

河北省冬小麦水分亏缺量的变化研究

马辉杰¹, 高剑华²

(1. 河北省农林科学院, 河北 石家庄 050051; 2. 河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021)

摘要: 利用河北省冬麦区 1965–2007 年 48 个气象站, 冬小麦生育期内逐年降水量、气温、相对湿度、日照时数、风速资料, 估算了全生育期、生长前期、中期、后期的水分亏缺量, 分析了水分亏缺量的空间分布特征、时序变化趋势以及水分亏缺量变化的原因。结果表明, 全生育期水分亏缺量最大的区域位于河北省东南部地区, 水分亏缺量变率较小; 各生育期以中期水分亏缺最为严重, 且变率较小, 生长前期和后期水分亏缺量较小, 但变率较大。各生育期水分亏缺量均呈减少趋势, 其变化趋势由需水量的变化趋势所引起。全生育期和生长前期需水量减小的主要原因是日照时数和风速的减小, 生长后期则是由风速的减小和相对湿度的增大引起的。

关键词: 冬小麦; 水分亏缺量; 变化趋势; 相关分析

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000–7091(2011) 增刊–0089–06

Study on the Change of Winter Wheat Water Surplus and Deficiency in Hebei Province

MA Hui-jie¹, GAO Jian-hua²

(1. Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences Shijiazhuang 050051, China; 2. Meteorological Science Institute of Hebei Province Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The paper calculated the water surplus and deficiency of the whole growth period, also the water surplus and deficiency of the early and middle and late growth stages, analyzed the spatial distribution and timing change trend of the water surplus and deficiency, explained the reasons of the water surplus and deficiency change, based on yearly data of precipitation, temperature, relative humidity, sunlight hours, wind speed during winter wheat growth period from 48 weather stations in winter wheat areas of Hebei Province from 1965 to 2007. Three results have been gotten. First, in the whole growth period, the largest areas of water surplus and deficiency were the south-eastern region of Hebei Province, and the change rate of water surplus and deficiency was less. In the middle stage, the water surplus and deficiency was most serious and the change rate was less. In the early and late stages, the water surplus and deficiency was less than in the middle and the change rate was more. Second, the water surplus and deficiency had decreasing trend in all growth periods which were caused by the change of water requirement. The third, main reasons of water requirement decreased were due to reduced sunshine duration and wind speed decreases in the whole and early growth periods, and the reasons of water requirement decreased were due to wind speed decreases and increased relative humidity in the late growth periods.

Key words: Winter wheat; Water surplus and deficiency; Change trend; Correlation

水分是作物生长发育的重要环境因子之一。河北省冬麦区位于半干旱半湿润地带, 冬小麦全生育期处于干旱期, 降水少、变率大、保证率低, 自然降水量只能提供冬小麦耗水量的 1/5 至 1/4^[1], 远远不能满足其生长需要, 水分亏缺现象严重。冬小麦水分亏缺量的大小主要决定于降水量和需水量, 而需水量与气温、湿度、风速、日照时数等气象要素的关

系密切。

近年来, 在全球变暖的背景下, 河北省的气候变化问题也受到人们的广泛关注, 刘学锋、安月改^[2–6]等分析了河北省气温、降水、蒸发量的变化特征, 赵少华等^[7]对河北平原气候变化趋势进行了分析, 指出年平均气温总体呈增加趋势, 年降水量和年蒸发量呈减少趋势。受气象要素变化的影响, 冬小麦生

育期内水分亏缺量发生了怎样的变化,目前这方面的研究报道较少。因此,本研究基于 Penman-Monteith 公式,利用河北省 1965-2007 年降水、气温、相对湿度、日照时数、风速等资料,对冬小麦水分亏缺量的时空分布、变化特征等问题进行分析和探讨,以便为合理节约用水、缓解水资源的供需矛盾以及农业生产布局提供依据。

1 研究方法与资料处理

1.1 研究方法

1.1.1 水分亏缺量(WSD)的计算方法 冬小麦水分亏缺量用需水量(ET_m)与降水量(P)的差值来表示^[8],具体公式如下: $WSD = ET_m - P$ (1)

其中 $ET_m = K_c \times ET_0$ (2)

K_c 为作物系数,全生育期 $K_c = 0.9$,生长前期(10月1日至2月底) $K_c = 0.58$,生长中期(3月1日至5月10日) $K_c = 1.36$,生长后期(5月11日至6月10日) $K_c = 0.7$ ^[9]; ET_0 为参考蒸散量,目前我国计算参考蒸散量的方法大多使用 FAO Penman-Monteith 公式^[10]:

1.1.2 水分亏缺量变率 V_r 的计算方法

$$V_r = \frac{V_a}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

其中 V_a 为距平平均值 \bar{x} 为多年平均值。水分亏缺量的变率越小,表示每年水分亏缺量稳定;反之,变率越大,水分亏缺量变幅较大,易造成旱涝。

1.1.3 Mann-Kendall 非参数检验方法(M-K 方法)

M-K 方法由国际气象组织(WMO)推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,其统计量 Z 为正值表示增加趋势,负值表示减少趋

势 Z 的绝对值大于等于 1.28, 1.64, 2.32 时表示分别通过了 90%, 95%, 99% 显著性检验^[11]。

1.2 资料选取与处理

本研究在选取资料时,考虑到河北省冬麦区气象站的建站时间不一致,资料年份起点不一,为了分析结果的可靠性,研究中所采用的资料均始于 1965 年,满足条件的有 48 个气象站,因此选取 1965-2007 年(43 年)48 个站点的逐日降水量(P)、平均气温(T)、最低气温(T_{\min})、最高气温(T_{\max})、相对湿度(RH)、日照时数(n)、风速(μ)等资料。

在数据处理方面,首先应用逐日数据,计算冬小麦全生育期各站逐年降水量、冬小麦需水量、水分亏缺量以及水分亏缺量变率;然后,统计各站 43 年降水量、冬小麦需水量、水分亏缺量的平均值,以及降水量、冬小麦需水量、水分亏缺量逐年区域平均值;最后,计算区域平均值时间序列的统计量 Z 。

2 结果与分析

2.1 水分亏缺量的空间分布

2.1.1 全生育期水分亏缺量的空间分布 河北省冬小麦全生育期水分亏缺 413 mm,由于受气象条件、地理环境的影响,存在明显的局地性差异。全生育期唐山、秦皇岛、廊坊北部、保定西部、石家庄西北部和东南部、邯郸南部麦区水分亏缺较小,为 320~380 mm;水分亏缺较大的地区位于廊坊南部、沧州大部、衡水西南部、邢台东部和邯郸中部,水分亏缺量为 421~448 mm;其他麦区水分亏缺量在 381~420 mm。水分亏缺量空间分布极为不均,最大值与最小值相差 127 mm(图 1-A)。

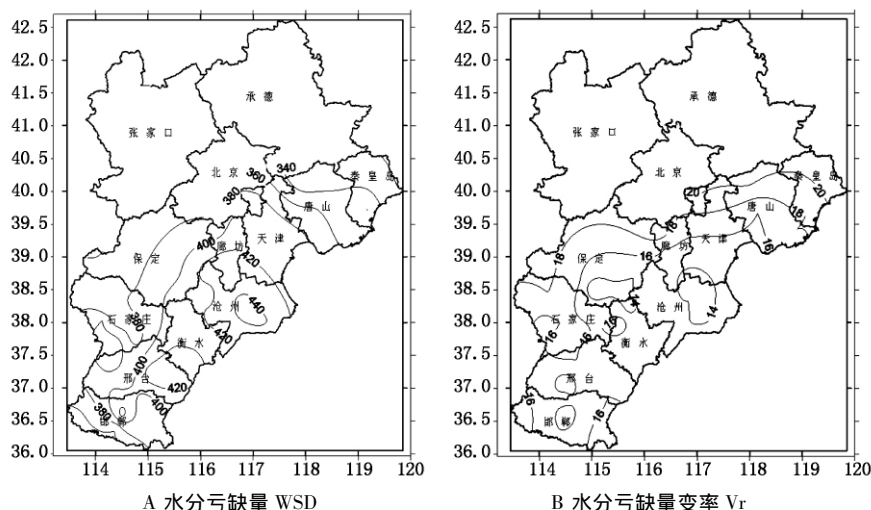


图 1 冬小麦全生育期水分亏缺量和变率分布图

Fig. 1 Distributed of WSD and Vr in the whole growth period of winter wheat

从图 1-B 的变率图可以看出,冬小麦全生育期水分亏缺量变率较小,各站变率在 12% ~ 21% 之间,变率在 20% 以上的站点主要位于秦皇岛东部、唐山北部和廊坊北部,其他站点均在 18% 以下,邢台最小为 12%。也就是说,河北省冬麦区水分亏缺量分布较为稳定,水分亏缺量较大地区一直处于稳定缺水的状态。

2.1.2 不同生育期水分亏缺量的空间分布 冬小麦生长前期水分亏缺 61 mm,占全生育期的 15%,盐山水分亏缺最大为 75 mm,遵化最小为 42 mm,其他大

部地区为 50 ~ 70 mm; 水分亏缺量变率较大,邢台南部、邯郸达 61% ~ 76%,其他地区为 30% ~ 60%。冬小麦生长中期水分亏缺 282 mm,占全生育期的 71%,各站点水分亏缺为 229 ~ 316 mm,秦皇岛最小为 229 mm,沧州最大为 316 mm,空间分布与全生育期水分亏缺量分布相似; 水分亏缺量变率较小,石家庄中南部、邢台、邯郸为 15% ~ 17%,其它地区为 11% ~ 14%。冬小麦生长后期水分亏缺 70 mm,占全生育期的 17%,唐山、秦皇岛、廊坊北部、邯郸西南部水分亏缺 31 ~ 59 mm,变率也较大为 58 ~ 100%; 其他

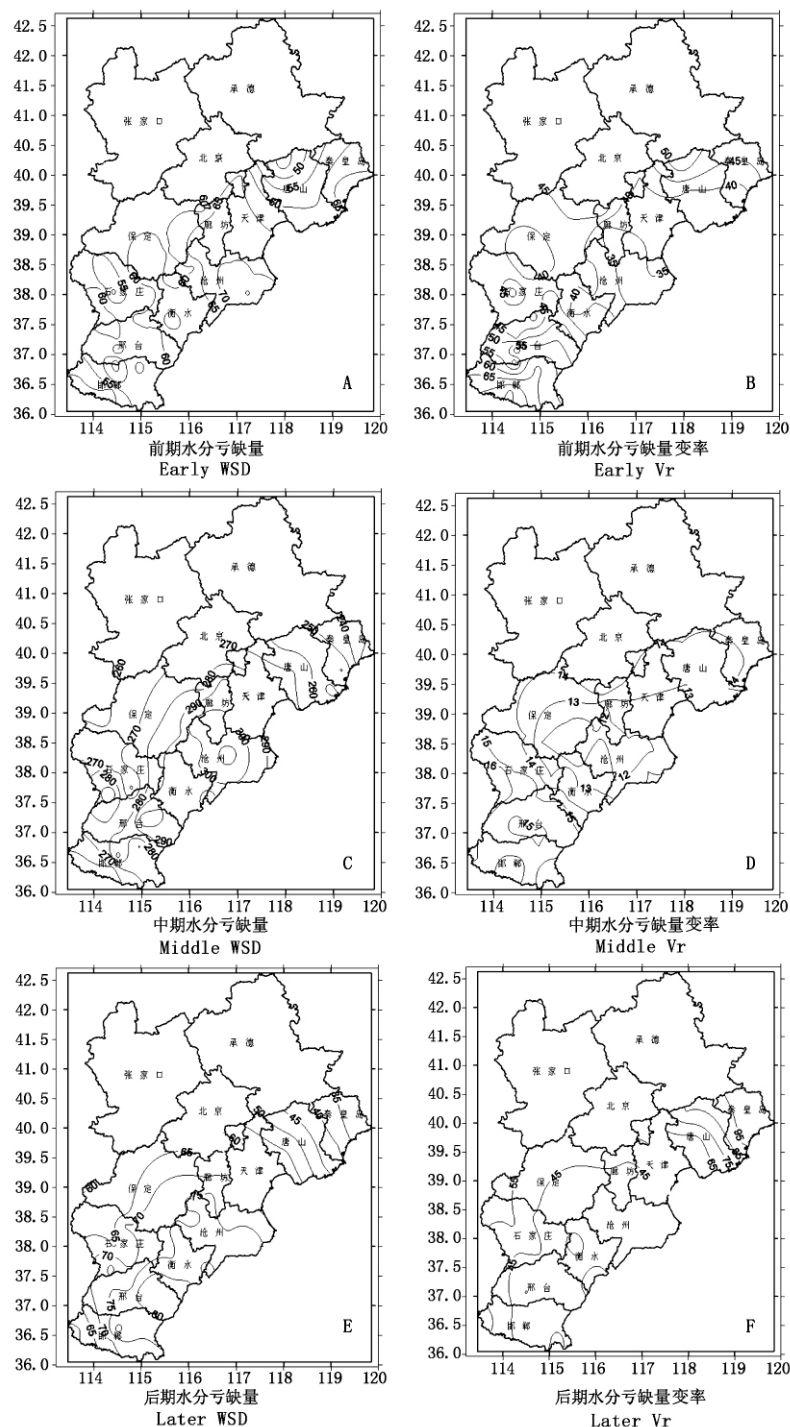


图 2 冬小麦各生育期水分亏缺量和变率分布图

Fig. 2 Distributed of WSD and Vr in the all growth period of winter wheat

大部地区水分亏缺 63 ~ 83 mm ,变率为 29% ~ 51% ,其中 ,水分亏缺在 80 mm 以上区域位于邢台东部和衡水南部(图 2) 。即冬小麦水分亏缺主要集中在生长中期 ,并且变率较小 ,这一时期是冬小麦的生长关键期 ,水分不足将影响产量的形成。

总之 ,冬小麦全生育期水分亏缺量变率较小 ,亏缺量最大的区域位于河北省东南部地区;各生育期以中期水分亏缺最为严重 ,且变率较小 ,生长前期和后期水分亏缺量较小 ,但变率较大;生育中期水分亏缺量较大的地区与全生育期分布相似。而水分亏缺量较大的地区正是我省灌溉条件较差的地区 ,因此这些地区水资源供需矛盾较大 ,建议该区域适当减少冬小麦播种面积 ,改种较耐旱的作物 ,从而缓解农业用水压力。

2.2 水分亏缺量的时间变化

表 1 冬小麦各生育期水分亏缺量、需水量及各气象要素 M-K 统计量 Z 值

Tab.1 The WSD ,ET_m and Z value in whole growth period of winter wheat

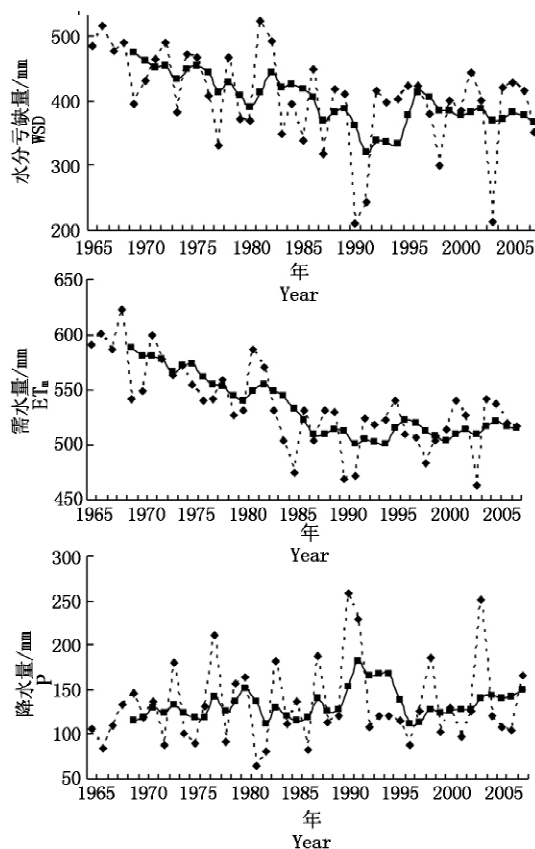
	亏缺量 WSD	需水量 ET _m	P	T _{max}	T _{min}	T	n	μ	RH
全期 Whole period	-2.64	-4.85	0.78	1.99	6.29	4.88	-5.35	-7.2	1.55
前期 Early period	-1.49	-4.09	-0.22	2.04	5.69	4.55	-4.85	-7.14	0.85
中期 Middle period	-1.34	-1.83	0.31	1.99	4.72	3.4	-1.57	-6.81	-0.66
后期 Later period	-2.85	-3.98	1.81	-1.6	3.74	0.0	-3.8	-6.56	2.68

由表 1 可见 ,冬小麦全生育期需水量 M-K 统计量 Z 值为 -4.85 ,需水量减少趋势明显(平均每 10 年下降 21.8 mm) ,通过了 99% 显著性检验;由图 3 可知 ,冬小麦需水量的变化特征与水分亏缺量相似 ,1965 - 1991 年呈下降趋势 ,1991 - 1996 年有一个弱的增加阶段 ,之后需水量呈波动变化趋势。冬小麦全生育期降水量 M-K 统计量 Z 值为 0.78 ,降水量呈增加趋势 ,但变化趋势不显著;时间变化曲线呈波动状态 ,并且振幅较小 ,大部分时段降水量位于 100 ~ 150 mm ,降水量最大值出现在 1990 年为 258.3 mm ,最小值出现在 1981 年为 64.4 mm ,分别对应 1990 年水分亏缺量的最小值(210.8 mm) 和 1981 年的最大值(521.8 mm) ,而与需水量最大值、最小值出现年份并不对应。由此可见 ,冬小麦全生育期水分亏缺量的变化趋势是由需水量的变化趋势所引起的 ,水分亏缺量与降水量关系密切 ,并且降水量最大值与水分亏缺量最小值呈对应关系。

2.2.2 各生育期水分亏缺量的时间变化 冬小麦生长前期、中期、后期水分亏缺量均为减少趋势 ,前期、中期通过了 90% 的显著性检验 ,后期则通过了 99% 的显著性检验;从时间变化曲线图上可以看出 ,前期、中期呈波动减少趋势 ,后期变化趋势与全生育期相似。所以 ,生长后期水分亏缺量的变化特征 ,决定了全生育的变化特征。

利用研究区域内不同生长期冬小麦水分亏缺量区域平均值的 5 年滑动平均时间序列 ,分析水分亏缺量的时间变化。

2.2.1 全生育期水分亏缺量的时间变化 冬小麦全生育期水分亏缺量 M-K 统计量 Z 值为 -2.64 (表 1) ,表明水分亏缺量随年际变化为减少趋势(平均每 10 年下降 24.8 mm) ,且通过了 99% 的显著性检验。从 5 年滑动平均曲线图上看(图 3) ,自 1965 - 1991 年水分亏缺量为明显减少趋势 ,1990 年达到最小值为 210.8 mm ,1991 - 1996 年为增加阶段 ,但仍处于较低水平 ,之后水分亏缺量处于相对稳定期。水分亏缺量呈下降趋势 ,将在一定程度上缓解农业用水压力 ,但水分亏缺量是需水量与降水量的差值 ,其变化趋势还取决于二者的变化。



实线为 5 年滑动平均值;虚线为逐年值。

Soil line was the average of 5 years; dotted line was the every year value.

图 3 冬小麦全生育期水分亏缺量、需水量、降水量时序变化曲线

Fig.3 Timing changes curve of WSD ,ET_m ,P

冬小麦生长前期、中期、后期需水量的变化趋势与水分亏缺量相似,均为减少趋势(表1),生长前期和后期减少趋势通过99%的显著性检验,生长中期通过95%的显著性检验。从时间变化曲线图上可以看出,生长前期需水量1965-1994年为明显下降阶段,之后呈波动下降,虽然与同期水分亏缺量相比年代际特征明显,但波动特征是一致的;中期需水量1965-1978年为相对稳定期,之后呈下降趋势,1994年以后为波动上升趋势,同样与中期水分亏缺量波动相似;而后期需水量与后期水分亏缺量的变化曲线相似,同样是1965-1991年呈下降趋势,1991-1996年有一个弱的增加阶段,之后需水量为波动减少趋势。

冬小麦生长前期、中期降水量的变化趋势不显著,后期为增加趋势,通过95%的显著性检验,其时间变化曲线与后期需水量、水分亏缺量呈反位相变化特征,即1965-1991年呈增加趋势,1991-1996

年为减少阶段,1996年减少到较低水平,之后呈波动增加趋势。

由此可见,各生育期水分亏缺量的变化特征也是由需水量的变化引起的,但由于降水量的影响作用,使水分亏缺量在生长后期变化趋势通过了99%的显著性检验,生长前、中期的显著性均小于同期需水量。

总之,冬小麦全生育期和各生育期,水分亏缺量的变化主要是由对应阶段需水量的变化引起的,并且水分亏缺量以生长后期减少最为明显。

2.3 冬小麦需水量与气象要素关系分析

由上述分析可知,冬小麦水分亏缺量的变化取决于需水量的变化,根据公式(2)计算的冬小麦需水量,主要反映了气象要素的影响,为了进一步说明需水量与气象要素之间的关系,对需水量与降水量、气温、日照时数、风速、相对湿度进行了相关分析(表2)。

表2 冬小麦各生育期需水量与气象要素相关系数

Tab. 2 The correlation coefficient of Pand ineteorological elements of winter wheat

	<i>P</i>	<i>T</i> _{max}	<i>T</i> _{min}	<i>T</i>	<i>n</i>	<i>μ</i>	<i>RH</i>
全生育期 Whole period	-0.55	0.20	-0.48	-0.19	0.79	0.76	-0.67
生长前期 Early period	-0.46	0.34	-0.40	-0.11	0.80	0.69	-0.70
生长中期 Middle period	-0.65	0.62	0.02	0.39	0.86	0.46	-0.82
生长后期 Later period	-0.66	0.81	0.01	0.63	0.42	0.79	-0.94

注: *n* = 43 *r*_{0.001} = 0.49。

由表2可以看出,全生育期需水量与降水量、最低气温、平均气温、相对湿度为负相关,与最高气温、日照时数、风速为正相关,日照时数、风速、相对湿度、降水量与需水量的相关性通过了0.001的显著水平,且影响顺序为日照时数 > 风速 > 相对湿度 > 降水量。生长前期、中期、后期各要素对需水量的影响顺序各不相同,生长前期影响需水量的主要因子日照时数、相对湿度和风速,中期为日照时数、相对湿度、降水量和最高气温,而后期则为相对湿度、最高气温、风速和降水量,这可能是冬小麦各生育期对气象要素的需求不同引起的。

为了进一步揭示不同生育期引起冬小麦需水量变化的原因,计算了各气象要素 M-K 统计量 *Z* 值(表1)。由表1可见,与全生育期需水量相关较好的日照时数、风速均为减小趋势,且通过99%的显著性检验,而相对湿度、降水量与需水量的相关系数虽然通过0.001的置信水平,但其变化趋势未通过99%的显著性检验,所以全生育期需水量减小的主要原因是日照时数和风速的减小。同样分析得出,生长前期需水量减少的原因也是日照时数和风速的减小,由于生长中期需水量减小趋势仅通过95%的

显著性检验,这里不再分析,生长后期需水量减少的主要原因是风速的减小和相对湿度的增大。

3 结论与讨论

全生育期水分亏缺量较大的地区位于廊坊南部、沧州大部、衡水西南部、邢台东部和邯郸中部,且变率较小,各站变率为12%~21%。

各生育期中以中期水分亏缺最为严重,且变率较小,生长前期和后期水分亏缺量较小,但变率较大;生育中期水分亏缺量较大的地区与全生育期分布相似。

全生育期水分亏缺量呈减少趋势,以1965-1991年减少最为明显,并且变化趋势是由需水量的变化趋势所引起的;水分亏缺量与降水量关系密切,降水量最大值与水分亏缺量最小值呈对应关系。

各生育期水分亏缺量均为减少趋势,其变化趋势也是由对应阶段需水量的变化引起的,并且以生长后期减少最为显著。

全生育期和生长前期需水量减小的主要原因是日照时数和风速的减小,生长后期需水量减少的主要原因是风速的减小和相对湿度的增大。

参考文献:

- [1] 北京农业大学《农业技术培训丛书》编写组. 小麦 [M]. 石家庄: 河北省科协普及工作部印, 1979: 40 - 50.
- [2] 刘学锋, 阮 心, 李元华. 河北省冷暖变化气候特征分析 [J]. 气象科学 2005 25(6): 638 - 644.
- [3] 刘学锋, 赵黎明, 王 颖. 京津冀区域春夏季降水的气候变化 [J]. 地理学与国土研究 2002 18(1): 72 - 76.
- [4] 刘学锋, 于长文, 任国玉. 河北省近 40 年蒸发皿蒸发量变化特征及影响因素初探 [J]. 干旱区地理 2007, 30(4): 507 - 512.
- [5] 安月改, 李元华. 河北省近 50 年蒸发量气候变化特征 [J]. 干旱区资源与环境 2005 19(4): 159 - 162.
- [6] 李元华, 车少静. 河北省温度和降水变化对农业的影响 [J]. 中国农业气象 2005 26(4): 224 - 228.
- [7] 赵少华, 杨永辉, 邱国玉, 等. 河北平原 34 年来气候变化趋势分析 [J]. 资源科学 2007 29(4): 109 - 113.
- [8] 刘晓英, 李玉中, 郝卫平. 华北主要作物需水量近 50 年变化趋势及原因 [J]. 农业工程学报 2005 21(10): 155 - 159.
- [9] 韩淑敏, 程一松, 胡春胜. 太行山山前平原作物系数与降水年型关系探讨 [J]. 干旱地区农业研究 2005 23(5): 152 - 158.
- [10] 段永红, 陶 澍, 李本纲. 北京市参考作物蒸散量的时空分布特征 [J]. 中国农业气象 2004 25(2): 22 - 25.
- [11] 秦年秀, 姜 彤, 许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析 [J]. 长江流域资源与环境 2005 14(5): 589 - 594.