

基于反射光谱技术评价草坪质量模型的研究

许岳飞¹, 金晶炜², 孙小玲¹, 周禾^{1*}

(1. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 草坪植物叶片中的叶绿素是影响草坪颜色的重要色素, 是评价草坪质量的内在因素。采用便携式光谱仪, 在室外自然光照条件下, 测定 2 种草坪群落的反射光谱, 选择草坪叶片叶绿素含量的敏感光谱波段 400~700 nm, 应用偏最小二乘法(PLS)建立草坪植物叶片叶绿素与反射光谱的定量分析模型, 结果表明, 草坪植物叶绿素的预测值与实测值的相关性较好, 相关系数为 0.937, 相对标准偏差为 3.2%, 建立偏最小二乘法估测草坪颜色的最优模型, 均方根误差评价值较小(RMSE=0.26)。因此, 反射光谱技术在园林绿化工程中为快速评价草坪质量提供了新的途径。

关键词: 反射光谱; 草坪; 质量评价; 叶绿素含量; 偏最小二乘法

中图分类号: S688.4; S812-05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2009)04-0256-04

* 质量较高的草坪有美化环境、净化空气、调节气温以及消减噪音等作用 and 功效, 是园林绿化不可缺少的组成部分^[1~3]。草坪质量是草坪在其生长和使用期内功能的综合表现, 它体现草坪的建植技术与管理水平, 是对草坪优劣程度的一种评价。草坪的颜色是草坪质量评价中重要的参数, 而草坪叶片中叶绿素呈现的绿色对草坪颜色影响较大, 精确测定叶绿素的含量对准确判定草坪质量有重要的意义。传统的草坪颜色评价一般采用目测法和实测法, 目测法得到的结果误差较大, 而实测法在实验室分析需要专业的分析人员和大量的分析试剂与仪器, 需要耗费大量的时间、人力、物力。

随着遥感技术的发展和应用, 利用反射光谱技术来估测植物叶片中叶绿素含量已经成为监测植物生长情况的一种重要手段。1983年 Horler 等^[4]研究了植被光谱与叶绿素浓度的关系, 并提出光谱“红边”位置(680~750 nm 一阶微分值达到最大时对应的波长)可以指示植被叶绿素浓度。Pinar^[5]比较草丛群体光谱“红边”位置与叶片叶绿素浓度、叶绿素密度的关系, 表明群体植被光谱“红边”位置能够更好地反映草丛的叶绿素密度。Danson^[6]比较“红边”位置与叶面积指数、归一化差值植被指数(NDVI)的相关关系, 提出“红边”位置与叶面积指数高度相关。近年来, 应用高光谱监测植物叶绿素含量变化的文献大量出现, 并且建立了多种高光谱参数与遥感模型来定量估算植被叶绿素的变化^[7,8]。国内对利用高光谱监测农作物^[9,10]方面的研究较多, 但以高光谱监测不同的草坪群落与叶绿素含量变化的研究尚未见报道。鉴于此, 本研究力图探索草坪群落反射光谱特征与草坪草叶绿素含量变化的关系, 应用偏最小二乘法, 建立草坪群落活体叶片叶绿素与草坪反射光谱的定量分析模型, 确定出草坪群落的质量评价模型, 从而为反射光谱技术在快速评价草坪质量的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于云南省云农园林绿化有限公司草坪生产基地(25°41' N, 103°45' E), 海拔 1 900 m, 年均温 15℃, 极端最高气温 38.2℃, 极端最低气温 1.5℃, ≥10℃年积温 7 000~8 000℃, 多年平均降水量 1 100 mm, 土壤为砖红壤, 有机质含量 18.2 g/kg, 全氮 0.54 g/kg, 碱解氮 32.2 mg/kg, pH 值为 6.6。试验选取 2006 年 5 月建植的草地早熟禾(*Poa pratensis*)和高羊茅(*Festuca arundinacea*)草坪地作为研究对象。

1.2 草坪光谱测量方法

光谱仪采用美国 ASD(Analytical Spectral Device)公司的 ASD Field Pro FR TM 光谱仪, 光谱测量范围为

* 收稿日期: 2008-10-15; 改回日期: 2009-01-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(21037037)资助。

作者简介: 许岳飞(1980-), 男, 内蒙古集宁人, 在读博士。E-mail: xuyfgrass@gmail.com

* 通讯作者。E-mail: zhouhe@cau.edu.cn

350~2 500 nm,其中,350~1 000 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 1.4 nm,光谱分辨率为 3 nm,1 000~2 500 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 2 nm,光谱分辨率为 10 nm。

光谱测定选择晴朗无云无风的天气,于 2007 年 8 月 6 日,北京时间 11:00—14:00(太阳高度角大于 45°),分别测定草坪的冠层群体光谱反射率。每次数据采集前都进行白板校正(标准白板反射率为 1,所测得的草坪群落光谱是无量纲的相对反射率),测定时光谱仪视场角设定为 8°,传感器探头垂直向下,距冠层垂直高度 1 m,采样每次记录 10 条光谱,取平均值作为样本的光谱值。

1.3 草坪植物叶绿素的实测法

与光谱测量同步,获取每次光谱测定后的新鲜叶片样品 0.5 g,剪碎,放于试管中,加 100 mL 1:1 的无水丙酮—乙醇混合液,密封后于黑暗中浸提 24 h,用 752 型紫外分光光度计分别测定 663 和 645 nm 处的光密度值。根据 Arnon^[11]的公式计算叶绿素含量。

1.4 草坪颜色评价体系建立

目测法是以观测者对草坪目测的结果对草坪颜色给予等级划分的评价,通常采用美国国家草坪草评价计划(The National Turf-grass Evaluation Program, NTEP)所规定的方法。它是一种外观质量评分法,采用 9 分制评价草坪质量,其中颜色的评分标准为:7~9 分表示深绿到墨绿;5~7 分表示浅绿到较深的绿色;3~5 分表示较多的绿色,少量枯叶;1~3 分表示较多的枯叶,少量绿色;1 分表示休眠或枯黄。NTEP 评价数列的确定,记为:

参考对象数列为: $x_0 = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)\}$

被评价对象数列为: $x_i = \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$

NTEP 评价矩阵确定为:

$$X = [x_{ij}]_{nm} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

式中, x_{ij} 表示第 i 个草坪群落颜色 NTEP 评价的第 j 个指标的值。

1.5 数据分析

在定量分析叶片各色素含量与单波段反射率相关性的基础上,确定草坪叶片色素含量的敏感光谱波段范围 400~700 nm,应用偏最小二乘法(PLS)进行回归建模,其建模方法^[12]是:

设 H 为 n 个校正样品在 m 个波长处的吸光度矩阵, C 为 k 个组分在 n 个校正样品中的含量矩阵, E 和 F 分别为残差矩阵。偏最小二乘法不仅将光谱矩阵 H 分解为吸光度隐变量矩阵 T 与载荷矩阵 P 的乘积,还把含量矩阵 C 分解为含量隐变量矩阵 U 与载荷矩阵 Q 的乘积:

$$H(n \times m) = T(n \times d) \times P(d \times m) + E(n \times m) \quad (1)$$

$$C(n \times k) = U(n \times d) \times Q(d \times k) + F(n \times k) \quad (2)$$

式中, d 为维数,用交叉证实法得到,然后将隐变量矩阵 T, U 作线性回归,用对角矩阵 B 关联:

$$U(n \times d) = T(n \times d) \times B(d \times d) \quad (3)$$

由(3)式可求出 B :

$$B = T'U(T'T)^{-1} \quad (4)$$

对预测集中要预测的样品,设其光谱矩阵为 H_{unk} ,则有:

$$H_{\text{unk}} = T_{\text{unk}} \times P \quad (5)$$

式中, P 为校正集中分解光谱矩阵 H 时得到的载荷矩阵。由(5)式可求出预测样品的吸光度隐变量矩阵 T_{unk} ,于是可得到预测样品的含量 C_{unk} 为:

$$C_{\text{unk}} = T_{\text{unk}} \times B \times Q \quad (6)$$

式中, Q 为校正集中分解含量矩阵 C 时得到的载荷矩阵。

2 结果与分析

2.1 草坪反射光谱特性

光谱反射率呈典型的植物光谱特征曲线,草坪群落的光谱曲线主要受叶片色素、细胞结构和含水量的影响,因此可以将光谱曲线划分为 3 个部分进行分析(图 1)。第 1 为可见光部分,曲线在 400~500 nm 的蓝紫光波段

与 600~700 nm 的红光波段, 由于草坪草叶片中叶绿素强烈吸收辐射能进行光合作用而形成 2 个吸收谷, 其中蓝谷(A)为光谱在蓝紫波段的反射率最小值, 而红谷(C)为反射光谱在红光波段的反射率最小值。在这 2 个吸收谷之间, 即 550 nm 处的绿光波段, 吸收较少, 形成反射绿峰, 绿峰(B)为反射光谱在绿光波段的反射率最大值, 这是绿色植物呈现绿色的原因; 第 2 部分在 750~1 300 nm, 是个近红外高反射区域(D), 反射率从红谷到近红外高反射平台区之间的变化可用“红边”来表示, 这个区域存在 2 个较宽大的吸收谷, 这种对红外光的强反射是由叶片的细胞结构所导致的; 第 3 部分在 1 450~2 100 nm 处, 草坪植物水的吸收峰主要在 1 450 和 1 900 nm 附近。

本研究比较了 2 种不同草坪草的光谱曲线, 当样地为草地早熟禾草坪, 叶绿素总量相对偏低, 为 1.8 mg/g; 当样地为高羊茅草坪, 叶绿素总量相对偏高, 为 2.05 mg/g。

2.2 叶绿素偏最小二乘法模型建立

草坪草叶片中叶绿素强烈吸收在 400~700 nm 的光谱可见光区域, 每隔 5 nm 取 1 个数据点, 共 61 个数据点, 用来建立叶绿素的定量分析模型。在偏最小二乘法中, 重要的是确定建模的维数。用交叉证实法确定草坪植物叶片叶绿素含量的维数为 5 维。对草坪叶片中叶绿素含量用偏最小二乘法进行建模, 其建模预测值与真实值的相关系数为 0.937 (图 2), 相对标准偏差为 3.2%。

2.3 草坪颜色评价模型的建立

采用 NTEP 评价矩阵评价 2 种草坪群落的颜色, 与化学方法实测叶绿素含量进行相关分析, 得出 NTEP 评价与草坪叶片叶绿素含量具有较好的线性相关, 其回归方程为:

$$\hat{y} = 7.34X - 7.45 \quad (r = 0.897, P < 0.01, n = 42) \quad (7)$$

式中, \hat{y} 为草坪颜色评分值, X 为实测叶绿素含量。

对 NTEP 评价与偏最小二乘法估测草坪叶片的叶绿素含量进行相关分析, 得出 NTEP 评价与偏最小二乘法估测叶绿素值线性相关较好, 其回归方程为:

$$\hat{y} = 6.53X_1 - 5.61 \quad (r = 0.948, P < 0.01, n = 42) \quad (8)$$

式中, \hat{y} 为草坪颜色评分值, X_1 为偏最小二乘法估测叶绿素含量值。

2.4 精确度检验

通常精确度评价标准采用均方根误差 (root mean square error, RMSE) 评价体系, 由变量和多变量回归模型估算参数, 进行评价, RMSE 值越小说明方程的精度越高。RMSE 评价方程如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}} \quad (9)$$

式中, y_i 为叶绿素实测值, y'_i 为偏最小二乘法得到的估测值, n 为样本数。

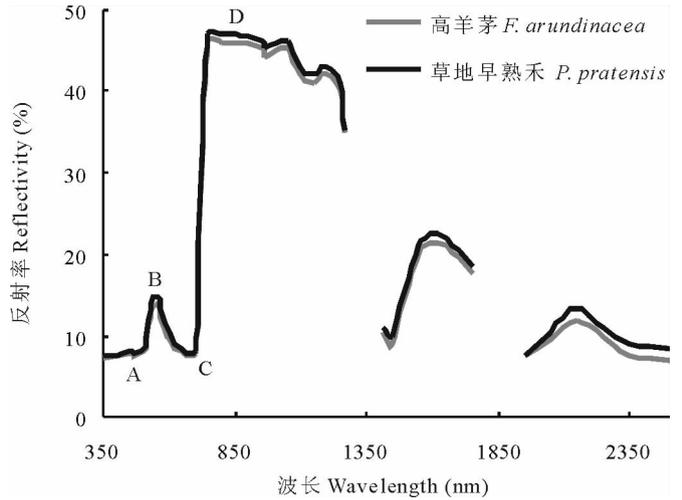


图 1 草坪光谱反射率曲线

Fig. 1 Reflectance spectra curves of turf-grass

A: 蓝谷 Blue valley; B: 绿峰 Green peak; C: 红谷 Red valley; D: 近红外高反射区域 Near infrared high reflection region

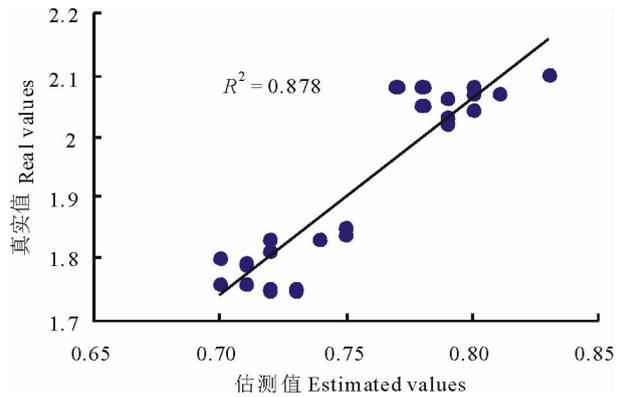


图 2 真实值与估测值的相关性

Fig. 2 The correlation between real values and estimated values

草坪质量评价高光谱估算模型的精度检验结果显示,由叶绿素含量实测值评价的草坪颜色的 $RMSE$ 值 0.29 与偏最小二乘法估测值评价草坪颜色的 $RMSE$ 值 0.26,基本吻合,说明利用高光谱参数评价的准确性较好。

3 讨论与结论

利用便携式光谱仪在室外测量草坪群落的光谱特性,光谱指数所选择的敏感光谱波段集中在 400~700 nm 处,应用偏最小二乘法,建立叶片叶绿素的定量分析模型,草坪植物叶绿素的预测值与实测值的相关性较好,预测值与真实值的相关系数为 0.937,相对标准偏差为 3.2%。由偏最小二乘法估测草坪的颜色值与叶绿素实测值评价草坪颜色的精确度检验值基本吻合,均方根误差评价值较小($RMSE=0.26$)。

高光谱技术适用于大面积草坪的外观质量评价,操作简单、快捷方便、结果可靠,与 NTEP 法和实测法(分光光度法)等评价草坪颜色的方法相比,可节省人力、物力,避免人为因素的影响。

参考文献:

- [1] 杨志民,何霞,韩烈保. 高温季节不同光照强度对冷季型草坪草坪用性状的影响[J]. 草业学报,2007,16(5):48-55.
- [2] 杨志民,陈煜,韩烈保,等. 不同光照强度对高羊茅形态和生理指标的影响[J]. 草业学报,2007,16(6):23-29.
- [3] 蔡华,夏海武,王荣富. 麦冬草坪群落中杂草的分布及细胞学研究[J]. 草业学报,2007,16(4):87-92.
- [4] Horler D N H, Dockray M, Barber J, *et al.* The red edge of plant leaf reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 1983, 4:273-288.
- [5] Pinar A. Grass chlorophyll and the reflectance red edge[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(2):351-357.
- [6] Danson F M. Red edge response to leaf area index[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995,16(1):183-188.
- [7] 方慧,宋海燕,曹芳,等. 油菜叶片的光谱特征与叶绿素含量之间的关系研究[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(9):1731-1734.
- [8] 吴迪,冯雷,张传清,等. 基于可见/近红外光谱技术的茄子叶片灰霉病早期检测研究[J]. 红外与毫米波学报,2007,27(4):269-273.
- [9] 陈全胜,赵杰文,蔡健荣,等. 利用高光谱图像技术评判茶叶的质量等级[J]. 光学学报,2008,28(4):669-674.
- [10] 时有明,刘刚,刘剑虹,等. 不同产地黑木耳的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. 光学学报,2007, 27(1):129-132.
- [11] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts in Polyphenoloxidase in *Bata vulgaris*[J]. Plant Physiology,1949, 24:1-5.
- [12] 吉海彦,王鹏新,严泰来. 冬小麦活体叶片叶绿素和水分含量与反射光谱的模型建立[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(3):514-516.

A study on a model of turf quality evaluation based on reflectance spectroscopy

XU Yue-fei¹, JIN Jing-wei², SUN Xiao-ling¹, ZHOU He¹

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Chlorophyll is an important pigment of turf color and it is an intrinsic factor for turf quality evaluation. The relationship between spectral properties of two turf communities and their chlorophyll contents were measured using reflectance spectroscopy with natural illumination. Results were analyzed by the partial least squares method. The model of chlorophyll content used reflectance spectroscopy in the range of 400—700 nm and gave a correlation coefficient between estimated values and real values of 0.937, with a relative standard deviation of 3.2%. A linear model of the partial least squares method with turf color was developed with a smaller $RMSE$ ($RMSE=0.26$). Reflectance spectroscopy provides a new method for rapid turf quality evaluation in landscape engineering.

Key words: reflectance spectrum; turf; quality evaluation; chlorophyll content; partial least squares method