

基于 AHP 和 GIS 的广西秋旱灾害风险等级评估

李莉^{1,2}, 匡昭敏^{1,2*}, 莫建飞^{1,2}, 孟翠丽^{1,2}

(1. 广西壮族自治区气象减灾研究所, 南宁 530022; 2. 国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 南宁 530022)

摘要: 为增强对广西秋季干旱灾害的风险评估和应急管理能力, 该文利用气象、基础地理信息和社会经济数据, 从广西省秋旱灾害致灾因子的危险度、孕灾环境的脆弱度、干旱承灾体的易损度和抗灾能力等 4 个方面选取因子, 构建秋旱灾害风险评估的指标体系, 通过层次分析法确定因子权重, 以此构建评估模型并计算广西秋旱灾害风险指数, 再基于 GIS 绘制广西秋旱灾害风险等级分布图。结果表明, 高风险区主要分布在桂中盆地和桂西部分山区; 较低风险区主要分布在桂西北和桂北的山区, 桂南沿海和桂东南部分地区。利用广西干旱灾情数据验证表明, 广西秋旱灾害风险等级分布结果与干旱灾情损失空间分布情况基本一致。该研究为灾害风险管理和灾前防御提供决策依据。

关键词: 干旱, 地理信息系统, 层次分析法, 风险评估, 广西区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.024

中图分类号: S166

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0193-09

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 (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 193-201. (in Chinese with English abstract)

0 引言

干旱是发生范围最广、频率最高、影响最为严重的一种自然灾害, 它对人类生存、社会生活和经济发展的影响都远远超过其他任何自然灾害。各国政府对干旱防灾减灾及干旱灾害风险评估工作极其重视, 加强对干旱灾害机理与预测的研究, 开展了多类型灾种的灾害灾情评估研究^[1-3]。由于不同地区的气候、地形地貌、水资源、地表下垫面的差异使得各地发生干旱的原因和干旱造成的危害程度不同, 因此干旱评估具有一定的地域性和时间性。目前常规干旱指标主要包括土壤水分指标、作物生理指标、气象指标和综合指标 4 类, 干旱风险评估主要是结合各种指标应用多种方法建立评估模型, 对干旱的强度、范围、影响等进行评估, 包括基于数理统计的数学方法, 如概率统计^[4-6]在评估不同强

度干旱发生的风险概率等方面有较好表现, 但较少考虑承灾体和抗灾力等方面对干旱的影响; 人工神经网络^[7-9]因其独特优势, 可在缺乏充足数据的情况下、不明确致灾机理时, 从有限的样本数据中提取信息特征来进行评估, 利于对突发性的灾害进行初评估, 但干旱的发生具有长期性, 且该方法操作的复杂性导致很难大范围推广及应用, 不利于旱灾评估; 基于灰色系统理论^[10-12]对灾情数据进行灰色关联分析获得关联度, 依排序对干旱灾害进行等级划分和评价, 可以较好地辨识灾害强度, 但该方法同样未考虑干旱发生过程中致灾因子的复杂性和抗灾能力的影响; 应用基于小样本量的信息扩散的模糊数学方法^[13-17]可以弥补由于研究区域较小所获的历史资料缺乏的不足, 但在灾害致灾机理方面较为薄弱; 基于地理信息系统的分析方法^[18-22]具有空间分析优势, 可提高干旱评估能力和评估准确性, 即便如此, 合理的建模数学方法仍是最终决定干旱评估的结果。上述方法在应用中多针对于某个领域(如农业)的某些方面的特征来进行研究, 评价过程过于依赖主观经验或简单公式, 并未从系统的角度综合考虑干旱灾害对社会经济、环境等方面造成的影响, 在承灾体的易损性方面和抗灾力方面都考虑不足, 未能全面的反映干旱灾害造成的全部影响。由于干旱灾害形成的影响因子普遍错综复杂, 不确定性很大, 因此可以通过 AHP (analytic hierarchy

收稿日期: 2013-01-08 修订日期: 2013-08-26

基金项目: 973 计划 (2013CB430205); 广西自然科学基金项目 (2013GXNSFAA019282); “十二五”农村领域国家科技计划项目 (2011BAD32B02-04)

作者简介: 李莉 (1982-), 女, 广西南宁人, 工程师, 主要研究农业气象灾害监测评估技术及遥感技术应用。南宁 广西区气象减灾研究所, 530022。Email: lilie_smile@hotmail.com。

*通信作者: 匡昭敏 (1968-), 女, 教授级高工, 博士。主要研究灾害的监测、预警和评估技术及 GIS、RS 技术的应用。南宁 广西区气象减灾研究所, 530022。Email: kzhaomin@163.com

process)^[23-26]来确定因子权重,再借助GIS^[27]的空间分析优势进行灾害风险评估。这在多种灾害的风险评估研究^[28-31]中发挥了极大的作用,二者结合应用使确定评估因子的过程更具有逻辑性和系统性。

广西虽然在全国年降水量最丰富的地区之一,但因为降雨时空分布不均,季节性干旱发生的频率很高,对广西的水资源、工业生产和人民生活都造成了很大的影响,尤其严重地影响了广西的农业生产,其中又以秋季干旱造成的危害最大,而目前有关广西干旱灾害风险等级评估方面的研究鲜有报道,迫切需要开展这方面的研究。因此本研究拟从广西秋季(9月—11月)干旱灾害致灾因子的危险性、孕灾环境的脆弱性、承灾体易损性和抗灾能力等4个方面构建广西秋季干旱灾害风险评估指标体系,利用层次分析法确定各因子权重,建立秋季干旱灾害风险评估模型,基于GIS技术开展广西秋季干旱灾害风险评估,并绘制风险等级分布图,以期对灾害风险管理和灾前防御提供决策依据。

1 数据来源

数据主要包括由广西区气象局提供的1961—2010年广西全区资料完整的88个气象站点的逐日降水资料;由广西区测绘局提供的广西全区比例尺为1:5万的县界和水系、100 m×100 m分辨率的高程,以及由广西区气象减灾研究所提供的分辨率为1 km×1 km的喀斯特地貌等基础地理信息数据;由广西区统计局提供的1984—2011年以县(市)为单元的行政区域的人口密度、GDP(国民生产总值)、人均GDP、耕地面积等社会经济数据;以及1983—2010年以县(市)为单元的干旱农业经济损失和直接经济损失等灾情数据。首先对社会经济数据和灾情数据进行归一化处理以消除量纲影响;再对逐日降水资料、归一化后的社会经济数据和灾情数据,采用反距离权重插值方法进行

插值;并对基础地理信息数据进行重采样;最终获得经过预处理后的降水数据、基础地理信息数据、社会经济数据和灾情数据,均为广西全区范围的分辨率为1 km×1 km的栅格数据。

2 秋旱灾害风险评估方法

2.1 秋旱灾害风险评估指标体系的构建

干旱灾害的发生发展一般受以下方面影响:1)存在诱发干旱灾害的因素(致灾因子);2)形成或者孕育干旱灾害的环境(孕灾环境);3)干旱灾害影响区域存在有人类活动场所或者分布有社会财产等(承灾体);4)人类面对潜在或实际发生的干旱灾害威胁时所采取的一系列回避、适应或防御的对策及措施(抗灾力)。参考已有相关研究成果^[32]和统计分析结果,并针对广西秋季干旱灾害发生的特点,综合考虑广西特殊的地形地貌以及可获取的较完整的资料等因素,最终确定广西秋旱灾害致灾因子为降水量和少雨日数,孕灾环境考虑地形、地貌和水系条件,承灾体选用以市县为单位的人口密度、GDP(国内生产总值)、耕地面积和干旱经济损失,抗灾力采用以市县为单位的人均GDP。

采用层次分析法建立因子递阶层次结构。根据专家打分原则构造两两比较判断矩阵,进行层次单排序求解判断矩阵的特征值和特征向量,并计算判断矩阵的一致性比率以进行检验,最后确定各层因子的权重(表1)。

2.2 致灾因子危险度

广西是全国年降水量最丰富的地区之一,但因为降雨时空分布不均,干旱灾害发生十分频繁。从干旱形成的原因考虑,短时降水减少和长期降水缺乏都会影响干旱发生的强度。在秋季广西的主要大宗作物都处于需水关键期,雨日作为干旱指标是根据广西干旱的特点一直以来沿用的,在实际应用中效果良好。因此本文选择降雨量距平和少雨日数(日降水量<5 mm的日数=距平表征秋旱灾害致灾因子的危险度。

表1 广西秋旱灾害评估指标体系及权重

Table 1 Autumn drought disaster assessment indicator system and weights of Guangxi

	因子	权重	CR	指标	权重
	Factor	Weight		Indicator	Weight
广西秋季干旱 灾害评估指标 体系 Autumn drought disaster assessment indicator system of Guangxi	致灾因子危险度 (DDI)	0.4692	<0.1	降雨量距平	0.5000
				少雨日数距平	0.5000
	孕灾环境脆弱度 (EFI)	0.1603	<0.1	地形	0.2857
				水系	0.5714
				喀斯特地貌	0.1429
	承灾体易损度 (DVI_{agri}) (DVI_{eco})	0.2777	0.0013	人口密度	0.0855
				GDP	0.1468
				耕地面积	0.2843
			0.0015	经济损失(农业)	0.4834
				人口密度	0.1051
				GDP	0.1682
				耕地面积	0.2606
				经济损失(直接)	0.4661
抗灾力(FDI)	0.0928	-	人均GDP	1.0000	

注:CR为随机一致性比率,CR<0.1说明判断矩阵有很好的一致性,判断合理。广西秋旱灾害风险综合评估模型DDI的CR=0.0029<0.1。

收集整理并分别归一化广西 88 个气象站点 1961—2010 年秋季（9 月—11 月）的降雨量、相应时段的平均降雨量、少雨日数、相应时段的平均少雨日数等数据。根据层次分析法计算得到降雨量距平指标和少雨日数距平指标的权重，采用加权综合计算方法，建立致灾因子危险度指数（drought damage index, DDI）

$$DDI = 0.5 \times \left(\frac{R_{\text{均}} - R}{R_{\text{均}}} \right) + 0.5 \times \left(\frac{R_d - R_{d\text{均}}}{R_{d\text{均}}} \right) \quad (1)$$

式中， R 为降雨量， $R_{\text{均}}$ 为相应时段的平均降雨量， R_d 为少雨日数， $R_{d\text{均}}$ 为相应时段的平均少雨日数（以上均为经归一化处理后的无量纲值）。应用 GIS 中的栅格运算方法计算获得广西全区的致灾因子危险度指数。

2.3 孕灾环境脆弱度

干旱的本质就是水分的匮乏，从干旱形成的背景和机理分析，孕灾环境主要考虑地形、地貌、水系等指标对干旱灾害形成的综合影响。不同的地形和地貌有不同的气候条件而导致降水的差异，同时也因具有不同的水土保持能力影响地表储水，因此作为评价干旱灾害程度的地形指标选择地势和地形 2 个影响因素，地势以高程表征，地形变化以高程标准差表征；地貌指标选择喀斯特地貌因素。水系指标包括河网密度和与水体距离 2 个因素，主要体现水系的复杂程度和调蓄能力，反映干旱灾害发生的可能性大小。

2.3.1 地形指标

主要采用高程和高程标准差数据，由广西全区 100 m×100 m 分辨率的 DEM 数据中获取。根据广西周高中低、形似盆地，山地多、平原少的地形特点，按高程数值大小将地势分为 4 级，分级阈值分别为 100、300 和 700；地形变化以高程标准差表征，每个像元值是采用空间滤波方法计算该像元与以其为中心的周围 8 个像元的标准差而得，按照高程标准差值大小将地形变化分为 3 级，分级阈值为 1 和 10。高程值越小，高程标准差越小，即地形越平缓，起伏越小，影响也越小，越不易形成灾害，则干旱灾害风险性越低。通过专家打分对高程和高程标准差的不同分级组合进行赋值（表 2），得广西地形影响指数。

表 2 地形指标赋值表
Table 2 Topographic index assignment

高程 Elevation/m	高程标准差 Elevation standard deviation/m		
	一级 (≤1)	二级 (>1~10)	三级 (≥10)
一级 (≤100)	0.4	0.5	0.6
二级 (>100~300)	0.5	0.6	0.7
三级 (>300~700)	0.6	0.7	0.8
四级 (≥700)	0.7	0.8	0.9

2.3.2 地貌指标

广西是中国最主要的喀斯特分布区之一，岩溶广布。喀斯特分布区域一般表层土壤层都较薄，且其地下形成了大量的溶洞、溶沟、溶隙、溶斗、落水洞和地下河，因此降水透过土层时，浅薄土层中的土壤水会快速蒸发，部分下渗水也会迅速通过溶隙和溶斗等汇集于地下河而无法长期保水，且浅层的碳酸盐岩层会阻止地下水的反向补充，故地表极易遭受干旱，喀斯特地貌增大了干旱形成的风险。地貌指标主要采用喀斯特区数据，分辨率为 1 km×1 km 的栅格数据，若某像元是喀斯特地貌则赋值为 1，非喀斯特地貌则赋值为 0（目前该项数据由项目组经过实调获取，仅能提供某一像元格是否属于喀斯特地貌，未曾对其轻重程度进行分级），从而得广西地貌因子影响指数。

2.3.3 水系指标

主要采用河网密度和与水体距离数据，从广西基础地理信息 1:5 万水系数据提取。河网越密，获取水分补给的机会增多，越不易形成干旱灾害，孕灾环境的脆弱度越低，干旱灾害风险性越低。河网密度即单位流域面积上的河流总长度，赋数值（0~1 之间）作为其影响值，原则是河网越密，赋值越小。与水体越接近，越易获取水分补给，对干旱形成的影响越小，干旱灾害风险性越低，反之亦然。计算与水体距离，先将河流按照大小分为 2 级，一级河流包括广西范围内的四大水系的干流，二级河流包括四大水系的支流和其他河流；其他水体如湖泊、水库等则按水域面积分为 3 级，分级阈值为 0.1，1，10。按距离水体远近的影响分为一级影响区和二级影响区，并赋数值（0~1 之间）作为其影响值，赋值原则是一级河流和大型水体的一级影响区内赋值最小，二级河流和小型水体的二级影响区赋值最大（表 3）。最终计算得广西水系影响指数。

表 3 河流、湖泊和水库影响区等级划分标准
Table 3 Rivers, lakes and reservoir affected zones classification standard

水体类型 Water type	影响区宽度 Influence area width/km	
	一级影响区	二级影响区
一级河流	8	12
二级河流	6	10
湖泊和水库等水域面积 /10 ⁴ km ²	(>0.1~1)	0.5
	(>1~10)	2
	(>10)	3

根据层次分析法计算的各项指标权重，对地形指标（topography index, TI ）、地貌指标（landforms index, LI ）、水系指标（river system index, RI ）等采用加权综合计算方法，建立孕灾环境脆弱度指

数 (environment fragile index, EFI)

$$EFI = 0.2857TI + 0.1429LI + 0.5714RI \quad (2)$$

应用 GIS 中的栅格运算方法计算获得广西孕灾环境脆弱度指数。

2.4 承灾体易损度

承灾体的易损程度是灾害发生严重程度的决定因素之一, 同一灾种和相同程度的灾害对不同的承灾体会造成不同的后果。干旱造成的损害程度主要取决于发生地的社会经济发展、农业经济发展、人口密集程度等。人口越密集, 人口密度越大, 国民生产总值越高, 城市发展越好, 耕地面积越多, 可能承受干旱的范围越大, 因旱导致的经济损失越大, 则承灾体易损程度越高。为消除物价上涨因素的影响, 把农业经济损失和直接经济损失分别与当年 GDP 的比值作为本研究中的农业损失和社会经济损失。此外, 本研究中直接经济损失指的是因旱造成的总的经济损失, 包含了农业经济损失, 因此在建立易损度指数时, 农业方面和社会经济方面均包括有农业方面的耕地面积指标。综上, 广西秋季干旱灾害承灾体易损度采用人口密度、GDP、经济损失和耕地面积为指标。

根据层次分析法计算得到各项指标的权重, 对人口密度 (population density index, PI)、GDP (GI)、耕地面积 (cultivated land index, CI)、农业损失 (agricultural loss index, AI)、社会经济损失 (socio-economic loss index, SI) 等指标采用加权综合计算方法, 分别建立针对农业的干旱承灾体易损度指数 (drought vulnerability index-agriculture, DVI_{agri}) 和针对社会经济的干旱承灾体易损度指数 (drought vulnerability index-economy, DVI_{eco})

$$DVI_{agri} = 0.0855PI + 0.1468GI + 0.2843CI + 0.4834AI \quad (3)$$

$$DVI_{eco} = 0.1051PI + 0.1682GI + 0.2606CI + 0.4661SI \quad (4)$$

应用栅格运算方法计算获得广西全区的干旱易损度指数 (农业和经济)。

2.5 干旱抗灾力

抗灾力通常理解为人类社会为了保障承灾体少受、免受灾害的威胁而采取的系列防御措施力度和受灾区的恢复能力的大小, 包括减灾防灾投入、应急管理能力和资源配备等。抗灾能力越低, 承灾体遭受的潜在损失越大, 灾害风险就越大。考虑到资源配备、基础设施建设以及管理等都需要大量资金作为经济支撑, 且经济指标人均国民生产总值 (人均 GDP) 可以体现当地削弱、减少灾害损失, 修建防灾设施, 恢复生产, 配备防御物资的能力, 因此选择人均 GDP 作为广西秋季干旱灾害抗灾力

的指标。预处理人均 GDP 数据后, 建立广西秋旱抗灾力指数 (fighting force index, FFI)

$$FFI = PGI \quad (5)$$

式中, PGI 为人均 GDP (为经归一化处理后的无量纲值)。应用 GIS 中的栅格运算方法计算获得广西全区的干旱抗灾力指数。

2.6 秋旱灾害风险综合评估模型

干旱灾害风险的大小受干旱致灾因子危险度、孕灾环境脆弱度、承灾体易损度和抗灾力等因子的影响。危险度、脆弱度和易损度越大, 干旱发生的概率越高, 干旱造成的潜在损失也越大; 但抗灾力越强, 防御灾害和恢复的能力越强, 干旱发生的概率越低, 潜在损失也减少, 即干旱灾害风险会越小。4 个因子对广西秋旱灾害风险的构成影响程度不完全相同, 因此根据 AHP 所确定的各个因子的权重, 构建广西秋旱灾害风险综合评估模型 (drought risk index, DRI)

$$DRI_{agri} = 0.4692DDI + 0.1603EFI + 0.2777DVI_{agri} - 0.0928FFI \quad (6)$$

$$DRI_{eco} = 0.4692DDI + 0.1603EFI + 0.2777DVI_{eco} - 0.0928FFI \quad (7)$$

式中, DRI_{agri} 为广西农业秋旱灾害风险指数, DRI_{eco} 为广西社会经济秋旱灾害风险指数。

3 秋旱灾害风险等级分布与验证

3.1 秋旱灾害风险等级分布

根据广西秋旱灾害风险综合评估模型 (式 (6)、式 (7)), 将干旱致灾因子危险度、孕灾环境脆弱度、干旱承灾体易损度和承灾体抗灾力等结果进行尺度匹配, 在 GIS 中采用网格计算得到广西秋旱灾害风险指数, 分辨率为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 。利用自然断点分级法^[33-34], 结合历史干旱灾情数据, 将广西秋旱灾害风险指数分为 4 级, 绘制广西秋旱灾害风险等级分布图 (图 1)。

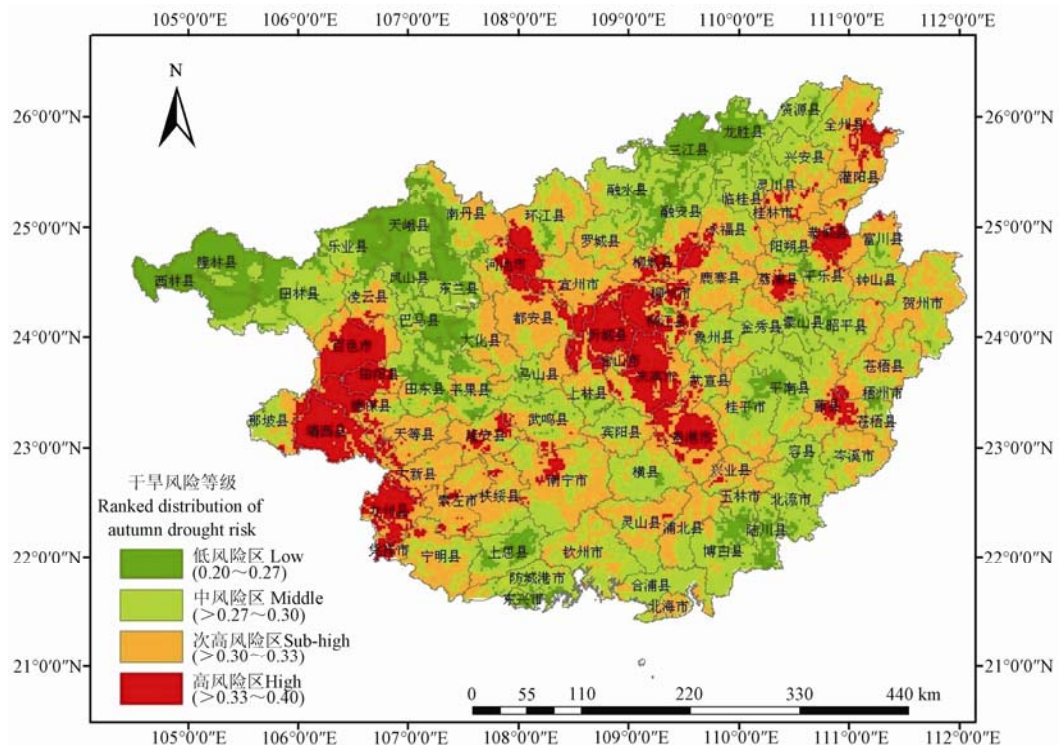
农业高风险区: 主要分布在百色市的中、南部, 崇左市西部, 来宾市辖区和忻城, 贵港市辖区中北部, 柳州市辖区, 河池市辖区东部, 柳城、鹿寨和融安三县交界地区, 柳江、柳城、藤县、恭城、全州和荔浦等县。大部县市为喀斯特地貌, 河网不发达, 孕灾环境极敏感, 脆弱度非常高, 承灾体易损度高, 抗灾能力相对一般, 处于桂中地区的县市秋旱致灾因子危险度高, 人口密度大, 耕地集中, 承灾体易损度高。因此, 综合评价上述地区农业秋旱灾害风险最高。

农业次高风险区: 主要分布在崇左和南宁两市, 河池市东部, 桂林市中部, 贺州市局部, 以及灵山、浦北、北海、兴业和鹿寨等县大部。这些县市大部地貌以丘陵、山地为主, 河流湖泊较欠缺, 孕灾环境较敏感, 农业承灾体易损度也比较高, 桂

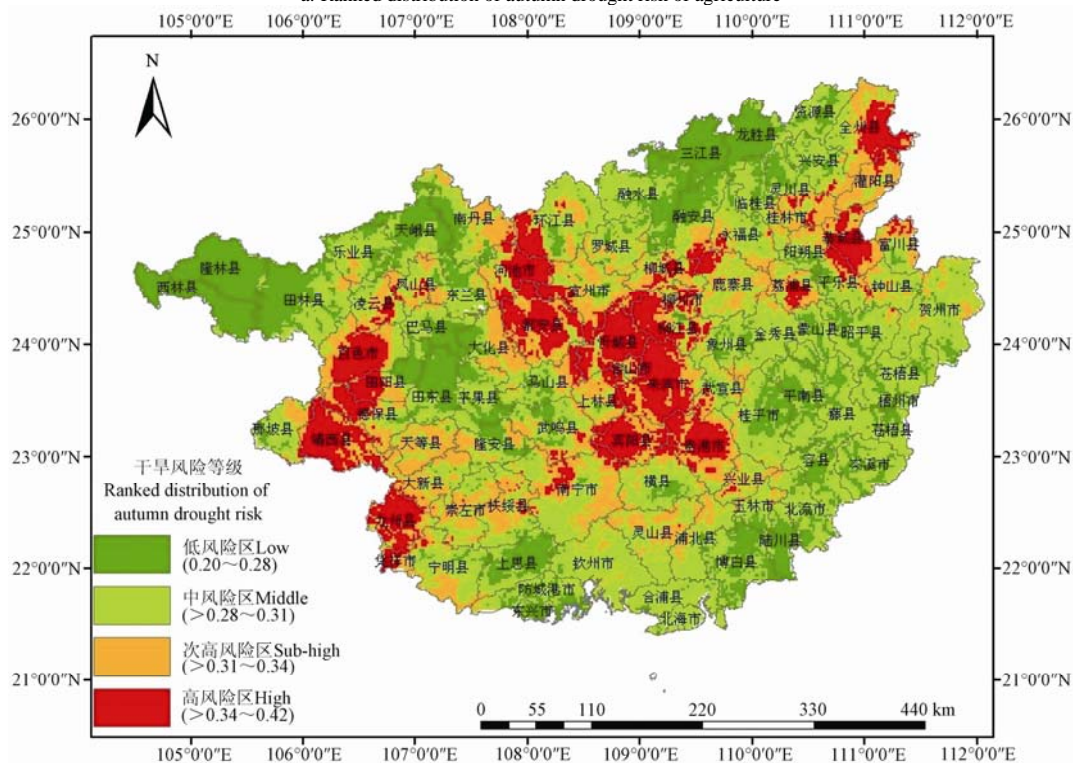
东部分县市致灾因子危险度较高, 城镇经济普通, 减灾防灾能力相对一般。因此, 综合评价上述地区农业方面秋旱灾害风险较高。

农业中风险区: 主要分布在合浦县, 南宁市东、北部, 玉林市西南部和东北部, 桂林和柳州两市西北

部, 贵港东部, 防城港市区、田林、昭平、象州和金秀等县大部, 以及钦州市区、田东和蒙山等县局部。这些县市秋旱致灾因子危险度略高, 孕灾环境脆弱度低, 农业承灾体易损性度中等, 抗灾力大部较强。因此, 综合评价上述地区农业方面秋旱灾害的风险中等。



a. Ranked distribution of autumn drought risk of agriculture



b. Ranked distribution of autumn drought risk of socio-economic

图 1 广西农业和社会经济秋旱灾害风险等级分布图

Fig.1 Ranked distribution of autumn drought risk of agriculture and socio-economic in Guangxi

农业低风险区：主要分布在龙胜、三江、西林、隆林、天峨、凤山、巴马、东兴、上思和陆川等县大部，以及融水、融安、乐业、田东、东兰、平南、容县和博白等县局部。桂西北和桂北区域的山区虽孕灾环境脆弱度略偏高，但农业较不发达，承灾体易损度低；桂东南和沿海地区地势平缓，河流湖泊较多，秋旱孕灾环境脆弱度低，且降雨较多，秋旱致灾因子危险度低。因此，综合评价上述地区农业方面秋旱灾害的风险低。

社会经济方面各风险等级的分布情况也可同理分析，在此不一一赘述。

3.2 秋旱灾害风险等级分布验证

根据 1983—2010 年广西干旱灾情多年平均数据，通过 ARCGIS 的多变量分析工具采用相关分析方法，将农业秋旱灾害风险分布与农业经济损失空间分布，以及社会经济秋旱灾害风险分布与直接经济损失空间分布分别进行对比验证。计算公式如下

$$Corr_{ij} = \frac{Cov_{ij}}{\delta_i \delta_j} \quad (8)$$

$$Cov_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_{ik} - \mu_i)(Z_{jk} - \mu_j)}{N-1} \quad (9)$$

式中， $Corr_{ij}$ 、 Cov_{ij} 和 $\delta_i \delta_j$ 分别为栅格图层之间的相关系数值、协方差和标准差乘积； Z 为栅格图层像元值； i, j 为堆叠的图层； μ 为图层平均值； N 为像元的数量； k 表示特定像元。相关性的范围为 $-1 \sim 1$ ，正相关性表明 2 个图层之间的直接关系，负相关性则表示一个变量随另一个变量反比例变化，相关性为零时，表示 2 个图层之间不存在依存关系。

计算得到广西农业秋旱灾害风险分布与农业经济损失，广西社会经济秋旱灾害风险分布与直接经济损失的相关系数分别为 0.58441 和 0.60393，并且通过显著性检验。检验结果表明，广西秋旱灾害风险分布（农业\社会经济）与实际秋旱灾情（农业\社会经济）分布基本吻合。

4 结 论

文中构建了广西秋旱灾害风险评估的指标体系，并应用地理信息系统对广西秋旱灾害风险进行综合评估和风险等级划分，结果明显地反映出由于广西秋旱的致灾、孕灾、灾损、抗灾等因素的不同所形成的旱灾风险程度的区域性差异；检验结果也表明广西秋旱灾害风险分布结果与干旱灾情损失空间分布情况基本吻合。研究结果表明：本文基于 AHP 和 GIS 的干旱评估模型和风险评估方法，可以较好的对广西秋季干旱灾害风险进行评估和等级划分，其中高风险区主要分布在桂中盆地和桂西部

分山区；较低风险区主要分布在桂西北和桂北的山区，桂南沿海和桂东南部分地区。

文中选择孕灾环境脆弱度指标时考虑了对广西秋旱形成影响较大的喀斯特地貌因素（也是广西地貌的明显特点），但由于各地喀斯特退化情况各有不同，在获取更精确的数据后，需深入分析和探讨其影响程度。在选择承灾体易损度指标和干旱抗灾力指标时，均考虑了体现社会经济发展程度的因素（GDP、人均 GDP），但该类因子具有一定的双重性，经济越发达，承受干旱的承灾体范围越可能大，抗灾能力也越大。目前是通过在不同的指标中赋予不同的权重，以量化社会经济发展对承灾体易损度和抗灾力所产生的不同程度的影响。此外，选择抗灾力指标时曾考虑旱涝保收面积或有效灌溉面积等体现耕地抗旱能力的因素，但目前尚未获取到该类因素的更详细准确的数据。未来在防灾减灾能力方面可考虑增加政府防御措施、抗旱减灾预案的制定和技术投入等因子，但如何量化上述因子是一个需要进一步讨论的问题。干旱的形成和发展涉及许多影响因子，以有限的评估资料和技术手段精确表达干旱的孕育、发生和演变过程，达到全面准确地分析评价干旱灾害风险仍有一定难度。可通过业务验证结果不断优化模型参数和相应因子、指标，使等级划分结果能有效指导防御工作的开展，使服务更具针对性和指导意义，以有效减少干旱造成的损失。

[参 考 文 献]

- [1] Schneider P J, Schauer B A. HAZUS: Its development and its future[J]. Natural Hazards Review, 2006, 7(2): 40—44.
- [2] Wilhite D A. Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues (Books in Soils, Plants, and the Environment)[M]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005, 39—72.
- [3] Yao Guozhang. Disaster Management System of Japan: Researches and Lessons[M]. Beijing: Peking University Press, 2009, 64—89.
- [4] 李世奎, 霍治国, 王素艳, 等. 农业气象灾害风险评估体系及模型研究[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 77—87.
Li Shikui, Huo Zhiguo, Wang Suyan, et al. Risk evaluation system and models of agrometeorological disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(1): 77—87. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 等. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068—1072.
Liu Ronghua, Zhu Zixi, Fang Wensong, et al. Risk regionalization of yield loss caused by drought for winter wheat in North China Plain[J]. Chinese Journal of

- Ecology, 2006, 25(9): 1068—1072. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 (Transactions of the CSAE), 2012, 28(8): 186—194. (in Chinese with English abstract)
- [7] 罗莹, 金龙, 王业宏. 旱涝灾害的门限神经网络预报模型[J]. 灾害学, 2003, 16(2): 1—6.
- Luo Ying, Jin Long, Wang Yehong. Threshold neural network forecast model of drought and waterlogging disasters[J]. Journal of Catastrophology, 2003, 16(2): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [8] 宋松柏, 蔡焕杰. 区域水资源可持续利用评价的人工神经网络模型[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 89—92.
- Song Songbai, Cai Huanjie. Artificial neural network model for assessing the sustainable utilization of regional water resources[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(6): 89—92. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李英柳. 人工神经网络在环境灾害预测中的应用进展[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(1): 8—11.
- Li Yingliu. The advances on application of artificial neural network to environmental disasters prediction[J]. Journal of Geological Hazards And Environment Preservation, 2010, 21(1): 8—11. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张星, 陈惠, 周乐照. 福建省农业气象灾害灰色评价与预测[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 43—45, 56.
- Zhang Xing, Chen Hui, Zhou Lezhao. Grey valuation and forecast of agro-meteorological disasters in Fujian province[J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(4): 43—45, 56. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杨奇勇, 杨劲松, 姚荣江, 等. 基于 GIS 和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 100—105.
- Yang Qiyong, Yang Jinsong, Yao Rongjiang, et al. Comprehensive evaluation of soil fertility by GIS and improved grey relation model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(4): 100—105. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张星, 郑有飞, 周乐照. 农业气象灾害灾情等级划分与年景评估[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 111—115.
- Zhang Xing, Zheng Youfei, Zhou Lezhao. Grade classification and annual case assessment of agro-meteorological disasters in Fujian province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(3): 111—115. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李文亮, 张冬有, 张丽娟. 黑龙江省气象灾害风险评估与区划[J]. 干旱区地理, 2009, 32(5): 754—760.
- Li Wenliang, Zhang Dongyou, Zhang Lijuan. Risk assessment and zoning of meteorological disaster in Heilongjiang Province[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(5): 754—760. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张竟竟. 河南省农业水旱灾害风险评估与时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 98—106.
- Zhang Jingjing. Risk assessment and spatial-temporal distribution characteristics of flood and drought disasters in Henan province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(18): 98—106. (in Chinese with English abstract)
- [16] 康永辉, 解建仓, 肖飞鹏, 等. 广西大石山区干旱灾害模糊风险评估与区划研究[J]. 西北农林科技大学: 自然科学版, 2012, 40(4): 223—229.
- Kang Yonghui, Xie Jiancang, Xiao Feipeng, et al. Drought disaster fuzzy risk assessment and compartment research in Dashi-shan region of Guangxi province[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2012, 40(4): 223—229. (in Chinese with English abstract)
- [17] 邹强, 周建中, 周超, 等. 基于可变模糊集理论的洪水灾害风险分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 126—132.
- Zou Qiang, Zhou Jianzhong, Zhou Chao, et al. Flood disaster risk analysis based on variable fuzzy sets theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 126—132. (in Chinese with English abstract)
- [18] 霍治国, 李世奎, 王素艳, 等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 1—9.
- Huo Zhiguo, Li Shikui, Wang Suyan, et al. Study on the risk evaluation technologies of main agrometeorological disasters and their application[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(6): 1—9. (in Chinese with English abstract)

- [19] 李晶, 赵文吉. 基于 GIS 的旱灾风险评估方法研究--以 2010 年西南五省旱灾为例[J]. 安徽农业大学学报: 社会科学版, 2011, 20(5): 7—11, 100.
Li Jing, Zhao Wenji. A GIS-based study of drought risk assessment methods: Based on the 2010 drought in the five provinces of southwest China[J]. Journal of Anhui Agricultural University: Philosophy and Social Sciences Edition, 2011, 20(5): 7—11, 100. (in Chinese with English abstract)
- [20] 金志凤, 黄敬峰, 李波, 等. 基于 GIS 及气候-土壤-地形因子的浙江省茶树栽培适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 231—236.
Jin Zhifeng, Huang Jingfeng, Li Bo, et al. Suitability evaluation of tea trees cultivation based on GIS in Zhejiang province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 231—236. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李海亮, 戴声佩, 胡盛红, 等. 基于空间信息的农业干旱综合监测模型及其应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 181—188.
Li Hailiang, Dai Shengpei, Hu Shenghong, et al. Comprehensive monitoring model for agricultural drought and its application based on spatial information[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(22): 181—188. (in Chinese with English abstract)
- [22] 赵静, 张继权, 严登华, 等. 基于格网 GIS 的豫北地区干旱灾害风险区划[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 55—58.
Zhao Jing, Zhang Jiquan, Yan Denghua, et al. Drought disaster risk zoning in the northern Henan province based on gridding GIS[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(1): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王洪芬. 计量地理学概论[M]. 山东: 山东教育出版社, 2001: 185—207.
- [24] 张海涛, 周勇, 汪善勤, 等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然力[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 219—223.
Zhang Haitao, Zhou Yong, Wang Shanqin, et al. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu Farm of Jiangnan Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(2): 219—223. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李永, 胡向红, 乔箭. 改进的模糊层次分析法[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2005, 35(1): 11—12, 16.
Li Yong, Hu Xianghong, Qiao Jian. An improved fuzzy AHP method[J]. Journal Of Northwest University: Natural Science Edition, 2005, 35(1): 11—12, 16. (in Chinese with English abstract)
- [26] 杜淼. 两类层次分析法的转换及在应用中的比较[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(9): 114—119.
Du Miao. Transformation from AHP to FAHP and their applications[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(9): 114—119. (in Chinese with English abstract)
- [27] 郭伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统--原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 161—193.
- [28] 金艳珠, 谈树成, 虎雄岗, 等. 基于层次分析法与 GIS 相结合的岩溶塌陷地质灾害易发性分区评估: 以云南省师宗县为例[J]. 热带地理, 2012, 32(2): 173—178.
Jin Yanzhu, Tan Shucheng, Hu Xionggang, et al. Geo-Hazard susceptibility zoning evaluation of karst collapse based on the combination of AHP and GIS: A case study of Shizong, Yunnan[J]. Tropical Geography, 2012, 32(2): 173—178. (in Chinese with English abstract)
- [29] 刘剑刚. 层次分析法在辽南泥石流危险度评价中的应用[J]. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2012, 31(6): 51—55.
Liu Jiangang. Application of AHP in southern Liaoning debris flow risk assessment[J]. Journal of Changchun Teachers College: Natural Science Edition, 2012, 31(6): 51—55. (in Chinese with English abstract)
- [30] 董鹏捷, 王建捷. 北京地区冰雹灾害风险评估模型及风险区划[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(1): 29—34.
Dong Pengjie, Wang Jianjie. Risk assessment model and regionalization of hail disaster in Beijing area[J]. Torrential Rain and Disasters, 2012, 31(1): 29—34. (in Chinese with English abstract)
- [31] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 38—43.
Mo Jianfei, Lu Jia, Li Yanlan, et al. GIS-based assessment of agricultural flood and water-logging risk in Guangxi[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(1): 38—43. (in Chinese with English abstract)
- [32] 匡昭敏. 广西干旱与寒害的演变特征及风险评估[D]. 北京: 中国农业大学, 2012: 49—51.
Kuang Zhaomin. Guangxi Drought and Chilling Evolution Characteristics and Risk Assessment[D]. Beijing: China Agricultural University, 2012: 49—51. (in Chinese with English abstract)
- [33] Jenks G F. The data model concept in statistical mapping[Z]. G. Philip and Son, International Yearbook of Cartography, 1967, 7: 186—190.
- [34] 何英彬, 陈佑启, 李志斌, 等. 北京市土地利用空间结构特征分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 313—318.
He Yingbin, Chen Youqi, Li Zhibin, et al. Analysis on spatial structural characteristics of land use of Beijing City[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 313—318. (in Chinese with English abstract)

Assessment of risk ranking for autumn drought in Guangxi province based on AHP and GIS

Li Li^{1,2}, Kuang Zhaomin^{1,2*}, Mo Jianfei^{1,2}, Meng Cuili^{1,2}

(1. *Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Meteorological and Disaster -Mitigation Research, Nanning 530022, China;*

2. *Remote Sensing Application Test Base, National Satellite Meteorological Center, Nanning 530022, China)*

Abstract: Guangxi is one of the annual precipitation-rich regions of the country. But seasonal drought occurs very frequently because of spatio-temporal nonuniform distribution of rainfall. Seasonal drought has a rather large influence on the water resources, industrial production, and human life, especially on the agricultural production of Guangxi. The research there has been mostly aimed at some characteristics of a certain domain (such as agriculture) in the application. And some evaluation processes too depended on subjective experience or a simple formula, and did not comprehensively consider the influence to society's economy and environment of drought disaster, the vulnerability of the disaster bearing body, and the ability to prevent and reduce disaster. In order to strengthen the risk assessment and emergency management capability of the autumn drought disasters of Guangxi, an autumn drought risk assessment indicator system was established, and its indicators were determined according to drought risk, sensitivity of disaster environment, vulnerability of disaster bearing body, ability of disaster prevention and reduction, included rainfall anomaly, little rain days anomaly, topography, hydrographic net, Karst landform, population density, gross domestic product(GDP), arable area, pecuniary loss and real GDP per capita, by use of meteorological data, such as daily rainfall of 88 meteorologic stations, from 1961 to 2010, basic geographic information, consisting of 1:50 000 scale county boundary and hydrographic net, digital elevation model(DEM) (about 100m resolution), and Karst landform(about 1000m resolution), and socio-economic data, containing population density, GDP, real GDP per capita, arable area and pecuniary loss, taking the county as a unit. Then factor weights were obtained by an analytic hierarchy process (AHP), which relied on a judgement matrix and its eigenvalues and eigenvectors, and a consistency test of the matrix, and comprehensive assessment models for agriculture and social economy were established and calculated to get the autumn drought disaster risk index, which ranked distribution by a geographical information system (GIS). The distribution indicated that the higher risk area contains the west of Chongzuo, central and south of Baise, east of Hechi, south of Liuzhou, east and south of Guilin, central and northwest of Laibin, urban of Guigang, and some counties of Nanning. The lower risk area contains the northern mountainous area of Baise, Hechi, Liuzhou and Guilin, most of Fangcheng and Beihai, central and south of Yulin, and most of Pingnan, Guiping, Zhaoping, and Mengshan. Finally the condition of drought disaster was used to validate the distribution. The correlation coefficients were 0.58441 and 0.60393, respectively, of agriculture and social economy, through significance test by 0.05, using the correlate analysis method, by the multivariate analysis tool of ARCGIS. The results showed that the distribution of autumn drought disaster risk is basically consistent with the spatial distribution of drought disaster losses, which in the high risk area are mainly distributed in the middle basin and mountain area in the west, and are low in the mountain areas in the northwest and north, coastal area in south, and parts of the southeast of Guangxi. The results reflected preferably regional differences of drought risk, which were due to the distinction of formation, environment, bearing body and prevention of autumn drought disaster of Guangxi. The drought assessment model and method used combine the advantage of AHP and GIS, and can make drought evaluation procedure and evaluation results more scientific, increasing practicability and maneuverability.

Key words: drought, geographical information system (GIS), analytic hierarchy process(AHP), risk assessment, Guangxi province

(责任编辑: 张俊芳)