

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.03.019

基于无人机数码影像的马铃薯覆盖度提取方法

吴智超¹ 李长春¹ 冯海宽^{2,3} 翟丽婷¹ 王道勇⁴ 杨贵军^{2,3}

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000;

2. 北京农业信息技术研究中心农业农村部农业遥感机理与定量遥感重点实验室, 北京 100097;

3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;

4. 安徽大学农业生态大数据分析与应用技术国家地方联合工程研究中心, 合肥 230601)

摘要: 为了利用数码影像快速提取马铃薯覆盖度, 首先, 利用植被覆盖度提取算法从地面数码影像中获取马铃薯覆盖度实测值; 然后, 通过植被指数提取法和最大似然监督分类法对无人机数码影像进行处理, 分别获取各个研究小区的马铃薯覆盖度; 提出利用颜色转换空间 HSI(H-A 法) 从无人机数码影像中快速提取马铃薯覆盖度; 最后, 对 H-A 法、最大似然监督分类法和植被指数提取法 3 种方法的计算结果进行精度比较。结果表明, H-A 法估测的植被覆盖度的精度最高, 均达到 0.91 以上, 拟合函数拟合度为 0.97; 最大似然监督分类法次之, 最低精度为 0.75, 拟合度为 0.82; 植被指数提取法最差, 最低精度为 0.74, 拟合度为 0.74。

关键词: 马铃薯; 植被覆盖度; 提取算法; 过绿植被指数; 监督分类; 颜色转换空间算法

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)03-0164-07

OSID:



Potato Coverage Extraction Method Based on Digital Image

WU Zhichao¹ LI Changchun¹ FENG Haikuan^{2,3} ZHAI Liting¹ WANG Daoyong⁴ YANG Guijun^{2,3}

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

2. Key Laboratory of Quantitative Remote Sensing in Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

4. National Engineering Research Center for Agro-Ecological Big Data Analysis and Application, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: Vegetation coverage is an indicator that reflects the basic situation of vegetation. Obtaining digital images of the surface and further extracting vegetation coverage has become a measurement method with the greatest potential for obtaining coverage. In order to use digital images to quickly extract potato coverage, the vegetation coverage extraction algorithm (VCEA) was firstly used to obtain the measured potato coverage from ground digital images, and then the EXG index method and maximum likelihood supervised classification were used to digitally measure the drone image processing to obtain potato coverage in each study area. In addition, a new algorithm that used color conversion space HSI (H-A method) was proposed to quickly extract potato coverage from digital images. Finally, the accuracy of three different methods was used to evaluate and compare the calculation results. The results showed that the accuracy of vegetation coverage estimated by H-A method was the highest, all of which were above 0.91, and the fitting degree of fitting function reached 0.97; the second was supervision classification method, the lowest precision was 0.75, the fitting degree was 0.82, and the worst was EXG index method, the lowest precision was 0.74, the fitting degree was 0.74. Therefore, the accuracy and reliability of H-A method were high.

Key words: potato; vegetation coverage; extraction algorithm; Evergreen vegetation index; supervised classification; color conversion space algorithm

收稿日期: 2019-12-09 修回日期: 2020-01-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601346, 41871333)

作者简介: 吴智超(1993—), 男, 研究实习员, 主要从事农业定量遥感研究, E-mail: wzc032018@163.com

通信作者: 冯海宽(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事农业定量遥感研究, E-mail: fenghaikuan123@163.com

0 引言

植被覆盖度是指观测区域植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积的比值,即植土比^[1-3]。植被覆盖度是反映植被基本情况的客观指标,是农学、生态学等学科所关注的重要参数。植被覆盖度测量方法的准确度,直接决定了测量结果的准确性和可信度。植被覆盖度测量方法的发展大致经历了简单目估法、采样法、仪器测量计算法、遥感监测法等。

目估法是传统的快速获取植被覆盖度估测方法,简单、易行,但主观随意性较大,其测算结果和目估对象的实际覆盖度大小及测量人的经验密切相关,有研究表明,个人目估最大误差可达40.4%^[4-5]。采样法是通过设定样方,将样针在试验田一根根垂直投下,记录植被被样针击中的数目,然后计算击中数目占总样针数目的比值作为植被覆盖度,这种方法虽然准确,但操作复杂,且十分耗时^[6]。仪器法是采用专门的仪器,如空间定量计、移动光量计和照相机等直接进行覆盖度的测量,其中照相法具有简单、经济等优势,应用比较广泛^[7-12]。如 GUIJARRO 等^[8]基于数码影像和纹理特征,借助于计算机技术识别田间杂草;张清平等^[9]利用颜色分析软件 WinCAM,通过颜色比对提取植被,并求得植被覆盖度;池宏康等^[10]利用 Photoshop 软件对图像进行处理,通过分别统计图像中的植被像元数量和样地像元数量计算草地植被覆盖度;章超斌等^[11]利用 RGB 决策树法提取新疆阜康市的草原区植被覆盖度;任杰等^[12]利用归一化差异指数(Normalized difference index, NDI)对数字影像进行处理,提取植被覆盖度信息;胡健波等^[4]选取超绿特征作为植被指数,通过设定阈值提取草地覆盖度。遥感监测法是指利用遥感技术进行植被覆盖度计算的方法。近年来,随着数码相机的普及、精度的提高和数字图像技术的快速发展,目前应用最为广泛的遥感监测方法是植被覆盖度与光谱指数的相关性及回归模型法^[13-14]。但其操作较为复杂,测量时间长,限制条件多,效率低等,因此不易推广。无人机遥感技术以其灵活性高、影像获取时间短、成本低等优势,在森林资源调查、农情实时监测等方面发挥着巨大的作用^[15-23]。如李冰等^[15]对冬小麦不同生长阶段的覆盖度进行无人机遥感监测。路炳军等^[16]利用数码相机拍摄的图像快速获取植被覆盖度。张学霞等^[17]通过选取植被和非植被的感兴趣区域,分析各自的光谱信息规律,利用线性混合像元分解的方法获取植被覆盖度。ZHOU 等^[18]利用数码影像,通过结合光谱和纹理的非监督分类方法提

取草地覆盖度。赵静等^[19]采用监督分类与可见光植被指数统计直方图相结合确定阈值的方法进行玉米植被覆盖度的提取。TORRES-SÁNCHEZ 等^[20]利用无人机的数码影像提取出图像指数,完成数码影像小麦信息的提取。BENDIG 等^[21]利用作物表面模型结合无人机可见光、近红外影像进行大麦生物量监测。刘焕军等^[22]利用航空高光谱数据,建立棉花光谱指数与产量的关系,实现田块尺度的棉花产量预测。刘峰等^[23]通过比较像元各波段反射率,对植被像元与土壤像元进行区分,进而得到影像的植被覆盖度。

以上植被覆盖度研究大多数是利用地面的传统方法及部分数字图像处理技术,而利用无人机影像进行研究的较少。本文提出一种利用颜色转换空间 HSI 从无人机数码影像快速提取植被覆盖度的算法,并将此方法与最大似然监督分类法、EXG 指数法进行比较,旨在探求一种更加客观、适用性更强、耗时更少、准确性更高的植被覆盖度提取方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验于2019年3—7月在北京市昌平区小汤山镇国家精准农业研究示范基地开展。该区域位于小汤山镇(北纬40°11'18",东经116°27'5")东北部,平均海拔为36 m,气候为北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春天、秋天较短。平均全年无霜期180 d。

研究区区位及实验小区分布如图1所示。实验品种设2个水平:中薯3(右)、中薯5(左);密度设3个水平:60 000株/hm²(T1)、72 000株/hm²(T2,

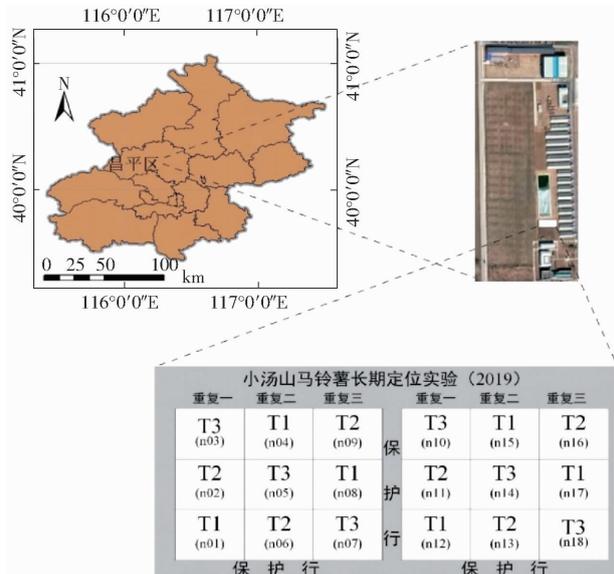


图1 研究区区位及小区分布图

Fig. 1 Study area location and plot

正常处理),84 000 株/hm² (T3); 6 个处理,每个处理 3 个重复,共 18 个实验小区。东西总长 39.6 m,南北总长 15 m(不包括保护行),小区尺寸 5 m×6.6 m。

1.2 数据获取

实验开始前在实验小区内随机放置 1.3 m×1.3 m 的白色方框作为研究小区,研究小区的方框需要垂直或平行于实验作物行。本研究所使用的数据分为两类:①无人机数码影像,采用大疆公司生产的精灵系列 4A 产品获取,无人机部分参数见表 1。②地面数码影像,采用佳能公司 G 系列的 G16 型相机获取,地面数码相机部分参数见表 2。

表 1 无人机部分参数

Tab. 1 Partial parameters of UAV

参数	数值
质量/g	1 391
最大水平飞行速度/(km·h ⁻¹)	50
最大起飞海拔/m	6 000
飞机电池电压/V	15.2
飞机电池容量/(mA·h)	5 870
相机有效像素	2 000 万
最大分辨率/(像素×像素)	4 864×3 648

表 2 地面数码相机部分参数

Tab. 2 Partial parameters of ground digital camera

参数	型号与数值
镜头	伸缩式
传感器	CMOS
处理器	DIGIC 6
有效像素	1 210 万
最大分辨率/(像素×像素)	4 000×3 000

无人机数码影像拍摄于 2019 年 5 月 16 日 11:00—12:00,拍摄时天气晴朗,无云,微风,飞行高度为 20 m,属超低空飞行,获得的图像基本不受大气因素影响。拍摄时无人机相机镜头保持垂直向下。由于本研究对中心波长的位置和波段范围并无严格要求,故对所获取的影像没有进行辐射定标^[24]。地面数码影像拍摄时间为当天 15:00—16:00,拍摄高度 2 m,相机位于研究小区正上方,保持水平拍摄。

1.3 实验方法

1.3.1 植被覆盖度提取算法

植被覆盖度提取算法 (Vegetation coverage extraction algorithm, VCEA) 是学习借鉴了多篇求取植被覆盖度的相关文献的思路和想法^[4,14,25],并对其中部分方法进行了优化。算法原理如下:首先,利用颜色转换空间 HSI 进行研究区外实验区的处理,再通过过绿植被指数对前一步得到的研究区进行剔除绿色植被处理;然后通过最大类间方差 (Otsu) 求

取阈值的方法进行剔除土壤处理;通过形态学阈值法去除土壤上的植被(杂草);形态学原理进行去噪;最后分别提取植被像素数与总像素数并得到比值,即植被覆盖度。

1.3.2 植被指数提取法

植被指数提取法 (EXG 指数法) 是利用 ENVI 软件对 Photoscan 软件拼接完成的数码影像构建植被指数,如过绿植被指数 (Excess green index, EXG = 2G - B - R),并利用双峰阈值法确定阈值,将植被指数大于阈值的像素归为植被,小于阈值的像素归为背景,利用 ENVI 的分析功能获取植被占比,即植被覆盖度。

1.3.3 监督分类法

监督分类又称训练分类法,即用被确认类别的样本像元识别其他未知类别像元的过程^[1]。本文利用最大似然法对拼接完成的数码影像进行监督分类,将图像分成植被和非植被两类,提取出图像中植被部分后,计算植被覆盖度。最大似然法是根据训练样本的均值和方差来评价其他像元和训练类别之间的相似性。

1.3.4 颜色转换空间 HSI 算法

提出一种利用颜色转换空间 HSI 实现的算法 (Color conversion space HSI algorithm, H - A),此算法从数码影像中快速提取植被覆盖度。其原理为:首先利用 HSI 空间的 S 通道进行去除白色处理,其间使用了最大类间方差法获取阈值去白色,并采用了形态学处理去噪;其次是利用 HSI 空间的 H 通道进行去土壤处理,期间同样使用了最大类间方差法获取阈值以及形态学处理;然后合成伪彩色植被图像;最终分别计算原图像的总像元数和伪彩色植被图像的总像元数,求比值获取结果,即植被覆盖度。

2 结果分析

首先利用 VCEA 法对地面所获取的各小区的数码影像进行处理,得到各小区的分类效果图及分类结果,以此作为覆盖度实测值。由于分类效果图较大,故本文中仅随机显示其中 6 个研究小区的分类效果图,见图 2。然后利用 Photoscan 软件对无人机获取的数码影像进行预处理,包括对齐影像、建立密集点云、生成网格、生成纹理和生成正射影像,再分别利用 EXG 指数法、最大似然监督分类法对各个研究小区进行处理,得到各研究小区的分类效果图及分类结果,即植被覆盖度。综合分析不同方法所得到的分类结果,见表 3。利用预测值和实测值分别计算得到各个研究小区不同方法的预测精度,见表 4。此外,从获得的无人机数码影像中选取几幅包含较多研究小区的影像,利用处理软件将各个研

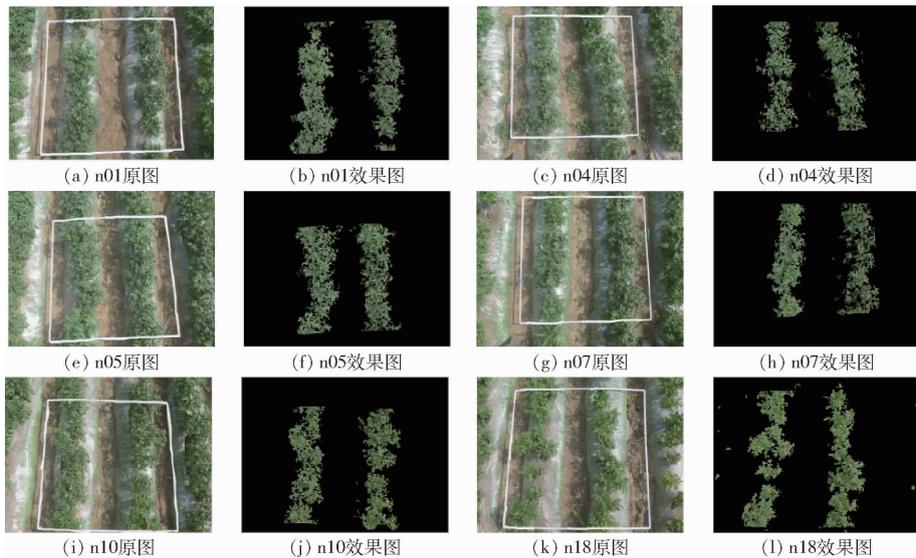


图 2 实测值处理效果图

Fig. 2 Treatment effects of measured value

究小区进行裁剪并命名,然后利用 H - A 法分别对各个研究小区进行处理,获取相对应的分类效果图和分类结果,见图 3。利用所获得的预测值与实测值建立对应的函数模型,结果见图 4。

表 3 分类结果

Tab. 3 Summary of classification results %

小区编号	实测值	EXG 指数法	监督分类法	H - A 法
n01	29.58	30.18	31.12	29.95
n02	35.06	31.91	39.67	36.88
n03	29.35	28.16	33.46	30.15
n04	34.08	38.13	37.46	34.78
n05	39.04	41.49	41.55	40.11
n06	40.00	36.98	42.90	39.56
n07	34.17	38.35	36.72	35.59
n08	34.18	37.08	33.86	34.60
n09	34.03	36.31	33.50	34.94
n10	33.89	40.69	38.43	31.21
n11	39.96	40.09	37.12	39.57
n12	38.88	48.60	42.30	39.82
n13	41.55	55.80	44.87	40.75
n14	34.88	38.78	32.68	35.85
n15	35.06	45.71	40.04	35.60
n16	25.94	32.24	30.26	28.22
n17	15.42	17.32	20.55	16.84
n18	22.67	25.18	26.99	21.32
均值	33.20	36.83	35.85	33.65

由图 2 研究小区原图与对应的分类效果可以看出,VCEA 法分类结果较为准确,贴近于真实情况,所测得覆盖度具有较高的可靠性,故以 VCEA 法的提取结果作为马铃薯覆盖度的实测值。从图 3 中可以看出,最大似然监督分类法、EXG 指数法和 H - A 法处理得到的影像效果与真实影像存在部分差别,但可以直观看出,H - A 法所获得的效果图和原图

表 4 分类结果精度

Tab. 4 Accuracy of classification results

小区编号	真值	EXG 指数法	监督分类法	H - A 法
n01	1	0.98	0.95	0.98
n02	1	0.91	0.88	0.95
n03	1	0.95	0.87	0.97
n04	1	0.89	0.90	0.97
n05	1	0.94	0.93	0.97
n06	1	0.92	0.93	0.98
n07	1	0.89	0.93	0.96
n08	1	0.92	0.95	0.98
n09	1	0.93	0.98	0.97
n10	1	0.83	0.88	0.92
n11	1	0.99	0.92	0.99
n12	1	0.80	0.91	0.97
n13	1	0.74	0.92	0.98
n14	1	0.89	0.93	0.97
n15	1	0.76	0.87	0.98
n16	1	0.80	0.85	0.91
n17	1	0.89	0.75	0.91
n18	1	0.90	0.83	0.94
均值	1	0.88	0.90	0.96

的真实轮廓差距最小,最接近于真实图,监督分类法次之,EXG 指数法最差。从表 3 中可以看出,3 种不同处理的分类结果与真实值差别,总体看来,3 种方法大多数均出现多分现象,其中 H - A 法的分类结果与实测值之间的误差普遍较小,误差大多数在 1% 左右,最大的误差为 2.28%,覆盖度平均值误差为 0.45%;监督分类法分类结果与实测值的误差最大 5.13%,平均误差为 2.65%;EXG 指数法分类结果与实测值的误差最大为 14.25%,平均误差为 3.63%。综上所述,H - A 法分类效果最好,监督分类法结果次之,EXG 指数法最差。

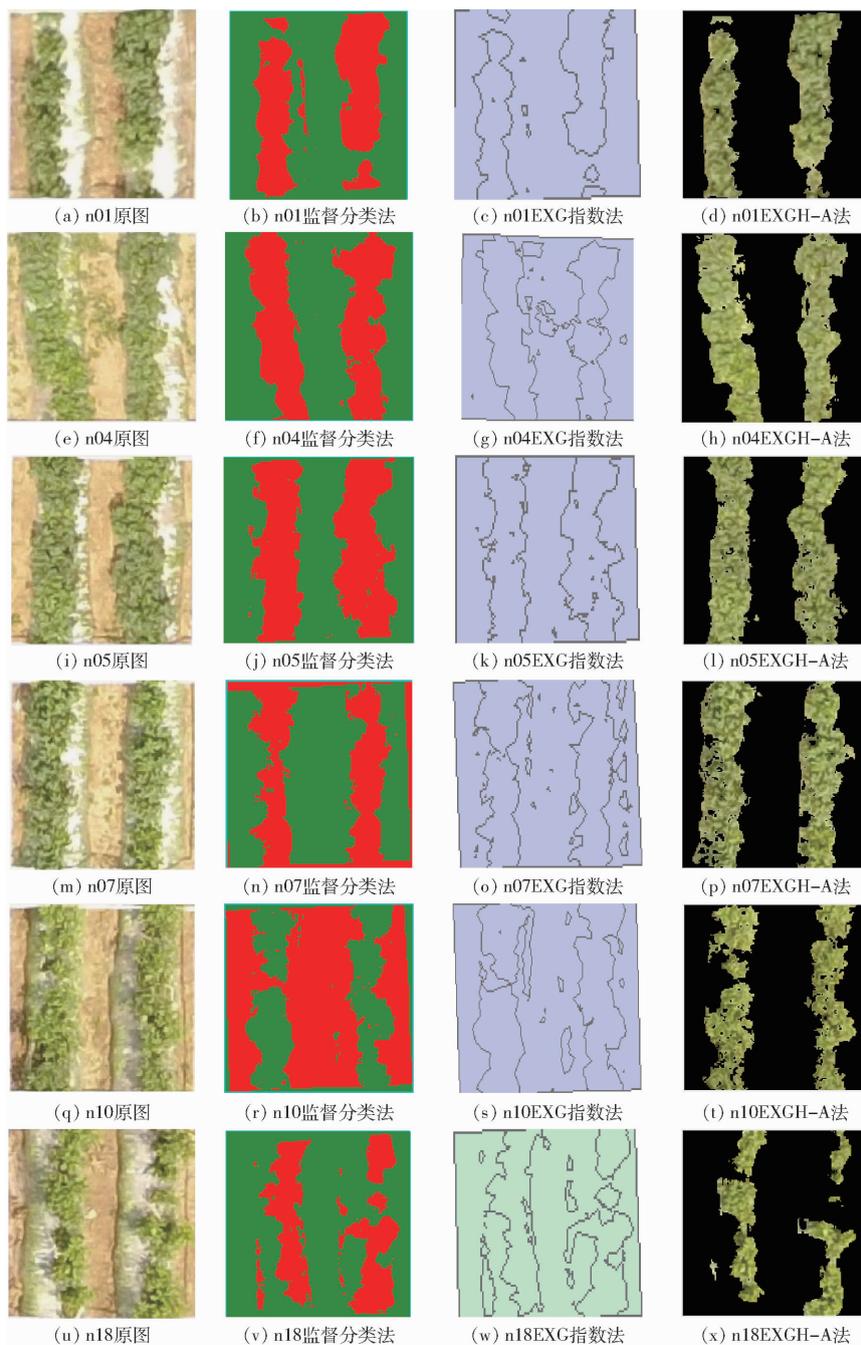


图3 不同处理方法的效果图

Fig.3 Effects diagrams of different treatment methods

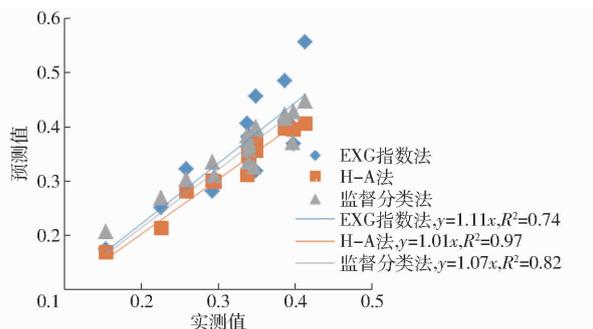


图4 实测值与预测值函数模型

Fig.4 Measured and predicted function models

由表4可以看出,利用H-A法得到的处理结果精度最高,精度均达到0.91以上,最高达到

0.99,而精度均值达到0.96,具有很高的准确性;监督分类法的精度次之,最低为0.75,最高达到0.98,精度均值为0.90,具有较高的准确性,但较为不稳定,人工干预较大;EXG指数法精度最差,最低为0.74,最高达到0.98,精度均值为0.88,具有较好的准确性,但也不稳定。图4是由得到的实测值与3种不同方法获取的预测值所建立的函数模型,从中可以看出,H-A法的覆盖度函数为 $y=1.01x$, $R^2=0.97$;监督分类法所获得的函数为 $y=1.07x$, $R^2=0.82$;而EXG指数法获得的函数为 $y=1.11x$, $R^2=0.74$,由上述3个函数模型可得,H-A法获得的函数中比例系数 k 和拟合度 R^2 均最接近于1,精

度最佳,效果最好。综上所述,在求取植被覆盖度的研究中,H-A法比最大似然监督分类法和EXG指数法精度高,可靠性更好,并且该方法操作更加简单。

3 结论

(1)从分类效果图来看,H-A法所估计的植被覆盖度结果(分类准确度)高于监督分类法和EXG指数法,更加接近于真实情况。

(2)从分类精度来说,H-A法的分类精度均达

到0.91以上,最高达到了0.99,均值达到了0.96;最大似然监督分类法的分类精度最高值达到0.98,但最低值为0.75,均值达到0.90,较为不稳定;EXG指数法的分类精度最高值达到0.98,但最低值为0.74,均值为0.88,也不稳定。故H-A法精度最高。

(3)从拟合函数和相关性来说,H-A法、监督分类法和EXG指数法的函数模型比例系数分别为1.01、1.07和1.11,相对应的拟合度分别为0.97、0.82和0.74,很明显H-A法比例系数和拟合度更加接近于1,说明其相关性更高,可靠性更好。

参 考 文 献

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] PUREVDORJ T, TATEISHI R, ISHIYAMA T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18):3519-3535.
- [3] 牛亚晓,张立元,韩文霆,等. 基于无人机遥感与植被指数的冬小麦覆盖度提取方法[J/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(4):212-221.
NIU Yaxiao, ZHANG Liyuan, HAN Wenting, et al. Winter wheat coverage extraction method based on UAV remote sensing and vegetation index[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(4):212-221. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180424&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.024. (in Chinese)
- [4] 胡健波,张璐,黄伟,等. 基于数码照片的草地植被覆盖度快速提取方法[J]. *草业科学*, 2011, 5(9):1661-1665.
HU Jianbo, ZHANG Lu, HUANG Wei, et al. Rapid extraction method of grassland vegetation coverage based on digital photos [J]. *Pratacultural Science*, 2011, 5(9):1661-1665. (in Chinese)
- [5] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(3):402-408.
ZHANG Wenbo, FU Suhua, LIU Baoyuan. Accuracy analysis of vegetation coverage measurement by visual estimation [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition)*, 2001, 37(3):402-408. (in Chinese)
- [6] CHAPMAN S B. 植物生态学的方法[M]. 阳含熙,译. 北京:科学出版社,1980.
- [7] WHITE M A, ASNER G P, NEMANI R R, et al. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystem: digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(1):45-57.
- [8] GUIJARRO M, PAJARES G, RIOMOROS I, et al. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(1):75-83.
- [9] 张清平,章山山,陈露,等. 应用WinCAM软件判别分析草坪盖度[J]. *草业科学*, 2010, 4(7):13-17.
ZHANG Qingping, ZHANG Shanshan, CHEN Lu, et al. Using WinCAM software to judge and analyze lawn coverage [J]. *Pratacultural Science*, 2010, 4(7):13-17. (in Chinese)
- [10] 池宏康,周广胜,许振柱,等. 草地植被盖度的近距离遥感测定[J]. *草业学报*, 2007, 24(2):107-112.
CHI Hongkang, ZHOU Guangsheng, XU Zhenzhu, et al. A grassland vegetation coverage measurement based on remote sensing [J]. *Acta Pratas Sinica*, 2007, 24(2):107-112. (in Chinese)
- [11] 章超斌,李建龙,张颖,等. 基于RGB模式的一种草地盖度定量快速测定方法研究[J]. *草业学报*, 2013, 30(4):223-229.
ZHANG Chaobin, LI Jianlong, ZHANG Ying, et al. Research on a rapid and quantitative method for grassland coverage based on RGB mode [J]. *Acta Prata Sinica*, 2013, 30(4):223-229. (in Chinese)
- [12] 任杰,柏延臣,王锦地. 从数码照片中快速提取植被覆盖度的方法研究[J]. *遥感技术与应用*, 2016, 25(5):719-724.
REN Jie, BAI Yanchen, WANG Jindi. Research on the method of quickly extracting vegetation coverage from digital photos [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2016, 25(5):719-724. (in Chinese)
- [13] NORTH P R J. Estimation of fAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1):114-121.
- [14] 班爱琴,钱裕蓉,莫媛淇,等. 用植被判定流程图法从数码照片中快速提取植被覆盖度[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(8):200-206.
BAN Aiqin, QIAN Yurong, MO Yuanqi, et al. Quickly extract vegetation coverage from digital photos using vegetation determination flowchart method [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(8):200-206. (in Chinese)
- [15] 李冰,刘榕源,刘素红,等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13):160-165.
LI Bing, LIU Rongyuan, LIU Suhong, et al. Monitoring of winter wheat coverage change based on low-altitude drone remote

- sensing [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 160 – 165. (in Chinese)
- [16] 路炳军,刘洪鹤,符素华,等. 照相法结合数字图像技术计算植被覆盖度精度研究[J]. 水土保持通报,2007,27(1):78 – 80,85.
LU Bingjun, LIU Honghu, FU Suhua, et al. Study on the accuracy of vegetation coverage calculated by photography method combined with digital image technology [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(1): 78 – 80, 85. (in Chinese)
- [17] 张学霞,朱清科,吴根梅,等. 数码照相法估算植被覆盖度[J]. 北京林业大学学报,2008,30(1):164 – 169.
ZHANG Xuexia, ZHU Qingke, WU Genmei, et al. Estimation of vegetation coverage by digital photography [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(1): 164 – 169. (in Chinese)
- [18] ZHOU Q, ROBSON M. Automated rang eland vegetation cover and density estimation using ground digital images and a spectral-contextual classifier[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(17):3457 – 3470.
- [19] 赵静,杨焕波,兰玉彬,等. 基于无人机可见光图像的夏季玉米植被覆盖度提取方法[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(5):239 – 247.
ZHAO Jing, YANG Huanbo, LAN Yubin, et al. Extraction method of summer maize vegetation coverage based on UAV visible light image [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(5): 239 – 247. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190527&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.027. (in Chinese)
- [20] TORRES-SÁNCHEZ J, PEÑA J M, CASTRO A I D, et al. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2014, 103(2):104 – 113.
- [21] BENDIG J, YU K, AASEN H, et al. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2015, 39:79 – 87.
- [22] 刘焕军,康苒,SUSAN Ustin,等. 基于时间序列高光谱遥感影像的田块尺度作物产量预测[J]. 光谱学与光谱分析,2016,36(8):2585 – 2589.
LIU Huanjun, KANG Ran, SUSAN Ustin, et al. Field-scale crop yield prediction based on time series hyperspectral remote sensing images [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(8): 2585 – 2589. (in Chinese)
- [23] 刘峰,刘素红,向阳. 园地植被覆盖度的无人机遥感监测研究[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(11):250 – 257.
LIU Feng, LIU Suhong, XIANG Yang. Study on monitoring fractional vegetation cover of garden plots by unmanned aerial vehicles[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(11):250 – 257. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141139&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.039. (in Chinese)
- [24] 邓继忠,任高生,兰玉彬,等. 基于可见光波段的无人机超低空遥感图像处理[J]. 华南农业大学学报,2016,37(6):16 – 22.
DENG Jizhong, REN Gaosheng, LAN Yubin, et al. UAV ultra-low altitude remote sensing image processing based on visible light band [J]. Journal of South China Agricultural University, 2016, 37(6): 16 – 22. (in Chinese)
- [25] LI Xiaobing, CHEN Yunhao, YANG Hua, et al. Improvement, comparison, and application of field measurement methods for grassland vegetation fractional coverage[J]. Journal of Integrative Plant Biology (Formerly Acta Botanica Sinica), 2005, 47(9): 1074 – 1083.