

冬小麦生长便携式NDV I测量仪的研制与试验

王 秀¹, 赵春江¹, 周汉昌², 刘良云¹, 王纪华¹, 薛绪掌¹, 孟志军¹

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100089; 2 华北工学院测试技术研究所, 太原 030051)

摘 要: 该文介绍了一种测量冬小麦生长归一化植被差异指数(NDV I—Normalized Difference Vegetation Index)的新型仪器, 该仪器能快速、方便地测定农作物的NDV I值, 准确地对作物的生长情况做出评估, 对指导作物管理具有着重要作用。它利用日光作光源, 通过 4 个具有特殊光谱响应特性的光电探测器, 在近红外和红光两个特征波长处, 分别对入射光和植被的反射光进行探测, 根据测得的信号, 经模拟/数字转换后, 由单片机按一定的计算公式求出归一化植被差异指数, 所得 NDV I 结果由液晶显示器(LCD)显示。在冬小麦田对仪器在田间进行了不同测试方式的研究, 提出了优化的田间测量方式。

关键词: NDV I; 光谱反射; 叶绿素

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0095-04

0 引 言

植物叶片是光合作用的重要场所, 叶片内含有充足的水分和叶绿素等色素, 它在可见光和红外波段呈现出特有的光谱反射特性, 图 1 是叶片的典型光谱反射率曲线, 光谱范围为 350~ 2500 nm, 从图可以看出色素吸收决定着可见光波段的光谱反射率, 图中 1 为叶绿体吸收峰区域, 2 为水吸收峰区域, 3 为红光特征波长, 4 为红外光特征波长, 在这两特征波长处的植被光谱反射率与植被生长状况密切相关。

- 1. 叶绿素吸收区 2. 水分吸收区
 - 3. 红光特征波长 4. 红外光特征波长
- 图 1 叶片光谱反射特征曲线

Fig 1 Characteristic curve of leaf spectral reflectance

近年来遥感技术在农业上获得了大量的应用, 其中归一植被差异指数已经广泛用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力, 简称为 NDV I (Normalized Difference Vegetation Index), 它是基于物理知识, 将电磁波辐射、大气、土壤、植被覆盖等相互作用集合在一起, 对植物在红光和近红外波段的光谱进行分析。很多

研究表明, 它比单波段探测生物量具有更好的灵敏性, 是衡量农作物生长发育的重要指标。但是近年来在中国 NDV I 值的测定还多是依赖于国外进口的光谱仪器, 这些光谱仪器价格高, 很少科研单位可买得起, 在很大程度上限制了这一技术在中国大面积的应用普及, 为此开展这方面仪器的研究与开发具有重要的现实意义。

通常情况下归一化植被差异指数 NDV I 定义为

$$NDVI = \frac{R_{IR} - R_R}{R_{IR} + R_R}$$

式中 R_{IR} ——某红外光特征波长处的植被反射率, R_R ——某红光特征波长处植被的反射率。目前, 常采用地物光谱仪进行 NDV I 的测量, 该测量方法视场角较小, 对日光照条件有较高要求, 而且设备结构复杂、重量较大、价值昂贵、操作困难, 所以难以推广。为了便于小麦田间管理根据小麦生长对日光谱的反射特性, 提供一种用于测量归一化植被差异指数(NDV I)的新方法, 设计一种新型简易的 NDV I 测量仪, 并对仪器的田间测定效果给予评价。

1 便携式NDV I仪器工作原理

利用日光作光源, 通过 4 个具有特殊光谱响应特性的光电探测器, 在近红外和红光两个特定波长处, 分别对入射光和植被的反射光进行探测, 测得的 4 个参数, 经模拟—数字转换后, 由单片机进行处理得到 NDV I 值, 所得结果由液晶显示器(LCD)显示。若仪器测得红光特征波长处的入射光信号为 E_R 、对应波长植被反射光信号为 E_{RR} 、红外光特征波长处的入射光信号为 E_{IR} 、对应波长植被反射光信号为 E_{IRR} , 则有

$$R_{IR} = k_{IR} \frac{E_{IRR}}{E_{IR}} \quad R_R = k_R \frac{E_{RR}}{E_R} \quad (1)$$

式中 k_R, k_{IR} ——比例常数, 由仪器的光学系统、光电探测器及其适配放大器的特性参数决定。若令 $k_{IR} = k_R \cdot k$, 就有

$$NDVI = \frac{k_R \frac{E_{RR}}{E_R} - k_{IR} \frac{E_{IRR}}{E_{IR}}}{k_R \frac{E_{RR}}{E_R} + k_{IR} \frac{E_{IRR}}{E_{IR}}} = \frac{E_{RR}E_{IR} - kE_{IRR}E_R}{E_{RR}E_{IR} + kE_{IRR}E_R} \quad (2)$$

公式(2)表明: 只要确定仪器的待定特征常数 k , 就

收稿日期: 2003-05-09 修订日期: 2004-04-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2001AA 245011)和国家科技攻关计划(2002BA 207B- 01)

作者简介: 王 秀, 副研究员, 北京 北京农业信息技术研究中心, 100089。Email: xiuwang@263.net



可由 4 个光电探测器测得的信号求得 $NDVI$ 。

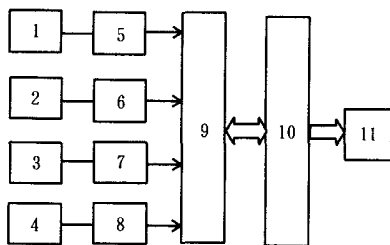
2 便携式NDV I 仪器设计与制造

实现上述测试方法而设计的NDV I 测试仪, 包括特殊光谱响应特性的光电探测器、光学系统、模拟—数字转换器、单片机及显示器等部分。

上述特殊光谱响应特性的光电探测器由窄带干涉滤光片、硅光电二极管及其适配放大器等组成。窄带干涉滤光片只允许中心波长附近通带内的光通过, 4 个窄带干涉滤光片分为两组, 每组为特性相同的两滤光片, 它们的中心波长分别位于植被光谱反射率曲线斜率最大处两边的近红外(0.77~0.86 μm)和红光(0.62~0.68 μm)波段, 红光波段为植被叶绿体峰值吸收区域, 干涉滤光片的带宽应保证在通带内光谱反射率没有明显变化, 以保证NDV I 的测量精度。4 个硅光电二极管与 4 个窄带干涉滤光片组成两组光电探测器, 分别用于近红外和红光两特征波长处入射光和植被的反射光的探测, 硅光电二极管在近红外和红光特征波长处具有较高的光谱灵敏度, 其光敏面尺寸要保证在不同的日光照明条件下有足够大信号输出和线性度。用于入射日光信号探测的两个光电探测器安装在仪器的上方, 用于植被反射光探测的两个光电探测器安装在仪器的下方面向植被。上述光学系统包括入射日光信号探测器前面的毛玻璃、光阑和植被反射光探测器前面的接收物镜。上述仪器的待定特征常数 k 的确定, 可通过对在近红外和红光两特征波长处光谱反射率相等的参考板标定求得, 参考板的尺寸应与仪器探测范围相符。由于 $R_R = R_{IR}$, 由 $NDVI$ 计算公式可知 $NDVI = 0$, 根据式(2) 就可得到待定特征常数的计算公式

$$k = \frac{E_{RR}E_{IR}}{E_R E_{IRR}} \quad (3)$$

上述模拟—数字转换器、单片机及显示器的作用是将硅光电二极管适配放大器输出的模拟信号, 经模拟—数字转换器转换为数字信号, 再由单片计算机按公式(2) 计算, 求出NDV I 值由液晶显示器(LCD) 显示, 仪器的运行程序框图和电路图分别如图 2 和图 3 所示。



1. 红光入射光信号探测器 2. 红光植被反射光信号探测器 3. 红外入射光信号探测器 4. 红外光植被反射光信号探测器 5~8 光电探测器适配电路 9. A/D 转换器 10. 单片机 11. 液晶显示器

图 2 便携式NDV I 仪结构简图

Fig 2 Structural diagram of the portable NDV I instrument

建造仪器时用于测量红光和红外光特征波长处入射光信号的探测器, 使用时垂直向上, 为了减小日光入射角对信号幅度造成的影响, 探测器前设有毛玻璃或乳

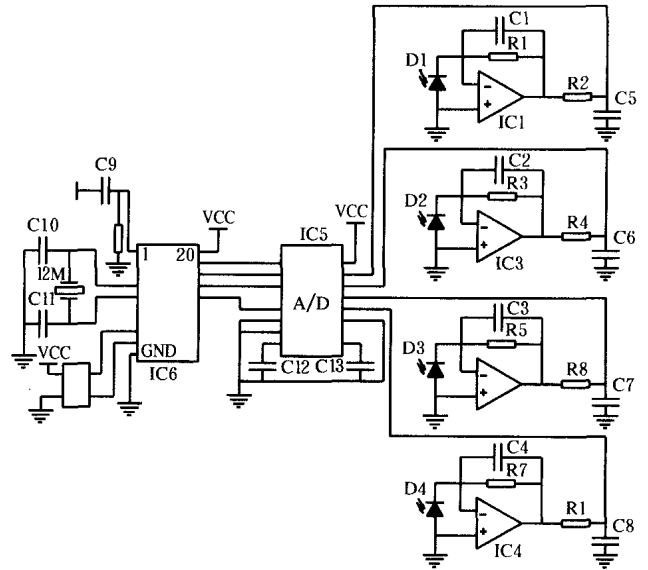
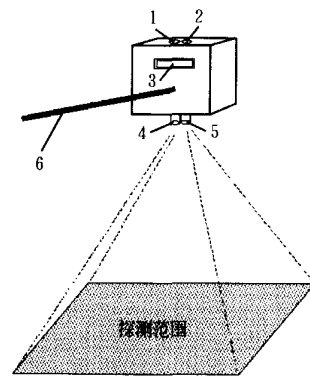


图 3 便携式NDV I 仪电路图

Fig 3 Electronic circuit of the portable NDV I instrument

白玻璃的漫射体, 此漫射体下方是相应波长的窄带干涉滤光片和硅光电二极管; 而用于测量红光和红外光特征波长处植被反射光信号的探测器, 使用时垂直向下, 在最下方是相应波长的窄带干涉滤光片, 它的上面为接收物镜, 合理设计视场角(FOV), 使仪器所要求的探测范围(如 1 m × 1 m), 在仪器离植被一定距离处(如 1.2 m) 成像在物镜上方的硅光电二极管光敏面上。图 4 为制造完成后的便携式NDV I 测量仪。



1. 红光入射口 2. 近红外光入射口 3. 液晶显示屏 4. 红光反射光入射口 5. 近红外反射光入射口 6. 探测手柄

图 4 便携式NDV I 仪外形图

Fig 4 Prototype of the portable NDV I instrument

3 仪器标定与田间试验

3.1 仪器标定

仪器标定是使用美国 ASD 公司生产的光谱仪 ASD FieldSpec Pro 光谱辐射仪, 该光谱仪是国内外公认的性能稳定、操作简便直观和用户最多的地物光谱辐射计, 该仪器的光谱范围为 350~2500 nm, 采样间隔在 350~1000 nm 范围内为 1.4 nm, 仪器固定扫描时间为 0.1 s, 光谱平均最多可达 31800 次。光谱仪在使用前用漫反射标准参照板进行校准, 该参照板由 ASD 公司随光谱仪一起提供。观测时段内的气象要求为: 地面能见度不小于 10 km, 太阳周围 90 度立体范围内, 淡积云量

小于2%,无卷云和浓积云等,风力小于3级。将光谱仪测量得到与仪器相同波段处的NDVI值和研制的NDVI仪测定的数值进行回归,得到如下回归方程4。

$$NDVI_{\text{光谱仪}} = 0.9903NDVI + 0.0275 \quad r^2 = 0.93 \quad (4)$$

在上式中 $NDVI_{\text{光谱仪}}$ 是由光谱仪测量得到的数值,而 $NDVI$ 则是由研制的仪器测量得到的数值。

3.2 试验材料与方法

田间试验于2003年5月2日在北京小汤山国家精准农业示范基地进行,试验小麦品种为京冬-8,小麦南北方向种植。试验时在麦田生长均匀地方选择面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小区,在小区的中心处地面做一简单标记,在标记处竖立一根标竿,标竿的顶部距小麦叶片的最高点距离为1.2m。测量时使仪器的下部镜片与标竿的顶部在同一位置处,这样确保测量的范围与仪器设计的范围相一致,测量时将标竿移去。由于该仪器在测量时需测量人员在田间进行实时测量,故测量时测量人员穿深黑色衣服以便减少衣服反光的影响,测量人员站在小区的东、南、西、北4个位置分别进行,测量人员站在小区外进行测量读数,每隔1h测量一次。植株生长的叶绿素测定使用日本东芝公司生产的SPAD叶绿素测定仪,测定的叶片为旗叶下第二叶,叶绿素的测定点为从茎秆的根部起,每2.5cm测定一个读数值。测量当日天空晴朗,最高气温为26。

3.3 测定结果与分析

1) 不同时间测定冬小麦NDVI对比分析

表1为从早上9:00开始测量每隔1h测量的冬小麦NDVI数值。从表中数值可以看出从上午11:00时至下午16:00时这段时间内测定的冬小麦NDVI值变异程度比较小。因此使用研制的这种便携式NDVI测量仪测定冬小麦的NDVI值,最好在这段时间内完成,这样可以降低系统的测量误差。在测定NDVI值的同时,测定的旗叶下第二叶的叶绿素含量并不随测定时间的变化发生变化,其值均保持在 0.055 ± 0.005 之间。从这方面也说明了NDVI测定值的变化并不是由于植株体内的叶绿素变化引起的,而是由于太阳光的变化而引起。

表1 不同时间测定的冬小麦NDVI值

测定时间	平均值	最大值	最小值	标准偏差
9:00	0.831	0.852	0.807	0.196
10:00	0.823	0.840	0.802	0.173
11:00	0.792	0.810	0.780	0.131
12:00	0.783	0.801	0.762	0.160
13:00	0.767	0.781	0.749	0.148
14:00	0.781	0.793	0.771	0.107
15:00	0.800	0.807	0.794	0.570
16:00	0.828	0.848	0.810	0.162

2) 不同方向测定冬小麦NDVI对比分析

仪器在田间实际测试时会出现不同的测试人员,测试时所站立的位置也不相同。这样需要测定测试人员站立在不同位置时,仪器对测试效果的影响。图5为测试人员站立在测试小区东、南、西、北4个不同方向时测试

冬小麦NDVI值的情况。从图中的数值可以看出,测试人员站立在不同的位置测试时,测得的冬小麦NDVI值也不相同。从总的趋势来看,当测试人员站立在测试小区的东、南、西三个方向测试时,不同时段测试的结果变异均要大于测试人员站立在测试小区北部的结果变异。这也就是说利用该便携式仪器进行测量时测量人员要站立在测试区域的北部,这样可以减少测量系统之间的误差。造成这种现象的原因尚有待于今后更进步的研究与分析。

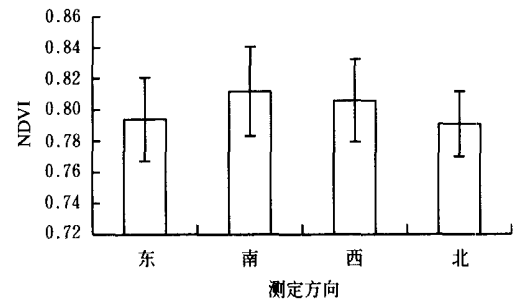


图5 不同方向测定冬小麦NDVI值

Fig 5 Tested NDVI values of winter wheat at four directions

4 结语

根据文中方法设计制造的NDVI测试仪质量轻、体积小、成本低、结构简单、使用方便,适合于大批量生产。在测量当日的较长时间内可以进行田间测试,其测试结果随测试时间的变化小,测试人员在测试时站在测试区域的北侧可以获取较高精度的测量结果,不同测试之间的误差可以达到最小。

致谢:河北农业大学2003届本科毕业实习生苏胜宇、李霞和李常兴同学一起参加了田间试验测试,在此一并表示感谢。

[参考文献]

- [1] Broge N H, Mortensen J V. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data [J]. Remote Sens Environ, 2002, 81: 45-47.
- [2] 陆登槐,等. 遥感技术在农业工程中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [3] 杨敏华. 面向精准农业的高光谱遥感作物信息获取[D]. 北京:中国农业大学,2002年6月.
- [4] 刘良云. 高光谱遥感在精准农业中的应用研究[R]. 中国科学院遥感应用研究所博士后研究报告,2002年12月.
- [5] 毛学森,张永强,等. 水分胁迫对冬小麦植被指数NDVI影响及动态变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2002,(3): 69-71.
- [6] 王秀珍,王人潮,等. 微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究[J]. 农业工程学报,2002,18(1): 9-13.
- [7] 童庆禧,田国良,等. 多光谱遥感波段选择方法的研究[J]. 宇航学报,1983(2): 1-13.
- [8] 王传善. 多光谱遥感之最佳波段选择[J]. 空间科学学报,1985,5(1): 45-52.

- [9] 田庆久, 余涛, 等. 地物光谱仪定标实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 1997, 17(6): 113-117.
- [10] Dawson T P. The potential for estimating chlorophyll

content from a vegetation canopy using the medium resolution imaging spectrometer [J]. Int. J. Remote Sensing of Environment, 2000, 21(10): 2043-2051.

Development and experiment of portable NDVI instrument for estimating growth condition of winter wheat

Wang Xiu¹, Zhao Chunjiang¹, Zhou Hanchang², Liu Liangyun¹, Wang Jihua¹, Xue Xuzhang¹, Meng Zhijun¹

(1 Beijing Agricultural Information Technology Research Center, Beijing 100089, China;

2 Test Technology Institute of North-China Industrial College, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A portable NDVI instrument was designed and tested in winter wheat field. It can display NDVI values of winter wheat in field. The crop growth can be assessed based on their NDVI values. This will be very important for crop management. It uses sunlight for its light source. There are four special different photoelectrical detectors with red and near infrared wavelengths, which are used for detecting incidence and reflex. The computer calculates the NDVI value based on the A/D value. The value can be displayed on its LCD. The portotype was tested in winter field at different hours and directions. The optimum test method was provided.

Key words: NDVI; spectral reflectance; chlorophyll