

翅碱蓬高光谱植被指数对土壤化学性质的响应

刘庆生, 张敏, 宁吉才, 刘高焕, 傅新, 黄翀

(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 植被覆盖区土壤化学性质遥感监测一直是一个难点, 往往只能通过生物地球化学的方法, 利用上覆植被信息间接地反映。该研究通过野外采样分析的 17 个翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 光谱数据和其下土壤样品的理化分析配对数据, 探讨土壤化学性质与翅碱蓬高光谱植被指数间的关系。结果表明: 上覆翅碱蓬高光谱植被指数与土壤有机质、全氮、速效钾之间均无显著相关, 高光谱植被指数 (NDNI) 可用于初步反映土壤全磷的含量变化, NDVI₇₀₅ 可用于初步反映土壤 pH 值的变化, 而高光谱植被指数 (MSI) 可以很好地反映土壤盐分含量的变化。在此基础上, 建立了土壤全盐量与 19 个高光谱植被指数的偏最小二乘回归模型, 这为翅碱蓬覆盖区域土壤盐渍化遥感监测提供了一种方法。

关键词: 翅碱蓬; 高光谱植被指数; 土壤化学性质

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)03-0086-04

0 引言

土壤化学性质的空间分布是潜在的局地异质性的总和, 它们受生物学和地学等过程影响, 使得区域化变量在空间分布上存在差异性, 因而产生异质的土壤环境^[1], 进而影响着群落的结构和功能组成以及物种竞争和植被动态^[2,3]。当研究区植被覆盖度介于 25% ~ 35% 时, 土壤化学性质只能通过上覆植被光谱信息间接推断^[4]。目前, 在植被遥感中研究较多的是高光谱遥感技术, 涉及植被类型的识别与分类、植物生化成分的估测、植物生态学评价、植物养分水分和盐分胁迫等^[5]。植被指数是高光谱植被遥感中最为常用的技术之一, 是由光谱数据中红光波段和近红外区反射率的线性或非线性组合得到的特征参数, 可直接或间接用来估算植被的生物量等参数, 定量指示植被的生长状况, 反映植被冠层状态的信息^[6]。目前, 人们发展了很多高光谱植被指数, 其中常见并有良好指示作用的部分高光谱植被指数已被集成到商业遥感图像处理软件中。传统的研究土壤化学性质和上覆植被生长关系的方法, 主要是通过生态学调查和采样进行^[7-13], 关于上覆植被光谱特征的应用鲜见报道^[14,15]。本研究利用同步测量的 17 个翅碱蓬野外光谱数据和其下土壤样品的理化分析数据, 选用已被 ENVI 集成的部分高光谱植被指数进行计算, 以黄河三角洲湿

地生态系统演替的先锋植物——翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 为研究对象, 探讨土壤化学性质与翅碱蓬野外光谱之间的关系, 建立翅碱蓬高光谱植被指数与土壤化学性质的偏最小二乘回归模型, 为通过高光谱遥感数据获取翅碱蓬生长状况、进而获得其下土壤盐分等性状奠定基础。

1 研究区和数据准备

1.1 研究区概况

研究区位于山东省东营市的黄河三角洲, 该区域光照充足, 热量丰富, 四季分明, 气温适中, 雨热同期, 风能资源丰富, 但降水年内分配不均, 且蒸发量大。黄河三角洲地区的土壤盐分含量高, 原生盐碱和次生盐渍化日趋加剧^[16]。

三角洲植被演替与土壤演替密切相关, 两者在演替过程中相互影响。在黄河淤积的新的滩涂裸地上, 抗盐能力较强的翅碱蓬群落首先出现, 使土壤条件得以改善。在这种条件下, 有怪柳种源的地方逐渐演替为怪柳灌丛, 有獐茅伴生的翅碱蓬群落逐渐发育成獐茅草甸。低洼处, 伴生植物芦苇逐渐成为建群种发育成芦苇沼泽。怪柳、獐茅群落通过泌盐作用及枯枝落叶的积累, 进一步降低了土壤的含盐量, 在含盐量为 5 g/kg 的地段, 蒿类、狗尾草、白茅杂草群落开始出现^[17], 逐渐形成了如今黄河三角洲的植被格局。翅碱蓬具有特殊的生物学效应,

收稿日期: 2010-11-09; 修订日期: 2011-01-20

基金项目: 资源与环境信息系统国家重点实验室自主创新团队计划 (088RA400SA); 国家自然科学基金项目 (40771172); 中科院方向项目 (kzcx2yw-308); 中国科学院知识创新工程试点项目 (结合水盐动态模型的现代黄河三角洲盐渍化土特征提取)

作者简介: 刘庆生 (1971-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土壤盐渍化和环境遥感方面的研究。E-mail: liuqs@lreis.ac.cn

它能使盐土脱盐, 增加有机质, 改善土壤结构, 提高肥力, 为其他植物资源生长创造有利的生长条件, 同时它又是优良的饲料植物及救荒植物, 也是黄河三角洲丹顶鹤、白鹭等的主要栖息地, 同时还起着维持湿地生态系统正常演替、防风固堤、调节气候等重要功能, 大面积翅碱蓬在海滩分布所形成的“红地毯”景观也是黄河三角洲湿地旅游开发的重要资源^[18]。近年来, 随着黄河三角洲湿地资源开发的不断深入, 以及黄河断流、湿地污染、海平面上升、海岸线蚀退等一系列环境问题的涌现, 翅碱蓬生境不断退化, 面临着严峻挑战, 这一过程增加了盐生草甸土壤资源的时空分布异质性, 使得土壤—植被系统的生物过程愈来愈多地集中在丛状植被冠下的范围内, 形成丛状岛屿。然而, 关于土壤化学性质如何影响翅碱蓬的生长及其空间分布, 需要深入研究。

1.2 野外光谱数据采集及预处理

选用美国 ASD 公司的 FieldSpec[®]Pro FR 便携式分光辐射光谱仪(波长范围为 350~ 2 500 nm), 在晴朗天气(2007 年 10 月 16~ 19 日, 8: 30~ 15: 30)进行植被光谱测量, 探测高度约植被上方 30 cm, 连续测 5 次。最后在室内利用已知 99% 白板反射比值将植被野外光谱测量值转化为植被反射率值, 取 5 次反射率平均值为该点植被的野外光谱反射率值, 由此获得 350~ 2 500 nm 范围内每个波段(光谱分辨率: 重采样后 1 nm, 波段数: 2 151 个)的反射率值。在野外共获得翅碱蓬野外光谱 23 个。由于大气强吸收(1 350~ 1 460 nm 和 1 790~ 1 960 nm)、水汽及其它因素干扰, 野外光谱测量数据中, 仅 350~ 1 349 nm、1 461~ 1 789 nm、1 970~ 2 002 nm 和 2 018~ 2 300 nm 范围内的 1 645 个波段被用来研究植被野外光谱特征。比较翅碱蓬野外光谱曲线, 剔除了 6 个异常光谱, 剩余 17 个翅碱蓬野外光谱用于本研究。

1.3 土壤样品采集及处理

在翅碱蓬野外光谱仪测量位置的下方, 利用荷兰钻采集土壤样品, 采样深度为 0~ 10 cm。对采集的样品风干、碾碎, 过 1 mm 筛, 进行土壤全盐量、pH 值、有机质、全氮、全磷和速效钾的测定^[19]。其中, 全盐量(TSC)以土壤盐分八大离子的重量之和计算; pH 值(水土比 2.5: 1)采用 PHS-3C 酸度计法测定; 有机质采用电热板加热—K₂Cr₂O₇ 容量法测定; 全氮采用开氏定氮法测定; 全磷采用 HClO₄—H₂SO₄ 法测定; 速效钾采用 NH₄OAc 浸提、火焰光

度法测定。

1.4 高光谱植被指数计算

通过高光谱遥感植被指数技术可提取植被生物物理参数的定量信息, 监测植被的生长状况, 因此高光谱植被指数不断涌现。在本研究中, 选用已被 ENVI 4.5 集成的部分高光谱植被指数进行计算(表 1), 其中第 1~ 4 个指数用来测量植被绿度, 第 5~ 7 个指数用来测量光能利用效率, 第 8 个指数用来测量冠层氮, 第 9~ 11 个指数用来测量干或衰老物质碳, 第 12~ 15 个指数用来测量叶子色素, 第 16~ 19 个指数用来测量冠层水分含量。详细信息可参见 ENVI 4.5 帮助文档。

1.5 土壤化学性质分类与非参数检验

选用除 pH 值外的土壤全盐量、有机质、全氮、全磷和速效钾 5 个要素, 采用层次聚类分析法(选用类间平均链锁法, 距离测度选 cosine)对土壤样品进行分类, 距离测度为 10 时, 17 个土壤样品分为 4 类。为了比较 4 类土壤间上覆翅碱蓬前述高光谱植被指数有无差异, 利用 Kruskal-Wallis Test 进行了多个独立样本的非参数检验。检验结果为, NDVI₇₀₅、VOG1、SIPI、NDNI、PSRI、ARI1、ARI2、WBI、NDWI、MSI 和 NDII 的渐进重要性(检验概率)均小于 0.05, 表明其在 4 类土壤中均有差异, 特别是用来测量冠层水分含量的 WBI、NDWI、MSI 和 NDII 的渐进重要性(检验概率)均远小于 0.05, 表明其在 4 类土壤中均有显著差异; 换言之, 下方土壤化学性质的差异显著影响了上覆翅碱蓬冠层水分含量。

2 土壤化学性质与高光谱植被指数关系分析

2.1 土壤化学性质与高光谱指数相关分析

对土壤化学性质与翅碱蓬高光谱植被指数进行 Pearson 相关分析, 结果表明: 在 0.05 显著性水平下, 土壤全磷与 NDNI 显著相关, Pearson 相关系数为 0.488; 土壤 pH 值与 NDVI₇₀₅、mSR₇₀₅、mNDVI₇₀₅、VOG1、MSI、NDII 显著相关, Pearson 相关系数分别为 -0.599、-0.542、-0.537、-0.535、0.532、-0.503; 土壤全盐量与 mSR₇₀₅、mNDVI₇₀₅、VOG1 显著相关, Pearson 相关系数分别为 0.565、0.575、0.523, 在 0.01 显著性水平下, 土壤全盐量也与 NDVI₇₀₅、SIPI、PSRI、CRI2、ARI1、ARI2、WBI、NDWI、MSI、NDII 显著相关, Pearson 相关系数分别为 0.652、-0.647、-0.673、0.672、0.625、0.713、0.730、0.648、-0.818、0.799; 而土壤有机质、全氮、速效钾

表 1 高光谱植被指数计算公式
Table 1 The calculated equations of the hyperspectral vegetation indices

| 代号 | 名称 | 计算公式 | 取值范围 | 绿色植被范围 | 备注 |
|----|----------------------|--|----------|---------------|-----------|
| 1 | NDVI ₇₀₅ | $NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$ | (- 1, 1) | (0.2, 0.9) | |
| 2 | mSR ₇₀₅ | $mSR_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{445}}{\rho_{705} - \rho_{445}}$ | (0, 30) | (2, 8) | 测量植被绿色度 |
| 3 | mNDVI ₇₀₅ | $mNDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705} - 2\rho_{445}}$ | (- 1, 1) | (0.2, 0.7) | |
| 4 | VOG1 | $VOG1 = \frac{\rho_{40}}{\rho_{20}}$ | (0, 20) | (4, 8) | |
| 5 | PRI | $PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{370}}{\rho_{531} + \rho_{370}}$ | (- 1, 1) | (- 0.2, 0.2) | |
| 6 | SIPI | $SIPI = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} - \rho_{680}}$ | (0, 2) | (0.8, 1.8) | 测量光能利用效率 |
| 7 | RG | $RG = \frac{Mean_{Red}}{Mean_{Green}}$ | (0.1, 8) | (0.7, 3) | |
| 8 | NDNI | $NDNI = \frac{\log(1/\rho_{1510}) - \log(1/\rho_{1680})}{\log(1/\rho_{1510}) + \log(1/\rho_{1680})}$ | (0, 1) | (0.02, 0.1) | 测量冠层氮 |
| 9 | NDLI | $NDLI = \frac{\log(1/\rho_{754}) - \log(1/\rho_{1680})}{\log(1/\rho_{754}) + \log(1/\rho_{1680})}$ | (0, 1) | (0.005, 0.05) | |
| 10 | CAI | $CAI = 0.5 \times (\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100}$ | (- 3, 4) | (- 2, 4) | 测量干或衰老物质碳 |
| 11 | PSRI | $PSRI = \frac{\rho_{680} - \rho_{500}}{\rho_{750}}$ | (- 1, 1) | (- 0.1, 0.2) | |
| 12 | CRI1 | $CRI1 = (\frac{1}{\rho_{510}}) - (\frac{1}{\rho_{550}})$ | (0, 15) | (1, 12) | 测量叶子色素 |
| 13 | CRI2 | $CRI2 = (\frac{1}{\rho_{510}}) - (\frac{1}{\rho_{700}})$ | (0, 15) | (1, 11) | |
| 14 | ARI1 | $ARI1 = (\frac{1}{\rho_{550}}) - (\frac{1}{\rho_{700}})$ | (0, 0.2) | (0.001, 0.1) | |
| 15 | ARI2 | $ARI2 = \rho_{800} \times [(\frac{1}{\rho_{550}}) - (\frac{1}{\rho_{700}})]$ | (0, 0.2) | (0.001, 0.1) | |
| 16 | WBI | $WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{70}}$ | | (0.8, 1.2) | |
| 17 | NDWI | $NDWI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}}$ | (- 1, 1) | (- 0.1, 4) | 测量冠层水分含量 |
| 18 | MSI | $MSI = \frac{\rho_{1599}}{\rho_{819}}$ | (0, 3) | (0.4, 2) | |
| 19 | NDII | $NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}}$ | (- 1, 1) | (0.02, 0.6) | |

注: 此表编自 ENVI4.5 帮助文档。

与翅碱蓬高光谱指数之间均无显著相关; 土壤盐分与翅碱蓬 MSI(湿度压力指数) 相关系数最高, 呈显著负相关, 即 MSI 值越大, 指示翅碱蓬冠层水分含量越少。由此可见, 土壤盐分越高, 上覆翅碱蓬冠层水分含量越大, 这一方面反映了翅碱蓬为喜盐耐盐植物, 另一方面也反映了其植物生理特性, 即肉质枝叶, 富含水分。

2.2 偏最小二乘回归分析

偏最小二乘回归分析是从应用领域中提出的一种新型多元数据分析方法。在观测值数量少以及存在多重相关性等问题时(在高光谱遥感中由于经费、时间和人力的关系, 观测值少和高光谱波段间多重相关问题都普遍存在), 该方法具有传统的回归方法所不具备的许多优点。它意义明确, 计算简单、省时, 建模效果好, 解释性强^[20]。因此, 本研究选择偏最小二乘回归方法进行土壤全盐量与高

光谱植被指数之间的关系研究, 土壤全盐量(TSC)与 19 个高光谱植被指数的偏最小二乘回归模型($R^2 = 0.758$)如下:

$$TSC = -14.9 + 7.324 \times NDVI_{705} + 1.406 \times mSR_{705} + 4.003 \times mNDVI_{705} + 1.473 \times VOG1 + 8.400 \times PRI - 0.539 \times SIPI + 5.649 \times NDNI - 4.355 \times NDLI - 34.809 \times CAI - 3.613 \times PSRI + 0.421 \times CRI1 + 0.130 \times CRI2 + 0.117 \times ARI1 + 0.386 \times ARI2 + 14.010 \times WBI + 9.075 \times NDWI - 2.887 \times MSI + 4.908 \times NDII + 1.226 \times RG$$

从上述方程回归系数看: 土壤全盐量与 MSI、PSRI、SIPI、CAI 和 NDLI(这些指数与翅碱蓬冠层含水量呈负相关) 起负向作用, 土壤盐分增加则翅碱蓬冠层含水量增加, 土壤全盐量与其余高光谱植被指数起正向作用, 土壤盐分增加则翅碱蓬冠层的绿色、光能利用率等都增加, 这表明土壤盐分对翅碱蓬生长的正向作用。图 1 反映了高光谱植被指数对于土壤全盐量的重要性, 可见反映土壤全盐量最为重

要的 3 个高光谱植被指数为 MSI、NDII 和 WBI, 它们均是用来测量翅碱蓬冠层水分含量的指数, 其次为用于测量叶子色素的 ARI2 和 CRI2。

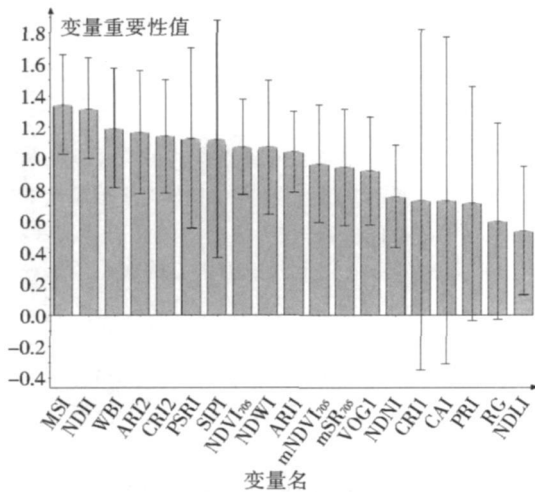


图 1 高光谱植被指数重要性
Fig. 1 Important plot of hyperspectral indices

3 结论与讨论

(1) 高光谱指数中与全磷、pH 和全盐量最大相关的指数分别为 NDNI、NDVI₇₀₅ 和 MSI, Pearson 相关系数分别为 0.488、-0.599 和 -0.818, 可以用这些高光谱植被指数反映下方土壤全磷、pH 值和全盐量的变化, 而土壤有机质、全氮、速效钾与翅碱蓬高光谱指数之间均无显著相关。

(2) 土壤全盐量与高光谱植被指数偏最小二乘回归分析表明, 土壤盐分对翅碱蓬生长起正向作用, MSI、NDII 和 WBI 可以很好地反映土壤盐分含量的变化, 其次为用于测量叶子色素的 ARI2 和 CRI2。特别是 MSI, 可以用作下方土壤盐分监测指标, 在翅碱蓬覆盖的区域进行土壤盐渍化监测。

(3) 本研究仅是 17 个植被光谱-土壤化学性质配对样本研究的结果, 一方面还需增加样本量, 提高翅碱蓬及下方土壤化学性质的取值范围, 进一步验证所获结果, 提高其普适性; 另一方面应增加土壤水分测量数据, 以消除其对翅碱蓬长势的影响, 增强翅碱蓬与下方土壤化学性质的关系。

(4) 卫星遥感数据影响和限制因素(云、混合像元等)较多, 如何将野外光谱测量数据获得的结果最终应用到卫星遥感数据中, 获得大范围的应用效果, 是需要深入探讨和研究的问题。

参考文献:

[1] GALLARDO A. Spatial variability of soil properties in a flood plain forest in Northwest Spain [J]. *Ecosystems*, 2003(6): 564

- 576.

[2] 王其兵, 李凌浩, 刘先华, 等. 内蒙古锡林河流域草原土壤有机碳及氮素的空间异质性分析 [J]. *植物生态学报*, 1998, 22(5): 409-414.

[3] 何兴东, 高玉葆, 赵文智, 等. 科尔沁沙地植物群落圆环状分布成因地统计学分析 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1512-1516.

[4] KARAVANOVA E I, SHRESTHA D P, ORLOV D S. Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semiarid Uzbekistan [A]. BRIDGES E M, HANNAM I D, OLDEMAN L R, et al. Response to Land Degradation [M]. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd, 2001. 261-273.

[5] 杨可明, 郭达志, 陈云浩. 高光谱植被遥感数据光谱特征分析 [J]. *计算机工程与应用*, 2006(31): 213-215, 222.

[6] 黄春燕, 王登伟, 陈冠文, 等. 基于高光谱植被指数的棉花干物质积累估算模型研究 [J]. *棉花学报*, 2006, 18(2): 115-119.

[7] 崔保山, 贺强, 赵欣胜. 水盐环境梯度下翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 的生态阈值 [J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1408-1418.

[8] 刘小京, 李伟强, 杨艳敏, 等. 河北省滨海盐碱地土壤与盐生植物养分特征的研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2): 76-77.

[9] 吕貽忠, 李保国, 崔燕. 不同植被群落下土壤有机质和速效磷的小尺度空间变异 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(8): 1581-1588.

[10] 王海涛, 何兴东, 高玉葆, 等. 油蒿演替群落密度对土壤湿度和有机质空间异质性的响应 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 1145-1153.

[11] DUAN D Y, LI W Q, LIU X J, et al. Seed germination and seedling growth of *Suaeda salsa* under salt stress [J]. *Ann. Bot. Fennici*, 2007, 44: 161-169.

[12] 马小伟, 胡东, 华振铃, 等. 土壤水分、盐分对野鸭湖湿地植物群落演替的影响 [J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 29(1): 50-54.

[13] 周萍, 刘国彬, 候喜禄. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究 [J]. *草业学报*, 2008, 17(2): 9-18.

[14] 刘庆生, 刘高焕, 励惠国. 辽河三角洲土壤盐分与上覆植被野外光谱关系初探 [J]. *中国农学通报*, 2004, 20(4): 274-278.

[15] 陈晓军, 刘庆生, 刘高焕. 辽河三角洲土壤性状与水稻群落野外光谱关系初步研究 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 184-188.

[16] 刘高焕, 汉斯·德罗斯特. 黄河三角洲可持续发展图 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997. 66.

[17] 张高生, 李峻, 李岩. 黄河三角洲生态现状及保护对策 [J]. *农村生态环境*, 2000, 16(2): 24-27.

[18] 崔保山, 贺强, 赵欣胜. 水盐环境梯度下翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 的生态阈值 [J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1408-1418.

[19] 李酉开, 蒋柏潘, 袁可能. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 202-219.

[20] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 1-4.

(下转第 104 页)

- Web sever information flows[J]. *Geographical Analysis*, 1998, 30(4): 285- 303.
- [8] 杜丽娟, 张欣, 路紫. 国内网站信息流对人流引导作用机理研究综述[J]. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(4): 84- 87.
- [9] 孙中伟, 张兵, 王杨, 等. 互联网资源与我国省域经济发展的关系研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 44- 48.
- [10] 陈彦光, 周一星. 城市等级体系的多重 Zipf 维数及其地理空间意义[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(6): 823- 830.
- [11] 刘红光, 刘科伟. 基于中心地理理论的城镇等级—规模模型的分形构建及其应用[J]. *地理与地理信息科学*, 2006, 22(3): 74- 77.
- [12] 刘晓丽, 方创琳, 王发曾. 中原城市群的空间组合特征与整合模式[J]. *地理研究*, 2008, 27(2): 410- 420.
- [13] 杨国良, 张捷, 艾南山, 等. 旅游流齐夫结构及空间差异化特征[J]. *地理学报*, 2006, 61(12): 1281- 1289.
- [14] 岳文泽, 徐建华. 分形理论在人文地理学中的应用研究[J]. *地理学与国土研究*, 2001, 17(2): 51- 56.
- [15] 仵宗卿, 戴学珍, 杨吾扬. 帕雷托公式重构及其与城市体系演化[J]. *人文地理*, 2000, 15(1): 15- 19.

Difference of Concentration of Tourism Website Information Flow Distance Decay and Its Examination

DENG Li- li, ZHANG Qiu- luan, FAN Hua, LU Zi, GUO Feng- yun
(*Department of Tourism, College of Resource and Environment Sciences,
Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China*)

Abstract: Based on the paper of "Description of Distance Decay Patterns of Tourism Websites Information Flow and Calculation of Its Concentration", the exponential decay model was used to analyze tourism website information flow distance decay form and concentration differences from the angle of tourism website properties, meanwhile Zipf Law was applied to examine its concentration characteristics. The results are as follows: 1) The tourism websites with different nature have different information flow distance decay forms. Tourism website information flow distance decay forms have shown different characteristics respectively in tourism department website, tourism enterprise website and tourism destination website, which is the tourism website information flow distance decay is very accord with exponential decay model, basically accord with exponential decay model and do not fit the exponential decay model. 2) The concentration of information flow distance decay of the tourism website with different nature is difference. The tourism department website information flow distance decay has obvious local concentration characteristics. Tourism enterprise website information flow distance decay has both local concentration and economic concentration characteristics. Tourism destination website information flow distance decay has obvious economic concentration characteristics. 3) Most fractal dimension value around 0.5 means that the concentration of tourism website information flow distance decay is strong. The difference of fractal dimension value shows that the concentration of tourism website information flow distance decay is different in different nature tourism websites. The sequence scale of tourism website information flow is accord with Zipf Law. Its first province is website location province or provinces around. The first four provinces for sequence scale are developed provinces which can explain tourism website information flow distance decay having both local concentration and economic concentration characteristics. 4) The Zipf examination of tourism website information flow distance decay concentration has confirmed the general significance of space distance concentration characteristics.

Key words: tourism website; information flow; exponential decay model; Zipf's Law; concentration

(上接第 89 页)

Hyperspectral Vegetation Indices of *Suaeda Salsa* in Response to Changes of Soil Chemical Properties

LIU Qing- sheng, ZHANG Min, NING Ji- cai, LIU Gao- huan, FU Xin, HUANG Chong
(*State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, IGSNRR, CAS, Beijing 100101, China*)

Abstract: It is difficult to monitor soil salinization at the regions covered by vegetation. In general, the above covered vegetation information was used to indirectly monitor the soil chemical properties on the basis of biogeochemical method. In this paper, *Suaeda salsa* spectra and soil property data were gotten through measurement of seventeen paired samples, which were used to study hyperspectral vegetation indices of *Suaeda salsa* in response to changes of soil chemical properties. The results showed that there were not significant relationship between hyperspectral vegetation indices and organic matter, total nitrogen and available potassium of soils, and NDNI and NDVI₇₀₅ could be elementarily used to reflect total phosphorus and pH of soils respectively, and MSI could be used to monitor soil salt content very good. Finally the partial least squares regression model between soil salt content and the nineteen hyperspectral vegetation indices was made, which indicated that soil salt content was beneficial to *Suaeda salsa* growth, and MSI could be used as the index for monitoring soil salinization at the regions covered by vegetation.

Key words: *Suaeda salsa*; hyperspectral vegetation index; soil chemical property