

利用灰色预测模型预测黑龙江省主要农业气象灾害

史风梅^{1,2,3},裴占江^{1,2,3},王 粟^{1,2,3},高亚冰^{1,2,3},卢玢宇^{1,2,3},刘 杰^{1,2,3},李冰峰⁴

(1. 黑龙江省农业科学院 农村能源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 农业部种养循环重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086;3. 黑龙江省秸秆能源化重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086;4. 农业生态与资源保护总站,北京 100125)

摘要:为降低和预防农业气象灾害的影响,根据黑龙江省 1980-2015 年农业洪涝和干旱数据建立 G(1,1)累加预测模型,并对黑龙江省 2015 年之后出现的严重级别以上洪涝灾害的年份进行预测。结果表明:在 1980-2015 年,黑龙江省洪涝灾害发生级别高于严重等级的年份符合 G(1,1)累加模型 $\hat{x}^{(1)}(k+1)=3.786e^{0.1752k}$,该模型精度达到了四级,可以利用此模型进行预测。预测得到 2015 年后严重洪涝灾害出现的年份为 2022 年;黑龙江省干旱灾害发生级别高于严重等级的年份符合 G(1,1)累加模型 $\hat{x}^{(0)}(k+1)=15.849e^{0.0799k}$,该模型精度达到了二级,利用此模型预测得到严重干旱灾害出现的年份为 2020 年。

关键词:农业气象灾害;灰色预测模型;受灾率;黑龙江省

中图分类号: S166;S165⁺.29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2017)12-0027-05 **DOI:** 10.11942/j.issn1002-2767.2017.12.0027

农业在人类生存和社会发展中起着举足轻重的作用。农作物的生长离不开水、阳光等气象条

件。近年来,在全球变暖大背景下,农业气象灾害时有发生。许多研究者竭力研究农业气象灾害的时间和空间特征,构建相应的预测模型,对农业气象灾害进行预测,以便提前采取防范和减灾措施,降低农业气象灾害的危害。目前,农业气象灾害常用的预测方法有灰色评估法^[1-2]、决策树法^[3]、作物生长动力学模型^[4]等。鉴于农业气象灾害发

收稿日期:2017-10-03
基金项目:中国清洁发展机制基金资助项目(2014101)
第一作者简介:史风梅(1972-),女,山东省莒县人,博士,助理研究员,从事气候变化研究。E-mail: ocean-water @ 126.com.

旱直播后蛋白质含量、直链淀粉和食味值与插秧栽培栽培相比无显著差异。

参考文献:

[1] 杨建昌,王志琴,陈义芳,等. 早稻水稻产量与米质的初步研究[J]. 江苏农业研究,2000,21(3):1-5.

[2] 杨志斌,秦占林. 水稻旱直播技术及效益[J]. 江苏农业科学,2005(1):31-32.

[3] 张喜娟,来永才,孟英. 种植方式对寒地粳稻生育期、产量和温度利用的影响[J]. 作物杂志,2017(5):124-128.

Comparison Experiment on Yield and Quality of Suijing15 Under Different Planting Patterns

LIU Li-chao, XIE Shu-peng, MEN Long-nan, FU Qiang, CHEN Qi, GAO Shi-wei, LIU Qing
(Suiha Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua, Heilongjiang 152052)

Abstract: Suijing 15 is a high-quality *japonica* rice variety, suitable for the cultivation of the second accumulated temperature zone, in order to popularize direct seeding technology of rice, the change of yield and quality of Suijing15 under the two planting methods were compared. the results showed that the direct seeding technology of rice was compared with transplanting rice seedling, the growth period of Suijing 15 was delayed, the yield decline. The milled rice rate and head rice rate decreased significantly. There was no significant change in protein content, amylose and taste.

Keywords: rice; transplanting rice seedling; direct seeding technology of rice; growth period; yield; quality

(该文作者还有刘宇强,单位同第一作者)

生具有突发性、随机性、离散性的特点,常采用灰色评估法^[1]。黑龙江省是我国重要的农业大省,气象灾害对农业影响较大。例如仅 2012 年 6 月,全省因洪涝、风雹灾害造成 53.8 万 hm^2 农作物受灾,14.97 万 hm^2 绝收。因此,有必要对黑龙江省的气象灾害进行预测,为黑龙江省的农业减灾提供理论支持。

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

本文所用 1980-2015 年的黑龙江省洪涝和干旱灾害数据来源于《新中国农业 60 年统计资料》^[5]、《中华人民共和国农业部种植业管理司的数据库》^[6]。农作物产量比正常年份减少 10% 以上的面积称为受灾面积,减产 30% 以上的为成灾面积^[7]。农作物受灾面积和成灾面积与播种面积的比值被定义为受灾率和成灾率^[7]。受灾率可避免历年播种面积大小的影响,使其能较为客观地反映出洪涝和干旱灾情轻重^[8]。

1.2 灰色评估预测

灰色评估预测法是通过系统因素发展趋势的相似或不同的程度,及对原始数据的适当处理方法寻找数据之间的规律性,从而可以建立模型,对事物的发展趋势进行预测和分析。本文采用时间序列的预测方法,利用时间序列的一系列数据构造灰色预测模型,预测未来某一时刻的特征量,或者表达某一调整数据发生的时间。灰色评估预测模型建立方法有 G(1,1) 累加^[9],G(1,1) 累减^[10]和 G(1,n) 累积^[11]等。本研究利用黑龙江省 1980-2015 年的农业洪涝和干旱的受灾率数据,采用灰色 G(1,1) 累加模型,预测黑龙江省农业洪涝和干旱发生重大灾害时的年份,为黑龙江省的农业生产提供理论支持。

1.2.1 G(1,1) 累加模型建立 灰色 G(1,1) 的建模方法如文献^[12]所示:

根据农业洪涝和干旱灾害达到严重级别时的受灾率得到原始时间序列:

$$X^0(k) = (X^0(1) \ X^0(2) \ \cdots \ X^0(n)) \quad (1)$$

令 $X^1(k) = \sum_{i=1}^k X^0(i)$, $k = 1, 2, \dots, n$, 得到

累加数列

$$X^1(k) = (X^1(1) \ X^1(2) \ \cdots \ X^1(n)) \quad (2)$$

然后令 $Z^1(k) = \frac{X^1(k) + X^1(k-1)}{2}$ 得到

$$Z^1(X) = (Z^1(1) \ Z^1(2) \ \cdots \ Z^1(n)) \quad (3)$$

$$\text{则 } B = \begin{bmatrix} -Z^1(2) & 1 \\ -Z^1(3) & 1 \\ -Z^1(4) & 1 \\ \cdots & \cdots \\ -Z^1(n) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} X^0(2) \\ X^0(3) \\ X^0(4) \\ \cdots \\ X^0(n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$(B^T B)^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, \text{ 式中, } a \text{ 为发展灰数, } b$$

为内生控制灰数。

则 G(1,1) 预测模型的白化响应式和预测模型分别为:

$$\dot{x}^1(t+1) = [X^0(1) - \frac{b}{a}]e^{-at} + \frac{b}{a}, t = 1, 2,$$

3, \dots, n

$$\dot{x}^0(t+1) = \dot{x}^1(t+1) - \dot{x}^1(t) = (1 -$$

$$e^a)[X^0(1) - \frac{b}{a}]e^{-at}, t = 1, 2, \dots, n$$

1.2.2 G(1,1) 累加模型检验 预测模型建立后,需要对模型进行残差、关联度和后差检验。

1) 残差检验:由原始数列和预测数列得到绝对误差为: $\epsilon(k) = \dot{x}^0(k) - X^0(k)$, $k = 1, 2, \dots, n$

则绝对误差序列为

$$\epsilon^0 = (\epsilon^0(1) \ \epsilon^0(2) \ \cdots \ \epsilon^0(n)) \quad (5)$$

相对误差为

$$\Delta(k) = \left| \frac{\dot{x}^0(k) - X^0(k)}{X^0(k)} \right| \times 100\%, k = 1,$$

2, \dots, n

则相对误差序列为

$$\Delta = (\Delta(1) \ \Delta(2) \ \cdots \ \Delta(n)) \quad (6)$$

平均相对误差

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n |\Delta_k| \quad (7)$$

平均相对精度为 $P = (1 - \bar{\Delta}) \times 100\%$ (8)

如果 $\Delta(k) < 20\%$, $P > 80\%$ 即为残差合格模型。

2)关联度检验:
根据绝对误差,计算第 k 个数据的关联系数 $\xi(k)$:

$$\xi(k) = \frac{\text{Min}(\epsilon(k)) + \rho \text{Max}(\epsilon(k))}{\epsilon(k) + \rho \text{Max}(\epsilon(k))}, k = 1, 2, \dots, n \tag{9}$$

其中, ρ 为分辨系数,本文取 0.5。
则数列 X^0 对数列 \hat{x}^1 的关联度为:

$$\xi = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi(k) \tag{10}$$

当 ρ 为 0.5, ξ 大于 0.6 时,就可以成为关联度合格模型。

3)后差检验:
由原始数列 X^0 得到原始数列的均值 $\overline{X^0} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X^0(k)$, 则原始数列的方差为:

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [X^0(k) - \overline{X^0}]^2 \tag{11}$$

残差数列的均值 $\overline{\epsilon^0} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon^0(k)$, 残差的方差为:

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [\epsilon^0(k) - \overline{\epsilon^0}]^2 \tag{12}$$

则原始数列和数列残差的均方差比值 C 可按公式进行计算:

$$C = \frac{S_2}{S_1} \tag{13}$$

若 C 大于 0.8 则可称为均方差合格模型,而小误差概率 $p = P\{|\epsilon(k) - \bar{\epsilon}| < 0.6745 S_1\}$ 大于 0.6 时,则可称为小误差概率模型。预测模型的精度可以按照表 1 参数值的大小加以划分^[13]。

表 1 模型精度分级^[13]

Table 1 Classification of model precision				
模型精度	一级	二级	三级	四级
Model	Grade	Grade	Grade	Grade
precision	one	two	three	four
相对误差 Δ	0.01	0.05	0.10	0.20
Relative error Δ				
关联度 ξ	0.90	0.80	0.70	0.60
Correlation degree ξ				
均方差 C	0.35	0.50	0.65	0.80
Mean square deviation C				
小概率误差 p	0.95	0.80	0.70	0.60
Small probability error p				

经检验后,如果模型符合要求,即可用所得预测模型进行预测。

2 结果与分析

由表 2 可知,农业洪涝和干旱灾害可以根据受灾率的大小划分为一般灾害、严重灾害和特大灾害^[13]。根据 1980-2015 年黑龙江省农业气象灾害数据,按照农业洪涝和干旱灾害的等级划分标准得到相应灾害发生的年份(见表 3)。

表 2 农业干旱、洪涝灾害的等级划分标准^[14]

Table 2 Grade classification criteria for agricultural drought and flood disasters						
项目	洪涝			干旱		
Items	Flood			Drought		
等级 Grade	一般	严重	特大	一般	严重	特大
受灾率/% Disaster rate	5~10	10~20	>20	10~20	20~50	>50

根据黑龙江省 1980-2015 年农业洪涝和干旱灾害受灾率数据,按照等级标准,以大于等于严重级别时的受灾率为基准,建立原始时间序列,并以此进行计算,以洪涝灾害为例预测农业洪涝灾害级别大于严重的年份。由表 3 可知,得到农业洪涝灾害受灾率大于 10% 的年份分别为 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1991, 1994,

1998, 2003, 2005, 2009, 2013, 以 1980 年为时间起点,则原始时间序列为:

$$X^0(k) = (2 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad \dots \quad 34)$$

将 $X^0(k)$ 依次累加得到:

$$X^1(k) = (2 \quad 6 \quad 11 \quad 17 \quad 24 \quad \dots \quad 201)$$

令 $Z^1(k) = \frac{(X^1(k) + X^1(k-1))}{2}$, 则有:

$$Z^1(k) = (4 \quad 8.5 \quad 14 \quad 20.5 \quad 28 \quad \dots \quad 184)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z^1(2) & 1 \\ -Z^1(3) & 1 \\ -Z^1(4) & 1 \\ \dots & \dots \\ -Z^1(14) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} X^0(2) \\ X^0(3) \\ X^0(4) \\ \dots \\ X^0(14) \end{bmatrix}$$

则

$$\hat{\alpha} = (BB^T)^{-1}B^TY = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1752 \\ 3.7764 \end{bmatrix}, \text{则}$$

模型和响应式分别为：

$$\frac{dx^1}{dt} - 0.1752x^1 = 3.7764$$

和

$$\begin{aligned} \dot{x}^{(1)}(k+1) &= (x^0(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} = \\ 23.555e^{0.1752k} - 21.555 \end{aligned}$$

$$\dot{x}^{(1)}(k+1) = 3.786e^{0.1752k}$$

X^1 模拟值为：

$X^1(k) = (2 \ 6.5 \ 12 \ 18 \ 26 \ \cdots \ 207)$ ，还原取整数得到 X^0 ：

$$X^0(k) = (2 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ \cdots \ 36)$$

分别对该模型进行残差检验、关联系数和后差检验，利用该模型得到的相对误差最小值为 0，最大值为 12.5%，均小于 20%，平均相对误差为 3.37%，平均相对精度为 96.6%，而其关联系数为 0.826，小误差概率等于 1(>0.6)，因此该预测模型的精度达到了四级，可利用该模型进行计算。利用该模型计算得到 2015 年以后发生严重涝灾或特大涝灾的年份距 1980 年 43 年，即 2022 年。

表 3 黑龙江省在 1980-2015 年洪涝和干旱灾害发生情况

Table 3 The occurrence of floods and droughts in Heilongjiang during the 1980-2015 years

项目 Items	洪涝 Flood		干旱 Drought	
灾害等级 Grade	严重	特大	严重	特大
农业受灾率/% Disaster rate	10~20	>20	20~50	>50
发生年份 Years	1983, 1984, 1986, 1987, 2003, 2005, 2009	1981, 1985, 1988, 1991, 1994, 1998, 2013	1980, 1982, 1989, 1993, 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2003, 2004, 2009	2007
合计年数 Total number of years	7	7	12	1

同理,据表 3 可知,在 1980-2015 年发生严重干旱级别及以上的年份有:1980,1982,1989,1993,1995,1996,1997,2000,2001,2003,2004,2007,2009。经光滑型和指数型检验可知,从 1995 年以后,旱灾灾害率在 20%以上的年份符合 G(1,1)灰色模型。以 1980 年为时间起点,从 1995 年开始建模可得到:

$$\alpha = (BB^T)^{-1}B^TY = \begin{bmatrix} -0.0799 \\ 15.2317 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}^{(1)}(k+1) &= (x^0(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} = \\ 206.395e^{0.0799k} - 190.395 \end{aligned}$$

$$\dot{x}^{(0)}(k+1) = 15.849e^{0.0799k}$$

分别对该模型进行残差检验、关联系数和后差检验，利用该模型得到的相对误差最小值为 0，

最大值为 4.8%，平均误差为 1.9%，平均精度为 98.1%，关联系数为 0.73，小误差概率等于 1(>0.6)。因此,可用该模型对旱灾受灾率进行预测，得到 2017 年以后发生严重干旱的年份距 1980 年 41年,即在 2020 年易发生旱灾,需提前进行预防和减灾工作。

3 结论与讨论

利用 G(1,1)累加预测模型对黑龙江省的农业洪涝和干旱气象灾害进行了预测，得到以下结论：

(1) 1980-2015 年,黑龙江省洪涝灾害发生级别高于严重等级的年份符合 G(1,1)累加模型， $\dot{x}^{(1)}(k+1) = 3.786e^{0.1752k}$ ，该模型精度达到了四级,可以利用该模型对黑龙江省 2015 年之后出现的严重级别以上洪涝灾害的年份进行预测。预测

得到严重洪涝灾害出现的年份为 2022 年。

(2) 1980-2015 年,黑龙江省干旱害发生级别高于严重等级的年份符合 G(1,1) 累加模型, $\hat{x}^{(0)}(k+1) = 15.849e^{0.0799k}$, 该模型精度达到了二级,可以利用该模型对黑龙江省 2015 年之后出现严重级别以上程度的干旱灾害的年份进行预测。预测得到严重干旱灾害出现的年份为 2020 年。气象灾害具有随机性和不确定性,因此不应放松对洪涝、干旱灾害的防范,还需要加强水利设施的建设,改进浇灌技术,加强植树造林,改善局部小气候等,做到有灾减灾,无灾预防。

参考文献:

[1] 张星,陈惠,周乐照. 福建省农业气象灾害灰色评价与预测[J]. 灾害学,2007,22(4):43-45,56.
[2] 唐立兵,张平,王剑,等. 黑龙江省农业气象灾害的风险评估与预测研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(2):77-81.
[3] 司巧梅. 基于决策树的农业气象灾害等级预测模型[J]. 安徽农业科学,2010,38(9):4925-4927.
[4] 刘布春,王石立,庄立伟,等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究[J]. 应用气象学报,2003,14(5):

616-625.

[5] 中华人民共和国农业部. 新中国农业 60 年统计资料[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
[6] 中华人民共和国农业部种植业管理司. 历史自然灾害数据库[DB/OL]. [2017-10-03]. <http://zzys.agri.gov.cn/zaiqing.aspx>.
[7] 蒋红花. 山东省干旱灾害的变化特征及相关分析[J]. 灾害学,2000,15(3):51-55.
[8] 杨方,李茂松,王春艳,等. 全国及区域尺度上农业旱灾受灾率分级研究[J]. 灾害学,2014,29(4):209-214.
[9] 陕振沛,马德山. 灰色预测 G(1,1) 模型的研究与应用[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版),2010,24(5):24-27.
[10] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1986.
[11] 赵海青. 基于累积法的灰色模型及在电力负荷预测中的应用[J]. 中国电力,2016,49(S):94-95,101.
[12] 于婷婷,周玉国. 基于灰色 GM(1,1) 模型的时间序列预测研究[J]. 微型机与应用,2012,31(13):65-67.
[13] 杨贵羽,韩冬梅,陈一鸣. 1950-2010 年东北地区旱涝演变特征分析[J]. 中国水利,2014(5):45-48.
[14] 孙慧惠,于定勇,张鹏. 基于灰色模型 G(1,1)卸港量的预测研究[J]. 中国水运,2009,9(1):65-66.

Prediction of Main Agrometeorological Disasters in Heilongjiang Province by Gray Prediction Models

SHI Feng-mei^{1,2,3}, PEI Zhan-jiang^{1,2,3}, WANG Su^{1,2,3}, GAO Ya-bing^{1,2,3}, LU Bin-yu^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2,3}, LI Bing-feng⁴

(1. Institute of Rural Energy, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Key Laboratory of Combining Farming and Animal Husbandry Ministry of Agriculture, P. R. China, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Key Laboratory of Energy Utilization of Main Crop Straw Resources, Harbin, Heilongjiang 150086; 4. Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture, Beijing 100125)

Abstract: In order to reduce and prevent the impact of agrometeorological disasters. Based on agricultural flood and drought data during the 1980—2015 years in Heilongjiang province, a cumulative prediction model of G(1,1) was established, and the year of flood disaster above Heilongjiang level after 2015 was forecasted. The results showed that in the 1980—2015 years, the flood disaster incidence level in Heilongjiang province was higher than that in the severe grade year, which accorded with the G(1,1) accumulation model $\hat{x}^{(1)}(k+1) = 3.786e^{0.1752k}$. The accuracy of the model reached four level, which could be predicted by this model. The prediction of major flood disasters after 2015 is the year of 2022; Heilongjiang province drought damage level was higher than the severity of the year with G(1,1) model $\hat{x}^{(0)}(k+1) = 15.849e^{0.0799k}$, the accuracy of the model reached two, using this model to predict the serious drought disasters occurred in 2020 years.

Keywords: agrometeorological disasters; gray prediction model; disaster rate; Heilongjiang province