



地理学报 2001年第56卷第2期

## 基于GIS的黄河三角洲盐碱地改良分区

作者: 关元秀 刘高焕

黄河三角洲盐碱地面积超过总面积的70%，而盐碱地改良分区是因地制宜、综合治理盐碱地的前提。通过综合运用地理信息系统的各种空间数据分析功能，将黄河三角洲土地盐碱化现状分为：非盐碱地、轻度盐碱地、中度盐碱地、重度盐碱地、滩涂5个区，并结合地下水长期观测资料，进行成因分析，建立了黄河三角洲盐碱地改良分区模型。立足土地盐碱化的现状，充分考虑地下水埋深和矿化度，把黄河三角洲盐碱地按改良难易程度分为：易改良区、较难改良区、难改良区、近期不宜作改良区，并针对不同的盐碱地改良区提出了相应的土壤改良对策。

基于GIS的黄河三角洲盐碱地改良分区 关元秀, 刘高焕, 王劲峰 (中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101) 摘要: 黄河三角洲盐碱地面积超过总面积的70%，而盐碱地改良分区是因地制宜、综合治理盐碱地的前提。通过综合运用地理信息系统的各种空间数据分析功能，将黄河三角洲土地盐碱化现状分为：非盐碱地、轻度盐碱地、中度盐碱地、重度盐碱地、滩涂5个区，并结合地下水长期观测资料，进行成因分析，建立了黄河三角洲盐碱地改良分区模型。立足土地盐碱化的现状，充分考虑地下水埋深和矿化度，把黄河三角洲盐碱地按改良难易程度分为：易改良区、较难改良区、难改良区、近期不宜作改良区，并针对不同的盐碱地改良区提出了相应的土壤改良对策。关键词: 黄河三角洲; 地理信息系统; 盐碱地; 改良分区 中图分类号: P208; S15 文献标识码: A 盐碱土是指各种发生盐化和碱化过程的土壤，包括盐土、碱土和各种盐化土、碱化土。土壤盐碱化是一个世界性的问题，据估计全球盐碱土面积达 $9.55 \times 10^8 \text{ hm}^2$  [1]。黄河三角洲盐碱地面积高达70%以上，是制约农业可持续发展的首要因素。GIS作为一种强大的空间数据分析工具，有利于运用各种数据进行综合分析，快速查明土地盐碱化的现状与成因，进行综合区划，为土壤改良和区域农业可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况 “黄河三角洲”一般是指以宁海为顶点的近代黄河三角洲 [2]。为研究方便，本文将整个东营市作为研究区。研究区地理范围介于东经 $118^\circ 07' \sim 119^\circ 10'$ ，北纬 $36^\circ 55' \sim 38^\circ 12'$ 之间，南北长132km，东西宽74km，包括河口区、利津县、垦利县、东营区和广饶县。黄河三角洲地势为西南高，东北低；背河方向是近河高，远河低。西南部最高高程28m，东北部最低高程1m，自然比降 $1/8000 \sim 1/12000$ ；黄河三角洲由于黄河多次改道形成了岗、坡、洼相间排列的微地貌类型。自南向北，自西向东，分别由5类地貌构成，即：倾斜平原、黄泛平原、滨海平原、近代黄河三角洲平原和海岸。黄河三角洲属暖温带半湿润季风气候区，多年平均降水量600mm，多年平均蒸发量1944mm，蒸降比为3：1。成土母质主要是河流冲积物和海积物（盐渍淤泥）。本区地下水位高，且矿化度大。除小清河以南倾斜平原区为全淡水外，其它地方都是微咸水和咸水分布区。由南向北，由内陆向沿海，地下水埋深越来越浅，而矿化度却越来越大 [3]。除南部广饶县外，本区主要靠引黄河水发展灌溉农业。由于地势低平，排水不畅，再加上黄河水侧渗和海水浸润顶托，土地盐碱化现象非常严重。黄河三角洲的土壤类型主要是潮土和盐土两大类。潮土 $3769.41 \text{ km}^2$ ，占土壤总面积的47.75%，盐土 $3733.74 \text{ km}^2$ ，占土壤总面积的47.37%，盐土和盐碱化土高达70%以上。

2 数据与方法 2.1 数据 黄河三角洲盐碱地改良分区研究所用数据包括：（1）轨道号为121-34，1999年6月25日成像的Landsat TM影像；（2）1984年出版的24幅黄河三角洲1：5万地形图；（3）1999年9月下旬黄河三角洲表层土壤（0~30cm）含盐量分析数据；（4）1991~1997年黄河三角洲76个地下水长观孔观测数据（由中国水文地质工程地质勘察院提供）。

2.2 方法 2.2.1 数字图像处理 数字图像处理技术从20世纪70年代就被广泛应用到盐碱地监测研究中，彭望?等人研究发现，对遥感影像实施“缨帽变换”处理，不仅能提高盐碱地的判读效果，而且压缩了数据量，突出了背景地物的特征 [4]。首先，用1：5万地形图校正TM影像。选用了25对地面控制点（GCP），在误差小于10m的情况下，用双线性内插法对TM影像进行重采样，重采样后的像元大小仍为30m。“缨帽变换”是一种多光谱空间的线性变换，对配准后的TM影像作“缨帽变换”处理，变换后的前三维分别是亮度（主要反映土壤信息）、绿度（与图像上绿色植物的数量密切相关）和湿度（与冠层和土壤湿度有关）。亮度分量能明显的反映土壤盐碱化程度的差异，土壤盐碱化程度越重，反射率越高，其影像表现是亮度越大。虽然亮度特征和湿度特征反映了大部分土壤盐碱化信息，但仍要参考绿度分量特征，将3个分量特征分别赋予红、绿、蓝三色制成彩色合成影像，然后做监督分类。根据野外考察建立的地物与影像光谱特征之间的对应关系，选择训练样区。分布在海边，地物亮度小、含水量大且植被覆盖率极低的是滩涂；影像上花絮状红色和紫红色的区域说明土壤反射率高、湿度小且植被覆盖差为重度盐碱地，重度盐碱地中光板地占一半以上，仅生长稀疏的翅碱蓬、柽柳等耐盐植被；土壤反射率低于重度盐碱地，植被覆盖状况相对好些的为中度盐碱地，中度盐碱地一般是农业用地与盐碱草地插花分布，但作物缺苗5成左右；影像上呈现黄色

的,说明土壤湿度一般,植被覆盖好于中度盐碱地,为轻度盐碱地和非盐碱地作物长势不好的地方,轻度盐碱地作物缺苗2~3成;亮绿色说明植被覆盖好,亮红色的为刚刚收割的小麦分布区,亮红色和亮绿色的为非盐碱地。由滩涂、重度盐碱地、中度盐碱地、轻度盐碱地到非盐碱地,植被覆盖越来越好。经过反复实验,直到训练样本的识别情况满足分类精度需求。用所选取的训练样本对判决函数进行训练,最后,用最大似然分类法对影像进行分类。精度评价是指比较实地数据与分类结果,以确定分类过程的准确程度。最常用的精度评价方法是基于误差矩阵(Error Matrix)的方法 [5],误差矩阵是一个N行×N列矩阵(N为分类数),用来简单比较参照点和分类点。矩阵的行代表分类点,列代表参照点,主对角线上的点为分类完全正确的点。对分类图像的每一个像素进行检测是不现实的,需要选择一组参照像素,参照像素必须随机选择。图1 黄河三角洲盐碱地分区图 Fig.1 Zones of saline land in Yellow River Delta 我们采用分层随机采样法,对监督分类结果进行评价。选择了300个样点,保证每类有10个以上的样点。将遥感影像数据目视判读结果和野外调查数据作为真实数据,并结合东营市土地利用图,用基于误差矩阵的精度评价方法,对分类结果进行评价,监督分类总精度为91%(表1)。对分类结果进行综合、矢量化,形成黄河三角洲盐碱地分区图(图1)。

### 2.2.2 盐碱地改良分区模型

由于地下水位的年、季变化而引起的盐分在土壤剖面中的重新分配在很大程度上决定着盐碱地的形成和发展。黄河三角洲盐碱地是黄河三角洲地区气候、地质、地形地貌、水文、水文地质、土壤、海潮等自然因子与人为活动共同作用的结果。黄河三角洲的土地利用方式的改变而引起的区域地下水位的升高是土地次生盐碱化的最直接原因。表1 监督分类误差矩阵 Tab.1 Error Matrix of the Supervised Classification 盐碱地改良分区的基本原则是:抓住主导因素,进行科学合理分区。地下水位高低与盐碱化发生的关系密切,根据地下水埋深和水质来预测盐碱化发生的可能性的方法,已为人们所接受 [6, 7]。我们选择盐碱地现状、地下水埋深和地下水矿化度3个主导因子进行盐碱地改良分区。黄河三角洲土壤质地主要是轻壤土,在蒸发量大于降水量的气候条件下,土壤不断蒸发的水分,又从地下水中得到补偿。因此,地下水埋深越小,蒸发作用越强,土壤积盐就越重;在地下水埋深和土壤质地基本相同的情况下,地下水矿化度越高,土壤积盐越强烈;土壤目前的盐碱化程度越重,越难于改良。根据水盐运动规律和盐碱地现状,用特尔斐方法(the Delphi process)分别给地下水埋深、地下水矿化度和盐碱地现状3个影响因子分级赋权(表2)。特尔斐法是一种常用的评委会集体评分给模型的变量赋权及其指标打分。每个委员单独打分,用所有委员的分值平均得到最终的权重和得分。表2中的指标得分和权重通过调试,证明对于黄河三角洲盐碱地改良分区是有效的。表2 影响因子赋权表 Tab.2 Weigh assignment of the factors 地下水长期监测数据,都是点状数据。为对区域地下水进行分级分区,需由观测点的值估计任一点的值,变点状数据为三维面状数据。传统的方法往往是依据地下水长观孔的监测数据按线性插值人工查出其它点的值,其工作量很大。地质统计方法——克立格法。近年来已应用于地质空间变异性分析和地下水监测数据分析中。克立格法是一种局部的加权平均插值法,考虑测点的相互关系和空间分布位置等几何特征,对每个测点赋予一定的权重系数,最后用加权平均法来估计未知的变量值。在基于矢量的GIS软件Arc/Info平台下对地下水埋深和矿化度点数据进行克立格插值,形成表面网格。在此基础上绘制等值线图,根据上面的影响因子分级赋权表,建立黄河三角洲地下水埋深分区图(图2)和黄河三角洲地下水矿化度分区图(图3)。对地下水埋深、地下水矿化度和盐碱地现状3个数据层进行加权叠加分析。在数学上的表现形式是三维矩阵运算,为便于说明简化为二维(表3和表4)。表3 潜水埋深数据与潜水矿化度数据叠加分析矩阵 Tab.3 The union analysis of ground water depth and mineralization degree 图2 黄河三角洲地下水埋深分区图 Fig.2 Zones of ground water depth in Yellow River Delta 图3 黄河三角洲地下水矿化度分区图 Fig.3 Zones of ground water mineralization Degree in Yellow River Delta 表4 潜水埋深数据、潜水矿化度数据与盐碱地现状数据叠加分析矩阵 Tab.4 The union analysis of ground water depth, mineralization degree and saline land 根据叠加分析的结果,建立黄河三角洲盐碱地改良分区模型如下:
$$P = \sum_{j=1}^n I_j W_j$$
$$P < 25 \text{ 易改良区} \quad 25 \leq P < 50 \text{ 较难改良区} \quad 50 \leq P < 60 \text{ 难改良区} \quad P \geq 60 \text{ 不宜改良区}$$
(2-1)式中 P为叠加分析结果中的各个多边形;j为影响因子个数;I为分级指标得分;W为权重。用盐碱地改良分区模型,对黄河三角洲盐碱地进行改良分区(图4)。图4 黄河三角洲盐碱地改良分区图 Fig.4 Zones of land amelioration in the Yellow River Delta

### 3 结果与讨论

#### 3.1 黄河三角洲盐碱地现状

黄河三角洲除南部倾斜平原和黄河河滩高地外(仅占15%),其余部分都发生了不同程度的盐碱化。滩涂沿海岸线呈半环状,主要分布在海拔2m以下,距海岸线10km左右的范围内,在东北部由于人为修筑海堤影响了海岸带的自然发育进程,滩涂出现缺口。重度盐碱地面积达28%,沿海呈2条带状分布,一条分布在现海岸带滩涂内侧,另一条则沿1855年海岸线展布,且与黄河大致相切,这与黄河三角洲高矿化地下水在地理分布上完全吻合。说明黄河三角洲土壤含盐量不但受潜水埋深和矿化度的影响,而且受海水和黄河的影响。黄河以北除滩涂和重度盐碱地外的大部分地区都是中度盐碱地分布区,另外,黄河以南还有一小块中度盐碱地分布,中度盐碱地占17%。轻度盐碱地占22%,分布在黄河以南河口附近以及距海较远的重度盐碱地内侧。从图1可看出,黄河三角洲盐碱地呈2个相互重叠的扇状分布,2个扇面以黄河为中轴,以1855年海岸线为接缝,由扇轴向两翼土壤盐碱化程度越来越重,黄河三角洲盐碱地的这种空间分布格局,体现了河、海双重动力作用的河口三角洲环境特征。

#### 3.2 黄河三角洲浅层地下水状况

黄河三角洲浅层地下水状况很大程度上受地貌条件的制约和影响。由南到北,由山前倾斜平原到黄泛平原到三角洲平原,地下水埋深由大于10m逐渐上升到不足1m;矿化度由小于2g/l 逐渐增大到30g/l。黄河三角洲除南部山前平原地下水埋深大于3.5m,大约75%的地区潜水埋深小于2m。即使在地下水矿化度较低的情况下,当地下水埋深较浅时,由于地下水因蒸发进入土壤中的水分较多,也会携带较多的盐分,使土壤积盐。只有将地下水位控制在不至因蒸发而使土壤积盐的深度,土壤才不会发生盐碱化。黄河三角洲除南部山前倾斜平原地区地下水为重碳酸盐-氯化物型外,其余部分主要是氯化物型地下水。黄河三角洲只有23.6%的地区地下水矿化度小于2g/l 为非矿化水,主要分布在南部的山前倾斜平原和西部远离大海的区域。其余部分皆为咸水和半咸水。从内陆向滨海潜水矿化度逐渐增高,东南部地区潜水矿化度大于50g/l,有的地方甚至高达100g/l,远远高于海水,成为浅层卤水。且沿黄河有一舌状谷向海的方向突出,反映出河、海对本区地下水的共同影响。

#### 3.3 盐碱地分区改良对策

根据前面建立的黄河三角洲盐碱地改良分区模型,将黄河三角洲土地按改良难易程度分为4级:易改良区、较难改良区、难改良区和近期不宜改良区。易改良区分布在黄河三角洲南部倾斜平

原、西部的黄泛平原和黄河河滩地上,面积161389hm<sup>2</sup>,占黄河三角洲总面积的21%。易改良区土壤主要是非盐碱土和轻度盐碱土,大部分地区地下水位埋深大于5m,矿化度小于2g/l,这里是黄河三角洲自然条件优越、农业基础较好的地区,只要合理灌溉,就不会产生土壤次生盐碱化。值得重视的问题是南部山前平原井灌区,近年来由于大量抽取地下水,出现了地下水漏斗。在以后的农业生产中要注意节约用水、合理排灌,通过各种生物途径和科学的耕作措施增加土壤有机质、改良土壤性状并改善土壤生态环境,在此基础上可发展高效生态经济区。较难改良区分布在易改良区的外侧、地势相对较高的地方,是今后黄河三角洲国土整治的重点所在。本区土壤主要的是轻度盐碱土和中度盐碱土,面积277492.9hm<sup>2</sup>,占黄河三角洲总面积的36%,是黄河三角洲土壤次生盐碱化的集中分布区,大部分土壤盐剖面为表聚性。区域生态环境相对脆弱,大部分地区地下水埋深1m左右,地下水矿化度2~10g/l。为确保该区农业生产发展,必须在确保黄河流域稳定、防止海潮侵扰的前提下,坚持以治水改土为重点,综合运用工程、生物、农艺等措施,对水土资源进行综合开发、治理、利用。做详细的农业区划,调整农业用地规模、结构、布局,不适宜种植业的土地尽快退耕还草、还林,发展生态农业。难改良区面积149661hm<sup>2</sup>,占总面积的20%。该区土壤含盐量高,地下水矿化度高,土壤盐剖面通体高盐。对于难改良区的工作不能操之过急,在建立水盐监测网络的基础上,重点结合工程措施,掌握水盐运动规律,合理调控地下水,搞综合开发和治理。随着自然淋盐和人工洗盐排盐,使土壤和地下水慢慢向脱盐方向发展。此外,还有177814hm<sup>2</sup>的土地分布在近海滩涂区和重度盐碱地区,土壤含盐量大于2g/l,地下水埋深小于1m,矿化度大于30g/l。近期内不适合花大力气搞土壤改良,因为这些地区尚未或刚刚脱离海潮和风暴潮的侵扰,土壤处于初级发育阶段,有机质、氮、磷等含量低,注意保护自然盐生植物群落,改善生态环境。在有淡水水源的地方,可进行水产养殖,但一定要注意防渗,以免引起内陆方向地下水位升高,土壤盐碱化加重的负面效应

[8]。另外,在滨海地区建立防潮工程,防止潮水入侵。对每个影响土壤改良的因素分级赋权,只是一种初步尝试。划分区间也是根据实际情况人为规定的,还都没有定则可循。本研究只考虑了盐碱地的现状、地下水埋深、地下水矿化度3个主导因素进行了大区的划分,在以后的工作中,还要结合各大区的微地貌条件、排灌条件、耕作制度等做更细的亚区和小区的划分,以便使改良对策更具可操作性。参考文献(References): [1] Szabolcs I. Salinization of soil and water and its relation to desertification [J]. Desertification Control Bulletin, 1992 (21): 32-37. [2] Xu Xuegong. The Huanghe River Delta: Territorial structure, Comprehensive exploitation and Sustainable development [M]. Bei-jing: Ocean Press, 1998. (In Chinese) [许学工. 黄河三角洲地域结构、综合开发与可持续发展 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998.] [3] Liu Gaohuan, Drost H J. Atlas of The Yellow River Delta [M]. Beijing: The Publishing House of Surveying and Mapping, 1997. (In Chinese) [刘高焕, 汉斯·德罗斯特. 黄河三角洲可持续发展图集 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997.] [4] Peng Wanglu, Li Tianjie. The effect of Kauth-Thomas transformation of TM data in the analysis of saline soil—An example in Yang Gao basin [J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 4 (3): 183-190. (In Chinese) [彭望?, 李天杰. TM数据的Kauth-Thomas变换在盐渍土分析中的作用——以阳高盆地为例 [J]. 环境遥感, 1989, 4 (3): 183-190.] [5] Congalton R G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data [J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 37: 35-46. [6] Shi Yuanchun, Li Baoguo, Li Yunzhu et al. Prognosis of Water and Salt [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 1991. (In Chinese) [石元春, 李保国, 李韵珠等. 区域水盐运动监测预报 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1991.] [7] Wang Zunqing. Saline Soil of China [M]. Beijing: Science Press, 1993. (In Chinese) [王遵亲. 中国盐渍土 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.] [8] Xu Xuegong. The applicable eco-agricultural models and territorial structure of agriculture in the Yellow River Delta [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20 (1): 27-32. (In Chinese) [许学工. 黄河三角洲的适用生态农业模式及农业地域结构探讨 [J]. 地理科学, 2000, 20 (1): 27-32.] Regionalization of Salt affected Land for Amelioration in the Yellow River Delta Based on GIS GUAN Yuan-xiu, LIU Gao-huan, WANG Jin-feng (The State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China) Abstract: Key words:

**关键词:** 黄河三角洲; 地理信息系统; 盐碱地; 改良分区