华北农学报 2000, 15(4): 68~ 72
Acta Agriculturae Boreali- Sinica

利用遥感方法诊断小麦叶片含水量的研究

王纪华[1], 赵春江[1], 郭晓维[1], 黄文江[1], 田庆久[2]
(1 北京市农林科学院作物研究所, 北京 100089; 2 中国科学院遥感应用研究所, 北京, 100101)

摘要: 应用地物光谱仪探讨了小麦叶片含水量对近红外(NIR)波段光谱吸收特征参量的影响。结果表明: 1.65~ 1.85 μm 间的光谱反射率与小麦叶片的含水量呈显著负相关, 而且该波段在大气窗口之内, 受大气层水的干扰较小, 可作为航空或卫星遥感探测指标应用。根据大量观测数据建立了叶片含水量与吸收深度及吸收面积间的线性相关关系和回归方程式, 从而提出一种利用光谱反射率诊断小麦叶片水分状况的遥感方法。

关键词: 小麦; 叶片含水量; 光谱反射率; 遥感
中图分类号: S512.101 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2000)04- 0068- 05

自 Tanner 提出以冠层温度指示植物水分亏缺以来, 冠层温度法成为诊断作物水分状况的一个重要手段[1]。但由于温度的时空变化受环境状况的影响较大, 限制了该方法的应用。尽管一些学者提出植被在 0.97, 1.45 和 1.9 μm 附近的光谱反射率吸收峰反映着植物的水分状况[2~3], 但利用作物光谱反射特征吸收峰定量测定作物水分含量, 从而诊断作物缺水状况的方法至今未见报道。地物光谱反射率吸收峰的归一化定量描述技术的实现为定量化研究奠定了基础[4]。本研究探讨了利用光谱反射率诊断小麦植株水分状况的可行性, 以期为遥感技术在作物节水栽培中的广泛应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试品种及采样

冬小麦京冬 8 号品种大田种植, 于抽穗始期取完全展开的旗叶供测试。取样后速将剪口处插入清水中浸泡 4 h 后, 从水中取出并擦拭掉叶片表面多余水分并称取饱和鲜重。

1.2 水分胁迫处理

用 500 W 溴钨灯垂直照射小麦叶片样品进行水分胁迫, 以人为造成含水量梯度。灯与样品的距离为 30 cm, 光照时间设 0 (对照), 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20, 25 min 共 9 个处理, 每处理重复 6 个叶片。不同水分胁迫处理结束后, 分别称取鲜重, 同步进行光谱反射率测试。

1.3 光谱反射率测试

利用美国产 ASD 型地物光谱仪, 于室内 2 台 500 W 溴钨灯光照射下对小麦叶片光谱进行测量。该光谱仪在 0.4~ 1.0 μm 光谱区的分辨率为 3 μm, 在 1.1~ 2.5 μm 光谱区的分辨率为 10 μm。实验中设定 5° 视场, 对一条光谱曲线扫描时间设定为 5 s, 每个叶片测量 4 次

收稿日期: 2000- 05- 10
基金项目: 北京市科委重点科技攻关项目 (9526301001); 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000077900)
作者简介: 王纪华 (1958-), 男, 研究员, 农学博士, 主要从事作物栽培生理、农业遥感和信息农业研究工作。

取平均值。共得到 54（9 个处理× 6 个叶片）组叶片含水量与光谱特征吸收值，参照 Curran 等[5]的方法进行光谱分析。

1.4　叶片含水量测定

待全部测试结束后，将叶片烘干称重并计算叶片含水量和相对含水量[6]。

$$\text{叶片含水量}(\%) = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100 \qquad \text{相对含水量}(\%) = \frac{\text{原初鲜重} - \text{干重}}{\text{饱和鲜重} - \text{干重}} \times 100$$

2　结果与分析

2.1　小麦叶片水分光谱特征吸收峰及叶片含水指标的选择

从试验结果看，水分对叶片光谱反射率的影响比其他生化组分大得多。在叶片的反射光谱区内，存在着多个水特征吸收峰。其中 1.45 μm 附近的光谱反射率强吸收特征可敏感地反映叶片的含水状态，但该波段在大气窗口之外，为大气水吸收波段，因此利用高空遥感技术获取该波段的高质量数据比较困难。1.65～ 1.85 μm 之间为木质素和纤维素的特征吸收峰，由于木质素和纤维素的含量与水分之间存在负相关关系，可间接用来反映小麦水分状态，而且该波段在大气窗口之内，受大气层水的干扰较小，适于作为航空或卫星遥感探测指标应用。因此，本文对叶片在 1.65～ 1.85 μm 间的光谱反射率强吸收特征进行分析。

此外，叶片的光谱特征参量随不同水分状况而变化，经初步分析，叶片含水量和相对含水量两个指标的光谱特征参量变化接近一致，且以叶片含水量较为简便适用，故以下用叶片含水量表示叶片水分状况。

2.2　小麦叶片水分状况对光谱特征参量的影响

如图 1 所示，在 1.65～ 1.85 μm 处的光谱特征参量随叶片含水量呈负向波动的变化。为了对这种变化的幅度进行量化描述，引入吸收深度和吸收面积两个参量。深度指特征吸收峰的极小值点相对 100% 线的距离；面积指特征吸收峰深度一半处宽度与深度的乘积，以相对于最大量的百分比表示，见图 2 虚线框围成的面积。

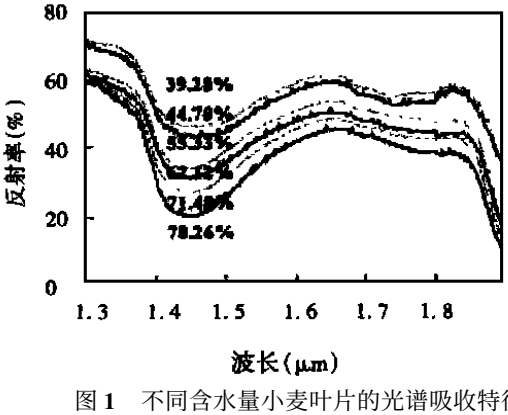

图 **1**　不同含水量小麦叶片的光谱吸收特征

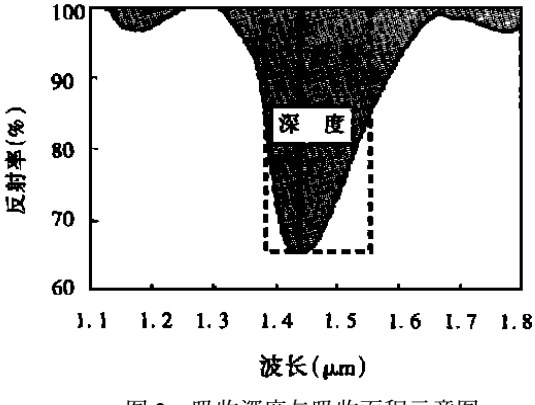

图 **2**　吸收深度与吸收面积示意图

2.3　叶片含水量与 **1.65～ 1.85 μm** 处光谱特征参量间的相关分析

根据从大田不同灌溉量节水试验田取样的小麦旗叶样品，建立了 1.65～ 1.85 μm 水吸收特征峰与含水量关系模型。经相关分析表明，小麦叶片含水量在本试验的范围内，与

1.65~ 1.85 μm 处特征峰的吸收深度和吸收面积均呈现为显著的线性负相关关系(图 3, 4)。即随着叶片含水量的下降，其在 1.65~ 1.85 μm 处特征峰的吸收深度和吸收面积增加。其回归表达式为:

$y = 88.31 - 5.6728x_1$ ($r = -0.8823^{**}$); $y = 82.34 - 0.6207x_2$ ($r = -0.8669^{**}$)。

式中 y 表示叶片含水量(%); x_1 表示吸收深度(%); x_2 表示吸收面积(%)。

经查 r 显著值表[7]，$r_{0.01[52]} = 0.354$，吸收深度和吸收面积与叶片含水量的负相关均达极显著水平。

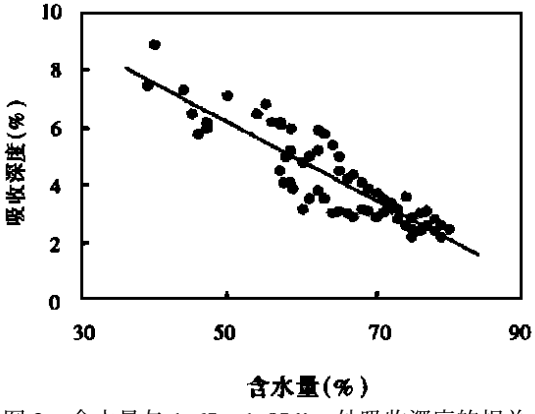

图 3 含水量与 1.65~ 1.85 μm 处吸收深度的相关

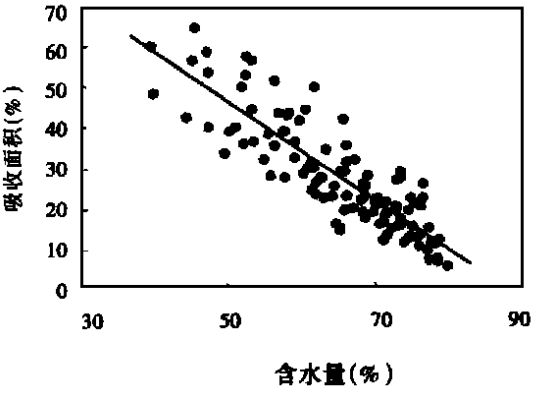

图 4 含水量与 1.65~ 1.85 μm 处吸收面积的相关

2.4 误差成因分析

在本研究中，造成误差的原因除了光谱测量的精度因素外，叶片的水含量的测量精度也是一个误差源。从大田小麦叶片含水量的实测值与计算值的比较(表 1)看，由吸收深度计算的含水量结果相对误差在 0.388% ~ 4.385% 之间，且随着含水量降低相对误差减少；由吸收面积计算的含水量结果相对误差在 3.027% ~ 7.368% 之间，高于吸收深度的误差水平，且随着含水量降低，相对误差增大。以上结果表明，针对不同含水量或不同生理状态的叶片，应采用不同的参数进行计算，以尽量减小误差。

表 1 大田小麦叶片水含量的实测值与计算值的比较 %

样品	实测含水量	吸收深度	吸收面积	吸收深度计算的含水量	吸收面积计算的含水量	吸收深度计算结果相对误差	吸收面积计算结果相对误差
1	78.69	1.797	1.777	75.24	81.07	4.385	3.027
2	75.60	1.794	1.774	72.57	77.95	4.008	3.114
3	73.80	1.789	1.773	71.01	76.14	3.775	3.168
4	71.67	1.784	1.771	69.17	73.99	3.483	3.236
5	68.50	1.779	1.768	66.43	70.79	3.015	3.344
6	65.86	1.769	1.765	64.15	62.29	2.591	5.415
7	60.95	1.752	1.761	59.91	57.34	1.705	5.924
8	57.73	1.743	1.758	57.13	54.09	1.042	6.305
9	54.87	1.742	1.755	54.66	51.20	0.388	6.681
10	50.31	1.740	1.751	50.72	46.60	0.809	7.368
$\bar{x}$		–	–	–	–	2.520	4.931

3　讨论

地球信息科学的发展为利用遥感技术监测农田冠层水分提供了可能，并展现了广阔的前景。本研究探讨了利用光谱反射率诊断小麦植株水分状况的可行性，同时给出了适用的含水量范围、光谱波段和回归方程式，为进一步深入研究奠定了基础。

本试验还探讨了以平方米为单位的小面积冠层含水率与全冠层光谱反谢率之间的关系，结果从拔节期叶片封行后至灌浆期的水肥管理关键时期内，顶层全展叶片的测定结果与冠层相近。由于顶层全展叶片的遮盖作用，使测得的光谱基本反映了顶层叶片的水分状况(下层叶片和土壤所占比重很小)，加之顶层叶片对经济产量形成的贡献较大，因此以顶层全展叶片的含水率作为灌溉决策的主要参考是可行的。

本研究观测到小麦叶片光谱反射率在 1.45 μm 处水的特征吸收峰，是整个反射光谱中反映叶片水分含量的最佳波段(另文发表)。但在进行野外测量时要考虑到大气水的影响，只有在天气晴朗、能见度高、大气比较干燥，地物光谱仪信噪比比较高的条件下，才能在野外阳光下很好地测得 1.45 μm 处的叶片水的光谱特征吸收峰，否则将产生很大噪音使结果难以分析。相反，本文报道的 1.65~1.85 μm 为木质素和纤维素的特征吸收峰，可间接用来反映小麦水分状态，尤其在小麦生长中后期干物质比重增大、体内含水减少时应用效果更好。由于该波段在大气窗口之内，受大气层水的干扰较小，适于作为航空或卫星遥感探测指标，应用前景广阔。

参考文献:

[1] Tanner C B. Plant temperature[J]. Agron J, 1963, 50: 210-211.

[2] Penuelas J, Filella I, Biel C, *et al*. The reflectance at the 950-970nm region as an indicator of plant water status[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14, 1887-1905.

[3] Raymond F K, Roger N C. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption feafures and stepwise multile linear regression[J]. Remote Sens, 1999, 67: 267-287.

[4] Green A A, Graig M D. Analysis of aircraft spectrometer data with logarithmic residuals[J]. Nasa-jpl publ 85-41, 1985: 111-119.

[5] Curran P J. Remote sending of foliar chemistry[J]. Remote Sens, 1989, 30: 271-278.

[6] 郭晓维. 土壤水胁迫对冬小麦叶片的相对含水量、水势及渗透调节的影响[A]. 见: 第一届全国作物栽培作物生理学术会文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 85-89.

[7] 张全德, 胡秉民. 农业试验统计模型和 BASIC 程序[M]. 浙江科学技术出版社, 1985. 580.

Study on the Water Content of Wheat Leaves by the Remote Sensing

WANG Ji-hua[1], ZHAO Chun-jiang[1], GUO Xiao-wei[1], HUANG Wen-jiang[1], TIAN Qing-jiu[2],

(1 Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089, China;
2 Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Surface feature spectro-comparator was used to probe the effect of spectral absorption feature parameters on water content of the wheat leaves at NIR. The results showed that the water content of the wheat leaves decreased when the spectral reflectance was between 1.65 μm and 1.85 μm. The wave-band lies in the atmosphere window, so was seldom interfered by the water in the atmosphere. Thus it could be regarded as the index of the aviation or satellite remote sensing. The linear correlation curve and the regression equation between water content of wheat leaves and absorption depth or area of the spectrum were obtained on the basis of a great deal of data observed. Thus a remote sensing method of using spectral reflectance was used to diagnose the water status of the wheat leaves was obtained.

Key Words: Wheat; Water content of the leaves; Spectral reflectance; Remote sensing