

蜻蜓目水生昆虫在滇池入湖口湿地水质评价中的指示作用

杜 婷, 廖怀建, 石 雷*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 云南 650224)

摘要: [目的] 利用蜻蜓目昆虫群落结构, 来指示滇池入湖口生态湿地的水质情况。 [方法] 选取滇池东北岸入湖口湿地—海东湾湖内湿地 12 个样点, 调查了水体理化属性和蜻蜓目昆虫群落结构, 划分了水质级别, 并计算和比较了不同水质级别下蜻蜓目水生昆虫的指示值和群落特征指数, 通过皮尔逊相关分析分析了水生昆虫群落结构、水体理化因子与水质级别以及水生昆虫群落结构与水体理化因子的相关性。 [结果] 不同水质级别下的水生昆虫物种组成不同, II 类水质水体中的指示种类为硕综螽属; III 类为狭扇螽属和异痣螽属, IV 类和 V 类水质水体中未发现指示种类。对于群落特征指数来说, Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数随着水质级别的降低而减小。水质级别与总磷和化学需氧量呈显著正相关, 与溶解氧呈显著负相关; 蜻蜓目水生昆虫的 Simpson 优势度指数, Shannon-Wiener 多样性指数与溶解氧呈显著正相关, 而与总磷呈显著负相关。 [结论] 本研究认为, 可以利用蜻蜓目水生昆虫种类和群落结构特征来指示海东湾湖内湿地水质, 从而能间接反应滇池水质情况。

关键词: 滇池; 入湖口湿地; 蜻蜓目; 水生昆虫; 指示生物; 水质评价

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)05-0145-08

Odonata Aquatic Insects as Bioindicators in Water Quality Evaluation of Dianchi Lake Riparian Wetland

DU Ting, LIAO Huai-jian, SHI Lei

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] To find out the indication roles of Odonata aquatic insects in Dianchi Lake riparian wetland water quality evaluation. [Method] The physicochemical variables were measured and Odonata aquatic insect community structure was surveyed at 12 sites in Haidongwan riparian wetland, the entrance of Dianchi Lake. The water quality levels were classified; The IndVals and community feature indices were calculated and compared. The correlation between the aquatic insect community structure, the physicochemical variables and water quality levels; the aquatic insect community structure and the physicochemical variables were analyzed by Pearson correlation analysis. [Result] The species composition of aquatic insects at different water quality levels was different. *Megalestes* was the indicator of level II. *Copera* and *Ischnura* were the indicators of level III. There are no indicators of level IV and V. For the community feature indices, Simpson dominance index and Shannon-Wiener diversity index decreased with the decrease of water quality levels. The water quality levels were positively correlated with total phosphorus and chemical oxygen demand, and negatively correlated with dissolved oxygen. Moreover, the Simpson dominance index, Shannon-Wiener diversity index of Odonata aquatic insects showed significant positive correlation with

收稿日期: 2018-04-27

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2016QA009)

作者简介: 杜 婷(1988—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事昆虫生态学研究。

* 通讯作者: 石 雷。

dissolved oxygen, and significant negative correlation with the total phosphorus. [Conclusion] Odonata aquatic insect species and community structure characteristics can be used to indicate the water quality of Haidongwan wetland water quality so as to indirectly reflect the water quality of Dianchi Lake.

Keywords: Dianchi Lake; riparian wetland; Odonata; aquatic insects; bioindicator; water quality evaluation

滇池是云南省最大的淡水湖泊,也是最脆弱的淡水生态系统。随着早期滇池流域人口快速增长,城市化进程加快^[1],人类干扰活动的增强,造成了大量湖滨湿地水生生态系统资源丧失或退化^[2],从而使得滇池自净能力下降,因此,对滇池水体质量长期有效监测,成为滇池污染治理重要的前期基础工作。入湖口生态湿地作为入滇河流和滇池水体之间的过渡带,并为控制污染入湖的最后一道防线,对滇池水质起到了保护和净化作用。因此,入湖口湿地水体质量,可以反应滇池水体质量。同时,蜻蜓目(Odonata)昆虫现已被广泛地用作淡水生态系统环境质量的指示生物^[3],并且蜻蜓目昆虫被认为对一系列污染物敏感,特别是对重金属具有富集性,用来作为水质的指示生物^[4-6]。另外,蜻蜓目昆虫种类对水体变化敏感性不同,一些种类仅分布在营养相对贫瘠的溪流中,如金环蜻蜓(*Cordulegaster boltonii* (Donovan))和南方豆娘(*Coenagrion mercurial* (Charpentier))^[3],另一些种类则分布在静水中,并对富营养化具有较强耐受能力,如华丽色蟌(*Calopteryx splendens* (Harris))和长叶异痣蟌(*Ischnura elegans* (Vander Linden))^[7]。相对成虫来说,蜻蜓目稚虫更依赖水生环境,并且在指示水质上更有优势,因为稚虫存在时间很长,几周至几年不等^[8]。蜻蜓目均翅亚目(Zygoptera)昆虫,统称为蟌或豆娘(Damselflies),其整个世代无法离开生活的水体,成虫通常在羽化地点附近水域生活,该类昆虫与水体关系更密切。针对蜻蜓目昆虫种类间对水体环境质量要求差异较高,可使用其群落结构特征来直观地表征水体环境质量或污染程度。因此,本文利用蜻蜓目昆虫群落结构,来指示滇池入湖口生态湿地的水质情况。

现有关滇池流域水质状况及生物指标的研究主要集中在滇池湖体^[9-11]与流域入湖河流^[12-13],对滇池沿岸湿地的水质主要集中在入滇河流的净化研究上^[14-15]。不过,对于利用水生昆虫群落结构特征指示湿地水质,来表征滇池水质的研究鲜有报道。因此,本研究选择海东湾湖内湿地作为典型的入湖口湿地,通过对其水质进行评价,同时利用蜻蜓目水

生昆虫群落结构特征表征不同类别水质,为利用水生昆虫群落结构特征长期监测滇池水体质量提供理论基础和依据。

1 材料与方法

1.1 采样区域

海东湾湖内湿地位于官渡区南端,北至环湖东路、南至滇池,西至新宝象河、东至广谱大沟。海东湾湖内湿地属于典型的湖滨挺水植物型湿地,主要建群种包括香蒲、芦苇和茭草。该区海拔1 890 m,年平均温度20℃,为典型的山地低海拔季风气候,无明显冬夏季节变化,但具有典型的早雨两季,每年5—10月为雨季,降水量占全年降水量的87.9%;11月至次年的4月为旱季,降水量占全年的12.1%。

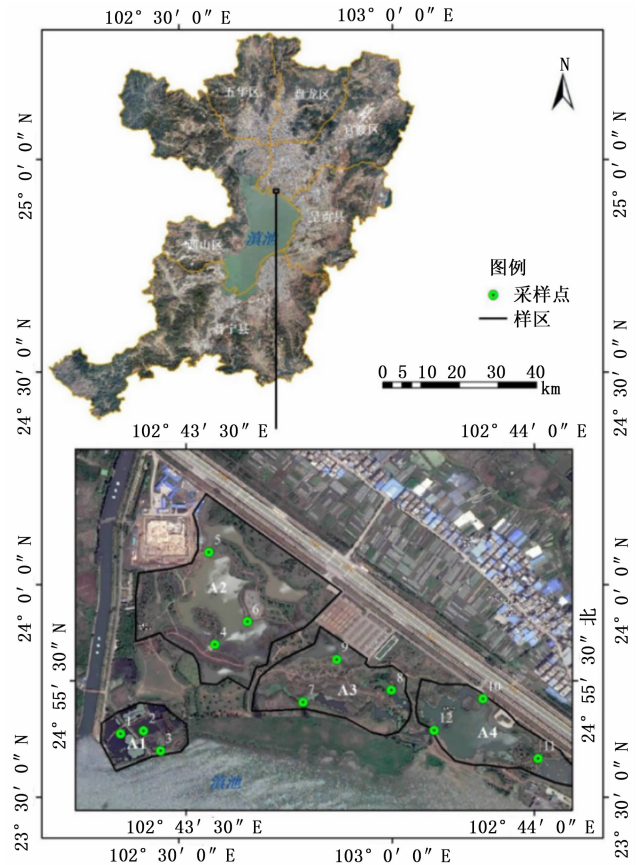


图1 海东湾湖内湿地样点布设图

Fig 1 Map of the study sites (Haidong bay wetland)

1.2 采样点布设

海东湾湖内湿地水生昆虫群落调查和水体理化指标监测的采样点布设一致,其布设原则主要依据水体净化流向来进行,即采样点布设在海东湾湖内湿地从西向东方向上水流净化的上游、中游、下游的3个区域以及与海东湾湖内湿地比邻的宝丰湿地东岸区域。将湿地分为4个区域,区域1为宝丰湿地东岸(A1);区域2为以氧化塘和生态沟渠为主的净化系统的上游区域(A2);区域3为净化系统的中游区域(A3);区域4为净化系统的下游区域(A4),并在每个区域设置3个采样点,共12个采样点。样点具体位置见图1。

1.3 水生昆虫采集与鉴定

2017年7—9月对湿地中各个采样点进行水生昆虫采集,每月调查采集2次,每次共采集样品12个。样品采集用D型抄网(直径:30 cm,孔径:60目),采集长度为3 m。采样时,水平方向沿着底泥

和出现的植物水下部分扫网,垂直方向沿着水体上下扫网,3次扫网作为一个样品。样品直接在D型网内洗净后装入样品瓶中,并用80%酒精固定,带回实验室。在实验室,利用体视镜和显微镜对样品进行鉴定,根据实际鉴定水平,参考Morse等^[16]和赵修复^[17]鉴定方法鉴定到可行的分类单元,并将标本转存到70%酒精中。

1.4 水体理化指标的测定及水质分级

在采集水生昆虫样品的同时,利用DZB-712型便携式多参数分析仪现场测定各样点的4项物理指标,包括水温、酸碱度、电导率和溶解氧。用水样瓶采集1 L水样带回实验室进行4项化学指标,包括总氮、总磷、硝酸盐氮和化学需氧量的测定。样品采集、保存和测定依据《水和废水监测分析方法》^[18]进行,并根据我国《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)^[19](表1)对研究区域内水质进行理化性质评价。

表1 地表水环境质量标准基本项目标准限值

Table 1 Projects standard value of the surface water environmental quality standards

mg · L⁻¹

指标 Index	水质级别 Water quality level				
	I类 I level	II类 II level	III类 III level	IV类 IV level	V类 V level
DO ≥	7.5	6	5	3	2
TN ≤	0.2	0.5	1	1.5	2
TP ≤	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4
COD ≤	15	15	20	30	40

注:DO表示溶解氧,TN表示总氮,TP表示总磷,COD表示化学需氧量。

Note: DO indicates dissolved oxygen; TN indicates total nitrogen; TP indicates total phosphorus; COD indicates chemical oxygen demand.

根据测定结果得到的各样点水质分级(表2),共得到II类、III类、IV类和V类4个级别,主要以IV类水质为主,表现为水体的中度污染。

表2 各样点在7—9月的水质分级

Table 2 Water quality classification of sites on July to September

样点 Sites	7月 July	8月 August	9月 September
1	IV类	IV类	IV类
2	IV类	IV类	IV类
3	IV类	IV类	IV类
4	IV类	IV类	IV类
5	IV类	III类	III类
6	III类	III类	III类
7	IV类	IV类	III类
8	IV类	IV类	V类
9	II类	III类	III类
10	IV类	IV类	IV类
11	IV类	IV类	IV类
12	II类	IV类	IV类

1.5 数据分析

1.5.1 蜻蜓目水生昆虫优势等级划分 以特定物种个体数占有蜻蜓目水生昆虫总个体数的相对多度(RA)作为划分标准:RA ≥ 10%为优势类群,1% ≤ RA < 10%为常见类群,RA < 1%为寡见类群^[20]。

1.5.2 指示值计算和指示种类确定 根据以下公式计算不同种类的指示值(IndVal_{ij}):

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100\%$$

式中:A_{ij}反映了分类单元*i*对水质级别*j*的专一性,是分类单元*i*在*j*类水质级别下平均个体数与该分类单元在所有水质级别下的平均个体数之和的比值;B_{ij}反映了分类单元*i*对*j*类水质级别的忠实性,是*j*类水质级别中存在分类单元*i*的样点数与*j*类水质级别下所有样点数的比值。

利用以上公式,以鉴定到的蜻蜓目水生昆虫分类单元为计算单位,分析各分类单元在不同水质级别下的指示值,以IndVal ≥ 50%作为标准确定指示

种类^[21-22]。

1.5.3 群落结构特征指数 物种多样性是群落生态结构和功能复杂性的重要度量,与群落的生态稳定性直接相关。本研究采用以下参数对蜻蜓目水生昆虫群落多样性进行分析。

(1) Margalef 物种丰富度指数(d)

$$d = (S - 1) / \ln N$$

上式中: S 为物种总数, N 为抽样中所有物种的个体数总和。

(2) Simpson 优势度指数(D')

$$D' = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i/N)^2$$

上式中: N_i 为第*i*个物种的个体数, N 为所有种的个体总数, S 为物种总数。

(3) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

上式中: $P_i = N_i/N$,表示第*i*个物种的个体数 N_i

占所有种的个体总数 N 的比例, S 为物种总数。

(4) Pielou 均匀度指数(J')

$$J' = H' \ln S'$$

上式中: H' 为 Shannon-Wiener 物种多样性指数, S 为物种总数。

2 结果与分析

2.1 海东湾湖内湿地各等级水质下蜻蜓目水生昆虫的物种组成及指示种类

2017年7—9月对海东湾湖内湿地各等级水质下的蜻蜓目水生昆虫群落进行调查,共收集并鉴定出蜻蜓目均翅亚目的水生昆虫共计470头,隶属于4科8属,分别为扇螳科、螳科、山螳科和综螳科;狭扇螳属、长腹扇螳属、扁扇螳属、细螳属、斑螳属、异痣螳属、黄螳属和硕综螳属(表3~5)。

表3 海东湾湖内湿地 II 类和 V 类水质级别下蜻蜓目水生昆虫不同种类的指示值

Table 3 IndVals of different species of Odonata aquatic insects of study area at II level and V level water quality

科 Family	属 Genus	7月 July			9月 September		
		II类 II level			V类 V level		
		平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%	平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%
扇螳科 Platynemidae		20	6.49	26.55	1	1.92	9.43
	狭扇螳属 <i>Copera</i>	12	3.90	21.73	1	1.92	11.16
	长腹扇螳属 <i>Coellicia</i>	8	2.60	20.00	-	-	-
	扁扇螳属 <i>Platynemis</i>	-	-	-	-	-	-
螳科 Coenagrionidae		2.5	0.81	6.06	-	-	-
	细螳属 <i>Aciagrion</i>	-	-	-	-	-	-
	斑螳属 <i>Cerion</i>	1.5	0.49	5.56	-	-	-
	异痣螳属 <i>Ischnura</i>	1.0	0.32	8.49	-	-	-
	黄螳属 <i>Ceriagrion</i>	-	-	-	-	-	-
山螳科 Megapodagrionidae		-	-	-	-	-	
综螳科 Synlestidae		0.5	0.16	50.00	-	-	-
	硕综螳属 <i>Megalestes</i>	0.5	0.16	50.00	-	-	-

注:“-”表示该类水生昆虫未出现过。Note:“-” indicates that the aquatic insect has not appeared.

不同水质级别下的水生昆虫物种组成不同, II类水质水体中,常见类群为狭扇螳属和长腹扇螳属,硕综螳属的水生昆虫为该水质体的特定种类; III类水质水体中,优势类群为扇螳科; IV类水质水体中的常见类群为狭扇螳属,扁扇螳属、黄螳属和山螳科为该水质体的特定种类;而 V类水质中有且仅有扇螳科的狭扇螳属水生昆虫。此外,不同月份间,蜻蜓目水生昆虫的物种组成也有差异。 III类和 IV类水质水

体中的蜻蜓目水生昆虫的个体数量随月份更替而呈减少趋势,部分水生昆虫优势度也随之降低。根据指示值, II类水质水体指示昆虫为硕综螳属水生昆虫 ($IndVal = 50\%$); III类水质水体为狭扇螳属和异痣螳属,此外长腹扇螳属(8月: $IndVal = 83.08\%$; 9月: $IndVal = 68.48\%$)和斑螳属(7月: $IndVal = 59.26\%$; 8月: $IndVal = 78.26\%$)可以作为特定月份该类水质的指示昆虫; IV和 V类水质水体无指示种类。

表4 海东湾湖内湿地Ⅲ类水质级别下蜻蜓目水生昆虫不同种类的指示值

Table 4 IndVals of different species of Odonata aquatic insects of study area atⅢlevel water quality

科 Family	属 Genus	7月 July			8月 August			9月 September		
		平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%	平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%	平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%
扇螳科 Platycnemididae		38	12.34	50.44	12.7	11.52	72.61	7.8	14.9	73.06
	狭扇螳属 <i>Copera</i>	35	11.36	63.38	6.7	6.06	65.22	6.3	12.02	69.72
	长腹扇螳属 <i>Coelliccia</i>	3	0.97	15.00	6.0	5.45	83.08	1.5	2.88	68.48
	扁扇螳属 <i>Platycnemis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
螳科 Coenagrionidae		12	3.9	58.22	5	4.55	76.27	1.3	2.40	61.05
	细螳属 <i>Aciagrion</i>	-	-	-	-	-	-	0.3	0.48	25.00
	斑螳属 <i>Cerion</i>	8	2.6	59.26	4	3.64	78.26	-	-	-
	异痣螳属 <i>Ichnura</i>	4	1.3	67.92	1	0.91	60.00	1.0	1.92	65.63
	黄螳属 <i>Ceriagrion</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
山螳科 Mega podagrionidae		-	-	-	-	-	-	-	-	-
综螳科 Synlestidae		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	硕综螳属 <i>Megalestes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:“-”表示该类水生昆虫未出现过。Note:“-” indicates that the aquatic insect has not appeared.

2.2 海东湾湖内湿地各水质级别下蜻蜓目水生昆虫的群落特征

各水质级别下蜻蜓目水生昆虫物种总数 ($F = 3.333, P = 0.138$) 和 Margalef 物种丰富度指数 ($F = 64.178, P = 0.001$) 存在显著差异。对于物种总数, II类和Ⅲ类水质物种总数无差异, IV类水质物种最丰富, 而V类水质则只存在狭扇螳属水生昆虫。对于 Margalef 物种丰富度指数, IV类水质显著最大, II类和Ⅲ类次之, V类最小(表6)。不同级别水质下, 蜻蜓目水生昆虫个体总数 ($F = 0.481, P = 0.713$)、Simpson 优势度指数 ($F = 3.723, P = 0.118$)、Shannon-Wiener 多样性指数 ($F = 4.264, P = 0.098$) 和 Pielou 均匀度指数 ($F = 5.898, P = 0.060$) 无显著差异。

2.3 海东湾湖内湿地蜻蜓目水生昆虫群落结构和水体理化因子与水质级别的关系

水体理化指标中的溶解氧、总磷和化学需氧量与水质级别显著相关, 而群落结构特征指数与水质

级别无显著相关性。其中, 溶解氧与水质级别呈显著负相关, 总磷与水质级别呈显著正相关, 而化学需氧量与水质级别呈极显著的正相关(表7)。虽然蜻蜓目水生昆虫群落结构与水质级别无显著相关性, 但其中与水质级别呈显著相关的理化指标溶解氧和总磷却与蜻蜓目水生昆虫的 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数显著相关(表8)。Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数均与溶解氧呈显著正相关; 不过, 这2个指数与总磷均呈显著负相关。

3 讨论

本研究得出, 通过蜻蜓目种类相对多度、特定种类的出现和指示种类来指示海东湾湖内湿地水体质量。特定种类的出现能反应不同级别水质情况, 如综螳科硕综螳属水生昆虫只出现在 II类水质水体中, 而扁扇螳属、黄螳属和山螳科则只出现在 IV类水质水体中, 这与 Catling^[23] 研究蜻蜓目昆虫与泄湖系

表5 海东湾湖内湿地IV类水质级别下蜻蜓目水生昆虫不同种类的指示值
Table 5 IndVals of different species of Odonata aquatic insects of study area at IV level water quality

科 Family	属 Genus	7月 July			8月 August			9月 September		
		IV类 IV level			IV类 IV level			IV类 IV level		
		平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%	平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%	平均个体数/个 Mean number of individuals	相对多度 RA/%	指示值 IndVals/%
扇螳科 Platycnemididae		17.3	5.63	15.34	4.8	4.34	15.22	1.9	3.57	12.51
	狭扇螳属 <i>Copera</i>	8.2	2.67	9.93	3.6	3.23	19.32	1.7	3.30	10.93
	长腹扇螳属 <i>Coelliccia</i>	9.0	2.92	20.00	1.2	1.11	7.52	0.1	0.27	1.24
	扁扇螳属 <i>Platycnemis</i>	0.1	0.04	11.11	-	-	-	-	-	-
螳科 Coenagrionidae		6.1	1.98	16.47	1.6	1.41	10.55	0.3	0.55	2.66
	细螳属 <i>Aciagrion</i>	0.8	0.25	33.33	0.1	0.10	11.11	-	-	-
	斑螳属 <i>Cerion</i>	4.0	1.30	13.17	1.1	1.01	9.66	0.1	0.27	14.29
	异痣螳属 <i>Ichnura</i>	0.9	0.29	5.03	0.1	0.10	1.11	0.1	0.27	1.79
	黄螳属 <i>Ceriagrion</i>	0.4	0.14	22.22	0.2	0.20	22.22	-	-	-
山螳科 Mega podagrionidae		0.1	0.04	11.11	-	-	-	-	-	-
综螳科 Synlestidae		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	硕综螳属 <i>Megalestes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注：“-”表示该类水生昆虫未出现过。Note：“-” indicates that the aquatic insect has not appeared.

表6 海东湾湖内湿地内不同水质级别下蜻蜓目水生昆虫群落特征指数
Table 6 Diversity index of Odonata aquatic insects of study area at different water quality level

群落结构特征指数 Community structure characteristic index	水质级别 Water quality level			
	II类 II level	III类 III level	IV类 IV level	V类 V level
<i>S</i>	5	4	6	1
<i>N</i>	46	46	95	1
<i>d</i>	1.05	0.79	1.17	0
<i>D'</i>	0.60	0.55	0.48	0
<i>H'</i>	1.10	1.01	0.96	0
<i>J'</i>	0.60	0.70	0.54	1

注：*S*表示物种总数、*N*表示所有物种个体总数、*d*表示 Margalef 物种丰富度指数、*D'*表示 Simpson 优势度指数、*H'*表示 Shannon-Wiener 多样性指数、*J'*表示 Pielou 均匀度指数。

Note: *S* indicates the total number of species, *N* indicates the total number of individuals, *d* indicates the Margalef species richness index, *D'* indicates the Simpson dominance index, *H'* indicates the Shannon-Wiener diversity index, *J'* indicates the Pielou evenness index.

统内污水池塘水质的关系,并得到不同水质特定种类的研究结果相似。最终,通过对指示值的判定,可用硕综螳属水生昆虫来指示 II 类水质水体,狭扇螳属和异痣螳属来指示 III 类水质水体,没有找到能指示 IV 类和 V 类水质的蜻蜓目水生昆虫种类。

依靠种类相对多度和特定种类来筛选指示种类,只体现了水生昆虫种类某一方面特征。Dufrene 等^[24]提出的 IndVal 指数,同时考虑了相对多度和物

种在样地出现的频数。因此,利用 IndVal 指数筛选指示种类,相对单独依靠种类个体数,更为科学。另外,硕综螳属水生昆虫仅在 II 类水质中出现,可作为该类水质指示种类,由于只有 2 个采样点水质达到 II 类,因此,采集到的数量较少。不过,随着时间更替,水质情况普遍变差,导致生活在相对洁净水质中的水生昆虫数量减少,甚至无法生存。由于狭扇螳属和异痣螳属昆虫在 III 类水质存在广泛且数量多,

表7 海东湾湖内湿地水体中蜻蜓目水生昆虫群落和水体理化因子与水质级别的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of Odonata aquatic insects' community structures and water physicochemical factors with water quality level

水体理化指标 Water physicochemical index	水质级别 Water quality level	群落结构特征指数 Community structure characteristic index	水质级别 Water quality level
WT	0.267	<i>S</i>	-0.231
pH	0.102	<i>N</i>	0.012
EC	0.312	<i>d</i>	-0.344
DO	-0.799*	<i>D'</i>	-0.595
TN	0.683	<i>H'</i>	-0.537
TP	0.812*	<i>J'</i>	0.294
NO ₃ ⁻ -N	0.689		
COD	0.881**		

注:WT表示水温,pH表示酸碱度,EC表示电导率,DO表示溶解氧,TN表示总氮,TP表示总磷,NO₃⁻-N表示硝酸盐氮,COD表示化学需氧量。

Note: WT indicates water temperature, pH indicates pH value, EC indicates electrical conductivity, DO indicates dissolved oxygen, TN indicates total nitrogen, TP indicates total phosphorus, NO₃⁻-N indicates nitrate nitrogen, COD indicates chemical oxygen demand.

注:表中数值为 Pearson 相关系数。* 在 0.05 水平上显著相关, ** 在 0.01 水平上极显著相关。

Note: Value in the table is Pearson correlation coefficient. Significant correlation at the 0.05 level, extremely significant correlation at the 0.01 level.

表8 海东湾湖内湿地水体中蜻蜓目水生昆虫群落与水体理化因子的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of Odonata aquatic insects' community structures of study area with water physicochemical factors

群落结构特征指数 Community structure characteristic index	水体理化指标 Water physicochemical index							
	WT	pH	EC	DO	TN	TP	NO ₃ ⁻ -N	COD
<i>S</i>	-0.560	0.291	0.651	0.810	0.031	-0.812	-0.470	-0.253
<i>N</i>	-0.275	0.517	0.860	0.597	0.364	-0.608	-0.167	0.096
<i>d</i>	-0.608	0.249	0.565	0.866	-0.076	-0.866	-0.562	-0.353
<i>D'</i>	-0.608	0.213	0.222	0.993**	-0.418	-0.994**	-0.830	-0.630
<i>H'</i>	-0.593	0.249	0.296	0.981*	-0.349	-0.983*	-0.785	-0.573
<i>J'</i>	0.596	-0.260	-0.590	-0.851	0.046	0.852	0.536	0.325

注:表中数值为 Pearson 相关系数。* 在 0.05 水平上显著相关, ** 在 0.01 水平上极显著相关。

Note: Value in the table is Pearson correlation coefficient. Significant correlation at the 0.05 level, extremely significant correlation at the 0.01 level.

磷却与蜻蜓目水生昆虫 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数呈显著线性相关。因此,水体中的溶解氧和总磷是影响蜻蜓目水生昆虫群落结构的重要因素。有研究认为,溶解氧和总磷通常被认为是造成水生昆虫群落结构组成差异的主要水质变量^[26-27]。对于蜻蜓目水生昆虫,其生存对溶解氧依赖性很强,在水体中生活的稚虫呼吸需要氧气,它们无法在缺氧条件下生存^[28]。因此,溶解氧是制约稚虫生存的重要因子,从而决定了该类水生昆虫物种多样性^[29]。此外,蜻蜓目水生昆虫多样性随着总磷升高而降低。磷是生物生长必需元素之一,但磷

完全可以用于指示Ⅲ类水质。狭扇螳属和异痣螳属水生昆虫种群对Ⅲ类水质较为敏感,其能利用现有资源,适当改变生活习性,谋求生存,因此,成为该湿地内的广布种。因此,由于蜻蜓目水生昆虫对水体变化敏感性的差异,完全可以在水质评价上起到指示作用。

不同级别水质下蜻蜓目水生昆虫物种总数和 Margalef 物种丰富度指数存在显著差异。Ⅳ类水质物种总数和 Margalef 显著最大,而Ⅴ类水质则最小。因此,物种丰富度差异完全可以反应出水体质量。各水质级别间,蜻蜓目水生昆虫个体总数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均无显著差异,不过, Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数平均值,随着水质级别降低呈现减小的趋势。说明,随着水质级别降低,蜻蜓目水生昆虫多样性降低。研究认为, Shannon-Wiener 多样性指数小于 1 就表示水体存在污染^[20,25],本研究结果与之相同。

本研究得出,水体理化指标中的溶解氧、总磷和化学需氧量与水质级别显著相关,而群落结构特征指数与水质级别无显著相关性。不过,溶解氧和总

量超过 0.2 mg · L⁻¹,会造成藻类过度繁殖,水质变坏,随着磷含量增多会降低水生昆虫物种多样性^[30]。因此,蜻蜓目水生昆虫群落结构完全能够间接反应水体质量,并对水质起到指示作用。

4 结论

不同水质级别下的水生昆虫物种组成不同,Ⅱ类水质水体中的指示种类为硕综螳属;Ⅲ类为狭扇螳属和异痣螳属,Ⅳ类和Ⅴ类水质水体中未发现指示种类。群落结构特征表现出, Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数随着水质级别的降低

而减小。水质级别与总磷和化学需氧量呈显著线性正相关,与溶解氧呈显著线性负相关;蜻蜓目水生昆虫的 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数与溶解氧呈显著线性正相关,而与总磷呈显著线性负相关。因此,蜻蜓目昆虫群落结构特征可以指示和反应滇池入湖口水体质量情况,间接反映了滇池水质情况,为进一步长期监测滇池水体质量和滇池污染治理提供理论支持。

参考文献:

- [1] Huang Y, Wen H, Cai J, *et al.* Key aquatic environmental factors affecting ecosystem health of streams in the Dianchi Lake watershed, China[C]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010:868 - 880.
- [2] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 等. 湖滨带的功能及其管理[J]. *生态环境学报*, 2005, 14(2):294 - 298.
- [3] Oertli B. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats [M]// Alex Cordoba-Aguilar. *Dragonflies and damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research*. Oxford: Oxford university press, 2008:79 - 96.
- [4] Hardersen S. The role of behavioural ecology of damselflies in the use of fluctuating asymmetry as a bioindicator of water pollution [J]. *Ecological Entomology*, 2000, 25(1): 45 - 53.
- [5] 韩凤英, 席玉英, 毕浩. 长叶异痣螳对水体铅污染的指示作用[J]. *农业环境科学学报*, 2002, 21(2): 169 - 170.
- [6] Foote A L, Hornung C L R. Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands [J]. *Ecological Entomology*, 2005, 30(3): 273 - 283.
- [7] 于昕, 卜文俊, 朱琳. 应用蜻蜓目昆虫进行生态环境评价的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(6): 1585 - 1590.
- [8] D'Amico F, Darblade S, Avignon S, *et al.* Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: comparing adult and larval responses[J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12(3): 439 - 446.
- [9] 方涛, 敖鸿毅, 刘剑彤, 等. 滇池水体理化环境状况时空分布格局研究[J]. *水生生物学报*, 2004, 28(2): 124 - 130.
- [10] 廖静秋, 曹晓峰, 汪杰, 等. 基于化学与生物复合指标的流域水生态系统健康评价——以滇池为例[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(7): 1845 - 1852.
- [11] 王丽珍, 刘永定, 陈亮, 等. 滇池底栖无脊椎动物群落结构及水质评价[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(4): 590 - 593.
- [12] 文航, 蔡佳亮, 苏玉, 等. 利用水生生物指标识别滇池流域入湖河流水质污染因子及其空间分布特征[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(1): 69 - 80.
- [13] 苏玉, 曹晓峰, 黄艺. 应用底栖动物完整性指数评价滇池流域入湖河流生态系统健康[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(1): 91 - 98.
- [14] 卢少勇, 张彭义, 余刚, 等. 滇池王家庄湖滨带人工湿地农业径流中磷去除的干湿季节性规律[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(5): 227 - 231.
- [15] 张仁锋, 宁平, 李彬, 等. 东大河口湖滨湿地净化入滇池河水研究[J]. *水处理技术*, 2009, 35(5): 100 - 102.
- [16] Morse J C, Yang Liangfang, Tian Lixin. *Aquatic insects of China useful for monitoring water quality*[M]. Nanjing: HeHai University Press, 1994.
- [17] 赵修复. 福建省蜻蜓幼虫分属检索(蜻蜓目)[J]. *武夷科学*, 1995, 12(12): 51 - 79.
- [18] 国家环境保护总局. *水和废水监测分析方法(第4版)*[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 24 - 284.
- [19] GB 3838 - 2002. *地表水环境质量标准*[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 3 - 4.
- [20] Gupta S, Narzary R. Aquatic insect community of lake, Phulbari anua in Cachar, Assam [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2013, 34(3): 591.
- [21] Andersen A N, Ludwig J A, Lowe L M *et al.* Grasshopper biodiversity and bioindicators in Australian tropical savannas: responses to disturbance in Kakadu National Park [J]. *Austral Ecology*, 2001, 26(3): 213 - 222.
- [22] Megeoch M A, Rensburg B J V, Botes A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(4): 661 - 672.
- [23] Catling P M. A potential for the use of dragonfly (Odonata) diversity as a bioindicator of the efficiency of sewage lagoons [J]. *Canadian Field Naturalist*, 2005, 119(2), 233 - 236.
- [24] Dufrene M., Legendre P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach [J]. *Ecological Monographs*, 1997, 67(3): 345 - 366.
- [25] Friberg N, Skriver J, Larsen SE, *et al.* Stream macroinvertebrate occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication [J]. *Freshwater Biology*, 2010, 55(7): 1405 - 1419.
- [26] Sahlén G, Ekestubbe K. Identification of dragonflies (Odonata) as indicators of general species richness in boreal forest lakes [J]. *Biodiversity & Conservation*, 2001, 10(5):673 - 690.
- [27] Declercq S, Vandekerckhove J, Johansson L, *et al.* Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover [J]. *Ecology*, 2005, 86(7):1905 - 1915.
- [28] Corbet P S. *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata*[M]. United States: Cornell University Press, 2004, 42(2): 86 - 88.
- [29] 阚春梅, 于洪贤. 亚布力山涧溪流秋季水生昆虫群落特征及其与环境因子的关系[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(1): 143 - 147.
- [30] Takhelmayum K, Gupta S. Aquatic insect diversity of a protected area, Keibul Lamjao National Park in Manipur, North East India [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2015, 18(2): 335 - 341.

(责任编辑:张玲)