

全球稻谷主产国遥感估产可行性研究*

杨星卫 周红妹 李 军 汪治澜

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

王长耀 牛 铮

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

提 要

利用 NOAA 气象卫星的序列资料, 对全球稻谷遥感估产的可行性进行了探讨. 并以泰国、美国、越南为例, 分别对 *NDVI* 植被指数与产量进行相关分析, 取得良好的应用效果. 此外, 还应用数理统计方法对全球稻谷的历史产量进行数学模拟, 达到较高的拟合精度.

关键词: 稻谷 遥感估产 植被指数

引 言

水稻是仅次于小麦、玉米的世界第三大粮食作物. 近年随着消费者追求高质量多样化的食品结构, 世界对稻谷的需求量呈逐年上升的趋势, 而全球粮食库存又降到历史的最低水平. 因此, 全球粮食产量的波动已日益引起世人的关注.

对世界主要水稻生产国产量预测, 国内外尚不多见. 美国是国际上公认走在该项研究前沿的国家, 早在 70 年代到 80 年代末, 建立了农作物估产体系, 后又将估产范围扩展到加拿大、前苏联和中国. 但在品种上不估测稻谷.

本研究采用数理统计和气象卫星遥感技术相结合的方法, 对世界主要稻谷出口量前三位的泰国、美国、越南进行遥感综合估产的可行性试验, 取得了较好的结果.

1 资料处理

1.1 气象卫星资料处理

本文选用美国全球生态数据库中 1985 年 4 月至 1990 年 12 月的卫星 (NOAA-9 和 NOAA-11) 资料, 其空间分辨率 16 km.

资料处理包括以下步骤:

* 本文由中国气象局科技发展基金资助.
1996-11-25 收到, 1997-04-07 收到修改稿.

- ① 太阳高度角订正及云剔除;
- ② 麦卡托投影变换;
- ③ 计算归一化植被指数 $NDVI$ (normal different vegetable index);
- ④ 通过最大值合成法每月从 2 幅最大值图像处理生成一幅 $NDVI$ 图像资料;
- ⑤ 美国、泰国、越南行政区域图数字化、编辑、并加属性;
- ⑥ 从全球 $NDVI$ 资料中切割出上述地区;
- ⑦ 在区域图上, 选取已知精确位置坐标的较明显的陆地标志作为控制点, 对图像进行几何精纠正和重采样;
- ⑧ 根据区域边界图属性提取美国、泰国、越南 NOAA $NDVI$ 图像;
- ⑨ 对所提取的区域进行 $NDVI$ 均值计算。

1.2 产量资料来源

本文引用的产量资料主要摘自于 1979~1994 年世界粮农组织年鉴资料^[1]。

2 建立产量预测模式

2.1 建立遥感综合估产模式

首先对预报因子, 即 1985~1990 年水稻生长期内的月 $NDVI$ 均值进行膨化处理和相关稳定性检验, 然后挑选相关系数高且稳定性好的月植被指数作预报因子, 与产量建立回归方程。

(1) 月 $NDVI$ 均值的膨化

设资料年代为 N , 每年水稻生长期内的月数为 M , k 为滑动最大跨度(即滑动的开始月和结束月)。

当开始序号为 i 时, 膨化成的各因子开始和结束序号数分别为:

$$\begin{array}{l}
 i \rightarrow i, i \rightarrow i+1, i \rightarrow i+2, \dots, i \rightarrow i+k-1 \\
 i+1 \rightarrow i+1, i+1 \rightarrow i+2, \dots, i+1 \rightarrow i+k-1 \\
 \dots \\
 \dots \\
 i+k-1 \rightarrow i+k-1
 \end{array}$$

以每次开始序号和结束序号之间的月植被指数累加值组成一因子, 其表达式为:

$$\begin{aligned}
 Q_{L,t} &= \sum_{i=t}^t X_{ij} & t &= i, i+1, \dots, i+k-1 & (i+k-1 \leq m) \\
 & & j &= 1, 2, 3, \dots, N \\
 & & k &= 1, 2, 3, \dots, M \\
 & & L &= 1, 2, 3, \dots, M
 \end{aligned}$$

经膨化后的因子数 $S' = (M-k+1) \times k + k \times (k-1) / 2$

由于植被指数和产量之间不一定是线性关系, 故对每一个膨化成的因子, 再配以 3 种常见的非线性形式 (x^2 , e^x , $\ln x$), 这样每一个因子共有 4 种形式, 最后膨化成的因子总数为 $S = 4 \times S'$ 。

(2) 预报因子的稳定性检验

由于卫星资料年代较短, 需对达到显著水平的预报因子进行稳定性检验, 参见文献[2].

(3) 泰国、越南遥感植被指数估产模式

对两国水稻生长期内的植被指数因子进行膨化处理及相关系数的稳定性检验, 发现泰国7月份即水稻移栽高峰期的均值NDVI值与产量关系最密切(根据1985~1990年NDVI的历史资料), 相关系数达0.86, 且稳定性能较好, 3年滑动相关系数分别为0.7057、0.6823、0.8759. 图1为泰国7月份均值植被指数与泰国稻谷总产(Y)的相关图. 其相关性还可从泰国NDVI植被指数图像中的高值区与作物区划图的水稻部分相对应而得到验证(图略).

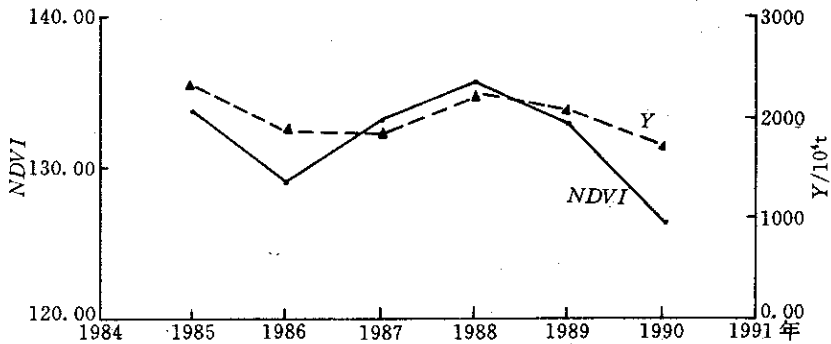


图1 泰国7月植被指数与泰国稻谷总产相关图

分析发现, 在越南11月份即水稻收割高峰期的均值植被指数与产量关系最密切, 相关系数达0.84, 3年滑动相关系数分别为0.6860、0.7444、0.8940. 图2是越南植被指数与稻谷总产相关图. 同样, NDVI图像中的高值部分即为越南的资源区划图中两个最大的水稻种植区即红河三角洲和九龙江州区域(图略).

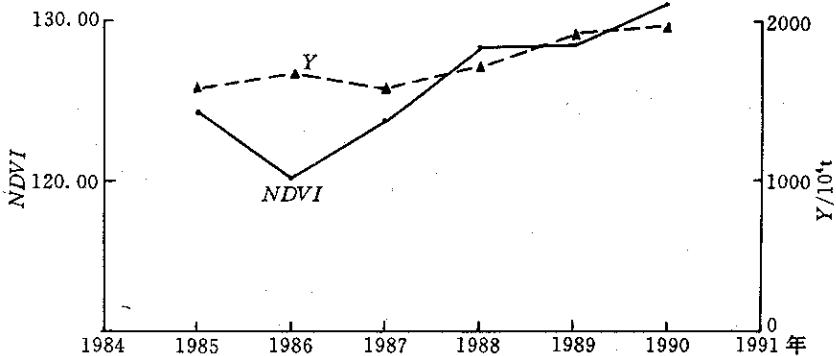


图2 越南11月植被指数与稻谷总产相关图

(4) 美国遥感植被指数估产模式

鉴于美国水稻种植面积占耕地面积不到1%, 故直接采用全国植被指数均值与当年产量建立相关, 显然是行不通的. 这里, 先将水稻主产区的州平均植被指数分别与各州

的稻谷产量建立模型,最后将各州的预测值之和与当年美国稻谷总产进行精度分析,鉴于有些州在水稻生长的同期还同时生长大豆(如密苏里州)和葡萄(如加州),故作者在建立预测模型时,对 $NDVI$ 值进行加权处理,即将 $NDVI$ 值除以该年大豆或葡萄总产的权重系数。

2.2 统计模式

作物产量高低主要受社会生产力、农业政策、气象条件的综合影响,其中受社会生产力、农业政策影响的产量为趋势产量;气象条件影响的产量为气象产量,实际产量为趋势产量和气象产量之和,即

$$Y = Y_t + Y_w \quad (1)$$

式中 Y 为实际产量; Y_t 为趋势产量; Y_w 为气象产量。

本研究中用 k 年直线滑动平均法提取趋势产量,用带周期分量的逐步回归方法进行气象产量序列的周期分析,并对未来的气象产量作预测。

(1) 趋势产量的分离及预测

某时段的线性趋势方程:

$$Y_i(t) = a_i + b_i \cdot t \quad (t = 1, 2, \dots, k) \quad (i = 1, 2, n - k + 1)$$

式中 a_i 、 b_i 为回归系数, t 为时间变量, n 为样本数。第 t 年的趋势产量 Y_t 为:

$$Y_t = \frac{1}{n - k + 1} \sum_{i=1}^{n-k+1} Y_i(t) \quad (t = 1, \dots, n) \quad (2)$$

由于调和权重法可以更多地考虑近期年份产量的权重,故本文采用调和权重法对趋势产量作外推预报^[3]。

(2) 气象产量预测

设气象产量序列为 x_1, x_2, \dots, x_n

按照试验周期方法,以周期长度从 2 到不超过 $u = n/2$ 的最大整数进行分组,构造出 $u-1$ 个均生函数,记为 $f_i, i=1, 2, \dots, u-1$ 。用逐步回归方法对 $u-1$ 个均生函数进行挑选,若筛选出 k 个周期,则气象产量的预测值为^[4]:

$$\hat{x}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot f_i(t) \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

根据式(2)、(3)的计算结果代入式(1),对历史产量进行拟合,计算拟合误差,然后再改变式(2)中的步长(k),重新计算拟合误差,反复筛选,直至找出拟合误差最小对应的一组周期为止,就用这组周期对应的一组均生函数对气象产量进行预测。

3 结果分析

3.1 统计预测结果与实际值的比较

图 3(a~d)列出了对 1979~1994 年 16 年全球稻谷产量及泰国、美国、越南的历史产量进行数学模拟的结果。表明将实际产量分离成趋势产量和气象产量,并用 k 年直线滑动平均提取趋势产量和用带周期分量的逐步回归方法进行气象产量的周期分析的预测方法是成功的,模拟值与实际值的拟合精度均在 98% 以上,符合业务使用标准。

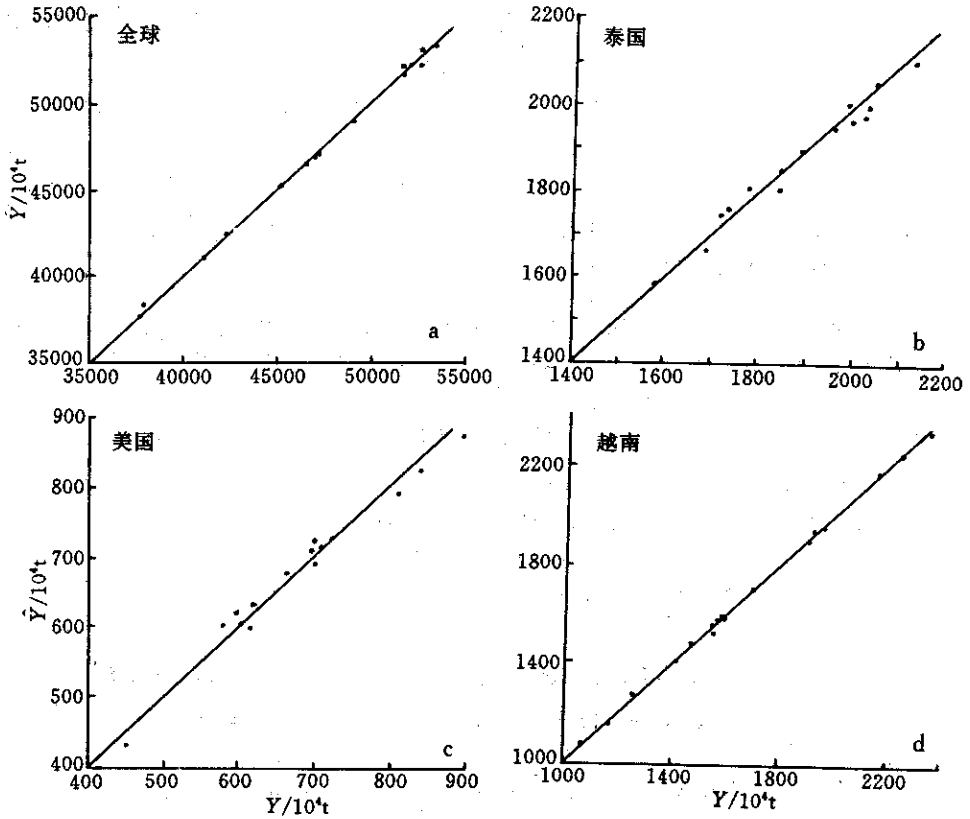


图3 (a)全球(b)泰国(c)美国(d)越南稻谷产量计算值(\hat{Y})与实际值(Y)的比较

表1列出了对世界稻谷总产及泰国、美国、越南稻谷产量的统计模拟结果。

3.2 遥感估算结果分析

表2列出了1985~1990年泰国、美国、越南NOAA NDVI植被指数与产量的回归模型的计算结果。

从对一个国家总产的预测精度比较得到,遥感估算精度略低于统计模拟,3个

表1 稻谷产量的统计模拟结果

	世界	泰国	美国	越南
拟合平均误差(%)	0.42	1.04	2.24	0.63
最大误差(%)	1.03	1.85	4.42	1.99
相关系数	0.9988	0.9893	0.9883	0.9994

表2 泰国、美国、越南遥感估产结果比较(10^4 t)

	泰国			美国			越南		
	实际值	计算值	精度(%)	实际值	计算值	精度(%)	实际值	计算值	精度(%)
1985	2026.4	2008.4	99.1	597.0	626.9	94.8	1587.5	1653.6	95.8
1986	1886.8	1833.0	97.1	590.1	620.9	95.0	1600.3	1509.7	94.3
1987	1842.8	1986.1	92.2	591.7	590.6	99.8	1555.0	1633.0	95.0
1988	2126.3	2078.7	97.8	707.5	684.7	96.8	1700.0	1788.6	94.8
1989	2017.7	1979.7	98.1	683.6	658.5	96.3	1899.6	1794.8	94.5
1990	1719.3	1734.1	99.1	685.5	670.9	97.9	1922.5	1885.2	98.1
平均			97.2			96.8			95.4

国家稻谷总产预测精度在95%以上,但个别国家个别年份的预测精度较低,如泰国1987年总产预测精度仅92.2%,但与统计方法相比,采用遥感方法的优势是获取资料的时效快,这对于建立实时业务运行系统是一个重要条件。

上述研究结果表明,利用NOAA/AVHRR序列资料进行稻谷总产预测是可行的。特别对以水稻作为主要粮食作物的国家。但对水稻种植面积稀少的国家的产量预测,难度要大得多。另外,本研究仅对利用气象卫星历史资料,进行全球稻谷产量预测的可行性进行探讨,限于所得卫星历史资料的年代太短,作为定量分析是不够的,而对产量历史资料的统计分析结果却给我们提供另一个广阔的应用前景。

致谢: 本研究在NOAA卫星资料和地理背景资料的收集中得到中国科学院遥感所王汶博士、华东师范大学吴健平博士和美国麻省理工学院的胡元龙博士的悉心关照,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Food and Agriculture Organization of the United Nation. *FAO Quarterly Bulletin of Statistics*, 1979~1994.
- 2 朱盛明. 相关系数稳定性分析方法及其应用. *气象学报*, 1982, (4): 497~501.
- 3 王馥棠编著. 农业气象预报概论. 北京: 农业出版社, 1991. 432~455.
- 4 魏凤英. 带周期分量的多元逐步回归. *气象科学研究院院刊*, 1986, 1(1): 94~101.

FEASIBILITY RESEARCH ON ESTIMATING GLOBAL PADDY YIELD USING REMOTE SENSING

Yang Xingwei Zhou Hongmei Li Jun Wang Zhilan

(Shanghai Research Institute of Meteorological Science, Shanghai 200030)

Wang Changyao Niu Zheng

(Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101)

Abstract

Utilizing the relationship between the global NOAA data and paddy yield data during the period of 1985~1990, an estimating yield model was obtained. These models were applied to estimate paddy outputs in U. S. A., Thailand and Viet Nam. The results are satisfactory. Furthermore, the global paddy yield during the period of 1979~1994 was simulated by using the statistical method, the fitting accuracy can reach above 98%.

Key words: Paddy Estimating yield by remote sensing Vegetable index