

การเปรียบเทียบตัวแบบอิงพารามิเตอร์สามตัวแบบในการทำนายการลดลงของ ประชากรเชื้อก่อโรค

Comparison of Three Parametric Models for Pathogenic Population Reduction Prediction

กานต์ณัฐ ณ บางช้าง^{1*}, กมล บุซบา¹, บุญอ้อม โฉมที², ธนภฤต เตียวพงษ์พันธุ์¹

Kannat Na Bangchang^{1*}, Kamon Budsaba¹, Boonorm Chomtee², Thanakit Teawpongpan¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹Department of Mathematics and Statistics Faculty of Science and Technology Thammasat University

²ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²Department of Statistics Faculty of Science Kasetsart University

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบ 3 ตัวแบบ ได้แก่ 1) ตัวแบบเลขชี้กำลัง 2) ตัวแบบไวบูล และ 3) ตัวแบบล็อกลอจิสติก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละตัวแบบ และหาตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำตัวแบบที่ได้ไปทำนายเวลาการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หมักให้ลดลงอยู่ในระดับ 5 – log reduction โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละตัวแบบ คือ เกณฑ์ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ (Akaike's Information Criterion: AIC) ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (sum square error: SSE) จากการศึกษพบว่าตัวแบบไวบูลเป็นตัวแบบที่ดีที่สุดในการทำนายการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรค เนื่องจากจำนวนประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หมักลดลงจนถึงระดับ 5 – log reduction ในช่วง 13 ถึง 14 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าทำนายการลดลงที่ได้จากตัวแบบไวบูล คือ 13.567 ประกอบกับมีผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบไวบูลมีค่าเท่ากับ 0.103 และมีค่า AIC เท่ากับ 91.422 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าของตัวแบบเลขชี้กำลังและตัวแบบล็อกลอจิสติก

คำสำคัญ: ตัวแบบเลขชี้กำลัง ตัวแบบไวบูล ตัวแบบล็อกลอจิสติก 5 – log reduction

Abstract

The purpose of this study is to study and to compare the performance of three models: 1) Weibull model 2) Exponential model and 3) Log logistics model. The performance of each model is evaluated and compared to determine the most appropriate model for predicting

* Corresponding author : Kannat@mathstat.sci.tu.ac.th

the 5-log reduction time of pathogen population in fermented fruit juice products. The criteria are used to compare the performance of each model that contains Akaike's Information Criterion (AIC) and Sum Square Error (SSE). From the results of this study, it indicated that the Weibull model is the best predictor of decline in the pathogen population. As the pathogenic population of the orange juice product dropped to 5 - log reduction in the range of 13 to 14 days, which is in accordance with the Weibull model's 13.567 prediction value. Moreover, with the sum of the square error, the value of the is 0.103 and the AIC of -91.422 are lower than those of the Exponential and log-logistic models.

Keywords: Exponential model, Weibull model, Log-logistic model, 5 - log reduction

1. บทนำ

จุดเริ่มต้นของการหมักดอง (fermentation) มาจากภูมิปัญญาของบรรพบุรุษที่พยายามคิดค้นวิธีถนอมและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารไว้กินได้นานขึ้น โดยการหมักดองเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหารซึ่งจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะการหมักหรือการเติมสารปรุงแต่งประเภทกรดน้ำส้ม น้ำตาล เกลือ เช่น การดองเปรี้ยว การดองหวาน และการดองเค็ม ตามลำดับ วัตถุประสงค์ที่ใช้ส่วนใหญ่คือผักและผลไม้ตามฤดูกาลเนื่องจากให้ผลผลิตครั้งละมาก ๆ จนไม่สามารถบริโภคสดได้ทันก่อนการเน่าเสีย เช่น มะม่วง มะขาม องุ่น และผักกาดเขียว (Gasaluck, 2008) การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารหมักดองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัตถุดิบ (ซึ่งองค์ประกอบของสารอาหารในวัตถุดิบเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการหมักให้ได้ผลผลิตเป็นสารประกอบกลิ่นและรสชาติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน) สัดส่วนของสารปรุงแต่ง สภาพการหมักล้วนมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย (สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์, 2550) กลไกสำคัญที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารหมักดอง คือ การย่อยสลายโมเลกุลของสารประกอบในวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล ด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ขึ้นระหว่างที่มีการเจริญเติบโตในอาหารระหว่างกระบวนการหมัก ดังนั้นชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพและคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารหมักนั้น ๆ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีอยู่ในธรรมชาติของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักและเป็นชนิดที่มีความสามารถในการเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมของการหมัก เช่น ความเข้มข้นของเกลือ สภาพความเป็นกรด หรือในที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย ประกอบกับคุณสมบัติเฉพาะของจุลินทรีย์ที่สำคัญคือสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรค (*Clostridium sporogenes*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* and *Eschericia coli*) โดยการผลิตสารยับยั้ง (Inhibitory metabolites) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารถนอมอาหารจากธรรมชาติทำให้เรามั่นใจว่าอาหารประเภท หมักดองมีความปลอดภัย (สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์, 2550)

เนื่องจากอาหารหมักดองหลายชนิดนั้นอาจยังไม่ได้มาตรฐานเพราะยังขาดการควบคุมในเรื่องของความสะอาดของวัตถุดิบ ขั้นตอนการทำและภาชนะบรรจุ รวมถึงการป้องกันอาหารจากการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคซึ่งหากซื้ออาหารหมักดองที่ไม่มีการควบคุมความสะอาดมาทานอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้ โดยจากการศึกษาพบว่าเชื้อ *Escherichia coli* (*E. Coli*) ก็เป็นสาเหตุหนึ่งในการทำให้เราต้องเสียแต่โดยทั่วไปจะไม่ทำอันตรายต่อคนเรามาก แต่ก็มีสายพันธุ์หนึ่งที่ก่อให้เกิดอาการท้องเสียรุนแรงและถ่ายมีเลือดปน คือ Enterohaemorrhagic *E. coli* (EHEC) แม้ว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่ได้รับสารพิษจากเชื้ออีโคไลชนิด EHEC นี้จะสามารถหายได้เองภายใน 10 วัน แต่ผู้ป่วยบางกลุ่ม เช่น ผู้ป่วยเด็กหรือผู้ป่วยสูงอายุอาจมีอาการท้องเสียถ่ายเป็นเลือดรุนแรงจนทำให้ไตวายเฉียบพลัน โลหิตจางจากภาวะเม็ดเลือดแดงแตก และภาวะเกล็ดเลือดต่ำซึ่งส่งเสริมให้เลือดออกง่ายมากขึ้น สำหรับเด็กเล็กก็อาจมีอาการทางระบบประสาทแทรกซ้อน เช่น หลอดเลือดสมองแตก ชัก โคม่า แต่มีเพียงร้อยละ 10 ของผู้ป่วยที่ติดเชื้อ *E. coli* สายพันธุ์รุนแรงเท่านั้นที่จะมีอาการดังกล่าว (Jirasatid, 2017) ต่อมาได้พบกรณีศึกษาว่าเมื่อต้นเดือนพฤษภาคม 2554 สถาบันโรเบิร์ต คอค (Robert Koch Institute) ในประเทศเยอรมนีได้รับรายงานผู้ป่วย Hemolytic Uremic Syndrome (HUS) สาเหตุมาจากมีประวัติการรับประทานมะเขือเทศ แดงกวาและผักสลัดแก้วจำนวนหลายราย ทั้งนี้กลุ่มอาการ HUS เป็นภาวะแทรกซ้อนรุนแรงที่เกิดจากการติดเชื้อ *E. coli* ในกลุ่ม enterohaemorrhagic *E. coli* ซึ่งเป็นกลุ่มที่มักก่อให้เกิดอาการถ่ายเป็นเลือด ทั้งนี้เชื้อที่จะทำให้เกิด HUS ได้จะต้องมีความสามารถในการสร้างสารพิษ Shiga toxin หรือ verotoxin โดยนิยมเรียกเชื้อกลุ่มนี้ว่า Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) หรือ verocytotoxin producing *E. coli* (VTEC) การระบาดครั้งนี้จัดว่าเป็นการระบาดของเชื้อ *E. coli* ที่รุนแรงที่สุดครั้งหนึ่ง ทำให้มีผู้ป่วยและเสียชีวิตเป็นจำนวนมากโดยมีข้อมูล ณ วันที่ 20 มิถุนายน 2554 พบผู้ป่วย HUS และ EHEC ใน 16 ประเทศ มาจากทวีปยุโรป 13 ประเทศคือ เยอรมนี สวีเดน เดนมาร์ก เช็ก ฝรั่งเศส กรีซ ลักเซมเบิร์ก เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ โปแลนด์ สเปน สวิตเซอร์แลนด์ อังกฤษ จากทวีปอเมริกา 2 ประเทศ ได้แก่ แคนาดา และสหรัฐอเมริกา และทวีปออสเตรเลีย 1 ประเทศ คือ ออสเตรเลีย โดยเป็นผู้ป่วย HUS และ EHEC รวมทั้งหมด 3,697 ราย เสียชีวิต 40 ราย (อัตราป่วยตายร้อยละ 1.1) (Pediatric Infectious Disease Society of Thailand, 2011) โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแบบอิงพารามิเตอร์ซึ่งเป็นตัวแบบที่มีตัวแปรสัมพันธ์กับระยะเวลาซึ่งอยู่ภายใต้การแจกแจงต่าง ๆ เช่น การแจกแจงไวบูล การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง และการแจกแจงล็อกลอจิสติก เป็นต้น โดยตัวแบบอิงพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อดีคือมีรูปแบบของการแจกแจง มีฟังก์ชันการรอดชีพ และมีฟังก์ชันความเสี่ยงอย่างครบถ้วน แต่ตัวแบบอิงพารามิเตอร์นั้นเป็นตัวแบบที่ต้องมีการระบุลักษณะของฟังก์ชันความเสี่ยงพื้นฐานตามเวลาที่เปลี่ยนไป หากระบุฟังก์ชันความเสี่ยงพื้นฐานของเวลาไม่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาด จากการศึกษางานวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบตัวแบบการถดถอยค็อกซ์และตัวแบบพาราเมตริกสำหรับการรอดชีพของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลือง 1-3 ต่อมน (Thongphet et al., 2019) ซึ่งศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวแบบการถดถอยค็อกซ์และตัวแบบอิงพารามิเตอร์ภายใต้การแจกแจงไวบูล และการแจกแจงล็อกลอจิสติกและเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวแบบ คือ เกณฑ์การ

คัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ (Akaike's Information Criterion: AIC) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวแบบไวบูลล์ ตัวแบบเลขชี้กำลัง และตัวแบบล็อกลอจิสติก เนื่องจากเป็นตัวแบบอิงพารามิเตอร์และมีตัวแปรสุ่มเกี่ยวข้องกับระยะเวลา และเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวแบบ คือ ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน และเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ (ดูลิต ชัยประสิทธิ์กุล, 2560) เพื่อตอบคำถามว่าอาหารประเภทนี้ยังปลอดภัยและสามารถรับประทานได้อยู่หรือไม่ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาเรื่องการทำนายเวลาการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรค โดยมีกรณีศึกษา คือ ผักกาดต้องเปรี้ยวโดยใช้ตัวแบบไวบูลล์มาช่วยทำนายเวลาที่จำนวนเชื้อก่อโรคลดลงจนถึงระดับ $5 - \log$ reduction กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดจำนวนเชื้อก่อโรคให้ลดลงถึงร้อยละ 99.999 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตแก่ผู้ผลิตอาหารประเภทนี้ และยังเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคที่จะทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าอาหารประเภทนี้สะอาดและสามารถรับประทานได้แม้ว่าจะไม่ได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนก็ตาม

2. ขอบเขตการวิจัย

ด้านข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบรวบรวมจากแหล่งทุติยภูมิของห้องทดลองของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) เป็นข้อมูลปริมาณเชื้อก่อโรคมิหน่วยเป็น CFU/ml โดยทำการวัดทุก 24 ชั่วโมง หลังจากใส่เชื้อตั้งต้นลงไปและมีขอบเขตในการวัดสูงสุด 6 วัน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดหรือค่า pH เท่ากับ 3.8

ด้านตัวแบบและวิธีการที่ใช้

(1) การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Probability Distribution) ซึ่งเป็นการแจกแจงของช่วงเวลาที่รอจนกระทั่งเกิดผลที่เราสนใจหรือผลสำเร็จเป็นครั้งแรก (หรือช่วงเวลาที่รอต่อครั้ง) ในการแจกแจงปัวซอง ที่มีพารามิเตอร์ β ($\beta > 0$) เมื่อ β คือค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่เกิดผลที่เราสนใจหรือความสำเร็จที่เกิดในช่วงเวลา 1 หน่วยและกำหนดให้ $\alpha = \frac{1}{\beta}$ โดยเขียนแทนด้วย $T \sim \text{Exp}(\alpha)$ และมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น คือ $f(t) = \alpha e^{-\alpha t}$ โดยที่ $\alpha > 0$ และมีฟังก์ชันการรอดชีพ เป็นดังนี้ $S(t) = 1 - F(t) = 1 - (1 - e^{-\alpha t}) = e^{-\alpha t}$ (วรารคณา ผลประเสริฐ และ นิสาพร วัฒนศัพท์, 2547)

(2) การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull distribution) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง โดย Fréchet เป็นคนแรกที่ระบุเกี่ยวกับการแจกแจงนี้ในปี ค.ศ.1927 ต่อมาในปี ค.ศ.1933 การแจกแจงนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดย Rosin และ Rammmler และได้รับชื่อหลังจาก Waloddi Weibull ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการแจกแจงนี้ในปี ค.ศ.1951 ซึ่งได้รับความนิยมมากเนื่องจากรูปแบบการแจกแจงมีความยืดหยุ่นและเรียบง่าย การแจกแจงไวบูลล์เป็นการแจกแจงหนึ่งที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลชั่วชีวิต (Lifetime data)

ซึ่งจะใช้อธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ ในกรณีที่อัตราความเสี่ยงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง การแจกแจงไวบูลถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขาวิชาโดยเฉพาะทางวิศวกรรมศาสตร์และการแพทย์ เช่น ใช้อธิบายเกี่ยวกับการทดสอบอายุการใช้งานของอุปกรณ์การศึกษาระยะเวลาการเกิดของเนื้องอกในมนุษย์ ระยะเวลากการเติบโตของเซลล์มะเร็ง ระยะเวลากการแพร่ระบาดของโรค และระยะเวลาที่รอดชีวิตของผู้ป่วยจากการได้รับการรักษาทางการแพทย์ เป็นต้น (บัณฑิต ถิ่นคำพร, 2545) โดยกำหนดให้ T เป็นตัวแปรสุ่มแทนระยะเวลาการรอดชีพซึ่งมีการแจกแจงไวบูลที่มี α เป็นพารามิเตอร์กำหนดขนาด (scale parameter) โดยสามารถพิจารณาเป็นอัตราความเสี่ยงอันตราย และ β เป็นพารามิเตอร์กำหนดรูปร่าง (shape parameter) โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของจำนวนเชื้อก่อโรคที่ลดลงกับระยะเวลา ซึ่งจะเขียนแทนด้วย $T \sim \text{Weibull}(\alpha, \beta)$ และมี

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น คือ $f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right]$ โดยที่ $t, \alpha, \beta > 0$ และมีฟังก์ชัน

การรอดชีพ เป็นดังนี้ $S(t; \alpha, \beta) = 1 - F(t) = 1 - \left\{ 1 - \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \right\} = \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right]$

(วรางคณา ผลประเสริฐ และ นิสافر วัฒนศัพท์, 2547)

(3) การแจกแจงล็อกลอจิสติก (Log logistic distribution) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องสำหรับตัวแปรสุ่มแบบไม่เป็นลบและเป็นการแจกแจงหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์การรอดชีพสำหรับกรณีที่เหตุการณ์ที่สนใจมีอัตราการเกิดขึ้นสูงในช่วงเริ่มต้นและลดลงในช่วงเวลาต่อมา เช่น อัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งก่อนที่จะได้รับการวินิจฉัยหรือได้รับการรักษา เป็นต้น ซึ่งจะเขียนแทนด้วย $T \sim \text{LL}(\alpha, \beta)$ โดยกำหนดให้ T เป็นตัวแปรสุ่มแทนระยะเวลาการรอดชีพ α เป็นพารามิเตอร์กำหนดขนาด β เป็น

พารามิเตอร์กำหนดรูปร่าง และมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น คือ $f(t) = \frac{(\beta/\alpha)(t/\alpha)^{\beta-1}}{(1+(t/\alpha)^\beta)^2}$ โดยที่ $t, \alpha, \beta > 0$ และมีฟังก์ชันการรอดชีพ เป็นดังนี้ $S(t) = 1 - F(t) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta} = \left[1 + (t/\alpha)^\beta \right]^{-1}$

(วรางคณา ผลประเสริฐ และ นิสافر วัฒนศัพท์, 2547)

(4) วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ ใช้วิธีประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยสุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นเกาส์-นิวตัน (Nonlinear least squares Gauss - Newton) ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาของสมการกำลังสองน้อยสุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นทำได้โดยการทำให้ค่า ซึ่งในแต่ละรอบของการทำซ้ำจะใช้สมการกำลังสองน้อยสุดแบบเป็นเชิงเส้น โดยหาค่าต่ำสุดของผลรวมกำลังสองของฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น

(5) เกณฑ์ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ โดยที่ในตัวแบบใดที่ให้ค่า AIC น้อยที่สุด แสดงว่าตัวแบบนั้นเหมาะสมที่สุดซึ่งเกณฑ์นี้ใช้ได้ดีเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ แต่ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่าจะทำให้ตัวแบบที่ได้รับการคัดเลือกมีจำนวนตัวแปรอิสระในตัวแบบมากเกินไป (Over-fit) เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ คือ

$AIC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2p$ โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง SSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองของตัวแบบ และ p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในตัวแบบ

ด้านโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

ใช้โปรแกรม Minitab version 19 และ Microsoft Excel ในการประมาณค่าพารามิเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลการทำนายประชากรเชื้อก่อโรคให้ลดลงในระดับ 5 – log reduction กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดจำนวนเชื้อก่อโรคให้ลดลงถึงร้อยละ 99.999

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เริ่มจากการแปลงข้อมูลจำนวนประชากรเชื้อก่อโรคด้วยลอการิทึมฐานสิบ เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบเป็นร้อยละ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟโดยให้แกน X แทนด้วยเวลา และ แกน Y แทนด้วยค่า log ของจำนวนเชื้อก่อโรค จากนั้นทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นเกาส์-นิวตัน โดยใช้การจัดข้อมูลทั้งหมด 4 วิธีของทั้ง 3 ตัวแบบ ประกอบด้วย

1. ประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้ข้อมูลแต่ละซ้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณพารามิเตอร์ทั้ง 3 ซ้ำ
2. การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำเพื่อนำข้อมูลที่ได้นั้นไปหาค่าประมาณพารามิเตอร์
3. การหาค่ามัธยฐานของข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำเพื่อนำข้อมูลที่ได้นั้นไปหาค่าประมาณพารามิเตอร์
4. การใช้ข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำมาคำนวณเพื่อหาค่าประมาณพารามิเตอร์

โดยพิจารณาเลือกตัวแบบที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกตัวแบบโดยข้อสนเทศของอาไคเคะ จากนั้นใช้ตัวแบบที่ได้มาทำนายการรอดชีพของประชากรเชื้อก่อโรคเพื่อหาเวลาที่จำนวนเชื้อลดลงร้อยละ 99.999

4. ผลการศึกษา

ตารางที่ 1 ค่าประมาณของพารามิเตอร์ของทั้ง 3 ตัวแบบ ที่ได้จากการจัดข้อมูลทั้งหมด 4 วิธี

ตัวแบบ	พารามิเตอร์	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
เลขชี้กำลัง	Alpha (α)	0.750719	0.750520	0.752129	0.747308
ไวบูล	Alpha (α)	0.304160	0.303625	0.285803	0.297371
	Beta (β)	0.643390	0.643086	0.627184	0.639498
ล็อกลอจิสติก	Alpha (α)	0.475218	0.475570	0.464220	0.470590
	Beta (β)	2.467740	2.467450	2.435060	2.465120

ตารางที่ 2 ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (SSE) ระหว่างข้อมูลจริงกับค่าทำนายของตัวแบบทั้ง 3 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบเลขชี้กำลัง ตัวแบบไวบูล และตัวแบบล็อกลอจิสติก โดยการจัดข้อมูลในวิธีต่าง ๆ ทั้งหมด 4 วิธี

ตัวแบบ	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
เลขชี้กำลัง	1.020315	1.020314	1.020522	1.021433
ไวบูล	0.103424	0.103415	0.105808	0.104665
ล็อกลอจิสติก	0.257757	0.257743	0.258545	0.259000

จะเห็นได้ว่า การจัดข้อมูลตามวิธีที่ 2 หรือก็คือการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใหม่ไปหาค่าประมาณพารามิเตอร์ให้ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่างข้อมูลจริงกับค่าทำนายน้อยที่สุด โดยค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน ของตัวแบบเลขชี้กำลัง ตัวแบบไวบูล และตัวแบบล็อกลอจิสติกที่มีค่าเท่ากับ 1.020314, 0.103415, 0.257743 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่า AIC ของทั้ง 3 ตัวแบบที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจัดข้อมูลในวิธีที่ 2

ตัวแบบ	AIC
เลขชี้กำลัง	-49.664704
ไวบูลล์	-92.868486
ล็อกลอจิสติก	-72.430953

จะเห็นว่าได้ว่าค่า AIC ของตัวแบบไวบูลมีค่าเท่ากับ -92.868486 ซึ่งน้อยกว่าตัวแบบเลขชี้กำลังที่มีค่า AIC เท่ากับ -49.664704 และตัวแบบล็อกลอจิสติกที่มีค่า AIC เท่ากับ -72.430953 ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่า AIC รวมถึงผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยสรุปได้ว่าตัวแบบไวบูลเป็น ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำนายการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรคจนถึงระดับ 5 – log reduction เนื่องจากมีค่า AIC รวมถึงผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบเลขชี้กำลัง และตัวแบบล็อกลอจิสติก

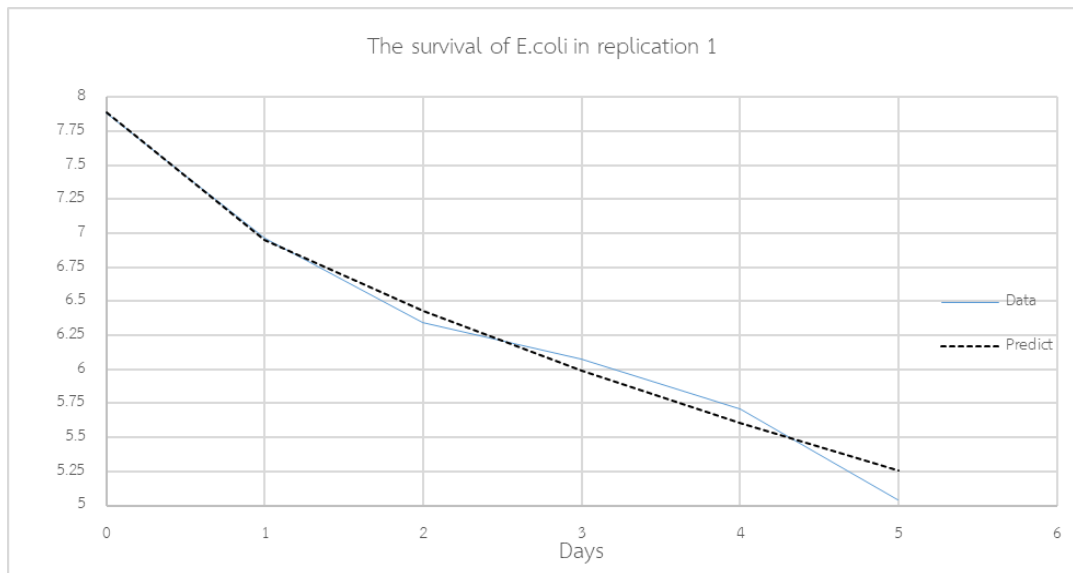
ตารางที่ 4 ค่าทำนายการลดลงของ log ของประชากรเชื้อก่อโรครายใน 15 วันโดยใช้ตัวแบบไวบูล

วันที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
0	7.886491	7.908485	7.886490
1	6.951750	6.973744	6.951778
2	6.426738	6.448732	6.426808
3	5.991874	6.013868	5.991986
4	5.606844	5.628838	5.606995
5	5.255077	5.277071	5.255268
6	4.927733	4.949727	4.927961
7	4.619394	4.641388	4.619659
8	4.326443	4.348437	4.326745
9	4.046313	4.068307	4.046651
10	3.777101	3.799095	3.777474
11	3.517347	3.539341	3.517754
12	3.265899	3.287893	3.266339
13	3.021829	3.043823	3.022303
14	2.784376	2.80637	2.784884
15	2.552907	2.574901	2.553447

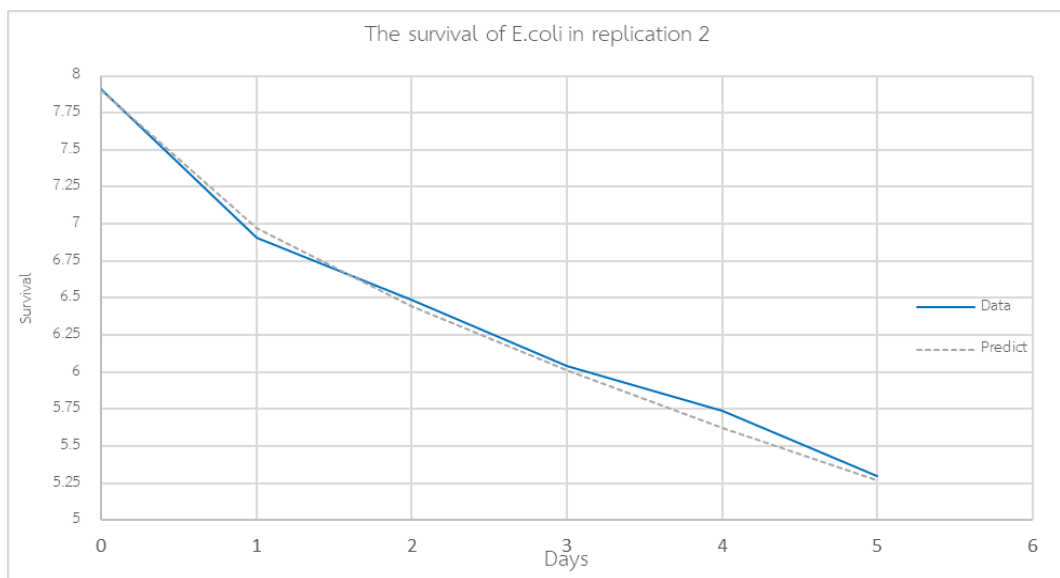
จากตารางจะเห็นได้ว่าจำนวนเชื้อก่อโรคนั้นจะลดลงถึงระดับ 5 – log reduction หรือลดลงร้อยละ 99.999 จะอยู่ภายใน 13 วัน ถึง 14 วัน โดยพิจารณาจากค่าลอการิทึมฐาน 10 ของเชื้อตั้งต้นในระดับ 5-log reduction ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเชื้อตั้งต้นในระดับ 5-log reduction และค่าลอการิทึมฐาน 10 ของเชื้อตั้งต้นในระดับ 5-log reduction

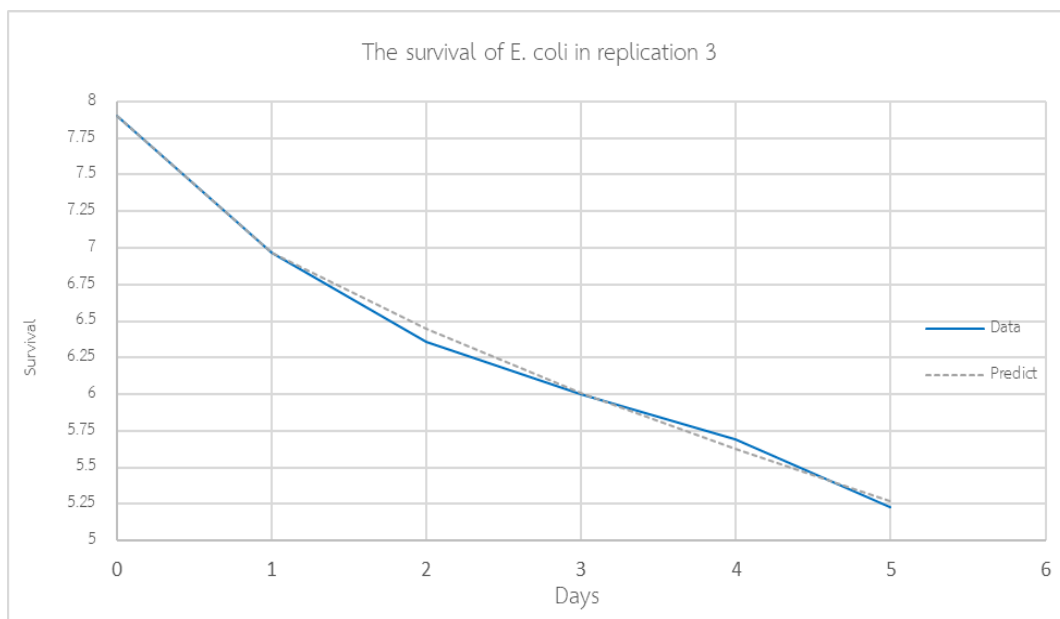
	เชื้อตั้งต้นในระดับ 5-log reduction	ค่าลอการิทึมฐาน 10 ของเชื้อตั้งต้นในระดับ 5-log reduction
ซ้ำ 1	770 cfu/ml	2.88649 log cfu/ml
ซ้ำ 2	810 cfu/ml	2.90849 log cfu/ml
ซ้ำ 3	800 cfu/ml	2.90309 log cfu/ml



ภาพที่ 1 อัตราการรอดชีพของเชื้อ *E.coli* ระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ ในซ้ำที่ 1



ภาพที่ 2 อัตราการรอดชีพของเชื้อ *E.coli* ระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ ในซ้ำที่ 2



ภาพที่ 3 อัตราการรอดชีพของเชื้อ *E.coli* ระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ ในซ้ำที่ 3

จากผลการศึกษาที่ทำการทดลองในข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำพบว่าอัตราการรอดชีพของเชื้อ *E.coli* ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกันในทุกซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง 3

5. สรุปผลการศึกษา

ผู้วิจัยสรุปผลการศึกษาครั้งนี้ โดยพิจารณาจากการใช้ตัวแบบ 3 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบเลขชี้กำลัง (Exponential model) ตัวแบบไวบูล (Weibull model) และตัวแบบล็อกลอจิสติก (Loglogistic model) ซึ่งเป็นตัวแบบที่นิยมใช้ในการศึกษาการรอดชีพ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละตัวแบบเพื่อหาตัวแบบที่ดีและเหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นนำตัวแบบที่ได้ไปทำนายเวลาการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หมักให้ลดลงอยู่ในระดับ 5 – log reduction ผู้วิจัยใช้วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบกำลังสองน้อยสุดแบบไม่เป็นเชิงเส้น เกาส์-นิวตัน ข้อสรุปผลการวิจัยที่ได้คือ

1. รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยวัดจากค่า SSE ของค่าจริงและค่าทำนาย คือ การนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ซ้ำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยพบว่าอัตราการรอดชีพของเชื้อ *E.coli* ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกันในทุกซ้ำ

2. ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ตัวแบบเลขชี้กำลัง ตัวแบบไวบูล และตัวแบบล็อกลอจิสติก โดยใช้ค่า SSE และ AIC พบว่าตัวแบบไวบูล มีค่า SSE และ AIC เท่ากับ 0.103415 และ -92.869 ตามลำดับซึ่งน้อยกว่า ตัวแบบเลขชี้กำลัง และตัวแบบล็อกลอจิสติก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวแบบไวบูล ในการทำนายการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หมักซึ่งได้สมการทำนายดังนี้

$\log N = \log N_0 - \frac{1}{2.303} \left(\frac{t}{0.303625} \right)^{0.643089}$ โดยที่ N_0 คือ ปริมาณเชื้อตั้งต้น และ N คือ ปริมาณเชื้อก่อโรค

3. จากค่าทำนายการลดลงประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หมักซึ่งได้ผลมาพบว่าจำนวนประชากรเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์น้ำส้มลดลงจนถึงระดับ 5 – log reduction ในช่วง 13 ถึง 14 วันซึ่งสอดคล้องจากค่าทำนายเวลาที่ใช้ในการลดลงจนถึงระดับ 5 – log reduction คือ 13.566986 วัน ที่ใช้สมการ

$$t = \alpha \left(-\ln(10^{-d})^{\frac{1}{\beta}} \right)$$

โดยที่ t คือ เวลาที่ปริมาณเชื้อก่อโรคจะลดลงถึงระดับ 5-log reduction

α คือ พารามิเตอร์กำหนดขนาด

d คือ จำนวนตัวเลขของการลดลงของเชื้อก่อโรคในหลักทศนิยม

$$t = 0.303625 \left(-\ln(10^{-5})^{\frac{1}{0.643086}} \right) = 13.566986 \text{ วัน}$$

6. เอกสารอ้างอิง

- ดุสิต ชัยประสิทธิกุล. (2560). การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงไวบูลเมื่อข้อมูลถูกตรวจคัดแบบสุ่ม. [วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บัณฑิต ถิ่นคำรพ. (2545). แนวปฏิบัติสำหรับการวิเคราะห์ระยะปลอดเหตุการณ์. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรางคณา ผลประเสริฐ และ นิสาพร วัฒนศัพท์. (2547). การวิเคราะห์การรอดชีพ. *วารสารวิธีวิทยาการวิจัย*, 17(1), 107-123. <https://portal.edu.chula.ac.th/pub/jrm/index2.php/jrm/article/view/147>
- สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์. (2550). อาหารหมัก. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 55(175), 22-26. http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2550_55_175_P22_26.pdf
- Gasaluck, P. (2021, June 3). *Food preservation techniques by fermentation of pickled vegetables and fruits*. <http://iat.sut.ac.th/images/stories/pdf51/p64-76.pdf>
- Jirasatid, S. (2017). Pathogenic Microorganisms in Foods. *Burapha Science Journal*, 22(2), 218-232. <https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/1346>
- Pediatric Infectious Disease Society of Thailand. (2021, June 6). *Escherichia coli Outbreak Tracking*. <https://www.pidst.or.th/A184.html>
- Thongphet, N., Chiawkhun, P., Bunyatisai, W., & Chitpanarux, I. (2019). Comparison of Cox Regression and Parametric Models For Survival of Breast Cancer Patients with 1-3 Positive Lymph Nodes. *Burapha Science Journal*, 24(1), 190-202. <https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/2468>