

引用格式:Hao Lina,Zhang Zhi,Zhang Cuifen. Information Extraction Method of the Salt Field in the Coastal Areas in Shouguang,Shandong[J]. Remote Sensing Technology and Application,2013,28(3):526-532. [郝利娜,张志,张翠芬. 山东省寿光市滨海地区盐田信息提取方法研究[J]. 遥感技术与应用,2013,28(3):526-532.]

山东省寿光市滨海地区盐田信息提取方法研究

郝利娜^{1,2}, 张志², 张翠芬^{1,3}

(1. 中国地质大学(武汉)信息工程学院,湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北 武汉 430074;

3. 山东女子学院信息技术学院,山东 济南 250000)

摘要:山东省寿光市滨海地区盐田水体因含盐度高,其光谱特征与海域水体及其他地物差异大,光谱特征显著;盐田系人为建造,排列整齐、几何特征明显,遥感影像上表现为纹理特征显著(棋盘状纹理、条纹状纹理),纹理指标可计算性强。首先采用缨帽变换方法增强光谱信息,采用定向滤波及灰度共生矩阵方法增强纹理信息;其次基于增强的光谱与纹理信息,采用以面向应用为目的感兴趣地物提取方法对研究区 TM 图像进行分类,将分类结果与仅依据纯光谱及仅依据纯纹理分类结果相对比,分类总体精度分别为 90.8985%、84.9102%和 60.4017%。结果表明:以面向应用为目的感兴趣地物提取方法分类精度最高。

关键词:盐田;光谱特征;纹理特征;缨帽变换;定向滤波;灰度共生矩阵

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)03-0526-07

1 引言

目前我国对盐田的规划管理多依靠时效性较差的土地利用现状图,不利于科学和高效的管理。遥感技术在土地利用现状调查、动态变化等方面的成功应用为盐田监测提供了新的技术手段。然而,在遥感图像信息提取时,由于不同地物的光谱、纹理特征差异较大,力图同时提高所有地物分类精度非常困难。本文在对研究区盐田信息特征深入分析的基础上,提出了以面向应用为目的感兴趣地物提取方法,即通过针对盐田信息特征而采取缨帽变换、定向滤波和灰度共生矩阵等图像处理技术增强盐田光谱、纹理特征,并将纹理特征与光谱特征相结合来精准提取盐田信息,进而提高感兴趣地物分类精度,具有良好的实际应用效果。

2 研究区概况及数据

研究区选择山东省寿光市滨海盐田。该区域夏

季炎热、光照充足,冬季严寒、日照偏少,且降水集中的气候特征,适于海盐生产,因此是我国最主要的原盐产地之一,而且盐田类型齐全,是北方型盐场的典型代表。研究区海盐生产采取长期深度结晶的方式,即每年春季和秋季两季收盐,其余时间主要用于整治维修滩田和制卤保卤,提升卤水浓度,创造良好的结晶条件^[1]。研究区海盐生产过程包括蒸发、制卤和结晶等。在遥感影像上相应地可区分出蒸发池、结晶池、结晶盐和收获后滩田等。

本研究采用的遥感影像数据为 2004 年 9 月 18 日成像的美国陆地卫星(Landsat)TM 数据,轨道号为 121/34,地面分辨率为 30 m。在进行盐田信息提取前,首先以 1:10 万地形图数据为底图,采用 2 次多项式对研究区数据进行几何纠正。

3 盐田信息增强方法

3.1 K-T 变换增强盐田光谱信息

海盐生产工艺流程中的关键步骤为制卤和结

收稿日期:2012-05-31;修订日期:2013-01-23

基金项目:山东省高等学校科技计划项目(J12LN42)、山东省信息化与工业化融合专项(2012EI070)联合资助。

作者简介:郝利娜(1982—),女,陕西渭南人,博士研究生,主要从事遥感地质及环境遥感研究。E-mail:madingludejin@163.com。

通讯作者:张志(1964—),男,湖北鄂州人,教授,博士生导师,主要从事遥感地质及陆表遥感研究。E-mail:zhangz6402@126.com。

晶,相应场所为蒸发池及结晶池。蒸发池中为逐日蒸发的卤水,当卤水浓度逐渐饱和时,便转入结晶池。结晶池中一般为饱和至过饱和卤水,会逐渐析出晶体盐并被捞出。海盐生产的各个阶段都有水的参与,不同之处在于卤水的浓度差异较大。因此可通过对 ETM+数据进行 K-T 变换(缨帽变换),利用 K-T 变换后对湿度敏感的第三分量即 Wetness 分量来增强盐田信息。K-T 变换是 Kauth 和 Thomas 根据 MSS 数据研究多光谱信息与自然景观要素特征间的关系而建立的一种特定变化^[2],是多维光谱空间中的一种线性变换,通过旋转光谱空间,使植被、土壤的光谱特征相分离,该变换过程信



图1 TM 原始图像

Fig. 1 The original TM image

图1为 TM 原始3波段影像,左边的植被区与右边的盐场区光谱差异较小,都呈现黑灰色,灰度值相近,无法区分植被与盐田;结晶池与收盐后滩田灰度值亦相近,无法区分。此外,TM 原始图像整体层次不够丰富,结晶池及其附近堆放的成品盐色调均呈现过饱和状态。图2为 K-T 变换后 Wetness 分量,经过光谱空间变换对盐田信息增强后,植被呈黑色,蒸发池呈灰白色,仅从灰度值的差异上便可把植被与盐田分开。其次,在图2中影像层次丰富,盐田结晶池几何形态清晰可见,收获成品盐后的滩田与结晶池光谱差异亦较为显著。

3.2 纹理信息增强及纹理分析

常规基于地物光谱特征的遥感影像信息提取方法无法有效区分“异物同谱、同物异谱”地物。如本研究中条纹状蒸发池与棋盘状蒸发池光谱特征相似,但是却隶属于不同的盐田所有人;收获原盐后的滩田与海滩光谱特征亦相似,土地利用类型却不同。为了更加精确监测盐田信息,需根据其功能等信息对其土地利用类型进行准确区分。应用遥感图像纹理信息增强及纹理分析技术,可有效解决这一问题。

息量损失极少。后来 Crist 等又将其移植于 TM 数据。K-T 变换后前3个分量均有明确的物理意义,分别为亮度分量、绿度分量和湿度分量。其中,湿度分量(Wetness)对水体信息最为敏感,因此选用 K-T 变换后的湿度分量,可有效区分盐田蒸发池、结晶池、结晶盐、植被、居民地和道路等地物。在 TM 数据下,Wetness 分量变换公式为:

$$\text{Wetness} = 0.1509(\text{TM1}) + 0.1973(\text{TM2}) + 0.3279(\text{TM3}) + 0.3406(\text{TM4}) - 0.7112(\text{TM5}) - 0.4572(\text{TM7}) \quad (1)$$

利用式(1)对研究区图像进行变换,图1和图2分别为变换前后盐田遥感影像图。

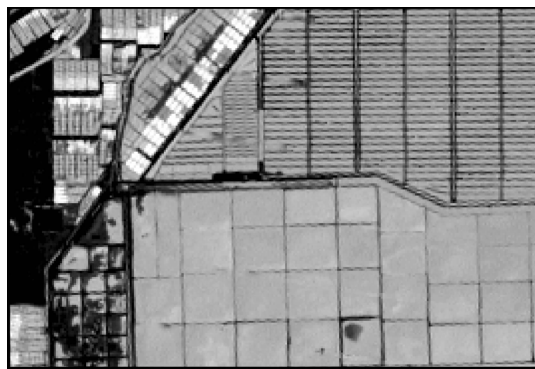


图2 K-T 变换后 Wetness 分量

Fig. 2 Wetness component after K-T transformation

纹理是通过色调或颜色变化而表现出的细纹或细小的图案,它揭示了图像中地物的结构信息及其与周围环境的关系^[3],能够更好地兼顾图像的宏观结构与微观结构,帮助抑制“异物同谱、同物异谱”现象的发生^[4],并能够用于分析、提取图像的细致信息。纹理信息在图像上表现为图像灰度在空间上的变化和重复,或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)及其排列规则^[5]。纹理是图像灰度值在空间上的一种分布或排列方式,是地物反射太阳辐射的一种映射,即波谱响应。地物在影像上的分布是通过不同灰度分布或灰度空间分布来表现的,它完全是地物实际分布情况的反映。影像上的每一个点都是地面上相应地物目标的反射波谱信号的反映,也就是波谱空间上一点的映射。这个映射由灰度值来表示,而目标地物的实际组合或排列就造成了相应的灰度空间上点的分布,形成一种分布模式,这种分布模式就是纹理,其本质就是目标地物分布在波谱空间中的表现形式^[6]。纹理分析则是通过某种图像处理技术增强或是弱化某些纹理特征,并通过一定的图像处理技术抽取纹理特征,从而获得纹理定量或定性描述

的处理过程^[7]。研究区盐场有上千年的晒盐历史，经过长期人类活动的改造，盐场几何特征显著，分布及排列规则^[8]，在遥感图像上表现为非自然的规则纹理，是进行纹理分析及纹理特征提取研究的最好素材。

3.2.1 定向滤波(Directional Convolution)

定向滤波属于空间滤波领域中的边缘增强方法之一。空间滤波是通过空间卷积的方法计算像元与其周围相邻像元关系的图像处理方法，其目的是保留和增强感兴趣地物的形态信息，去除或减弱其他干扰信息。而定向滤波则是通过特定的卷积模板来计算相邻像元的亮度变化率，即梯度值，并以梯度值

代替原始像元灰度值来增强图像的特定形态信息。如果图像中存在边缘，即灰度值迅速改变的区域时，梯度值较大，反之则较小。实际上，定向滤波是通过图像上地物不同区域的梯度值来反映地物的形态信息，从而达到增强所需信息的目的。

对于研究区的条纹状蒸发池，东西向的池坎虽不在水域范围内，但也属于蒸发池所占土地，且占用土地较少，因此本次研究把东西向的池坎划分为蒸发池。南北向池坎因与道路相连，占用土地较多，因此南北向道路及池坎不能划分为蒸发池。基于此目的，对研究区图像分别采用 0°、30°、90°的定向滤波算子进行滤波处理，得到图 3。

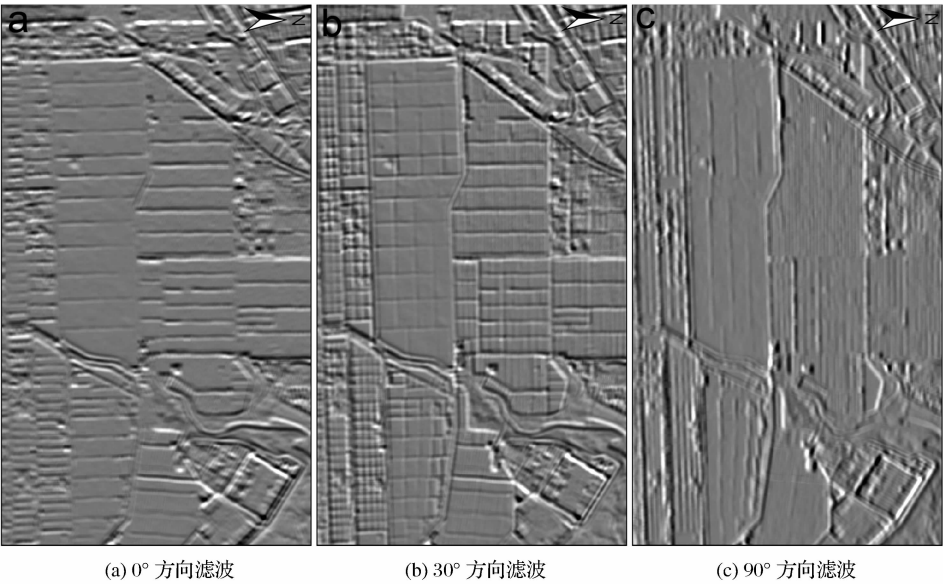


图 3 方向滤波图

Fig. 3 Directional convolution figures

图 3(a)滤波角度为 0°，南北向纹理得到最大增强，东西向纹理则极度弱化，以致图中东西向道路、边界等边缘信息无法识别。图 3(c)滤波角度为 90°，东西向纹理得到最大增强而南北向则极度弱化，图中南北向道路、边界等边缘信息无法识别。图 3(b)滤波角度为 30°，在较好保留南北向边缘信息及部分梯度值较大的东西向边缘信息的同时，弱化了条纹状蒸发地东西向边缘。因此本文选用滤波角度为 30°的方向滤波参与盐场信息的提取。

3.2.2 灰度共生矩阵(GLCM)

灰度共生矩阵是一种经典的基于统计学的纹理分析方法，它可以描述影像各像元灰度的空间分布和结构特征，在利用影像的纹理特征改善影像的地学目标分类效果方面具有优势^[7]。纹理是由灰度分布在空间位置上反复交替变化而形成的，因而在图

像空间中相隔某距离的两个像素间必定存在一定的灰度关系，称为图像中灰度的空间相关特性，通过研究灰度的空间相关性来描述纹理，这就是灰度共生矩阵的思想基础^[9]。1973 年，Haralick 等^[10]基于灰度共生矩阵提出了 14 种描述纹理的量化指标，其中用于遥感图像纹理信息提取有以下几种：均值(Mean)，反映图像整体的平均明暗程度；方差(Variance)，度量图像的信息量及层次感，方差越大，图像信息量越多，能量越大，层次感越强；同致性(Homogeneity)，度量影像的均调程度及纹理的局部变化量，其值大说明图像纹理的不同区域间缺少变化，局部均匀；对比度(Contrast)，反映图像纹理的清晰程度，其值越大，纹理的沟纹越深，图像的视觉效果也越好；异质性(Dissimilarity)，度量影像灰度值的不相似程度，其值对于灰度在空间中的排列

情形或是影像的色调都很敏感;熵(Entropy),度量图像所具有的纹理信息量,若图像没有任何纹理,则熵接近 0,反之则其值最大;角二阶矩(Angular Second Moment),反映图像灰度分布的均匀性,粗纹理的能量矩较大,细纹理的能量矩较小;相关(Correlation),度量灰度共生矩阵元素在行或列方向上的相似程度,可用来分辨两个物体是否在形状及其他特征上有相互关联性,进而利用其值确定地物特征及位置。

国外处理多波段影像纹理分析问题,一般采用波段选取方法,即看哪一个波段方差较大,以方差作为纹理是否丰富的标志^[6]。本研究在对原始 TM 影像 6 个(除热红外)波段灰度值进行统计基础上,选取方差最大的 5 波段来计算纹理特征。基于上述几种纹理量化指标提取图像纹理信息时,滑动窗口

大小的选择对分类结果有重要影响。本研究提取影像纹理指标旨在区分光谱特征相似而纹理特征相异的不同蒸发池,即棋盘状蒸发池及条纹状蒸发池,兼顾结晶池纹理特征。条纹状蒸发池宽度为 3~4 个像素,棋盘状蒸发池宽度为 22~23 个像素,结晶池宽度为 7~8 个像素。针对上述地物的不同尺寸,在多次实验的基础上选取 7×7 的滑动窗口计算纹理指标,得到了最好的效果。在上述 3 类地物中分别选取 10 个点来统计其纹理光谱特征,得到图 4 纹理特征图。

图 4 中,条纹状蒸发池、棋盘状蒸发池及结晶池在均值、方差、对比度、异质性及相关纹理特征波段上,纹理特征差异明显,具有较好的可区分性。因此选用均值、方差、对比度、异质性及相关纹理特征波段来提取盐场信息。

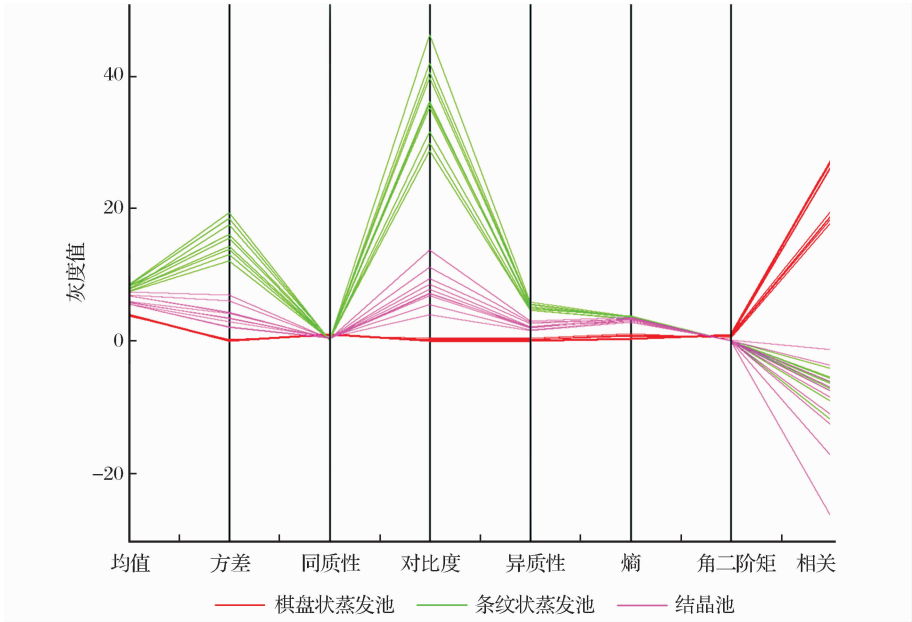


图 4 不同地物纹理特征图

Fig. 4 The texture feature map of different ground objects

4 结果与分析

4.1 图像分类及其结果

本研究采用基于向量机(SVM)的算法对研究区地物类型进行分类。支持向量机(SVM)是建立在统计学理论上的一种分类算法,与传统的基于统计学理论算法如最大似然算法相比具有良好的计算有效性、健壮性和统计稳定性等优点,被广泛应用于模式识别及分类领域^[11]。此外,Dixon 和 Candade^[12]采用 SVM 方法基于 TM 影像进行土地利用分类,并与神经网络分类方法及最大似然分类方法

进行比较,结果 SVM 取得了最高的分类精度。基于向量机分类的核函数选择径向基(RBF)核函数,因为径向基核函数均适用于低维、高维、小样本、大样本等情况,具有较宽的收敛域,是较为理想的分类依据函数^[13]。此外,Farid 等^[14-16]学者在其研究中同样证明了径向基核函数与其他核函数相比,在遥感分类中取得了最高的分类精度。

将 K-T 变换后的湿度分量、定向滤波后的特征波段、纹理特征波段(均值、方差、对比度、异质性及相关纹理)与原始 TM 图像组成多维遥感图像,基于此图像,采用 SVM 算法对其进行分类,得到基于

光谱与纹理相结合的分类结果图,见图 5。同时,采用 SVM 算法分别对原始 TM 图像、纯纹理特征波

段组成的图像进行分类,分别得到基于纯光谱的分类结果图和基于纯纹理的分类结果图,见图 5。

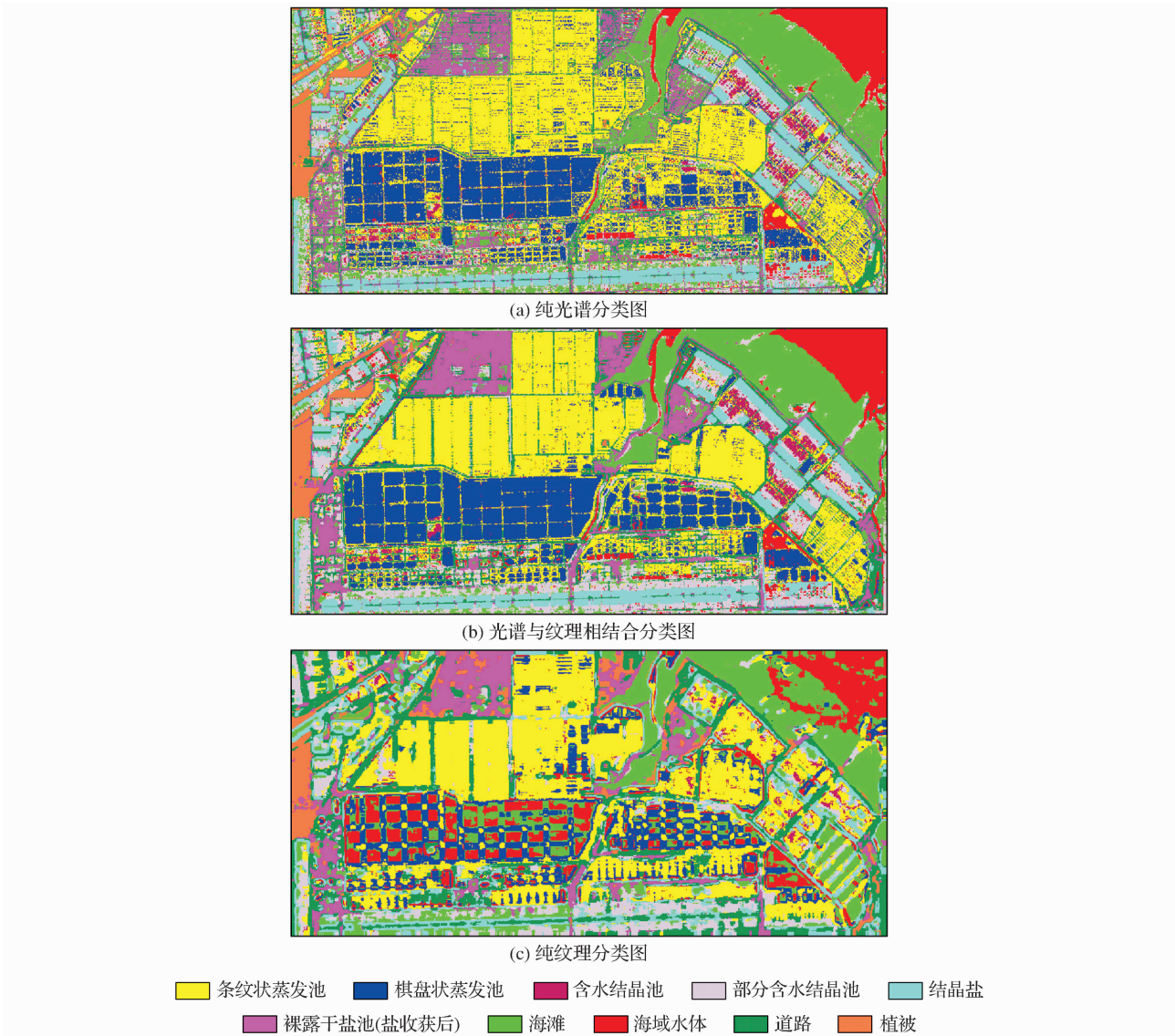


图 5 纯光谱、光谱与纹理结合及纯纹理分类结果图

Fig. 5 Classification results on spectra only and spectra combined with texture and texture only

在各分类结果中,基于纯光谱的分类图椒盐现象严重;此外,对于光谱相似而纹理差异较大的地物误分较严重,如条纹状蒸发池与棋盘状蒸发池、海滩与部分含水结晶池相混淆情况较严重。

基于纯纹理的分类结果最差,海域水体与棋盘状蒸发池、结晶盐与道路、海滩与条纹状蒸发池等都存在混分现象。

基于盐田信息增强后的光谱与纹理相结合的分类图能较好地区分同谱异物,条纹状蒸发池与棋盘状蒸发池可以基本区分开,同时,含水结晶池与部分含水结晶池分类结果也较为理想。总之,各地物分

类都取得了较为理想的结果。

4.2 精度评价

以 GPS 野外定点采样及高分辨率遥感影像目视解译为标准,对上述 3 种分类结果采用混淆矩阵进行精度验证,结果见表 1。

表 1 中,基于光谱与纹理结合分类精度最高,分类总体精度达到 90.8985%,Kappa 系数达到 0.8916;纯光谱分类精度次之,分类总体精度为 84.9102%,Kappa 系数为 0.8190;纯纹理分类结果最差,分类总体精度仅为 60.4017%,Kappa 系数仅为 0.5304。

表 1 不同分类方式分类精度对比图

Table 1 Comparison on classification accuracy in different ways

地物类型	纯光谱分类		光谱与纹理结合分类		纯纹理分类	
	生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
条纹状蒸发池	87.88	89.30	90.65	95.28	77.49	79.90
棋盘状蒸发池	86.71	81.16	95.63	88.98	30.73	62.15
含水结晶池	51.11	84.91	62.36	87.59	16.02	46.54
部分含水结晶池	41.68	64.29	73.29	75.52	50.10	57.21
结晶盐	98.85	99.47	99.04	99.75	40.19	69.90
裸露干盐池(盐收获后)	64.24	78.58	85.36	88.15	66.99	83.20
海滩	95.00	79.37	91.95	90.97	75.85	57.23
海域水体	96.66	95.38	97.72	95.81	75.69	33.94
道路	49.44	39.32	79.19	49.45	46.88	18.79
植被	98.55	99.71	98.57	99.77	61.88	58.89
Kappa 系数	0.82		0.90		0.53	
总体精度/%	84.91		90.90		60.40	

5 结 语

对于所有地物而言,基于光谱与纹理特征相结合的分类精度均高于纯光谱、纯纹理分类精度。对于“同物异谱”的地物而言,基于纯光谱分类一般将同种地物划分为不同的类型。如本研究中,对于棋盘状蒸发池,因卤水饱和度不同,其光谱会有一定的差异。基于纯光谱分类时,则出现不同类型。然而,对于盐田的规划管理或是土地的动态变化利用而言,不关注卤水饱和程度,只关注蒸发池和结晶池等用地类型的改变,因此需将所有的蒸发池分为一类。光谱与纹理相结合分类,最大可能地将同物异谱地物归为同一类别。图 5 中对于蒸发池,在基于纯光谱的分类中,部分被分为海域水体;对于收获后的滩田,则部分被分为海滩;在基于纯纹理的分类中,蒸发池与海水及海滩、收获后滩田与道路等混分现象更严重;在盐田信息增强后的光谱与纹理相结合分类结果中,蒸发池、结晶池和收获后滩田等地物都取得了较好的分类结果,混分现象有所减少。

针对感兴趣地物采取一定的图像增强技术进行信息增强处理后,该地物分类精度明显高于其他地物。本研究针对盐田进行信息增强后,盐田分类精度明显高于信息未增强的其他地物分类精度。此外,植被、海域水体和沙滩等不是本研究关注的重点,没有针对其特征进行信息增强处理,因而在各分类结果中,分类精度波动较小。

在力求提高地物分类精度时,不能过分追求同时提高所有地物分类精度,而是应该面向应用,以应

用为目的,提高感兴趣地物分类精度。此外,针对应用目的不同,分类精细程度也应有所不同。本研究关注点为盐田信息,因此,与盐田相关的则分类精细。按照盐田功能将其分为蒸发池、含水结晶池、部分含水结晶池、结晶原盐及收获盐后的滩田;对于与盐田无关的地物,则分类较粗,如植被(未细分植被类型及田块类型)、道路和海滩等,亦体现了面向应用的思想。

参考文献(References):

[1] Li Shusheng,Zhao Shufang,Zhou Xiuyun,*et al.* Environmental Analysis on Salt Field in Northern China,Changlu[J]. Tianjin Science& Technology,2011,(5):114-116.[李树生,赵淑芳,周秀云,等.中国北方长芦海盐区盐田环境现状分析[J].科学观察,2011,(5):114-116.]

[2] Peng Wanglu,Bai Zhenping,Liu Xiangnan,*et al.* Introduction to Remote Sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.[彭望录,白振平,刘湘南,等.遥感概论[M].北京:高等教育出版社,2002.]

[3] Chica-Olmo M,Arbarca-Hernandez F.Computing Geostatistical Image Texture for Remotely Sensed Data Classification[J].Computers & Geosciences,2000,26(4):373-383.

[4] Xu Jiandong,Luan Peng,Fan Xiaoying,*et al.* Analysis of Spectrum and Texture Information on Changbaishan Tianchi Volcano Caldera and Its Application[J]. Seismology and Geology,2009,31(4):607-616.[许建东,栾鹏,樊笑英,等.基于遥感影像光谱与纹理分析的地物分类——以长白山天池火山地区为例[J].地震地质,2009,31(4):607-616.]

[5] Ren Xianyi,Zhang Jialin,Chen Chaoyang,*et al.* Segmenting TextureImages Using Texture Spectrum Method [J]. Journal of Image and Graphics,1998,3(12):983-986.[任仙怡,张佳林,陈朝阳,等.基于纹理谱的纹理分割方法[J].中国图象图

- 形学报,1998,3(12):983-986.]
- [6] Shu Ning. Remote Sensing Image Texture Analysis and Fractal Assessment [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1998, 23(4): 370-373. [舒宁. 卫星遥感影像纹理分析与分形分维方法[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(4): 370-373.]
- [7] Jiang Qingxiang, Liu Huiping. Extracting TM Image Information Using Texture Analysis [J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(5): 458-464. [姜青香, 刘慧平. 利用纹理分析方法提取 TM 图像信息[J]. 遥感学报, 2004, 8(5): 458-464.]
- [8] Wang Huanping, Liu Yong. The Study on Classification of High Resolution Remote Sensing Image in Saline Area based on Window Fourier Transform Power Spectrum Analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 233-238. [王焕萍, 刘勇. 基于窗口傅立叶变换功率分析的盐田地区高分辨率遥感影像分割分类方法探讨[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 233-238.]
- [9] Gao Chengcheng, Hui Xiaowei. GLCM-based Texture Feature Extraction [J]. Computer Systems & Applications, 2010, 19(6): 195-198. [高程程, 惠晓威. 基于灰度共生矩阵的纹理特征提取[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6): 195-198.]
- [10] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural Features for Image Classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6): 610-621.
- [11] Cui Bingde. Remote Sensing Image Classification based on SVM Classifier [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(27): 189-191. [崔炳德. 支持向量机分类器遥感图像分类研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(27): 189-191.]
- [12] Dixon B, Candade N. Multispectral Landuse Classification Using Neural Networks and Support Vector Machines: One or the Other, or Both? [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(4): 1185-1206.
- [13] Li Panchi, Xu Shaohua. Support Vector Machine and Kernel Function Characteristic Analysis in Pattern Recognition[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(2): 302-304. [李盼池, 许少华. 支持向量机在模式识别中的核函数特性分析[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 302-304.]
- [14] Farid M, Lorenzo B. Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images with Support Vector Machines [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(8): 1778-1790.
- [15] Foody G M, Mather A. A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machines [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(12): 1335-1343.
- [16] Pal M, Mather P M. Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(10): 1007-1011.

Information Extraction Method of the Salt Field in the Coastal Areas in Shouguang, Shandong

Hao Lina^{1,2}, Zhang Zhi², Zhang Cuifen^{1,3}

(1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. Faculty of Information Technology, Shandong Women's University, Ji'nan 250000, China)

Abstract: Because of the high salinity, the spectral features of the salt field in the coastal areas in Shouguang of Shandong are greatly different from marine water bodies and other ground objects spectral features; the salt field is man-made, so, it has regular arrangement and significant geometric characteristics. In the remote sensing images, the above characteristics are shown as significant texture features (chessboard-like texture and stripe-like texture) and the texture indices have an excellent computability. In this paper, Firstly, using the tasseled cap transform to enhance spectral features of the salt field and using the directional convolution and the gray level co-occurrence matrix to enhance the texture features of the salt field. Secondly, based on the enhanced spectral and texture features, the TM image of the study area is classified by using the application-oriented interested ground objects extraction. The classification result is compared with the classification results based on spectrum only or texture only, the overall accuracy is respectively 90.8985%, 84.9102% and 60.4017%. The result indicates that the accuracy of the classification method proposed in this paper is the highest.

Key words: Salt field; Spectral features; Texture features; Tasseled cap transform; Directional convolution; Gray level co-occurrence matrix