

文章编号:1672-3317(2017)02-0044-08

云南省干旱分区及农业旱灾风险区划研究

常文娟^{1,2,3}, 梁忠民⁴, 李燕⁵, 段琪彩⁶

(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.中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 4.河海大学水文水资源学院, 南京 210098; 5.南通和信工程勘测设计院有限公司, 江苏 南通 226000; 6.云南省水利水电科学研究院, 昆明 650021)

摘要:探讨了干旱分区及农业旱灾风险区划的方法,并在云南省开展了应用研究。选取流域地貌特征指数、多年平均干旱指数和75%保证率年降雨量负距平百分率指标,采用主成分分析法对云南省进行干旱自然分区进行了研究;将干旱分区成果作为旱灾风险区划指标之一,综合考虑旱灾风险危险性、脆弱性及易损性因素建立了旱灾风险区划指标体系,并根据多层次模糊综合评估结果进行了云南农业旱灾风险区划研究。结果表明,滇东北是干旱易发区,滇西南是干旱轻发区或少发区;滇东北属于旱灾高风险区,滇西北属于旱灾低风险区。分区成果与云南省的历史干旱情况基本符合,表明基于主成分的干旱自然分区和基于构成要素的旱灾风险区划方法是可行的。

关键词:干旱分区;主成分分析法;旱灾风险区划;模糊综合评判;ArcGIS

中图分类号: X43; S166

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.02.007

常文娟,梁忠民,李燕,等. 云南省干旱分区及农业旱灾风险区划研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(2): 44-51.

0 引言

干旱分区及旱灾风险区划,对提高防旱减灾能力建设、实现旱灾风险管理具有重要意义。相较于气候、自然地理等分区的研究,干旱分区及旱灾风险区划研究相对较晚。早在1900年柯本就开始了气候分区研究^[1],1937年苏联学者谢良尼诺夫提出了农业气候区划^[1],1972年戈里茨别尔格用改进的谢氏区划编《世界农业气候图集》,将世界分为4个热量区(寒带、温带、亚热带和热带)和4个水分地带(半湿润地带、湿润地带、半干旱地带和干旱地带)。1931年竺可桢发表“中国气候区域论”,将我国划分为8类气候区域^[2]。近年来,我国已先后完成了全国农业气候区划^[3-4]、全国水文区划^[5]、中国生态水文分区^[6]、河流功能区划^[7]、生态功能区划^[8]、地下水功能区划^[9]等研究。干旱分区最初研究主要集中在干旱脆弱性分区,如通过构造农业干旱脆弱性分区层次分析模型绘制了中国农业干旱脆弱性分区图^[10];基于降水量距平百分率对干旱等级序列进行气候分区,分析降水量的时间演变特征^[11];采用综合因子与主导因子相结合方法、逐级指标筛选法,综合灾害分析和聚类分析方法,对季节性干旱进行了3级分区,并在此基础上对不同季节性干旱特征分区分布情况、干旱特点及对农业生产影响进行评述^[12];通过构建渭河流域干旱综合评价指标体系,采用基于对立统一与质量互变定量的可变模糊评价法,分析了渭河流域综合干旱分区状态进行^[13];基于可变模糊评价法,通过变换参数模型反映自然因素引起的干旱事件,并通过分析干旱事件时空变化特征,对该区旱情进行区域划分^[14]。关于旱灾风险区划研究代表性成果主要有:提出了冬小麦干旱灾害风险指数的概念和计算方法,并以旱年平均减产率、干旱灾害风险指数和冬小麦年降雨量等因子为指标,利用地理信息技术将全省冬小麦种植区划为干旱灾害高、中、低3种风险区^[15];利用自然灾害风险形成四因子(致灾因子危险性、成灾体暴露性和脆弱性、区域抗旱减灾能力)理论,选取安徽省气象、水文、社会和经济等18个指标建立了安徽省旱灾风险评价模型,对安徽省2000—2009年旱灾风险进行了区划^[16];采用层次分析法和灾损率法对安徽省小麦旱灾风险进行了评估,并绘制了风险区划图^[17];根据自然灾害风险理论,从致灾因子危险性、孕灾环境暴露性、

收稿日期:2016-06-29

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究项目(B2015255);国家科技支撑计划项目(2013BAB06B01);国家重点研发计划项目(2016YFC0402208);三峡大学科学基金项目(KJ2013B072)

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

承灾体易损性、防灾减灾能力等4个子系统选取指标,建立干旱灾害风险指数模型,在GIS中进行聚类分析,根据拟定的区划原则,采用“自下而上”和“自上而下”相结合的区划方法,将淮河流域分为6个旱灾风险分区^[18];基于自然水分亏缺率指数、降水距平百分率指数和抗旱指数,构建了干旱风险综合指标,并开展了风险区划研究^[19];利用黄淮海地区气象数据以及地形、土地利用类型等数据,基于自然灾害风险评估原理,运用信息扩散法、加权综合评价法和层次分析法,结合GIS技术对黄淮海地区夏玉米干旱灾害进行风险评估与区划^[20];基于致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾4个方面构建了干旱灾害风险评估指标体系,对贵州省1949—2011年干旱灾害进行综合评价,并利用GIS图层叠加技术对贵州农业干旱灾害风险区划进行研究^[21]。

综上所述,关于干旱分区及早灾风险区划的研究主要包括2方面,一是分区/区划指标体系构建,二是分区/区划方法研究,干旱分区和旱灾风险区划多是独立研究,兹尝试将二者进行耦合研究,先进行干旱自然分区,在干旱分区基础上进行农业旱灾风险区划,具体运用过程中,通过选取气象水文、地形地貌等自然要素作为干旱自然分区指标,以云南省16州(市)为基本计算单元,采用主成分分析方法进行指标聚类,进行干旱分区;将干旱分区结果数值化,作为旱灾风险致灾因子危险性的一个指标,结合危险性、脆弱性及易损性因素建立旱灾风险区划指标,采用多层次模糊综合评估方法进行旱灾风险区划,并基于GIS叠置分析技术得到云南省干旱分区和农业旱灾风险区划成果,以期为我国开展旱灾风险评估与区划工作提供技术参考。

1 干旱分区

1.1 干旱分区方法

干旱分区的主要目的在于了解各种干旱影响因素的区域组合差异,揭示干旱变化规律,分析干旱的地域空间分布格局,为旱灾风险管理和防旱减灾工作提供背景信息和决策支撑。干旱分区是根据区域内干旱成因的相似性和差异性,按照干旱空间分布特征分成不同等级或严重程度的干旱区划,其主要内容包括确定干旱分区指标和区划方法。

1.1.1 干旱分区指标

干旱分区的常用指标包括地貌特征指数、多年平均干旱指数、多年平均径流深、年径流变差系数、年降水变差系数、 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率等。考虑到云南省地处低纬高原地区,以及降雨时空分布不均匀,水资源分布与人口、耕地等分布不协调,水利基础设施有限,历来旱灾频发等特点,兹选取地貌特征指数、多年平均干旱指数和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率3个指标,以市级行政区为基本单元进行研究区干旱自然分区。

1)地貌特征指数。地貌即地球表面各种形态的总称,也叫地形。我国的地貌类型主要可分为高原、山地、盆地、丘陵和平原。其特征见表1。

表1 我国主要地貌特征

地貌类型	主要地貌特征
高原	海拔在500 m以上、面积较大、顶面起伏较小、外围又较陡的高地。
山地	山岭、山间谷地和山间盆地的总称,海拔在500 m以上的高地,起伏较大,山坡陡峭,沟谷幽深,一般多呈脉状分布。
平原	为地势平坦、面积辽阔广大的陆地,海拔200~500 m为高原,0~200 m为低平原,海拔低于海平面的称为洼地。
丘陵	指地势起伏不平、连接成大片的小山,海拔高度不超过500 m,相对高度一般在100 m以下。
盆地	四周高起、中间低凹的盆状地形。

2)多年平均干旱指数。干旱指数即干燥度,反映的是气候干燥程度:

$$I=E_0/P, \tag{1}$$

式中: I 为干旱指数,依据该指数可划分为湿润区($I<1.0$)、半湿润区($1.0\leq I<1.5$)、半干旱区($1.5\leq I<4.0$)和干旱区($I\geq 4.0$); E_0 为年均蒸发能力(mm),通过FAO Penman-Monteith方法计算; P 为年均降水量(mm)。

3) $P_{75\%}$ 年降水量负距平百分率。该指标反映了枯水年份(75%保证率)年降水量低于多年平均降水量的程度:

$$D=(\bar{P}-P_{75\%})/\bar{P}, \tag{2}$$

式中: D 为 $P_{75\%}$ 年降水量负距平百分率; $\bar{P}$ 为多年平均降水量(mm); $P_{75\%}$ 为 $P=75\%$ 年份的年降水量(mm)。

1.1.2 干旱分区方法

干旱分区的方法很多,如基于GIS空间插值技术和叠置技术的方法、传统“自上而下”的分类和“自下而

上”的聚合方法、主成分分析方法和聚类分析方法等。研究过程中,分别采用了逐级叠加嵌套和主成分分析2种方法进行分区,分区结果大致相同。因主成分分析方法结果相对更符合云南省多年实际干旱情况,故最终采用主成分分析法进行云南省干旱自然分区。主成分分析法是通过降维技术,用较少的变量代替原来较多变量,同时保证新变量(主成分)之间彼此独立,通常采用主成分方差累积贡献率(达85%以上)原则选取主成分个数,再根据确定的主成分变量进行聚类分区。主成分分析方法可参见文献[22]。

1.2 云南省干旱自然分区示例

云南省位于中国西南边陲,简称滇或云,地处 $97^{\circ}31'39''$ — $106^{\circ}11'47''$ E、 $21^{\circ}08'32''$ — $29^{\circ}15'08''$ N,横跨10个经度带和9个纬度带,作为一个内陆边疆省份,西北紧靠西藏,北与四川相连,东与贵州、广西为邻,西南边与缅甸毗邻,南边与老挝和越南接壤。从其位置看,北依广袤的亚欧大陆,南邻辽阔的印度洋及太平洋,处于东南季风和西南季风控制之下。受西藏高原区的影响,从而形成复杂多样的自然地理环境。特殊的地理位置和复杂的气候变化,致使其自古以来就是一个干旱灾害频发的地区。据资料记载,云南省1300—1990年期间,发生211次干旱,其中大旱76次,平均每9.1 a发生1次,小旱135次,平均每5.1 a发生1次;1990—2010年,有10个年份发生了较严重的干旱,分别是:1991、1992、1999、2002、2003、2005、2006、2007、2009、2010年,其中2009—2010年为全省性大旱。越来越频繁的干旱给云南省的农业、城镇供水、农村人畜饮水以及水力发电、工业生产等方面造成严重的影响。

通过GIS提取云南各州市平均高程,基础数据采用云南省境内德钦站、中甸站、维西站等30个气象站点1963—2012年的年降雨量资料和年平均气温资料,确定云南省16个州(市)的指标值。采用主成分分析法,将地貌特征指数 H 、多年平均干旱指数 I 和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率 D 等分区指标数据进行标准化处理,计算得到各变量的相关系数矩阵,进而可确定主成分。因前2个主成分的累积贡献率为85.3%,故提取前2个主成分:

第一主成分为: $Y_1 = -0.3507X_1 + 0.6620X_2 + 0.6623X_3$,

第二主成分为: $Y_2 = 0.9365X_1 + 0.2491X_2 + 0.2468X_3$,

式中: Y_1 为第一主成分; Y_2 为第二主成分; X_1 、 X_2 、 X_3 分别为地形高程指数 H 、干旱指数 I 和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率 D 。

为充分考虑二者的影响,以第一主成分和第二主成分的贡献率在累积贡献率中所占的比重将2个主成分综合为干旱自然分区综合指标 Y , $Y = 0.647Y_1 + 0.353Y_2$,其值越大,越容易发生干旱。

由此可计算云南省自然干旱分区综合指标 Y 值并进行排序,以0.75、0和-1为分割点可将云南省16个州(市)分为4个等级区,分区结果如图1所示。

由图1可看出,滇东北是干旱易发区,滇西南是干旱轻发区或少发区。具体如下:①楚雄州、昆明市和曲靖市等3个州(市)最易受到干旱的侵袭,为干旱易发区。上述3个州(市)多年平均降雨量均小于1 000 mm,而红河州达1 120 mm,但蒸发量较大,导致上述4个州(市)多年平均干旱指数均在0.6以上;此外,枯水年份的降雨量偏离多年平均值的程度均较大。②昭通市、丽江市、玉溪市、文山州和大理州等5个州(市)属于干旱中发区。大理州和丽江市海拔高、地势起伏,降雨量在1 000 mm左右,蒸发量较大,干旱指数分别达0.565和0.636。玉溪市、文山州和昭通市海拔高度较低,昭通市多年平降雨量仅690 mm,玉溪市大约为900 mm,虽然文山州多年平均降雨量达1 200 mm,但其蒸发量也较大,因而这3个州(市)的干旱指数差别不是很大,均在0.6以上。③云南西部地区的西双版纳州、临沧市、德宏州和迪庆州为干旱轻发区;怒江州、保山市和普洱市为干旱少发区。根据

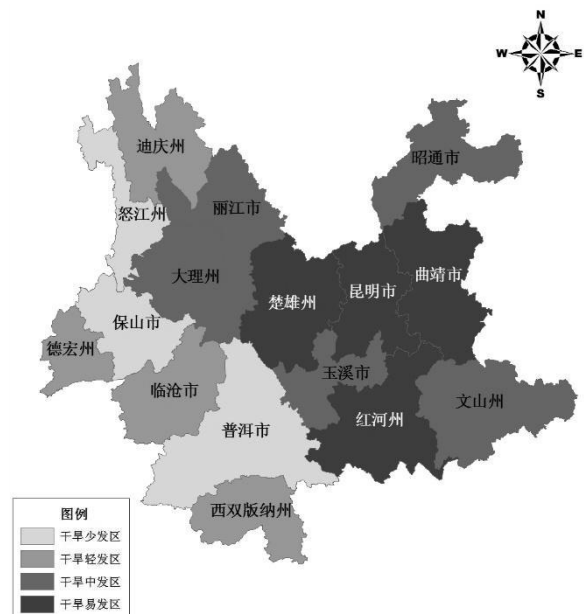


图1 云南省干旱自然分区图

《云南省统计年鉴》、《云南省水利统计年鉴》和《云南省旱情简报》等资料,通过受旱率指标统计分析1951—

2010年云南省各州(市)的受旱情况,可知昭通市、曲靖市、昆明市、玉溪市、文山州、红河州、楚雄州、大理州和丽江市发生干旱次数明显多于其余的7个州(市)。云南省干旱自然分区结果与云南省历史上发生干旱的实际情况大致吻合,因而根据地貌特征指数、多年平均干旱指数和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率这3个指标采用主成分分析方法对云南省进行干旱自然分区有一定的合理性。

2 农业旱灾风险区划方法及其应用

2.1 旱灾风险区划方法

采用基于模糊数学理论的模糊综合评判模型^[23]对旱灾风险进行评估。该模型首先从致灾因子危险性(一定区域范围内在某一时段或时期遭遇某种程度的灾害发生的可能性)、孕灾环境脆弱性(一定条件下某孕灾环境对某种灾害表现出的易于受到伤害和损失的性质)和承灾体易损性(暴露在孕灾环境中的承灾体对干旱影响的损害响应)3个方面确定风险区划指标体系,通过隶属度函数计算指标层各指标隶属于1~5级的可能性大小;然后结合指标权重逐级向上递推,进而得到目标层(即旱灾风险)隶属于1~5级的可能性大小;最终确定旱灾风险所属等级。兹以云南农业干旱为研究对象,充分考虑影响农业干旱发生、发展的主要因素构建评价指标体系,如表2所示。依据并借鉴干旱灾害等级标准(SL663—2014),旱情等级标准(SL424—2008),土壤墒情评价指标(SL568—2012),云南减灾年鉴(2000—2011),中国气象灾害大典(云南卷)等资料,对风险区划指标进行划分,如表3所示。

表2 云南省农业旱灾风险评估指标体系

目标层	准则层	权重	指标层	权重	指标意义
云南省旱灾风险评价指标体系 M	致灾因子危险性 M_1	0.334	自然干旱指标 M_{11}	0.630	即 H 、 I 和 D 通过主成分分析法将云南省 16 个州市按干旱易发程度分区成果。
			11—次年 4 月土壤墒情 $M_{12}/\%$	0.166	11—次年 4 月 0~40 cm 土层土壤含水率
			人均水资源量 $M_{13}/(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$	0.204	水资源总量/人口总数
	孕灾环境脆弱性 M_2	0.333	农业灌溉亩均用水量 $M_{21}/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^2)$	0.131	年农业灌溉用水量/农业灌溉面积
			有效灌溉率 $M_{22}/\%$	0.124	有效灌溉面积/耕地面积
			节水灌溉比例 $M_{23}/\%$	0.231	节水灌溉面积/总灌溉面积
			单位面积粮食产量 $M_{24}/(\text{kg} \cdot \text{hm}^2)$	0.190	粮食产量/粮食播种面积
			旱涝保收面积比例 $M_{25}/\%$	0.324	遭遇旱涝灾害稳产面积/总耕地面积
	承灾体易损性 M_3	0.333	人口密度 $M_{31}/(\text{人} \cdot \text{km}^2)$	0.299	人口总数/土地面积
			作物种植比例 $M_{32}/\%$	0.133	作物播种面积/土地面积
			农民人均纯收入 $M_{33}/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$	0.177	地区农业发展水平以及农业投入
			因旱成灾率 $M_{34}/\%$	0.392	成灾面积/播种面积

注 ①自然干旱指标记为 I_n , 则 $I_n=1,2,3,4$, 分别为干旱少发区、干旱轻发区、干旱中发区、干旱易发区。②云南省 16 个州市 2000—2010 年的指标值参考云南省实地调研的数据、《云南统计年鉴》、《云南省水利统计年鉴》、《云南省水资源公报》、《云南省旱情简报》、《抗旱规划初稿》等相关资料获得。

表3 云南农业旱灾风险指标体系等级划分

评价指标	低风险 v1(1级)	低风险 v2(2级)	中等风险 v3(3级)	高风险 v4(4级)	极高风险 v5(5级)
M_{11}	<0.5	0.5~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	>3.5
M_{12}	>60	50~60	40~50	30~40	<30
M_{13}	>5 000	3 000~5 000	1 500~3 000	1 500~1 000	<1 000
M_{21}	<100	100~300	300~600	600~800	>800
M_{22}	>50	40~50	30~40	20~30	<20
M_{23}	>40	30~40	20~30	10~20	<10
M_{24}	>450	350~450	250~350	150~250	<150
M_{25}	>30	25~30	20~25	10~20	<10
M_{31}	<50	50~150	150~250	250~350	>350
M_{32}	<10	10~20	20~30	30~40	>40
M_{33}	>5 500	4 000~5 500	2 500~4 000	2 000~2 500	<2 000
M_{34}	<5	5~10	10~20	20~25	>25

采用梯形分布构造隶属度函数,确定各评价指标的隶属度及模糊评判矩阵,模糊关系矩阵

$R=\{r_{ij}\}_{m \times n}$ 称为模糊评判矩阵,其中 r_{ij} 表示第 i 个指标隶属于第 j 个评判语的可能性。

确定准则层各指标的隶属度,隶属度确定公式为:

$$Z=W \cdot R=(z_1,z_2,\cdots,z_m), \tag{3}$$

式中: W 为指标权重,兹采用较为成熟的层次分析法确定。例如,先确定致灾因子危险性 M_1 的隶属度(如表4),从而可进一步确定旱灾风险的隶属度及模糊评判矩阵,如表5所示。

表4 准则层指标隶属计算

准则层	指标层	隶属度				
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
M_1	M_{11}	w_{11}				
	M_{12}	w_{12}	$w_{11}r_{11}+w_{12}r_{21}+w_{13}r_{31}$	$w_{11}r_{12}+w_{12}r_{22}+w_{13}r_{32}$	$w_{11}r_{13}+w_{12}r_{23}+w_{13}r_{33}$	$w_{11}r_{14}+w_{12}r_{24}+w_{13}r_{34}$
	M_{13}	w_{13}				$w_{11}r_{15}+w_{12}r_{25}+w_{13}r_{35}$
	R_{ij}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}

注 R_{ij} 表示准则层中第 i 个指标隶属于第 j 级的可能性,准则层中 M_2 、 M_3 的模糊评判,分别设为 R_2 和 R_3 , $j=1,2,3,4,5$,采用 M_1 的模糊评判方法确定。

表5 旱灾风险指标隶属计算

旱灾风险 M	准则层	隶属度				
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
M	M_1	w_1				
	M_2	w_2	$w_1R_{11}+w_2R_{21}+w_3R_{31}$	$w_1R_{12}+w_2R_{22}+w_3R_{32}$	$w_1R_{13}+w_2R_{23}+w_3R_{33}$	$w_1R_{14}+w_2R_{24}+w_3R_{34}$
	M_3	w_3				$w_1R_{15}+w_2R_{25}+w_3R_{35}$
	α_i	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5

注 α_i 表示旱灾风险隶属于第 i 等级的可能性。

采用加权平均评判原则进行旱灾风险综合评判,即:

$$C=(1,2,3,4,5)\alpha^T, \tag{4}$$

式中: C 为风险特征值。根据 C 值可确定旱灾风险评估等级,如表6所示。

表6 旱灾风险综合评估等级

风险级别	1	2	3	4	5
风险等级	低风险区	低风险区	中等风险区	高风险区	极高风险区
C取值范围	[0,1.5)	[1.5,2.5)	[2.5,3.5)	[3.5,4.5)	[4.5,5)

2.2 云南省农业旱灾风险区划示例

2.2.1 云南农业旱灾风险综合评估

以云南省16个州(市)为研究区域,由各州(市)2000—2010年指标值和各指标权重值(表2),采用模糊综合评判法和加权平均评判原则,可确定各市每年的旱灾风险隶属度。以昆明市2000年为例,采用隶属度函数确定指标层各指标隶属于1~5级的可能性大小;结合指标层各指标的权重及模糊评判矩阵,确定准则层各指标隶属于1~5级的隶属度值及评判矩阵 R ;根据加权评判原则,可分别确定昆明市2000年旱灾风险危险性、脆弱性和易损性指标等级特征值:

危险性特征值: $C_1=(1,2,3,4,5)(0.000,0.000,0.673,0.123,0.204)^T=3.5$,

脆弱性特征值: $C_2=(1,2,3,4,5)(0.136,0.501,0.362,0.000,0.000)^T=2.2$,

易损性特征值: $C_3=(1,2,3,4,5)(0.392,0.177,0.146,0.285,0.000)^T=2.3$ 。

结合准则层各指标权重及模糊评判矩阵 R ,由 $\alpha=(w_1,w_2,w_3)R$ 可得旱灾风险相应于等级1~5级的隶属度,根据加权平均评判原则,可得昆明市2000年旱灾风险综合评估等级特征值:

$$C=(1,2,3,4,5)(0.176,0.226,0.394,0.136,0.068)^T=2.7$$

可见,昆明市2000年旱灾风险为3级,属于中等风险区。

同理,可依次确定昆明市2001—2010年旱灾风险危险性、脆弱性、易损性以及综合旱灾风险特征值,进而取其特征值的平均值确定昆明市旱灾风险危险性、脆弱性、易损性和综合旱灾风险等级,见表7。由表7可知,昆明市的综合风险等级为4级,属于高风险区。

表7 昆明市农业旱灾风险评估等级结果

2000—2010年	危险性	脆弱性	易损性	综合风险值
平均特征值	3.4	3.7	3.1	3.5
等级	3级	4级	3级	4级

2.2.2 云南省农业旱灾风险区划

同理,可确定云南省其他15个州(市)的旱灾风险危险性、脆弱性、易损性和综合风险特征值,根据加权平均评判原则确定其旱灾风险等级,在此基础上,综合考虑云南省各州市旱灾风险危险性、脆弱性和易损性,根据模糊综合评估结果,对云南省农业旱灾风险进行区划,并基于 ArcGIS 绘制云南省农业旱灾的危险性、脆弱性、易损性和农业旱灾风险区划图,如图2所示。

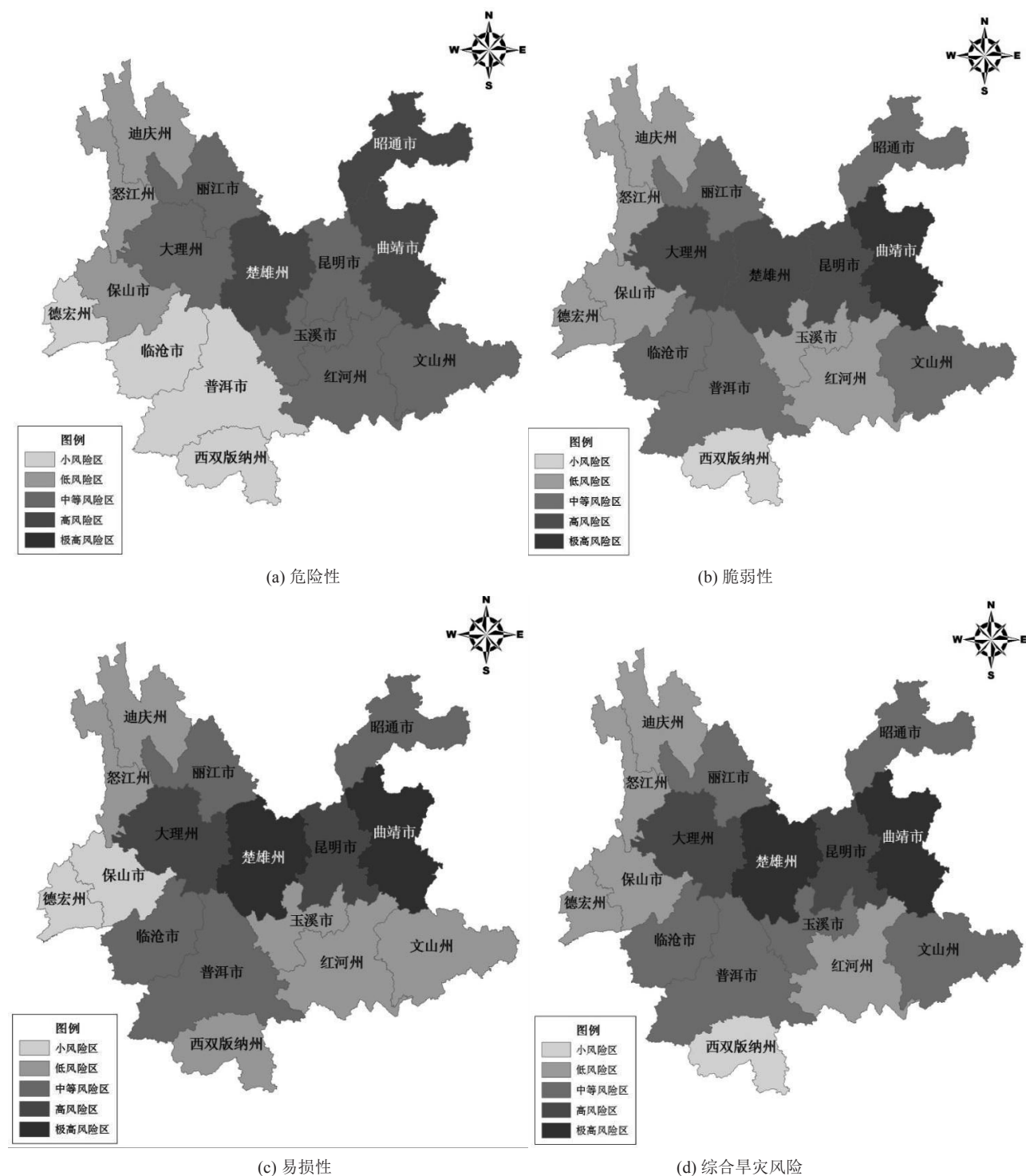


图2 云南农业旱灾风险区划图

由图2可知,1)旱灾风险危险性分析。云南省16个州的致灾因子危险性分为4个等级区,呈现明显的区域地带性特点,从滇西南向滇东北,旱灾危险性等级逐渐增加。其中,滇中楚雄州、滇东北的昭通市和曲靖市旱灾危险性属于高风险区;西北部的丽江市和大理州,中部的昆明市和玉溪市,以及东部的红河州和文山州旱灾危险性居中,属于中等风险区;西北部地区的迪庆州、怒江州、保山市为低风险区;西南地区德宏

州、临沧市、普洱市、西双版纳州为低风险区。云南省多年平均降雨总量由北部和中部向东、南、西三面逐渐增多,但云南地势由西北向东南趋于平缓,人口多分布在平缓的坝区,即滇中东地区,人类活动对降雨的年际变化有很大影响,且人均水资源量东南部较西北部偏少,因而滇东地区的风险等级要高于滇西地区。

2)旱灾风险脆弱性分析。云南省旱灾风险脆弱性分为5个等级:滇东部的曲靖市旱灾脆弱性为极高风险区;大理州、楚雄州和昆明市次之,为高风险区;昭通市、文山州、丽江市、临沧市和普洱市居中,为中等风险区;西北部的迪庆州、怒江州、保山市、德宏州,以及中南部的玉溪市和红河州为低风险区;最南边的西双版纳州旱灾脆弱性最小,属于低风险区。滇中东部的曲靖市、昆明市、楚雄州和大理州等地区地势较低、较平坦,少山地,多坝区,多种植水稻、豆类、烤烟等农作物,是云南省烟叶和粮食等主产区,而这些地区又是云南省降水量少、气温高、气候干燥、蒸发量大的地区,作物需水量大,农业灌溉用水量较大,因而农业旱灾风险脆弱性较大。位于滇中南部的玉溪市和红河州脆弱性低于普洱市和文山州,虽然玉溪市和红河州作物种植比例高,但水资源开发利用程度相对较高,有效灌溉率普遍高于普洱市和文山州,且单位面积粮食产量也高,因而脆弱性要低于普洱市和文山州。

3)旱灾风险易损性分析。云南省旱灾风险脆弱性分为5个等级:楚雄州和曲靖市易损性最大,属于极高风险区;大理州和昆明市属于高风险区;滇东北部的昭通市、丽江市,西南部的临沧市和普洱市旱灾易损性居中,属于中等风险区;滇西北部迪庆州和怒江州,南部的西双版纳州,东南部的玉溪市、红河州和文山州易损性次之,属于低风险区;西部的德宏州和保山市易损性最低,属于低风险区。旱灾风险的易损性主要与人口密度、作物种植比例、农民人均纯收入,以及多年区域内的因旱受灾情况有关,云南省中部地区的大理州、楚雄州、昆明市和曲靖市等地区地势平坦,多坝区,耕地主要以水田为主,该区域也是云南省人口分布较多的地区,人口密度大,且多年来易受干旱灾害侵袭,造成的损失偏高,因而在云南省16个州(市)中农业旱灾易损性风险偏高。

4)综合旱灾风险。楚雄州和曲靖市的旱灾风险等级最高,属于极高风险区;大理州和昆明市的旱灾风险次之,为高风险区。这4个州(市)处于云南省的地势平坦地区,降水量偏少,气候干燥、蒸发量较大,水资源总量最少,且作物种植比例高,是云南省烤烟和粮食等作物的主要种植区之一,灌溉用水量大。该地区人口分布多,人口密度大,人畜饮水、城市供水、工业等用水量需求高。此外,这4个州(市)在云南省历史上几乎每一年都会发生不同程度的干旱,成灾面积广、因旱成灾率高,因而该区域的旱灾风险等级在云南省16个州(市)中偏高。昭通市、文山州、丽江市、临沧市、普洱市和玉溪市的综合旱灾风险等级居中,为中等风险区。除西双版纳州属于低风险区外,滇西北部的迪庆州、怒江州、保山市、德宏州和中南部的红河州属于低风险区。西双版纳州降雨量充沛,年际变化较小,湿度大,土壤墒情高,农业灌溉用水少,人口密度低,历史上较少受到干旱灾害的侵袭,因而综合旱灾风险在全省16个州(市)最低。综上可知,农业旱灾风险的空间分布不仅与降水、气温、水资源等条件有关,还与作物种植结构、区域经济发展水平、防旱抗旱能力有关。整体而言,滇东属于旱灾高风险区,滇西北为旱灾低风险区。滇东历史干旱频发,成灾面积广、因旱成灾率高。上述结果与云南省的实际干旱情况基本符合。

3 结 论

以云南省16个州(市)为例,针对致灾因子危险性主要取决于自然环境的变异程度,在构建农业旱灾风险指标体系进行旱灾风险评估前,通过选取地貌特征指数、多年平均干旱指数和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率等分区指标,采用主成分分析方法将云南省16个州(市)按干旱易发程度分为4个区,以此描述自然状况下云南省干旱易发程度的空间分布情况,并将分区结果赋值,作为旱灾风险致灾因子危险性的其中一个指标参与旱灾风险的评估分析。同时,基于旱灾风险的三组要素构建云南省农业旱灾风险评估指标体系,采用模糊综合评判法对云南省16个州(市)旱灾风险的危险性、脆弱性、易损性,以及综合风险进行评估,并绘制云南省农业干旱灾害风险区划图。采用地貌特征指数、多年平均干旱指数和 $P_{75\%}$ 年降雨量负距平百分率作为干旱分区指标,主要考虑的是干旱起因的气候、地形地貌空间分异特性,下一步可全面考虑下垫面水量、干旱水分亏缺分异特征进行干旱分区,同时,仅从农业旱灾的角度进行旱灾风险指标体系的构建,研究成果是初步的,今后可进一步完善指标体系进行旱灾风险区划全面、系统研究。

参考文献:

- [1] KÖPPEN W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt[J]. Geographische Zeitschrift, 1900, 6(593):593-611.
- [2] 竺可桢. 中国气候区域论《竺可桢文集》编辑小组:竺可桢文集[M]. 北京:科学出版社, 1979:124-132.
- [3] 李世奎. 中国农业气候区划[J]. 自然资源学报, 1987, 2(1):71-83.
- [4] 王连喜, 陈怀亮, 李琪, 等. 农业气候区划方法研究进展[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2):277-281.
- [5] 张静怡, 何惠, 陆桂华. 水文区划问题研究[J]. 水利水电技术, 2006, 37(1):48-52.
- [6] 杨爱民, 唐克旺, 王浩, 等. 中国生态水文分区[J]. 水利学报, 2008, 39(3):333-338.
- [7] 吴永祥, 王高旭, 伍永年, 等. 河流功能区划方法及实例研究[J]. 水科学进展, 2011, 22(6):741-749.
- [8] 蔡佳亮, 殷贺, 黄艺. 生态功能区划理论研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(11):3 018-3 027.
- [9] 唐克旺, 唐蕴, 李原园, 等. 地下水功能区划体系及其应用[J]. 水利学报, 2012, 43(11):1 349-1 356.
- [10] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5):705-706.
- [11] 杨绚, 李栋梁. 中国干旱气候分区机器降水量变化特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(2):17-24.
- [12] 黄晚华, 隋月, 杨晓光, 等. 气候变化背景下中国南方地区季节性干旱特征与适应 V. 南方地区季节性干旱特征分区和评述[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10):2 917-2 925.
- [13] 雷江群, 黄强, 王义民, 等. 基于可变模糊评价法的渭河流域综合干旱分区研究[J]. 水利学报, 2014, 45(5):574-584.
- [14] 曹永强, 邵文婷, 张亮亮, 等. 基于可变模糊评价法的辽西北地区干旱分区研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(1):29-34.
- [15] 张文宗, 赵春雷, 康西言, 等. 河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2):10-16.
- [16] 孙仲益, 张继权, 严登华, 等. 基于 GIS 的安徽省旱灾风险空间演变研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2012, 44(4):133-137.
- [17] 李宁, 温玉婷, 解伟, 等. 安徽省小麦旱灾风险不同区划方法对比研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5):173-179.
- [18] 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.
- [19] 吴荣军, 史继清, 关福来, 等. 干旱综合风险指标的构建及风险区划——以河北省冬麦区为例[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1):145-152.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 刘玉邦, 梁川. 川中丘陵区农业水资源高效利用综合分区[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(5):42-46.
- [23] 邹强, 周建中, 周超, 等. 基于最大熵原理和属性区间识别理论的洪水灾害风险分析[J]. 水科学进展, 2012, 23(3):324-333.

Drought Partition and Agricultural Drought Risk Zoning in Yunnan Province

CHANG Wenjuan^{1,2,3}, LIANG Zhongmin⁴, LI Yan⁵, DUAN Qicai⁶

(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.State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 4.College of Hydrology and Water Resources, Hohai University,

Nanjing 210098, China; 5.Nantong Hexin Engineering Survey and Design Institute Corporation Limited,

Nantong 226000, China; 6.Yunnan Research Institute of Water Resources and Hydropower, Kunming 650021, China)

Abstract: The method of drought partition and agricultural drought risk zoning were investigated, and Yunnan province was selected as a pilot to apply the presented methods. Firstly, three indicators, including topographical features index, average years of drought indices and negative anomaly percentage of 75% guarantee rate at annual level, were selected as the drought partition index, then the principal component analysis method was applied to describe drought natural partition of Yunnan province. While, drought partition consequent was used as the one of drought risk zoning index, synthetically considering drought risk hazard, fragility and vulnerability factors as the common constitutions of agricultural drought risk zoning index system. Moreover, multi-level fuzzy comprehensive evaluation results were employed to synthetic agricultural drought risk zoning of Yunnan province. The results showed that the northeast of Yunnan province was the drought prone areas, which was more prone to drought than that of the southwest and belonged to the drought light-prone areas or less-prone areas. The northeast of Yunnan province was the high drought risk area, however, the northwest was the low drought risk area. The above consequences were basically consistent with the actual drought situation of Yunnan province. These showed that drought natural partition based on principal component method and drought risk zoning by the elements in the practical application had certain feasibility and practicability.

Key words: drought partition; Principal Component Analysis; agricultural drought risk zoning; fuzzy comprehensive evaluation; ArcGIS

责任编辑:刘春成