

李冬,汪传建,王伟强,等. 基于采样的草地生物量估算空间插值方法比较研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):206-210.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.052

# 基于采样的草地生物量估算空间插值方法比较研究

李冬<sup>1,2</sup>,汪传建<sup>1,2</sup>,王伟强<sup>1,2</sup>,江红红<sup>1,2</sup>,鲁卫华<sup>3</sup>

(1. 石河子大学信息科学与技术学院,新疆石河子 832000;2. 兵团空间信息工程技术研究中心,新疆石河子 832000;  
3. 石河子大学动物科技学院,新疆石河子 832003)

**摘要:**随着空间插值的广泛应用,不同的插值方法因不同的研究目的、对象和地区而产生不同的效果。为了监测、合理利用天然草地资源,利用研究区2016年4—6月野外采集的262条天然草地生物量数据,采用克里金法、反距离权重法、样条函数法和趋势面法分别对研究区草地生物量进行空间插值研究,对比分析不同插值方法对天然草地生物量的评估准确性。结果表明,反距离权重法误差相对较小,效果较好,比较适用于草地生物量空间分布的插值研究。与规则样条函数法的插值结果相比,反距离权重法的平均绝对误差降低48.19%,平均相对误差降低40.7639个百分点,平方根误差降低58.41%。该结果可以为后续研究工作提供一定的参考,为相关部门对草地生物量分布信息的监测提供一定的计算方法。

**关键词:**草地;生物量;空间插值;反距离权重法

**中图分类号:** S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)02-0206-04

草地是生长草本和灌木植物为主并适宜发展畜牧业生产的土地。在地球上所有陆地生态系统中,分布最广的生态系统类型之一是草地生态系统,在全球陆地面积中,草地面积占20%左右,草地生态系统在全球的气候调节以及碳循环过程中发挥着极其重要的作用<sup>[1-2]</sup>。天然草地的净初级生产力约占占陆地植被生产力的20%,年均固碳量约为 $5 \times 10^8 \text{ t}^{[3]}$ 。草地生物量客观地反映了草地固碳能力和草地载畜量大小<sup>[4]</sup>。新疆是我国五大牧区之一,在“三山夹两盆”的周围有大量的优良牧场,有0.57亿 $\text{hm}^2$ 的天然草地,可利用的天然草地面积达到0.48亿 $\text{hm}^2$ ,占全国可利用面积的20.2%,仅次于内蒙古和西藏等地区,居全国第3位。而目前新疆各地区各个类型的草地都有着不同程度的退化,退化面积为可利用草地面积的20%~80%,严重退化的草地约有466.67万 $\text{hm}^2$ ,草地退化已成为新疆不容忽视的问题之一<sup>[5]</sup>。准确评估天然草地的生物量分布,既是合理开发和利用草地的基础,也对生态环境的保护具有重要意义<sup>[6]</sup>。

近些年,国内外许多研究学者在草地生物量方面开展了大量的深入研究。罗玲等利用MODIS遥感数据获得植被指数,并结合草地地面实测的生物量数据,研究了草地上生物量的空间分布<sup>[7-9]</sup>;Kawamura等通过研究利用MODIS遥感数据获得的归一化植被指数与草地上生物量之间的关系发现,两者之间存在显著的相关性<sup>[10]</sup>;Ni利用我国草地资源数据集<sup>[11]</sup>提供的产草量数据估算了我国草地上生物量<sup>[12]</sup>;

刘占宇等利用高光谱数据分别对内蒙古锡林郭勒盟和甘南草原的天然草地生物量估算模型进行研究<sup>[13-14]</sup>;王新云等利用雷达数据的全极化RADARSAT-2 C波段和图像HJ1B,同时结合野外实地获得的生物量数据,估算了荒漠草原人工柠条灌木林地上生物量<sup>[4]</sup>;解平静利用统计学的回归模型,结合光学遥感数据,建立了研究区的植被地上生物量遥感估算模型<sup>[15]</sup>;张小琪利用环境减灾卫星,即HJ-1A/B影像数据和88个野外典型草地生物量的采样点数据,进行影像数据和采样点数据两者的相关性分析,建立了草地生物量遥感估算模型<sup>[16]</sup>。而对于如何通过实地采样数据直接分析草地生物量分布,从目前查阅到的文献资料来看,相关研究甚少。因此,有必要基于近期的实地采样数据直接对草地生物量的空间分布进行研究。

为了研究常用插值方法对草地生物量插值结果的影响,本研究利用2016年4—6月的262条天然草地实地采样数据,采用普通克里金法、泛克里金法、反距离权重法、样条函数法和趋势面法分别对采样数据进行插值分析,通过插值试验比较几种常用的空间插值方法对生物量空间分布的插值精度,以期探明研究区生物量的空间分布情况。

## 1 数据获取与预处理

### 1.1 研究区概况

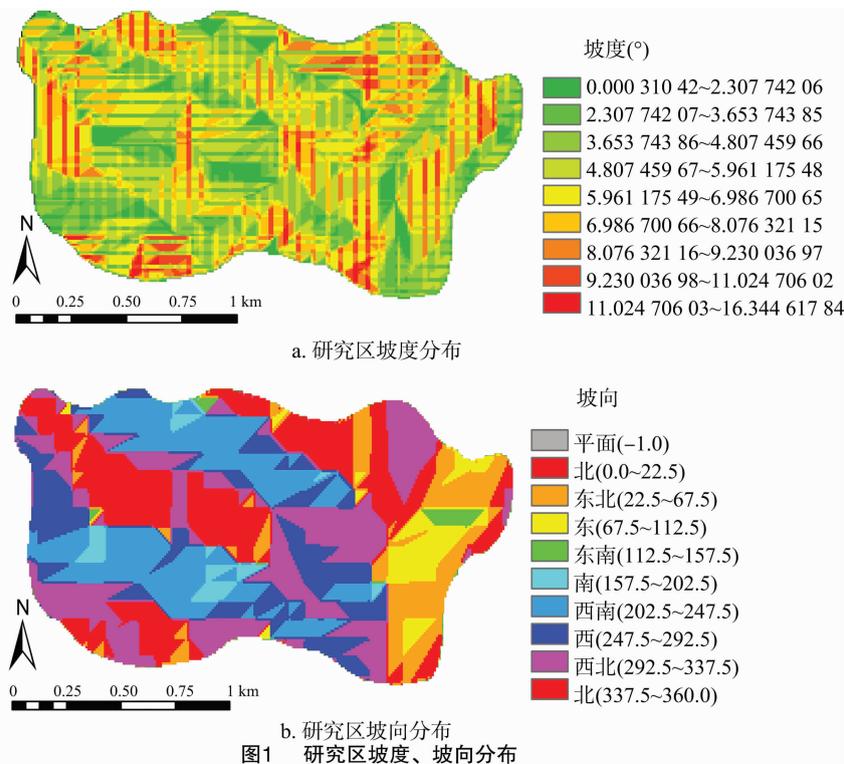
本研究区在新疆生产建设兵团151团的紫泥泉牧场。该牧场属于北温带大陆性干旱气候,四季分明,日照充足,热量丰富,昼夜温差大,年平均气温为 $6.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,最低气温为 $-39.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,最高气温为 $40.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年平均降水量为185 mm。该牧场为春秋牧场,有着发展现代畜牧业的丰富资源。该牧场地处 $85^\circ 46' 20.793'' \text{ E}$ , $44^\circ 0' 3.729'' \text{ N}$ ,植被类型以博乐绢蒿为主,草层高度在20 cm左右,植被覆盖度在35%左右。本研究区地势是南高北低,平均海拔在1 000 m左右,属于低山丘陵区,地势起伏比较大,地形复杂多样。图1为研究区坡度、坡向分布图。

收稿日期:2017-08-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:41461088);新疆生产建设兵团科技计划(编号:2016AB001\_2015BA006)。

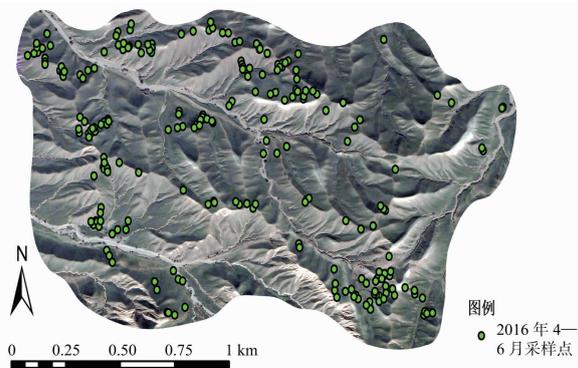
作者简介:李冬(1994—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事农业信息化技术及应用、时空数据挖掘研究。E-mail:ld\_inf@sina.com。

通信作者:汪传建,博士,副教授,主要从事时空数据挖掘、时空数据安全技术及应用的研究。E-mail:wcyj\_inf@shzu.edu.cn。



## 1.2 数据获取

2016年4—6月期间,每月对研究区紫泥泉牧场的天然草地进行2次生物量采样。在对研究区草地采样过程中,选取能够代表一定草地植被、地形、坡度及坡向等特征的地段设置样地,在每处样地上设置1 m×1 m大小的样方,用手持全球定位系统(global positioning system,简称GPS)进行定位,记录经纬度等位置信息。将样方内植物地面以上所有部分齐地面割制,除去黏附的土壤、砾石等杂物后,装入试验袋并编号带回实验室。将采集到的样品放到烘干箱中,在65℃条件下烘干至恒质量,然后用精密电子秤分别称取每个样品的干质量,去掉相应试验袋的质量,得到每个采样点的生物量数据。记录生物量数据时保留2位小数。图2为2016年4—6月采样点在研究区的分布。



## 2 研究方法和过程

### 2.1 空间插值方法

目前常用的插值方法很多,本研究主要比较普通克里金

法、泛克里金法、反距离权重法、样条函数法和趋势面法对草地生物量空间分布插值的效果。克里金方法也被称为空间局部插值法,基于结构分析和变异函数理论,能在有限区域内针对区域化变量进行无偏最优估计<sup>[17]</sup>。克里金方法分为2种:普通克里金法和泛克里金法。普通克里金法是最普通和广泛使用的克里金方法,是一种默认方法,该方法假定恒定且未知的平均值。泛克里金法可以使用半变异函数或协方差和变换,并且允许测量误差。

克里金方法通过对已知的采样点赋权重来获得未知点的值,其表示形式为

$$Z^*(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (1)$$

式中: $Z^*(S_0)$ 是未知样点 $S_0$ 的估计值; $Z(S_i)$ 是在第 $i$ 个未知样点所测得的环境周边已知样本点的值; $\lambda_j$ 是第 $j$ 个已知样本点的权重(是相对于未知样本点的); $N$ 是所得到的已知样本点的个数。

克里金法进行计算时须要经历2步过程:(1)创建变异函数和协方差函数以估算取决于自相关模型(拟合模型)的统计相关性(称为空间自相关)值。(2)预测未知值(进行预测)。

因此,本研究分别对普通克里金法的5个半变异函数模型(球面模型、三角模型、指数模型、高斯模型、线性模型)以泛克里金法与一次漂移函数成线性关系的半变异函数模型进行插值试验研究。

反距离权重法采用1组采样点的线性权重组合来确定像元值,依据的是相近相似原理,即空间位置上靠的越近,其具有的性质就越相似,用周边相邻采样点的值去求得未知点的值<sup>[18]</sup>。与克里金插值法类似,反距离权重法也是通过对已知的采样点赋权重来获得未知点的值,其表示形式为

$$Z^*(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (2)$$

$$\lambda_j = \frac{d_j^{-b}}{\sum_{j=1}^n d_j^{-b}} \quad (3)$$

式中: $Z^*(S_0)$ 是未知样点 $S_0$ 的估计值; $Z(S_i)$ 是在第 $i$ 个未知样点所测得的环境周边已知样本点的值; $\lambda_j$ 是第 $j$ 个已知样本点的权重(是相对于未知样本点的); $N$ 是所得到的已知样本点的个数。 $d_j$ 为待估样点到第 $j$ 个已知样点的距离; $b$ 为权重指数。反距离权重法与克里金方法的差异性在于当赋权重时,克里金方法进行了变异函数与其他结构的分析,还利用了已知样本点在空间的位置分布及与未知测量点的空间位置关系,但反距离权重法只考虑到了已知样本点与未知样本点之间的空间分布距离。

样条函数法是基于某些矿床类型的连续而较均匀的矿化。如煤等,用稀疏工程的结果可以组合成一条平滑曲线,用样条函数进行拟合,并进行积分计算储量的方法。样条函数法分为规则样条函数法和张力样条函数法。规则样条函数法类型使用可能位于样本数据范围之外的值来创建渐变的平滑表面。张力样条函数法类型根据建模现象的特性来控制表面的硬度,它使用受样本数据范围约束更为严格的值来创建不太平滑的表面。

趋势面是一种光滑的数学曲面,它能集中地代表地理数据在大范围内的空间变化趋势,是一种抽象的数学曲面,抽象并过滤掉了一些局域随机因素的影响,使地理要素的空间分布规律明显化。趋势面分析的一个基本要求,就是所选择的趋势面模型应该是剩余值最小,而趋势值最大,这样拟合度精度才能达到足够的准确性<sup>[19]</sup>。空间趋势面分析,正是从地理要素分布的实际数据中分解出趋势值和剩余值,从而揭示地理要素空间分布的趋势与规律。

## 2.2 试验过程

首先将所获取的采样数据按月划分进行分析处理。利用GIS(ArcGIS 10.3.1, ESRI)软件将采样数据的地理坐标系设置为GSS\_WGS\_1984进行插值试验。

本试验在每次插值试验前,随机选取20%的采样点进行插值模型验证,剩余80%的采样点用于插值分析,在分析过程中分别采用克里金法、反距离权重法、样条函数法、趋势面法进行生物量插值试验,每月试验数据重复做5次试验。其中,在采用克里金法进行插值时,半变异模型分别选取普通克里金的球面函数、三角函数、指数函数、高斯函数、线性函数以及泛克里金的与一次漂移函数成线性关系的半变异模型来进行克里金插值法的插值试验。在采用样条函数法进行插值时,分别选取“REGULARIZED”和“TENSION”2种样条函数类型进行样条函数法的插值试验。在采用趋势面法进行插值试验时,回归类型选用“LINEAR”。利用GIS中多值提取至点工具,得到每个验证点在不同插值方法下的预测值。

## 2.3 误差分析

采用平均绝对误差(mean absolute deviation,简称MAE)、平方根误差(root mean square error,简称RMSE)和平均相对误差(average relative error,简称MRE)作为本研究常用插值方法误差对比的评价指标。

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{oi} - Z_{ci}| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{ci})^2}; \quad (5)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Z_{oi} - Z_{ci}}{Z_{oi}} \right| \quad (6)$$

式中: $Z_{oi}$ 、 $Z_{ci}$ 分别为生物量干质量的实测值和预测值, $n$ 为验证的采样点数。

## 3 结果与分析

不同插值方法计算得到的草地生物量空间分布图各不相同,利用平均绝对误差、平均相对误差、平方根误差等3个误差评价指标对其插值情况进行评价分析,以此来判断插值方法的精度。每组试验经随机点5次重复试验验证,并计算各个插值方法的MAE、MRE、RMSE等3种误差。

从图3可知,在常用的插值方法中,无论是从平均绝对误差、平均相对误差对比分析,还是从平方根误差对比分析,反距离权重法的误差均最低,插值精度最高,规则样条函数法误差最大,插值精度最低,趋势面法的误差比张力样条函数法的小,克里金法几种半变异函数模型之间的插值误差基本相差不大,表明反距离权重法比较适用于天然草地生物量空间分布的插值研究。主要原因是反距离权重法基于相近相似原理:2个物体在空间位置上靠的越近,它们之间所具有的性质就越相似,而在空间位置上相距越远的2个物体则相似性就越小。在一定距离范围内,比如同一个坡度坡向的地段,草地生物量基本相同。经随机验证,反距离权重法的平均绝对误差为27.8589 g,平均相对误差为50.3541%,平方根误差为36.33567 g。与规则样条函数法的插值结果相比,反距离权重法的平均绝对误差降低48.19%,平均相对误差降低40.7639百分点,平方根误差降低58.41%。用反距离权重法对2016年4—6月的草地生物量数据进行空间插值,生成研究区每月的草地生物量空间分布图(图4)。但是相对来说,反距离权重法的误差还是比较高的。这可能与以下几种因素有关:(1)研究区属于低山丘陵区,地形因素比较复杂,地势起伏比较大,坡度、坡向因素比较复杂。(2)采样点数目太少,致使在进行空间插值时,误差偏大。

## 4 结论

不同的空间插值方法适用于不同的研究目的和研究区域,本研究利用2016年4—6月野外采集的天然草地生物量数据,采用克里金法、反距离权重法、样条函数法和趋势面法分别对研究区草地生物量进行空间插值分析,结果表明,反距离权重法比较适用于天然草地生物量的空间分布研究。由于新疆特殊的自然条件,在后续的研究工作中,将考虑草地生物量与地形、地理因素关系不同的特点,比如坡度、坡向、高程等地形因素,找出影响因子并在空间插值中考虑这些因素的影响,从而降低误差,提高插值精度。

致谢:新疆农垦科学院杨永林老师、紫泥泉种羊场工作人员在草地生物量数据采集中提供支持帮助,谨此致谢!

## 参考文献:

- [1] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, et al. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982—2006[J].

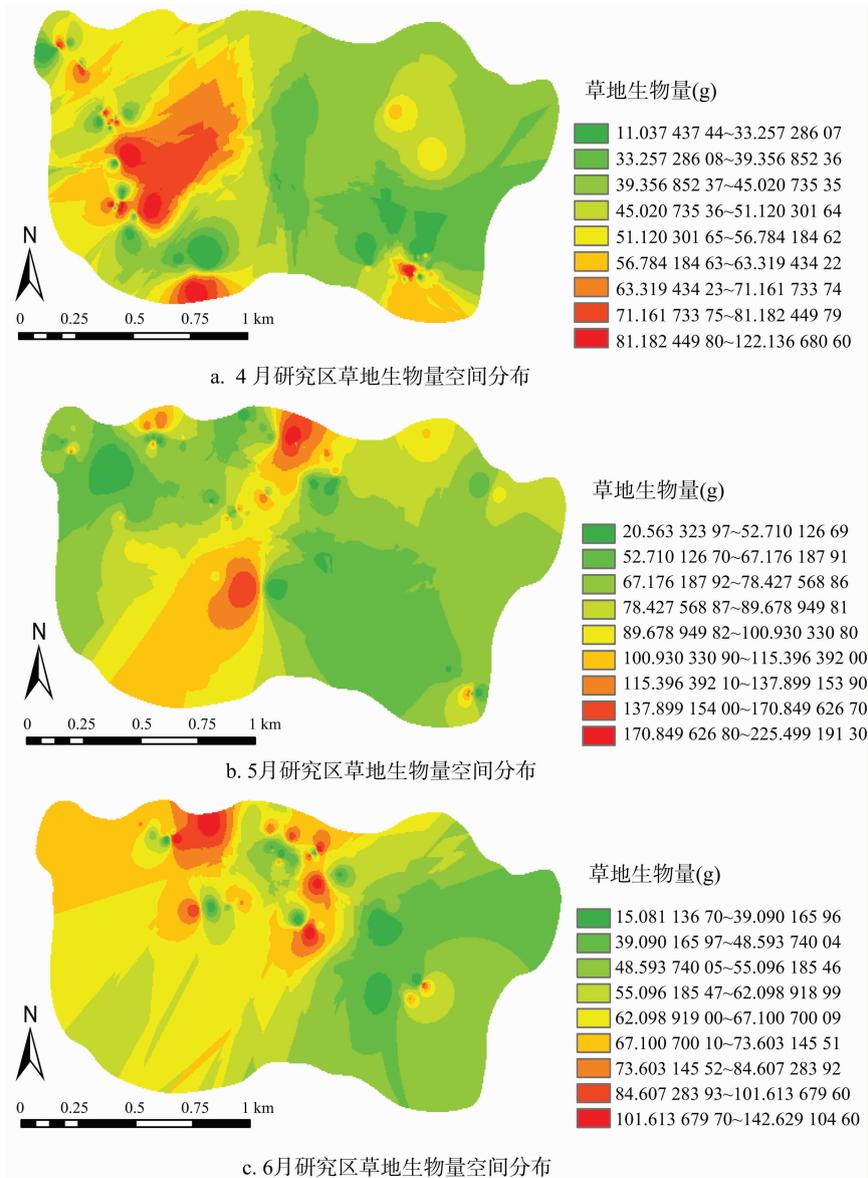
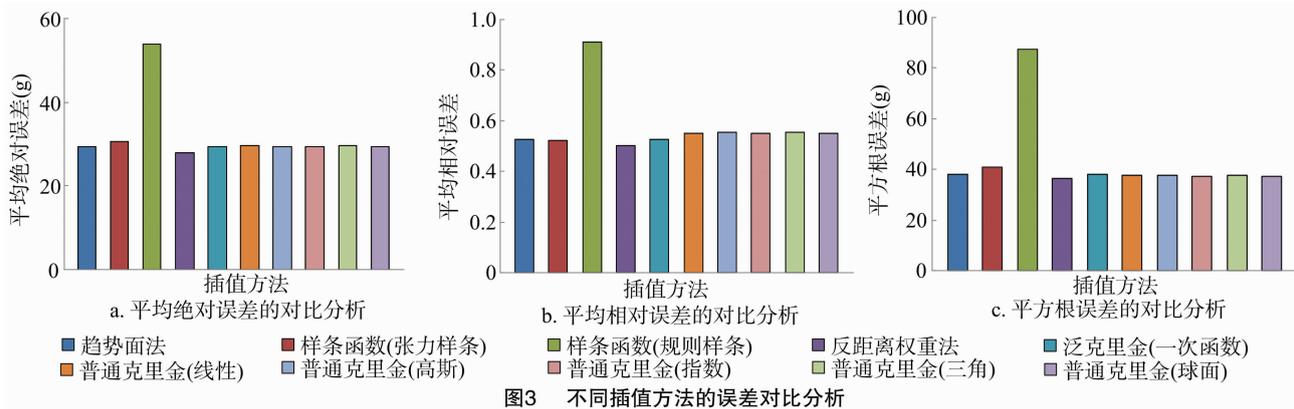


图4 2016年4—6月研究区草地生物量空间分布

Science China Life Sciences, 2010, 53(7): 841 - 850.

[2] Jmo S, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements [J]. Global Change Biology, 2002, 8(8): 736 - 753.

[3] Jmo S, Hall D O. The global carbon sink: a grassland perspective [J]. Global Change Biology, 1998, 4(2): 229 - 233.

[4] 王新云, 郭艺歌, 何杰. 基于多源遥感数据的草地生物量估算方法 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 159 - 166, 294.

杨艳魁,陈芸芝,吴波,等. 基于高分二号影像结合纹理信息的茶园提取[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):210-214.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.053

# 基于高分二号影像结合纹理信息的茶园提取

杨艳魁,陈芸芝,吴波,汪小钦

(福州大学空间数据挖掘和信息共享教育部重点实验室/福建省空间信息工程研究中心,福建福州 350116)

**摘要:**为提高高分辨率遥感影像分类精度,针对高分二号影像发展一种综合利用遥感影像光谱和纹理信息的茶园种植区提取方法。该方法首先利用归一化植被指数(NDVI)和修正的归一化植被指数(MNDVI)构建新的光谱特征——差异归一化差分植被指数(DNDVI),通过灰度共生矩阵(GLCM)构建新的纹理特征——灰度共生纹理(GLCT),然后结合光谱和纹理特征运用支持向量机(SVM)的方法进行分类。试验采用2种方案(原始波段+光谱特征,原始波段+光谱特征+纹理特征)对影像进行分类,分类总体精度分别为79.6%、89.8%,Kappa系数分别为0.659、0.788。结果表明,结合纹理信息能明显地提高分类精度,并较好地实现对高分二号影像茶园种植区的分类提取。

**关键词:**高分辨率;光谱;纹理;GLCM;茶园提取

**中图分类号:** TP79;S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)02-0210-05

中国是世界上最早利用茶叶、栽培茶树的国家,有着独特的茶文化,而且中国的茶园面积和茶叶产量均居世界第一;因此准确获取茶树种植区分布,可为政府部门进行茶园规划管理、茶叶估产及灾害预防处理等提供数据支撑<sup>[1]</sup>。

但传统通过构建指数等光谱特征来提取作物的方法,由于存在着同谱异物、同物异谱等问题,具有很大的局限性。茶树与其他植被的光谱特征非常相似,使得茶树与其他植被容易产生严重的光谱混淆问题<sup>[2]</sup>。解决光谱混淆的一个重要

方法是引入以空间信息为基础的纹理特征<sup>[3]</sup>,采用基于多特征的分类方法提高影像的分类精度<sup>[4-5]</sup>。高分辨率遥感影像由于其分辨率足够高,提供了丰富的地面信息,不同地物内部的纹理差异得到很好体现<sup>[6]</sup>,使得纹理特征的提取与应用得到广泛关注。随着高分辨率遥感影像的普遍,基于高分辨率影像结合纹理特征的分类方法得到广泛应用。杨红卫等利用高分辨率影像纹理特征分别对橡胶林和农业区土地利用类型进行分类研究<sup>[7-8]</sup>。佘袁勇等通过将纹理特征分别与光谱特征和几何特征有效结合,实现对地表覆盖和城区道路的分类和提取<sup>[9-10]</sup>。在上述研究的基础上,本研究尝试结合光谱特征和纹理特征,得到适用于高分二号影像茶园种植区提取的分类方法。

本研究利用高分二号数据,以福建省安溪西部为研究区域,通过构建特征提取茶园区相关光谱和纹理信息,利用机器学习的方法结合光谱信息和纹理信息,对茶园种植区进行提

收稿日期:2017-09-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401488,41571330);福建省高校产学研重点项目(编号:2017Y4010)。

作者简介:杨艳魁(1991—),男,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事遥感信息处理与应用研究。E-mail:fdzxyk@163.com。

通信作者:陈芸芝,博士,副研究员,主要从事环境与自然资源遥感方面研究。E-mail:chenyunzhi@fzu.edu.com。

[5]阿依努尔·达吾提,麦提敏·乃依木. 新疆草地退化现状、原因及防治对策[J]. 新疆畜牧业,2015(10):18-21.

[6]沈海花,朱言坤,赵霞,等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报,2016,61(2):139-154.

[7]罗玲,王宗明,任春颖,等. 基于MODIS数据的松嫩草原产草量遥感估算模型与空间反演[J]. 农业工程学报,2010,26(5):182-187,388.

[8]Turner D P, Ritts W D, Cohen W B, et al. Site-level evaluation of satellite-based global terrestrial gross primary production and net primary production monitoring[J]. Global Change Biology, 2005, 11(4):666-684.

[9]周鑫,盛建东,张文太,等. 基于MODIS数据的伊犁地区草地上生物量反演[J]. 草地学报,2015,23(1):27-33.

[10]Kawamura K, Akiyama T, Yokota H, et al. Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 107(1):83-93.

[11]中国农科院草地研究所,中国科学院自然资源综合考察委员会. 中

国草地资源数据集[M]. 北京:中国农业科技出版社,1994:10-75.

[12]Ni J. Forage yield-based carbon storage in grasslands of China[J]. Climatic Change, 2004, 67(2/3):237-246.

[13]刘占宇,黄敬峰,吴新宏,等. 草地生物量的高光谱遥感估算模型[J]. 农业工程学报,2006,22(2):111-115.

[14]张凯,郭锐,王润元,等. 甘南草地上生物量的高光谱遥感估算研究[J]. 草业科学,2009,26(11):44-50.

[15]解平静. 高原湿地植被地上生物量遥感估算方法及时空变化研究[D]. 成都:电子科技大学,2012.

[16]张小琪. 阿勒泰地区草地生物量遥感反演模型的建立[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[17]李俊晓,李朝奎,殷智慧. 基于ArcGIS的克里金插值方法及其应用[J]. 测绘通报,2013(9):87-90,97.

[18]丁连军,吕新,郭鹏,等. 基于GIS石河子垦区数字高程的空间插值法研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2007,25(4):435-439.

[19]李稳. 利用趋势面分析法判定城市供水管网中漏失区的研究[D]. 太原:太原理工大学,2006.