วัตถุดิบอาหาร)

พ.ศ. 2556-ปัจจุบัน

อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อสัตว์: คุณภาพเนื้อ, ความนุ่มเนื้อและเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้อง สมบัติเชิง
หน้าที่ของโปรตีน การแปรรูปเนื้อสัตว์ และการใช้วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์อื่น ๆ

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ศุภลักษณ์ สรภักดี จันทรเพ็ญ เอื้อสกุลรุ่งเรือง คมเชย พิลาสมบัติ และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2558. ผลของ
สภาวะการเก็บรักษาเนื้อโคและปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อโคชิ้นรูปกึ่งแห้ง.

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม 2558. หน้า 70-75. (TCI Group I)

Sorapukdee, S. xxxx. Quality of restructured steak containing microbial transglutaminase as
impacted by beef trimmings grading by fat level and frozen beef. Asian-Australasian
Journal of Animal Sciences Accepted article. Date Decided : July 04, 2017. (IF
2016 = 0.860)

Sorapukdee, S., Narunatsopanon, S. 2017. Comparative study on compositions and
functional properties of porcine, chicken and duck blood. Korean Journal for Food
Science of Animal Resources. 37(2):228-241 (IF 2016 = 0.484)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sorapukdee, S., Uesakulrungrueng, C. and Pilasombut, Komkhae. 2016. Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 36(3), 326-334. (IF 2016 = 0.484)
- Woraprayote, W., Malila, Y., Sorapukdee, S., Swetwivathana, A., Benjakul, S. and Visessanguan, W. 2016. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products. *Meat Science*. 120:118-132. (IF 2016 = 3.126)
- Sorapukdee, S., Kongtasorn, C., Benjakul, B. and Visessanguan, W. 2013. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion. *Food Chemistry*, 38: 1892-1901. (IF 2016 = 4.529)

การเสนอผลงานวิชาการ

- Sorapukdee, S., Visessanguan, W., Benjakul, B., Kongtasorn, C., PUNCHAI, K. and Taharnklaew, R. 2010. Effect of breed on physical properties, chemical composition and muscle structure of porcine meats. The RGJ-Ph.D. Congress XI 2010, Jomtien Palm Beach Resort, Chonburi, Pattaya, Thailand: April 1-3, 2010. Poster presentation. pp. 367.
- Sorapukdee, S., Visessanguan, W., Benjakul, B., Kongtasorn, C., PUNCHAI, K. and Taharnklaew, R. 2011. Differences in endogenous proteolytic activities of porcine m. longissimus among breeds during aging and their relationship to pork tenderness. RGJ Seminar Series, Advanced researches in food value chain. Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University: February 10, 2011. Oral presentation.
- Sorapukdee, S., Visessanguan, W., Benjakul, B. and Kongtasorn, C. 2012. Effects of purebred and crossbred pigs on technological quality of porcine M. longissimus thoracis et lumborum. *Food Innovation Asia 2012: Green and Sustainable Food Technology for all*. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand: June 15, 2012. Oral presentation. pp 36.
- Sorapukdee, S., Kongtasorn, C., Benjakul, B. and Visessanguan, W. 2012. Differences in early postmortem myofibril degradation and total proteolytic activity in meats derived from different pig breeds. The 15th AAAP Animal Science Congress. Thammasart University, Thailand: November 26-30, 2012. Oral presentation. pp 281.
- Sorapukdee, S., Kongtasorn, C., Benjakul, B. and Visessanguan, W. 2013. Impact of meat processing on technological quality of meats from two different muscle locations. The 59th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST). Izmir, Turkey: August 18-23, 2013. Poster presentation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sorapukdee, S., Kongtasorn, C., Benjakul, B. and Visessanguan, W. 2013. Analysis of key characteristics of raw meat affecting the properties of cooked meat emulsion by partial least square (PLS) regression. The 59th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST). Izmir, Turkey: August 18-23, 2013. Poster presentation.
- Sorapukdee, S., Pilasombut, K., Thumdee, A. and Janthimarn, N. 2013. Effects of green tea extract, packaging condition, and storage time on quality of semi-dried sweet pork. Proceedings of the 4th Meat Science and Technology: Balancing the Production and Consumers Need. Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand: 19 July 2013. pp 140-146. Poster presentation.
- Narunatsopanon, S., Sorapukdee, S. and Sitthigripong, R. 2014. Effects of blood concentration, salt concentration, and cooling on quality of boiled duck blood. Proceedings of the 5th Meat Science and Technology: Meat Production in the Global Trade Competition. Faculty of Agricultural Technology, KMITL, Bangkok, Thailand: July 25-26, 2014. pp. 15-23. Poster presentation.
- Sorapukdee, S. and Thumdee, A. 2014. Physicochemical changes in chicken meats as influenced by different freeze-thaw cycles. Proceedings of the 5th Meat Science and Technology: Meat Production in the Global Trade Competition. Faculty of Agricultural Technology, KMITL, Bangkok, Thailand: 25-26 July 2014. pp. 91-96. Poster presentation.

ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อสกุล นางสาว สุภาวดี นฤนาทโสภานนท์
 สถานที่ติดต่อ 48/367 หมู่บ้านเมืองประชา ซอย หทัยราษฎร์ 37 เขต คลองสามวา
 แขวง คลองสามวาตะวันตก จังหวัดกรุงเทพฯ 10510 โทรศัพท์ 095-473-1919
 E-mail address Fairy-may@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ
วท.บ. (สัตวศาสตร์)	2556	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย
วท.ม. (สัตวศาสตร์)	กำลังศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์อื่น ๆ

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. สุภาวดี นฤนาทโสภานนท์ ศุภลักษณ์ สรภักดี และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2557. ผลของความเข้มข้นเลือด ความเข้มข้นเกล็ด และการทำให้เย็นต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 5. 25-26 กรกฎาคม 2553, Bangkok, Thailand. 15-23p.

รองปกหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้