

河北省近 35 年农作物需水量变化趋势分析*

李春强¹ 李保国² 洪克勤^{1,2}

(1.河北省气象与生态环境重点实验室 河北省气象科学研究所 石家庄 050021;

2.中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

摘要 根据联合国粮农组织(FAO)推荐的参考作物蒸散计算方法和相关作物系数,利用河北省 84 个地面气象站的资料,计算了河北省主要作物冬小麦和玉米近 35 年(1965~1999 年)的需水量和缺水量,并分析了其变化趋势。结果表明:河北省主要作物冬小麦和玉米的需水量在近 35 年呈减少趋势,每 10 年下降量冬小麦全省平均 26 mm,其中中南部地区 28 mm,东部地区 15mm;夏玉米全省平均 9.7 mm,其中南部地区 9.4 mm,中部地区 10.2 mm;春玉米全省平均 9.9 mm,其中东部地区 8.8 mm,北部地区 10.5 mm。全省和各区域作物需水量变化均通过 0.05 信度的显著性检验。不同作物缺水不同,其中冬小麦最多,全省平均 345 mm,夏玉米 20 mm,春玉米 29 mm;虽然不同作物均表现出缺水增加的趋势,但不显著。

关键词 作物需水量 作物缺水量 蒸散 冬小麦 玉米 河北省

中图分类号: S16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2009)02-0359-05

Trend of crop water requirement in recent 35 years in Hebei Province

LI Chun-Qiang¹, LI Bao-Guo², HONG Ke-Qin^{1,2}

(1. Hebei Provincial Key Lab for Meteorology and Eco-Environment, Hebei Provincial Institute of Meteorological Science, Shijiazhuang 050021, China; 2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Long term changes of crop water requirement (CWR) and reference evapotranspiration have a significant effect on agricultural production and water resources management. Based on historical meteorological data, reference evapotranspiration (ET_o), crop water requirement (derived by multiplying ET_o by crop coefficient) and crop water deficit (the difference between crop water requirement and rainfall) were calculated using modified FAO Penman-Monteith equation. The change trend was then analyzed for winter wheat and maize in Hebei Province for the period 1965 ~ 1999. Results show a significant decrease in reference evapotranspiration and crop water requirement. Decrease in CWR is 26 mm per decade for winter wheat and 9.7 mm and 9.9 mm for summer and spring corn respectively. There are differences in water deficit among different crops but the average increase in water deficit is insignificant, which is respectively 345 mm, 20 mm and 29 mm per year for winter wheat, summer corn and spring corn.

Key words Crop water requirement, Crop water deficit, Evapotranspiration, Winter wheat, Maize, Hebei Province

(Received March 23, 2008; accepted Aug. 29, 2008)

河北省是我国主要粮食产区,但随着社会经济的不断发展和气候环境变化,水资源已不能满足工农业生产和人类生活的需求,并且河北的水资源利用与华北平原和北京、天津密切相关。目前,在河北省的水资源利用中,农业灌溉用水已占到河北省总用水量的 70% 以上,如何充分利用自然降水,提高农业水资源利用效率成为人们关注水资源的一个重要方面。

据有关研究,作物需水量与环境条件关系密切,特别是气候条件,并随气候变化而变化。刘晓英等^[1,2]利用 6 个城市站分析了华北平原冬小麦和夏玉米近 50 年作物需水量的变化趋势和原因,以及未来气候变化对该地作物需水量的影响。严昌荣等^[3]利用定位观测资料和历史气象资料,分析了我国北方旱农地区农田水分的动态变化特征。刘宏谊等^[4]分析了甘肃省主要农作物需水量的变化特征,认为作

* 河北省节水农业重点实验室开放基金项目(0508021-HBKLA-01),河北省科技厅河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(08966711D),科技部农业科技成果转化项目(05EFN217400414, 2006GB24160428)资助

李春强(1964-),男,理学硕士,高级工程师,主要从事农业气象和气象灾害研究。E-mail:chunql@sohu.com

收稿日期:2008-03-23 接受日期:2008-08-29

物需水量在近 40 年(1960~2000)呈下降趋势。马鹏里等^[5]分析了甘肃省夏秋主要粮食作物的需水量随时间和空间的变化特点及对气候变化的响应。孙宏勇等^[6,7]应用单点资料,分析了河北省太行山前平原和三河市的气候变化及对农业生产的影响。李新波等^[8]利用不同方法计算了太行山山前平原区小麦和玉米的蒸散量和灌溉量,以及不同年型的作物需水量,表明 Penman-Monteith 公式的计算结果比较合理。

目前针对河北省范围的农作物水分需求变化尚未进行详细研究。为更好地了解河北省农作物需水量变化与气候的相互关系,提高自然降水利用率,合理利用水资源,本文根据河北省 84 个地面气象站的数据,应用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 参考蒸散计算方程,通过分析农作物需水量时空变化及其与气候变化的关系,研究了河北省农作物水分供需变化趋势,为充分利用自然降水、合理开采地下水和提高农业生产用水效率提供参考。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

研究区域河北省地处中纬度欧亚大陆东岸,属温带半湿润半干旱大陆性季风气候。全省近 30 年(1971~2000 年)年均气温 1.7~14.2℃,年降水量 340~740 mm,降水量的 60% 以上集中于炎热的夏季,且年际间变率大,地区间分布不均,导致旱涝频发,其中干旱是河北省发生最频繁、影响最大的气象灾害。冬小麦和玉米是河北省主要粮食作物,玉米全省均有种植,廊坊及以南地区以夏玉米为主,其他地区以春玉米为主;冬小麦主要种植在长城以南地区,即张家口和承德以外地区。

1.2 数据来源

研究所用气象资料和农业气象资料来自河北省气象局。其中,气象资料选取 84 个地面气象站,其分布见图 1。气象资料包括气温(最高、最低)、降水、日照、相对湿度和风速等。农业气象资料取自河北省农业气象观测站,包括作物各发育期多年出现时间。

根据河北省农作物种植地理特征,选择冬小麦和玉米两种主要作物为研究对象,其中河北省北部地区张家口、承德和东部地区唐山和秦皇岛为春玉米,其他地区为夏玉米。冬小麦种植地区为张家口和承德之外的其他地区。根据河北省农业气象观测

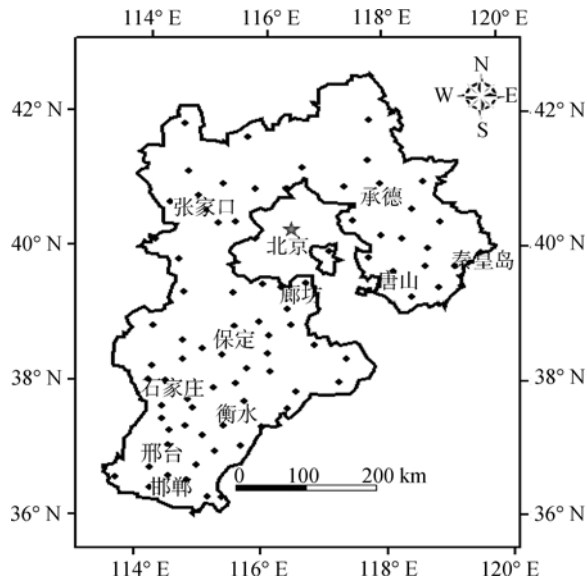


图 1 气象站点分布

Fig.1 Map of selected weather stations distribution in Hebei Province

站 1980 年以来的冬小麦和玉米生长状况与发育期观测资料,确定各地冬小麦和春、夏玉米主要发育期的出现时间。作物需水量参考我国 20 世纪后期的有关研究结果^[9],并与本文的计算结果进行比较。

1.3 计算方法

目前,作物需水量大多是利用作物系数和参考作物蒸散量来确定。参考作物蒸散量是指高度一致、生长旺盛、土壤水分充足和完全覆盖地面的绿色植被的蒸散量。Penman-Monteith 公式被联合国粮农组织(FAO)推荐为计算参考作物蒸散量的标准方法。因此,作物需水量可根据参考作物蒸散量计算得到:

$$ET_m = K_c * ET_0 \quad (1)$$

式中, ET_m 为作物需水量, K_c 为作物系数, ET_0 为参考作物蒸散量。作物系数与作物生育阶段有关,作物生育期划分为 4 个阶段:作物幼苗期需水量较小,随着作物进入发育期,需水量开始迅速增加,到中期,达到最大值,到作物成熟收获期,需水量则下降。不同作物在不同发育阶段的作物系数不同,本研究采用文献[10]的结果,详见表 1。

2 结果与分析

2.1 河北省冬小麦需水量变化趋势

根据试验研究^[8,9],我国北方冬小麦全生育期需水量为 450~525 mm。采用上述方法,计算河北省

表 1 不同生育期的作物系数 K_c
Tab.1 Crop coefficients in different growth periods

作物 Crop	初始期 Initial period	发育中期 Medium period	末期 End period	作物最大高度 Crop max. height (m)
冬小麦 Winter wheat	0.3	1.15	0.25	1.0
玉米 Maize	0.3	1.15	0.60	2.2

冬小麦种植区各站点近 34 年的参考作物蒸散量和需水量，结果表明：河北省多年(1966~1999 年)冬小麦平均需水量 495 mm，与前人研究基本一致。其中，最大值 580 mm，出现在 1968 年，最小值 430 mm，出现在 1990 年。从 20 世纪 60 年代到 90 年代，冬小麦需水量呈下降趋势，每 10 年平均下降 26 mm。冬小麦缺水率全省多年平均为 345 mm，最大值 503 mm，出现在 1968 年，最小值 226 mm，出现在 1991 年。60 年代以来，缺水率呈上升趋势，平均每 10 年增加 30 mm，但未达显著水平(图 2 c)。

东部地区(唐山、秦皇岛和廊坊北部)冬小麦多年平均需水量为 470 mm，最大值为 548 mm，出现在 1968 年，最小值为 420 mm，出现在 1987 年。从

60 年代到 90 年代冬小麦需水量呈减少趋势，每 10 年平均下降 15 mm(见图 2a)。冬小麦缺水率多年平均为 253 mm，缺水率以 60 年代最大，70 年代和 80 年代出现减少的趋势，但到 90 年代有所增加，主要是由于 90 年代自然降水减少之故。缺水率总体变化趋势虽然增加，但并不显著。

中南部地区(廊坊中南部、保定、沧州、衡水、石家庄、邢台和邯郸)冬小麦多年平均需水量为 501 mm，最大值为 588 mm，出现在 1968 年，最小值为 430 mm，出现在 1990 年。从 60 年代到 90 年代冬小麦需水量呈明显下降趋势，每 10 年减少 28 mm(见表 2 和图 2 b)。中南部地区冬小麦缺水率多年平均为 366 mm，缺水率从 60 年代到 90 年代出现增加趋势，平均每 10 年增加 34 mm。

冬小麦全省以及东部和中南部的需水变化趋势方程的回归系数均通过 0.05 信度检验，表明减少变化趋势显著。

2.2 河北省夏玉米需水量变化趋势

根据上述方法计算，河北省中南部地区夏玉米在近 35 年的平均需水量为 416 mm，文献[9]认为：我国北方地区夏玉米需水量为 360~450 mm，本研究结果与前人结论基本一致。其中，最大值 488 mm，出现在 1965 年，最小值 373 mm，出现在 1996 年。夏玉米需水量在近 35 年均呈下降趋势，夏玉米种植区 52 个站平均每 10 年减少 9.7 mm。其中，南部的石家庄、衡水、邢台和邯郸 4 地每 10 年分别下降 7.5 mm、10.8 mm、9.7 mm 和 9.9 mm，平均 9.4 mm；中部的保定、沧州和廊坊每 10 年分别减少 8.6 mm、10.1 mm 和 13.0 mm，平均 10.2 mm。全省 35 年平均缺水率 20 mm，其变化虽有增加趋势，但不显著。

所有夏玉米需水量随时间减少的回归方程相关系数均通过信度为 0.05 的显著性检验，仅石家庄市除外(见表 3 和图 3)。

2.3 河北省春玉米需水量变化趋势

河北省春玉米主要分布在北部(张家口和承德)和东部地区(唐山、秦皇岛)。采用上述方法计算，河北省春玉米近 35 年的平均需水量为 507 mm，与文献[9]的春玉米需水量 435~600 mm(平均 517.5 mm)基本相似。其中，最大需水量为 578 mm，出现在

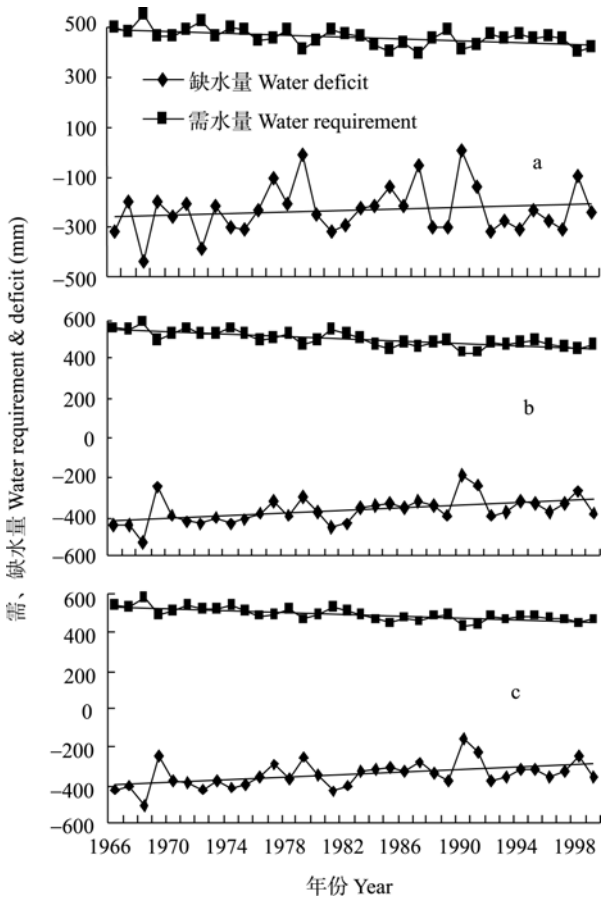


图 2 河北省东部地区(a)、中南部地区(b)及全省(c)冬小麦需水量与缺水率变化趋势(1966~1999 年)

Fig. 2 Change trends of winter wheat water requirement and deficit in east region(a), middle & south region(b) and the whole Hebei Province(c) from 1966 to 1999

表 2 河北省冬小麦需水量变化趋势
Tab. 2 Change trend of winter wheat water requirement in Hebei Province

地区 Region	变化趋势回归方程 Change regression equation	决定系数 Determination coefficient	相关系数 Correlation coefficient
河北省 Hebei Province	$y = -2.584 3x + 540.13$	$R^2 = 0.555 4$	0.745
东部 East of Hebei	$y = -1.499 4x + 496.49$	$R^2 = 0.303 7$	0.551
中南部 Middle and south of Hebei	$y = -2.839 6x + 550.39$	$R^2 = 0.581 2$	0.762

回归方程中的 X 表示时间序列，从 1 开始，代表 1966。X represents time series in regression equation, and start at 1966 as 1.

表 3 河北省夏玉米需水量变化趋势

Tab. 3 Change trend of summer corn water requirement in Hebei Province

地区 Region	变化趋势回归方程 Change regression equation	决定系数 Determination coefficient	相关系数 Correlation coefficient
河北省 Hebei Province	$y = -0.972 9x + 433.85$	$R^2 = 0.157 3$	0.397
中部 Middle of Hebei	$y = -1.015 9x + 428.96$	$R^2 = 0.169 0$	0.411
南部 South of Hebei	$y = -0.941 4x + 437.43$	$R^2 = 0.139 3$	0.373

回归方程中的 X 表示时间序列, 从 1 开始, 代表 1965。X represents time series in regression equation, and start at 1965 as 1.

表 4 河北省春玉米需水量变化趋势

Tab. 4 Change trend of spring corn water requirement in Hebei Province

地区 Region	变化趋势回归方程 Change regression equation	决定系数 Determination coefficient	相关系数 Correlation coefficient
河北省 Hebei Province	$y = -0.996 5x + 525.11$	$R^2 = 0.190 4$	0.436
东部 East of Hebei	$y = -0.887 9x + 501.28$	$R^2 = 0.117 7$	0.343
北部 North of Hebei	$y = -1.053 4x + 537.59$	$R^2 = 0.220 4$	0.469

回归方程中的 X 表示时间序列, 从 1 开始, 代表 1965。X represents time series in regression equation, and start at 1965 as 1.

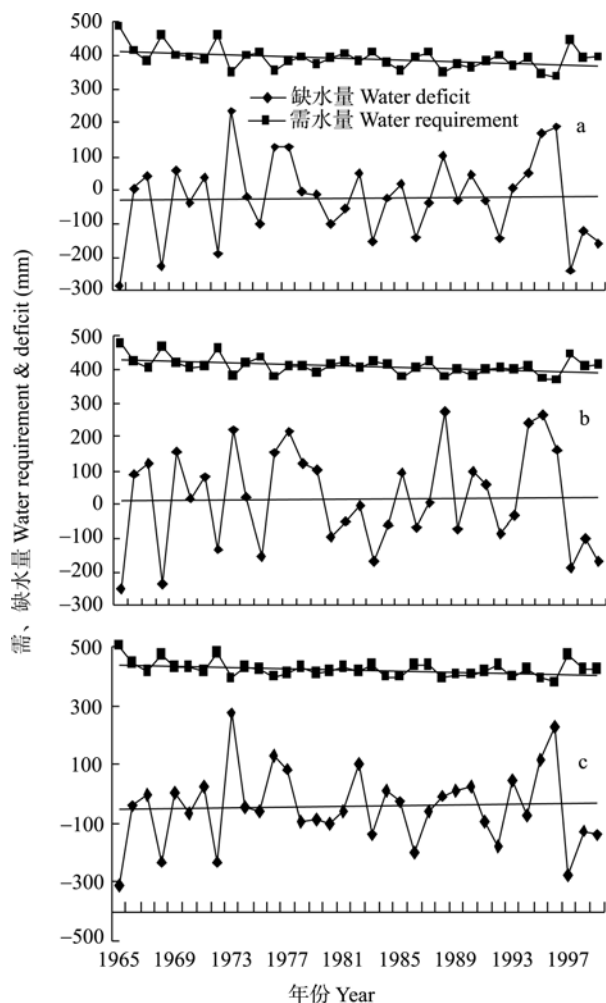


图 3 河北省(a)、河北中部地区(b)和南部地区(c)夏玉米需水量与缺水变化趋势(1965~1999年)

Fig. 3 Change trends of summer corn water requirement and deficit in Hebei Province(a), middle region(b) and south region(c) of Hebei from 1965 to 1999

1972年, 最小需水量为 475 mm, 分别出现在 1976年和 1995年。多年需水量呈减少趋势, 平均每 10年减少 9.9 mm。东部地区春玉米一般生长在 5~9月

份, 由于该地区降水较多, 多数年份自然降水可满足春玉米的生长需求。近 35年平均需水量为 485 mm, 而自然降水平均为 593 mm。其中, 最大需水量为 557 mm, 出现在干旱的 1972年, 最小需水量为 439 mm, 出现在 1985年。春玉米需水量随时间变化整体上呈下降趋势, 平均每 10年下降 8.8 mm。北部地区近 35年平均需水量为 519 mm, 其中最大需水量为 589 mm, 出现在 1972年, 最小需水量为 477 mm, 出现在 1996年。需水量随时间呈减少趋势, 平均每 10年减少 10.5 mm。表 4为河北省及东部和北部地区春玉米需水量随时间变化趋势方程, 均通过信度为 0.05的显著性检验(见表 4和图 4)。春玉米缺水多年平均为 29 mm, 整体上变化趋势不明显, 东部略有下降, 北部略有增加, 但均未通过显著性检验。

3 结论与讨论

整体上, 河北省主要作物(冬小麦和玉米)的需水量在近 35年呈减少趋势, 每 10年下降量冬小麦全省平均 26 mm, 其中中南部地区 28 mm, 东部地区 15 mm; 夏玉米全省平均 9.7 mm, 其中南部 9.4 mm, 中部 10.2 mm; 春玉米全省平均 9.9 mm, 其中东部 8.8 mm, 北部 10.5 mm。各区域变化均通过 0.05信度的显著性检验。需水量极大值出现年份一般与降水极值年份对应, 如最大值出现在 1965年、1968年和 1972年, 但最小值出现年份则不同。因此, 干旱年份需水量一般较多, 湿润年份则较小。河北省主要作物的缺水受自然降水变化影响, 虽然随年代变化有增加倾向, 但均未通过显著性检验。

全面认识气候变化对农业水分供需变化的影响非常重要。在当今全球气温增高的背景下, 水分变化如降水、蒸发等仍具有不确定性。作物需

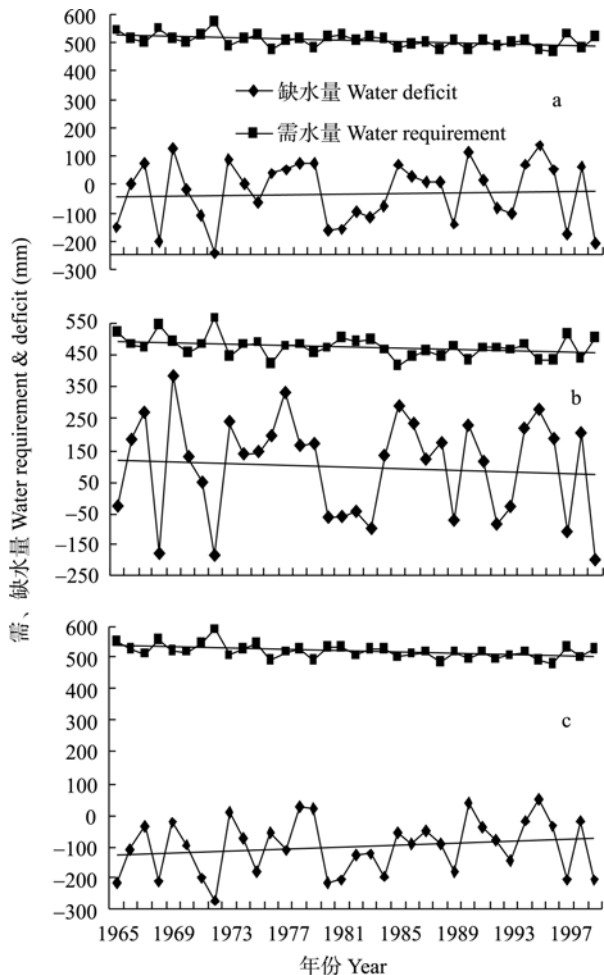


图 4 河北省(a)、河北东部地区(b)和北部地区(c)春玉米需水量与缺水变化趋势(1965~1999年)

Fig. 4 Change trends of spring corn water requirement and deficit in Hebei Province(a), east region (b) and north region (c) of Hebei from 1965 to 1999

水量的下降趋势即作物参考蒸散的减少趋势反映了气候变化的影响。研究表明: 全球大部分地区蒸发皿蒸发量和潜在蒸散(作物参考蒸散)呈减少趋势^[11-14]。河北省大部分地区的气温在 20 世纪 80 年代后期以来呈明显的升高趋势^[15], 但作物需水量并未因此而增加。其原因是气温变化的同时, 其他气象要素如太阳辐射、降水、风速、相对湿度等也发生变化, 影响水分变化的因素是多方面的, 且不同

地区、不同季节各气象因子的影响作用大小不同。当前干旱发生的原因亦是多方面的, 既有自然降水减少、水资源短缺的原因, 还与工业、农业发展和人类社会生活对水分需求显著增加有关。

参考文献

- [1] 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
- [2] 刘晓英, 林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响[J]. 水利学报, 2004 (2): 77-83
- [3] 严昌荣, 居辉, 彭世琪, 等. 中国北方旱农地区水分动态变化特征[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 11-14
- [4] 刘宏谊, 马鹏里, 杨兴国, 等. 甘肃省主要农作物需水量时空变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 39-44
- [5] 马鹏里, 杨兴国, 陈端生, 等. 农作物需水量随气候变化的响应研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 348-353
- [6] 孙宏勇, 胡春胜, 张喜英, 等. 三河市 40 年来温度和降水变化及对农业生产的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 173-176
- [7] 孙宏勇, 刘昌明, 王振华, 等. 太行山前平原近 40 年降水的变化趋势及其对作物生产的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 18-21
- [8] 李新波, 孙宏勇, 张喜英, 等. 太行山山前平原区蒸散量和作物灌溉需水量的分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 26-30
- [9] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 168-169
- [10] Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements[M]. FAO Irrigation & Drainage Papers 56, FAO, 1998
- [11] Chattopadhyay N., Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. Agri. Fore. Meteo., 1997, 87: 55-73
- [12] Peterson T. C., Golubev V. S., Groisman P. Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature, 1995, 377: 687-688
- [13] Roderick M. L., Farquhar G. D. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002[J]. Int. J. Climatol., 2004, 24: 1077-1090
- [14] 高歌, 陈德亮, 任国玉, 等. 1956—2000 年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 378-387
- [15] 刘学锋, 阮新, 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