

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 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 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第8期 2012年4月 (半月刊)

目 次

东北地区5种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣,胡海清(2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲,吴雪海,王佩玲,等(2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜,周 涛,舒 阳,等(2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏,夏北成,秦建桥,等(2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海,李成涛,窦华山,等(2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍,王兆印,潘保柱,等(2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆,李欣海(2361)
2010年牧区2代草地螟成虫迁飞的虫源分析.....	张 丽,张云慧,曾 娟,等(2371)
基于细胞色素b基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠,刘振生,王正寰,等(2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨,彭晚霞,宋同清,等(2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞,张志强,查同刚,等(2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等(2410)
背瘤丽蚌F型线粒体基因组全序列分析.....	陈 玲,汪桂玲,李家乐(2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例.....	李崇巍,胡 婕,王 翊,等(2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东,吕 莹,肖 莹,等(2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松,范秀华,范 娟,等(2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸,郑 华,陈法霖,等(2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应.....	卢钰茜,王振兴,郑怀舟,等(2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红,刘立超,贾荣亮,等(2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红,刘诗琦,马履一,等(2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发.....	吴慧凤,宋希强,刘红霞(2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响.....	杨再强,张继波,李永秀,等(2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元,郭平毅,尹美强,等(2506)
地表臭氧浓度增加和UV-B辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响.....	郑有飞,徐卫民,吴荣军,等(2515)
AMF对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递.....	何跃军,钟章成,董 鸣(2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍,柴洋洋,陈 丽,等(2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩,王正银,赵 欢,等(2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍,孙 涛(2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶,姜志德,张应龙,等(2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅,高 杨,王银霞,等(2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽,郑 平,张 萌,等(2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红,李景保,夏北成,等(2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文,杜良贞,张晓曦,等(2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰,李正才,王 斌,等(2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响.....	欧立军,陈 波,邹学校(2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响.....	陈 伟,蔡昆争,陈基宁(2620)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-04



封面图说:红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大、红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201102220200

徐梦珍,王兆印,潘保柱,巩固梁,刘乐.雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.生态学报,2012,32(8):2351-2360.
Xu M Z, Wang Z Y, Pan B Z, Gong T L, Liu L. Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2351-2360.

雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价

徐梦珍¹, 王兆印^{1,*}, 潘保柱², 巩同梁³, 刘乐¹

(1. 清华大学 水利水电工程系, 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084;
2. 长江科学院, 武汉 430010; 3. 西藏自治区水利厅, 拉萨 850000)

摘要:雅鲁藏布江起源于喜马拉雅山,是世界上海拔最高的河流之一,是流经我国西藏境内重要的国际河流,其河流生态系统具有特殊地貌及生态条件。研究该流域底栖动物多样性分布特征及其影响因子,是科学评价该区域河流生态系统健康状况,实现资源可持续开发利用的基础。2009年10月—2010年6月期间,以底栖动物作为指示物种,对雅江流域干支流及堰塞湖的14个采样断面进行河流生态评价。采用Alpha及Beta生物多样性指数分别指示局部采样河段及全区域的底栖动物多样性。对采样断面底栖动物组成分析发现:14个采样断面共采集到底栖动物110种,隶属57科102属。雅江干流底栖动物种类数最高为29,平均为19。支流年楚河种类数为17。支流拉萨河,尼洋河,帕龙藏布的最高种类数分别为25,33,36;平均种类数分别为21,21,22,生物多样性普遍高于干流。整个流域中底栖动物平均种类数相差不大,但种类组成和密度相差较大。调查区域的Beta多样性指数 β 高于低海拔地区的相似的山区河流,说明雅江流域内底栖动物群落差异性高于正常海拔地区。对14个采样断面的物种组成进行除趋势对应分析表明:影响雅江流域底栖动物多样性的主要因素为河型,河床阻力结构,堤岸结构,水流流速。保持稳定的阶梯-深潭结构和自然堤岸结构,以及适宜的流速有利于保护雅江河流生态。

关键词:雅鲁藏布江;河流生态;底栖动物;生物多样性;海拔;除趋势对应分析

Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin

XU Mengzhen¹, WANG Zhaoyin^{1,*}, PAN Baozhu², GONG Tongliang³, LIU Le¹

1 State Key Laboratory of Hydroscience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2 Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China

3 Department of Water Resources of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China

Abstract: The Yalu Tsangpo River, the highest river in the world, originating from the Himalayas, is the most important international river in Tibet. Compared with rivers in normal elevation areas, the aquatic ecosystem of the Yalu Tsangpo River is unique due to its special topography and ecological conditions. Research about the macroinvertebrates in relation to environments is an important basis for scientific assessment of river ecology and sustainable utilization of water resource in the Yalu Tsangpo River. Field investigations were conducted at 14 sampling sections by using macroinvertebrates as indicators to assess the river ecology of the Yalu Tsangpo River during October 2009 — June 2010. Several alpha diversity indices were used to assess biodiversity of the sampled sections. A beta diversity index was calculated to evaluate the biodiversity of the whole sampled river reaches. From analyses of the assemblage composition of all samples, altogether 110 taxa of macroinvertebrates, belonging to 57 families and 102 genera, were identified from the Yalu Tsangpo River Basin. The maximum and average values of macroinvertebrate taxa richness in the main channel of the Yalu Tsangpo River were 29

基金项目:水利部公益项目(200901078);国家自然科学基金(41071001);国家国际科技合作项目(2011DFA20820)

收稿日期:2011-02-22; 修订日期:2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyw@tsinghua.edu.cn

and 19, respectively. The taxa richness in the tributary Nianchu River, was lower than that in the main channel. The maximum values of taxa richness in the tributaries: Lhasa, Niyang, and Palong Tsangpo rivers were 25, 33, and 36, respectively; and the average values were 21, 21, and 22, respectively, which were higher than those in the main channel. For different sampling sections, no large variance existed in taxa richness, while taxa composition and density of macroinvertebrates were very different. The beta diversity index of the Yalu Tsangpo River, was much higher than that in normal elevation rivers, indicating much higher heterogeneity of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River. Macroinvertebrate assemblages of the 14 sections were clustered using Detrended Correspondence Analysis (DCA). The ordination diagram indicated that the main factors impacted macroinvertebrate assemblages of the Yalu Tsangpo River were river pattern, riverbed structures, bank structures, and flow conditions. Keeping stable step-pool systems, natural bank structures, and suitable flow velocity is in favor of conservation of river ecology of the Yalu Tsangpo River.

Key Words: the Yalu Tsangpo River; river ecology; macroinvertebrate; biodiversity; altitude; Detrended Correspondence Analysis (DCA)

雅鲁藏布江起源于喜马拉雅山,是世界上海拔最高的河流之一,是我国西藏境内重要的国际河流,流域内河流具有众多低海拔河流所不具有的特殊地貌及生态条件。研究该流域底栖动物多样性分布特征及其影响因子,是科学评价该区域河流生态健康状况,保障生态安全,实现资源可持续开发利用的基础。西藏地区生态安全屏障项目开展以来主要关注植被生态系统及其在水土保持中的功能^[1-2],对于水生生态系统,目前的研究有针对湿地生态功能评价方面的^[3-4],针对河流、湖泊等生态状况的甚少,迫切需要开展此类研究。高原河流水源的时空变异性大,使得其生态系统明显区别于其他山区河流^[5]。本文采用大型底栖动物作为指示物种研究雅鲁藏布江高原河流生态系统。大型底栖动物是指个体大于0.5 mm,生活史的全部或部分在水体底部的水生无脊椎动物群。它们寿命长,迁移能力弱,对环境变化反应迅速,在物质循环和能量流动中起着重要作用,因此被作为指示生物广泛应用于河流生态评价中^[6-8]。对欧洲特拉山海拔1700—2200 m范围内的高原湖泊中底栖动物群研究发现:底栖动物物种数随高程降低呈现明显的增加趋势^[9]。对冰川河流中底栖动物群落与环境因子的关系的研究发现:河流的最高水温以及河道的稳定性对底栖动物组成起决定性作用^[5]。依赖冰川补给流量的雅江流域中生活的水生生物多为喜低温物种,对环境变化极为敏感^[10]。对于雅江干支流局部河段的底栖动物组成已有初步调查^[11]。然而,雅江流域上下游海拔落差数千米,底栖动物群在海拔梯度上的变化尚不明确,此外,雅江流域滑坡泥石流阻河,形成了大量堰塞湖,河湖生态系统中底栖动物群组成差异也不明确。

本文着重从流域尺度研究雅江流域河流底栖动物群,进而对雅江生态状况进行评价。主要研究目标为:(1)通过底栖动物群落多样性评价雅江流域各采样断面生态状况;(2)比较底栖动物群落沿高程梯度上的变化,分析高程对高原河流底栖动物群的影响;(3)比较高原河流与普通高程地区河流底栖动物多样性差异;(4)识别影响雅江流域河流底栖动物群的最主要的环境因子。

1 研究区域概况

西藏地处念青唐古拉山脉与喜马拉雅山脉之间,境内地势北高南低,岭谷高差大,坡度陡;加之青藏高原抬升运动,地表形成大小河流数百条,加上季节性间歇河流,总数在千条以上。这些河流几乎均为下切型河流,岸坡稳定性差,易发生崩塌、滑坡、泥石流。河流的水源主要为雨水、冰雪融水和地下水;径流时空分布不均:夏季高于冬季,藏东南高于藏西北。由于地势高,近地面气温低,且多发源于冰川、雪山,本区内河流水温低。该区河流受人类活动干扰少,河流生态系统几乎处于自然状态。

2 研究方法

2.1 采样断面设置

本文通过2009—2010年对雅鲁藏布江干支流水系的考察与测量,选择适宜的采样断面进行底栖动物采

样。14个采样断面分布在雅江干、支流的不同河型、不同底质和水流条件的位置(图1)。采样断面最大高差近1500 m,水温、滨岸植被均存在较大梯度。大多数高海拔的地方水温低,滨岸植被差,水生植物少;低海拔位置的水温一般较高,滨岸植被和水生植被都发育良好。各采样断面环境要素如表1。

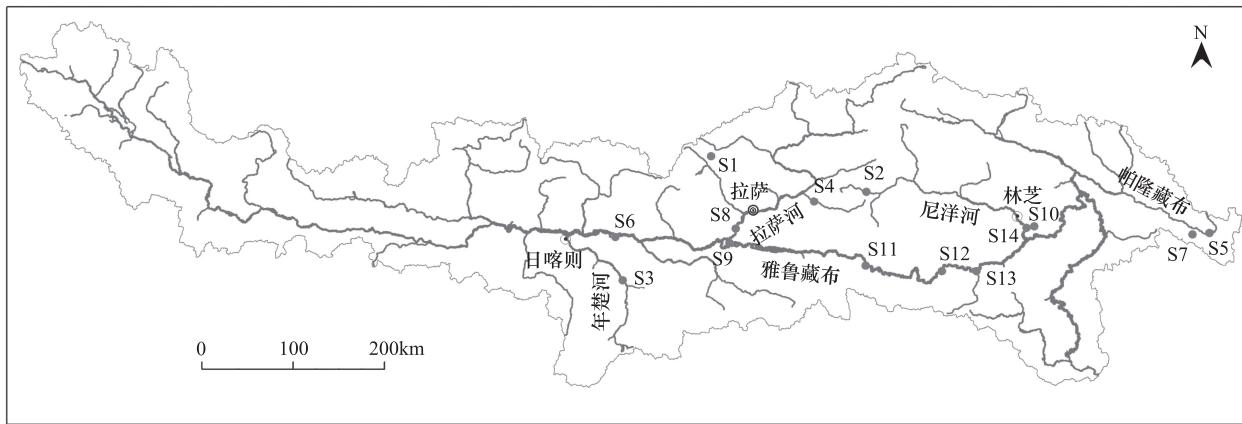


图1 研究区及采样点

Fig. 1 Study area and sampling sites

表1 各采样点的环境参数

Table 1 Environmental factors of sampling sites in the Yalu Tsangpo River Basin

采样断面 Sites	H /m	D_{50} /mm	h /cm	V /(m/s)	DO /(mg/L)	T /°C	河型 Type of river	滨岸植被 Plant	季节 Season
扎曲河 S1	4484	40	0—20	0.3—0.5	8.4	1.3	阶梯-深潭河段	冠层高度1—5 cm高原草甸,覆盖率100%	冬
尼洋河 S2	4228	100	10—40	0.83	8.1	3.5	山区稳定型河流	冠层高度1—5 cm高原草甸,覆盖率100%	冬
年楚河 S3	4014	50	0—25	0.3—0.5	7.9	4.7	分叉河道,底质具大型藻类	堤岸渠化,水位变动区草本覆盖<5%	冬
墨竹玛曲 S4	3916	5	0—15	0.1—0.3	6.15	10.5	分叉通河湿地,底质具腐殖质	冠层高度5—20 cm高原草甸,覆盖率100%	冬
然乌湖 S5	3901	5	20—40	0.1	7.9	3	河道型堰塞湖	水位变动区5 m范围之内没有植被	夏
雅江干流 S6	3768	10	0—30	0.1	9.6	17.4	多叉卵石河段	水位变动区5 m范围之内没有植被	冬
米堆冰川 S7	3752	300	10—30	0.2—0.5	8.5	2	山区卵石河流	水位变动区灌木覆盖率10%	夏
拉萨河 S8	3598	150	0—50	0.2—0.8	10.3	10.5	宽河谷,急流分叉卵石、水草	冠层高20—500 cm草、禾、木本覆盖率100%	冬
雅江干流 S9	3566	200	0—50	0.1	7.7	12.4	宽河谷,分叉浮泥碎石河段	水位变动区5 m范围之内没有植被	冬
尼洋支流 S10	3514	500	0—40	0.3—0.5	8.1	7.2	阶梯-深潭稳定河段	堤岸渠化,水位变动区草本覆盖<5%	冬
雅江干流 S11	3237	1000	50—150	0.5—1.5	8	8.0	阶梯-深潭稳定急流河段	水位变动区5 m范围之内没有植被	夏
雅江干流 S12	2993	800	10—50	0	6.7	13	静水河湾	水位变动区5 m范围之内没有植被	夏
里龙普曲 S13	2959	300	20—40	0.3—2	7.8	8.0	雅江之大流量支流	冠层高度5—200 cm高原草甸,覆盖率50%	夏
尼洋河 S14	2948	30	30—100	0.3—1.5	7.5	15	高原流水湿地	冠层高度1—10 cm草本、灌木,覆盖率80%	夏

H :高程; D_{50} :底质中值粒径; h :水深; V :流速;DO:溶解氧; T :水温;季节:采样季节

2.2 材料及方法

底栖动物采样工具为适于山区河流底栖动物采样的踢网。采样时都是分别选取3处有代表性的底质条件,各处采样面积均为 $1/3\text{ m}^2$,总采样面积为 1 m^2 。采集到的底栖动物及时带回室内挑拣,并保存在75%的酒精中,带到实验室鉴定,一般鉴定到科或者属级水平^[12]。

2.3 分析方法

采用广泛使用的Alpha及Beta生物多样性指数分别指示局部采样河段及全区域的底栖动物多样性。其中,Alpha生物多样性指数为物种丰度(taxa richness, S)、改进Shannon-Wiener多样性指数 B ;Beta生物多样性指数 β 。

物种丰度 S ,指采样面积内的生物物种数,本文指的是各样点的底栖动物种类数。 S 越高,底栖动物群生物多样性越高,河流生态越好。

$$\text{改进 Shannon-Wiener 多样性指数 } B: \quad B = -\ln N \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中, $P_i = n_i/N$, 表示第 i 种个数占样本总数 N 的比例。 B 越高, 河流生态越好。

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J: \quad J = B/H_{\max} = B/\ln S \quad [13] \quad (2)$$

式中,各参数同上,该指数表示实测多样性与最大多样性之比, J 越大,均匀度越高。

密度 D ,单位面积内的底栖动物个体总数(个/ m^2)。

$$\text{Beta 多样性指数 } \beta: \quad \beta = \frac{M}{\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S m_i} \quad (3)$$

式中, M 为研究区域中选择的采样断面数量, m_i 为出现第 i 个物种的采样断面数。在对不同流域的差异性进行比较时,一般选择采样断面数量相同,且采样方法和强度相近的流域来计算 β 值。 β 值越高,研究区域的底栖动物群的差异性越大^[14]。

排序也叫梯度分析,是将样方或植物种排列在一定的空间,使得排序轴能够反映一定的生态梯度,从而能够解释物种的分布与环境因子间的关系。除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis,DCA)是国际上应用最广泛的间接排序分析方法,其通过对每一排序轴所求得的序列分数给予重新划分(Rescaling),反映生物群落与环境因素间的关系。其排序轴的长度反映生态梯度,即长度越大,样点差异性越高^[15-18]。本文采用软件CANOCO4.53对样本进行DCA排序,进而通过样点的聚类特征来辨识影响高原河流生态的主要因素。

3 结果与讨论

3.1 底栖动物种类组成与多样性比较

14个采样断面共采集到底栖动物110种,隶属57科102属(表2),其中涡虫纲Turbellaria 1种,线虫纲Nematoda 1种,寡毛纲Oligochaeta 16种,蛭纲Hirudinea 4种,腹足纲Gastropoda 6种,双壳纲Bivalvia 1种,蛛形纲Arachnida 1种,甲壳纲Crustacea 1种,昆虫纲Insecta 79种。其中某些物种是在低海拔河流中很少甚至从未采到的,如图2中所示的昆虫纲的一种和蛭纲的一种。雅江流域内底栖动物以水生昆虫为主,其次为寡毛纲、腹足纲,其中寡毛纲占14.5%,蛭纲占3.6%,腹足纲占5.5%,昆虫纲Insecta超过70%。此结果与雅江流域江雄村河段测量到的情况相比^[11],总物种数为后者的2.3倍,寡毛纲及腹足纲的比例均高于后者,而昆虫纲的比例则低于后者。二者间的差异反映雅江全流域内底栖动物多样性及差异性均高于局部河段。

表3给出了各采样断面的Alpha多样性指数,以及整个研究区域的Beta多样性指数。S7处的物种丰度 S 最高,为36,而S10处的改进Shannon-Wiener指数 B 最高,为20.4。S5处的 S 和 B 均最低,分别为8和3.1。雅江干流物种丰度最高为29,平均为19;支流年楚河物种丰度为17,低于干流;支流拉萨河,尼洋河,帕隆藏布物种丰度最高分别为25,33,36,平均分别为21,21,22,基本都高于干流。因此,中下游支流中底栖动物群Alpha多样性均高于干流。



图2 昆虫纲(Insecta)的一种(a), 采自S2与纲(Hirudinea)的一种, 采自S6(b)

Fig. 2 A species of insecta, taken from S2 (a) and a species of Hirudinea, taken from S6 (b)

表2 各采样点底栖动物组成

Table 2 Assemblage composition of macroinvertebrates of each sampling site

门 Phylum	科 Family	采样点 S Sampling site													
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
扁形动物 Platyhelminthes	涡虫纲 Turbellaria 一科	0	ud	0	0	0	0	ud	0	0	ud	0	0	0	0
线虫动物 Nematoda	线虫纲 Nematoda 一科	0	0	0	0	0	ud	0	0	ud	ud	0	0	0	0
环节动物 Annelida	扁蛭科 Glossiphoniidae	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	舌蛭科 Glossiphoniidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鱼蛭科 Piscicolidae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	颤蚓科 Tubificidae	0	0	0	1	2	2	5	2	2	1	0	2	1	2
	带丝蚓科 Lumbriculidae	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	线蚓科 Enchytraeidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	仙女虫科 Naididae	0	0	0	0	0	7	7	4	1	0	0	0	0	0
软体动物 Mollusca	椎实螺科 Lymnaeidae	0	0	0	1	0	1	0	2	2	0	2	2	0	0
	扁卷螺科 Planorbidae	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0
	膀胱螺科 Physidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	瓶螺科 Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	球蚬科 Sphaeriidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
节肢动物 Arthropoda	钩虾科 Gammaridae	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
	水壁蝨科 Hydrachnidae	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
	四节蜉科 Baetidae	2	2	2	0	2	0	1	2	0	2	2	1	2	2
	扁蜉科 Heptageniidae	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0
	小蜉科 Ephemerellidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	细裳蜉科 Leptophlebiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	短丝蜉科 Siphlonuridae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	蜻科 Libellulidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	螭科 Coenagrionidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	箭蜓科 Gomphidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	石蝇科 Perlidae	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
	绿𫌀科 Chloroperlidae	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	短尾石蝇科 Nemouridae	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	黑𫌀科 Capniidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	大𫌀科 Pteronarcidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	网𫌀科 Perlodidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	卷𫌀科 Leuctridae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	划𫌀科 Corixidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

续表

门 Phylum	科 Family	采样点 S Sampling site													
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
	水蛉科 Sisyridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	纹石蛾科 Hydropsychidae	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	原石蛾科 Rhyacophilidae	0	2	0	1	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0
	沼石蛾科 Limnephilidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	长角石蛾科 Leptoceridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	石蛾科 Phryganeidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	管石蛾科 Psychomyiidae	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	细翅石蛾科 Molannidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	短石蛾科 Brachycentridae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	螯石蛾科 Hydrobiosidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	舌石蛾科 Glossosomatidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	等翅石蛾科 Philopotamidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	长角泥甲科 Elmidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	叶甲科 Chrysomelidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	长跳目	0	ud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Entomobryomorpha 一科														
	大蚊科 Tipulidae	4	2	4	0	0	0	1	0	2	4	1	0	0	0
	蚋科 Simuliidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
	蠓科 Ceratopogonidae	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	毛蠓科 Psychodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	长足虻科 Dolichopodidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	舞虻科 Empididae	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	水虻科 Stratiomyidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	网蚊科 Blephariceridae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	蝇科 Muscidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	摇蚊科 Chironomidae	6	3	5	3	1	8	9	8	7	5	7	4	5	8

ud 表示没有鉴定到科或者属;下划“_”线的表示鉴定到属,数据是属数

表 3 各样点生物多样性指数

Table 3 biodiversity indices (BI) of macroinvertebrate assemblage in each sampling site

采样断面	Alpha 多样性指数						Beta 多样性指数 β
	$S(t)$	$S(I)$	$S(o)$	B	J	D	
S1	21	19	2	13.4	4.4	620	—
S2	21	20	1	14.5	4.77	672	
S3	17	15	2	10.1	3.57	375	
S4	17	11	6	10.5	3.69	186	
S5	8	5	3	3.1	1.5	192	
S6	29	11	18	14.1	4.2	346	
S7	36	23	13	15.7	4.37	326	
S8	25	13	12	17.4	5.41	830	
S9	17	9	8	12.2	4.3	2440	
S10	33	29	4	20.4	5.85	1513	
S11	18	15	3	13.1	4.52	279	
S12	14	7	7	9.5	3.61	680	
S13	16	15	1	7.2	2.58	46	
S14	20	15	5	10.4	3.45	2415	
雅江平均	21	15	6	12.3	4.02	780	3.96
拒马河平均	25	18	7	14.4	0.7	754	2.98

 $S(t)$, $S(I)$, $S(o)$ 分别表示样本中总物种丰度,水生昆虫物种丰度,其他类群物种丰度

表3同时给出了Beta多样性指数 β 的结果,其计算方法为:选择14个采样断面中差异性最大的8个断面(即 $M=8$)计算 β ,其结果为3.96,该值远高于微地貌条件相似的低海拔地区的山区河流的 β 值,如采样方法和采样强度相似的北京郊区拒马河流域的 β 值约为2.98。说明雅江底栖动物区域差异性高于低海拔河流,保护雅江生物多样性应从全流域出发,不能限于局部河段。

3.2 海拔高程对底栖动物群的影响

图3(a)所示,在海拔2900—3500 m范围内,各样点总物种丰度 $S(t)$ 、水生昆虫物种丰度 $S(I)$ 及其他类群物种丰度 $S(o)$ 均呈现随高程增加而增加的趋势,在3500—3800 m内达到最大,在海拔超过3800 m后,又恢复到较低水平。可见,许多物种喜好海拔3500—3800 m的范围。巴西东南部地区的研究也表明,河流底栖动物群物种丰度随海拔升高而增加^[19]。对海拔范围在1700—2200 m范围内的高原湖泊中的底栖动物群的研究却发现:总物种丰度,水生昆虫物种丰度,以及其他类群物种丰度均随海拔升高而降低^[9]。静水湖泊和流水溪流中不同的水流条件可能是造成结果不同的原因之一。图3(b)所示,改进Shannon-wiener指数 B 及均匀度指数 J 随高程呈现相似的波动趋势,在海拔3500 m左右达到最高,在海拔3000 m及4000 m处达到最低。

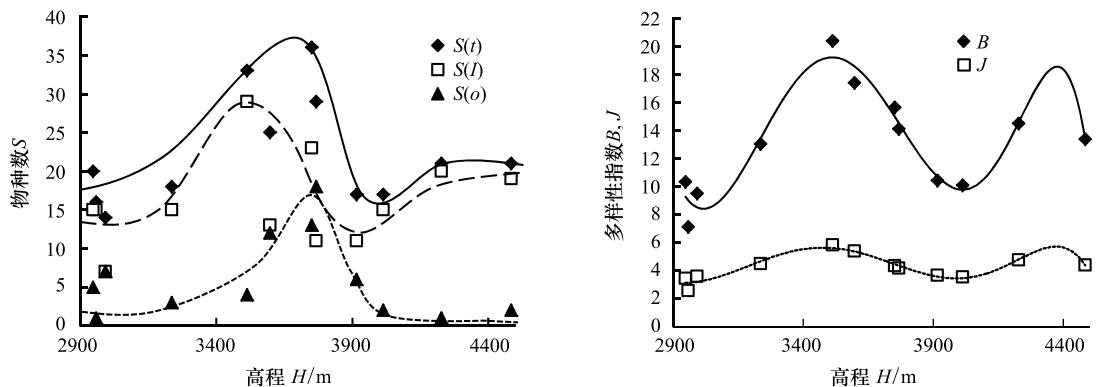


图3 多样性指数随高程 H 的变化

Fig. 3 Biodiversity indices change with altitudes

图4表示采样断面累计物种数 s_n 与高程的关系。采样断面累计物种数 s_n 是指:从高程最高的采样断面S1计数出现的新物种的累计为 s_1 ,高程降至S2时,出现的新物种为 ds_2 ,则S2时的累计物种数 $s_2=s_1+ds_2$,依此类推:当高程降至采样断面Sn的高程时,其累计物种数 $s_n=s_{n-1}+ds_n$ 。根据图4:随着采样断面高程的降低,新物种逐渐出现,累计物种数 s_n 随高程的降低而增加,且在高程为3800—4100 m范围内,增加的速率快;高程低于3800 m或高于4100 m时,新物种增加的速率慢。地貌学上的研究表明,在海拔3500—4000 m范围内,地球地貌发生了突变^[20],可能也是造成生物多样性突变的一个原因,二者间的关系需进一步探讨。

图5为各采样断面的节肢动物(Arthropoda)、软体动物(Mollusca)、环节动物(Annelida)及其他(Other)类群的密度组成。各断面底栖动物总密度随高程波动。在所有断面处,节肢动物均为优势类群。对于干流中的断面:环节动物所占的比例表现为上游明显高于中下游;对于中、下游支流断面:底栖动物总密度随高程增加而降低。且下游支流中软体动物或环节动物所占比例

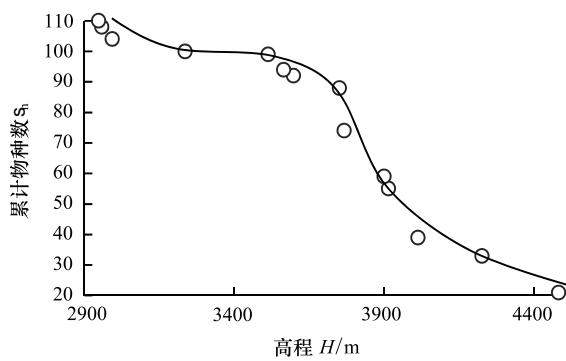


图4 累计物种数 s_n 随高程的变化

Fig. 4 Relation between accumulative taxa richness, s_n and altitudes

基本都高于上、中游及中下游支流。

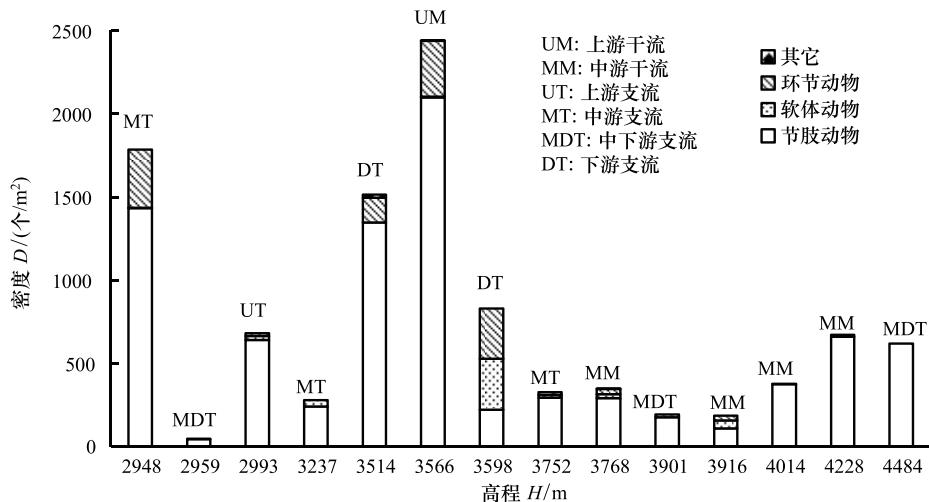


图 5 底栖动物密度随高程的变化

Fig. 5 Density of macroinvertebrate assemblages along altitudes

图 6 为各断面底栖动物功能摄食类群:捕食者,撕食者,刮食者,滤食收集者,牧食收集者的密度组成。各断面底栖动物基本均包含 4 个功能摄食类群。中游支流主要有捕食者,滤食收集者,刮食者,及撕食者。且撕食者主要分布在 2900—3600 m 及 4000—4400 m 海拔范围内,而刮食者主要分布在 3500—4500 m 范围内。捕食者及牧食收集者在所有海拔内都有分布。此外,中下游支流中:捕食者的比例随着海拔增加而增加;中游支流中:牧食收集者的比例随着海拔的增加而降低。滤食收集者偏好 3500—3900 m 的海拔范围内的雅江干流河段。有研究指出牧食收集者,撕食者以及刮食者相对丰度与海拔之间存在明显的相关关系,这可能是由于温度变化,太阳辐射,以及遮盖物随海拔变化引起的,且认为海拔及河流纵向上的位置变化是引起底栖动物功能摄食类群变化的重要原因之一^[21]。但另一研究指出底栖动物均匀度及密度随高程并不明显相关,且功能摄食类群组成也不随海拔发生明显的变化,这与本文的结果存在差异^[9]。

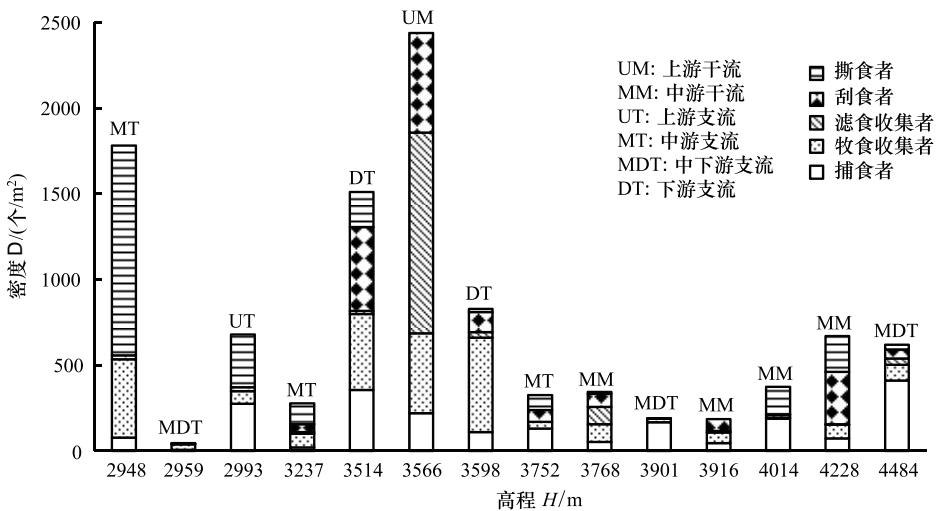


图6 各样点各功能摄食类群密度组成

Fig. 6 Density of each functional feeding group of macroinvertebrates in each sampling site

3.3 除趋势对应分析(DCA)

图7为各断面底栖动物组成除趋势对应分析的排序图,轴1和轴2上的特征值分别为0.685和0.481,且

前两轴对物种的解释率为 26.3%。根据样本的聚类特征及表 1 中采样断面的环境因子对应分析可知:水温低于 10 ℃ 及高于 10 ℃ 的样本点分别分布在轴 2 的左侧及右侧;且河床结构及河型均影响样本点的分布,具有阶梯-深潭结构的样本点分布在轴 2 的左边,分叉河道的样本点分布在轴 2 的右边。水流流速也影响样本点沿轴 2 的分布:流速适宜度高的样本点((0.3—1.0) m/s 的流速范围为适宜度高的流速范围^[12, 22])一般分布在轴 2 的 0 点附近或<0 的范围内,而流速不适宜的样本点(流速过低(<0.3 m/s)或过高(>1.0 m/s))一般分布在轴 2>0 的范围内。滨岸条件也影响样本点的分布,如 S3 虽也为分叉河道,具有卵石底质及适宜的流速,但其渠化的混凝土堤岸使得该断面底栖动物组成与其他断面显著差异。因此,水流条件(如水温,流速),河道条件(如河床结构,河流形态),以及滨岸条件(如堤岸形态,滨岸植被)等都对塑造雅江流域底栖动物群落结构起着重要作用。保持稳定的阶梯-深潭结构,自然的堤岸形态,及适宜的水流条件是保持雅江流域良好河流生态的重要条件。

4 结论

(1) 雅鲁藏布江流域河流底栖动物分布具以下特征:采样河段局部多样性不高,底栖动物物种丰度为 8—36,改进 Shannon-Wiener 指数为 3—20。干流上游物种丰度高于中游,上游支流年楚河物种丰度低于干流;中游支流拉萨河、尼洋河、帕龙藏布物种丰度普遍高于干流。因此,雅江流域河流生态状况表现为:干流上游优于中游,上游支流差于干流,中游支流优于干流。支流及干流的平均物种丰度相差不大,但各河段的物种差异性大,密度和结构组成均相差较大,底栖动物 Beta 多样性指标明显高于低海拔地区的山区河流。

(2) 雅江流域内底栖动物群组成与高程有关,高程在 3500—3800 m 内的断面物种丰度普遍高于 2900—3500 m 及 3800 m 以上的断面。且随着高程降低,新物种逐渐出现,区域内累计出现的物种数逐渐增加,在高程为 3800—4100 m 范围内,增加速率最快。底栖动物功能摄食类群也随高程发生变化,撕食者、刮食者,及滤食收集者对高程范围具明显的选择性,牧食收集者及捕食者能适应各种高程。

(3) 水流条件(如水温,流速)、河道条件(如河床结构,河流形态),以及滨岸条件(如堤岸形态,滨岸植被)等都对塑造雅江流域底栖动物群落结构起着重要作用。保持稳定的阶梯-深潭结构,自然的堤岸形态,及适宜的水流条件是保持雅江流域良好河流生态的重要条件。

References:

- [1] Liu Q, Ge X J, Chen W L, Columbus J T. Grass (Poaceae) richness patterns across China's nature reserves. *Plant Ecology*, 2009, 201(2): 531-551.
- [2] Chang Y F. Water conservancy construction with recovery of ecological environment in Tibet. *China Water Resource*, 2005, (4): 47-48.
- [3] Huang Y J, Zhang Z X, Zhou Q B. Eco-environmental synthetic evaluation in Mid-Tibet. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 318-321.
- [4] Zhang T H, Chen L D, PuBuDanBa, Huang Q Z, Xu J Y. Evaluation of Lalu Wetland ecosystem services in Lhasa, Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3176-3180.
- [5] Milner A M, Brittain J E, Brown L E, Hannah D M. Water sources and habitat of alpine streams//Bundi U, ed. *Alpine Waters. The Handbook of Environmental Chemistry*, 2010, 6: 175-191.
- [6] Plafkin J L, Barbour M T, Porter K D, Gross S K, Hughes R M. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers. EPA444/4-89-001. U. S. Washington: Environmental Protection Agency, 1989.

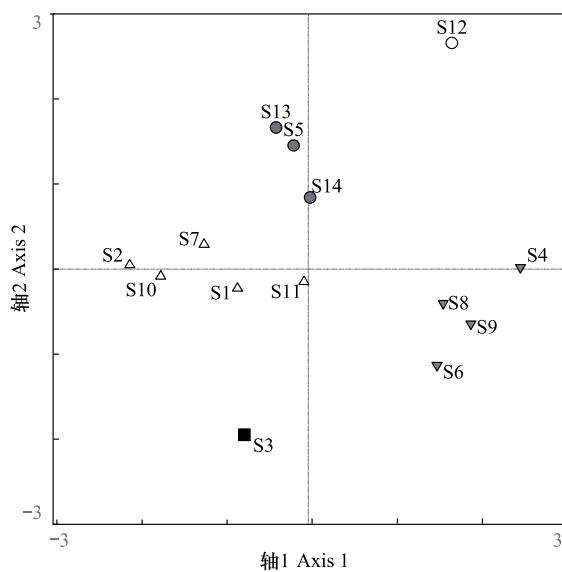


图 7 各样点的除趋势对应分析排序图

Fig. 7 Ordination diagram of sampling sites by detrended correspondence analysis (DCA)

- [7] Smith M J, Kay W R, Edward D H D, Papas P J, Richardson k S T, Simpson J C, Pinder A M, Cale D J, Horwitz P H J, Davis J A, Yung F H, Norris R H, Halse S A. AusRivAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2) : 269-282.
- [8] Karr J R. Defining and measuring river health. *Freshwater Biol*, 1999, 41(2) : 221-234.
- [9] Čiamporová-Zat'ovičová Z, Hamerlík L, Šporka F, Bitušk P. Littoral benthic macroinvertebrates of alpine lakes (Tatra Mts) along an altitudinal gradient: a basis for climate change assessment. *Hydrobiologia*, 2010, 648(1) : 19-34.
- [10] Skjelkvåle B L, Wright R F. Mountain lakes; sensitivity to acid deposition and global climate change. *Ambio*, 1998, 27(4) : 280-286.
- [11] Zhao W H, Liu X Q. Preliminary study on macrozoobenthos in Yarlung Zangbo River and its branches around Xiongcun, Tibet, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(3) : 281-286.
- [12] Duan X H, Wang Z Y, Xu M Z, Zhang K. Effect of streambed sediment on benthic ecology. *International Journal of Sediment Research*, 2009, 24(3) : 325-338.
- [13] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley Inters, 1975 : 163-163.
- [14] Wang Z Y, Lee J H W, Melching C S. *Integrated River Training and Management*. Berlin and Beijing: Springer-Verlag and Tsinghua University, 2010.
- [15] Hill M O, Gauch H G Jr. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Plant Ecology*, 1980, 42(1/3) : 47-58.
- [16] Yang B Z, Kong D Z. The quantitative classification, ordination and rational utilization of grassland vegetation types of the Nanling mountains, Hunan province. *Journal of Natural Resources*, 1991, 6(2) : 153-169.
- [17] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004 : 357-357.
- [18] Jia X N, Cheng J N, Wan H E. Application present situation of DCA、CCA、and DCCA ordination of grassland vegetation communities in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(12) : 391-395.
- [19] Henriques-Oliveira A L, Nessimian J L. Aquatic macroinvertebrate diversity and composition in streams along an altitudinal gradient in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 2010, 10(3) : 115-128.
- [20] Lu X X, Zhang S R, Xu J C, Merz J. The changing sediment loads of the Hindu Kush-Himalayan rivers: an overview//Proceedings of the ICCE Workshop held at Hyderabad, India, September 2009. IAHS Publication, 2011 : 349-349.
- [21] Tomanova S, Tedesco P A, Campero M, Van Damme P A, Moya N, Oberdorff T. Longitudinal and altitudinal changes of macroinvertebrate functional feeding groups in neotropical streams: a test of the River Continuum concept. *Fundamental and Applied Limnology (Archiv für Hydrobiologie)*, 2007, 170(3) : 233-241.
- [22] Duan X H, Wang Z Y, Xu M Z. *Benthic Macroinvertebrate and Application in the Assessment of Stream Ecology*. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.

参考文献:

- [2] 畅益峰. 水利工程与西藏水保生态建设. *中国水利*, 2005, (4) : 47-48.
- [3] 黄裕捷, 张增祥, 周全斌. 西藏中部的生态环境综合评价. *山地学报*, 2000, 18(4) : 318-321.
- [4] 张天华, 陈利顶, 普布丹巴, 黄琼中, 徐建英. 西藏拉萨拉鲁湿地生态系统服务功能价值估算. *生态学报*, 2005, 25(12) : 3176-3180.
- [11] 赵伟华, 刘学勤. 西藏雅鲁藏布江雄村河段及其支流底栖动物初步研究. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(3) : 281-286.
- [16] 杨宝珍, 孔德珍. 湖南南岭草地植被类型的数量分类、排序及其合理利用. *自然资源学报*, 1991, 6(2) : 153-169.
- [17] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社. 2004 : 357-357.
- [18] 贾晓妮, 程积民, 万惠娥. DCA、CCA 和 DCCA 三种排序方法在中国草地植被群落中的应用现状. *中国农学通报*, 2007, 23(12) : 391-395.
- [22] 段学花, 王兆印, 徐梦珍. 底栖动物与河流生态评价. 北京: 清华大学出版社, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.8 April ,2012(Semimonthly)
CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoxin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula leai</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of calorific value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decompositon by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and it's application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcui, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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 1000717, 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	京海工商广字第 8013 号	
许 可 证		



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