

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0611-07

# 美国冬小麦产量遥感预测方法

张 峰, 吴炳方, 罗治敏

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 介绍了依据时序遥感植被指数数据进行产量预测的方法。通过美国冬小麦产量的历史趋势分析去除趋势产量, 得到气象产量。利用区域作物生长过程线, 提取曲线的各个特征参数, 并将各参数与气象产量的值进行相关分析, 得到美国冬小麦产量遥感敏感因子, 采用一次线性拟合的方法建立回归方程, 估算当年的冬小麦产量。依据此方法对美国 2003 年各州的冬小麦单产进行了预测, 并将最终的预测结果与美国农业统计局的数据进行了对比, 两者间的误差在 -11.42% 至 11.10% 之间, 相关系数为 0.89。

**关键词:** 作物产量; 遥感; 美国; 冬小麦

**中图分类号:** TP79      **文献标识码:** A

## 1 引 言

科学地、准确地预报作物产量, 对国家制定粮食调配和宏观经济计划具有重大意义。对于作物长势监测和产量预测来说, 遥感技术已被证明是一种十分经济有效的手段<sup>[1-4]</sup>。并随着遥感数据在空间上、时间上和光谱上的分辨率的提高及成本上的极大的降低, 这一技术在农业生产监测中的应用将越来越广泛。

研究表明作物潜在产量可以通过作物的光谱反射特征表达出来, 并可利用光谱植被指数进行量化<sup>[5,6]</sup>, 时序 *NDVI* 数据已广泛应用于各种环境条件下监测作物生长状态和产量<sup>[7-13]</sup>。通过植被指数的时序分析, 可以反映作物出苗、成熟和收获的过程, 作物的最终产量与作物的生长过程密切相关<sup>[14-19]</sup>。尤其是在半干旱地区, *NDVI* 值与初级生产力有密切的关系, 通过年度的 *NDVI* 值的变化可以预测最终的产量<sup>[20-22]</sup>。

目前对有关 *NDVI* 与作物产量的模型开展了大量的工作<sup>[23]</sup>。在机理上已经确定 *NDVI* 的光谱组成部分与作物产量的物理关系<sup>[24-26]</sup>。利用 *NDVI* 与作物产量的关系可以进行粮食供应的预测<sup>[27]</sup>。每

年收获前的最大 *NDVI* 值可以作为评价作物产量的指标, 与作物产量进行相关分析, 建立模型进行产量的预测<sup>[28]</sup>。作物生长期内的 *NDVI* 累计值与最大值, 通过线性拟合的方式, 建立作物产量遥感预测模型<sup>[29,30]</sup>。旬和月的 *NDVI* 平均值比累计 *NDVI* 或 *NDVI* 增量在预测产量方面效果要好<sup>[31]</sup>。Potdar 通过多时相 *NDVI* 影像进行作物生长曲线的模拟, 提取出描述作物生长过程的光谱曲线特征参数, 包括出苗期的绿度值、干物质累计最大值、作物枯黄率等, 通过多元回归的方法建立了高粱单产预测模型<sup>[32]</sup>。Groten 等利用高粱产量与时序的 *NDVI* 数据进行相关分析, 发现相关性达到 0.84, 同时他还利用作物生长期内的 11 旬的旬增量与作物产量进行了多线性拟合分析, 拟合结果与验证值有 0.93 的相关性。Rasmusse 利用多元线性方程建立了作物与植被指数的关系<sup>[33,34]</sup>。Dalezios 等用 1994 至 1996 年的三年 NOAA AVHRR *NDVI* 数据, 就棉花作物生长期的最大 *NDVI* 值数据与产量, 运用经验二次方程式进行了拟合分析<sup>[35]</sup>。2002 年江东等认为农作物特定生育期内 *NDVI* 的累计值与其最终生物量 (或产量) 有较好的相关关系<sup>[36]</sup>。目前, 大部分模型都是利用作物生长季节内特定的生长阶段数据, 而实际应利用作物生长季节内的多个生长阶段信息,

收稿日期: 2003-12-18; 修订日期: 2004-04-27

基金项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-313)。

作者简介: 张峰 (1976—), 男, 辽宁北镇人, 现为中国科学院遥感应用研究所博士生, 主要从事遥感应用方面研究, 包括生态环境监测、农情监测、土地利用变化研究等。E-mail: wubf@irsa.ac.cn

识别出产量预测的关键物候期<sup>[37]</sup>。基于生长季内的作物生长过程线的累计值,作物生长初期的累计值,和作物各个关键物候的累计值,可以很好地从农田和区域(县)两个尺度估算冬小麦的产量<sup>[38]</sup>。

目前通过遥感解决作物单产预测技术已经成熟,时序 *NDVI* 曲线特征参数有时比时序值的本身还重要。本文从作物生长过程特征参数的角度进行分析,力图能够充分表达气象因素对作物的影响。研究中以区域耕地加权平均 *NDVI* 值作为其作物生长过程线。利用作物产量数据时间上的趋势,去除掉经济和生产力发展对作物产量的影响,得到年际间由于气象差异而引起的作物产量的波动。通过气象产量值与作物生长过程特征参数相关分析,得到作物产量最敏感的遥感因子,利用一次线性拟合方程进行产量的预测。

## 2 数据准备

美国的冬小麦主要是上一年的 9 月至 10 月份种植,当年的 4 月至 5 月为抽穗期,7 月下旬为收获期。冬小麦种植区主要分布在由东部向西部的半干旱区过渡区,从得克萨斯州起,越过堪萨斯州、内布拉斯加州、南北达科他州、直到蒙大拿州。种植区主要是肥沃的草原土壤与干旱气候相结合。种植区内降水量由东向西递减,由 750mm 减少到 400mm。种植区内冬小麦的产量由于空气干燥度、太阳辐射和降水量等不同而有所差异。本文选取了冬小麦主要种植区的 20 个州作为研究对象,研究区的冬小麦产量占 2002 年美国全国冬小麦总产量的 93%。

1998 年发射的 SPOT 卫星已连续运行 6 年,6 年间星上的 VGT 传感器采集了大量数据,数据经过标准化的大气纠正、辐射纠正和几何纠正,形成规模化的数据集产品。本文利用 1998 年 4 月至 2003 年 6 月的 SPOT VGT *NDVI* 1km 数据集,以年为周期构建时间序列的旬最大合成植被指数序列,形成逐年的作物生长曲线。为了去除时羊 *NDVI* 曲线的云污染和突出曲线的作物生长周期性特征,通过最小二乘法和谐函数分解方法对曲线进行去云处理和重构<sup>[39]</sup>。依据美国 TM 解释得到的土地利用数据的耕地信息,去除遥感影像中的非耕地信息,统计各个州的耕地加权 *NDVI* 平均值<sup>[40]</sup>,作为州作物生长过程曲线。基于区域耕地的 *NDVI* 值加权平均值可以很好地反映州作物生长过程特征<sup>[41]</sup>。

数据还包括由 <http://www.nass.usda.gov> 上

ipedb/获取的美国分州的 1980 年至 2002 年冬小麦单产,作物物候信息,以及行政界线等辅助信息。

## 3 预测原理

粮食生产是一个影响因素众多、机理十分复杂的农业生产过程。增产、减产既有自然因素,也有社会因素。构成产量的因素有非自然因素、自然因素和随机因素。其中非自然因素指农业生产技术水平,主要包括化肥、品种、栽培管理等农业技术,随着这些技术水平的改善,作物的单产有不断增加的趋势,即为趋势产量。自然因素主要指生长环境,特别是天气气候变化,由其影响的产量为气象产量。随机因素主要指社会不稳定及各种灾害等影响,相应地变化为随机产量。趋势产量比较稳定,表现为时间的正函数,即随着时间后延,产量顺序提高。气象产量是造成产量年际间波动的主要原因,具有脉动特点。随机产量表现为特低或特高的极值,与条件期望值相差很大,基本无规律可循。

作物产量主要由趋势产量和气象产量两部分组成。趋势产量可以通过区域历史产量资料序列拟合分析得出。依据拟合结果,可以得到逐年的趋势产量。气象产量主要是由每年的实际产量减去趋势产量,这部分产量是随气象因子变化而变化。

作物在生长期内经历了出苗、开花和收获等物候期,具有叶绿、叶黄等生物量的变化过程,因此可以依据时序 *NDVI* 曲线构建作物生长过程曲线。作物生长各个阶段特征与天气变化有直接的关系,作物生长过程线能够反映气象条件的变化。通过作物生长过程曲线的波形变化可以得到气象要素对作物作用信息,而年际间的作物生长过程对比可以反映其长势的差异,进而与年际间产量的差异相联系。因此可以通过时序植被指数的变化特征得到气象要素的变化情况,气象产量可以通过对遥感因子的分析获得。如果依据粮食产量的趋势产量和气象产量组成,建立公式(1),可以依此预测作物产量,见式(1)。

$$Y_E = Y_T + Y_{NDVI} + E \quad (1)$$

其中,  $Y_E$ : 为预测产量;  $Y_T$ : 趋势产量;  $Y_{NDVI}$ : 基于遥感因子的产量(*NDVI*);  $E$ : 残差。

*NDVI* 数据与气象数据有很大的相关性<sup>[43]</sup>。可以通过时序植被指数的变化来响应年际间气象的差异。不同地区的作物生长季节性 *NDVI* 过程线的变化,如高/低值,生长期的长/短以及特定生长阶段的累计值等都可以反映研究区的气象和地区特征对作

物的影响。曲线的形状特征和物候信息比  $NDVI$  值本身更要有作用。作物生长过程线的变化特征和趋势,往往比曲线本身值的特征更能反映作物生长状态及作物生长产量的变化。时序  $NDVI$  曲线的波形特征更具有生物的物理意义。作物生长过程的特征参数与遥感产量进行相关分析,认为相关系数最大为作物产量变化的敏感指标,定义为最佳的遥感指示因子。利用认定的遥感指标与作物产量线性方程来建立关系(见式(2))即:

$$Y_{NDVI} = a + bN + E \quad (2)$$

其中,  $Y_{NDVI}$ : 年际间遥感因子产量;  $N$ : 年际最佳遥感指示因子;  $E$ : 残差;  $a, b$ : 拟合因子。

依据遥感因子产量和趋势产量即可以得到当年的作物产量。

## 4 研究方法

### 4.1 趋势产量分析

作物产量随着农业生产技术水平的提高,有逐渐增加的趋势。区域的多年作为产量数据与时间进行线性拟合,可以很好地反映趋势产量变化,用各年的实际产量减去拟合的趋势产量值,可以得到当年气象产量值,这部分的产量认为是由于当年气象变化引起的单产的波动。

经过对美国各州的 1980 至 2002 年的冬小麦历史产量分析,用线性拟合的方法可以很好地描述时间趋势产量的变化特征(如图 1),图 1 为爱达荷州、

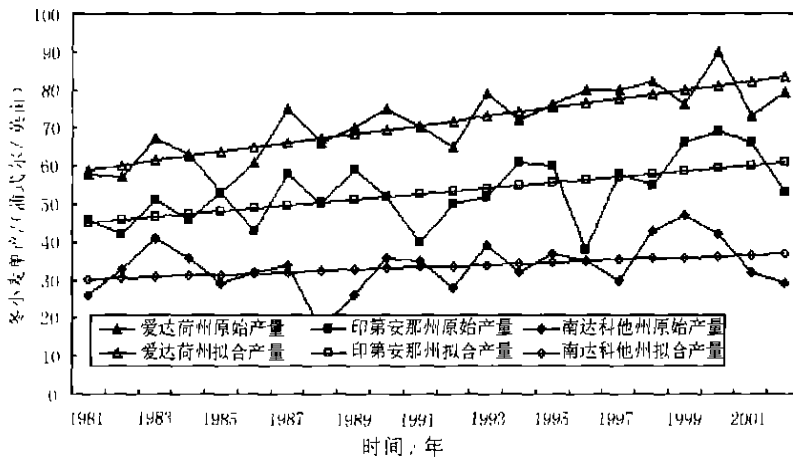


图 1 美国各州冬小麦单产趋势分析

Fig.1 Winter wheat yield trend of American's states

印第安那州和南达科他州的冬小麦产量的趋势分析,从图中可以看出,通过线性方程拟合可以很好地反映冬小麦单产的多年历史趋势,气象产量在趋势产量的上下波动,反映了年际间气象变化对作物产量的影响。

### 4.2 曲线特征参数提取

作物生长过程曲线的形状变化可以很好地反映作物长势的变化,与作物的最终产量有关。通过对作物生长过程曲线特征的统计分析可以很好地定量描述曲线的变化趋势,去除由于数据采集和处理过程中误差引起的影响。 $NDVI$  值与产量关系存在着很大的区域性,需要针对不同区域分别选取不同的遥感因子进行分析。论文中选取了曲线特征参数中的峰值、上升速率、下降速率、峰前累计值、峰后累计

值 5 个特征参数。其中:

(1) 曲线的峰值主要指在作物生长期内的最大  $NDVI$  值,主要反映作物处于开花期的作物生长状况,同时这个时期也是作物由枝叶成长结束至果实颗粒开始生长的转换期。

(2) 曲线的上升速率主要指作物生长期内的从曲线的抬头期至最大  $NDVI$  值处的平均上升速率。它能够反映作物从出苗(返青)至作物开花期的生长状况,能够获得作物枝叶生长的状况信息。

(3) 曲线的下降速率主要指作物生长期内的  $NDVI$  最大值处到最大下降速率处的平均下降速率。它能够反映作物从开花至作物成熟期生长状况,也即反映作物果实充实灌浆期间的生长状况。

(4) 曲线峰前累计值主要指作物生长期内,作物开花之前的  $NDVI$  值的累计值,可以反映作物枝

叶生长过程的物质积累过程。

(5) 曲线峰后累计值主要指作物生长期中, 作物开花之后至收获期之前的 *NDVI* 累计值, 可以反映作物颗粒的物质积累过程。

依据美国各州的冬小麦种植物候信息, 对各州的作物生长过程数据进行统计, 分别提取了各州的作物生长过程特征参数。

#### 4.3 敏感因子选取

依次提取各州作物生长过程曲线的特征参数, 将各州特征参数与气象产量数据进行相关分析, 各特征参数的相关系数结果如表 1, 确定最大相关系数的为遥感产量因子。从表中可以看出, 各特征参数相关系数的大小存在很大差异, 各州间的相关性大的特征参数也不尽相同, 最大相关系数在 52% 至 99% 间。因此统一的以某一特征参数作为各州的遥

感预测因子, 将会影响产量预测的精度。

#### 4.4 回归方程建立

将各州的敏感因子多年值与相应年份的气象产量值数据进行一元线性回归, 得到各个单元产量预测回归方程。

#### 4.5 当年产量求取

计算当年的作物生长曲线的特征参数, 将各州的敏感因子代入相应的产量预测方程中, 得到当年的气象产量, 再加上趋势产量即可得到当年的冬小麦产量。利用最相关的遥感指示因子, 与冬小麦的产量进行拟合分析, 依据式(1)和式(2), 结合冬小麦趋势产量信息, 最后得到当年 2003 年的冬小麦单产(见表 2)。

表 1 美国各州特征参数与冬小麦产量相关分析结果

Table 1 Correlete coefficient between characteristic parameters and winter wheat yield

州名	最大值	峰前上升速率	峰后上升速率	峰前累计值	峰后累计值
阿肯色州	0.33	0.86	0.77	0.90	0.33
科罗拉多州	0.83	0.85	0.68	0.92	0.64
爱达荷州	0.11	0.01	0.83	0.19	0.27
伊利诺斯州	0.99	1.00	0.96	0.83	0.60
印第安纳州	0.77	0.80	0.64	0.56	0.77
堪萨斯州	0.84	0.37	0.13	0.72	0.82
肯塔基州	0.34	0.81	0.60	0.50	0.34
密歇根州	0.09	0.35	0.97	0.33	0.09
密苏里州	0.44	0.34	0.52	0.19	0.44
蒙大拿州	0.76	0.24	0.13	0.50	0.45
北卡罗来纳州	0.88	0.52	0.25	0.58	0.56
内布拉斯加州	0.84	0.06	0.76	0.67	0.45
俄亥俄州	0.26	0.51	0.85	0.71	0.26
俄克拉何马州	0.97	0.25	0.60	0.26	0.21
俄勒冈州	0.52	0.29	0.34	0.85	0.46
南达科他州	0.45	0.90	0.33	0.97	0.45
得克萨斯州	0.62	0.45	0.67	0.20	0.44
华盛顿州	0.95	0.33	0.51	0.69	0.75

表 2 2003 年美国分州冬小麦产量遥感预测结果与统计数据对比

Table 2 Compare winter wheat yield forecasted by remote sensing with statistics data in 2003

州名	预测产量 /(蒲式尔/英亩)	统计结果 /(蒲式尔/英亩)	相对误差 /%	州名	预测产量 /(蒲式尔/英亩)	统计结果 /(蒲式尔/英亩)	相对误差 /%
阿肯色州	51.43	50	2.85	蒙大拿州	34.43	37	-6.93
科罗拉多州	32.80	35	-6.30	北卡罗来纳州	39.62	37	7.08
爱达荷州	83.72	82	2.10	内布拉斯加州	47.95	47	2.01
伊利诺斯州	63.90	62	3.07	俄亥俄州	58.46	66	-11.42
印第安纳州	62.77	65	-3.42	俄克拉何马州	37.39	41	-8.80
堪萨斯州	54.44	49	11.10	俄勒冈州	48.52	53	-8.44
肯塔基州	55.63	59	-5.71	南达科他州	39.36	41	-4.00
密歇根州	69.26	66	4.93	得克萨斯州	28.59	29	-1.41
密苏里州	52.11	58	-10.15	华盛顿	61.17	64	-4.42

注:其中验证使用的统计数据来自美国农业统计局

### 4.6 验证

将美国 2003 年遥感预测结果与美国农业统计局的统计数据进行了对比,两者之间数值见表 2,误差在-11.42%至 11.10%之间。通过预测结果和统计数据之间的相关分析发现,两者间有很好的线性关系,相关系数  $R^2$  为 0.89,对比结果见图 2。

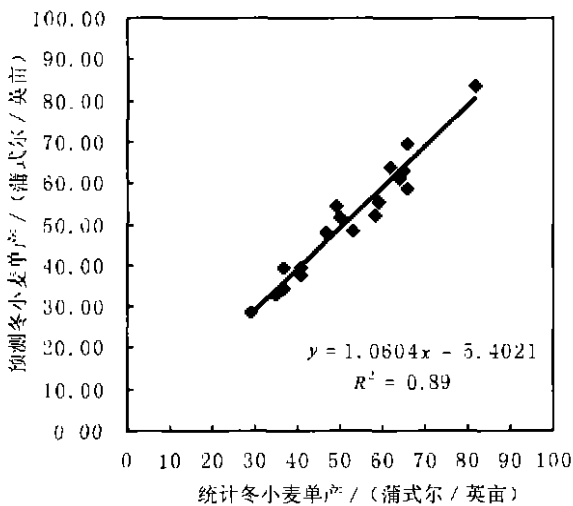


图 2 遥感预测冬小麦单产与统计单产对比

Fig.2 Compare winter wheat yield forecast by remote sensing with statistics data

## 5 结论与讨论

作物产量预测是一项复杂、艰苦的工作,既要考虑到技术的实用性和可执行程度,又要考虑监测结果的可信度和精度。从作物生长过程的特征参数的角度分析作物生长与气象产量变化关系。在进行作

物单产的趋势分析前提下,进行作物生长过程特征参数与气象产量的相关分系,发现不同区域对气象产量敏感的过程特征参数。本文以历史、实时遥感数据和冬小麦统计数据作为基础信息源,通过趋势产量分析、最大相关性分析、线性回归等统计方法建成回归统计方程,从而求取当年的气象产量。通过与趋势产量叠加的方式得到当年的作物产量。遥感预测 2003 年美国小麦的产量与美国农业统计局的统计结果相关系数  $R^2$  为 0.89,误差在-11.42%至 11.10%之间。

### 参考文献 (References)

- [1] Teng W L. AVHRR Monitoring of U. S Crops During the 1998 Drought [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, **56**:1143-1146.
- [2] Hochheim K P, Bullock P R. Operational Estimates of Western Canada Spring Wheat Yield Using NOAA/AVRR LAC Data[C]. *Proceedings of the Pecora 12 Symposium* (Washington, DC: ASPRS), 1994, 143-150.
- [3] Murthy C S, Thiruvengadachari S, Raju P V, Jonna S. Improved Ground Sampling and Crop Yield Estimation Using Satellite data[J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1996, **17**(5):945-956.
- [4] Hayes M J, Decker W L. Using NOAA AVHRR Data to Estimate Maize Production in the United States Corn Belt. Preliminary Results [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1996, **17**:3189-3200.
- [5] Jackson R D, Pinter P J, Reginato R I, Idso S B. Detection and Evaluation of Plant Stresses for Crop Management Decisions [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. 1986, **1**:99-106.
- [6] Malingreau J P. The Vegetation Index and the Study of Vegetation Dynamics[M]. In *Applications of Remote Sensing to Agrometeorology*, Edited by F. Toseli (Brussels and Luxembourg: ECSC, EEC, EAEC) 1989, 285-303.
- [7] Justice C O, Townshend J R G, Holben B N, Tucker C P. Analysis of

- the Phenology of Globe Vegetation Using Meteorological Satellite Data [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1985, **6**, 1271—1318.
- [ 8 ] Hielkema J U, Prince S D, Astle W L. 1986 Rainfall and Vegetation Monitoring in the Savanna Zone of the Democratic Republic of Sudan Using the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1986, **7**, 1499—1513.
- [ 9 ] Tuck C J, Justice C O, Prince S D. Monitoring the Grassland of the Sahel 1984—1985 [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1986, **7**, 1571—1581.
- [10] Seguin B, Assas E, Freteaud J, Pimbernon J, et al. Use of Meteorological Satellites of Water Balance Monitoring in Sahelian Regions [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1991, **10**, 1313—1330.
- [11] Prince S D. Satellite Remote Sensing of Primary Production: Comparison of Results for Sahelian Grasslands 1981—1988 [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1989, **12**, 1301—1312.
- [12] Prince S D, Justice C O. Coarse Resolution Remote Sensing of the Sahelian Environment [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1991, **12**, 1133—1421.
- [13] Diallo O, Diouf A, Hanan N P, Ndiaye A, Prevot I. AVHRR Monitoring of Savanna Primary Production in Senegal, West Africa, 1987—1988 [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1991, **12**, 1259—1279.
- [14] Idso S B, Pinter P J, Jackson R D, Reginato R J. Estimation of grain Yields by Remote Sensing of Crop Senescence rates [J]. *Remote Sensing of Environment*. 1980, **9**, 87—91.
- [15] Pinter P J, Jackson R D, Idso S B, Teginato R J. Multidate Spectral Reflectance as Predictors of Yield in Water Stress Wheat and Barley [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1981, **21**, 1—8.
- [16] Rasmussen M S. Assessment of Millet Yields and Production in Northern Burkina Faso Using Integrated NDVI from the AVHRR [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1992, **13**, 3431—3442.
- [17] Benedetti, Rossini P. On the Use of NDVI Profile as a Tool for Agricultural Statistics; the Case Study of Wheat Yield Estimate and Forecast in Emilia Romagna [J]. *Remote Sensing of Environment*. 1993, **45**, 311—326.
- [18] Boissard P, Pointel J G, Huet P. Reflectance, Green Leaf Area Index and Earhydic Status of Wheat from Anthesis Until Maturity [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1993, **14**, 2713—2729.
- [19] Doraiswamy P C, Cook P W. Spring Wheat Yield Assessment Using NOAA AVHRR Data [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1995, **21**, 43—51.
- [20] Groten S M E. NDVI-crop Monitoring and Early Yield Assessment of Burkina Faso [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1993, **8**, 1495—1515.
- [21] Maselli F, Conese C, Petkov L, Gilbert M A. Use of NOAA NDVI Data for Environmental Monitoring and Crop Forecasting in the Sahel. Preliminary Results [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1992, **13**, 2743—2749.
- [22] Hayes M J, Decker W L. Using NOAA AVHRR Data to Estimate Maize Production in the United States Cron Belt. Preliminary Results [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1996, **17**, 3189—3200.
- [23] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and Contraction of the Sahara Deser from 1980—1990, *Science*, 1991, **253**, 299—301.
- [24] Rasmussen M S. Assessment of Millet Yields and Production in Northern Burkina Faso Using Integrated NDVI from AVHRR [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1992, **22**, 815—835.
- [25] Krause B. GIS-Integration of NOAA-NDVI Data and Agro-ecological Information of Crop Yield Forecasting in Ethiopia, MSc. Thesis [C], International Institute of Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, the Netherlands, 1992.
- [26] Maselli F, Conese C, Petkov L, Gilbert M A. Use of NOAA-AVHRR NDVI Data for Environmental Forecasting in the Sahel. Preliminary Results [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1992, **12**, 2741—2749.
- [27] Henrickes B L, Durkin J W. Growing Period and Drought Early Warning in Africa Using Satellite Data [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1986, **7**, 1583—1608.
- [28] Lewis J E. Estimating Maize Production in Kenya Using NDVI; Some Statistical Considerations [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1998, **13**, 2609—2617.
- [29] Paul C, Doraiswamy, Paul W. Cook. Spring Wheat Yield Assessment Using NOAA AVHRR data [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1995, **21**(1), 43—51.
- [30] Paul R Bullock. Operational Estimates of Western Canadian Grain Production Using NOAA AVHRR LAC Data [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1992, **18**(4), 24—28.
- [31] Groten S M E. NDVI-crop Monitoring and Early Yield Assessment of Burkina Faso [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1993, **14**(8), 1495—1515.
- [32] Potdar M B. Sorghum Yield Modeling Based on Crop Growth Parameters Determined from Visible and Near-IR Channel NOAA AVHRR Data. [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1993, **14**(5): 895—905.
- [33] Rasmussen M S. Developing Simple, Operational, Consistent NDVI-vegetation Model by Applying Environmental and Climatic Information; Part I. Assessment of Net Primary Production [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1998, **19**(1), 97—117.
- [34] Rasmussen M S. Developing simple, Operational, Consistent NDVI-vegetation Model by Applying Environmental and Climatic Information; Part II: Crop Yield Assessment [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1998, **19**(1), 119—139.
- [35] Dalezios N R, Domenikotis C, Locukas A. Cotton Yield Estimation Based on NOAA/AVHRR Produced NDVI [J]. *Phy. Chen. Earth (B)*, 2001, **26**(3), 247—251.
- [36] JIANG D, WANG N B, YANG X H. Principles of the Interaction Between NDVI Profile and the Growing Situation of Crops [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2002, **22**(2), 247—252. [江 东, 王 乃 斌, 杨 小 唤 等. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律 [J]. 生态学报, 2002, **22**(2): 247—252.]
- [37] Moran S. Session 3, How Will the Data be Analyzed and What Are the Priority Science Issues for the Next Decade? Proceedings of the Workshop on Remote Sensing for Agriculture in the 21st Century [C]. (Davis, California), October 23—25th, 1996, 62—80. <http://www.cnki.net>

- [38] Labus M P, Nielsen G A, Lawrence R L, Engel R. Wheat Yield Estimated Using Multi-temporal NDVI Satellite Imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, **20**:4169—4180.
- [39] Zhang F, Wu B F, Liu C L. Using Time Series of SPOT VGT NDVI for Crop Yield Forecasting[C]. (ICARSS) IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium 2003, I, 386—388.
- [40] Zhang F, Wu B F, Liu C L. An Advanced Tool for Real-Time Crop Monitoring in China[C]. ICARSS IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium 2003, IV, 2245—2247.
- [41] Zhang F, Wu B F, Liu C L *et al.* A Method For Extract Regional Crop Growth Profile with Time Series of NDVI Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 515—528. [张峰, 吴炳方, 刘成林等. 区域作物生长过程的遥感提取方法, 遥感学报, 2004, **8**(6):515—528.]
- [42] Schultz P A, Halpert M S. Global Correlation of Temperature, NDVI and Precipitation [J]. *Advances in Space Research*, 1993, **13**(5): 277—380.

## Winter Wheat Yield Predicting for America Using Remote Sensing Data

ZHANG Feng, WU Bingfang, LUO Zhi-min

(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** In this paper we developed an approach using time series Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from SPOT VGT for crop yield predicting in American during a five-year span (1998—2002).

In order to remove cloud and extract the characteristics of the vegetation dynamics, the Harmonic Analysis of Time Series (HANTS) algorithm was used on the time series of NDVI image. To exploit effectively the time series of NDVI, linking them as much as possible to crop growing conditions, indicators which can be related closely to crop yield were extracted and used for building the predicting models. The weight average method was used to extract crop growth profile with land cover and SPOT Vegetation data. And then indicators were retrieved from the crop growth profiles, including ascend speed, maximum, descend speed, accumulative total before maximum and accumulative total after maximum.

At the mean time, the time series of winter wheat yield are processed using a linear upward trend function in 1980 to 2002 to reduce the tendency of the yield. The weather yield is the difference of the actual yield and the trend yield. The weather yield will be predicted with remote sensing indicators. The weather yield and corresponding indicators are regressed. Only those indicators with high correlation coefficient are selected. The wheat yield are the summary of weather yield and the trend yield.

The model was used to predict winter wheat yield in America. The difference is about  $-11.4\%$  to  $7.01\%$  by comparing with USDA NASS data. And the relative coefficient between predicting yield and NASS yield is 0.89.

**Key words:** crop yield; remote sensing; American; winter wheat