หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

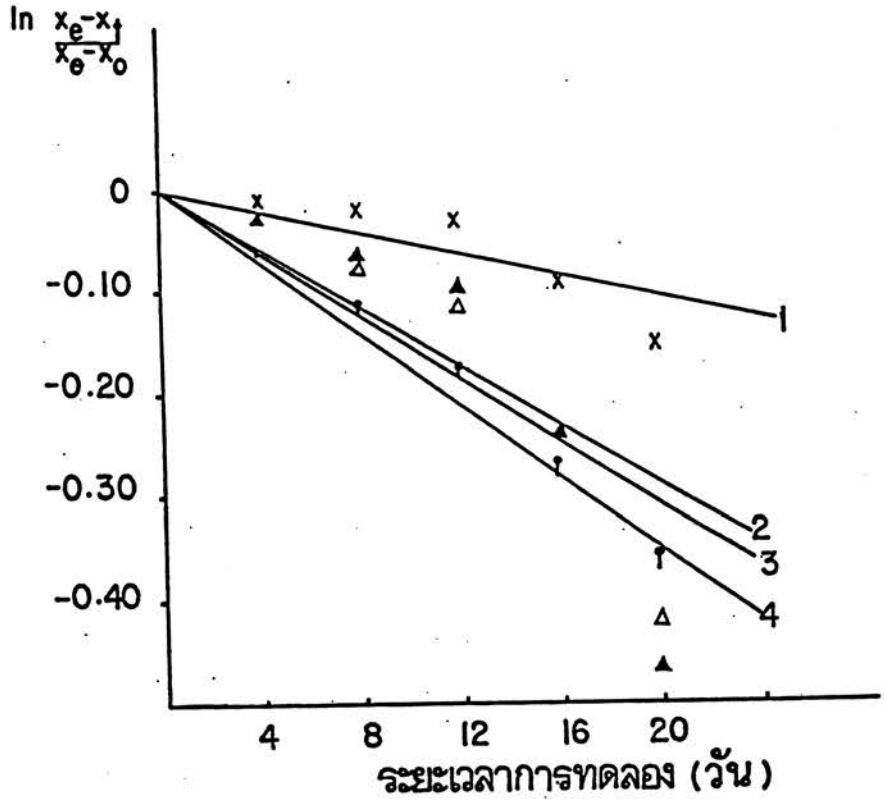
4.1 ปริมาณประจุภาคโซเดียมและคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่

จากการศึกษาปริมาณประจุภาคโซเดียมและคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 30,34 พบว่าปริมาณประจุภาคโซเดียมที่ซึมผ่านเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นไปตามหลักการแพร่กระจายของสารคือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ (25) และปริมาณประจุภาคโซเดียมที่ซึมผ่านเปลือกไข่ไก่จะน้อยกว่าเปลือกไข่เป็ดก็เนื่องจากรูบนเปลือกไข่ไก่มีขนาดเล็กกว่าไข่เป็ด (5) เมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านเปลือกไข่ระหว่างประจุภาคโซเดียมและคลอไรด์ ปรากฏว่าอัตราการซึมผ่านเปลือกไข่ของประจุภาคโซเดียมเร็วกว่าคลอไรด์ทั้งที่ 4 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจากมวลโมเลกุลของประจุภาคโซเดียมน้อยกว่าคลอไรด์ (26) และจากการทดลองข้อนี้จึงใช้ไข่เป็ดในการหมักไข่เยี่ยวม้าเนื่องจากเวลาในการหมักสั้นกว่า เพราะสารละลายซึมผ่านเปลือกไข่เป็ดได้เร็วกว่าเปลือกไข่ไก่

4.2 ปริมาณประจุภาคคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ซึ่งแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน

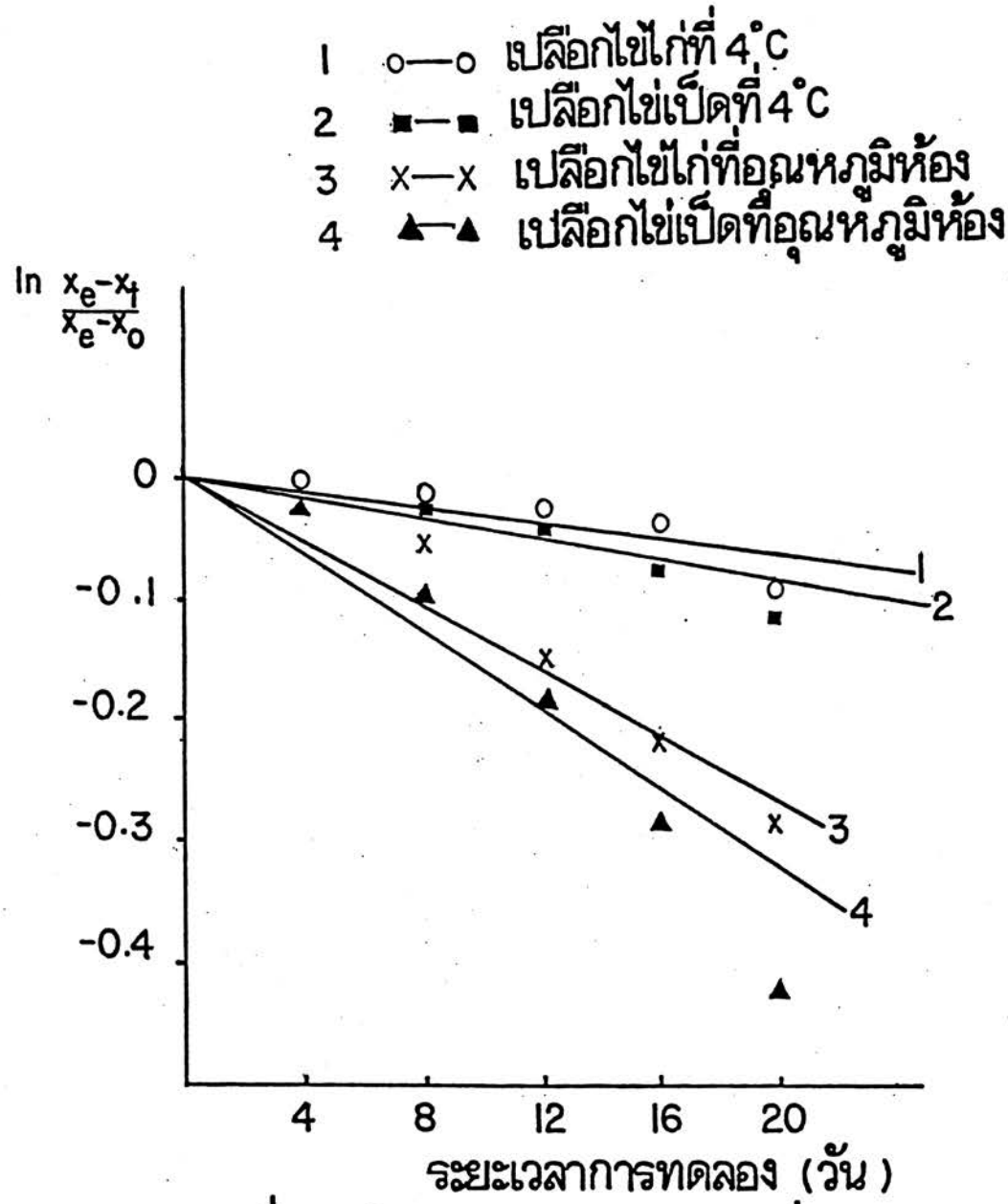
จากการทดลองการซึมผ่านเปลือกไข่ของประจุภาคคลอไรด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์สองความเข้มข้น ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 36 พบว่าปริมาณประจุภาคคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ซึ่งแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร จะมีอัตราการซึมผ่านมากกว่าที่แช่ในสารละลายเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นไปตามหลักการแพร่กระจายที่อัตราการซึมผ่านของสารละลายเป็นสัดส่วนกับความต่างศักดาการถ่ายเทมวลคือ ผลต่างของความเข้มข้น (25) และปริมาณการซึมผ่านของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มที่จะเป็นไปตามสัดส่วนกับความเข้มข้น แต่ผลการทดลองจากข้อนี้ถ้าจะนำไปใช้เตรียมสารละลายในการหมักไข่เยี่ยวม้าต้องศึกษาความเข้มข้นที่

1 x——x เปลือกไข่ไก่ที่4°c
2 ▲——▲ เปลือกไข่เป็ดที่4°c
3 △——△ เปลือกไข่ไก่ที่อุณหภูมิห้อง
4 ı——ı เปลือกไข่เป็ดที่อุณหภูมิห้อง

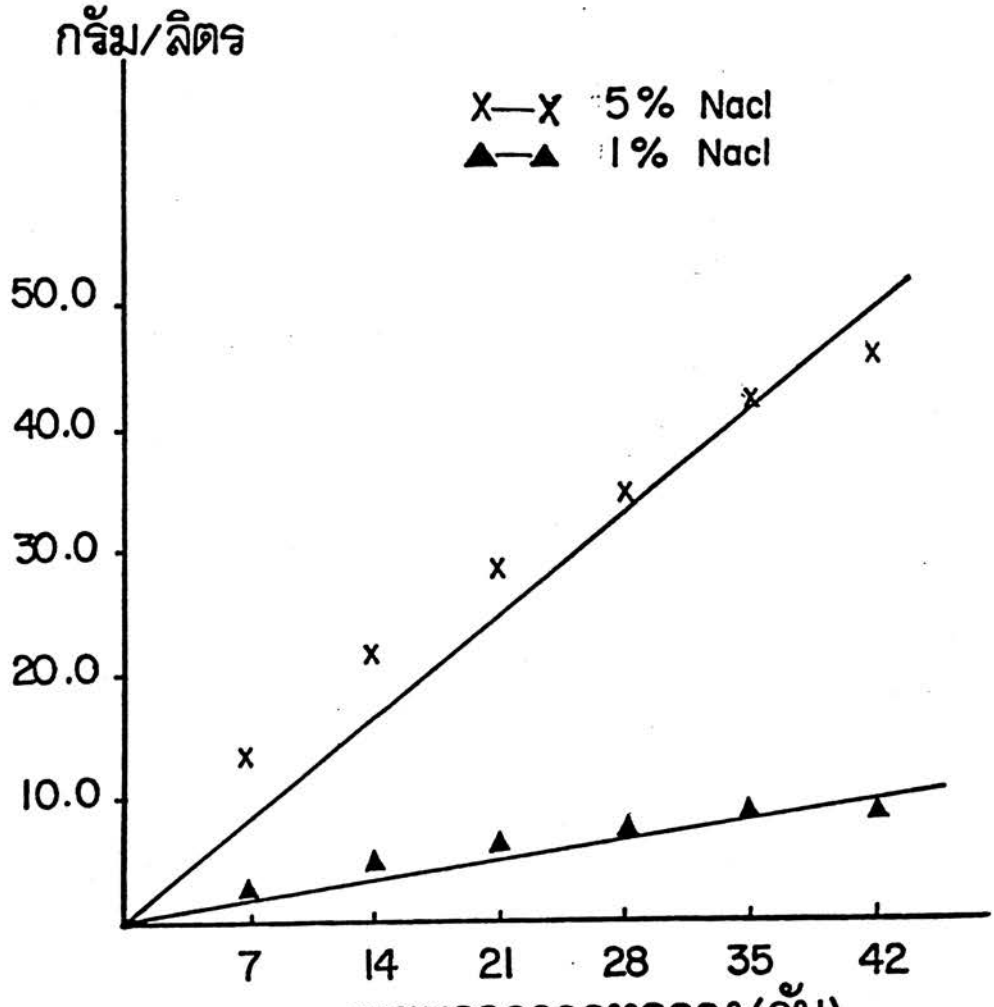


รูปที่ 3 ปริมาณ SODIUM ION ที่ซึมผ่านเปลือกไข่

X_0 = ปริมาณ SODIUM ION ที่จุดเริ่มต้น
X_e = ปริมาณ SODIUM ION ที่เวลาสุดท้ายของการทดลอบ
X_t = ปริมาณ SODIUM ION ที่เวลาใด ๆ



รูปที่ 4 ปริมาณ CHLORIDE ION ที่ซึมผ่านเปลือกไข่



รูปที่ 5 ปริมาณ CHLORIDE ION ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ซึ่งแช่ในสารละลาย โซเดียม-คลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นต่างกัน

พอเหมาะของสารละลายแต่ละชนิด เนื่องจากต้องใช้สารเคมีหลายชนิดพร้อมกันในสูตรหมักไข่เยี่ยวม้า และยังขึ้นกับกลไกของโปรตีนในไข่ที่จะดึงดูดประจุภาคต่าง ๆ เข้ามาทำปฏิกิริยากับโปรตีน (9)

4.3 <u>ปริมาณประจุภาคคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ที่อุณหภูมิห้องและที่ 38 องศาเซลเซียส</u>

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 37 ผลปรากฏว่าเปลือกไข่ที่แช่ในสารละลาย 38 องศาเซลเซียส มีอัตราการซึมผ่านเปลือกไข่ของประจุภาคคลอไรด์สูงกว่าที่แช่ในสารละลายที่อุณหภูมิห้องเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิทั้งสองที่ใช้ทดลองไม่ต่างกันมากนัก และผลการทดลองนี้เป็นไปตามหลักการแพร่กระจายของสารเคมีทำนองเดียวกับข้อ 4.1 ดังนั้นจึงได้เลือกการหมักไข่เยี่ยวม้าที่อุณหภูมิห้องซึ่งทำได้ง่ายไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับอุณหภูมิในการหมัก

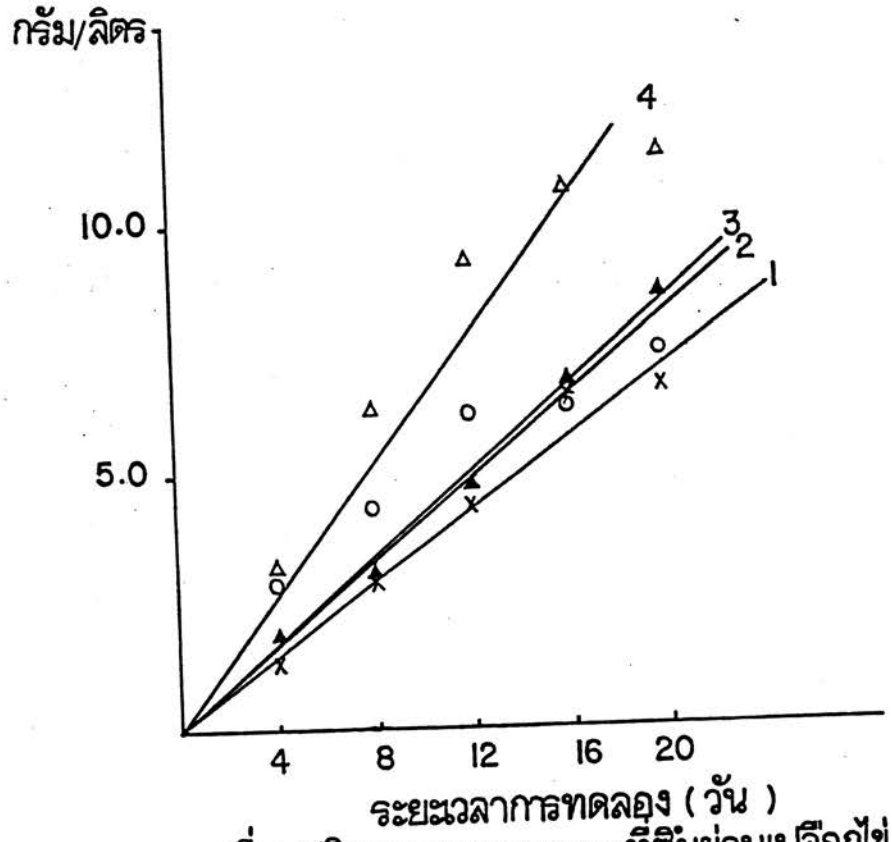
4.4 <u>การศึกษาอัตราการซึมผ่านเยื่อหุ้มไข่ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์</u>

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าอัตราการซึมผ่านเยื่อหุ้มไข่ไก่ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะเร็วกว่าเยื่อหุ้มไข่เป็ดทั้งนี้เนื่องจากเยื่อหุ้มไข่ไก่บางกว่าไข่เป็ด คือเยื่อหุ้มไข่ไก่หนาประมาณ 0.014 มิลลิเมตร เยื่อหุ้มไข่เป็ดหนาประมาณ 0.026 มิลลิเมตร สารละลายจะซึมผ่านเยื่อหุ้มไข่ที่บางได้เร็วกว่าเยื่อหุ้มไข่ที่หนา (25)

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ซึมผ่านเยื่อหุ้มไข่เป็ดและไข่ไก่ ซึ่งแช่อยู่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 21.42 กรัม/ลิตร

ชนิดเยื่อหุ้มไข่	สารละลายผ่านเยื่อหุ้มไข่ (กรัม/ลิตร)			
	วันที่ 1		วันที่ 3	
	ข้างในเยื่อหุ้มไข่	ข้างนอกเยื่อหุ้มไข่	ข้างในเยื่อหุ้มไข่	ข้างนอกเยื่อหุ้มไข่
ไข่ไก่	14.49±0.05	18.27±0.08	16.38±0.04	16.38±0.05
ไข่เป็ด	13.23±0.02	20.16±0.03	17.32±0.02	17.32±0.07

1 x—x เปลือกไข่ที่อุณหภูมิห้อง
2 ▲—▲ เปลือกไข่แช่ที่ 38°C
3 o—o เปลือกไข่ผ่านการ MODIFIED ด้วย กรดอะซิติค 10% เวลา 5 นาที
4 Δ—Δ เปลือกไข่ผ่านการ MODIFIED ด้วย กรดอะซิติค 10 % เวลา 30 นาที



รูปที่ 6 ปริมาณ CHLORIDE ION ที่ซึมผ่านเปลือกไข่

4.5 การสกัดแทนนินจากใบชาจีนตราสามม้า

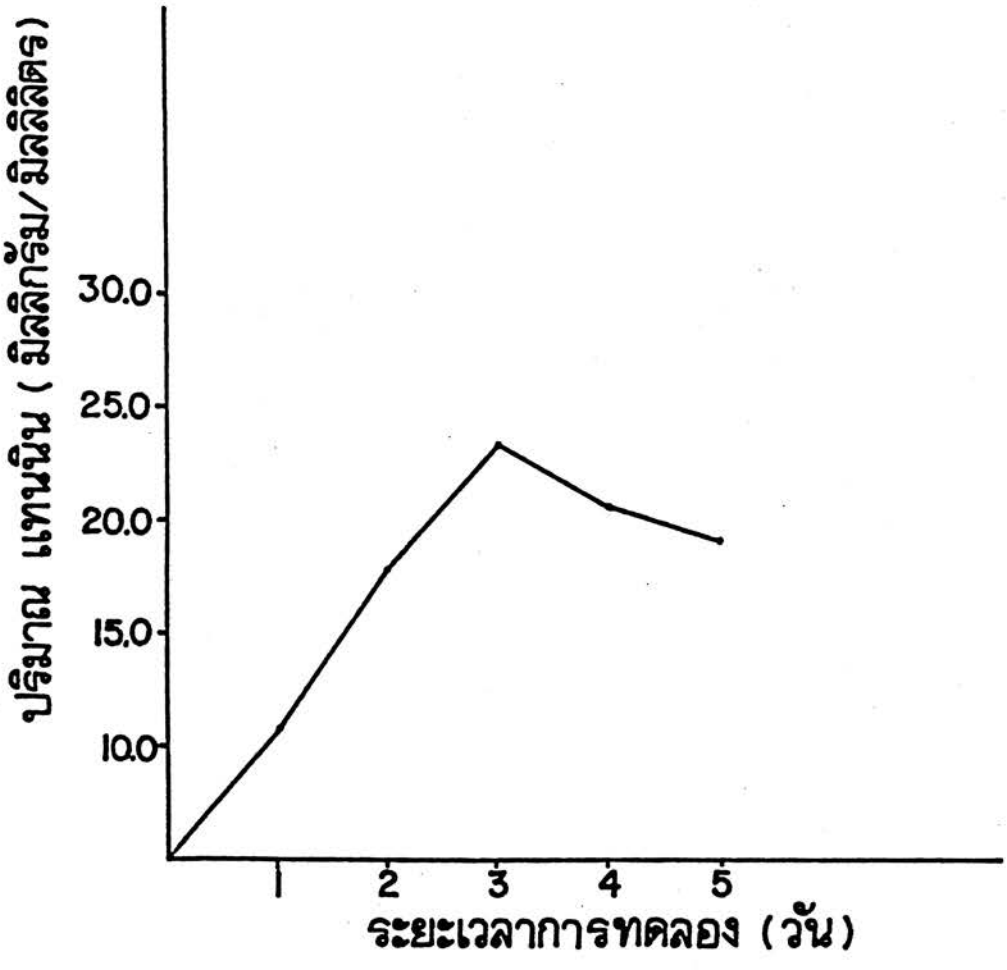
ผลการทดลองพบว่ามีปริมาณแทนนิน 27.0-32.0 มิลลิกรัม/กรัมใบชา แต่มีผู้ทดลองไว้ได้แทนนินประมาณ 75.0-151.0 มิลลิกรัม/กรัมใบชา (22) ทั้งนี้อาจเนื่องจากใช้ใบชาคนละพันธุ์ (10) แทนนินที่ได้จากใบชานี้จะซึมผ่านเปลือกไข่เข้าไปตกตะกอนโปรตีนข้างในไข่ (10)

4.6 ศึกษาการซึมผ่านเปลือกไข่เป็ดของสารละลายแทนนินจากผงแทนนิน

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 40 พบว่าแทนนินจะซึมผ่านเปลือกไข่เป็ดมีปริมาณมากในช่วง 3 วันแรกของการหมักคือ มีค่าประมาณ 23 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อแช่เปลือกไข่เป็ดในสารละลายแทนนินเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) สาเหตุที่ต้องการทดลอง เนื่องจากแทนนินที่ได้จากใบชามีปริมาณไม่แน่นอน จึงพยายามหาแทนนินจากแหล่งอื่นซึ่งเป็นผงแทนนินโดยตรง สามารถรู้ปริมาณที่แน่นอนในการใช้เพื่อให้ได้ไข่เยี่ยวม้าที่มีสีคงที่ แต่การทดลองนี้ไม่ได้ผล เนื่องจากผงแทนนินที่ใช้จะมีสาร gum ติดมาด้วยซึ่งจะเกาะติดเปลือกไข่ ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลงมากหลังจากแช่เปลือกไข่ไว้ในสารละลายแทนนิน 3 วัน อีกประการหนึ่งผงแทนนินไม่ให้กลิ่นชากับไข่เยี่ยวม้าเหมือนใบชา

4.7 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินจากไข่เยี่ยวม้า

ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 7 พบว่าการสกัดแทนนินจากไข่เยี่ยวม้าควรใช้เวลา 3 ชั่วโมง เนื่องจากถ้าใช้เวลาน้อยกว่านี้จะทำให้ได้ แทนนินน้อยลง และถ้าใช้เวลามากกว่านี้ก็ได้แทนนินใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้สกัดแทนนินจะนานกว่าที่ใช้สกัดจากใบชาซึ่งใช้เวลาเพียง 1-2 ชั่วโมง (19) ส่วนการสกัดแทนนินจากไม้โกงกางใช้เวลา 8 ชั่วโมง (27) เหตุที่ไข่เยี่ยวม้าต้องใช้เวลาถึง 3 ชั่วโมง เนื่องจากโปรตีนของไข่ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนจะมีพันธะกับโครงสร้างของแทนนินซึ่งเป็น polyphenolic group ทำให้อัตราการสกัดนานขึ้น แต่ก็ยังเร็วกว่าการสกัดแทนนินจากไม้โกงกางซึ่งใช้เวลาถึง 8 ชั่วโมง เนื่องจากไม้โกงกางมีแทนนินมาก ผู้ผลิตจึงต้องใช้เวลานานในการสกัด



รูปที่ 7 การศึกษาปริมาณ แทนนิน ที่ซึมผ่านเยื่อหุ้มไข่เป็ด

ตารางที่ 7 แสดงระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินจากไข่เยี่ยวม้า

องค์ประกอบของไข่	เวลาที่ใช้สกัด (ชั่วโมง)	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	น้ำหนักไข่ (กรัม)	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัม)	
				ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ไข่ขาว	1	10	1.000	3.0 - 3.3	3.15 ± 0.11
ไข่ขาว	2	10	1.000	3.8 - 4.4	4.03 ± 0.23
ไข่ขาว	3	10	1.000	4.0 - 5.0	4.43 ± 0.38
ไข่ขาว	4	10	1.000	4.1 - 4.9	4.53 ± 0.29
ไข่แดง	1	10	1.000	1.2 - 1.5	1.35 ± 0.11
ไข่แดง	2	10	1.000	2.6 - 2.8	2.67 ± 0.08
ไข่แดง	3	10	1.000	3.5 - 4.4	3.90 ± 0.32
ไข่แดง	4	10	1.000	3.7 - 4.5	4.08 ± 0.30

4.8 การเลือกสารเคมีที่จะตกตะกอนโปรตีนไข่สดให้เป็น gel

4.8.1 สารโลหะหนัก การทดลองใช้สารโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ ตะกั่วมอนน้อกไซด์ สังกะสีคลอไรด์ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เหล็กซัลเฟต เพื่อตกตะกอนโปรตีนของไข่สดให้เป็น gel ผลดังแสดงในตารางที่ 8,9,10 และ 11 พบว่าปฏิกิริยาการตกตะกอนโปรตีนจนเป็น gel เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้คือ ตะกั่วมอนน้อกไซด์ สังกะสีคลอไรด์ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และเหล็กซัลเฟต

ตารางที่ 8 การตกตะกอนโปรตีนไข่ขาวด้วยสารละลายตะกั่วมอนน้อกไซด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร

สารเคมี	pH 1.56	pH 3.83	pH 10.50	pH 13.05
สารละลายตะกั่วมอนน้อกไซด์	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวแข็งตัวทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นสีดำ	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวมีบางส่วนเหลว ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นสีดำ	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวแข็งตัวทันที ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นสีดำ	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวเหลว เมื่อทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นสีดำ

ตารางที่ 9 การตกตะกอนโปรตีนไข่ขาวด้วยสารละลายอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร

สารเคมี	pH 9.0	pH 10.5	pH 12.0	pH 13.5
สารละลายอลูมิ-เนียมไฮดรอกไซด์	ไข่ตกตะกอนขุ่นเหลว	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวแข็งตัวแต่ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงเหลว	ไข่ตกตะกอนขุ่นขาวแข็งตัวใน 10 นาที แต่ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงเหลว	ตะกอนขุ่นขาว แข็งตัวต่อมา 15 นาที เหลว ทิ้งไว้อีก 30 นาที เปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง

ตารางที่ 10 การตกตะกอนโปรตีนไข่ขาวด้วยสารละลายเหล็กซัลเฟตเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร

สารเคมี	pH 0.40	pH 6.80	pH 10.50	pH 13.50
สารละลายเหล็กซัลเฟต	ไข่ขาวตกตะกอนบางส่วน มีกลิ่นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์	ไข่ขาวตกตะกอนสีดำ ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง มีสารละลายเหลวแยกชั้น	ไข่ขาวตกตะกอนสีดำ เป็น gel แข็งหมด ภายใน 10 นาที	ไข่ขาวตกตะกอนสีดำ แต่ไม่แข็งตัว

ตารางที่ 11 การตกตะกอนโปรตีนไข่ขาวด้วยสารละลายสังกะสีคลอไรด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร

สารเคมี	pH 5.79	pH 6.50	pH 10.50	pH 12.50
สารละลายสังกะสีคลอไรด์	ไข่ขาวตกตะกอนบางส่วน	ไข่ขาวตกตะกอนเป็นสารละลายขุ่นเหลว ภายใน 10 นาที	ไข่ขาวตกตะกอนแข็งตัวหมดภายใน 10 นาที	ไข่ขาวตกตะกอนเป็นสารละลายขุ่นเหลว ภายใน 10 นาที

การที่เลือกโลหะหนักในการตกตะกอนโปรตีนในไข่ เนื่องจากสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการตกตะกอนโปรตีน (9) โลหะหนักที่เลือกมาทดลองได้แก่ ตะกั่วมอนน้อกไซด์ เพราะเป็นสารเคมีที่นิยมเติมลงในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้า จนเกิดปัญหาเรื่องสารพิษตะกั่วตกค้าง เนื่องจากตะกั่วมอนน้อกไซด์เป็นสารเคมีที่ทำให้โปรตีนในไข่ตกตะกอนเป็น gel ได้รวดเร็ว gel ที่ได้มีสีดำ และมีความคงตัวดี ทำให้ใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นจึงนิยมใช้กันมาก แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เพื่อเป็นสารเปรียบเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นในการดูลักษณะ

สีของ gel ส่วนสารโลหะหนักพวกสังกะสีคลอไรด์ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และเหล็กซัลเฟตนั้น เป็นสารเคมีที่ใช้มากในอุตสาหกรรมยา (20) ไม่เป็นพิษต่อร่างกายในปริมาณที่เข้าสู่ร่างกาย ครั้งละ 200-400 มิลลิกรัม (12) จึงนำมาทดลองตกตะกอนโปรตีนในไข่ให้เป็น gel ปรากฏว่าได้ gel ที่คงตัวดี แต่เหล็กซัลเฟตทำให้ gel มีกลิ่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการหมักไข่เยี่ยวม้าสำหรับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์นั้นให้ gel สีเหลืองจึงไม่นำมาใช้ ดังนั้นสารเคมีที่เหมาะในการเตรียมสูตรหมักไข่เยี่ยวม้า คือ สังกะสีคลอไรด์ เนื่องจากให้ gel ที่คงตัวดี ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย

4.8.2 <u>ยูเรีย โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมคลอไรด์</u>

การทดลองใช้สารเคมีบางชนิดในการตกตะกอนโปรตีนในไข่ให้เป็น gel ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าสารละลายยูเรียชนิดอิ่มตัวสามารถทำให้โปรตีนในไข่ตกตะกอนเป็น gel ได้เร็วและคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 12 สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับไข่ขาว

สารเคมี	ผลการทดลอง
สารละลายอิ่มตัวของยูเรีย	ไข่ตกตะกอนเป็น gel หมดอย่างรวดเร็ว และเป็น gel ที่คงตัวมากที่สุด
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	ไข่ตกตะกอนเป็น gel ขุ่น ๆ บางส่วน
สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต	ไข่ตกตะกอนเป็น gel บางส่วน
สารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต	ไข่ตกตะกอนเป็น gel เล็กน้อย

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ายูเรียจะตกตะกอนโปรตีนเป็น gel ที่คงตัวมากที่สุด แต่ยูเรียไม่เหมาะที่จะใช้เนื่องจากในผลิตภัณฑ์มีกลิ่นยูเรียที่รุนแรงไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภค สำหรับโซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นด่างอ่อนเหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไม่ทำให้กลิ่นรสผลิตภัณฑ์เปลี่ยนและยังเป็น buffer solution ที่ทำให้ pH ของ

สารละลายเป็นด่างพอเหมาะแก่การใช้หมักไข่เยี่ยวม้า ถ้าใช้ด่างแก่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (20) สำหรับโซเดียมคลอไรด์นอกจากสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ยังช่วยให้รสชาติของไข่เยี่ยวม้าดีขึ้น และยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ผ่านเปลือกเข้าไป (3)

4.9 การหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไข่เยี่ยวม้า

จากการทดลองหมักไข่เยี่ยวม้าโดยแปรความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดซึ่งมีคุณสมบัติในการตกตะกอนโปรตีนและปลอดภัยต่อผู้บริโภค มาเตรียมเป็นสารละลายในการหมักไข่เยี่ยวม้า ซึ่งได้แก่ ใบชา เกลือ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต และสารชนิดใดชนิดหนึ่งของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย หรือสังกะสีคลอไรด์ โดยใช้ความเข้มข้นของสารเคมีตามสูตรทดลองดังนี้

สูตรที่ 1

พบว่าเมื่อใช้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 1-5 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดได้เนื่องจากไข่ขาวไม่เป็น gel แต่จะมีลักษณะเหลวเป็นน้ำ ส่วนไข่แดงจะแข็งตัว สีไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม

แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 6-7 กรัม/ลิตร จะหมักได้ไข่เยี่ยวม้าที่มีคุณภาพไม่ดีนัก เนื่องจาก gel ไข่ขาวนิ่มเกินไปและติดเปลือกเมื่อใช้เวลาหมักนาน 55-60 วัน

สูตรที่ 2

พบว่าการใช้ยูเรีย 50-70 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ เนื่องจากไข่ขาวไม่เป็น gel นาน 55-60 วัน

แต่เมื่อใช้ยูเรียชนิดอิ่มตัวจะได้ไข่เยี่ยวม้าที่มี gel คงตัว แต่คุณภาพไม่ดี เพราะมีกลิ่นยูเรียรุนแรง เมื่อใช้เวลาหมัก 45-50 วัน

สูตรที่ 3

พบว่าเมื่อใช้สังกะสีคลอไรด์ 0.1 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ เนื่องจากไข่ขาวเป็น gel เล็กน้อย

เมื่อใช้สังกะสีคลอไรด์ 0.2-0.4 กรัม/ลิตร ได้ไข่เยี่ยวม้าใช้เวลา 55-60 วัน

สูตรที่ 4

พบว่าเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนต 3-6 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ เนื่องจากไข่ขาวไม่เป็น gel

เมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนต 7-8 กรัม/ลิตร ได้ไข่เยี่ยวม้า ใช้เวลา 55-60 วัน

สูตรที่ 5

พบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 4-8 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ เนื่องจากไข่ขาวไม่เป็น gel แต่มีลักษณะเหลวเป็นน้ำ

เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 7-8 กรัม/ลิตร ได้ไข่เยี่ยวม้าใช้เวลา 55-60 วัน

สูตรที่ 6

พบว่าเมื่อใช้ใบชา 0.5 กรัม/ลิตร ได้ไข่เยี่ยวม้า แต่ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าสีน้ำตาลอ่อน

เมื่อใช้ใบชา 1-3 กรัม/ลิตร ได้ไข่เยี่ยวม้าที่ gel ไข่ขาวมีสีน้ำตาลพอเหมาะ

สูตรที่ 7

พบว่าเมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม/ลิตร ไม่สามารถหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ เนื่องจาก gel ไข่ขาวบางส่วนเหลว

แต่ถ้าใช้โซเดียมคลอไรด์ 2-3 กรัม/ลิตร จะหมักได้ไข่เยี่ยวม้า.

และถ้าใช้โซเดียมคลอไรด์สูงถึง 5 กรัม/ลิตร ไข่เยี่ยวม้าที่ได้จะมีรสชาติเค็มเกินไป เมื่อใช้เวลาหมัก 55-60 วัน

จากการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีแต่ละชนิดที่จะใช้หมักไข่เยี่ยวม้า ผลดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สารเคมีที่ใช้ในการหมักไข่เยี่ยวม้า

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)
ใบชา	1-3
เกลือ	2-4
โซเดียมคาร์บอเนต	7-8
อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์	6-7
ยูเรีย	ชนิดอิ่มตัว
สังกะสีคลอไรด์	0.2-0.4
แคลเซียมคาร์บอเนต	7-8

ได้เลือกสารที่มีคุณสมบัติในการเตรียมเป็นสูตรหมักไข่เยี่ยวม้า ประกอบด้วยสารเคมี 5 ชนิด คือ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต สังกะสีคลอไรด์ ใบชา และโซเดียมคลอไรด์ มาวางแผนทดลองตามหลักสถิติแบบ factorial randomized design โดยแปรความเข้มข้นของสารเคมีเป็น 2 ระดับ ได้สภาวะร่วม 32 สูตร (28,29) ดังนี้คือ

(1) a b ab c ac bc abc d ad bd abd cd acd bcd abcd e ae be abe ce ace bce abce de ade abde cde acde bcde abcde

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายเพื่อหมักไข่เยี่ยวม้า

ปัจจัย	ความเข้มข้นของสารที่ใช้(กรัม/ลิตร)		
	สารเคมี	ระดับ 1	ระดับ 2
A	โซเดียมคาร์บอเนต	7.0	8.0
B	แคลเซียมคาร์บอเนต	7.0	8.0
C	สังกะสีคลอไรด์	0.2	0.4
D	ใบชา	1.0	3.0
E	โซเดียมคลอไรด์	2.0	4.0

เมื่อแช่ไข่เป็ดเป็นเวลา 56-60 วัน ก็นำขึ้นจากสารละลาย ลอกเปลือกไข่ออก เพื่อดูความแตกต่างของแต่ละสูตร และให้คะแนนตามเกณฑ์ระดับคะแนนการเป็น gel ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงระดับคะแนนการเป็น gel ของไข่ขาวในไข่เยี่ยวม้า

ปริมาณการเกิด gel	คะแนน
ไข่แดงเป็น paste ไข่ขาวเป็น gel คงตัวทั้งหมด	4.0
ไข่แดงเป็น paste ไข่ขาวเป็น gel ค่อนข้างนิ่ม	3.5
ไข่แดงเป็น paste ไข่ขาวเป็น gel ไม่คงตัวมีส่วนเหลวเยิ้มลงมา	3.0
ไข่แดงเป็น paste ไข่ขาวเป็น gel ครึ่งฟองนอกนั้นเหลว	2.0
ไข่แดงเป็น paste ไข่ขาวเป็น gel เล็กน้อย นอกนั้นเหลว	1.0

การทดลองผลิตไข่เยี่ยวม้าด้วยสารละลาย 32 สภาวะการทดลอง ผลดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงระดับคะแนนของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัย

สูตร	คะแนน		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
(1)	2.0	1.0	2.0
a	3.0	3.0	2.0
b	3.0	3.0	3.0
ab	3.0	1.0	1.0
c	4.0	3.0	3.0
ac	3.0	3.0	3.0
bc	4.0	3.0	3.0
abc	2.0	2.0	2.0
d	3.5	3.0	3.5
ad	4.0	3.0	3.0
bd	2.0	2.0	2.0
abd	1.0	1.0	1.0
cd	1.0	1.0	1.0
acd	3.0	3.0	3.0
bcd	3.0	3.0	3.0
abcd	4.0	4.0	4.0
e	3.0	3.0	4.0
ae	4.0	2.0	2.0
be	3.5	3.5	3.0
abe	3.0	2.0	3.0
ce	3.0	2.0	2.0
ace	1.0	1.0	3.0
bce	4.0	4.0	4.0
abce	3.0	2.0	3.0
de	4.0	2.0	4.0
ade	3.0	3.0	3.0
bde	3.0	4.0	4.0
abde	4.0	4.0	4.0
cde	2.0	2.0	3.0
acde	1.0	1.0	1.0
bcde	3.0	2.0	3.0
abcde	4.0	4.0	4.0

นำคะแนนทั้ง 32 สภาวะทดลอง มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงอิทธิพลร่วมของตัวแปรโดยใช้ Yates' method เพื่อหาความสำคัญของอิทธิพลร่วมของสารเคมีแต่ละชนิด โดยใช้ค่า mean effect ที่ได้จากการคำนวณผลดังแสดงในตารางที่ 16 เปรียบเทียบกับค่า critical value ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 แสดงค่า contrast mean ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตไข่เยี่ยวม้า

Treatment combination	total	*1	*2	*3	*4	*5	Contrast mean
1	5	13	27	62	124	264.5	Mean Effect = 2.755
a	8	14	35	62	140.5	-10.5	- 0.218
b	9	19	29	0	0	18.5	0.385
ab	5	16	33	72.0	-10.5	- 8.5	- 0.177
c	10	20	36.5	- 6	- 4	- 4.5	- 0.093
ac	9	9	32	6	22.5	6.5	0.135
bc	10	12	42	-10.5	-16	29.5	0.614
abc	6	21	30	0	7.5	8.5	0.177
d	10	18	- 1	- 2	12	3.5	0.073
ad	10	18.5	- 5	- 2	-16.5	22.5	0.469
bd	6	12	- 3	8.5	8	5.5	0.115
abd	3	20	9	14	- 1.5	16.5	0.344
cd	3	19	- 4.5	-10	16	-11.5	- 0.239
acd	9	23	- 6	- 6	13.5	17.5	0.365
bcd	9	10	0	- 2.5	4	22.5	0.469
abcd	12	20	0	10	4.5	3.5	0.073
e	10	3	1	8	0	16.5	0.344
ae	8	-4	- 3	4	3.5	-10.5	- 0.219
be	10.5	-1	-11	- 4.5	12.0	18.5	0.385
abe	8	-4	9	-12	10.5	- 8.5	- 0.177
ce	7	0	0.5	- 4	0	-28.5	- 0.594
ace	5	-3	8	12	5.5	- 9.5	0.198
bce	12	6	4	- 1.5	4	- 2.5	0.052
abce	8	3	10	0	12.5	0.5	0.010
de	10	-2	- 7	- 4	- 4	3.5	0.073
ade	9	-2.5	- 3	20	- 7.5	- 1.5	- 0.031
bde	11	-2	- 3	7.5	16	5.5	0.115
abde	12	-4	- 3	6	1.5	8.5	0.177
cde	7	-1	- 0.5	4	24	- 3.5	- 0.073
acde	3	1	- 2	0	- 1.5	-14.5	- 0.302
bcde	8	-4	2	- 1.5	- 4	-25.5	- 0.531
abcde	12	4	8	6	7.5	3.5	0.073

* ค่า interaction ได้จากการรวมค่า treatment combination ในแต่ละแถว

พบว่าปัจจัยร่วมที่มีค่า mean effect สูงกว่าค่า critical value ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญที่ 95 เปอร์เซนต์ = 0.219 ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงลำดับ mean effect ของปัจจัยร่วมต่าง ๆ

ปัจจัยร่วม	mean effect
BC	0.614
AD	0.469
BCD	0.469
B	0.385
BE	0.385
ACD	0.365
E	0.344
ABD	0.344
AE	0.219
CE	-0.594
CD	-0.239

ความสำคัญของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการหมักไข่เยี่ยวม้า

1. ปัจจัยร่วม BC มีค่า mean effect + 0.614 แสดงว่าในสูตรหมักไข่เยี่ยวม้าต้องมีปัจจัย B และปัจจัย C อยู่ด้วยทั้งสองปัจจัย จึงจะทำให้สูตรการหมักไข่เยี่ยวม้าสมบูรณ์แบบ

2. ปัจจัยร่วม BCD มีค่า mean effect + 0.469 แสดงว่าในสูตรหมักไข่เยี่ยวม้าต้องมีปัจจัย B, C และ D ทำปฏิกิริยาร่วมกันในการแปรรูปไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าที่สมบูรณ์

3. ปัจจัย AD มีค่า mean effect + 0.469 แสดงว่าปัจจัยร่วม AD มีความสำคัญในสูตรหมักไข่เยี่ยวม้า แต่ปัจจัย C ทำให้ความสำคัญของปัจจัย AD ลดลง เนื่องจากค่า mean effect ของ ACD มีค่า + 0.365

4. ปัจจัย E มีค่า mean effect + 0.344 แสดงว่าปัจจัย E มีความสำคัญเช่นกัน ถ้ามีปัจจัย B อยู่ด้วยจะทำให้ปัจจัย E มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากค่า mean effect ของ BE = + 0.385 แต่ไม่ควรมีปัจจัย C อยู่ เพราะทำให้ปัจจัย E ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากค่า mean effect ของ CE = - 0.594

5. ปัจจัย CD มีค่า mean effect - 0.239 แสดงว่าปัจจัย C ไม่ควรอยู่ร่วมกับปัจจัย D กล่าวคือปัจจัย C เมื่ออยู่รวมกับปัจจัย D จะทำให้โปรตีนเป็น gel ช้าลง

จากการหมักไข่เยี่ยวม้าทั้ง 32 สภาวะการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าได้ไข่เยี่ยวม้าที่มีลักษณะตรงกับลักษณะไข่เยี่ยวม้าที่ดี (15) ดังนี้คือ

1. ไข่ขาวเป็น gel ใส มีสีตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลแก่ gel มีความคงตัวโดยไม่ต้องผ่านความร้อน
2. ไข่แดงเป็น gel มีสีเขียวปนสีดำ
3. เปลือกไข่ขุ่นทึบสีขาว ไม่มีจุดดำหรือสีน้ำตาลบนเปลือก
4. ไม่มีกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์
5. มีรสเค็มเล็กน้อย
6. ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ และพิษของสารตกค้างเช่นตะกั่ว

จากสภาวะการทดลอง 32 สูตร ได้ไข่เยี่ยวม้าลักษณะดี เหมือนลักษณะดังกล่าวข้างต้น 7 สภาวะการทดลอง ดังนี้คือ abcde bce abcd abde bce de e ส่วนสภาวะอื่น ๆ ที่เหลืออีก 25 สภาวะการทดลองในช่วงเวลา 60 วัน ยังไม่เป็นไข่เยี่ยวม้า คือ บางสภาวะไข่แดงแข็งตัวแต่ไม่เปลี่ยนสี ไข่ขาวเหลว บางสภาวะไข่แดงแข็งตัว ไข่ขาวเป็น gel บางส่วน แต่ถ้าเพิ่มเวลาหมักไข่อาจมีบางสภาวะใน25 สภาวะที่ไข่จะเปลี่ยนสภาพต่อไปจนเป็นไข่เยี่ยวม้าที่สมบูรณ์แบบได้ แต่ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตในขั้นอุตสาหกรรม จึงไม่สนใจที่จะติดตามคุณภาพของไข่ที่เหลือ เมื่อหมักนานขึ้น เพราะเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

นอกจากนี้ได้ทดลองติดตามเอกสารเกี่ยวกับไข่เยี่ยวม้า ซึ่งมีสูตรหมักไข่เยี่ยวม้าหลายสูตร (13, 17, 18) แล้วนำมาทดลองหมักไข่เป็ดตามวิธีการที่กล่าวไว้โดยแช่ในสารละลายและพอกด้วยสารเคมี ปรากฏว่าเมื่อครบเวลาตามที่ระบุไว้ก็ไม่ได้ไข่เยี่ยวม้าตามที่กล่าวไว้ คือทุกฟองมีลักษณะอย่างเดียวกัน คือไข่แดงเป็น paste สีเทา ส่วนไข่ขาวเหลวสีน้ำตาล ส่วนสูตรของโรงงานผลิตไข่เยี่ยวม้าไม่สามารถจะทราบได้ แต่เมื่อนำไข่เยี่ยวม้าจากตลาดมาวิเคราะห์ ตั้งแต่เปลือกจนถึงไข่ขาวไข่แดงก็พบปริมาณตะกั่วสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคมาก

4.10 <u>การทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

การทดสอบผลิตภัณฑ์ไข่เยี่ยวม้าทั้ง 7 สภาวะการทดลอง ในด้านสีและความเป็น gel ของไข่ขาว และความเป็น gel ของไข่แดง กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และระดับการยอมรับรวมจากผู้ทดสอบจำนวน 8 คน และเทียบกับไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาดและไต้หวัน ผลดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยการยอมรับสีความเป็น gel กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และระดับการยอมรับรวมของไข่เยี่ยวม้า

การยอมรับในด้าน	สภาวะการทดลอง						
	abcde	abde	abcd	bce	bde	de	e
สีของไข่ขาว	5.8	5.6	6.2	6.0	5.2	5.6	5.0
gel ของไข่ขาว	6.8	6.4	6.5	6.1	5.2	5.5	5.1
สีของไข่แดง	5.8	5.8	5.2	5.6	4.8	4.4	4.9
gel ของไข่แดง	5.8	5.2	5.8	5.6	4.8	5.0	4.7
กลิ่น	6.2	6.4	6.0	5.8	4.2	4.6	4.8
รสชาติ	6.0	5.8	6.4	6.5	5.0	5.2	4.4
เนื้อสัมผัส	6.2	6.4	6.6	6.0	4.7	4.2	5.0
ระดับการยอมรับรวม	5.8	6.5	6.4	6.0	4.4	4.6	4.8

จากคะแนนเฉลี่ยที่ได้เลือกสภาวะการทดลองที่มีค่าคะแนนของการยอมรับที่ใช้ทดสอบเกิน 5 คะแนน ผลปรากฏว่ามี 4 สภาวะการทดลองที่ผ่านเกณฑ์นี้จึงได้นำมาคำนวณตามหลักสถิติแบบ completely randomized design ดังวิธีคำนวณในภาคผนวก ข. เพื่อดูความแตกต่างหรือไม่แตกต่างของแต่ละสภาวะการทดลองที่ผ่านการเลือกไว้ ปรากฏว่าทั้ง 4 สภาวะการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนที่ไม่ผ่านการยอมรับ เนื่องจากได้คะแนนจากผู้ทดสอบต่ำกว่าที่ตั้งไว้ (คะแนนน้อยกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าลักษณะไข่เยี่ยวม้าบางประการไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สภาวะการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับไข่เยี่ยวม้าของใต้หวันจะได้คะแนนใกล้เคียงกัน

4.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไข่เป็ดและไข่นกกระทาในระยะเวลาต่าง ๆ ของการหมักไข่เยี่ยวม้า

พบว่าไข่เป็ดและไข่นกกระทาจะมีการเปลี่ยนแปลงของไข่ขาวและไข่แดงอย่างค่อยเป็นค่อยไป ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไข่เป็ดและไข่นกกระทาระหว่างการหมักไข่เยี่ยวม้า

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไข่เป็ด		ไข่นกกระทา	
	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ขาว
7	มีสีเหลืองเข้ม	ใสเหลว	สีเหลือง	เหลวสีเหลือง
14	สีแดงเข้มเริ่มมีสีดำเล็กน้อย	สีเหลืองอ่อนเป็น gel เล็กน้อย	สีเหลืองเข้มเริ่มแข็งตัว	เหลวสีเหลือง
21	แข็งเป็นก้อนสีส้มมีสีดำหุ้มรอบ ๆ	เหลวสีน้ำตาลอ่อน	สีเหลืองเหนียว	เหลวสีน้ำตาลอ่อน
28	แข็ง มีสีส้มและเริ่มมีสีเขียวปนดำ	เหลวสีน้ำตาล	แข็งสีเหลือง	เหลวสีน้ำตาลอ่อน
35	แข็งมีสีส้มร้อยละ 30 นอกนั้นเป็นเขียวปนดำ	เหลวสีน้ำตาลบางส่วนเป็น gel	เป็น paste สีเหลืองดำ	เหลวบางส่วนเป็น gel
42	เป็น paste สีเขียวปนดำทั้งหมด	เป็น gel ร้อยละ 30	เป็น paste สีเขียวปนดำ	เป็น gel สีน้ำตาลหมด เป็นไข่เยี่ยวม้าสมบูรณ์
56	สีเขียวปนดำ ด้านนอกที่ติดกับไข่ขาวแข็ง ด้านในยังเป็น paste	เป็น gel ร้อยละ 70	—	—
60	สีเขียวปนดำ ด้านนอกที่ติดกับไข่ขาวมีลักษณะแข็ง ด้านในเป็น paste ร้อยละ 15	เป็น gel สีน้ำตาลหมด เป็นไข่เยี่ยวม้าสมบูรณ์	—	—

ไข่เป็ด การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาการหมักไข่เยี่ยวม้าจะเริ่มเปลี่ยนแปลงที่ไข่แดงก่อน เนื่องจากไข่แดงมี phospholipid และ lipid ชนิดอื่น ๆ ที่ดึงดูดพวก polyvalent cation ให้มาสะสมอยู่และทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้เกิดการตกตะกอนเป็น gel (6) ส่วนสีเขียวที่เกิดขึ้นเนื่องจากประจุภาค Fe^{+2} เปลี่ยนเป็น Fe^{+3} (14) ทำให้เกิดสีเขียวขึ้น และมีการทำลาย bond ของ SS และ SH bond ทำให้เกิดเป็นสีดำขึ้น (11) ดังนั้นจึงเห็นไข่แดงของไข่เยี่ยวม้ามีสีเขียวปนดำ จากงานทดลองที่ผ่านมาไข่แดงจะเกิด gel ก่อนไข่ขาวเสมอ ส่วนไข่ขาวจะเกิด gel ช้ากว่าไข่แดงมาก ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงก็คือ เมื่อสารละลายด่างผ่านเปลือกไข่เข้าไปจะละลายโปรตีนของไข่ขาวให้ค่อย ๆ ใส เมื่อมีการสะสมของ polyvalent และ monovalent cation มากขึ้น cation เหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการตกตะกอนโปรตีนเป็น gel (11) และสีน้ำตาล gel ไข่ขาวเกิดจากแทนนินที่ได้จากใบชา เมื่อนำไข่เยี่ยวม้าขึ้นจากสารละลายที่ใช้หมักก็รับประทานได้เลยโดยไม่ต้องผ่านความร้อนอีก

ไข่นกกระทา ใช้ในการทำไข่เยี่ยวม้าได้ผลดีเช่นเดียวกับไข่เป็ด แต่เวลาที่ใช้หมักสั้นกว่าเนื่องจากมีขนาดเล็ก ปริมาณโปรตีนที่จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีก็น้อยจึงเป็น gel ได้เร็ว

4.12 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไข่เยี่ยวม้า

การศึกษาปริมาณความชื้น pH ของไข่เยี่ยวม้าผลดังแสดงในตารางที่ 21 นำมาเปรียบเทียบกันระหว่างไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อมาจากตลาด (ชนิดทาเปลือกสีแดง) จากประเทศไต้หวันและจากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อเก็บไว้ 4,8 เดือน ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 7-8 การที่ความชื้นลดลงไม่มากนัก ก็เนื่องจากเปลือกของไข่ช่วยป้องกันความชื้นได้ดี

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณความชื้นและ pH ของไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อมาจากตลาดจากต่างประเทศและที่ได้จากงานวิจัย

ไข่เยี่ยวม้า	pH	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
			ไข่ขาว		ไข่แดง	
			ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
เปลือกทาสีแดง	10.20	20	82-85	84 ± 0.01	64-67	66 ± 0.02
ไต้หวัน	10.40	20	83-87	86 ± 0.05	53-62	60 ± 0.05
bce	10.90	20	84-86	85 ± 0.04	56-57	56 ± 0.08
abcd	10.90	20	82-83	82 ± 0.01	54-55	54 ± 0.02
abde	10.90	20	81-82	81 ± 0.08	52-53	54 ± 0.08
abcde	10.90	20	76-77	76 ± 0.04	55-56	55 ± 0.02
*เก็บไว้ 4 เดือน	10.80	20	76-78	77 ± 0.05	50-51	50 ± 0.01
*เก็บไว้ 8 เดือน	10.80	20	74-76	75 ± 0.02	48-50	49 ± 0.02

*ปริมาณความชื้นจากไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สภาวะการทดลองคือ bce, abcd, abde, abcde

เมื่อศึกษาผลการทดลองนี้พบว่า ไข่เยี่ยวม้าไต้หวันมีความชื้นสูงกว่าไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาด (เปลือกทาสีแดง) เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายที่ใช้ในการหมักไข่ไม่เหมือนกัน สำหรับไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ก็มีความชื้นต่างกันเล็กน้อย ขึ้นกับความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละสภาวะการทดลองซึ่งต่างกัน ถ้าสภาวะที่สารเคมีมีความเข้มข้นสูง ความชื้นของไข่ขาวและไข่แดงจะต่ำ ถ้าสารเคมีที่ใช้เจือจางกว่าปริมาณความชื้นก็จะสูงและเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานความชื้นก็จะลดลงแต่ไม่มากนัก ยังคงรับประทานได้ แต่ความชื้นของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะมีความชื้นใกล้เคียงหรือต่ำกว่าไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาดและไต้หวันเล็กน้อย อาจเนื่องจากส่วนประกอบและความเข้มข้นของสารที่ใช้ต่างกัน

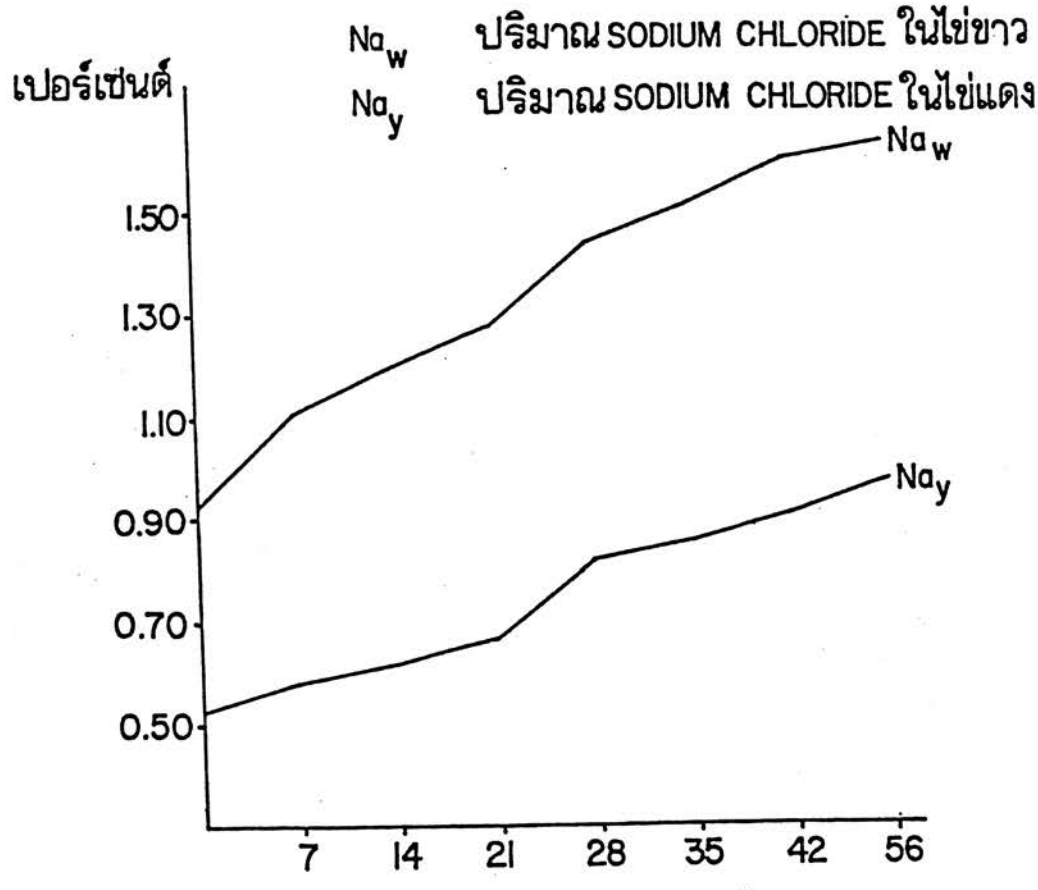
4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่เยี่ยวม้า

4.13.1 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต

ไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยมีปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในไข่ขาวร้อยละ 0.20-0.40 โดยน้ำหนัก ไข่แดงร้อยละ 0.10-0.20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากประจุภาคโซเดียมเป็น monovalent cation จะมีพันธะกับโปรตีนในไข่ขาวมากกว่าไข่แดง (11) ดังนั้นปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในไข่ขาวจึงมีมากกว่าในไข่แดง

4.13.2 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในไข่เยี่ยวม้า

การวิเคราะห์โซเดียมคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่เริ่มตั้งแต่จากไข่สดจนเปลี่ยนเป็นไข่เยี่ยวม้า ผลดังแสดงในรูปที่ 8 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 38 และได้วิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์จากไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาด (เปลือกทาสีแดง) จากไต้หวัน และที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลองผลดังแสดงในตารางที่ 22 พบว่าปริมาณโซเดียม-คลอไรด์ในไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาด จากไต้หวันและจากงานวิจัยนี้ทั้ง 4 สภาวะการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.74-0.78 โดยน้ำหนักในไข่แดงและร้อยละ 1.02-1.36 โดยน้ำหนักในไข่ขาว ทั้งนี้อาจเนื่องจากส่วนประกอบของโซเดียมคลอไรด์มีค่าใกล้เคียงกัน หรือมีระยะเวลาที่ทำให้ประจุภาคโซเดียมซึมเข้าไปในไข่ได้พอ ๆ กัน อย่างไรก็ตามในการหมักไข่เยี่ยวม้าถ้าใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในสูตรหมักไข่เยี่ยวม้าสูงเกินไปจะมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง



รูปที่ 8 ปริมาณ SODIUM CHLORIDE ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการหมักไข่เยี่ยวม้า

ตารางที่ 22 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในไข่เยี่ยวม้า

ไข่เยี่ยวม้า	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		ไข่ขาว		ไข่แดง	
		ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
เปลือกทาสีแดง	20	0.80-1.10	1.02 ± 0.03	0.70-0.80	0.76 ± 0.04
ไต้หวัน	20	1.00-1.20	1.10 ± 0.01	0.80-0.90	0.78 ± 0.01
bce	20	1.20-1.40	1.30 ± 0.04	0.70-0.80	0.76 ± 0.02
abcd	20	1.10-1.20	1.16 ± 0.08	0.60-0.80	0.74 ± 0.05
abde	20	1.30-1.40	1.36 ± 0.02	0.75-0.85	0.78 ± 0.00
abcde	20	1.20-1.40	1.34 ± 0.00	0.70-0.80	0.76 ± 0.03

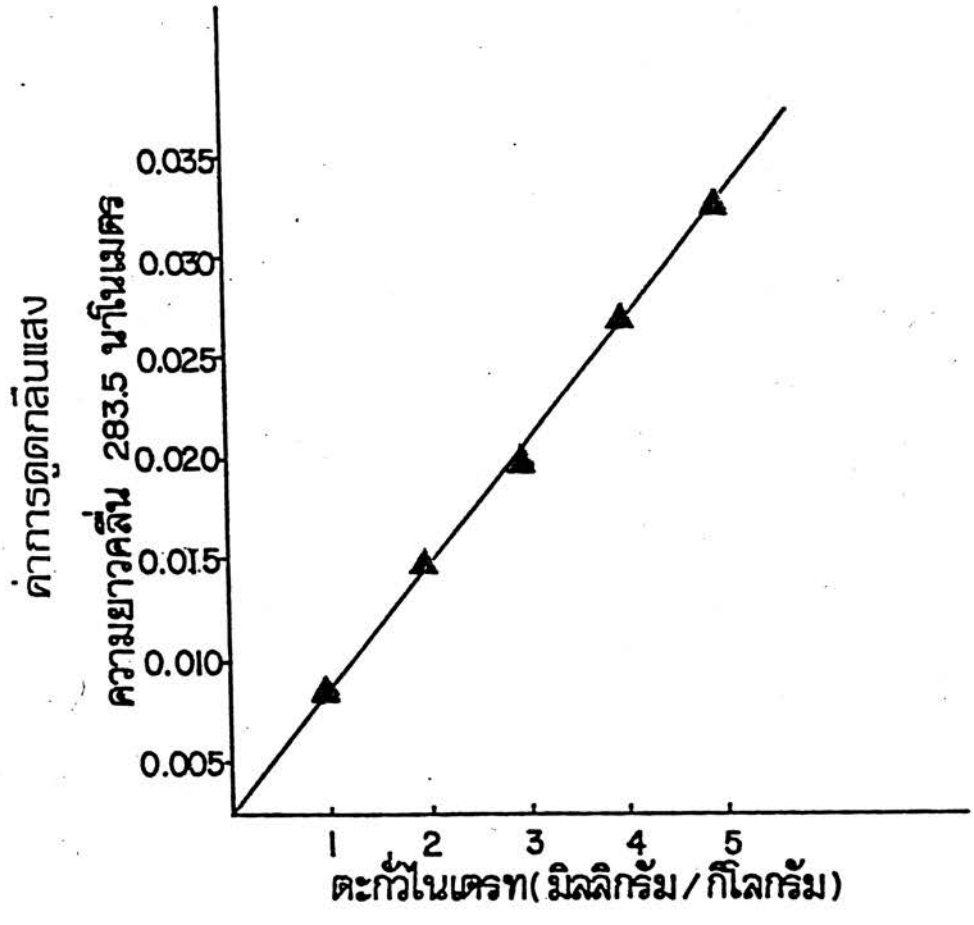
4.13.3 การหาปริมาณประจุภาคตะกั่วในไข่เยี่ยวม้า

ผลการทดลองพบว่าประจุภาคตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาด (เปลือกทาสีแดง) จะมีค่าประมาณ 14 ppm. ในไข่ขาว และ 7 ppm. ในไข่แดง จะมีปริมาณมากกว่าจากไต้หวัน คือมีค่าประมาณ 6 ppm. ในไข่ขาว และ 3 ppm. ในไข่แดง และตรวจไม่พบประจุภาคตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 23 สาเหตุที่ปริมาณประจุภาคตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาดสูงกว่าของไต้หวัน เพราะผู้ผลิตมักเติมสารเคมีพวกเกลือของตะกั่ว เช่นตะกั่วมอนน้อกไซด์ ตะกั่วอะซีเตดลงในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้า และยังทาสีเปลือกไข่ด้วยสีทาบ้าน ซึ่งมีปริมาณตะกั่วสูงมาก (2) การที่ผู้ผลิตต้องใช้สีทาบ้านสีแดงทาที่เปลือกไข่เยี่ยวม้าดังแสดงในรูป 10 เนื่องด้วยไข่เยี่ยวม้าที่ผ่านการหมักด้วยสารละลายที่มีเกลือของตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เปลือกไข่เยี่ยวม้าที่ได้จะมีจุดดำ ๆ กระจายอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 11(a) ส่วนไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลอง เปลือกไข่ไม่มีจุดดำ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 11(b) ดังนั้นไข่เยี่ยวม้าที่ขายตามตลาดจึงมีสารตะกั่วตกค้างจากสาเหตุหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว

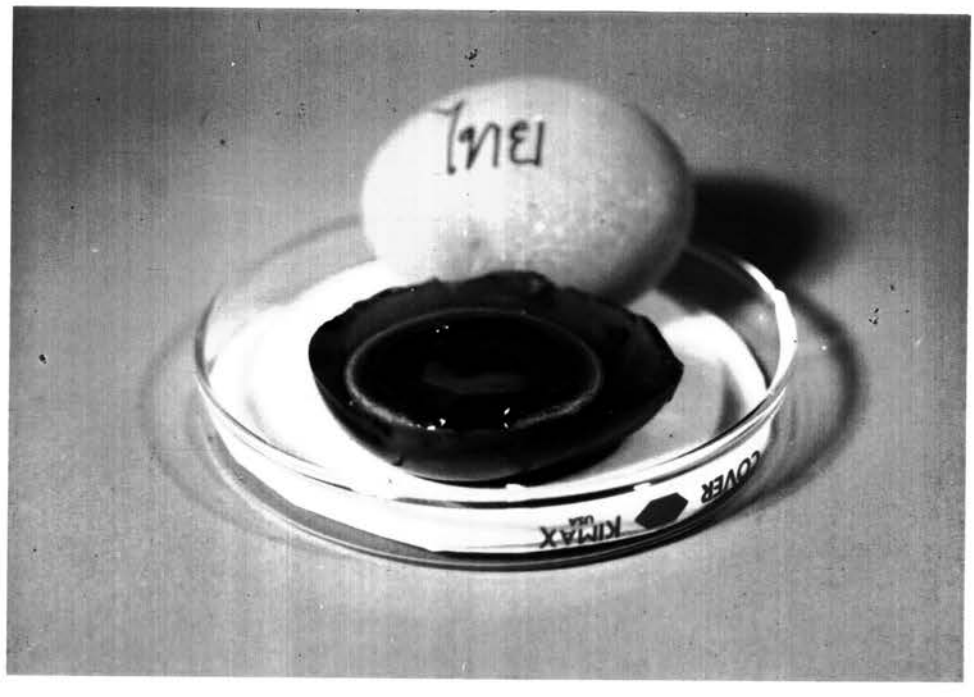
ตารางที่ 23 ปริมาณประจุภาคตะกั่วในไข่เยี่ยวม้า

ไข่เยี่ยวม้า	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ปริมาณประจุภาคตะกั่ว (ppm)			
		ไข่ขาว		ไข่แดง	
		ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
เปลือกทาสีแดง	20	11.89-16.09	14.05 ± 1.12	3.20-9.60	7.80 ± 0.09
ประเทศไต้หวัน	20	5.51- 7.25	6.80 ± 0.08	2.09-4.50	3.50 ± 1.14
สูตร abcde	20	-	-	-	-
สูตร abcd	20	-	-	-	-
สูตร abde	20	-	-	-	-
สูตร bce	20	-	-	-	-

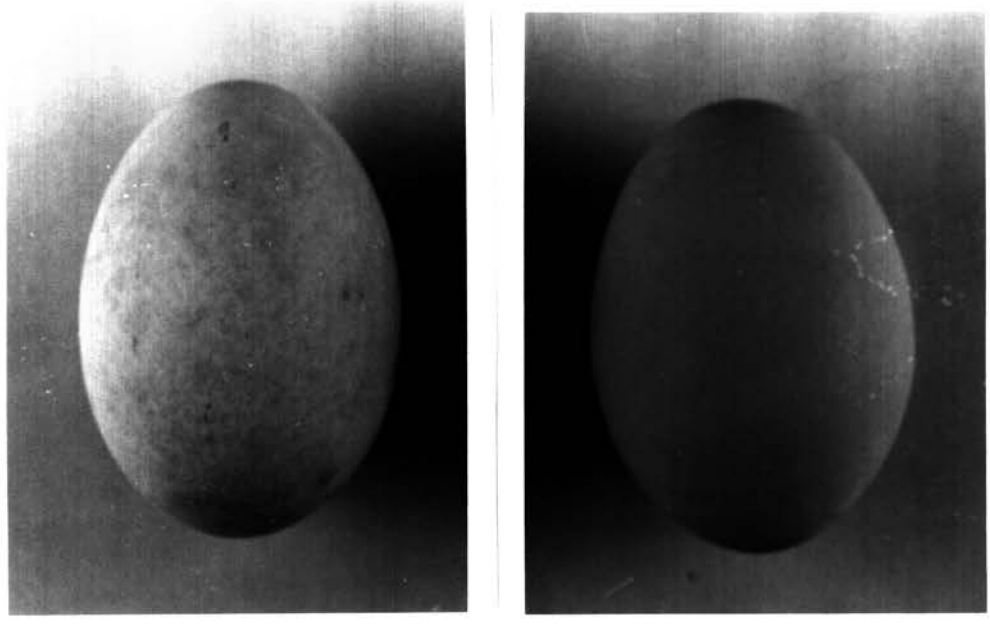
- ตรวจไม่พบ



รูปที่ 9 กราฟมาตรฐานของตะกั่วในเตรท



รูปที่ 10 แสดงลักษณะไข่เยี่ยวม้า (ที่ซื้อจากตลาด เปลือกภายนอกทาด้วยสีแดง)
gel ไข่ขาวเป็นสีน้ำตาล gel ไข่แดงเป็นสีเขียวอมดำ



(a) (b)

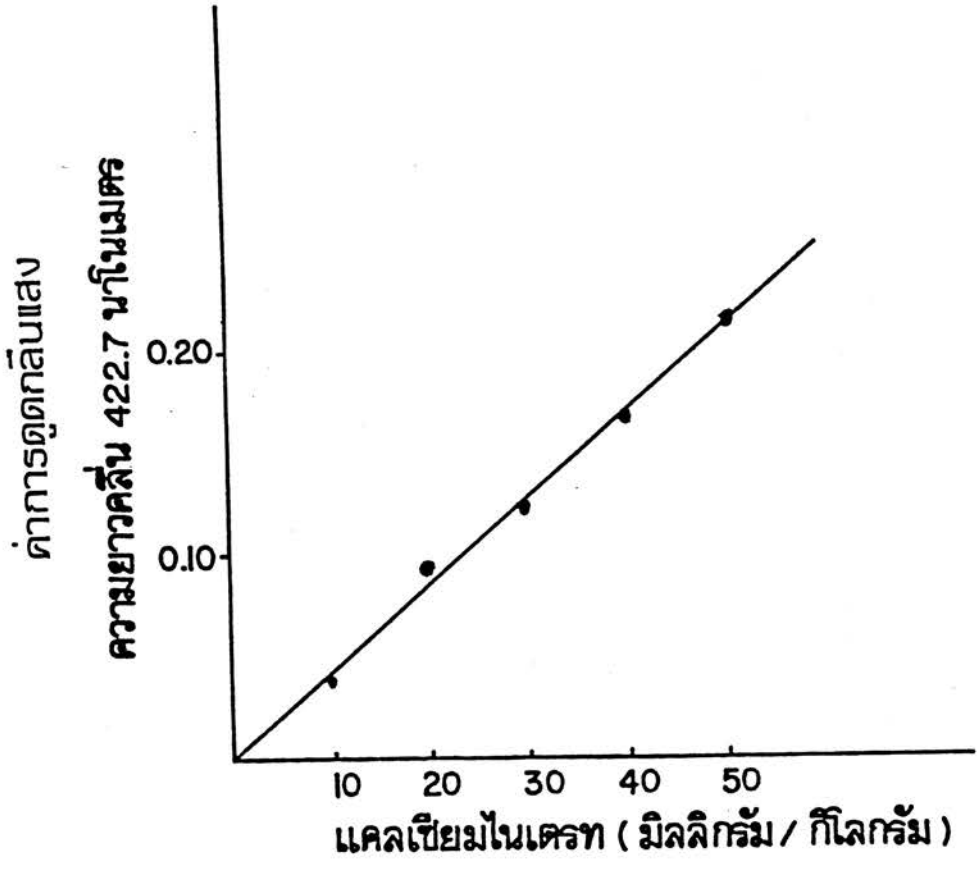
รูปที่ 11 แสดงลักษณะเปลือกไข่เยี่ยวม้า

(a) ไข่เยี่ยวม้าที่หมักในสารละลายที่มีตะกั่ว จะมีจุดดำ ๆ กระจายบนเปลือกไข่

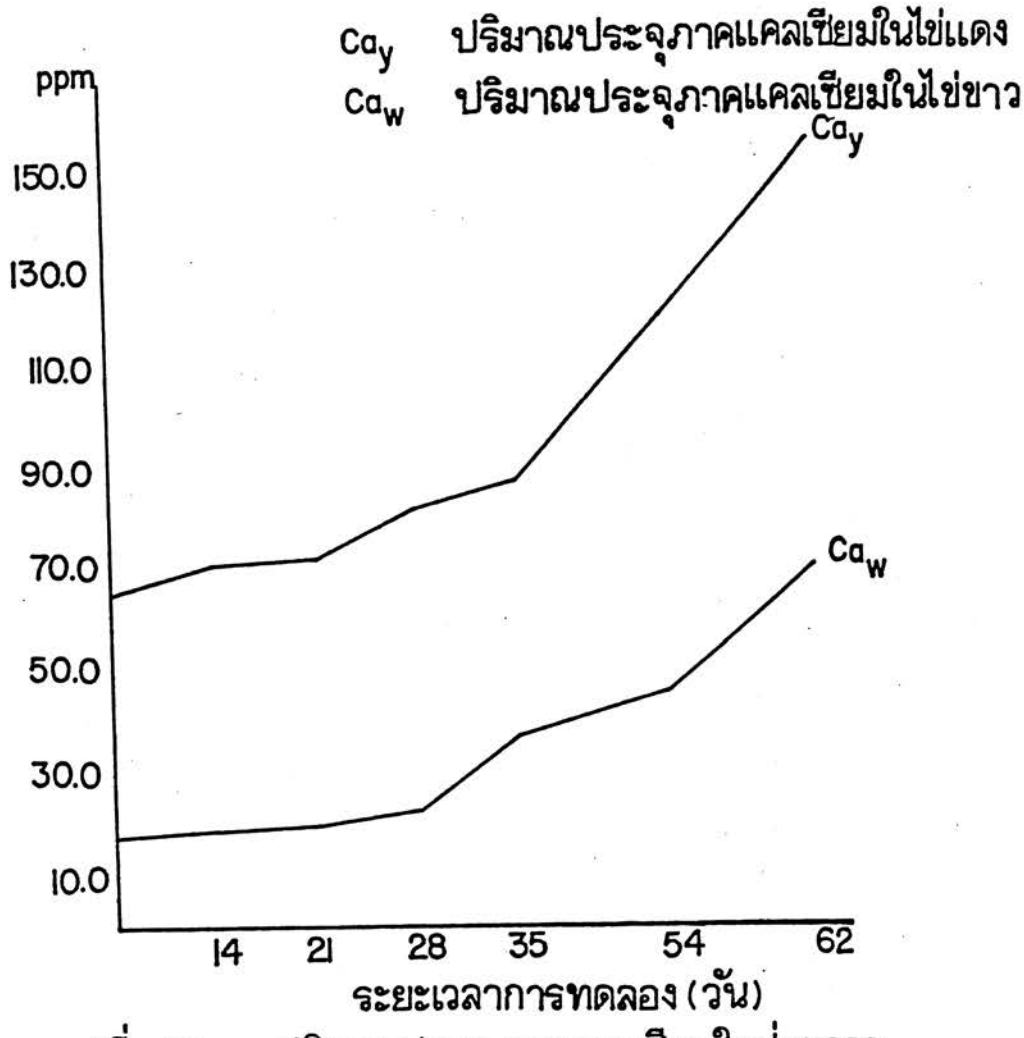
(b) ไข่เยี่ยวม้าที่หมักจากสารละลายที่ไม่มีตะกั่ว

4.13.4 การหาปริมาณประจุภาคสังกะสีและแคลเซียม

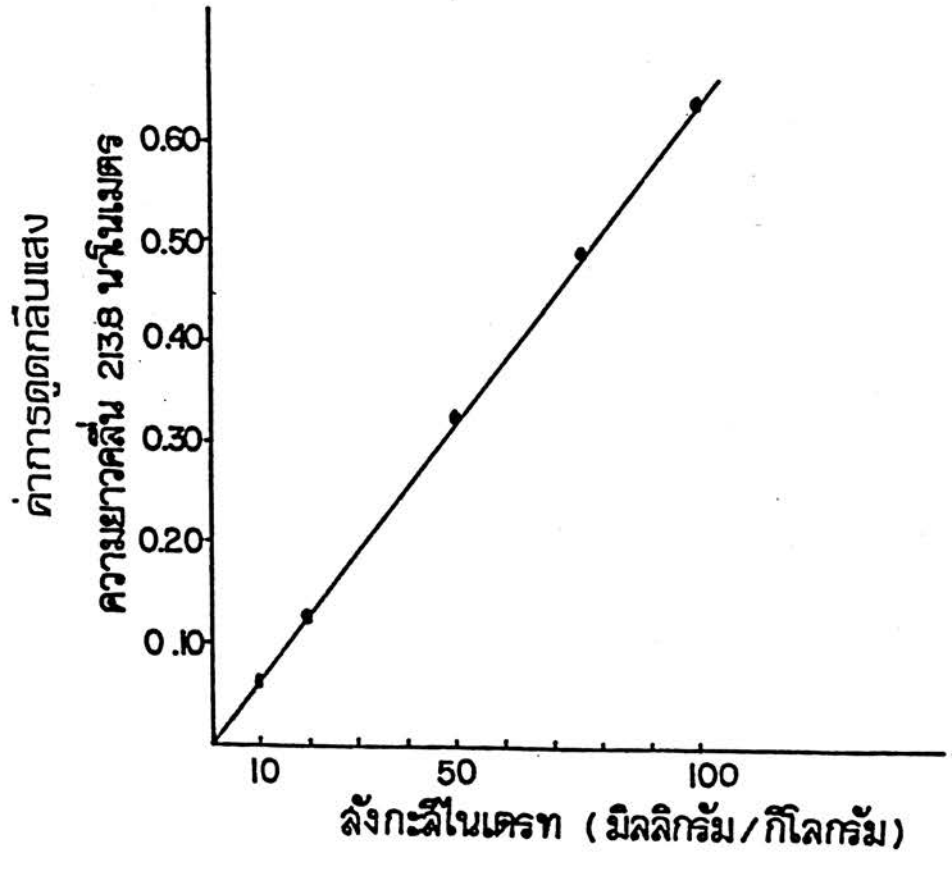
ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณประจุภาคสังกะสี และแคลเซียมในไข่เยี่ยวม้าที่ผลิตได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ที่ซึมผ่านเปลือกไข่ตั้งแต่เริ่มต้น จากไข่เป็ดจนเป็นไข่เยี่ยวม้าดังแสดงในรูปที่ 13,15 และตารางที่ 24 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 39 พบว่าปริมาณประจุภาคสังกะสีและแคลเซียมเพิ่มขึ้น ตามเวลาที่ใช้ในการหมักไข่เยี่ยวม้า โดยในไข่แดงจะมีปริมาณสูงกว่าในไข่ขาว ทั้งนี้เนื่องจากประจุภาคสังกะสีและแคลเซียมเป็น divalent cation ซึ่งจะสร้างพันธะกับ phospholipid และ lipid ชนิดอื่น ๆ ในไข่แดงได้ดี (6) และพวก divalent cation จะช่วยให้เกิด gel เร็วกว่าพวก monovalent cation (11)ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองทุกครั้งคือไข่แดงจะเป็น gel ก่อนไข่ขาวเสมอ ส่วนปริมาณประจุภาคสังกะสีและแคลเซียมในไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อตามตลาด (เปลือกทาสีแดง) จะมีปริมาณต่ำกว่าจากไต้หวันและจากงานวิจัยนี้ทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดและความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้าไม่เหมือนกัน



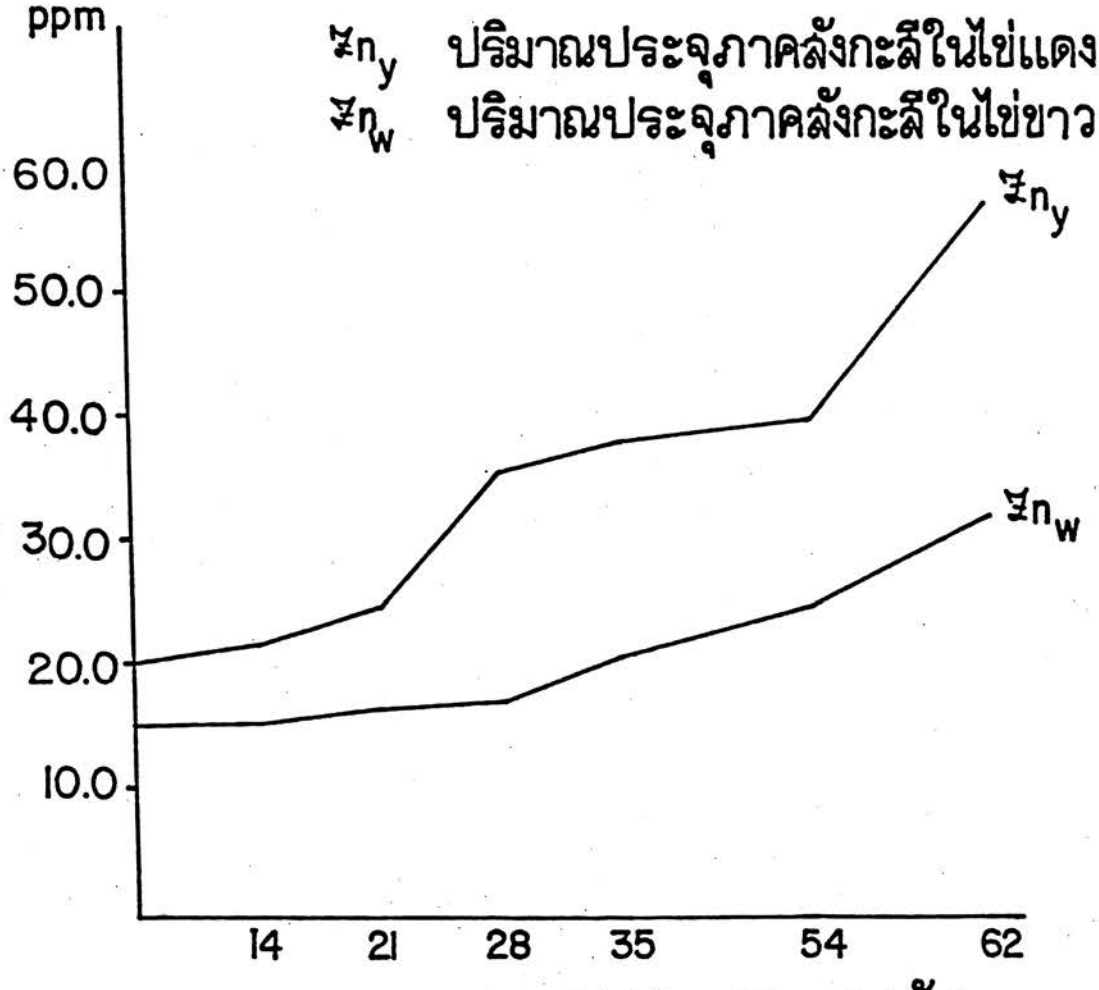
รูปที่ 12 กราฟมาตรฐานของแคลเซียมไนเตรท



รูปที่ 13 ปริมาณประจุภาคแคลเซียมในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการหมักไข่เยี่ยวม้า



รูปที่14กราฟมาตรฐานของลังกะลีไนเตรท



รูปที่15 ปริมาณประจุภาคลังกะลีในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการหมักไข่เยี่ยวม้า

ตารางที่ 24 ปริมาณประจุภาคสังกะสี และแคลเซียมในไข่เยี่ยวม้า

ไข่เยี่ยวม้า	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ปริมาณประจุภาค (ppm)							
		Zn^{+2}				Ca^{+2}			
		ไข่ขาว		ไข่แดง		ไข่ขาว		ไข่แดง	
		ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
เปลือกทาสีแดง	20	15.18-17.47	16.52±0.02	22.48-36.63	28.95±0.01	35.14-72.50	65.50±0.04	83.40-102.50	92.30±1.15
ประเทศไต้หวัน	20	31.83-43.40	39.50±0.11	36.24-53.62	45.40±1.12	47.17-85.50	79.40±0.15	76.97-110.20	95.60±1.04
สูตร abcde	20	31.15-33.20	32.60±0.04	32.03-43.05	41.50±1.15	65.20-84.10	80.50±1.16	122.50-160.10	148.50±1.09
สูตร abcd	20	35.40-38.30	36.20±0.09	41.50-50.05	44.30±0.09	59.34-70.05	66.40±1.42	130.10-140.50	138.40±1.21
สูตร abde	20	30.25-34.20	32.80±0.15	45.20-49.40	46.40±0.03	65.10-80.50	75.20±0.09	156.50-172.20	160.50±0.09
สูตร bce	20	28.50-32.50	30.05±0.01	27.63-35.84	33.23±0.07	52.15-72.60	69.50±0.03	140.50-160.20	155.20±0.04

4.13.5 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในไข่เยี่ยวม้า

การวิเคราะห์โปรตีนในไข่เยี่ยวม้าที่ซื้อจากตลาด (เปลือกทาสีแดง) ประเทศไต้หวัน และไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัย 4 สภาวะการทดลอง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 25 พบว่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันมาก คือมีค่าโปรตีนของไข่ขาวอยู่ระหว่างร้อยละ 10.26-11.03 โดยน้ำหนัก ในไข่แดงร้อยละ 12.05-13.98 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 25 ปริมาณโปรตีนในไข่เยี่ยวม้า

ชนิดไข่เยี่ยวม้า	จำนวนไข่เยี่ยวม้า (ฟอง)	ปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก			
		ไข่ขาว		ไข่แดง	
		ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
เปลือกทาสีแดง	20	10.00-13.50	12.89±0.03	11.50-12.50	13.02±0.01
ไต้หวัน	20	11.50-14.00	13.45±0.02	12.00-14.50	13.98±0.05
หมักด้วยยูเรีย	20	105.00-106.00	105.30±0.00	84.50-85.50	85.04±0.03
bce	20	11.03-11.60	11.42±0.01	13.40-14.75	13.92±0.02
abcd	20	10.55-11.02	10.84±0.05	12.50-13.60	13.45±0.04
abde	20	10.26-11.50	11.09±0.02	12.82-13.60	13.19±0.06
abcde	20	10.81-11.70	11.34±0.08	13.50-14.75	13.98±0.07

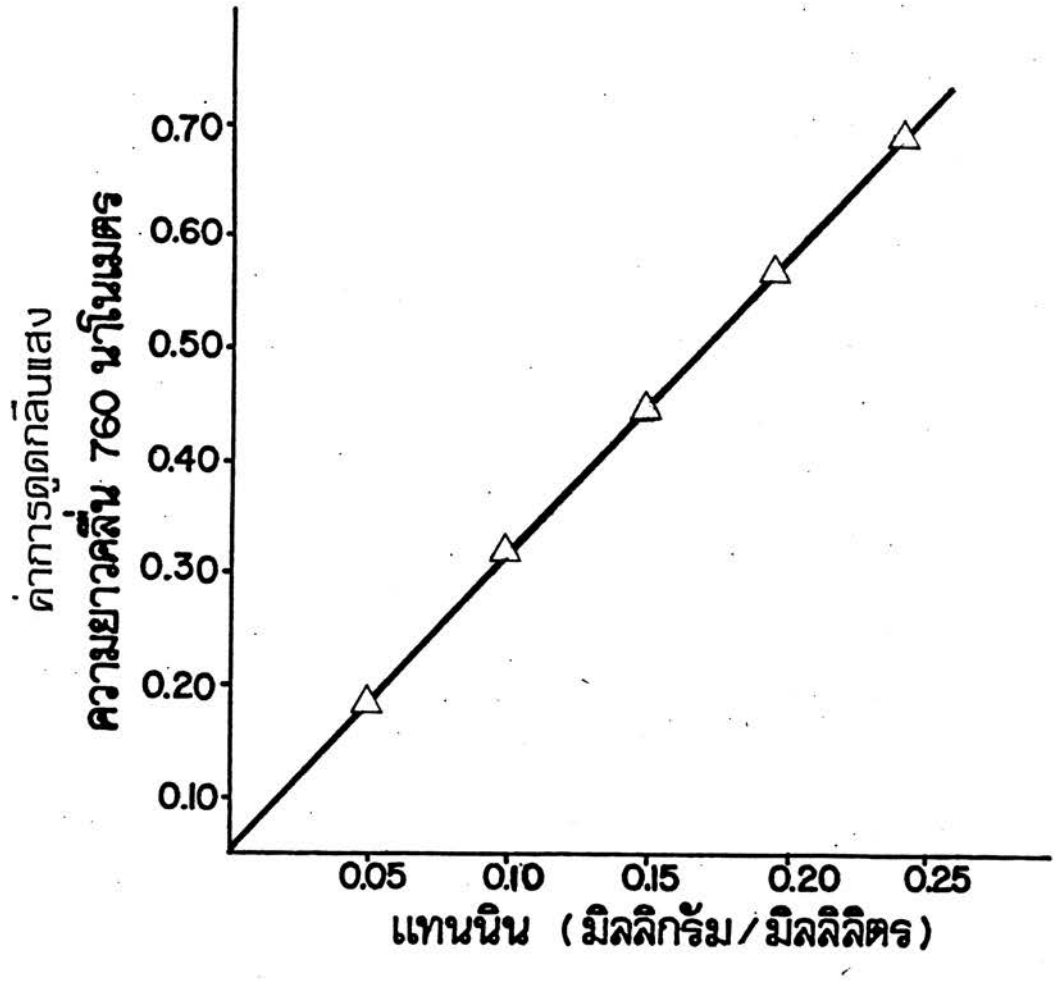
จากผลการทดลองนี้ โปรตีนของไข่เยี่ยวม้าทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรรมวิธีการผลิตไข่เยี่ยวม้ามีหลักการเดียวกัน คือใช้สารละลายด่างและเกลือมาย่อยสลายโปรตีนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ดังนั้นปริมาณโปรตีนก็ยังคงใกล้เคียงกับไข่สด (7) แต่ปริมาณกรดอมิโนบางชนิดอาจแตกต่างจากไข่สดได้แก่ พวกกรดอมิโนที่มีหมู่ SH และ SS group ซึ่งจะมีปริมาณลดลงมาก (18) เนื่องจากขณะที่มีการย่อยสลายโปรตีนนั้น กรดอมิโนที่มีหมู่ SH และ SS group จะถูกใช้ไปในระหว่างเกิดปฏิกิริยากับสารละลายที่ตกตะกอนโปรตีน (11) โดยมีการเกิดพันธะกันขึ้น

4.13.6 การหาปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยทั้ง 4 สภาวะการทดลอง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานรูปที่ 16 สภาวะการทดลองที่มีใบชาน้อยกว่าคือ bce มีใบชาในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้า 1 กรัม/ลิตร ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้าจะต่ำกว่าอีก 3 สภาวะการทดลองคือ abcd abde abcde มีปริมาณใบชาในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้า 2 กรัม/ลิตร จะมีปริมาณแทนนินสูงกว่าดังแสดงในตารางที่ 26 แสดงว่าถ้าปริมาณใบชามากแทนนินก็ซึมผ่านเปลือกไข่ไปได้มาก

และได้ทดลองหมักไข่เยี่ยวม้า เปรียบเทียบความเข้มข้นของใบชาในสารละลายเป็น 1,2 กรัม/ลิตร แต่ความเข้มข้นของสารเคมีชนิดอื่นคงที่ ผลการวิเคราะห์ปริมาณเทนนินดังแสดงในตารางที่ 27 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณใบชาในสารละลายหมักไข่เยี่ยวม้าที่มีความเข้มข้นต่างกัน ไม่ได้ทำให้ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้าแตกต่างกันมากนัก

จะเห็นได้ว่าปริมาณแทนนินในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้ามีค่าประมาณ 27.0-32.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะให้แทนนินในไข่เยี่ยวม้าประมาณ 0.29-0.40 มิลลิกรัม/กรัมไข่เยี่ยวม้า ซึ่งแทนนินดังกล่าวจะตกตะกอนโปรตีนของไข่ขาวและไข่แดงช่วยให้การเกิด gel เร็วขึ้นโดยที่หมู่ไฮดรอกซิลในแทนนินและอ๊อกซิเจนของ Keto-Imide bond (-CONH) ในโปรตีนจะจับกันทำให้เกิดการตกตะกอนโปรตีน (10) แต่จุดประสงค์หลักของการใช้ใบชาก็เพื่อให้กลิ่นและสีแก่ไข่เยี่ยวม้า ถ้าปริมาณใบชาที่ใช้น้อยกว่านี้สีของ gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าก็จะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ถ้าใช้ใบชามากกว่านี้สี gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าก็จะเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบต้องการสี gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าในช่วงดังกล่าว ดังนั้นปริมาณใบชาที่ใช้ประมาณ 1-2 กรัม/ลิตร จึงเหมาะสม



รูปที่ 16 กราฟมาตรฐานของแทนนิน

ตารางที่ 26 ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้า

สูตร	น้ำหนักไข่เยี่ยวม้า (กรัม)	ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้า (มิลลิกรัม)			
		ไข่ขาว	ค่าเฉลี่ย	ไข่แดง	ค่าเฉลี่ย
bce	1.000	0.29-0.34	0.31 ± 0.06	0.26-0.30	0.28 ± 0.04
abcd	1.000	0.38-0.40	0.39 ± 0.08	0.27-0.29	0.28 ± 0.01
abde	1.000	0.43-0.45	0.44 ± 0.02	0.28-0.30	0.29 ± 0.08
abcde	1.000	0.40-0.43	0.42 ± 0.03	0.25-0.27	0.26 ± 0.07

ตารางที่ 27 ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้าจากการใช้ใบชาความเข้มข้นต่างกัน

ปริมาณใบชา กรัม/ลิตร	น้ำหนักไข่ (กรัม)	ปริมาณแทนนินในไข่เยี่ยวม้า (มิลลิกรัม)			
		ไข่ขาว	ค่าเฉลี่ย	ไข่แดง	ค่าเฉลี่ย
1.000	1.000	0.34-0.40	0.38 ± 0.11	0.25-0.35	0.28 ± 0.03
2.00	1.000	0.36-0.45	0.42 ± 0.18	0.28-0.32	0.31 ± 0.05

4.14 การศึกษาวิธีการที่จะลดเวลาการหมักไข่สดเป็นไข่เยี่ยวม้า

4.14.1 การแปรสภาพเปลือกไข่เป็ดด้วยกรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 1 (ปริมาตร/ปริมาตร) ในช่วงเวลาต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบเวลาการแปรสภาพเปลือกไข่เป็ดด้วยกรดอะซิติค ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 28 พบว่าเมื่อเปลือกไข่ถูกละลายออกมามากขึ้นตามระยะเวลาการแช่ในกรดอะซิติค โดยหาปริมาณการถูกละลายออกมาด้วยการไตเตรทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จากการทดลองพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่จะแปรสภาพเปลือกไข่คือช่วง 20-30นาที ถ้ามากกว่า 30 นาที เปลือกไข่จะยุ่ยเสียสภาพไม่ควรใช้

ตารางที่ 28 แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกริยากับกรดอะซิติคที่เหลือจากการแช่เปลือกไข่

เวลา (นาที)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
10	16.5
20	15.3
30	15.0
40	14.2

4.14.2 ปริมาณประจุภาคคลอไรด์ที่ซึมผ่านเปลือกไข่เป็ดที่ผ่านการแปรสภาพเปลือกด้วยกรดอะซิติคในช่วงเวลาต่างกัน

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6 และในภาคผนวก ก. ตารางที่ 37 เปลือกไข่เป็ดที่ผ่านการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที จะมีอัตราการซึมผ่านของประจุภาคคลอไรด์สูงกว่าชนิดแช่ไว้ในสารละลายกรดชนิดเดียวกัน 5 นาที ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาการแปรสภาพเปลือกไข่ แคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็น

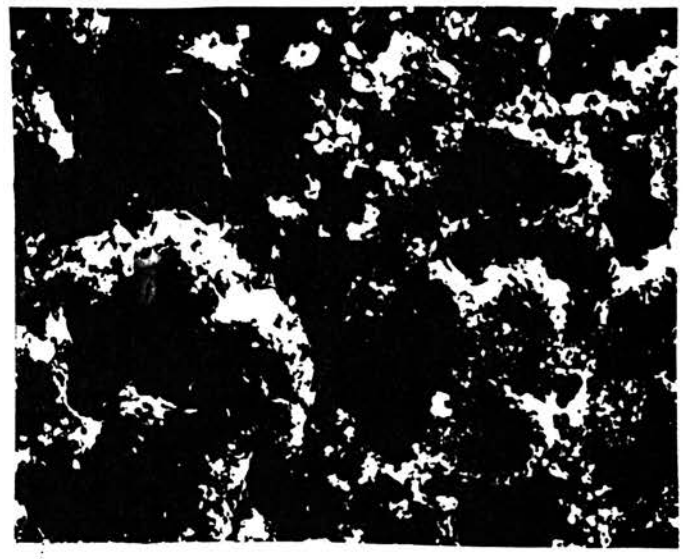
องค์ประกอบของเปลือกไข่จะค่อย ๆ ละลายออกมารูบนเปลือกไข่จะมีขนาดโตขึ้นหรือเนื่องจากเปลือกไข่บางลงจึงทำให้สารละลายซึมผ่านเปลือกไข่ได้มากขึ้น (25)

4.14.3 <u>การแปรสภาพเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ด้วยกรดอะซิติคและศึกษาขนาดรูบนเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่โดยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน</u> (scanning electron microscope)

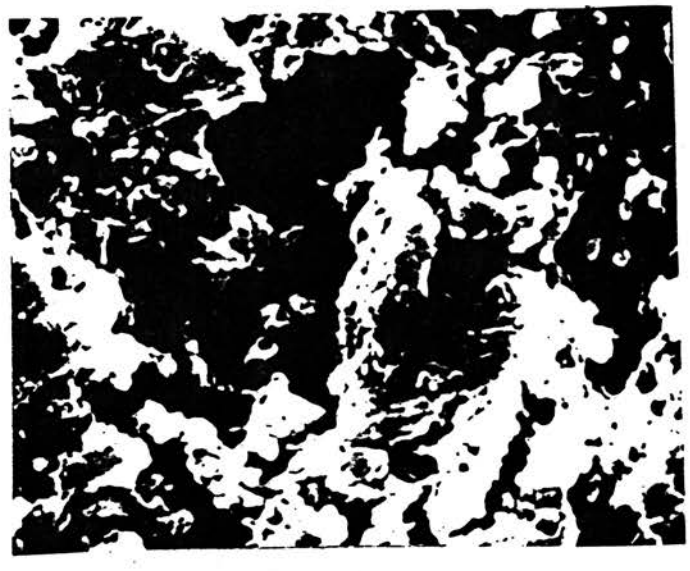
จากการใช้กรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตรแปรสภาพเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ พบว่าสามารถทำให้รูบนเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากกรดไปละลายโครงสร้างของเปลือกไข่ที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต และละลายโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มไข่ (7) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน ผลดังแสดงในตารางที่ 29 และรูปที่ 17-20 พบว่าเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ที่ผ่านการแปรสภาพจะมีขนาดของรูโตขึ้น 3 และ 2 เท่าตามลำดับ เมื่อแช่ไว้ 30 นาที

ตารางที่ 29 แสดงขนาดรูบนเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่จากกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน

ตัวอย่าง	ขนาดรูบนเปลือกไข่และที่ไม่ได้แปรสภาพเยื่อหุ้มไข่ (ไมครอน)	ขนาดรูบนเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ภายหลังการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติค (ไมครอน)	
		30 นาที	40 นาที
เปลือกไข่	4.33-12.54	15.04-20.51	30.15-35.43
เยื่อหุ้มไข่	2.60-4.05	4.91-6.43	8.05-10.66



(a)



(b)

รูปที่ 17 แสดงโครงสร้างของเปลือกไข่ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอนที่กำลังขยายต่างกัน

(a) เปลือกไข่, 940 X

(b) เปลือกไข่, 6000 X

(c)

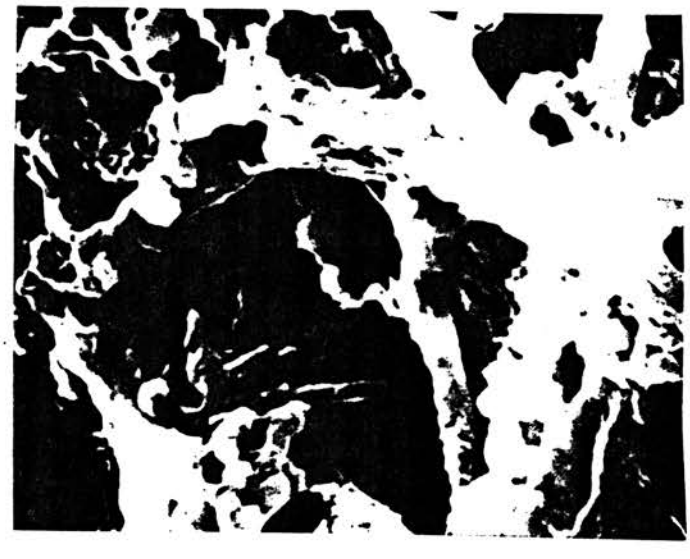
(d)

รูปที่ 18 แสดงโครงสร้างของเปลือกไข่ที่ผ่านการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ในเวลาต่าง ๆ กัน (ถ่ายด้วยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน)

(c) 15 นาที, 7200 X

(d) 30 นาที, 2000 X

(e)



(f)

รูปที่ 19 โครงสร้างของเยื่อหุ้มไข่ถ่ายด้วยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน

(e) เยื่อหุ้มไข่, 2000 X

(f) เยื่อหุ้มไข่, 7200 X

(g)

(h)

รูปที่ 20 แสดงโครงสร้างของเยื่อหุ้มไข่ที่ผ่านการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ในเวลาต่างกัน (ถ่ายด้วยกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน)

(g) 15 นาที, 7200 X

(h) 30 นาที, 7200 X

4.14.4 การหมักไข่เยี่ยวม้าด้วยไข่สดที่เปลือกไข่ผ่านการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติค

การนำไข่สดที่เปลือกผ่านการแปรสภาพด้วยกรดอะซิติค ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร มาหมักในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ผลดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 แสดงระยะเวลาการหมักไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้า

สภาวะการทดลอง	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	เวลาที่ใช้ในการหมัก (วัน)
bce	20	45-48
abce	20	45-48
abde	20	45-48
abcde	20	45-48

พบว่าใช้เวลา 45-48 วัน ก็เป็นไข่เยี่ยวม้าที่สมบูรณ์ ซึ่งเร็วกว่าไข่ที่เปลือกไม่ได้แปรสภาพประมาณ 12 วัน ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายด่างและเกลือผ่านเปลือกไข่เข้าไป ทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็น gel ได้เร็วขึ้น (9)

4.15 การตรวจสอบ gel ไข่เยี่ยวม้าด้วย differential thermal analysis (DTA)

การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะ thermogram ของ gel ไข่ขาวไข่เยี่ยวม้าจากไต้หวันและไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้

จากรูปที่ 21 ไข่เยี่ยวม้าจากไต้หวันมีจุดเปลี่ยนแปลงที่ 107-110 องศาเซลเซียส

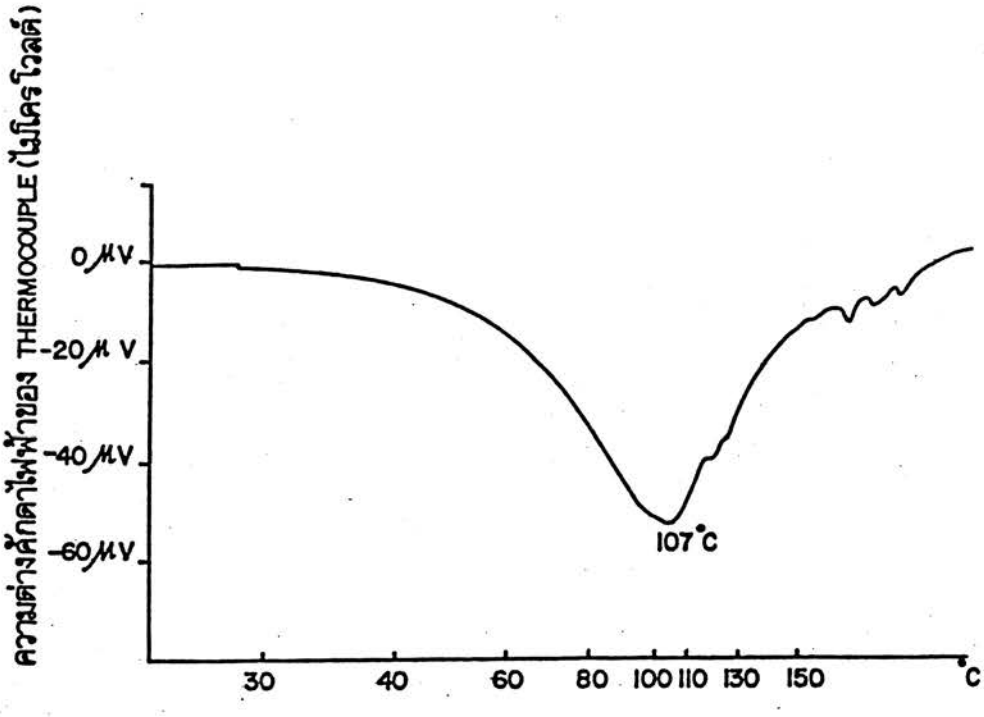
จากรูปที่ 22 ไข่เยี่ยวม้าจากงานวิจัย 4 สภาวะการทดลองมีจุดเปลี่ยนแปลงที่ 110-120 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 23 ไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากการหมักยูเรียและเกลือมีจุดเปลี่ยนแปลงที่ 111-112 องศาเซลเซียส

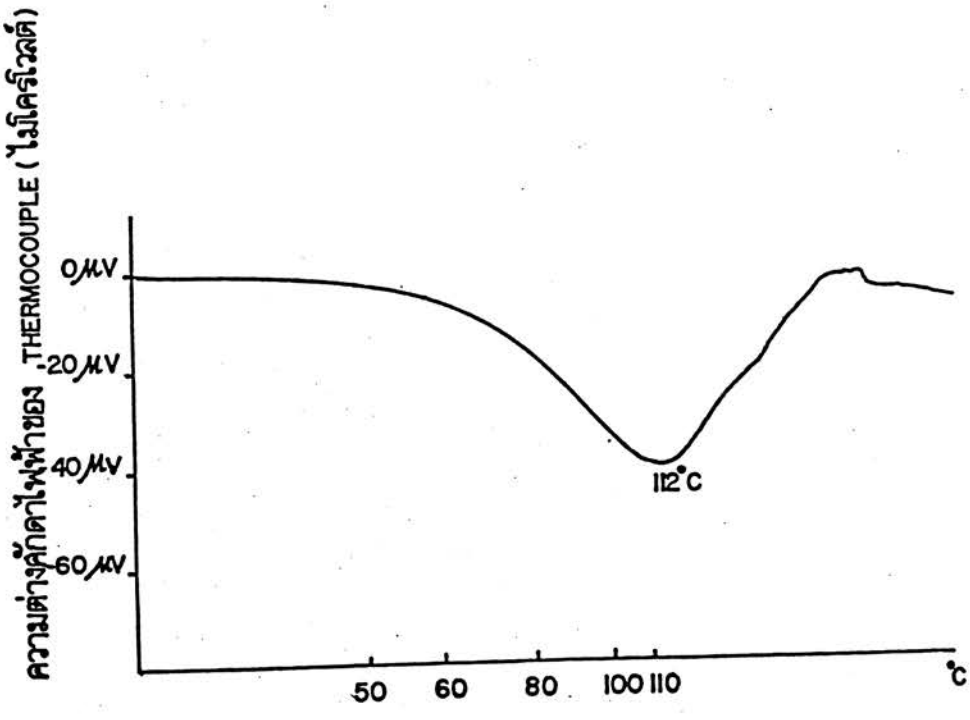
จากลักษณะ thermogram ของไข่เยี่ยวม้าทีผลิตได้จาก 4 สภาวะการทดลองและจากชนิดที่หมักด้วยยูเรียเป็นแบบ endothermic reaction (23) (ปฏิกิริยาการดูดกลืนความร้อน) ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงว่า gel ของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้และของไต้หวันมีลักษณะใกล้เคียงกัน เนื่องจากช่วงที่ thermogram เปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน

4.16 การตรวจสอบ gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าเปรียบเทียบกับไข่ขาวดิบด้วย differential scanning colorimetry(DSC)

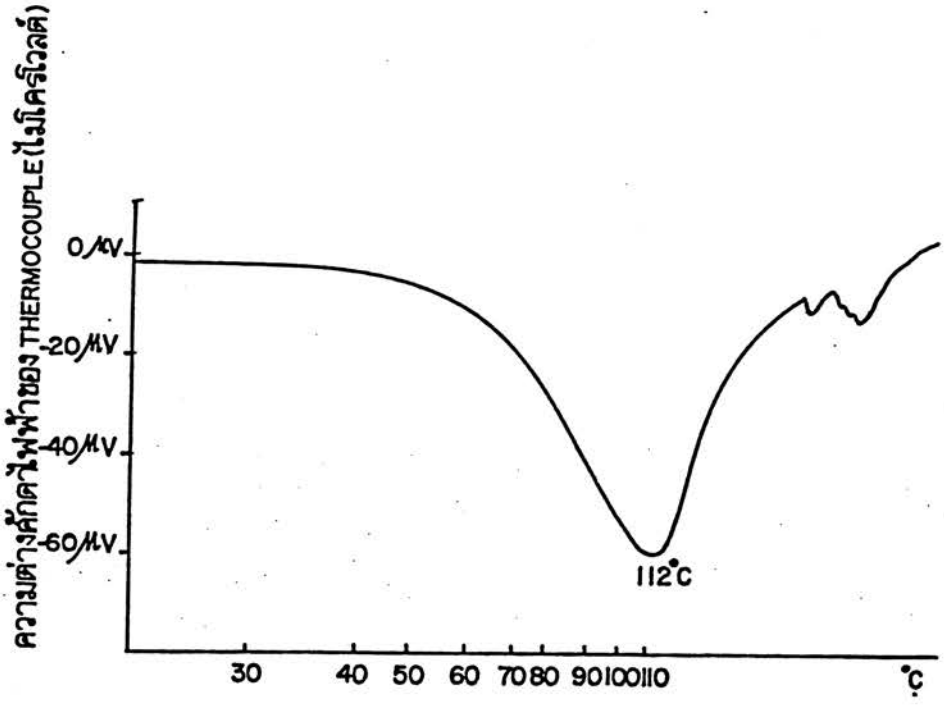
gel ของไข่เยี่ยวม้าเกิดจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยสารละลายด่างและเกลือ ดังนั้น gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้ากับ gel ไข่ขาวดิบที่ได้รับความร้อนควรจะแตกต่างกัน จึงทดลองวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง DSC ปรากฏว่า thermogram ที่ได้ของ gel ทั้งสองชนิดเป็นแบบ endothermic reaction โดยเปรียบเทียบกับ reference เช่น indium ซึ่งมีจุดเปลี่ยนแปลงของ thermogram ที่แน่นอนชัดเจนสามารถคำนวณพลังงานได้ gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ 103-110 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 24 ส่วน thermogram ไข่ขาวดิบเปลี่ยนแปลงที่ 83-87องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 25 ซึ่งจากกราฟ thermogram ที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถคำนวณระดับพลังงานซึ่งต่างกันระหว่าง gel ไข่ขาวดิบที่ได้รับความร้อนและ gel ไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าโดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของ thermogram เทียบกับสารเปรียบเทียบซึ่งรู้ค่าพลังงานที่แน่นอนในที่นี้คือ indiumจากผลการทดลองนี้ทำให้ศึกษาได้ว่า gel ของไข่เยี่ยวม้าและ gel ไข่ขาวดิบเมื่อได้รับความร้อนมีผลต่างกัน



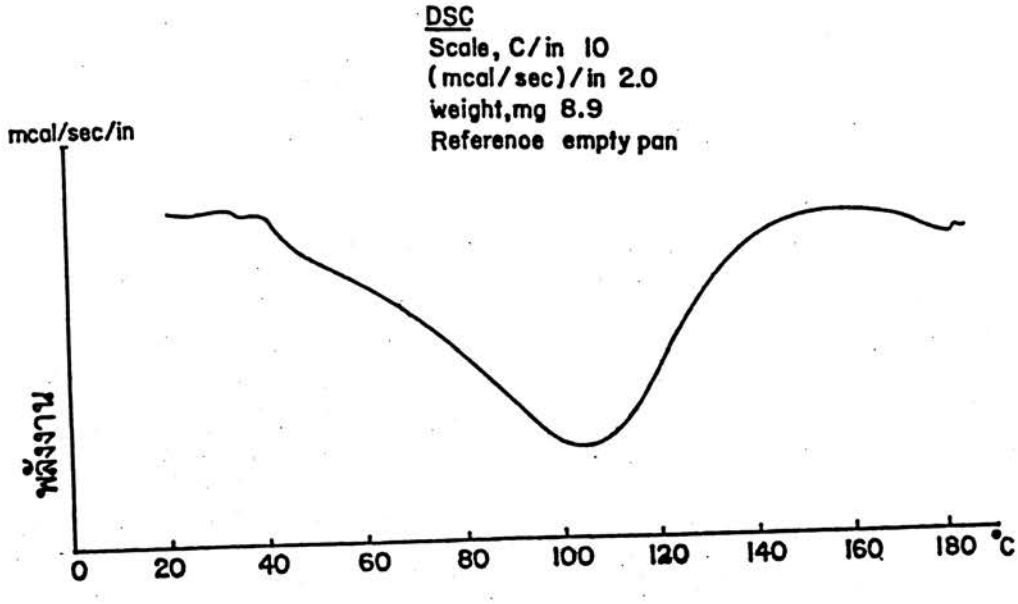
รูปที่ 21 THERMOGRAM แสดงการเปลี่ยนแปลงของ GEL ไข่ขาวไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากไต้หวัน ใช้ PLATINUM-PLATINUM/RHODIUM (10%) THERMOCOUPLE



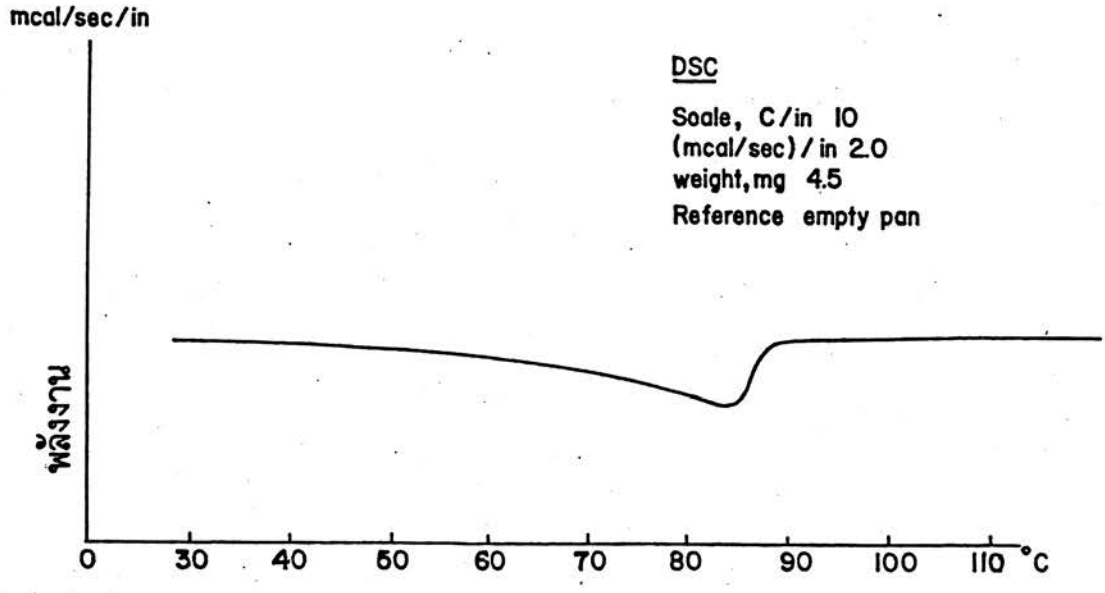
รูปที่ 22 THERMOGRAM แสดงการเปลี่ยนแปลงของ GEL ไข่ขาวไข่เยี่ยวม้าสูตร bce ใช้ PLATINUM-PLATINUM/RHODIUM (10%) THERMOCOUPLE



รูปที่ 23 THERMOGRAM แสดงการเปลี่ยนแปลงของ GEL ไข่ขาวไข่เยี่ยวม้าหมักด้วยยูเรียและเกลือ ใช้ PLATINUM-PLATINUM/RHODIUM (10%) THERMOCOUPLE



รูปที่ 24 THERMOGRAM แสดงจุดเปลี่ยนแปลงของ GEL ไข่ขาวไข่เยียวม้า สูตร abcde



รูปที่ 25 THERMOGRAM แสดงจุดเปลี่ยนแปลงของไข่ขาวของไข่เป็ดสด

4.17 การศึกษาความสดของไข่เป็ดที่สามารถใช้ในการหมักไข่เยี่ยวม้า

จากการทดลองใช้ไข่เป็ดหมักในสารละลายที่ใช้หมักไข่เยี่ยวม้า ในสูตร bce ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 แสดงลักษณะไข่เยี่ยวม้าที่ใช้เข่เป็ดอายุต่าง ๆ ในการหมัก

อายุไข่เป็ด (วัน)	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ลักษณะไข่เยี่ยวม้า
0-10	10	ไข่แดงและไข่ขาวเป็น gel ดี
11-15	10	ไข่แดงเป็น gel แต่เหลวกว่าไข่เป็ดชนิด 0-10 วัน ไข่ขาวเป็น gel ดี แต่ผู้ทดสอบก็ยอมรับ
16-20	10	ใช้ไม่ได้ ไข่ขาวและไข่แดงเป็น gel เล็กน้อย ส่วนมากเสีย

ในหมักเป็นไข่เยี่ยวม้า พบว่าสามารถใช้ไข่เป็ดที่มีอายุไม่เกิน 15 วัน ถ้าอายุมากกว่า 15 วัน ไม่ควรนำมาใช้ผลิตไข่เยี่ยวม้า เพราะไข่เป็ดที่ทิ้งไว้ในอากาศนาน ๆ จุลินทรีย์จะผ่านเปลือกไข่เข้าไปทำให้ไข่เน่า เนื่องจากสารที่ต้านทานการเน่าเสียของไข่ตามธรรมชาติจะลดน้อยลง เมื่อเก็บไข่ไว้นาน ๆ (30) ถ้าใช้ไข่ที่มีอายุระหว่าง 10-15 วัน ไข่แดงของไข่เยี่ยวม้าจะเป็น gel ที่ไม่ดี เนื่องจากไข่แดงของไข่เป็ดที่เก็บนาน ๆ จะไม่อยู่ตัวเริ่มแตกกระจายได้ง่าย

4.18 การศึกษาจุลินทรีย์ในไข่เยี่ยวม้า

ผลการทดสอบจุลินทรีย์ในไข่เยี่ยวม้า ดังแสดงในตารางที่ 31 พบว่าตรวจไม่พบบักเตรี รา และยีสต์ ในผลิตภัณฑ์ที่หมักได้ทั้ง 4 สภาวะการทดลอง และที่เก็บไว้ 4 เดือน และ 8 เดือน

ตารางที่ 31 การตรวจจุลินทรีย์ในไข่เยี่ยวม้า

สภาวะการทดลอง	จำนวนตัวอย่าง (ฟอง)	ปริมาณจุลินทรีย์
bce	10	ไม่พบ
abcd	10	ไม่พบ
abcde	10	ไม่พบ
* 4 เดือน	40	ไม่พบ
* 8 เดือน	40	ไม่พบ

*ไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สภาวะการทดลองสภาวะละ 10 ฟอง เก็บไว้ 4 เดือนและ 8 เดือน

จากผลการทดลองไม่พบจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สภาวะการทดลองและทั้งชนิดที่เก็บไว้ 4 เดือน และ 8 เดือน เนื่องจากไข่เยี่ยวม้ามี pH ค่อนข้างสูง จึงไม่มีจุลินทรีย์ใด ๆ มีชีวิตอยู่ได้เลย

4.19 การศึกษาอายุการเก็บของไข่เยี่ยวม้า

ไข่เยี่ยวม้าสามารถเก็บได้เป็นเวลานานนับปีโดยไม่เสีย แต่ปริมาณความชื้นลดลง ผู้บริโภคยอมรับไข่เยี่ยวม้าที่เก็บไว้ถึง 8 เดือน หลังจาก 8 เดือน ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เนื่องจากแห้งเกินไป