

王志慧, 刘良云. 黑河中游绿洲灌溉区土地覆盖与种植结构空间格局遥感监测[J]. 地球科学进展, 2013, 28(8): 948-956. [Wang Zhihui, Liu Liangyun. Monitoring on land cover pattern and crops structure of Oasis irrigation area of middle reaches in Heihe River Basin using remote sensing data [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(8): 948-956.]

黑河中游绿洲灌溉区土地覆盖与 种植结构空间格局遥感监测^{*}

王志慧^{1,2}, 刘良云^{1*}

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:以高空间分辨率、高光谱分辨率 CASI 航空遥感数据作为采样带, 对黑河中游绿洲灌溉区土地覆盖和农作物种植结构空间格局进行遥感监测。设计了分层分类方法, 综合采用基于像素和基于对象的 2 种遥感图像分类方法对航空样带区域进行土地覆盖制图。根据实地土地覆盖类型调查与目视解译, 对样带土地覆盖和农作物种植结构的分类结果进行精度评价, 总体分类精度为 84.2%, Kappa 系数为 0.793。与样带区域 2007 年 Landsat TM/ETM+ 土地覆盖产品相比, 高分辨率 CASI 航空数据能够对树木、草地与农作物类别进行有效监测。监测结果表明, 中游绿洲灌溉区内接近 59.1% 的地区为裸地与建筑用地; 植被覆盖区域占 39.8%, 其中, 农田 34.9%, 树木 5.3%, 草地仅有 0.1%; 而在农田区域中玉米为大宗作物, 分类成数占 96.1%。研究结果表明高质量与高分辨率的航空遥感数据能够实现对流域下垫面异质性进行有效监测, 为生态—水文过程研究提供高分辨率的下垫面类型信息。

关 键 词:航空样带; 遥感; 高光谱; CASI; 分类

中图分类号: P96; TP79

文献标志码: A

文章编号: 1001-8166(2013)08-0948-09

土地覆盖是影响和连结人类与自然环境的一个基本要素。土地覆盖变化可以通过影响生态系统而引起全球变化, 它对环境的影响至少与气候变化引起的影 响程度一样^[1]。另外, 在生物地球化学循环、水文过程和地表与大气交互过程中, 土地覆盖是一个决定陆地生态系统功能的关键生物物理参数, 也是土地利用和土地管理决策必须考虑的关键要素之一^[2]。同时, 精确的地表覆盖信息能够有效提高生态、水文模型对于异质性区域的估算精度。

传统方法是通过人工测绘的方式来得到土地覆盖分布信息的, 该方法需要消耗大量的时间及人力物力。目前, 遥感技术因其高时空分辨率、覆盖范围广和低成本等优点被广泛应用于对地观测活动中, 为在大区域尺度上掌握土地覆盖空间格局提供了新的技术手段。利用遥感数据获取土地覆盖信息主要

是在结合地面调查基础上, 通过目视解译或计算机自动分类 2 种途径实现。国内外学者已经开发出了针对不同分辨率遥感数据的自动分类算法, 这些方法可归结为基于像素的分类与基于对象的分类方法两大类。大尺度区域或全球土地覆盖/土地利用制图中, 主要以基于像素的分类方法为主导, 如刘勇洪等^[3]利用 MODIS 数据结合 2 种决策树算法对中国华北地区进行了土地覆盖分类研究; Friedl 等^[4]利用基于 MODIS 产品提取的 135 个特征波段对全球区域进行土地覆盖分类制图; Sulla-Menashe 等^[5]采用分层分类策略对欧洲北部地区进行分类制图研究, 精度得到较大提高。而对于高空间分辨率卫星影像或航空影像多采用基于对象的分类方法对其进行分类制图, 如 Al-Kofahi 等^[6]基于 0.15 m 分辨率航空影像, 采用基于对象的监督分类方法对美国新

* 收稿日期: 2013-05-07; 修回日期: 2013-07-15.

* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目“黑河流域生态—水文过程综合遥感观测试验: 航空光学遥感”(编号: 91125003)资助。

作者简介: 王志慧(1985-), 男, 山西太原人, 博士研究生, 主要从事地表覆盖与地表参量遥感反演研究。E-mail: wangzhihui@ceode.ac.cn

* 通讯作者: 刘良云(1975-), 男, 湖南邵阳人, 研究员, 主要从事植被生态定量遥感研究。E-mail: lyliu@ceode.ac.cn

墨西哥州最大城市进行城市住宅景观分类; Lucas 等^[7]利用 CASI 和 HyMap 高分辨率航空影像数据对澳大利亚昆士兰林区进行森林树种识别研究; Cleve 等^[8]利用高分辨率航空影像对美国加利福尼亚州北部城乡结合部进行土地覆盖制图, 比较了基于像素与基于对象的分类方法, 结果显示基于对象的分类在建筑用地区域比基于像素分类精度高 41.73%。

对较大区域的土地覆盖调查, 尤其是对于农作物空间格局监测多采用遥感技术与抽样技术相结合的方式, 这不但能够解决全覆盖方式的影像获取困难与资金节约, 而且还可以用抽样技术进行质量控制与误差分析^[9]。抽样技术在全球性大型农业调查项目中得到了广泛应用, 如美国大面积农作物估产计划 (Large Area Crop Inventory Experiment, LA-CIE) 与农业和资源空间遥感调查计划 (Agriculture and Resource Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing, AGRISTARS) 等使用了面积抽样框架^[9]。中国科学院吴炳方等开发的 GVG 农情采样系统是以样条作为采样框架, 调查作物区内每种作物类型的分类成数^[10]。

本文利用黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合试验 (HIWATER)^[11] 提供的 2 条航空样带数据对黑河绿洲灌溉区土地覆盖/土地利用 (包括植被类型, 农作物类型) 的空间格局分布进行抽样监测。

1 研究区与数据源

1.1 研究区介绍

黑河流域是我国西北干旱区第二大内陆河流

域, 发源于祁连山区, 流经青海、甘肃和内蒙古 3 个省区。黑河中游位于 97°20′ ~ 102°12′ E, 38°08′ ~ 39°57′ N, 在河西走廊中部, 莺落峡至正义峡之间, 流经甘肃山丹、民乐、张掖甘州区、临泽、高台、肃南等区县, 该区域属于典型的温带大陆性气候, 降水量小, 而蒸发量很大, 年均气温 7.6℃, 年均降水量 113.8 mm, 主要集中在 5 ~ 9 月, 占全年降水量的 70% ~ 80%。光热资源丰富, 日照时间长达 3 000 ~ 4 000 h^[12]。这里有整个黑河流域最好的绿洲, 主要以人工种植的各种农作物和防护林为主, 属于灌溉农业, 且内部空间异质性较大; 荒漠区主要以沙地和裸岩石砾地为主, 其具有较高的均质性。由于这些地区具有相似的水文、气候、地形条件, 土地覆盖类型也较为一致, 这为抽样调查该区域土地覆盖空间格局创造了条件。

1.2 数据源

1.2.1 CASI 航空样带数据

本文使用的高分辨率、高光谱航空样带遥感数据来自于黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合试验 (HIWATER), 该航空飞行试验选用加拿大 ITRES 公司的便携式航空光谱成像仪 CASI 1500, 飞行时间为 2012 年 6 月 29 日, 此次获取的数据共有 48 个通道, 其空间分辨率为 1 m, 光谱分辨率为 7.2 nm, 谱波段覆盖范围为 382.5 ~ 1 055 nm。2 条航空样带 (图 1) 跨越了张掖甘州区与临泽县的绿洲灌溉区, 覆盖面积分别为 70 km×1.4 km 和 85.6 km×1.4 km, 飞行区域内土地覆盖类型包括森林、草地、

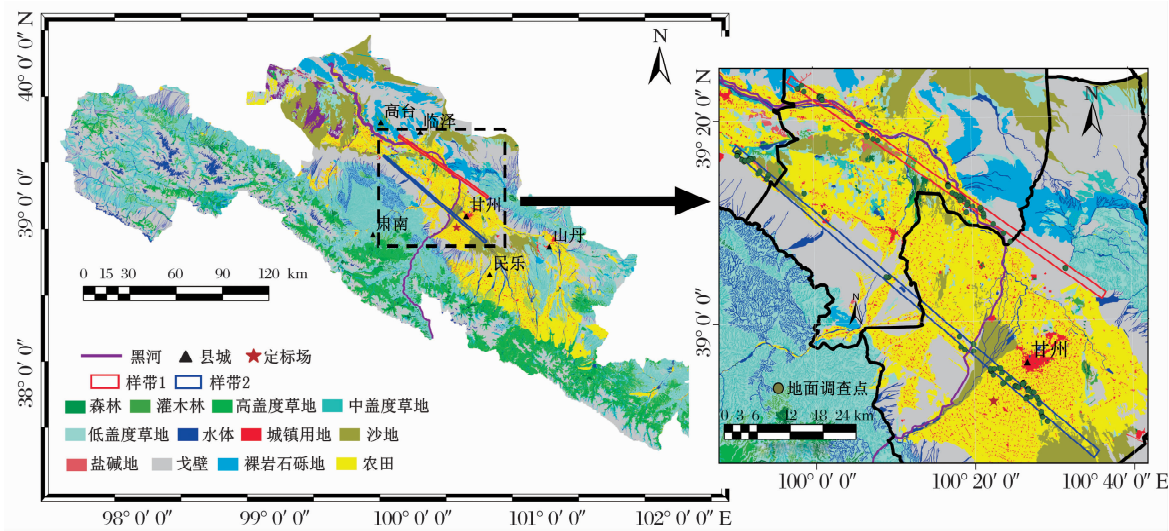


图 1 黑河中游航空样带与地面调查点位置

Fig. 1 The location of aerial transects and ground survey sites in the middle reaches of Heihe River Basin

农田、戈壁、水体,呈现出荒漠戈壁与人工绿洲交替分布格局,这正是中游绿洲灌区的典型土地覆盖分布特征,同时说明了航空样带对于这一区域具有一定的代表性。

1.2.2 参考数据

(1) 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所提供的 2007 年张掖 1 : 100 000 土地利用/土地覆盖数据集,该套空间数据是基于 2007 年前后的 Landsat TM 和 ETM+遥感数据,通过对图像光谱、纹理、色调等的认识结合地形图人工目视解译而成。共包括耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地等 6 个一级土地利用类别和 25 个二级类别。

(2) 为了能够为样带区域的遥感自动分类提供精确的地面先验知识参考,在 2012 年 7 月上旬对样带区域范围进行了土地覆盖类型精细调查,包括各种农作物类型,139 个地面调查点的 GPS 位置在图 1 中所示。

1.2.3 航空数据预处理

为了能够更真实地反映出地面不同土地覆盖类型的光谱特征差异,我们对 CASI 原始数据进行了辐射定标、大气校正、几何纠正。首先根据 HIWATER 提供的场地定标实测光谱数据与相应的 CE-318 大气参数数据,计算 CASI 定标系数,得到传感器入瞳辐亮度;再利用 FLAASH 大气校正模型对辐亮度进行地表反射率反演;最后结合机载 POS 数据与张掖地区 DEM 数据,利用加拿大 ITRES 公司自行开发的航空数据预处理软件 ProcManager 对反射率数据进行几何纠正,纠正后的数据为 UTM 投影(N 47),参考椭球为 WGS-84 椭球。

图 2 为玉米冠层和水泥地的 FLAASH 模型校正后反射率曲线与重采样后的 ASD 测量反射率曲线的比较,可以看出 FLAASH 模型反演出的反射率十分相近 ASD 实测反射率曲线,(a)和(b)光谱曲线所有波段的平均相对误差分别为 8.8%和 3.9%,平均绝对误差分别为 1.1%和 0.8%。

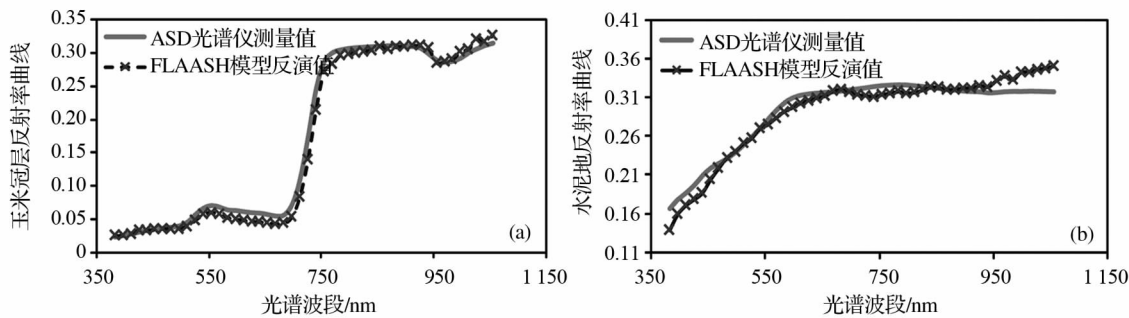


图 2 玉米冠层(a)和水泥地(b)的 FLAASH 模型反演反射率光谱与 ASD 测量结果对比

Fig. 2 Surface reflectance spectrum retrieved from using the FLAASH model and ASD field-measured spectrum resampled to the spectral configuration as CASI of “pure” corn canopy (a) and concrete (b)

2 土地覆盖空间格局遥感监测

2.1 基于 CASI 地表反射率数据的自动分类

本文利用计算机自动分类方法对航空样带进行土地覆盖制图。根据实地土地覆盖类型分布调查以及不同地物在 CASI 影像中的光谱特征,采用的分类体系为:树木(乔木、灌木)、草地、裸地+建筑用地、不同农作物(玉米、土豆、白菜、洋葱、辣椒、韭菜)、水体,并设计了一种分层结构体系对影像进行逐层次分类(图 3)。同时基于地面调查结果与目视解译,在航空影像上选取了具有不同土地覆盖类型的 50 008 个样本像素,并将样本点按照 6 : 4 的比例随机分为了训练点与验证点。

(1) 首先通过计算阴影与非阴影样本在 CASI 各波段下的均值间标准化距离,发现 554 nm 波段对于这 2 类的可分离性最大,根据 2 类样本在 554 nm 反射率数据的直方图分布,经过反复试验将 554 nm 反射率 ≤ 0.027 的像元定义为阴影。

(2) 综合考虑植被、裸地+建筑用地、水体在红光(683 nm)与近红外(769 nm)波段的反射率特征,可利用近红外与红光波段反射率的比值所构成的比值植被指数(Ratio Vegetation Index, RVI)将它们区分开来,根据 3 种类别的样本在阴影与非阴影区域内 RVI 影像的直方图分布,经过反复试验确定了区分这 3 种类型的阈值(图 3)。

(3) 将以上步骤中提取的植被部分进行区域分

割,并根据草地、不同形态的树木以及农田类别在 CASI 影像中的光谱、空间特征,经过反复试验选取敏感特征与对象阈值进行逐一分离。其中,RVI 平均值 ≤ 2.0 ,面积 $>20\text{ m}^2$ 可提取草地;对于荒漠中冠层较小的零星灌木可利用面积 $\leq 20\text{ m}^2$ 进行提取;对于具有不同生长状态、空间连续分布的树林可利用面积 $>20\text{ m}^2$,554 nm 反射率方差 >0.025 进行提取;对于具有一定几何形状的树林(如绿化带)可利用周长/面积 >0.38 进行提取;对于与农田混合的防护林可利用 554 nm 反射率 <0.041 提取部分防护林,再利用 3×3 窗口对错分的农田像素进行滤波处理;剩余区域则为农田。

(4) 对于不同农作物的分类,先基于 769,683,554 nm 3 波段合成假彩色图像,采用均值漂移 (meanshift)分割算法^[16]对农田区域进行分割,在假彩色图像中具有不同颜色特征的地块可以被分割出来,并将其确定为农作物地块边界。再利用基于像素的 C5.0 机器学习规则分类器^[17]对农田区域进行

分类,统计每个地块内部不同农作物像素的比例,将比例最大的农作物类别定义为该地块的类型,通过多次实验将农田区域分为了玉米、土豆、白菜、洋葱、辣椒、韭菜。其中玉米地类中仍然包括多种其他农作物类型,但由于样本点有限和农作物间光谱高相似性,难以自动提取更多农作物类型。图 4 为逐一提取出的所有类别合并后的分类结果。

2.2 分类结果精度验证

将样本数据中的验证点与 CASI 土地覆盖分类图进行比较,建立误差矩阵对分类结果进行评价(表 1)。从误差矩阵计算结果可知,分类图总体分类精度为 84.2%,Kappa 系数为 0.793。其中,非植被区(裸地+建筑用地、水体)的生产者精度与用户精度均接近 100%。树木类别中较多像素被错分为农田,说明分类图并没有将树木完全提取出来,存在一定的误差。各种农作物类别的分类精度均较低,这是由于不同农作物之间的相似光谱特征导致,而且其他农作物类型均与玉米存在混分现象。从表 1

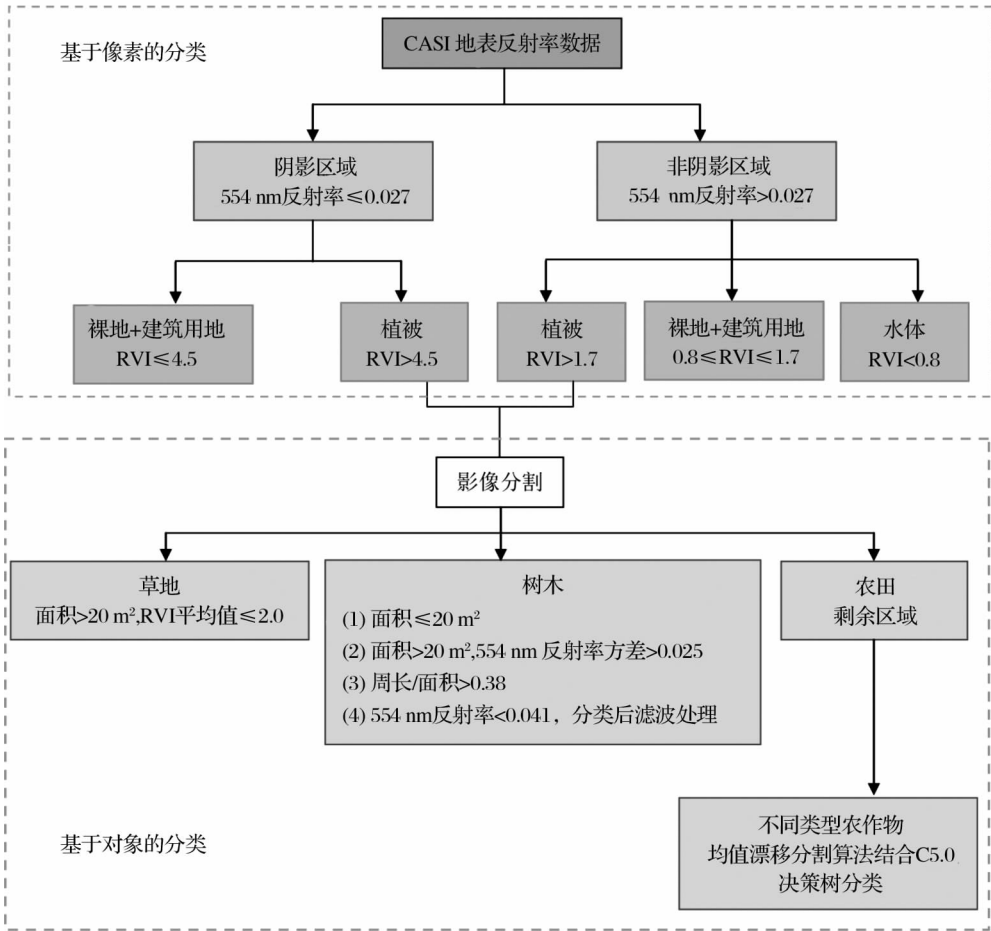


图 3 黑河中游航空样带区域分层分类体系与提取规则

Fig. 3 Hierarchical classification structure and rules within aerial flight transects region in Heihe River Basin

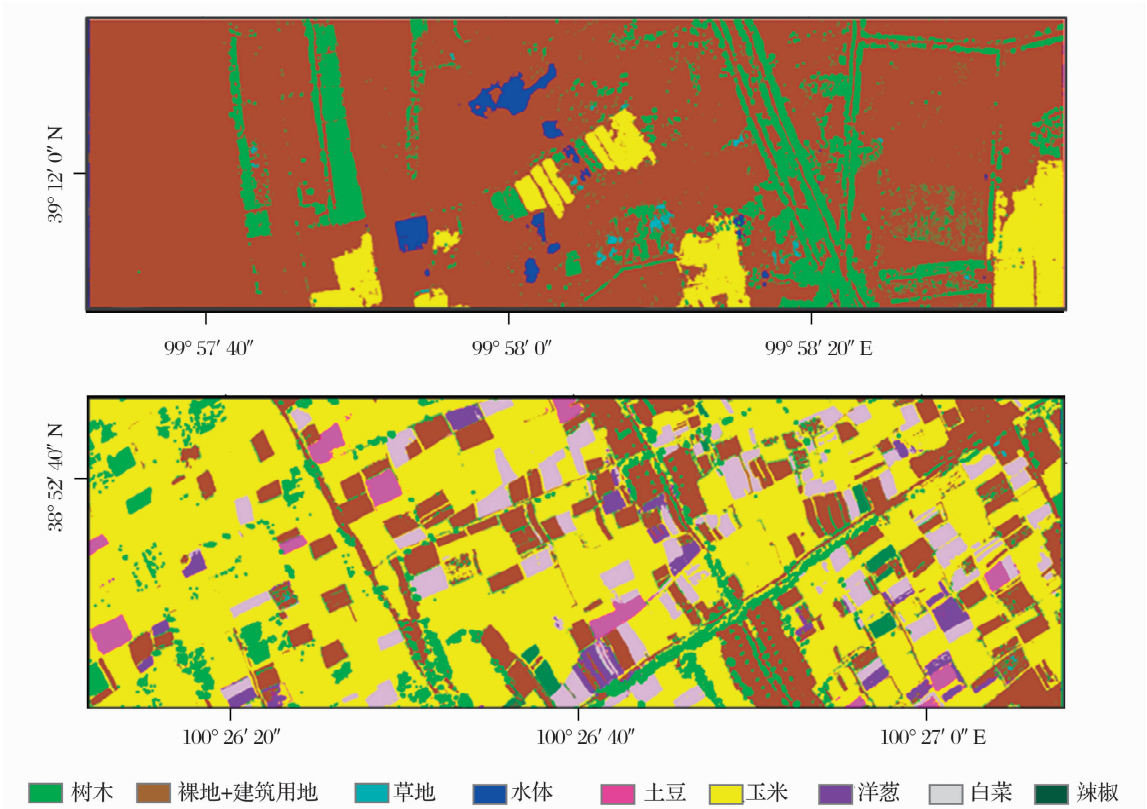


图 4 CASI 航空样带土地覆盖分类图

Fig. 4 Land cover classification map derived from CASI aerial data

(a) 临泽县农田荒漠过渡带; (b) 甘州区盈科灌区某处

(a) Transition zone between cropland and desert in Linze; (b) Somewhere in Yinke irrigated area in Ganzhou

中可以看出,若将所有农作物都作为农田类别,其生产者精度达到 90.8%,用户精度为 85.8%,5 种类别的总体分类精度为 91.6%。

2.3 土地覆盖与种植结构空间格局分析

按照 CASI 土地覆盖分类结果图例(树木、草地、农田、裸地+建筑用地、水体),将 2007 年张掖地区 Landsat 土地覆盖/土地利用产品重新编码,再分别统计中游绿洲灌溉区(临泽、甘州)与航空样带内土地覆盖类型所占比例(图 5),对比发现灌溉区内的土地覆盖类型均出现在航空样带中,且各土地覆盖类型在采样样带与整体区域中所占比例接近,说明 CASI 航空样带可以在一定程度上代表绿洲灌溉区内的土地覆盖分布情况。

计算 2 条航空样带的不同土地覆盖类型比例,即某一土地覆盖类型在 2 条样带中的像素总和除以 2 条样带的总像素。图 6 为样带内部不同土地覆盖类型在 CASI 分类结果(1 m)与 Landsat 土地覆盖产品(30 m)中所占比例比较,从图中可以看出,由于不同观测尺度导致土地覆盖类型在 2 种分类结果中

所占比例均有偏差,其中裸地+建筑用地、水体、农田类别在 2 个不同尺度分类图中的空间格局分布相对偏差较小,而树木与草地类别的相对偏差较大。其中,裸地+建筑用地所占比例最大,从地面调查与目视解译可以得知,建筑用地(房屋、道路)只占极少部分,所以黑河绿洲灌区内接近 60% 区域为戈壁、荒漠地带。在植被覆盖区域中,农田占据比重最大,达到 34.1%。由于不同观测尺度,30 m 分辨率 Landsat TM/ETM+影像难以分辨与农田混合的防护林或荒漠中的灌木林,而高分辨率 CASI 航空影像可以对这部分树林进行有效监测,经统计树林(包括人工林与灌木)占据 5.3%;在草地类别中,2007 年 Landsat 土地覆盖产品将荒漠中生长的小灌木(如沙拐枣, *Calligonum mongolicum*)分为了低盖度草地,而对于 CASI 影像由于计算机自动分类难以识别这类小型灌木植被,其均被分为荒漠裸地,从而导致草地在 2 种分类结果中的差异较大。但在样带区域中 2007 年 Landsat 土地覆盖产品无高盖度草地,且中盖度草地仅占 0.3%,这与 CASI 识别的

表 1 CASI 分类结果误差矩阵

Table 1 The error matrix of CASI classification result

分类		验证参考数据										用户精度 /%		
		树木	草地	农田						裸地+ 建筑用地	水体			
				玉米	土豆	白菜	洋葱	辣椒	韭菜					
CASI 土地 覆盖 分类 图	树木	2 768	20	239	52	0	0	0	0	9	0	89.6		
	草地	0	652	0	0	0	0	0	0	0	0	100		
	农田	玉米	698	71	1 888	162	171	138	147	223	0	0	53.9	85.8
		土豆	0	0	245	509	0	0	0	0	0	0	67.5	
		白菜	68	0	167	0	390	0	134	0	0	0	51.3	
		洋葱	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	100	
		辣椒	0	0	0	0	0	0	374	0	0	0	100	
	韭菜	32	0	87	0	0	0	0	0	259	0	0	68.5	
	裸地+建筑用地	21	223	198	0	0	0	38	0	8 150	0	94.4		
	水体	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 510	100		
生产者精度 /%		77.1	67.5	66.8	70.4	69.5	72.2	53.9	53.7	99.8	100			
90.8														

注:总体分类精度 = 84.2% ;Kappa coefficient =0.793

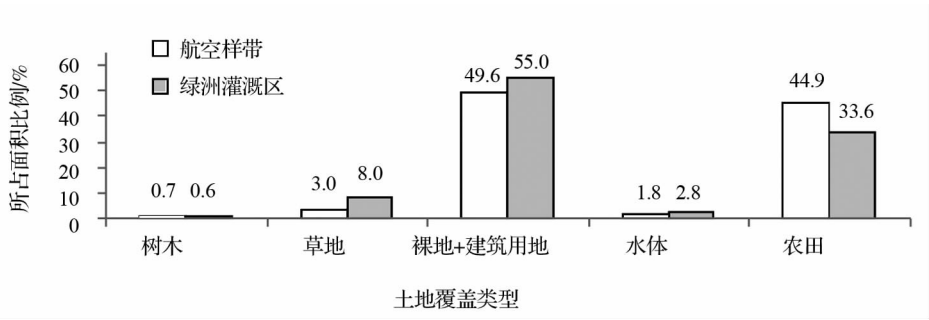


图 5 不同土地覆盖类型在样带与绿洲灌溉区所占面积比例

Fig.5 Surface percentage of different land cover classes within aerial flight transects and oasis irrigation area

0.1%的草地面积较为接近。经过实地调查与目视解译,绿洲灌溉区内只有极少量的草地存在。对于农田区域计算各农作物的分类成数,即不同农作物像元个数分别除以农田像元总数。从作物分类成数(图 7)可以看出,黑河中游灌溉区的大宗作物为玉米,占 96.1%。其余蔬菜作物分类成数由高到低依次是土豆、白菜、辣椒、洋葱、韭菜。

通过结合地面调查资料与 2 条航空样带分类结果,中游灌溉区景观格局分布主要有以下特征:①黑河由南向北穿过甘州,在黑河东南方向分布大量灌溉农田,绿洲灌区内部主要分布着玉米、土豆、白菜等农作物以及农田防护林,但沿西北方向呈现出荒漠戈壁与植被交替分布的景观,临泽南部荒漠沙地中主要分布着离散小灌木(如泡泡刺, *Zygophyllaceae*),在农田与荒漠过渡地带存在有部分草地与灌木、人工林(图 4a);②沿黑河西北方向河道两岸以人工植被居多,主要为农田与人工林,自然植被较少主要包括红柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb)、草地、

芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud),甘州北部地区由于地势较高呈现出地表均一的冲积扇与戈壁景观;③各种蔬菜作物主要分布在甘州盈科灌区内部(图 4b)。

3 结 论

本文以高空间分辨率、高光谱分辨率 CASI 航空遥感数据作为采样样带,对黑河中游绿洲灌溉区土地覆盖与农作物种植结构空间格局进行遥感监测。设计了分层分类方法,采用基于像素和基于对象的 2 种遥感图像分类方法,实现了样带区域的航空影像土地覆盖制图。通过建立误差矩阵对分类图进行精度评价,总体分类精度为 84.2%,可信度较高,但树木不能完全提取出来,存在一定的误差。对于不同农作物类型由于不能完全依靠目视解译识别,且不同农作物在 CASI 航空影像中具有高相似的光谱特征,所以农作物提取精度较低。

基于航空样带遥感分类结果可知,中游灌溉区

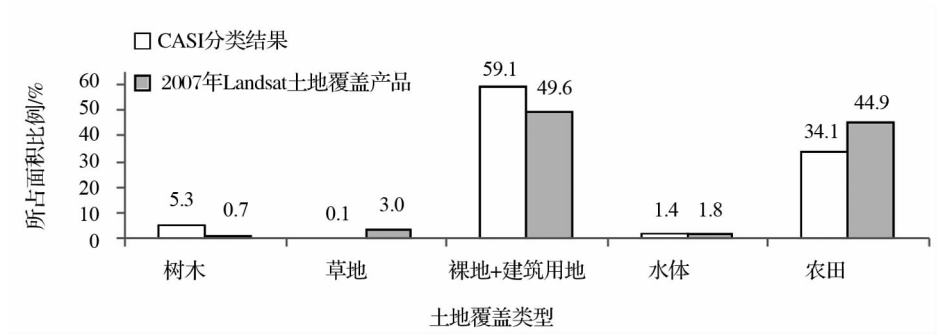


图 6 不同尺度分类结果的土地覆盖类型在样带中所占面积比例

Fig. 6 Surface percentage of different land cover classes of two land cover products at different scales within aerial flight transects

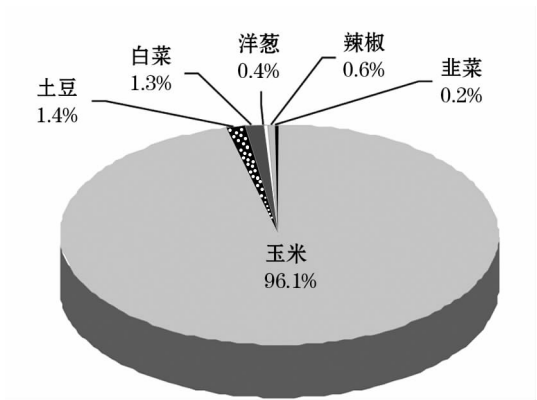


图 7 不同农作物的分类成数

Fig. 7 Various crop type proportion within cropland area

内接近 59.1% 地区为裸地与建筑用地;植被覆盖区域占据 39.8%, 其中人工植被占绝大多数, 自然植被只包括少量在河道两旁与荒漠中分布的灌木与草地;在农田区域中, 玉米为大宗作物, 占据 96.1%, 各种主要蔬菜农作物(土豆、白菜、洋葱、辣椒、韭菜)分类成数分别为 1.4%, 1.3%, 0.4%, 0.6%, 0.2%。通过比较土地覆盖类型在 CASI 分类结果与 2007 年 Landsat 土地覆盖产品中的空间格局分布, CASI 的高分辨率优势可以对农田防护林、绿化带以及灌木和不同农作物进行有效监测。通过空间格局分析证明, 高质量与高分辨率航空遥感数据能够有效监测流域下垫面异质性, 为黑河流域生态—水文过程研究提供高分辨率的下垫面类型信息。

对于该研究需要注意以下几点:①需要检验航空样带对于监测区域的代表性;②不同生长状态的同类植被易与其他类型混分, 需要计算机自动分类与目视解译相互补充;③可以结合多种遥感数据协同分类, 提高流域下垫面空间异质性监测精度。

参考文献 (References):

[1] Chu Duo, Basanta Shrestha, Wang Wei, *et al.* Land cover mapping in the Tibet Plateau using MODIS imagery[J]. *Resources Science*, 2010, 32(11): 2152-2159. [刘多, Basanta Shrestha, 王伟, 等. 基于 MODIS 的青藏高原土地覆盖分类研究[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2152-2159.]

[2] Liu Qingfeng, Liu Jiping, Song Kaishan. Land cover classification based on MODIS/NDVI times series data[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2010, 27(2): 163-169. [刘庆凤, 刘吉平, 宋开山. 基于 MODIS/NDVI 时序数据的土地覆盖分类[J]. 中国科学院研究生院学报, 2010, 27(2): 163-169.]

[3] Liu Yonghong, Niu Zheng. Regional land cover image classification and accuracy evaluation using MODIS data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2004, 19(4): 217-224. [刘勇洪, 牛铮. 基于 MODIS 遥感数据的宏观土地覆盖特征分类方法与精度分析研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(4): 217-224.]

[4] Friedl M A, Sulla-Menashe D, Tan B, *et al.* MODIS collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(1): 168-182.

[5] Sulla-Menashe D, Friedl M A, Krankina O N, *et al.* Hierarchical mapping of Northern Eurasian land cover using MODIS data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(2): 392-403.

[6] Al-Kofahi S, Steele C, Vanleeuwen D, *et al.* Mapping land cover in urban residential landscapes using very high spatial resolution aerial photographs [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2012, 11(3): 291-301.

[7] Lucas R, Bunting P, Paterson M, *et al.* Classification of Australian forest communities using aerial photography, CASI and HyMap data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2088-2103.

[8] Cleve C, Kelly M, Kearns F R, *et al.* Classification of the wildland-urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. [J]. *Environment and Urban Systems*, 2008, 32(4): 317-326.

- [9] Wu Bingfang, Li Qiangzi. Crop acreage estimation using two individual sampling frameworks with stratification[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):551-569. [吴炳方,李强子. 基于两个独立抽样框架的农作物种植面积遥感估算方法[J]. 遥感学报,2004,8(6):551-569.]
- [10] Liu Haiqi, Jin Minyu. Applications of remote sensing in agriculture in the United States[J]. *China Agricultural Resources and Regional Planning*, 1999, 20(2): 56-60. [刘海启,金敏毓. 美国农业遥感技术应用状况概述[J]. 中国农业资源与区划, 1999,20(2): 56-60.]
- [11] Li Xin, Liu Shaomin, Ma Mingguo, *et al.* HiWATER: An integrated remote sensing experiment on hydrological and ecological process in the Heihe River Basin[J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(5):481-498. [李新,刘绍民,马明国,等. 黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合试验总体设计[J]. 地球科学进展,2012,27(5): 481-498.]
- [12] Tian Jing, Su Hongbo, Chen Shaohui, *et al.* Spatial-temporal processes of desertification and oasisification in the middle reaches of the Heihe River based on remote sensing[J]. *Resources Science*, 2011, 33(2): 347-355. [田静,苏红波,陈少辉,等. 黑河中游绿洲化荒漠化的时空变化遥感分析[J]. 资源科学, 2011, 33(2): 347-355.]
- [13] Liu Jiyan, Liu Mingliang, Tian Hanqin, *et al.* Spatial-temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 442-456.
- [14] Tang Huajun, Wu Wenbin, Yang Peng, *et al.* Recent progresses in monitoring crop spatial patterns by using remote sensing technologies[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(14):2 879-2 888. [唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. 中国农业科学,2010,43(14):2 879-2 888.]
- [15] Schotten C G J, van Rooy W W L, Janssen L L F. Assessment of the capabilities of multi-temporal ERS-1 SAR data to discriminate between agricultural crops[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16(14): 2 619-2 637.
- [16] Yu Qingxiao, Yuan Can, Fu Z, *et al.* An autonomous restaurant service robot with high positioning accuracy[J]. *Industrial Robot: An International Journal*,2012, 39(3):271-281.
- [17] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,2002,24(5): 603-619.
- [18] Wang Zhihui, Li Shiming, Zhang Yiwei. The study on the detection of the variations of forest resources based on C5.0 algorithm—A case of Culai forest in Shandong[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2011,26(5):185-191. [王志慧,李世明,张艺伟. 基于 C5.0 算法的森林资源变化检测方法研究——以山东省徂徕山林区为例[J]. 西北林学院学报, 2011,26(5):185-191.]
- [19] Liu Liangyun, Wang Jihua, Zhao Chunjiang, *et al.* Study of floating prior probability MLC based on spatial features and local spatial autocorrelation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(2):227-235. [刘良云,王纪华,赵春江,等. 基于地物空间信息的浮动先验概率的最大似然分类研究[J]. 遥感学报, 2006,10(2):227-235.]
- [20] Hansen M C, Defries R S, Townshend J, *et al.* Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000,21(6/7):1 331-1 364.
- [21] Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,2005,65(1):2-16.
- [22] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, *et al.* Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results [J]. *Remote Sensing of Environment*,2002,83(2):287-302.
- [23] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, *et al.* Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*,2002,21(6/7):1 303-1 330.
- [24] Li Xin, Li Xiaowen, Li Zenyuan, *et al.* Watershed allied telemetry experimental research [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009,114(22):D22103.
- [25] Guanter L, Víctor Estellés, Moreno J. Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data: Application to CASI-1500 data [J]. *Remote Sensing of Environment*,2007,109(1):54-65.

Monitoring on Land Cover Pattern and Crops Structure of Oasis Irrigation Area of Middle Reaches in Heihe River Basin Using Remote Sensing Data

Wang Zhihui^{1,2}, Liu Liangyun¹

(1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: The land cover pattern and crops structure of oasis irrigation area of middle reaches in the Heihe River Basin were monitored using CASI aerial data with high spatial and spectral resolution as transects. We designed a hierarchical classification structure integrated by pixel-based classification and object-based classification to map land cover types and crop planting structure in this region. According to surveyed reference data about land cover and visual interpretation from high resolution imagery, the accuracy of the classification result about land cover and crops pattern from CASI transect data was evaluated, and the result showed that overall accuracy was 84.61%, Kappa coefficient was 0.8262. Compared with landsat TM/ETM+ land cover product in Zhangye in 2007 within flight transects, CASI aerial data with high resolution was able to effectively identify the trees, shrubs and various crops. Land cover pattern of oasis irrigation area and various crop proportions within cropland area were analyzed using CASI classification result. The result showed that almost 59.1% of oasis irrigation area of middle reaches in the Heihe River Basin was barren or built-up region, and vegetated region accounted for 39.8%. Cropland, trees and grassland accounted for 39.4%, 5.3% and 0.1% respectively, and corn was staple crop, accounting for 96.1% within cropland area. This study demonstrated that aerial remote sensing data with high quality and high spatial resolution was able to effectively monitor spatial heterogeneity of underlying surface in the basin, and offer high-resolution information about underlying surface types for study on eco-hydrological process.

Key words: Aerial transect; Remote sensing; Hyperspectral; CASI; Classification.