

บทความวิจัย (Research Article)**ปัจจัยกำหนดทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง**กนกพร ส่องแสง¹, สุทัศน์ เสียมใหม่¹, อรประภา ภูมิพะกาญจนะ โรแบร์² และ กীরติ พลเพชร^{1*}**Ecological determinants affecting the occurrence of leptospirosis in Trang**Kanokphorn Songsaeng¹, Suthat Siammai¹, Ornprapa Pummakarnchana Robert² and Keerati Ponpetch^{1*}¹ Sirindhorn College of Public Health, Trang, Faculty of Public Health and Allied Health Sciences, Praboromarajchanok Institute, Trang 92110, Thailand² Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

* Corresponding author, E-mail: keerati@scphtrang.ac.th

Health Science, Science and Technology Reviews. 2026;19(1):3-13.*Received: 13 September 2025; Revised: 18 November 2025; Accepted: 13 January 2026***บทคัดย่อ**

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาเชิงนิเวศวิทยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยกำหนดทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิของผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิส ในปี 2560-2566 จากรายงานการเฝ้าระวังโรคของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตรัง ปี 2560-2566 ตัวแปรทางนิเวศวิทยาที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ระดับความสูง ความชื้นสัมพัทธ์ ค่า pH ของดิน และความหนาแน่นของประชากร วิเคราะห์ด้วยสถิติการถดถอยโลจิสติกทวินาม (binary logistic regression) ด้วยเทคนิค Backward stepwise ผลการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (OR = 1.407, 95% CI: 1.135–1.744, $p = 0.002$) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (OR = 1.029, 95% CI: 1.009–1.048, $p = 0.003$) ส่วนปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ย ระดับความสูง ค่า pH ของดินและความหนาแน่นของประชากร ไม่ส่งผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ โดยเฉพาะความชื้นและปริมาณฝน มีบทบาทสำคัญต่อการกระจายของโรคเลปโตสไปโรซิสในพื้นที่จังหวัดตรัง ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้สนับสนุนการวางแผนมาตรการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุมโรคในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: นิเวศวิทยา, ปัจจัยกำหนด, โรคเลปโตสไปโรซิส¹ วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธรจังหวัดตรัง คณะสาธารณสุขศาสตร์และสหเวชศาสตร์ สถาบันพระบรมราชชนก จังหวัดตรัง 92110 ประเทศไทย² ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000 ประเทศไทย

Abstract

This study is an ecological study aimed to examine the ecological determinants influencing the occurrence of leptospirosis in Trang Province, Thailand. Secondary data on reported leptospirosis cases from 2017 to 2023 were obtained from disease surveillance reports of the Trang Provincial Public Health Office, 2017 to 2023. The ecological variables included average temperature, average rainfall, elevation, relative humidity, soil pH, and population density. The data were analyzed using binary logistic regression with the backward stepwise technique. The results showed that relative humidity (OR = 1.407, 95% CI: 1.135–1.744, $p = 0.002$) and average rainfall (OR = 1.029, 95% CI: 1.009–1.048, $p = 0.003$) were significantly associated with the occurrence of leptospirosis in Trang Province. In contrast, average temperature, elevation, soil pH, and population density were not significantly related to the occurrence of the disease. The findings indicate that certain ecological factors, particularly humidity and rainfall, play an important role in the distribution of leptospirosis in Trang Province. This information will be essential for supporting the planning of more effective disease surveillance, prevention, and control measures in the area.

Keywords: Ecology, Determinants, Leptospirosis

บทนำ

โรคเลปโตสไปโรซิส(Leptospirosis) เป็นโรคของสัตว์ที่สามารถติดต่อมาสู่คนได้ สาเหตุเกิดจากเชื้อเลปโตสไปรา (Leptospira) ซึ่งเชื้อเลปโตสไปรามีคุณสมบัติในการดำรงชีพอย่างเป็นอิสระ และสามารถเจริญเติบโตภายนอกโฮสต์ (Host) หรือในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมได้ เช่น ในน้ำ ดินที่ชื้นแฉะ โคลนตม เป็นเชื้อที่ต้องการความชื้น สภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง (pH 7.0-7.4) และอุณหภูมิที่มีความเหมาะสม อยู่ที่ 28-30 องศาเซลเซียส[1]

โดยสถานการณ์โรคเลปโตสไปโรซิสในประเทศไทย มีรายงานผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิสอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 มีรายงานผู้ป่วยจำนวน 4,590 ราย และ 4,339 ราย มีผู้เสียชีวิต 43 ราย และ 48 ราย ตามลำดับ[2] และมีรายงานผู้ป่วยในทุกภาคของประเทศ อย่างไรก็ตามภาคใต้เป็นพื้นที่ที่มีรายงานผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิสสูงที่สุด สำหรับสถานการณ์โรคในจังหวัดตรัง ซึ่งถือเป็นจังหวัดที่มีรายงานผู้ป่วยสูงเป็นลำดับต้นๆ ของภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 พบผู้ป่วย 289 ราย และ 307 ราย คิดเป็นอัตราป่วย 45.23 และ 48.15 ต่อแสนประชากร ตามลำดับ และพบรายงานผู้ป่วยเสียชีวิต ในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 ปีละ 6 ราย คิดเป็นอัตราป่วยตาย เท่ากับ 0.94 ต่อแสนประชากร[3] โดยลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดตรัง พื้นที่ตอนเหนือซึ่งติดต่อกับเทือกเขาบรรทัดเป็นที่เนินสูงต่ำมีที่ราบอยู่ตามระหว่างเนิน พื้นที่ตอนกลางเป็นที่ลาดต่อเนื่องมาจากพื้นที่ตอนเหนือ มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบ ส่วนพื้นที่ตอนใต้เป็นที่ราบต่ำริมทะเล ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม [4] ประกอบกับบางพื้นที่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งเป็นปัญหาสาธารณสุขมาโดยตลอด

ปัจจัยทางนิเวศวิทยามีความสำคัญต่อการแพร่กระจายเชื้อและวงจรการติดต่อของโรคเลปโตสไปโรซิส โดยจากการศึกษาปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมกับโรคเลปโตสไปโรซิสในสาธารณรัฐชวา สหพันธรัฐรัสเซีย พบว่า อุณหภูมิระดับความสูง ปริมาณน้ำฝน และค่า pH เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส[5] การศึกษาแผนที่พยากรณ์โรคเลปโตสไปโรซิสในประเทศอิหร่าน พบว่า อุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดที่ส่งผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส[6] เป็นต้น ซึ่งนิเวศวิทยาของโรคเลปโตสไปโรซิสเป็นความเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ปัจจัยความหนาแน่นของประชากร เป็นหนึ่งปัจจัยที่มีความซับซ้อนรวมถึงเป็นตัวบ่งชี้ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมประชากรที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของโรคเลปโตสไปโรซิส จากการศึกษาในนิเวศวิทยาของโรคเลปโตสไปโรซิสในอาร์กติกของรัสเซีย พบความหนาแน่นของประชากรเป็นปัจจัยที่มี

อิทธิพลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส[7] ซึ่งจะเห็นว่านิเวศวิทยาของโรคเลปโตสไปโรซิสมีความเชื่อมโยงกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของโรคเลปโตสไปโรซิส

ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยทางนิเวศวิทยาในพื้นที่จังหวัดตรังมาก่อน ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยกำหนดทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง จะทำให้ทราบปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเตรียมความพร้อมและวางแผนกำหนดมาตรการในการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุมป้องกันโรคในพื้นที่อย่างเหมาะสม

วัสดุและวิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูล

1) ข้อมูลผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิส ในจังหวัดตรังระดับตำบล เป็นลักษณะรายปี ตั้งแต่ 1 มกราคม 2560 ถึง 31 ธันวาคม 2566 จากระบบรายงานการเฝ้าระวังโรค 506 ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตรัง และแบ่งตำบลที่เป็นพื้นที่การเกิดโรคและไม่เกิดโรค สำหรับกำหนดตัวแปรตาม เป็นตัวแปร 2 ค่า ดังนี้ ตำบลที่พบผู้ป่วยตั้งแต่ 2 รายขึ้นไป ตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป จัดเป็นตำบลที่เป็นพื้นที่เกิดโรค และตำบลที่ไม่พบผู้ป่วยหรือพบผู้ป่วยต่ำกว่า 2 ราย ต่ำกว่า 3 ปีลงมา จัดเป็นตำบลพื้นที่ไม่เกิดโรค ซึ่งการกำหนดตำบลที่พบผู้ป่วยตั้งแต่ 2 รายขึ้นไป ตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป เป็นตำบลพื้นที่เกิดโรคนั้น เป็นการกรองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่าพื้นที่นั้นมีความเสี่ยงสูงกว่าในเชิงสถิติและระบาดวิทยา การเกิดโรคเพียง 1 รายในตำบลอาจเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว (Sporadic case)[8] และอาจไม่สะท้อนถึงการแพร่ระบาดหรือความเสี่ยงของพื้นที่ และมีโอกาสที่จะเป็นผู้นำเข้า (Imported case) เช่น กรณีผู้ป่วยเลปโตสไปโรซิสชาวสเปนป่วยหลังเดินทางกลับจากประเทศไทย[9] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นกรณี imported case ซึ่งไม่ได้สะท้อนถึงความเสี่ยงของพื้นที่นั้น

2) ข้อมูลปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ระดับความสูง ความชื้นสัมพัทธ์ ค่า pH ของดิน และความหนาแน่นของประชากร ในจังหวัดตรัง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยทางนิเวศวิทยาลักษณะเชิงพื้นที่ในรูปแบบไฟล์ราสเตอร์ จากแหล่งข้อมูล ได้แก่ WorldClim, WorldPop, ISRIC World Soil Information และคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (ตารางที่ 1) ซึ่งฐานข้อมูล WorldClim เป็นชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยระยะยาวในช่วงปี ค.ศ. 1970–2000 มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง[10] และเผยแพร่ให้ใช้ในปี 2020 ซึ่งฐานข้อมูลดังกล่าวเป็นแหล่งมาตรฐานสากลที่ใช้ในงานด้านภูมิสารสนเทศและนิเวศวิทยา[11] ข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยระยะยาว (30 ปี) ที่สะท้อนลักษณะภูมิอากาศพื้นฐานของพื้นที่และมีความคงตัวในเชิงพื้นที่[12] จากนั้นทำการสกัดข้อมูล (Data extraction) ปัจจัยทางนิเวศวิทยาของแต่ละตำบล โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สร้างจุดศูนย์กลางของขอบเขตตำบล และใช้จุดศูนย์กลางของแต่ละตำบลในการสกัดข้อมูลปัจจัยทางนิเวศวิทยาของแต่ละตำบลออกเป็น 1 ค่า

ตารางที่ 1 รายละเอียดตัวแปรปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่ใช้วิเคราะห์

ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์	ความละเอียด/หน่วย	แหล่งที่มา	ช่วงเวลา
อุณหภูมิเฉลี่ย	1 km/องศาเซลเซียส	WorldClim	1970-2000
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	1 km/มิลลิเมตร	WorldClim	1970-2000
ระดับความสูง	1 km/เหนือระดับน้ำทะเล (เมตร)	WorldClim	1970-2000
ความชื้นสัมพัทธ์	1 km/เปอร์เซ็นต์	คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ	2023
ค่า pH ของดิน	250m/pH	ISRIC	2020
ความหนาแน่นของประชากร	1 km/คนต่อตารางกิโลเมตร	WorldPop	2020

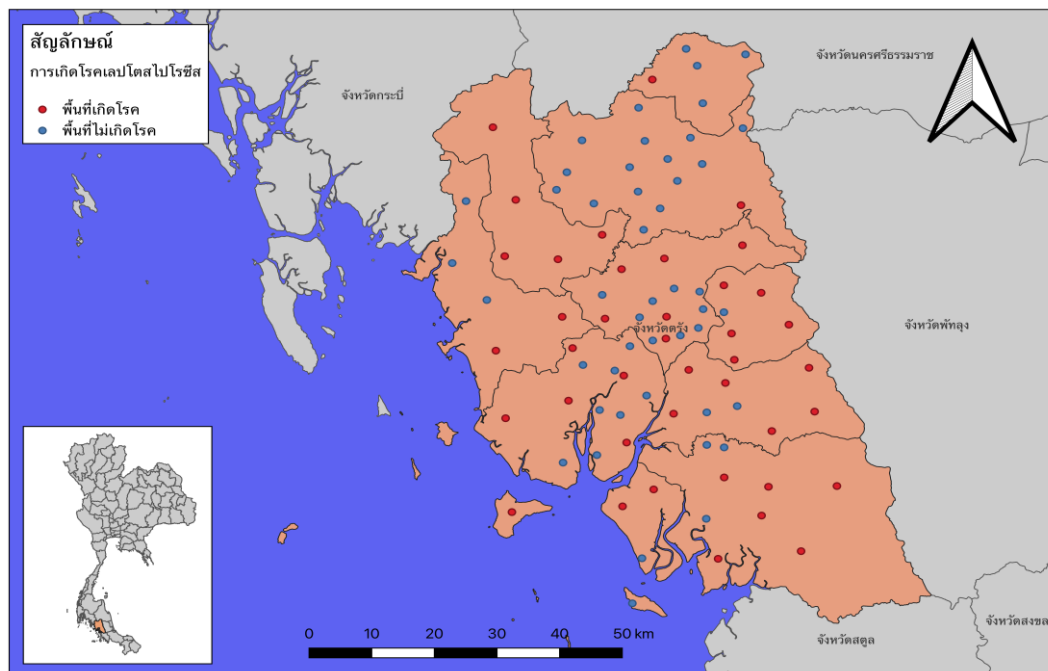
2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ลักษณะทั่วไป ของปัจจัยทางนิเวศวิทยา ด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยการหาค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าควอไทล์ (Quartile) นอกจากนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางนิเวศวิทยากับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส ด้วยสถิติการถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) ซึ่งตัวแปรตามเป็นตัวแปร 2 ค่า คือ ตำบลที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิส กำหนดค่าเท่ากับ 1 และตำบลที่ไม่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิส กำหนดค่าเท่ากับ 0 ส่วนตัวแปรอิสระที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ระดับความสูง ความชื้นสัมพัทธ์ ค่า pH ของดิน และความหนาแน่นของประชากร เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous Variable) ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ หากมีค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (Correlation) เกิน 0.80 ซึ่งก่อให้เกิดภาวะพหุร่วมเชิงเส้น (Multicollinearity) จะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระนั้นออก[13] และทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่ เมื่อพบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าความสัมพันธ์ ไม่เกิน 0.80 จึงจะใช้ตัวแปรอิสระข้างต้นในการนำไปวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกทวินาม (Binary Logistic Regression) ด้วยเทคนิค Backward Stepwise ซึ่งเป็นเทคนิคการนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสมการพร้อมกัน จากนั้นจะคัดตัวแปรทำนายออกมาทีละตัว โดยพิจารณาจากการที่ตัวแปรทำนายอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้น้อยที่สุดออกจากสมการ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยจนกระทั่งเหลือตัวแปรทำนายที่อธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิจัยครั้งนี้ ได้ผ่านคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดตรัง ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย รหัสโครงการวิจัยอ้างอิงเลขที่ P015/2568 ลงวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2568

ผลการวิจัย

1. พื้นที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิสของจังหวัดตรัง พบมีตำบลที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิส จำนวน 40 ตำบล และตำบลที่ไม่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิส จำนวน 47 ตำบล ส่วนใหญ่อยู่ในอำเภอวังวิเศษ อำเภอนาโยง อำเภอย่านตาขาว และอำเภอปะเหลียน (ดังแสดงในภาพที่ 1)

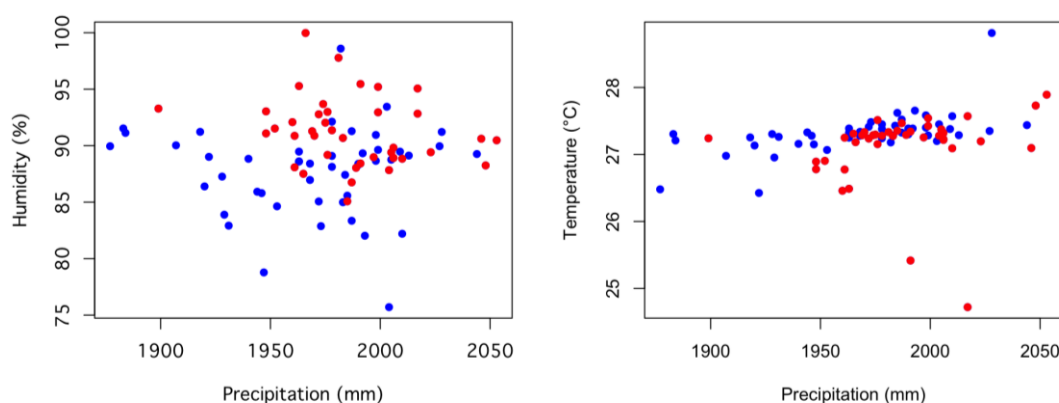


ภาพที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่การเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง

2. ลักษณะปัจจัยทางนิเวศวิทยาในพื้นที่ทั่วไปของจังหวัดตรังกับพื้นที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง พบว่า ลักษณะสิ่งแวดล้อมทั่วไปของจังหวัดตรัง มีอุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 24.72 ถึง 28.81 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนอยู่ระหว่าง 1,877 ถึง 2,053 มิลลิเมตร ระดับความสูงของพื้นที่ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 535 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 75.70 ถึง 99.98 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ของดิน อยู่ระหว่าง 3.8 ถึง 4.8 และความหนาแน่นของประชากรอยู่ระหว่าง 21.39 ถึง 3934.7 คนต่อตารางกิโลเมตร ในขณะที่เดียวกัน พื้นที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.72 ถึง 27.89 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,899 ถึง 2,053 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 85.08 ถึง 99.98 เปอร์เซ็นต์ และค่า pH ของดิน อยู่ระหว่าง 3.9 ถึง 4.5 อย่างไรก็ตามค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัจจัยด้านระดับความสูงของพื้นที่ และความหนาแน่นของประชากร ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่เกิดโรคและพื้นที่ไม่เกิดโรค (ตารางที่ 2) จากการเปรียบเทียบลักษณะของปัจจัยทางนิเวศวิทยาในรูปแบบของแผนภูมิจุดแบบกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างพื้นที่ทั่วไป (สีน้ำเงิน) และพื้นที่เกิดโรค (สีแดง) พบว่า พื้นที่เกิดโรคจะเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 1,900 มิลลิเมตร และมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ย พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่เกิดโรคไม่ได้มีความแตกต่างกับอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั่วไปในจังหวัดตรัง ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปัจจัยทางนิเวศวิทยาในพื้นที่ทั่วไปของจังหวัดตรังกับพื้นที่เกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง

ปัจจัยทาง นิเวศวิทยา	พื้นที่ทั่วไปของจังหวัดตรัง					พื้นที่เกิดโรค				
	ค่า ต่ำสุด	ค่า สูงสุด	ค่า เฉลี่ย	ค่าควอไทล์ (Quartile)		ค่า ต่ำสุด	ค่า สูงสุด	ค่า เฉลี่ย	ค่าควอไทล์ (Quartile)	
				25%	75%				25%	75%
อุณหภูมิเฉลี่ย	24.72	28.81	27.2	27.1	27.38	24.72	27.89	27.12	27.2	27.33
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	1,877	2,053	1,977	1,961	1,999	1,899	2,053	1,986	1,984	2,005
ระดับความสูงของ พื้นที่	0	535	47.69	19	48	6	535	61.55	37	52
ความชื้นสัมพัทธ์	75.70	99.98	89.32	87.8	91.28	85.08	99.98	91.16	90.8	92.98
ค่า pH ของดิน	3.8	4.8	4.16	4.1	4.2	3.9	4.5	4.16	4.10	4.3
ความหนาแน่นของ ประชากร	21.39	3934.7	252.3	62.2	221.4	21.39	3934.7	230.3	88.2	177.5



ภาพที่ 2 ลักษณะทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ทั่วไป (สีน้ำเงิน) และพื้นที่เกิดโรค (สีแดง) ในจังหวัดตรัง

3. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสของจังหวัดตรัง จากตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยที่มีสัมพันธ์กับการเกิดโรครอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ โดยความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 0.341 ($p = 0.002$) รองลงมาคือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 0.028 ($p = 0.003$) และเมื่อพิจารณา ค่า Odd ratio จากค่า Exp(B) ของความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 1.407 แสดงว่าหากมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีโอกาสที่จะเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสระดับต่ำของจังหวัดตรัง เพิ่มขึ้นเป็น 1.407 เท่า (OR = 1.407, 95% CI: 1.135-1.744, $p = 0.002$) และค่า Odd ratio จากค่า Exp(B) ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เท่ากับ 1.029 แสดงว่าหากมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีโอกาสที่จะเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสระดับต่ำของจังหวัดตรัง เพิ่มขึ้นเป็น 1.029 เท่า (OR = 1.029, 95% CI: 1.009-1.048, $p = 0.003$) ส่วนตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ยและระดับความสูงของพื้นที่ ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การคงอยู่ในสมการของตัวแปรทั้งสอง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายของแบบจำลอง โดยสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยโลจิสติก ได้ดังนี้

$$P_y = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4)}}$$

โดย

P_y คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส

β_0 คือ ค่าคงที่ (เมื่อไม่มีอิทธิพลจากตัวแปรอิสระใด)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรอิสระ

X_1, X_2, X_3, X_4 คือ ตัวแปรอิสระ (ตัวแปรทำนาย)

e คือ ค่าคงที่ของลอการิทึมธรรมชาติ (มีค่าประมาณ 2.71828.....)

$$P_y = \frac{1}{1 + e^{-(-28.740 + 2.146X_1 + 0.028X_2 + 0.016X_3 + 0.341X_4)}}$$

โดย

X_1 คือ อุณหภูมิเฉลี่ย

X_2 คือ ปริมาณน้ำฝน

X_3 คือ ระดับความสูงของพื้นที่

X_4 คือ ความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 3 ปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส ในจังหวัดตรัง

ปัจจัยหรือตัวแปรทำนาย	B	S.E	Wald	Sig.	Exp (B)	95% C.I. for	
						Lower	Upper
อุณหภูมิเฉลี่ย	-2.146	1.144	3.516	.061	.117	.012	1.102
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	.028	.010	8.537	.003*	1.029	1.009	1.048
ระดับความสูงของพื้นที่	.016	.010	2.829	.093	1.016	.997	1.036
ความชื้นสัมพัทธ์	.341	.110	9.677	.002*	1.407	1.135	1.744
Constant	-28.740	29.365	.958	.328	.000		
-2 Log likelihood = 84.992, Nagelkerke R ² = .443, Percentage correct = 80.5							

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$)

วิจารณ์

การศึกษาปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องกับโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง พบว่า ปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝน มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคในพื้นที่ ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำฝนต่อการแพร่กระจายของโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดศรีสะเกษ โดยชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของโรคเลปโตสไปโรซิสกับดัชนีปริมาณน้ำฝน และพบว่าจุดสูงสุดของจำนวนผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิสที่รายงานสอดคล้องกับจุดสูงสุดของดัชนีปริมาณน้ำฝน[14] นอกจากนั้นการศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลผู้ป่วยจาก 60 จังหวัด ชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิส

[15] สำหรับการศึกษาการเกิดโรคโรคเลปโตสไปโรซิสในต่างประเทศ ได้ยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและการเกิดโรค ตัวอย่างเช่น การศึกษาในเกาหลีใต้ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์รายวัน 1 เปอร์เซ็นต์ สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิสรายสัปดาห์[16] และสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศฟิลิปปินส์และบราซิล[17,18] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์เป็นสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีความเหมาะสมต่อความคงทนและอยู่รอดของเชื้อเลปโตสไปรา[19] รวมทั้งปัจจัยของปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน หรือหลังจากเกิดฝนตกหนัก ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เชื้อเลปโตสไปราแพร่กระจายและอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานขึ้น เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส[20] โดยในพื้นที่จังหวัดตรัง ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่มีทั้งภูเขาและที่ราบชายฝั่ง หลังฝนตกหนักจะเกิดน้ำท่วมขังได้ง่าย อีกทั้งมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งเอื้อต่อการอยู่รอดของเชื้อเลปโตสไปรา ในช่วงที่น้ำขังและพื้นเปียก ความชื้นสัมพัทธ์มักจะสูงกว่า เชื้อมีโอกาสอยู่รอดได้นานขึ้นเพิ่มโอกาสการสัมผัสโรค ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ในจังหวัดตรังประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำสวนยางพารา สวนปาล์มน้ำมัน และการเลี้ยงสัตว์[4] ทำให้คนมีโอกาสสัมผัสน้ำ ดินเปียกชื้นที่อาจจะปนเปื้อนเชื้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขความเสี่ยงต่อการเกิดโรค เช่น การศึกษาของ Hinjoy et al.[21] พบว่า การอาศัยอยู่ใกล้สวนยางพาราและการอาบน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเกษตรกรรม มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส

ในการสร้างสมการถดถอยโลจิสติก นอกจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคอย่างมีนัยสำคัญแล้ว แบบจำลองได้เพิ่มปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ย และระดับความสูงของพื้นที่เข้าสู่สมการทำให้สมการสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายของแบบจำลอง โดยทั้งสองปัจจัยนี้ได้รับการยืนยันว่ามีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับอุบัติการณ์ของโรคในประเทศไทย[22] รวมทั้งการศึกษาในทวีปเอเชียและอเมริกาใต้[23,24] ส่วนปัจจัยที่พบไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง ได้แก่ ค่า pH ของดิน และความหนาแน่นของประชากร ซึ่งจากการศึกษาปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมของโรคเลปโตสไปโรซิส โดยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของประชากรไม่ได้ส่งผลต่ออุบัติการณ์ของโรคเลปโตสไปโรซิสเสมอไป[25] อย่างไรก็ตามยังพบการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของประชากรกับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส เช่น การศึกษาระบาดวิทยาของโรคเลปโตสไปโรซิสในมนุษย์ของเขตเมืองและชนบทของประเทศบราซิล โดยพบว่า ประชากรเขตเมืองมีอัตราการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสสูงกว่าในเขตพื้นที่ชนบท[26] นอกจากนี้ยังพบการศึกษาปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมกับโรคเลปโตสไปโรซิสในสัตว์ของรัสเซีย พบว่า ค่า pH ของ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในสัตว์[5] ซึ่งแตกต่างกับการศึกษานี้ที่ศึกษาการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในมนุษย์ เป็นต้น อีกทั้งสาเหตุที่ปัจจัย ค่า pH ของดิน และความหนาแน่นของประชากร ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง อาจเนื่องจากเชื้อเลปโตสไปรา (*Leptospira*) อยู่รอดได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ชื้น มีน้ำขัง ความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง (pH 7.0-7.4)[1] ดังนั้น ในจังหวัดตรัง ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้นและฝนตกชุก ค่า pH ดิน ในพื้นที่เกิดโรคและไม่เกิดโรคอาจมีความแตกต่างกันน้อยหรือไม่สำคัญเท่าปริมาณน้ำฝนและความชื้น รวมถึงความหนาแน่นของประชากรอาจไม่ได้สะท้อนโอกาสการสัมผัสเชื้อ พื้นที่ชนบทที่มีประชากรน้อยแต่มีอาชีพเกษตรกรรม ซึ่งจังหวัดตรังส่วนใหญ่เป็นเขตพื้นที่เกษตรกรรม เช่น การทำสวนยาง สวนปาล์มน้ำมัน การเลี้ยงสัตว์ หรือการประกอบอาชีพทำนาในบางพื้นที่[4] มีลักษณะการทำงานที่มีการสัมผัสกับดินและน้ำ อาจมีอัตราป่วยสูงกว่าเขตเมืองที่มีประชากรมากแต่ไม่สัมผัสดินน้ำโดยตรง จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของประชากร ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ดังนั้น แม้ว่าปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการจะไม่สอดคล้องกับบางงานวิจัย แต่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางนิเวศวิทยา โดยเฉพาะความชื้นและปริมาณน้ำฝน มีบทบาทสำคัญต่อการกระจายของโรคเลปโตสไปโรซิสในพื้นที่จังหวัดตรัง

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลประวัติการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสระดับตำบลเพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยทางนิเวศวิทยาในระดับตำบล ซึ่งการศึกษาในประเทศไทยที่ผ่านมา พบว่า Viroj et al.[27] ได้มีการใช้จำนวนผู้ป่วยโรคเลปโตสไปโรซิสระดับตำบล ในจังหวัดมหาสารคาม เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเกิดโรคกับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในระดับจังหวัดมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกเหนือจากนั้น การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส ในประเทศไทยจะเป็นการศึกษาที่น่าเชื่อถือระดับจังหวัดทั้งในส่วนของคุณค่าผู้ป่วยและข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และปัจจัยเสี่ยง เช่น การวิเคราะห์การกระจายของโรคเลปโตสไปโรซิสในมนุษย์ในประเทศไทย ระหว่างปี 2555–2561 โดยเน้นรูปแบบเชิงพื้นที่-เวลาและปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องของ Chadsuthi et al.[28] และการศึกษาของ Luenam and Puttanapong[29] ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโรคเลปโตสไปโรซิส โดยอิงจากข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ได้จากดาวเทียมในประเทศไทยช่วงปี 2556–2558

การศึกษานี้มีข้อจำกัดด้านข้อมูลทุติยภูมิของปัจจัยทางนิเวศวิทยา เนื่องจากใช้ข้อมูลระดับโลกในการวิเคราะห์ข้อมูลในระดับตำบล ถึงแม้ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้รับการยอมรับในการศึกษาทางนิเวศวิทยา แต่หากมีข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ถึงระดับตำบลในอนาคต จะสามารถเพิ่มความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ได้มากยิ่งขึ้น

ผลจากการศึกษานี้เป็นการยืนยันความสัมพันธ์ของปัจจัยทางนิเวศวิทยาต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดตรัง และจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับหน่วยงานสาธารณสุข และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่จังหวัดตรังสามารถนำข้อมูลดังกล่าวเพื่อกำหนดพื้นที่ในการเฝ้าระวังและป้องกันโรคเลปโตสไปโรซิส รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการจัดการทรัพยากรในการควบคุมโรคในพื้นที่ ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนมาตรการเฝ้าระวังและควบคุมโรคในพื้นที่เสี่ยงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการระบาดของโรคที่มีปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องในงานสาธารณสุข

ข้อเสนอแนะ

1. หน่วยงานสาธารณสุขควรกำหนดมาตรการเฝ้าระวังและป้องกันโรค โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคเลปโตสไปโรซิส ควรพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้าโดยบูรณาการข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงและการแจ้งเตือนแก่พื้นที่ นอกจากนี้ควรเพิ่มมาตรการสื่อสารความเสี่ยงแก่ประชาชนในช่วงที่มีฝนตกหนัก เพื่อให้ประชาชนตระหนักถึงการป้องกันตนเองจากการติดเชื้อ การเฝ้าระวังอาการ และแนวทางปฏิบัติเมื่อมีอาการต้องสงสัย ทั้งนี้ เพื่อช่วยลดการป่วยและการเสียชีวิตจากโรคเลปโตสไปโรซิส

2. ควรศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ลักษณะพฤติกรรมส่วนบุคคล ความชุกของหนูซึ่งเป็นสัตว์นำโรคที่สำคัญ เป็นต้น เพื่อหาวิธีการหรือรูปแบบแนวทางการป้องกันและควบคุมโรคเลปโตสไปโรซิสที่เหมาะสมกับประชาชนหรือหน่วยงานสาธารณสุขที่เกี่ยวข้องต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตรัง ที่อนุเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาที่เป็นประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Disease Control, Ministry of Public Health, Thailand. Leptospirosis details [Internet]. Nonthaburi: DDC; 2024 [cited 2024 Jan 20]. Available from: https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=16. (in Thai)
- [2] Department of Disease Control, Ministry of Public Health, Thailand. 506 disease surveillance reporting system [Internet]. Nonthaburi: DDC; 2024 [cited 2024 Jan 20]. Available from: <http://doe1.moph.go.th/surdata/disease.php?dcontent=old&ds=43>. (in Thai)
- [3] Trang Provincial Public Health Office. Epidemiological surveillance report 506, 2023-2024. Trang: Trang Provincial Public Health Office; 2024. (in Thai)
- [4] Trang Provincial Office. Summary of Trang Province [Internet]. Trang: Trang Provincial Office; 2021 [cited 2023 Sep 1]. Available from: https://ww2.trang.go.th/files/com_news_devpro1/2021-04_31cf1c2d3822032.pdf. (in Thai)
- [5] Zakharova OI, Korennoy FI, Toropova NN, Burova OA, Blokhin AA. Environmental risk of leptospirosis in animals: The case of the republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation. *Pathogens*. 2020; 23;9(6):504.
- [6] Mohammadinia A, Saeidian B, Pradhan B, Ghaemi Z. Prediction mapping of human leptospirosis using ANN, GWR, SVM and GLM approaches. *BMC Infect Dis*. 2019;13;19(1):971.
- [7] Zakharova OI, Korennoy FI, Iashin IV, Toropova NN, Gogin AE, Kolbasov DV, et al. Ecological and socio-economic determinants of livestock animal leptospirosis in the Russian Arctic. *Front Vet Sci*. 2021;8:658675.
- [8] Centers for Disease Control and Prevention. Principles of epidemiology in public health practice (3rd edition), lesson 1, section 11: epidemic disease occurrence [Internet]. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services; 2012 [cited 2024 Jan 20]. Available from: <https://archive.cdc.gov/#/details?url=https://www.cdc.gov/csels/dsepd/ss1978/lesson1/section11.html>.
- [9] Rodríguez Valero N, Moriñigo HM, Martínez MJ, Peiró A, Oliveira I, Bodro M, et al. Leptospirosis in Spanish travelers returning from Chiang Mai: a case series. *Travel Med Infect Dis*. 2018;23:77-9.
- [10] Fick SE, Hijmans RJ. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol*. 2017;37(12):4302-15.
- [11] Cerasoli F, D'Alessandro P, Biondi M. Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: climatic niche and grid resolution affect between version mismatches in habitat suitability models predictions across Europe. *Ecol Evol*. 2022;12(2):e8430.
- [12] Bucklin DN, Basille M, Romañach SS, Brandt LA, Mazzotti FJ, Watling JI. Considerations for building climate-based species distribution models. USGS / University of Florida; 2016. Report No.: WEC375/UW420.
- [13] Kaiyawan Y. Principles and application of logistic regression analysis for research. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*. 2012;4(1):1-12. (in Thai)
- [14] Wichapeng S, Chadsuthi S, Modchang C. Impact of rainfall on the transmission of leptospirosis in Si Sa Ket, Thailand. *J Phys Conf Ser*. 2021;1719:012024.

- [15] Phosri A. Effects of rainfall on human leptospirosis in Thailand: evidence of multi-province study using distributed lag non-linear model. *Stoch Environ Res Risk Assess.* 2022;36(12):4119–32.
- [16] Joshi YP, Kim EH, Cheong HK. The influence of climatic factors on the development of hemorrhagic fever with renal syndrome and leptospirosis during the peak season in Korea: an ecologic study. *BMC Infect Dis.* 2017;17(1):406.
- [17] Sumi A, Telan EFO, Chagan-Yasutan H, Piolo MB, Hattori T, Kobayashi N. Effect of temperature, relative humidity and rainfall on dengue fever and leptospirosis infections in Manila, the Philippines. *Epidemiol Infect.* 2017;145(1):78–86.
- [18] Hacker KP, Sacramento GA, Cruz JS, de Oliveira D, Nery N Jr, Lindow JC, et al. Influence of rainfall on *Leptospira* infection and disease in a tropical urban setting, Brazil. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(2):311–4.
- [19] Sutiningsih D, Sari DP, Permatasari CD, Azzahra NA, Rodriguez-Morales AJ, Yuliawati S, et al. Geospatial analysis of abiotic and biotic conditions associated with leptospirosis in the Klaten Regency, Central Java, Indonesia. *Trop Med Infect Dis.* 2024;9(10):225.
- [20] Kaewduanglek S, Wichapeng S, Chatusut S. Forecasting leptospirosis incidence by season using meteorological factors in Thailand, 2010-2018. *J Public Health Acad.* 2021;30(5):802-13. (in Thai)
- [21] Hinjoy S, Kongyu S, Doung Ngern P, Doungchawee G, Colombe SD, Tsukayama R, et al. Environmental and behavioral risk factors for severe leptospirosis in Thailand. *Trop Med Infect Dis.* 2019;4(2):79.
- [22] Luenam A. Spatial correlation analysis of leptospirosis and its association with remote sensing data in Thailand, 2013-2015 [thesis/dissertation]. Bangkok: Huachiew Chalermprakiet University; 2020. (in Thai)
- [23] Zhao J, Liao J, Huang X, Zhao J, Wang Y, Ren J, et al. Mapping risk of leptospirosis in China using environmental and socioeconomic data. *BMC Infect Dis.* 2016;16:343.
- [24] Silva AEP, Conceição GMS, Chiaravalloti Neto F. Spatial analysis and factors associated with leptospirosis in Santa Catarina, Brazil, 2001-2015. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2020;53:e20200466.
- [25] Maulana M, Stefani D, Matahari R, Wulandari WK. Environmental risk factors of leptospirosis: systematic review. *Epidemiol Soc Health Rev.* 2024;6(1):1-12.
- [26] Galan DI, Roess AA, Pereira SVC, Schneider MC. Epidemiology of human leptospirosis in urban and rural areas of Brazil, 2000-2015. *PLoS One.* 2021;16(3):e0247763.
- [27] Viroj J, Claude J, Lajaunie C, Cappelle J, Kritiyakan A, Thuainan P, et al. Agro-environmental determinants of leptospirosis: a retrospective spatiotemporal analysis (2004-2014) in Mahasarakham Province (Thailand). *Trop Med Infect Dis.* 2021;6(3):115.
- [28] Chadsuthi S, Chalvet-Monfray K, Geawduanglek S, Wongnak P, Cappelle J. Spatial-temporal patterns and risk factors for human leptospirosis in Thailand, 2012-2018. *Sci Rep.* 2022;12(1):5066.
- [29] Luenam A, Puttanapong N. Modelling and analyzing spatial clusters of leptospirosis based on satellite-generated measurements of environmental factors in Thailand during 2013-2015. *Geospat Health.* 2020;15(2):856.