



陈皓阳, 赵瑞, 李静纳, 魏丽丽, 童晓立. 深圳大鹏半岛主要河流底栖动物群落结构及水质生物学评价 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (1): 101–110.

深圳大鹏半岛主要河流底栖动物群落结构 及水质生物学评价

陈皓阳, 赵 瑞, 李静纳, 魏丽丽, 童晓立*

(华南农业大学农学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要: 2013年5月对深圳大鹏半岛4条主要河流(葵涌河、王母河、鹏城河和东涌河)的大型底栖动物群落结构进行了调查,并利用香农-维纳多样性指数和生物指数(BI)对河流水质进行了生物学评价。在大鹏半岛主要河流的15个样点共采获大型底栖动物35种,隶属3门7纲21科,其中水生昆虫26种,约占底栖动物种类数的74%。但底栖动物的种类组成与分布极不均匀,EPT(蜉蝣目+襁翅目+毛翅目)等对水质变化较敏感的类群主要分布于葵涌河的源头及受人为干扰活动较少的东涌河,而耐污能力较强的摇蚊科幼虫、霍甫水丝蚓和颤蚓等则为葵涌河中、下游样点、王母河和鹏城河的优势物种。生物指数(BI)相较于香农-维纳多样性指数,更适用于水质评价。结果显示,除葵涌河源头、鹏城河和东涌河样点的水质处于清洁至轻污染外,其余大部分样点处于中污染至重污染状态。推测大鹏半岛的王母河及葵涌河中、下游河段的生活污水及工业废水已对底栖动物的群落结构与河流水质造成了一定的影响。

关键词: 大鹏半岛; 河流; 底栖动物; 水质评价

中图分类号: Q968.2; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2020)01-0101-10

Macroinvertebrate community structures and bio-assessment of water quality of main rivers in Dapeng Peninsula, Shenzhen City

CHEN Hao-Yang, ZHAO Rui, LI Jing-Na, WEI Li-Li, TONG Xiao-Li* (Department of Entomology, College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The macroinvertebrate community structures were investigated in four main rivers (Kuichong River, Wangmu River, Pengcheng River and Dongchong River) of Dapeng Peninsula, Shenzhen in May, 2013, and bioassessment of water quality was assessed based on Shannon-Weiner Index and Biotic Index methods. A total of 35 species, belonging to 3 phyla, 7 classes and 21 families were identified in 15 sampling sites during the investigation. Among them, 26 species of aquatic insects which was accounting for 74% of total macroinvertebrate species. However, the species composition and distribution of macroinvertebrate in these four rivers were extremely uneven. The EPT taxa and other groups which were sensitive to changes in water quality mainly distributed in the headwater of Kuichong River and Dongchong River where was less disturbed by human activities. While the chironomid larvae, *Limnodrilus hoffmeisteri* and *Tubifex* sp. are dominant species of macroinvertebrates of Wangmu River, Pengcheng River and the middle and downstream of Kuichong River. Biological index (BI) is more suitable for water quality

基金项目: 国家水体污染控制与治理重大科技专项子课题 (2009ZX07011-009)

作者简介: 陈皓阳, 男, 1994年生, 湖南怀化人, 硕士研究生, 研究方向为底栖动物生态学, E-mail: 457216620@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 童晓立, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫分类学, E-mail: xtong@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-12-18; 接受日期 Accepted: 2019-06-11

assessment than Shannon-Weiner diversity index. The results showed that the water qualities of most sampling sites are in the state of medium to heavy pollution except for the sites of headwater of Kuichong, Pengcheng and Dongchong River which are in the state of clean to light pollution. The results suggest that the macroinvertebrate community structures and water quality in Wangmu River and the middle and downstream of Kuichong River have affected by domestic sewage and industrial waste water in Dapeng Peninsula.

Key words: Dapeng Peninsula; river; macroinvertebrate; water quality assessment

大型底栖动物是河流生态系统中最常见、最重要的生物类群之一, 在河流生态系统中的能量流动以及物质循环中扮演重要角色, 对维持河流生态系统的平衡起着十分重要的作用 (Wallace and Webster, 1996; Dodds, 2002)。此外, 因大型底栖动物生活史长, 移动能力弱, 易于采集, 且对多种人为干扰和污染导致的水环境的变化相当敏感, 在许多研究中常将其作为水质健康评价的指示生物 (蔡永久等, 2014; Huang *et al.*, 2015; Kaboré *et al.*, 2016)。因此, 大型底栖动物是了解河流生态系统健康状况的关键类群, 且作为水生生态系统食物链的重要环节, 对维持河流生态系统完整性有着至关重要的作用。

大鹏半岛位于深圳东南部海岸, 三面环海, 由北半岛、南半岛及其间的颈部连接地带组成, 形似哑铃, 属于山地性半岛, 是深圳市目前面积最大、保存最为完好的生态区域。其中以古火山遗迹及海岸地貌为特征的大鹏半岛国家地质公园位于半岛的中南部。独特的火山地质地貌, 使得半岛上的河流具有“短小且呈放射状入海”的特点, 各河流之间相对独立, 且最长的河流不超过 10 km。这类河流的生态系统承载力通常比较低, 自净能力也较弱, 河流一旦受到污染或河道形态结构发生变化, 其生态系统很容易遭受破坏, 并导致底栖动物多样性下降 (Dodds, 2002; Giorgio *et al.*, 2016)。由于大鹏半岛河流底栖动物的资源状况迄今尚未进行过系统性本底调查, 因此, 本研究的主要目的旨在了解大鹏半岛河流底栖动物的本底资源, 分析其群落结构并进行水质生物学评价, 为大鹏半岛的河道改造及河流生境的恢复与管理提供基础数据及科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点概况

依据大鹏半岛上河流的长度及生境特点, 于

2013 年 5 月选择了主要的 4 条河流 (葵涌河、王母河、鹏城河和东涌河) 作为调查对象。葵涌河位于葵涌镇, 全长约 6 km, 由 2 条二级溪流组成, 其中一条源自葵涌西北面的丰树山, 另一条源自葵涌东北面的深水田。2 条河流均流经葵涌镇, 在虎地排汇合往南汇入大海; 王母河位于大鹏镇, 源自大鹏镇西北面的福叠山, 全长约 8 km。王母河贯穿整个大鹏镇, 往东南方向在龙岐路附近的水头村汇入大海; 鹏城河位于大鹏镇, 源自打马沥水库, 全长约 3 km, 在较场尾附近汇入大海; 东涌河位于南澳镇, 源自大石里水库, 全长约 5 km, 流经国家地质公园, 受人为干扰活动较少, 在东涌村附近汇入大海。本研究在上述河流共设置 15 个调查样点 (图 1, 表 1) 进行大型底栖动物的种类调查, 并采用便携式流速仪 (EW-FFLOW32101) 和卷尺对各采样点的平均流速、水深及河宽等数据进行了测定。各样点的底质类型则根据各种底质在索伯网中所占比例大小来确定 (Barbour *et al.*, 1999)。

1.2 样品采集方法

在采样河段 30 m 范围内, 根据生境特点, 采用索伯网 (0.09 m², 80 目孔径) 对大型底栖动物进行定量采样, 每个样点重复采样 3~4 次。同时使用 D 形网进行定性采集, 采集范围尽量涵盖样点的各种生境。在采样现场将采集的标本直接放入装有 80% 乙醇的封口袋中, 带回室内将大型底栖动物拣出, 存放在 85% 乙醇中, 并在解剖镜下进行鉴定和计数。

1.3 数据处理及分析

香农-维纳多样性指数 (Shannon and Weaver, 1950)

$$H' = - \sum_{i=1}^s (ni/N) \log_2(ni/N)$$

式中: N 表示样本中属或种的个体总数, S 表示样本中总物种数, ni 表示第 i 属或种的个体数。本文采用 5 级水质生物评价标准 (王备新和杨莲芳, 2004) 见表 2。

表 1 大鹏半岛河流各样点环境特征
Table 1 Environmental features of the sampling sites in Dapeng Peninsula

河流 River	样点 Site	平均流 (m/s) Mean velocity	平均水深 (m) Mean depth	平均河宽 (m) Mean width	底质类型 Sediment type	河岸状况 Bank condition	距源头 距离 (km) Distance from source
葵涌河 Kuichong River (A)	丰树山 (A1) Fengshushan	0.20	0.2	2	细砂 + 砾石 Fine sand + gravel	自然状态 Natural state	0.5
	石场村 (A2) Shichangcun	0.12	0.3	1	砂石 + 淤泥 Sand + Silt	水泥渠道 Cement channel	2.0
	葵新南 (A3) Kuixinnan	0.08	0.5	3	淤泥 Silt	水泥渠道 Cement channel	4.0
	深水田 (A4) Shenshuitian	0.10	0.2	1	细沙 Fine sand	自然状态 Natural state	1.0
	银葵路 (A5) Yinkuilu	0.05	0.3	2	砂石 + 淤泥 Sand + Silt	水泥渠道 Cement channel	4.3
	虎地排 (A6) Hudipai	0.08	0.3	5	淤泥 Silt	自然状态 Natural state	4.5
王母河 Wangmu River (B)	王母河上游 (B1) Wangmu river wustream	0.05	0.2	1	砂砾 Sand grave	自然状态 Natural state	1.5
	文化广场 (B2) Cutlural square	0.03	0.2	3	大砾石 + 淤泥 Large gravel + Silt	水泥渠道 Cement channel	2.3
	公园路 (B3) Gongguan road	0.03	0.2	10	砂石 + 淤泥 Sand + Silt	水泥渠道 Cement channel	3.5
	龙岐路 (B4) Longqi road	0.01	0.4	30	淤泥 Silt	自然状态 Natural state	7.0
鹏城河 Pengcheng River (C)	鹏城河 (C1) Pengcheng River	0.08	0.2	1	砂砾 Sand grave	水泥渠道 Cement channel	1.0
	较场尾 (C2) Jiaochangwei	0.02	0.4	10	淤泥 Silt	水泥渠道 Cement channel	2.0
东涌河 Dongchong River (D)	地质公园 (D1) Geopark	0.32	0.3	1-2	砂石 + 鹅卵石 Sand + Cobblestone	自然状态 Natural state	1.0
	木棉树 (D2) Mumianshu	0.20	0.2	2	砾石 + 砂 Gravel + Sand	自然状态 Natural state	3.0
	东涌村 (D3) Dongchong village	0.07	0.4	20	淤泥 Silt	自然状态 Natural state	4.0

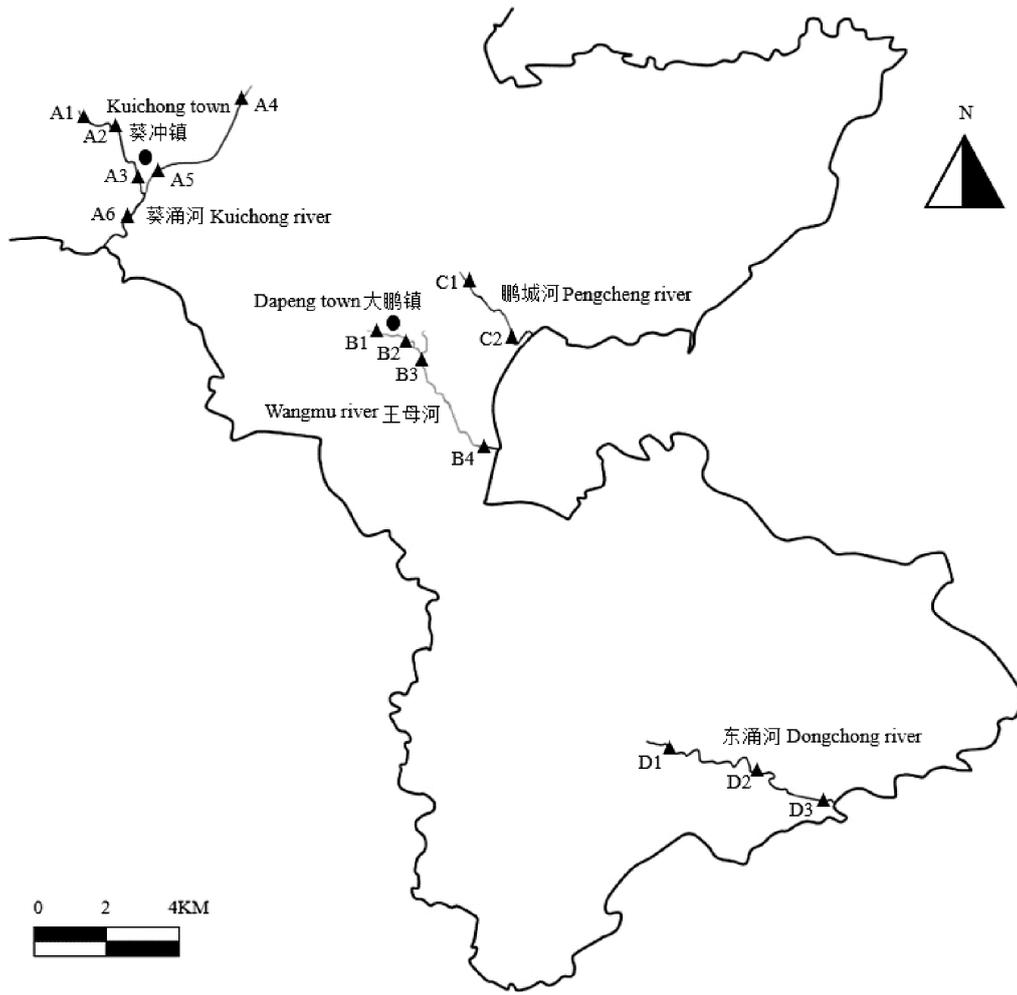


图 1 大鹏半岛采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the sampling sites in Dapeng Peninsula

注: A1, 丰树山; A2, 石场村; A3, 葵新南; A4, 深水田; A5, 银葵路; A6, 虎地排; B1, 王母河上游; B2, 文化广场; B3, 公园路; B4, 龙岐路; C1, 鹏城河; C2, 较场尾; D1, 地质公园; D2, 木棉树; D3, 东涌村。Note: A1, Fengshushan; A2, Shichangcun; A3, Kuixinnan; A4, Shenshuitian; A5, Yinkuilu; A6, Hudipai; B1, Wangmu river upstream; B2, Cultural square; B3, Gongyuan road; B4, Longqi road; C1, Pengcheng river; C2, Jiaochangwei; D1, Geopark; D2, Mumianshu; D3, Dongchong village.

表 2 Shannon – Weiner 多样性指数和 BI 生物指数水质评价标准
Table 2 The water quality standard of Shannon – Weiner index and Biological index

评价指数 Assessment index	水质评价标准 Water quality standard				
	极清洁 Excellent	清洁 Good	轻污染 Good – fair	中污染 Fair	重污染 Poor
香农 – 维纳多样性指数 Shannon – Weiner index	>4	3.0 ~ 3.9	2.0 ~ 2.9	1 ~ 1.9	<1
生物指数 (BI) Biological index	<2.96	2.97 ~ 4.72	4.73 ~ 6.48	6.49 ~ 8.24	>8.24

生物指数 (Hilsenhoff, 1987, 1988; Lenat, 1993)

$$BI = \sum_{i=1}^s niTi/N$$

式中: N 表示样本中属或种的个体总数, S 表示样本中总物种数, ni 表示第 i 属或种的个体数, Ti 表示第 i 属或种的耐污值。耐污值的范围为 0 ~ 10, 数值越大, 代表耐污能力越强。本文采用的耐污值和生物指数 (BI) 评价水质的标准 (表 2) 是在参考国内外相应类群耐污值的基础上 (Hilsenhoff, 1987, 1988; Lenat, 1993; Resh *et al.*, 1995; 王备新和杨莲芳, 2004; 吴东浩等, 2011), 根据广东省北江、东江和流溪河等流域的实际调查数据修订而成的 (唐三保, 2005; 段波, 2009; 李真, 2011)。

优势度公式 (徐兆礼和陈亚瞿, 1989)

$$Y = (ni/N) \cdot fi$$

式中: ni 为第 i 种的个体数, fi 为第 i 种在各位点出现的频率, N 为出现的总个体数。当 $Y \geq 0.02$ 时该种为优势种。

2 结果与分析

2.1 底栖动物群落组成与分布

在深圳大鹏半岛 4 条河流的 15 个采样点共获大型底栖动物 971 头, 隶属 3 门 7 纲 12 目 21 科 35 种 (表 3), 其中水生昆虫 26 种 (占底栖动物种类数 74.3%)。底栖动物的主要类群分别为双翅目 (占总个体数的 59%)、寡毛类 (占 16%) 和蜉蝣目 (占 13%), 常见类群为淡水螺类 (占 8%) 和水蛭 (占 2%), 其余均为稀有类群。在 4 条主要河流中, 东涌河底栖动物种类最多, 达 23 种, 葵涌河次之 (表 3)。调查发现, 大鹏半岛底栖动物的种类分布极不均匀, 大多数水生昆虫种类, 特别是 EPT (蜉蝣目 + 襁翅目 + 毛翅目) 敏感类群主要集中在水质清澈的葵涌河源头丰树山和东涌河的木棉树样点, 其中东涌河木棉树样点的底栖动物的多样性指数最高 (表 5), 且多数为耐污能力较低的清洁种类, 如蜉蝣目 (如台湾四节蜉 *Beatis taiwanensis*, 毕氏扁四节蜉 *Platybaetis bishopi* 和宜兴亚非蜉 *Afronurus yixingensis* 等)、襁

翅目 (如石蝇 *Perla* sp.) 和毛翅目 (如经石蛾 *Ecnomus* sp.)。而流经市区的大部分河段底栖动物物种多样性则显著降低, 主要以富营养型水体的代表, 如摇蚊幼虫、蚊科幼虫、霍氏水丝蚓和颤蚓等耐污种类为主。

2.2 大鹏半岛主要河流底栖动物的优势种

根据优势度 (Y) 的统计结果 (表 4), 大鹏半岛 4 条主要河流的优势种介于 5 ~ 8 种之间, 其中直突摇蚊亚科、长足摇蚊亚科和霍氏水丝蚓是这些河流的共有优势种。但东涌河比其它河流多了 3 种对水质变化较敏感的优势种: 台湾四节蜉 *Baetis taiwanensis*、大图四节蜉 *Beatis tatsuensis* 和真黎氏蜉 *Liebebiella vera*。尽管 4 条河流的大型底栖动物优势种存在一定差异, 但大多数河流主要以分布广泛且具较强生态适应性和耐有机污染的摇蚊幼虫、蚊科幼虫、霍氏水丝蚓和颤蚓等优势种为主。这些优势种所处样点的河段多受生活污水和工业废水的影响, 其河床底质以富含有机质的淤泥为主, 水质已变黑发臭。结果显示这些河段的水体呈现富营养化的趋势。

2.3 水质生物学评价

在 15 个采样河段中, 由于龙岐路、较场尾和东涌样点接近入海口, 受潮汐影响, 水体已呈半咸水状态, 河岸植被也开始出现红树林植物 (如秋茄) 及其伴生植物 (如厚藤), 属于淡水和海水的交错地带, 除了少数耐盐性较强的摇蚊外, 其他水生昆虫已无法生存, 仅采获一些沙蚕、钩虾等潮间带海洋底栖生物。因此, 上述 3 个样点的数据未参与本文的水质生物学评价。

从表 5 中可以看出, Shannon-Weiner 多样性指数与生物指数 (BI) 的水质评价结果差异较大。根据 Shannon-Weiner 多样性指数的评价结果, 除地质公园和东涌河 2 个样点的水质为轻污染外, 其它样点的水质均为中污染。而生物指数 (BI) 的评价结果显示, 石场村、银葵路、王母河上游、公园路 4 个样点与 Shannon-Weiner 指数评价结果一致, 均为中污染; 葵涌河的源头丰树山样点和东涌河木棉树样点的水质处于清洁状态; 深水田 (葵涌河另一支流的源头)、东涌河的地质公园样点及鹏城河样点为轻污染; 而葵新南、虎地排和文化广场 3 个样点的水质为重污染。

表3 大鹏半岛底栖动物种类分布与组成
Table 3 Distribution and composition of macrozoobenthos in Dapeng Peninsula

种类 Species	耐污值 Tolerance values	葵涌河 Kuichong River	王母河 Wangmu River	鹏城河 Pengcheng River	东涌河 Dongchong River
台湾四节蜉 <i>Baetis taiwanensis</i>	1.1	+		+	+
大图四节蜉 <i>Beatis tatuensis</i>	4.6				+
四节蜉 <i>Baetis</i> sp.	2.8				+
毕氏扁四节蜉 <i>Platybaetis bishopi</i>	1.0				+
花翅四节蜉 <i>Baetiella</i> sp.	3.5				+
微刺四节蜉 <i>Tenuibaetis</i> sp.	2.0				+
真黎氏蜉 <i>Liebebiella vera</i>	3.3	+			+
黎氏蜉 <i>Liebebiella</i> sp.	3.3				+
黑翅蜉 <i>Nigrobaetis</i> sp.	2.7				+
短须滑爪蜉 <i>Bungona longisetosa</i>	2.6	+			
宜兴亚非蜉 <i>Afronurus yixingensis</i>	2.5				+
双突细蜉 <i>Caenis bicornis</i>	4.7				+
光滑细蜉 <i>Caenis lubrica</i>	2.8	+			+
石蝇 <i>Perla</i> sp.	1.5				+
经石蛾 <i>Ecnomus</i> sp.	2.0				+
短脉纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	2.7	+			
亚东细螭 <i>Ischnura asiatica</i>	9.4	+			
截斑脉蜻 <i>Neurothemis tullia</i>	2.9	+			
毛缘蛾蚋 <i>Pericoma</i> sp.	9.9	+			
蚋 <i>Simulium</i> sp.	2.5			+	
朝大蚊 <i>Antocha</i> sp.	3.7			+	+
库蚊 <i>Culex</i> sp.	10.0	+	+		+
直突摇蚊亚科 <i>Orhocladinae</i>	8.6	+	+	+	+
长足摇蚊亚科 <i>Tanypodinae</i>	5.7	+	+	+	+
摇蚊亚科 <i>Chironominae</i>	8.8	+	+		+
阔尾螭 <i>Metrocoris</i> sp.	-	+			
大脐圆扁螺 <i>Hippeutis umbilicalis</i>	2.4	+	+	+	
尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>	4.8	+	+		
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	9.6	+	+	+	+
颤蚓 <i>Tubifex</i> sp.	9.0	+	+		+
水蛭 <i>Glossiphonia</i> sp.	4.6	+	+		
方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	6.3	+	+	+	
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	2.3	+			
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	-		+		+
沙蚕 <i>Nereis succinea</i>	10.0	+	+	+	+
种类数 Species number		21	12	9	23

表 4 大鹏半岛主要河流底栖动物优势种及优势度 ($Y \geq 0.02$)

Table 4 Dominant species of macrozoobenthos and its index of main rivers in Dapeng Peninsula

底栖动物种类 Macrozoobenthos species	葵涌河 Kuichong River	王母河 Wangmu River	鹏城河 Pengcheng River	东涌河 Dongchong River	大鹏半岛 (合计) Dapeng Peninsula (Sum)
台湾四节蜉 <i>Baetis taiwanensis</i>			0.0278	0.0528	
大图四节蜉 <i>Beatis tatuensis</i>				0.0496	
真黎氏蜉 <i>Liebbiella vera</i>				0.0341	
蚋 <i>Simulium</i> sp.			0.0556		
库蚊 <i>Culex</i> sp.		0.0572			
直突摇蚊亚科 Orhoeladinae	0.2180	0.1217	0.0278	0.1023	0.1581
长足摇蚊亚科 Tanypodinae	0.2156	0.0938	0.0417	0.0233	0.1158
摇蚊亚科 Chironominae		0.0234			0.0591
大脐圆扁螺 <i>Hippeutis umbilicalis</i>		0.0220	0.0417		
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.0597	0.1012		0.0325	0.0745
颤蚓 <i>Tubifex</i> sp.	0.0346	0.0527		0.0372	0.0362
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.		0.0213		0.0589	
沙蚕 <i>Nereis succinea</i>			0.0972		

表 5 大鹏半岛主要河流的水质生物学评价

Table 5 Bio-assessment of water quality in main rivers of Dapeng Peninsula

样点 Site	Shannon-Weiner 指数 (H') Shannon Wiener index		生物指数 (BI) Biological index	
	H'	水质等级 Water quality grade	BI	水质等级 Water quality grade
丰树山 Fengshushan	1.922	中污染 Fair	3.71	清洁 Good
石场村 Shichangcun	1.930	中污染 Fair	7.00	中污染 Fair
葵新南 Kuixinnan	1.549	中污染 Fair	8.32	重污染 Poor
深水田 Shenshuitian	1.711	中污染 Fair	6.03	轻污染 Good-fair
银葵路 Yinkui road	1.352	中污染 Fair	6.86	中污染 Fair
虎地排 Hudipai	1.547	中污染 Fair	8.25	重污染 Poor
王母河上游 Wangmu river upstream	1.770	中污染 Fair	7.77	中污染 Fair
文化广场 Cultural square	1.278	中污染 Fair	9.02	重污染 Poor
公园路 Gongyuan road	1.801	中污染 Fair	7.26	中污染 Fair
鹏城河 Pengcheng River	1.703	中污染 Fair	6.03	轻污染 Good-fair
地质公园 Geopark	2.084	轻污染 Good-fair	6.39	轻污染 Good-fair
木棉树 Mumianshu	2.369	轻污染 Good-fair	4.29	清洁 Good

3 结论与讨论

本次调查在大鹏半岛的主要河流中共采集 35 种大型底栖动物, 与我们之前在周边地区 (深圳龙岗河和惠州西枝江等) 底栖动物种类的调查结果 (未发表资料) 相比, 大鹏半岛主要河流的底栖动物物种多样性并不贫乏, 但物种丰富度高的样点主要集中在葵涌河源头丰树山和东涌河木棉树等样点, 而王母河各样点和葵涌河中、下游样点的底栖动物优势类群和常见类群仍以广泛分布且具较强生态适应性和耐有机污染的摇蚊幼虫、蚊科幼虫、霍甫水丝蚓、颤蚓和水蛭为主, 生物多样性明显减少。经调查发现, 这些样点所处的河段多为生活污水和工业废水的主要接纳区域, 水体已变黑发臭, 河床底质以富含有机质的淤泥为主, 呈富营养化的趋势。有研究表明, 水体富营养化是导致大型底栖动物生物多样性下降的原因 (Duan *et al.*, 2011)。

根据 Shannon-Weiner 多样性指数的评价结果 (表 5), 大鹏半岛主要河流的 12 个有效样点中, 只有东涌河 2 个样点的水质为轻污染, 其它样点的水质均为中污染。但该评价结果与采样现场的实际情况并不相符, 例如, 葵涌河所有样点的香农-维纳多样性指数值介于 1.55 ~ 1.92, 按该指数的评价标准其水质均处于中污染状态。但葵涌河源头的丰树山样点水质清澈见底, 底栖动物种类丰富度最高, 达 14 种, 且以耐污能力较弱的清洁种类居多。而下游的虎地排样点的水质已变黑发臭, 底栖动物种类虽然也有 12 种之多, 但主要以耐污种为主, 而且密度很高, 如摇蚊亚科和霍氏水丝蚓的密度分别为 318.5 ind/m² 和 107.4 ind/m²。显然这 2 个样点的实际水质状况并不在同一级别。而生物指数 (BI) 的评价结果显示 (表 5), 葵涌河的源头丰树山样点和东涌河木棉树样点的水质为清洁状态, 深水田 (葵涌河另一支流的源头)、东涌河的地质公园样点及鹏城河样点为轻污染, 其余 7 个流经市区和工业区的样点分别为中污染 (4 个) 和重污染 (3 个), 表明生活污水和工业废水的直接排放对大鹏半岛市区河段的底栖动物群落结构及水质已造成不同程度的影响。相比之下,

生物指数评价结果比较客观地反映出大鹏半岛主要河流底栖动物群落结构的变化及水质的实际情况。香农-维纳多样性指数是评价生物群落多样性高低的重要参数, 适用范围很广, 过去也曾广泛应用于水质生物学评价 (黄玉瑶和滕德兴, 1982; 任淑智, 1991)。但香农-维纳多样性指数仅仅能反映群落结构的变化, 却无法体现群落中耐污种和清洁种的组成差异, 这是该指数在水质生物学评价应用中的缺陷。目前香农-维纳多样性指数已不再建议单独用于水质生物学评价 (吴东浩等, 2011)。而生物指数的优点是既考虑了生物本身耐污能力的差异, 又兼顾了物种多样性, 同时又便于计算, 结果简明易懂, 是一个应用前景良好、值得推广的水质生物学评价方法。

此外, 由于河道改造工程, 大鹏半岛大多数河流的河道都经过裁弯取直, 护岸多经过石材水泥硬化处理, 有些甚至是“三面光”河道。这种河道硬化的处理措施虽然充分发挥了其行洪功能, 保障了河道两岸人民的生命财产安全, 但也会改变河流的水文特征和自然形态, 进而导致其生态功能受损。首先, 河流渠道化增加了洪水的频率和强度, 使得底栖动物难以在短时间内找到合适的庇护地, 导致其数量减少 (Coleman *et al.*, 2011), 同时也削弱了河岸带植被对河流的净化作用, 间接增加了水体污染的风险 (Wang *et al.*, 2012)。河流自然形态的变化, 造成河流生境 (如深潭、浅滩) 的复杂性和异质性降低 (Greenwood *et al.*, 2012)。而生境异质性的丧失又会导致生物多样性减少, 从而对有机物生产和营养传递等生态系统的功能造成影响 (Weber *et al.*, 2017)。同时也限制了河水与地下水的交换, 加快了河道中水资源的流失 (Roy *et al.*, 2003; Smith and Lamp, 2008; Davies *et al.*, 2010)。河流形态多样性是维持河流生物多样性的基础, 而水生生物群落多样性则是生态系统健康的保障 (董哲仁, 2003)。在自然河流中, 不同生境的底栖动物群落组成往往具有明显差异。相比于顺直河道, 蜿蜒的河段往往能提高生境的异质性, 进而能增加底栖动物的多样性和物种丰富度 (Nakamura *et al.*, 2014)。因此, 根据大鹏半岛河流的特点, 目前在河道的改造和治理工作中, 除了考虑其供水、泄

洪和排污等社会经济功能外, 还应该注意对河流自然形态的保护, 防止河道渠道化, 增加河流生境的复杂性和异质性 (Violin *et al.*, 2011; Palmer *et al.*, 2015)。

参考文献 (References)

- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, *et al.* Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish [M]. Washington DC: Environmental Protection Agency Press, 1999.
- Cai YJ, Liu JS, Dai XL, *et al.* Community structure of macrozoobenthos and bioassessment of water quality in Lake Changdang, Jiangsu Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33 (5): 1224 – 1232. [蔡永久, 刘劲松, 戴小琳, 等. 长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价 [J]. 生态学杂志, 2014, 33 (5): 1224 – 1232]
- Coleman JC, Miller MC, Mink FL. Hydrologic disturbance reduces biological integrity in urban streams [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 172 (1–4): 663 – 687.
- Davies PJ, Wright IA, Findlay SJ, *et al.* Impact of urban development on aquatic macroinvertebrates in south eastern Australia: Degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams [J]. *Aquatic Ecology*, 2010, 44 (4): 685 – 700.
- Dodds WK. Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications [M]. San Diego: Academic Press, 2002.
- Dong ZR. Diversity of river morphology and diversity of bio-communities [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003, 34 (11): 1 – 6. [董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性 [J]. 水利学报, 2003, 34 (11): 1 – 6]
- Duan XH, Wang ZY, Xu MZ. Effects of fluvial processes and human activities on stream macro-invertebrates [J]. *International Journal of Sediment Research*, 2011, 26 (4): 416 – 430.
- Duan B. River Ecosystem Health Assessment Based on Macroinvertebrate Community Structure – A Case Study of Hengshishui River Watershed in Guangdong Province [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2009. [段波. 基于底栖动物群落结构的河流生态系统健康评价—以广东横石水河流域为例 [D]. 广州: 华南农业大学, 2009]
- Giorgio A, De Bonis S, Guida M. Macroinvertebrate and diatom communities as indicators for the biological assessment of river Picentino (Campania, Italy) [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 64: 85 – 91.
- Greenwood MJ, Harding JS, Niyogi DK, *et al.* Improving the effectiveness of riparian management for aquatic invertebrates in a degraded agricultural landscape: Stream size and land-use legacies [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2012, 49 (1): 213 – 222.
- Hilsenhoff WL. An improved biotic index of organic stream pollution [J]. *Great Lakes Entomologist*, 1987, 20 (1): 31 – 39.
- Hilsenhoff WL. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1988, 7 (1): 65 – 68.
- Huang Q, Gao J, Cai Y, *et al.* Development and application of benthic macroinvertebrate-based multimetric indices for the assessment of streams and rivers in the Taihu Basin, China [J]. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 649 – 659.
- Kaboré I, Moog O, Alp M, *et al.* Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semi-arid streams of Burkina Faso [J]. *Hydrobiologia*, 2016, 766 (1): 57 – 74.
- Lenat DR. A biotic index for the southeastern United States: Derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality rating [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1993, 12 (3): 279 – 290.
- Li Z. Benthic Macroinvertebrate Community Structures And River Ecosystem Health Bioassessment in Dongjiang River [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011. [李真. 东江大型底栖动物群落结构及水生态系统健康评价 [D]. 广州: 华南农业大学, 2011]
- Nakamura F, Ishiyama N, Sueyoshi M, *et al.* The significance of meander restoration for the hydrogeomorphology and recovery of wetland organisms in the kushiro river, a lowland river in Japan [J]. *Restoration Ecology*, 2014, 22 (4): 544 – 554.
- Palmer MA, Ruhl JB. Aligning restoration science and the law to sustain ecological infrastructure for the future [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2015, 13 (9): 512 – 519.
- Ren SZ. The characteristics of benthic macroinvertebrate community and water quality in Beijing-Tianjin area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11 (3): 262 – 268. [任淑智. 京津及邻近地区底栖动物群落特征与水质等级 [J]. 生态学报, 1991, 11 (3): 262 – 268]
- Resh VH, Norris RH, Barbour MT. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates [J]. *Australian Journal of Ecology*, 1995, 20: 108 – 112.
- Roy AH, Rosemond AD, Paul MJ, *et al.* Stream macroinvertebrate response to catchment urbanisation (Georgia, U. S. A.) [J]. *Freshwater Biology*, 2003, 48 (2): 329 – 346.
- Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication [J]. *Physics Today*, 1950, 3 (9): 31 – 32.
- Smith RF, Lamp WO. Comparison of insect communities between adjacent headwater and main-stem streams in urban and rural watersheds [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2008, 27 (1): 161 – 175.
- Tang SB. Macroinvertebrate Community Structure and Biological Assessment of Water Quality of Liuxi River [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2005. [唐三保. 流溪河底

- 栖动物群落结构及其水质生物学评价 [D]. 广州: 华南农业大学, 2005]
- Violin CR, Cada P, Sudduth EB, *et al.* Effects of urbanization and urban stream restoration on the physical and biological structure of stream ecosystems [J]. *Ecological Applications*, 2011, 21 (6): 1932 – 1949.
- Wallace JB, Webster JR. The role of macroinvertebrate in stream ecosystem function [J]. *Annual Review of Entomology*, 1996, 41 (1): 115 – 139.
- Wang BX, Liu DX, Liu SR, *et al.* Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China [J]. *Hydrobiologia*, 2012, 680 (1): 39 – 51.
- Wang BX, Yang LF. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in Eastern China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (12): 2768 – 2775. [王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值 [J]. 生态学报, 2004, 24 (12): 2768 – 2775]
- Weber A, Garcia X, Wolter C. Habitat rehabilitation in urban waterways: The ecological potential of bank protection structures for benthic invertebrates [J]. *Urban Ecosystems*, 2017, 20 (4): 759 – 773.
- Wu DH, Wang BX, Zhang Y, *et al.* Advances in the use of biotic index for water quality bioassessment with benthic macroinvertebrate and its perspective in China [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, 34 (2): 129 – 134. [吴东浩, 王备新, 张咏, 等. 底栖动物生物指数水质评价进展及在中国的应用前景 [J]. 南京农业大学学报, 2011, 34 (2): 129 – 134]
- Xu ZL, Chen YQ. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8 (4): 13 – 15. [徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲶鱼场的关系 [J]. 生态学杂志, 1989, 8 (4): 13 – 15]