

基于反射光谱数据的茶树叶片 SPAD 值估算模型研究

邹红玉^①, 丁丽霞^②

(^① 浙江农林大学工程技术系, 临安 311300;

^② 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300)

摘要: 实验中将茶树的叶片分为 3 个部位进行研究, 每个部位各采集 50 个叶片, 30 组数据作为预测样本, 20 组数据作为试验模拟样本。设计绿峰位置、绿峰最大反射率、红谷位置、红谷最小反射率、红边位置、红边对应的最大一阶导数反射率、绿峰对应的最大反射率和红谷对应的最小反射率的比值指数以及它们的归一化指数等 8 个反射光谱参数。首先对茶树叶片的反射光谱参数和茶树叶片的 SPAD 值进行相关分析; 其次以 8 个反射光谱参数作为自变量, 茶树叶片的 SPAD 值为因变量, 进行逐步回归分析, 确定茶树不同部位叶片的回归方程。茶树 A 部位嫩叶片的 SPAD 值预测模型以 $\lambda_r, R_g/R_o$ 为自变量, 其模拟的调整决定系数为 0.461; 茶树 B 部位的成熟叶子的 SPAD 值预测模型以 $R_g, R_g/R_o, R_g - R_o/R_g + R_o$ 为自变量, 其模拟的调整决定系数为 0.882; 茶树 C 部位的老叶子的 SPAD 值预测模型以 λ_r, D_r 为自变量, 其模拟的调整决定系数为 0.407。结果表明, 利用反射高光谱参数预测茶树不同部位叶片的 SPAD 模型是成功的。

关键词: SPAD 值; 反射光谱参数; 逐步回归分析; 相关分析

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.05.012

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3177(2011)117-0071-05

Study on Estimation Model of Tea Leaf SPAD Value Based on Reflective Spectra Data

ZOU Hong-yu^①, DING Li-xia^②

(^① Department of Engineering Technology, Zhejiang Agricultural University, Lin'an 311300;

^② Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration; Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300)

Abstract: The tea leaves are divided into three study parts in the experiment. 50 leaves were collected per each part, 30 sets of data are as the prediction sample, 20 sets of data are for experimental simulation of samples. The green peak position, green peak maximum reflectance, Red Valley position, minimum reflectance of Red Valley, red edge position, red edge of the maximum of first derivative reflectance, green peak maximum reflectance and red valley minimum reflectance ratio indices and their normalized spectral index are designed, and there are eight spectral parameters in total. First, the correlation of spectral parameters and SPAD value is analyzed, followed by that taking eight spectral parameters as the independent variables, tea leaf SPAD value as dependent variable, and the stepwise regression analysis carried out. Different parts of the tea leaves determine the regression equation to test simulation. The prediction model of SPAD value of tea tree in part A by $\lambda_r, R_g/R_o$ as the independent variables, and determine the adjustment factor is 0.461; The prediction model of SPAD value of tee tree in part B by $R_g, R_g/R_o, \frac{R_g - R_o}{R_g + R_o}$ as the independent variables, and determine the adjustment factor is 0.882; The prediction model of SPAD value of tea tree in part C by $\lambda_r, R_g/R_o$ as the independent variable, and determine the adjustment factor is 0.407. The results show that the prediction using reflection high spectral parameters in different parts of tea leaf SPAD model is successful.

Key words: SPAD value; reflective spectral parameters; stepwise regression analysis; correlation analysis

收稿日期: 2010-10-13 修订日期: 2011-03-25

基金项目: 浙江农林大学科研面上基金(2009FK30)和浙江省自然科学基金(Y3100427)。

作者简介: 邹红玉(1963~), 女, 副教授, 从事植被光谱测量和研究工作。

E-mail: dapohongyu_63@yahoo.com.cn

1 引言

茶树是我国主要的经济作物之一,在我国农业和国民经济中起着重要的作用。茶树叶片的叶绿素含量、氮素含量直接反映了茶树的长势,影响茶叶的品质和产量。大量研究证明,利用遥感技术能够成功估算水稻、小麦、玉米、棉花等农作物的叶绿素含量,并应用于农作物的估产、长势监测。针对茶树的生物物理参数,也有一些遥感监测研究,如泰国研究者针对茶树冠层的光谱特征与叶面积指数进行了研究^[1];赵杰文等利用高光谱技术分析了茶树叶片中叶绿素含量及分布^[2];还有人采用可见-近红外光谱技术检测茶树的全氮含量^[3]。SPAD-502 叶绿仪是一种手持式光谱仪,常用于无损快速检测植物叶片叶绿素含量,使用方便,但它测量的是叶片上的某一个点,只能原位了解植株氮素状况。本研究将分析茶树叶片的 SPAD 值与其反射光谱特征参数的相关性,并建立 SPAD 值预测模型,实现整株茶树的长势快速监测,对茶树的精确施肥管理有着指导作用。

2 试验部分

2.1 茶树叶片样品来源

试验田在浙江农林大学的茶树林场内,选择临安地区常见的灌木型、中叶类、20 年生的径山茶树为实验对象,面积 100m²。采集叶子时间为 2010 年 6 月 22 日中午 12 点左右,天气晴朗。叶片样本分别采自茶树的 3 个部位:新叶 A:一芽两叶的嫩叶中

最大的一片;成熟叶 B:离新叶很近的成熟叶;老叶 C:去年冬天留下的叶子。在茶树上随机采摘新叶 A、新生的成熟叶子 B 和老叶子 C 各 50 片。并从中各抽取 30 片作为多元逐步回归的样本,余下的 20 片叶子作为测试模拟样本。

2.2 数据测量方法

将样本叶片采集后立即带到室内进行光谱测量,测量仪器为美国的 FieldSpec Pro JR 光谱仪,测量光谱范围为 350nm~2500nm,数据采集间隔为 1nm。为方便测量与减少噪音影响,在光谱仪光纤处安装植被高密度探头和叶片夹,并对样本编号。测量时,首先进行白板校准,然后将叶片置于夹具上,每个叶片测量 10 个数据,求取平均值作为测量结果。

茶树叶片的 SPAD 值的测量采用日本 Minolta Camera 公司生产的 SPAD-502 叶绿素仪。植物的 SPAD 值(全称 Soil Plant Analysis Development^[4])是通过测量叶片在两种波长范围内的透光系数来确定叶片叶绿素含量或“绿色度”,用于间接测量植物叶片叶绿素含量。根据样本编号,分别对每片茶树叶子不同部位测量 10 个点,然后求取平均值,作为测量结果。

2.3 光谱参数设定

有研究表明,植被指数、蓝、黄和红边光学参数、绿色反射峰(绿峰)、红光吸收谷(红谷)^[6],以及基于光谱面积的预测变量等与水稻、玉米叶片不同部位室内光谱反射率及其对应的叶绿素含量有较好的相关性^[7],本文拟定表 1 中的 8 个反射光谱参数与茶树叶片的 SPAD 值进行相关分析和逐步回归拟合。

表 1 反射光谱特征参数的定义

变量 variable	定义 Defintion	描述 Describing
λ_r	红边位置; D_r 对应的波长	λ_r 是 D_r 对应的波长
D_r	红边内最大的一阶微分值	红边覆盖 680~780nm, D_r 是红边内一阶微分的最大值
λ_g	绿峰位置; R_g 对应的波长	λ_g 是 R_g 对应的波长
R_g	绿峰反射率	R_g 是波长 510~560nm 波段范围内最大的反射率
λ_o	红谷位置; R_o 对应的波长	λ_o 是 R_o 对应的波长
R_o	红谷反射率	R_o 是波长 640~680nm 波段范围内最小的反射率
R_g/R_o	比值指数	绿峰反射率与红谷反射率的比值
$\frac{R_g - R_o}{R_g + R_o}$	归一化指数	绿峰反射率与红谷反射率的归一化指数

3 茶树叶片光谱特征

图 1 是茶树不同部位叶片的光谱特征,图中的光谱反射率呈典型的植物叶片光谱特征:

(1)在 400nm~700nm 可见光区内,茶树叶面反射的主控因素是叶绿素,叶绿素强烈吸收蓝光(400nm~482nm)和红光(656nm~662nm),在绿光(520nm~600nm)有弱反射,在 543nm 处,出现一个

小的反射峰。图 1 显示,不同位置的茶树叶片绿峰值有明显差异,从嫩叶、成熟叶、老叶绿峰值逐渐变小,说明老叶的叶绿素含量要高于嫩叶。

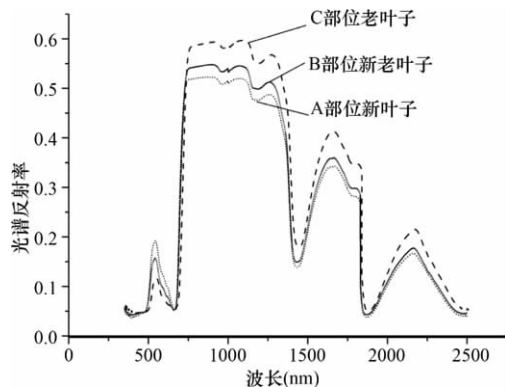


图 1 茶树不同部位叶片的光谱特征

(2)不同部位的茶树叶片的反射率曲线几乎重合,红边位置有微小差别。经过计算可知新生嫩叶片红边位置为 691.1nm,成熟叶片的红边位置为 705.6nm,老叶片的红边位置为 708.6nm。这也说明老叶片的叶绿素含量高于成熟叶片的叶绿素含量,成熟叶片的叶绿素含量高于新生嫩叶片叶绿素含量。

(3)在 740nm~1294nm 内,由于受叶片细胞结构控制,茶树叶片反射率出现“红外高台阶”。新生叶片 A 的反射率低,老叶片 C 的反射率最高。成熟茶树叶片 B 的反射率处于两者中间。由于茶树叶片内水分的吸收,在 956nm 和 1170nm 附近出现典型的吸收峰。

(4)在 1274nm~2500nm 内,叶片光谱主要受水含量的控制,从图中可以看出,新叶片 A 含水量高,光谱反射率低,老叶片 C 含水量低,光谱反射率高。

表 2 茶树 SPAD 值与反射光谱参数的相关系数

光谱参数	相关系数			光谱参数	相关系数		
	A	B	C		A	B	C
λ_g	-0.618**	-0.491**	0.193*	λ_r	0.800**	0.659**	0.723**
R_g	-0.740**	-0.757**	-0.306**	D_r	-0.656**	-0.562**	-0.584**
λ_o	-0.688**	-0.491**	0.297*	R_g/R_o	-0.519**	-0.752**	-0.665**
R_o	-0.495**	-0.454**	0.406**	$\frac{R_g - R_o}{R_g + R_o}$	-0.094*	-0.715**	-0.645**

*. 0.05 水平相关性双侧检验。

** . 0.01 水平相关性双侧检验。

4.2 采用逐步回归分析的方法建立茶树叶片的 SPAD 值预测模型

将 A、B、C 不同部位的茶树叶片的 SPAD 值作为因变量,8 个反射光谱参数作为自变量,以测量数据中随机抽取的 30 组数据作为预测样本,余下的

4 数据处理和分析

4.1 SPAD 与反射光谱参数的相关性分析

红边位置的确定采取光谱反射率的一阶导数最大值的方法确定。一阶导数采用差分法计算如式(1):

$$R'(\lambda) = \frac{R(\lambda_{i+1}) - R(\lambda_{i-1})}{\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1}} \quad (1)$$

根据公式(1)的计算,茶树叶片的一阶导数光谱见图 2,从图中可以看出,在 700nm 左右,一阶导数光谱的反射率最大,将一阶导数光谱反射率最大值所对应的波长定义为红边位置。

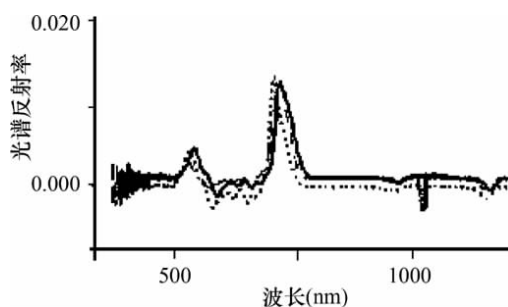


图 2 茶树叶片的一阶导数

通过对光谱数据分析,分别找出茶树不同部位叶片的光谱参数:绿峰位置 λ_g 、绿峰反射率 R_g 、红谷位置 λ_o 、红谷反射率 R_o 、红边位置 λ_r 、一阶导数光谱反射率最大值 D_r 、绿峰反射率和红谷反射率的比值指数 R_g/R_o 以及他们的归一化指数 $\frac{R_g - R_o}{R_g + R_o}$,并与茶树叶片的 SPAD 值进行相关分析,其分析结果如表 2 所示。

20 组数据为试验模拟样本,运用 SPSS 软件,采用逐步回归分析的方法,建立茶树叶片的 SPAD 值的预测模型。逐步回归分析的结果见表 3。模型评价的标准是具有较高的调整的系数 R_a^2 ,较低的标准误差 SEC。

可以通过公式(2)计算获得:

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

式中 n 为样本集的样本数, \hat{y}_i 为校正样本的校正值, y_i 为校正样本的测量值。而 R_a^2 可由公式(3)计算获得:

$$R_a^2 = R^2 - \frac{p(1-R^2)}{n-p-1} \quad (3)$$

式中, R_a^2 为调整的决定系数, R 为决定系数, n 是样本量, p 是自变量的个数^[9]。

表3 茶树 SPAD 值与反射光谱参数的逐步回归分析结果

叶片部位	预测 R_a^2	预测 SEC	F	P	模拟 R_a^2	模拟 SEC
A	0.669	3.51875	30.242	0	0.461	3.65666
B	0.731	4.76325	27.219	0.006	0.882	3.05030
C	0.649	5.60233	27.777	0.002	0.407	3.88203

通过分析得到:

(1) 处于一芽两叶生长状态的茶树 A 部位新生嫩叶片的 SPAD 值最佳预测模型以 $\lambda_r, R_g/R_o$ 为自变量:

$$SPAD = -1730.65 + 2.588\lambda_r - 5.036R_g/R_o \quad (4)$$

预测调整的决定系数为 0.669, 模拟调整的决定系数为 0.461, 模拟标准误差为 3.66, 从图 3 可以清楚地看到模拟效果。

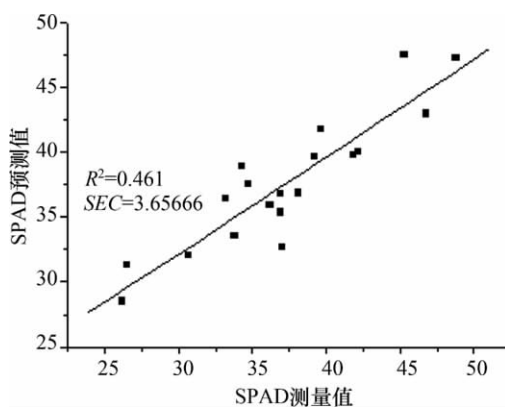


图3 茶树 A 位置老叶片 SPAD 检验曲线

(2) 处于茶树 B 部位的成熟叶子的 SPAD 值预测模型为以 $R_g, R_g/R_o, \frac{R_g-R_o}{R_g+R_o}$ 为自变量:

$$SPAD = 43.593 - 169.368R_g - 94.571R_g / R_o + 633.855 \frac{R_g - R_o}{R_g + R_o} \quad (5)$$

预测调整的决定系数为 0.731, 模拟调整的决定系数为 0.882, 模拟标准误差为 3.05, 从图 4 可以清楚看到模拟效果。

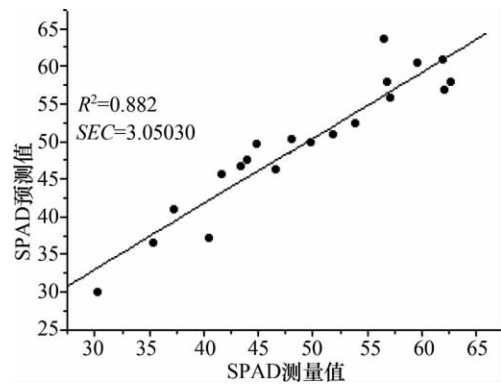


图4 茶树 B 位置老叶片 SPAD 检验曲线

(3) 处于茶树 C 部位的老叶子的 SPAD 值预测模型为以 λ_r, D_r 为自变:

$$SPAD = -912.912 + 1.437\lambda_r - 4117.771D_r \quad (6)$$

预测调整的决定系数为 0.649, 模拟调整的决定系数为 0.407, 模拟标准误差为 3.88203, 从图 5 可以清楚地看到模拟效果。

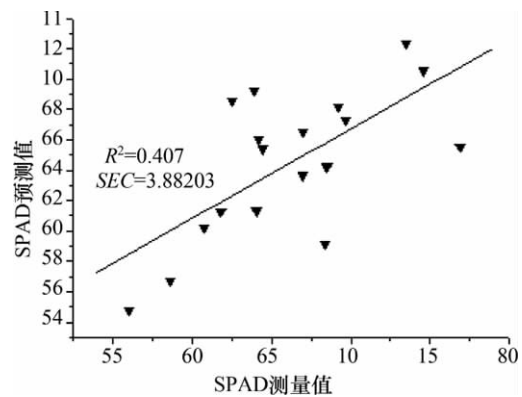


图5 茶树 C 位置老叶片 SPAD 检验曲线

5 结束语

茶树叶片的光谱曲线呈现典型的植物光谱特征。从图 1 可以看出, 3 个不同生长阶段茶树叶片的光谱特征有所区别。茶树新嫩叶片的光谱特征为绿峰最大反射率最高, 红外高台阶的反射率最低, 1274nm~2500nm 区间内, 反射率最低; 老叶片的绿峰最大反射率最低, 红外高台阶的反射率最高, 1274nm~2500nm 区间内, 反射率最高; 成熟叶片的光谱特征为绿峰最大反射率在新、老叶片之间, 红外高台阶、1274nm~2500nm 区间内的反射率都在新、老叶片之间。

从表 2 可知新叶片、成熟叶片、老叶片的 SPAD 值都与红边位置呈显著相关性, 说明红边对茶树叶片叶绿素变化和细胞结构变化很敏感; 新生叶片的叶绿素含量动态变化显著, 因而 SPAD 值与红边位置、红谷位置、绿峰位置以及红边反射率、红谷反射

率、绿峰反射率以及绿峰反射率与红谷反射率的比值指数都呈显著相关性;由于成熟叶片和老叶片的叶绿素含量趋于饱和,而且细胞结构趋于成熟稳定,所以 SPAD 值与比值参数、归一化参数密切相关。

通过逐步回归分析得出,新生嫩叶片的 SPAD 值预测模型为以 λ_r 、 R_g/R_o 为自变量的回归方程见式(4),成熟老叶子的 SPAD 值预测模型为以 R_g 、

R_g/R_o 、 $\frac{R_g - R_o}{R_g + R_o}$ 为自变量的方程见式(5),老叶子的 SPAD 值预测模型为以 λ_r 、 D_r 为自变量的方程见式(6)。以同时采摘的 20 组数据作为测试样本,对 3 种模型的模拟结果和预测结果相比较,得出方程(4)、(5)、(6)可以作为预测茶树 A、B、C 部位叶片的 SPAD 值的最佳模型。

参考文献

- [1] R. M. S. S. RAJAPAKSE*, N. K. TRIPATHI*, K. HONDA*. Spectral characterization and LAI modelling for the tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) canopy[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3569—3577.
- [2] 赵杰文, 王开亮, 欧阳琴, 陈全胜. 高光谱技术分析茶树叶片中叶绿素含量及分布[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 512—515.
- [3] 胡永光, 李萍萍, 母建华, 毛罕平, 吴才聪, 陈斌. 基于可见—近红外光谱技术预测茶鲜叶全氮含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2008(12).
- [4] MINOLTA Camera Co. Ltd. Chlorophyll, eter SPAD-502. Instruction Manual[Z]. Radiometric Instruments Division, Osaka, Minolta. 1989.
- [5] 杨海清, 姚建松, 何勇. 基于反射光谱技术的植物叶片 SPAD 值预测建模方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1607—1610.
- [6] YI Qiu—Xiang, HUANG Jing—Feng, WANG Xiu—Zhen, QIAN Yi. Hyperspectral remote sensing estimation models for chlorophyll concentration in corn[J]. Bulletin of Science and Technology, 2007, 23(1): 83—87.
- [7] Elvidge C D. Visible and realⁿinfrared reflectance characteristics of dry plant materials[J]. International Journal of Remote Sensing, 1990(11): 1775—1795.
- [8] 万余庆, 谭克龙, 周日平. 高光谱遥感应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 133.
- [9] 陈平雁, 黄浙明, 孙振球. SPSS13.0 统计软件应用教程[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 185.

全国第二十三届海洋测绘综合性学术研讨会暨纪念《海洋测绘》创刊 30 周年大会召开

中国测绘学会海洋测绘专业委员会第二十三届海洋测绘综合性学术研讨会暨纪念《海洋测绘》创刊 30 周年大会于 2011 年 9 月 9~13 日在湖南省长沙市召开。会议由海洋测绘专业委员会和《海洋测绘》编辑部主办, 由劳雷工业公司和美国 Caris 公司赞助。海洋测绘专业委员会主任、海司航保部副部长许春明致开幕词, 总参测绘局处长翟跃欢、海军海洋测绘研究所政委裴莘、劳雷工业公司副总经理张勳宁分别致辞。海洋测绘专业委员会副主任、海军海洋测绘研究所总工欧阳永忠主持会议。来自国土资源部、交通运输部、水利部、中科院、高等院校、军队、测绘仪器厂商和军内外期刊出版界等系统的代表, 共计 200 余人参加了会议。本次会议共征集到文学类作品 6 篇、学术论文 193 篇, 为历届之最。其中有 181 篇论文收录本届会议论文集, 有 20 余篇论文和新产品信息在大会上进行了交流。宁津生院士、朱建军教授、吴美平教授等著名专家作了专题学术报告。内容涵盖了海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋大地测量、海洋遥感、海洋地形地貌、多波束测深、GPS、GIS、卫星导航、数字海图研制与生产、海洋水文、海洋测绘标准规范以及测绘管理与教学等方面, 基本反映了我国海洋测绘领域的理论研究、技术发展和实际应用现状及水平。会上还对 20 余位获得“《海洋测绘》风采 30 年暨劳雷—Caris 杯”优秀论文作者进行了颁奖。其间还召开了第八届海洋测绘专业委员会第三次全体委员会议, 40 余位委员和代表共同研究和探讨了学会工作的特点、难点和要点以及下一步工作方案。

在研讨会同时, 还召开了纪念《海洋测绘》创刊 30 周年座谈会, 有 46 位本刊编委、特邀代表和期刊出版单位领导参加了会议。代表们在肯定《海洋测绘》30 年来取得的进步和成绩的同时, 在努力提高论文质量、刊物核心竞争力和学术影响力以及办刊水平等方面进行了全面分析和深入探讨。进一步明确了本刊定位、发展方向和努力目标。

本次会议主题突出、内容丰富、气氛热烈、学术氛围浓厚, 进一步扩大了海洋测绘专业委员会的感召力和《海洋测绘》期刊的影响力。达到了交流学术、促进合作、共创双赢和推动我国海洋测绘事业又好又快、科学发展的目的。