

# 北京地区冬小麦冠层光谱数据与 叶面积指数统计关系研究

刘东升<sup>1</sup>, 李淑敏<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;  
2. 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京 100097)

**摘要:** 以北京地区冬小麦为研究对象, 利用 TM 传感器的光谱响应函数处理地面测量获得的冬小麦冠层光谱数据, 得到对应于 TM 传感器红光波段和近红外波段的反射率, 进而计算出冬小麦冠层的归一化植被指数 (NDVI)。建立了叶面积指数 (LAI) 与 NDVI 之间的不同经验关系模型, 对实验结果进行分析后得出, LAI 与 NDVI 具有高度的指数相关性。

**关键词:** 冬小麦; 冠层光谱数据; NDVI; LAI

**中图分类号:** TP 79   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1001-070X(2008)04-0032-03

## 0 引言

叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 是指每单位地表面上单侧绿色叶面面积的比例<sup>[1]</sup>, 它对植物光合作用和能量交换有着重要的意义, 是陆面过程中一个十分重要的参数, 也是表征植被冠层结构最基本的参数之一。它控制着植被的许多生物、物理过程, 如光合、呼吸、蒸腾、碳循环和降水截获等<sup>[2]</sup>。作为一种经济、有效和实用的地表植被覆盖和长势的参考量, 植被指数在土地利用覆盖监测、植被覆盖密度评价、作物识别和作物产量预报等资源环境遥感中有着广泛的应用<sup>[3]</sup>。

建立 LAI 与植被指数的经验关系模型方法是目前国内外利用遥感技术来估算叶面积指数的主要方法之一。经验关系模型法是将植被指数与实测 LAI 建立统计关系, 这种方法形式简洁, 对输入参数要求不高, 计算简单易行。高光谱遥感数据波段窄且波段连续, 这使得高光谱影像中提取出来的植被指数对 LAI 比较敏感, 所以该方法是 LAI 遥感定量反演的常用方法<sup>[4]</sup>。

LAI 与植被指数的函数关系会随植被类型的变化而改变, 在大尺度应用时需要先验知识来确定 LAI 与植被指数的关系。在应用于遥感反演的植被指数中, 归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 在农作物生长的中期对农作

物长势较为敏感, 当植被覆盖度在 25% ~ 80% 之间时, NDVI 随植被量呈线性增加<sup>[5]</sup>。国内外大量研究表明, 作物的 NDVI 与 LAI 有着线性或非线性的关系<sup>[6-12]</sup>。对于冬小麦作物, 张仁华等根据高塔遥感实验场的大量观测资料研究表明, NDVI 与 LAI 的相关系数很高, 且呈非线性函数关系<sup>[13]</sup>。为了进一步明确冬小麦 LAI 与 NDVI 的非线性函数关系, 本研究以北京地区冬小麦为研究对象, 利用冠层光谱数据计算出冬小麦冠层的 NDVI, 建立了 LAI 与 NDVI 之间的指数经验关系模型和对数经验关系模型两个非线性经验关系模型, 并加以比较分析。

## 1 数据采集与处理

### 1.1 光谱反射率数据与 LAI 的测定

本研究在小汤山精准农业示范基地选取了株型具有代表性的 2 个冬小麦品种进行实验, 即紧凑型品种京 411 和披散型品种中优 9507。定点测量了 2004 年 4 月份到 2004 年 6 月份的冠层光谱反射率数据和 LAI。

采用美国 ASD 便携式野外光谱仪测定小麦冠层反射率数据, 视场角为 25°, 波段范围为 350 ~ 2 500 nm, 输出波段数为 2 151 个, 光谱分辨率在 350 ~ 1 000 nm 区间为 3 nm, 通道数为 512, 在 1 000 ~ 2 500 nm 区间为 10 nm, 通道数为 537。选择晴朗无云风力较小的天气, 分别在冬小麦的返青期、孕穗

中期、孕穗后期、扬花期、灌浆期、乳熟期及腊熟期等几个时期选取有代表性的地块进行光谱测定,测定时间为北京时间 12:00 左右。探头距冠层顶部 160 cm 处垂直向下测定。

叶片采样与光谱测定同目标同步或准同步,采用干重法,即在同一处取部分叶片,测量面积后烘干称重,再根据被测对象的干重反推单株叶面积,用 CI2203 型激光叶面积仪进行校正。依据栽培密度计算群体叶面积指数。

1.2 利用光谱反射率数据计算 NDVI

分析多光谱传感器 TM 的光谱响应因子,得知 TM 传感器红光波段(第 3 波段)的响应范围为 614 ~ 704 nm,近红外波段(第 4 波段)的响应范围为 736 ~ 914 nm。利用光谱响应函数,计算出红光波段和近红外波段的反射率,即

ρ<sub>i</sub> = ∑<sub>λ<sub>u<sub>i</sub></sub></sub><sup>λ<sub>l<sub>i</sub></sub></sup> r(λ) Φ<sub>i</sub>(λ) / ∑<sub>λ<sub>u<sub>i</sub></sub></sub><sup>λ<sub>l<sub>i</sub></sub></sup> Φ<sub>i</sub>(λ) (1)

式中,ρ<sub>i</sub> 为波段 i 的反射率; λ<sub>u<sub>i</sub></sub> 是波段 i 的起始波长,λ<sub>l<sub>i</sub></sub> 是波段 i 的终止波长; r(λ) 为波长 λ 处的反射率值; Φ<sub>i</sub>(λ) 为波段 i 在波长 λ 处的光谱响应因子<sup>[14]</sup>。

获得红光波段和近红外波段的反射率后,根据 NDVI 的定义<sup>[1]</sup>

NDVI = (ρ<sub>NIR</sub> - ρ<sub>R</sub>) / (ρ<sub>NIR</sub> + ρ<sub>R</sub>) (2)

可以计算出每个观测样点的冠层 NDVI,其中 ρ<sub>NIR</sub> 为近红外波段反射率,ρ<sub>R</sub> 为红光波段反射率。

1.3 经验关系模型的建立及有关参数回归

LAI 与 NDVI 的经验关系模型主要有指数关系模型和对数关系模型 2 种<sup>[15]</sup>。本文分别建立二者间的对数关系模型与指数关系模型。

对数关系模型为:

NDVI = a + b · ln LAI (3)

指数关系模型为:

NDVI = c - a · exp(-b · LAI) (4)

式中,a、b、c 为 LAI 与 NDVI 经验关系模型中的系数,a、b 通过回归的方法求得,c 为经验值,一般取冬小麦整个生育期的 NDVI 最大值。

线性函数模型 y = ax + b 的系数和相关系数平方(R<sup>2</sup>)可以通过回归的方法求得<sup>[16]</sup>,其中

a = (∑Y<sub>i</sub> - b∑X<sub>i</sub>) / n (5)

b = (n∑(X<sub>i</sub>Y<sub>i</sub>) - ∑X<sub>i</sub>∑Y<sub>i</sub>) / (n∑X<sub>i</sub><sup>2</sup> - (∑X<sub>i</sub>)<sup>2</sup>) (6)

R<sup>2</sup> = [n∑(X<sub>i</sub>Y<sub>i</sub>) - ∑X<sub>i</sub>∑Y<sub>i</sub>]<sup>2</sup> / [n∑X<sub>i</sub><sup>2</sup> - (∑X<sub>i</sub>)<sup>2</sup>][n∑Y<sub>i</sub><sup>2</sup> - (∑Y<sub>i</sub>)<sup>2</sup>] (7)

式中,X<sub>i</sub>、Y<sub>i</sub> 为对应的样本取值;n 为样本数。  
通过变量替换,利用实测的 LAI 与冠层光谱数据可以回归出公式(3)、(4)中的 a、b、c 值。根据小麦整个生育期的光谱观测数据取经验值 c 为 0.92,即小麦整个生育期的 NDVI 最大值。

2 结果与讨论

两个冬小麦品种不同日期的 NDVI 与实测 LAI 对应情况如表 1 所示。

表 1 两个冬小麦品种不同日期 NDVI 与 LAI 的对应值

| 日期         | 中优 9507(披散) |      | 京 411(紧凑) |      |
|------------|-------------|------|-----------|------|
|            | NDVI        | LAI  | NDVI      | LAI  |
| 2004-04-01 | 0.46        | 1.06 | 0.51      | 1.31 |
| 2004-04-17 | 0.88        | 4.01 | 0.88      | 4.25 |
| 2004-04-24 | 0.90        | 4.21 | 0.90      | 4.52 |
| 2004-05-03 | 0.89        | 4.29 | 0.90      | 4.44 |
| 2004-05-11 | 0.89        | 3.85 | 0.89      | 2.27 |
| 2004-05-20 | 0.86        | 2.98 | 0.87      | 2.47 |
| 2004-05-30 | 0.82        | 1.30 | 0.82      | 1.62 |
| 2004-06-09 | 0.40        | 0.84 | 0.44      | 0.92 |

由表 1 可以看出,中优 9507 和京 411 两个品种相同日期的小麦 NDVI 值和 LAI 值能够基本对应。而京 411 品种 5 月 11 日测得的 LAI 数据与冬小麦的生长规律<sup>[17]</sup>以及当日的 NDVI 值不符合,需要对此数据进行处理。采用比值法处理该数据,即

NDVI<sub>中优9507</sub> / NDVI<sub>京411</sub> = LAI<sub>中优9507</sub> / LAI<sub>京411</sub> (8)

处理后得到 5 月 11 日京 411 品种新的 LAI 为 3.85。

两个冬小麦品种 NDVI 与 LAI 的散点图如图 1 所示。

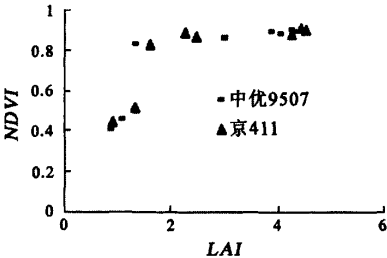


图 1 两个冬小麦品种 NDVI 与 LAI 的散点

通过 2.3 节中的分析,可以得到北京地区冬小

麦 *NDVI* 与 *LAI* 的经验关系模型,并计算二者的相关系数,如表 2 所示。

表 2 北京地区冬小麦 *NDVI* 与 *LAI* 的函数关系模型及相关系数

| 小麦类型            | 函数关系   | 关系模型                                 | 相关系数 <i>R</i> |
|-----------------|--------|--------------------------------------|---------------|
| 中优 9507         | 对数函数关系 | $NDVI = 0.54 + 0.26 \ln LAI$         | 0.88          |
|                 | 指数函数关系 | $NDVI = 0.92 - 0.65 \exp(-0.76 LAI)$ | 0.92          |
| 京 411           | 对数函数关系 | $NDVI = 0.55 + 0.27 \ln LAI$         | 0.88          |
|                 | 指数函数关系 | $NDVI = 0.92 - 0.66 \exp(-0.78 LAI)$ | 0.92          |
| 中优 9507 + 京 411 | 对数函数关系 | $NDVI = 0.54 + 0.26 \ln LAI$         | 0.88          |
|                 | 指数函数关系 | $NDVI = 0.92 - 0.66 \exp(-0.78 LAI)$ | 0.92          |

通过表 2 可以看出,无论是紧凑型品种还是披散型品种,冬小麦的冠层 *NDVI* 与 *LAI* 的指数相关性均高于二者的对数相关性。

3 结论

本文选择北京地区为研究区域,应用 TM 传感器光谱响应函数与冬小麦冠层光谱数据,模拟了 TM 传感器红光波段和近红外波段的反射率,得到冬小麦冠层 *NDVI* 值,研究了冬小麦不同生长时期的 *LAI* 与 *NDVI* 之间的经验关系,分别建立了北京地区冬小麦 *NDVI* 与 *LAI* 的指数关系模型和对数关系模型,并加以比较。比较结果显示,冬小麦的 *NDVI* 与 *LAI* 具有高度的非线性相关性,而 *NDVI* 与 *LAI* 的指数相关性优于对数相关性。

目前,国内外对 *NDVI* 与 *LAI* 经验关系的研究中,大多是通过遥感影像数据进行几何校正、辐射校正后得到各个波段的反射率,进而得到植被冠层 *NDVI*<sup>[15]</sup>。而本研究中,光谱数据测定和叶片采样同步进行,利用 TM 传感器的光谱响应函数处理冬小麦冠层二向反射率数据来获取 *NDVI*。二者比较,后者保证了 *LAI* 与对应 *NDVI* 几何位置绝对一致,从根本上杜绝了传感器与大气对 *NDVI* 的影响。

然而,本研究中也存在着很多的误差源。*LAI* 测量值的准确性对实验结果直接有影响,在获取 *LAI* 过程中不可避免地会出现很多误差,例如叶片的长度和宽度测量过程中存在的误差、叶片烘干和称重过程中存在的误差等。此外,指数函数关系模型中系数 *c* 的取值为经验值。因此,本研究所得出的 *LAI* 与 *NDVI* 经验关系模型还有待于进一步完善。

参考文献:

[1] 赵英时,等. 遥感应用原理分析与方法[M]. 北京: 科学出版

社, 2003.  
[2] Chen J M, Cihlar J. Retrieving Leaf Area Index of Boreal Conifer Forests Using Landsat TM Images[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55: 153 - 162.  
[3] 彭 斌, 张树文. 基于 *NDVI* 和 *LAI* 的水稻生长状况研究[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(1): 12 - 16.  
[4] 方秀琴, 张万昌, 刘三超. 黑河流域叶面积指数的遥感估算[J]. 国土资源遥感, 2004, (1): 27 - 31.  
[5] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.  
[6] Best R G, Harlan J C. Spectral Estimation of Green Leaf Area Index of Oats[J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17: 27 - 36.  
[7] Asrar G, Kanemasu E T. Estimation of Total Above-ground Phytomass Production Using Remotely Sensed Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17: 211 - 220.  
[8] Peterson D L, Spanner M A. Relationship of Thematic Mapper Simulator Data to Leaf Area Index of Temperate Coniferous Forest[J]. Remote Sensing of Environment, 1987, 22: 323 - 341.  
[9] Price J C, Bausch J C. Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-infrared Reflectance Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 52: 55 - 65.  
[10] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 47 - 52.  
[11] 王培娟, 朱启疆, 吴门新, 等. 冬小麦冠层的 FAPAR、*LAI*、*VI*<sub>s</sub> 之间关系的研究[J]. 遥感信息, 2003, (3): 19 - 22.  
[12] 彭 朋, 张树文. 基于 *NDVI* 与 *LAI* 的水稻生长状况研究[J]. 东北测绘, 2002, 25(4): 16 - 19.  
[13] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996.  
[14] 王 璐, 蔺启忠, 贾 东, 等. 多光谱数据定量反演土壤营养元素含量可行性分析[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1822 - 1828.  
[15] Qi J, Kerr Y H. Leaf Area Index Estimates Using Remotely Sensed Data and BRDF Models in a Semiarid Region[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 73: 18 - 30.  
[16] 庄楚强, 何春雄. 应用数理统计基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.  
[17] 曹卫星. 作物学通论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

(下转第 42 页)

(2)研究表明,主成分分析方法对增强巴什布拉克矿区未蚀变红色岩石信息的效果较好,利用混合像元分解方法处理 ASTER 数据,对直接增强研究区白垩系油气还原蚀变信息具有很好的效果。该方法对类似地区开展遥感油气还原蚀变信息增强具有重要参考价值。

(3)分析发现,巴什布拉克矿床所在的北西西向白垩系狭长出露区范围内,西段的油气还原蚀变强烈,中段和东段的油气还原蚀变弱。因此,从铀矿找矿方向的角度看,矿床东侧近距离的外围地区出

现了类似矿区的强烈的遥感油气还原蚀变,是矿区外围铀矿找矿的良好远景区。

#### 参考文献:

- [1] 黄以. 塔里木盆地中新世代红层的次生还原作用与铀矿化[J]. 新疆地质, 1997, 15(1): 84-89.
- [2] 秦明宽, 赵瑞全. 对塔里木盆地巴什布拉克铀矿床成因的新认识[J]. 铀矿地质, 2000, 16(1): 26-30.
- [3] 王润生. 遥感地质技术发展的战略思考[J]. 国土资源遥感, 2008, (1): 1-12.

## THE APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA TO THE EXTRACTION OF REDUCING ALTERATION INFORMATION OF GAS AND OIL IN THE BASHIBALAKE URANIUM ORE DISTRICT

YE Fa-wang, LIU De-chang

(National Key Lab of Remote Sensing Information and Imagery Analysis, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Based on studying spectral characteristics of sandstone that has undergone reducing alteration of gas and oil in the Bashibulake ore district, this paper has dealt with the technologies of reverse enhancement based on ETM data and the direct enhancement based on ASTER data for extracting the reducing alteration information from Cenozoic strata, and analyzed distribution features of the alteration information. It is discovered that the sandstone in the west part of the narrowly-exposed NWW-trending Cenozoic strata has undergone strong reducing alteration of gas and oil, but the middle and east parts have experienced less alteration. The result provides some important information for uranium exploration in the periphery of the Bashibulake uranium ore district.

**Key words:** Bashibulake uranium ore district; Reverse enhancement; Reducing alteration of oil and gas  
第一作者简介: 叶发旺(1974-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事遥感图像处理及应用等研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

=====

(上接第 34 页)

## STATISTICAL RELATIONSHIP BETWEEN LAI INDICES AND CANOPY SPECTRAL DATA OF WINTER WHEAT IN BEIJING AREA

LIU Dong-sheng<sup>1</sup>, LI Shu-min<sup>2</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Agricultural Integrated Development, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Fundamental knowledge is necessary for establishing a statistical model between LAI and vegetable indices to perform the inversion of LAI with remotely sensed data. The authors processed the canopy spectral data of winter wheat in Beijing area obtained by ASD Spectrometer with spectral response function of the TM sensor, and got the canopy NDVI of the wheat. Two different kinds of non-linear statistical data of LAI and NDVI were constructed in this paper. The experimental results show that there exists a close exponent correlation between LAI and NDVI.

**Key words:** Winter wheat; Canopy spectral data; NDVI; LAI

第一作者简介: 刘东升(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事定量遥感研究。

(责任编辑: 李瑜)