

基于可见光光谱的幼龄沉香图像分割与特征提取研究

王 鹏,王雪峰*

(中国林业科学研究院 资源信息研究所,北京 100091)

摘 要:为促进数字图像处理技术在珍贵树种营养分析中的高效应用,以幼龄沉香为研究对象,运用大津法与 K-Means 算法分别对试验获取的幼龄沉香可见光图像进行分割,对 2 种分割算法进行比较研究。基于图像分割结果,提取 R、G、B 等 8 种颜色特征并进行主成分分析,同时计算沉香图像的最小外接矩形的矩形度 RE。结果表明,1)大津法与 K-Means 算法均可实现对多张幼龄沉香可见光图像的分割,大津法较 K-Means 算法分割速度快,但分割精度小于 K-Means 算法,在具体分割时应根据实际需要选择 2 种算法进行选择。2)提取的 8 种颜色特征的 3 个主成分累计贡献率可达到 99%,可作为颜色特征;最小外接矩形的矩形度 RE 能够表达沉香轮廓内面积 CA 与最小外接矩形面积 LA 的比值,可作为形状特征,将这种特征因子用于构建沉香微量元素含量预测模型,有利于缩短建模时间并提高模型的精度。综上所述,研究结果可促进数字图像处理技术在珍贵树种营养诊断中的进一步发展,为精准林业提供参考。

关键词:幼龄檀香;可见光图像;图像分割;特征提取

中图分类号:S757.9

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)02-0217-06

Image Segmentation and Feature Extraction of Juvenile Agarwood Based on Visible Light Spectrum

WANG Peng, WANG Xue-feng*

(Institute of Forest Resource Information Techniques, Beijing 100091, China)

Abstract: In order to promote the efficient application of digital image processing technology in the nutritional analysis of precious tree species, this study took young agarwood as the research object, and used the best Otsu method in threshold segmentation and the best K-Means algorithm in cluster segmentation. The visible light image of juvenile agarwood obtained in the experiment was segmented, and the two segmentation algorithms were compared based on the manually segmented image. Based on the results of image segmentation, eight color features such as R, G, and B were extracted and principal component analysis was performed. At the same time, the rectangle degree RE of the smallest bounding rectangle of the agarwood image was calculated. The research results showed that 1) both the Otsu method and the K-Means algorithm could realize the segmentation of multiple visible light images of young agarwood. The Otsu method had faster segmentation speed than the K-Means algorithm, but the segmentation accuracy was lower than that of the K-Means algorithm. The two algorithms should be selected according to actual needs. 2) The cumulative contribution rate of the three principal components of the extracted 8 color features could reach 99%, which could be used as color features; the rectangle degree RE of the minimum circumscribed rectangle could express the ratio of the inner area CA of the agarwood outline to the minimum circumscribed rectangle area LA. It could be used as a shape feature, and this feature factor could be used to build a predic-

收稿日期:2022-02-09 修回日期:2022-12-27

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2021ZB002)。

第一作者:王 鹏。研究方向:林业信息技术应用。E-mail:1452562191@qq.com

*通信作者:王雪峰,博士,研究员,博士生导师。研究方向:林业信息技术应用。E-mail:xuefeng@ifrit.ac.cn

tion model for the content of trace elements in agarwood, which was beneficial to shorten the modeling time and improve the accuracy of the model. In conclusion, this study can promote the further development of digital image processing technology in the nutritional diagnosis of precious tree species, and provide a reference for precision forestry.

Key words: young sandalwood; visible light image; image segmentation; feature extraction

沉香(*Aquilaria sinensis*)又称蜜香、栈香、沉水香,因其独特的芳香气味而得名,在制香、制药、工艺制品等方面具有广阔的用途^[1]。沉香主要分布在我国广东、海南、广西、福建等沿海地带,对生长环境要求苛刻,再加上人为的过度砍伐,野生沉香濒临灭绝^[2]。为了保护该树种,我国开始对沉香的人工栽培方法进行了研究。近年来海南省开始大力推广种植沉香,但由于环境及技术原因,沉香的成活率与抗逆性并不高^[3]。为了解决这一问题,有必要对幼龄沉香进行营养监测。但是当前对植物的营养诊断多采用采集叶片的方式,会对植物造成一定的损害。基于此,众多学者对无损检测技术在植物氮素营养诊断中的应用进行了研究,主要应用技术包括:叶绿素仪法、手持光谱仪法、高光谱遥感技术和数字图像处理技术等,而数字图像处理技术相对其他方法其更加高效快捷,因此更适宜应用在植物的营养诊断中^[4]。

总体来看,当前数字图像处理技术多用于农业研究中,在林业中的应用还相对较少。沉香作为濒危的珍稀树种,更需要将数字图像处理技术应用于其营养检测中,而这一过程则离不开图像理解算法的支撑^[5]。因为对沉香图像进行有效的分割不仅可以减少误差,更可以去除无用的图像信息,进而提取出更为准确的图像特征,提高营养诊断的精度^[6]。基于此,本文以沉香为研究对象,运用大津法与 K-means 聚类算法对试验获取的沉香图片进行精准分割,通过提取沉香图像的颜色与形状特征并进行变量筛选进而为沉香的营养诊断工作提供可靠的数据支持,以期为沉香及其他珍贵树种的营养诊断与监测提供更为准确及应用性强的技术方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于海南省文昌市($19^{\circ}20' - 20^{\circ}10'N$, $108^{\circ}21' - 111^{\circ}03'E$),平均海拔 42.55 m,地势由西南内陆向东北沿海倾斜,属于低丘台地平原地带,试验地土壤类型为滨海沙壤土,pH 值范围为 5.0~6.6。文昌市雨量丰富,干、湿季明显,春旱突出,年平均气温为 $23.90^{\circ}C$,年降水量为 1 721.6 mm,年平均相对湿度为 85.99%。人工经营树种主要有木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、椰子(*Cocos nucif-*

era)、琼崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)等^[7]。

1.2 试验设计与数据采集

研究所用的沉香采用种子育苗,在室外花盆中生长,待生长 2 a 后,运用佳能 1300D 相机(1 790 万像素)获取沉香图像数据。具体方法如下:搭建长宽高为 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的暗箱,将沉香移至在暗箱内,在暗箱顶部及正向侧部的边框上共安装 7 个 LED 灯组成灯排以减小光照及阴影的影响,同时在暗箱的底部放置校正板和幼龄沉香植株。每天 8:00—11:00 不间断对所有幼苗从侧面拍摄,共获得可见光图像 180 张图像,拍摄位置如图 1 所示。

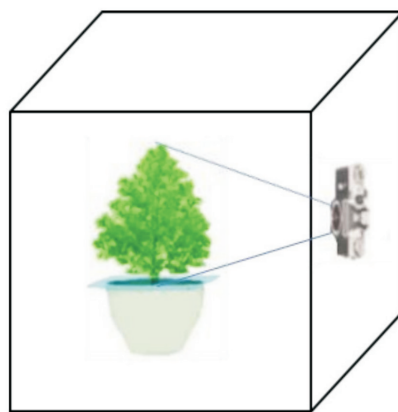


图 1 相机位置

Fig. 1 Camera position

1.3 颜色空间的选择

RGB 颜色空间又称为三基色模型,与人的视觉系统具有密切联系^[8]。RGB 颜色空间以红色、绿色、蓝色 3 种基色为基础,建立在笛卡尔坐标系中,将三基色归一化后,可形成 1 个单位长度的立方体,3 个坐标轴对应着 3 种基色,立方体的每 1 个顶点代表着 1 个纯色。每种颜色的灰度均在 0~255,三基色按照不同的灰度进行相互叠加,能够产生 1 600 多万种不同的色彩^[9]。相对于其他颜色空间,RGB 模型更为简单易懂,因此本文选择在 RGB 颜色空间中进行图像分割。

1.4 图像分割算法

本研究分别运用 K-Means 聚类分割算法及大津法对幼龄沉香的图像进行分割,2 种算法均在配置 Opencv3.1.0 视觉库的 Visual Studio 2013 中实现,软件运行的硬件条件如下:处理器为 Intel(R) Core

(TM) i7 4510U CPU@2.00GHz,内存为 4.00GB,显卡为 AMD Radeon R5 M230,硬盘为 ST1000LM024 HN-M101MBB,操作系统为 Windows 8.1。

1.4.1 大津法 大津法阈值分割是由日本学者大津提出的二值化图像处理算法,此算法不受图像亮度与对比度的影响,被公认为阈值分割中的最佳算法,也因此数字图像处理上得到了广泛的应用^[10-11]。大津法的基本原理是根据图像的灰度特性,将图像分成背景和前景 2 部分,根据二者的类间方差处理图像,当类间方差最大时图像分割效果为最好,通过计算类间方差的最大值确定分割的最佳阈值。具体分割流程如下:①使用 `cvtColor` 将图像转为灰度图。②进行 3×3 的中值滤波处理。③使用 `threshold` 函数并将第 5 个参数设定为 `CV_THRESH_OTSU`。④与原图进行掩膜。

1.4.2 K-Means 聚类分割算法 K-Means 算法是一种无监督的聚类学习算法,该算法可通过找到样本数据的自然类别对样本进行分类,它在不需要任何其他先验知识的情况下,依据算法的迭代规则,将样本划分为 K 类,通过不断迭代移动质心来完成分类^[12-13]。K-Means 算法是一种硬分类的方法,即以距离为依据,像素点与哪个中心点距离越近,就标记为此中心点的编号,再通过计算 2 个点之间的距离,进行不断的迭代,使中心点不断变换,逐渐接近真实的结果,当前后 2 次中心点的差值最小,或到达一定的迭代次数时即完成分割^[14]。具体分割算法流程如下:①输入 RGB 三通道图像,设定预定义分割颜色。②获取图像的宽和高,设置数据维度。③根据图像特点,设定分类数 $K=3$ 。④使用 K-Means API 函数进行分割。⑤根据分割得到的图像将沉香的颜色像素三通道灰度值均设为 0,其他颜色像素三通道灰度值均设为 255。⑥与原图进行掩膜。

1.4.3 2 种算法的异同 为比较 2 种算法的异同,本研究随机选取 2 组图像,对 2 种算法的运行效率与分割精度进行了比较。使用 `clock` 函数计算 2 种算法的分割时长,时间越短代表算法运行速度越快;使用 PhotoshopCC 2014 软件中的磁性套索工具对选取的每组幼龄沉香图像进行手工分割 10 次,计算每次得到的前景像素总数并取均值记为 M1,同时计算大津法与 K-Means 算法分割得到的前景像素总数记为 M2、M3,取 $M2/M1$ 、 $M3/M1$ 为像素误差,误差越小代表分割精度越高。

1.5 图像特征提取

沉香在生长过程中缺少氮磷钾等微量元素会导致其生长缓慢且叶片萎黄,因此可提取颜色及形状特征作为图像特征。由于本研究运用了 2 种算法分

割图像,在特征提取前将图像分割结果进行对比,选择相对效果较好的一种算法所分割的图像,提取各图像中的颜色特征与形状特征,并运用主成分分析法对图像特征进行筛选,主成分分析的所有步骤均在 SPSS 22 中完成。

1.5.1 颜色特征 使用 Opencv 视觉库中的 `split` 函数把图像的颜色分割成红绿蓝 3 个分量通道,计算每幅图像中的 RGB 三分量的灰度均值(R 、 G 、 B),对各图像 RGB 灰度值进行归一化处理分别得到标准红光值 $N_{RI}(N_{RI})$ 、标准绿光值 $N_{GI}(N_{GI})$ 、标准蓝光值 $N_{BI}(N_{BI})$,同时计算黄色分量 $Y_E(Y_E)$ 以及 $IKAW(I_{KAW})$ 指数。具体计算公式如下

$$N_{RI}=R/(R+G+B) \quad (1)$$

$$N_{GI}=G/(R+G+B) \quad (2)$$

$$N_{BI}=B/(R+G+B) \quad (3)$$

$$Y_E=(R+G)/2 \quad (4)$$

$$I_{KAW}=R-B/R+B \quad (5)$$

1.5.2 形状特征 使用 Opencv 视觉库中的 `findContours` 函数寻找图像轮廓,根据 `contourArea` 函数计算轮廓内面积 CA ,运用 `circle` 函数与 `line` 函数绘制图像最小外接矩形,并计算最小矩形面积 LA 以及矩形度 RE ,因 RE 为 CA 与 LA 的比值,因此可将 RE 作为形状特征参数。

1.5.3 变量筛选 由于各颜色因子间存在较大的相关性,为了后续对沉香进行更为精确的建模及营养分析,有必要对所选的颜色因子进行主成分分析处理^[15]。在主成分提取完成后,将提取的主成分记为 F ,其初始特征值记为 S ,各变量在 F 的上的占比记为 W ,计算得到主成分的得分系数 q ,计算公式如下

$$q=S/\sqrt{W} \quad (6)$$

2 数据与分析

2.1 图像分割结果

利用 2 种分割方法共分割图像 180 张,每张图片的分辨率均为 $1\,900 \times 1\,400$,随机选取 2 组图像 I、II,并运用 PhotoshopCC 2014 进行手工分割,原图记为 O1、O2,手工分割结果记为 P1、P2,大津法与 K-Mean 算法分割结果分别记为 T1、T2、K1、K2,分割结果如图 3 所示。通过对比 2 种算法运行时长及 T1 与 K1、T2 与 K2 的像素误差,分析大津法与 K-Means 算法分割速度与分割精度的异同,整理得到表 1。

根据表 1 与图 2 可知,运用大津法与 K-Means 算法都可以对幼龄沉香图像进行有效分割,其中大津法相对于 K-Means 算法运行时长更短,分割速度更快。但从精度上来看,K-Means 算法分割的 2 组

图像的像素误差均在 5%之内,几乎接近手工分割的效果,而大津法虽然能大致分割出沉香图像,但像素误差均>15%,分割精度偏低。

2.2 图像特征提取

2.2.1 颜色特征提取结果 根据图像分割结果,本研究选用 K-Means 算法所分割的图像进行特征提取,对 180 张幼龄沉香图像进行 RGB 三通道分离,得到各图像的三通道灰度值(图 3)。同时,以图像 I 为例,分割得到的 RGB 三通道图像及各通道灰度

直方图(图 4)。

表 1 幼龄沉香图像分割效果评价

Table 1 Evaluation of segmentation effect of juvenile agarwood images

图像编号	分割方法			
	大津法		K-Means 算法	
	I	II	I	II
分割时长/s	2.03	2.11	36.12	38.46
像素误差(%)	15.69	20.34	3.12	4.38

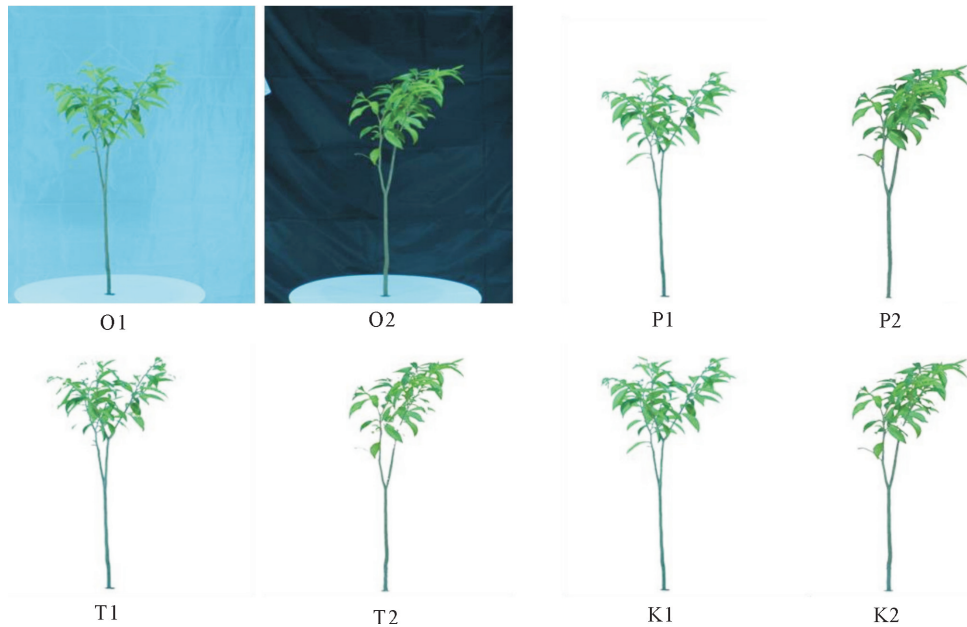


图 2 幼龄沉香图像分割结果

Fig. 2 Image segmentation results of young agarwood images

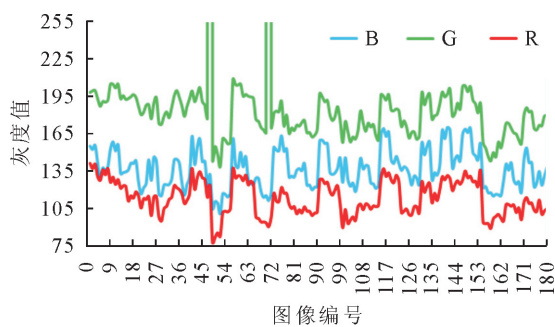


图 3 幼龄沉香三通道灰度折线

Fig. 3 Three-channel gray line graph of young agarwood

2.2.2 形状特征提取结果 对 K-Means 算法分割得到的 180 张幼龄图像进行特征提取,得到各个图像的沉香轮廓内面积 CA 与其最小外接矩形面积 LA 的比值——矩形度 RE,即分割得到的前景像素总数与其最小外接矩形的像素总数的比值,如图 5 所示。以图像 I、II 为例,形状特征提取结果如图 6 所示。

2.2.3 变量筛选 现本研究对所有颜色特征进行

主成分分析,得到各变量的得分系数及提取因子的总方差解释(表 2、表 3)。共计提取 3 个主成分,分别记为 F_1 、 F_2 、 F_3 ,根据表 2、表 3 数据及式(6)计算得到 F_1 、 F_2 、 F_3 表达式为式(7)一式(9)。提取的 3 个主成分累计解释方差达到了 99%以上,可以有效反映 8 种颜色特征,达到了数据降维的效果,在后续构建幼龄沉香微量元素含量的预测模型的研究中可使用 8 种颜色特征的 3 个主成分 F_1 、 F_2 、 F_3 以及形状特征 RE 作为自变量,以减少建模的时间并提升模型精度。

$$F_1 = -0.256\ 0R + 0.437\ 0G - 0.241\ 1B - 0.443\ 3N_{IR} + 0.484\ 9N_{IG} - 0.254\ 3N_{IB} + 0.434\ 8Y_E - 0.006\ 0I_{KAW} \quad (7)$$

$$F_2 = 0.377\ 8R + 0.273\ 2G + 0.530\ 3B - 0.237\ 4N_{IR} + 0.027\ 3N_{IG} - 0.520\ 0N_{IB} + 0.278\ 2Y_E + 0.310\ 6I_{KAW} \quad (8)$$

$$F_3 = 0.527\ 4R + 0.157\ 1G + 0.051\ 8B + 0.222\ 1N_{IR} + 0.185\ 3N_{IG} - 0.055\ 0N_{IB} + 0.157\ 6Y_E - 0.763\ 5I_{KAW} \quad (9)$$

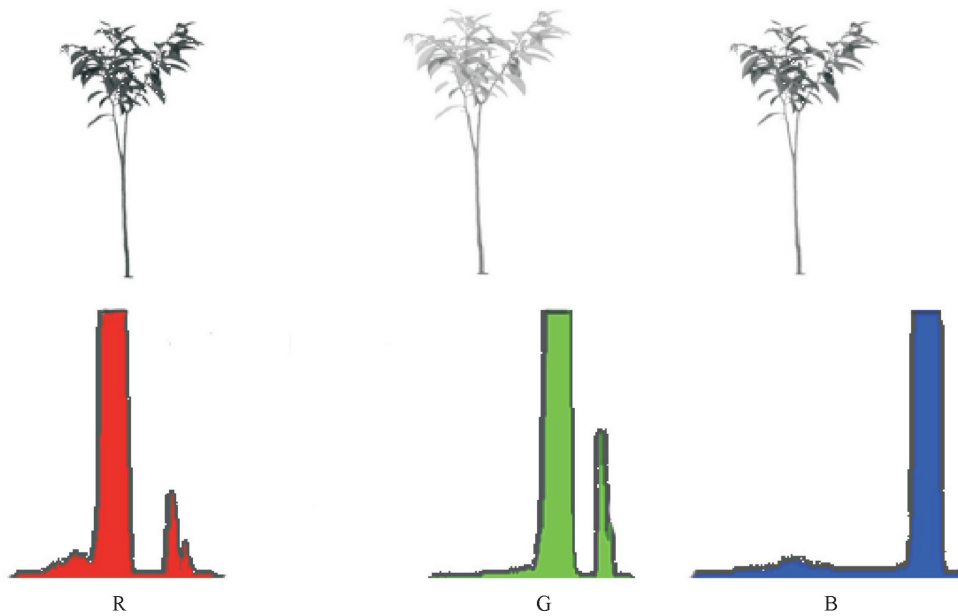


图 4 RGB 三通道与灰度直方图

Fig. 4 RGB three-channel and gray-scale histogram

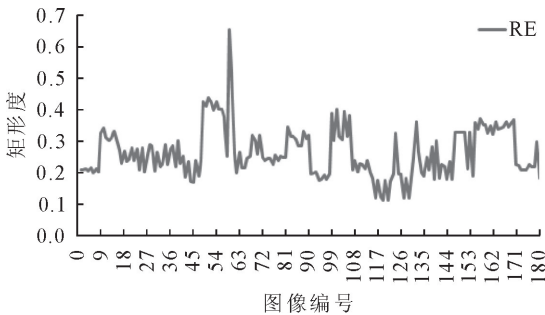


图 5 幼龄檀香图像矩形度

Fig. 5 Image rectangle degree of young sandalwood



图 6 幼龄檀香图像最小外接矩形

Fig. 6 The smallest circumscribed rectangle of the image of young sandalwood

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究对试验获取的 180 张幼龄沉香 RGB 图像分别应用大津法及 K-Means 聚类分割算法进行分割,并随机选取 2 组图像运用 PhotoshopCC 2014 中的磁性套索工具进行手工分割,以此为基准比较

大津法与 K-Means 算法对基于可见光光谱的幼龄沉香图像分割效果。在图像分割完成后,选取分割效果好的算法所分割的所有图像,提取各个图像的 R、G、B、NRI、NGI、NBI、YE、IKAW 8 种颜色特征并进行主成分分析,提取 CE、LA 2 种形状特征并计算得到最终所需的形状特征 RE。

表 2 成分得分系数

Table 2 Composition score coefficient

成分	1	2	3
B	−0.129	0.230	0.469
G	0.220	0.166	0.140
R	−0.121	0.322	0.046
NIR	−0.223	−0.144	0.197
NIG	0.244	0.17	0.165
NIB	−1.28	0.315	−0.049
YE	0.219	0.169	0.140
IKAE	−0.03	0.189	−0.679

(1)K-Means 聚类分割算法对于 RGB 颜色空间的幼龄沉香图像能够实现高精度的分割,但分割速度较大津法偏慢。虽然大津法也可实现对多张幼龄沉香图像的分割,且分割速度比 K-Means 算法快,但分割精度要低于 K-Means 算法。因此,在实际应用中,应根据实际情况对 2 种分割算法进行选择,以实现对幼龄沉香图像的高效、快捷分割。

(2)提取的 8 种颜色特征变量的 3 个主成分累计贡献率可达到 99%,在后续对沉香微量元素含量的预测工作中可将这 8 种变量的 3 个主成分 F_1 、 F_2 、 F_3 作为颜色特征,而矩形度 RE 等于沉香轮廓内面积 CE 与最小外接矩形面积 LA 的比值,可直接选择矩形度 RE 作为形状特征。本研究所做的幼

表 3 总方差解释

Table 3 Total variance explained

成分	初始特征值			提取平方和			旋转平方和		
	总计	方差(%)	累计(%)	总计	方差(%)	累计(%)	总计	方差(%)	累计(%)
F_1	3.949	49.364	49.364	3.949	49.364	49.364	3.949	49.364	49.364
F_2	2.708	33.848	83.212	2.708	33.848	83.212	2.708	33.848	83.212
F_3	1.266	15.823	99.035	1.266	15.823	99.035	1.266	15.823	99.035
F_4	0.061	0.766	99.801						
F_5	0.013	0.165	99.965						
F_6	0.002	0.023	99.988						
F_7	0.001	0.012	100.00						
F_8	-11.93		100.00						

龄沉香图像特征提取及变量筛选工作可大大提升后续建模工作的效率与精度,从而进一步促进数字图像处理技术在幼龄沉香营养分析中的应用。

3.2 讨论

与前人研究相比,本研究对幼龄沉香可见光图像的分割技术进行了深入探究,总结了 2 种有效分割算法的特点,可为后续研究者提供借鉴。同时,本研究对幼龄沉香图像的颜色及形状特征进行了提取及筛选,可为预测沉香微量元素的相关研究提供可靠依据。但是研究中仍存在一些不足,本研究运用大津法分割图像时的阈值是手动选取的,这会使分割结果产生一定的误差,运用 K-Means 算法分割图像时的初始中心点是程序自动选取的,有可能会使图像分割精度下降。因此,在后续研究中将继续探讨大津法阈值的自动选取以及 K-Means 算法初始中心点的位置确定。由于试验中采用人工光照以及相机位置并未严格固定,本研究并未涉及其他颜色空间的特征提取以及沉香轮廓周长的计算,在后续研究中将继续提升试验的精度,并以此作为下一步研究的重点。目前,本研究已完成幼龄沉香图像的分割及特征提取工作,下一步将继续利用数字图像处理技术预测幼龄沉香微量元素的含量,从而促进对沉香等珍稀树种的保护,为精准林业提供参考。

参考文献:

- [1] 刘小金,徐大平,郭俊誉.海南省珍贵树种资源和产业调查分析[J].热带林业,2020,48(3):53-57.
- [2] 王茜,尚丽丽,晏婷婷,等.不同产地沉香的高效液相色谱指纹特征[J].林业科学,2021,57(2):150-159.
WANG Q,SHANG L L,YAN T T,*et al.* High-performance liquid chromatography fingerprint characteristics of agarwood from different origins [J]. Forestry Science,2021,57(2):150-159. (in Chinese)
- [3] 何平川,杨勇,冯巧薇,等.促进海南沉香产业发展的调研与建议[J].今日海南,2021(8):36-38.
- [4] 陈珠琳.基于可见光-近红外图像的幼龄檀香全氮全铁含量估测方法研究[D].北京:中国林业科学研究院,2019.
- [5] 陈珠琳,王雪峰,孙汉中.基于可见光-近红外图像的幼龄檀香全磷含量诊断[J].北京林业大学学报,2019,41(2):88-96.
CHEN Z L,WANG X F,SUN H Z. Diagnosis of total phosphorus content in young sandalwood based on visible light-near infrared images [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019,41(2):88-96. (in Chinese)
- [6] 杨晓清,周再知,梁坤南,等.氮素对模拟胁迫下土沉香幼苗抗旱生理的影响[J].热带作物学报,2013,34(6):1121-1127.
- [7] 王瑾.海南岛海岸乡土树种红厚壳、草海桐的育苗和在海防林下混交种植的研究[D].海口:海南师范大学,2015.
- [8] 洪梦霞,梁少华.基于 RGB 颜色空间的彩色图像分割[J].电脑知识与技术,2020,16(34):225-227.
- [9] 王露露.基于 RGB 颜色模型的林区道路图像分割[J].南方农机,2021,52(20):42-44.
- [10] JIANG W,NI Y,PANG Z G,*et al.* An effective water body extraction method with new water index for sentinel-2 imagery[J]. Water,2021,13(12).
- [11] 李晓冬,王雪峰,贺鹏.改进 Otsu 法的冠层图像分割及银杏叶面积指数估测[J].东北林业大学学报,2013,41(8):52-56,60.
LI X D,WANG X F,HE P. Improved Otsu method for canopy image segmentation and ginkgo leaf area index estimation [J]. Journal of Northeast Forestry University,2013,41(8):52-56,60. (in Chinese)
- [12] 孙拱,辛颖,闫灿.基于改进的 K-means 算法估测单木树高[J].森林工程,2019,35(6):31-35.
- [13] JIMENEZ D A,CORREA E S,BENÍTEZ H D,*et al.* Novel feature-extraction methods for the estimation of above-ground biomass in rice crops[J]. Sensors,2021,21(13):4369. (in Chinese)
- [14] 赵晨阳,邢艳秋,霍达,等.基于机载 LiDAR 落叶松树冠几何形状三维重建关键技术研究[J].西北林学院学报,2015,30(2):5.
ZHAO C Y,XING Y Q,HUO D,*et al.* Research on key technologies for 3D reconstruction of larch canopy geometry based on airborne LiDAR [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(2):5. (in Chinese)
- [15] 张怡卓,梁玉亮,王小虎,等.一种基于 K-means 与 Close-Form 融合的树木图像提取方法[J].西北林学院学报,2019,34(2):240-245.
ZHANG Y Z,LIANG Y L,WANG X H,*et al.* A tree image extraction method based on K-means and Close-Form fusion [J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(2):240-245. (in Chinese)