



## 2023년 국내 일본뇌염 매개모기 발생 감시 현황

노병언, 신소은, 김현우, 주정원, 이희일\*

질병관리청 진단분석국 매개체분석과

### 초 록

질병관리청 매개체분석과에서는 2023년 3월 말부터 10월까지 일본뇌염(Japanese encephalitis) 매개체로 알려진 작은빨간집모기의 발생 및 밀도변화 감시사업을 전국 9개 시·도, 11개 지점에서 각 지역 보건환경연구원과 함께 수행하였다. 매개모기 출현 시기가 빨라짐을 고려하여 일부 남부지역은 3월(13주차)부터 감시를 수행하였다. 일본뇌염 매개모기 감시사업을 통해 채집된 전체모기는 총 17종 221,311마리가 채집되었고, 그중 작은빨간집모기는 43,251마리 채집되어 전년(40,679마리) 대비 6.3% 증가하였다. 작은빨간집모기는 부산광역시에서 가장 빠르게 채집되었으며, 7월부터 9월까지 높은 밀도를 보이며 10월까지 채집되었다. 주로 남부지역의 밀도가 북부지역보다 높았으며, 작은빨간집모기의 최초 출현이 북쪽 지역으로 갈수록 늦어지는 지역적 차이를 확인하였다. 2023년 일본뇌염 주의보는 3월 22일 매개모기가 부산광역시와 제주특별자치도에서 채집됨에 따라 3월 23일 발령되었고, 경보는 매개모기 밀도가 50% 이상(91.4%) 확인된 7월 26일 발령되었다. 기후변화에 따른 매개체의 발생 시기가 앞당겨지고, 발생 양상도 변화되고 있어 지속적인 감시 조사가 필요하다.

**주요 검색어:** 일본뇌염; 작은빨간집모기

### 서 론

일본뇌염(Japanese encephalitis)은 모기에 의해 전파되는 인수공통감염병이며 인간에게도 영향을 미친다[1]. 일본뇌염 바이러스는 플라비바이러스(*Flavivirus*)에 속하며 뎅기열, 활열, 웨스트나일바이러스와 유사하다. 일본뇌염은 대부분 아시아 국가에서 발생하며, 바이러스의 주요 유전자형은 지리적으로 분포가 다르지만 발병 시 증상은 유사하다. 바이러스에 감염되면 대부분 발열 및 두통 등 가벼운 증상에 그치지만 드물

게 오한, 근육통, 정신 혼란증상이 나타난다. 소아에서는 위장 통증과 구토가 주요 초기 증상이며 경련도 흔하게 나타난다. 약 30억 명이 일본뇌염 바이러스 감염의 위험에 노출되어 있다고 생각되며, 매년 약 2만 명의 환자와 6,000여 명의 사망 건이 보고되고 있다. 치사율은 5-30%의 범위이지만, 생존 환자의 약 30-50%는 다양한 신경계 합병증을 가지고, 완전히 회복하는 것은 환자의 3분의 1이다[2,3].

일본뇌염을 매개하는 주요 모기종으로는 작은빨간집모기(*Culex tritaeniorhynchus*)가 알려져 있으며 작은빨간집모기

Received April 15, 2024 Revised May 7, 2024 Accepted May 8, 2024

\*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 Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

### 핵심요약

#### ① 이전에 알려진 내용은?

일본뇌염은 플라비바이러스(Flavivirus)속 바이러스에 감염된 모기가 사람을 흡혈하는 과정에서 인체에 감염되는 급성 바이러스성 전염병이다. 일본뇌염을 매개하는 주요종은 작은빨간집모기이며, *Armigeres*, *Culex* 및 *Mansonia* 속의 30개 이상의 모기종에서 분리되었지만 이들 중 얼마나 많은 모기가 유능한 매개체인지는 불분명하다

#### ② 새로이 알게 된 내용은?

2023년 전체모기는 총 17종 221,311마리 채집되었고, 작은빨간집모기는 43,251마리 채집하였다. 부산광역시과 제주특별자치도에서 첫 번째로 작은빨간집모기를 확인함에 따라 3월 23일 전국에 주의보를 발령하였고, 7월 26일에 작은빨간집모기가 전체모기의 50% 이상 채집되어 일본뇌염 경보를 발령하였다.

#### ③ 시사점은?

기후 온난화로 인해 일본뇌염 매개모기의 최초 발생 시기가 점점 빨라지고 있으며, 일본뇌염 매개모기의 발생 시기 및 추세를 신속하게 파악하기 위해서는 기온과 강수량뿐만 아니라 강수일수 등의 환경요인이 매개모기 발생에 미치는 영향에 대한 지속적인 감시와 분석이 필요하다.

는 한국, 중국, 일본, 인도네시아, 필리핀 등 동남아시아에 주로 분포한다. 또한 일본뇌염바이러스는 *Aedes*, *Anopheles*, *Armigeres*, *Culex* 및 *Mansonia* 속의 30개 이상의 모기종에서 분리되었지만 이들 중 얼마나 많은 모기가 유능한 매개체인지는 불분명하다[4].

질병관리청 매개체분석과에서는 일본뇌염 매개모기 밀도 조사를 통하여 매개모기의 발생 시기 및 추세를 신속하게 파악하여 매개모기인 작은빨간집모기가 최초로 채집될 시 일본뇌염 주의보를 발령한다. 주 2회 채집된 모기의 1일 평균 개체수 중 작은빨간집모기가 500마리 이상이면 전체모기 밀도의 50% 이상일 때 또는 채집된 모기로부터 일본뇌염 바이러스가 분리되거나 검출된 경우, 그리고 일본뇌염 환자가 발생했을 때 일본뇌염 경보를 발령한다. 주의보와 경보 발령 기

준 충족 시 대국민 홍보와 함께 감시자료를 누리집을 통해 공유하고 있다. 효과적인 일본뇌염 방역대책을 수립하여 국민 보건 향상에 기여하고자 1975년부터 본 사업을 수행하고 있다. 본 글에서는 2023년 일본뇌염 감시사업의 결과를 분석하여 모개매개감염병 예방 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고 자 한다.

## 방 법

### 1. 모기 채집

일본뇌염 매개모기 감시사업은 9개 시·도(부산광역시, 강원도, 충청북도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도, 제주도) 보건환경연구원의 업무협조를 통해 수행하였다. 2023년 3월 27일(13주)부터 11월 3일(44주)까지 모기 채집을 진행하였다. 11개의 채집지점(우사)에서 2018년부터 2023년까지 동일하게 유문등을 설치하여 주 2일 채집하였고 모기지수(trap index, 채집 개체수/채집기수/일, TI)를 산출하였다.

### 2. 결과분석

질병보건통합관리시스템의 매개체 통합감시 시스템(VectorNet)에 업로드한 주차별 분류·동정 채집결과와 지역별 기상자료를 비교 분석하였다. 본 사업에서 활용한 기상 자료는 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)의 기후 데이터를 활용하였다. 모기 분포도는 모기지수를 바탕으로 ArcGIS 9.0 (Environmental Research System Institute) 프로그램을 사용하여 interpolation 분석 방법 중 Inverse Distance Weighted, Spatial Analyst Tool을 이용하여 작성하였다.

### 3. 감시결과 공유

작은빨간집모기 밀도 조사 결과는 채집 후 다음 주에 매

주(15-45주) 업데이트되어 질병관리청 누리집(<https://www.kdca.go.kr>)의 간행물·통계 → (통계)감염병발생정보 → 주간 건강과질병 → 주요감염병통계에 주별로 제공하였다.

2021년에 감소하였고 작년에 다시 증가하여 올해는 작년과 비슷한 발생을 보였다.

## 결 과

### 1. 모기 채집

2023년 9개 보건환경연구원(11개 채집지점)에서 채집된 전체모기는 총 17종 221,311마리였고, 전체모기의 모기 지수는 314.3마리였다. 채집된 모기의 우점종은 금빛숲모기가 45.3% (100,242마리)였으며, 중국얼룩날개모기 27.9% (61,705마리), 작은빨간집모기 19.5% (43,251마리) 순으로 확인되었다(표 1). 일본뇌염 주요 매개모기인 작은빨간집모기의 모기지수는 61.4로 나타났다(그림 1). 2019-2023년의 전체 모기 채집 경향은 2020년에 감소하였다가 2021년에 증가하고 작년부터 감소하여 올해는 전년과 비슷한 개체수가 채집되었다. 작은빨간집모기는 전체모기 발생 경향과 반대로

### 2. 월별/주차별 모기 밀도

채집 결과를 바탕으로 모기의 월별 발생 분포도를 작성한 결과 5월부터 9월까지 높은 밀도를 나타냈다(그림 2). 3종(금빛숲모기, 얼룩날개모기류, 작은빨간집모기)의 모기가 전체

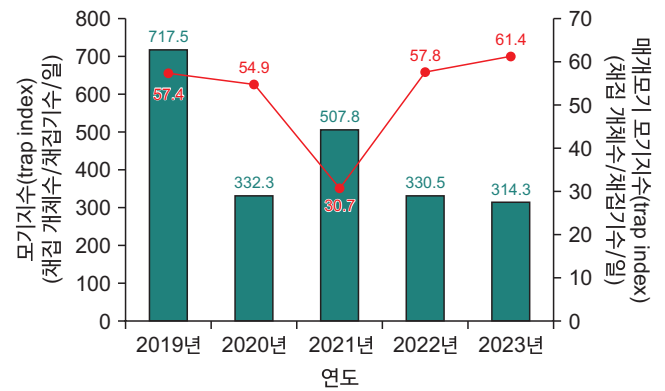


그림 1. 전체모기와 매개모기 발생 경향(2019-2023년)

표 1. 2023년 모기 종별 채집 개체수

속	국명	학명	개체수(%)
숲모기속	금빛숲모기	<i>Aedes vexans</i>	100,242 (45.3)
	한국숲모기	<i>Ochlerotatus koreicus</i>	2,944 (1.3)
	토고숲모기	<i>Ochlerotatus togoi</i>	595 (0.3)
	흰어깨숲모기	<i>Ochlerotatus nipponicus</i>	211 (0.1)
	흰줄숲모기	<i>Aedes albopictus</i>	206 (0.1)
	하토리숲모기	<i>Ochlerotatus hatorii</i>	72 (<0.1)
	등줄숲모기	<i>Ochlerotatus dorsalis</i>	3 (<0.1)
	흰뒷등숲모기	<i>Aedes alboscuteellatus</i>	9 (<0.1)
	금빛어깨숲모기	<i>Aedes lineatopennis</i>	7 (<0.1)
	얼룩날개모기속	중국얼룩날개모기	<i>Anopheles spp.</i>
집모기속	작은빨간집모기	<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	43,251 (19.5)
	빨간집모기	<i>Culex pipiens</i>	7,113 (3.2)
	동양집모기	<i>Culex orientalis</i>	2,711 (1.2)
	반점날개집모기	<i>Culex bitaeniorhynchus</i>	90 (<0.1)
들모기속	큰검정들모기	<i>Armigeres subalbatus</i>	1,910 (0.9)
늪모기속	반점날개늪모기	<i>Mansonia uniformis</i>	240 (0.1)
	노랑늪모기	<i>Coquillettidia ochracea</i>	2 (<0.1)
전체			221,311 (100.0)

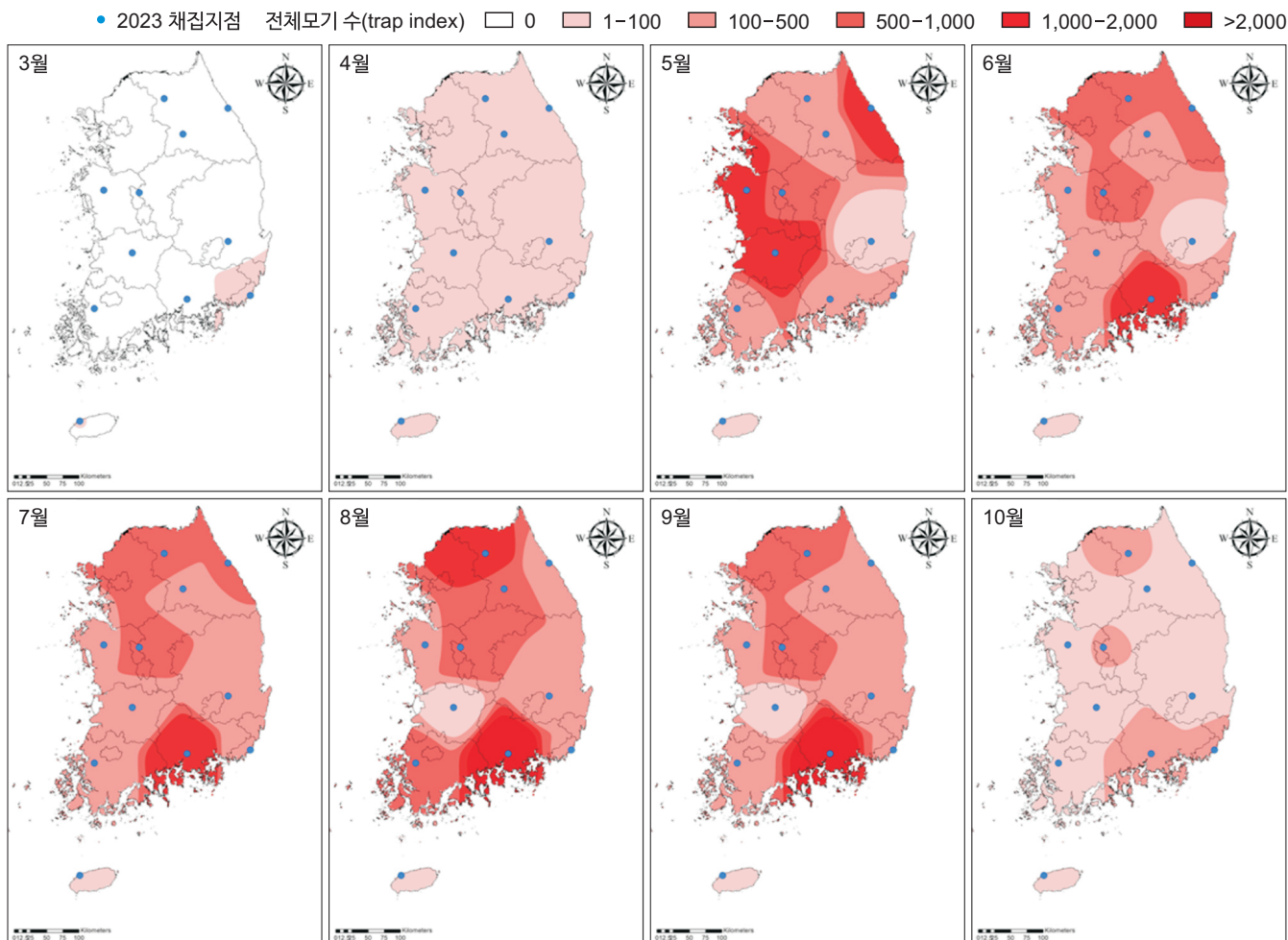


그림 2. 2023년 전체모기의 월별 발생 분포도

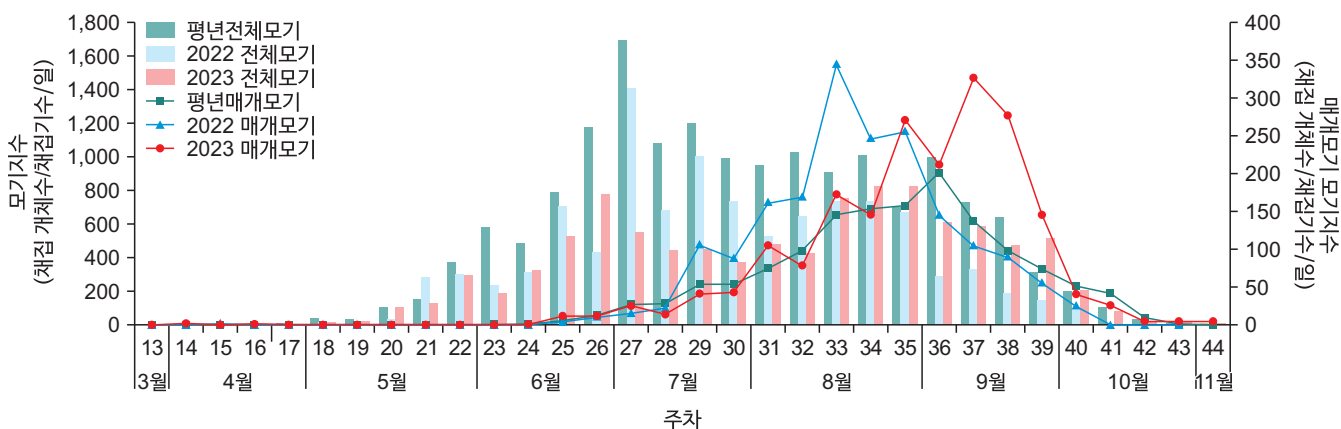


그림 3. 2023년 주차별 전체모기 및 매개모기 발생양상

모기의 92.8%를 차지하였으며, 모기 종류에 따라서 주요발생 시기는 차이가 있었다. 5월 중순부터 금빛숲모기가, 6월 중순부터는 얼룩날개모기류 그리고 8월부터 작은빨간집모기가 밀

도가 증가하였으며, 3종 모두 비교적 높은 밀도를 보였던 8월 이 가장 높은 밀도를 보였다.

주차별로 비교해 보았을 때 평년과 작년에 가장 높은 밀도

표 2. 작은빨간집모기의 지역별 첫 출현 시기(2021-2023년)

채집 지역	첫 출현 시기		
	2021년	2022년	2023년
강원도	35주	29주	28주
충청북도	30주	30주	28주
충청남도	34주	32주	30주
전라북도	23주	30주	29주
전라남도	23주	26주	28주
경상북도	32주	27주	27주
경상남도	25주	17주	16주
부산광역시	14주	15주	13주
제주특별자치도	14주	16주	14주

를 보였던 7월 1주의 모기 지수가 현저히 낮았다(그림 3). 일본뇌염 매개모기인 작은빨간집모기의 최초 발생을 지역별/주차별로 확인해 보면 부산광역시(13주), 제주특별자치도(14주), 경상남도(16주), 경상북도(27주), 강원도·충청북도·전라남도(28주), 전라북도(29주), 충청남도(30주) 순으로 출현하였으며(표 2), 북쪽 지역으로 갈수록 출현 시기가 늦어지는 지역적 차이를 확인하였다(그림 2).

### 3. 일본뇌염 주의보/경보 발령

2023년도 일본뇌염 주의보와 경보는 질병관리청 매개체 분석과에서 운영 중인 매개체 감시사업 중 「권역별 기후변화 매개체 감시 거점센터」의 감시지점인 부산광역시와 제주특별자치도에서 2023년 3월 22일 첫 번째로 작은빨간집모기를 확인함에 따라 3월 23일 전국에 일본뇌염 주의보를 발령하였다. 일본뇌염 경보는 부산광역시에서 채집된 작은빨간집모기가 전체모기의 91.4% (1,056/1,155마리)로 확인되어 2023년 7월 26일 전국에 일본뇌염 경보를 발령하였다.

## 논 의

2023년 9개 보건환경연구원(11개 채집지점)에서 채집한 전체모기는 2022년 대비 4.9% 감소하였고, 매개모기 또한

6.4% 감소하였다. 2023년에는 총 10개의 태풍이 발생하였는데(평년 11개), 그중 제6호 태풍 ‘카눈’이 우리나라에 영향(평년 여름철 2.5개 영향)을 주어 8월 9-10일에 강한 바람과 함께 많은 비가 내렸던 것(기상청 여름철 기후특성 보도자료)이 여름철 모기 증가시기인 32주의 전체모기와 매개모기 급감의 원인이라고 판단된다. 2023년 27주차(평년과 2022년 가장 높은 모기 밀도를 보인 시기)에는 전주와 2주 전의 평균 온도가 각각 2.3℃, 2.7℃ 낮았던 점이 낮은 밀도를 보인 이유로 보여지며, 일일 강수량이 75 mm 이상(폭우)이거나, 15일 동안 총 강수량이 150 mm 이상일 때 모기 알과 유충의 유실이 많다고 알려져 있는데[5], 여름철(6-8월) 월평균 강수일수는 13.3일, 월평균 강수량은 296.1 mm로 평년에 비해 높은 강수량과 강수일수가 40.0일로 전년(39.1일), 평년(35.1일)에 비해 많았던 점이 모기 발생이 감소한 것으로 추측된다. 이와 반대로 기상청 자료에 의하면 9월에는 평년(1993-2023)보다 2.1℃ 높은 22.6℃로 1973년 이후 가장 높은 온도를 보였던 점과 9월 중-하순 북태평양고기압 가장자리를 따라 따뜻한 남서풍이 불어 기온이 높았던 것이 여름철 높은 강수량으로 산란과 유충발달이 어려운 조건을 지나 가을철에 높은 밀도를 나타나게 된 원인으로 생각된다.

기후변화에 의한 아열대화, 서식환경의 변화 등에 일본뇌염 주의보 및 경보 발령 시기는 1975년에 비해 약 3개월(주의보), 약 1개월(경보) 차이로 앞당겨 지고 있으며, 특히 주의보 발령 시기는 기후온난화에 인해 변온동물인 곤충의 활동시기를 앞당기고 있다는 것을 대변한다고 생각된다[6]. 따라서 기후변화에 따른 다양한 환경/생태적 변화에 일본뇌염 매개모기의 발생 시기와 추세를 신속히 파악할 수 있도록 감시범위를 확대하고 지속적으로 균일한 감시가 이루어져야 할 것으로 보인다.



## 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: BEN, HWK, JWJ, HIL. Data curation: BEN, SES, HWK. Formal analysis: BEN, HWK. Writing – original draft: BEN. Writing – review & editing: BEN, HWK, JWJ, HIL.

## References

1. Endy TP, Nisalak A. Japanese encephalitis virus: ecology and epidemiology. *Curr Top Microbiol Immunol* 2002;267:11-48.
2. Zheng Y, Li M, Wang H, Liang G. Japanese encephalitis and Japanese encephalitis virus in mainland China. *Rev Med Virol* 2012;22:301-22.
3. World Health Organization (WHO). Japanese encephalitis [Internet]. WHO; 2024 [cited 2024 Mar 22]. Available from: <https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/vaccine-standardization/japanese-encephalitis>
4. Pearce JC, Learoyd TP, Langendorf BJ, Logan JG. Japanese encephalitis: the vectors, ecology and potential for expansion. *J Travel Med* 2018;25(suppl\_1):S16-26.
5. Noh BE. Seasonal prevalence of mosquitoes collected with black light traps in Gyeongsangnam-do Province, Republic of Korea [master's thesis]. Busan: Kosin University; 2016.
6. 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.

# Surveillance of Japanese Encephalitis Vector Mosquito *Culex tritaeniorhynchus* in the Republic of Korea, 2023

Byung-Eon Noh, Soeun Shin, Hyunwoo Kim, Jung-Won Ju, Hee-Il Lee\*

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

## ABSTRACT

The Division of Vectors and Parasitic Diseases of the Korea Disease Control and Prevention Agency conducted a surveillance project at 11 locations from late March to October 2023 to monitor the abundance of *Culex tritaeniorhynchus*, a vector of Japanese encephalitis (JE). Considering the period of appearance, the southern region was monitored from March (13th week). A total of 221,311 females, comprising seven genera and 17 species, were collected. Of these, 43,251 *C. tritaeniorhynchus* were collected, representing an increase of 6.3% from the previous year (40,679). Higher densities were recorded from July to September, with higher numbers collected in the southern region than in the northern region. *C. tritaeniorhynchus* was first collected on March 22, 2023, from Busan Metropolitan City and Jeju Province, which led to a warning of precautions against JE. On July 26, 2023, an alert was issued because more than 50% of the mosquitoes collected in Busan Metropolitan City were *C. tritaeniorhynchus* (91.4%). Due to climate change, the period for the occurrence of mosquitos has quickened, and the pattern of mosquito prevalence is also changing; therefore, continuous monitoring is necessary.

**Key words:** Japanese encephalitis; *Culex tritaeniorhynchus*

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

## Introduction

Japanese encephalitis (JE) is a zoonotic disease transmitted by mosquitoes [1]. This disease is caused by the JE virus, which belongs to the *Flavivirus* group that also includes the dengue virus, yellow fever virus, and West Nile virus. Although the main genotypes of the virus are geographically distributed, JE occurs primarily in Asian countries, and the initial symptoms are similar regardless of the genotype. On infection, most people experience mild symptoms, such as fever and headache;

however, in rare cases, symptoms such as chills, muscle pain, and mental confusion can occur. In children, gastrointestinal pain and vomiting are the main early symptoms; convulsions are also common. Approximately 3 billion people are at a risk of infection with the JE virus, with approximately 20,000 new cases and 6,000 deaths reported each year globally. While the fatality rate ranges from 5% to 30%, approximately 30–50% of survivors experience various lifelong neurological complications, and only one-third of the patients fully recover [2,3].

*Culex tritaeniorhynchus* is the main mosquito species that

### Key messages

#### ① What is known previously?

Japanese encephalitis (JE) is an acute viral infectious disease that is transmitted to humans through the bite of mosquitoes infected with the *Flavivirus*, during the process of bloodsucking. The JE virus has been isolated from over 30 mosquito species from the genera *Aedes*, *Anopheles*, *Armigeres*, *Culex*, and *Mansonia*, although how many of these are competent vectors is unclear.

#### ② What new information is presented?

In 2023, a total of 221,311 mosquitoes from 17 species were collected. A warning against JE was issued on March 23, and thereafter, a nationwide alarm was issued on July 26.

#### ③ What are implications?

Distribution of vectors will change alongside changes in the climate and environment, thus continued predictive monitoring of JE is essential so that trends in the timing of appearance can be detected.

transmits JE virus and is primarily distributed in East and Southeast Asian countries, including the Republic of Korea (ROK), China, Japan, Indonesia, and the Philippines. Although *C. tritaeniorhynchus* is the main vector, the JE virus has been isolated from over 30 mosquito species belonging to the genera *Aedes*, *Anopheles*, *Armigeres*, *Culex*, and *Mansonia*. However, it is unclear how many of these mosquito species are competent vectors [4].

In the ROK, the Division of Vectors and Parasitic Diseases of the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) conducts surveillance of the density of vector mosquitoes for JE virus to promptly identify the emergence and trends of the mosquitoes. On detection of *C. tritaeniorhynchus*, an alert for JE is issued. When one of the following conditions is met, a

warning is issued for JE: (1) an average daily count of *C. tritaeniorhynchus* collected twice a week exceeding 500 specimens, constituting more than 50% of the total mosquito density; (2) isolation or detection of JE virus from collected mosquitoes; (3) reported cases of JE. When the criteria for issuing an alert and warning are met, public awareness is raised through nationwide surveillance program, and surveillance data are shared through the KDCA website. This project has been implemented since 1975 to establish effective measures for the prevention and control of JE, with the aim of improving public health. This report provides foundational data for the prevention and management of mosquito-borne diseases by analyzing the results of the 2023 JE surveillance program.

## Methods

### 1. Mosquito Collection

The JE vector mosquito surveillance program was conducted in cooperation with nine Public Health and Environment Research Institutes at the city and provincial levels (Busan Metropolitan City, Gangwon Province, Chungcheongbuk Province, Chungcheongnam Province, Jeollabuk Province, Jeollanam Province, Gyeongsangbuk Province, Gyeongsangnam Province, and Jeju Province). In 2023, mosquitoes were collected from March 27 (13th week) to November 3 (44th week). From 2018 to 2023, black light traps were installed in the same manner at 11 collection sites (cowshed), and mosquitoes were collected twice a week. The mosquito index (i.e., trap index, which is the number of individuals/trap/day) was calculated.



## 2. Data Analysis

We compared and analyzed the weekly results of the mosquito collection uploaded on VectorNet, the KDCA’s vector-integrated surveillance system, with regional meteorological data collected from the Korea Meteorological Administration’s Meteorological Data Open Portal (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>). The mosquito distribution map was created using the ArcGIS 9.0 program (Environmental Research System Institute). We utilized the Inverse Distance Weighted Spatial Analyst Tool in the ArcGIS 9.0 software package for interpolation analysis based on the trap index.

## 3. Sharing of Surveillance Data

The density surveillance results for *C. tritaeniorhynchus* were updated every week (15–45 weeks) in the week following collection and were made available on the KDCA website (<https://www.kdca.go.kr>): “publications and statistics” →

“(statistics) infectious disease outbreak information” → “weekly health and disease” → “major infectious disease statistics”.

## Results

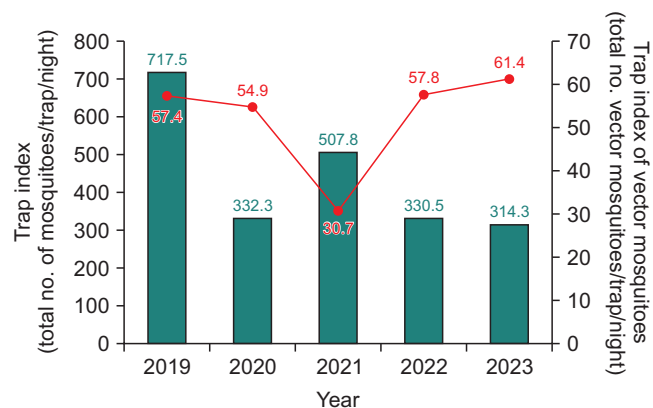
### 1. Mosquito Collection Statistics

In 2023, a total of 221,311 mosquitoes belonging to 17 species were collected by nine Public Health and Environment Research Institutes from 11 collection sites. The trap index for all mosquitoes collected was 314.3. The dominant species in the collected mosquitoes was *Aedes vexans nipponii*, accounting for 45.3% (69,486 mosquitoes), followed by *Anopheles sinensis*, accounting for 27.9% (61,705 mosquitoes), and *C. tritaeniorhynchus*, accounting for 19.5% (43,251 mosquitoes) (Table 1). The mosquito index for *C. tritaeniorhynchus*, the primary vector of JE virus, was 61.4 (Figure 1). From 2019 to 2023, the overall trend showed a decrease in the number of

**Table 1.** Total number of collected mosquitoes (%) by species in 2023

Genus	Species	No. of mosquitoes (%)
<i>Aedes</i>	<i>Aedes vexans</i>	100,242 (45.3)
	<i>Aedes albopictus</i>	206 (0.1)
	<i>Aedes alboscuteallatus</i>	9 (<0.1)
	<i>Aedes lineatopennis</i>	7 (<0.1)
<i>Ochlerotatus</i>	<i>Ochlerotatus koreicus</i>	2,944 (1.3)
	<i>Ochlerotatus togoi</i>	595 (0.3)
	<i>Ochlerotatus nipponicus</i>	211 (0.1)
	<i>Ochlerotatus hatorii</i>	72 (<0.1)
	<i>Ochlerotatus dorsalis</i>	3 (<0.1)
<i>Anopheles</i>	<i>Anopheles</i> spp.	61,705 (27.9)
<i>Culex</i>	<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	43,251 (19.5)
	<i>Culex pipiens</i>	7,113 (3.2)
	<i>Culex orientalis</i>	2,711 (1.2)
	<i>Culex bitaeniorhynchus</i>	90 (<0.1)
<i>Armigeres</i>	<i>Armigeres subalbatus</i>	1,910 (0.9)
<i>Mansonia</i>	<i>Mansonia uniformis</i>	240 (0.1)
<i>Coquillettidia</i>	<i>Coquillettidia ochracea</i>	2 (<0.1)
Total		221,311 (100.0)

individuals collected in 2020, followed by an increase in 2021. However, from last year, there has been a decrease again, with

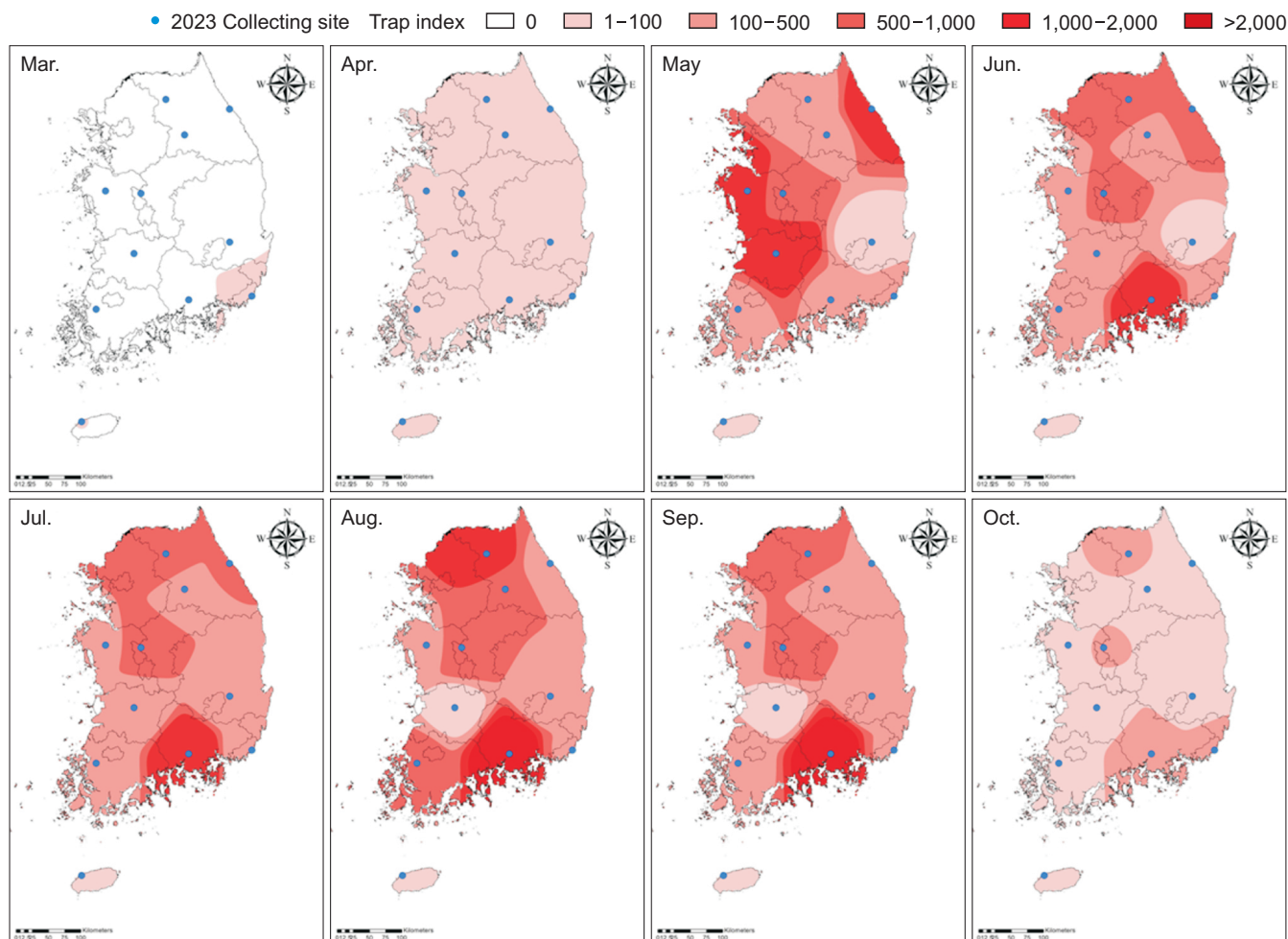


**Figure 1.** Total mosquito and vector mosquito prevalence trends (2019–2023)

this year’s number of collections being similar to that of the previous year. Contrary to the overall mosquito occurrence trend, the population of *C. tritaeniorhynchus* decreased in 2021 and then increased in 2022, with a similar occurrence trend being observed in 2023

## 2. Mosquito Density by Month and Week

Based on the collection results, a monthly distribution map of mosquito occurrence was created, which showed high density from May to September (Figure 2). Three species of mosquitoes (*A. vexans nipponii*, *A. sinensis*, and *C. tritaeniorhynchus*) accounted for 92.8% of all collected mosquitoes, and the main



**Figure 2.** Monthly incidence of total mosquitoes in 2023

occurrence period differed depending on the species. The density of *A. vexans nipponii* increased from mid-May, that of *A. sinensis* from mid-June, and that of *C. tritaeniorhynchus* from August, with the highest overall density in August, wherein all three species also had a relatively high density.

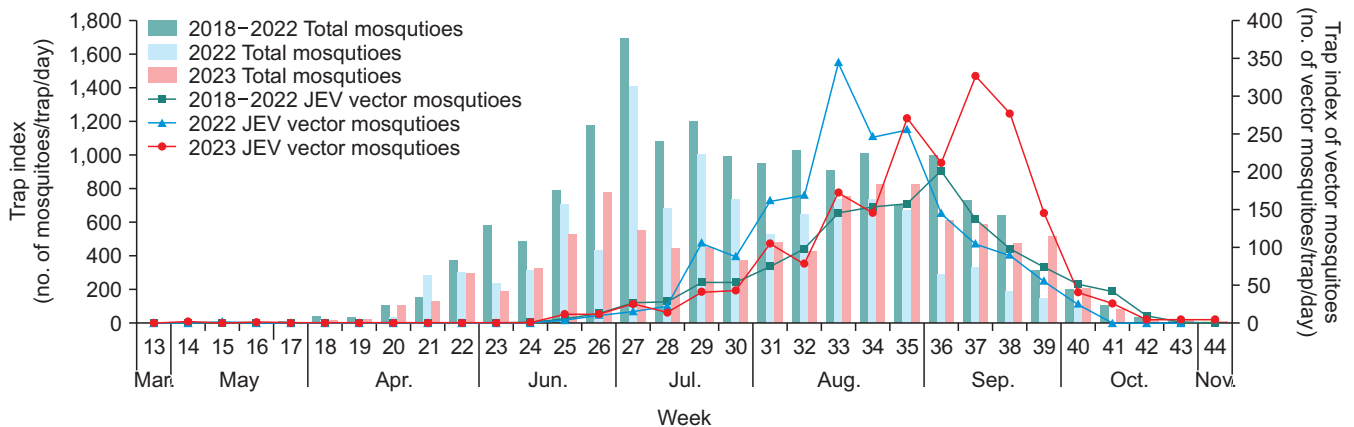
When compared by week, the trap index was considerably reduced in the first week of July, which showed the highest average density across 2019–2023 and in 2022 (Figure 3). Considering the initial occurrence of *C. tritaeniorhynchus*, the primary vector for JE virus, by region and week, its appearance across different regions differed: it appeared by Week 13 in Busan Metropolitan City, by Week 14 in Jeju Province, by Week 16 in Gyeongsangnam Province, by Week 27 in Gyeongsangbuk Province, by Week 28 in Gangwon Province, Chungcheongbuk Province, and Jeollanam Province, by Week 29 in Jeollabuk Province, and by Week 30 in Chungcheongnam Province (Table 2). Hence, there was a regional difference in the timing of appearance of *C. tritaeniorhynchus*, with later appearances in the northern regions (Figure 2).

### 3. Issuance of JE Alerts/Warnings

In 2023, JE alerts and warnings were issued nationwide on March 23rd following the confirmation of collection of *C. tritaeniorhynchus* in Busan Metropolitan City and Jeju Province by the surveillance sites of a vector surveillance program, “Regional climate change vector surveillance hub centers” operated by the KDCA’s Division of Vectors and Parasitic Diseases, on March 22nd. Another JE warning was issued nationwide on July 26th following the confirmation of *C. tritaeniorhynchus* mosquitoes in Busan Metropolitan City, which accounted for 91.4% of all mosquitoes collected (1,056 of

**Table 2.** First collected week of *Culex tritaeniorhynchus* by region (2021–2023)

Region	First week of collected <i>C. tritaeniorhynchus</i>		
	2021	2022	2023
Gangwon Province	35	29	28
Chungcheongbuk Province	30	30	28
Chungcheongnam Province	34	32	30
Jeollabuk Province	23	30	29
Jeollanam Province	23	26	28
Gyeongsangbuk Province	32	27	27
Gyeongsangnam Province	25	17	16
Busan Metropolitan City	14	15	13
Jeju Province	14	16	14



**Figure 3.** Weekly incidences of total mosquitoes and vector mosquitoes in 2023

1,155 individuals).

## Discussion

In 2023, the total number of mosquitoes collected from nine Public Health and Environment Research Institutes (11 collection points) in the ROK decreased by 4.9% when compared to 2022; similarly, the number of vector mosquitoes decreased by 6.4% when compared to 2022. In the same year, a total of 10 typhoons occurred (with an average of 11 typhoons per year [1993–2023]). Among them, the sixth typhoon “Khanun” affected ROK, which experiences an average of 2.5 typhoons every summer, bringing heavy rain and strong winds on the 9th and 10th of August, as per Korea Meteorological Agency’s summer climate characteristics press release. This meteorological event is thought to be caused by the sudden decrease in the number of total and vector mosquitoes during Week 32 of 2023, which is generally the peak period for mosquito proliferation in summer. The reduced density of mosquitoes in Week 27 of 2023 (the period with the highest mosquito density on average and with the highest density in 2022) may be attributed to the average temperatures of the previous two weeks, i.e., Week 26 and Week 25, being 2.3°C and 2.7°C lower, respectively. Additionally, mosquito eggs and larvae are significantly affected when daily precipitation exceeds 75 mm (heavy rainfall) or when the total precipitation over 15 days exceeds 150 mm [5]. In 2023, the average number of rainy days per month was 13.3 days, and the monthly average precipitation was 296.1 mm during summer (June–August). The higher precipitation and number of rainy days in 2023, totaling 40.0 days during summer, compared to that in the previous year (39.1 days) and the average year (35.1 days), are

speculated to have led to the observed decrease in mosquito occurrence in 2023. On the contrary, according to data from the Korea Meteorological Administration, during September, the temperature was 22.6°C, which was 2.1°C higher than the average (1993–2023), marking the highest recorded temperature in autumn since 1973. Additionally, warm southwest winds blew along the edge of the North Pacific High Pressure during the mid to late September, which also contributed to the high temperatures in autumn. These conditions are believed to have led to higher mosquito densities in autumn owing to the difficulty in mosquito breeding and larval development during summer as a result of high rainfall.

Owing to effects of climate change, such as tropicalization and environmental changes, the timing of issuing JE alerts and warnings has advanced by approximately 3 months for alerts and 1 month for warnings when compared to that in 1975. The timing of issuing alerts, specifically, is thought to represent the increase in activity periods of ectothermic animals, such as insects, due to climate warming [6]. Therefore, it is necessary to expand the monitoring scope for JE vector mosquitoes and ensure continuous and uniform surveillance to promptly identify the trends in occurrence and density of these mosquitoes in response to various environmental and ecological changes caused by climate change.

## 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: BEN, HWK, JWJ, HIL. Data curation: BEN, SES, HWK. Formal analysis: BEN, HWK. Writing – original draft: BEN. Writing – review & editing: BEN, HWK, JWJ, HIL.

## References

1. Endy TP, Nisalak A. Japanese encephalitis virus: ecology and epidemiology. *Curr Top Microbiol Immunol* 2002;267:11-48.
2. Zheng Y, Li M, Wang H, Liang G. Japanese encephalitis and Japanese encephalitis virus in mainland China. *Rev Med Virol* 2012;22:301-22.
3. World Health Organization (WHO). Japanese encephalitis [Internet]. WHO; 2024 [cited 2024 Mar 22]. Available from: <https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/vaccine-standardization/japanese-encephalitis>
4. Pearce JC, Learoyd TP, Langendorf BJ, Logan JG. Japanese encephalitis: the vectors, ecology and potential for expansion. *J Travel Med* 2018;25(suppl\_1):S16-26.
5. Noh BE. Seasonal prevalence of mosquitoes collected with black light traps in Gyeongsangnam-do Province, Republic of Korea [master's thesis]. Busan: Kosin University; 2016.
6. 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.