

中国粮食总产量预测方法研究^{*}

王建林 王宪彬 太华杰

(中国气象科学研究院, 北京: 100081)

摘 要

文中在计算气候生产力的基础上, 将粮食产量分离成经济技术产量和气象产量。并利用化肥施用量、一季稻种植面积百分率和 1~3 月份平均温度分别建立它们的预测模型。此方法计算简单、预测时效长、准确率较高, 在业务服务中有着广泛的应用前景。

关键词: 粮食总产量, 气候生产力, 产量分离, 预测方法。

1 引 言

自 1970 年代后期农业气象产量预报研究在中国开展以来, 无论是预报方法还是预报精度都有了很大的发展。1980 年代初实施业务预报服务以后, 为国家有关部门制定农业政策提供了一定的科学依据。但随着业务服务的深入和拓宽, 需要不断更新和改进原先的预报模型, 这些改进一方面表现为方法本身的更新, 重要的一方面则是预报时效的提前。

目前, 业务应用中的多数农业气象产量预报模式, 都是将农业产量(实际产量)分离成趋势产量和气象产量两部分^[1]。趋势产量一般用数学方法(滑动平均、分段直线、抛物线、指数等)求得, 气象产量首先由趋势产量和农业产量之差求得, 然后再与气象要素建立预测模型。经过上述分离的气象产量反映的是在气象条件影响下的产量波动, 而不是反映某一年的粮食作物在自然状态下(纯气象条件下)能生产多少千克粮食。

这些模式一般都在作物收获前 1~2 个月进行预报, 且无法反映农业投入、种植结构等因素对产量的影响, 所以不能完全满足现阶段业务服务的需要。

本文拟从气候生产力角度出发, 在充分考虑农业投入和种植结构的基础上, 建立粮食作物总产量预测模型。

2 资料与方法

文中所用全国粮食产量资料、农业投入资料、种植结构资料和粮食作物复种资料均来源于国家统计局的公布数据; 气象资料选取全国 40 个代表站 1961~1995 年的逐月平均气温资料。

^{*} 初稿时间: 1997 年 12 月 9 日, 修改稿时间: 1999 年 10 月 11 日。
资助课题: 国家自然科学基金(38383003)。

为满足目前业务服务的需要,粮食总产量预测模型的建立应满足下列条件:

- (1) 预报时效应在 5 个月以上,即预报模型应具备在每年 3~5 月份就能使用;
- (2) 模型中除气象因素外,还应包含农业投入和种植结构等因素;
- (3) 模型除预测产量外,最好还具备为农业生产决策提供某种科学依据。

为此,本文提出以下建模方案:

- (1) 利用气象因子计算当年的气候生产力,再利用气候生产力求得气象产量;
- (2) 利用农业投入和种植结构等因素计算当年的农业生产水平,即经济技术产量;
- (3) 将(1)和(2)两项结果相加,得出单位面积的粮食产量;
- (4) 单位面积的粮食产量乘以粮食作物种植总面积即为粮食总产量。

3 预测模型建立

3.1 产量分离

与常规产量分离相似,将实际产量(YU_i)假定为由农业生产水平决定的经济技术产量(YS_i)和由气象条件决定的气象产量(YW_i)组成。即

$$YU_i = YS_i + YW_i \quad (1)$$

与常规产量分离所不同的是,本文不是先计算经济技术产量 YS_i ,而是首先利用^[2,3]

$$P_{i,s} = 30000 / (1 + e^{1.315 - 0.119 T_{i,s}}) \quad (2)$$

$$P_i = \frac{\sum_{s=1}^{40} (P_{i,s})}{40} \quad (3)$$

$$YW_i = K \quad Ec \quad \frac{P_i}{Rc} \quad (4)$$

$$K = \frac{YU_0 \quad Rc}{Ec \quad P_0} \quad (5)$$

计算当年的气象产量 YW_i (kg/hm^2)。式(2)中 $P_{i,s}$ 为第 i 年第 s 代表站的气候生产力($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), $T_{i,s}$ 为第 i 年第 s 代表站的年平均温度(), i 为年代(上、下同), s 为代表站数(下同),取值 1~40; 式(3)中 P_i 为全国平均气候生产力; 式(4)中 Ec 为粮食作物平均经济系数,文中取 0.35, R_s 为粮食作物复种指数, K 为常数; 式(5)中 YU_0 和 P_0 分别为农业生产水平低下时,粮食作物的平均单产和气候生产力。

本文通过分析认为,1951~1960 年我国农业生产的增产措施不多,抗灾能力较弱,农业生产水平比较低下。所以, YU_0 和 P_0 分别取 1951~1960 年 10 a 对应值的平均值,由式(5)得出 $K = 0.24$ 。它反映农业生产水平低下时由式(2)和(3)计算的气候生产力和粮食作物实际产量的转化系数。

再利用

$$YS_i = YU_i - YW_i \quad (6)$$

计算经济技术产量 YS_i (kg/hm^2)。

图 1 给出了利用式(2), (3), (4)和(6)分离后的 1961~1994 年的 YS_i 、 YW_i 。从图 1a 可以看出, 34 a 来, YS_i 几乎与 YU_i 的变化一致, 呈明显的增长趋势; 而 YW_i 的波动幅度较小, 近似呈一条直线(实际并非如此)。为了更清楚地显示 YW_i 的变化, 文中又给出图 1b,

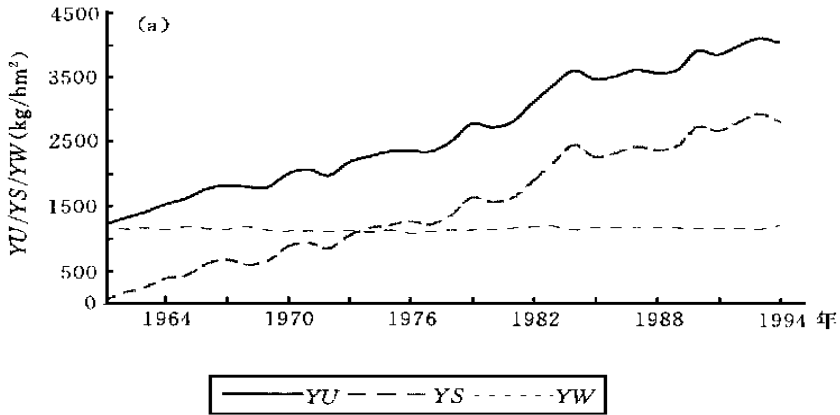


图 1a 1961~1994 年 YU_i, YS_i, YW_i 变化曲线

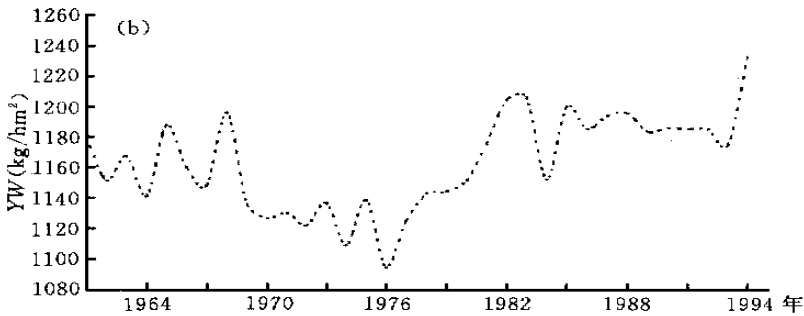


图 1b 1961~1994 年 YW_i 变化曲线

由此图可知, YW_i 的变化还是明显的, 多在 $1104 \sim 1216 \text{ kg/hm}^2$ 之间波动。 YW_i 和 YS_i 在 YU_i 中所占的比例从 1961 年至 1994 年也发生了显著的变化, 1961 年前者占 97.1%, 后者仅占 2.9%; 至 1994 年二者已转变为 28.4% 和 71.6%。这充分说明了中国农业生产水平的飞速发展。

3.2 气象产量预测模型的建立

从式(2), (3), (4)可以看出, 气象产量预测的关键在于各代表站年平均温度($T_{i,s}$)的预测。根据建模要求, 对 1961~1994 年全国 40 个代表站年平均温度($T_{i,s}$)与其上半年不同时段平均温度的分析发现, $T_{i,s}$ 与 1~3 月的平均温度 $t_{i,s}$ 有很好的线性关系。即

$$T_{i,s} = a + b t_{i,s} \quad (7)$$

根据最小二乘法原理, 分别求解全国 40 个代表站的($T_{i,s}$)与($t_{i,s}$)线性方程中的系数 a, b 。详见表 1。

利用式(7)求出 $T_{i,s}$ 后, 再利用式(2), (3), (4)即可预测气象产量 YW_i 。

3.3 经济技术产量预测模型的建立

影响经济技术产量的因子虽很多, 诸如品种、价格、投入、农业技术、种植结构等, 但能

表1 全国40个代表站的系数 a 、 b 和统计量 t

站名	系数				站名	系数			
	a	b	r	t		a	b	r	t
嫩江	6.185	0.346	0.822	8.405	济南	14.467	0.009	0.983	31.493
齐齐哈尔	5.636	0.160	0.777	7.189	成都	16.037	0.003	0.994	54.179
哈尔滨	5.388	0.115	0.778	7.230	昆明	14.630	0.006	0.989	39.852
塔城	7.428	0.097	0.718	6.016	西安	13.447	0.003	0.990	40.816
乌鲁木齐	7.234	0.032	0.761	6.849	郑州	14.200	0.005	0.991	42.379
喀什	11.435	0.066	0.409	2.610	恩施	16.980	-0.004	0.553	3.873
若羌	11.555	0.008	0.990	40.332	武汉	16.369	0.004	0.989	39.257
和田	12.310	0.007	0.990	40.096	衡阳	17.250	0.006	0.985	32.998
敦煌	9.379	0.007	0.989	39.582	贵阳	15.286	0.004	0.991	43.587
张掖	7.111	0.007	0.990	40.190	桂林	18.775	0.003	0.995	55.585
西宁	6.015	0.013	0.983	30.969	赣州	19.349	0.003	0.995	55.440
兰州	9.409	0.011	0.983	31.077	徐州	15.318	0.005	0.988	37.215
呼和浩特	6.442	0.016	0.977	26.471	南京	15.323	0.003	0.989	39.336
银川	8.748	0.011	0.983	31.336	合肥	15.713	0.004	0.988	37.987
榆林	9.145	0.260	0.762	6.857	杭州	16.281	0.003	0.991	43.352
太原	9.677	0.007	0.989	39.286	南昌	17.561	0.002	0.993	49.358
长春	5.557	0.020	0.972	23.903	福州	19.694	0.002	0.994	52.180
沈阳	8.213	0.008	0.986	34.285	广州	21.976	0.004	0.984	32.337
唐山	11.245	0.007	0.987	35.727	南宁	21.640	0.004	0.991	43.819
保定	12.582	0.011	0.982	30.707	三亚	25.544	0.003	0.992	45.295

全部通过信度 $\alpha=0.02(t_{0.02, 30}=2.457)$ 的线性相关检验

够量化和有较长时间序列的因子也只有化肥、农药的施用量和各种粮食作物的种植比例。

通过分析1979~1994年 YS_i 与单位面积化肥、农药的施用量以及双季早稻、一季稻(含中稻)、双季晚稻、小麦、玉米、大豆种植面积各占粮食作物总面积的百分比之间的相关性发现:单位面积施用化肥的千克数量(F_i)和单位面积产量最高的一季稻(含中稻)种植面积在粮食作物总面积中的百分比(M_i)与经济技术产量(YS_i)的相关性较好。为此,利用线性回归建立以下预测模型。

$$YS_i = 1185.8865 + 10.5480 X_i \quad (8)$$

式中 $X_i = F_i \cdot M_i$ 式(8)的相关系数为0.9522,统计量 $t = 12.0678$,通过信度 $\alpha = 0.001$ ($t_{0.001, 15} = 4.073$)的线性相关检验。

从式(8)可以看出,在种植结构一定的情况下,经济技术产量随全国平均化肥施用量增加而增加,特别在中低产区,增产效果更为明显;同理,在化肥施用量不变的情况下,经济技术产量随全国一季稻(含中稻)种植比例的扩大而增加。

为确保粮食总产量的增加,扩大一季稻(含中稻)的种植比例,应在不降低复种指数的前提下进行。主要是在条件允许的情况下,把生长季相似的低产作物该种一季稻。据此,在播种前就可以对农业生产提出某些科学建议。

3.4 粮食总产量预测模型的建立

在预测 YW_i 和 YS_i 的基础上,利用式(1)计算 YU_i ,最后利用

$$YT_i = YU_i A_i \quad (9)$$

求出全国粮食总产量 YT_i (kg)。式(9)中 A_i 为全国粮食作物总面积。

4 模型检验

4.1 拟合效果检验

4.1.1 气象产量预测模型检验

气象产量预测的关键在于预测各代表站的年平均温度和气候生产力。利用模式(7), (2)计算的1961~1994年全国40个代表站的气候生产力 $P_{i,t}$ 和用实际年平均温度计算的气候生产力(仅用式(2))发现,二者拟合效果较好。在40个代表站中,相对拟合误差最大的新疆塔城为5.30%,最小的海南三亚为0.54%,40个代表站的平均相对误差为2.26%。利用式(7),(2),(3)和(4)预测的气象产量和利用式(2),(3)和(4)计算的 actual 气象产量详见表2。从表2可以看出:预测准确率都在94%以上,最大误差为5.93%,多年平均误差为3.66%。作为长期预测,预报效果还是比较理想的。

4.1.2 经济技术产量预测模型检验

图2给出了1979~1994年模式(8)的拟合值与模式(6)的计算值的对比。

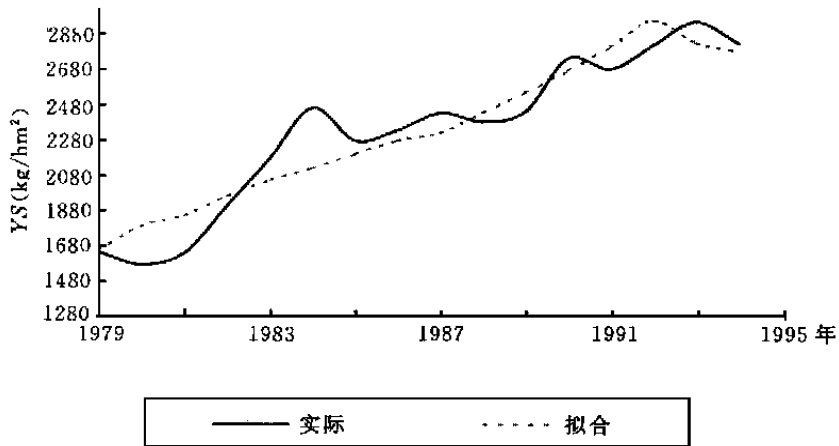


图2 1979~1994年 YS_t 实际值与拟合值对比曲线

如图2所示,1979~1984年拟合误差较大,平均值为8.09%;1985~1994年拟合误差则较小,平均值为3.43%。1979~1994年总的拟合误差为5.18%,拟合效果也比较理想。

4.1.3 单位面积粮食作物产量历史拟合检验

表2给出了1979~1994年 YU_i 、 YS_i 、 YW_i 的实际值与拟合(预测)值以及其相对误差情况。1979~1994年单位面积粮食作物产量的历史拟合误差都在10%以下,多年平均误差为3.84%。但1985年以后的10a间,每年的历史拟合误差均在5.0%以内。对在4月份发布全国粮食总产量而言,效果也比较理想。

4.2 全国粮食总产量预测效果检验

利用上述相关模型对1995年全国粮食总产量进行预测检验,结果见表3。由表3可知:1995年全国粮食总产量的预测准确率为99.14%,效果十分理想。

表 2 1979 ~ 1994 年 YU_i 、 YS_i 、 YW_i 实际值与拟合(预测) 值误差分析

年 代	单位面积粮食作物产量			单位面积经济技术产量			单位面积气象产量		
	实际 (kg/hm ²)	拟合 (kg/hm ²)	误差 (%)	实际 (kg/hm ²)	拟合 (kg/hm ²)	误差 (%)	实际 (kg/hm ²)	预测 (kg/hm ²)	误差 (%)
1979	2790.00	2829.62	1.42	1645.95	1650.00	0.25	1144.05	1179.62	3.11
1980	2730.00	2990.14	9.53	1578.75	1791.30	13.47	1151.25	1198.84	4.13
1981	2820.00	3033.89	7.58	1644.90	1853.55	12.69	1175.10	1180.34	0.45
1982	3120.00	3125.30	0.17	1915.80	1964.25	2.53	1204.20	1161.05	-3.58
1983	3390.00	3196.35	-5.71	2183.85	2056.05	-5.85	1206.15	1140.30	-5.46
1984	3615.00	3261.05	-9.79	2463.00	2123.55	-13.78	1152.00	1137.50	-1.26
1985	3480.00	3331.54	-4.27	2280.00	2202.75	-3.39	1200.00	1128.79	-5.93
1986	3525.00	3411.27	-3.23	2339.55	2279.70	-2.56	1185.45	1131.57	-4.55
1987	3630.00	3452.74	-4.88	2436.15	2323.95	-4.60	1193.85	1128.79	-5.45
1988	3585.00	3566.39	-0.52	2389.20	2436.90	1.99	1195.80	1129.49	-5.55
1989	3630.00	3683.71	1.48	2446.35	2550.75	4.27	1183.65	1132.96	-4.28
1990	3930.00	3807.51	-3.12	2744.10	2675.25	-2.51	1185.90	1132.26	-4.52
1991	3870.00	3949.50	2.05	2684.40	2809.20	4.65	1185.60	1140.30	-3.82
1992	4005.00	4117.14	2.80	2819.55	2956.80	4.87	1185.45	1160.34	-2.12
1993	4125.00	4014.57	-2.68	2949.90	2833.50	-3.95	1175.10	1181.07	0.51
1994	4065.00	3974.37	-2.23	2829.45	2785.95	-1.54	1235.55	1188.42	-3.81
平均误差			3.84			5.18			3.66

5 结语

综上所述, 本文提出的粮食总产预测方法不仅考虑了气象条件的影响, 也考虑了社会经济因素的影响, 是一种比较综合的预测方法。从拟合和试报效果看, 关键模型的拟合率和预测准确率都较高, 而且计算过程简单, 是农业气象产量预报业务服务一种较为理想的方法。

此方法的预报时效较长, 在多数作物播种以前即可发布长期预测。由于在经济技术产量预测中引进了化肥投入和种植结构二要素, 所以发布的预测报告可以是多种结果, 即化肥投入(或种植结构)在某一水平时, 粮食总产量为多少, 在另一水平时, 又为多少, 等等。这样, 对农业生产部门安排年度农业投入和种植计划具有一定的参考价值。

综合气候生产力和经济技术因子来预测全国粮食总产量, 目前在国内尚不多见, 就模型而言, 某些地方还存在不足。比如, 气候生产力的计算(式(2))只用了年平均温度, 没有考虑年降水量(主要因为在3, 4月份预测全年降水量难度太大, 且准确率不高), 确切地讲, 不符合 Miami 模型的要求。在降水充沛(或有灌溉条件)的情况下, 预测精确度较高, 在发生大范围持续干旱的条件下, 势必造成温度异常升高, 预测误差变大, 此时, 必需对式(2)进行适当订正。 YS_i 的预测没有考虑农业科技和品种特性等。都需要在今后的业务应

表 3 1995 年全国粮食总产量预测误差分析

产量类型	实际值	预测值	误差%
气象产量(kg/hm ²)	1206.15	1180.34	-2.14
经济技术产量(kg/hm ²)	3038.85	3096.15	1.88
实际产量(kg/hm ²)	4245.00	4276.49	0.74
全国总产(108kg)	4666.18	4706.70	0.86

用中不断完善。

参 考 文 献

- 1 王馥棠等. 农业产量气象模拟与模型引论. 北京: 科学出版社, 1990. 40 ~ 41
- 2 高素华. 中国农业气候资源及主要农作物产量变化图集. 北京: 气象出版社, 1995. 14 ~ 19
- 3 王建林, 太华杰. 粮食作物产量估算方法研究. 气象, 1996, 12: 6 ~ 9

STUDY ON THE METHOD OF PRIDICTNG FOOD TOTAL OUTPUT IN CHINA

Wang Jianlin Wang Xianbin Tai Huajie

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Based on calculating climate productivity, the food output per unit area is separated into economic and technological yield and meteorological yield in this paper. The models for predicting them are established by using factors such as amounts of applied fertilizer, percentage of single harvest rice planting area and mean temperature from January to March. Because of its long effective period, high accuracy and simplicity to calculate, this method has a wide using prospect in operational service.

Key Word: Food total output, Climate productivkity, Separated yield, Method forpredicting.