

汉江中下游水生植物多样性及南水北调工程对其影响

徐新伟, 吴中华, 于 丹*, 刘春花, 李中强, 肖克炎

(武汉大学梁子湖野外生态科研站, 武汉 430072)

摘要: 1997~2000 年对汉江中下游 8 个江段水生植物种类组成、分布、生物量做了调查。汉江中下游共有水生植物 18 科 22 属 34 种, 以世界广布种为主, R/T 值为 0.67。中游以沉水植物群落为优势, 建群种为轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、穿叶眼子菜 (*Potamogeton perfoliatus*) 和微齿眼子菜 (*P. maackianus*); 下游主要为挺水植物群落, 建群种为东方香蒲 (*Typha orientalis*) 和芦苇 (*Phragmites communis*), 生物量为 $57.5 \sim 2100 \text{g/m}^2$; α -多样性在丹江口最高 (0.546), 老河口次之 (0.517), 仙桃最低 (0); 生活型多样性在中游丹江口最大 (0.402); β -多样性在时间梯度 6~8 月份在所有样点 $\beta=0$, 水平梯度 $\beta=0.79$, 垂直梯度 $\beta=1.48$; γ -多样性在汉江中游为 29 种, 在下游为 10 种。中游地区水生环境适合水生植物生长, 而下游人类活动导致水环境趋于恶化限制了水生植物分布。

关键词: 汉江; 水生植物; 多样性

Diversity of Aquatic Plants in Hanjiang River Basin and Possible Effects of the Engineering of Transferring Water from South China to North China on it

XU Xin-Wei, WU Zhong-Hua, YU Dan, LIU Chun-Hua, LI Zhong-Qiang, XIAO Ke-Yan
(Liangzi Lake Field Station of Freshwater Ecology, Wuhan University, Wuhan 430072, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1933~1938.

Abstract: The species composition, distribution, biomass, diversity of aquatic plants in eight sections of Hanjiang River were surveyed during 1997~2000. There were 34 species belonging to 22 genera and 18 families in the middle-reaches and the lower reaches of Hanjiang River which were dominated by the cosmopolitan species and the R/T value was 0.67. In the middle reaches, they were mainly dominated by the submerged plant communities, and the constructive species were such as: *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton perfoliatus* and *P. maackianus*. Comparatively, they were mainly dominated by the emergent plant communities in the lower reaches, and the constructive species were *Typha orientalis* and *Phragmites communis*. However, the maximal biomass of the plant communities was 2100g/m^2 and the minimal value was 57.5g/m^2 . α -diversity was the highest in Danjiangkou section (0.546), following by Laohekou section (0.517) and the lowest in Xiantao section (0). Life-form diversity was maximal in Danjiangkou section of the middle reaches (0.402). β -diversity was zero for all sample plots from June to August along time gradient. In addition, β -diversity were 0.79 along horizontal gradient and 1.48 along vertical gradient. γ -diversity was higher in middle reaches (29 species) than in lower reaches (10 species) of Hanjiang River. As a result, aquatic plants are rich in the middle reaches of Hanjiang River where water is comparatively

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G2000046802); 国家自然科学基金重点资助项目 (39830060)

收稿日期: 2001-04-15; **修订日期:** 2002-07-10

作者简介: 徐新伟 (1976~), 男, 浙江省宁海县人, 讲师, 博士。从事水生植物生态研究。

* 通讯作者 万方数据 correspondence E-mail: yudan01@public.wh.hb.cn

healthy, but lower in the lower reaches because of water pollution.

Key words:Hanjiang River; aquatic plants; diversity

文章编号:1000-0933(2002)11-1933-06 中图分类号:Q948.8 文献标识码:A

汉江是长江第一大支流,发源于陕西省秦岭南麓,在武汉龙王庙汇入长江。汉江干流丹江口以上为上游,丹江口至钟祥河段为中游,中游多流经丘陵及河谷盆地,平均比降为 1.9‰,河水含沙量大,多年平均为 2.39kg/m³,河床底质在襄樊以上多卵石,襄樊至宜城为砂卵石,宜城以下多为沙石,河床时淤时冲不稳定,枯水期河宽 0.3~0.4km,洪水期河宽 2~3km,最宽处达 5~6km;钟祥至汉口龙王庙为下游,平均比降为 0.9‰,含沙量 0.0034~0.055kg/m³,河床多为沙质,水流缓慢,河道变窄,至河口附近宽不及 0.2km。汉江流域属东亚副热带季风气候区,四季分明,气候温和,平均气温 16℃,无霜期在 250d 以上,降水较丰沛,多年平均为 700~1300mm,多集中在 5~10 月份,占全年降雨量的 70%~80%。汉江径流量年际变化较大,丰水年平均流量 3310m³/s,枯水年平均流量为 572m³/s^[1]。

汉江中游的丹江口水库是我国南水北调中线工程的源头,水利工程的兴建改变了江河中水流的性质和特征,河水流量、河道宽度、水位、生境异质性等都发生变化,从而对水生植物的生长和繁殖产生影响。目前国内在汉江水生植物多样性方面的研究较少,因此,在南水北调中线工程即将实施时,开展对汉江水生植物多样性的研究,有助于阐明汉江水生植物的生态学特征和功能、汉江干流的栖息地质量、正确评价汉江水资源的生态功能。通过研究水生植物在汉江中下游各江段的分布和生长情况,探讨大型水利工程对水生植物生长、分布及多样性影响,以期能为河流水生植物的生态学研究 and 即将进行的南水北调中线工程对汉江生态环境影响方面提供基础资料。

1 研究方法

1.1 研究地点

在汉江中游至下游选择 8 个代表性江段,中游为郧县、丹江口、老河口、襄樊,下游为潜江、仙桃、蔡甸、汉口。

1.2 样地确定

在各江段,选取 3 个平行样地,样地间隔 5km,在样地采样过程中,以样地中心为距,各选取 1km 长江段,并在横断面上选择沿岸带、亚沿岸带、中央深水区 and 浅滩等地作为取样点,用 GPS 定位。

1.3 水体理化指标测定

用便携式测氧仪、pH 计、电导率仪、流速计等测定水体溶氧浓度、pH 值、电导率值、水深、流速等。

1.4 生物量测定

在固定的样地和样带上,深水区用 0.2m² 的采草器采样,浅水及湿地采用收割法采样,截取 2m×2m 样方面积,记录样地内物种组成 and 盖度,并统计生物量。

1.5 数据处理

根据生物量与物种数目,由下式计算 α 、 β 、 γ 多样性值。
 α 多样性用 Shannon-Wiener Index^[2]测定: $\alpha = - \sum P_i \log_2 P_i$ (尼特/个体)
 P_i 为属于种 i 的个体在全部个体中的比例。
 β 多样性根据 Wilson^[3]公式: $\beta = (g + 1) / 2a$
 γ 多样性: 某一地区的物种数量。

2 结果

2.1 水体理化指标

对水体主要理化因子进行了测量(表 1)。pH 值在汉江中下游表现出下降—上升—下降—上升的折线趋势,汉江中下游水体基本呈弱碱性。溶解氧在郧县最大,达到 10.4mg/L,在老河口下降到 8.8mg/L 后在仙桃又开始回升,数据为 10.1mg/L,也呈现出波动现象。
江水流速在汉江上中游,可能是丹江大坝的拦阻作用,对水流起了一定缓冲作用,流速较慢;在汉江下

游,河道较窄,流速较急。电导率在郧县至汉口江段,表现出较显著的上升趋势,说明江水中化学导电物质浓度呈现出积累效应。

丹江大坝以上江段主要为沙质基底,而大坝以下丹江口和老河口主要是沙石和泥沙基底,由于砾石的作用,对水生植物根的固着有很好的帮助,这也是这两个江段中水生植物多样性较高的一个原因。在襄樊~汉口江段主要为软泥沙基底。

表 1 不同江段水体理化指标

Table 1 The physical and chemical features of eight sections in Hanjiang River

江 段 Section	pH 值 pH	溶解氧 (g/L) DO	流速 (m/s) Flow velocity	电导率 (10 μ s/cm) Conductivity	总氮 (mg/L) TN	总磷 (mg/L) TP	NH ₃ -N (mg/L) Ammonia nitrogen	NO ₂ -N (mg/L) NO ₂ ⁻ nitrogen	NO ₃ -N (mg/L) NO ₃ ⁻ nitrogen	基 底 Bottom features
郧 县	8.44	10.4	0.4	22.9	1.31	0.010	0.012	0.005	1.05	沙
丹江口	8.28	9.5	0.2	23.4	1.33	0.015	0.130	0.015	1.01	沙石 泥沙
老河口	8.00	8.8	0.2	29.3	1.29	0.016	0.050	0.009	0.80	沙石 泥沙
襄 樊	8.25	9.2	0.4	33.2	1.38	0.034	0.256	0.018	0.96	泥沙 软泥
潜 江	8.30	9.3	0.5	36.8	2.08	0.080	0.070	0.016	0.10	泥沙 软泥
仙 桃	7.52	10.1	0.5	36.2	1.32	0.025	0.070	0.010	0.72	泥沙 软泥
蔡 甸	8.24	7.6	0.25	38.3	1.65	0.062	0.300	0.015	0.87	泥沙 软泥
汉 口	7.45	8.7	0.2	39.9	1.62	0.082	0.220	0.016	0.78	泥沙 软泥

2.2 水生植物种类组成

汉江中下游共有水生植物 18 科 22 属 34 种^[4,5],其中蕨类植物 2 科 2 属 2 种,分别占总数的 11.1%、9.1% 和 6%;种子植物 16 科 20 属 32 种,分别占总数的 88.9%、90.9% 和 94%,其中双子叶植物 7 科 7 属 7 种,分别占种子植物的 43.8%、35% 和 22%,单子叶植物 9 科 13 属 25 种,占种子植物的 56.2%、65% 和 78%,按生活型划分挺水植物 13 种,浮叶植物 2 种,沉水植物 13 种,漂浮植物 6 种。

2.3 地理成分分析

汉江中下游水生植物含有 5 个分布区类型^[6],即世界分布、泛热带分布、旧世界热带分布、北温带分布和旧世界温带分布(表 2)。根据统计分析的结果来看,汉江中下游水生植物分布的特点是:以世界分布为主,从热带分布与温带分布比较,两者 R/T 值为 0.67,温带分布略占优势。

2.4 主要群落及其生物量

水生植物群落生物量在丹江口至襄樊段较高,其群落类型较多,物种丰富,盖度大,分布江段长,而丹江口以穿叶眼子菜+轮叶黑藻+微齿眼子菜群落为优势,其生物量达到 2100 g/m²(表 3)。可能因为丹江口大坝的拦截作用,对上游夹带的大量泥沙的沉降和过滤,对江水的流速起到了一定的缓冲作用,加之丹江口江段底质为泥沙和砂石,其中砂石对水生植物的生长也起到固着作用,因此,水生植物在丹江口段分布较广,分布范围也扩大,最大分布水深在 4.2m;在潜江至蔡甸江段,以挺水植物群落为主,香蒲、芦苇、喜旱莲子草等在这几处江段较常见,而沉水植物只有金鱼藻、狐尾藻、竹叶眼子菜等少数几种较适深水、耐污染的物种出现,群落生物量在 57.5~425 g/m²,群落类型较单一,盖度及分布面积均小,这和下游江段流速较急,水体污染较严重及人类过度开发利用等有关。

表 2 汉江中下游水生植物属的地理成分统计

Table 2 The areal-types of genera of aquatic plants in Hanjiang River

分布区 类 型 Areal- type	汉江 Hanjiang River		中国 In China	
	属 数 No. of genera	百分比 P_1 Percentage (%)	属 数 Num. of genera	百分比 P_2 Percentage (%)
1	15	75	104	14.4
2	1	5	367	0.27
3	1	5	178	0.56
4	2	10	303	0.66
5	1	5	167	0.6
总计 Total	20	100	1119	1.8

1: 世界分布 Cosmopolitan 2: 泛热带分布 Pantropic 3: 旧世界热带分布 Old world tropics 4: 北温带分布 North temperate 5: 旧世界温带分布 Old world temperate

表 3 水生植物群落分布及生物量

Table 3 The biomass and distribution of aquatic plant communities in Hanjiang River

样点 Site	地 理 位 置 Location		主要群落类型 Major community type	样地生 物量	各江段平 均生物量	样地盖度	各江段平 均盖度
	N	E		(g/m ²) Biomass	Mean biomass	(×100%) Coverage	(×100%) Mean Coverage
郧 县	32.51 ^o	110.45 ^o	1. 莎草+水蓼	182.5	1.65	70	0.35
丹江口	32.30 ^o	111.30 ^o	1. 穿叶眼子菜+轮叶黑藻+微齿眼子菜 2. 竹叶眼子菜	2100	1607	95	72.6
老河口	32.23 ^o	111.40 ^o	1. 芦苇+香蒲 2. 篳齿眼子菜+竹叶眼子菜	1575	882	90	50.4
襄 樊	32.01 ^o	112.07 ^o	1. 篳齿眼子菜+穿叶眼子菜 2. 竹叶眼子菜+水鳖	1202.5	12.8	70	9.3
潜 江	30.31 ^o	112.48 ^o	1. 香蒲+芦苇 2. 竹叶眼子菜+狐尾藻	202.5	2.02	40	0.4
仙 桃	30.22 ^o	113.27 ^o	1. 喜旱莲子草	375	1.50	90	0.09
蔡 甸	30.35 ^o	114.02 ^o	1. 金鱼藻+狐尾藻 2. 喜旱莲子草	57.5	3.45	90	5.4
汉 口	30.34 ^o	114.12 ^o	—	425	0.21	90	0.05

2.5 生物多样性

2.5.1 α -多样性 α -多样性在汉江中下游各江段表现出不规则变化趋势(图1)。 α -多样性在丹江口最高,为0.546 nit/个体,仙桃的 α -多样性最低,为0 nit/个体,这在一定程度上反映了环境因子对水生植物多样性的影响,说明中游丹江口和老河口江段的水环境状况较好。

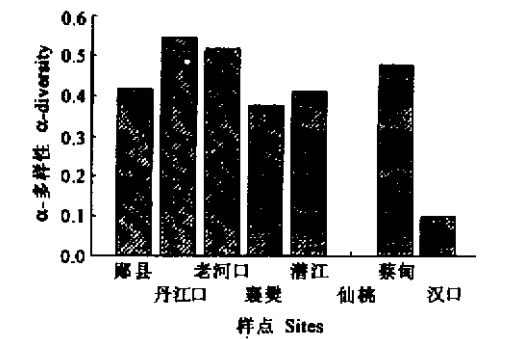


图1 不同江段 α -多样性指数变化

Fig. 1 Variation of α -diversity index in different sections of Hanjiang River

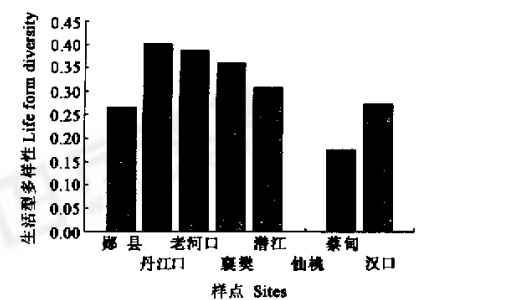


图2 不同江段生活型多样性

Fig. 2 Diversity of life-form of plants in different sections of Hanjiang River

生活型多样性也以丹江口最高为0.402(图2),老河口和襄樊次之,而仙桃依然为0。物种丰富度变化呈现出两个波形,丰富度在老河口达到最大19种,仙桃段只有1种(图3),是汉江中下游江段中生物多样性最低的一段,这也说明了该江段的水环境限制了水生植物的生长。

2.5.2 β -多样性 β -多样性反映了沿着环境梯度变化而产生的物种替代程度。对于不同的环境梯度和江段, β -多样性不同:在汉江中游至下游水平梯度(距离)变化中, $\beta=0.79$;沿着汉江平均垂直梯度(水深)变化,丹江口(1.5m)~襄樊(1.8m)~蔡甸(17m), $\beta=1.48$;在定位研究中,选择襄樊江段的水深梯度变化与 β -多样性测定的数据(中央(1.2m)~岸边(0.5m)~河湾(0m), $\beta=1.92$;在时间梯度上(6~8月份),对研究的所有样点 $\beta=0$ 。从以上的结果可看出,水深梯度对 β -多样性影响比距离梯度大,而在6~8月份较短

的时间梯度上对 β -多样性无影响。

2.5.3 γ -多样性 γ -多样性反映了一个地区物种数目的多少。在本研究中, γ 多样性也反映了水生植物对不同江段环境变化的响应程度。中游 γ 多样性较高为29种,主要是世界广布种占优势,热带种及温带种也有分布,而汉江下游 γ 多样性则相对较少,只有10种,主要是世界广布种及热带种,未发现温带种(表4)。这一现象说明气候及生境异质性是导致汉江中下游地区水生植物多样性差异的主要影响因子。

3 讨论

3.1 生态因子对水生植物多样性和生物量影响

水生植物的自然分布与水的深度、透明度和基底密切相关。一般在浅水、透明度大和淤泥底质水域中,水生植被覆盖度和生物量较大,种类也比较丰富;反之,在深水、透明度小和泥沙底的水域中,水生植被覆盖度和生物量较小,种类也较单一,甚至无植被分布^[7,8]。在流动水体(江、河、溪)中,水生植物的分布和生长取决于两个先决条件:首先,是否有种源;其次,环境是否适合植物生长。影响水生植物生长和分布的环境因子主要有:光照度、水化学性质、流速、基底状况(软泥、沙质、卵石)、水体透明度、水深、生物因素如竞争、牧食等、经向或纬向分布、污染^[9~17]。

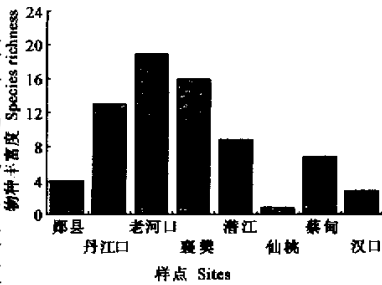


图3 不同江段物种丰富度变化

Fig. 3 Variation of species richness in different sections of Hanjiang River

表4 汉江中下游水生植物种类分析
Table 4 Species analysis of aquatic plants in Hanjing River

河 段 Reach	γ 多样性 γ -biodive rsity	特有种数目 Num. of endemic species	共有种数目 Num. of common species	地理成分 Geographical elements				
				1	2	3	4	5
中 游	29	23	6	24	1	1	2	1
下 游	10	4	6	8	1	1	0	0

1、2、3、4、5 同表2。See table 2

在汉江中下游 α -多样性变化不大,由于不同江段地理跨度大,水环境差异大,故在生物量分配上表现为各江段平均生物量差异较大。在郧县,由于江水泥沙含量大,加之郧县附近江段大中型挖沙船的过度作业,使得江水很深,光照度几乎为零,且水流速快,基底为沙质,不利于水生植物的定植和生长。在丹江口至襄樊江段,由于丹江口大坝的拦洪作用对江水澄清和流速缓冲起到了一定的作用,在这部分江段中水流平缓,水质清晰,光照度好,pH适中,基底为砂石及软泥沙,有利于水生植物的生长。此江段中, α -多样性及生物量最大,而且生活型多样性也最大。

在襄樊-潜江-仙桃-汉口等江段中,因为地势陡然降低,集水区较大且离丹江大坝远,拦洪效应弱,并且由于人口密集,开发强度大,使河床变深,水质污染较上、中游严重,不利于水生植物生长,故生物量和生物多样性较低。

3.2 南水北调工程对水生植物分布和生长影响预测

水利工程的兴建改变了江河中水流的性质和特征,从而对生活在水中的植物的生长和繁殖产生间接影响。Hey对英国18处防洪坝进行了生态调查,发现河岸物理特征对植物群落组成影响很大,而各种工程设施对物种和生境的影响也很大,挖掘泥沙、加宽和取直河道大大降低了适宜物种的数量,而在沼泽边缘建防洪堤能保持物种丰度,保护和提高关键种的存活率^[18]。Roerslett研究了水电站建设对大型水生植物的影响,发现Norwegian河很多河段用于水力发电,电站下游冬季水流增加,同时冰封减少,水电站建立后水生大型植物丰度发生变化,同时产生可能导致有害水生大型植物生长的环境条件^[19]。Forman指出人类在江河中建有大量水利工程构筑物,从而对河流形状和功能产生很大影响,使得河水的一些自然属性也因之发生了很大的变化^[20]。美国的密西西比河、非洲的尼罗河以及中国的黄河等许多河流都筑有堤坝^[21],由于

对河道的裁湾取直和河道下切使水流加速,不仅降低了上游水位,也使江河散播沉积物、养分、种子的生态功能被削弱,河流中水生植被可能由于河道的疏浚影响而消失,物种多样性及数量也会因生境多样性的减少而降低。不论是小型塘坝还是大型水库,在给人类带来发电、灌溉的同时,改变了河流廊道的基本性质,大坝下游河道失水,河水流量、河道宽度、水位和生境异质性等都显著下降^[18]。

汉江在丹江大坝加高蓄水水位至 170m 调水 145 亿 m^3 后,丹江口水库下泄水量减少,水温较初级阶段继续降低,使河道水位下降,流速减缓。中下游河道水位平均下降 0.58~1.0m 左右,部分河道变窄,流速平均减小 0.10~0.33m/s,流量平均减少 340~638 m^3/s 。由于下泄水量的减少及水内含沙量降低,使河水透明度增大,但因水量的减少,流速减缓,将显著影响到汉江中下游各河段水体的稀释自净能力,从而加重了各河段的水质污染负荷,使水生植物生长受到影响。

在中游丹江口至襄樊江段,由于水流更缓,透明度增加,水位变浅,水温降低,水生植物尤其是沉水植物如狐尾藻、穿叶眼子菜、竹叶眼子菜等和挺水植物分布面积扩大,生物量增加,加上河床斑块化,物种丰度略有下降,均匀度下降,生物多样性下降;在下游襄樊到汉口段,按多年平均流量在调水 145 亿 m^3 后,仙桃断面及其下河道平均流量将减少 352 m^3/s ,流速变缓。由于下游沿途城市人口密度大,沿岸城镇密集,工厂密布,使得沿岸城镇大量生活污水和工业废水排污量大,大大降低了江水对污染物的稀释自净能力,加剧了下游水体富营养化程度和水质恶化趋势,而上、中游污染汇聚的“积累”效应在受到长江较高水位顶托的作用而增强,在适宜条件下则发生“水华”现象。1992 年 2 月和 1998 年 2 月,汉江下游潜江至汉口段发生两次“水华”现象即为先兆。因此在调水后汉江下游水生植物分布面积将萎缩,群落生物量将减少,生物多样性下降,水生植物分布更趋于单一化和斑块化。

参考文献

- [1] Ye X Q(叶学齐). *The geography of Hubei Province*(in Chinese). Wuhan: Hubei Education Press, 1987.
- [2] Shannon C E and Weaver W. The mathematical theory of communication. University of Urbanna: Of Illinois Press, 1949.
- [3] Wilson M V and Mohler C L. Measuring compositional change along gradients. *Vegetatio*, 1983, **54**: 129~141.
- [4] Yan S Z(颜素珠). *The illustrations of aquatic advanced plants in China*(in Chinese). Beijing: Sciences Press, 1983.
- [5] Wang N Z(王宁珠). *The illustrations of aquatic vascular plants in China*(in Chinese). Wuhan: Hubei People Press, 1983.
- [6] Wu Z Y(吴征镒). The genera areal-type of seed plants in China. *Acta Botanica Yunnanica*(in Chinese)(云南植物研究), 1991, **13**(supplement, IV): 1~139.
- [7] Hilgendor F B. Number of species, horizontal distribution and nutrient content of the macrophyte vegetation in the river system of Nidda(Hessen). *Verh. Ges. Oekol.*, 1980, **8**: 335~341.
- [8] Guan S F(官少飞). Aquatic plants of river in Jiangxi province. *Acta Hydrobiologica Sinica* (in Chinese)(水生生物学报), 1992, **16**(10): 47~56.
- [9] Whittom B A. *River ecology*. California: University of California Press, 1975.
- [10] Blindow I. Long and short-term dynamics of submersed macrophytes in two shallow eutrophic lakes. *Freshwater Biology*, 1992, **28**(1): 15~27.
- [11] Duarre C M. Patterns in the submerged macrophyte biomass of analysis in the inter-pretation. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 1990, **47**(2): 357~365.
- [12] Hearen J W and Armitage P D. Implications of the annual macrophyte growth cycle on habitat in rivers. *Regul. River: Res. Manage.*, 1993, **8**: 313~322.
- [13] Losee T B. Littoral flow rates within and around submerged macrophyte communities. *Freshwater Biology*, 1993, **29**(1): 7~17.
- [14] Jacobsen D and Terneus E. Aquatic macrophytes in cool aseasonal and seasonal streams: a comparison between Ecuadorian highland and Danish lowland streams. *Aquatic Botany*, 2001, **71**: 281~295.
- [15] Fletcher D E, Wilkins S D, McArthur J V, et al. Influence of riparian alteration on canopy coverage and macrophyte abundance in Southeastern USA blackwater streams. *Ecological Engineering*, 2000, **15**: 67~78.
- [16] Colonnello G and Medina E. Vegetation changes induced by dam construction in a tropical estuary: the case of the Manamo river, Orinoco Delta(Venezuela). *Plant Ecology*, 1998, **139**: 145~154.
- [17] Riis T, Sand J K, Vestergaard O. Plant communities in lowland Danish streams: species composition and environmental factors. *Aquatic Botany*, 2000, **66**: 255~272.
- [18] Hey R D. Impact of flood alleviation schemes on aquatic macrophytes. *Regul. River: Res. Manage.*, 1994, **9**(2): 103~119.
- [19] Roerslett B. Effects of hydropower development on aquatic macrophytes in Norwegian Rivers: present state of knowledge and some case studies. Fourth-International-Symposium-On-Regulated-Streams- Selected-Papers, 1989, **3**(1~4): 19~28.
- [20] Forman RTT. Land Mosaics—the ecology of landscape and regions. New York: Cambridge University Press, 1995.
- [21] Wharton C, Zhang Zhen L J(郑辽吉译). Environmental management on river: Ways of advocacy. *Translation Journal of Geography* (in Chinese)(地理译报), 1996, (4): 57~59.