

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2011.01175

# 基于多年 MODIS NDVI 分级的河北平原农田生产力评价\*

王蕊<sup>1,2</sup> 李红军<sup>1</sup> 雷玉平<sup>1\*\*</sup>

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘 要** 根据中等分辨率航天成像光谱仪(MODIS)遥感数据计算的归一化植被指数(*NDVI*)被广泛用于作物长势监测和产量预报,但由于 *NDVI* 数值在不同年份的同一时期变化较大,直接用于评价农田生产力会有较大误差。本文以河北平原所在的北纬 37°~39°之间连续种植的冬小麦农田为研究区域,通过对多年冬小麦 MODIS *NDVI* 数据进行比较和分级,尝试用每季 *NDVI* 在区域内的高低级别评估区域农田生产力。Landsat 卫星数据用于对不同时相 MODIS 图像进行精确配准,从而实现像素尺度上长时间序列数据的统计分析。首先,对区域内 2000~2008 年间每年作物返青期到成熟期的 *NDVI* 平均值及各生育阶段 *NDVI* 平均值分别进行高低分级,以了解河北平原农田生产力的空间变异,结果显示其中高水平农田分布在太行山山前平原,指数等级水平并没有完全按南北走向趋势分布,表明该研究方法受纬度差异的影响较小。不同年份分析结果显示,2008 年东部地区也出现了较高等级的田块。其次,利用 *NDVI* 分级结果计算出 9 年间 *NDVI* 等级的变异系数,对采用不同生育期 *NDVI* 可能带来的误差进行了分析,结果显示不同小麦生育期 *NDVI* 等级的变异系数不同,返青期和成熟期变异系数较大,且具有一定的地理差异。最后,利用 GIS 空间分析方法以 9 年 *NDVI* 分级结果为基础制作了以县为单元的麦田生产力等级图,结果显示河北平原农田生产力高低分区,同时也表明中低水平区域有较大提升空间,为河北县级土地管理和耕地质量管理提供理论依据。

**关键词** 河北平原 农田生产力 MODIS 归一化植被指数(*NDVI*) 冬小麦

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2011)05-1175-07

## Evaluation of cropland productivity in the Hebei Plain via graded multi-year MODIS-NDVI data

WANG Rui<sup>1,2</sup>, LI Hong-Jun<sup>1</sup>, LEI Yu-Ping<sup>1</sup>

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Moderate resolution imaging spectroradiometer sensor (MODIS) provides high-temporal, medium-spatial resolution science-quality global land cover data. Calculated normalized differential vegetation index (*NDVI*) from MODIS data is widely used for crop growth monitoring and yield forecasting. However, variations of *NDVI* values in the same season of each year lead to uncertainties and biases in forecasting cropland productivity. This study presented a method for evaluating cropland productivity and indirect monitoring of soil quality, using annual *NDVI* calculated from multi-year MODIS data in the Hebei Plain. Calibrated Landsat data with high spatial resolution were used to process geometric registration of the MODIS data. This was used to determine the exact region with continuous winter wheat cultivation for many years in the plain. Mean *NDVI* of winter wheat cultivated area from reviving to maturity stage was calculated for 2000~2008 and ranked into different levels in order to analyze for spatial variations in farmland productivity. The study showed that while high productivity croplands were mainly located in the piedmont of Mount Taihang, medium or low productivity croplands were in the central and eastern regions of the plain. Longitudinal change in *NDVI* was not regular, indicating that the method used was not affected by latitude difference. The distribution pattern was driven by variations

\* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-449)和国家自然科学基金项目(40971025)资助

\*\* 通讯作者: 雷玉平(1964~), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为区域蒸散模拟与生态水文。E-mail: leiyp@sjziam.ac.cn  
王蕊(1987~), 女, 硕士研究生, 研究方向为 3S 技术与流域水量水质模拟。E-mail: rui0217@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011-04-18 接受日期: 2011-07-13

in local land use types and cropland quality management. The study also analyzed the causes of biases in the coefficient of variation for the 9-year *NDVI* data. The analysis showed that the coefficient of variation was relatively high during the reviving and maturity stages of winter wheat, with also spatial differences. Combined geo-spatial and *NDVI* analysis was used to map cropland productivity at county level. The map showed spatial differences in productivity with huge potential croplands where low/medium productivity was located at. The study therefore laid the theory basis for land control and cropland quality management in Hebei Province, which could be vital for improving cropland quality at county level.

**Key words** Hebei Plain, Crop land productivity, MODIS, *NDVI*, Winter wheat

(Received Apr. 18, 2011; accepted Jul. 13, 2011)

以取样为基础的土壤质量评估, 由于成本高、测试周期长, 目前还无法在大区域进行高时空分辨率的动态监测。近几年来, 利用以卫星数据为主的遥感技术通过地表反射率反演地表特征及土壤质量信息的方法在国内外得到应用<sup>[1-4]</sup>, 但由于地表覆被时空变化复杂, 提高土壤质量的反演精度较为困难。虽然遥感技术不能直接对土壤质量进行监测, 但作物长势和产量水平与土壤质量是密切相关的, 因此利用遥感数据监测区域作物长势和产量水平可以评估农田生产力, 从而间接评价土壤质量。有研究表明在特定施肥条件和作物长势水平下的遥感归一化植被指数(*NDVI*)能够反映土壤硝态氮含量等重要土壤质量指标<sup>[5]</sup>。由于作物长势较土地质量变化更剧烈, 同时作物当季水肥管理措施是影响作物长势的主要因素, 也是比土壤质量更直接的因素, 因此用长期的作物长势水平来评价农田生产力结果更加可靠。

遥感数据能够及时连续提供较大范围空间地表特征信息, 被广泛用于土地覆被分类, 尤其是根据具有较高时间分辨率和中等空间分辨率的 MODIS 计算的 *NDVI* 数据, 能够通过作物在整个生长季的 *NDVI* 变化来反映植被物候变化, 从而区分不同土地覆被类型<sup>[6-7]</sup>。有许多研究表明 *NDVI* 与叶面积指数 (leaf area index, *LAI*) 等植被参数有关。张仁华<sup>[8]</sup>在 15 m 塔上垂直向下测量小麦全生育期的 *NDVI* 和比值植被指数 (ratio vegetation index, *RVI*), 并同地面所测得的叶面积指数进行全程对比, 结果证明, *NDVI* 与 *RVI* 表达叶面积指数 *LAI* 的效果基本一致。代辉等<sup>[9]</sup>在中国科学院栾城农业生态系统试验站 (简称栾城试验站) 测定冬小麦多项生物物理和生物化学参数, 并分析了其与高光谱变量的相关性, 分析结果显示由面积系数法测的 *LAI* 和 *NDVI* 具有很好的相关性, 而且拟合模型以多项式最佳, 相关系数高达 0.859 7, 但 *NDVI* 曲线与冬小麦生长环境也密切相关。赵英时<sup>[10]</sup>利用 *NDVI* 与时间 2 个变量组成绿度曲线 (主指 *NDVI* 曲线) 来模拟冬小麦生长发展全过程, 结果显示冬小麦越冬后随返青-拔节-孕穗期的推移, 绿度值逐渐上升。其中孕穗期绿度值升至最

高, 乳熟变黄期, 绿度陡然下降。

此外, 近十几年内, 遥感技术已广泛用于区域监测作物生长状态和预测作物产量的研究。最传统的方法是用经验统计回归模型<sup>[11]</sup>, 即利用特定时期的 *NDVI* 与作物产量的相关性。Ren 等<sup>[12]</sup>利用小麦生长季不同时期的 *NDVI* 进行的研究结果表明, 4 月中旬由 MODIS 获得的 *NDVI* 可用于估产。宋文冲等<sup>[13]</sup>在栾城试验站用 GreenSeeker 地面主动遥感高光谱仪器测定不同氮素水平下冬小麦生育期的各个参数, 并给出冬小麦生长季 *NDVI* 随时间变化的曲线, 通过分析验证了 *NDVI* 可以进行作物长势监测和作物估产。但由于遥感 *NDVI* 的数值受气候条件的影响, 在不同年份的同一季节内变化较大, 直接用于区域农田生产力监测可能有较大误差。本研究运用多年 MODIS 数据对河北平原所在北纬 37°~39°区域进行土地利用分类, 得到连续种植冬小麦的农田, 并对作物生长期 MODIS *NDVI* 进行分级和时空变异分析, 利用 GIS 空间分析方法将分级结果制成以县域为单元的麦田生产力等级图。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

河北平原位于中国第二大平原——华北平原北部, 大部分土地在河北省境内。平原位于太行山山前, 东经 114°12'21"~119°0'0", 北纬 36°56'0"~39°0'0"。平原地势低平, 大部分海拔在 150 m 以下, 包括山前河北省石家庄市和保定市的 108 个县市, 是华北平原典型的高产区域。年太阳总辐射量达 4 974~5 966 MJ·m<sup>-2</sup>, 年日照时数 2 500~3 063 h, 全年 ≥10 °C 的日数为 100~210 d, 积温达 1 600~4 600 °C, 多年平均降水量为 530 mm, 多集中在 6~9 月份。冬小麦-夏玉米轮作为典型的种植结构。在河北平原, 冬小麦生长季为头年的 10 月~次年的 6 月初, 生长期间降水较少, 春季降水多年平均为 66 mm。相反, 夏玉米生长期间雨热同期, 降水量集中, 土壤墒情较高, 夏玉米产量对耕地质量的依赖性远不及冬小麦, 因此只利用冬小麦的长势反映山前平原耕地生产力变化。为了分析不同地理位置空间差异对 MODIS *NDVI*

反演的农田生产力的影响, 本研究在计算 *NDVI* 等级时将区域定位为北纬 37°~39°的河北平原和部分山东省平原地区(图 2), 覆盖面积为 75 000 hm<sup>2</sup>。

## 1.2 数据采集

MODIS 数据提供高时间分辨率(1~2 d)、中等空间分辨率(250 m)的全球地表覆盖信息, 而且所有 MODIS 数据可以免费获取, 为大范围土地覆盖时空变化监测提供可能。本研究选用 MODIS 1B 产品中的 MOD02QKM 数据, 该数据包括可见红光(620~670 nm)和近红外(841~876 nm)2 个波段的地表反射值。经检查确定 2000~2008 年冬小麦生长关键时期(3 月 1 日~6 月 10 日)无云的所有数据共有 68 景。由于河北平原农区土地利用类型中农田比例最大, 其次为村庄, 约占总面积的 10%。平原内村庄密度很高, 平均每平方公里有约 0.4 个村庄, 多数村庄居住区面积<0.3 km<sup>2</sup>, 因此仅用 250 m 分辨率的 MODIS 数据, 分类时会有较大误差。Landsat 数据虽然时间尺度分辨率低, 但空间分辨率可达 30 m, 因此可用于确定面积变化很缓慢的村庄边界。2000~2008 年间, 除 2007 年外, 每年在冬小麦生长季节都有一景 Landsat 数据, 其中 2003 年之前的数据为 Landsat7, 之后的为 Landsat5, 研究选用此时期内的 Landsat 数据。Landsat 数据经过大气纠正、辐射定标、图像配准、图像裁剪和图像镶嵌等处理过程。MODIS 数据处理主要包括图像的裁剪、大气纠正、几何纠正、定义投影、去蝴蝶效应和图像配准等。由于观测角度等影响, MODIS 数据每景影像在像元水平并不完全匹配, 而且 MODIS 区分的村庄与 TM 所获得村庄像元位置存在差异, 即 MODIS 获得的村庄相对 TM 而言向下偏移多个像元。为了实现多年多幅影像之间匹配, 本研究以与数字地图完全配准的 TM 数据获得的村庄为依据, 对 MODIS 数据的像元进行匹配, 以确保类似于村庄的固定地物在每一

景影像中都固定在一个位置。同时为了保证多年间图像完全匹配, 将误差减少到最小, 本研究将 250 m 的像元重采样为 4 个与原像元同值、分辨率为 125 m 的像元以方便移动。最终确保 TM 和 MODIS 两种数据源的村庄像元重叠的很好。

## 1.3 冬小麦田 *NDVI* 分级

*NDVI* 通过植被冠层近红外波段的高反射和可见光红波段的强吸收反映作物叶绿素含量的变化, 很多研究将 *NDVI* 作为绿度指数描述植被的覆盖程度和生长阶段<sup>[14]</sup>。*NDVI* 计算公式如下:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

式中, *NDVI* 为归一化植被指数,  $\rho_{NIR}$  为近红外波段反射光谱值,  $\rho_{RED}$  为红波段反射光谱值。

河北平原冬小麦生长期为 10 月初~次年 6 月初。图 1a 为 2007 年 10 月 14 日~2008 年 6 月 11 日麦田 *NDVI* 时间变化序列。从图上可以看出 *NDVI* 曲线分为 3 个部分, 即稳定期(10 月~次年 3 月中旬)、上升期(3 月中旬~5 月初)和下降期(5 月初~6 月初)。其中, 2 月底冬小麦返青, *NDVI* 开始上升; 从 3 月中旬起, 起身期、拔节期和孕穗期 *NDVI* 快速增加, 研究区内 *NDVI* 平均值由 0.2 升至 0.8, 在 5 月中旬的抽穗期和灌浆期达到最高并在一定时间内保持稳定; 随后冬小麦逐渐成熟, 叶绿素含量减低, 叶子变黄, *NDVI* 急剧下降并在 6 月份收获期降至最低。

不同生产力水平麦田的 *NDVI* 变化趋势有所不同, 以 2008 年为例, 选择研究区内高、中、低 3 个生产力水平的典型麦田区的 *NDVI* 值进行对比分析。由图 1b 可以看出在 3 月上旬冬小麦返青时期不同级别麦田的 *NDVI* 值没有较大区别, 但到 3 月下旬, 高生产力水平麦田的 *NDVI* 则以较大斜率快速上升, 在 4 月上旬已明显高于中、低水平麦田, 并在 4 月中旬达到最大且保持稳定, 这一时间比中低级别提早 20 d。中、低水平麦田 *NDVI* 增加趋势相近, *NDVI*

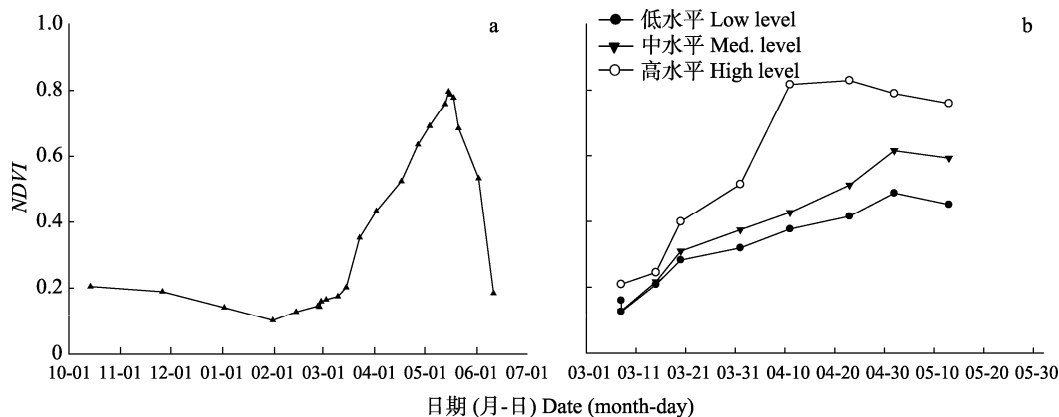


图 1 2007~2008 年研究区冬小麦田整个生长季(a)和不同生产力水平冬小麦麦田生长关键期(b)*NDVI* 时间序列

Fig. 1 *NDVI* time series of winter wheat field during 2007~2008 growing season (a), and of winter wheat fields at main growth period with three productivity levels (b) in the study area

增加速度较高水平麦田慢,但持续时间较长, $NDVI$ 到5月初才到达峰值。由于冬小麦 $NDVI$ 快速变化期为3月中旬到5月中旬,因此计算分析此间的 $NDVI$ 值变化可以监测到由于农田的生产力水平不同导致的作物长势差异。

在遥感软件平台上运用IDL(interactive data language)语言对冬小麦农田像元进行计算分析,主要包括5个步骤:(1)将冬小麦田 $NDVI$ 值等面积分为高、较高、中、较低和低5个级别,5个级别在栅格文件中的值由低等级到高等级分别为1.5、3.5、5.5、7.5和9.5;(2)对每年冬小麦主要生长期(3月15日~5月20日) $NDVI$ 分级结果进行统计分析,计算各像素的栅格值年内不同时期的变异系数;(3)计算9年中各生育期的分级结果,获得不同年间同一生育期间的 $NDVI$ 级别的变异系数;(4)对每年冬小麦主要生长期的 $NDVI$ 进行求均值运算,计算年内关键生长期 $NDVI$ 总和及均值;(5)对年内冬小麦生长关键时期 $NDVI$ 均值本身进行统计分析,计算变异系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 年平均 $NDVI$ 级别空间分布

各年的冬小麦生长关键期的 $NDVI$ 平均值能够反映当季作物的长势,将 $NDVI$ 等面积划分为5个等级可以描述每年作物长势差别的空间分布,如果将多年等级进行平均,其水平则表示农田长期的生产

力水平,比单季节的指标更能反映土壤质量和管理水平。图2为研究区内2000~2008年多年 $NDVI$ 等级平均值。图中高指数水平是长势最好的级别,低指数水平是长势最差的级别。从图上可以清楚地看出多年冬小麦长势分布情况,总体趋势为 $NDVI$ 高水平农田大多分布在山前平原和东南部山东省境内一些区域,而等级较低的农田多分布在研究区域中部和东部,另外在东南部河北省与山东省接壤处存在高-中-低等级交叉分布区。由于研究区域南北跨越2个纬度,因此 $38^{\circ}$ 以北部分农田作物生长比 $38^{\circ}$ 以南会有约1~5 d滞后,但由于分级的数据主要是在作物拔节期后,此时的纬度差异引起的 $NDVI$ 值差别较小。在山东省的部分,最南部的东经 $118^{\circ}$ 附近(恒台县)及 $117^{\circ}$ 附近(禹城市)是2个高等级区块,本研究发现处于这2个高等级区块的邹平县部分都在中级以下。同是在太行山山前平原,保定市以北的研究区最北部分(徐水县、容城县)仍有指数高水平 and 较高水平的农田。指数等级水平并没有完全按南北走向趋势分布,表明该研究方法受纬度差异的影响较小,能较可靠地反映农田作物的长势。

图3为研究期间河北省部分首年、中间年及末年3个年份的指数分级分布。从图中可以看出2000年至2008年的9年间 $NDVI$ 级别空间分布一直是西高东低的格局。从2000年开始高水平 and 较高水平的农田主要分布在保定、石家庄和邢台3市所属的太行山山前平原部分,到2008年的格局未变。虽然东

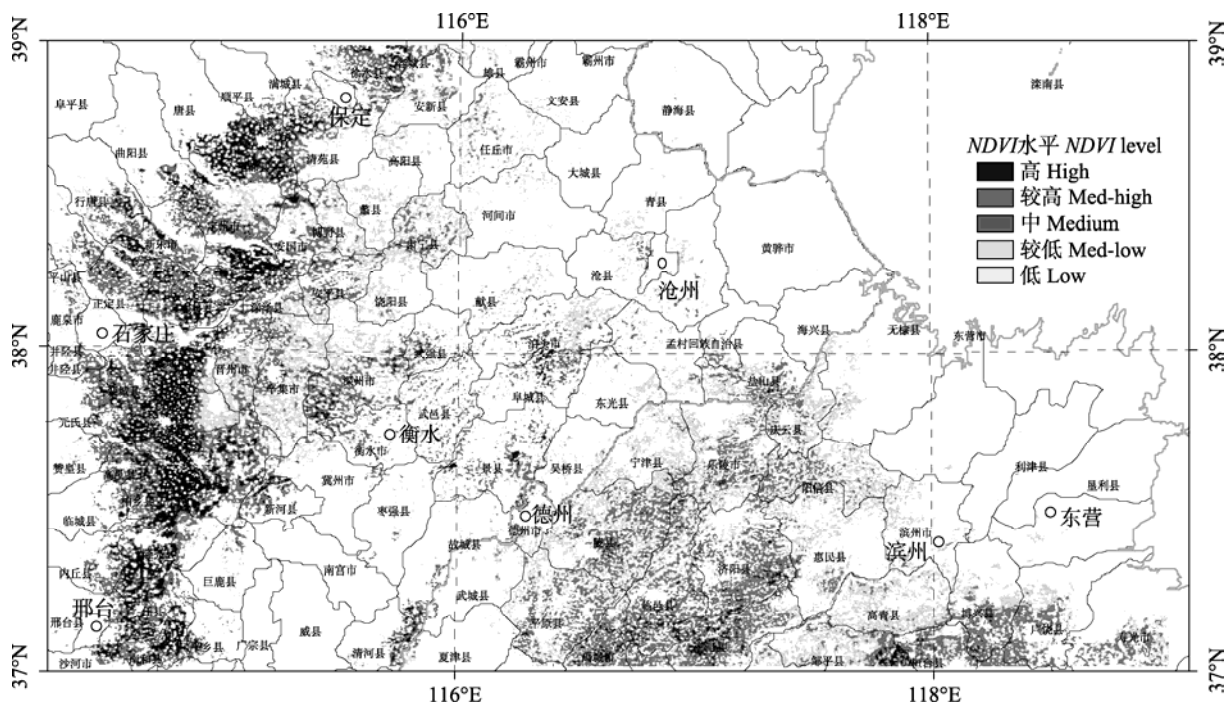


图2 2000~2008年北纬 $37^{\circ}$ ~ $39^{\circ}$ 之间冬小麦主要生长期 $NDVI$ 分级情况

Fig. 2  $NDVI$  classification of winter wheat in main growing season from 2000 to 2008 in the region between  $37^{\circ}$  to  $39^{\circ}$  of northern latitude

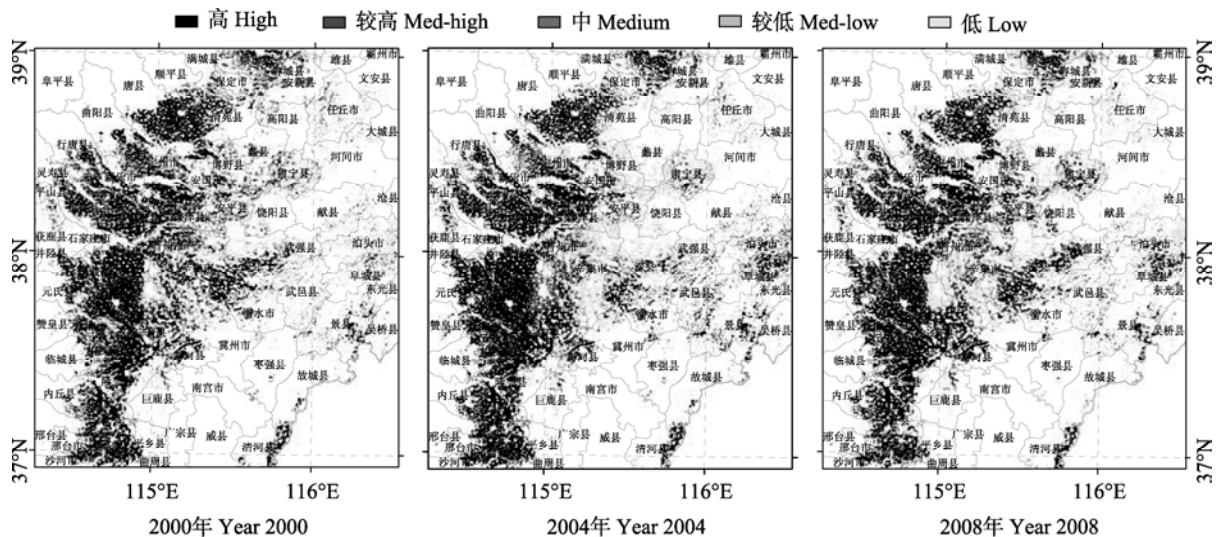


图3 河北平原冬小麦农田生长季节 *NDVI* 分级单年平均结果

Fig. 3 *NDVI* classification of winter wheat in main growing season in different years in the Hebei Plain

西两部分的格局很明显,但这种格局的形成并不是地理位置本身造成的。图3显示在接近东经116°的清河与固城接壤部分存在较高等级的田块;位于38°最东的泊头、阜城部分2000年农田等级较低,但在2004年和2008年都出现了较高等级的农田,这些变化是从2001年开始的一些零星分布逐渐扩大到之后的成小块状分布。

## 2.2 年平均 *NDVI* 级别时间变异

对9年的农田 *NDVI* 等级变异系数进行逐年比较分析(图4)发现,农田所处等级的年间变化较小,大多数的年变化等级都在1级(1级代表增减较少)。图4所显示的变异系数是指被分级的冬小麦农田像素9年等级值(5个等级从低到高分别取值1.5、3.5、5.5、7.5和9.5)的标准差与平均值的比。将不同年份冬小麦生长关键时期的 *NDVI* 等级从3月15日开始、以15 d为步长进行统计分析,并对不同年间每个时期进行相关分析,可获得研究区域多年冬小麦不同生长时期之间的长势变化监测,变异系数越大,说明不同年份同一时期的长势差异越大,否则表明长势在多年间较稳定。3月底冬小麦返青时期是冬小麦生长过程中的关键阶段,主要受控因素是温度。在这一时期,整个研究区域长势变异较大,尤其是研究区东南部的山东省境内和山前平原中北部,多年间的变异系数均超过了40%。此外东南大部分地区及山前平原高生产力水平地区的变异系数也达20%~40%。但4月初冬小麦进入起身拔节期后,研究区域的指数等级多年间的变异系数明显降低,而在太行山山前平原,地理纬度上的差异对变异系数的影响比较明显:拔节期,38°以南的变异系数比以北的小将近10%。而在南部区域内西部的变异系数也明显高于东部和中部(图4a)。4月份冬小麦进入孕

穗期后, *NDVI* 基本上接近饱和稳定,整个山前平原的指数等级年际变异都很小,大部分在10%以内(图4b);5月下旬作物进入成熟期,由于生产力较低的农田每年的成熟受气候因素影响较大,因此部分指数分级较低的农田变异系数比孕穗期增加(图4c)。由于MODIS产品的空间分辨率为250 m,因此在一些果园较多的地区,如石家庄市赵县、晋县的部分农田可能是混合像元。这说明,虽然同处于山前平原,但果园周围附近农田在各个时期的指数分级变异系数异常高。

## 2.3 以县为单元的冬小麦田生产力分级

在本研究中为了对冬小麦田 *NDVI* 栅格数据的单个像素进行多年比较分析,因此评价对象只包括2000至2008年期间连续种植冬小麦的农田,这种确定麦田的方法导致衡水和沧州2市被确定为麦田面积较小且分布零散(图2)。在这种条件下应用多年 *NDVI* 分级的结果来评价区域农田的生产力,需要假设这些被分类为麦田的田块生产力能代表其周边没有连续种植小麦的农田。在此假设条件下,利用GIS的空间分析工具,把县域内麦田在像元尺度的 *NDVI* 分级9年平均结果进行加权平均计算,形成以县为单位的平均指数级别。由于多年指数级别来自于区域内农田的互相比,因此可以代表农田在该区域内生产能力的级别,从而形成和指数级别的高中低分布一致的以县为单元的冬小麦田生产力分级图(图5)。图5显示在山前平原38°以北区域中望都县、无极县、藁城市(部分)3县为高生产力县(市),南部大部分县被划为高生产力县(市)。河北平原北纬38°两侧的中部和东部大部分为低或较低生产力农田,与山前交接的县市多为中级水平县(市),如深州、安平、辛集和新河等。

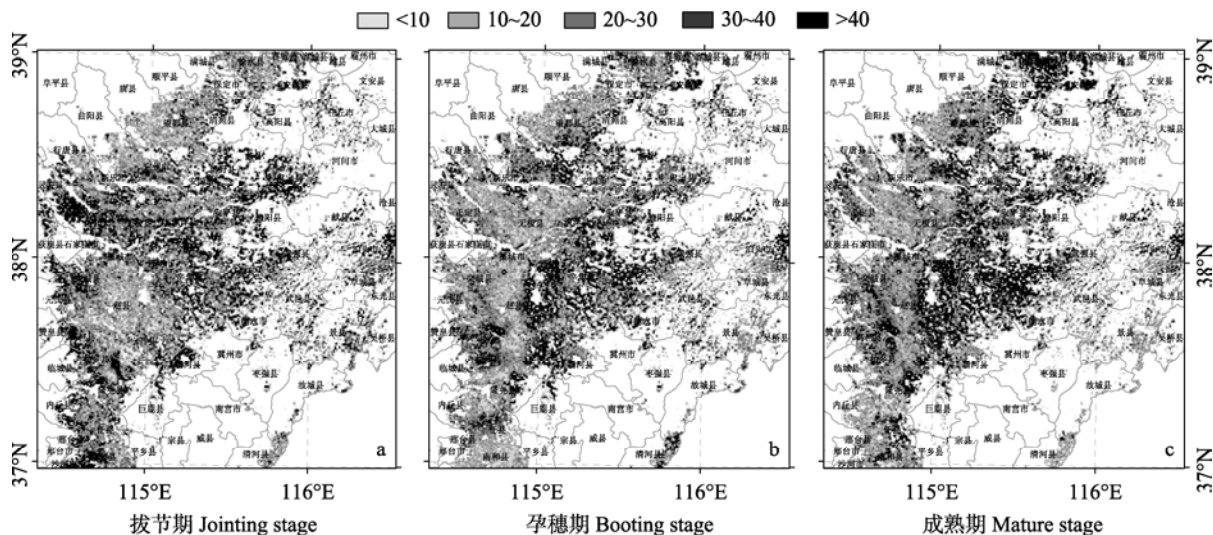


图 4 2000~2008 年河北平原冬小麦农田不同生长期 *NDVI* 分级年间变异系数

Fig. 4 Coefficient of variation of *NDVI* levels of winter wheat in different growing seasons from 2000 to 2008 in the Hebei Plain

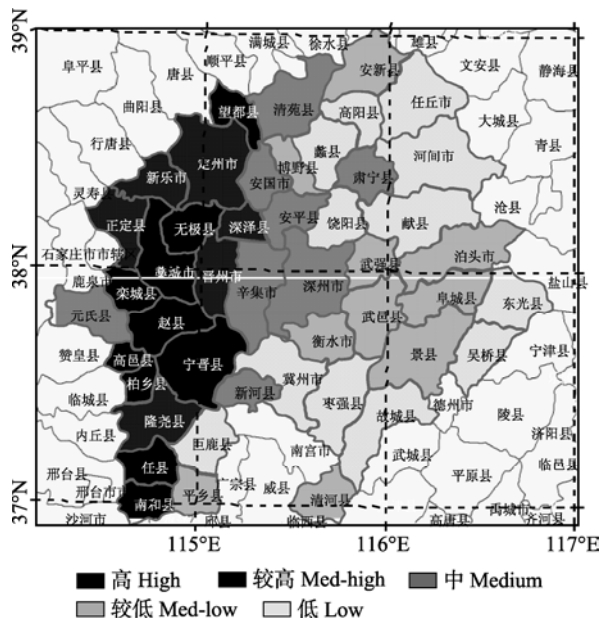


图 5 河北平原县级冬小麦田生产力水平分级图

Fig. 5 Classification of productivity level for winter wheat field based on counties in the Hebei Plain

### 3 讨论和结论

由于遥感 *NDVI* 的数值本身受气候条件的影响, 在不同年份的同一时期内变化较大, 很难将其直接用于区域农田生产力监测。本研究尝试利用在同一区域内对长时间序列植被指数分级的方法, 一方面可以避免直接使用数值时由数据的时间变异导致的误差, 另一方面由分级确定农田生产力的结果也较容易应用。本研究结合遥感与 GIS 技术, 利用具有较高空间分辨率(30 m)的 Landsat 数据对农田分类结果进行精确配准, 把不同时相影像的定位数据误差

控制在一个 MODIS 数据像素内, 为进行像素尺度的长时间序列数据统计分析提供了保证。而像素尺度分析可以充分利用 MODIS 数据高时间分辨率的优势, 在大量的数据支持基础上提高对农田生产力的评价精度。

从多年 *NDVI* 分级结果的空间分布来看, 利用长时间内同一生长季节中多次数据平均值再进行分级, 可能降低区域内由于南北地理空间差异带来的 *NDVI* 消长在时间上滞后的影响。农田生产力初步分级结果表明, 河北平原农田生产力空间分布差异较大: 高水平农田主要集中在山前平原地区, 地理位置与石家庄、保定、赵县等华北平原典型粮食高产区相吻合; 中低水平的农田多分布在研究区域中部和东部, 这与当地土地利用方式和耕作管理措施有关, 因此中低水平区域农田生产力有较大提高空间。

利用 GIS 空间分析工具将 *NDVI* 分级结果转换为以县域为单元的农田生产力等级, 不仅能够体现河北省农田在县级尺度上的空间分布差异, 而且利于根据每个县的具体情况, 实施合理有效的土地管理措施以保持或提高本县生产力水平。

作物不同生育期的 *NDVI* 级别时间变异系数的空间分布特征显示, 冬小麦返青后(即生长前期)及开始灌浆后的生长后期植被指数等级变异系数较大, 可能同时受到农田生产力和地理位置两方面的影响, 但需进一步论证, 并有望选出可以平衡两个因素影响的较优数据组合。另外, 选用小麦返青后整个生长关键期内所有数据评价土地生产力水平的方法是否最优, 也需要通过不同时期影像组合进行试算分析进行验证。

## 参考文献

- [1] Granados F L, Expósito M J, Barragán J M, et al. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties[J]. *European Journal of Agronomy*, 2005, 23(3): 279–289
- [2] Asadi S S, Azeem S, Prasad A V, et al. Analysis and mapping of soil quality in Khandaleru catchment area using remote sensing and GIS[J]. *Current Science*, 2008, 95(3): 391–396
- [3] 王静, 何挺, 李玉环. 基于高光谱遥感技术的土地质量信息挖掘研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(4): 438–445
- [4] 田燕, 孙婷婷, 马军成, 等. 基于“3S”技术的耕地质量动态监测初探[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(6): 17–19
- [5] Pan Y C, Wang J H, Lu A X, et al. Estimation of soil nitrogen accumulation based on remotely-sensed monitoring of winter-wheat growth status[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(9): 58–63
- [6] Wardlaw B D, Egbert S L, Kastens J H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 108(3): 290–310
- [7] Zhang X, Sun R, Zhang B, et al. Land cover classification of the North China Plain using MODIS\_EVI time series[J]. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2008, 63(4): 476–484
- [8] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [9] 代辉, 胡春胜, 程一松, 等. 不同氮水平下冬小麦农学参数与光谱植被指数的相关性[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 16–21
- [10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [11] Doraiswamy P C, Sinclair T R, Hollinger S, et al. Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(2): 192–202
- [12] Ren J Q, Chen Z X, Zhou Q B, et al. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2008, 10(4): 403–413
- [13] 宋文冲, 胡春胜, 程一松, 等. 作物氮素营养诊断方法研究进展[J]. *土壤通报*, 2006, 37(2): 369–372
- [14] Thomas J J, Jackson T J, Chen D Y, et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 92(4): 475–482

## 欢迎订阅 2012 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的学术期刊。前身可追溯到 1919 年创办的《中华农学会丛刊》。主要刊载农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、种质资源以及与作物生产有关的生物技术、生物数学等学科基础理论或实践应用性的原始研究论文、专题评述和研究简报等。办刊宗旨是报道本领域最新研究动态和成果, 为繁荣我国作物科学研究、促进国内外学术交流、加速中国农业现代化建设服务。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》从 1999 年起连续 12 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”的资助。2006 ~ 2011 年连续 6 年获“中国科协精品科技期刊工程项目(B 类)”资助。从 2002 年起连续 9 年被中国科技信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号。2011 年获“第二届中国出版政府奖期刊奖提名奖”, 2005 年获“第三届全国期刊奖提名奖”。2008 年被中国科技信息研究所授予“中国精品科技期刊”称号。2009 年被中国期刊协会和中国出版科学研究所授予“新中国 60 年有影响力的期刊”称号。据北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》(2004 和 2008 年版)登载, 《作物学报》被列在“农学、农作物类核心期刊表”的首位。

《作物学报》为月刊, 2012 年定价 50 元/册, 全年 600 元。可通过全国各地邮局订阅, 刊号: ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S, 邮发代号: 82-336。也可向编辑部直接订购。

地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 中国农业科学院作物科学研究所《作物学报》编辑部 邮编: 100081

电话: 010-82108548 传真: 010-82105793 网址: <http://www.chinacrops.org/zwxzb/>

E-mail: [zwxzb301@mail.caas.net.cn](mailto:zwxzb301@mail.caas.net.cn) [xbzw@chinajournal.net.cn](mailto:xbzw@chinajournal.net.cn)