

佳木斯市春季旱涝灾害统计特征及旱涝发生趋势预测*

王晓群¹, 张 宇¹, 梁 静¹, 尹端娇¹, 李君芳¹, 周 平²**

(1. 黑龙江省佳木斯市气象局, 黑龙江 佳木斯 154002;

2. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】研究全球气候变化背景下佳木斯市旱涝灾害演变规律。【方法】以1951年以来佳木斯市春季逐日降水资料及国家气候中心74项环流指数实时资料为依据,用降水距平百分率 R_i 和Z指数法分析佳木斯市春季旱涝类型、出现频率及时空分布特点并建立春季降水预报方程。【结果】1961—2015年,佳木斯市所属县(市)出现大涝和大旱的频率在72%—96%,1996年以前出现大旱频率较高,而1996年以后出现大涝的概率更大;佳木斯市在年降水量减少的同时,春季3—5月降水变化呈上升趋势,在55年的线性变化趋势中,每10年增加约9.6%;从地域分布看,佳木斯西部地区比东部更易发生旱涝且转换更加频繁;佳木斯春季旱涝趋势主要受前一年春冬季大气环流的影响,以Minitab 16筛选的环流特征量为因子,建立春季降水量预报方程,其预测春季旱涝类型准确率为63.6%。【结论】研究结果可为佳木斯市春季旱涝灾害的短期气候预测提供参考依据。

关键词:春季; 旱涝; 特征; 预测模型

中图分类号: S 165.25

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 05-0934-07

The Characters of Drought and Flood Disasters in Spring and the Model to Predict the Tendency in Jiamusi Region

WANG Xiaoqun¹, ZHANG Yu¹, LIANG Jing¹, YIN Changjiao¹, LI Junfang¹, ZHOU Ping²

(1. Weather Bureau of Jiamusi, Jiamusi 154004, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To investigate the evolution law of drought and flood disaster in Jiamusi region under the background of global climate change. [Method] The daily precipitation data in spring of Jiamusi since 1951 and the real-time data of 74 circulation index from the National Climate Center, R_i of which is on behalf of the precipitation anomaly percentage and Z index method are used to analyze the spring drought and flood type, frequency and spatial and temporal distribution characteristic and to establish the equation of spring precipitation forecast. [Result] The frequency of drought and flood catastrophe was between 72% and 96% during 1961—2015 in the city of Jiamusi. Before 1996, there was a higher frequency of drought, and the floods occurred probability of large

收稿日期: 2017-04-25 修回日期: 2017-07-05 网络出版时间: 2018-10-15

*基金项目: 2016年佳木斯市气象局自筹经费科学技术研究项目(HQZC2016006)。

作者简介: 王晓群(1966—), 女, 黑龙江桦南人, 学士, 高级工程师, 主要从事农业气象学研究。

E-mail: 13845416068@163.com

**通信作者 Corresponding author: 周平(1967—), 男, 云南永胜人, 学士, 教授, 主要从事气象学与气候学教学与研究。E-mail: 289793918@qq.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201705001](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201705001)

after 1996; at the same time of annual precipitation reduction, in spring from March to May, the precipitation showed an upward trend, in the linear trend of 55 years, increased by about 9.6% each 10 years; from the geographical distribution, the western region of Jiamusi administrative division was more prone to droughts and floods and more frequent conversion than in the east; according to the above information, Minitab 16 was used to carry out relevant census that the trend of drought and flood was mainly affected by spring and winter atmospheric circulation of last year. Therefore, according to the model which is used to predict trend of spring drought and occurrence of flood, the accuracy is 63.6%. [Conclusion] The results can provide a reference of disaster for short-term climate prediction in Jiamusi.

Keywords: spring; drought and flood; characteristic; prediction model

近60年来, 中国年平均气温以每10年0.23℃的速度不断上升, 是全球气温升幅的两倍^[1]。在全球气候变暖的背景条件下, 极端灾害天气频繁发生^[2], 加剧了旱涝灾害发生的频率与强度, 旱涝已成为对中国农业影响最严重的自然灾害^[3], 也是对中国工农业生产经济造成最严重损失的气象灾害^[4]。三江平原是中国重要商品粮生产基地, 其所处的地理位置特殊, 当地旱涝呈现出普遍性、季节性、连续性和阶段性的特点^[5]。地处三江平原的佳木斯市地势低洼, 排水不畅, 东部多为白浆土, 既怕旱, 更怕涝, 而涝的威胁程度更大^[6]。旱涝的成因较复杂, 与天气状况、地理条件、水利设施、作物布局及作物在不同生育期的抗旱耐涝能力等因素均有关系, 但其中大气降水的多寡是地区与流域旱涝灾害发生的主要因素, 并影响区域水资源量的变化。

近年来, 国内学者利用不同旱涝指标针对中国不同流域及不同自然区域的旱涝分布及特征进行了分析^[7-9], 但目前关于佳木斯市旱涝灾害的研究相对较少, 在全球气候变化异常的背景下, 对佳木斯市的旱涝灾害进行研究具有重要意义。本文拟选用降水距平百分率 R_i 和Z指数两种指标, 对佳木斯市春季的旱涝类型分别进行适当分型, 研究其时空分布特征, 并以环流指数作为预报因子, 建立春季降水量预报方程, 为黑龙江省三江平原地区加强旱涝监测、预测和影响评估等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况及资料来源

佳木斯市地处松花江、黑龙江、乌苏里江汇流而成的三江平原腹地, 属沼泽冲积低平原, 行

政区下辖4个区、3个县(汤原、桦川、桦南)和3个县级市(富锦、同江、抚远)。位于N45°56'~48°28', E129°29'~135°5', 面积3.27万km²。属中温带湿润、半湿润大陆性季风气候, 雨热同期, 全区年平均气温3.4℃, 年平均降水量542.5mm, 日照时间2 404.8h, 有效积温2 740.2℃, 冬长夏短, 无霜期140d左右。

佳木斯市春季旱涝灾害统计特征所用数据来源于佳木斯市7个气象观测站(佳木斯、汤原、桦南、桦川、富锦、同江、抚远)1961—2015年春季3—5月的逐日降水资料; 预测春季旱涝发生趋势采用佳木斯站1951—2015年春季3—5月的逐日降水资料及国家气候中心1951年以来的每月74项环流指数实时资料。

1.2 资料处理方法

用降水距平百分率 R_i 和Z指数确定佳木斯市春季旱涝类型、出现频率及时空分布特点; 根据春季降水资料及65年来每年12个月的74项环流指数实时资料, 用Minitab 16进行相关普查, 建立春季降水量模型, 预测春季旱涝发生趋势。

1.2.1 降水距平百分率 R_i 法

降水距平百分率(R_i)^[10]是实际降水量和多年同期平均降水量之差与多年同期降水量的百分比, 反映了某时段降水量较常年值的偏离程度, 同时反映了降水的可靠程度与旱涝发生概率的大小, 是一个具有时空对比性的相对指标, 能直观反映降水异常引起的旱涝灾害。其公式为

$$R_i = \frac{r_i - \bar{r}}{\bar{r}} \times 100\%$$

式中, R_i 是降水距平百分率, r_i 是实际降水量, $\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$ 为同期降水量平均值。

国家气候中心于2006年制定颁布了《气象

干旱等级》(GB/T 20481—2006)国家标准,给出了常用干旱指标各个干旱等级所对应的阈值。然而,由于中国幅员辽阔,南北气候差异较大,自然地理环境也大不相同,因此,需要对干旱阈值进行本地化订正,以更加准确地反映佳木斯市的旱涝情况。为了更好地比较,同时结合黑龙江省实际^[11],本研究根据降水距平百分率季尺度标准,对其旱涝阈值进行修正,按5级划分,修正后的阈值标准如表1。

表1 按降水距平百分率 R_i 划分旱涝等级

Tab. 1 Gradation of drought/floods according to the percentage precipitation anomaly (R_i)

等级 grade	R_i 范围 R_i range	旱涝类型 drought/flood type
1	$R_i \geq 20\%$	大涝 serious flood
2	$20\% > R_i \geq 10\%$	偏涝 partial flood
3	$10\% > R_i > -10\%$	正常 normal
4	$-10\% \geq R_i > -20\%$	偏旱 partial drought
5	$R_i \leq -20\%$	大旱 serious drought

1.2.2 Z 指数法

由于降水量在某一时段内不服从正态分布,而是服从 Pearson III型中的 Γ 分布,因此, Z 指数^[12]正是基于这种思想,将降水量标准化正态处理后,把概率密度函数 Pearson III型分布转换为 Z 指数,使其以 Z 指数的形式,作为标准正态分布的新变量。其计算公式如下:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \phi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

式中, $C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3}$ 是偏态系数, $\phi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ 是标准变量, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 均可通过降水量资料计算得到。根据 Z 指数计算结果,结合文献^[11, 13]给出的黑龙江省旱涝标准的 Z 指数范围,按5级划分,确定旱涝等级划分标准如表2所示。

表2 按 Z 指数划分旱涝等级

Tab. 2 Gradation of drought/floods according to Z-index

等级 grade	Z 指数范围 Z-index range	旱涝类型 drought/flood type
1	$Z \geq 1.4$	大涝 serious flood
2	$1.4 > Z \geq 0.5$	偏涝 partial flood
3	$0.5 > Z > -0.5$	正常 normal
4	$-0.5 \geq Z > -1.4$	偏旱 partial drought
5	$Z \leq -1.4$	大旱 serious drought

2 结果与分析

2.1 利用 R_i 确定佳木斯市春季旱涝类型、出现频率及时空分布特点

根据表1降水距平百分率旱涝等级的标准,绘制旱涝灾害等级年际变化图,确定出佳木斯市各县(市)的旱涝类型和等级,各县(市)的旱涝演变基本一致,其中佳木斯的旱涝等级年际变化见图1。由图1可知:佳木斯旱涝灾害的发生比较频繁,尤其是大涝和大旱出现的概率较高,1996年以前以偏旱为主,偏旱年份占54.1%;1996年以后以偏涝为主,占63.2%。

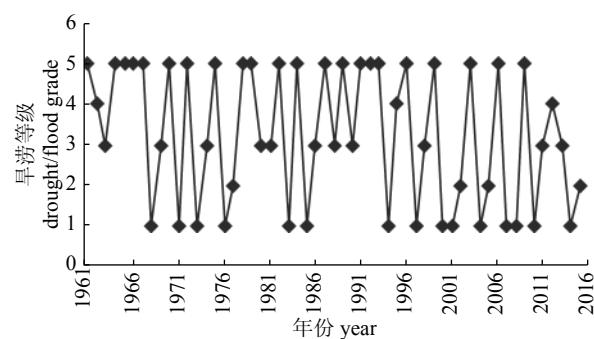


图1 R_i 划分佳木斯历年旱涝等级年际变化

Fig. 1 Evolutional diagram of drought/flood gradation with R_i in Jiamusi

各县(市) R_i 划分历年旱涝等级演变规律基本一致,略有差别。由表3可知:55年来,佳木斯市所属县(市)旱涝灾害频繁发生,出现大涝和大旱的频率最高,为58%~80%。以佳木斯市为例,其中发生各类干旱灾害24年,平均2.3年发生1次;发生各类洪涝灾害20年,平均2.8年发生1次;在所有年份中,发生大旱、大涝灾害分别为22年和15年,发生频率高达40%和27%。从地域分布看,佳木斯行政区划西部地区的佳木斯市、汤原县、桦南县和桦川县出现旱涝的平均频率分别为46.5%和40.3%,东部地区富锦市、同江市和抚远市出现旱涝的平均频率分别为42.0%和35.7%,说明西部比东部更易发生旱涝且转换更加频繁。

由图2可知:佳木斯市春季降水变化呈上升趋势,在55年的线性变化趋势中,每10年上升约9.6%。其降水最小值为1972年的23.9 mm,最大值为2010年的180.3 mm,两者相差高达156.4 mm,最大年是最小年的7.5倍,呈现降水年际变化率逐年增大的特征。

表3 利用 R_i 划分的佳木斯市各县(市)旱涝灾害出现频率
Tab. 3 Frequency of occurrence of drought/flood disasters with R_i division in Jiamusi

旱涝类型 drought/flood type	佳木斯 Jiamusi	汤原 Tangyuan	桦南 Huanan	桦川 Huachuan	富锦 Fujin	同江 Tongjiang	抚远 Fuyuan	%
大涝 serious flood	27	29	32	39	25	33	29	
偏涝 partial flood	9	9	11	4	7	4	10	
正常 normal	20	9	11	14	26	20	19	
偏旱 partial drought	4	15	4	2	9	4	10	
大旱 serious drought	40	38	42	41	33	39	31	

降水的5年滑动平均值说明降水量的年际变化上亦有较大差异(图2)。1961—1967年为少水期,有6个旱年,1个正常年;1968—1985年为多水少水交替变换期,有7个涝年,7个旱年,2个正常年;1986—1996年为少水期,有7个旱年,3个正常年和1个涝年;1997—2015年为多水期,19年中有12个涝年,4个旱年,3个正常年。

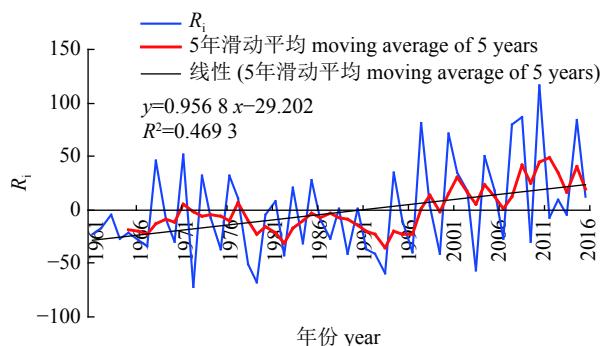


图2 佳木斯市历年春季 R_i 变化曲线

Fig. 2 The variety graph over the years of R_i in Jiamusi

2.2 佳木斯市春季旱涝类型、出现频率及时空分布特点

根据Z指数旱涝等级的标准(表2),确定出佳木斯市各县(市)的旱涝类型和等级,各县(市)的旱涝演变基本一致,其中佳木斯站的旱涝等级年际变化见图3。

表4 利用Z指数划分的佳木斯市各县(市)旱涝灾害出现频率

Tab. 4 Frequency of occurrence of drought/flood disasters with Z-index division in Jiamusi

旱涝类型 drought/flood type	佳木斯 Jiamusi	汤原 Tangyuan	桦南 Huanan	桦川 Huachuan	富锦 Fujin	同江 Tongjiang	抚远 Fuyuan
大涝 serious flood	36	38	47	43	36	37	42
偏涝 partial flood	4	2	0	2	16	4	4
正常 normal	4	4	2	8	4	8	2
偏旱 partial drought	13	4	2	4	8	8	4
大旱 serious drought	43	52	49	43	36	43	48

由图4可知:佳木斯市春季Z指数呈上升趋势,与 R_i 变化趋势一致。在55年的线性变化趋

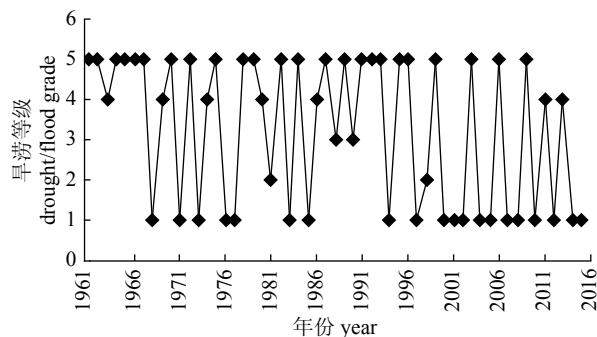


图3 Z指数划分佳木斯历年旱涝等级年际变化

Fig. 3 Evolutional diagram of drought/ flood level with Z-index in Jiamusi

Z指数划分佳木斯市历年旱涝等级变化规律与利用降水距平百分率 R_i 法确定的结果基本类似,但各县(市)旱涝灾害出现的频率差异较大(表4)。佳木斯市所属县(市)出现大涝和大旱的频率最高,为72%~96%。以频率最高的桦南县为例,其中发生各类干旱28年,平均2.0年发生1次,发生各类洪涝26年,平均2.1年发生1次,几乎是1年大涝1年大旱,频繁转换。从地域分布看,佳木斯市西部地区的佳木斯、汤原县、桦南县和桦川县出现旱涝的平均频率分别为52.8%和43.0%,东部地区富锦市、同江市和抚远市出现旱涝的平均频率分别为49%和45.3%,西部与东部相比偏旱频率偏高3.8%,偏涝频率偏低2.3%,说明西部比东部更易发生春旱。

势中,每10年Z指数上升1.2;由Z指数的5年滑动平均值显示:变化趋势与 R_i 变化趋势一致。

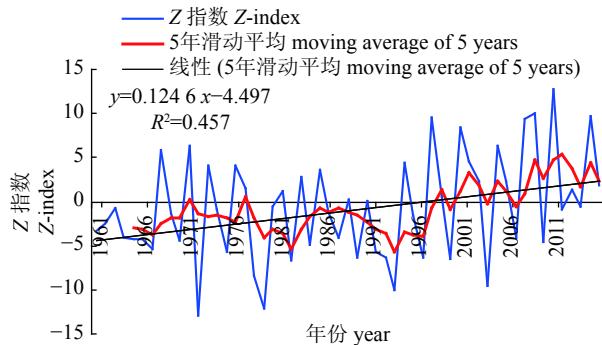


图4 佳木斯市历年Z指数变化曲线图

Fig. 4 The variety graph over the years of Z-index in Jiamusi

表3、4表明：利用 R_i 和Z指数确定佳木斯市旱涝类型，旱涝年型大部分一致，仅个别年份存在差异。以佳木斯为例，1961—2015年中各年大部分旱年、涝年的年型基本一致；利用 R_i 确定的旱涝类型中正常年较多；而利用Z指数确定的旱涝类型里， R_i 确定的正常年大都变为偏旱或偏涝年，正常年相对较少。相比较而言，降水距平

百分率计算简单、意义明确，但对干旱响应缓慢，不适用于时空尺度的旱涝等级对比分析；Z指数消除了降水量平均值不同的影响，以遵从正态分布的降水量来划分干旱等级，而且当降水总量显著增加或减少时，相对于降水距平百分率而言，Z指数响应迅速，能够比较快速、显著、明了地反映出旱涝程度。

2.3 春季旱涝趋势预测模型

2.3.1 春季旱涝趋势与大气环流因子相关性

降水的年际变化特征取决于大气环流的变化，环流异常的结果往往导致气候反常。大气环流的时空分布状况和变化特征决定着气候状况及其变化，而降水则是气候系统各因子之间相互作用综合影响的结果^[14]。

把1951年以来65年的佳木斯市春季降水量与国家气候中心提供的65年各月74项环流指数的实时资料共57720个环流特征量用Minitab 16进行相关普查。选择标准为相关系数 $|r| \geq 0.30$ ，信度 $\alpha \geq 0.05$ ，满足条件的入选因子如表5所示。

表5 预报模型所选因子及相关系数

Tab. 5 The factors and the correlation coefficient of prediction model

因子序号 factor No.	因子含义 factors meaning	相关系数 r correlation coefficient	P
1	前一年5月北非副高脊线(20W-60E) the North African subtropical ridge (20W-60E) in May of last year	0.302	0.015
2	前一年11月东太平洋副高脊线(175W-115W) the eastern Pacific subtropical ridge (175W-115W) in November of last year	-0.336	0.007
3	前一年12月东太平洋副高脊线(175W-115W) the eastern Pacific subtropical ridge (175W-115W) in December of last year	-0.411	0.001
4	前一年5月北非副高界(20W-60E) the northern boundary of North Africa subtropical high (20W-60E) in May of last year	0.307	0.014
5	前一年12月东太平洋副高界(175W-115W) the northern boundary of the eastern Pacific subtropical high (175W-115W) in December of last year	-0.372	0.002
6	前一年2月太平洋区极涡面积指数(2区, 150E-120W) the polar vortex area index (zone 2, 150E-120W) in the Pacific Ocean in February of last year	-0.302	0.015
7	前一年4月大西洋欧洲区极涡面积指数(4区, 30W-60E) the polar eddy area index (zone 4, 30W-60E) in the Atlantic of Europe in April of last year	-0.319	0.010
8	前一年11月大西洋欧洲区极涡面积指数(4区, 30W-60E) the polar eddy area index (zone 4, 30W-60E) in the Atlantic of Europe in November of last previous year	-0.316	0.011
9	前一年11月北半球极涡面积指数(5区, 0-360) the polar vortex area index (zone 5, 0-360) in the northern hemisphere in November of last year	-0.309	0.013
10	前一年5月太平洋区涡强度指数(2区, 150E-120W) the vortex intensity index (zone 2, 150E-120W) in Pacific in May of last year	-0.337	0.006
11	前一年11月大西洋欧洲区极涡强度指数(4区, 30W-60E) the polar vortex intensity index (zone 4, 30W-60E) for the Atlantic of Europe in November of last year	-0.334	0.007
12	前一年12月北半球极涡中心强度(JQ) the polar vortex central intensity (JQ) in the northern hemisphere in December of last year	0.314	0.012
13	前一年11月大西洋欧洲环流型W the European circulation W in Atlantic in November of last year	-0.433	0.000
14	前一年11月大西洋欧洲环流型E the European circulation E in Atlantic in November of last year	0.361	0.003
15	前一年12月大西洋欧洲环流型E the European circulation E in Atlantic in December of last year	0.303	0.015
16	前一年3月南方涛动指数 the southern oscillation index in March of last year	0.309	0.013

尝试从这些环流特征量中找出对佳木斯市旱涝预测有指示意义的因子, 并依此对旱涝趋势进行预测^[15]。从表5可见: 与佳木斯市春季旱涝关系密切的环流因子主要分布在前一年春季和冬季, 相关系数最大的达到-0.433。

2.3.2 旱涝趋势预测模型的建立

从表5中选取相关系数最大的4个大气环流因子为自变量, 利用1951—2015年的环流指数通过多元回归建立佳木斯春季降水量预报方程:

$$Y=207-9.51X_1+2.69X_2-1.54X_3+0.892X_4$$

式中, Y 为当年3—5月降水量; X_1 为前一年12月东太平洋副高脊线(175W—115W); X_2 为前一年12月东太平洋副高北界(175W—115W); X_3 为前一年11月大西洋欧洲环流型W; X_4 为前一年11月大西洋欧洲环流型E。

为检验方程预测春季旱涝的能力, 对1961—2015年共55年的历史样本资料进行了拟合实验, 55年中有35年预测旱涝等级与实际完全一致, 准确率为63.6% (图5), 方程 $P=0.000$, 通过极显著性水平检验。

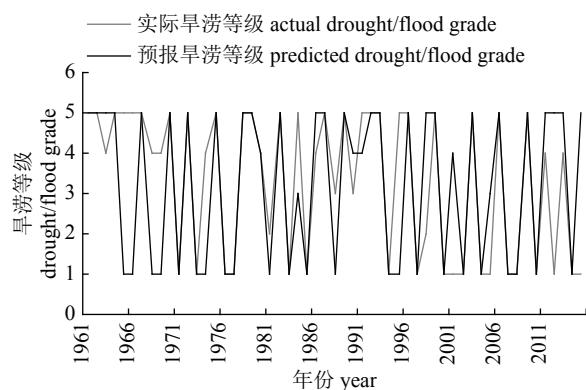


图5 佳木斯旱涝预报等级与实际等级

Fig. 5 The predicted and actual grade of drought and flood in Jiamusi

3 讨论

本研究表明: 在佳木斯市春季降水的年际变化中, 1996年前以偏旱为主, 1996年以后以偏涝为主, 这与杨晓静等^[16]“东北三省春季趋于湿润, 春旱影响范围减小”的研究结论相吻合。从降水量的年际变化看, 20世纪60年代降水量偏少, 60年代末到80年代中期降水量时多时少, 处于旱涝频繁变换期, 80年代中期到90年代中期再次处于少水期, 洪涝较少发生, 从1997年开始

进入洪涝多发期, 19年中有12个涝年, 占63.2%。这与韩晓敏等^[17]“东北地区的整体降雨量线在气温突变后在向东向北扩张, 更易发生洪涝”的研究结论一致, 三江平原正好处于大涝频率高值区。

佳木斯市春季降水变化呈上升趋势, 在55年的线性变化趋势中, 每10年上升约9.6%。这与高永刚等^[18]的研究结果“佳木斯市年降水量以小于-3.11%/10年的趋势减少”有差异, 说明佳木斯在年降水量减少的同时, 春季降水量却明显增加; 同期佳木斯市年平均气温以0.17~0.26°C/10年上升, 高于全球(0.13±0.03)°C/10年的上升率^[19]。由此可知, 佳木斯市在暖湿化气候变化背景下, 近55年来春季旱涝特征表现出由旱转涝的趋势, 洪涝对气候变化的响应更敏感, 洪涝灾害发生频率与强度均呈加剧趋势。

佳木斯市自1951年有气象资料以来, 还没有对用于长期预报的大气环流指数进行过详尽的相关性普查。本研究根据国家气候中心提供的74项环流指数的实时资料, 把1951年以来的65年, 每年12个月、每月74项环流指数与佳木斯市春季降水量用Minitab 16进行了相关普查, 进行了大量的运算, 选出相关系数 $|r| \geq 0.30$ 、信度 $\alpha \geq 0.05$ 的因子。但这些因子的相关系数普遍偏小, 因此, 建立模型做出的定量预报的准确率偏低, 可作为定性预报的参考。

从统计预报的角度出发, 考虑到众多预报因子之间常存在复共线性关系, 它们各自并不独立存在, 各个因子所带的噪声信息经过叠加之后, 又会导致噪声增加、信息重复, 影响到预报模型的预报效果, 导致其预报能力下降。因此, 需要构造一些输入因子, 而这些因子首先能包含多种影响未来天气状况变化的因素, 其次数量要少。下一步的研究拟采用投影寻踪回归方法^[20]以及径向基函数(RBF)人工神经网络方法^[21-22]等, 以期提高预测的准确性。

4 结论

1961—2015年佳木斯市所属县(市)出现大涝和大旱的频率在72%~96%之间, 1996年以前出现大旱频率较高, 而1996年以后出现大涝的概率更大; 佳木斯市在年降水量减少的同时, 春季3—5月降水变化呈上升趋势, 在55年的

线性变化趋势中,每10年上升约9.6%;从地域分布看,佳木斯西部地区比东部更易发生旱涝且转换更加频繁。研究建立的春季降水量预报方程具有一定预测能力,其预测春季旱涝类型准确率为63.6%,可为佳木斯春季旱涝灾害的短期气候预测提供参考依据。

[参考文献]

- [1] 刘毅. 极端气象灾害威胁国家安全[N]. 人民日报, 2014-12-13(10).
- [2] GROISMAN P Y, KARL T R, EASTERLING D R, et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change[J]. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 243. DOI: [10.1023/A:1005432803188](https://doi.org/10.1023/A:1005432803188).
- [3] 章国材. 防御和减轻气象灾害: 2006年世界气象日主题[J]. 气象, 2006, 32(3): 3. DOI: [10.3969/j.issn.1002-252X.2006.03.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-252X.2006.03.002).
- [4] 黄荣辉, 郭其蕴, 孙安健, 等. 中国气候灾害图集[M]. 北京: 海洋出版社, 1997.
- [5] 孙永贺, 张春城, 徐建民. 佳木斯市旱涝分析[J]. 黑龙江水专学报, 2005, 32(1): 30. DOI: [10.3969/j.issn.2095-008X.2005.01.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-008X.2005.01.012).
- [6] 潘华盛, 刘育生. 三江平原天气气候与农业[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [7] 陈莹, 陈兴伟. 福建省近50年旱涝时空特征演变—基于标准化降水指数分析[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(3): 57. DOI: [10.13577/j.jnd.2011.0310](https://doi.org/10.13577/j.jnd.2011.0310).
- [8] 郭华, HU Q, 张奇, 等. 鄱阳湖流域水文变化特征成因及旱涝规律[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 699.
- [9] 王米雪, 延军平, 李双双. 1960—2013年中国东南沿海地区旱涝时空变化特征及其趋势分析[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2307.
- [10] 韦开, 王全九, 周蓓蓓, 等. 基于降水距平百分率的陕西省干旱时空分布特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 318. DOI: [10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.052](https://doi.org/10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.052).
- [11] 王艳秋, 邢俊江, 张丽娟, 等. 黑龙江省旱涝低温指标及其气候分析应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5): 142. DOI: [10.13577/j.jnd.2008.0524](https://doi.org/10.13577/j.jnd.2008.0524).
- [12] 蔡哲, 章毅之, 何拥凤, 等. 江西省干旱洪涝的时空变化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 144. DOI: [10.13577/j.jnd.2013.0220](https://doi.org/10.13577/j.jnd.2013.0220).
- [13] 郑红, 王艳秋, 郑凯, 等. 黑龙江省夏季旱涝低温灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(2): 131. DOI: [10.13577/j.jnd.2010.0221](https://doi.org/10.13577/j.jnd.2010.0221).
- [14] 郑祖国, 郑海燕. 影响浙江降水的大气环流主要因子筛选研究[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(3): 249. DOI: [10.3969/j.issn.1007-8614.2012.03.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-8614.2012.03.015).
- [15] 杨金虎, 孙兰东, 林婧婧, 等. 1961—2012年盛夏持续性旱涝异常分析及预测[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 2078.
- [16] 杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 等. 东北三省近55a旱涝时空演变特征[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(4): 9. DOI: [10.13577/j.jnd.2016.0402](https://doi.org/10.13577/j.jnd.2016.0402).
- [17] 韩晓敏, 延军平. 气候暖干化背景下东北地区旱涝时空演变特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 314. DOI: [10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.055](https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.055).
- [18] 高永刚, 顾红, 姬菊枝, 等. 近43年来黑龙江气候变化对农作物产量影响的模拟研究[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 532. DOI: [10.3969/j.issn.1001-7313.2007.04.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7313.2007.04.014).
- [19] 丁一汇, 张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 794. DOI: [10.3878/j.issn.1006-9895.2008.04.08](https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.2008.04.08).
- [20] 葛旭阳. 投影寻踪回归方法在长江三角洲地区降水量预报中的应用[J]. 气象科学, 2002, 22(1): 88. DOI: [10.3969/j.issn.1009-0827.2002.01.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-0827.2002.01.011).
- [21] 杨永生, 何平. 投影寻踪回归与BP神经网络方法在前汛期降水预测中的比较研究[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 14. DOI: [10.3969/j.issn.1673-503X.2008.01.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-503X.2008.01.004).
- [22] 郭皓, 邢贞相, 付强, 等. 基于密度参数K-均值算法的RBF网络及其在降水量预测中的应用[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 299. DOI: [10.13869/j.cnki.rswc.2014.06.056](https://doi.org/10.13869/j.cnki.rswc.2014.06.056).

责任编辑: 何馨成