

文章编号: 1004-8227(2010)Z1-0111-09

滇中五湖水生植物区系及沉水植物群落特征

沈亚强^{1,2}, 王海军^{1*}, 刘学勤¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 选择云南中部 5 个高原湖泊在雨季和旱季对其水生植被开展了两次系统调查。共采集到水生植物 80 种, 隶属于 33 科 64 属。其中湿生植物 39 种, 挺水植物 19 种, 沉水植物 12 种, 漂浮植物 7 种, 浮叶根生植物 3 种。区系分析表明 5 个湖泊水生植物区系地理成分多样, 以世界分布类型为主, 热带和温带性质的属分别有 22 属(占总属数的 34.4%)和 20 属(占总属数的 31.3%), 表明该植物区系具有比较明显的亚热带性质。对各湖泊沉水植物优势种类和沉水植物群落类型的分析表明耐污种篦齿眼子菜在滇池、星云湖、杞麓湖这 3 个富营养化湖泊中均占优势。而这些湖泊沉水植物群落类型也较为单一, 主要为篦齿眼子菜、马来眼子菜等单优群丛。环境分析表明, 研究湖泊沉水植物分布主要受水深、透明度以及底泥总氮含量的影响。

关键词: 滇中; 水生植物; 区系; 优势种; 沉水植被

文献标识码: A

云南是我国淡水湖泊资源分布最为集中的地区之一, 该区内的湖泊主要分布在断裂带或各大水系的分水岭地带, 以其海拔较高、湖岸陡峻、面积较小而湖水较深为主要特征^[1]。它们大多具有调节水量, 提供工农业及生活用水, 养殖水产品, 调节气候, 美化环境和发展旅游的功能^[2]。同时这些湖泊又多属于源头型湖泊, 其自然生态状况不仅影响该地区的生态环境, 而且直接影响下游平原地区的生存环境^[3]。

随着该地区工农业的发展以及长期以来对湖泊资源的不合理开发, 云南高原湖泊生态环境遭到重大破坏, 湖泊富营养化严重, 湖泊生态系统日益退化, 目前, 这一系列问题已引起越来越多学者和社会的关注, 高原湖泊受损生态系统的恢复和保护及可持续利用研究已成为流域生态学和恢复生态学研究热点^[4]。

大型水生植物是淡水生态系统中主要的初级生产者, 对维持湖泊生态系统的结构和功能具有重要作用。本研究目的在于通过对滇中湖群 5 个湖泊水生植被的系统调查, 比较分析该区域水生植物的区系特征, 探明其水生植被现状。考虑到沉水植物在改善水质和维持生态系统健康方面的重要性, 本文

将重点分析沉水植物的群落特征。相关研究结果有望为云南高原湖泊生物多样性保护和合理利用提供科学依据。

1 研究区域与方法

本研究选择滇中地区的滇池、抚仙湖、星云湖、杞麓湖、阳宗海 5 个湖泊进行调查(图 1)。云南中部湖泊众多, 面积 40 km² 以上的湖泊就有 6 个, 统称滇中湖群。这些湖泊均位于小江断裂带上, 属断裂陷落型湖泊; 形成于上新世晚期至更新世早期, 而普遍发育于更新世中晚期^[5]。各湖泊的基本形态学特征见表 1。

根据 2008 年云南省环境状况公报数据, 滇中湖群 5 个湖泊中滇池、星云湖、杞麓湖 3 个湖泊水质均为劣 V 类, 其中滇池处于重度富营养化, 星云湖、杞麓湖处于轻度富营养化状态, 抚仙湖水质优(I 类), 处于贫营养状态, 阳宗海水质类别为 V 类, 处于中营养状态。

在雨季(6 月)和旱季(11~12 月)开展了两次系统调查。主要对沉水植物、漂浮植物及浮叶根生植物进行了定量调查, 对于挺水植物和湿生植物只调

收稿日期: 2010-03-15; 修回日期: 2010-04-26

基金项目: 科技部基础性工作专项(2006FY110600)

作者简介: 沈亚强(1984~), 男, 浙江省海宁人, 硕士研究生, 主要研究方向为水生植物生态学. E-mail: shenyaqiang@163.com

* 通讯作者 E-mail: wanghj@ihb.ac.cn

查其种类,未调查其生物量。调查主要采用随机取样法,在滇池全湖设置 24 个采样点,星云湖全湖设置 12 个采样点,杞麓湖设置 12 个采样点,阳宗海全湖设置 10 个采样点。抚仙湖由于其水生植物主要局限于环湖湖岸带一周,因此调查时采用断面法,沿湖岸带设置 10 个断面,每个断面视沉水植物的分布梯度由岸边垂直向湖中设若干采样点,直至找到深水植物分布的外界。调查中每个采样点用自制的开口 35 cm×60 cm 的采草器随机采样 3 次。采集后洗净淤泥,去除杂质,滴尽水分按种分开,分别称其湿重。调查时广泛采集标本,鉴定并记录水生植物种类组成。

群丛的命名采用优势种原则:即以各群丛优势种的名称作为该群丛的名称。物种优势度根据频度和生物量来确定^[6]:

优势度(DV) = (相对频度 + 相对生物量) / 2 × 100%

相对频度(RF) = 该物种的频度 / 所有物种频度之和 × 100%

相对生物量(RB) = 该物种的生物量 / 所有物种

生物量之和 × 100%

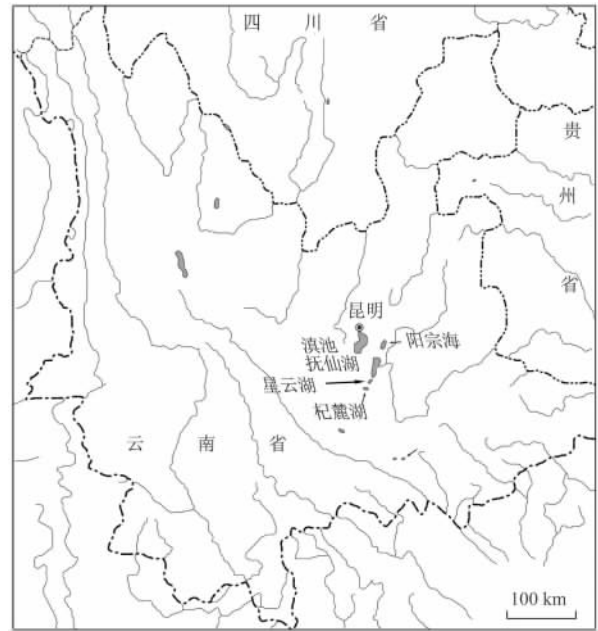


图 1 云贵高原研究湖泊分布

Fig. 1 Distribution of the Research Lakes in the Yunnan-Guizhou Plateau

表 1 基本形态学参数

Tab. 1 Basic Morphometric Parameters of the Research Lakes

	经纬度 Latitude & Longitude	所属水系 Water system	面积(km ²) Area(km ²)	最大水深(m) Maximum water depth(m)	平均水深(m) Mean water depth (m)	湖泊岸线发育系数 Development of lake shoreline
滇池	N24°40'~25°02', E102°36'~102°47'	金沙江	297.90	5.9	2.9	2.45
抚仙湖	N26°27'~26°38', E100°38'~100°41'	南盘江	211.00	155.0	89.6	1.71
星云湖	N24°17'~24°23', E102°45'~102°48'	南盘江	34.71	11.0	5.3	1.50
杞麓湖	N24°08'~24°13', E102°43'~102°49'	南盘江	36.86	6.8	4.0	2.97
阳宗海	N24°51'~24°58', E102°58'~103°01'	南盘江	31.68	30.0	19.5	1.62

2 结果

2.1 水生植物区系组成

两次调查共采集到水生植物 80 种(表 2),隶属于 33 科 64 属。其中轮藻科 1 种;蕨类植物 3 科,3 属,3 种;被子植物 29 科,60 属,76 种。按生活型分,湿生植物 39 种,占总数的 48.75%;挺水植物 19

种,占总数的 23.75%;沉水植物 12 种,占总数的 15%;漂浮植物 7 种,占总数的 8.75%;浮叶根生植物 3 种。

2.2 水生植物区系属的地理成分分析

根据相关资料^[12~15],可将滇中湖群 5 个湖泊水生植物 64 个属划分为 9 个分布区类型和 2 个变型(表 3)。

表 2 水生植物种类组成

Tab. 2 Species List of Aquatic Plants Collected in the Five Research Lakes

种类	滇池	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	阳宗海	生活型
轮藻科 Characeae						
轮藻属一种 <i>Chara</i> sp.		+			+	S
丽藻属一种 <i>Nitella</i> sp.		+* [7]				S
木贼科 Equisetaceae						
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	+	+				W
苹科 Marsileaceae						
萍 <i>Marsilea quadri folia</i>	+* [8]	+* [9]				F
槐叶苹科 Salviniaceae						
槐叶苹 <i>Salvinia natans</i>	+					F
满江红科 Azollaceae						
满江红 <i>Azolla imbricata</i>	+	+				F
蓼科 Polygonaceae						
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	+	+	+	+	+	E
齿果酸模 <i>Rumex dentatus</i>	+	+	+	+		W
酸模属一种 <i>R.</i> sp.	+					W
苋科 Amaranthaceae						
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	+	+	+	+	+	E
马鞭草科 Verbenaceae						
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i>	+	+			+	W
睡莲科 Nymphaeaceae						
莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	+	+		+	+	E
睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>		+				Fl
金鱼藻科 Ceratophyllaceae						
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	+	+	+	+	+	S
毛茛科 Ranunculaceae						
水毛茛 <i>Batrachium trichophyllum</i>	+* [8]					S
茴茴蒜 <i>Ranunculus chinensis</i>		+				E
石龙芮 <i>R. sceleratus</i>	+	+	+	+	+	E
千屈菜科 Lythraceae						
圆叶节节菜 <i>Rotala rotundifolia</i>	+					W
菱科 Trapaceae						
菱 <i>Trapa bicornis</i>	+* [8]					Fl
野菱 <i>Trapa incisa</i>	+					Fl
凤仙花科 Balsaminaceae						
滇水金凤 <i>Impatiens uliginosa</i> Franch.	+					W
小二仙草科 Haloragaceae						
穗状狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	+	+	+	+	+	S
豆科 Leguminosae						
白车轴草 <i>Tetralobium repens</i>	+	+				W
草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>		+	+			W
伞形科 Umbelliferae						
水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	+* [10]					E
少花水芹 <i>Oenanthe benghalensis</i>	+	+	+	+		E
旋花科 Convolvulaceae						
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>			+			W
龙胆科 Gentianaceae						
苻菜 <i>Nymphoides peltatum</i>	+					Fl
唇形科 Labiatae						
雪见草 <i>Salvia lebeian</i>	+					W
薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>				+		W
玄参科 Scrophulariaceae						
北水苦蕒 <i>Veronica anagallisaquatica</i>		+	+			W
婆婆纳属一种 <i>V.</i> sp.	+					W
石龙尾 <i>Limnophila sessiliflora</i>	+* [8]					S
狸藻科						

续表 2

种类	滇池	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	阳宗海	生活型
黄花狸藻 <i>Utricularia aurea</i>	+ * [8]					S
菊科 Compositae						
小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i>	+			+		W
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	+	+	+	+	+	W
续断菊 <i>S. asper</i>			+			W
抱茎苦苣菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>		+				W
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>		+				W
女菀 <i>Aster fastigiatus</i>	+	+		+		W
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>		+	+			W
香蒲科 Typhaceae						
狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i>	+	+	+	+		E
眼子菜科 Potamogetonaceae						
篳齿眼子菜 <i>Potamogeton pectinatus</i>	+	+	+	+	+	S
菹草 <i>P. crispus</i>	+					S
马来眼子菜 <i>P. malaianus</i>	+	+	+	+	+	S
小眼子菜 <i>P. pusillus</i>	+					S
微齿眼子菜 <i>P. maakianus</i>	+	+	+	+	+	S
穿叶眼子菜 <i>P. perfoliatus</i>	+ * [8]	+		+		S
光叶眼子菜 <i>P. lucens</i>	+ * [8]	+ * [7]				S
鸭跖草科 Commelinaceae						
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>		+				W
茨藻科 Najadaceae						
大茨藻 <i>Najas marina</i>	+ * [8]			+		S
小茨藻 <i>N. minor</i>	+ * [8]					S
泽泻科 Alismataceae						
泽泻 <i>Alisma plantagoaquatica</i>	+ * [8]					E
慈菇 <i>Sagittaria sagittifolia</i>		+	+	+	+	E
野慈菇 <i>S. sagittifolia</i>	+		+			E
水鳖科 Hydrocharitaceae						
水筛 <i>Blyxa</i> sp.	+ * [8]					S
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	+ * [8]	+	+	+	+	S
海菜花 <i>Ottelia acuminata</i>	+ * [8]		+ * [10]	+ * [10]	+ * [10]	S
苦草 <i>Vallisneria spiralis</i>	+	+	+	+	+	S
水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i>	+ * [8]	+	+			F
禾本科 Gramineae						
菰 <i>Zizania caduciflora</i>	+	+	+	+		E
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	+	+	+	+		E
扁穗雀麦 <i>Bromus cartharticus</i>	+					W
稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	+	+	+	+	+	E
无芒稗 <i>E. crusgalli</i>			+			W
旱稗 <i>E. crusgalli</i>					+	W
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>			+			W
双穗雀稗 <i>Paspalum distichum</i>	+	+	+	+	+	W
野燕麦 <i>Avena fatua</i>		+	+			W
蔺草 <i>Beckmannia syzigachne</i>				+		W
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>				+		W
毒麦 <i>L. temulentum</i>		+				W
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>			+		+	W
棒头草 <i>Polypogon fugax</i>	+	+	+	+	+	W
马唐 <i>Digitaria ischaemum</i>		+	+			W
纤毛鹅观草 <i>Roegneria ciliaris</i>					+	W
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>			+			W
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>					+	W
莎草科 Cyperaceae						
异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	+					W
球穗莎草 <i>C. glomeratus</i>	+					W
伞草 <i>C. alternifolius</i>	+	+	+	+		W
碎米莎草 <i>C. iria</i>	+ * [8]					W

续表 2

种类	滇池	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	阳宗海	生活型
水葱 <i>Scirpus validus</i>	+		+	+		E
萤蔺 <i>S. juncooides</i>	+					E
荆三棱 <i>S. yagara</i>	+* [11]					E
荸荠 <i>Eleocharis dulcis</i>	+* [11]	+				E
密穗砖子苗 <i>Mariscus compactus</i>			+			E
水虱草 <i>Fimbristylis miliacea</i>						E
天南星科 Araceae						
芋 <i>Colocasia esculenta</i>	+	+	+			E
石菖蒲 <i>Acorus gramineus</i>	+					E
大藻 <i>Pistia stratioides</i>	+		+			F
浮萍科 Lemnaceae						
浮萍 <i>Lemna minor</i>	+	+	+	+		F
紫背浮萍 <i>Spirodela polyrhiza</i>	+	+	+	+	+	F
雨久花科 Pontederiaceae						
凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	+	+	+	+	+	F
灯心草科 Juncaceae						
灯心草 <i>Juncus effusus</i>	+					W

注: W: 湿生植物 Wetland plants; F: 漂浮植物 Floating plants; Fl: 浮叶根生植物 Floating-leaved plants; E: 挺水植物 Emergent plants; S: 沉水植物 Submerged plants. 带*为文献中有记载, 本调查中未采集到(* records from published references)

表 3 研究湖泊水生高等植物属的分布区类型

Tab. 3 Areal-types of the Genera of the Aquatic Macrophytes in the Research Lakes

分布区类型 Areal-types	属数 Number of genera	所占比例 % of total genera
1. 世界分布 Cosmopolitan	22	34.4
2. 泛热带分布 Pantropic	19	29.7
2-2. 热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布 Trop. Asia, Africa & C. to S. Amer. disjuncted	(1)	
4. 旧世界热带分布 Old World Tropics	1	1.6
4-1. 热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布 Trop. Asia, Africa (or E. Afr., Madagascar) & Australasia disjuncted	(1)	
7. 热带亚洲(印度-马来西亚)分布 Trop. Asia (Indo-Malesia)	2	3.1
8. 北温带分布 North Temperate	11	17.2
8-4. 北温带和南温带间断分布“全温带” N. Temp. & S. Temp. disjuncted. (“Pan-temperate”)	(7)	
8-5. 欧亚和南美间断分布 Eurasia & Temp. S. Amer. disjuncted	(1)	
9. 东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. disjuncted	3	4.7
10. 旧世界温带分布 Old World Temperate	6	9.3
10-3. 欧亚和南部非洲(有时也在大洋洲)间断分布 Eurasia & S. Africa (Sometimes also Australasia) disjuncted	(1)	
合计 Total	64	100

从表 3 可以看出, 滇中湖群 5 个湖泊水生植物区系属的地理成分复杂, 以世界分布类型为主, 共计 22 属, 占本区系总属数的 34.4%。泛热带分布属 19 个, 占本区系植物总属数的 29.7%, 仅次于世界分布。各类温带性质的属(8~10)有 20 属, 占水生植物总属数的 31.3%。各类热带性质的属(2, 4, 7)有 22 属, 占总属数的 34.4%。表明该水生植物区系表现出比较明显的亚热带性质。

2.3 沉水植物优势种群

从优势度曲线可以看出(图 2), 滇池沉水植物优势种为篦齿眼子菜, 其优势度为 77.5%; 抚仙湖沉水植物优势种为金鱼藻、苦草、黑藻, 其优势度分别为 22.8%、17.8%、16.9%; 星云湖沉水植物优势

种为篦齿眼子菜, 其优势度为 43.8%; 杞麓湖篦齿眼子菜占优势, 其优势度为 68.8%; 阳宗海沉水植物优势种为微齿眼子菜、黑藻, 其优势度分别为 29.7%、27%; 由此可见, 耐污种篦齿眼子菜在滇池、星云湖、杞麓湖 3 个富营养化湖泊中都占优势。

2.4 沉水植被群落类型

根据沉水植物的优势种及其组成特征, 对各湖泊主要沉水植物群落类型进行了分析。5 个湖泊共分布有沉水植物群落 21 个(表 4), 其中抚仙湖沉水植物群落类型最为丰富, 其次为阳宗海, 而滇池、星云湖、杞麓湖沉水植物群落较为单一, 主要为篦齿眼子菜群落、马来眼子菜群落等单优群落。

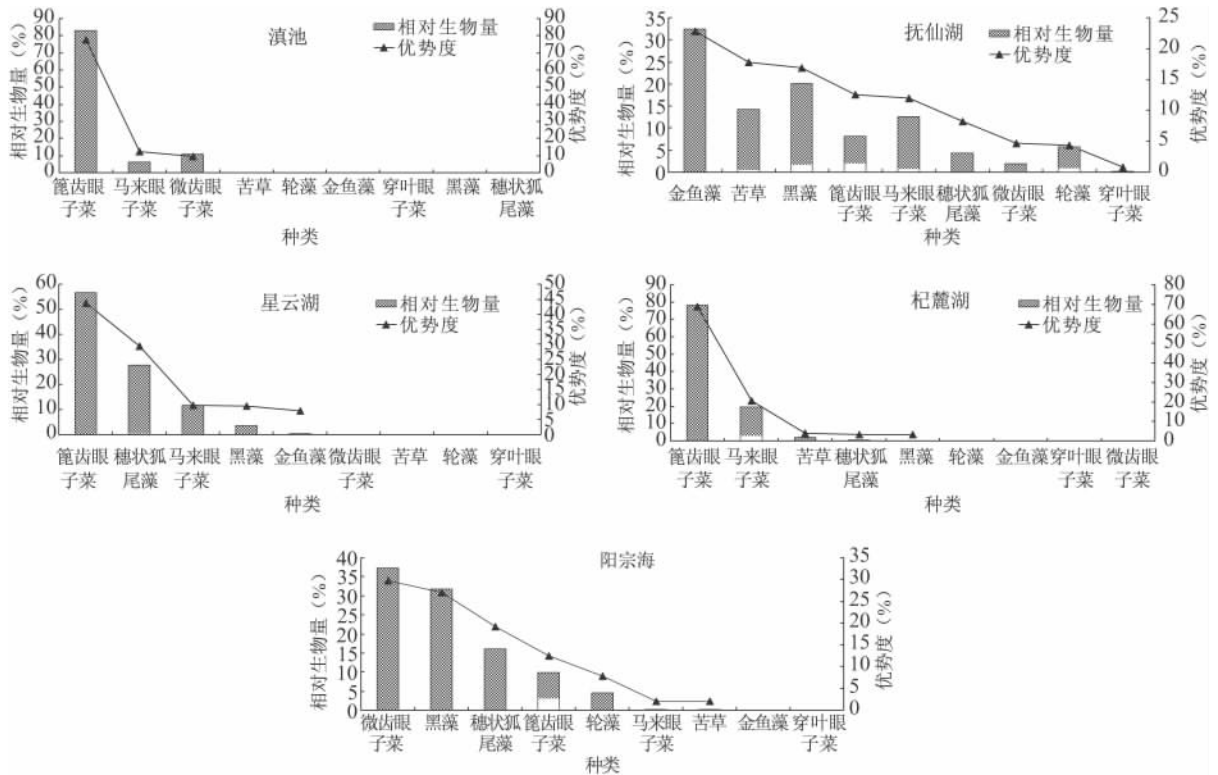


图 2 研究湖泊各种沉水植物的相对生物量和优势度

Fig. 2 Relative Biomass and Dominance of Various Submerged Macrophytes in the Research Lakes

表 4 研究湖泊主要沉水植物群落类型特征

Tab. 4 Characteristics of the Dominant Submerged Macrophyte Associations in the Research Lakes

湖泊 Lake	群落 Association	优势种 Dominant species	主要伴生种 Concomitant species
滇池	篔齿眼子菜群落	篔齿眼子菜(100)	—
	马来眼子菜群落	马来眼子菜(100)	—
	微齿眼子菜群落	微齿眼子菜(100)	—
	微齿眼子菜+黑藻+轮藻群落	微齿眼子菜(34)、黑藻(32.3)、轮藻(19.8)	聚草
阳宗海	微齿眼子菜+聚草群落	微齿眼子菜(35.7)、聚草(33.6)	篔齿眼子菜、马来眼子菜、黑藻
	黑藻+篔齿眼子菜群落	黑藻(49.6)、篔齿眼子菜(15.9)	聚草、轮藻、微齿眼子菜
	微齿眼子菜+篔齿眼子菜群落	微齿眼子菜(39.3)、篔齿眼子菜(25.9)	黑藻、聚草
	微齿眼子菜+篔齿眼子菜+黑藻群落	微齿眼子菜(34.1)、篔齿眼子菜(23.3)、黑藻(19.8)	聚草、苦草
	微齿眼子菜群落	微齿眼子菜(67.6)	苦草
	轮藻群落	轮藻(100)	—
	金鱼藻群落	金鱼藻(72.9)	黑藻、微齿眼子菜、篔齿眼子菜、苦草
	聚草+苦草群落	聚草(38.5)、苦草(22.6)	马来眼子菜、黑藻、篔齿眼子菜
	篔齿眼子菜+金鱼藻+聚草群落	篔齿眼子菜(30.9)、金鱼藻(17.7)、聚草(17.3)	马来眼子菜、黑藻、微齿眼子菜
	篔齿眼子菜+聚草群落	篔齿眼子菜(33.4)、聚草(31.0)	微齿眼子菜、黑藻、苦草
抚仙湖	苦草群落	苦草(67.2)	金鱼藻、篔齿眼子菜
	苦草+黑藻群落	苦草(81.1)、黑藻(73.9)	金鱼藻
	苦草+聚草+穿叶眼子菜群落	苦草(29.3)、聚草(23.5)、穿叶眼子菜(21.6)	马来眼子菜、黑藻
	马来眼子菜+篔齿眼子菜群落	马来眼子菜(73.6)、篔齿眼子菜(64.5)	金鱼藻、苦草、聚草
	马来眼子菜+苦草+篔齿眼子菜群落	马来眼子菜(25.0)、苦草(25.0)、篔齿眼子菜(25.0)	聚草、微齿眼子菜
	马来眼子菜群落	马来眼子菜(74.4)	黑藻
	黑藻群落	黑藻(65.4)	苦草、聚草
	黑藻+苦草群落	黑藻(36.7)、苦草(36.7)	篔齿眼子菜
星云湖	马来眼子菜群落	马来眼子菜(93.1)	篔齿眼子菜、黑藻、聚草
	篔齿眼子菜群落	篔齿眼子菜(100)	—
	篔齿眼子菜+聚草群落	篔齿眼子菜(48.7)、聚草(32.5)	金鱼藻、黑藻
杞麓湖	篔齿眼子菜群落	篔齿眼子菜(90.5)	大茨藻、聚草
	马来眼子菜群落	马来眼子菜(100)	—
	苦草+马来眼子菜群落	苦草(32.9)、马来眼子菜(32.3)	黑藻、篔齿眼子菜

2.5 环境分析

2.5.1 水深、透明度

沉水植物的生长与水深和水下光照条件密切相关。图 3 为研究湖泊水深和沉水植物生物量(湿重)的关系,从图中可以看出研究湖泊沉水植物主要分布在水深 2~6 m 范围内,平均分布水深为 3.9 m。分布的最大水深约为 10 m,该调查点位于抚仙湖立昌,主要为单优轮藻群落。抚仙湖水质良好,透明度极高,调查中抚仙湖的平均透明度为 6.3 m,因此在较深处水下光照条件也可以满足沉水植物生长需要。

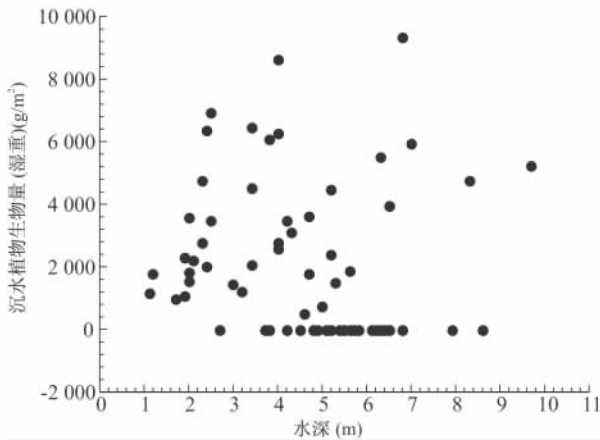


图 3 水深与沉水植物生物量(湿重)的关系

Fig. 3 Relationship Between Water Depth and Submerged Macrophyte Biomass (Wet Weight) in the Research Lakes

沉水植物生物量与透明度-水深之比之间存在显著的相关关系(皮尔逊简单相关系数为 0.48,斯皮尔曼等级相关系数为 0.66),两者之间的回归关系见图 4。沉水植物生物量随着透明度-水深之比比值的增加而增加,当透明度和水深之比在 0.3 以上时,几乎都有沉水植物分布。

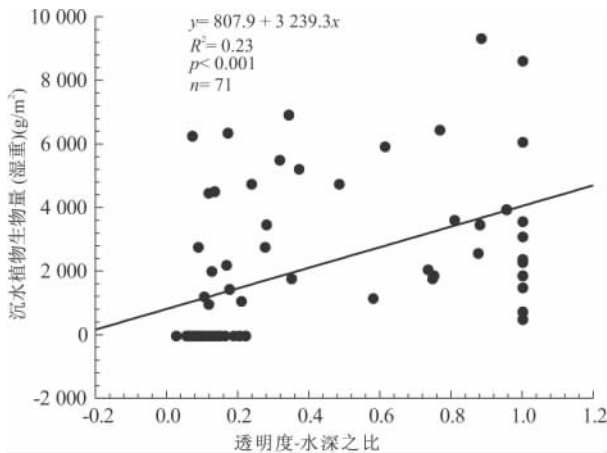


图 4 水深和透明度之比与沉水植物生物量(湿重)的关系

Fig. 4 Relationship Between Ratio of Secchi Depth to Water Depth and Submerged Macrophyte Biomass (Wet Weight) in the Research Lakes

2.5.2 底泥总氮含量

除透明度-水深之比外,沉水植物生物量(湿重)还与底泥总氮含量之间存在显著正相关关系(皮尔逊简单相关系数为 0.67,斯皮尔曼等级相关系数为 0.62),随着底泥总氮含量升高,沉水植物生物量逐渐增加(图 5),从图 5 中也可以看出,沉水植物基本分布在沉积物总氮含量大于 0.3% 左右的区域,当底泥总氮含量较低时,沉水植物不能很好生长。

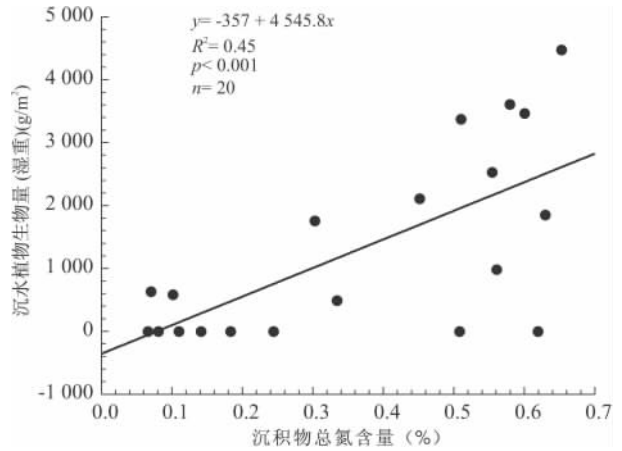


图 5 沉积物总氮含量和沉水植物生物量(湿重)之间的关系

Fig. 5 Relationship Between Total Nitrogen of Sediment and Submerged Macrophyte Biomass (Wet Weight) in the Research Lakes

3 结论与讨论

区系地理成分分析表明,研究湖泊水生植物主要由世界分布的属组成,体现了水生植物广域分布的特征,另一方面,区系中温带、热带成分也占有一定的优势,表现出比较明显的亚热带性质,这也与云南所处的地理位置和气候类型多样的特征相一致。

从几个湖泊比较的结果来看,抚仙湖水生植物资源最为丰富,尤其是其沉水植物资源,无论是种类数还是沉水植物群丛类型都极其丰富。其次为阳宗海,虽然其总种类数较少,但是其沉水植物种类及群丛类型、生物量都较多。而在 3 个富营养化湖泊滇池、星云湖、杞麓湖中,虽然有不少水生植物种类分布,但是其沉水植物群落较为单一,主要为篦齿眼子菜、穗状狐尾藻这些耐污种类组成的单优或共优群落。

本研究表明,滇中地区高原湖泊水生植物资源正在不断退化,种类、群落类型及分布区域与历史资料相比较下降明显。例如滇池,20 世纪 50 年代沉水植物有 42 种,80 年代,下降到 13 种,轮藻等消

失,90年代有12种,而本次调查只采集到8种,这主要与近年来湖泊水质的变化有关,20世纪50年代滇池外海的透明度在2~4 m,总氮为0.46 mg/L,80年代透明度下降到0.2~1.6 m,总氮含量升至0.69 mg/L^[16],而本次调查中滇池平均透明度范围为0.2~0.7 m,平均0.5 m,总氮含量为3.13 mg/L。目前,滇池水体已处于超富营养化水平,水华大面积发生,湖水透明度低,溶氧缺乏,使得植被面积大大缩小。在5个湖泊中,抚仙湖、阳宗海沉水植物资源丰富,但这两个湖泊营养水平正逐年增加,水体富营养化呈加速发展的趋势^[17],可以预见随着富营养化程度加剧,这些湖泊优势种类也将逐渐转变为篦齿眼子菜、微齿眼子菜等耐营养盐的植物。

环境分析表明水深、透明度以及底泥总氮含量是影响5个湖泊沉水植物群落分布及丰度的主要因素。在5个湖泊中沉水植物主要分布在水深2~6 m范围内,分布的最大水深约为10 m,位于抚仙湖立昌。透明度和水深之比与沉水植物生物量之间存在显著正相关关系。当透明度和水深之比大于0.3时,均有沉水植物分布。这表明沉水植物的生长在很大程度上依赖于水深和水下光照条件,越清澈和越浅的生境越有利于沉水植被发育。王海军^[18]在长江中下游浅水湖泊也得到了类似结果。

淡水湖泊生态系统的恢复与可持续利用是目前全球具有前瞻性研究的领域^[19],云南高原湖泊富营养化、生态系统退化等一系列问题目前已引起越来越多学者的关注,高原湖泊的治理、保护及合理开发利用研究对于云贵高原湖区经济发展意义重大。对于云南高原湖泊面临的这些问题,我们认为主要应以控制外源污染为重点。同时,在水生植被退化严重的湖泊,可以通过水生生态工程、环境工程等多学科技术相结合的途径,促进生物多样性的恢复和重建。

致谢 感谢曲阜师范大学舒凤月老师、中国科学院水生生物研究所底栖生物分类与生态学学科组崔永德老师、闫福桂、袁刚、茹辉军等同学以及中国科学院南京地理与湖泊研究所张明博士等人在采样过程

中提供的帮助。

参考文献:

- [1] 曾理,吴丰昌,万国江,等. 中国地区湖泊沉积物中¹³⁷Cs分布特征和环境意义[J]. 湖泊科学,2009,21(1):1~9.
- [2] 蓝红林. 云南高原湖泊的治理与保护初探[J]. 云南环境科学,2001,20(4):26~28.
- [3] 杨柳,吴瑞华. 云南高原湖区综合发展研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版),2002,8(3):19~21.
- [4] 颜昌宙,金相灿,赵景柱,等. 云南洱海的生态保护及可持续利用对策[J]. 环境科学,2005,26(5):38~42.
- [5] 杨留法. 云南高原湖泊的成因类型及其分布规律的初步探讨[J]. 海洋与湖沼,1984,1:34~39.
- [6] 陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物群落结构和动态[J]. 海洋与湖沼,1980,11(3):275~283.
- [7] 夏天翔,李文朝,熊飞. 抚仙湖不同类型岸带沉水植物分布及水体氮磷特征[J]. 生态学杂志,2007,26(6):846~852.
- [8] 赵晟,吴学灿,夏峰. 滇池水生植物研究概述[J]. 云南环境科学,1999,18(3):4~8.
- [9] 杨君兴,陈银瑞. 抚仙湖鱼类生物学和资源利用[M]. 昆明:云南科技出版社,1995.
- [10] 李恒. 云南高原湖泊水生植被的研究[J]. 云南植物研究,1980,2(2):113~141.
- [11] 戴全裕. 云南滇池水生植被的观察与分析[J]. 海洋湖沼通报,1986,2:65~75.
- [12] 邱丽旻,凌元洁. 中国轮藻植物区系研究[J]. 西北植物学报,2005,25(8):1682~1684.
- [13] 吴兆洪,秦仁昌. 中国蕨类植物科属志[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [14] 秦仁昌. 中国蕨类植物科属系统排列和历史来源[J]. 植物分类学报,1978,16(3):1~19.
- [15] 吴征镒,周浙昆,孙航,等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明:云南科技出版社,2006.
- [16] 余国营,刘永定,丘昌强,等. 滇池水生植被演替及其与水环境变化关系[J]. 湖泊科学,2000,12(1):73~80.
- [17] 李荫玺,刘红,陆娅,等. 抚仙湖富营养化初探[J]. 湖泊科学,2003,15(3):285~288.
- [18] 王海军. 长江中下游中小型湖泊预测湖沼学研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2006.
- [19] NAIMAN R J, MAGNUSON J J, KCKNIGHT D M, et al. Freshwater ecosystems and their management: A national initiative[J]. Science,1995, 270: 584~585.

AQUATIC FLORA AND ASSEMBLAGE CHARACTERISTICS OF SUBMERGED MACROPHYTES IN FIVE LAKES OF THE CENTRAL YUNNAN PROVINCE

SHEN Ya-qiang^{1,2}, WANG Hai-jun¹, LIU Xue-qin¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Aquatic plants in 5 plateau lakes of the central Yunnan Province were investigated during the dry and wet seasons. Altogether 80 species belonging to 33 families and 64 genera were recorded. Among them were 39 wetland plants, 19 emergent, 12 submerged, 7 floating and 3 floating-leaved ones. The flora was found to be diverse in its geographical characteristic. Cosmopolitan was the main floristic elements. There were 22 tropical (account for 34.4% of the total genera) and 20 temperate genera (account for 31.7% of the total genera), indicating the subtropical characteristics of the flora. In the assemblage of submerged macrophytes, *Potamogeton pectinatus*, an pollution-tolerant species, was the dominant species in Lake Dianchi, Lake Xingyunhu, Lake Qiluhu. Meanwhile, the submerged macrophytes associations in these three eutrophic lakes were relative simple, with monodominant association such as *Potamogeton pectinatus* association and *Potamogeton malaianus* association. Environmental analyses demonstrated that the water depth, Secchi depth and total nitrogen of sediment were the important factors influencing the submerged macrophyte assemblages in these lakes.

Key words: central Yunnan Province; aquatic plants; flora; dominant species; submerged macrophytes