

# 深圳大鹏半岛水生甲虫多样性\*

蒋淑娇<sup>1</sup>, 郭光宇<sup>2</sup>, 蒋露<sup>3</sup>, 郭强<sup>3</sup>, 贾凤龙<sup>2</sup>

1. 中山大学农学院, 广东 深圳 518107
2. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275
3. 深圳市野生动植物保护管理处, 广东 深圳 518000

**摘要:** 记录了深圳大鹏半岛水生甲虫总计 84 种: 龙虱科 23 种、伪龙虱科 3 种、沼梭科 1 种、豉甲科 3 种、长须甲科 1 种、圆牙甲科 1 种、条脊甲科 1 种、牙甲科 51 种。49 种只生活于静水中, 占总数 58.3%; 8 种只生活于溪流边缘, 占总数 9.5%; 7 种生活于潮湿石壁中, 6 种生活于腐烂物中; 生活于两种及两种以上环境的水生甲虫 14 种, 占总数的 16.7%。25 种具有趋光性, 占总数的 29.8%。脊折牙甲属 *Noteropagus* 为中国新记录属, 齿条丽阳牙甲 *Helochares dentalus* d'Orchymont、库氏边毛豉甲 *Patrus coomani* (Peschet)、褐背新伪龙虱 *Neohydrocoptus rubescens* (Clark) 为中国新记录种、圆牙甲 *Georissus* sp. 为大陆首次公开报道。冗余分析 (RDA) 表明大鹏半岛水生甲虫大多数种类与静水具有强相关性, 一部分种类与溪流具有较强相关性, 与河滨、腐烂物、潮湿石壁、潮湿草地具有较强相关性的水生甲虫种类少。这种分布证明了水生甲虫多次水陆生活环境改变的进化。

**关键词:** 水生甲虫; 生物多样性; 大鹏半岛

**中图分类号:** Q968.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137 (2022) 04-0031-10

## The diversity of water beetles from Dapeng Peninsula of Shenzhen

JIANG Shujiao<sup>1</sup>, GUO Guangyu<sup>2</sup>, JIANG Lu<sup>3</sup>, GUO Qiang<sup>3</sup>, JIA Fenglong<sup>2</sup>

1. School of Agriculture, Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China
2. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China
3. Shenzhen Wild Life Conservation Division, Shenzhen 518000, China

**Abstract:** A total of 84 species of true water beetles were reported from Dapeng Peninsula, Shenzhen, of which 23 species assigned to Dytiscidae, 3 species to Noteridae, 1 species to Haliplidae, 3 species to Gyrinidae, 1 species to Hydraenidae, 1 species to Georissidae, 1 species to Hydrochidae, and 51 species to Hydrophilidae. Forty-nine species only collected in stagnant fresh water accounting for 58.3%; 8 species only found in sides of streams or rivers accounting for 9.5%; 7 species on wet stones and 6 species were in decaying plants; 14 species were found at two or more kinds environments accounting for 16.7%. Twenty-five species were collected with light trap accounting for 29.8%. Genus *Noteropagus* was firstly reported from China. *Helochares dentalus* d'Orchymont, *Patrus coomani* (Peschet) and *Neohydrocoptus rubescens* (Clark) were reported for the first time to China. Genus *Georissus* was also recorded for the first time from China Mainland. RDA analysis showed that there was a strong correlation between most of the water beetles and stagnant fresh water in the Dapeng Peninsula, and some water beetles had a strong correlation with running water. Few species were

\* 收稿日期: 2021-06-05

录用日期: 2021-08-20

网络首发日期: 2021-11-12

基金项目: 深圳市野生动植物保护管理处资助项目

作者简介: 蒋淑娇 (1997年生), 女; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: jiangshj9@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 贾凤龙 (1966年生), 男; 研究方向: 昆虫分类; E-mail: lssjfl@mail.sysu.edu.cn; fenglongjia@aliyun.com

strongly correlated with riverside, decaying plants, wet rock and wet grassland. The distribution pattern shows the evolution of aquatic beetles after many changes in their living environment.

**Key words:** water beetles; biodiversity; Dapeng Peninsula

水生甲虫在世界各地广泛分布,是水生生态系统的重要组成部分。水生甲虫对水质变化敏感,可用作清洁水体与水体污染的指示生物,是监测环境变化、开展生物多样性保护的重要类群。其实,“水生甲虫”是一个很难定义的概念。与水有关的甲虫分为6类<sup>[1-2]</sup>,其中“真水生甲虫”(true water beetles)和“假水生甲虫”(false water beetles)被称为水生甲虫(water beetles)。其特点是生活史中至少有一个阶段是淹没在水中生活。而另外4种类型大多数情况下生活也或多或少与水和潮湿环境相关,通常也称为水生甲虫。

水生甲虫在世界上已知超过13 000种<sup>[3-4]</sup>,绝大多数种类至少在幼虫期为捕食性,这种捕食作用在控制蚊虫的密度方面十分重要<sup>[5]</sup>,几乎各种含水量高的环境都可以找到“水生甲虫”,其中以龙虱科和牙甲科种类最多<sup>[1,6]</sup>。龙虱科Dytiscidae、伪龙虱科Noteridae、沼梭科Halplidae、豉甲科Gyrinidae、条脊牙甲科Hydrochidae、长须甲科Hydraenidae很多种类都是生活于真正水环境,故为真水生甲虫。牙甲科Hydrophilidae生活环境很复杂,部分为真水生种类,部分为近水生或陆生种类。本研究采集的牙甲科大部分种类生活于真正水环境,也是真水生甲虫。本文仅对真水生甲虫的多样性进行分析,有些种类虽然也在相应的科中(如牙甲科),但因不满足真水生甲虫的定义,不在本文研究范围内。

昆虫的区系组成受到台风、高温、高湿等各方面的影响,对水生昆虫来说,还受到水体盐度的影响。因此,海边生态系统的昆虫往往具有独特的种类。作为深圳生物多样性较高的区域,大鹏半岛是广东省典型的海边/半岛生态系统,是深圳市现存的最大的“生态乐土”。对大鹏半岛开展水生甲虫多样性研究,有利于丰富对大鹏半岛昆虫资源的了解,对大鹏半岛环境状况评估以及开展生物多样性保护具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地概况

深圳市大鹏半岛处于广东省东南部,东靠大亚湾,西临大鹏湾,南部为中国南海海域。大鹏

半岛地理位置为114°17'22" E, 22°37'39" N,属南亚热带海洋性季风气候区,夏季高温多雨,冬季干旱稍冷,年平均气温22.4℃,最高气温达36.6℃,最低气温为1.4℃,年平均降雨量为1 948.4 mm<sup>[7]</sup>。大鹏半岛自然植被类型丰富多样,森林覆盖率达76%,是深圳市生态环境保存最好,生物多样性最高的区域。

### 1.2 研究方法

本研究赴深圳市大鹏半岛进行水生甲虫野外采集的时间为:2018年5月16~19日,6月18~25日,8月3~8日,11月1~8日,2019年4月20~24日,5月12~16日,6月6~10日,7月24日~8月14日,10月21~24日,共24个采集地点。采集地点见图1。

本研究在对大鹏半岛的水生甲虫进行调查时,使用捞网、小漏勺等采集水塘、废弃水田水中及边缘等静水生境以及溪流中的水生甲虫;用镊子和毛笔采集潮湿(有水)的裸露岩石及缝隙、密草覆盖的潮湿草地、正处于腐烂状况的芭蕉叶等腐烂物的甲虫;用筛网采集森林中潮湿而富有枯枝落叶的地表水生甲虫;每个采集点采集30 min。此外,每天晚上(雨天除外)用250 W水银灯进行灯诱,采集趋光的水生甲虫,每次灯诱时间至少2 h。

捕获的水生甲虫置于 $\varphi=75\%$ 酒精中或用乙酸乙酯熏杀后置于内有滴 $\varphi=75\%$ 酒精的吸水纸的小型密封袋内。带回实验室内进行标本制作、鉴定。

### 1.3 数据处理

数据使用Excel 2010记录统计,使用ArcGIS 10.6、CANOCO 5.0和Excel 2010对数据进行分析处理并作图,并计算Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ <sup>[8]</sup>、Pielou均匀度指数 $J$ <sup>[9]</sup>、Margalef物种丰富度指数 $D$ <sup>[10]</sup>,计算公式如下

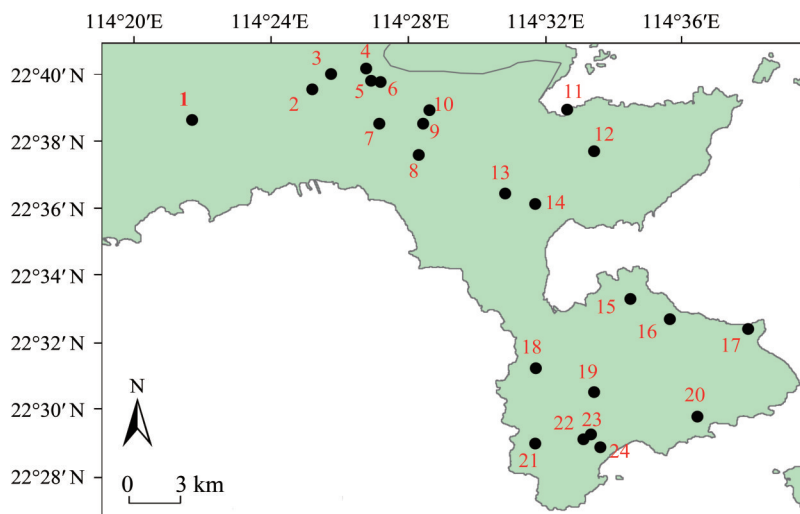
$$H' = -\sum P_i \ln P_i,$$

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

$$D = (S-1) / \ln N,$$

式中 $P_i = N_i / N$ , $N$ 为水生甲虫总个体数, $S$ 为水生甲虫种类数, $N_i$ 为第 $i$ 个物种的个体数。

依据调查结果,大鹏半岛水生甲虫的生境有静水、溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河



1. 马峦山; 2. 赤坳水库; 3. 金田山; 4. 田头山; 5. 金龟村; 6. 坪头岭; 7. 金岭路; 8. 葵坝公路; 9. 深水田; 10. 罗屋田水库; 11. 盐灶; 12. 盐田三洲田; 13. 打马沥水库; 14. 东山寺; 15. 国家地质公园; 16. 杨梅坑; 17. 高山角; 18. 半天云; 19. 南澳公路旁湿壁; 20. 东涌; 21. 鹅公; 22. 南澳公路; 23. 西涌; 24. 格田村。

图1 大鹏半岛水生甲虫采集地点

Fig. 1 The collection site of Water Beetles in Dapeng Peninsula

滨6种。大鹏半岛水生甲虫适应的栖息地有10类, 分别是: 静水、溪流、潮湿石壁、腐烂物、静水和溪流、静水和潮湿草地、潮湿草地和潮湿石壁、潮湿草地和河滨、静水和潮湿石壁、静水和潮湿石壁和潮湿草地。一种水生甲虫仅对应其中1类栖息地, 若1种水生甲虫的栖息地为静水, 则表示该种水生甲虫仅在静水中采集到, 若1种水生甲虫的栖息地为静水和石壁, 则表示该种水生甲虫能在静水和潮湿石壁这两种生境中采集到。

将这10类栖息地作为10个样方, 将6种生境作为环境因子, 将在大鹏半岛采集到的84种水生甲虫及其个体数作为物种信息, 得到环境×样方(6×10)矩阵以及物种×样方(84×10)矩阵。在环境×样方矩阵中, 若样方为静水, 则在环境因子中, 将静水记为1, 其他5种生境均记为0, 若样方为静水和溪流, 则在环境因子中, 将静水和溪流都记为1, 其他4种生境记为0。在物种×样方矩阵中, 将各种水生甲虫在各样方的个体数分级, 未采到记为1, 采到个体数1~10记为2, 采到个体数11~50记为3, 50以上记为4, 各种水生甲虫1的个体数见表1。

运用CANOCO 5.0进行数据分析和作图, 将物种数据进行log转换, DCA(除趋势对应分析)结果表明, 本研究适用于RDA(冗余分析)的排序方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 大鹏半岛水生种类

本研究共获得大鹏半岛水生甲虫标本1586号, 经鉴定, 总计采集水生甲虫8科38属84种, 采集的种类中牙甲科Hydrophilidae和龙虱科Dytiscidae占绝对优势, 其中牙甲科19个属51个种, 龙虱科11个属23个种, 伪龙虱科Noteridae3个属3个种, 豉甲科Gyrinidae1个属3个种, 沼梭科Haliplidae、长须甲科、圆牙甲科Georissidae、条脊甲科Hydrochidae均只有1个属1个种。

脊折牙甲属*Noteropagus*为中国新记录属, 齿条丽阳牙甲*Helochaeres dentalus* d'Orchymont、库氏边毛豉甲*Patrus coomani* (Peschet)、褐背新伪龙虱*Neohydrocoptus rubescens* (Clark)为中国新记录种、圆牙甲*Georissus* sp. 为大陆首次公开报道。大鹏半岛水生甲虫种类组成见表1。

### 2.2 大鹏半岛水生甲虫多样性指数及各科占比

依据表1, 可计算得出, 大鹏半岛水生甲虫多样性指数 $H'$ 为3.358, 均匀度指数 $J$ 为0.758, 丰富度指数 $D$ 为11.263。大鹏半岛水生甲虫中, 牙甲科最丰富, 其次是龙虱科。在种类数上, 牙甲科>龙虱科>伪龙虱科、豉甲科>沼梭科、长须甲科、圆牙甲科、条脊甲科。牙甲科水生甲虫种类占总种类的60.7%, 其次龙虱科占27.3%。在个体数上, 牙甲科占比79.7%, 龙虱科占比10.8%。

表 1 大鹏半岛水生甲虫组成及生境<sup>1)</sup>  
Table 1 Checklist of the aquatic beetles of Dapeng Peninsula, Shenzhen and habitats

序号	科名	种名	个 体 数	生境					趋光 性
				溪流	静水	潮湿 石壁	潮湿 草地	腐烂 物	
1		<i>Copelatus bangalorensis</i> Vaziran	1		+				*
2		<i>Copelatus oblitus</i> Sharp	33		+				*
3	Dytiscidae	<i>Cybister sugillatus</i> Erchson	2		+				
4		<i>Cybister rugosus</i> Sharp	1		+				
5		<i>Hydaticus luzonicus</i> Aubé	5		+				
6		<i>Hydaticus rhantoides</i> Sharp	2		+				**
7		<i>Hydaticus vittatus</i> (Fabricius)	2		+				
8		<i>Hydroglyphus orientalis</i> (Clark)	4	+	+				**
9		<i>Hydroglyphus</i> sp. 1	2		+				
10		<i>Hydroglyphus</i> sp. 2	2		+				
11		<i>Hydroglyphus</i> sp. 3	2		+				
12		<i>Hydrovatus</i> (cf.) <i>acuminatus</i> Motschulsky	1		+				*
13		<i>Hydrovatus confertus</i> Sharp	96		+				*
14		<i>Hydrovatus pudicus</i> (Clark)	2		+				
15		<i>Hydrovatus similis</i> Biström	3		+				
16		<i>Hydrovatus rufoniger</i> (Clark)	1		+				
17		<i>Hyphydrus lyratus</i> Swartz	1		+				
18		<i>Laccophilus ellipticus</i> Regmibart	2		+				
19		<i>Leiodytes</i> sp.	2		+				
20		<i>Neptosternus wewalkai</i> Balke, Hendrich & Yang	2	+					
21		<i>Neptosternus</i> sp.	1	+					
22		<i>Platynectes dissimilis</i> (Sharp)	1		+				
23		<i>Rhantus suturalis</i> MacLeay	4		+				*
24		<i>Canthydrus ritsemae</i> (Régimbart)	3		+				
25	Noteridae	<i>Hydrocanthus indicus</i> Wehneck	14		+				
26		<i>Neohydrocoptus rubescens</i> (Clark)	6		+				
27	Haliplidae	<i>Haliplus kotoshonis</i> Kano & Kamiya	34		+				
28		<i>Patrus coomani</i> (Peschet)	3	+					
29	Gyrinidae	<i>Patrus productus</i> Régimbart	25		+				
30		<i>Patrus assequens</i> (Ochs)	55	+					
31	Georissidae	<i>Georissus</i> sp.	2				+	+	*
32	Hydrochilidae	<i>Hydrochus</i> sp.	1		+				
33		<i>Agraphydrus</i> sp. 1	1			+			
34		<i>Agraphydrus activus</i> Komarek et Hebauer	39		+	+			
35	Hydrophilidae	<i>Agraphydrus confusus</i> Komarek et Hebauer	39	+					
36		<i>Agraphydrus coomani</i> d'Orchymont	63			+			
37		<i>Agraphydrus</i> sp. 2	1			+			
38		<i>Agraphydrus gracilipalpis</i> Komarek	1		+				

续表

序号	科名	种名	个 体 数	生境					趋光 性
				溪流	静水	潮湿 石壁	潮湿 草地	腐烂 物	
39		<i>Agraphydrus fasciatus</i> Komarek	12	+					
40		<i>Agraphydrus masatakai</i> Minoshima, Komarek et Ohara	91			+			
41		<i>Agraphydrus schoenmanni</i> Komarek	1		+				
42		<i>Agraphydrus umbrosus</i> Komarek & Hebauer	1		+				
43		<i>Agraphydrus variabilis</i> Komarek et Hebauer	314	+					*
44		<i>Amphiops mater</i> Sharp	16		+				*
45		<i>Armostus schenklingi</i> (d'Orchymont)	1					+	*
46		<i>Berosus pulchellus</i> M'Leay	15		+				**
47		<i>Chaetarthria chenjuni</i> Jia et Yang	3		+				
48		<i>Chasmogenus orbis</i> Watanabe	3		+				
49		<i>Coelostoma bifidum</i> Jia, Aston et Fikáček	27		+	+	+		
50		<i>Coelostoma fallaciosum</i> Orchymont	15		+	+	+		
51		<i>Coelostoma hongkongensis</i> Jia, Aston et Fikáček	6			+			
52		<i>Coelostoma jaechi</i> Jia, Lin, Chan, Skale et Fikáček	2			+	+		
53		<i>Coelostoma phallicum</i> d'Orchymont	15	+	+				
54		<i>Coelostoma stultum</i> (Walker)	36		+		+		
55		<i>Coelostoma sulcatum</i> Pu	1		+				*
56		<i>Dactylosternum abdominale</i> (Fabricius)	8					+	*
57		<i>Dactylosternum corbetti</i> Balfour-Browne	5					+	
58		<i>Dactylosternum hydrophiloides</i> (Macleay)	10					+	
59		<i>Enochrus crassus</i> Régimbart	1		+				
60		<i>Enochrus esuriens</i> (Walker)	35	+	+				*
61		<i>Enochrus flavicans</i> Regimbart	75	+	+				*
62		<i>Helochares anchoralis</i> Sharp	2		+				
63		<i>Helochares atropiceus</i> Régimbart	16		+				
64		<i>Helochares densus</i> Sharp	11		+				
65		<i>Helochares fuliginosus</i> d'Orchymont	52		+				
66		<i>Helochares pallens</i> (MacLeay)	12	+	+				*
67		<i>Helochares dentalis</i> d'Orchymont	3		+				
68		<i>Helochares</i> sp. 1	1		+				
69		<i>Helochares</i> sp. 2	18		+				
70		<i>Helochares lentus</i> sharp	8		+				
71		<i>Helochares sauteri</i> Orchymont	3		+				*
72		<i>Hydrophilus cavisternum</i> (Bedel)	3		+				*
73		<i>Hydrophilus acuminatus</i> (Motschulsky)	1		+				*
74		<i>Hydrobiomorpha spinicollis</i> (Eschscholtz)	3		+				*
75		<i>Hydrocassis scapha</i> Orchymont	3	+	+				
76		<i>Noteropagus</i> sp.	58					+	

续表

序号	科名	种名	个体数	生境						
				溪流	静水	潮湿石壁	潮湿草地	腐烂物	河滨	趋光性
77		<i>Omicrogiton coomani</i> Balfour-Browne	38					+		
78		<i>Oocyclus shorti</i> Jia et Maté	128			+				
79		<i>Paracymus mimicus</i> Wooldridge	27		+		+			*
80		<i>Paracymus orientalis</i> Orchymont	20		+		+			**
81		<i>Pelthydrus incognitus</i> Schönmann	1	+						
82		<i>Sternolophus inconspicuus</i> (Nietner)	1		+					*
83		<i>Sternolophus rufipes</i> (Fabricius)	19		+					**
84	Hydraenidae	<i>Hydraena</i> sp.	6			+				

1) “+”表示发生生境; “\*”表示灯诱采到少量; “\*\*”表示灯诱经常采到。

分别计算静水、溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河滨 6 种生境的多样性指数、均匀度指数、丰富度指数, 如图 2~图 4。就多样性指数而言, 静水>腐烂物>潮湿草地>潮湿石壁>溪流>河滨, 均匀度指数大小顺序为: 腐烂物>潮湿草地>静水>潮湿石壁>溪流, 丰富度指数为静水>溪流>潮湿石壁>潮湿草地>腐烂物>河滨。静水环境下, 水生甲虫的多样性指数和丰富度指数均远高于其他 5 种生境, 多样性指数为 3.333, 丰富度指数为 9.427。除静水外, 溪流是大鹏半岛水生甲虫丰富度指数次高的环境。对大鹏半岛水生甲虫的调查显示, 静水环境下采到的水生甲虫, 种类和数量均最多。其次是溪流环境, 种类和数量较多, 再次是潮湿石壁, 也能采到一定种类和数量的水生甲虫。腐烂物中采到的水生甲虫种类少、数量少, 丰富度指数低, 多样性指数和均匀度指数较高。潮湿草地中采到较少种类和数量的水生甲虫, 而在河滨中仅采到 1 种水生甲虫。

### 2.3 大鹏半岛水生甲虫的生境

对大鹏半岛水生甲虫生境的调查表明, 每一种甲虫都只生存于特定的水生(有水)环境, 静

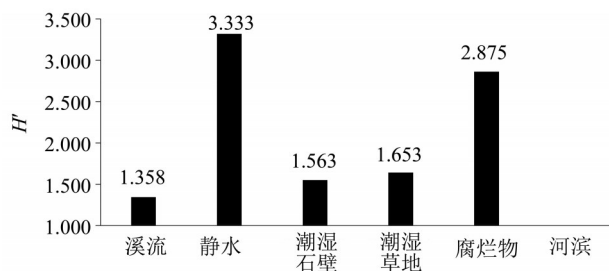


图 2 6 种生境的 Shannon-Wiener 多样性指数

Fig. 2 Shannon-Wiener diversity index of six habitats

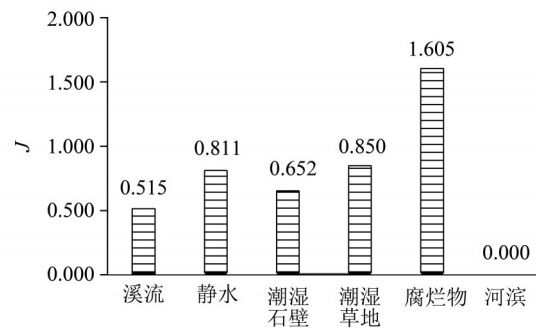


图 3 6 种生境的 Pielou 均匀度指数

Fig. 3 Pielou evenness index of six habitats

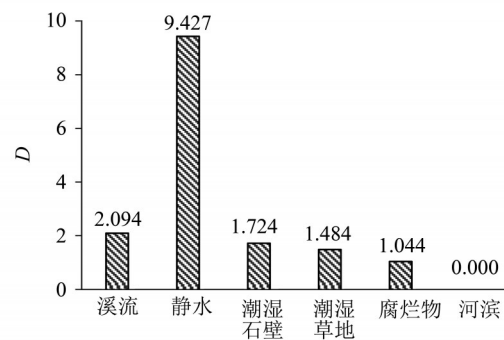


图 4 6 种生境的 Margalef 丰富度指数

Fig. 4 Margalef species richness index of six habitats

水、溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河滨 6 种生境可供水生甲虫栖息, 可采到水生甲虫。各种水生甲虫的生境见表 1。由表 1 可知, 多数种类的水生甲虫只生活于一种水环境下, 小部分种类水生甲虫可生存在两种及两种以上水环境中。

图 5 为各环境下水生甲虫种类比例。由图 5 可知, 大鹏半岛水生甲虫的生境选择共有 10 类, 4 类

是单一生境, 6类是两种及两种以上生境组合。10类生境分别是静水、溪流、潮湿石壁、腐烂物、静水和溪流、静水和潮湿草地、静水和潮湿石壁、静水和潮湿石壁和草地、潮湿草地和潮湿石壁、潮湿草地和河滨。在10类生境选择中, 有5类包含静水环境, 即有61种水生甲虫可在静水中生活, 其中49种仅能在静水这一种生境中栖息, 而另外12种水生甲虫除在静水栖息外, 还有其他栖息的生境, 如溪流或潮湿石壁或潮湿草地。由图5可知, 只生活于静水中的水生甲虫占58.4%, 只生活于溪水中的水生甲虫占9.5%, 只生活于潮湿石壁中的水生甲虫占8.3%, 只生活于腐烂物中的水生甲虫占7.1%。在大鹏半岛采集到的84种水生甲虫中, 70种水生甲虫只能在一种生境中生活, 另外14种水生甲虫可以在两种及两种以上生境中栖息, 在这14种中, 仅有2种水生甲虫的生境不包括静水。

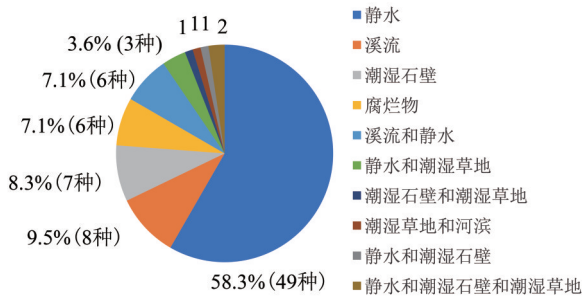


图5 各环境下大鹏半岛水生甲虫种类  
Fig. 5 Water beetles of Dapeng Peninsula, Shenzhen in different environments

因此就栖息于单一生境的水生甲虫而言, 静水环境下水生甲虫最丰富, 其次为流水环境(溪流), 再次是潮湿(有水)的岩壁, 最少的为腐生环境。对于可以栖息在两种及两种以上生境的水生甲虫而言, 多数种类会将静水环境作为其中一个栖息环境。

#### 2.4 大鹏半岛水生甲虫灯诱效果

灯诱采集水生甲虫种类比例见图6, 在84种水生甲虫中, 大约有70.2%的水生甲虫没有被灯诱采集到, 6%的种类可以通过灯诱经常采集, 通过灯诱只能采集少量的水生甲虫种类占23.8%。通过灯诱共采集水生甲虫25种, 其中5种可以经常采集, 20种可以灯诱采集少量。

#### 2.5 冗余分析

使用冗余分析(RDA)探究静水、溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河滨6种生境对水生

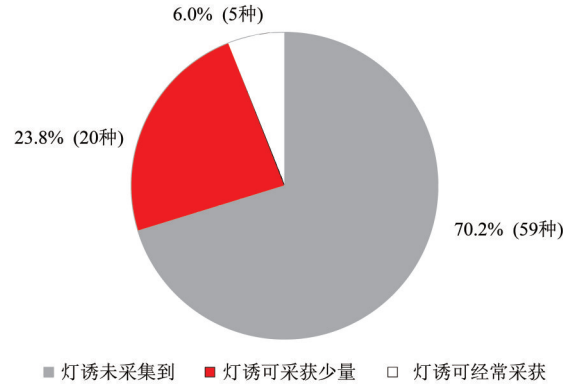
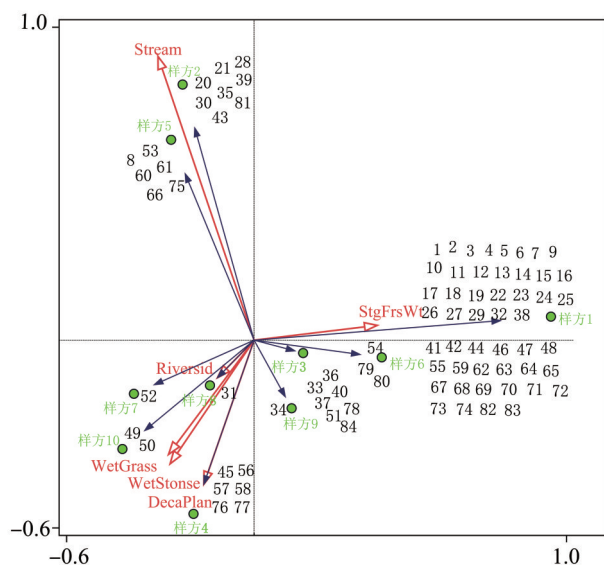


图6 灯诱采集水生甲虫的种类占比  
Fig. 6 The ratio of water beetles collected by light trap

甲虫群落组成和物种分布的影响。结果表明第1排序轴解释了31.9%的物种组成变化, 第2排序轴解释了10.42%的物种组成变化, 第3排序轴解释了9.53%的物种组成变化, 第4排序轴解释了6.85%的物种组成变化。4个排序轴累计解释了58.87%的物种组成变化。第1、2、3、4排序轴的特征值分别为0.3190, 0.1041, 0.0954, 0.0702。前2轴的特征值比第3排序轴和第4排序轴的特征值更高, 说明前2个排序轴在对物种组成变异的解释中起主导作用。

冗余分析得到物种-样方-环境排序图见图7。样方对应图中空心圆点, 物种向量由蓝色实心箭头的射线表示, 6种生境作为环境向量由红色空心箭头的射线表示。环境向量的长度表示样方物种的分布与该环境因子相关性的大小, 环境向量与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小。样方点之间的距离可以反映样方群落间的相似性, 距离越近, 反映群落相似性越大。将样方投影到环境向量上, 交叉点越靠近环境向量的正方向, 说明样方中该环境向量的数值越大。物种变量与环境变量的夹角反映两者相关性, 夹角越小越相关。

由图7可以看出, 在6种环境因子中, 静水与第1排序轴相关性最大, 呈强正相关, 而溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河滨均与第1排序轴呈负相关。绝大多数物种与静水具有较强的相关性, 表现为对静水环境有明显的趋向性, 都能在静水中栖息, 如样方1、6、9周围的物种。部分物种, 如聚集在样方2和样方5周围的物种, 与溪流环境具有较强的相关性, 这些物种都能在溪流中栖息, 其中部分种类在静水中也能生活。与河滨、潮湿草地、潮湿石壁具有较强相关性的物种种类少。



1~84为84种水生甲虫的编号,各数字对应的甲虫见表1。

StgFrsWt: 静水; Stream: 溪流; WetStonse: 潮湿石壁;

WetGrass: 潮湿草地; DecaPlan: 腐烂物; Riversid: 河滨。

样方1: 静水; 样方2: 溪流; 样方3: 潮湿石壁; 样方4: 腐烂物;  
样方5: 静水和溪流; 样方6: 静水和潮湿草地; 样方7: 潮湿草地  
和潮湿石壁; 样方8: 潮湿草地和河滨; 样方9: 静水和潮湿  
石壁; 样方10: 静水和潮湿石壁和潮湿草地。

图7 大鹏半岛不同生境中水生甲虫物种组成冗余分析

Fig. 7 RDA analysis of aquatic beetle species composition  
in different habitats of Dapeng Peninsula

### 3 结论与讨论

#### 3.1 水生甲虫定义及种类

本研究对大鹏半岛水生甲虫的调查表明,该地区牙甲科水生甲虫和龙虱科水生甲虫较为丰富,尤其是牙甲科,种类和数量都很多。

水生甲虫必须生活在水里吗?什么才是真水生甲虫?这个标准是很难确定的。有些学者把牙甲科 Hydrophilidae 整体作为水生甲虫<sup>[11]</sup>,但该科中的陆牙甲亚科 Sphaeridiinae 绝大部分种类都是在陆地十分潮湿的环境下生活,故有学者不把该亚科昆虫作为水生昆虫<sup>[12]</sup>。然而,该亚科有些种类显然生活于水生环境。

陷口牙甲属 *Coelostoma* 属于陆牙甲亚科,但该属种类生活于水坑、沼泽地的草根下面、流水旁边潮湿裸露岩石缝隙或草根下(夜间出来活动)、溪流边或河流中的潮湿裸露石头上。有的种类可以与牙甲亚科 Hydrophilinae 的乌牙甲属 *Oocylus*、阿牙甲属 *Agraphydrus*、苍白牙甲属 *Enochrus*、长节牙甲属 *Laccobius* 的某些种在潮湿

裸露岩石上或水坑中共同生活,故该属应该作为水生甲虫。在进行水生甲虫多样性分析时,应该根据实际生活环境分析,而不能根据类群进行分析。

深圳采集的腐生甲虫——脊折牙甲属 *Noteropagus*、点纹牙甲属 *Dactylosternum*、欧米牙甲属 *Omicrogiton* 生活于正在腐烂的芭蕉叶柄内,故该类群常常被作为陆生甲虫。然而,这几个属的昆虫均生活含水量很高,只要一剥就会有水流出的正在腐烂的芭蕉叶内。虽然该类牙甲不是生活于人们观念中的水环境,但也应该作为水生甲虫处理。

圆泥甲科 Georissidae 昆虫生活于河滨(多在流水缓慢而平坦)的泥沙中,属于“滨岸水生甲虫”(shore water beetle)<sup>[1]</sup>。该类昆虫个体微小,身体被泥,不活跃,很难发现。由于其每个生活阶段都是在河岸足够湿润的泥沙中度过,本文将其作为水生甲虫。

#### 3.2 水生甲虫生物多样性指数

大鹏半岛水生甲虫多样性指数较高,相比溪流、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物、河滨,在静水环境下,水生甲虫的多样性指数和丰富度指数最高。

生物多样性指数是研究生物多样性常用的方法,在昆虫多样性研究中也经常被采用<sup>[13-14]</sup>。在生物多样性研究中,多样性指数和均匀度指数虽然理论上两者应该具有正相关性,但实际研究结果有时并非如此。昆虫多样性指数研究在使用多样性指数时面临着很多问题,不同的人在同一地区、同时的研究,多样性可能会得出截然不同的结论。

昆虫是活动速度很快的动物,受到惊吓就会隐藏、逃脱。当设定了样方开始采样时,会有相当多的个体受到惊吓而逃离了采样区,故往往在研究样地中采获的个体只是该样地群落中的一部分。在昆虫多样性研究过程中,通过观察是无法确定种类和每一种的个体数量的,必须进行采集。因此当采获的样本量与实际数量存在明显差异时,所得到的多样性数据与实际的误差会很大。

昆虫有卵、幼虫、蛹(内生翅类)和成虫阶段,许多种类的昆虫,其每个阶段的生境是不同的。如真龙虱 *Cybister* 属,卵被产在植物组织中,幼虫和成虫生活在水体中,蛹在水边的泥沙中。又如沼甲科 Sciridae,幼虫生活于流水、静水或水体的泥沙中,蛹生活于水边的泥沙中,成虫陆生。

若要得到较为真实的个体数数据,应把各类生境均进行收集和仔细的筛查,将各个生活阶段的个体捕获。但实际采集过程中,对水体的植物、水底的泥沙等环境进行采集显然是不现实的。即使采集到了各个生活阶段的个体,对于卵、蛹和大多数幼虫都无法进行鉴定,此外,从卵、幼虫、蛹到成虫会出现大量死亡,其真实的多样性数据变化幅度很大。因此,基于标本数计算得出的多样性指数与真实的多样性指数相差很大,仅能在一定程度上代表该地区群落的物种组成情况,这种差异目前无法解决。故任何类群昆虫的多样性指数只能作为参考,不能作为评价昆虫多样性高低的唯一或主要的指标。故本文计算的多样性指数并不能完全说明大鹏半岛水生甲虫多样性的真实状况。

### 3.3 水生甲虫趋光性

本研究所获得的趋光性水甲虫(图5)比新加坡的研究结果偏低<sup>[2]</sup>。水生甲虫的趋光性与繁殖期有关,昆虫在繁殖时期趋光是多数趋光性昆虫的共性。进行灯光引诱时,是否是某些水生甲虫的繁殖期,这对趋光性水生甲虫种类数据的获得是有很大影响的。调查某些种类的水生甲虫是否趋光,也和进行灯诱时地点的选择有很大关系,如果引诱点远离流水,则无法获得流水生境的种类,如果引诱点周围浅水少,诱捕的种类就少。用灯引诱水生甲虫还受到电源的影响,本研究所采取的引诱点多在居住区边缘,山林深处仅仅依靠蓄电池为能源进行两次灯光引诱。而且进行灯诱时,有些种类处于非繁殖期或幼虫期,不能在灯下捕获。而且,灯诱效果与月亮关系很大,月光很强的夜晚,灯诱效果很差。故而,本研究用灯光没有诱捕到的种类不一定不具趋光性。因此,对于水生甲虫的趋光性研究,需要更长时间持续进行,才可获得更可靠的结论。

腐生性的 *Noteropagus* 属, *Dactylosternum* 属和 *Omicrogiton* 属的种类基本不趋光。这类甲虫生活在含水量特别高的腐烂物中,无论日间还是夜间都很少到腐烂物表面活动,故无法感知光线。在多次诱捕中,仅采到一只 *Dactylosternum hydrophiloides*, 这很可能是灯诱期间,该个体离开了寄生的腐烂物,感知到了光。这说明这种环境下生活的甲虫寻找配偶时,光对其影响不重要,其他因

素的影响反而较重要。光对这类甲虫迁移也无作用,灯诱对腐生水甲虫多样性研究意义不大。但生活在动物粪便中的陆牙甲属 *Sphaeridium* 和梭牙甲属 *Cercyon* 可在灯下经常捕获。说明光对这两类牙甲昆虫的繁殖和迁移有一定的作用。

### 3.4 水生甲虫对生境的选择

大鹏半岛有6种生境可以采集到水生甲虫,这6种生境构成大鹏半岛水生甲虫的10类可以栖息的环境,每类包括单一生境或两种及两种以上生境。每种水生甲虫仅适应其中一类栖息环境。在84种水生甲虫中,仅有14种水生甲虫可以在两种及两种以上生境中栖息,70种水生甲虫仅能在单一生境中栖息,这表明绝大多数的水生甲虫仅能适应一种环境。静水环境是水生甲虫的重要栖息环境,在84种水生甲虫中,有61种水生甲虫可以在静水中生活。能栖息在几种生境的14种水生甲虫中,也有12种能在静水中生活。大鹏半岛的水生甲虫与静水环境具有较强相关性,明显与静水环境具有较强相关性的种类最多,与溪流环境具有较强相关性的水生甲虫种类次多。与河滨、潮湿石壁、潮湿草地、腐烂物具有较强相关性的种类较少,仅少数种类能与几种生境都具有正相关性。

水生甲虫的后翅都很发达,说明每一种都能飞翔。从表1可见,能生活在静水环境的水生种类远远高于流水环境中的种类。即使是生活于流水环境下的种类,也都生活在水流流动缓慢的边缘水草、沙石下。因此通常情况下,水流不会将它们冲走。如果突然的激流或山洪将其冲走,其生存的几率并不高。因此,水生甲虫转移和区系变化主要是靠迁飞来完成。从水中采集的甲虫,如伊苏苍白牙甲 *Enochrus esuriens* (Walker)、伪条丽阳牙甲 *Helochares pallens* (MacLeay)、阿牙甲 *Agraphydrus* spp., 短褶龙虱 *Hydroglyphus* spp., 宽突龙虱 *Hydrovatus* spp., 一旦体表干燥就飞走了。说明水生甲虫耐旱性不强,这是环境改变导致其迁移的重要因素。

水生甲虫对生境类型的适应,以及不同种水生甲虫栖息地的差别是在长期的进化中所形成。水生甲虫至少发生过20次独立起源<sup>[4]</sup>,仅仅在多食亚目的水生甲虫中至少10次独立起源<sup>[15]</sup>。牙甲总科虽然祖先为陆生<sup>[16-18]</sup>,但多次从陆生进化到水生,再从水生进化到陆生的过程中,适应了不同

环境,体现在其分布环境特征中,在某些情况下可作为划分属的一个参考特征。大鹏半岛水生甲

虫中,牙甲总科的分布环境最复杂,恰恰证明了水生甲虫多次水陆环境适应进化结果。

#### 参考文献:

- [1] JÄCH M A, JI L. Water beetles of China (Vol. II) [M]. Wien: Zoologisch-Botanische Gesellschaft in Österreich and Wiener Coleopterologenverein, 1998.
- [2] HENDRICH L, BALKE M, YANG C M. Aquatic Coleoptera of Singapore: Species richness, ecology and conservation [J]. The Raffles Bulletin of Zoology, 2004, 52(1): 97-145.
- [3] BILTON D T, RIBERA I, SHORT A E Z. Water beetles as models in ecology and evolution [J]. Annual Review of Entomology, 2019, 64: 359-377.
- [4] JÄCH M A, BALKE M. Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater [J]. Hydrobiologia, 2008, 595: 419-442.
- [5] 贾凤龙. 应用水生捕食性昆虫控制蚊虫的研究展望 [C]//生物多样性研究进展. 北京:中国科学技术出版社, 1995:192-196.
- [6] KELLY B M, JOHANNES B. Diving beetles of the world [M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2016: 21-258.
- [7] 刘海军,郭强,张信坚,等. 深圳大鹏半岛自然保护区钝叶假蚊母树群落特征[J]. 生态科学, 2018, 37(2): 182-190.
- [8] SHANNON C E, WEAVER W J. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949:117.
- [9] PIELOU E C. Ecological diversity [M]. New York: John Willey and Sons, 1975.
- [10] MARGALEF R. Information theory in ecology [J]. General Systems, 1958, 3: 36-37.
- [11] YULE C M, YONG H S. Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region [M]. Selangor: Aura Productions, 2004, 555-609.
- [12] JÄCH M A, JI L. Water beetles of China (Vol. I) [M]. Wien: Zoologisch-Botanische Gesellschaft in Österreich and Wiener Coleopterologenverein, 1995.
- [13] 张立敏,李正跃,陈斌. 昆虫物种多样性格局评价方法研究进展[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008, 30 (Suppl 1): 130-134.
- [14] 贾凤龙,周柏权,游奕来,等. 冬种多花黑麦草与稻田六足动物多样性关系初探[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2012, 51(4): 87-91.
- [15] HUNT T, BERGSEN J, LEVKANICOVA Z, et al. A comprehensive phylogeny of beetles reveals the evolutionary origins of a super radiation [J]. Science, 2007, 318(5858): 1913-1916.
- [16] HANSEN M. Phylogeny and classification of the staphyliniform beetle families [J]. Biologiske Skrifter, 1997, 48: 1-339.
- [17] HANSEN M. Evolutionary trends in "staphyliniform" beetles (Coleoptera) [J]. Steenstrupia, 1997, 23: 43-86.
- [18] BERNHARD D, SCHMIDT C, KORTE A, et al. From terrestrial to aquatic habitats and back again—molecular insights into the evolution and phylogeny of Hydrophiloidea (Coleoptera) using multigene analyses [J]. Zoologica Scripta, 2006, 35(6): 597-606.

(责任编辑 张冰)