ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

自念章武员 Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 2011

中国生态学学会 主办 中国科学院生态环境研究中心 *科 译 出 版 社* 出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第31卷第6期 2011年3月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响 郑飞翔,王效科,侯培强,等(1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响
王雨,祝贵兵,王朝旭,等(1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响 邵 璞,曾晓东(1494)
模拟升温和放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响
王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等(1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性 莫 丹,管东生,黄康有,等(1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响 涂利华,胡庭兴,张 健,等(1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响 李 强,丁武泉,朱启红,等(1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应 祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响 张晓鹏,潘开文,王进闯,等(1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响 丁金枝,来利明,赵学春,等(1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素 孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响
······ 李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响 韩占江,于振文,王 东,等(1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力
北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布 贺学礼,陈 程,何 博(1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例
朱志芳,龚固堂,陈俊华,等(1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率 王明玉,舒立福,宋光辉,等(1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征 张 涛,庄 平,章龙珍,等(1687)
骨顶鸡等游禽对不同人为干扰的行为响应 张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹎体重、器官重量和能量代谢的影响 倪小英,林 琳,周菲菲,等(1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质 叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等(1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性 袁成明,郅军锐,曹 宇,等(1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究 高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果 张昌爱,刘 英,曹 曼,等(1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响 赵树兰,廉 菲,多立安(1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性
专论与综述
景观遗传学:概念与方法 薛亚东,李 丽,吴巩胜,等(1756)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q*1981*m*16*284*zh*P* ¥70.00*1510*31*2011-03

封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中 哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

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

植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力

孙 林*,程丽娟

(山东科技大学测绘科学与工程学院,山东青岛 266510)

摘要:应用 LOPEX'93(Leaf Optical Properties Experiment)数据,分析了统计回归模型在进行植被叶绿素和水分反演中抗土壤背 景影响的能力,模型参数分别使用了:反射率及其变化形式、光谱位置变量、植被指数。在 LOPEX'93 数据库的植被波谱中分别 加入 10% —90% 的实测土壤光谱信息,得到植被与土壤的混合光谱,并分析混合光谱对植被生化组分的响应。结果表明:应用 反射率及其变化形式进行植被叶绿素反演时,以 730nm 和 400nm 组合的反射率和反射率倒数的对数为参数的模型具有最高的 抗土壤背景能力,在土壤背景所占比例从低到高的变化过程中,以二者反射率组合为参数的模型与叶绿素的相关系数,始终保 持在 0.645 附近,以二者反射率倒数的对数为参数的模型与植被叶绿素的相关系数保持在 0.650 附近;应用反射率及其变化形 式进行植被含水量反演时,以 1100,1170,1000,1040,1080nm 组合的反射率为参数的模型以及以 1170,960,1210,1090,1080, 950,1220,1210nm 反射率倒数的对数组合为参数的模型具有较高的稳定性,在土壤组分变化的过程中,以上模型与植被含水量 的相关系数均稳定的高于 0.99;对于光谱位置变量的分析中,以红边-绿峰-红谷组合的模型与植被叶绿素含量具有较高、而且 稳定的相关系数,在土壤背景所占比例变化的情况下,相关系数稳定在 0.53 附近;在应用植被指数进行叶绿素的反演过程中, 植被指数与叶绿素的相关系数在土壤背景所占比例变化的情况下变化较大,抗土壤背景的能力均较差;在应用植被指数进行植 被水分含量的反演时,以水分指数 Ratio975 和 Ratio1200 相关系数最高,且在不同比例土壤背景变化下稳定,相关系数分别分布 在 0.980 附近和 0.960 附近。该结果可用于指导不同植被覆盖条件下植被冠层参数的反演,提高反演的稳定性和准确性。 关键词;生化组分;定量遥感;模型变量;抗土壤背景能力

Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model

SUN Lin*, CHENG Lijuan

Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China

Abstract: The main biochemical components of vegetations, such as chlorophyll and water, are directly involved in the major ecological processes and function of terrestrial ecosystem. Remote sensing of vegetation biochemical components may have important applications in the fields of agriculture and forestry. Many nonlinear or linear models have been developed for quantitatively retrieving vegetation biochemical components from satellite remotely sensed data. But it is often difficult to retrieve the biochemical components with satisfied accuracy, especially in sparsely vegetated areas because of the influence of the soil background. To select the better models that can resistance soil influence, in this paper, LOPEX'93 (Leaf Optical Properties Experiment) dataset was used to analyze the anti-soil capacity of the spectral models in retrieving the vegetation chlorophyll and water content. The parameters used in the model include reflectance and its variants, spectral position variables and vegetation indices. The correlation coefficient between the vegetation biochemical component and the mixed spectra, which were produced by weighting vegetation spectra and the soil spectra with area ratio, has been analyzed. The results show that the models composed of the spectral parameters of the reflectance and its variants to inverse vegetation chlorophyll, the reflectance and the logarithm of reciprocal reflectance of 730 nm and 400 nm combination can keep a high correlation coefficient while the area ratio of soil component changes from 10 percent to 90 percent, the correlation

基金项目:国家"863"计划项目(2009AA12Z147);国家科技支撑计划项目(2008BAC34B03);国家自然科学基资助金项目(40701112)

收稿日期:2010-11-04; 修订日期:2011-01-12

^{*} 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunlin6@126.com

coefficient between the reflectance and chlorophyll was around 0.645, and the correlation coefficient between the logarithm of reciprocal reflectance and chlorophyll was 0.650. To inverse water content, the combination of 1100 nm, 1170 nm, 1000 nm, 1040 nm, 1080 nm reflectance, and the combination of 1170 nm, 960 nm, 1210 nm, 1090 nm, 1080 nm, 950 nm, 1220 nm, 1210 nm logarithm of reciprocal reflectance show a strong anti-soil capacity, the correlation coefficients between the two models and water content were all larger than 0.99. In the models composed of the spectral parameters of the spectral position variables, the parameter of red edge-green peak-red valley was selected as the strongest Anti-soil capacity parameter, the correlation coefficients were distributed around 0.530. In the models composed of the vegetation index to retrieve vegetation chlorophyll, the anti-soil capacity was poor but when the model is used to retrieve vegetation water content the correlation is stable though the soil area ratio is changable and the correlation coefficients are as high as 0.980 and 0.960 at the two typical water indices of Ratio 975 and Ratio1200, respectively. These conclusions can be used to guide the vegetation biochemical component inversion for sparsely vegetated regions.

Key Words: biochemical component; quantitative remote sensing; model parameters; anti-soil capacity

植物体内所含有的叶绿素、水分、碳、氮等微量元素以及纤维素、木质素等统称为植被生化组分。植被生 化组分直接或间接的影响植被健康生长,如叶绿素是光合作用的媒介[1],叶水是光合作用和蒸腾作用的介 质,碳是全球碳循环的主要驱动因子之一。随着遥感技术的发展,应用高光谱遥感影像不仅可以获取连续的 地物光谱曲线,更为大覆盖范围内获取植被生化参数提供了可能^[2],方便了实时、快速的植被监测^[3-4]。在实 际分析的过程中,叶片层次建立的遥感反演模型应用于遥感影像的冠层层次时,受到了土壤背景的干扰,使得 模型反演结果的准确性与稳定性降低[5]。目前应用物理模型进行植被生化参数反演时,在模型的假设范围 内能够获得稳定的结果,但由于模型算法的复杂性和对植被冠层和叶片假设的不完全性,反演精度往往不 高[6]。统计分析方法是植被生化参数反演中最为广泛使用的方法,应用反射率及其变化形式、光谱位置变量 和植被指数等参数在叶片层次能够获得满意的模型反演结果。如施润和等应用连续统去除方法和波段深度 的方法分析了碳氮浓度差异造成的植被叶片波形变化,并通过相关分析和回归分析验证了相对反射率光谱与 碳氮比之间的定量关系,相关系数达到0.8以上^[7];冯伟等分析了红边参数与植被叶片叶绿素与氮含量的关 系,指出红边位置可以较好的表达叶片氮含量的动态变化,红蓝边面积比建立的叶片氮积累量监测模型效果 较好,且模型相关系数分别为0.854,0.803^[8];董晶晶等分析了叶片含水量与植被指数的关系,指出以975nm 和1200nm 为中心构造的 Ratio975 和 Ratio1200 与 EWT (Equivalent Water Thickness) 之间高度线性相关^[9]。 但应用于冠层层次时,由于受到土壤背景的干扰,用以上参数反演植被生化组分带有更多的不确定性。如 Dawson 等 指出应用统计分析方法建立反射率及其变化形式与植被冠层含水量的相关时,当植被覆盖度低 时,冠层水分含量与曲线拟合变量之间的相关性弱^[10];颜春燕等在利用光谱指数进行植被冠层叶绿素含量提 取时,指出:植被生长早期,土壤反射率主导了遥感的观测数据,必须对土壤影响加以考虑以最小化土壤背景 对叶绿素的影响^[11]。为分析各参数在冠层层次上抗土壤背景的能力,本文应用 LOPEX'93 (Leaf Optical Properties Experiment)数据,分别应用反射率及其变化形式、光谱位置变量、植被指数,借助统计回归分析方 法,分析了在叶片层次能够获得较高精度的各个方法在进行植被叶绿素和水分反演中抗土壤背景影响的能 力,用于冠层植被生化参数反演参考,提高反演的稳定性和准确性。

1 数据与分析方法

1.1 LOPEX'93 数据集

LOPEX'93 数据集是 1993 年由位于意大利的 Ispra 的联合研究中心(JRC)开展的两次旨在研究高光谱数 据反演植物理化参数可行性和精度的实验数据集。该试验对多达 50 种类型的 75 片植物叶片进行了同步的 光谱观测和理化参数测定,包括4 种裸子植物、9 种单子叶植物和 37 种双子叶植物。

1.2 模型变量选择

基于 LOPEX'93 数据集分析统计分析模型抗土壤背景能力,统计分析方法中选用的自变量包括:反射率 及其变化形式,光谱位置变量,光谱指数变量。其中,反射率及其变化形式主要包括反射率、导数光谱、连续统 去除光谱和波段深度、反射率倒数的对数、反射率倒数的一阶导数。光谱位置变量主要包括红边参数、绿峰参 数、红谷参数等。而光谱指数是植被反射波谱不同波段的组合,可以反映特定波段位置的植被信息。

(1)反射率及其变化形式

植被反射率是植被生化组分综合作用的结果,叶绿素对绿光波段的反射和红蓝光波段的吸收,使得植被 在绿光附近产生小的反射峰,在蓝光和红光波段产生低谷;叶绿素在红光波段的吸收和植被细胞结构造成的 近红外波段的强反射,使植被波谱在680—750nm之间出现陡坡。植被水分的吸收主要集中在近红外波段和 短波红外波段,如960,1400,1900,2700nm都是水分的强吸收带。因此,反射率在不同波段的变化可以反映 植被的生化参数信息。

导数光谱是对植被反射光谱的差分。可以通过拉格朗日三点数值差分公式求算^[12]。一阶差分的具体计 算过程如下:对于已知函数*f*(*x*),*x*=0,1,2,…,*n*-1,自变量步长为*h*,在本计算中步长即是相邻波长的间隔。 其一阶导数计算公式为:

$$f'(x) = \begin{cases} \frac{1}{2h}(-3f(0) + 4f(1) - f(2)) & x = 0\\ \frac{1}{2h}(-f(x-1) + f(x+1)) & 0 < x < n-1\\ \frac{1}{2h}(f(n-3) - 4f(n-2) + 3f(n-1)) & x = n-1 \end{cases}$$

二阶微分就是在一阶微分的基础上再求导。导数光谱可以去除部分线性或接近线性的吸纳性背景的影响^[13],揭示植被光谱峰值的内在特性,反应生化物质的吸收产生的波形变化^[14],且具有一定的抗土壤背景影响的能力。

连续统去除光谱和波段深度的计算是通过计算包围在反射曲线外的凸壳(连续统)来实现的。具体计算 过程可以通过计算植被反射光谱的极大值点,并取外角大于180°的点的连线来实现。连续统去除光谱能够 从一个共同的基线比较植被特征,相当于去除了植被生化组分中特定化学键对植被波谱的贡献^[15],在应用于 不同的植被类型时,可以获得较好的模拟结果^[16]。且该方法放大了植被波谱中的吸收特征,在一定程度上增 加了吸收系数。波段深度是1与连续统去除波谱的差值,差值改变了植被波谱的形状,相当于对连续统去除 波谱取反后的一个平移。

反射率倒数的对数是对植被反射光谱的直接数学变换,即先求反射率的倒数,然后取对数。反射率倒数的一阶导数是对反射率取倒数的基础上进行一阶导数的计算,导数的计算能够突出植被波形的变化。反射率倒数的对数(即:log(1/R))、反射率倒数的一阶导数(即对1/R进行一阶微分),都可以很好的反映不同生化组分的吸收特征,对叶片含水量敏感^[16]。

(2) 光谱位置变量

光谱位置变量是指植被光谱的特殊位置。常用的光谱位置变量^[17],包括:红边参数、绿峰参数、红谷参数,如红边振幅、红边位置、绿峰高度、红谷深度等。'红边'是最常用的光谱位置变量,是植被光谱中680—750nm之间的拐点,伴随着叶绿素含量的增加与减少,红边会出现'红移'和'蓝移'现象。绿峰是由于植被在绿光波段对叶绿素的反射而造成的一个小的反射峰,红谷是由于叶绿素对红光的吸收而造成的吸收谷。红边、绿峰、红谷是植被波谱中由于叶绿素的作用而形成的特殊位置。它们各自的波长和反射率反映了植被叶绿素的含量。在冠层层次,遥感影像的像元通常不再是纯植被像元,反射率是植被信息与背景信息综合的结果。此时光谱位置变量对植被信息的表达会随着土壤背景的影响而变化,王小平等指出植被密度大、土壤影响小时,红边幅值和面积相应增大且表现明显^[18]。

(3)光谱指数变量

光谱指数是植被波谱中不同波段的组合,这些指数应用了植被波谱特殊位置或生化组分的吸收特征^[19],如 RVI(Ratio vegetation index, R_{677}/R_{774}), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, $(R_{774}-R_{677})/(R_{774}+R_{677})$),它们考虑了近红外反射平台的强反射与红波段强吸收的差异,没有考虑背景噪声的影响^[20];或使用了不同的参比波段^[21],如植被指数 WI(Water Index, R_{900}/R_{970} , R_{950}/R_{900}),其中 900nm 为参比波段,970nm, 950nm 分别为水分的吸收带,因此可以反映不同的生化组分信息。有些植被指数通过加入调整土壤或大气等影响的因子,发展成为一种对外界影响适应性较强的综合指数^[22-23],如土壤调整植被指数 SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index, $(1 + L) \times (R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + L)$),抗大气植被指数 ARVI(Atmospherically resistant vegetation index, $(R_{NIR} - R_{RB})/(R_{NIR}^* + R_{RB}^*)$)。植被光谱指数与植被中叶绿素、水含量等参数密切相关,可以反映植被的生化组分含量,经常被用于植被生化组分的遥感反演中。

1.3 分析方法

实际分析过程中,在 64 个鲜叶样本中随机取 50 个样本建模,14 个样本验证,样本统计特征见表 1,并要 求分析中显著性概率 P<0.05。构建常用的统计分析变量,主要有反射率、反射率倒数的对数、反射率倒数的 一阶导数、反射率的一阶导数和二阶导数、连续统去除光谱和波段深度;光谱位置变量主要选取了红边-绿峰-红谷、红谷深度、绿峰高度等变量;对于植被指数^[24-27],叶绿素的分析中选取了 Carter2(Carter Indices2),ND (Normalized Difference),CTVI(Corrected Transformed Vegetation Index),ZM(Zarco-Tejada & Miller),TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index),MND(Modified Normalized Difference),LCI(Leaf Chlorophyll Index);水 分的分析中选取了 WI2(Water Index 2),NDWI(Normalized Difference Water Index),WI1(Water Index 1),II (In-frared Index),Ratio1200,Ratio975,这些指数在应用纯植被光谱进行叶绿素和水分的回归分析时,相关系 数均达到 0.6 以上。

为分析统计模型在冠层层次抗土壤背景影响的能力,应用混合像元的线性模型,在 LOPEX'93 数据库的 植被波谱中分别加入 10%—90% 的实测土壤光谱信息,得到植被与土壤的混合光谱,并分析混合光谱对植被 生化组分的响应。预测结果的稳定性验证中,取相关系数较高、抗土壤背景能力稳定(相关系数变化趋势稳 定)与不稳定两种情况的变量类型进行。

Table 1 B	Table 1 Statistical attributes of mouthing samples and variation samples of LOTEX 75 dataset				
样本	统计特征	叶绿素	水分		
Sample	Statistical characteristics	Chlorophyll/(mg/g)	Water content/ (g/cm^2)		
建模样本 Modeling sample	最大值	0.305	0.001941		
	最小值	3.615	0.035644		
	平均值	1.903	0.010968		
验证样本 Validation sample	最大值	0.007	0.00462		
	最小值	4.775	0.024595		
	平均值	1.776	0.010460		

	表1	LOPEX'93 数据建模样本与验证样本统计特征
Table 1	Statistical attribu	utes of modeling complex and validation complex of LODEV/02 datase

2 土壤影响评价及机理分析

2.1 反射率及其变化形式模型

(1)抗土壤背景能力分析

图 1 为反射率及其变化形式与植被叶绿素含量在不同比例的土壤背景下获取的相关系数。根据叶绿素 对植被波谱影响的波段范围,在 400—750nm 之间对混合光谱进行 10nm 间隔的重采样,并对重采样后的变量 进行逐步多元回归分析。



在图1对叶绿素进行分析的各种方法中,以反射率本身及反射率倒数的对数的方法抗土壤背景影响的能力比较好。随着土壤背景比例的增加,反射率和反射率倒数的对数与叶绿素含量的相关系数基本平稳,都在0.65 附近,基本能够满足植被生化参数反演的精度。且二者与叶绿素相关的波段在不同的土壤背景比例下稳定,均为730nm和400nm,因此对不同比例的土壤背景,反射率和反射率倒数的对数两种变量能够得到比较稳定的预测模型。反射率倒数的一阶导数与叶绿素含量的相关系数随土壤背景所占比例的增加,变化较大,变化幅度不稳定。连续统去除的方法和波段深度的方法的相关系数和变化趋势基本一致,二者在土壤背景比例小于等于60%时,相关系数呈缓慢减小的趋势,但相关系数和变化趋势基本一致,二者在土壤背景比例小于等于60%时,相关系数呈缓慢减小的趋势,但相关系数值仅在0.45 左右,当土壤背景比例大于60%时,相关系数强速减小,当土壤背景比例大于10%时,相关系数较高,随着土壤背景比例的增加,相关系数迅速减小,当土壤背景比例达到30%时,其变化趋势不再稳定,因此,适于在高密度植被地区进行植被叶绿素含量的反演。二阶导数的方法,在土壤背景比例小于30%时,相关系数变化趋势稳定,且大于0.8,当土壤背景比例大于等于40%时,相关系数显著减小,当土壤背景比例大于70%时,很难建立二阶导数与叶绿素含量的回归方程,因此应用二阶导数进行植被叶绿素含量的反演时,应考虑土壤背景所占比例和过40%时,应用二阶导数的方法可能不会得到理想的结果。

为验证上述方法在叶绿素含量相差较大的情况下抗土壤背景的能力,随机选取 LOPEX'93 数据集中叶绿 素含量分别为0.07mg/g和2.985mg/g的2个样本,使用模拟的手段对上述方法抗土壤背景能力进行精度验 证。分析在不同比例的土壤影响下,各个方法对植被叶绿素含量预测值的稳定性。从图1中选取对比性比较 强的方法,反射率倒数的对数、反射率、反射率倒数的一阶导数进行验证。从验证结果图2可以看出,(反射 率1,反射率倒数的对数1,反射率倒数的一阶导数1代表叶绿素含量为2.985mg/g的叶绿素样本;反射率2, 反射率倒数的对数2,反射率倒数的一阶导数2代表叶绿素含量为0.007mg/g的叶绿素样本),反射率和反射 率倒数的对数的方法,在不同比例的土壤背景下验证结果稳定,呈平直线,而反射率倒数的一阶导数,在两种 不同的叶绿素含量下,对不同土壤背景所占比例的情况预测值不稳定,不具有较好的抗土壤背景的能力。

在水分的实际反演时,考虑到野外水汽对冠层实测光谱短波红外波段的影响,选取近红外波段(750—1300nm)进行光谱的10nm 重采样及多元回归分析。在图3对植被含水量进行分析时,一阶导数在加入土壤影响后,不能与水分含量建立回归模型。二阶导数的方法在土壤背景所占比例小于20%时,回归结果稳定,

且相关性较高,接近于1,当土壤背景所占比例大于20%时,相关系数出现了不稳定性。因此实际应用的过程中,二阶导数的方法在浓密植被地区,反演结果较好,对稀疏植被将产生不稳定性。反射率倒数的一阶导数在应用纯植被波谱进行模拟时,相关系数达到0.9以上,当加入10%的土壤影响时,相关系数显著降低,小于0.6,且随着土壤背景所占比例的增加,相关系数不稳定,因此,野外实地反演时,该方法受到限制。连续统去除和波段深度、反射率倒数的对数和反射率本身,在不同的土壤比例的情况下,均能获得很高的相关系数,均达到0.988以上。在土壤所占比例小于50%时,波段深度和连续统去除变量相关系数的变化基本稳定,当土壤所占比例大于50%时,相关系数变大,但增加的幅度不同,因此实地反演时,波段深度和连续统去除变量可以考虑土壤背景所占比例比较小的区域进行植被水分含量的反演。反射率倒数的对数和反射率本身随着土壤含量的增加,相关系数变化不大,且与水分相关的波段稳定,反射率变量与水分相关的波段分别为1100,1000,1040,1080nm,反射率倒数的对数,与水分相关的波段分别为1170,960,1210,1090,1080,950,

1220,1210nm,相关系数均在0.996 左右,表明反射率和反射率倒数的对数在不同土壤背景覆盖的情况下,冠



反射率倒数的一阶导数和反射率二阶导数在右侧坐标轴

ts Fig. 4 The prediction of EWT under different soil proportion each method

为验证反射率及其变化形式在不同水分含量的情况下抗土壤背景的能力,随机选取 LOPEX'93 中水分含量 EWT 分别为 0.001941 g/cm²和 0.035644 g/cm²的样本,通过不同比例的土壤影响下水分预测值的变化情况进行稳定性验证,图 4 中,反射率 1,反射率倒数的对数 1,反射率倒数的一阶导数 2 代表 EWT 为 0.035644 g/cm²的样本,反射率 2,反射率倒数的对数 2,反射率倒数的一阶导数 2 代表 EWT 含量为 0.001941 g/cm²的样本。对反射率和反射率倒数的对数的方法,应用回归模型所得预测结果稳定,对反射率倒数的一阶导数的方法,稳定性不高。因此,反射率和反射率倒数的对数的方法,在植被冠层含水量的预测中具有良好的抗土壤背景影响的能力。

(2) 机理解释

反射率本身是植被生化组分综合作用的结果。因此直接将其与生化组分进行回归分析,可以直观的分析 不同波段对各生化组分的贡献。在应用反射率进行植被生化参数反演时,随着土壤背景所占比例的变化,植 被叶片叶绿素和水分与反射率的相关系数基本稳定。反射率与叶片叶绿素的相关系数稳定变化的原因是在 400—750nm 的波段范围内,混合光谱在模型入选变量 400nm 和 730nm 处的反射率值变化不大(图 10)。反 射率与水分的相关系数稳定变化是因为在 750—1300nm 范围内,反射率的波形变化不大,与叶片水分相关的 波段 1100,1170,1000,1040,1080nm 的值随着土壤背景的增加同时减小,且减小的幅度基本相同。反射率倒 数的对数是对反射率的简单数学变化,在求倒数及后续的对数的计算中,使得反射率的变化区间由 0—1 之间 而扩大到 1—5 之间,因此反射率倒数的对数能够产生比反射率更高的相关系数。由于它是反射率的简单数 学变化,因此,其相关系数随土壤背景的增加产生的变化趋势与植被反射率波谱所得到的相关系数的变化趋势基本一致。

导数方法中,一阶导数突出植被波谱的极值,二阶导数突出植被波谱的拐点。由于植被反射曲线中反射 率小于1的特性,因此反射波谱在不同波长位置处的一阶导数和二阶导数值更小,这样减小了数据的变化幅 度,另外植被波谱本身的极值点和拐点在特定区间内的数量较少,且这些特征点并不能完全、准确的描述植被 的生化组分的吸收特性,影响了回归分析中相关系数的精度。但导数计算的过程中对波长的微分可以去除部 分背景的影响,因此,在随着土壤背景增加的过程中,该方法能够部分地抗土壤背景的影响。

应用连续统去除和波段深度的方法,植被的吸收特征被放大,且连续统去除的过程相当于将植被波谱通 过同一基线(连续统)进行比较,去除了基线以外背景的影响,因此,具有一定的抗土壤背景影响的能力。但 连续统包含的背景特征有限,当背景的影响超过该基线的范围时,背景信息对植被波谱的影响增加,因此在叶 绿素的分析过程中,随着土壤背景比例的增加,连续统去除变量与叶绿素的相关系数缓慢减小;在水分的分析 过程中,连续统去除变量与水分的相关系数变化趋势和幅度不稳定。波段深度的计算是在连续统去除波谱的 基础上进行的,是1与连续统去除波谱的差值,这种数学变化对波谱信息的影响不大,因此其相关系数的变化 与连续统去除波谱的相关系数基本一致,二者随土壤背景增加时相关系数变化的总体趋势是一致的,且相关 系数相差不大。

反射率倒数的一阶导数是在对反射率数学变换的基础上进行的一阶微分,而一阶微分的方法使数据的变 化幅度减小,另一方面,导数的方法对土壤背景的不确定性问题,造成了与不同生化参数的相关系数随土壤背 景变化的不稳定性。

2.2 光谱位置变量模型

(1)抗土壤背景能力分析

图 5 为常用光谱位置变量在土壤背景所占比例不同的情况下与叶绿素含量的相关关系。在红边-绿峰-红谷的组合以及绿峰高度、红谷深度 3 种变量形式中,以红边-绿峰-红谷中各个变量的波长和反射率作为自 变量,进行逐步回归分析时,在不同的土壤背景比例下,相关系数最高,基本在 0.5 以上,这与高彦华等的结论 红边对混合植被的叶绿素含量具有较好的指示作用一致^[28]。其相关系数变化趋势基本稳定,且入选变量固 定为绿峰波长。因此,实地反演过程中,该方法能够得到比较稳定的结果,但土壤背景所占比例从 10%— 90% 变化的过程中,预测结果的绝对误差从 0.634052—0.764778 mg/g 变化,精度不高。对单独的绿峰高度变 量,可以看出,其相关系数随着土壤背景所占比例的增加而缓慢增加,但变化幅度不大,其值都小于 0.5,应用 于野外实测反演时,基本可以得到稳定的结果,但精度受到一定的限制。而红谷深度的变化大致呈现一个倒 三角形的形状,在土壤含量小于 30% 时,相关系数很低,且随着土壤含量的增加而减小;在土壤含量等于 30% 时,相关系数基本为 0,当土壤含量大于 30% 时,可以看出相关系数基本呈线性变化,但相关系数仍然比较低, 最大值小于 0.5,因此,红谷深度在稳定性和精度方面都不适于进行植被叶绿素含量的反演。

随机选取 LOPEX'93 数据库中叶绿素含量分别为 0.07 mg/g 和 2.985 mg/g 的样本进行验证(红边绿峰红谷 1,红谷深度 1 代表 0.07 mg/g 的样本验证结果,红边绿峰红谷 2,红谷深度 2 代表 2.985 mg/g 的验证结果), 以判断对不同的叶绿素含量,光谱位置变量预测值的稳定性。应用红边-绿峰-红谷以及红谷深度在不同土壤 比例下建立的回归模型,求取样本的预测值。从图 6 可以看出红边-绿峰-红谷的表示方法,结果比较稳定,而 以红谷深度为变量的表示方法,结果不稳定,不具有抗背景影响的能力。

(2) 机理解释

31 卷

应用光谱位置变量进行植被叶绿素的遥感反演时,以红边-绿峰-红谷表示的变量能够得到比红谷深度和 绿峰高度更高的相关系数,主要是因为植被波谱在加入土壤波谱后,吸收谷深度降低,使得绿峰相对高度减小 (图 10)。从图 10 中可以看出:由于绿峰高度处植被叶片反射率与土壤背景反射率相当,使得随着土壤背景 所占比例增加,绿峰高度的变化很小,因此在土壤所占比例增加的过程中,绿峰高度与叶绿素的相关系数缓慢 增加;而红谷深度在土壤含量从 10% — 30% 变化的过程中,减小幅度大,因此与叶绿素的相关性减小,当土壤 背景所占比例在 30% 时,相关系数基本为 0,当土壤背景所占比例大于 30% 时,在红谷深度的波段范围内土 壤的波谱特征占主导作用,刘帅等指出红边参数在岩石、土壤和大部分凋落植物中是存在的^[29],当土壤波谱 占主导时,得到的相关系数不再是植被红谷深度与叶绿素的相关系数,而是土壤特征与叶绿素的相关系数,这 种情况下,相关系数随着土壤背景所占比例的增加而增大,这种增大也说明统计分析方法在实际应用的过程 中缺乏物理机理的支持,土壤光谱与叶绿素的相关已无法从遥感机理上进行解释。



Fig. 5 The correlation coefficient of spectral position variables under different soil proportion





2.3 光谱指数变量模型

(1)抗土壤背景能力分析

图 7 为在混合光谱中土壤含量分别为 10% —90% 时,植被指数与叶绿素含量的相关系数。光谱指数 Carter2, MND, ZM, ND, LCI 的相关系数都随着土壤含量的增加而减小。以 Carter2 相关系数减小最快, MND, ZM, ND, LCI 减小幅度基本相同,这些指数抗土壤背景的能力都不高。从相关系数的变化曲线比较可以看出, ND 相比其他指数在相关性和抗土壤背景方面效果稍好, LCI 次之, 对土壤背景小于 20% 时,基本能够获得稳定的相关系数为 0.431,但当大于 20% 时,稳定性受土壤背景的限制。TTVI 和 CTVI 变化趋势一致, 相关系数 基本相同,土壤背景所占比例从 10% 到 90% 变化的过程中, TTVI 相关系数分别为 0.189, 0.151, 0.106, 0.056, 0.002, 0.055, 0.113, 0.169, 0.222; CTVI 相关系数分别为 0.188, 0.15, 0.103, 0.052, 0.002, 0.059, 0.116, 0.171, 0.223。TTVI 和 CTVI 二者都是对三角植被指数 TVI 的改进, 但三角植被指数的特点三角分布仍占主导地位:从相关系数的变化曲线可以看出, 变化趋势呈倒三角形, 且不同比例的土壤背景下, 相关系数 变化较大, 以 50% 的土壤背景为分界点, 少于 50% 时, 相关系数线性减少, 在 50% 的土壤情况下, 相关系数基本为 0, 在大于 50% 时, 相关系数增加, 且对不同土壤背景比例而言, 相关系数是不稳定的。各个植被指数在植被叶绿素的反演中都不具有好的抗土壤背景的能力, 不适于稀疏植被区的野外反演使用, 因此, 不再考虑各个指数对叶绿素预测值的稳定性分析。

图 8 为常用水分指数与植被水分含量在不同土壤背景比例下的相关系数,从图中可以看出,应用不同的水分指数在不同的土壤背景比例下,都能得到较高的相关系数,都大于 0.8。不同的水分指数随土壤背景所

占比例的增加变化幅度很小。WI2随着土壤背景所占比例的增加而线性增加,且增加幅度小。且WI1,WI2, NDWI在不同的土壤背景比例下,其相关系数都相对 Ratio975 和 Ratio1200 不高。II 和 Ratio1200 随土壤含量 的增加,相关系数缓慢减小。对土壤所占比例小于 60% 时,相关系数基本是稳定的分别为 0.90、0.96,因此对 低中密度的植被覆盖区,这两个指数的实际应用效果较好,均方根误差分别为 0.003106 g/cm²和 0.001933 g/cm²,反演结果稳定。对水分指数 Ratio975,不同的土壤背景比例,相关系数变化不大,从 0.978—0.981 变 化,因此在不同的植被覆盖度的情况,应用 Ratio975 可以获得满意的精度,且模型均方根误差在 0.001354— 0.001466 g/cm²,精度稳定。



Fig. 7 The correlation coefficient between vegetation indices and chlorophyll under different soil proportion

选取相关系数比较高且稳定的植被指数,对不同含 水量(EWT分别为0.001941 g/cm²和0.035644 g/cm²) 的样本进行预测结果的稳定性验证(Ratio975_1, Ratio1200_1, WI2_1, II_1 代表 EWT 为 0. 035644 g/cm² 的样本, Ratio975 2, Ratio1200 2, WI2 2, II 2 代表 EWT 含量为 0.001941 g/cm²的样本)。从图 9 可以看出,在 不同的水分含量下,仍以 Ratio975 和 Ratio1200 的预测 结果稳定,不同土壤背景比例下,EWT的预测值变化不 大,而 II 和 WI2 在 EWT 值比较小的情况下,基本可以 得到较稳定的结果,当 EWT 含量增加时,可以看出 WI2 和Ⅱ对预测结果出现不稳定性,随着土壤背景比例的 增加,WI2 预测均方根误差由 0.02654-0.0267 g/cm² 变化,II 预测均方根误差由 0.02353—0.02833 g/cm²变 化。而 Ratio1200 在 EWT 值较高的情况下,预测值逐渐 减小,预测均方根误差由 0.02911-0.03214 g/cm²变 化,稳定性不及 Ratio975。



图 8 不同土壤比例下水分指数与含水量的相关系数 Fig. 8 The correlation coefficient between vegetation indices and

EWT under different soil proportion



图 9 不同土壤比例下光谱指数变量对水分的预测值 Fig. 9 Water content prediction of water indices under different soil proportion

(2) 机理解释

由于植被叶绿素指数在构造的过程中,只考虑了对叶绿素有影响的几个波段,因此与叶绿素的相关性较

低。且不同的指数,随着土壤背景所占比例的增加,特殊波段的植被光谱信息减弱,导致相关系数减小。而 TTVI,CTVI与叶绿素相关系数在土壤含量小于50%时,相关系数线性减小,此时植被的波谱信息仍为主导信息,在土壤含量为50%时,相关系数基本为0,当大于50%的土壤背景时,土壤背景的信息占主导地位,相关 系数不再是叶绿素和植被信息的相关系数,而是叶绿素与土壤信息的相关系数,因此相关系数随着土壤背景

比例的增加线性增加,刘帅等^[29]指出红边参数在土壤 中是存在的,可以很好的解释相关系数随着土壤背景增 加的现象。

在水分光谱指数中,各个指数与水分的含量相关性 都比较高,一方面由于水分的表示形式为 EWT (Equivalent Water Thickness),该方法表征了整个叶片 的平均水厚度,增加了相关性;另一方面,植被叶片中的 水分是含量最多的生化参数之一,含量大增加了其相关 系数。WI1、WI2 在计算的过程中分别使用了 970nm、 950nm 及参比波段 900nm,从图 10 中可以看出,随着土 壤背景的增加,950nm 和 970nm 反射率减小的幅度小 于900nm 反射率减小的幅度,且950nm 处反射率减小 的幅度比970nm 大,因此 WI2 与叶片水分的相关系数 比 WI1 与叶片水分的相关系数变化快。Ratio975, Ratio1200 构造的过程中应用了一定的水分吸收的波段 范围,因此比其他指数单独使用某几个吸收波段的相关 系数最高。它们随土壤所占比例增加的过程中相关系 数稳定变化的原因可能是因为水的主导作用,使得相关 系数趋于稳定。



Fig. 10 The mixed spectral of vegetation and soil spectral

3 结论与讨论

应用统计方法筛选在叶片层次与生化组分相关性比较高的反射率及其变化形式,分别考虑土壤含量在 10%—90%变化的过程中,各种方法抗土壤背景的能力,结果表明,在叶绿素的统计分析中,以反射率及反射 率倒数的对数的方法抗土壤背景的能力稳定,相关系数为0.645,精度相对较高,在不同的土壤背景比例下, 入选波段变量个数及变量稳定,均为730nm和400nm。在水分的统计分析中,随着土壤背景所占比例的增 加,反射率与水分的相关系数稳定在0.996,入选波段变量保持不变,为1100,1170,1000,1040,1080nm。反射 率倒数的对数与水分的相关系数稳定在0.997,入选波段变量均为1170,960,1210,1090,1080,950,1220, 1210nm。在分析光谱位置变量的过程中,光谱位置变量以红边-绿峰-红谷的方法精度较高,且相关系数和入 选变量个数及类型基本稳定。在植被指数的分析中,发现与纯植被叶片叶绿素含量相关性较高的植被指数, 抗土壤背景的能力都不强。只有指数 ND 和 LCI 在土壤背景所占比例小于 10% 时精度较高,且在土壤背景所 占比例小于 20% 时,相关系数基本稳定。对水分指数,基本都能达到较高的相关系数,但以 Ratio975 和 Ratio1200 随着土壤背景的增加,相关系数基本保持不变,抗土壤背景的能力最强。

统计分析方法简单灵活,便于应用。模型对样本数量和质量敏感,对噪声的鲁棒性差,而且容易出现诸如 过度拟合、重要波段被忽略、入选波段不能解释生化组分的吸收特征和不同组分间的相关性等问题。且植被 冠层的角度效应等都会影响实际应用的效果。因此如何综合统计分析方法简单易用及物理模型的物理机理 发展抗土壤背景能力强、物理意义明确的植被生化组分反演方法,对植被生产力研究、生物量估算等方面具有 重要意义。

References:

- [1] Ustin S L, Gitelson A A, Jacquemoud S, Schaepman M, Asner G P, Gamon J A, Zarco-Tejada P. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(1): 67-77.
- [2] Xue L H, Yang L Z. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(1): 97-106.
- [3] Di Vittorio A V. Enhancing a leaf radiative transfer model to estimate concentrations and in vivo specific absorption coefficents of total carotenoids and chlorophyll a and b from single-needle reflectance and transmittance. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(9): 1948-1966.
- [4] Colombo R, Meroni M, Marchesi A, Busetto L, Rossini M, Giardino C, Panigada C. Estimation of leaf and canopy water content in poplar plantations by means of hyperspectral indices and inverse modeling. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(4): 1820-1834.
- [5] Darvishzadeh R, Skidmore A, Schlerf M, Atzberger C. Inversion of a radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(5): 2592-2604.
- [6] Combal B, Baret F, Weiss M, Trubuil A, Macé D, Pragnère A, Myneni R, Knyazikhin Y, Wang L. Retrieval of canopy biophysical variables from bidirectional reflectance; using prior information to solve the ill-posed inverse problem. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(1): 1-15.
- [7] Shi R H, Niu Z, Zhuang D F. Research on the effects of leaf biochemical concentrations on leaf spectral:case study of inversion of C:N ratio based on the absorption features centered at 2100nm. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(1):1-8.
- [8] Feng W, Zhu Y, Tian Y C, Cao W X, Guo T C, Wang C Y. Prediction of wheat grain protein yield by canopy hyperspectral remote sensing. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(6): 903-910.
- [9] Dong J J, Niu Z, Shen Y, Yuan J G. Comparison of the methods of obtaining leaf water content by using reflectance data. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(4): 587-592.
- [10] Dawson T P, Curran P J, North P R J, Plummer S E. The propagation of foliar biochemical absorption features in forest canopy reflectance: a theoretical analysis. Remote Sensing of Environment, 1999, 67(2): 147-159.
- [11] Yan C Y, Niu Z, Wang J H, Liu L Y, Huang W J. The assessment of spectral indices applied in chlorophyll content retrieval and a modified crop canopy chlorophyll content retrieval model. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(6): 742-749.
- [12] Shi J L, Liu S Z, Chen G Z. Computer Numerical Methods. Beijing: Higher Education Press, 2009: 69-78.
- [13] Yuan J G, Niu Z. Nitrogen and chlorophyll mapping based on Hyperion hyperspectral image. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(4): 172-178.
- [14] Johnson L F, Hlavka C A, Peterson D L. Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the oregon transect. Remote Sensing of Environment, 1994, 47(2): 216-230.
- [15] Shen Y. Quantitative Inversion of Biochemical Compositions by Hyperspectral Remote Sensing-A Case Study for Xishuangbanna Area in China. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2006.
- [16] Kokaly R F, Clark R N. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. Remote Sensing of Environment, 1999, 67(3): 267-287.
- [17] Filella I, Penuelas J. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(7): 1459-1470.
- [18] Wang X P, Guo N, Zhang K, Yang J, Zhang R, Dong L L. Canopy and leaf hyperspectral reflectance of spring wheat under different planting densities in loess plateau. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(7): 1109-1114.
- [19] Suárez L, Zarco-Tejada P J, Berni J A J, González-Dugo V, Fereres E. Modelling PRI for water stress detection using radiative transfer models. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(4): 730-744.
- [20] Wang Z X, Liu C, Alfredo H. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 979-987.
- [21] Zarco-Tejada P J, Berni J A J, Suárez L, Sepulcre-Cantó G, Morales F, Miller J R. Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6): 1262-1275.
- [22] Fire. Understanding of vegetation index. (2008-3-21)[2009-12-25]. http://www.ggiiss.com/gis/89/500.html.
- [23] Tian Y C, Zhu Y, Yao X, Liu X J, Cao W X. Non-destructive monitoring of crop nirtrogen nutrition based on spectral information. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(9): 1454-1463.
- [24] Mroz M, Sobieraj A. Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal spot xs times series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. Technical Sciences, 2004, (7):39-66.

- [25] Pu R. An exploratory analysis of in situ hyperspectral data for broadleaf species recognition // The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: Commission VII, WG VII/3, 2008:255-260.
- [26] Apan A, Held A, Phinn S, Markley J. Formulation and assessment of narrow-band vegetation indices from EO-1 Hyperion imagery for discriminating sugarcane disease // Spatial Sciences Institute Conference: Spatial Knowledge Without Boundaries (SSC2003). Canberra: USQ eprints, 2003:1-13.
- [27] Le Maire G, François C, Soudani K, Berveiller D, Pontailler J Y, Bréda N, Genet H, Davi H, Dufrêne E. Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of Broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(10): 3846-3864.
- [28] Gao Y H, Chen L F, Zhou X, Li L, Liu Q H, Tian G L. Analysis of ideal bands for estimating chlorophyll content of mixed vegetation. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(4): 623-630.
- [29] Liu S, Gao Y G. Relationship between cuprum cstress corn chlorophyll concentration and corn reflectance. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2008, 27(1): 125-128.

参考文献:

- [7] 施润和,牛铮,庄大方.叶片生化组分浓度对单叶光谱影响研究——以 2100nm 吸收特征的碳氮比反演为例.遥感学报,2005,9(1):1-8.
- [8] 冯伟,朱艳,田永超,曹卫星,郭天财,王晨阳.利用高光谱遥感预测小麦籽粒蛋白质产量.生态学杂志,2008,27(6):903-910.
- [9] 董晶晶,牛铮,沈艳,袁金国.利用反射光谱信息提取叶片水分含量的方法比较.江西农业大学学报,2006,28(4):587-592.
- [11] 颜春燕,牛铮,王纪华,刘良云,黄文江.光谱指数用于叶绿素含量提取的评价及一种改进的农作物冠层叶绿素含量提取模型.遥感学报, 2005,9(6):742-749.
- [12] 施吉林,刘淑珍,陈桂芝. 计算机数值方法. 北京:高等教育出版社,2009:69-78.
- [13] 袁金国,牛铮.基于 Hyperion 高光谱图像的氮和叶绿素制图.农业工程学报,2007,23(4):172-178.
- [15] 沈艳. 植被生化组分高光谱遥感定量反演研究——以西双版纳地区为例. 南京:南京信息工程大学,2006.
- [18] 王小平,郭铌,张凯,杨嘉,张荣,董珑丽.黄土高原不同种植密度下春小麦冠层和叶片高光谱反射特征.生态学杂志,2008,27(7): 1109-1114.
- [20] 王正兴,刘闯,Alfredo H. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. 生态学报, 2003, 23(5):979-987.
- [22] Fire. 有关植被指数的认识. (2008-3-21) [2009-12-25]. http://www.ggiiss.com/gis/89/500. html.
- [23] 田永超,朱艳,姚霞,刘小军,曹卫星.基于光谱信息的作物氮素营养无损监测技术.生态学杂志,2007,26(9):1454-1463.
- [28] 高彦华,陈良富,周旭,李丽,柳钦火,田国良.估算混合植被叶绿素含量的理想波段分析.遥感学报,2009,13(4):623-630.
- [29] 刘帅,高永光.铜胁迫下玉米叶绿素质量比与光谱反射率关系.辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,27(1):125-128.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 6 March, 2011 (Semimonthly) CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice
Convision and relation of ammonia oxidizing archaes and anearabia ammonium oxidizing basteria in door soil layor
of high nitrogen loaded paddy field
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected
to experimental warming and grazing WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou
MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China
The effect of two watland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale
Subsurface Flow Constructed Wetlands
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species
TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China
LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three
Gorges Reservoir LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina aueritytora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platvacantha-Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land
DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and it's influencing factors in hilly region of the Loess Plateau
SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in taba bean/mazie intercropping
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation distribution and grain yield in win-
ter wheat
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of Hippophae rhamnoides L in farming-pastoral zone from the
two northern provinces of China
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)
English and the analysis of the accumence and its influence factor in Hunbarg forest area of the Creat Vinz'en Mountaine in Hei
longijang Province China
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains
WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of Acipenser sinensis in Yangtze River estuary
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances
ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Larval host types for the 3^{rd} <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}C$
······································
Selectivity of Frankliniella occidentalis to vegetable hosts
Genetic structure of Pine caterpillars (Dendrolimus) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences
GAO Baojia, ZHANG Xuewei, ZHOU Guona, et al (1727)
Fricing method and application effects of blogas slurry ZHANG Changal, LIU Ting, CAO Man, WANG Tanqin, et al (1/55)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem
WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph
Concepts and techniques of landscape genetics XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

排序	#H 元(T	总被引频次	排序	#Ⅱ工↓ Ⅰ	影响因子
Order	朔刊 Journal Total citation		Order	别门 Journal	Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第1;影响因子 1.812,全国排名第14;第1—9 届连续 9 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31卷 第6期 (2011年3月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 6 2011

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 四字性	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
主管	中国科学技术协会	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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	4 4 4 k k ii 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
印刷发行		Printed by	Beijing Bei Lin Printing House,
~ 11	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
订 购 国外发行	全国各地邮局 中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Domestic Foreign	E-mail:journal@ cspg. net All Local Post Offices in China China International Book Trading
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		Corporation H Add : P. O. Box 399 Beijing 100044 , China

ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q