

于堃, 单捷, 王志明, 等. 无人机遥感技术在小尺度土地利用现状动态监测中的应用[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 853-859.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.015

无人机遥感技术在小尺度土地利用现状动态监测中的应用

于堃, 单捷, 王志明, 卢必慧, 邱琳, 毛良君

(江苏省农业科学院农业信息研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 土地利用现状的动态监测是管理部门制定土地利用政策的重要依据。无人机(UAVs)遥感技术具有机动灵活、操作简便等特点,在土地利用、农业生产和防灾减灾等诸多领域发挥重要作用。本研究以江苏省农业科学院本部为例,进一步分析空间分辨率、航向和旁向重叠度等参数对小尺度土地利用现状动态监测结果的影响。结果表明,6.0 cm空间分辨率的无人机遥感数据能够满足小尺度土地利用现状2级分类的需求。同一空间分辨率下,航向和旁向重叠度均为75%的无人机观测数据在图像拼接质量上要优于航向和旁向重叠度为70%和65%的无人机观测数据。2016-2018年研究区范围内4类地物面积减少,9类地物面积增加。其中,蔬菜地面积减少近55%,荒草地和园地面积分别减少约20%和10%,坑塘面积减少约7%;温室大棚面积增加超过70%,特殊试验田和护坡面积增加30%~40%,场地和林地面积增加14%~20%,道路面积增加略大于3%。

关键词: 无人机; 遥感; 土地利用现状; 动态监测

中图分类号: P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0853-07

Land use status monitoring in small scale by unmanned aerial vehicles (UAVs) observations

YU Kun, SHAN Jie, WANG Zhi-ming, LU Bi-hui, QIU Lin, MAO Liang-jun

(*Institute of Agricultural Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: Land use status monitoring is a critical component of implementing land use policies. Due to the flexibility of the data acquisition periods, unmanned aerial vehicles (UAVs) as new platforms can overcome the temporal limitations. Therefore, UAVs made great effects on land use monitoring, agricultural production and disaster prevention. In this study, the main campus of Jiangsu academy of agricultural sciences was chosen to compare and evaluate the efficiencies of land use status monitoring in small scale when choosing different flight parameters (e.g., ground-resolution and image-overlap). The results showed that the UAV remote sensing data with 6.0 cm ground-resolution could meet the needs of two-level classification of small-scale land use status. Under the same ground-resolution, image-overlap at 75% could offer higher quality of UAV data comparing with image-overlap at 70% and 65%. From 2016 to 2018, four classifications appeared decreasing in area and nine classifications showed increasing in area. The area of vegetable classification decreased by nearly

55%. The grass, garden and pond area decreased by 20%, 10%, 7%, respectively. The area of greenhouse classification increased by more than 70%. The experimental field and revetment area increased by 30% - 40%. The square and woodland area increased by 14% - 20%, and the road area increased by more than 3%.

Key words: unmanned aerial vehicles; remote sensing; land use status; dynamic monitoring

收稿日期: 2018-12-06

基金项目: 江苏省农业自主创新基金项目(CX-18-3044); 江苏省农业科学院基金项目(6111651)

作者简介: 于堃(1980-), 男, 辽宁大连人, 博士, 副研究员, 主要从事农业灾害及环境遥感监测研究。(E-mail) yukun@jaas.ac.cn

通讯作者: 王志明, (E-mail) wangzm69@126.com

土地利用现状的动态监测是土地管理部门掌握土地利用情况,制定土地利用政策的重要依据。传统的土地利用现状调查依靠的是人工实地测量,其工作量大、周期长、精度低、费用高^[1-2]。近年来,新技术、新方法的不断出现,尤其是遥感技术在土地利用现状监测中的广泛应用,为快速、准确、动态获取土地利用现状数据提供了重要的技术支撑^[3-4]。本世纪初,美国、日本等发达国家相继利用遥感技术获取了全球范围的不同时空分辨率土地利用监测数据,并用于全球气候变化与人类活动之间的响应机制研究^[5-6]。中国利用遥感技术构建全国尺度土地利用数据的研究起步也较早,并将该项技术应用到第二次全国土地调查中,全国土地调查的时间由第一次的13年缩短为第二次的2年^[7-8]。尽管大尺度的土地利用现状监测数据不断更新,但由于其空间分辨率的限制,往往无法满足小尺度,尤其是园区尺度的土地利用现状监测。加之,近年来现代农业园区不断涌现,对园区土地利用现状监测的时空分辨率要求越来越高^[9]。随着无人机(UAVs)遥感技术的不断发展,因其能快速获取高分辨率遥感影像,被广泛用于土地利用调查、农业生产监测和防灾减灾等诸多领域^[10-14]。目前,利用无人机遥感技术获取土地利用现状的研究多集中在中等尺度(县域、镇域等)^[15-16],而小尺度(园区)的土地利用现状监测,如监测的最佳观测时间、最佳观测空间分辨率、最佳观测航向和旁向重叠度等方面的研究较少。因此,本研究拟以江苏省农业科学院本部为例,利用不同时间、不同空间分辨率、不同航向和旁向重叠度的无人机遥感数据对研究区内的土地利用现状及其变化情况进行监测,探索利用无人机遥感技术获取小尺度土地利用现状的最优方法,以期对小尺度区域的土地宏观决策、合理布局以及集约利用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

江苏省农业科学院本部位于江苏省南京市紫金山南麓(图1),占地面积约1.28 km²,是中国最早按照现代农业科技创新组织架构建立的农业科研院所,在中国农业科技发展史上具有重要地位和深远影响。“十二五”以来,紧紧围绕江苏现代农业发展需求,研究区内各项基础建设的步伐不断加快,如:现代园艺

科研与展示区、温室大棚集中区、大数据中心以及大型仪器楼等一系列科研场所相继落成,研究区原有的土地利用格局不断发生变化。目前,研究区内基本涵盖了现代农业产业园的所有土地利用类型。

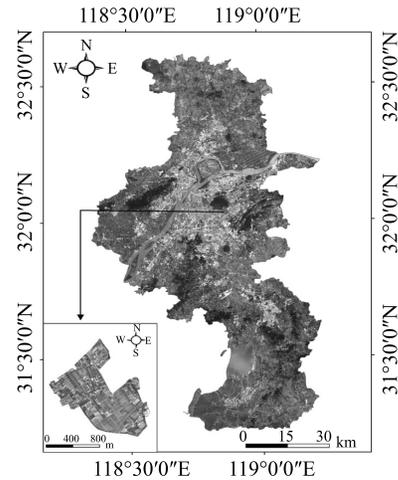


图1 研究区地理位置图

Fig.1 The location of research area

1.2 数据的获取及预处理

1.2.1 采集时间的选择 首先,应选择最有利的气象条件进行无人机遥感数据采集,尽可能避免或减少天气因素的影响,确保观测数据能够真实显现地物特征;其次,在保证充足光照度的同时还应避免过大阴影的出现,以确保获取数据的质量。综合考虑上述因素,本研究选取的数据采集时间为2016年4月22日12:00-14:00、2018年3月22日14:00-16:00和2018年12月29日15:00-16:00,数据采集平台为eBee固定翼无人机,传感器为SONY DSC-WX220 RGB数码相机,飞行速度为10.0~16.0 m/s,气象条件均为晴天,风速小于3.3 m/s。

1.2.2 采集参数的设计 受飞行高度限制,无法获取空间分辨率大于6.0 cm的观测数据,因此为了评估不同分辨率、航向和旁向重叠度对土地利用现状提取精度的影响,无人机遥感数据采集的飞行高度设定为120 m和300 m,镜头垂直拍摄,获取分辨率分别为3.5 cm和6.0 cm的真彩色航片,拍摄范围覆盖整个研究区域。在同一分辨率下,每次数据采集的航向和旁向重叠度数值设置一致,设3个梯度,分别为65%、70%和75%,上述参数均在飞行控制软件中进行设定。同时,研究区内随机布设一定数量的地面控制点,用于后期无人机遥感数据的几何精校正。

1.2.3 无人机遥感影像的预处理 无人机 3 次数据采集分别获取遥感影像 722 幅、868 幅和 171 幅,覆盖面积为 2.10 km²、3.14 km²和 1.12 km²。首先,利用 Pix4D 软件对获取的数据进行拼接和正射校

正,然后在 ERDAS IMAGINE 8.4 遥感图像处理软件中利用人工采集的地面控制点再对数据进行几何精校正,利用精确勾绘出的研究区边界矢量文件裁切生成最终的研究区无人机遥感数据(图 2)。

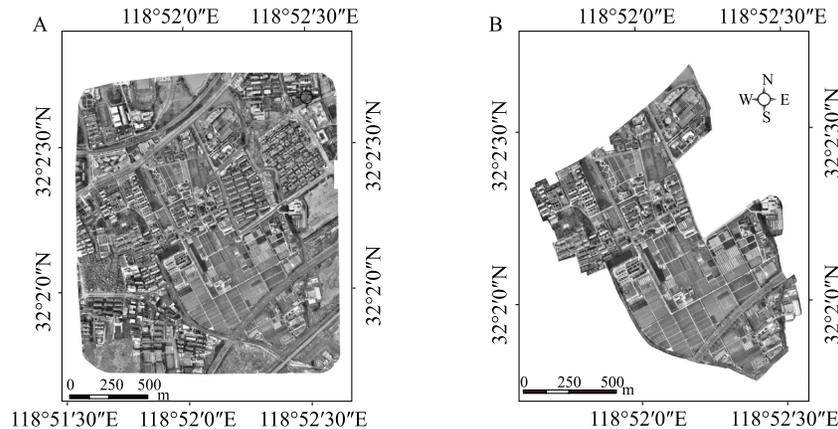


图 2 研究区无人机遥感数据校正、拼接(A)及裁切(B)

Fig.2 Calibration, splicing (A) and cutting (B) of unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing data in research area

1.3 土地利用现状的提取

1.3.1 土地利用类型的确定 本研究采用的土地利用现状分类系统是在《土地利用现状调查技术规范

》(原全国农业区划委员会编)的基础上建立的。分类系统共分为 2 级,包括 5 个大类和 13 个亚类(表 1)。

表 1 研究区土地利用现状分类系统

Table 1 The classification of land use status

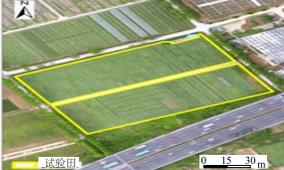
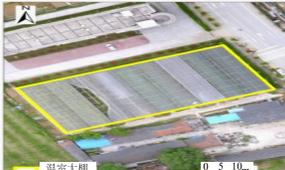
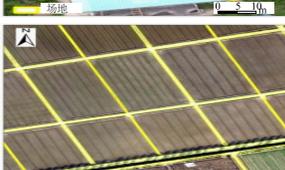
1 级分类		2 级分类		含义
代码	名称	代码	名称	
1	耕地	11	试验田	种植水稻、小麦、玉米、油菜等作物的耕地及水旱轮作地
		12	特殊试验田	用于小区试验(品种、播期、施肥、喷药等)的耕地
		13	蔬菜地	种植蔬菜的裸土耕地
		14	温室大棚	种植蔬菜、水果或育苗的钢架大棚或温室
2	园地、林地及绿化用地	21	林地	树木郁闭度不低于 20%的天然林地和人工林地
		22	园地	树木郁闭度不低于 20%的果园
		23	绿化用地	建筑物周围及道路、水渠两侧人工种植的草地和树木绿化带
3	建设用地	31	建筑物	居民点、办公用房、仓库、养殖场和简易棚等
		32	场地	建筑物周边的广场、谷物晒场、运动场及水泥地面的院落
		33	道路	各种道路及其附属设施
		34	护坡	建筑物或池塘周围的保护性用地
4	水域	41	坑塘	天然或人工开挖、修建的蓄水塘
5	未利用地	51	荒草地	树木郁闭度低于 10%,表层为土质,生长杂草的土地

1.3.2 土地利用信息的提取方法 根据各类地物在无人机遥感影像上所反映的色彩、纹理、形状等特征,再结合实地观测结果(表 2),在 ERDAS IMAGINE 8.4 软件的支持下,采用目视解译和人工

勾绘的方法对研究区面状和线状地物分别进行提取,获取土地利用现状空间分布图。对于影像上地类判读不明确的地物进行了实地核查,确保地类信息的准确性。

表2 土地利用现状解译标志信息表

Table 2 Information on interpretation markers of land use status

2级分类	解译标志		地物的影像特征
试验田和特殊试验田			<p>形状规则, 边界清晰, 颜色均匀, 可见明显的沟垄</p>
温室大棚			<p>亮灰色, 部分区域因反光呈白色, 形状规则, 结构紧密, 边界清晰</p>
蔬菜地和绿化用地			<p>蔬菜地呈不均匀绿色至黄褐色, 纹理相对单一, 田块规则, 边界清晰。绿化用地呈暗黄、草绿至深绿色, 纹理和形状规则, 多分布于建筑物、场地或池塘周围</p>
林地和园地			<p>林地呈黄绿至深绿色, 纹理复杂, 形状不规则, 郁闭度高。园地呈黄绿色至深绿色, 可见部分裸土, 纹理清晰, 呈规则的条状, 边界清晰</p>
建筑物			<p>颜色呈白色、灰色和黑色, 形状规则, 边界整齐, 多为办公楼及辅助配套用房; 颜色呈浅蓝至深蓝色或砖红色, 形状规则, 边界整齐, 多为仓库或养殖场</p>
场地			<p>无固定颜色, 纹理复杂, 形状规则或不规则, 多为仓库前硬化的水泥晒场、停车场或广场</p>
道路			<p>亮白至暗灰色, 纹理均一, 呈条带状、网状分布, 多为人工铺设的柏油或水泥路</p>
坑塘			<p>呈灰黑色、黑色或墨绿色, 纹理均一, 形状规则, 边界清晰</p>
护坡和荒草地			<p>护坡呈暗黄、灰色、草绿至深绿色, 纹理均一, 形状规则, 边界整齐, 多分布于建筑物、场地或池塘周围。荒草地呈土黄、黄褐或绿色, 纹理复杂</p>

2 结果与分析

2.1 精度验证

混淆矩阵方法是目前广泛采用的遥感影像分类精度评价方法^[17]。本研究选用由混淆矩阵方法计算的总体精度和 Kappa 系数评价影像目视解译的分类精度。分别对 2016 年和 2018 年研究区土地利用现状图中各类地物分别等量随机选取 50 个验证点,共 650 个。通过实地调查将这些验证点与实际地类进行比对,得到 2016 年和 2018 年研究区土地利用现状数据的总体精度分别为 95.85% 和 98.15%, Kappa 系数分别为 0.96 和 0.98。上述分类精度能够满足对土地利用现状的监测需求。

2.2 飞行参数对比分析

利用空间分辨率为 3.5 cm 和 6.0 cm 的无人机数据获取土地利用现状数据,总体精度均超过 95%,Kappa 系数均超过 0.96。由于采集空间分辨率为 3.5 cm 时,无人机飞行高度低,相同面积所需采集的影像数量较多,从而导致数据采集时间及费用增加。在 2 种空间分辨率的图像中,房屋、道路、耕地的纹理特征均较为明显,但并无明显差异(图 3)。因此,空间分辨率为 6.0 cm 的数据,更适合小尺度的土地利用现状监测。

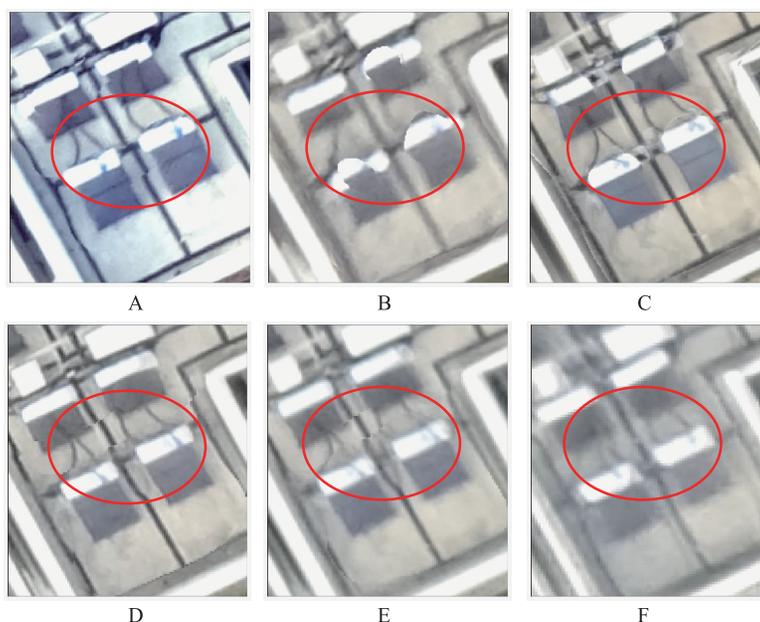


A:空间分辨率 3.5 cm;B:空间分辨率 6.0 cm。

图 3 不同空间分辨率无人机观测数据对比图

Fig. 3 The UAV true-color data collected at different ground resolutions

无人机遥感数据采集时航向和旁向重叠度的不同,会造成影像拼接后地物边界出现位置偏移,这将直接影响土地利用现状的监测结果。图 4 显示,椭圆标注处突出显示了同一分辨率下,航向和旁向重叠度均为 65% 和 70% 的无人机遥感数据拼接过程中分别产生了图像重影和错位等误差,而在航向和旁向重叠度均为 75% 的无人机遥感影像中,这些误差有效减少。因此,在中小尺度土地利用现状的无人机观测中,航向和旁向重叠度参数的设置应不低于 75%。



A:分辨率 3.5 cm,航向和旁向重叠度 65%;B:分辨率 3.5 cm,航向和旁向重叠度 70%;C:分辨率 3.5 cm,航向和旁向重叠度 75%;D:分辨率 6.0 cm,航向和旁向重叠度 65%;E:分辨率 6.0 cm,航向和旁向重叠度 70%;F:分辨率 6.0 cm,航向和旁向重叠度 75%。

图 4 不同航向和旁向重叠度无人机观测数据对比图

Fig.4 The UAV true-color data collected at different level of overlaps

2.3 土地利用现状监测

在2级分类中,与2016年监测结果相比,2018年院本部的土地利用变化主要体现在4类地物面积减少,9类地物面积增加。其中,蔬菜地面积大幅减少接近55%;荒草地和园地面积减少明显,分别在

20%和10%左右;坑塘面积减少约7%;温室大棚面积增加超过70%;特殊试验田和护坡面积增加30%~40%,增加面积均在0.27 hm²左右;场地和林地面积增加14%~20%,但后者增加面积仅有0.21 hm²;道路面积增加较少,略大于3%(图5)。

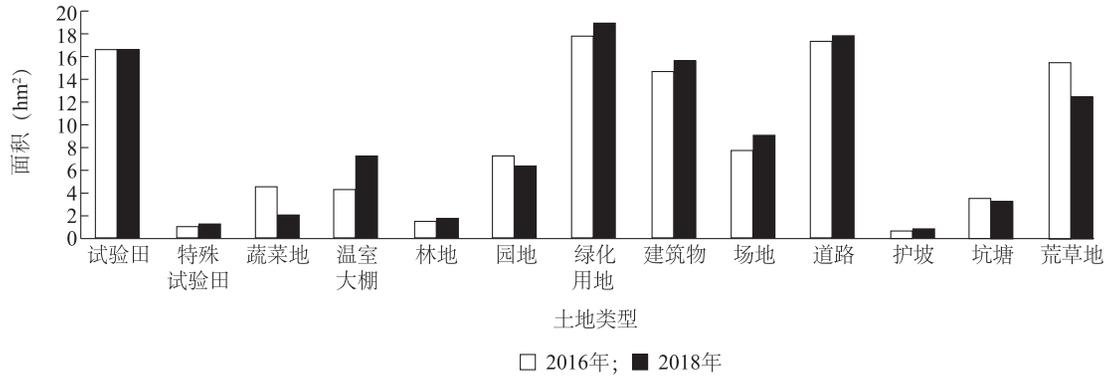


图5 2016年和2018年研究区土地利用现状变化对比图

Fig.5 Comparison of land use status in the study area in 2016 and 2018

利用 ArcGIS 9.3 软件对 2016 年和 2018 年 2 级分类的土地利用变化情况进行土地利用转移矩阵分析,追溯导致各类地物增减的原因。结果显示,2018 年的试验田中 1.90 hm²来自蔬菜地,0.93 hm²来自荒草地,0.30 hm²来自温室大棚;温室大棚中 2.04 hm²来自试验田,0.74 hm²来自园地,0.63 hm²来自荒草地;绿化用地中 2.01 hm²来自荒草地,0.25 hm²来自试验田;建筑物中 0.93 hm²来自荒草地;场地中 0.69 hm²来自荒草地,0.51 hm²来自道路,0.41 hm²来自绿化用地,0.19 hm²来自建筑物;道路中 0.99 hm²来自荒草地,0.35 hm²来自绿化用地,0.15 hm²来自试验田;荒草地中 0.89 hm²来自蔬菜地,0.68 hm²来自绿化用地,0.47 hm²来自试验田。

3 讨论

利用无人机遥感数据结合实地观测构建的土地利用现状解译标志,可实现对小尺度土地利用现状,尤其是各土地利用类别间的转化情况进行监测。相对于 3.5 cm 空间分辨率的无人机遥感数据而言,6.0 cm 空间分辨率的无人机遥感数据完全能够满足小尺度土地利用现状的 2 级分类需求。尽管 75% 的航向和旁向重叠度在数据采集的时间上要长于 70% 和 65%,但其图像拼接效果好,从而进一步提升了土地利用现状的监测精度。因此,建议在无人机遥感数据采集时将航向和旁向重叠度设置为 75%

及以上。此外,通过对无人机遥感数据进行对比分析,发现行道树及防风林等乔木、灌木的枝叶对于道路、沟渠等线状地物类型的提取精度会产生一定影响,故无人机遥感数据的采集时间应尽可能选择乔木、灌木落叶之后至新叶长出之前。

本次研究仅对航拍影像的空间分辨率、航向和旁向重叠度进行对比,而在实际数据采集过程中,对无人机遥感数据质量产生影响的参数还包括风速、光照以及曝光模式等,这些参数的对比研究将在今后的工作中继续开展。此外,人工勾绘的土地利用类型矢量数据精度优于计算机自动提取结果,加之本研究采用的传感器为非多光谱传感器,对其获取的数据采用监督分类和非监督分类等方法进行分类,效果欠佳。因此,在未来的工作中将继续开展基于多光谱传感器的无人机遥感数据土地利用现状分类方法等方面的研究工作。

由于无人机遥感数据在小尺度土地利用现状监测上具有卫星遥感数据所无法比拟的优点,所以该项技术将在小尺度土地利用现状监测上发挥越来越多的作用,从而进一步满足管理者对小尺度土地利用现状的监测需求。

参考文献:

- [1] 敖平平. 土地利用现状常态化调查技术体系探索[J]. 国土与自然资源研究, 2018(4): 10-12.
- [2] 李军英, 张亚亚, 胡琨波. 基于航空影像的万亩大坝土地现状

- 调查技术方法探讨[J].北京测绘,2017(6):68-71.
- [3] 高 丽. 基于3S技术的开发区土地利用现状动态监测体系建设[J]. 测绘与空间地理信息,2018,41(10):191-193.
- [4] 张增祥,汪 潇,温庆可,等. 土地资源遥感应用研究进展[J]. 遥感学报,2016,20(5):1243-1258.
- [5] TATEISHI R, HOAN N T, KOBAYASHI T, et al. Production of global land cover data-GLCNMO2008[J]. *Journal of Geography and Geology*, 2014, 6(3): 99.
- [6] 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*, 2000, 21(6/7): 1303-1330.
- [7] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报,2009,64(12):1411-1420.
- [8] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1): 3-14.
- [9] 杨 萍,季明川,郝晋珉. 以土地高效利用为核心的现代农业园区设计与实证分析[J]. 农业工程学报,2015,31(9) 281-287.
- [10] 付 萧,鲁 恒,朱 庆,等. 利用无人机影像进行山区土地利用信息动态监测[J]. 山地学报,2016,34(1):121-126.
- [11] 周晓云,陆朝锋,廖顺华. 无人机航测遥感技术在农村土地承包经营权登记试点中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2014, 37(11):163-165.
- [12] 刘 倩,梁志海,范慧芳. 浅谈无人机遥感的发展及其行业应用[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(6):167-169.
- [13] 韩文霆,郭聪聪,张立元,等. 基于无人机遥感的灌区土地利用与覆被分类方法[J]. 农业机械学报,2016,47(11):270-277.
- [14] YU K, QIU L, WANG J, et al. Winter wheat straw return monitoring by UAVs observations at different resolutions[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(8/10): 2260-2272.
- [15] 毕 凯,黄少林. 无人机航测技术在农村土地调查工作底图制作中的应用[J]. 国土资源遥感,2016,28(2):149-153.
- [16] 许辉熙,敬小东. 基于无人机遥感和GIS技术的土地利用快速详查方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2013,36(9):11-14.
- [17] CONGALTON R G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 37(1): 35-46.

(责任编辑:王 妮)