

文章编号: 1672-8785(2011)07-0038-05

基于高光谱的草地可燃物含水率估测方法

包玉龙 张继权 赵云升 佟志军 刘兴朋

(东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024)

摘 要: 用美国 ASD 公司的 FieldSpec Pro FRTM 光谱仪获得了防火期内含水率不同的草地可燃物的光谱数据, 用烘干称重法获得了样品的含水率数据, 并用包络线去除法处理样品的光谱反射率曲线。将 1400 nm 附近范围作为水分吸收特征波段, 计算出了样品的光谱吸收指数、吸收深度指数、曲线长度和曲线面积指数等特征参数, 然后对其与实测可燃物含水率的相关性进行了分析。结果发现, 曲线长度指数与含水率的相关系数最高, 为 0.77。通过用曲线长度指数和含水率进行回归分析, 建立了数学模型并对其进行了检验。检验结果表明, 该模型的预测相关系数 r 达到 0.80 以上。这种草地可燃物含水率快速检测方法是用于预测草原火险的一条快速而又直接的新途径。

关键词: 草地可燃物; 含水率; 高光谱; 包络线去除

中图分类号: TP722.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.07.007

Estimation of Moisture Content of Grassland Fuel Based on Hyperspectra

BAO Yu-long, ZHANG Ji-quan, ZHAO Yun-sheng, TONG Zhi-jun, LIU Xing-peng

(College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: A FieldSpec Pro FRTM spectrograph produced by ASD company in USA is used to obtain the spectral data of the grassland fuel with different moisture content during fire prevention period. A dry weight method is used to get the moisture content of the samples. The continuum removal is used to process the spectral reflectance curves. When using the area near 1400 nm as the wavelength range related to water absorption characteristics, the spectral absorption index, spectral absorption depth index, curve length and curve area etc. of the samples are calculated. Then, the correlation of the calculated results with the measured moisture content of the fuel is analyzed. It is found that the correlation of the curve length index with the moisture content is highest, reaching 0.77. By making a regression analysis of curve length index and moisture content, a mathematic model is established and tested. The test result shows that the model has its predictive correlation coefficient r up to 0.80. This method can detect the moisture content of grassland fuel quickly. It is a new way to predict prairie fire quickly and directly.

Key words: grassland fuel; moisture content; hyperspectra; continuum removal

收稿日期: 2011-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871236); 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (200903041); 国家自然科学基金 (41071326); “十一五”国家科技支撑计划项目 (2007BAC29B04); 全球变化研究国家重大科学研究计划 (2010CB951102); “973”计划前期研究专项课题 (2009CB426305); 国家自然科学基金项目 (409711900)

作者简介: 包玉龙 (1982-), 男, 内蒙古通辽人, 博士研究生, 主要从事灾害与环境风险方面的研究。

E-mail: baoyl751@nenu.edu.cn

0 引言

草地火是由草地上的可燃物发生燃烧引起的。可燃物是产生草地火的物质基础。研究草地火的关键和首要问题是其可燃物特征。草地可燃物的动态变化在很大程度上决定了草地火的发生与否及其发生的时空规律^[1]。草地可燃物主要有草本植物和动物粪便两大类。本文中的草地可燃物是指枯草期的干枯草本植物。

草地火失去控制后便会发展成为草地火灾。草地火灾将会给草地资源、畜牧业生产及其生态环境等带来不可预料的损失^[2]。因此,利用遥感手段对可燃物特征进行大范围、实时、快速提取是草原火灾研究的热点问题之一。

草地可燃物的含水量是影响可燃物燃烧过程的一个重要因素。一方面,它会影响可燃物的点火温度。在含水量较少、可燃物较干燥的情况下,较低的点火温度就可以引起草地火。另一方面,可燃物的含水量会影响燃烧速度和燃烧过程中释放出的烟雾量。若含水量较大,则燃烧过程中需要较多的热量来蒸发水汽,燃烧蔓延的速度就会减慢,同时所产生的烟雾也会变得更多、更浓。

在植物水分遥感研究中,冠层温度法是诊断作物水分状况的一个重要手段^[3]。冠层温度法是由Tanner于1963年提出的,用以指示植物的水分亏缺情况。此后,研究人员相继提出了参考温度法^[4]、胁迫积温法(Stress Degree Day, SDD)^[5]、作物缺水指标法(Crop Water Stress Index, CWSI)^[6]以及水分亏缺指数法(Water Deficit Index, WDI)^[7]等,并在干旱和森林火灾等领域展开了大量的应用研究,但针对草原火灾方面的研究还是很欠缺的。

目前,高光谱技术在各个领域都得到了广泛应用,如反演荒漠植物的含水率^[8]、土壤含水率^[9]、土壤盐碱化^[10]、小麦的水分状况^[11-13]以及估计木材水分^[10]等。

本文将草地可燃物的室内外实验和高光谱特征分析相结合,获得了可燃物的含水率数据

及高光谱特征参数,并对两者进行了相关分析和回归分析,从而建立起可燃物含水率与高光谱特征参数的数学模型。利用该模型可以快速、直接、准确地计算出草地可燃物的含水率,为草原火灾风险研究打下了基础。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

光谱仪选用美国ASD公司的FieldSpec Pro FR™光谱仪,其波段值为350~2500 nm。其中,350~1000 nm光谱的采样间隔(波段宽)为1.4 nm,光谱分辨率为3 nm;1000~2500 nm光谱的采样间隔(波段宽)为2 nm,光谱分辨率为10 nm。

可燃物含水率测定设备为电热烘干箱和电子天平等仪器。

1.2 样品采集

本文以松嫩草地(吉林省长岭县腰井子羊草自然保护区)为研究区(44°45'N, 123°45'E),选择羊草、虎尾草、全叶马兰、芦苇和碱蒿等保护区内的主要优势群落作为研究对象。

研究区内的草本植物大致在10月份步入枯黄季,因此本文将采样日期定为2010年10月上中旬,具体时间为10月13日。在研究区内选择具有代表性的样地,即每一块样地以所研究的一种植物作为优势种。取1 m×1 m样方,测定样方内植物的平均高度和平均覆盖度,然后采用收割法采集样品,并将其按种类装入密封袋内,且贴上标签。

1.3 可燃物的含水率测定

采用烘干称重法测定可燃物的含水量。将从野外采来的样品称鲜重后装入纸袋后放入电热烘干箱,将温度调至80℃,烘干24 h。烘干后称其干重,鲜重和干重的差值与鲜重之比即为可燃物的含水率。

$$FMC = \frac{FW - DW}{FW} \times 100\% \quad (1)$$

式中, FMC 为含水率, FW 为可燃物的鲜重, DW 为可燃物的干重。重量单位为g。

在测定完样品原始状态的含水率之后, 将其完全浸泡在水里, 过 24 h 后再次对其进行称重。以后每隔一段时间称重一次, 计算其含水率的动态变化, 同时进行光谱测量。

1.4 光谱测量

选择晴朗、无云、无风天气和 10:00 ~ 14:00 时段。每种样品在各个时段的光谱采样以 10 个光谱为单位, 即每次记录 10 个光谱, 并将其平均值作为该时段样品的光谱反射值。测量时, 必须及时进行标准白板校正。本文测量了 10:00、10:30、11:30、12:30 和 13:30 5 个时段的数据。

1.5 数据预处理

为了消除高频噪声的影响, 本文先采用移动平均法去噪, 然后采用 9 点加权移动平均法对效果不明显的部分进行平滑去噪处理。

确定草地可燃物水分吸收的特征波段通常采用包络线去除法。包络线去除法可以有效地突出光谱曲线的吸收和反射特征, 并可将反射率归一化到 0 ~ 1.0。同时将光谱的吸收特征也归一化到一致的光谱背景上, 可有利于将其与其他光谱曲线进行特征数值比较, 从而提取出特征波段以供分类识别。本文使用 ViewSpecPro 软件对光谱数据进行预处理, 并用 envi4.7 软件来实现包络线去除。

从图 1 中可以看出, 一条光谱曲线的光谱吸收特征是由光谱吸收谷点 M 与光谱吸收的两个肩部 (S_1 和 S_2) 组成的。 S_1 和 S_2 的连线称为非吸收基线^[15]。设与光谱吸收谷点 M 所对应的波长为 γ_m 、反射率为 ρ_m 、谷底 M 的垂线的延长线与非吸收基线的交点对应的反射率为 ρ 。肩部 S_1 、 S_2 所对应的波长和反射率分别为 γ_1 、 γ_2 和 ρ_1 、 ρ_2 。

吸收谷点 M 与两个肩端组成的非吸收基线的距离称为光谱吸收深度 (H)。光谱吸收特征的量化往往是建立在已将包络线去除的归一化光谱曲线上的。

本文采用的光谱指数包括吸收深度 (AD)、吸收指数 (SAI)、吸收谷曲线长度和吸收谷面积。

$$AD = \rho - \rho_m \quad (2)$$

$$SAI = \frac{\rho}{\rho_m} = \frac{d\rho_1 + (1-d)\rho_2}{\rho_m} \quad (3)$$

吸收谷曲线长度是指光谱曲线上点 S_2 到点 S_1 的曲线长度。吸收谷面积是指光谱曲线上部分和非吸收基线所包围的面积。

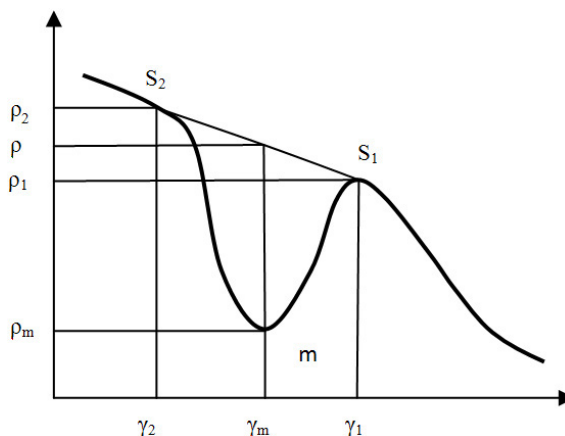


图 1 光谱吸收特征的量化图

从图 2 中可以看出, 当平均波长处在 1310 ~ 1680 nm 范围内时, 不同含水率样品的光谱特征比较明显。



图 2 不同含水率可燃物的光谱吸收特征

2 结果与分析

2.1 可燃物含水率与光谱指数的相关分析

用 SPSS18 软件计算了各个光谱指数与含水率的相关系数 (见表 1)。其中, 周长与含水率的相关系数最大, 为 0.77。因此, 选用该光谱指数建立可燃物含水率反演模型。

表 1 可燃物含水量与高光谱参数的
的相关系数

	FME	AD	SAI	C	S
FME	1				
AD	0.74	1			
SAI	0.68	0.95	1		
C	0.77	0.98	0.95	1	
S	0.73	0.97	0.96	0.98	1

2.2 数学模型的建立

为了阐明光谱周长与可燃物含水率之间的函数关系, 以吸收谷周长数据作为横坐标, 并以

与之对应的可燃物含水率数据作为纵坐标来绘制散点图, 如图 3 所示。

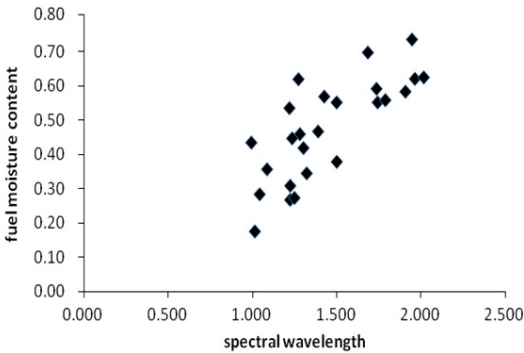


图 3 光谱指数和可燃物含水率之间的关系图

表 2 可燃物的含水率和光谱参数

样品类型	含水率 (FM)	吸收深度 (AD)	光谱吸收指数 (SAI)	周长 (C)	面积 (S)
羊草 1	58.27%	0.715	3.457	1.908	0.145
羊草 2	55.15%	0.612	2.574	1.744	0.123
羊草 3	45.90%	0.399	1.660	1.282	0.068
羊草 4	35.68%	0.350	1.515	1.087	0.058
羊草 5	28.39%	0.269	1.367	1.043	0.047
虎尾草 1	73.46%	0.675	3.073	1.947	0.138
虎尾草 2	69.67%	0.601	2.498	1.685	0.117
虎尾草 3	61.90%	0.385	1.623	1.273	0.064
虎尾草 4	53.49%	0.417	1.647	1.220	0.072
虎尾草 5	43.44%	0.263	1.357	0.995	0.043
碱蒿 1	59.14%	0.622	2.569	1.737	0.091
碱蒿 2	55.14%	0.504	2.016	1.500	0.089
碱蒿 3	44.69%	0.419	1.720	1.236	0.068
碱蒿 4	34.48%	0.463	1.778	1.322	0.078
碱蒿 5	26.79%	0.350	1.538	1.224	0.065
芦苇 1	62.02%	0.752	3.901	1.964	0.146
芦苇 2	56.85%	0.471	1.889	1.426	0.087
芦苇 3	46.69%	0.467	1.839	1.390	0.083
芦苇 4	37.86%	0.576	2.178	1.501	0.097
芦苇 5	30.89%	0.337	1.508	1.225	0.066
全叶马兰 1	62.44%	0.762	4.181	2.017	0.154
全叶马兰 2	55.82%	0.651	2.847	1.789	0.127
全叶马兰 3	41.87%	0.451	1.783	1.303	0.077
全叶马兰 4	27.34%	0.402	1.672	1.250	0.069
全叶马兰 5	17.58%	0.272	1.373	1.015	0.047

利用不同类型的 25 个样本数据建立一元回归模型:

$$y = 0.4408 \ln(x) + 0.4592 \quad (4)$$

式中, x 为曲线长度, y 为含水率。

2.3 模型检验

利用 F 检验对所建立模型的显著性进行检验, 同时对模型的回归系数进行 t 检验 (检验结果见表 3)。各项检验值都远远大于检验临界值, 因此该模型在所列显著水平上很突出。

表 3 模型的显著性检验参数

检验类型	检验参数值	显著水平
模型的 F 检验	33.736	0.05
系数 0.4408 的 t 检验	5.808	0.001
系数 0.4592 的 t 检验	23.773	0.001

将未参加建模的 10 个样本数据代入模型中, 并对得到的预测值和实测值进行相关分析。预测的相关系数达到 0.80 以上, 与回归标准差 0.0786。从模型的检验结果看来, 该模型的预测结果比较理想。

3 结论

本文通过测定防火期内草地可燃物的含水率及其光谱反射率, 计算出 4 个高光谱特征指数, 然后将其与实测含水率进行相关分析, 并选取相关性最大的光谱指数来建立数学模型, 从而反演出可燃物含水率。

在可燃物含水率和光谱反射率的测定实验中, 测得的各个高光谱特征指数与含水率之间的相关系数虽然远远超过了显著性水平值, 但不是特别高。造成这种情况的原因不排除实验环境 (室外) 和操作误差等因素。F 检验和 t 检验及样本数据的预测结果表明, 所建模型具有较高精度。

草地植物类型较多, 各种植物在生长期和防火期的生理特点都是不同的。在这种情况下, 通过简单的统计模型结合高光谱数据来研究草地可燃物的含水率不失为一个很好的方法。

参考文献

- [1] 色音巴图. 草原可燃物动态研究 [J]. 中国草地, 2002, 24(5): 48-52.
- [2] 刘桂香, 宋中山, 苏和. 草地火灾监测预警 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [3] Tanner C B. Plant Temperature [J]. Agronomy Journal, 1963, 12(50): 210-211.
- [4] 张仁华. 以红外辐射信息为基础的估算作物缺少状况的新模式 [J]. 中国科学 B 辑, 1987, 20(7): 776-784.
- [5] Idso S B, Jackson R D, Reginato R J. Canopy Temperature as A Crop Yields [J]. Water Resource Research, 1981, 17(11): 33-38.
- [6] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J, et al. Canopy Temperature as A Crop Water Stress Indicator [J]. Water Resources Research, 1981, 17(4): 1133-1138.
- [7] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimating Crop Water Deficit Using The Relation between Surface-air Temperature and Spectral Vegetation Index [J]. Remote Sens Environ, 1994, 24(49): 246-263.
- [8] 赵钊, 李霞, 尹业彪, 等. 荒漠植物含水量的光谱特征分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2500-2503.
- [9] 宋韬, 鲍一丹, 何勇. 利用光谱数据快速检测土壤含水量的方法研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(3): 675-677.
- [10] 刘焕军, 张柏, 王宗明, 等. 基于反射光谱特征的土壤盐碱化评价 [J]. 红外与毫米学报, 2008, 27(2): 138-142.
- [11] 田庆久, 宫鹏, 赵春江, 等. 用光谱反射率诊断小麦水分状况的可行性研究 [J]. 科学通报, 2000, 45(24): 2645-2650.
- [12] 王纪华, 赵春江, 郭晓维, 等. 用光谱反射率诊断小麦叶片水分状况的研究 [J]. 中国农业科学, 2001, 34(1): 1-4.
- [13] 张雪红, 田庆久, 沈润平. 冬小麦冠层光谱的方向性特征分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(6): 1600-1605.
- [14] 江泽慧, 黄安民. 木材中的水分及其近红外光谱分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(8): 1464-1468.
- [15] 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感——原理、技术与应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.