DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.06.028 CSTR:32311.14.rswc.2026.06.028
朱军, 罗阳欢, 李进讷, 等. 贵州省月-季-年农业干旱灾害危险性分布特征[J]. 水土保持研究,2026,33(6):311-323.
Zhu Jun, Luo Yanghuan, Li Jinne, et al. Distribution characteristics of agricultural drought hazard at monthly, seasonal, and annual scales in Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation,2026,33(6):311-323.

贵州省月-季-年农业干旱灾害危险性分布特征

朱 军[1], 罗阳欢[1], 李进讷[2], 李 浪[3], 田鹏举[4]
(1.贵州省气候中心, 贵阳 550002; 2.贵州省气象数据中心, 贵阳 550002;
3.贵州省山地气象科学研究所 贵阳 550002; 4.贵州省生态与农业气象中心, 贵阳 550002)

摘 要:[目的]揭示贵州省月、季、年多时间尺度的农业干旱灾害危险性时空演变特征,以期为贵州农业优化布局及防旱规划工作提供科学指导。[方法]基于自然灾害风险理论,从导致农业干旱形成的致灾环境危险性、孕灾环境敏感性与承灾体脆弱性等方面,构建了农业干旱灾害危险性综合评价指标体系。运用加权叠加模型、熵权法与层次分析法,对贵州省月、季、年多时间尺度的农业干旱灾害危险性进行动态评价与区划。[结果](1)农业干旱危险性空间分布呈现显著的季节性特征,表现为春季西部高、夏季东部高;(2)月、季、年平均农业干旱危险性指数介于0.37~0.41,整体属中度危险水平;(3)西部、南部及东北部为高风险集中区,是重点防控区域。[结论]贵州省春、夏两季农业干旱灾害危险性格局与县域农业干旱灾害发生频率分布高度吻合,验证了评价指标与方法的可靠性及实践指导价值,成果可为贵州省农业干旱风险管理、适应性种植制度优化与季节性水资源调配提供科学依据。

关键词:农业干旱灾害危险性; 致灾环境危险性; 孕灾环境敏感性; 承灾体脆弱性; 贵州省
中图分类号:S423 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2026)06-0311-13

Distribution characteristics of agricultural drought hazard at monthly, seasonal, and annual scales in Guizhou Province

Zhu Jun[1], Luo Yanghuan[1], Li Jinne[2], Li Lang[3], Tian Pengju[4]
(1.*Guizhou Provincial Climate Center*, *Guiyang* 550002, *China*; 2.*Guizhou Provincial Meteorological Data Center*, *Guiyang* 550002, *China*; 3.*Guizhou Mountain Meteorological Science Research Institute*, *Guiyang* 550002, *China*; 4.*Guizhou Ecological and Agricultural Meteorological Center*, *Guiyang* 550002, *China*)

Abstract: [**Objective**] This study reveals the spatiotemporal evolution characteristics of agricultural drought hazard across monthly, seasonal, and annual time scales in Guizhou Province, thereby providing scientific guidance for optimizing agricultural layout and drought prevention planning. [**Methods**] Based on the theory of natural disaster risk, a comprehensive evaluation indicator system for agricultural drought hazard was constructed from the perspectives of disaster-causing environmental hazard, disaster-forming environmental sensitivity, and vulnerability of disaster-bearing bodies. The weighted overlay model, the entropy weight method, and the analytic hierarchy process were used to conduct a dynamic assessment and zoning of agricultural drought hazard in Guizhou Province across monthly, seasonal, and annual time scales. [**Results**] (1) The spatial distribution of agricultural drought hazard exhibited significant seasonal characteristics, characterized by higher hazard levels in western Guizhou during spring and in eastern Guizhou during summer. (2) The average agricultural drought hazard index values at monthly, seasonal, and annual scales ranged from 0.37 to 0.41, indicating an overall moderate hazard level. (3) The western, southern, and northeastern regions were high-risk concentration areas and key zones for

收稿日期:2026-01-28 **修回日期:**2026-02-13 **接受日期:**2026-03-09
资助项目:中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室开放课题(2025003K);贵州省省市联合基金开放项目(黔气科合SS-KF[2024]24号);贵州省省市联合基金青年项目(黔气科合SS-QN[2024]10号);贵州省气象局登记项目(黔气科登[2019]04-02号)
第一作者:朱军(1991—),男,贵州黔西人,硕士,工程师,主要从事气候资源开发利用与风险防控研究。E-mail:846921812@qq.com
通信作者:罗阳欢(1992—),女,四川自贡人,硕士,工程师,主要从事气象灾害风险评估与区划研究。E-mail:1240966562@qq.com

prevention and control. [**Conclusion**] The spatial patterns of agricultural drought hazard in Guizhou during spring and summer are highly consistent with the frequency distribution of agricultural drought occurrences at the county level, which validates the reliability and practical guidance value of the evaluation indicators and methodology. These findings can provide a scientific basis for agricultural drought risk management, optimization of adaptive cropping systems, and seasonal water resource allocation in Guizhou Province.

Keywords: agricultural drought hazard; disaster-causing environmental hazard; disaster-forming environmental sensitivity; vulnerability of disaster-bearing bodies; Guizhou Province

干旱是贵州农业生产的主要自然灾害。贵州省作为我国西南典型的喀斯特地貌集中分布区,地表崎岖、土层浅薄、蓄水保墒能力弱,加之季风气候不稳定性、云贵准静止锋、副热带高压、厄尔尼诺事件等多种大气环流异常频繁与复杂地形相互作用,干旱灾害易发频发,导致农业生态系统对气候变化响应极为敏感。根据贵州历史干旱灾害发生情况统计分析,贵州干旱大致呈现"3年一小旱、5年一中旱、10年一大旱"的周期性特征[1]和显著的季节性差异特征。自2009年以来,干旱已造成全省直接经济损失累计超过467亿元,其中农业损失占比达57%[2],对水稻、玉米、烤烟、辣椒、油菜、小麦等主要作物的种植与生长构成持续威胁。因此,开展月、季、年多时间尺度的农业干旱危险性动态评估与区划,系统揭示其时空分布特征,对提升贵州农业干旱防御工作的科学性与针对性具有重要意义。

农业干旱是气象条件、地形地貌、土壤水文、植被覆盖及人类农业活动等多要素综合作用的结果。近年来,国内外学者围绕干旱风险评估开展了广泛研究,一类研究聚焦于从气象干旱角度评估农业干旱风险性特征,如一些学者[3-13]基于标准化降水蒸散指数、综合气象干旱指数等气象指标评价干旱时空变化;另一类研究则是融合多维度要素进行年尺度评估,例如刘力华等[1]较早结合气象、地形、承灾体易损性及防灾能力,对贵州省农业干旱灾害风险进行区划,揭示了作物生长期的风险格局;一些学者则考虑地表环境因素,例如朱军等[2]进一步整合气象、地形、土壤、植被与土地利用等多源指标,实现了农业干旱灾害危险性的年尺度动态评估,揭示了其时空演变规律。类似地,卢晓宁[14]、李莉[15]、张晓煜[16]等分别在不同山区,从大气、地形、水文、土壤及社会经济等方面开展了区域性农业干旱风险评价与区划;刘晓静等[17]则重点关注孕灾环境中的土壤持水能力,选取降雨量、土壤类型与坡度等关键因子,对辽西北地区农业干旱危险性进行了评价。

综上所述,现有研究多集中于年尺度风险评估,对季节性、月尺度的农业干旱风险动态特征关注不足。贵州四季均有干旱发生,地表抗旱能力也具有季节性差异,仅依赖年尺度评估难以准确识别干旱发生的关键时段与空间格局,无法为精细化的农事安排、灌溉调度与防旱抗旱工作规划提供针对性指导,更缺乏结合农事节律与作物需水规律的季节性风险解析。因此,本文在前人研究基础上,基于自然灾害风险理论,综合大气、地形、地表覆盖、水文、土壤等多维环境因子,采用加权叠加模型和GIS空间分析技术,对贵州月、季、年多时间尺度的农业干旱危险性进行评价与区划,揭示其多时间尺度的空间分异特征与演变规律,旨在为贵州农业干旱季节性风险防控、适应性种植制度优化与水资源科学配置提供依据,从而深化对喀斯特地区农业干旱形成机制的认识,并为区域农业气象灾害风险管理与可持续发展提供决策支持。

1 研究材料及方法

1.1 区域概况

贵州省位于云贵高原东侧,介于东经103°36′—109°35′,北纬24°37′—29°13′,属典型喀斯特地貌区,地势西高东低,平均海拔约1 100 m。全省92.5%的面积为山地和丘陵,地形起伏大,地表崎岖、土层浅薄,加之陡坡垦殖普遍,水土保持能力差,农业抗旱能力持续下降。气候属亚热带季风区,垂直差异显著,植被类型复杂多样,具有明显的过渡性与交错分布特征。贵州地理位置、地形图、高差图、坡度坡向、植被覆盖(NDVI)、土地利用类型等分布图见贵州省地理区位示意图(图1)。

1.2 研究数据

本研究涉及气象、地形、水资源、地表覆盖、土壤属性等多维数据,其来源和说明见表1。

1.3 评价方法

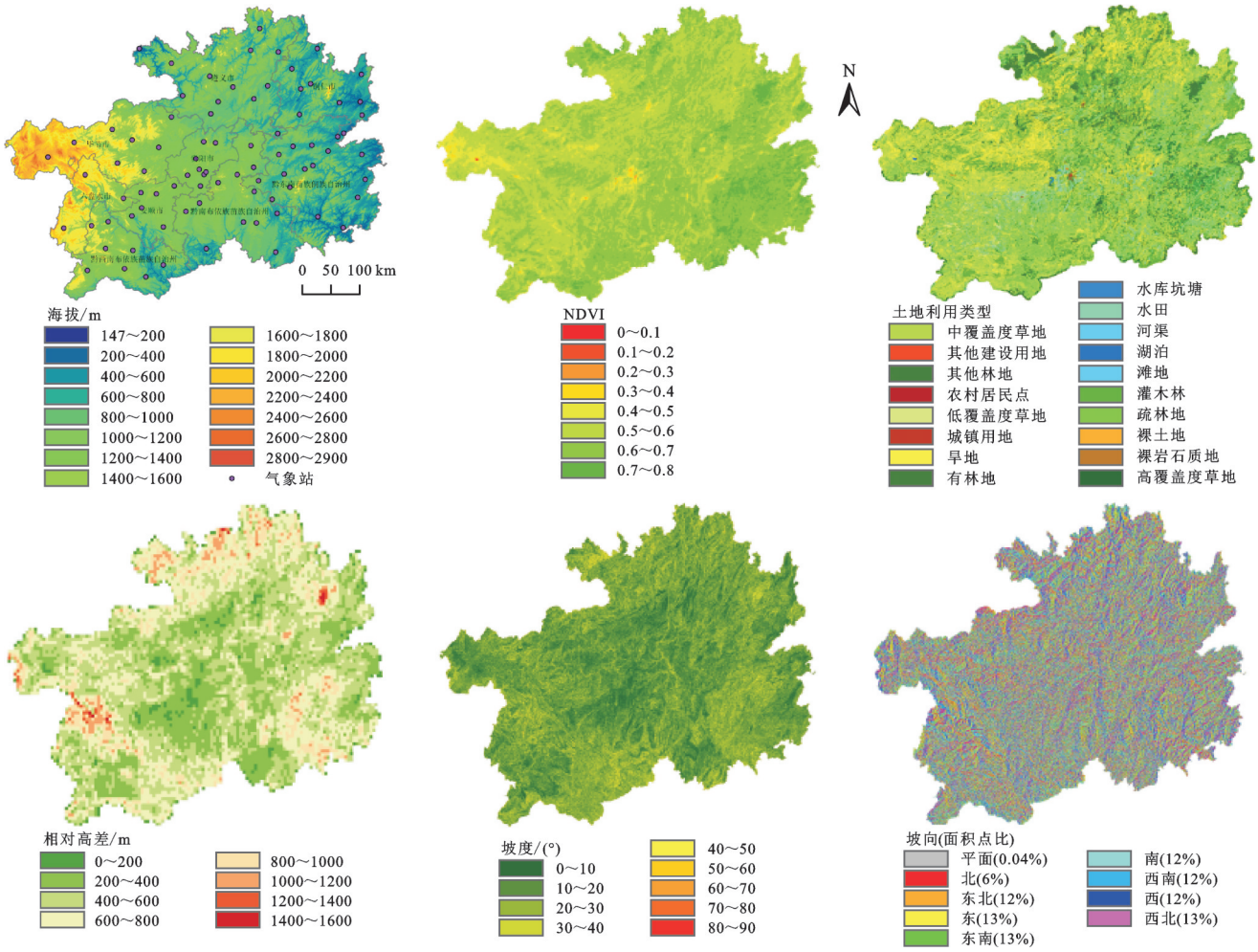
采用加权叠加模型作为农业干旱灾害危险性评价模型,模型结构如下:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} I_{ij} \times W_{I_j} \tag{1}$$

$$I_{ij} = \sum_{j=1}^{n} f_{ij} \times W_{f_j} \tag{2}$$

式中:D_i为第i个栅格像元上的农业干旱灾害危险指

数,取值0～1;W_{Ij}为I_j指标的权重;I_{ij}为第j个指标第i个栅格像元上的标准化属性值;f_{ij}为对应I_{ij}指标下的第j个影响因子的第i个栅格像元上的标准化属性值;W_{fj}为f_j因子权重。数据标准化处理方法采用极差法。各指标权重采用熵权法和层次分析法综合确定,即取二者平均值作为最终权重。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2020)4632号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

图 1　贵州省地理区位示意图

Fig. 1　Schematic diagram of geographical location of Guizhou Province

表 1　研究数据及来源说明

Table 1　Study data and source description

数据名称	来源说明	时间尺度	空间分辨率
气象数据(综合气象干旱指数(MCI))	贵州省气候中心	1995—2024年逐月	站点数据
地形数据(DEM)	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn)		30 m×30 m
土壤类型及其黏粒含量数据	中国土壤科学数据库(http://vdb3.soil.csdb.cn/)		矢量数据
土地利用类型数据	中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn)使用Landsat-TM/ETM遥感影像数据解译获取,其分类系统采用三级分类系统	2020年	30 m×30 m
植被覆盖数据	贵州省生态与农业气象中心	2000—2024年逐月	1000 m×1000 m
湖泊水库分布数据	贵州省生态与农业气象中心		矢量数据
农业干旱灾害历史记录数据	中国气象灾害大典贵州卷专著”和国家气象灾害管理系统	1981年以来	县域统计数据

(1)熵权法。一种客观权重确定方法,熵是系统混乱程度的度量,而信息则是有序程度的度量。数据的离散程度越大,信息熵越小,其提供的信息量越大,该指标对综合评价的影响越大,其权重也应越大;反之其权重越小[18-19]。用熵值法确定指标权重,既可以克服主观赋权法无法避免的随机性、臆断性问题,还可以有效解

决多指标变量间信息的重叠问题[20],其模型架构如下:

在有j个指标、i个被评价单元(栅格单元)的评估问题中,第j个指标的熵为:

$$h_j=-k\sum_{i=1}^{n}f_{ij}\ln f_{ij},\quad k=1/\ln n \tag{3}$$

$$f_{ij}=v_{ij}\Big/\sum_{i=1}^{n}v_{ij} \tag{4}$$

式中:h_j为第j个指标的熵值。

定义了第j个指标的熵之后,可得到第j个指标的熵权:

$$W_j=\frac{1-h_j}{n-\sum_{j=0}^{n}h_j}\quad(0\leqslant W_j\leqslant 1,\ \sum_{j=0}^{n}W_j=1) \tag{5}$$

(2)层次分析法。一种定性、定量相结合的决策分析方法,可以将指标划分为主次指标,把问题划分为目标层、准则层、方案层,采用1—9数字对各指标间的相对重要性构建重要性比较判断矩阵(表2),最后计算各指标权重并检验矩阵的一致性(当CR<0.1时,认为判断矩阵一致性满足要求)[21]。

表2 指标间相对重要性量化标度

Table 2 Quantitative scale of relative importance among indicators

标度b_{ij}	定义与说明
1	两个指标对评价对象具有同等重要性
3	一指标比另一指标稍微重要
5	一指标比另一指标明显重要
7	一指标比另一指标重要得多
9	一指标比另一指标极端重要
2,4,6,8	表示需要在上述两个标准之间折中时的标度
$1/b_{ij}$	两个指标的反比较

2 评价指标体系构建

联合国国际减灾战略署(United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR)将农业干旱灾害危险性定义为导致作物干旱的自然变异因素及其强度,主要包括致灾因子、孕灾环境及植被自身的脆弱性[22]。依据自然灾害风险评估理论,农业干旱灾害危险性可表达为以下3个维度的综合:致灾因子(反映农作物生长的大气环境条件,如气温、降水异常)、孕灾环境因子(体现农作物生长的地表环境特征,主要包括地形、水资源条件与土壤持水能力等),以及承灾体脆弱性因子(表征农作物及其生长环境的抗旱能力,如土地利用方式与植被覆盖状况)。在岩溶地貌区,岩性、地下溶洞与暗河分布等地质条件也可能影响干旱的形成,但受数据获取与实证研究限制,本文暂未将其纳入评估体系。

2.1 致灾环境危险性指标(Z)

气象干旱是农业干旱灾害发生的主导因子,属于干旱致灾因子。常用的气象干旱指数有降水量距平百分率(Percentage Anomaly, PA)、标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)、帕默尔干旱指数(Palmer Drought Severity Index, PDSI)、综合气象干旱指数(Meteorological Comprehensive Index, MCI)、作物水分盈亏指数以及相对湿润度(Moisture Index, MI)等指标[23]。其中,MCI结合SPI,SPIW,MI以及季节调节系数Ka,考虑60 d内的有效降水(权重累积降水)、30 d内蒸散(MI)以及季度尺度90 d降水和近半年尺度降水的影响,干旱发展的累积效应更加突出,重大干旱事件反映明显,因此本文采用MCI作为农业干旱灾害致灾因子,MCI计算公式详见文献[24]。按照气象干旱等级标准(GB/T20481—2017)将MCI划分为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱5个等级,计算评价时段内各等级频率,最后按照公式(2)加权综合生成致灾因子强度,以表征致灾危险性。评价结果显示(图2—3),月、季、年危险性指数均处在0.05~0.85,为了同一评价时间尺度的对比分析,这里按照0.15等间隔将致灾因子危险性指数统一分为5级,即极低危险(<0.2)、低度危险(0.2~0.35)、中度危险(0.35~0.5)、高度危险(0.5~0.65)、极高危险(>0.65)。致灾因子危险性时空变化差异较大。

2.2 孕灾环境敏感性指标(S)

孕灾环境敏感性涉及地形、水资源与土壤等多方面因素:地形通过坡度与坡向影响水分的空间流动与热量分配,坡度决定降水的径流与土壤水的侧向运动,进而影响土壤持水能力与抗旱条件,同时农业活动加剧坡面水土流失的风险[16,25];坡向则通过调控日照时数与太阳辐射强度,间接改变土壤蒸发与植被蒸腾[5]。在水资源方面,本文选取河流、湖泊和水库的邻近度作为评价指标,邻近水源的区域通常具备更强的灌溉条件与抗旱潜力。土壤因子中,土壤黏粒含量被用于表征土壤持水能力,其含量越高,通常土壤孔隙结构越好,吸附水分的能力也越强[25-30],这一指标已在多类干旱风险评估中得到应用[14,16-17]。孕灾环境敏感性指数由公式(2)加权叠加模型计算得出,贵州省农业干旱灾害孕灾环境敏感性分布见图4。

2.3 承灾体脆弱性指标(V)

承灾体自身属性差异是影响农业干旱灾害形成的重要因素。不同土地利用方式及植被覆盖程度具有显著差异的水土保持功能与抗旱能力:一般而言,林地因植被覆盖度高、水源涵养能力强而抗旱能力最优,草地位居其次,耕地的抗旱能力相对最弱。为量

化表征承灾体的脆弱性,本文选取土地利用类型和归一化植被指数(NDVI)作为评价指标。其中,土地利用类型的脆弱性依据其水土保持功能与植被覆盖程度进行赋值,具体采用层次分析法和参考文献[2]综合确定,赋值详见表3。承灾体脆弱性指数由公式(2)计算得出。贵州省月、季、年农业干旱灾害承灾体脆弱性等级分布见图5—6。致灾环境危险性指标、孕灾环境敏感性指标、承灾体脆弱性指标权重见表4。

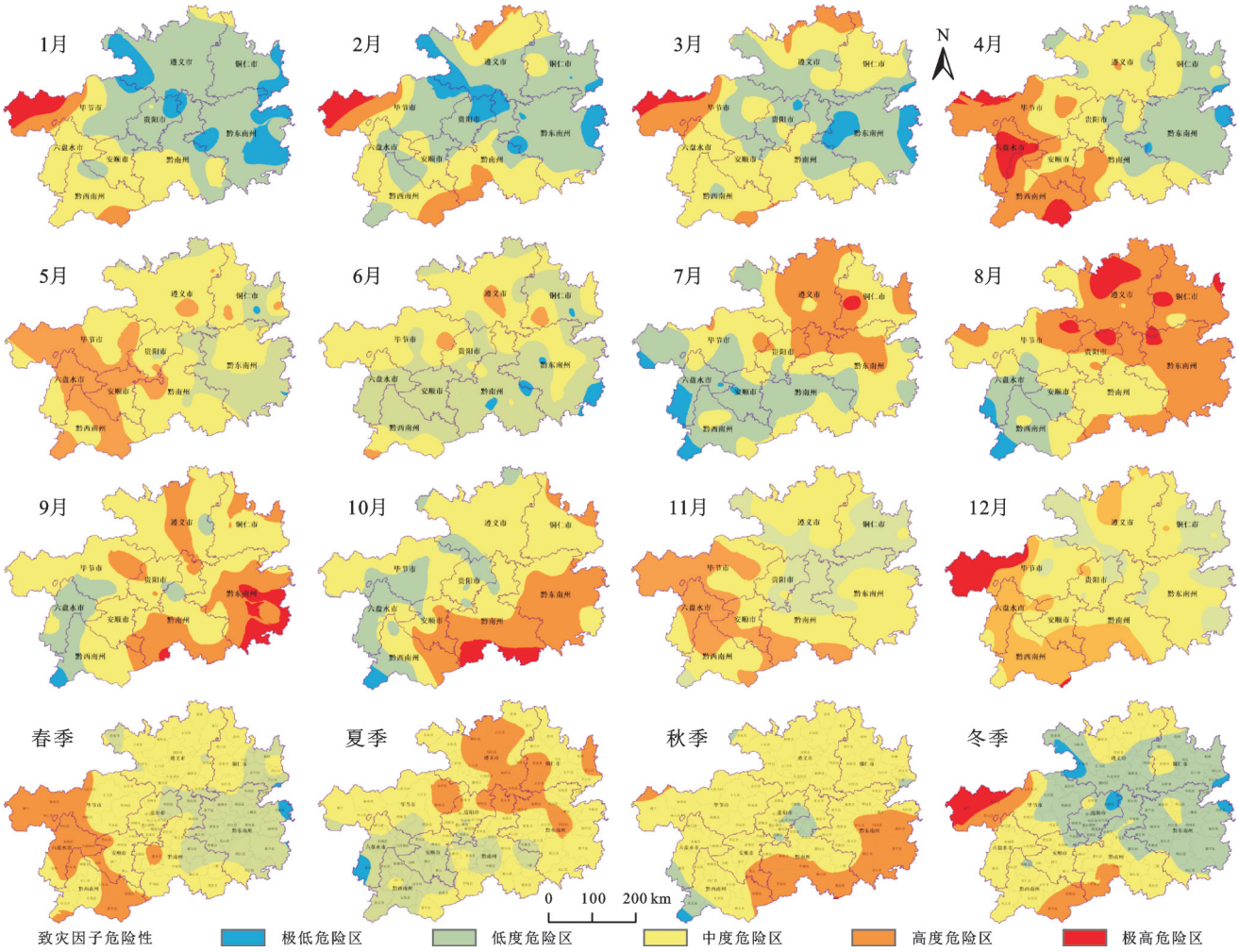


图2　贵州省月、季农业干旱灾害致灾因子危险性等级分布

Fig. 2　Distribution of hazard levels of disaster-causing factors of agricultural drought at monthly and seasonal scales in Guizhou Province

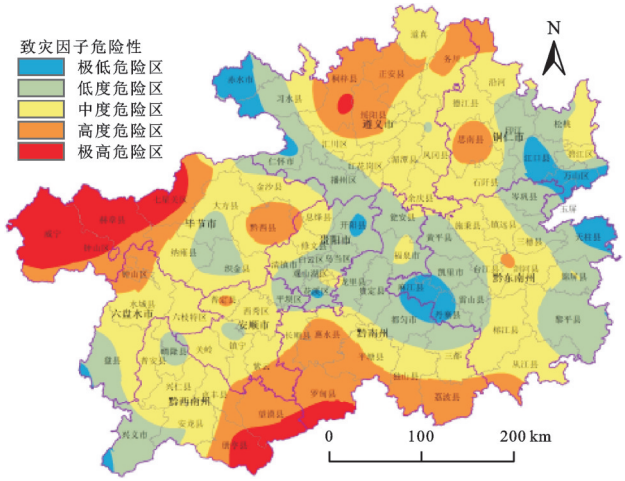


图3　贵州省农业干旱灾害致灾因子危险性等级年分布

Fig. 3　Annual distribution of hazard levels of disaster-causing factors of agricultural drought in Guizhou Province

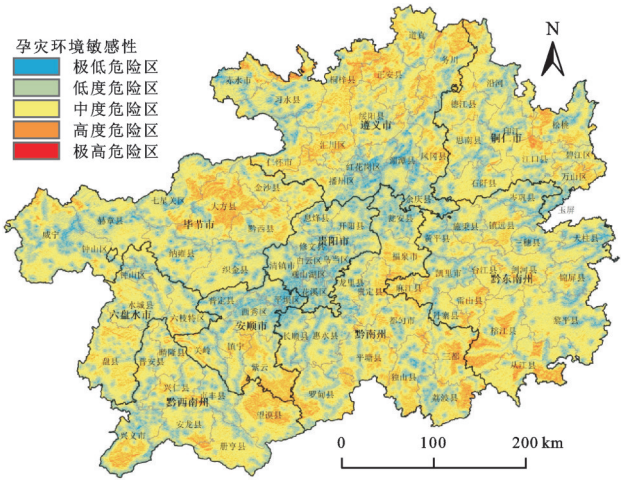


图4　贵州省农业干旱灾害孕灾环境敏感性分布

Fig. 4　Distribution of disaster-forming environmental sensitivity for agricultural drought in Guizhou Province

表 3 土地利用类型脆弱性赋值

Table 3 Vulnerability assignment of land use types

地类	脆弱性指数	地类	脆弱性指数	地类	脆弱性指数
有林地(郁闭度>40%天然林地、人工林)	0.05	中覆盖草地(覆盖20%~50%的天然草地)	0.2		
灌木林(郁闭度>30%的,高度>2 m的矮灌)	0.80	低覆盖草地(覆盖5%~20%的天然草地、改良草地)	0.3	坡度小于25°的山地和丘陵旱地	0.55
稀疏林地(郁闭度在10%~30%的林地)	0.15	河渠、湖泊、水库坑塘、滩地、城镇用地、居民点、其他建设用地、裸土地、裸岩石质地	0		
其他林地(未成林地、苗圃、各类园地)	0.25	水田	0.1	平原旱地	0.40
高覆盖草地(覆盖>50%天然草地、改良草地)	0.10			坡度大于25°的山地和丘陵旱地	0.85

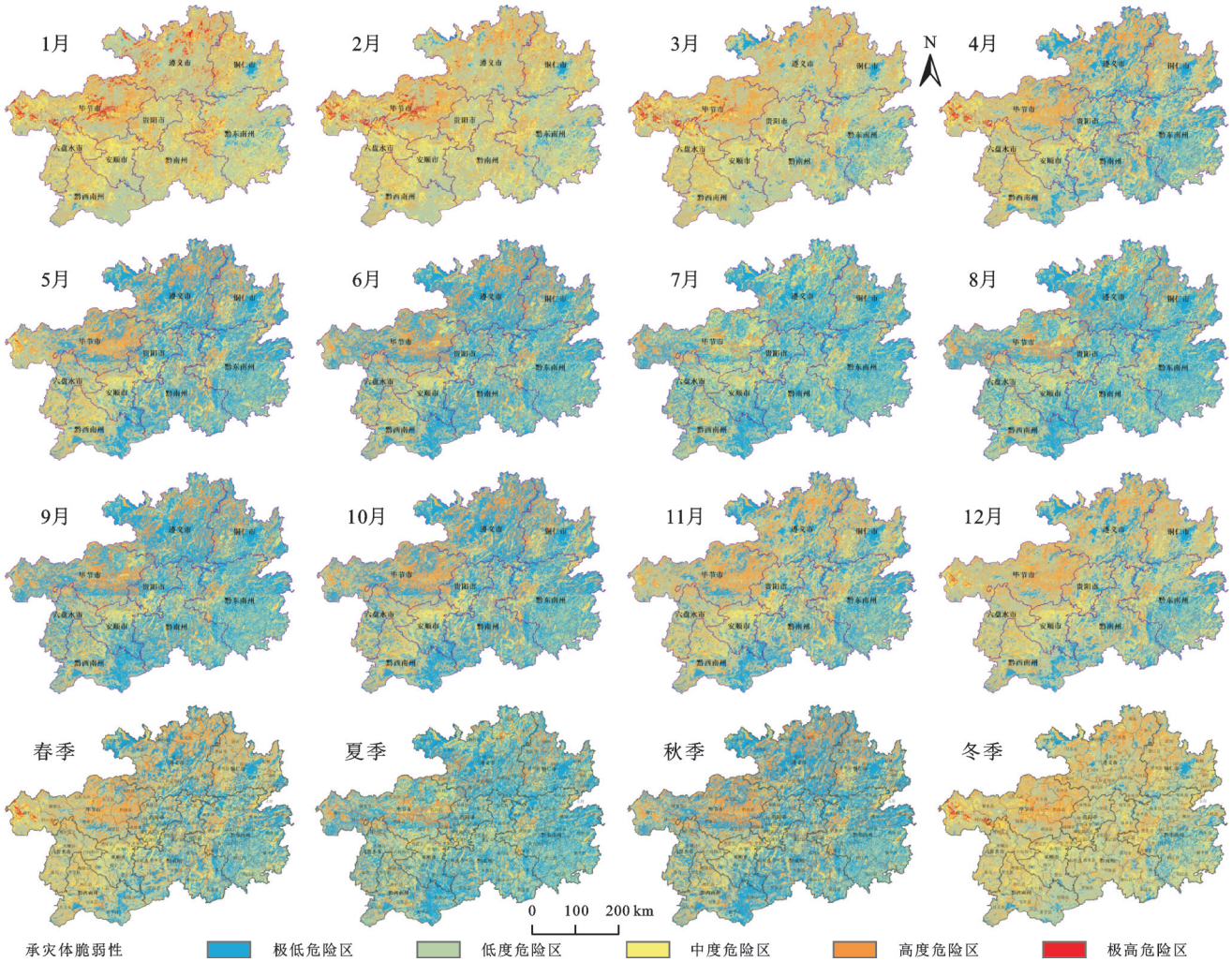


图 5 贵州省月、季农业干旱灾害承灾体脆弱性等级分布

Fig. 5 Distribution of vulnerability levels of disaster-bearing bodies for agricultural drought at monthly and seasonal scales in Guizhou Province

3 结果与分析

在GIS平台上,将计算出的致灾因子、孕灾环境敏感性因子、承灾体脆弱性因子代入公式(1)得出贵州省月、季、年农业干旱灾害危险性指数分布,并对其进行等级划分。月、季、年各时间尺度的农业干旱灾害危险性指数范围均在0.04~0.85,为了月之间、季节之间能够对比分析,这里按照0.15等间隔法将月、季、年各时间尺度的危险性指数分为5级,即极低危险区(<0.2)、低度危险区(0.2~0.35)、中度危险区(0.35~0.50)、高

度危险区(0.50～0.65)、极高危险区(＞0.65),并统计了各危险等级面积及百分率,见表5。

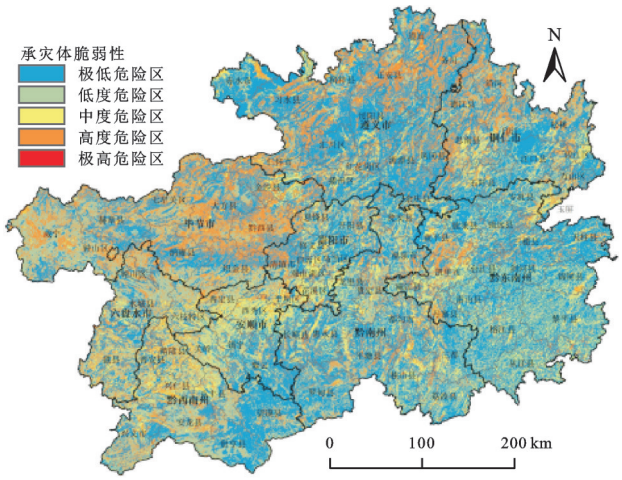


图6　贵州省农业干旱灾害承灾体脆弱性等级年分布

Fig. 6　Annual distribution of vulnerability levels of disaster-bearing bodies for agricultural drought in Guizhou Province

表4　评价指标及其权重

Table 4　Evaluation indicators and their weights

指标(I_j)	权重(W)	因子(f_j)	权重(W)
致灾因子危险性	0.43	轻旱频率	0.10
		中旱频率	0.20
		重旱频率	0.30
		特旱频率	0.40
孕灾环境敏感性	0.32	坡度	0.33
		坡向	0.20
		水源邻近度	0.27
		土壤持水能力(土壤黏粒含量)	0.20
承灾体脆弱性	0.25	土地利用方式	0.60
		植被覆盖度(NDVI)	0.40

3.1　年尺度特征分析

经统计,贵州省年农业干旱灾害危险性指数平均为0.41,整体属于中度危险等级;从面积上看,中度危险区面积最大,占总面积的43.76%,其次为低度危险区,占40.59%,高度危险区占14.04%,极低和极高危险区面积较小,总计不足2%;从空间分布上看,中度及以上危险等级区主要分布在省的南部、西北部,中部以及东部地区主要处于低度及以下危险等级,其中,高度及以上危险区集中分布在毕节市的黔西、大方、七星关区、赫章、威宁,六盘水的钟山区、水城,黔西南州的册亨、望谟,安顺的紫云,黔南州的罗甸、平塘、独山、荔波,铜仁的思南、德江、沿河,遵义的道真、桐梓、正安、绥阳、务川与凤冈等县域地区,是防旱抗旱的重点区域。从实际灾情分布看,贵州干旱灾害季节性特征明显,年尺度评价反映的是全年干旱发生频发度的可能性情况,适合对区域总体的防旱抗旱规划方案指导。

3.2　季尺度特征分析

经统计,贵州省四季农业干旱灾害危险性指数平均为0.41～0.43,为中度危险等级;从面积上看,四季均以中度危险等级面积占优势,占省总面积的52%～65%,其次为高度危险区和低度危险区,极高和极低危险区面积较少,不足2%(图7)。

春季,西部危险性较高,东部较低,高度及以上危险等级区分布在西部大部分地区以及东北部局部地区,中部及东部主要处于中度以下危险区,符合贵州省实际春旱灾情分布格局。贵州春季农业干旱灾害危险性分布格局主要受气候系统异常与地理环境脆弱性共同作用影响控制,气候系统异常方面,气象干旱频发且致灾危险性高,主要与2个方面因素有关,一是春季副高常偏强且位置偏西,会抑制冷暖空气在贵州西部交汇,导致降水减少。同时,副高控制下盛行下沉气流,抑制对流发展,形成持续晴热天气;二是贵州省春季降水主要依赖来自孟加拉湾和南海的暖湿气流。印缅槽(南支槽)常常出现偏弱现象,水汽输送通道被切断,西部地区首当其冲,降水显著偏少。地理环境因素方面,一是贵州西部紧邻云南高原,当西南暖湿气流翻越乌蒙山、哀牢山后,在贵州西部形成"雨影区",水汽已大量消耗,降水量自然减少;二是西部平均海拔1 500～2 000 m,春季日照时数多、气温回升快,潜在蒸散发量大,加剧土壤水分亏缺;三是西部和西南部是贵州喀斯特地貌最发育区域(石漠化率高),山高坡陡,地表土层薄、裂隙多、渗漏快,即使有少量降水也迅速入渗或流失,难以形成有效土壤墒情。

夏季,与冬春旱"西重东轻"相反,夏季干旱呈现"东重西轻"格局。贵州夏季(6—8月)通常为主汛期,降水集中、强度大,按理应是干旱低发期。然而,受大气环流异常和喀斯特地貌脆弱性影响,贵州仍频繁出现阶段性、区域性夏季干旱,6月雨季,干旱风险性较低,夏旱致灾风险主要出现在7—8月。中度及以上危险区主要分布在中部以东以北大面积地区,其中,高度及以上危险区主要分布在毕节东部4县区(七星关区、大方县、黔西市、金沙县)、遵义中部以北地区、铜仁西部4县区以及东部部分地区,这主要与西太平洋副热带高压异常强盛且稳定,南亚高压与副高"对峙"减弱,热带系统(台风、季风槽)路径偏南,等大气环流异常与复杂地形综合作用有关;中部以西以南地区主要处于低度及以下危险区,夏季农业干旱灾害危险性格局符合夏旱灾情分布特征。

表5 贵州省月、季、年农业干旱灾害危险性等级面积比例

Table 5 Area proportions of agricultural drought hazard levels at monthly, seasonal, and annual scales in Guizhou Province

项目	极低危险区		低度危险区		中度危险区		高度危险区		极高危险区	
	面积/km²	百分率/%	面积/km²	百分率/%	面积/km²	百分率/%	面积/km²	百分率/%	面积/km²	百分率/%
1月	6331.51	3.60	77253.10	43.89	83102.87	47.22	8848.83	5.03	482.00	0.27
2月	637.94	0.36	61547.26	34.97	83523.71	47.46	28827.21	16.38	1482.20	0.84
3月	247.47	0.14	45495.36	25.85	79839.32	45.36	48937.30	27.81	1470.56	0.84
4月	387.35	0.22	52061.03	29.58	90790.54	51.59	31892.85	18.12	886.55	0.50
5月	67.63	0.04	38580.46	21.92	100730.71	57.23	36560.68	20.77	50.53	0.03
6月	233.78	0.13	86860.28	49.35	76688.24	43.57	12206.58	6.94	1.13	0.00
7月	650.86	0.37	65086.02	36.98	87942.28	49.97	22204.34	12.62	106.51	0.06
8月	348.29	0.20	30989.42	17.61	95681.94	54.36	47726.08	27.12	1244.28	0.71
9月	122.92	0.07	32918.89	18.70	107352.03	61.00	35425.51	20.13	170.66	0.10
10月	155.44	0.09	34651.07	19.69	105176.95	59.76	35771.81	20.32	234.73	0.13
11月	3.42	0.00	41843.39	23.77	97373.50	55.33	32752.40	18.61	4017.29	2.28
12月	9.55	0.01	30520.27	17.34	95760.74	54.41	47331.29	26.89	2368.16	1.35
春季	107.48	0.06	39141.97	22.24	92966.87	52.82	43255.39	24.58	546.61	0.31
夏季	22.81	0.01	46870.70	26.63	102458.80	58.22	26573.72	15.10	63.97	0.04
秋季	48.80	0.03	23994.12	13.63	114506.49	65.06	37355.73	21.22	84.87	0.05
冬季	55.00	0.03	46629.95	26.49	91623.74	52.06	35531.12	20.19	2178.50	1.24
年	1714.78	0.97	71444.13	40.59	77016.57	43.76	24706.53	14.04	1136.30	0.65

秋季,全省主要以中度危险等级分布为主,高度及以上危险等级区主要集中分布在省的南部以及东南部和毕节东部大部地区,其次是东北部地区。主要原因是副高维持偏强、位置偏西,长期控制贵州,抑制对流发展,导致持续晴热少雨。贵州东部和北部秋季降水依赖华西秋雨系统,华西秋雨常出现偏弱或中断,南下不畅,暖湿气流不足,秋雨期缩短、雨量锐减,导致该区域秋旱偏重。低度及以下危险区主要分布在中部以及西南的兴义地区。

冬季,省西部大部、西南部大部以及东北部主要处于中度及以上危险区,其中,高度及以上危险区集中分布在毕节大部地区,黔西南州东部的册亨、望谟,安顺的紫云,黔南州的罗甸、平塘,遵义的桐梓、正安、道真和务川,铜仁的沿河、德江以及思南等县区;省中部以及东部主要处于低度及以下危险区。冬季农业干旱灾害危险性格局与春季大体一致,主要原因相近。

季节时间尺度评价能反映区域干旱灾害时间变化特征,能为各季节的农林业季节性防旱抗旱规划与实施工作提供指导,但从历史记录的实际灾情发生时间来看,一次干旱灾害过程主要集中发生在某季节的某个月,或者跨月发生,例如,贵州省春旱灾害一般发生在4—5月,4月灾害发生较为频繁;夏旱灾害一般发生在7—8月,8月为伏旱时期,灾害发生最为频繁,6月为梅雨时期,干旱灾害发生较少;秋季干旱灾害主要发生在10—11月,冬季则是12月干旱灾害发生较为频繁,1月气温低蒸发弱,干旱不易发生,侧重于防低温冷冻。对此,基于季度尺度评价,仍不能精细化反映贵州农业干旱灾害危险性的时间变化特征,南方地区各月都有自己的农事活动,基于此考虑,下文将对贵州省农业干旱灾害危险性做更加精细化的月尺度评价,并结合24节气及其相关农事活动对其时空特征进行分析,为各月的农事活动提供详细的防旱抗旱指导依据(图8)。

3.3 月尺度特征分析

1月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.37,为中度危险等级;从面积上看,以中度危险和低度危险等级为主,分别占全省总面积的47.22%,43.89%,高度及以上危险等级区面积为5.3%;从空间分布上看,中度及以上危险区主要集中分布在西部地区,总体西部农业干旱灾害危险性高,东部低,高度及以上危险区主要分布在毕节中部及以西大面积地区,省中部及东部北部大部地区主要处于低度及以下危险等级。1月平均气温10 ℃左右,属于大寒小寒节气时期,全年最寒冷时期,气温低蒸发弱,干旱影响较小,主要侧重于预防牲口及家禽、果园的防冻抗雪工作,干旱影响较小。

2月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.40,为中度危险等级,相比1月,2月白天逐渐变长,气温上升、

日照增多,区域危险性有所上升;从面积上看,2月以中度危险和低度危险为主,分别占总面积的47.46%和34.97%,高度及以上危险等级面积占17.22%;相比1月,低度及以下危险区面积减少了13%,中度危险区面积变化不大,高度及以上危险区面积增加了11.92%;从空间分布上看,中度及以上危险区主要分布在西部大部、南部以及东北部等地区,其中,高度及以上危险区集中分布在毕节大部地区、黔西南州东部地区、黔南州南部地区以及遵义中部以北地区、铜仁西部地区,中部贵阳大部地区、遵义南部以及西部、黔东南州大部、铜仁中部及以东等地区主要处于低度及以下危险等级;与1月相比,南部、西部以及东北部危险性在增强。2月属于立春、雨水节气,油菜抽薹,小麦拔节,该时期主要的农事活动有追施油菜蕾薹肥和小麦拔节肥、烤烟育苗、马铃薯播种。农谚道:“立春春打六九头,春播备耕早动手,雨水春雨贵如油,顶凌耙耘防墒流”,显然,雨水对该时期的农事至关重要,该时期干旱的发生对各农作物的初期生长有较大影响,省西部地区尤其是毕节大部分地区、南部大部分地区以及遵义北部地区、铜仁西部等地区应该加强防旱抗旱工作准备,例如检修山塘水库等。

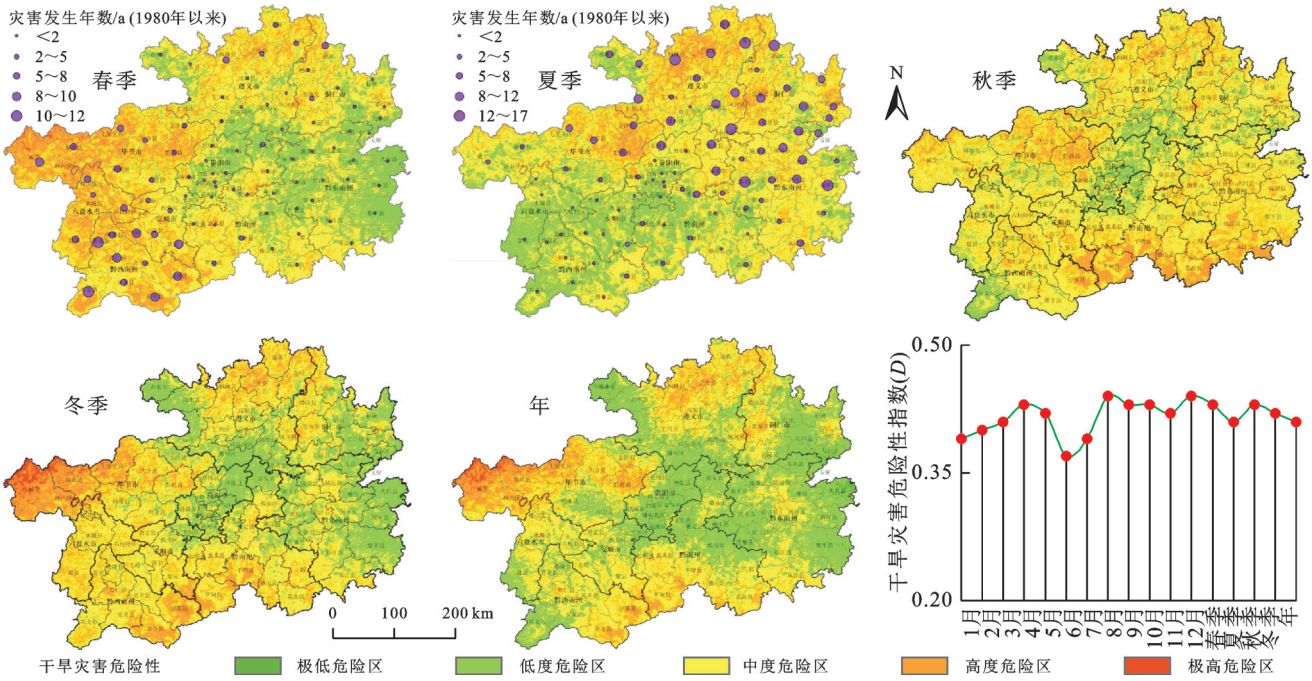


图7　贵州省季节、年尺度农业干旱灾害危险性空间分布及月、季、年平均危险性指数统计

Fig. 7　Spatial distribution of agricultural drought hazard at seasonal and annual scales in Guizhou Province and statistics of monthly, seasonal, and annual average hazard indices

3月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.41,为中度危险等级,与2月相当;从面积上看,中度危险等级面积占比最大,为45.36%,其次为高度危险区,为27.81%,再次是低度危险区,与2月相比,中度危险等级面积变化不大,高度及以上危险面积增加了12.27%;空间分布上看,与2月分布格局大致一致,贵州省的西部以及东北部危险性有所上升,南部有所下降。3月为惊蛰、春分节气,是各种春种作物播种的大忙季节,农谚道:“春分一到昼夜平,耕田保墒要先行,春分有雨家家忙,先种瓜豆后插秧”,该月雨水对春播极为重要,西部大部以及东北部大部的农业干旱处于高度及以上危险等级,干旱容易发生,应当做好蓄水工程等防旱措施。

4月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.43,为中度危险等级,与3月相比,总体危险性有所上升;从面积上看,仍以中度危险等级为主,占总面积的51.59%,其次为低度危险区,占29.58%,高度及以上危险区面积为18.62%;从空间分布上看,高度及以上危险区集中分布在西部以及东部部分地区,涉及毕节、六盘水、黔西南以及安顺等大部地区、遵义中部及北部部分地区、黔南州西南部部分地区以及铜仁西部部分地区,与3月相比,西部危险性上升明显,东北部有所降低。4月属于清明、谷雨节气,清明节气时期主要的农事活动为水稻播种、玉米,谷雨节气时期为精耕细作,大豆、花生种植,同时油菜进入绿熟期,小麦进入乳熟期,烤烟移栽,此时雨水对小麦、油菜的成熟以及后期的产量有极大影响,对播种的其他作物也有较大影响,因此,毕节、六盘水、黔西南以及安顺等地区是防旱重点区域。综上,4月贵州西部农业干旱致灾风险高,对小麦和油菜等作物影响较大。

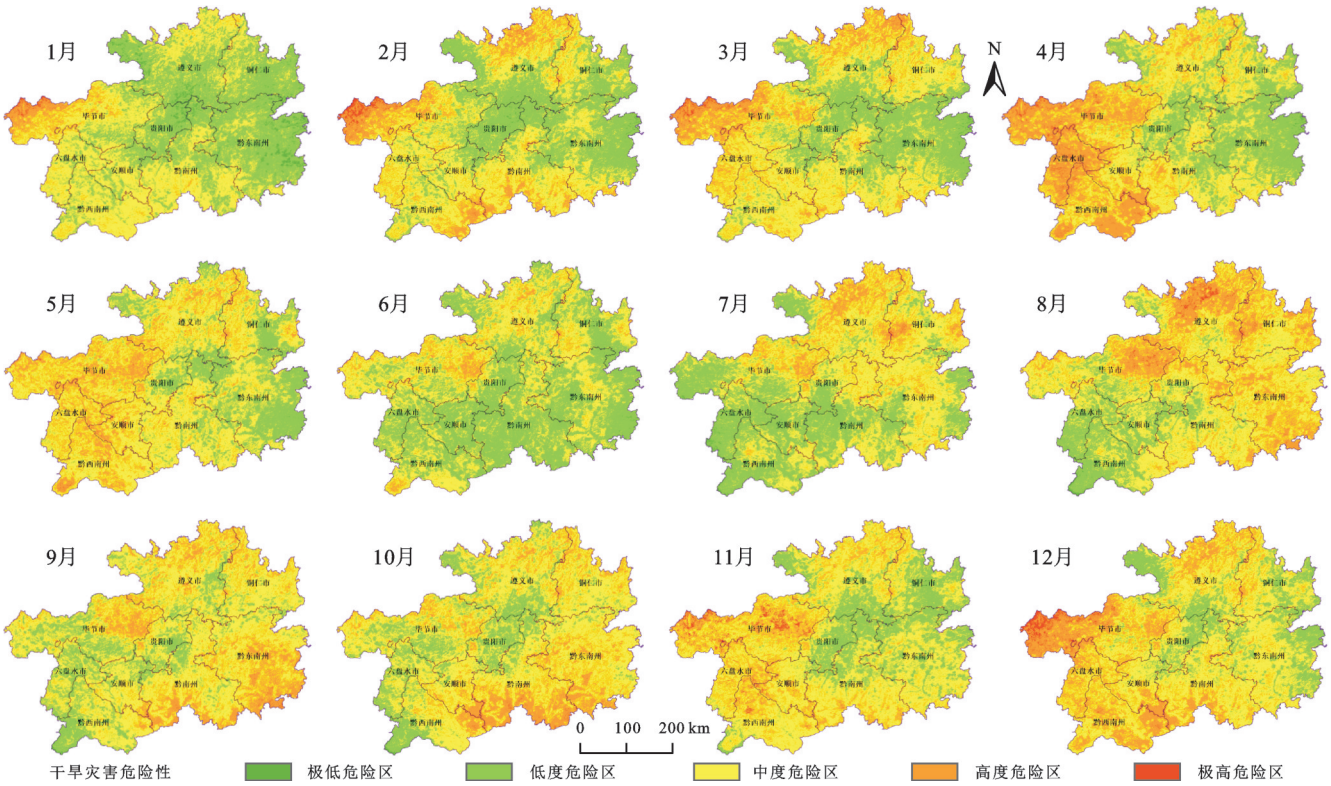


图8 贵州省月尺度农业干旱灾害危险性空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of monthly agricultural drought hazard in Guizhou Province

5月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.42,为中度危险等级,相比4月,5月干旱灾害危险性有所降低;从面积上看,以中度危险等级为主,占总面积的57.23%,其次为高度危险和低度危险等级,分别占20.77%和21.92%,极高和极低危险区分布较少,不足0.1%;空间上,与4月干旱灾害危险性分布格局大体相同,高危险主要集中分布在西部以及东北部地区,涉及毕节、六盘水、黔西南州、安顺的大部地区、铜仁西部地区、遵义西南部、北部以及中部地区。5月属于立夏和小满节气,主要的农事活动为油菜、小麦收割,后期大部地区进入雨水集中期,抢水打田移栽秧苗,前期的连续性晴天利于成熟作物收割,后期的干旱对移栽作物以及其他作物的生长有不利影响,显然,这个月的干旱有利有弊。

6月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.37,为中度危险等级,是干旱灾害危险性最低月份,相比5月,干旱灾害危险性有明显降低;从面积上看,6月以低度危险等级为主,占总面积的49.35%,其次为中度危险等级,占43.57%,高度和低度危险区分布少;空间上,全省大部地区为低度及以下危险区,毕节东部,遵义中部部分以及铜仁西南部、东部局部、黔西南州西南部部分等地区为高度及以上危险区。6月属于芒种、夏至节气时期,主要的农事活动为水稻栽插、晚玉米播种、红薯移栽等,6月是南方的梅雨季节,暴雨集中,干旱灾害危险性低,对各农作物生长的不利影响较小,但部分地区的农业干旱灾害危险性处于高度及以上危险等级,因此应当加强对这些地区的防旱工作。

7月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.39,为中度偏低危险等级,炎热天气渐渐袭来,干旱灾害危险性相比6月有所上升;从面积上,7月以中低度危险等级为主,占总面积的86.95%,高度危险等级占12.62%,极高、极低危险区分布较少,不足1%;从空间上看,中部及其以南、以西等大部地区主要处于低度及以下危险区,危险性低,中部以东、以北大部地区主要处于中度及以上危险区,高度及以上危险区集中分布在毕节东部大部地区、遵义西南部以及北部的大部地区以及铜仁的西部和东部部分地区、黔东南的中部和西部等局部地区。7月为小暑和大暑(伏旱)节气,是干旱灾害易发时期,秋收作物进入生长旺盛期,东北以及东部地区、毕节东部等地区是防旱防病虫害的重点区域。

8月贵州农业干旱灾害危险性指数为0.44,为中度危险等级,为干旱灾害危险性最高月份;从面积上,以中度危险等级为主,占总面积的54.36%,其次为高度危险等级,占27.12%,极高、极低危险区分布较少;从空间上,相比7月,东部、东北部、南部以及毕节东部等的干旱灾害危险性明显上升,高危险等级集中分布在毕节东部大部地区、遵义以北的大部地区、铜仁西部以及东部地区、黔东南大部地区。8月为立秋、处暑节气,各种农作物旺盛生长,处于需水

关键期,同时也是南方伏旱季节。农谚道:“立秋三场雨,秋稻变成米;立秋雨淋淋,遍地是黄金”。显然,此时若出现干旱,会给农作物造成严重损失,现实灾情表明,8月旱情在一年之中最为严重,应该重视干旱灾害高危险区的防旱防病虫害。

9月贵州省农业干旱灾害危险性指数为0.43,为中度危险等级;从面积上看,9月以中度等级为主,占总面积的61%,其次为高度危险等级和低度危险等级,分别占20.13%,18.7%,极低、极高危险等级分布较少;空间上,高危险区主要分布在毕节东部、黔东南州大部地区、黔南州南部地区以及遵义中部及北部大部、铜仁北部部分地区等。9月为白露、秋分节气,是水稻、晚玉米、大豆和马铃薯等农作物的收割期,此时的干旱天气利于作物收割和晒存,高危险等级区天气晴朗时间较多,应及时抢晴收割和晒存。对此,9月的干旱总体利大于弊。

10月贵州省农业干旱灾害危险性指数为0.43,为中度危险等级;从面积上,10月以中度危险等级为主,占59.76%,其次为高度危险和低度危险等级,分别占20.32%,19.69%;从空间上看,高度危险区集中分布在黔南州南部大部地区、黔东南州中部以及南部、铜仁北部地区、遵义东北部部分地区、毕节东部地区、安顺中部及其东南部以及黔西南州东部部分地区。10月为寒露、霜降节气,主要的农事活动为油菜小麦播种,蔬菜种植,此时的干旱影响较小。

11月贵州省农业干旱灾害危险性指数为0.42,为中度危险等级;从面积上,11月以中度危险等级为主,占55.33%,其次为低度危险和高度危险等级,分别占23.77%,18.61%;空间上,高度危险区主要分布在西北和西部、黔南州南部部分地区以及省的东北部部分地区,中部及东部危险性主要处于中度以下危险等级。11月为立冬、小雪节气,气温偏低,蒸发弱,属于旱灾不易发生时期,但对来年有一定影响。

12月贵州省农业干旱灾害危险性指数为0.44,为中度危险等级;从面积上,12月以中度危险等级为主,占54.41%,其次为低度危险和高度危险等级,分别占26.89%,17.34%;空间上,省西部大部地区以及东北部为高度及以上危险区,中部及东部地区危险性较低。12月为大雪、冬至节气,属于油菜、小麦缓慢生长期,主要是做好防冻防病虫害,该月历史上旱情罕见,但应该预防高危险区来年的病虫害以及持续性的干旱天气。

4　讨论与结论

本研究以贵州省为典型案例,综合气候、地形、水文、土壤、植被及土地利用等多源指标和数据,采用加权叠加算法,基于GIS平台实现月、季、年多时间尺度的动态评价与空间区划。通过将春季与夏季的干旱危险性分布格局与同期历史干旱发生频率进行对比验证,发现二者具有较高的一致性,表明本研究的指标选取与评价方法合理可行,结果对区域农业干旱防控具备参考与应用价值。主要结论如下:

(1) 时空分异特征显著:贵州省农业干旱危险性空间分布具有明显的季节性,春季高危险区主要位于西部,夏季则转移至东部,中部地区风险相对较低,这与实际干旱灾情的时空格局相符。

(2) 整体处于中度风险水平:全省月、季、年平均危险性指数为0.37~0.44,整体属于中度危险等级,但不同季节与区域差异显著。

(3) 高风险区域集中:西部(如毕节、六盘水)、南部(黔西南、黔南部分地区)及东北部(遵义、铜仁部分县区)是干旱高危险区,应作为重点防治区域,强化水资源调配、灌溉设施建设与抗旱作物布局。

本研究在月、季尺度上实现了农业干旱危险性的精细化评价,能够为不同农事季节的防灾减灾提供更具操作性的指导。然而,研究尚未纳入岩溶地下水文过程、灌溉保障能力等动态人为调控因素,同时非气象指标的量化较为粗放,局部区域评价结果可能存在一定的不确定性。未来将进一步深入开展各指标对农业干旱的影响机制及贡献度,科学量化指标,同时融合实时水文数据与社会经济指标,提升风险评估的动态性与综合性。此外,评价结果可与作物需水规律、种植结构优化相结合,形成“风险识别—适应调控”一体化决策支持体系,助力贵州及类似喀斯特地区农业旱灾风险管控与可持续发展。

参考文献(References):

[1] 刘力华,徐建新,雷宏军,等.贵州省农业干旱灾害风险区划研究[J].灌溉排水学报,2016,35(2):44-49.
Liu L H, Xu J X, Lei H J, et al. Drought disaster risk of agricultural zoning in Guizhou Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016,35(2):44-49.

[2] 朱军,帅士章,王星,等.基于GIS的贵州省农业干旱灾害危险性评价[J].中低纬山地气象,2021,45(1):9-16.
Zhu J, Shuai S Z, Wang X, et al. The dangerousness assessment of agricultural drought disaster in Guizhou Province based on GIS[J]. Mid-Low Latitude Mountain Meteorology, 2021,45(1):9-16.

[3] 王盈盈,王志良,张泽中,等.基于SPEI的贵州省分区干旱时空演变特征[J].灌溉排水学报,2019,38(6):119-128.
Wang Y Y, Wang Z L, Zhang Z Z, et al. Evaluating the spatiotemporal evolution of drought in Guizhou Province

using the SPEI index[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019,38(6):119-128.

[4] 韩会庆,张娇艳,张英佳,等.未来气候变化情景下贵州省水稻干旱风险研究[J].节水灌溉,2018(5):51-56.
Han H Q, Zhang J X, Zhang Y J, et al. A study on rice drought risk under future climate change in Guizhou Province[J]. Water Saving Irrigation, 2018(5):51-56.

[5] 冯禹,崔宁博,徐燕梅,等.贵州省干旱时空分布特征研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(8):82-86.
Feng Y, Cui N B, Xu Y M, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of meteorological drought in Guizhou Province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015,29(8):82-86.

[6] 陈学凯,徐建新,雷宏军,等.贵州省干旱时空变化特征及其对气候变化的响应[J].灌溉排水学报,2015,34(8):72-81.
Chen X K, Xu J X, Lei H J, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of drought and its regional response to climate change in Guizhou Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015,34(8):72-81.

[7] 李佳,李彦彬,徐建新,等.贵州省玉米不同生育阶段干旱灾害风险分析[J].灌溉排水学报,2015,34(6):39-43.
Li J, Li Y B, Xu J X, et al. Analysis on drought disaster risk in different growth stages of maize in Guizhou Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015,34(6):39-43.

[8] 郭站群,贺中华,余欢,等.基于XGBoost-ConvLSTM喀斯特流域农业干旱及重心迁移预测:以贵州省为例[J].水土保持研究,2026,33(2):196-205.
Guo Z Q, He Z H, Yu H, et al. Prediction of agricultural drought and centroid migration in karst watershed based on XGBoost-ConvLSTM: a case study of Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2026,33(2):196-205.

[9] 任青峰,谢强,吴新豪,等.贵州干旱热浪复合事件时空变化特征及其与农业干旱的相关性[J].中国农业气象,2025,46(9):1362-1370.
Ren Q F, Xie Q, Wu X H, et al. Spatial and temporal variation characteristics of drought heat wave compound events in Guizhou and its correlation with agricultural drought[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2025,46(9):1362-1370.

[10] 安妮,张会兰,许杨,等.金沙江流域气象干旱与农业干旱的时空演变特征[J].水土保持研究,2025,32(4):176-188.
An N, Zhang H L, Xu Y, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of meteorological and agricultural droughts in Jinsha River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(4):176-188.

[11] 许丹,龙俐,张东海,等.基于MCI干旱综合指数的贵州省干旱时空分布及灾情变化特征[J].干旱气象,2023,41(6):897-909.
Xu D, Long L, Zhang D H, et al. Drought and disaster variation characteristics in Guizhou based on Meteorological Drought Composite Index[J]. Journal of Arid Meteorology, 2023,41(6):897-909.

[12] 姜忠峰,许桂平,张凯.基于SPEI的贵州省气象干旱时空演变特征及双变量区域频率分析[J].水资源与水工程学报,2023,34(5):20-31.
Jiang Z F, Xu G P, Zhang K. Spatiotemporal variation and bivariate regional frequency analysis of meteorological droughts in Guizhou Province based on SPEI[J]. Journal of Water Resources Water Engineering, 2023,34(5):20-31.

[13] 吴小飘,周忠发,朱孟,等.典型喀斯特聚集区不同地貌类型干旱时空特征[J].水土保持研究,2023,30(1):336-347.
Wu X P, Zhou Z F, Zhu M, et al. Spatiotemporal characteristics of drought in different geomorphic types in typical karst cluster areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(1):336-347.

[14] 卢晓宁,洪佳,王玲玲,等.复杂地形地貌背景区干旱风险评价[J].农业工程学报,2015,31(1):162-169.
Lu X N, Hong J, Wang L L, et al. Drought risk assessment in complex landform area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1):162-169.

[15] 李莉,匡昭敏,莫建飞,等.广西甘蔗秋旱灾害风险评估技术初步研究[J].应用气象学报,2016,27(1):95-101.
Li L, Kuang S M, Mo J F, et al. Assessment of autumn drought risk of sugarcane in Guangxi[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2016, 27(1):95-101.

[16] 张晓煜,杨晓光,韩颖娟,等.宁夏南部山区农业干旱预警模型[J].农业工程学报,2011,27(4):41-47,405.
Zhang X Y, Yang X G, Han Y J, et al. Agricultural drought early warning models in southern Ningxia[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(4):41-47.

[17] 刘晓静,陈鹏,刘家福.辽西北地区农业干旱危险性评价与区划[J].中国农业资源与区划,2018,39(10):191-195.
Liu X J, Chen P, Liu J F. The study on hazard assessment and regionalization of agricultural drought in the northwestern of Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018,39(10):191-195.

[18] 马艳梅,吴玉鸣,吴柏钧.长三角地区城镇化可持续发展综合评价:基于熵值法和象限图法[J].经济地理,

2015,35(6):47-53.
Ma Y M, Wu Y M, Wu B J. Comprehensive evaluation of sustainable urban development of Yangtze River Delta based on entropy method and quadrant method [J]. Economic Geography, 2015,35(6):47-53.

[19] 乔家君.改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J].资源科学,2004,26(1):113-119.
Qiao J J. Application of improved entropy method in Henan sustainable development evaluation[J]. Resources Science, 2004,26(1):113-119.

[20] 王富喜,毛爱华,李赫龙,等.基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J].地理科学,2013,33(11):1323-1329.
Wang F X, Mao A H, Li H L, et al. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong Province based on the entropy method[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013,33(11):1323-1329.

[21] 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 B, Wang Q J, Wu D, 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.

[22] UN/ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives[R/OL]. Geneva: UN/ISDR, 2007. https://www.preventionweb.net/publication/disaster-risk-reduction-2007-global-review.

[23] 韩兰英.气候变暖背景下中国农业干旱灾害致灾因子、风险性特征及其影响机制研究[D].兰州:兰州大学,2016.
Han L Y. The agricultural drought disaster hazard factor, risk characteristic and mechanisms in China under climate warming[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.

[24] GB/T 20481—2017 气象干旱等级[S].
GB/T 20481—2017 Grades of meteorological drought[S].

[25] 秦伟,朱清科,张岩.基于GIS和RUSLE的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J].农业工程学报,2009,25(8):157-163.
Qin W, Zhu Q K, Zhang Y. Soil erosion assessment of small watershed in Loess Plateau based on GIS and RUSLE[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(8):157-163.

[26] 阎莉.辽西北玉米干旱脆弱性评价及区划研究[D].长春:东北师范大学,2012.
Yan L. A study on dynamic risk assessment of maize drought disaster in northwestern Liaoning Province[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2012.

[27] 夏卫生,雷廷武,刘纪根.PAM防治水土流失的研究现状及评述[J].土壤通报,2002,33(1):78-80.
Xia W S, Lei T W, Liu J G. Development and review of research of preventing soil erosion with polyacrylamide (PAM) [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002,33(1):78-80.

[28] 吴建平,袁正科,田育新.湖南省主要森林类型林地土壤持水功能及其改良技术[J].水土保持通报,2000,20(6):30-32.
Wu J P, Yuan Z K, Tian Y X. Improving techniques and water preserving capability of soil under main forest types in Hu′nan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2000,20(6):30-32.

[29] 康绍忠,蔡焕杰,吴普特,等.农业高效用水与水土环境保护[M].西安:陕西科技出版社,2000.
Kang S Z, Cai H J, Wu P T, et al. Efficient agricultural water use and water and soil environmental protection [M]. Xi′an: Shaanxi Science and Technology Press, 2000.

[30] 杜尧东,夏海江,孟维忠.聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究[J].水土保持学报,2000,14(3):10-13.
Du Y D, Xia H J, Meng W Z. Field experiment of preventing water and soil losses with polyacrylamide on sloping field [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,14(3):10-13.