วารสารเกษตรนเรศวร
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

บทความวิจัย

การประเมินอายุการเก็บรักษาจากปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดของกุ้งขาวแช่เย็น

ชญาณิศ ศรีงาม[1] สนธยา นุ่มท้วม[2] และ เสาวลักษณ์ รุ่งแจ้ง[1*]

[1]ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
*Corresponding author: saowalukr@nu.ac.th
(Received ; Revised ; Accepted)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส สร้างแบบจำลองทำนายอายุการเก็บรักษาด้วยปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ (Kinetic reaction) ร่วมกับการใช้สมการของอาร์รีเนียส (Arrhenius equation) จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาจลนศาสตร์อันดับ 1 มีค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) เท่ากับ 57.78 kJ/mol และค่าแฟกเตอร์ความถี่เท่ากับ3.67 x 108 และสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาได้ 14 12 9 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

คำสำคัญ: กุ้งขาว, สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด, การประเมินอายุการเก็บรักษา, สมการอาร์รีเนียส

NARESUAN AGRICULTURE JOURNAL
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

Research Article

Shelf-life Evaluation from Total Volatile Basic Nitrogen of Chilled White Shrimp

Chayanid Sringarm [1] Sonthaya Numthuam [2] and Saowaluk Rungchang[1*]

[1]Department of Agro Industry, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
[2]Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
*Corresponding author: saowalukr@nu.ac.th
(Received ; Revised ; Accepted)

Abstract

The objective of this study was to evaluate the shelf-life of chilled white shrimps at various storage temperatures; 2, 4, 7 and 10 °C. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) content was modelled from the kinetic reaction combined with Arrhenius equation to predict the shelf-life of chilled shrimps. The results showed that TVB-N values increased with storage time and were modelled with apparent first order equations. The temperature dependence of quality deterioration was adequately modelled by the Arrhenius equation and activation energy was 57.78 kJ/mol with a frequency factor of 3.67 x 108 at various temperatures. Arrhenius equations showed that the shelf life of chilled shrimps stored at 2, 4, 7 and 10 °C was estimated as 14, 12, 9 and 7 days, respectively.

Keywords: White shrimp, Total volatile basic nitrogen, Shelf-life evaluation, Arrhenius equation

บทนำ

ในปี 2561 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งแช่เยือกแข็งและผลิตภัณฑ์กุ้งไปยังทวีปต่าง ๆ เช่น อเมริกา ยุโรป และเอเชีย ประเทศไทยมีการส่งผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งและผลิตภัณฑ์กุ้งจำนวนมากกว่า 200,000 ตัน คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 50,000 ล้านบาทต่อปี (Fisheries, 2019) กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) มีความสำคัญทางการค้าในประเทศไทยอย่างมาก (Nirmal & Benjakul, 2011) การบริโภคของคนส่วนใหญ่นิยมบริโภคกุ้งที่สด สะอาด มีลักษณะที่น่ารับประทาน ทำให้อุตสาหกรรมกุ้งไทยต้องมีการคำนึงถึงคุณภาพการเสื่อมเสียของกุ้ง ตั้งแต่กระบวนการจับกุ้ง การขนส่ง จนกระทั่งเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อแปรรูป ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละขั้นตอนมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกุ้งตลอดเวลาขึ้นกับสภาพแวดล้อมการดูแล และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันไป ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์และอัตราการเสื่อมเสียช้าเร็วต่างกันขึ้นอยู่กับการทำงานของจุลินทรีย์และเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของกุ้ง และมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาของกุ้งเปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงยากในการกำหนดคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งในแต่ละขั้นตอน

ความสดเป็นตัวบ่งชี้พื้นฐานในการประเมินคุณภาพและความปลอดภัยของกุ้ง (Huang et al., 2015) โดยในระหว่างการเก็บรักษากุ้งมักจะเน่าเสียได้ง่ายเนื่องจากแบคทีเรียปนเปื้อนเข้าไปในกุ้งและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเสื่อมเสีย นอกจากนี้ยังเกิดจากการย่อยสลายตัวเอง (Autolysis) และการรวมตัวกับออกซิเจนของไขมันเกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen, TVB-N) เช่น สารเอมีน แอมโมเนีย ไตรเมทธิลเอมีน ส่งผลให้กุ้งมีกลิ่นรสเปลี่ยนไป โดยระดับการยอมรับของผู้บริโภคต่อค่า TVB-N สำหรับกุ้งสดที่ยอมรับได้ต้องมีปริมาณ TVB-N น้อยกว่า 12 mg N / 100 g กุ้งที่ยอมรับในการบริโภคได้แต่ย่อยสลายเล็กน้อยมีปริมาณ TVB-N 12-20 mg N / 100 g กุ้งเริ่มเน่าแต่บริโภคได้มีปริมาณ TVB-N 20-25 mg N / 100 g และกุ้งเน่าเสียไม่สามารถบริโภคได้มีปริมาณ TVB-N มากกว่า 25 mg N / 100 g (Okpala et al., 2014) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2 ถึง 10 องศาเซลเซียสซึ่งสามารถใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวจากค่าปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดที่อยู่ระหว่างกระบวนการจับกุ้ง การวางขายตามท้องตลาด การขนส่งจนกระทั่งเข้าสู่การแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

กุ้งขาวขนาด 70-80 ตัว/กิโลกรัม จากร้าน เอ็นพี ซีฟู้ด ในจังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย บรรจุในกล่องโฟมที่อุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียสโดยน้ำแข็ง ใช้ระยะเวลาเดินทางจากร้านมายังห้องปฏิบัติการ 30 นาที จากนั้นทำการปอกเปลือกและนำหางกุ้งออกและบรรจุกุ้ง 15 ตัวใส่ในถุงซิป ล็อกขนาด 12x17 เซนติเมตร ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 86 ตัวอย่าง ควบคุมอุณหภูมิการเก็บที่ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส

1. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile based nitrogen, TVB-N) โดยใช้วิธีคอนเวย์ (Conway microdiffusion method) (Okpala et al., 2014)

นำตัวอย่างกุ้งสับชั่ง 2 กรัม เติมสารละลาย Trichloroacetic acid ความเข้มข้น 4% ปริมาณ 8 มิลลิลิตร ผสมด้วยเครื่อง Vortex ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง No.1 จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในวงกลมชั้นนอกของจานคอนเวย์ เติมกรดบอริกเข้มข้น ร้อยละ 1

ซึ่งประกอบด้วย อินดิเคเตอร์ (โบรโมครีซอลกรีน และเมทิลเรด) หรือเรียกว่า Inner ring solution 1 มิลลิลิตร ลงในวงกลมชั้นในของจานคอนเวย์ และดูดสารละลาย K2CO3 อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร ลงในวงกลมชั้นนอกของจานคอนเวย์ ปิดฝาจานคอนเวย์ให้สนิท หมุนจานคอนเวย์เบาๆ ให้ K2CO3 ผสมกับสารละลายตัวอย่าง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที เพื่อให้สารระเหยได้ทั้งหมดได้ปลดปล่อยออกมาในสภาวะที่เป็นด่าง และทำปฏิกิริยากับกรดบอริกเกิดเป็นเกลือของกรดบอริกจะได้เป็นสีเขียว เมื่อครบเวลาแล้ว เปิดฝาจานคอนเวย์แล้วไตเตรทที่วงกลมชั้นในด้วยสารละลาย Hydrochloric acid เข้มข้น 2 นอร์มอล จนกระทั่ง สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีชมพู โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จดบันทึกปริมาตร Hydrochloric acid ไว้เพื่อคำนวณการทำ Blank โดยใช้สารละลาย Trichloroacetic acid เข้มข้น 4% จำนวน 1 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง โดยคำนวณปริมาณ TVB-N ดังนี้

TVB-N (mgN/100g)= (N)(14)(A-B)(V)(100)/น้ำหนักตัวอย่าง (1)

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มอล)

A คือ ปริมาตรของ Hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของ Hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

V คือ ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย Trichloroacetic acid ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2. การประเมินอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นอุณหภูมิ 2 ถึง 10 องศาเซลเซียส คำนวณจากปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ (Kinetic reaction) ร่วมกับการใช้สมการอาร์รีเนียส (Arrhenius equation) โดยหาอัตราการเสื่อมเสียตามสมการปฏิกิริยาจลนศาสตร์ คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยทั้งหมด (TVB-N) ที่เวลาต่างๆ ดังสมการ (2) และหาความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิ โดยสมการอาร์รีเนียส ดังสมการ (3) Kiratinart et al. (2010)

$$\frac{d\,(TVB-N)}{d\,t} = k\,(TVB-N)^n \quad (2)$$

เมื่อ k หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate constant)

n หมายถึง อันดับปฏิกิริยา

t หมายถึง เวลา

$$k = A \cdot e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (3)$$

เมื่อ A หมายถึง แฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor)

Ea หมายถึง พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (Activation energy) (kJ/mol)

R หมายถึง ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/K mol)

T หมายถึง อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$$\ln A_b = kt + \ln A_0 \quad (4)$$

เมื่อ Ab หมายถึง ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยทั้งหมด

A0 หมายถึง ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยทั้งหมดเริ่มต้น (ที่ t=0)

k หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate constant)

T หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษา

ผลและวิจารณ์

การทดลองนี้ศึกษาการเสื่อมเสียคุณภาพของกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส ตลอดอายุการเก็บรักษาพิจารณาการเสื่อมเสียจากปริมาณ TVB-N สร้างสมการทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ถึง 10 องศาเซลเซียส คำนวณจากปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ ร่วมกับการใช้สมการอาร์รีเนียส เพื่อใช้ในการคำนวณอายุการเก็บรักษาของกุ้งที่อุณหภูมิ 2 ถึง 10 องศาเซลเซียส

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยทั้งหมด (TVB-N)

กุ้งที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณ TVB-N เริ่มต้น 6.0 mg/100 g ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tsironi et al., (2009) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ปริมาณ TVB-N เริ่มต้นเท่ากับ 6.49 mg/100 g และ Baka et al., (2018) รายงานว่าปริมาณ TVB-N ของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในระยะเวลา 2 วัน มีปริมาณ TVB-N เริ่มต้น อยู่ในช่วง 3.6 ถึง 4.6 mg/100 g และ Don and Xavier., (2018) และ Yuan et al., (2012) มีปริมาณ TVB-N เริ่มต้น 7.2 และ 7.9 mg/100 g ตามลำดับ โดยปริมาณ TVB-N ที่ยอมรับได้ของกุ้งสดต้องน้อยกว่า 12 mg/100 g และกุ้งที่รับประทานได้แต่มีกลิ่นเล็กน้อยอยู่ในช่วง 20-25 mg/100 g และปริมาณ TVB-N ที่มากกว่า 25 mg/100 g เป็นค่าที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ Okpale et al., (2014) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้การบ่งบอกคุณภาพของกุ้งสดที่ผู้บริโภคยอมรับได้จะมีค่า TVB-N ต่ำกว่า 25 mg/100 g Benjakul., (2011) จาก Figure 1 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษากุ้งขาวนานขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณ TVB-N จะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาการสลายตัว (Autolysis) และการทำงานของเอนไซม์จุลินทรีย์ (สุทธวัฒน์, 2554)

2. การประเมินอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยสมการอาร์รีเนียส

จากการเสื่อมเสียของกุ้งในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้ปริมาณ TVB-N สูงขึ้น โดยการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานี้จัดเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 ตามหลักปฏิกิริยาจลนศาสตร์ เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln TVB-N กับระยะเวลาการเก็บรักษา (t) มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและสามารถใช้ทำนายระดับการเสื่อมเสียที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิได้ในการทำนายอายุการเก็บรักษา โดยมีความชันของกราฟเป็นค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate constant, k) ซึ่งค่า k ของแต่ละตัวอย่างที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ แสดงใน Figure 2 และค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการเสื่อมเสียที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเน่าเสียของกุ้งเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้น

Table 1 Reaction rate of TVB-N content of shrimp at 2, 4, 7 and 10 °C.

Sample	Reaction rate constant			
	2 °C	4 °C	7 °C	10 °C
TVB-N	0.0039	0.0045	0.0065	0.0077

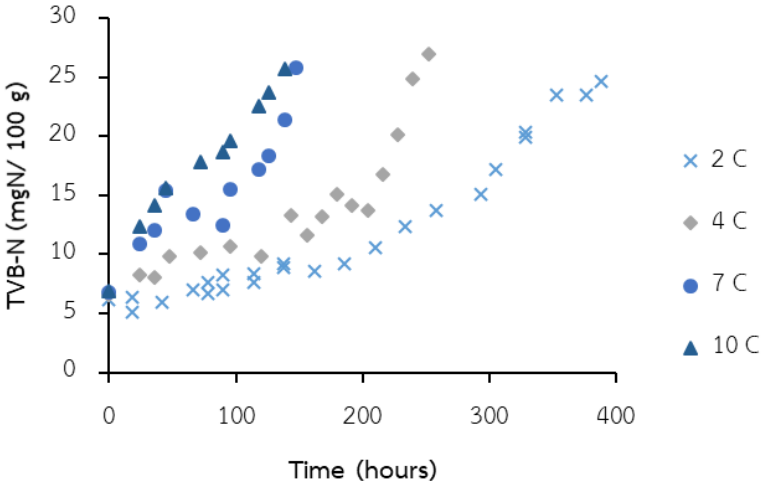

Figure 1 Change in TVB-N of white shrimp during storage at 2, 4, 7 and 10 °C.

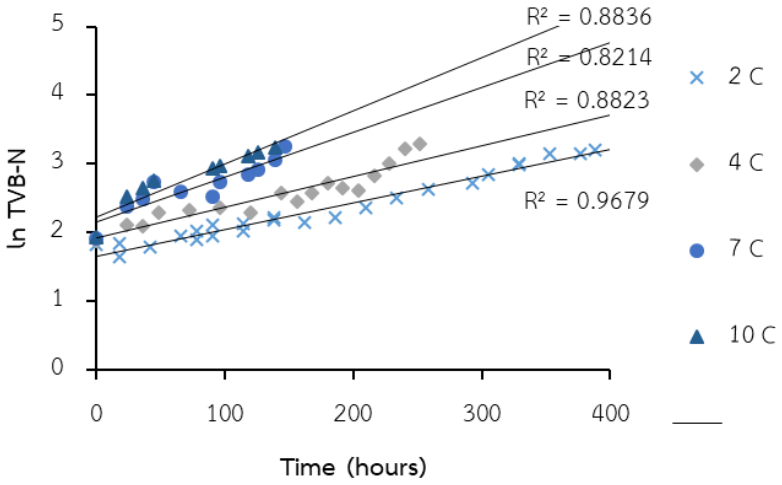

Figure 2 Correlation between ln TVB-N and storage time of shrimp at 2, 4, 7 and 10 °C.

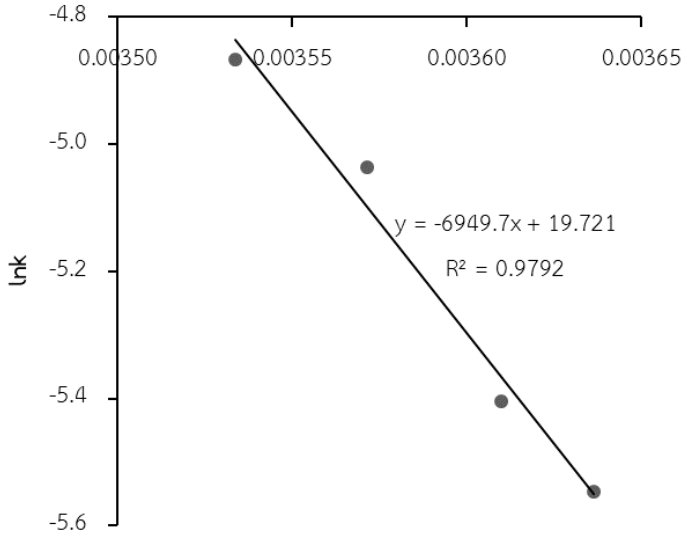

Figure 3 Effect of temperature on rates of TVB-N change of shrimp during storage at 2, 4, 7 and 10 °C.

จากสมการ (4) สามารถหาอายุการเก็บรักษาในการเสื่อมเสียของกุ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ เมื่อนำค่า k มาหาความสัมพันธ์กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (1/T) แสดงดัง Figure 3 เพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ถึง 10 องศาเซลเซียส โดยสามารถอธิบายได้ตามสมการอาร์รีเนียสดังสมการ $\mathbf{k = 3.67x10^{8} \cdot e^{-\frac{57.78}{RT}}}$ ให้ค่าพลังงานกระตุ้น เท่ากับ 57.78 kJ/mol และค่าแฟกเตอร์ความถี่ เท่ากับ 3.67 x 108 ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของกุ้งแช่เยือกแข็ง Tsironi, et al. (2009) ที่รายงานค่าพลังงานกระตุ้นของกุ้งแช่แข็ง เท่ากับ 119 kJ/mol ทั้งนี้ เนื่องจากกุ้งแช่แข็งและกุ้งแช่เย็นมีอุณหภูมิในการเก็บที่สภาวะต่างกัน จากสมการอาร์รีเนียสที่ได้ของการศึกษานี้สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส ได้ 14 12 9 และ 7 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Okpala, Choo, & Dykes (2014) รายงานว่า กุ้งขาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในน้ำแข็งมีอายุการเก็บรักษา 8 วัน และ Dabade et al., (2015) ทำนายอายุการเก็บรักษากุ้งที่เก็บอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ในน้ำแข็งได้ 12 วัน และงานวิจัยของ Don, Xavier, Devi Nayak, & Kannuchamy (2018) ทำการศึกษากุ้งที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 30 4 และ 1 องศาเซลเซียส ทำนายอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวได้เป็น 10 ชั่วโมง 12 และ 16 วันตามลำดับ

สรุป

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2 4 7 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเสื่อมเสียเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 ตามปฏิกิริยาจลนศาสตร์ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์รีเนียส โดยมีค่าพลังงานกระตุ้น เท่ากับ 57.78 kJ/mol และค่าแฟกเตอร์ความถี่เท่ากับ 3.67 x 108

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการนักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัทไทยยูเนียนโฟรเซ่นซีฟู้ดส์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้ออำนวยสถานที่และการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กีรตินาฏ พูลเกษร, อนุวัตร แจ้งชัด, และ กมลวรรณ แจ้งชัด. (2551). *การประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2554). *เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ พิมพ์ครั้งที่ 2*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

Fishery Economy Group. Shrimp Product in 2018 and Trends in 2019. Fisheries Policy and Strategy Division Retrieved May 4, 2019 from https://www.fisheries.go.th/strategy/UserFiles/files/21-2-62.pdf

Zhang, B., Ma, L. K., Deng, S. G., Xie, C., & Qiu, X. H. (2015). Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. *Food Control*, 51, 114-121.

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011). Retardation of quality changes of Pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *International journal of food microbiology*, 149(3), 247-253.

Huang, L., Zhao, J., Chen, Q., & Zhang, Y. (2014). Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques. *Food chemistry*, 145, 228-236.

AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, (16th eds.). Washington D.C.

Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2009). Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 664-671.

Baka, R., Kunanopparat, T., Rungchang, S., Ditudompo, S., & Siriwattanayotin, S. (2018). Reduction of the phosphate soaking time required for shrimp products using pulsed vacuum condition. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(7), 795-802.

Dabadé, D. S., den Besten, H. M., Azokpota, P., Nout, M. R., Hounhouigan, D. J., & Zwietering, M. H. (2015). Spoilage evaluation, shelf-life prediction, and potential spoilage organisms of tropical brackish water shrimp (*Penaeus notialis*) at different storage temperatures. *Food microbiology*, 48, 8-16.

Don, S., Xavier, K. M., Devi, S. T., Nayak, B. B., & Kannuchamy, N. (2018). Identification of potential spoilage bacteria in farmed shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Application of relative rate of spoilage models in shelf life-prediction. *LWT Food science and technology*, 97, 295-301.

Yuan, G., Zhang, X., Tang, W., & Sun, H. (2016). Effect of chitosan coating combined with green tea extract on the melanosis and quality of Pacific white shrimp during storage in ice. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 35-40.

Okpala, C. O. R., Choo, W. S., & Dykes, G. A. (2014). Quality and shelf life assessment of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) freshly harvested and stored on ice. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 110-116.