

DOI: 10.3969/j.issn.2096-8248.2024.02.012

基于无人机影像的连云港云台山林场樱桃树种植面积提取*

常瑶¹, 费鲜芸¹, 王圳², 高亚军², 杨民书¹, 文陈昊¹

(1. 江苏海洋大学 海洋技术与测绘学院, 江苏 连云港 222005; 2. 连云港林业技术指导站, 江苏 连云港 222002)

摘要: 利用植被物候特征进行植被信息提取是植被遥感分类的重要研究内容。连云港云台山林场的樱桃花期与其他植被类型的花期存在明显差异, 该差异使得樱桃花在盛开和凋落过程中, 其影像光谱特征显著且独特。尤其是樱桃花盛开时, 其光谱特征的变化为利用遥感技术进行植被面积提取提供了较好的技术手段。选择2020年3月樱桃花期无人机RGB高分辨率影像为数据源, 利用最邻近法(nearest neighbour method, NNM)、随机森林法(random forest, RF)、支持向量机法(support vector machine, SVM)对云台山林场樱桃种植面积进行分类提取。针对樱桃树特定植被类型, 探索了其在开花时节的遥感影像提取方法。结果表明: 结合樱桃树遥感影像的特征, 采用不同分类方法显著提升了樱桃树的分类精度, 最高提取精度达到98%。对分类提取后的影像进行精度评价分析: 随机森林法在添加了植被指数、光谱特征和纹理特征后樱桃花提取质量最好, 其次是最邻近法添加植被指数、光谱特征和纹理特征。该研究不仅填补了樱桃树物候特征提取的研究空白, 也为其他具有独特物候特征的植被类型提供了可借鉴的分类方法。

关键词: 樱桃树提取; 物候特征; 分类方法对比; 添加多特征

中图分类号: P29

文献标志码: A

文章编号: 2096-8248(2024)02-0089-08

引用格式: 常瑶, 费鲜芸, 王圳, 等. 基于无人机影像的连云港云台山林场樱桃树种植面积提取[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2024, 33(2): 89-96.

Extraction of Cherry Planting Area in Yuntai Mountain Forest Farm of Lianyungang Based on Drone Images

CHANG Yao¹, FEI Xianyun¹, WANG Zhen², GAO Yajun², YANG Minshu¹, WEN Chenhao¹

(1. School of Marine Technology and Geomatics, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2. Lianyungang Forestry Technical Guidance Station, Lianyungang 222002, China)

Abstract: Utilizing vegetation phenological features for vegetation information extraction is an important research content in vegetation remote sensing classification. The cherry blossom season in Yuntai Mountain Forest Farm exhibits significant differences from other vegetation types, enabling the spectral features of cherry blossoms to be distinct and unique during their blooming and fading stages. Especially during the peak of cherry blossoms, the changes in their spectral characteristics provide a favorable technical means for extracting vegetation areas using remote sensing techniques. This study selects high-resolution RGB drone images of the cherry blossom season in March 2020 as the data source and utilizes the nearest neighbour method (NNM), random forest (RF), and support vector machine (SVM) to classify and extract the cherry planting areas in Yuntai Mountain Forest Farm. Focusing on the specific vegetation type of cherry trees, this

* 收稿日期: 2023-10-27; 修订日期: 2024-04-22

作者简介: 常瑶(1998—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 研究方向为植被遥感, (E-mail)2570853084@qq.com。

通信作者: 费鲜芸(1969—), 女, 山东烟台人, 教授, 博士, 研究方向为遥感植被制图及滨海湿地遥感调查, (E-mail)hitfxy@163.com。

study explores remote sensing image extraction methods during the blooming season. This research not only fills the gap in the study of cherry tree phenological feature extraction but also provides a referential classification method for other vegetation types with unique phenological features. The research results indicate that combining the characteristics of cherry tree remote sensing images, the use of different classification methods significantly improves the classification accuracy of cherry trees, with the highest extraction accuracy reaching 98%. Accuracy evaluation analysis of the classified and extracted images reveal that the random forest method achieves the best cherry tree flower extraction quality when vegetation indices, spectral features, and texture features are added, followed by the nearest neighbour method with the addition of these features.

Key words: cherry tree extraction; phenological characteristics; comparative analysis of classification methods; addition of multiple features

0 引言

江苏省是国内樱桃产量最大的省份之一。樱桃生产主要集中在连云港一带,是农村创业的重点选择对象。由于樱桃具有很高的商品价值,对果农来说具有很大的吸引力,故种植规模不断扩展。除了农业价值外,观赏樱是园林绿地中应用较广泛的春季观赏树木之一,樱桃树是早春重要的观花树种,具有极高的观赏价值。因此,优化产区布局,适地适栽,探索适宜的种植区域,实现樱桃树种植的最优利用就变得更加重要。

传统的果树物候研究以野外观测为依托,主要依赖人工观察和记录单一果树或物种的物候信息。这种方法耗时费力,覆盖范围有限,难以进行全面的区域物候时空分析。利用遥感方法快速准确地获得农作物有关信息的技术方法已经比较成熟^[1];而如何实现高精度的果树种植面积提取一直是农业遥感领域的一个主要挑战。目前,通常利用果树的光谱特征以及植被指数等来提取果树种植区。如罗卫等^[2]利用环境卫星的 CCD 图像,结合多种辅助信息,包括 NDVI、波段运算、地形地貌等,构建了东江源地区果园的决策树模型,成功进行了柑橘园和脐橙园的遥感提取和分类;刘杰等^[3]基于单时相 Landsat 8_OLI 影像对具有特殊季相的棉花进行提取。然而,在陆地覆盖分类研究中,由于地表上存在多种不同地物,因此出现了“同一地物反射光谱不同”和“不同地物反射光谱相似”的情况,这使得仅仅依赖地物的反射光谱特征来进行分类变得更加复杂,对反射特性相似的地物,势必造成分类的混淆^[4]。单一使用植被指数和光谱特征,易导致果树

提取时出现错误的分类和遗漏,而基于光谱和植被指数的方法通常具有较低的提取精度^[5-6]。

最邻近法(NNM)是一种基于实例的学习方法,通过计算待分类样本与已知类别样本之间的距离来确定其类别归属,具有简单直观的优点。随机森林法则是一种基于决策树的集成学习方法,通过构建多个决策树并综合它们的输出来提高分类精度,具有鲁棒性强、不易过拟合的特点。支持向量机法(SVM)则是一种基于统计学习理论的分类方法,通过寻找最优超平面来划分不同类别的样本,对于高维数据和小样本数据具有较好的分类效果。不同的分类方法具有不同的特点和适用场景。在樱桃树遥感影像分类中,由于影像数据的复杂性和特征的多样性,单一的分类方法可能难以达到理想的分类效果。因此,通过对比不同方法的分类结果,可以评估各种方法的优缺点,选择最适合樱桃树提取的分类方法。

本研究依据研究区域内樱桃树和其他农作物在物候和光谱方面的差异性,秉承农作物生长的自然规律,特别强调了樱桃树具有明显的季相节律特征,该特征成为区分樱桃树和其他植被的重要标志。这意味着在特定季节,樱桃树的生长状态和光谱特征与其他植被存在明显不同,从而为准确区分樱桃树提供了关键依据。因此在研究中充分利用了这一季相节律特征,以提高对樱桃树的遥感提取准确性。樱桃树开花常于3月与叶同放或叶后^[7],此时的樱桃树花朵颜色为白色,其光谱特征明显区别于其他植被,且开花时节树冠呈聚集紧密态势。因此选择的研究区影像时间为3月樱桃树花朵盛开时期。为了增强准确性,专注于利用光谱组合和纹理特征的方法。快速、准确地获取樱桃树的种植分布信息,在

丰富的影像特征中准确提取出樱桃树的分布位置,便于更好地管理、开发和利用樱桃树资源。基于樱桃树独特的季相信息,对果树的空间分布信息进行提取,为樱桃树长势监测、产量估算、结构调整与优化、农业生态气候建模等研究和应用提供重要的支撑。

1 研究区与数据选择

1.1 研究区选择

选择樱桃树分布集中的樱桃谷为研究区(如图

1所示)。樱桃谷位于连云港市海州区云台乡后关村,规划面积约为 67.7 hm^2 。东与国家5A级旅游景区花果山相邻,西与连云港主城区一山相隔。樱桃谷的地物丰富,各种果树以人工种植为主,其地形地势起伏,种植位置错综,植被类型丰富多样。受地形起伏影响,樱桃树种植大都靠近平坦地带,与人造建筑连接紧密。素有“樱桃之乡”的樱桃谷,开发了农家乐、生态园游览区等一系列农业景区开发项目,具有极高的商业价值,是当地农业经济发展的重要支柱之一。

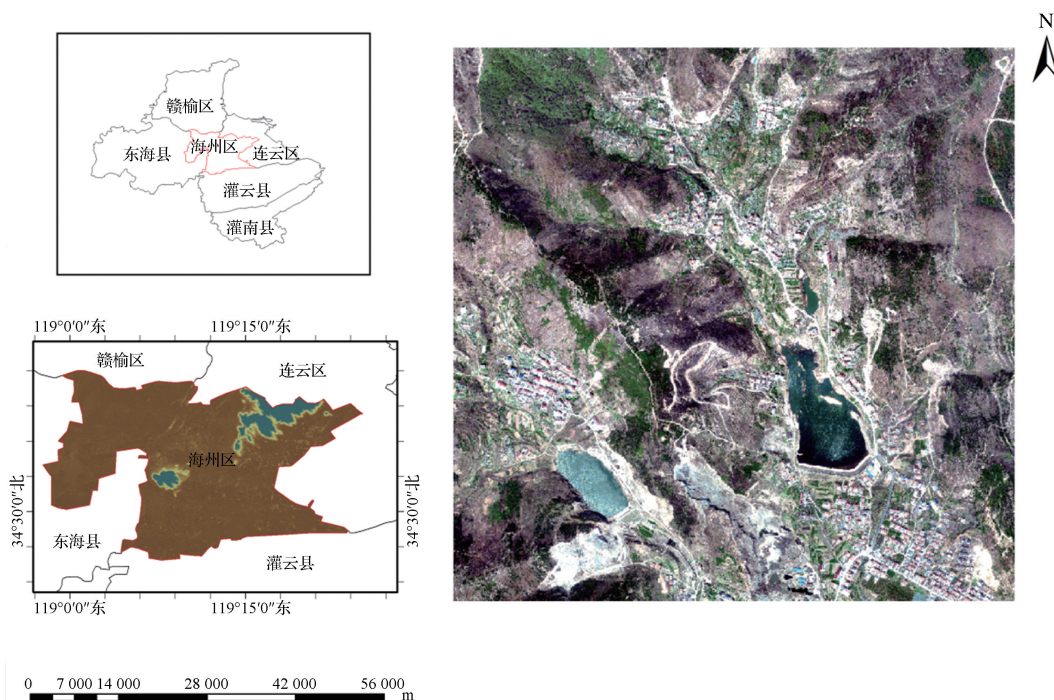


图1 研究区概况及位置

Fig.1 Overview and location of the study area

1.2 数据的选择和预处理

1.2.1 数据的选择 数据采集以无人机为实验飞行平台,搭载一台可见光相机,包括红色(660 nm)、绿色(560 nm)、蓝色(475 nm)波段。实验在晴朗且无风天气条件下进行,图像采集时间选择在上午10点至下午2点之间。空间分辨率为0.3 m,成像时间为2020年3月,成像质量较好。

樱桃树具有特殊的物候特点:开花期在3月至4月之间,花期相对较短,通常只持续一周至两周;樱桃花大规模集中盛开,盛开颜色为白色,该地区同期果树多为绿色,尚未开花,偶有果树开花的为淡粉色或红色,此时的樱桃树明显区别于其他植被。选择的影像是同时期樱桃树区别于其他植被类型的最

佳影像。考虑到樱桃树信息提取对于影像分辨率要求较高^[8],同时影像信息提取受到干扰最小,最终决定该高分辨率影像符合预期。

1.2.2 预处理 (1) 主要以樱桃树开花特征表现最优为目的,对所选质量较好的影像调整图像的亮度、对比度和色彩平衡,使用滤波器去除噪声,进行图像增强等预处理来减少噪声和增强图像特征。

(2) 使用全局阈值、自适应阈值或基于颜色的阈值分割方法^[9],根据花朵的亮度或颜色特征将其与背景分离开来,用阈值分割方法将图像转化为二值图像,以便更好地区分樱花和背景。

(3) 提取前对影像进行掩膜,获取樱桃树分布较集中区域影像,去除其他植被的干扰条件,最终获

取到的影像大小为 $6\ 404 \times 5\ 662 \times 3$ 。

(4) 使用 Canny 边缘检测对灰度图像进行边缘检测操作,获得花骨朵的边缘轮廓,确定花朵的形状和轮廓。对于提取的边缘图像,使用连通区域分析方法识别和提取樱桃树的连通区域。确定樱桃树的位置和大小,并过滤掉不相关的连通区域。

2 研究方法

2.1 确定分类方法

采用基于对象的多尺度分割方法(OBIA)对影像进行不同尺度分割^[10-12],确定樱桃树提取的最优分割尺度。选取樱桃树(cherry)、其他植被(vegetation)、建筑(build)、水体(water)、裸地(naked)5种地物类型共528341个分割对象用作训练样本。选择的分类方法为:①最邻近法(NNM):添加光谱特征;添加光谱特征和纹理特征。②随机森林法(RF):添加光谱特征;添加光谱特征和纹理特征。③支持向量机法(SVM):添加光谱特征;添加光谱特征和纹理特征。通过特征空间的优化组合,采用NNM,RF以及SVM等不同分类方法,结合光谱特征,达到提取樱桃树的目的。再次选择3种方法添加光谱特征和纹理特征重新提取,最后对提取结果进行精度比较。

2.2 分类参数设置

影像分割效果主要受到输入影像波段(image layer)、形状(shape)、紧致度(compact)以及分割尺度(scale parameter)4个因素影响^[13]。这一影响是指仅当分割对象与参考多边形的重叠面积超过参考多边形或分割对象面积的50%时,分割对象才会被标记为对应的参考多边形的分割对象。采用基于对象的多尺度分割方法(OBIA)对影像进行分割,并进行最佳分割尺度评估。随后,通过改进型扩展双树复小波变换方法与样地进行叠加,进行目视解译以确定影像的最佳分割尺度^[14]。对研究影像而言,地物丰富,无法满足所有地物的最优分割^[15-16]。因此针对本研究主题,以分类樱桃树为主体,当分割尺度为45,形状参数为0.5,紧致度参数为1时,樱桃树获得良好的分割效果。

在研究遥感图像处理时,地物的光谱特征和变化是关键因素,不同地物在图像上的光谱差异是进行遥感地物分类的基础^[17-18]。在分类过程中,选择了分割对象的光谱特征,包括图像的3个波段(蓝、绿、红)的光谱反射率均值和标准差,以及亮度指数

和对象内部的最大差值。此外,采用基于灰度共生矩阵(gray-level co-occurrence matrix, GLCM)的纹理特征,包括3个波段中方向为0的均值、8个光谱特征来进行分类,共3维纹理特征以及植被指数1维特征。本次研究最终构建了12维分类特征。这些统计量既能反映地物空间特征差异,又可以从不同角度量化影像局部的纹理结构。

(1) 植被指数构建。其1维植被指数 VT' 为

$$VT' = (2G' - R' - B') - (1.4R' - G'), \quad (1)$$

$$G' = \frac{G}{R+G+B}, \quad (2)$$

$$B' = \frac{B}{R+G+B}, \quad (3)$$

$$R' = \frac{R}{R+G+B}. \quad (4)$$

式中: B, G, R 分别表示蓝波段、绿波段、红波段的反射率; B', G', R' 分别表示蓝波段、绿波段和红波段的植被指数。

(2) 纹理特征构建。在图像纹理特征的计算中,广泛采用的方法是灰度共生矩阵(GLCM)。GLCM能够提供有关图像中纹理方向、距离以及不同灰度级变化等综合信息。其计算公式为

$$H(m, n, c, \theta) = [(p, q)(p+G, q+G) | \{f(p, q) = m; f(p+D, q+D) = n\}]. \quad (5)$$

式中: H 表示灰度共生矩阵; (p, q) 表示任意点的像素坐标; m 和 n 表示位于 (p, q) 和 $(p+G, q+G)$ 处像素点的灰度; θ 表示 $(p+G, q+G)$ 和 (p, q) 之间偏移的角度,即 $0^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 和 180° ; $f(p, q)$ 表示 (p, q) 的灰度; c 表示灰度共生矩阵的步长,为1; D 表示图像纹理距离。

用来描述图像纹理信息的并非直接的灰度共生矩阵,要经过统计并提取特征值^[19-20]。樱桃树分布较为集中,在遥感影像上有特殊的纹理特征。因此本实验基于灰度共生矩阵算法提取樱桃树图像纹理特征,主要包括4个步骤:①获取目标图像与预处理;②利用 K -均值算法(K -means)分析影像中的像素值,将像素划分为 K 个不同的类别,每个类别对应一个特定的颜色或灰度范围,这样算法就能够自动地将图像中的樱桃树及其他地物区分开来,实现樱桃树图像的阈值分割,数据训练;③通过计算得到的灰度共生矩阵进一步提取樱桃树纹理特征;④分析纹理特征参数,判断樱桃树分布情况。

2.3 影像分类样本选取

通过特征优化,获得了一个包括12维分类特征

的数据集,随后采用 3 种常见的监督分类方法(NNM,RF,SVM)进行樱桃树的提取,并对它们的精度进行比较。为减少实验变量,提高实验的准确

性,本次实验全部选取相同的训练样本。

各地物类别的影像分类体系及采样结果如表 1 所示。

表 1 影像分类体系及采样结果

Table 1 Image classification system and sampling results

地物类别	影像	训练样本数/验证样本数	影像特征
樱桃树		108/268	花朵为白色,光谱特征明显,基本成片出现,分布相对集中,与建筑紧邻的部分樱桃树易与建筑混淆
其他植被		85/153	颜色为绿色,特征明显,易提取,将除樱桃树外的其他植被全部归为一类
建筑		65/145	形状规整,部分高亮地区与樱桃树的花朵相似,部分颜色鲜艳,易区分
水体		7/9	在研究区,水体部分较少,特征明显,分布规整,与部分植被的颜色相似
裸地		59/108	穿插在植被与建筑之间,分布散碎,易与建筑混淆

2.4 样本精度验证

本研究采用在影像上选择样本点,使用 ArcGIS 进行地物类型标记,将这些标记与野外实地调查的数据样本点相结合,以创建分类混淆矩阵进行精度验证(见图 2)。为确保每次选取的验证样本完全一致,减少实验误差,将选择好的验证样本转化为一个二值化的数据层 TTA mask 文件,保存备用。

通过建立混淆矩阵分别计算分类结果的生产者精度、用户精度、总体精度和总体 Kappa 系数^[21-22]。其中,生产者精度又称制图精度,表示分类器将检验样本正确分为某类的像元数与该类真实参考总数的比率;用户精度表示从分类结果中任取一个随机样本,其所具有的类型与地面实际类型相同的条件概率;总体精度表示所有正确分类的土地覆盖类别的检验点数所占总抽取的检验点数的百分比;Kappa

系数,是一种衡量分类模型性能的指标,主要用于评估聚类算法的性能。利用采集的 683 个样本点,根据混淆矩阵对影像的分类结果进行检验。

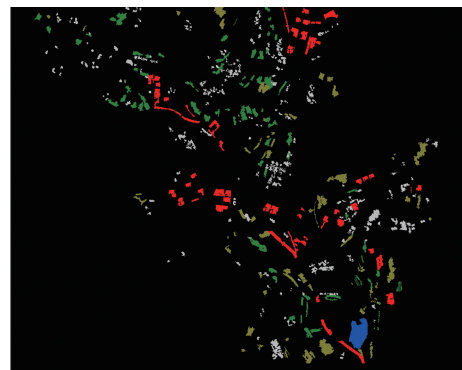


图 2 验证样本

Fig. 2 Verification sample

3 结果分析

3.1 分类结果

在使用最邻近法对樱桃树进行遥感影像分类时,由于光谱特征的相似性,部分樱桃树被误分为建筑和裸地(见图3)。在仅使用光谱特征进行分类

时,识别准确率并不理想。而在添加了纹理特征进行分类后,分类结果得到了明显改善。通过对比发现,在添加纹理特征后的分类结果中,樱桃树识别准确率明显提高,误分类为建筑和裸地的现象明显减少。在分类后影像中,樱桃树区域的连贯性和一致性增强,与其他地类的边界更加清晰,分类图像质量得以改善,故认为添加纹理特征后的分类结果较优。

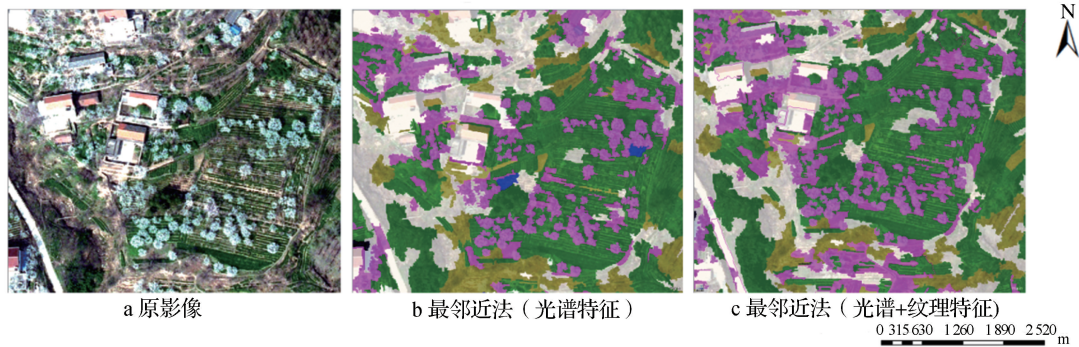


图3 最邻近法分类

Fig. 3 Classification of nearest neighbor method

在使用随机森林法对遥感影像进行分类时发现,添加纹理特征后,樱桃树与建筑、裸地、水体及其他植被类型区分度明显增强(见图4)。在分类后的影像中,樱桃树区域的颜色、亮度或纹理等特征与其他地类有明显区别,使得樱桃树能够被准确识别出来,误分和错分的情况显著减少。在仅使用光谱特

征进行分类时,由于不同地类之间的光谱特征可能存在相似性,导致樱桃树容易被误分为建筑或裸地。而添加纹理特征后,分类器能够综合考虑光谱和纹理信息,从而更准确地地区分不同地类,减少了误分和错分现象。樱桃树的识别准确率更高,整体分类精度更高。

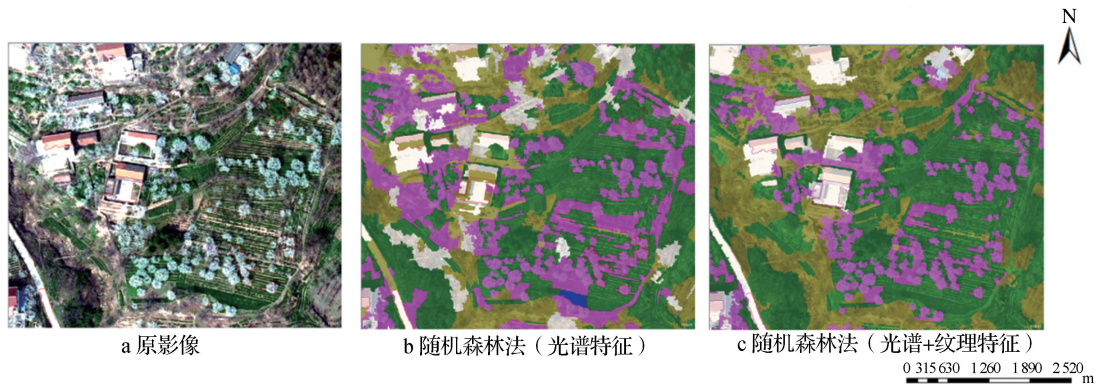


图4 随机森林法分类

Fig. 4 Classification of random forest

支持向量机法在面对樱桃树、建筑和裸地等不同地类分类任务时,由于各类别间光谱特征的相似性,导致分类效果不理想。当同时加入光谱特征和纹理特征后,情况得到显著改善。纹理特征能够捕捉图像中像素或区域的排列规律,提供除光谱信息外的额外

信息,从而增强分类器对不同地类的区分能力^[23]。通过对比仅使用光谱特征以及使用光谱与纹理特征相结合的分类结果,可以明显看到后者的分类效果更为优良(见图5)。樱桃树的识别准确率得到了显著提高,分类图像的清晰度和一致性也得到了增强。

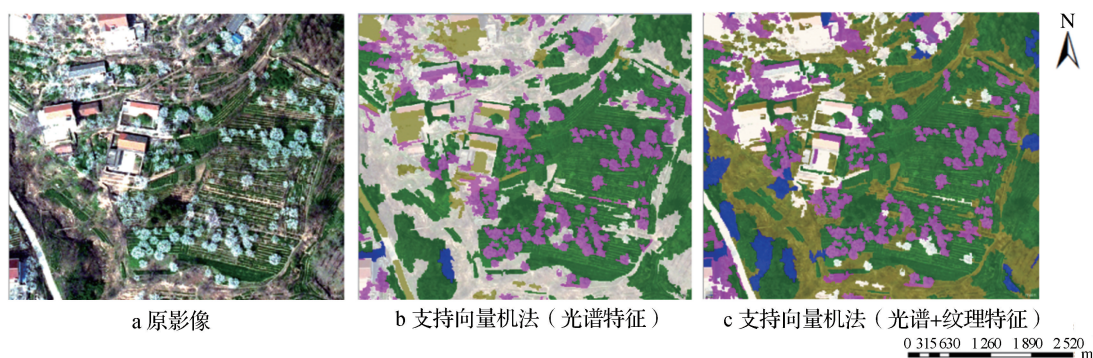


图 5 支持向量机法分类

Fig. 5 Classification of support vector machine

3.2 分类精度评价

3.2.1 总体分类精度评价 对于整个研究区的分类结果,添加光谱特征和纹理特征对于总体分类精度影响不大。研究区内最适用的分类方法为随机森林法添加光谱特征和纹理特征。对于最邻近法而言,在单一特征模型中光谱特征及纹理特征模型总体分类精度近似相等,分别为 0.88 和 0.87;支持向量机的分类情况相比最差,但单一特征与多特征的分类精度相差不大,基本相等(见表 2)。

表 2 不同分类法影像分类总体精度

Table 2 Overall accuracy of image classification by different classification methods

分类方法	光谱特征		光谱特征+纹理特征	
	总体精度	Kappa 系数	总体精度	Kappa 系数
最邻近法	0.88	0.85	0.87	0.83
随机森林法	0.81	0.79	0.98	0.97
支持向量机法	0.72	0.64	0.70	0.61

3.2.2 樱桃树分类精度 在识别樱桃树方面,最有效方法是结合光谱特征和纹理特征的随机森林分类方法,尤其对开花信息的提取效果最为出色(如表 3 所示)。

表 3 不同分类方法樱桃树花精度对比

Table 3 Comparison of the accuracy of different classification methods in classifying cherry tree flowers

分类方法	添加特征	生产者精度/%	用户精度/%	Kappa 系数/%
最邻近法	纹理	91.96	94.95	89.10
	纹理+光谱	92.80	94.56	90.19
随机森林法	纹理	90.34	97.04	87.09
	纹理+光谱	98.97	98.76	98.02
支持向量机法	纹理	65.95	93.99	57.97
	纹理+光谱	89.38	96.79	85.84

使用高分辨率遥感影像,融合面向对象的随机森林分类技术能够实现更高的樱桃树分类精度。这主要因为面向对象的图像分割算法能够有效提取樱桃树的边界,从而使分类处理的对象更为均匀,而不是单个像元。这种方法在处理复杂的地物类型时表现出较好的性能。除了光谱特征的有限信息,面向对象的方法还充分利用了纹理特征以及自定义的植被特征信息,以提高地物分类的准确性和鲁棒性,使得樱桃树花的分类精度达到了较高的精度。

3.2.3 樱桃树提取分类结果 ① 分类过程中取得了较高的精度和准确性,经对比试验成功地提取出樱桃树,从而准确地计算出了樱桃树种植的总面积为 23 hm²,其他植被 21 hm²,分类结果精度较高,为进一步研究和应用提供了可靠的数据基础(见表 4)。② 3 种分类提取方法得出的分类结果精度由高到低的顺序为随机森林法、最邻近法、支持向量机法。其中随机森林法添加光谱特征和纹理特征后的分类精度最高,高达 98.02%,其次是最邻近法添加光谱特征和纹理特征后提取精度达到 90.19%。说明随机森林添加双纹理的方法更适合提取开花时节的樱桃树。③ 通过添加纹理特征的选择方法可有效降低部分地类的混分,如裸地和樱桃树、建筑与樱桃树。添加光谱、纹理特征的分类精度高于仅添加光谱特征的精度,说明本次研究添加多特征对于樱桃树分类具有很强的实用性。④ 对于最邻近法,仅添加纹理特征与添加多特征相比较,分类精度相差不大;对于支持向量机法,添加多特征,对樱桃树的提取精度明显提高。⑤ 虽然应用纹理特征使得整体的分类精度改变较小,但对于樱桃树提取而言,提取精度有了明显提升。综合应用光谱特征、纹理特征、植被指数使得遥感数据提取地物能有效提高地物分类精度。

表4 分类结果
Table 4 Classification results

地物类别	提取面积/hm ²	分布情况
樱桃树	23	樱桃树种植成片分布,分布面积较大,种植较为集中,受地形起伏影响较大
其他植被	21	受地形影响较小,分布较为集中,与人类活动密切相关
建筑	12	分布集中
水体	1.3	受地形影响较大
裸地	9.2	受地形影响较小,远离人类活动区域,较为分散

4 结语

遥感影像中地物表现形式是分类的基础。本文深入分析了樱桃树开花时节在遥感影像中的植被指数、光谱特征、纹理特征,并选取相适宜的遥感影像数据以及分类方法。通过比较发现,基于高分辨率遥感影像的随机森林法添加植被指数、光谱特征和纹理特征后的分类方法分类精度最高。这表明随机森林法在结合多种特征信息时,能够有效地识别樱桃树,并达到较高的分类精度。此外,基于高分辨率遥感影像的最邻近法添加植被指数、光谱特征和纹理特征后的提取精度次之,而支持向量机法的分类精度相对较差。本文探索了多种分类方法在对樱桃树遥感影像识别解译中的应用,构建了实用的信息提取流程。值得一提的是,最高提取精度达到了98.02%,充分证明该方法的有效性和可靠性,对于樱桃树种植区的资源管理和环境监测具有重要意义。未来将继续优化这一流程,探索更多适用于樱桃树遥感监测的技术和方法,为产业可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 郑奕,王瑶,刘艳. 基于高光谱数据季相特征的山地草甸植被分类识别[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(6): 1939-1947.
- [2] 罗卫,况润元. 利用环境卫星影像的东江源地区果园信息提取[J]. 测绘科学, 2014, 39(8): 135-139.
- [3] 刘杰,刘振波,刘吉凯,等. 基于单时相 Landsat 8_OLI 影像的棉花提取技术研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(33): 28-33.
- [4] 眭海刚,冯文卿,李文卓,等. 多时相遥感影像变化检测方法综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 1885-1898.
- [5] 蒯宇,王彪,吴艳兰,等. 基于多尺度特征感知网络的城市植被无人机遥感分类[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(5): 962-980.
- [6] 黄邵东,徐伟恒,熊源,等. 结合纹理和空间特征的多光谱影像面向对象茶园提取[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(8): 2565-2571.
- [7] 任曙霞. 连云港市大樱桃气象灾害预报预警技术研究[Z]. 江苏省连云港市气象局, 2012-09-20.
- [8] 张殿岱,王雪梅. 基于高分辨率遥感影像的植被分类方法比较[J]. 林业资源管理, 2021(3): 108-113.
- [9] 闫春雨,赵静,兰玉彬,等. 面向对象和多分类器的棉花出苗信息快速提取方法[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2021, 35(3): 55-59.
- [10] 张琰,李斌,阳文静,等. 基于时序遥感的庐山自然保护区植被分类及其变化分析[J]. 地理科学进展, 2021, 40(4): 703-712.
- [11] 陈慧,江洪,蒋世豪. 面向对象最优分割尺度下的茶园提取[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(12): 17-20.
- [12] 郭亚娟,刘廷玺,童新,等. 基于面向对象的干旱半干旱地区植被分类[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1026-1034.
- [13] 刘炜,王聪华,赵尔平,等. 基于分层分级的遥感图像植被分类方法[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(4): 828-835.
- [14] 谢静,王宗明,任春颖. 基于遥感的湿地景观格局季相分析[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7149-7157.
- [15] 徐光彩,庞勇,李增元,等. 小兴安岭主要树种冠层光谱季相变化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(12): 3303-3307.
- [16] 鲁楠,王新杰,汪锦,等. 依据季相特征 GF-2 影像的植被分类[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(3): 62-67.
- [17] 胡琼. 基于时序 MODIS 影像的农作物遥感识别方法研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2018.
- [18] 张华,张改改,吴睿. 基于 GF-1 卫星数据的面向对象的民勤绿洲植被分类研究[J]. 干旱区地理, 2017, 40(4): 831-838.
- [19] 陈燕丽,莫伟华,莫建飞,等. 基于面向对象分类的南方水稻种植面积提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 163-168.
- [20] 张莹. 基于多季相 Landsat-8 OLI 影像的多特征森林植被分类[D]. 北京:北京林业大学, 2018.
- [21] 王志伟,史健宗,岳广阳,等. 玉树地区融合决策树方法的面向对象植被分类[J]. 草业学报, 2013, 22(5): 62-71.
- [22] 谢静,王宗明,毛德华,等. 基于面向对象方法和多时相 HJ-1 影像的湿地遥感分类——以完达山以北三江平原为例[J]. 湿地科学, 2012, 10(4): 429-438.
- [23] 孙华生. 利用多时相 MODIS 数据提取中国水稻种植面积和长势信息[D]. 杭州:浙江大学, 2009.
- [24] 费鲜芸,何鑫坤,刘军生,等. 连云港海岸带植被遥感调查样本库管理系统设计与开发[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2022, 31(3): 36-41.

(责任编辑:褚金红 实习编辑:张昌保)