

湖南农业旱灾的时间规律分析及重灾年份预测

谷洪波 刘芷妤

(湖南科技大学管理学院, 湖南湘潭 411201)

【摘要】湖南是一个农业大省,也是我国重要的粮棉油生产基地,但由于受到气候与地理双重因素的制约,降水时空分布不均,农业干旱灾害频发。以农作物受灾率和成灾率异常指数作为旱情评价指标,统计分析湖南较长时段内旱灾时间分布规律及波动趋势,在此基础上运用灰色系统理论与预测方法,借助 MATLAB 软件建立旱灾重灾年份的灰色灾变 GM(1, 1) 预测模型,依据模型对未来 15 年湖南省农业干旱重灾年份进行预测分析并得出结论。结果表明,今后 15 年间湖南将出现 4 个重灾年份,预计分别在 2017~2018 年、2019~2020 年、2022~2023 年和 2026~2028 年期间,且 2027—2028 可能发生特大旱灾。

【关键词】农业旱灾; 异常指数; 时间规律; 灰色灾变预测

【中图分类号】X43 **【文献标识码】**A

【文章编号】1672-7835(2016)05-0110-07

湖南是我国的产粮大省,也是我国重要的粮棉油生产基地,但同时,湖南也是我国南方各省中干旱最为严重的省份之一。从 16 世纪初到 1949 年新中国成立前夕的 449 年间,湖南全省共发生旱灾 350 次,平均 1.28 年发生 1 次;从 1949 至 2013 年,湖南干旱几乎年年都有发生,全省范围的多达 10 次,约 6 年 1 次,年均受旱面积 1040 千公顷,年均减产粮食 178 万吨。农业干旱灾害作为最主要的自然灾害,在未来全球气候变暖的趋势下,风险将越来越大。早期对于湖南干旱的研究大多停留在数据统计与区域分析层面,近些年来,对灾害规律及预测方面的研究受到了一些学者的高度重视和关注,并成为近年来研究的重点和热点。本文采用作物干旱异常指数作为评价农业旱情的指标,在分析湖南农业旱灾受灾与成灾时间分布规律的基础上,运用灰色系统理论与预测方法,借助 MATLAB 软件建立旱灾重灾年份的灰色灾变 GM(1, 1) 预测模型,并运用模型对未来 15 年湖南省农业干旱重灾年份进行预测分析,以期对湖南未来农业干旱的防御和治理提供较为科学的和有效的决策参考。

1 数据来源、异常指数和研究方法

1.1 数据来源

本文旱灾损失样本数据主要来源于国家统计局官网数据、《湖南统计年鉴》(1990-2014)、《新中国五十年农业统计资料》(1949-1999)和《湖南农业统计年鉴》(1978-1990)。包括 1978-2013 年湖南省农作物播种面积、旱灾受灾面积、旱灾成灾面积和粮食总产量等数据。

1.2 异常指数

异常指数是用来反应样本值与参数平均值的综合变动程度的重要指标。本文所指受（成）灾率异常指数是描述受（成）灾率偏离平均状态的参量，反映受灾的严重程度[1]。

农作物播种面积依据受到干旱影响程度的不同分为“受灾”和“成灾”，最严重程度称作“绝收”。据民政统计规定，因旱受灾面积是指受干旱灾害影响农作物较常年减产一成以上的播种面积，因旱成灾面积是指农作物因旱减产三成以上的播种面积，农作物减产七成以上则被称作因旱绝收面积。干旱灾害受灾率（用 A_i 表示）指某年该地区干旱受灾面积与农作物播种面积的比值，其数值越大，说明该地区受干旱影响的范围和农作物面积越大。干旱灾害成灾率（用 D_i 表示）指某年该地区成灾面积与农作物播种面积的比值，是衡量一个地区农作物受干旱影响成灾程度的指标，其数值越大，反映该地区农作物受损越严重，危害程度越大。

1.3 灰色灾变预测原理与模型

客观世界是信息的世界，但很多时候客观世界的信息是不完整的和不明确的，信息不完全明确的系统称为灰色系统。灰色系统理论方法是一种利用已知信息寻求系统内部的运动规律，使不确定的灰色变量白化、模型化的数学计量方法，这种方法适应于对小样本、贫信息进行“灰处理”（即非唯一性处理）。农业干旱灾害系统是一个复杂的多因素系统，灾害造成的损失具有不确定性，灾情数据大多不完整和不充分，难以构成完整的样本集合。因此，农业干旱灾害系统属于一个灰色系统，可以运用灰色系统理论与方法，建立灰色预测模型，来预测农业干旱灾害的发展趋势，并预测农业旱灾重灾年份。

本文采用作物异常指数作为评价农业旱情的指标，在分析湖南农业旱灾受灾与成灾时间分布规律的基础上，采用灰色系统理论建模方法，借助 MATLAB 软件建立旱灾重灾年份的灰色灾变 GM(1, 1) 预测模型，并运用模型对未来 15 年湖南省农业干旱重灾年份进行预测分析。

2 湖南农业旱灾的时间分布规律分析

作为农业大省，湖南旱情比较严重，几乎年年有旱情，且受损严重。据统计数据计算，湖南省 1978～2013 年间平均每年有 1020.20 千公顷的农作物受旱，年均受灾面积占播种面积的 13%，平均每年有 568.03 千公顷的农作物成灾，年均成灾面积占播种面积的 7.24%。各年受灾成灾情况如柱状图 1。

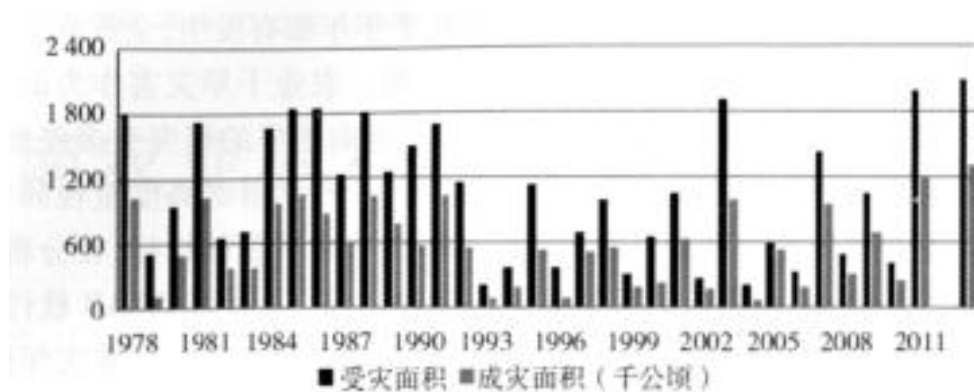


图1 湖南省1978-2013年农作物旱灾受灾和成灾面积柱状图

然而，用年际统计数据的绝对值来研究灾害事件规律并不能真实反映农业干旱灾害的严重程度，为了更便于研究湖南1978年以来农业干旱灾害的时间分布规律，选取参量——异常指数来表示该年份受灾率、成灾率的离散程度。

异常指数的计算公式为：

$$X_i = \frac{A_i - \bar{A}}{\sigma_A}$$

$$Y_i = \frac{D_i - \bar{D}}{\sigma_D}$$

式中， X_i 为第 i 年农作物受灾率异常指数； Y_i 为第 i 年农作物成灾率异常指数； $\bar{A}$ 为1978-2013年农作物受灾率平均值； $\bar{D}$ 为1978-2013年农作物成灾率平均值； σ_A 为农作物受灾率标准差； σ_D 为农作物成灾率标准差。

根据以上两式，对1978~2013湖南省农作物受灾率和成灾率异常指数进行统计分析，横坐标值为年代，异常指数序列的变化周期则用对应的纵坐标值来表示（图2）。可以看出：

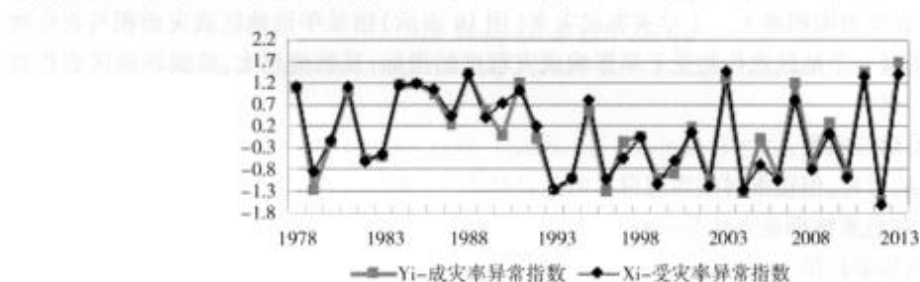


图2 1978-2013湖南省农作物旱灾受灾率和成灾率异常指数时间分布

1) 整体上来看，湖南旱情比较严重，几乎年年有旱情，只是影响范围和程度不同，轻重灾害交替发生。

2) 时间序列上，湖南省的受灾情况呈现波动上升的趋势，且近10年波幅较为明显，呈现波幅加大的趋势。其中，1983年、2003年、2011年和2013年的异常指数更是远高于平均数值，受灾率异常指数

和成灾率异常指数最大分别达到 1.466183 和 1.672145。

3) 湖南干旱灾害成灾率异常指数与受灾率异常指数随时间的变化具有明显的同步性, 两者的相关系数为 0.968077, 呈高度的正相关关系, 说明湖南的抗灾能力较弱。

3 湖南农业旱灾重灾年份的灰色灾变预测

3.1 灰色灾变预测模型的建立

本文主要采用灰色预测模型, 用微分方程对生成数据 (由原始数据变换而来) 建模。

设原始数据序列为 $X^0 = \{x^0(1), x^0(2), x^0(3), \dots, x^0(n)\}$, 对 X^0 进行一阶累加, 生成数据与原始数

据的关系为 $x^1(k) = \sum_{i=1}^k x^0(i) (k = 1, 2, 3, \dots, n)$, 生成指按某种规律对数据进行变换, 以强化原始数据的规律性, 弱化随机性^{[5][6]}。生成有累加生成、移轴生成、变权累加和按函数权累加等多种方式, 其中, 累加生成是较常用的一种, 本文主要利用累加生成来对原始数据进行数据处理, 探求内在规律。GM(1,1)模型的微分方程为

$$dx^1/dt + ax^1 = \mu. \quad (1)$$

式中: t 为时间序号; a 是为了计算而直接引入的一个综合系数, 它的大小及符号, 反应 $x^1(k)$ 和 $x^0(k)$ 模型的发展趋势, 为模型的发展系数; μ 是系统的作用量, 为需要求解的灰参数; x^1 为原始数据 x^0 累加生成 (1-AGO)^① 值。

$$\text{将上式离散化, 即得 } x^{(0)}(k) = a \left[-\frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)) \right] + \mu; \quad (2)$$

$$\text{微分方程的解为 } x^1(k) = [x^1(0) - \mu/a]e^{-a(k-1)} + \mu/a. \quad (3)$$

则 GM(1,1)模型的连续时间响应函数为:

$$\hat{x}^1(k) = [x^1(0) - \mu/a]e^{-a(k-1)} + \mu/a. \quad (4)$$

还原得到原始数据:

$$\hat{x}^0(k) = \hat{x}^1(k) - \hat{x}^1(k-1). \quad (5)$$

令 $\hat{a} = [a, \mu]^T$, 则由最小二乘法可得:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y. \quad (6)$$

其中,数据矩阵

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(m-1) + x^{(1)}(m)) & 1 \end{bmatrix}, \text{数据向量 } Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ \dots \\ x^{(0)}(m) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

上述建模步骤可用图 3 表示。

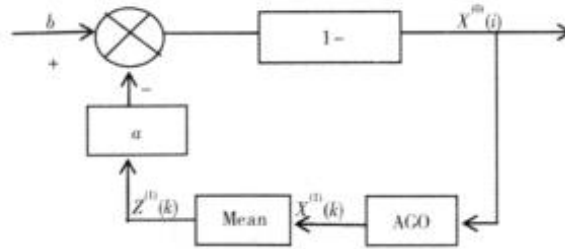


图 3 GM(1,1)建模步骤方框图

建立的 GM(1, 1)模型与实际值会存在客观偏差, 为保证模型的适用性和可信度, 我们进行模型的精度检验, GM(1, 1)经过精度检验后再决定是否可以用于模拟、预测。通常要求, 关联度检验 $r > 0.6$, 且后验差比值 λ , P 一般不得小于 0.7, 当 $-a < 0.3$ 时, GM(1, 1)模型适用于中长期预测; 当 $0.3 < -a < 0.5$ 时, GM(1, 1)模型适用于短期预测, 中长期预测应谨慎; 当 $0.5 < -a < 0.8$ 时, GM(1, 1)模型对于短期预测要慎用; 当 $0.8 < -a < 1$ 时, 应该采用残差修正 GM(1, 1)模型后方可使用。

3.2 灰色灾变 GM(1, 1) 预测模型精度检验

设定异常值 ξ , 将 $\xi > 0.5$ 的数据组成中度旱灾年份序号序列、 $\xi > 1.2$ 的数据组成重度旱灾年份序号序列(表 1)。下面以受灾率异常指数 $\xi > 0.5$ 为例:

表 1 受灾率、成灾率异常指数 $\xi > 0.5$ 的数据

年份	序号	受灾率异常值	年份	序号	成灾率异常值
1978	1	1.105 531 023	1978	1	1.095 859 298
1981	4	1.102 264 259	1981	4	1.008 634 121
1984	7	1.135 586 260	1984	7	1.156 920 375
1985	8	1.180 664 425	1985	8	1.180 909 017
1986	9	1.046 122 417	1986	9	0.936 389 638
1988	11	1.396 123 125	1988	11	1.408 397 798
1990	13	0.726 488 952	1989	12	0.569 783 792
1991	14	1.018 191 450	1991	14	1.196 425 171
1995	18	0.792 366 683	1995	18	0.579 920 120
2003	26	1.466 183 247	2003	26	1.283 449 466
2007	30	0.788 388 290	2007	30	1.200 409 588
2011	34	1.342 283 914	2011	34	1.457 521 968
2013	36	1.401 111 776	2013	36	1.672 145 162

1) 对原始数列 $X^0(k) = \{1, 4, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 26, 30, 34, 36\}$ 进行累加生成, 得到生成序列:
 $X^1(k) = \{1, 5, 12, 20, 29, 40, 53, 67, 85, 111, 141, 175, 211\}$;

2) 构造数据矩阵 B 和数据向量 Y

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(12) + x^{(1)}(13)) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & 1 \\ -8.5 & 1 \\ \dots & 1 \\ -193 & 1 \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} x^0(2) \\ x^0(3) \\ x^0(4) \\ \dots \\ x^0(13) \end{bmatrix}$$

3) 计算 $B^T B$

$$B^T B = \begin{bmatrix} 101 & 359 \\ -844 & \end{bmatrix};$$

4) 计算 $(B^T B)^{-1}$

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0017 \\ 0.0017 & 0.2011 \end{bmatrix};$$

5) 计算 $B^T Y$

$$B^T Y = \begin{bmatrix} -222 & 60 \\ 210 & \end{bmatrix}$$

6) 计算参数列

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} -0.1783 \\ 4.9565 \end{bmatrix}$$

7) 求离散时间响应函数

将 α, μ 值代入式(4)和式(5), 分别得到

$$\hat{x}_{(k)}^1 = 28.7921 e^{0.1783(k-1)} - 27.7921; \quad \hat{x}_{(k)}^0 = 28.7987 e^{0.1783(k-1)} (1 - e^{-0.1783}). \quad (8)$$

同理, 根据上述建模步骤得到 $\xi > 1.2$ 时受灾异常指数模型方程为

$$\hat{x}_{(k)}^1 = 167 e^{0.1512(k-1)} - 156. \quad (9)$$

当异常指数 $\xi > 0.5$ 和 $\xi > 1.2$ 时, 成灾率异常指数的模型方程分别为

$$\hat{x}_{(k)}^1 = 27.9323 e^{0.18007(k-1)} - 26.9323; \quad (10)$$

$$\hat{x}_{(k)}^1 = 237.5294 e^{0.10632(k-1)} - 226.5294. \quad (11)$$

8) 模型经检验评价较好, 且各预测模型的发展系数 $-a$ 均小于 0.3, 可用于长期预测。

3.3 农业旱灾重灾年份预测

根据式(8)~式(11)的计算, 今后 15 年间将出现 4 个主要旱灾年份, 即 2017~2018 年, 2019~2020 年, 2022~2023 和 2026~2028 年期间, 且 2027~2028 年将更为严重 (表 2)。

表 2 灰色灾变预测模型预测结果

指标	阈值	预测年份	序号	预测值	残差
受灾率异常指数	$\xi > 0.5$	2024 ~ 2025	47 ~ 48	47.745 6	-0.745 6 - 0.254 4
	$\xi > 1.2$	2019 ~ 2020	42 ~ 43	42.896 6	-0.896 6 - 0.103 4
		2026 ~ 2027	49 ~ 50	49.897 5	-0.897 5 - 0.102 5
成灾率异常指数	$\xi > 0.5$	2024 ~ 2025	47 ~ 48	47.827 5	-0.827 5 - 0.172 5
	$\xi > 1.2$	2017 ~ 2018	40 ~ 41	40.768 1	-0.768 1 - 0.231 9
		2022 ~ 2023	45 ~ 46	45.341 4	-0.341 4 - 0.658 6
		2027 ~ 2028	50 ~ 51	50.427 7	-0.427 7 - 0.572 3

4 结论与建议

4.1 结论

本文根据湖南省 1978~2013 年的粮食产量、农作物播种面积、成灾面积及受灾面积等数据，采用灰色系统预测方法，借助 MATLAB 软件对湖南省旱情进行一个较长时间序列的统计分析和预测分析，得出以下结论：

- 1)整体上来看，湖南旱情比较严重，几乎年年有旱情，轻重灾害交替发生。
- 2)时间序列上，湖南省的受灾情况呈现波动上升的趋势，近 10 年波幅较为明显，呈现波幅加大的趋势，受灾率异常指数和成灾率异常指数最大分别达到 1.466183 和 1.672145。
- 3)湖南干旱灾害农作物成灾率异常指数与受灾率异常指数随时间的变化具有明显的同步性，两者的相关系数为 0.968077，呈高度的正相关关系，说明湖南的抗灾能力较弱。
- 4)通过对异常指数进行灰色系统建模预测表明，至 2028 年，湖南农业旱灾将出现 4 个重灾年份，预计分别在 2017~2018 年、2019~2020 年、2022~2023 年和 2026~2028 年期间，且 2027~2028 年将可能发生特大旱灾。

湖南省素有“鱼米之乡”的美誉，但由于湖南地处亚热带季风湿润气候区，季风进退的时间和强度各年不一，地形上山川交错、地表复杂，特殊的气候和地理条件使湖南各地区降水时空分布不均；加之湖南农村水利灌溉设施大多年久失修、超期服役，灌溉功能大大降低，据资料显示，截至 2015 年底，农田灌溉水有效利用系数仅 0.487，远低于全国平均水平。因此，湖南农业在雨水量比较丰沛的同时也饱受干旱灾害之苦。认识和掌握农业干旱灾害的年际变化规律，预测干旱灾害发展的时间趋势和重灾年份，对于科学有效地防御干旱和提高抗旱应急管理能力，减少灾害损失，提高粮食产量，保障农民收入具有重要的现实意义。

4.2 建议

如何应对干旱，湖南也应和全国一样树立新的干旱管理理念，实现由危机管理向风险综合管理的转变，实行防抗结合。因此，本文认为应从以下几个方面着手进行防旱抗旱。

1)完善抗旱应急预案制度，提高干旱尤其是重旱时的应急响应能力。详细分析湖南各地区水源条件和用水需求，制定干旱发生时水源调度、节水限水、应急开源等的应对措施及启动程序，并提高预案的科学性、合理性，加强可操作性，健全和完善抗旱应急预案制度。同时，还应建立健全物资储备制度，优化储备方案；确保抗旱应急服务能力，有效开展抗灾减灾服务，提高干旱尤其是重旱时的应急响应能力。

2)加强农田水利工程的建设和管护，提高防旱抗旱能力。加大农田水利工程建设资金投入，积极调整现有农业补贴政策，使农业补贴向农业基础设施建设和养护倾斜。加强最后一公里的中小型农田水利工程的建设和管护，做好抗旱应急工程的建设 and 灌溉节水设施的改造。同时，加快推进湖南省政府“一号重点工程”_湘江母亲河的保护、治理以及全省河道保洁工作，确保各条河道整洁畅通，让水走完“最后一公里”，并打造生态水利和民生水利。

3)调整农作物种植结构，科学规划生产布局，发展避灾减灾农业。应因地制宜合理安排农业生产，实施减灾避灾的种植制度，从源头上降低农业风险。如在频发干旱的湘西、“衡（阳）邵（阳）干旱走廊”的部分区域，应针对性地改种、改制，发展以抗旱水稻、小杂粮、经济作物为主的“避灾农业”。针对偶有干旱发生的湘南区域则错开大旱月份，可改种“早熟玉米+秋菜、秋粮”，水田则实行“中熟早稻+迟熟晚稻+油菜”的种植模式。同时，根据本地区特色和资源优势，发展垂钓、特色餐饮等休闲旅游项目等，实现人与水新的平衡与和谐。

4)加强节水宣传教育，提高公众防旱抗旱意识。我国一直以来存在水资源取之不尽用之不竭的旧思想，人们节水观念淡薄，节水意识不强。因此，我国急需加强水资源紧缺性、重要性以及加强水资源保护紧迫性的宣传教育，帮助人们树立水危机意识，规范人们节约用水的行为，逐步建立节水型社会，提高公众防旱抗旱意识。同时，明确各阶层在抗旱减灾中的职责与义务，政府完善水资源管理机制，严格干旱时期的用水配额，家庭和社区增加水资源分散储备力，提高自身防抗能力。

参考文献：

[1]梁红梅，刘会平，宋建阳·广东农业旱灾的时间分布规律及重灾年份预测[J].自然灾害学报, 2006, 15(4) :79 -83.

[2]邓聚龙·灰色系统综述[J].世界科学, 1983(7) :1 -5.

- [3]喻保华•河南省耕地压力指数动态分析与预测[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(6) :17 -21.
- [4]胡月, 刘兴朋, 张继权, 等. 东北地区农业旱灾规律分析及重灾年份预测[Z]. 北京: 中国灾害防御协会风险分析专业委员会, 2012.
- [5]鲁碧祥. 灰色系统理论在港口吞吐量预测中的应用[J]. 水运工程, 1998(10) :27 -30.
- [6]唐家文. 基于灰色预测的通用航空发展需求预测[Z]. 成都: 论文集编审委员会, 2013.
- [7]宁宣熙, 刘思峰•管理预测与决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [8]詹晓安. 詹晓安就“十二五”湖南水利改革发展情况接受媒体联合采访[EB/OL]. (2015 -12 - 04) [2016-3-15]. http://www.hnwr.gov.cn/slxx/slxxzl/201512/t20151203_84283.htm.