

文章编号: 1007-4619 (2001) 01-0046-07

黄河三角洲盐碱地遥感调查研究

关元秀, 刘高焕, 刘庆生, 叶庆华

(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: 土壤盐渍化是干旱、半干旱农业区主要的土地退化问题, 有关盐碱地的性质、范围、面积、地理分布及盐渍程度等方面的实时、可靠的信息, 对治理盐碱地防止其进一步退化和进行农业可持续发展规划至关重要, 提出运用 Landsat TM 遥感数据来获取这些信息。基于地物光谱特征、野外调查建立的地物与影像之间的关系以及土壤和地下水监测数据的辅助, 将常规监督分类法和改进的图像分类法两种方法相结合, 提取了不同盐渍程度的盐碱地, 即光板地 14477.67hm², 重度盐碱地 52086.33hm², 中度盐碱地 86699.61hm², 轻度盐碱地 215001.7hm², 占黄河三角洲总面积的近二分之一(47.4%)。除此之外, 水体、滩涂、非盐碱地等也作了区分。

关键词: 遥感; 黄河三角洲; 盐碱地

中图分类号: TP79/P935 **文献标识码:** A

1 引 言

据估计全球有 9.52 亿 hm² 的土地受到不同程度的盐渍化^[1]。由于地下水位的年、季变化而引起的盐类在土壤剖面中的重新分配, 在很大程度上控制着盐碱地的形成和发展。因此, 盐碱地是一种动态现象和过程。及时掌握有关盐碱地的性质、范围、地理分布、盐渍程度等方面的信息, 是治理盐碱地和防止其进一步退化的必要前提。目前黄河三角洲关于盐碱地数量和分布的数据, 还是 80 年代通过传统的土壤普查方法获取的^[2], 远远不能满足盐碱地治理和区域可持续发展规划对现实性信息的需求。遥感具有宏观、综合、动态、快速的特点, 为地球资源调查、环境监测及全球研究提供了一种新的探测手段。各国科研工作者经多年的实践发现, 各种来源的遥感数据对盐碱地的调查、制图和动态变化研究有很好的效果^[3-9]。

2 研究区概况

“黄河三角洲”是一个自然地理的概念, 一般是指以宁海为顶点的近代黄河三角洲(包括现代黄河

三角洲)。为研究工作的方便, 将整个东营市作为研究区。研究区地理范围介于东经 118°07′—119°10′, 北纬 36°55′—38°12′之间, 包括河口区、利津县、垦利县、东营区和广饶县。黄河是黄河三角洲地貌类型的主要塑造者, 由于黄河多次改道形成了岗、坡、洼相间排列的微地貌类型, 自然比降 1/8000—1/12000。黄河三角洲属暖温带半湿润气候区, 蒸降比为 3:1。本区地下水位高, 且矿化度大。除南部广饶县外, 主要靠引黄河水发展灌溉农业。由于地势低平, 排水不畅, 土壤盐渍化现象非常严重。

3 盐碱地专题信息提取

3.1 数据

本次研究采用的数据包括: 1999 年 6 月 25 日成像的 Landsat TM 影像; 覆盖黄河三角洲地区的 24 幅 1:5 万地形图; 黄河三角洲土地资源和土地利用数据; 1999 年获取的植被和土壤样品分析数据以及地下水位长期监测数据。

3.2 方法

3.2.1 分类前准备

对数字图像进行必要的拉伸和增强处理, 以提

收稿日期: 2000-06-19; 修订日期: 2000-07-21

基金项目: 资源与环境信息系统国家重点实验室基金课题。

作者简介: 关元秀(1972—), 女, 博士。山西省洪洞县人。1995年毕业于山西师范大学地理系, 1998年毕业于长春地质学院, 获水文地质与工程地质专业硕士学位, 现在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攻读地图学与地理信息系统专业博士学位, 主要从事区域水盐运移规律与农业可持续发展方面的研究工作。已发表论文 1 篇。

高图像的可判读性。用 1:5 万地形图对数字图像做地理校正, 选取了 25 个地面控制点(GCP), 在误差小于 10m 的条件下, 用双线性内插法对图像进行 30m 重采样。从校正好的影像上裁出覆盖研究区的 4977 行×3881 列的子域, 以便减少数据量, 提高处理速度。

3.2.2 常规图像监督分类法

首先, 根据我们的经验和一些辅助数据的帮助, 对 Landsat TM 标准假彩色合成影像进行初步目视判读。盐碱地在标准假彩色合成影像上呈现不规则的由暗到亮白色片状分布或与林地、草地、庄稼地杂花分布。光板地表面有一层厚厚的盐霜, 成片分布在沿海地区。

然后, 进行野外调查, 目的是建立地物影像光谱特征与实地景观之间的对应关系。野外调查的内容

包括: 不同程度盐碱地分布区的地形条件、植被生长状况、排灌设施、土地利用现状及历史、植物群落和土壤采样等。将土壤和植物采样点标记在标准假彩色 TM 影像硬拷贝上, 对土壤样本做了实验室分析, 为准确的盐碱地信息提取做准备。

在监督分类前, 必须确定分类方案。根据影像所反映的地面景观特点和盐碱地监测的目的, 将影像划分为水体、滩涂、林草苇地、小麦地、一般耕地、城市、村落、水田、光板地、重度盐碱地、中度盐碱地 11 类。

训练样本的选择是一个反复进行、不断改善的过程。经过多次试验, 为各类地物选择了 93 个训练样区对判决函数进行训练, 并对各种地物的光谱响应特征按均值、方差进行分析(表 1), 发现各类地物训练样本识别情况较好(表 2)。

表 1 各类地物训练样本

Table 1 Training samples of various categories

类别	TM1		TM2		TM3		TM4		TM5		TM6		TM7	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差
1	104	10	53	8	48	12	18	7	14	5	129	4	8	3
2	104	4	53	3	70	5	56	5	78	24	153	7	40	14
3	91	7	43	5	49	12	78	17	98	18	154	6	47	15
4	109	6	59	5	82	9	84	7	151	13	161	7	92	13
5	101	5	52	4	65	8	97	14	122	11	153	4	62	10
6	114	8	59	5	78	8	77	8	118	13	162	5	72	9
7	106	7	56	6	79	13	87	11	142	25	159	4	86	19
8	87	4	40	3	42	5	62	8	48	11	144	2	20	5
9	125	10	67	7	91	10	78	7	133	14	160	2	83	11
10	104	7	52	5	68	8	64	9	101	17	159	4	57	11
11	102	3	52	3	68	5	72	5	113	9	151	4	62	6

1 水体; 2 滩涂; 3 林、草、苇地; 4 小麦地; 5 一般耕地; 6 城市; 7 村落; 8 水田; 9 光板地; 10 重度盐碱地; 11 中度盐碱地

表 2 监督分类训练样本混淆矩阵

Table 2 Confusion matrix of the training sample for supervised classification

(%)

分类后所属类别	分类前所属类别										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	99.8	0.7	0	0	0	0	0.3	0.4	0	0.2	0
2	0	97	0.7	0	0	0	0.2	0.1	0.4	2	0
3	0	0.1	89	1	3.6	1.6	0.6	3.5	0	6.7	8.2
4	0	0	0.7	88.9	3.1	3.1	6	0	0	0.1	0.3
5	0	0	1.4	2.6	87.6	4.4	1.4	0	0	0.3	2.4
6	0	0	0.4	1	1.2	76.6	1.2	0	1.7	1.7	0.5
7	0	0.3	0.4	6.2	1.4	6.2	88.7	0.6	0.2	1.5	1.7
8	0.2	0.2	0.7	0	0	0	0.1	95.3	0	0.1	0
9	0	0.5	0	0	0	3.8	0	0	95.4	2.9	0
10	0	1.2	2.7	0.1	0.1	2.4	1	0.1	2.3	82.1	2.4
11	0	0	4	0.2	3	1.9	0.5	0	0	2.4	84.5

1 水体; 2 滩涂; 3 林、草、苇地; 4 小麦地; 5 一般耕地; 6 城市; 7 村落; 8 水田; 9 光板地; 10 重度盐碱地; 11 中度盐碱地

从各类地物的光谱响应特征结合训练样本混淆矩阵分析,水体和滩涂从光谱特征上容易与其它地物区分;林、草、苇地易与中度盐碱地混淆,而从本质上讲,疏林地、灌木林地和一些草地本身就是盐碱地,只是根据覆被状况将它们同盐碱地人为划分开;6月25日,小麦刚刚收获,秋粮作物还没有露出地面或初见阳光,因而在光谱特征上与村落相似,并不奇怪,它们之间在纹理特征上的迥异,是区分小麦地和村落的主要依据;由于村落和城镇房屋周围长有树木、杂草,再加上TM影像的地面分辨率问题,便以混合像元出现,同时由于影像成像时间是6月25日,大田小麦刚刚收割,而秋粮作物尚未露出地面,居民地与耕地反差小,在光谱特征上也极易混淆。城市与村落的混淆不影响盐碱地的监测,可以不予过多地重视。六月下旬不足半米的水田易与长势不好的苇地和湿生草地混淆,但根据黄河三角洲水田、草苇地的地理分布以及纹理特征和形状可以很容易的区分开。光板地以其特有的高反射率与其它地物截然不同。

通过训练样区中的样本数据获得各先验类别均值和方差后,我们选择了Bayes概率判决函数,用最大似然分类法对整幅遥感图像进行分类处理。

由于遥感影像时相选择的不太好,基于光谱特征的常规图像监督分类方法只能提取3类盐碱地:光板地、重度盐碱地、和中度盐碱地,非盐碱地和轻度盐碱地无法分开。为此,我们增加了土壤含盐量、地下水埋深和归一化植被指数(NDVI)3个辅加特征,采用改进分类法对图像进行重分类。

3.2.3 改进分类法

土壤含盐量与土壤盐渍程度的关系是不言而喻的,地下水埋深与土壤盐渍化的相关关系早在本世纪初就为土壤科学工作者所肯定,归一化植被指数也有人用来区分不同类型的盐碱地^[7],这是我们选择土壤含盐量、地下水埋深和归一化植被指数(NDVI)3个辅加特征的理论依据。加入3个辅加特征后,造成了图像的破碎化,很难用常规的图像分类方法(非监督分类或监督分类法)来提取有用的信息,我们采用了改进的图像分类法^[8]。

改进的图像分类法是监督分类法与非监督分类法的集成,它博采监督分类法与非监督分类法的优点,Congalton R. G. 研究证明改进的图像分类法能比常规的图像分类法明显提高分类精度。

对土壤含盐量和地下水长期监测数据进行克里格插值,变点状数据为面状数据,然后进行矢栅转

换,按30m重采样(与原TM影像保持一致),形成土壤含盐量图层和地下水埋深图层。对原TM影像4和3波段进行波段间运算,形成归一化植被指数图层。将以上3个图层各作为一个波段加入原7个波段的TM影像,合成为一个10波段的图像。

先对合成影像进行非监督分类,用分类结果生成模板,作为监督分类的初始模板。在此基础上,增加新训练样区,删除不具有代表性的训练样本,合并同一类地物的训练样本,反复试验,达到提取有用信息的目的。

用改进分类法提取的水体、滩涂、光板地、重度盐碱地、中度盐碱地等类别与常规监督分类法基本相同,除此之外,它还很好的区分出了常规分类法无法区分的轻度盐碱地和非盐碱地。唯一的缺憾是由于加入了辅加特征,居民地类别不能全部提出。

3.2.4 分类后处理

对常规监督分类法和改进图像分类法所得分类结果进行综合和重新编码,把研究区分为水体、滩涂、林草苇地、居民工矿交通用地、非盐碱地、轻度盐碱地、中度盐碱地、重度盐碱地和光板地9类,各类具体含义参见表3。

由于遥感图像计算机分类处理是针对每个像素单独进行的,结果在分类图像中会出现一大片同类地物中夹杂着散点分布的异类地物的不一致现象,这些杂类地物常称为“类别噪声”。为了消除类别噪声的影响,通常需要把每个像素的类别属性与其周围的邻近像素进行比较,若该像素表现出与周围很不一致,则应将其调整到符合一致性的情况。由于它是基于邻近像素特征的比较分析,所以称为“上下文分析”法。我们选用 3×3 的窗口,用众数函数(Majority),对分类结果作了上下文分析。

根据我们对研究区已有的知识,滩涂分布区的地面高程不会超过2m,而居民地的高程不低于1.5m,对滩涂和居民地分别作了“掩膜分析”,纠正部分盐碱地与滩涂、居民地混分现象,最终结果见封四图版I图1。

3.2.5 精度评价

Lunetta等人指出遥感信息处理的过程中误差在不断地累积,从数据获取、数据处理、分析转换、成图、决策到实施的整个过程中,误差越来越大^[9]。为了给用户提供的可靠的数据和让用户正确使用数据,需要对分类结果给予科学合理的评价。

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^[8], 误差矩阵是一个 N 行 \times 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。

我们采用分层随机采样法, 对常规监督分类和综合分类的结果进行评价。监督分类结果评价中选

择了 191 个样点, 且保证每类地物不少于 15 个样点; 综合分类结果选择了 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, 算出监督分类的误差矩阵(表 4) 和综合分类的误差矩阵(表 5)。

表 3 分类结果

Table 3 Result of the Classification

类别	面积/ hm^2	占总面积/ %	含义
水体	57411.45	7.4	指陆地水域和水利设施用地, 包括: 河流水面、水库水面和坑塘水面
滩涂	77380.65	10.0	指沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮湿漫地带, 河流湖泊常水位至洪水位之间的滩地
林、草、苇地	88530.12	11.4	指生长乔木、灌木等林木的林地, 生长草本植物为主的畜牧业用地以及生长芦苇的土地
居民交通及工业用地	78878.34	10.1	指城乡居民用地、工矿企事业单位用地和交通用地
非盐碱地	106835.2	13.7	土壤含盐量小于 0.2%, 表层分布的主要是长势较好的农业植被, 一般是两年三熟制
轻度盐碱地	215001.7	27.7	土壤含盐量 0.2%—0.6%, 主要种植棉花、水稻以及杂粮作物
中度盐碱地	86699.61	11.2	土壤含盐量 0.6%—1.0%, 表层覆盖的主要是农业植被, 但缺苗率一般在 50% 以上
重度盐碱地	52086.33	6.7	表层有明显的盐结皮, 生长有稀疏的翅碱蓬、蒿类等耐盐植物
光板地	14477.67	1.9	分布区海拔小于 2m, 土壤含盐量 2.0% 以上, 寸草不生, 表层有 1—2cm 厚的盐霜

表 4 监督分类误差矩阵

Table 4 Error Matrix of the Supervised Classification

	1	2	3	4	5	6	7	8	合计	误分/ %
1	22	0	0	0	0	0	0	0	22	0.0
2	1	21	0	0	0	0	1	0	23	8.7
3	0	0	23	1	0	0	0	0	24	4.2
4	0	0	1	31	1	0	0	0	33	6.1
5	0	1	0	6	15	1	0	1	24	37.5
6	0	0	0	1	0	16	2	1	20	20.0
7	0	0	2	0	0	1	19	0	22	13.6
8	0	0	2	0	0	0	0	21	23	8.7
合计	23	22	28	39	16	18	22	23	191	—
漏分%	4.3	4.5	17.9	20.5	6.3	11.1	13.6	8.7	—	—

1 水体; 2 滩涂; 3 林、草、苇地; 4 耕地; 5 居民、工矿及交通用地; 6 光板地; 7 重度盐碱地; 8 中度盐碱地; 分类总精度= 87.5%; Kappa 系数= 0.86

Kappa 分析是评价分类精度的多元统计方法, 对 Kappa 的估计称为 KHAT 统计, Kappa 系数代表被评价分类比完全随机分类产生错误减少的比例, 计算公式如下:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum (x_i + x_{+i})}{N^2 - \sum (x_i + x_{+i})}$$

其中 r 是误差矩阵的行数, x_{ii} 是 i 行 i 列(主对角线)

上的值, x_{i+} 和 x_{+i} 分别是第 i 行和第 i 列的和, N 是样点总数。

4 结果分析

土壤盐渍化是干旱、半干旱地区主要的土地退化问题。由于黄河三角洲是海陆交互作用形成的退海之地,土壤盐渍化现象尤为严重。除小清河以南山前倾斜平原区和黄河河滩高地外,黄河三角洲近 50%的土地发生了不同程度的盐渍化。

从分类结果看(封四图版 I 图 1 和表 3),黄河三角洲有光板地 14477.67hm²,在东北和东南沿海滩涂内侧呈片状分布;重度盐碱地 52086.33hm²,集中分布在东北和东南沿海光板地的内缘;中度盐碱地 86699.61hm²,主要分布在黄河以北、黄河古河道以西地区,另外,在黄河以南的大片的轻度盐碱地中也有零星分布;轻度盐碱地 215001.7hm²,主要分布在东营区和垦利县广大的平地 and 浅平洼地上,黄河故道非盐碱地两侧也有分布;非盐碱地则集中分布在广饶县南部山前倾斜平原区和河滩高地上。

表 5 综合分类误差矩阵

Table 5 Error Matrix of the Integration Classification

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合计	误分/%
1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0.0
2	2	28	0	0	0	0	0	0	0	30	6.7
3	0	0	33	0	0	0	1	0	0	34	2.9
4	3	2	0	16	1	2	6	1	0	31	48.4
5	0	0	0	0	40	0	0	0	0	40	0.0
6	1	0	3	0	0	70	0	1	0	75	6.7
7	0	0	0	0	0	0	34	0	0	34	0.0
8	1	0	1	0	1	1	0	18	0	22	18.2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0.0
合计	31	30	37	16	42	73	41	20	10	300	—
漏分%	22.6	6.7	10.8	0.0	4.8	4.1	17.1	10.0	0.0	—	—

1 水体;2 滩涂;3 林、草、苇地;4 居民、工矿及交用地;5 非盐碱地;6 轻度盐碱地;7 中度盐碱地;8 重度盐碱地;9 光板地;分类总精度=91.0%; Kappa 系数=0.89

光板地和重度盐碱地尚未完全脱离海水的影响,海拔 2m 以下,地下水埋深小于 1m,矿化度可达 10—30g/L,甚至大于 30g/L。土壤可溶性含盐量一般超过 1%,盐分组成氯化物占 80%以上,阳离子中以钠为主,很多地方寸草不生,大部分则只生长黄须菜、芦苇、马绊等强度耐盐植物;中度盐碱地大部分分布在海拔 3m 以上的地方,离海较远,地下水位高,但矿化度不大,一般都低于 10g/L,土壤盐渍化主要是由不合理的灌溉和耕作制度造成的;轻度盐

碱地主要分布在东营区和垦利县的黄泛平原区,海拔 6—9m,潜水埋深小于 2m,本区耕作历史较长。

从分县(区)统计数据看(表 6),垦利县盐碱地面积最大,98681.13hm²,占全市盐碱地总面积的 26.8%;其次为河口区 93023.19hm²,占全市盐碱地总面积的 25.3%;利津县 84536.28hm²,占全市盐碱地总面积的 23.0%;东营区 55414.53hm²,占全市盐碱地总面积的 15.0%;广饶县最少,36610.2hm²,占 9.9%。

表 6 盐碱地的地理分布

Table 6 The geographical distribution of salt-affected soils

区(县)	面积/hm ²	占全市盐碱地/%	区域比重/%	分布
河口区	93023.19	25.3	44.0	新户、太平、义和、四扣、六合、仙河、孤东油田
垦利县	98681.13	26.8	46.7	下镇、永安
利津县	84536.28	23.0	66.7	虎滩、汀河、罗镇、大赵、明集、盐窝、前刘、北宋、刁口
东营区	55414.53	15.0	50.5	六户和东营市东城辖区
广饶县	36610.2	9.9	31.0	陈官、丁庄、花官、大营、西刘桥和大码头

从盐碱地所占区域面积的比重看, 以利津县最大, 为 66.7%, 其次依次为东营区(50.5%)、垦利县(46.7%)、河口区(44.0%)、广饶县(31.0%)。河口区盐碱地主要分布在新户、太平、义和、四扣、六合、仙河、孤东油田 7 个乡区; 利津县主要分布在虎滩、汀河、罗镇、大赵、明集、盐窝、前刘、北宋、刁口 9 个乡; 垦利县主要分布在下镇和永安两个乡; 东营区主要分布在六户和东营市东城辖区的范围内, 以上 4 个县区的其它乡镇也都有零散盐碱地分布。而广饶县只在北部的陈官、丁庄、花官、大营、西刘桥和大码头 6 个乡镇有零星分布, 南部其它乡镇没有盐碱地分布。

中低产田的治理是黄河三角洲农业发展的出路所在。南部倾斜平原非盐渍化并灌农业区, 可发展高效生态经济, 但应注意节约用水, 防止地下水降落漏斗的进一步扩大和海水倒灌两大环境问题; 轻度盐碱地区予以科学管理(科学的耕作制度、科学的灌溉排水制度等), 可继续发展耕作农业; 国土整治工作的重点应放在太平、义和、四扣、六合、虎滩、汀河、罗镇、大赵、明集、盐窝、前刘、北宋以及广饶县的陈官、丁庄、花官、大营、西刘桥和大码头 18 个乡镇的中度盐碱地治理上, 在实施各种治理措施的同时, 尤其重要的是要设立区域水盐监测网络, 保持区域水盐动态平衡, 从理想的发展方向而言, 这些地区最好退耕还林还牧。新户、仙河、孤东油田、六户、东营市东城等地分布的光板地和重度盐碱地, 尚处在土壤发育的初期阶段, 应适当的保护和恢复草被, 促进生态环境向良性方向发展。

5 结 论

本文综合运用了常规图像分类方法和改进的图像分类法, 尝试性地将土壤含盐量和地下水埋深作为分类特征, 并结合“上下文分析”、“掩膜分析”等地理信息系统分析技术, 提高了盐碱地提取精度(常规监督分类的总精度为 87%, 而综合分类的总精度为 91%)。

研究发现, 多光谱遥感数据不仅能有效地提取盐碱地, 而且还能获得有关盐碱地的性质、盐渍程度、空间范围和地理分布等方面的信息。最值得一提的是, 用遥感方法进行盐碱地调查研究, 快捷、准确且省时、省力。黄河三角洲最近的一次常规土地资源调查工作, 从 1985 年到 1991 年, 历时 5 年, 动用了大量的人力、物力, 所能提供的盐碱地方面的信息

早已过时。而用遥感方法只需要少量的人做一两个月的工作, 便可提出有关盐碱地的信息。

遥感影像最佳时相的选择对盐碱地调查研究非常重要, 只有时相合适才能提取较多的有用信息。华北冬、春季土壤干旱, 地表返盐严重, 光板地、重度盐碱地和中度盐碱地表面有明显的盐结皮或盐霜, 田里的小麦也受到不同程度土壤盐渍化的影响, 这种影响通常在 5 月份达到最大。因此, 5 月份的遥感影像对华化地区盐碱地监测研究效果最好。由于我们采用的是 6 月下旬成像的遥感影像, 光板地、重度盐碱地和中度盐碱地的影像特征表现虽然突出, 但由于小麦刚刚收割, 与小麦轮作的秋粮作物尚未或初露地面, 因此轻度盐碱地和非盐碱地不能通过植被生长状况区分。我们将土壤含盐量、地下水埋深等数据影像化参予分类, 不但可以区分出轻度盐碱地和非盐碱地, 而且可为研究土壤盐渍化发生机制和动态变化趋势提供有用的信息。

黄河三角洲盐碱地遥感调查研究的成果, 将为黄河三角洲的国土整治和区域可持续发展规划提供科学依据; 反过来它还可用于检验国土整治工作的成效是否显著, 区域经济是否真正走上了可持续发展之路。

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] Dongying Land Bureau. Dongying Land Resources [R]. [1993 东营市土地管理局. 东营市土地资源] [R]. 1993.
- [3] Shama R C, Bhargava G P. Landsat imagery for mapping saline soils and wet lands in north-west India [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9(1): 39-44.
- [4] Singh A N. Delineating salt affected soils through digital analysis of Landsat MSS data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10(1): 83-92.
- [5] Rao B R M, Dwivedi R S *et al.* Mapping the magnitude of sodicity in part of the Indo-Gangetic plains of Uttar Pradesh Northern India using Landsat TM data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12(3): 419-425.
- [6] Dwivedi R S, Sreenivas K, Ramana K V. Inventory of salt affected soils and waterlogged areas: a remote sensing approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(8): 1589-1599.
- [7] Toth T, Csiliag F. and Buttner G. Satellite remote sensing of salinity alkalinity in the Great Hungarian Plain. Impacts of Salinization and Acidification on terrestrial Eco system and its Rehabilitation [R]. Fuchu, Tokyo, 1991.
- [8] Congalton R G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 37: 35-46.

[9] Lunetta R S, Congalton R G *et al.* Remote sensing and geographic information system data integration; error sources and research issues

[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1991, 57: 667—687.

The Study of Salt-affected Soils in the Yellow River Delta Based on Remote Sensing

GUAN Yuan-xiu, LIU Gao-huan, LIU Qing-sheng, YE Qing-hua

(*The State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: Salinization is the major land degradation processes in arid and semi-arid regions. In order to prevent further deterioration of salt-affected soils and make agriculture development in a sustainable way, up-to-date and reliable information on the nature, extent, magnitude and spatial distribution of these soils is of paramount importance. This study was carried out to extract such information using Landsat TM data. On the basis of spectral response pattern of salt-affected soils, the relationship between salt-affected soil and image characteristics established during the field investigation and soil sample data, four categories of salt-affected land were delineated, namely, extremely saline (14477.67 hm^2), strongly saline (52086.33 hm^2), moderately saline (86699.61 hm^2), and lightly saline (215001.7 hm^2). Besides these salt-affected soils, other categories such as water bodies, tidal flat, forest, grass land, reed beds, residential area were also mapped. All these will provide scientific guideline for regional land amelioration and agriculture sustainable development.

Key words: remote sensing; the Yellow River Delta; saline

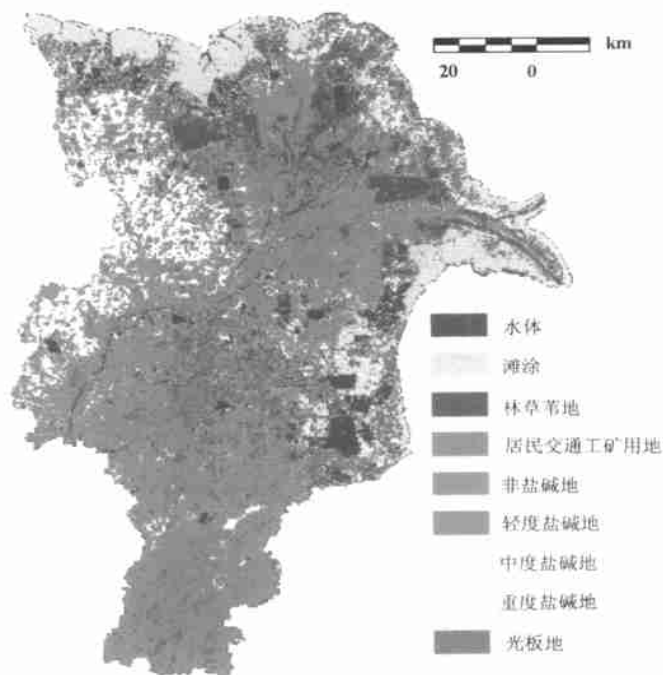


图 1 分类结果图

遥感学报

(双月刊 1997 年创刊)
2001 年 1 月 第 5 卷 第 1 期

**JOURNAL OF
REMOTE SENSING**
(Bimonthly, Started in 1997)
Vol. 5 No. 1 Jan. 2001

编辑 《遥感学报》编辑委员会
北京市安外大屯路中科院遥感所
邮编: 100101; 电话: (010) 64889543

主编 徐冠华

出版 科学出版社
北京东黄城根北街 16 号
邮编: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂

总发行处 北京报刊发行局

订购处 全国各邮电局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
北京 399 信箱

Editor: Editorial Board of Journal of
Remote Sensing
P. O. Box 9718, Beijing 100101, China
<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/ygxb/index.htm>
E-mail: jrscas@public.sti.ac.cn

Chief Editor: Xu Guanhu

Publisher: Science Press
16, Donghuangchenggenbeijie Street
Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International
Book Trading Corporation
(Guoji Shudian)
P. O. Box 399, Beijing, China

国内外公开发行 刊号: ISSN 1007-4619
CN 11-3841/TP

邮发代号: 82-324

国外刊号: Q1002

定价: 14.00 元