



当代
杰出青年
科学文库

水生植物与水体生态修复

吴振斌 等 著



科学出版社

当代杰出青年科学文库

水生植物与水体生态修复

吴振斌 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部介绍水生植物的生态功能、水生植物与主要生态因子的作用关系、水生植物应用于水体生态修复的有关理论和典型工程实践案例的著作,是中国科学院水生生物研究所部分科研人员近几十年来相关的理论研究和工程实践的总结。

全书共分为8章。第1章介绍水生植物的特点、生活型、功能;第2章介绍影响水生植物生活的各类生态因子,以及各类主要生态因子对于水生植物的作用;第3章介绍水生植物的各种生态功能和水生植物对藻类的化感作用及其作用机理;第4章阐述氮、磷、有机污染物和重金属对水生植物的影响;第5章论述水生植被恢复重建的主要理论依据;第6章系统阐述水生植被恢复/重建的一般步骤,及其针对不同目的采用的实施技术以及恢复重建的管理措施;第7章介绍重建湖泊水生植被的实例;第8章以武汉东湖为例,系统介绍了湖泊富营养化与水生植物群落演替的关系。

本书适合水生生态污染修复、生态工程、水生植物生理生态等领域的科研工作者和大专院校的学生阅读,对于从事水生植物方面的理论研究者和水体生态修复的工程实践者,具有很好的参考和借鉴价值。

图书在版编目(CIP)数据

水生植物与水体生态修复/吴振斌等著. —北京:科学出版社,2011

(当代杰出青年科学文库)

ISBN 978-7-03-030921-1

I. 水… II. 吴… III. ①水生植物-植物生态学②水环境:生态环境-环境治理-研究 IV. ①Q948.8②X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 075227 号

责任编辑:韩学哲 王 玥/责任校对:何艳萍

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达胶艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011年5月第一次印刷 印张:27 插页:6

印数:1—1 800 字数:527 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Macrophyte and Aquatic Ecological Restoration

by

Wu Zhenbin *et al.*

Science Press

Beijing

《水生植物与水体生态修复》

作者名单

吴振斌	马剑敏	贺 锋	成水平	梁 威
李 今	倪乐意	周巧红	邱东茹	吴 娟
左进城	张 萌	徐 栋	肖恩荣	刘碧云
梁 震	夏世斌	宋慧婷	吴晓辉	高云霓
魏 华	张世羊	肖惠萍	张 征	赵 强
曹 特	过龙根	吴灵琼	蔡林林	柴培宏
王 静	朱俊英	张甬元	刘保元等	

序 一

随着我国社会经济和城市化进程的迅猛发展，水体富营养化和水生态系统退化现象日趋严重，水污染已成为制约社会经济可持续发展的瓶颈和重大环境问题之一。

水污染和水体富营养化的后果之一是水生植物种类数量和群落结构的显著变化。过去几十年来，我国许多浅水湖泊的大型水生植物减少以致消失，从草型湖泊转变为藻型湖泊。在水生生态系统中，水生植物及其群落构成的生境，能够增加空间生态位，有效增加周围生物的多样性，在改善水质、维持水体生态系统平衡稳定等诸多方面具有重要作用。水生植被恢复重建技术已被许多实例证明是污染水体修复的关键技术之一。中国科学院水生生物研究所是我国专门从事内陆水体生物学综合研究的科研机构，也是国内较早开展水生植物及其恢复重建研究的科研单位之一，在水生植物及生态修复等领域积累了较为丰富的工作积淀和经验。

《水生植物与水体生态修复》一书是中国科学院水生生物研究所部分科研人员二十多年来在水生植物生态学调研和水生植被恢复重建等方面研究的科研成果及工程应用的总结。该书分别从影响水生植物的各类生态因子、水生植物对藻类的化感作用及其作用机理、水生植被恢复重建的主要理论依据、水生植被恢复/重建的技术及管理措施、水生植被重建工作实践进行了介绍和专题论述，并以武汉东湖等为例对湖泊富营养化与水生植物群落演替的关系进行初步探讨。

该书的出版将为水生植物生态学、湖泊学和水体生态修复等研究提供部分科研资料，也为我国许多地方正在实施的水体污染治理工作提供若干借鉴和参考，可供与水生植物相关的科研人员、工程技术人员和高等院校有关专业师生阅读参考。

刘鸿亮
中国工程院院士
2011年1月

序 二

中国湖泊的富营养化和生态系统退化问题日趋严重，太湖、滇池、巢湖、东湖等诸多湖泊都出现了不同程度的富营养化现象，水生植被消亡、蓝藻水华频发，已经成为制约区域经济社会可持续发展的重要限制因素。

水生植物是湖泊食物链的基础，在维持水生态系统的平衡、控制藻类、净化水质等方面起着举足轻重的作用。水生植被的恢复重建已成为富营养化水体生态修复的关键手段之一和研究热点。

中国科学院水生生物研究所是我国唯一专门从事内陆水体生物学综合研究的科研机构，也是国内最早开展水生植被恢复重建等研究的科研单位之一。在承担国家“七五”科技攻关项目“综合生物塘技术及黄州城区污水综合生物塘处理研究”和“八五”科技攻关项目“东湖污染综合治理技术研究”期间，已比较系统地研究了水生植被对水生态环境的影响以及水生植被重建等技术。在承担国家“十五”重大科技专项“受污染城市水体修复技术与工程示范”过程中，在富营养化严重的汉阳月湖、莲花湖等湖泊成功重建了以沉水植物为主的水生植被。

该书概括了中国科学院水生生物研究所部分科研人员在水生植被恢复重建等领域的主要研究成果。本书共分为8章，分别就水生植物概述、主要生态因子对水生植物的影响、水生植物的生态功能、主要水体污染物对水生植物的影响、重建水生植被的主要理论依据、水质改善与水生植被重建和管理、重建湖泊水生植被的实践、湖泊富营养化与水生植物群落演替——以武汉东湖为例等方面进行了总结，对于推动我国受污染水体的生态修复技术研究，乃至水生态系统的恢复和重建具有重要的借鉴和示范价值。

该书的出版为我国受污染水体生态修复的研究和利用提供了理论和实践依据，适宜作为环保管理部门、科研人员、工程技术人员以及高校相关专业师生的参考书。

刘建康
中国科学院院士
2010年5月

前 言

从 20 世纪 90 年代开始,随着社会经济的迅速发展,我国湖泊的水环境问题日益严重。水污染事件的频频发生、渔业产量和品质的下降以及对人居环境和人民身心健康的影响,逐渐成为人们关注的焦点。许多相应的法规逐渐建立,社会经济行为开始受到制约。

中国是世界上 13 个最缺水的国家之一,人均淡水占有量仅为世界均量的 1/4。而严重的水污染则进一步降低了水体质量和使用功能,加剧了水资源短缺。因此,水环境问题已成为攸关民生、攸关社会经济协调发展的重大课题。而对水污染的控制、治理和对水环境的生态修复和维护必然是创建文明和谐社会不可或缺的组成部分。

传统污水处理的手段已不能解决目前大规模水体污染的问题,许多物理方法(如疏浚底泥、机械过滤、引水稀释等)和化学方法(如絮凝、吸附、投加杀藻剂等)无法实现湖泊水体的真正好转。如何实现湖泊水体稳定改善,再现昔日草茂水清的美景,重建健康湖泊生态系统,已成为近年来的热门研究课题。

大型水生植物具有拦截外源营养、吸收富营养化湖泊中的氮、磷元素等多种功能,植物的根茎能抑制底泥中营养物的释放,而植物的移除可以带走水体中过多的营养负荷。一些植物对藻类(包括形成水华的微囊藻)有抑制作用。水生植被的重建及其恢复,已成为富营养化水体生态修复中的关键和核心,正成为人们关注的热点。

武汉东湖水生植被研究历时半个多世纪,是我国湖泊水生植被研究最为持久和深入的实例之一。从最初的水生植被的分类学到 20 世纪 80 年代后水生植物群落学研究,并在个体生态学研究基础上融入了植物形态学、植物生理学、环境科学以及水生态工程学的理念和特色,开展了诸多水生植物的胁迫生理生态和恢复生理生态的国内开创性研究。

五里湖水生植被重建、武汉东湖(水果湖、汤林湖和后湖)水生植被的恢复试验研究、滇池水生植被恢复规划研究等,武汉汉阳湖泊群水生植被恢复重建的工程等,均取得了一定成效。水生植物种类很多,如太湖中水生维管束植物种类就超过八十种,包括挺水植物、浮叶植物和沉水植物等类型。而水生植物修复技术应用和大规模的重建实践,兴起于近十几年,研究和应用的种类较少,许多植物种类的特性尚未深入探讨。

目前,国内外在水生植物对水污染的响应和重建的研究及工程方面,已有若

干理论和工程实践的经验总结。本书试图对水生植物在水污染胁迫下的生理生态响应作出诠释,对中国科学院水生生物研究所部分科研人员多年来在水生植物恢复重建的工程实践中采用的一些技术、方法和经验进行较系统的总结。

本书共分为8章。第1章介绍水生植被的特点、生活型、功能,同时简单介绍了世界和中国水生植物主要类群及分布规律;第2章介绍影响水生植物生活的各类生态因子(包括生物因子和非生物因子),以及各类主要生态因子对水生植物的影响;第3章着重介绍水生植物的主要生态功能,包括水生植物对藻类的化感作用及其作用机理;第4章阐述氮、磷、主要有机污染物和重金属对水生植物的影响;第5章论述水生植被恢复重建的主要理论依据;第6章系统阐述了水生植被恢复/重建的一般步骤,及其针对不同目标所采用的技术以及恢复重建的管理措施;第7章介绍恢复/重建水生植被过程中先锋植物的选择原则、先锋群落存在的主要问题和应对方法,并以武汉的东湖、月湖、莲花湖等湖泊的水生植被重建工程实践为例,阐述植被重建工作及相關经验;第8章以武汉东湖为例,系统介绍了湖泊富营养化与水生植物群落演替的关系。

中国科学院水生生物研究所早在“七五”期间就开始了水生植被恢复重建方面的研究和工程实践。承担的国家“七五”科技攻关项目“综合生物塘技术及黄州城区污水综合生物塘处理研究”,在传统的氧化塘技术基础上,引入了水生植物等更多的生态层次,使系统结构更趋合理,净化效果很理想,占地面积也大幅缩小。在实施承担的国家“八五”科技攻关项目“东湖污染综合治理技术研究”期间,调查了东湖水生态系统和水生植被现状,研究了水生植被对水生态环境的影响以及水生植被重建技术等,较系统地阐明了湖泊污染治理和生态系统恢复的技术途径。在国家“十五”重大科技专项“受污染城市水体修复技术与工程示范”实施过程中,针对汉阳不同污染程度的城市湖泊进行了水体污染控制、水生植被恢复与重建、湖泊健康生态系统构建等系统研究和工程示范,并取得了明显效果。

本书各章节的作者分别是:第1章李今、吴振斌等;第2章吴娟、魏华、左进城、吴振斌等,其中第2.1, 2.2, 2.3, 2.4节吴娟,第2.5节魏华,第2.6节左进城等;第3章周巧红、梁震、肖恩荣、李今、刘碧云、吴晓辉、高云霓、王静、朱俊英、蔡林林、吴振斌等,第3.1, 3.2节周巧红、蔡林林,第3.3, 3.4节梁震,第3.5节肖恩荣,第3.6节刘碧云、吴晓辉、高云霓、王静、朱俊英,第3.7节李今等;第4章马剑敏、肖惠萍、张征、赵强、吴振斌等,第4.1, 4.3节马剑敏,第4.2节肖惠萍、张征、赵强等;第5章成水平、吴灵琼、倪乐意、马剑敏、李今、梁威、张世羊、吴振斌等,第5.1节成水平、吴灵琼、马剑敏、李今,第5.2节倪乐意、成水平、马剑敏、李今,第5.3节梁威、张世羊、成水平等;第6章梁威、左进城、马剑敏、张征、吴娟、徐栋、夏世斌、李

今、高云霓、吴晓辉、柴培宏、吴振斌等，第 6.1 节马剑敏，第 6.2 节徐栋、夏世斌、李今、梁威、高云霓、吴晓辉，第 6.3 节张征、梁威、柴培宏，第 6.4 节吴娟、梁威，第 6.5 节张征，第 6.6, 6.7 节左进城等；第 7 章贺锋、马剑敏、吴振斌等；第 8 章张萌、邱东茹、倪乐意、曹特、宋慧婷、过龙根、吴振斌等，第 8.1 节张萌、宋慧婷，第 8.2 节张萌、邱东茹、倪乐意、曹特、过龙根，第 8.3 节张萌、邱东茹、倪乐意、曹特、过龙根，第 8.4 节张萌、邱东茹、倪乐意、曹特、过龙根等。书中图表由王莹、叶艳婷等制作，照片由吴娟、惠阳、左进城、肖惠萍、贺锋、杨立华、曹特、张晓良、李敏、刘冰等提供，参考文献由王荣、王燕燕、马丽娜等整理。

水生植物的研究领域很广，许多前辈、同行和青年学者都致力于此。本书基于相关学科组的一些工作积累和相关资料的收集，难免有疏漏和不足之处，希望能得到广大读者的建议和指正，并在此对所引用资料的作者表示感谢。

著 者

2010 年 5 月

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 水生植物概述	1
1.1 水生植物的概念	1
1.2 水生植物的主要类群及分布	10
1.3 水生植物的功能	27
第 2 章 主要生态因子对水生植物的影响	28
2.1 光照强度	28
2.2 温度	35
2.3 pH	37
2.4 底泥	40
2.5 水位和水流	53
2.6 动物牧食	63
第 3 章 水生植物的生态功能	66
3.1 初级生产功能	66
3.2 水生植物的生物多样性维护功能	68
3.3 底质环境稳定功能	83
3.4 营养固定和缓冲功能	88
3.5 水生植物的清水功能	94
3.6 水生植物对藻类的化感作用	107
3.7 其他生态作用	116
第 4 章 主要水体污染物对水生植物的影响	121
4.1 高氮磷营养盐的胁迫作用	121
4.2 有机污染物对水生植物的影响	163
4.3 重金属污染	185
第 5 章 重建水生植被的主要理论依据	188
5.1 多稳态理论	188
5.2 营养盐浓度限制理论	197
5.3 生物操纵理论	202

第 6 章 水质改善与水生植被重建和管理	213
6.1 水生植被恢复/重建的主要环境障碍、应对措施和一般步骤.....	213
6.2 外源污染消减技术	216
6.3 内源负荷消减技术	223
6.4 改善底泥技术	253
6.5 调控养殖结构技术	255
6.6 植物种植策略与技术	257
6.7 水生植物群落的调控与管理	262
第 7 章 重建湖泊水生植被的实践	284
7.1 先锋植物的选择及种植技术	284
7.2 植被恢复/重建初期的主要问题及应对方法.....	286
7.3 水生植被恢复示范及工程应用实例	288
第 8 章 湖泊富营养化与水生植物群落演替——以武汉东湖为例	324
8.1 东湖概况	324
8.2 东湖水生植物群落的演替	338
8.3 东湖水生植物衰退和群落演替与湖泊富营养化等因素的关系	351
8.4 水生植物衰退的影响	355
参考文献	357
附武汉东湖水生维管束植物名录	413
彩图	

第 1 章 水生植物概述

1.1 水生植物的概念

1.1.1 水生植物的涵义

水生植物并非分类学概念，它是生态学范畴的类群界定。植物分类主要是应用细胞学、化学以及形态学和解剖学等各方面的资料，比较分析植物相同点，判断植物的亲缘程度。例如，根据植物有无根、茎、叶的分化；有无维管束（苔藓例外）；雌雄生殖器官由多个细胞构成，有无颈卵器；合子是否形成胚等形态特征，将植物界的植物分为高等植物和低等植物，再根据有无维管束，配子体占优势还是孢子体占优势，是否产生种子，种子是否被果实或子房包被，是否具导管等特点，高等植物又分为苔藓植物门、蕨类植物门、裸子植物门、被子植物门，依此类推，各大门的植物又可以细分为不同的纲、目、科、属、种（李扬汉，1978）。在植物生态学的研究中，根据特定生境中植物群落的特征（如群落外貌、结构、种类组成、层片结构、盖度、优势种、建群种等），将生长于不同生境下的植物群落进行分类，或者说植被分类。《中国植被》（吴征镒，1980）介绍了我国的植被分类系统，该系统以群落本身的综合特征作为分类依据，其中包括群落本身的特征以及它们对一定生态条件的联系。将我国植被分为三个等级，即植被型、群系和群丛，其中高级类型侧重于外貌、结构和生态地理等特征；中级以下类型则侧重于优势种和种类组成。这种分类依据属于群落生态学原则，在该系统中，以水分这一生态因素将植物群落生态型分为水生植物、沼生植物、湿生植物、中生植物和旱生植物。按照上述分类原则，水生植物这一概念属于生态学植物群落的分类概念，它包含的植物种类隶属于从低等到高等各植物类群的不同门、科、属。刁正俗（1990）在《中国水生杂草》一书中所统计的水生植物，既包括大型藻类群体，如绿藻门的水网藻科水网藻属的水网、双星藻科水绵属的普通水绵和单一水绵，以及轮藻门轮藻科等部分低等植物；也包括高等植物，如苔藓植物门前苔科各类植物，种类众多的蕨类植物门的水韭科、木贼科、水蕨科、苹科、槐叶苹科、满江红科，种子植物门被子植物亚门双子叶植物纲木兰亚纲中的三白草科、毛茛科、金鱼藻科、睡莲科以及变形花被亚纲中的茜草科、菊科、龙胆科等，还有单子叶植物纲的几乎所有科、属。

从上述植被分类系统可知，湿生植物、沼生植物和水生植物分属于不同的植物群落型（或植被型），这些都是生态学范畴的概念。在实际生态学研究工作中，

由于真正的水陆系统总是有过渡地带,因而在不同的植物生态型所包含的植物类群会有交叉,如在李扬汉(1978)主编的《植物学》中,将沼生植被视为湿生植物群落,其中所归纳的一些常见沼泽植物如蓼属、香蒲属、灯心草属、雨久花属、泽泻属、水龙属等属中,很多种类在一些生境中又被视作水生植物。在《中国水生维管束植物图谱》(中国科学院武汉植物研究所,1983)中,以上这些属中均有水生植物种类。目前,学术上对于水生植物还没有一个统一的定义,实践中,有很多沼生植物被用于水生态修复工程,如香蒲等。因而,人们常常将湿生植物、沼生植物和水生植物等相关概念不加严格区分开来讨论,水生植物的生态范畴也没有统一标准。孙儒泳等(2002)在《基础生态学》中按照生长环境的潮湿状态的不同,将陆生植物分为:湿生植物、中生植物、旱生植物,且水稻(*Oryza sativa*)、灯心草(*Juncus effusus*)被界定为陆生植物,而刁正俗(1990)在《中国水生杂草》中,却将灯心草作为水生杂草收录,尽管如此,不同学者在使用水生植物这一概念时,都当作是生态学概念,水生植物这一说法往往涵盖了湿生植物和沼泽植物。

1.1.2 水生植物定义的发展

水生植物属于生态学范畴。王德华(1994)在《水生植物的定义与适应》一文中,介绍了水生植物这一概念的发展。起初,这一说法简单地指生活在水中或水分充足的环境中的植物群落,主要是一些草本植物群落,然而,随着应用生态学实践的发展,尤其是湿地生态学的发展,一些具有陆生特征的植物在水生态系统中得到应用和发展,因而人们所理解的水生植物的范围也有所扩展,一些学者从不同角度给水生植物下了定义。

Den Hartog 和 Segal (1964)认为:“水生植物是在所有的营养部分沉水或为水支持(浮叶)的情况下,能够完成繁殖循环的植物;或者在正常情况下沉水,但当其营养部分由于出水而逐渐死亡时,可以诱导有性生殖的植物。”该定义基本上用性状特征来描述水生植物,基本上忽略了水域沿岸带的具有两栖特性的植物,因而很多通常被看作是水生植物的类群被排除在外。典型的例子,如植株下部沉水,但叶与花序挺出水面的基质根生植物,尤其是沼生植物与水生植物交错的那部分挺水植物,如香蒲属、蓼属等植物被排除在外。

Cook 等(1974)在其专著《世界水生植物》中定义的水生植物仅是水生维管束植物,指所有蕨类植物各亚门(蕨及其近缘类型)和种子植物各亚门(产生种子的植物)中那些光合作用部分永久地或一年中至少有数月沉没于水中或浮在水面的植物。后来 Best (1988)给出了如下定义:“水生植物是大型的草本植物,它们是沿岸带或沼泽植被的一部分。”该定义比较适合生态学的需要,由于 Cook 等给出了较为详细的科属名录,较 Best 的相对实用。李伟(1997)认

为 Den Hartog 等的水生植物是真水生态系统中的成员，是狭义水生植物；而 Best 和 Cook 的水生植物的定义包括湿地—真水生态系统（通常认为的水生态系统）广义的成员，因而，将 Best 和 Cook 的所指称为广义水生植物。Best 关于水生植物的定义，范围相对较广，包括了一部分沼生植物，而 Cook 等的定义仅指水生维管束植物，未将低等非维管束植物类群中大型藻类（轮藻）等沉水植物类群和非维管束的苔藓类的一些植物包含在内。刁正俗（1990）在《中国水生杂草》收录了苔藓植物门的钱苔科浮苔属植物，该类植物主要以浮水生活为主，为真水域水生植物。

《高级水生生物学》（刘建康，1999）中对大型水生植物的定义为：水生植物是指依附于水环境、至少部分生殖周期发生在水中或水表面的植物类群；是指除了小型水生植物以外所有水生植物类群，主要包括两大类：水生维管束植物和高等藻类。该定义只是从生理特征上做了阐述，却未能对水生植物所包含的范围进行具体的种类界定。

王德华（1994）在《水生植物的定义与适应》一文中还介绍了在湿地与湿地生态学的研究实践中不同机构在不同时期对于水生植物的定义，美国《FICWD：鉴别和描述管理湿地联合手册》（1989）中的定义是：生长在水中或至少是由于水分充足而周期性缺氧的基质上的任何大型植物（包括水生植物或水生大型藻类），尤其是在湿地和其他水生生境中的植物。

何池全（2005）在《湿地植物生态过程理论及其应用》中将湿地植物定义为生长于湿地中的高等植物和低等植物个体的总称。它们包括湿生植物、沼生植物和水生植物。依据湿地、沼生植物的生态学分类原则，认为沼生、湿生植物是水生和陆生植物之间的过渡类型。这些分类群兼有陆生植物和水生植物的特点，尤其是挺水植物类群。这里，湿地植物是依据湿地概念所限定的植物类群，虽有一些水生植物类群，但并不能包含所有的水生植物类群，因而，在涵义上不能等同于人们通常所理解的水生植物。

在《中国植被》（吴征镒，1980）中，为了植物群落生态学研究的方便，人们根据植物群落的特征将植物进行分类，并根据一定的原则制订了分类系统。该系统给出了相对统一的标准，为生态学实践提供了方便。书中描述的沼泽植被和水生植被都是生长在多水生境中的植被类型。沼泽植被是分布在土壤过度潮湿、积水或有浅薄水层并常有泥炭的生境中的植被类型，以草本为主，少数木本的，均扎根于泥土。而水生植被则是分布在水域环境中的植被类型，概为草本，有扎根于水底淤泥的，也有漂浮水面或悬沉水中的。沼泽地带是水陆过渡区，生长在该区域的水生植被中的挺水植物类群，很多也是沼生植物类群。

在应用生态学领域，有很多沼生、湿生植物应用于水生态系统的生态治理。陈静等（2006）等报道的滇池草海生态修复工程的植物种类中就有禾本科芦苇

(*Phragmites communis*), 这些类群更常见于水边沿岸带或沼泽地。更多时候, 人们所使用的水生植物概念既包括生长在真水域环境中的各类水生植物, 还包括沼生植物和湿生植物等具有水生特性的植物类群。从植物分类学角度, 水生植物包含了从低等到高等不同分类级别的植物, 如低等植物类群中的大型藻类, 绿藻门的水网藻科水网藻属、双星藻科水绵属和双星藻属; 轮藻门的轮藻科各属; 还有红藻门红藻纲的大部分科属, 如石花菜科石花菜属和江蓠科江蓠属; 褐藻门典型代表海带科海带属。高等植物各个类群均有水生植物类, 刁正俗(1990)在《中国水生杂草》中收录的水生植物既有非维管束植物苔藓植物门, 又有低等维管束植物蕨类植物门和高等维管束植物被子植物门等不同类群的植物, 其中, 维管束植物占了绝大部分, 尤以单子叶亚纲的植物种类最多。

综上所述, 出于研究目的的不同, 不同学者给出的水生植物定义不同, 对水生植物, 尤其是广义水生植物的范围划分存在一定的差异。本书结合水生植物恢复工作实践的需要, 所涉及的水生植物主要是大型水生维管束植物。

1.1.3 水生植物生活型

《中国植被》中的植被分类系统, 将沼生植被和水生植被视为两个不同的植被型, 本节重点讨论水生植被, 其中有一部分过渡性的沼生植物类群也包含在内。

水生植物, 生活于水环境中, 形成了一系列对于水环境的典型适应性特征, 主要体现在形态结构及其功能上。从形态上来看, 由于水体的浮力, 水生植物的根系明显退化, 多为须根系, 其固着、支持作用远不如陆生植物; 水生植物的茎, 由于生长于水环境, 水分易得, 不具有陆生植物防止水分蒸发的角质层, 其输导组织的维管束都表现出不同程度的退化; 在形态上, 除了直立茎, 还有匍匐茎、根状茎、球茎等; 而水生植物的叶, 具有挺水、浮水和沉水三种基本形态(张卫明和陈维培, 1989; 赵文, 2005)。在生理功能上, 由于水中含有很多植物生长所需的营养盐, 部分或全部沉没于水中生活的植物体, 其各营养器官几乎都可以直接从水体环境吸收水分和溶解于其中的营养盐, 或从水底淤泥中吸取营养物质, 例如, 低等植物中的大型藻类(轮藻)叶状植物体和只有茎、叶分化的苔藓类植物的茎、叶均能直接从水中吸收营养。这是对于水环境有利一面的适应。与陆生环境相比, 水环境具有光照弱、通气不充分的显著特点, 在适应这种环境的过程中, 水生植物形成了一套与陆生植物不同的通气组织, 包括疏导组织退化, 根、茎、叶形成一套通气组织, 典型的如莲(荷花)(*Nelumbo nucifera*), 从叶片的气孔到叶柄、茎及地下茎形成完整的通气组织, 这是一类开放型的通气组织。拥有这种通气组织的一般是挺水植物、浮叶植物; 另一类是封闭式的通气组织, 该通气系统不与大气接触, 而是将光合作用释放的氧气储存起来供呼吸作

用需要,将呼吸作用释放的二氧化碳给光合作用,拥有这种通气组织的一般是沉水植物,如金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*) (孙儒泳等,2002)。对于弱光的适应,水生植物沉没于水中的沉水叶,有的细裂呈线状,如金鱼藻;有的大而薄,以增加吸光表面积,如水车前(*Ottelia alismoides*);叶绿体除了分布在叶肉细胞里,某些类群茎的表皮细胞内也有分布,还有的种类叶绿体能随着原生质的流动而流向迎光面,以有效利用水中弱光(曲仲湘等,1983;张卫明和陈维培,1989;赵文,2005);对于很多沉水植物如黑藻(*Hydrilla verticillata*)等,为了适应深水层光质的变化,体内形成不同种类的色素(如褐色素增加),以增强对水中弱光的吸收(颜素珠,1963;张卫明和陈维培,1989)。

生活型,是指植物长期生存在一定的环境下形成的一种形态学上的适应类型,也是各种植物对其生态条件的综合作用在外貌上的具体反映(李扬汉,1978)。水生植物生活型代表了水生植物对水环境的不同适应程度,按水生植物对水环境生活适应方式(生活型 life form)的不同,又可以将水生植物分为不同生活型类群。

关于水生植物的生活型分类,不同学者作了不同的划分。如《高级水生生物学》从更宽泛的角度将水生植物归为湿生植物、挺水植物、浮叶植物、沉水植物四类,其中的湿生植物是指不经常或偶然的水生植物;Wetzel(1983)将水生植物分为四类生活型:挺水植物、浮叶植物、漂浮植物、沉水植物;在赵文主编的《水生生物学》中也是将水生植物分为四种生活型,并对不同生活型的植物作了检索分类;而《中国植被》以及曲仲湘等(1983)主编的《植物生态学》中将浮叶和漂浮两种生活型同归为浮水植物,分为三种生活型。而本书将浮叶和漂浮两种类型分开,分为四种生活型来分别阐述水生植物各类生活型及其所具有的基本特征。

挺水植物(emergent macrophyte):根生泥中,下部或基部在水中,茎、叶等光合作用部分暴露在空气中(Wetzel,1983)。茎秆一般直立,其维管束发育相对良好,能有效行使疏导作用(张卫明和陈维培,1989)。该类群有些植物挺水叶、浮水叶、沉水叶均有,如莲(李坊贞等,1993),该类群的植物处于水陆过渡地带,因而叶表现出具有同陆生植物相似的结构,具有表皮毛、角质层、气孔。赵玲(1995)对芦竹(*Arundo donax*)、水龙(*Ludwigia adscendens*)、喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、慈姑(*Sagittaria trifolia* var. *sinensis*) 4种挺水植物叶的表皮细胞进行了显微观察,发现这四种挺水植物叶与陆生植物叶的表皮细胞结构比较相似,均有气孔、气孔器,有的表皮还长有表皮毛。常见的挺水植物类群有禾本科的芦苇属、菰属等及香蒲科、泽泻科、睡莲科莲属、木贼科、雨久花科、莎草科莎草属和荸荠属、灯心草科等(赵文,2005;刁正俗,1990;邹秀文,2005)。