ว กรมวิทย พ 2567; 66 (1): 58-66

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของ *Salmonella* spp. ในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท

พัชรีย์ จิตตพิทักษ์ชัย[1] วชิราภา เขียวรอด[1] และ สุคันธา โอศิริพันธ์[2]

[1]ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม อำเภอเมือง สมุทรสงคราม 75000

[2]คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50100

บทคัดย่อ ซาลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) เป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุขเนื่องจากก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษในมนุษย์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบจากซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท โดยสุ่มตัวอย่าง 15 จังหวัด ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงกันยายน พ.ศ. 2564 รวม 346 ตัวอย่าง พบปนเปื้อน 1 ตัวอย่าง คิดเป็นความชุกร้อยละ 0.29 ความเข้มข้นซาลโมเนลลาเท่ากับ 0.01 CFU/mL ปริมาณน้ำที่ควรได้รับต่อวันเท่ากับ 2.151 ลิตร ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัสเท่ากับ 21.51 CFU การตอบสนองต่อการสัมผัสได้ค่าความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยเท่ากับ 0.0000108 และ 0.0452 โดยประเมินด้วย exponential model และ beta-Poisson model ตามลำดับ จากการสร้างแบบจำลอง dose-response assessment model ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัสต่ำสุดเท่ากับ 10 CFU มีค่าความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยที่ 0.02324 การประเมินการรับสัมผัสได้ค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะรับสัมผัสซาลโมเนลลาเท่ากับ 0.00289 ดังนั้น ความเสี่ยงจากการเจ็บป่วยเนื่องจากการดื่มน้ำในภาชนะปิดสนิทที่ปนเปื้อนซาลโมเนลลา เท่ากับ 0.000000031 และ 0.000130619 ตาม exponential model และ beta-Poisson model ตามลำดับ ผลจากการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณในครั้งนี้ พบว่าน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทในพื้นที่การศึกษาอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้และมีความปลอดภัย การศึกษานี้สามารถใช้เป็นต้นแบบอย่างหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงทางจุลชีววิทยา โดยประยุกต์ใช้สำหรับชนิดอาหารหรือจุลินทรีย์ก่อโรคอื่น ๆ ได้

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ, ซาลโมเนลลา, น้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท

Corresponding author E-mail: patcharee.c@dmsc.mail.go.th

Received: 17 March 2023 *Revised: 12 January 2024* *Accepted: 5 February 2024*

บทนำ

ซาลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่ง ติดสีแกรมลบ เจริญเติบโตได้ในที่มีหรือไม่มีอากาศ มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการดำรงชีพในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วงที่เรียกว่า Salmonellosis เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ อาเจียน ท้องร่วง ตะคริว และมีไข้ โดยทั่วไปมีอาการประมาณสองวันและค่อย ๆ หายไปในหนึ่งสัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีภูมิต้านทานต่ำ ซาลโมเนลลาสามารถแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น ๆ และทำให้เกิดความเจ็บป่วยที่รุนแรงได้ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุขที่พบได้เกือบทุกแห่งทั่วโลก และมีแนวโน้มที่จะมีอุบัติการณ์เพิ่มมากขึ้น[1] ซึ่งสอดคล้องกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524)[2] และฉบับที่ 416 (พ.ศ. 2563)[3] ต้องไม่พบการปนเปื้อน *Salmonella* spp. ในน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

แนวทางในการควบคุมโรคอาหารเป็นพิษของคณะกรรมาธิการโคเด็กซ์ (the Codex Alimentarius Commission; CAC) ซึ่งเป็นองค์กรระหว่างประเทศในการกำหนดมาตรฐานอาหารระดับสากลได้แนะนำไว้ คือ การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis) ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ซึ่งมีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กัน การประเมินความเสี่ยง (risk assessment) เป็นกระบวนการประเมินเพื่อให้ทราบถึงระดับความเสี่ยงของผู้บริโภค หากค่าความเสี่ยงมีระดับสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ต้องมีการควบคุมหรือลดระดับความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ โดยกระบวนการที่เรียกว่า การจัดการความเสี่ยง (risk management) และการสื่อสารความเสี่ยง (risk communication) คือ กระบวนการของผู้ที่ประเมินความเสี่ยงและผู้จัดการความเสี่ยงดำเนินการติดต่อและประสานงานกัน เชื่อมโยงองค์ความรู้ในการประเมินความเสี่ยงและจัดการความเสี่ยง รวมถึงการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย (FAO/WHO 2012) ทั้งนี้ให้หมายรวมถึง 3 ภาคหลัก คือ ภาคเอกชนที่ทำหน้าที่ผลิต แปรรูป นำเข้า ส่งออก และจัดจำหน่ายอาหาร ภาครัฐบาลที่ทำหน้าที่กำกับดูแลความปลอดภัยอาหาร และภาคผู้บริโภคซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบหรือความเสี่ยงในการบริโภคอาหารในขั้นตอนสุดท้ายของห่วงโซ่อาหาร (food chain)[1]

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (quantitative microbial risk assessment; QMRA) ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณค่าความเสี่ยง เช่น จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากจุลินทรีย์ก่อโรคซาลโมเนลลา การประเมินความเสี่ยงจุลินทรีย์เชิงปริมาณตามแนวทางของ CAC ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุอันตราย (hazard identification) การอธิบายอันตราย (hazard characterization) การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment) และการอธิบายความเสี่ยง (risk characterization)[4] การประเมินความเสี่ยงได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่เป็นเทคโนโลยีกระบวนการใหม่จากหลักการค้นคว้าเพื่อได้อาหารที่มีความเสี่ยงต่ำที่สุดที่จะเป็นไปได้[5]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบจากซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังทางด้านความปลอดภัยอาหาร และเป็นต้นแบบหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงทางจุลชีววิทยา รวมทั้งหน่วยงานที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลกำกับกระบวนการผลิตสามารถนำข้อมูลจากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการให้ความรู้แก่ผู้เกี่ยวข้องต่อไป

วัสดุและวิธีการ

การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึง กันยายน พ.ศ. 2564 ตามโครงการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในพื้นที่เขตรับผิดชอบของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม จำนวน 8 จังหวัด ได้แก่ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี นครปฐม กาญจนบุรี และสุพรรณบุรี ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 7 ขอนแก่น จำนวน 4 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11/1 ภูเก็ต จำนวน 3 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ พังงา และภูเก็ต

วิธีการเก็บตัวอย่างสุ่มเก็บจากร้านค้าที่จำหน่าย การนำส่งของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด และการนำส่งของผู้ผลิตเอง รวม 346 ตัวอย่าง วิเคราะห์หาการปนเปื้อนซาลโมเนลลาตามวิธีมาตรฐาน ISO 19250:2010[6] นำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซาลโมเนลลา

การประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

การระบุอันตราย (hazard identification)

การทบทวนและยืนยันการเจ็บป่วยจริง ซึ่งเป็นขั้นตอนในการเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงที่อาจมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นหรือถูกทำลายลง ขั้นตอนการระบุอันตรายอาศัยข้อมูลที่มีความชัดเจนว่าโรคอาหารเป็นพิษเกิดจากจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น ข้อมูลทางระบาดวิทยา[7] จุลินทรีย์ก่อโรคที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ซาลโมเนลลา เนื่องจากซาลโมเนลลามีโอกาสปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทและมีความสอดคล้องกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524)[2] และฉบับที่ 416 (พ.ศ. 2563)[3] ต้องไม่พบการปนเปื้อน *Salmonella* spp. ในน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทต่อ 100 มิลลิลิตร

การอธิบายอันตราย (hazard characterization) หรือการประเมินการตอบสนองต่อการสัมผัส (dose-response assessment)

การตอบสนองของมนุษย์เมื่อร่างกายได้รับจุลินทรีย์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่สามารถแจกแจงได้เป็นความสัมพันธ์ของ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) ร่างกายมนุษย์ (host factor) และสิ่งแวดล้อม (environment) ซึ่งอาหารหรือน้ำที่บริโภคเข้าไปจะแสดงอาการผิดปกติต้องมี 3 องค์ประกอบที่เหมาะสมกัน ประเด็นสำคัญของแต่ละองค์ประกอบที่ต้องพิจารณา คือ ความรุนแรงของจุลินทรีย์ก่อโรค (virulence) ระดับความต้านทานของร่างกาย (Immunity) และลักษณะของอาหารที่ทำหน้าที่เป็นสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของจุลินทรีย์ (growth and survival)[7] ในการศึกษาถึงผลการตอบสนอง (response) ต่อซาลโมเนลลา จำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกันทั้ง 3 องค์ประกอบ หากพัฒนาให้เป็นการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณจำเป็นต้องมีการประเมินเป็นตัวเลขที่ชัดเจน โดยการนำปริมาณซาลโมเนลลา (dose) ที่ก่อเกิดความเจ็บป่วย (response) ในระดับต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์ด้วยจำนวนข้อมูลการระบาด (outbreaks) กับข้อมูลที่มีให้เป็นเส้นโค้ง (curve) และสร้างเป็นแบบจำลองการตอบสนองต่อเชื้อ (dose-response model) จากข้อมูลการระบาดทั้งหมด[8] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายอันตราย ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองทวีคูณ (exponential model) และแบบจำลองเบตาพัวซอง (beta-Poisson model) ดังนี้

แบบจำลอง exponential model มีสมมติฐาน คือ ทุกเซลล์ของจุลินทรีย์มีความน่าจะเป็นเท่ากันในการทำให้เกิดการติดเชื้อในกลุ่มผู้บริโภค และความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลล์ที่ร่างกายได้รับเข้าไป คำนวณได้จากสมการที่ 1[8]

$$P_i = 1 - (\exp(-rd)) \qquad \text{สมการที่ 1}$$

กำหนดให้ *Pi* คือ ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย (ตามแบบจำลอง exponential model)

r คือ ตัวแปรแบบจำลอง exponential บุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรง เท่ากับ 0.0000005 และบุคคลที่มีปัญหาสุขภาพ เท่ากับ 0.01[9]

d คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัส (CFU)
คำนวนได้จากสมการ $d = c \times m$
โดย c คือ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่ศึกษา (CFU/mL)
m คือ ปริมาณน้ำที่ควรได้รับต่อวัน (mL)

แบบจำลอง beta-Poisson model อาศัยข้อมูลจากการประเมินการรับสัมผัส โดยวิธีจำลองในรูปของสมการคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ ซึ่งขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรค (ไม่ขึ้นกับชนิดของอาหาร) คำนวณได้จากสมการที่ 2[10]

$$P_{ill} = 1 - \left(1 + \frac{Dose}{\beta}\right)^{-\alpha}$$ สมการที่ 2

กำหนดให้ P_{ill} คือ ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย (ตามแบบจำลอง beta-Poisson model)
Dose คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัส (CFU)
คำนวณได้จากสมการ d = c × m
โดย c คือ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่ศึกษา (CFU/mL)
m คือ ปริมาณน้ำที่ควรได้รับต่อวัน (mL)
α เท่ากับ 0.1324[7]
β เท่ากับ 51.45[7]

การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)

กระบวนการเพื่อประมาณความน่าจะเป็น (probability) หรือความเป็นไปได้ (likelihood) ที่คนแต่ละคนหรือประชากรที่สนใจจะรับสัมผัส (expose) อันตราย (hazard) ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทราบข้อมูล 2 ส่วน คือ โอกาสในการรับสัมผัสกับจุลินทรีย์ก่อโรคและจำนวนเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายหรือ dose เพื่อให้สามารถประเมินการสัมผัสอย่างเป็นรูปธรรม

การศึกษานี้เป็นขั้นตอนในการคำนวณโอกาสในการรับสัมผัสจุลินทรีย์จากการดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทที่มีการปนเปื้อนซาลโมเนลลา โดยอ้างอิงข้อมูลความชุกและจำนวนซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท รวมถึงปริมาณน้ำที่ควรได้รับในแต่ละวัน การคำนวณความน่าจะเป็นในการรับสัมผัสซาลโมเนลลา (probability of exposure) คำนวณได้จากสมการที่ 3[7]

$$P_E = P(1 - e^{-mc})$$ สมการที่ 3

กำหนดให้ P_E คือ ความน่าจะเป็นในการสัมผัสจุลินทรีย์
P คือ ค่าความชุกของจุลินทรีย์ คำนวณจากสัดส่วนจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคที่ตรวจพบการปนเปื้อนซาลโมเนลลาต่อจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคทั้งหมดที่ตรวจวิเคราะห์
m คือ ปริมาณน้ำที่ควรได้รับต่อวัน (mL)
c คือ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่ศึกษา (CFU/ mL)

การอธิบายความเสี่ยง (risk characterization)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงและคำนวณจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคอาหารเป็นพิษจากการดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทที่ปนเปื้อนซาลโมเนลลาโดยวิธีบูรณาการเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอธิบายอันตรายและขั้นตอนการประเมินการรับสัมผัสเข้าด้วยกัน จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และคำนวณค่าประมาณความเสี่ยงที่บ่งบอกระดับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท หรือจำนวนผู้ป่วยต่อจำนวนประชากรที่ดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท คำนวณได้จากสมการที่ 4[7,10]

$$\text{Risk} = P_E \times (P_i \text{ หรือ } P_{ill}) \qquad \text{สมการที่ 4}$$

โดยที่ P_E ค่าจากสมการที่ 3 ขั้นตอนการประเมินการสัมผัส
P_i ค่าจากสมการที่ 1 ขั้นตอนการอธิบายอันตราย
P_{ill} ค่าจากสมการที่ 2 ขั้นตอนการอธิบายอันตราย

ผล

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุอันตราย (hazard identification) 2) การอธิบายอันตราย (hazard characterization) 3) การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment) และ 4) การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (risk characterization) ดังนี้

การระบุอันตราย (hazard identification)

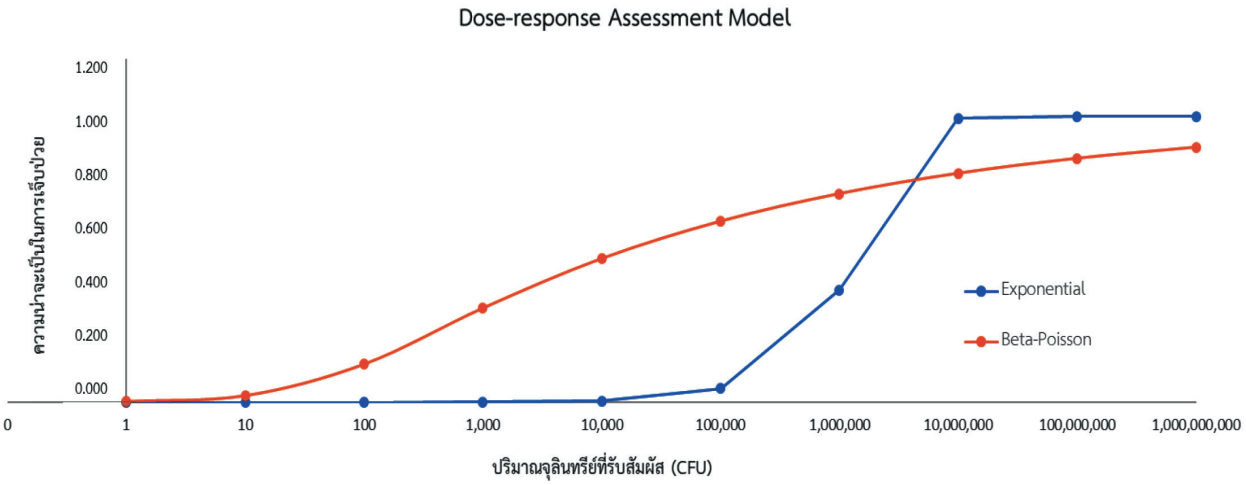
จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทสามารถก่อโรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติ เช่น โรคอุจจาระร่วง จากสถานการณ์โรคอาหารเป็นพิษในปี พ.ศ. 2564 ตั้งแต่ 1 มกราคม พ.ศ. 2564 ถึง 13 ธันวาคม พ.ศ. 2564 พบผู้ป่วยจำนวน 53,540 ราย เสียชีวิต 1 ราย กลุ่มอายุที่พบผู้ป่วยมากที่สุด คือ อายุ 15–24 ปี รองลงมา คือ อายุ 25–34 ปี และอายุมากกว่า 65 ปีขึ้นไป[11] ซาลโมเนลลาทำให้เกิดการติดเชื้อในคนและอาศัยอยู่ในคนได้นาน สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิร่างกายของคนและสัตว์ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 30–45 องศาเซลเซียส การปรุงอาหารให้สุกโดยการให้ความร้อนจะทำให้เชื้อตายไม่สามารถก่อให้เกิดโรคได้ อาการของโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากซาลโมเนลลา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่งมีอาการของระบบทางเดินอาหารและลำไส้อักเสบ ประเภทที่สองมีอาการของไข้ไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์[1] ซาลโมเนลลาเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน การปนเปื้อนซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เนื่องจากโดยธรรมชาติของซาลโมเนลลามีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และสามารถอาศัยอยู่ในสัตว์และคนได้ จากข้อมูลการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ในปี พ.ศ. 2564 จำนวน 346 ตัวอย่าง การทดสอบด้านจุลินทรีย์พบการปนเปื้อนซาลโมเนลลา จำนวน 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 0.29

การอธิบายอันตราย (hazard characterization) หรือการประเมินการตอบสนองต่อการสัมผัส (dose-response assessment)

จากผลการประเมินการรับสัมผัสกับผลกระทบที่เกิดขึ้นหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดจากการเจ็บป่วย หาค่า dose-response assessment ของซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท โดยใช้ แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง exponential model (P_i) เมื่อปริมาณน้ำที่ควรได้รับต่อวัน (mL) ได้จากค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับกลุ่มบุคคลวัยต่าง ๆ ตั้งแต่ทารก 6 เดือนขึ้นไป ถึงผู้ใหญ่อายุมากกว่า 71 ปี อ้างอิงข้อมูลปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563[12] ประมาณ 2,151 มิลลิลิตรต่อวัน เมื่อคูณกับความเข้มข้นของซาลโมเนลลาตาม ISO 19250:2010 เท่ากับ 0.01 CFU/ mL จะได้เป็นปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัส (d) เท่ากับ 21.51 CFU และเมื่อแทนค่าตัวแปรแบบจำลองบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรง (r) เท่ากับ 0.0000005 ในสมการที่ 1 ได้ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย (P_i) เท่ากับ 0.0000108 และแบบจำลอง beta-Poisson model (P_{ill}) เมื่อแทนค่าปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัส (dose) ในสมการที่ 2 ได้ความน่าจะเป็นที่ต่อเนื่องจากการสัมผัสกับจุลินทรีย์ก่อโรค (P_{ill}) เท่ากับ 0.0452

การประเมินการตอบสนองต่อการสัมผัสจากการสร้างแบบจำลอง ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัสหรือ dose ในระดับต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์ร่วมกับ exponential

model และ beta-Poisson model ได้ค่าความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย จำนวน 2 ชุดข้อมูล ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัสต่ำสุดเท่ากับ 100,000 CFU และ 10 CFU มีค่าความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย 0.04877 และ 0.02324 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยจากซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทด้วย exponential model และ beta-Poisson model

การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)

เมื่อคำนวณค่าสัดส่วนจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคที่ตรวจพบการปนเปื้อนซาลโมเนลลาต่อจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคทั้งหมดที่ตรวจวิเคราะห์ (P) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.00289 เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะรับสัมผัสซาลโมเนลลา (P_E) เท่ากับ 0.00289

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

เมื่อแทนค่า P_E, P_i และ P_{ill} ในสมการที่ 4 ได้ความเสี่ยงจากการเจ็บป่วย เนื่องจากซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทตาม exponential model และ beta-Poisson model เท่ากับ 0.000000031 และ 0.000130619 ตามลำดับ

วิจารณ์

การปนเปื้อนซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เนื่องจากซาลโมเนลลามีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และสามารถอาศัยอยู่ในสัตว์และคนได้ ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยจากซาลโมเนลลาตาม exponential model (P_i) และแบบจำลอง beta-Poisson model (P_{ill}) เท่ากับ 0.0000108 และ 0.0452 หมายถึงหากได้รับปริมาณซาลโมเนลลาประมาณ 22 CFU จำนวน 100,000 ครั้ง และ 100 ครั้ง มีโอกาสเจ็บป่วย 1-2 ครั้ง และ 4-5 ครั้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัสต่ำสุดที่ 10 CFU มีความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยและความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยจะมากขึ้นเมื่อมีปริมาณที่รับสัมผัสเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่รับสัมผัส 10,000,000 CFU ขึ้นไป มีโอกาสเกิดการเจ็บป่วยในทุกครั้ง

ความชุกของซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทจากข้อมูลการศึกษาครั้งนี้เท่ากับร้อยละ 0.29 ทำให้ความน่าจะเป็นที่จะได้รับสัมผัสจุลินทรีย์หรือซาลโมเนลลาจากการดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทเท่ากับ 0.00289 หมายถึงหากดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทจำนวน 1,000 ครั้ง มีโอกาสได้รับซาลโมเนลลา 2-3 ครั้ง

การประเมินความเสี่ยงของซาลโมเนลลาจากการดื่มน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท จากการศึกษาครั้งนี้ exponential model เท่ากับ 0.000000031 หมายถึงผู้ที่ดื่มน้ำจำนวน 100,000,000 คน มีผู้เจ็บป่วยประมาณ 3 คน ซึ่งน้อยมาก และ beta-Poisson model เท่ากับ 0.000130619 หมายถึงผู้ที่ดื่มน้ำจำนวน 10,000 คน มีผู้เจ็บป่วยประมาณ 1-2 คน ทั้งนี้จำนวนผู้ป่วยจะสูงขึ้นตามสัดส่วนของผู้บริโภค ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรประมาณ 66 ล้านคน[13] โดยจะมีประชากรไทยที่ป่วยด้วยซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทประมาณ 2-8,450 คน/ปี ซึ่งเป็นค่าที่มีความแปรปรวนสูง

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากสถานการณ์โรคอาหารเป็นพิษ ตามรายงานของกระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2564 จำนวน 53,540 คน สอดคล้องกับข้อมูลการป่วยด้วยซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิท 2-8,450 คน/ปี ทั้งนี้การเกิดโรคอาหารเป็นพิษทั้งหมดอาจไม่ได้เข้าสู่ระบบการรายงานของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งมีผลทำให้จำนวนที่รายงานต่ำกว่าความเป็นจริง ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าความแปรปรวนของประชากรที่ป่วยต่อปี ดังนั้นต้องมีการเก็บข้อมูลและทวนสอบความถูกต้องของผลการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณและดำเนินการประเมินความเสี่ยงในผลิตภัณฑ์และเชื้อโรคอาหารเป็นพิษชนิดอื่น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลของประเทศไทยต่อไป การประเมินความเสี่ยงด้านจุลชีววิทยาควรดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่มีความถูกต้องเชื่อถือได้และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล เนื่องจากเป็นการพัฒนาที่นำวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญระดับประเทศโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา หลักการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้สำหรับประเมินอันตรายด้านชีววิทยาในอาหารอื่น ๆ ได้[14]

สรุป

การศึกษาการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซาลโมเนลลาในน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิททำให้ทราบค่าประเมินความเสี่ยง สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจพิจารณาเกณฑ์หรือกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค หรือกำหนดมาตรการด้านการจัดการความเสี่ยงในขั้นตอนการผลิตได้ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าน้ำบริโภคในภาชนะปิดสนิทในพื้นที่การศึกษาอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้และมีความปลอดภัย ทั้งนี้ควรมีการเก็บข้อมูลและประเมินสถานการณ์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน การศึกษานี้สามารถใช้เป็นต้นแบบอย่างหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงทางจุลชีววิทยา และหน่วยงานที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลกำกับกระบวนการผลิตสามารถนำข้อมูลจากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการให้ความรู้แก่ผู้เกี่ยวข้องต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางสาวเกษร บุญยรักษ์โยธิน ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม ที่สนับสนุนการดำเนินงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 7 ขอนแก่น และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11/1 ภูเก็ต ที่ได้ให้ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยง และขอขอบคุณ รศ.น.สพ.ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ ที่ให้คำปรึกษาความรู้ด้านวิชาการและคำแนะนำในการเขียนงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ. ความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety). กรุงเทพฯ: คณะสัตวแพทย์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
2. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่ม 98 ตอนที่ 157 (วันที่ 24 กันยายน 2524). หน้า 52.
3. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 (พ.ศ. 2563) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไขและวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนพิเศษ 237 ง (วันที่ 9 ตุลาคม 2563). หน้า 9.

4. Codex Alimentarius Commission. Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. CAC/GL-30. [online]. 1999; [cited 2021 Apr 27]; [6 screens]. Available from: URL: http://www.fao.org/3/y1579e/y1579e05.htm.
5. Ramos GL, Nascimento JS, Margalho LP, Duarte MC, Esmerino EA, Freitas MQ, et al. Quantitative microbiological risk assessment in dairy products: Concepts and applications. Trends Food Sci Technol 2021; 111: 610-6.
6. ISO 19250:2010. Water quality-detection of Salmonella spp. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2010.
7. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ. ความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
8. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ, โอกาส วงศ์นิติพัฒน์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง ประเมินความเสี่ยงของลิสทีเรีย โมโนไซโตจีเนสในผลิตภัณฑ์ไก่. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารแห่งชาติ; 2550.
9. Clarke R, Peyton D, Healy MG, Fenton O, Cummins E. A quantitative microbial risk assessment model for total coliforms and E. coli in surface runoff following application of biosolids to grassland. Environ Pollut 2017; 224: 739-50.
10. Buchanan RL, Smith JL, Long W. Microbial risk assessment: dose-response relations and risk characterization. Int J Food Microbiol 2000; 58(3): 159-72.
11. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. พยากรณ์โรคและภัยสุขภาพรายสัปดาห์ ฉบับที่ 44/2564 ประจำสัปดาห์ที่ 51 (วันที่ 19 – 25 ธ.ค. 64). [ออนไลน์]. 2564; [สืบค้น 15 พ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: URL: https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=22377&deptcode=brc&news_views=4996.
12. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ตารางปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. [ออนไลน์]. 2563; [สืบค้น 20 พ.ย. 2566]; [18 หน้า]. เข้าถึงได้จาก: URL: https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/book/download/?did=194515&id=47232&reload=.
13. สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร (รายเดือน). [ออนไลน์]. [สืบค้น 20 พ.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: URL: https://stat.bora.dopa.go.th/stat/stat-new/statMONTH/statmonth/#/mainpage.
14. นงคราญ เรืองประพันธ์, มุทิตา คณฑา, กิตติมา ไมตรีประดับศรี, อรอนงค์ วงษ์เอียด. การประเมินความเสี่ยงเชิงกึ่งปริมาณของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย. ว กรมวิทย พ 2564; 63(4): 793-808.

Quantitative Microbiological Risk Assessment of *Salmonella* spp. in Drinking Water in Sealed Container

Patcharee Chittaphithakchai,[1] **Wachirapa Kheowrod,**[1] **and Sukhuntha Osiriphun**[2]

[1]*Regional Medical Sciences Center 5 Samut Songkhram, Muang District, Samut Songkhram 75000, Thailand*

[2]*Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai 50180, Thailand*

ABSTRACT *Salmonella* spp. are pathogens of serious public health concern as they cause food poisoning in humans. The objective of this study was to quantitatively evaluate the risks associated with *Salmonella* contamination of consumable bottled water in 15 randomly selected provinces of Thailand between October 2020 and September 2021. The study revealed that one out of a total of 346 samples was positive for *Salmonella*. The prevalence of *Salmonella* contamination was 0.29%, while the concentration of *Salmonella* was 0.01 CFU/mL. The amount of water to be consumed per day was 2.151 L, and the number of exposed microorganisms was 21.51 CFU. The response to dose assessment showed the risk or probability of illness at 0.0000108 and 0.0452, as estimated by the exponential model and the beta-Poisson model, respectively. Based on the dose-response assessment model, at the concentration of microbial exposure of at least 10 CFU/mL, the probability of illness was 0.02324. The exposure assessment showed the probability of exposure to *Salmonella* at 0.00289. Thus, the risks of illness due to drinking bottled water contaminated with *Salmonella* were 0.000000031 and 0.000130619 according to the exponential model and the beta-Poisson model, respectively. The quantitative microbial risk assessment revealed that the bottled water consumption in the study area was within acceptable and safe risk criteria. This study approach could be used as a prototype for microbiological risk assessments and applicable to other food types or pathogenic microorganisms.

Keywords: Quantitative microbial risk assessment, *Salmonella* spp., Bottled water