

# 内蒙古河套灌区土壤盐碱化遥感监测方法研究

安永清<sup>1</sup>, 屈永华<sup>2</sup>, 高鸿永<sup>1</sup>, 段小亮<sup>1</sup>, 伍靖伟<sup>3</sup>, 陈爱萍<sup>1</sup>

(1. 内蒙古河套灌区义长灌域管理局, 内蒙古 五原 015100;

2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

**摘要:**土地盐碱化是土壤退化的一种重要表现,要进行大范围的实地调查研究需要投入大量的人力、物力和时间,而利用遥感技术可以快速准确地提取盐碱地的分布信息,提高时效、减少成本。分析在区域尺度上利用遥感技术进行土壤盐碱化监测可行性以及遥感影像选择方法,利用最大似然分类方法,基于地面采样和遥感影像数据,对内蒙古河套地区盐碱地的分布状况进行了分析与精度评价。研究成果可以为防止河套灌区土壤退化提供基础数据和基本方法。

**关 键 词:**盐碱化;遥感;分类

**中图分类号:**TP 79      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-0323(2008)03-0316-07

## 1 引 言

内蒙古河套灌区是我国最大的 3 个灌区之一,具有悠久的历史,是我国重要的粮油生产基地。其地处我国西北内陆的蒙古高原,黄河上游,平均海拔在 1 000 m 以上,属于干旱半干旱内陆性气候,年平均降水量只有 139~222 mm,年平均蒸发量达到 1 999~2 346 mm,典型的干旱少雨,农业灌溉主要依靠黄河引水。在我国西部干旱地区,干旱的荒漠气候、富含盐分的母质、地表和地下水动力作用以及特殊的地形等因素的综合作用下,形成了大面积的土地盐碱化现象<sup>[1]</sup>,盐碱化会引起土壤板结、肥力下降、作物减产、弃耕和土地撂荒等诸多后果<sup>[2]</sup>,如全国范围内因盐渍化废弃的土地每年达 100~150 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。而以土壤盐碱化为代表的土地退化正是影响河套灌区经济持续发展的一个重要原因。

因此,对灌区盐碱地的分布进行监测,掌握盐碱地在不同年度的分布变化和面积增减,利于摸清土地利用现状,进而合理利用土地,对探索盐碱地的变化规律等具有重要意义。而常规的土地普查存在耗

费人力多、财力大、周期长、出图慢等弊端,随着遥感技术的发展,利用遥感对灌区盐碱地进行监测成为现实,相比传统的土地普查,具有经济便捷、省时、省力、出图快等特点。可见,利用遥感技术监测盐碱地有其独特优势。

## 2 遥感数据与基本地物信息特征

### 2.1 遥感影像的选取

土地的光谱反射是多种因素共同作用的综合效果,其光谱特征受地表形态、含水量、植被、土地有机质等因素共同影响,所以在影像中大部分像元反映的往往是几个因素共同影响的综合光谱<sup>[1]</sup>。对分类来说,除了要考虑所使用影像的波谱范围、分辨率、覆盖范围等参数外,还要考虑其拍摄的时间是否利于分析所要研究对象(盐碱地)的光谱特征。一般来说,简单、均一的地表景观比较容易取得高的分类精度,而复杂、混合的地表景观容易形成高的分类误差<sup>[3]</sup>。因此,选择了河套地区 3 月份的影像,这个季节河套地区干旱无雨,地面没有绿色植物,相比其它月份,土壤含水率低,综合像元少,影像进行分类时受水份和植物的影响较小,地物对光的反射相对均

一,环境背景复杂性相对简单。另外,春季为泛盐季节,干旱多风,地下盐分运移到地表,盐渍土表层出现盐霜、盐壳、盐皮,地表反射率高,在影像上易于识别<sup>[3]</sup>。

2.2 遥感影像参数

结合影像的拍摄时间、覆盖地域、分辨率、清晰度等因素,本次分类选用了印度 IRS-P6 地球资源卫星携带的 AWiFS 传感器接收的河套地区 2006 年 3 月 8 日的影像,AWiFS 传感器有 4 个光谱波段,光谱范围分别是:可见光(0.52~0.59  $\mu\text{m}$ , 0.62~0.68  $\mu\text{m}$ ),近红外(0.77~0.86  $\mu\text{m}$ ),短波红外(1.5~1.7  $\mu\text{m}$ ),空间分辨率是 56 m。如表 1。

表 1 图像数据光谱波段组成				
Table 1	Composition of image data spectrum wave band			
卫星名称	波段	范围( $\mu\text{m}$ )	空间分辨率(m)	备注
IRS-P6 卫星	2	0.52~0.59	56	绿
	3	0.62~0.68	56	红
AWiFS 传感器	4	0.77~0.86	56	近红外
	5	1.5~1.7	56	短波红外

该影像已经过了必要的辐射校正和几何纠正等前期预处理工作。另外,因该影像所拍摄的地域范围较广,超出了所要研究区域,所需处理的数据量较大,为了节省计算机处理时间,提高处理速度和精度,故而从影像上截取了河套地区所属的部分,经纬度范围是,左上角:106°20'E, 41°18'N;右下角:109°19'E, 40°20'E。如图 1(见图版Ⅶ)。

2.3 基本地物光谱信息特征

彩色红外像片具有色彩鲜艳,层次丰富,地物对比明显,对微弱的色差分辨好,图像信息丰富等特点,在各种资源、环境等遥感调查中被广泛应用<sup>[3]</sup>,因而选用该影像数据的 Band 4(近红外)、Band 3(红)、Band 2(绿)3 个波段进行组合,显示出内蒙古河套地区的彩色红外图像,并在图像上增加了经纬网线。(使用的是专业遥感影像处理软件 ENVI 4.3)。如图 1。

地物在彩色红外像片上的影像色彩主要取决于它对绿、红、红外光的反射特性。主要地物在彩色红外影像上的反射情况如下:

裸地或土壤对红外、红、绿、蓝光均有反射,随着水分和有机质含量的不同,颜色变化较大。若水分含量少,则蓝、绿光反射少,而呈淡黄、棕色;若湿度大些则红外光吸收,蓝、绿光反射增强,而呈不同的灰青色。

水体强烈吸收红外光,并吸收红光而反射蓝、绿光,所以在影像上呈蓝黑色、蓝灰色,洁净的水呈黑色。当水体含有泥沙(如黄河)或被污染时,便较多地反射红光、红外光,则影像色彩从蓝—青—黄色变化。

绿色植物叶子在光合作用下吸收红光、蓝光,反射绿光(约 20%)和近红外光(约 50%),由于红外光的反射率远大于绿光的反射率,而红外光在影像上呈红色显示,所以健康的绿色植物在像片上呈红色。由于河套地区 3 月份无绿色植被,所以图像上没有植物的红色显示。

盐碱地对近红外、红、绿光反射都较强,而且各波段反射率相差不大,所以盐碱地在影像上呈白色、亮白色,且纹理较均一<sup>[3]</sup>。一般情况下,盐碱化地表比正常地表在可见光和近红外波段的反射强。盐壳比一般土地表层反射强。相同含盐量的盐壳,表层遭到破坏会引起粗糙度的增加,其总体反射会降低,但光谱曲线没变化<sup>[4,5]</sup>。

沙地对近红外、红、绿光反射也较均衡,但各波段反射率都较盐碱地低,所以在影像上没有盐碱地亮,呈黄白色、灰黄色,且纹理较粗<sup>[3]</sup>。

3 图像分类

3.1 分类方法和选定训练样本

图像分类是将图像中每个像元根据其不同波段的光谱亮度、空间结构特征或者其它信息,按照某种规则或算法划分为不同类别<sup>[3]</sup>。常用的分类方法有监督分类和非监督分类,监督分类又称训练分类法,即用已确定类别的样本像元去识别其它未知像元归属类别的过程。如已进行了实地的勘测、定位与取样,确定了其类别,就可以将其作为训练样本去识别其它未知像元<sup>[3]</sup>。监督分类同非监督分类相比,可选择性地决定分类类别,从而避免出现一些不必要的类别,且能通过检查训练本来决定训练样本是否被精确分类,从而能避免分类中的严重错误<sup>[3]</sup>,在有针对性的分类中得到广泛运用。

此次分类使用也是监督分类法。显然,训练样本的选择是监督分类的关键<sup>[3]</sup>。根据河套地区的地物类型,选取了主要 5 种地物类型的训练样本,分别是盐碱地、耕地、沙丘、黄河、湖泊。由于研究区域较大(东西长 250 km,南北宽 50 km),所以确定训练样本的过程是:先根据盐碱地在彩色红外图像上的反射情况(一般为亮白色),在图像上划定一些有代

表性的“盐碱地”区域,并在图像上取得各个“盐碱地”区域的经纬度范围,然后根据取得的经纬度到实地进行验证并取样。确定了是盐碱地后,再通过全球定位系统利用差分 GPS 和手持 GPS 对每块准备作为训练样本的盐碱区域的地理坐标进行精确定位,再从图像上按定位点确定训练样本,并在此基础上划定了精度评价检验区;耕地、沙丘、黄河、湖泊的训练样本的确定比较简单,出于分析者对河套地区的了解,并进行了一定的野外调查,结合不同地物类型在彩色红外图像上的成像颜色和空间结构特征,直接在图像上确定了各地物类型的训练样本和精度评价检验区。

3.2 训练样本信息

训练样本选取后,需要提取各训练样本的统计信息。首先利用软件 ENVI 具有的计算训练样本光谱可分离性的功能<sup>[6]</sup>,给出了用于衡量可分离性的 Jeffries-Matusita 和 Transformed Divergence 两个参数,这两个参数的值在 0~2.0 之间,代表所选的训练样本之间的可分离性好坏,当值大于 1.9 说明分离性较好。如果参数值偏低,应该通过编辑训练样本或重新选择训练本来提高它们之间的可分离性<sup>[6]</sup>。表 2 是衡量 5 个训练样本可分离性的两个参数值。

从表 2 中可以看出,5 个训练样本之间的两个参数值全部大于 1.9 (最小的值为 1.983 170 03),说明这 5 个类别之间的分离性较好。

表 2 衡量样本分离性参数表

Table 2 Separation parameter of samples

训练样区		Jeffries-Matusita	Transformed Divergence
盐碱地	湖泊	2.000 000 00	2.000 000 00
	沙丘	1.983 170 03	2.000 000 00
	耕地	1.997 122 29	2.000 000 00
	黄河	2.000 000 00	2.000 000 00
沙丘	湖泊	2.000 000 00	2.000 000 00
	耕地	1.999 619 03	1.999 907 34
	黄河	2.000 000 00	2.000 000 00
耕地	湖泊	2.000 000 00	2.000 000 00
	黄河	2.000 000 00	2.000 000 00
黄河	湖泊	2.000 000 00	2.000 000 00

除此之外,还计算了各类别训练样本的基本光谱特征信息,比较和检查了样本的好坏,评价其代表性。图 2、图 3 中,左列是各类别训练样本的基本统计信息(最大值、最小值、均值),右列是对应的各类别训练样本 4 个波段的直方图(横轴是 DN 值,竖轴

是频率值)。

通过观察图表可以发现,盐碱地、沙丘、耕地的光谱反射值在 4 个波段上走势是相同的,都是随着波长的增加反射值也相应增加(在 B2、B3、B4 波段增加较平缓,在 B5 波段有明显的上升)。三者区别之处是反射值的大小不同,盐碱地在各波段上的反射值明显高于耕地、沙地的反射值;在耕地和沙地中,沙地各波段的反射值都高于耕地。反映在彩色红外图像上,盐碱地呈白色、亮白色显示,沙丘呈黄色、灰黄色显示,耕地呈褐色、灰褐色显示。在直方图中,盐碱地、耕地每个波段上的直方图基本都呈正态分布,沙地除了在 B5 波段的直方图呈双峰值型外,其余波段也基本呈正态分布。

湖泊和黄河同为水体,其反射值走势图除了同上面的 3 种土壤类型反射值走势图明显不同外,二者之间也有很大差别。湖泊各波段的反射值随波长增加而下降,在 B4、B5 波段下降特别明显;黄河水由于泥沙含量大,其在近红外的反射率高于绿、红波段的反射率,在 B2、B3、B4 波段,反射值随波长的增加而上升,在 B5 波段反射值陡降。在直方图中,湖泊各波段的直方图基本都呈正态分布,而黄河水的直方图 B5 波段呈双峰值型外,其余 3 个波段也基本呈正态分布。

沙丘和黄河的 B5 波段非正态分布,说明其训练样本中 B5 波段亮度有两个集中段,但考虑到不是此次分类的主要研究对象,而且在鉴别可分离性的两个指标与其它类别的可分离性较好,故而没有重新选择训练样本。

从图 2、图 3 可以看出,几种地物类型的训练样本能够说明其本身的光谱特征,与前面基本地物光谱信息特征所描述的是相符的。

3.3 分类图

图像分类的关键之一是选择适当的分类规则(也叫分类器),这些规则可以把图像数据划分为尽可能符合实际情况的不同类别,目前,普遍应用的分类方法是监督分类中的最大似然法<sup>[7]</sup>。该方法充分考虑到各类别在不同波段上的内部方差以及不同类别直方图重叠部分的频率分布<sup>[3]</sup>,此次分类就是使用该方法,图 4(见图版Ⅶ)是采用监督分类法中最大似然法进行分类后的图像。(因河套周围地区不是研究范围,故做了掩膜处理)。

观察分类图,可见河套地区中部基本都是耕

地,西部是面积较大的沙丘(乌兰布和沙漠),东部有一个面积很大的湖泊(乌梁素海),黄河南岸也是沙丘(库布其沙漠),未划分的区域大都是山体、黄河两岸的湿地、断面较大的渠沟、道路、城镇等地物,面积较大的盐碱地夹杂在其它地物中也清晰可

辨。但总体来说,研究的主要对象盐碱地由于相对其它类别比重较小,在图中并不明显,所以为了突出显示盐碱地,现将耕地、湖泊、沙丘合并到未划分分类中,形成比较直观的盐碱地分布图。如图 5(见图版Ⅶ)。

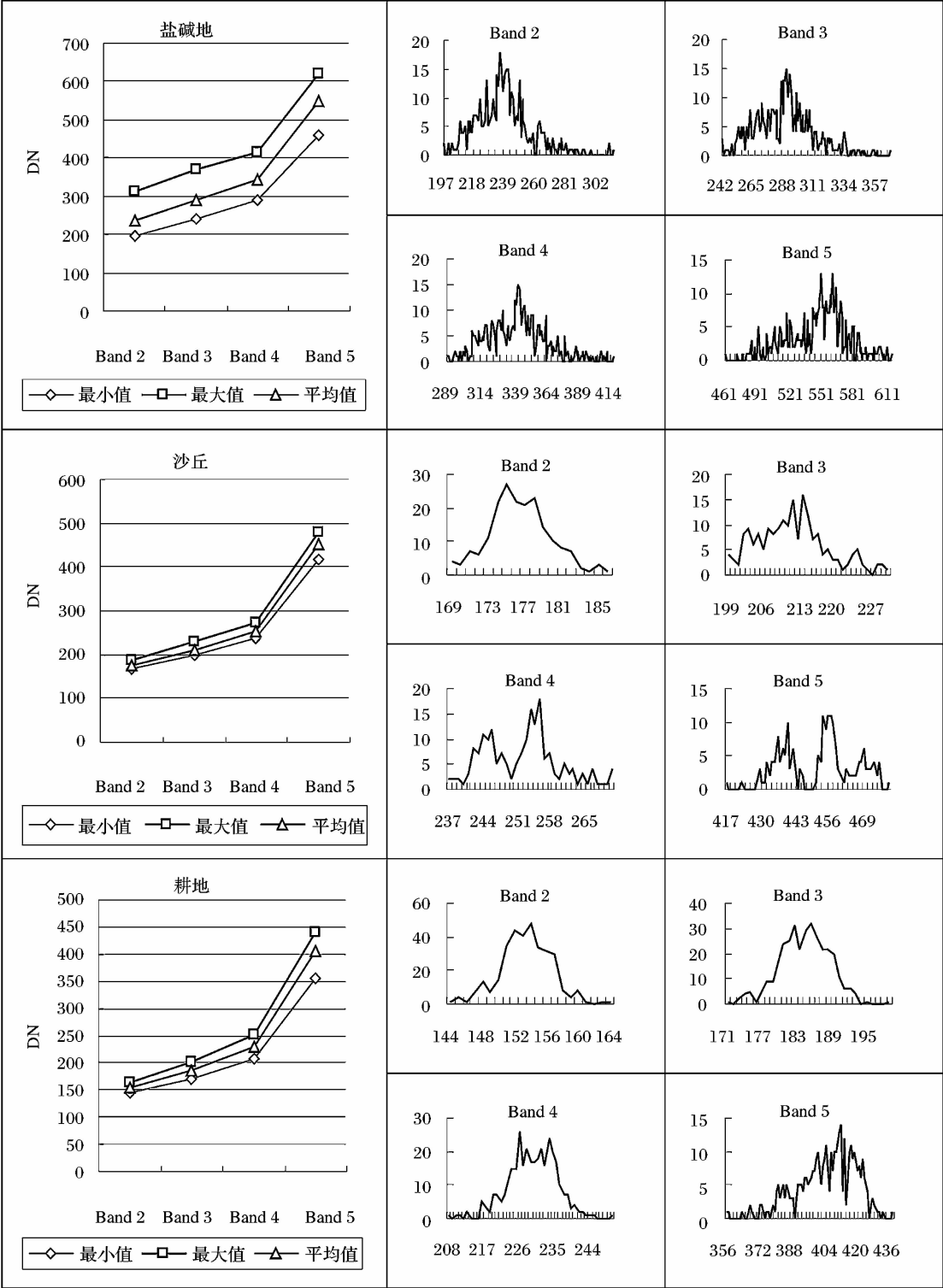


图 2 盐碱地、沙丘、耕地统计信息

Fig. 2 Statistical information of saline and alkali land,sand dune and farmland

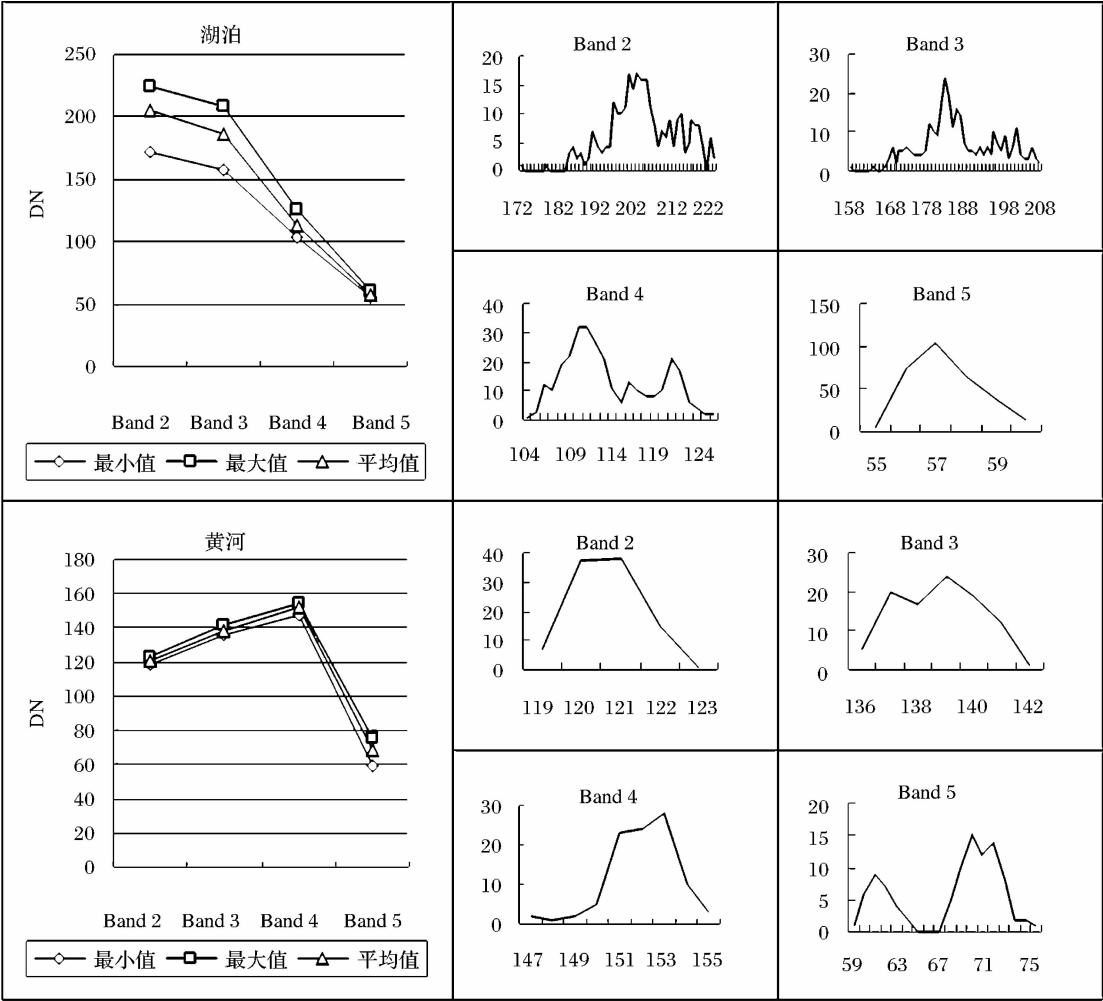


图 3 湖泊、黄河统计信息

Fig. 3 Statistical information of lakes and the Yellow River

观察图 5 和图 4, 可以看到在图 4 中并不明显的盐碱地在图 5 中十分明显, 其在内蒙古河套地区分布非常广泛, 尤以中部和西部地区的面积较大, 数量较多。而且, 在黄河南岸的作物耕作区和库布其沙漠边缘也有许多的盐碱地。

4 分类精度评价

4.1 评价方法

精度评价对于遥感分类是很重要的, 分类图像的精度直接影响到对分类数据进行研究的合理性以及实际运用的价值。最常用的精度评价方法是建立误差矩阵(也称混淆矩阵), 以此计算各种统计量, 得出各类别的精度指标。分类图像精度是指分类图像和一幅假设准确的图像(参考图)之间的吻合度<sup>[3]</sup>, 但在实际中要取得准确的图像是不现实的。因而, 大多时候都是利用建立真实地表感兴趣区与分类图进行对比, 即在分类图中有多少像元与建立的真实

地表感兴趣区吻合。

4.2 误差矩阵

表 3 是利用前面所选取的精度评价检验区作为真实地表感兴趣区, 然后生成的误差矩阵。

从表 3 可以看出, 总体分类精度 80.33 %。其中盐碱地分类精度 83.27 %, 漏分误差 16.73 %, 错分误差 4.49 %。

利用精度评价检验区建立误差矩阵进行精度评价有很大的局限性, 得出的精度指标主要是描述分类图中各类别有多少像元正确地归到各自的精度评价检验区内, 而对检验区以外的像元是否被正确分类没有进行统计。所以, 还应该利用其它采样方法(如简单随机采样、聚点或集群采样、分层采样等)进行实地采样验证, 最终得出总体和各类别的分类精度值。

总之, 精度评价是个复杂的过程, 因为要取得合理的精度评价数据是很困难的<sup>[3]</sup>。

表 3 误差矩阵表  
Table 3 Error matrix

		分类图像					
		盐碱地	沙丘	耕地	黄河	湖泊	未划分
真实地 表区	盐碱地	5275	237	11	0	0	1000
	沙丘	56	12072	35	0	0	1760
	耕地	4	111	2701	0	0	949
	黄河	0	0	0	351	0	154
	湖泊	0	0	0	0	3419	1516
	未划分	1000	1760	949	154	1516	
	总和	6335	14880	3696	505	4935	
总精度=(5275+12072+2701+351+3419)/29651=80.33%							
		制图精度(%)		漏分误差(%)		用户精度(%)	
盐碱地		5275/6335=83.27		16.73		5275/5523=95.51	
沙丘		12072/14880=85.13		14.87		12072/12163=99.25	
耕地		2701/3696=73.08		26.92		2701/2816=95.92	
黄河		351/505=69.5		30.50		351/351=100	
湖泊		3419/4935=69.28		30.72		3419/3419=100	

5 结 语

观察分类图像,可以看到河套地区的盐碱地分布很广泛。在实际中,大量的土地因盐碱而无法耕作或产量很低,一定程度上制约了灌区经济的快速发展。利用遥感的综合光谱信息虽然可以对盐碱地进行识别与分类,但分类精度往往不够理想,而且仅通过光谱特征对土地盐碱轻重程度进行定量分析是非常困难的。因地下水埋深和矿化度与盐碱化程度有着明显的相关关系<sup>[8~9]</sup>,所以应结合灌区地下水位、地下水矿化度,通过实地考察和经验判断并结合实验室化验数据,将土地盐碱化按轻重程度的不同分为几个等级进行划分,在此基础上绘制地下水位和矿化度与盐碱化程度的关系图表,并进行数字化,然后将其作为地学数据与遥感数据进行融合处理,从而做到对土地盐碱化进行定量分析、提高分类精度,使分类结果更具说服力与利用价值。

在此基础上,搜集不同年度地下水埋深和矿化度资料与遥感影像数据进行研究分析,从而深入探索、研究、总结河套灌区土地盐碱化的变化规律,进而达到一定的预测能力,为灌区的持续发展服务。此外,对其它方面的研究,如盐碱地改良、土地利用普查、盐碱化对灌区生态环境的影响等都有一定的意义。

参考文献:

[1] Kang Q, Yu R, Zhang Z X, *et al.* Speedy Remote Sensing Aased on the Statistics of Salinization[J]. Remote Sensing Informa-

tion, 2005, 6: 42-45. [亢庆, 于嵘, 张增祥, 等. 基于多源数据的土地盐碱化遥感快速监测[J]. 遥感信息, 2005, 6: 42-45.]

[2] Kang Q, Yu R, Zhang Z X, *et al.* The Progress of the Application of Remote Sensing on Salinization[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(4): 447-454. [亢庆, 于嵘, 张增祥, 等. 土地盐碱化遥感应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 447-454.]

[3] Zhao Y S. Remote Sensing Application Analysis Principle and Method[M]. Beijing: Science Press, 2006. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.]

[4] Mougenot B, Pouget M, Epema G. Remote Sensing of Salt-affected Soils[J]. Remote Sensing Reviews, 1993, 7: 241-259.

[5] Metternicht G I, Zink J A. Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85: 1-20.

[6] Li X J, Gong Z N, Liu X M, *et al.* Translation . ENVI Remote Sensing Image Process Course [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007. [李晓娟, 宫兆宁, 刘晓萌, 等, 编译. ENVI 遥感影像处理教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.]

[7] Li S H, Wang J L, Chen Y. Approach Discussion on the Classification of TM[J]. Remote Sensing Information, 2006, 3: 40-43. [李石华, 王金亮, 陈姚. 独龙江流域 TM 图像的分区分类方法探讨[J]. 遥感信息, 2006, 3: 40-43.]

[8] Peng W L. Quantification of Salinization and GIS Experiment [J]. Journal of the Remote Sensing, 1997, 3: 237-240. [彭望球. 土地盐碱化量化的遥感与 GIS 实验[J]. 遥感学报, 1997, 3: 237-240.]

[9] Luo Y X, Chen H W. Image of Salinization Classification Supported by GIS [J]. Remote Sensing Information, 2001, 4: 12-15. [骆玉霞, 陈焕伟. GIS 支持下的 TM 图像土地盐碱化分级[J]. 遥感信息, 2001, 4: 12-15.]

## Supervising the Salted Land Distribution of Hetao Irrigation Area in Inner Mongolia by Using Remote Sensing

AN Yong-qing<sup>1</sup>, QU Yong-hua<sup>2</sup>, GAO Hong-yong<sup>1</sup>, DUAN Xiao-liang<sup>1</sup>,  
WU Jing-wei<sup>3</sup>, CHEN Ai-ping<sup>1</sup>

(1. *Yichang Irrigation District Beaurocracy, Inner Mongolia Hetao Irrigation Area, Wuyuan 015100, China*; 2. *Beijing Normal University Geography and Remote Sensing Sciences College, Beijing 100875, China*; 3. *Water Resources and Hydropower Engineering Science, State Key Laboratory, Wuhan University, Wuhan 430072, China*)

**Abstract:** Land saltilization is a very important symbol of soil deterioration. It demands a lot of human efforts, materials and time to have an extensive study. While by remote sensing technology, the exact information about salted land distribution can be obtained in an efficient way at a low cost. After establishing a training sample, through the IRS-P6 saltelite photography, based on the pictures which are classified according to maximum likelihood, this essay analyzes the distribution of salted land in Hetao irrigation area of Inner Mongolia and gives an intensive evaluation.

**Key words:** Saltilization; Remote sensing; Classification