

泾惠渠灌区地下水位动态与 灌溉农业的关系

王建莹¹, 张盼盼¹, 刘 燕²

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学水与发展研究院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 基于大量实测资料, 运用相关关系分析近 50 年来灌区地下水位动态和农业种植结构变化的关系等, 研究地下水位对灌溉农业和气候条件变化的响应。研究表明: 泾惠渠灌区实际灌溉面积从 1958—1982 年约 8.2 万 hm² 减少到 1983—2000 年约 4.87 万 hm², 同时粮食作物种植比例逐渐从 70% 上升到 95%, 近 20 年来, 蔬菜种植面积不断增加, 当前已经达到作物种植面积的 25% 左右; 1983 年之前, 随作物种植面积的增加地下水位变化不大, 1983 年之后灌区蔬菜播种面积剧增, 蔬菜种植面积每增加 1 万 hm², 地下水位降幅为 3.5 m; 同时地下水位下降还受蒸发强度、工业用水等因素的影响。

关键词: 泾惠渠灌区; 地下水位; 农业种植结构

中图分类号: P641.8 **文献标志码:** A

Relationship between groundwater level and irrigated agriculture in Jinghuiqu irrigation area of China

WANG Jian-ying¹, ZHANG Pan-pan¹, LIU Yan²

(1. Chang'an University School of Environmental Science and Engineering, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Research Institute of Water and Development Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Based on actual measurements and meteorological data, by the basic theory of correlation analysis, the paper researched relationship between groundwater dynamic regime and the change of agriculture planting structure and the response of groundwater tables to irrigation farming and climate change in more than 50 years. Jinghuiqu Irrigation design irrigated area decreased from about 82 000 hm² in 1958 to 1982 to about 48 700 hm² in 1983 to 2000, while the proportion of food crops gradually increased from 70 percent to 95 percent, in the past 20 years, vegetable cultivated area are increasing, and has reached about 25% of the crop area currently; prior to 1983, groundwater level changed little with increased, after 1983 vegetable cultivated area had a drastic increase and a 3.5 m decrease in groundwater level for every 10 000 hm² increase in the crop cultivated area. At the same time water-table declines also affected by evaporation intensity, industrial water and other factors.

Keywords: Jinghuiqu irrigation area; groundwater level; agriculture planting structure

当前, 水资源短缺已经成为全球性问题, 我国特别是西北干旱半干旱地区灌区的水资源短缺问题更为突出^[1]。灌区属半湿润易旱气候区, 降水较少, 蒸发强烈, 地表径流匮乏, 维持地下水资源的良性循环对国民经济和生态可持续发展有着极其重要的意义^[2]。

灌区是水资源系统和农业作物系统等子系统相互耦合的复杂的水文生态系统, 不合理的开发利用水资源对区域水文生态系统产生严重影响。近年来, 随着农业种植结构的调整, 农业灌溉和水资源的不合理利用^[3-4], 泾惠渠灌区地下水超采严重, 地下水位急剧下降, 严重影响灌区的水资源良性循环, 持

收稿日期: 2015-01-31
基金项目: 教育部 国家外专局高等学校学科创新引智计划(111)项目(B08039); 干旱半干旱地区多种农业水资源合理配置及有效利用战略研究(201407x2002); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2011JQ5013); 中央高校基金(CHD2011JC046); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(00092014G1291076)
作者简介: 王建莹(1986—), 男, 山东单县人, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: jianying20053096@163.com。

续威胁灌区的生产生活用水和社会经济发展,节水与养水成为干旱半干旱地区的灌区可持续发展的必由之路^[5]。沈去凡^[6]等研究认为地下水位下降引起灌溉成本增加,促使农民种植收益更高、风险更大的经济作物,增加了农村经济的风险,同时给粮食安全带来隐患;牛松涛^[7]等研究表明区域地下水动态与农业发展密切相关,水位与农业灌溉需水量变化趋势相反;张光辉等^[8]研究表明,粮食和蔬菜种植面积与地下水位密切相关。针对泾惠渠灌区,贺屹^[9]提出泾惠渠灌区地下水已处在严重的负均衡状态;刘燕^[10]认为,灌区渠井灌溉比例失调导致地下水位持续下降。

已有研究多是从灌区地表、地下水资源的利用量进行分析,对农业结构变化分析较少,特别是灌溉农业和地下水的长期影响与响应机制研究较少。利用长系列资料分析探讨农业种植结构对地下水位动态的影响机制,对于认识农业用水规律和促进灌区可持续发展具有重要意义^[11-12]。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

泾惠渠是继郑国渠及历代引泾河灌溉工程之后,由我国近代著名水利学家李仪祉先生主持修建的现代化大型灌溉工程。泾惠渠灌区是关中乃至西北地区的重要灌区之一^[13]。多年来灌区年均粮食产量近 80 万 t,是陕西省粮食主产区之一,占陕西省粮食总产量的 6.5% 左右;2012 年灌区蔬菜种植面积达 4.67 万 hm²,是咸阳、西安两市农副产品的的主要供给地。

泾惠渠灌区北依仲山和黄土台原,西、南、东三面有泾河、渭河、石川河环绕,清峪河自西向东穿过,灌区总面积约为 1 180 km²,有效灌溉面积约 900 km²。灌区属半湿润易旱气候区,区内多年平均降雨量约 545 mm,蒸发量约 1 210 mm。灌区主要从泾河引水灌溉,近年来泾河年径流量不断减少,从 1954—1990 年的 18.46 亿 m³ 减少到 1991—2006 年的 12.05 亿 m³,减少 35% 左右。灌区浅层地下水资源较为丰富,是地下水开采利用的主要对象,降雨和灌溉是影响灌区浅层地下水补给的主要因素,约占总补给量的 85%,其中灌溉入渗占 52.6%,降雨入渗占 32.4%^[4],因此渠灌面积和地下水开采量是影响地下水动态的关键。

泾惠渠建成之后,由于大水漫灌,造成地下水位严重上升,引发了大面积次生盐渍化。图 1 为灌区

地下水埋深小于 3 m 的地区占灌区面积比例,20 世纪 50 年代中期,灌区地下水埋深小于 3 m 的地区占灌区的 20% 左右,到 1963 年达到了近 70%,盐渍化十分严重。为了解决这一问题,从 1964 年开始灌区普遍发展打井,井渠双灌,治理次生盐渍化^[1],到 1971 年前后,灌区地下水埋深小于 3 m 的地区调节回到 20% 左右,其中埋深小于 2 m 的地区仅占 2% 左右。到 20 世纪 80 年代中期,灌区地下水埋深小于 3 m 的地区再次扩大,1984 年达到灌区的近 50%,此后所占比例开始下降。灌区井渠灌溉面积比例基本可以分为三个阶段,1958—1965 年井渠比不足 0.1,1966—1972 年井渠比为 0.27,1973—1982 年为 0.71,井渠灌溉比例基本维持在允许水平^[15],之后由于渠灌面积减少井灌面积增加,灌区井渠灌溉比例逐渐失调,2000—2012 年井渠灌溉比例约为 1.5,地下水严重超采,地下水位连年下降。

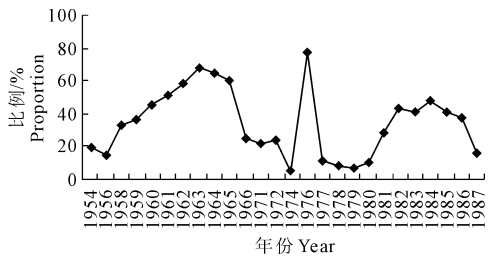


图 1 地下水埋深小于 3 m 的地区占灌区比例
Fig.1 Area of groundwater with buried depth less than 3 m

图 2 为泾惠渠灌区地下水水平平均埋深变化特征,1985 年以前,灌区地下水水平平均埋深在 4 m 左右,此后埋深逐渐增加,到 1990 年为 7 m,1995 年为 11 m,2012 年达到近 15 m,2012 年比 1985 年下降了约 11 m。其中 1985—1995 年间是灌区地下水位下降最剧烈的时期,平均每年下降 0.7 m。

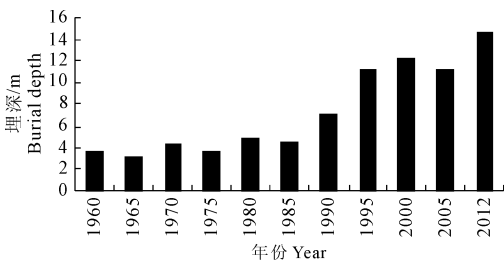


图 2 灌区地下水埋深变化
Fig.2 Variations of groundwater depth

1.2 数据来源

数据主要来源于长安大学水与发展研究院积累的多年实测资料及泾惠渠志、陕西省统计年鉴和陕西省志,部分近期资料来源于合作单位泾惠渠管理

局。

2 作物种植结构变化特征

与灌区地下水位下降同时变化的是灌区的渠灌面积和农业种植结构。新中国成立以来泾惠渠灌区渠灌面积可以分为三个阶段:第一阶段是 1950—1957 年,实际灌溉面积平均约 4 万 hm^2 ;第二阶段是 1958—1982 年,实际灌溉面积平均约 8.2 万 hm^2 ;第三阶段是 1983—2000 年,实际灌溉面积平均约 4.87 万 hm^2 。图 3 为泾惠渠灌区渠灌面积的变化情况,可以明显看出灌区渠灌面积变化的三个阶段。

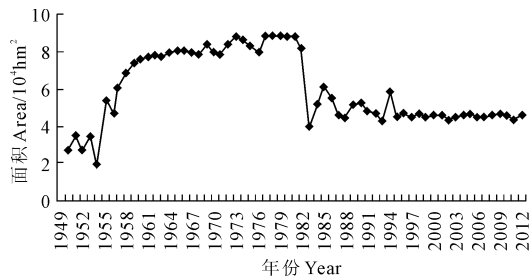


图 3 灌区历年渠灌面积变化

Fig.3 Variation features of irrigation area

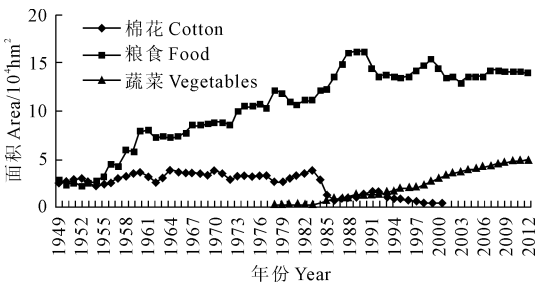


图 4 灌区不同作物种植面积变化

Fig.4 Different crops planting areas

灌区的农业种植结构变化大致也经历了三个阶段(图 4):解放初期灌区棉花种植面积较大,约占总面积的 50%;20 世纪 80 年代后,小麦和玉米种植比例逐渐从 70% 上升到 95%,灌区种植结构过渡到以小麦、玉米等粮食作物为主;近年来种植结构又调整为以蔬菜和粮食作物为主。表 1 为泾惠渠灌区作物种植面积统计情况。

由表 1 可以看出,棉花种植面积先增加后减少,在 1961—1970 年达到最大,种植面积年均 3.26 万 hm^2 ,之后逐年减少,到 1991—2000 年只有 0.82 万 hm^2 ,减少 75%,2001 年之后,棉花种植面积不足灌区面积的 5%,不统计在内。粮食作物在灌区农业结构中占重要地位,灌溉初期有近 3.33 万 hm^2 ,20 世纪 80 年代后至今逐渐稳定在 13.33 万 hm^2 左右。

蔬菜种植面积在 20 世纪 70 年代中期开始发展,到 1981—1990 年发展到近 0.67 万 hm^2 ,1991—2000 年平均达到近 2 万 hm^2 ,2001—2012 年均超过 4 万 hm^2 ,基本代替了灌区建设初期棉花在灌区的种植地位,并且随着城镇化和生活水平的提高有继续增加的趋势。

表 1 泾惠渠灌区作物种植面积/ 10^4hm^2
Table 1 Crop planting areas in Jinghuiqu irrigation area

年份 Years	棉花 Cotton	粮食 Food	蔬菜 Vegetable
1934—1950	2.03	3.18	
1951—1960	2.76	4.02	
1961—1970	3.26	7.76	
1971—1980	2.98	10.19	0.15
1981—1990	1.86	13.11	0.64
1991—2000	0.82	13.79	1.88
2001—2012		13.48	4.08

3 地下水位与作物种植动态关系

随着农业种植结构的调整,农业用水对水质和水量的要求也在改变。1983 年之前农业作物以棉花和粮食为主,主要以地表水灌溉为主,随着作物种植面积的增加,渠灌面积也不断增大,地表水灌溉量持续增加;1983 年之后则更多地利用地下水灌溉。

图 5 为 1983 年之前作物种植面积与实际渠灌面积关系。可以看出,实际渠灌面积随着作物种植面积的增加而增加,两者呈正比关系。具体统计关系见公式(1):

$$F_c = 1.4417 F_i + 1.5397, R^2 = 0.858 \tag{1}$$

其中, F_c 为作物种植面积(10^4hm^2); F_i 为实际渠灌面积(10^4hm^2)。

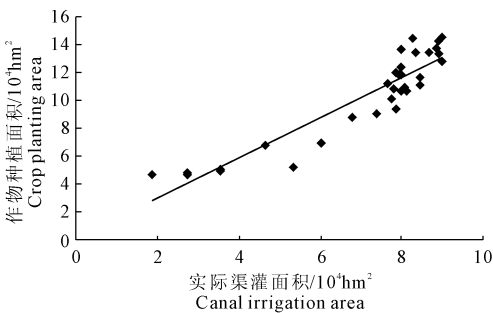


图 5 1983 年前作物种植面积与实际渠灌面积的关系

Fig.5 Relationship between crop planting area and the real canal irrigation area before 1983

计算表明,1983 年之前,作物种植面积每增加 1 万公顷,实际渠灌面积增加近 0.7 万 hm^2 。

虽然随着作物种植面积的增加作物蒸发蒸腾量不断加大,由于渠灌主要引用地表客水资源,增加了灌区地下水补给量,因此,虽然蒸发蒸腾量较大但地下水位仍然能保持基本稳定(见图 2)。

1984 年农业内部结构调整,棉花种植面积急剧下降;蔬菜种植面积快速增加(见表 1)。由于灌区蔬菜普遍采用地下水灌溉,蔬菜种植面积急剧增加,加大了地下水的开采力度。

图 6 为 1983—2000 年蔬菜种植面积和地下水平均埋深的关系。

统计公式:

$$d = 0.2484F_v + 32037, R^2 = 0.9124 \quad (2)$$

其中, F_v 为蔬菜种植面积(10^4hm^2); d 为地下水平均埋深(m)。

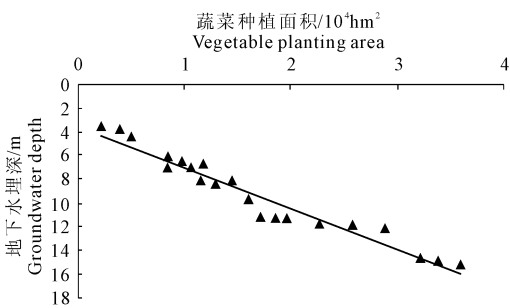


图 6 灌区地下水平均埋深与蔬菜种植面积的关系
Fig.6 Relationship between groundwater depth and vegetable planting area

地下水埋深随着蔬菜种植面积的增加而增加,计算表明,蔬菜种植面积每增加 1 万公顷,地下水埋

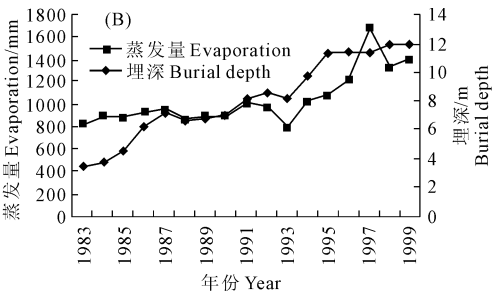
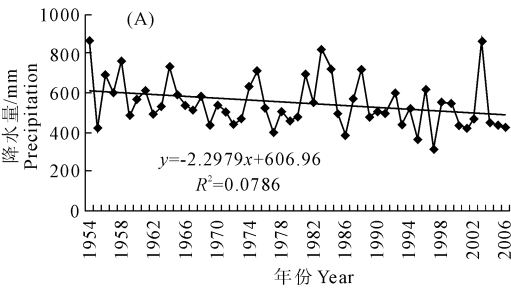


图 7 灌区降水量与蒸发量变化
Fig.7 Changes of precipitation and evaporation

除农业灌溉用水之外,随着西安—咸阳一体化建设的快速发展,灌区工业、服务业用水也不断增加。灌区国内生产总值(GDP)从 1978 年不足 3 亿元增加到 2012 年的 600 多亿元,增长速度远远高于全国平均水平,这是以区域水资源消耗为代价的,按照万元 GDP 用水量 100 t 估算,2012 年灌区用水量达到 6 亿 m^3 ,严重消耗灌区有限的地下水资源。以位

深下降 3.5 m。

4 结果与分析

灌区地下水位不断下降是地下水排泄量大于补给量造成的。灌区补给来源主要有降水和灌溉,排泄途径主要是农业开采利用和蒸发。

从泾惠渠灌区年降水量曲线可以看出,灌区降水有下降趋势,但并不显著(图 7A),其对灌区近年来地下水位的急剧下降影响不大;从灌区渠灌面积曲线可以看出,近年来灌区渠灌面积一直处于较低水平,实际灌溉面积约为 4.87 万 hm^2 (图 3),地表水灌溉利用量减少,对灌区地下水的补给严重不足。

灌区年蒸发量见图 7B。可以看出灌区年蒸发量在 1983—1999 年呈现出明显的增加趋势,年蒸发量平均每年增加约 35 mm,从 1993 年开始,蒸发量急剧增加,从 1993 年的 793 mm 增加到 1999 年的 1 407 mm,增加了约 77%。由图看出,蒸发量的变化与地下水埋深下降波动一致(图 7B),在此期间灌区地下水埋深下降 8.42 m。

灌区地下水开采量急剧增加,1981 年为 6 400 万 m^3 ,1990 年达到 10 800 万 m^3 ,2001 则达到 23 000 万 m^3 ,井渠灌溉比例失调,这是灌区地下水位下降的主要原因,但其深层次的原因是灌区作物种植结构调整,特别是灌区蔬菜种植面积的大幅度增加,不但直接增加了地下水开采量,降低了地下水位,也增加了作物蒸发蒸腾量,增加了水的无效消耗,使得灌区处于支出大于收入的不均衡状态。

于泾渭新区附近的船张观测点为例,1978 年地下水埋深为 17.13 m,1980 年为 18.4 m,1991 年达到了 27.1 m,2012 年达到了 39.3 m,下降十分剧烈,1978—2012 年平均每年下降 0.89 m。

5 结 论

泾惠渠灌区地理位置优越,农业生产发达,经济

发展迅速,但灌区地下水资源超采也十分严重,地下水位下降剧烈,特别是 1983 年以来地下水位下降的幅度呈现加剧态势。

地下水超采是导致地下水位下降的主要因素,而区内农业种植结构的变化则是地下水超采的直接原因。1983 年作物种植结构改变前,灌区地下水位变化不大;1983 年之后灌区种植结构发生变化,蔬菜种植面积剧增,作为农业灌溉目的的地下水量不断增加,地下水超采严重,每增加 1 万公顷蔬菜,地下水位降幅为 3.5 m。

灌区年蒸发量不断增加和工业生产取水量的增加也是影响灌区地下水位下降的重要因素。

针对泾惠渠灌区地下水资源超采和地下水位的持续下降问题,应当积极调整农业生产结构,强化农业节水特别蔬菜生产的节水,降低水资源的无效消耗,促进水资源的良性循环。

参 考 文 献:

[1] 李佩成. 关于水源问题及其解决途径的商榷[J]. 灌溉科技, 1975, (3):10-20.

[2] 易 秀. 干旱半干旱地区地下水问题[J]. 干旱区研究, 2001, 18 (3):54-57.

[3] 王金哲,张光辉,母海东,等. 人类活动对浅层地下水干扰程度定量评价及验证[J]. 水利学报, 2011, 42(12):1445-1451.

[4] 魏晓妹,赵颖娣. 关中灌区农业水资源调控问题研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3):117-122.

[5] 李佩成. 论自流灌区的节水与养水[J]. 灌溉排水, 2000, (1):12-15.

[6] 沈去凡,王 数,张凤荣,等. 曲周地下水位下降对农业种植结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(5):51-56.

[7] 牛松涛,郑迎春,韩淑敏. 农业发展对区域地下水资源的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 06:104-109.

[8] 张光辉,费宇红,刘春华,等. 华北漳滙平原地下水位下降与灌溉农业关系[J]. 水科学进展, 2013, 02:228-234.

[9] 贺 屹. 渠井双灌区地下水超采情况下的动态分析及人工补给研究[D]. 西安:长安大学, 2011.

[10] 刘 燕. 泾惠渠灌区地下水位动态变化特征及成因分析[J]. 人民长江, 2010, 41(8):100-107.

[11] 高占义,王 浩. 中国粮食安全与灌溉发展对策研究[J]. 水利学报, 2008, 39(11):1273-1278.

[12] 陈皓锐,黄介生,伍靖伟,等. 灌溉用水效率尺度效应研究评述[J]. 水科学进展, 2011, 22(6):872-880.

[13] 刘 燕,朱红艳. 泾惠渠灌区水环境劣变特征及地下水调蓄能力分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6):19-24.

[14] 李雪静. 泾惠灌区地下水合理开发利用分析研究[J]. 地下水, 2000, 22(4):164-165.

[15] 张蔚榛. 农业节水问题的几点认识[J]. 中国水利, 2001, 15(8):40-43.

(上接第 235 页)

[5] 李 艳,王鹏新,刘竣明,等. 基于条件植被温度指数的冬小麦主要生育时期干旱监测效果评价. I 因子权重排序法和熵值法组合赋权[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6):159-163.

[6] 田 苗,王鹏新,严泰来,等. Kappa 系数的修正及在干旱预测精度及一致性评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24):1-7.

[7] Ritter A, Munoz-Carpena R. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments[J]. Journal of Hydrology, 2013, 480:33-45.

[8] Legates D R, McCabe G J. Evaluating the use of “goodness – of – fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation[J]. Water Resources Research, 1999, 35(1):233-241.

[9] Zeng Xubin, Kiviat K L, Sakaguchi K, et al. A toy model for monthly river flow forecasting[J]. Journal of hydrology, 2012, 452 – 453:226-231.

[10] 田 苗,王鹏新,韩 萍,等. 基于 SARIMA 模型和条件植被温度指数的干旱预测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2):109-116.

[11] Nash J E, Sutcliffe J V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles[J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(3):282-290.

[12] O’Connell P E, Nash J E, Farrell J P. River flow forecasting through

conceptual models part II – The Brosna catchment at Ferbane[J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(4):317-329.

[13] Mandeville A N, O’Connell P E, Sutcliffe J V, et al. River flow forecasting through conceptual models part III – The Ray catchment at Grendon Underwood[J]. Journal of Hydrology, 1970, 11 (2):109-128.

[14] Altunkerynak A, Wang Keh – Han. A comparative study of hydrodynamic model and expert system related models for prediction of total suspended solids concentrations in Apalachicola Bay[J]. Journal of Hydrology, 2011, 400(3 – 4):353-363.

[15] Willmott C J, Ackleson S G, Davis R E, et al. Statistics for the evaluation and comparison of models[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1985, 90(C5):8995-9005.

[16] 张树誉,李 慧,王鹏新,等. 条件植被温差指数干旱监测方法的研究与应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4):118-122.

[17] 谭学志,栗晓玲,邵东国. 基于 SPI 的陕西关中地区气象干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2):224-229.

[18] Sun W, Wang P X, Zhang S Y, et al. Using the vegetation temperature condition index for time series drought occurrence monitoring in the Guanzhong Plain, PR China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(17 – 18):5133- 5144.