

文章编号: 1004- 4574(2008)01- 0104-05

# 基于灰色预测模型的江苏省粮食灾损量估计

李春华<sup>2</sup>, 李 宁<sup>1,2,3</sup>, 孟志强<sup>3</sup>

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室(北京师范大学), 北京 100875; 2 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 民政部教育部 减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘要:**影响粮食产量的因素包括粮食单产和粮食播种面积, 自然灾害对这两个因素均有影响。根据灰色预测理论, 提出了一个自然灾害粮食损失的评估模型, 利用实际粮食产量资料, 对江苏省改革开放以来的粮食灾损量进行了估计。结果表明, 近 30年来江苏省自然灾害粮食灾损明显, 粮食灾损率年际间波动较大, 农业生产的减灾投入是农业可持续发展的重要保障。

**关键词:**自然灾害; 灰色预测; 粮食; 灾损模型; 粮食灾损量

中图分类号: X43; S51

文献标识码: A

## Estimation of grain yield loss in Jiangsu Province based on grey prediction model

LI Chun-hua<sup>2</sup>, LIN ing<sup>1,2,3</sup>, MENG Zhi-qiang<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology (Beijing Normal University), Beijing 100875 China  
2 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Ministry of Education of China Beijing Normal University  
Beijing 100875 China 3 Academy of Disaster Reduction and Emergency Management Ministry of Civil Affairs &  
Ministry of Education the People's Republic of China Beijing 100875 China)

**Abstract** There are two factors that affect grain yield including per unit area grain output and sown area of grain. In order to shed light on the impact of natural disaster on grain yield in Jiangsu Province, The grain loss model is put forward based on gray prediction analysis. By means of the grain loss model, factors of grain production in Jiangsu is discussed. According to the grain production data and agricultural statistical data from 1978 to 2004 in Jiangsu Province, the loss amount of grain yield due to natural disaster in Jiangsu Province is calculated. The results signifies that the impact of natural disaster on grain production is significant and grain loss rate fluctuates in the research period, which implies that it is indispensable to enlarge the disaster relief input into the grain production so as to maintain the agricultural sustainable development.

**Keywords** natural disaster; gray prediction; grain disaster loss model; amount of disaster loss

江苏省既因为地处我国南北气候、高低纬度和陆海交互作用的 3 种过渡带的重叠地区, 又因为流经境内的淮河是七大江河中洪涝灾害最频繁、灾情最严重的河流之一, 而成为受灾害影响比较严重的地区。江苏省是产粮大省, 粮食总产量在全国各省中始终位居前列, 粮食问题是关系国计民生的重大问题受到高度重视, 但是, 粮食生产受自然灾害的影响, 粮食产量具有明显的波动性。这种现象引起学者的关注, 徐梦洁等以

收稿日期: 2007- 11- 20 修订日期: 2007- 12- 28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771008); 国家科技攻关支撑项目(2006BAD20B01)

作者简介: 李春华(1970- ), 男, 博士生, 主要从事自然灾害及风险管理研究。

通讯作者: 李宁(1958- ), 女, 教授, 主要从事自然灾害及风险管理研究。E-mail: ning@ires.cn

混沌理论为基础,对江苏省粮食单产时间序列用分形的方法进行了初步研究,从吸引子维数、Kolmogorov熵等方面分析了粮食单产变化的混沌性质,得出粮食单产的影响因素既包括随机性较强的因素如气象气候,也包括确定性较强的因素如生产技术、品种,但是未能具体分析这些因素对单产和总产的影响力,更未对气候因素中的有利和不利影响进行区分<sup>[1]</sup>。在研究江苏省粮食生产方面,刘会玉等通过灰色关联分析得出江苏省粮食生产影响因子关联顺序为:粮食单产、粮食作物播种面积、有效灌溉面积、年降水量、农业机械总动力、化肥施用量、农村用电量、粮食收购价格指数<sup>[2]</sup>,通过该方法只可以将影响粮食生产的影响因子按重要程度进行排序,既无法验证这些影响因子在实证中的显著程度,更无法定量测度这些因子对粮食生产的具体影响力大小。此外,还未能量化农业生产的灾害影响,本文作者试图在这方面有所探讨。

# 1 粮食单产灾损量的估计模型

## 1.1 GM(1,1)模型对趋势项的分解

粮食生产受社会因素、物质投入、科学技术水平和自然因素的共同影响,使产量产生波动。社会因素、物质投入、科学技术水平这3个因素反映了社会生产力水平的高低,在粮食生产上,这3个因素决定了粮食产量的时间趋势。因而,粮食产量可分解为时间趋势项和波动项两个部分,即:

$$y_t = \hat{y}_t + y_w \tag{1}$$

式中:  $y_t$  为实际产量(一般为播种面积单产量);  $\hat{y}_t$  为产量的时间趋势项;  $y_w$  为产量波动项。在一般社会条件下,  $\hat{y}_t$  的变化反映了社会因素、物质投入、科学技术水平的高低,而  $y_w$  的变化则反映了自然因素对粮食产量的作用。在特殊社会条件下,  $y_w$  的变化还反映了特殊社会条件(如农业政策的波动等)对粮食产量所造成的影响。由  $\hat{y}_t$  和  $y_t$  的值可以计算出  $y_w$  的值,这个波动值还需要继续分离出自然灾害的影响,波动因素包括有利的和不利的因素两个部分:

$$y_w = y_e - y_d \tag{2}$$

其中  $y_e$  为有利的因素,  $y_d$  为不利的因素。此式代入式(1),得到

$$y_t = \hat{y}_t + y_e - y_d \tag{3}$$

此处把  $\hat{y}_t + y_e = e$  定义为粮食产量的增长能力  $\hat{y}_p$ , 这样

$$y_t = \hat{y}_p - y_d \tag{4}$$

## 1.2 粮食单产的时间趋势项的 GM(1,1)算法

据产量分析的观点,对产量的时间趋势项  $\hat{y}_t$  可采用 GM(1,1)模型的方法对实际产量进行模拟,其具体算法为<sup>[3]</sup>: 设原始系列为:

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \tag{5}$$

其累加生成序列

$$X^{(1)} \text{ 为: } X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \tag{6}$$

对一阶生成数列  $x^{(1)}$ , 建立 GM(1,1)模型

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \tag{7}$$

对于式(7)方程组,用最小二乘法求解可得,

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \tag{8}$$

式中:

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

在求出模型的参数后,下一步的工作就是进行预测了

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} + \frac{u}{a}; (k = 1, 2, \dots, n) \tag{9}$$

一般地,灰色 GM(1,1)预测模型,表示一阶的,一个变量的微分预测模型,预测公式的精度检验可由表 1

给出。其中  $p$  为小误差概率,  $c$  为方差比。

表 1 灰色预测精度检验登记标准

Table 1 Classification criterion for precision verification of GM (1, 1) prediction model

模型精度等级	$p$	$c$
好	$> 0.95$	$< 0.35$
合格	$> 0.8$	$< 0.5$
勉强	$> 0.7$	$< 0.65$
不合格	$\leq 0.7$	$\geq 0.65$

### 1.3 自然灾害粮食总产损失的评估模型

就粮食总产而言,它涉及的因素包括播种面积和粮食单产两个方面,  $Y_s$  如果设为因为播种面积而引起的粮食产量变化,  $\hat{Y}_p$  为粮食总产的增长能力,  $S_t, S_{t-1}$  实际本期和前期的播种面积,那么,

$$\hat{Y}_p = (\hat{y}_p - y_{t+1}) \times S_t \tag{10}$$

$$Y_s = y_t \times (S_t - S_{t-1}) \tag{11}$$

因为粮食总产 ( $Y_t$ ) 实际上包括以下 4 个部分: (i) 前一年已达到的粮食总产量 ( $Y_{t-1}$ , 基数); (ii) 在前一年产量基础上的粮食产量增长能力 ( $\hat{Y}_p$ ); (iii) 因播种面积的增减而造成的粮食产量增减 ( $Y_s$ ); (iv) 因自然灾害而造成的粮食损失量, 或称粮食灾损量 ( $Y_d$ ), 即:

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_s + \hat{Y}_p - Y_d \tag{12}$$

此式可以变成如下形式,

$$Y_d = Y_{t-1} - Y_t + (\hat{y}_p - y_{t+1}) \times S_t + (S_t - S_{t-1}) \times y_t \tag{13}$$

为了能够反映出同样自然条件下, 社会处于不同生产力水平时自然灾害对粮食产量的影响, 可用粮食灾损量与粮食总产量的百分比  $Y_d/Y_t$  来衡量<sup>[4,6]</sup>。

## 2 江苏省粮食灾损量评估

### 2.1 江苏省粮食单产的时间增长能力<sup>[7,10]</sup>

根据 1978-2004 年间江苏省粮食单产值 (表 2 中第 2 列), 用 GM (1, 1) 模型对其时间增长趋势预测, 图 1 中对其时间趋势进行模拟, 其方程为:

$$\hat{y} = 317\,285\,68\,608e^{0.013\,75t} - 313\,481\,726\,708 \tag{14}$$

预测值和实际值的平均相对误差是 4.34116%,  $a = -0.013\,75$ ,  $b = 4310\,236\,846$  小误差概率  $p = 0.963$  方差比  $c = 0.287$  模型预测精度等级较好, 模型符合预测要求。由式 (14) 可以计算出粮食单产的时间趋势项  $\hat{y}_t$ , 再根据式 (2) 确定粮食单产的波动项  $y_w$ 。粮食单产波动的影响因素分为正向的有利自然因素和负向自然灾害因素两个方面。正向因素的影响量确定方法是假定某年无自然灾害, 那么该年的自然灾害的损失就为零, 此时  $y_e = y_w$ , 在一个小的范围内这种可能性完全存在, 但是在一个较大的范围之内, 取受灾面积最小年的年份来近似。改革开放以来江苏省农业受灾面积和受灾率最小的是 2004 年, 分别是  $172.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$  和 0.03615%。因此  $y_e$  值可以用 2004 年的  $y_w$  值代替。由式 (1), (14) 可以算出 2004 年的  $y_w$  为  $269\,348.7 \text{ kg}/10^3 \text{ hm}^2$ , 这样利用式 (14) 算出就可以算出  $\hat{y}_t$ , 再加上  $y_e$  值便可以得到江苏省粮食产量随时间变化的增长能力  $\hat{y}_p$  (表中第 3 列)。

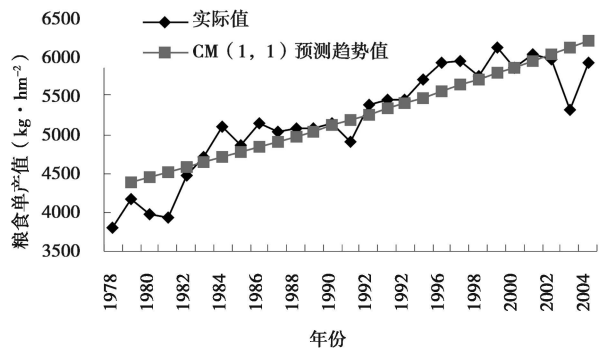


图 1 江苏省粮食实际单产和 GM (1, 1) 模型预测趋势值  
Fig 1 Actual grain yield per unit area in Jiangsu Province and its GM (1, 1) model predicted trend value

2004 年的  $y_w$  为  $269\,348.7 \text{ kg}/10^3 \text{ hm}^2$ , 这样利用式 (14) 算出就可以算出  $\hat{y}_t$ , 再加上  $y_e$  值便可以得到江苏省粮食产量随时间变化的增长能力  $\hat{y}_p$  (表中第 3 列)。

表 2 江苏省灾害粮食损失的初步估计

Table 2 Preliminary estimate of disaster induced grain losses in Jiangsu Province

年份	$y_t$ $/(kg \cdot hm^{-2})$	$\hat{y}_p$ $/(kg \cdot hm^{-2})$	$S_t / 10^3 hm^2$	$\hat{Y}_p / 10^4 t$	$Y_s / 10^4 t$	$Y_t / 10^4 t$	$Y_d / 10^4 t$	$\frac{Y_d}{Y_t} / \%$
1978	3 803.96	4073.309	6 310.93			2 400.65		
1979	4 165.2	4662.018	6 181.46	0 530.405	- 0 05393	2 574.7	- 173.574	- 6 741.5
1980	3 970.2	4 722.832	6 090.25	0 339.612	- 0 036.21	2 417.95	157.0534	6 495.312
1981	3 927.17	4 784.489	6 395.58	0 520.785	0 119.908	2 511.65	- 93.0593	- 3 7051.1
1982	4 470.34	4 846.998	6 387.55	0 587.545	- 0 003.59	2 855.45	- 343.216	- 12 019.7
1983	4 719.34	4 910.374	6 468.60	0 284.64	0 038.25	3 052.75	- 196.977	- 6 452.45
1984	5 106.95	4 974.627	6 566.73	0 167.64	0 050.115	3 353.6	- 300.632	- 8 964.46
1985	4 860.6	5 039.769	6 432.44	- 0 043.21	- 0 065.27	3 126.52	226.9715	7 259.557
1986	5 142.24	5 105.813	6 494.37	0 159.25	0 031.846	3 339.56	- 212.849	- 6 373.56
1987	5 024.76	5 172.772	6 483.30	0 019.795	- 0 005.56	3 257.7	81.874.23	2 513.253
1988	5 072.99	5 240.657	6 393.39	0 138.031	- 0 045.61	3 243.36	14.432.42	0 444.984
1989	5 086.06	5 309.483	6 454.51	0 152.645	0 031.086	3 282.8	- 39.256.3	- 1 195.82
1990	5 129.88	5 379.261	6 363.02	0 186.564	- 0 046.93	3 264.15	18.789.63	0 575.636
1991	4 893.80	5 450.005	6 202.77	0 198.566	- 0 078.42	3 035.51	228.7601	7 536.135
1992	5 372.39	5 521.729	6 180.77	0 388.108	- 0 011.82	3 320.55	- 284.664	- 8 572.79
1993	5 439.28	5 594.446	6 029.66	0 133.892	- 0 082.19	3 279.7	40.901.7	1 247.117
1994	5 434.28	5 668.169	5 748.78	0 131.583	- 0 152.64	3 124.05	155.628.9	4 981.641
1995	5 710.19	5 742.913	5 755.15	0 177.623	0 003.637	3 286.3	- 162.069	- 4 931.65
1996	5 914.76	5 818.692	5 877.42	0 063.771	0 0723.2	3 476.35	- 189.914	- 5 463.03
1997	5 945.17	5 895.52	5 994.43	- 0 011.53	0 069.564	3 563.79	- 87.382	- 2 451.94
1998	5 743.31	5 973.412	5 946.26	0 016.793	- 0 027.67	3 415.12	148.659.1	4 352.969
1999	6 106.23	6 052.382	5 828.52	0 180.143	- 0 071.89	3 559.03	- 143.802	- 4 040.48
2000	5 856.80	6 132.445	5 304.31	0 013.905	- 0 307.02	3 106.63	452.106.9	14 552.97
2001	6 020.57	6 213.617	4 886.66	0 174.364	- 0 251.45	2 942.05	164.502.9	5 591.438
2002	5 953.92	6 295.912	4 882.58	0 134.438	- 0 002.43	2 907.05	35.132.01	1 208.511
2003	5 305.00	6 379.347	4 659.47	0 198.226	- 0 118.36	2 471.85	435.279.9	17 609.48

注:  $y_t$  为实际粮食单产 ( $kg/hm^2$ ),  $\hat{y}_p$  反映粮食产量随时间变化的增长能力 ( $kg/hm^2$ );  $S_t$  为粮食作物实际播种面积 ( $10^3 hm^2$ );  $\hat{Y}_p$  为粮食总产增长能力 ( $10^4 t$ );  $Y_s$  播种面积变化引起的粮食总产量变化 ( $10^4 t$ );  $Y_t$ : 实际粮食总产量 ( $10^4 t$ );  $Y_d$ : 因自然灾害而造成的粮食损失量 ( $10^4 t$ );  $Y_d/Y_t$ : 粮食灾害损失的比重 (%)

## 2.2 开放以来江苏省粮食灾损量的评估<sup>[10-15]</sup>

表中第 4 列给出了江苏省粮食的播种面积值, 由式 (10), (11) 就可以算出  $\hat{Y}_p$ ,  $Y_s$  值 (表中的第 5 列和第 6 列), 可以看出,  $\hat{Y}_p$  在 1985、1997 年为负值,  $Y_s$  在 1987、1996、1998、2000 年值很小, 这基本上反映了几次大的农业政策波动对粮食增长能力的影响。1978-2004 年中有 17 a 结果为负值, 表明随着市场经济的发展靠扩大耕地面积来增加粮食生产的可能性越来越小。表 2 中的第 7 列给出了江苏省的粮食总产值  $Y_t$ , 由 (13) 式便可以算出粮食生产的灾损量, 列于第 8 列。第 9 列给出了粮食灾损量  $Y_d$  和粮食总产量的百分比值。计算出的一般为正值, 正值越大, 表示因自然灾害所造成的粮食损失量越大,  $Y_d$  为零或负值时, 表示自然灾害对粮食产量基本无影响。1991 年江淮流域出现了特大的洪涝灾害, 大量的耕地被淹, 粮食产量的灾损比例为 7.536%, 损失粮食 228 760.1 万 t。近 50 a 来江苏省出现过 3 个典型梅雨洪涝年 (1954、1991、2003 年), 2003 年的粮食灾损量为 435 279.9 万 t, 灾损比例为 17.60%, 其比例为各年最高。

### 3 简要分析和结论

江苏省统计所定义的受灾面积是指因遭受水、旱、病虫、霜冻、风雹等自然灾害而使农作物产量比常年减少的播种面积。成灾面积是指因灾使农作物产量比常年减产三成以上的播种面积。绝收面积是指减产九成以上的受灾面积。粮食的总产量是单产与播种面积的乘积。所以,为了对自然灾害对粮食生产的损失量的灾损模型评估的精确性进行检验和时间变化趋势进行分析,我们把粮食灾损比率趋势和灾害成灾率的变化趋势以及粮食单产的波动变化趋势进行了对照(图 2 3)。从图可以发现二者有近乎相同的变化趋势。说明:(1)近 30 a来江苏省自然灾害粮食灾损明显,粮食灾损率年际间波动较大;(2)用基于灰色 GM(1, 1)模型所建立的粮食灾损评估模型对江苏省粮食灾损量的估计是有效的。

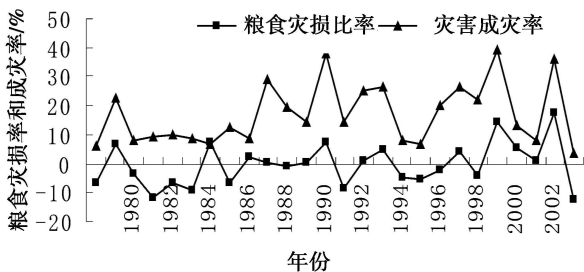


图 2 粮食成灾率和灾损率的变化趋势

Fig 2 Variation trend of disaster-affected rate and disaster-suffering rate of grain

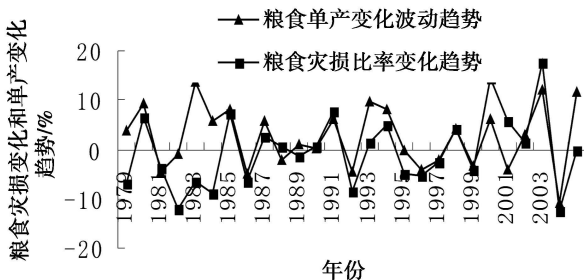


图 3 粮食灾损率和单产波动变化趋势

Fig 3 Variation of disaster suffering rate of grain and its yield per unit area

### 参考文献:

- [ 1 ] 徐梦洁,彭补拙.江苏省粮食产量吸引子维数研究[J].人文地理,2001,16(3):53-56
- [ 2 ] 刘会玉,张阳明,林振山.建国以来江苏省粮食产量变化的多时间尺度分析[J].资源科学,2004,26(1):107-112
- [ 3 ] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [ 4 ] 中国农业科学院.中国粮食之研究[M].北京:中国农业科技出版社,1989:210-211
- [ 5 ] 张兰生,史培军,方修琦.我国农业自然灾害灾情分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),1990,26(3):94-99
- [ 6 ] 郑大玮,张波.农业灾害学[M].北京:中国农业出版社,2000:1-69.
- [ 7 ] 国家统计局.中国统计年鉴(1981—2005年)[M].北京:中国统计出版社.
- [ 8 ] 国家统计局农村社会经济调查总队.中国农村统计年鉴(1989—2004年)[M].北京:中国统计出版社.
- [ 9 ] 国家农业部.中国农业统计资料(1987—2004年)[M].北京:中国农业出版社.
- [ 10 ] 中华人民共和国农业部.中国农业年鉴(1980—2005年)[M].北京:中国农业出版社.
- [ 11 ] 罗小锋.自然灾害对湖北粮食产量的影响分析[J].灾害学,2007,22(2):109-113
- [ 12 ] 许飞琼.灾害统计指标体系及其框架设计[J].灾害学,1996,11(1):11-14.
- [ 13 ] 李世奎.中国农业灾害风险评估与对策[M].北京:气象出版社,1999.
- [ 14 ] 刘金霞.农业风险管理理论方法及其应用研究[D].天津:天津大学,2004.
- [ 15 ] 赵莹.论我国农业保险的供给体系构建[D].重庆:西南财经大学,2004.