

· 疾病控制 ·

广州市21种市售蔬菜新烟碱类杀虫剂膳食风险评估

宋韶芳, 张维蔚, 张玉华, 王燕燕, 曾锦衡, 潘心红

广州市疾病预防控制中心食源性疾病与食品安全风险监测部, 广东 广州 510440

摘要: **目的** 评估广州市市售蔬菜新烟碱类杀虫剂膳食风险, 为保障居民食品安全提供依据。**方法** 于2022年6—9月, 在广州市超市和农贸市场采集21种45份蔬菜样品, 采用液相色谱-质谱联用法检测10种新烟碱类杀虫剂含量; 通过广州市居民食物消费与营养素摄入状况资料获取居民蔬菜消费量, 计算新烟碱类杀虫剂日暴露量和非致癌风险商值, 评估膳食风险。**结果** 45份蔬菜样品中27份检出新烟碱类杀虫剂, 检出率为60.00%。10种新烟碱类杀虫剂检出6种, 分别为噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺和烯啶虫胺。其中噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉检出率较高且个别样品超标, 检出率分别为26.67%、11.11%和6.67%, 超标率分别为4.44%、2.22%和2.22%。新烟碱类杀虫剂暴露量 IMI_{RPF} 为3 053.00 ng/g, 吡虫啉在块根块茎类蔬菜中的含量和 IMI_{RPF} 最高。吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺、噻虫胺、噻虫嗪和烯啶虫胺的人群日暴露量分别为34.58、3.85、1.20、6.87、7.19和0.86 ng/(kg·d); 非致癌风险商值均 <1 , 分别为 5.76×10^{-4} 、 0.55×10^{-4} 、 0.06×10^{-4} 、 0.69×10^{-4} 、 0.90×10^{-4} 和 0.02×10^{-4} ; 非致癌风险商值总和 <1 , 为 7.98×10^{-4} 。**结论** 本次调查广州市市售21种蔬菜新烟碱类杀虫剂膳食风险较低, 但有个别蔬菜样品存在新烟碱类杀虫剂含量超标, 应加强蔬菜市场监管。

关键词: 蔬菜; 新烟碱类杀虫剂; 风险评估

中图分类号: R155

文献标识码: A

文章编号: 2096-5087 (2023) 09-0781-05

Dietary risk assessment of neonicotinoid pesticide in 21 kinds of market-sold vegetables in Guangzhou City

SONG Shaofang, ZHANG Weiwei, ZHANG Yuhua, WANG Yanyan, ZENG Jinheng, PAN Xinhong

Department of Foodborne Disease and Food Safety Surveillance, Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 510440, China

Abstract: Objective To evaluate the dietary risk of neonicotinoid insecticides in market-sold vegetables in Guangzhou City, so as to provide insights into ensuring food safety for residents. **Methods** Forty-five samples of 21 kinds of vegetables were collected from supermarkets and farmer's markets in Guangzhou City from June to September in 2022, and 10 kinds of neonicotinoid insecticides were determined using liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS). The vegetable consumption was obtained through the survey of food consumption and nutrients intake of residents in Guangzhou City. The dietary risk was evaluated by calculating daily exposure and non-carcinogenic risk quotients of neonicotinoid insecticides. **Results** A total of 27 samples of vegetables were detected with neonicotinoid insecticides, and the detection rate was 60.00%. Among 10 kinds of neonicotinoid insecticides, 6 kinds were identified, including clothianidin, thiamethoxam, imidacloprid, acetamiprid, dinotefuran and nitenpyram. The detection rates of clothianidin, thiamethoxam and imidacloprid were relatively high (26.67%, 11.11% and 6.67%), and some samples exceeded the standard, with the rate of 4.44%, 2.22% and 2.22%, respectively. The total exposure of neonicotinoid pesticides (IMI_{RPF}) was 3 053.00 ng/g, and the contents and IMI_{RPF} of imidacloprid were the highest in roots and tubers. The daily exposure of imidacloprid, acetamiprid, dinotefuran, clothianidin, thiamethoxam and nitenpyram was 34.58, 3.85, 1.20, 6.87, 7.19 and 0.86 ng/(kg·d). Non-carcinogenic risk quotients of imidacloprid, acetamiprid, dinotefuran, clothianidin, thiamethoxam

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2023.09.011

基金项目: 广州市科技计划项目 (2023A03J0450)

作者简介: 宋韶芳, 硕士, 副主任医师, 主要从事疾病控制工作

and nitenpyram was 5.76×10^{-4} , 0.55×10^{-4} , 0.06×10^{-4} , 0.69×10^{-4} , 0.90×10^{-4} and 0.02×10^{-4} , respectively, which was lower than 1; and the sum of non-carcinogenic risk quotients was 7.98×10^{-4} , which was lower than 1. **Conclusions** The dietary risk of neonicotinoid pesticides is low in 21 kinds of market-sold vegetables in Guangzhou City; however, the contents of neonicotinoid insecticides in some vegetable samples exceed the standard. The supervision of vegetable markets should be strengthened.

Keywords: vegetable; neonicotinoid pesticide; risk assessment

新烟碱类杀虫剂是一类作用于昆虫神经系统突触后膜烟碱乙酰胆碱受体及周围神经,使昆虫保持兴奋、麻痹而死亡的神经活性农药,具有广谱、高效和高选择性的优点,在全球范围内广泛使用^[1]。虽然新烟碱类杀虫剂对昆虫烟碱乙酰胆碱受体具有高选择性,但越来越多的研究表明,新烟碱类杀虫剂对非靶标生物也能产生危害,例如对水陆生无脊椎动物有致死作用^[2],对哺乳动物包括人类存在神经毒性、肝毒性、生殖毒性、遗传毒性和内分泌干扰效应等^[3]。新烟碱类杀虫剂可通过种子包衣处理或施入泥土被农作物植物根部吸收而存在于植物的各个部位,且不能通过剥皮或水洗去除,故能在食品中长期存在,并主要通过膳食暴露途径威胁人群健康^[4]。本研究检测广州市售蔬菜样品中的10种新烟碱类杀虫剂残留量,结合广州市居民膳食调查评估膳食风险,为加强新烟碱类杀虫剂管理,保障食品安全提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

按照《食品安全风险监测工作手册》的要求采样。于2022年6—9月,从广州市11个区的超市和农贸市场购买产自广东、云南、河南、宁夏、山东、甘肃、北京、山东、广西和四川等多个地区的7类蔬菜,包括芸薹类、瓜菜类、块根块茎类、鳞茎、茄果类、鲜豆类和叶菜类,具体有芹菜、茄子、叶用莴苣、茼蒿、菠菜、普通白菜、韭菜、卷心菜、香菜、大白菜、苦瓜、菜豆、大葱、油麦菜、番茄、山药、黄瓜、菜心、西兰花、姜和豇豆共21种45份新鲜蔬菜。每种蔬菜重复采集2~3份样品,每份样品的采样量为2个包装,每个包装250g。样品采集后迅速冷藏,0.5h内运至实验室,清洗表皮后保存于-20℃冰柜。

1.2 新烟碱类杀虫剂检测

根据《食品中化学污染物及有害因素监测工作手册》规定的液相色谱-质谱联用法,检测样品中环啶虫啉、氯噻啉、啶虫啉、噻虫啉、噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺和烯啶虫胺10种新烟碱类杀虫剂含量。在确定的色谱和质谱分析条件下,取待

测样品溶液和相应的标准溶液等体积进样测定,按外标法以标准曲线对样品进行定量。标准溶液及待测样品溶液中各组分的响应值均应在仪器检测的线性范围之内。对标准系列溶液进行分析,以定量离子的峰面积为自变量,对被测组分的新烟碱类杀虫剂质量浓度进行回归分析,绘制标准曲线的线性关系良好。检出限为0.003 mg/kg,如果样品检测值低于检出限,则按检出限的1/2计算。检测结果参照GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[5]规定的标准判定:检测值超过最大残留限量即为超标。

由于不同种类的新烟碱类杀虫剂毒性强度不同,采用相对效力因子法(relative potency factor, RPF)整合各种新烟碱类杀虫剂暴露。RPF的原理是将1个评估组内每1种化合物的效力归入1个对照化合物,根据组内其他化合物的均值与该对照化合物的毒性强度关系计算相应系数。由于吡虫啉是应用最广泛,研究最全面的新烟碱类杀虫剂,计算时以吡虫啉为对照化合物,总暴露量以 IMI_{RPF} (ng/g)表示^[6], $IMI_{RPF} = \text{吡虫啉} \times 1.00 + \text{啶虫脒} \times 0.80 + \text{呋虫胺} \times 2.85 + \text{噻虫胺} \times 5.82 + \text{噻虫嗪} \times 9.50 + \text{烯啶虫胺} \times 1.00$ 。

1.3 膳食风险评估

通过广州市居民食物消费与营养素摄入状况资料获取3~6岁、7~17岁、18~59岁和≥60岁居民蔬菜消费量^[7],计算新烟碱类杀虫剂每日暴露量和不同年龄段人群的非致癌风险商值,评估膳食风险。

计算人体新烟碱类杀虫剂每日暴露量(chronic daily intake, CDI):

$$CDI = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times DF_i \times IR_i \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

式(1)中,CDI是各组人群对新烟碱类杀虫剂的日均暴露量[ng/(kg·d)]; C_i 是某种新烟碱类杀虫剂在第*i*类蔬菜中的浓度(ng/g); DF_i 是某种新烟碱类杀虫剂在第*i*类蔬菜中的检出率(%); IR_i 是第*i*类蔬菜的日均摄食量(g/d),取值来源于广州市居民膳食结构调查^[7];BW为体重(kg);EF为暴露频率,取365 d/a;ED为暴露年限(a);AT为非致癌物的平均作用时间(d), $AT = 365 \times ED$ 。 C_i 服从对

数正态分布, IR_i 和 BW 服从正态分布。

根据个体的单位体重每日暴露剂量和每种新烟碱类杀虫剂的参考限量值 (reference limit value, RfV), 计算每种新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值:

$$R^n = \frac{ADD}{RfV} \quad (2)$$

式 (2) 中, R^n 为某种新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值, ADD 为平均每日摄入量 [$ng/(kg \cdot d)$]。本研究主要参考 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[5] 推荐的每日允许摄入量 (acceptable daily intakes, ADI) 的农药慢性摄食暴露参考剂量, 吡虫啉为 $0.06 mg/(kg \cdot d)$, 啶虫脒为 $0.07 mg/(kg \cdot d)$, 呋虫胺为 $0.2 mg/(kg \cdot d)$, 噻虫胺为 $0.1 mg/(kg \cdot d)$, 噻虫嗪为 $0.08 mg/(kg \cdot d)$, 烯啶虫胺为 $0.53 mg/(kg \cdot d)$ 。 $R^n > 1$ 表示某种新烟碱类杀虫剂暴露存在健康风险。

计算人群受所有新烟碱类杀虫剂暴露的总健康风险:

$$R_T = \sum_{i=1}^j R_i^n \quad (3)$$

式 (3) 中, R_T 为暴露于所有新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值总和; R_i^n 为暴露于第 i 种新烟碱类

杀虫剂的非致癌风险商值。 $R_T > 1$ 表示新烟碱类杀虫剂暴露存在健康风险。

1.4 统计分析

样品信息和检测数据录入 Excel 2010 软件, 采用 SPSS 22.0 软件统计分析。采用 Kruskal-Wallis H 检验比较不同种类蔬菜的新烟碱类杀虫剂含量差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 新烟碱类杀虫剂检出情况

苦瓜、姜、山药、大葱、番茄、茄子、豇豆、菠菜、普通白菜、叶用莴苣、油麦菜、芹菜和菜心等 27 份样品中检出新烟碱类杀虫剂, 检出率为 60.00%。检出 6 种新烟碱类杀虫剂, 分别为噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺和烯啶虫胺。噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉检出率较高, 分别为 26.67%、11.11% 和 6.67%, 且个别样品超标, 超标率分别为 4.44%、2.22% 和 2.22%, 见表 1。2 份噻虫胺超标样品分别为苦瓜和芹菜, 含量分别为 90.00 ng/g 和 226.00 ng/g ; 1 份噻虫嗪超标样品为苦瓜, 含量为 216.00 ng/g ; 1 份吡虫啉超标样品为散装姜, 含量为 4 150.00 ng/g 。

表 1 21 种 45 份蔬菜新烟碱类杀虫剂检出情况

Table 1 Detection of neonicotinoid pesticides in 45 samples of 21 kinds of vegetables

项目	检出数	检出率/%	浓度几何均值/ (ng/g)	浓度范围/ (ng/g)	超标数	超标率/%
吡虫啉	3	6.67	2.20	ND~4 150.00	1	2.22
啶虫脒	3	6.67	2.00	ND~194.00	0	0
呋虫胺	3	6.67	1.70	ND~121.00	0	0
噻虫胺	12	26.67	3.40	ND~226.00	2	4.44
噻虫嗪	5	11.11	2.30	ND~216.00	1	2.22
烯啶虫胺	1	2.22	1.60	ND~11.00	0	0

注: ND 表示未检出。

2.2 暴露量分析

蔬菜中新烟碱类杀虫剂总暴露量 IMI_{RPF} 为 3 053.00 ng/g , 7 类蔬菜中均有新烟碱类杀虫剂检出, IMI_{RPF} 均值从高到低的顺序为块根块茎类、瓜菜类、鳞茎、芸薹类、叶菜类、茄果类和鲜豆类。不同种类蔬菜中新烟碱类杀虫剂含量差异无统计学意义 ($H=5.532, P=0.063$)。块根块茎类中姜的 IMI_{RPF} 最高, 为 4 293.00 ng/g ; 瓜菜类中苦瓜的 IMI_{RPF} 最高, 为 2 183.00 ng/g ; 鳞茎类中大葱的 IMI_{RPF} 最高, 为 1 349.00 ng/g ; 芸薹类中菜心的 IMI_{RPF} 最高,

为 1 397.00 ng/g ; 叶菜类中芹菜的 IMI_{RPF} 最高, 为 1 361.00 ng/g ; 茄果类中番茄的 IMI_{RPF} 最高, 为 341.00 ng/g ; 鲜豆类中豇豆的 IMI_{RPF} 最高, 为 206.00 ng/g 。新烟碱类杀虫剂的全人群日暴露量从高到低依次为吡虫啉、噻虫嗪、噻虫胺、啶虫脒、呋虫胺和烯啶虫胺, 新烟碱类杀虫剂在各年龄组居民的日暴露量均小于参考剂量, 见表 2。

2.3 膳食风险评估结果

各年龄组居民每种新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值均小于 1。非致癌风险商值总和也均小于 1, 提

示新烟碱类杀虫剂的联合健康风险低。非致癌风险商值总和从高到低依次为 3~6 岁、≥60 岁、7~17 岁和 18~59 岁。见表 3。

表 2 不同年龄居民蔬菜中新烟碱类杀虫剂日暴露量
[ng/(kg·d)]

Table 2 Daily exposure of neonicotinoid pesticides in vegetables among residents of different ages [ng/(kg·d)]

项目	3~6岁	7~17岁	18~59岁	≥60岁	全人群
吡虫啉	41.15	39.43	34.58	39.44	34.58
啶虫脒	4.15	4.31	3.82	4.34	3.85
呋虫胺	1.21	1.31	1.19	1.32	1.20
噻虫胺	6.91	7.54	6.81	7.59	6.87
噻虫嗪	7.52	7.90	7.17	7.92	7.19
烯啶虫胺	0.88	0.94	0.85	0.95	0.86

表 3 不同年龄居民蔬菜中新烟碱类杀虫剂暴露的非致癌风险商(×10⁻⁴)

Table 3 Non-carcinogenic risk quotients of neonicotinoid pesticides in vegetables among residents of different ages (×10⁻⁴)

项目	3~6岁	7~17岁	18~59岁	≥60岁	全人群
吡虫啉	6.86	6.57	5.76	6.57	5.76
啶虫脒	0.59	0.62	0.55	0.62	0.55
呋虫胺	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06
噻虫胺	0.69	0.75	0.68	0.76	0.69
噻虫嗪	0.94	0.99	0.90	0.99	0.90
烯啶虫胺	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
合计	9.16	9.01	7.96	9.03	7.98

3 讨论

本研究采用液相色谱-质谱法检测 45 份蔬菜中的 10 种新烟碱类杀虫剂含量, 检出率为 60.00%。其中检出率最高的是噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉, 分别为 26.70%、11.10% 和 6.67%。个别样品存在超标情况, 噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉超标率分别为 4.44%、2.22% 和 2.22%, 超标样品分别为苦瓜、芹菜、苦瓜和姜。新烟碱类杀虫剂的暴露量 IMI_{RPF} 为 3 053.00 ng/g。吡虫啉在块根块茎类蔬菜中的含量和 IMI_{RPF} 最高, 与 2021 年中山市蔬菜农残检出结果相似^[8]。国家食品安全风险评估中心通过对全国第五次(2009—2012 年)和第六次(2015—2018 年)膳食调查的食物样本进行检测发现, 在 20 个省份的 528 种食物样本中, 新烟碱类杀虫剂总检出率分别为 53.3% 和 70.5%, 其中吡虫啉和啶虫脒检出率最高, 分别为

61.8% 和 56.9%, IMI_{RPF} 分别为 598.95 ng/g 和 710.38 ng/g^[9]。相比之下, 本研究检测的蔬菜中新烟碱类杀虫剂的检出率和暴露量均有下降趋势, 这可能与食品安全风险监测加强、杀虫剂使用监管力度加大、菜农科学使用杀虫剂知识宣传有关。

广州市居民的新烟碱类杀虫剂日暴露量较低, 各年龄组居民经摄食蔬菜暴露新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值小于阈值 1, 而且暴露于所有新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值总和也小于 1, 提示各年龄组的居民经摄食蔬菜暴露新烟碱类杀虫剂的风险较低。谭颖等^[10]对北京市售蔬菜水果进行检测, 发现新烟碱类杀虫剂在蔬菜水果中普遍存在, 居民经摄食蔬菜水果暴露新烟碱类杀虫剂的非致癌风险商值小于 1, 与本研究结果基本一致。

近年研究表明新烟碱类杀虫剂能够显著提高烟碱型乙酰胆碱受体和蛋白表达, 影响乙酰胆碱酯酶活性及氧化应激^[11]。动物模型研究表明, 暴露在新烟碱类杀虫剂可导致遗传毒性、神经毒性、免疫毒性和生殖毒性等^[12]。人群流行病学研究显示, 新烟碱类杀虫剂慢性暴露与无脑儿、新生儿法洛三联症、不良精神症状等负面健康效应相关^[13-14]。因此, 对新烟碱类杀虫剂的暴露风险需要进行更深入的研究。本研究采集的样品量不多, 没有将稻米^[15]、茶叶^[16]等大规模使用新烟碱类杀虫剂且日常消费量较大的作物包括在内, 可能导致风险的低估。此外, 本研究所采用的消费量数据来自 2011 年广州市居民食物消费与营养素摄入状况调查, 而当今居民的饮食结构和 2011 年相比可能有所不同。

综上所述, 广州市售蔬菜检出新烟碱类杀虫剂, 且有个别样品含量超标; 虽然非致癌风险商值未超过阈值, 但仍需要市场监督管理局、农业局等相关部门加强这方面的监管和宣教, 尽可能降低新烟碱类杀虫剂残留, 减少人群暴露。

参考文献

- [1] 李昌兴, 刘东东, 高一星, 等. 新烟碱类杀虫剂的研究与开发进展 [J]. 化学试剂, 2023, 45 (3): 29-36.
- [2] 崔嵩, 李斐, 刘志琨. 新烟碱类杀虫剂污染特征及其毒性效应 [J]. 中国环境科学, 2023, 43 (1): 361-373.
- [3] 马跃, 毛亚萍, 刘芙, 等. 新烟碱类杀虫剂对人类及哺乳动物的生殖毒性作用 [J]. 沈阳医学院学报, 2022, 24 (2): 191-195.
- [4] 韩明慧, 方虹霁, 王园平, 等. 新烟碱类农药污染和人体暴露及有害效应研究 [J]. 上海预防医学, 2021, 33 (6): 534-543.
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 4.

- [6] ZHANG Q, LU Z B, CHANG C H, et al. Dietary risk of neonicotinoid insecticides through fruit and vegetable consumption in school-age children [J]. *Environ Int*, 2019, 126 (2): 672-681.
- [7] 张玉华, 李迎月, 何洁仪, 等. 广州市居民食物消费与营养素摄入状况 [J]. *中国公共卫生*, 2017, 33 (6): 696-700.
- [8] 温馨, 黎小鹏, 谭淑铎, 等. 2021年中山市种植蔬菜农药残留及膳食风险评估 [J]. *浙江农业科学*, 2023, 64 (2): 455-462.
- [9] CHEN D W, ZHANG Y P, LV B, et al. Dietary exposure to neonicotinoid insecticides and health risks in the Chinese general population through two consecutive total diet studies [J/OL]. *Environ Int*, 2020, 135 [2023-08-11]. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105399>.
- [10] 谭颖, 张琪, 赵成, 等. 蔬菜水果中的新烟碱类农药残留量与人群摄食暴露健康风险评估 [J]. *生态毒理学报*, 2016, 11 (6): 15-20.
- [11] 黄钰婷, 李敬尧, 张琪, 等. 新烟碱类杀虫剂吡虫啉和啉虫脒对人神经母细胞瘤 SK-N-SH 细胞的毒性作用 [J]. *生态毒理学报*, 2021, 16 (5): 59-69.
- [12] THOMPSON D A, LEHMLER H J, KOLPIN D W, et al. A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health [J]. *Environ Sci Process Impacts*, 2020, 22 (6): 1315-1346.
- [13] YANG W, CARMICHAEL S L, ROBERTS E M, et al. Residential agricultural pesticide exposures and risk of neural tube defects and orofacial clefts among offspring in the San Joaquin Valley of California [J]. *Am J Epidemiol*, 2018, 179 (6): 740-748.
- [14] KEIL A P, DANIELS J L, HERTZ-PICCIOTTO I. Autism spectrum disorder, flea and tick medication, and adjustments for exposure misclassification: the CHARGE (Childhood Autism Risks from Genetics and Environment) case-control study [J]. *Environ Health*, 2018, 13 (1) [2023-08-11]. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-3>.
- [15] 张蕊, 朱琳, 李乐乐, 等. 气相色谱-串联质谱法 (GC-MS/MS) 测定大米中 25 种农药及其代谢物残留 [J]. *中国粮油学报*, 2022, 37 (3): 170-177.
- [16] 张倩, 郭学斌, 刘大晶, 等. 2017—2019 年青海省市售蔬菜、水果和茶叶中农药残留状况分析 [J]. *医学动物防制*, 2022, 38 (4): 345-353.
- 收稿日期: 2023-04-06 修回日期: 2023-08-11 本文编辑: 刘婧出

(上接第 780 页)

- [25] PENG P Y, XU L, WANG G X, et al. Epidemiological characteristics and spatiotemporal patterns of scrub typhus in Yunnan Province from 2006 to 2017 [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 2985.
- [26] 秦瑶, 张伦, 张瑶, 等. 2016—2020 年四川省恙虫病流行特征分析 [J]. *预防医学情报杂志*, 2022, 38 (10): 1329-1333.
- [27] XIN H L, SUN J L, YU J X, et al. Spatiotemporal and demographic characteristics of scrub typhus in Southwest China, 2006-2017: an analysis of population-based surveillance data [J]. *Transbound Emerg Dis*, 2020, 67 (4): 1585-1594.
- [28] 谢晓菲, 王高玉, 黄艺, 等. 中国恙虫病流行及临床研究进展 (2010—2020) [J/OL]. *海南医学院学报*, 2022 [2023-08-17]. <https://doi.org/10.13210/j.cnki.jhmu.20220802.001>.
- [29] YAO H W, WANG Y X, MI X M, et al. The scrub typhus in mainland China: spatiotemporal expansion and risk prediction underpinned by complex factors [J]. *Emerg Microbes Infect*, 2019, 8 (1): 909-919.
- [30] HE J Y, WANG Y, LIU P, et al. Co-effects of global climatic dynamics and local climatic factors on scrub typhus in mainland China based on a nine-year time-frequency analysis [J/OL]. *One Health*, 2022, 15 [2023-08-17]. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2022.100446>.
- [31] HAN L, SUN Z B, LI Z M, et al. Impacts of meteorological factors on the risk of scrub typhus in China, from 2006 to 2020: a multicenter retrospective study [J/OL]. *Front Microbiol*, 2023, 14 [2023-08-17]. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1118001>.
- [32] 吕艳. 中国西南地区地里纤恙螨等重要恙螨分布规律研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- [33] PENG P Y, GUO X G, JIN D C, et al. Landscapes with different biodiversity influence distribution of small mammals and their ectoparasitic chigger mites: a comparative study from southwest China [J/OL]. *PLoS One*, 2018, 13 (1) [2023-08-17]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189987>.
- [34] TRAUB R, WISSEMAN JR CL. The ecology of chigger-borne rickettsiosis (scrub typhus) [J]. *J Med Entomol*, 1974, 11 (3): 237-303.
- [35] LV Y, GUO X G, JIN D C. Research progress on *Leptotrombidium deliense* [J]. *Korean J Parasitol*, 2018, 56 (4): 313-324.
- [36] YANG S, LIU X B, GAO Y, et al. Spatiotemporal dynamics of scrub typhus in Jiangxi Province, China, from 2006 to 2018 [J/OL]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18 (9) [2023-08-17]. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094599>.
- [37] 吴义城, 李清华, 张文义, 等. 恙虫病流行特征及危险因素研究进展 [J]. *公共卫生与预防医学*, 2015, 26 (2): 70-74.
- [38] MCMAHON B J, MORAND S, GRAY J S. Ecosystem change and zoonoses in the Anthropocene [J]. *Zoonoses Public Health*, 2018, 65 (7): 755-765.
- [39] 卫宪钰, 欧琳琳, 张文义, 等. 中国大陆恙虫病流行特征、危险因素及预测研究进展 [J]. *寄生虫与医学昆虫学报*, 2022, 29 (1): 60-66.
- 收稿日期: 2023-05-24 修回日期: 2023-08-17 本文编辑: 刘婧出