

云南南盘江上游旱灾风险定量评估研究

常文娟^{1,2}, 郇建强³, 梁忠民⁴, 胡义明⁴

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 水资源安全保障湖北省协同创新中心, 武汉 430072;
3. 水利部 水利水电规划设计总院, 北京 100120; 4. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098)

摘要: 以农业干旱灾害风险为研究对象, 采用主成分分析法构造干旱综合表征指数来计算干旱频率, 利用 AquaCrop 模型定量评估一定抗旱能力下的因旱作物损失, 据此构建干旱频率-抗旱能力-旱灾损失之间的关系, 用于定量评估旱灾风险。对南盘江上游西桥水文站以上区域进行实证研究的结果表明, 在现状抗旱能力水平下, 区内陆良县属于干旱易发区; 当遭遇相同程度干旱时, 陆良县与沾益县、麒麟区相比, 其因旱作物损失率相对较大, 这与实际情况相符; 在现状抗旱能力水平下, 研究区域遭遇百年一遇大旱时, 其因旱作物损失率在 15~20% 之间。

关键词: 旱灾风险; 干旱频率; 旱灾损失; 南盘江上游

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0025-05

Quantitative Assessment of Drought Risk in Upstream of Nanpanjiang River in Yunnan

CHANG Wenjuan^{1,2}, LI Jianqiang³, LIANG Zhongmin⁴, HU Yiming⁴

(1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
2. Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan 430072, China
3. Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China; 4. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The Principal Component Analysis method was used to develop a comprehensive drought index and then to calculate the drought frequency, The AquaCrop model was used to assess the drought loss under a certain drought resistance capacity, On the basis, the relationships among drought frequency, drought resistance capacity, and drought loss were constructed and then applied to evaluate the agricultural drought risk quantitatively, The method was applied to the upstream of the West Bridge hydrological station in the Nanpanjiang River, The results showed that (1) Luliang County is the drought prone area under the current drought resistance level; (2) drought loss of Luliang County is relatively larger than that of Zhanyi County and Qilin District with the same drought degree, which is consistent with the actual situation; and (3) the crop loss rate of drought in the study area is between 15% and 20% when the study area experiences a severe drought of once in a hundred years under the current drought resistance level.

Key words: drought risk; drought frequency; drought loss; upstream of Nanpanjiang River

由于降水时空分布的高度不均和水资源供需矛盾的日益突出, 大范围的干旱灾害在我国频繁发生^[1-4], 旱灾风险管理已成为防旱抗旱工作的一个重要组成部分^[5]。而旱灾风险分析作为旱灾风险管理的主要内容, 在防旱减灾实践中发挥着重要作用, 如何科学度量干旱灾害的不确定性、合理估算干旱灾害损失, 进而定量分析干旱灾害的风险, 对实现区域科学、有效的旱灾风险管理具有重要的现实意义。

目前, 关于旱灾风险的研究还相对薄弱, 旱灾风险评估

通常采用以下几种方法: ① 基于狭义的风险定义即干旱事件发生的可能性(干旱频率), 进行旱灾风险评估; ② 基于旱灾风险构成要素如致灾因子危险性、承灾体暴露性、脆弱性等分析, 进而实现旱灾风险的等级评价; ③ 利用旱灾损失资料统计的方法进行旱灾风险评估, 如根据历史数据资料建立旱灾损失与干旱表征变量间的统计关系, 或基于旱灾损失直接进行频率分析等。上述方法均是从某个侧面或局部对旱灾风险问题进行研究, 而本文拟以干旱频率和一定抗旱能力

收稿日期: 2014-02-12 修回日期: 2014-04-16 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: 水利部重大基建前期项目“全国干旱区划及旱灾风险评估”(2011AB01); 国家重点基础研究发展计划(973计划)“气候变化对旱涝灾害的影响及风险评估”(2010CB951102)

作者简介: 常文娟(1985-), 女, 山西平遥人, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: cwj1116@126.com

下的旱灾损失,综合度量旱灾风险,即通过建立干旱频率-抗旱能力-旱灾损失之间的关系定量评估旱灾风险,并选取南盘江上游西桥水文站以上区域的农业旱灾风险评估进行实证研究。

1 旱灾风险度量方法

旱灾是由于某一时期水资源的缺乏超过了当地的承受能力,同时受水源、水利工程运用或调度以及社会经济条件等的限制,未能及时采取必要的抗旱措施,而造成工农业减产、生态环境受损等灾害。因此,旱灾风险应该包括两层含义:一是某种程度干旱发生的可能性;二是旱灾给人类社会可能带来的不利后果。前者一般称为致灾危险性;后者则称为风险损失,即遭遇干旱致灾因子威胁,承受对象可能遭受的损失^[6]。本次研究以某种程度干旱发生的可能性及该干旱事件可能导致的不利影响来描述旱灾风险,采用的函数形式表述为:

$$R = f(P, C) \quad (1)$$

式中: R 为旱灾风险; P 为干旱发生的可能性; C 为干旱可能造成的不利影响。

根据旱灾风险的定义,旱灾风险的度量可以演绎为两种描述方式:一是基于风险构成要素的旱灾风险评估,表示为 $R = f(\text{危险性 } H, \text{暴露性 } E, \text{易损性 } S, \dots)$;二是基于“干旱程度~潜在损失”的旱灾风险评估,其中,干旱程度以干旱事件的频率来代表,旱灾风险表示为 $R = f(\text{干旱频率 } P, \text{一定抗旱能力下的旱灾损失 } C)$ 。该概念模型由《旱灾风险评估研究总报告》^[7]提出,其基本思路为:通过水文气象要素识别干旱过程,提取干旱特征变量,推求其对应的干旱频率或重现期;采用统计模型或机理模型确定干旱过程中一定抗旱能力作用下可能造成的旱灾损失;建立干旱频率-抗旱能力-旱灾损失之间的定量关系,以此描述旱灾风险。

本次研究借鉴第二种描述方式中旱灾风险定量评估思路,以农业旱灾风险为例,采用干旱频率和一定抗旱能力下的旱灾损失集成旱灾风险,具体计算过程如下:

(1) 干旱频率计算

借鉴国家气象干旱等级标准中综合干旱指数 CI 的构建模式^[8],根据长系列面平均降雨、径流和土壤含水量资料,采用主成分分析法^[9]构造干旱综合表征指标 (PRSM),以此识别干旱过程,计算其干旱频率。干旱综合表征指数的计算公式为:

$$PRSM = \sum_{i=1}^n w_i D_i \quad (2)$$

其中:

$$D_i = v_1 P_r + v_2 R_f + v_3 S_m \quad (3)$$

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (4)$$

式中: D_i 为第 i 个主成分原始指标(降雨量、径流量和土壤含水量)的线性组合; w_i 为第 i 个主成分的权重系数; P 为标准化面平均降水指数; R_f 为标准化面平均径流指数; S_m 为标准化面平均土壤含水量指数; v_1, v_2, v_3 分别为降水、径流和土壤含水量指标协方差矩阵的特征向量; g_i 为第 i 个主成分的贡献率。

采用游程理论^[10],以干旱综合表征指数 (PRSM) 的月相对距平值进行干旱识别^[11-12]:

$$M_a = \frac{M_{i,j} - \overline{M_j}}{\overline{M_j}} \quad (5)$$

式中: $M_{i,j}$ 为第 i 水平年、第 j 月的干旱综合表征指数值; $\overline{M_j}$ 为第 j 月的干旱综合表征指数的多年平均值; M_a 为干旱综合表征指数相对距平值。干旱识别过程中截断水平的选取,结合关于曲靖地区历史旱情的描述,选定 $M_a = -0.4$ 识别的干旱过程,与实际旱情描述相符。

然后,采用 Copula 多元统计理论^[13-15]计算其相应干旱过程的干旱频率。其中,干旱历时、干旱烈度、Copula 函数分别采用指数分布、P-III 型分布和 Gumbel Copula 描述。

(2) 旱灾损失评估

通过建立作物生长环境要素(气象、土壤水分等)与产量之间的定量关系,基于联合国粮农组织 (FAO) 提出的作物产量水分驱动模型 (AquaCrop 模型),定量计算一定抗旱能力条件下的农业旱灾损失。由于本次研究主要是研究干旱缺水对作物产量的影响,暂不考虑作物品种改良、科技进步、病虫害等的影响。

设定一种基准产量,如以多年平均气象条件下的作物产量作为理想作物产量,则因旱作物损失率计算公式为:

$$C = \frac{Y_{dno} - Y_{aver}}{Y_{aver}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: C 为因旱作物损失率 (%); Y_{aver} 为理想作物单产量 (t/ha); Y_{dno} 为因旱作物单产量 (t/ha)。其中:理想作物单产量是以多年平均气象条件作为气象输入参数,根据作物生长发育阶段的需水过程及作物生育期内的天然降雨,分析其缺水过程,然后通过 AquaCrop 模型^[16-19]中控制土壤湿度下限实施缺水灌溉的灌溉模式,模拟的作物产量;而因旱作物产量是以作物关键生育期内干旱为准则选定典型干旱过程,针对典型干旱过程,以实际干旱气象条件作为气象输入参数,将干旱期间实际的可供水量(即一定的抗旱能力水平)按照作物缺水比例分配到需水过程,进而模拟的作物产量。

(3) 表征形式

本次旱灾风险的评估是以干旱频率、抗旱能力和旱灾损失三者之间的某种表征关系来描述的,其表征形式主要为:

1 干旱频率-抗旱能力-旱灾损失曲线图(简称旱灾风险综合图,即 R 图)。为了建立 R 图,首先需选定作物关键生育期内的典型干旱过程,计算其干旱频率;再确定因旱作物损失率。本次研究以灌溉水量满足作物需水总量的程度,如无灌溉、50%灌溉、75%灌溉等,以此设定 AquaCrop 模型灌溉模式,模拟计算不同灌溉情景(反映抗旱能力大小,下同)下的因旱作物损失率,从而绘制出一组不同灌水情景下的干旱频率-因旱作物损失率关系曲线,然后对研究区域某一水平年、不同干旱程度下的作物灌溉满足程度,通过查找或内插方式确定其因旱作物损失率,从而确定该水平年的抗旱能力曲线,见图 2。据此可定量表征在该抗旱能力下,作物遭遇不同程度的干旱时的旱灾损失和旱灾风险。

2 干旱频率空间分布图(简称 P 图):在图 1 中抗旱能力曲线基础上,分析区域在一定抗旱能力、不同因旱灾损失率条件(如,5%、10%、20%和 30%等)下的重现期空间分布情况。

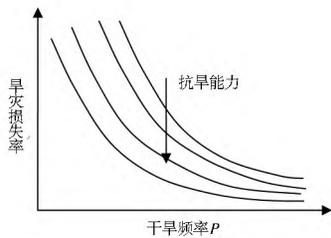


图1 干旱频率-抗旱能力-旱灾损失关系曲线

Fig. 1 Relationships among drought frequency, drought resistance, and drought loss

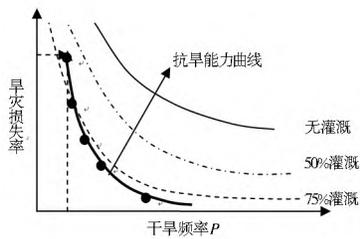


图2 不同灌溉情景下的旱灾风险(R图)

Fig. 2 Schematic diagram of drought risk under different irrigation scenarios

» 旱灾损失空间分布图(简称C图):在图1中抗旱能力曲线基础上,分析区域在一定抗旱能力、不同干旱频率(如,5年一遇、10年一遇、20年一遇、50年一遇和百年一遇等)下的旱灾损失率空间分布情况。

通过上述三种风险表征形式,能够更加直观地明确易旱区及其干旱严重程度,有效地指导抗旱规划和干旱风险管理。

2 云南南盘江上游旱灾风险评估

选择南盘江上游西桥水文站以上区域内的沾益县、麒麟区和陆良县3个行政区作为计算单元进行实证研究。采用1991年-2012年沾益县、麒麟区和陆良县各县逐月面平均雨量、径流量和土壤含水量构成样本系列,其中,以主要控制断面流量作为各县区域径流,土壤含水量数据由SWAT模型模拟得到(本文不做赘述)。

计算干旱频率。采用主成分分析方法,得到沾益县、麒麟区和陆良县的第一主成分和第二主成分的累积贡献率分别为89.3%、90.9%和90.1%,均在85%以上,表明前两个主成分能够综合反映原始指标降雨、径流和土壤含水量包含的大部分信息;分别以第一主成分和第二主成分贡献率在其累积贡献率中所占的比重将两个主成分综合,构成干旱综合表征指标;采用干旱频率计算方法得到沾益县、麒麟区和陆良县的综合干旱频率。

计算作物旱灾损失率。选取作物关键生育期内的典型干旱过程(对应一个干旱频率,本次研究以5月-8月夏秋旱为例),通过运行AquaCrop模型(鉴于本文重点是研究旱灾风险,这里省略了损失模型计算过程),分别模拟计算不同灌溉水平下(反映一定的抗旱能力)典型干旱过程的因旱作物损失率。

建立R图。首先建立研究区域夏秋季典型干旱过程在不同灌溉情景下的干旱频率-旱灾损失关系曲线图;然后使

得研究区域不同干旱程度下(以干旱频率反映)现状可供水量能够满足正常需水量的程度(抗旱能力水平指数^[20],反映抗旱能力);再通过查找或内插方式可计算该区域不同程度的干旱造成的旱灾损失,从而确定其现状抗旱能力曲线。最终得到陆良县农业R图(图3)。同理可绘制沾益县、麒麟区的R图。

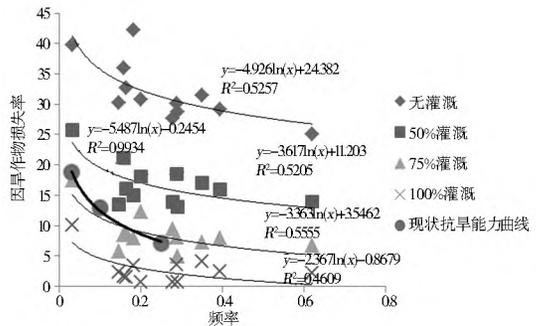


图3 陆良县农业旱灾风险综合(R图)

Fig. 3 Synthesis map of agricultural drought risk of Luliang County (R map)

根据R图中现状抗旱能力曲线的拟合公式,推求不同因旱作物损失下的干旱重现期及其空间分布图,即P图。现状抗旱能力水平下,2%、5%、10%、15%和20%因旱作物损失率对应的夏秋旱重现期空间分布见图4。由图4可知,在现状抗旱能力水平下,对于同一因旱作物损失率,沾益县对应的干旱重现期相对较长,麒麟区、陆良县的干旱重现期相对较短。同时,在现状抗旱能力水平下,随着旱灾损失率的增加,研究区域整体相应的干旱重现期变长,且陆良县的重现期相对较短,属于干旱易发区,结果符合实际。

同理,由现状抗旱能力曲线拟合公式,推求不同干旱频率(或干旱重现期)对应的因旱作物损失率及其空间分布图,即C图。现状抗旱能力水平下,5年一遇、10年一遇、20年一遇、50年一遇和百年一遇干旱重现期对应的夏秋旱因旱作物损失率空间分布见图5。可以看出,在现状抗旱能力条件下,随着干旱重现期的增加,研究区域整体因旱作物损失率变大,百年一遇大旱发生时,其因旱作物损失率在15%~20%之间;在相同干旱重现期内,陆良县与沾益县和麒麟区相比,其因旱作物损失率相对较大,这与实际情况相符。

3 结语

本研究采用干旱频率和一定抗旱能力下的旱灾损失综合度量旱灾风险,提出计算干旱频率、评估旱灾损失的新方法,并以云南南盘江上游西桥水文站以上区域为例进行研究,结果表明,分析得出在现状抗旱能力水平下的干旱易发区、因旱作物损失率较大区,均与实际情况相符,因此该方法切实可行。

鉴于资料条件限制,本研究仅探讨了现状抗旱能力下的旱灾风险综合图,若资料条件允许,也可在R图中绘制近期或远景规划水平年抗旱能力曲线,用于评估不同抗旱能力条件下、同一频率干旱发生时可能造成的粮食损失,为抗旱水利工程建设必要性分析、工程规模确定等提供一定的依据。

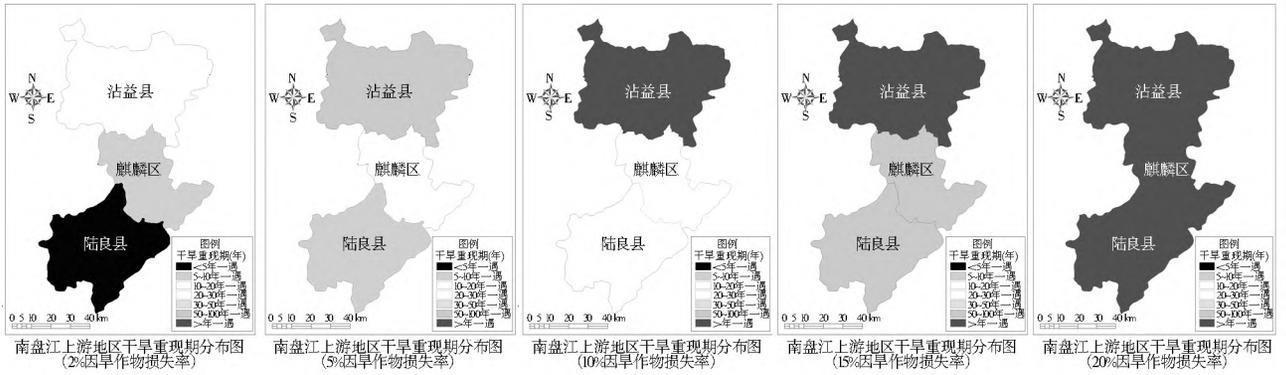


图 4 现状抗旱能力下, 不同因旱作物损失率对应的重现期分布

Fig. 4 Spatial distribution of return period under current drought resistance level with different crop loss rates of drought

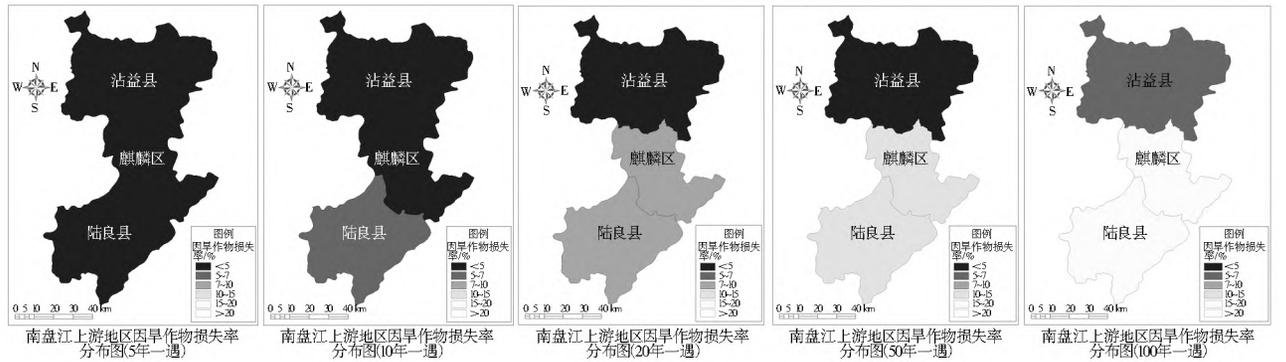


图 5 现状抗旱能力下, 不同干旱重现期对应的因旱损失率分布

Fig. 5 Spatial distribution of crop loss rate of drought under current drought resistance level during different drought return periods

致谢: 感谢全国干旱区划与旱灾风险评估课题组同行学者的支持与帮助。

参考文献 (References):

[1] 张世法, 苏逸深, 宋德敦, 等. 中国历史干旱 (1949-2000) [M]. 南京: 河海大学出版社, 2008. (ZHANG Shifa, SU Yishen, SONG Dedun, et al. China Drought in History (1949-2000) [M]. Nanjing: Hohai University Press, 2008. (in Chinese))

[2] 张强, 潘学标, 马柱国, 等. 干旱 [M]. 北京: 气象出版社, 2009. (ZHANG Qiang, PAN Xuebiao, MA Zhuguo, et al. Drought [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009. (in Chinese))

[3] 水利部水利水电规划设计总院. 中国抗旱战略研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (The Ministry of Water Resources and Hydropower Planning and Design. The China Drought Strategic Research [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))

[4] 亚行支援中国干旱管理战略研究课题组. 中国干旱灾害风险管理战略研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011. (ADB TA China Drought Management Strategy Research Group, China Drought Disaster Risk Management Strategy [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2011. (in Chinese))

[5] 顾颖. 风险管理是干旱管理的发展趋势 [J]. 水科学进展, 2006 (2): 295-298. (GU Ying. Risk Management: The Trend of the Drought Management [J]. Advances in Water Science, 2006 (2): 295-298. (in Chinese))

[6] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008. (GE Quansheng, ZOU ming,

ZHENG Jingyun, et al. Integrated Assessment of Natural Disaster Risk in China [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))

[7] 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理- 全面整合的模式与中国的战略选择 [J]. 自然灾害学报, 2006 (1): 29-37. (ZHANG Jiquan, Okada Norio, Tatano Hirokazu, Integrated Natural Disaster Risk Management Comprehensive and Integrated Model and Chinese Strategy Choice [J]. Journal of Natural Disasters, 2006 (1): 29-37. (in Chinese))

[8] 中国气象局. 气象干旱等级 (GB/T 20481-2006) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2006. (China Meteorological Administration, Classification of Meteorological Drought (GB/T 20481-2006) [M]. Beijing: China Standard Publishing House, 2006. (in Chinese))

[9] 林盛吉. 基于统计降尺度模型的钱塘江流域干旱预测和评估 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011. (LIN Shengjie. Drought Analysis using Statistical Downscaling Models in Qiantang River Basin [D]. Hanzhou: Zhejiang University, 2011. (in Chinese))

[10] Vujica YEVJEVICH, Jugoslawien INGENIEUR, Vujica YEVJEVICH, et al. An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts [M]. Denver: Colorado State University, 1967.

[11] Shiau, J. T. Return Period of Bivariate Distributed Extreme Hydrological Events [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2003, 17 (1): 42-57.

[12] Shiau, J. T. Fitting Drought Duration and Severity with Two dimensional Copulas [J]. Water Resources Management, 2006, 20 (5): 795-815.

- [13] 闫宝伟, 郭生练, 肖义, 等. 基于两变量联合分布的干旱特征分析[J]. 干旱区研究, 2007(4): 537-542. (YAN Bao wei, GUO Sheng lian, XIAO Yi, et al. Analysis on Drought Characteristics Based on Bivariate Joint Distribution[J], Arid Zone Research, 2007(4): 537-542. (in Chinese))
- [14] 陆桂华, 闫桂霞, 吴志勇, 等. 基于 copula 函数的区域干旱分析方法[J]. 水科学进展, 2010(2): 188-193. (LU Gui hua, YAN Gui xia, WU Zhi yong, et al. Regional Drought Analysis Approach Based on Copula Function[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(2): 188-193. (in Chinese))
- [15] 周玉良, 袁满晨, 金菊良, 等. 基于 Copula 的区域水文干旱频率分析[J]. 地理科学, 2011(11): 1383-1388. (ZHOU Yu liang, YUAN Man chen, JIN Ju liang, et al. Regional Hydrological Drought Frequency Based on Copulas[J], Scientia Geographica Sinica, 2011(11): 1383-1388. (in Chinese))
- [16] Pasquale STEDUTO, Theodore C HSIAO, Dirk RAES, et al. Aquacrop the Fao Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles[J]. Agronomy Journal, 2009, 101(3): 426-437.
- [17] Theodore C HSIAO, Lee HENG, Pasquale STEDUTO, et al. Aquacrop the Fao Crop Model to Simulate Yield Response to Water: Iii. Parameterization and Testing for Maize[J], Agronomy Journal, 2009, 101(3): 448-459.
- [18] Pasquale STEDUTO, Theodore C HSIAO, Elias FERERES, et al. Crop Yield Response to Water [M]. Fao Irrigation and Drainage Paper, 2012.
- [19] D RAES, P STEDUTO, TC HSIAO, et al. Aquacrop Reference Manual[J]. Fao Land and Water Division, Rome, Italy, 2009.
- [20] 梁忠民, 郗建强, 常文娟, 等. 抗旱能力研究理论框架[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 23-28. (LIANG Zhong min, LI Jian qiang, CHANG Wen juan, et al. Research on the Theoretical Framework of Drought Resistance Capacity[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(1): 23-28. (in Chinese))

(上接第 5 页)

- [7] Potop V, MoňnÖM, Soukup J. Drought Evolution at Various Time Scales in the Lowland Regions and Their Impact on Vegetable Crops in the Czech Republic[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, (156): 121-133.
- [8] Gebrehiwot T, van der Veen A, Maathuis B. Spatial and Temporal Assessment of Drought in the Northern Highlands of Ethiopia[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(3): 309-321.
- [9] GB/T 20481-2006, 气象干旱等级[S]. GB/T 20481-2006, Classification of Meteorological Drought[S]. (in Chinese)
- [10] 蔡锡填, 徐宗学, 李占玲. 漳卫南运河流域水文气象要素长期变化趋势分析[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 363-370. (CAI Xi tian, XU Zong xue, LI Zhan ling. Analyzing Long Term Trend of Hydrological and Meteorological Changes in Zhangwei South River Basin[J]. Resources Science, 2008, 30(3): 363-370. (in Chinese))
- [11] 周婷, 李传哲, 于福亮, 等. 澜沧江-湄公河流域气象干旱时空分布特征分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(6): 4-7. (Zhou Ting, Li Chuan zhe, Yu Fu liang, et al. Spatial and Temporal Distribution Characteristics Analysis of Meteorological Drought in Lancang Mekong River Basin[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(6): 4-7. (in Chinese))
- [12] 王刚, 严登华, 黄站峰, 等. 近 52 年来滦河流域气候变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 134-139. (Wang Gang, Yan Deng hua, Huang Zhan feng, et al. Climate Change Characteristics in Recent 52 Years in Luan River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(7): 134-139. (in Chinese))
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007. (Wei Feng ying. Contemporary Climate Statistics Diagnosis and Forecast Technology[M]. Beijing: Meteorological Press, 2007. (in Chinese))