



2024년 국내 일본뇌염 매개체 감시 현황

김기훈 , 김현우 , 주정원 , 이희일*

질병관리청 진단분석국 매개체분석과

초 록

목적: 일본뇌염(Japanese encephalitis)은 아시아 및 서태평양 지역에서 주로 발생하는 모기 매개 질병으로, 주요 매개체는 작은빨간집모기이다. 일본뇌염은 국내에서 발생하는 토착성 모기 매개 질병으로, 질병관리청 매개체분석과에서는 매년 매개 모기 발생 현황을 감시하고 있다. 본 조사는 2024년 매개 모기 발생 현황을 분석하였다.

방법: 일본뇌염 매개체 감시는 권역별 질병대응센터, 국방부, 보건환경연구원, 기후변화 거점센터의 협조를 통하여 전국적으로 62개 지점에서 수행하였다. 매개체 감시는 축사 내 유문등(black light trap)을 이용하여 매개체를 채집하였다. 2024년 매개 모기 발생 변화를 확인하기 위해서 장기 감시 지역인 10개 지역을 대상으로 비교 분석하였다. 기후 요소인 온도 및 강우량은 기상자료개방포털을 이용하여 확인하였다.

결과: 2024년 일본뇌염 매개체 감시 결과, 총 7속 18종의 모기가 채집되었고, 전체 모기 지수(전체 개체수/trap 수/채집일)는 266.5마리로 확인되었으며, 작은빨간집모기 지수는 89.8마리로, 전년 대비 34.8% 상승하였다. 작은빨간집모기가 발생하는 6-9월의 월 평균 온도는 26.1°C이며, 월 평균 강우량은 16.1 mm로 확인하였다.

결론: 작은빨간집모기의 발생은 평균 기온 및 강우량의 영향을 받는 것으로 확인된다. 2024년 매개 모기는 평년 대비 감소한 강우량(10.3% 감소)과 따뜻해진 평균 기온(1.4°C 상승)에 의하여 밀도가 증가한 것으로 추정된다. 국내 작은빨간집모기의 밀도는 매년 증가하고 있고, 매개체 밀도 변화는 환자 관리 및 예방과 연계되기에 지속적인 감시 및 관리가 필요하다.

주요 검색어: 일본뇌염; 작은빨간집모기; 기상 요소; 감시

서 론

일본뇌염(Japanese encephalitis)은 오스트리아, 방글라데시, 브루나이, 미얀마, 일본, 중국 등 아시아 및 서태평양 지역에서 주로 발생하는 모기 매개 질병으로, 1871년 일본에서

최초로 발생한 이후 아시아 지역을 중심으로 매년 68,000여 명의 환자가 발생하고 있다[1]. 국내에서는 지난 5년(2020-2024년)간 연평균 15.8명의 환자가 발생하였다[2]. 일본뇌염은 바이러스에 감염된 모기가 사람을 흡혈하는 과정에서 전파되어 급성 바이러스 전염병을 일으킨다[3]. 일본뇌염 바이러스

Received April 10, 2025 Revised June 11, 2025 Accepted June 12, 2025

*Corresponding author: 이희일, Tel: +82-43-719-8560, E-mail: isak@korea.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA
Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심 요약

① 이전에 알려진 내용은?

일본뇌염의 주요 매개체는 작은빨간집모기로, 주 활동 시기는 8-9월이다.

② 새로이 알게 된 내용은?

2024년 작은빨간집모기 지수는 89.8마리로 전년 대비 약 34.8% 증가하였다.

③ 시사점은?

평균 온도의 상승, 강우량의 변화에 따라 작은빨간집모기 지수는 지속적으로 증가하기에, 감시 지역 확대 및 지속적인 감시, 감시 기간 확대가 필요하다.

스는 플라비바이러스과(Flaviviridae)의 단일 RNA 바이러스로, 유사한 바이러스로는 뎅기열, 황열, 웨스트나일 바이러스 등이 있다[1]. 일본뇌염 바이러스는 5개의 유전형이 있고, 지리적으로 각기 다른 타입의 유전형이 유행하지만 발병 시 증상은 매우 유사하다[3]. 바이러스에 감염되면 약 5-15일의 잠복기를 거쳐 발병하는데, 대부분 증상을 보이지 않으나, 발병 초기에 고열, 두통 등의 증상이 발현되고, 드물게 의식장애, 경련, 혼수 등이 나타난다[3].

전 세계적으로 일본뇌염을 전파하는 매개체는 작은빨간집모기(*Culex tritaeniorhynchus*), 반점날개집모기(*Culex bitaeniorhynchus*), 큰검정들모기(*Armigeres subalbatus*), 빨간집모기(*Culex pipiens complex*) 등 14종이 보고되었다[4]. 이 중 작은빨간집모기가 일본뇌염의 주요 매개종으로 보고되었으며, 아시아 22개국을 포함한 41개국에서 서식하며, 주로 중국, 인도, 일본, 태국, 한국에 분포한다[5].

질병관리청 매개체분석과에서는 일본뇌염 매개체 감시를 통해 매개 모기의 발생 및 밀도 변화 등을 조사하고, 이를 이용하여 일본뇌염 주의보 및 경보를 발령하고, 예방접종 시기를 알려주고 있다. 일본뇌염 주의보는 채집지역 내 작은빨간집모기가 최초로 채집될 경우에 발령된다. 그리고 작은빨간집

모기 개체수가 500마리 이상이면서, 전체 모기 밀도의 50% 이상일 경우, 채집된 모기로부터 일본뇌염 바이러스가 분리되거나 검출된 경우, 그리고 일본뇌염 환자가 발생하였을 때 일본뇌염 경보를 발령한다[2]. 일본뇌염 주의보와 경보 발령 등 대국민 홍보와 함께 매개체 밀도 감시 자료를 누리집을 통해 매주 공유하고 있다. 이를 통하여 효과적으로 일본뇌염 환자 발생을 억제하여, 국민 보건 향상에 기여하고자 1975년부터 감시 사업을 수행하고 있다.

국내에서는 일본뇌염 환자가 지속적으로 발생하고, 매개 모기가 서식하고 있기에 지속적인 감시가 필요하다. 따라서 본 조사는 2024년 매개 모기 발생 현황을 확인하고, 모기 발생에 영향을 미치는 기상 요인과의 연관성을 비교 분석하였다.

방 법

1. 매개체 감시

일본뇌염 매개체 감시는 권역별 질병대응센터(13개 지점), 국방부(4개 지점), 보건환경연구원(13개 지점), 기후변화 거점센터(32개 지점)의 협조를 통하여 수행하였다. 매개체 채집 기간은 2024년 4월 1일(14주차)부터 10월 31일(44주차)이며, 작은빨간집모기의 출현 가능성이 높은 남부 지방(부산광역시, 전라남도, 경상남도, 제주특별자치도)에서는 1주 빠른 13주차(3월 25일)부터 수행하였다. 매개체 채집은 축사 내 유문등을 설치하여 채집하였다. 채집된 매개체는 각 기관에서 종 분류 및 동정을 수행하였고, 동정 결과는 질병관리청 감염병 매개체 종합 감시망(VectorNet)으로 취합하였다. 모기 밀도에 대한 비교 분석을 위하여 취합된 자료는 모기 지수(trap index: 전체 개체수/trap 수/채집일)로 산출하였다. 본 원고에서는 장기 감시 지역인 10개 지점 자료를 이용하여 매개체 발생 현황을 비교 분석하였다.

2. 결과 분석

온도 및 강우량에 따른 매개 모기의 발생 변화를 분석하기 위해, 질병관리청에서 운영하는 방역통합정보시스템의 감염병 매개체 종합 감시망에 업로드한 주차별 매개체 감시 결과와 기상청의 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)에서 확보한 지역별 기상자료를 비교 분석하였다. 매개체 분포도는 모기 지수를 바탕으로 ArcGIS 9.0 프로그램(Environmental Systems Research Institute)을 사용하고 inverse distance weighted, Spatial Analyst tool을 이용하여 작성하였다.

결 과

1. 매개체 감시 결과

2024년 10개 지점에서 채집된 전체 모기는 총 7속 18종

이었으며, 전체 모기 지수는 266.5마리로 확인되었다(표 1, 그림 1). 최대 우점종은 금빛숲모기(37.3%)이며, 다음으로 작은빨간집모기(33.7%), 중국얼룩날개모기(23.5%) 순으로 채집되었다. 전체 모기 지수는 2021년 높은 모기 지수가 확인된 이후 지속적으로 감소한 반면, 작은빨간집모기 지수는 2021

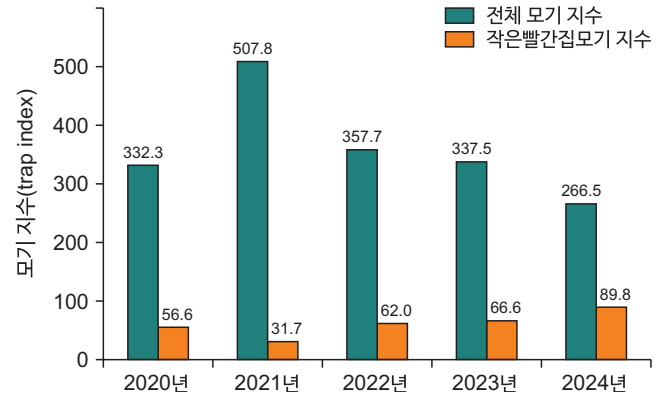


그림 1. 연도별 전체 모기와 작은빨간집모기 지수 비교

표 1. 2024년 일본뇌염 매개 모기 감시사업 중 채집된 모기종

종(학명)	연도별 모기 지수(%)		
	2022년	2023년	2024년
작은빨간집모기(<i>Culex tritaeniorhynchus</i>)	62.0	66.6	89.8 (33.7)
금빛숲모기(<i>Aedes vexans</i>)	214.5	153.8	99.5 (37.3)
중국얼룩날개모기(<i>Anopheles</i> spp.)	65.7	93.8	62.5 (23.5)
빨간집모기(<i>Culex pipiens</i>)	8.1	9.3	6.2 (2.3)
한국숲모기(<i>Ochlerotatus koreicus</i>)	1.9	4.6	3.0 (1.1)
큰검정등모기(<i>Armigeres subalbatus</i>)	3.6	2.9	2.3 (0.9)
반점날개늪모기(<i>Mansonia uniformis</i>)	0.4	0.4	0.5 (0.2)
동양집모기(<i>Culex orientalis</i>)	0.7	4.2	1.2 (0.5)
토고숲모기(<i>Ochlerotatus togoi</i>)	0.2	0.9	0.5 (0.2)
흰줄숲모기(<i>Aedes albopictus</i>)	0.2	0.3	0.3 (0.1)
반점날개집모기(<i>Culex bitaeniorhynchus</i>)	0.1	0.1	0.2 (>0.1)
흰어깨숲모기(<i>Ochlerotatus nipponicus</i>)	0.2	0.3	0.2 (>0.1)
하토리숲모기(<i>Ochlerotatus hatorii</i>)	0.1	0.1	0.1 (>0.1)
등줄숲모기(<i>Ochlerotatus dorsalis</i>)	0.0	0.0	0.1 (>0.1)
흰뒷등숲모기(<i>Aedes alboscuteellatus</i>)	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
줄다리집모기(<i>Culex vagans</i>)	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
금빛어깨숲모기(<i>Aedes lineatopennis</i>)	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
노랑늪모기(<i>Coquillettidia ochracea</i>)	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
지역별 모기 지수	357.7	337.5	266.5 (100.0)

년(31.7마리) 이후 지속적으로 증가하여 2024년에 가장 높은 작은빨간집모기 지수(89.8마리)가 확인되었다. 작은빨간집모

기는 6월부터 10월까지 발생하였고, 최대 밀도는 8월에 확인되었다(그림 2).

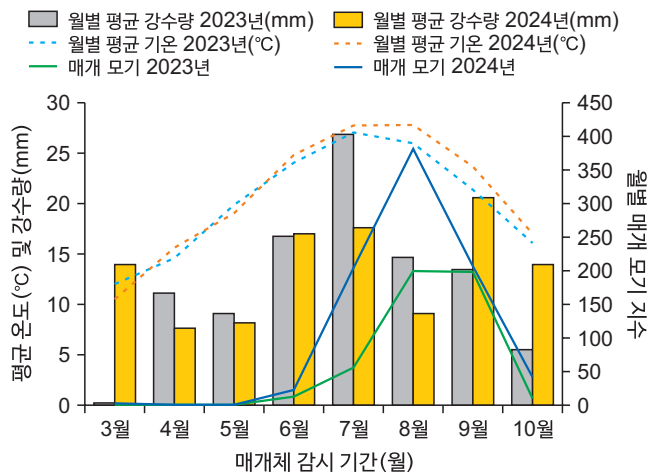


그림 2. 2024년 기후 요소와 작은빨간집모기 지수의 변화 분석

2. 월별/주별 작은빨간집모기 지수 변화

작은빨간집모기는 3월 제주특별자치도 제주시를 시작으로 발생하였고, 4-5월에는 남부 해안가 지역을 중심으로 발생하였다(그림 3). 이후 점차 내륙 지역으로 발생이 확산되어 6월부터 10월까지 전국적으로 발생하였고, 8월(325.4마리)에 최대 발생이 확인되었다. 주별 작은빨간집모기 발생 시기를 비교한 결과, 지역에 따라 전년 대비 최대 12주에서 1주 빨라졌다(표 2). 10개 지점 중 부산광역시 기장군과 강원특별자치도 횡성군의 발생시기는 전년대비 늦었으며, 작은빨간집모기의 발생 시기가 가장 큰 폭으로 빨라진 지역은 전라남도 함평

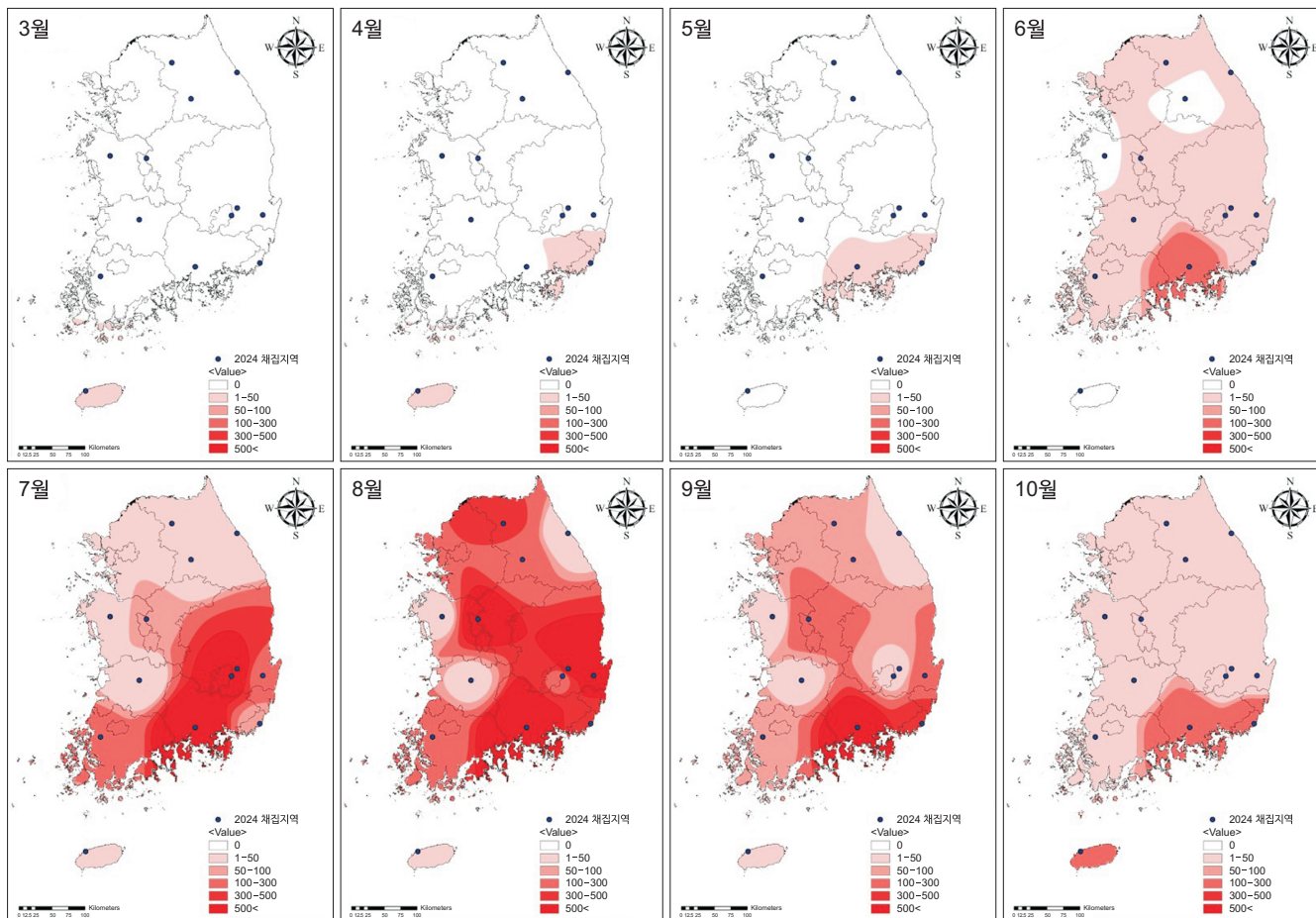


그림 3. 2024년 월별 작은빨간집모기 발생 현황

표 2. 연도별 작은빨간집모기 출현 시기

채집지역		2021년	2022년	2023년	2024년
강원특별자치도	횡성군	-	32주	24주	26주
	강릉시	-	29주	31주	24주
	춘천시	35주	31주	28주	24주
충청북도	청주시	30주	30주	28주	25주
충청남도	예산군	34주	32주	30주	28주
전북특별자치도	진주시	23주	30주	29주	26주
전라남도	함평군	23주	26주	28주	16주
경상북도	경산시	32주	27주	27주	25주
대구광역시	동구	-	-	-	24주
경상남도	진주시	25주	17주	16주	16주
울산광역시	울주군	-	-	-	24주
부산광역시	기장군	14주	15주	13주	14주
제주특별자치도	제주시	14주	16주	14주	13주

군으로 확인되었다.

논 의

3. 일본뇌염 주의보/경보 발령

2024년 일본뇌염 주의보는 3월 27일(13주차)에 제주특별자치도 제주시와 전라남도 완도군에서 첫 번째로 작은빨간집모기가 출현하면서 3월 30일 전국에 일본뇌염 주의보가 발령되었다. 제주특별자치도 제주시에서 작은빨간집모기 16개체, 전라남도 완도군은 1개체가 채집되었다. 일본뇌염 경보는 7월 24일(30주차)에 경상남도 진주시, 전라남도 함평군에서 작은빨간집모기가 500개체 이상, 전체 모기의 63.2%, 58.4%가 각각 채집되어 7월 25일에 발령되었다.

4. 매개체 감시 결과 보고

작은빨간집모기 밀도 감시 결과는 매주(14~44주) 업데이트되어 질병관리청 누리집(<https://www.kdca.go.kr>)의 간행물·통계 → (통계)감염병발생정보 → 주간 건강과 질병 → 주요 감염병통계에 공유하였다. 주요 내용은 주간 매개 모기 밀도 현황이며, 전년 또는 평년(2020~2022년) 대비 매개 모기 밀도 변화를 보고하였다.

2024년 10개 채집 지점에서 채집된 전체 모기 지수는 266.5마리로, 2023년 대비 약 21.0% 감소하였다. 일본뇌염 매개 모기인 작은빨간집모기 지수는 89.8마리로, 2023년 대비 약 34.8% 상승하였다. 지역별 작은빨간집모기 지수는 강원특별자치도 강릉시를 제외한 9개 지역에서 모두 상승하였다. 이러한 작은빨간집모기 지수의 상승은 평균 기온의 상승과 강우량 감소의 영향으로 생각된다. 기상청에서 보도한 2024년 여름철 기후특성 중 여름철(6~8월) 평균 기온은 25.6℃로, 1973년 이래 가장 높은 것으로 확인되었다[6]. 또한 비로 인하여 기온이 떨어지는 장마 기간에도 평균 온도는 전년 대비 1.1℃ 높았다. 이러한 온도 상승은 *Culex* 속 모기의 우화율 및 부화율 상승, 유충 시기의 가속화 등의 영향을 끼친다[7]. 2024년 작은빨간집모기의 최대 지수를 보인 기간은 8월(383마리)로 전년과 동일하고, 모기 지수는 전년 대비 59.9% 상승하였다. 이는 전년 대비 1.4℃ 상승한 평균 온도로 인한 것으로 추정된다.

여름철 강우는 모기의 밀도 및 서식처 확산 등에 관련된 중요한 기후 요소이다. 선행 연구에서 *Culex* 속 모기와 강우

량 간의 상관관계를 분석한 결과[7,8], *Culex* 속 모기는 월 평균 강우량이 약 580 mm일 때 최대 밀도를 보인다. 그러나 그 이상의 강우량은 성충의 직접적인 살충 및 서식처 내 유충의 유실을 유발한다[8]. 국내 장마 기간은 6월부터 7월까지로, 연간 강우량의 50% 이상을 차지한다. 2024년 장마 기간에 확인된 강우량은 602.7 mm로 확인되었으며, 이는 평년(1991-2020년) 대비 약 10.3% 감소한 것이다. 이에 전년 대비 감소한 강우량에 따라 산란 장소가 다수 발생한 반면, 모기의 알, 유충의 손실이 최소화되면서 8월에 작은빨간집모기 지수가 상승한 것으로 추정된다.

평균 온도와 강우량은 모기의 생태에 큰 영향을 주는 기후 요소이다[5]. 평균 온도는 모기의 부화 및 우화 속도, 성충 모기의 생존율 등에 영향을 끼치고, 강우량은 모기 서식지 및 유충의 밀도 등에 전반적인 영향을 끼친다. 그 외로 최저 온도 및 최고 온도, 습도 등 다양한 기후 요소 또한 모기의 생태, 활성, 분산에 큰 영향을 끼친다[9,10]. 이에 추가적으로 다른 기후 요소에 대한 영향 분석이 필요하나, 본 조사에서는 평균 온도와 강우량에 대한 분석만 수행하였다. 그리고 본 조사는 통계적인 분석이 아닌 감시 기간 동안 채집된 매개체의 밀도 변화 양상을 기후 요소와 비교 분석하였다. 이에 보다 정확한 분석을 위하여 기후 요소와 매개체 간의 상관관계 분석이 필요할 것으로 생각된다.

국내 작은빨간집모기 지수는 매년 증가하고, 일본뇌염 주의보 및 경보 발령일은 점차 빨라지고 있다. 작은빨간집모기 밀도는 2007년 대비 약 59.2%, 전년 대비 약 34.8% 증가하였다. 일본뇌염 주의보는 2007년 대비 약 20일 빨라졌고, 2024년은 감시 사업 시작과 동시에 발령되었다. 이러한 변화는 매년 높아진 평균 온도와 강우량의 변화 영향으로 매개체의 활동 양상이 변화하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 일본뇌염 매개 모기 감시 사업 운영에 있어 매개 모기 감시 기간 확대 운영이 필요할 것으로 생각된다. 주요 모기의 발생 시기를 확인하고 감시 지점을 확대 운영하여, 지역 및 권역별 주요

모기의 밀도 변화 분석 등을 통해 보다 면밀한 매개체 감시 관리가 필요할 것으로 생각된다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HIL. Data curation: HWK, GHK. Formal analysis: HWK, GHK. Investigation: HWK, GHK. Project administration: HIL, JWJ. Resources: HWK, GHK. Supervision: HIL. Visualization: HWK, GHK. Writing – original draft: GHK. Writing – review & editing: HIL.

References

1. van den Hurk AF, Skinner E, Ritchie SA, Mackenzie JS. The emergence of Japanese encephalitis virus in Australia in 2022: existing knowledge of mosquito vectors. *Viruses* 2022;14:1208.
2. Infectious disease portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [2024 Mar 18]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summaryEDW.do>
3. Gould E, Pettersson J, Higgs S, Charrel R, de Lamballerie X. Emerging arboviruses: why today? *One Health* 2017;4:1-13.
4. Auerswald H, Maquart PO, Chevalier V, Boyer S. Mosquito vector competence for Japanese encephalitis virus. *Viruses* 2021;13:1154.
5. Tong Y, Jiang H, Xu N, et al. Global distribution of *Culex tritaeniorhynchus* and impact factors. *Int J Environ Res Public Health* 2023;20:4701.
6. Korea Meteorological Administration Press Release (September 25 2024) [Internet]. Climatic characteristics of the summer

- of 2024. [2024 Sep 25]. Available from: <https://www.kma.go.kr/kma/news/press.jsp?bid=press&mode=view&num=1-194405&page=1&&field1=subject&text1=2024%EB%85%84&from=2024-05-01&to=2025-03-09>
7. Villena OC, McClure KM, Camp RJ, et al. Environmental and geographical factors influence the occurrence and abundance of the southern house mosquito, *Culex quinquefasciatus*, in Hawai'i. *Sci Rep* 2024;14:604.
 8. Ciota AT, Maccacchio AC, Kilpatrick AM, Kramer LD. The effect of temperature on life history traits of *Culex* mosquitoes. *J Med Entomol* 2014;51:55-62.
 9. Oda T, Eshita Y, Uchida K, et al. Reproductive activity and survival of *Culex pipiens pallens* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in Japan at high temperature. *J Med Entomol* 2002;39:185-90.
 10. Atieli HE, Zhou G, Zhong D, et al. Wind-assisted high-altitude dispersal of mosquitoes and other insects in East Africa. *J Med Entomol* 2023;60:698-707.

Surveillance Report

Surveillance of Japanese Encephalitis Vector Mosquitoes in the Republic of Korea in 2024

Gi-hun Kim , Hyunwoo Kim , Jung-Won Ju , Hee-Il Lee* 

Division of Vectors and Parasitic Diseases, Department of Laboratory Diagnosis and analysis, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Objectives: Japanese encephalitis (JE) is a mosquito-borne disease endemic to Asia and the Western Pacific, including Republic of Korea (ROK), and is primarily transmitted by *Culex tritaeniorhynchus*. The Korea Disease Control and Prevention Agency conducts annual surveillance of mosquito vectors. This study assessed the status of JE vectors in 2024 and analyzed trends in their density in relation to climatic factors.

Methods: Surveillance was conducted at 62 locations through cooperation with the Regional Centers for Disease Control, the Ministry of National Defense, Institute of Health and Environment in local government, and the Regional Centers for Vector Surveillance against Climate Change. Black light traps were used to collect mosquitoes twice a week, primarily in livestock sheds. A comparative analysis was performed using data from ten long-term surveillance sites. Meteorological data, including temperature and rainfall, were obtained from the Korea Meteorological Administration's open data portal to evaluate their effects on mosquito occurrence.

Results: Seven genera and eighteen mosquito species were identified in 2024, with an overall Trap Index (TI) of 266.5. The TI for *Cx. tritaeniorhynchus* was 89.8, indicating a 34.8% increase compared with that in 2023.

Conclusions: Climate change has likely contributed to the JE vector population. In 2024, the population of JE vectors increased, likely due to rising average temperatures and reduced rainfall. The density of *Cx. tritaeniorhynchus* in ROK has been increasing annually. Therefore, since vector density is closely related to patient management and disease prevention, continuous monitoring and control are necessary.

Key words: Japanese encephalitis; *Culex tritaeniorhynchus*; Weather elements; Monitoring

*Corresponding author: Hee-Il Lee, Tel: +82-43-719-8560, E-mail: isak@korea.kr

Introduction

Japanese encephalitis (JE) is a mosquito-borne disease that is endemic to Asia and the Western Pacific, including Austria, Bangladesh, Brunei, Myanmar, Japan, and China.

Since its initial emergence in Japan in 1871, it has annually affected more than 68,000 people, primarily in Asia [1]. In the Republic of Korea (ROK), the average number of patients with JE per year during the last 5-year period from 2020 to 2024 was 15.8 [2]. JE is a viral infectious disease transmitted

Key messages

① What is known previously?

The primary vector of Japanese encephalitis (JE) is *Culex tritaeniorhynchus*, showed main activity at August to September.

② What new information is presented?

The *Cx. tritaeniorhynchus* trap index was 89.8, representing an increase of approximately 34.8% compared to the preceding year.

③ What are implications?

The population of JE vectors continues to increase in response to rising average temperatures and decreased rainfall. Accordingly, expansion of surveillance areas and sustained monitoring efforts are required.

to humans through the bite of infected mosquitoes [3]. JE virus is a single-stranded RNA virus that belongs to the family Flaviviridae, exhibiting a close genetic relationship with other notable viruses such as dengue, yellow fever, and West Nile virus [1]. JE has five genotypes and develops after an incubation period of approximately 5 to 15 days following infection. Most individuals infected with JE are asymptomatic [3].

Globally, 14 mosquito species have been reported as vector of JE, including *Culex tritaeniorhynchus*, *Culex bitaeniorhynchus*, *Armigeres subalbatus*, and the *Culex pipiens* complex [4]. Among them, *Cx. tritaeniorhynchus* has been recognized as the principal vector of JE. This species has been identified in 41 countries, including 22 in Asia, with major distributions in China, India, Japan, Thailand, and ROK [5].

The Division of Vectors and Parasitic Diseases at the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) employs JE vector surveillance. This information is used to issue for JE alerts and warnings and recommend vaccination. A JE alert is

issued when *Cx. tritaeniorhynchus* is first collected in a particular collection area. A JE warning is issued when the *Cx. tritaeniorhynchus* population exceeds 500 individuals and constitutes more than 50% of the total mosquito population, when JE virus is isolated or detected in collected mosquitoes, and when a confirmed case of JE is documented [2]. Weekly surveillance data on vector density are shared via the KDCA website. Since 1975, surveillance programs have been implemented to effectively control the incidence of JE and contribute to the improvement of public health.

Given the continued incidence of JE cases in ROK and the presence of the vector mosquito, continuous surveillance is necessary. Therefore, this study aimed to investigate the occurrence of vector mosquito in 2024 and analyze their relationship with meteorological factors.

Methods

1. Vector Surveillance

Vector surveillance for JE was conducted in collaboration with the Regional Centers for Disease Control (13 site), the Ministry of National Defense (4 site), Institute of Health and Environment in local government (13 site), and the Regional Centers for Vector Surveillance against Climate Change (32 site). Mosquito collection was carried out from April 1 (week 14) to October 31 (week 44) of 2024. In the southern provinces (Busan, Jeollanam-do, Gyeongsangnam-do, and Jeju Island), where *Cx. tritaeniorhynchus* is more likely to occur, collection began one week earlier, on March 25 (week 13). Mosquitoes were captured using black light trap placed in cattle shed, urban areas, military bases and migratory bird habitats. Collected specimens were identified to the species level at

each institution, and the identification results were subsequently compiled through VectorNet system of KDCA. For comparative analysis of mosquito densities, the data were standardized using a trap index (TI, number of mosquitoes/number of trap/day). In this study, comparative analysis of vector occurrence was conducted using data from 10 long-term surveillance sites.

2. Data Analysis

To analyze the JE vectors density, the average, minimum and maximum temperatures and rainfall were obtained from the Korea Meteorological Administration’s Open Data Portal (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>). Vector distribution maps were created using the inverse distance weighted method and the Spatial Analyst tool in ArcGIS 9.0 (Environmental Systems Research Institute), based on the TI.

Results

1. Vector Surveillance

A total of 18 mosquito species from 7 genera were collected

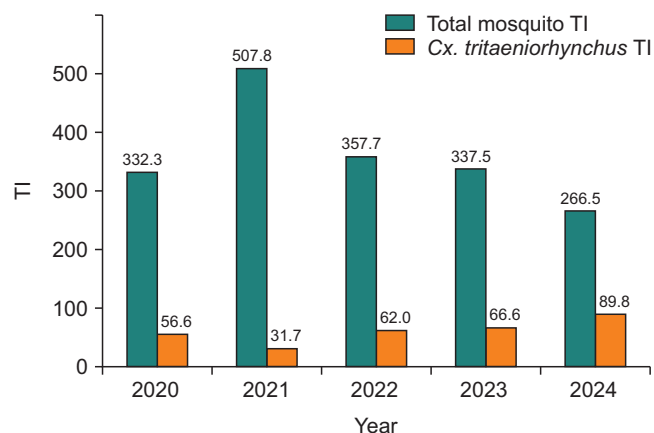


Figure 1. Compare the total mosquito and *Culex tritaeniorhynchus* TI by year
TI=trap index.

Table 1. Mosquitoes collected during monitoring in 2024

Species	Mosquito index (%)		
	2022	2023	2024
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	62.0	66.6	89.8 (33.7)
<i>Aedes vexans</i>	214.5	153.8	99.5 (37.3)
<i>Anopheles</i> spp.	65.7	93.8	62.5 (23.5)
<i>Culex pipiens</i>	8.1	9.3	6.2 (2.3)
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	1.9	4.6	3.0 (1.1)
<i>Armigeres subalbatus</i>	3.6	2.9	2.3 (0.9)
<i>Mansonia uniformis</i>	0.4	0.4	0.5 (0.2)
<i>Culex orientalis</i>	0.7	4.2	1.2 (0.5)
<i>Ochlerotatus togoi</i>	0.2	0.9	0.5 (0.2)
<i>Aedes albopictus</i>	0.2	0.3	0.3 (0.1)
<i>Culex bitaeniorhynchus</i>	0.1	0.1	0.2 (>0.1)
<i>Ochlerotatus nipponicus</i>	0.2	0.3	0.2 (>0.1)
<i>Ochlerotatus hatorii</i>	0.1	0.1	0.1 (>0.1)
<i>Ochlerotatus dorsalis</i>	0.0	0.0	0.1 (>0.1)
<i>Aedes alboscuteclatus</i>	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
<i>Culex vagans</i>	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
<i>Aedes lineatopennis</i>	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
<i>Coquillettidia ochracea</i>	0.0	0.0	0.0 (>0.1)
Total mosquito index	357.7	337.5	266.5 (100.0)

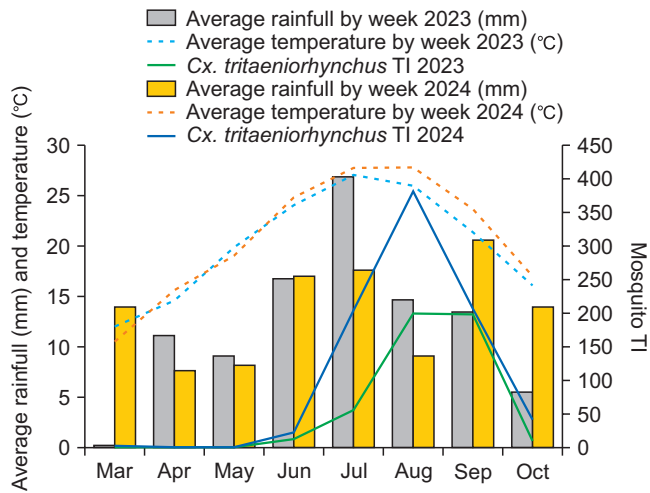


Figure 2. Climate factors (temperature and rainfall) and *Culex tritaeniorhynchus* TI in 2024
TI=trap index.

at 10 sites in 2024, with an overall TI of 266.5 (Table 1, Figure 1). The most dominant species was *Aedes vexans* (37.3%), followed by *Cx. tritaeniorhynchus* (33.7%) and *Anopheles* spp. (23.5%). While the total mosquito index had been decreasing since 2021, the index for *Cx. tritaeniorhynchus* continued to rise, reaching its highest level of 89.8 in 2024. *Cx. tritaeniorhynchus* was primarily observed from June to October, with the peak density recorded in August (Figure 2).

2. Change in *Cx. tritaeniorhynchus* Index by Month/Week

The presence of *Cx. tritaeniorhynchus* was documented in Jeju-si, Jeju Island in March and in the southern coastal regions

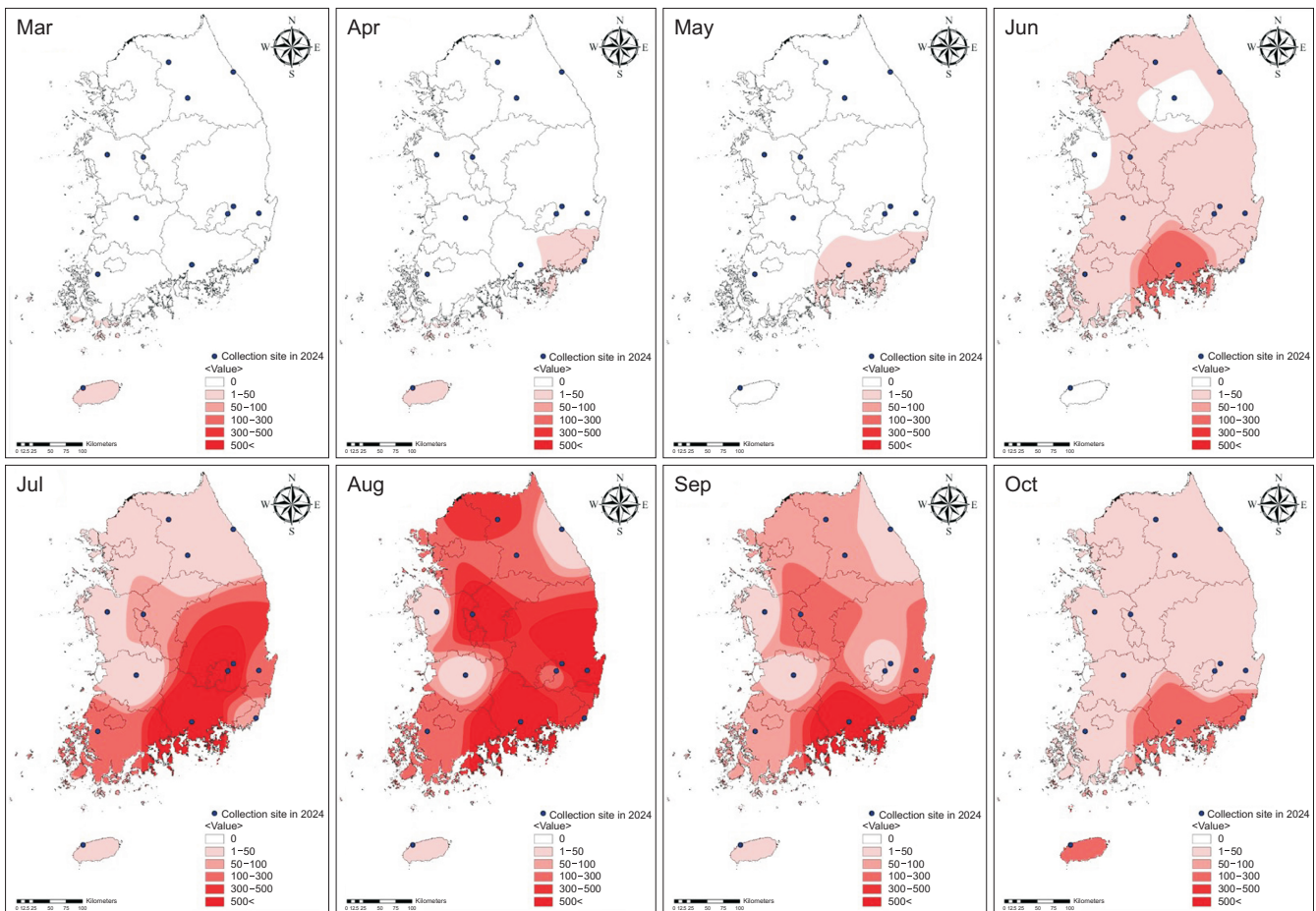


Figure 3. Monthly occurrence of *Culex tritaeniorhynchus* in 2024

during April and May (Figure 3). Its occurrence gradually expanded to inland areas and nationwide from June to October, with peak density recorded in August. Compared to 2023, the onset of occurrence advanced by 1 to 12 weeks depending on the region (Table 2).

3. Issuance of a JE Warning/Alert

In 2024, a nationwide JE warning was issued on March 30, following the first collection of *Cx. tritaeniorhynchus* on March 27 (week 13), with 16 individuals collected in Jeju-si, Jeju Island, and one in Wando-gun, Jeollanam-do. The JE alert was issued on July 25 (week 30) after more than 500 *Cx. tritaeniorhynchus* individuals, accounting for 63.2% and 58.4% of all mosquitoes, were collected in Jinju-si, Gyeongsangnam-do, and Hampyeong-gun, Jeollanam-do, respectively.

4. Reporting of JE Vector Surveillance Results

The results of *Cx. tritaeniorhynchus* surveillance were updated weekly during weeks 14–44 on the KDCA website (<https://www.kdca.go.kr>) under Archives → National

Infectious Diseases Statistics → Public Health Weekly Report → Surveillance Statistics of Infectious Diseases.

Discussion

In 2024, the total mosquito TI across the 10 collection sites was 266.5, representing a decrease of approximately 21.0% compared to the previous year. The TI for *Cx. tritaeniorhynchus*, the primary JE vector species, was 89.8, reflecting an increase of approximately 34.8% from 2023. The TI of *Cx. tritaeniorhynchus* increased in all regions except Gangneung-si, Gangwon Special Self-Governing Province. Increasing of *Cx. tritaeniorhynchus* TI is attributed to the combined effect of elevated mean temperatures and reduced rainfall. According to the Korea Meteorological Administration, the average summer (June–August) temperature in 2024 was 25.6°C, the highest recorded average temperature since 1973 [6]. Temperature increases lead to increase fecundity, accelerate hatching rates of eggs, and enhance larval development [7]. In 2024, the TI for *Cx. tritaeniorhynchus* in August increased by 59.9% compared

Table 2. The appearance of the *Culex tritaeniorhynchus* by year

Province		2021	2022	2023	2024
Gangwon state	Hoengseong-gun	-	32	24	26
	Gangneung-si	-	29	31	24
	Chuncheon-si	35	31	28	24
Chungcheongbuk-do	Cheongju-si	30	30	28	25
Chungcheongnam-do	Yesan-gun	34	32	30	28
Jeonbuk State	Jeonju-si	23	30	29	26
Jeollanam-do	Hampyeong-gun	23	26	28	16
Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan-si	32	27	27	25
Daegu Metropolitan City	Dong-gu	-	-	-	24
Gyeongsangnam-do	Jinju-si	25	17	16	16
Ulsan Metropolitan City	Ulju-gun	-	-	-	24
Busan Metropolitan City	Gijang-gun	14	15	13	14
Jeju Island	Jeju-si	14	16	14	13

Unit : week

to the 2023 value, consistent with the previous year.

Summer rainfall is a significant climatic factor associated with mosquito density and habitat distribution. Several studies have examined the correlation between rainfall levels and the density of *Culex* mosquitoes [7,8]. This analysis revealed that the population of *Culex* mosquitoes peaks in density when the average monthly rainfall is approximately 580 mm. However, rainfall levels exceeding this threshold have been observed to directly affect adult survival and result in the loss of larvae within the habitat [8]. The rainy season in ROK, which typically extends from June to July, contributes to more than 50% of the country's annual rainfall. Rainfall during the 2024 rainy season was 602.7 mm, approximately 10.3% lower than the climatological average (1991–2020). This reduced rainfall, compared to the previous year, may have created more oviposition sites while minimizing the loss of mosquito eggs and larvae. These conditions likely contributed to the increase in the *Cx. tritaeniorhynchus* TI in August [5].

Other climatic factors, such as minimum and maximum temperatures and humidity, also strongly influence mosquito ecology, activity, and dispersal [9,10]. However, the scope of this study was limited to the analysis of average temperature and rainfall. Further investigation is needed to evaluate the effects of other climatic factors. This study did not include statistical analysis; instead, it examined variations in vector density during the surveillance period in relation to climatic conditions. A more accurate assessment would require conducting correlation analysis between climatic factors and vector populations.

Cx. tritaeniorhynchus TI has shown an annual increase, and the issuance of JE alerts and warnings has been shifting earlier each year. The density of *Cx. tritaeniorhynchus*

increased by approximately 59.2% compared to 2007 and 34.8% compared to the previous year. In 2024, the JE warning was issued approximately 20 days earlier than in 2007, coinciding with the start of the surveillance period. These changes indicate a shift in vector activity patterns, likely due to rising average temperatures. Consequently, there is an increasing need to extend the mosquito surveillance period in the JE vector surveillance program. To improve vector surveillance, it is necessary to monitor the seasonal emergence of key mosquito species more closely. In addition, expanding surveillance sites would enable a more detailed analysis of regional and zonal mosquito density patterns.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HIL. Data curation: HWK, GHK. Formal analysis: HWK, GHK. Investigation: HWK, GHK. Project administration: HIL, JWJ. Resources: HWK, GHK. Supervision: HIL. Visualization: HWK, GHK. Writing – original draft: GHK. Writing – review & editing: HIL.

References

1. van den Hurk AF, Skinner E, Ritchie SA, Mackenzie JS. The emergence of Japanese encephalitis virus in Australia in 2022: existing knowledge of mosquito vectors. *Viruses* 2022;14:1208.

2. Infectious disease portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [2024 Mar 18]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summaryEDW.do>
3. Gould E, Pettersson J, Higgs S, Charrel R, de Lamballerie X. Emerging arboviruses: why today? *One Health* 2017;4:1-13.
4. Auerswald H, Maquart PO, Chevalier V, Boyer S. Mosquito vector competence for Japanese encephalitis virus. *Viruses* 2021;13:1154.
5. Tong Y, Jiang H, Xu N, et al. Global distribution of *Culex tritaeniorhynchus* and impact factors. *Int J Environ Res Public Health* 2023;20:4701.
6. Korea Meteorological Administration Press Release (September 25 2024) [Internet]. Climatic characteristics of the summer of 2024. [2024 Sep 25]. Available from: <https://www.kma.go.kr/kma/news/press.jsp?bid=press&mode=view&num=1-194405&page=1&&field1=subject&text1=2024%EB%85%84&from=2024-05-01&to=2025-03-09>
7. Villena OC, McClure KM, Camp RJ, et al. Environmental and geographical factors influence the occurrence and abundance of the southern house mosquito, *Culex quinquefasciatus*, in Hawai'i. *Sci Rep* 2024;14:604.
8. Ciota AT, Mataracchiero AC, Kilpatrick AM, Kramer LD. The effect of temperature on life history traits of *Culex* mosquitoes. *J Med Entomol* 2014;51:55-62.
9. Oda T, Eshita Y, Uchida K, et al. Reproductive activity and survival of *Culex pipiens pallens* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in Japan at high temperature. *J Med Entomol* 2002;39:185-90.
10. Atieli HE, Zhou G, Zhong D, et al. Wind-assisted high-altitude dispersal of mosquitoes and other insects in East Africa. *J Med Entomol* 2023;60:698-707.