

## 异齿车轮虫的宿主多样性及地理分布格局<sup>\*</sup>

蒋玉椒<sup>1</sup>, 刘 媚<sup>2</sup>, 唐发辉<sup>1</sup>

(1. 重庆师范大学 生命科学学院 动物生物学重庆市高校重点实验室;

2. 淡水鱼类资源保护与利用重庆市重点实验室, 重庆 401331)

**摘要:** 为了解异齿车轮虫(*Trichodina heterodentata* Duncan, 1977)的宿主多样性及分布格局, 采用形态学与生物多样性统计调查方法, 对该物种的宿主多样性及地理区系进行了研究。研究结果显示: 异齿车轮虫的宿主涉及鱼类与两栖动物(幼体), 鱼类为主要宿主, 其中鲈形目(Perciformes)种类最多, 优势度指数最高( $Y=0.38$ ); 鳃寄生是对鱼类宿主的主要寄生方式, 皮肤寄生是对两栖动物宿主的主要寄生方式。在世界动物地理六区中, 异齿车轮虫的宿主多样性在新热带区最高( $H'_e=1.70$ ), 在东洋区最低( $H'_e=0.99$ )。在世界陆地洲系地理分区中, 异齿车轮虫的宿主多样性在南美洲最高( $H'_e=1.70$ ), 在亚洲最低( $H'_e=1.11$ )。  $\chi^2$  检验结果表明, 异齿车轮虫宿主的分布同时与世界动物分区( $\chi^2=93.138, p<0.01$ )及洲系分布( $\chi^2=80.925, p<0.01$ )的不同存在密切的关联。中国异齿车轮虫宿主种类丰富, 从中国动物地理分区来看主要分布于华北区、华中区与华南区, 其中华南区是最广分布区; 从水系来看主要分布于长江水系、海河水系与珠江水系, 其中在珠江水系分布的种类数位居第一; 从省级行政区来看主要分布于台湾和广西, 其中台湾是最广分布区。上述结果表明, 异齿车轮虫的宿主具有较高多样性, 主要宿主是鱼类, 其中鲈形目鱼类是优势宿主。在世界地理分布区中, 位于赤道附近的地区(新热带区/南美洲)是异齿车轮虫宿主多样性最丰富的地区; 在中国, 异齿车轮虫宿主主要分布于南部或偏南部地区。

**关键词:** 异齿车轮虫; 宿主; 物种多样性; 动物地理; 鱼类

**中图分类号:** Q959

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2024)06-0127-10

车轮虫(Trichodinidae)作为一类水产养殖中常见的外寄生性纤毛虫, 能广泛寄生于一些低等脊椎动物和无脊椎动物。自 1838 年 Ehrenberg 首次在水螅(Hydridae)上发现并报道虱性车轮虫(*Trichodina pediculus*)以来, 国内外已逾 400 种的车轮虫被报道与记录<sup>[1-5]</sup>。异齿车轮虫(*Trichodina heterodentata* Duncan, 1977)是鱼类养殖中极为常见且广泛分布的车轮虫之一, 当它感染养殖鱼类并大量繁殖时易造成宿主鱼鳃组织损伤, 进而给水产养殖业带来经济损失<sup>[4, 6-7]</sup>。关于异齿车轮虫的研究始于 20 世纪 70 年代 Duncan<sup>[8]</sup>在菲律宾的几种鲈形目(Perciformes)鱼类如莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)、齐氏罗非鱼(*Tilapia zillii*)和毛足鲈(*Trichogaster trichopterus*)的鳃、皮肤和鳍中发现并报道。随后陆续在世界各地的其他鱼类如鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、直鳍鲃(*Barbus paludinosus*)、赞比西河歧须鲃(*Synodontis zambesensis*)、约氏灯鲃(*Aplocheilichthys johnstonii*)等不同程度地发现了该虫的寄生<sup>[9-11]</sup>。除了鱼类宿主, 在两栖动物中也发现了异齿车轮虫的寄生。迄今关于两栖类宿主的报道主要有在南非的非洲爪蛙(*Xenopus laevis*)与南美洲的一种蟾蜍即 *Rhinella pombali* 的蝌蚪体表发现异齿车轮虫<sup>[12-14]</sup>。在中国, 1986 年首次在台湾地区的莫桑比克罗非鱼的鳃、体表及鳍上发现异齿车轮虫<sup>[15]</sup>, 在中国大陆则是于 2007 年在重庆地区鲫(*Carassius auratus*)的鳃表首次发现该物种<sup>[7]</sup>, 随后陆续在其他宿主, 如鳊(*Aristichthys nobilis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、乌鳢(*Channa argus*)、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)、沙塘鳢(*Odontobutis obscurus*)鳃上分别检获了该物种<sup>[16-20]</sup>。

目前关于异齿车轮虫的研究虽然不少, 但总体上看仍呈零星分布状态<sup>[21-28]</sup>。尽管已知异齿车轮虫的宿主较

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2024-04-28 修回日期: 2024-06-15 网络出版时间: 2024-12-30T08:57

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(No. 31970409); 重庆市自然科学基金(No. CSTC2018jcyjAX0808); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJQN201800508)

第一作者简介: 蒋玉椒, 女, 研究方向为鱼类寄生虫学, E-mail: 203410436@qq.com; 通信作者: 唐发辉, 女, 教授, 博士, E-mail: trichodina@126.com

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20241227.1722.016>

多,但异齿车轮虫具体寄生于哪些宿主、偏好于哪些宿主以及宿主的多样性有待考证。此外,异齿车轮虫宿主的世界分布特点、各地区的区系分布现状以及各地区宿主分布是否存在差异等一系列问题也不得而知。因此,关于世界性分布的异齿车轮虫及宿主多样性的系统工作仍然缺失。因此,本研究在前期积累的 20 年车轮虫多样性调查工作基础之上,结合异齿车轮虫最新研究报道数据及资料,尽可能全面系统地探讨异齿车轮虫的宿主多样性与地理分布格局从而解决上述问题,这也成为了本研究工作开展的主旨,同时亟以希望为今后异齿车轮虫的纵深研究及水产养殖中车轮虫病害防治提供理论基础与参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集与种类鉴定

自 2020—2022 年在全国范围内的各种生境,包括养殖水体(池塘、水库等)、自然水体(江河、湖泊流域)持续进行了车轮虫多样性调查,对车轮虫寄生的各类宿主(如鱼类、贝类及两栖类)进行广泛采样及解剖观察。首先进行宿主鳃组织、皮肤粘液与鳍条涂片,先于体视显微镜(NIKON SMZ1500)下检测其中是否有车轮虫;一旦发现车轮虫感染,立即进行车轮虫的活体观察,并将自然空干的鳃、皮肤粘液或鳍涂片采用 Klein(1958)干银法<sup>[29]</sup>制作车轮虫的附着盘银染标本(图 1)。采用 LEICA DM6000B 显微镜(1 000×)对银染标本进行显微观察和拍照。车轮虫的种类鉴定主要基于银染标本及国际上的统一标准进行<sup>[11]</sup>。



图 1 采自重庆鲫鳃部的异齿车轮虫

Fig. 1 *T. heterodontata* from gills of *C. auratus* in Chongqing

### 1.2 数据收集

在形态学研究基础之上,详细收集记录宿主的相关信息,包括宿主类型、采集地、寄生部位等。同时收集国外关于异齿车轮虫的所有报道数据,并进行异齿车轮虫全部宿主类型、寄生部位及分布地区的 200 余个样本数据的分类整理及数据分析。需要特别说明的是,除了本研究的原始数据外,其他关于异齿车轮虫的资料均选自确凿无争议的原始报道数据加以分析。异齿车轮虫宿主鱼类的分类参考 Nelson 的鱼类分类系统<sup>[30-31]</sup>,地理区系划分则参考张荣祖<sup>[32]</sup>的动物地理分区进行。

### 1.3 数据处理与多样性分析

利用软件 SPSS Statistics 17.0 与 Microsoft Excel 2019 对数据进行处理分析。物种多样性指数分析具体参考孔凡洲等人<sup>[33]</sup>提出的生物多样性研究方法,主要采用 Simpson 指数( $D$ )、Shannon-Wiener 指数( $H'_e$ )、均匀度指数( $J_e$ )和优势度指数( $Y$ ),它们的计算公式如下:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2, p_i^2 = \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}, H'_e = 1 - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i,$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}, J_e = \frac{H'_e}{H'_{\max}}, H'_{\max} = \ln S, Y = \frac{n_i}{N} \times f_i,$$

其中: $S$  为物种数目, $N$  为所有物种的个体数之和, $n_i$  为第  $i$  个种个体数量, $f_i$  为第  $i$  个种在样本中出现的频率。

### 1.4 数据统计学分析与图表制作

应用软件 SPSS Statistics 17.0 对 200 多份异齿车轮虫样本数据进行分类整理,主要对不同地理区系、宿主

及寄生部位等数据进行列联表的统计学分析,其中对于连续变量及呈正态分布的数据进行 Pearson 的相关性分析;对于非连续变量或呈非正态分布的数据进行 Spearman 的相关性分析。为了进一步了解异齿车轮虫宿主与地区分布间的相关性,开展了不同地区宿主分布列联表的  $\chi^2$  检验<sup>[34]</sup>。同时结合软件 Microsoft Excel 2019 与 SPSS Statistics 17.0 共同完成相关图形的绘制。

2 结果

2.1 异齿车轮虫的宿主种类及寄生部位组成

统计学分析结果显示(表 1),异齿车轮虫的宿主涉及两大类,即鱼类与两栖动物,其中鱼类是主要宿主。所有鱼类宿主包括 11 目 86 种,即鲤形目(Cypriniformes)、鲈形目、鲇形目(Siluriformes)、脂鲤目(Characiformes)、骨舌鱼目(Osteoglossiformes)、鲹形目(Cyprinodontiformes)、钩头鱼目(Kurtiformes)、胡瓜鱼目(Osmeriformes)、银汉鱼目(Atheriniformes)、鲱形目(Clupeiformes)和电鳗目(Gymnotiformes),其中宿主种类最多的是鲈形目,涉及 12 科 24 属 34 种;其次为鲤形目,涉及 4 科 20 属 26 种;其余宿主种类均在 10 种以下。而两栖动物宿主目前仅涉及无尾目(Anura),共计 3 科 4 属 5 种,主要为各类蟾蜍与牛蛙的幼体蝌蚪。

就寄生部位而言,鱼类宿主中除了鲱形目与电鳗目之外,其他宿主均为 3 部位寄生,即鳃、皮肤及鳍均可寄生(表 2)。在所有鱼类寄生部位中,鳃寄生比例最高,占比达 41.5%,其次为皮肤寄生,占比 32.2%,最少为鳍寄生,占比 26.3%;鲱形目仅发现鳃寄生,而电鳗目为鳃寄生兼皮肤寄生。相较而言,两栖动物宿主仅发现寄生于其幼体的鳃与皮肤,但主以皮肤寄生为主,占比高达 71.4%。

表 1 异齿车轮虫宿主信息表  
Tab. 1 Information table of hosts of *Trichodina heterodontata*

| 序号 | 目                       | 科  | 属  | 种  | Y    | 序号 | 目                    | 科 | 属 | 种 | Y    |
|----|-------------------------|----|----|----|------|----|----------------------|---|---|---|------|
| 1  | 鲤形目(Cypriniformes)      | 4  | 20 | 26 | 0.29 | 7  | 钩头鱼目(Kurtiformes)    | 1 | 1 | 1 | 0.01 |
| 2  | 鲈形目(Perciformes)        | 12 | 24 | 34 | 0.38 | 8  | 胡瓜鱼目(Osmeriformes)   | 1 | 1 | 2 | 0.02 |
| 3  | 鲇形目(Siluriformes)       | 4  | 4  | 4  | 0.04 | 9  | 银汉鱼目(Atheriniformes) | 1 | 1 | 1 | 0.01 |
| 4  | 脂鲤目(Characiformes)      | 4  | 6  | 6  | 0.07 | 10 | 鲱形目(Clupeiformes)    | 1 | 1 | 1 | 0.01 |
| 5  | 骨舌鱼目(Osteoglossiformes) | 2  | 3  | 3  | 0.03 | 11 | 电鳗目(Gymnotiformes)   | 1 | 1 | 1 | 0.01 |
| 6  | 鲹形目(Cyprinodontiformes) | 1  | 4  | 7  | 0.08 | 12 | 无尾目(Anura)           | 3 | 4 | 5 | 0.05 |

表 2 异齿车轮虫的宿主及其寄生部位统计表  
Tab. 2 Statistical table of hosts and locations for *Trichodina heterodontata*

| 寄生部位 | 数值类别 | 宿主    |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       | 合计    |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|      |      | 鲤形目   | 鲈形目   | 鲇形目   | 鲹形目   | 骨舌鱼目  | 钩头鱼目  | 胡瓜鱼目  | 银汉鱼目  | 鲱形目    | 电鳗目   | 脂鲤目   | 无尾目   |       |
| 鳃    | 计数   | 25    | 34    | 3     | 6     | 3     | 1     | 2     | 1     | 1      | 1     | 6     | 2     | 85    |
|      | 宿主占比 | 43.9% | 41.0% | 42.9% | 35.3% | 42.9% | 33.3% | 33.3% | 33.3% | 100.0% | 50.0% | 50.0% | 28.6% | 41.5% |
| 皮肤   | 计数   | 16    | 26    | 3     | 6     | 1     | 1     | 2     | 1     | 0      | 1     | 4     | 5     | 66    |
|      | 宿主占比 | 28.1% | 31.3% | 42.9% | 35.3% | 14.3% | 33.3% | 33.3% | 33.3% | 0      | 50.0% | 33.3% | 71.4% | 32.2% |
| 鳍    | 计数   | 16    | 23    | 1     | 5     | 3     | 1     | 2     | 1     | 0      | 0     | 2     | 0     | 54    |
|      | 宿主占比 | 28.1% | 27.7% | 14.3% | 29.4% | 42.9% | 33.3% | 33.3% | 33.3% | 0      | 0     | 16.7% | 0     | 26.3% |

注:各宿主所在目的拉丁学名见表 1,下同。

2.2 异齿车轮虫宿主的物种多样性指数

根据异齿车轮虫宿主多样性分析结果(表 3,图 2),全世界异齿车轮虫宿主的  $D$  值为 0.77,  $H'_e$  值为 1.79,  $J_e$  值为 0.72。从世界动物地理分区角度看,尽管各区的宿主多样性指数有所差异,但总体结果表现为:宿主的各类多样性指数在新热带区均为最高( $D=0.89$ ;  $H'_e=1.70$ ;  $J_e=0.95$ ),在东洋区均最低( $D=0.59$ ;  $H'_e=0.99$ ;  $J_e=$

0.62)。从世界陆地洲系地理分区角度看,由于南极洲缺乏异齿车轮虫的报道,欧洲仅有 1 种宿主即太阳鱼(*Lepomis gibbosus*)的报道<sup>[26]</sup>,而北美有疑似异齿车轮虫的报道<sup>[35]</sup>,但缺乏确凿证据且有争议,故暂未纳入本工作的研究范畴;因此多样性指数分析仅针对亚洲、非洲、南美洲与大洋洲进行分析。结果显示:宿主的各类多样性指数在南美洲最高( $D=0.89$ ;  $H'_e=1.70$ ;  $J_e=0.95$ ),在亚洲最低( $D=0.61$ ;  $H'_e=1.10$ ;  $J_e=0.61$ )。以全世界多样性指数为参考基准(图 2),所有其他不同地理分区的  $H'_e$  值均低于世界水平(1.79);而  $D$  值与  $J_e$  值有高有低,其中古热带区与新热带区  $D$  值均高于世界水平,非洲与南美洲的  $D$  值也高于世界水平;而东洋区与亚洲的 3 个多样性指数值均低于世界水平。

表 3 异齿车轮虫宿主多样性指数  
Tab. 3 Host diversity indices for *T. heterodontata*

| 地理分区     |      | $D$  | $H'_e$ | $J_e$ |
|----------|------|------|--------|-------|
| 全世界      |      | 0.77 | 1.79   | 0.72  |
| 世界动物地理分区 | 古北区  | 0.60 | 1.01   | 0.73  |
|          | 古热带区 | 0.80 | 1.66   | 0.86  |
|          | 东洋区  | 0.59 | 0.99   | 0.62  |
|          | 新热带区 | 0.89 | 1.70   | 0.95  |
|          | 澳洲区  | 0.74 | 1.45   | 0.81  |
|          | 亚洲   | 0.61 | 1.10   | 0.61  |
| 洲系分区     | 非洲   | 0.80 | 1.65   | 0.85  |
|          | 南美洲  | 0.89 | 1.70   | 0.95  |
|          | 大洋洲  | 0.74 | 1.45   | 0.81  |

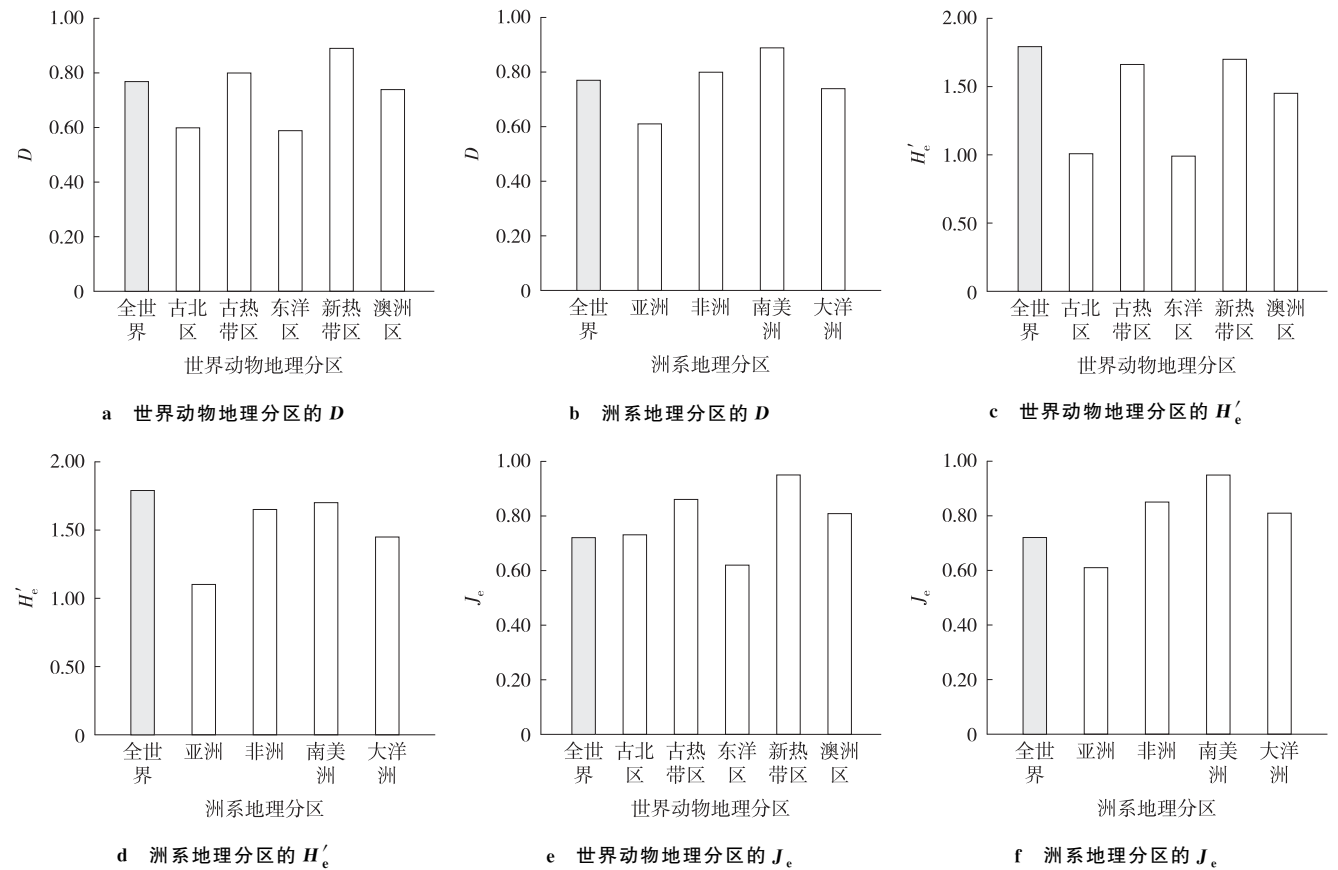


图 2 不同地区的异齿车轮虫宿主多样性指数柱形图

Fig. 2 Bar charts of host diversity indices for *T. heterodontata* from different areas

此外,就异齿车轮虫宿主  $Y$  值的比较结果来看(表 1):鲈形目鱼类的  $Y$  值最高( $Y=0.38$ ),其次为鲤形目鱼类( $Y=0.29$ ),其余宿主的  $Y$  值均小于 0.1。由此可见,鲈形目鱼类是当前异齿车轮虫的优势宿主,其次为鲤形目鱼类。

### 2.3 异齿车轮虫宿主的地理分布

根据异齿车轮虫宿主的不同地理分区的统计,具体分析结果如下(图 3,表 4)。

世界动物地理分区共划分 6 区,即古北区、新北區、古热带区、东洋区、新热带区与澳洲区。目前除了新北區没有异齿车轮虫报道,其他 5 区均有分布。在已有分布的五大区中,古北区有 17 种宿主、古热带区有 24 种宿主、东洋区有 39 种宿主、新热带区有 10 种宿主、澳洲区有 17 种宿主被记录报道,其中宿主占比最大的是东洋区,占比最小的是新热带区。两栖类宿主仅分布于古热带区与新热带区(图 3a,表 4)。

根据世界陆地划分的 7 个大洲中,目前除了北美洲与南极洲,其余 5 个大洲均有不同程度的异齿车轮虫分布。在已有分布的洲系中,亚洲有 47 种宿主、欧洲有 1 种宿主、非洲有 25 种宿主、南美洲有 10 种宿主、大洋洲有 17 种宿主被记录报道,其中宿主占比最大的是亚洲,占比最小的是欧洲;而两栖类宿主仅分布于非洲与南美洲(图 3b,表 4)。

目前异齿车轮虫在中国已有 25 种宿主的记录报道,而国外共计有 74 种宿主的记录报道,因此中国的宿主记录约占全世界的 1/4(图 3c,表 4)。然而中国报道的所有宿主仅限于鱼类,目前暂无两栖类宿主的记录,且鱼类宿主仅涉及鲤形目、鲈形目、鲇形目与鲟形目共 4 个大类。根据中国动物地理区系划分,仅有华北区(1 种)、华中区(7 种)与华南区(17 种)有异齿车轮虫宿主不同程度的分布,而华南区分布的异齿车轮虫宿主占全国的 68%,故华南区为异齿车轮虫宿主在中国的最广分布区(图 3d)。从中国水系来看,长江水系(11 种)、海河水系(1 种)与珠江水系(18 种)是已有异齿车轮虫宿主分布记录报道的水系,其中珠江水系占比 60%,故为异齿车轮虫宿主在中国分布最多的水系(图 3e)。从宿主分布的省级行政区来看,台湾分布有 13 种,广西分布有 10 种,其余省市分布有 1~2 种,因此,台湾与广西是异齿车轮虫宿主分布最多的地区(图 3f)。

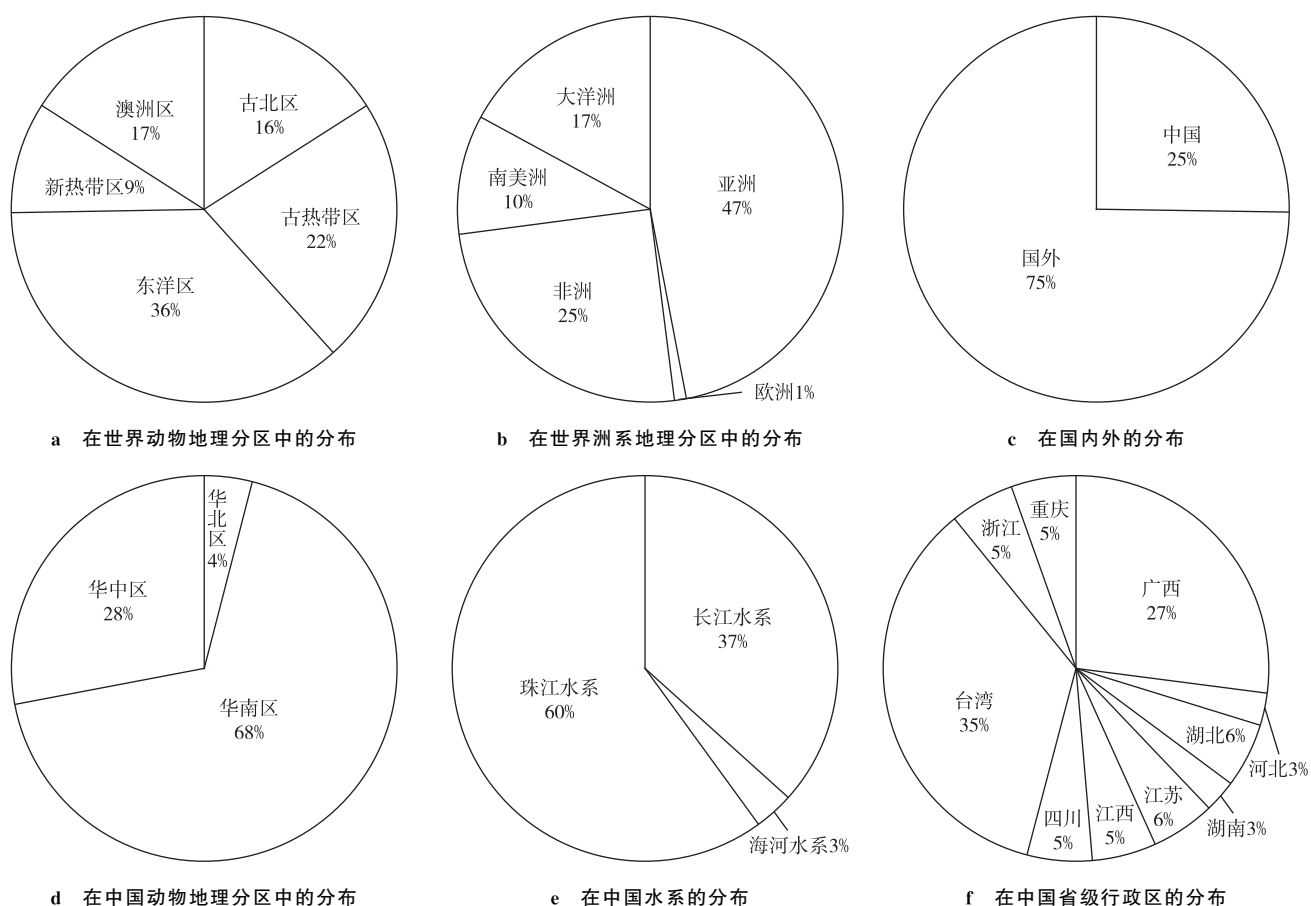


图 3 异齿车轮虫宿主的地理分布

Fig. 3 Pie charts of host geographical distribution for *Trichodina heterodontata*



表 4 异齿车轮虫宿主的地理分布统计结果

Tab. 4 Statistical results of host geographical distribution for *T. heterodontata*

| 分布       |      | 数值类别   | 宿主    |        |       |       |       |      |       |      |      |       |       |       |    |
|----------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|----|
|          |      |        | 鲤形目   | 鲈形目    | 鲑形目   | 鲱形目   | 骨舌鱼目  | 钩头鱼目 | 胡瓜鱼目  | 银汉鱼目 | 鲱形目  | 电鳗目   | 脂鲤目   | 无尾目   | 合计 |
| 世界动物地理分布 | 古北区  | 计数     | 4     | 10     |       | 1     |       |      |       |      |      |       | 2     |       | 17 |
|          |      | 古北区占比  | 23.5% | 58.8%  |       | 5.9%  |       |      |       |      |      |       | 11.8% |       |    |
|          | 古热带区 | 计数     | 7     | 8      | 2     | 1     | 2     |      |       |      |      |       | 1     | 3     | 24 |
|          |      | 古热带区占比 | 29.2% | 33.3%  | 8.3%  | 4.2%  | 8.3%  |      |       |      |      |       | 4.2%  | 12.5% |    |
|          | 东洋区  | 计数     | 19    | 17     | 1     | 1     |       |      |       |      | 1    |       |       |       | 39 |
|          |      | 东洋区占比  | 48.7% | 43.6%  | 2.6%  | 2.6%  |       |      |       |      | 2.6% |       |       |       |    |
|          | 新热带区 | 计数     |       | 2      | 1     |       | 1     |      |       |      |      | 1     | 3     | 2     | 10 |
|          |      | 新热带区占比 |       | 20.0%  | 10.0% |       | 10.0% |      |       |      |      | 10.0% | 30.0% | 20.0% |    |
|          | 澳洲区  | 计数     | 1     | 8      |       | 4     |       | 1    | 2     | 1    |      |       |       |       | 17 |
|          |      | 澳洲区占比  | 5.9%  | 47.1%  |       | 23.5% |       | 5.9% | 11.8% | 5.9% |      |       |       |       |    |
| 洲系分布     | 亚洲   | 计数     | 19    | 23     | 1     | 2     |       |      |       |      | 1    |       | 1     |       | 47 |
|          |      | 亚洲占比   | 40.4% | 48.9%  | 2.1%  | 4.3%  |       |      |       |      | 2.1% |       | 2.1%  |       |    |
|          | 欧洲   | 计数     |       | 1      |       |       |       |      |       |      |      |       |       |       | 1  |
|          |      | 欧洲占比   |       | 100.0% |       |       |       |      |       |      |      |       |       |       |    |
|          | 非洲   | 计数     | 7     | 8      | 2     | 1     | 2     |      |       |      |      |       | 2     | 3     | 25 |
|          |      | 非洲占比   | 28.0% | 32.0%  | 8.0%  | 4.0%  | 8.0%  |      |       |      |      |       | 8.0%  | 12.0% |    |
|          | 南美洲  | 计数     |       | 2      | 1     |       | 1     |      |       |      |      | 1     | 3     | 2     | 10 |
|          |      | 南美洲占比  |       | 20.0%  | 10.0% |       | 10.0% |      |       |      |      | 10.0% | 30.0% | 20.0% |    |
|          | 大洋洲  | 计数     | 1     | 8      |       | 4     |       | 1    | 2     | 1    |      |       |       |       | 17 |
|          |      | 大洋洲占比  | 5.9%  | 47.1%  |       | 23.5% |       | 5.9% | 11.8% | 5.9% |      |       |       |       |    |
| 国内外分布    | 中国   | 计数     | 13    | 10     | 1     | 1     |       |      |       |      |      |       |       |       | 25 |
|          |      | 中国占比   | 52.0% | 40.0%  | 4.0%  | 4.0%  |       |      |       |      |      |       |       |       |    |
|          | 国外   | 计数     | 16    | 29     | 3     | 6     | 3     | 1    | 2     | 1    | 1    | 1     | 6     | 5     | 74 |
|          |      | 国外占比   | 21.6% | 39.2%  | 4.1%  | 8.1%  | 4.1%  | 1.4% | 2.7%  | 1.4% | 1.4% | 1.4%  | 8.1%  | 6.8%  |    |

基于异齿车轮虫宿主不同分布地区的  $\chi^2$  检验结果(表 5):宿主种类与世界动物地理分布间具有统计学意义上的关联( $p<0.01$ );宿主种类与洲系分布间具有统计学意义上的关联( $p<0.01$ );而宿主种类与国内外分布间无统计学意义上的关联。

表 5 异齿车轮虫宿主不同地区分布的  $\chi^2$  检验

Tab. 5 Test of Chi-Square for hosts of *T. heterodontata* in different geographic distribution

| 类别   | 世界动物地理分布   | 洲系分布     | 国内外分布    |
|------|------------|----------|----------|
| 宿主种类 | $\chi^2$ 值 | 93.138** | 80.925** |
|      | $p$ (双侧)   | 0.000    | 0.001    |

注:\*\*表示统计结果在  $p<0.01$  水平具有统计学意义。

### 3 讨论

#### 3.1 异齿车轮虫的宿主多样性

据本研究结果,在异齿车轮虫的2大类宿主中,鱼类为它的主要宿主;在鱼类宿主中又以广盐性的鲈形目鱼类为它的优势宿主(表1);异齿车轮虫除了寄生于鳃之外,还广泛寄生于皮肤与鳍(表2),这相较于大多数鳃寄生的车轮虫而言,异齿车轮虫表现出了明显的寄生部位的多样性。进一步结合宿主多样性分析结果(图2,表3),以全世界为整体的  $H'$  最高(1.79),综上所述表明,异齿车轮虫具有高度的宿主多样性与寄生部位多样性,但局部地区分布的多样性水平仍低于世界整体水平。

根据异齿车轮虫宿主地区多样性指数的比较分析,不同地区的异齿车轮虫的宿主多样性存在一定差异但同时表现出明显的共性。 $D$ 、 $H'$  和  $J$  在世界动物地理分区中,共同表现为在新热带区最高,在东洋区最低;在世界陆地洲系分区中,共同表现为在南美洲最高,在亚洲最低;而当这些不同地区与全世界的多样性指数相比时,它们的  $H'$  值均低于全世界水平(图2,表3)。综上所述,异齿车轮虫宿主多样性在世界动物地理分区中,以在新热带区为最高,在东洋区为最低;在世界洲系分区中,以在南美洲为最高,在亚洲为最低。一般认为,在物种多样性的不同维度中, $H'$  作为一个丰富度与均匀度的综合指数,能综合体现物种多样性的基本情况<sup>[36-39]</sup>。正是由于所有局部分区的  $H'$  值均低于全世界水平,因此,不同地区的异齿车轮虫宿主的多样性水平均低于整体的世界水平。由此可见,相较世界局部不同地区,全世界整体分布的异齿车轮虫表现出了最高的宿主多样性。除车轮虫外,粘孢子虫(Myxosporea)、小瓜虫(*Ichthyophthirius*)等也是鱼类养殖中常见的寄生虫。就粘孢子虫的多样性研究而言,绝大部分研究侧重对某些地区、某些属或某些宿主所感染的粘孢子虫的物种数量进行的一些统计分析<sup>[40-42]</sup>,并未从多样性指数分析角度开展相关研究,因此,当前粘孢子虫缺乏此类系统的多样性工作。

#### 3.2 异齿车轮虫宿主的世界地理分布格局及特点

根据世界动物地理分区(图3a),异齿车轮虫的宿主除了新北区分外,遍布其他各区。其中,东洋区的宿主种类最多(39种),新热带区的宿主种类最少(10种),而多样性分析结果却表明新热带区的宿主多样性却高于东洋区。根据世界洲系分区(图3b),亚洲的宿主种类最多(47种),欧洲最少(1种),其次种类较少的是南美洲(10种);多样性分析结果却表明种类较少的南美洲的宿主多样性却高于种类最多的亚洲(图3,表4)。根据列联表的卡方检验结果表明(表5):异齿车轮虫宿主的分布与世界动物分区的不同具有统计学意义上的关联( $p < 0.01$ );也与洲系的不同具有统计学意义上的关联( $p < 0.01$ ),说明不同地区的宿主多样性存在统计学意义上的差异。

本研究进一步发现,异齿车轮虫的两栖类宿主仅分布于古热带区(非洲)与新热带区(南美洲)<sup>[12-14]</sup>,而这2个地区刚好同属于地球同一纬度附近(赤道周围地区),以此推测异齿车轮虫可能更倾向于感染热带地区的两栖类宿主。

相较国外分布数据,中国分布的异齿车轮虫宿主种类数约占了国外种类数的1/3,世界种类数的1/4(图3c),由此可见,中国异齿车轮虫的宿主种类丰富。目前这些宿主集中分布于华北区、华中区与华南区这3个区域,其中68%的宿主分布于华南区,故华南区是异齿车轮虫在中国的最广分布区(图3d)。就宿主在水系中的分布来看,仅三大水系(长江水系、海河水系与珠江水系)有分布,其中珠江水系宿主(18种)分布位居第一(图3e)。就宿主在省级行政区的分布而言,10种以上的宿主仅分布于台湾(13种)与广西(10种)两地,其中台湾是宿主种类最多的地区(图3f)。综上所述,异齿车轮虫宿主主要分布于中国南部或偏南部地区。

### 4 结论

本研究从异齿车轮虫的宿主及寄生部位组成探讨了异齿车轮虫的宿主多样性及优势宿主,并对不同宿主表现出来的寄生部位差异进行了比较研究,结论为鱼类是该类寄生虫的主要宿主,其中鲈形目鱼类是优势宿主;在多部位寄生方式中,鳃寄生是对鱼类宿主的主要寄生方式,而皮肤寄生则是对两栖动物的主要寄生方式。在世界地理分布区中,位于赤道附近的地区(新热带区/南美洲)是异齿车轮虫宿主多样性最丰富的地区;在中国,异齿车轮虫主要分布于南部或偏南部地区。综上所述,温度可能是影响异齿车轮虫世界分布的主要因素之一。然而,局限于当前有限的异齿车轮虫数据,系统探讨地理分布影响因素的研究几近空白,因此未来需要补充更多的数据及引入更多的研究手段,才能更加深入地揭示异齿车轮虫世界分布格局的重要影响因素。

## 参考文献:

- [1] LYNN D H. The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature[M]. 3rd ed. Berlin: Springer, 2008.
- [2] 宋微波, 赵元君, 徐奎栋, 等. 海水养殖中的危害性原生动物[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- SONG W B, ZHAO Y J, XU K D, et al. Pathogenic protozoa in mariculture[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [3] LOM J, DYKOVÁ I. Protozoan parasites of fishes[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992.
- [4] 湖北省水生生物研究所. 湖北省鱼病病原区系图志[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- Hubei Institute of Hydrobiology. Hubei Province fish disease pathogen map[M]. Beijing: Science Press, 1973: 15.
- [5] KAZUBSKI S L. Morphological variation of the ciliate *Trichodina pediculus* Ehrenberg, 1838. I. parasitizing on hydras[J]. Acta Protozoologica, 1991, 30: 169-175.
- [6] VALLADÃO G M, GALLANI S U, DE PÁDUA S B, et al. *Trichodina heterodentata* (Ciliophora) infestation on *Prochilodus lineatus* larvae: a host-parasite relationship study[J]. Parasitology, 2014, 141(5): 662-669.
- [7] 唐发辉, 赵元君. 三种鲫鱼外寄生车轮虫分类学及异齿车轮虫致鳃组织病理学研究: 重庆地区淡水车轮虫研究 II [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24(3): 8-12.
- TANG F H, ZHAO Y J. Taxonomic studies of three species of *Trichodina* Ehrenberg, 1838 with pathologic research into gill tissue of *Carassius auratus* caused by *Trichodina heterodentata* Duncan, 1977: a study of trichodinids from freshwater fishes in Chongqing II [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2007, 24(3): 8-12.
- [8] DUNCAN B L. *Urceolariid ciliates*, including three new species, from cultured Philippine fishes[J]. Transactions of the American Microscopical Society, 1977, 96(1): 76-81.
- [9] BASSON L, Van AS J G, PAPERNA I. Trichodinid ectoparasites of cichlid and cyprinid fishes in South Africa and Israel[J]. Systematic Parasitology, 1983, 5(4): 245-257.
- [10] KAZUBSKI S L. The trichodinid ciliates from fish, *Tilapia* sp. from Lake Victoria (Kenya) and description of *Trichodina equatorialis* nom. nov[J]. Acta Protozoologica, 1986, 25(4): 445-448.
- [11] Van AS J G, BASSON L. A further contribution to the taxonomy of Trichodinidae (Ciliophora: Peritrichida) and a review of the taxonomic status of some ectoparasitic trichodinids[J]. Systematic Parasitology, 1989, 14(3): 157-179.
- [12] KRUGER J, BASSON L, Van AS J G. On the ultrastructure of the adhesive disc of *Trichodina xenopodos* Fantham, 1924 and *T. heterodentata* Duncan, 1977 (Ciliophora: Peritrichida)[J]. Acta Protozoologica, 1993, 32(4): 245-254.
- [13] DIAS R J P, FERNANDES N M, SARTINI B, et al. Occurrence of *Trichodina heterodentata* (Ciliophora: Trichodinidae) infesting tadpoles of *Rhinella pombali* (Anura: Bufonidae) in the Neotropical area[J]. Parasitology International, 2009, 58(4): 471-474.
- [14] FERNANDES N M, SARTINI B, DIAS R J P, et al. Quantitative study of *Trichodina heterodentata* (Ciliophora: Mobilida) infrapopulations infesting tadpoles of a Brazilian endemic toad *Rhinella pombali* (Anura: Bufonidae)[J]. Zoologia, 2011, 28(6): 777-783.
- [15] Van AS J G, BASSON L. Trichodinids (Ciliophora: Peritricha) ectoparasites of cultured cichlids from Taiwan[J]. Bulletin of Institute of Zoology, Academia Sinica, 1986, 25(2): 135-139.
- [16] 陶燕飞, 赵元君, 唐发辉. 重庆地区鲢、鳙及草鱼七种外寄生车轮虫的描述[J]. 水生生物学报, 2008, 32(S): 124-129.
- TAO Y F, ZHAO Y J, TANG F H. Seven species of trichodinid ectoparasites (Ciliophora: Peritrichida) from freshwater fishes, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis* and *Ctenopharyngodon idellus*, with the description of *Trichodina chongqingensis* sp. nov. [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(S): 124-129.
- [17] 齐欢, 赵元君, 唐发辉. 长江上游四川江段鲤外寄生车轮虫的研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2011, 28(5): 16-24.
- QI H, ZHAO Y J, TANG F H. Studies on ectoparasitic trichodinids from *Cyprinus carpio* in the upper reaches of the Yangtze River, Sichuan Branch[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2011, 28(5): 16-24.
- [18] 韩小燕. 四川岷江流域中段常风经济鱼类外寄生车轮虫的研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2012.
- HAN X Y. Study on the trichodinid ectoparasites (Ciliophora, Peritrichida) from the gills of some economic freshwater fishes from Minjing River Valley, Sichuan Province[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2012.
- [19] 谢志刚, 唐发辉, 赵元君. 江西鄱阳湖地区鲈形目鱼类外寄生车轮虫的研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2013, 30(3): 9-15.
- XIE Z G, TANG F H, ZHAO Y J. Study on ectoparasitic trichodinids from Perciformes fishes along the area of Poyang Lake, Jiangxi Province[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2013, 30(3): 9-15.
- [20] 刘菲, 唐发辉, 赵元君. 太湖水域异齿车轮虫 *Trichodina heterodentata* Duncan, 1977 的形态分类学研究[J]. 内江师范学院学



- 报,2014,29(4):33-38.
- LIU F,TANG F H,ZHAO Y J. Morphological taxonomy study on *Trichodina heterodentata* Duncan,1977 along Taihu Lake, China[J]. Journal of Neijiang Normal University,2014,29(4):33-38.
- [21] AL-RASHEID K A S,ALI M A,SAKRAN T,et al. Trichodinid ectoparasites (Ciliophora:Peritrichida) of some River Nile fish,Egypt[J]. Parasitology International,2000,49(2):131-137.
- [22] Van AS J G,BASSON L. Trichodinid ectoparasites (Ciliophora:Peritrichida) of freshwater fishes of the Zambesi River System,with a reappraisal of host specificity[J]. Systematic Parasitology,1992,22(2):81-109.
- [23] BASSON L, Van AS J G. Trichodinid ectoparasites (Ciliophora:Peritrichida) of wild and cultured freshwater fishes in Taiwan, with notes on their origin[J]. Systematic Parasitology,1994,28(3):197-222.
- [24] DOVE A D M,O'DONOGHUE P J. Trichodinids (Ciliophora:Trichodinidae) from native and exotic Australian freshwater fishes[J]. Acta Protozoologica,2005,44(2):51-60.
- [25] ÖZTÜRK T,ÇAM A. Trichodinid parasites (Protozoa:Ciliophora:Peritrichida) of invasive gobiid fish inhabiting the Lower Kızılırmak Delta in Samsun,Turkey[J]. Pakistan Journal of Zoology,2013,45(6):1517-1524.
- [26] YURYSHYNETS V,ONDRA ČKOVÁ M,KVACH Y,et al. Trichodinid ectoparasites (Ciliophora:Peritrichia) of non-native pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*) in Europe[J]. Acta Protozoologica,2019,58(2):69-79.
- [27] HENOSTROZA M L,MARCHIORI N,REBAZA A C,et al. First record of *Trichodina heterodentata* (Ciliophora:Trichodinidae) from *Arapaima gigas* cultivated in Peru[J]. Acta Amazonica,2012,42(3):433-438.
- [28] MARTINS M L,MARCHIORI N,NUNES G,et al. First record of *Trichodina heterodentata* (Ciliophora:Trichodinidae) from channel catfish,*Ictalurus punctatus* cultivated in Brazil[J]. Brazilian Journal of Biology,2010,70(3):637-644.
- [29] KLEIN B M. The dry silver method and its proper use[J]. The Journal of Protozoology,1958,5(2):99-103.
- [30] NELSON J S. Fishes of the world[M]. 4th edition. New York:John Wiley and Sons,Inc,2006.
- [31] 孟庆闻,苏锦祥,缪学祖. 鱼类分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- MENG Q W,SU J X,MIAO X Z. Systematics of fishes[M]. Beijing:China Agriculture Press,1995.
- [32] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京:科学出版社,1999.
- ZHANG R Z. Zoogeography of China[M]. Beijing:Science Press,1999.
- [33] 孔凡洲,于仁成,徐子钧,等. 应用 Excel 软件计算生物多样性指数[J]. 海洋科学,2012,36(4):57-62.
- KONG F Z,YU R C,XU Z J,et al. Application of Excel in calculation of biodiversity indices[J]. Marine Sciences,2012,36(4):57-62.
- [34] 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2007.
- XUE W. Statistical analysis and SPSS application[M]. Beijing:China Renmin University Press,2007.
- [35] DE JAGER G P,BASSON L. Taxonomic assessment of three North American trichodinids by reevaluating the taxon validity of *Trichodina heterodentata* Duncan,1977 (Peritrichia)[J]. Acta Protozoologica,2019,58(3):125-139.
- [36] KEYLOCK C J. Simpson diversity and the Shannon-Wiener index as special cases of a generalized entropy[J]. Oikos,2005,109(1):203-207.
- [37] 王晶,焦燕,任一平,等. Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究[J]. 水产学报,2015,39(8):1257-1263.
- WANG J,JIAO Y,REN Y P,et al. Comparative study on two computing methods for estimating Shannon-Wiener diversity index[J]. Journal of Fisheries of China,2015,39(8):1257-1263.
- [38] 许晴,张放,许中旗,等. Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数若干特征的分析及“稀释效应”[J]. 草业科学,2011,28(4):527-531.
- XU Q,ZHANG F,XU Z Q,et al. Some characteristics of Simpson index and the Shannon-Wiener index and their dilution effect [J]. Pratacultural Science,2011,28(4):527-531.
- [39] 薛璐,向冬芳,鲜博,等. 保安湖水体细菌群落结构时空变化特征及驱动因子[J]. 水生生物学报,2023,47(3):450-461.
- XUE L,XIANG D F,XIAN B,et al. Temporal and spatial variation characteristics and driving factors of bacterial community structure in Bao'an Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2023,47(3):450-461.
- [40] KAUR H,SINGH R,KATOCH A,et al. Species diversity of the genus *Thelohanellus* Kudo,1933 (Myxozoa:Bivalvulida) parasitizing fishes in Indian subcontinent[J]. Journal of Parasitic Diseases,2017,41(2):305-312.
- [41] ALAMA-BERMEJO G,HERNÁNDEZ-ORTS J S,GARCÍA-VARELA M,et al. Diversity of myxozoans (Cnidaria) infecting Neotropical fishes in southern Mexico[J]. Scientific Reports,2023,13(1):12106.
- [42] ROCHA S,CASAL G,ALVES Â,et al. Myxozoan biodiversity in mullets (Teleostei,Mugilidae) unravels hyperdiversification

of *Myxobolus* (Cnidaria, Myxosporea)[J]. Parasitology Research, 2019, 118(12): 3279-3305.

## Animal Sciences

### Study on Host Diversity and Geographical Distribution Pattern of *Trichodina heterodontata*

JIANG Yujiao<sup>1</sup>, LIU Mei<sup>2</sup>, TANG Fahui<sup>1</sup>

(1. Animal Biology Key Laboratory of Chongqing Education Commission of China, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331; 2. Laboratory of Conservation and Utilization of Freshwater Fishes, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** In order to learn about the host diversity and distribution pattern of *Trichodina heterodontata* Duncan, 1977, the morphological and biodiversity statistical survey method were used to investigate the host diversity and geographic distribution of *T. heterodontata*. The research results indicated that the hosts of *T. heterodontata* included fishes and amphibians (juvenile), and fishes were the primary hosts for *T. heterodontata*. Among the fish hosts, the Perciformes fishes were up to 34 species, and the host dominant index ( $Y=0.38$ ) was the highest. The parasitological localities included gills, skin and fins, and the gill-parasitism was the primary parasitological way for host fishes. However, the skin-parasitism was the primary parasitological way for host amphibians. With respect to the study of geographic distribution, for the six fauna realms, distribution of *T. heterodontata* was found in five ones except Nearctic realm. Among them, Neotropical realm has the highest host diversity, and Oriental realm has the lowest one. For the seven continents of the world, South America has the highest host diversity, and Asia has the lowest one. The Chi-Square test result indicated that the distribution of *T. heterodontata* was closely related to difference of fauna realms ( $\chi^2=93.138, p<0.01$ ) and continents ( $\chi^2=80.925, p<0.01$ ) of the world. In China, *T. heterodontata* has rich host diversity with about one fourth of the world's species, and is concentrated in North China, Central China and South China. Among them, South China is the widest distribution area for *T. heterodontata*. In terms of the river system, *T. heterodontata* is distributed in systems of Yangtze River, Hai River and Pearl River, and Pearl River takes pole position in China. In terms of provinces and districts, more than ten host species are only distributed in Taiwan and Guangxi area, and Taiwan possesses the most host species in China. The above results indicate that *T. heterodontata* had a high host diversity, and the fish was its primary host. Among the fish hosts, the Perciformes fishes were the dominant host. In the geographical distribution of the world, regions near the equator (Neotropical zone/South America) were of the highest host diversity for *T. heterodontata*. In China, *T. heterodontata* was mainly distributed in the southern or southern regions of our country.

**Keywords:** *Trichodina heterodontata*; host; species diversity; zoogeography; fish

(责任编辑 黄 颖)