

虫害胁迫下毛竹叶绿素含量高光谱估算方法

李 凯^{1,2}, 陈芸芝^{1,2*}, 许章华^{1,2,3}, 黄旭影⁴, 胡新宇³, 汪小钦^{1,2}

1. 福州大学卫星空间信息技术综合应用国家地方联合工程研究中心, 福建 福州 350116
2. 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350116
3. 福州大学环境与资源学院, 福建 福州 350116
4. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093

摘 要 叶绿素作为参与植被光合作用最重要的色素,是监测毛竹虫害的一项重要指标。通过对不同光谱数据集进行波长筛选,建立虫害胁迫下竹叶叶绿素含量高光谱估算模型,为利用高光谱遥感监测毛竹虫害提供理论依据。试验在福建省毛竹生产基地顺昌县进行,使用 ASD FieldSpec 3 光谱仪采集不同虫害程度竹叶光谱 102 条,并利用 SPAD-502 叶绿素计测定相应叶片叶绿素含量。通过对比不同虫害程度竹叶的光谱特征,探测利用高光谱数据估算叶绿素含量的机理。对竹叶原始光谱(OS)进行包络线去除(CR)、一阶导数(FD)、包络线去除一阶导数(CR-FD)变换,分析不同光谱数据与叶绿素含量的相关性,并利用连续投影算法(SPA)分别提取 4 种光谱的特征波长。采用基于 $x-y$ 距离结合的样本划分法(SPXY)和随机法对 4 种光谱数据集进行划分,结合多元逐步回归(MSR)建立竹叶叶绿素含量估算模型,分析光谱变换及样本划分对估算叶绿素含量的影响。结果表明,不同虫害程度竹叶光谱反射率差异明显,主要表现为可见光波段范围内的“绿峰”和“红谷”的逐渐消失,“红边”斜率减小,近红外波长反射率降低。通过光谱变换可有效提升光谱与叶绿素含量的相关性,其中 CR-FD 光谱与叶绿素含量在 724 nm 处的相关系数最大。经连续投影算法提取的不同光谱数据集的特征波长集中分布在绿光、红光、“红边”位置,多个被选择波长位于与叶绿素含量相关性较高的波长区(600~750 nm)。基于 SPXY 样本划分法建立的 MSR 模型相比于随机样本划分法能显著提升叶绿素含量的估算精度,其中 R^2 和 RPD 平均提高 0.1 和 0.5, RMSE 平均降低 0.7。以 CR-FD 光谱特征波长结合 SPXY 样本划分法建立的多元逐步回归模型对竹叶叶绿素含量的估算精度最高, R^2 , RMSE 和 RPD 分别为 0.835, 2.604 和 2.364, 可对虫害胁迫下毛竹叶片叶绿素含量进行准确的估算。

关键词 叶绿素含量; 高光谱; 光谱变换; 波长筛选; SPXY 样本划分

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)08-2578-06

引 言

毛竹作为我国竹林产业的重要组成部分,在我国林业的经济发展中起到关键作用。刚竹毒蛾是毛竹的主要虫害,严重威胁毛竹的生长,制约了竹林产业的可持续发展^[1]。叶绿素是绿色植被吸收光能的物质,作为参与植被光合作用最重要的色素,直接影响到绿色植被对光能的利用^[2]。当植被受虫害胁迫而“失绿”时,常伴随着内部叶绿素含量的变化,并在光谱特性上发生变化^[3]。因此,植被叶绿素含量的状态已

成为监测植被虫害的一项重要指标。

高光谱数据能够提供丰富的光谱信息,可以更加精确地检测植被色素光谱特征,估计植被的生化参数进而诊断植被的健康状态。实际应用中,高光谱数据在提供丰富信息的同时,也存在信息冗余量大的问题,导致统计参数的估计偏差增大^[3]。特征波长的提取可有效地对高光谱数据进行降维,从而达到优化模型的效果。通过对高光谱数据进行光谱变换能够增强特征波长信息,进而提高模型的估算精度^[4]。国内外学者通过利用不同光谱的特征光谱位置、多波段的光谱指数、特征光谱参数等光谱信息开展了大量的植被生化参数研

收稿日期: 2019-07-17, 修订日期: 2019-11-30

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFB0504203), 中央引导地方科技发展专项(2017L3012), 中国博士后基金面上项目(2018M630728), 3S 技术与资源优化利用福建省高校重点实验室开放课题(fafugeo201901)资助

作者简介: 李 凯, 1992 年生, 福州大学数字中国研究院(福建)硕士研究生 e-mail: 709331379@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: chenyunzhi@fzu.edu.cn

究。如王雪等^[5]利用竞争性自适应重加权采样算法进行波长筛选,并结合 SPXY 样本划分法建立玉米含水率的偏最小二乘估算模型。宫兆宁等^[6]系统分析了典型湿地植被的多项光谱特征参数,确定了“红边”位置、565 和 735 nm 归一化光谱指数为估算叶绿素含量的最佳光谱特征参数。刘文雅等^[7]利用相关系数法筛选出与马尾松叶绿素含量高度相关的植被指数,并对马尾松冠层叶绿素含量进行估算。毛博慧等^[8]采取遗传算法进行波长筛选,利用优选波长组合植被指数,建立基于敏感植被指数的冬小麦叶绿素含量估算模型。

为提高竹叶叶绿素含量估算精度,通过对不同虫害程度的毛竹叶片光谱和叶绿素含量进行测定,采用连续投影算法(successive projections algorithm, SPA)对光谱数据进行压缩,提取特征波长,对比不同样本集划分方法对叶绿素含量建模精度的影响,建立虫害胁迫下竹叶叶绿素含量的多元逐步回归(multiple stepwise regression, MSR)模型,以期为今后毛竹虫害监测提供理论依据。

1 实验部分

试验于 2019 年 4 月在福建省顺昌县内毛竹林进行;该县位于福建省西北部,季风气候明显,全年雨量充沛,森林资源丰富,是福建省的毛竹生产基地县。根据刚竹毒蛾虫害发生的特点,随机选取 6 个不同样方,参照《植物病理学》的虫害划分标准,将毛竹样本分为健康、轻度虫害、中度虫害及重度虫害 4 个等级^[9],对采集的不同虫害等级毛竹叶片进行光谱及叶绿素含量的现场测定。

1.1 数据采集

使用美国 ASD FieldSpec 3 便携式光谱仪进行光谱数据测量,光谱仪波长范围为 350~2 500 nm,其中 350~1 000 nm 波长的采样间隔为 1.4 nm,1 000~2 500 nm 波长的采用间隔为 2 nm,共 2 151 个波段。选择不同虫害程度的叶片进行测定,测定时间为 10:00—15:00,探头距叶片 15 cm 处垂直向下测量,共采集 102 个叶片样本,每个样本测得 10 条光谱,取平均值作为该样本的光谱,每组数据采样前均进行标准白板校正。为保证数据的精度,每个样本光谱测量后采用日本 SPAD-502 叶绿素计测定叶片相对叶绿素含量(soil and plant analyzer development, SPAD)。

1.2 光谱数据处理

利用 ASD FieldSpec 3 光谱仪配套软件 ViewSpecPro 对采集的光谱数据进行处理,计算叶片光谱反射率,保留 400~900 nm 范围内的光谱数据,并通过 Savitzky-Golay 滤波算法对光谱数据进行平滑去噪处理。对原始光谱(original spectrum, OS)进行一阶导数(first derivative, FD)处理,可消除与波长无关的漂移^[10]。包络线去除(continuum removal, CR)是将原始光谱曲线与包络线曲线进行比值运算后得到,该方法能够增强各生化参量敏感波段的光谱吸收特征^[11],并计算包络线去除后光谱的一阶导数(continuum removal-first derivative, CR-FD)。

1.3 连续投影算法

连续投影算法是一种使矢量空间共线性最小化的前向变量选择方法,通过对光谱向量进行投影操作,能够找寻到最具代表性的变量组,获取具有最小共线性的波长子集。该算法的步骤如下^[12]:

(1)在光谱矩阵中任选一条光谱列向量作为起始向量;

(2)分别计算剩余列向量在起始向量的正交平面上的投影向量;

(3)挑选出最大投影作为下一次投影的起始向量,直到挑选变量个数达到所需个数;

(4)将提取的所有波长组合进行多元线性回归,最小的 RMSE 所对应的组合即为最优波长组合。

1.4 SPXY 算法

样本数据集的划分会在一定程度上影响模型估算的精度,SPXY(sample set partitioning based on joint x-y distance)法^[13]是一种同时考虑样本光谱以及生化参量欧氏距离的样本集选择方法,使选择的样本集更具有代表性,从而改善所建模型的估算能力。计算公式如式(1)和式(2)

$$d_x(p, q) = \sqrt{\sum_{j=1}^J [x_p(j) - x_q(j)]^2} \quad (1)$$

$$d_{xy}(p, q) = \frac{d_x(p, q)}{\max_{p, q \in [1, N]} d_x(p, q)} + \frac{d_y(p, q)}{\max_{p, q \in [1, N]} d_y(p, q)} \quad (2)$$

式中, J 为光谱中的波长数, $x_p(j)$ 和 $x_q(j)$ 分别为样本 p 和 q 的光谱值, $d_x(p, q)$ 和 $d_y(p, q)$ 分别表示样本 p 和 q 的 x 变量和 y 变量的欧式距离。该算法的步骤如下:

(1)计算样本间的两两距离,选择距离最大的两个样本作为起始样本;

(2)分别计算剩余样本与已选样本间的距离,对于每个剩余样本而言,选择与起始样本间的最短距离;

(3)在所选择的最短距离中选择最长距离所对应的样本,作为第三个样本,以此逐步选择,直至所选样本数达到目标个数。

1.5 模型精度检验

采用决定系数(R^2),均方根误差(RMSE)和相对分析误差(RPD)3 个指标对叶绿素含量估算模型进行精度评价。其中, R^2 越大模型估算效果越好; RMSE 越小模型估算效果越好;当 RPD>3 时,表明模型的估算效果极好,当 RPD 为 3~2.25 时,表示模型的估算效果较好,当 RPD 为 2.25~1.75 时,模型的估算效果一般,当 RPD<1.75 时,模型的估算效果较差^[14]。各指标计算公式分别如式(3)~式(5)

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} \quad (5)$$

式中, \bar{y} 为实测值 y_i 的平均值, \hat{y}_i 为样本 i 的估算值, SD 代表样本实测值的标准差。

2 结果与讨论

2.1 虫害毛竹叶片光谱特征

图 1 为不同虫害程度竹叶光谱曲线,可以看出,健康竹叶在 520~570 nm 波长范围因叶绿素吸收较少而形成了一个绿色波段的小反射峰,称之为“绿峰”。在 640~700 nm 波长范围因叶绿素的强吸收形成了一个红色波段吸收谷,称之为“红谷”。由于叶片的多孔薄壁细胞结构特性对近红外光强烈的反射,形成光谱上的最高峰。当毛竹遭受虫害侵蚀后光谱发生明显变化,主要表现为可见光波段范围内的“绿峰”和“红谷”的逐渐消失,“红边”斜率减小,近红外波长反射率降低,随着虫害程度加重,这一现象更加明显。导致这一现象发生的主要原因是毛竹遭受虫害侵蚀后,竹叶叶绿素含量相对减少,细胞结构遭到破坏。因此,根据光谱间的差异,进行竹叶叶绿素含量的估算是可行的。

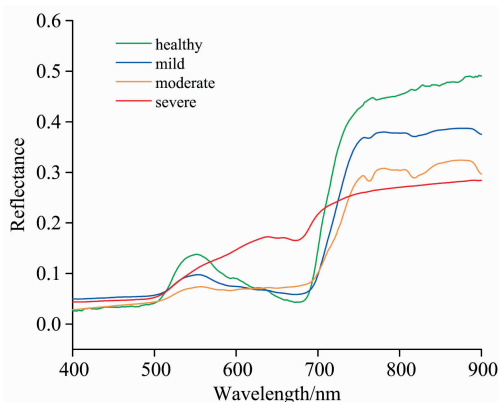


图 1 不同虫害程度的竹叶光谱曲线

Fig. 1 Spectra of bamboo leaves under pests stress

2.2 叶绿素含量与光谱数据之间的相关性分析

利用 Pearson 相关分析法计算不同光谱与竹叶叶绿素含量的相关性,如图 2 所示。从图 2 可以看出,原始光谱(original spectrum, OS)在可见光波段与叶绿素含量呈负相关,在波长 644 nm 处相关性最高,相关系数为-0.759,在近红外波长基本不相关;包络线去除(containment removal, CR)与叶绿素含量的相关性曲线与原始光谱相似,相关系数有明显提升,其中在波长 702 nm 处相关性最高,相关系数为-0.852;一阶导数(first derivative, FD)与叶绿素含量的相关系数呈现正负起伏变化,在波长 629 nm 处相关性最高,相关系数为-0.776;包络线去除一阶导数(containment removal-first derivative, CR-FD)相关性曲线与一阶导数相似,在波长 724 nm 处的相关系数高达 0.862。可见,竹叶叶绿素含量与不同光谱相关性较高的波长均处于 600~750 nm,通过光谱变换可以有效提升与叶绿素含量的相关性。

2.3 特征波长提取

使用连续投影算法对不同光谱数据集进行特征波长选择,结果如表 1 所示。OS 所选波长个数为 7 个,集中分布在“绿峰”、“红谷”、“红边”位置;CR 有 5 个波长被选择,所选

波长主要分布在“红边”位置;FD 有 4 个波长被选择,所选波长位置较为分散;CR-FD 有 5 个波长被选择,所选波长大多分布在“红边”位置。从各数据集波长选择结果可以看出,不同光谱数据集选择的波长位置及个数有所差异,但所选波长位置基本上集中在绿光、红光、“红边”3 个区域,各光谱数据集都有多个与叶绿素含量相关性较高的波长(600~750 nm)被选择。经包络线去除后的近红外波长光谱值较为接近,且与可见光波长的光谱值差异变大,从而导致在近红外范围有 1 个波长被选择。由于算法本身的原因导致易在波长范围边缘处选取波长^[15]。

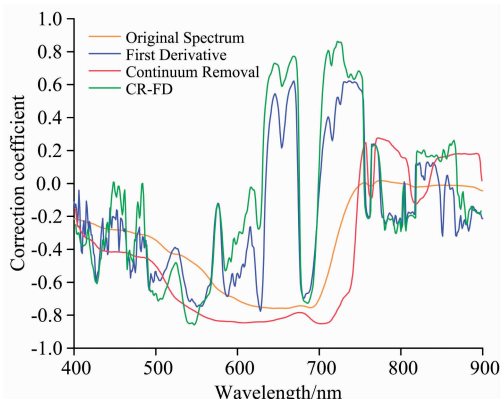


图 2 竹叶叶绿素含量与光谱的相关系数

Fig. 2 Correlation coefficient between chlorophyll content and spectra of bamboo leaves

表 1 SPA 波长选择结果

Table 1 SPA wavelengths selection result

	Selected Wavelengths/nm
OS	415, 509, 542, 584, 678, 707, 728
CR	501, 688, 737, 750, 850
FD	411, 531, 602, 754
CR-FD	402, 444, 717, 753, 781

2.4 模型的建立和预测

共采集不同虫害程度竹叶样本 102 个,利用 SPA 算法对各光谱数据集特征波长进行提取后,分别利用 SPXY 法和随机法进行样本集的划分,建模集与验证集的划分比例为 7:3,然后建立基于样本划分及特征波长的多元逐步回归模型,并计算每种模型在验证集中的叶绿素含量估算精度,结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,利用 SPXY 法对样本进行划分后的模型对叶绿素含量的估算精度明显优于基于随机法样本划分的模型估算精度。基于 SPXY 样本划分法的 OS, FD, CR 以及 CR-FD 模型的 R^2 均高于 0.8,其中 OS 和 CR-FD 模型 R^2 高达 0.840 和 0.835;OS 和 CR-FD 模型的 RMSE 分别为 2.925 和 2.604;CR 和 CR-FD 模型的 RPD 值分别达到 2.294 和 2.364,表明这 2 种模型具有较好的预测能力。图 3 为基于 SPXY 样本划分法的竹叶叶绿素含量预测结果,CR 和 CR-FD 模型的叶绿素含量预测效果较好。综合考虑,选 CR-FD 模型为竹叶叶绿素含量的最优估算模型。表

3 为各模型的回归方程式。

表 2 竹叶叶绿素含量估算模型参数

Table 2 Estimation model parameters of chlorophyll content in bamboo leaves

Sample partitioning methods	SPXY			Random sampling		
	R ²	RMSE	RPD	R ²	RMSE	RPD
OS	0.840	2.925	2.062	0.692	4.180	1.248
CR	0.823	3.033	2.294	0.692	3.888	1.407
FD	0.803	3.308	1.706	0.720	3.547	1.604
CR-FD	0.835	2.604	2.364	0.745	3.289	1.832

表 3 竹叶叶绿素含量多元逐步回归模型
Table 3 Multiple Stepwise Regression model of chlorophyll content in bamboo leaves

Models	
OS	$y = 420.979x_{509} - 229.321x_{584} - 99.992x_{678} + 35.808$
CR	$y = 45.833x_{501} - 48.748x_{688} - 62.906x_{737} + 71.245x_{750} + 16.359$
FD	$y = -15810.204x_{411} - 7889.756x_{531} - 15673.329x_{602} + 5213.564x_{754}$
CR-FD	$y = 422.748x_{402} + 1186.341x_{717} + 3545.665x_{753} - 5722.112x_{781} + 19.305$

注: y 代表竹叶叶绿素含量的估算值; x_n 代表波长 n 的光谱值
Note: y represents the estimated value of chlorophyll content in bamboo leaves; x_n represents the spectral value at wavelength n

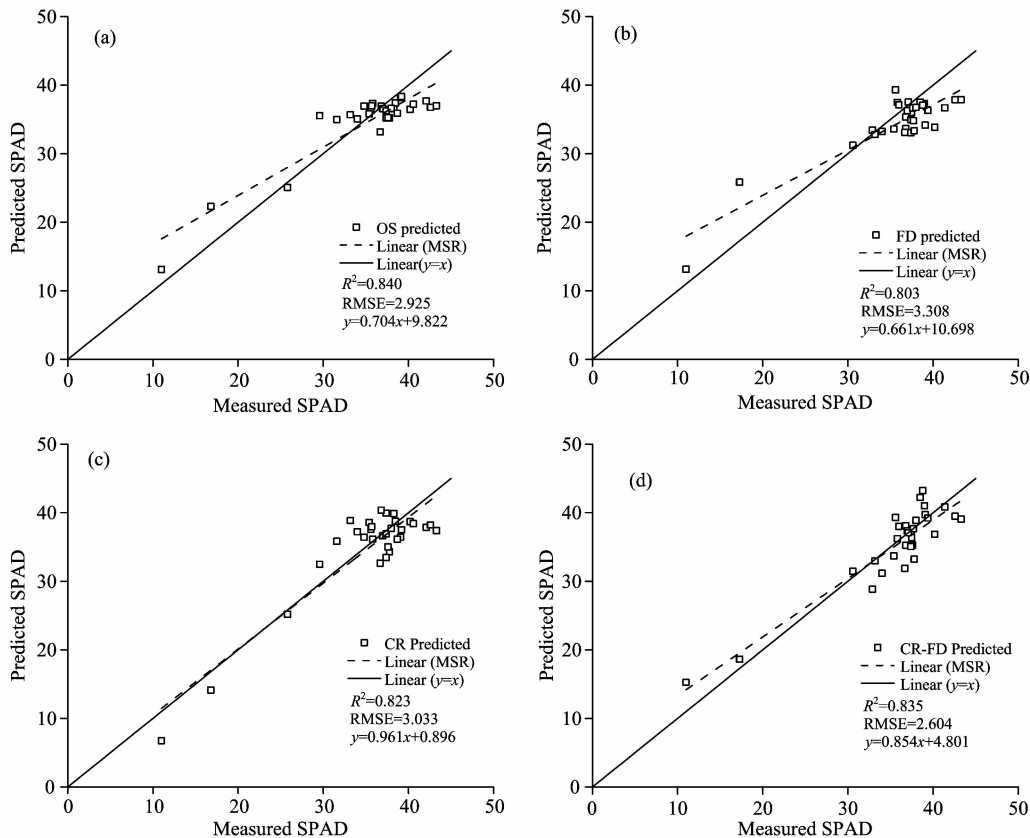


图 3 叶绿素含量预测值与实测值比较

Fig. 3 Comparison of predicted and measured chlorophyll contents

3 结 论

(1) 虫害胁迫下竹叶光谱特征发生明显变化, 其可见光波段范围内的“绿峰”和“红谷”逐渐消失, “红边”斜率减小, 近红外波长反射率降低。

(2) 对刚竹毒蛾虫害胁迫下竹叶原始光谱进行光谱变换可以有效提升与叶绿素含量的相关性, 可见光区域是估算竹叶叶绿素含量的敏感区域, 包络线去除一阶导数光谱在 724 nm 处与竹叶叶绿素含量的相关系数最高, 达到 0.826。

(3) 采用连续投影算法提取的特征波长主要分布于绿光、红光、“红边”位置, 且每种光谱数据集都有多个与叶绿素含量相关性较高的波长(600~750 nm)被选择。

(4) 基于 SPXY 样本划分法对建模样本进行选择, 建立的叶绿素含量估算模型的 R^2 , RMSE, RPD 相比于随机样本划分法都有明显的提升, 其中 R^2 和 RPD 平均提高 0.1 和 0.5, RMSE 平均降低 0.7。

(5) 多元逐步回归可对连续投影算法提取的特征波长进一步压缩, 结合连续投影算法与 SPXY 样本划分法建立的包络线去除和包络线去除一阶导数多元逐步回归模型可有效地

对竹叶叶绿素含量进行估算, 其中包络线去除一阶导数模型 最优估算模型。
的估算精度最高, 为刚竹毒蛾虫害胁迫下竹叶叶绿素含量的

References

- [1] HUANG Xu-ying, XU Zhang-hua, LIN Lu, et al(黄旭影, 许章华, 林 璐, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2018, 38(12): 183.
- [2] FENG Peng, SUN Li, SEHN Xiao-hui, et al(冯 鹏, 孙 力, 申晓慧, 等). Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报), 2018, 34(23): 122.
- [3] TONG Qing-xi, ZHANG Bing, ZHENG Lan-fen(童庆禧, 张 兵, 郑兰芬). Hyperspectral Remote Sensing: Principles, Techniques and Applications(高光谱遥感: 原理、技术与应用). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2006.
- [4] ZHANG Dong-hui, ZHAO Ying-jun, QIN Kai, et al(张东辉, 赵英俊, 秦 凯, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2018, 34(20): 149.
- [5] WANG Xue, MA Tie-min, YANG Tao, et al(王 雪, 马铁民, 杨 涛, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2018, 34(13): 203.
- [6] GONG Zhao-ning, ZHAO Ya-li, ZHAO Wen-ji, et al(宫兆宁, 赵雅莉, 赵文吉, 等). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2014, 34(20): 5736.
- [7] LIU Wen-ya, PAN Jie(刘文雅, 潘 洁). Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报), 2017, 28(4): 1128.
- [8] MAO Bo-hui, LI Min-zan, SUN Hong, et al(毛博慧, 李民赞, 孙 红, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2017, 33(Z1).
- [9] Agrios G N. Plant Pathology(植物病理学). Translated by SHEN Chong-yao(沈崇尧, 译). Beijing: China Agricultural University Press(北京: 中国农业大学出版社), 2009.
- [10] DING Hai-ning, CHEN Yu, CHEN Yun-zhi(丁海宁, 陈 玉, 陈芸芝). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2019, 34(2): 53.
- [11] GUO Chao-fan, GUO Xiao-yu(郭超凡, 郭道宇). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2016, 36(20): 6538.
- [12] Soares S, Gomes A A. Trends in Analytical Chemistry, 2013, 42(42): 84.
- [13] Galvão R K H, Araujo M C U, José G E, et al. Talanta, 2005, 67(4): 736.
- [14] DOU Zhi-guo, CUI Li-juan, WU Gao-jie, et al(窦志国, 崔丽娟, 武高洁, 等). Chinese Journal of Ecology(生态学杂志), 2018, 37(10): 298.
- [15] LIU Ming-bo, TANG Yan-lin, LI Xiao-li, et al(刘明博, 唐延林, 李晓利, 等). Infrared and Laser Engineering(红外与激光工程), 2014, 43(4): 1265.

Hyperspectral Estimation Method of Chlorophyll Content in MOSO Bamboo under Pests Stress

LI Kai^{1, 2}, CHEN Yun-zhi^{1, 2*}, XU Zhang-hua^{1, 2, 3}, HUANG Xu-ying⁴, HU Xin-yu³, WANG Xiao-qin^{1, 2}

1. National & Local Joint Engineering Research Center of Satellite Geospatial Information Technology, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China
2. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education, Fuzhou 350116, China
3. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China
4. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract As the most important pigment involved in photosynthesis of plant, the chlorophyll is an important indicator for monitoring bamboo pests. This study aims to establish the hyperspectral estimation model for the chlorophyll content of bamboo leaves under pests stress by wavelength screening of different spectral data sets, and provide a theoretical basis for monitoring the pests of bamboo by hyperspectral remote sensing. The test was carried out in Shunchang County, the bamboo production base in Fujian Province. The ASD FieldSpec 3 spectrometer was used to collect 102 bamboo leaves spectra of different pest levels, and the chlorophyll content of the corresponding leaves was determined by SPAD-502 chlorophyll meter. By comparing the spectral characteristics of bamboo leaves with different pest levels, the mechanism of estimating chlorophyll content with hyperspectral data was explored. The original spectrum (OS) of the bamboo leaves was subjected to continuum removal (CR), first derivative

(FD), and continuum removal-first derivative (CR-FD), and the correlation between different spectral data and chlorophyll content was analyzed. The characteristic wavelengths of the four spectra were extracted by the successive projection algorithm (SPA). Four spectral datasets were divided by sample set partitioning based on joint x-y distances method (SPXY) and random method. Combined with multiple stepwise regression (MSR), the chlorophyll content estimation model of bamboo leaves was established, and the effects of spectral transformation and sample partitioning on estimating chlorophyll content were analyzed. The results showed that there were significant differences in the spectral reflectance of bamboo leaves with different pest levels. The main manifestations were the gradual disappearance of the “green peak” and “red valley” in the visible light range, the “red edge” was levelled and the near-infrared wavelength reflectance was reduced. The spectral transformation could effectively improve the correlation between the spectrum and chlorophyll content, and the correlation coefficient between the CR-FD spectrum and chlorophyll content at 724 nm was the largest. The characteristic wavelengths of different spectral data sets extracted by the successive projection algorithm were concentrated in the green band, red band, and “red edge”, and the multiple selected wavelengths were located in bands (600~750 nm) that highly correlated with chlorophyll content. The MSR model based on SPXY sample partitioning method could significantly improve the estimation accuracy of chlorophyll content compared with the random sample partitioning method, in which R^2 and RPD increased by 0.1 and 0.5, and RMSE decreased by 0.7 on average. The multiple stepwise regression model established by CR-FD spectrum characteristic wavelengths combined with SPXY sample partitioning method had the highest accuracy for estimating chlorophyll content of bamboo leaves, and the R^2 , RMSE, RPD were 0.835, 2.604 and 2.364 respectively, which could accurately estimate the chlorophyll content of bamboo leaves under pests stress.

Keywords Chlorophyll content; Hyperspectral; Spectral transformation; Characteristic wavelengths; SPXY algorithm

(Received Jul. 17, 2019; accepted Nov. 30, 2019)

* Corresponding author

本 刊 声 明

近期以来,一些不法分子假冒《光谱学与光谱分析》期刊社名义,以虚假网站等形式欺骗广大作者、读者。这些虚假网站公然假冒《光谱学与光谱分析》期刊名义进行大肆的征稿并骗取作者的审稿费和版面费。经部分作者及读者举报,现有有关部门已就此介入调查。本刊将通过法律途径向假冒者追究相应的责任,维护本刊权利。

本刊官方网站已正式开通,网址为

<http://www.gpxygpfx.com/>

在此郑重声明,本网址为《光谱学与光谱分析》期刊唯一开通运行的官方网站。本刊从未授权任何单位或个人以任何形式(包括网上网下)代理本刊征稿、审稿等项业务。

希望广大读者和作者切实维护好自身的合法权益,防止受骗上当。

《光谱学与光谱分析》期刊社

2019年3月15日