

内蒙古地区近30年干旱特征及其成灾原因*

周扬^{1,2}, 李宁^{1,2,3}, 吴吉东^{1,2}

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 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)

摘要: 气候变暖背景下内蒙古地区近30年来旱灾成灾驱动力的识别对进行旱灾风险管理具有重要的科学意义。基于内蒙古地区1981-2010年47个地面观测站温度、降水、相对湿度等历史观测资料及农作物旱灾成灾面积, 采用变点分析(Change point analysis)探测了近30年来内蒙古地区气候因子与历史灾情的变化趋势; 在此基础上, 采用多元回归模型分析了研究区旱灾成灾的主要影响因子, 最后探讨了研究区农作物旱灾成灾的格兰杰(Granger)因果关系。结果表明: 内蒙古地区近30年来年平均温度(0.4℃/10a)和成灾面积(173.9万hm²/10a)呈增加趋势, 降水量呈轻微减少趋势(1.2mm/10a); 温度和相对湿度于1980年代末至1990年代初出现突变, 而降水量和旱灾成灾面积于1999年发生突变; 由降水和温度共同控制作用影响内蒙古地区农作物干旱成灾; 相对湿度与成灾面积之间存在时间上的格兰杰因果关系。

关键词: 旱灾; 综合气象干旱指数(CI); 变点探测; 格兰杰因果检验; 内蒙古

中图分类号: X43; S423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0067-07

0 引言

旱灾是气象灾害中造成经济损失最为严重的自然灾害之一, 具有发生频率高、持续时间长、影响范围广等特点^[1-2]。据统计, 我国气象灾害损失约占各类自然灾害损失的70%, 而旱灾损失占气象灾害损失的50%以上^[3]。因此, 全球变暖背景下识别旱灾成灾的主要影响因子、探讨旱灾成灾机制对减灾政策制定具有重要的理论价值。

近30年来, 对我国干旱(或干旱化)及旱灾的研究侧重于探讨干旱指标、干旱等级^[4-5]、干旱成因^[6]和干旱(化)时空分布特征等^[7-9]。对我国西北地区气候变化与旱灾灾情的分析表明, 西北地区受干旱化气候和水文变化趋势的影响, 旱灾所造成的粮食损失不断增加^[10]; 干旱气候的产生带来了严重的干旱灾害^[2]。根据区域自然灾害系统理论, 自然灾害是致灾因子、孕灾环境和灾情共同作用的结果^[11]。虽然学术界对干旱成因和区域干旱演变特点进行了大量的研究, 但综合考虑致灾因子和灾情的研究仍少见报道。通常而言, 降水量减少会促进干旱化的发生, 而干旱是否致灾

仍然是目前学术界具有争议的主题之一。

内蒙古地区降水稀少, 旱灾是该区发生频率最高、危害严重的自然灾害之一。近50年来, 受全球增温的影响, 内蒙古地区旱灾发生频率有不断增加的趋势; 1990-2009年间全区旱灾造成的农业直接经济损失约579.50亿元^[12]。已有研究分析了内蒙古地区近几十年来旱灾的变化趋势及其空间分布^[12-13], 但少有研究结合旱灾的致灾因子和历史灾情分析干旱成灾的原因。因此, 本文在分析内蒙古地区近30年来年均温度、降水量、相对湿度等气候因子变化趋势和干旱空间分布的基础上, 拟通过相关分析和多元回归分析识别内蒙古地区旱灾成灾的主要影响因子, 并探讨该区干旱成灾在时间上的格兰杰原因。通过对旱灾成灾机理的研究旨在为内蒙古地区制定气候变化适应措施提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料说明

选用内蒙古自治区1981-2010年47个地面气

* 收稿日期: 2013-03-29 修回日期: 2013-05-15

基金项目: 科技部国际合作项目(2012DFG20710); 国家重大科学研究计划(2012CB955402); 国家自然科学基金项目(41171401)

作者简介: 周扬(1984-), 男, 贵州普安人, 博士生, 从事自然灾害风险管理研究。E-mail: yzhou@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 李宁(1958-), 女, 江苏镇江人, 教授, 主要从事自然灾害及风险管理研究。E-mail: ningli@bnu.edu.cn

象站的逐日降水、日平均温度和相对湿度等气象要素的观测资料，资料来自中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)，共享网提供了 50 个内蒙古地区的观测站资料，其中吉诃德、杭锦后旗、伊金霍洛旗 3 个观测站的数据缺测过多，所以将其删除。其余个别台站较少部分的缺测资料用平均值插补处理，订正后的 47 个台站的各要素资料连续性良好。1981 - 2010 年内蒙古自治区农作物旱灾成灾面积来自《中国民政统计年鉴(1981 - 2011) 》^[14]，成灾面积数据为由民政部、农业部、水利部及国家统计局等单位的核定数。

1.2 研究方法

1.2.1 综合气象干旱指数

采用《气象干旱等级 GB/T 20481 - 2006》国家标准(以下简称国标) 中综合气象干旱指数(Compound index of metrological drought, CI) 的计算方法，利用近 30 d(相当于月尺度) 和近 90 d(相当于季尺度) 的标准化降水指数以及近 30 d 相对湿润度指数计算出综合气象干旱指数。该指标既可反映月和季尺度降水量的气候异常情况，也可反映短时间尺度水分亏欠情况。CI 指数越小，表明干旱的程度越严重。计算公式为：

$$CI = 0.4Z_{30} + 0.4Z_{90} + 0.8M_{30} \quad (1)$$

式中： Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30 d 和近 90 d 的标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)； M_{30} 为近 30 d 的相对湿润度指数，其中标准化降水指数 SPI 采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化，将偏态概率分布的降水量进行正态标准化处理，最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级。SPI 计算公式如下：

$$SPI = S \frac{t - (c_2t + c_1)t + c_0}{((d_3t + d_2)t + d_1)t + 1.0} \quad (2)$$

式中： $t = \sqrt{\ln \frac{1}{G(x)^2}}$ ， $G(x)$ 为与 Γ 函数相关的降水分布概率； x 为年或季降水量样本； S 为概率密度的正负系数。当 $G(x) > 0.5$ 时 $G(x) = 1.0 - G(x)$ ， $S = 1$ ；当 $G(x) \leq 0.5$ 时 $S = -1$ 。 $G(x)$ 由 Γ 分布函数概率密度积分公式计算：

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx \quad x > 0 \quad (3)$$

式中： γ 、 β 分别为 Γ 分布函数的形状和尺度参数； c_0 、 c_1 、 c_2 和 d_1 、 d_2 、 d_3 分别为 Γ 分布函数转换为累积频率简化近似求解公式的计算参数，其中 $c_0 = 2.516$ ， $c_1 = 0.803$ ， $c_2 = 0.010$ ， $d_1 = 1.433$ ， $d_2 = 0.189$ ， $d_3 = 0.001$ 。

根据上述方法计算出 30 d 和 90 d 的标准化降水指数(SPI3 和 SPI9)。相对湿润指数 M 的计算公式

如下：

$$M = \frac{P - PE}{PE} \quad (4)$$

式中： P 为某时段的降水量(mm)； PE 为某时段的可能蒸散量(mm)。PE 计算方法如下：

$$PE = 16 \times \left(\frac{10T_i}{H} \right)^A \quad (5)$$

式中： T_i 为平均温度($^{\circ}\text{C}$)； H 为热量指数 $H = (T_i/5)^{1.514}$ ； A 为常数 $A = 6.75 \times 10^{-7}H^3 - 7.71 \times 10^{-5}H^2 + 1.792 \times 10^{-2}H + 0.49$ 。

根据 CI 指数的计算结果，采用《气象干旱等级 GB/T 20481 - 2006》国标中规定的综合气象等级的划分标准^[15]，将综合气象干旱指数划分为无旱($-0.6 < CI$)、轻旱($-1.2 < CI \leq -0.6$)、中旱($-1.8 < CI \leq -1.2$)、重旱($-2.4 < CI \leq -1.8$) 和特旱($CI \leq -2.4$)。

1.2.2 突变点探测

采用累积和图(cumulative sum charts, CUSUM) 和重采样(bootstrapping) 相结合方法探测气候变量(温度 T 、降水 P 、相对湿度 SD) 和成灾面积(S) 等历史序列中发生显著突变的时间点^[16-18]。计算公式如下：

$$S_i = S_{i-1} + (x_i - \mu) \quad , \quad (\text{其中 } i = 1, \dots, n; S_0 = 0) \quad (6)$$

式中： i 为年份； S_i 为变量(包括温度、降水、相对湿度、成灾面积) 的累积和； x 为气候变量和农作物的成灾面积； μ 为时间序列 x 的算术平均值。

$$S_{\text{diff}} = \max S_i - \min S_i \quad , \quad (\text{其中 } i = 0, \dots, n) \quad (7)$$

式中： $\max S_i$ 和 $\min S_i$ 为 S_i 的最大值和最小值； S_{diff} 为 S_i 的变化幅度。

1.2.3 格兰杰因果关系检验

为了分析历史气候变化与农作物旱灾成灾之间是否存在时间上的因果关系，本研究采用格兰杰(Granger) 因果检验探讨气候变化与旱灾成灾之间的关系。格兰杰因果检验可判别一组变量(y, x) 是否存在因果关系，设两平稳时间序列 $\{x_t\}$ 和 $\{y_t\}$ ，建立 y_t 关于 y 和 x 的滞后模型：

$$y_t = c + \sum_{i=1}^n (a_i \times y_{t-i}) + \sum_{i=1}^n (\beta_i \times x_{t-i}) \quad (8)$$

式中： c 为常数项，滞后期 n 的选择是任意的。检验 x 的变化不是 y 变化的原因相当于对统计原假设 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n = 0$ 进行 F 检验，若 F 检验值大于标准 F 分布的临界值，则拒绝原假设，说明 x 的变化是 y 变化的原因，否则接受原假设，说明 x 的变化不是 y 变化的原因^[19]。

2 评估结果

2.1 1981 - 2010 年内蒙古地区年均降水、温度和农作物成灾面积的变化趋势

1981 年以来 内蒙古地区年均温度呈增加的趋势 增温幅度为 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 1a), 该结果与前人的研究结果基本一致^[20-21]; 年均降水量呈轻微的减少趋势, 与温度变化相比, 降水量的变化趋势不显著^[20], 降水量减少的速率为 $1.2\text{ mm}/10\text{a}$ (图 1b); 旱灾成灾面积呈明显的增加趋势, 近 30 年旱灾成灾面积增加了约 184.8 万 hm^2 (图 1c)。研究区年均温的增温幅度($0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)略高于北半球的中高纬地区($0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)^[22], 但其变暖幅度略低我国西北和东北地区($0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$); 降水量变化趋势与全国基本一致, 呈轻微的减少趋势^[22], 可见, 近 30 年来内蒙古地区气候呈暖干化特征。

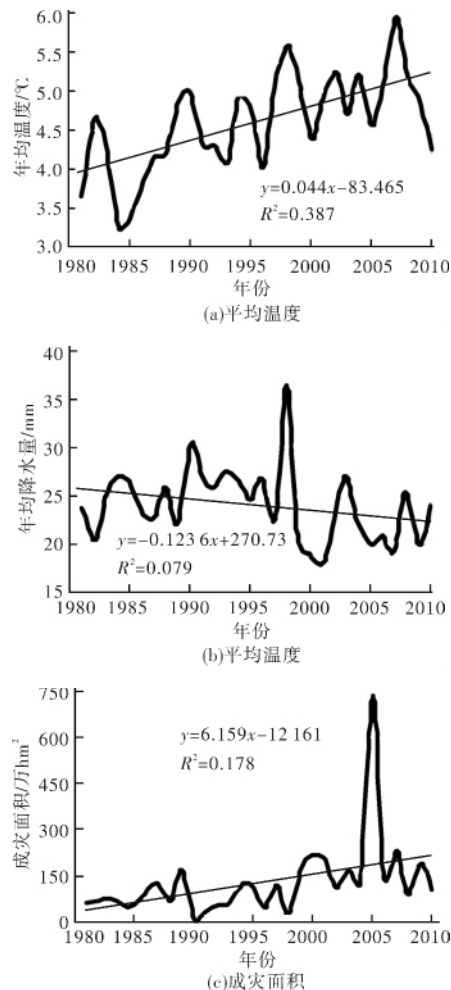


图1 内蒙古地区 1981 - 2010 年温度、降水和农作物旱灾成灾面积变化趋势

2.2 内蒙古地区干旱空间分布

根据式(1)~(3)所计算出的各站点近 30 年 1 - 12 个月的 CI 指数, 基于 ArcGis10.0 软件平台,

采用克里金(Kriging)插值对 4 个季节(春季 3 - 5 月、夏季 6 - 8 月、秋季 9 - 11 月和冬季 12 - 2 月)的 CI 指数进行空间插值, 结果如图 2 所示。根据《气象干旱等级 GB/T 20481 - 2006》^[15] 国标中干旱等级的判断标准, CI 指数在 $-1.3 \sim -0.56$ 之间, 全区主要以轻度干旱为主(图 2a); 在夏季, CI 值在 $-2.41 \sim -0.6$ 之间, 其中赤峰市中南部地区表现为重度干旱, 赤峰市中部及南部、呼伦贝尔盟西部、乌海市、阿拉善盟东部及东南部、锡林格勒盟西北部地区表现为中度干旱, 其余地区为轻度干旱特征(图 2b); 与冬季一样, 秋季内蒙古地区 CI 指数在 $-1.34 \sim -0.56$ 之间, 内蒙古全区主要为轻度干旱(图 2c); 在冬季, CI 指数在 $-0.48 \sim -1.25$ 之间, 除呼伦贝尔盟西部、赤峰市南部、乌海市、阿拉善盟东部及伊克昭中南部等地区为中度干旱外, 其余地区为轻度干旱(图 2d)。

2.3 降水、温度、相对湿度和农作物成灾面积突变点分析

根据公式 4 和 5 的计算结果, 如表 1 和图 3 所示, 研究区 1981 年以来年均降水量、平均气温、相对湿度和农作物成灾面积均观测到有显著的突变发生, 其中降水量、温度和成灾面积分别有 1 个突变点, 相对湿度有 3 个突变点; 年均温的突变发生在 1989 年, 温度从 $3.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上升到 $4.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 3a); 年均降水量在 1999 年发生突变, 降水量从突变前的 26.8 mm 减少到突变后的 21.55 mm (图 3c); 农作物旱灾成灾面积与降水量的突变一致, 均发生在 1999 年, 成灾面积从突变前的 77.96 万 hm^2 增加到突变后的 209.17 万 hm^2 (图 3d)。从降水、温度和成灾面积的突变点可以看出, 降水影响农作物生长, 降水量显著减少的年份农作物旱灾成灾面积会显著增加。年均相对湿度被探测到 3 个突变点(图 3b), 分别位于 1990 年、1995 年、2004 年, 其中 1990 年突变点的可信度较高, 在 1987 - 1990 年间, 相对湿度从 52.17% 减少到 52.00% ($p < 0.01$)。可见, 内蒙古地区近 30 年来

表 1 内蒙古地区 1981 - 2010 年年均气温、降水量、相对湿度与成灾面积的突变点^②

变量	突变年	突变区间	置信水平	变化前	变化后	水平
成灾面积/ 万 hm^2	1999	(1998, 2010)	100%	77.96	209.17	1
降水量/mm	1999	(1982, 2002)	99%	26.8	21.55	2
平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	1989	(1987, 1993)	100%	3.93	4.83	2
	1990	(1987, 1990)	99%	52.17	53.99	1
相对湿度/%	1995	(1995, 2000)	95%	53.99	52.00	3
	2004	(1998, 2006)	96%	52	49.55	4

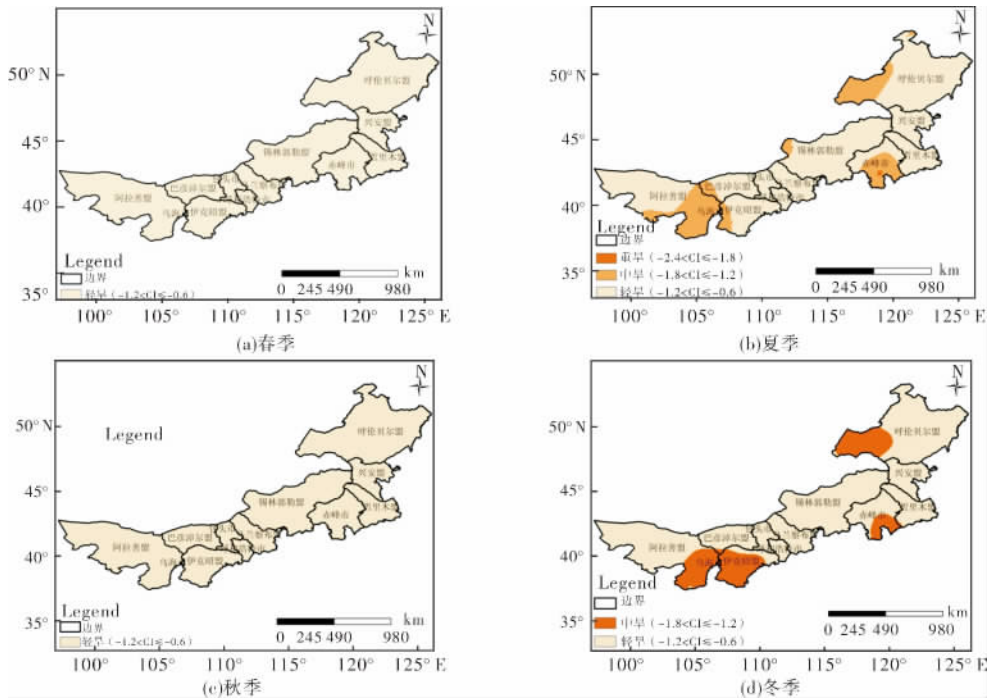


图2 内蒙古地区四季干旱空间分布

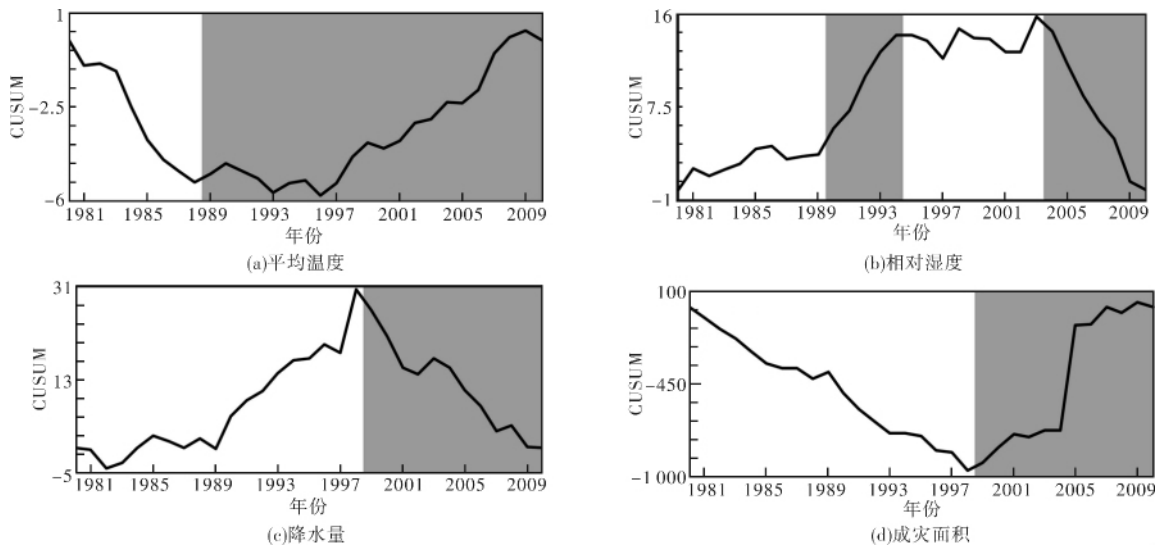


图3 内蒙古地区 1981 - 2010 年温度、降水、相对湿度和成灾面积的 CUSUM 图

平均温度和相对湿度主要于 1980 年代末至 1990 年代初发生突变，降水量和成灾面积于 1990 年代发生过突变。

2.4 气候变量与旱灾灾情间的格兰杰因果检验

为了探讨研究区干旱成灾对气候变化的响应及识别驱动旱灾成灾的影响因子，本研究分析了成灾面积 (S) 与降水量 (P)、温度 (T)、相对湿度 (SD) 和综合气象干旱指数 (CI) 之间的相关关系 (表 2)。成灾面积与降水量、综合气象干旱指数和相对湿度之间相关性显著 ($p < 0.01$)，其中成灾面积 (S) 与降水量 (P) 和相对湿度 (SD) 存在显著负相

关系 ($p < 0.01$)，与综合气象干旱指数 (CI) 呈显著正相关；降水量与相对湿度呈明显正相关，与综合气象干旱指数呈明显负相关。

基于上述结果，用成灾面积作为因变量，降水、综合气象干旱指数和相对湿度为自变量，采用多元回归分析 (逐步回归) 识别了影响内蒙古地区干旱成灾的主要影响因子。结果表明：回归模型通过 F 统计检验 ($F = 12.46$, $p = 0.001$)，且模型参数在 99% 显著性水平上通过 t 检验 (表 3)，由温度和降水共同控制的综合气象干旱指数 (CI) 对农作物成灾面积 (S) 有显著的影响 ($p < 0.05$)，30.8% 成灾面积的

表 2 温度、降水量、相对湿度、综合气象干旱指数与成灾面积之间的相关系数

		<i>S</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>CI</i>	<i>SD</i>
<i>S</i>	皮尔逊相关系数	1	0.181	-0.524**	0.555**	-0.516**
	Sig. (2-tailed)		0.337	0.003	0.001	0.004
<i>T</i>	皮尔逊相关系数	0.181	1	-0.132	0.284	-0.303
	Sig. (2-tailed)	0.337		0.486	0.129	0.104
<i>P</i>	皮尔逊相关系数	-0.524**	-0.132	1	-0.798**	0.730**
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.486		0.000	0.000
<i>CI</i>	皮尔逊相关系数	0.555**	0.284	-0.798**	1	-0.687**
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.129	0.000	—	0.000
<i>SD</i>	皮尔逊相关系数	-0.516**	-0.303	0.730**	-0.687**	1
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.104	0.000	0.000	—

** 代表相关性在 0.05 显著水平上显著。

表 3 多元回归分析模型结果统计

R^2	F	综合气象干旱指数(<i>CI</i>)		降水量(<i>P</i>)		相对湿度(<i>SD</i>)	
		系数	t 统计量(Sig.)	系数	t 统计量(Sig.)	系数	t 统计量(Sig.)
0.308	12.46(0.001)	336.48	3.53(0.001)	—	-0.86(0.33)	—	-1.19(0.25)

变化 CI 来解释($R^2 = 0.308$),且 CI 每增加 1 个单位,农作物旱灾成灾面积增加 336.48 万 hm^2 ;降水量和土壤相对湿度不能用于解释成灾面积的变化($p > 0.1$)。结果表明,分析干旱是否致灾并不能仅考虑温度或降水单一因子,应该综合考虑温度、降水(降水频率、降水距平、连续无雨日)等相关因素。气温升高、蒸腾作用加强,土壤失水程度加重,从而加剧了干旱的强度^[23-24];内蒙古东部地区 1951-2000 年的实测降水、气温和土壤湿度等资料分析也表明,该区温度每增加 $1^\circ C$,内蒙古东部和东北部地区的干旱程度要增加 11%~20%,且东北部地区的干旱化程度更明显^[25]。因此,内蒙古地区应该制定有效的气候变化应对措施以适应其气候的暖干化发展趋势,从而减小或降低农作物受干旱灾害的影响。

为了进一步探讨旱灾的成灾机制,本研究采用格兰杰因果关系检验探讨了气候变化与旱灾成灾在时间上的因果关系,研究遵从几个基本原则^[26]:①因果关系能合理地解释;②变量间的关系非常明显;③因果变量之间的关系持续存在;④“因”发生在“果”之前。鉴于此,本文根据式(8)分别对干旱成灾面积与温度、降水量、相对湿度之间进行了格兰杰因果关系检验,所有序列在 95% 显著水平下均通过 ADF 单位根平稳性检验($CI: t = -5.747, p = 0.00; P: t = -4.822, p = 0.00; S: t = -4.799, p = 0.00; SD: t = -3.432, p = 0.02; T: t = -3.153, p = 0.03$)表明原始序列均平稳,可用于格兰杰因果关系检验。格兰杰因果检验结果见表 4。

表 4 各变量间的格兰杰因果关系检验表

因果联系(零假设)	F 统计量	接受零假设的概率
降水量(P)不是成灾面积(S)的格兰杰原因	0.714	0.500
温度(T)不是成灾面积(S)的格兰杰原因	0.482	0.624
综合气象干旱指数(CI)不是成灾面积(S)的格兰杰原因	2.664	0.191
相对湿度(SD)不是成灾面积(S)的格兰杰原因	3.025	0.068*
温度(T)不是综合气象干旱指数(CI)的格兰杰原因	0.986	0.388
相对湿度(SD)不是综合气象干旱指数(CI)的格兰杰原因	0.471	0.630
降水量(P)不是综合气象干旱指数(CI)的格兰杰原因	0.195	0.686

注: * 表示在 90% 显著水平上拒绝原假设;样本数为 28。

由表 4 可知,土壤相对湿度与成灾面积之间存在时间上的因果关系($p < 0.1$),温度、降水量和综合气象干旱指数与成灾面积之间不存在时间上的因果关系;可能是由于近几十年来内蒙古地区温度呈上升趋势,而降水减少,干旱化趋势加强;增温和降水减少使得土壤变干,从而引起更多的农作物受灾;土壤湿度的大小影响田间气候,土壤通气性和养分的分解,也是土壤微生物和农作物生长发育的重要条件之一。本研究结果表明,土壤湿度可作为衡量农业干旱的重要参考指标之一。温度和降水量与综合气象干旱指数之间不存

在时间上的因果关系,结果也表明一个地区降水减少并不一定会导致旱灾的发生,而干旱的成灾可能会受该区域土壤湿度的影响。

综上所述,内蒙古地区成灾面积与降水量和相对湿度之间显著负相关,与综合气象干旱指数呈正相关;内蒙古地区成灾面积变化受温度和降水的共同影响,而格兰杰因果关系检验中仅探测到相对湿度与成灾面积之间存在统计上的因果关系。相关性并不等同于因果关系,格兰杰因果检验得到的近似统计意义上的因果性,并不一定是真正意义上的因果关系。

3 结论

本文基于 1981 - 2010 年内蒙古地区气候和历史灾情资料,采用趋势分析和变点探测分析了内蒙古地区近 30 年来的气候因子和旱灾灾情的演变趋势;基于综合气象干旱指数 CI 分析了近 30 年内蒙古地区干旱的空间分布特点,在此基础上,采用相关分析和多元回归模型识别了农作物旱灾成灾的主要影响因子;最后,采用格兰杰因果检验初步分析了该区农作物旱灾成灾与气候变化之间在时间上的因果关系,得到以下初步结论。

(1) 近 30 年来内蒙古地区年均温呈显著上升趋势,增温速率为 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,降水量以 $1.2\text{ mm}/10\text{a}$ 的速率减少,成灾面积上升,增长速率为 $61.59\text{ 万 hm}^2/10\text{a}$ 。

(2) 内蒙古地区近 30 年来以中度和轻度干旱特征为主;夏季仅赤峰市中部及南部、乌海市、阿拉善盟东部及南部、锡林格勒盟西北部和伊克昭盟西部地区发生过度度干旱;秋季仅呼伦贝尔盟西部及东北部地区发生过度度干旱。

(3) 近 30 年来内蒙古地区降水量和旱灾成灾面积于 1999 年发生突变,温度的突变发生于 1989 年,相对湿度分别于 1990 年、1995 年和 2004 年发生过突变。

(4) 内蒙古地区成灾面积受温度和降水的共同影响;相对湿度与成灾面积间存在格兰杰因果关系。

本研究中降水量与成灾面积存在显著的负相关关系,但降水量的减少不是农作物旱灾成灾的格兰杰原因。此结果与我国北方地区近 10 年来的实际情况相符,降水减少可能会出现干旱,但干旱并不一定会致灾^[27]。近几年来我国北方及东北地区出现了持续干旱的天气,但这些地区粮食产

量亦大丰收。此外,粮食增产不仅与内蒙古地区的气候变暖相关,也可能与该区人类对气候变化的适应能力密切相关。因此,全球变暖背景下干旱灾害的研究应将致灾因子、灾情、孕灾环境及人类的适应能力相结合。

参考文献:

- [1] 钱正安,吴统文,宋敏红,等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J]. 地球科学进展,2001,16(1): 28 - 38.
- [2] 邓振镛,张强,尹宪志,等. 干旱灾害对干旱气候变化的响应[J]. 冰川冻土,2007,29(1): 114 - 118.
- [3] 刘彤,闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. 自然灾害学报,2011,20(2): 90 - 95.
- [4] 卫捷,陶诗言,张庆云. Palmer 干旱指数在华北干旱分析中的应用[J]. 地理学报,2003,58(Supp 1): 91 - 99.
- [5] 闫桂霞,陆桂华,吴志勇,等. 基于 PDSI 和 SPI 的综合气象干旱指数研究[J]. 水利水电技术,2009,40(4): 10 - 13.
- [6] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象,2003,21(4): 1 - 5.
- [7] 马柱国,符淙斌. 1951 - 2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报,2006,51(20): 2429 - 2439.
- [8] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J]. 农业工程学报,2010,26(7): 50 - 59.
- [9] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报,2011,66(5): 599 - 608.
- [10] 程国栋,王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾 - 变化趋势与对策[J]. 地学前缘,2006,13(1): 3 - 14.
- [11] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报,1996,5(4): 6 - 14.
- [12] 李晶,王耀强,屈忠义,等. 内蒙古自治区干旱灾害时空分布特征及区划[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(5): 266 - 272.
- [13] 李丹青,王晶. 内蒙古自治区旱灾趋势分析[J]. 内蒙古社会科学: 汉文版,2012,3(2): 121 - 124.
- [14] 中华人民共和国民政部. 中国民政统计年鉴 1981 - 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社,2012.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 20481 - 2006 气象干旱等级[S]. 北京: 标准出版社,2006.
- [16] Taylor W, Change-point analysis: A powerful new tool for detecting changes [EB/OL]. (2000 - 02 - 01) [2012 - 10 - 28]. <http://www.variation.com/epa/tech/changepoint.html>.
- [17] Xiong LH and Guo SL. Trend test and change-point detection for annual discharge series of the Yangtze River at the Yichang hydrological station [J]. Hydrological Sciences Journal, 2002, 49(1): 99 - 112.
- [18] Fischer T, Gemmer M, Liu L, et al. Change-points in climate extremes in the Zhujiang river basin, South China, 1961 - 2007 [J]. Climatic Change, 2012, 110: 783 - 799.

- [19] 卢万青, 沈培喜. 格兰杰因果检验在我国经济周期研究中的应用[J]. 统计研究, 2002(2): 47-50.
- [20] 丁晓华, 陈廷芝. 内蒙古地区近 50 年气温降水变化特征[J]. 内蒙古气象, 2008(2): 17-18.
- [21] 翟盘茂, 章国材. 气候变化与气象灾害[J]. 科技导报, 2004(7): 11-14.
- [22] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [23] 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 1990 及 2000 年夏季华北严重干旱的物理成因分析[J]. 大气科学, 2004, 28(1): 125-137.
- [24] 靳立亚, 李静, 王新, 等. 近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 847-854.
- [25] 谢安, 孙永罡, 白人海. 中国东北近 50 年干旱发展及对全球气候变暖的响应[J]. 地理学报, 58(Supp 1): 76-82.
- [26] Zhang DD, Lee HF, Wang C, et al. The causality analysis of climate change and large-scale human crisis [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(42): 17296-17301.
- [27] 商彦蕊. 河北省农业旱灾脆弱性区划与减灾[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 28-37.

Analysis of Drought and its Possible Causes in Inner Mongolia Region for Nearly 30 Years

Zhou Yang^{1,3}, Li Ning^{1,2,3} and Wu Jidong^{1,3}

(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, Beijing 100875, China)

Abstract: In the context of global change, it is of importance to investigate the spatial distribution of regional drought and its possible mechanism to adapt the future climate change and mitigate the negative effect from drought disaster. Based on meteorological observation data, including the daily average temperature, precipitation and relative humidity and drought disaster area of crops for Inner Mongolia Autonomous Region from 1981 to 2010, firstly this study detected the abrupt change and trends for climatic variables and historical disasters using change point analysis; and secondly analyzed the spatiotemporal distribution of seasonal drought according to the compound index (CI) of meteorological drought for the study region; thirdly, the main drivers of drought disaster were identified through multiple regression model analysis; lastly, the Granger causality for drought disaster in the study region was explored. Results indicated that the annual average temperature and agricultural disaster area show significantly increasing trends over the past 30 years and the annual precipitation take a slight decrease trend. Significantly abrupt change points for the annual average temperature and relative humid were detected in late 1980s and early 1990s, and for annual precipitation and disaster acreage were in 1998. Most of areas in Inner Mongolia region showed no drought characteristics in spring and winter seasons, while there dominated by mild drought and without drought in summer and fall. In summer season, in addition to the central and southern of Chifeng city, Wuhai city, the eastern and southern part of the Alxa League, the Northwest of Xilingele League, the western of Yikezhao League show a moderate drought, these remaining areas appear to demonstrate mild drought. While the moderate drought only occurred in Western and northeastern regions of Hulun Buir League in autumn season, and the remaining regions belongs to the mild drought characteristics. Further investigations revealed that CI, which is controlled by temperature, precipitation and soil humidity, may be the main driver factor for crop drought disaster in the study region, and there is the granger causality between the relative humid and drought disaster. There was no the granger causality among the temperature, precipitation, CI and disaster areas. Meanwhile, no granger causality between CI and temperature, relative humidity and rainfall were observed in this study. These results showed that precipitation reduction in a region dose not necessarily lead to the occurrence of its drought, and drought disasters may be closely related to the relative humidity in this region.

Key words: drought disaster; compound index of metrological drought; change point detection; Granger causality test; Inner Mongolia Autonomous Region