

基于 Sentinel-2 遥感影像的烟草种植信息精准提取

薛宇飞, 张 军*, 张 萍, 李宇宸

(云南大学地球科学学院, 昆明 650500)

摘要: 为探索快速、实时、精准和更具成本效益的烟草面积和产量监测方法, 选取云南省德宏傣族景颇族自治州芒市为研究区域, 采用 Sentinel-2 多光谱数据为数据源, 对 2020 年 3 月份云南省德宏州芒市烟草、林地、水体等地物光谱特征和植被指数、红边指数进行了分析, 应用面向对象的方法精准提取烤烟种植区域信息, 提取的烟草面积为 3 873.34 hm²。精度评价结果表明, 提取的总体精度达到 94.38%, Kappa 系数为 0.93, 可满足烟叶生产管理的实际需求。认为以 Sentinel-2 多光谱影像为数据源结合面向对象的方法可以有效实现烟草种植信息的精准提取, 进而为县域范围内烟草生产管理提供数据支撑。
关键词: 烟草; Sentinel-2; 面向对象分类; 随机森林分类; 精准提取

Object-oriented Accurate Extraction of Tobacco Information Based on Sentinel-2 Remote Sensing Images

XUE Yufei, ZHANG Jun*, ZHANG Ping, LI Yuchen

(College of Earth Sciences of Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to explore a fast, real-time, accurate and more cost-effective monitoring method for tobacco area and yield, Mang City, Dehong Dai Jingpo Autonomous Prefecture, Yunnan Province was selected as the study area, and Sentinel-2 multispectral data was used as the data source to analyze the spectral characteristics and vegetation index and red edge index of tobacco, woodland, water bodies and other features in Mangshi, Dehong Dai Jingpo Autonomous Prefecture, Yunnan Province, in March 2020. The object-oriented method was applied to accurately extract information on flue-cured tobacco planting area, and the extracted tobacco area was 3 873.34 ha. The accuracy evaluation results showed that the overall accuracy of extraction reached 94.38%, and the Kappa coefficient was 0.93, which could meet the actual needs of tobacco production management. It is concluded that the combination of Sentinel-2 multispectral images as the data source and the object-oriented approach can effectively realize the accurate extraction of tobacco planting information, and then provide data support for tobacco production management within the county.

Keywords: tobacco; Sentinel-2; object-oriented classification; random forest classification; accurate extraction

烟草是我国重要的经济作物之一。烟草的生长发育对光、热、水等自然环境条件反应敏感, 烟叶生产周期长、种植劳动强度大、用工投入多、技术要求高^[1]。快速、实时、准确和定位化获取烟草生长信息是实现烟叶精益生产、推动现代烟草农业发展的基础^[2]。目前烟草面积核查、产量估计仍是基于实地踏勘和人工测量估算, 并逐级上报进行统计汇总, 中间过渡环节、人为因素干扰较多, 且造成大量人力、物力和财力浪费^[3-4]。

遥感在监测和区分不同类型的植被以及反演植被健康情况和作物成熟状况方面发挥出显著作用^[5-7], 已在农作物监测领域得到广泛应用。吕小艳等^[8]论述了应用遥感监测烟草病虫害、长势和产量

的可行性, 但受限于诸多因素, 利用遥感在大尺度上对烟田面积精确提取面临挑战。李朋彦^[2]应用高光谱无人机对烟草长势进行监测, 发现其长势好坏与光谱之间具有显著相关性, 证明利用无人机遥感监测烤烟生长、鉴别烟草类型及开花程度具有可行性。陈金等^[9]应用无人机遥感影像针对宁乡横市基地单元烟草种植面积信息进行了提取, 结果表明其提取精度较高。严欣荣等^[10]采用 Sentinel-2 遥感影像, 在机器学习分类方法的支持下对沧源县范围内分散分布的丛生竹林空间信息精确提取, 发现沧源县竹林主要分布在海拔 900~1200 m 的缓坡或倾斜处; 并对比随机森林分类 (Random Forest, RF) 反向传播神经网络分类 (Back Propagation Neural

基金项目: 云南大学研究生创新人才培养项目 (C176230200); 双一流-云南大学一流大学建设项目-地理学学科建设项目 (C176210215)

作者简介: 薛宇飞 (1997-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为遥感应用与 GIS 开发。E-mail: yufei_xyf@163.com

*通信作者, E-mail: zhjun@ynu.edu.cn

收稿日期: 2021-03-29

修回日期: 2021-10-18

Network, BPNN) 支持向量机分类 (Support Vector Machine, SVM) 三种机器学习分类方法, 得出随机森林分类精度优于支持向量机和反向传播神经网络的结论。魏梦凡^[11]应用 Sentinel-2A 遥感影像采用支持向量机分类、面向对象分类方法对开封市冬小麦的种植面积信息进行提取, 并基于以上两种方法提出了一种 V2OAE (Vector Object Oriented Area Extraction) 的分类方法, 进一步提高了冬小麦种植面积的提取精度。张阳等^[12]基于 Sentinel-2A 遥感影像采用决策树分类法 (Decision Tree) 对湖南省茶陵县烤烟种植面积进行提取, 其结果可满足烤烟生产管理的实际需求。李龙伟等^[13]利用 Sentinel-2 遥感影像研究一种快速、准确提取茶园空间分布的新方法, 根据 Sentinel-2 遥感影像中的红边波段与短波红外波段构建归一化茶园指数 (Normalized Difference Tea Garden Index, NDTI), 成功实现浙西北茶园信息的提取, 证明红边波段在提取茶园信息上具有较大潜力。陈蕊等^[14]以山东省胶州地区遥感影像为例, 分析评价了面向对象分类和监督分类方法, 结果表明面向对象方法精度更高、更可靠。

上述学者多将遥感监测技术应用在常见作物的大规模信息提取, 对于烟草作物的研究则是集中在小规模、无人机遥感方面, 而对基于 Sentinel-2 卫星遥感影像数据提取烟草作物信息方面的研究还不够深入, 尤其是通过应用对植被信息敏感的红边波段及其衍生因子对烟草信息进行更加精细化、准确化的提取, 更是鲜有研究。云南省是我国规模最大的烟叶生产基地, 本研究选取云南省德宏傣族景颇族自治州芒市为研究区域, 对 Sentinel-2 数据进行预处理后, 应用面向对象的方法精准提取烤烟种植区域信息, 旨在为应用遥感技术监测烟草种植面积提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

芒市位于云南省西部, 东经 $98^{\circ}05' \sim 98^{\circ}44'$, 北纬 $24^{\circ}05' \sim 24^{\circ}39'$ 之间。芒市东西长约 71 km, 南北宽约 62 km, 总面积 2987 km², 其中山地面积占 89%, 盆坝平地河谷占 11%; 地势东北高西南低, 海拔 469 m 至 2835 m。属低纬度高原季风气候, 其烤烟大田生长期 (2—6 月) 的气候条

件与优质烟叶产区津巴布韦在光、热、水等自然条件方面具有较高的相似性。烤烟大田生长期光照条件好, 能较好地进行碳代谢和生物质的积累, 并有利于合成酯类化合物, 形成较多的香气物质^[17]; 降水强度不大, 但降水有效性高, 能有效满足烤烟的生长发育; 气温相对适宜, 最高气温 36.2 °C, 最低气温 -0.6 °C, 年平均气温 19.6 °C, 能充分满足整个烤烟生长期需要的积温, 昼夜之间温差较大, 有利于烟株的糖分积累与分解以及次生代谢产物的形成, 合成出更多的香气物质^[15-17]。

1.2 数据源及预处理

研究所需 Sentinel-2 L1C 级免费数据产品来源于欧洲航空局数据共享网站 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)^[18]。Sentinel-2 卫星影像具有从可见光、近红外到短波红外共 13 个波段, 与 Landsat 系列等光学卫星相比, 具有更丰富的光谱信息、更高的时间和空间分辨率; 且 Sentinel-2 卫星是目前唯一在红边范围设有 3 个波段的卫星, 其红边波段可为植被分类、监测植被健康信息、以及估算叶面积指数等提供有效的数据源^[18-20]。相关参数见表 1^[21]。

为提高分类精度, 首先了解研究区的先验知识, 研究区主要作物类型为烤烟、水稻、玉米、茶叶、咖啡、甘蔗等。依据主要作物的农事历, 11 月初为烤烟播种期, 12 月初为烤烟的移栽期, 之后烤烟进入生长期, 次年 4 月初开始采收。因此, 本研究影像数据应在 12 月至次年 4 月之间选取。经筛选, 选取 2020 年 3 月 13 日的影像数据, 研究区内云量少, 图像质量好。数据参数见表 2。

对于数据的预处理, 使用 ENVI 5.3、SNAP 8.0 软件为遥感影像处理软件。Sentinel-2B_MSL1C 数据已经过几何精校正, 故仅需使用 SNAP 软件对其进行大气校正和重采样处理, 其中大气校正使用 Sen2Cor-2.8.0 模块下进行^[22-23]; 裁剪研究区域等剩余操作在 ENVI 软件中进行。

1.3 构建特征集及土地利用和覆被类型划分

参考前人在烟草信息提取及相关方面的研究结果^[2, 4, 9, 10, 12-13, 18], 发现应用光谱特征可将水体、植被及其他类型的地物区分, 但烟草、林地和其他类型农作物的光谱曲线较为接近, 部分还存在同谱异物现象。而植被指数根据绿色植被在红光波段具

表1 Sentinel-2 参数表
Table 1 Paramater of Sentinel-2

波段 Band	中心波长 Central wavelength/nm	波段宽度 Band width/nm	空间分辨率 Spatial resolution/m
B1-海岸/气溶胶波段 Coastal aerosol	443	20	60
B2-蓝 Blue	490	65	10
B3-绿 Green	560	35	10
B4-红 Red	665	30	10
B5-植被红边波段 1 Vegetation red edge 1	705	15	20
B6-植被红边波段 2 Vegetation red edge 2	740	15	20
B7-植被红边波段 3 Vegetation red edge 3	783	20	20
B8-近红外波段 NIR	842	115	10
B8a-窄近红外波段 Narrow NIR	865	20	20
B9-水蒸气波段 Water vapour	945	20	60
B10-短波红外波段 Cirrus 型 SWIR-Cirrus	1375	30	60
B11-短波红外波段 1 SWIR 1	1610	90	20
B12-短波红外波段 2 SWIR 2	2190	180	20

表2 Sentinel-2 数据列表
Table 2 Sentinel-2 data list

卫星 Satellite	产品等级 Product class	获取时间 Acquisition time	处理基线编号 Processing baseline number	相对轨道编号 Relative orbit number	拼接域编号 Stitching field number
S2B	L1C	20200313T035539	N0209	R004	T47RMH
S2B	L1C	20200313T035539	N0209	R004	T47QMG

有低反射率、在近红外波段具有高反射率的特性，可反映植被盖度、叶绿素含量等生物物理参数，不同的植被具有不同的植被指数^[12, 24]，用来区分植被区域，因此引入植被指数区分烟草、林地和其他农作物。参考前人研究中烟草、林地、灌木的植被指数的比较结果^[12]，选取归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 和插值植被指数 (Difference Vegetation Index, DVI) 参与分类，并依据 Sentinel-2 卫星中红边波段专门用于监测植被的特性，使用红边波段计算植被指数并加入到 3 种地物的分类特征变量集中。因此，本研究选取光谱特征、归一化植被指数、红边指数^[18]来构建特征变量集，具体见表 3^[12]。

表3 特征变量集概述

Table 3 Description of the feature set

指标 Index	特征变量 Characteristic variables	说明或计算公式 Description or calculation formula
光谱特征变量 Spectral characteristic variables	B	B5、B6、B7、B8、B8a、B9、B11、B12
植被指数 Vegetation index	NDVI	(B8a-B4)/(B8a+B4)
	DVI	B8a-B4
植被红边指数 Vegetation red edge index	NDVI _{re1}	(B8a-B5)/(B8a+B5)
	NDVI _{re2}	(B8a-B6)/(B8a+B6)
	NDVI _{re3}	(B8a-B7)/(B8a+B7)

研究区内作物种类较为复杂，且植被分类尚无统一标准，本研究参考地理国情普查内容与指标中设置的土地利用类型分类标准^[25]，根据研究需要，将芒市主要地物类型划分为水体、植被和其他用地 3 种类型，其中植被又划分为烟田、林地、其他作物 3 类，其他用地划分为建设用和裸地 2 类；云层、云层产生的阴影单独分类。

1.4 随机森林分类方法

随机森林算法 (RF) 是由多棵 CART (Classification And Regression Tree) 决策树构成的新型机器学习方法，如果把决策树看成分类任务中的一个专家，随机森林就是许多专家在一起对某种任务进行分类，且对数据进行分类的同时，还可以给出各个变量的重要性评分，评估各个变量在分类中所起的作用^[26]。RF 具有分析复杂相互作用分类特征的能力，可以实现较高的分类准确率、较强的抗噪、抗异常值能力，并能同时处理大量数据^[27]，已成为目前遥感影像分类算法中炙手可热的分类器。

1.5 面向对象的影像分类方法

传统的分类方法以像元为基本分类和处理单元，普遍存在“椒盐”现象，具有一定的局限性^[28]；面向对象的遥感影像分类方法打破了这种局限性，以含有更多语义信息 (形状、大小、纹理等) 和对象之间的空间关系 (拓朴关系、邻近关系、方向关

系等)的多个相邻像元组成的对象为处理单元,处理单元的内部像元特征一致或相近,相邻分割斑块间的异质性达到最大,综合计算每个单元的光谱和形状异质性因子的综合特征值,通过模仿人们对现实世界中各种事物的认知过程来实现较高层次的遥感图像分类和目标地物提取,达到较好的遥感图像分类效果^[29-30]。本研究中主要应用了阈值分类和最邻近分类的方法。

1.6 多尺度分割

多尺度分割(Multiresolution Segmentation)是eCognition 软件中最常用的一种分割算法。多尺度分割以分割对象异质性最小、分割后对象与欲获取目标吻合度最高为依据,其相关参数指标主要包括光谱异质性、形状异质性(平滑、紧密)、整体异质性,从多尺度、多角度对遥感影像进行分割,从而使分割结果与实际情况更加适应,具有更高的精度要求^[31]。在分割过程中,区域合并从单像素对象开始自下而上进行,小的影像对象合并为大的影像对象,在两两聚类过程中,影像对象的异质性权重通过底层优化过程达到最小化。在此过程中,每一步中的相邻影像对象如果符合规定的异质性最小生长条件,则被合并;但如果最小生长超过了由尺度参数定义的阈值,则分割过程会停止,并得到一个尺度的分割结果^[32]。通过调整尺度参数,使影像对象继续合并或像素合并,直到合并生成的新对象的异质性再次大于尺度参数设定阈值时结束合并^[33]。重复上述过程,即可得到多个尺度下的分割结果,进而建立对象层次网络。

1.7 最邻近分类

K 最邻近(K-Nearest Neighbor, KNN)算法是一种在特征空间中基于最邻近的训练样本来区分对象的方法。其基本思路是:一个对象的分类取决于其周围最邻近的样本类别,在特征空间中,如果该对象的 K 个(K 是一个正整数,通常很小)最邻近样本中的大多数属于某一类,那么该样本也属于这一类。周围有限且邻近的样本而非类域,是 K 最邻近分类方法用来确定所属类别的最主要依据。因此对于各种类域之间交叉或重叠比例较多的待分类样本集来说, K 最邻近分类方法较其他类型分类方法更为适合^[34]。本文中研究区各作物种植区域之间交叉度比较高,采用 K 最邻近分类方法比较适宜。

1.8 精度评价

遥感图像分类结果的优劣需要以精度进行定量评价,即将分类后图像中的对象与其对应的实际地物进行精度对比,以正确分类的占比表示每类的分类精度。常用混淆矩阵进行分类精度的评价,混淆矩阵由 n 行 $\times n$ 列元素组成,矩阵中的每个元素代表每类地物的数量,从而算得分类精度。混淆矩阵能够清楚地看到每个地物正确分类的个数以及被错分的类别和个数,即各类别的混分和漏分误差。但是,混淆矩阵并不能直接看出分类精度的好坏,因此衍生出来各种分类精度测量指标,其主要测量指标为全局精度(Overall Accuracy, OA)以及 Kappa 系数^[35]。 OA 有很好的表征分类精度,但其值受到像元个数较多的类别的影响较大,不能很好地表征每个类别的地物。 OA 的具体公式如下:

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^n a_{kk}}{\sum_{i,k=1}^n a_{i,k}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_{kk}$$

Kappa 系数是一个完全不同的概念,可以用更客观的指标来评价分类质量。Kappa 系数产生的评价指标被称为 Khat 统计,可反映提取结果与真实地物的吻合度。当 Kappa 系数小于 0.4 时,表明吻合度较差;当 Kappa 系数介于 0.4~0.6 之间,表明吻合度较一般,当 Kappa 系数高于 0.6 时,说明二者的吻合度较强^[13,30]。其计算公式如下:

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

式中, r 是混淆矩阵中总列数(即总的类别数); x_{ii} 是混淆矩阵中第*i*行、第*i*列上像素数量(即正确分类的数目); x_{i+} 和 x_{+i} 分别是第*i*行和第*i*列的总像素数量; N 是总的用于精度评估的像素数量。

本文选取混淆矩阵作为精度评价的方法来客观评价所采用的分类方式能否能较好地对烟草信息进行提取。

1.9 技术路线

本研究总体思路:首先,对覆盖研究区的 Sentinel-2 影像进行预处理;其次,利用面向对象的分类方法提取烟草信息,并与随机森林分类结果进行对比,评价分类精度,最终获得 2020 年芒市烟草种植区域图。研究技术路线如图 1 所示。

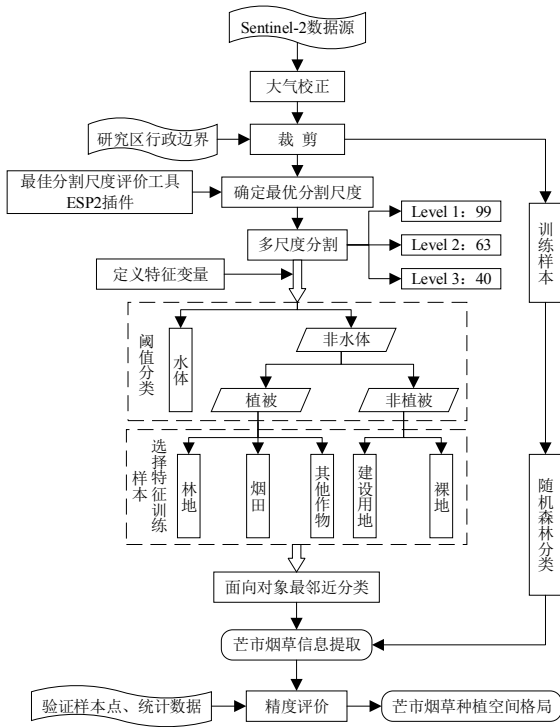


图1 技术路线图

Fig 1 Technology roadmap

2 结果

2.1 分类特征选择

根据3月份芒市主要地物的光谱响应曲线(图2)可知,水体在B5~B12波段的反射率明显低于其他地物,其NDVI、NDVI_{re1}~NDVI_{re3}、DVI值远远小于其他地物(图3),表明水体在近红外(Near Infrared, NIR)波段的吸收率大于其他地物,据此可将水体与其他地物区分开;在B11、B12波段,裸地的反射率具有明显特征且高于建设用地、其他作物、烟田及林地,可据此来识别裸地;建设用地在B6~B9波段与其他地物有较大区别,可以明显区分;林地、烟田和其他作物3种植被的光谱曲线较为接近,但烟田、林地在B12波段反射率小于其他作物,其NDVI、NDVI_{re1}值大于其他作物,可将此作为分类依据;进一步分析发现,烟田、林地的NDVI存在一定差异,林地的NDVI值要大于烟田,但烟田在B1~B12波段的光谱响应曲线整体要高于林地。云层与其他地物类型差异过大,未在图中展示。

2.2 确定最优分割尺度

本研究中采用ESP2插件来确定最优分割尺度,理想的分割结果是:分割后得到的对象应具有较高

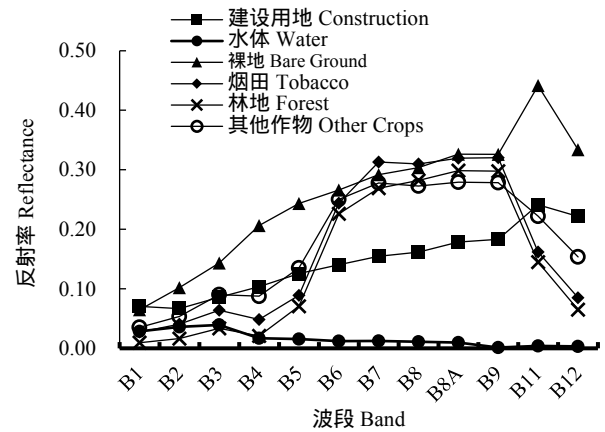


图2 地物光谱特征

Fig 2 Feature spectral characterization

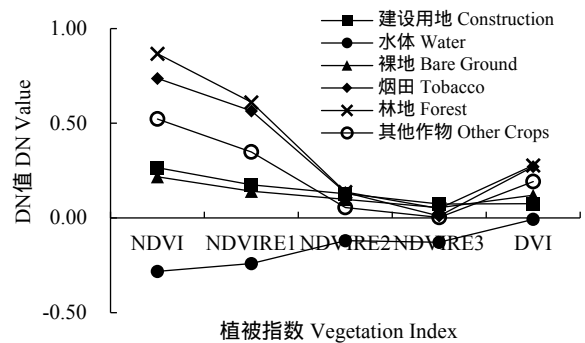


图3 地物植被指数

Fig 3 Feature vegetation index

的内部均质性,且异质性达到最小,不会有混合目标;分割后所得相邻对象之间应有明显的属性特征差异,能够很好地被区分^[36]。经多次试验,划分为3层尺度(图4),分别对应阈值分类(区分水体与非水体、植被与非植被)和最邻近分类。从图4可以看出,Level 1的尺度为99,分割后得到的对象较大,与相邻对象之间的属性特征差异明显,裸地、建筑、植被等能较好地区分,也能区分水体与非水体、植被与非植被;Level 2的尺度为63,分割后得到的对象较小,在Level 1尺度的基础上进行了细分,将一些属性特征差异较明显的相邻对象进行了分割;Level 3的尺度为40,分割的对象更小,相邻对象的属性特征差异不明显。如图4(c)中深绿色和浅绿色林地图斑,同属林地,因树型、树龄等的不同存在属性特征差异,但不明显,以及林地边缘的裸地、覆盖有微量植被的裸地和裸地的属性特征差异同样不明显,但在Level 3的尺度下,能被较好

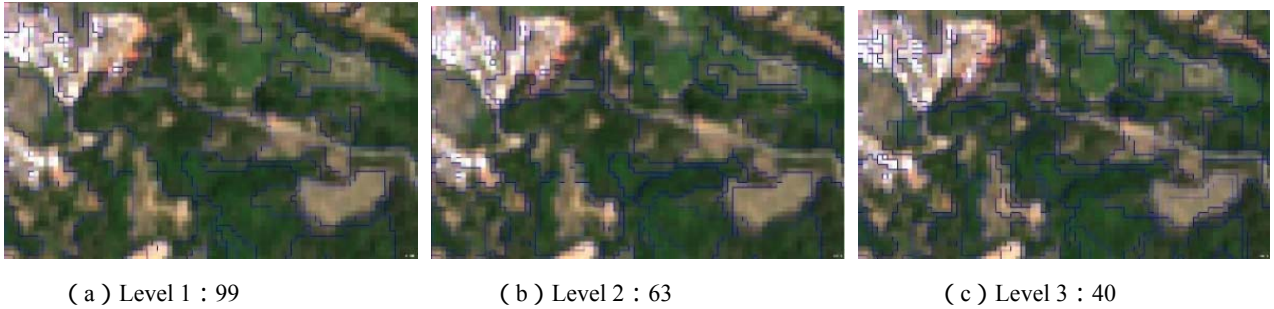


图 4 不同尺度下分割效果对比

Fig. 4 Comparison of segmentation effects at different scales

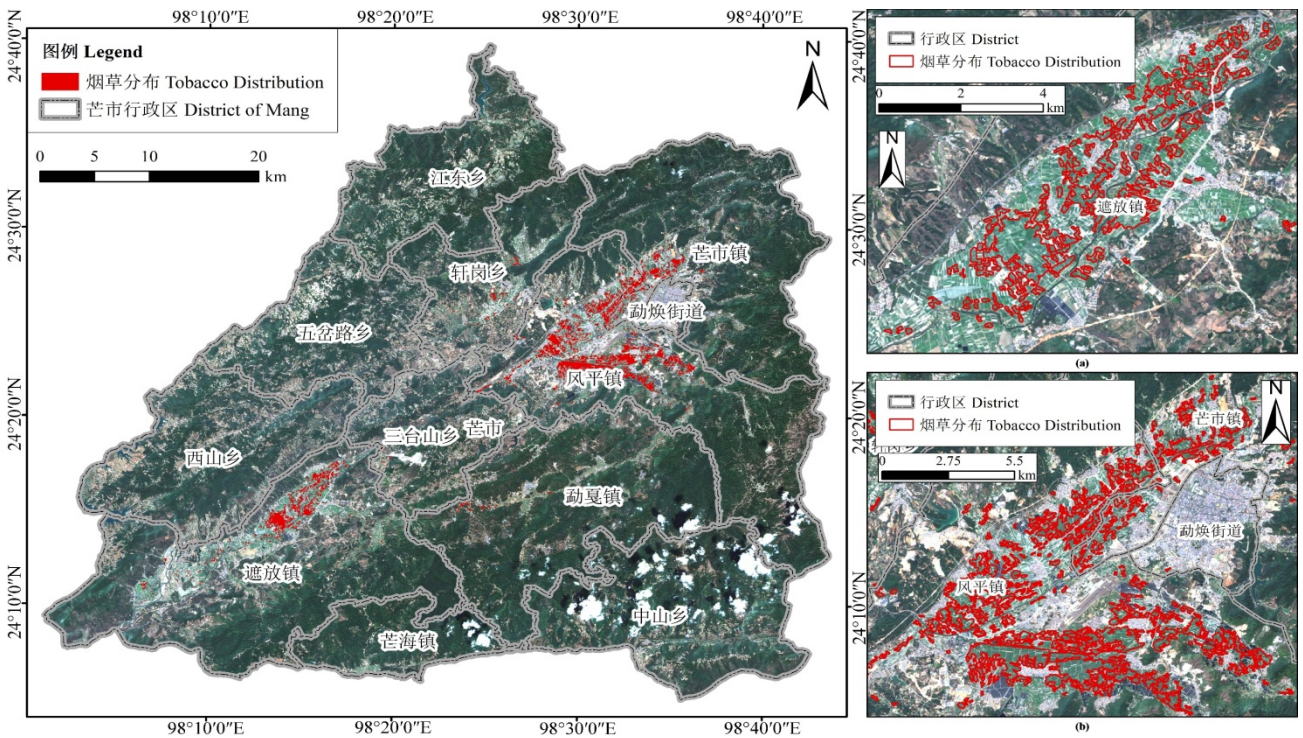
分割。因此，本文选取 Level 1 尺度进行阈值分类，首先区分水体与非水体、植被与非植被；选取 Level 2、Level 3 尺度进行最邻近分类，Level 2 用以区分植被、裸地、建筑等，Level 3 用以区分同类中属性特征差异不明显的对象。

2.3 分类规则与结果

本研究主要采用 NDVI、NIR、各波段不同地物反射率等数据作为阈值分类和最邻近分类的分类规则。根据分析，127 NIR 1500 为水体，其余为

非水体；0.25 NDVI_{re2} 0.6 为植被，其余为非植被。随后，以烟田、林地、其他作物、建设用地、裸地为分类体系定义训练样本，执行面向对象最邻近分类。

建立分类规则形成初步结果后，通过过滤小图斑等处理，最终生成 2020 年芒市烟草种植区域图，见图 5，并依据野外调查数据及辅助资料建立了基于研究区 Sentinel-2 真彩色合成影像的遥感解译标志，见表 4。




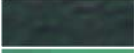






注：(a)、(b)为烟草种植区域局部放大示意图，(a)为遮放镇区域，(b)为风平镇、芒市镇、勐焕街道区域。

Note: (a) and (b) are the partial enlarged schematic diagrams of the tobacco growing area, (a) is the area of Zhaifang Town, (b) is the area of Fengping Town, Mangshi Town, and Menghuan Street.

图 5 基于 Sentinel-2 遥感影像的 2020 年芒市烟草种植区域图 (4、3、2 波段)

Fig. 5 Map of tobacco growing areas in Mangshi in 2020 based on Sentinel-2 (4, 3, 2 bands)

表4 基于 Sentinel-2 遥感影像的芒市土地利用类型解译标志

土地利用类型	4、3、2 波段合成影像
Land use type	4, 3, 2 band composite image
烟草 Tobacco	
林地 Forest	
其他作物 Other crops	
水体 Water	
建设用地 Construction land	
裸地 Bare ground	
云层 Cloud	
云层阴影 Cloud shadow	

由表 4 可知,图 5 中水体颜色整体呈深蓝色,与其他类型地物区分明显;建设用地因包括的地物较多,颜色较为杂乱;裸地呈褐色;云层呈白色,云层阴影呈黑色;烟田、其他作物、林地的颜色都为绿色,但烟田的绿色偏向蓝色颜色略深,林地颜色较深偏向黑色,其他作物的绿色偏浅。

2.4 分类及精度结果评价

通过基于样本点的混淆矩阵精度评价方法 (Error Matrix based on Samples) 来定量评价面向

对象分类、随机森林分类方法结果精度 (表 5),在 ArcGIS 中生成随机点,基于谷歌地球中高精度影像进行目视解译分类后作为样本点。在生成随机点之前首先基于研究区创建渔网,每个格网生成 1 个随机点,以保证随机点的生成能够均匀分布在整景影像中,而不是集中分布在某一区域导致精度过高或过低,共生成 2905 个随机点。生成随机点后,使用谷歌地球中的高精度影像对其进行目视解译,然后采用混淆矩阵在 eCognition 软件中进行精度评价。

综合 4 个精度评价指标,面向对象分类方法在芒市烟草信息提取中表现出较优的分类精度,总体精度、Kappa 系数以及各地类的生产者精度 (producer accuracy, PA) 和用户精度 (user accuracy, UA) 普遍高于 RF。面向对象分类的 OA 达到 94.38%, Kappa 系数达到 0.93,后者 OA 为 93.39%, Kappa 系数为 0.91。对于单一地类精度,面向对象方法提取的烟草的 PA 和 UA 均达到 98% 以上,其余各类 UA 也较高,表明其中错分现象较少;RF 提取烟草的 PA 为 92.20%, UA 为 86.09%,其他作物的 PA 为 64.32%, UA 为 89.51%,表明存在一部分烟草与其他作物混分。此外,建设用地与裸地也存在大量混分现象。

表5 面向对象与随机森林分类结果精度对比

Table 5 Comparison of the accuracy of object-oriented and RF classification results %

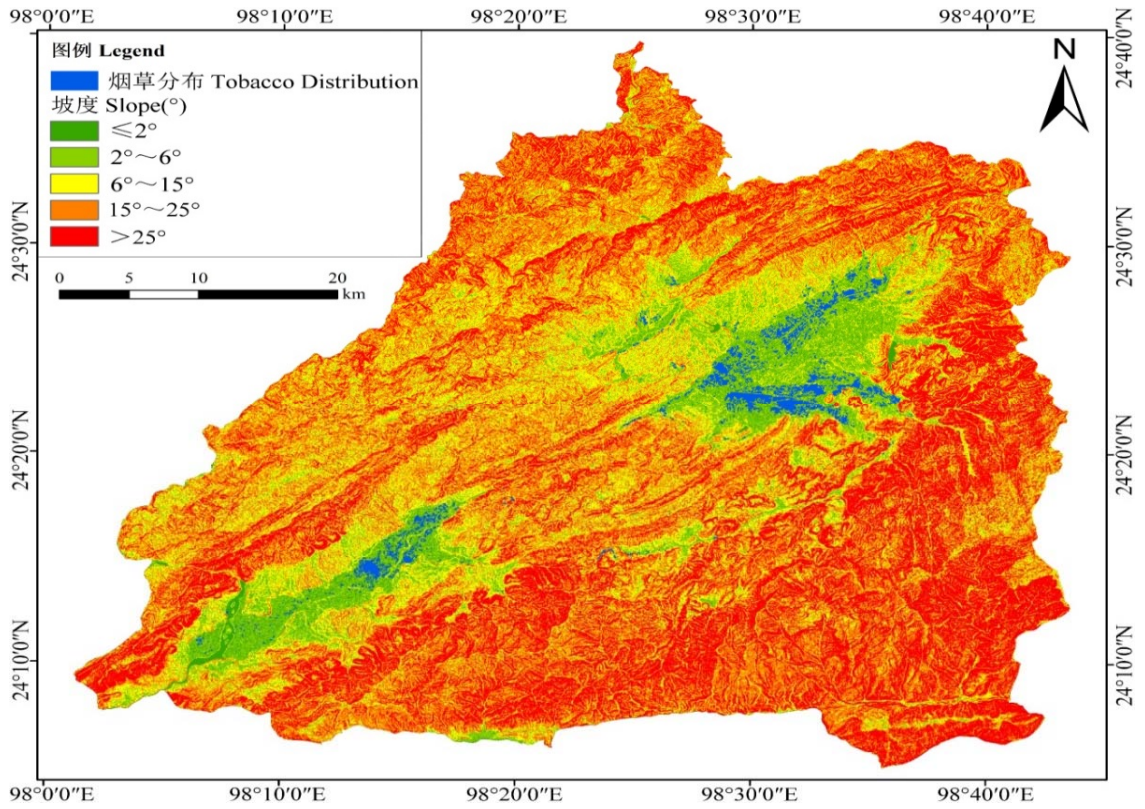
土地利用类型 Land use type	面向对象 Object oriented		随机森林 Random forest	
	生产者精度 Producer accuracy	用户精度 User accuracy	生产者精度 Producer accuracy	用户精度 User accuracy
烟草 Tobacco	98.74	98.43	92.20	86.09
林地 Forest	97.80	98.16	96.46	99.07
其他作物 Other crops	83.33	86.54	64.32	89.51
水体 Water	95.24	100.00	98.53	99.98
建设用地 Construction land	82.67	96.88	98.00	63.77
裸地 Bare ground	95.83	73.40	75.34	93.71
云层 Cloud	89.36	100.00	99.99	100.00
云层阴影 Cloud shadow	95.00	79.17	91.65	98.64
全局精度 Overall accuracy	94.38		93.39	
Kappa 系数 Kappa coefficient	0.93		0.91	

在面积提取方面,面向对象分类法的烟草提取面积为 3 873.34 hm^2 ,芒市 2020 年实际种植面积 3 573.34 hm^2 ^[37],面积误差为 8.40%;RF 烟草提取面积为 3229.46 hm^2 ,面积误差 9.60%。两种方法相比,面向对象分类方法取得了较好的提取效果。从分类效率上来说,RF 的表现优于面向对象。面向对象方法需要对地物特征进行选择、构建特征变量

集等,确定最佳分割尺度也需要一定时间;RF 无需做特征选择,且训练速度快。

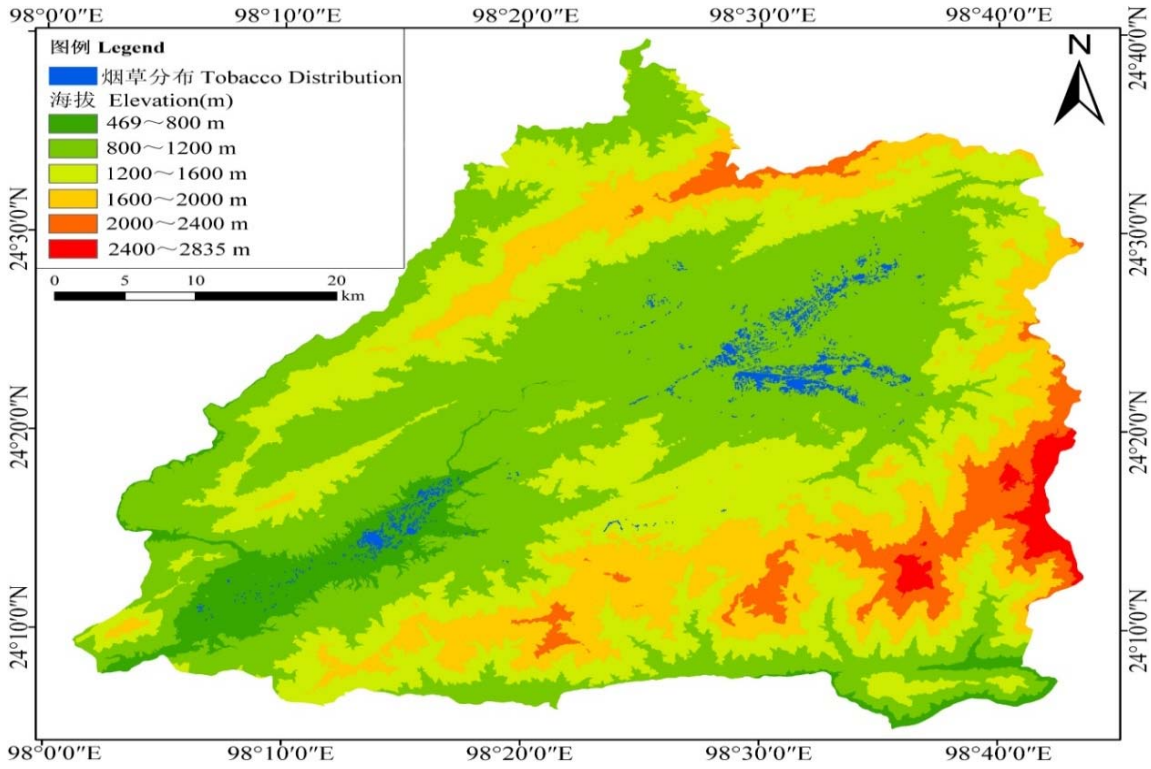
2.5 空间分布

将芒市 2020 年烟草种植区域与芒市的土地坡度与数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 进行叠加 (图 6),对其空间分布进行分析,并统计其信息 (表 6)。



(a) 芒市烟草分布与坡度叠加

(a) tobacco distribution in the slope overlap



(b) 芒市烟草分布与 DEM 叠加。(b) Tobacco distribution in the DEM overlay.

图 6 芒市烟草空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of tobacco in Mangshi

表6 芒市烟草在海拔、坡度的分布

Table 6 Distribution of tobacco at elevation and slope in Mangshi

坡度等级	面积	占比	海拔等级	面积	占比
Slope level	Area/hm ²	Percentage/%	Elevation level/m	Area/hm ²	Percentage/%
2°	1 045.32	26.99	469~800	840.51	21.70
2°~6°	2 517.41	64.99	800~1200	2 984.41	77.05
6°~15°	292.44	7.55	1200~1600	48.42	1.25
15°~25°	14.31	0.37	1600~2000	0.00	0.00
25°	3.86	0.10	2000~2400	0.00	0.00
			2400~2835	0.00	0.00

由图6(a)和表6可知,芒市烟草集中分布于坡度6°的区域,占到了芒市烟草种植面积的91.98%;高度上集中分布于海拔469至1200m的区域,占到了烟草总面积的98.75%。这些区域属冲积平原(坝子)和山间河谷盆地,地势平坦,地下水位低,土壤肥沃,适宜居住,周围村落密集,人力资源丰富,有利于优质烟叶生产。

3 讨论

(1)本文针对德宏州芒市种植的烟草这类特定作物,利用面向对象的最邻近分类和随机森林分类方法进行了研究、比较。与学者张阳^[12]的研究相比,其烟草提取的总体分类精度为90.29%,本研究中面向对象分类方法的总体分类精度为94.38%,随机森林方法的总体分类精度为93.39%,提取精度更高。其次,相比于文献[4]只使用了比值植被指数(Ratio Vegetation Index, RVI)来反演叶面积指数(Leaf Area Index, LAI),文献[12]未对植被红边指数加以研究,本文研究了烟草与其他作物在植被红边指数上的差异,并将其应用于烟草种植面积信息提取工作中,此方法具有一定的优越性。

(2)本研究也表明3月份烟草与部分林木、其他农作物存在异物同谱现象,对其光谱特征(图2)和主要植被指数(图3)分析表明,烟草的光谱特征和5种植被指数与林地、其他作物的差异不显著,3种地物在B5~B9波段的反射率均在0.3左右;进一步分析发现烟草的NDVI_{re2}、NDVI_{re3}与林地、其他作物的差异不显著,烟草和林地的DVI、NDVI、NDVI_{rel}均高于其他作物,同时烟草的NDVI、NDVI_{rel}略低于林地,可能是由于3月份芒市烟草逐渐进入成熟期但又未完全成熟,叶面积指数逐渐变大,与还处于生长期、叶面积指数较小的其他作物有所区分,且NDVI在高植被覆盖区容易出现饱

和现象^[38],因此烟草的NDVI、NDVI_{rel}高于其他作物而略低于林地。这也说明单一的光谱特征和DVI、NDVI_{re2}、NDVI_{re3}在单时相卫星数据提取烟草面积时不适用。

(3)本研究说明面向对象分类方法在芒市烟草信息提取研究中有良好的适用性,提取的烟草信息更符合实际情况、更有针对性,但在以下方面有待进一步研究:一是卫星数据时相选在烟草成熟期,时效性不足;其次是效率问题,就总体分类精度而言,面向对象分类方法的耗时约为随机森林方法耗时的2~3倍,但仅得到0.99%的提升,投入与产出失衡;三是只使用了1期数据进行研究,数据论证不足,后续可考虑多时相、多波段、多植被指数组合研究。

(4)烟叶生产属于劳动密集型产业,后续对烟草种植区域的空间分析也表明烟草主要种植在海拔400~1200m、坡度6°、人力资源丰富的坝子、山脚等人类宜居区,有利于烟草的生产管理,获得较好的经济效益。

4 结论

本研究以芒市烟草物候期内的Sentinel-2多光谱数据为数据源,采用NDVI、各波段不同的地物反射率等数据构建特征变量集,并对地物光谱特征、植被指数、红边指数等进行分析,以此构建分类规则,应用阈值和最邻近分类的方法,对芒市主要作物烟草进行种植面积信息精准提取,最终提取出芒市烟草种植面积并与RF提取结果进行对比分析,以面向对象法的分类结果作为最终分类结果,提取烟草面积为3 873.34 hm²,与年度实际种植面积相比,误差为8.40%,总体分类精度达到94.38%,Kappa系数为0.93,提取精度较高,结果科学可靠,可满足烟叶生产管理的实际需求。

参考文献

- [1] 王剑. 中国烟草农业风险特征与管理对策研究[J]. 经济视角, 2012, 212(3): 93, 94-96.
WANG J. Study on risk characteristics and management countermeasures of tobacco agriculture in China[J]. Economic Vision, 2012, 212(3): 93, 94-96.
- [2] 李朋彦. 基于无人机高光谱遥感的烤烟生长监测[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019.
LI P Y. Monitoring flue-cured tobacco growth based on unmanned aerial vehicle hyperspectral remote sensing[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019.
- [3] 赵仁源, 李世祥, 张长华. “3S”技术在遵义现代烟草农业建设中的应用[J]. 农业网络信息, 2012, 195(9): 38-40.
ZHAO R Y, LI S X, ZHANG C H. Application of “3S” technology in Zunyi modern tobacco agriculture [J]. Agricultural Network Information, 2012, 195(9): 38-40.
- [4] 李富欣, 张利红, 徐敏. 基于 GIS 的河南省烤烟移栽面积遥感监测及产量估算[J]. 江西农业学报, 2014, 26(7): 76-79, 83.
LI F X, ZHANG L H, XU M. Remote-sensing monitoring of flue-cured tobacco transplanting area and estimation of tobacco yield in Henan Province based on GIS[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2014, 26(7): 76-79, 83.
- [5] 杨红卫, 董小华. 中高分辨率遥感影像在农业中的应用现状[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 138-149.
YANG H W, TONG X H. Application status of middle and high resolution remote sensing images in agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24): 138-149.
- [6] 廖娟, 周忠发, 李波, 等. 基于高分辨率 SAR 数据的高原山区烟草后向散射特征分析[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(6): 74-79.
LIAO J, ZHOU Z F, LI B, et al. Analysis of tobacco scattering characteristics based on high resolution SAR data in plateau mountainous area[J]. Chinese Tobacco Science, 2014, 35(6): 74-79.
- [7] 陈仲新, 任建强, 唐华俊, 等. 农业遥感研究应用进展与展望[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 748-767.
CHEN Z X, REN J Q, TANG H J, et al. Progress and prospects of agricultural remote sensing research applications[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 748-767.
- [8] 吕小艳, 竞霞, 薛琳, 等. 遥感技术在烟草长势监测及估产中的应用进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(25): 137-141.
LV X Y, JING X, XUE L, et al. Remote sensing technology applied in growth monitoring and yield estimation of tobacco: a review [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(25): 137-141.
- [9] 陈金, 刘品超, 黄国强, 等. 基于无人机遥感影像的烟草种植面积信息提取[J]. 湖南农业科学, 2018, 388(1): 96-99, 103.
CHEN J, LIU P C, HUANG G Q, et al. Information extraction of tobacco planting area based on unmanned aerial vehicle remote sensing images[J]. Hunan Agricultural Science, 2018, 388(1): 96-99, 103.
- [10] 严欣荣, 张美曼, 郑亚雄, 等. 基于 Sentinel-2 的丛生竹林信息提取方法比较及分布特征[J]. 生态学杂志, 2020, 39(3): 1056-1066.
YAN X R, ZHANG M, ZHENG Y X, et al. Comparison of extraction methods and the distribution characteristics of cluster bamboo forest information based on Sentinel-2[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(3): 1056-1066.
- [11] 魏梦凡. 基于 Sentinel-2A 卫星遥感影像的开封市冬小麦种植面积提取技术研究[D]. 郑州: 河南大学, 2019.
WEI M F. Research on extraction technology of winter wheat planting area in Kaifeng city based on Sentinel-2A satellite remote sensing image[D]. Zhengzhou: Henan University, 2019.
- [12] 张阳, 屠乃美, 陈舜尧, 等. 基于 Sentinel-2A 数据的县域烤烟种植面积提取分析[J]. 烟草科技, 2020, 53(11): 15-22.
ZHANG Y, TU N M, CHEN S Y, et al. Extraction of flue-cured tobacco planting area on county scale based on Sentinel-2A data[J]. Tobacco Science and Technology, 2020, 53(11): 15-22.
- [13] 李龙伟, 李楠, 陆灯盛. 多时相 Sentinel-2 影像在浙西北茶园信息提取中的应用[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(5): 841-848.
LI L W, LI N, LU D S. Mapping tea gardens spatial distribution in northwestern Zhejiang Province using multi-temporal Sentinel-2 imagery[J]. Journal of Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2019, 36(5): 841-848.
- [14] 陈蕊, 张继超. 基于 eCognition 的遥感图像面向对象分类方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(2): 91-95.
CHEN R, ZHANG J C. Study on object-oriented classification method of remote sensing image based on eCognition [J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2020, 43(2): 91-95.
- [15] 蚂蚁文库. 津巴布韦烟叶生产特点分析 [EB/OL]. https://www.mayiwenku.com/p-1418788.html. 2018-02-07.
Ants Library. Analysis of tobacco production characteristics in Zimbabwe [EB/OL]. https://www.mayiwenku.com/p-1418788.html. 2018-02-07.
- [16] 张芯丽. 浅谈云南德宏烤烟种植自然环境条件和种植区划[J]. 热带农业科技, 2015, 38(1): 30-32.
ZHANG X L. Natural environment conditions and planting division of tobacco in Dehong of Yunnan Province[J]. Tropical Agricultural Science and Technology, 2015, 38(1): 30-32.
- [17] 李天福, 马二登, 杨雪彪, 等. 云南德宏与津巴布韦的烤烟气候相似性分析[C]//中国烟草学会 2015 年度优秀论文集汇编, 2015: 1463-1468.
LI T F, MA E D, YANG X B, et al. Climatic similarity analysis of roasted tobacco in Yunnan Dehong and Zimbabwe[C]//China Tobacco Society 2015 Annual Outstanding Paper Collection, 2015: 1463-1468.
- [18] 常文涛, 王浩, 宁晓刚, 等. 融合 Sentinel-2 红边波段和 Sentinel-1 雷达波段影像的扎龙湿地信息提取[J]. 湿地科学, 2020, 18(1): 10-19.
CANG W T, WANG H, NING X G, et al. Extraction of Zhalong wetlands information based on images of Sentinel-2 Red-edge bands and Sentinel-1 radar bands[J]. Wetland Science, 2020, 18(1): 10-19.
- [19] LAURI K, HADI, PETTERI P, et al. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 195: 259-274.
- [20] MATTHEW L C. Comparison of multi-seasonal Landsat 8, Sentinel-2 and hyperspectral images for mapping forest alliances in Northern California[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 159: 26-40.
- [21] 李亭亭. 基于时序遥感数据的水环境时空采样布局优化方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
LI T T. Spatio-temporal sampling schemes optimization for aquatic environment based on time-series remote sensing data[D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [22] LABIB S M, HARRIS A. The potential of Sentinel-2A and Landsat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method[J]. European Journal of Remote Sensing, 2018, 51(1): 231-240.
- [23] 潘嫻嫻, 李长春, 马潇潇, 等. Sentinel-2A 卫星大气校正方法及校正效果[J]. 遥感信息, 2018, 33(5): 41-48.
PAN L L, LI C C, MA X X, et al. Atmospheric correction method of Sentinel-2A satellite and result analysis[J]. Remote Sensing Information, 2018, 33(5): 41-48.
- [24] 苏伟, 侯宁, 李琪, 等. 基于 Sentinel-2 遥感影像的玉米冠层叶面积指数反演[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 151-156.
SU W, HOU N, LI Q, et al. Retrieving leaf area index of corn canopy based on Sentinel-2 remote sensing image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 151-156.
- [25] 国务院第一次全国地理国情普查领导小组办公室. 地理国情普查基本统计技术规定: GDPJ 02—2013[S].
Office of the Leading Group of the First National Geographic Census of the State Council. Basic statistical technical provisions for geographic national census: GDPJ 02—2013[S].
- [26] 程希萌, 沈占锋, 邢廷炎, 等. 基于 mRMR 特征优选算法的多光谱遥感影像分类效率精度分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(6): 815-823.
CHENG X M, SHEN Z F, XING T Y, et al. Efficiency and accuracy analysis of multispectral image classification based on mRMR feature selection method[J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(6): 815-823.

[27] 姚登举,杨静,詹晓娟. 基于随机森林的特征选择算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(1): 137-141.
YAO D J, YANG J, ZHAN X J. Feature selection algorithm based on random forest[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2014, 44(1): 137-141.

[28] 陈远丽,路春燕,刘金福,等. 漳江口湿地变化的遥感监测[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(1): 61-69.
CHEN Y L, LU C Y, LIU J F, et al. Remote sensing monitoring of Zhangjiang Estuary Wetland[J]. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(1): 61-69.

[29] 李天坤. 基于面向对象分类方法的烟草种植面积提取研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
LI T K. The research of extracted tobacco planting area based on object-oriented classification method[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2013.

[30] 白韬. 面向对象的 GF-2 遥感影像多层次分类方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
BAI T. Research on object-oriented multi-level classification method of GF-2 remote sensing image[D]. Changchun: Jilin University, 2020.

[31] 李杰,张军,李宇宸. Sentinel-2A 与 GF-1 数据在油菜种植提取中的差异性分析及提取方法对比研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(4): 678-688.
LI J, ZHANG J, LI Y C. Difference analysis of Sentinel-2A and GF-1 data in oilseed rape extraction and comparative research of extraction methods[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2019, 41(4): 678-688.

[32] 孙晓艳. 面向对象的毛竹林分布遥感信息提取及调查因子估算[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
SUN X Y. Object-based extraction of Moso Bamboo forest and estimation of Moso Bamboo inventory factors[D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2014.

[33] 吴海燕,卢远. 基于 eCognition 面向对象分类方法的水稻种植面
积提取[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2014, 31(2): 81-87.
WU H Y, LU Y. Extraction of rice planting area based on eCognition object-oriented classification[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University: Natural Science Edition, 2014, 31(2): 81-87.

[34] 蔡诚,宁宇. 分系统级电缆网节点智能匹配方法[C]//2020 中国自动化大会(CAC2020)论文集, 2020: 641-644.
CAI C, NING Y. Intelligent matching method for cable network contacts at subsystem level [C]// Proceedings of the China Automation Conference 2020 (CAC2020). 2020: 641-644.

[35] 蔡克洋. 基于特征融合的 Landsat 图像云检测算法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
CAI K Y. Research of cloud detection algorithm for Landsat image based on feature fusion[D]. Wuhan, Wuhan University of Technology, 2018.

[36] CARLEER A P, DEBEIR O, WOLFF E. Assessment of Very High Spatial Resolution Satellite Image Segmentations[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2005, 5238(11): 1285-1294.

[37] 芒市农业农村局. 芒市农业农村局 2020 年部门预算编制说明[EB/OL].
http://www.dhms.gov.cn/nyj/Web/_F0_0_28D010CHST42PQ2PGY6LUC220M.htm, 2020-02-14.
Mangshi Bureau of Agriculture and Rural Affairs. Explanation of the 2020 departmental budget of the Municipality Agricultural and Rural Bureau[EB/OL].
http://www.dhms.gov.cn/nyj/Web/_F0_0_28D010CHST42PQ2PGY6LUC220M.htm, 2020-02-14.

[38] 李喆,胡蝶,赵登忠,等. 宽波段遥感植被指数研究进展综述[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(1): 125-130.
LI Z, HU D, ZHAO D Z, et al. Research advance of broadband vegetation index using remotely sensed images[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(1): 125-130.

《中国烟草学报》2022 年第 1 期目次

1 石墨消解-电感耦合等离子体质谱法测定烟用香精中的重金属.....	杨振东, 严莉红, 白若石, 等
8 基于静态顶空-GC/MS 的加热卷烟用滤嘴载香颗粒评价研究.....	尤晓娟, 何红梅, 刘献军, 等
17 不同滤嘴通风中细支卷烟烟气主要中性和碱性香味成分逐口释放规律.....	邓其馨, 苏明亮, 黄延俊, 等
27 正六边形造纸法再造烟叶产品分切机的设计及应用.....	巴云鹏, 唐 蓉, 唐向阳, 等
32 非离子表面活性剂对海藻酸钙水润珠的形貌调控.....	彤 霖, 熊 斌, 黄乐平, 等
39 优化SH626 型薄板烘丝机设备参数降低干头干尾.....	付来强, 郭亚强, 郭志强, 等
44 不同类型与品种烟草烟籽油的产量与成分对比研究.....	肖 勇, 张建会, 余佳敏, 等
50 基于无人机高光谱的烟田涝灾早期识别.....	赖佳政, 叶协锋, 张 凯, 等
58 箱式密集烘烤过程中烟叶化学成分的变化动态及其对烤后烟质量的影响.....	朱国兵, 姜 滨, 黄择祥, 等
68 氯离子在不同质地植烟土壤中的迁移及烟株中的积累.....	王东旭, 贾志红, 周文辉, 等
78 <i>NtSPX4</i> 基因敲除对烟草苗期磷吸收和生长发育的影响研究.....	单玉静, 王召军, 程泽华, 等
86 基于iTRAQ-PRM 技术筛选不同类型土壤烤烟根系差异表达蛋白.....	杨 睿, 查文菊, 陈 颐, 等
98 浏阳洞库陈化烟叶微生物多样性分析.....	田丽君, 荆永锋, 郑卜凡, 等
108 商业烟叶收购等级质量与工业认可度比较研究.....	陈 斌, 徐玮杰, 王 超, 等
115 卷烟创新产品工商交易预测研究.....	韩伟民, 杨应广