

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00841

上海乡土水生植物资源及其在水生态恢复 与水景观建设中的应用潜力

王 婕¹ 张 净¹ 达良俊^{1, 2, 3}

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 2. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062;
3. 天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 宁波 315114)

摘要: 水生植物作为水生生态系统的主体, 对发挥水生生态系统的自维持、自循环功能有重要作用。研究通过相关资料的查阅, 建立上海地区乡土水生植物名录, 并对其科属组成、区系特征、生活型、生长型等进行统计分析。结果表明上海地区乡土水生植物共计 35 科 83 属 160 种(含变种), 单属科、单种属的比例较高, 均达 65% 以上; 植物区系组成丰富、成分复杂, 以热带成分占优势, 达 64.6%; 生活型以挺水植物为主, 沉水植物次之, 浮水植物最少; 生长型类型丰富, 以草本型、禾草型居多, 20 种生长型可进一步归为表征相似生态学特征和功能地位的 6 个生长型组。在水生态恢复与水景观建设中, 仅有 68.8% 的景观水体有水生植物应用, 且应用种类在 2 种以下的占 79.2%。乡土水生植物应用不足, 一半以上为观赏性强的外来物种, 应用频率较高的为挺水植物, 对具有良好净化效果的沉水植物重视不够。因此, 在水生态恢复与水景观建设中, 建议加强乡土水生植物资源的繁育栽培, 在充分利用乡土水生植物资源配置群落的基础上, 根据水质的富营养及基底状况, 通过不同生长型组水生植物的应用, 构建“沉水-浮水-挺水”植物群落复合体, 并通过“近自然型”护岸的营造, 形成“水生-湿生”复合生态系统。运用植被工程学的原理和方法, 采用“生态浮岛”、“生态沉岛”等技术营造水生植被, 将强人工化的水景观建成具生命的水生生态系统。

关键词: 乡土水生植物; 生长型; 景观水体; 生态浮岛

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)05-0841-10

水生植物是生态学范畴上的类群, 是不同分类群植物通过长期适应水环境而形成的趋同性生态适应类型^[1], 由水生维管束植物、水生藓类和高等藻类等组成^[2], 但至今仍无一个普遍为人们所接受的定义^[3, 4]。作为水生植物的主体, 水生维管束植物定义为“植物进行光合作用的器官在大部分时间或一年中至少数月沉于水中或浮于水面的蕨类植物和种子植物”^[5], 可以划分为挺水植物(包括湿生和沼生植物)、浮水植物和沉水植物 3 大生活型类群, 浮水植物又可以分为漂浮和浮叶植物^[1]。乡土水生植物尤其是乡土水生维管束植物, 具有为鱼类等其他生物提供良好栖息生境、提高水体透明度、净化水质、

减少驳岸侵蚀和沉积物再悬浮、防止外来植物滋生等功能^[6], 对恢复重建水生植被、维持水生生态系统结构和功能的稳定及水景观的建设具有重要作用。

上海属典型感潮平原河网地区, 气候温暖多雨, 河流、水网密布^[7], 为各种水生植物的生长、发育和繁殖提供了良好的条件^[8]。随着城市化进程的快速发展, 上海地区河道数量锐减, 原有自然河网水系严重消退、结构破坏、功能减弱^[9], 水生植物的分布范围萎缩, 面积和数量锐减^[10], 由挺水植物、浮水植物和沉水植物共同构成的完整水生植物带也大量消亡^[8]。另一方面, 城市景观水体建设只重视视觉享受, 忽视水生植物的生态习性和水生生态系统的自

收稿日期: 2010-07-12; 修订日期: 2011-04-29

基金项目: 上海市科委科技支撑项目(08DZ1203101; 08DZ1203102); 上海市自然科学基金(08ZR1406800); 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2007)第 1 - 4 号]资助

作者简介: 王婕(1988—), 女, 安徽人; 硕士研究生; 主要从事湿地生态学与城市生态学研究。E-mail: wangjie4545@126.com

通讯作者: 达良俊(1962—), 男; 博导; 主要从事植被生态学和城市生态学研究。E-mail: ljda@des.ecnu.edu.cn

然属性,盲目引进观赏价值高的外来物种,建设手法上也拘泥于混凝土驳岸、亲水平台等硬质人工护岸,使得水体的人工化痕迹严重、生态系统严重失衡^[11]。因此,以生态型城市建设为目标的上海亟待解决水生生态系统恢复与水景观建设中存在的误区,通过运用适宜当地自然条件的乡土物种构建具有表征区域特色的“地标性”植物群落及生态系统^[12, 13]。

本文参考有关文献[2, 14—18],结合野外实地调查,统计出上海地区现有或曾有自然分布的乡土水生植物资源,分析物种的科属组成、区系组成、生活型和生长型特征及其在景观水体中的应用现状,探讨乡土水生植物资源的应用潜力,并针对存在的问题提出水生生态系统恢复与重建的合理途径,以期为乡土水生植物的应用以及城市水体景观绿化提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 区域概况

上海市地处长江入海口,属于长江三角洲以太湖为中心的蝶形洼地的东缘,地势低平,属北亚热带海洋性季风气候类型,日照充足,雨水充沛。境内河湖众多,水网密布,水域面积占全市面积的 11%,属水乡型城市。河网大多属黄浦江水系,主要有黄浦江及其支流苏州河、川扬河、淀浦河等;湖泊集中在与江、浙交界的西部洼地,最大的淡水湖泊为淀山湖,面积为 62 km²^[19]。20 世纪 90 年代以来,城市建设对于人居环境的重视使得上海市人造景观水体的面积逐年增加^[20]。而位于浦东新区临港新城的滴水湖是目前在尚未成陆的海滩上开挖的国内最大人工湖,总面积为 5.56 km²。

1.2 乡土水生植物的界定

本文所指水生植物主要为水生维管束植物,参照 Cook 和台湾地区“水生植物乌托邦”提出的相关定义,确定了水生维管束植物的分类,即包括狭义的水生植物(植株必须长期生长于水中的植物,包括挺水植物、浮水植物和沉水植物)和湿生或沼生植物。

乡土水生植物资源则参照《中国水生高等植物图说》^[14]、《中国水生杂草》^[15]、《中国水生维管束植物图谱》^[16],结合《上海植物志》(上卷)^[17]、《华东五省一市植物名录》^[18]中描述的乡土植物分布情况,统计出上海现有或曾有过自然分布的水生植物种类。

1.3 乡土水生植物资源特征分析

参照吴征镒^[21]中国种子植物属分布区类型的划分系统,中国水生植物生活型和生长型分类系统^[2]对上海乡土水生植物的区系特征、生活型、生长型进行划分。

1.4 应用现状调查

于 2008—2009 年,以上海市 12 个区的 41 个公园绿地为对象,调查其景观水体中水生植物的应用状况,并对淀山湖包括大珠砂港后荡区、西旺港至马兰港区域、急水港至陈家坞港区域、西旺港以东区域、东方绿舟区域、威尼斯别墅区域 7 个生态修复工程示范区 0.268 km²湖面上,应用的水生植物现状进行调查。调查中记录应用的植物种类,计算出出现频率。

2 结果

2.1 种类组成与地理成分

上海地区乡土水生植物共有 35 科 83 属 160 种(含变种),其中蕨类植物 4 科 4 属 4 种,单子叶植物 12 科 46 属 94 种,双子叶植物 19 科 33 属 62 种。在 35 科中,禾本科含属最多,有 20 属,其次为莎草科(9 属)、菊科(6 属)、玄参科(5 属),占总科数的 11.4%;含 2—4 属的寡属科有水鳖科、浮萍科、唇形科、伞形科、蓼科、灯心草科、三白草科等 7 科,占总科数的 20.0%;单属科高达 24 科,占总科数的 68.6%。在科内种的组成中,10 种以上的科有禾本科、莎草科、蓼科,占总科数的 9.6%,所含种占总种数 41.9%;含 6—10 种的小型科有眼子菜科、菊科、玄参科、水鳖科、菱科等 5 科,占总科数的 14.3%,所含种占总种数 23.1%;含 2—5 种的寡种科有 14 科,占总科数的 40.0%,所含种占总种数 26.9%;单种科有 13 科,占总科数的 37.1%,所含种占总种数 8.1%(表 1)。在所有的 83 属中,单种属也高达 54 属,占总属数的 65.1%。

在上海地区乡土水生植物中 83 属可划分为 9 个分布区类型。世界性属成分有 32 属,占总属数的 38.6%,包括蕨类植物的 4 属和被子植物的蓼属(*Polygonum*)、眼子菜属(*Potamogeton*)、芦苇属(*Phragmites*)、莎草属(*Cyperus*)、灯心草属(*Juncus*)、酸模属(*Rumex*)等 28 属。各类热带性成分(2—5 项)有 31 属,占总属数(不包括世界分布属,下同)的 64.6%,且以泛热带分布为主,有水车前属(*Ottelia*)、

千金子属 (*Leptochloa*)、稻属 (*Oryza*)、苦草属 (*Vallisneria*)、雀稗属 (*Paspalum*) 等 21 属; 各类温带性成分(6—9 项)有 17 属, 占总属数的 35.4%, 且以北温带分布为主, 有慈姑属 (*Sagittaria*)、婆婆纳属 (*Veronica*)、藜草属 (*Phalaris*) 等 10 属(表 2)。

2.2 生活型与生长型

上海地区乡土水生植物生活型以挺水植物为主, 有 117 种, 占总种数的 73.1%; 其次为沉水植物 25

种, 占 15.6%; 浮水植物种类最少, 占 11.3%。

生长型共有 20 个类型, 挺水植物含有禾草型、草本型、慈姑型、合萌型、水龙型等 5 种类型, 其中禾草型、草本型含种数最多, 分别为 64 种和 46 种, 慈姑型有 5 种, 合萌型和水龙型各 1 种; 浮水植物含有菱型、浮眼子菜型、睡莲型、苹型、浮萍型、槐叶萍型、水鳖型等 7 个生长型, 包含 18 个物种; 沉水植物含生长型类型数最多, 有 8 个, 包含 25 个物

表 1 上海地区乡土水生植物的科属组成
Tab. 1 Composition of families of native aquatic vascular plants in Shanghai

科名 Family	属数 Genus	种数 Species	科名 Family	属数 Genus	种数 Species
禾本科 Gramineae	20	28	十字花科 Cruciferae	1	2
莎草科 Cyperaceae	9	27	雨久花科 Pontaderiaceae	1	2
菊科 Compositae	6	8	香蒲科 Typhaceae	1	2
玄参科 Scrophulariaceae	5	8	狸藻科 Lentibulariaceae	1	2
水鳖科 Hydrocharitaceae	4	6	小二仙草科 Haloragidaceae	1	1
浮萍科 Lemnaceae	3	5	谷精草科 Eriocaulaceae	1	1
唇形科 Labiata	3	3	金鱼藻科 Ceratophyllaceae	1	1
伞形科 Umbelliferae	3	3	苋科 Amaranthaceae	1	1
蓼科 Polygonaceae	2	12	豆科 Leguminosae	1	1
灯心草科 Juncaceae	2	5	爵床科 Acanthaceae	1	1
三白草科 Saururaceae	2	2	胡麻科 Pedaliaceae	1	1
眼子菜科 Potamogetonaceae	1	9	角果藻科 Zannichelliaceae	1	1
菱科 Trapaceae	1	6	兰科 Orchidaceae	1	1
茨藻科 Najadaceae	1	5	苹科 Marsileaceae	1	1
毛茛科 Ranunculaceae	1	4	槐叶苹科 Salviniaceae	1	1
千屈菜科 Lythraceae	1	3	满江红科 Azollaceae	1	1
柳叶菜科 Onagraceae	1	3	木贼科 Equisetaceae	1	1
天南星科 Araceae	1	2			

表 2 上海地区乡土水生植物属的分布区类型
Tab. 2 Geographic distribution types of genera of aquatic vascular plants in Shanghai

性质 Type	分布区类型 Area types	属数 No. of genera	占总属数 (%)
世界性 Worldwide	1. 世界分布 Cosmopolitan	32	—
热带性 Tropical character	2. 泛热带分布 Pantropic	21	43.8
	3. 旧世界热带分布 Old World Tropics	5	10.4
	4. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia	3	6.3
	5. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	2	4.2
	小计 Subtotal	31	64.6
温带性 Temperate sexual	6. 北温带分布 North Temperate	10	20.8
	7. 东亚和北美间断分布 E. Asia & N. Amer. Disjunction	2	4.2
	8. 旧世界温带分布 Old World Temperate	3	6.3
	9. 东亚分布 E. Asia	2	4.2
	小计 Subtotal	17	35.4
	总计 Total	48	100

种, 其中小叶眼子菜型种类最多为 11 种, 大眼子菜型、苦草型分别为 4 种和 3 种, 狸藻型、浮眼子菜型、狐尾藻型为 2 种, 金鱼藻型、海菜花型、水韭型仅 1 种(表 3)。

2.3 乡土水生植物应用现状

在调查的 41 个城市绿地景观水体中, 无水生植物分布的 15 个, 占 36.6%; 在其他 26 个及淀山湖 7 个修复工程示范区中, 共调查有水生植物 39 种, 其中 21 种为外来引进的栽培种, 应用较多的有鸢尾(*Iris tectorum*)、莲(*Nelumbo nucifera*)、美人蕉(*Canna indica*)、千屈菜(*Lythrum salicaria*)、睡莲(*Nymphaea tetragona*)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)等。

乡土水生植物 18 种, 自然分布的 2 种, 为浮萍(*Lemna minor*)和满江红(*Azolla imbricate*), 人工栽培的 16 种, 仅占上海地区乡土水生植物资源的 10.0%, 生长型共 10 个, 占 50.0%。其中挺水植物种类最多共 8 种, 生长型有 3 个, 禾草型有水葱(*Scirpus tab-*

ernaemontani)、芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)、花叶芦竹(*Arundo donax*)、红穗苔草(*Carex argyi*), 草本型有水芹(*Oenanthe javanica*)、慈姑型有慈姑(*Sagittaria trifolia*)和泽泻(*Alisma orientale*), 其中水葱的出现次数最高为 7 次, 芦苇和慈姑次之, 为 4 次, 其余均 1—3 次; 沉水植物 5 种, 生长型有 4 个, 为大眼子菜型的菹草(*Potamogeton crispus*), 小眼子菜型的黑藻(*Hydrilla verticillata*)、微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus*), 金鱼藻型的金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*), 苦草型的苦草(*Vallisneria spiralis*), 其中菹草出现次数最高为 4 次, 其余仅 1—2 次; 浮叶植物 2 种, 为菱型的菱(*Trapa bispinosa*)和睡莲型的荇菜(*Nymphoides peltata*), 出现次数较高, 分别为 8 次和 6 次; 漂浮植物最少仅 1 种, 为水龙型的水龙(*Jussiaea repens*), 只出现 1 次(表 4)。各种生活型水生植物累计出现次数: 挺水植物>沉水植物>浮叶植物>漂浮植物。

表 3 上海地区不同生活型乡土水生植物的生长型类型
Tab. 3 The growth form types of native aquatic vascular plants of different life forms in Shanghai

生长型 Growth form	生活型 Life form			合计 Total
	挺水植物 E	浮水植物 F	沉水植物 S	
禾草型 Graminids	64			64
草本型 Herbids	46			46
慈姑型 Sagittariids	5			5
合萌型 Aeschynomenids	1			1
水龙型 Decodontids	1			1
菱型 Trapids		6		6
浮萍型 Lemnids		6		6
浮眼子菜型 Natopotamids		2		2
睡莲型 Nymphoids		1		1
苹型 Marsileids		1		1
槐叶萍型 Salviniids		1		1
水鳖型 Hydrocharids		1		1
小眼子菜型 Parvopotamids			11	11
大眼子菜型 Magnopotamids			4	4
苦草型 Vallisnerids			3	3
狐尾藻型 Myriophyllids			2	2
狸藻型 Utricularids			2	2
海菜花型 Otteliids			1	1
水韭型 Isoetids			1	1
金鱼藻型 Ceratophyllids			1	1
合计 Total	5(117)	7(18)	8(25)	20(160)

注: ()内为种数
Note: () Number of species

表 4 上海地区部分景观水体中水生植物种类
Tab. 4 Species of aquatic vascular plants in part of the landscape water in Shanghai

	植物种类 Species	科 Family	生活型 Life form	生长型 Growth form	出现次数 Frequency
人工种植 Artificial cultivation	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	鸢尾科 Iridaceae	E	禾草型	12
	莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	睡莲科 Nymphaeaceae	E	莲型	11
	水葱 <i>Scirpus tabernaemontani</i> *	莎草科 Cyperaceae	E	禾草型	7
	千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i>	千屈菜科 Lythraceae	E	禾草型	6
	黄菖蒲 <i>Iris pseudacorus</i>	鸢尾科 Iridaceae	E	禾草型	6
	菰 <i>Zizania latifolia</i>	禾本科 Gramineae	E	禾草型	5
	芦苇 <i>Phragmites australis</i> *	禾本科 Gramineae	E	禾草型	4
	美人蕉 <i>Canna indica</i>	美人蕉科 Cannaceae	E	禾草型	4
	慈姑 <i>Sagittaria trifolia</i> *	泽泻科 Alismataceae	E	慈姑型	4
	香蒲 <i>Typha orientalis</i> *	香蒲科 Typhaceae	E	禾草型	3
	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	苋科 Amaranthaceae	E	草本型	3
	水芹 <i>Oenanthe javanica</i> *	伞形科 Umbelliferae	E	草本型	2
	花叶芦竹 <i>Arundo donax</i> *	禾本科 Gramineae	E	禾草型	2
	再力花 <i>Thalia dealbata</i>	竹芋科 Marantaceae	E	禾草型	2
	泽泻 <i>Alisma orientale</i> *	泽泻科 Alismataceae	E	慈姑型	2
	香菇草 <i>Hydrocotyle vulgaris</i>	伞形科 Umbelliferae	E	禾草型	1
	旱伞草 <i>Cyperus alternifolius</i>	莎草科 Cyperaceae	E	禾草型	1
	海寿花 <i>Pontederia cordata</i>	雨久花科 Pontederiaceae	E	禾草型	1
	燕子花 <i>Iris laevigata</i>	鸢尾科 Iridaceae	E	禾草型	1
	红穗苔草 <i>Carex argyi</i> *	莎草科 Cyperaceae	E	禾草型	1
	梭鱼草 <i>Pontederia cordata</i>	雨久花科 Pontederiaceae	E	草本型	1
	菹草 <i>Potamogeton crispus</i> *	眼子菜科 Potamogetonaceae	S	大眼子菜型	4
	狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	小二仙草科 Haloragidaceae	S	狐尾藻型	3
	黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> *	水鳖科 Hydrocharitaceae	S	小眼子菜型	2
	马来眼子菜 <i>Potamogeton malaianus</i>	眼子菜科 Potamogetonaceae	S	小眼子菜型	2
	苦草 <i>Vallisneria natans</i> *	水鳖科 Hydrocharitaceae	S	苦草型	2
	伊乐藻 <i>Elodea canadensis</i>	水鳖科 Hydrocharitaceae	S	苦草型	2
	金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> *	金鱼藻科 Ceratophyllaceae	S	金鱼藻型	2
	微齿眼子菜 <i>Potamogeton maackianus</i> *	眼子菜科 Potamogetonaceae	S	小眼子菜型	1
	睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>	睡莲科 Nymphaeaceae	F	睡莲型	11
	菱 <i>Trapa bispinosa</i> *	菱科 Trapaceae	F	菱型	8
	荇菜 <i>Nymphoides peltata</i> *	龙胆科 Gentianaceae	F	荇菜型	6
	凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	雨久花科 Pontederiaceae	F	凤眼莲型	2
	蕹菜 <i>Ipomoea aquatic</i>	旋花科 Convolvulaceae	F	浮眼子菜型	1
	王莲 <i>Victoria regia</i>	睡莲科 Nymphaeaceae	F	睡莲型	1
	大藻 <i>Pistia stratiotes</i>	天南星科 Araceae	F	槐叶萍型	1
	水龙 <i>Jussiaea repens</i> *	柳叶菜科 Onagraceae	F	水龙型	1
自然分布 Natural distribution	满江红 <i>Azolla imbricate</i> *	满江红科 Azollaceae	F	浮萍型	3
	浮萍 <i>Lemna minor</i> *	浮萍科 Lemnaceae	F	浮萍型	3

注: *上海地区乡土水生植物
Note: *Native aquatic vascular plants in Shanghai

3 讨论

3.1 上海地区乡土水生植物资源多样性格局

乡土植物是指当地固有的、自然分布于本地生长的植物种类,对保护生物多样性和维持当地生态

平衡具有重要作用^[12]。中国水生维管束植物有 61 科 145 属 317 种^[16],本研究统计记录上海地区乡土水生植物共计 35 科 83 属 160 种,均各占全国总数的一半以上,且与周边的浙江地区^[22]相当,在物种数量上较安徽^[23]、河南^[24]丰富(表 5)。其中,单属科、

单种属的比例较高, 均达 65% 以上, 与相近纬度的浙江地区、湖北洪湖^[4]特征相似, 均比河南的比例高。

区系特征方面, 上海乡土水生植物具有世界广布型和热带性属的比例高、温带性低的特点, 与浙江、安徽、河南等地区水生植物的区系特征一致; 随着纬度增加, 区系特征表现为世界分布比例和温带性成分增加, 热带性成分减少的趋势(表 5)。而与陆生草本植物相比, 水生植物的区系特征与上海乡土植物及郊区陆生草本植物区系以温带分布占优势的特征不一致^[17, 25]。作为热带向温带过渡的亚热带地区, 上海乡土水生植物表现为以世界广布型、热带性成分占优势的区系特点。这主要是因为水域环境特别是温度相对比较稳定, 使水生植物相比陆生植物常常有更大的分布区, 更多的热带性属能免受冻害而分布到亚热带甚至温带地区^[22]。

3.2 水生植物生长型组的确定及其生态学特性

生长型是亲缘上常常无关的一组分类群通过进化而产生的形态上可比的类型, 是对一种特定生境中特定生活方式的适应, 可以指示水体的连续性、水质、水的运动和营养状况等环境条件^[2]。上海乡土水生植物的生长型类型丰富, 占全部已确定的 26 个生长型^[2]的 76.9%, 应用潜能巨大, 既可适应上海丰富多样的水体类型, 也可根据其功能、演替地位有针对性地应用于水生态恢复与水景观构建中。

生活型是决定植被外貌的重要因素^[26], 而各种生长型对植被的结构特别重要, 决定了水生植物群落的种类组成、生物量积累以及对沉积物和光能的利用效率等, 水生植物群落在很大程度上以其生长型谱作为特征, 具有合理生长型谱的群落可以有效利用水体的光能和营养物质, 获得最大生物量^[27]。因此, 笔者认为生长型是生活型的下级指标, 在水生植被构建中物种选择及群落配置时, 对各生长型生态学特征的认知尤显重要。但现有生长型分类体系过于繁杂, 笔者根据物种生物学特性、生态学特

征以及在群落中的功能地位等^[2], 将上海乡土水生植物的 20 个生长型进一步归并为 6 个生长型组:

(1) 浮萍-水鳖型组: 包含浮萍型、槐叶萍型、水鳖型等 3 个生长型, 为水面漂浮植物, 自由漂浮于水面, 无根或根在水中悬挂, 在整个水域范围内都能分布, 处于水生演替起始的自由漂浮植物阶段, 为先锋种(Pioneer species)类型。

(2) 苦草-水韭型组: 包含苦草型、海菜花型、水韭型等 3 个生长型, 为沉水根着植物植株矮小的亚型, 茎非常短, 叶基生呈莲座状, 常分布在贫营养、水体流动性大的砂质、岩礁性基质上, 处于继自由漂浮植物阶段后的沉水植物阶段, 为其前期类型, 具有演替的先锋种特征。

(3) 眼子菜-狐尾藻型组: 包含小眼子菜型、大眼子菜型、狐尾藻型等 3 个生长型, 是沉水根着植物的一个亚型, 多为植株高大的种类, 具长茎或匍匐状的根状茎, 并生有较长、柔软的分支, 从基底生长至近水面, 常分布在营养丰富、屏蔽性较好、水动力稳定的水体, 同属沉水植物阶段, 为其后期类型, 是水生演替的途中种(Seral species)类型。

(4) 狸藻-金鱼藻型组: 包含狸藻型、金鱼藻型等 2 个生长型, 由水中漂浮植物构成, 植株完全沉水, 在水中漂浮, 在整个水域范围内可自由漂动, 与浮萍-水鳖型组相似可在演替初期出现, 又是沉水植物阶段的主要伴生种。

(5) 菱-睡莲型组: 包含菱型、浮眼子菜型、睡莲型、苹型等 4 个生长型, 由浮叶根着植物组成, 植株扎根于基质, 叶片全部或部分浮于水面, 常分布在浅水区域, 处于继沉水植物阶段后的浮叶根生植物阶段, 为水生演替的顶级阶段前期(Early climax stage)类型。

(6) 禾草-草本型组: 包含禾草型、草本型、慈姑型、合萌型、水龙型等 5 个生长型, 由挺水植物构成, 植株扎根于基质, 部分营养结构挺出水面,

表 5 上海与其他地区水生植物种类组成及区系特征比较
Tab. 5 Comparison with floristic composition and areal type between shanghai and other area

区域 Region	种类组成 Floristic composition			属地理成分 Areal type			资料来源 Source of information
	科/属/种	单种属 (%)	单属科 (%)	世界性 (%)	热带性 (%)	温带性 (%)	
浙江 Zhejiang	42/78/150	64.1	64.3	37.2	57.2	42.8	[22]
上海 Shanghai	35/83/160	65.1	65.7	38.6	64.6	35.4	本研究
安徽 Anhui	44/72/138	—	—	38.9	51.4	48.6	[23]
河南 Henan	30/61/137	36.9	33.3	40.9	55.6	44.4	[24]

常分布在浅水处和潮湿的岸边, 生境开始具有陆生植物生境的特点, 处于直立水生阶段或湿生草本植物阶段, 是水生向陆生生态系统过渡的类型。

3.3 上海乡土水生植物应用误区与水生植被构建途径

近年来, 河流水系的治理和人工水景观的建设成为城市生态系统研究关注的焦点, 水生植物在水生态恢复、水景观建设中发挥了重要作用, 但也存在诸多问题^[11]。在本研究调查的 48 个对象中, 仅有 68.8% 的水体有水生植物应用; 其中, 应用种类多为 1—2 种, 占总水体数的 79.2%, 4 种的占 4.2%, 6 种的占 12.5%, 10 种的占 4.2%, 其中公园水体应用的乡土物种数尤为贫乏(图 1)。在种类组成上一半以上为观赏性的外来植物, 乡土水生植物应用不足, 除 2 种自然分布的漂浮植物外, 仅有 16 种, 且一半为增加景观效果的挺水植物, 表明目前水生态恢复及水景观建设偏重景观效益的追求, 而具有极强水质净化作用、被称为“水下森林”的沉水植物并未得到广泛关注。外来水生植物的种植也可能带来生态风险, 危害生态系统的健康^[22, 28], 如 20 世纪 90 年代起凤眼莲(*Eichhornia Crassipe*)在上海市各区县呈恶性暴发趋势, 其种群的大量分布严重影响到河道景观和水面运输^[28]。此外, 硬质河底和驳岸的人工化建设, 又使得众多的水生植物丧失了生存环境^[11, 29]。

因此, 水生态恢复及水景观建设需要加大对乡土水生植物资源的应用, 并遵循群落演替理论, 根据富营养化状况及所处演替阶段, 选择不同生长型组的植物, 建立从先锋至顶极阶段、具合理生长型

谱的水生植物群落复合体, 形成适应当地自然环境条件的“地标性”水生植物群落; 水景观建设中通过加强可自循环、自维持的水下森林的建设, 形成“沉水-浮水-挺水”立体式水体绿化结构^[13]。

4 结论与建议

上海地区乡土水生植物资源丰富, 单属科、单种科比例较高, 种类组成复杂; 作为热带向温带过渡的亚热带地区, 以世界分布特别是热带性成分占优势是本地区水生植物的重要区系特征; 乡土水生植物生长型类型丰富, 其中 20 种生长型可进一步归为表征其生态学特征、功能地位等的 6 个生长型组; 在水生态恢复、水景观建设中, 水生植物特别是乡土种类应用不足, 水生植物群落物种丰富度不高, 水生植被的构建对具良好净化效果的沉水植物的利用重视不够。

因此, 建议加强乡土水生植物资源的繁育栽培, 在充分利用乡土水生植物资源配置群落的基础上, 更应通过不同生长型组水生植物的应用, 通过立体式水体绿化模式, 构建“沉水-浮水-挺水”植物群落复合体(Community complex), 沉水植物选用夏季型苦草(*Vallisneria natans*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)与冬季型菹草(*Potamogeton crispus*), 浮水植物选用观赏性的睡莲(*Nymphaea tetragona*)、菱(*Trapa bispinosa*)等, 挺水植物选用观叶植物灯心草(*Medulla Junci*)、花叶芦竹(*Arundo donax*)和观花植物荷花(*Nelumbo nucifera*)等^[30], 并通过“近自然型”护岸的营造, 形成“水生-湿生”复合生态系统, 为本土的水生动物提供栖息环境。沉水植物群落的构建是水生植被恢复的关键, 需根据水质的富营养及基底状况, 在贫营养、砂质、岩礁基底的水体中, 应以苦草-水韭型组物种为主; 在富营养程度较高、水流平缓的水体中, 应以眼子菜-狐尾藻型组为主, 并结合狸藻-金鱼藻型组水中漂浮植物的使用, 营造沉水植被, 提升水生植被净化水质的作用; 浮水植物群落的构建需考虑漂浮植物扩散性强的特征, 可多采用浮叶根着植物, 使其定植在一定的区域范围内; 挺水植物群落为水生向陆生生态系统的过渡类型, 构建时需结合滨岸带特征和岸边景观, 以应用禾草-草本型组挺水植物为主, 在保土固堤、“软化”硬质护岸的同时, 营造景观效果与生态效益皆佳的滨岸景观带。

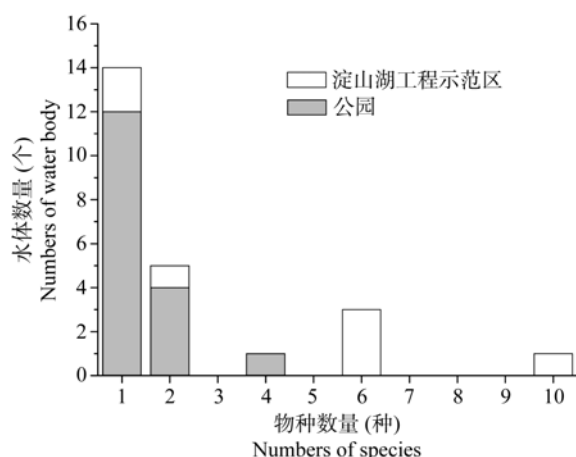


图 1 上海地区景观水体乡土水生植物应用现状

Fig. 1 The application of native aquatic vascular plants in landscape in Shanghai

针对硬质驳岸和基底的水体,建议运用植被工程的原理和方法,以纤维为载体,结合应用纤维卷筒、生态浮岛等技术手段,栽培禾草型和草本型水生花卉,建成“水上花园”;同时,应用纤维网垫、“生态沉岛”等技术构建“水下森林”,并通过漂浮植物连接水生植被带,起到美化景观作用的同时,也具净化、改善水质的作用,将强人工化的水景观建成具生命的水生生态系统。

致谢:

衷心感谢商侃侃博士对论文完成所做的帮助。

参考文献:

- [1] Liu J K. Advanced Aquatic Biology [M]. Beijing: Science Press. 2005, 224—225 [刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社. 2005, 224—225]
- [2] Li W, Zhong Y. Studies Theory and Methods on Aquatic Vegetation [M]. Wuhan: Central China Normal University Press. 1983, 1—289 [李伟, 钟杨. 水生植被研究的理论与方法. 武汉: 华中师范大学出版社. 1983, 1—289]
- [3] Best E P H. The phytosociological approach to the description and classification of aquatic macrophytic vegetation [C]. In: Symoens J J (Eds.), Vegetation of inland waters. Handbook of Vegetation Science, 15/1. Kluwer. 1988, 155—182
- [4] Li W. Flora studies on aquatic vascular plants in Lake Honghu [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1997, **15**(2): 113—122 [李伟. 洪湖水生维管束植物区系研究. 武汉植物学研究, 1997, **15**(2): 113—122]
- [5] Cook C D K. Aquatic Plant Book [M]. The Hague, the Netherlands; SPB Academic Publishing. 1990, 1—228
- [6] Smart R M, Dick G O, Doyle R D. Techniques for establishing native aquatic plants [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1998, **36**: 44—49
- [7] Cheng J, Yang K, Zhao J, *et al.* Variation of river system in center district of Shanghai and its impact factors during the last one hundred years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, **27**(1): 85—91 [程江, 杨凯, 赵军, 等. 上海中心城区河流水系百年变化及影响因素分析. 地理科学, 2007, **27**(1): 85—91]
- [8] Wang W, Lu J J. Aquatic vascular plants and their flora characteristics in Shanghai area [J]. *Wetland Science*, 2004, **2**(3): 171—175 [王伟, 陆健健. 上海地区湿地水生维管束植物及其区系特征. 湿地科学, 2004, **2**(3): 171—175]
- [9] Yun Y, Cheng W, Wu J P. Investigating the evolution of urban river system of downtown Shanghai in the last century [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2009, (6): 119—127 [云烨, 程薇, 吴健平. 上海市中心城区近百年来水系演变研究. 华东师范大学学报(自然科学版), 2009, (6): 119—127]
- [10] You W H. Studies on community of aquatic vascular plants in Dianshan Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1994, **6**(4): 318—324 [由文辉. 淀山湖水生维管束植物群落研究. 湖泊科学, 1994, **6**(4): 318—324]
- [11] Da L J, Yan J S. The method and application of approx-natural restoration in urban aquatic ecosystem and waterscape constructions [J]. *Modern Urban Research*, 2005, (1): 9—15 [达良俊, 颜京松. 城市近自然型水系恢复与人工水景建设探讨. 现代城市研究, 2005, (1): 9—15]
- [12] Yang Y C, Da L J. Native tree species and their application in the urban landscaping in Shanghai [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2005, **22**(3): 286—290 [杨永川, 达良俊. 上海乡土树种及其在城市化建设中的应用. 浙江林学院学报, 2005, **22**(3): 286—290]
- [13] Da L J, Li Y Y, Zhang J G, *et al.* The consideration on the construction of urban “land-mark” plant community in Shanghai [J]. *Urban Problems*, 2009, **169**(8): 37—39 [达良俊, 李艳艳, 章君果, 等. 关于上海城市“地标性”植物群落建设的思考. 城市问题, 2009, **169**(8): 37—39]
- [14] Yan S Z. Diagram of Aquatic Higher Plants in China [M]. Beijing: Science Press. 1983, 1—335 [颜素珠. 中国水生高等植物图说. 北京: 科学出版社. 1983, 1—335]
- [15] Diao Z S. Aquatic Weeds in China [M]. Chongqing: Chongqing Press. 1990, 1—501 [刁正俗. 中国水生杂草. 重庆: 重庆出版社. 1990, 1—501]
- [16] Wuhan Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences. Map of Aquatic Vascular Plants in China [M]. Wuhan: Hubei People's Press. 1983, 1—683 [中国科学院武汉植物研究所. 中国水生维管束植物图谱. 武汉: 湖北人民出版社. 1983, 1—683]
- [17] Shanghai Academy of Sciences. Flora of Shanghai (Vol.1-2) [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press. 1993, 1—953 [上海科学院. 上海植物志(上卷). 上海: 上海科学技术文献出版社. 1993, 1—953]
- [18] Zhang M Z, Lai M Z. A Plant Checklist of Five Provinces and a Chartered City in Eastern China [M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press. 1993, 1—491 [张美珍, 赖明洲. 华东五省一市植物名录. 上海: 上海科学普及出版社. 1993, 1—491]
- [19] Shanghai Institute of Geography. The Handbook of Shanghai Geography [M]. Shanghai: Shanghai Education Press. 1992, 1—338 [上海地理学会. 上海地理手册. 上海: 上海教育出版社. 1992, 1—338]
- [20] Wang S N. An investigation on water quality of landscape water bodies in Shanghai [J]. *China Water Resources*, 2004, **11**: 40—42 [汪松年. 上海市景观水体水质调研及分析. 中国水利, 2004, **11**: 40—42]
- [21] Wu Z Y. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991, Supplement , 1—139 [吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991, 增刊 : 1—139]
- [22] Ding B Y, Zhang Q M, Fang Y Y. The floristic features and the geographical distribution of aquatic vascular plants in

- Zhejiang province [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, **25**(2): 128—136 [丁炳扬, 张庆勉, 方云亿. 浙江淡水维管束植物的区系特点与地理分布. 水生生物学报, 2001, **25**(2): 128—136]
- [23] Chen M L, Liu L L, Zhang X P. Investigation and conservation of resources of aquatic higher plants in Anhui [J]. *Journal of Anqing Teachers College* (Natural Science), 2004, **10**(2): 99—101 [陈明林, 刘玲玲, 张小平. 安徽省水生植物资源的调查与分析. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2004, **10**(2): 99—101]
- [24] Yan S X. Diversity and floristic characteristics of aquatic seed plants of Henan province in China [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2007, **25**(3): 247—254 [闫双喜. 河南省水生种子植物的生物多样性及区系特征. 武汉植物学研究, 2007, **25**(3): 247—254]
- [25] Li Y Y. Study on ruderal community diversity and distribution under different land use type in suburban of Shanghai [D]. East China Normal University, Master Paper. 2009 [李艳艳. 上海郊区不同土地利用类型自然草本群落多样性及其分布研究. 华东师范大学硕士学位论文. 2009]
- [26] Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography [M]. New York: Oxford University Press. 1934, 1—632
- [27] Chambers P A, Kalff J. Light and nutrients in the control of aquatic plant community structure. I. In situ experiments [J]. *Journal of Ecology*, 1987, **75**(3): 611—619
- [28] Jin L, Wang X J. Spatial and temporal distribution of water hyacinth population in Shanghai and its control methods [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, **24**(12): 1454—1459 [金樑, 王晓娟. 上海市凤眼莲种群的时空分布及控制对策. 生态学杂志, 2005, **24**(12): 1454—1459]
- [29] Liu N N, Li L, Da L J. Evaluation system of ecological benefits of waterscape and its application in urban residential areas [J]. *Journal of East China Normal University* (Natural Science), 2006, (6): 75—83 [刘娜娜, 李琳, 达良俊. 城市住区水景生态效益指标体系及评价. 华东师范大学学报(自然科学版), 2006, (6): 75—83]
- [30] Li J W, Shi W, Yu L F, *et al.* Approx-natural ecological restoration engineering and effectiveness analysis of degraded Liwa Creek ecosystems [J]. *Journal of East China Normal University* (Natural Science), 2010, (4): 35—42 [李静文, 施文, 余丽凡, 等. 丽娃河受损退化生态系统的近自然恢复工程及效果分析. 华东师范大学学报(自然科学版), 2010, (4): 35—42]

SURVEY OF NATIVE AQUATIC VASCULAR PLANTS AND ITS POTENTIAL APPLICATION FOR RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF AQUATIC ECOSYSTEMS IN SHANGHAI

WANG Jie¹, ZHANG Jing¹ and DA Liang-Jun^{1, 2, 3}

(1. Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and Eco-restoration, Shanghai 200062, China; 3. Tiantong Forest Ecosystem National Research Station, Ningbo 315114, China)

Abstract: With the rapid economical development, more and more degraded aquatic ecosystems can not be restored by themselves after they were polluted seriously. Aquatic vascular plant especially the native species, as an important component, play a significant role for implication of self-sustainable and self-circulation in aquatic ecosystems. Reconstruction and restoration of aquatic plants and vegetations is vital to construct the artificial waterscape and recovery the degraded territorial waters. The lists of native aquatic vascular plant that restricted to Shanghai area have been established by referring to literature, and their species composition, floristic characteristic, life form, growth form and application status in artificial aquatic ecosystems have been analyzed in this paper. The results indicated that there were 160 species of native aquatic vascular plant, belonging to 83 genera and 35 families. The species composition was complicated and more than 65% of them were mono-species genus or mono-genus family. The results of floristic geographical elements showed that the 83 genera could classify into 9 floristic distributional patterns. Tropical genera form a large fraction of the total genera with the highest proportion of 64.6%, of which pantropic genera were predominantly. The dominant type of life form was emergent plant with the highest proportion of 73.1%, while the submergent plant and floating-leaved plant accounted for 15.6% and 11.3%, respectively. There were 20 types of growth form. Graminids and herbids were the main growth form type, accounted for 40% and 28.8%, respectively. Based on the ecological characteristic and functional status of common species, 20 types of growth form were classified into 6 groups, lem-nids-hydrocharids group, vallisnerids-isoetids group, potamids-myriophyllids group, utricularids-certophyllids group, trapids-nymphoids group, graminids-herbids group. All of these demonstrated that there were abundant native aquatic vascular plants in Shanghai area. However, there were much mistake in the application of aquatic vascular plant and the restoration of aquatic vegetation. Aquatic vascular plant especially the native species were rarely used in artificial waterscape and degraded aquatic ecosystems. Only 68.8% of artificial waterscapes were planted with aquatic vascular plants and 79.2% of them had less than 2 species. Furthermore, more than 50% of aquatic vascular plant planted in the artificial waterscape was alien species. These alien plants could result in biological invasion and endanger to the health of ecosystem. In order to get an immediate effect, the emergent plant was applied universally while the submergent plant which has strong purification ability was sparse. Therefore, we suggested that the reproduction and cultivation of native aquatic vascular plants should been widely develop for rebuilding aquatic vegetation. Communities adapted to native habitats should also been promoted by using native species. Besides, according to the different level of water eutrophication and substrate conditions, the ‘emergent- floating- submerged’ complex community and ‘wetland plant- aquatic plant’ complex ecosystems should been reconstructed with diverse growth form plants. At the deepen area, the aquatic vegetation also should been reconstructed by the technique of ‘ecological floating island’ and ‘ecological submerged island’. In conclusion, the artificial waterscape and degraded territorial waters should been developed into a livable aquatic ecosystem by mean of approx-nature restoration methods.

Key words: Native aquatic vascular plant; Growth form; Landscape water; Ecological floating island