

การศึกษาคุณลักษณะของเลือดเป็ดและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดหลอด

STUDY ON CHARACTERISTICS OF DUCK BLOOD AND PRODUCT
DEVELOPMENT OF DUCK BLOOD TOFU



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AG-M-031-220

การศึกษาคูณลักษณะของเลือดเปิดและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดหลอด

**STUDY ON CHARACTERISTICS OF DUCK BLOOD AND PRODUCT
DEVELOPMENT OF DUCK BLOOD TOFU**



สุภาวดี นฤนาทโสภานนท์

SUPAWADEE NARUNATSOPANON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AG-M-031-220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON CHARACTERISTICS OF DUCK BLOOD AND PRODUCT
DEVELOPMENT OF DUCK BLOOD TOFU**

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, ornate structures resembling traditional Thai stupas or altars, each supported by a decorative base. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' and the text at the bottom reads 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง'.

SUPAWADEE NARUNATSOPANON

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2016

KMITL-2016-AG-M-031-220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณลักษณะของเลือดเป็ดและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดหลอด
Study on characteristics of duck blood and product development of duck blood tofu
นักศึกษา นางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์
รหัสประจำตัว 57604044
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สัตวศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ศุภศิลป์	ตั้งวัชรินทร์
ผศ.ดร.ศศิธร	นาคทอง
รศ.ดร.รณชัย	สิทธิไกรพงษ์
ดร.ศุภลักษณ์	สรภักดิ์
ผศ.ดร.คมแห	พิลาสมบัติ

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 15 มิถุนายน 2559

สถานที่สอบ ห้องประชุมคณะเทคโนโลยีการเกษตร 2 (ชั้น 1 ตึกบุญนาค L)

คณบดีรับรองแล้ว

คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล แก่นมณี)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณลักษณะของเลือดเปิดและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดหลอด
นักศึกษา	นางสาวสุภาวดี นฤนาทโสภานนท์
รหัสประจำตัว	57604044
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. ศุภลักษณ์ สรภักดี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร. รณชัย สิทธิไกรพงษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง โดยในการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาความแตกต่างทางด้านเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่จากเลือดสุกร และเลือดไก่เมื่อเปรียบเทียบกับเลือดเปิด พบว่าค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดในเลือดเปิดมีจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) ในปริมาณต่ำกว่าเลือดสุกร ($p < 0.05$) และมีจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยรวม (WBC) ในปริมาณต่ำที่สุด ($p < 0.05$) มีค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) ไม่แตกต่างกับเลือดสุกร ($p > 0.05$) มีค่าเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (PCV) มากกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$) มีปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (MCV) สูงที่สุด ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามยังมีความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (MCHC) ไม่แตกต่างกับเลือดสุกร และเลือดไก่ ($p > 0.05$) ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงในเลือดเปิดมีความกว้าง และความยาวมากกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$) และนอกจากนี้ยังพบว่าในเลือดเปิดมีจำนวนเกล็ดเลือดหรือ thrombocytes ไม่แตกต่างกับเลือดไก่ ($p > 0.05$) แต่มีจำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ต่ำกว่าเลือดสุกร และเลือดไก่ ($p < 0.05$) ในด้านโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเลือด พบว่ามีปริมาณของโปรตีนทั้งหมด โกลบูลิน และไฟบริโนเจนในเลือดเปิดใกล้เคียงกับเลือดไก่ แต่มีองค์ประกอบของฮีโมโกลบินมากกว่าเลือดไก่ และมีอัลบูมินน้อยกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$) ในด้านองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นในเลือด พบว่ามีปริมาณของโปรตีน และไขมันในเลือดเปิดมากกว่าเลือดไก่ และมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรต ความชื้น และเถ้ามากกว่าเลือดสุกร ($p < 0.05$) ในด้านกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบพบว่า ในเลือดเปิดเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนที่จำเป็น Lys และ Ile ในปริมาณสูงเทียบเท่ากับเลือดสุกร และเลือดไก่ตามลำดับ และมีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น Ala ในปริมาณไม่ต่างจากเลือดสุกร ($p > 0.05$) ในด้านแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเลือด พบว่ามีปริมาณ Fe, Zn, Mn และ Cr ในเลือดเปิดสูงกว่าเลือดสุกร ปริมาณซีสม และนอนซีสมไอออน พบว่าในเลือดเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อไ้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปริมาณของฮีโมโกลินสูงกว่าเลือดไก่ และมีปริมาณของฮีโมโกลินสูงกว่าเลือดสุกร ($p < 0.05$) และในด้านการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเลือด พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเสียสภาพธรรมชาติของเลือดเปิดสูงกว่าเลือดสุกร ($p < 0.05$) นอกจากนี้ในด้านสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน พบว่าโปรตีนจากเลือดเปิดมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการละลายต่ำที่สุด มีความสามารถในการเกิดเจลมากกว่าเลือดสุกร มีความสามารถในการเป็นอิมัลชันน้อยกว่าเลือดไก่แต่มีความสามารถในการเกิดโฟมมากกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$)

ในการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้มทั้งทางด้านกายภาพ และจุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านความเข้มข้นเลือดจะส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) มากที่สุด โดยเมื่อความเข้มข้นเลือดเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 55-100 (v/v)) จะส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะรวมตัวกัน (gumminess) ค่าการเคี้ยวได้ (chewiness) และ WHC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการลดความเข้มข้นเลือดมีผลลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ ผลการศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นเลือดพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นเลือดสูงมากกว่า 0.4 M จะส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าการเกาะรวมตัวกัน และค่าการเคี้ยวได้ลดลง ($p < 0.05$) และพบว่าการใช้เกลือที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.6 M มีผลทำให้ค่า WHC เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ผลการศึกษาปัจจัยด้านค่า pH พบว่าที่ค่า pH เท่ากับ 9 ส่งผลให้เลือดเปิดมีค่าความแข็ง ความเหนียวคล้ายยาง ค่าการเคี้ยวได้ และค่าการเกาะรวมตัวกันสูงกว่าที่ค่า pH 6-8 ($p < 0.05$) ผลการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาพบว่า การต้มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (60, 90 และ 140 นาที) จะเพิ่มค่าความแข็ง ความเหนียวคล้ายยาง การเคี้ยวได้สูงกว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และมีผลทำให้ค่า WHC เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ผลการศึกษาปัจจัยด้านการทำให้เย็นพบว่า การทำให้เย็นจะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และ WHC อย่างไรก็ตามการทำให้เย็นด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) จะทำให้เลือดเปิดมีค่าสีแดง (a^* value) สูงกว่าการแช่น้ำแข็งผสมน้ำ (1-3 องศาเซลเซียส) และมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดสูง ($p < 0.05$) และสำหรับผลการศึกษาปัจจัยด้านการกวน และค่า pH ไม่ส่งผลต่อค่าวิเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาผลของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท โดยเลือกสภาวะการแปรรูปเลือดเปิดต้มจากข้อมูลที่ได้ในการทดลองที่ 2 มาใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ ดังนี้ การเจี้นผสมกับ โลคัสบีนกัม (อัตราส่วน 50:50 และ 60:40 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0) เจลาติน อะการ์ และเจลแลนกัม (ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0) จากผลการทดลอง พบว่าอะการ์มีความสามารถในการเกิดเจลร่วมกับโปรตีนของเลือดเปิดได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 หลังจากการแปรรูป 1 วันจะมีคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุด แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงในระหว่างการเก็บรักษานานขึ้นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ทั้งชุดการทดลองที่เดิมและไม่เติมอะการ์ พบว่าเลือดเป็ดต้มที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ มีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุดทางด้านสี ลักษณะปรากฏโดยรวม เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ ความรู้สึกสากในปาก และคุณภาพโดยรวม ($p < 0.05$) ส่วนผลด้านจำนวนจุลินทรีย์ พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าค่าที่สามารถนับได้ (< 10 cfu/g) ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มให้มีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคต้องการได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on characteristics of duck blood and product development of duck blood tofu
Student	Miss Supawadee Narunatsopanon
Student ID	57604044
Degree	Master of science
Program	Animal Science
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Supaluk Sorapukdee
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ronachai Sitthigripong

ABSTRACT

The experiment was divided into 3 parts; (1) Chemical composition and functional properties of porcine and chicken bloods as compared to duck blood were studied. The results revealed that the difference in hematological value among animal bloods was observed. Duck blood showed a lower total red blood cell (RBC) than porcine blood ($p < 0.05$), and its white blood cell (WBC) was the lowest ($p < 0.05$). The concentration of hemoglobin (Hb) of duck blood were not significant differences as compared to porcine blood ($p > 0.05$), and packed cell volume (PCV) was higher than chicken blood ($p < 0.05$). The mean corpuscular volume (MCV) was the highest ($p < 0.05$). However, mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were not significant differences among animal blood types. ($p > 0.05$). The width and length of red blood cell from duck blood were higher than chicken blood ($p < 0.05$). Although no significant differences in number of white blood cells, thrombocyte among animal blood types was found ($p > 0.05$), lymphocyte in duck blood was lower than porcine and chicken blood ($p < 0.05$). The results of protein composition indicated that total protein, globulin and fibrinogen were shown similar contents among duck and chicken bloods ($p > 0.05$), but hemoglobin content of duck blood was higher with its albumin content was lower than those of chicken blood ($p < 0.05$). The proximate composition showed that the protein and fat content of duck blood were higher than chicken blood ($p < 0.05$). Moreover, duck blood possessed carbohydrate, moisture and ash higher than porcine blood ($p < 0.05$). Regarding the total amino acid composition, the duck blood was shown good sources of Lysine and Alanine in which exhibited no significant differences of porcine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

blood as well as Isoleucine in duck blood no significant differences of chicken blood ($p>0.05$). In the mineral composition, Fe, Zn, Mn and Cr were found higher in duck blood than in porcine blood ($p<0.05$). The amount of heme iron of duck blood was higher than chicken blood ($p<0.05$). Differential scanning calorimeters of duck blood showed that temperature of denaturation of duck blood was higher than porcine blood ($p<0.05$). According to functional properties, solubility of freeze-dried duck blood powders was lowest, gelation was higher than porcine blood, emulsion activity index and stability index was lower than chicken blood, but foaming capacity and stability was higher than chicken blood ($p<0.05$). Factors affecting physical and microbiological quality of boiled duck blood were evaluated. The most important factor affecting textural characteristics and water holding capacity (WHC) of boiled duck blood was blood concentration, in which hardness, gumminess, chewiness, and WHC increased with increasing blood concentration of 55-100% ($p<0.05$). Moreover, number of aerobic bacteria decreased with decreasing blood concentration. Regarding salt concentration, hardness, gumminess, and chewiness decreased with increasing salt concentration (more than 0.4 M). With salt concentration more than 0.6 M, WHC of product increased with increasing salt concentration ($p<0.05$). Cooling method was not affected to textural characteristics and WHC of the resulting product. However product cooled down with running tap water exhibited higher redness (a^* value) and aerobic bacteria count than those ice water. Stirrer method and pH of system was not significantly affected to textural characteristics and WHC of the resulting product ($p>0.05$).

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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การทำงานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า และช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินงานได้อย่างถูกต้องสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางไว้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. รณชัย สิทธิไกรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้ง ผศ.ดร. พุสดี ตังวัชรินทร์ และ ผศ.ดร. ศศิธร นาคทอง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลามาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจากบริษัท คีคิง จำกัด ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเลือดเปิดสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบขอบคุณบริษัท เบทาโกร เซฟตี้ มีท แพคกิ้ง จำกัด (BSM) ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างเลือดสุกร และบริษัท บี.ฟู้ดส์ อินเตอร์ เนชันแนล จำกัด (BFI) ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างเลือดไก่สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้ และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณพี่ เพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสัตวศาสตร์ทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในระหว่างจัดทำงานวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สำหรับคุณงานความดีที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ และความรู้ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า คุณค่า และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ทุกท่านที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไปในอนาคต

นางสาว สุภาวดี นฤนาท โสภานนท์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
กิตติกรรมประกาศ.....	VII
สารบัญ	VIII
สารบัญตาราง	XIV
สารบัญภาพ	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สถานที่ดำเนินงาน	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition).....	4
2.1.1 น้ำเลือดหรือพลาสมา (plasma)	6
2.1.2 เซลล์เม็ดเลือด (corpuscles).....	7
2.1.2.1 เซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cell หรือ erythrocytes)	8
2.1.2.2 เซลล์เม็ดเลือดขาว (white blood cells หรือ leucocytes).....	9
2.1.2.3 เศษเม็ดเลือดหรือเกล็ดเลือด (blood platelets หรือ thrombocytes)	11
2.2 การแข็งตัวของเลือด.....	11
2.3 โปรตีนที่พบมากในน้ำเลือด.....	13
2.3.1 โปรตีนในพลาสมา.....	14
2.3.1.1 อัลบูมิน (albumin).....	14
2.3.1.2 โกลบูลิน (globulin)	15
2.3.1.3 ไฟบริโนเจน (fibrinogen)	15

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.2 โปรตีนในเม็ดเลือดแดง.....	16
2.3.2.1 ฮีโมโกลบิน (hemoglobin)	16
2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (functional properties of protein)	18
2.4.1 สมบัติในการจับน้ำ(water holding capacity)	18
2.4.1.1 ค่าพีเอช (pH).....	18
2.4.1.2 อุณหภูมิ (temperature).....	19
2.4.1.3 ความแรงไอออน (ionic strength)	19
2.4.1.4 โปรตีน (protein)	20
2.4.1.5 โลหะหนัก (heavy metal).....	20
2.4.1.6 ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent)	20
2.4.2 สมบัติการเกิดโฟม (foaming ability)	20
2.4.3 สมบัติการเกิดอิมัลชัน (emulsifier)	21
2.4.4 สมบัติการเจลภายใต้สภาวะการให้ความร้อน	21
2.4.4.1 ความเข้มข้นของโปรตีน	23
2.4.4.2 ความเข้มข้นของเกลือ	23
2.4.4.3 ค่าpH	23
2.4.4.4 การให้ความร้อน	23
2.5 การแยกโปรตีนแต่ละชนิดในน้ำเลือด.....	24
2.6 กระบวนการผลิตเลือดปิดต้ม	25
2.7 ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)	26
2.7.1 ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์แบ่งตามแหล่งที่มา	26
2.7.1.1 ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids).....	26
2.7.1.2 ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids)	26
2.7.1.3 ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids).....	26
2.7.2 คาราจีแนน (carrageenan)	26
2.7.2.1 แคปป่า คาราจีแนน	27

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2.2 ไอโอด้า คาราจีแนน	27
2.7.2.3 แลมด้า คาราจีแนน.....	27
2.7.3 อะการ์ (agar).....	30
2.7.4 โลกัสต์บีนกัม (Locust bean gum).....	31
2.7.5 เจลแลนกัม (gellan gum).....	32
2.7.5.1 การกระจายตัวในน้ำ (dispersion)	33
2.7.5.2 การดูดน้ำ (hydration).....	33
2.7.5.3 การเกิดเจล (gelation)	34
2.7.6 เจลลาติน (gelatin).....	35
2.7.6.1 การผลิตเจลาตินโดยใช้กรด (Acid Manufacturing Process).....	36
2.7.6.2 การผลิตเจลาตินโดยใช้ด่าง (Alkali Manufacturing Process).....	36
2.8 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการ อุ้มน้ำ	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	41
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	41
3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมี.....	42
3.3 วิธีการทดลอง.....	47
3.3.1 คุณลักษณะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของ โปรตีนในเลือดสัตว์	47
3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างเลือดสุกร เลือดไก่ และ เลือดเป็ด.....	47
3.3.1.2 ค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดสุกร.....	47
3.3.1.3 ค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดเลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	48
3.3.1.4 สัณฐานวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	50
3.3.1.5 โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือด (blood protein fraction)	50
3.3.1.6 วิเคราะห์ปริมาณ โปรตีน	51
3.3.1.7 องค์ประกอบทางเคมี.....	51
3.3.1.8 สมบัติเชิงหน้าที่ของ โปรตีน.....	54

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.1.9 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	56
3.3.2 ผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของ โปรตีนจากเลือดเป็ด	57
3.3.2.1 การเก็บตัวอย่างเลือดเป็ดและการเก็บรักษา.....	57
3.3.2.2 ผลของความเข้มข้นของเลือดต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	57
3.3.2.3 ผลของความเข้มข้นของเกลือต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	57
3.3.2.4 ผลของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	58
3.3.2.5 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อคุณภาพของเลือดต้ม	58
3.3.2.6 ผลของการทำให้เย็นต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	58
3.3.2.7 ผลของการกวนต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม.....	58
3.3.2.8 วิเคราะห์คุณภาพเลือดเป็ดต้ม.....	58
3.3.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	61
3.3.3 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท	61
3.3.3.1 เลือกสภาวะการแปรรูปเลือดเป็ดต้มจากข้อมูลที่ได้ในการทดลองที่ 2...	61
3.3.3.2 ปรับปรุงคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	61
3.3.3.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มบรรจุในอุณหภูมิที่ปิดสนิท	62
3.3.3.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)	65
3.3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	65
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	66
4.1 คุณลักษณะและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเลือดสัตว์	66
4.1.1 ค่าโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด	66
4.1.2 โปรตีนที่องค์ประกอบของเลือด	69
4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	69
4.1.3.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น	69
4.1.3.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ	70
4.1.3.3 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	72
4.1.3.4 ปริมาณฮีโมโกลบินและฮีโมโกลิน	73
4.1.3.5 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน	73

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1.5 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด	74
4.1.5.1 การละลาย	74
4.1.5.2 การเกิดเจล.....	76
4.1.5.3 การเป็นอิมัลชัน.....	78
4.1.5.4 การเกิดโฟม.....	80
4.2 การศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนจากเลือดเป็ด.....	82
4.2.1 ผลของความเข้มข้นเลือดต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	82
4.2.2 ผลของความเข้มข้นเกลือต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	84
4.2.3 ผลของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม	86
4.2.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อคุณภาพของเลือดต้ม.....	88
4.2.5 ผลของการทำเย็นต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม.....	90
4.2.6 ผลของการกวนต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม.....	92
4.3 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท	93
4.3.1 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์.....	93
4.3.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม	93
4.3.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	96
4.3.1.3 คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์.....	99
4.3.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	101
4.3.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น	101
4.3.2.2 ปริมาณฮีโมโกลบิน	102
4.3.2.3 ปริมาณอนฮีโมโกลบิน	103
4.3.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มบรรจุในอุณหภูมิที่ปิดสนิท	103
4.3.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม	103
4.3.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	106
4.3.3.3 คุณภาพด้านสี.....	107
4.3.3.4 ปริมาณฮีโมโกลบิน	109
4.3.3.5 ปริมาณอนฮีโมโกลบิน	109
4.3.3.6 วิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.3.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด.....	111
4.3.3.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบ.....	112
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	115
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	115
5.2 ข้อเสนอแนะ	117
บรรณานุกรม.....	118
ภาคผนวก ก.....	125
ภาคผนวก ข.....	129
ภาคผนวก ค.....	130
ประวัติผู้วิจัย.....	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเลือด พลาสมา และเซลล์เม็ดเลือดแดง	13
2.2 กรดอะมิโนจำเป็น (กรัม/100 กรัม โปรตีน) ในเลือด และพลาสมาเมื่อเปรียบเทียบกับกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการแนะนำโดย FAO	14
2.3 จำนวนเม็ดเลือดแดง และปริมาณฮีโมโกลบินในสัตว์บางชนิด	16
2.4 ผลของเกลือต่ออุณหภูมิในการคुकน้ำของเจลแลนกัมชนิด LA ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25	33
2.5 ผลของการใช้คาร์โบไฮเดรต และสารช่วยตกตะกอนต่อองค์ประกอบของเต้าหู้.....	38
2.6 ค่าความหนืดและค่า water activity ของผลิตภัณฑ์กัมมีเซลลูล์	39
4.1 เปรียบเทียบปริมาณเม็ดเลือดของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	67
4.2 โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	69
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง .	70
4.4 กรดอะมิโนที่พบในเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	71
4.5 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	72
4.6 ปริมาณฮีโมโกลบิน และฮีโมโกลินของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	73
4.7 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด.....	74
4.8 คุณภาพของเลือดเป็ดต้มที่เตรียมจากความเข้มข้นเลือดที่แตกต่างกัน	83
4.9 คุณภาพเลือดเป็ดต้มที่เตรียมจากความเข้มข้นเลือดที่แตกต่างกัน	85
4.10 คุณภาพเลือดเป็ดต้มที่ระดับค่า pH ที่แตกต่างกัน	87
4.11 คุณภาพเลือดเป็ดต้มที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	89
4.12 คุณภาพเลือดเป็ดต้มแล้วผ่านกระบวนการทำให้เย็นที่แตกต่างกัน	91
4.13 คุณภาพเลือดเป็ดต้มในด้านการกวนที่แตกต่างกัน	92
4.14 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิท	102

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition).....	5
2.2 ส่วนประกอบของน้ำเลือด หรือ พลาสมา (plasma composition).....	6
2.3 ส่วนประกอบของเม็ดเลือด (corpuscles หรือ formed elements composition).....	7
2.4 การแยกชั้นของเลือดเมื่อไม่มีการเติมสารการป้องกันการแข็งตัว (ก) และหลังเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ข).....	12
2.5 โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนที่พบในน้ำเลือด หรือพลาสมา อัลบูมิน (ก) โกลบูลิน (ข) และไฟบริโนเจน (ค).....	15
2.6 ฮีโมโกลบินที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง (ก) รูปร่างของเม็ดเลือดแดง (ข) ลักษณะโครงสร้างของฮีโมโกลบิน	17
2.7 ค่า pH ที่ทำให้โปรตีนเกิดการแขวนลอย และตกตะกอน	19
2.8 การตกตะกอนโปรตีนโดยการเติมเกลือ	19
2.9 โครงสร้างการเกิดฟิมของโปรตีน	21
2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนจากสภาพปกติไปสู่การเกิดโครงสร้างโปรตีนในระหว่างการเกิดเจลด้วยความร้อน	22
2.11 การแยกโปรตีนในเลือดออกเป็นส่วนของเซลล์เม็ดเลือด และพลาสมารวมทั้งการแยกโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของพลาสมา	24
2.12 กระบวนการต้มเลือดเปิดจากบริษัท ค็อกคิง จำกัด	25
2.13 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของแคปป์- ไอโอต้า- และแลมต้า-คาราจีแนน.....	27
2.14 กลไกการเกิดเจลของคาราจีแนน	29
2.15 โครงสร้างของอะการ์โรส	30
2.16 กลไกการเกิดเจลของอะการ์โรส	31
2.17 โครงสร้างโมเลกุลของโกลด์สตีนกัม	32
2.18 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเจลแลนกัมเมื่อผ่านความร้อน.....	34
2.19 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของจากของเหลวเป็นเจลของเจลแลนกัมที่มี CaCl_2	35
2.20 กรรมวิธีการผลิตเจลาติน	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.21 ลักษณะ โดยทั่วไปของเจลแลนกัมผสมกับโปรตีนถั่วเหลือง เจลผสม (A), เจลผสมที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีโดยตรง (B), เจลผสมที่เติมโพแทสเซียมด้วยวิธีโดยตรง (C) และเจลผสมที่เติมคลอไรด์ และเติมแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย (D) และเจลผสมที่เติมคลอไรด์ (F)	40
2.22 ภาพโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเจลแลนผสมกับโพแทสเซียม (A), โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 7 ผสมกับแคลเซียม (B), โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 8 ผสมกับแคลเซียม (C) และโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 8 ผสมกับแคลเซียม (D).....	40
4.1 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่กำลังขยาย 100 เท่าของเลือดสุกร (ก) เลือดไก่ (ข) และเป็ด (ค)	67
4.2 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวที่กำลังขยาย 100 เท่าของเลือดสุกร เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Lymphocyte (ก) และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Monocyte (ข)	68
4.3 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวที่กำลังขยาย 100 เท่าของเลือดไก่ เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Lymphocyte (ก) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Thrombocyte (ข) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Eosinophil (ค) และเซลล์เม็ดเลือดชนิด Monocyte (ง).....	68
4.4 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวที่กำลังขยาย 100 เท่าของเลือดเป็ด เซลล์เม็ดเลือดชนิด Lymphocyte (ก) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Eosinophil (ข) และเซลล์เม็ดเลือดชนิด Thrombocyte (ค).....	68
4.5 ความสามารถในการละลายของโปรตีนจากเลือดสุกร (ก) เลือดไก่ (ข) และเลือดเป็ด (ค).....	75
4.6 ความสามารถในการเกิดเจล โปรตีนของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ก) อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค).	77
4.7 ความสามารถในการเป็นอิมัลชัน EAI (ก) และความคงตัวของอิมัลชัน ESI (ข) จากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด (a, b, c ตัวพิมพ์เล็ก คือค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเลือดสัตว์เดียวกัน และ A, B, C ตัวพิมพ์ใหญ่ คือค่าความแตกต่างระหว่างชนิดของเลือดสัตว์ที่ระดับความเข้มข้นเลือดเท่ากัน)	79
4.8 ความสามารถในการเกิดโฟม FE (ก) และความคงตัวของโฟม FS (ข) ของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด (a, b, c ตัวพิมพ์เล็ก คือค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเลือดสัตว์เดียวกัน และ A, B, C ตัวพิมพ์ใหญ่ คือค่าความแตกต่างระหว่างชนิดของเลือดสัตว์ที่ระดับความเข้มข้นเลือดเท่ากัน)	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 ความเข้มข้นเลือดที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะปรากฏของเลือดเปิดต้มความเข้มข้นเลือดร้อยละ 55 (ก) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ข) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ (control) 65 (ค) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 75 (ง) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 85 (จ) และความเข้มข้นเลือดร้อยละ 100 (ฉ).....	84
4.10 ความเข้มข้นเกลือที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะปรากฏของเลือดเปิดต้ม ความเข้มข้นเกลือ (control) 0.167 M (a) ความเข้มข้นเกลือ 0.2 M (b) ความเข้มข้นเกลือ 0.4 M (c) ความเข้มข้นเกลือ 0.6 M (d) ความเข้มข้นเกลือ 0.8 M (e) และความเข้มข้นเกลือ 1.0 M (f)	86
4.11 คุณภาพเลือดเปิดต้มที่ค่า pH ต่างกัน pH 6 (ก) pH 6.5 (ควบคุม) (ข) pH 7 (ค) pH 8 (ง) และ pH 9 (จ)	87
4.12 อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันต่อลักษณะปรากฏของเลือดเปิดต้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 60 นาที (ก) ต้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 90 นาที (ข) ต้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 140 นาที (ค) ต้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส, 60 นาที (ง) ต้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส, 90 นาที (ควบคุม) (จ) และต้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส, 140 นาที (ฉ)	90
4.13 คุณภาพเลือดเปิดต้มแล้วผ่านกระบวนการทำให้เย็นโดยแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (ก) และแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (ข).....	91
4.14 คุณภาพเลือดเปิดต้มในด้านการกวนที่แตกต่างกัน ไม่กวน (ก) กวนความเร็วต่ำ เบอร์ 1 (ข) กวนความเร็วปานกลาง เบอร์ 3 (ค) และกวนความเร็วสูง เบอร์ 6 (ง)	93
4.15 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม ค่าความแข็ง (ก) ค่าการเกาะรวมตัวกัน (ข) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (ค) ค่าความยืดหยุ่น (ง) และค่าการเคี้ยวได้ (จ) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก เจลเลนกันไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้).....	95
4.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทรวมกับการใช้วุ้น (ก) คาราจีแนน ผสมโลคัสทีนกัน (ข) และเจลาติน (ค) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจลเลนกันไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้).....	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (เจลแลนกัมไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)	98
4.18 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudative) ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม ในถุงทนร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจลแลนกัมไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)	99
4.19 คุณภาพทางด้านสีรูปแบบความสว่าง (L*value) (ก) ค่าสีแดง (a*value) (ข) และค่าสีเหลือง (b*value) (ค) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5เกิดเจลอ่อนมาก และเจลแลนกัมไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)	100
4.20 ปริมาณฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิท	102
4.21 ปริมาณนอนฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิท	103
4.22 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุ 0 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	105
4.23 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิท ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	106
4.24 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	107
4.25 คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน ค่าความสว่าง (ก) ค่าสีแดง (ข) และค่าสีเหลือง (ค)	108
4.26 ปริมาณฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	109
4.27 ปริมาณนอนฮีโมโกลินของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.28 รูปแบบของโปรตีนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชุดการทดลองควบคุมในถุงทนร้อปิด สนิทหลังระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน	111
4.29 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสต่ออายุการเก็บรักษาที่ ในด้านสี (ก) ทางด้าน ลักษณะปรากฏโดยรวม (ข) ด้านเนื้อสัมผัส (ค) ทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ง) ด้าน ความรู้สึกลึกลับในปาก (จ) และด้านคุณภาพ โดยรวม (ฉ)	114



บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มา

เลือดเป็นผลพลอยได้ปริมาณมากจากอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ในบางประเทศนิยมนำเลือดมาบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์ ซึ่งได้นำมาใช้เตรียมเป็นอาหารหรือเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร ในยุโรปจะนิยมนำเลือดมาเป็นส่วนประกอบของอาหาร โดยอาจทำเป็นไส้กรอกเลือด บิสกิต ขนมปัง และพุดดิ้งจากเลือด (blood pudding) เป็นต้น ในขณะที่ประเทศในแถบเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศไทยจะนำเลือดมาต้ม และนำเอาเลือดที่ต้มแล้วเหล่านี้มาปรุงและประกอบเป็นอาหารได้หลากหลายชนิด เช่น ใส่ในอาหารพวกก๋วยเตี๋ยว ต้มเลือดหมู และแกงเขียวหวาน เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีในเลือดจะพบว่าเลือดสัตว์จะประกอบด้วยน้ำร้อยละ 80.9 โปรตีนร้อยละ 17.3 ไขมันร้อยละ 0.23 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.07 และแร่ธาตุร้อยละ 0.62 (Duarte *et al.* 1999) ดังนั้นเลือดจึงจัดเป็นอาหารที่เป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ในแง่ของโภชนาการเลือดมีฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์เม็ดเลือดแดงจำนวนมากคิดเป็นประมาณร้อยละ 10 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในเลือด (Ockerman and Hansen 1988) และเนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลฮีโมโกลบินมีเหล็กเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เลือดมีปริมาณธาตุเหล็กสูง ประกอบกับธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีโมโกลบินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฮีมไอรอน (heme iron) มากกว่าปริมาณนอนฮีมไอรอน (non-heme iron) ซึ่งฮีมไอรอนเป็นรูปแบบของธาตุเหล็กที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีกว่านอนฮีมไอรอน ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารจากเลือดสัตว์ปรุงสุกเหมาะในการใช้เสริมให้กับผู้ป่วยโรคที่เป็นโรคโลหิตจาง เนื่องจากภาวะขาดธาตุเหล็ก (Walter *et al.* 1993; Kikafunda and Sserumaga. 2005)

การผลิตเลือดเป็ดต้มเป็นการอาศัยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในด้านการเกิดเจล (gelation) โดยปกติการเกิดเจลจะเกิดจากการรวมตัวกันของกลุ่มโปรตีนที่ไม่มีขั้ว (non-covalent) ด้วยพันธะไฮโดรเจน และกลุ่มโปรตีนที่มีขั้ว (covalent) ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ และพัฒนากลายเป็นโครงสร้างสามมิติของเจลโปรตีน (Smith, 1994) นอกจากนี้การเกิดเจลยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) และลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลให้ดีขึ้นได้ (Dávila and Parés. 2007) จากการรายงานของ Kinsella *et al.* (1994) ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่สามารถควบคุมสภาวะในการเกิดเจลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ความเข้มข้นของโปรตีน ค่า pH อุณหภูมิ และค่าความแรงไอออน (ionic strength) โดยที่การเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนที่เหมาะสมของความเข้มข้นโปรตีน ถ้ามีส่วน

ของ ความเข้มข้นโปรตีนต่ำ โปรตีนจะไม่สามารถรวมตัวกันเป็นโครงสร้างเจลได้ (Ferry. 1948)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และยังพบว่าที่ค่า pH เท่ากับค่า pI (isoelectric point) โปรตีนจะมีประจุเท่ากับศูนย์ที่สภาวะนี้ จะเกิดแรงผลักกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำ และจะขัดขวางอันตรกิริยาที่จำเป็นในการเกิดเจล (Hermansson, 1979; Cheftel *et al.* 1985; Kinsella *et al.* 1994; Zayas, 1997) นอกจากนี้ อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการเกิดเจล เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจะช่วยให้โปรตีนเกิดเป็นเจลได้ดี (Zayas, 1997) และนอกจากนี้ การเติมเกลือเล็กน้อยจะช่วยให้โปรตีนเกิดเป็นเจล และอุ้มน้ำได้ดีขึ้นเรียกว่า salting in แต่ถ้าเติมเกลือมากเกินไป โปรตีนจะตกตะกอนออกมาเรียกว่า salting out (Foegeding *et al.* 1995)

ภาพรวมของกำลังการผลิตเนื้อเป็ดในประเทศไทยในระยะ 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2552-2556) มูลค่าผลผลิตเป็ดเนื้อของไทยมีอัตราการเติบโตสูงเฉลี่ยร้อยละ 10.7 อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นทั้งด้านปริมาณและราคาผลผลิต เนื่องจากตลาดในประเทศและต่างประเทศยังคงมีความต้องการบริโภคสูง และมุ่งใจให้มีการเลี้ยงเป็ดมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2556 พบว่าประเทศไทยยังคงมีการเลี้ยงเป็ดเนื้อมากถึง 9.63 ล้านตัว และให้ปริมาณผลผลิต 24.16 ล้านตัว เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.6 จากปี 2555 (จรรยา เรืองทวีศิลป์, 2557) ดังนั้นจึงมีเลือดที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเนื้อเป็ดเป็นจำนวนมาก แต่การศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีในเลือดเป็ด และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเลือดเป็ด พบว่าในเลือดเป็ดยังไม่มีการศึกษามากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับเลือดสัตว์ชนิดอื่นที่นิยมบริโภค เช่น เลือดสุกร และเลือดไก่ นอกจากนี้เลือดเป็ดที่ผ่านการต้มเป็นก้อนและจำหน่ายให้กับลูกค้า ในบางครั้งความต้องการในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดต้มอาจไม่เหมือนกัน บางกลุ่มผู้บริโภคอาจต้องการเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดที่นุ่มแต่ในขณะที่บางกลุ่มอาจต้องการเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า ดังนั้นการศึกษาดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนจากเลือดจะทำให้ผู้ประกอบการได้องค์ความรู้ที่สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตเลือดต้มให้มีเนื้อสัมผัสตามต้องการได้ นอกจากนี้เนื่องจากอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มที่สั้น โดยเก็บรักษาไม่ได้เกิน 3 วัน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตเลือดต้มในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทก่อนตามด้วยการให้ความร้อน จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดต้ม ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากเลือดเป็ดได้อย่างเต็มศักยภาพ และเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเลือดเป็ดในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความแตกต่างทางด้านองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด เพื่อประเมินศักยภาพของการใช้ประโยชน์จากเลือดเป็ด

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนจากเลือดเป็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท ต่อ คุณลักษณะ และอายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

1.3 สถานที่ดำเนินงาน

1.3.1 ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.2 ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางเนื้อสัตว์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.3 ห้องปฏิบัติการโภชนาศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.4 บริษัท ดั๊กคิง จำกัด 49/3 หมู่ 2 ต.คอนทราย อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา 24140

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาความแตกต่างทางด้านองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเลือดสุกร เลือดไก่ และ เลือดเป็ด

1.4.2 ศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนจากเลือดเป็ด

1.4.3 ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิที่ปิดสนิทพร้อมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษา

1.5 ระยะเวลาดำเนินงาน

ใช้เวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 18 เดือน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถทราบความแตกต่างในด้านองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของเลือดเป็ด เลือดไก่ และเลือดสุกร ได้อย่างถูกต้อง

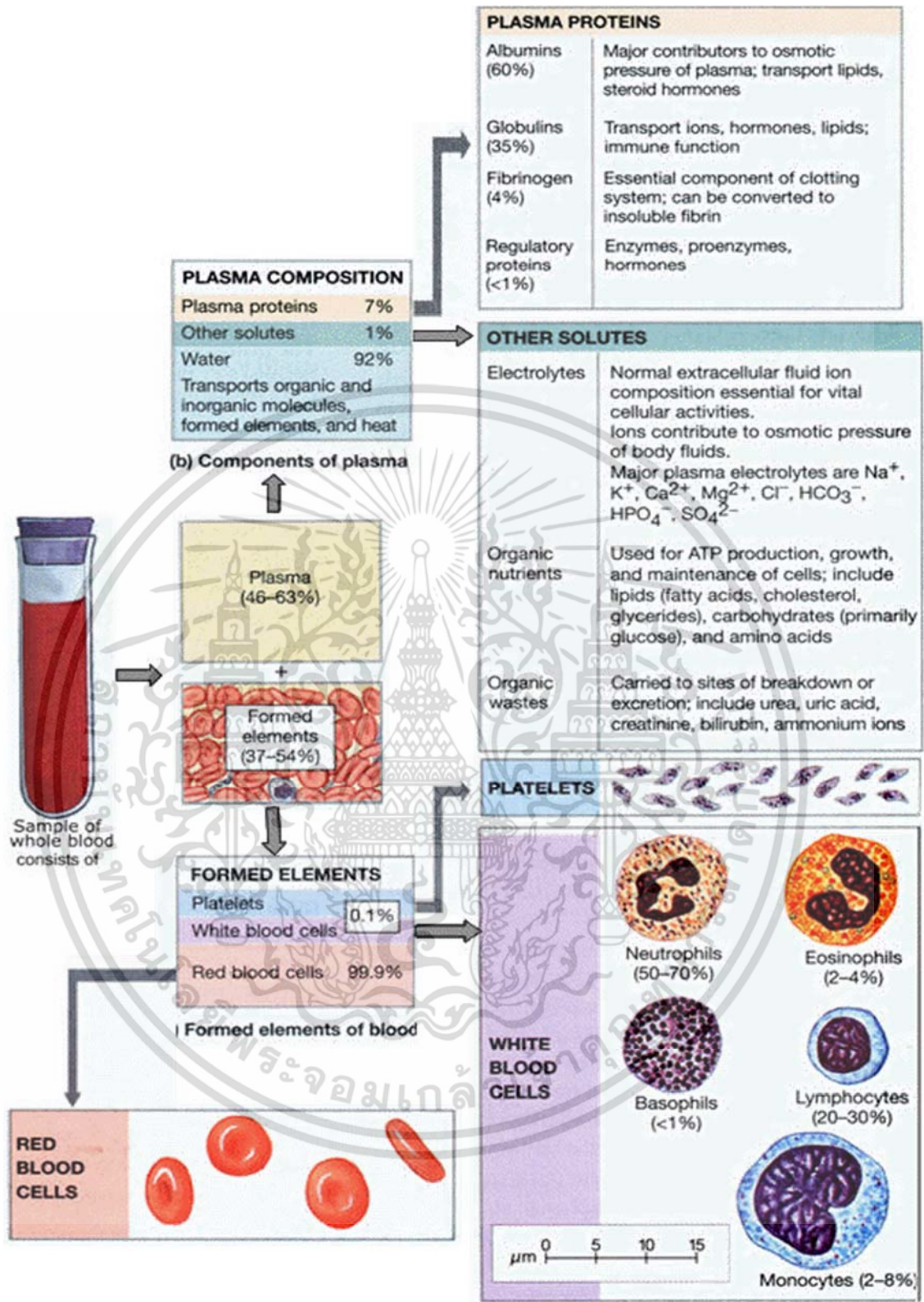
1.6.2 สามารถทราบสถานะที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มที่อยู่ในอุณหภูมิปิดสนิทให้มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงกับความต้องการได้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition)

เลือดเป็นส่วนหนึ่งของของเหลวที่สำคัญในร่างกาย ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าน้ำเลือด หรือพลาสมา (plasma) มีอยู่ประมาณร้อยละ 45-65 ที่เหลือคือส่วนของเซลล์เม็ดเลือด (corpuscles) ชนิดต่าง ๆ เช่นเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocytes) เซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocytes) และเกล็ดเลือด (platelet) ส่วนของน้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนชนิดต่าง ๆ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น ฮอร์โมน ธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) เป็นต้น เซลล์เม็ดเลือดแดงจะเป็นส่วนที่ลอยอยู่ในเส้นเลือด และหัวใจ เซลล์เม็ดเลือดแดงเคลื่อนที่เองไม่ได้ ส่วนเซลล์เม็ดเลือดขาวบางส่วนสามารถจะแทรกตัวผ่านผนังเลือด ออกมาทำลายเชื้อโรคที่อยู่ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อได้ เลือดจะไหลเวียนไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายตามระบบเลือด (blood system) โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อนำเลือดออกจากร่างกายมาใส่ในหลอดแก้ว (test tube) และตั้งทิ้งไว้ พบว่าเลือดมีการแข็งตัวและแยกออกเป็น 2 ชั้น ส่วนของเลือดที่แข็งตัวเรียกว่าลิ่มเลือด (blood clot) จะเกาะรวมกันเป็นก้อนอยู่ด้านล่างของหลอดแก้ว ส่วนที่เป็นน้ำใสๆด้านบนลิ่มเลือดมีสีเหลืองเรียกว่าซีรัม (serum) ถ้านำเลือดใส่ในหลอดแก้วที่มีสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด (anticoagulant) จากนั้นนำหลอดแก้วที่มีเลือดอยู่ไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จะพบว่าเลือดมีการแยกชั้นเป็น 2 ชั้นเช่นกัน ชั้นล่างเป็นส่วนที่มีสีแดงคือเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ ที่อัดตัวกันแน่นหรือฮีมาโตคริต (hematocrit) ชั้นบนเป็นส่วนของเหลวเรียกว่าพลาสมา หรือ น้ำเลือด (plasma) ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 ส่วนประกอบของซีรัม และพลาสมาแตกต่างกันที่ซีรัมจะไม่มีส่วนของโปรตีนในเลือดเป็นองค์ประกอบ รวมถึงไม่มีสารที่ป้องกันการแข็งตัวของเลือด เช่น fibrinogen (Martini, 2006) โดยทั่วไปแล้วปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น ในแกะจะมีเลือดประมาณร้อยละ 8 ของน้ำหนักตัว ในโคมีเลือดประมาณร้อยละ 7.7 และในม้ามีเลือดประมาณร้อยละ 9.7 เป็นต้น ค่าความถ่วงจำเพาะของเลือดมีค่าประมาณ 1.042-1.060 มีค่า pH ระหว่าง 7.20-7.68 (Vander *et al.* 2010) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



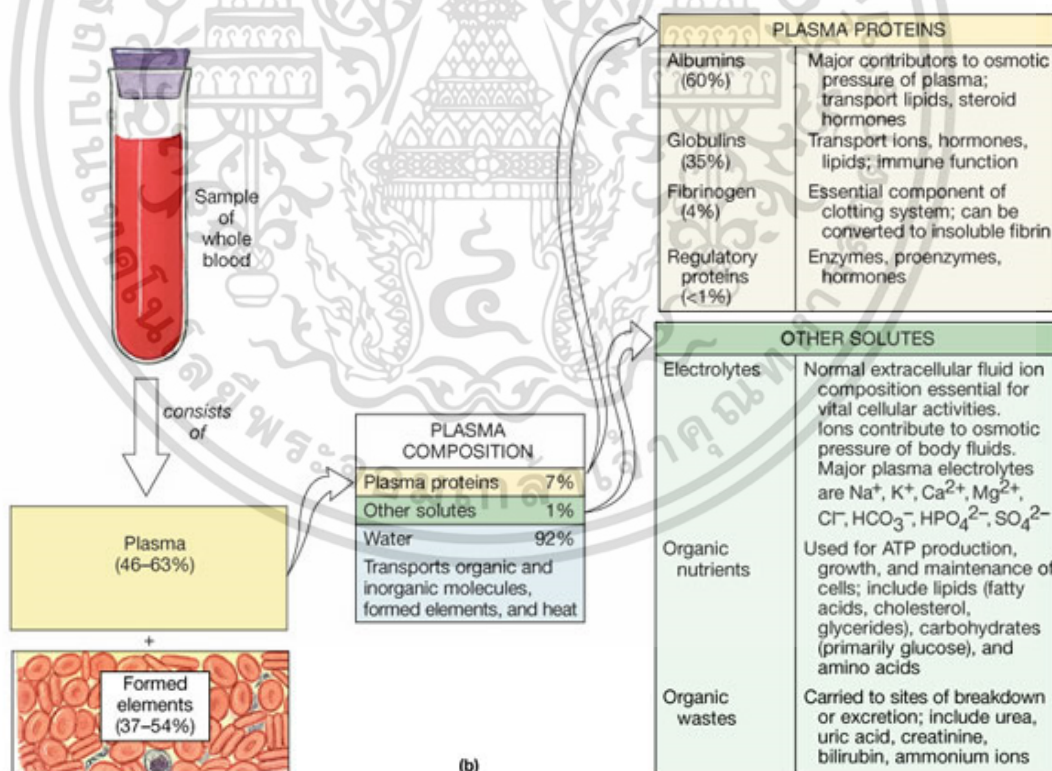
ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของเลือด (blood composition)

ที่มา : Martini (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 น้ำเลือดหรือพลาสมา (plasma)

น้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 90-92 ที่เหลือร้อยละ 8-9 เป็นส่วนของแข็ง ได้แก่ โปรตีน สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ (ภาพที่ 2.2) ในน้ำเลือดมีโปรตีนที่สำคัญ ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulin) ไฟบริโนเจน (fibrinogen) และโปรทรอมบิน (prothrombin) โปรตีนอัลบูมินเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดคือน้ำเลือดทำหน้าที่รักษาสมดุของออสโมติกของเลือด โดยปกติโปรตีนไฟบริโนเจน โปรตีนโปรทรอมบิน และแอลฟาโกลบูลิน (α -globulin) เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด โดยทั่วไปหน้าที่หลักของโปรตีนในน้ำเลือดคือการควบคุมความดันออสโมติกของเลือด อัลบูมินเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดคือน้ำเลือดและยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องในการขนส่งสารต่าง ๆ ที่จะเดินทางไปกับเลือด นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ประมาณร้อยละ 1 ที่พบในน้ำเลือด ได้แก่ ไขมัน เอ็นไซม์ ฮอร์โมน กลอเรียเตอร์อล และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย ครีเอทีน (creatin) ครีเอทีนิน (creatinine) และเกลือแอมโมเนีย เป็นต้น ส่วนสารอนินทรีย์ที่สำคัญ เช่น คลอไรด์ คาร์บอเนต ซัลเฟต โซเดียม ฟอสเฟต โพแทสเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น สารอนินทรีย์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการรักษาสภาพความเป็น pH ของเลือด (Martini, 2006)



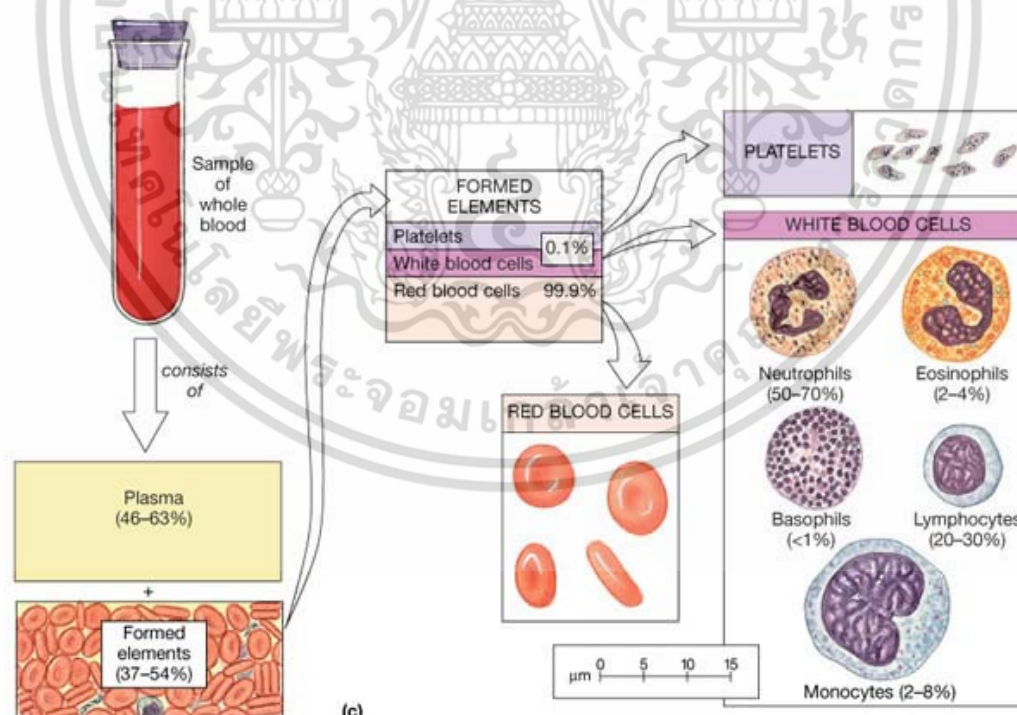
ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำเลือดหรือพลาสมา (plasma composition)

ที่มา : Martini (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 เซลล์เม็ดเลือด (corpuscles)

ส่วนของเลือดที่ไม่ใช่ของเหลวหรือน้ำเลือดประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ โดยมีเซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cell หรือ erythrocyte) ประมาณร้อยละ 99 ที่เหลืออีกร้อยละ 1 เป็นเม็ดเลือดขาว (white blood cell หรือ leucocytes) และเกล็ดเลือด (blood platelets หรือ thrombocytes) ดังภาพที่ 2.3 เม็ดเลือด (formed elements) เลือดมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเม็ดเลือดรวมทั้งเกร็ดเลือด (formed elements) และส่วนที่เป็นของเหลวที่เรียกพลาสมา (plasma) ส่วนของเม็ดเลือดนั้น มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เม็ดเลือดแดง (red blood cells หรือ erythrocytes) เม็ดเลือดขาว (white blood cells หรือ leukocytes) และเกล็ดเลือด (platelets) หากนำเอาเลือดจากคนปกติมาปั่นในหลอดทดลองจะพบว่าส่วนของเม็ดเลือดนั้นจะจมอยู่ที่ส่วนล่างของหลอดทดลอง โดยส่วนที่เป็นของเหลวจะอยู่ด้านบนของหลอด สัดส่วนปริมาตรของเม็ดเลือดแดง ที่อัดแน่นกันอยู่ต่อปริมาตรทั้งหมดเรียกฮีมาโตคริต (hematocrit) มักมีค่าประมาณร้อยละ 40-45 ของปริมาตรเลือดทั้งหมด หมายความว่าในปริมาตรเลือดทั้งหมดร้อยละ 100 จะมีปริมาตรเม็ดเลือดแดงเท่ากับร้อยละ 40-45 โดยที่ปริมาตรของเม็ดเลือดขาวจะไม่ค่อยอัดแน่นนักเห็นเป็นชั้นบาง ๆ สีขาวเรียก buffy coat อยู่บนชั้นของเม็ดเลือดแดงอีกที ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 55-60 เป็นส่วนของน้ำเลือด (plasma) (Martini, 2006)



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของเม็ดเลือด (corpuscles หรือ formed elements composition)

ที่มา : Martini (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 เซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cell หรือ erythrocytes)

เซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีมากที่สุดในร่างกาย ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 62-72 มีส่วนที่เป็นของแข็ง (solid) ประมาณร้อยละ 35 โดยส่วนของของแข็งเป็นฮีโมโกลบินประมาณร้อยละ 95 ฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการพาออกซิเจนจากถุงลมปอดไปสู่เซลล์โดยผ่านระบบการไหลเวียนของเลือด และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์ไปที่ปอดเพื่อขับออกจากร่างกาย ในขณะที่เป็นตัวอ่อนเม็ดเลือดแดงถูกสร้างที่ถุงไข่แดง ตับ ไต และต่อมน้ำเหลือง แต่ในระยะหลังคลอดเม็ดเลือดแดงจะถูกสร้างที่ไขกระดูก ส่วนของแข็งในน้ำเลือดนอกจากฮีโมโกลบินจะประกอบด้วยไขมัน ฟอสโฟลิปิด ไวตามิน กลูโคส เอนไซม์ และแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดเม็ดเลือดแดงจะมีขนาดรูปร่าง ความหนา และเส้นผ่าศูนย์กลางที่แตกต่างกัน เม็ดเลือดแดงที่ยังเติบโตไม่เต็มที่ (immature erythrocyte) จะยังคงอยู่ในส่วนของไขกระดูก (red bone marrow) ขณะที่เซลล์เม็ดเลือดแดงยังไม่โตเต็มที่จะมีนิวเคลียสอยู่ แต่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่นิวเคลียสจะหายไป โดยทั่วไปเม็ดเลือดแดงจะมีรูปร่างกลม (circular discs) หนาประมาณ 2.4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 มิลลิเมตร มีลักษณะเว้าทั้ง 2 ด้าน (biconcave) เนื่องจากไม่มีนิวเคลียส การเว้าของเซลล์เม็ดเลือดแดงมีส่วนเพิ่มพื้นที่ผิวในการขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เซลล์มีความยืดหยุ่นได้จึงสามารถโค้งงอได้ และผ่านเข้าไปในเส้นเลือดฝอยได้ เซลล์เม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่ที่หลุดออกจากไขกระดูก เข้ามาลอยอยู่ในน้ำเลือดภายในเส้นเลือดต่าง ๆ และหัวใจ เซลล์เม็ดเลือดแดงที่หมดอายุจะถูกทำลายที่ม้าม (spleen) โดยจะถูกทำให้เซลล์แตกออกแต่ฮีโมโกลบินที่อยู่ภายในเม็ดเลือดแดงยังถูกนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ในไขกระดูกโดยผ่านขบวนการสร้างเม็ดเลือด ขบวนการนี้จะต้องใช้วิตามินบีรวม (vitamin B complex) และโปรตีนโกลบิน นอกจากนี้ฮีโมโกลบินบางส่วนจะถูกนำไปที่ตับเพื่อสร้างเป็นเม็ดสีในน้ำดี โดยการดึงส่วนของฮีม (heme) ที่อยู่ในฮีโมโกลบินไปใช้ประโยชน์ (Hean, 1995)

เม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียสและมีชีวิตเพียง 100-120 วัน ภายในบรรจุโปรตีนชื่อฮีโมโกลบิน ซึ่งมีหน้าที่ขนส่งออกซิเจน ฮีโมโกลบินประกอบด้วยสายโปรตีน 4 สาย โดยมีกลุ่มฮีมอยู่ตรงกลางของแต่ละสายโดยอะตอมของเหล็กจะฝังอยู่ตรงกลางของฮีมแต่ละกลุ่ม โดยโมเลกุลของออกซิเจนจะจับกับอะตอมของเหล็กซึ่งแต่ละโมเลกุลของฮีโมโกลบินจะบรรจุออกซิเจนได้สูงสุด 4 โมเลกุล เซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดพัฒนามาจากเซลล์ต้นกำเนิดเดียวกัน คือ ฮีโมไซโทบลาส (hemocytoblast) หรือ เซลล์ต้นกำเนิด (pluripotential stem cells, PPSC) ซึ่งเป็นผู้สร้างเม็ดเลือดทั้งหมด การสร้างเม็ดเลือดแดง ถูกควบคุมโดยฮอร์โมน erythropoietin ที่ผลิตมาจากไต ซึ่งการผลิตจะถูกควบคุมโดยปริมาณออกซิเจนในเลือด เมื่อปริมาณของออกซิเจนในเลือดต่ำ ฮอร์โมนอีริโทโปอิติน (erythropoietin) จะถูกปล่อยออกมามากขึ้น เพื่อกระตุ้นหรือเร่งการสร้างเม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดจะถูกสร้างขึ้นในไขกระดูกซึ่งพบในส่วนปลายของกระดูกยาว

(long bone) และในส่วนโพรงของกระดูกแบน (flat bone) การสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเรียกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoiesis) (การสร้างเซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดเรียกรวม ๆ ว่า กระบวนการ hematopoiesis หรือ hemopoiesis) เม็ดเลือดแดงที่กำลังเจริญจะผลิตไรโบโซมจำนวนมากเพื่อใช้ในการสร้างโปรตีนโกลบิน ก่อนที่จะรวมตัวกับฮีโมโกลบินที่ผลิตมาจากไมโทคอนเดรีย และไซโทพลาสซึมกลายเป็นฮีโมโกลบิน เตรียมพร้อมที่จะทำหน้าที่ของเม็ดเลือดแดงอย่างสมบูรณ์ นั่นคือ การขนส่งออกซิเจนหลังจากที่เซลล์เม็ดเลือดแดงสร้างฮีโมโกลบินเรียบร้อยแล้วมันก็จะสลัดนิวเคลียสของตัวเองออกไป เพื่อให้มีน้ำหนักเบา คล่องตัว และสามารถขนส่งออกซิเจนให้ได้มากที่สุด เม็ดเลือดแดงที่เจริญเต็มที่แล้วนั้น จะมีเพียงเยื่อหุ้มเซลล์ที่ห่อหุ้มฮีโมโกลบินไว้เท่านั้น (ยูทชนา หมั่นดี. 2551) ซึ่งธาตุเหล็กที่นำมาสร้างฮีโมโกลบินเป็นธาตุเหล็กที่มีในอาหาร ซึ่งอยู่ในรูปของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) และธาตุเหล็กที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายที่อยู่ในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) การดูดซึมธาตุเหล็กจะเกิดขึ้นที่เยื่อผนังเซลล์ลำไส้เล็กตอนต้น และตอนกลาง ธาตุเหล็กที่มีมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกายจะถูกเก็บสะสมไว้ในร่างกายที่อยู่ในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) การดูดซึมธาตุเหล็กจะเกิดขึ้นที่เยื่อผนังเซลล์ลำไส้เล็กตอนต้น และตอนกลาง ธาตุเหล็กที่มีมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกายจะถูกเก็บสะสมไว้ในลำไส้เล็ก ดับ และกล้ามเนื้อ ร่างกายสามารถขับธาตุเหล็กออกได้หลายทางเช่น ทางเหงื่อ ปัสสาวะ และอุจจาระ เป็นต้น ในสัตว์เพศเมียสามารถขับธาตุเหล็กออกจากร่างกายผ่านทางน้ำนม และถูกใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในนมลูก ธาตุเหล็กนอกจากจะได้จากอาหารที่กินเข้าไปแล้ว ส่วนใหญ่จะได้ออกจากการนำธาตุเหล็กที่เกิดจากการทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุแล้วสะสมไว้ในตับนำออกมาใช้ประโยชน์ใหม่ ธาตุเหล็กที่ถูกดูดซึมผ่านผนังเยื่อของลำไส้เล็กจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ธาตุเหล็กที่อยู่ในอาหารจึงต้องมีการเปลี่ยนรูปก่อนจึงมีการดูดซึมได้ เมื่อธาตุเหล็กเข้าสู่เส้นเลือดจะรวมตัวกับโปรตีนในเลือดเป็น โปรตีนเฟอร์ริติน (ferritin) ซึ่งเป็นแหล่งเก็บสำรองธาตุเหล็กในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย เช่น ผนังลำไส้เล็ก ไต ม้าม และไขกระดูก เป็นต้น ธาตุเหล็กส่วนใหญ่จะถูกเก็บไว้ในไขกระดูกเพื่อใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ส่วนน้อยจะถูกสร้างเป็นไมโอโกลบิน (myoglobin) เมื่อร่างกายต้องการธาตุเหล็กเฟอร์ริตินจะให้ธาตุเหล็กแก่โปรตีน ทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) ที่เป็นโปรตีนในเลือด โปรตีนทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) จะเป็นตัวพาธาตุเหล็กไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมปริมาณของธาตุเหล็กในร่างกายเรียกว่าทฤษฎีมิวโคซัลบล็อก (mucosal block theory) (Reizenstein. 1980)

2.1.2.2 เซลล์เม็ดเลือดขาว (white blood cells หรือ leucocytes)

เซลล์เม็ดเลือดขาวเป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ มีนิวเคลียสหลายอัน เรียกว่า multi-nucleated giant cell มีขนาด 12-15 ไมครอน ปริมาณเม็ดเลือดขาวจะมีน้อยที่สุดในจำนวนเซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดโดยทั่วไปจะมีอายุเพียง 2-3 ชั่วโมงหรืออาจมีอายุยาวถึง 200 วัน ขึ้นกับหน้าที่ และสภาพร่างกาย ถ้าร่างกายติดเชื้อเซลล์เม็ดเลือดขาวจะเข้าไปทำลายเชื้อโรคและมีอายุสั้นในระยะที่สัตว์สุขภาพดีเม็ดเลือดขาวจะมีอายุยาว แต่ถ้ากินยาปฏิชีวนะมากเซลล์เม็ดเลือดขาวจะมีอายุสั้นลงเม็ดเลือดขาวเป็นเซลล์ที่เคลื่อนไหวได้เองอย่างอิสระในเลือด และอาจซึมผ่านผนังเส้นเลือดแดงออกไปเพื่อทำลายเชื้อโรคที่อยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ไขกระดูกยังเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวแล้ว ส่วนของต่อมไทมัส ม้าม และต่อมน้ำเหลืองก็สามารถสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวได้ โดยทั่วไปพบว่ามีเม็ดเลือดขาวประมาณ 5,000-10,000 เซลล์ต่อเลือด 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ภาวะที่มีเม็ดเลือดขาวมากเกินไปเรียก leukocytosis ส่วนภาวะที่ตรงกันข้ามคือมีเม็ดเลือดขาวน้อยเกินไป เรียก leukopenia เม็ดเลือดขาวมีความเกี่ยวข้องกับการติดเชื้อแบคทีเรีย (bacterial infection) กระบวนการทางภูมิคุ้มกัน (immune processes) และกระบวนการต่อต้านและป้องกันของร่างกาย (bodily defense)

เม็ดเลือดขาวมีจำนวนน้อยกว่าเม็ดเลือดแดงมาก คือมีประมาณ 4,000-12,000 เม็ดต่อเลือด 1 ตารางมิลลิเมตร นอกจากนี้ในเลือดแล้วยังพบเม็ดเลือดขาวได้ที่ชั้นเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย โดยการเดินทางไปกับระบบไหลเวียนโลหิต เม็ดเลือดขาวสามารถออกมาจากหลอดเลือดโดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า diapedesis นั่นคือการเคลื่อนตัวแบบการเคลื่อนที่แบบอะมีบา (amoeboid movement) แทรกตัวออกจากหลอดเลือดในตำแหน่งรอยต่อของเซลล์บุผนังภายในหลอดเลือด (endothelial cells) โดยเยื่อหุ้มเซลล์จะยื่นออกมาก่อน จากนั้นไซโตพลาสซึมก็จะยื่นตามมา จนหลุดออกไปนอกหลอดเลือดทั้งเซลล์ ไปอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เม็ดเลือดขาวสามารถตอบสนองต่อสัญญาณทางเคมี โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า chemotaxis เมื่อตำแหน่งใดต้องการเม็ดเลือดขาวที่มากขึ้น มันจะปล่อยสารเคมีที่เม็ดเลือดขาวตัวอื่นก็จะตอบสนองได้ ไปเรียกหรือดึงดูดเม็ดเลือดขาวตัวอื่น ๆ ให้มายังที่นั่นเพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยกันทำงานเม็ดเลือดขาวจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามแกรนูล (granules) หรือ เม็ดเล็ก ๆ ที่อยู่ในไซโตพลาสซึมของมัน ได้แก่ กลุ่ม granular leukocytes (neutrophils, eosinophils และ basophils) และ กลุ่ม agranular leukocytes (monocytes และ lymphocytes) (ยุทธนา หมั่นดี, 2551)

1) เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล (neutrophil) มีความจำเพาะต่อการต่อสู้กับแบคทีเรีย และเชื้อรา ภายในแกรนูลจะมี hydrolytic enzyme และโปรตีนที่คล้ายกับยาปฏิชีวนะ เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิลจะย่อยสิ่งแปลกปลอมโดยการปล่อยสารในแกรนูลออกมาย่อยสลายแบคทีเรียหรือเชื้อรา แล้วจากนั้น เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิลก็จะตายไปด้วย กลายเป็นเซลล์หนอง (pus cells)

2) เม็ดเลือดขาวชนิดอีโอซิโนฟิล (eosinophil) มีความจำเพาะต่อการต่อสู้หนอนปรสิต แกรนูลของ eosinophils จะบรรจุด้วย digestive enzyme ที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ไปสู่ปรสิต เม็ดเลือดขาวชนิดอีโอซิโนฟิลจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่รอบ ๆ สิ่งแปลกปลอมแล้วก็จะปล่อยเอนไซม์เข้าไปย่อยสิ่งแปลกปลอมนั้นเราสามารถพบเม็ดเลือดขาวชนิดอีโอซิโนฟิลจำนวนมากที่ระบบย่อยอาหาร และผิวหนัง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มักมีการติดเชื้อจากปรสิตได้ง่าย

3) เม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิล (basophils) มีแกรนูลบรรจุด้วย histamine ซึ่งเป็นสาเหตุของการอักเสบ และการขยายตัวของหลอดเลือด หลอดเลือดรั่วทำให้มีการบวม น้ำของเนื้อเยื่อเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมบุกรุกเข้ามาในเนื้อเยื่อ เม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิลจะตอบสนองโดยการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังสิ่งที่อยู่ในแกรนูล นอกจากนั้นฮิสตามีน (histamine) จะส่งสัญญาณเคมี เรียกเม็ดเลือดขาวตัวอื่น ๆ มายังตำแหน่งนั้นมากขึ้น เพื่อช่วยกันกำจัดเชื้อโรค

4) เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซท์ (monocytes) (หรือ macrophage ซึ่งเป็นเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซท์ ที่ออกจากระบบไหลเวียนโลหิตไปฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อ) มันไม่เลือกชนิดของสิ่งแปลกปลอมที่จะกำจัด ดังนั้นมันจึงกำจัดได้ทั้ง แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส และ ปรสิต จึงได้ชื่อว่าเป็น big eater และยังช่วยเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซท์ (lymphocyte) ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม และช่วยชักนำให้เกิดการตอบสนองทางระบบภูมิคุ้มกัน

5) เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซท์ (lymphocyte) มีทั้งส่วนที่อยู่ในกระแสเลือด และส่วนที่อยู่ในต่อมน้ำเหลือง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบภูมิคุ้มกันเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซท์ มี 2 ชนิดคือ T-cell (T-lymphocyte) และ B-cell (B-lymphocyte) เหตุที่เรียก T-cell เพราะว่าเจริญเติบโตเต็มที่ในต่อม thymus ดังนั้น T-cell จึงมีความจำเพาะเจาะจงต่อสิ่งแปลกปลอมภายนอก โดย T-cell จะนำตัวมันเอง เข้าไปปะทะโดยตรงกับสิ่งแปลกปลอมหรือผู้รุกราน ส่วน B-cell จะมีการสร้างแอนติบอดี (antibodies) ออกมาทำลายสิ่งแปลกปลอมนั้น ๆ ภายหลังจากถูกกระตุ้นแล้ว

2.1.2.3 เศษเม็ดเลือดหรือเกล็ดเลือด (blood platelets หรือ thrombocytes)

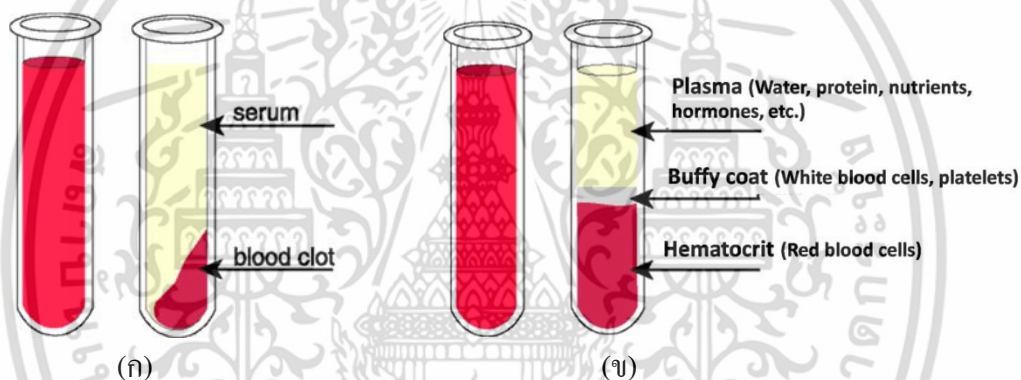
ร่างกายมีเกล็ดเลือดประมาณ 150,000-300,000 ต่อเลือด 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แต่การที่เกล็ดเลือดมีขนาดเล็กมาก (2-3 มิลลิเมตร) ทำให้สัดส่วนปริมาตรของเกล็ดเลือดมีค่าน้อยมาก เกล็ดเลือดเป็นชิ้นส่วนของ ไซโตพลาสซึมของเซลล์เม็ดเลือดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (megakaryocytes) ซึ่งเป็นเซลล์ที่พบอยู่ภายในไขกระดูก เกล็ดเลือดมีรูปร่างเป็นวงรี วงกลมหรือมีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียสเช่นเดียวกับเซลล์เม็ดเลือดแดง ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 85 ที่เหลือเป็น โปรตีน แร่ธาตุ เอนไซม์ต่าง ๆ มีไขมันในรูปฟอสโฟลิปิด และกลอเบอรูเลอรอล เป็นต้น เกล็ดเลือดมีหน้าที่เกี่ยวกับขบวนการแข็งตัวของเลือด (blood coagulation) หรือการทำให้เลือดหยุดไหลในบริเวณเนื้อเยื่อที่เกิดเลือดออกหรือมีบาดแผล (haemorage) โดยจะไปยึดติดกับโมเลกุลของคอลลาเจนที่ผนังหลอดเลือดที่ฉีกขาด แล้วปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในเซลล์ออกมา ทำให้มีการจับตัวกันเป็นก้อนเพื่ออุดรอยฉีกขาด (Stevens and Lowe, 2005)

2.2 การแข็งตัวของเลือด

เมื่อนำเลือดออกจากร่างกายมาใส่ในหลอดแก้ว (test tube) และตั้งทิ้งไว้ พบว่าเลือดมีการแข็งตัวและแยกออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ส่วนของเลือดที่แข็งตัวเรียกว่าลิ่มเลือด (blood clot) จะเกาะรวมกันเป็นก้อนอยู่ด้านล่างของหลอดแก้ว และส่วนที่เป็นน้ำใส ๆ ด้านบนลิ่มเลือดมีสีเหลือง เรียกว่าซีรัม (serum) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) ขบวนการแข็งตัวของเลือดเกิดจากการหลั่งทรอมโบพลาสติน (thromboplastin) ออกมาจากเศษเกล็ดเลือด จากนั้นมีการรวมกันระหว่าง Ca^{2+}

ในเลือด และโปรตีนโปรทรอมบิน (prothrombin) ให้กลายเป็นโปรตีนทรอมบิน (thrombin) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นของทรอมโบพลาสทินจากนั้นโปรตีนโปรทรอมบิน จะไปเปลี่ยนโปรตีนไฟบริโนเจน ในเลือดให้เป็นโปรตีนไฟบริน (fibrin) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดการแข็งตัวของเลือดจะใช้ระยะเวลา ไม่เท่ากันขึ้นกับชนิดของสัตว์ แต่ถ้านำเลือดใส่ในหลอดแก้วที่มีสารป้องกันการตกตะกอนของ เลือด (anticoagulant) เช่น สาร โซเดียมซิเตรท (sodium citrate) แอม โมเนียม ออกซาลเลท (ammonium oxalalate) เฮพาริน (heparin) และ EDTA (ethylene-diamine-tetraacetate) จากนั้นนำ หลอดแก้วที่มีเลือดอยู่ไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จะพบว่าเลือดมีการแยกชั้นเป็น 3 ชั้น ๑ ชั้นล่างเป็นส่วนที่มีสีแดงคือเซลล์เม็ดแดงที่อัดตัวกันแน่นหรือฮีมาโตคริต (hematocrit) ชั้นกลางเป็น ชั้นของเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ส่วนชั้นบนจะเป็นของเหลวที่เรียกว่า พลาสมาหรือน้ำเลือด (plasma) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) จึงทำให้ส่วนประกอบของซีรัม และพลาสมามีความแตกต่างกัน เนื่องจากซีรัมจะไม่มีส่วนของโปรตีนที่ทำให้เลือดแข็งตัว เช่น โปรตีนไฟบริโนเจน (Vander *et al.* 2010)



ภาพที่ 2.4 การแยกชั้นของเลือดเมื่อไม่มีการเติมสารการป้องกันการแข็งตัว (ก) และหลังเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ข)

ที่มา : Vander *et al.* (2010)

หากจะกล่าวลงในรายละเอียดของซีรัม ซึ่งหมายถึงส่วนของของเหลวสีเหลืองที่เกิด ขึ้นเนื่องเกิดการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะประกอบด้วยน้ำเลือดที่ไม่มีโปรตีนไฟบริโนเจน และ โปรทรอมบิน รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดชนิดต่าง ๆ และในซีรัมจะ ประกอบไปด้วยโปรตีนหลายชนิด เช่น อัลบูมิน โกลบูลิน และโปรตีนที่เป็นภูมิคุ้มกันโรคเช่น แอลฟาโกลบูลิน และแอนติบอดี เป็นต้น

สารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเป็นสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการรวมตัวของเลือด สารที่นิยมใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับเลือดสัตว์ คือ สารไตรโซเดียมซิเตรทโดยระดับที่นิยมใช้ในเลือด ความเข้มข้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 0.38-1.0 (Dávila *et al.* 2007; Wang *et al.* 2014) ซึ่งกลไกการ ยับยั้งการรวมตัวของเลือดจะเกิดขึ้น โดยสารซิเตรทจะรวมตัวกับ Ca^{2+} ทำให้ไม่มี Ca^{2+} ไปกระตุ้นโปรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมเป็นให้กลายเป็นทรอมบีน (Tybor *et al.* 1975) ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเลือดเกิดการหยุดชะงักลงทันที

2.3 โพรตีนที่พบมากในน้ำเลือด

จากข้อความที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่าเลือดประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ (ตารางที่ 2.1) คือส่วนของพลาสมาคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 52-70 และส่วนของเซลล์เม็ดเลือดแดงคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30-40 (Ockerman and Hansen, 2000) ซึ่งในส่วนของเม็ดเลือดแดงเหล่านี้จะมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 28-38 โดยมีฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนหลักที่พบในเม็ดเลือดแดง และในส่วนของพลาสมามีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 6-8 ได้แก่ อัลบูมิน โกลบูลิน และไฟบริโนเจน (Ockerman and Hansen, 1988)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเลือด พลาสมา และเซลล์เม็ดเลือดแดง

องค์ประกอบ	เลือด	พลาสมา (60%)	เซลล์เม็ดเลือดแดง (40%)
น้ำ	80 [†]	90.8	60.8
เกลือ	0.9	0.8	1.1
ไขมัน	0.2	0.1	0.4
โปรตีน	17	7.9	35.1
-อัลบูมิน	2.8	4.2	-
-โกลบูลิน	2.2	3.3	-
-ไฟบริโนเจน	0.3	0.4	-
-ฮีโมโกลบิน	10	-	30
อื่น ๆ	1.1	0.4	2.6

[†]เปอร์เซ็นต์ w/w

ที่มา : Ockerman and Hansen (1988)

เลือดจัดเป็นแหล่งของคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่สำคัญต่อร่างกาย (Young *et al.* 1973) และนอกจากนี้ในเลือดยังมีธาตุเหล็ก (iron) ที่จับอยู่กับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งจัดเป็นรูปแบบของธาตุเหล็กที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ (bioavailable form) (Reizenstein, 1980) ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงกรดอะมิโนจำเป็นในเลือดและพลาสมา เมื่อเทียบกับสูตรอาหารที่แนะนำโดย FAO ซึ่งถึงแม้ว่าเลือดจะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด แต่จะเห็นว่าเลือดและพลาสมายังขาดกรดอะมิโนที่มีความจำเป็นต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายไปคือ ไอโซลิวซีน (isoleucine) และเมไทโอนีน (methionine) (Ockerman and Hansen, 1988)

ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนจำเป็น (กรัม/100 กรัม โปรตีน) ในเลือด และพลาสมาเมื่อเปรียบเทียบกับ กรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการแนะนำโดย FAO

กรดอะมิโน	เลือด ^A	พลาสมา ^A	FAO ^B
His			1.5
Ile	0.4-0.9	1.0-3.4	3.0
Leu	12.4-13.6	9.2-10.1	5.9
Lys	9.2-9.7	6.5-9.2	4.5
Met (+Cys)	1.3-1.8	0.6-1.3	2.2
Phe (+Tyr)	7.0-8.0	5.1-5.7	3.0
Thr	4.7-5.2	2.6-7.1	2.3
Trp	1.4	0.6-1.0	0.6
Val	8.0-9.1	6.8-7.4	3.9

ที่มา : ^AOckerman and Hansen (1988)

^B FAO/WHO/UNU (2007)

2.3.1 โปรตีนในพลาสมา

โปรตีนในพลาสมาที่พบในเลือดจัดเป็น โปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ดี ประกอบด้วยโปรตีนชนิดต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1.1 อัลบูมิน (albumin)

จัดเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุด ในโปรตีนจากน้ำเลือด (คิดเป็นประมาณร้อยละ 60 ของโปรตีนที่พบจากน้ำเลือด) เป็นโปรตีนก้อนกลมที่มีรูปร่างคล้ายรูปหัวใจ ดังภาพที่ 2.5 (ก) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 66-69 kDa และมีค่า จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, pI) ประมาณ 4.8 ซึ่งการเกิดโครงสร้างสามมิติของพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ระหว่างสายโปรตีนที่ขดเป็นเกลียว อัลบูมินเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยทริปโตเฟน (tryptophan) และเมไทโอนีน (methionine) ในปริมาณที่ต่ำแต่มีปริมาณซิสเทอีน (cysteine) และกรดอะมิโนที่มีความเป็นขั้ว เช่น แอสพาร์ติก (aspartic) กลูตามิก (glutamic) ไลซีน (lysine) และอาร์จินีน (arginine) ในสัดส่วนที่สูง ทำให้โปรตีนชนิดนี้สามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์ได้ดีอีกทั้งยังเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ดีเนื่องจาก

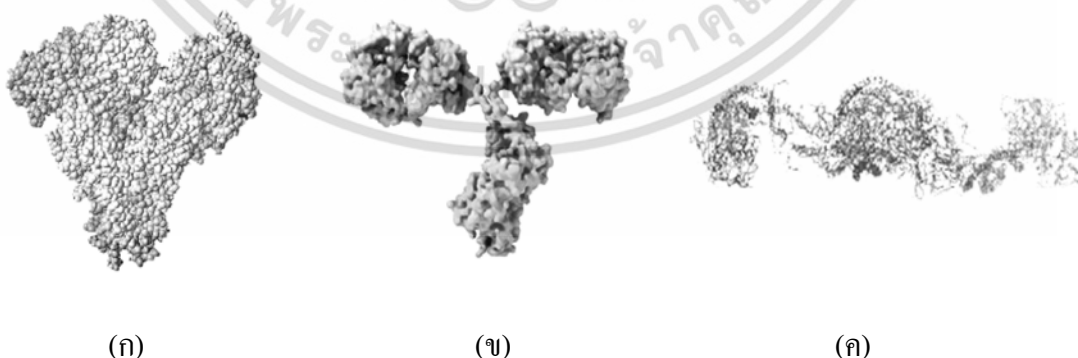
เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีความเป็นขั้วสูงนั่นเอง (โดยที่ pH 7.0 จะมีแขนงข้าง (side chain: R) มีขั้วประมาณ 185 และที่ pH 2.0 จะมีแขนงข้างที่มีขั้วประมาณ 90)

2.3.1.2 โกลบูลิน (globulin)

โปรตีน โกลบูลินคิดเป็นประมาณร้อยละ 40 ของโปรตีนที่พบในพลาสมา ประกอบด้วยหน่วยย่อยของโปรตีนเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของแอลฟา เบต้า และแกมมา โปรตีนชนิดนี้ทำหน้าที่หลายอย่าง อาทิเช่น เป็นเอนไซม์ เป็นตัวพา และเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างภูมิคุ้มกันในเลือด น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโกลบูลินจะมีขนาดเล็กไปจนถึงหลายร้อย kDa ทำให้โปรตีนในกลุ่มนี้มีค่าไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, pI) หลายค่าซึ่งจะอยู่ในช่วง pI 5 และ 7 ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วโปรตีน โกลบูลินมักจะพบในรูปของ immunoglobulin โดยเฉพาะ immunoglobulin G หรือทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างภูมิคุ้มกันในเลือด มีรูปร่างของโปรตีนเป็นรูปตัว Y ดังภาพที่ 2.5(ข) โดยที่โครงสร้างของโมเลกุลจะประกอบด้วยพันธะ disulfide bridges นอกจากนี้โปรตีนโกลบูลินที่พบมากในพลาสมาเป็นสัดส่วนที่มากรองลงมา ได้แก่ α 1-antitrypsin และ transferrin

2.3.1.3 ไฟบริโนเจน (fibrinogen)

เป็นโปรตีนที่พบประมาณร้อยละ 3 ของโปรตีนที่พบจากพลาสมา มีโครงสร้างโมเลกุลหลัก ๆ ขดกันเป็นสายยาวดังภาพที่ 2.5 (ค) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 340 kDa มีค่า pI ประมาณ 5.5 ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไฟบรินที่มีลักษณะเป็นสายยาวสามารถเกิดโครงข่ายสามมิติ (three-dimensional network) ได้ในระหว่างการแข็งตัวของเลือด เกิดเป็นโปรตีนที่รวมกันเป็นสองหน่วยย่อย และมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเกิดพันธะไดซัลไฟด์ประมาณ 29 พันธะ เชื่อมระหว่างหน่วยย่อยเข้าด้วยกัน (Dávila, 2006)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนที่พบในน้ำเลือด หรือพลาสมา อัลบูมิน (ก) โกลบูลิน (ข) และไฟบริโนเจน (ค)

ที่มา : Dávila (2006)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โพรตีนในเม็ดเลือดแดง

2.3.2.1 ฮีโมโกลบิน (hemoglobin)

ฮีโมโกลบินคือส่วนประกอบที่สำคัญในเม็ดเลือดแดง โดยในเม็ดเลือดแดงที่มีอยู่ในเลือดประมาณร้อยละ 40 ของเลือดทั้งหมด จะพบฮีโมโกลบินเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 หรืออาจกล่าวได้ว่าในน้ำเลือดจะประกอบด้วยฮีโมโกลบินประมาณร้อยละ 35 (Toldra *et al.* 2004) ซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสัตว์ (ตารางที่ 2.3) ฮีโมโกลบินมีลักษณะเป็นโปรตีนก่อนกลม (globular protein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 67 kDa เป็นสารประกอบเชิงซ้อนเกิดจากการรวมตัวของฮีมและโพรตีนโกลบิน (4 subunit ของโพรตีนโกลบิน) ดังภาพที่ 2.6 ฮีมคือเม็ดสีที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ส่วนโพรตีนโกลบินคือโพรตีนที่เกิดจากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ส่วนของฮีมที่อยู่ในฮีโมโกลบินประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่ได้เป็นโพรตีนในกลุ่มของ red porphyrin pigments ที่ประกอบด้วย pyrole ring 4 อัน (protoporphyrin) และธาตุเหล็กซึ่งทำหน้าที่คล้ายแกนกลางหรือนิวเคลียสให้ pyrole ring แต่ละอันมาเกาะอยู่ที่ฮีมของเม็ดเลือดแดงจะทำหน้าที่พาออกซิเจนที่ได้จากการหายใจเข้าที่ปอดไปยังเซลล์ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย กระบวนการนี้เรียกว่าออกซิเจนชัน (oxygenation) ปกติธาตุเหล็ก 1 อะตอม จับกับออกซิเจนได้ 2 อะตอม โดยที่ธาตุเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะเปลี่ยนอยู่ในรูปเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับธาตุเหล็กเกิดเมทีโมโกลบิน (methemoglobin) สถานะนี้ฮีโมโกลบินไม่สามารถขนส่งออกซิเจนได้เรียกสภาวะนี้ว่า เมทีโมโกลบินิเมีย (methemoglobinemia) นอกจากนี้ฮีมที่เป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินยังเป็นส่วนของธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปของฮีมไอรอน (heme iron) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีกว่าการที่ธาตุเหล็กอยู่ในรูปของนอนฮีมไอรอน (non-heme iron) ดังนั้นโพรตีนจากเลือดจึงเป็นแหล่งของธาตุเหล็กที่สำคัญ โดยเฉพาะกับผู้ที่มิภาวะโลหิตจาง

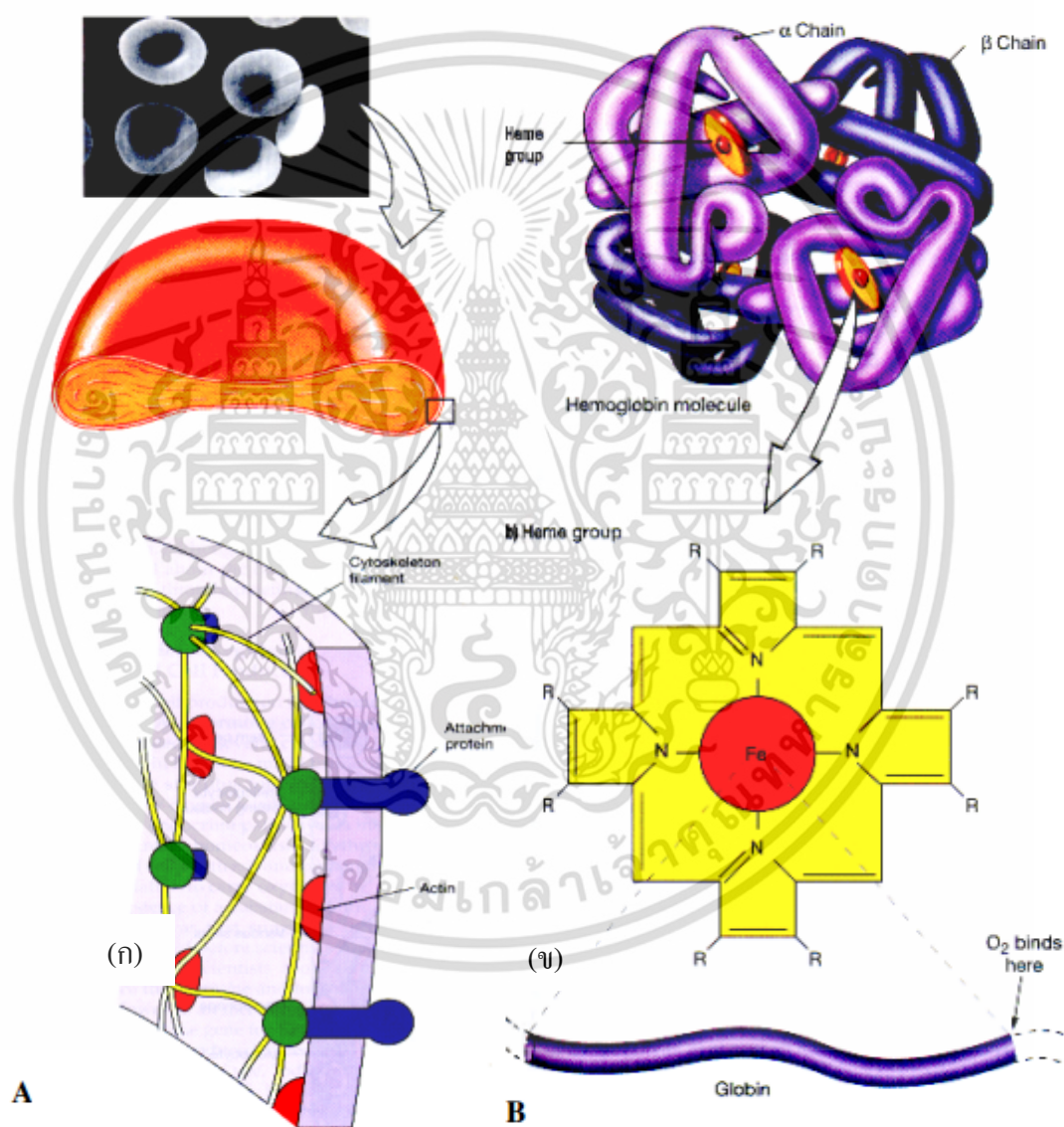
ตารางที่ 2.3 จำนวนเม็ดเลือดแดง และปริมาณฮีโมโกลบินในสัตว์บางชนิด

ชนิดสัตว์	จำนวนเม็ดเลือดแดง (ล้านเซลล์/ลูกบาศก์ ม.ม.)	ปริมาณฮีโมโกลบิน
ไก่	3	41
สุนัข	6.8	22.8
แกะ	12	10
โค	7	14
สุกร	6.5	19
ม้า	9	15.9

ที่มา : Reece (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนโกลบินที่เป็นองค์ประกอบในฮีโมโกลบินสามารถละลายน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามโปรตีนโกลบินมีคุณสมบัติการเกิดเจลที่ด้อยกว่าโปรตีนในพลาสมา โดย Ranken (1980) รายงานว่า โปรตีนโกลบินเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถเกิดเจลได้ เพียงแต่ช่วยทำให้โปรตีนละลายได้มากขึ้นเท่านั้นเมื่อผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้ค่า pI ของฮีโมโกลบินในรูปออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhemoglobin) มีค่าประมาณ 6.9 ส่วนในรูปดีออกซีฮีโมโกลบิน (deoxyhemoglobin) มีค่าประมาณ 6.7 (Stryer, 1995)



ภาพที่ 2.6 ฮีโมโกลบินที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง (ก) รูปร่างของเม็ดเลือดแดง (ข) ลักษณะโครงสร้างของฮีโมโกลบิน

ที่มา : Swenson and Reece (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

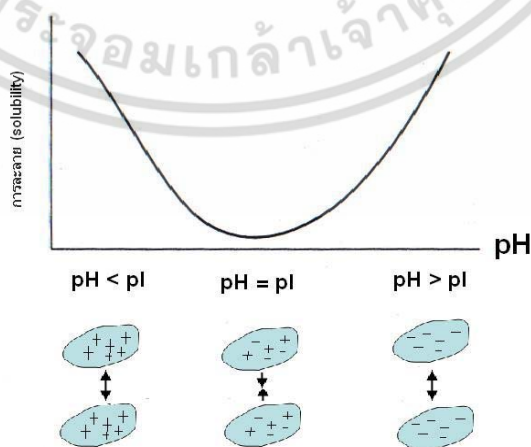
2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (functional properties of protein)

2.4.1 สมบัติในการจับน้ำ (water holding capacity)

ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ และมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่อื่น ๆ เช่น การเกิดโฟม อิมัลชัน และการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากองค์ประกอบของอาหารโดยส่วนใหญ่คือน้ำ โปรตีนที่สามารถยึดจับน้ำหรือละลายน้ำได้จึงสามารถรวมตัวเข้ากับอาหาร และแสดงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้ โปรตีนที่นำมาใช้ประโยชน์เชิงหน้าที่จึงควรจะมี ความสามารถในการละลายที่ดี ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีน ได้แก่ สัดส่วนของส่วนที่ ชอบน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำบริเวณผิวหน้าของโปรตีน ค่า pH อุณหภูมิ ความแรงไอออน (ionic strength) ความเข้มข้นโปรตีน และสารประกอบอื่น ๆ สำหรับความสามารถของโปรตีนในการยึด จับกับส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาหาร เช่น น้ำ ไขมัน หรือสารให้กลิ่นรส เป็นคุณสมบัติที่มี ความสำคัญต่อการยอมรับ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากทำให้เกิดลักษณะทางด้านเนื้อ สัมผัส กลิ่น และรสชาติของอาหาร โดยโปรตีนเป็นโพลีเพปไทด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน (amino acid) ในโมเลกุลของกรดอะมิโนที่มีหมู่ R ที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ ดังนั้นการจับกับน้ำ ของโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณ และลำดับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ การแขวนลอยในน้ำ (hydrocolloid) และการตกตะกอน (precipitation) นอกจากนี้ยังมีผลต่อ คุณสมบัติต่าง ๆ ของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติความชอบน้ำ และความไม่ชอบน้ำ เช่น ความ หนืด การอุ้มน้ำ การเกิดเจล การเกิดฟอง และการเป็นอิมัลซิไฟเออร์

2.4.1.1 ค่าพีเอช (pH)

การปรับค่าพีเอช (pH) ให้เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, pI) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่โปรตีนมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน โมเลกุลของโปรตีน จะดึงดูดกัน และแขวนลอยในน้ำได้น้อยที่สุด และตกตะกอนออกมา หากโปรตีนยังละลายอยู่ได้ใน น้ำจะทำให้เกิดความหนืดสูง หรือเกิดเจล (gel)



ภาพที่ 2.7 ค่า pH ที่ทำให้โปรตีนเกิดการแขวนลอย และตกตะกอน

ที่มา: นิธิยารัตนาปานนท์. (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

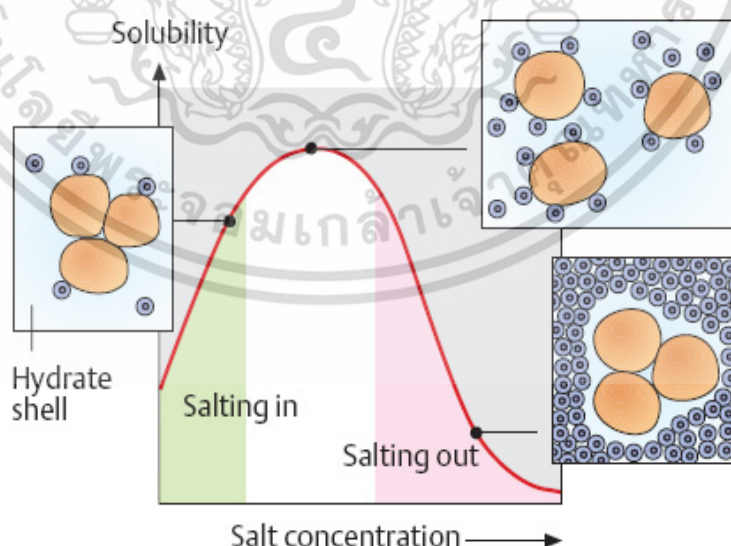
ความสามารถจับกับน้ำเป็นคุณลักษณะที่ต้องการในเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อสุกร เนื้อวัว ไก่ และอาหารทะเล เช่น ปลา กุ้ง เป็นต้น เนื้อสุกรคุณภาพดีที่ผ่านการฆ่าด้วยวิธีการที่ถูกต้องหลังการฆ่ามี ค่า pH ประมาณ 7.4 เนื้อสุกรที่มีคุณภาพดี ควรมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 5.7 หลังฆ่า 1 ชั่วโมงและหรือ มีค่า pH ไม่เกิน 6.2 หลังฆ่าที่ 24 ชั่วโมง โดยวัดที่กล้ามเนื้อสันนอก (*M. longissimus dorsi*) หรือ เนื้อสะโพก (*M. semimembranosus*) ในกรณีสุกรที่ถูกฆ่าไม่ถูกวิธีมีการคั้นรนต์อู่ใช้แรงมาก ทำให้ไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อสลายตัวอย่างรวดเร็วทำให้ค่า pH ของเนื้อลดลง ซึ่งค่า pI ของเนื้อสัตว์มีค่าประมาณ 4.8-5.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เนื้อสัตว์มีค่าประจุบวกและประจุลบเท่า ๆ กันทำให้โปรตีนกับโปรตีนจับตัวกันเองมากกว่าจับกับน้ำ หากค่า pH ต่ำหรือสูงกว่าช่วงนี้จะทำให้ความสามารถในการจับกับน้ำดีขึ้น

2.4.1.2 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิหรือความร้อนมีผลทำให้การละลายของโปรตีนลดลง ทั้งนี้เพราะไปทำลายพันธะ (weak bond) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน

2.4.1.3 ความแรงไอออน (ionic strength)

ความแรงไอออน โดยการเติมเกลือในสารละลายโปรตีน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 จะทำให้โปรตีนตกตะกอนได้เช่นเดียวกับการปรับค่า pH เพราะเกลือแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบรวมตัวกับโปรตีน การเติมเกลือปริมาณน้อย ๆ อาจทำให้โปรตีนละลายได้มากขึ้นหรือจับกับน้ำได้ดีขึ้น (salting in) และจะละลายได้ดีขึ้นจนถึงจุดสูงสุด แต่หากสารละลายเกลือเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้โปรตีนตกตะกอน (salting out)



ภาพที่ 2.8 การตกตะกอนโปรตีนโดยการเติมเกลือ

ที่มา : นิธิยา รัตนพานนท์ (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 โปรตีน (protein)

โปรตีน เนื่องจากโปรตีนสามารถแตกตัวได้เช่นเดียวกับกรดอะมิโน ดังนั้นที่จุด pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่จุด pH สูงกว่า pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นลบทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก และที่จุด pH ต่ำกว่า pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นบวกทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ

2.4.1.4 โลหะหนัก (heavy metal)

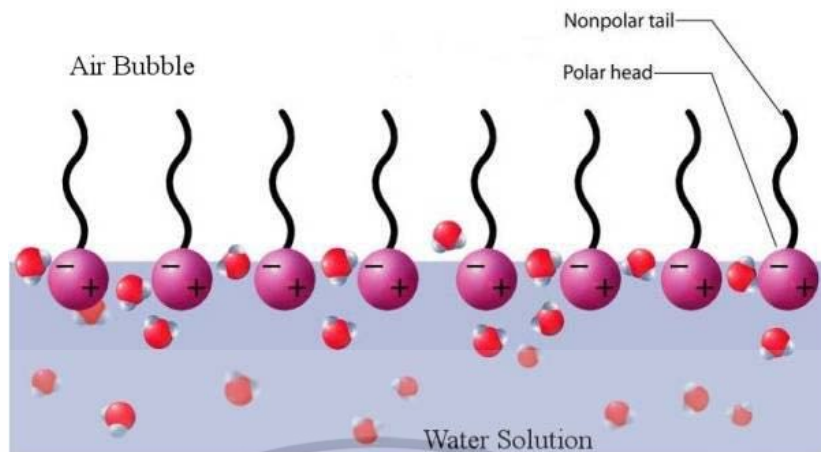
โลหะหนัก ในสภาพที่เป็นไอออนของโลหะหนัก เช่น Cd^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} และ Zn^{2+} สามารถตกตะกอนโปรตีนที่มีประจุสุทธิเป็นลบได้ และในสภาพที่เป็นกรด โปรตีนมีประจุสุทธิเป็นบวกสามารถจับกับ anion ของกรดบางชนิด เช่น กรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid, TCA) และตกตะกอนโปรตีนได้

2.4.1.5 ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent)

ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน และเอทานอล สามารถตกตะกอนโปรตีนได้ดีที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่าโดยไม่เสียแอกติวิตีทางชีวภาพ เพราะไปลดความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของน้ำได้ นอกจากนี้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide, DMSO) และ N,N-ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (N,N-dimethylformamide, DMF) ก็เป็นตัวทำละลายของโปรตีนที่ดีในภาวะอุณหภูมิปกติ (นิชิยารัตนาปานนท์, 2551)

2.4.2 สมบัติการเกิดโฟม (foaming ability)

โฟมเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวหรือของแข็ง โดยมีฟิล์มบาง ๆ ล้อมรอบอากาศไว้ เกิดจากการตี (beating) หรือปั่น (whipping) อย่างรุนแรงการเกิดโฟมของโปรตีนจะเกิดได้ดีโปรตีนต้องมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ และแข็งแรงที่สามารถกักเก็บอากาศได้ (ภาพที่ 2.9) โปรตีนที่มีความยืดหยุ่นที่สามารถเกิดโฟมได้ดีต้องมีพื้นผิวไฮโดรโฟบิก (surface hydrophobicity) สูง ๆ ซึ่งในระหว่างการตีหรือการทำให้เกิดโฟม เช่น โปรตีนในไข่ขาว และน้ำนม เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent) แรงกลจากการตี หรือปั่นอย่างรุนแรง ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (protein denaturation) เกิดการคลายตัว (unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน เกิดเป็นฟิล์ม และจับกับน้ำซึ่งอยู่รอบๆ ได้ โดยหันด้านที่เป็นไฮโดรโฟบิกที่อยู่ด้านในโครงสร้างออกมาด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโฟมโดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ (นิชิยารัตนาปานนท์, 2551)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างการเกิดโฟมของโปรตีน

ที่มา : นิธิยา รัตนปานนท์ (2551)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟม (foaming expansion) และความคงตัวของโฟม (foaming stability) จากโปรตีน ได้แก่ ความสามารถในการละลายของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน โดยโปรตีนที่ละลายได้ดี และมีความเข้มข้นสูง ๆ จะเกิดโฟมได้ดี และค่า pH ที่ทำให้เกิดโฟมที่ดีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า pI ของโปรตีน โฟมจะคงตัวดีที่สุดที่จุด pI

2.4.3 สมบัติการเกิดอิมัลชัน (emulsifier)

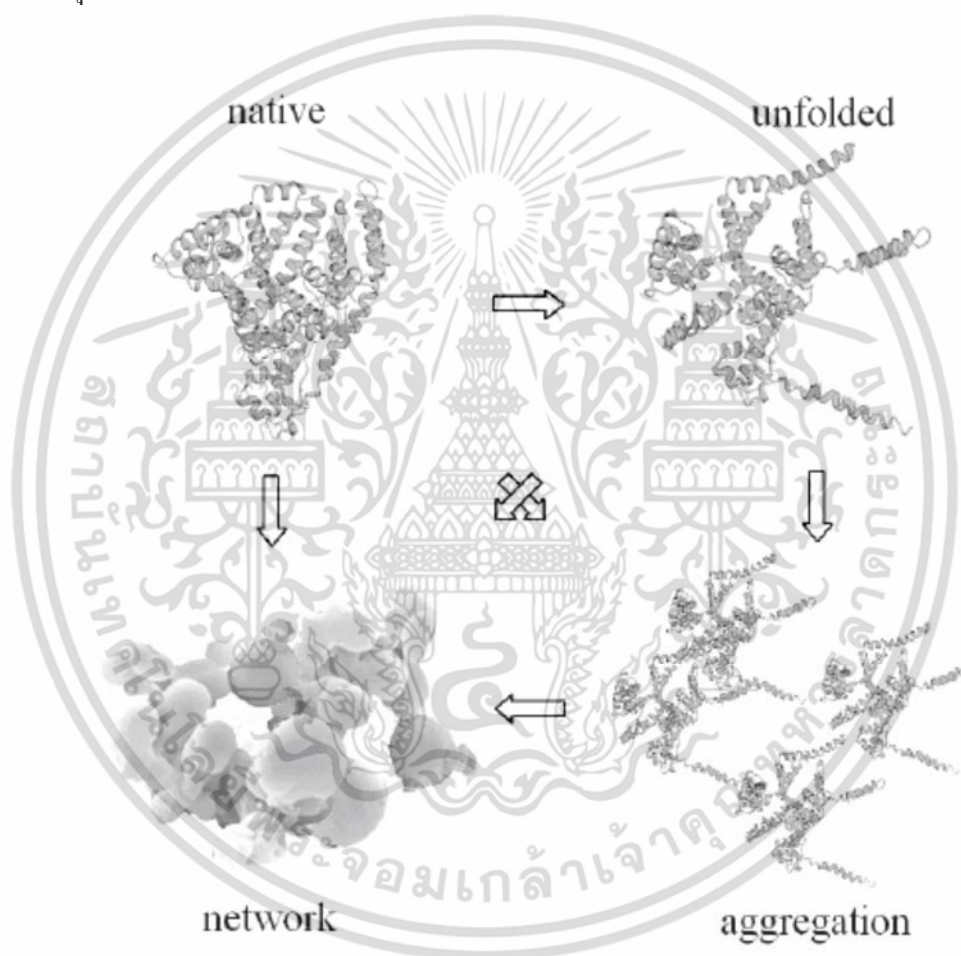
โปรตีนช่วยให้อิมัลชัน (emulsion) คงตัวด้วยการลดแรงตึงผิว (surface tension) ของของเหลว โดยช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกเป็นชั้น ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) หลายชนิด มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในสายพอลิเพปไทด์ โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาไขมัน (นิธิยา รัตนปานนท์, 2551)

2.4.4 สมบัติการเจลาภายใต้สภาวะการให้ความร้อน

เมื่อกล่าวถึงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนมักประกอบด้วยสมบัติการละลาย สมบัติการเกิดฟอง สมบัติการเกิดเจล และสมบัติการเกิดอิมัลชัน อย่างไรก็ตามในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สมบัติการเกิดเจลเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่สำคัญที่สุดในผลิตภัณฑ์ โดยการเกิดเจลจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของโปรตีน และการจัดเรียงตัวของโปรตีน (protein aggregates) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ใกล้กันจะเกิดพันธะระหว่างโควาเลนต์ กับนอนโควาเลนต์ และพัฒนาเป็นโครงข่ายของโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ภายในโครงข่ายโปรตีนได้ดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 2.10 เริ่มจากโปรตีนที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (native form) จะคงตัวด้วยพันธะต่าง ๆ เช่น แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) แรงดึงดูดระหว่างขั้ว (dipole-dipole forces) และกลุ่มไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ที่ทำให้เกิดการม้วนพับของโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อน และจะทำให้โปรตีนคลายตัวออกบางส่วน (Hermansson, 1979) ส่งผลให้ แขนงข้าง (side chain: R) ของกรดอะมิโนบาง residue ถูกเปิดออกทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนใหม่เกิดขึ้น และเกิดพันธะต่าง ๆ ทำนองเดียวกันกับที่กล่าวไปแล้วข้างต้น และทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ของโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้



ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนจากสภาพปกติไปสู่การเกิดโครงสร้างโปรตีน
ในระหว่างการเกิดเจลด้วยความร้อน

ที่มา : Dàvila (2006)

จากการพิจารณากระบวนการผลิตเลือดเป็ดต้ม และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของโปรตีน พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะส่งเสริมให้เกิดลักษณะเจลของโปรตีนที่ดีมีดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.1 ความเข้มข้นของโปรตีน

ปริมาณการเกิดโครงสร้างแบบเชื่อม (cross-link) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน ซึ่งถ้าหากความเข้มข้นของโปรตีนน้อยเกินไปก็จะไม่เกิดโครงสร้างแบบเชื่อมระหว่างโมเลกุลของโปรตีนทำให้โปรตีนไม่เกิดเจล

2.4.4.2 ความเข้มข้นของเกลือ

ค่าความเข้มข้นของเกลือจะส่งผลต่อการดูดน้ำ (water absorption) การพองตัว (swelling) และการละลายของโปรตีน (protein solution) ซึ่งเหล่านี้จะช่วยในการเพิ่มโครงสร้างแบบเชื่อมระหว่างโมเลกุลของโปรตีน

2.4.4.3 ค่า pH

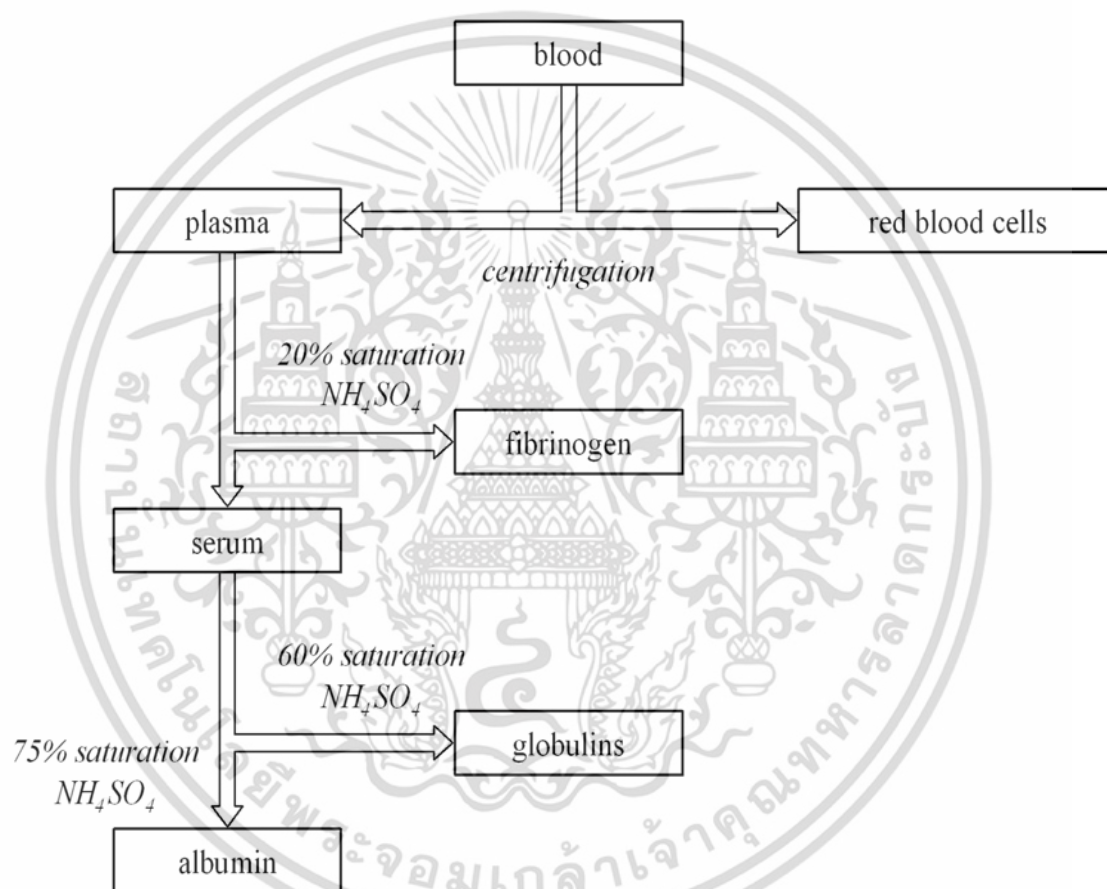
ค่า pI หรือ ค่า pH ที่ทำให้ประจุสุทธิของโปรตีนเป็นศูนย์จะเป็นจุดที่ทำให้การเกิดเจลต่ำที่สุด หรือไม่เกิดเจล แต่ถ้าหากปรับ pH ของโปรตีนในมีค่าห่างจากค่า pI มาก ๆ จะส่งเสริมความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีน โดยจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีประจุมากขึ้น และเพิ่มแรงผลักรันระหว่างประจุ (electrostatic repulsion) ส่งผลต่อการคลายตัวของโมเลกุลโปรตีน และเพิ่มการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ใกล้กัน เกิดเป็นโครงข่ายสามมิติหรือโครงข่ายของโปรตีนที่สามารถอุ้มน้ำได้เมื่อได้รับความร้อน

2.4.4.4 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนแก่โปรตีนที่สูงกว่าอุณหภูมิการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนมาก ๆ จะทำให้การเกิดเจลของโปรตีนด้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากอาจทำให้เกิดกระบวนการกำจัดพันธะไคซัลไฟด์ (β -elimination) และเป็นการทำให้พันธะเปปไทด์ของโปรตีนสั้นลง (Hermansson, 1979)

2.5 การแยกโปรตีนแต่ละชนิดในน้ำเลือด

โปรตีนที่สำคัญที่พบในเลือดสามารถแยกได้ด้วยกระบวนการ salting out ตามวิธีการของ Spadaro *et al.* (2003) ดังแสดงในภาพที่ 2.11 เริ่มจากเซลล์เม็ดเลือดแดงจะแยกออกจากพลาสมาได้ด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง (centrifuge) จากนั้นเมื่อตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ร้อยละ 20, 60 และ 75 จะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในพลาสมาได้แก่ ไบโบริโนเจน โกลบูลิน และอัลบูมิน ตกตะกอนแยกตัวออกจากกันได้ ซึ่งสามารถนำส่วนของโปรตีนที่แยกได้เหล่านี้ไปศึกษาสมบัติการนำไปใช้ที่เหมาะสมได้ต่อไป

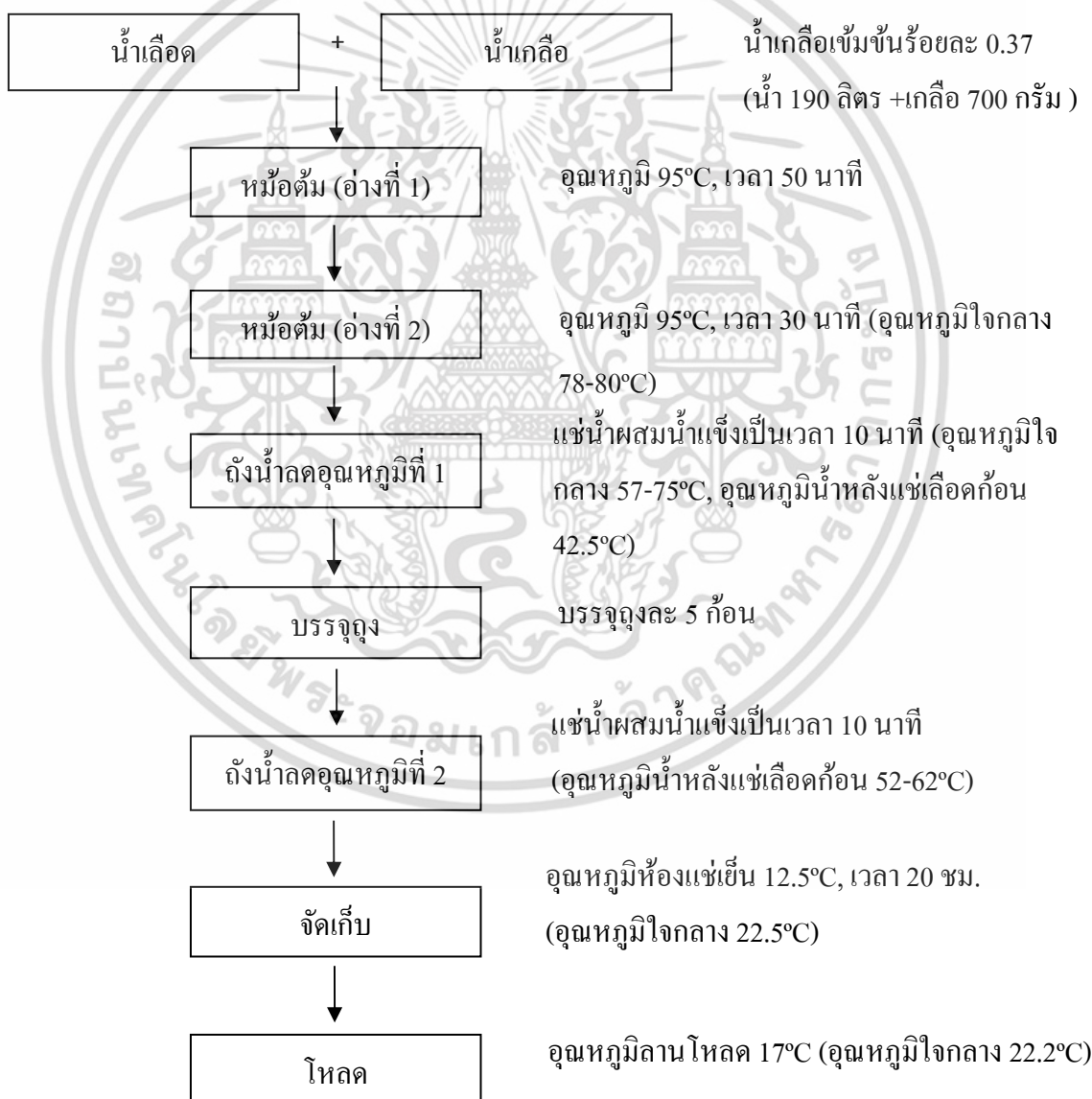


ภาพที่ 2.11 การแยกโปรตีนในเลือดออกเป็นส่วนของเซลล์เม็ดเลือดแดงและพลาสมา รวมทั้งการแยกโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของพลาสมา

ที่มา : Spadaro *et al.* (2003)

2.6 กระบวนการผลิตเลือดเปิดต้มของบริษัท ตึกกิ่ง จำกัด

กระบวนการผลิตเลือดเปิดต้มอ้างอิงจากบริษัท ตึกกิ่ง จำกัด โดยในการต้มเลือดจะทำการต้มเลือดทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งต้มเลือดครั้งแรกจะเป็นการทำให้ก้อนเลือดเซ็ทตัวโดยใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วต้มให้สุกอีกรอบหนึ่งด้วยอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปลดอุณหภูมิด้วยการแช่น้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที จนก้อนเลือดมีอุณหภูมิใจกลางที่ 57-75 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุก้อนเลือดลงถุง ๆ ละ 5 ก้อน แล้วนำไปแช่น้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที เพื่อลดอุณหภูมิอีกรอบหนึ่ง แล้วจึงจัดเก็บก้อนเลือดเข้าห้องแช่เย็นโดยใช้อุณหภูมิที่ 12.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนทำการขนส่งไปยังผู้บริโภค ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 กระบวนการผลิตเลือดเปิดต้มจากบริษัท ตึกกิ่ง จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

Phillips and Williams (2009) ได้กล่าวว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็น โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และอาจจะเป็น โพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) อื่น ๆ โพลีเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น

2.7.1 ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์แบ่งตามแหล่งที่มา

2.7.1.1 ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids)

ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชได้แก่เมล็ด ยาง เช่น โลคัสบีงกัม (locust bean gum) กัมอาราบิก (gum arabic) ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จาก สาหร่ายทะเล เช่น คาราจีแนน (carrageenan) หรือได้จากสัตว์ เช่น ไคติน (chitin) หรือจาก กระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum)

2.7.1.2 ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) ได้แก่ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)

2.7.1.3 ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids)

ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์โพลีเมอร์ (polyethylene oxide polymers) ส่วนใหญ่ไฮโดรคอลลอยด์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเป็น ไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติ และดัดแปรจากธรรมชาติ ไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจะมีสมบัติ แตกต่างกันเมื่อนำมาใช้จะสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) และอื่น ๆ

2.7.2 คาราจีแนน (carrageenan)

คาราจีแนนเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ ผลิตเป็นทางการค้าได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็นกาแลกโทส (galactose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) และเป็นซัลเฟตโพลีแซคคาไรด์ (sulfated polysaccharides) ซึ่งคาราจีแนน ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและ ตำแหน่งของ กลุ่มเอสเตอร์ซัลเฟต และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ แคปป้า (kappa) ไอโอต้า (iota) และแลมด้า (lambda) ซึ่งคาราจีแนน ทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้าง ของโพลีแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำๆ กันหลายหน่วย (ภาพที่ 2.13) unit-B แสดง 1,3-linked galactoside ในขณะที่ unit A แสดง 1,4-linked galactoside

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.1 แคปป์-คาราจีแนน

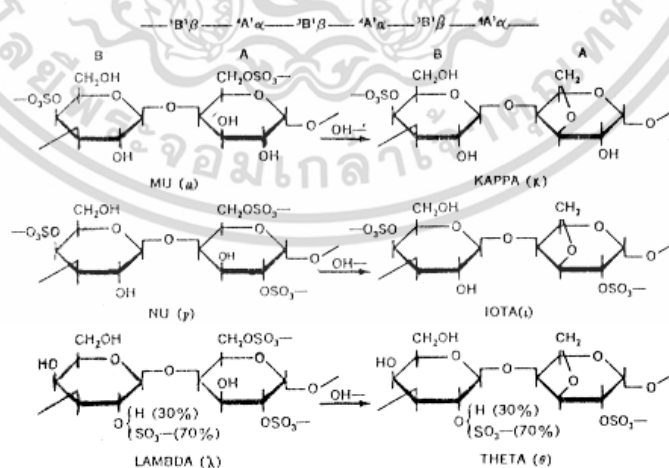
แคปป์-คาราจีแนนประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6AG) โดยมีสารตั้งต้นเป็น mu-carrageenan ถ้ามีปริมาณ anhydride จากการปิดวงเป็น 3,6 anhydride มากถึงร้อยละ 28-35 จะมีผลทำให้ไวต่อโปแตสเซียม และมีความสามารถในการเกิดเจลถึงแม้จะมีการตัดแปรให้มี 3,6-AG สูงที่สุดแต่อาจจะมีความแตกต่างกันที่จำนวนของซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 ใน 1,3-linked galactoside และกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 6 ใน 1,4-linked galactoside จะทำให้แคปป์-คาราจีแนนมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

2.7.2.2 ไอโอด้า-คาราจีแนน

ไอโอด้า-คาราจีแนนประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น nu-carrageenan ความแตกต่างระหว่าง anhydride ในคาราจีแนน ชนิดแคปป์ และไอโอด้า คือจำนวนกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 1,4-linked galactoside ของไอโอด้าจะมีมากกว่าแคปป์ประมาณร้อยละ 25-50 ความไวต่อโปแตสเซียมลดลงซึ่งจะมีผลทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้ามีซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มากถึงร้อยละ 80 จะไวต่อแคลเซียม

2.7.2.3 แลมด้า-คาราจีแนน

แลมด้า-คาราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactose ซึ่งมีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณร้อยละ 70 และ 1,4-linked galactose มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งแลมด้า-คาราจีแนนจะไม่เกิดการปิดวงเป็น 3,6AG จึงมีผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล



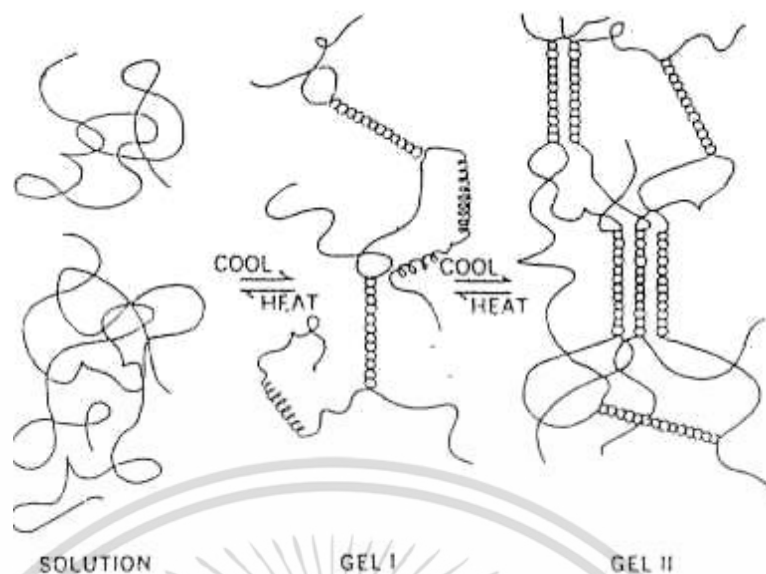
ภาพที่ 2.13 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของแคปป์- ไอโอด้า- และแลมด้า-คาราจีแนน

ที่มา : Thomus (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาราจีแนน ทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน ถ้าเป็นเกลือโซเดียม ของแคปป์-คาราจีแนน และไอโอต้า-คาราจีแนน จะสามารถละลายได้ในน้ำเย็นในขณะที่เกลือของไอออนชนิดอื่น ๆ เช่น โปแตสเซียม หรือแคลเซียมไม่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนแลมด้า-คาราจีแนน จะละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของไอออนซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาราจีแนน และไอออนที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ แคปป์-คาราจีแนน และ ไอโอต้า-คาราจีแนน ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้คาราจีแนน ทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายใน แอลกอฮอล์ (alcohol) และ โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol)

แคปป์-คาราจีแนน และไอโอต้า-คาราจีแนน มีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของคาราจีแนน เย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็น thermoreversible aqueous gel คือสามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อน และเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง จากการรายงานของ Rees (1969) ได้กล่าวว่าเมื่อคาราจีแนน ละลายน้ำจะเกิดเจลเนื่องจากเกิดการรวมตัวกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนจะสามารถทำให้เกลียวคลายตัวเป็น แรนคอล์มคอยล์ (random coil) เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้างโครงสร้าง 3 มิติ แต่สายของโพลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจلدังภาพที่ 2.14 การเติมโลหะไอออนจะมีผลต่อการเกิดเจล แคปป์-คาราจีแนน เมื่อเติม K^+ จะเกิดเป็นเจลอ่อน (elastic gel) ถ้าเติม Ca^{2+} จะเกิดเป็นเจลแข็ง (rigid gel) ไอโอต้า-คาราจีแนน เมื่อเติม Ca^{2+} จะเกิดเป็นเจลอ่อน ถ้าผสมคาราจีแนน ชนิดแคปป์กับไอโอต้าเข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้นและเกิดการไหลซึมของน้ำน้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ของหวานที่เป็นเจล (desset gel) วิปป์ครีม (whipping cream) และผลิตภัณฑ์จากนม (fluid milk products)



ภาพที่ 2.14 กลไกการเกิดเจลของคาราจีแนน

ที่มา : Rees (1969)

ถ้าผสม โลคัสต์บีนกัมในแคปป์า-คาราจีแนน จะช่วยเสริมให้มีความแข็งแรงของเจล (gel strength) เพิ่มขึ้นเปลี่ยนลักษณะเนื้อเจลจากที่เปราะและแตกง่ายเป็นมีความยืดหยุ่นดีและเกิดการไหลซึมของน้ำน้อยลง อัตราส่วนที่เหมาะสมของแคปป์า-คาราจีแนน ต่อ โลคัสต์บีนกัม คือ 2:1 จะทำให้มีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 1:4 จะทำให้เกิดการไหลซึมของน้ำน้อยที่สุด ในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต้องทำให้ทั้งคาราจีแนน และ โลคัสต์บีนกัมละลายให้หมดเสียก่อนที่จะเกิดเจล นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเช่นผลิตภัณฑ์จากปลา (fish gels) และผลิตภัณฑ์ของหวานที่เป็นเจล แต่การ โลคัสต์บีนกัมกับไอโอต้า-คาราจีแนน จะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล แต่จะมีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล (gelling temperature) และความข้นหนืดของเจล ถ้าผสม โลคัสต์บีนกัม 1 ส่วนกับไอโอต้า-คาราจีแนน 10 ส่วน จะช่วยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเจลที่ได้มีคุณสมบัติเป็นของไหลแบบซูโดพลาสติก (pseudoplastic)

คาราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่ pH เป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ค่า pH ต่ำจะเกิดการปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ของพันธะไกลโคไซด์มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจลง นอกจากนี้ความร้อนยังเป็นตัวเร่งการเกิดไฮโดรไลซึ่มากขึ้นที่ pH ต่ำ คาราจีแนน สามารถนำมาใช้ร่วมกับวัตถุอื่น ๆ ได้ เช่น แป้ง น้ำตาล และกัม เนื่องจากคาราจีแนน เป็นแอนไอออนิก (anionic) ซึ่งจะเข้ากันได้กับแอนไอออนิก อื่น ๆ รวมทั้งกับนอนไอออนิก (nonionic) อย่างไรก็ตาม คาราจีแนนจะไม่สามารถเข้ากันได้กับไอออนบวก (cation) เช่น ปฏิกริยาการเกิดเจล และ โปรตีนอื่น ๆ

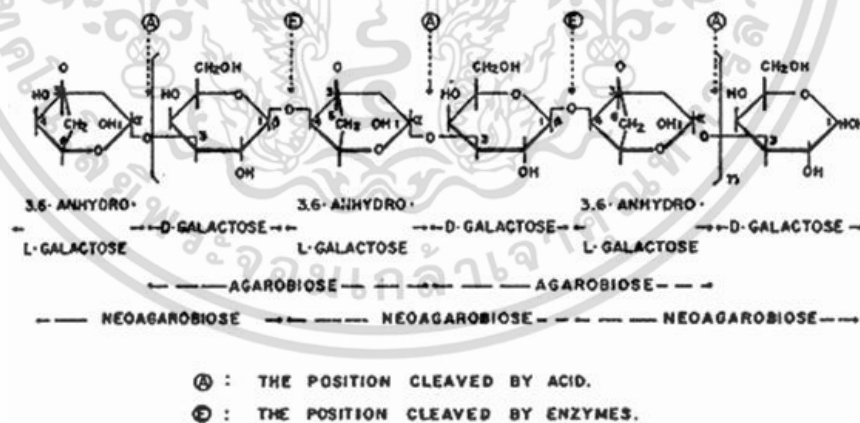
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำคาราจีแนนไปใช้ในอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึงไอออนของผลิตภัณฑ์นั้นๆด้วย ถ้าใช้คาราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาราจีแนนจะทำให้ปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ เช่น การนำคาราจีแนนไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์นม ซึ่งการเติมคาราจีแนนลงในส่วนผสมของไอศกรีมจะเป็นสารช่วยเพิ่มความคงตัวให้ส่วนผสมของไอศกรีมผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกมา (whey off) ระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณคาราจีแนนที่ใช้ประมาณร้อยละ 0.01-0.02 ของส่วนผสมทั้งหมด (Phillips and Williams. 2009)

2.7.3 อะการ์ (agar)

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

อะการ์ประกอบด้วย อากาโรส (agarose) และ อากาโรเพคติน (agaropectin). ซึ่งอากาโรสเป็น โพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked b-D-galactose เรียงสลับกันไปดังแสดงในภาพที่ 2.15 ส่วน อากาโรเพคตินเป็น โพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน อากาโรสแต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณร้อยละ 5-8



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของอะการ์โรส

ที่มา : Lahaye and Rochas (1991)

อะการ์ไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะละลายได้อย่างช้า ๆ ในน้ำร้อนละลายได้ดี ที่ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 4 ในน้ำเดือด ถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงให้ autoclave ที่อุณหภูมิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

120 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการละลาย อะการ์มีความสามารถดูดน้ำได้ดีทำให้เกิดเจลได้ที่มีความเข้มข้นต่ำเพียงร้อยละ 0.04 เกิดเจลได้โดยไม่ต้องอาศัยสารอื่น ๆ ช่วยในการเกิดเจลซึ่งการเกิดเจลแบบนี้เรียกว่า physical gels โดยเมื่อโมเลกุลของ อากาโรสละลายอยู่ในน้ำจะมีลักษณะเป็น แรนคอมคอยล์ และเมื่ออุณหภูมิตกลงใกล้อุณหภูมิเกิดเจลจะเกิดการจับกันของสายโพลิเมอร์เป็นแบบ B1 (antisymmetric double helices) หรือ B2 (symmetric double helices) และจะได้โครงสร้างลักษณะเป็นแบบ C, D (ส่วนบน) หรือ C, D (ส่วนล่าง) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.16 การที่จะเกิดรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการลดลงของอุณหภูมิ ถ้าลดลงเร็วจะได้โครงสร้างเป็นแบบรูป B1 และ C,D(ส่วนบน) และเจลที่ได้สมบัติเป็น thermoreversible gel โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เกิดเจลประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 85-90 องศาเซลเซียส เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อแข็ง ชุ่มชื้นเหนียว เปราะแตกได้ง่าย (brittle) เนื้อสัมผัสมีความชุ่มฉ่ำ (juiciness) และกรอบ (crunchy) และมีการไหลซึมของน้ำ การเติมน้ำตาล เดกซ์ตริน หรือผสมกับ โลคัสต์บีนกัมจะทำให้เจลที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรง ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และลดการไหลซึมของน้ำ แต่ถ้าเติมแป้งหรือโซเดียมอัลจินเตจะทำให้ผลตรงกันข้ามคือทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง เจลที่เกิดจากอะการ์ทนความร้อนเพราะอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล และจุดหลอมเหลวของเจลมีช่วงห่างกัน (Phillips and Williams, 2009)



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างการเกิดเจลของอะการ์โรส

ที่มา : Medin (1995)

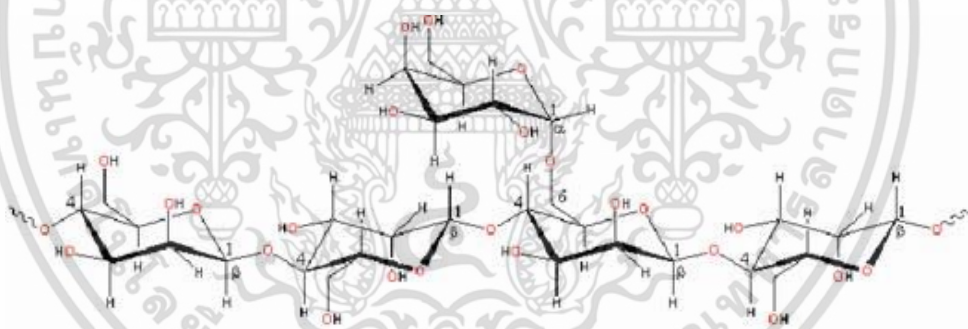
2.7.4 โลคัสต์บีนกัม (locust bean gum)

โลคัสต์บีนกัมได้จากเอน โดสเปิร์มของเมล็ดต้น carob (*Ceratonia siliqua*) บางครั้งเรียกว่า carob seed gum ต้น carob เป็นพืชที่ปลูกในแถบเมดิเตอร์เรเนียน โมร็อกโก และ โปรตุเกศ โลคัสต์บีนกัม ไม่สามารถละลายในน้ำเย็นต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดสูงที่สุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาโลคัสต์บีนกัมให้มีสมบัติพองตัวได้ในน้ำเย็น และนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์นม โครงสร้างของโลคัสต์บีนกัมเป็นโพลีเมอร์สายยาวของ mannose ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4 และมีกิ่งแขนงของ galactose ต่อกันด้วยพันธะ 1,6 อัตราส่วนของ mannose ต่อ galactose เป็น 4:1 ดังแสดงในภาพที่ 2.17 โดยลักษณะ โครงสร้างเช่นนี้จึงทำให้โมเลกุลมีส่วนที่เป็นสายหลักของ mannose ที่เรียกว่า smooth สลับกับส่วนที่เป็นกิ่งแขนง

โลคัสต์บีนกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัมจึงจะทำให้เกิดเจลได้หรืออาจผสมรวมกับแคปไซ-คาร์ราจีแนน จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล และลดการไหลซึมของน้ำ หน้าที่หลักของโลคัสต์บีนกัมคือ เพิ่มความหนืด และความคงตัวให้กับอิมัลชัน และยับยั้งการการไหลซึมของน้ำ สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวาน เนยแข็ง ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์เนื้อ ในเนยแข็งโลคัสต์บีนกัมช่วยเร่งให้เกิดตกตะกอนเร็วขึ้น และทำให้ได้เนื้อตะกอนเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 10 ในไอศกรีม โลคัสต์บีนกัมจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน นอกจากนี้ยังใช้เป็น mould สำหรับผลิต gum drops หรือ jelly candies และใช้เป็น body agent สำหรับเครื่องสำอางเป็นโรคเบาหวาน (Phillips and Williams, 2009)



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสต์บีนกัม

ที่มา : Medin (1995)

2.7.5 เจลแลนกัม (gellan gum)

เจลแลนกัม เป็นพอลิแซ็กคาไรด์กัมที่มีประจุลบ ได้จากการหมักโดยแบคทีเรีย *Pseudomonas elodea* ประกอบด้วยหน่วยย่อยซ้ำ ๆ ของเตตระแซ็กคาไรด์ (tetra saccharide) มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลแรมโนส กรดกลูคูโรนิก และน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล เป็นสารก่อเจลในอาหาร และจะเกิดเจลได้ในภาวะที่มีไอออนประจุบวก

2.7.5.1 การกระจายตัวในน้ำ (dispersion)

เจลแลนกัมทั้งในรูป high acyl gellan (HA) และ low acyl gellan (LA) จะไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะพองตัวได้บ้างในน้ำที่มีปริมาณแคลเซียมไอออนต่ำ ๆ กัมทั้งสองชนิดจะกระจายตัวได้ดีในน้ำกลั่น (deionized water) โดยการกวนและค่อย ๆ เติมหกัมลงไป ในสภาพที่กระจายลงบนน้ำที่มีการหมุนวน (vortex) ถ้าต้องการเติมหกัมลงไปโดยตรงในน้ำร้อน ควรผสมกัมกับตัวช่วยกระจาย เช่น น้ำตาล (5-10 เท่าของน้ำหนักกัม) หรือ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ หรือน้ำมัน (3-5 เท่าของน้ำหนักกัม) นอกจากนี้กัมทั้งสองชนิดนี้กระจายตัวในนมได้ดี

2.7.5.2 การคูดน้ำ (hydration)

เจลแลนกัมชนิด LA (low acyl gellan)

ถ้าสารละลายมีไอออน เช่น โซเดียม และที่สำคัญแคลเซียม จะขัดขวางการคูดน้ำของเจลแลนกัมชนิด LA ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ดังนั้นถ้ามีไอออนเหล่านี้จะต้องมีการใช้ตัวจับไอออนเข้าช่วย (sequestrant) เช่น โซเดียมซิเตรท และเมื่อกัมคูดน้ำได้แล้วจึงค่อย นำสารละลายกัมไปเพิ่มอุณหภูมิ และเติมไอออนเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดเจล นอกจากนี้ LA gellan gum จะคูดน้ำไม่เต็มที่ที่ pH ต่ำกว่า 30 ดังนั้นหากต้องการให้มีความเป็นกรดต้องเติมกรดนั้น ๆ ในระหว่างการให้ความร้อน แต่อย่าให้ความร้อนนานเกินไปในสภาวะที่มีกรดเนื่องจากอาจทำให้เกิดการย่อยสลายโมเลกุล และทำให้คุณภาพเจลลดลง

ตารางที่ 2.4 ผลของเกลือต่ออุณหภูมิในการคูดน้ำของเจลแลนกัมชนิด LA ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25

water hardness (ppm CaCO ₃)	dissolved NaCl (%)	hydration temperature (°C)
0.000		75
100		88
200		>100
300		>100
	0.10	50
	0.25	52
	0.45	60
	0.70	70
	0.90	82
	1.00	89
	1.30	>100

ที่มา : Phillips and Williams. (2009) อ้างโดย ศุภลักษณ์ สรภักดี. (2557)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลแลนกัมชนิด HA (high acyl gellan)

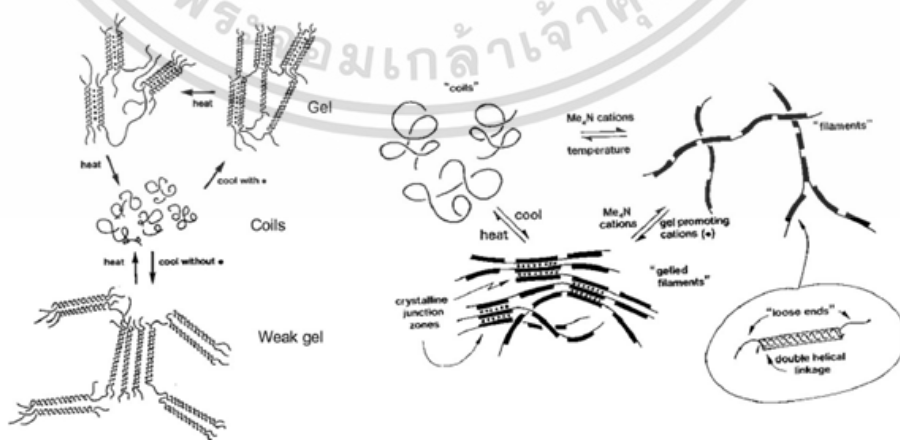
ไอออนต่าง ๆ จะไม่ส่งผลต่อการคุดน้ำของกัมชนิดนี้มากเท่ากับเจลแลนกัมชนิด LA การละลายกัมชนิดนี้ต้องอาศัยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 85-95 องศาเซลเซียส จะเสียความหนืดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นจุดที่บ่งบอกว่าการคุดน้ำเต็มที่แล้ว การคุดน้ำของกัมชนิดนี้จะถูกขัดขวางโดยน้ำตาล ดังนั้นถ้าต้องการให้คุดน้ำสมบูรณ์ต้องใช้น้ำตาลในสูตรต่ำกว่าร้อยละ 40 หรือสามารถเติมน้ำตาลได้หลังจากกัมคุดน้ำเต็มที่แล้ว และเติมในช่วงร้อน กัมชนิดนี้ไม่คุดน้ำที่ pH ต่ำกว่า 4 การแก้ไขและข้อควรระวังเหมือนที่ได้กล่าวไว้ในเจลแลนกัมชนิด LA

2.7.5.3 การเกิดเจล (gelation)

เจลแลนกัมทั้งในรูป LA และ HA สามารถเกิดเจล ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อลดอุณหภูมิลง สายโมเลกุลที่อยู่ในลักษณะ random coils จะจับกันเป็น double helices ด้วยการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ดังกล่าวทำให้เกิดโครงสร้าง ordered junction zone ทำให้เกิดเจลอุ้มน้ำที่ผันกลับได้ด้วยความร้อน อย่างไรก็ตามเจลแลนชนิด LA จะมีลักษณะเจลที่แข็งแรง แต่ชนิด HA จะมีเจลที่ยืดหยุ่น ซึ่งโครงสร้างเจลจะแข็งแรงแค่ไหนขึ้นอยู่กับ mono และ divalent ions ที่เติมลงไป ในสารละลายเจลแลน และขึ้นอยู่กับสภาวะกรด

เจลแลนกัมชนิด LA (low acyl gellan)

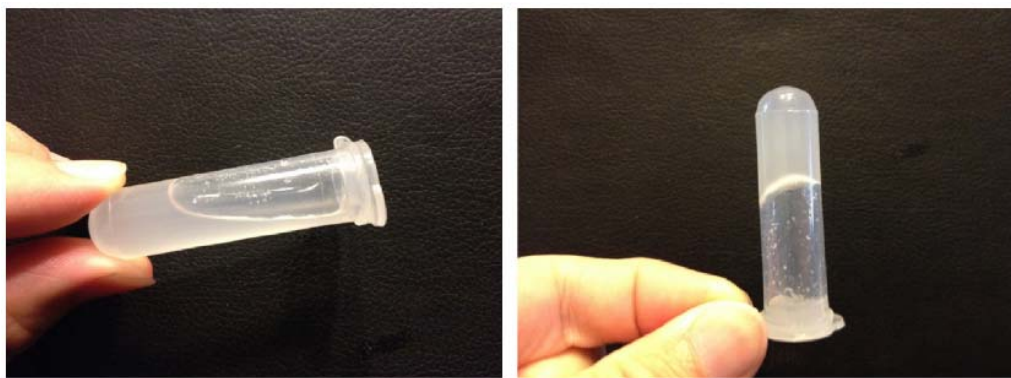
เจลของกัมชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อนำสารละลายเจลที่ร้อนมาทำให้เย็น การเตรียมเจลให้แข็งแรงขึ้นทำได้โดยการเติมไอออนบวกชนิดต่าง ๆ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ H^+ ซึ่งการใช้ไอออนที่มีประจุบวก 2 จะทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงมากกว่าการใช้ไอออนที่มีประจุบวก 1 นอกจากนี้เจลจะแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเติมไอออนที่มีความเข้มข้นมากขึ้น (ภาพที่ 2.18) เจลของกัมชนิดนี้จะผันกลับด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ปริมาณกัมที่ก่อให้เกิดเจลประมาณร้อยละ 0.05 กัมขึ้นไป ซึ่งเจลที่ได้จะอุ้มน้ำดีมาก และไม่เกิด syneresis แม้ว่าจะถูกตัดหรือเจลแตกหัก (ภาพที่ 2.19)



ภาพที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเจลแลนกัมเมื่อผ่านความร้อน

ที่มา : Morris *et al.* (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของจากของเหลวเป็นเจลของเจลแลนกัม ที่มี CaCl_2
ที่มา : Zhu *et al.* (2015)

เจลแลนกัมชนิด HA (high acyl gellan)

เจลของกัมชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อนำสารละลายเจลที่ร้อนมาทำให้เย็นเช่นกัน แต่การเติมไอออนบวกในสารละลายกัมชนิดนี้จะไม่ส่งผลต่อการเกิดเจล และความเข้มข้นของไอออนที่ใช้ก็ส่งผลน้อยมากต่อลักษณะเจลที่ได้ เจลของกัมชนิดนี้จะผันกลับด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ปริมาณกัมที่ก่อให้เกิดเจลประมาณร้อยละ 0.02 กัมขึ้นไป ซึ่งเจลที่ได้จะอุ่มน้ำดี และไม่เกิด syneresis (Phillips and Williams. 2009 อ้างโดย ศุภลักษณ์ สรภักดี. 2557)

2.7.6 เจลลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากการเสียสภาพธรรมชาติ และสกัดได้จากคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนธรรมชาติที่มีอยู่ใน กระดูก หนังสัตว์ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ของสัตว์ ได้แก่ ควาย สุกร วัว เป็นต้น โดยใช้ความร้อน และกรดหรือด่าง เพื่อย่อยหรือสลายให้โมเลกุลของคอลลาเจนเล็กลง เปลี่ยนเป็นเจลาติน

เจลาตินมีลักษณะเป็นแผ่น ชื่น เกร็ด หรือผงสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองอำพัน ละลายได้ในน้ำร้อน ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะอ่อนนุ่ม พองตัว และอุ่มน้ำได้ 5-10 เท่าของน้ำหนักเดิม ละลายได้ในกรดแอซิติก (acetic acid) ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเอทานอลร้อยละ 98 เจลาตินที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เมื่อนำผงเจลาตินผสมในน้ำและให้ความร้อนจะเป็นของเหลวหนืด เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นของเหลวจะกลายเป็นเจล (gel) ใช้ผสมในอาหารได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ใช้สำหรับการจับและเก็บรักษากลิ่นรส (flavor encapsulation) และใช้เคลือบผิว แสม ขนมหัก เพื่อรักษาความชุ่มชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6.1 การผลิตเจลาตินโดยใช้กรด (acid manufacturing process)

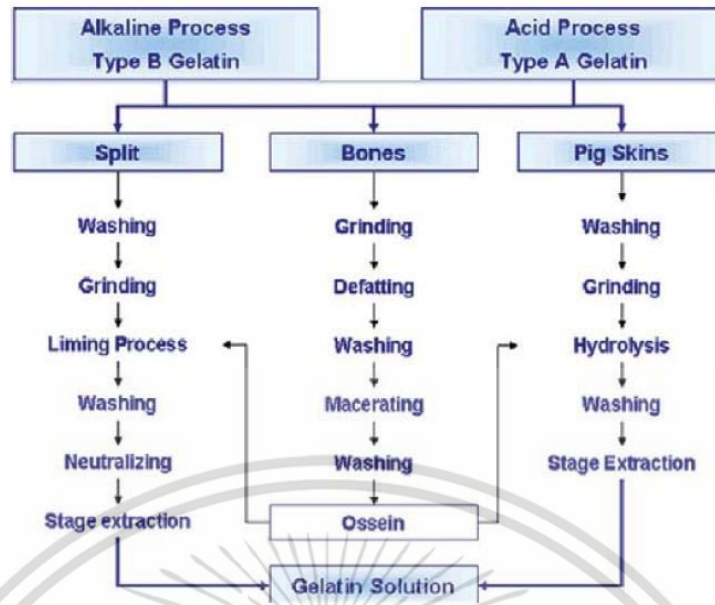
วิธีการย่อยด้วยกรด เป็นวิธีการหลักที่ใช้กระดูกสุกร และหนังปลาเป็นวัตถุดิบ โดยคอลลาเจนที่สกัดได้จากวัตถุดิบจะถูกปรับให้เป็นกรด ที่มีค่า pH ประมาณ 4 และให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส จนเดือด เพื่อให้โปรตีนคอลลาเจนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) และทำให้ละลายได้ หลังจากนั้นสารละลายจะถูกนำไปสกัดไขมันออก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

เจลาตินที่ได้ มีค่า pI อยู่ระหว่าง 7 ถึง 9 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความรุนแรงของการย่อยคอลลาเจนด้วยกรด ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกรดอะมิโนแอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามีน (glutamine)

2.7.6.2 การผลิตเจลาตินโดยใช้ด่าง (alkali manufacturing process)

กรรมวิธีการผลิตเจลาตินด้วยด่างใช้สำหรับหนังวัวและแหล่งวัตถุดิบจากสัตว์ที่มีอายุมาก โดยคอลลาเจนจะถูกแช่ในด่างแก่ ก่อนการสกัดด้วยด่างจะย่อย โมเลกุลด้านข้างของแอสพาราจีน (asparagine) และ กลูตามีน (glutamine) ให้เป็นกรดกลูตามิก (glutamic acid) และกรดแอสพาทิก (aspartic acid) ทำให้ได้เจลาตินที่มีค่า pI อยู่ระหว่าง 4.8 ถึง 5.2 จากนั้นจึงล้างด่างออกและกำจัดเกลือส่วนเกินที่เกิดขึ้นด้วยการใช้ การแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange) ย่อยต่อด้วยกรด ที่ระดับค่า pH ที่ต้องการ ซึ่งระดับค่า pH มีผลต่อความหนืดและความแข็งแรงของเจล จากนั้นนำไปต้มต่อเพื่อเปลี่ยนคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินเหมือนในกรรมวิธีการใช้กรดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น (ภาพที่ 2.20)

เจลาตินที่ได้จากวัวและลูกวัวนั้น สามารถใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ ถ้ามีการเชือดที่ถูกต้องตามหลักการศาสนาอิสลาม ส่วนเจลาตินที่ได้จากสุกรไม่สามารถที่จะใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ เจลาตินจากปลาเป็นเจลาตินอีกชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการผลิตอาหารฮาลาลได้ โดยส่วนใหญ่ได้จากปลาทะเลน้ำลึก เช่น ปลา cod, haddock และ pollock เป็นต้น



ภาพที่ 2.20 กรรมวิธีการผลิตเจลาติน

ที่มา : Medin (1995)

2.8 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำ

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัตว์นั้นยังไม่มีการศึกษาถึงการนำมาใช้ แต่ได้มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น จากการทดลองของ Karim *et al.* (1999) ได้มีศึกษาผลของการใช้คาร์โบไฮเดรตคาร์ราจีแนน ต่อน้ำหนักผลได้ (yield) และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอด โดยการทดลองมีการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับ glucono-d-lactone (GDL), calcium sulphate (CS) และ calcium acetate (CA) พบว่าการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับ CA สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอดมีน้ำหนักผลได้ ความคงตัว และลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มมากกว่าการใช้คาร์ราจีแนน ร่วมกับ GDL และ CS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการใช้คาร์ราจีแนน ร่วมกับ GDL และ CS จะทำให้ค่า pH ลดลง มีผลทำให้โครงสร้างโปรตีนเกิดการหดตัว และปลดปล่อยน้ำภายในโครงสร้างออกมา จึงทำให้มีน้ำหนักผลได้ ความคงตัว และความแข็งมีค่าลดลง ปริมาณความชื้นของการใช้คาร์ราจีแนน ร่วมกับ GDL สูงกว่า CS และ CA ซึ่งสามารถสังเกตได้จากน้ำหนักผลได้ของเวย์ (whey) ที่มีค่าต่ำดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลของการใช้สารจีแนน และสารช่วยตกตะกอนต่อองค์ประกอบของเต้าหู้

Coagulant ^a	การารีจีแนน (g/l)	ผลได้ ^c (g)	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	การกักเก็บความชื้น ^d (g/g)	pH	เวย์ (ml)
calcium	0 ^b	140.5 ^f	78.1 ^f	11.5 ^f (52.30)	6.82 ^f	5.57	623 ^f
sulphate	1.0	153.8 ^g	81.3 ^g	9.49 ^f (50.83)	8.57 ^g	5.62	590 ^g
(CS)	2.0	186.9 ^h	82.8 ^h	8.77 ^f (50.88)	9.44 ^h	5.60	558 ^h
calcium	0	136.3 ^f	79.0 ^f	11.0 ^f (52.29)	7.20 ^f	5.62	622 ^f
acetate	1.0	159.6 ^g	82.4 ^g	8.93 ^f (50.86)	9.23 ^g	5.82	596 ^g
(CA)	2.0	200.0 ^h	84.6 ^g	7.45 ^g (48.46)	11.36 ^g	5.76	532 ^h
glucono-d-	0	161.1 ^f	81.3 ^f	9.41 ^f (50.29)	8.64 ^f	4.52	586 ^f
lactone	1.0	183.5 ^g	83.1 ^f	8.29 ^f (48.94)	10.02 ^f	4.55	561 ^f
(GDL)	2.0	164.2 ^f	79.7 ^f	10.41 ^f (51.4)	7.66 ^f	4.52	580 ^f

^aCS ที่ระดับ 0.02 โมล/ลิตร และ GDL ที่ระดับ 0.02 โมล/ลิตร

^bค่ากลางข้อมูลมีความแปรปรวนร้อยละ <5 สัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

^cน้ำหนักสดของนมถั่วเหลือง 700 มิลลิกรัม

^dน้ำหนักแห้งในหน่วย กรัม/กรัมของโปรตีน

ที่มา : Karim *et al.* (1999)

จากการทดลองของ วิลลาสินี ตีปัญญา (2551) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มะขาม โดยศึกษาผลของปริมาณเจลาตินต่ออัตราส่วนของซูโครส/กลูโคส/ไซรัป และกรดซิตริก มีผลต่อความหนืด ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเพิ่มของปริมาณเจลาติน และอัตราส่วนของซูโครส/กลูโคส/ไซรัป มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกทำให้ความหนืดลดลง แต่ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2.6

และจากการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเจลาตินร้อยละ 10.05 อัตราส่วนซูโครส/กลูโคส/ไซรัป เท่ากับ 1/1 และสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 2.74 จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มะขาม โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำมะขามทั้งหมด 3 สูตร คือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/v) ตามลำดับ เมื่อทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scaleพบว่า สูตรที่ใช้

ความเข้มข้นร้อยละ 20 (w/v) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ค่าความหนืด และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

สูตร	ปัจจัย				
	เจลาติน (%)	ซูโครสต่อกลูโคส ไשרป์	กรดซิตริก เข้มข้นร้อยละ 50	ความหนืด (cP)	water activity
1	5.00	0.50	3.00	392.62(0.97) ^{et,†}	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) ^l	0.723(0.002) ^e
10	7.00	1.00	3.50	505.43(2.74) ^l	0.726(0.005) ^e

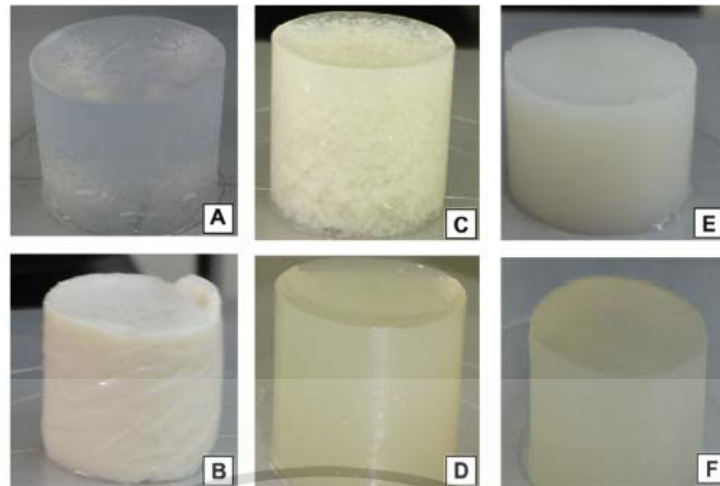
†ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

‡ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ที่มา : วิชาสินี ศิปัญญา (2551)

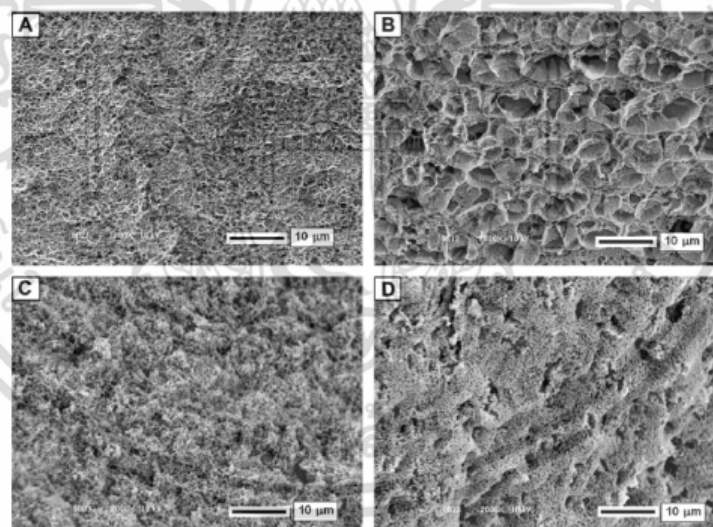
จากการทดลองของ Yamamoto and Cunha (2007) ศึกษาอิทธิพลของอัตราการผลิตเจลของเจลาแลนกัม จากโปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับการใช้เกลือต่อสมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างทางจุลภาค โดยทำการทดลองการเกิดเจลด้วยความเย็น (cold-set gelation) ของโปรตีนถั่วเหลือง (SPI) ที่ใส่เจลาแลนกัม จะถูกนำมาเติมเกลือ (KCl หรือ CaCl_2) โดยมาการใช้วิธีที่แตกต่างกันสองวิธี คือ การเติมเกลือโดยตรง (fast gelation) และการเติมเกลือด้วยวิธีการแพร่กระจายผ่านเมมเบรน (slow gelation) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงกล การไหลซึมของน้ำ (syneresis) และโครงสร้างทางจุลภาค จากผลการทดลอง พบว่าเจลที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย จะมีความแข็ง และเกิดการเสียรูปร่าง (deformable) ได้มากกว่าเจลที่เติมมีการเติมแคลเซียมโดยตรง ในขณะที่การเติมโพแทสเซียมจะให้ผลตรงข้ามกัน ถ้าสังเกตด้วยตาเปล่าจะมองเห็นเจลเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 2.21) แต่ถ้านำมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 2.22) จะสังเกตเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกัน การเติมแคลเซียมจะทำให้โครงสร้างของโปรตีนแยกออกจากกันชัดเจนกว่า ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน และ polysaccharide อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากองค์ประกอบ และความเข้มข้นของโพลิเมอร์จากธรรมชาติผลการศึกษาพบว่าชนิดของเกลือ และความเร็วของการ

รวมตัวกันนำไปสู่การเกิดเจลที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน และทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 ลักษณะโดยทั่วไปของเจลแลนกัมผสมกับโปรตีนถั่วเหลืองหรือเจลผสม (A), เจลผสมที่เติมแคลเซียมด้วยวิธีโดยตรง (B), เจลผสมที่เติมโพแทสเซียมด้วยวิธีโดยตรง (C), เจลผสมที่เติมคลอไรด์กับแคลเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย (D), เจลผสมที่เติมคลอไรด์กับโพแทสเซียมด้วยวิธีการแพร่กระจาย (E) และเจลผสมที่เติมคลอไรด์ (F)

ที่มา : Yamamoto and Cunha (2007)



ภาพที่ 2.22 ภาพโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเจลแลนกัมผสมกับโพแทสเซียม (A), โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 7 ผสมกับแคลเซียม (B), โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 8 ผสมกับแคลเซียม (C) และ โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 8 ผสมกับแคลเซียม (D)

ที่มา : Yamamoto and Cunha (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งชนิดหยาบ 2 ตำแหน่ง (Tanita model 1144, Tanita Corporation, Japan)
- 2) เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
(Sartorius, Basic, Sartorius Stedim Biotech GmbH, Germany)
- 3) ตู้เป่าเชื้อ Laminar Flow (Dwyer model merk II, Corporate HQ Michigan city, USA)
- 4) ตู้บ่มเพาะจำนวนจุลินทรีย์ (WTB Binder model BD, BINDER GmbH, Germany)
- 5) ตู้อบลมร้อน (Mettmert model CM500, Mettmert GmbH, Germany)
- 6) หม้อนึ่งความดันสำหรับฆ่าเชื้อ
(Autoclave, Hirayama model HVE 50, Hirayama manufacturing corporation, Japan)
- 7) อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Mettmert, Mettmert GmbH, Germany)
- 8) เครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer KMC-1300V, Vision Scientific co. ltd., Korea)
- 9) เครื่องตีปั่นไฟฟ้า (Stomacher Bag Mixer 400 model VW, Vision Scientific, France)
- 10) ไมโครเวฟ (Toshiba model ER-G8C, Toshiba Thailand, Thailand)
- 11) เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน
(Impulse sealer ME-305HC, Impulse, Germany, Germany)
- 12) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส
(Warner-Bratzler, Instron Model 1011, Instron company, Thailand)
- 13) เครื่องวัดค่าสี (Hunterlab Mini Scan EZ, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA)
- 14) เครื่อง Homogenizer (Ultra tarrax model IKA T25 digital, IKA group, Germany)
- 15) เครื่อง centrifuge
(Beckman Coulter model Avanti J-E, Beckman coulter company, USA)
- 16) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
(Shimadzu model UV-1601, Shimadzu Corporation, Japan)
- 17) เครื่องวัดค่า กรด-ด่าง
(Mettler Toledo model SG-2, Mettler Toledo International Inc., Switzerland)
- 18) ไมโครปิเปต ขนาด 50, 100, 200 และ 1000 ไมโครลิตร
(Finnpipette F3, Thermo Scientific, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 19) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Fluke 712B RTD, Fluke Biomedical, Netherland)
- 20) เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ (AE-6530 mPEG, ATTO, Japan.)
- 24) ตู้แช่เย็น (sanden intercool, SANDEN INTERCOOL PCL., Thailand)
- 25) ตู้แช่แข็ง (Jouan power freezer VXE 380, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)
- 27) เครื่อง sheaking water bath (Daiki Model KBLee 1001, Bio-Active, USA)
- 28) เครื่อง HPLC (WATERS 2690 Separation Module, Alliance[®] HPLC System, USA)
- 29) เครื่อง ICP-OES (Perkin–Elmer Model 4300 DV, PerkinElmer Inc., Norwalk, CT)
- 30) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (LWS-150, American Scientific, USA)
- 31) เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD4 Floral Freeze dryer, Epsilon Co. Ltd., Thailand)
- 32) เครื่อง magnetic stirrer (model 12 ch stirrer, Progress Technical Co., Ltd., Thailand)
- 33) เครื่องนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ (mindray, BC-5300Vet, USA)

3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมี

- 1) Agar (Criterion, USA)
- 2) Plate count agar (Merck, Germany)
- 3) Peptone (Merck, Germany)
- 4) Hydrochloroacetic acid (Qrec, New Zealand)
- 5) Trichlororic acid (Merck, Germany)
- 6) Bovine serum albumin (BSA) (Sigma, Germany)
- 7) Sodium dodecyl sulfate (SDS) (Bio-Rad, USA)
- 8) Tris (hydroxymethyl) amino methane (Fisher scientific, USA)
- 9) Acrylamide (Bio-Rad, USA)
- 10) 2-Mercaptoethanol (Bio-Rad, USA)
- 11) N,N'-Methylene bisacrylamid (Bio-Rad, USA)
- 12) Glycerol (Bio-Rad, USA)
- 13) Bromophenol blue (Sigma, Germany)
- 14) Acetic acid (Merck, Germany)
- 15) Alcohol
(องค์การสุรากรมสรรพสามิต, ประเทศไทย)
- 16) Natt and Herrick solution (Vetlab Supply, USA)
- 17) Modified Wright's Giemsa Stain Solution (Vetlab Supply, USA)
- 18) Sodium citrate (Chemipan, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21) Ammonium sulphate	(Carlo erba, Italy)
22) Coomassie brilliant blue R-250	(Sigma, Germany)
23) Hematin procine	(Sigma, Germany)
24) Disulfonic acid sodium salt	(Fluka, Germany)
25) Sodium acetate	(Carlo erba, Italy)
26) Thioglycolic acid	(Sigma, Germany)
27) Iron (Fe) (1000 ± 100 µl)	(Scp science, Canada)
28) Di-Sodium hydrogen phosphate anhydrous	(Scharlau, USA)
29) Sodium hydroxide	(Merck, Germany)
30) Agar-ager powder AA	(Pearl Mermaid, Thailand)
31) Gelatin powder	(MCGarrett, Thailand)
32) Carragenan powder C081 (R)	(Thai food and chemical, Thailand)
33) Locust bean gum L091 (R)	(Thai food and chemical, Thailand)
34) Potassium citrate P196 (R)	(Thai food and chemical, Thailand)
35) Gellan gum kelcogel F low acyl	(Bambicuisine, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

วัตถุประสงค์	กิจกรรม
<p><u>การทดลองที่ 1</u> ศึกษาความแตกต่างด้านองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตัวอย่างเลือดสัตว์ที่เก็บจากโรงฆ่าสัตว์ จะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือด โดยการเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดทันทีด้วยสาร EDTA ในเลือดสุกร และเติมสาร heparin ในเลือดไก่ และเลือดเป็ด 2. ตัวอย่างเลือดสัตว์ที่เก็บจากโรงฆ่าสัตว์ โดยนำมาเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดทันทีด้วยสาร sodium citrate ร้อยละ 1 และจะถูกนำมาวิเคราะห์แยกโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือดภายใน 2 ชั่วโมงของการเก็บตัวอย่างเลือด 3. ตัวอย่างเลือดสัตว์ที่เก็บจากโรงฆ่าสัตว์ โดยนำมาเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดทันทีด้วยสาร sodium citrate ร้อยละ 1 และจะถูกนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) ก่อนแล้วนำมาวิเคราะห์ด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ <ol style="list-style-type: none"> 1.1 รูปแบบของโปรตีนจากเลือดสัตว์ 1.2 องค์ประกอบทางเคมี <ol style="list-style-type: none"> 1.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate composition) 1.2.2 กรดอะมิโนทั้งหมด (total amino acid composition) 1.2.3 แร่ธาตุ (mineral composition) 1.2.4 ปริมาณฮีมไอรอน (heme iron) 1.2.5 ปริมาณนอนฮีมไอรอน (non-heme iron) 1.2.6 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (differential scanning calorimeters, DSC) 1.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสัตว์ <ol style="list-style-type: none"> 1.3.1 การละลาย (solubility) 1.3.2 การเกิดเจล (gelation) 1.3.3 การเป็นอิมัลชัน (emulsifying properties) 1.3.4 การเกิดโฟม (foaming properties)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p><u>การทดลองที่ 2</u></p> <p>ศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเลือดเปิดดื่ม</p>	<p>1. ตัวอย่างเลือดเปิดที่ได้จากโรงฆ่าเปิดจะถูกนำมาเติมสาร sodium citrate ร้อยละ 1 จากนั้นผสมให้เข้ากันเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด และนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที โดยชุดการทดลองควบคุม (control) มีความเข้มข้นเลือดเท่ากับร้อยละ 65 (w/v) ความเข้มข้นเกลือสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 0.16 (v/v) หรือ 0.0273 M แล้ว หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นโดยใช้วิธีการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง แล้วนำมาศึกษาดังต่อไปนี้</p> <p>1.1 ผลของความเข้มข้นของเลือดต่อคุณภาพของเลือดเปิดดื่ม</p> <p>1.2 ผลของความเข้มข้นของเกลือต่อคุณภาพของเลือดเปิดดื่ม</p> <p>1.3 ผลของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเปิดดื่ม</p> <p>1.4 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อคุณภาพของเลือดดื่ม</p> <p>1.5 ผลของการทำให้เย็นต่อคุณภาพของเลือดเปิดดื่ม</p> <p>1.6 ผลของการกวนต่อคุณภาพของเลือดเปิดดื่ม</p> <p>1.7 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ</p> <p>1.7.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (texture profile analysis, TPA)</p> <p>1.7.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC)</p> <p>1.7.3 สี</p> <p>1.7.4 pH</p> <p>1.8 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)</p>
<p><u>การทดลองที่ 3</u></p> <p>ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท ร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ที่มีผลต่อคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษา</p>	<p>1. เลือกสภาวะการแปรรูปเลือดเปิดดื่มจากข้อมูลที่ได้ในการทดลองที่ 2</p> <p>2. นำเลือดเปิดดื่มที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำโดยใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ที่บรรจุในถุงทนร้อน (nylon) ที่ปิดสนิทดังนี้</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>2.1 การจีแนน ผสมกับโลคัสบีนัมที่อัตราส่วน 50:50 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0</p> <p>2.2 การจีแนน ผสมกับโลคัสบีนัมที่อัตราส่วน 60:40 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0</p> <p>2.3 เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0</p> <p>2.4 อะการ์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0</p> <p>2.5 เจลแลนกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0</p> <p>3. เลือดเป็ดต้มที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดลองที่ 3 ข้อ 2. จะถูกนำมาทดสอบอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน และสุ่มมาตรวจวัดคุณภาพทุกวันที่ 0, 3, 7, 9, 13, 15, 17, 21, 23, 27 และ 30 วัน โดยตรวจวัดคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้</p> <p>3.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพของ</p> <p>3.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยรวม (texture profile analysis, TPA)</p> <p>3.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC)</p> <p>3.1.3 สี</p> <p>3.1.4 ปริมาณฮีมไอออน (heme iron)</p> <p>3.1.5 ปริมาณนอนฮีมไอออน (non-heme iron)</p> <p>3.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)</p> <p>3.3 วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส</p> <p>ศึกษาความชอบโดยรวมของผู้บริโภคด้วยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี ลักษณะปรากฏ โดยรวม เนื้อสัมผัสโดยรวม กลิ่นรส ความรู้สึกซากในปาก และลักษณะด้านคุณภาพ โดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale</p>
--	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 คุณลักษณะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสัตว์

3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

เก็บตัวอย่างเลือดเป็ดจากบริษัท คักคิง จำกัด จ.ฉะเชิงเทรา เก็บตัวอย่างเลือดสุกรจากบริษัท เบทาโกร เซฟตี้ มีท แพคกิ้ง จำกัด (BSM) จ. ลพบุรี และเก็บตัวอย่างเลือดไก่จากบริษัท บี.ฟู๊ดส์ อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด (BFI) จ. ลพบุรี โดยเลือดสัตว์ที่เก็บจากโรงฆ่าจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งภายหลังจากที่เติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดแต่ละส่วนแล้ว จะถูกนำมาเก็บรักษาโดยแช่ในภาชนะปิดสนิทที่มีการใช้น้ำแข็งเพื่อทำให้เย็น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส และทำการขนส่งกลับมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (กรุงเทพฯ) ภายใน 2 ชั่วโมง ซึ่งในส่วนแรกจะถูกนำมาเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดทันที ด้วยสาร EDTA ในเลือดสุกร และสาร heparin ในเลือดไก่และเลือดเป็ด เพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของเม็ดเลือด ส่วนที่ 2 จะถูกนำมาเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด โดยใช้ sodium citrate ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ในอัตราส่วน sodium citrate ต่อเลือดเท่ากับ 1:9 (v/v) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ sodium citrate เท่ากับร้อยละ 1 (w/v) ผสมให้เข้ากันเพื่อนำมาแยกโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือด และในส่วนที่ 3 จะถูกนำมาเติมสาร sodium citrate เช่นเดียวกับส่วนที่ 2 หลังจากนั้นจะนำมาทำให้เป็นเลือดผงด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) เพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น กรดอะมิโน ทั้งหมด แร่ธาตุทั้งหมด ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณนอนฮีโมโกลบิน การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน และสมบัติเชิงหน้าที่ของเลือดผง ได้แก่ การละลาย การเกิดเจล การเป็นอิมัลชัน และการเกิดโฟม

3.3.1.2 ค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดสุกร

ส่งตัวอย่างเลือดสุกรตรวจวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาที่ห้องปฏิบัติการคณะเทคนิคสัตวแพทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน กรุงเทพฯ โดยเลือดสุกรที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เก็บในหลอดที่บรรจุสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดคือ EDTA นำมาเก็บรักษาโดยแช่ไว้ในภาชนะปิดสนิทที่มีการใช้น้ำแข็งเพื่อทำให้เย็น แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง (red blood cell count, RBC) ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (hemoglobin, Hb) ค่าเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume, PCV) ปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (mean corpuscular volume, MCV) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC) และจำนวนเม็ดเลือดขาว (white blood cell, WBC) โดยใช้เครื่องนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ (mindray, BC-5300Vet, USA)

3.3.1.3 ค่าทางโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดไก่ และเลือดเป็ด

ส่งตัวอย่างเลือดไก่ และเลือดเป็ดตรวจวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาที่ห้องปฏิบัติการ คณะเทคนิคสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน กรุงเทพฯ โดยเลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เก็บในหลอดที่บรรจุสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดคือ heparin เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด นำมาเก็บรักษาโดยแช่ไว้ในภาชนะปิดสนิทที่มีการใช้น้ำแข็งเพื่อให้เย็น ตัวอย่างจะถูกนำไปตรวจวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง (red blood cell count, RBC) ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (hemoglobin, Hb) ค่าเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume, PCV) ปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (mean corpuscular volume, MCV) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC) และจำนวนเม็ดเลือดขาว (white blood cell, WBC) ดังนี้

1) จำนวนเม็ดเลือดแดง (red blood cell count, RBC)

นำตัวอย่างเลือดมาผสมในหลอดให้เข้ากัน ใช้ RBC diluting pipette ที่ต่อกับสายยางและกระบอกฉีดยา คูดตัวอย่างเลือดแล้วผสมกับน้ำยา Natt and Herrick (Natt and Herrick, 1952) ในอัตราส่วนสารละลายเม็ดเลือด 1:200 จากนั้นหยดสารละลายลงบน counting chamber ที่ปิด cover glass แล้ววางทิ้งไว้สักครู่ให้เม็ดเลือดนิ่งแล้วนำมานับเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า โดยนับในพื้นที่ 5 medium-sized squares เม็ดเลือดแดงจะไม่ติดสี ส่วนเม็ดเลือดขาวจะติดสีน้ำเงินหรือมีแกรนูลในไซโตพลาสซึม โดยนำมาคำนวณดังสมการและรายงานผลในหน่วย $\times 10^6$ เซลล์/ไมโครลิตร (cell/ μ l)

$$\text{RBC} (\times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}) = (\text{RBC count in chamber 1} + \text{chamber 2}) / 2 \times 10,000$$

2) ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (hemoglobin, Hb)

วัดค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินด้วยวิธี acid hematin โดยนำสาร 0.1 N HCl ประมาณ 5 หยด ใส่ในหลอดซาลี (sahli tube) ใช้ปิเปตซาลีคูดตัวอย่างเลือดให้ถึงขีด 20 ไมโครลิตร ปล่อยให้สารละลายกรดเกลือ ผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว จากนั้นคูดน้ำกลั่นล้างปิเปต 1-2 ครั้ง แล้วผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งตัวอย่างเลือดผสมกับกรดเกลือและน้ำจะได้ส่วนผสมสีน้ำตาล ใช้หลอดหยดน้ำกลั่นลงไปทีละหยด แล้วคนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งสีของสารละลายเท่ากับสีของมาตรฐานทั้งสองข้างของ sahli hemoglobin meter แล้วรายงานผลในหน่วยกรัม/เดซิลิตร (g/dl)

3) เซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume, PCV)

นำหลอด capillary tube ชุดตัวอย่างเลือดให้ถึงปลายหลอด โดยเหลือช่องว่างไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร อุดปลายหลอดด้วยดินน้ำมัน ถ่ายตัวอย่างลงในหลอด microcentrifuge แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,500 g เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่า PCV โดยวางหลอดตั้งฉากกับแผ่น PCV chart วางให้ระดับตัวอย่างเลือดด้านล่างตรงกับขีด 0 และระดับตัวอย่างเลือดด้านบนสุดตรงกับขีด 100 วัดค่า PCV โดยดูจากขีดที่ตัดกับระดับบนสุดของเม็ดเลือดที่อัดแน่นกันอยู่ แล้วรายงานผลในหน่วยร้อยละ (%)

4) ปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (mean corpuscular volume, MCV)

ค่าปริมาตรเม็ดเลือดแดงหาได้โดยการคำนวณดังสมการ แล้วรายงานผลในหน่วยเฟมโตลิตร (fl)

$$MCV (fl) = (PCV \times 10) / (RBC \text{ count} \times (10^6 / \mu l))$$

เมื่อ PCV คือ ค่าที่หาได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 3)

RBC คือ ค่าที่หาได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 1)

5) ความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงหาได้โดยการคำนวณดังสมการ แล้วรายงานผลในหน่วยกรัม/เดซิลิตร (g/dl)

$$MCHC (g/dl) = (Hb \times 100) / (PCV (\%))$$

เมื่อ PCV คือ ค่าที่หาได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 3)

Hb คือ ค่าที่หาได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 2)

6) จำนวนเม็ดเลือดขาว (white blood cell, WBC)

โดยนับจาก counting chamber เดียวกันกับที่ใช้ นับจำนวนเม็ดเลือดแดง แต่นับในพื้นที่ทั้ง 4 ตารางเมตร ที่มุมทั้งสี่ของ counting chamber โดยเม็ดเลือดขาวจะติดสีน้ำเงินเข้มหรือเห็นเป็นแกรนูล จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดเลือดขาวที่นับได้ตามสมการ แล้วรายงานผลในหน่วยเซลล์/ไมโครลิตร (cell/ μ l)

$$WBC (cell/\mu l) = (WBC \text{ count in chamber 1} + \text{chamber 2}) / 2 \times 50$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4 สัณฐานวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือดของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

โดยนำตัวอย่างเลือดผสมให้เข้ากันแล้วหยดตัวอย่างเลือดลงบนปลายด้านหนึ่งของสไลด์วาง spreader ที่หน้าหยดตัวอย่างเลือดแล้วถอยให้ชนตัวอย่างเลือด รอให้ตัวอย่างเลือดไหลให้เต็มขอบ spreader แล้วไถ spreader ไปด้านหน้าด้วยความเร็วคงที่ โดยให้รอยสเมียร์ยาวเป็นทรงกระสุน จากนั้นนำไป fix ด้วยสารละลาย absolute methanol เป็นเวลา 5 นาที ตั้งไว้ให้แห้ง แล้วย้อมด้วยสี modified wright's giemsa เป็นเวลา 10-15 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์เป็นเวลา 3-5 นาที แล้วนำไปล้างน้ำโดยให้น้ำไหลจากทาง สเมียร์ไปทางหัวสเมียร์ ใช้มือถูตะกอนสีที่ติดอยู่หลังสไลด์ให้สะอาด ตากให้แห้งแล้วนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อนับแยกชนิดเม็ดเลือด โดยนับบริเวณที่เรียกว่า ideal thickness ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเม็ดเลือดกระจายตัวสม่ำเสมอ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า ทำจนครบ 100 เซลล์ แสดงผลของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (lymphocyte) โมโนไซต์ (monocytes) อีโอซิโนฟิล (eosinophil) เบโซฟิล (basophil) และเกล็ดเลือดหรือ thrombocyte

3.3.1.5 โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือด (blood protein fraction)

เลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากโรงฆ่าสัตว์จะถูกนำมาแยกโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือด ภายใน 2 ชั่วโมงหลังจากการเก็บตัวอย่างอ้างอิงตามวิธีการของ Dávila and Parés. (2007) โดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัว ซึ่งในขั้นตอนของการตกตะกอน โปรตีนทุกขั้นตอนจะต้องแช่ตัวอย่างในอ่างน้ำแข็ง ขั้นตอนแรกนำตัวอย่างเลือด (whole blood) มาแยกเม็ดเลือดแดงออกด้วยการนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำส่วนของของเหลวใสที่ได้มาตกตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จนได้ตะกอนของโปรตีนไฟบริโนเจน (fibrinogen) ซึ่งจะตกตะกอนออกมาเป็นอันดับแรกจากนั้นนำส่วนของของเหลวใสที่ได้มาเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที จนได้ตะกอนของโปรตีนโกลบูลิน (globulins) แยกตัวออกมา หลังจากนั้นนำส่วนของของเหลวใสที่ได้มาเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 75 แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งจนได้ตะกอนของโปรตีนอัลบูมิน (albumin) แยกตัวออกมาในขั้นตอนสุดท้าย หลังจากแยกโปรตีนแล้วนำตะกอนโปรตีนที่ได้มาทำการ dialysis โดยใช้เยื่อ dialysis membrane ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12-14 กิโลดาลตัน ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดเกลือออกจากสารละลายโปรตีน จากนั้นบันทึก

ปริมาณและน้ำหนักของโปรตีนแต่ละส่วนที่แยกได้ แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบ (AOAC. 2000)

3.3.1.6 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

เลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 จะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิค Kjeldahl (AOAC. 2000) โดยนำตัวอย่างโปรตีน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน (kjeldahl tube) เติมสารคตะลิสต์ (สารผสมระหว่างสารคอปเปอร์ซัลเฟต กับโพแทสเซียมซัลเฟต) 7 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และย่อยต่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำหลอดย่อยโปรตีนต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โปรตีน วางขวดรูปชมพู่ที่ตำแหน่งรับสารละลายของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายหลอดจุ่มในสารละลายกรดบอริก จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างสาร bromocresol green กับ methyl red 2-3 หยด ในสารละลายกรดบอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ทำการกลั่น โปรตีนตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ เป็นเวลา 4 นาที นำสารละลายที่ได้หลังจากการกลั่นมาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานของ HCl จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวอมฟ้าไปเป็นสีชมพูที่จุดยุติ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนดังสมการ แล้วนำคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 เพื่อคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)} = (1.4 \times (V_a - V_b) \times N/W)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของ HCl (N)

V_a คือ ปริมาณสารละลายของ HCl ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาณสารละลายของ HCl ที่ใช้ไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

3.3.1.7 องค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจะใช้เลือดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) มาทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate composition)

ส่งตัวอย่างเลือดผงวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเคมีเบื้องต้นที่ บริษัท ศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด จ.ปทุมธานี โดยตัวอย่างเลือดผงจะถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า โดยแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัด

ค่า 3 ครั้งด้วยเทคนิค AOAC (2006) ค่าที่ได้จะรายงานผลเป็นร้อยละของน้ำหนักฐานแห้ง (% dry basis)

2) กรดอะมิโนทั้งหมด (total amino acid composition)

ส่งตัวอย่างเลือดผงวิเคราะห์กรดอะมิโนที่ หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาณ 0.1 กรัม มาไฮโดรไลซ์ด้วย HCl ที่มีความเข้มข้น 6 N ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบน heating block ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายมาตรฐาน α -aminobutyric acid ที่มีความเข้มข้น 2.5 mM ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วนำมากรองผ่าน syringe ที่มีขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำตัวอย่างที่กรองแล้วปริมาตร 10 ไมโครลิตร มาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ระหว่าง AccQ-fluor derivatization ปริมาตร 70 ไมโครลิตร และ AccQ-fluor derivative reagent ปริมาตร 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที กรดอะมิโนของสารละลาย AccQ-Fluor ที่ได้จะถูกนำมาแยกออกโดยเฟสย้อนกลับด้วยเครื่อง HPLC (WATERS 2695 Separation Module, Alliance® HPLC System, USA) ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส และตรวจจับการเรืองแสงด้วย fluorescence detector (Jasco FP2020, Great Dunmow, Essex, UK) จากนั้นนำมาตรวจวัดค่า excitation ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร และค่า emission ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร โดยนำตัวอย่างปริมาตร 5 ไมโครลิตรฉีดในคอลัมน์ Thermo Hypersil Gold column ขนาด 3.9 มิลลิเมตร \times 150 มิลลิเมตร, 3 ไมโครเมตร ซึ่งจะคำนวณค่าผ่านโปรแกรม โดยสารละลายโซเดียมอะซิเตรด ที่ pH 4.90 ± 0.05 (ตัวชะล้าง A) และสารอะซีโตนไครล์ร้อยละ 60 (ตัวชะล้าง B) จะถูกนำมาใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ และรายงานผลในหน่วย กรัม/100 กรัมโปรตีน

3) แร่ธาตุ (mineral composition)

ส่งตัวอย่างเลือดผงวิเคราะห์แร่ธาตุที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา โดยนำตัวอย่างเลือดผงวิเคราะห์หาแร่ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) และแมงกานีส (Mn) ด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin-Elmer Model 4300 DV, Norwalk, CT) ตามวิธีการของ AOAC. (2000) โดยนำตัวอย่าง 4 กรัม ผสมกับสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าในเข้ากันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายให้ความร้อนด้วยแผ่นให้ความร้อน (hot plate) จนกระทั่งทำการย่อยเสร็จสมบูรณ์ ถ่ายตัวอย่างลงในพลาสติกแล้วปรับปริมาตรจนครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาแร่ธาตุด้วยเครื่อง ICP-OES ใช้อัตราการไหลของอาร์กอน

auxiliary และ nebuliser ที่ 15, 0.2, และ 0.55 ลิตร/นาที ตามลำดับโดยใช้อัตราการไหลของตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกกำหนดไว้ 1.5 มิลลิลิตร/นาที่ และรายงานผลในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัมของวัตถุแห้ง (mg/kg dry matter)

4) ปริมาณฮีมไอรอน (heme-iron)

ตรวจหาปริมาณฮีมไอรอนด้วยสารละลาย acidified acetone extraction ตามวิธีการของ Hornsey (1956) และ Clark *et al.* (1997). โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาตร 5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย acid-acetone ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย acidified acetone 16 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 3.6 มิลลิลิตร และ HCl 0.4 มิลลิลิตร โดยแบ่งสารละลาย acidified acetone ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำมา homogenized (T25 ultra turrax, Krackeler Scientific, USA.) ที่ความเร็วรอบ 13500 g เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นเติมสารละลาย acid-acetone ที่เหลืออีก 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร โดยสารละลายมาตรฐานที่ใช้ได้แก่ ฮีมาติน ($C_{35}H_{42}FeN_4O_5$) ที่ช่วงความเข้มข้น (0-50 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร) ความเข้มข้นของฮีมไอรอนในตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน และธาตุเหล็กที่เป็นส่วนประกอบในสารละลายมาตรฐานฮีมาตินซึ่งสามารถคำนวณได้จากแฟกเตอร์ 0.0882 ไมโครกรัมของธาตุเหล็ก/ไมโครกรัมของสารฮีมาติน (Merck, 1989) และรายงานผลในหน่วย ไมโครกรัม/กรัมของวัตถุแห้ง ($\mu\text{g/g dry weight}$)

5) ปริมาณนอนฮีมไอรอน (non-heme iron)

ตรวจหาปริมาณนอนฮีมไอรอนตามวิธีการของ Rebouche *et al.* (2004) โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาตร 25 มิลลิกรัม นำมา homogenized ในน้ำกลั่น (deionized water) 1:10 w/v โดยใช้ glass-glass dual homogenizer ในการบดตัวอย่างและวางไว้บนน้ำแข็ง นำสารละลายที่ได้ปริมาตร 200 ไมโครลิตร มาทำการตกตะกอนโปรตีนด้วยการใส่สารละลายผสมระหว่าง HCl ที่ความเข้มข้น 1 N และ trichloroacetic acid ร้อยละ 10 (v/v) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในหลอด microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำส่วนของเหลวใสที่ได้ปริมาตร 250 ไมโครลิตร มาเติมสารละลายผสมระหว่าง chromogen solution ที่ประกอบด้วย 0.508 mM ferrozine , 1.5 M sodium acetate และ thioglycolic acid ร้อยละ 0.1 (v/v) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสารละลายผสมระหว่าง 1.5 M sodium acetate และ thioglycolic acid ร้อยละ 0.1 (v/v) หลังจากนั้นนำไปบ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร โดยที่กราฟแสดงสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe^{3+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วรายงานผลในหน่วย ไมโครกรัม/กรัมของวัตถุแห้ง ($\mu\text{g iron/g dry weight}$).

6) การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (differential scanning calorimeters, DSC)

ส่งตัวอย่างเลือดผงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ด้วยเทคนิค DSC อ้างอิงตามวิธีการของ Dávila *et al.* (2007) โดยใช้เครื่อง DSC (DSC204 F1 Phoenix[®] Netzsch, Germany) เพื่อนำไปสู่การหาช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เลือดเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาณ 5 มิลลิกรัมใส่ในภาชนะอลูมิเนียม โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นเซลล์อ้างอิง ทำการทดสอบตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิ 25-120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกว่า 1 องศาเซลเซียส/1 นาที ในสถานะที่มีไนโตรเจนในระบบทดลอง ค่าที่ได้จากเครื่อง DSC และรายงานผลเป็นกราฟที่มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้อัตราความร้อนมากที่สุด (T_p) กับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบ (DH)

3.3.1.8 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสัตว์

การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสัตว์จะใช้เลือดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) มาทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) การละลาย (solubility)

ทดสอบการละลายของเลือดผงที่สถานะของค่า pH ที่แตกต่างกัน ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Intarasirisawat *et al.* (2012) โดยนำตัวอย่างเลือดผงที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรใส่ลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 M ที่ค่า pH ต่างกัน ได้แก่ pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง shaking water bath (Daiki Model KBLee 1001, Bio-Active, USA) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge (CR3i Multifunction, Jouan, France) ที่ความเร็วรอบ 5,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายส่วนใสนำมาหาความเข้มข้น โปรตีนด้วยวิธี Lowry's method (Lowry *et al.* 1951) แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละของการละลายเปรียบเทียบกับปริมาณ โปรตีนทั้งหมดที่ละลายในสารละลายใน 0.5 M NaOH ได้ดังสมการ

$$\text{Solubility (\%)} = (A/B) \times 100$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของโปรตีนที่ละลาย

B คือ โปรตีนทั้งหมดที่ละลายใน 0.5 M NaOH

2) การเกิดเจล (gelation)

ทดสอบการเกิดเจลของเลือดผงตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Nowsad *et al.* (2000) โดยนำตัวอย่างเลือดผง ปริมาตร 60 กรัม ละลายให้เข้ากันในน้ำกลั่นปริมาตร 90 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นเลือดสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 10) จากนั้นใส่ในถุงทนร้อนขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตรแล้วนำมาต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนี้ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที ทำจนครบทุกอุณหภูมิเพื่อหาสถานะในการเกิดเจลของตัวอย่างที่ดีที่สุด หลังจากนั้นให้ความร้อนเลือดต้มแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron Model 1011, Instron company, Thailand) โดยการตัดตัวอย่างเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2×2 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่างด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน ซึ่งตัวอย่างจะถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงของตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่าทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วรายงานผลเป็นค่าความแข็ง (hardness, N) และค่าความยืดหยุ่น (springiness, ratio)

3) การเป็นอิมัลชัน (emulsifying properties)

วิเคราะห์ค่าดัชนีความสามารถในการเป็นอิมัลชัน (emulsion ability index, EAI) และวิเคราะห์ค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability index, ESI) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Nalinanon *et al.* (2011) โดยเตรียมตัวอย่างเลือดผงที่มีการปรับความเข้มข้นด้วยน้ำกลั่นที่แตกต่างกันร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 นำสารละลายเลือดที่ได้ปริมาตร 6 มิลลิลิตร มาผสมให้เข้ากันกับน้ำมันถั่วเหลืองปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่อง homogenizer (Ultra tarrax model IKA T25 digital, IKA group, Germany) ที่ความเร็ว 20,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที ปิเปิดสารละลายอิมัลชันที่ได้ที่เวลา 0 และ 10 นาที ทำการเจือจางตัวอย่าง 100 เท่า ด้วยสาร SDS ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) ผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสม (vortex) เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำสารละลายอิมัลชันที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรที่เวลา 0 นาที (A_0) และวัดที่เวลา 10 นาที (A_{10}) โดยตัวอย่างควบคุมที่ใช้ได้แก่ น้ำกลั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง สามารถคำนวณหาค่า EAI และ ESI ได้ดังสมการ

$$\text{EAI (m}^2/\text{g)} = (2 \times 2.303A) \text{ DF}/\text{I} \times \text{OC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)

l คือ ความยาวของ cuvette (เมตร)

DF คือ ค่าการเจือจาง (100 เท่า)

\emptyset คือ ค่า oil volume fraction ($\emptyset = 0.25$)

C คือ ค่าความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำ (ร้อยละ)

Δt คือ ระยะเวลา (10 นาที)

4) การเกิดโฟม (foaming properties)

ทดสอบปริมาตรในการเกิดโฟม (foam expansion, FE) และความคงตัวของโฟม (foam stability, FS) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Shahidi *et al.* (1995) นำสารละลายเลือดผง ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรใส่ในกระบอกตวง ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไป homogenize (Ultra tarrax model IKA T25 digital, IKA group , Germany) ที่ความเร็วรอบ 12,600 rpm ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นบันทึกค่า ปริมาตรในการเกิดโฟม (FE) และความคงตัวของโฟม (FS) ที่เวลา 0 และ 30 นาที ตามลำดับ แล้ว นำมาคำนวณหาค่า FE และ FS ได้ดังสมการ

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

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

เมื่อ V_T คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายหลังจากการ homogenize

V_0 คือ ปริมาตรเริ่มแรกของสารละลายก่อนการ homogenize

V_t คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายหลังจากการ homogenize ที่ อุณหภูมิห้องเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที

3.3.1.9 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาในครั้งนี้ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองที่มีแผนแบบสุ่มบล็อก สมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ หาคความแปรปรวน จำนวน 3 รอบการทดลอง (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบ ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) (Steel and Torrie. 1980) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 11.5: SPSS Inc.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของเลือดเปิด

3.3.2.1 การเก็บตัวอย่างเลือดเปิดและการเก็บรักษา

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ได้จากโรงฆ่าเปิดของบริษัท ตี้คคิงส์ จำกัด จ.ระยองที่เก็บได้ในขั้นตอนการฆ่า จะถูกนำมาเติมสาร sodium citrate ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ในอัตราส่วน sodium citrate ต่อเลือดเปิดเท่ากับ 1:9 (v/v) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ sodium citrate เท่ากับร้อยละ 1 (w/v) ผสมให้เข้ากันเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (coagulation) จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างเลือดเปิดโดยการแช่ในภาชนะปิดสนิทที่มีการใช้น้ำแข็งเพื่อทำให้เย็น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส และทำการขนส่งกลับมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (กรุงเทพฯ) ภายใน 3 ชั่วโมงหลังการเก็บตัวอย่าง ข้อมูลเบื้องต้นในการเตรียมและต้มเลือดจากโรงงานจะถูกนำมาปรับใช้ในการทดลอง โดยชุดการทดลองควบคุม (control) มีความเข้มข้นเลือดเท่ากับร้อยละ 65 (v/v) ความเข้มข้นเกลือสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นโดยใช้วิธีการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ปัจจัยในด้านความเข้มข้นเลือด ความเข้มข้นเกลือ ค่า pH อุณหภูมิและระยะเวลาในการต้ม การทำให้เย็น และการกวนจะถูกนำมาศึกษาดังต่อไปนี้

3.3.2.2 ผลของความเข้มข้นของเลือดต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ได้จากข้อ 3.3.2.1 นำมาปรับความเข้มข้นเลือดที่แตกต่างกัน 6 ระดับ ได้แก่ ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 55, 60, 65, 75, 85 และ 100 (v/v) ตามลำดับ ใส่ในหลอดเซ็นทรีฟิวกซ์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นผสมด้วยสารละลายเกลือจนมีปริมาตร 40 มิลลิลิตร และมีความเข้มข้นเกลือสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นโดยใช้วิธีการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส) ก่อนนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพเลือดด้านกายภาพและจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

3.3.2.3 ผลของความเข้มข้นของเกลือ (NaCl_2) ต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 65 (v/v) จะถูกนำมาเติมสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายที่แตกต่างกัน 6 ระดับ ได้แก่ 0.0273, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 M ตามลำดับ โดยที่ขั้นตอนอื่น ๆ ตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.3.2.2

3.3.2.4 ผลของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 65 (v/v) จะถูกนำมาเติมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M โดยที่สารละลายเกลือดังกล่าวประกอบด้วยระบบที่มี pH ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ที่เตรียมได้จาก 50 mM phosphate buffer ที่มี pH 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 และ 7.5 โดยปรับ pH ของระบบด้วย HCl ที่มีความเข้มข้น 1 M หรือ NaOH ที่มีความเข้มข้น 1 M และเตรียมตัวอย่างให้เข้าสู่ภาวะสมดุลด้วยระบบที่มีการกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยที่ขั้นตอนอื่น ๆ ตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.3.2.2

3.3.2.5 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อคุณภาพของเลือดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 65 (v/v) จะถูกนำมาเติมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) โดยใช้อุณหภูมิในการศึกษาที่ 80 และ 95 องศาเซลเซียส และปรับระยะเวลาในการต้มให้แตกต่างกัน ได้แก่ 60, 90 และ 140 นาที ตามลำดับโดยที่ขั้นตอนอื่น ๆ ตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.3.2.2

3.3.2.6 ผลของการทำให้เย็นต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 65 (v/v) จะถูกนำมาเติมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M ส่วนขั้นตอนอื่น ๆ เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.3.2.2 ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการทำให้เย็นแตกต่างกัน 2 วิธีคือการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส) และการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) ต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

3.3.2.7 ผลของการกวนต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 65 (v/v) จะถูกนำมาเติมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายร้อยละ 0.16 (w/v) หรือ 0.0273 M แล้วนำไปกวนด้วยเครื่อง magnetic stirrer (model 12 ch stirrer, Progress Technical Co., Ltd., Thailand) ที่ระดับต่างกัน ได้แก่ ต่ำ (เบอร์ 1) ปานกลาง (เบอร์ 3) และสูง (เบอร์ 6) ส่วนขั้นตอนอื่น ๆ เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.3.2.2

3.3.2.8 วิเคราะห์คุณภาพเลือดเปิดต้ม

ตัวอย่างเลือดที่ผ่านกระบวนการต้มสุกและทำให้เย็นแล้วในข้อ 3.3.2.2-3.3.2.7 จะถูกนำมาศึกษาลักษณะปรากฏของเลือดต้มดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (texture profile analysis, TPA)

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron Model 1011, Instron company, Thailand) โดยทำการตัดตัวอย่างเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2×2 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่างด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน โดยตัวอย่างจะถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงของตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่าทั้งหมด 10 ครั้ง บันทึกค่าความแข็ง (hardness, N) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess, N) ค่าความยากในการเคี้ยว (chewiness, N) ค่าความยืดหยุ่น (springiness, ratio) และค่าการเกาะตัวกัน (cohesiveness, ratio) (Colmenero *et al.* 2004)

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเลือดเปิดต้มด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Schafer *et al.* (2002) ที่แสดงผลด้วยปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudates) โดยตัดก้อนเลือดต้มให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2×1 เซนติเมตร บันทึกน้ำเริ่มต้น (A) นำมาวางบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) โดยนำก้อนเลือดมาวางบนกระดาษกรอง 2 แผ่น แล้วปิดทับด้านบนอีก 1 แผ่น ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ซึ่งน้ำหนักก้อนเลือดอีกครั้ง (B) หลังจากนั้นนำมาคำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำโดยคิดเป็นน้ำหนักของน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดดังนี้

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

3) สีของเลือดเปิดต้ม

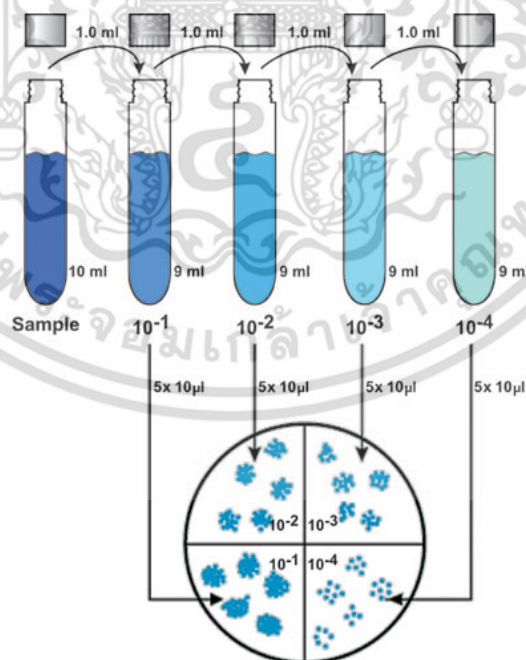
ทำการประเมินคุณภาพทางด้านสีของเลือดเปิดต้ม โดยตัดก้อนเลือดเปิดต้มเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2×2 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่พอดีกับรูรับแสง (aperture size) ของเครื่องวัดสี ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 3 ครั้งและแสดงผลเป็นค่า L* (lightness), a* (redness) และ b* (yellowness) ในรูปแบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี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

4) ค่า pH ของเลือดเปิดต้ม

ทำการวัดค่า pH ของเลือดเปิดก่อนต้มและหลังต้มด้วยการใช้หัวโพรบวัดค่า pH ในเลือดโดยตรง โดยแต่ละตัวอย่างทดลองทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง ด้วยเครื่องวัด pH (Mettler Toledo 320, Greifensee, Switzerland)

5) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

ทำการตรวจวัดการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่ม โดยชั่งตัวอย่างเลือดเปิดดื่ม 25 กรัม ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 60 วินาที หลังจากนั้นนำมาเจือจาง 4 ระดับ โดยเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ที่เตรียมไว้ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่เหมาะสมและแม่นยำ จึงต้องทำ ความเจือจางให้ลดลงทีละสิบเท่า (ten-fold dilution) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่แบ่งเป็น 4 ส่วน (ภาพที่ 3.1) แต่ละระดับความเจือจางจะทำการทดสอบบนอาหาร PCA จำนวน 2 จานเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน 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 log cfu/g (BAM, 2001)



ภาพที่ 3.1 การตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียทั้งหมดด้วยวิธีการ drop plate method

ที่มา : Downes and Ito (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

3.3.3 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนที่ปิดสนิท

3.3.3.1 เลือกสภาวะการแปรรูปเลือดเปิดต้มจากข้อมูลที่ได้ในการทดลองที่ 2

จากสภาวะการแปรรูปเลือดเปิดต้มจากข้อมูลที่ได้ในการทดลองที่ 2 คือ เลือดเปิดที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 40 จะถูกนำมาผสมกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 1 โดยมีปริมาตรทั้งหมด 150 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ในถุงทนร้อนที่มีความกว้าง 7 เซนติเมตร และความยาว 25 เซนติเมตร ปิดผนึกด้วยเครื่อง heat seal แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งจะถูกนำมาใช้เป็นชุดการทดลองควบคุมตลอดการทดลอง

3.3.3.2 ปรับปรุงคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

นำเลือดเปิดต้มจากข้อ 3.3.3.1 มาปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำโดยใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ที่บรรจุในถุงทนร้อน (nylon) ที่ปิดสนิทดังนี้

1) คาราจีแนน ผสมกับ โคล์สปีนแกม (อัตราส่วน 50:50 และ 60:40 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0)

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 40 จะถูกนำมาผสมกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 1 โดยที่สารละลายเกลื่อดังกล่าวประกอบไปด้วยโพแทสเซียมซัลเฟตร้อยละ 0.15 จากนั้นละลายคาราจีแนน ในสารละลายเกลือ (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) โดยจะต้องมีการปั่นกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง magnetic stirrer จนคาราจีแนน ละลายและค่อย ๆ ใส่โคล์สปีนแกมผสมให้เข้ากัน โดยใช้คาราจีแนน ต่อ โคล์สปีนแกมที่อัตราส่วน 50:50 และ 60:40 ที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ และตามด้วยขั้นตอนอื่น ๆ ในข้อ

3.3.3.1

2) เจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 40 จะถูกนำมาผสมกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 1 โดยที่สารละลายเกลื่อดังกล่าวประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลาตินที่มีความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0 ตามลำดับ นำเจลาตินมาละลายในสารละลายเกลือ (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) โดยจะต้องมีการปั่นกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง magnetic stirrer จนเจลาตินละลาย และตามด้วยขั้นตอนอื่น ๆ ในข้อ 3.3.3.1

3) อะการ์

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 40 จะถูกนำมาผสมกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 1 โดยที่สารละลายเกลือดังกล่าวประกอบไปด้วยอะการ์ที่มีความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0 ตามลำดับ โดยจะต้องต้มอะการ์ในสารละลายเกลือจนเดือด และตามด้วยขั้นตอนอื่น ๆ ในข้อ 3.3.3.1

4) เจลแลนกัม

ตัวอย่างเลือดเปิดที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 40 จะถูกนำมาผสมกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 1 โดยที่สารละลายเกลือดังกล่าวประกอบไปด้วยเจลแลนกัมที่มีความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 และ 2.0 ตามลำดับ นำเจลแลนกัมมาละลายในสารละลายเกลือ (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) โดยจะต้องมีการปั่นกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง magnetic stirrer จน เจลแลนกัมละลาย และตามด้วยขั้นตอนอื่น ๆ ในข้อ 3.3.3.1

3.3.3.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดต้มบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท

เลือดเปิดต้มที่จากข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 จะถูกนำมาทดสอบอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน และสุ่มมาตรวจวัดคุณภาพ ณ วันที่ 0, 3, 7, 9, 13, 15, 17, 21, 23, 27 และ 30 วัน โดยตรวจวัดคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (texture profile analysis, TPA)

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron Model 1011, Instron company, Thailand) โดยทำการตัดตัวอย่างเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2×2 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่างด้วยหัววัดแบบกด (compression) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน โดยกำหนดการวัดค่าของตัวอย่างจะถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงของตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างทดลอง จะทำการวัดค่าทั้งหมด 10 ครั้ง บันทึกค่าความแข็ง (hardness, N) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess, N) ค่าความยากในการเคี้ยว (chewiness, N) ค่าความยืดหยุ่น (springiness, ratio) และค่าการเกาะตัวกัน (cohesiveness, ratio) (Colmenero *et al.* 2004)

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC)

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

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

3) สีของเลือดเป็ดต้ม

ทำการประเมินคุณภาพทางด้านสีของเลือดเป็ดต้ม โดยตัดก้อนเลือดเป็ดต้มเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \times 2$ เซนติเมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่พอดีกับรูรับแสง (aperture size) ของเครื่องวัดสี ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 3 ครั้งและแสดงผลเป็นค่า L* (lightness), a* (redness) และ b* (yellowness) ในรูปแบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter MiniScan EZ 4000L (Hunter Lab Inc., Reston, VA, USA) ปรับเทียบค่าเครื่อง (calibrate) ด้วยแผ่นสีมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง

4) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ทำการตรวจวัดการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้ม โดยชั่งตัวอย่างเลือดเป็ดต้ม 25 กรัม ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 60 วินาที หลังจากนั้นนำมาเจือจาง 4 ระดับ โดยเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ที่เตรียมไว้ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่เหมาะสม และแม่นยำ จึงต้องทำความเจือจางให้ลดลงที่สิบเท่า (ten-fold dilution) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่แบ่งเป็น 4 ส่วน (ภาพที่ 11) แต่ละระดับความเจือจางจะทำการทดสอบบนอาหาร PCA จำนวน 2 จานเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน หลังจากนั้นนำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophile) ถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (thermophile)ให้นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และถ้าต้องการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

(psychrophile) ให้นำงานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกนับงานที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวน log cfu/g (BAM. 2001)

5) ปริมาณฮีมไอรอน (heme-iron)

ตรวจหาปริมาณฮีมไอรอนด้วยสารละลาย acidified acetone extraction ตามวิธีการของ Hornsey (1956) และ Clark *et al.* (1997). โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาตร 5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย acid-acetone ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย acidified acetone 16 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 3.6 มิลลิลิตร และ HCl 0.4 มิลลิลิตร โดยแบ่งสารละลาย acidified acetone ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำมา homogenized (T25 ultra turrax, Krackeler Scientific, USA.) ที่ความเร็วรอบ 13500 g เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นเติมสารละลาย acid-acetone ที่เหลืออีก 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร โดยสารละลายมาตรฐานที่ใช้ได้แก่ ฮีมาติน ($C_{33}H_{42}FeN_4O_3$) ที่ช่วงความเข้มข้น (0-50 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร) ความเข้มข้นของฮีมไอรอนในตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน และธาตุเหล็กที่เป็นส่วนประกอบในสารละลายมาตรฐานฮีมาตินซึ่งสามารถคำนวณได้จากแฟกเตอร์ 0.0882 ไมโครกรัมของธาตุเหล็ก/ไมโครกรัมของสารฮีมาติน (Merck, 1989) และรายงานผลในหน่วย ไมโครกรัม/กรัมของตัวอย่าง ($\mu\text{g/g sample}$)

6) ปริมาณนอนฮีมไอรอน (non-heme iron)

ตรวจหาปริมาณนอนฮีมไอรอนตามวิธีการของ Rebouche *et al.* (2004) โดยนำตัวอย่างเลือดผงปริมาตร 25 มิลลิกรัม นำมา homogenized ในน้ำกลั่น (deionized water) 1:10 w/v โดยใช้ glass-glass duall homogenizer ในการบดตัวอย่างและวางไว้บนน้ำแข็ง นำสารละลายที่ได้ปริมาตร 200 ไมโครลิตร มาทำการตกตะกอนโปรตีนด้วยการใส่สารละลายผสมระหว่าง HCl ที่ความเข้มข้น 1 N และ trichloroacetic acid ร้อยละ 10 (v/v) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในหลอด microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำส่วนของเหลวใสที่ได้ปริมาตร 250 ไมโครลิตร มาเติมสารละลายผสมระหว่าง chromogen solution ที่ประกอบด้วย 0.508 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ferrozine , 1.5 M sodium acetate และ thioglycolic acid ร้อยละ 0.1 (v/v) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร สารละลาย sample blank จะประกอบด้วยสารละลายส่วนใสของตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร และสารละลายผสมระหว่าง 1.5 M sodium acetate และ thioglycolic acid ร้อยละ 0.1 (v/v) หลังจากนั้นนำไปบ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร โดยที่กราฟแสดงสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe^{3+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วรายงานผลในหน่วย ไมโครกรัม/กรัมของตัวอย่าง ($\mu\text{g/g sample}$)

3.3.3.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

ทำการทดสอบความชอบ โดยให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน (trained panel) จำนวน 12 คน เป็นอาจารย์ และนักศึกษาระดับปริญญาโท โดษีการผลิตภัณฑ์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ด้านสี ลักษณะปรากฏโดยรวม ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม กลิ่นและรสชาติ ความรู้สึกในปาก และคุณภาพโดยรวม (Stone, 1992)

3.3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณลักษณะและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเลือดสัตว์

4.1.1 ค่าโลหิตวิทยาของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

จากผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่ามีจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) ในเลือดสุกรมีค่าสูงกว่าในเลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเลือดไก่ และเลือดเป็ด (1-2 นาที) แข็งตัวเร็วกว่าเลือดสุกร (3.5 นาที) (ยูทรีนา หมั่นดี, 2551) จึงทำให้เม็ดเลือดแดงบางส่วนแข็งตัวในระหว่างการเก็บตัวอย่างจึงส่งผลให้จำนวนเม็ดเลือดแดงในเลือดสุกรสูงกว่าเลือดไก่ และเลือดเป็ด ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) พบว่าในเลือดสุกร และเลือดเป็ดมีค่าสูงกว่าในเลือดไก่ ($p < 0.05$) ค่าเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (PCV) ในเลือดสุกรมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ เลือดเป็ด และเลือดไก่ตามลำดับ ($p < 0.05$) ปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (MCV) ในเลือดเป็ดมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่เลือดไก่ และเลือดสุกรตามลำดับ ($p < 0.05$) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (MCHC) มีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p > 0.05$) จำนวนเม็ดเลือดขาวโดยรวม (WBC) ในเลือดสุกรมีค่าไม่แตกต่างกับเลือดไก่ และเลือดเป็ด สำหรับลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงในเลือดสุกรมีรูปร่างกลม ส่วนลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงในเลือดเป็ด และเลือดไก่มีรูปร่างเป็นวงรี ซึ่งขนาดของเม็ดเลือดแดงในเลือดเป็ดมีความกว้าง และความยาวมากกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ในเลือดสัตว์ยังพบเม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ (ภาพที่ 4.2-4.4) ได้แก่ ลิมโฟไซต์ (lymphocyte) โมโนไซต์ (monocytes) อีโอซิโนฟิล (eosinophil) เบโซฟิล (basophil) และเกล็ดเลือดหรือทอมโบไซต์ (thrombocyte) ซึ่งพบว่าจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยรวมในเลือดไก่สูงกว่าในเลือดเป็ด ($p < 0.05$) จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ในเลือดสุกร และเลือดไก่มีค่าสูงกว่าในเลือดเป็ด ($p < 0.05$) จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ในเลือดสุกร และเลือดไก่มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ไม่พบในเลือดเป็ด ($p > 0.05$) จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดอีโอซิโนฟิลมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p > 0.05$) พบจำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิลในเลือดสุกร แต่ไม่พบในเลือดไก่ และเลือดเป็ด และพบจำนวนเกล็ดเลือดหรือทอมโบไซต์ในเลือดไก่ และเลือดเป็ดมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากการผลวิเคราะห์ในการทดลองนี้พบว่าจำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิลเป็นเม็ดเลือดที่มีจำนวนน้อยที่สุดในสัตว์ทุกชนิดมีประมาณร้อยละ 1 และสามารถสร้างสารเฮพาริน (heparin) ที่ช่วยยับยั้งการแข็งตัวของเลือดด้วย (ยูทรีนา หมั่นดี, 2551) อาจเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวที่ช้าของเลือดสุกร ทำให้ได้ค่าวิเคราะห์จำนวนเม็ดเลือดแดงในเลือดสุกรสูงกว่าเลือดไก่ และเลือดเป็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

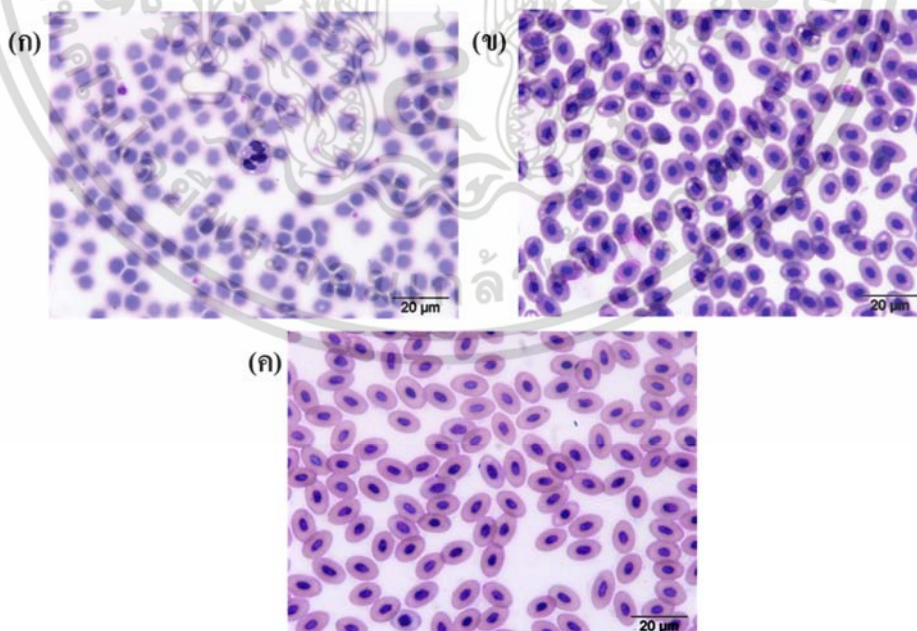
ตารางที่ 4.1 ค่าโลหิตวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

ค่าโลหิตวิทยา	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด
Red blood cell, RBC ($\times 10^6/\mu\text{l}$)	7.43 \pm 0.16 ^{a,†,‡}	2.11 \pm 0.11 ^b	1.98 \pm 0.23 ^b
Hemoglobin, Hb (g/dl)	13.00 \pm 0.14 ^a	7.20 \pm 1.70 ^b	11.10 \pm 1.56 ^a
Packed cell volume, PCV (%)	40.50 \pm 0.71 ^a	25.50 \pm 0.72 ^c	34.50 \pm 2.12 ^b
Mean corpuscular volume, MCV (fl)	56.30 \pm 1.84 ^c	121.38 \pm 9.47 ^b	174.77 \pm 9.26 ^a
Mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC (g/dl)	31.10 \pm 1.98 ^a	34.96 \pm 4.30 ^a	34.08 \pm 0.66 ^a
Red blood cell diameter (μm)	5.85 \pm 0.08	-	-
Red blood cell of width (μm)	-	7.12 \pm 0.17 ^b	7.78 \pm 0.63 ^a
Red blood cell of length (μm)	-	10.48 \pm 0.28 ^b	11.91 \pm 0.78 ^a
White blood cell, WBC ($\times 10^3/\mu\text{l}$)	24.53 \pm 1.90 ^b	46.50 \pm 1.06 ^a	2.44 \pm 1.50 ^c
-Lymphocyte (%)	42.85 \pm 10.25 ^a	51.50 \pm 2.12 ^a	21.00 \pm 2.83 ^b
-Monocyte (%)	2.95 \pm 1.48 ^a	1.50 \pm 2.12 ^a	ND [§]
-Eosinophil (%)	1.35 \pm 0.64 ^a	3.50 \pm 3.54 ^a	5.50 \pm 4.95 ^a
-Basophil (%)	0.50 \pm 0.00 ^a	ND	ND
Thrombocyte (%)	-	75.50 \pm 2.83 ^a	69.50 \pm 13.44 ^a

[†]ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[‡]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

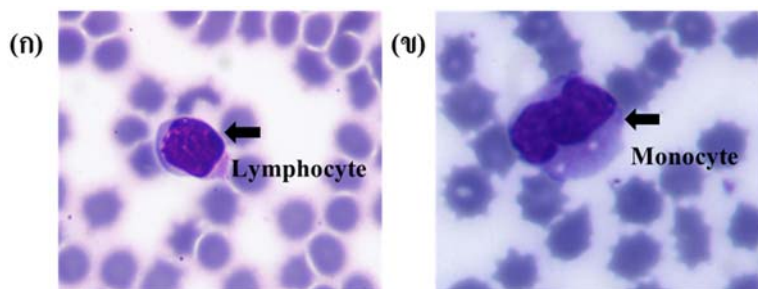
[§]ไม่สามารถตรวจพบได้



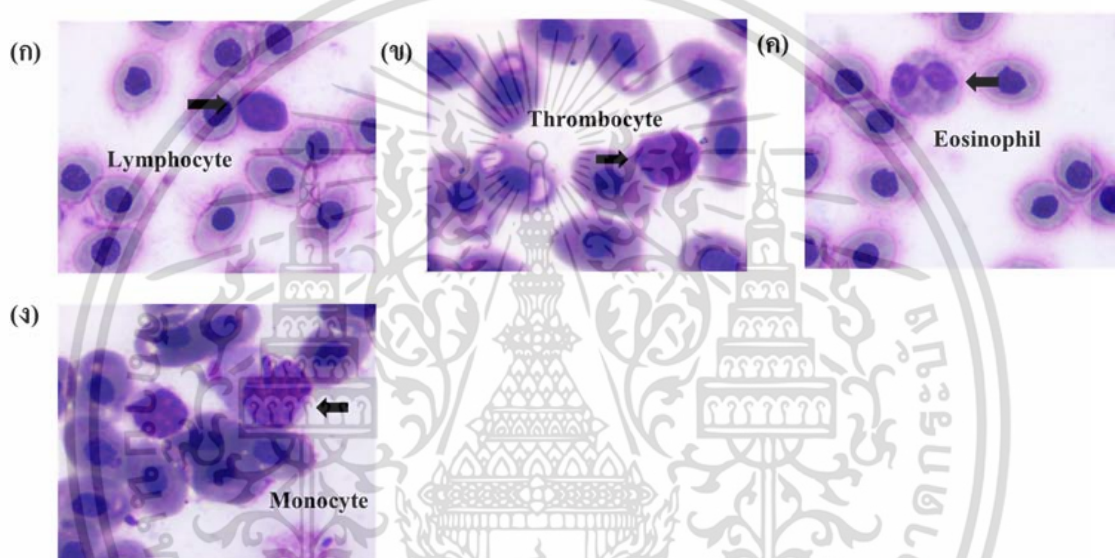
ภาพที่ 4.1 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดแดงของเลือดสุกรที่กำลังขยาย 100 เท่า (ก) เลือดไก่ (ข) และเลือด

เป็ด (ค)

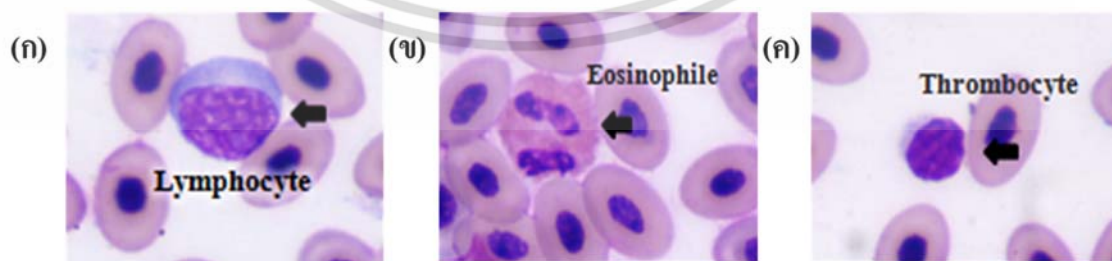
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวของเลือดสุกรที่กำลังขยาย 100 เท่า เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Lymphocyte (ก) และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Monocyte (ข)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวของเลือดไก่ที่กำลังขยาย 100 เท่า เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด Lymphocyte (ก) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Thrombocyte (ข) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Eosinophil (ค) และเซลล์เม็ดเลือดชนิด Monocyte (ง)



ภาพที่ 4.4 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวของเลือดเป็ดที่กำลังขยาย 100 เท่า เซลล์เม็ดเลือดชนิด Lymphocyte (ก) เซลล์เม็ดเลือดชนิด Eosinophil (ข) และเซลล์เม็ดเลือดชนิด Thrombocyte

(ค) เอกสารนี้เป็นเอกสาร วิจัยที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 โพรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือด

จากการวิเคราะห์ปริมาณ โพรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณ โพรตีนทั้งหมดในเลือดสุกรมี่ค่าสูงกว่าในเลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ปริมาณ ฮีโมโกลบินในเลือดสุกรมี่ค่าสูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดไก่ตามลำดับ ($p < 0.05$) ปริมาณโกลบูลินในเลือดสุกรมี่ปริมาณสูงกว่าในเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ปริมาณอัลบูมินในเลือดไก่ค่าสูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดสุกรมี่ตามลำดับ ($p < 0.05$) และปริมาณไฟบริโนเจนมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในเลือดสุกรมี่ เลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p > 0.05$) โพรตีนที่องค์ประกอบในน้ำเลือด คือ อัลบูมิน โกลบูลิน และไฟบริโนเจน เป็นโปรตีนที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ และการนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะอัลบูมินที่จะส่งผลต่อคุณภาพในด้านการเกิดเจล (นิธิยา รัตนาปานนท์, 2551) จากการวิเคราะห์โปรตีนจากเลือด สามารถพบอัลบูมินได้สูงที่สุดในเลือดไก่ ($p < 0.05$) ซึ่งจะส่งผลทำให้เลือดไก่เกิดเจลได้ดี ส่วนฮีโมโกลบินพบในเลือดสุกรมี่สูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดไก่ ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนฮีโมโกลบินมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดโดยจะทำให้โปรตีนอื่น ๆ เกิดการรวมตัวกันหรือตกตะกอนจึงส่งผลทำให้คุณภาพในการเกิดเจลได้ไม่ดีในเลือดสุกรมี่ (Zayas, 1997)

ตารางที่ 4.2 โพรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสุกรมี่ เลือดไก่ และเลือดเป็ด

โปรตีน (ร้อยละของน้ำเลือด)	เลือดสุกรมี่	เลือดไก่	เลือดเป็ด
โปรตีนทั้งหมด	17.64 ± 0.11 ^{a,†,‡}	16.37 ± 0.22 ^b	16.85 ± 0.13 ^b
ฮีโมโกลบิน	9.22 ± 0.16 ^a	7.14 ± 0.16 ^c	8.82 ± 0.02 ^b
โกลบูลิน	4.45 ± 0.21 ^a	4.02 ± 0.14 ^{ab}	3.64 ± 0.02 ^b
อัลบูมิน	3.48 ± 0.05 ^c	4.79 ± 0.09 ^a	3.92 ± 0.14 ^b
ไฟบริโนเจน	0.40 ± 0.00 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.00 ^a

^aค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[†]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเลือดสุกรมี่ เลือดไก่ และเลือดเป็ด

4.1.3.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (ร้อยละของน้ำหนักฐานแห้ง) ของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.3) พบว่าเลือดสุกรมี่โปรตีน และไขมันสูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดไก่ตามลำดับ ($p < 0.05$) ในเลือดไก่ และเลือดเป็ดมีเถ้าสูงกว่าในเลือดสุกรมี่ ($p < 0.05$) และในเลือดไก่มีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าในเลือดสุกรมี่ และในเลือดเป็ด ($p < 0.05$) จากรายงานของ Divakaran (1982) โดยทั่ว ๆ ไปองค์ประกอบของเลือดผ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้ง (blood meal) จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ (น้ำหนักสด) 75-83 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 0.8 ไขมันร้อยละ 1.2-1.6 ความชื้นร้อยละ 8-12 และมีเถ้าร้อยละ 3.8-5.6 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ ในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณ โปรตีนมากกว่า และมีปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าเป็นผล เนื่องมาจากการนำตัวอย่างมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) ซึ่งส่งผลให้ค่าองค์ประกอบทาง เคมีอื่น ๆ ในเลือดสูงขึ้น และนอกจากนี้ปริมาณเถ้าที่สูงเป็นผลเนื่องจากการเติมโซเดียมซิเตรทที่ใช้ใน การป้องกันการแข็งตัวของเลือด (Tybor *et al.* 1975)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ผ่านการทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง

องค์ประกอบ ทางเคมี	ตัวอย่างเลือดสัตว์ (% น้ำหนักฐานเปียก)			ตัวอย่างเลือดสัตว์ (% น้ำหนักฐานแห้ง)		
	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด
โปรตีน	89.02 ± 0.03 ^{a,†,‡}	85.85 ± 0.05 ^c	87.34 ± 0.11 ^b	90.97 ± 0.05 ^{A,§}	88.27 ± 0.04 ^C	89.70 ± 0.08 ^B
เถ้า	7.65 ± 0.08 ^b	9.66 ± 0.33 ^a	9.21 ± 0.16 ^a	7.81 ± 0.08 ^B	9.93 ± 0.34 ^A	9.45 ± 0.16 ^A
ไขมัน	0.84 ± 0.08 ^a	0.15 ± 0.06 ^c	0.42 ± 0.04 ^b	0.86 ± 0.09 ^A	0.15 ± 0.06 ^C	0.43 ± 0.04 ^B
คาร์โบไฮเดรต	0.35 ± 0.11 ^b	1.60 ± 0.35 ^a	0.40 ± 0.28 ^b	0.36 ± 0.12 ^B	1.65 ± 0.36 ^A	0.41 ± 0.29 ^B
ความชื้น	2.15 ± 0.02 ^c	2.75 ± 0.01 ^a	2.64 ± 0.03 ^b	-	-	-

^aค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[†]ตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[‡]ตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.3.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ

จากการวิเคราะห์กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการ ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.4) พบว่าในเลือดสัตว์ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (Leu, Lys, Val, His, Phe, Tyr, Thr, และ Ile) และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Asp, Glu, Ala, Arg, Ser, Gly และ Pro) โดยในเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดมีส่วนของมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อกรดอะมิโนที่ ไม่จำเป็นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และจากการเปรียบเทียบปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในเลือด สัตว์ พบว่าสุกรเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนที่จำเป็น Leu, Val และ His และมีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น Asp, Ser, Gly และ Pro ในปริมาณที่สูงกว่าในเลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) เลือดไก่เป็นแหล่งที่ดี ของกรดอะมิโนที่จำเป็น Tyr และ Thr และมีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น Arg ในปริมาณที่สูงกว่าในเลือด สุกร และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ส่วนเลือดเป็ดเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนที่จำเป็น Lys และ Ile ใน ปริมาณสูงเทียบเท่ากับเลือดสุกร และเลือดไก่ตามลำดับ ($p > 0.05$) และมีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น Ala ในปริมาณที่สูงเทียบเท่ากับเลือดสุกร ($p > 0.05$) นอกจากนี้ในเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดยังเป็นแหล่งที่ดีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่มีการนำใบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดอะมิโน Glu และ Phe ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Nimalaratne *et al.* (2011) ที่ศึกษาองค์ประกอบของกรดอะมิโนในไข่แดง พบว่าไข่แดงมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นเท่ากับ 1.92 เมื่อนำมาเทียบกับเลือดสัตว์แล้วจะเห็นได้ว่าไข่แดงมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นสูงกว่าในเลือด เนื่องจากไข่แดงจัดเป็นอาหารประเภทโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกชนิด แต่ในเลือดสัตว์ยังขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด เช่น methionine (16 mg/g protein) และ isoleucine (30 mg/g protein) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่แนะนำโดย FAO

ตารางที่ 4.4 กรดอะมิโนที่พบในเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง

กรดอะมิโน (mg/g protein)	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด	FAO [§]
กรดอะมิโนที่จำเป็น				
Leucine	116.3 ± 0.21 ^{a,†,‡}	94.7 ± 0.11 ^b	89.3 ± 0.09 ^c	59
Lysine	86.1 ± 0.09 ^a	76.0 ± 0.44 ^b	82.2 ± 0.27 ^a	45
Valine	72.4 ± 0.39 ^a	52.9 ± 0.28 ^b	53.2 ± 0.31 ^b	39
Histidine	57.8 ± 0.23 ^a	48.0 ± 0.25 ^b	45.5 ± 0.12 ^b	15
Phenylalanine	57.5 ± 0.25 ^a	56.0 ± 0.42 ^a	53.2 ± 0.16 ^a	30 (Phe + Tyr)
Tyrosine	25.8 ± 0.04 ^b	31.4 ± 0.21 ^a	28.4 ± 0.15 ^b	
Threonine	36.3 ± 0.03 ^c	49.2 ± 0.1 ^a	40.8 ± 0.04 ^b	23
Isoleucine	10.3 ± 0.07 ^b	30.6 ± 0.15 ^a	27.5 ± 0.17 ^a	30
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น				
Aspartic acid	111.2 ± 0.19 ^a	79.0 ± 0.25 ^b	82.1 ± 0.2 ^b	-
Glutamic acid	95.9 ± 0.15 ^a	97.4 ± 0.26 ^a	98.2 ± 0.22 ^a	-
Alanine	71.5 ± 0.04 ^a	67.5 ± 0.11 ^b	72.8 ± 0.08 ^a	-
Arginine	43.0 ± 0.09 ^c	52.8 ± 0.21 ^a	47.9 ± 0.07 ^b	-
Serine	46.1 ± 0.03 ^a	41.2 ± 0.11 ^b	35.2 ± 0.1 ^c	-
Glycine	40.6 ± 0.13 ^a	35.6 ± 0.12 ^b	32.8 ± 0.06 ^b	-
Proline	36.9 ± 0.03 ^a	35.7 ± 0.05 ^b	31.2 ± 0.04 ^c	-
สัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็น : ไม่จำเป็น	1.04 ± 0.03 ^a	1.07 ± 0.01 ^a	1.05 ± 0.02 ^a	-

[†]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[‡]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

[§]ที่มา : FAO/WHO/UNU. (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.3 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

จากผลการวิเคราะห์แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.5) พบว่าในเลือดไก่มีธาตุสังกะสี (Zn) สูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดสุกรตามลำดับ ($p < 0.05$) และมีธาตุเหล็ก (Fe) ไม่แตกต่างกันกับเลือดเป็ด ($p > 0.05$) แต่พบสูงกว่าในเลือดสุกร ($p < 0.05$) ในเลือดเป็ดมีธาตุแมงกานีส (Mn) สูงที่สุด และมีธาตุโครเมียม (Cr) ไม่แตกต่างกันกับเลือดสุกร และเลือดไก่ ($p > 0.05$) ส่วนในเลือดสุกรมีธาตุทองแดง (Cu) สูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดไก่ และเลือดเป็ดตามลำดับ ($p < 0.05$) และมีธาตุโครเมียมสูงกว่าในเลือดไก่ ($p < 0.05$) จากผลการวิเคราะห์จะสังเกตเห็นได้ว่าโปรตีนจากเลือดถือได้ว่าเป็นโปรตีนที่มีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็น ซึ่งตรงกับความต้องการของกระบวนที่สำคัญทางเทคโนโลยีชีวภาพ เนื่องจากธาตุเหล็กจำเป็นต่อร่างกายเป็นอย่างยิ่งมีบทบาทที่สำคัญในการขนส่งก๊าซต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในฮีโมโกลบิน และยังมีเป็นส่วนประกอบของปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่สำคัญภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต ธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบของเอนไซม์ ซึ่งก่อให้เกิดการสังเคราะห์เพื่อความหลากหลายในปฏิกิริยาทางชีวภาพ ธาตุทองแดงมีบทบาทในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และมีหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการเผาผลาญภายในเซลล์ ธาตุแมงกานีสเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ และการสลายปฏิกิริยาทางชีวภาพ และธาตุโครเมียมเป็นส่วนประกอบในระบบของเอนไซม์ (Harrington *et al.* 2014)

ตารางที่ 4.5 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

แร่ธาตุ (mg/kg dry weight)	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด
Fe	1490.14 ± 38.14 ^{b,†,‡}	1816.62 ± 10.19 ^a	1803.06 ± 55.88 ^a
Zn	33.26 ± 0.11 ^c	42.53 ± 0.38 ^a	41.50 ± 0.31 ^b
Cu	36.71 ± 0.62 ^a	26.32 ± 0.30 ^b	20.74 ± 0.29 ^c
Mn	3.33 ± 0.03 ^b	2.89 ± 0.09 ^b	49.75 ± 0.49 ^a
Cr	1.07 ± 0.01 ^a	0.61 ± 0.02 ^c	0.78 ± 0.02 ^b

†ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

‡ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.3.4 ปริมาณฮีโมโกลบินและนอฮีโมโกลบิน

จากการเปรียบเทียบปริมาณฮีโมโกลบินและนอฮีโมโกลบินของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.6) พบว่าในเลือดเป็ดมีปริมาณฮีโมโกลบินไม่แตกต่างกับเลือดสุกร ($p > 0.05$) ซึ่งปริมาณฮีโมโกลบินจากการทดลองนี้สอดคล้องกับผลทางด้านค่าโลหิตวิทยา และความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และยังพบว่าในเลือดสุกรมีร้อยละของฮีโมโกลบินสูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดไก่ตามลำดับ ($p < 0.05$) ส่วนในเลือดไก่มีปริมาณนอฮีโมโกลบินสูงที่สุด รองลงมาพบได้ในเลือดเป็ด และเลือดสุกรตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นข้อดีของเลือดเป็ดเพราะฮีโมโกลบินสามารถละลายน้ำได้ และร่างกายดูดซึมฮีโมโกลบินได้ดีกว่าฮีโมโกลบินจากงานวิจัยของ Kongkachuichai *et al.* (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณฮีโมโกลบินและนอฮีโมโกลบินที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ของประเทศไทย พบว่าเลือดสัตว์เป็นแหล่งของฮีโมโกลบินที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนเนื้อ และเครื่องในอื่น ๆ โดยพบปริมาณฮีโมโกลบินในเลือดสุกรต้ม และเลือดไก่ต้มประมาณ 900-1,540 ไมโครกรัม/กรัมของวัตถุแห้ง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณฮีโมโกลบินและนอฮีโมโกลบินของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ธาตุเหล็ก ($\mu\text{g/g dry weight}$)	เลือดสุกร	เลือดไก่	เลือดเป็ด
ฮีโมโกลบิน	$832.46 \pm 39.99^{a,†,‡}$	526.23 ± 39.18^b	833.05 ± 59.82^a
นอฮีโมโกลบิน	645.99 ± 11.04^c	1276.49 ± 35.66^a	943.21 ± 163.09^b
ฮีโมโกลบิน (%)	56.13 ± 1.34^a	29.19 ± 2.11^c	47.14 ± 6.07^b

[†]ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[‡]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.4.5 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อน (ตารางที่ 4.7) พบว่าเลือดไก่ และเลือดเป็ดมีช่วงอุณหภูมิในการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนสูงกว่าเลือดสุกร ($p < 0.05$) โดยเลือดไก่จะเริ่มเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 ± 0.01 องศาเซลเซียส และอีกครั้งที่อุณหภูมิ 99.85 ± 0.04 องศาเซลเซียส โดยเลือดเป็ดจะเริ่มเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30.8 ± 0.05 องศาเซลเซียส และอีกครั้งที่อุณหภูมิ 98 ± 0.04 องศาเซลเซียส และเลือดสุกรจะเริ่มเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิ 27.2 ± 0.02 องศาเซลเซียส และอีกครั้งที่อุณหภูมิ 93.3 ± 0.02 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิต่ำช่วงแรกเป็นขั้นตอนของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกตะกอน โปรตีน หลังจากนั้นการเสียดสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงที่สองโมเลกุลของโปรตีนจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันมากขึ้นจึงนำไปสู่การเกิดเป็นโครงข่ายเจล (Álvarez *et al.* 2012) จากงานวิจัยของ Dávila *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิค DSC ในน้ำเลือดของสุกร พบว่าน้ำเลือดจะมีช่วงอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนเกิดการเสียดสภาพธรรมชาติอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเสียดสภาพธรรมชาตินี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเลือด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองในครั้งนี้ที่ใช้ตัวอย่างเลือดสัตว์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเสียดสภาพธรรมชาติมีอุณหภูมิสูงกว่างานวิจัยของ Dávila โดยมีอุณหภูมิประมาณ 93-100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยของ Dávila ในตัวอย่างมีปริมาณน้ำสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้ (เลือดผง) ซึ่งปริมาณน้ำในตัวอย่างจะช่วยนำความร้อนทำให้ตัวอย่างการเสียดสภาพธรรมชาติได้ง่าย

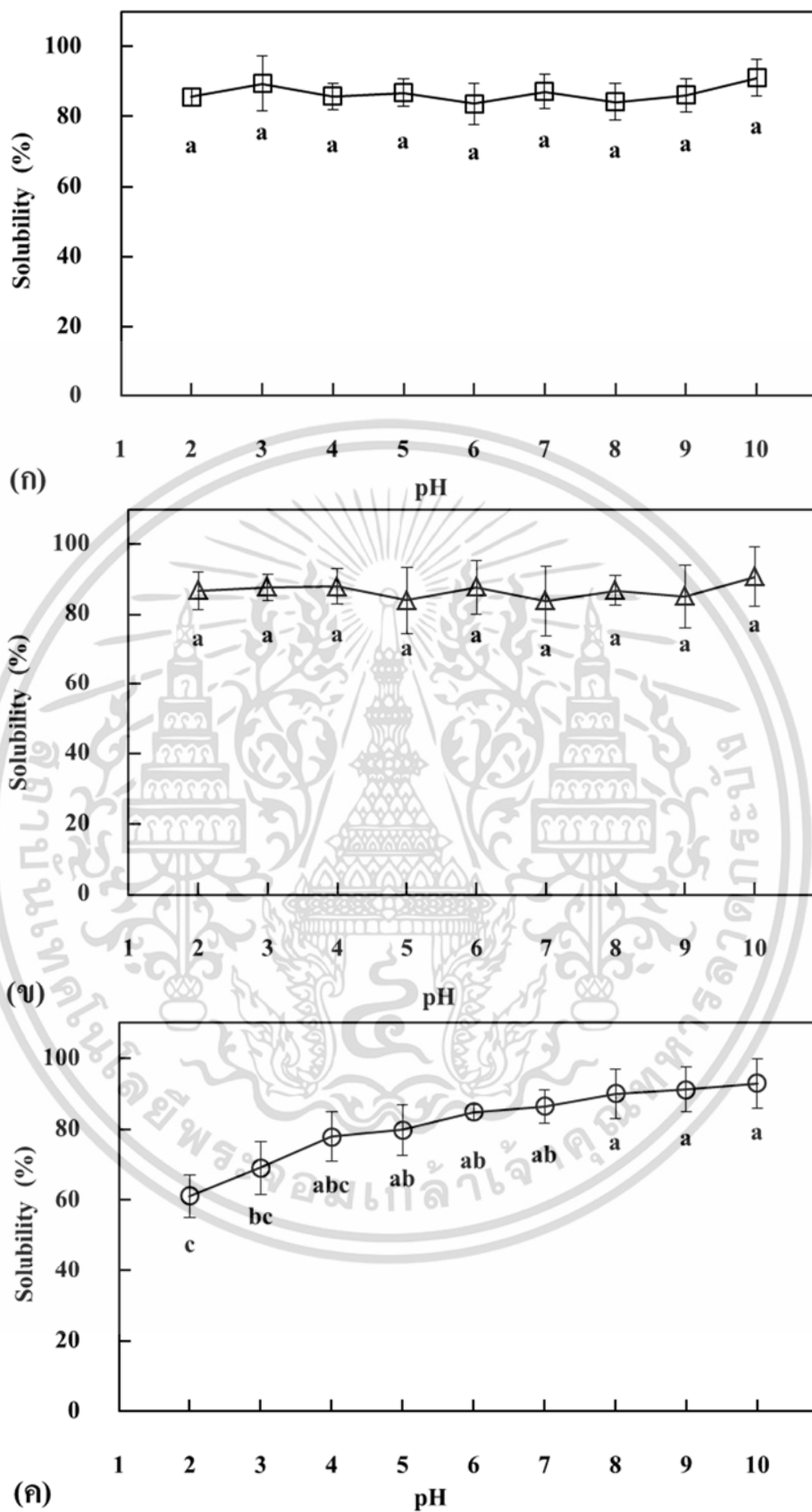
ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

ตัวอย่างเลือดสัตว์	อุณหภูมิเริ่มต้น	อุณหภูมิ
	ในการเสียดสภาพธรรมชาติ (°C)	ในการเสียดสภาพธรรมชาติ (°C)
เลือดสุกร	27.20 ± 0.02 ^b	93.30 ± 0.02 ^b
เลือดไก่	30.00 ± 0.01 ^a	99.85 ± 0.04 ^a
เลือดเป็ด	30.8 ± 0.05 ^a	98.00 ± 0.04 ^a

4.1.5 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด

4.1.5.1 การละลาย

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการละลายของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพที่ 4.6 พบว่าเลือดสุกร และเลือดไก่มีความสามารถในการละลายได้ดีที่ค่า pH ตั้งแต่ 2-10 โดยมีการละลายระหว่างค่า pH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ส่วนเลือดเป็ดมีความสามารถในการละลายได้ดีที่ค่า pH มากกว่า 7 ($p < 0.05$) และเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเลือดสัตว์จะเห็นได้ว่าเลือดสุกร และเลือดไก่ (85-90%) มีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าเลือดเป็ด (60-90%) ทั้งนี้เมื่อนำค่าการละลายของเลือดสัตว์ในการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับค่าการละลายของเนื้อสัตว์ พบว่าเนื้อสัตว์มีความสามารถในการละลายได้ประมาณร้อยละ 50 แสดงว่าเลือดสัตว์มีคุณสมบัติในด้านการละลายที่ดีซึ่งจะนำไปสู่ความสามารถในการพัฒนาสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านอื่น ๆ ได้ เช่น การเกิดเจล การเกิดโฟม และการเป็นอิมัลชัน (Zayas, 1997)



ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของโปรตีนจากเลือดสุกร (ก) เลือดไก่ (ข) และเลือดเป็ด (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

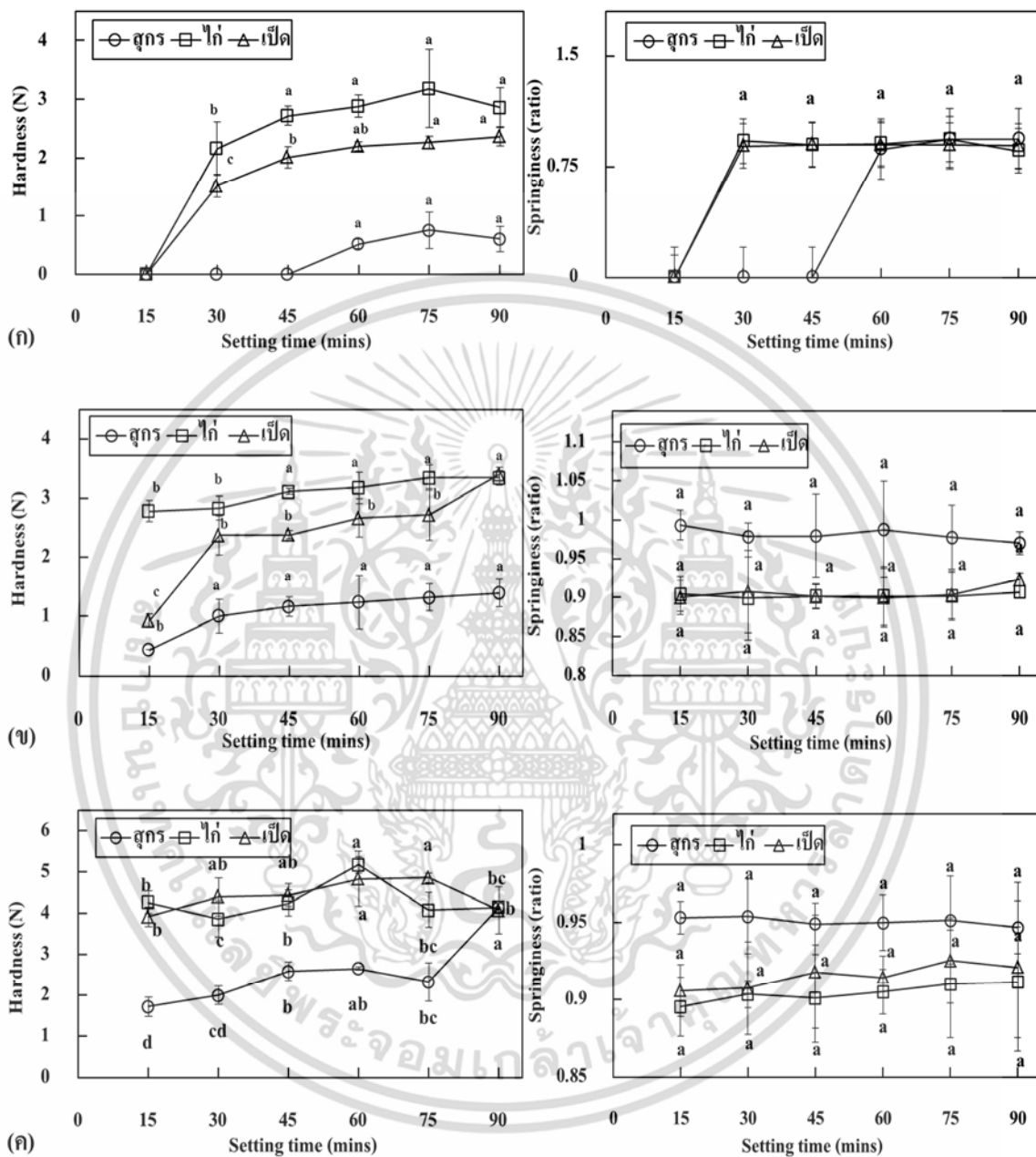
4.1.5.2 การเกิดเจล

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดเจลของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15, 30, 45, 60, 15 และ 90 นาที ตามลำดับ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.6 ก) ในด้านความแข็งแรงพบว่าเลือดสุกรจะเริ่มเกิดเป็นเจลที่เวลา 45 นาที เลือดไก่ และเลือดเป็ดจะเริ่มเป็นเกิดเจลที่เวลา 30 นาที โดยที่เลือดสุกร และเลือดเป็ดจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 60 นาที ส่วนเลือดไก่จะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 45 นาที ($p < 0.05$) และในด้านความยืดหยุ่น พบว่าความสามารถในการเกิดเจลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทุกช่วงเวลา (15-90 นาที) เลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.6 ข) ในด้านความแข็งแรงพบว่าเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดเริ่มเกิดเป็นเจลที่เวลา 15 นาที โดยเลือดสุกรจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 30 นาที เลือดไก่จะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 45 นาที และเลือดเป็ดจะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 90 นาที ($p < 0.05$) และในด้านความยืดหยุ่น พบว่าความสามารถในการเกิดเจลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทุกช่วงเวลา (15-90 นาที) เลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.6 ค) ในด้านความแข็งแรงพบว่าเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดเริ่มเกิดเจลที่เวลา 15 นาที โดยเลือดสุกรจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 90 นาที เลือดไก่จะมีความแข็งแรงมากที่สุดที่เวลา 60 นาที และเลือดเป็ดจะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่เวลา 30-75 นาที ($p < 0.05$) และในด้านความยืดหยุ่นพบว่า ความสามารถในการเกิดเจลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทุกช่วงเวลา (15-90 นาที) เลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เมื่อนำผลการวิเคราะห์หามาเปรียบเทียบระหว่างเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้เลือดไก่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาได้แก่ เลือดเป็ด และเลือดสุกร ตามลำดับ ($p < 0.05$) แต่สำหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเลือดเป็ดสามารถพัฒนาเกิดเป็นเจลที่มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับเลือดไก่ได้ ส่วนเลือดสุกรถึงแม้ว่าจะมีค่าความแข็งแรงต่ำแต่การเพิ่มอุณหภูมิ และระยะเวลาให้มากขึ้นจะส่งผลให้เลือดสุกรมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ และถึงแม้ว่าเลือดสุกรจะมีค่าความสามารถในการเกิดเจลด้านความแข็งแรงต่ำที่สุดทุกช่วงอุณหภูมิ แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส กลับพบว่าเลือดสุกรมีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าเลือดไก่ และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ที่พบว่าเลือดไก่มีองค์ประกอบของโปรตีนอัลบูมินในปริมาณสูง และโปรตีนฮีโมโกลบิน

ในปริมาณต่ำจึงทำให้เลือดไก่มีความสามารถในการเกิดเจลที่มีคุณภาพดี และเลือดสุกรมีองค์ประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโปรตีนอัลบูมินต่ำ แต่มีโปรตีนฮีโมโกลบินในปริมาณสูงจึงส่งผลให้เลือดสุกรมี่ความสามารถในการเกิดเจลได้ไม่ดี

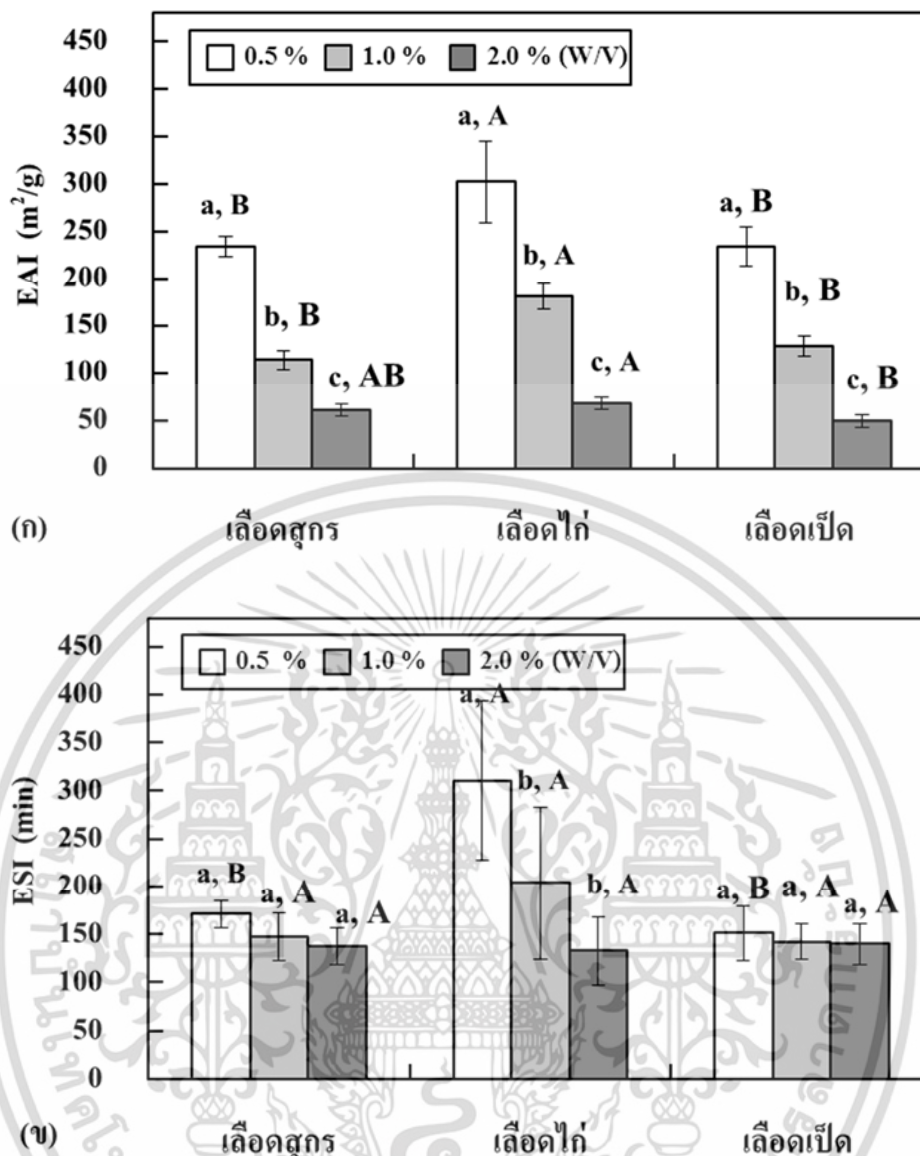


ภาพที่ 4.6 ความสามารถในการเกิดเจลโปรตีนองเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ก) อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.3 การเป็นอิมัลชัน

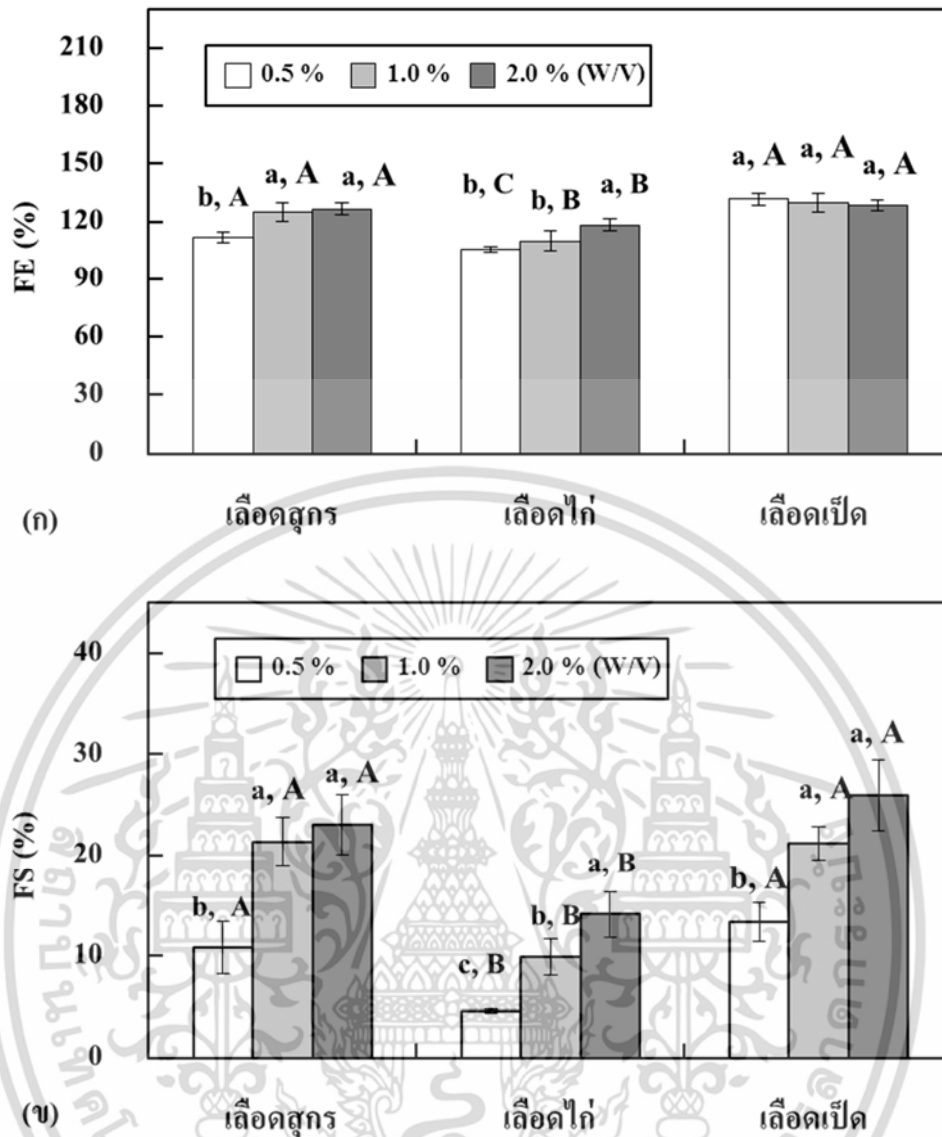
จากการเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (EAI) ของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง (ภาพที่ 4.7 ก) พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันลดต่ำลง ($p < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเลือดสัตว์ พบว่าเลือดไก่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้สูงที่สุดทุกระดับความเข้มข้น ($p < 0.05$) เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตีนที่ระดับต่ำสามารถทำให้เกิดอิมัลชันของโปรตีนได้ดี Lawal *et al.* (2007) อธิบายว่าเนื่องจากโมเลกุลโปรตีนที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ นั้น สามารถเคลื่อนตัว และถูกดูดซับบริเวณผิวหน้าของน้ำมันได้ดีกว่าโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนตัว และการถูกดูดซับของโปรตีนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วยเช่นกัน และการเปรียบเทียบค่าความคงตัวของอิมัลชัน (ESI) ของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นโปรตีนเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง (ภาพที่ 4.7 ข) พบว่าระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าความคงตัวของอิมัลชันของเลือดสุกร และเลือดเป็ด ($p > 0.05$) แต่จะส่งผลต่อค่าความคงตัวของอิมัลชันของเลือดไก่ โดยเมื่อความเข้มข้นของเลือดไก่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคงตัวของอิมัลชันลดลง ($p < 0.05$) และจากการเปรียบเทียบระหว่างชนิด พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง เลือดไก่มีค่าความคงตัวของอิมัลชันสูงกว่าในเลือดสุกร และเลือดเป็ด ($p < 0.05$) ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง เลือดทั้ง 3 ชนิด มีค่าความคงตัวของอิมัลชันไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อนำเลือดสัตว์มาเปรียบเทียบกับโปรตีนอื่น ๆ พบว่าเลือดสัตว์มีความสามารถเป็นอิมัลชันที่ดีรองจากโปรตีนในนม แต่มีความสามารถเป็นอิมัลชันได้ดีมากกว่าโปรตีนในถั่วเหลือง (Ockerman and Hansen, 2000) และคุณสมบัติในการเป็นอิมัลชันที่ดีของเลือดสัตว์สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำไส้กรอกได้ เนื่องจากโปรตีนในเลือดมีความสามารถในการยึดจับกับน้ำ และไขมัน ได้ดีทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ได้มีความคงตัวและอุ้มน้ำได้ดีมากขึ้น (Hurtado *et al.* 2011)



ภาพที่ 4.7 ความสามารถในการเป็นอิมัลชัน EAI (ก) และความคงตัวของอิมัลชัน ESI (ข) จากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด (a, b, c ตัวพิมพ์เล็ก คือค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเลือดสัตว์เดียวกัน และ A, B, C ตัวพิมพ์ใหญ่ คือค่าความแตกต่างระหว่างชนิดของเลือดสัตว์ที่ระดับความเข้มข้นเลือดเท่ากัน)

4.1.5.4 การเกิดโฟม

จากการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการเกิดโฟม (FE) ของเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ดที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง (ภาพที่ 4.8) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเลือดสุกร และเลือดไก่ จะส่งผลต่อค่าความสามารถในการเกิดโฟม โดยเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ยกเว้นเลือดเป็ดเนื่องจากระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลต่อค่าความสามารถในการเกิดโฟม ($p > 0.05$) สำหรับค่าความคงตัวของโฟม (FS) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิด จะส่งผลต่อค่าความคงตัวของโฟม โดยเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความคงตัวของโฟมเพิ่มสูงขึ้นด้วย ($p < 0.05$) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างชนิดพบว่าเลือดสุกร และเลือดเป็ดมีความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงกว่าเลือดไก่ ($p < 0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความคงตัวของโฟมเกิดจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้ให้สูงขึ้นเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในระบบจะทำให้ฟองอากาศที่ได้มีความแข็งแรงเนื่องจากฟิล์มโปรตีนที่ห่อหุ้มฟองอากาศมีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งจะทำให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีความคงตัวที่ดี (Phillips *et al.* 1994) ซึ่งผลจากการศึกษาขัดแย้งกับงานวิจัยของ Shilpashree *et al.* (2015) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติในการเกิด โฟมของโปรตีนเคซีน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามค่าความคงตัวของโฟมลดลง และจากงานวิจัยของ Chen and kuo (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติในการเกิดโฟมของโปรตีนในไข่ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนจากไข่มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความคงตัวของโฟมของโปรตีนจากไข่มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม Ockerman and Hansen (2000) พบว่าเลือดสัตว์มีความสามารถในการเกิดโฟม และมีความคงตัวของโฟมได้ดีเทียบเท่ากับโปรตีนจากนม และไข่ ซึ่งคุณสมบัติในการเกิดโฟมที่ดีของเลือดสัตว์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ ซึ่งโปรตีนจากเลือดจะช่วยทำให้ขนมปังขึ้นฟูได้ดี และช่วยเพิ่มสีน้ำตาลให้กับขนมปัง (Furlán *et al.* 2015)



ภาพที่ 4.8 ความสามารถในการเกิดโฟม FE (ก) และความคงตัวของโฟม FS (ข) ของโปรตีนจากเลือดสุกร เลือดไก่ และเลือดเป็ด (a, b, c ตัวพิมพ์เล็ก คือค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเลือดสัตว์เดียวกัน และ A, B, C ตัวพิมพ์ใหญ่ คือค่าความแตกต่างระหว่างชนิดของเลือดสัตว์ที่ระดับความเข้มข้นเลือดเท่ากัน)

4.2 การศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนจากเลือดเป็ด

4.2.1 ผลของความเข้มข้นเลือดต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม

จากการศึกษาลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเลือดเป็ดต้มที่เตรียมจากความเข้มข้นเลือดที่แตกต่างกัน พบว่า การปรับระดับความเข้มข้นเลือดให้สูงขึ้น สามารถเพิ่มค่าความแข็ง ค่าการเกาะรวมตัวกัน และค่าการเกี่ยวได้ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากการปรับระดับความเข้มข้นของเลือดทำให้ระดับความเข้มข้นโปรตีนในเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งความสามารถในการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนที่เหมาะสมของความเข้มข้นโปรตีน ถ้ามีสัดส่วนของความเข้มข้นโปรตีนต่ำโปรตีนจะไม่สามารถรวมตัวกันเป็นโครงสร้างและเกิดเจลได้ แต่ถ้ามีปริมาณความเข้มข้นโปรตีนสูงโปรตีนจะมีความสามารถในการเกิดเจลสูงและได้เจลที่แข็งแรง (Ferry, 1948) ดังเช่นในภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าก้อนเลือดดูแข็งมากที่ระดับความเข้มข้นโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น

ในด้านความสามารถของการอุ้มน้ำ (WHC) ผลแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเลือดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 85 (v/v) พบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudate) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 55-75 (v/v) ทั้งนี้การลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด แสดงให้เห็นว่าก้อนเลือดมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเลือดเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีน ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของโปรตีนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนภายในก้อนเลือด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มของกรดอะมิโนที่มีขั้วจะทำพันธะกับโมเลกุลของน้ำและพันธะในการจับกับโมเลกุลของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นถ้าปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้น (Zayas, 1997)

ผลคุณภาพทางด้านสี พบว่า ระดับความเข้มข้นเลือดไม่ส่งผลต่อค่าสีของเลือดเป็ดต้ม ($p > 0.05$) อาจจะเป็นไปได้ว่าในเลือดมีสัดส่วนของฮีโมโกลบินมากอยู่แล้ว ซึ่งในการเจือจางระดับความเข้มข้นของเลือดนั้นทำให้ค่าไม่ต่างกัน สำหรับจำนวนจุลินทรีย์ของเลือดเป็ดหลังต้ม แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือดจะพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเลือดเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (Foegeding *et al.* 1995) อย่างไรก็ตามในการทดลองผู้วิจัยไม่สามารถทำการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ได้ในทันที ได้มีการนำไปเก็บรักษาโดยการแช่เย็นในตู้เย็นเป็นเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง จึงเป็นไปได้ว่าจำนวนจุลินทรีย์อาจเจริญในระหว่างรอการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.8 คุณภาพของเลือดเปิดดื่มที่เตรียมจากความเข้มข้นเลือดที่แตกต่างกัน

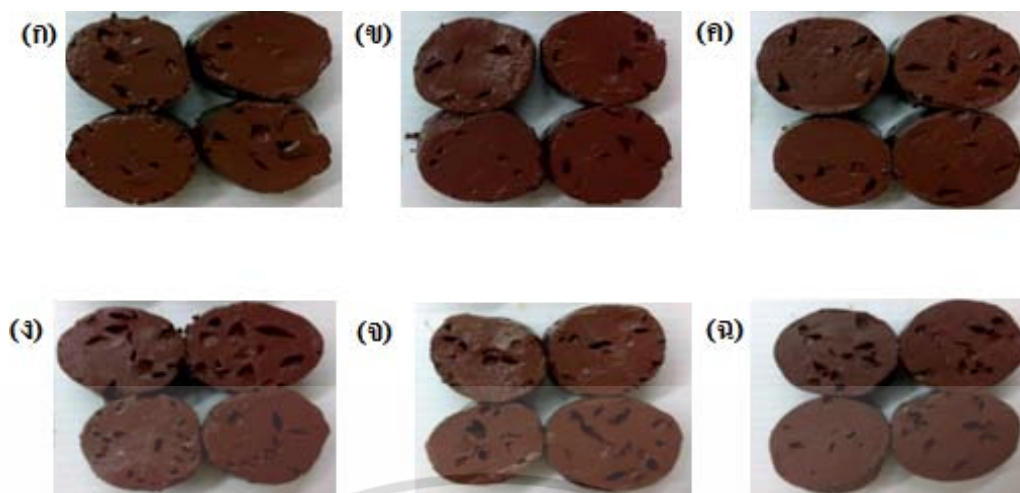
คุณภาพ เลือดเปิดดื่ม	ระดับความเข้มข้นเลือด (v/v)					
	ร้อยละ 55	ร้อยละ 60	ร้อยละ 65 [†]	ร้อยละ 75	ร้อยละ 85	ร้อยละ 100
ลักษณะเนื้อสัมผัส						
-ความแข็ง (N)	2.04 ± 0.13 ^{c,‡,§}	2.44 ± 0.22 ^c	4.15 ± 1.12 ^d	5.88 ± 0.11 ^c	8.35 ± 0.13 ^b	12.49 ± 0.34 ^a
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	1.32 ± 0.10 ^c	1.57 ± 0.13 ^c	2.32 ± 0.63 ^d	3.60 ± 0.08 ^c	4.22 ± 0.54 ^b	7.82 ± 0.19 ^a
-การเคี้ยวได้ (N)	1.30 ± 0.07 ^d	1.52 ± 0.13 ^d	2.13 ± 0.82 ^c	3.24 ± 0.86 ^b	3.77 ± 0.69 ^b	6.37 ± 0.25 ^a
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.98 ± 0.11 ^a	0.96 ± 0.15 ^a	0.91 ± 0.12 ^{ab}	0.90 ± 0.23 ^{ab}	0.89 ± 0.09 ^{ab}	0.81 ± 0.03 ^b
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.64 ± 0.01 ^a	0.64 ± 0.01 ^a	0.63 ± 0.01 ^a	0.62 ± 0.01 ^a	0.62 ± 0.03 ^a	0.63 ± 0.01 ^a
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือด (%)	41.70 ± 0.64 ^a	39.30 ± 0.02 ^a	44.90 ± 5.30 ^a	37.07 ± 0.76 ^{ab}	27.10 ± 2.18 ^b	26.49 ± 8.73 ^b
สี						
-ความสว่าง (L* value)	29.89 ± 0.69 ^a	30.42 ± 0.75 ^a	29.87 ± 1.20 ^a	28.46 ± 0.34 ^a	27.88 ± 1.93 ^a	27.80 ± 1.05 ^a
-สีแดง (a* value)	12.20 ± 0.98 ^a	12.98 ± 0.18 ^a	11.83 ± 0.06 ^a	11.78 ± 0.02 ^a	13.44 ± 1.02 ^a	12.54 ± 1.46 ^a
-สีเหลือง (b* value)	16.38 ± 0.08 ^a	16.52 ± 0.17 ^a	16.42 ± 0.30 ^a	15.65 ± 0.43 ^a	16.15 ± 0.30 ^a	15.68 ± 0.76 ^a
จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)	ND [*]	ND	ND	ND	2.52 ± 0.03	2.65 ± 0.08

[†]ชุดการทดลองควบคุม

[‡]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[§]ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

* ND คือ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นเลือดที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะปรากฏของเลือดเปิดต้มความเข้มข้นเลือดร้อยละ 55 (ก) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ข) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ (control) 65 (ค) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 75 (ง) ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 85 (จ) และความเข้มข้นเลือดร้อยละ 100 (ฉ)

4.2.2 ผลของความเข้มข้นเกลือ (NaCl) ต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

จากผลการศึกษาด้านเนื้อสัมผัสของระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกัน 6 ระดับที่ 0.0273, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 M ตามลำดับ พบว่าการปรับระดับความเข้มข้นเกลือให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าการเกาะรวมตัวกันและค่าการเคี้ยวได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 อาจเป็นไปได้ว่าการเติมเกลือที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น จะส่งผลขัดขวางการเกิดเจลโปรตีนของเลือดเปิดซึ่งกลไกยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัด

ในด้านความสามารถของการอุ้มน้ำ ผลแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกลือมากกว่า 0.6 M พบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้การลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด แสดงให้เห็นว่าก้อนเลือดมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเกลือจะทำให้ลักษณะปรากฏของเลือดต้มมีรูพรุนลดลง เจลมีเนื้อสัมผัสเนียนขึ้นดังภาพที่ 4.10 ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของก้อนเลือดเพิ่มขึ้น ผลของรูพรุนที่ลดลงอาจเป็นเพราะการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือทำให้ภายในก้อนเลือดมีค่าความดันออสโมติก และส่งผลทำให้การเดือดที่ผิวหน้าของก้อนเลือดลดลงซึ่งเป็นไปตามกฎของราอูล (Raoult's law) (Kugel, 1998) ซึ่งผลการทดลองขัดแย้งกับงานวิจัยของ Foegeding *et al.* (1995) ที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเจลของ โปรตีน โกลบูลิน พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นเกลือมากขึ้นจะทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง

ผลคุณภาพทางด้านสี และจำนวนจุลินทรีย์ พบว่าระดับความเข้มข้นเกลือไม่ส่งผลต่อค่า

สี และจำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คุณภาพเลือดเปิดดื่มที่เตรียมจากความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกัน

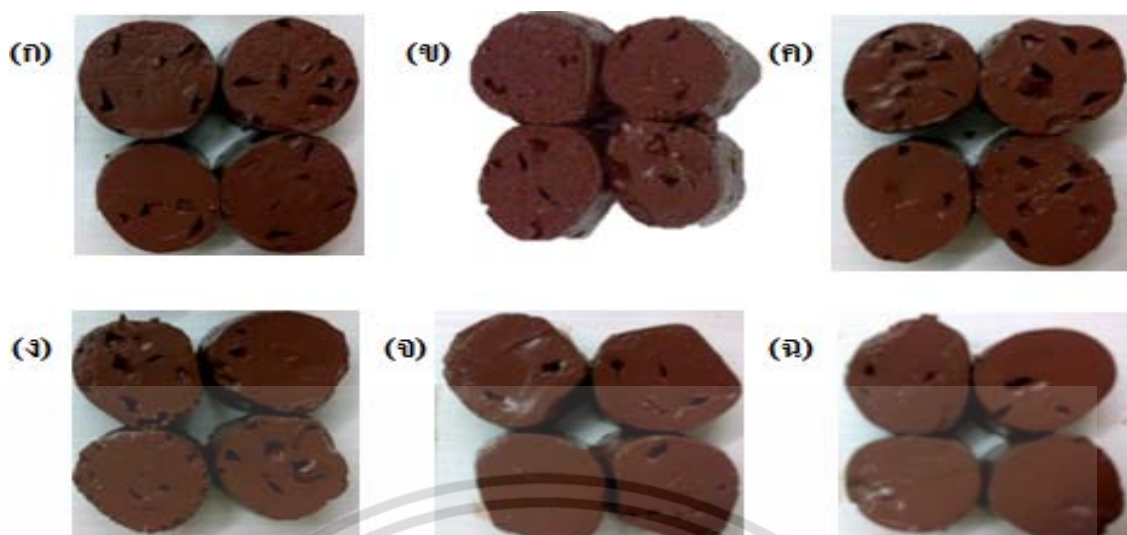
คุณภาพ เลือดเปิดดื่ม	ระดับความเข้มข้นเกลือ					
	0.0273 M [†]	0.2 M	0.4 M	0.6 M	0.8 M	1.0 M
ลักษณะเนื้อสัมผัส						
-ความแข็ง (N)	4.15 ± 1.12 ^{a,‡,§}	3.72 ± 0.31 ^a	3.41 ± 0.36 ^{ab}	2.41 ± 0.36 ^c	2.28 ± 0.11 ^c	2.04 ± 0.16 ^c
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	2.32 ± 0.63 ^a	1.73 ± 0.15 ^{bc}	2.15 ± 0.24 ^{ab}	1.55 ± 0.39 ^c	1.45 ± 0.10 ^c	1.28 ± 0.10 ^c
-การเคี้ยวได้ (N)	2.13 ± 0.82 ^a	1.89 ± 0.13 ^{ab}	1.88 ± 0.16 ^{ab}	1.37 ± 0.26 ^{bc}	1.28 ± 0.10 ^{bc}	1.07 ± 0.31 ^c
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.91 ± 0.12 ^a	0.92 ± 0.08 ^a	0.88 ± 0.03 ^a	0.88 ± 0.04 ^a	0.88 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.19 ^a
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.63 ± 0.01 ^a	0.64 ± 0.01 ^{bc}	0.63 ± 0.01 ^c	0.65 ± 0.01 ^{ab}	0.64 ± 0.01 ^{bc}	0.64 ± 0.01 ^{bc}
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือด (%)	44.90 ± 5.30 ^a	42.08 ± 7.28 ^{ab}	43.38 ± 0.75 ^a	44.33 ± 0.80 ^a	37.70 ± 3.12 ^{bc}	32.73 ± 38.64 ^c
สี						
-ความสว่าง (L* value)	29.87 ± 1.20 ^a	30.55 ± 0.66 ^a	30.63 ± 2.66 ^a	30.52 ± 1.14 ^a	30.05 ± 0.24 ^a	30.28 ± 0.85 ^a
-สีแดง (a* value)	11.83 ± 0.06 ^a	13.41 ± 1.00 ^a	13.68 ± 0.32 ^a	14.04 ± 1.05 ^a	14.07 ± 0.24 ^a	13.78 ± 1.35 ^a
-สีเหลือง (b* value)	16.42 ± 0.30 ^a	16.65 ± 0.31 ^a	16.36 ± 0.51 ^a	16.61 ± 0.91 ^a	17.21 ± 0.38 ^a	17.45 ± 0.39 ^a
จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)	ND [*]	ND	ND	ND	ND	ND

[†]ชุดการทดลองควบคุม

[‡]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[§]ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

* ND คือ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นเกลือที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะปรากฏของเลือดเป็ดต้ม ความเข้มข้นเกลือ (control) 0.167 M (a) ความเข้มข้นเกลือ 0.2 M (b) ความเข้มข้นเกลือ 0.4 M (c) ความเข้มข้นเกลือ 0.6 M (d) ความเข้มข้นเกลือ 0.8 M (e) และความเข้มข้นเกลือ 1.0 M (f)

4.2.3 ผลของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้ม

จากผลการศึกษาด้านเนื้อสัมผัสของค่า pH ต่อคุณภาพของเลือดเป็ดต้มที่ค่า pH ต่างต่างกัน 5 ระดับที่ 6, 6.5 (control), 7, 8 และ 9 ตามลำดับจากตารางที่ 4.10 พบว่าระดับค่า pH 9 ส่งผลให้เลือดเป็ดมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียวคล้ายยาง ค่าการเคี้ยวได้ และค่าการเกาะรวมตัวกันค่อนข้างดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งจากการทดลองข้างต้น พบว่าโปรตีนจากเลือดเป็ดมีความสามารถในการละลายได้ดีที่ค่า pH 3-10 และมีแนวโน้มจะละลายได้ดีขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น (p<0.05) เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำที่ดีของโปรตีนจะนำไปสู่ความสามารถในการพัฒนาของสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดเจล และด้านอื่น ๆ ได้ดี (Zayas, 1997)

ในด้านความสามารถของการอุ้มน้ำ และจำนวนจุลินทรีย์ ผลแสดงให้เห็นว่าระดับค่า pH ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

สำหรับผลทางด้านสี (ภาพที่ 4.11) พบว่าที่ระดับค่า pH เท่ากับ 6 ส่งผลให้มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงกว่าที่ค่า pH อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.10 คุณภาพเลือดเปิดต้มที่ระดับค่า pH ที่แตกต่างกัน

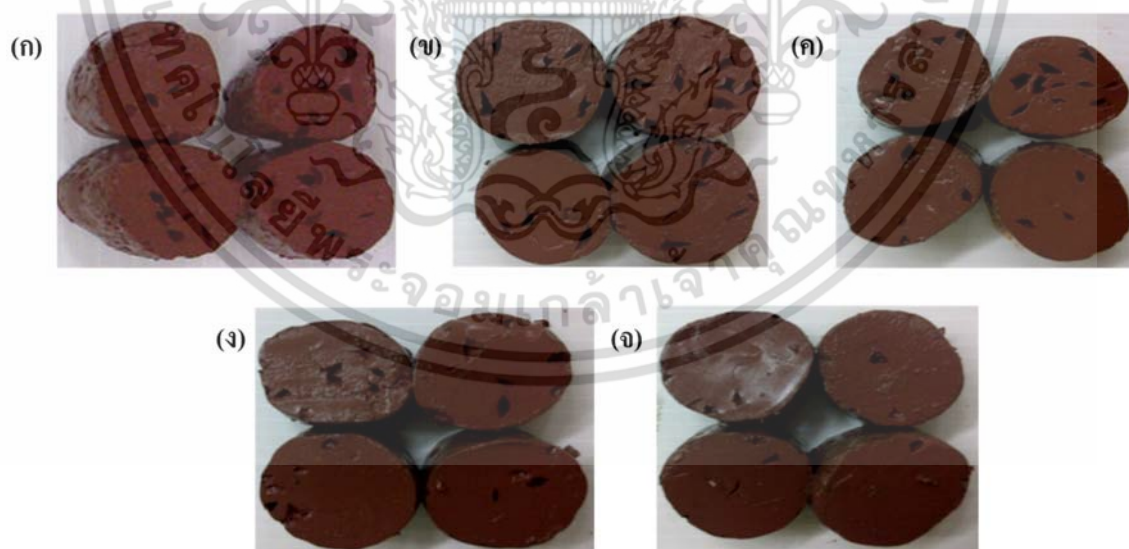
คุณภาพ เลือดเปิดต้ม	ค่า pH				
	pH 6	pH 6.5 [†]	pH 7	pH 8	pH 9
ลักษณะเนื้อสัมผัส					
-ความแข็ง (N)	3.82 ± 0.63 ^a	4.15 ± 1.12 ^a	3.99 ± 0.78 ^a	4.77 ± 0.16 ^a	4.83 ± 0.10 ^a
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	1.85 ± 0.19 ^{bc}	2.33 ± 0.63 ^{abc}	1.80 ± 0.37 ^c	2.50 ± 0.14 ^{ab}	2.83 ± 0.57 ^a
-การเคี้ยวได้ (N)	1.67 ± 0.23 ^b	2.24 ± 0.82 ^a	1.65 ± 0.05 ^b	1.70 ± 0.42 ^{ab}	2.54 ± 0.55 ^a
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.90 ± 0.07 ^a	0.96 ± 0.12 ^a	0.91 ± 0.04 ^a	0.68 ± 0.15 ^a	0.90 ± 0.02 ^a
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.64 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.01 ^b	0.64 ± 0.01 ^b	0.65 ± 0.01 ^b	0.68 ± 0.01 ^a
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือด (%)	44.66 ± 3.85 ^a	44.90 ± 5.30 ^a	42.17 ± 0.04 ^a	46.32 ± 5.29 ^a	42.05 ± 0.31 ^a
สี					
-ความสว่าง (L* value)	30.32 ± 0.16 ^a	29.87 ± 1.20 ^b	30.33 ± 0.30 ^a	29.50 ± 0.27 ^b	29.55 ± 0.05 ^b
-สีแดง (a* value)	14.53 ± 0.46 ^a	11.83 ± 0.06 ^c	13.86 ± 0.35 ^{ab}	13.54 ± 0.44 ^b	13.57 ± 0.98 ^b
-สีเหลือง (b* value)	17.76 ± 0.37 ^a	16.42 ± 0.30 ^c	16.95 ± 0.01 ^b	16.37 ± 0.04 ^c	15.94 ± 0.01 ^d
จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)	ND [*]	ND	ND	ND	ND

[†]ชุดการทดลองควบคุม

*ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

§ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

*ND คือจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.11 คุณภาพเลือดเปิดต้มที่ค่า pH ต่างกัน pH 6 (ก) pH 6.5 (ควบคุม) (ข) pH 7 (ค)
pH 8 (ง) และ pH 9 (จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อคุณภาพของเลือดต้ม

เลือดเปิดต้มที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60, 90 และ 140 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสระยะเวลา 60, 90 และ 140 สามารถเพิ่มค่าความแข็ง ค่าความเหนียวคล้ายยาง และค่าการเคี้ยวได้มากกว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) ส่วนค่าความยืดหยุ่นไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ และเวลามากนัก ($p > 0.05$) ยกเว้นการต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที ($p < 0.05$) และสำหรับค่าการเกาะรวมตัวกันการต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสระยะเวลา 60 และ 90 นาที ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าการเกาะรวมตัวกันมากกว่าการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 140 นาที ($p < 0.05$)

ด้านความสามารถของการอุ้มน้ำ ผลแสดงให้เห็นว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60, 90 และ 140 นาที พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาก่อนเลือดมีค่าน้อยกว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที แต่อย่างไรก็ตามเมื่อต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการต้มเลือดนานขึ้นที่เวลา 90 และ 140 นาที ก็สามารถส่งผลให้ก่อนเลือดมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมลดลงได้ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าก่อนเลือดมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และจากการสังเกตลักษณะของก้อนเลือดดังแสดงในภาพที่ 4.12 พบว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสที่เนียนไม่มีโพรงอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้โมเลกุลของโปรตีนได้รับพลังงานความร้อนสูงจนกลายเป็นไอได้รวดเร็วกว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการกลายเป็นไอที่รวดเร็วนี้อาจทำให้เกิดโพรงอากาศขึ้นในผลิตภัณฑ์

ผลคุณภาพทางด้านสี พบว่าการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 140 นาที จะส่งผลให้ก่อนเลือดมีค่าความสว่าง และค่าสีแดงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และสำหรับจำนวนจุลินทรีย์ พบว่า อุณหภูมิ และเวลาในการต้มไม่ส่งผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.11 คุณภาพเลือดเปิดดื่มที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

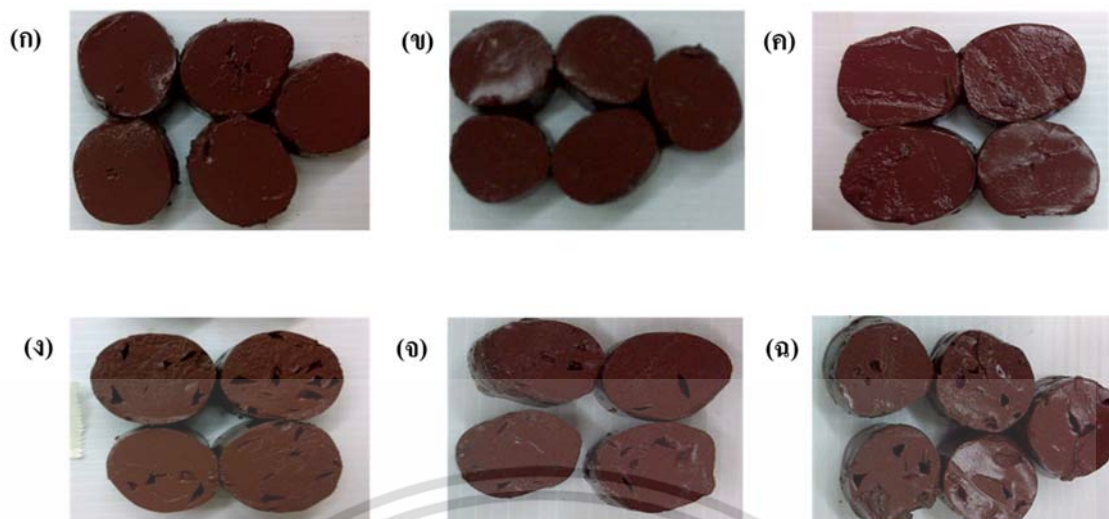
คุณภาพ เลือดเปิดดื่ม	อุณหภูมิและระยะเวลา					
	อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส			อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส		
	60 นาที	90 นาที	140 นาที	60 นาที [†]	90 นาที	140 นาที
ลักษณะเนื้อสัมผัส						
-ความแข็ง (N)	2.96 ± 0.20 ^{b,§,§}	2.40 ± 0.34 ^b	2.43 ± 0.37 ^b	4.15 ± 1.12 ^a	3.95 ± 0.37 ^a	3.80 ± 0.37 ^a
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	1.92 ± 0.15 ^b	1.52 ± 0.18 ^b	1.57 ± 0.31 ^b	2.33 ± 0.63 ^a	2.23 ± 0.25 ^a	2.30 ± 0.14 ^a
-การเคี้ยวได้ (N)	1.61 ± 0.20 ^{bc}	1.21 ± 0.14 ^c	1.38 ± 0.28 ^{bc}	2.24 ± 0.82 ^a	1.92 ± 0.21 ^{ab}	1.92 ± 0.27 ^{ab}
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.84 ± 0.10 ^{ab}	0.80 ± 0.10 ^b	0.88 ± 0.02 ^{ab}	0.96 ± 0.12 ^a	0.86 ± 0.02 ^{ab}	0.83 ± 0.08 ^{ab}
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.65 ± 0.01 ^{ab}	0.64 ± 0.02 ^{ab}	0.63 ± 0.02 ^b	0.66 ± 0.01 ^a	0.67 ± 0.02 ^a	0.65 ± 0.01 ^{ab}
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือด (%)	51.59 ± 0.31 ^a	49.64 ± 0.98 ^{ab}	46.13 ± 1.37 ^b	44.90 ± 5.30 ^b	45.91 ± 4.37 ^b	47.24 ± 3.5 ^b
สี						
-ความสว่าง (L* value)	29.35 ± 1.15 ^d	30.92 ± 0.34 ^{ad}	31.75 ± 0.06 ^a	29.87 ± 1.20 ^{cd}	30.44 ± 0.34 ^{bc}	29.87 ± 0.69 ^{cd}
-สีแดง (a* value)	11.72 ± 0.66 ^d	11.73 ± 0.10 ^d	14.31 ± 0.45 ^a	11.83 ± 0.06 ^{cd}	12.23 ± 0.02 ^c	13.04 ± 0.36 ^b
-สีเหลือง (b* value)	16.05 ± 0.36 ^a	16.51 ± 0.08 ^a	16.45 ± 0.18 ^a	16.42 ± 0.30 ^a	16.11 ± 0.86 ^a	16.26 ± 0.47 ^a
จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)	ND*	ND	ND	ND	ND	ND

[†]ชุดการทดลองควบคุม

[‡]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[§]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

* ND คือ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิ และระยะเวลาที่แตกต่างกันต่อลักษณะปรากฏของเลือดเปิดตั้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (ก) ตั้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที (ข) ตั้มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที (ค) ตั้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (ง) ตั้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที (ความคม) (จ) และตั้มอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที (ฉ)

4.2.5 ผลของการทำเย็นต่อคุณภาพของเลือดเปิดตั้ม

จากผลการศึกษาวิธีการทำให้เย็นที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) และการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส) 10-15 นาที (ตารางที่ 4.12) พบว่าวิธีการทำให้เย็นไม่ส่งผลต่อ ลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส และค่าความสามารถของการอุ้มน้ำของเลือดเปิดตั้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลคุณภาพทางด้านสี (ภาพที่ 4.13) พบว่าวิธีการทำเย็นที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่สำหรับคุณภาพทางจุลินทรีย์ของเลือดเปิดตั้มหลังตั้ม พบว่าการทำให้เย็นด้วยการแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1-3 องศาเซลเซียส) ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าวิธีแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลสอดคล้องกับการทดลองของ McDonald *et al.* (2000) ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มอัตราการหล่อเย็นให้เร็วขึ้นจะทำให้สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการปรุงสุกมาแล้วได้นอกจากนี้ Gaze *et al.* (1998) ยังกล่าวว่า การทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว (rapid cooling) หลังการปรุงผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะสามารถช่วยป้องกันการออก และการเจริญของสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนร้อนได้

ตารางที่ 4.12 คุณภาพเลือดเปิดต้มแล้วผ่านกระบวนการทำให้เย็นที่แตกต่างกัน

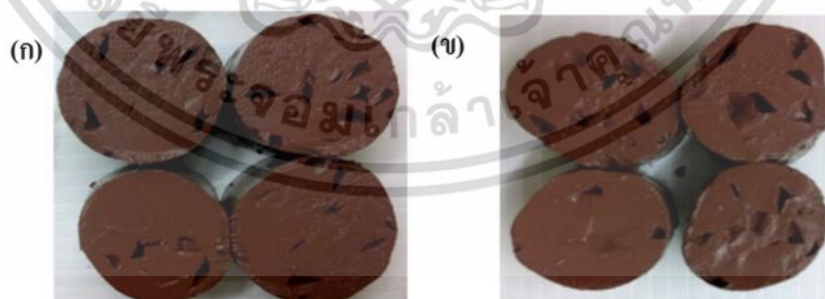
คุณภาพ เลือดเปิดต้ม	วิธีการทำให้เย็น	
	แช่น้ำผสมน้ำแข็ง (1 - 3 องศาเซลเซียส) [†]	แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 - 28 องศาเซลเซียส)
ลักษณะเนื้อสัมผัส		
-ความแข็ง (N)	4.15 ± 1.12 ^{a,§,§}	4.18 ± 1.12 ^a
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	2.32 ± 0.63 ^a	2.20 ± 0.63 ^a
-การเคี้ยวได้ (N)	2.13 ± 0.82 ^a	1.96 ± 0.82 ^a
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.91 ± 0.12 ^a	0.89 ± 0.12 ^a
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.63 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.01 ^a
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือด (%)	44.90 ± 5.30 ^a	49.86 ± 13.07 ^a
สี		
-ความสว่าง (L* value)	29.87 ± 1.20 ^a	29.89 ± 1.34 ^a
-สีแดง (a* value)	11.83 ± 0.06 ^a	14.2 ± 1.68 ^a
-สีเหลือง (b* value)	16.42 ± 0.30 ^a	16.75 ± 0.94 ^a
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	ND [*]	2.57 ± 0.07

[†]ชุดการทดลองควบคุม

[‡]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[§]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{*}ND คือ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.13 คุณภาพเลือดเปิดต้มแล้วผ่านกระบวนการทำให้เย็นโดยแช่น้ำผสมน้ำแข็ง (ก) และแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ผลของการกวนต่อคุณภาพของเลือดเปิดต้ม

จากผลการศึกษาการกวนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (ตารางที่ 4.13) พบว่าการกวนในระดับที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ค่าการเกาะรวมตัวกันลดลง ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม เนื่องจากการกวนที่ระดับความเร็วสูงขึ้นไปจะทำให้ก้อนเลือดต้มเกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.14) แต่จะไม่ส่งผลต่อค่าความสามารถของการอุ้มน้ำ ค่าสี และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเลือดเปิดต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 คุณภาพเลือดเปิดต้มในด้านการกวนที่แตกต่างกัน

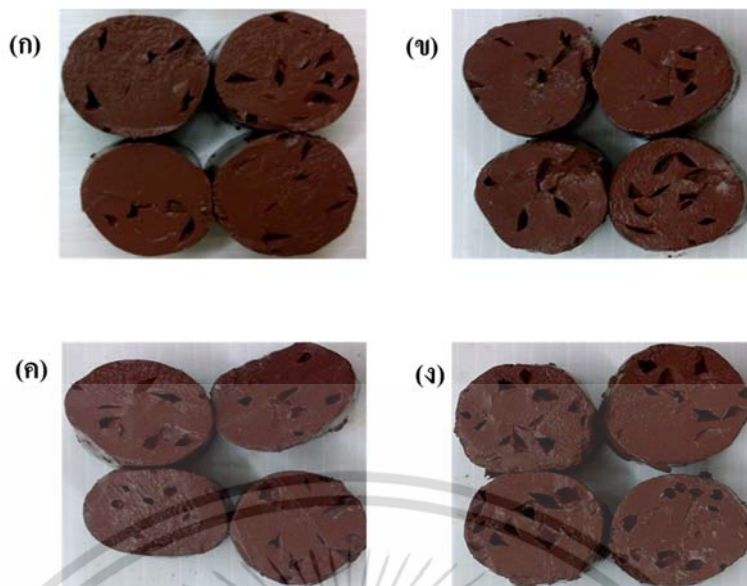
คุณภาพ เลือดเปิดต้ม	ระดับการกวน			
	ไม่กวน [†]	ระดับต่ำ (เบอร์ 1)	ระดับปานกลาง (เบอร์ 3)	ระดับสูง (เบอร์ 6)
ลักษณะเนื้อสัมผัส				
-ความแข็ง (N)	4.15 ± 1.12 ^{a,‡,§}	4.16 ± 1.13 ^a	4.04 ± 1.77 ^a	4.04 ± 2.06 ^a
-ความเหนียวคล้ายยาง (N)	2.32 ± 0.63 ^a	2.28 ± 0.10 ^a	2.55 ± 1.08 ^a	2.58 ± 1.17 ^a
-การเคี้ยวได้ (N)	2.13 ± 0.82 ^a	2.00 ± 0.15 ^a	2.15 ± 1.35 ^a	2.21 ± 0.97 ^a
-ความยืดหยุ่น (ratio)	0.91 ± 0.12 ^a	0.88 ± 0.04 ^a	0.84 ± 0.17 ^a	0.86 ± 0.01 ^a
-การเกาะรวมตัวกัน (ratio)	0.63 ± 0.01 ^a	0.65 ± 0.01 ^b	0.64 ± 0.01 ^b	0.64 ± 0.01 ^b
ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อน เลือด (%)	44.90 ± 5.30 ^a	47.32 ± 3.75 ^a	44.50 ± 1.75 ^a	44.79 ± 0.56 ^a
สี				
-ความสว่าง (L* value)	29.87 ± 1.20 ^a	29.82 ± 0.10 ^a	29.90 ± 0.21 ^a	30.64 ± 0.31 ^a
-สีแดง (a* value)	11.83 ± 0.06 ^a	11.86 ± 1.00 ^a	11.36 ± 1.63 ^a	13.80 ± 0.71 ^a
-สีเหลือง (b* value)	16.42 ± 0.30 ^a	16.01 ± 0.18 ^a	16.04 ± 1.82 ^a	15.63 ± 0.23 ^a
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	ND [*]	ND	ND	ND

[†]ชุดการทดลองควบคุม

^{*}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[‡]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{*}ND คือ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต่ำกว่า 1 log cfu/g



ภาพที่ 4.14 คุณภาพเลือดเปิดตั้ในด้านการกวนที่แตกต่างกัน ไม่กวน (ก) กวนความเร็วต่ำ เบอร์ 1 (ข) กวนความเร็วปานกลาง เบอร์ 3 (ค) และกวนความเร็วสูง เบอร์ 6 (ง)

4.3 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิท

4.3.1 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

4.3.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม กับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้า ดังแสดงในภาพที่ 4.15 พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม เมื่อผ่านกระบวนการตั้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะให้ลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้า ($p < 0.05$) ด้วยเหตุนี้ทางบริษัท คีคิง จำกัด จึงมีความต้องการที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทให้มีลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้า โดยในลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง (ภาพที่ 4.15 ก) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 และคาราจีแนน ผสม โคล์สปีนกับอัตราส่วน อัตราส่วน 50:50 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 60:40 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 สามารถช่วยปรับปรุงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทได้ ($p < 0.05$) แต่สำหรับการใช้เจลาตินจะไม่ช่วยปรับปรุงความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$)

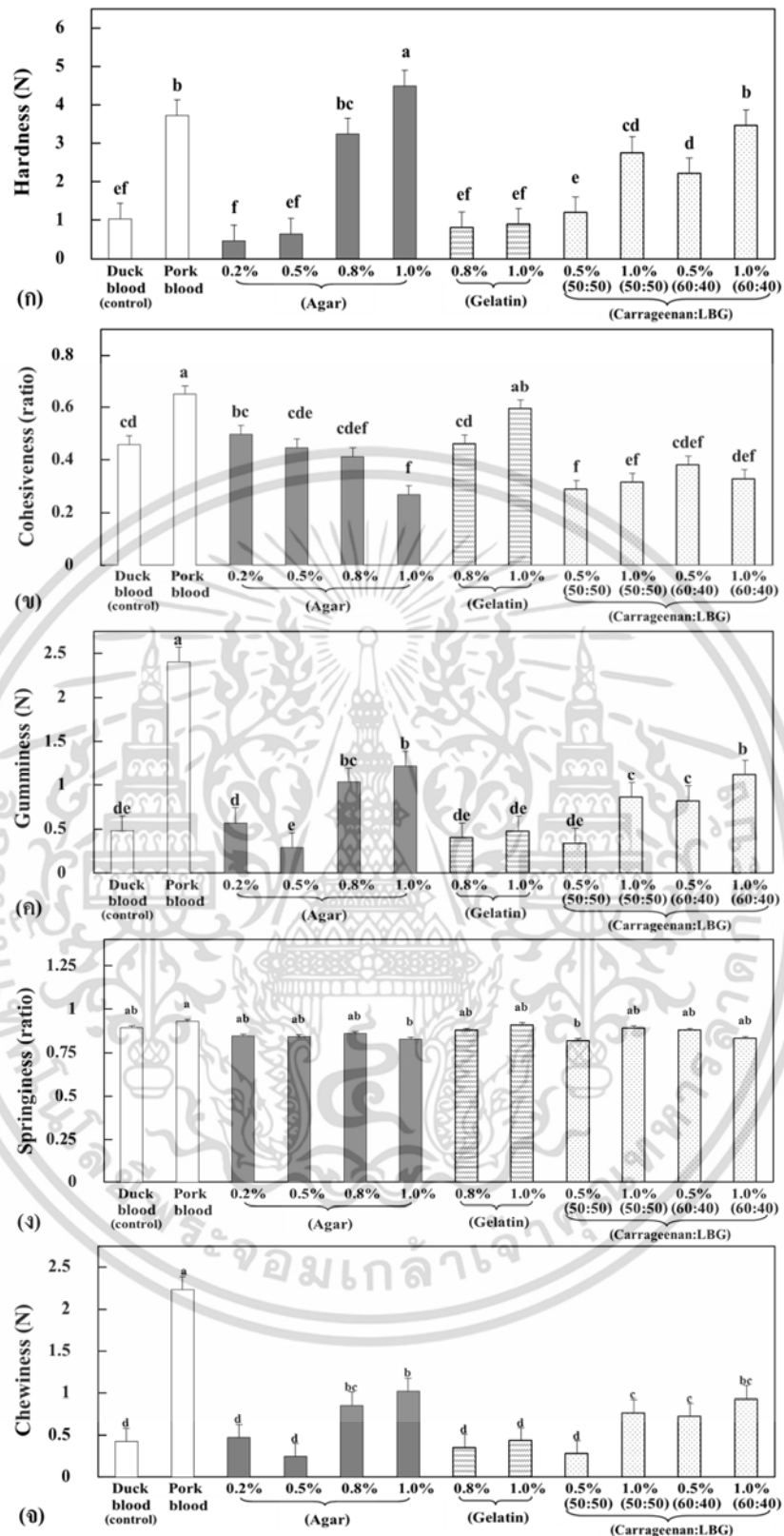
เนื้อสัมผัสทางด้านการเกาะรวมตัวกัน (ภาพที่ 4.15 ข) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าการเกาะรวมตัวกันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดตั้ในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าการเกาะรวมตัวกันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรตั้หลอดทางการค้า อย่างไรก็ตามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดทางการค้า ($p < 0.05$) โดยการใช้เจลาคินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และอะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.2 สามารถช่วยปรับปรุงค่าการเกาะรวมตัวกัน ของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้าได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่การใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปีนกันไม่สามารถช่วยปรับปรุงค่าการเกาะรวมตัวกันในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมได้ ($p > 0.05$)

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความเหนียวคล้ายยาง (ภาพที่ 4.15 ค) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความเหนียวคล้ายยางต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้า ($p < 0.05$) การใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 และคาราจีแนน ผสม โลกัสปีนกันอัตราส่วน 60:40 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 จะให้ค่าความเหนียวคล้ายยางสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการใช้เจลาคินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 มีค่าความเหนียวคล้ายยางไม่ต่างกับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม ($p > 0.05$)

ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่น (ภาพที่ 4.15 ง) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้า ($p > 0.05$) นอกจากนี้การใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปีนกัน เจลาคิน และ อะการ์ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่น ($p > 0.05$) ยกเว้นคาราจีแนน ผสม โลกัสปีนกันอัตราส่วน 50:50 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และอะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านการเคี้ยว (ในภาพที่ 4.15 จ) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าการเคี้ยวได้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 กับคาราจีแนน ผสม โลกัสปีนกันอัตราส่วน 50:50 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 60:40 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ สามารถช่วยปรับปรุงค่าการเคี้ยวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการใช้เจลาคินจะไม่ส่งผลต่อค่าการเคี้ยวได้ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิท ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.15 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเคี้ยว ค่าความแข็ง (ก) ค่าการเกาะรวมตัวกัน (ข) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (ค) ค่าความยืดหยุ่น (ง) และค่าการเคี้ยวได้ (จ) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจล

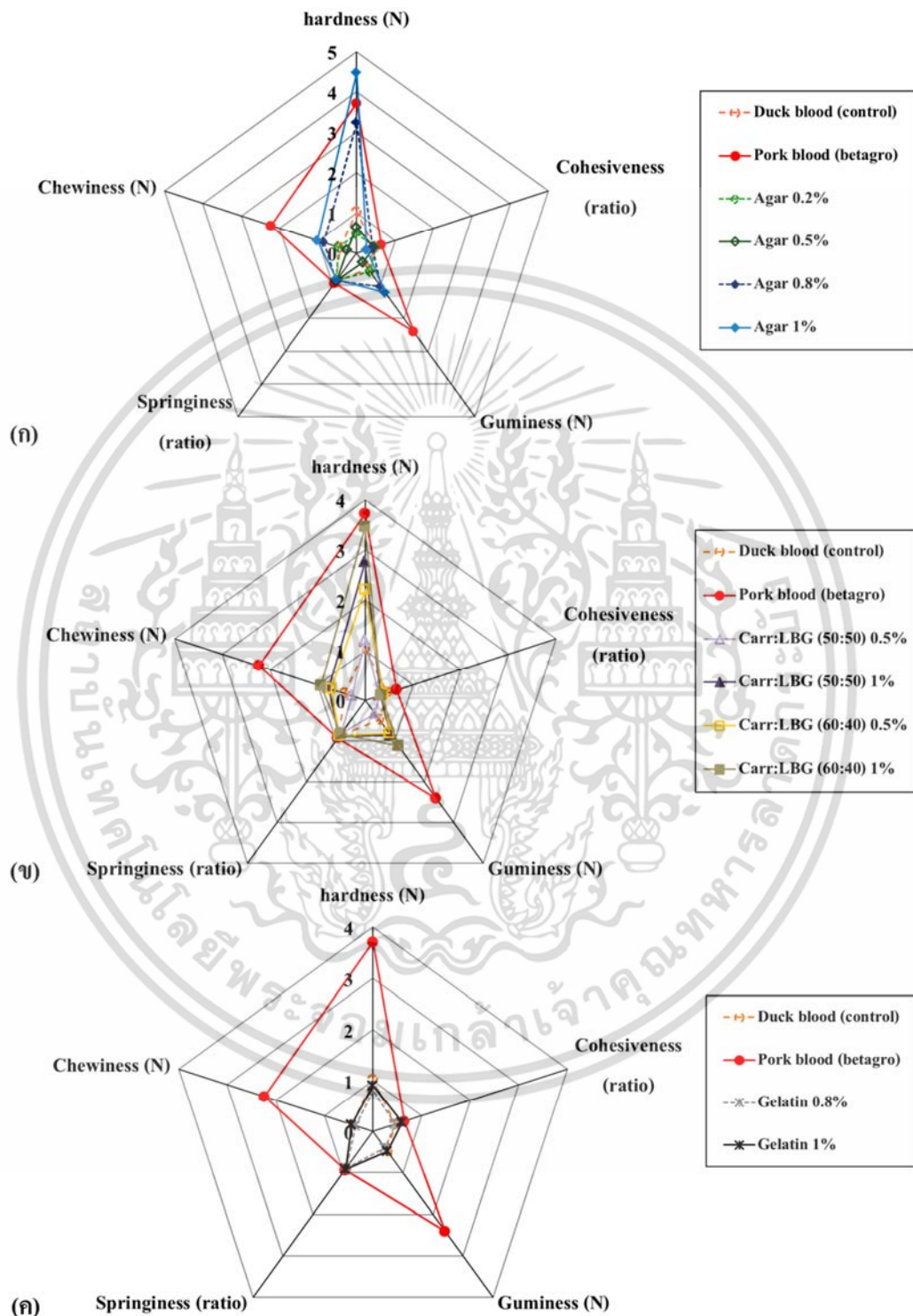
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับไม่สามารถเกิดเจลกับเนื้อเคี้ยว) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุปแล้วผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมทางด้านความแข็ง ความเหนียวคล้ายยาง การเกาะรวมตัวกัน และการเคี้ยวได้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มหลอดทางการค้า ($p < 0.05$) แต่มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์พบว่าการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 (ภาพที่ 4.16 ก) สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทได้โดยสามารถปรับปรุงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง การเกาะรวมตัวกัน และการเคี้ยวได้ให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มหลอดทางการค้ามากที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กลับพบว่าลักษณะของเจลที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อทรายมากกว่าอะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 (ภาพที่ 4.17) การใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปินกัม อัตราส่วน 60:40 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (ภาพที่ 4.16 ข) สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง การเกาะรวมตัวกัน และค่าการเคี้ยวได้เช่นกันแต่เจลที่ได้มีลักษณะไม่เข้ากันกับเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อะการ์ (ภาพที่ 4.17) และการใช้เจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (ภาพที่ 4.16 ค) สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้น้อยที่สุดทั้งในด้านความแข็ง ความเหนียวคล้ายยาง และการเคี้ยวได้ แต่จะช่วยปรับปรุงในด้านการเกาะรวมตัวกันให้กับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทได้

4.3.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

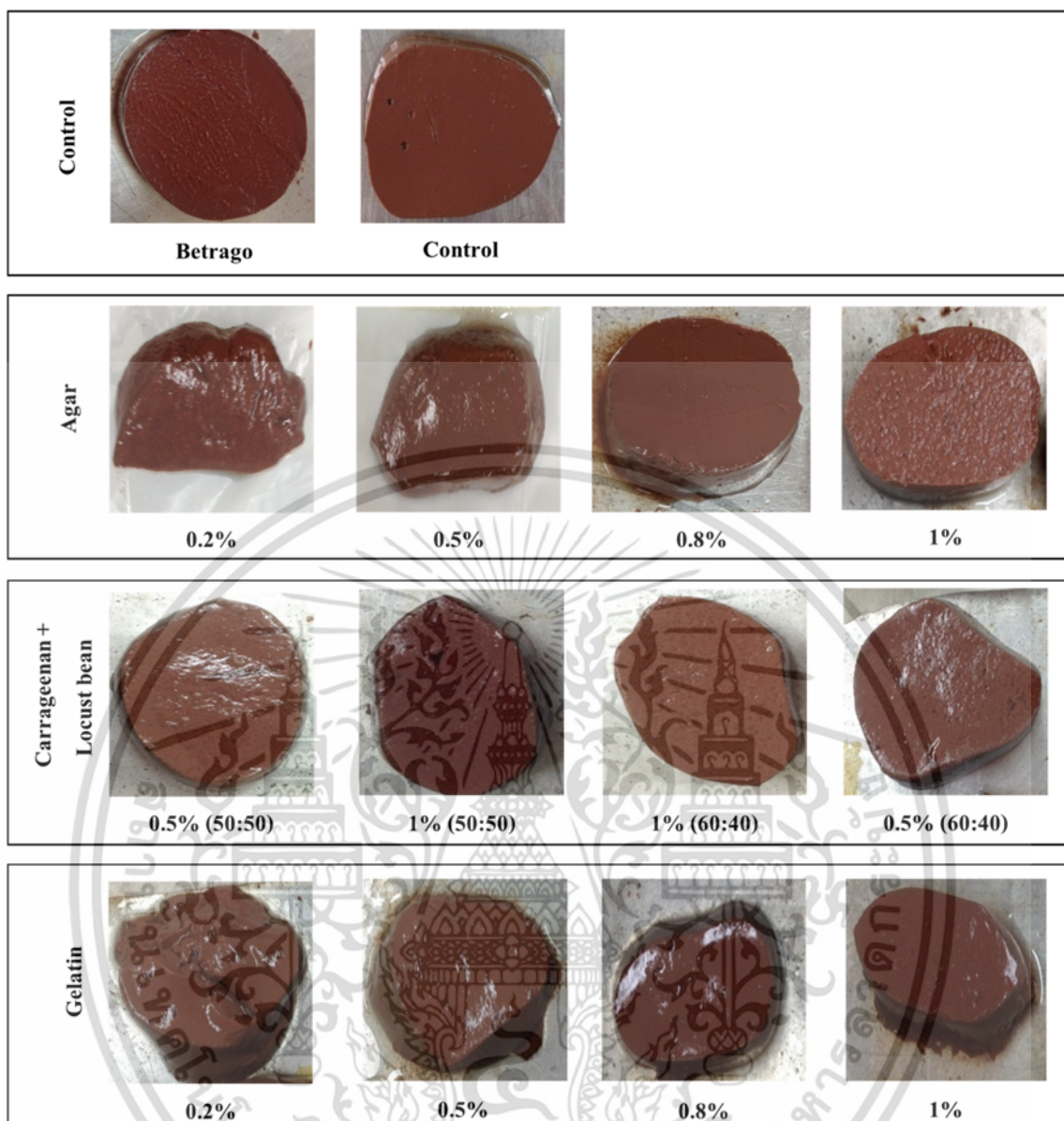
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มหลอดทางการค้า (ภาพที่ 4.18) พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดในกลุ่มผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มชุดการทดลองควบคุมมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มหลอดทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มหลอดทางการค้ามีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มชุดการทดลองควบคุม และการใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปินกัมทุกระดับความเข้มข้นสามารถช่วยปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดต่ำที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dunstan *et al.* (2001) ที่ทำการศึกษาปริมาณน้ำที่ไหลซึมของเจลร่วมระหว่างคาราจีแนน และ โลกัสปินกัม พบว่าการลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลซึมของเจลเกิดจากการเพิ่มปริมาณของ โลกัสปินกัม และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่ไหลซึมของเจลจะเกิดจากการเพิ่มปริมาณของคาราจีแนน ซึ่งการปรับอัตราส่วนระหว่างคาราจีแนน ต่อ โลกัสปินกัมให้เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากเจลได้ สำหรับการใส่เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.0 สามารถปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้รองลงมา แต่การใช้อะการ์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5 และ 0.8 ไม่สามารถปรับปรุงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้

($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้ฮะการ์สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำได้เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ($p < 0.05$)



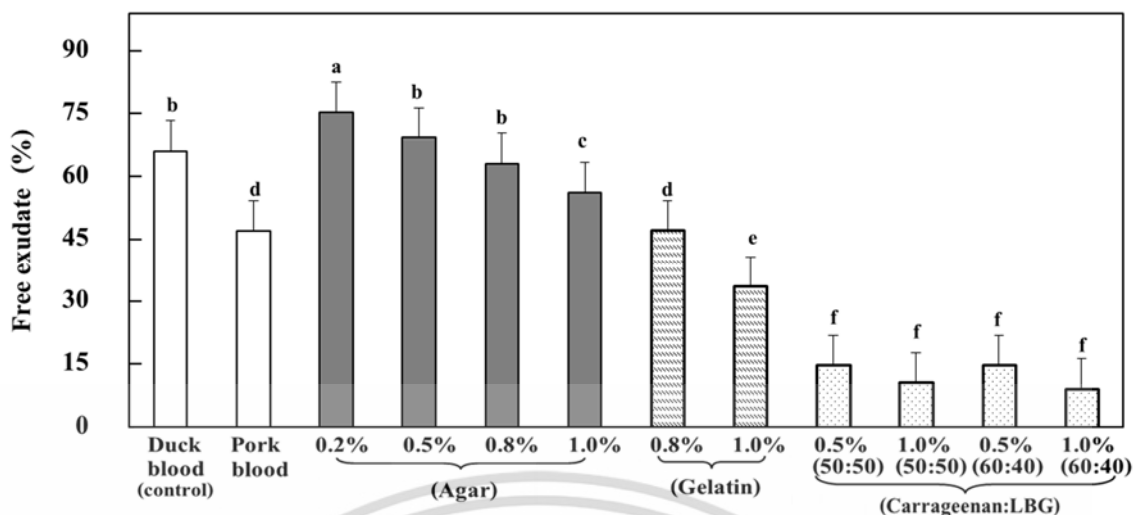
ภาพที่ 4.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิท ร่วมกับการใช้ฮะการ์ (ก) คาราจีแนน ผสมโลคัสทีนกับกัม (ข) และเจลาติน (ค) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจลแน่นกัมไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (เจลแลนก็มไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



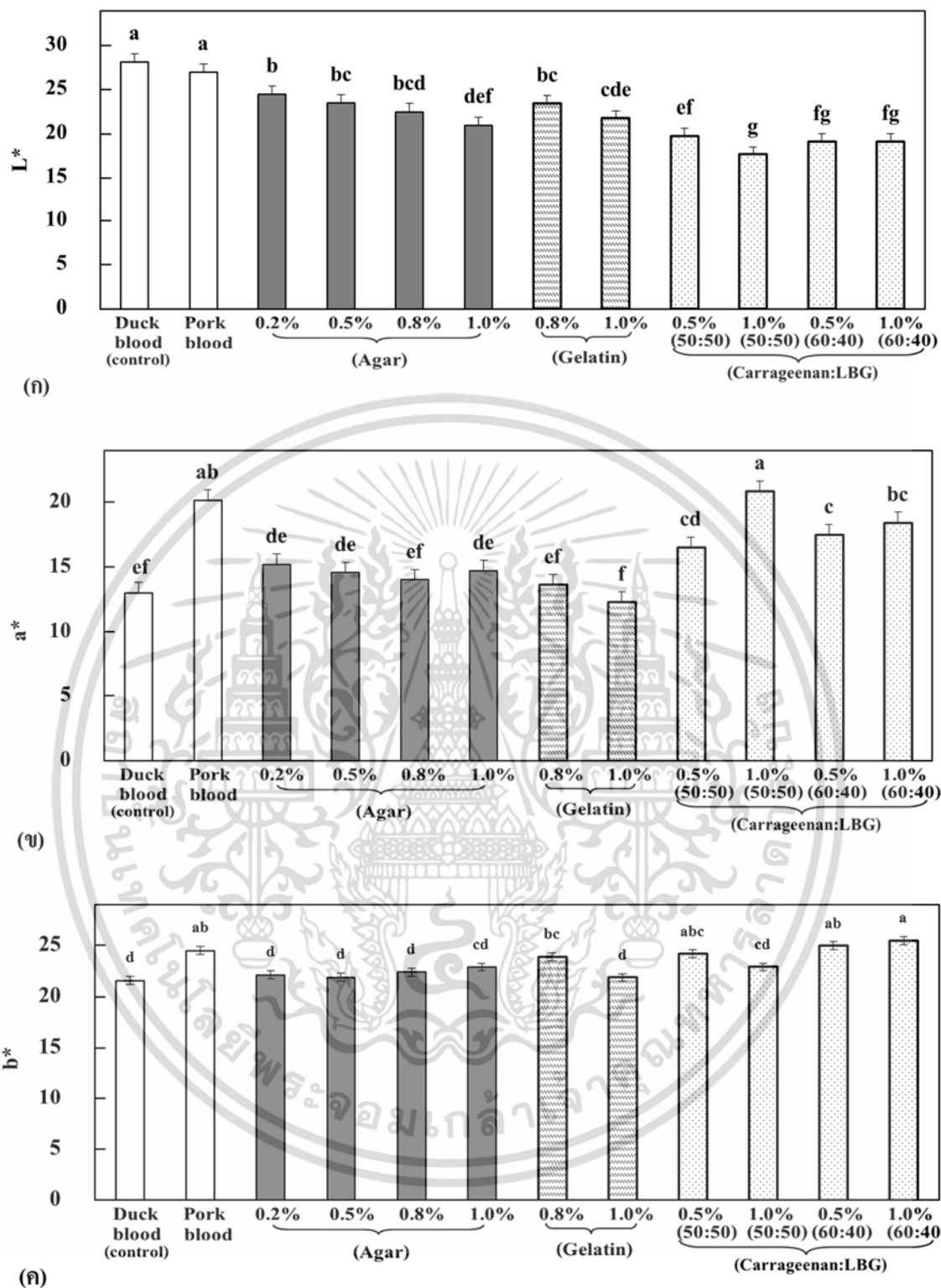
ภาพที่ 4.18 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือด (% free exudative) ของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทร่วมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจลแลนก็ไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)

4.3.1.3 คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์

คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้า (ภาพที่ 4.19) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมมีค่าสีแดง และสีเหลืองต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้า ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความสว่าง (ภาพที่ 4.19 ก) ไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 กลุ่มการทดลอง ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามทางบริษัท คักคิง จำกัด มีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทที่ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์มีค่าสีใกล้เคียงกับสีเดิมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการใช้ฮะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.5 และ 0.8 และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปีนัม ($p < 0.05$) (ภาพที่ 4.18 ก)

สำหรับค่าสีแดง (ภาพที่ 4.19 ข) การใช้ฮะการ์ทุกระดับความเข้มข้น และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 0.1 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปีนัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ (ภาพที่ 4.19 ค) การใช้ฮะการ์ทุกระดับความเข้มข้น และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่ส่งผลเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง ($p > 0.05$) ส่วนการใช้คาราจีแนน ผสม โลกัสปีนัมทุกระดับความเข้มข้นมีผลเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองให้กับผลิตภัณฑ์ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.19 คุณภาพทางด้านสีรูปแบบความสว่าง (L*value) (ก) ค่าสีแดง (a*value) (ข) และค่าสีเหลือง (b*value) (ค) (เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 เกิดเจลอ่อนมาก และเจลเลนก็ไม่สามารถเกิดเจลกับเลือดได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุปแล้วการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม พบว่าการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มหลอดทางการค้ามากที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดลักษณะเนื้อทราย สำหรับการปรับปรุงคุณภาพทางด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ พบว่าการใช้คาราจีแนน ผสม โคลด์สปีนก็มสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีที่สุด และนอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์พบว่าการใช้อะการ์จะให้ค่าสีใกล้เคียงกับสีเดิมของผลิตภัณฑ์มากที่สุด อย่างไรก็ตามทางบริษัท คักคิง จำกัด ได้ให้ความสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด ดังนั้นการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 จึงนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และอายุการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มชุดการทดลองควบคุมต่อไป

4.3.2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ

4.3.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทชุดการทดลองควบคุม (ตารางที่ 4.14) พบว่าในผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มชุดการทดลองควบคุมมีปริมาณความชื้นสูงกว่าชุดการทดลองที่เติมอะการ์ร้อยละ 0.8 ($p < 0.05$) แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มชุดการทดลองที่เติมอะการ์ร้อยละ 0.8 มีคาร์โบไฮเดรต และเถ้าสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม ($p < 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความเข้มข้นของเลือดเท่ากันที่ร้อยละ 40 จึงทำให้มีปริมาณ โปรตีน และ ไขมันเท่ากัน แต่ในชุดการทดลองที่เติมอะการ์ร้อยละ 0.8 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และเถ้ามากกว่า เนื่องจากอะการ์มีโครงสร้างเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์เป็นสายยาวตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไปถึงจำนวนหลายร้อยโมเลกุล (Medin, 1995)

ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิท

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักฐานเปียก)	เลือดเป็ดต้ม [†]	เลือดเป็ดต้ม ผสมอะการ์ร้อยละ 0.8
ความชื้น	94.19 ± 0.01 ^{a,†,§}	92.53 ± 0.04 ^b
โปรตีน	5.45 ± 0.29 ^a	5.48 ± 0.05 ^a
คาร์โบไฮเดรต	0.22 ± 0.30 ^b	0.87 ± 0.10 ^a
เถ้า	0.51 ± 0.00 ^b	1.08 ± 0.01 ^a
ไขมัน	0.07 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.02 ^a

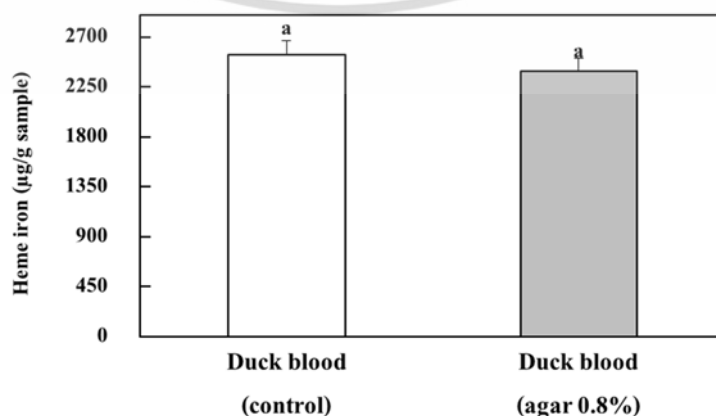
[†]ชุดการทดลองควบคุม

[‡]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจำนวน 3 รอบการทดลอง

[§]ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.2.2 ปริมาณฮีโมโอรอน

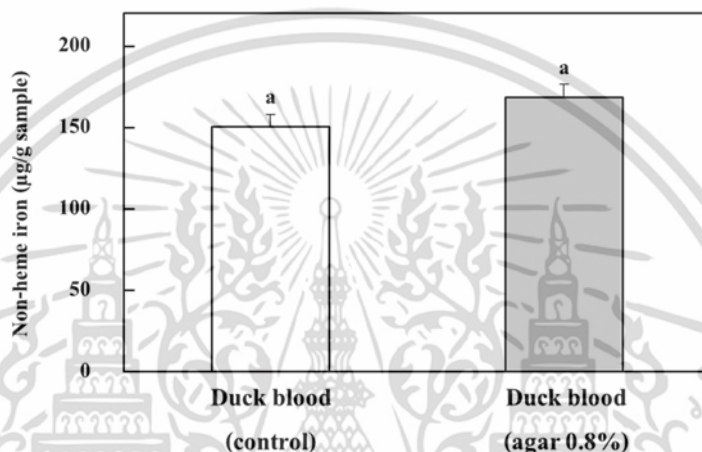
ปริมาณฮีโมโอรอนของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มดังแสดงในภาพที่ 4.20 พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทชุดการทดลองควบคุมและสูตรที่ผสมอะการ์มีค่าฮีโมโอรอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยทั้งสองกลุ่มการทดลองมีปริมาณฮีโมโอรอนประมาณ 2,400-2,500 ไมโครกรัม/กรัมตัวอย่าง เนื่องจากสูตรผสมอะการ์จะมีการเติมอะการ์ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.8) ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อค่าฮีโมโอรอนที่เป็นองค์ประกอบภายในเลือดสัตว์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฮีโมโอรอนจากการทดลองก่อนหน้านี้ (การทดลองที่ 1) พบว่าในผลจากการทดลองนี้มีค่าฮีโมโอรอนสูงกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ ซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Kristensen and Purslow (2001) ที่ทำการศึกษผลของเกลือที่มีผลต่ออุณหภูมิในการแปรรูปเนื้อไก่ พบว่าเนื้อไก่ที่มีเกลือผสมอยู่จะส่งผลทำให้ปริมาณฮีโมโอรอนและฮีโมโอรอนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเนื้อไก่สูตรปกติเนื่องจากการใส่เกลือจะช่วยปกป้องโมเลกุลของฮีโมโอรอนไม่ให้โดนความร้อนทำลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 4.20 ปริมาณฮีโมโอรอนของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิท
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ปริมาณอนฮีมีไอออน

ปริมาณอนฮีมีไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทดังแสดงในภาพที่ 4.21 พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทหตุการทดลองควบคุมและสูตรที่ผสมอะการ์มีค่าอนฮีมีไอออนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยทั้งสองกลุ่มการทดลองมีค่าอนฮีมีไอออนประมาณ 150-170 ไมโครกรัม/กรัมตัวอย่าง เนื่องจากสูตรผสมอะการ์จะมีการเติมอะการ์ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.8) ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อค่าอนฮีมีไอออนที่เป็นองค์ประกอบภายในเลือดสัตว์



ภาพที่ 4.21 ปริมาณอนฮีมีไอออนของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิท

4.3.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มบรรจุในอุณหภูมิห้องปิดสนิท

4.3.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม

จากการทดลองข้างต้นได้มีการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิท ร่วมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ โดยพบว่าการใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มปลอดทางการค้า มากที่สุด แต่การใช้อะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ในผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิห้องปิดสนิท ยังพบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมด้านความแข็งมีค่าต่ำกว่า และปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือดสุกรต้มปลอดทางการค้า ซึ่งในการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน อาจทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมด้านความแข็งมีค่าต่ำลง และมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดมีค่าสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการปรับระดับความเข้มข้นของเลือดเพิ่มขึ้นเพราะเนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเลือดทำให้โปรตีนมีความสามารถในการเกิดเจลสูง และมีเจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Ferry, 1948) นอกจากนี้การเพิ่มของระดับความเข้มข้นเลือดเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนในเลือดซึ่งจะช่วยให้โมเลกุลโปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น (Zayas, 1997) โดยการทดลองจะมีการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเข้มข้นเลือดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 60 ผสมกับอะการ์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 เพื่อใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดคัมบรรจุในถุงทรีออนปิดสนิท

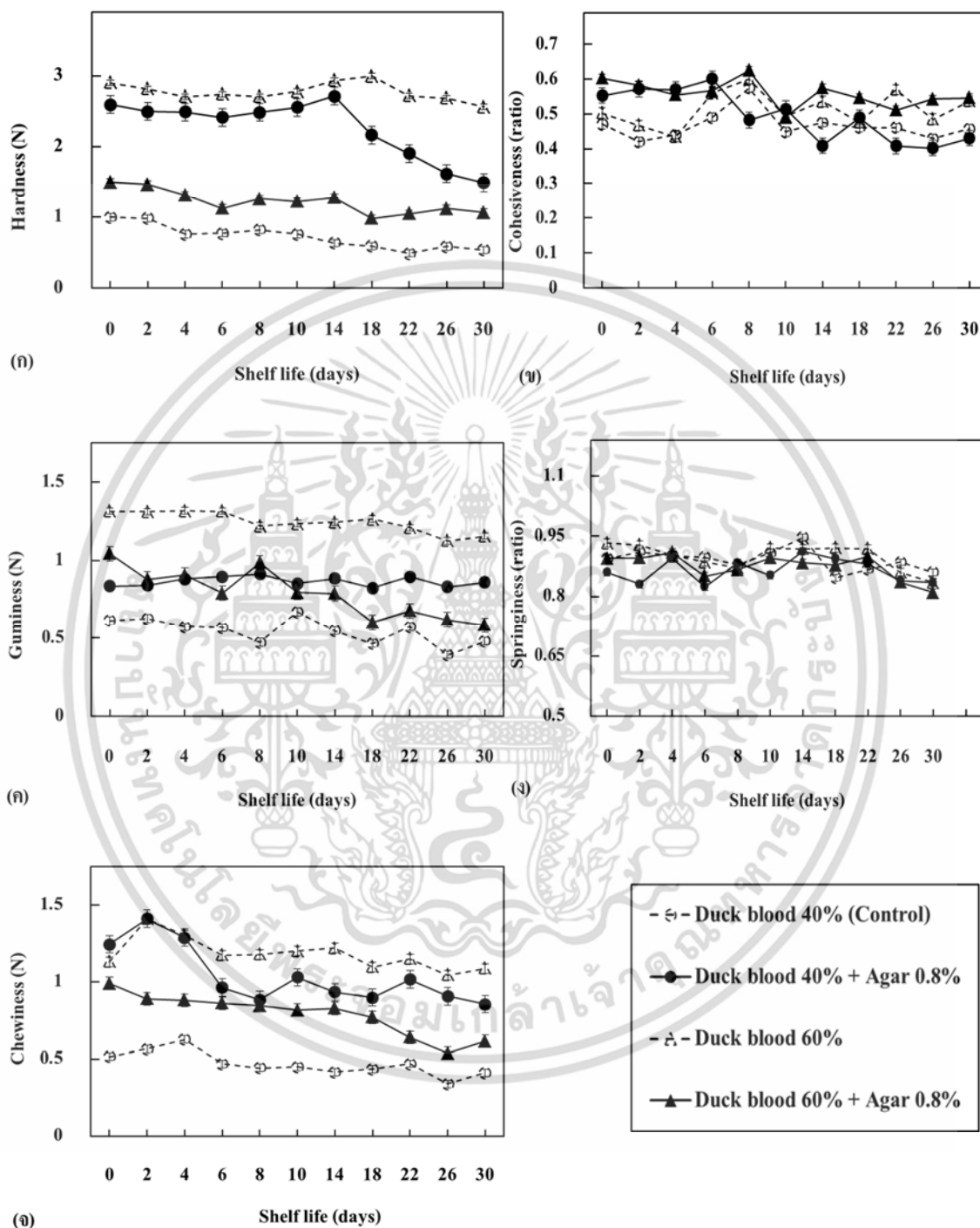
ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็ง (ภาพที่ 4.22 ก) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ชุดการทดลองควบคุมระหว่างอายุการเก็บรักษาจะมีค่าความแข็งลดลง ($p < 0.05$) โดยมีค่าความแข็งลดลงตั้งแต่วันที่ 18 ของการเก็บรักษา ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่มีการเติมอะการ์ จะมีค่าความแข็งลดลงตั้งแต่วันที่ 14 ของการเก็บรักษา และผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ทั้งชุดการทดลองที่เติม และไม่เติมอะการ์จะไม่มีเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วัน ($p > 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแต่ละชุด พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 มีค่าความแข็งต่ำกว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ภาพที่ 4.23) แต่เมื่อมีการเติมอะการ์ร้อยละ 0.8 จะช่วยเพิ่มค่าความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ได้ แต่ในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 การเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือดจะทำให้ขีดขวงการเกิดเจลของอะการ์

ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านการเกาะรวมตัวกัน (ภาพที่ 4.22 ข) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมทุกชุดการทดลองไม่ส่งผลต่อค่าการเกาะรวมตัวกัน ($p > 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแต่ละชุด พบว่าในตอนแรกของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 0-6) ชุดการทดลองที่เติมอะการ์ (ที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60) มีค่าการเกาะรวมตัวกันสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ (ที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60) และในช่วงท้ายของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 22-30) ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ชุดการทดลองที่เติมและไม่เติมอะการ์) มีค่าการเกาะรวมตัวกันสูงกว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 (ชุดการทดลองที่เติมและไม่เติมอะการ์)

ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความเหนียวคล้ายยาง (ภาพที่ 4.22 ค) และด้านการเคี้ยวได้ (ภาพที่ 4.21 จ) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมทุกชุดการทดลองไม่ส่งผลต่อค่าความเหนียวคล้ายยาง และค่าการเคี้ยวได้ ($p > 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองควบคุม (ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40) มีค่าความเหนียวคล้ายยาง และค่าการเคี้ยวได้ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ($p < 0.05$) แต่เมื่อมีการเติมอะการ์ร้อยละ 0.8 จะช่วยเพิ่มค่าความเหนียวคล้ายยาง และค่าการเคี้ยวได้ ($p < 0.05$) ยกเว้นในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือดจะทำให้ขีดขวงการเกิดเจลของอะการ์

ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความยืดหยุ่น (ภาพที่ 4.22 ง) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคัมทุกชุดการทดลองไม่ส่งผลต่อค่า ความยืดหยุ่น ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 30 วัน ($p>0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแต่ละชุด พบว่าทุกชุดการทดลอง มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)



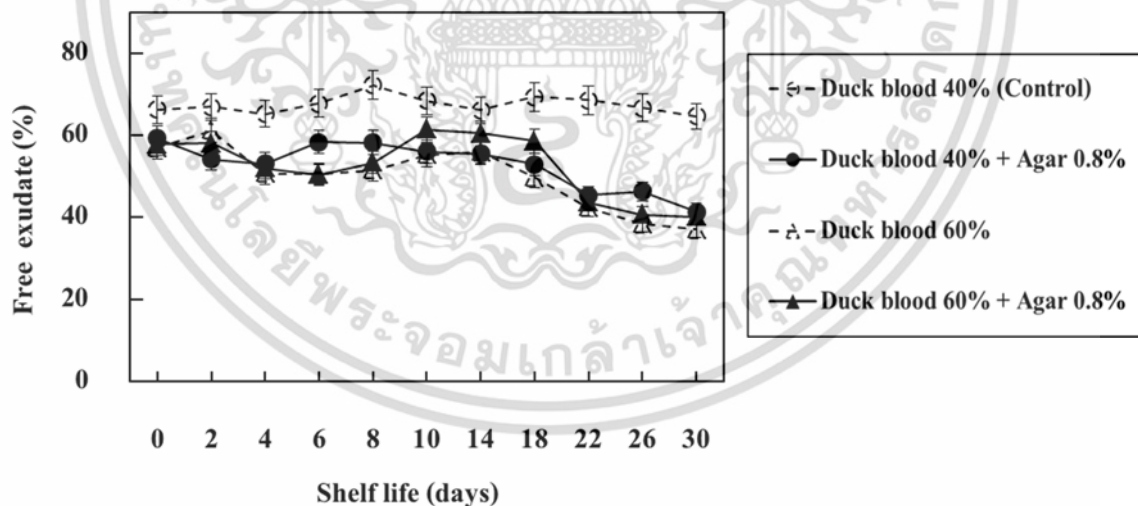
ภาพที่ 4.22 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

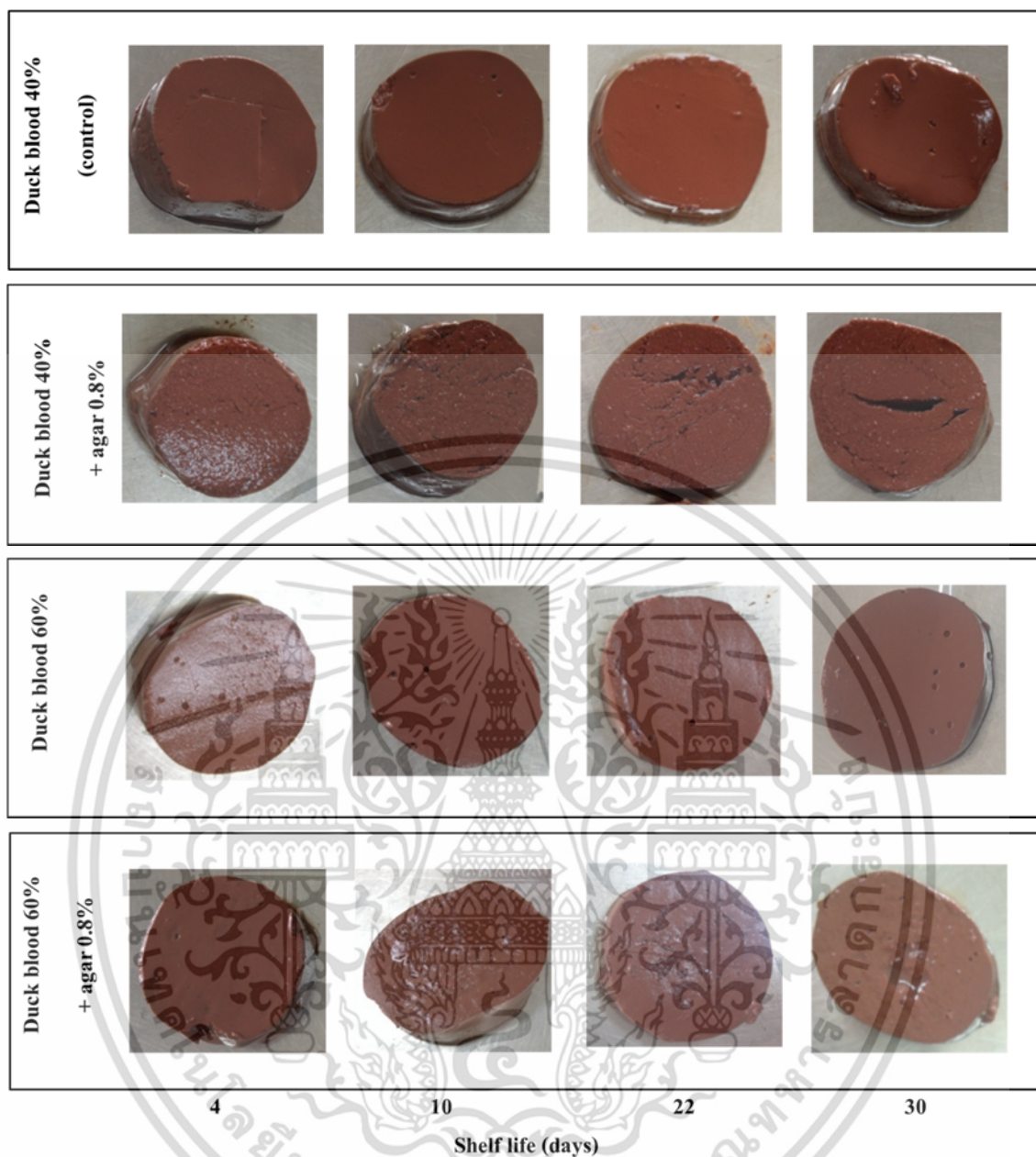
4.3.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดต้มบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.23) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชุดการทดลองควบคุม (ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40) มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลองอื่น ๆ มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดลดลงตั้งแต่วันที่ 22 ของอายุการเก็บรักษา จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.24) พบว่าชุดการทดลองควบคุม (ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40) มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ แสดงว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือด และการเติมอะการ์ในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดลดลง หรือมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะการ์เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีช่วยให้เลือดต้มมีคงตัวได้ดีแม้จะผ่านระยะเวลา 30 วันของการเก็บรักษาก็ตาม (นิธิยา รัตนพานนท์. 2551)

อย่างไรก็ตามในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่มีการเติมอะการ์ และชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ทั้งชุดที่มีการเติมอะการ์และไม่เติมอะการ์มีปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดลดลงส่วนหนึ่งมาจากน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีการไหลออกมานอกผลิตภัณฑ์บางส่วน จึงทำให้เหลือน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าน้ำลดลง



ภาพที่ 4.23 ปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาจากก้อนเลือดของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

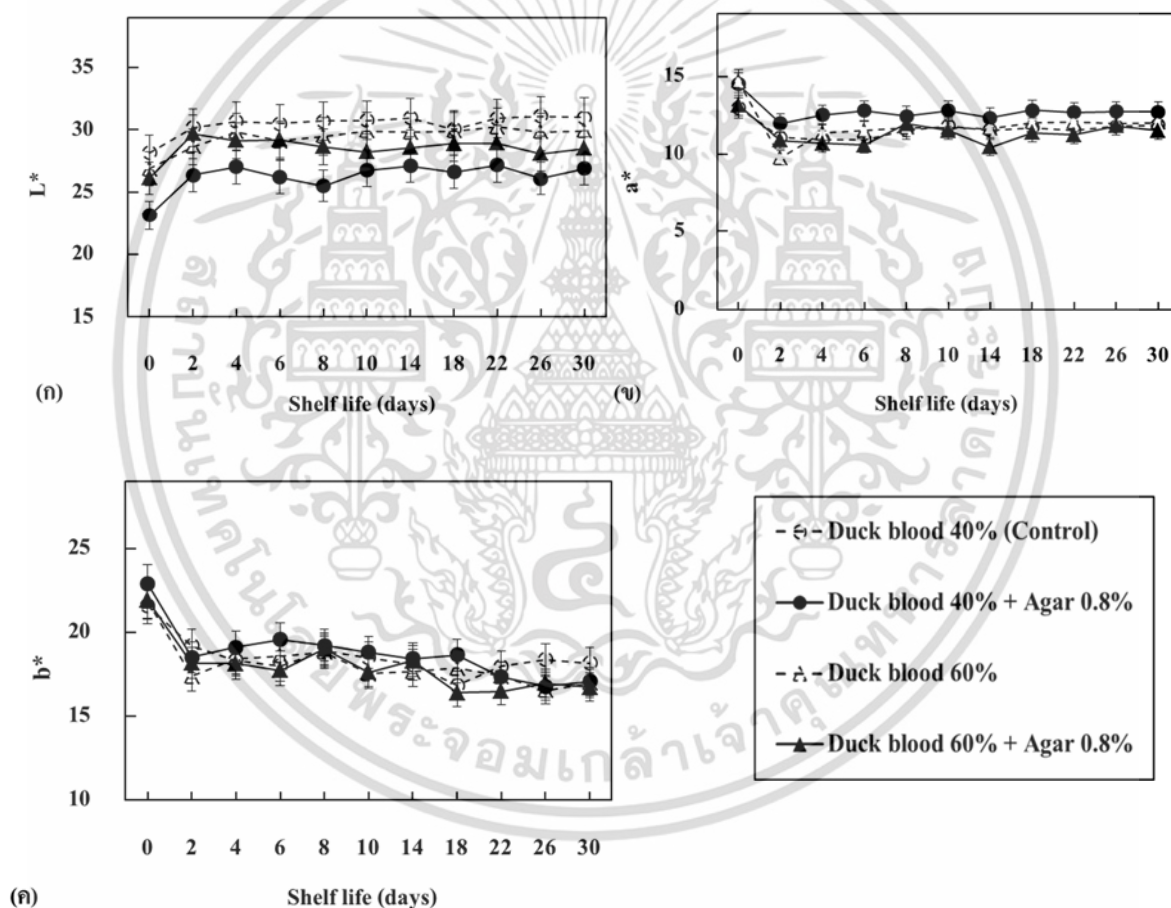


ภาพที่ 4.24 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทพร้อมกับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.3.3 คุณภาพด้านสี

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเปิดดื่มบรรจุในอุณหภูมิร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.25 ก) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มทุกชุดการทดลองมีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 ($p < 0.05$) จากนั้นมีค่าคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ($p > 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแต่ละชุด พบว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ (ที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60) มีค่าความสว่างมากกว่าชุดการทดลองที่เติมอะการ์ (ที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

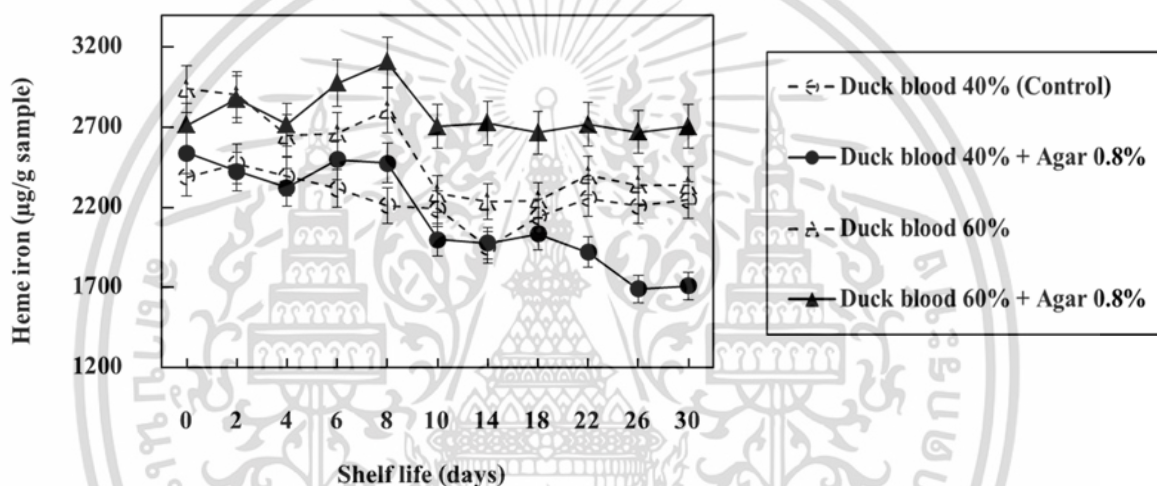
สำหรับค่าสีแดง (ภาพที่ 4.25 ข) และค่าสีเหลือง (ภาพที่ 4.25 ค) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มทุกชุดการทดลองมีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่วันที่ 2 ($p < 0.05$) จากนั้นมีค่าคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ($p > 0.05$) และจากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ์มีค่าสีแดงสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากก้อนเลือดมีความสอดคล้องกับค่าสีเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Feng *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาค่าสีของไส้กรอกระหว่างอายุการเก็บรักษา พบว่าในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ปริมาณน้ำของตัวอย่างชุดที่ 1 (54.8%) มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างชุดที่ 2 (56.48%) ส่งผลให้ค่าความสว่างของตัวอย่างชุดที่ 1 ลดลง ($p < 0.05$) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น เนื่องจากค่าสีของไส้กรอกจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่บริเวณผิวหนังของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก



ภาพที่ 4.25 คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน ค่าความสว่าง (ก) ค่าสีแดง (ข) และค่าสีเหลือง (ค)

4.3.3.4 ปริมาณฮีโมโกลบิน

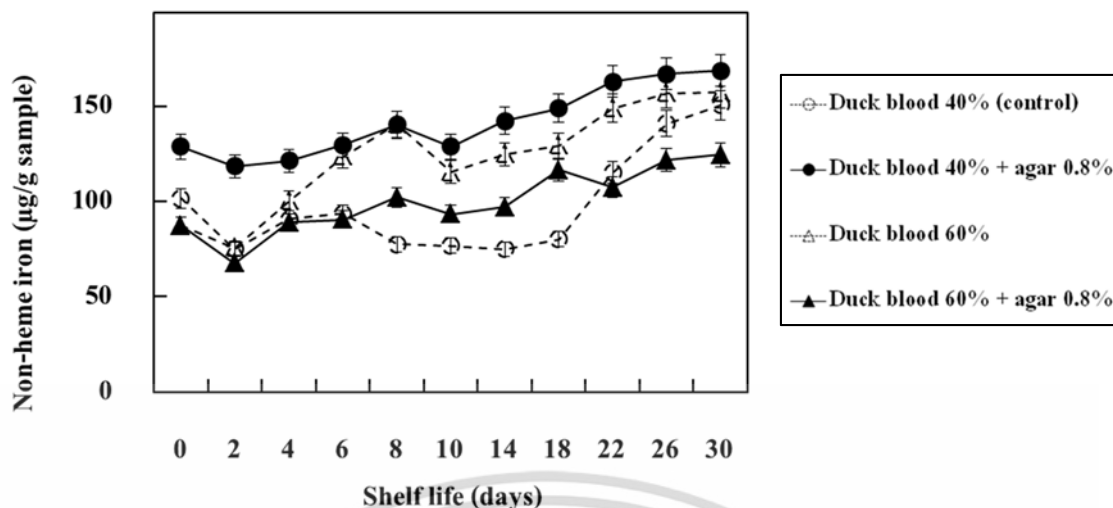
จากการวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบินต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มที่บรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.26) พบว่าในช่วงแรกของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 0-8) ผลผลิตฮีโมโกลบินเป็ดต้มทุกชุดการทดลองมีปริมาณฮีโมโกลบินมากกว่าช่วงท้ายของอายุการเก็บรักษา (วันที่ 10-30) ($p < 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 2,604.60 และ 2,264.85 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 (ทั้งชุดการทดลองที่เติม และไม่เติมอะการ์) มีปริมาณฮีโมโกลบินสูงกว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 (ทั้งชุดการทดลองที่เติม และไม่เติมอะการ์) เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นเลือดจะส่งผลทำให้ปริมาณฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.26 ปริมาณฮีโมโกลบินของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.3.5 ปริมาณนอนฮีโมโกลบิน

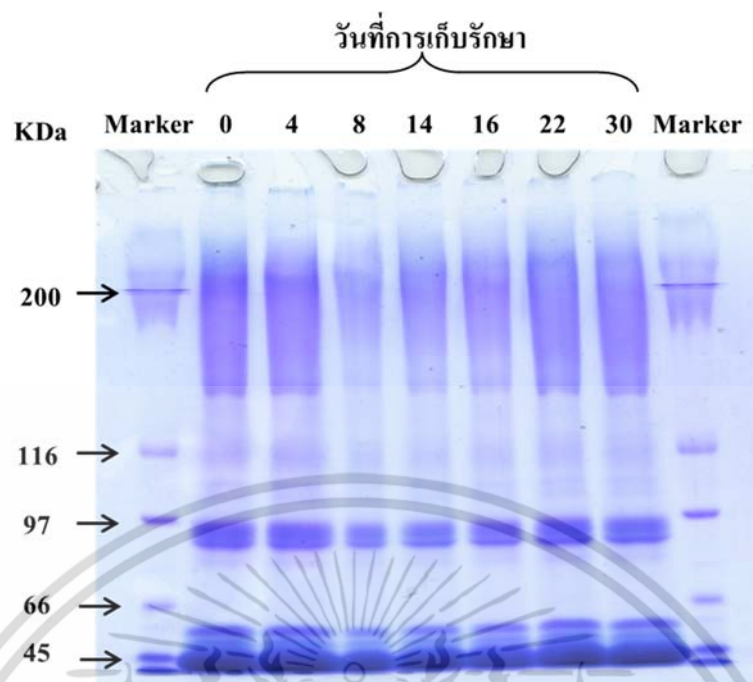
จากการวิเคราะห์ปริมาณนอนฮีโมโกลบินต่ออายุการเก็บรักษาของเลือดเป็ดต้มบรรจุในถุงทนร้อนปิดสนิท (ภาพที่ 4.27) พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ในชุดการทดลองควบคุมมีปริมาณนอนฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 22 และชุดการทดลองที่เติมอะการ์มีปริมาณนอนฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 ของอายุการเก็บรักษา ส่วนผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ปริมาณนอนฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 และชุดการทดลองที่เติมอะการ์มีปริมาณนอนฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 18 ของอายุการเก็บรักษา ($p < 0.05$) จากการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ์ และชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ที่ไม่เติมอะการ์ มีปริมาณนอนฮีโมโกลบินสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ



ภาพที่ 4.27 ปริมาณอนฮีมีโอรอนของผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในถุงทนร้อนปิดสนิทต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.3.6 วิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE

ผลการแยกโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้าภายใต้เทคนิค SDS-PAGE รูปแบบของโปรตีนจากผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่ไม่เติมอะการ์ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีค่าความแข็งลดลงมากที่สุด ($p < 0.05$) ที่เตรียมในสภาพ reducing ดังแสดงในภาพที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบโปรตีนในระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ์ และชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ทั้งชุดที่เติมอะการ์และไม่เติมอะการ์ ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการย่อยสลายของโปรตีนส่วนใหญ่ที่อาจเกิดจากเอนไซม์ (endogenous enzyme) และกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ (Ueng *et al.* 1998)



ภาพที่ 4.28 รูปแบบของโปรตีนของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มชูดการทดลองควบคุมในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทหลังระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.3.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิร้อนปิดสนิทอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสระยะเวลา วันที่ 30 พบว่าทุกชุดการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (<10 cfu/g) ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารปรุงสุกที่กำหนดว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (DMSC. 2010) ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างอายุการเก็บรักษาไส้กรอกที่ทำให้เย็นด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่มตัวอย่างไส้กรอกที่ทำให้เย็นด้วยวิธีการแช่น้ำเย็นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ทำให้เย็นด้วยวิธีแช่น้ำร้อน และทำเย็นแบบเชิงพาณิชย์ โดยสามารถเก็บรักษาได้ 15 วัน เป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำเย็นสามารถขยายเวลาในการเจริญที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสปอร์ของเชื้อที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเชื้อก่อโรค (Burfoot *et al.* 1990; Drummond *et al.* 2009) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทำเย็นด้วยการแช่น้ำผสมน้ำแข็งสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ได้

4.3.3.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบ

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านสี (ภาพที่ 4.29 ก) พบว่าในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0-8) ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มทุกชุด การทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ในชุดการทดลองที่เติมอะการ์ผู้บริโภคนำให้คะแนนความชอบต่ำที่สุด แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (วันที่ 10-26) ผู้บริโภคกลับให้คะแนนความชอบด้านสีในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มในอุณหภูมิปิดสนิท ชุดการทดลองควบคุม (ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (ภาพที่ 4.29 ข) พบว่าในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0-6) ผู้ทดสอบค่อนข้างชอบลักษณะปรากฏโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ที่เติมอะการ์ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่ำที่สุด แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (วันที่ 8-26) ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏโดยรวมในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มที่ระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ในชุดการทดลองที่เติมอะการ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 4.29 ค) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้ม ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์มากที่สุด ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 แต่เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสทุกชุดการทดลองมีค่าลดลง ($p<0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ภาพที่ 4.29 ง) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นและรสชาติมีค่าลดลง ($p<0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มทุกชุดการทดลองเริ่มมีกลิ่นคาวตั้งแต่วันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา

การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านความรู้สึกสากในปาก (ภาพที่ 4.29 จ) และพบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านความรู้สึกสากในปากของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้มในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์มากกว่าในชุดการทดลองที่เติมอะการ์ ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ($p<0.05$)

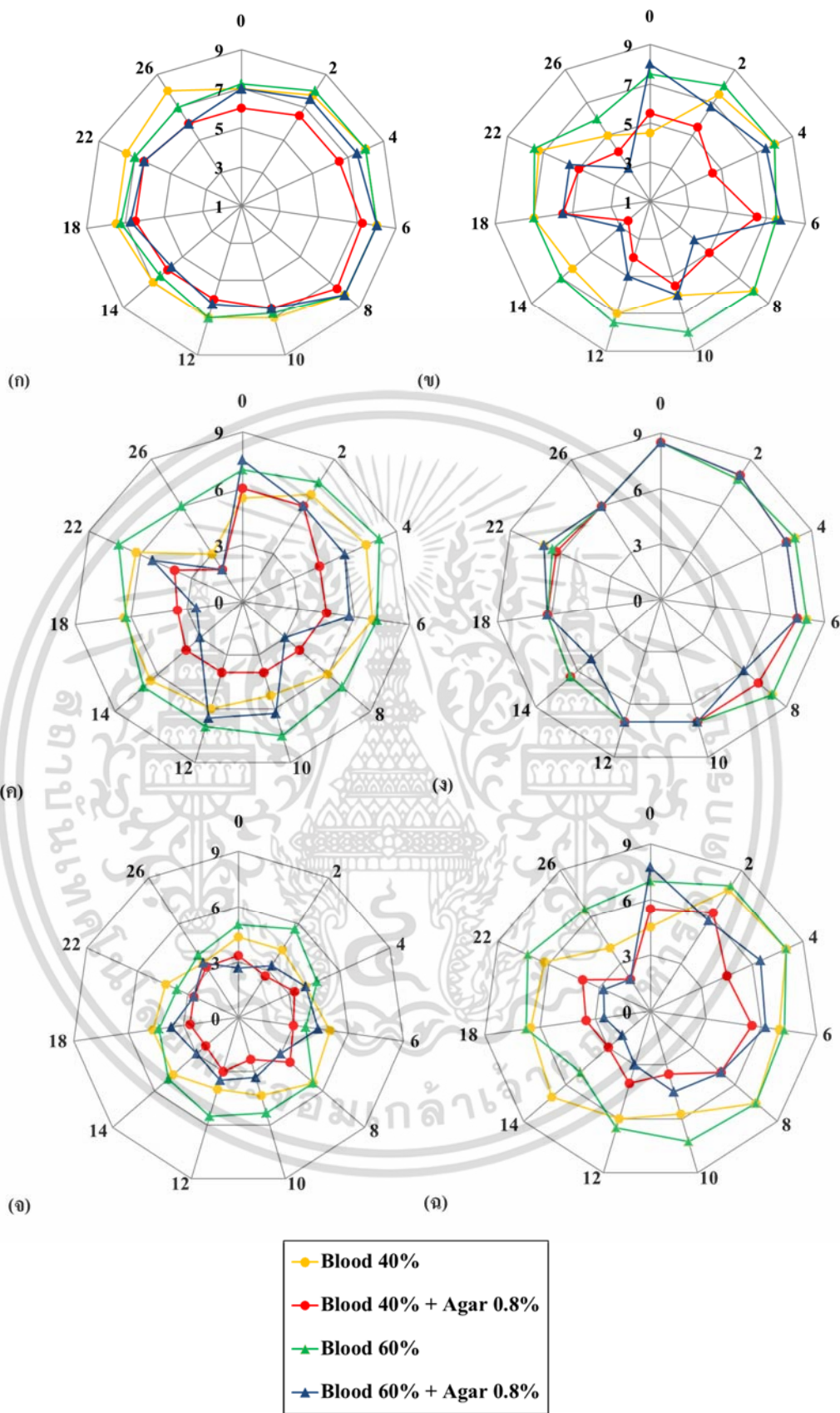
การประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้านคุณภาพโดยรวม (ภาพที่ 4.29 ฉ) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดคั้ม ในชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์มากกว่าในชุดการทดลองที่เติมอะการ์ ทั้งระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ($p<0.05$) แต่เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนความชอบทางด้านคุณภาพโดยรวมมีค่าลดลง ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงที่สุดทางด้านสี ด้านลักษณะปรากฏโดยรวม ด้านเนื้อสัมผัส ด้านกลิ่นและรสชาติ ด้านความรู้สึกสากในปาก และด้านคุณภาพโดยรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้มในอุณหภูมิปิดสนิทระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 และ 60 ชุดการทดลองที่เติมอะการ์ ($p < 0.05$) แต่ทั้งนี้อาจมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่พบว่า ชุดการทดลองที่เติมอะการ์จะทำให้ก้อนเลือดต้มมีค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($p < 0.05$) แต่สำหรับชุดการทดลองที่ไม่เติมอะการ์ค่าความแข็งจะลดลงน้อยกว่าชุดที่เติมอะการ์ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ความเข้มข้นเลือดร้อยละ 60 ไม่เติมอะการ์ค่าความแข็งจะคงตัวตลอดอายุเก็บรักษา ($p > 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงของคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาในด้านสี

(ก) ทางด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (ข) ด้านเนื้อสัมผัส (ค) ทางด้านกลิ่นและรสชาติ (ง) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ด้านความรู้สึกลึกซึ้งในปาก (จ) และด้านคุณภาพโดยรวม (ฉ) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยในส่วนแรกได้ศึกษาความแตกต่างทางด้านเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเลือดเปิดโดยมีการเปรียบเทียบกับเลือดสุกร และเลือดไก่ ในด้านโลหิตวิทยา พบว่าเลือดเปิดมีจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) ไม่แตกต่างจากเลือดไก่ แต่มีค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) ค่าเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (PCV) และปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง (MCV) .ในเลือดเปิดมากกว่าในเลือดไก่ สำหรับลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงของเลือดสุกรมีลักษณะรูเป็นทรงกลม ส่วนในเลือดไก่ และเลือดเปิดมีลักษณะเป็นวงรีซึ่งในเลือดเปิดมีขนาดของเซลล์เม็ดเลือดแดงใหญ่กว่าเลือดไก่ ส่วนในด้านของจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยรวม (WBC) ของเลือดเปิดพบต่ำที่สุด ในด้านโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบพบว่าเลือดเปิดมีโปรตีนทั้งหมดไม่ต่างจากเลือดไก่ ซึ่งโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบจะส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเลือดสัตว์ ได้แก่ โปรตีนอัลบูมิน โกลบูลิน และไฟบริโนเจน โปรตีนอัลบูมินจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเลือด โดยในเลือดไก่พบปริมาณอัลบูมินสูงที่สุดส่งผลให้มีความสามารถในการเกิดเจลดีที่สุด รองลงมาได้แก่เลือดเปิด และเลือดสุกรตามลำดับ ส่วนโปรตีน โกลบูลินจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาโดยในเลือดไก่จะพบไม่แตกต่างกับในเลือดสุกร และเลือดเปิด แต่ในเลือดสุกรจะพบมากกว่าในเลือดเปิด ดังนั้นจึงส่งผลให้เลือดไก่ และเลือดสุกรมีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าเลือดเปิด ส่วนโปรตีนไฟบริโนเจนในเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในเลือดสัตว์ทั้ง 3 ชนิดยังเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนที่จำเป็นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการของร่างกายที่แนะนำโดย FAO และยังพบแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีวภาพของร่างกายโดยเฉพาะธาตุเหล็ก ซึ่งพบได้มากในเลือดเปิด และเลือดไก่ สำหรับธาตุเหล็กที่พบในเลือดเปิดจะมีสัดส่วนของฮีโมโกลบินสูงกว่าในเลือดไก่ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของเลือดเปิดเนื่องจากร่างกายสามารถย่อย และดูดซึมธาตุเหล็กในรูปของฮีโมโกลบินได้ดีกว่าฮีโมโกลบิน

จากการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม ในด้านความเข้มข้นเลือด ความเข้มข้นเกลือ ค่า pH อุณหภูมิและเวลาในการต้มเลือด การหล่อเย็น และการกวนที่แตกต่างกัน พบว่าปัจจัยในด้านความเข้มข้นเลือด ความเข้มข้นเกลือ และอุณหภูมิและเวลาในการต้มเลือดจะส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเลือดเปิดต้ม โดยการปรับความเข้มข้นเลือดมากกว่าร้อยละ 85 ความเข้มข้นเกลือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4 M และการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะทำให้อ่อนเลือดเปิดต้มที่ได้มีลักษณะแข็ง เปราะ และมีโพรงอากาศเกิดขึ้น แต่ถ้ามีการปรับใช้ความเข้มข้นเลือดที่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ความเข้มข้นเกลือมากกว่า 0.4 M

และการต้มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้อ่อนเลือดเปิดต้มที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดหยุ่น และไม่มีโพรงอากาศ สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเลือดเปิดดื่ม ได้แก่ การปรับความเข้มข้นเลือดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 75 ความเข้มข้นเกลือมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 M และการดื่มเลือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (90 และ 140 นาที) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของก้อนเลือดเปิดดื่มได้ ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสี ได้แก่ ค่า pH และอุณหภูมิและเวลาในการดื่มเลือด โดยการปรับให้เลือดมีค่า pH เท่ากับ 6 และการดื่มเลือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 140 นาทีจะส่งผลให้ก้อนเลือดเปิดดื่มมีค่าค่าความสว่าง และค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้น และนอกจากนี้การใช้ความเข้มข้นเลือดต่ำกว่าร้อยละ 85 และการหล่อเย็นด้วยน้ำผสมน้ำแข็งจะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้

จากการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปเลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิที่ปิดสนิท (ชุดการทดลองควบคุมระดับความเข้มข้นเลือดร้อยละ 40 ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 1 ดื่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที) ร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (คาราจีแนน โพลีดีฟอสเฟต อะการ์ เจลาติน และแอลแกนกัน) โดยในการทดลองนี้เป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มในอุณหภูมิปิดสนิทให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มทางการค้าให้มากที่สุด โดยพบว่าการใช้วุ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.8 สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เลือดสุกรดื่มทางการค้ามากที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อทำการทดสอบอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มที่ใช้ร่วมกับอะการ์ พบว่าเมื่ออายุของการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มมีค่าความแข็งลดลงเนื่องจากเกิดการแยกชั้นของอะการ์ และมีปริมาณน้ำที่ไหลซึมเพิ่มสูงขึ้น จึงได้มีการปรับระดับความเข้มข้นเลือดเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 ทั้งนี้เนื่องจากการปรับระดับความเข้มข้นเลือดเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนในก้อนเลือดทำให้มีความสามารถเกิดเจลได้มากขึ้น และช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำได้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบอายุของการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 60 ในชุดการทดลองที่ไม่เติม และเติมอะการ์ร้อยละ 0.8 และหลังจากการทดสอบพบว่าผลิตภัณฑ์เลือดเปิดดื่มสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน และเมื่อทำการทดลองทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบทางด้านสี ลักษณะปรากฏโดยรวม เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ ความรู้สึกสากในปาก และคุณภาพโดยรวมในผลิตภัณฑ์เลือดเปิดที่มีระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 ไม่เติมอะการ์สูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์กับผลิตภัณฑ์เลือดเป็ดต้มในอุณหภูมิคสันทกจากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น หรือให้นิ่มลงได้เพื่อให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- จิราพร เรืองทวีศิลป์. 2557. **ธุรกิจการเลี้ยงเป็ด**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.lhbank.co.th/content/.../-8587914494853201808ธุรกิจการเลี้ยงเป็ด.pdf>. สืบค้นวันที่ 26 กันยายน 2557.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- ยุทธนา หมั่นดี. 2551. “เลือดและผลิตภัณฑ์เลือด (Blood and blood products).” **วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่**. 41: 53-61.
- วิลาสินี ดีปัญญา. 2551. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะขาม**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ศุภลักษณ์ สรภักดี. 2557. **เอกสารประกอบการสอน วิชา วัตถุประสงค์อาหารในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์**. ภาควิชาการผลิตสัตว์และประมง. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- AOAC. 2000. **Official methods of analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists**. Washington DC.
- AOAC. 2006. AOAC Official Method 966. 23-24. *In* Horwitz, W. and Latimer, W. (ed). **Official methods of analysis of AOAC international (Chapter 17)**. Maryland: AOAC international.
- Álvarez, C., García, V., Rendueles, M. and Díaz, M. 2012. “Functional properties of isolated porcine blood proteins modified by Maillard’s reaction.” **Food Hydrocolloid**. 28: 267-274.
- Bacteriological Analytic Manual (BAM) Online. 2001. Total plate count. U.S. Food and drug administration. [online]. Available: <http://www.fda.gov/Food/Foog ScienceResearch/Laboratory Methods/ucm063346.html>. สืบค้นวันที่ 9 ธันวาคม 2557.
- Burfoot, D., Self, K.P., Hudson, W.R., Wilkins, T.J. and James, S.J. 1990. “Effect of cooking and cooling method on the processing times mass losses and bacterial condition of large meat joints.” **Food Sci. and Tech**. 25: 657-667.
- Cheftel, J.L., Cuq J.L., and Lorient, D. 1985. **Proteines alimentaires techniques et documentation**. Lavosier: Paris.
- Chen, S.Y. and Kuo, M.I. 2016. “Physicochemical and functional properties of Chinese soft-shell turtle (*Pelodiscus sinensis*) egg.” **Food Res Int**. 85:36-43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- Dávila, R.E. and Parés, D. 2007. "Structure of heat-induced plasma protein gels studied by fractal and lacunarity analysis." **Food Hydrocolloid.** 21: 147-153.
- Dávila, R.E., Parés, D. and Cuvelier, G. 2007. "Heat-induced gelation of porcine blood plasma proteins as affected by pH." **Meat Sci.** 76: 216-225.
- Dávila, R.E. 2006. **Advances in animal blood processing: development of a bio preservation system and insights on the functional properties of plasma.** Ph.D. Thesis. University of Girona, Girona, Spain.
- Divakaran, S. 1982. Animal blood processing and utilization. FAO agricultural service bulletin 32 rome, food and agricultural organization of The United Nations.
- 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., Simões, C., M.C. and Sgarbieri, V.C. 1999. "Bovine blood components fractionation, composition, and nutritive value." **Agric. Food Chem.** 47: 231-236.
- Dunstan, D.E., Chen, Y., Liao, M.L., Salvatore, R., Boger, D.V. and Prica, M. 2001. "Structure and rheology of the κ -carrageenan/locust bean gum gels." **Food Hydrocolloids.** 15: 475-484.
- DMSC. 2010. **Microbiological quality of food and food containers.** Department of Medical Science, Ministry of Public Health; Nonthaburi, Thailand.
- Drummond, L., Sun, D.W., Vila, C. T. and Scannell, A.G.M. 2009. "Application of immersion vacuum cooling to water-cooked beef joints-quality and safety assessment." **Food Sci. and Tech.** 42: 332-337.
- FAO., WHO. and UNU. 2007 **protein and amino acid requirements in human nutrition.** Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series 935, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

- Feng, C.H., Sun, D.W., Martín, J.F.G. and Zhang, Z.H. 2013. "Effects of different cooling methods on shelf-life of cooked jumbo plain sausages." **Food Sci. and Tech.** 54: 426-433.
- Ferry, J.D. 1948. "Protein gels." **Meat Sci.** 4: 1-76.
- Foegeding, E.A., Bowland, E.L. and Harding, C.C. 1995. "Factors that determine the fracture properties and microstructure of globular protein gels." **Food Hydrocolloid.** 9: 237-249.
- Furlán, L.T.R., Padilla, A.P. and Campderrós, M.E. 2015. "Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix." **Food Chem.** 170: 257-264.
- Gaze, J.E., Shaw, R. and Archer, J. 1998. "Identification and prevention of hazards associated with slow cooling of hams and other large cooked meats and meat products." **Campden & Chorleywood Food Research Association.** 119-133.
- Harrington¹, J.M., Young¹, D.J., Essader¹, A.S., Sumner, S.J. and Levine¹, K.E. 2014 "Analysis of human serum and whole blood for mineral content by ICP-MS and ICP-OES: Development of a mineralomics method." **Biol Trace Elem Res.** 160: 132-142.
- Hean, P.J. 1995. **Principle of Hematology.** Wm. C. Publishers: Unitedstate of America.
- Hermansson, A.M. 1979. Aggregation and denaturation involved in gel formation. *In* Pour, A.E. (ed). **Functionality and Protein Structure.** USA.: American Chemical Society.
- Hornsey, H.C. 1956. "The color of cooked cured pork estimation of the nitricoxide-heme pigments." **Food Agric.** 7: 534-540.
- Hurtado, S., Dagà, I., Espigulé, E., Parés, D, Sagner, E., Toldrà, M. and Carretero, C. 2011. "Use of porcine blood plasma in phosphate-free frankfurters." **Food Sci.** 1: 477-482.
- 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 Sserumaga, P. 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." **J. Food Agric. Nutr. Dev.** 5: 1-18.
- Kinsella, J.E., Rector, D.J. and Phillips, L.G. 1994. Physicochemical properties of proteins. *In* Yada R. (ed). **Texturization via gelation, glass and film formation. Protein Structure Function Relationship in Foods.** New York: Academic Press.

- Kongkachuichai, R., Napatthalung, P. and Charoensiri, R. 2002. "Heme and nonheme iron of animal products commonly consumed in Thailand." **J Food Compost Anal.** 15: 389-398.
- Kugel, R.W. 1998. "Raoult's Law Binary Liquid-Vapor Phase Diagrams." **J. Chem. Educ.** 75.9: 1125.
- Kristensen, L. and Purslow, P.P. 2001. "The effect of processing temperature and addition of mono- and di- valent salts on the heme- nonheme-iron ratio in meat." **Food Chem.** 73: 433-439.
- Lahaye, M. and Rochas, C. 1991. "Chemical structure and physico-chemical properties of agar." **Hydrobiol.** 126: 137-148.
- Lawal, O.S., Adebowale, K.O. and Adebowale, Y.A. 2007. "Functional properties of native and chemically modified protein concentrates from Bambara." **Afr. J. Food Sci.** 40: 1003-1011.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. "Protein measurement with the Folin phenol reagent." **Biol. Chem.** 193: 265-275.
- Martini, H. 2006. **Fundamentals of anatomy and physiology.** New York: Academic Press.
- McDonald, K., Sun, D.W. and Kenny, T. 2000. "Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum cooling and by conventional cooling." **Lab. Tech.** 33: 21-29.
- Medin, A. 1995. **Studies of structure and properties of agarose.** Ph.D. Thesis. Acta Universitatis Upsaliensis, Sweden.
- Morris, E.R., Nishinari, K. and Rinaudo, M. 2012. "Gelation of gellan." **Food Hydrocolloid.** 28: 373-411.
- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H. and Shahidi, F. 2011. "Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolyse from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna." **Food Chem.** 124: 1354-1362.
- Natt, M.P. and Herrick, C.A. 1952. "A new blood diluent for counting the erythrocytes and leucocytes of the chicken." **Poultry Sci.** 31: 735-738.
- Nimalaratne, C., Lopes-Lutz, D., Schieber, A. and Wu, J. 2011. "Free aromatic amino acids in egg yolk show antioxidant properties." **Food Chem.** 129: 155-161.
- Nowsad, A.A., Kanoh, S. and Niwat, E. 2000. "Thermal gelation properties of spent hen mince and surimi." **Poultry Sci.** 79: 117-125

- Ockerman, H.W. and Hansen, C.L. 1988. **Animal by-product processing**. Chichester, England: Ellis Horwood Ltd.
- Ockerman, H.W. and Hansen, C.L. 2000. **Animal By-product Processing and Utilization**. USA.: Technomic publishing company inc.
- Phillips, L.G., Whitehead, D.M. and Kinsella, J.E 1994. **Structure Function Properties of Food Proteins**. San Diego: Academic Press.
- Phillips, G.O. and Williams, P.A. 2009. **Handbook of hydrocolloids**. New York: CRC press.
- Ranken, M.D. 1980. Applications of blood proteins. *In* Grant, R.A. (ed). **Applied Protein Chemistry**. London: Applied Science Publishers Ltd.
- Rebouche, C.J., Wilcox, C.L. and Widness, J.A. 2004. "Microanalysis of non-heme iron in animal tissues." **J. Biochem Biophys**. 58: 239-251.
- Rees, R.A. 1969. Structure Conformation and Mechanism. *In* Wolfrom, M.L., Tipson, R.S. and Horton, D. (ed). **The Formation of Polysaccharide Gels and Networks**. New York: Academic Press.
- Reece, O.W. 2006. **Functional Anatomy and Physiology of Domestic Animals**. 3th ed. Iowa: Blackwell Publishing Ames.
- Reizenstein, P. 1980. **Hemoglobin fortification of food and prevention of iron deficiency with heme iron**. Scandinavian: Acta Medica Supplement.
- Schafer, A., Rosenfold, K. and Purslow, P.P. 2002. "Physiological and structural events postmortem of importance for drip loss in pork." **Meat Sci**. 61: 355-366.
- Shahidi, F., Han, X.Q. and Synowiecki, J. 1995. "Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*)." **Food Chem**. 53: 285-293.
- Shilpashree, B.G., Arora, S., Chawla, P., Vakkalagadda, R. and Sharma, A. 2015. "Succinylation of sodium caseinate and its effect on physicochemical and functional properties of protein." **Food Sci. Tech**. 6: 1270-1277.
- Smith, D.M. 1994. Protein interactions in gels protein-protein interactions protein functionality. *In* **Food Systems Marcel Dekker**. New York: Academic Press.
- 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**. New York: Academic Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. **Principle and Procedure of Statistics. 2nd ed.** New York: Macgraw-Hill.
- Stevens, A. and Lowe, J. 2005. Human Histology. 3rd ed. **McGraw.** Philadelphia: Elsilvier Ltd.
- Stryer, L. 1995. **Biochemistry. 4th ed.** New York: W H Freeman & Co.
- Stone, H. 1992. Quantitative descriptive analysis (QDA). *In* Hootman, R.C. (ed). **Manual on descriptive analysis testing for sensory evaluation.** San Diego: CA. Elsevier Academic Press.
- Swenson, M.J. and Reece, W.O. 1993. **Dukes physiology of domestic animals. 11th ed.** London: Comstock Publishing.
- Thomus, W.R. 1992. Carrageenan. *In* Imeson, A. (ed). **Thickening and gelling agents for foods,** London: Blackie Academic & Professional.
- Toldra, M., Elias, A., Pares, D., Sagner, 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.
- Ueng, Y.E. and Chow, C.J. 1998. “Textural and histological changes of different squid mantle muscle during frozen storage.” **Food Chem.** 46: 4728-4733.
- Vander, A., Sherman, J. and Luciano, D. 2010. **Human Physiology. 8th ed. McGraw.** Singapore: Hill Inc.
- Walter, T., Hertrampf, E., Pizarro, F., Olivares, M., Llaguno, S. and Letelier, A. 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. 2014. “Effect of pH on heat-induced gelation of duck blood plasma protein.” **Food Hydrocolloids.** 35: 324-331.
- Yamamoto, F. and Cunha, R.L. 2007. “Acid gelation of gellan: Effect of final pH and heat treatment conditions.” **Carbohydr Polym.** 68: 517-527.
- 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.** Washington D.C., USA: National Research.
- Zayas, J.F. 1997. **Functionality of proteins in food.** New York: Springer Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhu, L., Ao, J. and Li, P. 2015. "A novel in situ gel base of deacetylase gellan gum for sustained ophthalmic drug delivery of ketotifen: in vitro and in vivo evaluation." **Drug Des Devel Ther.** 9: 3943-3949.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70

95% ethanol	737.00 มิลลิลิตร
Distilled water	233.00 มิลลิลิตร

สารละลายเอทานอลผสมกับน้ำกลั่น และเขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในขวดสีชาปิดฝาสนิท

2. การเตรียมสารละลายสำหรับการแยกโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้า

2.1 30% Monomer solution (acrylamind monomer) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

Acrylamind	30 กรัม
Bisacrylamind	0.8 กรัม

ทำการละลายสาร acrylamind 30 กรัม และ bisacrylamind 0.8 กรัม ในน้ำกลั่นผสมเข้าด้วยกัน โดยใช้ magnetic stirrer และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บให้พ้นแสงแดดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2 4X Resolving gel buffer (1.5M Tris, pH 8.8) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

Tris (hydroxymethyl) aminomethane	18.15 กรัม
น้ำกลั่น	90 มิลลิลิตร

ทำการละลายสาร Tris 18.15 กรัม และน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ magnetic stirrer เมื่อละลายแล้วทำการปรับ pH ให้ได้ 8.8 โดยใช้ 0.1 N HCl จากนั้นเก็บให้พ้นแสงแดดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.3 4X Stacking gel buffer (0.5 M Tris, pH 6.8) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

Tris (hydroxymethyl) aminomethane	6 กรัม
น้ำกลั่น	90 มิลลิลิตร

ทำการละลายสาร Tris 6 กรัม และน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ magnetic stirrer เมื่อละลายแล้วทำการปรับ pH ให้ได้ 6.8 โดยใช้ 0.1 N HCl จากนั้นเก็บให้พ้นแสงแดดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.4 10% Sodium dodecyl sulphate (SDS) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

SDS	10 กรัม
น้ำกลั่น	90 มิลลิลิตร

ทำการละลาย SDS 10 กรัม และน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ magnetic stirrer จากนั้นเก็บสารละลายที่อุณหภูมิห้อง

2.5 10X Tank buffer สำหรับ SDS-PAGE ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

Tris (hydroxymethyl) aminomethane	30.28 กรัม
Glycine	144.13 กรัม
SDS	10 กรัม
น้ำกลั่น	900 มิลลิลิตร

ทำการละลายสาร Tris 30.28 กรัม Glycine 144.13 กรัม และ SDS 10 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ magnetic stirrer เมื่อละลายแล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร โดยเจือจางสารละลาย 10 เท่า ก่อนใช้ สารละลายสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

2.6 2X Sample buffer สำหรับ SDS-PAGE ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

4X Stacking gel buffer (0.5 M Tris, pH 6.8)	2.5 มิลลิลิตร
Glycerol	2 มิลลิลิตร
10% SDS	4 มิลลิลิตร
Bromophenol blue	1 มิลลิลิตร
β -mercaptorthanol	0.2 มิลลิลิตร

ทำการละลายสาร 4X Stacking gel buffer (0.5 M Tris, pH 6.8) 2.5 มิลลิลิตร Glycerol 2 มิลลิลิตร 10% SDS 4 มิลลิลิตร Bromophenol blue 1 มิลลิลิตร และ β -mercaptorthanol 0.2 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน และปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2.7 Staining Solution ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

Coomassie brilliant blue (R-250)	1.25 กรัม
Ethanol	450 มิลลิลิตร
Acetic acid	100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการละลายสาร Coomassie brilliant blue (R-250) 1.25 กรัม Ethanol 450 มิลลิลิตร และ Acetic acid 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้ magnetic stirrer ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเก็บให้พ้นแสงแดดที่อุณหภูมิห้อง

2.8 Destaining Solution ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

Methanol 300 มิลลิลิตร

Acetic acid 100 มิลลิลิตร

ทำการผสม Methanol 300 มิลลิลิตร และ Acetic acid 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. การเตรียมสารละลายสำหรับการตรวจหาฮีโมโอรอน

3.1 Acid acetone Solution ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

80% Acetone 16 มิลลิลิตร

18% น้ำกลั่น (รวมน้ำในตัวอย่าง) 2.68 มิลลิลิตร

2% HCl 0.4 มิลลิลิตร

ทำการผสม Acetone 16 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 2.68 มิลลิลิตร และ HCl 0.4 มิลลิลิตร เข้าด้วยกันเก็บไว้ในที่เย็น

3.2 Hematin standard Solution (100 µg/ml) 5 มิลลิลิตร

Hematin (1,000µg/ml) 0.005 กรัม

1M NaOH 10 มิลลิลิตร

ชั่ง hematin 0.005 กรัม ละลายใน 1M NaOH 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย hematin ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ทำการปรับความเข้มข้นโดยนำสารละลาย hematin (1,000µg/ml) 500 ไมโครลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 4,500 ไมโครลิตร จะได้สารละลาย hematin ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลายสำหรับการตรวจหาฮีโมโอรอน

4.1 Potein precipitant Solution 60 มิลลิลิตร

1N HCl 4.97 มิลลิลิตร

10% TCA 6 กรัม

น้ำกลั่น 55 มิลลิลิตร

ทำการผสม TCA 6 กรัม และ HCl 4.97 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 60 มิลลิลิตร ด้วย

น้ำกลั่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 Chromogen for sample 70 มิลลิลิตร

Ferozine	0.0175 กรัม
Soduim acetate	8.61 กรัม
Thioglycolic acid	71.42 ไมโครลิตร
น้ำกลั่น	69.92 มิลลิลิตร

ทำการผสม Ferozine 0.0175 กรัม Soduim acetate 8.61 กรัม และ Thioglycolic acid 71.42 ไมโครลิตร เข้าด้วยกันจากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 70 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4.3 Chromogen for blank 30 มิลลิลิตร

Soduim acetate	3.69 กรัม
Thioglycolic acid	30.61 ไมโครลิตร
น้ำกลั่น	29.96 มิลลิลิตร

ทำการผสม Soduim acetate 3.69 กรัม และ Thioglycolic acid 30.61 ไมโครลิตร เข้าด้วยกันจากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 30 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4.4 Iron standard Solution (10 µg/ml) 4 มิลลิลิตร

Iron (1,000µg/ml)	40 ไมโครลิตร
น้ำกลั่น	3060 มิลลิลิตร

เตรียม Iron ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยนำ Iron (1,000µg/ml) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ปรับความเข้มข้นโดยน้ำกลั่นจนครบ 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย Iron ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นปรับความเข้มข้นอีกครั้งด้วยการนำสารละลาย Iron (100µg/ml) ปริมาตร 40 ไมโครลิตรเติมน้ำกลั่นจนครบ 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย Iron ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข
การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. สารละลาย 0.1% peptone ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

Peptone 1.00 กรัม

ละลาย Peptone 1.00 กรัมในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 15 นาที

2. Plate count agar (PCA) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

Plate count agar 22.5 กรัม

น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

ละลาย Plate count agar 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 15 นาที

ภาคผนวก ก

การประเมินความพึงพอใจต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เลือดเปิดต้ม

วันที่.....

ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 รายละเอียดของผู้ประเมิน

1.1 เพศ ชาย หญิง

1.2 กรุณาระบุช่วงอายุของท่าน

 ต่ำกว่า 20 ปี 20-35 ปี 36-50 ปี สูงกว่า 50 ปี

1.3 รายได้ของท่านต่อเดือน

 น้อยกว่า 5,000 บาท 5,000 - 15,000 บาท 15,001 - 25,000 บาท มากกว่า 25,000 บาท

1.4 อาชีพ

 นักเรียน นักศึกษา รับราชการ พนักงานของรัฐ บริษัทเอกชน ทำงานส่วนตัว อื่น ๆ โปรดระบุ.....

1.5 คุณชอบรับประทานเลือดต้มหรือไม่

 ไม่ชอบมาก ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ค่อนข้างชอบ ชอบ ชอบมาก

๕ กรุณากลับปากด้วยน้ำดื่มก่อนชิมตัวอย่างแรก

๕ ก่อนชิมตัวอย่างถัดไป กรุณาทานแครกเกอร์เล็กน้อย ตามด้วยการกลับปากด้วยน้ำดื่มอีกเล็กน้อย (ท่านสามารถบ้วนทิ้งลงในถ้วยสูงที่เตรียมไว้ให้)

ตอนที่ 2 กรุณาให้คะแนนระดับความชอบของท่าน (จาก 1 ถึง 9 คะแนน) ที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ท่านกำลังทดสอบชิมทีละตัวอย่าง โดยกรอกคะแนนลงให้ตรงกับรหัสตัวอย่างในตารางด้านล่าง

คะแนน	ระดับความชอบ
9	= ชอบมากที่สุด
8	= ชอบมาก
7	= ชอบปานกลาง
6	= ชอบเล็กน้อย
5	= เฉย ๆ
4	= ไม่ชอบเล็กน้อย
3	= ไม่ชอบปานกลาง
2	= ไม่ชอบมาก
1	= ไม่ชอบมากที่สุด

ลักษณะของผลิตภัณฑ์	คะแนนความชอบ					
สี						
ลักษณะปรากฏโดยรวม						
เนื้อสัมผัสโดยรวม						
ความรู้สึกลึกซึ้งในปาก						
กลิ่นและรสชาติ						
คุณภาพโดยรวม						

ความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

ขอบคุณ

ที่กรุณาใช้เวลาอันมีค่า ☺

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว สุภาวดี นฤนาทโสภานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	27 มีนาคม พ.ศ. 2535
ที่อยู่	48/367 หมู่บ้าน เมืองประชา ซอย หทัยราษฎร์ 37 ถนน หทัยราษฎร์ เขต คลองสามวา แขวง สามวาตะวันตก กทม. 10510
ประวัติการศึกษา	2552 มัธยมตอนปลายโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา๒ 2556 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2559 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	ผลงานตีพิมพ์ “Effects of Blood Concentration, Salt Concentration, and Cooling on Quality of Boiled Duck Blood” 5 th Proceeding of the meat science technology. Agricultural technology king mongkut’s institute of technology ladkrabang, Thailand. July 25-26, 2014.
ทุนวิจัยที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนจาก บริษัท คักคิง จำกัด ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้