

69-75

http://www.cqvip.com

山地-水域交错区的生境异质性与水生植物多样性的关系研究*

于丹 吴刚 詹存卫 种云霄 冷芒辉 康辉

(武汉大学环境科学系, 武汉, 430072)

Q948.881.1

摘要 根据依兰县地貌类型多样的特点,对牡丹江、倭肯河和巴兰河3个样条附属水域中水生植物多样性进行研究,结果表明: β -多样性在牡丹江为高,倭肯河最低;以不同阶元比较,种级 β -多样性高于科级与属级。在3个样条中均以河流-平原间的样地中水生植物多样性为高,高海拔处多样性值较低,中低海拔处为高。不同生活型植物的 α -多样性比较倭肯河略高, β -多样性以巴兰河和牡丹江略高。在河流上游植物多样性较低,中下游河段两侧发育着多样的异质环境,此间附属水体中植物多样性最高。从3条河流汇合处向上游,植物种类逐渐减少。

关键词: 山地、水域、异质性、水生植物、多样性。

DIVERSITY OF MACROPHYTES RELATIVE TO HETEROGENEITIES OF HABITATS IN MOUNTAIN-WATERS ECOTONE

Yu Dan

(Environmental Sciences Department of Wuhan University, Wuhan, 430072, China)

Abstract Based on the field studies in Yilan county in the Northwestern Sanjiang Plain, the diversity of plants in some waters of rivers Mudan, Weiken and Balan were measured. The results show: β -diversity is high in Mudan River, lower in Balan River and lowest in Weiken River. In the hierarchies of botanical classification, the β -diversity of species level is higher than those of genus and family levels. The diversity is higher in river-plain ecotone than in others. The diversity is lower in the high elevation above and higher in the middle elevation. Among the α -diversity of plants belonging to four life-form type, that of Weiken River is higher, while β -diversities were high in River Balan and Mudan. Water plant species was rich in the lower rivers, but not rich in the upper rivers.

Key words: mountains, waters, heterogeneity, diversity, macrophyte.

水陆交错区是连接两种不同类型生境的纽带^[1],国际“人与生物圈计划”曾对此进行了专门研究^[2]。在水陆交错区内,环境梯度变异对生物分布产生直接影响,如水深、盐度、基质、温度、营养水平和海拔高度

* 系国家“七五”攻关项目(75-04)部分研究内容。承蒙周以良教授指导和聂绍荃教授、董世林教授帮助,参加部分调查的有黑龙江省自然资源研究所孔刚、于凤林、王永吉、王家绪和中医研究院孟庆升等先生,谨此一并致谢。
收稿日期:1997-05-15,修改稿收到日期:1997-10-15。

等^[7-9]。Shay J M 曾在加拿大西部普利列沼泽中,按湿草甸至碱性敞水域等6种生境所组成的连续梯度体来观测水生和湿生植物的分布^[10]。Roberts B A 等在加拿大拉卡拉南半岛古斯贝湾中观测植物在风暴潮、平均高潮和低潮等区域中的分布^[11]。对山地-水域交错区生物多样性研究却较少有报道。

本文根据小兴安岭向三江平原过渡区、张广才岭向牡丹江尾间过渡区和完达山向依兰盆地过渡区中地貌类型多样和生境异质性强的特点,在山地、山前倾斜平原、阶地、河漫滩和河流等不同生境中设置样地,以观测环境梯度变异对水生植物多样性水平变化的影响,以丰富生物多样性研究内容并为相关研究提供一些参考资料。

1 自然地理

研究地点在黑龙江省依兰县(129°11'50"~130°13'40"E, 45°50'40"~46°39'20"N),依兰县位于三江平原西缘,东南为张广才岭余脉,东北为完达山,西北为小兴安岭,中央盆地中有松花江、牡丹江、倭肯河和巴兰河等。本区属寒温带大陆性季风气候,年均温2.6~3.1℃,无霜期137d,≥10℃总积温2850℃,降水量574mm,平均日照时数2452h。

依兰县总面积461 603hm²,其中低山丘陵61 636.6hm²(13.4%),山前漫岗102 723.9hm²(22.3%),冲积平原为272 928.7hm²(59.1%)和沼泽水域23 113.8hm²(5.3%)。全县地表水资源丰富,水域类型齐全,共有明水面12 650.5hm²,其中江河15条和溪流12条,面积为10 008.3hm²;水库15座,面积为1 630.7hm²;塘堰84个,面积340.7hm²。

本区水生植物种类较丰富,挺水、沉水、漂浮和浮叶等4种生活型的植物在本区均有分布。依水体所在的地貌类型比较,水生植物物种丰富度的排序为:沼泽>河流>平原>漫岗>低山丘陵。

2 研究方法

以三江汇合处(海拔90m)为基点,向西北沿巴兰河至青山岭东(海拔1028m)、向东南沿牡丹江至锅盔山(海拔680m)、向东北沿倭肯河至阿尔哈倭山(海拔510m),共设3个样条,在样条上按江河、沼泽、平原、漫岗、丘陵和低山等不同地段确定观测样地,每个样地包括100m长的河段与相邻500m内的水体,并进行有关数据统计。巴兰河样条分为河口屯、满天星、烟筒山、辟刀岭、丹青河和二号桥,倭肯河样条分为祥龙屯、喇嘛畔、道台桥、涌泉、团山子和平原,牡丹江样条包括三江口、滨武基、江湾、土城子、先锋和王家门等共计15个样点。

生物多样性测定分别采用 Shannon-Wiener (H') 和 Simpson (D') 等公式(α 多样性), Whittaker (β_w) 和 Wilson (β_s) 等公式(β 多样性)^[12],具体公式如下:

$$H' = - \sum P_i \log P_i \quad P_i: \text{一物种个体数占总数比例}$$

$$D' = 1 - \sum P_i^2 \quad P_i: \text{一物种个体数占总数比例}$$

$$\beta_w = \frac{S}{\bar{a}} - 1 \quad S: \text{物种总数}, \bar{a}: \text{物种平均数}$$

$$\beta_s = \frac{g+1}{2\bar{a}} \quad g: \text{增加种数}, l: \text{减少种数}, \bar{a}: \text{物种平均数}$$

3 结果

3.1 水生植物种类组成与分布

试验区内共采集到水生植物49种,隶于24科34属下;其中牡丹江样条中共有39种,倭肯河样条有34种,巴兰河样条有32种。按生活型划分,挺水植物22种,漂浮植物3种,浮叶植物11种,沉水植物13种(表1)。按3个样条上不同样地中水生植物物种数目作图,以反映不同生境条件下物种数目的变化(图1)。

在3个样条中第二个样地的 β 多样性为最高,向两端样地物种数目逐渐递减。其中牡丹江样条物种数目变幅最大(29→10),而倭肯河样条变幅较小(20→12),巴兰河样条的变化幅度居中(21→9)。牡丹江的样地2位于松花江汇合处附近,此区江面开阔,水流滞缓,有利于水生植物生长,故物种数目较多。

3.2 水生植物科、属、种的 β -多样性

根据 Whittaker 公式,分别计算了3条河流水生植物科属种 β 多样性系数,以每两个相邻样地的值进行分析

种类 Species	生活型 ^① Life-form	牡丹江 Mudan River						倭肯河 WeiKen River						巴兰河 Balan River					
		1 2 3 4 5 6						1 2 3 4 5 6						1 2 3 4 5 6					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
线叶眼子菜 <i>Potamogeton pusillus</i> L.	S	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
花蔺 <i>Butomus umbellatus</i> L.	E	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
细叶狸藻 <i>Utricularia minor</i> L.	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+
狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i> L.	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
小黑三棱 <i>Sparganium simplex</i> Huds.	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
浮叶慈姑 <i>Sagittaria natans</i> Pall.	F1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
水车前 <i>Ottelia alismoides</i> (L.) Pers.	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
杉叶藻 <i>Hippuris Vulgalis</i> L.	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
矮黑三棱 <i>Sparganium minimum</i> Wallr.	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合计 Total		22	29	20	16	12	10	18	20	19	17	16	12	17	21	16	15	11	9

(E) Emergent, 挺水植物; F1 Floating-leaved, 浮叶植物; S Submergent, 沉水植物; Fd Free-drifting, 漂浮植物。

(表2), 然后, 按3条河流中水生植物科属种在6个样地中的连续变化, 计算整个河流β多样性水平(图2)。

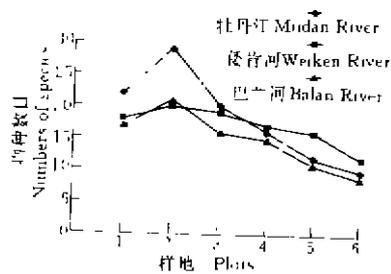


图1 3个样条不同样地中物种数目的变化
Fig. 1 Changes of the numbers of species in three rivers

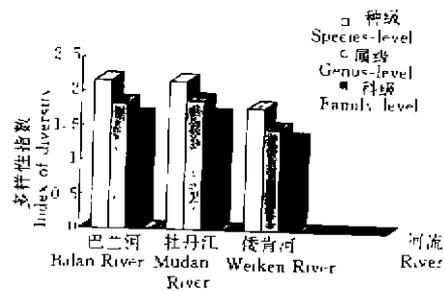


图2 3条河流水生植物β多样性
Fig. 2 β-diversity of plants in three rivers

表2 水生植物科属种的β多样性

Table 2 The β-diversity of plant species, genera and families

河流 Rivers	样地 Plots	科 family	属 genus	种 species	平均 Average
牡丹江 Mudan River	1	0.2000	0.1579	0.1765	0.1785
	2	0.1176	0.1579	0.2653	
	3	0.3333	0.2727	0.3333	
倭肯河 WeiKen River	4	0.1304	0.2857	0.2857	0.2485
	5	0.1111	0.1818	0.1818	
	6	0.2000	0.2143	0.2857	
巴兰河 Balan River	1	0.1111	0.1333	0.2105	0.1845
	2	0.2857	0.3548	0.4054	
	3	0.0370	0.1034	0.1613	
	4	0.1818	0.2308	0.2308	0.2416
	5	0.0588	0.1000	0.2000	
	6	0.0588	0.1000	0.2000	

从3条河流水生植物的科属种3级β多样性水平比较, 以种级为最高, 而3条河流中以牡丹江的各项值稍高, 而倭肯河的值最低。从各河流的5组数值比较, 种级多样性第2组数值明显高于第1组数值, 因样地2位于沼泽湿地内, 水生植物种类较多, 而样地1为河流, 生境较单一, 水生植物相对较少。牡丹江中样地3和样地4两个数值偏高, 因为样地2位于江湾中, 牛轭形河道中水流滞缓, 河漫滩和封闭半封闭的旧河道较多, 水生植物种类丰富, 倭肯河的样地5的多样性值最高, 因为松木河的汇入带入一些新种类, 同时当地农业发达, 水体类型多样, 有利于水生植物的定植。

从整条河流梯度中水生植物β多样性比较, 种级水平以巴兰河为最高, 属级和科级水平以牡丹江为高, 而倭肯河的相应值均低。

3.3 不同生活型的植物的 β -多样性

根据 Whittaker 公式和 Wilso 公式分别计算了3条河流中水生植物 β -多样性指数(表3)。

表3 不同生活型植物的 β -多样性

Table 3 β -diversity of four life-form's plants in three rivers

河流 Rivers	生活型 Life-form	多样性 Diversity	样地 Plots					平均 Average
			1	2	3	4	5	
牡丹江 Mudan River	挺水植物(E)	β_T	0.9090	0.3529	0.3333	0.3333	0.2000	0.2821
		β_W	0.9090	0.2941	0.3333	0.3333	0.4000	0.2903
	漂浮植物(Fd)	β_T	0	0	0.5000	0	0	0.1000
		β_W	0	0	0	0.5000	0	0.1000
	浮叶植物(Fl)	β_T	0.5000	0.2727	0.4000	0.2500	0.3333	0.3512
		β_W	1.0000	0.2727	0.4000	0.2500	0.3333	0.4512
沉水植物(S)	β_T	0.2000	0.2000	0.3750	0	0	0.1500	
	β_W	0.2000	0.2000	0.5000	0	0	0.1800	
倭肯河 WeiKen River	挺水植物(E)	β_T	0.1579	0.2941	0.3077	0	0.3333	0.2186
		β_W	0.1579	0.2941	0.2308	0	0.3333	0.4031
	漂浮植物(Fd)	β_T	0	0	0	0	0.5000	0.1000
		β_W	0	0	0	0	0.5000	0.1000
	浮叶植物(Fl)	β_T	0.2000	0.3333	0.1667	0.3333	0.2000	0.2467
		β_W	0	0.3333	0.1667	0.3333	0.2000	0.2067
沉水植物(S)	β_T	0	0.1429	0.2000	0.2500	0.1429	0.1471	
	β_W	0	0.1429	0.2000	0.2500	0.1429	0.1471	
巴兰河 Balun Rivre	挺水植物(E)	β_T	0.2000	0.4545	0.2000	0	0.4286	0.2566
		β_W	0.0909	0.4545	0.2000	0	0.4286	0.2348
	漂浮植物(Fd)	β_T	0	0.5000	0	0.5000	0	0.2000
		β_W	0	0	0.5000	0	0	0.1000
	浮叶植物(Fl)	β_T	0.3333	0.1111	0.1111	0.3333	0.1429	0.2063
		β_W	0.6667	0.2500	0.1111	0.5000	0.1429	0.3341
沉水植物(S)	β_T	0.2308	0.5385	0.2000	0.2500	0	0.2439	
	β_W	0.2308	0.2308	0.2000	0.3333	0	0.1989	

3条河流中 β -多样性(β_T)以浮叶植物(牡丹江和倭肯河)和挺水植物(巴兰河)为高;从各组数值比较,第2组值多高于第1组值;从4种生活型植物比较,漂浮植物最低,这与其种类较少有关。

3条河流中不同生活型水生植物多样性以挺水植物为高(牡丹江和倭肯河),在巴兰河除漂浮植物较低外,其它3种生活型的值较接近。

3.4 水生植物的 α -多样性

在3条河流中以层片结构为基础,根据同一生活型植物在样地间的分布来统计 α -多样性(表4)。

从3条河流各样地的 α -多样性平均值比较倭肯河略高,牡丹江居中,巴兰河偏低。从 α -多样性(D)各组值比较,牡丹江和倭肯河均以样地3较高,而巴兰河以样地1较高;从 H' 各组值比较,牡丹江和倭肯河各样地值变幅较小,而巴兰河的变幅略大。而 D 值变幅在3条河流各样地间大致相同。

4 讨论

4.1 异质环境对水生植物种类变化的影响

Pip E 在加拿大中部设430个样地调查水生植物与水体类型的关系,其在河湖中丰富度最高,溪流居中,池塘最低^[17]。在牡丹江、倭肯河和巴兰河的样地中,以样地2的物种数为最高,因样地2位于各河流的尾间,此处河段水面开阔,水流平缓,沿岸附属小水体较多,既有河流,又有湖泊等,为各种生活型的植物提供了较适宜的生境,因而此区植物种类较多,Krolikowska J 认为河-湖交错区较湖泊中物种多样性高,植物生物量最大^[14]。3条河流的样地1为松花江依兰段,因松花江半枯水期水位波动大,谷窄流急,坡度较大,尤其是三娃浅滩基岩出露,不适水生植物生长,故植物种类较少。Canfield D. E. Jr 等对佛罗里达州17条溪流研究

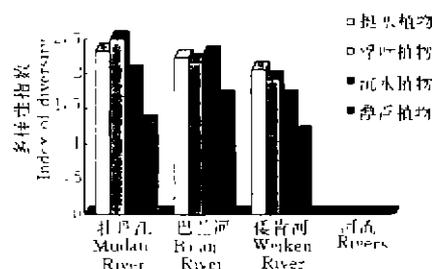
表4 水生植物的 α -多样性Table 4 α -diversity of aquatic plants in three rivers

河流 Rivers	多样性 Diversity	样地 Plots						平均 Average
		1	2	3	4	5	6	
牡丹江 Mudan River	H	0.5171	0.5609	0.5878	0.5678	0.5206	0.5758	0.5517
倭肯河 WeiKen River	H	0.6188	0.7063	0.7370	0.7109	0.6529	0.7000	0.6923
巴兰河 Balun River	H	0.5312	0.5492	0.5840	0.5851	0.5829	0.5206	0.5579
牡丹江 Mudan River	D	0.6736	0.6840	0.7314	0.7289	0.7266	0.6528	0.6997
倭肯河 WeiKen River	D	0.5934	0.5808	0.5479	0.5496	0.4734	0.4771	0.5370
巴兰河 Balun River	D	0.7405	0.7211	0.6953	0.7023	0.6612	0.6667	0.6979

表明:溪边沿岸植被是影响水生植物丰度和格局的关键因素^[15]。依兰县3条河流的上游均为林区,河岸植被的蔽阴和根系在河岸的盘结等,限制了水体光和热能的充分补入及营养盐的补给,7月水温平均18℃,使水生植物的生长和分布受到影响。Hey R D等认为河岸物理特征对水生植物群落影响很大,建坝可保持湖沼物种丰度^[16]。3条河流的上游河岸陡峭,岸线平直,回水湾很少,基底多为石砾,而使大部分种类难以定植。Keddy P A对水体、消落区和近岸处灌木与湿地草本植物的竞争效应进行了研究,认为此与岸线植被带有关^[17]。3条河流上游因洪峰持续时间短,湖沼相对较少,因此水生植物与岸线植被的竞争也明显,结果导致挺水植物种类减少,因沿岸带多为柳属(*Salix*)灌丛,河中央多分布有沉水植物,河沿岸带挺水植物较少或消失而使漂浮植物失去附生生境,故上游河段水生植物多样性较低。从3条河流的 β -多样性比较,巴兰河最高(2.1573),牡丹江较巴兰河略低(2.1468),而倭肯河最低(1.7739);因为巴兰河和牡丹江生境异质性高,包括大面积的低山、山前平原、阶地、河漫滩和湖沼等,故水生植物类型较丰富,多样性指数相对较高。倭肯河因山地面积少,平原和阶地较多,且多为同质生境,生境异质性低,故水生植物多样性相对较低。

4.2 海拔高度对水生植物多样性的影响

Ilmavirta V H等对芬兰10个湖的水生植物研究表明:从地势高到地势低的湖泊,水体营养水平逐渐提高,水生植物种类及生物量也随之增加^[18]。3条河流的植物种类随海拔高度下降而逐渐增加,但幅度有差异,其中以牡丹江最大,倭肯河最小,营养水平对牡丹江和倭肯河水生植物多样性影响较大,因沿岸农田较多。从 β 多样性比较,在低海拔处值较高,在中海拔处(600~1000m)值逐渐降低。倭肯河的海拔500m处出现较高值、巴兰河在400至600m区间多样性值也略呈上升趋势。 α 多样性值变化较平缓,中低海拔处值相对较高,高海拔处(>700m)多样性值低于0.5。牡丹江的值在500m至680m间略呈上升趋势。Gacia E等对西班牙比利牛斯山东部116个高山湖泊的研究认为植物分布与海拔高度和沿岸植被盖度有关,而线叶黑三棱和眼子菜属植物为常见种^[19]。从3条河流看,上游的附属水体常较小,且沿岸植被发育良好,对水体的蔽阴作用较大,因而水体中植物种类较少,仅有早春树木未郁密前即快速生长的植物或对光需求较低的耐阴植物。从种类组成看眼子菜属和黑三棱属的种类较常见,线叶黑三棱在巴兰河的4个样地及牡丹江的2个样地中出现。Penuelas J等对西班牙东北部特尔河(Ter River)的研究表明河流上下游的水生植物由激流贫营养型过渡到缓流富营养型,且下游以水生高等植物占优势^[20]。3条河流的上游水生植物多为能生活在贫营养流动水体中的种类,如线叶水马齿、小掌叶毛茛、水甜茅、线叶黑三棱、矮黑三棱、白花驴蹄菜、两栖蓼、杉叶藻和浮萍等,而3条河流下游水生植物多为缓流耐富营养型种类,如酸模叶蓼、水葱、眼子菜、雨久花、穗花狐尾藻、慈姑、荇菜、槐叶苹、紫萍、大茨藻和金鱼藻等,一些喜在清水中生活的种类在河流下游多无分布。Hunter等对美国缅因州不同酸度湖泊的研究表明:随着酸度增加,水生植物的丰富度下降,但生物量却

图3 不同生活型水生植物的 β -多样性Fig. 3 β -diversity of four life-form's plants in three rivers

保持中等^[21]。在3条河流中上游,水质常呈弱酸性,上游因森林覆盖率高,枯枝落叶分解产生的腐质酸较多,附属小水体 pH 值多在4.2~5.5之间,植物种类多为耐酸种,如狸藻、细叶狸藻、萍蓬草、泽泻和白花驴蹄草等,而中游因森林减少,pH 值增加在5.5~6.0之间,水体植物种类增加,眼子菜属植物为常见种,还有睡莲、香蒲、黑三棱和浮叶慈姑等。下游水质 pH 值在6.5左右,水生植物种类明显增加。

参 考 文 献

- 1 Likens G E, Bormann F H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *BioScience*, 1971, **24**: 447~456
- 2 Naiman R J, Decamps H. *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. UNESCO (Paris) and The Parthenon Publishing Group, 1990. 316
- 3 van der Valk A G. Effects of prolonged flooding on the distribution and biomass of emergent species along a freshwater wetland ecocline. *Vegetatio*, 1994, **110**: 185~196
- 4 Pip E. Ecogeographical tolerance range variation in aquatic macrophytes. *Hydrobiologia*, 1984, **108**: 37~48
- 5 Tyler G M. Distribution and turnover of organic matter and minerals in a shore meadows system. *Oikos*, 1971, **22**: 265~291
- 6 Adams J B, Knoop W T and Bate G C. The distribution of estuarine macrophytes in relation to freshwater. *Bot. Mar.* 1992, **35**(3): 215~226
- 7 Pip E. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquat Bot* 1989, **34**(4): 367~373
- 8 Gopal B. Vegetation dynamics in temporary and shallow fresh-water habitats. *Aquat. Bot.* 1986, **23**: 391~396
- 9 Gentry A H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Mo. bot. Gard.* 1988, **75**: 1~34
- 10 Shay J M, C T Shav. Prairie Marshes in western Canada, with specific reference to the ecology of five emergent macrophytes. *Can. J. Bot.* 1986, **64**: 443~454
- 11 Roberts B A, Robertson A. Salt marshes of Atlantic Canada, their ecology and distribution. *Can. J. Bot.* 1986, **64**: 455~467
- 12 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 钱迎倩, 马克平主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141~165
- 13 Pip E. Species richness of aquatic macrophyte communities in central Canada. *Hydrobiol. Bull.* 1987, **21**(2): 159~165
- 14 Krolikowska J. The structure of macrophytes in inflows and outflow littorals in three lakes of the Krutynia River (Mazaurian Lakeland, Poland). *Ekol. Poln.* 1991, **38**(3~4): 287~301
- 15 Canfield D E Jr, Hoyer M V. Influence of nutrient enrichment and light availability on the abundance of aquatic macrophytes in Florida Streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1988, **45**(8): 1467~1472
- 16 Hey R D, Heritage G L, Patteson M. Impact of flood alleviation schemes on aquatic macrophytes. *Regul. Rivers; Res. Manage.* **9**(2): 103~119
- 17 Keddy P A. Effects of competition from shrubs on herbaceous wetland plants; a 4-year field experiment. *Can. J. Bot.* 1989, **67**: 708~716
- 18 Ilmavirta V, Toivonen H. Comparative studies on macrophytes and phytoplankton in ten small, brown-water lakes of different trophic status. *Aqua-Fenn.* 1986(2): 125~142
- 19 Gacia E, Ballesteros E, Camarero L *et al.* Macrophytes from lakes in the eastern Pyrenees; Community composition and ordination in relation to environmental factors. *Freshwat. Biol.* 1994, **32**(1): 73~81
- 20 Penuelas J, Sabater F. Distribution of macrophytes in relation to environmental factors in the Ter River, N. E. Spain. *Int. -Rev. -Gesamt. Hydrobiol.* 1987, **72**(1): 41~58
- 21 Hunter M L Jr, Jones J J, Witham J W *et al.* Biomass and species richness of aquatic macrophytes in four Maine (U. S. A.) lakes of different acidity. *Aquat. Bot.* 1986, **24**(1): 91~95