麦类作物学报 2007,27(3):523 - 527
Journal of Triticeae Crops

基于卫星遥感的冬小麦拔节期长势监测 *

李卫国[1,2],赵春江[2],王纪华[2],刘良云[2],宋晓宇[2]
(1. 江苏省农科院资源与环境所,江苏南京 210014; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心,北京 100089)

摘 要:为给小麦调优栽培提供信息支持,利用卫星影像信息结合地面试验数据,通过分析小麦拔节期叶面积指数、生物量以及植株氮素含量三个群体质量指标与植被指数之间的关系,建立了基于归一化植被指数(*NDVI*)、比值植被指数(*RVI*)的小麦群体质量指标监测模型。结果表明,*NDVI* 与叶面积指数和植株氮素含量呈现显著的正相关关系(R^2 分别为 0.8483 和 0.8238),与地上部生物量间的相关性未达显著水平(R^2 = 0.7746)。*RVI* 与叶面积指数和植株氮素含量呈线性正相关(R^2 = 0.7651 和 R^2 = 0.78),而与地上部生物量呈显著线性正相关(R^2 = 0.8277)。利用不同的试验数据对所建模型进行了检验,监测值与实测值较为吻合,根均方差(*RMSE*)分别为 0.19、106.13 kg·ha^{-1}和 0.136%,显示模型具有较好的监测性和通用性。因此,在拔节期可以利用 *NDVI* 对叶面积指数和植株氮素含量进行监测,对地上部生物量的监测则以利用 *RVI* 数据较好。

关键词:冬小麦;拔节期;TM 影像;监测
中图分类号:S512.1; S311 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-1041(2007)03-0523-05

Monitoring the Growth Condition of Winter Wheat in Jointing Stage Based on Land Sat TM Image

LI Wei-guo[1,2], ZHAO Chun-jiang[2], WANG Ji-hua[2], LIU Liang-yun[2], SONG Xiao-yu[2]
(1. Institute of Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China;
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract: Using TM images and test data, the relationships were analyzed between normalized difference vegetation index (*NDVI*) or ratio vegetation index (*RVI*) and central indexes of colony quality of winter wheat growth condition including leaf area index (*LAI*), plant above-ground biomass weight (*PBW*), plant nitrogen content (*PNC*) during jointing period, then the monitoring equations were established based on relationship among *NDVI*, *RVI* and central indexes of colony quality. The results indicated that *NDVI* was significantly correlated with *LAI* or *PNC* (R^2 = 0.8483, R^2 = 0.8238), not significantly related to *PBW*, and *RVI* was positive linear correlated with *PBW*. (R^2 = 0.8277). The best monitoring equations were selected as $y = 2.2221 \times e^{1.3719\ NDVI}$, $y = 1032.1 \times RVI + 1850.7$ and $y = 4.3469 \times NDVI + 1.4141$, and validated by using the other data sets of *NDVI* and *RVI* during jointing period, with the root mean square error (*RMSE*) of 0.19, 106.13 kg·ha^{-1} and 0.136% for *LAI*, *PBW* and *PNC* in winter wheat, respectively. The monitoring models were accurate and applicable for monitoring growth condition of winter wheat during jointing period under different conditions.

Key words: Winter wheat; TM image; Jointing Stage; Monitoring

* **收稿日期**:2006-10-18 **修回日期**:2007-02-10
基金项目:国家自然基金项目(40571118);江苏省农业科学院基金项目(6110649)。
作者简介:李卫国(1967 -),男,博士,主要从事作物遥感监测、模拟模型和地理信息系统应用研究。
通讯作者:王纪华(1958 -),男,研究员,博士生导师,主要从事农业信息技术研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

冬小麦在起身拔节期,进入了营养生长和生殖生长并进阶段,该阶段的生长发育决定着小麦群体的库源特征,是冬小麦一生中的生长发育关键期,此期对水肥最为敏感。依据实时监测的叶面积、叶色、叶片氮含量或地上部干重等苗情生理与形态指标的异同,对植株长势做出分析预报,实施相应的肥水管理与调控措施,达到优质高产的目的。常规获取小麦苗情长势信息的方法为实地人工或仪器取样调查法,不仅费时、费工,有时还会延误农时,尤其不适合于大面积种植调查。近年来,空间遥感技术以其能快速、准确获取地面植被信息的特点,引起了农业科研人员的极大兴趣,并结合自身研究领域的特点先后开展了相关的应用研究。就小麦而言,围绕植株器官氮含量[1]、籽粒蛋白质含量[2~4]、生育期[5,6]监测等方面,初步开展了一些研究,但从监测预报的范围、精度、时效性、机理性和实用化角度来看,还有待深入研究。有关利用 TM 遥感对小麦拔节期苗情长势进行监测的研究,国内外鲜有报道[7]。本研究拟采用地面 GPS 定位调查、TM 遥感信息解译与植株苗情长势分析相结合的研究方法,研究基于 TM 遥感信息的小麦拔节期苗情长势监测技术,建立小麦苗情长势的遥感监测模型,提出小麦长势遥感监测系列方法,旨在为小麦的拔节期的调优栽培提供信息支持。

1 材料与方法

1.1 试验设计与数据获取

试验一,2005 年在江苏省的泰兴、兴化 2 县设置样点 20 个,每个样点均采用差分 GPS 定点调查和取样。小麦品种为扬麦 11 号、扬麦 15 号、宁麦 9 号 3 个品种,调查内容为拔节期的叶面积指数、生物量、植株含氮量。生物量每点 3 区按 0.5 m ×0.5 m 面积取植株的地上部分,采用 CID-31 型叶面积仪测定叶面积指数;在 105 ℃下杀青 40 min,然后在 80 ℃烘干并称取干重;凯氏定氮法测定植株含氮量。TM 影像数据在 2006 年 3 月 23 日(拔节期)获得。

试验二,2003 年在河南省的西华、淮阳和太康 3 县设置样点 20 个,GPS 样点调查、取样以及分析测试情况同试验一。小麦品种为豫麦 34 号、豫麦 47 号、豫麦 49 号 3 个品种。TM 影像数据在 2004 年 3 月 22 日(拔节期)获得。

1.2 影像数据处理

首先利用 1 ∶100 000 地形图对 TM 影像进行几何纠正,然后再利用地面实测的 GPS 样方控制点对卫星影像进行几何精校正,确保校正误差小于 1 个像素点。

1.3 植被指数计算

植被指数是利用红光波段和近红外波段反射率的多重组合而成的、能反映作物长势、类型以及分布的植被参数,具有较强的植被监测能力。基于 TM 卫星遥感的归一化植被指数(Normalized vegetation index,*NDVI*)和比值植被指数(Ratio vegetation index,*RVI*)的算法分别描述如下:

$$NDVI = (R_{B4} - R_{B3})/(R_{B4} + R_{B3})$$

$$RVI = R_{B4}/R_{B3}$$

式中,R_{B4}为 TM 第 4 通道近红外波段的光谱反射率,R_{B3}为 TM 第 3 通道红光波段的光谱反射率。其具体数值利用 ENVI 软件中的 BAND MATH 模块提取。

1.4 数据利用

以试验一数据为基础,结合拔节期小麦的苗情与长势特点,建立基于植被指数的小麦拔节期长势监测模型。试验二的资料用于对模型的检验。采用观测值与预测值之间的根均方差(*RMSE*)表示模型的监测精度[8],并绘制实测值与监测值之间的 1 ∶1 关系图,来检验监测模型的可靠性。

2 结果与分析

2.1 植株叶面积指数与植被指数的关系

通过分析叶面积指数与植被指数的关系,建立了基于 *NDVI* 和 *RVI* 的叶面积变化的散点图(图 1)。由图 1 可以看出,小麦拔节期的叶面积指数大多数集中在 3.7～4.4 之间,样点间差异明显,说明小麦样点间苗情长势不尽相同。同期 TM 影像的 *NDVI* 值也较大,多数样点在 0.39～0.49 之间,存在明显差异态势。*NDVI* 和小麦拔节期叶面积指数之间的相关性较好,呈现显著的指数正相关关系,拟合方程为 $y = 2.2221 \times e^{1.3719}$,决定系数为 0.8483。图 1B 为 *RVI* 与小麦拔节期叶面积指数之间的关系图,可以看出,多数样点的遥感影像的 *RVI* 值集中在 2.4～3.3 之间,样点存在较大差异。*RVI* 与小麦抽穗期的叶面积指数之间呈现线性正相关关系,拟合方程为 $y = 0.528 \times RVI + 2.5639$,决定系数为0.7651,相

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关性较 *NDVI* 小。因此,在对小麦拔节期的叶面积指数变化动态进行监测时,应使用遥感影像的 *NDVI* 数据及相应模型。

2.2　植株地上部生物量与植被指数的关系

图 2 是小麦地上部生物量与 *NDVI* 和 *RVI* 之间关系的散点图。由图 2A 可以看出,小麦拔节阶段地上部生物量主要集中在 4 200 ～5 200 kg ·ha^{-1}范围内,样点间存在明显差异,变幅约达 25 %,表明小麦群体大小存在明显差异。与同期 TM 影像的 *NDVI* 之间呈指数正相关关系,即随着 *NDVI* 值的增大,地上部生物量增加,反之,则生物量减少。二者之间的拟合方程为 $y = 1900.1 \times e^{2.091NDVI}$,决定系数达 0.7746。图 2D 为 *RVI* 和小麦地上部生物量之间的关系图,地上部生物量随 *RVI* 呈现显著线性正相关的变化趋势,线性拟合方程为 $y = 1032.1 \times RVI + 1850.7$,决定系数为 0.8277。与 *NDVI* 相比,*RVI* 具有明显的监测优势。因此,在对小麦拔节期地上部生物量进行监测时,利用 TM 影像的 *RVI* 数据及其模型比较好。

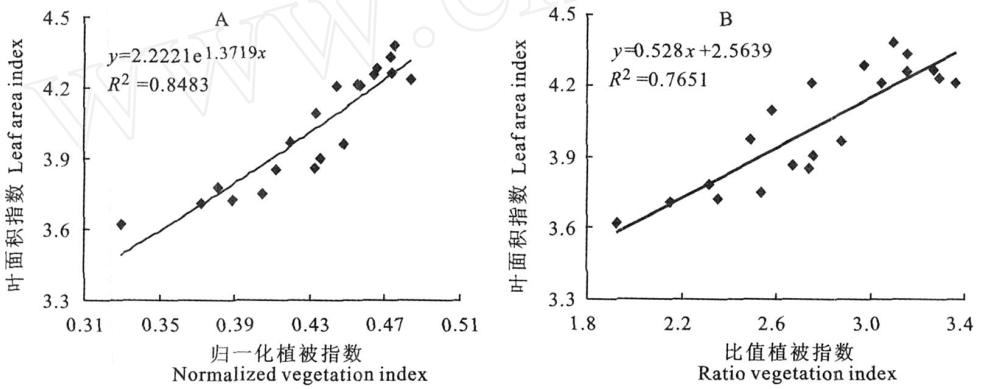


图 1　拔节期叶面积指数与 NDVI(A)和 RVI(B)植被指数的关系

Fig. 1　Relationship between leaf area index and NDVI(A), RVI(B) in jointing stage

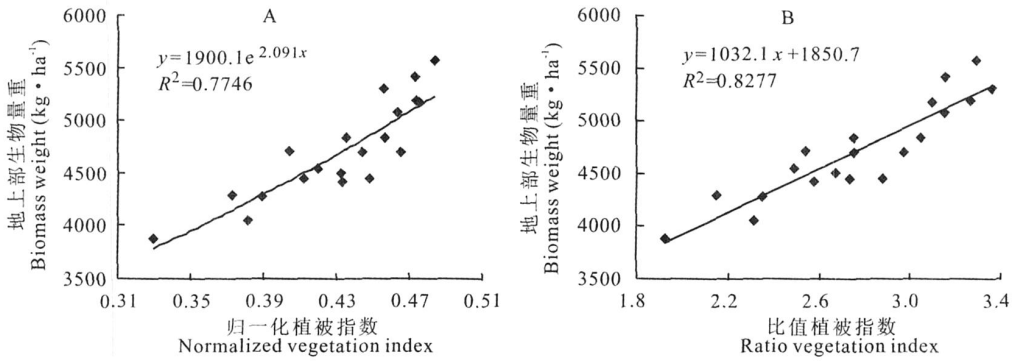


图 2　拔节期地上部生物量与 NDVI(A)和 RVI(B)植被指数的关系

Fig. 2　Relationship between above-ground biomass weight and NDVI(A), RVI(B) in jointing stage

2.3　植株氮素含量与植被指数的关系

分析拔节期间的小麦植株氮素含量与植被指数间的关系,分别建立了基于 *NDVI* 和 *RVI* 的拔节期的植株氮素含量变化的散点图(图 3A 和图 3B)。由图 3 可以看出,拔节阶段的植株氮素含量集中在 3.1 %～3.5 %之间,变异幅度明显,显示植株营养水平地区间差异较大。与同期影像的 *NDVI* 值之间呈现显著线性正相关关系,即随着 *NDVI* 的增大或减少,植株氮素含量呈现明显提高或降低的趋势。二者之间的拟合方程为 $y = 4.3469 \times NDVI + 1.4141$,决定系数为 0.8238,达显著水平。与同期影像的 *NDVI* 不同,*RVI* 值与植株氮素含量之间呈现一般的线性正相关关系,二者之间的拟合方程为 $y = 0.4285 \times RVI + 2.1051$,决定系数为 0.78。因此,在对小麦拔节期植株氮素含量进行监测时,应选用 TM 影像的 ND*RVI* 数据及其相应的模型。

2.4　基于植被指数小麦群体质量指标监测模型

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的验证

利用2003年河南省的试验数据对小麦拔节期的基于 $NDVI$ 的叶面积指数和植株氮素含量监测模型($y = 2.2221 \times e^{1.3719NDVI}$, $y = 4.3469 \times NDVI + 1.4141$)、基于 RVI 的地上部生物量模型监测($y = 1032.1 \times RVI + 1850.7$)进行了进一步检验。图3为河南省小麦拔节期3个小麦群体质量指标实测值与监测值之间的1∶1关系图,从中可以看出,叶面积指数、地上部生物量和植株氮素含量分别集中在3.2～4.1、3 700～4 400 kg·ha^{-1}和2.8%～3.2%范围内,与江苏小麦存在地域间的差异。叶面积指数(图4A)、地上部生物量(图4B)和植株氮素含量(图4C)的监测值与实测值之间较为吻合,$RMSE$ 值分别为0.19、106.13 kg·ha^{-1}和0.136%,表明模型具有较好的监测性和通用性。

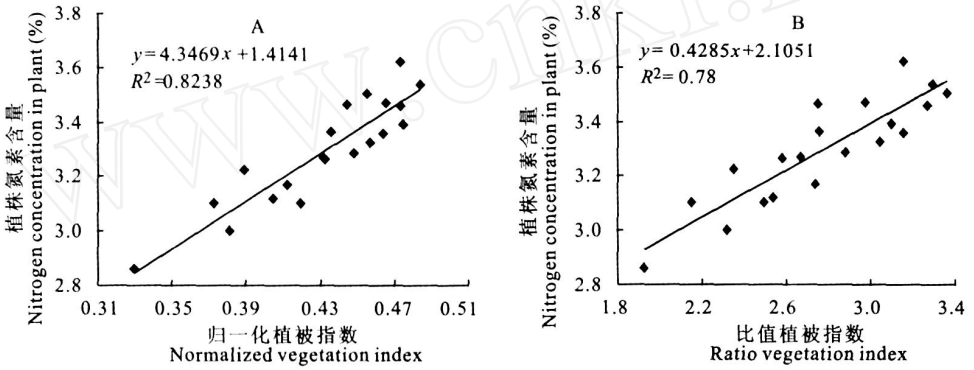


图3 拔节期植株含氮量与NDVI(A)和RVI(B)植被指数的关系

Fig. 3 Relationship between plant nitrogen concentration and NDVI(A), RVI(B) in jointing stage

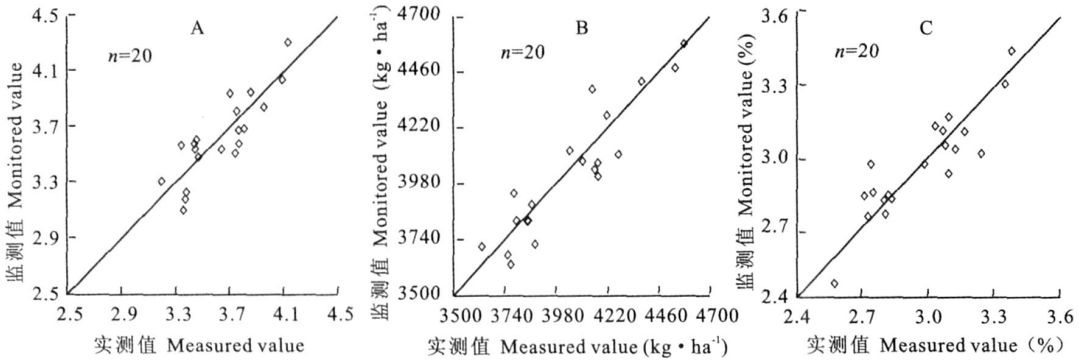


图4 拔节期冬小麦LAI(A)、生物量(B)和植株氮素含量(C)监测值与模拟值的比较

Fig. 4 Comparison of monitored with measured LAI(A), above-ground biomass weight(B) and plant nitrogen contents(C) of winter wheat during jointing stage

3 讨 论

目前,有关利用遥感技术监测冬小麦长势的研究报道中,以地面高光谱监测应用研究的居多[7,9～11]。地面高光谱监测虽然具有机理性和精确性好的特点,但其使用时费工、费时,不太适合小麦大范围的长势监测。而高空遥感凭借其可以快速、精确、大范围地获取地物信息的优势,已成为当今作物种植面积量算和长势监测的主要依托技术。在小麦长势监测研究中,不乏有使用NOAA-AVHR(分辨率1.1 km)和REOS-MODIS(分辨率250 km)影像者[5,12],这些影像虽具有光谱信息量大、时间分辨率低、价格低廉的优点,但它们较低的空间分辨率仍不能满足对于地形复杂、耕作制度异样地区的小麦长势监测要求。

本文采用空间分辨率为30 m的TM遥感影像,在分析叶面积指数(LAI)、地上部生物量以及植株氮素含量三个小麦群体质量指标与植被指数关系的基础上,建立了基于 $NDVI$ 和 RVI 的小麦拔节期苗情长势监测模型,并利用不同的试验数据分别对模型进行了检验与分析。结果表明,$NDVI$ 与小麦的 LAI 和植株氮素含量呈现显著

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的正相关系,与地上部生物量的关系不显著。而 *RVI* 只与小麦的地上部生物量之间为显著的正相关系。利用不同的试验资料对所提出的模型进行了检验,监测值与实测值较为一致, *RMSE* 值分别为 0.19、106.13 kg ·ha^{-1}和 0.136 %,表明模型可以对不同区域的小麦拔节期长势进行监测。

在不同年份、不同区域,冬小麦的长势有所不同,其原因除受基因型决定外,气候[13,14]、环境条件[15~17]具有明显的调控作用。利用 TM 影像快速监测(反演)田间小麦长势动态指标,并与当年适宜长势指标进行比较,分析造成小麦长势差异的原因,及时采取施肥、灌水、中耕、化控等各种有效措施,使因管理不当或自然灾害造成的损失减少到最低程度,最终可达到稳产或高产的目的。

参考文献:

[1]Dennis L, Wright Jr, V Philip Rasmussen Jr. Managing protein in hard red spring wheat with remote sensing[R]. The 6th Annual National Wheat Industry Research Forum, Hyatt Regency Albuquerque, New Mexico,2003.

[2] Badri B Basnet, Armando A ApanC, Rob M Kelly. Relating satellite imagery with grain protein content[J]. Proceedings of the Spatial Sciences Conference, 2003, 9: 22 - 27.

[3] Zhao C J, Liu L Y, Wang J H. Predicting grain protein content of winter wheat using remote sensing data based on nitrogen status and water stress[J]. International Journal of Earth Observation and Geoinformation, 2005, 7(1): 1 - 9.

[4] Liu L Y, Wang J H, Bao Y S, *et al*. Predicting winter wheat condition, grain yield and protein content using multi-temporal EnviSat-ASAR and Landsat TM satellite images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(4): 737 - 753.

[5] 辛景峰, 宇振荣. 利用 NOAA *NDVI* 数据集监测冬小麦生育期的研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 442 - 447.

[6] 刘良云, 赵春江, 王纪华, 等. 冬小麦播期的卫星遥感及应用[J]. 遥感信息, 2005, 1: 28 - 31.

[7] 梁红霞, 马友华 黄文江, 等.基于遥感数据的冬小麦长势监测和变量施肥研究进展[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(3): 119 - 124.

[8] 李卫国, 朱 艳, 戴廷波, 等. 水稻直链淀粉含量的生态模型研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 491 - 495.

[9] 王纪华, 黄文江, 赵春江. 利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(4): 277 - 284.

[10] 黄文江, 王纪华, 刘良云, 等. 冬小麦品质的影响因素及高光谱遥感监测方法[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(3): 143 - 148.

[11] 李映雪, 朱艳, 曹卫星. 不同施氮条件下小麦冠层的高光谱和多光谱反射特征[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 103 - 108.

[12] 张　霞, 张　兵, 卫 征, 等. MODIS 光谱指数监测小麦长势变化研究[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(4): 420 - 424.

[13] 李向阳, 朱云集, 郭天财. 不同小麦基因型灌浆期冠层和叶面温度与产量和品质关系的初步分析[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(2): 88 - 91.

[14] 曹广才, 吴东兵, 陈贺芹. 温度和日照与春小麦品质的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 663 - 669.

[15] 陈力平, 王正银, 黄　云, 等. 土壤性状和营养物质对小麦品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24 (4): 143 - 146.

[16] 王 浩, 马艳明, 宁堂原, 等. 不同土壤类型对优质小麦品质及产量的影响[J]. 石河子大学学报, 2006, 24(1): 75 - 78.

[17] 沈建辉, 戴廷波, 荆　奇. 施氮时期对专用小麦干物质和氮素积累、运转及产量和蛋白质含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(1): 55 - 58.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net