

การวิเคราะห์คุณภาพของไข่ด้วยหลักการของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
ANALYSIS OF EGGS QUALITY BY USING THE NIR SPECTROSCOPY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF EGGS QUALITY BY USING THE NIR SPECTROSCOPY



PARAMEE RODSAWAT

PERAPAT SARAKARN


SUCHANYA YANYONG-THANAPA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การวิเคราะห์คุณภาพของไข่ด้วยหลักการของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
ANALYSIS OF EGGS QUALITY BY USING THE NIR SPECTROSCOPY
นักศึกษาผู้จัดทำ นายพีรพัฒน์ สารการ รหัสประจำตัว 60010735
นางสาวปารมี รอดสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 60010610
นางสาวสุชัญญา ยรรยงธนา รหัสประจำตัว 60011081
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2563

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--|
| รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ |  |

| | |
|--------------------|---|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การวิเคราะห์คุณภาพของไข่ด้วยหลักการของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ANALYSIS OF EGGS QUALITY BY USING THE NIR SPECTROSCOPY |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายพีรพัฒน์ สารการ รหัสประจำตัว 60010735 นางสาวปารมี รอดสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 60010610 นางสาวสุชญญา ยรรยงธนาภา รหัสประจำตัว 60011081 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ |
| ปีการศึกษา | 2563 |

บทคัดย่อ

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการทดลองกับไข่ไก่สดอายุ 2 ถึง 17 วัน นับจากวันที่ไข่ไก่ฟักออกมา มาเป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยไข่ไก่จะถูกจัดเก็บแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อมอย่างคงที่ ซึ่งไข่ที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือไข่ขนาดกลาง ไข่ขนาดใหญ่ และ ไข่ขนาดใหญ่พิเศษ จากนั้นจะใช้เครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์สำหรับฉายสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 610 ถึง 860 นาโนเมตรไปที่ไข่ไก่ที่ต้องการทดสอบ โดยโมเลกุลของน้ำในไข่ที่เหลืออยู่จะดูดกลืนพลังงานความร้อนจากอินฟราเรดย่านใกล้ จากนั้นพลังงานความร้อนหรือคลื่นความถี่อินฟราเรด ย่านใกล้ในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนบางส่วนจะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์ แล้วส่งค่าสเปกตรัมในรูปของความเข้มของปริมาณรังสีออกมา จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน คือ ค่า Haugh unit และดัชนีไข่แดง (Yolk index) จากการวิจัยดังกล่าวนี้เองจึงสามารถสรุปผลได้ว่าถ้าช่วงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดอยู่ที่ 39.563 ถึง 58.9616 ค่าดัชนีไข่แดงจะอยู่ในช่วง 0.3194 ถึง 0.3619 และค่า Haugh unit จะอยู่ในช่วง 77.6486 ถึง 85.093 จะสามารถประมาณอายุของไข่ไก่อยู่ที่ 1 ถึง 10 วัน สำหรับไข่ไก่ช่วงอายุ 11 ถึง 20 วันนั้นจะมีค่าปริมาณความเข้มของรังสีอยู่ในช่วง 26.6306 ถึง 37.4076 ค่าดัชนีไข่แดงอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.27 และค่า Haugh unit อยู่ในช่วง 56.804 ถึง 62.7596 ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.9275 จากค่าที่ได้จากการวิจัยนี้เองจะสามารถหาความสัมพันธ์ได้ว่าถ้าอายุของไข่ไก่มากขึ้น ค่าปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรด ค่าดัชนีไข่แดง และค่า Haugh unit ทั้งสามค่านี้จะมีค่าที่ลดลงซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบแปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Thesis Title ANALYSIS OF EGGS QUALITY BY USING THE NIR SPECTROSCOPY
Authors Mr. Perapat Sarakarn
Ms. Paramee Rodsawat
Ms. Suchanya Yanyong-Thanapa
Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana
Year 2020

ABSTRACT

The purpose of this project is to study and create method to evaluate hen egg's quality by experiment with fresh eggs aged 2 to 17 days from hatching date. Sample eggs were stored in a constant temperature and humidity control environment and divided into three sizes: medium eggs, large eggs and extra-large eggs. Then a spectrometer is used to project a spectrum in near-infrared wavelength range 610 to 860 nm to the egg to be tested. Water molecules in the egg absorb the near-infrared heat energy. The thermal energy or near-infrared spectrum that was not absorbed, is partially reflected to spectrometer. Then the unabsorbed signal was sent out via spectral value in terms of intensity of the radiation. The average values were then compared with Haugh unit and yolk index. The results show that, if the infrared intensity is in range from 39.563 to 58.9616, yolk index is in range 0.3194 to 0.3619 and Haugh unit is in range 77.6486 to 85.093, in 1 to 10 day old eggs. Testing from a week later show that, the Infrared intensity is in the range from 26.6306 to 37.4076, yolk index is 0.20 to 0.27 and Haugh unit is 56.8040 to 62.7596, in 11 to 20 day old eggs with error value is 0.9275. From this research, we found that if age of the eggs is increased, the values of three methods (infrared intensity, yolk index and Haugh unit) are reduce, which can be conclude with statistically significant inverse relationships.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และเป็นผู้ที่ให้แนวทาง ในการดำเนินชีวิตกับคณะผู้จัดทำ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณ อย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมการวัดคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการ ศึกษาแก่คณะผู้จัดทำ และให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้กำลังใจและ คอยสนับสนุน ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ซึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมด ทางคณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มี พระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญรูป | VIII |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| 1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ | 2 |
| 1.5 แผนการดำเนินงาน | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ไข่ไก่ (Hen Egg)..... | 4 |
| 2.1.1 ส่วนประกอบของไข่ไก่ | 4 |
| 2.1.1.1 เปลือกไข่ (Shell)..... | 5 |
| 2.1.1.2 เยื่อหุ้มไข่ (Egg Membrane)..... | 5 |
| 2.1.1.3 โพรงอากาศ (Air Cell) | 5 |
| 2.1.1.4 ไข่ขาว (Egg White หรือ Albumin)..... | 6 |
| 2.1.1.5 เยื่อหุ้มไข่แดง (Vitelline Membrane) | 6 |
| 2.1.1.6 ไข่แดง (Yolk) | 6 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.1.2 คุณภาพของไข่ไก่ (Egg Qualities)..... | 6 |
| 2.1.2.1 คุณภาพเปลือกไข่ | 7 |
| 2.1.2.2 คุณภาพไข่ขาว | 7 |
| 2.1.2.3 คุณภาพไข่แดง..... | 8 |
| 2.1.3 การเก็บรักษาไข่ | 9 |
| 2.1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่..... | 9 |
| 2.1.5 มาตรฐานคุณภาพไข่ | 10 |
| 2.1.5.1 ค่าฮอกยูนิท (Haugh Unit)..... | 10 |
| 2.1.5.2 ค่าดัชนีไข่แดง (Yolk Index)..... | 11 |
| 2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test หรือ NDT)..... | 11 |
| 2.2.1 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี | 12 |
| 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 14 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการ..... | 16 |
| 3.1 อุปกรณ์ (Hardware)..... | 16 |
| 3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)..... | 18 |
| 3.3 ขั้นตอนดำเนินการ | 18 |
| 3.4 แผนผังการทำงาน | 23 |
| บทที่ 4 การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 24 |
| 4.1 การจำแนกประเภทของไข่ไก่สดตามน้ำหนัก | 24 |
| 4.2 การลดลงของน้ำหนักไข่ไก่สดทั้ง 3 ประเภท | 24 |
| 4.3 ปริมาณความเข้มข้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร.. | 27 |
| 4.4 ปริมาณความเข้มข้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร.. | 29 |
| 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร.. | 32 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------------|
| 4.6 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร.. | 34 |
| 4.7 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร.. | 37 |
| 4.8 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร.. | 39 |
| 4.9 ผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีผลต่อการวัด..... | 42 |
| 4.10 การนำเสนอค่าดัชนีไขแดง | 47 |
| 4.11 ค่า Haugh Unit | 49 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 52 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 52 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 53 |
| บรรณานุกรม..... | 584 |
| ภาคผนวก ก Specification ของอุปกรณ์..... | 55 |
| ภาคผนวก ข การใช้งานอุปกรณ์การทดลอง..... | 59 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.1 การจำแนกประเภทของไขไก่ในการทดลอง | 24 |
| 4.2 การลดลงของน้ำหนักไขไก่ทั้งสามประเภท | 25 |
| 4.3 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร | 27 |
| 4.4 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร | 30 |
| 4.5 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร | 32 |
| 4.6 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร | 35 |
| 4.7 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร | 37 |
| 4.8 ค่าดัชนีไข่แดงของไขทั้งสามประเภท | 40 |
| 4.9 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดปริมาณความชื้นของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เมื่อทำการวัดนอก..... | 42 |
| ห้องปฏิบัติการของไขไก่ขนาดกลาง | |
| 4.10 ค่าดัชนีไข่แดงของไขทั้งสามประเภท | 47 |
| 4.11 ค่า Haugh Unit ของไขไก่ทั้งสามประเภท | 49 |
| 5.1 ตารางสรุปผลการทดลองเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น | 52 |
| 680 นาโนเมตรของไขขนาดกลาง | |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของไซโก | 4 |
| 2.2 ไซโกในลักษณะต่าง ๆ | 8 |
| 2.3 การสแกนด้วยกล้องฟลักสด้วย FQA NIR GUN | 12 |
| 2.4 ลักษณะการสันแบบยึดและแบบงอ | 12 |
| 2.5 แบบจำลองตัวแกว่งกวัดฮาร์มอนิกอย่างง่าย | 13 |
| 3.1 AS7263 NIR | 16 |
| 3.2 Microcontroller-Arduino UNO | 17 |
| 3.3 แบบจำลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์ | 19 |
| 3.4 ชิ้นงานที่ประกอบสำเร็จสำหรับการทดลอง | 19 |
| 3.5 สตรีมเมอร์ข้อมูล ที่แสดงข้อมูลที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ | 21 |
| 3.6 แผนผังงานของการทดลอง | 23 |
| 4.1 เส้นกราฟแสดงการลดลงของน้ำหนักของไซโกทั้ง 3 ประเภท | 25 |
| 4.2 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร | 28 |
| 4.3 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร | 31 |
| 4.4 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร | 33 |
| 4.5 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร | 36 |
| 4.6 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร | 38 |
| 4.7 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร | 40 |
| 4.8 แสดงเส้นกราฟของปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ | 43 |
| กรณีทำการวัดนอกห้องปฏิบัติการ | |
| 4.9 ค่าดัชนีชี้แดงของไซโกทั้งสามประเภท | 47 |
| 4.10 ค่า Haugh Unit ของไซโกทั้งสามประเภท | 51 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไข่ไก่ เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในการทำอาหารหลากหลายรูปแบบ และยังเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีส่วนสำคัญมากในทางเศรษฐกิจ เนื่องจากในปัจจุบันไข่ไก่เป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยค่าอาหาร โดยราคาไข่จะขึ้นลงไม่แน่นอนตามปริมาณการผลิตและความต้องการของตลาด[1] ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อราคาในประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากไข่ไก่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหารได้หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นสิ่งที่สามารถนำไปแปรรูปอาหารได้มากมายในอุตสาหกรรม ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพของไข่ไก่จึงมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อให้อาหารที่แปรรูปมีคุณภาพที่ดี มีอายุในการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยปัจจุบันได้มีวิธีการตรวจวัดคุณภาพไข่ไก่นั้นมีได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การทดสอบอย่างง่ายด้วยการนำไข่ไปแช่น้ำ การฉายแสงส่องไฟ และใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR spectroscopy) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการทดลองเพื่อหาคุณภาพของไข่ไก่ โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยอาศัยหลักการดูดกลืนและสะท้อนพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่ความถี่ค่าจากหนึ่งโมเลกุลของน้ำในไข่ ซึ่งพลังงานความร้อนบางส่วนที่สะท้อนกลับมาจะไปมีผลต่อเครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์ ทำให้สามารถวัดค่าของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งที่ไข่สะท้อนออกมาได้ ในความเป็นจริงน้ำในไข่จะระเหยออกไปอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นพลังงานความร้อนที่โมเลกุลน้ำในไข่ดูดกลืนไปและน้ำหนักของไข่จะไม่เท่าเดิมในแต่ละวัน ส่งผลให้ค่าสเปกตรัมที่ไข่ดูดซับและสะท้อนออกมามีค่าไม่เท่าเดิมด้วยในแต่ละวัน จึงสามารถนำค่าสเปกตรัมนี้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสากลของไข่ไก่หรือที่เรียกกันว่าค่า ฮอกยูนิท (Haugh unit) ซึ่งเป็นค่าที่กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA)[2] ได้กำหนดค่า Haugh unit เป็นค่ามาตรฐานเพื่อกำหนดคุณภาพไข่ไก่ นอกจากนี้ยังนำมาเปรียบเทียบกับค่า Yolk Index เพื่อเป็นการวัดคุณภาพไข่ด้วยไข่แดง ซึ่งต่างจากค่า Haugh unit ที่เป็นการวัดคุณภาพไข่ด้วยไข่ขาวและน้ำหนัก แต่ค่ามาตรฐานเหล่านี้จัดเป็นการทดสอบแบบทำลาย ดังนั้นจึงได้จัดทำโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อเพิ่มความสะดวกในการตรวจสอบคุณภาพของไข่โดยไม่ต้องทำลายก่อนที่จะนำไปบริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในทางอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพของไข่จากการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของไข่ไก่

1.3 ขอบเขตของโครงการ

วิจัยนี้ศึกษาเฉพาะไข่ไก่สดในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 59.00 กรัม ถึง 76.99 กรัม โดยจะแบ่งไข่ไก่ออกเป็น 3 ขนาด ดังนี้

1. ไข่ไก่ขนาดกลาง (M) มีช่วงน้ำหนัก ตั้งแต่ 59.00 กรัม ถึง 65.99 กรัม
2. ไข่ไก่ขนาดใหญ่ (L) มีช่วงน้ำหนัก ตั้งแต่ 66.00 กรัม ถึง 69.99 กรัม
3. ไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ (XL) มีช่วงน้ำหนัก ตั้งแต่ 70.00 กรัม ถึง 76.99 กรัม

1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ

1. วิธีการวัดคลื่นความถี่ เป็นวิธีการที่ให้ เซนเซอร์วัดคลื่นความถี่ ปลอยรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไปในไข่ไก่เพื่อให้ดูดกลืนพลังงานค่าหนึ่งไว้ ส่วนพลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับมาสู่เซนเซอร์วัดคลื่นความถี่ แล้วนำค่าคลื่นความถี่ที่ได้นั้นมาวิเคราะห์เทียบกับค่ามาตรฐาน
2. วิธีการวัดคุณภาพของไข่โดยใช้ค่า Yolk Index (YI) เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่ง Yolk Index จะทำโดยการตอกไข่ไก่มาแล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไข่ (YD) และขนาดความสูงของไข่ไก่ (YH) แล้วนำค่าทั้งสองมาคำนวณเพื่อหาค่า Yolk Index ตามสมการ 1.1

$$\text{Yolk Index (YI)} = \frac{\text{ความสูงของไข่แดง}}{\text{ความกว้างของไข่แดง}} \quad (1.1)$$

3. วิธีการวัดคุณภาพของไข่โดยใช้ค่า Haugh Unit (HU) เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่ง Haugh Unit จะทำโดยการตอกไข่ไก่มาแล้ววัดขนาดความสูงของไข่ขาว (H) และน้ำหนักของไข่ (W) แล้วนำค่าทั้งสองมาคำนวณเพื่อหาค่า Haugh Unit ตามสมการ 1.2

$$\text{Haugh Unit (HU)} = 100 \times \log(H - 1.7W^{0.37} + 7.6) \quad (1.2)$$

4. วิธีการสเตรนเกจ เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักของไข่ไก่บนสเตรนเกจทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาเมื่อผ่านไปในแต่ละวันน้ำหนักของไข่ไก่จะลดลงทำให้คลื่นความถี่ที่วัดออกมาในแต่ละวันนั้นมีค่าที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ เมื่อน้ำหนักของไข่ลดลง ก็จะส่งผลให้ Haugh Unit ลดลงด้วยเช่นกัน

1.5 แผนการดำเนินงาน

1. จัดทำขอบเขตของวิจัย
2. ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบวงจรที่ใช้
4. ออกแบบโปรแกรมและเขียนโค้ด
5. ทดลอง
6. สรุปผลและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวิเคราะห์คุณภาพของไข่โดยไม่ต้องเจาะไข่หรือทำลายคุณภาพของไข่ เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้สามารถใช้ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างแบบไม่ทำลาย (Non-destructive) ได้



บทที่ 2

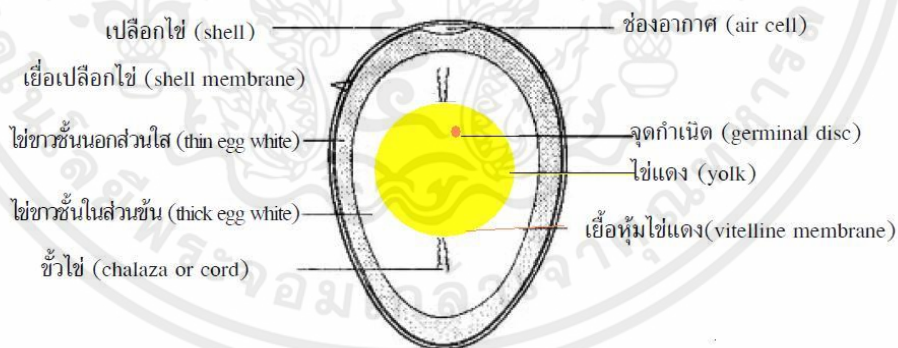
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไข่ไก่ (Hen Egg)

ตามสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กล่าวว่า ไข่ไก่ หมายถึง ไข่ที่มีเปลือกหุ้มทั้งฟอง ที่เป็นผลผลิตและมีลักษณะตามพันธุ์ของแม่ไก่ ไข่ไก่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก แม้ว่าไข่จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบที่เยอะที่สุด แต่ก็ยังเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากโปรตีนในไข่ไก่มีกรดแอมิโนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ครบถ้วนทั้งชนิดและปริมาณ [3] มีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนทัดเทียมกัน ไข่ไก่ สามารถนำมาประกอบอาหารได้ง่าย มีหลากหลายรูปแบบทั้งคาวและหวาน สามารถนำไปแปรรูปได้ และยังเป็นวัตถุดิบที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร

2.1.1 ส่วนประกอบของไข่ไก่

ส่วนประกอบของไข่ทั้งใบมี เปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ร้อยละ 8 ถึง 10 ไข่ขาวร้อยละ 56 ถึง 61 และไข่แดงร้อยละ 27 ถึง 32[3] และยังสามารถอธิบายโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของไข่ไก่

(ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1146/egg> สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม

2564)

2.1.1.1 เปลือกไข่ (Shell)

เปลือกไข่คิดเป็นร้อยละ 8 ถึง 10 ของน้ำหนักฟองไข่ โดยทั่วไปแล้วเปลือกไข่จะมีน้ำหนักประมาณ 5 ถึง 6 กรัม องค์ประกอบของเปลือกไข่จะประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 98.2 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.8 แมกนีเซียมร้อยละ 0.9 โซเดียม ซึ่งส่วนประกอบสำคัญของเปลือกไข่ คือ คอลลาเจน (Collagen) สานเป็นตัวตาข่าย และมีหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) [3] ทำให้เปลือกแข็ง และที่เปลือกไข่จะมีรูพรุนเล็ก ๆ มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น 100 ถึง 200 รู/ตารางเซนติเมตร [4] เพื่อให้อากาศผ่านเข้าในฟองไข่ในขณะที่มีกระบวนการฟักออกเป็นตัว โดยเมื่อไข่ไก่ออกมาใหม่ ๆ จะมีเมือกเคลือบอยู่ด้านนอก ซึ่งใช้เป็นหลักการในการตรวจสอบความสดใหม่ของไข่ไก่ได้ เพราะเมื่อไข่ไก่ออกมาไม่นานนัก เมือกที่เคลือบเปลือกไข่ไว้จะแห้ง เพื่อปิดรูที่เปลือกไข่ ป้องกันไม่ให้อากาศ น้ำ และจุลินทรีย์ผ่านเข้าไปได้ เปลือกไข่ในช่วงแรก จึงมีลักษณะเป็นนวล เมื่อเก็บไว้นาน ๆ เมือกเหล่านี้จะแห้งไป อากาศน้ำ และจุลินทรีย์สามารถแทรกผ่านรูเล็กที่เปลือกไข่ได้ จะทำให้ไข่เสื่อมคุณภาพ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไข่ขาว และการเปลี่ยนของกลิ่นรสตลอดเวลา เนื่องจาก การสูญเสีย น้ำ การสูญเสียก๊าซ เปลือกไข่มี การป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ เมื่อไม่มีเปลือกไข่ จะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว จึงมักเก็บไข่ทั้งเปลือก การเก็บไข่ไว้ในที่มีอากาศเหม็น ไข่อาจดูดเอากลิ่นสิ่งที่เหม็นที่อยู่รอบ ๆ เข้าไปที่รูของเปลือก ซึ่งเปลือกไข่จะเป็นสีน้ำตาลหรือสีขาวขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์แม่ไก่ สีไข่ไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของไข่ เช่น ไข่ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นมีเปลือกสีขาว ส่วนไข่ไก่พันธุ์โรดไอส์แลนด์มีเปลือกสีน้ำตาล

2.1.1.2 เยื่อหุ้มไข่ (Egg Membrane)

เยื่อหุ้มไข่ มีอยู่ 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือกมีชื่อเรียกว่า เยื่อหุ้มเปลือก (Shell membrane) และชั้นในที่ติดกับไข่ขาวเรียกว่า เยื่อหุ้มไข่ โดยเยื่อชั้นนอกและชั้นในจะชิดกันตลอด แต่แยกกันที่ด้านป้านของไข่ซึ่งเป็นด้านที่มีโพรงอากาศ

2.1.1.3 โพรงอากาศ (Air Cell)

เป็นช่องว่างที่อยู่บริเวณด้านป้านของไข่ โดยจะอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน เมื่อไข่ฟักออกมาใหม่ ๆ อุณหภูมิของไข่ยังสูง จึงทำให้ไม่มีช่องว่างหรือโพรงอากาศนี้ แต่เมื่ออุณหภูมิของไข่เย็นลง ของเหลวภายในไข่จะหดตัวลง ทำให้เกิดเป็นโพรงอากาศขึ้น และถ้าหากมีน้ำระเหยออกไปมาก ก็จะทำให้โพรงอากาศใหญ่ขึ้นด้วย

2.1.1.4 ไข่ขาว (Egg white หรือ Albumen)

ไข่ขาว มีสัดส่วนมากถึง ร้อยละ 56 ถึง 61 ของไข่ โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำประมาณร้อยละ 88 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10.5 ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ไข่ขาวชั้น

หนืด (Thick egg white) ล้อมรอบไข่แดงและไข่ขาวส่วนเหลว (Thin egg white) กระจายอยู่ทั่วฟองไข่ ไข่ขาวชั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสดของไข่ หากไข่สดใหม่ ไข่ขาวชั้นจะดันไข่แดงให้สูงขึ้นขึ้นมา ซึ่งตรงกันข้าม ถ้าหากว่าไข่ไม่สดหรือเก็บไว้นาน ไข่ขาวชั้นจะเหลว ไข่แดงจะแบนราบ อีกทั้งน้ำที่อยู่ในไข่ขาวจะซึมเข้าไปในไข่แดง ส่งผลให้ไข่แดงเกิดการแตกง่าย

2.1.1.5 เยื่อหุ้มไข่แดง (Vitelline Membrane)

เยื่อหุ้มไข่แดง เป็นเยื่อบางๆ ที่หุ้มอยู่รอบไข่แดง มีประโยชน์ คือ ช่วยหุ้มไข่แดง เอาไว้โดยรอบทำให้ไข่แดงคงรูปกลมไว้ในไข่ขาว ถ้าเยื่อหุ้มฉีกขาดไข่แดงจะแตกออกมา หากไข่ไม่สดหรือเก็บไว้นานน้ำในไข่ขาวจะเข้าไปในไข่แดงได้ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้เยื่อหุ้มไข่แดงฉีกขาดและไข่แดงจะแตกออกมาได้ง่ายขึ้น

2.1.1.6 ไข่แดง (Yolk)

ไข่แดง มีสัดส่วนประมาณ ร้อยละ 30 ของไข่ ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ น้ำประมาณ ร้อยละ 49.5 โปรตีนร้อยละ 15.5 ลิพิดร้อยละ 32.6 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1 แร่ธาตุต่าง ๆ ร้อยละ 1 และวิตามินต่างๆ อีกเล็กน้อย[4] เป็นส่วนสำรองอาหารไว้ให้ลูกไก่ ซึ่งจะเจริญจากเชื้อที่ผสมแล้ว โดยที่ไข่แดงจะอยู่กลางฟองโดยการยึดของเยื่อ ที่เป็นเกลียวแข็ง อยู่ด้านหัวและท้ายของไข่แดง และยื่นเข้าไปในไข่ขาว

2.1.2 คุณภาพของไข่ไก่ (Egg Qualities)

กานดา ล้อแก้วมณี ได้กล่าวไว้ในวารสารปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพไข่ ข้าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 60 ฉบับที่ 2 เดือน ตุลาคม พ.ศ.2557 ถึง เดือน มกราคม พ.ศ.2558 ว่าคุณภาพของไข่ไก่มีความสำคัญในการเพิ่มจำนวนการบริโภคของผลิตภัณฑ์ไข่ไก่ ซึ่งคุณภาพของไข่ไก่อาจมาจากความพึงพอใจของลูกค้า[5] รวมถึงลักษณะของไข่ไก่ เช่น สี กลิ่น รสชาติและคุณค่าทางโภชนา คุณภาพของไข่ จะลดลงเมื่อมีการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาเวลานาน แต่ก็ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของแม่ไก่ด้วย[6] โดยนอกจากนี้คุณภาพของไข่ไก่ยังสามารถขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น ขนาดของไข่ รูปร่างของไข่ คุณภาพของเปลือกไข่ คุณภาพของไข่แดง และคุณภาพของไข่ขาว เป็นต้น โดยจะอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไข่ไก่ 3 ปัจจัยอย่างละเอียด คือ คุณภาพของเปลือกไข่ คุณภาพของไข่แดง และคุณภาพของไข่ขาว ดังนี้

2.1.2.1 คุณภาพเปลือกไข่

คุณภาพของเปลือกไข่ เป็นคุณภาพภายนอกที่จะพิจารณาความสะอาดและรูปร่างของไข่ จะมีผลต่อการเลือกซื้อไข่ไก่ เนื่องจากเป็นสิ่งที่มองเห็นได้ง่ายที่สุด ซึ่งคุณภาพของเปลือกไข่จะมีผลต่อคุณภาพของไข่ โดยเปลือกไข่มีรูพรุนขนาดเล็ก ทำให้น้ำอากาศ น้ำ และจุลินทรีย์ผ่านเข้าออกได้ จึงส่งผลให้คุณภาพของไข่นั้นลดลง โดยเปลือกไข่จะมีสีและความแข็งแรงที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะเฉพาะของพันธุ์แม่ไก่ ในการที่จะเลือกให้ไข่มีเปลือกที่มีสีและความแข็งแรงตามที่ต้องการควรเลือกตั้งแต่พันธุ์แม่ไก่ที่จะเลี้ยง ซึ่งสามารถนำแม่ไก่มาดัดแปลงพันธุ์เพื่อให้สามารถออกไข่ที่มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการได้ โดยปัจจัยทางด้านโภชนาการและอายุของแม่ไก่ก็ยังมีผลต่อคุณภาพของเปลือกไข่ เนื่องจากเปลือกไข่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบหลัก ในการที่แม่ไก่จะผลิตไข่ออกมา จำเป็นต้องบริโภคแคลเซียมในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสม หากบริโภคในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลให้เปลือกไข่มีคุณภาพที่ต่ำ และหากแม่ไก่มีอายุมากขึ้น จะยิ่งทำให้กระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของแม่ไก่เสื่อมคุณภาพลง ส่งผลให้เปลือกไข่เสื่อมคุณภาพลงตามไปด้วย[5] นอกจากนี้ความหนาของเปลือกไข่ยังส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ (Eggshell percentage) ซึ่งเป็นสิ่งที่มีผลต่อน้ำหนักของไข่ แต่เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่จะไม่เปลี่ยนแปลงและไม่ส่งผลต่อคุณภาพของไข่หากต้องเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง[6]

2.1.2.2 คุณภาพไข่ขาว

คุณภาพของไข่ขาว เป็นคุณภาพภายในของไข่ โดยคุณภาพของไข่ไก่ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์[5] หากไข่เก็บรักษาไว้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยเป็นเวลานาน จะเป็นการเร่งให้ไข่เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากจะทำให้น้ำในไข่ระเหยออกไปได้เร็วขึ้น เมื่อน้ำในไข่ระเหยออกไป จะทำให้เกิดโพรงอากาศมากขึ้นและน้ำหนักไข่ก็จะลดลงตามไปด้วย จากผลของการที่เกิดโพรงอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้เปิดผลทางปฏิกิริยาทางฟิสิกส์เคมีของไข่ขาว โดยการเมื่อโพรงอากาศใหญ่ขึ้นจะทำให้ไข่ขาวบางลง ไข่ขาวและไข่แดงจะเพิ่มความเป็นด่าง ซึ่งตามปกติไข่ที่สดใหม่และคุณภาพดีจะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 มีไข่ขาวค่อนข้างไม่โปร่งแสงและค่อนข้างที่จะไม่เหลวเกินไป หากเก็บรักษาไข่เป็นเวลานานคาร์บอนไดออกไซด์ในไข่จะค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนไอออนที่เข้มข้น มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วไข่สดควรมีค่า pH ประมาณ 7.6 แต่อาจจะมากกว่าถ้าเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าพีเอชสูงขึ้นเป็น 9.5 หรือมากกว่านั้น แสดงว่าไข่นั้นเสื่อมคุณภาพ[5] ความหนาและความบางของไข่ขาวนั้นแตกต่างกันของโอโวมิวซิน (Ovomucin) ถ้าไข่ขาวหนาจะมีลักษณะเป็นเจลเพราะปริมาณโอโวมิวซินมีสูง ไข่ขาวที่บางเป็นการเพิ่มความเข้มข้นระหว่างความดันของไข่แดงและไข่ขาว ส่งผลทำให้น้ำที่อยู่ในไข่ขาวถูกดูดซึมสู่ไข่แดง ไข่แดงจึงมีปริมาณมากขึ้น

2.1.2.3 คุณภาพไข่แดง

คุณภาพไข่แดง เป็นคุณภาพภายในของไข่ไก่ โดยไข่แดงที่ดียังคงสภาพในการเป็นทรงกลมได้ดี ไข่แดงที่มีคุณภาพสามารถดูได้จากสีของไข่แดง หากสีของไข่แดงมีปริมาณสีแดงที่มากกว่าจะมีคุณภาพดีกว่าไข่แดงที่มีปริมาณสีแดงที่น้อยกว่า[1] คุณภาพไข่แดงยังดูได้จากจุดต่างด้านบนผิวหน้าของไข่แดง ซึ่งเกิดจากการที่แอลบุมิน (Albumin) จากไข่ขาวเคลื่อนตัวผ่านเยื่อหุ้มไข่แดงเข้าไปยังไข่แดง โดยจะพบเห็นได้จากไข่ที่เก็บไว้หลายวันหรือไข่ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่สูง นอกจากนี้ไข่แดงที่มีคุณภาพดีเมื่อนำไข่ไปส่องด้วยแสงไฟหรือเมื่อต่อยไข่ออกมา จะต้องไม่มีจุดเลือดและจุดเนื่ออยู่บนไข่แดง โดยจุดเลือดจะเกิดจากการที่แม่ไก่บริโภคอาหารที่มีวิตามินเอต่ำ หรือเกิดจากการแตกของเส้นเลือดแดงขณะที่ยังติดกับรังไข่[5] ส่วนจุดเนื่อจะ เกิดจากการสลายของเม็ดเลือดตรงควัตถุของเปลือกและการเจริญเนื้อเยื่อผิดปกติในไข่ที่มีเปลือกสีน้ำตาล จุดเนื่อนี้จะมีความสัมพันธ์กับสีของเปลือกไข่ โดยลักษณะของไข่ยังสามารถบอกถึงความผิดปกติอื่น ๆ ได้ เช่น ไข่มีรูปร่างผิดปกติอาจหมายความว่าบริเวณที่มีการสร้างเปลือกไข่ (Shell gland) มีการติดเชื้อจากโรคนิวคลาสิเซล หรือโรคไอพี (Infectious bronchitis) หรือเกิดจากการเลี้ยงที่อึดอัด ไข่ที่มีเปลือกไข่เหมือนรอยเหี่ยวย่น พบว่าเกิดจากความเครียดของแม่ไก่ การติดเชื้อจากโรคไอพี หรือบริเวณที่มีการสร้างเปลือกไข่เกิดการติดเชื้อ และ ไข่ที่เปลือกมีจุดสีน้ำตาลกระจาย อาจเกิดจากบริเวณที่มีการสร้างเปลือกไข่เกิดการติดเชื้อ หรือมีปัญหาในเรื่องปริมาณแคลเซียมในอาหารแม่ไก่ที่ไม่ได้สัดส่วน[5] เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ไข่ไก่ในลักษณะต่าง ๆ

(ที่มา : ราชกิจจานุเบกษา มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่องไข่ไก่)[7]

2.1.3 การเก็บรักษาไข่

การเก็บรักษาไข่ไก่มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการควบคุมให้องค์ประกอบภายในไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยจะชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และรักษาปริมาณน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไข่ไว้ให้นานที่สุด ซึ่งปกติไข่ทั้งเปลือกจะเก็บได้นานพอสมควร เพราะมีเปลือกไข่เป็นตัวป้องกัน แต่หากเก็บรักษาในวิธีที่ดีขึ้น จะส่งผลให้เกิดการชะลอคุณภาพของไข่ โดยไข่ไก่ที่ใช้ในการ

อุปกคบริโภค ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 11.6 ถึง 14.4 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นไข่ไก่ที่ใช้ในการขยายพันธุ์ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 17.2 ถึง 20 องศาเซลเซียส ซึ่งควรมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 75 ถึง 80 ถ้ามากกว่าร้อยละ 90 จะส่งผลให้ราขึ้น และควรเก็บไข่ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 0.55 ถึง 2.50 นอกจากนี้การเก็บรักษาไข่ไก่โดยใช้สารเคลือบไข่จากวัสดุต่าง ๆ จะช่วยเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาและช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพภายในของไข่ไก่ได้อีกด้วย[8]

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่ในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการระเหยของน้ำภายในไข่ การสูญเสียในรูปก๊าซทำให้น้ำหนักไข่ลดลงและช่องอากาศขยายขนาดใหญ่ขึ้นน้ำ เนื่องจากน้ำและก๊าซในไข่จะแพร่ผ่านรูเล็ก ๆ บนเปลือกไข่ ออกสู่บรรยากาศ ทำให้ไข่สูญเสียน้ำ โดยน้ำที่ระเหยส่วนใหญ่มาจากไข่ขาวเพราะไข่ขาวมีความชื้นร้อยละ 87.6 ในขณะที่ไข่แดงมีความชื้นอยู่ร้อยละ 51.1 ก๊าซที่ระเหย คือ ก๊าซ CO_2 , NH_3 , H_2S เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในไข่ ซึ่งอัตราการระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม ระยะเวลาในการเก็บรักษา และความหนาของเปลือกไข่ โดยน้ำจากไข่ขาวส่วนหนึ่งจะเข้าไปในไข่แดงด้วยแรงดันออสโมซิส เนื่องจากความเข้มข้นของไข่แดงมากกว่าไข่ขาว ทำให้ไข่แดงมีขนาดใหญ่ขึ้น ไม่อยู่ตรงกลางของฟองไข่ มีความหนืดน้อยลง เยื่อหุ้มไข่แดงจะยึดออกจนขาด ทำให้ไข่แดงมีโอกาสแตกง่ายขึ้น ซึ่งในบางครั้งไข่แดงอาจเอียงไปติดเปลือกด้านใดด้านหนึ่ง ในโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนในไข่ขาวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ภายในไข่ ส่งผลให้ไข่ขาวชั้นเปลี่ยนเป็นไข่ขาวใสมีความหนืดน้อยลงและสามารถมองเห็นเงาไข่แดงได้ชัดเจน (จากการใช้แสงส่องไข่) ในการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของไข่ และละลายอยู่ในไข่ในรูปของกรดคาร์บอนิก และเกลือไบคาร์บอเนต ไข่คุณภาพดีที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ภายใน มีค่า pH 7.5 ถึง 8.5 คือ เป็นด่างเล็กน้อย ระหว่างการเก็บรักษาไข่ เกิดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนภายในไข่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับอากาศโดยรอบ ทำให้ค่า pH สูงขึ้น ดังนั้นไข่มีฤทธิ์เป็นด่างมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อิโอมิวซินในไข่ขาวเกิดการสลายตัว และทำให้รสและกลิ่นเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยเข้าไปในรูพรุนของไข่ไก่ ซึ่งจุลินทรีย์บางชนิดทำให้ไข่เสียได้ และบางชนิดก็ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรเก็บไข่ไก่ไว้ในสภาพแวดล้อมที่สะอาดและเหมาะสมเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถเข้าไปในไข่ได้

2.1.5 มาตรฐานคุณภาพไข่

มาตรฐานคุณภาพของไข่ไก่นั้นมีหลากหลายมากมาย แต่มาตรฐานที่เป็นที่นิยมและยอมรับได้เป็นอย่างมาก คือ Haugh unit ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่วัดคุณภาพไข่จากไข่ขาว และยังมีค่า

มาตรฐานที่นิยมใช้อีกค่าหนึ่ง คือ Yolk index โดยเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้วัดคุณภาพจากไข่แดง นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีมาตรฐานคุณภาพของไข่ไก่ที่กำหนดไว้โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ซึ่งได้นำค่า Haugh unit นี้มาเป็นค่ามาตรฐานร่วมอีกด้วย ซึ่งรายละเอียดมาตรฐานทั้งสองที่กล่าวมา สามารถอธิบายอย่างละเอียดได้ ดังนี้

2.1.5.1 ค่าฮอกยูนิต (Haugh Unit)

เป็นหน่วยวัดที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของไข่ขาวที่นิยมใช้กันมากที่สุด[3] ถูกคิดค้นโดย Dr. Raymond Haugh ในปี ค.ศ. 1937 ฮอกยูนิตเป็นวิธีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาว จะมีตัวแปรอยู่ 2 ตัวแปร คือ ความสูงของไข่ขาวชั้นที่คลุมรอบไข่แดงและน้ำหนักไข่ จะเป็นตัวกำหนดค่าคะแนนของ Haugh Unit หากค่า Haugh unit มีคะแนนยิ่งสูงแสดงว่าไข่ฟองนั้นมีคุณภาพสูงและหากค่า Haugh Unit มีคะแนนที่ต่ำแสดงว่าไข่ฟองนั้นมีคุณภาพที่ต่ำตามด้วย โดยมีมาตรฐานคุณภาพไข่เป็นช่วงระดับ คือ เกรด AA ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 83 ถึง 100 เกรด A ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 59 ถึง 75 เกรด B ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 35 ถึง 51 และเกรด C ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 11 ถึง 21 โดยไข่ที่ออกจากแม่ไก่ตอนแรกจะมีความสดใหม่ และมีคุณภาพอยู่ในช่วง AA หากเวลาผ่านไปไข่จะมีคุณภาพลดลงตามลำดับ

ซึ่งจากการศึกษาอิทธิพลของขนาดไข่ต่อคุณภาพไข่ ของ กานดา ล้อแก้วมณี[1] พบว่า ขนาดของไข่ไก่ไม่มีผลต่อค่า Haugh unit เนื่องจากค่า Haugh unit เป็นค่าที่ได้มาจากน้ำหนักไข่และค่าความสูงไข่ขาวชั้น ซึ่งค่าน้ำหนักไข่และค่าความสูงไข่ขาวมีค่าใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ค่า Haugh unit มีค่าใกล้เคียงกันตามไปด้วย การสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$\text{Haugh Unit (HU)} = 100 \times \log(H - 1.7W^{0.37} + 7.6) \quad (2.1)$$

โดยที่ H คือ ความสูงของไข่ขาว (mm)

W คือ น้ำหนักไข่ (g)

2.1.5.2 ค่าดัชนีไข่แดง (Yolk Index)

เป็นการวัดคุณภาพของไข่แดงด้วยการวัดความเป็นรูปทรงกลมของไข่แดง และเป็นการวัดความแข็งแรงของเยื่อหุ้มไข่แดงในทางอ้อม Yolk Index ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของไข่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 คำนวณโดยการหารความสูงของไข่แดงด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของไข่ที่ต่อลงบนพื้นผิว

เรียบ เมื่อไข่เสื่อมคุณภาพลงไปเรื่อย ๆ Yolk Index ก็จะมีค่าต่ำ ลงเช่นกัน เนื่องจากโครงสร้างไฟเบอร์ของเนื้อเยื่อ Vitelline หย่อนลง และความแข็งแรงของเนื้อเยื่อลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านมา ค่า Yolk index จะถูกคำนวณด้วยสมการ 2.2

$$\text{Yolk Index (YI)} = \frac{YH}{YD} \quad (2.2)$$

โดยที่ YH คือ ความสูงของไข่แดง (mm)

YD คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไข่แดง (mm)

2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test หรือ NDT)

การทดสอบแบบไม่ทำลาย หมายถึง การตรวจสอบชิ้นงาน วัสดุ สิ่งของต่าง ๆ ที่หลังจากการตรวจสอบแล้ว ชิ้นงาน วัสดุ สิ่งของต่าง ๆ ยังสามารถนำกลับไปใช้ต่อได้ โดยไม่มีผลกระทบหรือความเสียหายใดจากการตรวจสอบ โดยการทดสอบแบบไม่ทำลายนั้น สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การตรวจสอบอย่างง่ายแบบการใช้ประสาทสัมผัส (เช่น การดู การฟัง การสัมผัส) หรือการตรวจสอบที่ซับซ้อนมากขึ้นแบบการฉายรังสี การทดสอบด้วยคลื่นความถี่สูง หรือการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี ซึ่งการทดสอบแบบไม่ทำลายนี้จะนิยมใช้ในการทดสอบชิ้นงานทางด้านวิศวกรรม แต่ในปัจจุบันเป็นที่นิยมในการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร หรือแม้กระทั่งด้านการเดินทาง เนื่องจากการทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการทดสอบแบบไม่สูญเสียทรัพยากรไปอย่างไม่มีประโยชน์ ใช้ง่าย และค่อนข้างมีความรวดเร็ว จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบคุณภาพของไข่ไก่[9]

2.2.1 เทคนิคอินฟราเรดคลื่นใกล้สเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy)

อินฟราเรดคลื่นใกล้ (Near Infrared, NIR) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 2,500 นาโนเมตร โดยจะสามารถอธิบายได้ด้วยความยาวคลื่น (Wavelength, λ) และความถี่ (Frequency, ν) จะมีสมบัติเฉพาะตัว คือ สามารถเบี่ยงเบนในบรรยากาศแต่ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุทึบแสงได้ แต่มีข้อจำกัด คือ ตัวส่งและตัวรับสัญญาณต้องอยู่แนวระนาบหรือทิศทางเดียวกัน[10]

สเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) เป็นการกระทำของพลังงานของรังสีที่แผ่ออกมาจากสสารที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ของรังสี[11] โดยเทคนิคอินฟราเรดคลื่นใกล้สเปกโทรสโกปี จะเป็นการวัดค่า

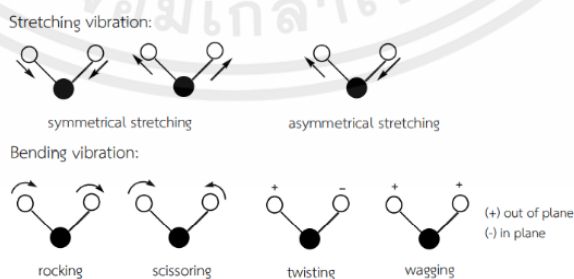
สเปกตรัมที่วัดถูกละเอียดออกมา ซึ่งสเปกตรัมนี้จะอยู่ที่ความยาวคลื่น 800 ถึง 2,500 นาโนเมตร โดยมีเครื่องมือวัดอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งเรียกว่าอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ในปัจจุบันเทคนิคนี้เป็นที่นิยมในการที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจสอบโดยไม่ทำลายตัวอย่าง แสดงตัวอย่างการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสแกนถั่วเหลืองฝักสดด้วย FQA NIR GUN

(ที่มา: <https://iaid.in.th/2020/07/10/nirs> : สืบค้นเมื่อ 13 พฤษภาคม 2564)

อินฟราเรดคลื่นใกล้สเปกโทรสโกปี คือ การใช้คลื่นแสงในช่วง อินฟราเรดคลื่นใกล้ ส่องเข้าไปในตัวอย่าง ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างดูดกลืน (Absorb) พลังงาน เมื่อดูดกลืนพลังงานแล้ว ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) ของโมเลกุล ซึ่งจะส่งผลให้พันธะยืดออก (Stretching) หรืองอ (Bending) มีลักษณะตามรูปที่ 2.4 ส่งผลให้โมเลกุลค่อย ๆ คายพลังงานของรังสีที่ดูดกลืนเข้าไปออกมาเป็นความร้อน

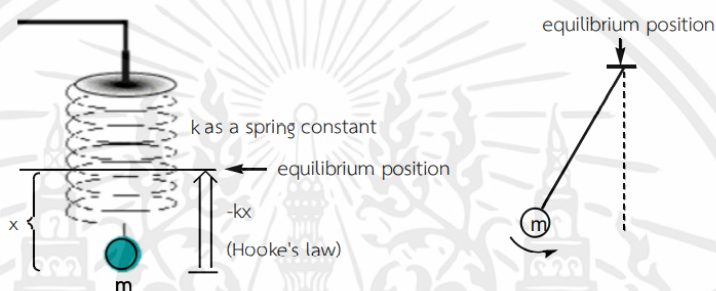


รูปที่ 2.4 ลักษณะการสั่นแบบยืดและแบบงอ

(ที่มา : สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์ โดยอรุณรัตน์ สันฐิติกวินสกุล, 2563)[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นของโมเลกุลขึ้นอยู่กับ 2 ตัวแปร คือ มวลอะตอมที่ปลายทั้งสองของพันธะและความแข็งแรงของพันธะ โดยการสั่นอาจเปรียบเหมือนการสั่นของลวดสปริงที่มีลูกตุ้มผูกติดอยู่ โดยจะเป็นการสั่นจากแบบจำลองตัวแกว่งกวัดฮาร์มอนิกอย่างง่าย ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งลูกตุ้มนี้เปรียบเสมือนอะตอม และลวดสปริงเปรียบเสมือนพันธะ หากมวลอะตอมที่มากกว่าจะทำให้พันธะสั่นด้วยความถี่ที่ต่ำกว่า แต่หากพันธะแข็งแรงกว่าจะทำให้พันธะสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่า โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของรังสีกับมวลอะตอมและความแข็งแรงของพันธะได้จากกฎของฮุก (Hooke's law) ในสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.5 แบบจำลองตัวแกว่งกวัดฮาร์มอนิกอย่างง่าย

(ที่มา : สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์ โดยอรุณรัตน์ สันฐิติภินิสกุล, 2563)[10]

$$\bar{\nu} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (2.3)$$

โดยที่ $\bar{\nu}$ คือ ความถี่ของการสั่น (cm^{-1})

c คือ ความเร็วแสง เท่ากับ 3×10^{10} (cm/s)

π คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 3.14

k คือ ค่าคงที่ของพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม เท่ากับ 5×10^5 , 10×10^5 และ 15×10^5 (dyne/cm) ตามลำดับ

μ คือ มวลลดทอน (reduced mass) ของอะตอม (gram) เท่ากับ $m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$

โดยที่ m_1 และ m_2 คือ มวลอะตอมระหว่างพันธะ

การตรวจวัดพลังงานสามารถทำได้หลายรูปแบบ อย่างเช่น แบบวัดการสะท้อน (Reflectance) แบบวัดการส่องผ่าน (Transmittance) เป็นต้น ซึ่งสเปกตรัมในช่วงคลื่น NIR ที่ได้ จะถูก

นำมาประมวลผล และหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลของตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี หรือวิธีอื่นๆ ที่ได้ค่ามาตรฐาน จะได้สมการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration equation) เพื่อใช้ทำนายค่า ปัจจัยคุณภาพของของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดได้ทั้งเชิงปริมาณ (Quantitative) และเชิงคุณภาพ (Qualitative)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) Kinetic modeling impacts of relative humidity, storage temperature and air flow velocity on various indices of hen egg freshness

ผู้วิจัย : Samuel Mezemir Yimenu, Junemo Koo, Ji-Young Kim, Jong-Hoon Kim, Byeong-Sam Kim เป็นงานวิจัยที่ทดลองการจืดเก็บไข่ไก่เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) และความเร็วการไหลของอากาศ (เมตรต่อวินาที) ต่อคุณภาพของไข่ไก่โดยใช้ค่า Haugh Unit เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่ โดยแสดงผลต่างๆ ออกมาในรูปแบบของเส้นกราฟและกราฟวงกลม[13]

2) An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy

ผู้วิจัย: Saman Abdanan Mehdizadeh, Saeid Minaei, Nigel H. Hancock, Amir Karimi Torshizi เป็นงานวิจัยที่ใช้วิธีการส่งผ่านอินฟราเรดที่มองเห็นได้ (Vis-IR) ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 1100 นาโนเมตร โดยเก็บรักษาไข่ไก่ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 30 ± 7 องศาเซลเซียส และ $25 \pm 4\%$ ใช้จำนวนไข่ไก่ 200 ตัวอย่าง ใช้สำหรับวัดความสดและการเก็บสเปกตรัมระหว่างการเก็บไข่เป็นเวลาสูงสุด 25 วัน โดยแบบจำลองความสัมพันธ์สองแบบ ประการแรกระหว่างหน่วย Haugh Unit และเวลาในการจัดเก็บและประการที่สองระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ไข่แดง และเวลาในการเก็บรักษา[14]

3) Nondestructive testing technology for raw eggs freshness

ผู้วิจัย : Liang Qi, Mao Cheng Zhao, Zhong Li1, De Hong Shen, Jun Lu เป็นงานวิจัยนี้วิจัยเกี่ยวกับดัชนีความสดของไข่ดิบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัด Air cell height, Haugh Unit, ค่า pH, ดัชนีไข่แดง และค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะของไข่และปริมาณไนโตรเจนพื้นฐานที่ระเหยได้ทั้งหมด ซึ่งวิธีการแบบดั้งเดิมสามารถทดสอบเฉพาะตัว อย่างบางส่วนที่มีประสิทธิภาพต่ำ งานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้สเปกโทรสโกปี รังสีอินฟราเรดในย่านใกล้การมองเห็น วิทัศน์จักรกล จมูกอิเล็กทรอนิกส์ ไดอิเล็กทริก คุณสมบัติและเรโซแนนซ์แม่เหล็กนิวเคลียร์เฟลด์ต่ำ (LF NMR) สำหรับการทดสอบความสดใหม่ของไข่โดยไม่ทำลาย โดยงานวิจัยจะวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีแต่จะมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคนิค LF NMR[15]



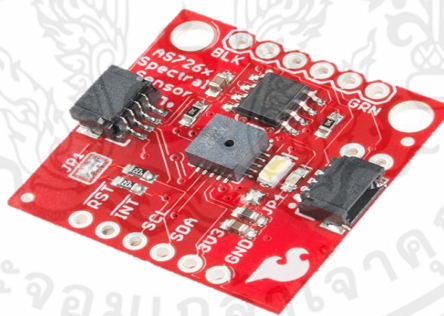
บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นการศึกษาและทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กล่าวคือความสดของไข่ไก่ในแต่ละวันมีความสามารถในการสะท้อนและดูดกลืนรังสีอินฟราเรดแตกต่างกันอย่างไร โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ (Hardware)

1. SparkFun Spectral Sensor Breakout – AS7263 NIR (Qwiic) จำนวน 1 ชิ้น AS7263 เป็นเครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์แบบดิจิทัล 6 ช่องสัญญาณสำหรับสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นแสงใกล้ IR (NIR) AS7263 ประกอบด้วยฟิลเตอร์กรองแสงอิสระ 6 ตัวซึ่งมีการกำหนดสเปกตรัมของความยาวคลื่น NIR จากค่าประมาณ 600 นาโนเมตรถึง 870 นาโนเมตร ภายใน AS7263 ยังรวมตัวกรองแบบเกาส์เซียนไว้ใน CMOS การควบคุมและการเข้าถึงข้อมูลสเปกตรัมจะดำเนินการผ่านช่องทางใดช่องทางหนึ่งคือ ชุดทะเบียน I2C หรือ UART แบบอนุกรม โดยในการทดลองนี้จะใช้การสื่อสารแบบ I2C



รูปที่ 3.1 AS7263 NIR

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ - Arduino UNO R3 จำนวน 1 ชิ้น

Arduino UNO เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนามาให้ใช้งานง่ายทั้งในด้านอุปกรณ์ (Hardware) ที่มีขนาดเล็ก และชุดโปรแกรม (Software) ที่รองรับภาษาซี โดยการพัฒนาระบบจะเป็นแบบระบบเปิด (Open source) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดไลบรารีต่าง ๆ ได้มาอย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดย Arduino UNO ถือเป็นว่าเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นแรกที่มีการผลิตและจำหน่ายออกมา



รูปที่ 3.2 Microcontroller-Arduino UNO R3

3. สาย USB type A จำนวน 1 เส้น

ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังเป็นสายไฟที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย

4. สายไฟจัมเปอร์แบบผู้-ผู้ จำนวน 4 เส้น

ใช้ในการสื่อสารแบบ I²C ระหว่างเซ็นเซอร์ AS7263 NIR กับไมโครคอนโทรลเลอร์

5. คอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงค่าจากการวัดปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ อีกทั้งยังใช้เป็นอุปกรณ์ในการคำนวณค่าทางสถิติ

6. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ จำนวน 1 ชิ้น

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดของตัวแปรดังต่อไปนี้คือ ความกว้างของไข่แดง ความสูงของไข่แดง และความสูงของไข่ขาว เพื่อใช้ไปคำนวณหาค่าดัชนีไข่แดงแองค่า Haugh Unit ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกคุณภาพของไข่ไก่ได้

7. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล จำนวน 1 เครื่อง

เป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในการวัดน้ำหนักของไข่ไก่ที่จะใช้ในการทดลอง โดยค่าน้ำหนักของไข่ไก่จะไปใช้ในการคำนวณหาค่า Haugh Unit อีกทั้งยังใช้ในการจำแนกประเภทของไข่ไก่อีกด้วย โดยการจำแนกประเภทของไข่ไก่จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

8. กล่องใส่อุปกรณ์ขนาดเล็ก จำนวน 1 ใบ

กล่องใส่อุปกรณ์ขนาดเล็กจะใช้ในการบรรจุเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ภายในร่วมกัน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและการเก็บรักษา

9. ไข่ไก่สดจากฟาร์ม จำนวน 79 ฟอง

3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

1. Arduino IDE

เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนามาเพื่อใช้งานร่วมกับ Arduino UNO สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีและสามารถดาวน์โหลดไลบรารีต่าง ๆ มาใช้งานได้โดยถูกต้อง

2. Microsoft Excel

เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนามาเพื่อใช้งานทางด้านสถิติและการจัดการข้อมูลแบบตาราง โดยฟังก์ชันการทำงานหลักของการทดลองในครั้งนี้จะใช้สตีมนำข้อมูล (Data Steamer) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่พัฒนามาเพื่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ กล่าวคือข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งมาที่คอมพิวเตอร์ จะมาแสดงค่าที่สตีมนำข้อมูล

3.3 ขั้นตอนดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนในการดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบเป็นชิ้นงานโดยมีแบบร่างและชิ้นงานที่ประกอบสำเร็จแล้วตั้งรูปด้านล่าง โดยสายไฟจัมเปอร์จำนวน 4 เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหลักเกณฑ์การเชื่อมต่อดังนี้

เส้นที่ 1 สายไฟเชื่อมต่อระหว่างช่อง 3.3 V ทั้งในเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

เส้นที่ 2 สายไฟเชื่อมต่อระหว่างช่อง GND ทั้งในเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

เส้นที่ 3 สายไฟเชื่อมต่อระหว่างช่อง SDA ในเซ็นเซอร์กับช่อง A4 ในไมโครคอนโทรลเลอร์

เส้นที่ 4 สายไฟเชื่อมต่อระหว่างช่อง SCL ในเซ็นเซอร์กับช่อง A5 ในไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานที่ประกอบสำเร็จสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เขียนโปรแกรมใน Arduino IDE โดยมีชุดคำสั่งดังต่อไปนี้
 การเขียนโปรแกรมใน Arduino IDE

```
#include "AS726X.h"
AS726X sensor;
void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);
  sensor.begin();
}
void loop() {
  sensor.takeMeasurements();
  if (sensor.getVersion() == SENSORTYPE_AS7263)
  {
    Serial.print(sensor.getCalibratedR(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedS(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedT(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedU(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedV(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedW(), 2);
    Serial.print(",");
  }
  Serial.print(sensor.getTemperatureF(), 1);
  delay(1000);
  Serial.println();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนชุดโปรแกรมสำเร็จแล้วให้ทำการคอมไพล์ และอัปโหลดลงบอร์ดต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 เปิดโปรแกรม Microsoft Excel เลือกแถบ Data Streamer จากนั้นเลือกพอร์ตการเชื่อมต่อให้ตรงกับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออยู่ อีกทั้งต้องปรับอัตราบอดเรต (Baud rate) ให้ตรงกับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ คือ 115200

| ข้อมูลป้อนเข้า | TIME | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 1449:03.84 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 93.2 | | | | |
| ข้อมูลในอดีต | TIME | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 |
| 1448:50.12 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:51.64 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:53.17 | 2.69 | 12.05 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:54.69 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:56.22 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:57.74 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1448:59.27 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1449:00.79 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1449:02.31 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | | |
| 1449:03.84 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 93.2 | | | | |

รูปที่ 3.5 สตรีมเมอร์ข้อมูล ที่แสดงข้อมูลที่ได้รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ขั้นตอนที่ 4 จำแนกไข่ไก่สดที่ซื้อมาจากฟาร์มออกเป็น 3 กลุ่มโดยการชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล คือ กลุ่มขนาด M คือมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 59.00 ก. – 65.99 ก. กลุ่มขนาด L มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 66.00 ก. – 69.99 ก. และกลุ่มขนาด XL มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 70.00 ก. – 76.99 ก.

ขั้นตอนที่ 5 นำไข่ไก่วางบนฐานบนกล่องซึ่งจะมีรูให้รังสีอินฟราเรดส่องมาจากไฟ IR-LED บนตัวเซ็นเซอร์มากระทบที่ไข่ และสะท้อนรังสีอินฟราเรดกลับไปที่ตัวเซ็นเซอร์อีกที โดยค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นค่าของปริมาณรังสีของพลังงานมีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยค่าจากการทดลอง

จะปรากฏใน Data Streamer ซึ่งมีทั้งหมด 6 channel ได้แก่ R(610 nm), S(680 nm), T(730 nm), U(760 nm), V(810 nm) และ W(860 nm)

ขั้นตอนที่ 6 ตอกไข่ไก่ลงบนจานแบนแล้วใช้เวอร์เนียบาลิปเปอร์วัดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ ความสูงของไข่แดง ความกว้างของไข่แดง และความสูงของไข่ขาว เพื่อใช้ไปคำนวณในการหาค่าดัชนีไข่แดง (Yolk Index) และค่า Haugh Unit ซึ่งทั้งสองค่าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพและความสดของไข่ไก่โดยมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{Yolk Index (YI)} = \frac{\text{ความสูงของไข่แดง}}{\text{ความกว้างของไข่แดง}} \quad (3.1)$$

$$\text{Haugh Unit (HU)} = 100 \times \log(h - 1.7w^{0.37} + 7.6) \quad (3.1)$$

เมื่อ h = ความสูงของไข่ขาว
 w = น้ำหนักของไข่ทั้งใบก่อนตอก

ขั้นตอนที่ 7 นำค่าที่บันทึกจากขั้นตอนที่ 5 มาใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาเส้นกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ เพื่อสรุปผลการทดลองต่อไป โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดลองนี้ก็คือ ค่าเฉลี่ยโดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

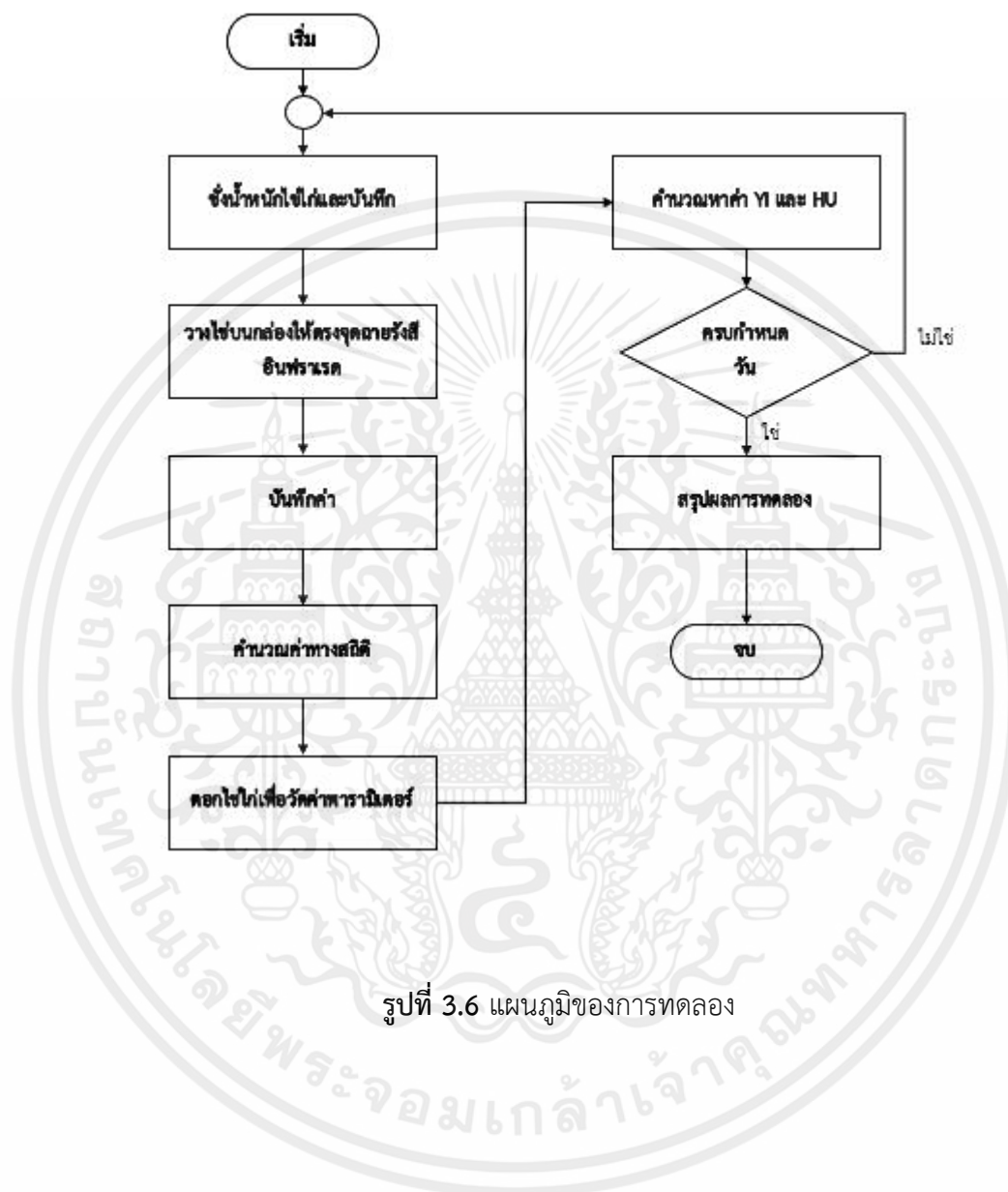
$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.3)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 8 ทำขั้นตอนซ้ำทั้งหมดตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 7 ในครั้งถัดไป โดยเว้นช่วงการทดลองอย่างน้อย 2 ถึง 3 วัน และหยุดการทดลองเมื่อครบกำหนด 22 วัน

3.4 แผนภูมิการทำงาน

การทดลองของวิทยานิพนธ์นี้มีแผนภูมิการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 แผนภูมิของการทดลอง

บทที่ 4

การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำเสนอข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองหาคุณภาพของไข่ไก่สด ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้น ให้ผลการทดลองที่นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยมีการนำเสนอข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.1 การจำแนกประเภทของไข่ไก่สดตามน้ำหนัก

การทดลองในครั้งนี้ได้ใช้ไข่ไก่สดจากฟาร์ม ในวันที่ 7 เมษายน 2564 และใช้ทดลองเป็นครั้งแรก ในวันที่ 8 เมษายน จนถึงวันที่ 29 เมษายน รวมเวลาทดลองทั้งสิ้น 22 วัน โดยการจำแนกประเภทของไข่ไก่สดนั้นจะใช้เกณฑ์เรื่องน้ำหนักเป็นตัวกำหนด อุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักไข่ไก่สดของการทดลองในครั้งนี้คือเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล โดยเกณฑ์การจำแนกประเภทเป็นไปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การจำแนกประเภทของไข่ไก่ในการทดลอง

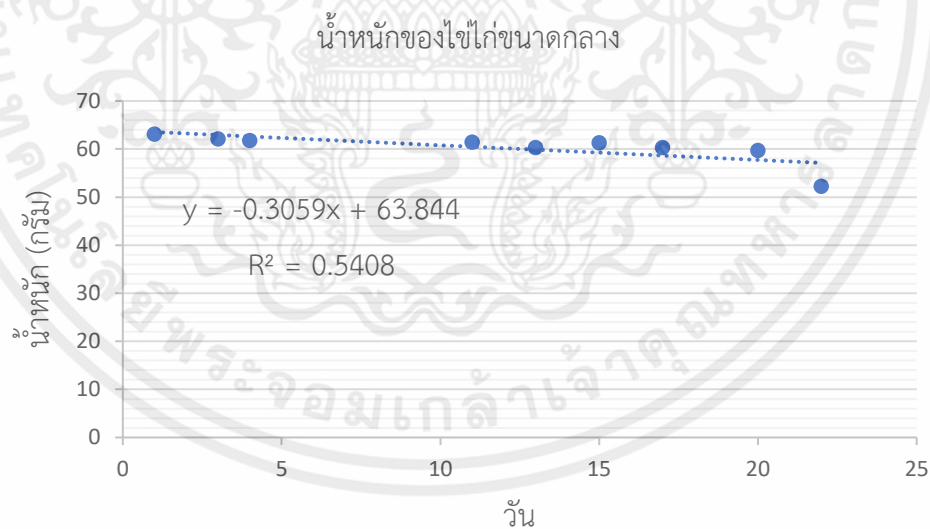
| ประเภทของไข่ไก่ | น้ำหนักของไข่ไก่ (กรัม) | จำนวน (ฟอง) |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|
| ไข่ไก่ขนาดกลาง (size M) | 59.00-65.99 | 26 |
| ไข่ไก่ขนาดใหญ่ (size L) | 66.00-69.99 | 27 |
| ไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ (size XL) | 70.00-76.99 | 26 |
| รวม | | 79 |

4.2 การลดลงของน้ำหนักไข่ไก่สดทั้ง 3 ประเภท

จากการทดลองตลอด 22 วัน ได้มีการชั่งน้ำหนักของไข่ไก่ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล เพื่อนำค่าของน้ำหนักไปคำนวณหาค่า Haugh Unit เป็นขั้นตอนต่อไป โดยให้ผลการนำเสนอดังตารางที่ 4.2

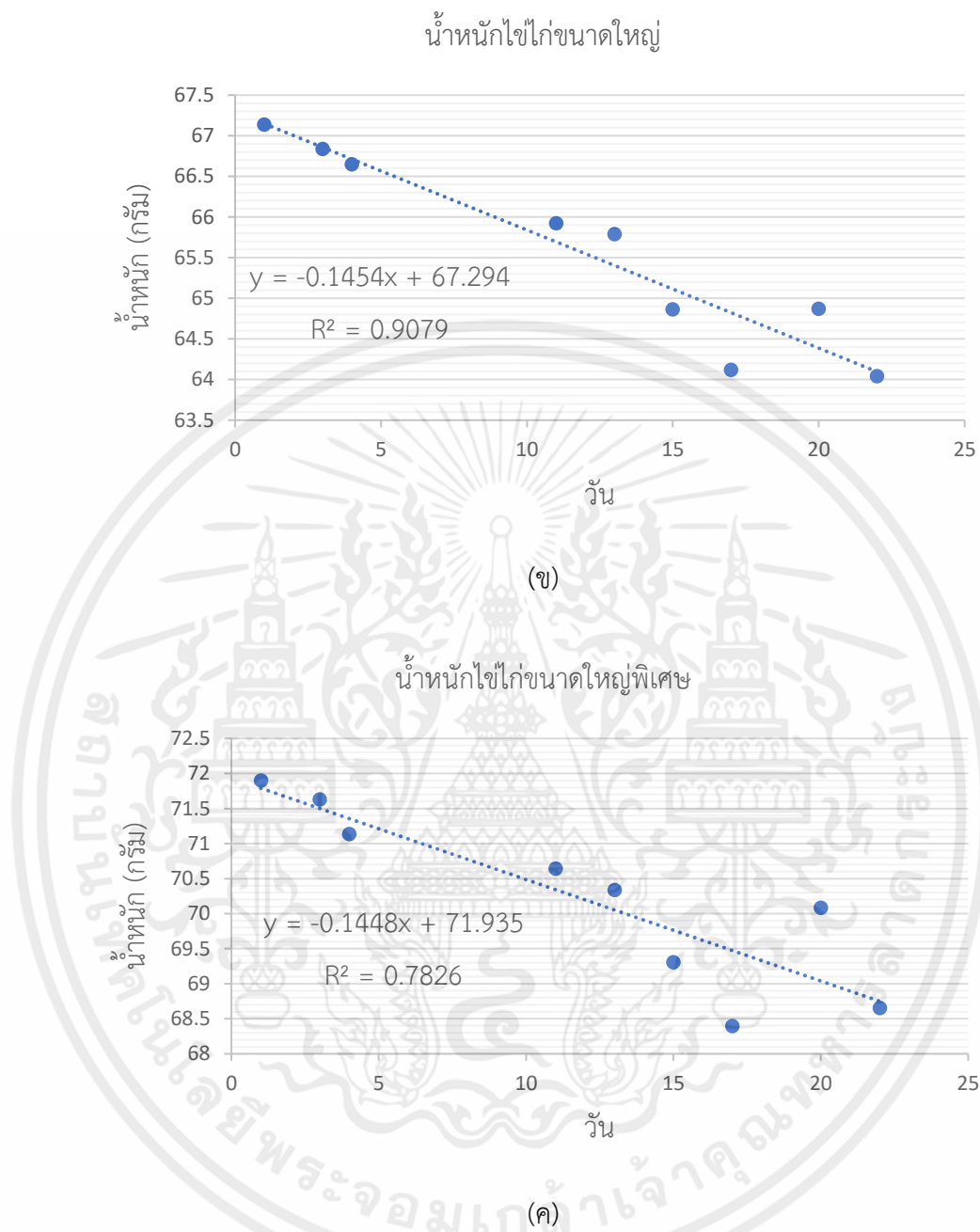
ตารางที่ 4.2 การลดลงของน้ำหนักไข่ไก่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | น้ำหนักของไข่ไก่ขนาดกลาง (กรัม) | น้ำหนักของไข่ไก่ขนาดใหญ่ (กรัม) | น้ำหนักของไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ (กรัม) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 08/04/2564 | 63.07 | 67.13 | 71.90 |
| 10/04/2564 | 62.12 | 66.84 | 71.62 |
| 11/04/2564 | 61.76 | 66.65 | 71.13 |
| 18/04/2564 | 61.42 | 65.92 | 70.64 |
| 20/04/2564 | 60.27 | 65.79 | 70.33 |
| 22/04/2564 | 61.30 | 64.86 | 69.30 |
| 24/04/2564 | 60.26 | 64.12 | 68.39 |
| 27/04/2564 | 59.69 | 64.87 | 70.08 |
| 29/04/2564 | 52.25 | 64.04 | 68.65 |



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เส้นกราฟแสดงการลดลงของน้ำหนักของไข่ไก่ทั้ง 3 ประเภท

- (ก) ไข่ไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไข่ไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

จากการนำเสนอข้อมูลด้วยเส้นกราฟ แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักไขไก่ทั้งสามประเภท เมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป โดยการลดลงของน้ำหนักไขไก่ขนาดใหญ่และขนาดใหญ่พิเศษนั้นมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดมากกว่าขนาดกลาง

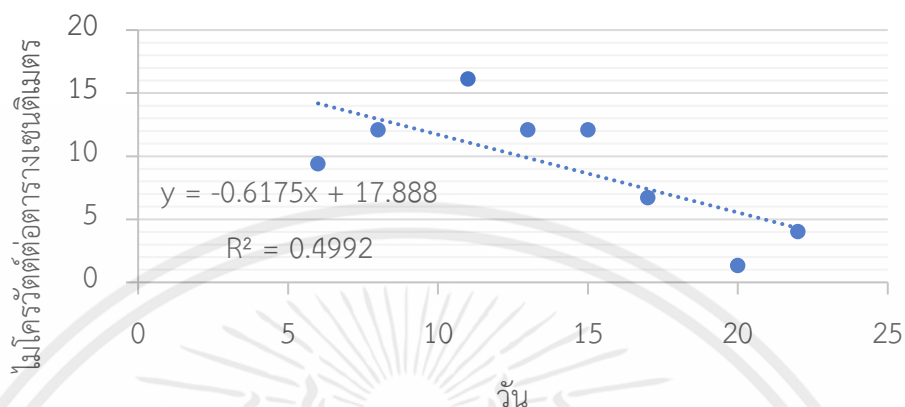
4.3 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

วิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีคือการฉายรังสีอินฟราเรดไปที่วัตถุ แล้ววิเคราะห์ความถี่การสั่นของอะตอมเพื่อวิเคราะห์ว่าวัตถุตั้งกล่าวคือวัตถุชนิดใด แต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

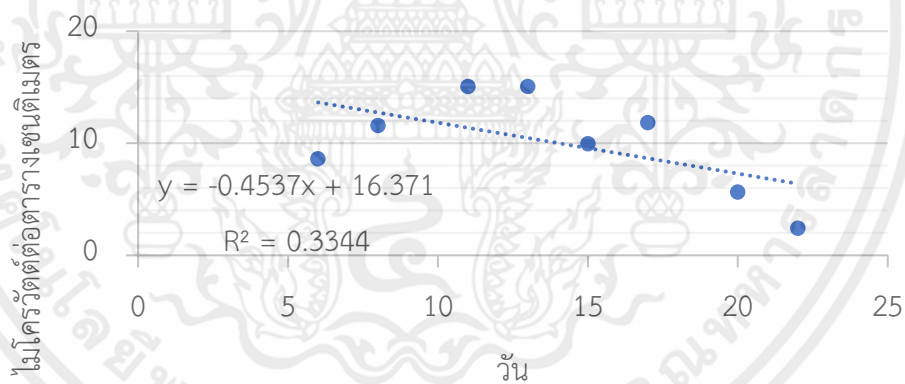
ตารางที่ 4.3 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|---|---|--|
| 13/04/2564 | 9.41 | 8.60 | 8.07 |
| 15/04/2564 | 12.10 | 11.56 | 12.64 |
| 18/04/2564 | 16.41 | 15.06 | 14.52 |
| 20/04/2564 | 12.10 | 9.94 | 9.41 |
| 22/04/2564 | 12.10 | 11.83 | 11.83 |
| 24/04/2564 | 6.72 | 5.64 | 5.38 |
| 27/04/2564 | 1.34 | 2.42 | 2.95 |
| 29/04/2564 | 4.30 | 4.3 | 4.03 |

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel)
ของไซโกขนาดกลาง

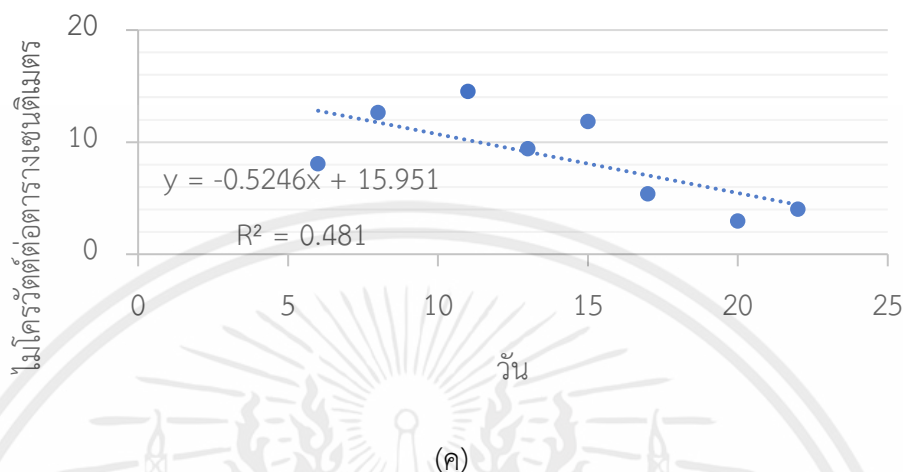


รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel)
ของไซโกขนาดใหญ่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ



รูปที่ 4.2 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (R channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

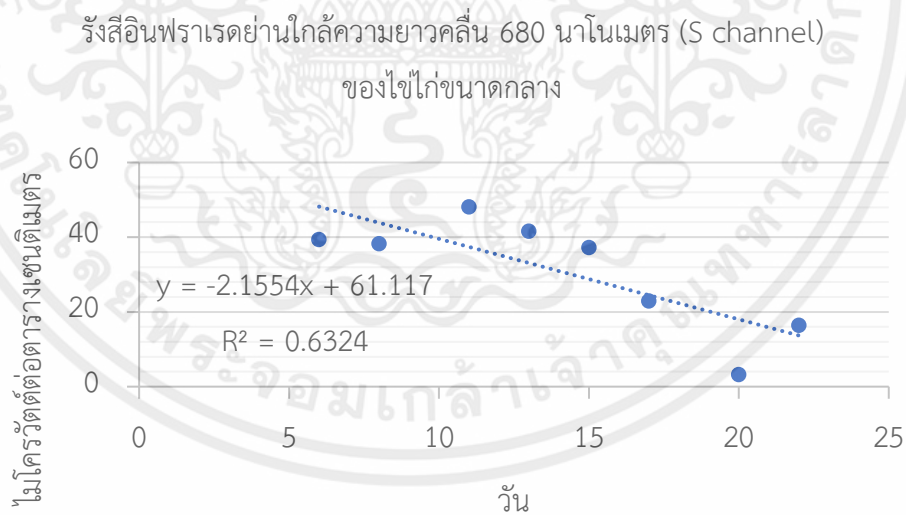
- (ก) ไขไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไขไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

4.4 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

การทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

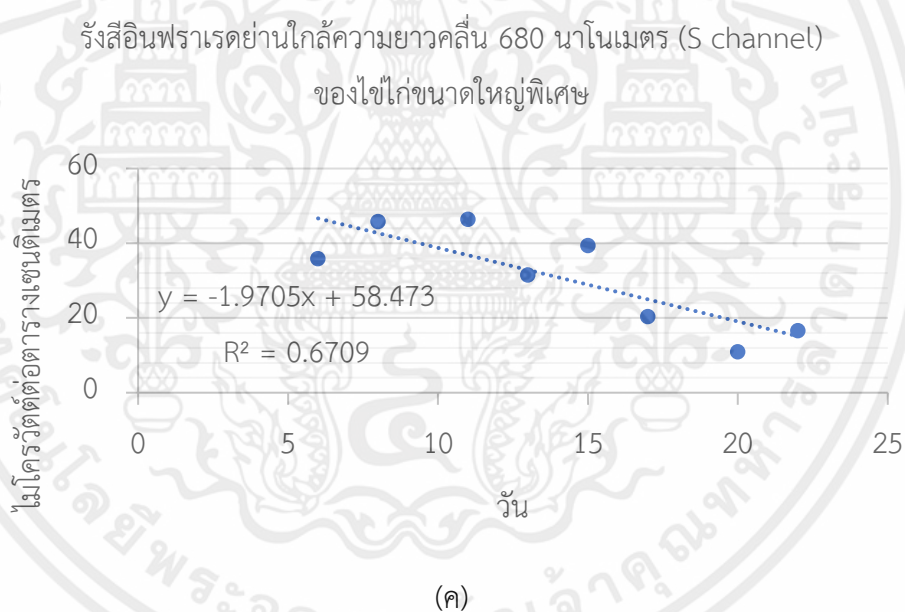
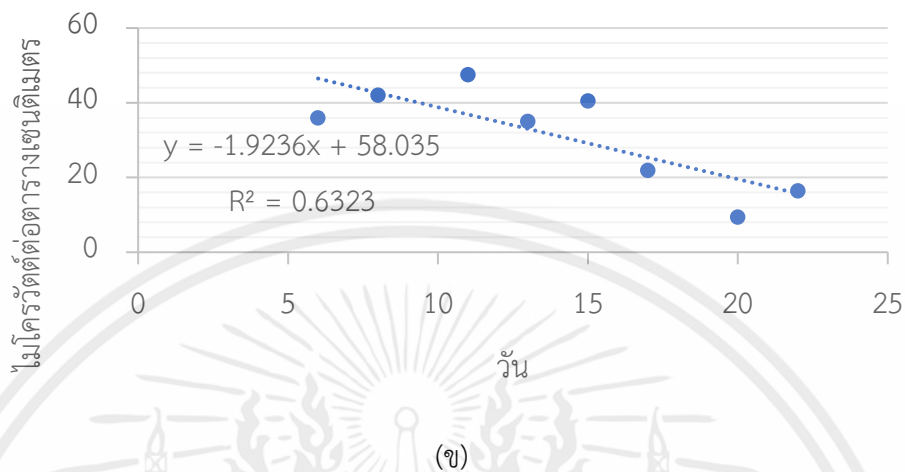
| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|---|---|--|
| 13/04/2564 | 39.43 | 35.92 | 35.92 |
| 15/04/2564 | 38.33 | 42.05 | 45.78 |
| 18/04/2564 | 48.19 | 47.53 | 46.44 |
| 20/04/2564 | 41.62 | 35.04 | 31.54 |
| 22/04/2564 | 37.24 | 40.52 | 39.42 |
| 24/04/2564 | 23.00 | 21.90 | 20.37 |
| 27/04/2564 | 3.29 | 9.42 | 10.95 |
| 29/04/2564 | 16.43 | 16.42 | 16.64 |



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่



รูปที่ 4.3 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

- (ก) ไขไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไขไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

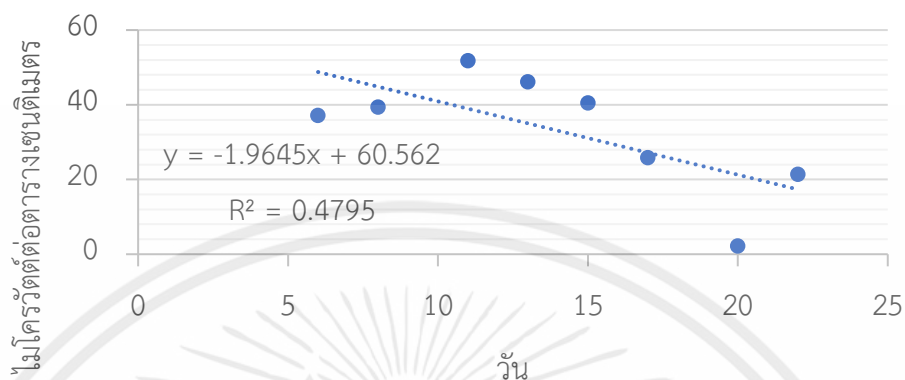
4.5 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

การทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5

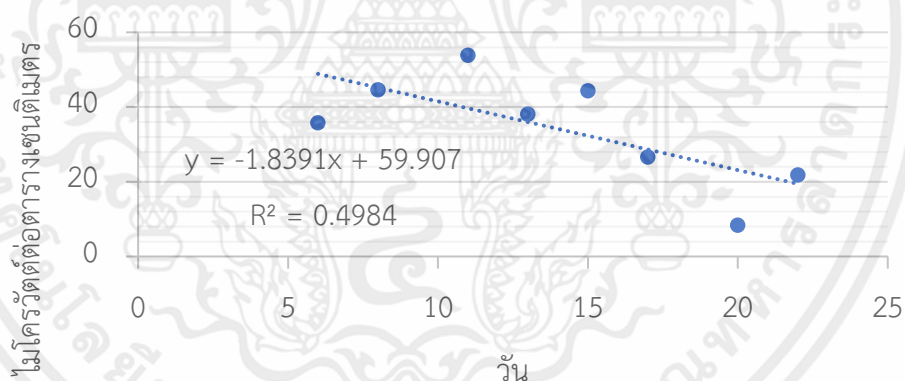
ตารางที่ 4.5 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|---|---|--|
| 13/04/2564 | 37.41 | 35.79 | 37.81 |
| 15/04/2564 | 39.39 | 44.57 | 51.44 |
| 18/04/2564 | 51.77 | 53.79 | 56.94 |
| 20/04/2564 | 46.14 | 38.05 | 37.81 |
| 22/04/2564 | 40.52 | 44.34 | 46.36 |
| 24/04/2564 | 25.89 | 26.55 | 26.78 |
| 27/04/2564 | 2.25 | 8.32 | 11.02 |
| 29/04/2564 | 21.38 | 21.83 | 21.83 |

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง

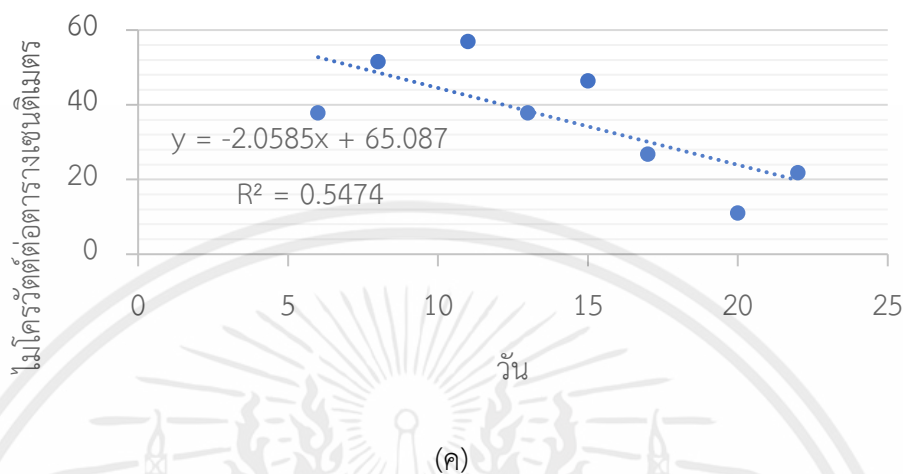


รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ



รูปที่ 4.4 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

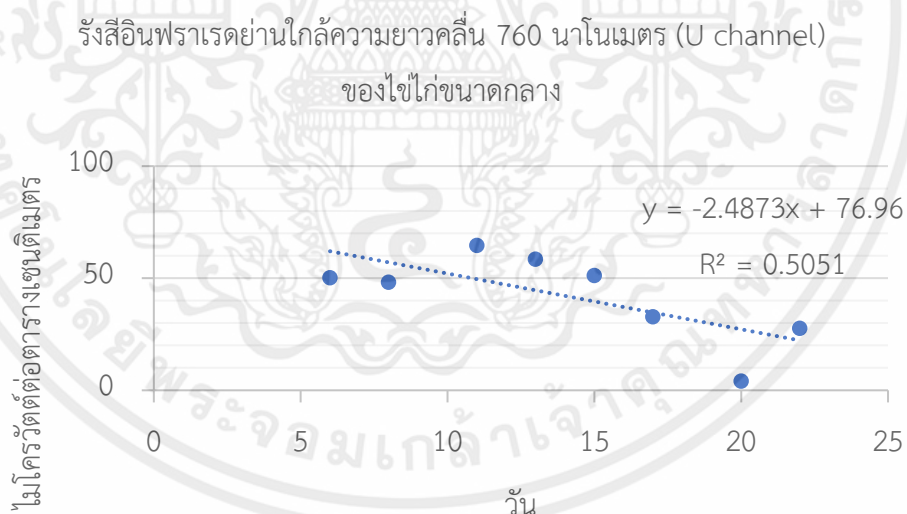
- (ก) ไขไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไขไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

4.6 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร (U channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

การทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร (U channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.6

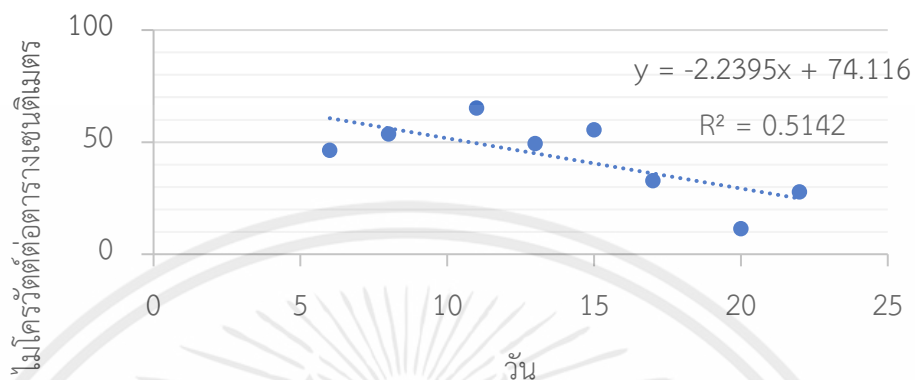
ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร (U channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|---|---|--|
| 13/04/2564 | 50.21 | 46.31 | 49.03 |
| 15/04/2564 | 48.16 | 53.69 | 62.91 |
| 18/04/2564 | 64.55 | 65.16 | 70.49 |
| 20/04/2564 | 58.40 | 49.38 | 50.20 |
| 22/04/2564 | 51.23 | 55.53 | 60.04 |
| 24/04/2564 | 32.79 | 32.78 | 34.22 |
| 27/04/2564 | 4.10 | 11.43 | 16.18 |
| 29/04/2564 | 27.66 | 27.79 | 28.89 |

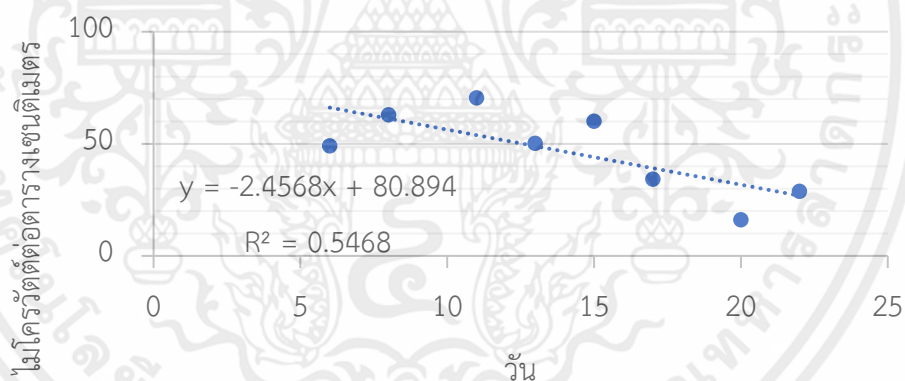


(ก)

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร (U channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่



รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร (U channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ



รูปที่ 4.5 เส้นกราฟแสดงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร (U channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

- (ก) ไขไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไขไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

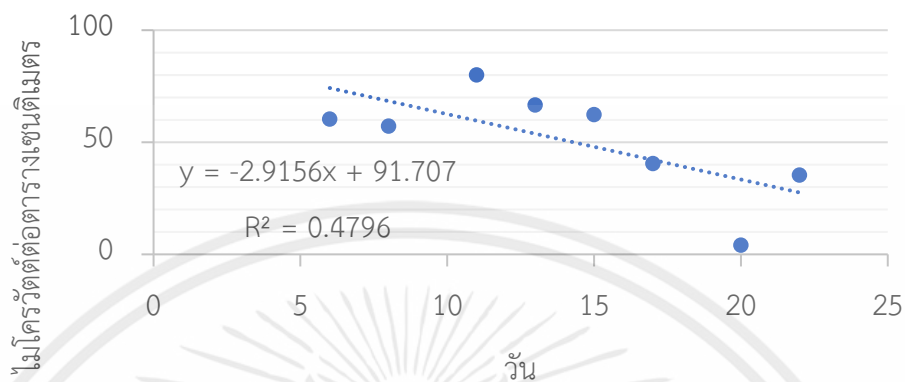
4.7 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

การทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (U channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7

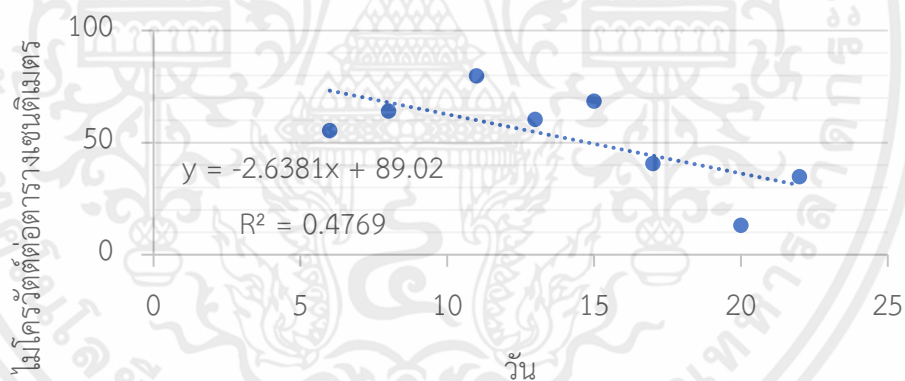
ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|---|---|--|
| 13/04/2564 | 60.39 | 55.39 | 58.51 |
| 15/04/2564 | 57.27 | 64.14 | 77.88 |
| 18/04/2564 | 80.17 | 79.756 | 87.04 |
| 20/04/2564 | 66.64 | 60.39 | 62.26 |
| 22/04/2564 | 62.47 | 68.51 | 75.59 |
| 24/04/2564 | 40.61 | 40.60 | 42.69 |
| 27/04/2564 | 4.16 | 13.12 | 17.49 |
| 29/04/2564 | 35.40 | 34.77 | 36.02 |

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง

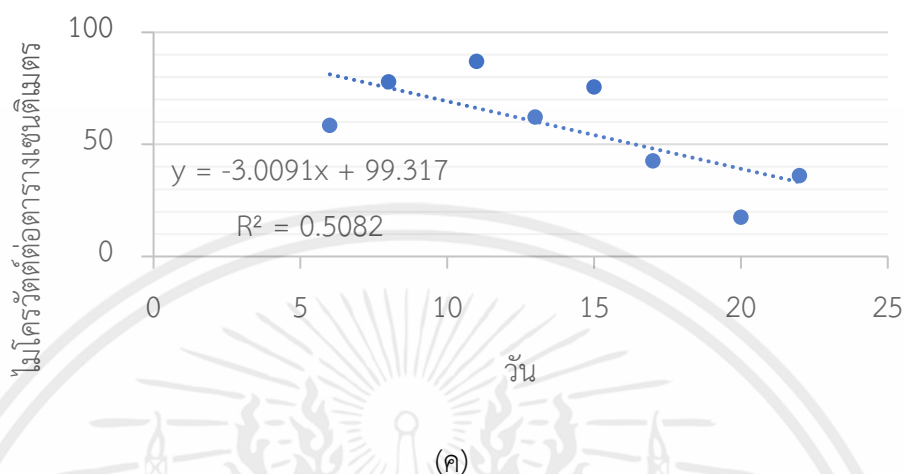


รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel)
ของไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ



รูปที่ 4.6 เส้นกราฟแสดงปริมาณความชื้นของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

(ก) ไขไก่ขนาดกลาง

(ข) ไขไก่ขนาดใหญ่

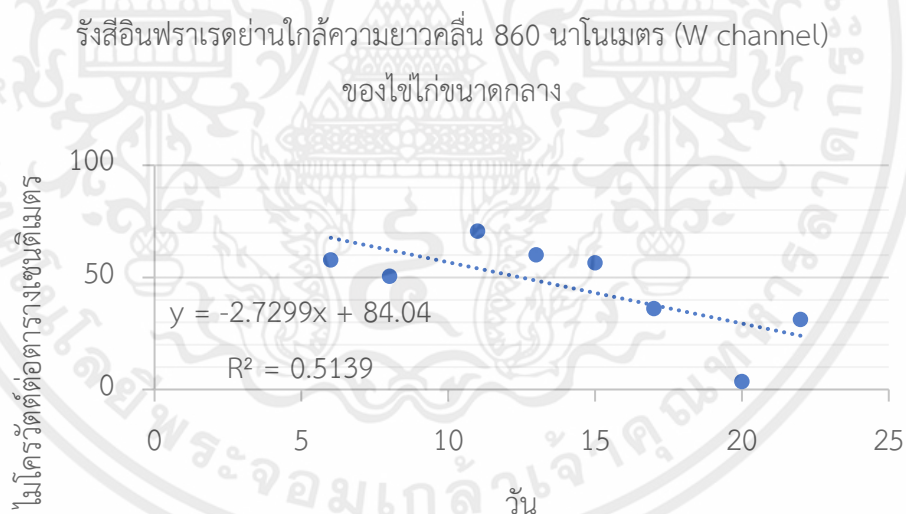
(ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

4.8 ปริมาณความชื้นของรังสีเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร (W channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

การทดลองครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากปริมาณความชื้นรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร (W channel) ที่ฉายไปที่ไขไก่ทั้งสามประเภทและสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งกลับมาที่เซ็นเซอร์ โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.6

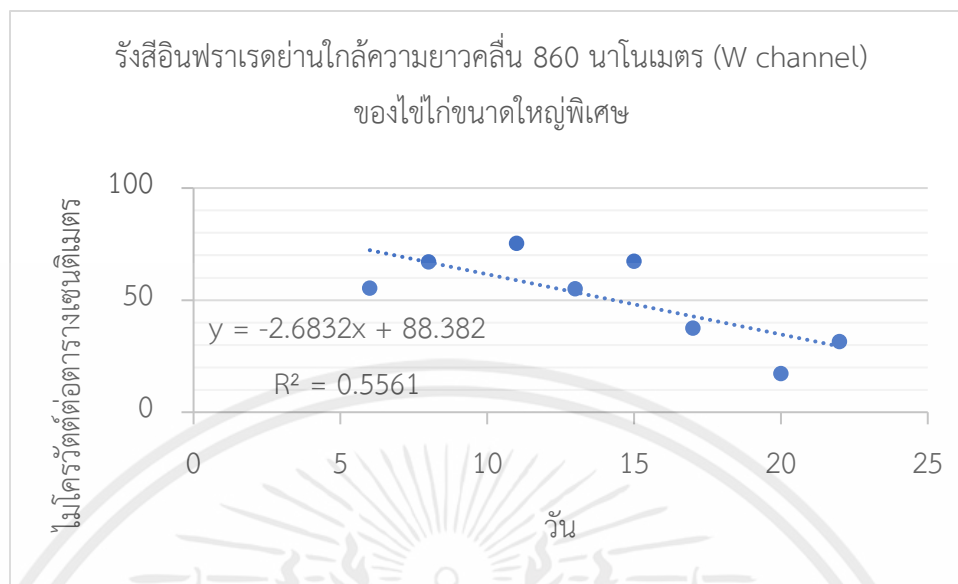
ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีไผแดงของไผ่ทั้งสามประเภท

| วัน/เดือน/ปี | ปริมาณความเข้มรังสี ของไผ่ขนาดกลาง ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสี ของไผ่ขนาดใหญ่ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) | ปริมาณความเข้มรังสีของ ไผ่ขนาดใหญ่พิเศษ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) |
|--------------|--|--|---|
| 13/04/2564 | 57.73 | 53.16 | 55.32 |
| 15/04/2564 | 50.52 | 56.05 | 67.11 |
| 18/04/2564 | 70.69 | 69.03 | 75.29 |
| 20/04/2564 | 60.14 | 53.64 | 55.08 |
| 22/04/2564 | 56.53 | 60.37 | 67.35 |
| 24/04/2564 | 36.08 | 36.08 | 37.52 |
| 27/04/2564 | 3.61 | 12.74 | 17.32 |
| 29/04/2564 | 31.27 | 30.55 | 31.51 |

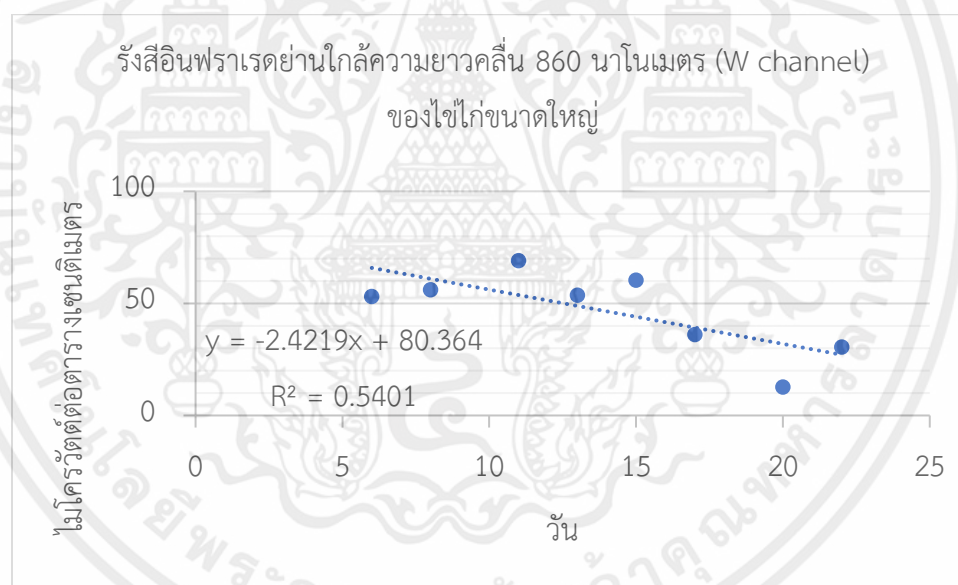


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 เส้นกราฟแสดงปริมาณความชื้นของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร (W channel) ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภท

(ก) ไขไก่ขนาดกลาง

(ข) ไขไก่ขนาดใหญ่

(ค) ไขไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

จากการนำเสนอข้อมูลด้วยเส้นกราฟจากรูปที่ 4.2 – 4.7 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามขนาด จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรด ที่สะท้อนกลับมาจากไขไก่ทั้งสามประเภทนั้น มีปริมาณความเข้มที่ลดลงเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป โดยเฉพาะรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) จะให้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณความเข้มของรังสี และจำนวนวันในการทดลองมากที่สุด

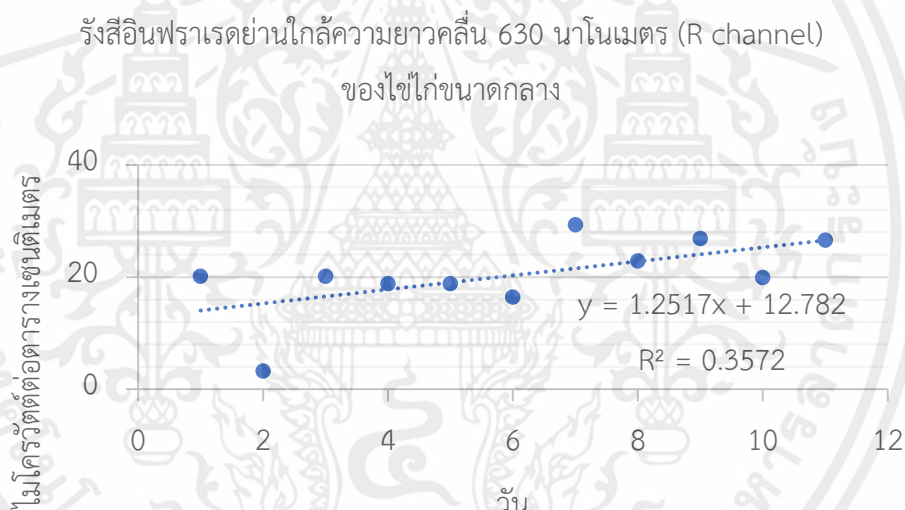
4.9 ผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีผลต่อการวัด

จากการผลการทดลองที่ผ่านมาเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีการกำหนดอุณหภูมิและความชื้นในช่วงที่คงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นว่ามีผลอย่างไรกับการวัด โดยมีการทดลองนอกห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าในห้องปฏิบัติการ โดยมีตารางที่ แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ได้จากการวัดของไขไก่ขนาดกลาง ผลจากการทดลองถึงผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นเป็นไปดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เมื่อทำการวัดนอกห้องปฏิบัติการของไขไก่ขนาดกลาง

| วัน/เดือน/ปี | R channel | S channel | T channel | U channel | V channel | W channel |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 13/04/2564 | 18.83 | 67.9 | 72.03 | 91.19 | 109.33 | 97.42 |
| 15/04/2564 | 18.824 | 58.926 | 67.75 | 82.788 | 102.666 | 87.564 |
| 18/04/2564 | 16.406 | 46.44 | 54.472 | 67.42 | 84.148 | 72.408 |
| 20/04/2564 | 29.316 | 80.61 | 92.96 | 115.166 | 143.482 | 126.772 |
| 22/04/2564 | 22.86 | 63.964 | 74.73 | 91.804 | 114.744 | 99.588 |

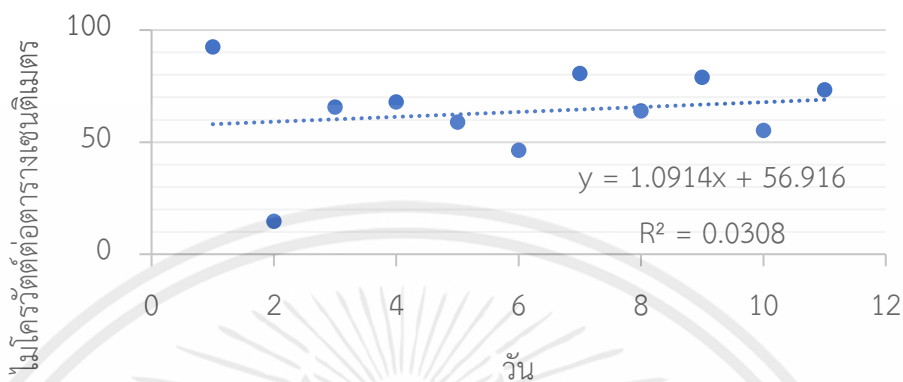
| วัน/เดือน/ปี | R channel | S channel | T channel | U channel | V channel | W channel |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 24/04/2564 | 26.892 | 78.854 | 90.036 | 111.068 | 138.69 | 123.514 |
| 27/04/2564 | 19.902 | 55.2 | 63.472 | 84.836 | 103.708 | 93.816 |
| 29/04/2564 | 26.624 | 73.382 | 87.558 | 112.912 | 141.606 | 120.04 |



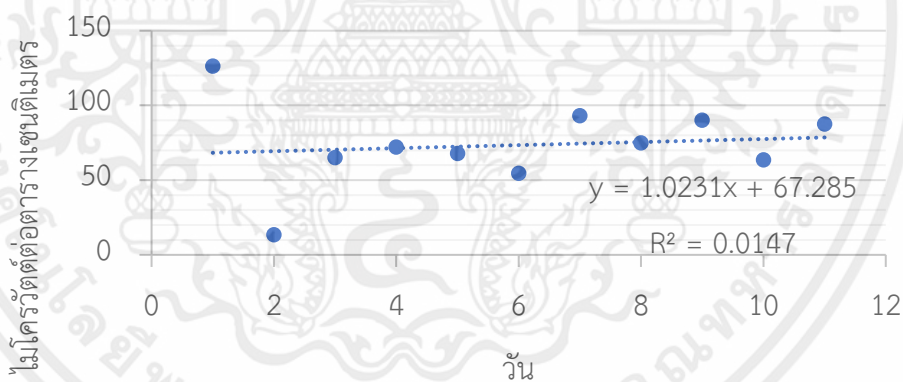
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

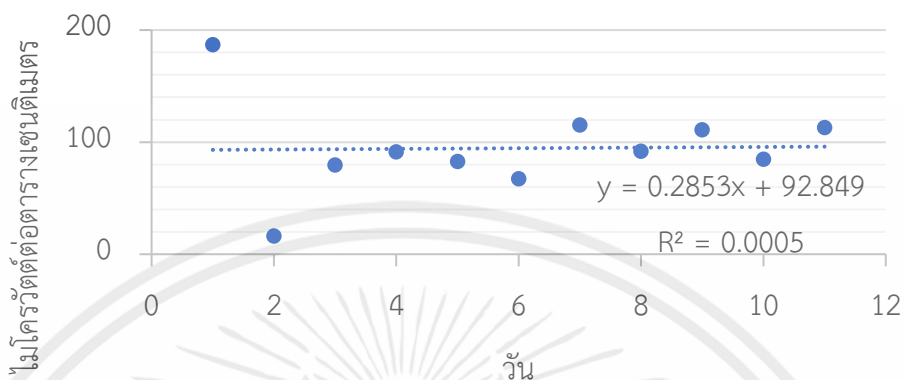
รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง



รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร (T channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง

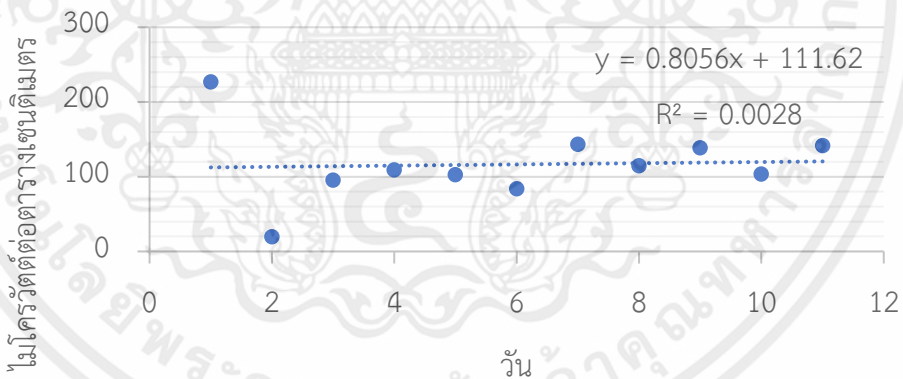


รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร (U channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง

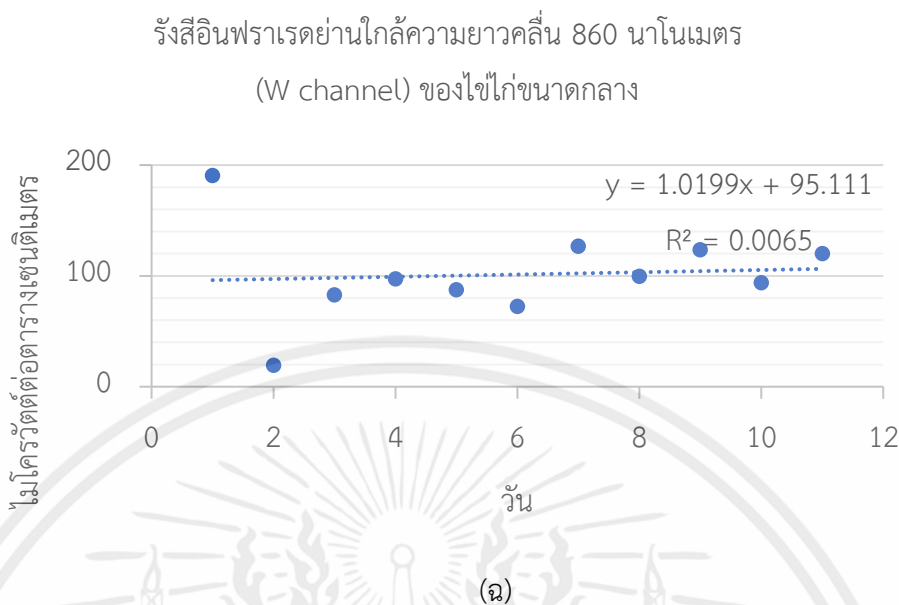


(ง)

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ความยาวคลื่น 810 นาโนเมตร (V channel)
ของไขไก่ขนาดกลาง



(จ)



รูปที่ 4.8 แสดงเส้นกราฟของปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กรณีทำการวัดนอกห้องปฏิบัติการของไขไก่ขนาดกลาง

- (ก) R channel
- (ข) S channel
- (ค) T channel
- (ง) U channel
- (จ) V channel
- (ฉ) W channel

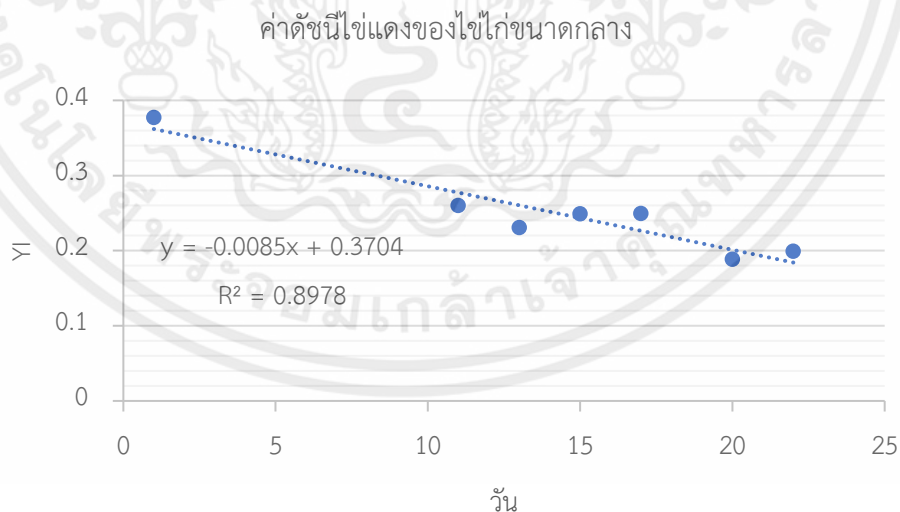
จากการนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกับเวลา ในการทดลองของไขไก่ขนาดกลางกรณีที่ทำการศึกษาวัดภายนอกห้องปฏิบัติการ ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าภายในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปได้ตั้งนี้ว่าค่าของปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่วัดได้ของทุกช่วงความยาวคลื่นนั้น ให้ค่าที่สูงกว่ากรณีวัดในห้องปฏิบัติการอย่างชัดเจน แต่ลักษณะของเส้นกราฟนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน คือไม่สามารถสรุปได้ว่ามีแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงหรือแปรผกผันได้ ซึ่งแตกต่างจากกรณีการวัดภายในห้องปฏิบัติการ ที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกันระหว่างปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดและช่วงเวลาในการทดลอง

4.10 การนำเสนอค่าดัชนีไข่แดง (Yolk Index)

ค่าดัชนีไข่แดงเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่ โดยมีสูตรในการคำนวณตามสมการที่ 3.1 ในบทที่ 3 ค่าดัชนีไข่แดงที่ได้จากการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าดัชนีไข่แดงของไข่ทั้งสามประเภท

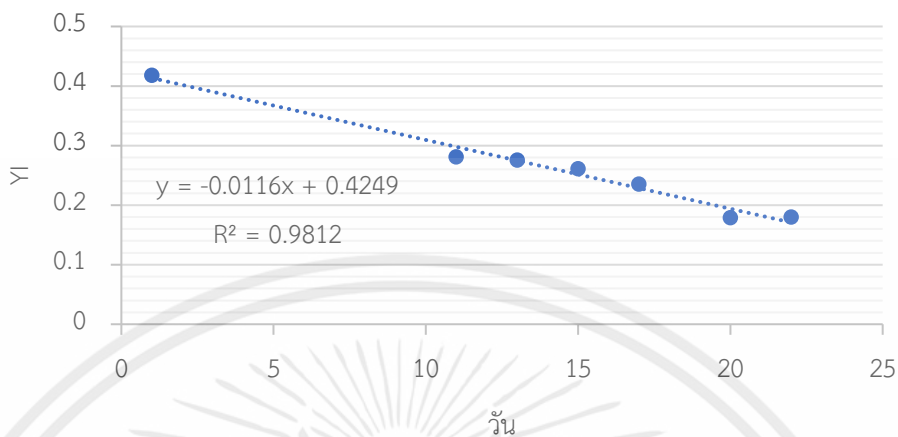
| วัน/เดือน/ปี | ค่าดัชนีไข่แดงของไข่ ไก่ขนาดกลาง | ค่าดัชนีไข่แดงของไข่ ไก่ขนาดใหญ่ | ค่าดัชนีไข่แดงของไข่ ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 08/04/2564 | 0.377455 | 0.418224 | 0.440047 |
| 18/04/2564 | 0.260094 | 0.28125 | 0.273495 |
| 20/04/2564 | 0.23073 | 0.275789 | 0.286255 |
| 22/04/2564 | 0.249239 | 0.261175 | 0.27728 |
| 24/04/2564 | 0.249337 | 0.235354 | 0.221997 |
| 27/04/2564 | 0.188688 | 0.179098 | 0.183577 |
| 29/04/2564 | 0.199362 | 0.179851 | 0.200773 |



(ก)

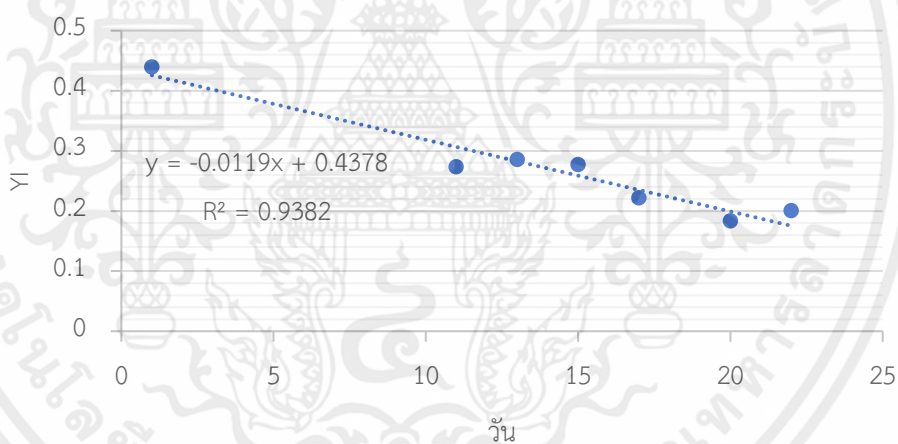
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดัชนีชี้แจงของไข่ไก่ขนาดใหญ่



(ข)

ค่าดัชนีชี้แจงของไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ



(ค)

รูปที่ 4.9 ค่าดัชนีชี้แจงของไข่ทั้งสามประเภท

- (ก) ไข่ไก่ขนาดกลาง
- (ข) ไข่ไก่ขนาดใหญ่
- (ค) ไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

จากรูปที่ 4.9 ที่แสดงข้อมูลเป็นเส้นกราฟของค่าดัชนีไข่แดงของไข่ทั้งสามประเภท จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าดัชนีไข่แดงที่ใช้เป็นค่าบ่งบอกถึงคุณภาพของไข่นั้นมีค่าที่ลดลงเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไปหลายวัน

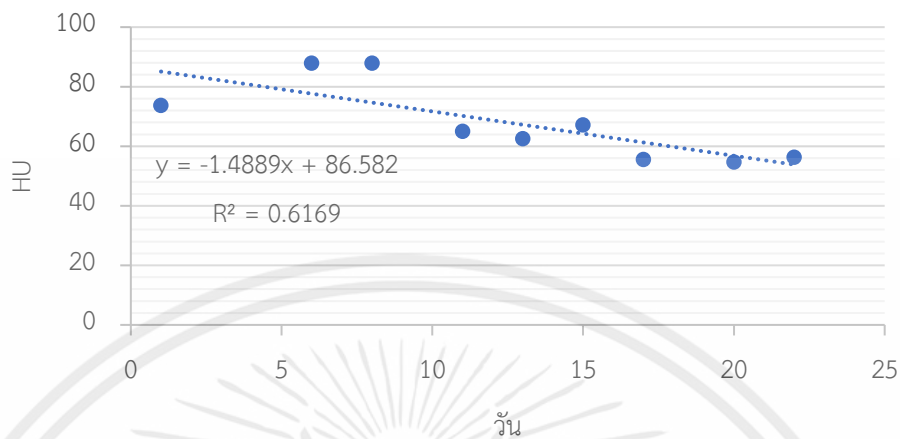
4.11 ค่า Haugh Unit

ค่า Haugh Unit เป็นอีกหนึ่งค่าที่ใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่เช่นเดียวกับค่าดัชนีไข่แดงในหัวข้อที่ 4.10 ซึ่งค่า Haugh Unit สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 ในบทที่ 3 ค่า Haugh Unit ที่ได้จากการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ทั้งสามประเภท

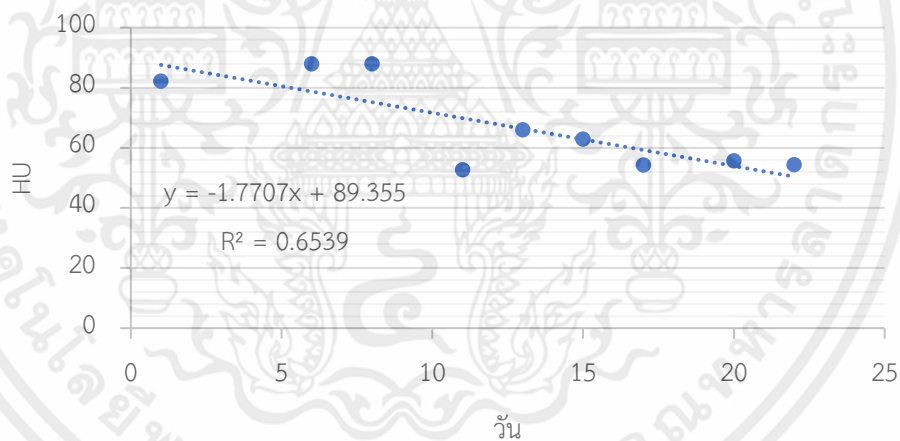
| วัน/เดือน/ปี | ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ขนาดกลาง | ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ขนาดใหญ่ | ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 08/04/2564 | 73.71214 | 82.2278 | 80.51342 |
| 13/04/2564 | 87.90959 | 87.90959 | 87.90959 |
| 15/04/2564 | 87.90959 | 87.90959 | 87.90959 |
| 18/04/2564 | 65.02342 | 52.6661 | 60.26228 |
| 20/04/2564 | 62.56832 | 65.97795 | 63.02578 |
| 22/04/2564 | 67.20874 | 62.94475 | 62.2004 |
| 24/04/2564 | 55.61914 | 54.33627 | 58.00999 |
| 27/04/2564 | 54.73448 | 55.75246 | 50.23374 |
| 29/04/2564 | 56.29839 | 54.38174 | 51.29845 |

ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ขนาดกลาง



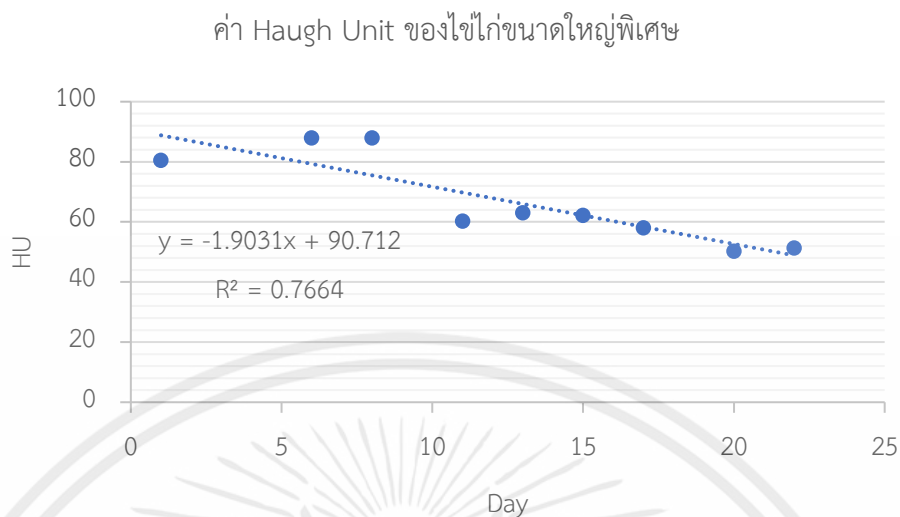
(ก)

ค่า Haugh Unit ของไข่ไก่ขนาดใหญ่



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.10 ค่า Haugh Unit ของไข่ทั้งสามประเภท

(ก) ไข่ไก่ขนาดกลาง

(ข) ไข่ไก่ขนาดใหญ่

(ค) ไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

จากการนำเสนอข้อมูลด้วยเส้นกราฟของรูปที่ 4.10 ที่แสดงค่า Haugh Unit ของไข่ทั้งสามประเภท จึงสามารถสรุปได้ว่าค่า Haugh Unit ซึ่งใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่นั้นมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไปหลายวัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของไข่ไก่ที่เปลี่ยนไปภายในระยะเวลาการทดลองด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing) ซึ่งตารางสรุปผลการทดลองที่ 5.1 จะอ้างอิงจากผลการทดลองที่ทดสอบด้วยรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตรหรือ S channel เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination : R^2) สูงที่สุดของทุกช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 0.6324 0.6323 และ 0.6709 ของไข่ไก่ขนาดกลาง ไข่ไก่ขนาดใหญ่ และไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษตามลำดับ จึงสามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการทดลองได้ กล่าวคือปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) มีความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นกับช่วงเวลาในการทดลอง ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลองเมื่อใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (S channel) ของไข่ขนาดกลาง

| ช่วงเวลาในการทดลอง | ปริมาณความเข้มของรังสี $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ | ร้อยละความผิดพลาด | ช่วงค่าดัชนีไข่แดง | ช่วงค่า Haugh Unit |
|--------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------|
| 6-10 วัน | 39.563-48.1846 | 0.65 | 0.2854-0.3194 | 71.693-77.6486 |
| 11-15 วัน | 28.786-37.4076 | 0.51 | 0.2429-0.2769 | 64.2485-70.2014 |
| 16-20 วัน | 18.009-26.6306 | 0.93 | 0.2004-0.2344 | 56.804-62.7596 |
| 21 วันขึ้นไป | ต่ำกว่า 15.8536 | 1.92 | ต่ำกว่า 0.1919 | ต่ำกว่า 55.3151 |

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้เมื่อช่วงเวลาในการทดลองมากขึ้น ค่าปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรด ค่าดัชนีไข่แดง และค่า Haugh Unit จะมีค่าที่ลดลงตาม ซึ่งทั้งค่าทั้งสามที่เป็นตัวแปรตามจะมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันตรง กล่าวคือเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณความเข้มของรังสีมีค่าลดลง จะสามารถคาดคะเนล่วงหน้าได้ว่าไข่ที่ใช้ทดลองไปนี้มีคุณภาพลดลงตามไปด้วย เนื่องจากค่า

ดัชนีชี้แจงและค่า Haugh Unit มีค่าลดลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้มีแนวโน้มเดียวกันกับทั้งไข่ไก่ขนาดใหญ่และไข่ไก่ขนาดใหญ่พิเศษ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเพื่อศึกษาถึงคุณภาพของไข่ไก่ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้น ผลจากการทดลองและการสรุปผลการทดลองนั้น เป็นค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการทดลองที่มีการกำหนดอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมและแทบจะคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อทำการทดลองนอกห้องปฏิบัติการจะให้ผลการทดลองที่แตกต่างไปออกไป ดังนั้นถ้าต้องการปรับปรุงอุปกรณ์การวัดให้เหมาะสมกับทุกสภาพการใช้งานจริง จะต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นเป็นสำคัญด้วย เนื่องจากสองปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการระเหยของน้ำในไข่ไก่ทำให้คุณภาพของไข่ไก่ลดลง ดังนั้นเพื่อให้การวัดยังคงให้ผลที่ใกล้เคียงเดิมจึงมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือวัดให้สามารถใช้งานได้หลากหลายสภาวะ



บรรณานุกรม

- [1] กฤติพิพัฒน์ รัตนนาวิณกุล. 2563. “การรักษาเสถียรภาพราคาไข่ไก่ในประเทศไทย.” [Online]. Available: <http://extension.dld.go.th/th1/images/stories/63.pdf> (สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2564)
- [2] กานดา ล้อแก้วมณี และกชพรรณ สีตารักษ์. 2561. “ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพไข่ไก่อินทรีย์ในสภาพอุณหภูมิตู้เย็น.” [Online]. Available: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/159800> (สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2564)
- [3] รัชนี ตันตะพานิชกุล. 2547. “ไข่และผลิตภัณฑ์ไข่.” [Online]. Available: [http://old-book.ru.ac.th/e-book/c/CM480\(48\)/CM480-8.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/c/CM480(48)/CM480-8.pdf) (สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564)
- [4] กานดา ล้อแก้วมณี. ธันวาคม 2562. “รอบรู้เรื่องไข่ไก่.” [Online]. Available: <https://bit.ly/2RUShs3> (สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564)
- [5] กานดา ล้อแก้วมณี. มกราคม 2558. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของไข่.” [Online]. Available: <https://bit.ly/3hYTh9f> (สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564)
- [6] ขวัญกมล คงแก้ว. 2562. “ผลของสายพันธุ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของไข่ไก่.” [Online]. Available: <https://bit.ly/3fWbgdl> (สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564)
- [7] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. “มาตรฐานสินค้าเกษตร ไข่ไก่.” [Online]. Available: https://www.acfs.go.th/standard/download/hen_egg.pdf (สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2564)
- [8] กันต์ฤทัย ไหลหลั่ง. 2561. “ผลของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพภายในของไข่ไก่.” [Online]. <https://bit.ly/3vLhGD2> (สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564)
- [9] ดร.ศิวะ พงศ์พิพัฒน์. กันยายน 2539. “เทคโนโลยีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายกับการพัฒนาอุตสาหกรรมใน ประเทศไทย.” [Online]. Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/248_53-57.pdf (สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2564)
- [10] อรุณรัตน์ สันฐิติกวิณสกุล. 2563. “สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์.” [Online]. Available: <https://bit.ly/3i2gpnf> (สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2564)
- [11] วารุณี ยงสกุลโรจน์. “สเปกโทรสโกปี.” [Online]. Available: [http://old-book.ru.ac.th/e-book/c/CM222\(CH222\)/CM222\(CH222\)-2.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/c/CM222(CH222)/CM222(CH222)-2.pdf) (สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2564)

- [12] Saman Abdanan Mehdizadeh, Saeid Minaei, Nigel H. Hancock and Mohamed Amir Karimi Torshizi, 2014. **“An intelligent for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy.”** Information processing in agriculture 1: 105-114, (สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2564)
- [13] F.R. BAMELIS, B. DE KETELAERE, B.J. KEMPS, K. MERTENS, E.M DECUYPERE and J.G. DE BAERDEMAEKER. 2006. **“Noninvasive methods for egg quality evaluation.”** [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228820799_Non_invasive_methods_for_egg_quality_evaluation (สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2564)
- [14] Mohammad Aboonajmi and Hamideh Faridi. February 2016. **“Nondestructive quality assessment of Agro-food products.”** [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/308657173_Nondestructive_quality_assessment_of_Agrofood_products (สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2564)
- [15] Liang Qi, Mao Cheng Zhao, Zhong Li, De Hong Shen¹, and Jun Lu, **“Nondestructive testing technology for raw eggs freshness: a review.”** [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-2906-x>, May 2020 (สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2564)

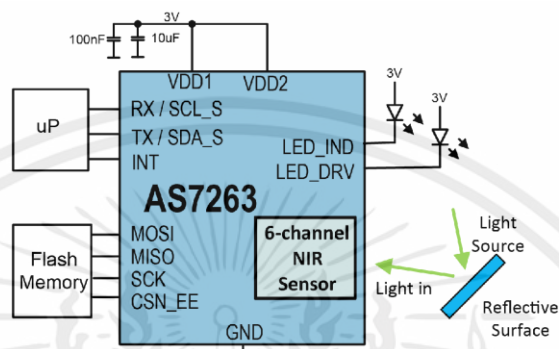


ภาคผนวก ก
(Specification ของอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification ของอุปกรณ์

1. AS7263 6-Ch NIR Spectral Sensing Engine



Specification

| | |
|--------------------|---|
| ชนิดเซนเซอร์ | 6-channel near IR interference 600-870 นาโนเมตร |
| I/O | I ² C master or UART (mode configurable) |
| แพ็คเกจ | 20-pin LGA with aperture |
| ขนาด | 4.5 x 4.7 x 2.5 มิลลิเมตร |
| Supply Voltage [V] | 2.7 to 3.6 โวลต์ |
| ย่านอุณหภูมิ [°C] | -40 to +85 องศาเซลเซียส |

2. Arduino UNO R3



Specification

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Microcontroller | ATmega328P |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12 V |
| Input Voltage (limit) | 6-20 V |
| Digital I/O Pins | 14 (of which 6 provide PWM output) |
| PWM Digital I/O Pins | 6 |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 32 KB (0.5 KB used by bootloader) |
| SRAM | 2 KB |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328P) |
| Clock Speed | 16 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

(การใช้งานอุปกรณ์การทดลอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานอุปกรณ์การทดลอง

1. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB Type-A
2. เปิดโปรแกรม Arduino IDE และ Microsoft Excel
3. สำหรับโปรแกรม Arduino IDE ให้เขียนโปรแกรมดังรูปด้านล่าง จากนั้นทำการคอมไพล์และอัปโหลดลงบอร์ดเป็นขั้นตอนถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม การเขียนโปรแกรมใน Arduino IDE

```
#include "AS726X.h"
AS726X sensor;
void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);
  sensor.begin();
}
void loop() {
  sensor.takeMeasurements();
  if (sensor.getVersion() == SENSORTYPE_AS7263)
  {
    Serial.print(sensor.getCalibratedR(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedS(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedT(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedU(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedV(), 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensor.getCalibratedW(), 2);
    Serial.print(",");
  }
  Serial.print(sensor.getTemperatureF(), 1);
  delay(1000);
  Serial.println();
}
```

4. สำหรับโปรแกรม Microsoft Excel ให้เลือกแถบสตีมเมอร์ข้อมูล (Data steamer) จากนั้นเลือกพอร์ตการเชื่อมต่อให้ตรงกับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออยู่ เลือกอัตราการรับส่งข้อมูลให้เท่ากันทั้งของไมโครคอนโทรลเลอร์และสตีมเมอร์ข้อมูลที่ 115200 หน้าจอจะแสดงตารางการรับข้อมูลดังรูปด้านล่าง

| ข้อมูลเข้า (จาก USB-SERIAL CH340 (COM4)) | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|------|
| TIME | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 |
| 14:49:03.84 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 93.2 | | | |
| ข้อมูลปัจจุบัน | | | | | | | | | | |
| TIME | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 |
| 14:48:50.12 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:51.64 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:53.17 | 2.69 | 12.05 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:54.69 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:56.22 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:57.74 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:48:59.27 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:49:00.79 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:49:02.31 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 95 | | | |
| 14:49:03.84 | 4.03 | 13.14 | 18.01 | 23.57 | 34.36 | 30.07 | 93.2 | | | |

5. วางไข่ที่ซึ่งน้ำหนักและบันทึกค่าแล้วบนฐานที่ใช้สำหรับการวัด ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดจะเป็นปริมาณความเข้มของรังสีที่สะท้อนกลับมาจากไข่ของทั้ง 6 channel โดยค่าทั้ง 6 ค่าจะแสดงผลอยู่ที่สตีมเมอร์ข้อมูลใน Microsoft Excel โดยมีการหน่วงเวลาการแสดงผลอยู่ที่ 1 วินาที
6. นำไข่ที่ผ่านการวัดแล้วทำการตกลงบนจานแบน จากนั้นใช้เวอเนียร์คาลิเปอร์วัดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ความสูงของไข่แดง ความกว้างของไข่แดง และความสูงของไข่ขาว เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีไข่แดงและค่า Haugh Unit ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่ได้
7. ทำการทดลองซ้ำกับไข่ที่มีขนาดแตกต่างกันและทดลองซ้ำติดต่อกันเป็นเวลา 22 วัน แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดมาใช้วิธีทางสถิติเพื่อแสดงผลเป็นเส้นกราฟ ต่อจากนั้นทำการสรุปผลการทดลองถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของแต่ละช่วงความยาวคลื่นนั้น มีความสัมพันธ์อย่างไรกับค่าคุณภาพของไข่ไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้