

文章编号: 1000-5641(2007)04-0042-07

长江口潮滩湿地植被光谱分析与遥感检测

张杰, 沈芳, 刘志国

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 通过野外实测长江口潮滩湿地主要植物的光谱特征, 分析和提取了优势植被的光谱特征参数和波段. 考虑到潮滩湿地植被在生长特点、季节和盖度等方面的影响因素, 采用了组合光谱特征波段的植被指数对长江口潮滩湿地植被进行分类检测, 以期在现有的多光谱遥感影像上提高分类精度, 检测出潮滩湿地植被空间分布的变化. 分别计算了实测夏季和秋季的 RVI , $NDVI$, $SAVI$ 和 $MSAVI$ 四种植被指数, 得出不同植被指数对潮滩湿地植被不同盖度和不同季节的检测方法, 并将该方法应用于多光谱 TM 影像上, 验证这几种植被指数在 TM 影像上的分类精度. 结合实地考察, 发现 $MSAVI$ 应用到多光谱 TM 影像上对潮滩湿地植被的分类检测效果最好, 但时相应选择夏季.

关键词: 潮滩; 植被指数; 光谱分析; 遥感检测

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A

Spectral Analysis and Remote Sensing Detection of Tidal Shoals' Vegetation in the Estuary of Yangtse River

ZHANG Jie, SHEN Fang, LIU Zhi-guo

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract This paper analyzed the spectrum character of preponderant vegetables and distilled wave band using the spectrum of the vegetation through field measure in the estuary of Yangtse River. Considering influence factors such as vegetation growth characteristic, season, vegetation cover in tidal shoal, vegetation index of combined characteristic wave bands was used to detect tide shoals' vegetation, in order that it could improve the vegetation classification precision and detect the changes of vegetation environment. The paper computed Vegetation Index of Ratio Vegetation Index (RVI), Normalized Difference Vegetation Index ($NDVI$), Soil-Adjusted Vegetation Index ($SAVI$) and Modified Soil-Adjusted Vegetation Index ($MSAVI$), and analyzed the advantages and disadvantages of the four vegetation indexes in different covers and seasons. Then used these indexes to detect the vegetation classification in TM image. In conclusion, combining the field measure and taking season factor into account for better classification, $MSAVI$ wins the advantage of each vegetation index in classification.

收稿日期: 2006-06

基金项目: 上海市科技攻关计划项目 (04DZ12049; 04DZ19305)

第一作者: 张杰 (1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事河口海岸遥感应用研究.

通讯作者: 沈芳 (1964-), 女, 博士, 副教授. E-mail: fshen@sklec.ecnu.edu.cn.

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

Key words: tidal shoal; vegetation index; spectrum analysis; remote sensing detection

0 引 言

湿地是自然界最富生物多样性的生态景观和人类社会赖以生存和发展的环境之一, 是长江口上海辖区内的一大特色, 约占上海市总面积的 40%^[1], 而潮滩是长江口最主要的湿地组成部分, 植被又是长江口潮滩湿地主要的地物类型之一, 对潮滩湿地植被进行遥感检测对长江口潮滩湿地的可持续利用研究有着重要的意义. 长江口潮滩植被由于受人工引种、航道工程建设及其它人类活动的影响, 年际变化较大, 如新生湿地九段沙. 卫星遥感的复轨能力, 稳定一致的传感器参数和系列运行计划, 连续记录了地表的显著变化信息, 因此, 开展长江口潮滩湿地植被检测, 为数据库更新、资源环境变化和反演潮滩演变, 反演潮滩高程提供变化数据, 进而可以指导海岸带土地利用和海岸工程建设等, 这不仅具有理论意义且具有实际意义. 本文采用高光谱分析变化检测技术, 利用植被指数和盖度的关系探求长江口潮滩湿地植被分类的最佳植被指数.

1 研究区概况

1.1 地理位置概述

作为世界第三大河的长江为河口区提供了丰富的水土资源, 多年平均入海泥沙量占全国大、中河流泥沙量的 24%. 长江口滩涂后备资源十分丰富, 0 m 以上滩涂面积为 896 km². 潮滩是指由潮汐作用为主的宽阔、平坦的沉积体, 在过去的 13 个世纪, 在长江口区沉积下来的泥沙已形成了 4 个河口沙洲: 崇明岛、长兴岛、横沙岛以及九段沙^[2]. 目前受国家重点保护的潮滩湿地主要是崇明东滩和九段沙湿地(图 1).

1.2 植被概况

九段沙位于 31°06'20" ~ 31°14'00" E, 121°53'06" ~ 122°04'33" N, 是长江河口一块重要的河口潮滩新生湿地, 其植物群落的演替正处于初级阶段, 高等植物种类不多, 多样性较低. 九段沙 3 个沙洲上现有高等植物 15 种, 主要有芦苇、海三棱藨草、藨草、互花米草和糙叶苔草等, 它们的生物量占九段沙植被总生物量的 99% 以上^[3].

崇明东滩位于 121°42' ~ 122°5' E, 31°25' ~ 31°38' N. 它是由长江下泻的大量泥沙在江海交互作用下不断加积而成, 更是人类生产活动对土地利用程度逐渐深化的结果^[4]. 其湿地植被群落的演替处于较高阶段, 植被种类达 122 种, 分属 34 科 88 属, 其中芦苇、糙叶苔草、藨草、碱莞和碱蓬等形成的群落在整个滩涂上占有广大的面积^[5]. 本次遥感调查主要针对优势群落及具广泛分布的植被, 讨论其光谱特性与遥感分类.

一般情况下生物群落指标如密度和盖度在年度内呈周期性变化, 一般春末、夏季和初秋指标较高, 而秋末、冬季和初春指标较低. 长江口湿地植被也具有显著的季相变化, 春季

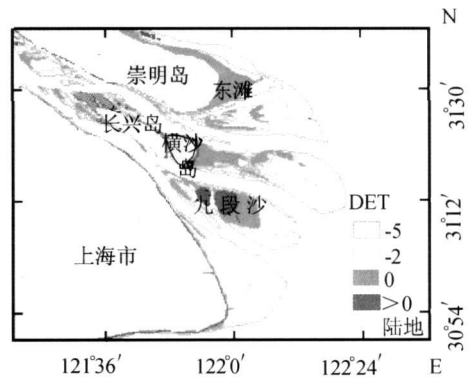


图 1 长江口潮滩地理位置

Fig. 1 Location of tide shoals in Yangtze River estuary

开始生长, 夏季生物量最大, 秋季逐渐衰落死亡. 互花米草在上海属于外来物种, 并且扩散面积快速增加, 而据野外观测发现, 互花米草在冠层特点上, 冬季仍然显示一些黄绿色特征, 而同时的芦苇冠层完全是干枯的植物颜色特征. 自然条件下, 长江口优势植被群落沿潮滩高程依次分为潮间海三棱藨草带和潮上芦苇带. 海三棱藨草为潮滩先锋种群, 高程不同其生长密度变化较大, 靠近光滩部分植株低矮, 分布稀疏, 靠近芦苇带植株高度增加, 密度增大. 芦苇生长迅速、整齐繁茂. 互花米草扩散能力极强, 在潮水经常淹没的潮间带, 其它高等植物几乎无法生存, 它却能正常生长.

本文重点对芦苇、海三棱藨草、互花米草三种优势植被进行遥感分类.

2 光谱测量

测量仪器采用美国 Analytical Spectral Devices Inc 公司设计生产的供野外现场测量的快速扫描分光辐射光谱仪 FieldSpec FR. ASD FieldSpec FR, 测量光谱范围 350 ~ 2 500 nm. 在 350 ~ 1 000 nm 抽样间隔为 1.4 nm, 光谱分辨率为 3 nm; 在 1 000 ~ 2 500 nm 抽样间隔为 2 nm, 光谱分辨率为 10 nm, 具有较高的抽样间隔和光谱分辨率. 固定扫描时间为 0.1 s, 动态范围: 可测量的最大辐射值为两倍于零度天顶角时 100% 漫反射板的辐射值. 并带有 Windows 系统下可用的 RS3 用户界面软件, 用于 350 ~ 2 500 nm 全光谱范围的原始数据、反射、辐照度和辐亮度光谱数据采集、存储和显示.

数据获取的试验区位于长江口的九段沙和崇明东滩两个潮滩湿地, 于 2005 年 6 月夏季和 2005 年 9 月秋季分别进行野外植被光谱测量及考察. 测量都是沿着从陆向水的方向, 根据不同植被不同盖度进行, 九段沙测点为 24 个, 分别从上沙、中下沙选取不同的测点; 崇明东滩是沿着南、中、北三剖面进行, 共测点 49 个. 野外测量在天气相对稳定的情况下进行, 测量时间为 9:00 ~ 14:00, 为了使测量数据具有代表性, 对同一地区、同种地物测量多次, 某一点的植被一次保存 5 至 10 条光谱, 单一植被在光谱的选取上采取根据当天的天气状况而定, 如果天气状况有变动, 选取最近的光谱记录作为待分析的数据, 由于距测量参考板的时间最近, 数据不会由于天气变化影响过多; 如果天气情况稳定, 选取前 5 或 10 条平均作为待分析的光谱, 以期使数据最大程度的反映当时植被本身特征.

3 检测方法与分析

3.1 植被光谱特征分析

图 2 中 G 表示反射峰最大值的位置, H_G 为可见光绿波段反射峰净高度, R 表示可见光红波段的吸收谷的位置, H_R 为红谷净吸收深度, I_1 表示近红外平台的位置, I 表示红外波段反射率的最大值的位置.

从实测的高光谱曲线(图 2)中提取植被的特征参数信息^[6,7](表 1), 可以看出, 从光谱反射率及一些光谱特征参数与碱蓬其它植被是比较容易区分的; 从红谷净吸收深度看, 苔草的值远远小于其它植被的值, 其红外波段反射率最大值也是最小的. 对比崇明东滩和九段沙的优势植被海三棱藨草、芦苇和互花米草, 从表 1 中可以看出, 芦苇的红谷净吸收深度略大于海三棱藨草和互花米草, 海三棱藨草绿反射峰最大值略高于其它两类植被的.

所有高光谱数据参与分析或分类显然数据量过大, 且易平滑信息特征; 但仅从个别特征参数中区分植被又显不足. 因此, 本文拟采用组合特征参数的植被指数用于分类检测. 植被

指数检测中所用到的红外波段反射率 ρ_{NIR} 及红谷吸收峰 ρ_R 的数值采用可见光红波段的反射率和近红外波段的反射率极值, 具体波段及其对应数值见表 1.

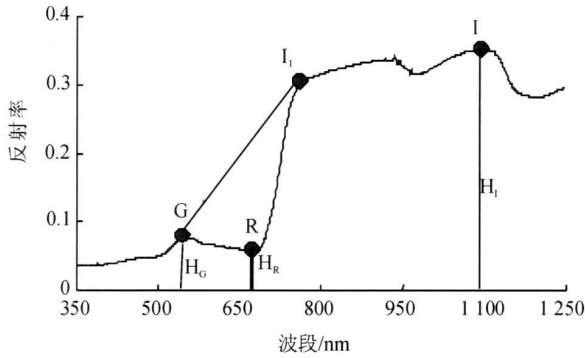


图 2 长江口潮滩植被的特征光谱曲线

Fig. 2 Spectral Feature curves of different vegetation in tidal shoal of Yangtze River estuary

表 1 长江口潮滩湿地植被光谱特征参数

Tab. 1 Spectral feature parameter of the vegetation in tidal flats of Yangtze River estuary

	红谷净吸收深度	红外波段反射率最大值	近红外平台位置/nm	红谷		绿反射峰最大值	绿峰到近红外平台的斜率
				数值	对应波段/nm		
海三棱藨草	0.127	0.28	756	0.04	669-678	0.067	0.000 9
互花米草	0.135	0.274	761	0.033	667-680	0.052	0.000 89
芦苇	0.154	0.313	758	0.034	665-680	0.054	0.001
碱蓬	0.316	0.515	745	0.057	674-675	0.093	0.002
苔草	0.099	0.232	740	0.053	672-677	0.074	0.000 65
藨草	0.146	0.318	746	0.043	666-678	0.071	0.000 98

3.2 植被指数检测

由于长江口的潮滩湿地植被随高程的变化其植被种类及生长密度也相应的有所变化, 而植被生长密度或覆盖下垫面土壤的程度对植被光谱特征影响较大, 故这里讨论盖度和分类的关系尤为重要. 本文将两次春、秋季的野外测量与考察获得的数据从盖度和植被指数关系方面对其进行了分析, 计算比较了 RVI , $NDVI$, $SAVI$ 和 $MSAVI$ 四种植被指数, 然后在多光谱影像上进行了应用分析.

3.2.1 比值植被指数 (Ratio Vegetation Index, RVI)

由于可见光红波段(R)与近红外波段(NIR)对绿色植物的光谱特性显著不同, 两者的数值可充分表达两反射率之间的差异. 比值植被指数可以表达为: $RVI = \rho_{NIR} / \rho_R$.

RVI 植被指数增强植被与土壤背景之间的辐射差异, 可以提供植被反射的重要信息, 是植被丰度和长势的量度之一. 在植被高覆盖度的情况下, 它对植被十分敏感, 当植被盖度小于 50% 时, 它的分辨能力下降. 缺点是对大气状况很敏感.

从图 3 可看出, 6 月份植被高盖度情况下, 海三棱藨草与芦苇、互花米草的值差异较大, 易被检测到, 但芦苇和互花米草就较难区分; 图 4 中, 9 月份植被高盖度的情况下, 互花米草和芦苇的值差异较大, 二者可被检测. 但对于中低盖度或者交错带的情况, 较难检测.

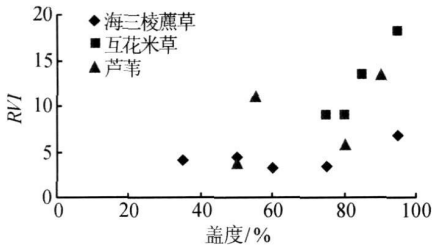


图3 三种优势植被 6 月份的 RVI
Fig. 3 RVI of three preponderant vegetables on Jun

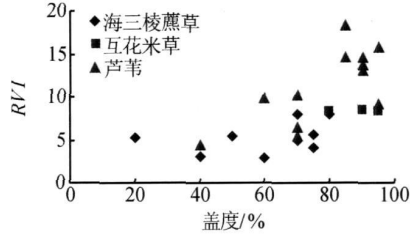


图4 三种优势植被 9 月份的 RVI
Fig. 4 RVI of three preponderant vegetables on Sep

3.2.2 归一化差值植被指数 NDVI

许多研究表明归一化差值植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子^[8],而且在大多数成熟的商业遥感影像处理软件中列为植被指数的标准算法.但其算法也存在着明显的局限性,如对近红外和红光比值的非线性拉伸,其结果增强了低值部分,抑制了高值部分,导致了对高值区较低的敏感性.图5和6均反映中高盖度地区三种优势植被的NDVI值基本接近,较难有效地分别检测出三种优势植被.

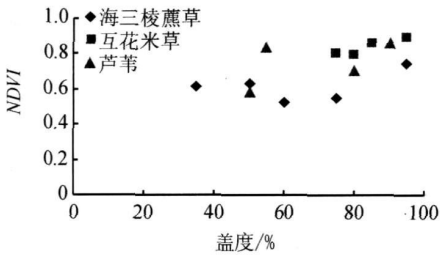


图5 三种优势植被群落 6 月份的 NDVI
Fig. 5 NDVI of three preponderant vegetables on Jun

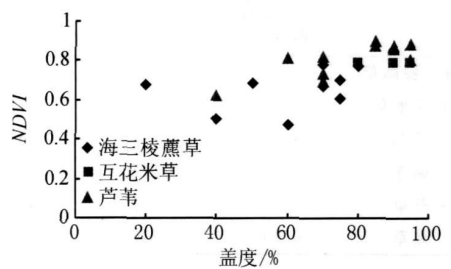


图6 三种优势植被群落 9 月份的 NDVI
Fig. 6 NDVI of three preponderant vegetables species on Sep

3.2.3 调整土壤背景的植被指数

(1) 土壤调节植被指数(SAVI)

为了解释背景的光学特征变化并修正 NDVI 对土壤背景的敏感, Huete 等(1988)提出土壤调整植被指数(Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI)^[9],其表达式为

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} - \rho_R + L} (1 + L).$$

式中: L 是一个土壤调节系数,用来减小植被指数对不同土壤反射变化的敏感性.调节系数 L 随植被盖度不同而变化,本文分别选取 L 为 0.25, 0.5, 0.75 三个值对 SAVI 进行计算,发现当 $L=0.5$ 时,效果较好,芦苇和海三棱藨草的 SAVI 值被拉伸(图7,8).对比图5,6可以看出,SAVI 比 NDVI 的值有所拉伸,图7显示互花米草和海三棱藨草在高盖度情况下比较容易区分;而在盖度相同的情况下,互花米草的 SAVI 值也是大于芦苇的;图8显示在高盖度下芦苇的 SAVI 的值高于互花米草相应的 SAVI 的值.因此从季相上,可以将海三棱藨草、芦苇、互花米草三种优势植被分别检测出来.

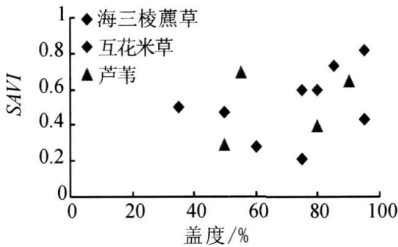


图 7 三种优势植被 6 月份的 SAVI
Fig. 7 SAVI of three preponderant vegetables on Jun

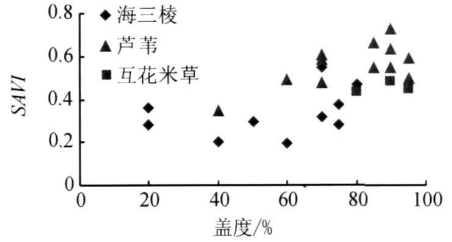


图 8 三种优势植被 9 月份的 SAVI
Fig. 8 SAVI of three preponderant vegetables on Sep

(2) 修正土壤调节植被指数 (MSAVI)

为减小 SAVI 中裸土影响, Qi(1994) 提出了修正的土壤调节植被指数^[10] (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index, MSAVI). 它与 SAVI 最大的区别是 L 值可以随植被盖度而自动调节, 较好消除了土壤背景对植被指数的影响. 其表达式为

$$MSAVI = 2\rho_n + 1 - \sqrt{(2\rho_n + 1)^2 - 8(\rho_n - \rho_r)/2}$$

仔细对比 6 月份和 9 月份的 SAVI (图 7, 8) 和 MSAVI 值 (图 9, 10), 发现海三棱藨草的 MSAVI 值 (图 9) 相对于 SAVI 值 (图 7) 低, 而芦苇和互花米草相对增高, 由此拉伸了海三棱藨草与互花米草、芦苇之间的差异. 图 9 显示海三棱藨草容易从芦苇、互花米草中被检测出来; 图 10 显示芦苇可被检测识别.

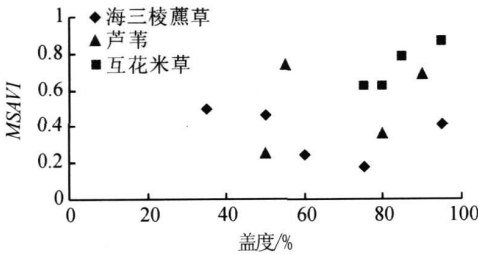


图 9 三种优势植被 6 月份的 MSAVI
Fig. 9 MSAVI of three preponderant vegetables on Jun

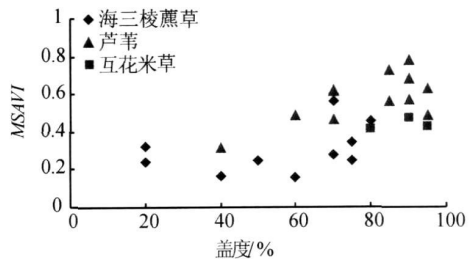


图 10 三种优势植被 9 月份的 MSAVI
Fig. 10 MSAVI of three preponderant vegetables on Sep

4 卫星影像植被检测

鉴于目前高地面分辨率光谱数据还未完全商业化使用, 故采用多光谱 Landsat TM 卫星数据, 分别就上述分析的植被指数进行潮滩湿地植被遥感分类检测的应用.

尽量选取与实测光谱季相接近的时相——长江口九段沙 2004 年 6 月夏季和 2003 年 10 月秋季的 TM 多光谱卫星遥感影像. 原始影像经过了辐射校正和几何精度校正两项预处理, 分别由 TM3 代替公式中的 ρ_R , TM4 代替公式中的 ρ_{NIR} 计算植被指数. 计算验证不同植被指数对植被的分类效果, 在遥感专业软件 Erdas 中进行不同植被指数的公式编辑, 采用非监督分类的方法, 由计算机自动产生分类结果. 图 11 中 a, c 为夏季九段沙植被指数计算结果影像, b, d 为秋季植被指数计算结果影像. 比较而言, 多光谱影像植被指数 RVI 和 MSA-

VI 分类检测效果较好, 而 *SAVI* 和 *NDVI* 检测效果不佳(图 11). 从而得出:

(1) 多光谱 *RVI* 结果与高光谱分析基本类似, 图 11a 夏季海三棱蔗草(浅灰色)被检测, 黑色和深灰色应为芦苇与互花米草, 根据九段沙实地调查, 二者没有有效地区分, 因为九段沙上沙自然状态下只有海三棱蔗草和芦苇; 图 11b 秋季影像中、下沙的互花米草(深灰色)被检测.

(2) 多光谱 *MSAVI* 的夏季影像(图 11c)对芦苇(黑色)、互花米草(深灰色)、海三棱蔗草(浅灰色)均能较好地分类检测, 根据实地调查, 分类比较准确; 图 11d 秋季影像中、下沙的黑色既有芦苇又有互花米草, 不能有效区分.

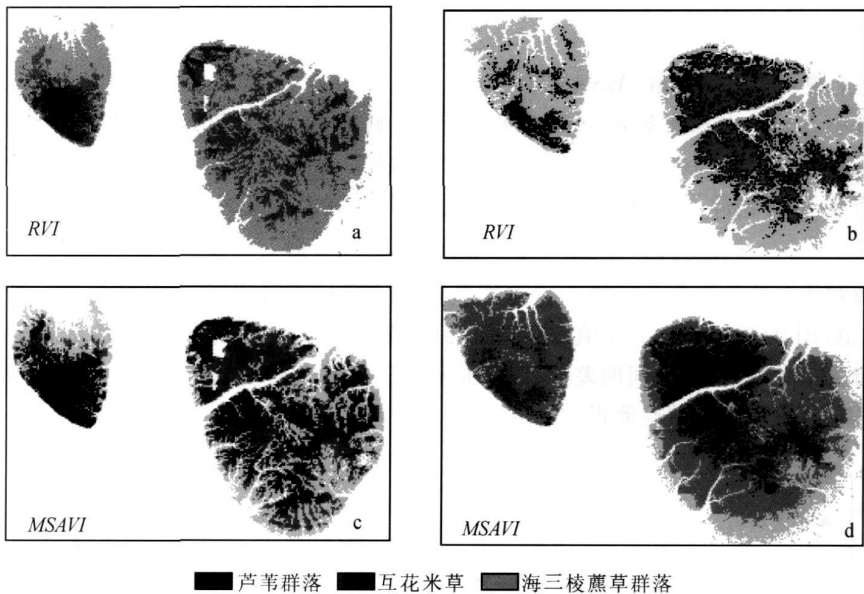


图 11 2004 年夏、2003 年秋季九段沙 *RVI*, *MSAVI* 植被指数的多光谱影像

Fig. 11 *RVI* and *MSAVI* vegetation index of multi-spectral images in spring and autumn in Jiuduansha shoal

5 结 语

从原始实测的潮滩湿地植被高光谱曲线中提取的特征参数信息分析可知, 仅从个别特征参数进行分类检测尚显不足, 但所有高光谱数据参与分析或分类数据量又过大, 且易平滑有用的信息特征. 因此, 本文采用了组合特征参数的植被指数, 考虑到长江口潮滩湿地植被优势群落的种类及生长密度随潮滩高程的变化而变化的特点, 讨论了植被盖度与植被指数分类检测的关系. 结果表明:

(1) *RVI* 对高盖度植被群落的检测较有优势, 如高光谱秋季(图 4)的芦苇和互花米草的分类, 多光谱 *RVI* 秋季影像(图 11b)上互花米草的分类检测;

(2) *NDVI* 抑制了高值, 增强了低值, 故不能有效地对潮滩植被进行分类检测, 高光谱 *NDVI* 分析(图 5, 6)及多光谱 *NDVI* 影像上均有所反映;

(下转第 63 页)

- [6] LINDSTROM M. Urban land use influence on heavy metal fluxes and surface sediment concentrations of small lakes[J]. Water and Soil pollution, 2001, 126: 363-383.
- [7] 陈同斌, 黄铭洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 228-236.
- [8] 吴新民, 潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 713-517.
- [9] 郑表明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京市近郊区土壤镍的空间结构及分布特征[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 470-476.
- [10] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412-422.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 147-211.
- [12] VEEKEN A H M, HAMELERS H V M. Removal of heavy metals from sewage sludge by extract with organic acids[J]. Water Science and Technology, 1999, 40(1): 129-136.
- [13] 王云, 汪雅谷, 罗海林, 等. 上海市土壤环境背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 37-57.
- [14] GNECCO, I BERRETTA, C, LANZA L G, et al. Storm water pollution in the urban environment of Genoa Italy[J]. Atmospheric Research, 2005, 77: 60-63.
- [15] JANG A, YOUNGWOON S, PAUL L B. The removal of heavy metals in urban runoff by sorption on mulch[J]. Environmental Pollution, 2005, 133 (1): 117-127.

(上接第 48 页)

(3) *SAVI* 由于可以消除部分土壤的影响而对 *NDVI* 有所改进, 高光谱 *SAVI* 的分析可以说明(图 7, 8), 但多光谱 *SAVI* 影像的潮滩湿地植被检测效果不佳;

(4) *MSAVI* 是对 *SAVI* 的进一步改进, 与 *SAVI* 的主要区别是根据植被盖度而自动调节土壤系数 *L* 值, 从而更好地降低了土壤背景对植被指数的影响, 突出了不同植被群落的自身差异. 多光谱 *MSAVI* 夏季影像(图 11c)可有效地将潮滩湿地三种优势植被群落芦苇、互花米草、海三棱藨草分别检测出来, 结果与实地调查比较吻合.

[参 考 文 献]

- [1] 谢一民. 上海湿地[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 1.
- [2] 恽才兴. 长江河口近期演变基本规律[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 200-206.
- [3] 唐承佳, 陆健健. 长江口九段沙湿地原生植被的保护及开发利用[J]. 上海环境科学, 2002, 21(4): 210-212.
- [4] 姚丽萍, 徐丽华, 李先华. 基于 RS 的崇明东滩空间动态变化研究[J]. 资源调查与环境, 2005, 26(1): 64-70.
- [5] 左本荣, 陈坚, 胡山, 等. 崇明东滩鸟类自然保护区被子植物区系研究[J]. 上海师范大学学报, 2003, 32(1): 77-82.
- [6] 宫鹏, 浦瑞良. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 81-98.
- [7] 谭倩, 赵永超, 童庆福, 等. 植被光谱维特征提取模型[J]. 遥感信息理论研究, 2001(1): 14-18.
- [8] 赵英时, 陈冬梅, 杨立明, 等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [9] HUETE A R. A Soil adjusted vegetation index (SAVI)[J]. Remote Sens Environ, 1988 (25): 295-309.
- [10] QIJ A. Modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sens Environ, 1994, 48: 119-126.