

基于 3S 技术的黄河三角洲土壤质量自动化评价方法研究

李新举^{1,2}, 胡振琪¹, 刘 宁², 于开芹², 马小友²

(1. 中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083; 2 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018)

摘 要: 土壤盐碱化加剧, 土壤质量退化是黄河三角洲土地开发利用中面临的重要问题, 快速评价土壤质量对该区土地资源合理利用与保护有重要意义。该文利用 GPS 技术自动获取采样点信息, 利用 RS 快速获取土地利用现状数据, 利用 MapGIS 对数据进行矢量化, 在 ArcGIS 下对采样点属性进行 Kriging 插值形成各指标分布图和隶属度分布图, 最后利用指数和公式在 ArcGIS 下自动运算形成土壤质量分布图, 并构建了基于 3S 技术的土壤质量自动化评价流程。评价结果与传统评价对照分析, 一致性在 90% 以上, 说明该方法准确可靠。

关键词: 黄河三角洲; 土壤质量评价; 3S

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)010-0059-05

李新举, 胡振琪, 刘 宁, 等. 基于 3S 技术的黄河三角洲土壤质量自动化评价方法研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 59-63

Li Xinju, Hu Zhenqi, Liu Ning, et al. Research of soil quality based on 3S in the Yellow River delta[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 59-63 (in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤质量是目前国际研究的热点问题^[1-4], 以往的研究大多集中在土壤质量指标的筛选^[5-9]、指标权重的确定^[10-12]、评价方法的选取^[13-15]等方面。随着土壤质量研究的深入, 其重点逐渐转移到对土壤质量监测方法的研究上, 快速准确获得土壤质量状况, 通过对土壤质量变化过程的研究, 探讨其演变规律及机理, 据此提出土壤质量维持和提高的途径, 为土壤资源的可持续利用提供依据。传统的土壤质量评价方法需要大量的人工计算工作, 耗时费力, 且由于人为因素影响, 结果往往精度较低, 基本上不能适应目前工作的需求, 因此, 需要研究一套基于现代信息技术的自动化评价方法, 以准确、快速地了解土壤质量状况。为了解决这一问题, 目前部分学者利用 GIS 对土壤质量指标进行自动化处理, 大大提高了土壤质量评价的速度^[16-19], 但数据的获取大多采用传统方法, 并且大多评价未能实现与遥感信息的结合, 没有从根本上解决传统方法的弊端。

黄河三角洲是中国三大三角洲中开发程度最低的三角洲, 是中国重要的后备土地资源, 山东省和国家相继把黄河三角洲开发列为跨世纪工程和重点项目, 目前已逐渐成为土地学界研究的热点之一。但在近几年的研究中, 主要集中在三角洲土地利用类型及其变化趋势的研究上, 许多学者利用多种方法对气土地利用变化及其驱动力进行了详细的研究。李静等^[20]利用遥感影像对黄河三角洲 1950s 以后的土地利用情况进行解译, 并结

合自然、社会经济因素详细分析了土地利用变化的驱动因子。叶庆华等^[21]通过对黄河三角洲 1956~1996 年的土地利用图谱的变化, 分析了耕地、盐碱地和建设用地的涨落趋势。王红等^[22]利用前人的研究结构, 对黄河三角洲土地利用变化进行了综述, 主要从研究方法、驱动力分析以及模型预测、土地覆盖与环境变化交互作用等方面进行了总结, 提出今后研究的建议。通过这些研究, 基本掌握了土地利用变化的趋势, 但对其质量问题涉及较少。黄河三角洲质量状况如何、如何快速准确评价其土壤质量、如何监测其质量变化是目前黄河三角洲亟待解决的问题。该文利用 GPS、GIS、RS 技术对黄河三角洲的土壤质量进行评价, 试图探索出一套快速简便的土地质量评价方法, 借以评价和监测土壤质量的变化。

1 研究区概况

垦利县隶属于山东省东营市, 位于北纬 37°21'~38°9', 东经 118°24'~119°10', 是黄河入海口所在地。随着黄河淤积, 陆地不断向渤海延伸。该区域土地利用类型是黄河三角洲地区最复杂且变化最快的区域, 是黄河三角洲的典型代表, 因此该研究选择垦利县作为研究对象。垦利县常住人口 40 万, 总面积 2935.4 km², 其中耕地 4 万 hm²。土壤类型包括潮土和盐土 2 大土类^[23](见图 1), 其中潮土面积 108695 hm², 占土地总面积的 55.66%, 盐土面积 86598.9 hm², 占土地总面积的 44.34%。

2 垦利县土壤质量评价

2.1 基于 GPS 的土壤信息采集

全球定位系统 GPS(Global Positioning System)具有全球性、全天候、连续性和实时性的导航、定位和定时功能^[24,25], 能够为海、陆、空等各类用户提供精确的三维位置、三维速度和一维时间的信息, 而且具有良好的

收稿日期: 2004-07-23 修订日期: 2005-06-10

基金项目: 由山东省教育厅青年基金“黄河三角洲土壤质量时空演变规律研究”资助(J04D03)

作者简介: 李新举(1965-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地质量及可持续利用、土地规划、土地管理等。泰安 山东农业大学资源与环境学院, 271018。Email: xinjuli@sdau.edu.cn

抗干扰和保密性能,其定位精度比目前以及可以预见的将来任何无线导航系统都要高。现在这些位置信息已经广泛地用于大地测量、工程测量、航空摄影测量、地壳运

动监测、工程变形监测、精细农业、个人旅游及野外探险、紧急救生、和车辆、飞机、轮船的导航与定位等各个领域。

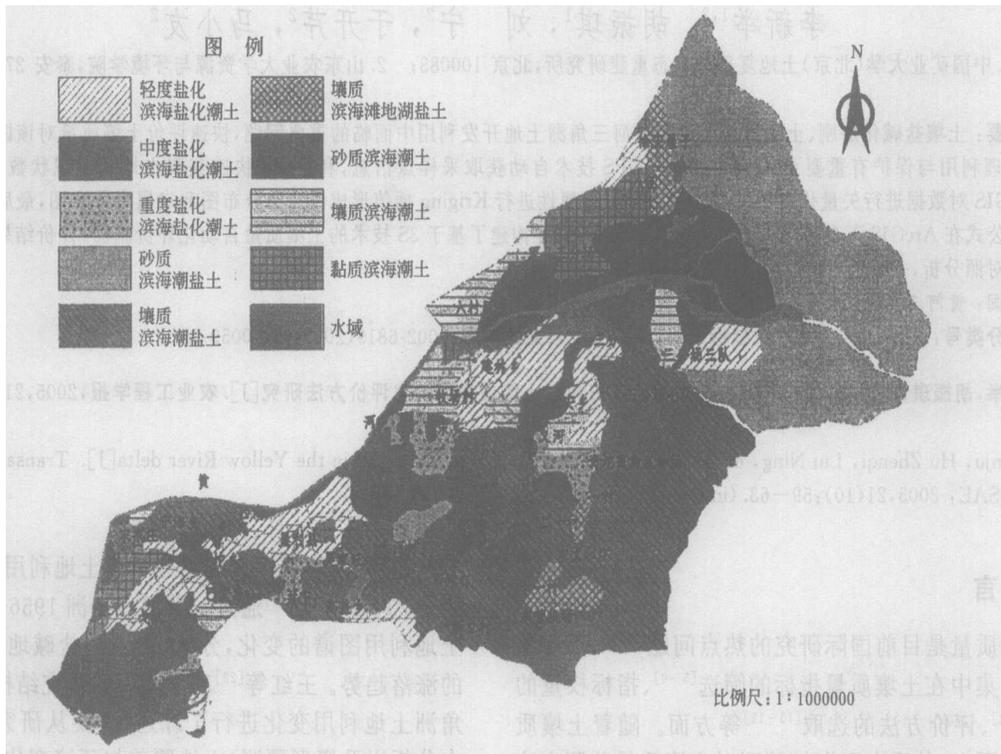


图 1 垦利县土壤图

Fig 1 Soil map of Kenli County

当前,发达国家已开始把 GPS 技术引入农业生产,即所谓的“精准农业耕作”。该方法利用 GPS 进行农田信息定位获取,包括产量监测、土样采集等,计算机系统通过对数据的分析处理,决策出农田地块的管理措施,把产量和土壤状态信息装入带有 GPS 设备的喷施器中,从而精确地给农田地块施肥、喷药。通过实施精准耕作,可在尽量不减产的情况下,降低农业生产成本,有效避免资源浪费,降低因施肥除虫对环境造成的污染。

本研究主要利用 GPS 的精确定位技术、导航和便捷信息传输功能进行土壤样品的采集和数据的传输。样品采集前把研究区域按 3 km × 3 km 划分网格,利用遥感影像或土地利用现状图确定需要采集土壤样品的地点,提取样品点的地理坐标,输入 GPS 系统。野外采样时利用 GPS 的导航技术可以方便地寻找到采样地点,然后根据实际土地利用情况确定实地采样点,利用 GPS 进行定位,利用 GPS 的传输功能把采样点的地理信息和土壤的分析后属性信息输入到工作底图(图 2)。

2.2 基于遥感的土地利用信息获取

土地利用情况随时发生变化,传统的统计或实地调查方式,不但由于空间定位不准确、不稳定和不统一而导致数据的可信度降低,且耗时耗力。遥感卫星能提供及时准确且覆盖广的地面影像资料,直观上便能目视解译出许多方面信息,如果经过再加工对影像资料进行处理,将会从中获取更多的信息。利用 GIS 对这些信息进

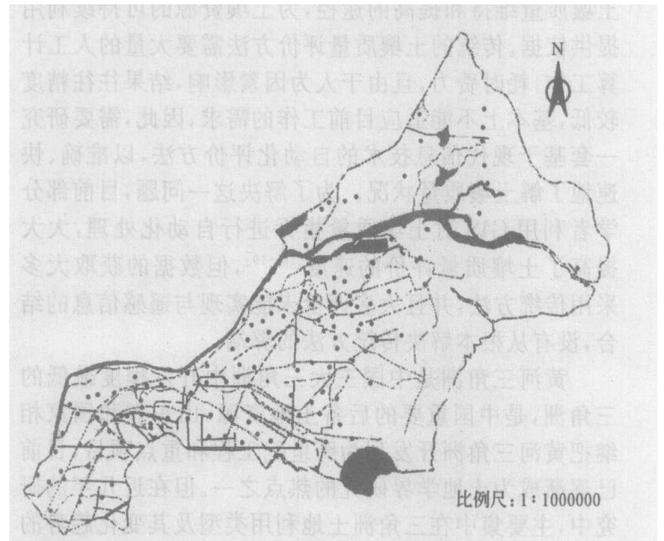


图 2 采样点分布图

Fig 2 Attribution map of soil sampling

行存储、管理、加工处理以及输出,并辅助遥感影像的解译与分类。

本研究利用遥感影像提取技术解译研究区的土地利用现状,经过实地验证和修改形成土地利用现状图(图 3)。

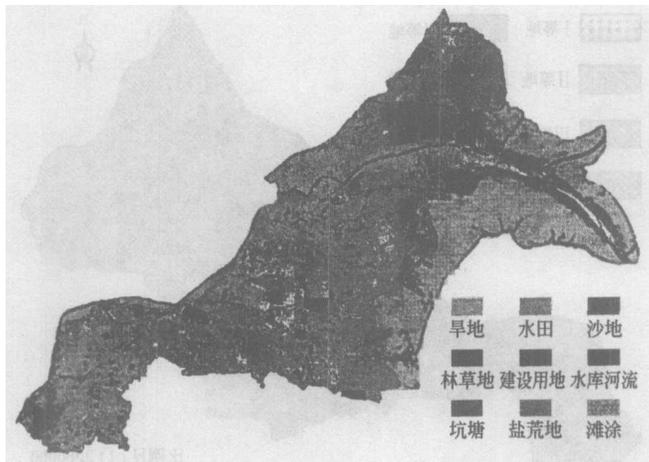


图 3 2002 年垦利县土地利用现状图

Fig 3 Land use map of Kenli County in 2002

2.3 土壤质量评价资料数字化

评价中由于收集的数据类型不同,数字化的方法不同。扫描-矢量化方法适合于一般的土壤普查或调查数据,该数据往往形成了纸质图件,需要进行相应的计算机处理,这种方法是目前最常见、使用最多的方法。在调查中结合 GPS 进行采样的定位,可以把 GPS 数据直接导入形成数字化图件,然后在 ArcGIS 下利用其空间分析功能中的 Kriging 插值形成各指标分布图。

采用扫描-矢量化方法,最关键的是数据的矢量化,这可以利用 MapGIS 方便的矢量化功能完成,同时录入属性数据。

2.4 图形文件的转换

由于 MapGIS 中空间分析功能较差,需要把 MapGIS 中形成的图件转为 ArcGIS 格式进行空间分析,但 MapGIS 格式不能直接转换成 ArcGIS 格式,需要中间的过渡,即先把 MapGIS 格式在 MapGIS 中输出为 eoo 格式,利用 ArcView 把 eoo 格式转为 ArcView 标准格式即 shap 格式。由于 ArcGIS 中空间分析运算仅支持 grid 栅格格式,因此需要在 ArcGIS 中把 shap 格式转换为 grid 栅格格式。

2.5 土壤质量指标隶属度分布图的形成

经过上述格式转换后,可以在 ArcGIS 中进行指标隶属度的计算,利用隶属度函数在 ArcGIS 的空间分析功能中自动运算。如果基于 GPS 的野外调查,在经过上述转换后,在 ArcGIS 中进行 Kriging 插值分析,形成各指标含量分布图,然后利用隶属度函数在 ArcGIS 中运算形成各指标隶属度分布图。

2.6 土壤质量评价单元的形成和指标权重的确定

该过程目的是为了确定评价指标的权重,如果采用其他方法,如专家打分等方法确定指标权重,不需要划分评价单元,可直接进行下一步。在确定指标权重时,如果采用相关分析、层次分析、主成分分析等方法,必须进行评价单元的划分。本文采用相关分析,利用各指标之间的相关系数确定指标权重,利用研究区地形图、土地利用现状图和土壤图在 ArcGIS 中叠加形成评价单元。

评价单元图和各指标含量分布图分别叠加获取各评价单元的指标值,在 DPS 中利用相关分析确定各指标权重。

2.7 单元综合指标值计算

指标权重和隶属度确定后利用指数和公式在 ArcGIS 中运算自动计算单元综合指标值,形成综合指标值分布图,公式如下

$$SQ = \sum_{i=1}^n \omega \cdot f_i$$

式中 SQ ——单元综合指标值; ω ——指标权重; f_i ——指标隶属度。

2.8 土壤质量等级的确定和等级图的形成

在形成综合指标值分布图时,计算机按照设定的等级级别自动分级,这种分级综合指标值的阈值范围往往和土壤质量等级划分的阈值范围不一致,需要在 ArcGIS 中按照确定的土壤质量等级标准重新分类,形成土壤质量等级图(图 4)。

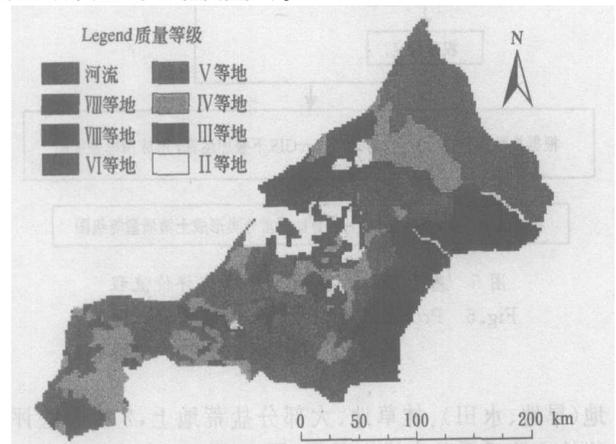


图 4 基于 3S 的土壤质量等级图

Fig 4 Grade map of soil quality based on 3S technology

2.9 基于 3S 技术的土壤质量评价流程

根据以上分析,构建基于 3S 技术的土壤质量自动化评价流程(图 5)。

3 基于 3S 的土壤质量评价与传统评价的比较

为了检验基于 3S 的土壤质量评价方法的准确性,把基于 3S 评价与传统评价方法进行了比较。传统的评价方法把上述数据采用人工计算最后形成土壤质量等级图,然后利用 MapGIS 矢量化形成土壤等级矢量数据(图 6)。然后把 3S 下形成的土壤质量等级图(图 4)与传统评价图(图 6)在 ArcGIS 下进行相减运算,形成两种评价方法的差值图(图 7),并利用 ArcGIS 的统计功能对两种评价方法的评价结果进行统计分析,结果见表 1。

从表 1 和图 7 可以看出两种评价一致率在 90% 以上,差异较大的是 VI 和 VIII 等地,分别比传统方法增加 67.39% 和减少 26.66%,且仅差一个等级,土壤质量较高的 I - V 等地基本无差异,这说明基于 3S 的土壤质量自动化评价结果相对比较准确。从土地类型看,在耕

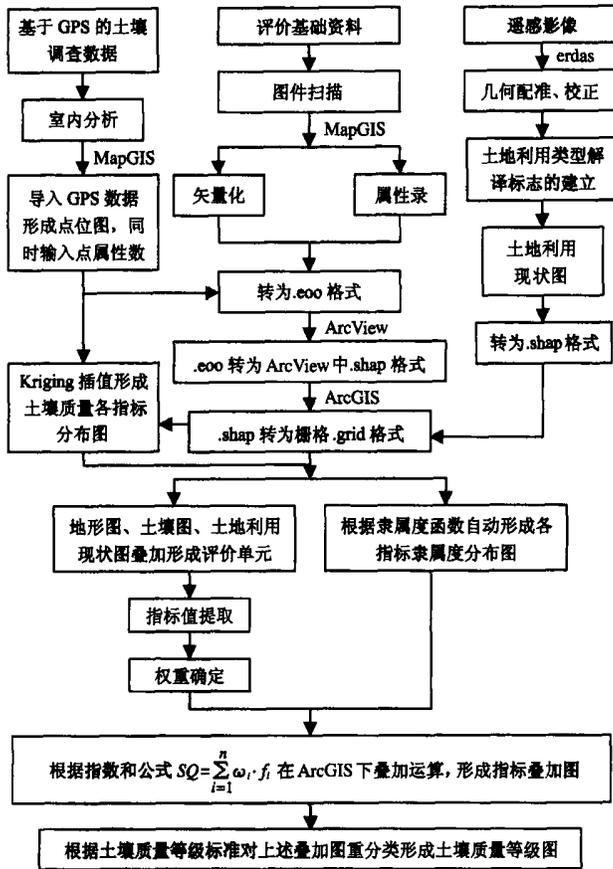


图5 基于3S的土壤质量自动化评价流程

Fig 5 Procedure of 3S based automatic soil quality evaluation

地(旱地、水田)、林草地、大部分盐荒地上, 2种方法评价的土壤质量基本没有差异(图3、图7), 有差异的主要出现在滩涂和一小部分盐荒地上。在区域分布上, 西部评价结果基本一致, 中部稍有差异, 差异较大的主要集中在东部沿海区域。

表1 基于3S与传统评价面积比较

Table 1 A rea comparison of 3S based and conventional evaluation method

		I	II	III	IV	V	VI	水域	VIII
面积/km ²	3S 评价	10 87	160 36	331. 93	429. 74	452. 75	331. 22	108. 98	378. 14
	传统评价	12. 6	168. 51	315. 01	429. 58	456. 17	197. 51	108. 98	515. 63
增(+)减(-)		- 1. 73	- 8. 15	16. 92	0. 16	- 3. 42	133. 71	0	- 137. 49

4 结论

1) 基于3S技术的土壤质量评价方法快速、准确, 为土壤质量的动态监测提供了技术支持。利用GPS的定位和导航功能, 可以在野外准确地寻找和确定采样地点; GPS的输出功能使采样数据的数字化快速、准确。遥感数据的多时相性和现势性为准确解译土地利用现状提供了条件, 可以随时掌握土地利用的变化情况, 进而了解土壤质量的变化情况。GIS的矢量化功能和强大的空间分析功能为土壤质量的自动化评价提供了可能。

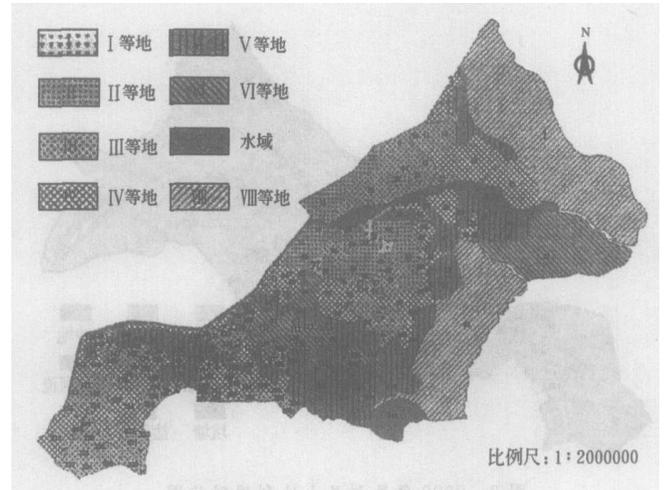


图6 土壤质量等级图(传统评价)

Fig 6 Grade map of soil quality based on conventional evaluation method

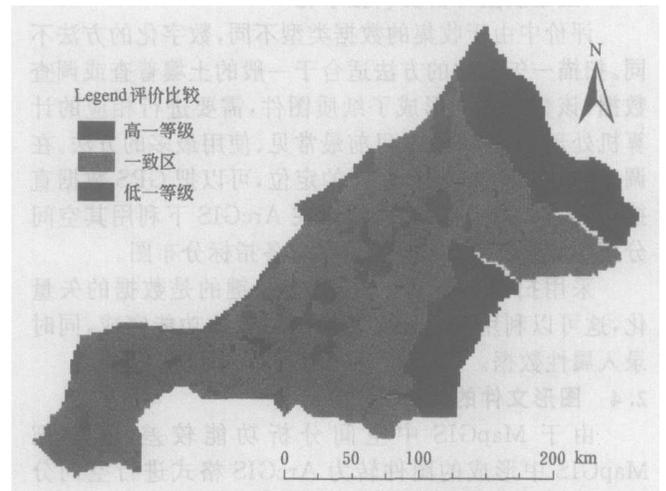


图7 基于3S与传统评价比较

Fig 7 Comparison of evaluation by 3S based and conventional evaluation method

在具体评价中, 利用MapGIS方便的矢量化功能对已有数据进行数字化, 利用ArcView、ArcGIS的空间分析功能进行各种运算和叠加, 最后完成土壤质量的评价。整个评价过程操作简单、快速。

2) 基于3S技术的土壤质量评价结果准确可靠, 与传统评价方法结果一致率在90%以上, 研究区东部的滩涂区差异较大, 大致相差一个等级, 其他区域基本没有差异; 在用地类型上, 耕地、林草地和大部分盐荒地评价结果基本一致。

[参 考 文 献]

- [1] Doran J W. Soil health and sustainability[J]. *Advances in Agronomy*, 1996, 56: 1- 54
- [2] Kannedy A C, Papendick R L. Microbial characteristics of soil quality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50: 243- 248
- [3] Rosek M J, Gardner J B. Soil quality in response to the Conservation Reserve Program[M]. In: *Converting CRP grass-land to Cropland and Grazing: Conservation Technologies for the Transition*. Soil and Water Conservation Society: Ankenk, IA. SAS Institute 1995: 39- 40
- [4] Smith J L, Doran J W. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis[J]. *Soil Science Society of America*, 1996, 60: 775- 826
- [5] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 1999, 25(4): 378- 382
- [6] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. *土壤与环境*, 2002, 11(2): 202- 205
- [7] 俞海, 黄季焜, Scott Rozelle, 等. 土壤肥力变化的社会经济影响因素分析[J]. *资源科学*, 2003, 25(2): 65- 72
- [8] 王克孟, 马玉军. 淮南市高产土壤肥力指标研究[J]. *土壤*, 1994, 24(5): 239- 243
- [9] 张大克, 王玉杰, 叶海江. 水稻土肥力水平分类中主要土壤肥力因素指标的筛选模型[J]. *农业工程学报*, 1997, 139(20): 91- 99
- [10] 王军艳, 张凤荣. 应用指数和法对潮土农田土壤肥力变化的评价研究[J]. *农村生态环境*, 2001, 17(3): 13- 16
- [11] 李方敏, 周治安. 渍害土壤肥力综合评价[J]. *资源科学*, 2002, 24(1): 25- 29
- [12] 聂庆华, 包浩生, 王海英. 基于 GIS 农田土地质量评价玉立地条件分析[J]. *地理科学*, 2000, 20(4): 307- 312
- [13] 刘玉平. 干旱区土地退化生态系统的评价方法[J]. *干旱区研究*, 1996, 13(1): 72- 75
- [14] Smith J L. Using multiple-variable indicator kriging for evaluation soil quality[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57: 743- 749
- [15] Julie A Cattle. Kriging method evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31(5): 1576- 1589
- [16] 石常蕴, 周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用- 以苏州市水田为例[J]. *土壤学报*, 2001, 38(3): 248- 255
- [17] 胡月明, 万洪富, 吴志峰, 等. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价[J]. *土壤学报*, 2001, 38(3): 266- 274
- [18] 候文广, 江世聪, 熊庆文, 等. 基于 GIS 的土壤质量评价研究[J]. *武汉大学学报*, 2003, 28(1): 60- 64
- [19] 马强, 宇万太, 赵少华, 等. 黑土农田土壤肥力质量综合评价[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1916- 1920
- [20] 李静, 赵庚星, 范瑞彬. 黄河三角洲土地利用及土地覆盖变化驱动力分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(3): 117- 122
- [21] 叶庆华, 刘高焕, Marco R U S S I, 等. 黄河三角洲东营市土地利用涨势图谱的时空特征分析[J]. *地理信息科学*, 2003, 3: 107- 112
- [22] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲土地利用土地覆盖变化研究现状与展望[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(1): 110- 118
- [23] 东营市土壤肥料工作站. 东营市土壤[R]. 1990: 167- 168
- [24] 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998
- [25] 游新兆, 黄立人, 任金卫, 等. 全球卫星导航技术的进展[J]. *大地测量与地球动力学*, 2003, 23(3): 117- 119

Research of soil quality based on 3S in the Yellow River delta

Li Xinju^{1,2}, Hu Zhenqi¹, Liu Ning², Yu Kaiqin², Ma Xiaoyou²

(1. *Research Institute of Land Reclamation & Ecological Restoration, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;* 2. *College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*)

Abstract: The aggravation of soil salinization and quality degradation are the main problems in land exploitation and utilization in the Yellow River delta. Therefore, it is meaningful for reasonable use and protection of land resources to evaluate soil quality quantitatively and objectively in this region. GPS technology was used to obtain sampled point information automatically; RS was used to obtain the land use current situation data fast, and MapGIS was used to vector data. Based on ArcGIS, index distribution map and membership value distribution map were obtained by Kriging method. Soil quality distribution map was obtained by index summation method under ArcGIS. Automatic soil quality evaluation procedure based on 3S technology was constructed. Compared with 3S based and conventional evaluation method, the consistency rate is above 90%, which proves soil quality evaluation based on 3S is accurate and reliable.

Key words: the Yellow River delta; soil quality evaluation; 3S technology