

1957 – 2019 年三江平原降雨洪涝特征分析 ——以绥滨县为例

尤李俊¹, 王少丽¹, 刘长荣², 张兴波³, 樊林生², 陶园¹, 彭舟¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水利研究所, 北京 100038; 2. 黑龙江省农村水利水电保障中心, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 绥滨县水务局, 黑龙江 鹤岗 156200)

摘要: 三江平原是我国重要的商品粮基地, 近年因洪涝频发直接影响了区域农业生产, 带来了较严重的经济损失。利用绥滨县 1957 – 2019 年逐日降雨量资料和近 40 年涝灾发生情况, 采用线性倾向估计、P – III 型频率曲线和 M – K 突变检验分析了降雨量特征值和各量级雨日的变化趋势与突变情况, 将 P – III 型频率曲线分析结果与涝灾发生情况相结合探究绥滨县涝灾发生频率及其原因。结果表明: 1957 – 2019 年绥滨县年降雨量和最大 1 d 降雨量均呈增加趋势, 且无突变; 最大 3 d 降雨量呈减少趋势, 在 1981 和 1997 年发生了突变。小雨和大雨雨日呈减少趋势, 中雨和暴雨雨日呈增多趋势, 小雨雨日的突变年份为 2011 和 2016 年, 其余量级雨日均未发生突变。由于县域内地势低平、夏季雨量大、江水顶托及治涝工程不完善等因素, 导致涝灾发生率较高, 近 40 年内涝灾发生率为 67.5%, 其中大型涝灾发生率为 30%。将大型涝灾发生率按年代划分, 前 10 年发生率为 50%, 中间 10 年为 30%, 后 20 年均为 20%, 1990 – 2019 年水稻种植面积大幅度增加, 是该时段涝灾发生率下降的主要原因。研究成果可为区域农田防洪除涝工作提供一定的参考。

关键词: 降雨洪涝特征; 降雨量; 雨日; 涝灾发生率; 绥滨县; 三江平原

中图分类号: S271; TV93

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2022)04-0040-10

Characteristics analysis of rainfall-induced flood and waterlogging in the Sanjiang Plain from 1957 to 2019:

A case study of Suibin County

YOU Lijun¹, WANG Shaoli¹, LIU Changrong², ZHANG Xingbo³,
FAN Linsheng², TAO Yuan¹, PENG Zhou¹

(1. Department of Irrigation and Drainage, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Heilongjiang Province Service Center for Rural Water Conservancy and Hydropower, Harbin 150040, China; 3. Suibin Water Authority, Hegang 156200, China)

Abstract: The Sanjiang Plain is an important production base for commodity grains in China. In recent years, frequent floods and waterlogging have directly affected regional agricultural production and brought serious economic losses. Based on the daily rainfall data in Suibin County from 1957 to 2019 and the occurrence of waterlogging disasters in the past 40 years, the eigenvalues of rainfall, the changing trends and abrupt changes of rainy days of various magnitudes were analyzed using linear trend estimation, Pearson – III frequency curve and Mann – Kendall test method. The results of Pearson – III frequency curve were combined with the occurrence of waterlogging to analyze the occurrence frequency and causes of waterlogging in the county. The results showed that from 1957 to 2019, the annual rainfall and the maximum daily rainfall in Suibin County increased and there were no abrupt changes. The maximum 3-day rainfall showed a decreasing trend, with abrupt changes in 1981 and 1997. The rainy days of light rain

收稿日期: 2021-10-11; 修回日期: 2022-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51779274)

作者简介: 尤李俊 (1995 –), 女, 山西临汾人, 博士研究生, 主要从事农业水土资源与环境方面的研究。

通讯作者: 王少丽 (1963 –), 女, 江苏无锡人, 博士, 正高级工程师, 主要从事农业水土资源与环境方面的研究。

and heavy rain showed a decreasing trend, whereas those of moderate rain and heavy rain showed an increasing trend. The abrupt changes of light rainy days occurred in 2011 and 2016, whereas those of other rainfall magnitudes did not occur. Due to the low and flat topography, heavy summer precipitation, high water level in rivers outside the area, incompetent water conservancy projects, etc., the probability of waterlogging in the county was quite high, which approached 67.5% in the last 40 years, and the incidence of large-scale waterlogging was 30%. Dividing the occurrence rate of large-scale waterlogging by time, the occurrence rate was 50% in the first 10 years, 30% in the middle 10 years, and 20% in the rest 20 years. The significant increase in rice planting area from 1990 to 2019 was the main reason for the decrease in the incidence during this period. The research results can provide a certain reference for flood and waterlogging control for the regional farmlands.

Key words: characteristics of rainfall-induced flood and waterlogging; rainfall; rainy days; incidence of waterlogging; Suibin County; the Sanjiang Plain

1 研究背景

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 指出 1905-2005 年全球地表温度上升了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1], 由此引发的自然灾害包括极端天气气候增加^[2], 强降雨事件频率增多、强度增强^[3]等。降雨作为气候特征的最基本要素之一, 直接影响洪涝灾害的产生和发展^[4-5]。目前对长时间序列降雨特征分析多使用 M-K 突变检验方法^[6-11], 在此基础上更多研究集中在区域降雨变化对径流的影响作用^[12-13]及其与区域旱涝急转特征^[14-16]方面。现阶段洪涝特征研究则侧重于洪涝灾害等级与风险评估^[17-18]及洪涝的时空分布特征^[19-20]等。目前关于降雨特征对洪涝影响的研究有: 李政等^[21]对伊宁市 1956-2015 年的强降雨变化特征以及对洪灾的影响的分析表明, 伊宁市强降雨对总降雨起主导作用, 洪灾发生频次与强降雨量存在极显著相关性; 赵小伟等^[22]基于气象、水文中长期降雨预测结果, 结合历史典型暴雨洪水变化规律, 量化了暴雨洪涝风险, 认为北京城区下垫面不透水面积比例大, 极端暴雨时城区积水频发; 郭帷等^[23]通过对北疆近 39 年 38 个县(市)的 1 394 次暴雨洪涝灾害事件的分析表明, 年暴雨洪涝灾害呈显著线性增加趋势, 年度灾损指数呈弱增加趋势, 年代际时间尺度上灾害强度不断加强, 大雨和暴雨以上日数是影响北疆暴雨洪涝灾害年际变化的主要因素。目前关于降雨洪涝特征的研究大部分都是以城市水文过程为基础, 以城市防洪与安全为目的, 现阶段洪涝研究很少将侧重点放在农区和农田方面。

另外, 降雨量作为影响农业生产的重要指标, 对粮食产量产生了巨大的影响。三江平原是我国重要

的商品粮基地^[24], 绥滨县作为三江平原腹地, 其农业生产情况直接影响三江平原粮食产量。近些年因涝灾造成的作物减产已威胁到农业生产, 以 2019 年为例, 绥滨县年降水量为 1 099.6 mm, 受降水集中且雨量大的影响, 内涝严重, 其中农作物减产面积达 160 km^2 , 绝产面积为 159 km^2 , 直接经济损失达 5.01×10^8 元^[25]。

目前关于三江平原的研究大多集中在土地利用变化^[26-28]、景观生态^[29-30]、水资源水环境^[31-33]等方面。针对三江平原降雨洪涝特征的研究有: 国世友^[34]利用线性趋势法和 M-K 检验法分析了该地区夏季旱涝变化特征, 结果表明近 60 年研究区夏季呈弱的雨涝趋势, 旱涝变化具有阶段性, 未来会有更明显的雨涝趋势; 张洪玲等^[35]利用降雨数据和 GIS 技术对暴雨洪涝灾害进行了综合分析, 将黑龙江划分为 5 个等级风险区, 三江平原大部分为高风险区和次高风险区, 绥滨县位于次高风险区。现有的研究更多是从定性的角度去描述三江平原的降雨洪涝特征, 并没有将二者结合进行定量分析。

为了定量分析降雨与洪涝灾害特征, 本文利用绥滨县 1957-2019 年的逐日降雨资料, 统计分析了小雨、中雨、大雨和暴雨的雨日情况、突变特征、最大 1 d、最大 3 d 和年降雨量以及涝灾发生情况, 将涝灾发生率与各特征降雨量频率计算结果相结合, 分析致涝原因, 以期对三江平原区域防洪除涝研究提供科学依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

绥滨县位于黑龙江省鹤岗市东北部, 处于黑龙江与松花江汇流的三角地带, 是三江平原的重要组成部分。绥滨县北部与俄罗斯隔江相望, 西部与萝

北县接壤,南部与桦川县和富锦市隔江相连^[36],地理坐标为 $131^{\circ}08'12'' \sim 132^{\circ}31'00''E$, $47^{\circ}11'55'' \sim 47^{\circ}45'23''N$,总面积为 $3\,344\text{ km}^2$ 。县域内水系发育,河流纵横,有大小河流 25 条,其中黑龙江水系 5 条,松花江水系 20 条。区域内地势平坦,无高山丘陵,地势西高东低,由西南略向东北倾斜^[37]。绥滨县属中温带大陆性季风气候区,春秋季节昼夜温差大,夏季炎热短暂,雨量充沛,冬季严寒漫长,多西风和西北风。境内自然资源丰富,土壤肥沃,耕地面积大且集中连片,目前绥滨县已成为黑龙江省产粮大县之一,是国家重要的商品粮基地^[25]。图 1 为绥滨县地理位置图。

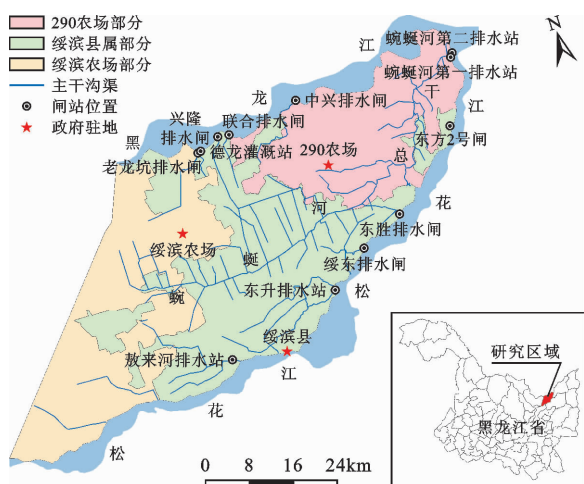


图 1 黑龙江省绥滨县地理位置图

2.2 数据来源与处理

采用 1957–1961、1967–1994、1999–2019 年绥滨县气象站逐日降水量资料,并以距县城 40 km 的二九〇农场农业气象站的 1962–1966 和 1995–1998 年逐日降雨数据作为补充,共计 63 a 的逐日降雨数据,代表了绥滨县的降雨特征。根据国家防洪总指挥部编制的降雨强度等级划分标准,即 24 h (20:00–20:00) 降水总量在 $0.1 \sim 9.9\text{ mm}$ 之间时为小雨;在 $10.0 \sim 24.9\text{ mm}$ 之间时为中雨;在 $25.0 \sim 49.9\text{ mm}$ 之间时为大雨;在 $50.0 \sim 99.9\text{ mm}$ 之间时为暴雨;在 $100.0 \sim 249.9\text{ mm}$ 之间时为大暴雨;250 mm 及以上时为特大暴雨,统计绥滨县 63 a 小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨的雨日,同时,分析最大 1 d、最大 3 d 和年降雨量特征。由于逐日降雨数据中没发生过特大暴雨,本文暂不考虑特大暴雨的情况。

2.3 研究方法

对绥滨县降雨洪涝特征的研究主要包括降雨量

趋势分析、突变分析、降雨频率分析以及绥滨县涝灾程度分析。本文选取线性倾向估计和趋势系数方法进行各降雨量特征值和各量级雨日变化趋势分析^[38];利用 M–K 突变检验法对各量级降雨序列进行突变识别,分析其变化规律及可能存在的突变特征^[39–41];采用皮尔逊 III (P–III) 型频率曲线进行各量级降雨频率分析^[38,42–43]。

3 结果与分析

3.1 年降水量变化特征分析

3.1.1 降水量年内变化 通过对绥滨县 1957–2019 年降水实测资料分析,得到绥滨县月均降水量分布情况如图 2 所示。由图 2 可以看出,绥滨县降水量年内分布不均匀,降水主要集中在 7、8 月,占全年的 44.45%;其次是 6、9 月,占全年的 27.43%。从季节划分来看,春、夏、秋、冬季降水量占年降水总量的比例分别为 16.98%、59.52%、20.52%、2.98%,夏季降水量占年降水总量的一半以上,月均降水量最大值出现在 8 月,为 120.1 mm,其次为 7 月,月均降水量为 116.0 mm,7、8 两月的月均降水量相差并不大。

3.1.2 降水量年际变化 利用线性倾向估计对绥滨县年降水量年际变化趋势进行分析,结果如图 3 所示。由图 3 可知,绥滨县平均年降水量为 531.0 mm,最大年降水量为 1 099.6 mm,最小年降水量为 292.0 mm,其分别发生在 2019 和 1986 年。2018–2019 年降水量增加最为明显,而在 1981–1982 年降水量减少最为明显。1957–2019 年县域降水量总体呈增加趋势,趋势系数为 0.075,降水量增幅为 5.44 mm/10 a。

对 1957–2019 年绥滨县年降水量进行 P–III 型频率曲线分析,结果如图 4 所示。图 4 显示,频率为 1%、2%、10%、20% 的年降水量分别为 882.1、831.7、700.3、632.9 mm。

3.1.3 年降水量突变分析 运用 M–K 检验对 1957–2019 年绥滨县年降水量进行分析,结果如图 5 所示。由图 5 中 UF_k 曲线的变化可以看出,年降水量大致呈“减–增–减–增”趋势变化,1960–1979 年和 1998–2008 年呈减少趋势,1979–1998 年和 2008–2019 年呈增大趋势。其中 1968–1979 年年降水量呈明显减少趋势,平均降幅为 21.3 mm/a。1980–1991 年呈显著上升趋势,平均增幅为 30.15 mm/a。 UF_k 与 UB_k 曲线无交点,表明研究时段内年降水量没有发生突变。

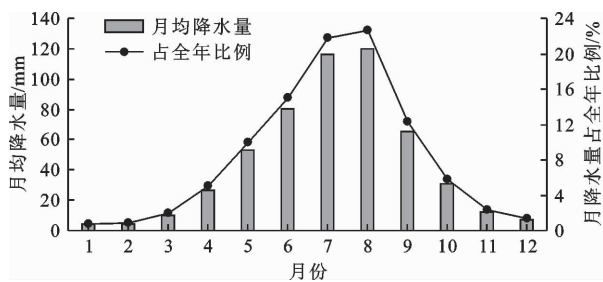


图 2 1957 - 2019 年绥滨县月均降水量分布

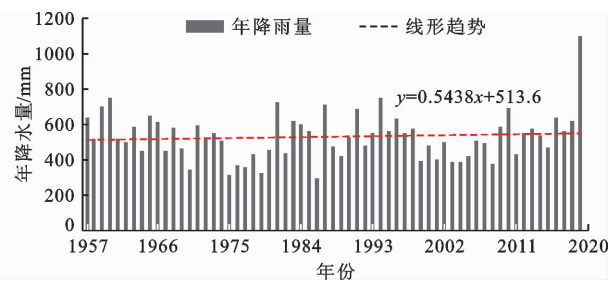


图 3 1957 - 2019 年绥滨县年降水量变化趋势

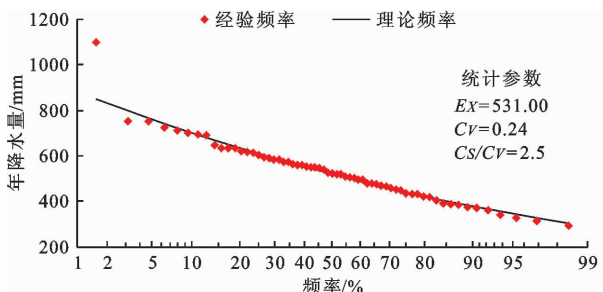


图 4 绥滨县年降水量 P - III 频率曲线

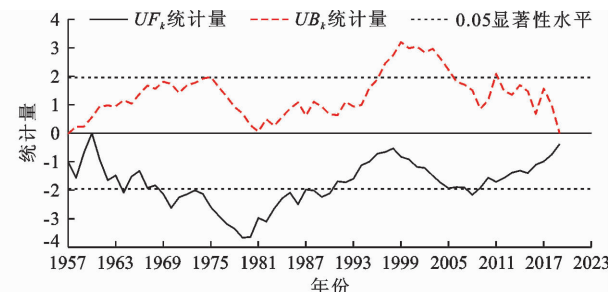


图 5 1957 - 2019 年绥滨县年降水量 M - K 检验

3.2 各量级雨日变化趋势与突变分析

统计分析 1957 - 2019 年绥滨县各量级雨日情况,结果见表 1。由表 1 可知,1957 - 2019 年平均小雨雨日为 93.57 d,中雨雨日为 11.91 d,大雨雨日为 3.08 d,暴雨雨日为 0.71 d;小雨和大雨雨日随时间呈减少趋势,其趋势系数分别为 -0.075 8 和 -0.046 9,中雨和暴雨雨日随时间呈微弱增加趋势,其趋势系数分别为 0.029 8 和 0.038 7。小雨雨日和大雨雨日的减幅分别为 0.425 和 0.043 d/10a,中雨雨日和暴雨雨日的增幅分别为 0.062 和 0.001 d/10a。由于大暴

雨在研究时段内仅发生过 2 d,样本量不足,因而本文暂不讨论。

表 1 绥滨县各量级雨日序列分析结果

统计量	小雨雨日	中雨雨日	大雨雨日	暴雨雨日
平均值/d	93.57	11.91	3.08	0.71
均方差	10.268	3.8425	1.6685	0.9057
趋势系数	-0.0758	0.0298	-0.0469	0.0387

利用 M - K 突变检验对 1957 - 2019 年绥滨县各量级雨日进行分析,结果见图 6 所示。

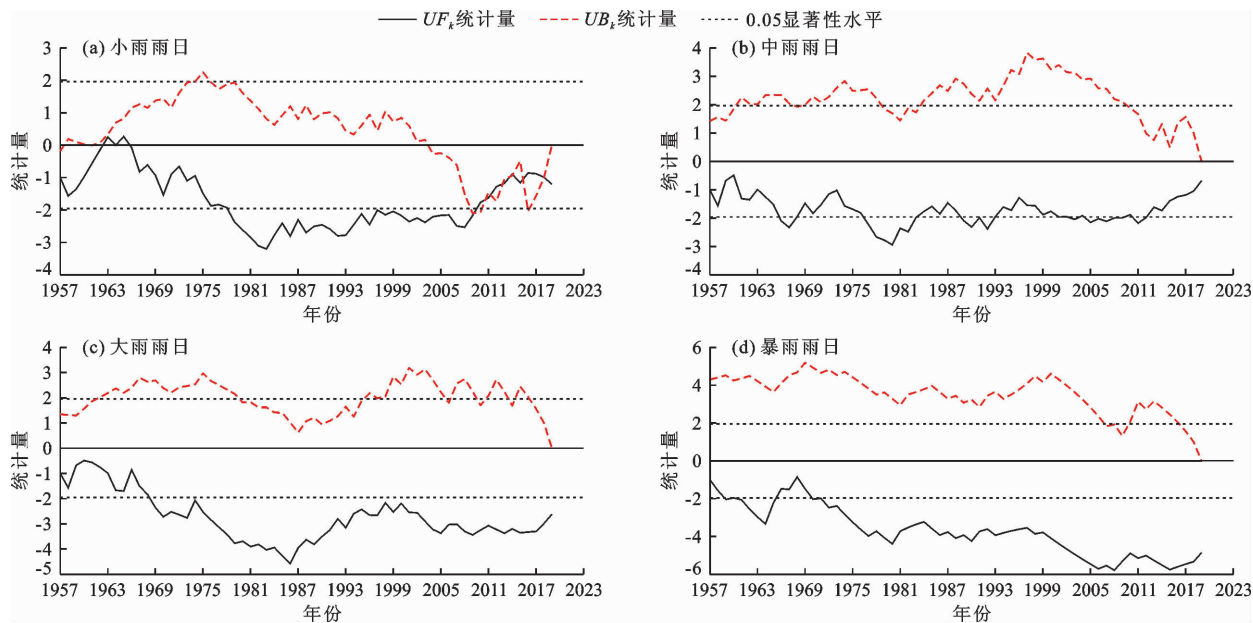


图 6 1957 - 2019 年绥滨县各量级雨日突变分析

由图 6(a) 可知,小雨雨日呈“增-减-增-减”趋势。1958-1965 年和 1982-2016 年小雨雨日增加;1965-1982 年和 2016-2018 年小雨雨日减少。其中 1978-1982 年小雨雨日明显减少,平均减幅为 3 d/a。 UF_k 与 UB_k 曲线有多个交点,交点年份 2011 和 2016 年在 0.05 显著性水平内。2010 年小雨雨日为 112 d,2011 年小雨雨日减少为 97 d,2011 年为突变年份;2016 年小雨雨日为 107 d,之后小雨雨日逐年减少,2016 年为突变年份。

由图 6(b) 可知,中雨雨日呈“减-增-减-增”趋势。1960-1967 年、1972-1980 年、1987-1992 年和 1996-2011 年中雨雨日呈下降趋势;1967-1972 年、1980-1987 年、1992-1996 年与 2011-2019 年中雨雨日呈增加趋势。其中 1966-1967 年和 1976-1980 年中雨雨日显著减少;1967-1972 年与 1980-1983 年中雨雨日显著增加。 UF_k 与 UB_k 曲线无交点,说明中雨雨日未发生突变。

由图 6(c) 可知,大雨雨日呈“减-增-减-增”趋势。1960-1986 年大雨雨日呈波动下降趋势;1986-2000 年大雨雨日呈增加趋势;2000-2015 年大雨雨日又呈下降趋势;2015-2019 年大雨雨日呈上升趋势。1967-2019 年的 UF_k 曲线都超出了 0.05 显著性水平的下限,说明大雨雨日变化趋

势显著。 UF_k 与 UB_k 曲线无交点,说明大雨雨日未发生突变。

由图 6(d) 可知,暴雨雨日呈“减-增-减-增”趋势。1957-1964 年和 1968-2015 年暴雨雨日呈下降趋势;1964-1968 年和 2015-2019 年暴雨雨日呈上升趋势。 UF_k 曲线超出了 0.05 显著性水平的下限,说明暴雨雨日变化很显著。 UF_k 与 UB_k 曲线无交点,说明暴雨雨日未发生突变。

综上所述,根据各量级雨日序列分析图和突变分析 UF_k 曲线图可以看出,尽管小雨和大雨雨日随时间呈减少趋势,中雨和暴雨雨日随时间呈微弱增加趋势,但 2015 年以来,大雨和暴雨雨日均有明显的增加,涝灾发生的潜在风险增大。

3.3 最大 1 d、最大 3 d 降水量变化趋势

图 7 为 1957-2019 年绥滨县最大 1 d 和最大 3 d 降水量年际变化分析。如图 7 所示,最大 1 d 和最大 3 d 降水量的最大值均在 2019 年,分别为 107.3 和 141.6 mm;最大 1 d 降水量最小值在 2004 年,为 23.6 mm;而最大 3 d 降水量最小值在 2003 年,为 27.3 mm。最大 1 d 降水量均值为 50.85 mm,趋势系数为 0.008,增幅为 0.083 mm/10a;最大 3 d 降水量均值为 64.02 mm,趋势系数为 -0.023 7,减幅为 0.305 mm/10a。

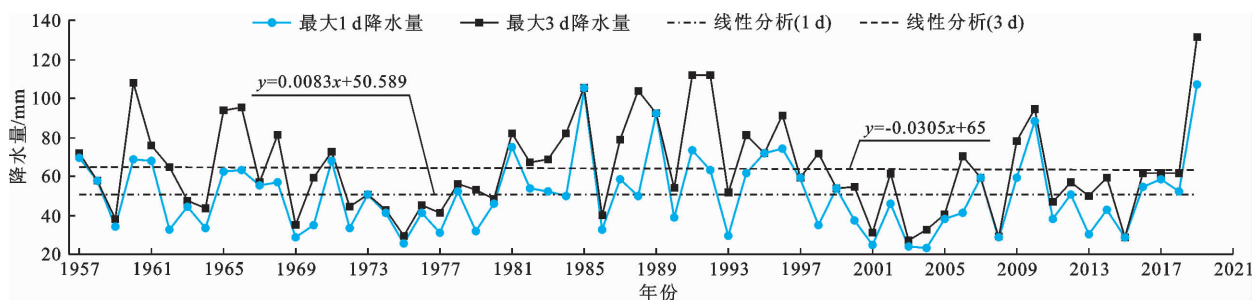


图 7 1957-2019 年绥滨县最大 1 d 和最大 3 d 降水量年际变化

采用 P-Ⅲ型频率曲线对最大 1 d 和最大 3 d 降水量进行分析,结果如图 8 所示。由图 8 可知,频率为 1%、2%、10%、20% 的最大 1 d 降水量分别为 108.6、99.6、76.7、61.7 mm;频率为 1%、2%、10%、20% 的最大 3 d 降水量分别为 136.8、125.3、96.6、82.6 mm。

利用 M-K 突变检验分析最大 1 d 和最大 3 d 降水量,结果如图 9 所示。图 9 显示,最大 1 d 和最大 3 d 降水量均呈现“减-增-减-增”的趋势。由图 9(a) 可知,1957-1979 年和 1997-2015 年最大 1 d 降水量呈减小趋势,1979-1997 年和 2015-2019 年呈增大趋势。其中 1974-1979 年最大 1 d

降雨量明显减小,平均减幅为 1.85 mm/a。 UF_k 与 UB_k 曲线虽有交点,但仅仅为 2 条曲线的重合点,最大 1 d 降水量没有发生突变。由图 9(b) 可知,1957-1977 年和 1996-2015 年最大 3 d 降水量呈减小趋势,1977-1996 年和 2015-2019 年呈增大趋势。 UF_k 与 UB_k 曲线在 0.05 显著性水平内有 2 处交汇点,分别为 1981 与 1997 年。1981 年最大 3 d 降水量为 82.1 mm,比 1980 年增加了 33.5 mm,1981 年后降水量增加趋势变大。1997 年最大 3 d 降水量为 59.5 mm,比 1996 年减少了 32.1 mm,为降水量由增大趋势到减少趋势的突变年份。因此最大 3 d 降水量在 1981 和 1997 年发生了突变。

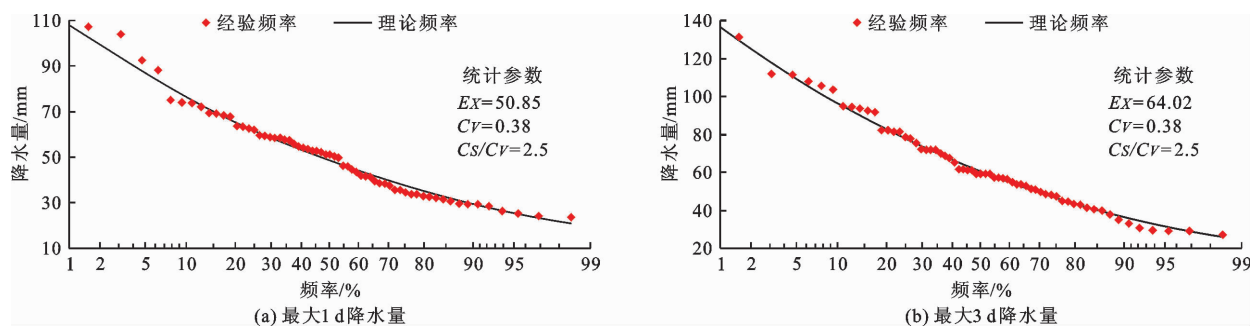


图8 绥滨县最大1 d和最大3 d降水量P-Ⅲ型频率曲线

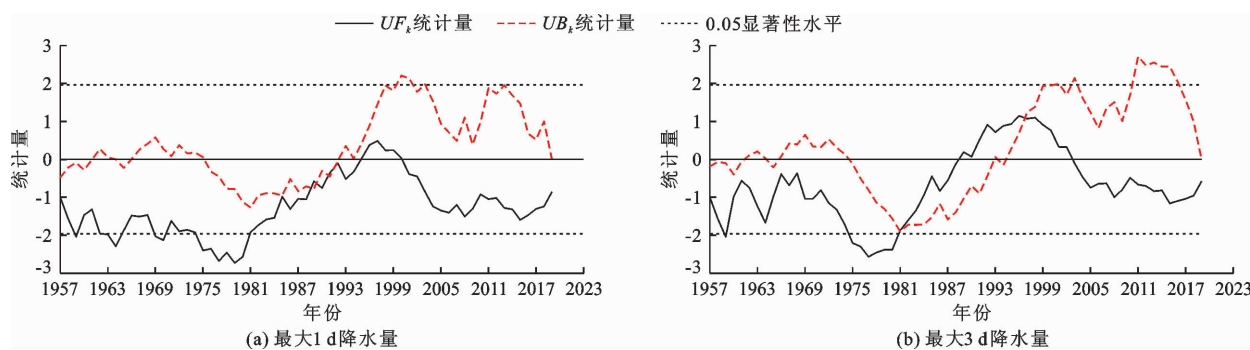


图9 1957-2019年绥滨县最大1 d和最大3 d降水量突变分析

4 涝灾及其影响因素

4.1 涝灾发生的概率

从现有统计资料可知,1980-2019年的40 a内绥滨县发生涝灾27次,涝灾发生率为67.5%。参考《黑龙江省绥滨县涝区治理工程可行性研究报告》,受涝面积 $\geq 0.99 \text{ hm}^{2[25]}$ 的涝灾40 a中有12次,为便于区分,本文将这12次涝灾称为大型涝灾。因此,40 a内大型涝灾发生率为30%。20世纪80年代发生涝灾的年份有:1981年、1983-1985年及1988年,共发生5次,均为大型涝灾,涝灾发生率和大型涝灾发生率都为50%。20世纪90年代发生涝灾年份有:1990-1992年、1994年、1996-1999年,共发生8次,涝灾发生率为80%,其中大型涝灾3次分别发生在1991年、1998-1999年,发生率为30%。21世纪前10年内都发生了涝灾,涝灾发生率高达100%,其中大型涝灾2次分别发生在2005年和2009年,发生率为20%。21世纪10年代发生涝灾年份有:2013年、2016年和2018-2019年,共发生4次,涝灾发生率为40%,其中2013年和2019年为大型涝灾,发生率为20%。

在此基础上,将涝灾发生情况与年降水量、最大1 d和最大3 d降水量不同频率雨量值相结合进行分析,其结果如表2所示。由表2可知,降水频率

80%的年降水量为421.8 mm,1980-2019年内降水量大于421.8 mm的年份有32 a,其中有10 a发生了大型涝灾,涝灾发生率为31.25%;在相同降水频率下,最大1 d和最大3 d降水量分别达到34.4和43.3 mm,40 a内最大1 d和最大3 d降水量分别大于34.4和43.3 mm的均有32 a,前者有11 a发生了大型涝灾,涝灾发生率为34.38%,后者有10 a发生了大型涝灾,涝灾发生率为32.25%;将降水频率80%下的3个结果平均,得到涝灾发生率为32.29%。

由表2还可以看出,5年一遇降水量时涝灾发生率为45.77%;10年一遇降雨量时涝灾发生率为66.67%;30年一遇和大于30年一遇降水量情况下,涝灾发生率为100%。由此可以得出,大于等于30年一遇降水频率下,涝灾发生频率与年降水量、最大1 d和最大3 d降水量情况下的涝灾发生频率相同;10~20年一遇降水频率下,涝灾发生频率大于最大1 d降水量时所对应的涝灾发生频率,小于年降水量情况对应的涝灾发生率;小于10年一遇降水频率下,涝灾发生频率与最大3 d降水量所对应的涝灾发生频率相近。

4.2 涝灾发生的原因

4.2.1 自然因素

(1)气候原因。绥滨县东、南、北三面为黑龙江

和松花江环抱,境内水系发育,河流纵横。该县属中温带大陆性季风气候区,四季明显,气候多变。春季寒冷干燥;夏季多阵雨和雷阵雨,易出现洪涝灾害;秋季湿润多雨;冬季寒冷漫长。区内多年平均降水

量为 531.0 mm,降水年内分布不均匀,6-9 月降水量占全年降水总量的 71.88% 左右,由于降水集中,过量的雨水易造成土壤饱和与地表积水,不能及时排出,极易形成内涝。

表 2 1980-2019 年绥滨县降水量特征与大型涝灾发生频率

降水 频率/ %	年降水量				最大 1 d 降水量				最大 3 d 降水量				涝灾 发生 频率 /%
	雨量 值/ mm	大于等于 该频率的 降水发生 次数	该频率降 水次数中 发生涝灾 次数	涝灾 发生 频率	雨量 值/ mm	大于等于 该频率的 降水发生 次数	该频率降 水次数中 发生涝灾 次数	涝灾 发生 频率	雨量 值/ mm	大于等于 该频率的 降水发生 次数	该频率降 水次数中 发生涝灾 次数	涝灾 发生 频率	
1	882.1	1	1	100	108.6	/	/	/	136.8	1	1	100	100
2	831.7	1	1	100	99.6	2	2	100	125.3	1	1	100	100
3.33	792.6	1	1	100	92.6	2	2	100	116.6	2	2	100	100
5	760.0	1	1	100	86.9	4	2	50	109.5	2	2	100	83.33
10	700.3	4	2	50	76.7	4	2	50	96.6	6	3	50	50
20	632.9	7	3	42.86	65.6	8	4	50	82.6	9	4	44.44	45.77
50	518.7	22	9	40.91	47.8	23	9	39.13	60.2	22	9	40.91	40.32
80	421.8	32	10	31.25	34.4	32	11	34.38	43.3	32	10	31.25	32.29

(2) 地形地势。绥滨县位于平原区,境内多滩地、沼泽、泡塘等。地势西高东低^[37],地面平均比降在 1/6000~1/10000 左右,海拔高程大多在 55~77 m 之间,地貌形态属于阶地、高漫滩、低漫滩,一级阶地分布于黑龙江与松花江之间较高的部分,地面高程为 60~77 m;高漫滩分布于一级阶地外围与低漫滩之间,地面高程为 58~62 m,为特大洪水淹没区;低漫滩分布于黑龙江、松花江及其支流两侧,地面高程为 55~60 m,该区经常被洪水淹没。由于绥滨县境内地势低平^[36],比降小,多泡沼,不利于排水^[44],因此当夏季多阵雨和雷阵雨时,降雨易滞蓄于低洼地区^[45],无法及时排到外江,易形成涝灾。

(3) 外江水位顶托。黑龙江由绥滨县北部边界流过,松花江是黑龙江右岸最大支流,流经绥滨县东部和南部边界^[46]。绥滨县内河流大多以雨水补给为主,河流径流量年内分布不均,黑龙江 6-9 月份径流量占总径流量的 70%,松花江 6-9 月径流量占总径流量的 58%,每年 7-9 月为夏汛洪水,径流量大。由于绥滨县境内地形、植被及永冻层等良好的产流条件,加之夏季雨量充沛而集中,两江都容易形成集中洪水。另外松花江绥滨段为平原性河道,地势低平,水流缓慢,受黑龙江外水顶托,径流下泄不畅,丰水年易发生洪涝。以 2013 年为例,绥滨县最大 1 d 降水量 30.7 mm 出现在 8 月 15 日,此时黑龙江水位为 58.67 m,松花江水位为 61.65 m,外江水位已经高于绥滨县低漫滩区,而此时境内降水量

大,受外江水位的顶托作用,内水外排更加困难,这也是致涝因素之一。

4.2.2 人为因素

(1) 下垫面变化。由相关文献[47]、[48]可知,自建国以来,三江平原的耕地面积一直呈增加趋势,湿地和水面面积都有所减少,图 10 为 1990-2019 年绥滨县水稻种植面积变化情况。由图 10 可以看出,耕地面积从 1990 年的 1 266.42 km² 增加到 2019 年的 1 727.99 km²,增长率为 15.38 km²/a。20 世纪 90 年代中期,三江平原的粮食种植结构发生了较大变化,由种植大豆、小麦为主逐步向种植大豆、玉米和水稻转换,尤其是水田发展迅速^[49]。1990-2014 年水田呈波动增长趋势,2015-2019 年水田呈减少趋势。1990 年水稻种植面积占总种植面积的 10.07%,到 2014 年水稻种植面积达到近 30 年来最大值,占耕地面积的 88.67%。其中 2010-2014 年水稻种植面积呈快速增长趋势,2016 年为近 5 年内面积最少的一年,占总耕地面积的 76.36%。与 20 世纪 80 年代发生 5 次大型涝灾相比,近 30 年内大型涝灾发生次数减少。1990-1999 年发生大型涝灾 3 次,此时段水稻种植面积占耕地总面积的平均比例为 16.4%;2000-2009 年发生大型涝灾 2 次,此时段水稻种植面积平均占比为 38.86%;2010-2019 年发生大型涝灾 2 次,此时段面积平均占比为 79.25%。由此可知,2000-2009 年大型涝灾发生次数少,一方面是由于水稻平均面积从 20 世纪 90

年代的 220.65 km^2 增加到 582.98 km^2 , 另一方面是大雨和暴雨雨日呈减少趋势、最大 1 d 和最大 3 d 降水量呈减小趋势所致;虽然大雨和暴雨雨日近年有所增加,但由于近 10 年水田年均面积比前 10 年增加了 774.07 km^2 , 水田对雨水的调蓄作用更加明显,导致涝灾发生率不足 20 世纪 80 年代的一半。

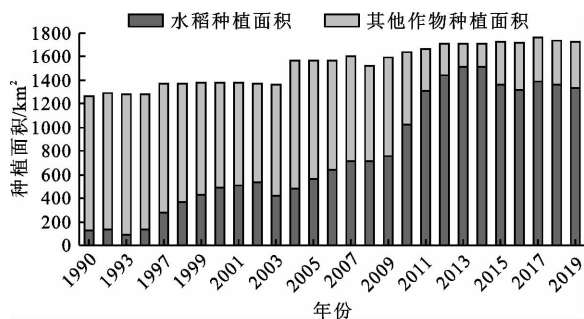


图 10 1990-2019 年绥滨县水稻及其他作物种植面积变化情况

(2) 涝区治理工程。绥滨县现有涝区治理工程始建于 20 世纪 60、70 年代,至今已有 40 多年,存在一系列问题导致工程无法满足排涝需求。如治涝标准低、骨干工程排水标准偏低、沟道排涝标准不足 3 年一遇等,导致排水不畅;在原工程建设时,田间配套工程不完善,致使排涝工程未能完全发挥作用;工程建成运行后,骨干工程多年运行缺乏维护,沟道淤积及塌陷、防洪建筑物过流能力不足、排水能力下降等因素都加剧了涝灾的形成。

5 讨论

对 1957-2019 年绥滨县的降水年际变化趋势和 M-K 突变检验分析结果表明,年降水量呈增加趋势,1979 年为降水量趋势转折年份,1960-1979 年降水量呈现减少趋势,这与邢贞相等^[50]的研究结果相似。不同的是本文认为 1998 年为绥滨县年降水量由减少趋势转为增大趋势的转折年份,而邢贞相等^[50]认为鹤岗市年降雨转折年份为 1997 年,由于邢贞相等^[50]的数据来源是水文站的气象观测数据,再通过 GIS 中的泰森多边形得到市级的年降雨数据,此结果可能与绥滨县气象站实测数据有偏差。虽然转折年份略有差别,但其增大和减少趋势并无太大变化,因此认为本文结论与现有研究结论一致。

本文通过 M-K 检验法中 UF_k 与 UB_k 曲线是否存在交点来进行降水量突变年份判断,但在一些研究中^[51-54],将其与滑动 t 检验法相结合来确定突变点,以克服 M-K 突变检验分析当交叉点较多时出现虚假突变点的问题,两种方法同时满足显著性时

即可相互印证。在后续研究中,可用滑动 t 检验方法进一步验证降水量突变年份。

本文通过参考《黑龙江省绥滨县涝区治理工程可行性研究报告》中受涝面积 $\geq 0.99 \text{ hm}^2$ 为大型涝灾的定义,进而进行了大型涝灾频率分析。但在实际生产中,水田淹水时无法精准判别其为正常情况还是遭受了涝灾,所以受涝面积的定义还需要进一步商榷。而且涝灾的等级划分不能只通过单因素来确定,还应该综合考虑涝灾的受灾面积、减产面积、绝产面积、受灾人口、经济损失等因素,因此后续研究中可收集相关数据及其来源,进一步深入研究涝灾的等级划分。

关于涝灾影响因素分析中,在已知近 30 年县域内耕地面积呈增长趋势的情况下,由于没有更详细的涝灾数据,无法将耕地面积与受涝情况进行匹配分析,所以后续需继续探讨耕地面积增加与涝灾数量变化的关系。

6 结论

利用绥滨县 1957-2019 年共 63 a 的逐日降雨量资料,通过线性倾向估计、M-K 突变检验分析降雨量年内年际变化、降雨量特征值和各量级雨日的变化趋势和突变情况,将 P-III 型频率曲线降雨结果与涝灾发生情况相结合分析绥滨县涝灾发生频率及原因。主要结论如下:

(1) 降水量年内分布不均匀,夏季降水量占全年降水量的一半以上。年均降水量为 531 mm ,研究时段内降水量总体呈增大趋势,平均增幅为 $5.44 \text{ mm}/10\text{a}$,年降水量呈“减-增-减-增”的变化趋势,研究时段内未发生突变。

(2) 小雨和大雨雨日随时间呈减少趋势,中雨和暴雨雨日随时间呈微弱增多趋势。研究时段小雨雨日的变化趋势为“增-减-增-减”,中雨、大雨和暴雨雨日的变化趋势均为“减-增-减-增”。小雨雨日的突变年份为 2011 和 2016 年,其余量级雨日均未发生突变。

(3) 最大 1 d 降水量呈增加趋势,平均增幅为 $0.083 \text{ mm}/10\text{a}$;最大 3 d 降水量呈减小趋势,平均降幅为 $0.305 \text{ mm}/10\text{a}$ 。最大 1 d 和最大 3 d 降水量均呈现“减-增-减-增”的变化趋势。最大 1 d 降水量未发生突变,最大 3 d 降水量在 1981 和 1997 年发生了突变。

(4) 1980-2019 年内涝灾发生率为 67.5%,大型涝灾发生率为 30%。当降水量大于等于 30 年一

遇时,大型涝灾发生率为 100%,且与年降水量、最大 1 d 和最大 3 d 降水量对应的涝灾发生频率相同;小于 10 年一遇降水频率下,大型涝灾发生频率与最大 3 d 降水量所导致的涝灾发生频率相近。由于绥滨县夏季降水量大;地形平坦,产流条件好;黑龙江和松花江夏季水位高,江水顶托以及治涝工程不完善,导致了县域内排水不畅,是涝灾发生率较高的主要原因。

(5)1990-2019 年水田面积占耕地总面积的平均比例以每 10 年翻倍的速度增长,大型涝灾发生率在前 10 年为 30%,后 20 年下降至 20%。虽然县域内涝灾发生率居高不下,但由于水田面积大幅度增加,其对雨水的调蓄作用更加明显,导致大型涝灾发生率与 20 世纪 80 年代的 50% 相比下降明显。

参考文献:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability [M]. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2014.
- [2] 李新新,宋友桂. 近 55 年新疆昭苏县气候变化特征及成因分析[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(10):133-138.
- [3] 高继卿,杨晓光,董朝阳,等. 气候变化背景下中国北方干湿区降水资源变化特征分析[J]. 农业工程学报,2015,31(12):99-110.
- [4] 王颖,封国林,施能,等. 江苏省雨日及降水量的气候变化研究[J]. 气象科学,2007,27(3):287-293.
- [5] 张琪,李跃清. 近 48 年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. 高原气象,2014,33(2):372-383.
- [6] 张杨,楚新正,杨少敏,等. 近 56 a 新疆北部地区气候变化特征[J]. 干旱区研究,2019,36(1):212-219.
- [7] 向亮,郝立生,安月改,等. 51 a 河北省降水时空分布及变化特征[J]. 干旱区地理,2014,37(1):56-65.
- [8] 彭菊,周秋文,韦小茶,等. 贵州省 1960-2014 年降水量时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(5):148-154.
- [9] 洪美玲,何士华. 1961-2010 年怒江流域降雨时空变化[J]. 水土保持研究,2019,26(3):248-252.
- [10] 赵路伟,徐刚. 河南省 1961 年-2014 年气温和降水量的时空变化特征[J]. 南水北调与水利科技,2016,14(3):17-23+54.
- [11] 卢书梅,杨传国,谷黄河. 1959-2018 年山东省降水时空分布特征与洪旱演变规律[J]. 水资源与水工程学报,2020,31(6):60-66.
- [12] 郑金丽,严子奇,李东,等. 黄河流域降雨-径流关系时空演变研究[J]. 水资源与水工程学报,2021,32(4):77-85+92.
- [13] 岳永杰,乌云珠拉,李旭,等. 根河流域 1980-2017 年气候和径流的变化特征分析[J]. 灌溉排水学报,2020,39(4):96-105.
- [14] 陈书军,刘毅,姜惠明,等. 湖北省降雨和洪涝特征时空变化规律分析[J]. 排灌机械工程学,2019,37(3):248-255.
- [15] 胡毅鸿,李景保. 1951-2015 年洞庭湖区旱涝演变及典型年份旱涝急转特征分析[J]. 农业工程学报,2017,33(7):107-115.
- [16] 杨艳娟,陈跃浩,陈思宁,等. 海河流域旱涝急转事件的时空演变特征[J/OL]. 水利水运工程学报,2021, [2022-06-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1613.TV.20210817.1540.006.html>
- [17] 赵华,李树军,肖清华,等. 潍坊市强降雨洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 沙漠与绿洲气象,2020,14(6):61-67.
- [18] 李万志,余迪,冯晓莉,等. 基于风险度的青海省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 冰川冻土,2019,41(3):680-688.
- [19] 许佳琦,周永吉,姜丽霞,等. 1965-2014 年黑龙江省洪涝灾害时空演变特征[J]. 气象与环境学报,2020,36(3):41-48.
- [20] 陈颖,马禹. 新疆不同等级暴雨洪涝灾害的时空变化特征[J]. 干旱区地理,2021,44(6):1515-1524.
- [21] 李政,张文太,轩俊伟. 伊宁市 1956-2015 年强降雨特征及对洪灾的影响[J]. 水资源保护,2018,34(6):49-55.
- [22] 赵小伟,李永坤,张岑,等. 基于中长期降雨预测的北京市城区洪涝风险分析[J]. 中国防汛抗旱,2021,31(7):1-6.
- [23] 郭帷,谢海涛,王旭,等. 1981-2019 年北疆暴雨洪涝灾害的时空变化特征分析[J]. 暴雨灾害,2022,41(1):101-108.
- [24] 国志兴,王宗明,刘殿伟,等. 三江平原农田生产力时空特征分析[J]. 农业工程学报,2009,25(1):249-254.
- [25] 佳木斯市水利勘测设计研究院. 黑龙江省绥滨县涝区治理工程可行性研究报告[R]. 佳木斯:佳木斯市水利勘测设计研究院,2020.
- [26] 张文琦,宋戈. 三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2019,35(6):244-252.
- [27] 杜国明,刘文琦,于佳兴,等. 三江平原水旱田分布对遥感反演局地地表温度的影响[J]. 农业工程学报,2019,35(5):259-267+320.
- [28] 杨春霞,郑华,欧阳志云. 三江平原土地利用变化、效应与驱动力[J]. 环境保护科学,2020,46(5):99-104.
- [29] 张彪,刘万波,张俊华. 基于土地利用变化的三江平原景观生态风险研究[J]. 国土与自然资源研究,2021(2):53-55.
- [30] 刘春艳,张科,刘吉平. 1976-2013 年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J]. 生态学报,2018,38(11):

- 3729—3740.
- [31] 吴文嘉,夏天,胡琼. 1980—2015年黑龙江水田旱地转换格局及其水资源效应[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 142—151.
- [32] 姜秋香,付强,王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 184—190.
- [33] 潘月鹏,阎百兴,路永正,等. 三江平原水环境中可溶性铁的分布特征研究[J]. 地理科学, 2007(6): 820—824.
- [34] 国世友. 三江平原夏季旱涝变化特征[J]. 黑龙江农业科学, 2021(1): 22—25+42.
- [35] 张洪玲,宋丽华,刘赫男,等. 黑龙江省暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 623—629.
- [36] 代国锋. 绥滨县淡水渔业发展现状及对策研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2020.
- [37] 孙建. 绥滨县森林资源现状及经营规划[J]. 林业勘察设计, 2018(2): 47—49.
- [38] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 1999.
- [39] 陈至,王少丽,韩松俊,等. 1960—2012年江苏省降水气候特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(21): 306—310.
- [40] 张杨,楚新正,杨少敏,等. 近56 a新疆北部地区气候变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(1): 212—219.
- [41] 和吉,吴亚冰,马明卫. 辽宁省气温时空变化特征及其对农业的影响[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2021, 42(2): 84—94.
- [42] 詹道江,徐向阳,陈元芳. 工程水文学(第4版)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [43] 王亦尘,高强,杜龙刚,等. 北京市1950—2017年汛期降雨特征分析[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(2): 21—26+46.
- [44] 王子平,邵刚,郭允霞. 谈三江平原洪涝治理[J]. 黑龙江水专学报, 2002, 29(1): 64—65.
- [45] 李士峰,崔广臣,杨国顺. 三江平原洪涝灾害及治理措施[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(1): 65—67.
- [46] 林杰妮. 绥滨县滨水公园活力提升规划策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2019.
- [47] 相恒星. 三江平原湿地保护生态成效遥感评估[D]. 延吉:延边大学, 2018.
- [48] 李梦圆,陈小敏,肖巧玲,等. 近30年来三江平原耕地面积变化分析[J]. 环境与发展, 2020, 32(11): 179—181.
- [49] 刘吉平,赵丹丹,田智学,等. 1954—2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3234—3244.
- [50] 邢贞相,闫丹丹,刘美鑫,等. 三江平原近60年降水量时空变异特征分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 337—344.
- [51] 常军,王永光,赵宇,等. 近50年黄河流域降水量及雨日的气候变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 43—54.
- [52] 罗建维. 云南省宾川县降雨时间变化特征分析[J]. 陕西水利, 2020(11): 29—32.
- [53] 孙文,范昊明. 全球变暖背景下松花江流域气温最新变化特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 97—104.
- [54] 赵宇铭,邱新法,朱晓晨,等. 1971—2010年中国干湿区降雨资源变化特征分析[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(5): 34—41.

(上接第39页)

- [23] HA M, WU M. Simulating and evaluating best management practices for integrated landscape management scenarios in biofuel feedstock production[J]. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2015, 9(6): 709—721.
- [24] 孙东耀,全川,纪钦阳,等. 不同类型植被河岸缓冲带对模拟径流及总磷的消减研究[J]. 环境科学学报, 2018, 38(6): 2393—2399.
- [25] 刘福兴,宋祥甫,邹国燕,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——水环境生态修复技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11): 2105—2111.
- [26] 张毅敏,张永春,左玉辉. 前置库技术在太湖流域面源污染控制中的应用探讨[J]. 环境污染与防治, 2003, 25(6): 342—344.
- [27] 阮家进,刘平,刘晓南,等. 三种类型人工湿地在非点源污染中的治理效果[J]. 环境工程, 2015, 33(9): 16—19+24.
- [28] HEY D L, BARRETT K R, BIEGEN C. The hydrology of four experimental constructed marshes[J]. Ecological Engineering, 1994, 3(4): 319—343.
- [29] 杨林章,施卫明,薛利红,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(1): 1—8.