

李 磊, 谢小璐. 工业污染与城镇化对粮食产量影响的灰色分析——以江苏省为例[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(6): 393–396.

工业污染与城镇化对粮食产量影响的灰色分析 ——以江苏省为例

李 磊^{1,2}, 谢小璐¹

(1. 江南大学商学院, 江苏无锡 214122; 2. 江苏环境与发展研究中心, 江苏南京 210037)

摘要:引入工业污染和城镇化进程在粮食生产活动中的影响,通过灰色关联分析获取影响粮食产量的主要因素,建立 GM(1,N)灰色系统模型对江苏省 1996—2010 年的粮食产量进行预测,与 GM(1,1)模型对比结果表明,其拟合值平均相对误差较小,预测精度较高,可为未来粮食生产提供科学的指导。

关键词:江苏省;工业污染;城镇化;灰色关联分析;GM(1,N)模型;粮食产量

中图分类号: F32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)06-0393-03

农业是国民经济发展的基础,粮食是人类生存最基本的物质基础,粮食生产与一个国家的发展密切相关。粮食的生产涉及国家、企业、消费者以及农民等的根本利益,种植—收获—加工—贮藏—流通—销售—消费中某个流程出现了差错就可能导致粮食质量的下降以及产量的波动^[1],影响国民经济和社会的发展。在工业化、城镇化发展过程中推进农业现代化,是“十二五”时期的一项重大任务^[2]。

江苏作为农业大省,是我国的主要粮食生产区域之一,产量的多少牵动着经济增长、农业发展、社会稳定、农民收入以及食品消费等。在“八五”期间,江苏省的粮食产量从 1996 年的 3 476.35 万 t 逐年增长到 1999 年的 3 559.03 万 t,但是,从 2000 年开始一直到 2005 年突然骤减,尤其是 2003 年的产量达到近年规划以来的最低值 2 471.85 万 t。“十二五”以来,江苏省政府鼓励大力发展粮食生产,粮食产量因受到政府重视而恢复并加快生产,2012 年的生产总量达到 3 372.5 万 t,约占全国粮食总量的 6%,并呈现稳步上涨的趋势。

当前,环境污染加大、城镇化进程加快、种植面积减少、农民种粮积极性下降等系列问题对粮食产量形成冲击。(1)随着环境库兹涅茨倒 U 型曲线的提出,工业污染排放与经济增长的相互作用关系成为研究的热点^[3]。2010 年江苏省的工业产值贡献率达到 54.9%,显然工业发展拉动地区国内生产总值增加。然而工业经济发展增加了污染物的排放量,工业废水和工业废气影响粮食作物的正常生长。(2)土地是粮食生产的载体,由于农业结构调整和自然灾害导致耕地资源快速减少。政府现阶段鼓励退耕还林政策以粮食种植面积减少来换取其他作物产量的增加。近年房地产行业呈现井喷式的

扩张,大量耕地被开发商征用建设大型商场以及商品房。(3)由于农用肥料价格一直攀升,虽然政府对粮食的支持价格一定程度上保障了农民的利益,但是粮食属于生活必需品,需求价格弹性很小,易产生谷贱伤农的现象。因此许多农民宁愿选择外出打工增加收入,在比较利益的驱使下种植粮食的积极性不高^[4]。

国内外众多学者对粮食生产进行了深入研究。Zhang 等以江苏省为案例构建两级多目标决策的基本农田保护数量模型,求得农田质量以及粮食产量达到最大^[5]。肖智等以 1978—1989 年的粮食产量数据为基础,采用基于粗糙集的组合模型预测了某地 1990—1996 年的粮食产量,结果表明,该方法优于最优组合预测法^[6]。刘会玉等以小波分析为基础对近 50 年江苏省粮食产量进行了多时间尺度的分析,发现未来一段时间将进入减产阶段^[7]。孙东升等以 1949—2008 年的粮食产量数据为基础,采用 HP 滤波分析法分别建立了趋势模型和 BP 滤波的波动周期模型,预测 2010—2020 年的粮食产量^[8]。旷岭利用遗传算法优化的 RBF 神经网络模型对 1978—2008 年我国的粮食产量进行仿真,精度有所提高^[9]。

相关文献虽然在预测方法上有一定的参考价值,但是均未考虑某些因素对粮食产量的影响,只是单纯从自身的数据出发得到预期值,因此其可靠性有待商榷。Nico 等利用一般均衡模型实例验证粮食产量与粮食价格呈正相关关系,即随着粮食价格的上升,粮食产量将提高^[10]。杜江等分析了城镇化和粮食产量的关系,结果表明,短期内两者存在矛盾,但是从长期的角度观察两者却相辅相成^[11]。郭剑雄对城镇化与粮食供需能力的研究发现,在需求上城镇化一方面加大粮食需求,另一方面抑制其增长,而在供给上短期的城镇化发展导致粮食安全压力增大,长期的粮食产量和城镇化将共同提升^[12]。周永生等利用多元线性回归建立了广西粮食产量预测模型,结果是种植面积和单位面积产量的影响最大^[13]。毛伟研究了湖北省粮食产量影响因素的分位数回归模型^[14]。高倩倩利用逐步回归提取影响粮食产量的主要因素进行预测,提高了预测误差精度^[15]。石宏景运用因子分析找出影响粮食产量的因素为生产要素投入、自然因素和生产价格、土地投入和市场价格^[16]。相关文献主要将农业现代化情况作为

收稿日期:2013-02-16

基金项目:江苏省教育厅重点基地重大项目(编号:10JSJD25);江南大学研究生培养创新工程项目(编号:JNU120903)。

作者简介:李 磊(1959—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,教授,博士生导师,主要从事环境经济与公共资源管理研究。E-mail:inf2007@126.com。

通信作者:谢小璐,硕士研究生,主要从事环境经济与应用统计研究。E-mail:xxlafu@126.com。

影响因素引入到模型中,但是粮食的综合生产不仅仅局限于一方面,而是可以从其他角度予以分析。

本研究利用灰色关联分析,探讨江苏省粮食产量影响因素,分析主要影响因素,然后采用 GM(1, N) 灰色系统模型对江苏省粮食产量进行预测,通过相关因素序列的影响程度提出加强粮食生产能力的建议,确保粮食供应和粮食安全。

1 数据来源

1996 年,中央、省、市三级粮食储备体系初步形成。粮食市场体系处于构架之中;进一步改革了粮食经营管理体制,全面部署了粮食政策性业务和商业性经营分开运行^[17]。另外,数据样本过大则会引入陈旧信息,增加运算量的同时导致整体模型的效果变差;数据样本过少则无法充分描述问题。本研究以 1996—2010 年的相关数据进行分析。

在近几年的粮食产量研究过程中,许多学者利用先进的人工智能算法进行预测分析,但是各智能算法自身存在着缺陷,以及选取的影响因子大多局限在农业现代化方面,没有考虑工业污染和城镇化进程等其他因素的作用,使得建立的模型过于单一且适应性差。

影响粮食产量的控制变量包括:(1)工业污染。粮食生产过程中涉及的土地、水、化肥、农药等物质基础直接关系到粮食生产能力。随着工业经济的迅速发展,大量耕地被征去重新开发,工业产值也逐渐递增。江苏的工业企业排污处理能力虽然日趋完善,但工业废水和废气排放问题不容忽视。工业污染物流入农用地和灌溉水中必然影响粮食产量。(2)城镇化。当前,江苏省对农村人口的吸收以及农村城镇化改造控制在适当比例范围,在一定程度上提高了农业生产效率,缓解了城镇扩张引发的耕地减少对粮食生产的压力。城镇的健康发展为农业提供了充足的财力和物力,加快了农业机械化的推广和农业新技术的应用,使得粮食产量稳定增长^[12]。(3)农业现代化。现代农业发展离不开科技的支持。转变过去大量人力资源投入的农业生产方式,改由机械化的手段进行生产,提高了粮食产量水平,节约了大量的时间和劳动力成本。粮食生产除了有效的灌溉面积和播种面积外,化肥施用量和农业机械总动力水平也是重要的影响因素。

综上所述,本研究选择江苏省 1996—2010 年的粮食产量 x_0 (万 t) 为参考数列,工业废气排放量 x_1 (亿标 m^3)、工业废水排放量 x_2 (万 t)、农村居民恩格尔系数 x_3 、农村居民人均年纯收入 x_4 (元)、城镇人口占总人口比例 x_5 、第一产业从业人数比例 x_6 、有效灌溉面积 x_7 (千 hm^2)、粮食播种面积 x_8 (千 hm^2)、化肥施用量 x_9 (万 t) 和农业机械总动力 x_{10} (万 kW) 等为相关数列。所有数据均来自《中国统计年鉴》以及《江苏统计年鉴》。

2 灰色关联分析模型

设参考数列 $x_0 = [x_0(i) | i = 1, 2, \dots, n]$, i 为某个时间,相关数列 $x_k = [x_k(i) | i = 1, 2, \dots, n]$, $k = 1, 2, \dots, N$, 则相关数列对参考数列在时间的关联系数可表示为

$$\zeta_k(i) = \frac{\min_i \min_s |x_0(t) - x_s(t)| + \rho \max_i \max_s |x_0(t) - x_s(t)|}{|x_0(i) - x_s(i)| + \max_i \max_s |x_0(t) - x_s(t)|} \quad (1)$$

式中: $\min_i \min_s |x_0(t) - x_s(t)|$ 、 $\max_i \max_s |x_0(t) - x_s(t)|$ 分别称为两级最小差和最大差。分辨系数 $\rho \in [0, 1]$, 一般在计算过程中取 $\rho = 0.5$ 。只要关联度值大于 0.65 则认为关联显著,达到满意预测结果^[18]。

对关联系数求均值充分集中处理信息,相关数列对参考数列的关联度为:

$$r_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_k(i) \quad (2)$$

3 GM(1, N) 灰色系统模型

设系统有 N 个原始数列分别为 $x_k^{(0)} = [x_k^{(0)}(1), x_k^{(0)}(2), \dots, x_k^{(0)}(n)]$, $k = 1, 2, \dots, N$, 累加 $x_k^{(0)}$ 生成数列:

$$x_k^{(1)} = [x_k^{(0)}(1), \sum_{j=1}^2 x_k^{(0)}(j), \dots, \sum_{j=1}^n x_k^{(0)}(j)] \quad (3)$$

其中: $k = 1, 2, \dots, N$ 。对数列 $x_k^{(1)}$ 作平均值得:

$$z_1^{(1)} = 0.5x_1^{(1)}(l) + 0.5x_1^{(1)}(l-1) \quad (4)$$

其中: $l = 2, 3, \dots, n$ 。

故 GM(1, N) 的灰微分方程为

$$dx_1^{(1)}(l) + az_1^{(1)}(l) = \sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)}(l) \quad (5)$$

式中: $x_1^{(1)}(l)$ 称为灰导数, $z_1^{(1)}(l)$ 称为背景值, $-a$ 称为系统发展参数, b_k ($k = 2, 3, \dots, N$) 称为驱动系数, $b_k x_k^{(1)}(l)$ 称为驱动项。

对于式(5), 若将 $x_k^{(1)}(l)$ 的时间值 $l = 1, 2, \dots, n$ 看作连续变量 t , 则数列 $x_k^{(1)}(l)$ 转化为时间 t 的函数^[18], 记作 $x_k^{(1)} = x_k^{(1)}(t)$ 。此时可得 GM(1, N) 的白化微分方程为:

$$\frac{dx_1^{(1)}}{dt} + ax_1^{(1)} = \sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)} \quad (6)$$

令

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(2)) & x_1^{(1)}(2) & \cdots & x_N^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(3)) & x_1^{(1)}(3) & \cdots & x_N^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(n-1) + x_1^{(1)}(n)) & x_1^{(1)}(n) & \cdots & x_N^{(1)}(n) \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} x_1^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x_1^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

则参数列 $\theta = [a, b_2, \dots, b_N]^T$ 的最小二乘估计满足 $\theta = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 。因此白化微分方程的解为:

$$x_1^{(1)}(t) = e^{-at} \left[\sum_{k=2}^N \int b_k x_k^{(1)}(t) e^{at} dt + x_1^{(1)}(0) - \sum_{k=2}^N \int b_k x_k^{(1)}(0) dt \right] = e^{-at} \left[x_1^{(1)}(0) - t \sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)}(0) + \sum_{k=2}^N \int b_k x_k^{(1)}(t) e^{-at} dt \right] \quad (7)$$

$x_k^{(1)}(k = 1, 2, \dots, N)$ 变化幅度较小时, 则把 $\sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)}(l)$ 看作灰常量, 那么式(7)的近似时间响应式为:

$$\hat{x}_1^{(1)}(l+1) = e^{-a} \left[x_1^{(0)}(0) - \frac{1}{a} \sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)}(l+1) \right] + \frac{1}{a} \sum_{k=2}^N b_k x_k^{(1)}(l+1) \quad (8)$$

因此累减还原式为:

$$\hat{x}_1^{(0)}(l+1) = \hat{x}_1^{(1)}(l+1) - \hat{x}_1^{(1)}(l) \quad (9)$$

通过式(9)进行灰色预测,估计未来几年的产量值。

4 实证分析

利用灰色关联度计算式(2),取分辨率 $\rho=0.5$,得到粮食产量与其余 10 个影响因素的综合关联度分别为: $r_1=0.5384$, $r_2=0.7336$, $r_3=0.6883$, $r_4=0.5980$, $r_5=0.5633$, $r_6=0.6378$, $r_7=0.5771$, $r_8=0.8935$, $r_9=0.7572$, $r_{10}=0.7069$ 。由此可知灰色关联序为 $r_8 > r_9 > r_2 > r_{10} > r_3 > r_6 > r_4 > r_7 > r_5 > r_1$ 。其中工业废水排放量 x_2 、农村居民恩格尔系数 x_3 、粮食播种面积 x_8 、化肥施用量 x_9 和农业机械总动力 x_{10} 与粮食产量 x_0 的关联度大于 0.65,显然这 5 个相关数列对参考数列的影响较显著,能得到较满意的预测结果;其余 5 个变量对粮食产量的影响相对较弱。

从关联度分析的结果发现,粮食播种面积对粮食产量影响最大。只有拥有足够的耕地才能保证生产的正常进行。由于江苏农业现代化水平相对较高,近几年在生产实践中被广泛推广,农业现代化对粮食产量影响相对较大。在所有的因素中工业废气排放量的影响最小,表明工业废气处理受到了重视,当然也不代表不存在某种程度的危害,必须继续控制排放量。第一产业从业人数比例反映出农民从事农业生产活动的积极性对粮食产量的促进作用,大批农民进城打工引发的粮食生产从业人员流失现象不能忽视。

通过灰色关联分析确定了关键因素后,选取 1996—2010 年的粮食产量数据作为系统特征序列,工业废水排放量、农村居民恩格尔系数、粮食播种面积、化肥施用量和农业机械总动力作为相关因素序列,建立 GM(1,N)模型。

原始值与预测值的绝对误差、相对误差如表 1 所示。由表 1 可计算得平均相对误差为 3.552%,预测精度达到 96.448%。若改用 GM(1,1)模型则平均相对误差值达到 7.651%,采用 GM(1,N)模型的结果平均相对误差小于 GM(1,1)模型的结果,即 GM(1,N)模型的预测效果优于 GM(1,1)模型。粮食产量原始值、GM(1,N)模型预测值和 GM(1,1)模型预测值如图 1 所示。从图 1 可以看出,1996—2010 年 15 年期间,江苏省的粮食产量波动较大,将工业废水排放量、农村居民恩格尔系数、粮食播种面积、化肥施用量和农业机械总动力引到建立的模型中的相关变量序列,从 2000 年开始 GM(1,N)模型拟合的结果较好地逼近真实值,相对误差较小。而 GM(1,1)模型无法拟合粮食产量的变化趋势,与真实值的偏差相对较大,因此逼近效果不明显。

5 结论与建议

基于灰色关联分析,选取了影响江苏省粮食产量的关键因素,以适当的样本量充分综合工业化、城镇化和农业现代化的信息,建立 GM(1,N)模型进行预测,得到了可以接受的较满意的结果,与 GM(1,1)模型单纯考虑自身的变化趋势对比平均相对误差减小。

粮食综合生产能力关系国计民生,农业发展不能只考虑农业现代化的推进,而且还与工业污染和农村居民恩格尔系数密切相关,从侧面体现了农业现代化、工业化和城镇化三者之间存在的关系,可为江苏省“十二五”规划的农业生产活动

表 1 GM(1,N)模型预测江苏省粮食产量的误差

年份	粮食产量(万 t)			
	真实值	预测值	绝对误差	相对误差(%)
1996	3 476.35	3 476.35	0	0
1997	3 563.79	3 089.12	474.67	13.319
1998	3 415.12	4 010.74	595.62	17.441
1999	3 559.03	3 686.40	127.37	3.579
2000	3 106.63	3 105.72	0.91	0.029
2001	2 942.05	2 863.83	78.22	2.659
2002	2 907.05	2 876.29	30.76	1.058
2003	2 471.85	2 622.46	150.61	6.093
2004	2 829.06	2 711.20	117.86	4.166
2005	2 834.59	2 901.54	66.95	2.362
2006	3 096.03	3 094.33	1.70	0.055
2007	3 132.24	3 147.70	15.46	0.494
2008	3 175.49	3 184.75	9.26	0.292
2009	3 230.10	3 199.75	30.35	0.940
2010	3 235.10	3 260.74	25.64	0.793

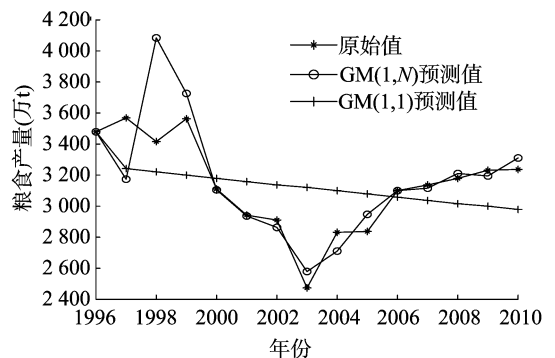


图 1 江苏省粮食产量真实值与灰色模型预测值比较提供科学、有效的指导。

参考文献:

- [1] 朱行. 美国 HACCP 食品安全监督制度简介[J]. 粮食科技与经济, 2004(6): 47-48.
- [2] 宋洪远, 赵海. 我国同步推进工业化、城镇化和农业现代化面临的挑战与选择[J]. 经济社会体制比较, 2012(2): 135-143.
- [3] 邓志强, 任淑花. 长株潭地区经济增长与工业污染变迁的实证研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(4): 517-521.
- [4] 李磊, 谢小璐. 基于工业污染条件下的粮食产量预测——以江苏省为例[J]. 信息系统工程, 2012(5): 87, 96.
- [5] Zhang J, Zhang L F, Xu Y. Application of multi-objective optimization model on prime farmland preservation planning—A case study on Jiangsu Province in China [C]//Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE), 2011 IEEE and International Conference on, 2011: 266-269.
- [6] 肖智, 郑大霞. 基于粗糙集的组合预测方法在粮食产量预测中的应用[J]. 统计与决策, 2005(8): 130-132.
- [7] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 近 50 年江苏省粮食产量变化的小波分析[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 460-464.
- [8] 孙东升, 梁仕莹. 我国粮食产量预测的时间序列模型与应用研究[J]. 农业技术经济, 2010(3): 97-106.
- [9] 旷岭. RBF 神经网络的粮食产量预测[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 189-191, 200.

蔡波,张胜荣,胡凯.粮食可持续发展能力评价——以江西省为例[J].江苏农业科学,2013,41(6):396-398.

粮食可持续发展能力评价 ——以江西省为例

蔡波,张胜荣,胡凯

(江西农业大学,江西南昌 330045)

摘要:利用概述层次分析法(AHP)和德尔菲技术,从经济与社会、资源、生态和技术4个层次构建评价模型,并利用2000—2009年的统计数据对江西省粮食的可持续生产能力进行评价。评价结果显示,2000—2009年江西省的粮食呈现可持续发展态势,但存在结构矛盾,并且经济与社会可持续发展态势显著,资源状况有可持续、稳步、小幅度的改善,但生态与技术均呈现不可持续性。在分析限制可持续发展的水平因素后,提出了进一步促进江西省粮食可持续发展的相关建议。

关键词:粮食;可持续发展;评价

中图分类号: F762.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)06-0396-03

可持续农业概念的提出源于1985年美国加利福尼亚议会通过的《可持续性农业研究教育法》^[1],从此以后,农业可持续发展战略问题的研究开始进入学者研究的视野^[2]。1991年联合国粮农组织(FAO)在荷兰召开的有关农业与环境的国际会议上发表了“关于持续农业与农村发展”的《登博斯宣言》,并提出了“可持续农业与农村发展”的新概念。1992年6月,在里约热内卢世界与环境发展大会上制定的《21世纪行动纲领》中,将“可持续农业与农村发展”正式确立为“持续农业和农村发展战略”,从此农业可持续发展研究进入了新纪元。对农业可持续性评价的研究主要集中在评价方法、评价指标体系、评价标准方面,目前国外在构建综合指标体系方面一般采用框架体系,比较有代表性的有压力-状态-响应(PSR)模型、驱动力-状态-响应(DSR)模型和农业系统定量评估模型^[3-4]。

在粮食的可持续生产评价层面,大多数研究借鉴农业可持续发展评价指标的基本思路,遵循目标层、准则层和指标层等3

个层次结构。本研究结合江西省省情,并参考已有研究成果,以期设置适合江西省粮食可持续生产评价的指标体系。

1 评价指标体系与模型构建

1.1 指标体系

江西省位于24°29′~30°04′N,113°34′~118°28′E,总面积16.69万km²。全省气候温暖,日照充足,雨量充沛,无霜期长,为亚热带湿润气候,十分有利于农作物的生长。2010年江西省的农业总产值1205.9亿元,占江西省生产总值的12.78%。江西省一直以来都是江南的“鱼米之乡”,是我国重要的农业大省。

江西省粮食可持续评价指标体系的设置,应遵循系统性与层次性、全面性与概括性、可行性与可操作性、动态性与静态性相结合的原则。在借鉴已有研究成果、基于江西省省情的基础上,确定3层次指标体系框架,即目标层、准则层和指标层,具体各指标见表1。

1.2 指标权重

在多指标综合评估中,指标权重的确定对于评价的科学性具有十分的重要影响,本研究采用德尔菲技术基础上的层次分析法来确定指标的权重。具体步骤为:(1)建立问题的递阶层次结构,具体的阶梯层次见表1;(2)针对上一层次的某因素,对本层次相关因素就相对重要性进行两两比较,建立判断矩阵(若矩阵元素为零,须要作异常处理,以防分母为

收稿日期:2012-11-30

课题基金:教育部高校人文社会科学课题(编号:11YJC630008);江西省高校人文社会科学课题(编号:GL1228);江西省社会科学规划课题(编号:11YJ34)。

作者简介:蔡波(1976—),男,江西新建人,硕士,讲师,研究方向为粮食安全与可持续发展。E-mail:caibokeyan@163.com。

[10] Nico H, Marijke K, Shi X P. China's new rural income support policy: impacts on grain production and rural income inequality[J]. China&World Economy, 2006, 6(14): 58-69.

[11] 杜江, 刘瑜. 城市化发展与粮食产量增长的动态分析[J]. 当代经济科学, 2007, 29(4): 100-107.

[12] 郭剑雄. 城市化与粮食安全目标间的协调[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(4): 279-282.

[13] 周永生. 基于多元线性回归的广西粮食产量预测[J]. 南方农业学报, 2011, 42(9): 1165-1167.

[14] 毛伟. 基于分位数回归的粮食产量影响因素分析——以湖北

省为例[J]. 湖南财政经济学院学报, 2012, 28(2): 81-86.

[15] 高倩倩. 基于逐步回归分析的粮食产量影响因素研究[J]. 当代经济, 2010(9): 145-147.

[16] 石宏景. 粮食产量水平的影响因素及聚类分析[J]. 西南农业大学学报:社会科学版, 2011, 9(10): 21-24.

[17] 吴国梁. 高起点 大跨度 全方位发展江苏粮食经济[J]. 中国粮食经济, 1996(4): 5-7.

[18] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 35-48.