

อหิวาตกโรค กับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

สรุณยา เสงพรประหม*

พรชัย สิทธิสรันย์กุล*

บทคัดย่อ

การแปรสภาพภูมิอากาศของโลกส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์. ผลกระทบทางลบจากการเปลี่ยนแปลงคือภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม, ระบบนิเวศ, การกระจายของโรคและพาหะของเชื้อโรคหลายชนิด ซึ่งย้อนกลับมาส่งผลต่อมนุษย์เอง หนึ่งในนั้นคืออหิวาตกโรค. บทความนี้กล่าวถึงผลต่อตัวเชื้อโรค, การกระจาย และวิทยาการระบาดของอหิวาตกโรค จากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงผ่านตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ปรากฏการณ์ เอนโซ, ระดับความสูงของน้ำทะเลและระดับความเค็ม, ปรากฏการณ์การออกเจริญเกิน หรือการสฟรังของสาหร่าย หรือการสฟรังของแพลงก์ตอนพืช, และกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมเดินเรือสมุทร. ผู้เขียนได้ให้ข้อเสนอแนะการทำวิจัยเพื่อศึกษาทำความเข้าใจและบรรเทาผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง.

คำสำคัญ: สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง, อหิวาตกโรค

Abstract

Cholera and Climate Change

Sarunya Hengpraprom*, Pornchai Sithisarankul*

**Department of Preventive and Social Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University*

Climate change results mostly from the activities of humans whose numbers keep growing. One of the negative impacts of climate change is global warming. Global warming has deleterious effects on the environment, ecology, distribution of various diseases and their vectors; this will, in turn, negatively affect humans. One of those diseases is cholera. The present article reviews the pathogen, its distribution, epidemiology, and the effects of climate change over distribution of cholera via the following factors: temperature, ENSO (El Niño/Southern Oscillation), sea rise level and salinity level, eutrophication phenomenon, and human activities related to shipping. The authors conclude with recommendations on research to understand and mitigate the effects of climate change.

Key words: climate change, cholera outbreak

บทนำ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสนใจ เพราะผลกระทบที่เกิดขึ้นในโลกเริ่มเห็นเด่นชัด และเป็นอุปสรรคสำคัญในการดำรงชีวิตอย่างปกติสุขอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้. มนุษย์ผู้ได้ชื่อว่าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้น ปัจจุบันต้องอยู่ท่ามกลางความน่าสะพรึงกลัวของผลกระทบ

ต่างๆที่เกิดขึ้นและยากที่จะคาดเดา ทั้งภัยพิบัติทางธรรมชาติ, การระบาดของโรคติดต่อ, โรคอุบัติใหม่ และโรคอุบัติซ้ำ ที่นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆหากภาวะโลกร้อนยังไม่ได้รับการบรรเทาและยับยั้ง. ปัจจุบันทั่วโลกได้ร่วมกันหามาตรการเพื่อป้องกันแก้ไข ตลอดจนจรรยาบรรณการต่างๆเพื่อควบคุมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อลดการเกิดแก๊สเรือน

*ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กระจกอันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน.

ท่ามกลางความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาของประเทศต่างๆทั่วโลก ผลกระทบที่เกิดจากภาวะโลกร้อนยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ซ้ำยังตอกย้ำให้เห็นถึงความรุนแรงที่มากขึ้นเป็นลำดับ สร้างความประหวั่นพรั่นพรึงให้กับมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตและวิวัฒนาการของเชื้อโรคบางชนิด ซึ่งบ้างก็ได้รับการสนับสนุนจากนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกกว่าอาจเป็นผลมาจากสมดุลของสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้สิ่งมีชีวิตต้องมีการปรับตัวเพื่อการดำรงชีพ. อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่อธิบายเชื่อมโยงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนนั้นยังมีน้อย. อหิวาตกโรคเป็นหนึ่งใน “โรคร้อน” ที่ในระยะหลังพบว่ามีการระบาดของโรคนี้บ่อยครั้งขึ้น มีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้น และยังเป็นโรคอุบัติใหม่ในหลายๆพื้นที่ทั่วโลก ซึ่งมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนหรือไม่นั้น ยังเป็นคำถามที่ต้องการการศึกษาวิจัยเพื่อพิสูจน์ เพื่อนำไปสู่การเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดของโรคซึ่งเป็นปัญหาสาธารณสุขที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ.

อหิวาตกโรค

อหิวาตกโรคหรือโรคอุจจาระร่วงรุนแรงเป็นโรคติดต่อทางน้ำที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio cholerae* ซึ่งมี ๑๔๔ กลุ่มสายพันธุ์น้ำเกลือ ทั้งชนิดก่อโรคและไม่ก่อโรค. แต่สายพันธุ์ก่อโรคที่ทำให้เกิดการระบาด คือ สายพันธุ์ O1 และสายพันธุ์ O139.

เชื้อ *Vibrio cholera* สายพันธุ์ O1 มี ๒ ชนิดชีวภาพ คือ ชนิดดั้งเดิม (คลาสสิกัล) และชนิดเอลทอร์ (El Tor). แต่ละชนิดนี้ยังประกอบด้วย ๓ ชนิดน้ำเกลือ คือ Inaba, Ogawa และ Hikojima. เชื้อเหล่านี้สร้างสารชีวพิษอหิวาต์ซึ่งผู้ที่ได้รับเข้าไปจะมีอาการถ่ายเป็นน้ำรุนแรงโดยไม่ปวดท้อง. สารชีวพิษอหิวาต์นี้สลายตัวได้ด้วยความร้อน. การระบาดส่วนใหญ่ในปัจจุบันเกิดจากเชื้อชนิดเอลทอร์เป็นส่วนใหญ่ แทบจะไม่พบชนิดดั้งเดิมเลย เนื่องจากชนิดเอลทอร์มีการปรับตัวในสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า. ระดับความรุนแรงของอหิวาตกโรคที่เกิดจากเชื้อชนิดเอลทอร์น้อยกว่าชนิดดั้งเดิม เพราะผลิตสารชีว

พิษปริมาณน้อยกว่า^(๑).

เชื้ออหิวาต์สายพันธุ์ O139 เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่สร้างสารชีวพิษอหิวาต์ได้เหมือนสายพันธุ์ O1 ต่างกันที่โครงสร้างลิโป-โพลีแซคคาไรด์ (LPS) ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเชื้อ, ลักษณะเวชกรรมและวิทยาการระบาดเหมือนกับสายพันธุ์ O1. สำหรับเชื้อสายพันธุ์อื่น (*V. cholerae non O1/non O139*) เป็นกลุ่มที่อาจก่อให้เกิดอาการกระเพาะและลำไส้อักเสบและบางสายพันธุ์อาจผลิตสารชีวพิษอหิวาต์ที่ทำให้เกิดอาการคล้ายโรคอุจจาระร่วงรุนแรงได้. ดังนั้น ในการเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดจึงจำเป็นต้องตรวจหาสารชีวพิษชนิดนี้ในผู้ที่ติดเชื้อมาเพื่อป้องกันการระบาดใหญ่.^(๑)

วิทยาการระบาด

นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการระบาดใหญ่ของอหิวาตกโรค ๘ ครั้งทั่วโลก. การระบาดครั้งแรกเริ่มต้นที่ประเทศอินเดียในศตวรรษที่ ๑๙ ขยายไปทั่วโลกจนถึงครั้งแรกของศตวรรษที่ ๒๐. เริ่มแรกโรคกระจายอยู่เฉพาะประเทศแถบเอเชีย. หลังจากนั้นได้มีการระบาดของเชื้อสายพันธุ์ O1 ชนิดชีวภาพเอลทอร์ จากประเทศอินโดนีเซียไปทั่วทวีปเอเชีย ยุโรป (ตะวันออก) และแอฟริกา และจากทางด้านเหนือของทวีปแอฟริกาไปยังคาบสมุทรไอบีเรีย (สเปน และโปรตุเกส) และเข้าไปยังประเทศอิตาลี. การระบาดครั้งรุนแรงที่สุด คือ การระบาดครั้งที่ ๘ ในช่วง พ.ศ. ๒๕๓๕ - ๒๕๓๖ ที่ประเทศอินเดียและบังคลาเทศ จากเชื้ออหิวาต์สายพันธุ์ O139 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ใหม่. ความรุนแรงเกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อสายพันธุ์ O139 เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างขึ้นที่แอนติเจน เอ ทำให้เชื้อสามารถสร้างสารชีวพิษได้มากขึ้น คือ zonula occludens toxin gene (ZOT) และ Accessory cholerae enterotoxin (ACE) ส่งผลให้การระบาดของโรคเป็นไปอย่างรวดเร็วและรุนแรง^(๒).

นิเวศวิทยาของเชื้ออหิวาต์

V. cholerae เป็นแบคทีเรียแกรมลบ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทรงกระบอกหรือรูปแท่ง จัดอยู่ในกลุ่มเชื้อไม่พึ่งอากาศ

ชนิดปรับตัวได้ และเพิ่มจำนวนโดยการแยกเป็นสอง. ที่ปลายข้างหนึ่งของตัวเชื่อมมีแฟลเจลลาช่วยในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นๆ.

สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของเชื้อ ได้แก่ อุณหภูมิประมาณ ๑๖-๔๒ องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ ๓๗ องศาเซลเซียส, น้ำที่มีความเป็นด่าง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ๗.๔-๙.๖) และมีธาตุโซเดียมเป็นองค์ประกอบโดยมีระดับความเค็มร้อยละ ๒๐ ของปริมาณเกลือในน้ำทะเลทั้งหมด. เชื้ออหิวาต์ทั้งสายพันธุ์ O1 และ non-O1 พบได้บริเวณผิวน้ำทะเล, แหล่งน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำที่ติดทะเล และอาจพบได้ในแหล่งน้ำจืดที่อยู่ติดกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศเขตร้อนทั่วโลก. เชื้อเหล่านี้จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในบริเวณดินแดนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของพวกสารอินทรีย์, สาหร่าย, แพลงก์ตอนสัตว์ รวมถึงพื้นที่อื่นๆที่มีระบบนิเวศที่คล้ายคลึงกัน.^(๓,๔)

ห่วงโซ่การดำรงชีพของเชื้ออหิวาต์ในแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์กับพืชน้ำและสัตว์น้ำนานาชนิด. เริ่มตั้งแต่แพลงก์ตอนพืช, แพลงก์ตอนสัตว์, สาหร่าย, สัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู หอย, และสุดท้ายไปยังคนซึ่งเป็นผู้บริโภคสุดท้าย โดยที่แพลงก์ตอนพืชจะทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตสารอาหารที่สำคัญให้แก่สิ่งมีชีวิตและแบคทีเรียโดยเฉพาะ cyanobacteria (แบคทีเรียมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) ที่นอกจากเป็นแหล่งผลิตสารอาหารแล้วยังเป็นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมสำหรับเชื้ออหิวาต์ ในการขยายพันธุ์ เจริญเติบโตและดำรงชีพต่อไป. โดยที่สัตว์น้ำจะทำหน้าที่เป็นผู้เหย้าขึ้นกลาง ในการแพร่กระจายเชื้อไปสู่คนผ่านทางน้ำดื่มหรืออาหารที่มีการปนเปื้อน. จากการศึกษาหลายครั้งพบว่าเมื่อจำนวนแพลงก์ตอนพืช หรือสาหร่ายโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนเชื้ออหิวาต์เพิ่มมากขึ้นด้วย.^(๔)

การแพร่โรค

อหิวาต์โรคเป็นโรคติดต่อทางอาหารและน้ำดื่ม ไม่ติดต่อจากคนสู่คน. ดังนั้นการแพร่เชื้อสู่คนเบื้องต้นจะผ่าน

ทางระบบนิเวศของแหล่งน้ำธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงทั้งในระดับจุลภาคและมหภาค เช่น ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเอ่อล้นของน้ำทะเลเข้าไปในแอ่งน้ำจืดบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล ทำให้สมบัติของน้ำในแอ่งนั้นเปลี่ยนจากน้ำจืดเป็นน้ำกร่อยซึ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้ออหิวาต์ หรือการที่เกิดฝนตกชุกบริเวณประเทศชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกทำให้มีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนสิ่งมีชีวิตในน้ำจำพวกแพลงก์ตอน หรือสาหร่ายเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ทำให้จำนวนเชื้ออหิวาต์เพิ่มมากขึ้นด้วย. หากกระแสน้ำมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องก็จะพัดพาเอาพืชน้ำที่เป็นแหล่งพักพิงของเชื้อไปยังบริเวณที่น้ำไหลผ่าน ทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อได้ในวงกว้าง.^(๕)

การแพร่กระจายของเชื้อที่มีแมลงวันเป็นพาหะนั้นจะเป็นการแพร่กระจายแบบหูดิยะ เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีระบบสุขาภิบาลไม่ดีหรือด้อยมาตรฐาน ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา อันเนื่องมาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง หรือจำนวนประชากรที่มากขึ้น. ในบางพื้นที่ของประเทศที่พัฒนาแล้วที่มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นทำให้มีกิจกรรมต่างๆเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ระบบสุขาภิบาลที่รองรับความต้องการของพื้นที่นั้นๆต้องทำงานหนักจนอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานด้อยลง. ผลที่ตามมาคืออาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อโรคต่างๆในแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคเช่นเดียวกับในประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีระบบสุขาภิบาลที่ไม่ดี ทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อโรคในแหล่งน้ำหรือในอาหารซึ่งสามารถแพร่เชื้อไปสู่คนได้โดยมีแมลงวันเป็นพาหะ ประชาชนที่ใช้น้ำจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนของเชื้อสำหรับการอุปโภคบริโภคนั้นมีโอกาสเสี่ยงที่จะล้มป่วย เชื้อมากกว่าผู้ที่ไม่ได้ใช้น้ำจากแหล่งนี้^(๕). การศึกษาทางวิทยาการระบาดได้มีการระบุถึงความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างโรคท้องร่วงและความสามารถในการเข้าถึงน้ำประปา และความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำในคลองเมื่อเปรียบเทียบกับแม่น้ำและแอ่งน้ำ. การศึกษาอื่นๆได้ระบุถึงความสัมพันธ์ระหว่างเชื้ออหิวาต์กับการควบคุมอุทกภัยโดยแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมพื้นฐาน เช่น ระบบสุขาภิบาลและน้ำเป็นตัวที่ช่วยกระตุ้นให้



เกิดการแพร่โรคหุติยะ^(๖,๗) โดย V. cholerae O1 สามารถหลั่งเอนไซม์ชื่อ chitinase ซึ่งสามารถย่อยไฮตินของแพลงค์ตอนสัตว์ ทำให้ตัวแพลงค์ตอนเป็นที่เกาะอาศัยและเพิ่มจำนวนเชื้ออหิวาต์ ทำให้น้ำนั้นกลายเป็นพาหะของเชื้ออหิวาต์.

ผลของสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการระบาดของอหิวาตกโรค

การระบาดของอหิวาตกโรคที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและยาวนานขึ้นในหลายๆพื้นที่ทั่วโลกนั้น นักวิทยาศาสตร์จากหลายประเทศเชื่อว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้ออหิวาต์ได้ดีขึ้น เกิดการแพร่กระจายไปยังพื้นที่ต่างๆทั่วโลกได้มากขึ้น.

สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (climate change) ในที่นี้หมายถึงสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าจะเกิดจากความผันแปรตามธรรมชาติ หรือกิจกรรมของมนุษย์ (อ้างโดย Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC).

ปัจจัยทางภูมิอากาศและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดการระบาดของอหิวาตกโรคบ่อยครั้งขึ้นและยาวนานขึ้นได้แก่

อุณหภูมิ เป็นตัวแปรเสริมที่สำคัญที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการมีชีวิตอยู่ของเชื้ออหิวาต์ในแหล่งน้ำ. โดยทั่วไปเชื้ออหิวาต์จะเจริญเติบโตได้ในช่วง ๑๖ ถึง ๔๒ องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้ออยู่ที่ ๓๗ องศาเซลเซียส เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ๑๖ หรือสูงกว่า ๔๒ องศาเซลเซียส หรืออาจมีชีวิตอยู่ได้เพียง ๒-๓ วัน^(๘).

การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอังกฤษ รายงานการพบเชื้ออหิวาต์สายพันธุ์ O1 และ non-O1 ในสภาพแวดล้อมน้ำกร่อยบริเวณปากน้ำ (estuarine environment) จำนวนที่ค่อนข้างต่ำในช่วงฤดูหนาว และค่อนข้างสูงในฤดูร้อน^(๙,๑๐) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pascual และคณะ^(๑๑) ที่รายงานการระบาดของอหิวาตกโรคที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อนและน้อยครั้งในช่วงฤดูหนาวในประเทศที่อยู่

บริเวณเหนือหรือใต้เขตร้อน และไม่พบการระบาดของโรคนี้ในแถบทวีปที่อยู่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้. อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้นหรือภาวะโลกร้อนจะเปลี่ยนวงจรการเคลื่อนไหวของตัวเชื้อโรคเพราะเชื้อสามารถมีชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้นและมีศักยภาพในการแพร่กระจายได้กว้างขึ้น และเป็นตัวขับเคลื่อนที่ทำให้รูปแบบการระบาดของอหิวาตกโรคขยายออกไปเป็นวงกว้าง ส่งผลให้เกิดการระบาดในบริเวณที่ไม่เคยมีการระบาดมาก่อน (โรคอุบัติใหม่).

ปรากฏการณ์ ENSO (El Niño/Southern Oscillation)

ปรากฏการณ์เอนโซ่เป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกลางมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน (El Niño) และความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ (Southern Oscillation; SO) ซึ่งรวมทั้งปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา. กลุ่มนักวิทยาศาสตร์มักใช้คำว่าสภาพอุ่นเอนโซ่ (ENSO warm event หรือ warm phase of ENSO) ในความหมายเดียวกับเอลนีโญ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลกลางมหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณเส้นศูนย์สูตรสูงขึ้นผิดปกติ ส่งผลให้ประเทศทางฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกหรือประเทศในแถบอเมริกาใต้ขึ้นไปจนถึงสหรัฐอเมริกาเกิดภาวะฝนตกชุกผิดปกติ ในขณะที่ประเทศที่อยู่ทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกหรือประเทศในแถบเอเชีย ประเทศไทยขึ้นไปจนถึงจีนเกิดภาวะแห้งแล้งผิดปกติ และใช้คำว่าสภาวะเย็นของเอนโซ่ (ENSO cold event หรือ cold phase of ENSO) ในความหมายเดียวกับลานีญา เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลกลางมหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะเย็นลงผิดปกติส่งผลให้ประเทศในแถบทางฝั่งอเมริกาเกิดภาวะแห้งแล้ง ในขณะที่ประเทศในแถบเอเชียเกิดภาวะหนาวเย็นฝนตกชุก.

จากข้อมูลสถิติที่องค์การนาซ่า ประเทศสหรัฐอเมริกาได้บันทึกไว้ว่าปรากฏการณ์เอลนีโญที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งจะห่างกันโดยเฉลี่ยประมาณ ๓-๕ ปี. เมื่อเอลนีโญสลายตัวสภาวะอากาศจะคืนกลับเข้าสู่ภาวะปกติสักระยะหนึ่งก่อนและค่อยเกิดปรากฏการณ์ลานีญา. แต่ในระยะหลังไม่ได้เป็นดังที่บันทึกไว้คือ เกิดถี่บ่อยครั้งขึ้นซึ่งการเกิดบ่อยครั้งขึ้นทำให้อุณหภูมิหน้า

ทะเลสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้พื้นที่น้ำอื้นในมหาสมุทรแปซิฟิกแผ่ออกไปเป็นบริเวณกว้าง. เอลนีโญที่รุนแรงและแปรปรวนมากที่สุด ๒ ครั้งเมื่อ พ.ศ. ๒๕๒๕ - ๒๕๒๖ และ ๒๕๔๐-๒๕๔๑ เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่อุณหภูมิของผิวน้ำทะเลสูงขึ้น อุบัติการณ์สาหร่ายสีฟ้าเพิ่มขึ้น^(๑๒) และการระบาดของอหิวาตกโรคที่แพร่กระจายไปในหลายพื้นที่ การเกิดขึ้นพร้อมกันหลายเหตุการณ์นี้ นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่า อาจเป็นผลมาจากภาวะโลกร้อน.^(๑๑,๑๒)

มีการศึกษาหลายการศึกษาที่ได้ระบุความเชื่อมโยงของปรากฏการณ์เอนโซกับการระบาดของอหิวาตกโรค. Rodo และคณะ^(๑๓) และ Lobitz และคณะ^(๑๔) พบว่าปรากฏการณ์เอนโซทำให้รูปแบบของฤดูกาลระบาดของอหิวาตกโรคเปลี่ยนแปลงไปโดยจะมีรอบของการระบาดที่ยาวนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Emch และคณะ^(๒๐) ที่พบว่าหลังการเกิดปรากฏการณ์เอนโซ ในช่วงเวลาในการระบาดของอหิวาตกโรคจะขยับออกไป คือ มีการระบาดมากขึ้น และยาวนานขึ้นในช่วงหลังฤดูร้อน และลดลงในช่วงหลังฤดูหนาว.

Pascual และคณะ^(๑๑) ได้ตั้งสมมติฐานว่าความผันแปรของฤดูกาลระบาดของอหิวาตกโรคตามช่วงเวลา (temporal variability) นั้นมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ๓ ประการ ได้แก่ ความชื้นของชั้นบรรยากาศด้านบน (upper troposphere) เมฆที่ปกคลุมและด้านบนของชั้นบรรยากาศที่ดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์. ขณะที่ Lipp และคณะ^(๑๒) พบว่าความแปรปรวนของภูมิอากาศ เช่น สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง, ปรากฏการณ์เอนโซ, ผลกระทบต่อฤดูกาล เช่น อุณหภูมิ, แสงอาทิตย์, ปริมาณน้ำฝน, มรสุม, ลักษณะทางประชากรศาสตร์ เช่น ฐานะทางเศรษฐกิจและสังคม, ลักษณะพื้นฐานและระบบสุขภาพ เป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการระบาดของอหิวาตกโรคในวงกว้างขึ้น.

ระดับน้ำทะเลขึ้นและระดับความเค็ม

อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ภูเขาน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือละลาย ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลโดยเฉลี่ยทั่วโลกสูงขึ้นถึง ๑๐-๒๕ เซนติเมตร. นักวิทยาศาสตร์ได้ทำนายว่าตั้งแต่ พ.ศ. ๒๕๓๘ - ๒๕๔๓ ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นอีกราว ๕๐ เซนติเมตร

และหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเอ่อล้นเข้าไปปกคลุมแหล่งน้ำจืด (ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน) บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล (ที่ตอนนี้อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ ๑ เมตร) ทำให้ระบบนิเวศของแหล่งน้ำจืดนั้นเปลี่ยนไปเป็นแหล่งน้ำกร่อยที่มีองค์ประกอบของธาตุโซเดียมมากขึ้น ทำให้มีความเค็มมากขึ้น มีสารอาหารเพิ่มมากขึ้น. ธาตุโซเดียมเป็นสารอาหารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการดำรงอยู่ของเชื้ออหิวาต์^(๔).

นอกจากนี้การขึ้นลงของน้ำทะเลยังพัดพาเอาพีชน้ำที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของเชื้ออหิวาต์ เข้ามาอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์และเจริญเติบโต มนุษย์จึงมีโอกาสสัมผัสกับเชื้ออหิวาต์ได้มากขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมผ่านทางน้ำและอาหาร เช่น เหตุการณ์การระบาดของอหิวาตกโรคครั้งที่รุนแรงที่สุดในโลกที่เกิดขึ้นที่ประเทศบังคลาเทศ.

จากการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมตั้งแต่ พ.ศ. ๒๕๓๕ - ๒๕๓๘ ของ Lobitz และคณะ^(๑๔) พบว่าจำนวนเชื้ออหิวาต์ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากการเอ่อล้นของน้ำทะเลเข้าไปในแหล่งน้ำจืดบริเวณปากแม่น้ำคงคา (ganges meghna) และอ่าวเบงกอล โดยได้พัดพาเอาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้ามาด้วย. ด้วยสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสาหร่ายมีการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วทำให้จำนวนเชื้ออหิวาต์เพิ่มขึ้นและแพร่กระจายไปในวงกว้าง. นอกจากนี้การเอ่อล้นของน้ำทะเลยังทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมในบางพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลทำให้ระบบสุขาภิบาลไม่สามารถใช้งานได้หรือมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ ประชาชนไม่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำสะอาด เกิดภาวะขาดแคลนน้ำจืดสำหรับบริโภคและอุปโภค. ในภาวะคับขันเช่นนี้ทำให้ประชาชนต้องกลับไปใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของเชื้ออหิวาต์. วงจรแบบนี้จะทำให้รอบของฤดูกาลระบาดของอหิวาตกโรคยาวขึ้นและเกิดบ่อยครั้งขึ้น.

ระดับความเค็มของน้ำเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในฤดูกาลระบาดของอหิวาตกโรค โดยปรกติแล้วเชื้ออหิวาต์ไม่สามารถอยู่ได้ในฤดูหนาวหรือในน้ำเย็น แต่หากแหล่งน้ำนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่า ๕ องศาเซลเซียสและมี



ระดับความเค็มอยู่ร้อยละ ๐.๒๕ ถึง ๓ เชื้ออหิวาต์ก็สามารถดำรงชีพและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้^(๓,๔) ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์การระบาดของโรคนี้ในประเทศที่อยู่ในแถบเขตร้อนซึ่งไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน.

ปรากฏการณ์นอกเจริญเกินเหตุอาหารอุดม หรือสาหร่ายสีฟ้า หรือแพลงก์ตอนพืชสีฟ้า

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้น, ปรากฏการณ์เอลนีโญ และการสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล จะทำให้ระบบนิเวศทางทะเลเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำมากขึ้น. หากพืชน้ำเหล่านี้มีการเจริญเติบโตที่มากกว่าปรกติก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “แพลงก์ตอนสีฟ้า” หรือ “สาหร่ายสีฟ้า” หรือ “สภาพออกเจริญเกินเหตุอาหารอุดม” ซึ่งจำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้าที่มากขึ้นจะสะท้อนให้เห็นว่าระบบนิเวศทางทะเลได้ถูกรบกวนในมาตราส่วนกว้าง^(๑๕) และหลายการศึกษาเห็นพ้องต้องกันว่า การระบาดของอหิวาต์ก่อโรคช่วงหลังมรสุมมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์แพลงก์ตอนสีฟ้า^(๑๕-๑๗). ในช่วงฤดูการแพลงก์ตอนสีฟ้าจะเป็นช่วงเวลาเชื้ออหิวาต์มีการขยายพันธุ์มากขึ้นในจำนวนที่มากพอที่จะทำให้เกิดการระบาดได้^(๑๘).

เชื่อกันว่าปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผันแปรในรอบของฤดูกาลระบาดของอหิวาต์ก่อโรคในประเทศบังคลาเทศ. Epstein^(๑๙) ได้ทำนายว่าปรากฏการณ์เอลนีโญทำให้เกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้า ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena* spp หรือแพลงก์ตอนพืชที่ทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยให้กับเชื้ออหิวาต์ และปลาหรือสัตว์ที่มีเปลือกแข็งทำหน้าที่เป็นผู้เหย้าตัวกลางในการแพร่กระจายเชื้อมาสู่คน. อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาใดที่อธิบายให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้าได้อย่างชัดเจน.

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena* sp อยู่ในช่วง ๒๕ ถึง ๓๕ องศาเซลเซียส^(๑๖). หากอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเพิ่มจำนวนมาก

ขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจะถูกควบคุมโดยปริมาณสารอาหาร หากสารอาหารมากก็จะทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นอาหารสำหรับแพลงก์ตอนสัตว์. ดังนั้นจำนวนแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มแหล่งพักพิงให้กับเชื้ออหิวาต์ ในช่วงระหว่างการระบาดในแต่ละรอบในพื้นที่นั้นๆ โดย Epstein^(๑๖) สันนิษฐานว่าการพบเชื้ออหิวาต์สายพันธุ์ O139 ในทวีปเอเชียอาจเกิดจากปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้าบริเวณชายฝั่งที่มีท่าเรือน้ำลึก.

นักวิทยาศาสตร์ในประเทศบังคลาเทศได้ศึกษาวงจรของระยะพักตัวของเชื้ออหิวาต์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่าเชื้ออหิวาต์จะหลั่งเอนไซม์ mucinase ซึ่งจะย่อยสลายสารมูกในสิ่งแวดล้อม หรือสารประกอบโปรตีนที่มีโมเลกุลของเปปไทด์ติดอยู่ด้วยเรียกว่ากลัยโคโปรตีน เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารมูก. หากพบมีวชิเนลือบอยู่บนผนังเซลล์ของพืช อาจสันนิษฐานได้ว่าน่าจะมี ความเชื่อมโยงระหว่างเชื้ออหิวาต์กับพืชน้ำ^(๒๐) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาหลายการศึกษาที่พบว่าพืชน้ำหลายชนิด เช่น ผักตบชวา, สาหร่ายทะเล, แหน และ cyanobacteria จะทำหน้าที่เป็นแหล่งพักพิงชั่วคราว^(๒๑) ขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena* spp สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งพักพิงถาวรหรือระยะยาว^(๒๑) ให้กับเชื้ออหิวาต์.

ปรากฏการณ์สาหร่ายสีฟ้าที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์^(๑๖,๒๑-๒๓) เรียกว่าปรากฏการณ์นอกเจริญเกินเหตุอาหารอุดม ซึ่งเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร, อุตสาหกรรม และการพัฒนาเมือง. กิจกรรมต่างๆเหล่านี้จะไปเพิ่มธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืชน้ำในแหล่งน้ำ โดยพบว่าบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศที่พัฒนาแล้วจะอุดมไปด้วยธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็น ๔ เท่าเมื่อเทียบกับประเทศที่กำลังพัฒนา และมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่าปรากฏการณ์นอกเจริญเกินเหตุอาหารอุดมที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งทะเลทำให้มีจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น และจำนวนเชื้ออหิวาต์ก็มากขึ้นตามไปด้วย.

กิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมเดินเรือสมุทร
การเดินเรือสมุทรหรือเรือขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ

สามารถนำพาสสิ่งมีชีวิตเข้าไปในบริเวณที่ไม่เคยมีสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นมาก่อนโดยผ่านทางน้ำอับเฉาในเรือบรรทุกสินค้า. น้ำอับเฉาหมายถึงน้ำจืดหรือน้ำเค็มที่เก็บไว้ในถังอับเฉาเพื่อรักษาสมดุลของเรือในระหว่างการเดินทางเมื่อเรือไม่มีสินค้าบรรทุกหรือบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เพียงพอ. เมื่อถึงปลายทางเรือก็จะปล่อยน้ำอับเฉาทิ้งลงบริเวณท่าเรือต่างๆ. หากสภาวะแวดล้อมในน้ำบริเวณนั้นเหมาะกับการเจริญเติบโต จำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆที่มากับน้ำอับเฉาจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก. ในแต่ละปีมีการคาดการณ์ว่าน้ำอับเฉาประมาณ ๑๐๐ ล้านตันจะถูกขนส่งไปยังส่วนต่างๆทั่วโลก หรืออาจกล่าวได้ว่าน้ำอับเฉาเป็นตัวทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำระหว่างประเทศได้^(๒๔-๒๖). International Council for Exploration of the Seas กับ Intergovernmental Oceanographic Commission และ International Maritime Organization ได้ร่วมกันพัฒนาแนวทางเพื่อควบคุมและบังคับใช้สำหรับการทิ้งน้ำจากถังอับเฉา^(๒๗).

สิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในน้ำจากถังอับเฉา ได้แก่ จุลชีพก่อโรค, สาหร่าย, แพลงก์ตอนสัตว์, protists, สัตว์ไรกระดูกสันหลังกันสมุทร และปลา. สิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล ต่อเศรษฐกิจ หรือต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม. ผลกระทบโดยตรงอาจเกิดจากการย้ายถิ่นฐานของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีเชื้ออหิวาต์ ไปยังบริเวณที่ไม่เคยมีการปนเปื้อนมาก่อน. หากสภาวะแวดล้อมเหมาะสมก็จะเจริญเติบโตขยายพันธุ์และแพร่กระจายเชื้อได้เช่น การค้นพบเชื้ออหิวาต์ สายพันธุ์ O1 ในประเทศแถบละตินอเมริกา โดยแหล่งกำเนิดมาจากน้ำอับเฉาและน้ำเสียจากเรือบรรทุกสินค้าที่มาจากอ่าว Mobile รัฐออลาบามาประเทศสหรัฐอเมริกา. การศึกษาของ McCarthy^(๓) พบว่าในน้ำอับเฉาที่มีอุณหภูมิประมาณ ๑๘ องศาเซลเซียสและมีความเข้มข้นของเกลืออยู่ที่ ๓๒ ส่วนในล้านส่วน เชื้ออหิวาต์สายพันธุ์ O1 จะมีชีวิตอยู่ได้ยาวนานสุด ๒๔๐ วัน หรืออยู่ในช่วง ๓๖-๒๔๐ วัน, ที่อุณหภูมิ ๓๐ องศาเซลเซียสจะอยู่ได้ประมาณ ๖๐-๑๒๐ วัน และที่ ๖ องศาเซลเซียสจะอยู่ได้ประมาณ ๕-๒๐ วัน.

สรุป

ความแปรปรวนในฤดูกาลที่ก่อการระบาดของอหิวาต์โรคในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะภาวะโลกร้อนที่เป็นปัจจัยสำคัญทำให้ระบบนิเวศทั่วโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นแหล่งพักพิงของเชื้ออหิวาต์ และตัวเชื้ออหิวาต์เองทำให้เกิดการแพร่ระบาดมาสู่คนในที่สุด. อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ชัดเจนที่แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงเพราะยังขาดข้อมูลพื้นฐานด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค, ข้อมูลระบบนิเวศทางน้ำ, ข้อมูลรายงานการระบาดของอหิวาต์โรคในภาพรวม และข้อมูลจำเป็นพื้นฐานด้านสุขภาพของมนุษย์. ดังนั้นการวิจัยและพัฒนา ร่วมกันสร้างฐานข้อมูลดังกล่าวในระดับประเทศจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้การพยากรณ์หรือทำนายการระบาดของอหิวาต์โรคและโรคระบาดอื่นๆได้ชัดเจนขึ้น

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

เนื่องจากไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนว่าการระบาดที่เพิ่มขึ้นของอหิวาต์โรคมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ดังนั้นสิ่งที่นักวิจัยควรร่วมกันพัฒนา (ซึ่งน่าจะใช้ได้กับโรคอื่นที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วย) มีดังนี้

๑. ติดตามการเปลี่ยนแปลงจากอดีตมาสู่ปัจจุบันและไปในอนาคต, ของสภาพแวดล้อม, เชื้อโรค, พาหะของโรค และตัวโรคเอง.

๒. วิจัยหาผลต้นๆที่จะใช้ทำนายการระบาดของโรคได้ก่อนที่จะมีการระบาด เพื่อสามารถยับยั้งการระบาดนั้นได้.

๓. วิจัยว่าใครบ้างที่เป็นกลุ่มไวรับหรือกลุ่มเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบ.

๔. การปรับตัวและมาตรการป้องกันต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป.

๕. ความคุ้มทุนต่อมาตรการการป้องกันหรือลดผลกระทบต่อประชากรกลุ่มต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มไวรับ.



ส่วนข้อเสนอแนะในการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การสื่อสารเพื่อให้ประชาชนรับทราบ, รมรงค์ให้ประชาชนร่วมมือกันแก้ไขปัญหา, กำหนดนโยบายระดับชาติและนานาชาติให้ประชาชนปฏิบัติตาม, บูรณาการระบบการเฝ้าระวังสุขภาพและการตรวจวัดสิ่งแวดล้อมเข้าไปในสำนักงานสุขภาพิบาลเพื่อให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว จะได้ตอบสนองอย่างทันท่วงที และใช้ข้อมูลทำวิจัยควบคู่กันไป เป็นต้น.

เอกสารอ้างอิง

๑. กรองแก้ว สุภวัฒน์. *Vibrio cholerae* (classical) และ *Vibrio cholerae* O139. ใน: ไพจิตร วราจิต, ฉวีฉวีวรรณ ปูนวัน (บรรณาธิการ). โรคติดต่อที่เป็นปัญหาใหม่. คู่มือการตรวจทางห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น; ๒๕๕๑. หน้า ๙๗-๑๒๔.
๒. Rivera IG, Chowdhury MAR, Sanchez PS, Sato MI, Huq A, Colwell RR, et al. Detection of cholera (ctx) and zonula occludens (zot) toxin genes in *Vibrio cholerae* O1, O139 and non-O1 strains. *World J Microbiol Biotechnol* 1995;11:572-7.
๓. McCarthy SA. Effects of temperature and salinity on survival of toxigenic *Vibrio cholerae* O1 in seawater. *Microb Ecol* 1996; 31:167-75,
๔. Borroto RJ. Global warming, rising sea level, and growing risk of cholera incidence: a review of the literature and evidence. *Geojournal* 1997;44:111-20.
๕. Miller C, Feachem R, Drasar B. Cholerae epidemiology in developed and developing countries : new thoughts on transmission, seasonality, and control. *Lancet* 1985;1(8423):261-2.
๖. Emch M. Relationships between flood control, kala-azar, and diarrheal disease in Bangladesh. *Environment and Planning A* 2000; 32:1051-64.
๗. Emch M. Diarrheal disease risk in Matlab, Bangladesh. *Soc Sci Med* 1999;49:519-30.
๘. Jeffrey WC, Madalina CM, Kiran C, Rita RC, Asim KB. Response and tolerance of toxigenic *Vibrio cholerae* O1 to cold temperatures. *Antonie van Leeuwenhoek* 2001;79:377-84.
๙. Kaper J, Lockman H, Colwell R, Joseph S. Ecology, serology, and enterotoxin production of *Vibrio cholerae* in Chesapeake Bay. *Appl Environ Microbiol* 1979;37:91-103.
๑๐. West P, Lee J. Ecology of vibrio species including *Vibrio cholerae* in natural waters of Kent England. *J Appl Bacteriol* 1982; 52:435-48.
๑๑. Pascual M, Bouma MJ, Dobson AP. Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. *Microbes Infect* 2002;4:237-45.
๑๒. Lipp EK, Huq A, Colwell RR. Effects of global climate on infectious disease: the cholera model. *Clin Microbiol Rev* 2002;15:757.
๑๓. Rodo X, Pascual M, Fuchs G, Faruque ASG: ENSO and cholera: A nonstationary link related to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2002;99:12901-6.
๑๔. Lobitz B, Beck L, Huq A, Wood B, Fuchs G, Faruque ASG, et al. Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2000;97:1438-43.
๑๕. Epstein P, Ford TE, Colwell RR. Health and climate change: marine ecosystems. *Lancet* 1993;342:1216-9.
๑๖. Epstein P. Algal blooms in the spread and persistence of cholera. *Biosystems* 1991;31:209-21.
๑๗. Huq A, Colwell RR, Chowdhury MA, Xu B, Moniruzzaman SM, Islam MS, et al. Coexistence of *Vibrio cholerae* O1 and O139 Bengal in plankton in Bangladesh. *Lancet* 1995;345:1249.
๑๘. Islam M, Miah M, Hasan M, Sack R, Albert M. Detection of non-culturable *Vibrio cholerae* O1 associated with a cyanobacterium from an aquatic environment in Bangladesh [short report]. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 1994;88:298-9.
๑๙. Epstein PR. Health applications of remote sensing and climate modeling. *People and pixels: linking remote sensing and social science*; 1998.
๒๐. Emch M, Feldacker C, Islam MS, Ali M. Seasonality of cholera from 1974 to 2005: a review of global patterns. *Intern J Health Geographics* 2008;7:31-43.
๒๑. Islam M, Drasar B, Bradley SR. The aquatic flora and fauna as reservoirs of *Vibrio cholerae*: a review. *J Diarrhoeal Dis Res* 1994; 12:87-96.
๒๒. Huq A, West PA, Small EB, Huq MI, Colwell RR. Influence of water temperature, salinity, and pH on survival and growth of toxigenic *Vibrio cholerae* serovar O1 associated with live copepods in laboratory microcosms. *Appl Environ Microbiol* 1984;48:420-4.
๒๓. Huq A, Small EB, West PA, Huq MI, Rahman R, Colwell RR. Ecological relationships between *Vibrio cholerae* and planktonic crustacean copepods. *Appl Environ Microbiol* 1983;45:275-83.
๒๔. McCarthy SA, McPhearson RM, Guarino AM, Gaines JL. Toxigenic *Vibrio cholerae* O1 and cargo ships entering Gulf of Mexico. *Lancet* 1992;339:624-5.
๒๕. Carlton JT. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal

marine organisms: the biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biology. Ann Rev* 1985;23:313-71.

୧୬. Carlton JT, Geller JB. Ecological roulette: the global transport of non-indigenous marine organisms. *Science* 1993;261:78-82.

୧୭. Federal Register. International Maritime Organization Ballast Water Control Guidelines, Notice, 56 FR 64831-64836, 12 December 1991.