

DAXING SHUI SHENG ZHI WU DUI QIAN SHUI HU PO
SHENG TAI XIU FU XIAO YING YAN JIU
YI XU ZHOU DI QU WEI LI

大型水生植物对浅水湖泊 生态修复效应研究 ——以徐州地区为例

徐德兰 张择瑞◎著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



环境污染防治与理论研究的文丛

大型水生植物对 浅水湖泊生态修复效应研究

——以徐州地区为例

徐德兰 张择瑞 著



合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大型水生植物对浅水湖泊生态修复效应研究:以徐州地区为例/徐德兰,张择瑞著. —合肥:合肥工业大学出版社,2018.1
ISBN 978-7-5650-3836-5

I. ①大… II. ①徐…②张… III. ①水生植物—影响—湖泊—生态效应—研究—徐州 IV. ①X321.253.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 028090 号

大型水生植物对浅水湖泊生态修复效应研究

——以徐州地区为例

徐德兰 张择瑞 著 责任编辑 马成勋

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2018 年 1 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2018 年 2 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	710 毫米×1010 毫米 1/16
电 话	理工编辑部:0551-62903204	印 张	10.5
	市场营销部:0551-62903198	字 数	146 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	合肥现代印务有限公司
E-mail	hfutpress@163.com	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-3836-5 定价: 30.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前言

水是生命之源、生产之要、生态之基,它不仅为人类提供了栖息之地,也为人类营造了美好的精神家园。随着现代工业文明的不断发展以及人类对自然的过度攫取,湖泊生态日益恶化,这不仅危害人类的生存,也阻碍着我国经济的发展。近年来,国家和地方政府虽已从不同层面启动和实施了一系列湖泊保护计划,对湖泊富营养化控制、生态修复与水质改善等方面开展了较多研究,并取得了相应的成绩与经验。但,湖泊保护和发展依然是我国环境发展和建设面临的重要议题。

徐州地处南北交界之地,“五省通衢”的徐州河流众多,全市共有流域性河道6条,区域性河道135条。这些河流上联微山湖,下接骆马湖,南通洪泽湖,形成了复杂的水利体系。其中的骆马湖为江苏省四大湖泊之一,位于京杭大运河中段,是中国南水北调东线工程重要的蓄水库,其水质状况不仅对中国南水北调东线水质输送有着重要的影响,且对流域生态系统也产生重要的作用。徐州作为国家老工业基地和能源型城市,区域水质也受到了不同程度的污染,其污染大致为工业废水污染、城市生活污水污染、农业面源污染等方面。污染的水质,通过沟河排入流域性或骨干河道,进而也污染了区域湖泊;此外,采煤塌陷区土地复垦、景观破碎、生物多样性降低,大量的面源污染物通过地表径流进入流域生态系统中,增加了流域生态系统内源负荷。徐州地区的湖泊生态环境的研究有着重要的典型意义。

本书以骆马湖为中心,兼及云龙湖及采煤塌陷区九里湖,在实地调查、观测的基础上,通过对骆马湖、云龙湖、九里湖三种不同类型湖泊的生态系统展开研究,指出了内源负荷及其生物地球化学循环特征;阐述了大型水生植物对水域生态系统氮、磷元素生物地球化学循环分异特征。当然,湖泊生

态系统研究涉及范围广,研究内容和研究时间均需要一定的尺度,笔者仅以区域地理流域为研究中心,以南水北调东线(徐州段)水质保障为重点,以大型水生植物对水质指示效应为依据,探讨了大型水生植物对水域生态系统氮、磷元素循环作用特征,认真思考区域生态修复过程中存在的问题;然而,若将大型水生植物与水域生态系统中氮、磷元素建立通量关系,确立不同受损水域生态修复模式,进一步探讨大型水生植物-微生物-氮、磷元素之间协同效应,该书则更富价值。

该书出版得到了合肥工业大学、桂林理工大学出版基金及徐州工程学院江苏省重点学科生态学的资助,也得到韩宝平教授及课题组成员的鼎力支持与帮助,在此表示感谢!可以说,该书是笔者多年研究中的一点点思想结晶,书中错误难免,敬请各位专家给予指正!

徐德兰

2017年3月

目 录

第 1 章 绪论	(001)
1.1 我国湖泊现状及富营养化概况	(001)
1.2 大型水生植物对湖泊生态修复的作用机制	(002)
1.3 大型水生植物对湖泊生态修复作用研究进展与展望	(005)
1.4 多光谱遥感技术在水生植物监测方面的应用	(008)
1.5 高光谱遥感技术在水生植物监测方面的应用	(009)
1.6 问题提出与意义	(010)
第 2 章 研究内容与方法	(012)
2.1 研究区域概况	(012)
2.2 研究内容	(018)
2.3 技术路线	(020)
第 3 章 大型水生植物对湖泊生态系统 N、P 生态效应	(022)
3.1 大型水生植物对骆马湖 N、P 元素生态效应研究	(022)
3.2 云龙湖氮、磷元素季节性动态分布研究	(029)
3.3 骆马湖与云龙湖水体氮、磷元素差异特征分析	(044)
3.4 结 论	(045)
第 4 章 大型水生植物作用下铁、锰对氮、磷的影响	(047)
4.1 大型水生植物对上覆水中矿质元素的影响	(048)
4.2 大型水生植物对孔隙水中矿质元素的影响	(049)

4.3	大型水生植物作用下沉积物矿质元素分布特征	(050)
4.4	大型水生植物对上覆水磷、铁、锰元素耦合特征	(062)
4.5	结 论	(064)
第5章	不同大型水生植物对氮、磷元素富集效应分析	(065)
5.1	骆马湖水生植物对氮、磷元素富集效应分析	(065)
5.2	九里湖水生植物对氮、磷元素富集效应分析	(070)
5.3	云龙湖水生植物对氮、磷元素富集效应分析	(073)
5.4	不同挺水植物的不同组织氮、磷元素富集能力比较	(077)
5.5	结 论	(078)
第6章	大型水生植物对湖泊生态效应模拟实验	(079)
6.1	工作方法	(079)
6.2	结果与讨论	(080)
6.3	小 结	(086)
第7章	大型水生植物对磷酸酶生态效应	(087)
7.1	环境因子对云龙湖碱性磷酸酶的影响	(087)
7.2	云龙湖碱性磷酸酶活性特征研究	(091)
7.3	骆马湖沉积物碱性磷酸酶活性特征研究	(101)
7.4	不同湖泊环境对碱性磷酸酶活性变化差异性分析	(108)
7.5	小 结	(109)
第8章	骆马湖区域滨岸带研究	(111)
8.1	骆马湖滨岸带异质性对氮、磷元素的影响	(111)
8.2	不同滨岸带植物群落对氮、磷元素和有机质的富集效应	(117)
8.3	空间异质性对湖泊氮、磷元素差异性研究	(128)
8.4	小 结	(133)

第 9 章 基于遥感数据对骆马湖水域沉水植物动态监测研究	(134)
9.1 数据资料	(135)
9.2 数据预处理	(136)
9.3 基于 TM/ETM+数据的水草识别方法研究	(138)
9.4 分析结果	(142)
9.5 小 结	(143)
第 10 章 结论与创新	(144)
10.1 结 论	(144)
10.2 创 新	(145)
参考文献	(147)
后 记	(156)

第1章 绪论

大型水生植物介于水-泥、水-气及水-陆界面,对生态系统物质循环起着重要的调节作用且有良好的净化效果与独特的经济效益,是建立良好的湖泊生态的基础(Melzer A,1999)。研究大型水生植物对湖泊水质的影响及进行生态修复的作用机制,了解国内外研究现状、应用技术可为富营养型湖泊的生态修复提供理论储备和技术支撑。

1.1 我国湖泊现状及富营养化概况

湖泊资源对沿湖人民生活、生产、航运、旅游业的发展都有重要的影响。我国湖泊众多,大小湖泊有 25000 个左右,总面积约 83400km^2 ,将近国土面积的 1%,总蓄水量 $7000 \times 10^8 \text{m}^3$ ^[1]。然而,随着国民经济的发展引发工农业规模的迅速发展壮大和城镇居民数量的快速增加,排放的生活污水和工业废水量也快速增加,加之人们对湖泊资源未能合理地利用和科学管理,大量污染物质直接或间接排入湖泊中,从而加速了湖泊富营养化的进程,导致水质恶化,严重破坏了水生生态系统结构,进而引起湖泊水生生物多样性降低,水资源的可利用率也大大降低。

自 20 世纪 90 年代以来,湖泊富营养化是全球重大环境问题之一,湖泊富营养化的治理与机制也是环境科学工作者最为关注的研究内容之一^[2]。一般来说,湖泊富营养化是由于人类活动造成氮、磷元素在湖泊水体中大量富集,超过了湖泊的自净能力,进而引起藻类及浮游生物异常增殖,引起水域生态系统破坏,进而造成水生植物大量消失,严重破坏了湖泊生态系统的功能和结构,致使水质恶化、水体溶解氧含量过低、透明度降低、鱼类等水生

生物死亡的现象^[3]。

据报道,我国氮、磷含量严重超标的湖泊约占 75%,全国 131 个大型湖泊中处于富营养化状态的已有一半;其中 37 个主要湖泊中,属于中营养型和中富营养型的约占 55.8%,富营养型的占 14.7%,重富营养型的占 8.8%(张维,1999)。富营养化较为严重的有一些大型淡水湖泊,我国五大淡水湖中的洪泽湖、巢湖、太湖等都已经处于富营养化状态;现在,尽管洞庭湖、鄱阳湖还处于中营养化状态,但是湖水的氮含量大于 0.2ppm,磷含量大于 0.02ppm,处于富营养化状态过渡的界限。太湖大约有 83% 的水体水质属于四类和劣于四类;滇池约有 69% 的水体水质属于四类,其他区域的水质劣于四类;巢湖的湖水水质从西到东,以劣于四类、四类、三类过渡。富营养化的湖泊还有内蒙古的达赉湖、黑龙江的镜泊湖,中营养化的湖泊有四川的邛海、新疆的博斯腾、云南的洱海湖,而吉林的南湖则已经处于重富营养化状态。据调查,城郊湖泊中也出现了富营养化问题。杭州西湖由于换水和清淤,水质较好,但仍为四类,依然存在富营养化问题。南京玄武湖水质属于四类和五类之间,武汉东湖水质在五类和劣五类之间,济南大明湖则劣于五类^[4]。

从上述文献可以看出,我国湖泊富营养化是当前较为突出的环境问题之一,解决湖泊富营养化问题,探索湖泊富营养化形成的机理与机制,提出可行性治理与管理办法,比如进行生态修复,改善相关湖区生态环境已显得十分必要。

1.2 大型水生植物对湖泊生态修复的作用机制

生态修复是指被损害的生态系统修复到或接近于它受干扰前的自然状况的操作管理过程,即重建该系统被干扰前的结构与功能及相关的物理、化学及生物学特征。生态修复的概念自 20 世纪 70 年代提出以来,在美国、西欧等一些发达国家引起广泛重视,国际上曾多次召开专题讨论会进行了一些相关性研究;一些国家也开展了一系列的工程试验研究工作,并取得大量科研成果。20 世纪 90 年代以来,亚洲的中国、日本、韩国等国家对生态修复

的研究也尤为重视,并且实施了一系列的生态修复工程,使河湖的水质得到改善,保证了饮用水的饮用需求(山文辉等,2000),并相继开展了一系列生态工程的实验研究,也取得了大量的研究成果(濮培民等,1997)。

大型水生植物由于其发达的根系结构,可以使浮游生物生长减慢,沉积物的再悬浮减少,营养物质的释放率降低,水体中的污染物被吸收;并且大型水生植物可以进行光合作用,该过程产生的氧气通过根系释放到沉积物中,在植物根际形成氧化态的微环境,使微生物的活性增强,同时加强了微生物和植物之间的协同作用,提高了湖泊生态系统的生物稳定性和多样性,促进湖泊富营养化的生态修复。因此,目前湖泊富营养化的生态修复技术主要是研究利用大型水生植物进行湖泊生态修复。

1.2.1 大型水生植物及其生态功能

大型水生植物是一个生态学范畴上的类群,是不同类群植物通过长期适应水环境而形成的趋同性适应类型(倪乐意,1999)。该类群也是湖泊生物栖息地中重要的结构组成部分,其独特的空间结构可降低水的流速与水动力扰动作用,稳定沉积物,为底栖生物提供良好的栖息地(Lillie R A, Budd J, 1992),并可通过光合作用将光能转化为有机能,向水体释放氧气,促进生物地球化学循环,达到净化湖泊的目的。该类群主要包括两大类:水生维管束植物和高等藻类。水生维管束植物为该类群的主要组成部分,通常包括4种生活型(life-form):挺水(emergent)、漂浮(free-drifting)、浮叶(floating-leaved)和沉水(submergent)。大型水生植物因其植株高大、密集丛生、生物量大等特点,生长过程中吸收同化碳、氮、磷等营养元素,有利于湖泊的生物地球化学循环;且通过人工收获利用其资源的同时将其固定的氮、磷带出水体^[5](表1-1),减少水体的营养负荷。这些特点有效成为大型水生植物进行湖泊生态修复的理论基础。

表1-1 近年乌梁素海水体中总氮、总磷平衡及收割水草转移氮、磷的计算(t)

项目	现水体中储量	年合计输入	年合计输出	收割 5×10^4 t 水草去除
TN	568.4	1088.6	759.9	825
TP	59.4	65.8	37.8	85

1.2.2 大型水生植物对湖泊生态修复的作用过程

大型水生植物-湖泊体系的作用方式主要包括物理过程、化学过程、生物过程及协同作用过程。

(1)物理过程

大型水生植物同湖泊体系的物理过程主要表现为水生植物对矿质元素的吸附、过滤、淀积作用。因大型水生植物一般具有发达的根系而形成较大的接触面积,当水流经过时,不溶性胶体、附着于根系的细菌(部分凝集的菌胶体)会被根系黏附或吸附而沉积,从而导致水生植物群落区沉积物中含磷量较高,而减少沉积物中磷向上覆水的释放,实现对湖泊水体的净化作用。同时,大型水生植物区可减小上覆水流速、阻尼或减小风浪扰动,在沉积物-水界面中形成一道屏障,不仅为微生物及其他生物提供栖息地,也有利于植物残体和悬浮物沉降、淀积以及自身对矿质元素的吸附作用,使部分矿质元素脱离湖泊内的营养循环,进入地球化学循环过程。因此可以说大型水生植物群落的生长状况是湖泊水体生物地球化学良性循环的基础,对于促进湖泊生物地球化学良性循环具有一定的意义。

(2)化学过程

水生植物能改变沉积物的生物地球化学特性,是湖泊中最重要的去污机制之一。研究表明,大型水生植物可通过自身输导组织将氧通过根部呼吸作用释放到沉积物中(Roane T M et al., 1996),影响沉积物化学的特性,一定条件下使沉积物中的 pH 降低, Eh 升高,可溶性金属含量升高^[6],有利于植物对矿质元素的吸收利用,减少沉积物矿质元素向上覆水释放而提高湖水的质量。同时,大型水生植物的根系分泌物可促进嗜磷、氮细菌的生长,加速湖泊水体的生物地球化学循环,间接提高湖泊水质净化率(Reilly J F, 2000)。当然,大型水生植物还可促进矿质元素与水体污染物本身的降解、沉淀、固结、挥发、络合等一系列复杂过程,如磷同 Fe^{3+} 及 Mn^{4+} 的化合或者由于根部氧的释放形成对磷吸附的无定形氧化物(Jensen H S et al., 1992),从而减少沉积物中磷向上覆水释放,提高湖泊水质(Nguyen L M, 2000)等系列反应,这些反应在有大型水生植物存在时常常会变得更强烈。因此,可以说大型水生植物对湖泊生态修复的化学过程是十分重要的,这些

过程是促进湖泊生物地球化学循环的基础,也是评价湖泊水体健康的重要指标。

(3)生物过程

研究表明,大型水生植物在光合作用的过程中,通过离子交换吸附以及自身的分泌物对一些矿质元素起到螯合沉积(如 Zn),同时也影响根际周围的 pH(Moore B C et al., 1994),提高 Eh,进而影响湖泊水体中矿质元素的活性(Kiekens L, 1995),从而促进湖泊生态系统的生物地球化学循环,对湖泊生态修复起到重要作用。同时,大型水生植物在营养物质吸收及光能利用方面又是藻类的竞争者(Scheffer M, 1999);某些大型水生植物根系还能分泌出克藻物质,使浮游植物密度和叶绿素 a 大幅度下降^[7],达到抑制藻类生长的作用。当然,大型水生植物自身对 N、P 的吸收能力也存在差异,若能选择优良的水生植物对湖泊水体的 N、P 去除将具有明显的效果^[8]。

(4)协同作用

大型水生植物生长可有效增加空间生态位,增加湖泊生态系统的生物多样性(Scheffer M et al., 1994),进而提高大型水生植物之间的协同性,有效地促进湖泊的矿质元素生物地球化学循环。大型水生植物对湖泊系统中的营养盐的净化优势不仅与植物种类、植物组织、生长季节有关,还与湖泊污染程度有关^[9],多种植物组合不仅具有合理的物种多样性,而且更容易保持长期的稳定性。因此,大型水生植物之间的协同性可提高湖泊生态修复效果,也是评价湖泊生态健康状况的一个重要标志。

1.3 大型水生植物对湖泊生态修复作用研究进展与展望

大型水生植物是湖泊生态系统的必要组成部分,对湖泊生态修复起着重要作用(Bachand P A M et al., 2000),且该项技术也具有巨大的潜能;然而,有关大型水生植物对湖泊生态修复作用的机制及应用技术研究还存在不少分歧。因此,认识这些问题,探讨将来的发展方向和应用技术显得十分必要。

1.3.1 大型水生植物在湖泊生态修复中的应用研究

(1)大型水生植物对湖泊滨岸带的修复

廊道是组成景观的结构单元之一,指景观中与相邻两边环境不同的线状或带状结构。一方面,其具有过滤和阻抑作用;另一方面,也起到能量、物质和生物(个体)的源或汇的作用(Wu J G,2000)。根据滨岸带廊道及其溶解物原理、宽度原理、连接度原理,大型水生植物对湖泊滨岸带生态修复可控制来自景观基底的溶解物质,为湖泊内部种提供足够的生境和通道,并能更好地减少周围景观的各种溶解物污染,保证水质清新,不间断的滨岸带植被廊道能维持诸如水温低、含氧高的水生条件,有利于某些水生动物生存;且滨岸植物覆盖可以减缓外源物质的影响,并为水生生物链提供有机质,从而维持了湖泊的生物多样性。研究表明,大型水生植物对湖泊滨岸带生态修复可去除、淀积面源污染物,为减少河岸侵蚀起到了重要作用,对于净化水质、改善湖泊生态环境具有较高的经济价值。

因此,大型水生植物对湖泊滨岸带的生态修复是湖泊生态修复的一个重要组成部分,而加强对大型水生植物在滨岸带廊道效应方面的研究已显得尤为重要。

(2)大型水生植物对湖泊水体的修复

大型水生植物对湖泊生态修复技术具有低投资、低能耗等优点,对去除湖泊体系中 N、P 具有明显的效果。多种以大型水生植物为核心的污水处理和水体修复生态工程技术已被开发,也是近年来环境领域的研究热点之一。大型水生植物对湖泊水体修复的方式及其应用见表 1-2 所列。

表 1-2 大型水生植物对湖泊生态修复的方式及其应用

应用方式	作用机制	水生植物类型	研究和应用情况
化学方式	降解,氧化	挺水植物,沉水植物,浮叶植物,漂浮植物	设计简单,工艺优化的研究不足,但应用较多
物理方式	过滤,吸附	挺水植物,沉水植物,浮叶植物,漂浮植物	研究不多,但应用较多

(续表)

应用方式	作用机制	水生植物类型	研究和应用情况
生物方式	吸收	挺水植物,沉水植物,浮叶植物,漂浮植物	研究及应用方面较多
景观方式	廊道效应	挺水植物较多	主要用于滨岸带修复,研究及应用不足

1.3.2 大型水生植物对矿质元素富集机理的研究

大型水生植物对矿质元素的富集机理相当复杂,特别是生物化学过程至今尚未完全弄清或存在不同观点,如水生植物生长与上覆水体磷的相关性^[10]及环境因子对植物体内养分与金属元素的含量的影响^[11]等都有待进一步研究。因此,若全面揭示高等水生植物对湖泊生态的修复机制,至少还应在以下几个方面开展研究:①大型水生植物在湖泊生态系统中复杂的生物地球化学过程中的作用;②有机质、无机质和矿质元素在湖泊体系内的相互作用及其对植物、微生物和沉积物的影响;③高等水生植物、微生物对湖泊生物地球化学的综合影响;④大型水生植物区底泥与上覆水中 Eh、pH 的变化过程及对湖泊生态系统的综合影响,等等。显然,全面揭示大型水生植物对湖泊生态修复的作用机制不仅为生态工程提供更可靠的科学依据,而且还将丰富化学生态学、湖泊生态学与污染生态学理论。

1.3.3 水生植物种类选择

目前,全球发现的湿地高等植物多达 6700 余种,而已被利用且产生效果的仅几十种,很多植物还有待进一步研究确定。一些地处热带和亚热带的发展中国家虽有丰富的水生植物物种,但由于受经费限制而无力开展观测研究,再加上他们对水生植物的使用和管理水平有限而达不到理想效果。因此,今后开展大型水生植物对湖泊生态修复技术研究时,应选择合适的植物种类,特别是选择当地抗污力强、净化效果好、经济效益高且便于收割的物种是一项优先考虑的研究内容;同时,还应该考虑多物种的合理组合,充

分发挥水生植物之间的协同性,达到湖泊生态修复的目的。

1.3.4 进一步加强沉水植物湖泊生态修复作用的研究

沉水植物在水生生态系统中有着不可替代的作用。研究表明,沉水植被修复后,水质明显改善,透明度大大提高,生物多样性增加(Annadotter H,1999)。但在水生植被的修复中,沉水植物的重建和修复较挺水、浮水和浮叶植物难。因此,沉水植物的重建和修复应作为湖泊治理和生态修复的关键技术进行研究。

总体上讲,利用水生植物修复富营养化水体与其他物理、化学及工程的方法相比,具有成本低、能耗小、治理效果好,对环境扰动小,有利于资源化,有较好的经济效益和较高的美化环境价值,有利于整体生态环境的改善。正是因为这些显著的优越性,包括我国在内的发展中国家,环境污染和生态破坏都很严重,在环保投入有限的情况下,应用大型水生植物进行湖泊生态修复将有广阔的前景。

1.4 多光谱遥感技术在水生植物监测方面的应用

20世纪90年代以来,国外学者开始探索应用遥感技术监测水生植物分布时空变化与生长状况(Orth R J et al.,1983)。Jakubauskas(2000)等在美国怀俄明州 Grand Teton 国家公园的天鹅湖,利用 512 波段的分光辐射计测量从 326.5nm 到 1055.3nm 波段的睡莲光谱反射率的变化,同时估计睡莲的盖度,对睡莲的盖度和光谱反射之间的关系进行了定量研究。Han 和 Rundquist(1994)在试验池中研究了金鱼藻在清沙富含藻类水体的不同深度下光谱反射率的变化,发现在 600~900nm 范围内,水深与金鱼藻反射率的关系为显著负相关。Roy(1993)利用 Landsat Thematic Mapper (TM)可见光(1~3)波段对巴哈马浅水区域沉水植物进行提取,并建立了灰度值与水草生物量的经验公式,以此评价海湾南部水草生物量(Roy A A,1993)。

我国也先后开展了一些利用航片、卫片对三角洲及三江平原的湿地植被资源进行遥感调查和分类(刘振乾等,1999)以及对洪湖和鄱阳湖水生植被资源进行了调查、制图^[12,13]。但研究对象多为挺水或浮叶植物,在分类时往往把沉水植物归为水域或忽略不计,未对沉水植物光谱信息进行深入提取,降低了对水生生态系统中水生植物资源调查、分类和评估的准确性。

然而与陆地植物及挺水植物不同,沉水植物完全沉于水下,其表面反射的光谱必须穿过大气-水界面,此外水体中浮游植物和其他光学活性成分(悬浮物、叶绿素等)也会改变沉水植物的光谱特性^[14,15],光谱特征更为复杂。Ackleson 和 Klemas(1987)分别利用 Landsat MSS 和 TM 影像对澳大利亚东北部海湾浅水域的沉水植物进行监测比较,提出可以用此技术对沉水植物进行监测(Ackleson S G et al., 1987)。Armstrong(1993)利用 Landsat TM 影像分别对巴哈马南部海湾的沉水植物生物量进行了估算,探讨了建立光谱信息与沉水植物生物物理参数之间的定量关系(Armstrong R, 1993)。Zhang(1998)利用 TM 影像,结合实地测定的沉水植物生物量,对整个洪湖的沉水植物生物量进行了估算(Zhsng X Y, 1998)。Dekker 等和 Gullstrom 等利用多年的 Landsat MSS 和 TM 影像分别对澳大利亚和坦桑尼亚南部海岸带水草和大型藻类多年变化进行了监测和时空变化评估^[16,17]。邬国锋等利用 Landsat TM 数据对鄱阳湖的沉水植物提取做了可行性探索^[18]。在他们的研究中都提出遥感技术用来监测大型沉水植物的种类、分布及时空变化的可能性,但传统的宽波段遥感卫星的光谱分辨率是制约图像解译准确性的主要因素之一。若能利用高光谱遥感技术则可能较好地解决这一问题。

1.5 高光谱遥感技术在水生植物监测方面的应用

利用高光谱遥感能提供更多的精细光谱信息的特点,目前许多国外学者已经开始研究它在沉水植物光谱特征分析、遥感制图、生物多样性调查及时空变化等研究中的应用。Penuelas 等(1993)利用手持式高光谱仪分别对