

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

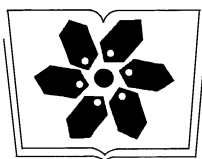
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



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 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张珞平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

野鸭湖典型湿地植物光谱特征

刘克, 赵文吉*, 郭逍宇, 胡德勇, 宫兆宁, 龙娟

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048;

2. 北京市城市环境过程与数字模拟重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 北京 100048;

3. 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048; 4. 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048)

摘要: 遥感技术已成为湿地植被识别和分类的重要手段, 而深入研究地面植物群落光谱特征对于利用遥感影像的湿地植被分类具有指导意义。以典型淡水湿地——野鸭湖湿地为实验区, 测定其典型湿地植物群落的反射光谱, 并重采样以模拟 OMIS 机载成像光谱仪红-近红外的 50 个波段。在此基础上应用二阶导数的方法得到湿地植物识别的 9 个最佳波段: 515.3, 553.1, 626.5, 687.5, 733.9, 810.6, 821.1, 833.0, 966.8nm。这些波段可以很好的识别湿地植物类型: 沉水植物在 810.6, 821.1, 833.0nm 存在独特的吸收/反射特征, 与其他湿地植物类型相区别。浮水、挺水、湿生、中生植物相比, 浮水植物在 515.3nm 的吸收特征和 553.1nm 的反射特征较为突出; 浮水、湿生、中生植物在 687.5nm 的吸收特征与挺水植物相比更为显著, 但挺水植物在 733.9nm 的反射特征尤为明显; 湿生植物在 626.5nm 的吸收特征比浮水、挺水、中生植物更加显著; 中生植物缺少在 626.5nm 的吸收特征, 但在 966.8nm 的吸收特征最为明显。研究成果不仅可以为野鸭湖湿地植被的高光谱遥感数据处理及湿地植被制图提供一定的科学依据, 而且可以为淡水湿地植被的遥感识别和分类提供一定的参考、借鉴。

关键词: 高光谱遥感; 光谱; 二阶导数; 淡水湿地; 最佳波段

Spectral bands of typical wetland vegetation in the Wild Duck Lake

LIU Ke, ZHAO Wenji*, GUO Xiaoyu, HU Deyong, GONG Zhaoning, LONG Juan

1 College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2 Urban Environmental Processes and Digital Modeling Laboratory, Beijing 100048, China

3 Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, MOST, Beijing 100048, China

4 Beijing Municipal Key Laboratory of Resources Environment and GIS, Beijing 100048, China

Abstract: Remote sensing has become a primary tool to identify and classify the wetland vegetation. Recently, more and more hyperspectral remote sensing is applied in wetland researches, in particular, for wetland vegetation classification. Moreover, the in-depth research on the ground spectral characteristics of wetland vegetation is very significant in classifying the remotely sensed images. The Wild Duck Lake, a typical freshwater wetland, was selected as the research area. The reflectance spectra were acquired for the typical wetland plant communities with an ASD FieldSpec HH spectrometer (350—1050 nm). Then, the reflectance spectra were re-sampled to emulate the band configuration of the airborne hyperspectral imagery (OMIS) across the visible to near infrared (NIR) wavelengths. Second-derivative analysis was applied to these transformed spectra in order to identify which spectral bands were the most biological explanative for the differentiation of wetland vegetation in the Wild Duck Lake. The research established seven distinct wavelength domains across the visible to NIR wavelengths that have importance for mapping wetland vegetation in the Wild Duck Lake. The six frequently occurring bands (presumably with enhanced differentiation power) were identified within six of seven spectral domains. Considering the unique spectral pattern of submergent plant species, three additional bands in Zone VI (810.6 nm, 821.1 nm, 833.0 nm) were identified having special significance. This research ultimately identified nine optimal spectral bands (515.3

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAH15B02); 国家自然科学基金(40901281)

收稿日期: 2010-03-07; **修订日期:** 2010-07-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhwenji1215@163.com

nm, 553.1 nm, 626.5 nm, 687.5 nm, 733.9 nm, 810.6 nm, 821.1 nm, 833.0 nm, 966.8 nm) that appeared to contain the majority of the wetland information content of the full spectral resolution, 50-band, hyperspectral signatures. The nine bands can be used to differentiate wetland vegetation types very well. Submergent vegetation had the unique absorption or reflection features at the band 810.6 nm, 821.1 nm, 833.0 nm, which was obviously different from other vegetation covers. The absorption feature at 515.3 nm and reflection feature at 553.1 nm of floating vegetation were more obvious compared with emergent plants, hygrophyte and mesophyte. Floating vegetation, hygrophyte and mesophyte demonstrated more distinct absorption feature at 687.5 nm than the emergent species, while emergent species displayed the clear absorption characteristic at 733.9 nm. Hygrophyte showed evidence of absorption at 626.5 nm. It was found that mesophyte lacked reflectance characteristic at 626.5 nm. However, it exhibited the strong absorption characteristic at 966.8 nm. The result would not only provide a scientific basis for hyperspectral remote sensing image processing and wetland vegetation mapping in the Wild Duck Lake, but also supply reference for identifying and classification of freshwater wetland vegetation applying remote sensing technology.

Key Words: hyperspectral remote sensing; spectra; second derivatives; freshwater wetland; optimal bands

湿地植物是湿地生态系统的重要组成部分,在湿地生态功能的发挥中起着关键性的作用^[1],因此成为湿地生态系统监测的重点。目前,遥感以其监测范围广、速度快、成本低等优势成为湿地植被监测的重要手段。湿地植被识别、分类是湿地植被监测的重要内容之一,许多学者利用各种中、高分辨率的多光谱遥感影像获取湿地植被分类数据来进行湿地植被监测和研究,并取得了较好的成果^[2-5]。然而,湿地植被具有较高的复杂性和不确定性^[6-7],传统的多光谱数据通常仅有少量的光谱通道(波段),且具有较低的光谱分辨率,因此难以进行更为精细化的湿地研究。随着高光谱技术的飞速发展,其所具有的光谱划分精细、数据丰富等独特性能,以及在地表物质的识别和分类、有用信息提取方面所具有的独特优势,使得这一技术在湿地科学中的应用逐渐增多,尤其是精细的湿地植被识别和分类方面^[8-12]。同时,一些学者也利用地面实测光谱,通过分析谱间差异进行湿地植物分类研究,对高光谱遥感影像的湿地植被分类起到了促进和指导作用。Hobbers 等采集了英格兰东海岸盐沼湿地植被和非植被地面光谱,利用主成份分析、双向指示种分析等方法对各种植被类型及非植被地物类型的可识别性进行了研究^[13];Zhang 等将改进的光谱混合分析方法应用于盐沼湿地植被的地面实测光谱,该方法可以放大种间光谱差异,降低种内光谱差异,对优势种的识别精度可达 90% 以上^[14];Schmidt 等使用便携式地物光谱仪测量了荷兰 27 种盐沼湿地植被的反射光谱,并利用统计检验法、连续统去除法分析了光谱间差异,最终选出了 6 个区分度最好的波段^[15]。然而,这些研究多集中于盐沼湿地植被光谱分类研究,目前针对淡水湿地植被光谱分类研究尚不多见。

本研究以典型的淡水湿地——野鸭湖湿地为实验区,在采集典型湿地植物群落反射光谱的基础上,利用光谱二阶导数的分析方法,在红-近红外波段范围内找出识别湿地植物的最佳波段,以期野鸭湖湿地植被的高光谱遥感影像处理及湿地植被制图提供科学依据,为淡水湿地植被的遥感识别和分类提供参考。

1 实验区概况

野鸭湖湿地位于北京市延庆县西南部的官厅水库上游(图 1),其地理位置为东经 115°47′—115°56′,北纬 40°22′—40°30′。该湿地于 1997 年批准成为县级自然保护区,2000 年晋升为市级自然保护区,目前保护区总面积 9000hm²,是北京市最大的湿地自然保护区,同时也是北京市首个湿地鸟类自然保护区。野鸭湖湿地地处北山隆起构造区的延庆、昌平活动断裂区,地貌类型属于堆积构造地貌类型,主要由妫水河的洪积冲积作用形成,地势平坦,土壤类型以褐土为主。野鸭湖湿地的地表水体主要属于官厅水库,为淡水湿地。气候类型属于大陆性季风气候,四季分明。春季干旱,夏季雨热同季,降雨多集中于 7、8、9 月份,年平均降水 500mm 左右;秋季天高气爽,冬季寒冷干燥。

在特殊的地质基础、土壤特性、气候特点和水环境等自然环境与植物群落经过长期的演替变化和相互作

用下,该区域生长了大面积湿地植被,形成以地理成分复杂,温带成分为主;种类多,生物多样性丰富;广布植物繁多为特点的湿地植物区系^[16],在北京乃至华北湿地中具有典型性和代表性^[17]。野鸭湖湿地植物在空间上表现为明显的梯度分布,随湖水的深度形成不同的植物群落,呈带状分布。湖心的水较深,在水底淤泥上分布有沉水植物带,典型植物有狐尾藻等;趋向湖岸的水较浅,生长浮水植物,如莲、浮萍等;在湖岸的浅水处,为挺水植物带,生长有芦苇、香蒲等。在野鸭湖湿地长期浸水区域或季节性水淹区域,分布着大量的湿生植物。湿生植物群落在野鸭湖地区类型最多、面积最大、分布最广,主要包含扁秆藨草群落、球穗莎草群落等。在季节性水体的上方,很少被水淹没,分布有牛鞭草等中生植物群落。

2 研究方法

2.1 光谱数据采集

测量仪器采用美国 ASD(Analytical Spectral Device)公司 FieldSpec® HandHeld 便携式手持光谱分析仪。光谱范围为 350—1050nm,光谱分辨率为 3.5nm,光谱采样间隔约 1.5nm,探头视场角度为 25°。于 2009 年 6 月底到 7 月初对野鸭湖典型湿地植物群落进行光谱采集,野外测量选择晴朗无风的天气,测量时间为 10:00—14:00,至多每 20min 利用白板进行 1 次优化。针对每种典型湿地植物群落设置均匀、有代表性的样点 3—4 个,将探头放置在样点垂直上方约 1.5m 处,每个样点一次保存 8—10 条光谱。

2.2 光谱数据处理

2.2.1 预处理

取每个样点采集光谱的平均值作为该样点的反射光谱,得到 32 条典型湿地植物群落反射光谱。根据不同植物类型将典型湿地植物群落划分为 5 类^[18](表 1)。将每种植物类型的典型湿地植物群落反射光谱进行平均作为该植物类型反射光谱。

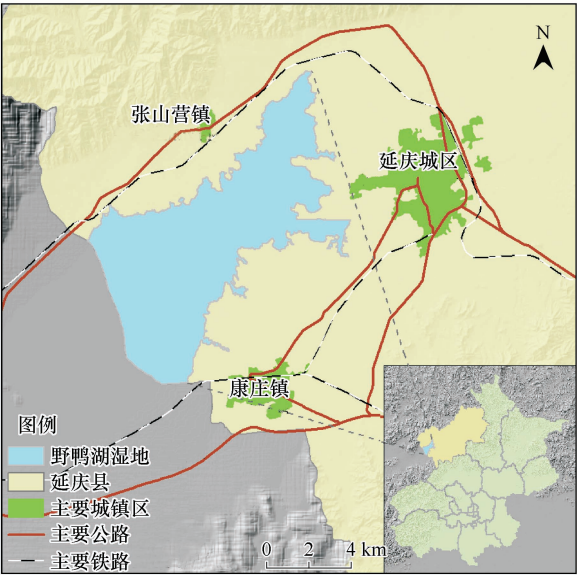


图 1 野鸭湖湿地地理位置示意图
Fig. 1 Location of the Wild Duck Lake

表 1 野鸭湖湿地植物类型及光谱数列表

Table 1 Wetland vegetation types and spectra numbers of the Wild Duck Lake		
植物类型 Vegetation types	典型湿地植物 Typical wetland vegetation	光谱数 Spectra number
沉水植物 Submergents	狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	3
	大茨藻 <i>Najas marina</i>	3
浮水植物 Floats	莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	4
挺水植物 Emergents	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	3
	香蒲 <i>Typha angustifolia</i>	4
湿生植物 Hygrophyte	扁秆藨草 <i>Scirpus planiculmis</i>	3
	球穗莎草 <i>Cyperus glomeratus</i>	3
	绵毛酸模叶蓼 <i>Polygonum apathifolium</i>	3
中生植物 Mesophyte	牛鞭草 <i>Hemarthria altissima</i>	3
	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	3

OMIS 是中国科学院研制的实用型模块化机载成像光谱仪,具有全波段连续的光谱覆盖以及较高的光谱

分辨率,在地质、农业、林业、海洋和城市等遥感领域有着广阔的应用前景^[19]。选择其 1000nm 之前(实测光谱 1000nm 之后的数据噪音较大,舍去,不参与后续分析)的 50 个波段,利用该仪器的光谱响应函数,分别将典型湿地植物群落的 32 条光谱和植物类型的 5 条光谱进行重采样以模拟该航空高光谱数据,植物类型的反射光谱曲线如图 2 所示。

2.2.2 光谱反射率二阶导数计算

光谱微分技术包括对反射光谱进行数学模拟和计算不同阶数的微分值以迅速确定光谱弯曲点及最小反射率的波长位置^[20]。二阶导数光谱相对于一阶导数光谱可以放大光谱更多的有效特征,并且对由于太阳角、云层覆盖、地形因素等引起的图像亮度的变化相对不敏感,对太阳光、天空光的光谱变化也几乎不敏感,对干扰信息放大的程度亦较低^[21]。因此,本研究将二阶导数的光谱分析技术应用于湿地植物的研究,以期能够选择湿地植物识别的最佳波段。一阶和二阶导数光谱的计算方法如公式(1)、公式(2)所示^[20,22]:

$$\rho'(\lambda_i) = \frac{\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})}{2\Delta\lambda} \quad (1)$$

$$\rho''(\lambda_i) = \frac{\rho'(\lambda_{i+1}) - \rho'(\lambda_{i-1})}{2\Delta\lambda} = \frac{\rho(\lambda_{i+1}) - 2\rho(\lambda_i) + \rho(\lambda_{i-1}))}{\Delta\lambda^2} \quad (2)$$

式中, λ_i 为每个波段的波长, $\rho'(\lambda_i)$ 、 $\rho''(\lambda_i)$ 分别为波长 λ_i 的一阶和二阶导数, $\Delta\lambda$ 为波长 λ_{i-1} 到 λ_i 的间隔。

二阶导数绝对值较大的波段预示着一个光谱曲线变化的关键点。当二阶导数为正的时候,表示这些波段处于反射光谱的吸收区域,也就是“凹形”的光谱曲线处;反之,当二阶导数为负的时候,代表该波段在反射光谱曲线上处于“凸形”的反射区域;二阶导数接近零值的时候,说明反射光谱曲线的曲率没有明显变化,或者反射光谱曲线稳步上升或下降。

3 结果与分析

3.1 典型湿地植物群落反射光谱的二阶导数计算结果分析

对典型湿地植物群落重采样后的 32 条光谱进行二阶导数运算,对每条光谱的二阶导数计算结果进行排序,选出 5 个正值最大的波段和 5 个负值最小(即绝对值最大)的波段,共 320 个极值。每条光谱二阶导数的 10 个极值所对应的波段均为湿地植物的潜在最佳波段。

对每条光谱二阶导数的 5 个正值和 5 个负值按照绝对值从大到小分别排名(1—5 名),然后对所有极值(320 个)按照其出现的波段进行统计,得到出现频率最高的排名及其频率(表 2)。按照表 2 所出现的空白(不存在极值的波段)对 50 个波段进行分区,分为 6 个谱带,由于谱带 IV 既包括可见光波段又包括近红外波段,且植被在这个波段范围内的反射率存在显著变化,因此按照可见光和近红外波段的界限将其进一步分为两部分,最终形成 7 个谱带(表 2)。

光谱微分可以增强光谱曲线在坡度上的细微变化,对植物来说,这种变化与植物的生物化学吸收特征有关^[23]。谱带 I 处于蓝-绿波段,反映了植物光合作用色素(叶绿素,类胡萝卜素)对蓝光和部分绿光的吸收特征^[24]。谱带 II 处于绿-黄波段,反映了叶绿素和类胡萝卜素对绿光、黄光的反射特征。谱带 III 处于橙-红波段,是植物胁迫的敏感波段。相对于在红波段的强吸收来说,叶绿素在该波段的吸收较弱,因此叶绿素含量的微小变化导致该波段范围内出现反射现象^[25],在 638.3nm 处即存在一处轻微反射。谱带 IV 处于红波段,反映了叶绿素对红光的强烈吸收。谱带 V—VII 均处于近红外波段,其中谱带 V 是反射率急剧增高的一个陡坡,反

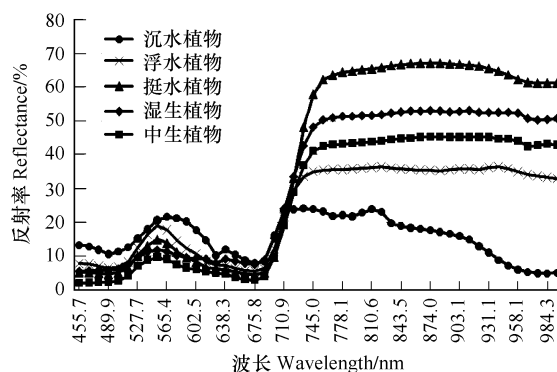


图2 野鸭湖湿地5种植物类型反射光谱曲线

Fig. 2 Reflect spectra of five wetland vegetation types in the Wild Duck Lake

映了植物叶子的多孔薄壁组织(海绵组织)对近红外波段的强烈反射^[24]。在该谱带中,由于水汽吸收,722nm附近出现吸收特征。由于大气中的氧气在 760nm 处很窄的强吸收,导致 760nm 附近存在吸收特征。虽然多数沉水植物在 833.0nm 有轻微的水汽吸收,但仍在谱带Ⅵ存在反射峰。谱带Ⅶ的吸收特征由大气中的水蒸气和植物体内水分决定^[26],这些吸收特征的存在抑制了在该谱带的反射率。

表 2 野鸭湖典型湿地植物群落潜在最佳波段及谱带划分列表

Table 2 Potential optimal bands and wavelength zones of typical wetland vegetation communities in the Wild Duck Lake							
中心波长*/nm Band center	频率最高的排名 Magnitude tier	频率 Frequency	谱带 Spectral zone	中心波长*/nm Band center	频率最高的排名 Magnitude tier	频率 Frequency	谱带 Spectral zone
455.7				756.0	3	8	V
465.0	—	—		767.1	3	6	V
477.3	—	—		778.1	3	5	V
489.9	5	1	I	789.2	5	1	V
502.8	5	1	I	799.9	—	—	
515.3	5	6	I	810.6	5	3	Ⅵ
527.7	—	—		821.1	5	3	Ⅵ
540.5	—	—		833.0	4	3	Ⅵ
553.1	4	10	Ⅱ	843.5	—	—	
565.4	5	8	Ⅱ	853.7	—	—	
577.7	5	1	Ⅱ	863.9	—	—	
590.0	5	1	Ⅱ	874.0	—	—	
602.5	—	—		883.9	—	—	
614.5	4	1	Ⅲ	893.7	—	—	
626.5	2	9	Ⅲ	903.1	—	—	
638.3	3	3	Ⅲ	912.6	—	—	
652.0	—	—		922.0	4	2	Ⅶ
663.9	—	—		931.1	4	3	Ⅶ
675.8	5	6	Ⅳ	940.2	4	3	Ⅶ
687.5	1	18	Ⅳ	949.2	5	2	Ⅶ
699.2	1	10	Ⅳ	958.1	4	4	Ⅶ
710.9	1	9	V	966.8	4	7	Ⅶ
722.5	4	11	V	975.1	5	3	Ⅶ
733.9	2	19	V	984.3	4	2	Ⅶ
745.0	1	11	V	993.4			

* 参考 OMIS 波段设置

从各排名出现的波段看,排名第 1 出现频率最高的波段仅有 4 个,分别为 687.5nm,699.2nm,710.9nm,745.0nm,集中出现在谱带Ⅳ、Ⅴ。排名第 2 出现频率最高的波段有 2 个,出现在谱带Ⅲ、Ⅴ。排名第 3 出现频率最高的波段有 4 个,出现在谱带Ⅲ、Ⅴ。排名第 4 出现频率最高的波段有 10 个,出现在谱带Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ。排名第 5 出现频率最高的波段有 11 个,出现在谱带Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ。

从各排名出现的频率看,有 15 个波段大于 4 次,分布在谱带Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅶ。在这 6 个谱带中,每个谱带出现频率最高的波段最能反映植物的特性,可以作为野鸭湖湿地植物的最佳波段(515.3nm,553.1nm,626.5nm,687.5nm,733.9nm,966.8nm)(图 3)。

3.2 植物类型反射光谱的二阶导数计算结果分析

对植物类型重采样后的 5 条光谱进行二阶导数计算(图 4)。从二阶导数随波长的变化趋势上看,浮水、挺水、湿生和中生植物相似,而沉水植物与其他 4 种植物类型均不相同。首先对浮水、挺水、湿生和中生植物的计算结果进行分析。为了更好的说明二阶导数的变化情况,在这里引入峰度的概念。二阶导数绝对值的大

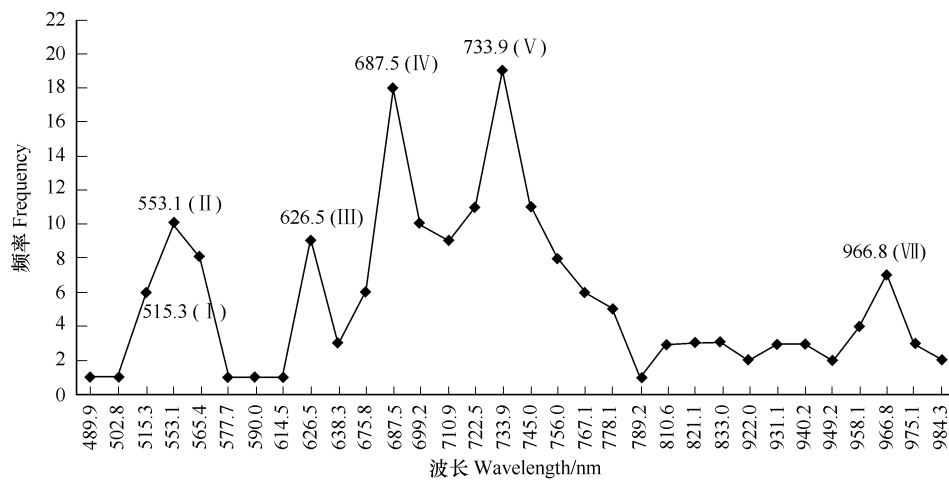


图3 野鸭湖典型湿地植物群落反射光谱二阶导数极值出现频率最高排名的频率分布图

Fig.3 Frequency of large-magnitude 2nd-derivative occurrences of 32 reflect spectra

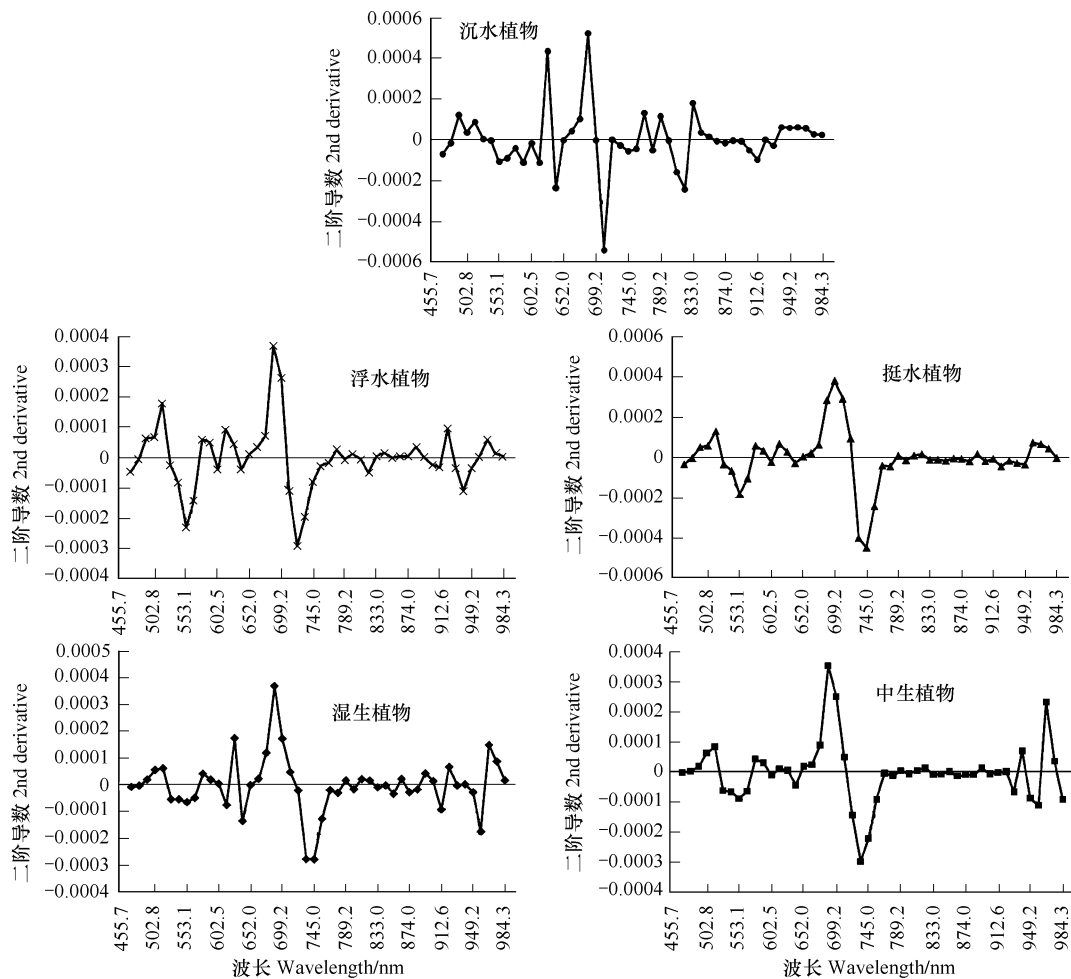


图4 野鸭湖湿地5种植物类型二阶导数图

Fig.4 2nd derivation of 5 wetland vegetation types in the Wild Duck Lake

小代表光谱曲线的吸收/反射的尖锐程度,即峰度。二阶导数绝对值越大说明光谱曲线的吸收/反射为尖顶峰度,相反,越小则为平顶峰度。4种植物类型均存在蓝-绿波段吸收特征(515.3nm),其中浮水植物的吸收特征

最为明显。4种植物类型均存在明显的绿波段反射特征(553.1nm),但是浮水和挺水植物表现为尖顶峰度,且浮水植物更为显著,而其他两种植物类型表现为平顶峰度。浮水、挺水、湿生和中生植物的红波段吸收特征(687.5,699.2nm)和近红外波段反射特征(710.9—756.0nm)明显。但是挺水植物在红波段的吸收中心与浮水、湿生、中生植物不同,挺水植物红波段的吸收中心为699.2nm,而浮水、湿生、中生植物为687.5nm,且在该波段的吸收特征较挺水植物明显。挺水植物在733.9、745.0nm的反射特征最为突出;湿生植物在626.5nm的吸收特征比浮水、挺水和中生植物更为显著;在966.8nm的吸收特征以中生植物最为明显。

沉水植物除了存在515.3nm的吸收特征和553.1nm的反射特征外,具有独特特征:在红波段存在两个吸收区,吸收中心分别为626.5,687.5nm;在近红外波段的反射区中心为710.9nm。由于水的影响,在833.0nm附近存在一个小的吸收区。

按照3.1节的数据处理方法,对典型湿地植物群落反射光谱二阶导数的极值按植物类型进行统计,最终得到每种植物类型出现频率最高排名的频率分布图(图5)。很明显,沉水植物相对于其他几种植物类型来说,增加了810.6,821.1,833.0nm这3个特征波段,而中生植物缺少626.5nm这个特征波段。

虽然波段810.6,821.1,833.0nm在所有湿地植物群落的最佳波段统计中并不占优,但是它们对于沉水植物却是重要的特征波段。因此,综合考虑典型湿地植物群落反射光谱的分析中得到的6个最佳波段,最终选出了9个最佳波段:515.3,553.1,626.5,687.5,733.9,810.6,821.1,833.0,966.8nm。

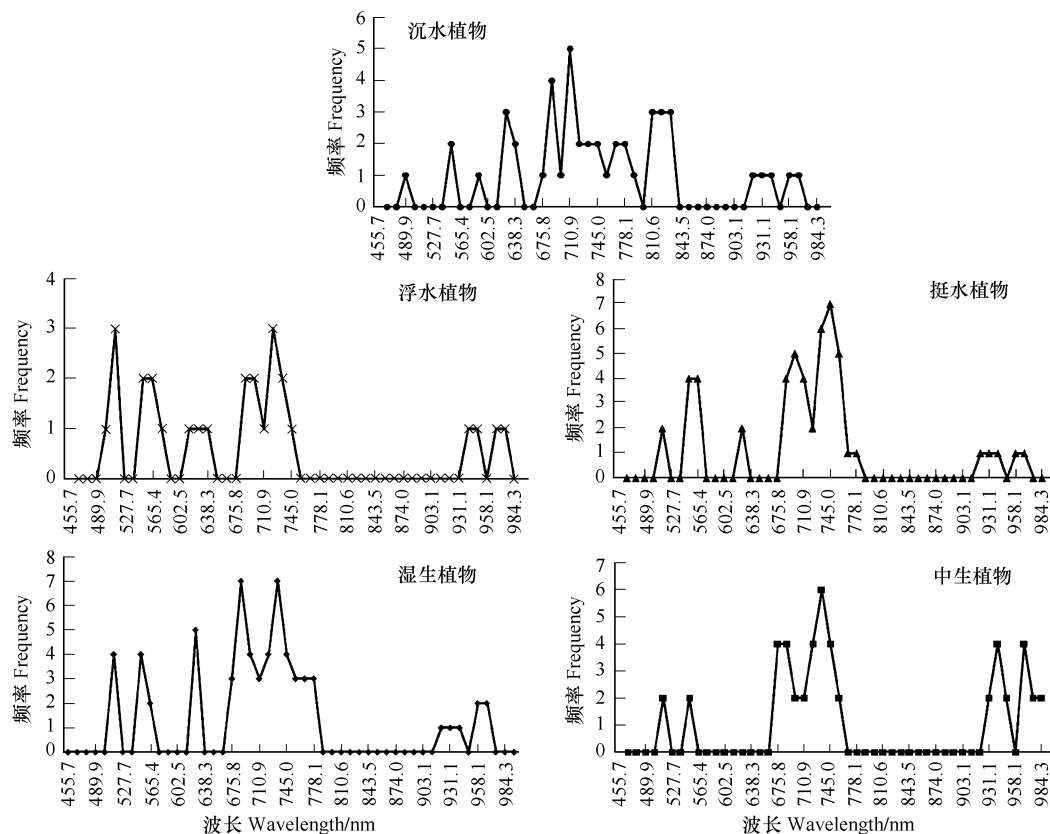


图5 野鸭湖湿地5种植物类型二阶导数极值出现频率最高排名的频率分布图

Fig. 5 large-magnitude 2nd-derivative occurrences of reflect spectra in different wetland vegetation types

4 结论与讨论

许多关于植物群落光谱特征的研究表明通过选择最佳波段进行植被研究具有现实可行性^[27-28]。除了应用于农作物、森林外,本研究表明最佳波段也可用于淡水湿地植被研究。经总结发现,这些相关研究所得到的最佳波段具有一定的相似性,说明一些关键波段在植被研究中具有普遍适用性;而差别则说明植物反射光谱

存在物种水平上的差异^[29],不同研究对象的最佳波段有所不同。

本研究的 5 种植物类型中,沉水植物的光谱反射率由于受到水体和水中悬浮物等因素的影响,其反射光谱特征较为独特。其他 4 种植物类型的反射光谱相似,但是由于不同植物类型的植物形态、体内水分含量、叶绿素含量等方面不同,因而也呈现了出不同的反射光谱特征^[30],并且通过光谱二阶导数的方法可以放大这些差异,是选择最佳波段的有效手段之一。

植被的分布与其生境条件有密切关系,植被种类可以作为生境条件的反应或指示^[31]。野鸭湖湿地植物的分布、生存和演替主要受控于水盐等生境条件^[17]。本文的研究对象正是不同生境下的湿地植物光谱特征。利用湿地光谱特征进行湿地植被制图,进而获取湿地生境信息,对于湿地植物群落演替等研究具有潜在的应用价值。

本研究应用光谱二阶导数的方法,在红-近红外波段建立了 7 个具有植物生化意义的谱带。根据反射光谱二阶导数极值出现频率分别从谱带 I、II、III、IV、V、VII 中挑选出 1 个特征波段,得到湿地植物的 6 个最佳波段。在综合考虑沉水植物出现的 3 个特征波段(810.6,821.1,833.0nm)的基础上,将原来的 6 个最佳波段扩充为 9 个,即将谱带 VI 中的波段增加为最佳波段,最终得到了 9 个最佳波段:515.3,553.1,626.5,687.5,733.9,810.6,821.1,833.0,966.8nm。

5 种湿地植物类型在这 9 个波段的差异明显。沉水植物在 810.6,821.1,833.0nm 的吸收/反射特征独特,与其他 4 种湿地植物类型相区别。其余 4 种植物类型相比,浮水植物在 515.3nm 的吸收特征和 553.1nm 的反射特征最为突出;浮水、湿生、中生植物在 687.5nm 的吸收特征均比挺水植物显著,而挺水植物在 733.9nm 的反射特征尤为明显;湿生植物在 626.5nm 的吸收特征比浮水、挺水、中生植物更加显著;中生植物缺少在 626.5nm 的吸收特征,但在 966.8nm 的吸收特征最为明显。研究成果不仅可以为野鸭湖湿地植被的高光谱遥感数据处理及湿地植被制图提供有力的科学依据,为淡水湿地植被的遥感识别和分类提供一定的借鉴。

本研究仅应用 6 月底到 7 月初的光谱数据选择的最佳波段,这些最佳波段是否适用于整个生长季的湿地植物分类有待进一步验证。

References:

- [1] Marion L, Paillison J M. A mass balance assessment of the contribution of floating-leaved macrophytes in nutrient stocks in an eutrophic macrophyte-dominated lake. *Aquatic Botany*, 2003, 75(3): 249-260.
- [2] Wright C, Gallant A. Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 107(4): 582-605.
- [3] 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.
- [4] Laba M, Blair B, Downs R, Monger B, Philpot W, Smith S, Sullivan P, Baveye P C. Use of textural measurements to map invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve with IKONOS satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(4): 876-886.
- [5] Laba M, Downs R, Smith S, Welsh S, Chuck N, White S, Richmond M, Philpot W, Baveye P. Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using quickbird satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(1): 286-300.
- [6] Zhou D M, Gong H L, Hu J M, Wu F L. Application of satellite remote sensing technology to wetland research. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(6): 577-583.
- [7] Hestir E L, Khanna S, Andrew M E, Santos M, 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.
- [8] Wang C, Menenti M, Stoll M P, Belluco E, Marani M. Mapping mixed vegetation communities in salt marshes using airborne spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 107(4): 559-570.
- [9] Lawrence R L, Wood S D, Sheley R L. Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (randomForest). *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100(3): 356-362.
- [10] Jollineau M Y, Howarth P J. Mapping an inland wetland complex using hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29

- (12): 3609-3631.
- [11] Hamada Y, Stow D A, Coulter L L, Jafolla J C, Hendricks L W. Detecting Tamarisk species (*Tamarix* spp.) in riparian habitats of Southern California using high spatial resolution hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 109(2): 237-248.
- [12] Tong Q X, Zheng L F, Wang J N, Wang X J, Dong W D, Hu Y M, Dang S X. Study on imaging spectrometer remote sensing information for wetland vegetation. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(1): 50-57.
- [13] Hobbs A J, Shennan I. Remote sensing of salt marsh reclamation in the Wash, England. *Journal of Coastal Research*, 1986, 2(2): 181-198.
- [14] Zhang M, Pinzon J E, Ustin S L, Rejmankova E. Differentiating salt marsh species using foreground/background analysis. // *ERIM 2nd Ann. Airborne Remote Sensing Conference*, 1996, 1:83-92.
- [15] Schmidt K S, Skidmore A K. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(1): 92-108.
- [16] Wang B J, Hu D, Liu X Y, Chen W. Studies on the flora of the Beijing Yeyahu wetland. *Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition*, 2004, 25: 53-54.
- [17] Gong Z N, Zhao W J, Hu D. Wetland plant community succession characteristic and pattern to the environmental gradient of soil moisture and salinity in Wild Duck Lake wetland nature reserve. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(11): 1272-1280.
- [18] He S Y, Xing Q H, Yin Z T. *Flora of Beijing*. Beijing: Beijing Publishing House, 1992: 711-1455.
- [19] Liu Y N, Xue Y Q, Wang J Y, Shen M M. Operational modular imaging spectrometer. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2002, 21(1): 9-13.
- [20] Pu R L, Gong P. *Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 81-97.
- [21] Demetriades-Shah T H, Steven M D, Clark J A. High resolution derivative spectra in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1990, 33(1): 55-64.
- [22] Wu C S, Xiang Y Q, Zheng L F, Tong Q X. Estimating chlorophyll density of crop canopies by using hyperspectral data. *Journal of Remote Sensing*, 2000, 4(3): 228-232.
- [23] Johnson L F, Bilow C R. Spectrometric estimation of total nitrogen concentration in Douglas-fir foliage. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(3): 489-500.
- [24] Wan Y Q, Tan K L, Zhou R P. *Hyperspectral Remote Sensing Applications Research*. Beijing: Science Press, 2006: 132-171.
- [25] Carter G A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. *American Journal of Botany*, 1993, 80(3): 239-243.
- [26] Goetz A F H, Curtiss B. Hyperspectral imaging of the earth: Remote analytical chemistry in an uncontrolled environment. *Field Analytical Chemistry & Technology*, 1996, 1(2): 67-76.
- [27] Thenkabail P S, Smith R B, DePauw E. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing and Environment*, 2000, 71(2): 158-182.
- [28] Carter G A. Reflectance bands and indices for remote estimation of photosynthesis and stomatal conductance in pine canopies. *Remote Sensing and Environment*, 1998, 63(1): 61-72.
- [29] Cochrane M A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(10): 2075-2087.
- [30] Skidmore A K, Forbes G W, Carpenter D J. Non-parametric test of overlap in multispectral classification. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9(4): 777-785.
- [31] Ellenberg H, Weber H E, Düll R, Wirth V, Werner W, Paulßen D. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. *Scripta Geobotanica*, 1991, 18, 1-248.

参考文献:

- [6] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 吴丰林. 中国湿地卫星遥感的应用研究. *遥感技术与应用*, 2006, 21(6): 577-583.
- [12] 童庆禧, 郑兰芬, 王晋年, 王向军, 董卫东, 胡远满, 党顺行. 湿地植被成像光谱遥感研究. *遥感学报*, 1997, 1(1): 50-57.
- [16] 王宝娟, 胡东, 刘晓燕, 陈卫. 北京市野鸭湖湿地植物区系分析. *首都师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 25(专集): 53-54.
- [17] 宫兆宁, 赵文吉, 胡东. 水盐环境梯度下野鸭湖湿地植物群落特征及其生态演替模式. *自然科学进展*, 2009, 19(11): 1272-1280.
- [18] 贺士元, 邢其华, 尹祖棠. *北京植物志*. 北京: 北京出版社, 1992: 711-1455.
- [19] 刘银年, 薛永祺, 王建宇, 沈鸣明. 实用型模块化成像光谱仪. *红外与毫米波学报*, 2002, 21(1): 9-13.
- [20] 浦瑞良, 宫鹏. *高光谱遥感及其应用*. 北京: 高等教育出版社, 2000: 81-97.
- [22] 吴长山, 项月琴, 郑兰芬, 童庆禧. 利用高光谱数据对作物群体叶绿素密度估算的研究. *遥感学报*, 2000, 4(3): 228-232.
- [24] 万余庆, 谭克龙, 周日平. *高光谱遥感应用研究*. 北京: 科学出版社, 2006: 132-171.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

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