

冬小麦叶片叶绿素相对含量遥感估算模型研究

吴素霞^{1,2}, 冯蜀青¹, 毛任钊^{2*}, 侯美亭², 王 波²

(1. 青海省气象科学研究所 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021)

摘 要: 在分析前人对叶绿素含量监测方法不足的基础上, 利用 TM (Thematic Mapper) 遥感影像探讨了估算冬小麦不同生育期叶片叶绿素相对含量的可行性。并基于遥感变量与地面实测叶绿素相对含量的相关关系分析结果, 建立了冬小麦在拔节期和孕穗期叶片叶绿素相对含量的遥感定量估算模型, 为利用遥感技术进行冬小麦的长势监测提供了依据。

关键词: TM; 遥感; 叶绿素相对含量; 冬小麦

中图分类号: S512.1¹⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0137-05

叶绿素含量往往是植物营养胁迫、光合作用能力和发展衰老各阶段的良好指示剂^[1], 利用遥感技术来探测叶绿素含量在农业和自然植物群落研究方面已经受到了很大的关注^[2]。20 世纪 90 年代以来, 国内学者对农田肥水状况的动态监测给予了较多的关注, 在航天、航空遥感数据与地面数据肥水定量关系模型的建立和组分反演方面做了大量的工作, 取得了很大的进展。Curran、Carol、Horler 等总结了通过植物叶片的实验室内光谱测量探测其生理参数的可行性, 先后提出水分及氮、磷、钾在贮备光谱中都有较好的体现^[3~5]。由于上述研究均以干叶作为测试对象, 其结果直接加以推广已被证明是不合理的^[6]。张仁华等^[7]建立了作物叶绿素含量遥感模型, 并被用来估算和监测植被氮素养分动态。但由于植株体内叶绿素与氮素水平之间的相关性表现复杂, 不同的生育时期有不同的适用模型, 因此限制了其在作物养分管理上的应用。贾良良^[8]应用数码相机和航空摄像获取作物冠层图像, 应用数字图像技术与土壤植株测试进行了冬小麦氮营养的诊断, 由于数码相机拍摄和航空摄像获取的地面范围较小, 因而也限制了其在区域尺度的应用。利用遥感监测农作物的叶绿素含量前人主要对水稻进行了研究, 有关冬小麦叶片中的叶绿素含量遥感估测研究开展不够, 并且大都试图建立遥感数据与叶绿素实际含量的关系, 由于实际含量的测定费时费力, 难以达到真正的及时指导农业生产, 为此, 本研究基于地面观测与遥感影像间耦合理论方法, 选用 TM 数据进行了冬小麦叶片叶绿素相对含量在不同生育期的遥感估算。

1 研究区域概况与研究方法

试验在河北省南皮县冯家口镇的农田进行(东经 116°44'28", 北纬 38°15'12"), 该区属海河低平原的滨海与内陆过渡地带, 地势坦平, 海拔高度 7~8 m, 为典型大陆性季风气候, 年均气温 12.3℃, 多年平均降雨量 568 mm, 干燥度 1.4, 春季干旱、少雨。农田土壤亚类为普通潮土, 质地较粘重。农户冬小麦主要品种为“71-3”、“白玉 149”和“石家庄 8 号”, 各地块的播种量、播种日期、底肥基本一致。小麦生长期降水量少, 所需水分主要依靠灌溉。

在麦田连片且休闲地宽度小于 10 m 的农田 (180 m×720 m), 根据 TM 遥感影像的时空分辨率特点, 按 30 m×30 m 为 1 个样方, 东西向连续排列, 南北向间隔 30 m 排列, 共选取样方 100 个, 时间间隔为 16 d, 每次样点的测定都是在卫星过境当天进行, 在一天半之内完成地面数据的测定。其中样方分布见图 1。

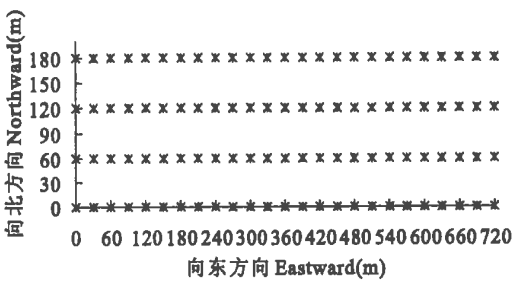


图 1 田间样方中点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling centers

叶绿素相对含量采用便携式叶绿素仪(型号:

收稿日期: 2006-03-06

基金项目: 中科院知识创新项目(KZCX2-405, KZCX3-SW-428)

作者简介: 吴素霞(1978-), 女, 河南新乡人, 助理工程师, 硕士, 从事生态环境遥感的研究。E-mail: sxwu@mails.gucas.ac.cn。

* 通讯作者: 毛任钊, E-mail: r.mao@ms.sjiam.ac.cn。

SPAD—502)测定。该仪器特点在于对植物叶片叶绿素状况进行田间快速无损检测。本研究利用 SPAD—502 叶绿素仪在每个样方测定两组 SPAD 值,取其平均值作为该样方的叶绿素相对含量,前期测定新的完全展开叶,后期测定旗叶,选取距离叶基部 55%处作为测试位点。测定日期为 2004 年 4 月 1 日、4 月 17 日,分别对应冬小麦的拔节期和孕穗期。

2 结果分析

2.1 遥感变量的选取与相关分析

对获得的遥感图像经过校正、配准、增强等处理以备后用。TM432 合成影像可以反映不同地区叶绿素含量的差异,图 2 可以初步看出地面上叶绿素相对含量高的样方在遥感图像上颜色较红,叶绿素相对含量低的样方其颜色发暗或发灰,由此可以初步判定遥感图像与叶绿素相对含量具有相关性。

本研究共选取了 31 个遥感变量,包括除 TM6 外其他各波段的 DN 值(即灰度值)及各波段之间的运算变量、缨帽变化的前三个分量(TC1、TC2、TC3)、主成分分析的前三主成分(PC1、PC2、PC3)等。对研究区内拔节期和孕穗期各样方测得的叶绿素相对含量与遥感变量进行相关分析(表 1),结果表明两个生育期除 TC1 外与其他各变量相关性基本一致;在单波段中与 TM4 波段呈正相关,且都达到了极显著水平,与其他波段均呈负相关,其中与 TM2 波段相关系数最大;与各波段之间的运算变量 $TM4/(TM3 + TM4 + TM5)$ 、 $(TM4 - TM2)/(TM2 + TM3)$ 、 $TM4/TM1$ 、 $TM4/TM2$ 、 RVI 、 $NDVI$ 、 DVI 、 $SAVI(L = 0.75)$ 、 $MSADI$ 呈显著或极显著正相关,与 $TM5/TM4$ 呈极显著负相关;与 TC2、TC3、 $TC2/TC1$ 呈正相关,与 $1/TC2$ 呈负相关;与 PC2 呈正相关,与 PC3 呈负相关。

2.2 叶绿素相对含量遥感模型的建立

在 SPSS 中选取有相关关系的遥感变量作为自变量,以叶绿素相对含量为因变量进行逐步回归,结果见表 2、表 3,所有的模型都通过了 F 检验,达到了极显著水平,模型具有可靠性。

2.3 模型的检验

分别选取 R^2 为最大的回归模型反演研究区的叶绿素相对含量,由于 82 号样方休闲地较多,故剔除该样方,反演值与实测值比较结果见图 3、图 4。4 月 1 日研究区冬小麦叶片叶绿素相对含量反演值与

实测值之间的绝对误差在 -9.66~12.40 之间,平均偏差为 3.23;4 月 17 日反演值与实测值之间的绝对误差在 -8.41~14.66 之间,平均偏差 2.43,模拟精度较好,模型可用。

表 1 SPAD 值与遥感变量相关性分析
Table 1 Correlativity analysis between SPAD

遥感变量 Remote sensing variables	SPAD 值 SPAD values	
	2004 年 04 月 01 日 April 1, 2004	2004 年 04 月 17 日 April 17, 2004
TM1	-0.1018	-0.2829**
TM2	-0.3465**	-0.4170**
TM3	-0.2085*	-0.3739**
TM4	0.3026**	0.2760**
TM5	-0.2792**	-0.2132*
TM7	-0.2279*	-0.2627**
$TM3/(TM1 + TM2 + TM3)$	-0.1536	-0.2954**
$TM4/(TM4 + TM3 + TM5)$	0.3278**	0.3109**
$(TM2 - TM3)/(TM2 + TM3)$	0.0171	0.2335*
$(TM4 - TM2)/(TM2 + TM3)$	0.3735**	0.3797**
$TM4/TM1$	0.2814**	0.3070**
$TM4/TM2$	0.3318**	0.3418**
RVI	0.2539*	0.3122**
NDVI	0.2912**	0.3561**
$TM5/TM4$	-0.3885**	-0.3154**
$TM4 \times TM5/TM3$	0.1676	0.2835**
$TM3 \times TM4/TM2$	0.2979**	0.1269
$TM5 \times TM7/TM3$	-0.2347*	-0.1624
$TM7/TM2$	-0.1424	-0.1683
$TM7/TM3$	-0.1684	-0.0927
TC1	0.0203	-0.2093*
TC2	0.3020**	0.3647**
TC3	0.2828**	0.1970*
$TC2/TC1$	0.2251*	0.3525**
$1/TC2$	-0.3313**	-0.4419**
PC1	-0.1955	-0.2723**
PC2	0.2761**	0.2174*
PC3	-0.3486**	-0.3606**
$SAVI(L = 0.75)$	0.2913**	0.3561**
DVI	0.3019**	0.3596**
MSADI	0.3037**	0.2787**

注: *、** 分别表示在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 水平上显著。
Note: * and ** means difference significance at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

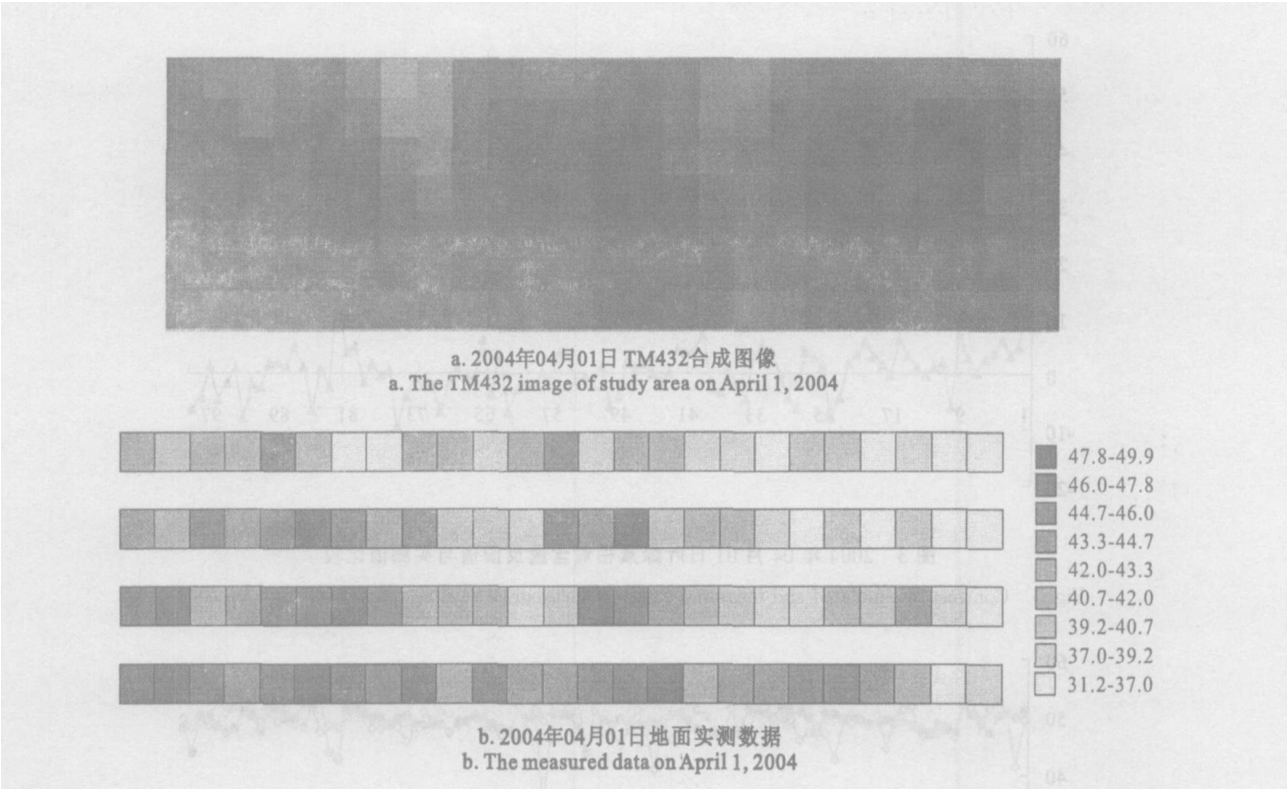


图 2 TM432 合成影像与地面实测叶绿素相对含量的比较
Fig.2 Contrast of TM432 image and measured chlorophyll relative content

表 2 2004 年 04 月 01 日回归模型统计值

Table 2 Statistical values of chlorophyll relative content by regression models on April 1, 2004

模型 Model	公式 Formula	<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整 <i>R</i> ² Adjusted <i>R</i> ²	估计标准误差 Estimate standard error	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著水平 Significant level
1	$SPAD = -21.11 \times TM5 / TM4 + 64.04$	0.3885	0.1509	0.1423	5.4573	17.4207	0.01
2	$SPAD = -269.08 \times TM4 / (TM4 + TM3 + TM5) - 79.73 \times TM5 / TM4 + 224.56$	0.4560	0.2079	0.1916	5.2981	12.7296	0.01
3	$SPAD = 0.56 \times TM5 \times TM7 / TM3 - 533.13 \times TM4 / (TM4 + TM3 + TM5) - 168.13 \times TM5 / TM4 + 385.27$	0.5659	0.3202	0.2990	4.9335	15.0758	0.01
4	$SPAD = -1.18 \times TM2 + 0.60 \times TM5 \times TM7 / TM3 - 584.48 \times TM4 / (TM4 + TM3 + TM5) - 170.88 \times TM5 / TM4 + 448.9$	0.5927	0.3513	0.3240	4.8449	12.8603	0.01

表 3 2004 年 04 月 17 日回归模型统计值

Table 3 Statistical values of chlorophyll relative content by regression models on April 17, 2004

模型 Model	公式 Formula	<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整 <i>R</i> ² Adjusted <i>R</i> ²	估计标准误差 Estimate standard error	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著水平 Significant level
1	$SPAD = -5901 \times 1 / TC2 + 79.11$	0.4419	0.1953	0.1871	4.9420	23.7830	0.01
2	$SPAD = -1.79 \times TC2 - 64932.87 \times 1 / TC2 + 732.29$	0.7232	0.5231	0.5132	3.8242	53.1880	0.01
3	$SPAD = 0.40 \times PC1 - 1.90 \times TC2 - 72331.43 \times 1 / TC2 + 753.59$	0.7551	0.5702	0.5568	3.6491	42.4565	0.01

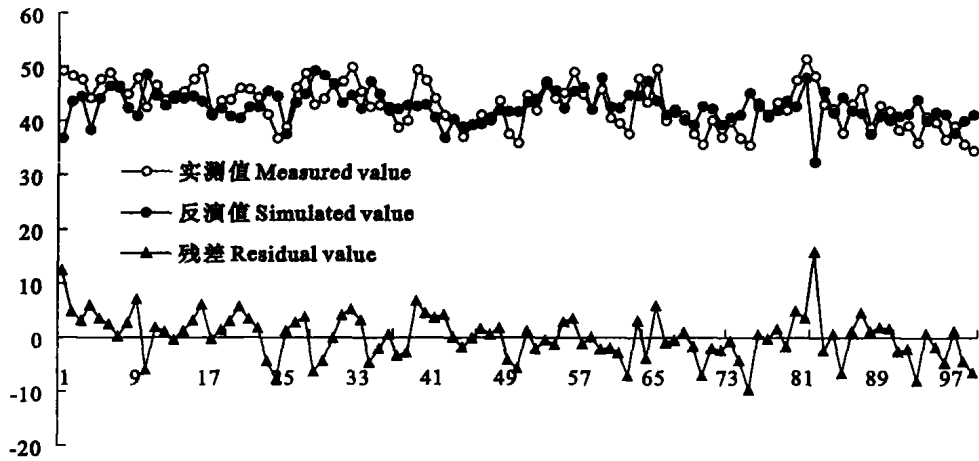


图 3 2004 年 04 月 01 日叶绿素相对含量反演值与实测值比较

Fig.3 Contrast of simulated and measured values of chlorophyll relative content on April 1, 2004

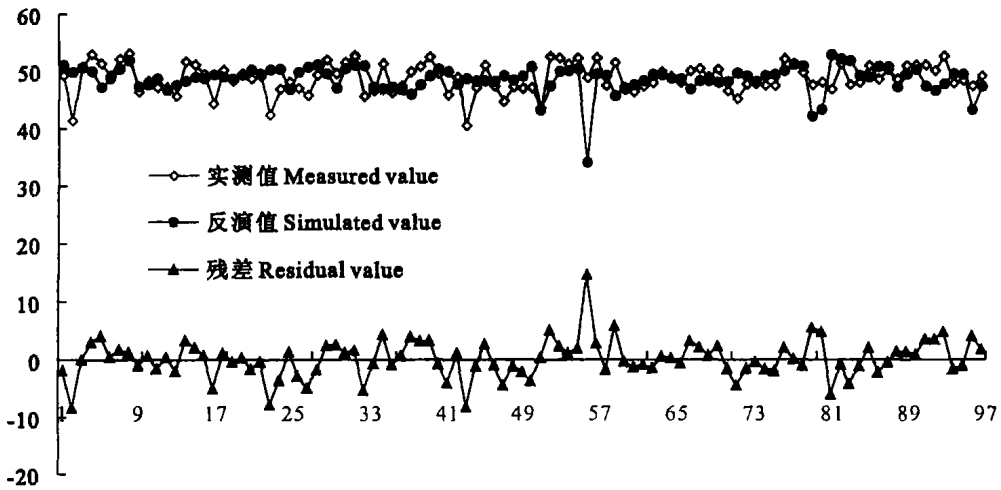


图 4 2004 年 04 月 17 日叶绿素相对含量反演值与实测值比较

Fig.4 Contrast of simulated and measured values of chlorophyll relative content on April 17, 2004

3 结 论

本研究探讨了利用 TM 遥感影像估算冬小麦在拔节期和孕穗期叶片叶绿素相对含量,在所选取的 31 个遥感变量中,两个生育期除 $TC1$ 外与其它各变量相关性基本一致,与 $TM4$, $TM4/(TM4 + TM3 + TM5)$, $(TM4 - TM2)/(TM2 + TM3)$, $TM4/TM1$, $TM4/TM2$, RVI , $NDVI$, $MSADI$, DVI , $TM4 \times TM5/TM3$, $PC2$, $TC2/TC1$, $TC3$, $TC2$, $TM3 \times TM4/TM2$, $SAVI(L = 0.75)$ 等呈显著正相关,与 $TM2$, $TM3$, $TM5$, $TM7$, $PC3$, $1/TC2$, $TM5/TM4$ 等呈显著负相关。通过回归分析,建立了冬小麦在拔节期和孕穗期的遥感估算模型,为利用遥感技术进行冬小麦的长势监测提供了可靠的依据。

参 考 文 献:

- [1] Collins W. Remote sensing of crop type and maturity[J]. Photogram Metric Engineering and Remote Sensing, 1978, 44: 43—45.
- [2] Kuusk A, Zhang R. Monitoring of LAI and chlorophyll content by the inversion of a CR analytical model[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(supplement): 166—170.
- [3] Curran P J. Remote sensing of foliar chemistry[J]. Remote Sensing Environ, 1989, 30: 271—278.
- [4] Carol A W, John D A, David L P. An evaluation of imaging-spectrometry for estimating forest canopy chemistry[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(8): 1293—1316.
- [5] Horler D H, Barber J P, Ferns D C. Red edge measurements for remotely sensing plant chlorophyll content [J]. Advanced Space Research, 1983, 3: 273—277.

(下转第 145 页)

情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420—426.

[13] 青海省质量技术监督局. 青海省地方标准 DB63/T 372, 气象灾害标准[S]. 2001.

[14] 盛绍学, 马晓群. 基于 GIS 的安徽省干旱遥感监测与评估研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 151—157.

Monitoring drought dynamic variation based on temperature vegetation drought index in Qinghai high and cold area

FENG Shu-qing, YIN Qing-jun, XIAO Jian-she, WU Su-xia, XIAO Rui-xiang, SU Wen-jiang, ZHANG Wen-juan
(Qinghai Institute of Meteorology, Xining 810001, China)

Abstract: Normalized Different Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (T_s) were extracted from MODIS data, and were used to construct the NDVI— T_s space, from which the Temperature Vegetation Drought Index (TVDI) was obtained as drought index. The drought dynamic variation for the farming region of east shallow mountain in Qinghai in the first ten-day in July, 2004 was monitored, and compared with the simultaneously measured data of each observatory. The results indicated that it was feasible to monitor the drought dynamic variation in Qinghai high and cold area by using TVDI.

Keywords: Normalized Different Vegetation Index (NDVI); Land Surface Temperature (T_s); Temperature Vegetation Drought Index (TVDI); drought; remote sensing monitoring

(上接第 140 页)

[6] Banninger C. Changes in canopy leaf area index and biochemical constituents of a spruce forest as measured by the AIS—2 Airborne Imaging Spectrometer [J]. Remote Sensing, 1989, 4: 2085—2089.

[7] 张仁华, 孙晓敏, 朱治林. 作物叶绿素含量遥感模型及利用陆地卫星所做的区域二维分布. 植物学报, 1997, 399: 821—825.

[8] 贾良良. 应用数字图像技术与土壤植株测试进行冬小麦氮营养诊断[D]. 北京: 中国农业大学, 2003. 9—20.

The estimating model of chlorophyll relative content in leaves of winter wheat by remote sensing

WU Su-xia^{1,2}, FENG Shu-qing¹, MAO Ren-zhao², HOU Mei-ting², WANG Bo²
(1. Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001, China; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on the analysis of previous methods of monitoring chlorophyll content, this paper discussed the feasibility of estimating chlorophyll relative content in leaves of winter wheat at different stages by using the TM (Thematic Mapper) images. According to the correlativity between remote sensing variables and measured chlorophyll relative content, the mathematical models were established to estimate chlorophyll relative content at heading and booting stages by remote sensing, which laid a foundation for monitoring the growing state of winter wheat by using remote sensing technology.

Keywords: TM(Thematic Mapper); remote sensing; chlorophyll relative content; winter wheat