

# 香溪河水系大型底栖动物的群落结构及生态位<sup>\*</sup>

蒋万祥<sup>1,2</sup> 傅小城<sup>1</sup> 唐涛<sup>1</sup> 蔡庆华<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室 武汉 430072)  
(<sup>2</sup>枣庄学院生命科学系 枣庄 277160)

**摘要** 2005年7月~2006年6月对三峡水库湖北库区最大支流香溪河的大型底栖动物进行定量采集,并对所得数据进行了数理统计分析及生态位分析.结果表明,香溪河水系大型底栖动物物种丰富度在不同季节、不同支流间差异均显著;密度在各季节间差异显著.四节蜉、高翔蜉、锯形蜉、朝大蚊和扁蜉生态位较宽;*Tetropina* sp.、短尾石蝇、黑蝇生态位较窄.四节蜉、高翔蜉、锯形蜉、朝大蚊与其它分类单元生态位重叠值较大,黑蝇、短尾石蝇、直突摇蚊、*Tetropina* sp.与其它分类单元生态位重叠值较小.相对丰度和生态位宽度对生态位重叠值有重要影响.大型底栖动物主要通过资源位上的分布、生态位重叠值大小,以及摄食类群和生活型等的差异缓解竞争.图2表5参25

**关键词** 香溪河;大型底栖动物;生态位宽度;生态位重叠;群落结构

CLC Q958.885.11

## Community Structure and Niche of Macroinvertebrates in the Xiangxi River in Hubei, China<sup>\*</sup>

JIANG Wanxiang<sup>1,2</sup>, FU Xiaocheng<sup>1</sup>, TANG Tao<sup>1</sup> & CAI Qinghua<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)  
(<sup>2</sup>Department of Life Sciences, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, Shandong, China)

**Abstract** Macroinvertebrates were quantitatively investigated in the Xiangxi River, the largest tributary in Hubei portion of the Three-Gorge Reservoir, from July 2005 to June 2006. The data and niche were analyzed, and the results showed that species richness was significantly different among seasons and tributaries of the Xiangxi River, and density was significantly different among seasons. *Beatis* sp., *Epeorus* sp., *Serratella* sp., *Antocha* sp. and *Heptagenia* sp. had large niche breadths, while *Tetropina* sp., *Nemoura* sp. and *Simulium* sp. had narrow niche breadths. The total niche overlaps of *Beatis* sp., *Epeorus* sp., *Serratella* sp. and *Antocha* sp. were high, but those of *Simulium* sp., *Nemoura* sp., *Orthocladus* sp. and *Tetropina* sp. were low. The niche overlap was significantly impacted by niche breadth and relative abundance. Distribution, niche overlap, the functional feeding groups and habit/behavior groups were the main way for them to allay their competition. Fig 2, Tab 5, Ref 25

**Keywords** Xiangxi River; macroinvertebrate; niche breadth; niche overlap; community structure

CLC Q958.885.11

生态位(Niche)是生态学中一个非常重要的概念.在现代生态学中,生态位理论在种间关系、群落结构、种的多样性及群落进化等方面的研究获得了广泛的应用,成为解释自然群落中种间共存与竞争机制的基本理论之一,倍受国际生态学界的重视<sup>[1]</sup>.

生态位在我国的研究开始于20世纪80年代初,在理论探讨<sup>[2-4]</sup>及综述性评价<sup>[5]</sup>的基础上已经取得较大发展,成为生态学研究的一个热点.目前,群落物种生态位的研究资料在植物群落方面比较丰富,例如张国斌等对岭南自然保护区常绿阔叶林优势树种的生态位进行研究,发现生态位较大的物种生态相似性比例较大<sup>[6]</sup>;徐治国等对三江平原典型沼泽湿

地植物种的生态位进行研究,发现湿地植物的生态位特征能够较好地表征各植物的生态适应性和分布幅度<sup>[7]</sup>;颜廷芬等在环境因子对植物生态位宽度影响程度分析中发现生态位宽度及生态位重叠值反映了物种对生态环境资源的利用能力<sup>[8]</sup>;朴顺姬等对科尔沁沙地差巴嘎蒿种群生态位适宜度进行了分析<sup>[9]</sup>;黄世霞等对油菜田杂草生态位特征进行了研究<sup>[10]</sup>;张峰等对翅果油树群落优势类群生态位进行了分析<sup>[11]</sup>.在动物学方面研究相对薄弱<sup>[12]</sup>,如刘丽等对青海云杉天然林内小蠹种群空间生态位进行了研究<sup>[13]</sup>;殷宝法等对可可西里地区藏羚羊、藏原羚和藏野驴的营养生态位进行了研究<sup>[14]</sup>;葛宝明等对昆灵岛潮间带大型底栖动物生态位进行了分析<sup>[15]</sup>.

对于河流大型底栖无脊椎动物(以下简称大型底栖动物)的生态学研究多集中于物种组成、群落结构描述、生物多样性及其在水域生态学评价中的应用等,关于河流大型底栖动物生态位的报道很少,较大尺度(如水系、流域)的底栖动物生态位研究尚未见报道.王凤等在昆虫生态位研究的实际应用中发现,小范围取样可能不能完全反映群落内种群的实际生态位情况,在数据调查的时候应扩大调查样本区,

收稿日期: 2008-04-22 接受日期: 2008-09-12

\*国家自然科学基金重点项目(Nos. 30330140, 40671197)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(No. KZCX2-YW-427)和国家重点基础研究发展规划项目("973"项目, No. 2002CB412300)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 30330140, 40671197), the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-YW-427) and the National Key Basic R & D Program of China ("973" Program, No. 2002CB412300)

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: qhcai@ihb.ac.cn)

综合各样本区的情况集中加以分析<sup>[15]</sup>。鉴于此,本研究选取三峡水库湖北库区最大支流香溪河为对象,对整个水系大型底栖动物的群落结构和优势分类单元的生态位进行了研究,以期了解底栖动物时空分布特征及其对环境的适应性和对资源的利用特征。

## 1 研究方法

### 1.1 采样地概况

香溪河发源于神农架林区,干流全长94 km,流域面积3 099 km<sup>2</sup>,自然落差1 540 m,是三峡库区湖北省境内最大的一条河流,河口距离三峡大坝坝首约32 km<sup>[16]</sup>,拥有九冲河、古夫河、高岚河3条主要支流。

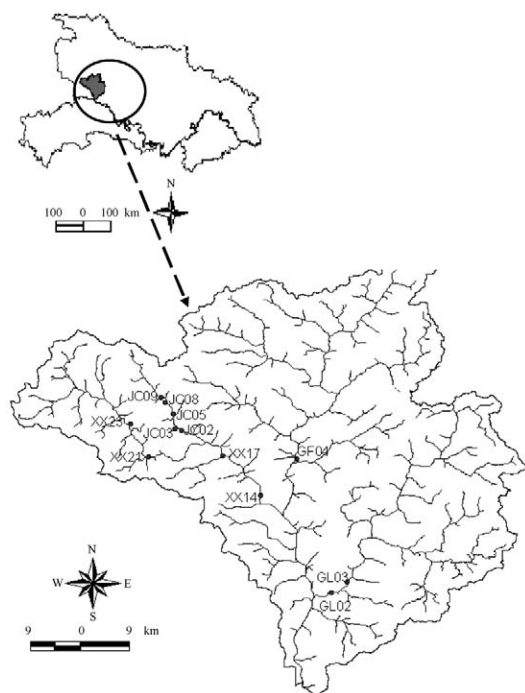


图1 样点分布图

Fig. 1 Location of the sampling sites

本课题组对香溪河生态系统的研究始于1999年,为便于统一比较,一直仍沿用1999年的样点名称。本研究共设样点12个(图1)。于香溪河选取4个样点,沿水流方向依次命名为XX23、XX21、XX17和XX14;九冲河选取5个样点,沿水流方向依次命名为JC09、JC08、JC05、JC03和JC02;高岚河选取2个样点,沿水流方向依次命名为GL03和GL02;古夫河选取一个样点,命名为GF04。

### 1.2 采样时间和方法

2005年7月~2006年6月,每月中旬用网径40目采样面积为0.09 m<sup>2</sup>的索伯网(Surber sampler)采集底栖动物。依据各样点生境特点,平均重复采集2~3次,混装到同一个塑料袋中。带回实验站后将底栖动物检出,放入标本瓶中,用4%~10%甲醛固定;在解剖镜下鉴定<sup>[17, 18]</sup>、计数。

### 1.3 数据分析

生态位宽度采用Shannon-Wiener指数<sup>[12]</sup>:  $B_i = -\sum_{j=1}^N (P_{ij} \ln P_{ij})$

生态位重叠采用Pianka的重叠指数公式<sup>[12]</sup>:

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N P_{ij}^2 \sum_{j=1}^N P_{kj}^2}}$$

式中,  $P_{ij}$  和  $P_{kj}$  为种  $i$  和  $k$  的个体数占  $j$  位点个体数的比例,用小数表示。  $B_i$  为生态位宽度,取值范围为0~ $N$ ,  $N$  为环境资源位点的总数,本研究中  $N$  为16 (4条支流的4个季节采样,每条支流的每个季节取样相当于一个环境资源位点),  $B_i$  值越大表示该物种生态位宽度越大。  $O_{ik}$  为生态位重叠值,其取值范围为0~1,  $O_{ik}$  值越大表示生态位重叠值越大。

本研究中方差分析、相关分析、回归分析使用的软件为SPSS11.5,非度量多维标度排序使用的软件为PC-ORD 4.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同资源位点物种丰富度和密度

对香溪河水系各资源位点大型底栖动物物种丰富度进行统计,结果见表1。方差分析(One-Way ANOVA)表明,香溪河、九冲河、高岚河大型底栖动物物种丰富度于各季节间总体差异显著( $P < 0.05$ ),古夫河各季节物种丰富度总体差异不显著( $P < 0.05$ );夏季、秋季和春季4条支流间物种丰富度差异显著( $P < 0.05$ ),冬季4条河间物种丰富度差异不显著( $P > 0.05$ )。

对香溪河水系各支流底栖动物物种丰富度的时间动态进行Tukey分析,结果表明,香溪河冬季物种丰富度与其它季节差异显著( $P < 0.05$ ),九冲河物种丰富度夏季与其它季节差异均显著( $P < 0.05$ ),秋季与冬季差异显著( $P < 0.05$ );高岚河物种丰富度表现为夏季与春季和冬季差异显著( $P < 0.05$ );古夫河物种丰富度于各季节间差异均不显著。

对香溪河水系底栖动物各季度物种丰富度的空间动态进行Tukey分析,结果表明,冬季表现为香溪河同高岚河和古夫河差异显著( $P < 0.05$ ),九冲河同高岚河和古夫河差异显著( $P < 0.05$ );夏季仅表现为九冲河和高岚河差异显著( $P < 0.05$ );春季各支流间物种丰富度差异均不显著( $P > 0.05$ );秋季表现为九冲河同高岚河和古夫河差异显著( $P < 0.05$ )。

表1 物种丰富度的时空比较

Table 1 Spatio-temporal comparison of specie richness

| 河流<br>River        | 夏季<br>Summer | 秋季<br>Autumn | 冬季<br>Winter | 春季<br>Spring | $P$   |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| 香溪河 Xiangxi River  | 17±7         | 23±7         | 35±6         | 24±11        | 0.000 |
| 九冲河 Jiuchong River | 20±7         | 29±10        | 30±8         | 31±10        | 0.000 |
| 高岚河 Gaolan River   | 10±2         | 16±5         | 22±7         | 20±5         | 0.003 |
| 古夫河 Gufu River     | 19±3         | 13±10        | 19±8         | 24±3         | 0.296 |
| $P$                | 0.000        | 0.021        | 0.075        | 0.007        |       |

对香溪河水系各资源位点大型底栖动物密度进行统计,结果见表2。方差分析表明,香溪河、九冲河大型底栖动物密度大小具有明显的季节性波动( $P < 0.05$ ),高岚河和古夫河大型底栖动物密度无显著的季节性差异( $P > 0.05$ );各季节不同支流间密度差异均不显著( $P > 0.05$ )。

对香溪河水系各支流大型底栖动物密度时间动态进行Tukey分析,结果表明,香溪河冬季与夏季底栖动物密度差异显著( $P < 0.05$ );九冲河密度表现为冬季明显高于其它季节( $P < 0.05$ ),春季、夏季和秋季间密度无显著差异( $P > 0.05$ );高岚河和古夫河密度于各季节间差异均不显著( $P > 0.05$ )。

表2 密度的时空比较

Table 2 Spatio-temporal comparison of density

| 河流<br>River           | 夏季<br>Summer | 秋季<br>Autumn | 冬季<br>Winter | 春季<br>Spring | P     |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| 香溪河<br>Xiangxi River  | 795±1076     | 2276±2789    | 5400±5192    | 2788±4543    | 0.039 |
| 九冲河<br>Jiuchong River | 1404±2100    | 1960±2066    | 4571±1998    | 2810±1238    | 0.000 |
| 高岚河<br>Gaolan River   | 1022±1441    | 1582±1490    | 9402±14171   | 1381±1238    | 0.162 |
| 古夫河<br>Gufu River     | 2146±3376    | 4181±6532    | 2511±2206    | 1646±585     | 0.864 |
| P                     | 0.656        | 0.582        | 0.395        | 0.708        |       |

对香溪河水系大型底栖动物密度空间动态进行Tukey分析, 结果表明, 各季度香溪河水系各支流大型底栖动物密度差异均不显著( $P>0.05$ )。气候、水文学的差异是引起上述生物参数变化的主要因子, 如夏季雨水充沛, 是香溪河降雨量最多的季节, 占全年的41%; 春、秋、冬季分别占28%、26%和5%。此外, 底栖动物本身也存在季节性的世代交替现象, 如大部分摇蚊都集中在春末秋初这段时间内羽化。

## 2.2 主要分类单元及其生态位

优势类群主导底栖动物分布格局<sup>[19]</sup>。本研究选取香溪河水系相对丰度大于1%的分类单元进行生态位研究, 结果(表3)表明, 四节蜉(*Baetis* sp.)、高翔蜉(*Epeorus* sp.)、锯形蜉(*Serratella* sp.)、朝大蚊(*Antocha* sp.)和扁蜉(*Heptagenia* sp.)生态位较宽; *Tetropina* sp.、短尾石蝇(*Nemoura* sp.)、黑蝇(*Simulium* sp.)生态位相对较窄。生态位宽度可以反映生物对环境的适应性及利用环境资源的广泛性<sup>[20]</sup>。优势类群是群落中对环境适用性比较强的类群, 本研究列入分析的分类单元是整个水系的优势分类单元, 对环境适应性相对较强, 因此生态位宽度相对较高(均大于1)。襁翅目两个分类单元短尾石蝇(*Nemoura* sp.)和*Tetropina* sp.生态位宽度较低, 主要是因为襁翅目昆虫对栖境因子要求较高, 耐污值低, 仅分布于九冲河和香溪河; 黑蝇(*Simulium* sp.)主要靠过滤水体中细有机颗粒为生, 生存受流速及水体中营养物等因子的限制, 加之羽化时间相对集中, 在很多月份采集不到, 致使其生态位宽度

也较低。

生态位宽度不仅反映物种的栖息生境类型的多样性, 即物种占有空间资源的多少, 而且也反映了种群在生境中的分布是否均匀, 即分布型<sup>[21]</sup>。表明在整个香溪河水系中, 四节蜉、高翔蜉、锯形蜉和朝大蚊特化程度较小, 分布相对均匀; 而短尾石蝇、*Tetropina* sp. 和黑蝇特化程度相对较大, 分布不均匀。这与上述分析的结论是一致的。

## 2.3 生态位重叠值

生态位重叠(Niche overlap)是最重要的生态位测度(Niche metrics), 在种群生态学和群落生态学研究占有重要地位<sup>[22]</sup>。当两个物种利用同一资源或者共同占有某一资源时, 就会出现生态位重叠现象。表4列出了上述优势分类单元间生态位重叠矩阵及每个分类单元同其它分类单元的总生态位重叠值。刘新民等认为生态位重叠反映各生物类群在资源利用方面的交叉情况, 各生物类群间的生态位重叠值越大, 所利用的资源种类和对资源的利用方式越相似<sup>[23]</sup>。对主要分类单元间生态位重叠进行了分析, 结果表明, 四节蜉(*Baetis* sp.)、高翔蜉(*Epeorus* sp.)、朝大蚊(*Antocha* sp.)、锯形蜉(*Serratella* sp.)同其它分类单元间在资源利用上具有较大的相似性; 其中, 与四节蜉生态位重叠值较大(>0.3)的分类单元按重叠值大小依次为: 高翔蜉、朝大蚊、细蜉、扁蜉、锯形蜉、侧枝纹石蛾、舌石蛾和真凯氏摇蚊; 与高翔蜉生态位重叠值较大的物种按重叠值大小依次为: 四节蜉、舌石蛾、小蜉、细蜉、朝大蚊、锯形蜉和扁蜉; 与朝大蚊生态位重叠值较大的物种按重叠值大小依次为: 真凯氏摇蚊、锯形蜉、四节蜉、侧枝纹石蛾、三角涡虫、舌石蛾、高翔蜉; 与锯形蜉生态位重叠值较大的物种按重叠值从大到小依次为: 朝大蚊、四节蜉、侧枝纹石蛾、真凯氏摇蚊、扁蜉、三角涡虫、高翔蜉。黑蝇(*Simulium* sp.)、短尾石蝇(*Nemoura* sp.)、直突摇蚊(*Orthocladius* sp.)和*Tetropina* sp.与其它主要分类单元在资源利用方面存在较大差异; 其中黑蝇和短尾石蝇与其它分类单元间生态位重叠值均较小(均小于0.2), 直突摇蚊仅与真凯

表3 香溪河水系大型底栖动物主要分类单元功能摄食类群、生活型、相对丰度及生态位宽度

Table 3 Functional feeding designations, habit/behavior groups, relative abundance (%) and niche breadth of the main taxa in the Xiangxi River

| 物种<br>Species | 编码<br>Code                | 摄食类群<br>Functional feeding groups | 生活型<br>Habit/behavior groups | 相对丰度<br>Relative abundance | 生态位宽度<br>Niche breadth |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 四节蜉           | <i>Baetis</i> sp.         | SP1 收集者 GC                        | 游泳者 Sw                       | 32.20                      | 3.94                   |
| 高翔蜉           | <i>Epeorus</i> sp.        | SP2 刮食者 SC                        | 粘附者 Cn                       | 7.70                       | 4.14                   |
| 短尾石蝇          | <i>Nemoura</i> sp.        | SP3 捕食者 PR                        | 爬行者 Sp                       | 5.37                       | 2.41                   |
| 侧枝纹石蛾         | <i>Ceratopsyche</i> sp.   | SP4 滤食者 FC                        | 粘附者 Cn                       | 4.48                       | 3.43                   |
| 黑蝇            | <i>Simulium</i> sp.       | SP5 滤食者 FC                        | 粘附者 Cn                       | 3.56                       | 2.00                   |
| 直突摇蚊          | <i>Orthocladius</i> sp.   | SP6 收集者 GC                        | 穴居者 Bu                       | 3.55                       | 2.87                   |
| 锯形蜉           | <i>Serratella</i> sp.     | SP7 收集者 GC                        | 粘附者 Cn                       | 3.45                       | 4.07                   |
| 扁蜉            | <i>Heptagenia</i> sp.     | SP8 刮食者 SC                        | 粘附者 Cn                       | 2.93                       | 3.94                   |
| 朝大蚊           | <i>Antocha</i> sp.        | SP9 收集者 GC                        | 穴居者 Bu                       | 2.70                       | 4.15                   |
| 狭溪泥甲          | <i>Stenelmis</i> sp.      | SP10 刮食者 SC                       | 粘附者 Cn                       | 2.38                       | 3.57                   |
| 小蜉            | <i>Ephemerella</i> sp.    | SP11 收集者 GC                       | 粘附者 Cn                       | 2.14                       | 3.71                   |
| 舌石蛾           | <i>Glossosoma</i> sp.     | SP12 刮食者 SC                       | 粘附者 Cn                       | 2.09                       | 3.74                   |
| 三角涡虫          | <i>Dugesia</i> sp.        | SP13 捕食者 PR                       | 滑行者 Sk                       | 2.00                       | 3.68                   |
| 鞘翅目一种         | <i>Macronychus</i> sp.    | SP14 刮食者 SC                       | 粘附者 Cn                       | 1.92                       | 3.41                   |
| 细蜉            | <i>Caenis</i> sp.         | SP15 收集者 GC                       | 爬行者 Sp                       | 1.45                       | 3.26                   |
| 真凯氏摇蚊         | <i>Eukiefferiella</i> sp. | SP16 收集者 GC                       | 爬行者 Sp                       | 1.23                       | 3.33                   |
| 襁翅目一种         | <i>Tetropina</i> sp.      | SP17 捕食者 PR                       | 粘附者 Cn                       | 1.03                       | 1.42                   |

GC: Gather-collector; SC: Scraper; FC: Filter-collector; PR: Predator. Sw: Swimmer; Cn: Clinger; Cb: Climber; Bu: Burrower; Sp: Sprawler; Sk: Skater

表4 主要分类单元间生态位重叠值及其与其它分类单元生态位重叠值之和  
Table 4 Niche overlaps among the main taxa and total overlaps with others

|      | SP1 | SP2         | SP3  | SP4         | SP5  | SP6  | SP7         | SP8         | SP9         | SP10 | SP11        | SP12        | SP13        | SP14 | SP15        | SP16        | SP17        | 总重叠值<br>Total overlap |
|------|-----|-------------|------|-------------|------|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| SP1  |     | <u>0.56</u> | 0.08 | <u>0.40</u> | 0.10 | 0.20 | <u>0.41</u> | <u>0.42</u> | <u>0.45</u> | 0.15 | 0.25        | <u>0.37</u> | 0.20        | 0.21 | <u>0.45</u> | <u>0.37</u> | 0.08        | 4.70                  |
| SP2  |     |             | 0.12 | 0.21        | 0.11 | 0.06 | <u>0.31</u> | <u>0.31</u> | <u>0.32</u> | 0.25 | <u>0.39</u> | <u>0.47</u> | 0.20        | 0.25 | <u>0.34</u> | 0.23        | 0.14        | 3.71                  |
| SP3  |     |             |      | 0.01        | 0.00 | 0.00 | 0.12        | 0.12        | 0.03        | 0.07 | 0.05        | 0.07        | 0.02        | 0.13 | 0.13        | 0.01        | 0.06        | 0.96                  |
| SP4  |     |             |      |             | 0.03 | 0.05 | <u>0.39</u> | 0.18        | <u>0.41</u> | 0.03 | 0.05        | 0.15        | 0.16        | 0.08 | 0.10        | 0.17        | 0.04        | 2.05                  |
| SP5  |     |             |      |             |      | 0.02 | 0.04        | 0.02        | 0.10        | 0.04 | 0.05        | 0.10        | 0.05        | 0.01 | 0.03        | 0.11        | 0.01        | 0.71                  |
| SP6  |     |             |      |             |      |      | 0.19        | 0.05        | 0.18        | 0.02 | 0.01        | 0.05        | 0.19        | 0.02 | 0.04        | <u>0.39</u> | 0.00        | 1.28                  |
| SP7  |     |             |      |             |      |      |             | <u>0.34</u> | <u>0.49</u> | 0.12 | 0.17        | 0.29        | <u>0.34</u> | 0.15 | 0.26        | <u>0.39</u> | 0.06        | 3.66                  |
| SP8  |     |             |      |             |      |      |             |             | 0.25        | 0.16 | <u>0.32</u> | 0.23        | 0.17        | 0.14 | 0.24        | 0.18        | 0.10        | 2.80                  |
| SP9  |     |             |      |             |      |      |             |             |             | 0.09 | 0.12        | <u>0.39</u> | <u>0.41</u> | 0.10 | 0.26        | <u>0.51</u> | 0.03        | 3.69                  |
| SP10 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      | 0.19        | 0.14        | 0.08        | 0.09 | 0.11        | 0.07        | 0.11        | 1.57                  |
| SP11 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             | 0.17        | 0.09        | 0.20 | 0.15        | 0.07        | 0.21        | 2.25                  |
| SP12 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             | 0.20        | 0.12 | 0.27        | 0.21        | 0.08        | 2.93                  |
| SP13 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             |             | 0.11 | 0.11        | <u>0.30</u> | 0.13        | 2.55                  |
| SP14 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             |             |      | <u>0.33</u> | 0.06        | <u>0.39</u> | 2.17                  |
| SP15 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             |             |      |             | 0.15        | 0.08        | 2.61                  |
| SP16 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             |             |      |             |             | 0.02        | 2.86                  |
| SP17 |     |             |      |             |      |      |             |             |             |      |             |             |             |      |             |             |             | 1.46                  |

表中带下划线的数字表示生态位重叠值不小于0.3 The underlines stand for the overlaps not less than 0.3

氏摇蚊重叠值较大(0.39), 与其它分类单元生态位重叠值均不大于0.2, *Tetropina* sp. 仅与*Macronychus* sp.生态位重叠值较大(0.39), 除小蜉外与其它分类单元间生态位重叠值均小于0.2.

对相对丰度、生态位宽度和生态位重叠间的相关性进行分析, 结果(表5)表明, 各分类单元总生态位重叠同相对丰度和生态位宽度分别在0.05和0.01水平上相关显著; 回归分析表明, 生态位重叠同相对丰度和生态位宽度间关系式为: 生态位重叠 =  $-1.068 + 0.056 \times \text{相对丰度} + 0.975 \times \text{生态位宽度}$ ; 生态位宽度同相对丰度相关性不显著( $P > 0.05$ ). 上述分析表明, 相对丰度和生态位宽度对生态位重叠值有重要影响; 生态位宽度大小与相对丰度大小间没有明显的相关性.

表5 相对丰度、生态位宽度和生态位重叠间的相关分析  
Table 5 Correlations among relative abundance, niche breadth and total niche overlaps

|                            | 相对丰度<br>Relative abundance | 生态位宽度<br>Niche breadth | 总生态位重叠值<br>Total niche overlaps |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 相对丰度<br>Relative abundance | 1                          | 0.227 (0.382)          | 0.530 (0.029*)                  |
| 生态位宽度<br>Niche breadth     |                            | 1                      | 0.780 (0.000**)                 |

\*表示在0.05水平上相关显著, \*\*表示在0.01水平上相关显著. 括号中数字表示显著水平(P值)  
\*Correlation is significant at 0.05 level (2-tailed); \*\*Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed). The numbers in the brackets are Sig. level (P)

2.4 非度量多维标度排序

非度量多维标度排序(Non-metric multidimensional scaling, NMS)被认为是最好的技术之一, 它用于分析不同样方群落结构的距离关系(即相似性)十分适宜, 直观地将群落标于多维坐标中, 特别适合连续梯度变化的群落关系分析<sup>[24]</sup>. 物

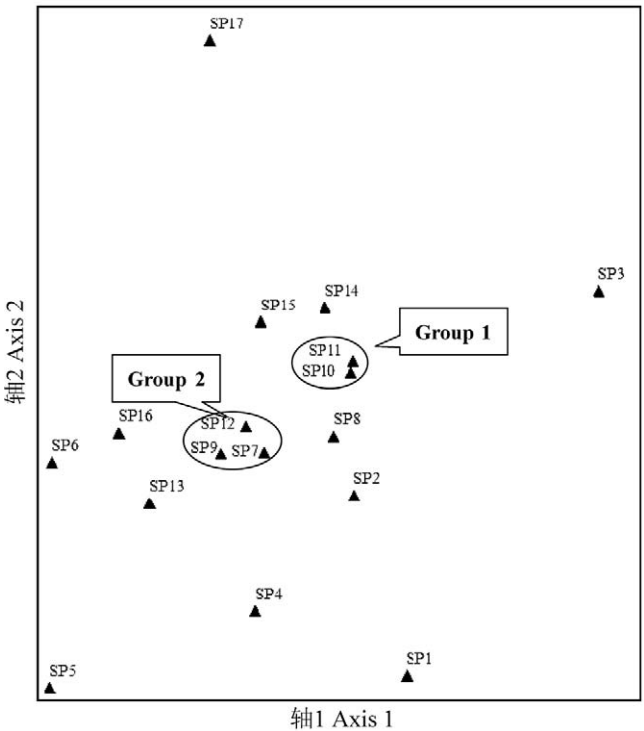


图2 优势分类单元非度量多维标度排序二维分析图  
(二维解析压力值为11.554)  
Fig. 2 2-dimensional NMS ordinal configuration of the dominant taxa (Final stress for 2-dimensional solution=11.554)  
种非度量多维排序的结构是物种分布、数量的反映, 且排序的结构与生态位宽度和生态位重叠有关<sup>[12]</sup>. 对上述优势分类单元进行非度量多维标度排序, 结果(图2)表明, 密度相

对丰度较大的分类单元如四节蜉(SP1)、高翔蜉(SP2)、短尾石蝇(SP3)、侧枝纹石蛾(SP4)、黑蝇(SP5)、直突摇蚊(SP6)等彼此之间距离较大,表明其在各资源位上分布的差异性较大,缓解了物种间对资源的竞争;在NMS图上分布较近的分类单元如Group1中的狭溪泥甲(SP10)和小蜉(SP11),其相对丰度较小,且它们之间生态位重叠值较小,因此虽然其在各资源位分布情况较为相似,但对生态因子需求的差异性无疑对其共存是有利的;还有一部分分类单元在NMS分布图上距离较近,且彼此间生态位重叠值较高,如Group 2中的锯形蜉(SP7)、朝大蚊(SP9)和舌石蛾(SP12),根据Barbour等对功能摄食类群(Functional feeding groups)和生活型(Habit/behavior groups)的划分<sup>[27]</sup>可知,其所属功能摄食类群分别为收集者(Gather-collector)、收集者(Gather-collector)和刮食者(Scraper),所属生活型分别为粘附者(Clinger)、穴居者(Burrower)和粘附者(Clinger),摄食方式和生活型的不同是缓解这些分类单元间竞争的主要因素(表3)。

### 3 结论

3.1 香溪河、九冲河和高岚河大型底栖动物物种丰度在不同季节间差异显著,春季、夏季和秋季4条支流间物种丰度差异显著;香溪河、九冲河大型底栖动物密度在不同季节间差异显著,各季节4条支流间大型底栖动物密度差异均不显著。

3.2 四节蜉、高翔蜉、锯形蜉、朝大蚊和扁蜉生态位宽度较大; *Tetropina* sp.、短尾石蝇、黑蝇生态位宽度相对较小。

3.3 四节蜉、高翔蜉、锯形蜉、朝大蚊与其它分类单元生态位重叠值较大,黑蝇、短尾石蝇、直突摇蚊、*Tetropina* sp.与其它分类单元生态位重叠值较小。

3.4 相关分析表明,各分类单元在各资源位的相对丰度和生态位宽度对其生态位重叠值有重要影响;相对丰度和生态位宽度间无显著相关性。

3.5 非度量多维标度排序表明,大型底栖动物主要通过资源位上的分布、生态位重叠值大小及功能摄食类群和生活型等的差异缓解竞争。

### References

- Zu YG (祖元刚) ed in chief. No-linear Ecological Modelling. Beijing, China (北京): Science Press, 2004
- Wang G (王刚), Zhao SL (赵松岭), Zhang PY (张鹏云). On the definition of niche and the improved formula for measuring niche overlap. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1984, **4** (2): 119~127
- Jiang ZG (蒋志刚). Study on the cut way of ecology niche and its application in altiplano pika. *Acta Theriol Sin* (兽类学报), 1987, **7**: 20~27
- Ma SJ (马世骏). Perspective of Contemporary Ecology. Beijing China (北京): Beijing: Science Press, 1990
- Shang YC (尚玉昌). The niche theory in modern ecology. *Adv Ecol* (生态学进展), 1988, **5** (2): 77~84
- Zhang GB (张国斌), Li XQ (李秀芹). Study on the niche of dominant species in evergreen broadleaved forest in Linnan Nature Reserve. *J Nanjing For Univ* (南京林业大学学报), 2007, **31** (4): 46~50
- Xu ZG (徐治国), He Y (何岩), Yan BX (闫百兴), Song CC (宋长春). Niche characteristics of typical marsh wetland plant populations in Sanjiang Plain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2007, **18** (4): 783~787
- Yan TF (颜廷芬), Cong PT (丛沛桐), Liu XH (刘兴华), Zu YG (祖元刚). Effect analysis of environmental factors on plant niche breadth. *J Northeast For Univ* (东北林业大学学报), 1999, **27** (1): 35~38
- Piao SJ (朴顺姬), Wang ZJ (王振杰), Yan XL (颜秀灵), Zhang BC (张斌才), Yin H (尹航). Analysis of niche fitness of artemisia halodendron polulation on Horqin sandy land. *J Plant Ecol* (植物生态学报), 2006, **30** (4): 593~600
- Huang SX (黄世霞), Wang ZG (王在贵), Kai W (开薇). Study on distribution and niche of weeds in rape fields in Hefei City. *Anhui Agric Sci Bull* (安徽农学通报), 2007, **13** (16): 76~78
- Zhang F (张峰), Shangguan TL (上官铁梁). Niche characteristics of dominant populations in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi. *Acta Bot Bor-occid Sin* (西北植物学报), 2004, **24** (1): 70~74
- Ge BM (葛宝明), Bao YX (鲍毅新), Zheng X (郑祥), Cheng HY (程宏毅). The marobenthic community and niche analysis of creeks in diked tidal flat at Lingkun Island, Wenzhou Bay. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, **25** (11): 3037~3043
- Li L (刘丽), Yan W (阎伟), Luo YQ (骆有庆), Wu J (吴坚), Li ZY (李镇宇), Ma JH (马建海). Spatial niches of bark beetle population in *Picea crassifolia* natural forests. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), 2007, **29** (5): 165~169
- Yin BF (殷宝法), Huai HY (淮虎银), Zhang YL (张镭锂), Zhou L (周乐), Wei WH (魏万红). Trophic niches of *Pantholops hodgsoni*, *Procapra picticaudata* and *Equus kiang* in Kekexili region. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2007, **18** (4): 766~770
- Wang F (王凤), Jun RT (鞠瑞亭), Li YZ (李跃忠), Du YZ (杜予州). Niche concept and its application in insect ecology. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2006, **25** (10): 1280~1284
- Huang ZL (黄真理) ed in chief. *Water Quality Prediction and Water Environmental Carrying Capacity Calculation for Three Gorges Reservoir*. Beijing, China (北京): China Waterpower Press, 2006
- Epler JH. Identification Manual for the Larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. America: EPA Grant # X984170~97, 2001
- Morse JC, Yang LF (杨莲芳), Tian LX (田立新). *Aquatic Insect of China Useful for Monitoring Water Quatity*. Nanjing, China (南京): HoHai University Press, 1994
- Xie ZC (谢志才), Ma K (马凯), Ye L (叶麟), Chen J (陈静), Cai QH (蔡庆华). Structure and spatial distributional pattern of microzoobenthos in Bao'an Lake. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), 2007, **31** (2): 174~183
- Ma ZR (马宗仁), Yang CS (阳承胜), Chang XQ (常向前), Guo H (郭辉). Temporal niche and dynamics of main weed species in turf-weed community in golf courses. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2004, **24** (10): 2230~2237
- Wang YN (王艳妮), Zhou CQ (周材权), Zhang J (张君), Zhou YB (周有兵), Hu JC (胡锦鑫), Xiong YW (熊耀武). Spatial niche of the rodents in summer in Tangjiahe Nature Reserve. *Acta Theriol Sin* (兽类学报), 2005, **25** (1): 39~44
- Wang G (王刚). On the measurement of niche overlap in plant communities. *Acta Phytoecol et Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 1984, **8** (4): 329~335
- Liu XM (刘新民), Chen HY (陈海燕), Wu N (乌宁), Guo L (郭砺). Study on insect community niche under different desertification vntrolling approaches in Tengger Desert ecosystem. *J Desert Res* (中国沙漠), 2002, **22** (6): 566~570
- Li HM (历红梅), Cai LZ (蔡立哲), Lin LZ (林丽珠), Yao JB (姚建彬). Using hierarchial clustering and No-metric MDS to explore spatio-temporal variation of benthic community at intertidal in Shenzhen Bay. *J Xiamen Univ* (厦门大学学报), 2001, **40** (3): 735~740
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB. *Rapid Bioassment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. 2nd ed. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999