

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107071012

张勇, 刘朔孺, 于海燕, 刘东晓, 王备新. 钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4309-4317.

Zhang Y, Liu S R, Yu H Y, Liu D X, Wang B X. Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4309-4317.

钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子 对底栖动物群落的影响

张 勇¹, 刘朔孺¹, 于海燕², 刘东晓³, 王备新^{1,*}

(1. 南京农业大学昆虫系水生昆虫与溪流生态实验室, 南京 210095;

2. 浙江省环境监测中心, 杭州 310012; 3. 南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

摘要: 溪流底栖动物群落结构受不同空间尺度环境因子的共同作用。基于 2010 年钱塘江中游流域 60 个样点的大型底栖无脊椎动物和环境变量数据, 寻找与研究流域底栖动物群落结构变化密切相关的关键环境变量, 解析流域尺度和河段尺度的环境因子对底栖动物群落的相对影响。PCA 分析表明该区域的主要环境梯度是流域内的土地利用类型及其引起的溪流物理生境退化程度和水质营养状态。CCA 分析发现影响底栖动物群落的流域尺度的关键环境变量是纬度、海拔、样点所在流域大小、森林用地百分比, 河段尺度是总氮、总磷、钙浓度、二氧化硅浓度和平均底质得分。偏 CCA 分析得到两种尺度环境因子对底栖动物变异的总解释量为 26.4%, 流域尺度和河段尺度变量分别为总解释量的 50% 和 31%; 方差分解结果表明研究区域大型底栖无脊椎动物受到两种尺度环境因子的综合影响, 且流域尺度环境因子较河段尺度环境因子更为重要, 体现了其在溪流生态系统保护、恢复、监测和评价中的重要参考价值。

关键词: 空间尺度; 大型底栖无脊椎动物; 关键变量; 相对影响; 钱塘江流域

Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin

ZHANG Yong¹, LIU Shuoru¹, YU Haiyan², LIU Dongxiao³, WANG Beixin^{1,*}

1 Laboratory of Aquatic Insects and Stream Ecology, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Zhejiang Environment Monitoring Center, Hangzhou 310012, China

3 College of Resources and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Benthic macroinvertebrates are common, long-lived, sensitive to disturbance, and cost-effective to sample, which make them ideal biological indicators of aquatic system degradation, and they are used in stream biomonitoring worldwide. As biological indicators, macroinvertebrates can provide insight into the current and past conditions of waterbodies and they integrate the effects of cumulative stressors. However, patterns in stream macroinvertebrate assemblages are the result of a combination of processes acting at different spatial scales. Understanding the relative influence of environmental variables at different spatial scales can increase our ability to detect anthropogenic influences on stream integrity, as well as to assess and manage aquatic resources. In this study, we used Qiantang River basin as an example of a human disturbed watershed. Based on environmental and biotic data of 60 sites located in the middle section of Qiantang River basin, the specific aims of our study were: (1) to analyze the stream macroinvertebrate assemblages; (2) to identify the key environmental factors that are linked to variation in macroinvertebrate assemblages; and (3) to partition

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40971280)

收稿日期: 2011-07-07; 修订日期: 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangbeixin@njau.edu.cn

the additive effects of watershed-scale and reach-scale variables, as well as their interaction, on macroinvertebrate community composition. Environmental variables mainly included land use (urban, agriculture, forest, and the total impervious area), geographical location, elevation, slope, stream order, and the area of sub-basin at the watershed scale, physical habitat conditions and water chemistry at the reach scale. Macroinvertebrate responses were characterized by the relative abundance of 262 taxa. Principal components analysis was used to explore the major environmental gradients, and canonical correspondence analysis was adopted to determine the relationships between environmental variables and macroinvertebrate composition. Variation partitioning was performed using partial canonical correspondence analysis (pCCA) to understand the relative importance of different scale factors in macroinvertebrate variation. Assessment of the main environmental gradients suggested that degradation of the macroinvertebrate communities was mainly due to the increase of anthropogenic land cover, followed by elevated nutrient concentrations, and habitat destruction. At the watershed scale, the most important variables structuring macroinvertebrate assemblages were latitude, altitude, sub-basin area, percentage of forest; at the reach scale, they were total N, total P, the concentrations of Ca^{2+} and SiO_2 , and the mean substrate score. The total explained variation was 26.4%. Of this, the results of the pCCA indicated that the relative proportions of explained variation attributed to watershed-scale and reach-scale environmental variables were 50% and 31%, respectively. The results of the pCCA suggested that watershed-scale variables play a more important role in stream macroinvertebrates of this study region than reach-scale variables, which could be important for biodiversity conservation and restoration, land management, and environmental monitoring and assessment.

Key Words: spatial scales; benthic macroinvertebrate; key factors; relative influence; Qiantang River Basin

底栖动物群落具有种类丰富、分布广泛、是水生生态系统重要的食物网组成等特点;且对人为干扰等生态变化较为敏感,通常被用作环境质量指示物种^[1-2]。溪流底栖生物群落受不同空间尺度环境因子的共同作用,确定不同空间尺度环境因子的相对影响和重要性是水生态恢复、管理及评价工作中的关键^[3-5]。国外对此已有一定的相关研究,但在国内此类研究极为少见。对于不同空间尺度环境因子的相对作用和重要性一直存在争议,Johnson 等认为大型空间尺度较小型空间尺度的环境因子相对作用大^[6]、较为重要;Parsons 和 Thoms 等认为两种空间尺度环境因子的作用相当^[7];Sandin 和 Johnson 则认为小型空间尺度较大型空间尺度的环境因子作用大,相对重要^[8]。

本文以钱塘江中游流域作为研究区域,通过比较研究流域尺度和河段尺度环境因子对底栖生物群落结构的影响,旨在确定影响该区域底栖生物群落结构的环境梯度,解析不同空间尺度环境因子在决定该区域底栖生物群落结构中的相对重要性,为研究区域的环境管理提供有价值的参考。

1 研究地区和方法

1.1 研究区域概况

研究区域为浙江钱塘江中游流域,面积约为 20000 km²。流域所处气候带类型为亚热带季风气候,年平均温度和降雨量分别为 16.2—17.7℃ 和 1200—2200 mm,降雨时间段主要为 3—6 月或者 4—7 月的梅雨季^[9]。钱塘江发源于安徽省休宁县,最终注入东海,全长 668 km;上中游流经地区森林覆盖较为完整,之前水质良好。但随着近年流域土地利用由森林用地不断向人为干扰用地(农田和城镇)转变,不断加剧的农业活动和工业污染对钱塘江流域的水质胁迫越来越严峻^[10]。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用计算和样点选取

采用地理信息系统空间分析软件 ARC/INFO 9.3,在 30m 数字高程模型(DEM)的基础上自动提取河网和流域,其后,参照研究区域 1:50000 的数字地形图对提取的流域边界进行人工校准。土地利用分类数据来自浙江省环境监测中心,土地利用按照层级分类标准,将研究区域的土地利用/覆盖大致分为 6 大类,26 小类。

通过叠加土地利用和流域边界矢量图层,进行亚流域内各种土地利用类型比重的计算,同时,计算另外一个表征城镇化比重的指标—总不透地表面积比(PIA, Percentage of total impervious area);最终,根据一定的土地利用梯度,选取了 60 个小流域进行采样研究(图 1)。

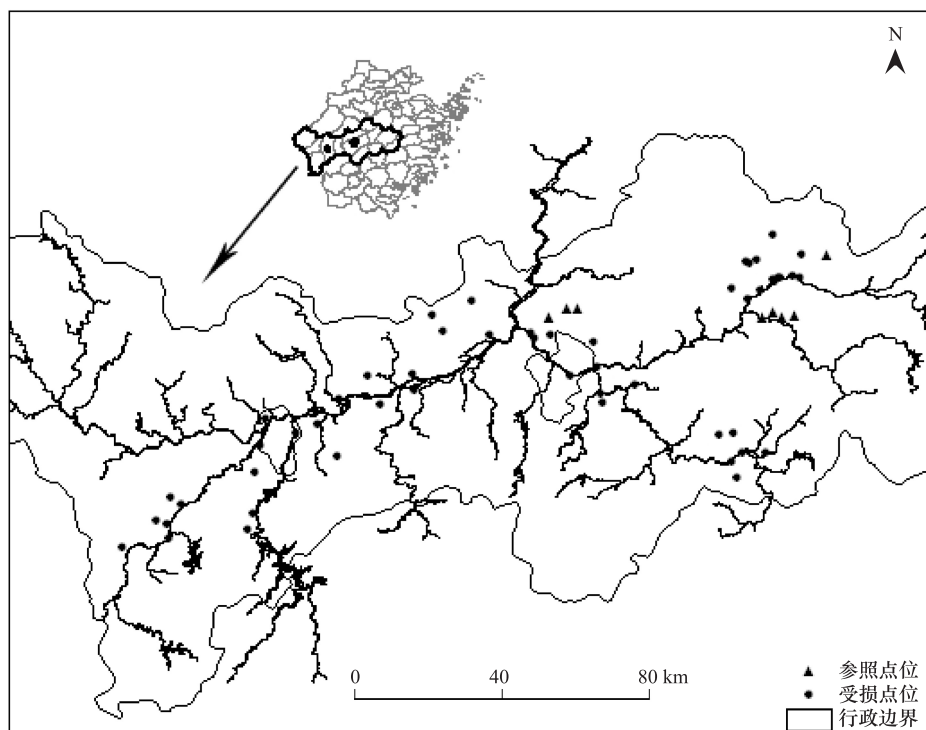


图 1 钱塘江中游流域 60 个采样点分布

Fig. 1 The distribution of 60 sampling sites in the middle Qiantang River Basin

1.2.2 大型底栖无脊椎动物采集

2010 年春季(4 月)在钱塘江流域中游采集了 60 个样点的底栖动物样本。在 100m 长的采样区域内,用索伯网(250 μ m, 0.09m²)采 5 个样(3 急 2 缓),采样总面积 0.45 m²。标本在野外用 40 目的钢筛筛选,并用 4% 的福尔马林溶液固定后带回实验室。在实验室体视镜下进行样品鉴定,根据实际鉴定水平,鉴定到可行的分类单元。

1.2.3 环境因子的测定

利用 GPS 仪测定每个采样点位的经纬度及海拔;结合数字高程模型,通过 GIS 工具确定采样河段的等级、采样点上游流域面积、坡降;在采样河段对平均流速、最大流速、河面宽度及河深进行测定;溪流底质的测量方法见 Wolman 和 Kondolf 等^[11],根据颗粒尺寸将底质分类,并最终针对每个样点计算出相应的平均底质得分^[12];平均底质得分(MSUBST),是一个用来量化底质组成的指标。计算公式如下:

$$\text{MSUBST} = (-7.75 \times \text{BOLDCOBB} - 3.25 \times \text{PEBBGRAV} + 2 \times \text{SNAD} + 8 \times \text{SILTCLAY}) / \text{TOTSUB},$$

$$\text{TOTSUB} = \text{BOLDCOBB} + \text{PEBBGRAV} + \text{SNAD} + \text{SILTCLAY}$$

式中,BOLDCOBB、PEBBGRAV、SNAD、SILTCLAY 分别表示底质中大石块+大卵石(BOLDCOBB)、小卵石+砾石(PEBBGRAV)、沙粒(SNAD)及淤泥黏土(SILTCLAY)覆盖的百分比。通过计算可以得到相应的底质得分,分数越低表示大石块、卵石的含量越高;分数越高,表示沙粒和黏土的含量越高。利用 HANNA 多参数水质监测仪现场测定水体溶解氧、电导率、温度和 pH。同时用水样瓶采集水样,黑暗环境下冷藏带回实验室,在室内测定钙、镁离子浓度、二氧化硅浓度、水体叶绿素 a 含量;总氮(TN)、总磷(TP)、硝氮(NO₃-N)、亚硝态氮(NO₂-N)和氨氮(NH₄⁺-N);并采用高锰酸盐指数法测定化学耗氧量(COD_{Mn});水样采集和相关指标测定严格

参照国家水和废水监测分析方法^[13]。

1.2.4 数据处理与统计

分析之前,物种数据和环境数据分别采用平方根和标准化的方法进行数据转换;环境因子采用 Spearman 秩相关检测相关性,在每组显著相关的环境变量中筛选出 1—2 个环境因子,进行 PCA 分析;Spearman 分析和 PCA 分析分别采用 SPSS 16.0 和 PRIMER v6.0 统计软件进行。

根据 Borcard 等^[14]的方法,将物种数据矩阵的总变异分解成不同组分:1)利用向前引入法(forward selection)分别以流域尺度和河段尺度的环境因子及物种数据为基础进行 CCA 分析,分别筛选出两个尺度上的关键环境变量;2)将流域尺度和河段尺度的关键环境因子相结合,再一次进行 CCA 分析,得到两个尺度环境变量对物种方差变异的解释量;3)采用偏 CCA 分析,以流域尺度的环境因子为解释变量,河段尺度的环境因子为协变量,计算出流域尺度环境因子的独立解释量;以河段尺度的环境因子为解释变量,流域尺度的环境因子为协变量,计算出河段尺度环境因子的独立解释量;CCA 和 partial CCA 分析采用 CANOCO 4.5 软件。

2 结果与分析

2.1 大型底栖无脊椎动物

钱塘江流域 60 个样点共采集到扁形动物门、软体动物门、环节动物门和节肢动物门等 230 个大型底栖无脊椎动物分类单元(taxa),出现频度大于 10% 的 64 种常见底栖生物见附录 I。优势类群为节肢动物门的昆虫纲(9 目 192 个分类单元),占有底栖动物种类的 83%。调查样点中约三分之一(19/60)的样点没有 EPT 昆虫(E:蜉蝣目,P:襀翅目,T:毛翅目),有 EPT 昆虫出现的 41 个样点共采集到蜉蝣目 7 科 24 属、襀翅目 5 科 12 属、毛翅目 12 科 24 属,但是样点间的 EPT 昆虫丰富度差异较大,最多样点有 36 个 EPT 分类单元,最少的仅有 1 个。

2.2 环境变量及环境梯度

研究测定了两种不同空间尺度环境变量,具体划分方法参照 Weigel 等^[4];其中流域尺度、河段尺度分别有 10 个和 18 个环境因子;各个环境因子的均值、范围及其相关性见表 1。

主成分排序图显示了 60 个采样点位环境因子梯度变化的空间分布格局(图 2)。第一主成分与海拔、总不透地表面积比例、溶解氧及平均底质得分相关性较高,表明 PC1 主要反映了样点的土地利用和物理生境状态;第二主成分与 pH、总氮及总磷相关性最高,其主要反映了水体的营养状况;前两个主成分的解释率分别为 37.7% 和 16.9%。

表 1 不同尺度环境因子的均值、最大值、最小值

Table 1 The average (Mean±SE) and range for all the measured environmental factors

环境变量名称	平均值 ± 标准误	最小值	最大值
流域尺度环境因子			
纬度/(°) ^a	29.10±0.03	28.67	29.43
经度/(°) ^a	119.55±0.07	118.51	120.23
海拔/m ^b	90.98±7.29	27.00	344.00
流域面积/km ² ^c	14.96±1.84	1.00	70.21
森林/% ^b	0.59±0.04	0.07	1.00
农田/% ^c	0.24±0.03	0.00	0.87
城镇/% ^b	0.12±0.02	0.00	0.80
总不透面积比/% ^b	0.17±0.02	0.00	0.82
坡降/(°) ^b	13.43±1.16	1.02	30.37
溪流等级(Strahler) ^c	1.83±0.09	1.00	3.00
河段尺度环境因子			
平均流速/(m/s) ^a	0.43±0.04	0.00	1.11
最大流速/(m/s) ^c	0.48±0.04	0.00	1.20
平均水宽/m ^c	5.18±0.54	1.02	23.33
平均水深/cm ^c	48.44±7.90	6.67	350.00
MSUBST ^b	1.1±0.74	-7.75	8.00
水温/℃ ^b	18.34±0.38	11.30	27.30
pH ^d	7.31±0.09	5.10	8.58
溶解氧/(mg/L) ^b	7.80±0.23	1.80	10.50
电导率/(μs/cm) ^b	243.35±33.12	30.00	1668.00
总氮/(mg/L) ^b	3.80±0.57	0.22	26.50
氨氮/(mg/L) ^b	1.56±0.42	0.00	19.00
磷酸盐/(mg/L) ^b	0.02±0.00	0.00	0.10
总磷/(mg/L) ^f	0.38±0.06	0.00	2.35
COD/(mg/L) ^b	4.01±0.42	0.90	14.65
镁/(mg/L) ^a	5.20±0.62	0.00	21.00
钙/(mg/L) ^b	113.62±5.93	22.00	221.00
二氧化硅/(mg/L) ^a	4.97±0.25	1.03	10.39
叶绿素 a/(mg/m ³) ^b	2.62±0.49	0.00	17.62

环境变量具有相同的上角字母表示变量显著相关(P<0.05)

2.3 影响因素解析

2.3.1 流域尺度环境因子

典范对应分析(CCA)分析表明流域尺度环境因子中的纬度位置(lat)、海拔(alt)、子流域面积大小(WA)及森林用地比重(F%)与60个样点溪流大型底栖动物群落关系最显著。第一轴的特征值较大,为0.552,第二轴的为0.142;且分别解释了19.2%和5%的物种数据变异。蒙特卡罗检验结果表明CCA分析前四轴都显著($P < 0.05$),第一轴与F%和alt相关性较高,主要反映了采样点位的土地利用格局;第二轴与lat相关性最高,体现了样点的空间分布状态(图3)。

2.3.2 河段尺度环境因子

利用河段尺度的环境变量为解释因子,CCA分析最终筛选出了5个关键变量,最大程度地解释了底栖动物群落变异;5个变量分别为总氮(TN)、总磷(TP)、钙离子浓度(Ca^{2+})、二氧化硅浓度(SiO_2)和平均底质得分(MSUBST)(图4)。同样,蒙特卡罗检验结果表明CCA分析前四轴都显著($P < 0.05$)。相对于流域尺度环境因子的CCA分析,河段尺度变量的CCA分析前两轴特征值较小,分别为0.401和0.099,共解释了17.4%的物种数据变异和76.7%的物种-环境关系变异。第一轴与TN(0.573)、 Ca^{2+} (0.697)和MSUBST(0.593)的相关性最高,主要反映了溪流水体营养及物理生境状态;第二轴仅与TP(0.607)显著正相关。

2.3.3 偏CCA分析

流域尺度及河段尺度环境因子对底栖动物变异的总解释量为26.4%,其中流域尺度和河段尺度变量分别占总解释量的50%和31%(图5),各为13.3%、8.2%;两种空间尺度环境变量共同的解释量最小,仅为4.9%。

3 讨论

3.1 影响底栖生物群落的关键因子

确定影响底栖生物群落结构的关键环境变量是溪流生态学研究中的关键。CCA分析中筛选出了9个与底栖动物群落关系最为密切的环境因子。其中流域尺度的关键变量(纬度、海拔、流域大小和土地利用)是自然环境和人为干扰的结合。基于底栖动物生长发育过程中特定的温度耐受和温度需求,热状况对流域内底栖动物的分布有显著的影响。相关的研究主要集中于纬度、海拔对底栖生物群落结构的影响^[15]。最近,许多研究表明海拔不仅对溪流的理化状态,还对溪流中的生物(主要是鱼类和底栖动物)有较大的影响。一般认为物种的丰富度随着海拔的升高而降低^[16-17],导致丰富度随着海拔升高而降低的潜在机制是海拔梯度上其他环境因子的差异,如高山溪流相比洼地溪流水温度较低、冰冻期较长^[18]。本研究中高海拔样点的底栖动物丰富度高于低海拔的样点,但这与其他研究者的一致发现(底栖生物丰富度随着海拔升高而降低)并不矛盾、因为底栖生物丰富度随海拔升高而降低这种情况,一般海拔梯度较大(通常相差数千米)^[15],而本文所涉及的样点,最大海拔差异仅约300m左右(最大最小高程分别为27m、344m);本研究中海拔之所以是影响底栖生物群落结构的关键因子、主要是因为存在于海拔梯度下的土地利用类型差异,低海拔样点所在流域的人为用地比例高于高海拔样点,而后的原有森林用地比重明显较高。土地利用类型是人类在流域活动的集中反映,主要体现在人为土地利用(农业用地、城镇用地等)的增加和原有森林用地的减少。关于土地利用变化对水

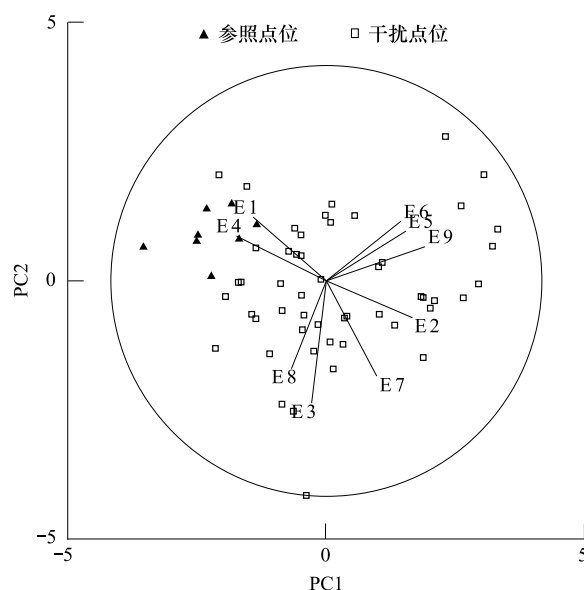


图2 60个采样点位环境因子的PCA排序

Fig. 2 PCA ordination plot for all the 60 sampled sites based on the environmental variables

E1:海拔、E2:总不透地表面比例、E3:pH、E4:溶解氧、E5:平均河宽、E6:平均河深、E7:总氮、E8:总磷、E9:平均底质得分

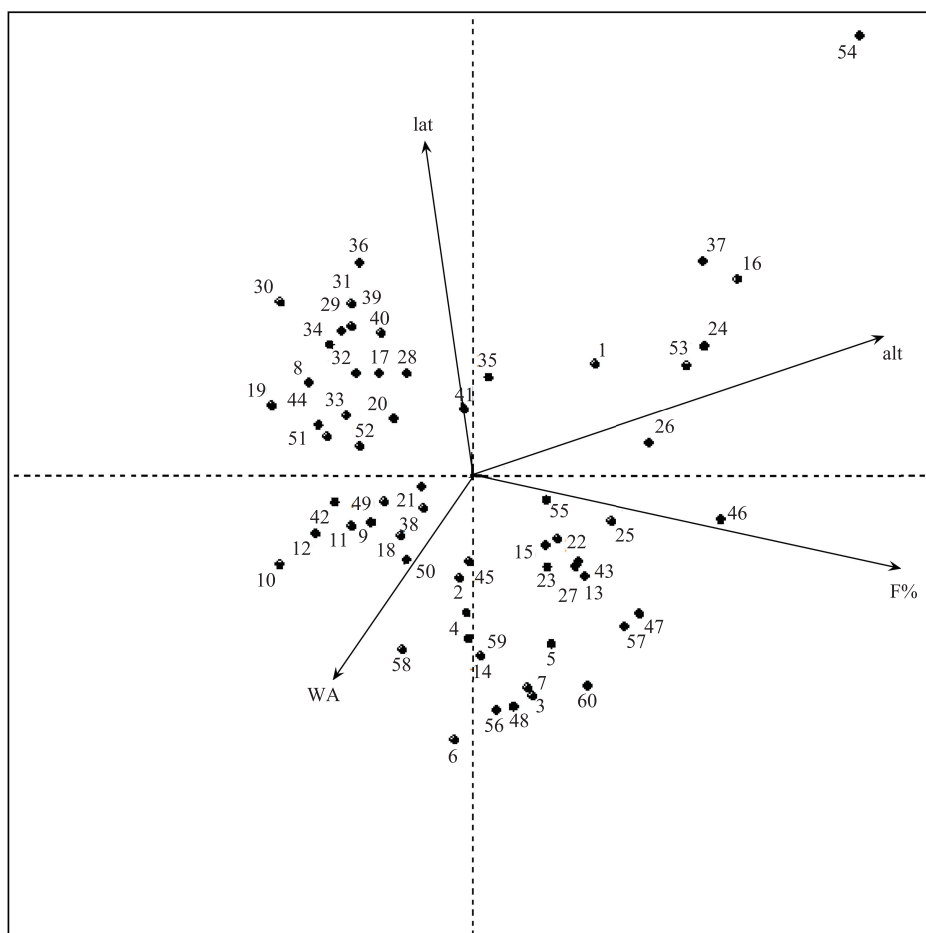


图3 大型底栖无脊椎动物群落与流域尺度环境因子的典范对应分析排序图

Fig. 3 CCA plots based on macroinvertebrate abundance and the watershed-scale environmental variables

生生物,特别是底栖生物影响的研究很多,研究发现农业和城镇土地利用能够引起面源污染、有毒物质污染、造成水体恶化;沿岸植被破坏、溪流(特别是城镇溪流)渠道化、导致水文变化;此外、物理栖境退化(如底质多样性降低)等过程,是流域底栖动物完整性下降的重要原因^[19-20]。结合研究区域的现实,所属亚流域面积较大的样点、一般海拔较低,土地利用类型中农业用地和城镇用地所占比重较大;溪流底栖生物完整性较差。

TN 和 TP 一直以来都是溪流水体质量检测的重要指标,二者反映了水体营养状态;在淡水生态学研究 and 土地利用管理中有这样的共识:随着原始森林用地向人为用地(农业、城镇)的不断转变,伴随着水体中氮、磷含量的显著上升;会导致底栖生物群落组成的变化^[21-22],一般是敏感种类减少或者消失,耐污类群个体数量剧增。针对 N、P 对溪流底栖生物群落的影响,一些研究者创建了大量的底栖生物指数来阐述这种影响作用,其中较为常见的是 EPT、EPTC、Diptera%、BI 值等;结合底栖生物多样性指数和 TN、TP 的响应关系,吴东浩等^[23]初步开展了浙江西苕河流域的营养盐阈值研究。 Ca^{2+} 和 SiO_2 同样也是溪流常用的水体监测变量,其中,有研究者表示水体中的可溶性 Si 影响着水体中藻类群落(尤其是硅藻)的分布,其主要原因是 Si 是硅藻细胞组成的重要元素^[24]。溪流中的藻类群落作为食物网中的初级生产者,是溪流水体中大型底栖无脊椎动物群落和鱼类的重要食物来源;一些研究表明藻类的分布模式是影响底栖动物群落(特别是牧食者类群)的主导因素。因此,水体中的一些离子含量直接或间接地对溪流底栖生物群落起着重要作用。溪流底质作为溪流底栖动物穴居、活动、捕食的场所是影响其分布的关键因素^[25-26]。根据河流连续性理论(RCC)^[27],低级别支流的底质一般以大石块和卵石组成为主;越往中下游随着河流级别的升高,沿岸带的破坏和堤岸的侵蚀,底质构成主要为细沙或者淤泥黏土;这种自上而下的分布模式很大程度上决定了底栖动物群落结构,特别是取

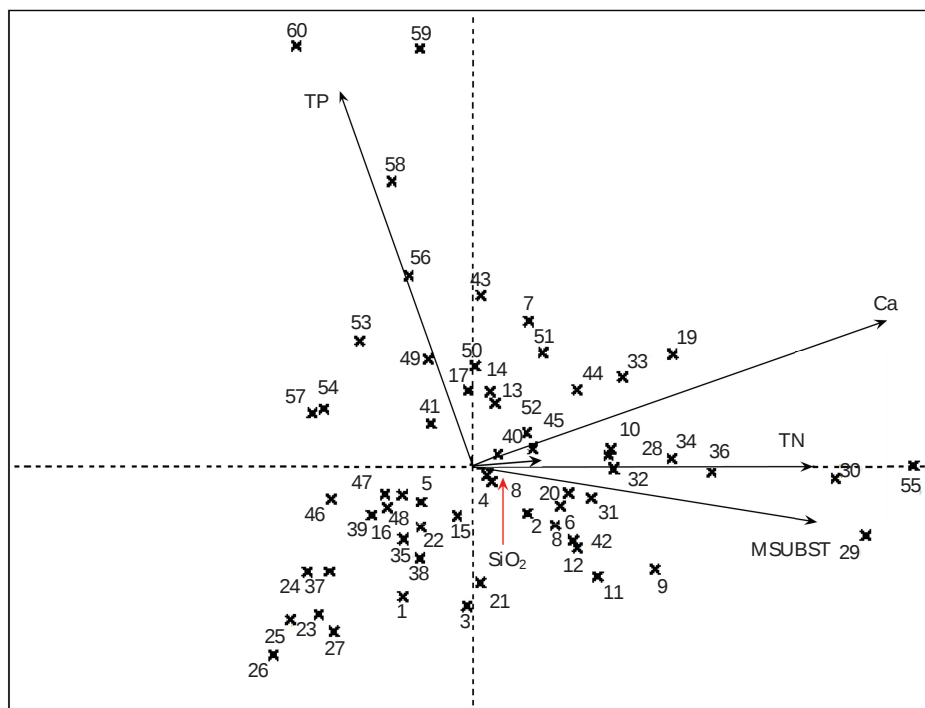


图4 大型底栖无脊椎动物群落与河段尺度环境因子的典范对应分析排序图

Fig. 4 CCA plots of macroinvertebrate communities, showing the most strongly correlated reach-scale environmental variables

食功能团 (FFG) 的组成。

3.2 不同空间尺度因子的相对重要性

溪流底栖生境和生物受到多种空间尺度环境条件的影响,大尺度(如流域尺度)环境变量和小尺度(如河段尺度)环境因子对解释溪流底栖动物群落变化都非常重要。但是一般而言,环境变量对生物群落的影响与研究尺度密切相关;通常,随着研究范围的减小,小尺度(如河段尺度)环境因子的解释量逐渐增加,而大尺度(如流域尺度)变量的解释量却逐渐下降;反之亦然;比如 Johnson 等针对瑞典部分溪流底栖动物的研究表明局域(小尺度)环境因子较空间(大尺度)变量更为重要^[6],这可能与其较小的研究区域有关,同样的结论也被 Weigel^[4]等提出;与此相反, Townsend^[28] 及 Urban^[29] 等研究得到了相反的结果,他们的研究表明大尺度(地理和区域)环境条件相对更为重要。本研究所得结论基本与后者吻合,其部分原因是研究范围跨度大(如经度范围为: 118. 1° — 120. 6°)、流域面积大于

20000km²,及海拔自西向东梯度较大;这些从 CCA 分析筛选出的关键环境变量组合上也得到了很好的体现。另外,研究区域覆盖了较大的地理范围,所调查的溪流属于不同的亚流域,且有一些物种在该区域不是广布的,可能受到了扩散的限制,导致决定底栖群落结构大尺度的环境变量相对重要性增加。探讨不同空间尺度的关键环境因子及其相对重要性是生态学研究 and 生物多样性保护与恢复的重点;把握合理的空间尺度,将有利于进一步开展溪流生态学方面的研究,和环境监测、管理工作。

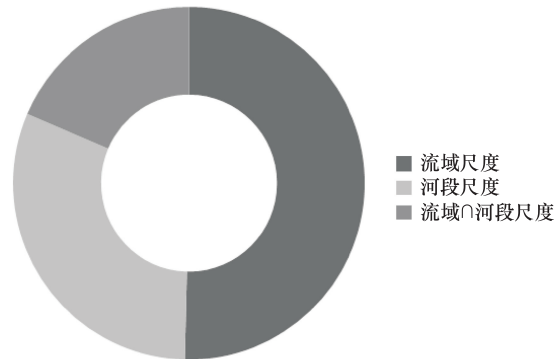


图5 典范对应分析方差分解结果,包括流域尺度环境因子、河段尺度环境因子及二者共同解释大型底栖无脊椎动物群落变异的百分比

Fig. 5 Results of CCA variance partitioning, including relative proportions of explained variation of macroinvertebrate communities attributed to watershed-scale, reach-scale environmental factors, and the shared components of between the two spatial-scales variables

References:

- [1] Bonada N, Prat N, Resh V H, Statzner B. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 2006, 51: 495-523.
- [2] Resh V H. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 138(1/3): 131-138.
- [3] Allan J D, Erickson D L, Fay J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 149-161.
- [4] Weigel B M, Wang L Z, Rasmussen P W, Butcher J T, Stewart P M, Simon T P, Wiley M J. Relative influence of variables at multiple spatial scales on stream macroinvertebrates in the Northern Lakes and Forest ecoregion, U. S. A. *Freshwater Biology*, 2003, 48(8): 1440-1461.
- [5] Sophie C G, Knapen D, Bervoets L. The influence of different spatial-scale variables on caddisfly assemblages in Flemish lowland streams. *Ecological Entomology*, 2011, 36(3): 355-368.
- [6] Johnson R K, Furse M T, Hering D, Sandin L. Ecological relationships between stream communities and spatial scale: implications for designing catchment-level monitoring programmes. *Freshwater Biology*, 2007, 52(5): 939-958.
- [7] Galbraith H S, Vaughn C C, Meier C K. Environmental variables interact across spatial scales to structure trichopteran assemblages in Ouachita Mountain rivers. *Hydrobiologia*, 2008, 596(1): 401-411.
- [8] Johnson R K, Goedkoop W, Sandin L. Spatial scale and ecological relationships between the macroinvertebrate communities of stony habitats of streams and lakes. *Freshwater Biology*, 2004, 49(9): 1179-1194.
- [9] Wu J, Yu Z M, Qian T M. Studies on nitrogen pollution characteristics in Hangzhou section of the Qiantang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(6): 552-556.
- [10] Tong Z, Jia H J, Li H H, Xia Y Z. Study on the development tendency of water quality in Qiantang River Basin. *Journal of Water Resource and Water Engineering*, 2006, 17(5): 80-83.
- [11] Kondolf G M. Application of the pebble count reflections on purpose, method, and variants. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33:79-87.
- [12] River assessment methods benthic invertebrate fauna, river invertebrate classification tool (RICT): Water Framework Directive-United Kingdom Advisory Group (WFD-UKTAG). 2008, 978-1-906934-07-1.
- [13] MEPAC, Standard methods for the analysis of water and wastewater. 2002, 4th edition. Ministry of Environmental Protection of the Peoples' Republic of China, Beijing, China.
- [14] Borcard D, Legendre P, Drapeau P. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 1992, 73(3): 1045-1055.
- [15] Jacobsen D, Schultz R, Encalada A. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 1997, 38(2): 247-261.
- [16] Rundle S D, Jenkins A, Ormerod S J. Macroinvertebrate communities in streams in Himalaya, Nepal. *Freshwater Biology*, 1993, 30(1): 169-180.
- [17] Ao M, Alfred J R B, Gupta A. Studies on some lotic systems in the north-eastern hill regions of India. *Limnologica*, 1984, 15(1): 135-141.
- [18] Suren A M. Macroinvertebrate communities of streams in western Nepal: effects of altitude and land use. *Freshwater Biology*, 1994, 32(2): 323-336.
- [19] Walsh C J, Roy A H, Feminella J W, Cottingham P D, Groffman P M, Morgan R P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 2005, 24(3): 706-723.
- [20] Stewart J S, Wang L Z, Lyons J, Horwath J A, Bannerman R. Influences of watershed, riparian-corridor, and reach-scale characteristics on aquatic biota in agricultural watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(6): 1475-1487.
- [21] Collier K J, Quinn J M. Land-use influences macroinvertebrate community response following a pulse disturbance. *Freshwater Biology*, 2003, 48(8): 1462-1481.
- [22] Vinson M R, Hawkins C P. Biodiversity of stream insects: Variation at local, basin and regional scales. *Annual Review of Entomology*, 1998, 43: 271-293.
- [23] Wu D H, Yu H Y, Wu H Y, Zhou B, Wang B X. Estimation of river nutrients thresholds based on benthic macroinvertebrate assemblages: A case study in the upper reaches of Xitiao Stream in Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 483-488.
- [24] Tang T, Cai Q H, Liu R Q, Li D F, Xie Z C. Distribution of epilithic algae in the Xiangxi River system and their relationship with environmental factors. *Journal of Freshwater Ecology*, 2002, 17(3): 345-352.
- [25] Allan J D. *Stream ecology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, 1995.
- [26] Minshall G W. Aquatic insect-substratum relationships. *The Ecology of Aquatic Insects*, Praeger Scientific, New York, 1984, 358-400.
- [27] Vannote R L, Minshall G W, Cummins K W, Sedell J R, Cushing C E. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1980, 37: 130-137.
- [28] Townsend C R, Doledec S, Norris R, Peacock K, Arbuckle C. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology*, 2003, 48(5): 768-785.
- [29] Urban M C, Skelly D K, Burchsted D, Price W, Lowry S. Stream communities across a rural-urban landscape gradient. *Diversity and*

Distributions, 2006, 12(4): 337-350.

参考文献:

- [9] 吴洁, 虞左明, 钱天鸣. 钱塘江干流杭州段水体氮污染特征分析. 长江流域资源与环境, 2003, 12(6): 552-556.
- [10] 同帆, 贾红建, 李海红, 夏禹周. 钱塘江流域水质发展趋势研究. 水资源与水工程学报, 2006, 17(5): 80-83.
- [13] 水和废水监测分析方法方法, 国家环保总局水和废水监测分析方法编委会. 中国环境科学出版社, 2002 年 12 月.
- [23] 吴东浩, 于海燕, 吴海燕, 周斌, 王备新. 基于大型底栖无脊椎动物确定河流营养盐浓度阈值——以西苕溪上游流域为例. 应用生态学报, 2010, 21(2): 483-488.

附录 I 常见底栖无脊椎生物名录、出现频度

Appendix I List of common species of macroinvertebrates, and their frequency of occurrence in sampling sites

物种名 Species	频度/%	物种名 Species	频度 /%
寡毛纲 Oligochaeta sp.	0.97	<i>Neocylloepus</i> sp1	0.17
环足摇蚊属 <i>Cricotopus</i> sp.	0.92	原石蛾属 <i>Rhyacophila</i> sp.	0.17
仙女虫属 <i>Nais</i> sp.	0.82	巴蛭 <i>Barbronia weberi</i>	0.15
多足摇蚊属 <i>Polypedilum</i> sp.	0.65	水栉水虱 <i>Asellus aquaticus</i>	0.15
四节蜉属 <i>Baetis</i> sp.	0.63	沼甲科 Scirtidae	0.15
摇蚊属 <i>Chironomus</i> sp.	0.62	<i>Nippotipula</i> sp1	0.15
真开氏摇蚊属 <i>Eukiefferiella</i> sp.	0.58	红斑似动蜉 <i>Cinygmia rubromaculata</i>	0.15
毛蠓科 Psychodidae	0.55	鳞石蛾属 <i>Lepidostoma</i> sp.	0.15
提尼曼摇蚊属 <i>Thienemanniella</i> sp.	0.53	白旋螺 <i>Gyraulus albus</i>	0.13
长跗摇蚊属 <i>Tanytarsus</i> sp.	0.45	倒毛摇蚊属 <i>Microtendipes</i> sp.	0.13
蚋科 Simuliidae	0.43	放逸短沟蜷 <i>Semisulcospira libertina</i>	0.12
杆吻虫属 <i>Stylaria</i> sp.	0.42	泉膀胱螺 <i>Physa fontinalis</i>	0.12
流环足摇蚊属 <i>Rheocricotopus</i> sp.	0.42	梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	0.12
涡虫属 <i>Planaria</i> sp.	0.37	<i>Neocylloepus</i> sp2	0.12
米虾属 <i>Caridina</i> sp.	0.33	<i>Oulimnius</i> sp.	0.12
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.30	斑摇蚊属 <i>Stictochironomus</i> sp.	0.12
裸泽蛭 <i>Helobdella nuda</i>	0.27	扁蚴蜉属 <i>Ecdyonurus</i> sp.	0.12
壳粗腹摇蚊属 <i>Conchapelopia</i> sp.	0.27	宽基蜉属 <i>Choroterpes</i> sp2	0.12
假二翅蜉属 <i>Pseudocloeon</i> sp.	0.27	柔裳蜉属 <i>Habrophlebiodes</i> sp1	0.12
宽身舌蛭 <i>Glossiphonia lata</i>	0.25	斑齿蛉属 <i>Neochauiodes</i> sp1	0.12
拟中足摇蚊属 <i>Parametrioctenus</i> sp.	0.25	平唇纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp3	0.12
溪泥甲属 <i>Stenelmis</i> sp1	0.23	华溪蟹属 <i>Sinopotamon</i> sp.	0.10
流粗腹摇蚊属 <i>Rheopelopia</i> sp.	0.22	<i>Ancyronyx</i> sp.	0.10
宽基蜉属 <i>Choroterpes</i> sp1	0.22	水龟虫属 <i>Hydrocassis</i> sp.	0.10
螺科 Ceratopogonidae	0.20	矮突摇蚊属 <i>Nanocladius</i> sp.	0.10
长足摇蚊属 <i>Tanytus</i> sp.	0.20	朝大蚊属 <i>Antocha</i> sp1	0.10
中华细蜉 <i>Caenis sinensis</i>	0.20	黑大蚊属 <i>Hexatoma</i> sp3	0.10
心唇纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp1	0.20	御氏带肋蜉 <i>Cincticostella gosei</i>	0.10
拉长足摇蚊属 <i>Larsia</i> sp.	0.18	扇螳科 Platynemididae	0.10
<i>Acentrella lata</i>	0.18	叉襁属 <i>Nemoura</i> sp.	0.10
黑点细蜉 <i>Caenis nigropunctata</i>	0.18	钩襁属 <i>Kamimuria</i> sp.	0.10
苏氏尾腮蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	0.17	螯石蛾科 Hydrobiosidae	0.10

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元