การวิเคราะห์หาแนวโน้มและการพยากรณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษในเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่เพื่อการส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมปศุสัตว์ในประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา

อุดม จันทร์ประไพภัทร*[1/] คุณณณัสม์ กล้าหาญ [1/]

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมไก่เนื้อของประเทศไทยมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศและต่างประเทศเนื่องจากเนื้อไก่เป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามหลายภูมิภาคทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยยังคงพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในเนื้อไก่โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสาธารณสุข จึงมีความจำเป็นต้องยกระดับคุณภาพและมาตรฐานความปลอดภัยของเนื้อไก่ควบคู่ไปกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม รูปแบบ และพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่โดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา (Time series analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ โดยทำการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ในตัวอย่างเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่เพื่อการส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมปศุสัตว์จำนวน 19,760 ตัวอย่าง พบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* spp. คือร้อยละ 4.66 ต่อสัปดาห์ และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและมีรูปแบบตามฤดูกาลอย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของค่าเฉลี่ยปริมาณการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อไก่คือ 1.02 และ 1.57 log CFU/g ตามลำดับ โดยแนวโน้มการปนเปื้อนเชื้อทั้งสองชนิดนี้ค่อนข้างคงที่

การศึกษาในครั้งนี้มุ่งหวังการนำเสนอข้อมูลเชิงลึกที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องโดยแสดงให้เห็นถึงข้อมูลการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอุตสาหกรรมไก่เนื้อที่ชัดเจน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดมาตรการป้องกันและควบคุมการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงเป้าหมาย

คำสำคัญ: แนวโน้ม การพยากรณ์ การปนเปื้อน เชื้อแบคทีเรียก่อโรค เนื้อไก่ อนุกรมเวลา

[1/] สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ ถนนพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

* ผู้รับผิดชอบหลัก E-mail: kudomchan@gmail.com

Determination of trends and forecast of food poisoning bacteria contamination in chicken meat from chicken slaughterhouses certified by the Department of Livestock Development in Thailand, using times series models

Udom Chanprapaipat[*1/] Kunnanut Klaharn[1/]

Abstract

Thailand's broiler industry is projected to continue growing due to the demand from domestic as well as international markets, driven by the fact that chicken meat is a more affordable source of animal protein compared to other meats. However, several regions worldwide, including Thailand, continue to encounter bacterial contamination in chicken meat, particularly from pathogenic bacteria that result in considerable economic, social, and public health impacts. Therefore, it is necessary to enhance the quality and safety benchmarks of chicken meat as well as the rising production capacity. The objective of this study is to analyse trends, patterns, and forecast the presence of pathogenic bacteria contamination in chicken meat using a time series analysis, which is an accurate approach. This study evaluated the presence of *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus* in 19,760 samples of chicken meat from chicken slaughterhouses certified by the Department of Livestock Development. The results showed that the average proportion of *Salmonella* spp. contamination was 4.66% per week. Additionally, the average amounts of *E. coli* and *S. aureus* contamination in chicken meat were 1.02 and 1.57 log CFU/g, respectively. The prevalence of contamination with these bacteria remained stable. However, the presence of *Salmonella* spp. in chicken meat is increasing and shows an interesting seasonal trend. This study provides valuable insights for government agencies and the business sector by revealing the presence of pathogenic bacterial contamination in the broiler industry. The aforementioned element plays a crucial role in defining effective and specific strategies to prevent and control contamination of pathogenic bacteria in chicken meat.

Keywords: Trend, Forecast, Contamination, Food poisoning bacteria, Chicken meat, Times series analysis

[1/] Bureau of Livestock Standards and Certification, Department of Livestock Development Phayathai Road, Ratchathewi. Bangkok 10400

* Corresponding E-mail: kudomchan@gmail.com

บทนำ (Introduction)

ความปลอดภัยทางอาหารเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขระดับชาติประการหนึ่งที่ครอบคลุมมิติต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ซึ่งมีผลต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี การเข้าถึงอาหารที่ปลอดภัยอย่างเพียงพอถือเป็นส่วนหนึ่งในเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ที่ประเทศสมาชิกขององค์การสหประชาชาติได้ร่วมกันกำหนดขึ้นเป็นวาระการพัฒนาระดับโลกที่ต้องบรรลุความสำเร็จให้ได้ภายในปี พ.ศ. 2573 (United_Nations, 2015)(องค์การสหประชาชาติ, 2558) จากการรายงานขององค์การอนามัยโลกพบว่าตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาผู้คนจำนวนมากต้องเผชิญกับความเจ็บป่วยจากการบริโภคอาหารและน้ำที่ไม่สะอาดทำให้ประสบกับภาวะอาหารเป็นพิษโดยเฉลี่ยปีละ 600 ล้านคนทั่วโลก (World_Health_Organization, 2020) (องค์การอนามัยโลก, 2563) ปัญหานี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในกลุ่มประเทศด้อยพัฒนาเท่านั้นแต่ยังสามารถพบได้ในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้วด้วย ในแต่ละปีพบประชากรในภูมิภาคต่างๆ ของโลกเผชิญกับภาวะอาหารเป็นพิษจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกาพบว่าประชากรจำนวน 48 ล้านคนป่วยจากภาวะอาหารเป็นพิษ (CDC, 2018; Scallan et al., 2011) ในสหภาพยุโรปพบรายงานจำนวน 23 ล้านเคส (Lee & Yoon, 2021) องค์การอนามัยโลกรายงานผู้ป่วยภาวะอาหารเป็นพิษจำนวน 150 ล้านเคสในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (WHO, 2023) นอกจากนี้ข้อมูลจากการเฝ้าระวังของกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขพบว่าสถานการณ์โรคอาหารเป็นพิษในประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม 2565 ที่ผ่านมาพบผู้ป่วยจำนวนทั้งสิ้น 70,010 ราย (เพิ่มจากปี 2564 จำนวน 16,470 ราย คิดเป็นร้อยละ 30) (Department_of_Disease_Control, 2021, 2023) ภาวะดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการดำเนินชีวิต วัฒนธรรมการบริโภคอาหาร รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางการเมือง เศรษฐกิจ และระบบนิเวศในแต่ละท้องถิ่น ดังนั้นการปรับปรุงความปลอดภัยของอาหารเพื่อปกป้องสุขภาพของประชาชนยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเพิ่มมาตรการปรับปรุงความปลอดภัยของอาหารเพื่อปกป้องและสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภค (Singh & Mondal, 2019) จากการศึกษาพบว่ามากกว่า 50% ของผู้ป่วยจากภาวะอาหารเป็นพิษมีสาเหตุมาจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่ปนเปื้อน (Nagarajan et al., 2018) ซึ่งไม่ว่าจะเป็นเนื้อสัตว์หรืออาหารอื่นใดสำหรับมนุษย์นั้นไม่ควรเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยจากสารปนเปื้อนไม่ว่าจะเป็นสารเคมีหรือจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดโรคร้ายแรงและคุกคามถึงชีวิตได้ (Singh & Mondal, 2019) อย่างไรก็ตามเนื้อสัตว์เป็นแหล่งโภชนาการที่สำคัญสำหรับมนุษย์ ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าการผลิตเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นกว่าสามเท่าเนื่องจากความต้องการเนื้อสัตว์ทั่วโลกเพิ่มขึ้น ภูมิภาคเอเชียเป็นผู้ผลิตเนื้อสัตว์รายใหญ่ที่สุดคิดเป็นร้อยละ 40-45 ของการผลิตเนื้อสัตว์ทั้งหมดในโลก ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตเนื้อสัตว์มากเป็นอันดับที่ 24 ของโลก (Atlas_Big, 2020; Ritchie et al., 2019) โดยสามารถผลิตเนื้อไก่ได้มากเป็นอันดับที่ 16 ของโลกและเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่อันดับที่ 4 ของโลกรองจากบราซิล สหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป เนื่องจากการอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อของประเทศไทยนั้นเป็นที่ยอมรับในตลาดโลกทั้งทางด้านคุณภาพ และมาตรฐานความปลอดภัย (USDA, 2023)

อุตสาหกรรมสัตว์ปีกทั่วโลกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น 10-15% ต่อปี โดยอุตสาหกรรมไก่เนื้อมีส่วนแบ่งทางการตลาดประมาณ 37% อาจเนื่องมาจากราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ไม่มีข้อห้ามทางศาสนา เป็นแหล่งโปรตีนจากเนื้อสัตว์ที่ย่อยง่าย มีไขมันแทรกน้อย ให้พลังงานต่ำ และมักจะถูกแนะนำให้บริโภคโดยนักโภชนาการมากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ (Bhaisare et al., 2014) ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยที่ผู้บริโภคยังคงคำนึงถึงคุณภาพและความปลอดภัยเป็นหลัก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสัตว์ปีกและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องให้ความร่วมมือในการพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมไก่เนื้อทั้งในด้านคุณภาพและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เราไม่อาจปฏิเสธได้ว่าสัตวปีกเป็นพาหะของจุลินทรีย์ต่างๆ รวมถึงเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ซึ่งมักจะอาศัยอยู่ที่ขน ผิวหนัง หรือระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก แม้ว่าจุลินทรีย์เหล่านั้นจะถูกกำจัดออกไประหว่างขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการลวก-ถอนขน การล้างซากสัตว์ปีก แต่ยังสามารถพบการปนเปื้อนจากอุปกรณ์ ผู้ปฏิบัติงาน หรือสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตกลับมาสู่ซากไก่และผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ได้อีก เชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญและมักพบในเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์ ได้แก่ *Salmonella* spp. *Escherichia coli* O157:H7 *Staphylococcus aureus Campylobacter* spp. และ *Listeria monocytogenes* (Abebe et al., 2020; Markland et al., 2015; Pal et al., 2015) ทั้งนี้กรมปศุสัตว์มีแผนเฝ้าระวังโดยการตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์ตามประกาศกรมปศุสัตว์ เรื่อง เกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออก ลงวันที่ 30 ธันวาคม 2551 (กรมปศุสัตว์, 2551) ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียที่บ่งชี้สุขอนามัยในกระบวนการผลิตและเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญ

มีรายงานการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์ (Castro-Vargas et al., 2020) ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคที่เป็นสาเหตุของภาวะอาหารเป็นพิษที่สำคัญเป็นอันดับที่ 2 ในสหภาพยุโรป รองจาก *Campylobacter* spp. (Chlebicz & Śliżewska, 2018; Lee & Yoon, 2021) ระยะฟักตัวของเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ประมาณ 6 ถึง 72 ชั่วโมง โดยอาจยาวนานถึง 10 วัน (Pal et al., 2015) ผู้ป่วยที่ติดเชื้อนี้อาจมีอาการไข้หนาวสั่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง สามารถพบอาการท้องเสียแบบมีเลือดปน ผู้ป่วยอาจติดเชื้อในกระแสเลือดและเสียชีวิตได้ (และคณะ, 2559(2016); สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม, 2565) (ศศิธร, 2559 และ สถาบันอาหาร, 2565) สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 8 และ 45 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 37 องศาเซลเซียส) เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้เป็นภัยคุกคามอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากความสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากช่วงการเติบโตปกติ (Doyle et al., 2020) ส่วน *E. coli* เป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นที่พบได้ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ทั่วไป จึงสามารถตรวจพบได้จากอุจจาระในปริมาณมาก โดยปกติเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้สามารถพบได้ทั้งสายพันธุ์ที่ไม่ก่อโรคและสายพันธุ์ก่อโรคหลายชนิด ได้แก่ Enterotoxigenic *E. coli* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วงโดยสร้างสารพิษเอนเทอโรท็อกซินที่ทำให้มีอาการท้องร่วงเป็นน้ำซาวข้าวคล้ายอหิวาตกโรค ส่วน Enteropathogenic *E. coli* เป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรงในทารกโดยสร้างสารพิษที่ทำลายเซลล์คล้ายสารพิษชิกาจากเชื้อบิดชิเจลลา (Shiga like toxin) Enteroaggregative *E. coli* ทำให้เกิดโรคท้องร่วงแบบเรื้อรัง ผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการท้องร่วงนานกว่า 14 วัน และทำให้ถึงแก่ชีวิต

Enteroinvasive *E. coli* ทำให้เกิดอาการคล้ายบิดจากเชื้อชิเจลลา แต่เชื้อมักไม่เข้าสู่กระแสเลือด Enterohemorrhagic *E.coli* ทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรงแบบมีเลือดปน อาจมีไข้หรือไม่มีไข้ได้ อาเจียน สร้างสารพิษที่ทำลายเซลล์ สายพันธุ์ที่พบระบาดบ่อย คือ ซีโรไทป์ O157:H7 ทำให้เกิดการระบาดของอาการลำไส้อักเสบ ท้องร่วงแบบมีเลือดปน (Patterson et al., 2022) ในสหภาพยุโรปพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้เป็นสาเหตุของภาวะอาหารเป็นพิษที่สำคัญเป็นอันดับที่ 4 ส่วน S. aureus ถือเป็นเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่เป็นสาเหตุของภาวะอาหารเป็นพิษที่สำคัญในสหรัฐอเมริการวมถึงประเทศไทย (Lee & Yoon, 2021; วีรนุช et al., 2562) โดยสามารถผลิตสารพิษ (enterotoxin) ที่ทนความร้อนสูง ซึ่งการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อดังกล่าว สามารถเกิดอาการอาหารเป็นพิษเนื่องจากได้รับสารพิษถึงระดับก่อโรค ผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง อุจจาระร่วงอย่างรุนแรงจนอ่อนเพลีย ในรายที่มีอาการรุนแรงอาจช็อคได้ ขึ้นกับปริมาณสารพิษที่ได้รับ (ศิวาพร, 2542 และ ศศิธร, 2559)

การควบคุม กำกับ ดูแลผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ให้มีคุณภาพดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ได้มาตรฐานตลอดห่วงโซ่การผลิตเป็นภารกิจที่สำคัญยิ่งของกรมปศุสัตว์ โดยเริ่มตั้งแต่การกำกับดูแลฟาร์มเลี้ยงสัตว์จนถึงการฆ่า ชำแหละ แปรรูปผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ ภารกิจดังกล่าวครอบคลุมถึงการวิเคราะห์ วิจัย พัฒนามาตรฐานโรงฆ่าสัตว์และกระบวนการฆ่าสัตว์ รวมถึงการตรวจสอบและรับรองคุณภาพเนื้อสัตว์ให้มีความปลอดภัยและได้มาตรฐานสอดคล้องตามมาตรฐานกรมปศุสัตว์ดังที่ได้กล่าวข้างต้น รวมถึงมาตรการด้านสุขอนามัยสากล และข้อกำหนดของประเทศคู่ค้าซึ่งให้ความสำคัญอย่างมากกับการพบเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ ข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (Commission Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs) และข้อกำหนดของสาธารณรัฐประชาชนจีน (GBT 16869-2005 Fresh and Frozen Poultry Products) เป็นต้น ดังนั้นการยกระดับความปลอดภัยทางอาหารจึงยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญของประเทศไทยในการเพิ่มศักยภาพการผลิตควบคู่กับการเพิ่มขีดความสามารถในการส่งออก โดยภาคธุรกิจและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องให้ความสำคัญและตระหนักถึงการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้มีความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

ปัจจุบันมีการนำเทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยโดยเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์และทำนายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอนาคต (Forecasting) การเข้าใจและประมวลผลข้อมูลอนุกรมเวลาช่วยให้สามารถคาดเดาแนวโน้มและแนวทางการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ ไม่เพียงแต่การทำนายอัตราเงินเฟ้อ (Meyler et al., 1998) หรือผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Product; GDP) เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ธุรกิจ การเงินเท่านั้น (Abonazel & Abd-Elftah, 2019) ในช่วงของสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่ผ่านมามีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลามาประยุกต์ใช้

ทำนายการแพร่ระบาดของโรค (Benvenuto et al., 2020) รวมทั้งในวงการสัตว์แพทย์มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ทำนายการแพร่ระบาดของโรคลัมปีสกิน (Lumpy skin disease; LSD) ด้วยเช่นกัน (Anwar et al., 2022)

การศึกษานี้จึงนำเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่เพื่อศึกษาแนวโน้มและพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่ตั้งแต่ที่โรงฆ่าสัตว์ก่อนขนส่งไปถึงสถานที่จำหน่ายและผู้บริโภค และนำองค์ความรู้ที่ได้ถ่ายทอดให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องจัดทำแผนเฝ้าระวัง โปรแกรมป้องกันและเตรียมการรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถให้ข้อแนะนำและปรับปรุงการดำเนินงานด้านสุขอนามัยในกระบวนการผลิตของโรงฆ่าสัตว์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการผลิต ยกระดับคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งวางแผนการบริหารทรัพยากรของหน่วยงาน ได้แก่ งบประมาณและกำลังคนที่มีอยู่ให้คุ้มค่ามีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด ย่อมเป็นผลดีในหลายๆ มิติทั้งในด้านสาธารณสุข สังคม เศรษฐกิจ การท่องเที่ยว และการค้า โดยเฉพาะการค้าระหว่างประเทศ

4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน

การศึกษาแนวโน้มและพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้แก่ *Salmonella* spp. *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยใช้ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ตามแผนเฝ้าระวังการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียรายสัปดาห์จากการเก็บตัวอย่างเนื้อไก่จากโรงฆ่าสัตว์เพื่อการส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมปศุสัตว์จำนวน 38 โรงงาน ซึ่งส่งตรวจวิเคราะห์หาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียที่ห้องปฏิบัติการสังกัดกรมปศุสัตว์จำนวน 3 แห่ง (สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออก จังหวัดชลบุรี และศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดสุรินทร์) อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออกของกรมปศุสัตว์ (กรมปศุสัตว์, 2551) โดยรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 ถึง ธันวาคม 2565 รวมทั้งสิ้น 104 สัปดาห์ มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 19,760 ตัวอย่าง

การวิเคราะห์แนวโน้มและพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในการศึกษานี้เป็นการนำเสนอข้อมูลเชิงลึกที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยการให้ข้อมูลการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอุตสาหกรรมไก่เนื้อที่ชัดเจน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับมาตรการป้องกันและควบคุมการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

4.1 การวางแผน

4.1.1 ศึกษางานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบอนุกรมเวลา เพื่อค้นหาและคัดเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับข้อมูลผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่จากห้องปฏิบัติการของการศึกษาในครั้งนี้

4.1.2 ศึกษาข้อมูลของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญในเนื้อไก่ ลักษณะของข้อมูลที่รวบรวม และการนำข้อมูลมาปรับใช้กับวิธีการวิเคราะห์ที่คัดเลือกไว้

4.1.3 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่

4.1.4 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม R Studio version 4.0.4 (RCoreTeam, 2023) และชุดคำสั่ง (package) ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบอนุกรมเวลา และศึกษาการแปลผลที่ได้จากการวิเคราะห์

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บตัวอย่างเนื้อไก่

1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างเนื้อไก่จากโรงฆ่าสัตว์เพื่อการส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมปศุสัตว์จำนวน 38 โรงงาน ระหว่างเดือนมกราคม 2564 ถึง ธันวาคม 2565 ตามแผนเฝ้าระวังการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียที่ระบุในแนวทางปฏิบัติการเก็บตัวอย่างสำหรับโรงฆ่าสัตว์และโรงงานผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อการส่งออก (วินัยและสิริกร, 2563) (กาญจนมาลา & งามเกลี้ยง, 2563) เก็บตัวอย่างเนื้อไก่จำนวน 5 ตัวอย่าง/สัปดาห์จากสินค้าชุดการผลิต (Batch) เดียวกันในแต่ละโรงงาน โดยแต่ละตัวอย่างมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 500 กรัม/ตัวอย่าง หลังจากเก็บตัวอย่างตามที่กำหนด ปิดปากถุงเก็บตัวอย่างให้สนิทด้วยเครื่องปิดปากถุงด้วยความร้อน ติดฉลากที่ระบุรายละเอียดของตัวอย่างแล้วนำใส่ถุงอีกชั้น เก็บรักษาตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งในตู้เก็บตัวอย่างที่มีกุญแจล็อคและเก็บรักษาที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส

2) บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างในแบบคำขอส่งตัวอย่างวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ พร้อมเอกสารแนบท้ายใบส่งตัวอย่างวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

3) นำตัวอย่างส่งตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการที่มีภารกิจด้านการวิเคราะห์สินค้าปศุสัตว์จากโรงฆ่าสัตว์เพื่อการส่งออกตามพื้นที่รับผิดชอบ (สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออก จังหวัดชลบุรี และศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดสุรินทร์) พร้อมเอกสารแนบท้ายใบส่งตัวอย่างวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ โดยมีวิธีการตรวจวิเคราะห์และใช้เกณฑ์อ้างอิงตามประกาศกรมปศุสัตว์ เรื่อง เกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออก (กรมปศุสัตว์, 2551) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออกและวิธีการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

ชนิดเชื้อแบคทีเรีย	เกณฑ์มาตรฐาน	วิธีการตรวจวิเคราะห์
Salmonella spp.	ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม	ISO 6579-1 (2017)
Escherichia coli	≤ 100 cfu/g	FDA BAM Online, 2013 (Chapter 4)

Staphylococcus aureus	≤ 100 cfu/g	ISO 6888-1:1999

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 ใช้สถิติเชิงพรรณนาจัดการข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 3 ชนิดเป็นรายสัปดาห์

1) สัดส่วนของจำนวนตัวอย่างที่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในแต่ละสัปดาห์

2) ปริมาณการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ในแต่ละสัปดาห์ โดยแปลงข้อมูลจากหน่วย cfu/g เป็น $\log_{10}$ cfu/g

4.3.2 ใช้โปรแกรม R Studio version 4.0.4 (R Core Team, 2023) และชุดคำสั่ง (package) *"forecast"* และ *"xts"* ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่นิยมใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับวิเคราะห์แนวโน้มหรือรูปแบบตามฤดูกาลของข้อมูล ตัวแบบ ARIMA มีเอกลักษณ์เฉพาะด้วยความยืดหยุ่นในการจัดการข้อมูลอนุกรมเวลาประเภทต่างๆ และความสามารถในการจำลองโครงสร้างทางเวลาที่หลากหลาย การวิเคราะห์ตัวแบบ ARIMA มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

4.3.2.1 การแยกองค์ประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลา (Decomposition) เป็นวิธีการที่ใช้ในการแยกข้อมูลอนุกรมเวลาออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ โดยแต่ละองค์ประกอบแสดงถึงรูปแบบหรือคุณลักษณะพื้นฐาน วัตถุประสงค์หลักของการแยกองค์ประกอบคือการทำความเข้าใจลักษณะที่ซับซ้อนของข้อมูลอนุกรมเวลาโดยการแยกและวิเคราะห์องค์ประกอบซึ่งแบ่งออกเป็น

1) แนวโน้ม (trend) เป็นองค์ประกอบที่แสดงทิศทางทั่วไปที่ข้อมูลมีการเคลื่อนไหวเป็นระยะเวลาหนึ่ง

2) ฤดูกาล (seasonal) เป็นองค์ประกอบที่แสดงรูปแบบความผันผวนของข้อมูลเป็นระยะหรือช่วงเวลา เช่น รูปแบบรายชั่วโมง รายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน หรือรายปี

3) ค่าความผิดพลาด (residual) เป็นองค์ประกอบความผิดพลาดแบบสุ่มที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแนวโน้มหรือองค์ประกอบตามฤดูกาล ซึ่งแสดงถึงความผิดพลาดที่ปรากฏในข้อมูลอนุกรมเวลา

4.3.2.2 การหาความจำเพาะของตัวแบบ (Model Specification) ซึ่งถูกกำหนดด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวได้แก่

1) *p* (ค่าการถดถอยอัตโนมัติหรือ AutoRegression) พารามิเตอร์นี้แสดงถึงจำนวนการสังเกตความล่าช้าที่รวมอยู่ในโมเดล หรือที่เรียกว่าลำดับความล่าช้า (lag order) โดยจะบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและค่าจำเพาะของข้อมูลที่ล่าช้า

2) *d* (ค่าการบูรณาการหรือ Integrated) พารามิเตอร์นี้ระบุระดับความแตกต่างที่จำเป็นในการทำให้เกิดความคงที่ของอนุกรมเวลา ความแตกต่างเกี่ยวข้องกับการแยกข้อมูลในอดีตออกจากข้อมูลปัจจุบัน

3) *q* (ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่หรือ Moving Average) พารามิเตอร์นี้แสดงถึงขนาดของค่าเฉลี่ยที่เคลื่อนไหว หรือที่เรียกว่าลำดับของค่าเฉลี่ยที่เคลื่อนไหว โดยจะบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและความคลาดเคลื่อน

4.3.2.3 การคัดเลือกตัวแบบ (Model Selection) ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1) การประเมินความคงที่ของข้อมูล (Stationarity Assessment) คือขั้นตอนการตรวจสอบความคงที่ของข้อมูลโดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น Augmented Dickey-Fuller (ADF) test ซึ่งหากพบว่าข้อมูลมีความไม่คงที่จะต้องถูกทำให้คงที่ก่อน จึงจะทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2) การระบุพารามิเตอร์ของตัวแบบ (Identification of Model Parameters) คือการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ตัวแบบสามารถทำนายสถานการณ์ในอนาคต โดยวิธี Autocorrelation Function (ACF) และ Partial Autocorrelation Function (PACF) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้ (*p* และ *q*)

3) การวิเคราะห์หาชุดของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (Parameter Optimization) คือการวิเคราะห์เพื่อหาค่าเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบชุดของค่าพารามิเตอร์ (*p, d, q*) ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแบบและทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

4.3.2.4 พยากรณ์ข้อมูลในอนาคต (Forecasting) โดยใช้ตัวแบบ ARIMA ที่ประกอบด้วยชุดของค่าพารามิเตอร์ (*p, d, q*) ที่เลือกไว้ เพื่อคาดการณ์ข้อมูลหรือสถานการณ์ในอนาคต

4.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบอนุกรมเวลาและแปลผลที่ได้จากการวิเคราะห์

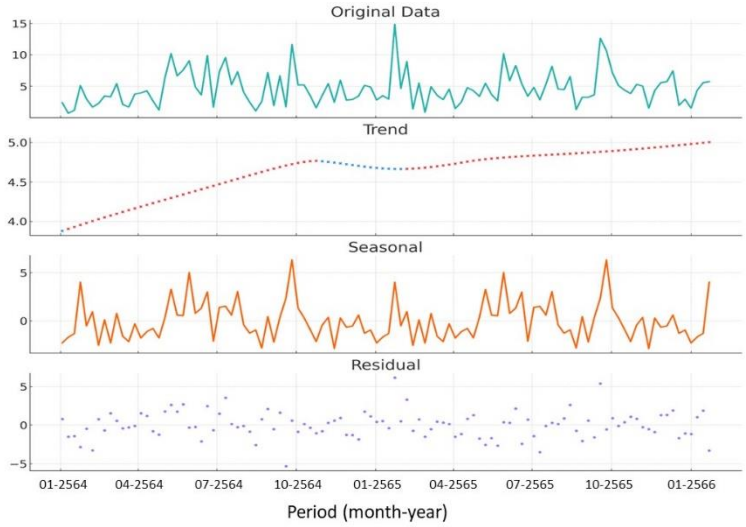
4.4 ผลการศึกษา

4.4.1 การแยกองค์ประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลา (Decomposition)

4.4.1.1 แนวโน้มและรูปแบบตามฤดูกาลของสัดส่วนการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่

ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่มีความผันผวนในแต่ละสัปดาห์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4.66 ต่อสัปดาห์ เมื่อทำการแยกองค์ประกอบของข้อมูลออกเป็นแนวโน้มและรูปแบบตามฤดูกาลพบว่าในช่วงแรกของการศึกษา (เดือนมกราคมถึงตุลาคม 2564) สัดส่วนการปนเปื้อนมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นในเดือนพฤศจิกายน 2564 เริ่มมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยจนถึงเดือนมกราคม 2565 ซึ่งไม่พบความแตกต่างมากนัก ต่อมาระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงธันวาคม 2565 พบว่าการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. มีแนวโน้มที่ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง ตลอดระยะเวลาการศึกษาพบว่าสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 5 นอกจากนี้

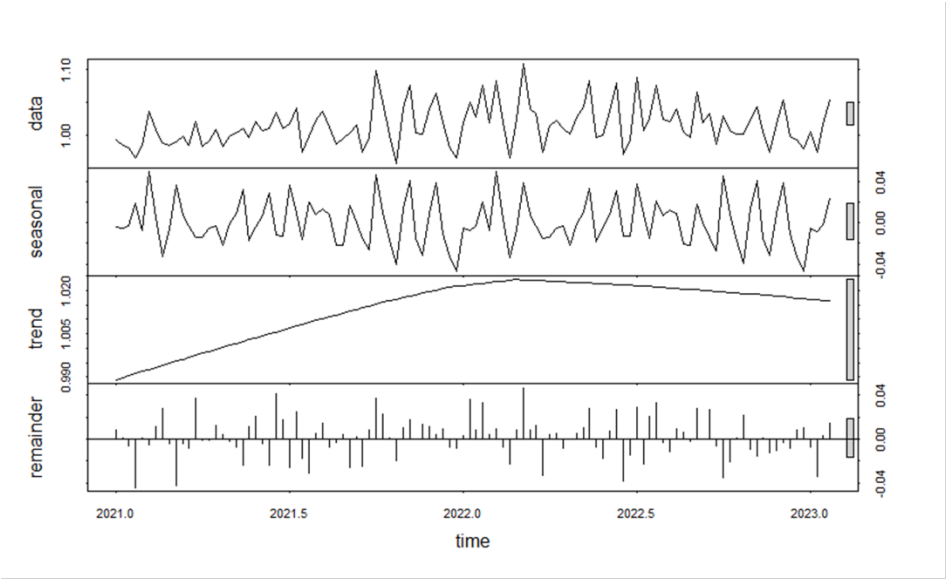
ยังพบรูปแบบความผันผวนตามฤดูกาลโดยพบสัดส่วนการปนเปื้อนสูงในเดือนมิถุนายนและกันยายนตลอดระยะเวลาสองปีที่ทำการศึกษาดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่แยกตามองค์ประกอบของข้อมูล (ข้อมูลต้นฉบับ แนวโน้ม ฤดูกาล และค่าความผิดพลาด)

4.4.1.2 แนวโน้มและรูปแบบตามฤดูกาลของการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* ในเนื้อไก่

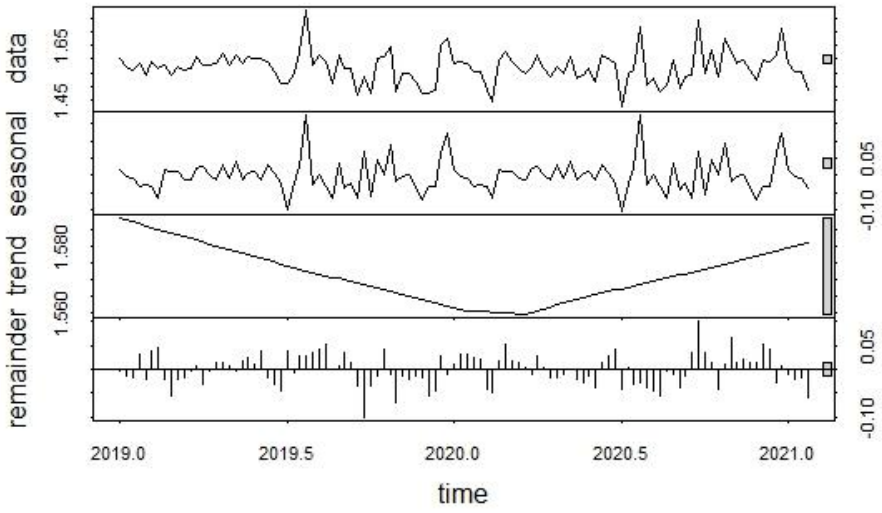
ค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในเนื้อไก่มีความผันผวนในแต่ละสัปดาห์มากกว่าสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนตลอดระยะเวลาการศึกษาคือ 1.02 log CFU/g (ประมาณ 10 CFU/g) เมื่อทำการแยกองค์ประกอบของข้อมูลพบว่าในปี 2564 (เดือนมกราคมถึงธันวาคม 2564) ค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นพบแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดปี 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 ตลอดระยะเวลาการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในเนื้อไก่เพิ่มขึ้นเพียง 0.01 log CFU/g โดยไม่พบรูปแบบความผันผวนตามฤดูกาลดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* ในเนื้อไก่แยกตามองค์ประกอบของข้อมูล (ข้อมูลต้นฉบับ แนวโน้ม ฤดูกาล และค่าความผิดพลาด) **(จัดทำ visualization แบบสี)**

4.4.1.3 แนวโน้มและรูปแบบตามฤดูกาลของการปนเปื้อนของเชื้อ *S. aureus* ในเนื้อไก่

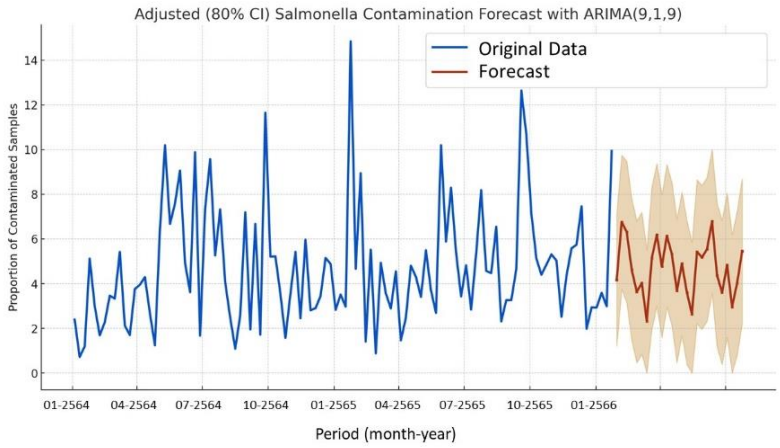
ค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในการศึกษานี้คือ 1.57 log CFU/g (ประมาณ 30-40 CFU/g) โดยพบความผันผวนน้อยกว่าการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เมื่อทำการแยกองค์ประกอบของข้อมูลพบว่าในช่วงระหว่างเดือนมกราคม 2564 ถึงมีนาคม 2565 แนวโน้มการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ค่อยๆ ลดลง หลังจากนั้นกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงเล็กน้อยขึ้นตลอดปี 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 ตลอดระยะเวลาการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในเนื้อไก่เพิ่มขึ้นเพียง 0.01 log CFU/g เมื่อพิจารณาการปนเปื้อนตามรูปแบบของฤดูกาลพบว่าการปนเปื้อนมักจะสูงขึ้นในเดือนกรกฎาคมและธันวาคมของทั้งสองปี ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการปนเปื้อนของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ในเนื้อไก่แยกตามองค์ประกอบของข้อมูล (ข้อมูลต้นฉบับ แนวโน้ม ฤดูกาล และค่าความผิดพลาด) **(จัดทำ visualization แบบสี)**

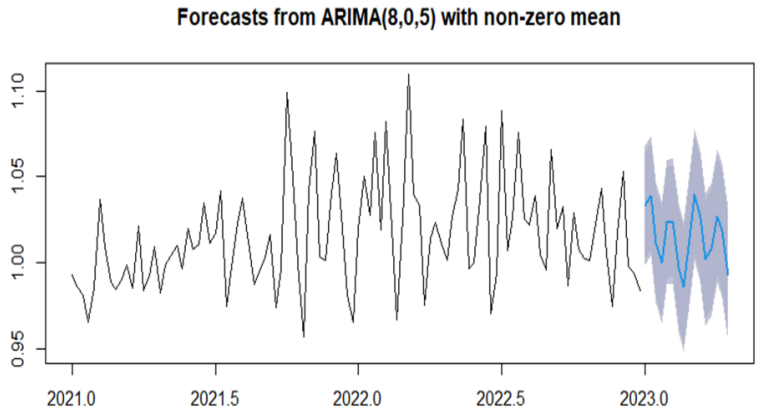
4.4.2 แบบจำลองและการพยากรณ์การปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในเนื้อไก่

ตัวแบบอนุกรมเวลา (Time series models) ที่สร้างขึ้นพบว่าการพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย Salmonella spp. ในเนื้อไก่ในช่วงเวลาต่อมามีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการปนเปื้อนอยู่ที่ร้อยละ 4.9 ต่อสัปดาห์ ซึ่งคาดการณ์ว่าสามารถพบสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่สูงถึงร้อยละ 6.9 ดังภาพที่ 5

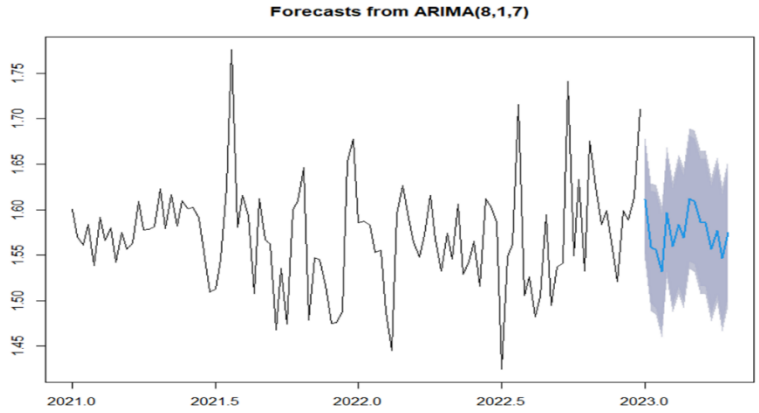


ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่ และสัดส่วนที่คาดการณ์จากตัวแบบอนุกรมเวลา

นอกจากนั้นยังสามารถพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* โดยพบว่าปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยที่สามารถคาดการณ์ได้ในอนาคตคือ 1.02 log CFU/g และ 1.58 log CFU/g ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนในปัจจุบันดังภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 แสดงสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในเนื้อไก่ และสัดส่วนที่คาดการณ์จากตัวแบบอนุกรมเวลา **(จัดทำ visualization แบบสี)**



ภาพที่ 7 แสดงสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในเนื้อไก่ และสัดส่วนที่คาดการณ์จากตัวแบบอนุกรมเวลา **(จัดทำ visualization แบบสี)**

4.5 วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษานี้ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม รูปแบบฤดูกาล และพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่ตั้งแต่ที่โรงฆ่าสัตว์ก่อนขนส่งไปถึงสถานที่จำหน่ายและผู้บริโภค ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีความแม่นยำในการวิเคราะห์และถูกนำมาใช้ทำนายข้อมูลต่างๆ อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การแพร่ระบาดในสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) (Benvenuto et al., 2020) การเกิดโรคอาหารเป็นพิษในคน (Li et al., 2021) และการแพร่ระบาดของโรคปากและเท้าเปื่อยในโค (Peralta et al., 1982) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้นำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษในเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่เพื่อการส่งออกจำนวน 3 ชนิด คือ *Salmonella* spp. *E. coli* และ *S. aureus*

Salmonella spp. เป็นเชื้อก่อโรคที่สำคัญยิ่งซึ่งมักจะพบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ปีก (Rajan et al., 2017) ผลการศึกษาในครั้งนี้พบสัดส่วนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่เฉลี่ยร้อยละ 4.67 ซึ่งมากกว่าผลจากการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในชิ้นส่วนไก่จากโรงฆ่าไก่ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเพื่อส่งออกไปสาธารณรัฐประชาชนจีนในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (ปี 2564) ซึ่งพบการปนเปื้อนเพียงร้อยละ 0.77 (วลัยกรศรีเจริญ, 2564_2021) ในทางกลับกันเมื่อเทียบกับผลจากการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อสัตว์จากโรงฆ่าสัตว์ที่รับรองให้จำหน่ายภายในประเทศในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนซึ่งพบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่สูงถึงร้อยละ 21.88 อาจบ่งบอกถึงความแตกต่างของสุขลักษณะและความปลอดภัยของเนื้อไก่ที่ผลิตจากโรงฆ่าไก่ที่ได้รับรองมาตรฐานการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของอัญญารัตน์และเอกชัย (2563) ที่พบว่าปริมาณการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานของโรงฆ่าไก่ที่ได้รับการรับรอง (Ratprakhon & Korkaitsakulchai, 2563) และเมื่อพิจารณาผลจากการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่จากโครงการเนื้ออนามัยที่ผลิตจากโรงฆ่าไก่ที่ได้รับรองมาตรฐานเพื่อการส่งออก พบว่ามีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ร้อยละ 3.36 ในระหว่างปี 2559 ถึง 2561 ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้จากการแยกองค์ประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลาของการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้รูปแบบตามฤดูกาลที่พบว่าสัดส่วนการปนเปื้อนมักจะสูงขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนและกันยายนซึ่งอยู่ในฤดูฝน (Department, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัฐณิชาและณัฐวิชย์ที่พบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp., *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อสัตว์ (เนื้อสุกร เนื้อไก่ และเนื้อโค-กระบือ) จากโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมากที่สุดในฤดูฝนเช่นกัน (ณัฐณิชา.ตียะสุขเศรษฐ์,ณัฐวิทย์.อิ่มมาก, 2562) และยังสอดคล้องกับการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในไก่เนื้อของสาธารณรัฐอินเดียและสาธารณรัฐเคนยา (Acsa et al., 2022; Singh et al., 2008) ซึ่งพบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในฤดูฝนมากกว่าฤดูอื่นๆ แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นที่พบ

การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่มากที่สุดในฤดูหนาว (Ishihara et al., 2020) ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการปนเปื้อนนอกเหนือไปจากปัจจัยตามฤดูกาล

จากตัวแบบอนุกรมเวลาที่สร้างขึ้นเพื่อพยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในช่วงเวลาต่อมา พบค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.9 ต่อสัปดาห์และยังสามารถคาดการณ์สัดส่วนการปนเปื้อนสูงที่สุดที่อาจพบได้ในแต่ละสัปดาห์ประมาณร้อยละ 6.9 หมายความว่าในอนาคตอาจพบตัวอย่างเนื้อไก่ปนเปื้อนสูงถึง 50 ตัวอย่างต่อเดือน เนื่องจากในแต่ละสัปดาห์มีจำนวนตัวอย่างเนื้อไก่ที่ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการตามแผนเฝ้าระวังประมาณ 190 ตัวอย่าง/สัปดาห์ เป็นที่ทราบกันดีว่าเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. สามารถพบได้ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก (Rasschaert et al., 2008) ดังนั้นหากกระบวนการล้วงเครื่องในไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอมักจะทำให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อดังกล่าวจากสิ่งคัดหลั่งในทางเดินอาหารมายังซากไก่ (Wang et al., 2013) นอกจากนี้การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ที่พบในโรงฆ่าไก่นั้นอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุได้แก่ การปนเปื้อนในระดับฟาร์ม (Lee et al., 2007; Rasschaert et al., 2008) พาหนะขนส่งและกล่องบรรจุไก่มีชีวิต (Shang et al., 2019) การเชือดและเอาเลือดออก (Rivera-Pérez et al., 2014) กระบวนการลวก-ถอนขน การปนเปื้อนผ่านพนักงาน รวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ได้แก่ มีดและเขียง (Dias et al., 2016) เป็นต้น ผลจากการศึกษาการปนเปื้อนในระดับโมเลกุล (molecular typing) โดยการเก็บตัวอย่างในโรงฆ่าไก่ พบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในซากไก่จากฟาร์มที่ไม่พบผลบวกต่อเชื้อชนิดนี้ และเชื้อแบคทีเรียที่ตรวจพบนั้นเป็น pulsotype เดียวกับไก่เนื้อที่เข้าฆ่าในวันก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ยังคงอยู่ถึงแม้จะมีการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อเครื่องจักร อุปกรณ์ และพื้นที่ผลิตแล้วก็ตาม (Zeng et al., 2021)

การศึกษานี้พบค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อไก่คือ 1.02 และ 1.57 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาระหว่างปี 2562 และ 2563 ในโรงฆ่าสัตว์เพื่อการจำหน่ายเนื้อสัตว์ภายในประเทศ (Klaharn, 2021) ที่รายงานค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อไก่คือ 1.67 และ 1.60 log CFU/g ตามลำดับ จากผลการศึกษาข้างต้นอาจสังเกตได้ว่าการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. และ *E. coli* ในเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่ที่ได้รับรองมาตรฐานเพื่อการส่งออกมีค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าเนื้อไก่ที่ผลิตจากโรงฆ่าสัตว์เพื่อการจำหน่ายเนื้อสัตว์ภายในประเทศ แต่ปริมาณการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* กลับมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาแนวโน้มและรูปแบบการปนเปื้อนตามฤดูกาลของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด พบว่าการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยที่การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* นั้นมีรูปแบบตามฤดูกาลที่ไม่ชัดเจนอาจเป็นไปได้ว่าการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้มีสาเหตุหลักมาจากสุขอนามัยในกระบวนการผลิตซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ที่พบว่ากระบวนการล้วงเครื่องในมีผลกับการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในเนื้อไก่มากกว่ากระบวนการอื่น (Althaus et al., 2017) ส่วนรูปแบบการปนเปื้อน

ของเชื้อแบคทีเรีย S. aureus มักจะสูงขึ้นในเดือนกรกฎาคมและธันวาคมซึ่งจัดอยู่ในฤดูฝนและฤดูหนาว (Department, 2023) สอดคล้องกับการศึกษาในประเทศไทยที่พบว่าการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในฤดูฝนมีปริมาณสูงกว่าฤดูอื่นๆ (ณัฐณิชา.ตียะสุขเศรษฐ์.ณัฐวิทย์.อิ่มมาก, 2562) แต่การศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่ของประเทศโมร็อกโกซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคแอฟริกาเหนือกลับพบว่าฤดูร้อนมีผลกับการเพิ่มขึ้นของเชื้อแบคทีเรียมากกว่าฤดูกาลอื่น (Cohen et al., 2007) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

พยากรณ์สถานการณ์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* พบว่าปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยที่สามารถคาดการณ์ได้ในอนาคตคือ 1.02 log CFU/g และ 1.58 log CFU/g ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนในปัจจุบันและยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออกของประเทศไทย แต่เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสาธารณรัฐประชาชนจีนอ้างอิงตามข้อกำหนดพิธีสารว่าด้วยหลักเกณฑ์การตรวจสอบ การกักกัน และสุขอนามัยทางสัตวแพทย์เพื่อการส่งออกเนื้อสัตว์ปีกและชิ้นส่วนสัตว์ปีกจากประเทศไทยไปประเทศจีนที่กำหนดว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในชิ้นส่วนไก่ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 โคโลนีต่อกรัมหรือ 1.69 log CFU/g (วลัยกรและกัญญารัตน์, 2564) อาจต้องมีการเฝ้าระวังการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ในเนื้อไก่อย่างเข้มงวด โดยเฉพาะขั้นตอนการล้วงเครื่องในตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Pacholewicz et al. (2015) (Pacholewicz et al., 2015) ยังได้เน้นย้ำว่าปริมาณเชื้อ *E. coli* ในซากไก่มักจะลดลงหลังจากขั้นตอนการลวก-ถอนขน และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหลังจากกระบวนการล้วงเครื่องใน และมีรายงานว่าซากไก่มีรอยโรคที่ผิวหนัง (cellulitis) ทำให้ความเสี่ยงของการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่เพิ่มขึ้น (Silva et al., 2018) การศึกษาในประเทศสโลวาเกียพบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ที่เครื่องจักรอุปกรณ์ และพื้นผิวสัมผัสอื่นในพื้นที่ผลิตซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนไปยังซากไก่ (Gregova et al., 2012) แสดงให้เห็นว่านอกจากการควบคุมสุขอนามัยในกระบวนการผลิตอย่างเข้มงวดแล้ว การล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อนั้นถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย (Althaus et al., 2017)

การพบการปนเปื้อนของเชื้อ *S. aureus* บ่งบอกถึงการกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะ การควบคุมอุณหภูมิในการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ และมีการปนเปื้อนจากการควบคุมด้านสุขอนามัยส่วนบุคคลไม่เพียงพอ เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้สามารถพบได้ทั่วไปที่ผิวหนังและช่องจมูกของมนุษย์ (Edoaurd, 2017) ดังนั้นหากต้องการควบคุมการปนเปื้อนเชื้อ *S. aureus* ในเนื้อไก่สามารถทำได้โดยควบคุมสุขอนามัยส่วนบุคคลของพนักงานในโรงฆ่าไก่ ไม่ว่าจะเป็นการให้ความรู้ ความเข้าใจ และความสำคัญของการล้างมือ จัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกด้านสุขอนามัยส่วนบุคคลที่เพียงพอกับจำนวนพนักงาน ได้แก่ สบู่เหลว อ่างล้างมือ รวมถึงผ้าปิดปาก พร้อมทั้งเพิ่มความเข้มงวดในการควบคุมอุณหภูมิและสุขอนามัยในการผลิตโดยเฉพาะขั้นตอนการตัดแต่งเนื้อไก่ (Okorie-Kanu et al., 2020) ด Hosseinnezhad

4.6 สรุปผลการศึกษา

ตัวแบบอนุกรมเวลาที่สร้างขึ้นจากการศึกษาในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายให้เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินแนวโน้มรูปแบบ และสถานการณ์การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อไก่ที่สามารถเชื่อถือได้โดยใช้ข้อมูลการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อไก่จากโรงฆ่าไก่เพื่อการส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมปศุสัตว์ในประเทศไทย ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้เน้นย้ำถึงแนวโน้มที่ผันผวนของการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* spp., *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อไก่ในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2564 ถึง 2565 จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบอนุกรมเวลาพบรูปแบบตามฤดูกาลที่ชัดเจนของการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* spp. และ *S. aureus* และพบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ตัวแบบอนุกรมเวลาสร้างขึ้นชี้ให้เห็นถึงความผันผวนในสัดส่วนการปนเปื้อนที่ยังคงพบได้ในอนาคต โดยมีช่วงเวลาเฉพาะที่แสดงถึงความเสี่ยงของการปนเปื้อนที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการเพิ่มมาตรการด้านสุขอนามัยและปรับแผนเฝ้าระวังการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อสัตว์อย่างตรงเป้าหมาย เช่น การปรับปรุงมาตรการติดตามและควบคุมในช่วงเวลาหรือฤดูกาลที่มีความเสี่ยงสูง การศึกษาเพิ่มเติมซึ่งมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบสาเหตุเฉพาะที่อาจอยู่เบื้องหลังความผันผวนตามฤดูกาล ซึ่งจะช่วยในการพัฒนากลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อน โดยเฉพาะในช่วงเวลาหรือฤดูกาลที่มีความเสี่ยงสูง การศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากโรงฆ่าไก่เพื่อการส่งออกซึ่งสามารถใช้คาดการณ์สถานการณ์การปนเปื้อนได้ อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในโรงฆ่าสัตว์ที่รับรองให้จำหน่ายภายในประเทศอาจมีผลการศึกษาที่แตกต่างกันได้เองจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนนั้น มีความเป็นไปได้ที่หลากหลาย ได้แก่ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิและความชื้น สุขภาพของสัตว์มีชีวิตก่อนเข้าฆ่า สุขอนามัยในขั้นตอนการเชือดและกระบวนการผลิต การปนเปื้อนจากพนักงานและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนประสิทธิภาพของการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในโรงฆ่าสัตว์หรือพื้นที่ผลิต

เอกสารอ้างอิง (รอปรับอีกที)

Abebe, E., Gugsa, G., & Ahmed, M. (2020). Review on major food-borne zoonotic bacterial pathogens. *Journal of Tropical Medicine*, 2020.

Abonazel, M. R., & Abd-Elftah, A. I. (2019). Forecasting Egyptian GDP using ARIMA models. *Reports on Economics and Finance*, 5(1), 35-47.

Acsa, I., Bebor, L. C., Nyaga, P. N., & Njagi, L. W. (2022). Village-indigenous Chicken Bacterial Carriage After the Heavy Rains of 2018, Kenya: Indicator on Environmental Contamination With Pathogenic/zoonotic Bacteria.

Althaus, D., Zweifel, C., & Stephan, R. (2017). Analysis of a poultry slaughter process: Influence of process stages on the microbiological contamination of broiler carcasses. *Italian journal of food safety*, 6(4).

Anwar, A., Na-Lampang, K., Preyavichyapugdee, N., & Punyapornwithaya, V. (2022). Lumpy Skin Disease Outbreaks in Africa, Europe, and Asia (2005–2022): Multiple Change Point Analysis and Time Series Forecast. *Viruses*, 14(10), 2203.

Atlas_Big. (2020). *World Meat Production*. https://www.atlasbig.com/en-us/countries-by-meat-production

Benvenuto, D., Giovanetti, M., Vassallo, L., Angeletti, S., & Ciccozzi, M. (2020). Application of the ARIMA model on the COVID-2019 epidemic dataset. *Data in brief*, 29, 105340.

Bhaisare, D. B., Thyagarajan, D., Churchil, R. R., & Punniamurthy, N. (2014). Bacterial pathogens in chicken meat. *Int J Life Sci Res*, 2(3), 1-7.

Castro-Vargas, R. E., Herrera-Sánchez, M. P., Rodríguez-Hernández, R., & Rondón-Barragán, I. S. (2020). Antibiotic resistance in Salmonella spp. isolated from poultry: A global overview. *Veterinary world*, 13(10), 2070.

CDC. (2018). *The Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Burden of Foodborne Illness: Findings*. Retrieved 4 November 2023 from https://www.cdc.gov/foodborneburden/2011-foodborne-estimates.html

Chlebicz, A., & Śliżewska, K. (2018). Campylobacteriosis, salmonellosis, yersiniosis, and listeriosis as zoonotic foodborne diseases: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 863.

Cohen, N., Ennaji, H., Bouchrif, B., Hassar, M., & Karib, H. (2007). Comparative study of microbiological quality of raw poultry meat at various seasons and for different slaughtering processes in Casablanca (Morocco). *Journal of Applied Poultry Research*, 16(4), 502-508.

Department, T. M. (2023). *Thai Meteorological Department_climate of Thailand* https://www.tmd.go.th/en/

Department_of_Disease_Control. (2021). *Weekly prognosis and health threats* https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=22377&deptcode=brc&news_views=4996

Department_of_Disease_Control. (2023). *Department of Disease Control. Weekly forecasts of disease and health hazards*. https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=31070&deptcode=brc

Dias, M. R., Cavicchioli, V. Q., Camargo, A. C., Lanna, F. G. P. A., Pinto, P. S. d. A., Bersot, L. d. S., & Nero, L. A. (2016). Molecular tracking of Salmonella spp. in chicken meat chain: from slaughterhouse reception to end cuts. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1084-1091.

Doyle, M. P., Diez-Gonzalez, F., & Hill, C. (2020). *Food microbiology: fundamentals and frontiers*. John Wiley & Sons.

Edoaurd, T. M. (2017). *Molecular characterisation of food borne pathogens and their antibiotic resistance profiles in ready-toeat meat sold around Johannesburg Central Business District, Gauteng Province* North-West University (South Africa)].

Gregova, G., Kmetova, M., Kmet, V., Venglovsky, J., & Feher, A. (2012). Antibiotic resistance of Escherichia coli isolated from a poultry slaughterhouse. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19(1).

Ishihara, K., Nakazawa, C., Nomura, S., Elahi, S., Yamashita, M., & Fujikawa, H. (2020). Effects of climatic elements on Salmonella contamination in broiler chicken meat in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 82(5), 646-652.

Klaharn, K. (2021). *Association between meat hygiene and chicken slaughterhouse management in Thailand during* 2019-2020 Chiang Mai: Graduate School, Chiang Mai University].

Lee, H., & Yoon, Y. (2021). Etiological agents implicated in foodborne illness world wide. *Food science of animal resources*, 41(1), 1.

Lee, Y. J., Kim, H. J., Park, C. K., Kim, K. S., Bae, D. H., Kang, M. S., Cho, J. K., Kim, A. R., Kim, J. W., & Kim, B. H. (2007). Characterization of Salmonella spp. isolated from an integrated broiler chicken operation in Korea. *Journal of Veterinary Medical Science*, 69(4), 399-404.

Li, S., Peng, Z., Zhou, Y., & Zhang, J. (2021). Time series analysis of foodborne diseases during 2012–2018 in Shenzhen, China. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 1-9.

Markland, S., LeStrange, K., Sharma, M., & Kniel, K. (2015). Old friends in new places: exploring the role of extraintestinal E. coli in intestinal disease and foodborne illness. *Zoonoses and Public Health*, 62(7), 491-496.

Meyler, A., Kenny, G., & Quinn, T. (1998). Forecasting Irish inflation using ARIMA models.

Okorie-Kanu, O. J., Anyanwu, M. U., Ezenduka, E. V., Mgbeahuruike, A. C., Thapaliya, D., Gerbig, G., Ugwuijem, E. E., Okorie-Kanu, C. O., Agbowo, P., & Olorunleke, S. (2020). Molecular epidemiology, genetic diversity and antimicrobial resistance of Staphylococcus aureus isolated from chicken and pig carcasses, and carcass handlers. *PloS One*, 15(5), e0232913.

Pacholewicz, E., Swart, A., Schipper, M., Gortemaker, B. G., Wagenaar, J. A., Havelaar, A. H., & Lipman, L. J. (2015). A comparison of fluctuations of Campylobacter and Escherichia coli concentrations on broiler chicken carcasses during processing in two slaughterhouses. *International Journal of Food Microbiology*, 205, 119-127.

Pal, M., Merera, O., Abera, F., Rahman, M., & Hazarika, R. (2015). Salmonellosis: A major foodborne disease of global significance. *Beverage Food World*, 42(12), 21-24.

Patterson, L., Navarro-Gonzalez, N., Jay-Russell, M. T., Aminabadi, P., & Pires, A. F. (2022). Risk factors of Shiga toxin-producing Escherichia coli in livestock raised on diversified small-scale farms in California. *Epidemiology and Infection*, 150.

Peralta, E. A., Carpenter, T. E., & Farver, T. B. (1982). The application of time series analysis to determine the pattern of foot-and-mouth disease in cattle in Paraguay. *Preventive Veterinary Medicine*, 1(1), 27-36.

Rajan, K., Shi, Z., & Ricke, S. C. (2017). Current aspects of Salmonella contamination in the US poultry production chain and the potential application of risk strategies in understanding emerging hazards. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(3), 370-392.

Rasschaert, G., Houf, K., Godard, C., Wildemauwe, C., Pastuszczak-Frak, M., & De Zutter, L. (2008). Contamination of carcasses with Salmonella during poultry slaughter. *Journal of Food Protection*, 71(1), 146-152.

Ratprakhon, A., & Korkaitsakulchai, E. (2563). *The study of bacterial contamination in poultry meat from Hygienic livestock products project (Q mark)* 2016 - 2018 https://certify.dld.go.th/certify/index.php/th/2016-05-01-14-51-22/2022-06-06-03-35-32/2016-05-03-02-31-49/1271-q-mark-2

RCoreTeam. (2023). R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Retrieved 9 August 2023, from

Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2019). *Meat and Dairy Production*. Retrieved 4 November 2023 from https://ourworldindata.org/meat-production

Rivera-Pérez, W., Barquero-Calvo, E., & Zamora-Sanabria, R. (2014). Salmonella Contamination Risk Points in Broiler Carcasses during Slaughter Line Processing. *Journal of Food Protection*, 77(12), 2031-2034. https://doi.org/https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-052

Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M.-A., Roy, S. L., Jones, J. L., & Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 17(1), 7.

Shang, K., Wei, B., Jang, H.-K., & Kang, M. (2019). Phenotypic characteristics and genotypic correlation of antimicrobial resistant (AMR) Salmonella isolates from a poultry slaughterhouse and its downstream retail markets. *Food Control*, 100, 35-45.

Silva, R. M. d., Jesus, M. C. d., Macêdo, K. M., Cardoso, V. L., Santana, J. M., Silva, I. d. M. M. d., Baliza, M., & Evêncio-Neto, J. (2018). Colimetric index and virulence genes iss and iutA in Escherichia coli isolates in cellulitis of poultry carcasses under sanitary inspection. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 19, 371-380.

Singh, R., Singh, P., Rathore, R., Dhama, K., & Malik, S. (2008). Studies on effect of seasonal variations on the prevalence of Campylobacter jejuni in poultry faecal samples collected from Western Uttar Pradesh, India. *Indian Journal of Comparative Microbiology, Immunology and Infectious Diseases*, 29(1and2), 45-48.

United_Nations. (2015). *Sustainable Development Goals* https://sdgs.un.org/goals

USDA. (2023). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade* https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf

Wang, H., Ye, K., Wei, X., Cao, J., Xu, X., & Zhou, G. (2013). Occurrence, antimicrobial resistance and biofilm formation of Salmonella isolates from a chicken slaughter plant in China. *Food Control*, 33(2), 378-384. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.030

WHO. (2023). *World Health Organization (WHO). Burden of foodborne diseases in WHO South East Asia Region*. Retrieved 4 November 2023 from https://www.who.int/southeastasia/activities/burden-of-foodborne-diseases-in-who-south-east-asia-region

World_Health_Organization. (2020). *Food safety* https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety

Zeng, H., De Reu, K., Gabriël, S., Mattheus, W., De Zutter, L., & Rasschaert, G. (2021). Salmonella prevalence and persistence in industrialized poultry slaughterhouses. *Poultry Science*, 100(4), 100991. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.014

และคณะ, ศ. ฐ. (2559(2016)). การเฝ้าระวัง *Vibrio parahaemolyticus, Staphylococcus aureus* และ *Salmonella spp.* ในเนื้อปูต้มแกะ https://he02.tci-thaijo.org/index.php/dmsc/article/view/241628

กาญจนมาลา, ว., & งามเกลี้ยง, ส. (2563). แนวทางปฏิบัติการเก็บตัวอย่างสำหรับโรงฆ่าสัตว์และโรงงานผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อการส่งออก https://certify.dld.go.th/certify/index.php/th/2016-05-01-14-51-22/2022-06-06-03-35-32/2016-05-03-02-31-49/1193-2020-04-21-02-19-26

ณัฐณิชา.ตียะสุขเศรษฐ์.ณัฐวิทย์.อิ่มมาก. (2562). การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในเนื้อสัตว์จากโรงฆ่าสัตว์ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2558-2560. https://region5.dld.go.th/webnew/index.php/en/news-menu/2019-07-30-09-15-20/180-2019-07-30-07-35-00/1037-2558-2560

วลัยกรศรีเจริญ. (2564_2021). การศึกษาปัจจัยเสี่ยงการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในชิ้นส่วนไก่จากโรงฆ่าสัตว์ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเพื่อส่งออกไปสาธารณรัฐประชาชนจีน ปี 2564

Study of risk factors for bacterial contamination in chicken products from Thai slaughterhouses registered for export to the People's Republic of China in 2021 https://certify.dld.go.th/certify/index.php/th/2016-05-01-14-51-22/2022-06-06-03-35-32/2016-05-03-02-31-49

วีรนุช, พานทอง, ลวนะลาภานนท์, ก., & สารทอง, น. (2562). ความชุกและความไวต่อยาต้านจุลชีพของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่แยกได้จากฟาร์มสุกรในเขตภาคตะวันตกของประเทศไทย https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/179927/127756

สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม. (2565). *Salmonella spp* http://fic.nfi.or.th/foodsafety/upload/damage/pdf/salmonella_2.pdf