

橡胶树叶片高光谱特征分析

陈贻钊, 林清火*, 华元刚, 罗 微, 林钊沐

(中国热带农业科学院橡胶研究所, 农业部橡胶树生物学重点开放实验室, 海南 儋州 571737)

摘要: 从光谱曲线特征和光谱变换特征分析橡胶树(*Hevea brasiliensis*)叶片反射曲线特征。结果表明, 蓝边、红边、黄边位置特征分别出现于 525 nm、725 nm、550 nm 波段附近, 红谷位置特征变化较大, 并提取了红边积分面积等重要光谱变量特征。叶片氮含量与反射光谱的相关分析表明橡胶树叶片氮素敏感波段为 700 ~ 1300 nm, 其中 730 nm 处相关性最好, 达到 0.8422 的极显著水平, 以 730 nm 处的反射率与叶片氮含量建立线性模型, 其复相关系数 R^2 达到 0.7094。

关键词: 橡胶树; 叶片; 氮; 高光谱特征

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)03-0293-05

The Analysis of Hyperspectral Characteristics of Rubber Leaves

CHEN Yi-zhao, LIN Qing-huo*, HUA Yuan-gang, LUO Wei, LIN Zhao-mu

(Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory for Rubber Tree Biology of Agriculture Ministry, Danzhou 571737, China)

Abstract: The reflectance characteristics of *Hevea brasiliensis* leaves were analyzed by using spectral curve and transform features. The results showed that the positions of blue edge, red edge and yellow edge were appeared at near 525 nm, 725 nm and 550 nm, respectively. The correlation between the reflectance spectral data and nitrogen content in rubber leaves was significant within the sensitive waveband (700 ~ 1300 nm), which correlation coefficient was the highest ($r=0.8422$) at the most sensitive waveband (730 nm). The linear regression between the reflectance spectral data and the nitrogen contents was established with the multiple correlation coefficient (R^2) at 0.7094.

Key words: *Hevea brasiliensis*; Leaves; Nitrogen; Hyperspectral characteristics

高光谱遥感学是一门在不接触某一物体的情况下, 利用很多很窄的电磁波波段从感兴趣的物体获取有关数据的相对年轻但发展迅猛的学科^[1]。高光谱遥感提供了对作物宏观、综合、动态、快速和精确的观测, 在植被信息反演的深度和广度方面优势明显。随着高光谱遥感应用技术的发展, 准确获取植被的生物化学参数如氮、磷、钾等营养物质以及叶绿素、蛋白质等成为可能^[2]。

目前高光谱遥感在农作物的研究日趋成熟, 特别是水稻(*Oryza sativa*)^[3-5]、小麦(*Triticum aestivum*)^[6-7]、

油菜(*Brassica campestris*)^[8]等, 能够通过高光谱遥感相关信息提取作物营养状况, 达到快速、准确和高效地营养诊断, 并做出有效管理决策。高光谱遥感作为有力的科学研究方法, 目前在我国尚未见橡胶树(*Hevea brasiliensis*)的相关研究报道。利用高光谱遥感技术对橡胶树进行实时营养诊断, 迅速做出施肥管理决策, 提高肥料利用率并最大限度提高橡胶树产胶量是目前橡胶树生产中的重要课题。本文从光谱曲线特征以及光谱变量特征分析了橡胶树叶片的高光谱特征, 研究其与叶片氮含量的关系,

收稿日期: 2009-07-13 接受日期: 2010-01-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADA1B03); 海南省自然科学基金项目(30820); 公益性行业科研专项(nyhyzx07-033-1); 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项(YWFZX09-01(N))资助

作者简介: 陈贻钊, 男(1984~), 福州人, 硕士研究生, 主要从事 3S 技术在现代农业上的应用研究, email: 280881493@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: qinghuo@163.com

从而提升对橡胶树叶片高光谱特征的理性感知,为利用高光谱遥感技术提高橡胶树生产效率奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料

样品采集于中国热带农业科学院试验场五队已开割的橡胶树(*Hevea brasiliensis*)热研 7-33-97,选取当年抽生的无病虫害、长势良好、形状大小相对一致的第一蓬成熟叶片,取中间小叶作为样品光谱分析材料,共采集 172 片叶片。

1.2 光谱测定

将叶片样品表面擦拭干净,用美国 ASD 公司生产的便携式地物波谱仪 FieldSpec3 测量叶片反射率。测量前进行漫反射参考板校正(标准白板反射率为 1,因此所得目标物光谱为无量纲的相对反射率),测定光源由 ASD 公司的植物探头提供,以外接单叶夹固定叶片,测定叶片正面光谱反射率。波段值为 350~2500 nm,其中 350~1050 nm 光谱采样间隔为 1.4 nm,光谱分辨率为 3 nm;1050~2500 nm 光谱采样间隔为 2 nm,光谱分辨率为 10 nm。测量时将叶片以叶脉为界,分别选取上中下共 6 个区域,每个区域扫描 3 次,平均 18 条光谱曲线作为该叶片样品反射率(Reflectance,用 R 表示)。

1.3 叶片化学分析

氮含量采用半微量凯氏定氮方法^[9]。将已采集光谱的橡胶树叶片进行杀青、烘干、粉碎、称样、消煮,最后用凯氏定氮仪(瑞士步琪有限公司 B339)测定氮含量,每叶片重复 2 次,取平均值。

1.4 光谱微分及相关变量

采用 ASD 公司光谱仪配置的 View Spec Pro 软件直接求得光谱一阶微分。基于一阶微分光谱主要位置变量:Db、Dy、Dr 分别为“蓝边”(490~530 nm)、“黄边”(550~582 nm)、“红边”(670~737 nm)内最大的一阶微分值, λ_b 、 λ_y 、 λ_r 为 Db、Dy、Dr 对应的波长。绿峰反射率 Rg 是波长 510~560 nm 内最大的波段反射率;红谷反射率 Ro 是波长 640~680 nm 内最小的波段反射率, λ_g 、 λ_o 分别是 Rg、Ro 对应的波长。基于光谱面积变量的参数 SDb、SDy、SDr 分别为蓝边、黄边、红边内的一阶微分值的总和^[1]。

2 结果和分析

2.1 橡胶树叶片高光谱反射特征

以中国热带农业科学院试验场五队的砖红壤以及实验室去离子水(标准参考白板为底色)作对照,图 1 表明橡胶树叶片具有健康植物叶片的光谱特征。橡胶树叶片光谱在 350~490 nm 的反射率都小于 10%,主要是由于叶绿素和类胡萝卜素对紫外光和蓝紫光的吸收,反射和透射极少,呈现的反射光谱曲线较为平缓并且反射率很低。490~700 nm 是可见光波段的 1 个活性带,整个波段呈现一峰两谷的特征:由于 550 nm 附近是叶绿素的绿色强反射区,光谱曲线形成的反射峰称之为 Rg“绿峰”,橡胶树叶片 Rg 为 0.053~0.077(本文对橡胶树叶片光谱特征仅作典型分析,不同叶片生化组分不同会导致特征值差异,下同);而由于色素吸收,特别是叶绿素 a、b 对蓝光和红光吸收作用强,对于绿光的反射作用强,使得波段两侧各有 1 个吸

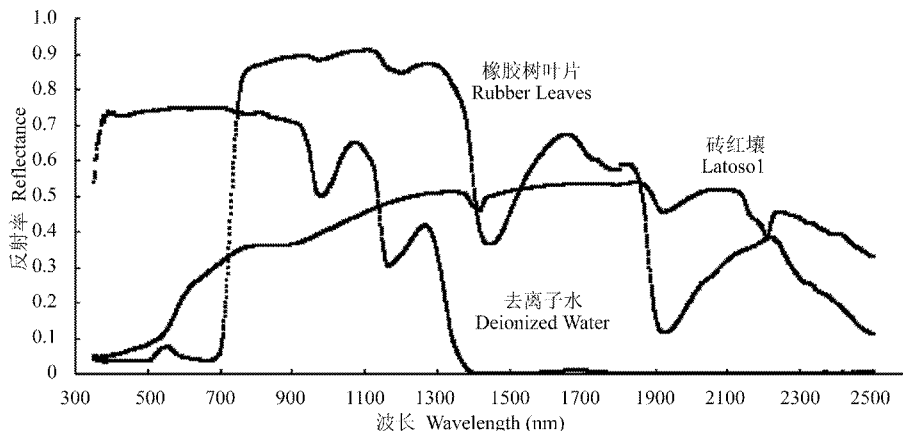


图 1 去离子水、砖红壤以及橡胶树叶片光谱特征

Fig. 1 Spectral characteristics of deionized water, latosol and rubber leaves

收谷,分别位于490、670 nm附近,其中位于670 nm处的吸收谷称为“红谷”。橡胶树叶片红光吸收谷特征 R_o (红谷吸收反射率)约为0.0350, λ_o (R_o 对应的波段)的变化较大,主要出现在649~665 nm。图1在700~750 nm出现反射率急剧上升的现象,曲线陡至接近于直线,曲线斜率最大所在的波长称为植被反射率“红边”。橡胶树叶片高反射平台(也叫“红外高台阶”)出现于750~1300 nm,反射率高于80%。由于光线在叶片内多次散射,且色素和纤维素在该波段内是几乎透明的,所以即使叶片中有水分的影响,也只是在970 nm和1200 nm附近有两个微弱的吸收特征。图1中可以看出实验室去离子水在大于1400 nm的反射率几乎为零,橡胶树叶片反射光谱在1300~2500 nm中分别于1450 nm和1940 nm附近出现明显低谷,这是橡胶树叶片内部液态水分的强烈吸收引起的。与去离子水以及土壤光谱相比,橡胶树叶片光谱与大多数植物一样,呈现明显的“峰”和“谷”的特征,光谱曲线与其他作物的相似。健康的橡胶树叶片具有绿色植物叶片典型的反射光谱特征。

2.2 橡胶树叶片高光谱吸收特征

绿色植物典型的光谱特征在近红外区域主要受叶片内部结构、生物量和含水量等影响,而在可见光范围内主要受色素影响,利用植被光谱信息可以估算色素含量^[4]。目前,叶绿素6个已知生化组分的吸收特征比较明确:可见光区域为 $R_{470-518}$ 和 $R_{550-750}$;短波红外为 $R_{1116-1284}$ 、 $R_{1634-1786}$ 、 $R_{2006-2196}$ 和 $R_{2222-2378}$ 。橡胶树叶片可见光区域的吸收特征直观表现为550 nm处的小反射峰 R_g 。对可见光反

射光谱做 $A = \log 1/R$ 变换,得到叶片可见光波段的吸光度曲线特征(图2),两个吸收峰特征分别出现于490 nm和655 nm附近,其一定程度上表征了橡胶树叶片叶绿素含量状况,从而反映营养胁迫、光合能力和衰老进程等生理状态。

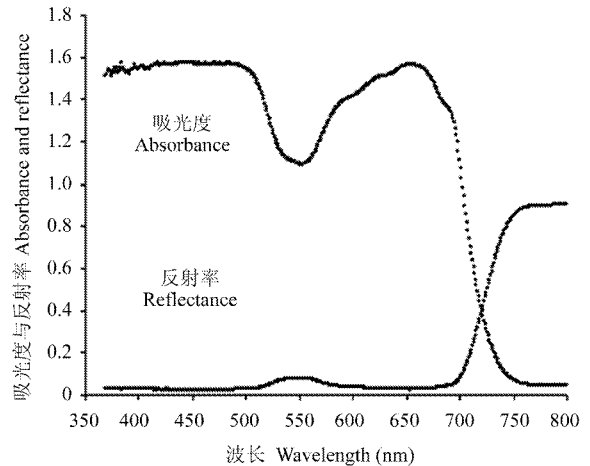


图2 可见光波段的吸光度曲线特征

Fig. 2 The absorbance curve characteristic in visible spectra

2.3 橡胶树叶片光谱变量特征

光谱微分技术(Spectral Derivative)包括对反射光谱进行数学模拟和计算不同阶数的微分(差分)值,迅速确定光谱弯曲点以及最大、最小反射率的波长位置^[1]。对橡胶树叶片反射光谱进行一阶微分(图3)并根据相应定义提取各变量特征(表1),可以看出 λ_b 、 λ_y 和 λ_r 分别出现在524~528 nm、550~551 nm和724~727 nm处。在可见光区的“绿峰”、“蓝边”、“黄边”、“红谷”以及红边特征都是描述橡胶树叶片健康状况的重要指示波段。

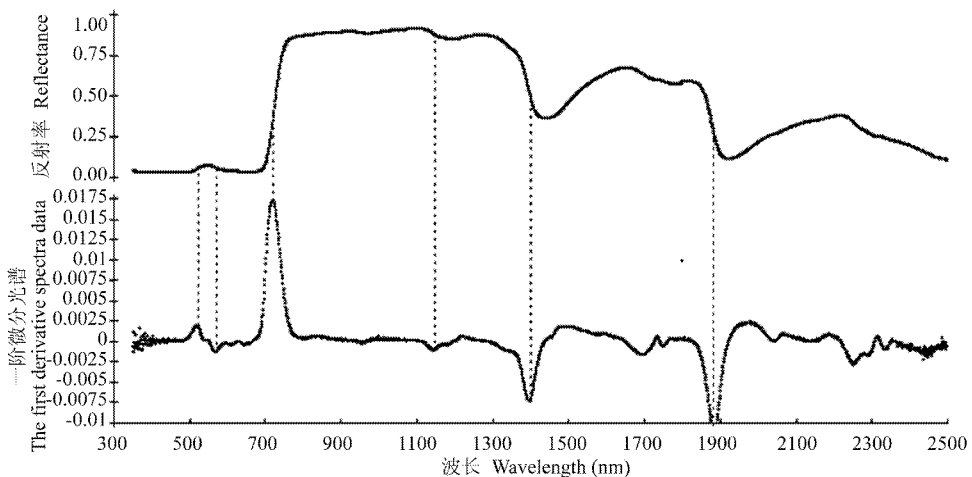


图3 橡胶树叶片反射光谱及其一阶微分光谱

Fig. 3 Reflectance spectra and the first derivative spectra of rubber leaves

2.4 橡胶树叶片反射光谱与氮含量相关性分析

植物叶片生化及形态结构的变化会引起植物光谱反射特性的变化,是通过光谱手段获取植物生化参量信息的理论基础。对橡胶树叶进行化学诊断以及光谱分析,发现叶片在缺氮、正常以及氮偏高的状态下表现出较为明显的光谱差异。随着叶片含氮量的增加,叶片在 700~1300 nm 的反射率呈下降趋势。用反射光谱与叶片氮含量进行相关

分析($n=172$)(图 4),叶片反射率与氮含量相关性的高平台在 700~1300 nm 处。其中 730 nm 处的反射率与氮含量相关性最好,达到 0.8422 ($n=172$)的极显著相关水平。用该点反射率与氮含量建立线性关系(图 5),复相关系数 R^2 达到 0.7094,表明橡胶树叶片 730 nm 的反射光谱数据可提供橡胶树叶片氮含量信息。

表 1 橡胶树叶片光谱主要参数特征

Table 1 The main spectral parameters of rubber leaves

参数 Parameters	特征值 Value	波段 Waveband (nm)
蓝边 Blue edge	Db	490~530
	λ_b (nm)	524~528
	SDb	0.0217
红边 Red edge	Dr	670~737
	λ_r (nm)	724~727
	SDr	0.6068
黄边 Yellow edge	Dy	550~582
	λ_y (nm)	550~551
	Sdy	0.0195

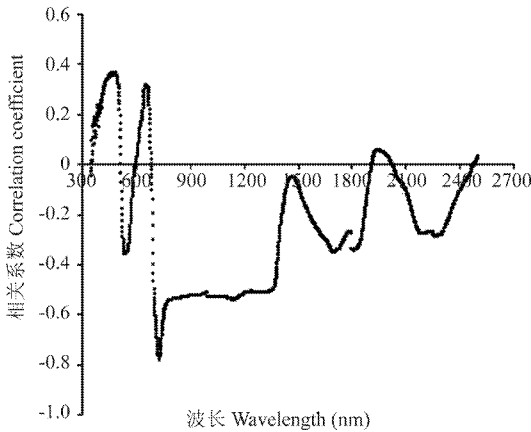


图 4 橡胶树叶片氮含量与反射光谱的相关分析

Fig. 4 Correlation between the reflectance spectral and nitrogen content in rubber leaves

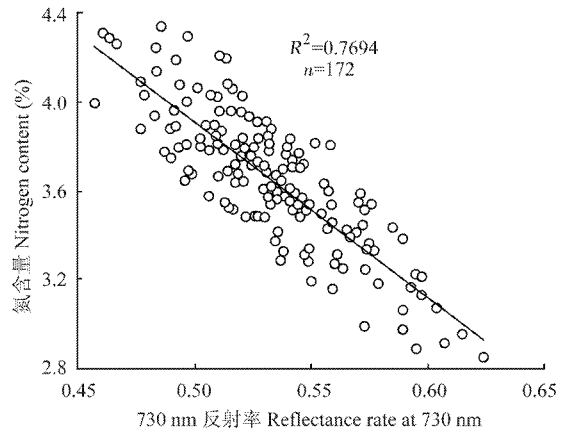


图 5 730 nm 的反射率与氮含量的线性关系

Fig. 5 The correlation between the reflectance rate at 730 nm and nitrogen contents

4 结论和讨论

本研究分析了橡胶树叶片光谱特征,表明橡胶树叶片具有绿色植物叶片典型的反射光谱吸收特征,明显区别于土壤等物质。从橡胶树叶片的反射曲线可确定其光谱的峰与谷以及红边等的位置,并分析了橡胶树叶片在可见光波段内的吸收特征。利用微分光谱技术确定橡胶树叶片位置变量与面积变量特征,可作为橡胶树营养诊断的重要手段之一。逐步回归的光谱分析表明橡胶树叶片氮素敏

感波段位于 700~1300 nm 处,其中 730 nm 相关性最好。利用 730 nm 反射率与橡胶树叶片氮含量建立相关线性模型, R^2 达到 0.7094。

利用光谱分析对作物进行诊断的研究可以追溯到 1972 年 Thomas^[10] 等用 550 nm 和 670 nm 定量估算甜椒(*Capsicum annuum* var. *grossum*)的氮素含量,精度达 90%。朱艳^[11] 等对棉花(*Gossypium* spp.)不同生育期叶片氮含量与反射光谱进行相关性分析($n=24$),结果表明相关性较好的波段位于 600~1200 nm,相关性达极显著水平,以叶片氮含量与

710 nm 和 950 nm 的比值建立线性相关模型,相关性达到 0.84 ($n=48$)。黄春燕等^[12]报道棉花在 750 nm 处的微分光谱与氮的积累量存在线性相关,达到 0.8982 的极显著水平($n=94$)。Karla 等^[8]用 740 nm、750 nm 以及 780 nm 搭配的植被指数 NVI 和 SR 预测油菜全氮含量,相关性均达到 0.8 以上。有研究表明“红边”变量能够反映叶绿素含量^[13-14]。唐延林^[15]等报道水稻在整个生育期内红边位置处于 695~740 nm,且随施氮量增加向长波方向移动。黄敬峰^[16]等对油菜 6 个品种的红边特征进行研究,表明其“红边”主峰位于 718 nm,这与橡胶树叶片光谱红边位置相近。橡胶树叶片氮素的敏感波段位于 700~1300 nm 处,这与易秋香等^[17]对玉米(*Zea mays*)的研究结果相似,其中相关性最高的波段为 730 nm。这表明反映不同作物氮素营养的波段有一定的相似性,也有一定的差异性。橡胶树叶片与水稻、玉米以及油菜等作物的氮素敏感波段有一定共性,同时橡胶树叶片又具有其自身特有的光谱特征,这可为基于光谱分析的橡胶树叶片营养诊断、病害指数以及胶园土壤营养特征等研究应用提供理论基础。

参考文献

- [1] Pu R L(浦瑞良), Gong P(宫鹏). Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 2-3.(in Chinese)
- [2] Wang L(王磊), Bai Y L(白由路). Research advance on plant nutrition diagnosis based on spectral theory [J]. Plant Nutr Fert Sci (植物营养与肥料学报), 2006, 12(6): 902-912.(in Chinese)
- [3] Zhou D Q(周冬琴), Zhu Y(朱艳), Cao W X(曹卫星), et al. Monitoring leaf nitrogen accumulation with canopy spectral reflectance in rice [J]. Acta Agron Sin(作物学报), 2006, 32(9): 1316-1322.(in Chinese)
- [4] Tang Y L(唐延林), Wang J H(王纪华), Hang J F(黄敬峰), et al. Variation law of hyperspectral data and chlorophyll and carotenoid for rice in mature process [J]. Tran Chin Soc Agri Eng(农业工程学报), 2003, 19(6): 167-172.(in Chinese)
- [5] Nguyen H T, Lee B W. Assessment of rice leaf growth and nitrogen status by hyperspectral canopy reflectance and partial least square regression [J]. Eur J Agron, 2006, 24: 349-356.
- [6] Zang X(张霞), Liu L Y(刘良云), Zhao C J(赵春江), et al. Estimating wheat nitrogen concentration with high spectral resolution image [J]. J Rem Sen(遥感学报), 2003, 7(3): 176-181.(in Chinese)
- [7] Tian Q J(田庆玖), Gong P(宫鹏), Zhao C J(赵春江), et al. Analysis on wheat water level with spectral reflectance [J]. Chin Sci Bull(科学通报), 2000, 45(24): 2645-2650.(in Chinese)
- [8] Karla M, Ulf B, Franziska M S, et al. Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Biosci Eng, 2008, 101(2): 172-182.
- [9] Bao S D(鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000, 3: 264-267.(in Chinese)
- [10] Thomas J R, Oerther G F. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements [J]. Agron J, 1972, 64: 11-13.
- [11] Zhu Y(朱艳), Wu H B(吴华兵), Tian Y C(田永超), et al. Estimation of nitrogen concentration in cotton leaf based on canopy reflectance spectra [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2007, 18(10): 2263-2268.
- [12] Huang C Y(黄春燕), Wang D W(王登伟), Yan J(闫洁), et al. Monitoring of cotton canopy chlorophyll density and leaf nitrogen accumulation status by using hyperspectral data [J]. Acta Agron Sin(作物学报), 2007, 33(6): 931-936.
- [13] Boochs F, Kupfer G, Dockter K. Shape of the red edge as vitality indicator for plants [J]. Inter J Rem Sen, 1990, 11(10): 1741-1753.
- [14] Horler D N H, Dockray M, Barber J. The red edge of plant leaf reflectance [J]. Inter J Rem Sen, 1983, 4(3): 273-288.
- [15] Tang Y L(唐延林), Wang R C(王人潮), Hang J F(黄敬峰), et al. Hyperspectral data and their relationships correlative to the pigment contents for rice under different nitrogen support level [J]. J Rem Sen(遥感学报), 2004, 8(2): 185-192.(in Chinese)
- [16] Huang J F(黄敬峰), Wang Y(王渊), Wang F M(王福民), et al. Red edge characteristics and leaf area index estimation model using hyperspectral data for rape [J]. Tran Chin Soc Agri Eng(农业工程学报), 2006, 22(8): 22-26.(in Chinese)
- [17] Yi Q X(易秋香), Hang J F(黄敬峰), Wang X Z(王秀珍), et al. Hyperspectral remote sensing estimation models for nitrogen contents of maize [J]. Tran Chin Soc Agri Eng(农业工程学报), 2006, 22(9): 138-143.(in Chinese)