

山东农业大学

硕士学位论文

基于RS与GIS的生态环境评价及其遥感反演模型研究——以黄河
三角洲垦利县为例

姓名：孟岩

申请学位级别：硕士

专业：土地资源管理

指导教师：赵庚星

20090610

摘 要

良好的生态环境是人类赖以生存和发展的基础,经济和社会的发展必须以保持生态环境的稳定和平衡为前提。生态环境提供给人类所需的各种资源,但同时也遭到了人类极大的破坏。目前,全世界范围内存在着严重的生态环境问题,如滥砍滥伐、过度放牧、排放大量的工业废物等等,使得大面积植被受到破坏、土地沙化加剧,此外还存在淡水资源短缺、优良耕地减少等问题。中国自改革开放以来经济迅速发展,但是生态环境代价亦十分突出。中国北部的沙尘暴、东部沿海的海水入侵、华北地区的大面积缺水、土地退化等问题严重。因此,新形势下,根据生态环境的可持续发展需求开展生态环境评价具有重要意义。

目前国内外学者已较多应用 GIS 与遥感技术手段进行生态环境状况的评价,而在基于传统生态环境评价的基础上提取综合性遥感定量指标并进行反演的相关研究还相对较少。本研究在基于传统生态环境评价结果的基础上,提取生态环境状况的遥感指标,建立基于遥感指数的评价指标模型。并通过遥感定量指标与 GIS 支持的评价结果的相关及回归分析,筛选确定反映生态环境状况的敏感波段及模型形式,构建遥感定量反演模型,同时反演结果精度进行了系统分析。

本研究首先通过 GIS 和遥感技术相结合,对黄河三角洲垦利县生态环境状况进行评价。利用研究区中巴资源卫星多光谱影像数据,通过定量遥感技术方法提取反映生态环境状况的土地退化指数、植被指数、水体密度指数及人类活动指数,对垦利县生态环境进行了评价。结果表明,垦利县生态环境状况整体偏差,优等、良等地的面积仅占全县面积的 24.64%,主要为分布在东北部林地及西南部和中部的部分农用地;中等地面积占 44.08%,分布在东部沿海滩涂,西部、中部、东北部的农用地有少量分布;差等、劣等地面积占总面积的 30.12%,主要为分布在中部和北部的盐荒地。

在基于以上评价的基础上,研究探讨了生态环境状况的敏感波段及其

遥感定量反演模型的建立方法。应用 SPSS 软件进行了评价结果值和原始影像 5 个波段 DN 值的相关关系分析,发现线性模型可取得相对理想的拟合结果。研究尝试用相关性最高的 3 个波段、4 个波段以及 5 个波段分别建立线性反演模型,三个模型的反演计算结果与已有结果的相关性分别达到 0.791、0.793 和 0.801,5 个波段的模型得到了与生态环境状况的综合评价最接近的反演结果。

本研究对垦利县生态环境状况进行评价,为区域的生态环境的合理整治提出了对策及建议,为生态环境的可持续发展提供了借鉴性的意见。其中基于遥感技术建立评价指标体系,构建评价模型,进行生态环境状况的评价方法,以及通过相关及回归分析建立与评价结果拟合度最高的遥感定量反演模型,成为定量化度量生态环境状况行之有效的方法,为定量化生态环境状况评价及监测管理提供了新的思路。

关键词: 生态环境; 评价; 遥感反演; 垦利县

RS and GIS Supported Ecological Environment Evaluation and Retrieval Model——A Case Study in Kenli County of the Yellow River Delta

ABSTRACT

Good environment is the basis of human's survival and development, and it's stabilization and balance is an essential precondition for regional economic and social development. The ecological environment provides kinds of resources to human beings, but it also has been great damaged by human. Nowadays, serious eco-environment problems are broadly existing all over the world, for instance, deforestation, overgrazing and emitting large quantities of industrial waste and so on, all these human activities have made large-scale destruction of vegetation and increasing desertification, besides, other problems such as shortage of freshwater resources, reduction of fine arable land are existing. Since reform and opening, China's economy has rapidly developed, but the cost of the ecological environment is also very prominent. The dust storms in northern China, the seawater intrusion along the east coast, the large area water shortage and land degradation in North China, all these problems are serious. So, under the new situation, according to the needs of ecological environment for sustainable development, carrying out evaluation of the ecological environment is of great significance.

Presently, scholars using RS at home and abroad mainly evaluate ecological environment by the combination between RS and GIS techniques. However, study of extracting quantitative remote sensing evaluating index based on traditional ecological environment evaluation method, and establishing remote sensing retrieval model is still few. This study researched extracting quantitative integrated remote sensing evaluating index and

constructed evaluating model for ecological environment. The remote sensing retrieval models were established through sensitive band identification and determination of model form by correlation and regression analysis between quantitative remote sensing parameters and the result based on GIS. Retrieval results and accuracy were analyzed accordingly.

This study evaluated the ecological environment condition of the Yellow River Delta by the combination between RS technique and GIS technique firstly. Ecological environment of Kenli County was evaluated by using CBERS multi-spectral image and applying remote sensing techniques. Indices of land degradation, vegetation, water density and human activity, which reflect conditions of ecological environment, were extracted. Results show that the overall ecological environment of Kenli is relatively poor. Areas including excellent and good lands only account for 24.64% of the whole county, which mainly distribute on the northeastern forest and the southwestern and central agricultural land. 44.08% of the whole county, which distributes on the eastern coastal beach and sparsely on the western, central and northeastern agricultural land. The poor and inferior lands account for 30.12% of the whole county, which mainly distribute on the central and the northern salt wasteland.

Based on the hereinbefore evaluating result, this study explored the method for sensitive band identification and remote sensing quantitative retrieval model establishment. Using the SPSS software to find the correlativity between the evaluating result and the 5 bands of the original image of the researched region, linear equation was found well to fit the results derived by GIS. This study attempted to construct linear retrieval models using most relevant 3 bands, 4 bands and 5 bands. The correlations between the retrieved results by these three models and the result evaluated by GIS are 0.791, 0.793 and 0.801 respectively. So the ecological environment results retrieved by 5 bands model presented the most precise result.

This research evaluated the ecological environment condition of Kenli County, brought forward some countermeasures and advices for the researched

region and provided some reference advices for the sustainable development of the ecological environment. Especially the method of evaluating the ecological environment condition by constructing remote sensing evaluating index system and evaluating model, and establishment of quantitative remote sensing evaluating retrieval model, will become a well-established method for quantitatively measuring the ecological environment and provided a new way for ecological environment evaluation, monitoring and management.

Key words: ecological environment; evaluation; RS retrieval; Kenli County

英文缩略表

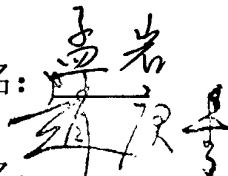
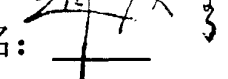
RS	Remote Sensing
GIS	Geographical Information System
ERDAS	Earth Resource Data Analysis System
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
DVI	Difference Vegetation Index
ENVI	The Environment for Visualizing Images

关于学位论文原创性和使用授权的声明

本人所呈交的学位论文，是在导师指导下，独立进行科学研究所取得的成果。对在论文研究期间给予指导、帮助和做出重要贡献的个人或集体，均在文中明确说明。本声明的法律责任由本人承担。

本人完全了解山东农业大学有关保留和使用学位论文的规定，同意学校保留和按要求向国家有关部门或机构送交论文纸质本和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权山东农业大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文，同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并向社会公众提供信息服务。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名: 
导 师 签 名: 
日 期: 2009. 6. 9

1 引言

1.1 选题的目的和意义

良好的生态环境是人类赖以生存和发展的基础,经济和社会的发展必须以保持生态环境的稳定和平衡为前提。目前,全世界范围内存在着严重的生态环境问题,如滥砍滥伐、过度放牧、排放大量的工业垃圾等等,使得世界范围内大面积植被受到破坏、土地沙化加剧,此外还存在淡水资源短缺、优良耕地减少等问题(郭旭东,陈利顶,傅伯杰等,1999)。中国自改革开放以来经济迅速发展,但是生态环境代价亦十分突出。中国北部的沙尘暴、东部沿海的海水入侵、华北地区的大面积缺水、土地退化等问题严重(徐燕,周华荣,2003)。生态环境恶化给我国经济社会的发展以及人民的生产生活带来了巨大的威胁,因此,根据生态环境的特点选取评价指标,建立评价模型,进行生态环境评价,了解生态环境的优劣程度,进而提出针对生态环境状况的保护管理措施,成为当前的客观要求(赵景柱,徐亚骏,肖寒等,2003)。

生态环境评价就是根据特定的目的,选择具有代表性、可比性、可操作性的评价指标和方法,对生态环境的优劣程度进行定性或定量的分析和判别(郭建平,李凤霞,2007)。新形势下,根据生态环境的可持续发展需求,人口--资源--环境的可持续利用要求,开展生态环境状况评价工作,其意义具体表现为以下几个方面:

(1) 有利于保护生态环境,促进生态环境的合理持续发展。进行生态环境状况评价,可以及时掌握生态环境的现状、存在的问题及其变化情况。能够有针对性的为环境保护部门的管理、技术推广、生态环境改良等提供对策,同时对于各级政府有效进行生态环境动态监测,防止生态环境质量下降,治理或修复退化的生态环境,保护生态环境有重要意义。

(2) 通过生态环境评价可以为新的开发计划、保护环境作出可行性研究(王伟武,王人潮,朱利中,2002)。

(3) 通过生态环境评价可以为环境工程、生态环境管理、生态环境标准、生态环境综合防治、环境规划等提供基础数据,并且为国家制定生

态环境保护政策提供基础信息。

现阶段国内外学者进行生态环境评价主要是基于 GIS 和遥感技术相结合的方法。其中遥感技术主要是作为数据源,以及在此基础上提取某些评价指标,而 GIS 技术主要是应用其空间叠加计算来获取最终的评价结果。这种方法的缺点在于指标的选取、权重的确定、类别的划分等整个流程的完成需要大量的数据与工作量,难以适应长期、快速的生态环境动态评价与监测要求。随着遥感数据精度的提高,研究选取与真实的评价结果相关性较好的遥感定量综合指标,通过少量的遥感图像综合指标反映生态环境状况则愈加重要。

黄河三角洲位于山东东营市,土地盐碱,水资源短缺,生态退化问题已经较为严重,如湿地萎缩,鱼类等动植物种类减少,岸线蚀退等(畅建霞,王义民,黄廷林等,2005)。选取黄河三角洲为研究区域,用科学量化的评价指标,结合遥感和 GIS 技术对其生态环境状况进行评价,研究生态环境质量的空间分布,提出针对性的生态环境保护管理措施对于区域资源环境和社会经济的可持续发展具有十分重要的意义。

1.2 生态环境评价研究进展

生态环境评价始于 20 世纪 60 年代中期。随着人口的增长和社会工业化程度的提高,人类活动的范围和强度空前扩大,自然界越来越多地打上人类活动的烙印,人口、资源与环境的矛盾日益尖锐,荒漠化、水土流失等生态环境问题更加突出。为了解决这些问题,人类需要更深入地理解生态环境结构、功能和过程,因而逐步在全球范围内开展了生态环境评价研究(田永中,岳天祥,2003)。

从生态环境评价的研究进程和对象来看,总体上可以分成两类,一是对生态环境所处的状态(生态环境质量)进行评价,二是对生态环境的服务功能(生态环境的价值)进行评价。但两者的界限并不是绝对的。研究初期主要是开展生态环境质量的评价较多,主要包括环境质量评价、生态安全评价、生态风险评价、生态退化评价、生态环境的脆弱性评价、生物多样性评价、工程影响评价和生态健康评价等(王根绪,钱鞠,程国栋,2001;付在毅,许学工,2001;赵跃龙,张玲娟,1998;袁从,1995;袁

运祥, 袁运鸿, 1994; 赵景柱, 1995; 苗鸿, 王效科, 欧阳志云, 2001; 吴国庆, 2001; 寇俊卿, 张海涛, 杨德五, 等, 2003; 汪朝辉, 王克林, 许联芳, 2003; 汪朝辉, 王克林, 贺曲夫, 2003; 周国富, 2003; Stockle C, 1994; Tilman D, Wedin D, Knops J, 1997; Larry W C, 1996; Kooistra L, Rob S E W, 2001)。而生态环境的价值评价直到 Daily 主编 (Daily G C, 1997) 的《大自然的贡献: 社会依赖于自然生态系统》(Nature's Services: Societal Dependence on Nature Ecosystems) 一书的出版以及 Constanza 等 (Constanza R et al., 1997) 的文章“地球生态系统服务和自然资本的价值” (The value of the world's ecosystem services and natural capital) 在 Nature 杂志上的发表才真正成为当前生态研究的热点内容。而这两类评价内容和方法上均存在较大的差异。本研究属于生态环境质量评价, 因此重点对生态环境质量评价的研究进展进行综述。

区域生态环境的质量评价一般采用定性评价和定量评价两种方法。定性评价一般选取对生态环境影响较大的指标进行分析, 根据该指标的大小或优劣程度评价生态环境的好坏。而定量评价则采取一定的公式或模型对指标系统进行计算, 根据计算结果的大小对生态环境进行评价, 通常有脆弱度算法、距离算法、层次分析法、综合模型法和生态足迹法等。

王学雷通过对江汉平原湿地生态环境的分析认为, 江汉平原湿地生态环境受到自然因素和人为不合理开发利用因素的影响, 主要包括地貌脆弱因子、气候脆弱因子、水文脆弱因子以及过度围湖造田、过度利用湖泊资源、超标污染物排放等; 脆弱生态环境表现为灾害频繁及强度增加、土壤沼泽化严重、湿地生态环境退化严重等, 同时提出了有效的生态环境恢复措施 (王学雷, 2001)。刘文泉、王馥棠、侯亚红等在分析了黄土高原地区的基本情况和农业生产对气候变化的响应后, 确定了黄土高原地区农业生产的气候脆弱性评估方案, 将气候脆弱性的指标体系分为敏感性因子和适应性因子, 并通过多种方法确定了各个因子的权重系数, 最后计算了 1990 年、1997 年和未来 50 年气候变化情景下的气候脆弱度, 并将农业生产的气候脆弱度分成 5 个等级 (刘文泉, 2002; 王馥棠, 2003; 侯亚红, 刘文泉, 2003)。王江山根据青海省生态环境特点, 将青海省生态环境分为自然水资源、草地生态、土地生态、农业生态、林地生态、土地沙漠化及

沙尘天气和社会环境等 7 个子系统,每个子系统中选择若干评价因子建立了青海省生态环境评价系统,并开展业务服务,取得了较好的社会效益和生态效益(王江山, 2003)。汪朝辉等论述了洞庭湖区自然生态环境的组成和分类并对洞庭湖湿地生态环境进行了综合评价,提出了洞庭湖湿地整治开发和管理对策(汪朝辉, 王克林, 贺曲夫, 2003)。而在湿地生态环境健康评价研究中,首先定义了湿地生态环境健康的概念,提出评价湿地生态环境健康的标准,包括活力、恢复力、组织、生态环境服务功能的维持、管理选择、外部输入减少、对邻近系统的影响及人类健康影响等 8 个方面(汪朝辉, 王克林, 许联芳, 2003)。

生态环境的定量评价是评价工作发展的必然结果,只有通过定量研究才有可能实现不同生态环境或不同区域之间的比较。通过计算环境脆弱度评价生态环境的质量是常用的方法之一。赵跃龙等通过对脆弱生态环境的分析后认为,脆弱生态环境的评价指标可分为 2 类,即成因指标和结果表现指标,共选择了 9 项指标来评价脆弱生态环境,用该方法计算了全国 26 个省、自治区生态环境脆弱度并进行了生态环境脆弱性分区(赵跃龙, 张玲娟, 1998)。史德明等在分析自然和人为影响因素的基础上,制定了脆弱生态环境评级指标,并建立了确定脆弱生态环境等级总分值的计算公式,并对不同脆弱生态环境提出针对性的保护措施和利用意见,特别强调了西部地区生态环境脆弱性的特点,在开发中必须注意生态安全问题(史德明, 梁音, 2002)。郝永红等将灰色系统的评价方法引入区域生态环境质量评价中,将评价指标值分为高、中、低 3 类,首先计算出评价对象隶属于各指标类别的权系数,再将各评价指标同类别的权系数加权叠加得到评价对象的综合权系数矩阵,在此基础上运用三角坐标图对评价对象进行综合评价和分类,提高了评价的准确性,并应用该方法对中国区域生态环境质量进行评价,取得了良好的效果(郝永红, 周海潮, 2002)。

将评价指标与确定的标准进行比较,从而确定生态环境的质量等级是一种常用的简单易行方法。李锋在对荒漠化地区生态环境与社会经济评价分析的基础上,提出了荒漠化监测中生态环境与社会经济综合评价指标体系及评价标准,利用计算评价指标与评价标准之间欧氏距离的方法建立了评价模型,并以宁夏自治区作为试点区域,对评价指标体系和评价方法进行

了验证（李峰，1997）。生态环境的综合评价是区域资源合理开发利用、制定区域社会经济可持续发展和生态环境保护对策的重要依据。彭念一等从农业可持续发展和生态环境的关系入手，阐述了农业可持续发展理论的产生过程，在农业可持续发展内涵的基础上，建立了农业可持续发展与生态环境评价的指标体系，利用主成分分析法确定了综合评价函数，并对全国 31 个省、市、自治区的农业可持续发展进行了综合评价（彭念一，吕忠伟，2003）。

层次分析法(简称 AHP)是美国运筹学家 T.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法，该方法是通过分析复杂问题所包含的因素及其相互关系，将问题分解为不同的要素，并将这些要素归并为不同的层次，从而形成多层次结构，再每一层次多元素进行逐个比较，建立判断矩阵，通过计算判断矩阵的最大特征值及对应的正交化特征向量，得出该层次的权重（侯克复，1992；刘翼钊，伍玉容，刘成永，2003）。王根绪等在区域生态环境分区的基础上，确定了生态环境评价指标体系，并提出了以 AHP 方法为基础的综合评价模型，对区域不同环境要素状况和区域综合环境状况进行了评价，并根据评价结果提出了区域生态环境的重点保护与治理区以及合理的保护与综合整治对策（王根绪，钱鞠，程国栋，2001）。

生态足迹(简称 EF, Ecological Footprint)是由加拿大生态学家 William Rees 等在 1992 年提出并于 1996 年由 Wackernagel 完善的一种衡量人类对自然资源利用程度的的方法（Ree W E, 1992）。有关国家和地区生态足迹的研究已有不少案例。Alan Fricker 对新西兰, D. P.Vurren 等对不丹、荷兰等国家和地区生态足迹进行了分析（Fricker A, 1998；Van P D, Smeetsw V E, 2000）。我国学者徐中民等以中国部分省区 1999 年的统计数据为基础，对其生态足迹进行了估算，得出 1999 年中国的人均生态足迹为 1.326 hm^2 ，而人均生态承载力为 0.681 hm^2 ，人均生态赤字 0.645 hm^2 ，各省的计算结果也表明大部分省区的生态足迹超过了当地的生态承载能力（徐中民，张志强，程国栋，2003；杨丽，2001）。

1.3 遥感与地理信息系统技术在生态环境评价中的应用

1.3.1 遥感技术在评价中的应用

1972年7月23日,美国发射的世界上第一颗地球资源卫星—“陆地卫星-1”号,开创了从空间勘测地球资源和监测自然环境变化的新纪元,为地球资源与环境的动态变化研究提供了丰富翔实的信息源以及新技术手段(周月敏,2003)。

遥感技术作为获取生态环境数据和动态监测(特别是面状信息)的重要手段,具有许多优点:①通过地球观测卫星或飞机从高空观测地球,可进行大面积同步监测,获取环境信息数据快速准确,并具有综合性和可比性,如及时发现陆地淡水和海水的污染,大面积空气污染,洪水淹没区域等;②利用遥感技术获取环境信息,具有获取资料范围大、信息手段多、信息量大、速度快、周期短和受条件限制少等特点。遥感获取的环境动态观测数据,通过GIS快速处理和分析,能及时发现环境的变化;③遥感与传统的环境信息获取方法相比,可以大大节省人力、物力、财力和时间,具有很高的经济效益和社会效益。

国内外遥感技术用于生态环境质量评价的状况可以归纳为以下两个方面:一是直接进行大气、水、地面等污染源或污染物的环境监测。这方面国内外已有一些研究(吴鹏明,1991;阎吉祥,2001;商少凌,洪华生,商小平,等,2001;Torgersen C E, Faux R N, McIntosh B A,等,2001)。二是遥感数据应用于整个环境质量评价过程,例如区域性环境质量评价,特别是大中尺度环境质量评价,可以利用TM、MSS、NOAA、SPOT、SAR等遥感数据,通过比值合成、图像校正、图像增强和多源信息复合遥感图像处理等来提取信息,通过目视解译与制图或遥感数字图像计算机解译(图像的监督分类和非监督分类、图像形状和空间关系特征的描述和提取、遥感图像解译专家系统等),可以容易地获得区域或项目各环境评价因子在评价区域内的空间分布和差异规律,以便确定评价范围和主要环境评价因子,还可以根据一定的环境模型对遥感数据处理结果进行定量分析,从宏观上得出评价结论(李德仁,刘良明,胡晓沁,2001;易秀,2000;赖志斌,夏曙东,承继成,2000)。

1.3.2 地理信息系统在评价中的应用

地理信息系统(Geographic Information System, 缩写 GIS)是一项以计算机为基础的新兴技术,围绕着这项技术的研究、开发和应用已形成一门交叉性、边缘性的学科,是管理和研究空间数据的技术系统。概括起来说, GIS 在生态环境质量评价中能发挥如下作用:①利用 GIS 强大的数据库功能(包括本地和远程),建立和管理有关的生态环境信息数据库,有效地对评价区域或项目所需的环境评价数据进行属性数据和空间数据进行查询、更新和提取;②利用 GIS 强大的空间分析功能(如缓冲区分析、空间叠置分析、网络分析、网格分析、邻近分析、数字高程模型等)。可对生态环境监测网络进行科学设计,从而有效地表征建设项目所在地的生态环境信息的收集、适时储存和显示,并对所选评价对象进行详细的场地监测和分析。针对分析建设项目各种数据而建立的环境影响评价模型,具有很强的综合分析模拟和预测能力,是生态环境质量现状分析和辅助决策的重要工具;③直观的图形界面可根据用户的要求而输出各种分析和评价结果报表图形,并与自动化办公系统、internet、intranet 进行数据通讯;④GIS 还能够提供快速反应决策能力,可以模拟和预测环境风险用于地震(韩竹君, 蒋溥, 汪良谋, 等, 1994; 火恩杰, 宋俊高, 朱元清, 等, 2000)和洪水灾难(周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等, 2000)的模拟、有毒气体扩散建模(赵碧云, 贺彬, 朱发庆, 等, 1999)、飓风和恶劣气候的建模、石油事故模拟等,对减灾防灾工作具有重要意义;⑤具有很强的数据管理更新和跟踪能力,可以对生态环境监测信息进行分析,以检查和督促环境影响评价单位和工程建设单位履行职责,并对环境影响报告书进行事后验证。

1.4 研究内容、方法、技术路线及创新之处

1.4.1 研究内容

本研究以黄河三角洲垦利县为研究区域,采用 2005 年中巴多光谱影数据,应用遥感提取与 GIS 的评价技术,对研究区进行生态环境评价并得出生态环境评价等级图。在基于 GIS 进行评价的基础上,研究提取研究区生态环境评价的遥感定量综合指标,建立基于遥感图像指数的评价指标模

型。将基于遥感定量指标的生态环境评价结果与 GIS 支持的评价结果进行比较,反复试验,确定出与 GIS 支持的生态环境评价结果相关性最大的遥感定量综合指标。

1.4.2 研究方法

(1) 根据评价的目的、任务、范围等收集准备与评价有关的各类自然及社会经济资料,进行资料的分析和相关数据的处理,建立生态环境评价的基础数据库。

(2) 应用数学方法选取评价因素,建立生态环境评价指标模型,运用遥感技术提取各项指标并应用地理信息系统技术对研究区进行生态环境评价。

(3) 根据 GIS 评价的结果分析中巴数据的哪些波段(组合)能较好反映生态环境状况,并根据各波段反射率为原数据通过建立模型对生态环境状况进行评价,提取出遥感定量生态环境综合评价指标。

(4) 分析各模型所得的生态环境状况与 GIS 支持的评价结果之间的关系并建立回归模型,得出与 GIS 评价结果相关性最大的生态环境评价遥感定量综合指标。

(5) 根据评价所得到的生态环境质量等级评价结果,并分析生态环境存在问题,提出生态环境可持续发展的措施和建议。

1.4.3 技术路线

首先,对垦利县遥感影像处理分析,提取研究区域生态环境评价因子,建立基于中巴多光谱影像的生态环境评价指标体系,在 GIS 下获取生态环境评价结果;

其次,分析研究区中巴遥感数据的各波段光谱特征与已有评价结果的相关关系,通过综合评价指标建立模型对研究区生态环境状况进行评价;

最后,将各模型评价的结果与已有结果进行拟合,寻找最能反映研究区生态环境状况的遥感定量综合评价指标。

具体技术路线见图 1.1

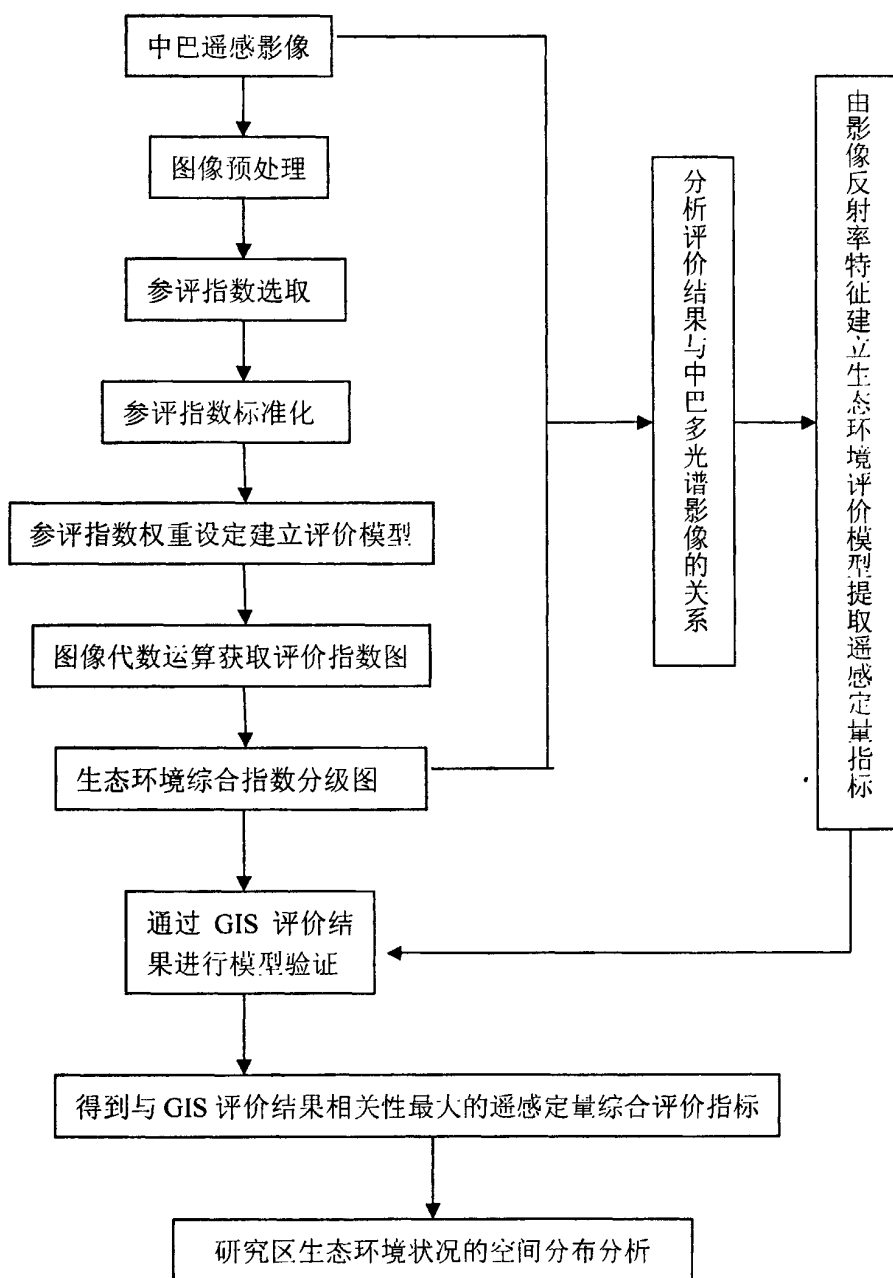


图 1.1 研究技术路线图

Fig1.1 Technical flowchart in this study

2 研究区概况

2.1 概述

垦利县位于山东省东北部黄河与渤海交汇的黄河三角洲顶端。地理坐标为北纬 $37^{\circ}24'$ ~ $38^{\circ}10'$ ，东经 $118^{\circ}15'$ ~ $119^{\circ}19'$ 。县域呈西南、东北走向。东濒渤海，西、北与利津县隔河相望，南接东营区，东北部与河口区毗邻。东西横距约 96.2 公里，南北纵距 55.5 公里。研究区位置见图 2.1。

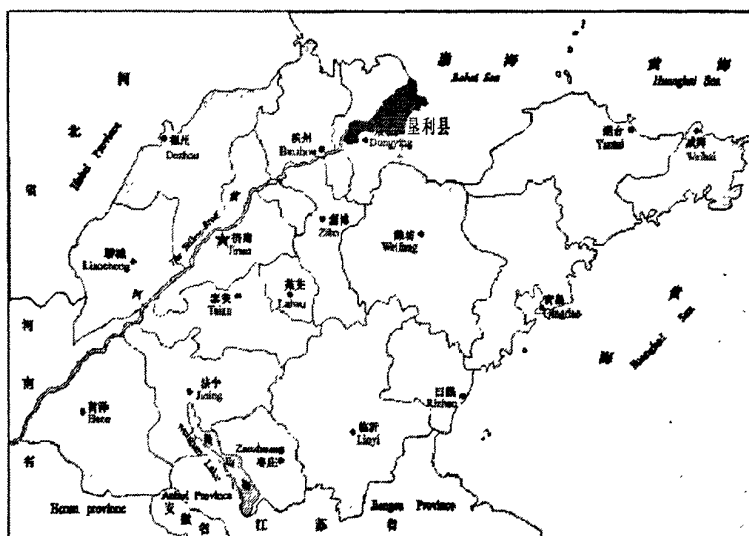


图 2.1 垦利县地理位置示意图

Fig2.1 Geographical location of Kenli County

垦利县是一个典型的移民县，居民来自 11 个省 107 个市县。1941 年置垦区(县级)，1943 年设垦利镇，1958 年建孤岛街道，同年 11 月 13 日改孤岛公社，1959 年设垦利县。辖 5 镇、2 乡、2 个办事处，333 个自然村，2008 年底全县总人口 21.7 万人。

2.2 自然条件概况

垦利县的自然资源丰富。石油地质储量达 18.72 亿吨，胜利油田开采以来，70% 的油气产量出自垦利境内。黄河每年为这里携沙造陆 3 万亩，

垦利县成为中国沿海土地后备资源最多, 农业开发潜力最大的地区。草场面积 116 万亩, 生长着近百种野生天然牧草和野生药材, 发展畜牧业有着得天独厚的条件。浅海滩涂广阔, 非常利于鱼、虾、贝类的养殖。丰富的自然资源, 为垦利经济的腾飞奠定了良好的基础。

2.2.1 气候

垦利县属暖温带大陆季风气候区, 光热资源较为丰富, 年均温 12.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4310.4°C ; 降水量少, 年均 547.2mm, 且年际、年内分配不均, 夏季降水占 67.8%, 冬季仅 3.6%; 蒸降比大, 为 3.40, 春季达 7.54, 造成严重春旱; 旱涝灾害频繁。

2.2.2 水文

黄河为该县主要淡水来源, 年均入境 317 亿 m^3 , 但年际变化大, 年内丰枯季节明显。据统计, 1972—1990 年 18 个年份中有 13 个年份出现断流 20 多次, 多发生在春季。且近年来断流愈加频繁, 时间越来越长。天然降水自产径流约 2.8 亿 m^3 , 亦集中于 7、8 月份, 春季径流量极小。

地下水埋深浅、矿化度高, 不能用于农业及人畜饮用。埋深小于 3m 的面积占总面积 80%。平均地下水矿化度达 24.63g/L。大于 30g/L 的面积占总面积近 1/3。

2.2.3 地形地貌

垦利县属于典型的三角洲地貌。黄河三角洲是一典型扇形三角洲, 属河流冲积物覆盖海相层的二元相结构, 西南高, 东北低, 高程 13~1m, 自然比降 $1/8000 \sim 1/12000$ 。由于黄河三角洲新堆积体的形成以及老堆积体不断被反复淤淀, 造成三角洲平原大平、小不平, 微地貌形态复杂, 主要的地貌类型有河滩地(河道)、河滩高地与河流故道、决口扇与淤泛地、平地、河间洼地与背河洼地、滨海低地与湿洼地以及蚀余冲积岛和贝壳堤(岛)等。其中, 河滩高地是黄河尾间故道摆荡泛淤而成的河流堆积地貌, 地势比周围低地相对高 2~3m, 物质组成以黄河洪泛相粉砂为主, 河流故道为历次尾间迁徙后的河床遗迹, 多构成河滩高地的中轴, 并与之紧密连成一体。河间洼地指分布于河滩高地之间的低平洼地, 背河洼地是黄河大

堤背河侧沿堤成带状分布的洼地，其形成既与人工筑堤取土有关，也与黄河地上河道因侧渗而积水有关。决口扇是黄河洪水决口破堤后，大股水流流向泛滥平原低处所形成的扇状堆积体，扇柄与河道相连；淤泛地指人为控制下黄河摆荡淤积的堆积或者引黄淤区的堆积，后者有的外形似决口扇。滨海低地指海、陆交互作用带，即海岸带，呈带状展布；湿洼地泛指沼泽化的生长芦苇等植被的积水洼地。蚀余冲积岛是故道河口沙嘴或三角洲平原受海洋动力作用冲刷后退过程中的蚀余体，残留于潮滩之上；贝壳堤是由大量贝壳及其碎屑在波浪作用下成层堆积而成，后经潮流冲刷破坏，成为断续分布的贝壳砂岛，代表古黄河三角洲的海岸线。

2.2.4 成土母质

垦利县地质构造属华北台块一部分。第三纪中，后期发生喜马拉雅山运动，华北陆台西部地层产生褶皱升起形成六盘山，华北陆台东部拗褶下陷，同时发生断裂（也有某些地盘上升）。此时，太行山以西、吕梁山以东强烈下陷形成渤海凹陷，鲁北平原经第三纪、第四纪深积了深厚的沉积物，总厚度达 500 米至 900 米，使该地区形成宽广而深厚的沉积平原，由于黄河夹带大量泥沙不断向渤海纵深填充，战胜了渤海的不段沉降，建造了华北冲积平原及其黄河三角洲，由于黄河泛滥及其冲积作用在水平方向的分选造成了垦利县微地貌类型复杂和尾间地带的重要原因。

黄河水含有大量泥沙，据测定含沙量为 3%，洪峰期时含沙量可达 14-41%，最大可达 58%。近年来，每年在河口及宽广的海岸线上可沉积近 10 亿吨，垦利县土壤母质是由黄河泛滥沉积的黄土性冲积母质，沿黄河故道有一系列冲积扇向渤海延伸，其河道中心线沉积以砂质、砂壤质土为主，两边依次出现轻壤、中壤及红淤土，由于黄河多次改道，沉积物多次交叠，形成砂粘相隔层次。

综上，垦利县成土母质是由黄河水从黄土高原搬运而来，早已经风化的石灰性冲积物，由于黄河水泛滥时各地形部位及其沉降速度不同，水平分选作用明显，在主流附近为砂质母质，并依次出现砂壤、粉砂壤、中壤、重壤以及粘土，且养分含量亦依次递增，同时，在成土过程中由于黄河泥砂与海相沉积交互进行，故土体含盐量不同，依照地形部位及距海之远近，其冲积母质可形成潮土土类与盐土土类。

2.2.5 土壤

根据土壤普查结果,垦利县有潮土、盐土两大土类,黄河冲积物是土壤形成的物质基础。土壤表层质地偏轻,砂、轻壤占总面积的 70.3%,养分含量较差。毛细管作用强烈,使地表极易返盐。表层含盐量 $>0.4\%$ 的面积占总面积的 70%,盐渍化是该县土壤的主要问题。

土壤各类型的分布与微地貌及潜水状况有一定的关系,潮土多分布在地势较高、排水通畅、地下水位较深的部位;盐土则分布在地势低而平缓、潜水矿化度较高的地区。从质地来看,地势低洼处多分布重壤、重壤和粘土,地势较高处多分布砂壤、轻壤土。

2.2.6 植被

在垦利县特定的土壤气候条件下,具有适应与生存的特定植物群落,其关键是植物群落与土壤含盐量相关极大。

在滨海潮土、滨海盐化潮土上生长着茅草、芦苇、曲曲菜(又名七七菜)、黄花草木樨、胡绿豆、狗尾草、杞柳、野麦荳等等野生植被以及农田各禾本科杂草,栽培植物主要有小麦、大豆、高粱、玉米、水稻、田菁、绿豆、红小豆、白豆、地瓜、谷子、棉花、向日葵、花生、芝麻、各种蔬菜以及柳、槐、榆、桑、杨、椿、苹果、梨、桃等。

在滨海潮土、滨海滩地盐土上植被群落主要以盐生植物为主,生长马绊、怪柳、卤蓬、羊角菜、野菱菁、罗布麻等。

在低洼积水处生长着水生植物如水蓼、芦苇、莎草、蒲子、水稗、土里酸等等。

2.3 社会经济条件概况

垦利县地处胜利油田腹地,环渤海经济区与黄河三角洲经济区的结合部,也是海路连接东北和中原两大经济区的重要通道,紧靠县城的胜利黄河大桥是连接胶东半岛与京津唐地区的交通枢纽,随着利津黄河公路大桥通车和东营黄河大桥建设,将形成“三桥飞架黄河天堑”的格局;青垦路、辛河路、永莘路等 3 条省级干线公路在县城交汇。垦利距北京、天津、青岛、济南分别为 400、300、250、200 公里,距东营市东、西城各 15 公

里,是东营三点组团式中心城市的北支点。

县内柏油路总里程达 1000.3 公里,纵横交错,四通八达,海路畅通,距开放口岸东营港 60 公里。东营飞机场座落我县境内。东青高速公路北起垦利县城,南与济青高速公路相连。德龙铁路也正在规划论证。当今世界先进水平的民用通讯技术得以广泛应用。电力建设超前发展,形成了以 110KV 垦利变电站为中心,以 35KV 输变电网为骨架,以 6—10KV 配电线路为配电网的辐射全县的供电网络。

全县国民经济持续、快速、健康发展,综合实力进一步加强,人民生活水平继续提高。2001 年全县国内生产总值预计达到 21.5 亿元,同比增长 18.8%,农民人均纯收入 2800 元,比去年增长 8.1%。农业综合开发和农业结构调整成效显著,特色产业发展迅猛,“莲藕、畜牧、水产、桑蚕”四大主导产业格局已初步形成,其中莲藕种植面积 3.5 万亩,成为山东省最大的莲藕生产基地;水产养殖面积达到 41.5 万亩,其中淡水养殖 15 万亩;桑园种植面积 2.35 万亩,冬枣 1.2 万亩,全县林木覆盖率为 9.5%。粮经比例调整到 5.4: 4.6。工业上,形成了以石油化工、精细化工、建筑建材、纺织服装、家具工艺、农副产品加工为主导的产业体系。工业废气利用率、废水利用率、固体废物综合利用率分别达到 98.5%、100%、100%。

3 研究资料收集与软硬件准备

3.1 研究资料收集

3.1.1 卫星遥感资料

研究选取中巴资源卫星 (CBERS) 遥感影像, CBERS-1 在可行性论证时,就参照当时的 SPOT-3 和美国陆地卫星-5 的技术指标, 谱段选择与陆地卫星-5 相近, 空间分辨率与 SPOT-3 相近。经过 CBERS-1 数据应用评价, 国防科工委卫星应用专家组认为, CCD 相机 2、3、4 谱段, 即波长为 $0.52\mu\text{m}$ — $0.59\mu\text{m}$, $0.62\mu\text{m}$ — $0.69\mu\text{m}$ 和 $0.77\mu\text{m}$ — $0.79\mu\text{m}$, 这三个谱段组合形成的假彩色影像能有效地反映地表的综合特征, 也是国际上各类资源卫星最常用来形成标准假彩色图像的主要谱段。CBERS-1 地面分辨率达到了设计的 19.5m 的指标, 在地物细节的空间特征表达及其可分性方面均优

于美国陆地卫星 TM 相应的数据,经纠正的图像信息具有良好的清晰度和较高的几何精度,可满足于 1:10 万比例尺的制图要求,可为资源环境数据库更新提供信息基础(最大比例尺可达到 1:5 万),CBERS-1 应用评价表明:完全可以用在农业、林业、土地、城市、环境、灾害、海洋、测绘等领域。总之,凡是可以应用 SPOT 卫星和 Landsat 的地方,基本上都可以用 CBERS-1 卫星数据替代。

由此可见,CBERS-1 卫星数据完全可以用于研究区垦利县的生态环境状况评价。综合考虑研究区自然植被和农作物的物候期,选取 2005 年 4 月 13 日黄河三角洲地区 CBERS 遥感影像图。4 月黄河三角洲地区的小麦和树木有较好区分,可以在遥感影像上比较清晰地反映出来。同时 19.5m 分辨率的波段数据,已能够比较清晰地反映垦利县的土地利用/土地覆被状况。此时各植物类型影像特征较明显,与土壤有较好的区分,有利于生态环境状况的研究。

3.1.2 非遥感基础及专题资料

主要为研究区 1:5 万比例尺地形图、行政区划图以及土地利用现状图等图件。

3.2 软硬件准备

硬件:奔腾 IV 处理器一台。

软件:

(1) ERDAS(Earth Resource Data Analysis System) Version 8.6,用于遥感数据的处理,如图像的合成、增强、纠正、分类、评价指标的提取以及评价模型的建立等。

(2) Mapgis 6.7,主要用于行政界线的数字化以及几何校正、图件的矢量化等。

(3) ArcGIS 9.2,用于评价结果的获取以及通过遥感综合评价指标模型计算的结果与基于 GIS 评价的结果的空间叠加分析。

(4) Spass 13.0,主要用于影像数据各个波段与基于 GIS 的评价结果的相关性分析以及基于模型计算的评价结果与基于 GIS 的评价结果的相关

性程度分析。

(5) 其它辅助软件: Excel 等。

4 遥感资料的预处理

4.1 时相及波段的选择

综合考虑研究区自然植被和农作物的物候期,选取 2005 年 4 月 13 日黄河三角洲地区中巴资源卫星 (CBERS) 遥感影像图。此时相农田中冬小麦长势较好,自然草本植物开始泛绿,各植物类型影像特征较明显,与土壤有较好的区分,有利于生态环境状况的研究。

根据影像各波段合成效果的目视分析,选择对绿色植被有较好反映的 4、3、2 波段进行 RGB 假彩色合成,合成后的影像植被为红色,水体为深蓝或黑色,盐渍化土地呈现亮白色。

4.2 几何精校正

原始遥感图像通常包含严重的几何变形,引起几何变形的原因可分为系统性和非系统性两大类。系统性几何变形是有规律和可以预测的,利用计算公式和取得的辅助数据可以进行校正,这项工作常常在卫星资料处理中心完成。非系统性几何变形是不规律的,一般很难预测,利用卫星上仪器所提供的姿态信息满足不了几何校正所要求的精度,因此,为了使遥感图像的几何精度符合制图要求,还需要利用地面控制点作进一步校正,称为几何精校正 (吴健平, 1999)。

本研究选择高斯-克吕格投影空间为校正空间,运用垦利县 1:5 万地形图,采用地形图到图像的方式对 2005 年 4 月 13 日遥感图像进行几何精校正。具体方法为:在遥感影像中选择路路交叉、路渠交叉等 30 个明显地物点作为地面控制点,应用多项式校正模型和双线性内插重采样模型对原始图像进行几何精校正,最终的定位精度控制在 0.5 个像元之内,满足了研究的需要。校正后的垦利县遥感影像见图 4.1。



图 4.1 垦利县遥感影像 (2005.4.13)

Fig4.1 The geometric correction map of Kenli County in 2005.4.13

4.3 掩膜处理

由于研究获取的是整景中巴卫星数据,而研究样区垦利县只是其中的一部分,因此,需要对整景数据将研究区范围提取出来,借助于垦利县土地利用现状图,利用 Mapgis6.7 软件数字化输入行政边界线,将得到的边界文件进行误差校正,把矢量文件转成栅格图,以此栅格图建立 Mask。此 Mask 为 0-1 的两值化处理图像,对提取出的研究区范围应用 Mask,即将垦利县行政范围内的光谱值乘以 1,予以保留;将垦利县行政范围外的光谱值乘以 0,予以取消,就得到垦利县的中巴卫星影像数据。

需要说明的是由于垦利县位于黄河入海口,黄河泥沙淤积使其边界处于动态变化之中,前边进行套边界所用的矢量图为 1998 年垦利县行政边

界, 因此获得的图像包括一定海域范围。为了得到 2005 年 4 月垦利县准确的边界信息, 本研究采用了近红外波段阈值法。在 TM 影像 7 个波段中, 第 4 波段即近红外波段通常用来调查生物量、绘制水体边界 (赵英石等, 2003), 因此, 利用近红外波段阈值法提取海岸线是一种行之有效的方法。同 TM 影像的第 4 波段相同, 中巴卫星 CBERS 的相应的第 4 波段也为近红外波段, 考虑用 CBERS 的第 4 波段进行海岸线的提取。

首先, 进行光谱特征分析, 由于水体对近红外波段强烈吸收, 因此, 水体在 CBERS 4 波段的值较其他地物小, 但随着水体深度的减小, 水中的含沙量增大, CBERS 4 光谱值增大, 即在离陆地越近的地方, 水体越浅, CBERS 第 4 波段的光谱值越大, 通过对其边界处的光谱特征进行重点分析, 确定阈值为 45; 然后, 以 $B4 < 45$ (其中 B4 为中巴数据 4 波段的光谱值) 为条件建立掩膜 Mask; 最后将其与前边得到的包含水域的垦利县遥感数据进行相乘运算, 将 $B4 > 45$ 的光谱值乘以 1, 予以保留; 将 $B4 < 45$ 部分的光谱值乘以 0, 予以取消, 结果得到 2005 年 4 月 13 日完整的垦利县 CBERS 数据图像, 见图 4.2。



图 4.2 垦利县 CBERS 影像 (2005. 4. 13)

Fig. 4.2 Color composite CBERS image of Kenli County in 2005.4.13

4.4 增强处理

从遥感图像上提取所需信息进而进行各专项研究分析是应用遥感图像的目的所在,但由于种种原因,直接根据原始图像进行遥感信息提取,特别是进行专题信息提取的过程中,精度受到很大的限制。提高遥感图像解译精度的途径不仅在于分类方法的改进,对原始影像进行增强也是其中重要的方面。

本研究根据研究目的的需要试验了多种图像增强和变换技术,主要有线性拉伸、滤波增强、直方图均衡化等方法。研究发现直方图均衡化可以使每个灰度级包含大致相等的像素个数,使得图像中像素数多的灰度级或在图像中所占面积较大的地物细节得到增强,而相应灰度级或在图像中所占面积较小的地物细节得到中和,以得到反差增强的效果。而在黄河三角洲地区地物光谱特征复杂,盐渍化程度重,地物插花分布现象严重,因此即使是同一种地物类别光谱特征变化也较大,在这种情况下对一些细小的噪音进行中和就显得更为重要。因此,针对研究区具体情况,最终采用了直方图均衡化的方法对图像进行了增强处理,增强处理后的图像见图 4.2。



图 4.3 进行直方图均衡化后的垦利县中巴影像 (2005.4.13)

Fig.4.3 Color composite image of Kenli County after Histogram Equalization in
2005.4.13

5 基于遥感与 GIS 的生态环境状况评价研究

5.1 评价指标的选取与权重的确定

黄河三角洲是海陆交互作用形成的退海之地, 由于其特殊的地理位置、地貌等自然条件, 土地退化现象严重, 主要表现为土地盐渍化。土壤盐渍化是目前影响农业和生态环境持续发展的资源制约因素, 在研究区黄河三角洲地区尤其如此, 因此土地退化程度是评价研究区生态环境状况必不可少的因素之一。本文通过分析地物的光谱特性, 寻找反映土地盐渍化的敏感波段, 通过波段组合方法构建土地盐渍化(退化)指数, 用以反映研究区的土地退化状况。

植被是反映生态环境状况的一个重要因素, 研究区林草地面积比重较小, 植被覆盖度较低, 因此选取植被指数作为研究区生态环境评价的一个因素。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 能够准确地反映植被的覆盖程度(Tucker CJ, Nature, 1986)。1987年日本的竹内章司对归一化植被指数与植被覆盖率的定量关系进行了研究(竹内章司, 1987), 在《由卫星图像的植被指数推算像元内的植被覆盖度》一文中运用统计分析的方法研究了植被指数与植被覆盖率的定量关系, 结果表明利用 TM、SPOT、MSS 卫片计算所得的这两个植被指数与植被覆盖率的线形相关系数分别为 0.8 和 0.9 以上, 而非线性的累积正态回归可使相关系数分别达到 0.92 和 0.95 以上。因此, 本研究采用 NDVI 来反映植被覆盖信息, 表征生态环境状况。NDVI 值越高, 说明该区域植被覆盖率越高, 生态环境质量越好。除此, DVI 对土壤背景的变化较敏感, 在植被覆盖度较低的地区有较好的反应, 因此将 DVI 作为反映研究区植被状况的另一个指标。

垦利县虽濒临渤海但因处黄河最末端淡水资源匮乏, 而水环境也是反映生态环境状况的一个重要因素, 因此选用地表水体密度指数作为研究区

生态环境状况的评价指标。本研究根据水体的光谱特征将地表水提取出来,将研究区划分为等大小的栅格单元,通过计算单元格内水体的面积与单元格面积的比值构建得研究区水体密度指数。

人类活动干扰是研究区生态环境脆弱的另一重要因素,垦利县由于春季黄河断流、干旱,当地居民为此修建水库,为养殖虾蟹而修建坑塘;此外还有广种薄收的农业生产活动、对自然植被的无序开垦等等。因此,通过对不同土地利用类型的人类干扰强度赋值,构建人类活动指数,作为评价研究区生态环境状况的指标。

综上所述,本研究选用土地退化指数、植被指数、水体密度指数、人类活动指数评价研究区的生态环境状况。采用 DELPHI 法(王宗仁,武子远,段彩环,等,2001)确定各指数的权重。结果如表 5.1 所示。

表 5.1 垦利县生态环境状况评价指标权重

Table 5.1 The weights of ecological environment evaluation indexes of Kenli County

生态环境状况评价指标	土地退化指数	植被指数	水网密度指数	人类活动指数
权重	0.29	0.26	0.21	0.24

5.2 生态环境评价的遥感指标提取

5.2.1 研究区地物光谱特征分析

遥感数字图像中像元在各波谱范围内的不同数值(亮度值)反映了相应地物的光谱特性,通过计算机对图像像元多波段的数值进行统计、运算对比和归纳,便可对像元对应地物进行分类和识别。因此,地物光谱特性分析是进行遥感判读、识别的基础和出发点,也就是说,为了更好地利用遥感图像识别地物和现象,在遥感信息提取之前,对地物类型光谱特征的分析是必要的(王周龙等,2003;李爽等,2002;李静等,2004)。

根据研究区土地利用/覆被的实际情况,将垦利县土地利用覆被类型被分为 8 大类:沿海滩涂、建设用地、农用地、水库、林草地、盐荒地、养殖池、河流。在遥感信息提取之前,首先对 8 大类地物进行光谱特征分析,采用将实地考察、样点定位与遥感影像参数统计相结合的方法,选择

典型地类样点，分析其光谱特征。各类别中巴影像各波段的样本灰度均值及光谱特征曲线见表 5.2 和图 5.1 所示。

表 5.2 垦利县主要地类卫星图像波段的样本灰度均值

Table 5.2 The mean DN value of the main ground objects in each band of Kenli County

典型地物	样点个数	波段				
		B1	B2	B3	B4	B5
沿海滩涂	10	139	114	131	124	224
建设用地	15	99	154	178	190	220
农用地	25	19	45	41	255	161
水体	20	37	39	25	42	17
林草地	10	37	46	55	121	135
盐荒地	25	176	216	235	234	155
养殖池	15	34	49	47	48	132
河流	10	149	176	215	148	239

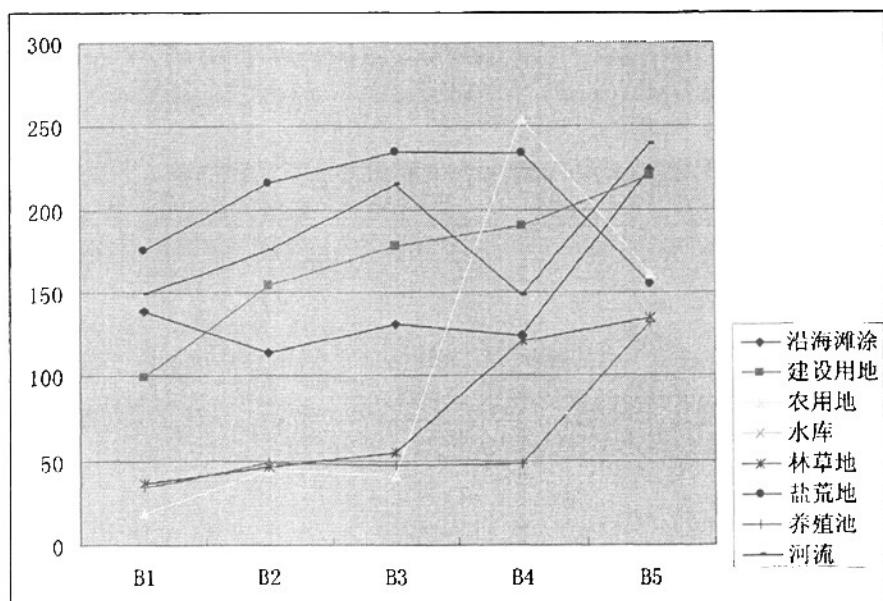


图 5.1 垦利县各主要地物光谱曲线图

Fig.5.1 Spectral curves of main ground objects in Kenli County

5.2.2 植被指数的信息提取

本研究首先采用 NDVI 来反映植被覆盖信息,表征研究区生态环境状况。NDVI 值越高,说明该区域植被覆盖率越高,相应的生态环境质量也就越好。其计算方程式公式如下:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

式中: B3、B4 分别为中巴影像的第三(红色)波段亮度值、第四(近红外)波段亮度值。

以上利用中巴影像 4 波段与 3 波段在 ERDAS8.6 软件的 Modeler maker 模块下构建的研究区 NDVI 值,其取值范围在 (-0.27473, 0.70796) 之间。为了计算生态环境综合状况指数时各个指标能够统一,对 NDVI

指数进行标准化处理,通过公式 $y = \frac{d-c}{b-a}x + c - \frac{d-c}{b-a}a$ (式中 a 代表原区间的最小值, b 代表原区间的最大值, c 代表目标区间的最小值, d 代表目标区间的最大值),将研究区的 NDVI 值转化到 (0, 100) 之间,这样符合通常计算分值的习惯,经转化后的 NDVI 指数图如图 5.2 所示。



图 5.2 垦利县 NDVI 指数图

Fig.5.2 The NDVI index map of Kenli County

用同样的模型构建方法得到研究区 DVI 值，其公式如下：

$$DVI = NIR - R = B4 - B3$$

式中：B3、B4 分别为中巴影像的第三（红色）波段亮度值、第四（近红外）波段亮度值。

通过模型构建获得的研究区 DVI 值范围在（0，169），同样需要通过

公式 $y = \frac{d-c}{b-a}x + c - \frac{d-c}{b-a}a$ （式中 a 代表原区间的最小值，b 代表原区间的最大值，c 代表目标区间的最小值，d 代表目标区间的最大值）对 DVI 值进行标准化处理，将其转化到（0，100）的范围。经转化后的 DVI 指数图如图 5.3 所示。



图 5.3 垦利县 DVI 指数图

Fig.5.3 The DVI index map of Kenli County

将以上获得的 NDVI 指数图与 DVI 指数图在 ERDAS 下 Modeler maker 模块按照相同的权重进行叠加计算，计算公式为

$$\text{植被指数} = 0.5 \times NDVI + 0.5 \times DVI。$$

得到的植被指数图如图 5.4 所示。



图 5.4 垦利县植被指数图

Fig.5.4 The vegetation index map of Kenli County

植被指数分值越高的区域反映在图像上就越亮白，相反的，植被指数分值越低的区域反映在图像上就越黑暗。分析研究区的植被指数图可以看出，垦利县植被指数分值较高的区域主要分布在东北部、西南部以及中部。在垦利县的东北部主要分布有林草地以及部分的农用地（主要以旱地为主）；西南部分布着大面积的水浇地；而在中部地区也是以旱地为主。植被指数反应了植被的覆盖程度，因此在这些地区的植被指数分值就会相应的比较高。

5.2.3 土地退化指数的信息提取

分析各地类样本灰度均值可以看出，盐荒地在中巴卫星影像的 1、2、3 波段的值明显高于其它地类，这反映出盐渍土对于可见光的较强反射，并且盐渍化越严重反射越强烈，反映在遥感影像上即盐渍土呈现亮白色并且盐渍化越严重图像就越白亮。由此将 1、2、3 波段 DN 值相加则可增强对盐渍化土地的反映。

在构建盐渍化指数时为了避免或者减少日照、大气等因素的影响，进一步突出其光谱信息，我们用 255 减（加）去三者之和，并采用比值指

标的形式(赵庚星, 林戈, 2004), 构建了如下的盐渍化指数模型, 公式如下:

$$\text{盐渍化指数 (a)} = \frac{255 - (B1 + B2 + B3)}{255 + (B1 + B2 + B3)}。$$

式中, B1、B2、B3 分别为中巴影像的第一、第二、第三波段亮度值。

在此基础上, 对盐渍化指数进行标准化处理, 采用公式

$$\frac{a - \min(a)}{\max(a) - \min(a)} \times 100 \text{ 将盐渍化指数 } a \text{ 值转化到 } (0, 100) \text{ 的范围之内。}$$

结果证明该盐渍化指数能够较好的度量研究区的盐渍化程度, 反映研究区土地退化状况, 如图 5.5 所示。



图 5.5 垦利县土地盐渍化(退化)指数图

Fig.5 .5 The land salinization (degeneration) map of Kenli County

研究区土地盐渍化指数分值越高的区域反应在盐渍化指数图上越亮白, 相反的, 土地盐渍化指数分值越低的区域反应在盐渍化指数图上越黑暗, 而且退化越严重的地区分值越低, 反应在盐渍化指数图像上越黑。分析研究区土地退化指数图, 可以看出, 垦利县退化最严重土地主要分布在沿海滩涂地区和区内北部部分地区, 前者受海水直接影响, 氯化盐含量较

高,退化严重;后者为孤东油田所在地,有较大面积的盐荒地分布。退化较重的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,与退化严重的土地相比,位置上离海岸线稍远,盐碱稍轻;中部因地势低平,地下水埋深较浅,因此形成退化较重的盐荒土地。退化较轻的土地主要是分布在垦利县西南部和北部的农用地,西南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,但受到土壤盐渍化影响,有轻度退化的现象。无退化土地主要是垦利县东部林草地和西南部的农田,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,或沿黄未受盐碱影响,土壤质量较好,营养元素丰富。

人类活动的影响对垦利县的土地退化起着主要作用。农用土地的开发利用活动使大量轻度退化土地转变为农用地,水产养殖业的快速发展使大量盐碱退化地转变为水库和养殖池。这些都是人类活动在改善土地退化方面的积极作用。此外,当地广种薄收的土地利用习惯以及对耕地的过度开发,使得农田中盐渍化程度不断加重。这又反应了人类活动驱动了研究区土地退化的进程。

5.2.4 水体密度指数的信息提取

垦利县水体包括水库和河流两部分。分析地物光谱曲线图可以看出,水库在各个波段的值都比较低,可以根据 $B1 + B2 + B3 + B4 + B5 < 250$ 把水库与其他地类划分开来,将水库准确地提取出来。

垦利县的河流即是黄河,由于黄河在垦利县入海处携带了大量的泥沙,泥沙具有强反射特性,使得河流的光谱曲线与水库不同,光谱值明显增高,在图像上表现为黄河在垦利县呈现浅蓝或者亮白的颜色,与水库的深蓝色或者黑色有很大区别。因此根据光谱曲线通过 $B3 + B5 > 450$ 可准确提取河流信息。

通过将水库和河流信息叠加可以得到研究区水体分布图。如图 5.6 所示。

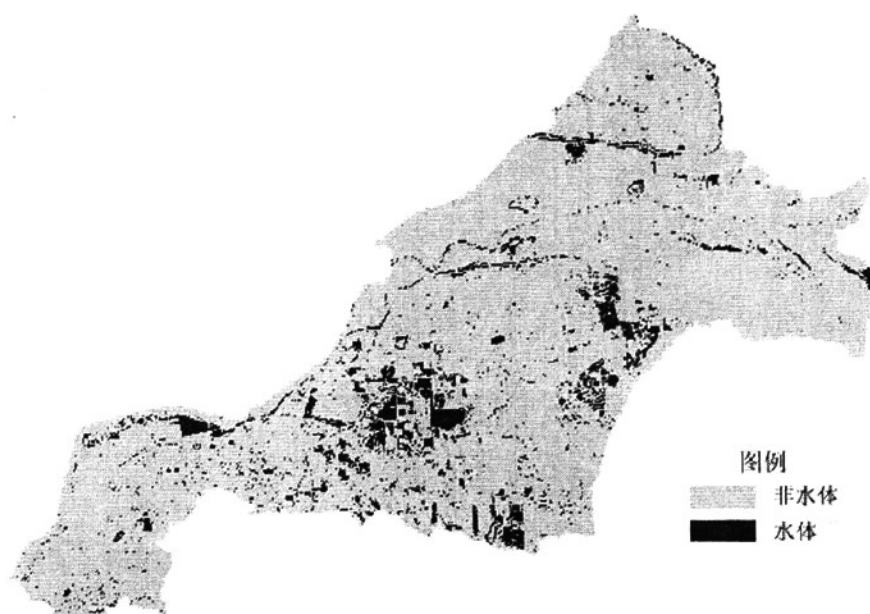


图 5.6 垦利县水体分布图

Fig.5 .6The water distributing map of Kenli County

基于研究区水体分布情况和研究区的实际面积，在 ArcGIS 软件下将研究区划分为等面积的 145 个单元格（其中边界上的小面积的单元格划到与之距离最近的单元格中）。以单元内水体面积与单元面积比值作为水体密度指数，公式如下：

$$\text{水体密度指数} = \text{单元内水体面积} / \text{单元面积}$$

通过在 ArcGIS 进行计算得到研究区的水体密度指数图，如图 5.7 所示。

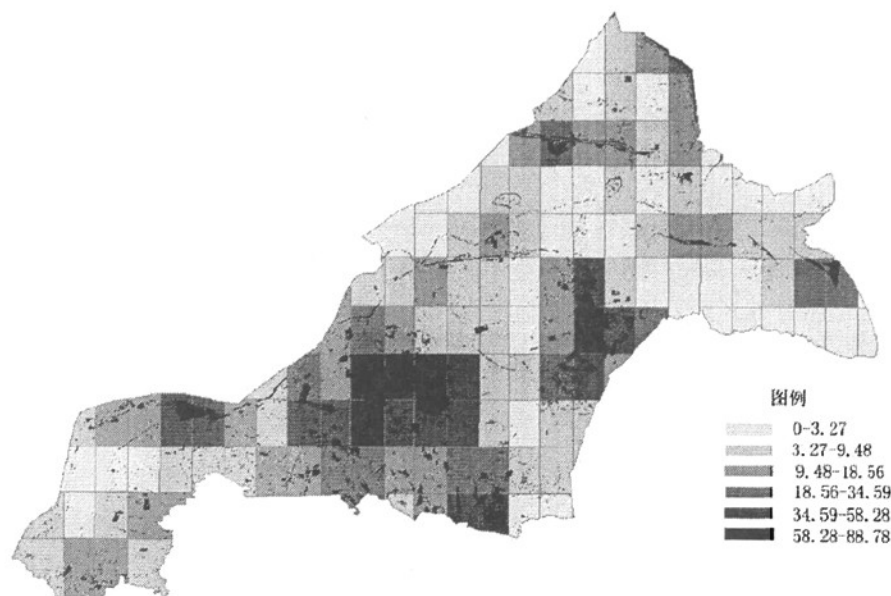


图 5.7 垦利县辖区水体密度指数图

Fig. 5.7 The water density index map of Kenli County

分析研究区的水体密度指数图，可以看出垦利县的水体主要是北部的黄河以及中部和西部的人工水库。在这些区域的淡水资源比较丰富，水体密度指数分值较高。但是从总体上来说，垦利县的淡水资源相对还是比较匮乏的。

5.2.5 人类活动指数的信息提取

陈利顶(陈利顶,傅伯杰,2000)指出,干扰是自然界中无处不在的一种现象,直接影响着生态环境的结构和功能演替,作为人类活动集中体现的综合体,土地利用方式和强度在一定程度上反映了人类活动对自然生态系统干扰的性质和过程(陈利顶,张淑荣,傅伯杰,等,2003)。本研究根据人类活动的结果将垦利县土地利用类型分为沿海滩涂、河流、林草地、水库、养殖池、建设用地、农田和盐荒地。人类活动对生态环境干扰越强则生态环境状况越差,以此为原则对各地类赋予相应分值(表 5.3)。分值越高,人为干扰越小。

根据地物的光谱特性,通过影像数据各波段的组合运算,将每一个地类与其它地类区分开来,从而达到将各个地类都提取出来的目的。各地

类的提取法则如表 5.4 所示。将提取的各地类信息叠加，并以表 5.3 赋予分值得到垦利县人类活动指数图，如图 5.8 所示。

表 5.3 垦利县土地利用类型分值

Table5.3 The scores of land-use types of Kenli County

土地利用类型	林草	河流	沿海滩	盐荒	农田	水库	养殖	建设
	地		涂	地			池	用地
分值	90	78	65	60	53	48	42	30

表 5.4 垦利县各地类提取法则

Table5.4 The extracting principle of each land-use type of Kenli County

地类名称	地类提取法则
沿海滩涂	$B1-B2>30$
河流	$B3+ B5>450$
林草地	$0<B5-B4<15$
水库	$B1+B2+B3+B4+B5<250$
养殖池	$B4-B3<5$
建设用地	$B2-B1>50$
农田	$B4-B3>200$
盐荒地	$B1+B2+B3>625$

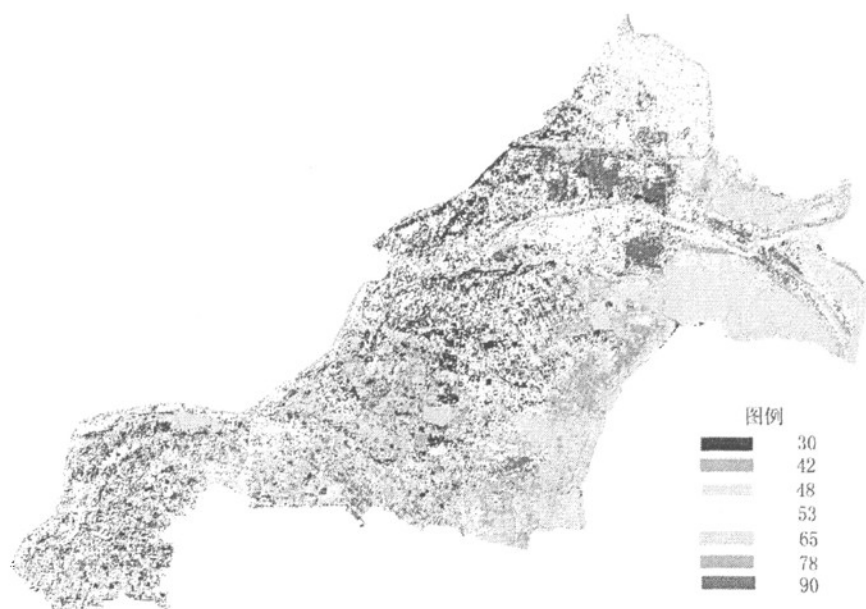


图 5.8 垦利县人类活动指数图

Fig.5.8 The human activity index map of Kenli County

对垦利县人类活动指数分值的确定是按照人类活动对生态环境的影响程度（反映到图像上就是不同的土地利用类型）来进行的。从人类活动指数图上可以分析得出，分值较高的地区主要分布在垦利县东北部的林草地、北部的河流、东部的沿海滩涂、以及分布面积较广泛的盐荒地；而分值较低的地区主要分布在垦利县西南部的水浇地、中部和北部的旱地、中部的水库、东部沿海地区的养殖池以及中部、北部和西南部广泛分布的建设用地。

5.3 生态环境状况综合评价

5.3.1 生态环境状况综合指数计算

根据各指数的权重建立生态环境状况综合评价模型如下：

生态环境状况综合指数 = $0.29 \times \text{土地退化指数} + 0.26 \times \text{植被指数} + 0.21 \times \text{水体密度指数} + 0.24 \times \text{人类活动指数}$ 。

将土地退化指数图、植被指数图、水体密度指数图以及人类活动指数图都转化为 Grid 栅格格式，在 ArcGIS9.2 软件下按照建立的生态环境综

合指数模型进行运算,得到垦利县生态环境状况综和指数图,如图 5.9 所示。



图 5.9 垦利县生态环境状况综合指数图

Fig.5.9 The integrate index map of ecological environment situation of Kenli County

5.3.2 生态环境状况等级划分

根据以上得到的研究区生态环境状况综合指数图,结合研究区的具体状况,将垦利县生态环境状况划分为优、良、中、差、劣五个等级。各等级所代表的生态环境状况的意义如表 5.5 所示。

表 5.5 垦利县生态环境状况等级划分

Table 5.5 The grades of ecological environment situation of Kenli County

等级	优	良	中	差	劣
分值	≥ 85	70-85	60-70	45-60	≤ 40
意义描述	植被覆盖度高,水量丰富,土地退化程度很轻	植被覆盖度高,水量较丰富,有轻度土地退化状况	植被覆盖度较高,水量较丰富,土地退化较重	植被覆盖度较低,水量较丰富,土地退化严重	植被覆盖度低,淡水资源匮乏,土地退化程度高

在 ENVI 软件下按照划分的等级对垦利县生态环境综合指数图进行密

度分割, 得到最终的垦利县生态环境状况综合指数分级图, 如图 5.10 所示。

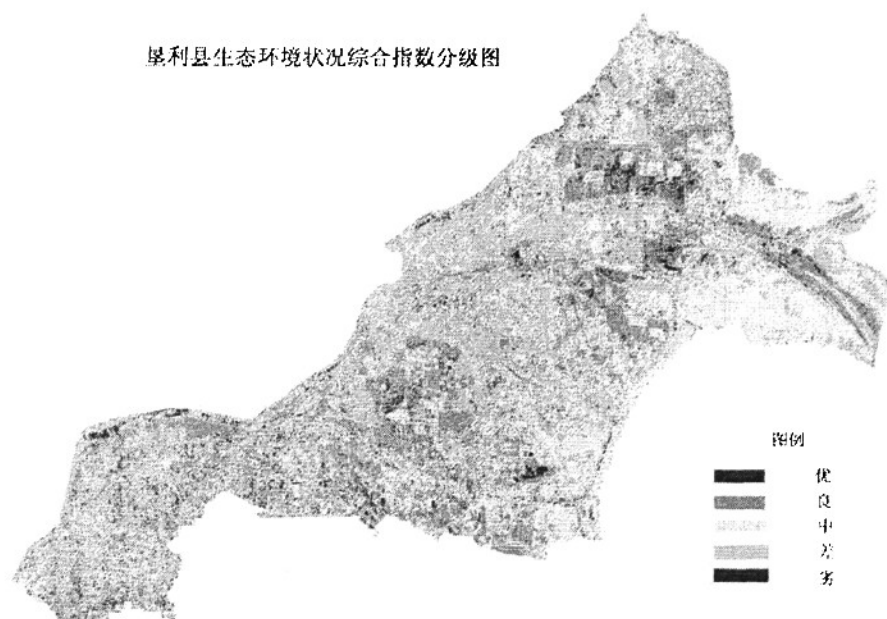


图 5.10 垦利县生态环境状况综合指数分级图

Fig.5.10 The grade evaluation map of ecological environment situation of Kenli County

5.4 基于遥感与 GIS 的评价结果与分析

5.4.1 评价结果

通过 GIS 的统计功能得到垦利县优等地面积 58.88km^2 , 占总面积的 2.67%, 面积比重较小, 主要是分布在垦利县东北部的林地, 这部分土地水资源充沛, 植被覆盖较好, 受人类活动的干扰较弱, 土地退化较轻, 因此生态环境状况最好; 良等地面积 484.14 km^2 , 占总面积的 21.97%, 主要分布在东北部林地以及中部和西南部的部分农用地, 该处水资源较为丰富、植被覆盖度较高、受盐渍化影响较小, 但是受人类活动的影响比较强烈; 中等地面积 971.57km^2 , 占总面积的 44.08%, 广泛分布在垦利县东部沿海滩涂, 西部、中部、东北部的农用地有少量分布, 沿海滩涂部分湿地广泛分布, 受人类活动影响较小, 但是受海水侵蚀影响严重, 农用地部分

植被覆盖较好但是受土地退化影响较大,淡水资源比较匮乏;差等地面积 622.92km^2 , 占总面积的 28.26%, 主要分布在垦利县中部及北部的盐荒地, 这部分土地潜埋深较浅, 土壤含盐量比较高, 土地退化严重。劣等地面积 41.07km^2 , 占总面积的 1.86%, 在垦利县境内零星分布, 这部分土地退化最为严重并且几乎没有植被覆盖, 淡水量严重不足, 生态环境状况极差。垦利县生态环境状况的等级分布与当地的自然环境条件和人类活动影响是密不可分的。具体各等级地的面积及百分比如图 5.11 所示。

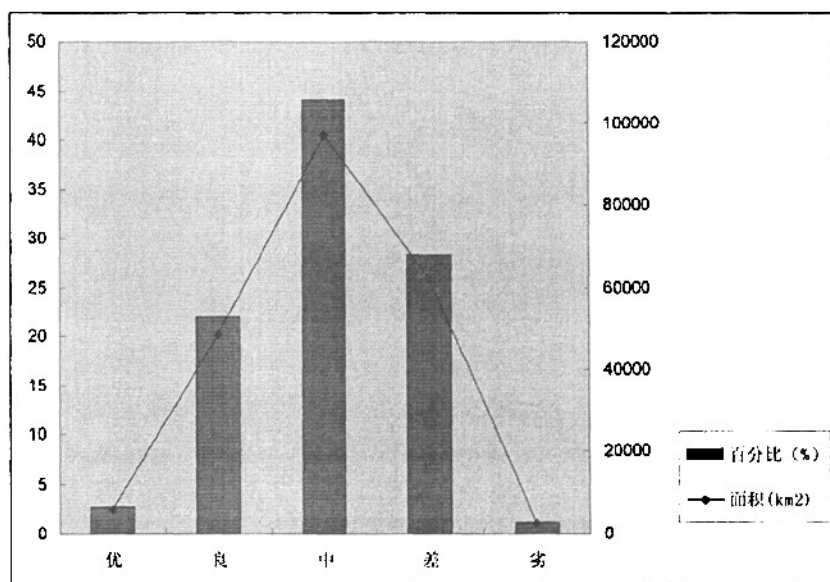


图 5.11 垦利县生态环境各等级地面积及比例统计图

Fig.5.11 Area and proportion statistical map of ecological environment grades of Kenli County

5.4.2 生态环境状况存在的问题及对策建议

从上述分析可以看出, 垦利县生态环境状况总体较差, 优等地面积比重较小, 差等地面积比重较大, 研究区生态环境综合状况主要存在以下几点问题:

(1) 由于垦利县特定的位置、地貌等自然条件, 土壤盐碱化较为严重。盐碱土分为严重盐碱化土、中等盐碱化土和轻微盐碱化土三种。严重盐碱化土主要分布于滨海低地, 沿海岸线均有分布, 从海岸线向内陆, 其盐碱化程度有变轻趋势, 其次分布于河间洼地带内; 中等盐碱化土主要在严重盐

碱化土区的外围分布,为向轻微盐化土的过渡带,分布面积较少,如不注意对土壤的保护和改造,仍有扩大的趋势;轻微盐碱化土分布于小清河以北的缓平坡地及洼地地带,分布面积较广。盐碱化土的形成主要受水文、气象、地质、地貌、土壤颗粒组成及水文地质条件等各种因素的影响,是上述诸因素共同作用的结果。另外还有人为因素的影响,如随着经济发展,大量人工水库的建设造成周围土地的次生盐碱化。

(2) 海(咸)水入侵严重。随着地下水开采量的加大,导致地下水降落漏斗的形成,且漏斗范围不断扩大,使得黄河三角洲北部咸水的水动力条件发生变化,原来向北、向东排泄的咸水,其流向转为向南补给漏斗区,咸水体向南延伸。咸水体扩展所至之处,水质变咸,机井报废,农田灌溉和人畜用水需深井取水。

(3) 岸线蚀退。黄河三角洲固结过程短,地面高程低,东、北两面临海。海岸线的变迁直接受黄河入海流路的影响,海岸线的淤积主要发生在黄河现今清水沟流路入海口地段,侵蚀目前主要发生在北部刁口地区。

(4) 植被覆盖差。由于自然条件的原因加上人为作用的影响,使得垦利县植被覆盖程度差,严重影响了当地生态环境与人类生活的可持续发展。

(5) 淡水资源严重匮乏。垦利县因处黄河最末端缺乏淡水资源。

研究区生态环境存在的这些问题已经严重影响了当地社会和经济的发展,必须采取有效措施对生态环境加以保护。针对研究区生态环境存在的问题,为改善垦利县生态环境状况,现提出以下几点措施建议:

(1) 建设良好的地表排水系统,科学地引黄灌溉及鼓励滴灌、喷灌等先进灌溉技术。对于土壤结构改善,建议采用通过增施有机肥、秸秆还田等方法,破坏土壤的毛细作用,控制或减轻盐分上升到地表,从而达到防治盐碱化的目的。

(2) 合理开采地下水,适度进行地下水回灌,严厉杜绝超量开采;

(3) 黄河尾闾区应退耕还林、退耕还草,使沿海地区从荒芜的滩涂变成生态走廊;

(4) 保护现有的植被并加大植树种草的力度,增大植被覆盖面积;

(5) 对农业区采取先进的农业生产技术,变粗放型为集约型生产,并

加强对地力的培肥，逐步改善土壤结构；

(6) 兴建高标准水库，加强灌排工程及用水的管理；

(7) 提高全民生态意识、节约意识，积极保护生态环境。

6 遥感反演模型的构建研究

6.1 遥感敏感波段分析

构建基于遥感图像的综合指标，首先需确定对生态环境状况敏感的波段，因此首先需要分析遥感影像各波段数据与已有评价结果的相关性程度。

在 ArcGIS9.2 软件下将研究区遥感原始影像的 5 个波段的 DN 值属性提取到已有的生态环境综合状况评价结果图中，并且在整个垦利县范围内随机均匀地点出 2194 个样本点(如图 6.1 所示)，分析这些样本点的基于 GIS 评价的生态环境综合状况分值与相应的原始影像 5 个波段 DN 值的相关性。由于篇幅的限制，本文仅将 200 个样本点的分值和各波段 DN 值罗列出来，见表 6.1 所示。



图 6.1 垦利县样本点图

Fig.6.1 sample points map of Kenli County

表 6.1 垦利县样本点生态环境状况综合分值及相应的波段 DN 值

Table 6.1 The ecological environment indices and corresponding DN values of sample points in each band of Kenli County

样本点 标号	生态环境状况综 合分值	1 波段 DN 值	2 波段 DN 值	3 波段 DN 值	4 波段 DN 值	5 波段 DN 值
1	59.30135418	196	206	199	167	112
2	86.63645493	59	49	52	110	145
3	58.0136589	204	206	194	161	177
4	72.12945866	51	68	90	105	244
5	81.66495617	85	78	90	118	255
6	60.71945866	145	137	123	121	24
7	52.04785604	119	118	90	115	142
8	41.3061558	136	206	194	129	207
9	64.77815517	153	127	113	129	160
10	64.84335667	145	127	142	153	149
11	64.82705318	170	147	142	137	155
12	73.04225468	136	88	80	110	125
13	62.98515766	145	137	151	145	89
14	69.61925716	145	127	113	129	125
15	71.51005692	85	88	99	121	168
16	78.77985542	119	78	61	105	119
17	79.2036589	145	118	104	118	119
18	76.88905567	119	78	71	110	214
19	54.99815517	170	157	151	145	142
20	48.31515455	204	206	199	177	142
21	63.99575592	119	127	132	129	145
22	64.56625343	145	118	104	115	227
23	48.31515455	221	206	199	180	199
24	61.99085667	119	118	123	115	125
25	56.62815517	196	157	165	167	177

26	85.83775841	85	68	71	113	192
27	65.98435791	136	127	123	129	177
28	71.29815517	102	98	99	134	192
29	77.50845741	119	88	104	129	168
30	64.99005692	170	167	142	134	160
31	53.62895493	179	177	165	177	149
32	74.46035294	110	98	90	118	145
33	66.5711589	136	137	113	132	138
34	68.77165642	136	98	104	115	192
35	54.99815517	221	246	241	255	177
36	54.62325592	196	167	165	153	138
37	63.66975468	136	88	99	118	89
38	68.34785294	136	98	99	123	145
39	55.94355816	196	177	175	183	132
40	48.0543548	145	157	175	180	155
41	69.61925716	136	88	99	118	132
42	61.25735542	145	157	165	167	145
43	64.68035294	136	127	161	161	177
44	64.20765766	85	98	104	145	220
45	97.62265766	59	49	71	121	138
46	94.05295368	17	19	23	94	192
47	54.31355816	170	177	161	156	125
48	65.03895493	119	98	113	148	220
49	47.79355505	255	255	232	210	220
50	53.15625343	221	187	184	161	214
51	65.15305443	170	127	132	148	227
52	41.28985542	255	255	255	255	142
53	56.15545368	213	226	218	215	112
54	84.41965393	110	88	99	121	138
55	68.93465393	136	118	123	137	220

56	66.04955318	153	118	99	123	119
57	60.10005692	153	127	132	129	184
58	51.95005692	221	216	213	185	207
59	78.92655567	76	78	99	121	214
60	63.57195866	179	157	132	142	207
61	81.94205318	102	68	71	107	142
62	59.88815517	204	196	194	180	142
63	54.26465393	196	187	175	177	149
64	58.77975468	196	187	180	167	199
65	63.45785294	145	147	142	118	184
66	60.52385418	179	177	175	167	145
67	56.44885418	145	137	142	126	145
68	86.84835667	8	19	23	32	142
69	71.03735542	119	108	99	115	138
70	61.30625343	153	137	161	142	138
71	58.99165642	196	147	151	161	207
72	65.87025841	119	127	123	123	149
73	50.36895493	221	206	180	161	192
74	70.04305443	119	108	123	129	214
75	54.50915642	153	187	180	156	184
76	64.77815517	136	127	142	153	233
77	45.47895493	221	216	203	175	132
78	68.72275841	204	157	161	153	132
79	62.77325592	136	147	151	142	250
80	61.20845741	145	187	184	164	160
81	79.88825592	85	68	71	118	227
82	43.39255692	221	255	255	255	207
83	53.95495617	153	137	151	148	192
84	45.59305754	204	216	222	215	207
85	53.41705318	196	206	222	207	119

86	59.79035294	145	147	165	153	207
87	57.34535294	221	236	237	253	227
88	73.35195866	76	49	61	110	199
89	68.03815517	102	118	132	148	239
90	59.93705318	170	187	184	191	192
91	66.88085667	102	118	104	121	220
92	56.15545368	153	127	132	121	168
93	48.57595741	170	206	218	202	57
94	49.83105505	102	147	175	169	142
95	65.25085667	119	127	142	180	255
96	72.21095741	85	118	132	180	138
97	74.98195866	85	88	104	145	184
98	60.83355816	119	137	165	158	125
99	43.18065517	221	255	255	253	207
100	53.74305443	196	177	194	199	207
101	43.39255692	221	255	255	255	254
102	64.48475468	119	127	180	215	254
103	62.57765766	136	137	151	169	244
104	64.89225468	153	167	151	177	125
105	44.9736558	221	226	222	255	255
106	67.51655567	145	127	123	161	142
107	58.47005692	136	127	151	153	89
108	97.99755692	42	59	61	129	119
109	63.45785294	204	177	165	148	138
110	82.72445866	204	177	180	164	168
111	78.94285294	76	59	56	110	112
112	76.98685791	119	118	113	158	125
113	63.52305443	136	157	161	145	184
114	76.72605816	102	98	99	129	125
115	79.2036589	102	68	80	129	119

116	98.47025841	110	78	90	142	112
117	66.31035294	136	127	142	156	102
118	78.56795368	102	78	80	115	119
119	59.46435791	145	177	151	153	102
120	74.52555443	110	88	104	153	155
121	68.93465393	102	108	113	145	57
122	51.21655567	179	196	194	175	168
123	50.28745617	119	137	132	115	239
124	56.04135418	136	108	113	142	168
125	40.32815517	247	246	232	215	57
126	62.62655567	102	78	80	113	119
127	67.89145493	153	127	123	153	199
128	60.78465393	145	157	161	156	142
129	56.72595741	136	147	132	126	145
130	72.78145493	102	88	90	115	168
131	60.88245617	110	98	113	161	160
132	72.40655567	136	118	123	132	138
133	71.98275841	136	137	123	132	160
134	54.93295368	119	137	123	132	44
135	69.88005692	119	98	113	132	160
136	88.73915642	102	98	113	164	102
137	42.51235542	196	196	175	137	138
138	75.09605816	59	68	71	126	239
139	97.03585667	51	59	56	121	145
140	76.40005692	42	68	80	129	138
141	96.46535294	34	49	80	132	119
142	78.56795368	76	68	113	148	177
143	86.89725468	59	59	61	118	112
144	74.46035294	85	88	104	137	160
145	71.67305443	110	108	99	137	160

146	76.09035294	119	88	104	132	145
147	101.6813542	59	59	61	121	119
148	57.45945866	119	127	123	126	142
149	63.57195866	153	147	161	145	199
150	80.78475468	76	78	90	123	125
151	72.87925716	76	78	113	129	102
152	73.51495617	102	78	80	110	57
153	74.67225468	110	78	80	123	138
154	63.19705318	145	127	113	126	102
155	72.03165642	110	88	99	115	184
156	78.81245617	34	49	47	80	160
157	60.94765766	238	246	255	255	250
158	47.69575592	110	157	151	142	184
159	55.48715393	179	196	199	229	199
160	57.26385418	119	137	161	191	18
161	58.43745617	153	187	203	220	227
162	72.97705318	34	98	113	132	192
163	54.63955318	145	137	165	196	28
164	84.92495617	25	39	61	113	192
165	69.09765766	76	98	142	185	207
166	55.99245617	85	118	123	145	168
167	69.50515766	102	118	142	142	102
168	77.13355816	42	68	104	129	145
169	78.51905567	85	98	142	158	207
170	78.92655567	85	68	99	132	199
171	46.04945555	204	196	203	199	138
172	51.85225468	119	157	165	199	168
173	71.72195866	85	98	142	158	149
174	76.80755692	170	127	161	180	199
175	63.78385418	119	157	161	175	132

176	71.59155567	119	127	142	185	160
177	84.66415642	110	108	142	118	255
178	85.20205318	85	68	90	132	255
179	43.8652553	179	216	246	255	149
180	90.77665642	17	9	23	64	255
181	60.31195866	110	127	142	129	255
182	75.73175716	85	98	99	142	125
183	75.38945866	8	29	37	86	119
184	81.35525841	59	68	71	113	138
185	70.56465393	119	118	123	118	239
186	62.20275841	196	157	165	132	168
187	49.13015455	204	226	213	215	125
188	47.63055754	221	236	218	191	168
189	68.44565517	110	118	113	115	207
190	57.41055443	110	118	123	115	155
191	77.29655567	85	78	80	110	132
192	70.40165642	110	98	104	115	119
193	63.36005692	145	167	175	148	184
194	60.10005692	145	167	175	142	168
195	59.93705318	153	167	180	156	177
196	62.18645493	170	187	165	126	250
197	72.40655567	51	88	90	86	138
198	69.92895493	145	88	113	113	214
199	58.87755692	119	137	142	129	125
200	71.67305443	102	88	99	113	160

基于 spss13.0 软件的统计分析功能, 通过将 2194 个样本点生态环境状况综合分值与对应的每个波段的 DN 值进行相关性分析, 得出生态环境状况综合分值与原始影像 1-5 波段 DN 值的相关系数分别为 0.7898、0.8857、0.8708、0.6952、0.1706。其中 1 波段、2 波段、3 波段、4 波段与生态环境状况综合分值显著相关 (乔幼云, 1994)。

6.2 遥感反演模型的建立

6.2.1 模型形式的确定

通过波段间的运算获得的评价模型可以有多种表示形式，如线性模型、平方模型、立方模型、复合模型、等比级数模型、指数模型、对数模型等等。

确定用哪种形式来建立评价模型首先需要研究各个波段与已有评价结果之间用哪种回归形式拟合度最高，统计学认为回归运算后得到的 F 值越大，拟合程度越高。以下是 SPSS 软件下获得的五个波段分别与已有评价结果的各种回归方式的 F 值（见表 6.2-表 6.6）以及拟合曲线图（图 6.2-图 6.6）。

表 6.2 影像 1 波段与评价结果各种回归方式的 F 值

Table 6.2 F values of each regression mode between evaluation result and ND values in

Band 1							
方 程 式	线性模型	平方模型	立方模型	复合模型	等比级数 模型	指数模型	对数模型
F 值	3633.243	1953.991	1325.056	3355.662	3355.662	3355.662	3355.662

表 6.3 影像 2 波段与评价结果的各种回归方式的 F 值

Table 6.3 F values of each regression mode between evaluation result and ND values in

Band 2							
方 程 式	线性模型	平方模型	立方模型	复合模型	等比级数 模型	指数模型	对数模型
F 值	7972.310	4211.991	2807.269	7326.428	7326.428	7326.428	7326.428

表 6.4 影像 3 波段与评价结果的各种回归方式的 F 值

Table 6.4 F values of each regression mode between evaluation result and ND values in
Band 3

方 程 式	线性模型	平方模型	立方模型	复合模型	等比级数 模型	指数模型	对数模型
F 值	6874.302	3439.782	2292.300	6029.743	6029.743	6029.743	6029.743

表 6.5 影像 4 波段与评价结果的各种回归方式的 F 值

Table 6.5 F values of each regression mode between evaluation result and ND values in
Band 4

方 程 式	线性模型	平方模型	立方模 型	复合模型	等比级数 模型	指数模型	对数模型
F 值	2049.956	1048.997	707.250	2028.250	2028.250	2028.250	2028.250

表 6.6 影像 5 波段与评价结果的各种回归方式的 F 值

Table 6.6 F values of each regression mode between evaluation result and ND values in
Band 5

方 程 式	线性模型	平方模型	立方模型	复合模型	等比级数 模型	指数模型	对数模 型
F 值	65.656	33.616	22.782	56.679	56.679	56.679	56.679

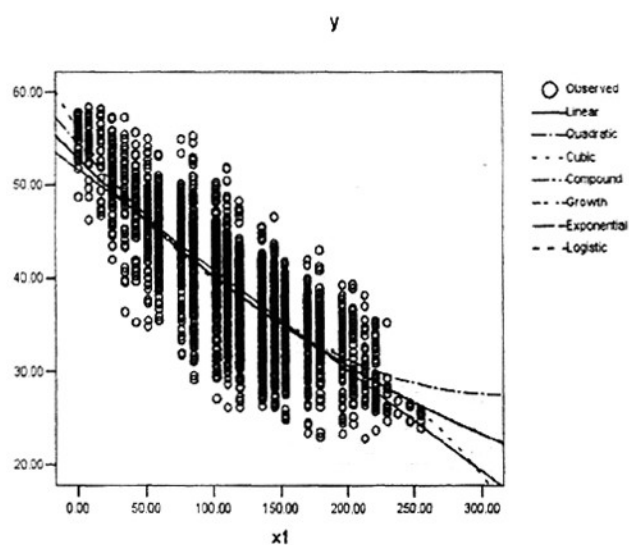


图 6.2 1 波段拟合曲线图

Fig.6.2 Fitting curve of the first band

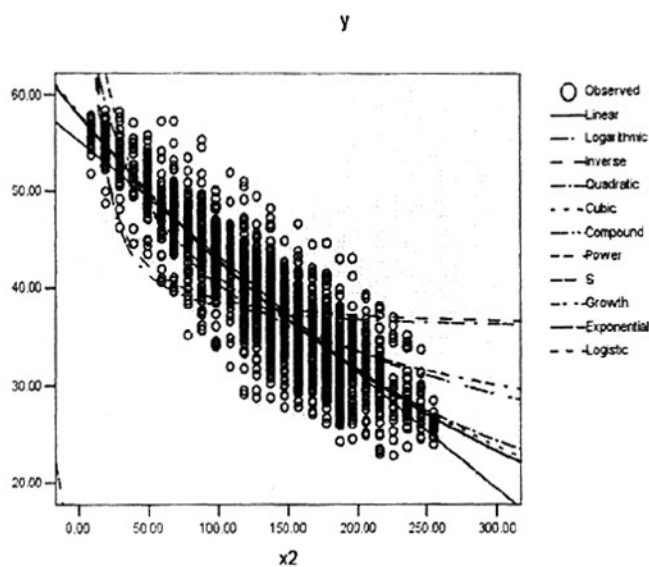


图 6.3 2 波段拟合曲线图

Fig.6.3 Fitting curve of the second band

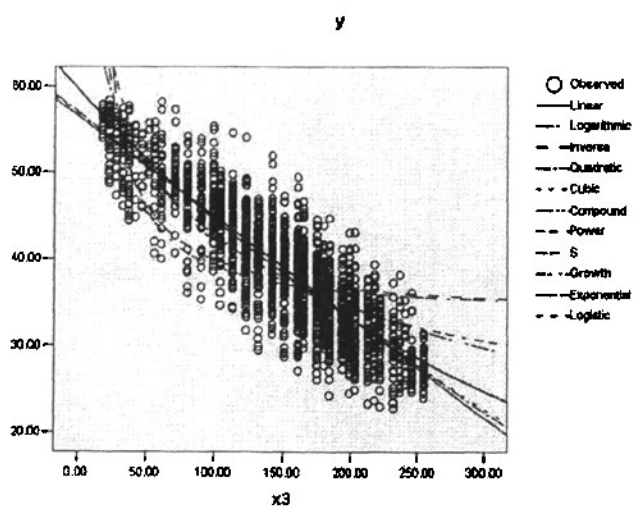


图 6.4 3 波段拟合曲线图

Fig.6.4 Fitting curve of the third band

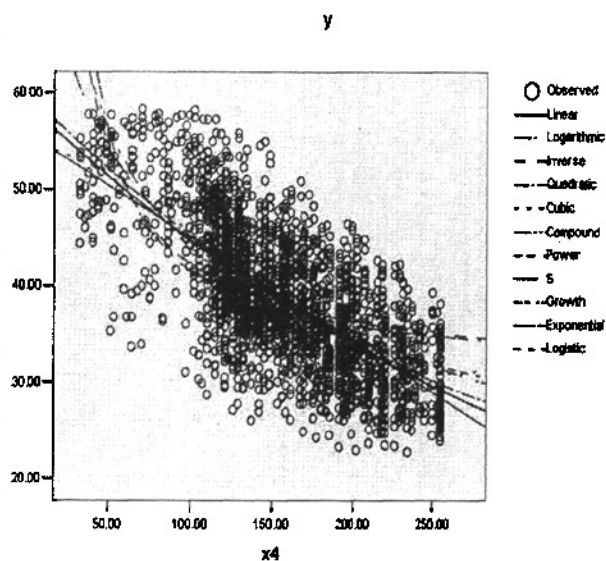


图 6.5 4 波段拟合曲线图

Fig.6.5 Fitting curve of the fourth band

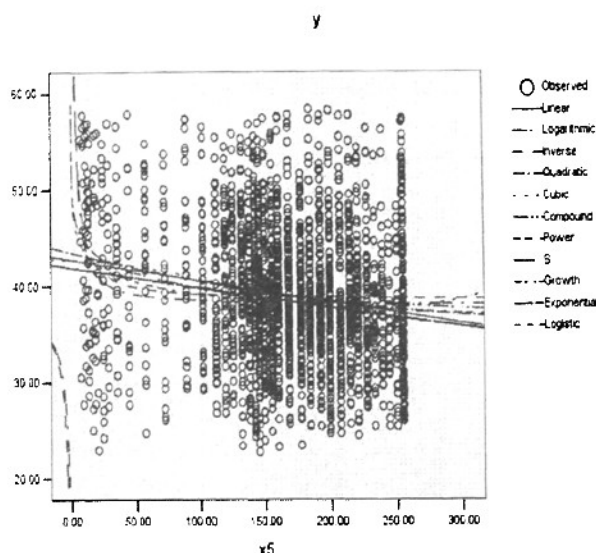


图 6.6 5 波段拟合曲线图

Fig.6.6 Fitting curve of the fifth band

对以上获得的五个波段分别与已有评价结果的各种回归方式的 F 值以及拟合曲线图的分析可以得出, 在原始遥感影像的 5 个波段的 DN 值与生态环境综合状况分值的各种回归方式中, 线性回归方式与已有评价结果的拟合程度最高。因此, 考虑用线性模型的方式来表达垦利县生态环境状况。

6.2.2 模型的建立

综合考虑原始影像 5 个波段的 DN 值与生态环境综合状况分值的相关性以及回归方式, 用相关性最高的 3 个波段 (1、2、3 波段)、4 个波 (1、2、3、4 波段) 段以及 5 个波段 (1、2、3、4、5 波段) 分别建立线性模型。通过 SPSS13.0 软件的回归分析功能得出相关性最高的 3 个波段、4 个波段以及 5 个波段的多元线性回归方程分别如下公式:

$$y = 92.942 - 0.01x_1 - 0.083x_2 - 0.037x_3;$$

$$y = 91.270 + 0.01x_1 - 0.083x_2 - 0.050x_3 + 0.015x_4;$$

$$y = 91.023 + 0.02574x_1 - 0.079x_2 - 0.055x_3 + 0.01326657x_4 + 0.01158332x_5.$$

式中 y 代表通过模型计算得到的研究区生态环境状况综合分值； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分别代表遥感原始影像 1、2、3、4、5 波段的 DN 值。

通过 SPSS13.0 软件的统计分析功能得出以上三个线性回归方程与生态环境综合状况分值的相关性系数分别为 0.791、0.793、0.801，经检验三个模型与生态环境状况综合分值显著相关。

6.3 模型反演及精度分析

6.3.1 模型的反演

将以上获得的三个线性回归方程分别应用 ERDAS8.6 软件的 Modeler Maker 功能进行计算，反演得到垦利县生态环境综合状况指数图（图 6.7、图 6.8、图 6.9）。

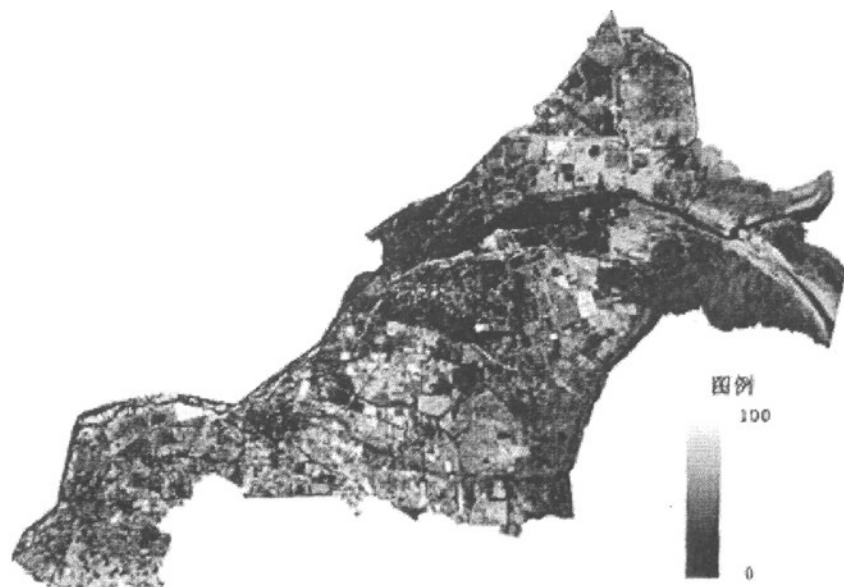


图 6.7 3 个波段模型计算的垦利县生态环境状况反演结果图

Fig.6.7 Retrieval map of environment integrative index value by three bands model computing in Kenli Country

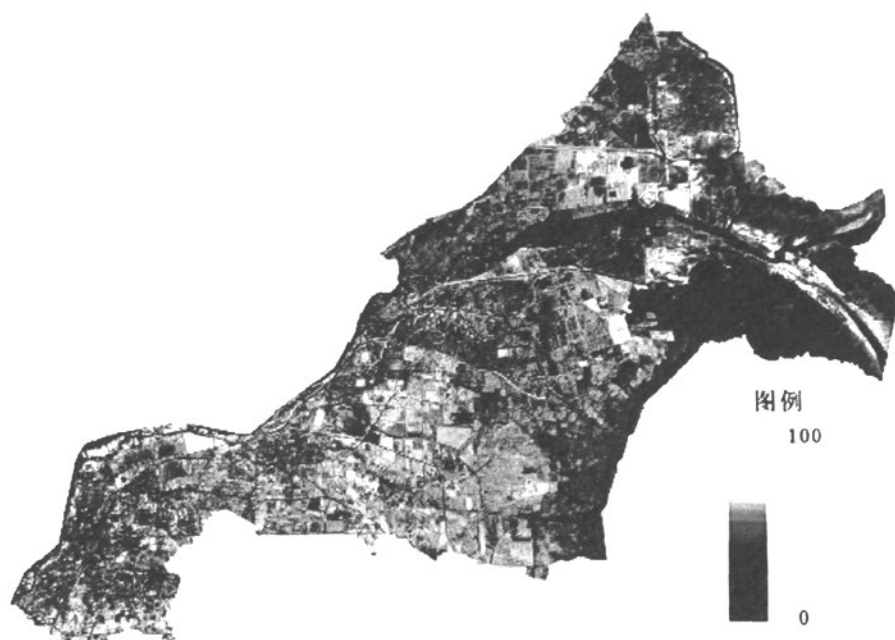


图 6.8 4 个波段模型计算的垦利县生态环境状况反演结果图

Fig.6.8 Retrieval map of entironment integrative index value by four bands model computing in Kenli Country



图 6.9 5 个波段模型计算的垦利县生态环境状况反演结果图

Fig.6.9 Retrieval map of entironment integrative index value by five bands model

computing in Kenli Country

6.3.2 反演精度分析

将以上三个通过模型反演得到的垦利县生态环境综合状况评价结果与已有的基于 GIS 的评价结果在 ArcGIS9.2 软件下分别进行空间叠加分析,将阈值控制在 1 以内(也就是说只要模型计算的结果与已有评价结果的差值在 1 以内,就认为模型计算的结果是正确的),通过 ArcGIS 的 Raster calculator 功能对三个模型分别与已有结果进行空间叠加。叠加是基于栅格格式的,即每一个栅格的分值都被进行运算,保证了反演精度分析的可靠性。得到的叠加结果见图 6.10、图 6.11、图 6.12 所示。



图 6.10 3 个波段模型反演结果与已有结果的空间叠加图

Fig.6.10 Overlay map between retrieved and evaluation results with three bands model



图 6.11 4 个波段模型反演结果与已有结果的空间叠加图

Fig.6.11 Overlay map between retrieved and evaluation results with four bands model



图 6.12 5 个波段模型反演结果与已有结果的空间叠加图

Fig.6.12 Overlay map between retrieved and evaluation results with five bands model

从 SPSS 软件的统计分析结果以及以上三个模型与已有评价结果空间

叠加的结果来看,反演精度最高的模型是通过 5 个波段计算得到的线性回归方程,其次是 4 个波段的模型,最后才是三个波段的模型。从结果看,虽然 3 个波段以及 4 个波段的模型是选用与基于 GIS 的结果相关性最大的 3 个和 4 个波段,但此结果与所有波段都选用得到的结果相比,全波段参与的结果更加精确。但是 3 个波段建立的反演模型结果与基于 GIS 的评价结果的相关系数已经达到了 0.791,3 个波段的模型与 4 个波段模型、5 个波段模型的反演结果其区域分布、面积没有显著的差异性。在综合考虑运算效率及速度的情况下,可选择 3 个及 4 个波段的反演模型。

另一方面,从图 6.10-图 6.12 可以看出,模型反演结果准确及差异的空间位置在三幅图中的分布基本一致。其中模型反演结果不精确的位置主要分布在研究区的南部、北部、西南部以及中部。对此,我们与垦利县的原始遥感影像图进行对比分析,可以看出,在垦利县的南部和中部地区主要分布旱地、水田、水库、盐荒地等地类,各种地物交错分布,光谱信息较为复杂;在垦利县北部主要分布的是旱地和盐荒地,由于旱地中不同程度的盐渍化现象,地物插花现象比较严重;在垦利县西南部主要是水田、旱地以及建设用地的分布,建设用地与某些旱地的光谱信息也比较类似。因此结果反演不精确的这些地区多存在地物光谱特征复杂,地物插花分布现象。由于人类活动指数、土地退化指数、植被指数的计算都与土地覆被有着密切的联系,因此基于影像各个波段的光谱值来建立的反演模型在这些地区的反演结果则会与已有的基于 GIS 的评价结果产生差异。同时可以看出在地物分布相对单一、光谱信息相对明确的东部沿海滩涂以及东北部盐荒地等地区,通过反演模型计算的生态环境评价结果就相对准确。

7 结论与讨论

本研究以黄河三角洲地区垦利县为研究区域,采用了遥感信息提取技术、地理信息系统空间分析技术、统计分析技术等多种方法,对垦利县生态环境状况进行了较为系统的评价,并在评价的基础上探讨了生态环境状况的遥感反演模型。研究主要得出以下结论:

(1) 基于遥感与地理信息系统技术的生态环境状况评价方法的可行性。该技术是运用在 GIS 环境下 Grid 叠加运算进行生态环境状况的综合

评价,实现了生态环境状况综合指数与具体生态区域地理位置及条件的有机连接。本研究生态环境状况评价与传统的基于遥感与 GIS 的生态环境评价的不同之处在于本研究所选取的评价指标,即植被指数、土地退化指数、人类活动指数、水体密度指数,均为在遥感环境下通过信息提取技术获得,能够比较全面的反映垦利县的生态环境状况,避免人为影响。

(2)在基于 GIS 空间 Grid 叠加技术的研究区生态环境状况评价结果的基础上,本研究尝试建立了研究区生态环境状况的遥感反演模型。通过 SPSS 软件的统计分析功能获得原始影像各个波段与已有评价结果的相关性系数,得到相关性最高的敏感波段;然后通过 SPSS 的回归分析功能获得各种回归方程与已有结果的拟合程度,最终选择用线性回归方程来反演计算研究区的生态环境状况。通过相关性较高的不同波段的线性方程回归,得到了精度较高的反演模型。

(3)通过在 ArcGIS 下对模型反演的研究区生态环境评价结果与已有的基于 GIS 的评价结果的空间叠加,分析得出应用原始影像的 5 个波段建立的线性模型与已有评价结果的拟合度最高,但是 3 个波段的模型的精度也已达到了较理想的效果。模型反演结果不精确的位置主要分布地物光谱特征比较复杂的区域,这与垦利县地物插花现象严重有着密切的关系。

(4)综合分析以上两种方法获得的评价结果,可以看出垦利县生态环境状况整体偏差。通过 GIS 的统计功能得到垦利县生态环境状况优等、良等地的面积仅占全县面积的 24.64%,主要为分布在研究区东北部的林地及西南部和中部的部分农用地;中等地面积占 44.08%,分布在研究区东部沿海滩涂,西部、中部、东北部的农用地有少量分布;差等、劣等地面积占总面积的 30.12%,主要为分布在研究区中部和北部的盐荒地。研究区生态环境综合状况的等级分布是当地气候、植被、土壤等自然条件以及人类活动综合影响的结果。

8 研究特色及展望

8.1 研究特色

由于人们越来越认识到生态环境的重要性以及人类活动对生态环境

破坏带来的严重后果,为了了解生态环境的综合状况,生态环境评价已经成为当前世界各国学者研究的一大热点。遥感技术与地理信息系统技术的综合应用为生态环境评价提供了更加准确、简便的方法,但是由于在评价过程中指标的选取、权重的确定、类别的划分等人为因素的影响和大量的数据与工作量,成为传统的生态环境评价急需解决的问题。

本研究采用的生态环境状况的评价指标均完全基于遥感手段提取,这种基于地物光谱特征的指标提取手段能够尽量减少人为因素对评价结果的影响,实现全部定量自动化的评价流程。在评价的基础上本研究探索了生态环境状况的遥感定量反演方法,构建了精度较高的评价结果反演模型,为生态环境的遥感定量评价与分析开辟了新的思路。

8.2 研究不足及展望

(1) 生态环境是一个非常复杂的系统,包括了研究区域的水生态环境、土壤生态环境、植被生态环境、大气生态环境等等。本研究由于在评价部分的指标完全是基于遥感技术提取,没有其它更多资料的支持,在反映研究区生态环境状况的准确程度上有一定的限制,需要更多的实地验证。

(2) 由于研究区垦利县地物插花现象严重,地物光谱特征复杂,使得生态环境评价的遥感定量反演模型受到一定的影响,遥感影像的质量本身也关系到最终的评价和反演结果。本研究应用的中巴资源卫星遥感影像虽然能基本满足研究区生态环境状况评价的要求,但是若想获得精度更高的遥感综合评价与反演结果,需要探索应用空间分辨率和光谱分辨率更高的遥感影像。

(3) 黄河三角洲地区由于其特定的自然与社会环境条件,是一个生态环境十分特殊的地区,该地区植被覆盖较少,淡水资源匮乏,土地退化严重,人类活动干预强烈,生态环境十分脆弱。而由于该区生态环境的脆弱性和典型性,一直是学术界开展全球变化研究的热点。本文应用的基于遥感技术与地理信息系统技术的生态环境评价方法以及遥感反演模型和方法能够比较系统和完整的反映垦利县的生态环境状况,但考虑其区域的特殊性,快速准确的生态环境状况的评价与反演方法仍值得进一步的研究

和探讨。

主要参考文献

- [1] 畅建霞, 王义民, 黄廷林等. 黄河河口地区水资源与生态环境问题研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (6): 158-161.
- [2] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义 [J]. 生态学报, 2000, 20(4): 581-586.
- [3] 陈利顶, 张淑荣, 傅伯杰, 等. 流域尺度土地利用与土壤类型空间分布的相关性研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2497-2505.
- [4] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 267-271.
- [5] 郭建平, 李凤霞. 中国生态环境评价研究进展[J]. 气象科技, 2007, 35(2): 227-231.
- [6] 郭旭东, 陈利顶, 傅伯杰. 土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J]. 环境科学进展, 1999, 7 (6): 66-75.
- [7] 韩竹君, 蒋溥, 汪良谋, 等. 首都圈震害环境质量评价——地理信息系统 (GIS) 的应用[J]. 地震地质, 1994, 16 (3): 205-210.
- [8] 郝永红, 周海潮. 区域生态环境质量的灰色评价模型及其应用[J]. 环境工程, 2002, 20(4): 66-68.
- [9] 侯克复. 环境系统工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1992: 25-32.
- [10] 侯亚红, 刘文泉. 我国黄土高原地区农业生产的气候脆弱性变化预测[J]. 灾害学, 2003, 18(3): 34-38, 90.
- [11] 火恩杰, 宋俊高, 朱元清, 等. GIS 在城市防震减灾应急决策中的应用[J]. 自然灾害学报, 2000, 9 (3): 15-22.
- [12] 寇俊卿, 张海涛, 杨德五, 等. 生态风险分析及研究进展[J]. 河南科技大学学报(农学版), 2003, 23(1): 71-74.
- [13] 赖志斌, 夏曙东, 承继成. 高分辨率遥感卫星数据在城市生态环境评价中的应用模型研究[J]. 地理科学进展, 2000, 12(2): 117-128.
- [14] 李德仁, 刘良明, 胡晓沁. 1996-2000 年中国摄影测量与遥感进展[J]. 测绘学报, 2001, 30 (2): 117-126.
- [15] 李锋. 荒漠化监测中生态环境与社会经济评价指标体系及评价方法的研究[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(1): 1-5.

- [16] 李静,赵庚星,田素峰等.论土地利用/土地覆盖变化驱动力研究[J].国土资源科技管理,2004,21(1):22-25.
- [17] 李爽,钱乐祥,丁圣彦.遥感影像土地覆盖专题信息提取方法研究[J].中国土地科学, 2002, 16(2):30-33.
- [18] 刘冀钊,伍玉容,杨成永.层次分析法在自然保护区生态环境评价中的应用[J].铁道劳动安全卫生与环保.2003,30(1):17-20.
- [19] 刘文泉.农业生产对气候变化的脆弱性研究方法初探[J].南京气象学院学报,2002,25(2): 214-220.
- [20] 刘文泉,雷向杰.农业生产的气候脆弱性指标及权重的确定[J].陕西气象,2002,(3):32-35.
- [21] 刘文泉,王馥棠.黄土高原地区农业生产对气候变化的脆弱性分析[J].南京气象学院学报,2002,25(5):620-624.
- [22] 苗鸿,王效科,欧阳志云.中国生态环境胁迫区划研究[J].生态学报,2001,21(1):7-13.
- [23] 彭念一,吕忠伟.农业可持续发展与生态环境评估指标体系及测算研究[J].数量经济技术经济研究,2003,(12): 87-90.
- [24] 乔幼云,申玉梅,程述汉.概率论与数理统计[M].成都科技大学出版社,1994,288.
- [25] 商少凌,洪华生,商小平,等.1998 年冬季台湾海峡的暖水入侵及其生态响应[J].遥感学报,2001.5(5):382-387.
- [26] 史德明,梁音.我国脆弱生态环境的评估和保护[J].水土保持学报,2002,16(1):6-10.
- [27] 田永中,岳天祥.生态系统评价的若干问题探讨[J].中国人口.资源与环境, 2003, 13 (2): 17-22.
- [28] 王馥棠,刘文泉.黄土高原农业生产气候脆弱性的初步研究[J].气候与环境研究,2003, 8(1):91-100.
- [29] 王根绪,钱鞠,程国栋.区域生态环境评价的方法与应用[J].兰州大学学报(自然科学版),2001,37(2): 131-140.
- [30] 王江山,李海红,许正旭.三江源生态环境监测研究[J].气象,2003,29(11):49-52.
- [31] 王伟武,王人潮,朱利中.基于“3S”技术的环境质量评价及其研究展望[J].浙江大学学报, 28 (5): 578-584.
- [32] 王学雷.江汉平原湿地生态脆弱性评估与生态恢复[J].华中师范大学学报(自然科学

学版),2001,35(2): 237-240.

[33] 汪朝辉,王克林,贺曲夫.洞庭湖湿地生态系统评估[J].国土与自然资源研究,2003,(2):49-51.

[34] 汪朝辉,王克林,许联芳.湿地生态系统健康评估指标体系研究[J].国土与自然资源研究,2003,(4):63-64.

[35] 王周龙,冯学智,刘晓枚等.秦淮河丘陵地区土地利用遥感信息提取及制图[J].遥感学报,2003,7(2):131-135.

[36] 王宗仁,武子远,段彩环,等.特尔斐—模糊综合比较法评价生态环境质量变化 [J].城市环境与城市生态, 2001,14(3):47-49.

[37] 吴国庆.区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究[J].自然资源学报,2001,16(3):228-233.

[38] 吴健平.区域土地利用/土地覆盖遥感调查[M].上海:华东师范大学出版社,1999.

[39] 吴鹏鸣.环境监测原理与应用[M].北京:化学工业出版社,1991:38-42.

[40] 徐燕,周华荣.初论我国生态环境质量评价研究进展[J].干旱区地理,2003,26(3):166-172.

[41] 徐中民,张志强,程国栋,等.中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析[J].应用生态学报,2003,14(2):280-285.

[42] 阎吉祥.环境监测激光雷达[M].北京:科学出版社,2001:22-27.

[43] 杨丽.生态系统服务及价值评估的研究进展[J].淮阴师范学院学报(哲学社会科学版),2001,23(5):624-628.

[44] 易秀.遥感技术在城市生态系统分析和研究中的应用[J].西安工程学院学报,2000,22(2):117-128.

[45] 袁从.农业生态经济系统生产力与多样性评价指标[J].应用生态学报,1995,6(3):137-142.

[46] 袁运祥,袁运鸿.三峡工程对环境和生态影响的综合评价方法[J].深圳大学学报(理工版),1994,11(3,4):74-86.

[47] 赵碧云,贺彬,朱发庆,等.打起污染扩散空间信息系统[J].环境科学研究,1999,12(6):10-12.

[48] 赵庚星,林戈.黄河口耕地遥感动态监测及其生态环境安全分析 [J].水土保持学报,2004,18(2):38-41.

- [49] 赵景柱.社会-经济-自然复合生态系统持续发展评价指标的理论研究[J].生态学报,1995,15(3):327-329.
- [50] 赵景柱, 徐亚骏, 肖寒, 等. 基于可持续发展综合国力的生态系统服务评价研究——13个国家生态系统服务价值的测算[J]. 2003, 1(1): 121-127.
- [51] 赵英石,陈东梅,杨立明等.遥感应用分析原理与方法[M].北京: 科学出版社, 2003.
- [52] 赵跃龙,张玲娟.脆弱生态环境定量评价方法的研究[J].地理科学进展,1998,17(1):67-72.
- [53] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报, 2000, 55(1): 15-24.
- [54] 周国富.生态安全与生态安全研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2003,21(3):105-108.
- [55] 周月敏、王建华、马安青、祁元、巴雅尔.基于遥感和地理信息系统的临泽县土地利用动态变化分析[J].中国沙漠,2003,23(2):42-146.
- [56] 竹内章司(王家圣译).由卫星图像的植被指数推算像元内的植物覆盖度,环境遥感, 1987, 8月.
- [57] Constanza R, d'Arde R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1997,387:253-260.
- [58] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Nature E-cosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [59] Fricker A.The ecological footprint of New Zealand as a step towards sustainability [J]. Ecological Economics,1998,30(6):559-567.
- [60] Kooistra L, Rob S E W. A procedure for incorporating spati variability in ecological risk assessment of Dutch River floodplain [J]. Environmental Management, 2001,28(3):359-273.
- [61] Larry W C. Environmental impact assessment [J]. Mc Graw Hill: Inc. 1996.
- [62] Ree W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity what urban economics leaves out [J].Environment and Urbanization,1992,4(2):196-210.
- [63] Stockle C. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems [J]. Alternative Agric., 1994,9(12):45-50.

- [64] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1997,379:515-525.
- [65] Torgersen C E, Faux R N, McIntosh B A, et al. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams[J]. Remote Sensing of Environment, 2001,76:386-398.
- [66] Van P D, Smeetsw V E. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands [J]. Ecol. Econ, 2000,34(3):115-130.

致 谢

本论文是在导师赵庚星教授的悉心指导下完成的。在论文选题、研究方案的设计、实施到论文写作都凝聚着赵老师大量的心血和精力。三年来，赵老师在学习和生活上都给予了大量的指导和帮助，使我在各个方面都得到了有益的锻炼和提高。赵老师严谨的治学作风、敏锐的学术洞察力和忘我的敬业精神，使我终身难忘，在论文完成之际，向导师致以衷心的感谢！

在论文的开展和写作过程中，有幸得到了李永昌教授、东野光亮教授、冯永军教授、聂宜民教授、齐伟副教授、李贻学副教授、李新举副教授、王瑗玲副教授、王瑞艳老师、朱西存老师的热心指导和帮助，得到了董超、雷彤、秦元伟、程晋南、马群、李百红、李文璐以及师兄李岩、师姐方琳娜、唐秀美等同学的无私帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

在研究生的学习和工作中，学业的顺利完成离不开院领导、老师的亲切关怀与指导，离不开父母和亲人的大力支持和理解，离不开友人的关爱，在此表示深深的敬意！

值此论文完成之际，谨向所有关心、支持和帮助过我的老师、亲人、同学、朋友致以诚挚的敬意和谢意！

孟岩

二零零九年四月

攻读学位期间发表的论文

- [1] 孟岩, 赵庚星等. 基于 MODIS 遥感数据和 GIS 的山东省生态环境状况评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4):1020-1024.
- [2] 孟岩, 赵庚星. 基于定量遥感方法的河口区生态环境状况评价——以黄河三角洲垦利县为例[J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 163-167.
- [3] 孟岩, 赵庚星等. 基于遥感图像的盐碱退化土地信息提取及其演化规律研究——以黄河三角洲垦利县为例. 地域研究与开发, 2009, 5. (待发).