

基于长时段非线性影响分析的冬小麦产量预报*

王叔同 张荣霞 张敏

(山东省聊城市气象局, 聊城 252060)

提 要

为提高冬小麦产量预报的准确性、稳定性, 通过气象产量与气象因子的膨化相关普查, 筛选出长时段、非线性因子组建预报方程, 收到了预期的效果. 经 4 年的使用验证及与其他几种统计方法的比较, 该方法预报结果较为理想, 可用于基层台站的冬小麦产量预报.

关键词: 非线性 冬小麦 产量预报

引 言

实践证明, 用统计学方法测产预报结果不尽人意, 所建模式也很不稳定, 地区局限性强, 普适性较差, 计算过程也比较繁杂. 仅以气候关键期因子预报冬小麦产量, 虽有较高的历史拟合, 但用于实际预报则往往出现较大偏差, 其主要原因在于以偏代全、以点代线. 同时, 以前产量预报中过多地强调了气象条件对产量形成的线性作用, 对其中的非线性制约考虑不够等等. 基于这种认识, 为提高产量预报的准确性、稳定性, 本文在预报方程中引入长时段、非线性因子, 收到了较好的预报效果. 所谓长时段是指因子存在的前后时段至少要在两个月以上, 对作物生长能形成足够的累积性影响; 所谓非线性指所引入的因子对预报量存在着一定的非线性制约.

1 资料来源及其处理

产量资料来源于聊城市统计局 1980~1998 年共 19 年的冬小麦单产统计资料(见表 1 中 y 行及表 3); 气象资料来源于聊城市 8 个县(市)气象站 1981~1998 年日照、气温和降水的旬报资料.

1.1 产量资料的处理

为提取气象产量 y_w , 通过与多种方法比较, 本文对 1980~1994 年的冬小麦产量选定了拟合较好的指数型趋势产量模型, 见式(1):

$$y_t = 5071.22e^{(-1.1801/t)} \quad (1)$$

* 1999-04-20 收到, 2000-01-12 收到修改稿.

$$r = 0.9689 \quad F = 199.4234$$

式中 y_t 为趋势产量, $t = 1, 2, \dots, 15$, 是自 1980 年为起点的自然数. 由方程(1)可得各年趋势产量, 由式(2)可得各年度相应气象产量 y_w (见表 1).

表 1 冬小麦趋势产量及气象产量的求取(单位: kg/hm^2)

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
y	1627.5	2385.0	3502.5	4117.5	4485.0	4230.0	4260.0	3877.5	4275.0	4710.0	4305.0	4800.0	4860.0	4500.0	4710.0
y_t	1557.8	2811.0	3421.5	3775.5	4005.0	4165.5	4284.0	4375.5	4447.5	4506.0	4554.8	4596.0	4630.5	4661.3	4687.5
y_w	69.0-	426.0	80.3	341.3	479.3	63.8	- 24.0-	498.0-	172.5	203.3-	249.8	203.3	228.8-	161.3	21.8
y_{wf}	-	-	176.8	189.1	364.4	44.5	- 33.2-	335.6-	119.9	334.2-	404.0	251.6	80.3-	177.5	- 0.1
y_f	-	-	3598.3	3964.6	4369.4	4210.0	4250.8	4039.9	4327.6	4840.2	4150.8	4847.6	4710.8	4483.8	4687.4
$h(\%)$	-	-	97.3	96.3	97.4	99.5	99.8	95.8	98.8	97.2	96.4	99.0	96.9	99.6	99.5

注: y 为实际产量, y_t 为趋势产量, y_w 为气象产量, y_{wf} 为气象产量预报值, y_f 为模式预报值, $h(\%)$ 为预报精度.

$$y_w = y - y_t \quad (2)$$

式中 y_w 为气象产量, y 为实际产量, y_t 为趋势产量.

1.2 气象资料的处理

冬小麦生育期所选气温、日照资料系每年 10 月至次年 5 月份共 24 旬的逐旬气象要素; 考虑到降水对土壤水分影响的后延性及对农作物生长发育供应的持续性, 用了全年 36 旬的逐旬降水资料. 然后对这 3 种资料在计算机上分别做了膨化处理(即对在时间上可连续取值的同一类型的预报因子, 进行在不同时段上的连续累加而重新组合成一系列新因子, 如此可增大相关分析的信息容量). 处理后共得膨化因子 1300 多个, 用于与式(2)中提取出的气象产量序列进行线性、非线性分析.

2 长时段非线性因子的筛选及其生物学意义简析

用前面得到的膨化后的因子逐一与气象产量序列 y_w 进行线性、非线性相关计算, 其中非线性相关取二次曲线形式, 见式(3):

$$y_w = a + bx + cx^2 \quad (3)$$

式中, y_w 为气象产量, x 为膨化后的气象因子.

最后, 逐级筛选出长时段非线性因子 3 个, 即 x_1 : 10 月中旬至次年 5 月上旬的积温; x_2 : 10 月中旬至次年 1 月上旬的日照时数; x_3 : 小麦播种前 7 月上旬到 9 月下旬的降水量, 详见表 2.

由于本文对预报因子的选取原则是选用长时段且非线性相关较好的因子, 同时考虑到台站预报实际应用的需要, 因子的最后时限不能超过 5 月上旬, 所以, 前后时段在两个月以内的许多短时段因子, 虽然与预报量有较好的相关性, 也不被采用. 现对所选 3 因子的生物学意义简析如下:

表 2 长时段、非线性因子分析

类 型	因 子		
	x_1	x_2	x_3
积温(°C)		日照(h)	降水(mm)
相应时段	10月中旬至次年5月上旬	10月中旬至次年1月上旬	播种前7月上旬到9月下旬
对应发育期	播种-灌浆	播种-越冬开始	播种前
非线性相关系数	0.63	0.80	0.70

x_1 : 实质上是一个把冬季负积温考虑在内的反映冬小麦生长过程中热量供需状况的因子, 从时间长度上看, 它基本上涵盖了冬小麦整个发育期, 从它可大致看出冬小麦一生中总的热量供应情况, 而热量条件是聊城冬小麦产量形成的主要限制因子。

x_2 : 1月上旬大致对应于我市冬小麦进入越冬开始期的第1旬, x_2 即小麦播种到越冬开始之间的日照时数, 能反映出小麦越冬前所能接受到的辐射状况。光照条件也是影响小麦分蘖的重要因子。

x_3 : 即小麦播种前7月上旬到9月下旬的降水累积量。降水不足是影响聊城小麦产量的一个重要因子。聊城市夏季降水较集中, 7~9月份的常年降水量大致占全年常年降水量的62%。 x_3 实质上能较好地反映出麦田土壤底墒的丰欠。当地农谚中也有“三伏有雨好种麦”的说法。

3 长时段非线性模式的建立及预测验证

3.1 预报模式的建立

用气象资料(1981~1994年), 经回归计算可得冬小麦气象产量 y_w 与 x_1 、 x_2 、 x_3 的非线性预报回归方程如下:

$$y_w = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_3 + b_6x_3^2 \quad (4)$$

$$b_0 = 19404.54 \quad b_1 = -34.98 \quad b_2 = 0.0144362 \quad b_3 = 1.71$$

$$b_4 = 0.000822 \quad b_5 = 2.71 \quad b_6 = -0.002383$$

$$R = 0.91 \quad F = 5.00 \quad n = 13 \quad (f_{0.05} = 4.28)$$

由方程(4)可得1982~1994年逐年气象产量模拟值 y_{wf} , 与相应各年趋势产量 y_t 叠加得各年产量预报值 y_f , 分别见表1。表1中 $h(\%)$ 为各年度预报精度, 按式(5)求取, 式中 y 为各年实际产量(下同)。

$$h = (1 - |(y_f - y)/y|) \times 100 \quad (5)$$

3.2 预报模式的实况验证

分别将1995、1996、1997年的气象资料代入式(4)求取相应的气象产量, 同时由式(1)求出这3年的趋势产量, 二者相叠加, 得各年度产量预报值, 与各年实际产量的比较见表3。

从1995~1997年的预报实况看, 平均预报精度为98.4%, 准确性较好, 该模式预报达到了预期的目的。

表 3 冬小麦预报产量与实际产量的比较(单位: kg/hm^2)

年 份	x_1	x_2	x_3	趋势产量	气象产量	预报值	实际值	预报精度
1995	1397	402	338.4	4710.8	185.4	4896.2	4965.0	98.6%
1996	1264	597	282.9	4731.0	269.8	5000.8	5100.0	98.1%
1997	1413	468	363.2	4750.0	461.8	5211.8	5295.0	98.4%
1998	1419	468	298.0	4770.0	271.0	5042.0	4530.0	88.7%

另外,我们又以 1981~1997 年资料为样本,重新建立了预报方程,对 1998 年小麦产量进行了试报,预报精度为 88.7%(见表 3).预报误差较大的原因如下:(1)1998 年 5 月小麦生长后期降水偏多,日照偏少,不利于提高小麦千粒重,造成小麦减产;(2)因聊城市部分乡镇遭受冰雹、大风灾害,也在一定程度上造成小麦减产.但这也说明本模式仍存在一定的局限性,因台站实际发布产量预报是在 5 月中旬以前,所以建立模式时没有考虑到小麦生长后期(5 月中旬至 6 月上旬)的气象条件,因此,方程对小麦生长后期不良气象条件的影响难以估算出来,对预报结果需订正.

3.3 对本预报模式的理论浅析

(1)通过大量的相关普查,预报模式中引入了 3 个生物学意义明显的预报因子,这对提高预报准确性、稳定性是有益的^[1].其中,引入“累积因子”进行分析与前人利用积温预报冬小麦产量不谋而合.适量的热量供应是产量形成的重要条件,使用这一因子预报农作物产量是可行的^[2].光照条件是影响小麦冬前分蘖的重要因子,而冬前分蘖影响单位面积穗数,从而影响小麦产量^[2].土壤水分是影响小麦产量的主导因子之一^[3],土壤墒情,特别是底墒对小麦产量形成的影响具有持续性和后延性^[4,5].本模式引入了包含前期降水在内的降水因子,很大程度上反映了前期降水对冬小麦产量形成的影响.

(2)本模式在引入预报模式因子时避开前后时段较短的“气候关键期”因子,而强化累积过程(“长时段因子”)对产量形成的影响.实际上,任何短期气候影响(除冰雹、大风、水涝等突发性、严重性气象灾害外)对农作物产量的最终影响,都有可能被前期或后期的其他较佳气候影响所抵消或缓解,所以,测产中片面地强调“气候关键期”因子,结果未必令人满意.

(3)本模式充分考虑了外界因素对产量形成的非线性作用.模式中所引入的都是非线性影响因子,主要是因为在实践中注意到外界因素对产量影响大都有较好的非线性制约.

(4)本模式虽然只引入了光、温、水 3 种气象要素,但已基本反映出冬小麦所处气象生态环境的各主要方面.其他如湿度、水汽压、极端温度等气象要素,要么是这 3 种气象要素的特例,要么与之有密切关系.因此,用筛选出的这 3 种气象要素组建预报方程,求得最大拟合,实质上是强调了光、温、水三大气象要素的最佳配置与小麦产量形成的关系,即强调了气象生态条件与产量形成之间的系统性和整体性.

3.4 与其他几种方法预报结果比较

为了便于各方法的对比分析,笔者还分别建立了冬小麦产量预报的逐步回归方程、岭回归预报方程和含有短时段非线性因子的产量预报方程,对 1995~1997 年 3 年的小麦产量进行了预报结果的比较,各方法预报结果的精度比较见表 4.

表 4 各方法预报结果精度比较

年 份	长时段非线性	短时段非线性	逐步回归方法	岭回归方法
1995	98.6%	89.7%	90.6%	97.7%
1996	98.1%	97.1%	99.2%	94.1%
1997	98.4%	91.1%	90.5%	93.5%
平均	98.4%	92.6%	93.4%	95.1%
方差	0.000006	0.0015	0.0025	0.0005

由表 4 中可见, 所列 4 种方法中, 选用长时段非线性因子的产量预报平均精度最高, 预报精度年间波动最小, 结果输出精度最稳定.

4 结论与讨论

(1) 由于预报方程中引入了长时段预报因子, 预报精度稳定性较好, 比文中所列其他 3 种方法预报精度的稳定性有较明显的提高.

(2) 由于非线性因子的引入, 方程预报精度较高, 从 1995~1997 年的预报实况来看, 平均精度达 98.4%, 比逐步回归和岭回归的方法提高了 3.3~5 个百分点.

(3) 产量的形成实质上是一个长期的生物量累积过程, 前后有较强的相关性和互补性, 故从产量累积形成的观点上看, 除了用动力学的方法模拟连续的生物增长过程外, 在统计学的方法上, 采取用长时段、非线性因子的方法进行预报, 也是一种考虑生物生长过程的简便方法, 较适于基层台站使用.

(4) 本预报模式只引入了光、温、水 3 种气象要素, 对其他气象要素未作尝试, 且考虑到实际发布产量预报需要, 各因子资料最后时限只取到 5 月上旬, 所以小麦发育后期出现的异常天气对产量造成的不良影响难以报出, 这是本模式的局限性.

(5) 本方法只经过 4 年的验证, 仍需在实践中做进一步的检验. 同时, 所用资料样本容量较少, 有待于在今后不断充实和完善. 另外, 所用趋势产量的求取是采用指数模式, 其最大缺陷在于后期增长速度平缓, 不能反映出产量变化的突变过程, 故随着预报时限的延长, 在趋势产量的求取上, 也要做适当的调整和改进.

参 考 文 献

- 1 顾节经. 提高粮食预报模式稳定性及准确性的探讨. 山东气象, 1995, 3: 8~11.
- 2 冯秀藻, 陶炳炎. 农业气象学原理. 北京: 气象出版社, 1991. 114, 316, 333.
- 3 黄善斌, 卢皖, 王和芳. 高产田小麦千粒重农业气象条件的研究. 山东气象, 1997, 17(1): 23~26.
- 4 冯定原. 农业气象预报和情报方法. 北京: 气象出版社, 1988. 21~23.
- 5 黄文华. 水分与冬小麦产量关系的数理预报. 农业气象, 1986, 7(1): 43~48.

YIELD PREDICTION OF WINTER WHEAT BASED ON THE LONG-TERM NONLINEAR IMPACT ANALYSIS

Wang Shutong Zhang Rongxia Zhang Min

(Liaocheng Meteorological Bureau, Shandong Province, Liaocheng 252060)

Abstract

In order to raise the prediction precision and stability of winter wheat yield prediction, a prediction model built from the selected long-term nonlinear predictors is developed through the expanding correlation analysis between meteorological yield and meteorological parameters, and it performs well. The preliminary theoretical analysis is also conducted. The application of four years and the comparison with the other statistical methods indicate that the predicted results using the method are desirable and applicable to the yield prediction at the bottom-level weather stations.

Key Word: Non-linearity Winter wheat Yield prediction