

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตรวจหาปริมาณตะกั่วในไข่นกกระทา

จากการนำไข่นกกระทาสดมาตรวจหาปริมาณตะกั่วในไข่ขาวและไข่แดงได้ผลดังตารางที่

4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณตะกั่วในไข่ขาวและไข่แดงของไข่นกกระทาสด

ชนิดของไข่	ความเข้มข้น($\mu\text{g/L}$)	ปริมาณตะกั่ว(mg/kg)
ไข่ขาว	0.0260	0.000130
	0.0268	0.000134
	\bar{x} 0.0264	0.000132
ไข่แดง	0.0150	0.000075
	0.0140	0.000070
	\bar{x} 0.0145	0.0000725

ไข่นกกระทาที่นำมาวิเคราะห์เลือกขนาดน้ำหนัก 12 กรัม จากการนำไข่นกกระทามาหาร้อยละของไข่ขาวและไข่แดงใน 1 ฟอง พบว่ามีปริมาณร้อยละ 55.41 และ 30.84 ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณตะกั่วในไข่นกกระทาสด 1 ฟอง พบว่า มีตะกั่ว 1.0×10^{-6} มิลลิกรัม หรือมีปริมาณตะกั่ว 0.0002045 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าน้อยมากและต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดที่ยอมให้พบได้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .1205-2536 ซึ่งกำหนดให้พบตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นไข่นกกระทาสดจึงเหมาะสมที่จะนำไปทำไข่เยี่ยวม้าแทนไข่เป็ด ซึ่งจากรายงานของ Jeng และ Yang (1995) พบตะกั่วในไข่เป็ดสดทั้งฟองประมาณ 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากขนาดของไข่นกกระทาที่เล็กกว่าไข่เป็ดมาก ทำให้สามารถผลิตไข่เยี่ยวม้าได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่า ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและมีลักษณะที่น่ารับประทาน เป็นการช่วยเสริมรายได้ให้กับเกษตรกร ในประเทศไทยที่เลี้ยงนกกระทา รวมทั้งสิ้น 2,946 ครัวเรือน(กรมปศุสัตว์ ,2550)

ตรวจสอบค่า pH ที่ทำให้ไข่สดเกิดการแข็งตัว

ผลการตรวจสอบค่า pH ที่ทำให้ไข่สดเกิดการแข็งตัว แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของไข่นกกระทาสดที่ pH ต่างกัน

ชนิดของไข่	ค่า pH	ลักษณะของไข่
ไข่ขาว	8.6	มีลักษณะเหมือนไข่ดิบ สีขาวออกเหลืองเล็กน้อย ใส
	8.9	เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะคล้ายอิมัลชัน สังเกต จากเริ่มไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
	9.3	ลักษณะขุ่น สังเกตได้ชัดเจนขึ้น
	9.8	ลักษณะขุ่นมากขึ้น แต่ยังเป็นของเหลว
	10.2	ลักษณะขุ่นเพิ่มมากขึ้น
	10.4	ลักษณะขุ่นเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม
	10.9	ลักษณะขุ่นมากขึ้น ขึ้นมากขึ้นกว่าเดิม
	11.0	ลักษณะเป็นก้อน ไม่ติดข้างภาชนะ เป็นเจลใส
	11.6	เริ่มคลายตัว ละลายกลายเป็นของเหลวบางส่วน
11.9	กลายเป็นของเหลว ลักษณะต่างจากไข่ดิบ	
ไข่แดง	6.0	มีลักษณะเหมือนไข่ดิบ สีเหลือง
	9.3	เริ่มจับตัวแข็งขึ้นเล็กน้อย
	9.5	จับตัวเป็นก้อนแข็ง
	10.5	จับตัวเป็นก้อนแข็งมาก

จากการทดลองพบว่าค่า pH ที่ทำให้ไข่ขาวมีลักษณะเป็นก้อน ไม่ติดข้างภาชนะและเป็นเจลใส คือที่ pH 11.0 เป็นต้นไป จนถึง pH 11.6 เริ่มมีบางส่วนละลายเป็นของเหลวและเมื่อถึงค่า pH 11.9 ขึ้นไป ไข่ขาวจะกลายเป็นของเหลวลักษณะต่างจากไข่ดิบ ดังนั้นค่าที่เดิมลงไปจึงมีผลต่อการเกิดเจลในไข่ขาวและทำให้ไข่แดงแข็งตัว ที่ pH 9.3 ซึ่งโดยปกติ pH ของไข่ดิบ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บรักษา อำนวย สุขเมือง(2536) กล่าวว่า ไข่ใหม่มี pH ของไข่ขาวและไข่แดง ประมาณ 7.6 และ 6 ตามลำดับ ส่วนไข่เก่า มี pH ของไข่ขาวและไข่แดงสูง กว่าไข่ใหม่ คือ 9.7 และ 6.8 ตามลำดับ เนื่องจากการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากไข่การทำไข่เยี่ยวม้าที่ควรใช้ไข่ใหม่ ส่วนการที่สารละลายต่าง ทำให้ pH ของไข่ขาวและไข่แดงสูงขึ้น จนมีลักษณะแข็งตัวนั้น เนื่องจากโปรตีนที่มีในไข่ถูกแปรสภาพด้วย เอนไซม์ในไข่ ซึ่งจะเกิดได้ที่ pH ซึ่งเหมาะสม วารุณี และคณะ(2532) กล่าวว่า ถ้าปรับ pH ของไข่ขาวให้เท่ากับ 11.9 หรือสูงกว่าไข่ขาว จะเปลี่ยนสภาพจากเจลใสในระยะเวลาหนึ่งเกิดการคืนตัวกลายเป็นของเหลว ซึ่งเป็นไปตามการทดลอง

ศึกษาค่า pH ของสารที่เหมาะสมในการทำไข่เยี่ยวม้า

สารที่เลือกมาทดสอบคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ โดยการนำมาทำสารละลายต่างที่ความเข้มข้นต่างกันแช่ไข่นกกระทาสด (pH ไข่ขาว 8.6 ไข่แดง 6.0) นาน 12 วัน ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของไข่ขาวและไข่แดง เมื่อแช่ในสารละลายต่างๆ กัน เมื่อครบกำหนด 12 วันเปรียบเทียบระหว่างไข่ที่ต้มที่อุณหภูมิ 80°C นาน 5 นาที กับไข่ที่ไม่ต้ม

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น	ลักษณะของไข่ไม่ต้ม (2 ฟอง)	ลักษณะของไข่ต้ม (3 ฟอง)	pH ไข่ขาว
NaOH	5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร (pH 12.8)	- ไข่ขาวสีน้ำตาล เป็นของเหลวใส - ไข่แดง แข็ง สีเขียวเทา	- ไข่ขาวสีเหมือนกับไข่ไม่ต้มเป็นเจลอ่อนใส - ไข่แดงแข็ง สีเขียวเทา	11.5
	4 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร (pH 12.7)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลแดงเป็นเจลแข็งใส - ไข่แดง ตรงกลางเป็นยางมะตูม สีส้มแดง รอบนอกสีเขียวเทา	- ไข่ขาวสีเหมือนกับไข่ไม่ต้มเป็นเจลแข็งใส - ไข่แดงตรงกลางแข็งสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวเทา	11.4
	3 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร (pH 12.6)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลแดง เป็นเจลแข็งใส - ไข่แดงเป็นยางมะตูม ตรงกลางรอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	- ไข่ขาวสีเหมือนกับไข่ไม่ต้มเป็นเจลแข็งใส - ไข่แดงรอบนอกสีเขียวเทาตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง	11.3
	2 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร (pH 12.5)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลเป็นของเหลวใส - ไข่แดงตรงกลางเป็นยางมะตูมสีส้ม รอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	- ไข่ขาวสีเหมือนกับไข่ไม่ต้ม เป็นเจลแข็งใส - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลืองแข็ง รอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	11.2
	1 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร (pH 12.2)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลอ่อนเป็นของเหลวใส - ไข่แดงตรงกลางสีส้มแดงเป็นยางมะตูมรอบนอกสีเขียวเทาอ่อน	- ไข่ขาวสีเหมือนกับไข่ไม่ต้มเป็นเจลแข็ง - ไข่แดงแข็งทั้งหมดตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวเทา	11.1

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น	ลักษณะของไข่ไม่ต้ม (2 ฟอง)	ลักษณะของไข่ต้ม (3ฟอง)	pH ไข่ขาว
Na ₂ CO ₃	4 กรัมต่อน้ำ100มิลลิลิตร (pH 11.6)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลอ่อน เป็นของเหลวใส - ไข่แดงเหลว สีส้มแดง	- ไข่ขาวสีน้ำตาลเป็น เจลแข็งขุ่น - ไข่แดงแข็งทั้งหมดตรง กลางสีเหลืองแดง รอบนอกสีเขียวเทา	10.2
	5 กรัมต่อน้ำ100มิลลิลิตร (pH 11.7)	- ไข่ขาวสีน้ำตาล เหลว ใส - ไข่แดงตรงกลางเหลว สีส้มแดง รอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	- ไข่ขาวสีน้ำตาลอ่อน เป็นเจลแข็งขุ่น - ไข่แดงแข็ง สีเหลืองแดง รอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	10.3
	6 กรัมต่อน้ำ100มิลลิลิตร (pH 11.8)	- ไข่ขาวสีน้ำตาล เหลว ใส - ไข่แดงตรงกลางเป็น ยางมะตุม สีส้มแดง รอบนอกสีเขียวเทา แข็ง	- ไข่ขาวสีน้ำตาลปน เขียวเป็นเจลแข็ง ขุ่น - ไข่แดงตรงกลางสีส้มแดงรอบนอกสีเขียวเทา แข็งตลอด	10.5
CaO	15กรัมต่อน้ำ100 มิลลิลิตร (pH 12.1)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เหลว ใส - ไข่แดงตรงกลางเป็น ยางมะตุมสีส้มแดง รอบนอกสีเขียวเทา	- ไข่ขาวสีน้ำตาลอ่อน แข็งขุ่น - ไข่แดงตรงกลางสี เหลืองแดงแข็งรอบนอก สีเขียวเทา	10.5
Na ₂ CO ₃ + CaO	6+15 กรัม ต่อน้ำ100 มิลลิลิตร (pH 12.2)	- ไข่ขาวสีน้ำตาลอ่อน เหลว ใส - ไข่แดงตรงกลางเป็น ยางมะตุมสีส้มแดง รอบนอกสีเขียวเทา อ่อน	- ไข่ขาวสีเหมือนไข่ไม่ ต้ม แต่เป็นเจลแข็ง ไม่ใสมาก - ไข่แดงแข็งทั้งหมดตรง กลาง สีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวเทา	11.1

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 พบว่าสารละลายที่ทำให้ไข่ที่มีลักษณะคล้ายไข่เยี่ยวม้ามากที่สุดคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น ร้อยละ 2, 3 และ 4 ซึ่งให้ค่า pH ของไข่ขาวที่เหมาะสมในการเกิดเจลแข็งใส คือระหว่างค่า pH 11.2 – 11.4 ส่วน Na_2CO_3 ให้ค่า pH ของไข่ขาวไม่อยู่ในเกณฑ์ที่จะเกิดเจลแข็ง ส่วน CaO เป็นสารที่ละลายน้ำยาก จึงตกตะกอนและตะกอนของมันอาจไปอุดรูเปลือกไข่ทำให้สารละลาย ซึมผ่าน ได้น้อย จึงวัดค่า pH ในไข่ขาวได้เพียง 10.5 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ทำให้ไข่ขาวเกิดเจลที่แข็งและใส ซึ่งเป็นลักษณะของไข่เยี่ยวม้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ รุจี (2530) ที่พบว่าการทำไข่เยี่ยวม้าจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยไข่ขาวเป็นเบส pH 11.3-11.7 จะมีลักษณะเป็นเจล ส่วนการที่ไข่ขาวมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยา Maillard reaction ซึ่ง Kitabatake และคณะ(1988) ได้ศึกษาการเกิดเจลของไข่ขาวโดยการควบคุม pH 1-12 พบว่าไข่ขาวสดมีโปรตีนประมาณร้อยละ 9-10 ก่อนให้ความร้อน จะมีลักษณะใสที่ pH มากกว่า 7 และหลังจากให้ความร้อน $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง ไข่ขาวจะเกิดเจลขุ่น ยกเว้นที่ pH 11-12 เป็นของเหลวสีน้ำตาลใส สีน้ำตาลนี้เกิดจากปฏิกิริยา “Maillard reaction” ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเอมีน (Amines) กรดอะมิโน และโปรตีนกับน้ำตาลแอลดีไฮด์หรือคีโตนและจัดว่าเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสีน้ำตาลในอาหารที่ให้ความร้อนหรือเก็บไว้นานๆ Eskin และคณะ (1971) อธิบายว่า Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ค้นพบโดยนักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ Louis Maillard ในปี ค.ศ. 1912 ที่สังเกตพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายของกลูโคสและไกลซีนจะเกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า melanoidins จึงเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า “Maillard reaction”

สารผสมระหว่าง Na_2CO_3 และ CaO ก็ให้ไข่ที่มีลักษณะคล้ายไข่เยี่ยวม้าเช่นเดียวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าคาดว่าต้องใช้เวลาเพิ่มอีก 2-3 วัน จึงจะได้ไข่เยี่ยวม้าที่มีลักษณะดีขึ้น ส่วนค่า pH ที่วัดได้คือ 11.1 ถ้าเพิ่มจำนวนวัน ค่า pH จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจึงอยู่ในเกณฑ์ที่จะนำไปเตรียมสารในการผลิตไข่เยี่ยวม้าได้ จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 และจากการศึกษาข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการผลิตไข่เยี่ยวม้าจึงคัดเลือกสูตรที่เคยทำการผลิตไข่เยี่ยวม้าที่ทำจากไข่เป็ด ของ สุมลทา (2548) มาทำการทดลองแช่ไข่นกกระทาสด เพื่อคัดเลือกสารละลายที่มี pH ที่เหมาะสมในการได้ไข่เยี่ยวม้า นกกระทาที่มีลักษณะดี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เน้นใช้วิธีทางเคมีในการตรวจหาปริมาณตะกั่ว ลักษณะภายในของไข่เยี่ยวม้าที่แช่ในสารละลายทั้ง 4 สูตร นาน 8 วัน และ 12 วัน ทั้งที่ไม่ผ่านการต้มและผ่านการต้ม $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 5 นาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ลักษณะภายในของไข่เยี่ยวม้าที่แช่ในสารละลายสูตรต่างๆ นาน 8 วันเปรียบเทียบระหว่างไข่ที่ต้มที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 5 นาที กับไข่ที่ไม่ต้ม

สูตร	ลักษณะของไข่ไม่ต้ม (2 ฟอง)	ลักษณะของไข่ต้ม(2 ฟอง)	pH ของไข่ขาว	pH ของไข่แดง
1(pH12.2)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เหลว ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีส้มแดง เป็นยางมะตุมรอบนอกสีเขียวเทาอ่อน เป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เจลขุ่นทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวเทา เป็นชั้นบาง แข็งทั้ง 2 ฟอง	10.8	9.2
2(pH12.6)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เหลว ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีเหลือง เป็นยางมะตุม รอบนอกสีเขียวเทาอ่อน เป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เจลใสทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีเหลือง รอบนอกสีเขียวเทา เป็นชั้นบาง แข็งทั้ง 2 ฟอง	11.2	9.3
3(pH12.5)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เหลว ใส ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางเป็นยางมะตุมสีส้ม รอบนอกสีเขียวเทา เป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวสีเหมือนไข่ไม่ต้ม เป็นเจลอ่อนใส ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกเป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	11.1	10.0
4(pH12.2)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลปนเขียว เหลวทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงเหลว รอบนอกสีเทาปนเขียว เป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวสีเหมือนไข่ไม่ต้ม เป็นเจลอ่อนใส ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเทาปนเขียว เป็นชั้นบางทั้ง 2 ฟอง	11.0	10.0

ตารางที่ 4.5 ลักษณะภายในของไข่เยี่ยวม้าที่แช่ในสารละลายสูตรต่างๆ นาน 12 วัน เปรียบเทียบระหว่างไข่ที่ต้มที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 5 นาที กับไข่ที่ไม่ต้ม

สูตร	ลักษณะของไข่ไม่ต้ม (2 ฟอง)	ลักษณะของไข่ต้ม(2 ฟอง)	pH ของไข่ขาว	pH ของไข่แดง
1(pH12.2)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เหลืองทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงรอบนอกสีเขียวปนเทาตรงกลางสีส้มแดง เป็นขามะตูมทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาลอ่อน เจล ชุ่มแข็งทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลืองแข็ง รอบนอกสีเขียวเทา แข็งทั้ง 2 ฟอง	11.0	10.3
2(pH12.6)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาล เป็นเจลอ่อน ใสทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงเป็นขามะตูมตรงกลางสีส้มแดง รอบนอกมีสีเขียวปนเทา ทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวมีสีเหมือนไข่ที่ไม่ต้มเป็นเจลแข็งใส ทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางมีสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวปนเทาแข็งทั้ง 2 ฟอง	11.4	10.4
3(pH12.5)	- ไข่ขาวมีสีน้ำตาล เป็นเจลอ่อน ใสทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีส้มแดงเป็นขามะตูมรอบนอกสีเขียวปนเทาทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวมีสีเหมือนไข่ไม่ต้มเป็นเจลแข็งใสทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางสีน้ำตาลปนเหลือง รอบนอกสีเขียวปนเทา แข็งทั้ง 2 ฟอง	11.4	10.2
4(pH12.2)	- ไข่ขาวสีเขียวปนน้ำตาลเป็นเจลทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางเป็นขามะตูมสีเหลืองปนเขียว รอบนอกสีเทาปนเขียว แข็งทั้ง 2 ฟอง	- ไข่ขาวสีเหมือนไข่ไม่ต้มเป็นเจลแข็งใสทั้ง 2 ฟอง - ไข่แดงตรงกลางมีสีเหลืองเป็นขามะตูมรอบนอกสีเทาปนเขียวทั้ง 2 ฟอง	11.3	10.2

จากลักษณะของไข่เยี่ยวม้าทั้ง 4 สูตร พบว่าแต่ละสูตรเริ่มให้ลักษณะของไข่เยี่ยวม้าเมื่อแช่ไว้ในสารละลายครบ 8 วัน แต่สูตรที่ 1 การเกิดช้ากว่าสูตรอื่นเล็กน้อย ซึ่งจากการศึกษาค่า pH ของไข่ขาว พบว่ามีเพียง 10.8 ซึ่งยังไม่เกิดการแข็งตัวของไข่ขาว ตามที่ได้ทดลองมาแล้วในหัวข้อ 4.1 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อครบกำหนด 12 วัน ทุกสูตรจะให้ผลผลิตไข่เยี่ยวม้าที่มีลักษณะตามต้องการ โดยเฉพาะสูตรที่ 4 ซึ่งใช้น้ำไบเตยจะได้กลิ่นของไบเตยเพิ่มพิเศษ เนื้อสัมผัสของไข่ขาวยืดหยุ่นคงตัวดี ในไข่ขาวมีสีน้ำตาลปนเขียวใส แปลกกว่าสูตรทั้ง 3 ชนิด เมื่อตรวจสอบค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดง พบว่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการแข็งตัวของไข่ จึงนำสูตรนี้มาใช้ในการผลิตไข่เยี่ยวม้าจากไข่เนกกระทา เพื่อจะพัฒนาสูตรนี้ไปใช้ในการอบรมกลุ่มแม่บ้านในการผลิตไข่เยี่ยวม้าที่ปลอดภัยจากสารตะกั่วซึ่งเป็นสูตรที่ไม่ต้องเตรียมสารมากชนิดและยังได้ใช้ไบเตยที่ปลูกตามบ้านมาใช้ในการปรับปรุงกลิ่นของไข่เยี่ยวม้าอีกด้วย

ผลิตไข่เยี่ยวม้าที่ปลอดภัยไร้สารตะกั่ว

ผลิตไข่เยี่ยวม้าจากไข่เนกกระทาสดโดยใช้สูตรที่ 4 ซึ่งมีน้ำไบเตยอยู่ในส่วนผสมของสารละลายต่าง มีค่า pH เท่ากับ 12.4 คือปรับให้สูงกว่าสูตรเดิมเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดงให้เพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ในระยะแรกน้ำค้างจะค่อยๆซึมผ่านเข้าไปในเปลือกไข่และเยื่อหุ้มจนถึงไข่ขาวและไข่แดง เมื่อค่า pH ของน้ำค้างสูงขึ้นและเวลาของการแช่นานขึ้น ค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดงจะเพิ่มตามไปด้วย ทำให้ได้ลักษณะของไข่เยี่ยวม้าที่ตรงตามต้องการตามจำนวนวันที่กำหนด และถ้าแช่ในสารละลายต่อไปจะได้ไข่เยี่ยวม้าที่ไม่ตรงตามลักษณะที่ดีเนื่องจากค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดงมากกว่าค่าที่กำหนด รุจี (2530) ค่า pH ที่ทำให้ไข่ขาวเกิดการแข็งตัว คือค่า pH 11.3 - 11.7 ส่วนของไข่แดงจะแข็งตัวที่ pH 10.5 และถ้าปล่อยให้ pH สูงมากกว่านี้จะทำให้ส่วนที่แข็งตัวกลายเป็นน้ำและเมื่อนำไปให้ความร้อน 100°C ก็จะไม่ทำให้ไข่แข็งตัวได้อีก เนื่องจาก pH สูงเกินไปจะทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีน นอกจากนี้ Yang (1994) ยังได้อธิบายเกี่ยวกับการเกิดเจลของไข่ขาวในไข่เยี่ยวม้าว่า ในการทำให้ไข่ขาวเป็นเจล สังเกตได้ว่า เมื่อ pH ของไข่ขาวมีค่ามากกว่า 11.8 เจลที่ได้จะไม่ใสมาก (translucent) และเมื่อ pH ประมาณ 13.6 เจลจะกลับมาเป็นของเหลวหนืด ผลของการเกิดเจลในไข่ขาวมาจากการที่สารละลายต่างไปทำให้โปรตีนพวกโอวัลบูมิน และคอนอัลบูมิน เปลี่ยนสภาพ กล่าวคือเกิดการเกิดเจลของโอวัลบูมินและคอนอัลบูมินเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนคลายตัว เมื่อความเข้มข้นของโปรตีนมีระดับที่เหมาะสมโมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวจะเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหซึ่งสามารถจับน้ำไว้ภายในเกิดเป็นเจลใสและยืดหยุ่นดี โปรตีนที่เกิดเจลนี้จะถูกทำลายที่ pH สูงกว่า 13.0 โดยคอนอัลบูมินจะเริ่มถูกทำลาย เมื่อ pH สูงกว่า 12.2 และโอวัลบูมินจะเริ่มถูกทำลายที่ pH 12.8 ส่วนไข่แดงของไข่เยี่ยวม้า ถ้ามี pH มากกว่า 10.5 จะได้ไข่แดงที่เป็นก้อนแข็งมาก ซึ่งผิดไปจากลักษณะของไข่เยี่ยวม้าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเพื่อทำไข่เยี่ยวม้าสูตรนี้คือ

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ดีมี pH ที่เหมาะสมในการผลิตไข่เยี่ยวม้า

2. โซเดียมคลอไรด์ ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ในไข่เยี่ยวม้าจะมีเกลือในไข่ขาวร้อยละ 1.0 - 2.0 โดยน้ำหนักและในไข่แดงร้อยละ 0.40 - 0.70 โดยน้ำหนัก ทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีรสเค็มเล็กน้อย

3. สังกะสีออกไซด์ ทำให้วุ้นของไข่ขาวมีความคงตัวไม่เหลวคั้นเป็นน้ำ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ buffer action ” ทำให้ไข่ที่อยู่ระหว่างการแช่ในสารละลายต่างนั้นคงค่าความเป็นด่างในระดับที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของไข่ขาว ทำให้การรวมตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวคงตัวได้ นอกจากนี้สังกะสียังทำปฏิกิริยากับ sulfhydryl groups ของโปรตีนในไข่ขาว ทำให้โปรตีนรวมตัวกันแล้วตกตะกอน(วารุณี เสนสุภาและคณะ 2532 : 232)

4. โบเตย ให้สีเขียวในไข่เยี่ยวม้า และให้กลิ่นของโบเตย

เมื่อนำไข่เยี่ยวม้ามาวิเคราะห์ที่ผลิตได้ไปตรวจสอบลักษณะของไข่เยี่ยวม้าโดยยึดเกณฑ์การตัดสินของ มอก. 1205-2536 (แสดงอยู่ในภาคผนวก) พบว่าได้คะแนนเฉลี่ยในด้านลักษณะภายในของไข่ขาว ไข่แดง กลิ่นและรส 3.0 2.75 และ 2.75 ตามลำดับ โดยไข่ขาวเป็นเจลใส สีเขียวปนน้ำตาล หยุ่นตัวได้ดี ไข่แดงตรงกลางมีสีน้ำตาลปนเหลือง แข็ง รอบนอกมีสีเขียวปนเทา ไม่สม่ำเสมอ ไข่แดงแยกออกจากไข่ขาวชัดเจน รสชาติไข่ขาวมีรสเค็มเล็กน้อย มีกลิ่นของแอมโมเนีย ผสมกลิ่นของโบเตยเล็กน้อย ไข่แดงมีรสมันเค็มเล็กน้อย ค่าความแข็งแรงของเจลไข่ขาวมีขนาดยืดหยุ่นดีวัดได้ 39.11 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไข่เยี่ยวม้ากกระทาที่มีคุณภาพดี ส่วนค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดง มีค่า 11.4 และ 10.2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมในการแข็งตัวของไข่

ตรวจหาปริมาณสารตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าที่ผลิตเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จากการนำไข่เยี่ยวม้านกกระทาที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หาโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบปริมาณตะกั่วเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่กำหนดให้พบตะกั่วในไข่เยี่ยวม้าได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการตรวจหาปริมาณตะกั่วแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในไข่ขาวและไข่แดงของไข่เยี่ยวม้าที่ผลิต

ชนิดของไข่	ความเข้มข้น($\mu\text{g/L}$)	ปริมาณตะกั่ว(mg/kg)
ไข่ขาว	0.0266	0.000133
	0.0268	0.000134
	\bar{x} 0.0267	0.0001335
ไข่แดง	0.0057	0.0000285
	0.0140	0.0000700
	\bar{x} 0.00985	0.0000492

ปริมาณตะกั่วที่พบในไข่เยี่ยวม้านกกระทาที่ผลิต มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณตะกั่วที่พบในไข่นกกระทาสด แสดงว่าในการผลิตไข่เยี่ยวม้าตามสูตรที่กำหนดขึ้นมานี้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของตะกั่ว โดยมีปริมาณตะกั่วใน 1 ฟอง เท่ากับ 9×10^{-7} มิลลิกรัม หรือ 0.0001827 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในการเผยแพร่กระบวนการผลิตสู่ประชาชนและนักศึกษา ได้จัดอบรมกลุ่มแม่บ้านในจังหวัดนครสวรรค์ และนักศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารจำนวน 30 คน เมื่อวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2551 ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ รูปแบบการอบรมเป็นการบริการฟรีทั้งวัสดุและอุปกรณ์ และให้นำผลการผลิตไข่เยี่ยวม้านกกระทาที่มีคุณภาพดีไร้สารตะกั่วนี้มาแจ้งให้ทราบ หลังจากที่ได้ดองไข่นกกระทาครบจำนวนวันที่กำหนด พบว่าผู้เข้ารับการอบรมทั้ง 30 คน ให้ความสนใจและพอใจผลผลิตที่ได้ และได้ติดตามถามข้อมูลในการผลิตจำนวนมากเพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือน รวมทั้งแนวทางการผลิตเพื่อการค้าต่อไปโดยติดต่อทางโทรศัพท์ บางคนมาด้วยตนเอง