

文章编号:1001-9014(2007)05-0393-03

玉米粗纤维含量高光谱估算模型研究

易秋香¹, 黄敬峰¹, 王秀珍²

(1. 浙江大学农业遥感与信息技术研究所, 浙江 杭州 310029;

2. 浙江气象科学研究所, 浙江 杭州 310004)

摘要:以不同品种玉米叶片、茎、穗和叶鞘的室内光谱反射率及对应的粗纤维含量为数据源,通过相关性分析发现原始光谱以及一阶导数光谱粗纤维含量光谱诊断的敏感波段分别位于近红外波段的1924nm和2370nm;线性与非线性拟合分析表明以2370nm处的一阶导数光谱所构建的线性模型相对其它模型最优,模型RMSE=3.538,由此模型得到的粗纤维含量理论值与实测值之间极显著相关,相关系数 $r=0.693$.

关键词:光谱反射率;一阶导数光谱;粗纤维含量;玉米

中图分类号:S127 **文献标识码:**A

HYPERSPECTRAL ESTIMATION MODELS FOR CRUDE FIBRE CONCENTRATION OF CORN

YI Qiu-Xiang¹, HUANG Jing-Feng¹, WANG Xiu-Zhen²

(1. Institute of Agricultural Remote Sensing & Information Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2. Institute of Zhejiang Meteorological, Hangzhou 310004, China)

Abstract: The crude fibre concentration of leaf, stem, ear and sheath of six corn cultivars (*Zea mays* L.) and their corresponding laboratory spectral reflectance were measured. By correlation analysis, the most sensitive wavelengths for raw spectral reflectance and the first derivative spectral reflectance for crude fibre estimation were located at 1924nm and 2370nm, respectively. The linear and nonlinear fitting analyses indicate that the linear model based on the first derivative spectral reflectance at 2370nm is the most suitable one for the estimation of crude fibre concentration. Compared to the other three models, the linear model has the smallest RMSE (RMSE = 3.538), and the theoretical crude fibre concentration derived from the linear model is significantly correlated with the measured crude fiber concentration, and the correlation coefficient $r = 0.693$.

Key words: spectral reflectance; first derivative spectral reflectance; crude fibre concentration; corn

引言

玉米粗纤维含量不仅是玉米作为饲用植物营养价值评价的指标,也是评定浓缩饲料、配合饲料及单一饲料营养价值的重要依据.针对常规的分析方法测定耗费时间长、因粉碎和化学预处理而使样品受到破坏的缺点,研究快速、准确、无损的分析方法是诸多研究者的目标.

高光谱遥感(Hyperspectral Remote Sensing)是当前遥感前沿技术^[1],它具有波段连续、光谱分辨率高、光谱信息量大的特点,现代的光谱分析技术可充分利用全波段或多波段下的光谱数据进行定性或定量分

析^[2],使得植被营养成分含量的高光谱估算也成为可能.总体来说,高光谱技术在农业科学、食品工业等领域上已成为一种重要的控制技术^[3,4].

国内外对玉米生化成分含量与高光谱反射率之间的关系已有一些相关报道^[5-8],但这些研究所探讨的生化成分多是叶绿素和氮素,到目前为止,对玉米粗纤维含量与鲜样水平高光谱反射率之间关系的研究还未见报道.本研究的目的是:1)对玉米粗纤维与光谱反射率及其一阶导数光谱进行相关性分析,确定鲜样水平玉米粗纤维含量光谱诊断的敏感波段;2)通过线性与非线性拟合分析,对构建玉米粗纤维含量光谱诊断模型做初步性尝试.

收稿日期:2006-11-18,修回日期:2007-06-18

Received date: 2006-11-18, revised date: 2007-06-18

基金项目:国家自然科学基金项目(40271078,30371018);科技部科技基础性工作专项(2003DEA2C010-13)

作者简介:易秋香(1979-),女,四川绵阳人,浙江大学在读博士,主要从事遥感农业应用研究.

1 研究方法

1.1 材料与方

玉米品种掖单 13、丹玉 13、苏玉糯 1 号、苏玉糯 2 号、特甜 1 号和超甜 2018 种植于浙江大学试验农场(120°10'E, 30°14'N). 小区面积 1.25m × 3.64m, 行、株距 0.35m × 0.28m, 每小区播种 2 行, 约 5 株/m², 每品种设 3 个重复.

在玉米成熟期, 对不同品种玉米进行整株采样, 每一品种每小区随机采 3 株, 采样后立即运回实验室, 每个品种样本都按叶片(上、中、下 3 层)、茎、穗和叶鞘分离, 测定各分器官室内光谱反射率, 样品鲜重同步测定, 而后将所有样品烘干研磨过筛测定粗纤维含量. 每一品种对应应有 6 个样本, 6 个玉米品种合计样本数应为 36, 但粗纤维测定时, 由于人为原因造成实际参与数据分析的样本数为 35.

1.2 光谱测定

使用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 ASD FieldSpec Pro FR TM 光谱仪, 波段覆盖范围为 350 ~ 2500nm, 其中, 350 ~ 1000nm 光谱采样间隔(波段宽)为 1.4nm, 光谱分辨率为 3nm, 1000 ~ 2500nm 光谱采样间隔(波段宽)为 2nm, 光谱分辨率为 10nm. 针对玉米不同器官测定光谱反射率. 样品置于反射率近似为零的黑色橡胶上, 光谱仪视场角为 8°, 探头垂直向下, 距样品表面距离 0.10m; 光源用光谱仪所带的 50 W 卤化灯, 光源距样品表面距离 0.45m, 方位角(光源与样品表面之间的夹角) 70°. 光谱仪、控制计算机和室内光源连接在 UPS 上, 每次数据采集前都进行标准白板校正(标准白板反射率为 1, 这样所测得的目标物光谱是无量纲的相对反射率), 光谱采样每次记录 10 条光谱, 取平均值作为样本的光谱值.

1.3 粗纤维的测定

粗纤维含量采用国标 GB6434-94 饲料粗纤维测定法测定^[9].

1.4 光谱反射率一阶导数变换

光谱求导技术被广泛应用于减弱光照强度差异、背景光谱以及仪器噪声对目标物光谱特征的影响^[10]. 一般导数光谱采用差分法近似计算:

$$\text{一阶导数: } \rho'_{(\lambda_i)} = \frac{d\rho(\lambda_i)}{d\lambda} = \frac{\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})}{\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1}}, \quad (1)$$

其中 λ_i 表示波段 i 的波长值, ρ_{λ_i} 表示位于波长 λ_i 处的光谱值(如反射率、透射率等).

1.5 数据分析

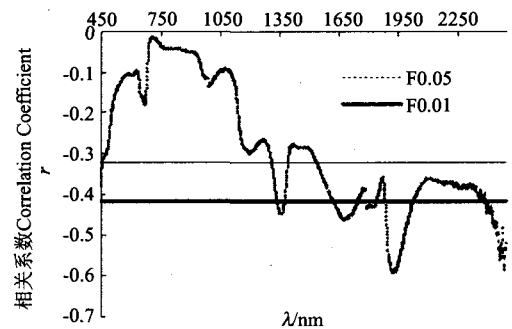


图 1 粗纤维含量与光谱反射率之间的相关系数图
Fig. 1 Correlogram of crude fibre concentration and raw reflectance

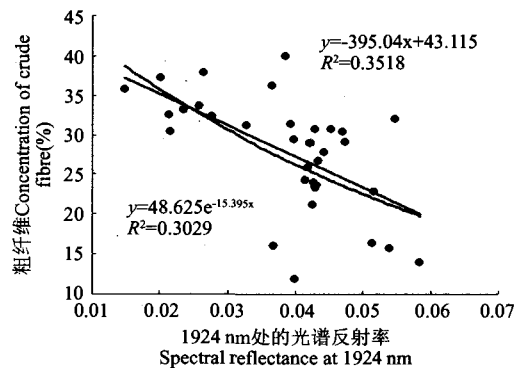


图 2 以 1924nm 处的光谱反射率为自变量所构建的线性和指数模型的比较

Fig. 2 Comparison of linear and exponential models based on the reflectance at 1924nm

采用 SPSS10.0 统计分析软件包和 Excel 数据分析功能.

2 结果与分析

2.1 粗纤维含量与原始高光谱反射率的相关性分析及估算模型

由于光谱曲线在首端具有较大噪音, 因此选取 450 ~ 2500nm 的波段进行光谱分析.

从图 1 可见, 粗纤维与原始光谱反射率总体上呈负相关, 在可见光区相关性较弱, 但在近红外波段两者显著相关, 分析发现在 1924nm 处相关性最强, 具有最大相关系数 $r = -0.593$, 极显著相关.

以 1924nm 处的光谱反射率为自变量, 粗纤维含量为因变量建立两者之间的线性和非线性关系模型, 如图 2 所示. 从图可见, 线性和非线性回归模型对粗纤维含量的预测能力接近, 线性模型的判定系数 $R^2 = 0.3581$, 指数模型 $R^2 = 0.3029$, 线性模型对粗纤维变化的解释能力略优于指数模型.

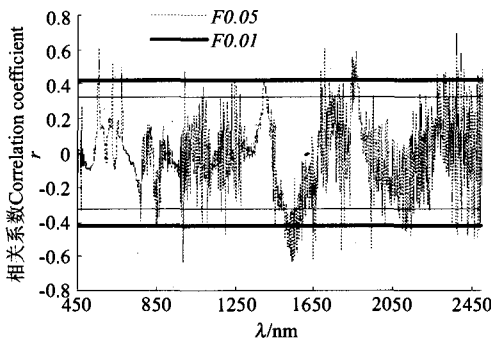


图3 粗纤维与反射率一阶导数之间的相关系数图
Fig.3 Correlogram of crude fibre concentration and the first derivative reflectance

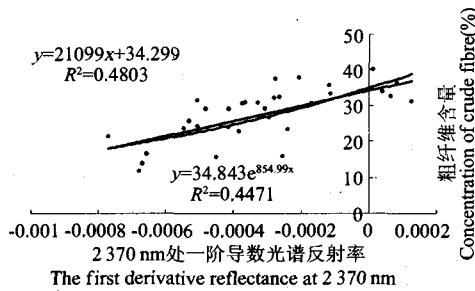


图4 以2370nm处反射率的一阶导数为自变量所构建的线性和指数模型比较
Fig.4 Comparison of linear and exponential models based on the first derivative reflectance at 2370nm

2.2 粗纤维含量与反射率一阶导数之间的相关性分析及估算模型

从图3可见,粗纤维与一阶导数之间的相关性随波长位置变化剧烈,分析发现两者在2370nm处具有最大正相关系数 $r = 0.693$ 。以2370nm处的反射率的一阶导数为自变量,粗纤维含量为因变量建立两者之间的线性和非线性关系模型,如图4。与以原始光谱反射率为自变量构建的模型类似,线性和非线性模型的拟合效果接近,线性模型能对粗纤维含量变化的48.03%作出解释,略优于指数模型。

3 精度检验

通常精度评价标准可采用以下几种:

(1) 相关系数评价

在光谱数据和生物物理、生物化学参数的相关及回归分析中可用相关系数来评价由高光谱模型所推算的理论值与实测值之间的相关性及预测结果之优劣。

(2) 均方根差(RMSE)评价

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

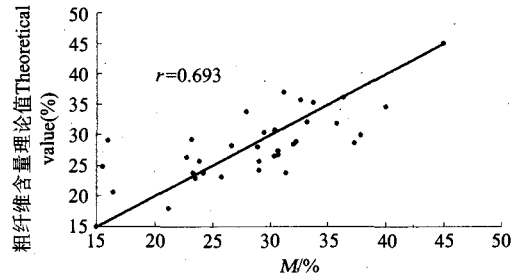


图5 粗纤维含量理论值M和实测值的比较
Fig.5 Comparison of the measured and theoretical crude fibre concentration

由单变量和多变量回归模型估计出的参数,其精度可用均方根差(Root Mean Square Error)来评价。式中, y_i 和 y'_i 分别为实测值和理论值, n 为样本数。RMSE值越小说明方程的精度越高。

粗纤维含量高光谱估算模型的精度检验结果如表1。

表1 粗纤维高光谱估算模型的精度检验结果比较 (n=35)
Table 1 Comparison of precision test results of hyperspectral models for crude fibre concentration (n=35)

反射率 Reflectance	模型表达式 Model	相关系数 r	RMSE
$\rho(1924nm)$	$Y = -395.04x + 43.115$	0.593 **	3.951
$\rho(1924nm)$	$Y = 48.625 \exp(-15.395x)$	0.583 **	4.029
$\rho'(2370nm)$	$Y = 21099x + 34.299$	0.693 **	3.538
$\rho'(2370nm)$	$Y = 34.84 \exp(854.99x)$	0.669 **	3.701

注: *、** 分别表示达0.05、0.01显著水平。

Note: * and ** denote significant difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

对比表1中各模型的精度检验指标发现一阶导数构建的线性和指数模型要优于原始光谱反射率构建的模型,并且一阶导数的线性模型精度检验结果要优于指数模型,因此认为线性模型更适合于对玉米粗纤维含量推算。

由此模型计算的粗纤维含量理论值和实测值的相关关系可见图5。从图可见,实测值和理论值之间显著相关,由此说明采用这一模型估算粗纤维含量具可行性。

4 结论

通过以上分析发现粗纤维含量与一阶导数光谱的相关性优于与原始高光谱反射率的相关性,原始光谱与一阶导数光谱的敏感波段分别位于红外波段的1924nm和2370nm,相关系数分别为 $r = 0.593$, $r = 0.693$,呈极显著相关;线性和非线性指数拟合分
(下转400页)

子束), 2004, 16(5): 575—581.

- [3] Huang M. Stress effects on the performance of optical waveguides[J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2003, 40, 1615—1632.
- [4] XING Jin-hua, QIAN Bin, FENG Jin-fu, Measurement of the elasto-optic effect of crystal using white light interferometer[J]. *Laser Journal*(邢进华, 钱斌, 冯金福, 等. 白光干涉技术测量晶体的弹光效应. 激光杂志), 2004, 12(3): 38—43.

(上接 395 页)

析发现相比原始光谱, 一阶导数光谱更适合对粗纤维含量进行诊断, 由一阶导数光谱构建的线性模型可对粗纤维含量变化的 69.3% 做出解释, 要优于指数模型的 66.9%; 并且该模型与其它 3 类模型相比, $RMSE = 3.538$, 值最小, 由其所得到的粗纤维含量理论值与实测值之间的相关系数 $r = 0.693$. 因此认为采用一阶导数光谱构建的线性模型对粗纤维含量进行估算较为合适.

本试验构建模型所采用的高光谱数据是室内鲜样光谱反射率, 样本数有限, 所构建的模型是在确定粗纤维含量光谱诊断敏感波段的基础上采用单一波段得到的, 对构建模型只是作了初步性的尝试, 因此所得到的结论还有待进一步验证, 在本研究结论基础上, 利用高光谱遥感技术更为准确地确定玉米叶片粗纤维含量的敏感波段范围和光谱参数, 建立准确度更高的粗纤维监测与诊断模型是今后研究的主要内容.

REFERENCES

- [1] CHEN Shu-Peng, TONG Qing-Xi, GUO Hua-Dong. *Mechanism of High-Resolution Remote Sensing and Recognition of Landcover*[M]. Beijing: Beijing Sci & Tech Press (陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 高光谱分辨率遥感信息机理与地物识别[M]. 北京: 北京科学出版社), 1998, 21—23.
- [2] HE Yong, LI Xiao-Li. Discriminating varieties of waxberry using near infrared spectra [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (何勇, 李晓丽. 用近红外光谱鉴别杨梅品种的研究. 红外与毫米波学报), 2006, 25(3): 192—194.
- [3] SHAO Yong-Ni, NE Yong. Method for predicting acidity of bayberry juice by using vis / near infrared spectra [J]. *J.*

- [5] Yagel R, Cohen D, Kaufman A. Discrete ray tracing. computer graphics and applications [J]. *IEEE*, 1992, 12(5): 19—28.
- [6] LI Pi-Ding, LI Yu-Min, FU Yu-Tian, et al. Effect of over-sample-superposition on MTF for long wave infrared camera [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李丕丁, 李玉敏, 傅雨田, 等. 长波红外相机多次采样叠加对 MTF 的影响分析. 红外与毫米波学报), 2006, 2(25): 13—16.

Infrared Millim. Waves (邵咏妮, 何勇. 可见/近红外光谱预测杨梅汁酸度的方法研究. 红外与毫米波学报), 2006, 25(6): 478—480.

- [4] LI Xiao-Li, HU Xing-Yue, HE Yong. New approach of discrimination of varieties of juicy peach by near infrared spectra based on PCA and MDA model [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李晓丽, 胡兴越, 何勇. 基于主成份何多类别判别分析的可见—红外光谱水蜜桃品种鉴别新方法. 红外与毫米波学报), 2006, 25(6): 417—420.
- [5] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S, et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance [J]. *Remote Sens. Environ.*, 2000, 74: 229—239.
- [6] TAN Chang-Wei, WANG Ji-Hua, HUANG Wen-Jiang, et al. Study on spectral variation of LTN, CHL and LAI of summer maize [J]. *Acta Bot Boreal Occident Sin*(谭昌伟, 王纪华, 黄文江, 等. 夏玉米叶片全氮、叶绿素及叶面积指数的光谱响应研究. 西北植物学报), 2004, 24(6): 1041—1046.
- [7] Graeff S, Claupein W. Quantifying nitrogen status of corn in the field by reflectance measurements [J]. *Eur. J. Agron.*, 2003, 19: 611—618.
- [8] JIANG Hai-Rong, WANG Ji-Hua, XIE Rui-Zhi, et al. Canopy spectral reflectance in relation to the leaf cellulose contents at different vertical layers of maize plants [J]. *Trans CSAE*(蒋海荣, 王纪华, 谢瑞芝, 等. 玉米叶片纤维素含量与冠层光谱特征研究. 农业工程学报), 2005, 21(10): 5—8.
- [9] YANG Sheng. *Technology for Feedstuff Analysis and Quality Accessment* [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press (杨胜. 饲料分析与质量检测技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社), 1993, 21—23.
- [10] Philpot W D. The derivative ratio algorithm: avoiding atmospheric effects in remote sensing [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1991, 29(3): 350—357.