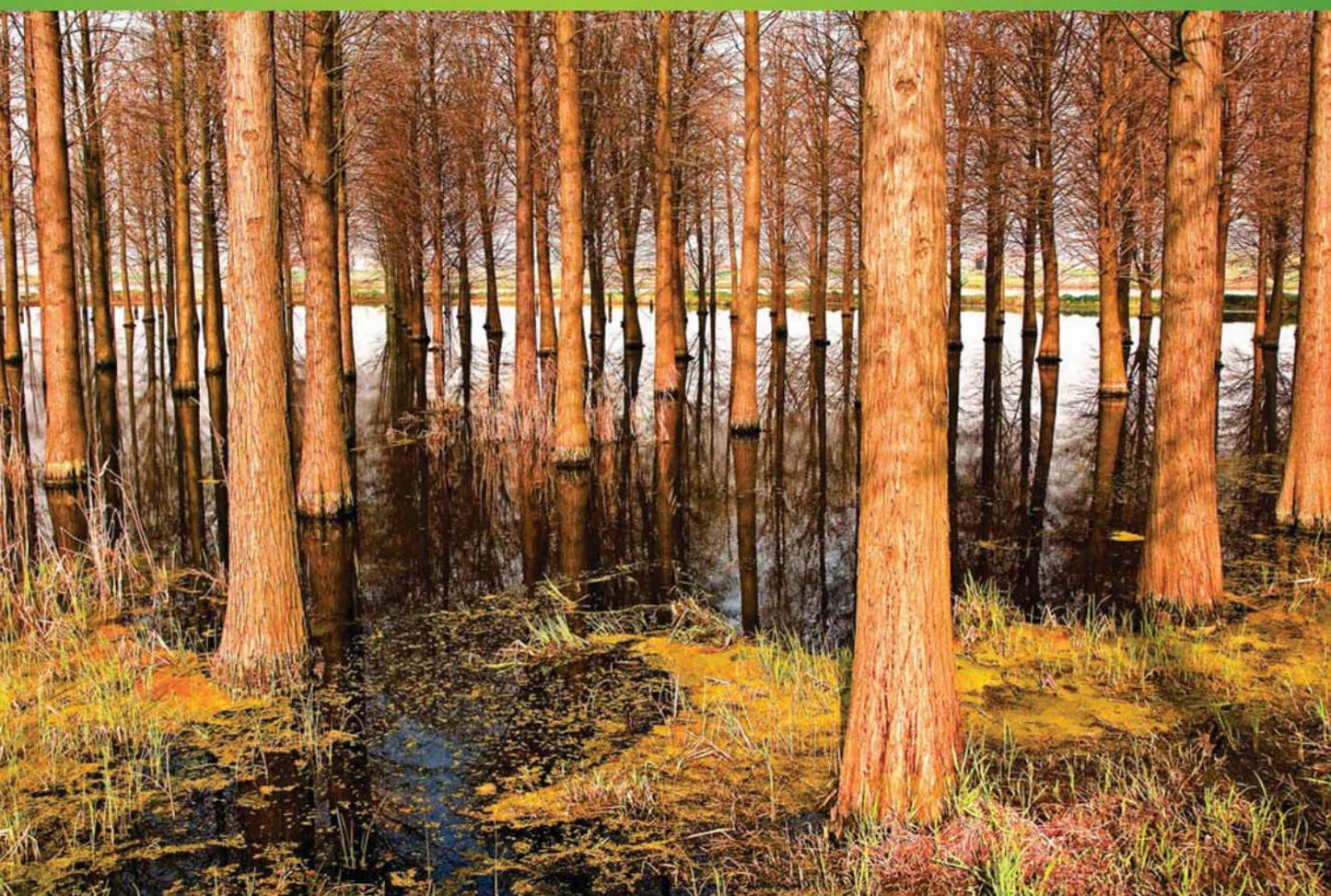


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107051002

邹维娜,袁琳,张利权,陈万逸. 盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响. 生态学报, 2012, 32(3): 706-714.

Zou W N, Yuan L, Zhang L Q, Chen W Y. Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant *Cabomba caroliniana*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 706-714.

盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响

邹维娜^{1,2}, 袁琳¹, 张利权^{1,*}, 陈万逸¹

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200067; 2. 上海应用技术学院, 上海 201418)

摘要: 遥感技术可应用于大尺度实时监测沉水植物的分布与生长状况。然而沉水植物的光谱特征受其冠层在水下深度的影响, 从而影响湖泊和河流中沉水植物的遥感影像解译与信息提取。应用地物光谱仪, 通过野外原位测定和室外控制试验, 实测了沉水植物水盾草 (*Cabomba caroliniana*) 群落冠层在水下不同深度的反射光谱, 分析了冠层水深对水盾草反射光谱的影响, 并建立了基于光谱反射率和冠层水深的水盾草群落盖度反演模型。研究结果表明 (1) 不同盖度的水盾草群落光谱反射率的基本特征主要体现在绿光和近红外波段; (2) 水盾草群落的光谱反射率与冠层水深基本呈负相关, 相同盖度水盾草群落的光谱反射率随冠层水深的增加而减小, 在近红外波段尤其明显; (3) 水盾草群落冠层水深越小, 其盖度与光谱反射率的相关性越强, 且水盾草群落盖度越大, 其光谱反射率与冠层水深的相关性越显著; (4) 水盾草光谱反射率与盖度相关的最佳波段在 692—898 nm, 与冠层水深相关最佳的波段在 710 nm 和 806 nm 附近; (5) 在 710 nm 和 806 nm 处建立的结合冠层水深的修正模型, 无论是回归方程决定系数 (R^2), 还是水盾草群落盖度的反演精度都明显高于仅用光谱反射率反演盖度的简单模型, 因此可有效减除冠层水深对反演精度的影响。本研究的结果可为遥感监测沉水植物的分布和动态变化, 以及沉水植物生物物理参量反演提供科学依据。

关键词: 沉水植物; 水盾草; 光谱反射率; 盖度; 水深; 高光谱遥感

Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant *Cabomba caroliniana*

ZOU Weina^{1,2}, YUAN Lin¹, ZHANG Liqun^{1,*}, CHEN Wanyi¹

1 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200067, China

2 Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

Abstract: Remote sensing technology can be used to timely monitor the distribution and growth status of submerged aquatic vegetation (SAV) on a large scale. However, the water depth from water surface to plant canopy may affect the spectral characteristics of submersed plants, resulting in an inaccuracy to interpret the related remote sensing images. In this study, the spectral characteristics of a submerged plant *Cabomba caroliniana* with varying coverage and canopy water depth were measured using a FieldSpecTM Pro JR Spectroradiometer in the field and a control experiment. The influence of canopy water depth on the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* was analyzed and a model was established to deduce the coverage of *Cabomba caroliniana* community based on the spectral reflectance and the canopy water depth. The results showed that (1) the basic characteristics of spectral reflectance for varying coverage of *Cabomba caroliniana* appeared mainly at the bands of green and NIR; (2) the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* community showed a negative correlation with the canopy water depth, and the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* community with same coverage decreased with

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40901237); 上海市科委海洋科技专项 (10dz1211002); 河口海岸学国家重点实验室自主课题 (2010RCDW09)

收稿日期: 2011-07-05; **修订日期:** 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lqzhang@sklec.ecnu.edu.cn

increasing canopy water depth, especially at the band of NIR; (3) the shallower the canopy water depth, the more significant the correlation between the coverage and the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* community, which enhanced with the increasing coverage of *Cabomba caroliniana*; (4) the most significant correlations between the coverage and the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* community were observed at the band of 692—898 nm, while the most significant correlations between the canopy water depth and the spectral reflectance of *Cabomba caroliniana* community were near the bands of 710 nm and 806 nm; (5) a revised model established at the bands of 710 nm and 806 nm and adopted both the parameters of canopy water depth and spectral reflectance was much better than a simple model established at the bands of 710 nm and 806 nm and adopted only the parameter of spectral reflectance to deduce the coverage of *Cabomba caroliniana* community. The determination coefficients (R^2) between the predicted and measured coverage of *Cabomba caroliniana* community were 0.742 and 0.777 for the simple model at the band of 710 nm and 806 nm, while were 0.852 and 0.935 for the revised model at the band of 710 nm and 806 nm. The revised model adopted both the parameters of canopy water depth and spectral reflectance could effectively reduce the influence of canopy water depth on the deductive accuracy for the coverage of submerge vegetation. The results from this study could be helpful to timely and accurately monitor the distribution and dynamics of submerged vegetation on a large scale using remote sensing technology.

Key Words: submerged plant; *Cabomba caroliniana*; reflectance; coverage; water depth; hyperspectral remote sensing

沉水植物是海滨、河口和内陆水生生态系统的重要组成部分,它生活于水生生态系统中水与底质的界面,是水体和底质两大营养库间的有机结合部^[1]。国内外许多研究表明,通过人工或自然的繁殖和培植方法进行沉水植物群落的重建,恢复水生生态系统功能,已成为水环境污染治理的重要环节^[2-4]。然而,传统的监测沉水植物分布与生长状况的现场调查法和潜水测量法耗时耗力、监测覆盖范围小,而且影响水体环境。因此需要有合适的技术对沉水植物的分布及生长状况进行大尺度、快速和动态的监测,为水生植物资源的调查研究、开发保护、水环境生态修复提供技术支撑^[5]。

自 20 世纪 90 年代以来,国外学者开始探索应用遥感技术监测沉水植物分布时空变化与生长状况^[6-8]。我国也先后开展了一些利用遥感影像对湿地植被资源进行遥感调查、分类和制图的研究^[9]。然而与陆生植物和挺水植物不同,沉水植物完全沉于水中,其植物体反射的光谱必须穿过大气—水界面,水体和水体中的浮游植物以及其他光学活性成分(悬浮物等)会改变沉水植物的光学特性^[10-11],使得沉水植物的光谱特性更为复杂。因此,能够提供更丰富光谱信息的高光谱遥感技术被认为是大尺度监测沉水植物的理想方法。已有国外学者分别应用便携式地物光谱仪、小型机载光谱仪和高光谱遥感影像对内陆湖泊和河口区沉水植物在种类识别和分类、分布变化监测、盖度和生物量评估及沉水植物结构特征与光谱信息的关系等方面开展研究^[12-13],证实了应用高光谱遥感技术于沉水植物监测的可行性和优越性。国内学者也已利用 ASD 地物高光谱仪研究了沉水植物苦草(*Vallisneria spiralis*)和狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)的光谱特征,并利用光谱反射率反演其生物量和盖度,提出水深、水体中叶绿素和悬浮物浓度等水环境因子可直接影响遥感监测沉水植物的反演精度^[14-16]。Wu 等利用 SVC GER1500 手持式光谱仪测得黑藻(*Hydrilla verticillata*)、竹叶眼子菜(*Potamogeton malaianus*)等 11 种湿地植物的原位光谱数据,探索通过高光谱数据识别湿地物种^[17]。刘华等初步探索了水体中悬浮物浓度对沉水植物光谱特征的影响,提出了对富含悬浮物水体中沉水植物的反射光谱进行修正的方法^[18]。然而,目前对于沉水植物群落冠层在水下深度(冠层水深)这一关键因子对沉水植物反射光谱影响的定量研究还较少。

本研究选择大型沉水植物水盾草(*Cabomba caroliniana*)为研究对象,使用便携式地物光谱仪测定不同盖度和水体环境条件下大型沉水植物水盾草的光谱特征,其主要目的是:1)识别水盾草的光谱特征;2)探讨冠层水深对水盾草光谱特征的影响;3)修正冠层水深对不同盖度水盾草群落反射光谱的影响,以期提高沉水植物群落盖度的反演精度。

1 研究方法

1.1 研究对象

水盾草又名绿菊花草,为水盾草科(*Cabombaceae*)水盾草属(*Cabomba Aublet.*)多年生水生草本植物^[19],其茎和叶绿色,茎长可达 1.5 m,分枝,叶对生,叶柄长 1—3 cm,叶片长 2.5—3.8 cm,掌状分裂;浮水叶少数,在花枝顶端互生,叶片盾状着生,狭椭圆形,长 1—1.6 cm,宽 1.5—2.5 mm,边全缘或基部二浅裂,叶柄长 1—2.5 cm;花单生,被腋生的花梗挺于水面,直径 6—15 mm,长 6—12 mm,乳白色、淡黄色或略带紫色^[20]。

水盾草原产美国至巴西等地^[21],由于其具有姿态优美的沉水叶而被作为水族馆植物引种至加拿大、日本、澳大利亚、东南亚、南亚等地,并已在日本和澳大利亚成为归化种^[22]。在原产地美国,除了佛罗里达州等几个东南部的州将它作为土著种外,其他包括东北部各州都作为外来入侵种进行防治。水盾草蔓延已导致许多地区的航道和灌溉渠道堵塞,湖泊和水库的景观遭受破坏,以及水体二次污染等^[23]。在巴拿马,水盾草已有堵塞巴拿马运河的趋势^[24]。在澳大利亚,水盾草有大规模取代本土水生植物的趋势,并已改变本土鱼类和无脊椎动物的种类组成^[22]。水盾草于 1993 年在我国首次发现,后曾被用于湖泊富营养化水体的生态修复。目前水盾草已在浙北、苏南和上海局部水域成为优势种,并有进一步扩散的趋势^[25]。在我国,水盾草已被列为入侵种之一^[20],因入侵时间较短,目前对我国水生生态系统的生物多样性以及社会经济的影响尚不太明显。

1.2 野外原位实测

沉水植物水盾草群落光谱的野外实测地点为上海华东师范大学校园内的丽娃河。丽娃河水域面积约 23533 m²,平均河宽为 34 m,平均水深为 1.70 m。2004 年实施丽娃河生态修复措施时,人工种植了水盾草和苦草等多种沉水植物。研究期间,水盾草生长情况良好,其群落冠层在水下深度(冠层水深)在 5—50 cm 之间。

2010 年 7 月 22 日,在丽娃河内选取代表不同盖度(0—100%)以及不同冠层水深(0—50 cm)的典型水盾草群落样方共 45 个(表 1)。每个圆形样方大小直径为 44.3 cm,分别测定样方中水盾草群落的盖度、冠层水深、光谱反射率和水体透明度,同时测定 3 个未生长任何沉水植物的水体样方(盖度为 0%),每个样方测定 10 组光谱数据作平均。测定同时,采集水样带回实验室测定其水体叶绿素和悬浮物浓度。其中水盾草群落盖度采用盖度框法测定,并将结果按 4 舍 5 入的方法计为 10% 的倍数,用卷尺现场测量样方中水盾草群落冠层水深。水体透明度用塞氏盘测量,野外原位实测期间,丽娃河水体透明度为(90±5) cm,经实验室测定,水体中叶绿素浓度为(15.3±0.4) mg/m³,悬浮物浓度为(6.7±0.3) mg/L。

表 1 45 个样方(C₁—C₄₅)中的水盾草群落盖度与冠层水深
Table 1 The coverage and canopy water depths of *Cabomba caroliniana* in 45 plots

盖度/% Coverage	冠层水深 Canopy water depth/cm				
	0—10	11—20	21—30	31—40	41—50
100		C ₄₁	C ₂₀ C ₃₆	C ₂₈	C ₄₂
90	C ₃₂		C ₂₂ C ₃₁		
80		C ₄₀	C ₁₉ C ₃₃	C ₂₅ C ₂₉	
70			C ₂₃ C ₃₀ C ₃₇		
60			C ₁₂ C ₃₉		C ₄₃
50	C ₃₅		C ₉ C ₁₀ C ₃₄ C ₃₈		
40	C ₄₄	C ₇ C ₁₁	C ₈ C ₂₁	C ₂₄	C ₂₇
30		C ₁	C ₆ C ₁₃ C ₁₄	C ₂₆	
20	C ₄₅	C ₂ C ₃	C ₅ C ₁₅ C ₁₈		
10			C ₄ C ₁₆ C ₁₇		

1.3 室外控制试验

室外控制试验在华东师范大学校园内丽娃河边空旷地进行。2010 年 7 月 15 日分别将盖度为 100%、

80%、60%、40%、20%的水盾草植株移栽到装满丽娃河河泥的5个圆柱形托盘($c=60\text{ cm}$, $h=10\text{ cm}$)中,每个托盘中水盾草群落平均高度为 $(40\pm4)\text{ cm}$ 。将移栽有不同盖度水盾草的托盘放入注满丽娃河水(叶绿素浓度为 $(15.5\pm0.3)\text{ mg/m}^3$,悬浮物浓度为 $(6.3\pm0.3)\text{ mg/L}$)的试验水池($d_{\text{底部}}=123\text{ cm}$, $d_{\text{上部}}=138\text{ cm}$, $h=95\text{ cm}$, $V=1200\text{ L}$)中。通过绳索固定托盘并调整,水盾草群落冠层水深分别为0、10、20、30、40、50 cm。测定5个盖度(100%、80%、60%、40%、20%)及6个冠层水深(0、10、20、30、40、50 cm),共30个水盾草群落样方的光谱反射率,每个样方测定10组光谱数据作平均。

1.4 光谱测量

使用ASD公司生产的FieldSpec™ Pro JR便携式地物光谱仪,测定不同水盾草群落盖度和冠层水深的光谱反射率。光谱仪的波段覆盖350—2500 nm,其光谱分辨率在700 nm为3 nm,采样间隔在350—1000 nm内为1.4 nm,传感器探头全视场角(FOV)为25°。

野外原位实测水盾草群落光谱反射率时,从10:30—2:30,在阳光几乎直射的时段内进行测定。测定时探头垂直向下,距水面的高度为1 m,实际光谱采集样方大小为直径为44.3 cm的圆形区域。每次进行光谱测定前,利用漫反射参考板(反射率为98%)进行仪器的优化,并将光谱数据转化为反射率。

室外控制试验测定水盾草群落光谱反射率前,用黑色棉布贴在试验水池的底部和周壁,以消除试验水池底部和周壁对光的反射和吸收。每次进行光谱测定前,同样利用参考板进行优化,将光谱数据转化为反射率。

1.5 数据分析

由于在波长小于400 nm和大于900 nm时,沉水植物反射光谱所受干扰较大,因此本研究选择400—900 nm波段范围的光谱数据进行分析。应用ASD光谱仪携带的光谱处理软件ViewSpec™ Pro5.0对所测反射光谱进行截取与计算。用SPSS.17进行数据的相关分析和回归分析。

2 结果与分析

2.1 野外原位实测的水盾草群落光谱特征

图1显示了野外原位实测情况下,不同盖度水盾草群落的平均光谱曲线。从图中可以看出,沉水植物水盾草群落的光谱曲线表现为典型的植被光谱特征,在可见光部分的蓝波段(450 nm为中心)和红光波段(670 nm为中心)附近有较强的吸收,形成两个吸收谷,在560 nm附近形成了明显的反射绿峰;在680—740 nm之间反射率增高最快,出现“红边”;波长大于700 nm时,其光谱反射率增强,形成了沉水植物在近红外波段的反射高原区;在近红外波段720 nm和808 nm附近有两个反射峰(图1)。当水盾草群落盖度变化时,其平均光谱反射率也相应发生改变,表现为平均光谱反射率随水盾草

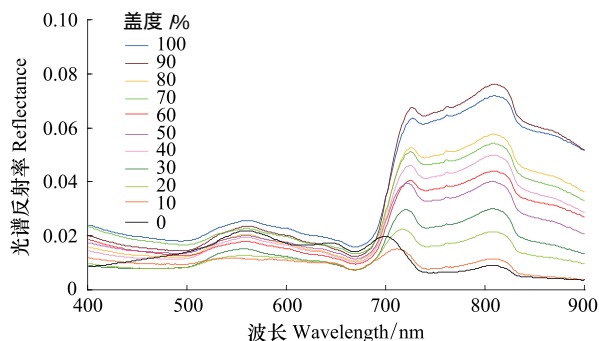


图1 野外原位实测中不同盖度水盾草群落的平均光谱反射率
Fig.1 Mean reflectance of *Cabomba caroliniana* communities with varying coverage in the field measurement

盖度的降低而下降,在近红外区域尤其突出;不同盖度水盾草群落的光谱反射率之间的差异主要表现在500—600 nm和700—900 nm这两个波段范围。

水盾草群落盖度和光谱反射率之间的相关分析结果表明,野外实测的水盾草群落盖度与其光谱反射率呈正相关,在400—900 nm范围内均为极显著相关($P<0.01$),在530—600 nm和700—900 nm范围内其相关性最强(图2)。因此,可通过水盾草群落盖度与这些波段光谱反射率的回归分析,定量反演水体中水盾草群落的盖度。

尽管不同盖度水盾草群落的平均光谱曲线表现出随盖度下降而降低的规律(图1),但相同盖度的水盾草群落不同冠层水深的反射光谱曲线仍有较显著的差异(图3)。以丽娃河中最常见的40%盖度的水盾草群落为例,随着冠层水深的增加,其光谱反射率明显下降,其中在500—620 nm和700—900 nm这两个波段范围

最为明显。这表明沉水植物的冠层水深会影响沉水植物的光谱反射率,因此在利用光谱信息反演沉水植物盖度时,必须考虑冠层水深的影响。

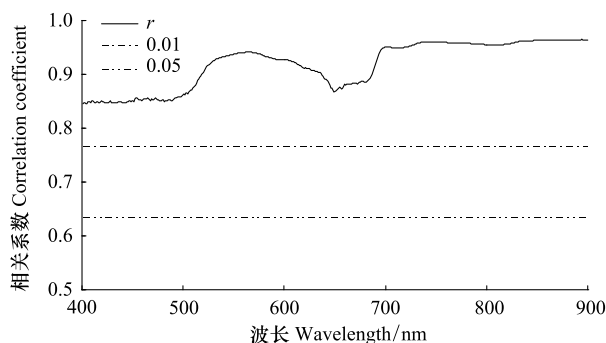


图2 野外原位实测中水盾草群落不同盖度与光谱反射率的相关系数

Fig. 2 Correlation coefficients between the *Cabomba caroliniana* communities of varying coverage and their reflectance in the field measurement

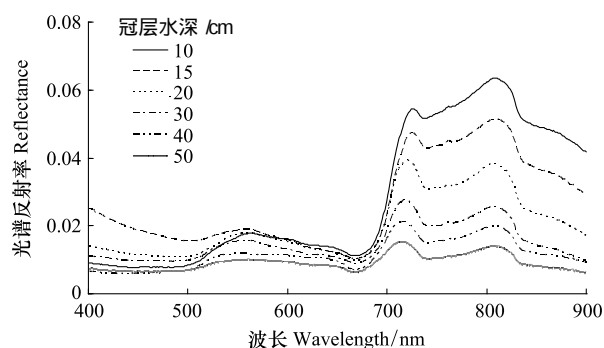


图3 野外实测中40%盖度水盾草群落在不同冠层水深的典型光谱

Fig. 3 Typical reflectance spectrum of *Cabomba caroliniana* communities with 40% coverage under varying canopy water depths in the field measurement

2.2 室外控制试验中水盾草群落的光谱特征

室外控制试验同样表明,沉水植物水盾草群落盖度和冠层水深都会影响水盾草群落的光谱反射率。同一冠层水深的水盾草群落光谱反射率随盖度的降低而下降,差异主要表现在500—600 nm和700—900 nm这两个波段范围。而相同盖度的水盾草群落,其光谱反射率随冠层水深的增加,表现为近红外波段光谱反射率明显下降,且700—900 nm处的反射高原区逐步变化为以714 nm和807 nm为中心的两个反射峰(图4)。

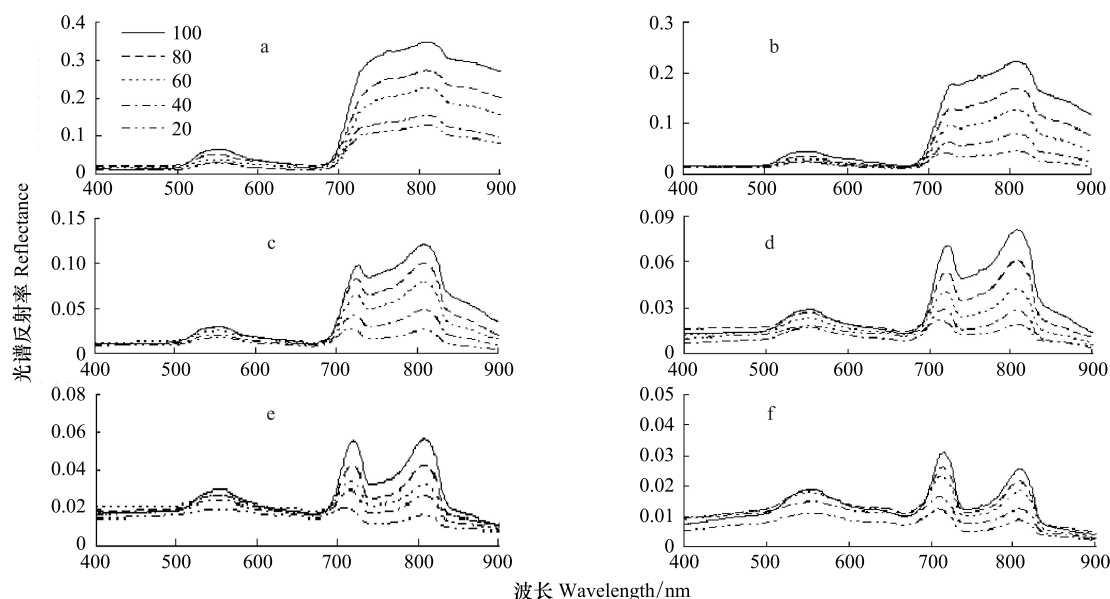


图4 室外控制试验中不同盖度水盾草的平均光谱

Fig. 4 Mean reflectance measured in the control experiment for *Cabomba caroliniana* communities with varying coverage

a) 水深为0cm underwater 0cm; b) 水深为10cm underwater 10cm; c) 水深为20cm underwater 20cm; d) 水深为30cm underwater 30cm; e) 水深为40cm underwater 40cm; f) 水深为50cm underwater 50cm

室外控制试验中,水盾草群落盖度与其光谱反射率同样具有较好的相关性(图5),水盾草群落冠层水深越小,其盖度与光谱反射率的相关性越强。在525—587 nm和692—898 nm这两个波段范围,水盾草群落盖

度与其光谱反射率呈显著相关($P<0.05$);在 699—840 nm,达到极显著相关($P<0.01$)。在可见光波段和近红外波段,其相关性最高的波段分别在 554 nm 和 809 nm 附近。但水盾草群落冠层水深为 0 cm(即水盾草群落冠层到达水面)时,其盖度与其光谱反射率相关性最好,在 502—900 nm 波段范围内为显著相关($P<0.05$),在 513—533 nm、570—639 nm 和 686—900 nm 波段范围内为极显著相关($P<0.01$)。这说明,冠层水深会影响沉水植物盖度与光谱反射率的相关性,且沉水植物冠层水深越大,其光谱反射率受水体影响越大,沉水植物盖度差异引起的光谱反射率变化越不明显。室外控制试验的结果也表明,在应用光谱数据反演沉水植物盖度时,必须考虑冠层水深的影响。

2.3 冠层水深对水盾草群落光谱特征的影响

室外控制试验中,不同盖度水盾草群落的光谱反射率与对应的冠层水深的相关分析表明,水盾草群落的光谱反射率与冠层水深基本呈负相关,且水盾草群落盖度越大,其光谱反射率与冠层水深的相关性越显著(图 6)。在 529—568 nm、696—737 nm 和 774—824 nm 波段范围内,水盾草群落的光谱反射率与冠层水深呈显著负相关($P<0.05$),在 708—711 nm 波段范围内,水盾草群落光谱反射率与冠层水深均为极显著负相关($P<0.01$)。在 710 nm 和 806 nm 附近波段,水盾草群落光谱反射率与冠层水深相关性最强,是其光谱反射率对冠层水深变化最敏感的波段。

2.4 水盾草群落盖度的反演模型

以上分析表明,在叶绿素浓度和悬浮物浓度变化不大的水体环境中,沉水植物的光谱反射率除受其盖度的影响外,还受其冠层水深的影响。对水盾草群落而言,对盖度变化最敏感的波段在 699—840 nm 范围内,对冠层水深变化最敏感的波段在 710 nm 和 806 nm 附近。因此,可以选择对冠层水深和盖度都敏感的 710 nm 和 806 nm 这两个波段,建立了水盾草群落盖度反演回归方程。从野外原位实测 45 个水盾草群落样方的数据中随机抽取 23 组用于构建水盾草群落盖度的反演模型。式(1)和(2)为不考虑冠层水深这一参数,仅用 710 nm 和 806 nm 处的光谱反射率与其对应的盖度值进行回归分析,建立的水盾草群落盖度简单反演模型。

$$x = 2112.719 \times S_{710} - 19.682 \quad R_{710}^2 = 0.714 \quad (1)$$

$$x = 1262.345 \times S_{806} - 0.761 \quad R_{806}^2 = 0.756 \quad (2)$$

式(3)和(4)中,将冠层水深作为一个变量,分别用其 710 nm 和 806 nm 处的光谱反射率与其对应的冠层水深和水盾草群落盖度值进行回归分析,得到水盾草群落盖度反演修正模型:

$$X = 1961.888 \times S_{710} + 1.576y - 62.569 \quad R_{710}^2 = 0.894 \quad (3)$$

$$X = 1176.121 \times S_{806} + 1.568y - 44.938 \quad R_{806}^2 = 0.936 \quad (4)$$

上述 4 式中, $x(\%)$ 和 $X(\%)$ 为水盾草群落盖度值, $y(\text{cm})$ 为冠层水深, S_{710} 和 S_{806} 分别为 710 nm 和 806 nm 波段处水盾草群落的光谱反射率。

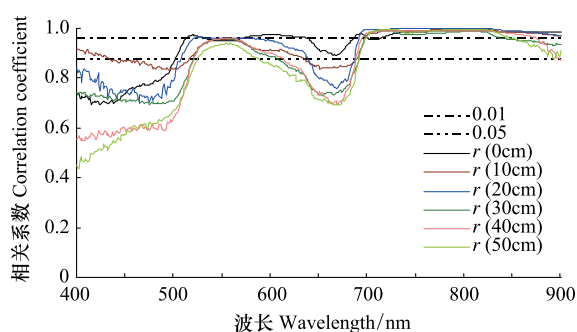


图 5 室外控制试验中不同冠层水深处水盾草群落盖度与其光谱反射率的相关系数

Fig.5 Correlation coefficients between the varying coverage of *Cabomba caroliniana* communities and the reflectance under varying canopy water depths measured in the control experiment

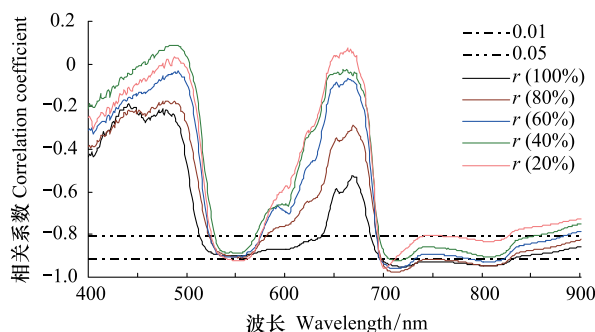


图 6 不同盖度的水盾草群落光谱反射率与水深的相关系数

Fig.6 Correlation coefficients between the varying canopy water depths and the reflectance with varying coverage of *Cabomba caroliniana* communities

将野外实测数据中其余 22 组水盾草群落反射率数据和冠层水深值分别代入上述修正模型,反演水盾草群落盖度,并将该模型反演的水盾草群落盖度与现场实测盖度进行比较。从图 7 可以看出,用 710 nm 和 806 nm 处的水盾草群落光谱反射率的反演精度均较高,其中简单模型的 R_x^2 值分别为 0.742 和 0.777,而修正模型的 R_x^2 值分别为 0.852、0.935。结合冠层水深的修正模型无论是回归方程的 R^2 还是反演精度都明显高于仅用光谱反射率反演盖度的简单模型,因此可有效减除冠层水深对水盾草群落盖度反演精度的影响。

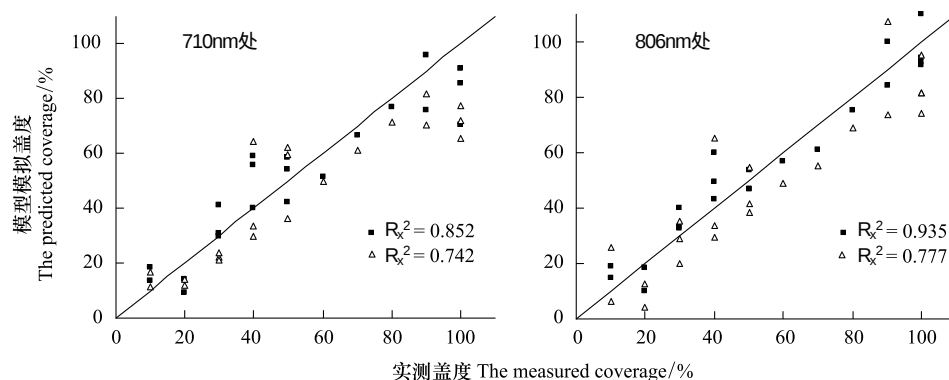


图 7 水盾草群落盖度实测值和模型反演值的拟合

Fig. 7 Regression between the coverage measured in the field and the coverage predicted by the model

3 讨论

3.1 水盾草群落盖度的光谱特征

已有的研究表明,沉水植物和陆生植物的光谱特征具有相似之处,表现在 560 nm 附近有明显的绿峰,700 nm 附近反射率迅速增加形成红边,植物群落的叶面积指数、盖度或生物量与其在绿波段和近红外波段的光谱反射率呈正相关关系^[14-15]。本研究中的沉水植物水盾草也表现了相同的特征。本项研究中的野外原位实测和室外控制试验的结果都表明,水盾草群落的反射光谱也具有明显的绿峰和红边的特征,且随着水盾草群落盖度的减小,其绿光波段和近红外波段的光谱反射率也随之下降。当水盾草群落盖度为零时,所测得的反射光谱主要来自基质和水体,其反射光谱虽也表现出微弱的“峰和谷”的特征,但却不具有典型的植被光谱特征。

不同盖度水盾草群落光谱反射率之间的差异主要表现在 500—600 nm 和 700—900 nm 这两个波段范围。植物在 500—600 nm 的光谱特性主要受叶片各种色素的影响,而在 700—900 nm 的光谱特征与植物冠层的形状结构和叶片细胞内部结构相关^[14]。植物群落在绿波段和近红外波段的光谱特性与其空间结构、覆盖度、生物量密切相关,因而可以通过这些波段的光谱反射率来估测水盾草群落的盖度。然而,与陆生植物和挺水或浮水植物相比,沉水植物由于完全浸没于水中,地物光谱仪传感器接收的反射光谱不仅是沉水植物本身的光谱信息,同时也包括了部分水体和基质的反射光谱^[14]。太阳光在水界面的反射、折射、吸收和水中悬浮物质的散射都会降低沉水植物的光谱反射率^[15-16],因而沉水植物的最大光谱反射率显著低于陆生植物。

3.2 冠层水深对水盾草光谱反射率的影响及修正

水盾草在水下生长时,接近底部的茎叶几乎是直立的,其冠层在水平方向有很多小的分支,其冠层通常与水面有一定距离。这与一些沉水植物如狐尾藻(*M. spicatum*)和菹草(*Potamogeton crispus*)等冠层多分布在水面有所不同,因此,通过地物光谱信息来反演水盾草群落盖度或其他生物物理参数,必须充分考虑冠层水深对其光谱反射率的影响。沉水植物冠层水深是影响沉水植物光谱特征、信息反演和遥感监测的重要因素之一。Han 和 Rundquist^[10]研究了沉水植物金鱼藻群落在水体和富含藻类水体不同深度的光谱反射率变化,结果表明在 600—900 nm 波段范围内,冠层水深变化与金鱼藻群落光谱反射率的关系为显著负相关。

本研究结果也表明,相同盖度水盾草群落的光谱反射率随冠层水深的增加而减小,在近红外波段尤为明显。水盾草群落冠层水深越小,其盖度与光谱反射率的相关性越强。这主要因为距离水面越近,植株对光线

的透射和折射加强,加上镜面反射变小,对应的植株冠层反射率也就越大。由于水体在近红外部分几乎吸收全部的入射能量,透射最弱,因而在近红外波段,随着冠层水深的增加,其光谱反射率衰减加强。此外,水盾草群落盖度越大,冠层水深变化对其光谱的影响也就越明显。因此,在利用光谱信息对沉水植物盖度进行反演时,如果不考虑冠层水深这一因素,可能会导致反演结果低于实测值,而且其反演误差随群落盖度增加而加大。因此本研究选取对冠层水深和沉水植物盖度均密切相关的 710 nm 和 806 nm 波段,建立结合水盾草群落光谱反射率、盖度和冠层水深的修正模型,有效减除了冠层水深对反演精度的影响,取得了较好的反演精度。

3.3 应用遥感技术反演沉水植物分布与生长状况

应用遥感技术反演水生植物生物物理参量,实现监测沉水植物的分布与生长状况,是近 20a 来水生植物工作者追求的目标之一。Zhang^[26]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。Dekker 等^[6]和 Gullstrom 等^[27]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。袁琳等将地物光谱信息与 QuickBird 遥感影像相结合,通过最佳波段的筛选和组合,利用建立的光谱信息与沉水植物盖度定量关系,对沉水植物盖度进行了大尺度反演和估算^[5,16]。他们的研究都提出,冠层水深和水体环境中的叶绿素、悬浮物浓度等因素都会影响沉水植物生物物理参数反演的准确性。刘华等利用 ASD 高光谱仪研究了水体悬浮物浓度对大型沉水植物黑藻反射光谱的影响,并对富含悬浮物水体中沉水植物的反射光谱进行了修正^[18]。本研究探讨了冠层水深对沉水植物光谱反射率的影响,通过修正冠层水深对沉水植物光谱反射率的影响,明显提高了沉水植物盖度反演的准确性。水体环境是水深、叶绿素浓度、悬浮物浓度、透明度等因素组成的复杂环境,应综合考虑这些影响因素,消除其对沉水植物反射光谱的影响,结合遥感影像解译、分析和反演,进而实现大尺度遥感监测沉水植物的分布和生长情况。

References:

- [1] Wang H W, Ji M. Ecological character of submerged macrophyte *Ruppia maritime*. L and its response to environmental changes. Marine Science Bulletin, 2006, 25(3): 13-22.
- [2] Blindow I, Hargeby A, Andersson G. Seasonal changes of mechanisms maintaining clear water in a shallow lake with abundant *Chara* vegetation. Aquatic Botany, 2002, 72(3/4): 315-334.
- [3] Tong C H, Yang X E, Pu P M. Purification of eutrophicated water by aquatic plant. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1447-1450.
- [4] Nian Y G, Song Y W, Li Y J, Sun Y N, Nie Z D. Regime shift theory and ecological restoration discussion in eutrophic shallow lakes. Research of Environmental Sciences, 2006, 19(1): 67-70.
- [5] Yuan L, Zhang L Q. Mapping large-scale distribution of submerged aquatic vegetation coverage using remote sensing. Ecological Informatics, 2008, 3(3): 245-251.
- [6] Dekker A G, Brando V E, Anstee J M. Retrospective seagrass change detection in a shallow coastal tidal Australian lake. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(4): 415-433.
- [7] Davranche A, Lefebvre G, Poulin B. Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(3): 552-562.
- [8] Wabnitz C C, Andréfouët S, Andréfouët, Torres-Pulliza D, Müller-Karger F E, Kramer P A. Regional-scale seagrass habitat mapping in the Wider Caribbean region using Landsat sensors; applications to conservation and ecology. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(8): 3455-3467.
- [9] Wu G F, Liu Y L, Ji W T. Estimating aboveground biomass of submerged vegetation using Landsat 5 TM imagery: a case study of Jiangxi Poyang Lake national nature reserve, China. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(11): 953-957.
- [10] Han L, Rundquist D C. The spectral responses of *Ceratophyllum demersum* at varying depths in an experimental tank. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(4): 859-864.
- [11] Pinnel N, Heege T, Zimmermann S. Spectral discrimination of submerged macrophytes in lakes using hyperspectral remote sensing data. The International Society for Optical Engineering, 2004, 16: 1-16. (?)
- [12] William D J, Rybicki N B, Lombana A V, O'Brien T M, Gomez R B. Preliminary investigation of submerged aquatic vegetation mapping using hyperspectral remote sensing. Environmental Monitoring and Assessment, 2003, 81(1/3): 383-392.

- [13] Hestir E L, Khanna S, Andrew M E, Santos M J, Viers J H, Greenberg J A, Rajapakse S S, Ustin S L. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(11): 4034-4047.
- [14] Yuan L, Zhang L Q. The spectral responses of a submerged plant *Vallisneria spiralis* with varying biomass using spectroradiometer. *Hydrobiologia*, 2007, 579(1): 291-299.
- [15] Yuan L, Zhang L Q. Identification of the spectral characteristics of a submerged plant *Vallisneria spiralis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1005-1011.
- [16] Yuan L, Zhang L Q. The spectral characteristics of a submerged plant *Myriophyllum spicatum* with varied coverage. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(4): 609-616.
- [17] Liu X H, Sun Y, Wu Y. Identifying hyperspectral characteristics of wetland species using in situ data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011, in press.
- [18] Liu H, Zhang L Q, Yuan L. Effects of suspended matter concentration in water body on the spectral reflectivity of submersed plant *Hydrilla verticillata*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2870-2874.
- [19] Suo Z L. A review on the phylogenetics of *Cabombaceae*. *Chinese Bulletin of Botany*, 2006, 23(1): 87-97.
- [20] Ding B Y. *Cabomba Aublet.* (*Cabombaceae*), a newly naturalized genus of China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2000, 38(2): 198-200.
- [21] Madsen J D. Invasions and declines of submersed macrophytes in Lake George and other Adirondack lakes. *Lake and Reservoir Management*, 1994, 10(1): 19-23.
- [22] Mackey A P, Swarbrick J T. The biology of Australian weeds 32. *Cabomba caroliniana* Gray. *Plant Protection Quarterly*, 1997, 12(4): 154-165.
- [23] Gibbons M V, Gibbons H L Jr, Sytsma M D. A Citizen's Manual for Developing Integrated Aquatic Vegetation Management Plans. Olympia: Washington State Department of Ecology, 1994.
- [24] Hearne J S. The Panama Canal's aquatic plant problem. *Hyacinth Control Journal*, 1966, 5: 1-5.
- [25] Ding B Y, Yu M J, Jin X F, Yu J, Jiang W M, Dong K F. The distribution characteristics and invasive route of *Cabomba caroliniana* in China. *Biodiversity Science*, 2003, 11(3): 223-230.
- [26] Zhang X Y. On the estimation of biomass of submerged vegetation using Landsat thematic mapper (TM) imagery: a case study of the Honghu Lake, PR China. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(1): 11-20.
- [27] Gullström M, Lundén B, Bodin M, Kangwe J, Öhman M C, Mtolera M S P, Björk M. Assessment of changes in the seagrass-dominated submerged vegetation of tropical Chwaka Bay (Zanzibar) using satellite remote sensing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 67(3): 399-408.

参考文献:

- [1] 王卫红, 季民. 沉水植物川蔓藻的生态学特征及其对环境变化的响应. *海洋通报*, 2006, 25(3): 13-22.
- [3] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1447-1450.
- [4] 年跃刚, 宋英伟, 李英杰, 孙艳妮, 聂志丹. 富营养化浅水湖泊稳态转换理论与生态恢复探讨. *环境科学研究*, 2006, 19(1): 67-70.
- [9] 邬国锋, 刘耀林, 纪伟涛. 利用 Landsat 5 TM 影像估算沉水植物地上生物量的研究——以江西省鄱阳湖自然保护区为例. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2006, 31(11): 953-957.
- [15] 袁琳, 张利权. 大型沉水植物苦草的光谱特征识别. *生态学报*, 2006, 26(4): 1005-1011.
- [16] 袁琳, 张利权. 大型沉水植物狐尾藻不同盖度的光谱特征. *遥感学报*, 2007, 11(4): 609-616.
- [18] 刘华, 张利权, 袁琳. 水体悬浮物浓度对大型沉水植物黑藻反射光谱的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2870-2874.
- [19] 索志立. 水盾草科系统位置评述. *植物学通报*, 2006, 23(1): 87-97.
- [20] 丁炳扬. 中国水生植物一新归化属——水盾草属 (蕹菜科). *植物分类学报*, 2000, 38(2): 198-200.
- [25] 丁炳扬, 于明坚, 金孝锋, 俞健, 姜维梅, 董柯锋. 水盾草在中国的分布特点和入侵途径. *生物多样性*, 2003, 11(3): 223-230.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozhen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元