

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.02.005

湖南省农业干旱灾害风险区划研究

吴志勇^{1,2}, 范思琦¹, 何海¹, 李源¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098)

摘要:基于自然灾害风险理论和旱灾物理成因,考虑干旱的危险性、承灾体的暴露性、环境的脆弱性以及抗旱减灾能力等方面的要素,运用“自下而上”的区划方法,对湖南省农业干旱灾害风险进行了区划。以县级行政区为最小区划单元,选取9个评价指标并利用层次分析法构建农业干旱灾害风险指数,采用基于GN算法的区域区划方法,将湖南省划分为5个干旱灾害风险等级和12个分布区,其中常德市、衡阳市、郴州市等地部分地区风险较高;划分结果与湖南省水稻生产干旱灾害风险区划的结果多数相同,验证了区划结果的合理性。

关键词:农业干旱灾害;风险区划;GN算法;湖南省

中图分类号:S423 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)02-0031-09

Study on risk regionalization of agricultural drought disaster in Hunan Province// WU Zhiyong^{1,2}, FAN Siqi¹, HE Hai¹, LI Yuan¹ (1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the theory of natural disaster risk and the physical causes of drought disaster, considering the hazard of drought, the exposure of disaster bearing body, the vulnerability of environment and the ability of drought resistance and disaster reduction, the agricultural drought disaster risk was regionalized in Hunan Province by using the regionalization method of “bottom-up”. Taking the county level administrative region as the minimum regionalization unit, 9 evaluation indexes were selected and the agricultural drought disaster risk index was constructed by analytic hierarchy process. The regional zoning method based on Givern-Newman algorithm was adopted to divide Hunan Province into 5 drought disaster risk levels and 12 distribution areas, among which partial areas of Changde City, Hengyang City and Chenzhou City showed higher risk. There are many similarities between the results and the results of drought disaster risk regionalization of rice production in Hunan Province, which verifies the rationality of regionalization results.

Key words: agricultural drought disaster; risk regionalization; Givern-Newman algorithm; Hunan Province

干旱灾害风险区划是旱灾风险评估结果区域分异规律的一种表达形式^[1],通过对各行政区按旱灾风险相近程度进行分类分区,旨在为干旱风险管理及防旱抗旱措施的制定提供基础依据。湖南省位于长江中下游地区,在气候变化和人类活动的影响下,近年来发生重旱的频率增大^[2],严重影响了区域农业的发展。2013年湖南省农业遭受干旱的重创,粮食减产超8亿kg;2019年湖南省全省所有县(市)均发生干旱,其中受灾面积高达35万hm²。因此,开展湖南省农业干旱灾害风险区划研究,对湖南省干旱灾害风险管理具有重要的意义。

干旱灾害风险区划研究主要参考自然灾害区划

的原理和方法^[3-5],基于干旱灾害风险评估的结果,利用地理信息系统进行叠加分析、图斑合并等操作^[6-9]。当前,农业旱灾风险评估主要是在采用气象、水文干旱指数^[10-13]或综合干旱指数^[14]识别干旱、评估干旱的基础上,利用地理信息系统^[15-17],建立考虑更完备的指标体系^[9,18],采用模糊数学^[7,19]、信息扩散理论^[20-22]、正态云模型^[23]等分析方法,针对玉米^[24-25]、小麦^[26-27]等农作物进行干旱灾害风险分析和评估。然而,在农业干旱灾害风险区划的研究方面,仍存在两方面不足:一方面缺少从自然灾害风险理论和干旱形成机制出发构建的旱灾风险评估体系。很多学者利用历史灾情资料对旱灾风险进行

基金资助:国家自然科学基金长江水科学联合基金重点项目(U2240225);国家重点研发计划(2017YFC1502403)

作者简介:吴志勇(1979—),男,教授,博士,主要从事水文物理规律模拟及水文预报研究。E-mail:zywu@hhu.edu.cn

评估^[28-30],但不能反映致灾因子和承灾体相互作用关系,如刘兰芳等^[31]对湖南省农业旱灾脆弱性进行了综合分析并定量评价,何斌等^[32]在此基础上分析评价了湖南省农业灾害的危险性及脆弱性,但都没有考虑地区的防灾减灾能力。另一方面,一些研究忽视了最小区划单元这一概念^[33],并使用邻域分析等空间分析方法将气象站和水文站的点数据变成面数据从而得到区划图,这样的区划结果界线模糊^[15,24,26],不利于进行后期的抗旱规划;在进行大范围或者最小区划单元较多的区划工作时,仅用人工进行图斑的合并和调整,工作量大,且结果较为主观^[34]。因此,今后的干旱灾害风险区划工作首先要明确最小区划单元,保证行政界线的完整性,这样有利于相关基础资料的搜集和整理,便于抗旱规划部门的实际应用;其次,需要提出一种区划方法,通过分析最小单元之间的相似和相异进行分类,快速且定量完成区划工作。

本文以湖南省 101 个县级行政区(以下简称“县”)为最小区划单元,从干旱的危险性、承灾体的暴露性、环境的脆弱性以及抗旱减灾能力 4 个方面选取 9 个指标,利用层次分析法建立农业干旱灾害风险指数,并根据该指数的评估结果,分析各县间的相似性和差异性,采用基于 GN(Givern-Newman)算法的区划方法,得到不同的分区,从而对湖南省农业干旱灾害风险进行区划。

1 研究区概况与数据来源

湖南省(图 1)位于长江中游地区,地形地貌复

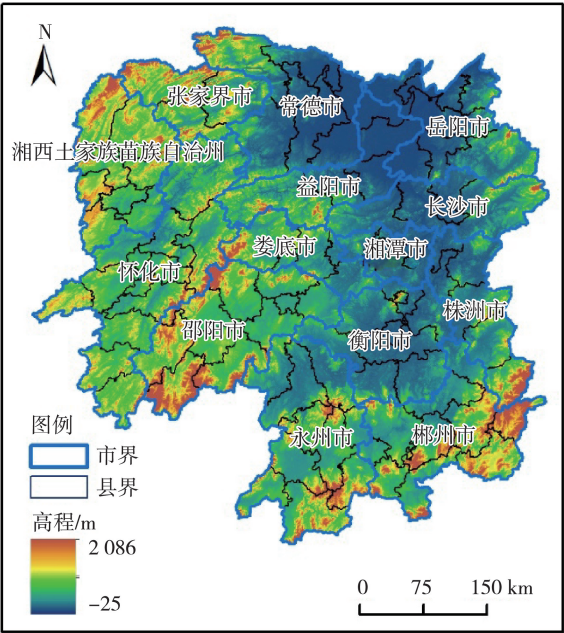


图 1 湖南省行政区划

Fig.1 Administrative division of Hunan Province

杂,季风气候显著。全省多年平均降水量为 1457 mm,多年平均径流量为 1916 亿 m³,地表水资源约占长江流域总体的 18%。降水时空分布很不均匀、年际变化大,旱涝灾害发生频繁。受三面环山、朝北开口的马蹄形地形背景的影响,在衡邵盆地、洞庭湖平原及河谷地区形成了少雨中心。

研究数据资料包括:①笔者研究团队积累的湖南省 1981—2010 年逐日 5 km 分辨率土壤含水量数据;②湖南省各县 1959—2016 年水资源数据;③湖南省各县 1990—2007 年的灾情调查数据;④《湖南省统计年鉴》中的各县 2008—2012 年的人口、土地面积、农作物种植面积、农业生产总值、水库容量、农业机械总动力等统计数据;⑤湖南省财政厅的湖南省抗旱资金投入统计资料。

2 研究方法

2.1 评价指标的选取

根据自然灾害风险理论和干旱灾害的物理成因,一般认为农业干旱灾害风险系统是由干旱的危险性、环境的脆弱性、承灾体的暴露性、抗旱减灾能力相互作用形成的复杂风险系统^[19]。本文从以上 4 个方面选取 9 个评价指标构建农业干旱灾害风险评价指标体系如图 2 所示,并采用层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)计算各个评价指标的权重。层次分析法作为一个系统性的分析方法,将多个层次通过两两比较确定同一层次元素相对上一层次元素的数量关系,最后进行特征值计算,求得权重^[35]。由于计算过程中要量化每层间的数量关系,使得该方法简单易懂,且层次分析法在两两比较时采用主观与客观相结合、定性和定量相结合的方法,结果更具合理性。

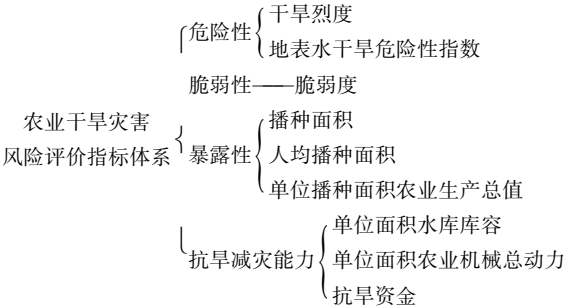


图 2 农业干旱灾害风险评价指标体系

Fig.2 Evaluation index system of agriculture drought disaster risk

2.1.1 危险性

危险性是指干旱灾害的严重程度,影响因素主要包括旱灾规模、强度、历时、频率等。这些因子的异常变动越大,干旱灾害对人类社会的破坏也就越

大。本文选择干旱烈度和地表水干旱危险性指数归一化后的算术平均值作为区域危险性评价指标。

a. 干旱烈度。干旱烈度 S 为干旱频率与干旱强度的乘积, 基于土壤含水量距平指数 (soil moisture anomaly percentage index, SMAPI) 计算。根据吴志勇等^[36-37]研究成果, 利用可变下渗容量 (virable infiltration capacity, VIC) 模型模拟了湖南省 1981—2010 年逐日 5 km 分辨率土壤含水量数据, 结合 SMAPI 识别了研究区干旱事件^[38]。干旱频率反映地区干旱发生的频繁程度, 为 SMAPI 达到轻旱及以上等级 (SMAPI 小于或等于 -5) 的月数占总月数的比值。干旱强度是指一场干旱事件中 SMAPI 达到轻旱及以上等级的 SMAPI 算术平均值。土壤含水量距平指数反映了地区干旱的总体状况, 干旱频率越大, 强度越强, 则该地区干旱越严重。本文主要讨论区域多年平均干旱特征, 故干旱强度为统计时段内发生干旱时的 SMAPI 算术平均值。计算出各网格的干旱烈度后通过面积加权平均的方法合并到湖南省各县级行政单元上。

b. 地表水干旱危险性指数。利用 1959—2016 年各县水资源数据, 计算多年平均水资源量。按下式对各县多年平均水资源量进行归一化处理:

$$W'_i = \frac{W_i - W_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}} \quad (1)$$

式中: W_i 、 W'_i 分别为 i 县多年平均水资源量实际值和归一化后的数值; $W_{\max}$ 、 $W_{\min}$ 分别为各县多年平均水资源量最大值和最小值。

统计各县枯水年 (50% 及以上来水频率) 年数 n , 以及对应的水资源量, 计算水资源负异常指数并进行归一化处理:

$$D = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

$$D'_i = \frac{D_{\max} - D_i}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (3)$$

式中: D_i 、 D'_i 分别为 i 县水资源负异常指数实际值和归一化后的数值; $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 分别为各县水资源负异常指数最大值和最小值; σ 为枯水年水资源量相对于多年平均水资源量的标准差; μ 为多年平均水资源量。综合考虑区域水资源量的禀赋条件与负异常状态, 地表水干旱危险性指数 I_T 采用下式计算:

$$I_T = w_1 D'_i + w_2 W'_i \quad (4)$$

式中 w_1 、 w_2 为权重。

c. 危险性计算。区域干旱的危险性 I_h 综合考虑干旱烈度和地表水危险性指数, 采用下式计算:

$$I_h = 0.5S + 0.5I_T \quad (5)$$

2.1.2 脆弱性

脆弱性表征成灾对受灾的反映, 即表征对受灾

的承受能力大小。定义脆弱性 I_v 为

$$I_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (6)$$

其中

$$V_i = \frac{A_{SZ}}{A_{CZ}}$$

式中: V_i 为 i 县某年的脆弱度; A_{SZ} 、 A_{CZ} 分别为受灾面积和成灾面积, 数据来源于湖南省灾情调查。

2.1.3 暴露性

暴露性是指暴露在致灾因子中的承灾体数量、密度、接触时间、空间分布等特征。选取播种面积 A 、人均播种面积 A_p 、单位播种面积农业生产总值 P_a 作为暴露性的评价指标。农作物的种植面积可以反映农作物生产对灾害的暴露性, 单位播种面积农业生产总值反映暴露性与经济之间的潜在关系。利用层次分析法确定播种面积、人均播种面积和单位播种面积农业生产总值 3 个评价指标的权重分别为 0.44、0.17 和 0.39, 按下式计算暴露性 I_e :

$$I_e = 0.44A + 0.17A_p + 0.39P_a \quad (7)$$

2.1.4 抗旱减灾能力

一个地区的抗旱减灾能力是指对旱灾进行防御、避免作物受灾的能力。不同地区水资源占有量、社会经济状况不同, 地区的抗旱减灾能力也就不同。抗旱减灾能力弱的地区, 发生同样的干旱灾害造成的风险更大。选择单位面积水库库容 R 、单位面积农业机械总动力 M 、抗旱资金 F 3 个指标来度量抗旱能力, 利用层次分析法确定 3 个评价指标的权重分别为 0.21、0.24 和 0.55, 按下式计算抗旱减灾能力 I_r :

$$I_r = 0.21R + 0.24M + 0.55F \quad (8)$$

2.2 农业干旱灾害风险指数的构建

由于各评价指标的单位和数量级不统一, 故先对各指标进行归一化处理 (当评价指标 (如播种面积、脆弱度) 与干旱灾害风险呈正相关关系时, 归一化公式形式同式 (1); 当评价指标 (如抗旱资金、单位面积水库库容) 与干旱灾害风险呈负相关关系时, 归一化公式形式如式 (3))。

农业干旱灾害风险指数的大小与干旱的危险性、承灾体的暴露性、环境的脆弱性以及抗旱减灾能力有密切关系。危险性越高、暴露性和脆弱性越大, 农业干旱发生的概率及其潜在损失也越大, 即干旱灾害风险越大; 而抗旱减灾能力越强, 干旱发生的概率及其潜在损失就越小, 即干旱灾害风险越小。根据以上分析, 构建农业干旱灾害风险指数如下:

$$I = w_h I_h + w_v I_v + w_e I_e + w_r I_r \quad (9)$$

式中: I 为农业干旱灾害风险指数; w_h 、 w_v 、 w_e 、 w_r 分别为危险性、暴露性、脆弱性和抗旱减灾能力的

权重。

利用层次分析法计算 4 个风险要素的权重。参考相关研究成果^[39-41],针对湖南省干旱灾害发生的特征及地形地貌^[42],把各要素按照相对重要程度进行打分,构造判断矩阵并进行一致性检验,得到湖南省危险性、脆弱性、暴露性和抗旱减灾能力的权重分别为 0.13、0.16、0.42 和 0.29。经计算,所构建的判断矩阵的一致性比例 CR 值小于 0.1,能满足一致性检验要求。

2.3 基于 GN 算法的干旱灾害风险区划方法

GN 算法是一个经典的社区发现算法,它属于分裂的层次聚类算法。其基本思想是不断删除网络中具有相对于所有源节点的最大边介数的边,然后再重新计算网络中剩余边相对于所有源节点的边介数,重复这个过程,直到网络中所有边都被删除^[43-44]。社区发现是指根据集合中元素间的某种关系,将集合划分为若干的子集(社区)的过程,即将个体划分到若干社区中,这与根据最小区划单元之间的相似性和差异性,将它们划分到不同分区的问题思路相同。因此,可以将干旱灾害风险区划问题抽象为一个复杂的社团划分问题,将最小区划单元看作源节点,定义相邻区划单元之间的距离系数为边介数,逐步删除最大的边介数,直到得到合适的区划结果。基于 GN 算法的干旱灾害风险区划方法的区划流程如图 3 所示。图 3(a)包含 9 个县,计算相邻两个县之间的距离系数,得到 d_{78} 最大为 20,则删除 d_{78} ,获得新的结构图如图 3(b)所示;再依次删除最大的 d_{ij} ,也就是 d_{45} 、 d_{24} ,此时可以看出图 3(d)产生了两个区域,区域一包括 1、2、3、5、8,区域二包括 4、6、7、9。具体划分步骤如下:

步骤 1 提取相邻县 i, j 的周长 L_i, L_j 和区域 i 与 j 合并后的周长 L_{ij} ,计算任意两个区域的空间邻接系数 N_{ij} :

$$N_{ij} = \max\left(\frac{L_i + L_j - L_{ij}}{2L_i}, \frac{L_i + L_j - L_{ij}}{2L_j}\right) \quad (10)$$

步骤 2 搜索所有 N_{ij} ,当 $N_{ij} > 0.05$ 时,判断区域 i, j 为相邻关系,继续步骤 3。

步骤 3 计算相邻区域的农业干旱灾害风险指数的距离系数 d_{ij} :

$$d_{ij} = \sqrt{((I_i - I_j)/(I_{\max} - I_{\min}))^2} \quad (11)$$

式中: I_i, I_j 分别为相邻县 i, j 的农业干旱灾害风险指数, $I_{\max}, I_{\min}$ 为农业干旱灾害风险指数的最大值和最小值。

步骤 4 删除所有的 d_{ij} 中最大的值。

步骤 5 判断是否有新的区域产生,若没有,重复步骤 4;若产生了新的区域,按照面积加权计算各

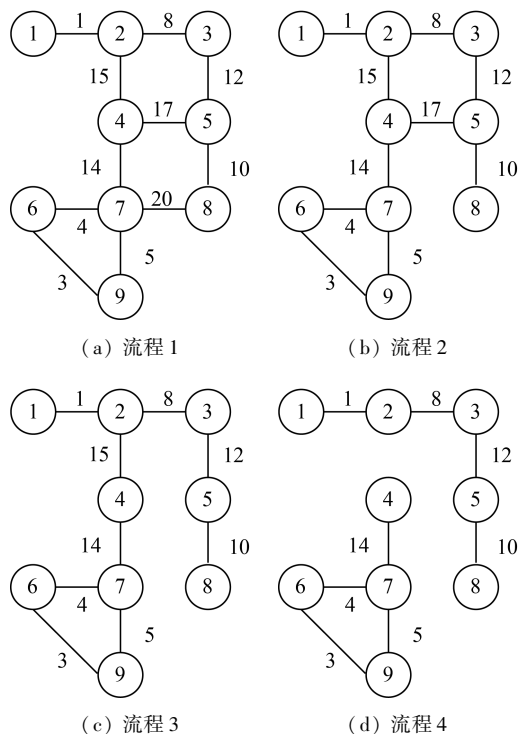


图 3 基于 GN 算法的区划流程示意图

Fig. 3 Regionalization process diagram based on Givern-Newman algorithm

个区域的农业干旱灾害风险指数。

步骤 6 循环步骤 4、5,直至得到较为满意的区划结果。

步骤 7 根据干旱的区域分异规律,参考已有的自然区划方案(综合自然区划方案、气候区划方案、土壤区划方案、水资源区划方案以及县域界线等),“自上而下”的进行人工调整,确定农业干旱灾害风险分区的具体界限,得到完整的区划方案。

3 结果与分析

3.1 农业干旱灾害风险评价指标空间分布特征

图 4 为湖南省危险性分布图,危险性高的地区

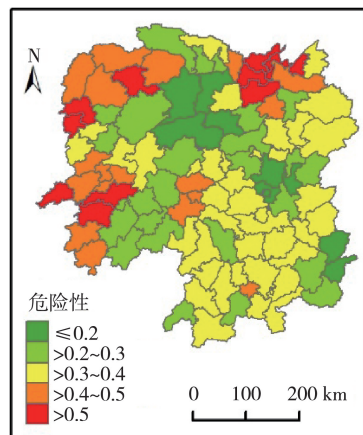


图 4 湖南省危险性分布

Fig. 4 Distribution of hazard in Hunan Province

主要在西部、西北和东北部分地区,中南部危险性为中等。全省共有 27 个县的危险性大于 0.4, 占全省总数的 27%, 其中危险性最高的是华容县, 为 0.88。湖南省干旱烈度高值区主要分布在西部、西北部 and 东北部部分地区, 低值区主要分布在北部地区。湖南省地表水干旱危险性指数高值区集中分布在东北部地区。

由图 5 可见, 全省共有 77 个县的脆弱性超过 0.6, 其中, 高值主要分布在西北山原山地区的怀化市、湘西土家族苗族自治州和南部山地区的永州市等地, 主要原因是山区和较高海拔的丘陵土壤土质的保水蓄水性较差, 由于地形复杂, 水利设施很难普及, 灌溉率较低, 对受灾的承受能力较差^[29]。

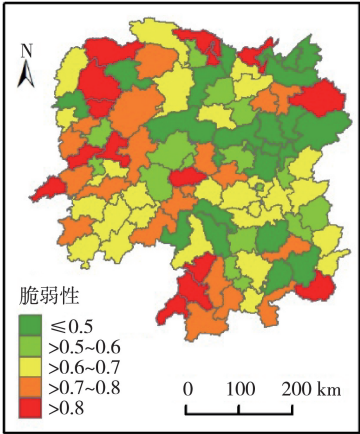


图 5 湖南省脆弱性分布

Fig. 5 Distribution of vulnerability in Hunan Province

由图 6 可知, 湖南省暴露性最高的地区集中分布在东北部的常德市、长沙市、岳阳市、益阳市。湖南省农作物主要分布在湘北洞庭湖平原及湘江流经的永州市、衡阳市、株洲市、湘潭市等地区, 水稻是湖南省的优势作物, 其种植面积占总作物种植面积的 80% 左右, 干旱造成水稻的减产严重影响经济发展。长沙市、湘潭市及株洲市等地区每公顷农业生产总

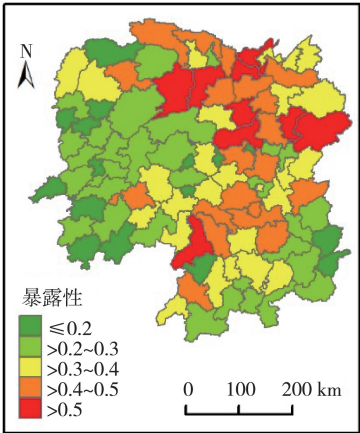


图 6 湖南省暴露性分布

Fig. 6 Distribution of exposure in Hunan Province

值超过 2 万元, 湘西及湘北大部分地区每公顷农业生产总值在 1.5 万元左右, 发生相同等级干旱时, 对单位播种面积农业生产总值高的地区造成的损失越大, 风险也就越高。

图 7 为湖南省抗旱减灾能力分布图(图中数值越大代表抗旱减灾能力越强)。抗旱减灾能力较强的地区主要有益阳市、娄底市、湘潭市等地, 全省共有 29 个县抗旱能力较差。湖南省全省 71 个县每平方公里的水库库容小于 10 万 m³。非岩溶山地区河谷深切, 大型水库数量和库容密度较大; 丘陵区地形起伏较小, 中小水库数量较多; 洞庭湖平原地势低平, 水库密度极低^[45]。湘东北丘陵区是湖南省经济比重最大的地区, 机械化水平最高; 湘西北、湘西部分地区山峦起伏, 机械化水平较低; 湘东南岩溶丘陵区机械化水平也较低。湖南省仅有 14 个县抗旱资金投入超过了 30 万元, 大部分的抗旱资金投入较少, 导致其抗旱减灾能力较弱。

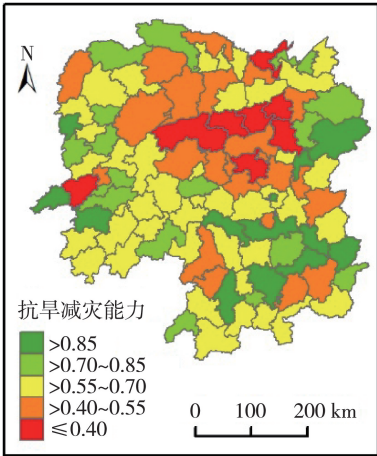


图 7 湖南省抗旱减灾能力分布

Fig. 7 Distribution of ability of drought resistance and disaster reduction in Hunan Province

3.2 湖南省农业干旱风险灾害区划

根据式(9) 计算各县农业干旱灾害风险指数, 将农业干旱灾害风险指数按 $I \leq 0.40$ 、 $0.40 < I \leq 0.45$ 、 $0.45 < I \leq 0.50$ 、 $0.50 < I \leq 0.55$ 、 $I > 0.55$ 划分为低风险区、中低风险区、中风险区、中高风险区和高风险区 5 个等级, 绘制湖南省农业干旱灾害风险指数分布图如图 8 所示, 全省共 31 个县的农业干旱灾害风险指数超过了 0.5, 说明 30% 的县处在农业干旱灾害中高风险区。采用基于 GN 算法的区划方法, 得到湖南省农业干旱灾害风险区划图如图 9 所示, 5 个干旱灾害风险等级共有 12 个分布区。

a. 低风险区。湖南省农业干旱灾害低风险区有 2 处。低风险 I 区包括益阳市的桃江县、安化县和娄底市的新化县、冷水江市, 该地区人均播种面积

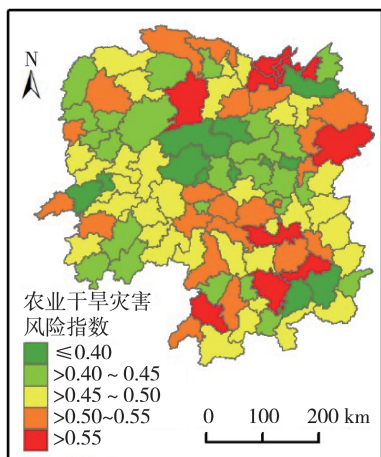


图8 湖南省农业干旱灾害风险指数分布

Fig.8 Distribution of agricultural drought disaster risk index in Hunan Province

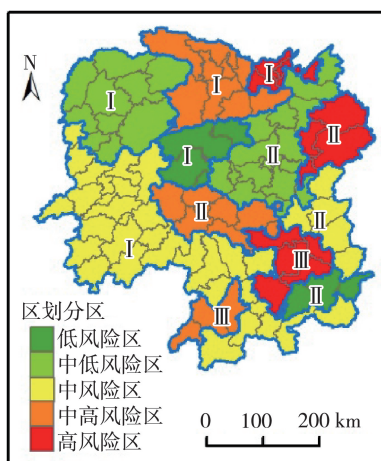


图9 湖南省农业干旱灾害风险区划

Fig.9 Risk regionalization of agricultural drought disaster risk in Hunan Province

较小,中小水库数量较多,水资源充沛,对旱灾的承受能力较强。低风险Ⅱ区包括郴州市市区、桂东县和资兴市,该地区农作物的播种面积较小,境内有湖南省最大的水库东江水库,农业灌溉压力较小。

b. 中低风险区。湖南省农业干旱灾害中低风险区有2处,主要分布在湘西北山地区和湘中平原区。中低风险Ⅰ区主要分布在张家界市和湘西土家族苗族自治州境内,土壤土质的保水蓄水性较差,但水稻等耗水多的农作物种植面积小,单位播种面积农业生产总值较低,容易发生干旱,但旱灾造成的风险较低。中低风险Ⅱ区包括湘潭市,长沙市市区、宁乡市、株洲县,娄底市市区、双峰县、涟源市,岳阳市岳阳县、湘阴县、汨罗市、临湘市等地区,该地区水资源充沛,虽然播种面积较大,但机械化水平较高,水利设施比较完善。

c. 中风险区。湖南省西南部和东南边缘地区为中风险区,共2处。中风险Ⅰ区主要分布在怀化

市、邵阳市、永州市等地,该地区降水偏少,干旱发生的频率高,强度大,但近年来兴修水利,改善种植结构,干旱造成的损失有所减小。中风险Ⅱ区主要分布在株洲市,人均播种面积较大,单位播种面积农业生产总值较高,农田小型水利设施比较完善。

d. 中高风险区。湖南省农业干旱灾害中高风险区有3处。中高风险Ⅰ区主要分布在常德市,常德市地处洞庭湖平原西侧,气候条件良好,水土资源丰富,是江南著名的“粮仓”,经济地位十分重要,发生相同等级干旱时对其造成的损失更为严重。中高风险Ⅱ区为以邵阳为中心的衡邵盆地,包括邵阳市市区、新邵县、邵阳县、隆回县、邵东县、衡阳市市区、衡阳县、祁东县。每年从东南沿海刮来的湿润气流很难穿过高耸的山脉进入盆地,造成区域内降水量较少,有“十年九旱”之称。中高风险Ⅲ区包括永州市道县、江永县、宁远县,该地区人均播种面积较大,且受灾面积、成灾面积大。

e. 高风险区。湖南省农业干旱灾害高风险区有3处。高风险Ⅰ区包括岳阳市市区、华容县、南县,易发生季节性缺水,种植结构单一,多为耗水作物,水利工程建设相对落后。高风险Ⅱ区包括长沙县、浏阳市、株洲市区、平江县,该地区农作物播种面积大,机械化水平一般,水利设施建设的投入不高,但单位播种面积农业生产总值最高,旱灾损失严重。高风险Ⅲ区包括衡阳市衡南县、耒阳市和郴州市桂阳县、永兴县、安仁县,该地区土壤土质保水性能差,水利投入少,抗旱能力较差。

本文以县为最小区划单元,将GN算法运用于“自下而上”的区域合并,兼顾了区域的空间关系和旱灾风险属性,保证了区划界限的准确性,可以完成区域干旱灾害风险区划的工作。在使用计算机程序进行区划的过程中,会产生一些没有被合并的破碎斑块,需要“自上而下”进行人工合并,在此过程中需遵循区域共轭性原则,以保持地域完整性。

区划结果显示,永州、郴州等地区为中高风险区,湘西土家族苗族自治州南部、怀化中北部和南部、娄底和邵阳两市的部分地区为中风险地区,这与罗伯良等^[33]的湖南省水稻生产干旱灾害风险区划结果一致。然而,本文划分湖南省北部的常德市、岳阳市、长沙市部分地区为农业干旱灾害中高风险区,这与罗伯良等^[33]的研究结果有一定的差异。分析发现,差异的原因主要是本文与罗伯良等^[33]选取的评价指标和区划方法不同。罗伯良等^[33]以水稻为研究对象,从水稻干旱灾害发生的可能性、成灾环境、承灾体的脆弱性3个方面选取评价指标,建立水稻干旱灾害风险指数,对湖南省中、晚稻生产干旱灾

害风险性进行了类型区划;而本文从干旱的危险性、承灾体的暴露性、环境的脆弱性以及抗旱减灾能力4个方面选取评价指标,综合考虑了水文气象、农作物生产、社会经济等条件构建农业干旱灾害风险指数,采用基于GN算法的区划方法进行区域区划,相对来说考虑的影响因素更多一些,使得区划结果存在一定的差异。

本文基于自然灾害风险理论和旱灾物理成因,选取评价指标并利用层次分析法构建农业干旱灾害风险指数,运用基于GN算法的区划方法,提出了湖南省农业干旱灾害风险区划方案。对于不同的研究区域,可因地制宜地选取不同的指标,应用本文的区划方法,快速地完成区划工作,可为当地开展农业干旱灾害预警预报、旱灾风险管理提供科学依据。

4 结 论

a. 湖南省农业干旱灾害危险性高的地区主要在西南、西北和东北部分地区,中南部危险性为中等。脆弱性高值主要分布在湖南省西北山原山地区的怀化市、湘西土家族苗族自治州和南部山地区的永州市等地。湖南省西部暴露性较低,洞庭湖平原及湘江流域附近地区暴露性较高。抗旱减灾能力较差的地区主要有益阳市、娄底市、湘潭市等地。

b. 采用基于GN算法的区划方法进行“自下而上”的区域区划,将湖南省分为5个干旱灾害风险等级,12个分布区。湘西南山丘区风险等级在中风险以上;湘西北、湘中地区的湘西土家族苗族自治州、张家界市、娄底市等地区为中低风险区;湘北的常德市为中高风险区;南部的衡阳市、郴州市、永州市、邵阳市部分地区风险等级在中高风险以上;长沙县、浏阳市、平江县为高风险区。

参考文献:

[1] 张俊香,黄崇福. 自然灾害区划与风险区划研究进展[C]//中国灾害防御协会. 风险分析专业委员会第一届年会论文集. 北京:《应用基础与工程科学学报》编辑部,2004:55-61.

[2] 倪深海,顾颖,彭岳津,等. 近七十年中国干旱灾害时空格局及演变[J]. 自然灾害学报,2019,28(6):176-181. (NI Shenhai, GU Ying, PENG Yuejin, et al. Spatio-temporal pattern and evolution trend of drought disaster in China in recent seventy years [J]. Journal of Natural Disasters, 2019, 28(6): 176-181. (in Chinese))

[3] 高江波,黄姣,李双成,等. 中国自然地理区划研究的新进展与发展趋势[J]. 地理科学进展,2010,29(11):1400-1407. (GAO Jiangbo, HUANG Jiao, LI Shuangcheng, et al. The new progresses and development

trends in the research of physio-geographical regionalization in China[J]. Progress in Geography, 2010, 29(11):1400-1407. (in Chinese))

[4] 郑度,欧阳,周成虎. 对自然地理区划方法的认识与思考[J]. 地理学报,2008,63(6):563-573. (ZHENG Du, OU Yang, ZHOU Chenghu. Understanding of and thinking over geographical regionalization methodology [J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(6): 563-573. (in Chinese))

[5] 王平. 自然灾害综合区划研究的现状与展望[J]. 自然灾害学报,1999,8(1):21-29. (WANG Ping. The status quo and prospect of the research of natural disaster comprehensive regionalization [J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(1): 21-29. (in Chinese))

[6] 徐玉霞,许小明,杨宏伟,等. 基于GIS的陕西省干旱灾害风险评估及区划[J]. 中国沙漠,2018,38(1):192-199. (XU Yuxia, XU Xiaoming, YANG Hongwei, et al. Assessment and regionalization of drought disaster risk in Shaanxi Province based on GIS [J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(1): 192-199. (in Chinese))

[7] 吴迪,张海涛,何斌,等. 基于模糊聚类循环迭代模型的陕西省农业干旱风险评估与区划[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(5):230-241. (WU Di, ZHANG Haitao, HE Bin, et al. Assessment and zoning of agriculture drought risk based on fuzzy clustering iterative model in Shaanxi [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(5): 230-241. (in Chinese))

[8] 魏建波,赵文吉,关鸿亮,等. 基于GIS的区域干旱灾害风险区划研究:以武陵山片区为例[J]. 灾害学,2015,30(1):198-204. (WEI Jianbo, ZHAO Wenji, GUAN Hongliang, et al. A zoning study of region drought disaster risk based on GIS: the case of Wuling mountain area [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 198-204. (in Chinese))

[9] 张继权,严登华,王春乙,等. 辽西北地区农业干旱灾害风险评价与风险区划研究[J]. 防灾减灾工程学报,2012,32(3):300-306. (ZHANGG Jiquan, YAN Denghua, WANG Chunyi, et al. A study on risk assessment and risk regionalization of agricultural drought disaster in northwestern regions of Liaoning Province [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2012, 32(3): 300-306. (in Chinese))

[10] 石朋,詹慧婕,瞿思敏,等. 黄河源区气象干旱与水文干旱关联性分析[J]. 水资源保护,2022,38(3):80-86. (SHI Peng, ZHAN Huijie, QU Simin, et al. Correlation analysis of meteorological and hydrological droughts in Yellow River source region [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(3): 80-86. (in Chinese))

[11] 粟晓玲,褚江东,张特,等. 西北地区地下水干旱时空演变趋势及对气象干旱的动态响应[J]. 水资源保护,2022,38(1):34-42. (SU Xiaoling, CHU Jiangdong, ZHANG Te, et al. Spatio-temporal evolution trend of

- groundwater drought and its dynamic response to meteorological drought in Northwest China [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 34-42. (in Chinese))
- [12] 肖祖香, 朱双, 罗显刚, 等. 三江源区多尺度水文干旱特征及植被的响应[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 515-520. (XIAO Zuxiang, ZHU Shuang, LUO Xiangang, et al. Multi-scale hydrological drought characteristics and vegetation responses in the Three-River-Source region [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(6): 515-520. (in Chinese))
- [13] 袁飞, 章益棋, 刘懿, 等. 基于标准化帕尔默干旱指数的西江流域干旱评估[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 46-52. (YUAN Fei, ZHANG Yiqi, LIU Yi, et al. Drought assessment of Xijiang River Basin based on standardized Palmer drought index [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 46-52. (in Chinese))
- [14] 吴志勇, 程丹丹, 何海, 等. 综合干旱指数研究进展[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 36-45. (WU Zhiyong, CHENG Dandan, HE Hai, et al. Research progress of composite drought index [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 36-45. (in Chinese))
- [15] 王理萍, 王树仿, 王新华, 等. 基于 AHP 和 GIS 的云南省干旱灾害风险区划研究[J]. 节水灌溉, 2017(10): 100-103. (WANG Liping, WANG Shufang, WANG Xinhua, et al. Risk zoning of drought disaster based on AHP and GIS in Yunnan Province [J]. Water Saving Irrigation, 2017(10): 100-103. (in Chinese))
- [16] 刘晓冉, 康俊, 王颖, 等. 基于 GIS 的重庆地区不同季节干旱灾害风险评估与区划[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(2): 92-100. (LIU Xiaoran, KANG Jun, WANG Ying, et al. Assessment and regionalization on drought disaster risk of different season in Chongqing area based on GIS [J]. Journal of Natural Disasters, 2019, 28(2): 92-100. (in Chinese))
- [17] 李莉, 匡昭敏, 莫建飞, 等. 基于 AHP 和 GIS 的广西秋旱灾害风险等级评估[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 193-201. (LI Li, KUANG Zhaomin, MO Jianfei, et al. Assessment of risk ranking for autumn drought in Guangxi Province based on AHP and GIS [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(19): 193-201. (in Chinese))
- [18] 徐晗. 改进的 TOPSIS 模型在陕西省农业干旱脆弱性区划中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 251-258. (XU Han. Application of improved TOPSIS model to agricultural drought vulnerability in Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(4): 251-258. (in Chinese))
- [19] 秦越, 徐翔宇, 许凯, 等. 农业干旱灾害风险模糊评价体系及其应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 83-91. (QIN Yue, XU Xiangyu, XU Kai, et al. Fuzzy evaluation system of agriculture drought disaster risk and its application [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(10): 83-91. (in Chinese))
- [20] 刘亚彬, 刘黎明, 许迪, 等. 基于信息扩散理论的中国粮食主产区水旱灾害风险评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 1-7. (LIU Yabin, LIU Liming, XU Di, et al. Risk assessment of flood and drought in major grain-producing areas based on information diffusion theory [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 1-7. (in Chinese))
- [21] 宣茂华. 基于信息扩散理论的城市农业干旱灾害风险分析[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2014.
- [22] 丁青云, 艾萍, 吴军澜, 等. 基于信息扩散理论的干旱灾害风险评估[J]. 中国农村水利水电, 2015(3): 99-102. (DING Qingyun, AI Ping, WU Junlan, et al. The assessment of drought disaster risks based on the information diffusion theory [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(3): 99-102. (in Chinese))
- [23] 董涛, 陈志鹏, 金菊良, 等. 安徽省淮河流域农业旱灾风险正态云模型评估[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(1): 42-48. (DONG Tao, CHEN Zhipeng, JIN Juliang, et al. Agricultural drought disaster risk normal cloud model assessment in Anhui Province Huai River Basin [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(1): 42-48. (in Chinese))
- [24] 单琨, 刘布春, 刘园, 等. 基于自然灾害系统理论的辽宁省玉米干旱风险分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 186-194. (SHAN Kun, LIU Buchun, LIU Yuan, et al. Analysis on drought risk of maize based on natural disaster system theory in Liaoning Province [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(8): 186-194. (in Chinese))
- [25] 杨平, 张丽娟, 赵艳霞, 等. 黄淮海地区夏玉米干旱风险评估与区划[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(1): 110-118. (YANG Ping, ZHANG Lijuan, ZHAO Yanxia, et al. Risk assessment and zoning of drought for summer maize in the Huang-Huai-Hai Region [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(1): 110-118. (in Chinese))
- [26] 贾建英, 韩兰英, 万信, 等. 甘肃省冬小麦干旱灾害风险评估及其区划[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1478-1486. (JIA Jianying, HAN Lanfang, WAN Xin, et al. Risk and regionalization of drought for winter wheat in Gansu Province [J]. Arid Zone Research, 2019, 36(6): 1478-1486. (in Chinese))
- [27] 王素艳, 霍治国, 李世奎, 等. 干旱对北方冬小麦产量影响的风险评估[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 118-125. (WANG Suyan, HUO Zhiguo, LI Shikui, et al. Risk assessment of drought effect on yield of winter wheat in northern China [J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(3): 118-125. (in Chinese))
- [28] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. 自然灾害学报, 1998,

- 7 (2): 1-9. (HUANG Chongfu, LIU Xinli, ZHOU Guoxian, et al. Agricultural natural disaster risk assessment method according to the historic disaster data[J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 1-9. (in Chinese))
- [29] 黄晚华, 帅细强, 刘富来. 湖南省旱灾风险综合评估研究[C]//全国农业气象与生态环境学术年会论文集. 北京: 中国气象学会, 2006: 342-344.
- [30] 高霞霞, 苏伟, 黄晚华, 等. 基于 GIS 的湖南省旱灾农业风险综合评估研究[J]. 湖南农业科学, 2010(23): 158-162. (GAO Xiaxia, SU Wei, HUANG Wanhua, et al. Integrated assessment for agricultural risk of drought disaster in Hunan Province based on GIS[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2010(23): 158-162. (in Chinese))
- [31] 刘兰芳, 刘盛和, 刘沛林, 等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析 & 定量评价[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 78-83. (LIU Lanfang, LIU Shenghe, LIU Peilin, et al. Synthetic analysis and quantitative estimation of the agricultural vulnerability to drought disaster in Hunan Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(4): 78-83. (in Chinese))
- [32] 何斌, 赵林, 刘明, 等. 湖南省农业旱灾风险综合分析与定量评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1559-1562. (HE Bin, ZHAO Lin, LIU Ming, et al. Synthetic analysis and quantitative estimation on risk of agricultural drought in Hunan Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(3): 1559-1562. (in Chinese))
- [33] 罗伯良, 黄晚华, 帅细强, 等. 湖南省水稻生产干旱灾害风险区划[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 461-465. (LUO Boliang, HUANG Wanhua, SHUAI Xiqiang, et al. Risk division of drought disaster for rice production in Hunan Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(3): 461-465. (in Chinese))
- [34] 刘航, 蒋尚明, 金菊良, 等. 基于 GIS 的区域干旱灾害风险区划研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 198-203. (LIU Hang, JIANG Shangming, JIN Juliang, et al. A GIS-based approach to regional drought risk zoning[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(3): 198-203. (in Chinese))
- [35] SAATY T L, KEARNS K P. The analytic hierarchy process [M]//SAATY T L, KEARNS K P. Analytical Planning. Amsterdam: Elsevier, 1985.
- [36] 吴志勇, 陆桂华, 张建业, 等. 基于 VIC 模型的逐日土壤含水量模拟[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 359-364. (WU Zhiyong, LU Guihua, ZHANG Jianyun, et al. Simulation of daily soil moisture using VIC model [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(3): 359-364. (in Chinese))
- [37] XU Zhengguang, WU Zhiyong, HE Hai, et al. Comparison of soil moisture at different depths for drought monitoring based on improved soil moisture anomaly percentage index [J]. Water Science and Engineering, 2021, 14(3): 171-183.
- [38] 吴志勇, 徐征光, 肖恒, 等. 基于模拟土壤含水量的长江上游干旱事件时空特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 176-184. (WU Zhiyong, XU Zhengguang, XIAO Heng, et al. Spatio-temporal analysis of drought events in the upper reaches of Yangtze River Basin based on simulation of soil moisture[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(1): 176-184. (in Chinese))
- [39] 何斌, 王全九, 吴迪, 等. 基于主成分分析和层次分析法相结合的陕西省农业干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 219-227. (HE Bin, WANG Quanjie, WU Di, et al. Agricultural drought risk assessment in Shaanxi Province using principal component analysis and AHP[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 219-227. (in Chinese))
- [40] 任怡, 王义民. 基于层次分析法及可变模糊法的山西省干旱风险评估[J]. 山西水利科技, 2016(3): 1-5. (REN Yi, WANG Yimin. Drought risk evaluation in Shanxi Province based on AHP and the Variable Fuzzy method [J]. Shanxi Hydrotechnics, 2016(3): 1-5. (in Chinese))
- [41] 尹建军, 杨奇勇, 尹辉. 湖南省农业旱灾灾情评估与分析[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(1): 37-40. (YIN Jianjun, YANG Qiyong, YIN Hui. Assess and analysis on agriculture drought in Hunan Province [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2008, 20(1): 37-40. (in Chinese))
- [42] 王平, 史培军. 自下而上进行区域自然灾害综合区划的方法研究: 以湖南省为案例[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(3): 54-60. (WANG Ping, SHI Peijun. The research of regional natural disaster regionalization with the “bottom-up” methods: case study of Hunan Province [J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(3): 54-60. (in Chinese))
- [43] ARENAS A, DANON L, DÍAZ-GUILERA A, et al. Community analysis in social networks[J]. The European Physical Journal B, 2004, 38(2): 373-380.
- [44] GIRVAN M, NEWMAN M E J. Community structure in social and biological networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99(12): 7821-7826.
- [45] 危润初, 李淑雅, 欧阳琦, 等. 湖南省水库与干旱情势空间匹配关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(5): 27-34. (WEI Runchu, LI Shuya, OUYANG Qi, et al. Spatial matching relationship between reservoirs and drought situation in Hunan Province [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021, 32(5): 27-34. (in Chinese))

(收稿日期: 2022-04-17 编辑: 熊水斌)