

The Drought Assessment and Its Impact Analysis in Chaobai River Basin from 1980 to 2012

Yao Wang¹, Xinhua Xue², Xuexia Zhang¹

¹School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing

²Fruit of Science and Technology Service Center of Beijing Fangshan District, Beijing

Email: wangyaobfu@foxmail.com

Received: Mar. 20th, 2014; revised: Apr. 8th, 2014; accepted: Apr. 14th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the daily meteorological data of Fengning, Zhangjiakou and Tanggu meteorological stations in Chaobai River basin from 1980 to 2012, the variation trends of temperature, precipitation and evaporation were analyzed. We made assessments of annual drought and seasonal drought by using the relative moisture index and the consecutive days without rain drought evaluation methods, and then analyzed the space-time evolution regularity of drought and its influence. The results showed that: 1) The Chaobai River basin had a warming trend since 80s of last century. The Chaohe area was mainly light drought years, but it showed an increasing trend from 1998 to 2012. The Baihe area was all mild drought years or dry years and the Downstream area drought had a large interannual fluctuation. The drought index linear trend of these two secondary zones was not significant, and the M values can be divided into a turbulent period and two rise periods. 2) From the seasonal drought trend, we can see that the summer drought showed an increasing trend in Chaohe area and Baihe area, and other seasonal drought conditions had better trends, especially in autumn. Spring drought had the highest frequency, followed by the winter drought. As the level of annual drought increased, the occurrence frequencies of the summer drought, autumn drought, great drought and super drought increased. Autumn drought and summer drought occurred less, but they had a greater impact on the level of annual drought.

Keywords

M Index, Drought, Seasonal Drought, Chaobai River Basin

潮白河流域1980~2012年干旱评价及其影响分析

王 瑶¹, 薛新华², 张学霞¹

¹北京林业大学水土保持学院, 北京

²北京市房山区林果科技服务中心, 北京

Email: wangyaobfu@foxmail.com

收稿日期: 2014年3月20日; 修回日期: 2014年4月8日; 录用日期: 2014年4月14日

摘 要

本文基于1980~2012年丰宁、张家口和塘沽气象站的连续观测资料,分析潮白河流域内潮河区、白河区和下游区等三个二级区的温度、降水和蒸散发量等气候因子的变化趋势。选取相对湿润度指数(M)和连续无雨日天数两种干旱评价指标,对研究区年度干旱和季节性干旱进行评价,分析干旱的时空演变规律及其影响。结果表明:1) 潮白河流域从上世纪80年代以来有变暖趋势。潮河区以轻早年为主,但在1998年之后干旱呈现明显加重趋势;白河区均为轻早年或中早年,下游区干旱年际波动较大,两个二级区的干旱指数线性趋势不显著,可分为一个动荡期和两个上升期。2) 从季节性干旱变化趋势来看,潮河区和白河区夏季干旱有加重趋势,其他各季干旱情况均有所好转,尤其是秋季降水量结余比例有增加趋势。季节性干旱中春旱频次最高,其次为冬旱。随着年度干旱等级升高,秋旱和夏旱、大旱和特大旱发生频率随之升高。秋旱和夏旱发生较少,但对年度干旱等级影响较大。

关键词

M指数, 干旱, 季节干旱, 潮白河流域

1. 引言

伴随着全球气候的增暖变化和人类对水资源的非理性开发利用,我国干旱呈现出受旱范围扩大、发生频率增加、灾害损失加重的发展趋势[1]-[3]。干旱是某时段由于蒸发量和降水量的收支不平衡,水分支出大于水分收入而造成水分短缺现象[4]。在气象指数中,相对湿润度指数(M)是表征某时段降水量与蒸散发量之间平衡的指标之一,能够综合反映降水量和蒸发量不平衡收支关系的干旱指数,针对区域干旱的研究应从干旱形成的物理机制出发,避免了仅以降水减少或温度上升的单因素不足以较好反映环境变化下的区域干旱化特征的问题[5]。连续无雨日数是指连续无有效降雨的天数,能够具体反映年内依次干旱的起始时间、结束时间、持续时间及干旱频次,干旱频次可重点描述在不同的年代里某个季节发生季节性干旱的频繁程度。

潮白河流域是我国“三北”防护林工程、太行山绿化工程、京津风沙源治理工程等重点防护林体系建设区及密云水库上游国家级水土保持重点治理区,流域内土地覆盖类型以林地、草地、耕地为主[6]。20世纪80年代以来潮白河上游的年径流量呈现明显的减少趋势,到20世纪90年代的流域径流量平均值仅为60年代的75.18%[7],年降水和潜在蒸散发量没有显著变化,气温则呈显著上升[6],但降水频率(日均降水场次)呈下降趋势,降水强度场均降水量呈增加趋势,这将导致极端降水事件如暴雨、干旱发生的

概率增大[8]。植被活动的年际变化主要由气候波动引起,水资源的不均衡使得潮白河流域内植被的生长,甚至威胁京津地区的用水安全。本文根据地理位置和水文特征,将潮白河流域划分为潮河区、白河区和下游区三个二级区,基于潮白河流域 1980~2012 年丰宁、张家口、塘沽 3 个气象站点的连续观测资料,从年和季两种时间尺度分析潮白河流域气候因子及干旱指数的时空变化特征,旨在揭示研究区内干旱的时空演变规律,为区域林草植被经营管理、农作物耕作等提供参考。

2. 数据与方法

2.1. 研究区概况

潮白河流域位于华北平原北部,东经 115°25'~117°45',北纬 39°9'~41°39'。是海河流域北系四大河流之一,发源于燕山北部山区,流经河北、北京、天津三个省市(如图 1)。地处山地与平原的过渡地区,流域内地势西北、东北高,东南低。全流域面积 1.9 万多平方公里,其中山区占 87%。上游分潮河、白河两大支流,潮、白两河在密云水库汇合之后,形成下游的潮白河[9]。据此,本文将潮白河流域划分为潮河区、白河区和下游区三个二级区。

潮白河流域属于中纬度大陆性季风气候,冬季干寒,春秋多风。多年平均气温 9.8℃,年均降雨量约 553 mm,降水年际变化大、年内降水分配不均,多集中在汛期(6~9 月),约占总降水量的 85%,导致其年内径流丰、枯悬殊,春、冬旱频发。

2.2. 数据

气象资料来自中国气象科学数据共享服务网中的中国气候地面资料日值数据集,包括研究区内丰宁、张家口、塘沽三个气象观测站 1980~2012 年的观测数据,如逐日气温、降水、日照时数、相对湿度、风速、气压、风向等。

2.3. 研究方法

2.3.1. 相对湿度指数

流域年度干旱等级的确定采用国家标准《气象干旱等级 GB/T20481-2006》中的相对湿度指数法[10],相对湿度指数(M)是表征某时段降水量与蒸散发量之间平衡的指标之一。该等级标准可反映作物生长季节的水分平衡特征,适用于季节旬以上尺度的干旱监测和评估,表 1 为相对湿度气象干旱等级划分标准。M 指数的计算公式为:

$$M = \frac{P - PE}{PE} \quad (1)$$

式中: P 为某时段的降水量,单位为毫米(mm); PE 为某时段的可能蒸散发量,单位为毫米(mm),采用 FAO Penman-Monteith 方法计算[11]。P-M 公式如下:

$$PE = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} U_2 (vp_s - vp)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中: R_n 为冠层表面净辐射, MJ/(m²·d); G 为土壤热通量密度, MJ/(m²·d); T_{mean} 为 2 m 高处日平均气温,℃; U_2 为 2 m 高处风速, m/s; vp_s 为饱和水汽压, kPa; vp 为实际水汽压, kPa; Δ 为水汽压曲线斜率, kPa/℃; γ 为干湿球常数, kPa/℃。

2.3.2. 连续无雨日数

选取连续无雨日数作为划分季节性干旱等级的指标,将干旱按季节分为春旱、夏旱、秋旱、冬旱四

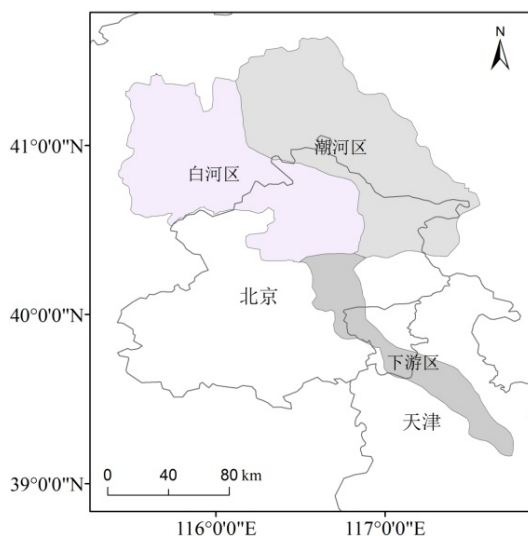


Figure 1. The location of Chaobai river basin
图 1. 潮白河流域地理位置

Table 1. Drought classification standard of the relative moisture index
表 1. 相对湿度气象干旱等级划分标准

等级	类型	相对湿度
1	无旱	$-0.4 < M$
2	轻旱	$-0.65 < M \leq -0.4$
3	中旱	$-0.80 < M \leq -0.65$
4	重旱	$-0.95 < M \leq -0.80$
5	特旱	$M \leq -0.95$

种类型，并将每种类型的干旱划分为四个等级，等级划分标准见表 2 [10]。

3. 结果与分析

3.1. 气候因子年际变化趋势

利用流域内气象站点的日温度、降水和其他气象要素资料，根据 P-M 公式计算可能蒸散发量 PE，分析各二级区的温度、降水量和蒸散发量的年际变化趋势，见图 2。潮河区多年平均温度为 7.1℃，白河区 9.2℃，下游区 13.1℃。各二级区年际温度变化较为平稳，但总体呈现一定的变暖趋势。多年平均降水量下游区 > 潮河区 > 白河区，其中潮河区降水量有减少趋势，白河区和下游区呈现一定的增加趋势，且年际波动较大，尤其是下游区年际降水量差异较大。蒸散发量受温度影响较大，各区多年平均蒸散发量与温度大小顺序相同，即下游区 > 白河区 > 潮河区。潮河区蒸散发量呈上升趋势，白河区和下游区呈现降低趋势，下游区年际波动变化相对于其他区域明显较大。

3.2. 年度干旱的时空演变

3.2.1. 各二级区年度干旱等级判定

年度干旱指标采用相对湿度指数(M)，基于潮白河流域各二级区内气象站点的 1980~2012 年 2 m 高处的温度、相对湿度；10 m 高处的风速；日照时数等资料，通过 FAO Penman-Monteith 法求取逐日逐日

Table 2. Drought classification standard of consecutive days without rain
表 2. 连续无雨日数气象干旱等级划分标准

连续无雨日数(天)	小旱	中旱	大旱	特大旱
春旱	16~30	31~45	46~60	61及以上
夏旱	16~25	26~35	36~45	46及以上
秋旱	31~50	51~70	71~90	91及以上
冬旱	31~50	51~70	71~90	91及以上

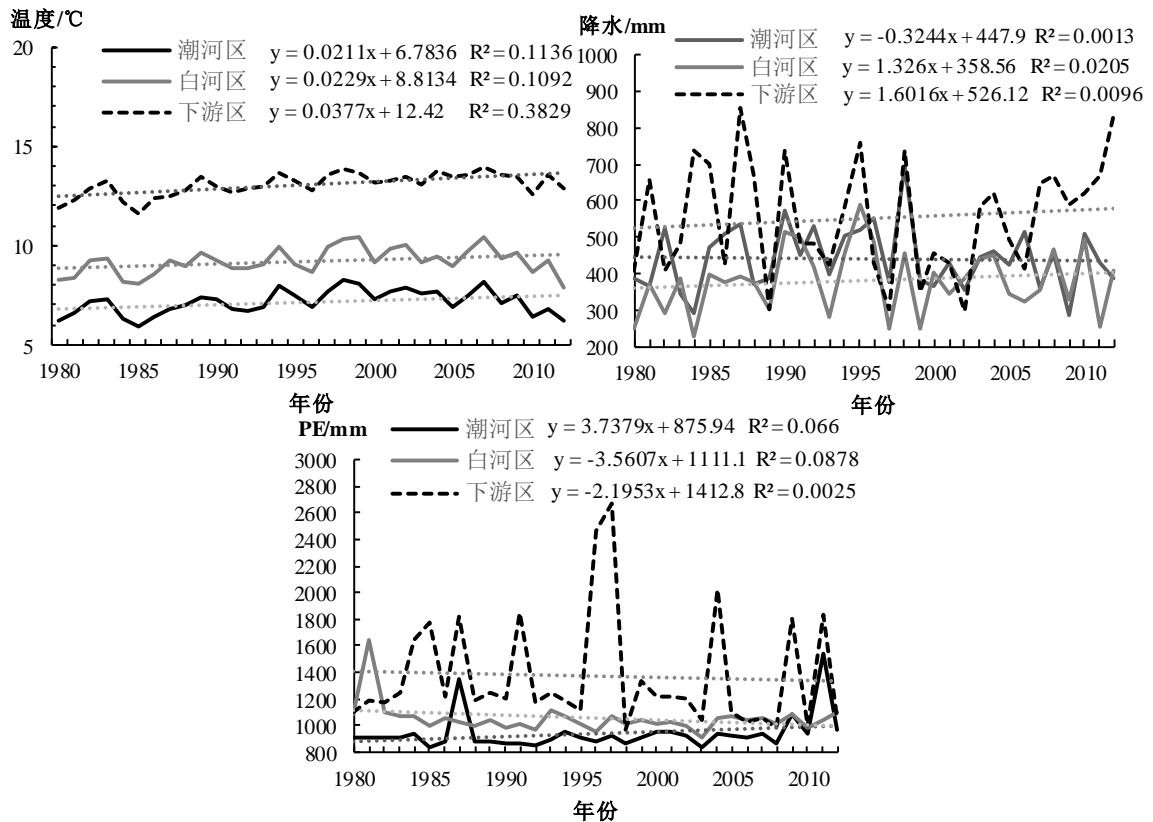


Figure 2. The interannual variation trend of temperature, precipitation and PE in Chaobai river basin
图 2. 潮白河流域温度、降水和蒸散发量年际变化趋势

可能蒸散发量,统计全流域逐月、逐年的蒸发量,结合流域降水量计算流域内各站点的 M 指数(公式(1))。根据相对湿度气象干旱等级划分标准(表 1)逐年判定干旱等级,统计流域内各二级区不同干旱等级的发生频次(图 3)。

结果表明:33 年中潮河区 3 年为无旱年,26 年为轻旱年,1984 年、2009 年和 2011 年为中旱年;白河区 19 年为轻旱年,14 年为中旱年,且连续性均在 5 年以下;下游区 1980~1988 年持续轻旱年,之后干旱情况年际波动较大(7 个无旱年,8 个轻旱年,7 个中旱年,2 个重旱年)。

3.2.2. 年度 M 指数时空变化趋势

1980~2012 年潮河区 M 指数线性拟合斜率为-0.002,白河区斜率为 0.002,下游区斜率为 0.003,但相关性并不显著。本文通过分析年度 M 指数和距平 M 指数发现,潮河区 M 指数有两个变化阶段(图 4(a)):1980~1998 年 M 指数呈明显上升趋势到 1998 年达最大值,之后逐渐降低, P 值均小于 0.005;白河区和

	1980 ⁺				1985 ⁺				1990 ⁺				1995 ⁺				2000 ⁺				2005 ⁺				2010 ⁺			
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
I	q	q	q	q	z	q	q	q	q	w	q	w	q	q	q	q	w	q	q	q	q	q	q	q	q	q	z	q
II	z	z	z	z	q	q	q	q	z	q	q	q	q	q	z	q	q	z	q	z	q	z	z	z	z	q	z	q
III	q	q	q	q	q	q	q	q	z	w	z	z	w	Z	Z	Z	w	z	q	z	q	q	w	w	z	w	q	w

注：I、II、III分别代表潮河区、白河区和下游区；w为无旱年，q为轻旱年，z为中旱年，Z为重旱年。
Figure 3. The drought grade statistical figure of Chaobai river basin from 1980 to 2012
图 3. 1980~2012 年潮白河流域干旱等级统计图

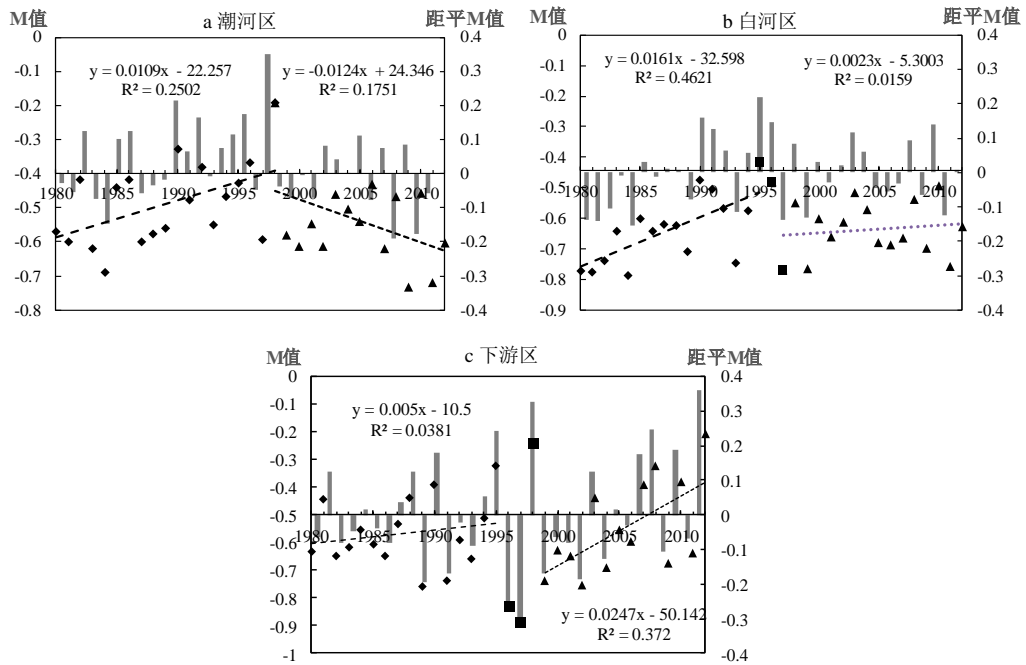


Figure 4. Temporal evolution of relative moisture index and their anomalies in Chaobai river basin from 1980 to 2012
图 4. 1980~2012 年相对湿度指数(M)变化趋势及其距平变化

下游区的根据波动规律具体可分为三个周期(图 4(b), 图 4(c)): 1980~1995 年上升期、1995~1998 年动荡期和 1998~2012 年重新上升期, 两个上升期 P 值均小于 0.001。

3.3. 季节性干旱的时空演变

3.3.1. 季节性气候时空变化趋势

根据公式(1)计算各二级区每年的季度 M 指数, 发现各区多年季度 M 均值表现为冬季 < 春季 < 秋季 < 夏季。其中, 夏季 M 指数各区差异较大, 白河区明显较低; 其他季节较为接近。整体来看, 春、夏、秋三个季节潮河区各季度 M 均值最大, 白河区最小, 冬季相反。

从年际变化趋势来看(表 3), 潮河区和白河区夏季 M 值有下降趋势, 但不显著, 表明两区域内夏季旱情有一定程度的加重趋势; 其他各季节 M 值均有不同程度的上升趋势, 尤其是秋季上升斜率较大, 且相关性显著。表明在潮白河流域, 秋季降水量相对于蒸散发量的亏损量呈明显变小趋势。

3.3.2. 季节性干旱发生频次时空特征

M 指数可以对一个时间段内的降水与蒸散情况进行归一化定量评价, 但是不能充分反映季节内的干旱发生次数。本研究在 M 指数基础上, 选择连续无雨日数干旱等级划分标准法, 统计潮白河流域各的季

Table 3. The change trend of season M values in Chaobai river basin from 1980 to 2012
表 3. 1980~2012 年潮白河流域季节 M 指数变化趋势

地区	季节	斜率	R	均值	标准差
潮河区	春	0.001	0.107	-0.772	0.113
	夏	-0.006	0.205	-0.189	0.293
	秋	0.005	0.273	-0.565	0.186
	冬	0.000	0.045	-0.917	0.070
白河区	春	0.040	0.336	-0.798	0.110
	夏	-0.001	0.039	-0.430	0.218
	秋	0.007	0.395**	-0.647	0.163
	冬	0.001	0.170	-0.902	0.059
下游区	春	0.000	0.002	-0.780	0.152
	夏	0.006	0.162	-0.248	0.380
	秋	0.009	0.394**	-0.643	0.213
	冬	0.003	0.318*	-0.881	0.090

备注: **表示通过 0.01 的显著性检验(双侧检验), *表示通过 0.05 的显著性检验(双侧检验)。

节性干旱发生频次。由图 5 可以看出, 1980~2012 年间, 潮河区共发生季节性干旱 105 次, 白河区 95 次, 下游区 103 次。潮白河流域以春旱和冬旱为主, 其中, 春小旱发生频次最高, 其次为冬小旱、春中旱和冬中旱。由于潮白河流域降水主要集中于夏季和秋季, 因此夏旱和秋旱较少发生, 且无大旱或特大旱。

统计不同干旱等级年份各季节性干旱发生频率(图 6), 结果表明: 在无旱年, 春旱和冬旱占 92%, 夏旱占 8%, 以小旱和中旱为主; 在轻旱年, 春旱和冬旱占 89%, 秋旱和夏旱共占 11%, 大旱和特大旱比例上升; 在中旱年, 秋旱和夏旱比例上升至 22%; 重旱年中共发生小旱 7 次, 且均匀分布于四季, 冬中旱和夏中旱各 1 次, 特大旱在夏季发生 1 次。总体而言, 随着年度干旱等级升高, 秋旱和夏旱、大旱和特大旱发生频率也随之增大。秋旱和夏旱均为小旱或者中旱, 主要在中旱年和重旱年发生, 表明秋季和夏季的气候变化将对年度干旱水平影响较大。

4. 讨论

本研究通过分析气象站的观测数据发现潮白河流域有变暖趋势。气候变暖会对陆地生态系统的植被及土壤产生深远的影响, 不仅能够提前平原地区植物的开花期和结果期, 也能改变高山地区植物的营养生长[1]。潮河区土地覆盖类型以林地为主, 林地以落叶阔叶林和温带针叶林为主, 白河区以草地为主, 下游区以耕地为主[6]。植被活动的年际变化主要由气候波动引起, 并且由于植被生物特性存在差异, 导致植被对气候和干旱的响应机制也有所差异。

经研究发现潮河区春旱和冬旱多发, 而在春季萌芽前, 为落叶树种的树体需水时期, 如冬春干旱常将延迟萌芽, 将影响树木生长季的发育。白河区土地覆盖类型以草地为主, 草地植被的生长受降水、温度影响较大, 这与草地植被的本身根系特征及生长周期等生长特性有关[12], 冬季降水量(降雪)的增加有助于减少冬季的土壤风蚀以及保持土壤的温度和春季土壤的湿度, 有助于草本植物和新的苗芽、灌木丛等度过整个冬天。下游区土地覆盖类型主要为耕地, 以小麦、玉米等轮作作物为主, 该区域大旱和特大旱发生频次较少, 适合农作物耕作, 但年际降水量和蒸散发量波动较大, 人工灌溉工作应根据气候变化给予调节。

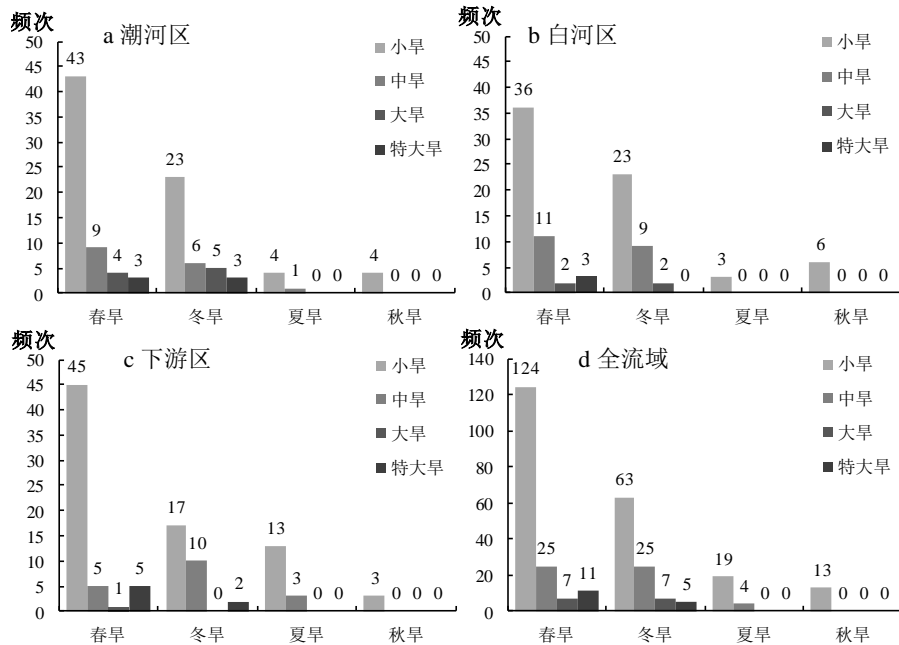


Figure 5. Seasonal drought frequencies of Chaobai river basin from 1980 to 2012

图 5. 1980~2012 年潮白河流域季节性干旱发生频次空间特征

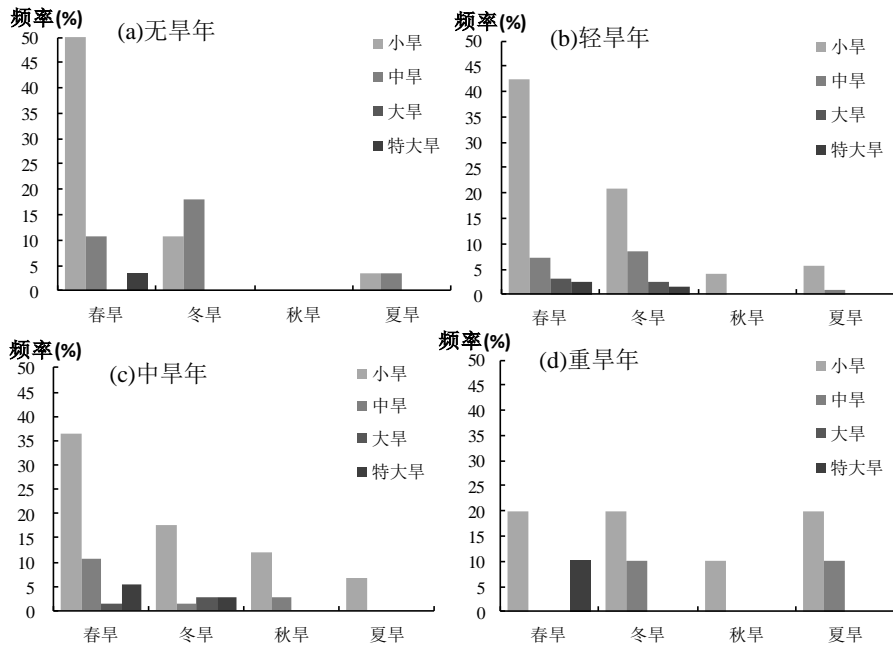


Figure 6. Seasonal drought frequencies of Chaobai river basin from 1980 to 2012

图 6. 1980~2012 年潮白河流域不同干旱等级年份季节性干旱发生频次

5. 结论

本文基于 1980~2012 年气象站的连续观测资料，分析潮白河流域气候因子的变化趋势，并选取相对湿润度指数(M)和连续无雨日天数两种干旱指数，分别从干旱强度和干旱频次两个角度对研究区年度干旱和季节干旱进行评价。

潮白河流域从上世纪 80 年代以来整体有变暖趋势,而降水量、蒸发量和干旱特征各二级区内表现各异。其中,潮河区以轻旱年为主,但降水量呈逐年减少趋势,蒸散发量呈上升趋势,干旱有加重趋势,尤其是 1998 年以后干旱加重趋势明显;白河区为轻旱年或中旱年,下游区干旱情况年际变化较大,两区域降水量逐年增加,蒸散发量减少,干旱呈现一定的好转趋势。

从季节干旱变化趋势来看,潮河区和白河区夏季干旱有加重趋势,其他各季干旱情况均有所好转,尤其是秋季 M 值上升斜率较大,且相关性显著。季节性干旱中春旱频次最高,其次为冬旱。随着年度干旱等级升高春旱和冬旱发生频率增加,小旱和中旱发生频率减少,大旱和特大旱发生频率随之升高。秋旱和夏旱发生较少,均为小旱或者中旱,且集中于中旱年和重旱年,表明秋季和夏季的气候变化将对年度干旱等级影响较大。

项目基金

国家 973 课题(2012CB955403)。

参考文献 (References)

- [1] 徐满厚, 薛娴 (2012) 气候变暖对陆地植被-土壤生态系统的影响研究. *生命科学*, **24**, 492-550.
- [2] 荣艳淑 (2013) 华北干旱. 中国水利水电出版社, 北京.
- [3] 王志伟, 翟盘茂, 武永利 (2007) 近 55 年来中国 10 大水文区域干旱化分析. *高原气象*, **26**, 874-880.
- [4] 田汉勤, 徐小锋, 宋霞 (2007) 干旱对陆地生态系统生产力的影响. *植物生态学报*, **31**, 231-241.
- [5] 李立新, 严登华, 秦天玲等 (2012) 海河流域 1961~2010 年干旱化特征及其变化趋势分析. *干旱区资源与环境*, **26**, 61-67.
- [6] 郑江坤 (2011) 潮白河流域生态水文过程对人类活动/气候变化的动态响应. 北京林业大学, 北京.
- [7] 李子君, 李秀彬 (2008) 潮白河上游 1961-2005 年径流变化趋势及原因分析. *北京林业大学学报*, **30**, 82-87.
- [8] 丛振涛, 张晓颖 (2013) 基于 Poisson 分布的降水模型及其在潮白河密云水库上游流域的应用. *清华大学学报*, **53**, 36-41.
- [9] 杨进怀 (2007) 基于 3S 技术的流域农业水资源配置优化研究. 北京林业大学, 北京.
- [10] GB/T20481-2006, 气象干旱等级.
- [11] 焦醒, 刘广全, 匡尚富等 (2010) Penman-Monteith 模型在森林植被蒸散研究中的应用. *水利学报*, **412**, 245-252.
- [12] 李本纲, 陶澍 (2000) AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. *生态学报*, **20**, 898-902.