

Hazard Analysis of Drought and Flood Disaster for Maize in Xiliaohe Watershed

Rui Wang, Xingpeng Liu, Jiquan Zhang*, Enliang Guo, Meng Zhu, Danjun Li

School of Environment, Northeast Normal University, Institute of Natural Disaster Research, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

西辽河流域玉米旱涝危险性分析

王蕊, 刘兴朋, 张继权*, 郭恩亮, 朱萌, 李丹君

东北师范大学环境学院, 东北师范大学自然灾害研究所, 长春 130024, 中国

Abstract

Based on the data of the climatic, maize growth and development, and the yield from 23 meteorological stations throughout the Xiliaohe watershed during 1961 and 2010. The whole growing period of maize was divided into three stages, early stage(from seedling to tasseling stage),medium stage(from tasseling to milk-ripe stage)and later stage(from milk-ripe to mature stage). According to water deficiency index to divide the level and hazard assessment model of drought and flood. In addition, spatial distribution of hazard in Xiliaohe watershed can be analyzed using the IDW method. Conclusions are as follows: (1)water deficiency index of maize in the early stage is on the rise but in the medium and later stages are on the decline. (2)The frequency above drought decrease from northwest to southeast in the whole stage, above medium flood increase from north to south in the early stage and later stage, and decrease from middle region to all around in the medium stage. (3)There are obvious regional differences about the hazard of drought and flood in Xiliaohe watershed.

Keywords: Xiliaohe watershed; Maize; Water deficiency index; Drought and flood; Hazard

摘要

本文选取西辽河流域及其周边 23 个站点的气象数据 (1961-2010 年), 作物发育期资料以及所选站点所在

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 41471424、41471426)。

***通讯作者:** 张继权, Zhangjq022@nenu.edu.cn

县 50 年的产量数据, 将玉米整个生育期划分为前期 (出苗-抽雄)、中期 (抽雄-乳熟) 和后期 (乳熟-成熟) 3 个阶段。通过水分盈亏指数划分旱涝等级, 构建旱涝危险性评价模型, 利用反距离权重法插值分析不同发育阶段旱涝危险性分布规律。结果表明: (1) 西辽河流域玉米前期水分盈亏指数呈上升趋势, 后两阶段呈下降趋势。(2) 玉米整个生育期中旱及以上频率分布由西北向东南方向递减; 玉米发育前期和后期中涝及以上频率分布均由北向南递增, 发育中期由中部向两侧递减。(3) 西辽河流域玉米旱涝危险性具有明显的区域差异。各个生育期中旱及以上、中涝及以上分布特点相反。

关键词: 西辽河流域; 玉米; 水分盈亏指数; 旱涝; 危险性

1. 引言

中国是世界上自然灾害发生频率较高的国家之一。其主要灾害有干旱、洪涝、冷害和泥石流等, 其中旱涝发生频率尤高^[1]。西辽河流域是我国北方粮食主产区和重要的商品粮基地, 玉米是该地区主要的农作物, 每年播种面积占总作物的 60%以上, 年产量可达 40 亿公斤^[2]。近年来, 随着取、用水的不断增加, 西辽河流域的降水年内分配不均, 水资源短缺问题逐日加重。此外降水量异常, 洪涝灾害的频繁发生是造成旱涝灾害的直接原因。因此, 本文在前人研究的基础上, 对西辽河流域春玉米不同生育阶段的旱涝分布情况加以分析, 针对不同发育阶段的旱涝危险性采取相应的防御措施, 以期为相关部门有效控制农业用水和提高粮食产量提供理论依据。

2. 研究区域与研究方法

2.1. 区域概况及数据来源

西辽河流域介于 116° 32' E~124° 30' E, 41° 05' N~45° 13' N, 地处中国北方农牧交错带的东段三北交界区^[3]。行政区划上包含内蒙古、河北、辽宁和吉林四省区的 23 个县级行政单元, 面积约为 20×10⁴km²。随着全球气候变暖的影响, 西辽河流域的取、用水量不断增加, 草场退化, 严重影响当地的经济。本文选取西辽河流域及其周边的 23 个地面气象台站 1961-2010 年的气象数据(包括最高气温、最低气温、相对湿度、平均风速和日照时数等), 作物发育期资料以及所选站点所在县的 50 年产量数据。研究区地理位置及气象台站分布如图 1 所示。

2.2. 研究方法

2.2.1. 生育阶段的划分及减产率序列的确定

根据各个站点历年发育期资料, 以多年平均值作为其一般发育期。经资料的收集与整理, 得到具体的时间范围, 将玉米发育的全过程分为前期、中期和后期。

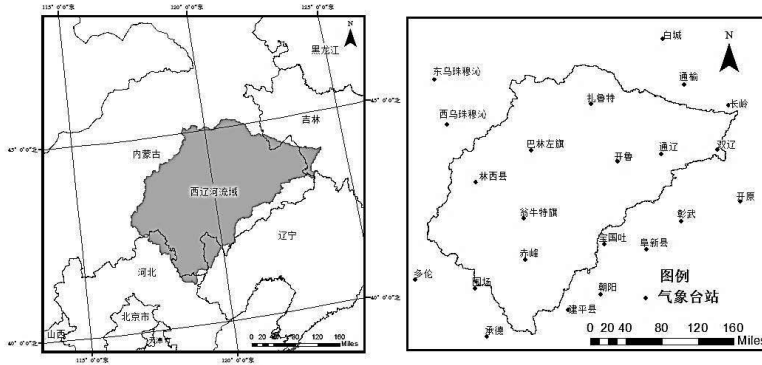


图 1. 西辽河流域地理位置及气象台站分布图

期。前期从出苗到抽雄, 以玉米的营养生长为主; 中期从抽雄到乳熟, 以玉米的生殖生长为主; 后期从乳熟到成熟。

依据要素的特点和时间尺度, 将作物单产 Y 分为趋势产量 Y_t 、气候产量 Y_w 和一般忽略不计的随机“噪声”^[4]。可以通过方程来表达:

$$Y = Y_t + Y_w \quad (1)$$

玉米的减产率 X 是指某年的实际产量与趋势产量之差占趋势产量的百分比, $X < 0$ 表示减产率。计算公式为:

$$X = \frac{Y_e}{Y_t} \quad (2)$$

2.2.2. 旱涝指标的确定

作物水分盈亏指数 CWSDI (Crop Water Surplus Deficit Index, CWSDI), 由作物需水量和有效供水组成, 能够更准确地反映玉米不同发育阶段的旱涝情况, 其公式如下:

$$CWSDI_i = \frac{P_{ei} - ET_{ci}}{ET_{ci}} \quad (3)$$

式中: ET_{ci} 为玉米的需水量(mm); P_{ei} 为玉米的有效降水量; $CWSDI > 0$, 表示水分盈余; 当其=0 时, 表示水分收支平衡; 当 $CWSDI < 0$ 时, 表示水分亏缺。

作物需水量系指在不考虑植株体水量及其他复杂的影响因素时, 为了使作物获得最高产量所需要的水分。其公式如下:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (4)$$

式中 ET_c 为作物需水量 (mm/d); ET_0 为作物潜

在蒸散量; K_c 为作物系数。本文采用联合国粮农组织的建议, 将 K_c 值简化为 3 个阈值, 即 $K_{cini} = 0.3$ 、

$$K_{cmid} = 1.2, K_{cend} = 0.6^{[5,6]}.$$

本文选用 Penman-Monteith(98)模型对 ET_0 进行计算, 计算公式如下:

$$ET_c = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1+0.34U_2)} \quad (5)$$

式中: ET_c 为参考作物蒸散量 (mm/d); Δ 为饱和水汽

Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

压曲线斜率 (KPa/°C); R_n 为地表净辐射 (MJ/(m²·d)); G 为土壤热通量 (MJ/(m²·d)); r 为干湿表常数; T 为 2m 高处日均气温 (°C); U_2 为 2 米高处风速 (m/s); e_s 为饱和水汽压 (KPa); e_a 为实际水汽压 (KPa)。

本文依据前人已有的经验^[7], 经检验确定旱涝等级如表 1 所示。

站点玉米单一阶段(前、中、后期)发生中旱及以上、中涝及以上可能造成的总减产, 并乘以各个站点玉米单一阶段发生中旱及以上、中涝及以上的频率得到权重系数。其公式如下所示:

$$W_{ij} = \frac{\sum \Delta y_{ij} \times f_{ij}}{\sum \Delta y_i \times f_i} \quad (7)$$

表 1 西辽河流域玉米旱涝指标

发育阶段	作物水分盈亏指数 CWSDI (%)								
	特旱	重旱	中旱	轻旱	正常	轻涝	中涝	重涝	特涝
其它发育阶段	≤-95	(-95,-85]	(-85,-65]	(-65,-45]	(-45,45]	(45,65]	(65,85]	(85,95]	>95
抽雄—乳熟	≤-90	(-90,-80]	(-80,-60]	(-60,-40]	(-40,45]	(45,65]	(65,85]	(85,95]	>95

2.2.3. 危险性评价模型的建立

本文采用加权综合评价法, 通过确定某一灾害自身危害程度的权重, 乘以指标的量化值, 进行西辽河流域春玉米危险性评价, 其表达式如下:

$$H_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} W_{ij} \quad (6)$$

式中: H_i 为第 i 生育阶段的危险性; X_{ij} 为第 i 生育阶段 j 种灾害的指标量化值 ($0 \leq X_{ij} \leq 1$); W_{ij} 为第 i 生育阶段 j 种灾害的危险性权重系数。

2.2.4. 权重的确定

本研究根据以往灾情数据及产量数据, 统计各个

式中: Δy_{ij} 为第 i 阶段 j 种灾害所造成的减产率; f_{ij} 为第 i 阶段 j 种灾害发生的频率。

3. 结果与分析

3.1. 作物各生育期需水量、有效降水量及水分盈亏指数的时间变化特征

本研究采用 Mann-Kendall 法对发育阶段需水量、有效降水量和水分盈亏指数的全区平均值的变化趋势进行检测(图 2, 图 3), 在玉米发育前期, 作物需水量 50 年间整体呈下降趋势, 但变化趋势不明显; 发育中期, 70 年代初期到 80 年代后期玉米需水量呈上升趋势, 60 年代初期到 70 年代初期, 90 年代初期

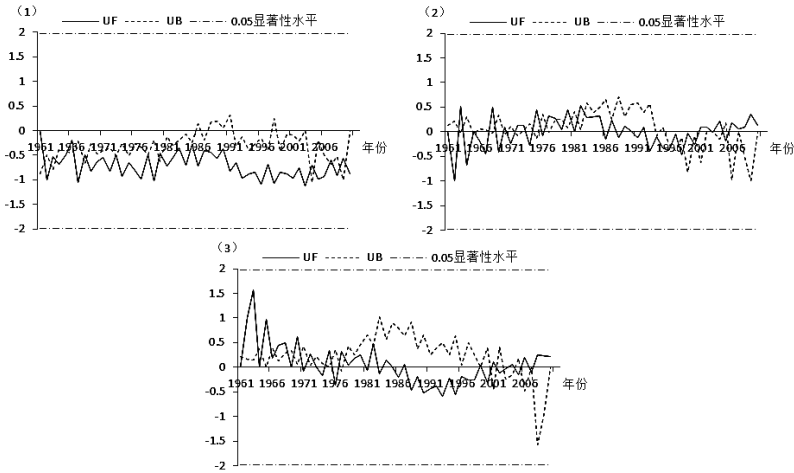


图 2. 西辽河流域玉米前期(1)、中期(2)、后期(3)需水量 M-K 检验曲线

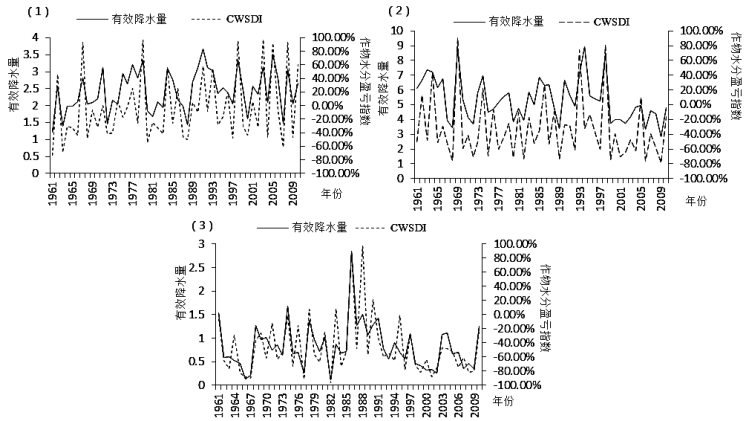


图3. 西辽河流域玉米前期 (1)、中期 (2)、后期 (2) 有效降水量和水分盈亏指数变化趋势

到 20 世纪中期呈下降趋势,但整体呈下降趋势;发育后期,玉米需水量整体呈上升趋势,60 年代初期到 70 年代中期呈上升趋势,80 年代后期到 20 世纪初期呈下降趋势。整个生育期,玉米需水量年际变化均不明显,未达到 0.05 显著性水平。采用线性趋势分析西辽河流域 3 个发育阶段有效降水量和水分盈亏指数变化特征。从图 4 可知,3 个发育阶段有效降水量和水分盈亏指数的变化一致,发育前期有效降水量和水分盈亏指数呈上升趋势;后 2 个阶段均呈下降趋势,且 50 年间玉米有效降水量和水分盈亏指数的变化趋势大致相同。

3.2. 西辽河流域玉米不同发育阶段旱涝分布

由于玉米抗旱能力较强,轻旱、轻涝对作物产量的影响较小,因此本文根据不同发育阶段水分盈亏指数旱涝等级标准(表 1)判断各站点 1961-2010 年间 3 个阶段的旱涝等级,分析中旱及以上、中涝及以上的旱涝情况。旱涝频率次数为中旱及以上、中涝及以上的次数与总年数之比。用反距离加权法对各站点不

同发育阶段的旱涝频率进行空间插值,得到近 50a 西辽河流域玉米 3 个发育阶段中旱及以上、中涝及以上频率的空间分布(图 5)。在发育前期,中旱及以上的频率较低,大部分地区在 20%以下,其高值区位于西辽河流域全区西北部;中涝及以上的频率相对较高,但其发生频率在 30%以内,其高值区位于全区南部。发育中期,中旱及以上的频率由西北向东南部递减,40%-60%的高值区位于科尔沁沙地附近;中涝及以上的频率较低,全区在 10%以下,由西辽河流域中部向两侧递减。在发育后期,中旱及以上的发生频率最高,大部分地区在 50%左右,其高值区位于全区的中部和北部;中涝及以上的频率由西南向东北方向递减,大部分地区在 10%以内。

3.3. 西辽河流域玉米不同阶段旱涝危险性分布

西辽河流域玉米旱涝危险性具有明显的区域差异(图 5),按照旱涝危险性指数的大小在不同发育阶段分为 5 个等级。在发育前期,中旱及以上危险性由西北向东南方向递减,高值区分布在巴林左旗、扎

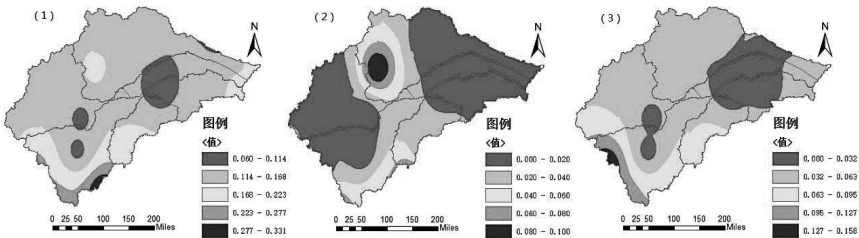


图4. 西辽河流域玉米前期 (1)、中期 (2)、后期 (2) 中旱及以上、中涝及以上频率分布图

Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

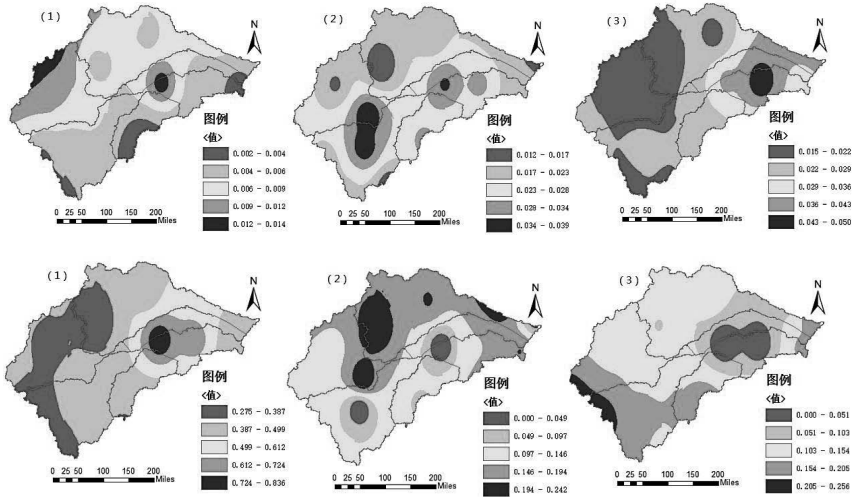


图 5. 西辽河流域玉米前期 (1)、中期 (2)、后期 (2) 中旱及以上、中涝及以上危险性分析

鲁特、林西县等地；而中涝及以上危险性与之相反，由西北向东南方向递增，其高值区位于开鲁、通辽等地，其危险性指数在 0.61-0.83 之间。发育中期，中旱及以上危险性在西辽河流域中部偏高，两侧偏低；中涝及以上危险性分布与之相反，中南部危险性指数在 0.04-0.15 之间，北部危险性指数相对较高。发育后期，中旱及以上危险性由西部向东部逐渐增高，高值区位于通辽、双辽等地；中涝及以上危险性与其相反，由西部向东部逐渐降低，其高值区位于赤峰、围城等地。

4. 结论与讨论

本文选取 1961-2010 年西辽河流域 23 个站点气象数据进行需水量、有效降水量和水分盈亏指数的计算，并根据前人研究经验划分旱涝等级，通过构建旱涝指数分析研究区旱涝危险性。结果表明：(1) 西辽河流域有效降水量和水分盈亏指数变化趋势基本相同，在玉米发育前期呈下降趋势，中、后期呈上升趋势；50a 内西辽河流域玉米整个生育期需水量范围在 284-654mm 之间，逐年呈下降的趋势，其中发育前期和中期呈下降趋势，发育后期呈上升趋势，与有效降水量和水分盈亏指数的变化趋势不一致。(2) 西辽河流域玉米旱涝频率分布在发育前期，中旱及以上的频率较低；中涝及以上的频率相对较高，其高值区位于全区南部。发育中期，中旱及以上的频率由西北向

东南部递减，高值区频率在 40%-60% 之间；中涝及以上的频率较低，全区在 10% 以下，由西辽河流域中部向两侧递减。发育后期，中旱及以上的发生频率最高，大部分地区在 50% 左右；中涝及以上的频率由西南向东北方向递减，大部分地区在 10% 以内。(3) 西辽河流域玉米旱涝危险性分布具有明显的区域差异，且在各个生育阶段中旱及以上的区域分布情况与中涝及以上相反。发育前期，中涝及以上的危险性最高，发育后期中旱及以上的危险性最高。

本文通过典型全域性旱涝年份的危险性指标与相对气象产量的相关分析及代表站点主要气象灾害典型年份危险性指标值与减产率的分析，说明了主要气象灾害危险性指标选取的合理性。但由于农业气象灾害成因复杂，单独选取某个指标往往不能真实反映灾害危险程度，因此仅考虑个别指标对其的影响具有一定局限性。本文的研究结果与孙风华等人的结果一致^[8]。因此，本文对西辽河流域玉米旱涝危险性分布特征的探究是科学可靠的，为该区域农业水资源的开发和利用提供科学可靠的依据。

Acknowledgements

This study was supported by National Natural Science Foundation (41571491), "Twelfth five-year" science and technology support project (2011BAD32B00-04) and the National Non-Profit Research Program of China (No.201401015).

致谢

本研究得到了国家自然科学基金项目(41571491)、国家“十二五”科技支撑项目(2011BAD32B04)和水利部公益性行业科研专项经费项目(201401015)的支持。

参考文献

- [1] 刘依兰, 袁雷. 西藏日喀则市农业气象灾害发生特征与防御措施. 北京农业, 2015(20):165-166.
- [2] 杨艳昭, 杨玲, 张伟科, 等. 西辽河流域玉米水分平衡时空分布格局. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4):147-152.
- [3] Li R, Cheng L, Ding Y, et al. An Operational drought risk management framework based on stream-flow intelligent internet control. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 3(1):34-43.
- [4] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [5] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Rome, 1998.
- [6] 李彩霞, 陈晓飞, 韩国松, 等. 沈阳地区作物需水量的预测研究. 中国农村水利水电, 2007(5): 61—67
- [7] 高晓容. 东北地区玉米主要气象灾害风险评估研究. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [8] 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化. 应用气象学报, 2007, 18(5): 610-618.