

浙西山区水库小流域放逸短沟蜷的空间格局*

薛俊增** 吴惠仙¹ 宋立飞

(杭州师范学院生物系 杭州 310036)

(¹浙江大学生命科学院 杭州 310012)

摘要 放逸短沟蜷(*Semisulcospira libertina*)是浙西山区水库小流域底栖螺类的优势种,定量采集不同环境条件的9个样点的标本,分别采用 Taylor 幂法则、Iwao 聚集格局回归分析法及 Morisita 指数公式计算和统计分析,结果显示,所调查流域的放逸短沟蜷种群密度差异极显著,其种群空间格局理论上属于聚集型负二项分布,主要是由环境污染和流域底质所致. 图2 表3 参10

关键词 放逸短沟蜷; 空间格局; 流域

CLC Q959.212.08

SPATIAL PATTERN OF *SEMISULCOSPIRA LIBERTINA* POPULATION IN SMALL WATERSHED IN WESTERN ZHEJIANG *

XUE Junzeng**, WU Huixian¹ & SONG Lifei

(Department of Biology, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036, China)

(¹College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract *Semisulcospira libertina* is a dominant superior species of snails dwelling in the reservoir basin in mountains in western Zhejiang. Specimens were quantitatively collected from 9 sampling sites in different environmental conditions, and they were calculated and analyzed by Taylor's Power Law, Iwao's Patch Regression and Morisita Index, respectively. The result showed that the difference of *S. libertina* population densities was quite significant in river basin. The spatial layout of population theoretically belonged to clumpy and negative binomial distribution, which was mainly caused by environmental pollution and features of the river basin's bed. Fig 2, Tab 3, Ref 10

Keywords *Semisulcospira libertina*; spatial pattern; watershed

CLC Q959.212.08

浙西山区库容量约 $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 的小型水库较多,山区居民多沿水库小流域居住,他们的生产及生活影响着流域水体的质量及水生生物的种类组成和分布.为了探讨人类活动对小流域生态环境的影响,我们对浙西山区水库小流域底栖螺类的生态特征进行了研究.底栖螺类以其活动范围较小,栖息地相对固定,生活周期较长,成为理想的环境指示生物^[1~2],因此研究底栖螺类的分布,可为小流域的环境保护和合理的开发利用提供理论基础.有关学者对水生底栖动物的研究较多^[3~5],但对山区水库小流域底栖螺类的研究尚未有报道.放逸短沟蜷(*Semisulcospira libertina*)分布较广,是浙西山区水库小流域的优势种,在整个流域都有分布,对污染又有灵敏的反应^[1],故以放逸短沟蜷为研究对象,分析其空间分布格局,可有效地研究流域水体状况.

1 材料与方 法

采样流域全长约 35 km,源头为公曹水库,库容约 $1.6 \times$

10^7 m^3 ,上游为小江溪,该段河流沿岸是大片的农田和村庄,中游为寿昌江,上段有工矿废水排出,下段沿岸为居民聚居的城镇,生活污水及废物排放较多,流域下游汇入新安江.本次实验于 2000 年春季进行,共设 9 个采样点(图 1),采集到底栖螺类 6 种,分别为田螺科 2 种,肋蜷科 3 种,跑螺科 1 种.其中的优势种是属于肋蜷科的放逸短沟蜷,在 9 个采样点中都有出现.

我们采用 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的木制样方框采样,随机在每个采样点重复采集 4 次,标本放入 70% 酒精中固定保存,回实验室后鉴定种类,然后统计每个样方内的放逸短沟蜷数量并测量壳高,计算生物量和密度,生物量以湿重计.

计算每个样点的放逸短沟蜷平均密度(\bar{x})和方差(s^2),采用 Taylor 幂法则和 Iwao 聚集格局回归分析放逸短沟蜷的空间分布格局. Taylor 幂法则中方差(s^2)和平均数(\bar{x})的关系由方程 $\ln s^2 = \ln a + b \ln \bar{x}$ 建立, a, b 为待估参数,其中 a 表示抽样因数, b 表示种的聚集特征指数,当 \bar{x} 等于 1 时,就能得到 a 值,进而再求 b 值. Iwao 聚集格局回归分析法平均拥挤度(m^*)和平均数(\bar{x})的关系由下式确立: $m^* = \alpha + \beta \bar{x}$,其中 α 是 m^* 轴上的截距, β 是回归斜率,式中 $m^* = [\bar{x} + (s^2/\bar{x}) - 1]$, α 与 β 可

收稿日期: 2002-02-08 接受日期: 2002-03-19

* 杭州市新世纪"131"优秀中青年人才基金项目 Supported by the Foundation of New Century "131" Excellent Middle age and Youth Talented Persons of Hangzhou, China

** 通讯作者 Corresponding auhtor

用牛顿最小二乘法求得^[6]. 两回归方程参数 $b(\beta)$ 用来判断放逸短沟蜷的分布型: $b(\beta) < 1$ 时为均匀分布; $b(\beta) = 1$ 时为随机分布; $b(\beta) > 1$ 时为聚集分布^[7].

利用 Morisita 指数公式^[7] 计算放逸短沟蜷种群个体的扩散指数:

$$I = N \left[\sum_{i=1}^N n_i(n_i - 1) / X(X - 1) \right]$$

$$F_0 = [I(\sum n_i - 1) + N - \sum n_i] / (N - 1)$$

式中 I 为 Morisita 指数, N 为样方数, n_i 为第 i 个样方的放逸短沟蜷数量, X 为全部样方的放逸短沟蜷总数. 当 $I = 1$ 时为随机分布 (Poisson), $I < 1$ 时为均匀分布, $I > 1$ 时为聚集分布 (负二项分布). 指数 I 的随机分布偏离度的显著性检验采用 F_0 值进行 F 检验 ($df_1 = N - 1, df_2 = \infty$).

放逸短沟蜷样点间差异采用单因素方差分析和最小显著差数法 (LSD) 进行检验^[8].

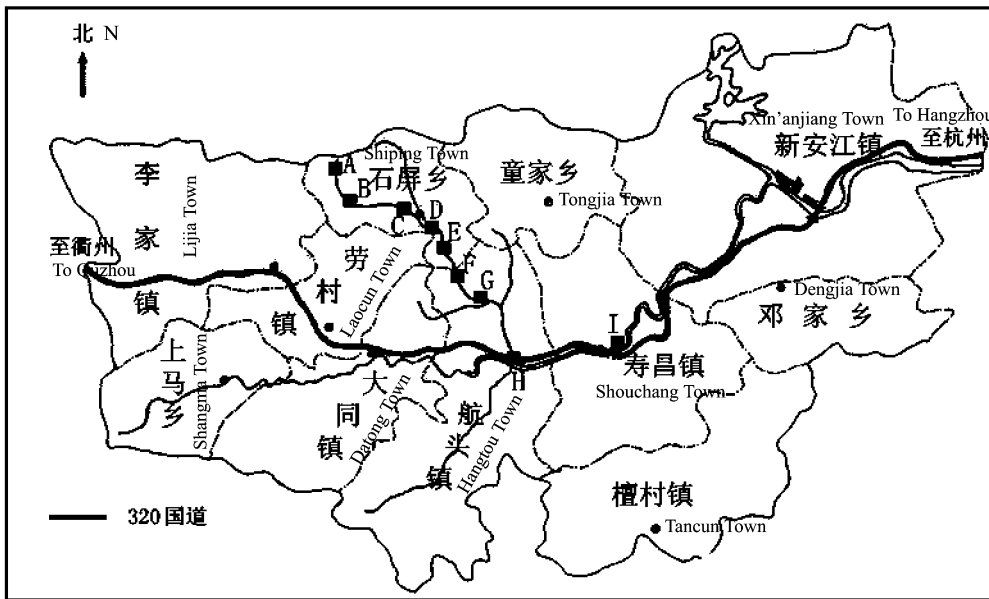


图1 浙西山区公曹水库小流域底栖螺类采样点及其分布示意图

Fig 1 Distribution map of sampling sites and *Semisulcospira libertina* in Gongcao Reservoir basin in western Zhejiang

A. 水库 Reservoir; B. 农田水流入口 Water entrance of rice fields; C. 煤矿水流入口 Water entrance of colliery; D. 灵栖洞水排入口 Water entrance of Lingqi cave; E. 石屏乡 Shiping Town; F. 石矿水流入口 Water entrance of stone mine; G. 水泥厂水流入口 Water entrance of cement plant; H. 航头镇 Hangtoun Town; I. 寿昌镇 Shouchang Town. 下同 The same below

2 结果

2.1 放逸短沟蜷生物学特征

测量分析 9 个采样点放逸短沟蜷的壳高、生物量和密度等生物学特征, 结果显示, 不同采样点放逸短沟蜷的壳高、生物量和密度存在着差异, 尤以密度和生物量的差异更加显著 (表 1). 最大壳高与最小壳高相差 6.4 倍, 最高密度与最低密度相差 329.5 倍, 最大生物量与最小生物量相差 152.7 倍.

2.2 放逸短沟蜷种群的空间格局

图 2 中 A 和 B 表明, 用 Taylor 幂法则和 Iwao 聚集格局回归法分析放逸短沟蜷种群的空间格局, 前者回归方程为 $\ln s^2 = -1.5146 + 1.1369 \ln \bar{x}$ ($R^2 = 0.8551$), 后者为 $m^* = -0.5918 + 1.0035 \bar{x}$ ($R^2 = 0.9989$). 根据相应参数 $b(\beta) > 1$ 和 Morisita 指数 $I = 3.17, F_0 = 644.56 > F_{0.01(8, \infty)} = 2.51$, 差异达极显著水平, 放逸短沟蜷理论上属于聚集型负二项分布.

公曹水库 9 个样点间放逸短沟蜷种群密度的单因素方差分析 (表 2) 及最小显著差数法 (LSD) 比较 (表 3) 表明, 放逸短沟蜷种群数量分布顺序为: 农田水流入口 (B) > 灵栖洞水排入口 (D) > 寿昌镇 (I) > 水泥厂水流入口 (G) > 煤矿水流入口 (C) > 水库 (A) > 石屏乡 (E) > 石矿排水口 (F) > 航头镇

(H), 样点间种群密度差异极显著 [$F = 32.59 > F_{0.01(8, 27)} = 3.26$], 具体表现在: 农田水流入口 (B) 与其它 8 个样点间的差异极显著, 灵栖洞水排入口 (D) 和寿昌镇 (I) 与水库 (A)、石屏乡 (E)、石矿水流入口 (F) 及航头镇 (H) 差异显著, 且与石矿水流入口 (F) 和航头镇 (H) 差异极显著, 另外寿昌镇 (I) 与石屏乡 (E)、石矿水流入口 (F) 及航头镇 (H) 差异显著, 并且与

表 1 公曹水库流域各样点的放逸短沟蜷样品特征
Tab 1 The characteristics of *S. libertina* specimens from the sampling sites in the Gongcao Reservoir basin

采样点 Sampling sites	壳高范围 Shell height (h/cm)	种群密度 Population densities (n/m^{-2})	生物量 Biomass ($w/g m^{-2}$)
A	0.48 ~ 3.07	104	53.61
B	0.55 ~ 2.06	1318	340.21
C	0.49 ~ 1.67	132	10.64
D	0.52 ~ 2.05	318	35.27
E	0.99 ~ 1.67	20	3.81
F	1.32 ~ 1.93	8	34.10
G	1.66 ~ 2.65	172	114.61
H	1.50 ~ 1.63	4	2.23
I	0.92 ~ 1.69	296	87.81

石矿水流入入口(F)和航头镇(H)差异极显著,方差分析与实际

调查情况是一致的。

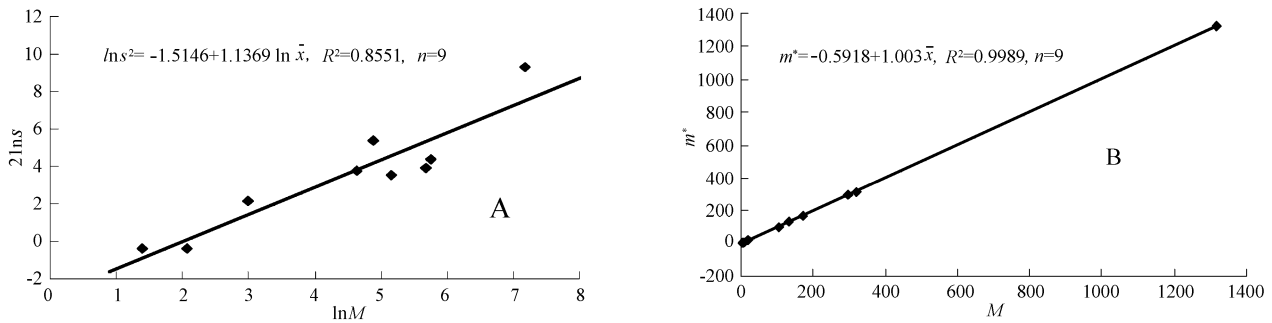


图2 放逸短沟蜷的空间分布格局

Fig 2 Spatial distribution of *S. libertina* population

A. Taylor 幂法则 Taylor's Power Law; B. Iwao 聚集格局回归分析法 Iwao's Patch Regression

表2 9个样点放逸短沟蜷种群密度的单因素方差分析表

Tab 2 Variance analysis of *S. libertina* in 9 sampling sites with single factor

变异原因 Reasons for variation	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of square	方差 Mean sum of variance	<i>F</i>	<i>F</i> _{0.05(8,27)}	<i>F</i> _{0.01(8,27)}
样点间 Among sampling sites	8	339753.56	42469.2	32.59 *	2.30	3.26
样点内 Within sampling sites	27	35180	1302.96			
总变异 Total variation	35					

* 差异极显著 Extremely significant difference

3 讨论

3.1 环境污染对放逸短沟蜷种群的影响

据有关报道,当水域被污染后,底栖无脊椎动物的种类、数量、分布和群落结构均受到一定的影响^[1]。祖国掌等在对女山湖底栖动物的研究中提出化肥、造纸、纺织等工业污染致使底栖动物资源大量减少^[9],浙西山区水库小流域也受到工业的污染,但两者却有区别:前者的污染源都是有毒物质,而后的污染源并非有毒物质。我们所调查地点的污染源为煤矿、石矿和水泥厂,但它们同样是影响放逸短沟蜷种群密度和生物量的主要因素。在石矿水流入入口(F)和石屏乡(E)及煤矿水流入入口(C)的放逸短沟蜷密度分别只有农田水流入入口(B)的1/164, 1/66和1/10(表2),但为什么农田水流入入口(B)密度高达1 318 m⁻²,水泥厂水流入入口(G)高于石矿和煤矿处呢?据万丽华在黄浦江上游底栖动物的指示生物生态研究一文中报道,底栖动物对有机污染的反应通常有两种变化^[2]:许多物种个体数相对减少,当有机污染严重状况下,少数物种个体明显增加。某些种逐渐消失,直到极少数个体存留,而被前所未有的物种代替,当水体为极严重有机污染时,新的物种(只能适应于重污染)可能出现。农田水流入入口(B)放逸短沟蜷密度如此之高,很有可能属于第一种情况,因为生活污水中含有大量有机物,这些有机物不断沉积下来,为放逸短沟蜷提供了丰富的食源,从而使得放逸短沟蜷物种个体明显增加。3个工矿废水口的放逸短沟蜷的壳体最高仅达1.93 cm,而在水库处(A),壳体最高达3.07 cm,原因可能是由于A处基本上没有任何污染源,水中的溶解氧含量较高。放逸短沟蜷对工业污染有灵敏的反应,而对某些有机污染却有不正常的变化,这正是造成各样点间放逸短沟蜷种群密度差异极显著的最主要因素。

表3 9个样点间放逸短沟蜷种群密度的最小显著差数法(LSD)比较

Tab 3 Comparison of the densities of *S. libertina* population between different sampling sites with LSD

样点* Sampling sites	\bar{x}	$\alpha = 0.05^*$	$\alpha = 0.01^*$
B	329.5	a'	A'
D	79.5	b'	B'
I	74	b'e'	B'C'
G	43	b'e'd'	B'C'D'
C	33	b'e'd'	B'C'D'
A	26	c'd'	B'C'D'
E	5	d'	C'D'
F	2	d'	D'
H	1	d'	D'

* 凡至少有一个相同字母标记的,即为差异不显著,小写字母表示差异显著,大写字母表示差异极显著 One or more same letters show insignificant difference, small letters show significant difference and capital letters show extremely significant difference

3.2 流域底质对放逸短沟蜷种群的影响

浙西山区水库小流域底质与放逸短沟蜷种群密度和生物量有密切的关系。刘绍平等研究老江河底栖动物时提出水生植被繁茂、草丛生境多能适宜螺类的生长繁殖^[4]。我们的研究也发现,砾石上有许多固着生长的藻类、水草,能为放逸短沟蜷提供丰富的食源和栖息的良好环境,放逸短沟蜷就多;藻类、水草生长不多,放逸短沟蜷就少。在农田水流入入口(B)、寿昌镇(I)及水泥厂水流入入口(G),由于工业污水和生活污水的汇入带来了丰富的有机质,促进了水草、藻类的生长,因此这些样点都生

长了较多的狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 及其它水草. 水生植物一方面为放逸短沟蜷提供了良好的生活场所, 另一方面又能净化水体, 避免富营养化的产生, 提高溶氧水平^[5], 而螺类喜好氧充足的环境^[10], 且这几处的水流速度较缓, 因此放逸短沟蜷密度较高. 另外, 在航头镇(H), 流域面积较宽, 水浅、流速急且铺满砾石, 无水草和藻类生长, 放逸短沟蜷种群密度低 (4 m^{-2}), 与水库及水库流出处(A)和生活污水流出处(B)差异显著(表3).

综上所述, 放逸短沟蜷在公曹水库流域呈聚集型负二项分布, 各样点间种群密度和生物量差异极显著, 主要是环境污染和流域底质二者综合作用所致.

References

- 1 Cai XM(蔡晓明), Ren JC(任久长), Zong ZX(宗志祥), Shang YC(尚玉昌), Yang JM(杨俭美), Xu CR(许崇任), Li SG(李松岗), Ke B(柯兵). Benthic macroinvertebrate communities in Qinglong River and assessment of its water quality. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 1992, **3**(4):364~370
- 2 Wan LH(万丽华). Ecological study of benthic organisms biological indicators on the upper reaches of Huangpu River. *Shanghai Environ Sci*(上海环境科学), 1995, **14**(1):11~14
- 3 Yu DW(俞大维), Yu ZM(虞左明). Studies on the zoobenthic communities of the West Lake, Hangzhou. *Acta Hydrobiol Sin*(水生生物学报), 1991, **15**(1):64~72
- 4 Liu SP(刘绍平), Chen DQ(陈大庆), Wang MG(黄木桂), Qiu SL(邱顺林). Dynamic change of zoobenthos in Laojinghe oxbow and its fishery utilization. *J Hubei Agric Coll*(湖北农学院学报), 1999, **19**(1):31~34
- 5 Ren SZ(任淑智). Community structure of macroinvertebrates and trophic level of several small lakes in Beijing city. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 1991, **2**(3):221~225
- 6 Huo GC(霍贵成). Estimation of non-linear parameters by the modified Gauss Newtonleast square method. *J Biomathem*(生物数学学报), 2001, **16**(1):122~127
- 7 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用, 北京:科学出版社, 1980
- 8 李春喜, 王文林. 生物统计学, 北京:科学出版社, 1998
- 9 Zu GZ(祖国掌), Guan YL(管远亮), Hou GJ(侯冠军), Chen Y(陈宇), Li HY(李海洋). Zoobenthos in the Nushan Lake. *J Anhui Agris Univ*(安徽农业大学学报), 1998, **25**(3):276~280
- 10 Hao WM(郝卫民), Wang SD(王士达), Wang DM(王德铭). The community structure of benthic macroinvertebrates and the assessment of water quality in Hong Hu Lake. *Acta Hydrobiol Sin*(水生生物学报), 1995, **19**(2):124~133

欢迎订阅 欢迎投稿

《应用与环境生物学报》(双月刊)

刊号: $\frac{\text{ISSN } 1006 - 687X}{\text{CN } 51 - 1482/Q}$ 邮发代号: 62 - 15

本刊是中国科学院主管、中国科学院成都生物研究所主办、科学出版社出版、国内外公开发行的全国性学术科技期刊(学报级), 是我国应用生物学和环境生物学的核心刊物. 主要报道我国应用生物学、环境生物学及相关科学领域的基础研究、应用基础研究和应用研究的成果, 包括研究论文、研究简报和本刊邀约的综述或述评. 读者对象主要为本学科的科研人员、大专院校师生和科研管理干部. 本刊获中国科学院科学出版基金资助.

《应用与环境生物学报》为双月刊(1999年由季刊改为双月刊). 双月25日出版, 每期96页, 2001年起改为大16开, 高档铜板纸印刷. 定价仍为每期11.00元, 年定价66.00元. 全国各地邮局(所)均可订阅. 新订户可向本刊编辑部补购, 卷价分别为1995年(32.00元)、1996年至1998年(44.00元)、1999年至今(66.00元), 以及1999年增刊(环境微生物学研究), 定价每册22.00元. 编辑部地址: 成都市人民南路4段9号, 中国科学院成都生物研究所学报编辑部. 邮编: 610041; 电话: (028)85229903, 85237341(联系人: 刘东渝); E-mail: biojaeb@cib.ac.cn.