

基于 Landsat TM/ETM 影像的黄河 三角洲盐渍土动态变化分析

曹建荣¹, 刘文全², 黄翀³, 刘朋⁴

(1. 聊城大学 环境与规划学院, 山东 聊城 252059; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 海洋地质室, 山东 青岛 266061;
3. 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统重点实验室, 北京 100101; 4. 中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 通过 Landsat 系列卫星的 TM 和 ETM 数据的光谱特性研究和盐碱地信息模型的构建, 研究了在黄河三角洲地区通过遥感手段实现对盐渍化土地退化信息提取的可行性。研究结果表明, 黄河三角洲近 10 a 来盐碱地呈现重度盐渍化加重的趋势, 2007 年较 2003 年加重趋势要比 2011 年较 2007 年加重趋势大, 而 2011 年加重趋势趋缓, 但比 2003 年要重, 土地退化明显, 即土壤盐渍化有持续加重趋势, 这与人类活动紧密相关, 主要表现在孤东油田的不断建设忽略了对土地的保护和合理利用, 滨海区域卤水晒盐和养殖池塘的建设上; 轻度盐渍化区域面积也不断增加, 与人工灌区的开挖, 引入黄河径流及水利工程措施有关。人类活动对土壤盐渍化影响既有积极一面, 也有消极作用。

关键词: 土壤盐渍化; 信息提取; 黄河三角洲

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0179-05

中图分类号: TP79

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.005

Analysis on Dynamic Variation of Salinized Soil in Yellow River Delta Based on Landsat TM/ETM Image

CAO Jian-rong¹, LIU Wen-quan², HUANG Chong³, LIU Peng⁴

(1. College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng,

Shandong 252059, China; 2. The First Institute of Oceanography, SOA, Tsingdao,

Shandong 266061, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

CAS, Beijing 100101, China; 4. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: The feasibility of information extraction for the degradation of salinized soil by means of RS in the Yellow River delta region was obtained through analyzing the spectral characteristics of TM&ETM data from the Landsat series satellites and constructing the saline information model. The results showed a deteriorating tendency of severe soil salinization in the past 10 years, and the trend in 2007 compared to 2003 was more severe than that in 2011 compared to 2007. However, the increasing trend slowed down in 2011, but it was still heavier than that in 2003. The degradation of salinized soil was obvious, that meant soil salinization becoming more serious. All the land degradation was closely related to human activities, including ignoring the constant protection and rational utilization of land in Gudong oilfield construction, the construction of coastal areas baysalt brine and aquaculture ponds, mild salinization area increased and the excavation of artificial irrigation area, the introduction of the Yellow River runoff and water conservancy engineering measures. The influence of human activities on soil salinization has side effects of both positive and negative.

Keywords: soil salinization; information extraction; Yellow River Delta(YRD)

收稿日期: 2014-03-24

修回日期: 2014-05-05

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目“典型河口—近海陆海相互作用及其环境效应”(2010CB951200); 国家海洋公益专项(2011418020); 山东省自然科学基金项目(Y2008E27); 山东省科技攻关项目(2013GHY11518); 聊城大学博士启动基金项目; 山东省自然科学基金项目(ZR2010DL0008)。

作者简介: 曹建荣(1977—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 博士, 讲师, 主要从事海水入侵与土壤盐渍化方面的研究。E-mail: caojianrong@lcu.edu.cn。

通信作者: 刘朋(1982—), 男(汉族), 山东省烟台市人, 博士, 工程师, 主要从事近岸海洋环境与生态方面的研究。E-mail: liupeng-qdst@163.com。

随着土壤盐分监测技术和计算机技术的发展,尤其是 GIS 和 RS 技术应用,区域上土壤盐渍化的研究方法和技术手段不断提高,土壤盐分的计算机制图技术、土壤盐渍化遥感反演近年来已经得到较为广泛应用^[1-9]。对于土壤盐渍化土地的遥感信息提取,多数研究者运用 K-L 变换, K-T 变换、盐分指数模型构建等方法突出盐渍化土地光谱信息特征,而对盐化土地的时空变化,多以 GIS 技术为支撑,结合自然与社会背景等非遥感数据,分析盐化地的分布、时空变化及其驱动因素^[10-19]。关元秀等^[1]运用多期 Landsat 卫星数据,结合采样和野外调查,对黄河三角洲盐化土地的动态变化进行了监测和等级划分,最后建立了改良分区模型。李百红等^[20]通过构建土地盐化指数、土地盐化综合指数、土地变化驱动力重心与向量模型研究东营垦利县的土壤盐渍化状况和退化过程。李静,孟岩等^[21-22]通过分析主要地类光谱特征,构建盐碱地土壤盐渍化退化指数,提取该区盐碱退化土地信息。通过波段间的组合构建了突出反映盐渍化信息的土地退化指数,进行土地退化等级分布,进而分析垦利县的土壤退化的动态演化规律。而通过遥感方法提取黄河三角洲盐碱地信息时,单独基于光谱特征的常规分类方法往往不能达到好的效果,需融入土壤全盐、地下水埋深和归一化植被指数以及水库灌区等辅助数据加以校正,可得到较好的应用效果。从而能快速准确地提取黄河三角洲土壤盐渍化信息和土地退化数据,为整个三角洲区域的盐碱地的动态及其驱动力的研究提供进一步探索方法。

1 研究区概况

研究区属于现代黄河三角洲范畴,主要以现状海

岸线和 1855 年改道来的古海岸线为界,总面积约 2 877.7 km²,包括东营市河口区和垦利县绝大部分行政区域,包含胜利油田及黄河三角洲国家级自然保护区。该区属典型的温带半湿润气候,并具明显的大陆性气候特点,四季分明,干湿明显,温差大,夏季炎热,冬季干冷;多年平均降水量 537.4 mm,多年平均蒸发量 1 470~2 246 mm,多年平均气温为 11.7℃,无霜期历年平均 217.8 d。该区地势平坦,南高北低,西高东低,海拔高度低于 11 m,自然比降在 1/8 000~1/12 000 之间。

2 数据来源与处理

黄河三角洲土壤盐渍化具有较强的季节性特点,春季为干旱少雨,蒸发量大,蒸降比可达 3.6:1,致使潜水位升高,是一年中土壤积盐最强烈的时期。基于此,这里选择 2003,2007 和 2011 年 4 月份 Landsat5 TM 数据和 Landsat7 ETM 数据。根据对各波段数据合成效果的初步目视分析结果,选择 4,3,2 波段进行 RGB 假彩色合成,植被为红色,水域为深蓝色或黑色,盐渍化土为亮白色,作为目视解译对信息提取的一个重要辅助。

2.1 数据源与预处理

2.1.1 遥感数据源 自 1972 年 7 月 23 日发射地球资源技术卫星 (earth resources technology satellite, ERTS,后更名为 Landsat-1)以来,陆地卫星序列在轨多年,并于 2008 年扩大了 Landsat1-5 MSS 和 TM 影像免费下载数据量 (USGS,2008,http://glovis.usgs.gov/),为资源调查提供了宝贵的数据源,本研究中选择的 2003,2007 和 2011 年图像时间为 4 月底的 TM 和 ETM 图像,三景图像详细信息详见表 1。

表 1 Landsat-7 TM 传感器波段参数

卫星	传感器类型	轨道号	成像时间	分辨率/m
Landsat-5	TM	L5-121-34	20030428(14:36:38)	30
Landsat-7	ETM	L7-121-34	20070428(14:36:38)	30
Landsat-7	ETM	L7-121-34	20110430(14:36:38)	30

2.1.2 同步区域土壤盐渍化采样数据源 野外土壤采样按 6 km×6 km 进行网格化,共计 101 个点位,采样深度为 0—20 cm,采样时间分别为 2003 年和 2011 年 4 月底。主要对采样点的地理位置、全盐量、有机质含量进行统计和室内试验分析,并对区域土壤盐渍化进行了分级,分为无盐渍化、轻度盐渍化、中度盐渍化和重度盐渍化 4 级。该数据可为区域盐渍土信息模型提供验证。

2.1.3 数据校正 利用 ENVI 4.61 软件基于 Modt-

ran4 代码的 envi 模块的 FLASSH 模型,进行 TM/ETM 影像辐射校正。几何校正通过地面控制点 (ground control points, GCP)方法,这里选择 1:10 000 地形图,依据应用二次多项式和实测地面控制点方法进行几何校正,校正在 ENVI 4.61 软件完成。

Scaramuzza 等^[23]通过研究表明,Landsat-7 SLC-off 影像中已经丢失的数据可以通过直方图插值进行修复,也可以用其无重叠 SLC-off 区 SLC-off 影像或 SLC-on 影像来修复,实现信息完整的卫星遥感影像。

这里选择 SLC-off/SLC-off 方案,用于修复 Landsat-7 ETM 卫星遥感影像。修复区域(条带)占总区域的 21.5%,利用该方法的修复精度可达到 95%^[24]。

3 土地退化遥感信息模型

3.1 盐化土地光谱信息特征提取

采用遥感影像参数统计方法,分析研究区主要地类的光谱特征。根据黄河三角洲实际情况,选择建设用地、耕地、林草地、养殖池塘、沙地和盐荒地作为 6 类地物类型,分别代表人类活动、景观特征和盐荒地,选择典型地类样点,每个地类选择 15~80 个样点,分析其光谱特性。以 2007 年陆地卫星数据(Landsat7 ETM)为例,各地类不同波段的样本灰度均值及特征曲线如图 1 所示,其中, B_1 — B_7 分别表示影像的 6 个波段的 DN 值(灰度值)。由图 1 可以看出,盐荒地在第 1,3,5 波段的 DN 值比较高,可以考虑这 3 个波段进行土地退化指数模型的建立。由于黄河径流携带大量泥沙淤积而成的沙地为非盐化或盐渍化程度很轻,这里不属于退化土地范围。因此,根据沙地光谱特征,建立了 $B_1 + B_3 + B_5 > 360$ 的掩膜模型,首先将沙地掩膜剔除,将作为未退化类型。

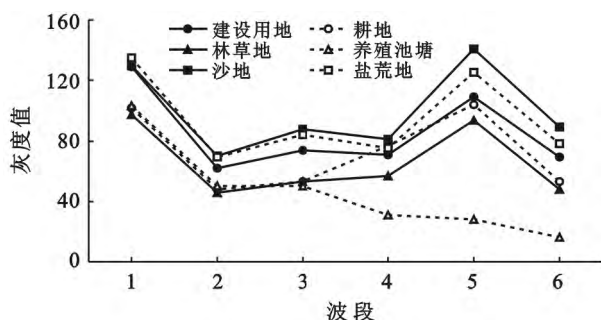


图 1 各主要地物光谱曲线(灰度值)

3.2 盐渍化土地信息模型构建

剔除沙地后的地物光谱特征后,盐荒地在 5,3,1 波段的 DN 值都高于其它地类。盐渍土对可见光的蓝绿、红色及短波红外波段呈较强反射。其它波段盐渍化土也有强烈反射,但由于农用地在 3 波段的光谱值也很高,故不将 3 波段用于退化土地指数的构建。经过多次试验,采用比值指标的形式构建土地退化指数:

$$\alpha = \frac{255 - (B_1 + B_5)}{255 + (B_1 + B_5)} \quad (1)$$

式中: α ——土地盐化指数; B_1, B_5 —— TM_1 (ETM_1), TM_5 (ETM_5) 波段的光谱值。土地盐化程度越高, TM_1 (ETM_1) 和 TM_5 (ETM_5) 波段的灰度值越高,则盐化指数值 α 值越小。为进一步划分土地盐化等级,

在指数模型的基础上,采用标准化后的公式加以表达:

$$\alpha' = \frac{\alpha - \min\alpha}{\max\alpha - \min\alpha} \quad (2)$$

标准化后可将盐化指数定义到 $[0 \sim 1]$ 的区间范围内,根据指数大小将 3 期盐化指数进行排序,为保证各等级之间的差异最大,并采用自然拐点法确定其等级范围,最终确立了指数区间 $[0, 0.1]$, $[0.1, 0.2]$, $[0.3, 0.4]$, $[0.4, 1]$ 分别对应研究区对应重度退化、中度退化、轻度退化和无退化的土地退化等级。

4 结果与分析

利用 ENVI 4.61 波段运算和计算工具,对构建的土地退化模型进行运算,得到 2003,2007 和 2011 年的黄河三角洲土地退化指数,根据该指数进行分级可得到土地退化等级图(附图 2)。为了进行模型的精度分析和评价,在黄河三角洲 101 个采样点数据采集时间为 2011 年 4 月底,这与 2011 年 4 月 28 日 Landsat ETM 数据进行同步,为模型验证提供数据支持。根据 101 个点位的土壤盐渍化分级结果,结合盐渍土信息模型对黄河三角洲土地退化结果进行验证。结果表明,在整个三角洲区域上,101 个点位 2003 和 2011 年分别由 83 和 86 个点位,盐渍化程度和土地退化结果一致,精度分别达到 82.18% 和 85.15%,说明基于光谱数据的盐渍土信息模型具有较好可行性。

从黄河三角洲 3 期土地退化等级图(附图 2)来看,总体上土地退化有持续加重趋势,2007 年较 2003 年加重趋势要比 2011 年较 2007 年加重趋势大,即 2007—2011 年趋势减缓。但土壤盐渍化总体上持续加重,土地退化明显;从空间来看,北部、东北部和东南部滨海区域土地退化严重,靠近黄河大堤两侧,由于地下水埋深浅,毛管水作用强烈,土壤积盐明显,土地退化也比较严重,轻度退化区域主要集中于黄河大堤两侧河成高地和灌溉附近及海拔较高的岗阶地和西部内陆的绝大部分区域,其他地区为中度退化区域。对图 2 运用 ArcGIS 9.3 Spatial Analysis 工具的 Reclassify 分类后,计算得到不同等级退化土地的面积和比例(表 2)。

综合分析研究区 3 期土地退化等级分布图和退化土地面积表(表 2)可看出,黄河三角洲重度退化土地主要分布在沿海滩涂地区和区内北部地区(刁口河流路两侧),前者受海水直接影响,结合野外采样结果分析,以氯化物型盐渍化土壤为主,土地退化严重;后者为孤东油田,有较大面积的盐荒地分布,与石油开

发和部分晒盐场有关。中度退化土地主要依海岸线分布在东部沿海以及区内的中部盐荒地,与重度退化土地相比,位置上离海岸线稍远,土壤全盐量稍低;中部因地势低平,地下水埋深较浅,矿化度较高,毛管水作用比较强烈,因此,形成中度退化的盐荒地。轻度退化土地主要分布在三角洲的中西部和北部的部分农用地,中西部主要是水浇地分布区,北部主要是旱地分布区,这部分土地虽为农用地,但受到干旱和毛管水的双重作用,有轻度退化趋势。无退化土地主要是东部林草地和西部的农田作物区,中部和黄河沿岸的沙地以及沿黄农用地也有分布,该部分的农用地或地势较高,或受到黄河径流作用,地下水矿化度较低,再加上引黄灌溉和土壤耕作的影响,土壤质量总体良好,适宜农作。

表 2 黄河三角洲 2007 年 3 期不同程度土地退化面积统计

年份	退化程度	退化面积/km ²	退化比例/%
2003 年	无退化	992.59	19.40
	轻度退化	1 701.74	33.26
	中度退化	1 329.77	25.99
	重度退化	1 092.37	21.35
2007 年	无退化	1 111.30	21.72
	轻度退化	1 574.85	30.78
	中度退化	1 179.35	23.05
2011 年	重度退化	1 250.98	24.45
	无退化	1 325.16	25.90
	轻度退化	1 330.79	26.01
	中度退化	1 090.83	21.32
	重度退化	1 369.68	26.77

从各时相退化土地的动态变化看,2003 年三角洲轻、中度退化土地较多,二者占总土地面积的近 60%,无退化也占到了 19.40%,而重度退化占 21.35%,土地退化程度在 4 种退化类型分布相对均匀;到 2007 年,轻度和中度退化面积较 2003 年变化不大,主要是重度退化面积和轻度退化面积的增加,总体增加 5%。2011 年无退化面积较 2007 年有所增加,但仅增加了 3%左右,而重度退化面积又有所增加,幅度达 2%左右。总体来看,土地退化面积重度呈不断增加趋势,而无退化面积呈逐渐增加趋势,轻度和中度退化面积略微减少,但总体变化不大。从上面分析可看出,黄河三角洲盐渍化土地近 10 a 来重度退化趋势明显。

结合最新黄河三角洲土地利用类型图,从空间上来看,2003—2007 年黄河三角洲退化土地变化最大的是西南部、中部以及北部地区,西南部中度和轻度退化土地主要转变为水浇地,轻度退化面积稍增加,

中部盐荒地主要转变为水稻田、水库,这与引黄灌溉力度加大有关。2007—2011 年总体上变化不大,主要是重度退化面积略微增加,增加的地方主要体现在东南部区域,这与东南部不合理的土地利用有关,卤水晒盐增加和养殖池增加导致东南滨海区域土地退化加重。沿海养殖池的修建及其大量海水的引入、卤水晒盐面积的增加,极大加剧了周围土地的盐渍化程度,形成很多盐荒地,对耕作农业带来不利影响。而无退化土地,即盐渍化程度减小的类型,这些主要是由于引黄灌区的不断开挖,灌溉面积的不断增大和棉花、苜蓿等经济作物和草业发展有关,也与农田耕作方式,比如“高田深垄”和“暗管排碱”的工程措施有关。

5 结论

(1) 通过选择 SLC-off/SLC-off 方案,用于修复 Landsat-7 ETM 卫星遥感影像,并实现了在 ENVI 软件操作,对 Landsat-7 ETM 的修复对土壤盐渍化区域进行信息提取工作奠定技术基础

(2) 通过 Landsat 系列卫星的 TM 和 ETM 数据的光谱特性研究和盐碱地信息模型的构建,在黄河三角洲地区,通过遥感手段可实现对盐渍化土地退化信息提取。

(3) 黄河三角洲土地退化总体上有加重趋势,2003—2011 年,重度退化的土地面积在持续加大,土地退化明显。研究发现,黄河三角洲近 10a 来盐碱地呈现重度盐渍化加重的趋势与人类活动紧密相关,主要表现在孤东油田的不断建设而忽略对土地的保护和合理利用,滨海区域卤水晒盐和养殖池塘的建设上;轻度盐渍化区域面积也不断增加与人工灌区的开挖,引入黄河径流及“暗管排碱”水利工程和“高田深垄”措施有关。

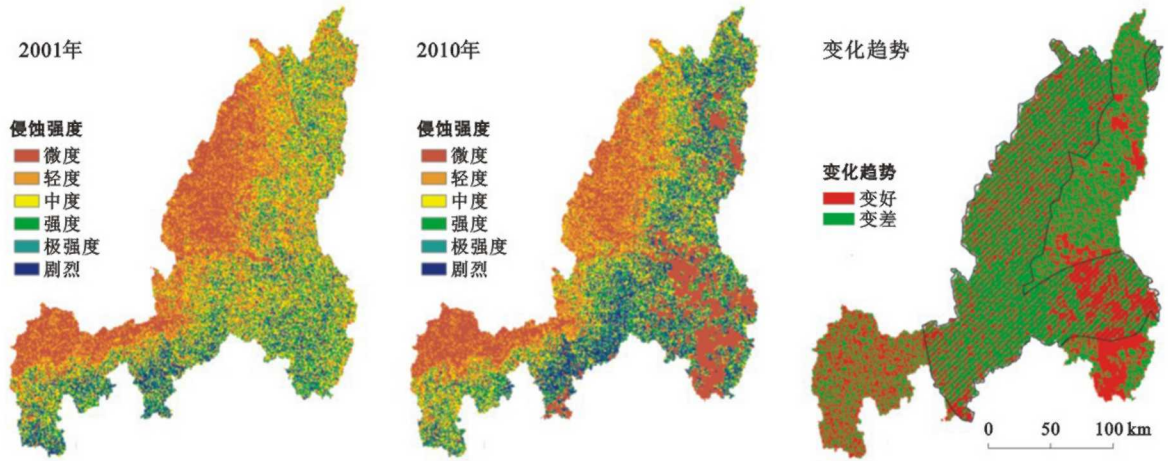
[参 考 文 献]

- [1] 关元秀,王劲风,刘高焕.黄河三角洲土地盐渍化和遥感监测、预测和治理研究[D].北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2001.
- [2] Csillag F, Pasztor L, Biehl L. Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils[J]. Remote Sensing of Environment, 1993,43(3):231-242.
- [3] Mougnot B, Pouget M, Epema G. Remote sensing of salt-affected soils[J]. Remote Sensing Reviews, 1993,7(3/4):241-259.
- [4] Epema G. Mapping surface characteristics and their dynamics in a desert area in southern Tunisia with Landsat Thematic Mapper[D]. Netherlands: Agricultural Uni-

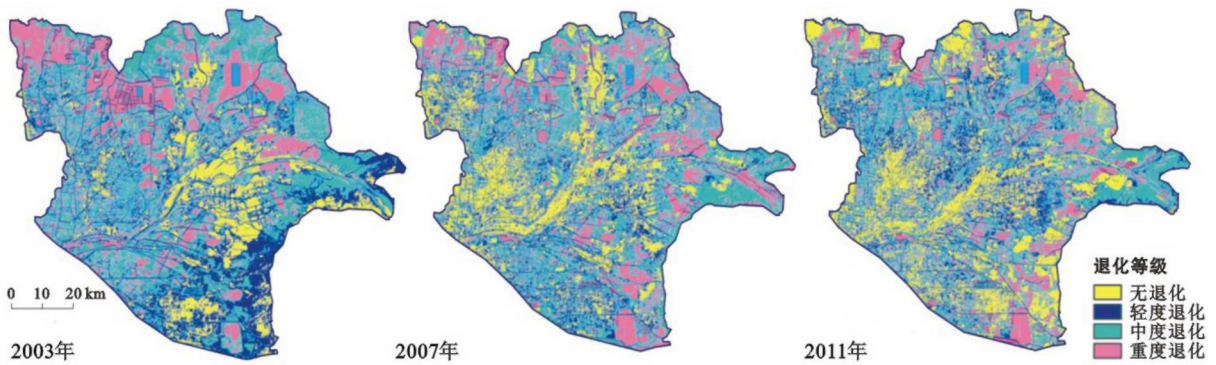
- versity of Wageningen, 1993.
- [5] Richards J A, Richards J A. Remote Sensing Digital Image Analysis[M]. Berlin: Springer, 1999.
- [6] Dehaan R L, Taylor G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(3): 406-417.
- [7] 邱宏烈, 武红旗, 范燕敏, 等. 新疆盐渍土壤和盐生植被高光谱遥感数据库[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(2): 6-8.
- [8] Metternicht G I, Zinck J A. Modelling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semi-arid valleys of Cochabamba (Bolivia)[J]. Information Technology Journal, 1996, 2: 125-135.
- [9] 刘焕军, 张柏, 刘志明, 等. 松嫩平原主要土壤光谱特征分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(4): 440-445.
- [10] Verma K, Saxena A, Barthwal A, et al. Remote sensing technique for mapping salt affected soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(9): 1901-1914.
- [11] Metternicht G I. Fuzzy classification of JERS-1SAR data: An evaluation of its performance for soil salinity mapping[J]. Ecological Modelling, 1998, 111(1): 6-74.
- [12] Dwivedi R, Ramana K, Thammappa S, et al. The utility of IRS-1C, LISS-III and PAN-merged data for mapping saltaffected soils[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(10): 1167-1175.
- [13] 张飞, 丁建丽, 赵睿, 等. 干旱区典型绿洲盐渍化土壤空间信息研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 544-551.
- [14] 丁建丽. 塔里木盆地南缘绿洲荒漠化动态变化遥感研究: 以策勒县为例[J]. 遥感学报, 2002, 6(1): 56-62.
- [15] 张飞, 丁建丽. 渭干河—库车河三角洲绿洲盐渍化土壤特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 146-150.
- [16] 王宏卫. 干旱区盐渍地遥感动态监测及其驱动力研究: 以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2009, 32(3): 445-453.
- [17] 布和敖斯. 基于知识发现和决策规则的盐碱地遥感分类方法研究[J]. 中国图象图形学报: A 辑, 1999, 4(11): 965-968.
- [18] 谢经荣, 贾文. 山东寿光县盐渍土壤近 20 年变化规律及其原因分析[J]. 北京农业大学学报, 1993(1): 83-90.
- [19] 屈永华, 段小亮, 高鸿永, 等. 内蒙古河套灌区土壤盐分光谱定量分析研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(5): 1362-1366.
- [20] 李百红, 赵庚星, 董超, 等. 基于遥感和 GIS 的黄河三角洲盐化土地动态及其驱动力分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 310-318.
- [21] 李静, 赵庚星, 杨佩国. 基于知识的垦利县土地利用/覆被遥感信息提取技术研究[J]. 科学通报, 2006(7): 183-188.
- [22] 孟岩, 赵庚星, 王静. 基于遥感图像的垦利县盐碱退化土地信息提取及其演化规律研究[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(5): 135-139.
- [23] Sommerfeldt T G, Thompson M D, Pront N A. Delineation and Mapping of Soil Salinity in Southern Alberta from Landsat Data [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1985, 10(2): 104-118.
- [24] 高义. 我国大陆海岸线 30 a 时空变化研究[D]. 山东烟台: 中国科学院 烟台海岸带所, 2011.

(上接第 171 页)

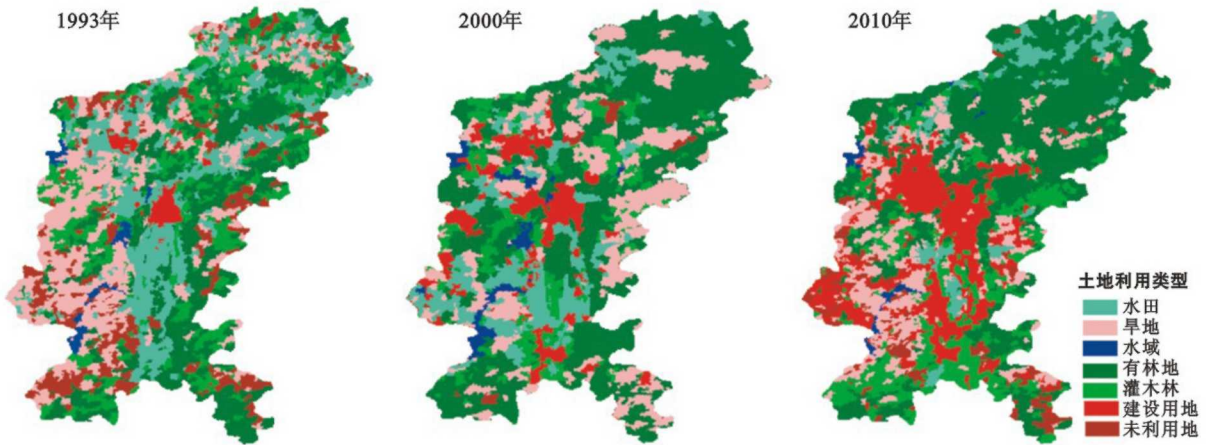
- [9] 张正峰, 陈百明, 郭战胜. 耕地整理潜力评价指标体系研究[J]. 中国土地科学, 2004, 18(5): 38-43.
- [10] 张凤荣, 郭力娜, 关小克, 等. 生态安全观下耕地后备资源评价指标体系探讨[J]. 中国土地科学, 2009, 23(9): 4-9.
- [11] 叶艳妹. 可持续农地整理的理论与方法研究[D]. 浙江杭州: 浙江大学, 2002.
- [12] 吴九兴, 杨钢桥. 农地整理项目的绩效评价及其空间特征研究: 基于湖北省 2001, 2009 年 322 个省级项目[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9): 1046-1051.
- [13] 罗文斌, 吴次芳, 吴一洲, 等. 基于物元模型的土地整理项目绩效评价方法与案例研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(11): 1321-1326.
- [14] 王瓊玲, 赵庚星, 李占军. 土地整理效益项目后综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 58-61.
- [15] 曲衍波, 张凤荣, 蒋广辉, 等. 基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与分区调控[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 290-295.
- [16] 何书金, 苏光全. 矿区废弃土地复垦潜力评价方法与应用实例[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 165-171.
- [17] 金晓斌, 周寅康, 汤小棹, 等. 高速铁路建设临时用地土地破坏特征与复垦利用决策研究: 以京沪高速铁路常州段为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1070-1078.
- [18] 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 113-118.



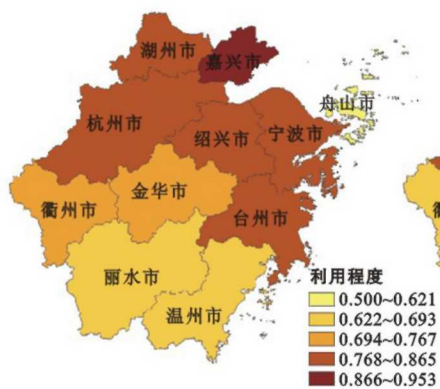
附图1 榆林地区2001和2010年土壤侵蚀强度及变化趋势



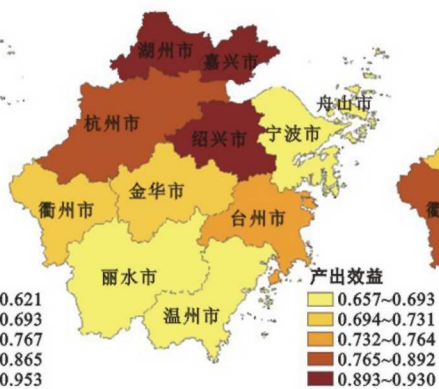
附图2 黄河三角洲2003, 2007, 2011年土地退化等级



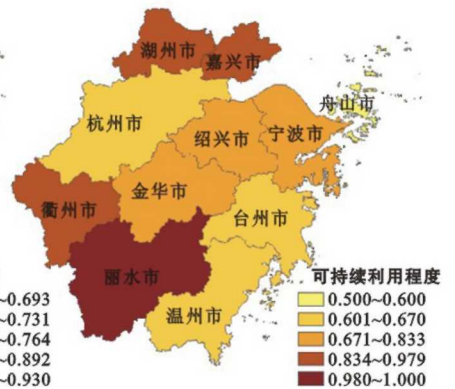
附图3 贵阳市1993, 2000和2010年土地利用/覆被现状



附图4 浙江省耕地利用程度评价



附图5 浙江省耕地产出效益评价



附图6 浙江省耕地可持续状况评价