

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.004

第二松花江流域 1956—2006 年降水量时空变化特征分析

汤 洁¹,王宪泽¹,李青山²,续衍雪¹,卞建民¹,李昭阳¹

(1. 吉林大学环境与资源学院,吉林 长春 130012;2. 松辽流域水资源保护局,吉林 长春 130012)

摘要 利用滑动平均法分析第二松花江流域降水量的变化与趋势,并分别运用 Mann-Kendall 秩次相关检验法和高斯权重法进行趋势性检验和空间插值。结果表明,第二松花江流域的降水量 1956—2006 年整体呈现小幅下降和丰枯交替现象,丰水年周期年数少于枯水年周期年数。降水主要集中在夏季,变化幅度较大;其次为春季和秋季,变化幅度较小。从年内变化看,春季和夏季降水呈平稳状态,秋季呈下降趋势,冬季几乎无变化。在空间分布上,流域内降水量呈现由东南至西北逐渐递减的趋势,白山水库和丰满水库处于高值区。
关键词 第二松花江;降水量;滑动平均;Mann-Kendall 秩次相关检验
中图分类号 P426.61⁺4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)06-0014-05

Temporal and spatial characteristics of precipitation over second tributary of Songhua River Basin from 1956 to 2006

TANG Jie¹,WANG Xian-ze¹,LI Qing-shan²,XU Yan-xue¹,BIAN Jian-min¹,LI Zhao-yang¹

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130012, China; 2. Songliao River Basin Water Resources Protection Bureau, Changchun 130012, China)

Abstract : The moving average method was used to study the precipitation change and trend in the second tributary of the Songhua River Basin. The Mann-Kendall rank correlation test and the Gaussian weighting method were used for trend testing and spatial interpolation, respectively. The results show that the precipitation over the second tributary of the Songhua River Basin from 1956 to 2006 had a slight downward trend in general and a characteristic of alternation in wet and dry seasons, and that the wet season period was shorter than the dry season period. Precipitation was mainly concentrated in summer, with a large amount of variation, followed by the spring and autumn, with a small amount variation. In terms of the annual variation, the precipitation remained in a stable state in spring and autumn, had a decreasing trend in autumn, and remained unchanged in winter. In terms of the spatial distribution, the precipitation over the basin had a decreasing trend from southeast to northwest. The White Mountain Reservoir and the Fengman Reservoir were the areas with high precipitation values.

Key words : second tributary of Songhua River; precipitation; moving average; Mann-Kendall rank correlation test

第二松花江(以下简称二松)流域为吉林省主要城市分布区及工业集中地。笔者将降水作为二松流域水资源系统的重要因素,选择 50 年的长时间序列,运用 Mann-Kendall 秩次相关检验法进行趋势分析,通过空间插值法分析流域内降水量的空间分布^[1],揭示第二松花江流域 50 a 尺度的降水量变化

规律,对松花江水资源的开发利用和水环境保护、流域防洪减灾方案的制定均具有重要意义。

1 研究区概况

发源于吉林省东南部长白山天池的第二松花江为松花江的南源支流,从东南流向西北,横穿吉林

省,在松原市境内三岔河口与西源支流-嫩江汇合进入松花江干流,全长 795 km,流域面积 7.8 万 km²。流域内地势从东南向西北倾斜,山区占 49.3%,低山丘陵区占 18.5%,平原占 32.2%^[2]。受太平洋季风和西伯利亚高压影响,流域属于中温带大陆性季风气候湿润区,影响流域大暴雨的地面天气系统主要有北上台风、蒙古气旋、华北气旋、东北气旋、冷涡和冷峰等^[3]。流域以丰满水库为界,以上区间包括辉发河和二松干流区,河床窄深、坡降大;以下包括丰满水库至三岔河口区间的二松干流和伊通河、饮马河支流。丰满水库控制流域面积 42 500 km²,占整个流域面积的 54%。流域内年均降水量为 800 ~ 1 000 mm。2010 年 7—8 月第二松花江流域发生了特大洪水,最大流量达 5 530 m³/s,造成 83 万名群众受灾,其中吉林省永吉县的二松支流温德河为有水文记录以来最大洪水,口前水文站遭遇 1 600 年一遇洪水。

2 数据搜集及分析方法

2.1 数据搜集

资料来自 1956—2006 年第二松花江流域雨量站的逐日降水数据^[3],在流域内全部雨量站中选取具有代表性并且数据完整的站点,包括高丽城子、横道子、蛟河、吉林、农安、扶余等 18 个典型站作为本研究的代表站。代表站数量以能够控制本地区降水时空分布规律为原则,对数据系列比较短的,选取 3 个站作为分析的辅助站或参考站;在降水量变化梯度较大的地区,选取的站点进行了适当的加密^[4]。

2.2 分析方法

2.2.1 统计参数

在降水数值特征的分析中,除了用 SPSS 进行常规的数据分析,还采用了离差系数 C_v 和偏态系数 C_s ^[5]。离差系数 C_v 是用来反映特性参数的变异程度指标,可以用来说明近 50 年间第二松花江流域降雨量之间的离散变化程度,而偏差系数 C_s 能反映离散程度的对称情况。一般认为, $C_v < 0.1$ 为弱变异性, $0.1 \leq C_v \leq 1$ 为中等变异性, $C_v \geq 1$ 为高度变异性。

数学公式表示为:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}} \tag{1}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{(n - 3)C_v^3} \tag{2}$$

式中: $K_i = X_i/X$ 为年降水量模比系数; X_i 为各年降水量; X 为多年平均降水量; n 为系列年数。

单站年降水量的离差系数 C_v 采用矩法计算,

再根据适线进行调整确定。适线时照顾了大多数点据,主要按平水年和枯水年的点据趋势定线。系列中特大、特小的年降水量没作重现期考证,作为一般点据参加了适线。在适线过程中, C_v 数值基本未作太大调整。

2.2.2 水文时间序列趋势分析

水文时间序列趋势分析方法分为直观判断法和统计检验法^[6]。

直观判断分析主要采用累计距平法和滑动平均法等,通过对原始数据进行的平滑处理,消除波动和差异,使序列的趋势更加明显,能够直观进行判断。滑动平均法^[7]是将资料序列 $x_1, x_2, \dots, x_t$ 的几个前期值和后期值取平均,求出新序列 y_t ,使原序列光滑化,趋势更明显。

数学公式表示为:

$$y_t = \frac{1}{2k + 1} \sum_{i=-k}^k x_{t+i} \tag{3}$$

若 x_t 具有趋势成分,选择合适的 k 值, y_t 就能把光滑化的趋势清晰地显示出来,当 $k = 1$ 时即为 3 点滑动平均, $k = 3$ 时即为 7 点滑动平均。

笔者在研究二松近 50 年降水量趋势时运用了统计检验法中的 Mann-Kendall 秩次相关检验法^[8]。

Kendall 统计量 τ ,方差 σ^2 和标准化变量 M 的计算公式分别为:

$$M = \tau / \sigma_\tau \tag{4}$$

$$\tau = \frac{4s - 1}{N(N - 1)} - 1 \tag{5}$$

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(2N + 5)}{9N(N - 1)} \tag{6}$$

式中: M 值为正,表明数据序列具有上升或增加的趋势, M 值为负,则意味着下降或者减少。 s 为数据中所有观测值($x_i, x_j, x_i < x_j$)中 $x_i < x_j$ 出现的次数; N 为数据系列长度。

2.2.3 空间插值-高斯权重法

由于降水量观测站点的分布往往不均匀,需要在各个台站观测点数据的基础上,推算出空间上的要素分布,因此,运用空间插值方法进行降水量的研究有着重要意义^[9-10]。

空间插值方法依据不同的标准有不同的分类方法,根据二松流域时空变异较大的特点,以及站点数据较分散的特征,对比 Kriging 算法等其他空间插值方法,认为高斯权重法对估计值的逐步修正可以更接近实测值,因此选取高斯权重法进行空间插值^[11]。插值公式为

$$Z(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^N Z(k) W(i, j, k)}{\sum_{k=1}^N W(i, j, k)} \tag{7}$$

$$W_0(i_{ij},k)=\exp(-r_{ij,k}^2/4a),\quad(8)$$

式中: $Z(i_{ij})$ 为区域内非站点的任意格点的估计值; $Z(k)$ 为第 k 个站点的样本观测值; $W_0(i_{ij},k)$ 为权重系数。 $r_{ij,k}$ 为格点 (i_{ij}) 到站点 k 之间的距离, N 为有限区域内的站点数目, a 为常数。

3 降水变化特征分析

3.1 降水的年际和年代际变化

流域内近 50 年平均降雨量为 639.24 mm,呈现下降趋势,其趋势线方程为 $y = -0.9491x + 663.91$,但整体变化幅度较小,见图 1。运用 1956—2006 年间的年均降水量分析流域内降水的年际变化,20 世纪 60—90 年代降水大多处于 1 个较稳定的阶段,50 年代末以及 90 年代中旬出现了较大波动,最大值为 1956 年的 850.79 mm,最小值为 1958 年的 464.39 mm,两年间相差了近 1.8 倍,可见 50 年代后期降水变幅较大。

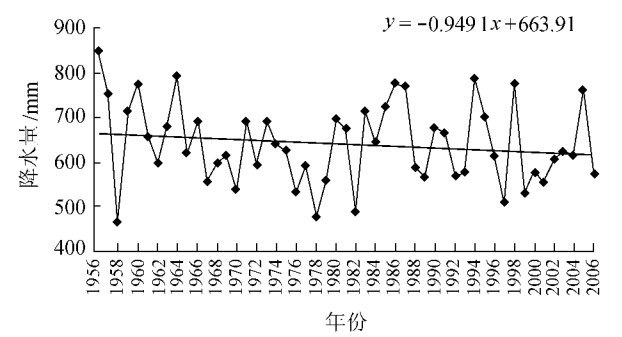


图 1 1956—2006 年松花江流域年均降水量变化

从二松流域年代际尺度的降水变化看,20 世纪 50 年代中期到 70 年代末降水量持续降低,70 年代为降水最少的年代,大大低于 50 年代的平均值,80 年代呈大幅上升,随后又持续下降,从 90 年代至今降水量均低于平均值,见表 1 所示。

表 1 第二松花江年代际尺度的降水变化

时段	降水平均值/mm	时段	降水平均值/mm
1956—1959 年	694.31	1990—1999 年	638.97
1960—1969 年	657.04	2000—2006 年	614.65
1970—1979 年	592.98	1956—2006 年	639.24
1980—1989 年	663.14		

3.2 降水的年内变化

采用泰森多边形算法将流域内的站点雨量转化为流域的面雨量,流域多年平均各季节降水量的年内变化过程见图 2。由于受东亚季风影响,流域内降水的年内分配极不均匀。1 年中的主要降水集中在夏季,6—8 月的降水量占全年总降水量的 60%~66%,其次为春季和秋季,冬季降水量最少。21 世纪初夏季的降水量比 90 年代末增长了 27.74%,4

个季节的降水量在本世纪初均有明显回升的趋势。

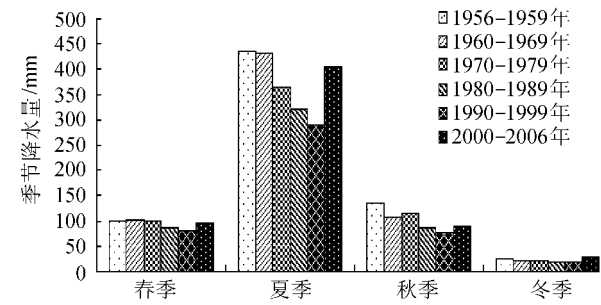


图 2 年内降水量变化

鉴于各季节降水量数据较为分散,不利于分析,为此选取能够反映近 50 年整体趋势的 5 a 降水平均值进行分析^[12]。从图 3 可知,夏季降水的变化幅度较大,春季和秋季降水变化幅度较小,冬季降水量几乎无变化。在近 50 年整体趋势中,春季、夏季和冬季降水处于相对平稳状态,但春季和夏季都在特殊年份出现了明显低值,仅秋季降水呈下降趋势。1986—1990 年的 5 年平均和 1991—1996 年的 5 年平均为春季、夏季和秋季降水量的最低点,20 世纪 80 年代全球气候变化带来了一次明显的气候转型,相应的降水在我国和二松流域也发生了变化,80 年代中期降水明显减少,到 90 年代末期呈上升趋势,已接近 60 年代以前强夏季风时期的降水量值^[13]。

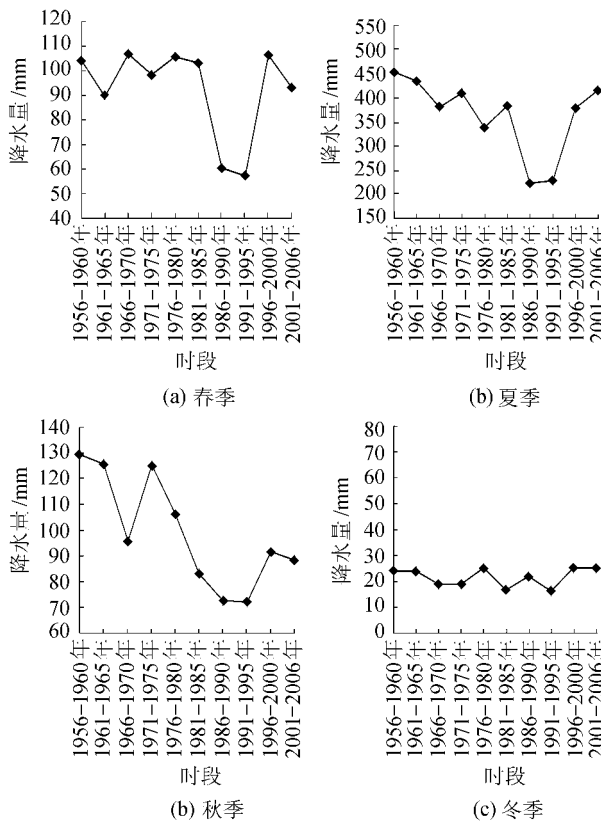


图 3 各季降水量 5 a 平均值

3.3 降水的周期与趋势性分析

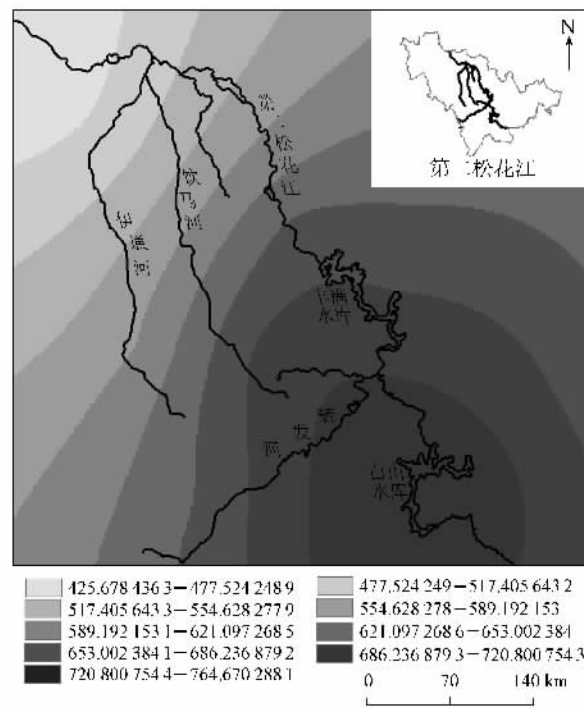
在分析降水趋势时,分别作出 3 a、5 a 和 7 a 的滑

利用 Mann-Kendall 秩次相关检验法对降水趋势进行检验(表 2),结果显示年际降水量 M 值为 -0.111 随时间呈下降趋势,春、夏和秋季降水也呈减少趋势,仅冬季降水呈小幅增加。年际降水、春季降水和冬季降水趋势性不显著,夏季和秋季降水分别通过了 95% 和 90% 的显著性检验,说明降水量的下降趋势较明显。

统计	<i>M</i>	判断	统计	<i>M</i>	判断
年降水	-0.111	不显著	秋季降水	-0.310 [*]	显著
春季降水	-0.126	不显著	冬季降水	0.067	不显著
夏季降水	-0.227 ^{**}	显著			

3.4 降水的地区性分布特征

由图 5 可知,第二松花江流域内降水量变化呈东南向西北递减,山区迎风坡大于背风坡,距海洋近水汽来源充沛地区大于距海洋远水汽条件差地区。东南部山区的年降水平均值在 700 mm 左右;中部地区多年平均降水量在 500 ~ 600 mm 之间;西北部平原区地势平坦,降水量很少,多年平均降水量在 400 mm 左右。其中,降水在白山水库区域形成高值区,该地区属亚热带大陆性气候,形成降水的水汽主要来源于太平洋,流入方向以西南和南为主。流域



内白山和丰满两大水库都处于降水集中区域,水库的蓄水量受降水影响较大,是流域内防洪防涝的重点区域。流域源头到丰满水库区间降水量的变化幅度较小,丰满以下区间降水幅度明显增加。

由表 3 的降水量特征值可知,各区降水量的变化差别较大,离差系数 C_v 值在 0.11 ~ 0.29 之间,说明降水量不同区域的年际变化较大。年降水量最少的哈达山水库—三岔河区间的 C_v 值最大,这个区域的多年降水量稳定性最差;丰满水库—哈达山水库区间的变率最小,降水量变化较为稳定。

区域	计算面积/ km ²	降水年均值/ mm	C_v	C_s/C_v
辉发河	14 107	674.58	0.12	2.0
丰满以上区间	27 968	716.37	0.19	2.0
伊通河	9 336	533.76	0.11	2.0
饮马河 (不含伊通河)	8 056	706.08	0.17	2.0
丰满水库— 哈达山水库区间	12 683	550.62	0.08	2.0
哈达山水库— 三岔河区间	725	425.68	0.29	2.0

• 17 •

水资源的影晌分析[J].水资源保护 2008 24(6):28-30.

[5] 张德新.吉林省水资源[M].长春:吉林科技出版社, 2008.

[6] 叶柏生,李翀,杨大庆,等.我国过去 50 年来降水变化趋势及其对水资源的影响(Ⅳ):年系列[J].冰川冻土, 2004 26(5):587-594.

[7] 赵娟,韩延本.滑动平均情形下的相关显著水平估计[J].北京师范大学学报:自然科学版,2005,41(2): 139-141.

[8] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J].农业科技与装备,2008 (5):35-40.

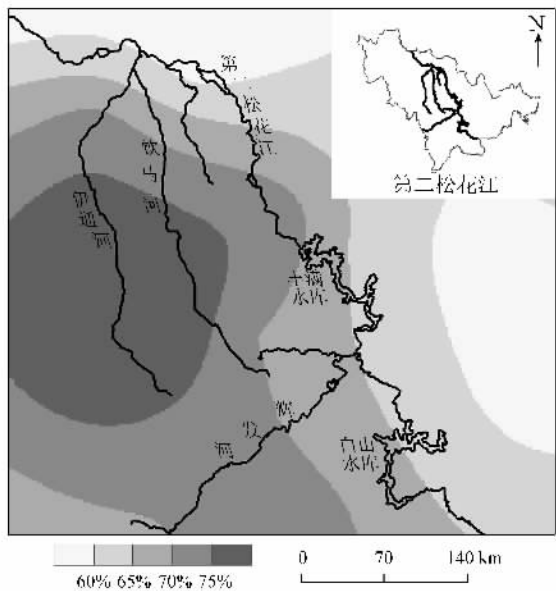
[9] 曾小凡,翟建青,姜彤,等.长江流域年降水量的空间特征和演变规律分析[J].河海大学学报:自然科学版, 2008 36(6):727-732.

[10] 王建华,江东,王浩,等.年尺度下的黄河流域降水遥感反演[J].资源科学 2003 25(6):8-13.

[11] 杨昌军.高斯权重法在长江流域地面日气温场空间化中的应用研究[D].南京:南京气象学院,2004.

[12] 张文纲,李述训,庞强强.青藏高原 40 年来降水量时空变化趋势[J].水科学进展 2009 20(2):168-176.

[13] 宋燕,季劲钧,朱临洪,等.20 世纪 80 年代中期全球变暖前后亚非夏季风特征分析[J].北京林业大学学报, 2007 29(2):24-33.



4 结 论

a. 近 50 年来,二松流域降水量整体处于下降的趋势,但幅度较小。年代际尺度的降水量呈现丰、枯交替现象,其丰水期周期年数小于枯水期周期年数,从 20 世纪 90 年代至今降水量均低于平均值,处于枯水期,但降水量整体处于上升阶段。

b. 年内主要降水集中在夏季,占全年降水的60%以上,其次为春季和秋季,冬季降水量最少。春秋两季降水波动较小,夏季变幅最大,冬季基本处于平稳状态。秋季降水在近50年里呈明显下降趋势。

c. 流域内降水量的变化较大,不同区域的年际变化也比较大。二松流域内降水量空间分布呈东南向西北递减,在白山水库区域形成高值区,夏季降水所占比例在伊通河区域内形成高值区后,向四周逐渐降低。

参考文献：

[1] 韩庆红. 基于 DEM 的松花江流域降水量插值研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.

[2] 李朝坤, 李刚. 第二松花江中小洪水糙率分析[J]. 吉林水利, 2008(2): 22-29.

[3] 孟悦. 松花江流域气候年代际变化分析及预测[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.

[4] 曹丽青, 林振山, 葛朝霞, 等. 新疆北部气候变化及其对

(收稿日期 2010-10-29 编辑:高渭文)

(上接第 13 页)

- [13] 王毛兰, 胡春华, 周文斌, 丰水期鄱阳湖氮磷含量变化及来源分析[J]. 长江流域资源与环境 2008 ,17(1) :138-142.
- [14] JINDAL R ,SHARMA C. Studies on water quality of Sutlej River around Ludhiana with reference to physicochemical parameters[J]. Environ Monit & Assess 2011 ,174 :417-425.
- [15] BEATRICE B ,YVES C ,PHILIPPE S ,et al. Distribution of picophytoplankton and nanophytoplankton along an anthropogenic eutrophication gradient in French Mediterranean coastal lagoon[J]. Aquatic Microbial Ecology 2011 ,63 :29-45.
- [16] ALEKSANDAR O ,SVETLAN C ,LJILJANA C ,et al. Effects of anthropogenic influences on the trophic status of two water supply reservoirs in Serbia[J]. Lakes & Reservoirs Research and Management 2007 ,12 :175-185.
- [17] 翟俊, 何强, 肖海文, 等. 基于 GIS 的模糊综合水质评价模型[J]. 重庆大学学报 :自然科学版, 2007 ,30(8) :49-53.
- [18] 许磊, 李华, 陈英旭, 等. 南太湖地区小型浅水湖泊自净能力季节变化研究[J]. 环境科学 2010 ,30(4) :924-930.
- [19] 王修林, 李克强. 渤海主要化学污染物海洋环境容量[M]. 北京 :科学出版社 2006.
- [20] 王修林, 李克强, 石晓勇. 胶州湾主要化学污染物海洋环境容量[M]. 北京 :科学出版社 2006.