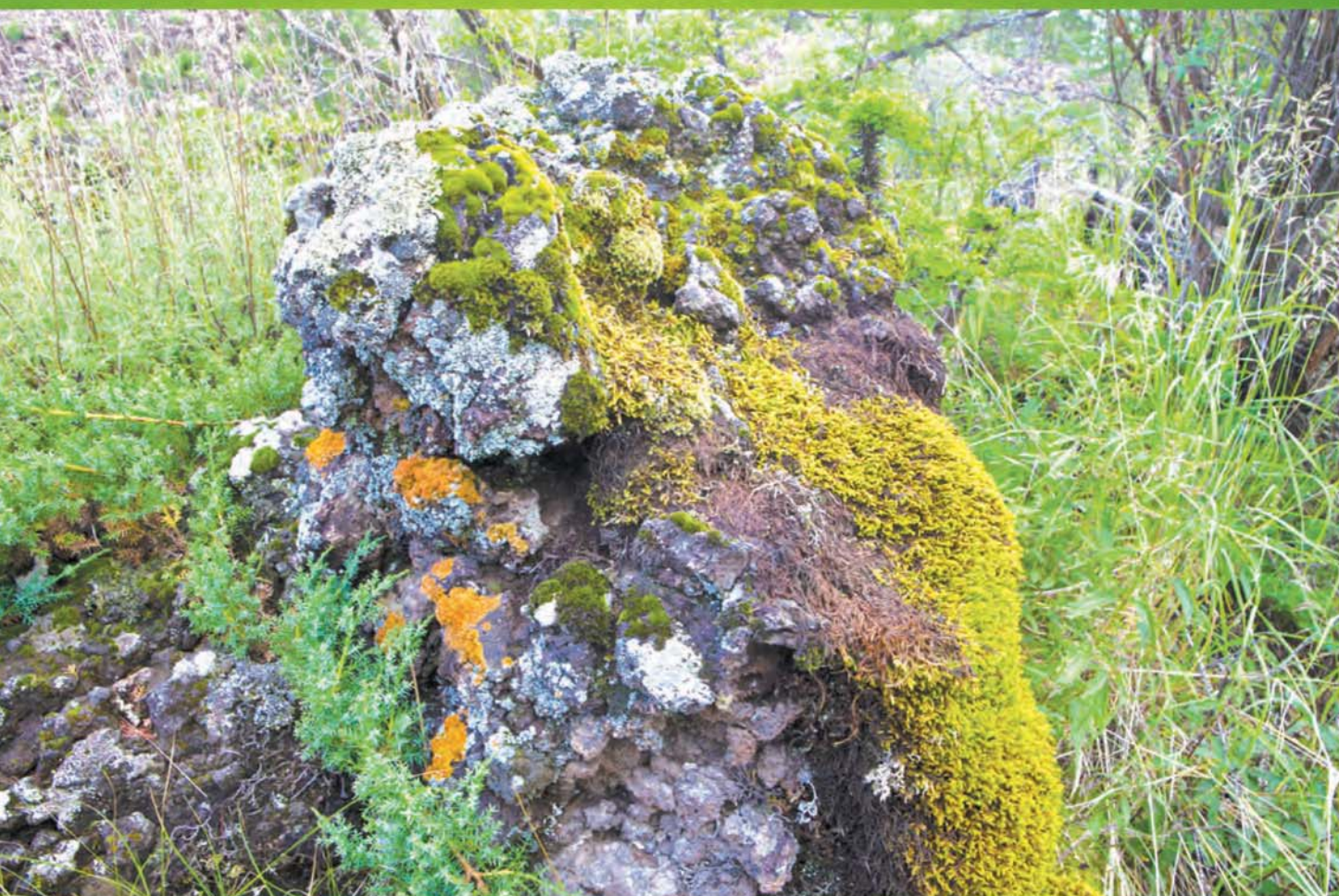


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

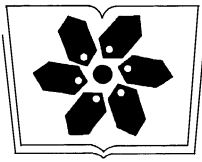
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **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 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析·····	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素·····	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划·····	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述·····	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102090160

周坚华, 魏怀东, 陈芳, 郭晓华. 高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例. 生态学报, 2012, 32(6): 1663-1676.

Zhou J H, Wei H D, Chen F, Guo X H. Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data: a case study in Maqu County, Gansu Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1663-1676.

高原草被退化程度的遥感定量监测 ——以甘肃省玛曲县为例

周坚华^{1,*}, 魏怀东², 陈芳², 郭晓华¹

(1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062; 2. 甘肃省治沙研究所, 武威 733000)

摘要:以加权草被盖度作为草被退化的一种标识值, 来标记草场沙化和毒杂草侵蚀的程度, 并以机器辨识方法从 TM/ETM 数据中定量提取加权草被盖度现状及变迁信息。变迁研究的时段从 1994 年至 2008 年。为了使图像辨识特征量对高寒草被盖度敏感, 提出了植被指数分级密度、植被相对饱和度分级密度等 8 个新的数学描述符, 逐一进行了与加权草被盖度的相关性分析或分割实验; 并通过它们的组合训练学习机并实现了对不同盖度草被的划分。通过野外采样数据检核, 这种分类的准确率接近或达到 80%。在草被盖度正确分类的基础上, 通过调整减少不同时相图像照度差异的影响, 进一步实现了加权草被盖度变迁信息的自动化提取。

关键词:加权草被盖度; 数学描述符; 机器辨识; TM/ETM 图像

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data: a case study in Maqu County, Gansu Province, China

ZHOU Jianhua^{1,*}, WEI Huaidong², CHEN Fang², GUO Xiaohua¹

1 China Education Ministry Key Laboratory of Geographical Information Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

2 Gansu Province Research Institute of Desert Control, Wuwei 733000, China

Abstract: Degradation of grassland is a complex and gradual process. In order to make it more capable for monitoring the changes in undergoing-degradation and not-being-completely-deserted grassland with remote sensing data, one of available ways is to identify spectral characteristics in response to the differences in grassland coverage by machine discerning. However, it is challenging since the differences are subtle in a TM / ETM image or other images with similar spatial and spectral resolution. This paper discusses the methods for a learning machine to discern the subtle differences from TM / ETM spectral data. The key technologies can be summarized as: replacing the grass cover (D) with the so called “weighted grass cover (D_w)” to solve the difficulties in the fitting between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from TM/ETM spectral data and field measured D , designing some mathematical descriptors which are independent of image types and acquisition environment and discerning the indicative differences in response to D_w in a multi-descriptor space so that the error rate in the discerning will be surely reduced.

D_w is a weighted sum of the D , the grass height (H) and the proportion of the poisonous in all grass (D_{up}). With the use of D_w , The regression equations between D_w , calculated by D , H and D_{up} measured in the field, and the normalized vegetation indexes, such as NDVI, SAVI, etc., calculated with remote sensing spectral data will fit much better than that with the replacement of D for D_w . In order to improve the sensitivity to the differences in grass coverage by the learning

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41071275); 甘肃省技术研究与开发专项资助(0805TCYH030)

收稿日期:2011-02-09; **修订日期:**2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jhzhou@geo.ecnu.edu.cn

machine, eight new mathematical descriptors, as the supplements of those vegetation indexes, have been proposed and then analyzed one by one in their correlation to Dw or tested in their validity for Dw segmentation. It is verified that some of the combinations of these descriptors are helpful for the learning machine to work out the laws of identifying pixels or cells belonging to different Dw . Otherwise, by comparing the classification accuracy in the use of two kinds of learning machines, i. e. DT and SVM, the types of learning machines are not so crucially to be able to decide discrimination accuracy as mostly desirable and, on the contrary, the construction of search space may be a more decisive factor.

Our study shows that in the multi-descriptor spaces, the grasslands belonging to different Dw can reliably be classified with TM / ETM data. Being inspected by field sampling data, it is verified that the classification accuracy is nearer to or better than 80%. Based on the results in Dw classification, then the Dw changes can also be reliably deduced after adjusting the differences of luminance level between two images in different acquisition years.

Key Words: powered grass cover; mathematical descriptor; machine discerning; TM/ETM

本文的研究区域位于甘肃省玛曲县。据戚登臣等人的研究^[1-3],玛曲县 2001 年草地沙化面积为 60.8 km², 约占土地总面积的 6%, 近 10a 沙化面积增速为每年 6.7%, 2003 年草场退化面积达 7470 km², 其中重度退化草场面积达 3307 km², 占可利用草场面积的 39.84%, 毒杂草占比达 55%。植被高度与 20 世纪 60 年代的 60 cm 相比下降约 15 cm。草地建群优势种由 1981 年的 30 多种减少到 21 种。境内 27 条主要河流中 11 条断流, 湿地面积缩小 50% 以上。20 世纪 70 年代黄河玛曲段输沙量为 17.6 万 t/a, 20 世纪 90 年代上升至 62.7 万 t/a; 黄河平均流量 1980 年为 445 m³/s, 1997 年减少至 371 m³/s。黄河自西向东穿越玛曲全境, 其境内以及延伸至四川省阿坝藏族自治州境内的若尔盖湿地是黄河最重要的水源地之一。玛曲高寒草甸和湿地的快速退化严重威胁到黄河水资源的安全。

玛曲县地广人稀, 土地总面积约 10190 km²。平均海拔约 4000 m, 气候条件恶劣, 全年无绝对无霜期, 年均气温仅 1—2 °C。要对该县的草被覆盖情况实施短周期的快速监测, 以遥感技术结合少量野外采样数据进行定性和定量分析评估, 是目前技术条件下比较可行的方案。

许多文献报道了将遥感技术用于高原、荒漠等恶劣环境条件下草场退化监测的成功实例。比如对生态系统和荒漠化遥感监测分类体系的研究^[4-5]、荒漠化监测和评估方法研究^[6-9]。草被类型遥感识别、草场生物量和净初级生产力遥感估测研究等^[10-11]。还有些研究侧重于植被健康状况的指标(如草场健康指数 GHI)与遥感波谱特性的相关性^[12-13]。

上述文献虽然使用了遥感监测技术, 但基本方法都是实地调查与遥感目视解译相结合, 有关图像智能识别或机器辨识的应用仅限于沙地范围的提取。但是, 草场退化是一个复杂的循序渐进的过程, 要利用遥感技术动态监测正在退化、尚未完全沙化的草场(图 1 显示了这种退化中的草场), 必须解决草被盖度的机器辨识和划分的问题。本文选择玛曲县作为研究样区, 不仅由于玛曲在黄河水资源安全方面的重要地位, 而且因为高寒草甸的植被类型相对简单, 对它的研究是草被退化遥感自动化监测的一个恰当的切入点。

虽然草被盖度对草场变迁具有表征意义, 但草被盖度遥感监测却是一个艰巨的任务。受大气散射、背景土壤和上层毒杂草等形成的辐射干扰等对遥感数据形成的“混合像素效应”, 通常草被盖度与遥感波谱数据并不相关。如 Zha 等人^[14]的研究表明, 草被盖度与 TM 数据计算的 NDVI 基本不相关。本研究也证明了这一结论。

解决这一问题的关键是如何表达遥感波谱数据与草被盖度之间的复杂映像。研究从两个方面来实现对这种复杂映像的近似描述。其一, 使监测生物量参数变成复合参数, 比如以“加权草被盖度” Dw 代替单纯的“草被盖度” D , 在草被盖度中同时考虑毒杂草占比和下层草被高度。虽然要从得到的 Dw 中再分离出 D 和毒杂草占比 D_{up} 目前仍然有困难, 但 Dw 对于草场变迁分析也是有效的。其二, 由遥感波谱数据衍生出各种描述符, 这些描述符分别针对遥感数据中存在的不同辐射干扰; 并将它们组合成多描述符空间, 以改善分类精

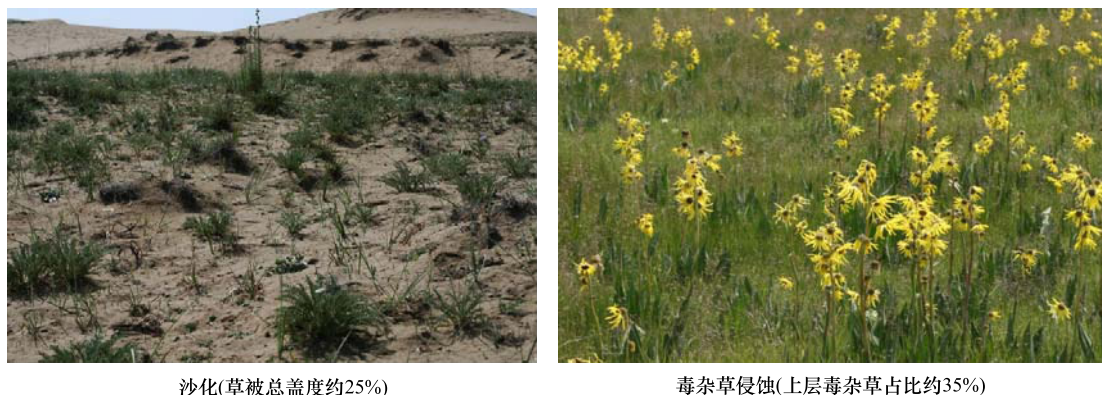


图1 草场退化的两个主要类型(2008年夏摄于甘肃玛曲)

Fig. 1 Two kinds of degeneration of grass

度。比如,使用各种密度指标,可以去除非均质、随机信号对像素辐射值的干扰,如裸露土壤、上层毒杂草等对草被辐射像素值的干扰。在描述符测试中,只要该描述符与 Dw 之间的相关性接近或好于 $NDVI$ 与 Dw 的相关性,便考虑采用。与单一描述符分割相比,在多描述符组合空间的分类精度还将有较大提升。

对不同盖度草被分类的机器辨识方法,其关键技术是通过设计和采用一些对遥感图像获取的环境条件不太敏感的描述符,以它们的组合作为输入矢量,来降低机器辨识的错误率和改善分类器的泛化性。

“草被盖度”一词指草被覆盖其下土壤的程度或遮蔽率,与常规概念上的“植被覆盖度”一词含义相似,指单位面积上植株最大冠在地表的垂直投影与单位土地面积之比。而“加权草被盖度”是综合考虑草被总盖度、高度、毒杂草占比提出的新指标。在本文提出的草场沙化和毒杂草侵蚀程度的遥感定量评价方法中,加权草被盖度被作为主要定量指标。

1 方法

1.1 研究样区和野外采样说明

玛曲县位于四川、甘肃、青海三省交界处,即东经 $100^{\circ}45'—102^{\circ}40'$,北纬 $33^{\circ}05'—34^{\circ}25'$ 。植被分带属于高寒草甸带,草地类型有亚高山草甸草地,灌丛草甸草地,高山草甸草地,草原化草甸草地,沼泽化草甸草地,沼泽类草甸草地 6 大类。植被以中生禾,莎草为主;草种主要有蒿草属的矮蒿草、线叶蒿草、藏蒿草、异针茅和羊茅等。

研究的主样区为玛曲县尼玛镇(城关镇)以南,河曲马场附近约 650km^2 的区域。即东经 $102^{\circ}04'—102^{\circ}16'$,北纬 $33^{\circ}43'—33^{\circ}53'$ 。地势西高东低,东面为黄河的现代河床。地表覆盖类型主要为平原草场、丘陵和山地草场、沼泽、现代河床和漫滩等(图2)。为了研究背阴坡照度变化对草被盖度信息提取的影响,在主样区西侧取了约 1100km^2 的第2样区,以及为了研究低盖度和沼泽地草被盖度信息的特点,在主样区南侧取了约 580km^2 的第3样区。

草被盖度等数据的野外采样在2008年7月底到8月中旬进行,样本分布于玛曲县境内的代表性地表覆盖类型,共获得有效样本257个,采样值包括地理坐标、地形坡度和坡向、下层和上层草被种(按占比高低,依次记录占比最高的6种)和各草种的占比、草被盖度、下层草被平均高度、采样地块的长和宽。

1.2 沙化变迁信息提取

沙地在 $ETM2$ 、 3 上有较高反射率,而在 $ETM4$ 上反射率较低,可以据此特性提取它。图3是1994和2008年两个年份的沙体分布二值图。以二者相减获得沙体变迁信息,并经二值形态学处理,去除较小的斑点(通常为噪声,或沙体细微变化),则可以给出两个年份的沙体变迁情况二值图(图3)。在 TM/ETM 图像上,沙地的提取规则可以用式(1)描述:

$$S = \{S | S \subseteq IM, S = (TM4 < T1) \cap (TM2 > T2 \cup TM3 > T2)\} \quad (1)$$

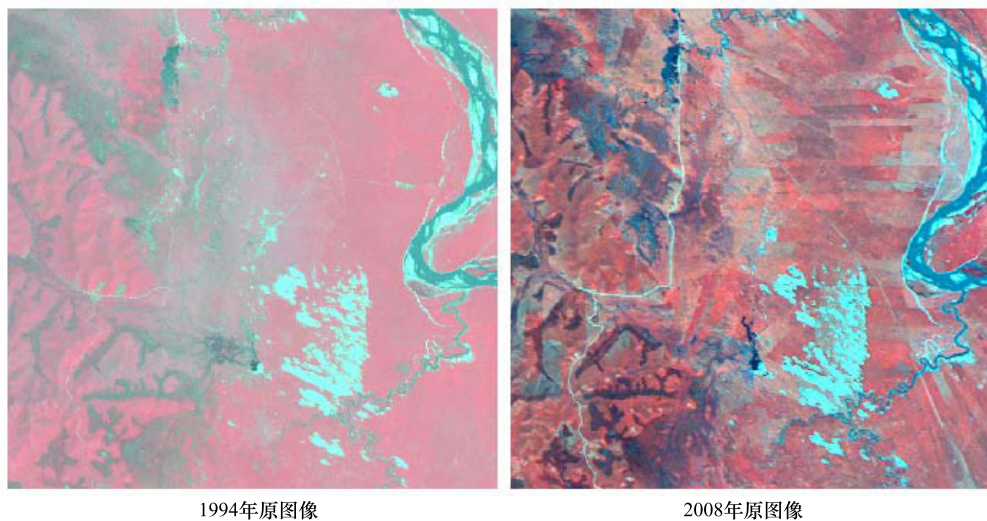


图2 不同分辨率的 TM/ETM 图像(样区 1)

Fig. 2 The examples of TM/ETM images in different resolutions

式中, IM 为图像像素集全体, S 为符合沙地条件的子集, TM_i 为 i 波段的 TM 或 ETM 图像。该式先求 TM4 亮度较低者(小于阈值 $T1$)和 TM2、TM3 的亮度较高者(大于阈值 $T2$)的交集;然后用结构元素 b (b 根据需要去除的最大斑点尺寸设计)对该交集做数学形态学开启操作。阈值 $T1$ 和 $T2$ 根据图像采样数据统计获得。

此时 S 中还含有一些道路的图斑,由于这类图斑通常非常狭长,所以可以通过对所有图斑计算形状系数(或圆形度),在 S 中滤除它们。

由图 3 可见,沙化图斑近 15a 的变迁主要沿黄河分布,范围此消彼长,主要因河流搬运改变沙体堆积分布所致。2008 年沙体面积略增。非沿河的沙体范围没有大面积的显著变化。

1.3 草被盖度现状信息提取

在退化中的草被除了毒杂草占比提高外,草被盖度下降。但是,要在 TM/ETM 以及类似空间分辨率和波段分辨率的图像上,提取草被盖度和毒杂草占比的信息相当困难。所以没有检出与此相关的文献。

本文首先分析了传统的植被指数等图像特征与草被总盖度和上层毒杂草占比的相关性。图 4 显示上层毒杂草占比(Dup)与归一化植被指数(NDVI)的相关性。虚线圈出了一些波谱响应异常的样本,即 NDVI 在这个范围里取值时,几乎不响应 Dup 的变化,本文称之为 NDVI 的“响应钝化区”。草被总盖度 D 与 NDVI 的相关性也有类似情况(图 5)。

通过分析该响应钝化区内的样本,可以发现草被高度、Dup 等会影响植被指数与草被盖度的相关性。比如虚线圈内这 7 个样本的上层杂草平均占比为 33.3%,同比全部样本的这一值仅为 13.8%。而草被总盖度差别不大,这 7 个样本平均为 82.3%,同比全部样本的这一值为 81.7%。该现象提示当上层杂草处于盛花期时对下层草被盖度波谱信号的强烈干扰。为此,本文提出了加权草被盖度 Dw 的概念:

$$Dw = w_1 \cdot D + w_2 \cdot D \quad \text{或:} \quad Dw = (w_1 + w_2) \cdot D \quad (2)$$

式中, w_1 和 w_2 分别为草被高度权值和毒杂草占比权值, D 为原始草被总盖度。因为草被高度对植被指数为正贡献,所以给予样本的最小和最大高度的权分别为 0.5 和 1,其余线性内插。而毒杂草在盛花期,对植被指数表现为负贡献,所以将样本最小和最大毒杂草占比的权分别设为 0 和 -0.5,其余线性内插。

以下仍以 NDVI 为例,比较 D 和 Dw 与 NDVI 的相关性(图 5)。拟合均采用一元稳健回归^[15]。对比图 5 可见加权后的草被盖度与 NDVI 的相关性大为改善。

图 4、图 5 中的 Dup、 D 、 Dw 均由落入样区 1 和 3 中的 37 个野外采样点数据给出,图 9—图 11 相同。

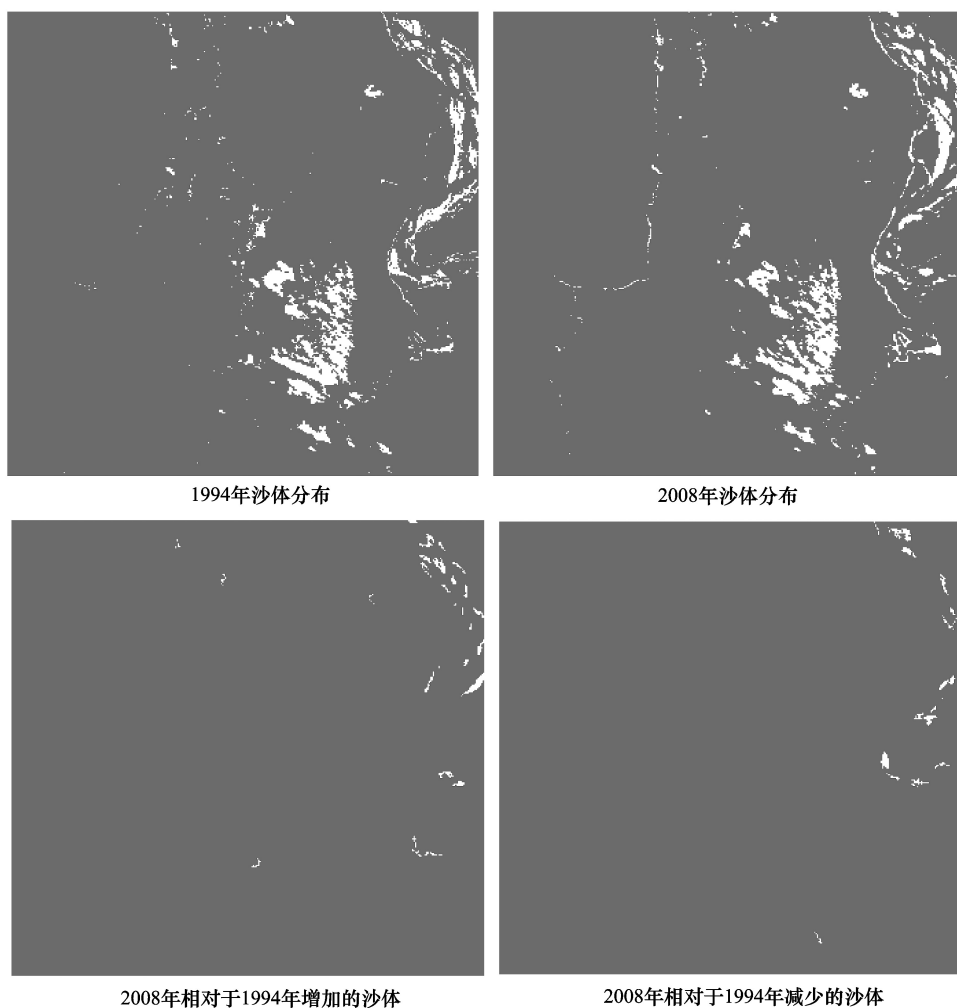


图3 两个时相沙体分布和变迁

Fig. 3 An example of comparing the distributions of sand between 2008 and 1994

1.4 草被盖度变迁信息提取

1.4.1 图像照度水平调整

不同时相图像的照度水平差异会形成对草被盖度变迁信息的干扰。由于照度水平差异通常表现出全局性,所以有可能通过某些补偿技术改善其影响。本文采用分色亮度均值平移和值阈拉伸进行调整,以使两个时相图像的照度水平尽可能接近。

草被盖度变迁研究采用 2008 年的 ETM 图像和 1994 年的 TM 图像。照度调整的方法为:先分别计算两个时相图像的分色亮度均值,对 2008 年图像做分色亮度平移,使之与 1994 年图像的照度接近;然后将 2008 年图像的最大最小值参照 1994 年图像的相应值做调整,其余像素值做线性拉伸。图 2 显示样区 1 这两个时相的原图像,图 6 的背景为 1994 年图像右上局部,而图 6 的背景为 2008 年照度调整后的图像,由图可见调整有效减少了二者的照度水平差异。

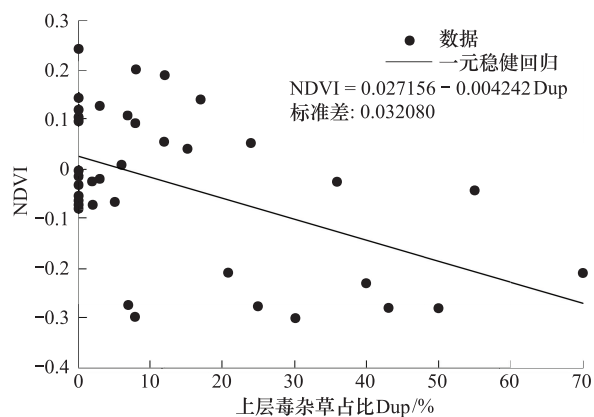


图4 Dup 与 NDVI 的相关性

Fig. 4 A relation between Dup and NDVI

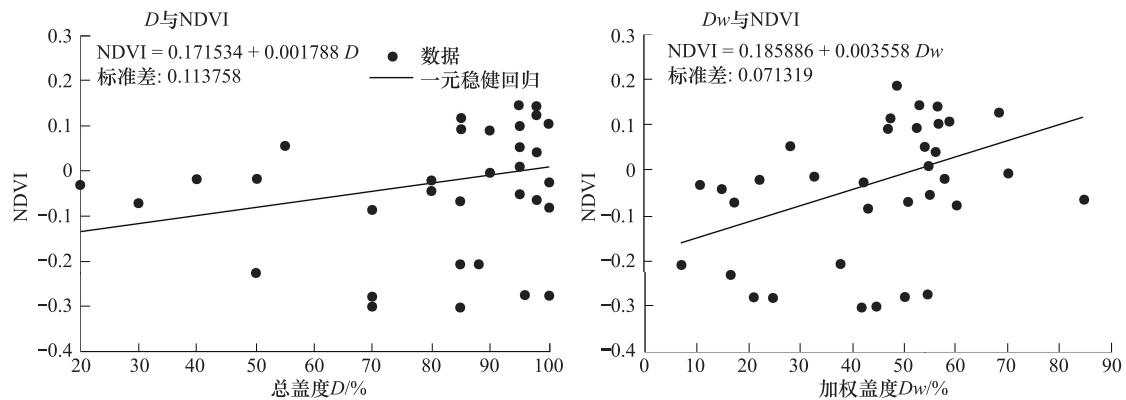
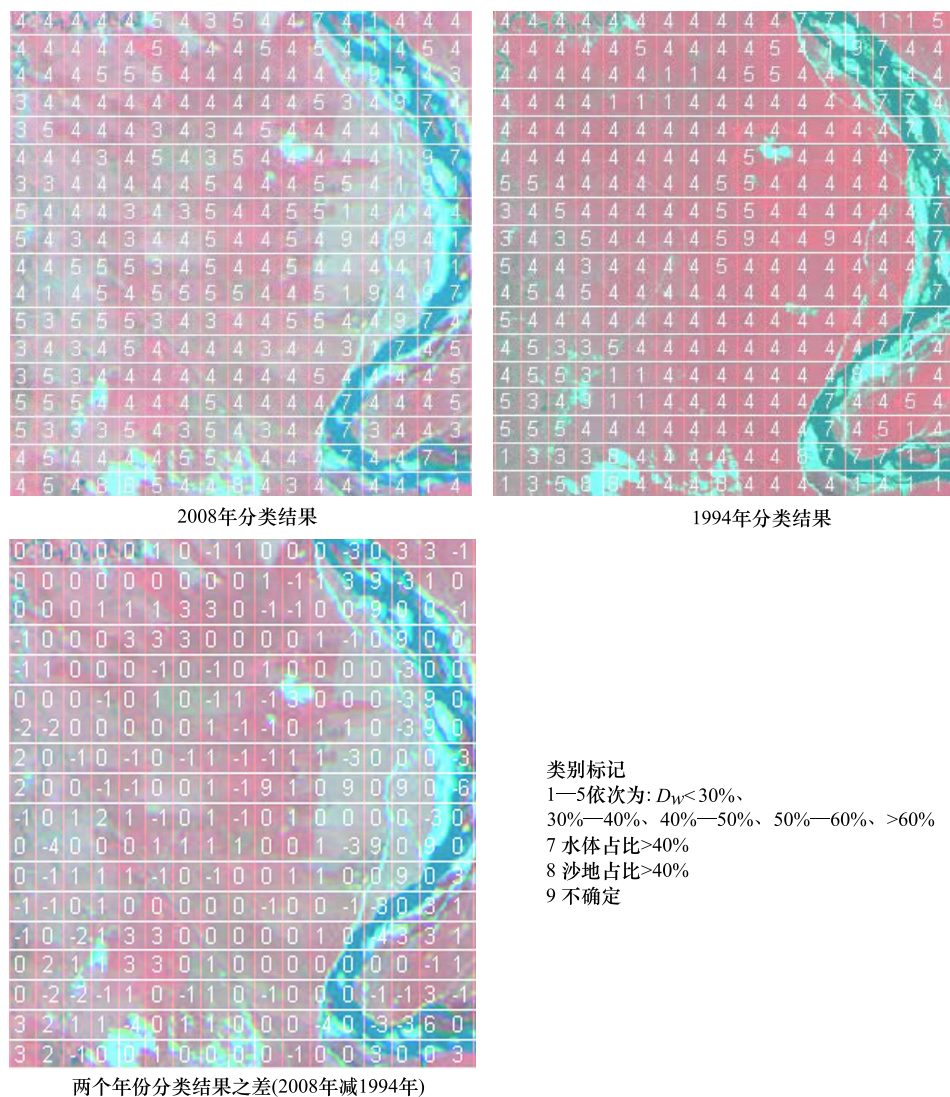
图5 D 和 D_w 与 NDVI 的相关性比较Fig. 5 An example of comparing the relativity of NDVI and D or D_w 

图6 草被盖度分类和变迁检测的例子

Fig. 6 An example of identifying different grades of D_w and getting their changes between 2008 and 1994

1.4.2 加权草被盖度分类

如果以加权草被盖度 Dw 直接作为分类模式值,则分类模式数量巨大。大多数机器学习算法难以应对过大的类别模式数。因此需要先将加权盖度离散为有限个类别模式。因为草被加权盖度在 30%—60% 之间的样本比较多,或提示草被盖度在该值段较多变;所以本文对该值段的两端相对压缩,以模式值 1—5 分别代表 $Dw \leq 30\%$ 、 $30 < Dw \leq 40\%$ 、 $40\% < Dw \leq 50\%$ 、 $50\% < Dw \leq 60\%$ 、 $Dw > 60\%$ 。

实验采用基于网格的方法组织输入特征向量。该法先将数据空间分为有限个单元,通常以各单元中的元组加权均值作为单元值。实验表明,按单元采样可以平抑图像随机噪声,并方便计算特征值密度一类的描述符(表 1),还可以大为减少分类的运算开销。在笔者的其他相关研究中也使用了单元,比如城镇绿地树种识别等。并证明使用单元通常有助于简化图像特征的提取,使原本困难和不可能实施的分割或聚类运算可行^[16-17]。

表 1 对高原草被盖度差异敏感的数学描述符

Table 1 Mathematical Descriptors can respond to the differences in grass cover

符号 Sign	名称 Name	含义 Meaning	有效性 Validity
* A_R	红波段相对亮度	$A_R = (R - R_{\text{平均}}) / R_{\text{平均}}$ ($R_{\text{平均}}$ 为红波段亮度 R 窗口区的均值,以下 $G_{\text{平均}}$ 和 $B_{\text{平均}}$ 类推)	* *
* A_G	绿波段相对亮度	$A_G = (G - G_{\text{平均}}) / G_{\text{平均}}$	* *
* A_B	蓝波段相对亮度	$A_B = (B - B_{\text{平均}}) / B_{\text{平均}}$	* *
NDVI	归一化植被指数	$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$	* * *
SAVI	土壤调整植被指数	$SAVI = [(IR - R) / (IR + R + 0.5)] \times 1.5$	* * *
* B_NDVI	单色相对植被指数	$B_NDVI = (B / IR - NDVI) / NDVI$	* * *
* NDUI	归一化阴影指数	$NDUI = (S - I) / (S + I)$ (主要用于分割亮区和阴影区草被)	* *
* D_{SI}	饱和度明度相对差	$D_{SI} = (S - I) / S$ (S 和 I 分别为窗口区平均饱和度和明度)	* * *
* D_{vi}	植被指数分级密度	$D_{vi} = \text{SUM}(NDVI_i) / A_i$ ($NDVI_i$ 为第 i 个像素的 NDVI, SUM 表示在当滑动窗口(或单元)对 $NDVI_i$ 求和, A_i 为窗口面积,可以对 $NDVI_i$ 分段求密度,如值段取 $(0, 0.1]$ 和 $(0.1, 0.18]$)	* * *
* D_{sv}	相对饱和度分级密度	$D_{sv} = \text{SUM}(S_i / V_i) / A_i$ (S_i / V_i 为第 i 个像素的饱和度与明度之比, SUM 表示在当滑动窗口(或单元)对 S_i / V_i 求和, A_i 为窗口面积,可以对 S_i / V_i 分段求密度,如值段取 $(0, 0.25]$ 和 $(0.25, 0.5]$)	* * *

带 * 的符号为新设计的描述符;“有效性”以其与 Dw 的相关性衡量, * * 表有效, * * * 表有显著

分类实验使用决策树(decision tree, DT)作为分类器。决策树属于较通用的学习机模型,源自“归纳学习法”。它从大量经验数据(训练集)中,通过归纳学习提取通用规则和模式^[18]。

在本文的实验中,以 DT 做加权草被盖度分类的步骤为:① 以单元为单位构建输入特征向量 xs ;② 以双线性内插方法获得训练集条件矩阵的值;③ 用该训练集训练一个决策树 T ;④ 以 T 对 xs 分类;⑤ 评估分类的不确定性。

其中,步骤①的 xs 由以下 6 个分量组成:NDVI 为归一化植被指数的单元均值;SAVI 为土壤调整植被指数的单元均值; D_{vi1} 为 NDVI 在 $(0, 0.1]$ 值段的单元密度; D_{vi18} 为 NDVI 在 $(0.1, 0.18]$ 值段的单元密度; D_{sv25} 为相对饱和度在 $(0, 0.25]$ 值段的单元密度; D_{sv5} 为相对饱和度在 $(0.25, 0.5]$ 值段的单元密度。各分量的含义和对 Dw 的可分辨性请见 2.1。

步骤②的“双线性内插”是一种常用的空间插值方法。考虑到野外采样点通常不会恰好落在单元的中心,所以计算输入矢量特征分量时,需要考虑邻近的单元。使用双线性内插方法时,采样点的各特征分量值等于它的 4 个最近邻单元值的空间距离加权平均值。

步骤⑤评估分类的不确定性主要采用分类后整理的方法。即对所有单元评估其输入特征向量的分类确定性分值,最高分为 6 分(每个特征分量 1 分)。如过某分量不确定,减去该分量的分。当某单元的分值 ≤ 3 时,该单元划分为“不确定”类。分量的不确定性如表 2 所示。

表 2 特征分量的不确定性评估标准

Table 2 The criterion of evaluating uncertainty in each component of an impute vector

符号 Sign	含义 Meanings	评估标准 Criterion	依据 References
NDVI	归一化植被指数的单元均值	<-0.25	图 11
SAVI	土壤调整植被指数的单元均值	<-0.3	图 11
D_{vi1}	NDVI 在值段(0,0.1]的单元密度	0	图 9
D_{vi18}	NDVI 在值段(0.1,0.18]的单元密度	0	图 9
D_{Sr25}	相对饱和度在值段(0,0.25]的单元密度	0	图 10
D_{Sr5}	相对饱和度在值段(0.25,0.5]的单元密度	0	图 10

图 6 给出了以 DT 对样区 1(图 2)进行加权草被盖度分类的例子,为了节省篇幅,分类结果只显示输出结果的右上 1/4 幅。单元的尺寸为 20×20 (像素),图中标记“9”者显示分类不确定,其评估方法参见以上步骤⑤的描述。由图可见,分类确定的 Dw 分级与目视感觉的色彩并不一致,即并非红色越饱和 Dw 值越大。结合精度分析的结论,可以初步断定以目视解译方法在 TM/ETM 图像上识别和划分高寒区草被盖度是不可靠的。

1.4.3 加权草被盖度变迁信息提取

如果能对 Dw 分类并取得较高的分类精度,就有可能通过对两个时相分类图的比较提取 Dw 的变迁信息。为了减小不同时相图像照度水平差异的影响,已经按照 1994 年图像的分色亮度均值和值域对 2008 年的图像作了调整。机器学习中训练集条件特征向量的值取自调整后的 2008 年图像。图 6 显示以 2008 年加权草被盖度分类结果减去 1994 年分类结果的情景(亦只显示右上 1/4 幅),任一年份分类结果中为不确定的,仍旧显示为不确定(以 9 标记)。图中数值直接表示草被盖度的变迁。如当 Dw 在 30%—60% 范围中时,−1、−2、2 分别表示 2008 年较 1994 年加权草被盖度减小 10%、20%、增加 20%,余此类推。

在本文的实验中,由于 2008 年与对照年份 1994 年的图像分辨率不同(图 2),经照度校正等处理,虽然使二者的不一致有所改善,但对于变迁信息的提取仍然有一些影响。相信随着新年份野外采样数据的积累,有可能进一步提高草被盖度分类精度,和提高其变迁监测的定量精度。作为方法研究,本文的实验已经比较充分地证明了以遥感定量监测草被盖度变迁是可行的。

2 讨论

2.1 对草被盖度敏感的描述符

遥感图像种类和获取环境条件常常具有多变性,而使得前后获得的同区域的图像呈现显著的波谱特征差异。如果以常规波谱特征聚类或分类,一般需要根据图像获得时的光照条件,不断调整分类逻辑。因此,研究对于遥感图像种类和获取环境条件变化不敏感的“通用”描述符非常必要。理论上这些描述符必须具备如下条件:

- (1)具有确切的物理意义、几何意义或植物生态学意义。
- (2)具有较稳定的分割阈值,这种稳定性表现在对图像类型和获取环境条件不太敏感等。

归一化植被指数 $NDVI$ 是较早出现的植被通用描述符之一,对于区分植被和其它下垫面通常具有确定的分割阈值,而且这种阈值对于遥感图像种类和获取环境条件等的变化通常不敏感,因而获得了广泛应用。

据实验,如采用表 2 的公式计算 $NDVI$,条件: $NDVI>0$ 适合于大多健康草被覆盖范围的提取,而且较好地包括了背阴坡上和盖度较低的草被。当草被盖度较低或毒杂草占比较大时, IR 与 R 波段分色亮度之差会较小甚至为负数,在彩红外图像上常常表现为不太饱和的红色,且通常随下层土壤含沙量增加而饱和度下降。

本文还比较了另一种植被指数:SAVI(土壤调整植被指数)^[19-20]对草被盖度差异的响应:

$$SAVI = [(IR-R)/(IR+R+0.5)] \times 1.5$$

(3)

图 7 以对 $NDVI$ 和 $SAVI$ 的等梯度分割显示植被指数对草被盖度差异的表现能力,植被指数数据取自 2008 年的 ETM 原图像。图中黑色表示 $NDVI$ 或 $SAVI$ 小于零的区域,与图 2 对比可见,它们基本对应于植被

0 覆盖区域。此外,NDVI 和 SAVI 都能响应草被盖度差异,但侧重点稍有不同。如 SAVI 能较好检出沼泽里的灌丛,而 NDVI 对草场边缘的草被盖度衰减比较敏感等。

TM/ETM 图像的像素值通常反映了几种草被盖度(或毒杂草几种占比)的混合波谱特征,对于一个具体像素,当某种盖度占强时,波谱特征将偏向于该盖度。一定尺寸邻域内某一波谱特征值的占比具有指示波谱特征偏向性的作用,当某种草被盖度典型波谱值的占比较大时,该区域属于该盖度的可能性较大。根据这个考虑本文设计了如下实验。

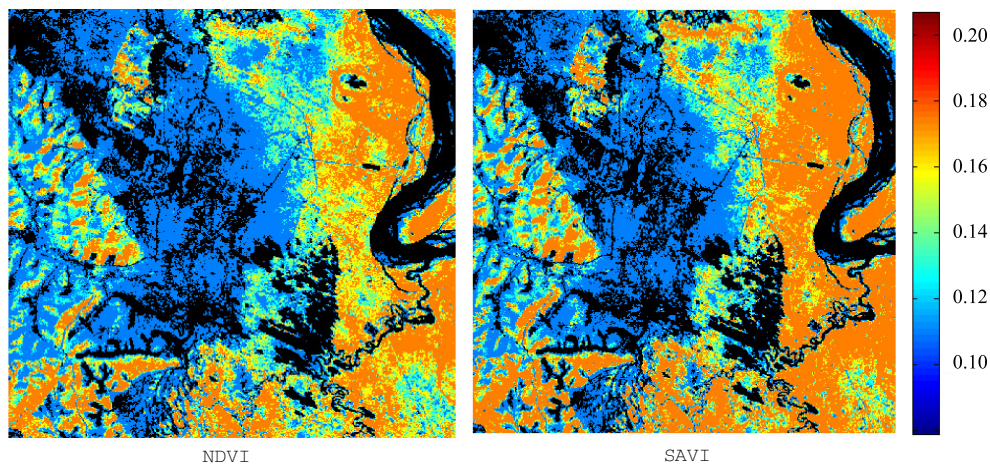


图 7 植被指数等梯度分割

Fig. 7 Equal-grad segmentations of vegetable indexes

图 8 显示以 9×9 滑动窗口统计 NDVI 以及相对饱和度(某像素的饱和度与明度之比 S/V) 在 3 个不同值

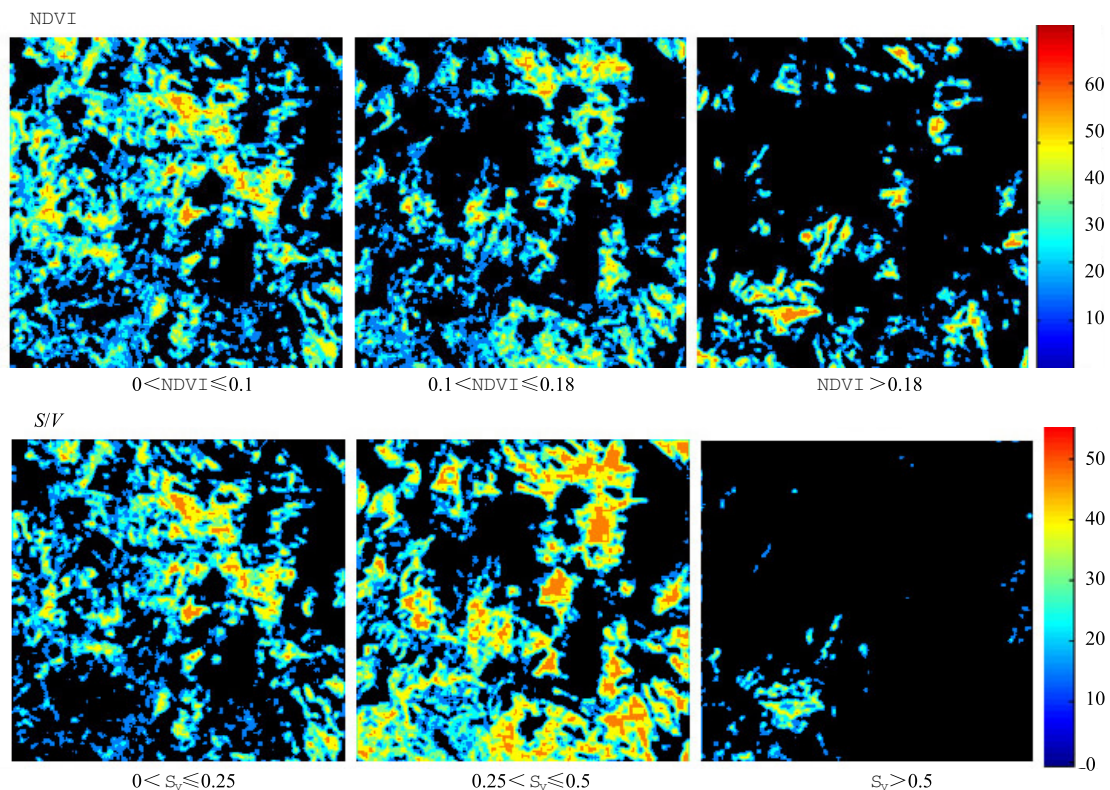


图 8 图像特征分割值滑动窗口密度

Fig. 8 The densities of segmentation values of pixel features in a sliding widow

段取值的密度 D_{sv} , 密度指在相应值段范围里的像素与窗口区总像素个数之比。由图可见, 这种密度具有集群分布的特征, 它们对于草被盖度的指示意义可以通过下面的统计分析进一步证明。

图 9 显示以 NDVI 的像素密度 (D_{vi}) 与 Dw 拟合的情况。Density ($0 < \text{NDVI} \leq 0.1$) 表示 NDVI 在值段 (0, 0.1] 取值时的 D_{vi} 。类似地, 图 10 显示以 S/V 的像素密度 (D_{sv}) 与 Dw 拟合的情况。拟合均采用多阶拟合, 阶数为 2。

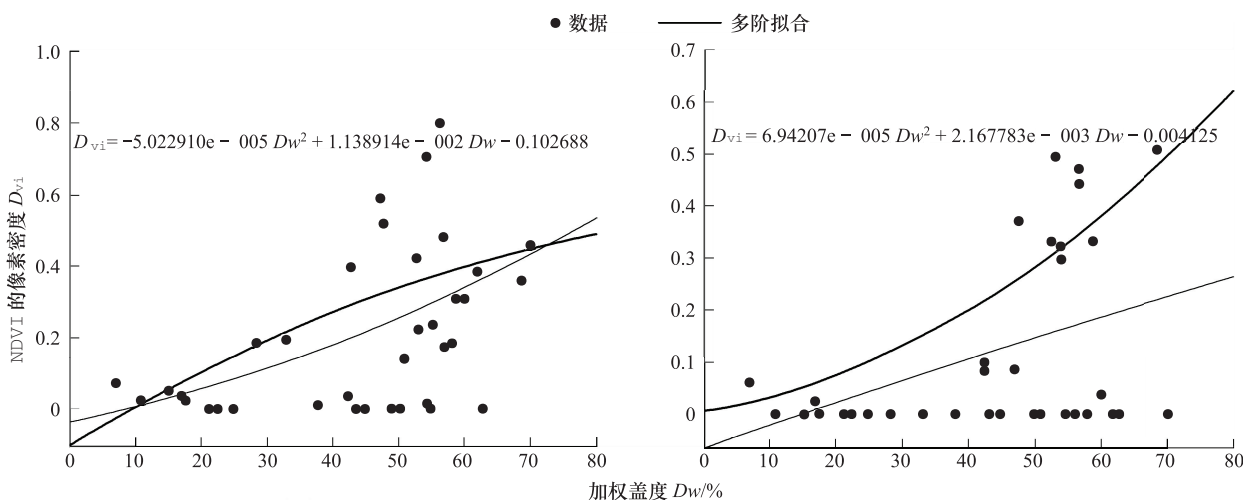


图 9 加权盖度 Dw 与像素特征值窗口密度拟合

Fig. 9 Two examples of Regression between Dw and D_{vi}

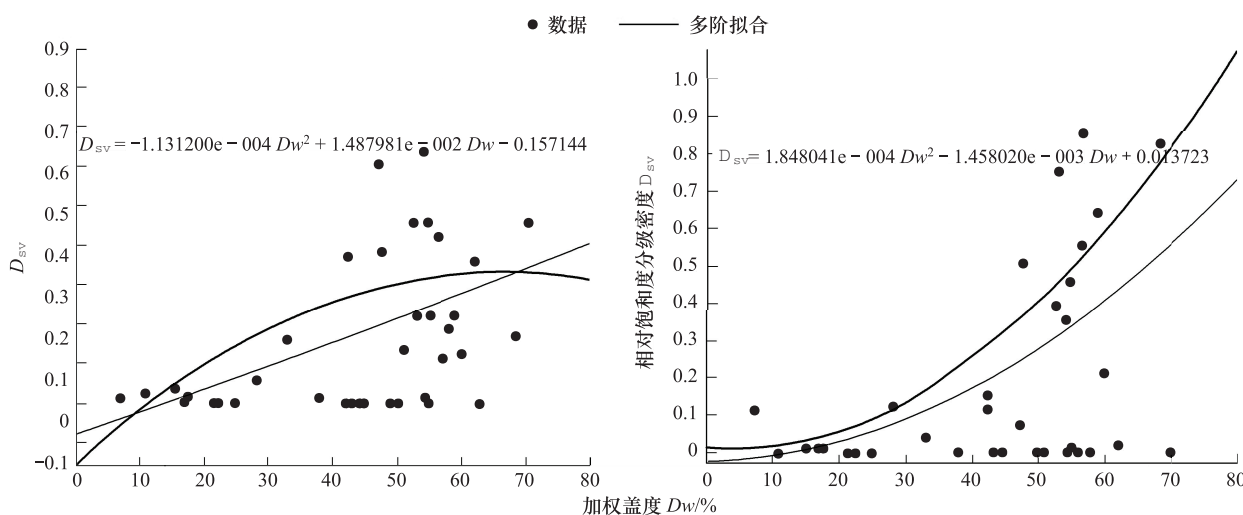


图 10 加权盖度 Dw 与相对饱和度窗口密度拟合

Fig. 10 Two examples of Regression of powered grass overlay vs densities of relative saturation

实验表明, D_{vi} 和 D_{sv} 与 Dw 具有很好的相关性。当密度值过小时 (比如 = 0) 这种相关性显著下降, 甚至不相关。图中细线为初始拟合曲线, 粗线表示去除密度为 0 的样本后重新拟合的情况。图中的回归方程为后者的方程。此后凡有两条拟合曲线的图, 含义相近。

根据这个实验, 本文设计了一类特殊的描述符, 即图像特征在不同值段的单元密度 (表 2)。并把密度值为 0 作为分类不确定性的评价指标之一。

此外, 图 11 显示两种植被指数与 Dw 的关系, 其中的粗线表示去除具有“不确定性” ($\text{NDVI} < -0.25$, $\text{SAVI} < -0.3$) 样本后重新拟合的情况。

综上所述, 为了选择对高寒区草被盖度敏感的描述符, 本文根据植被指数的设计原理、不同彩色系统的表

现能力、某些图像特征值的密度对草被盖度的响应等,提出了一些新描述符(表 2),并逐一进行了与 Dw 的相关性分析或分割实验,以证明它们能够响应不同的草被盖度。图 9—图 11 是这些相关分析的部分实例。为了改善草被盖度分类的准确率,还用部分描述符组合进行了训练学习机和分类的实验。

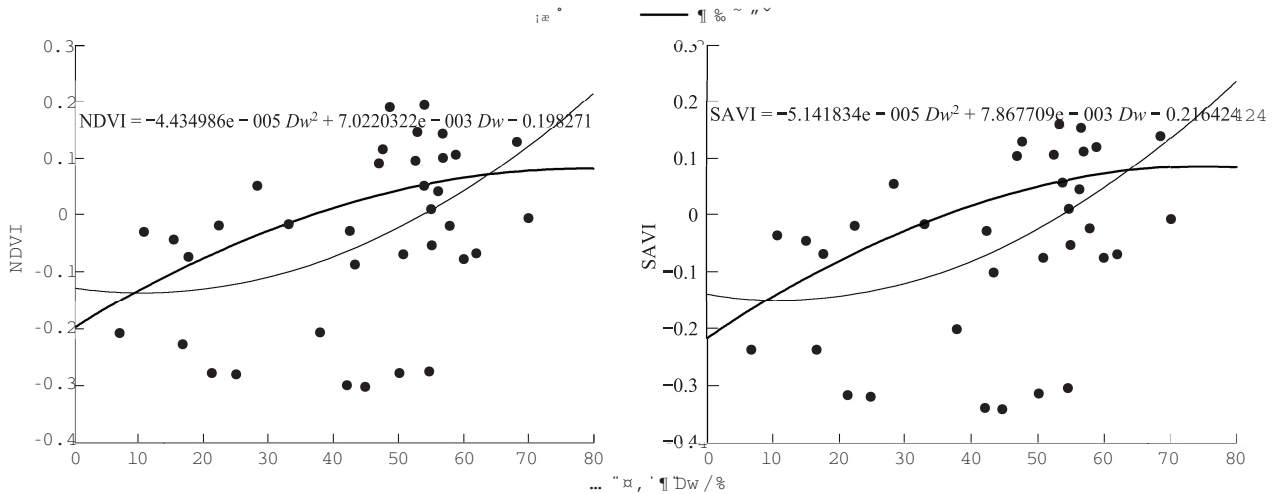


图 11 加权盖度 Dw 与植被指数拟合

Fig. 11 Two examples of Regression of Dw vs vegetable indexes

2.2 多描述符组合草被盖度分类的精度

在本文的实验中,构建训练集时是使用样本点的单像素 NDVI 和 SAVI,以及样本像素 3×3 邻域的特征值密度数据;与分类中输入特征矢量的计算范围(20×20 的单元)并不重叠;二者的覆盖区域也有区别,训练集取自样区 1、3 中的 37 个样本的数据,分类只对样区 1 进行;另外,描述符的计算方法也有一些区别;所以可以用训练集落入样区 1 的样本来评价分类精度。水体和沙地分类正确与否根据目视解译评价。在图 2 所示的样区 1 中,共有野外采样样本 28 个,可以通过混淆矩阵(表 3)来分析总体分类精度。

表 3 1.4.2 中 DT 分类结果的混淆矩阵

Table 3 A confusion matrix of the classification with DT in section 2.4.2

	1- $Dw_{(<30)}$	2- $Dw_{(30-40)}$	3- $Dw_{(40-50)}$	4- $Dw_{(50-60)}$	5- $Dw_{(>60)}$	7-Water >50	8-Sand>50
1- $Dw_{(<30)}$	<u>1</u>	0	2	1	0	0	0
2- $Dw_{(30-40)}$	0	0	0	0	0	0	0
3- $Dw_{(40-50)}$	0	0	0	0	0	0	0
4- $Dw_{(50-60)}$	0	0	<u>2</u>	<u>10</u>	<u>3</u>	0	0
5- $Dw_{>60}$	0	0	1	<u>2</u>	<u>1</u>	0	0
5- $Dw_{(>60)}$	0	0	0	0	0	0	0
7-Water>50	0	0	0	0	0	0	0
8-Sand>50	0	0	0	0	0	0	<u>4</u>
0-Unsure	1	0	0	0	0	0	0
列和(Σ)	2	0	5	13	4	0	4
用户精度 User precision	78.6% (=(22/28) $\times$ 100%) 或 81.5% (去除不确定的样本后统计)						

混淆矩阵的行名表示正确的分类,而列名表示实际分类。表中数值为分为各类的校验样本数。对角线上的值为实际正确分类的样本数,而其余表示误分,比如第 1 行第 3 列的值“2”表示类别 3 有 2 个样本被误分为类别 1。“列和”表示实际分为列名类别的样本总数,用户精度(User precision)为对角线值与列和之比。因为分类模式值的级差对应于 10% 的 Dw 差,在 Dw 允差不大于 10% 情况下,可以将紧邻对角线的数值考虑为正确分类。表中加下划线的数字即为对角线以及距离对角线级差不大于 1 的样本数。据此得出的用户精度为

78.6% (对全部样本), 或 82.1% (仅对确定的样本)。

3.3 不同学习机的分类精度

为了比较不同的学习机对分类精度的影响, 本文还进行了以不同学习机模型作为分类器的对照实验。

考虑到本文实验的训练集并不丰富, 所以选用近年来在小样本训练中有优异表现的学习机类型: 支持向量机 (support vector machine, SVM) 作为对照的分类器模型。SVM 是根据统计学习理论提出的一种新型机器学习方法^[21]。在小样本情况下, 要改善学习机的泛化性, 需要使经验风险和置信范围同时最小化, 这种思想称为“结构风险最小化” (SRM) 原则。Vapnik 提出的“函数集分解法”可以满足 SRM 原则^[22]。SVM 正是基于这一思想开发的、可以在小样本训练情况下获得具有最优解和较优泛化性的分类器。SVM 采用最大间隔分类器, 其核心思想可以概括为: 在不增加样本数量的前提下, 在所有可能的分类面中搜索这样的平面: 它不但能将两类样本正确分开 (实现训练分类错误率为 0 或经验风险最小), 而且能使两类的分类间隔最大 (使分类面的置信范围最小或实现最优的泛化能力), 以达到使分类面真实风险最小的目的。

经典 SVM 算法通常只用于二分类, 但可以方便地推广到多分类。比如可以通过某种方式构造一系列的二类分类器, 并以它们的组合实现多分类。组合方式可以有一对一, 一对多和多对多等^[21, 23-24]。

本文的实验按照类别数逐级构建 SVM 分类器, 以“一对多”方法实现 SVM 多分类, 对于有多个解的单元, 以投票法决定其归属。分类器的核函数采用高斯径向基函数核。并约定对于因学习机放弃而未分的单元, 类别记为 -1 (不能分)。表 4 比较了 SVM 和 DT 分类的精度。

表中数值表示校验样本数。UP 表示用户精度, 能分样本指去除了不确定和不能分样本后的剩余样本。这里的正确分类均指在 Dw 允差不大于 10% (模式值级差不大于 1) 情况下。

表 4 SVM 和 DT 的分类精度比较

Table 4 An example of comparing classification precision between with SVM and with DT

	正确分类 Correct	误分 Mistake	0 (不确定) Unsure	-1 (不能分) Incapable	UP (对全部样本) For whole samples	UP (仅对能分样本) For only usable samples
DT	22	4	1	0	78.6%	81.5%
SVM	14	3	1	10	50.0%	82.4%

由表 4 可见, 两种方法除去不确定和不能分样本后的用户精度非常接近, 说明学习机模型的类型对分类精度的影响不显著, 分类精度主要取决于输入特征向量中数学描述符的形式和它们的组合。另外, SVM 模型虽然可以略微提高 (除去不确定和不能分样本后的) 用户精度, 但该模型对样本非常挑剔, 不能分样本多达 35.7% (10 个); 同比 DT 模型的这一值为 0。

3 结论

草被退化是一个复杂的循序渐进的过程, 要利用遥感技术动态监测草场沙化和毒杂草侵蚀进程, 加权草被盖度是目前技术条件下可用的监测指标之一。本文主要研究能对不同草被盖度和毒杂草占比的草场进行分类的机器辨识方法, 其关键技术可以归纳为: 在草被盖度中同时考虑毒杂草占比和下层草被高度, 以“加权草被盖度” Dw 代替单纯的“草被盖度” D , 以解决 D 与 TM 植被指数不相关的问题; 通过设计和采用一些对遥感图像类型和获取的环境条件不太敏感的描述符, 以它们的组合作为输入矢量, 来降低机器辨识的错误率和改善分类器的泛化性。

根据高寒区草被盖度分类的特点, 本文提出了植被指数分级密度、植被相对饱和度分级密度等 8 个新的数学描述符, 并逐一进行了与草被盖度的相关性分析或分割实验, 以证明它们能够响应 Dw 的变化。还用部分描述符组合进行了训练学习机和分类的实验。实验证明这些描述符的组合能帮助学习机辨识 Dw 不同的草被。

研究表明, 在一定数量的草被盖度野外采样数据的支持下, 以 TM/ETM 数据可以实现草被盖度信息的自动分类。通过野外采样数据检核, 这种分类的准确率接近或达到 80%。通过照度调整减少不同时相图像照

度差异的影响,还可以进一步实现 Dw 变迁信息的自动化提取。通过不同学习机分类还证明了学习机的类型对分类精度的影响不显著,分类精度主要取决于输入特征向量中数学描述符的形式和它们的组合。

References:

- [1] Qi D C, Li G Y, Chen W Y, Chen W Q, Su Y X. Present status, causes and control countermeasures of natural grassland degeneration in Maqu county. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(2): 202-207.
- [2] Zhang L S, Ma L P. Study on Desertification in Maqu county, upstream of Yellow River. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(1): 84-87.
- [3] Feng B, Gao Y H, Luo C Y, Mao Y. Analysis on the causes of grassland degradation in Maqu county. *Grassland and Turf (Bimonthly)*, 2006, 199(6): 60-63.
- [4] Xue X, Guo J, Zhang F, Zong L, Han B S, Huang S H. Development and cause of Aeolian Desertification in Alpine Region-In case of Maduo county in Yellow River source area. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(5): 725-732.
- [5] Wang G X, Shen Y P, Cheng G D. Eco-environmental changes and causal analysis in the source regions of the Yellow River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, 22(3): 200-205.
- [6] Ren H C, Lu Y L, Jiang Y, Sun J M. Spatial pattern analysis on desert ecosystem in Western China. *Bullet in of Soil and Water Conservation*, 2004, 24(5): 54-59.
- [7] Wang W L, Niu Z, Wei Y X. Land cover type classification and potential desertification area detecting in Xinjiang based on MODIS NDVI imagery. *Arid Land Geography*, 2007, 30(4): 573-578.
- [8] Shi J Z, Chen X S, Zhang L S, Li X B, Wei J P. The condition and changing trend analysis of desertification land in Gansu province. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(9): 1539-1544.
- [9] Zhang Z. Analyses of status quo of desert on source of Yellow River by remote sensing information. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2000, 14(2): 25-29.
- [10] Xiao X, Ojima D S, Ennis C A et al. Estimation of above ground biomass of the Xilin River Basin, Inner Mongolia, using landsat TM imagery. *Grassland Ecosystem Research (Episode 5)*, Beijing: Science Press, 1997.
- [11] Wang Y R, Yong S P. A correlative analysis between spectral reflectance and yield of grassland on Xilingol, inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 1990, 14(3): 258-266.
- [12] Li B. The Range land Degradation in North China and its preventive strategy. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30: 1-9.
- [13] Zhang J, Li G C, Liu X H, Han X G. Monitoring of vegetation degradation in typical grassland with grassland health index. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(12): 1392-1396.
- [14] Zha Y, Gao J, Ni S X, Liu Y S, Jiang J J, Wei Y C. A spectral reflectance-based approach to quantification of grass cover from Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 87: 371-375.
- [15] DuMouchel W H and O'Brien F L. Integrating a robust option into a multiple regression computing environment. *Computer Science and Statistics: Proceedings of the 21st Symposium on the Interface*. Alexandria, VA: American Statistical Association, 1989.
- [16] Zhou J H, Zhou Y F. Quantitative descriptors for identifying plant species of urban landscape vegetation. *Frontiers of Earth Science in China*, 2010(4): 457-462.
- [17] Zhou J H, Hu Y H, Zhou Y F, Yu L Z. A design of carbon-sink model of urban landscape vegetation driven by remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5653-5665.
- [18] Quinlan J R. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1986, 1: 81-106.
- [19] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environment*, 1988, 25: 295-309.
- [20] Gao X, Huete A R, Ni W. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing Environment*, 2000, 74(3): 609-620.
- [21] Vapnik V N. *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer-Verlag, 1995.
- [22] Vapnik V N. *Statistical Learning Theory*. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [23] Hsu C W, Lin C J. A Comparison of methods for multi class support vector machines. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2002, 13(2): 415-425.
- [24] Sungmoon C, Sang H O, Soo-Young L. Support vector machines with binary tree architecture for multi-class classification. *Neural Information Processing-Letters and Reviews*, 2004, 2(3): 47-51.

参考文献:

- [1] 戚登臣, 李广宇, 陈文业, 陈炜青, 苏永祥. 黄河上游玛曲县天然草场退化现状、成因及治理对策. 中国沙漠, 2006, 26(2): 202-207.
- [2] 张龙生, 马立鹏. 黄河上游玛曲县土地沙漠化研究. 中国沙漠, 2001, 21(1): 84-87.
- [3] 冯冰, 高玉红, 罗春燕, 毛羽. 玛曲县草地退化成因分析. 草原与草坪, 2006, 19(6): 60-63.
- [4] 薛娴, 郭坚, 张芳, 宗莉, 韩邦帅, 黄翠华. 高寒草甸地区沙漠化发展过程及成因分析, 以黄河源区玛多县为例. 中国沙漠, 2007, 27(5): 725-732.
- [5] 王根绪, 沈永平, 程国栋. 黄河源区生态环境变化与成因分析. 冰川冻土, 2000, 22(3): 200-205.
- [6] 任鸿昌, 吕永龙, 姜英, 孙景梅. 西部地区荒漠生态系统空间分析. 水土保持通报, 2004, 24(5): 54-59.
- [7] 王莉雯, 牛铮, 卫亚星. 基于 MODIS NDVI 的新疆土地覆盖类型划分与潜在荒漠化区域探测. 干旱区地理, 2007, 30(4): 573-578.
- [8] 石建忠, 陈翔舜, 张龙生, 李晓兵, 魏金平. 甘肃省土地荒漠化状况及分析. 环境科学学报, 2006, 26(9): 1539-1544.
- [9] 张志. 黄河河源沙漠现状遥感分析. 干旱区资源与环境, 2000, 14(2): 25-29.
- [11] 王艳荣, 雍世鹏. 内蒙古锡林郭勒草原植被的光谱反射特征与牧草产量相关性的分析. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(3): 258-266.
- [12] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, 1997, 30: 1-9.
- [13] 张剑, 李贵才, 刘先华, 韩兴国. 利用草场健康指数监测典型草原的植被退化. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1392-1396.
- [17] 周坚华, 胡永红, 周一凡, 俞立中. 城镇绿地植被固碳量遥感测算模型的设计. 生态学报, 2010, 30(20): 5653-5665.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《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 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 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:100071	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