

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.05.005

基于 GIS 的水稻气象灾害风险评估

——以四川广元旺苍县为例

侯奇奇¹, 杨柳², 张秀琼², 谢士娟²,
冯文帅², 邹雨伽^{3,4}, 张玉芳^{3,4}

1. 廊坊市气象局, 河北 廊坊 065000; 2. 四川省农村科技发展中心, 成都 610041;
3. 四川省农业气象中心, 成都 610072; 4. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室, 成都 610066

摘要: 为研究旺苍县水稻气象灾害风险, 本研究利用 1981—2017 年旺苍县附近 4 个国家气象站和 2012—2017 年 19 个旺苍县乡镇区域站气象资料, 以及 4 个县和 35 个乡镇统计年鉴数据, 通过相关分析确定水稻生育期内主要气象灾害, 利用自然灾害风险评估原理, 综合分析孕灾环境敏感性、致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性以及当地防灾减灾能力, 分别评估生育期内不同气象灾害风险, 利用层次分析法和加权综合评价法构建水稻气象灾害评估体系, 并对其进行综合风险评价。结果表明: 旺苍县水稻气象灾害风险分布由西南向东北递减, 高风险和次高风险区域主要分布在水白镇、尚武镇、枣林乡、嘉川镇、东河镇、柳溪乡、黄洋镇、龙凤乡、普济镇、农建乡、化龙乡、木门镇、九龙乡等西南部乡镇; 低风险性区域主要分布在檬子乡、大河乡、鼓城乡、水磨乡、万山乡、五权镇、大德乡、大两乡东部等东北部地区, 实际生产中要选育抗性强水稻品种, 尤其是高风险和次高风险地区, 不断提高当地抵御灾害风险的能力。

关键词: 水稻; 气象灾害; GIS; 层次分析法; 风险评估

中图分类号: S16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2021)05-0035-11

旺苍县位于四川盆地北缘, 米仓山南麓, 区域地形以山地为主, 北部地区中山地形为主, 南部地区呈低山地形, 地势呈现北高南低, 地处中亚热带湿润季风气候, 降水充沛, 光热资源丰富, 水稻是旺苍县主要的粮食作物之一, 据统计, 2017 年旺苍县水稻种植面积达 1.02 万 hm^2 ^[1]。旺苍县气象灾害频发, 干旱、洪涝、风雹、暴雨、低温、阴雨等灾害常给旺苍水稻正常生长带来影响。

农业气象灾害风险评估是指评估气象灾害对农业生产的危害及其造成损失的过程^[2], 是农业防灾减灾的重要手段。国际上关于农业气象灾害风险的研究开始于 20 世纪 80 年代后期, 主要集中于建立评估方法体系等方面^[3-4]。国内研究起步相对较晚, 20 世纪 90 年代以后, 一些学者开始对农业气象灾害风险分析的理论、方法、模型、指标等展开研究^[5-7]。针对单种作物灾害风险评估, 许多学者开展了大量研究并取得了一定成果^[8-10]。朱琳等^[11]根据自然灾害分析原理, 建立陕西省冬小麦干旱风险评价模型。王明田等^[12]基于自然灾害风险原理, 分别建立玉米干旱气象风险、作物风险、灾损风险和抗灾模型, 构建综合风险评估模型。张雪芬等^[13]基于 WOFOST 作物模型提取晚霜冻灾损评估技术, 建立以晚霜冻危险性、暴露性和脆弱性为风险因子的风险评估模型。孙宁等^[14]利用 APSIM-Wheat 农业生产模拟模型对北京地区干旱对冬小麦产量影响进行风险评估。2010 年之后, 关于多灾种综合气象灾害风险评价的研究逐渐引起学者关注, 陈家

收稿日期: 2019-12-17

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(2018JY0341); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室项目(2018-重点-05-03)。

作者简介: 侯奇奇, 硕士, 助理工程师, 主要从事气象灾害防御研究。

通信作者: 张玉芳, 高级工程师。

金等^[15-17]考虑致灾因子危险性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力等方面建立枇杷、龙眼、橄榄、茶叶等产量风险评估模型。陆魁东等^[18]采用相关分析和专家评分的方法,建立基于气象因子的油菜气象灾害风险评估综合指标。赵俊晔等^[19]基于区域自然灾害理论,构建作物自然灾害风险综合评价指标体系,对省级单元小麦自然灾害风险进行综合评估。当前关于作物综合气象灾害风险的研究,大部分以省、市为研究对象,而对县一级的研究鲜有报道,本研究利用自然灾害风险评估原理,针对旺苍县水稻生育期内主要气象灾害,综合分析致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体特性及防灾减灾能力,构建水稻风险评估体系,评估旺苍县水稻主要气象灾害风险。以期为复杂地形下的旺苍水稻科学种植和防灾减灾提供依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

气象观测资料:国家站资料选取旺苍及附近 4 个气象站点 1981—2017 年逐日气温、日照时数和降水等气象资料,区域站资料选取旺苍县 19 个区域站点 2012—2017 年逐日气温、降水等气象资料,以上资料均由四川省气候中心提供(站点分布如图 1 所示)。

水稻数据:水稻生育期资料来自四川省水稻和玉米农业气象观测站点数据,县级水稻产量、种植面积等数据来自 2017 年《四川省统计年鉴》,乡镇水稻种植面积来自 2017 年《旺苍县统计年鉴》。

社会经济数据来自 2017 年《旺苍县统计年鉴》,地理信息资料来自国家基础地理信息中心提供的 1:250 000 的数字高程模型(DEM)资料。

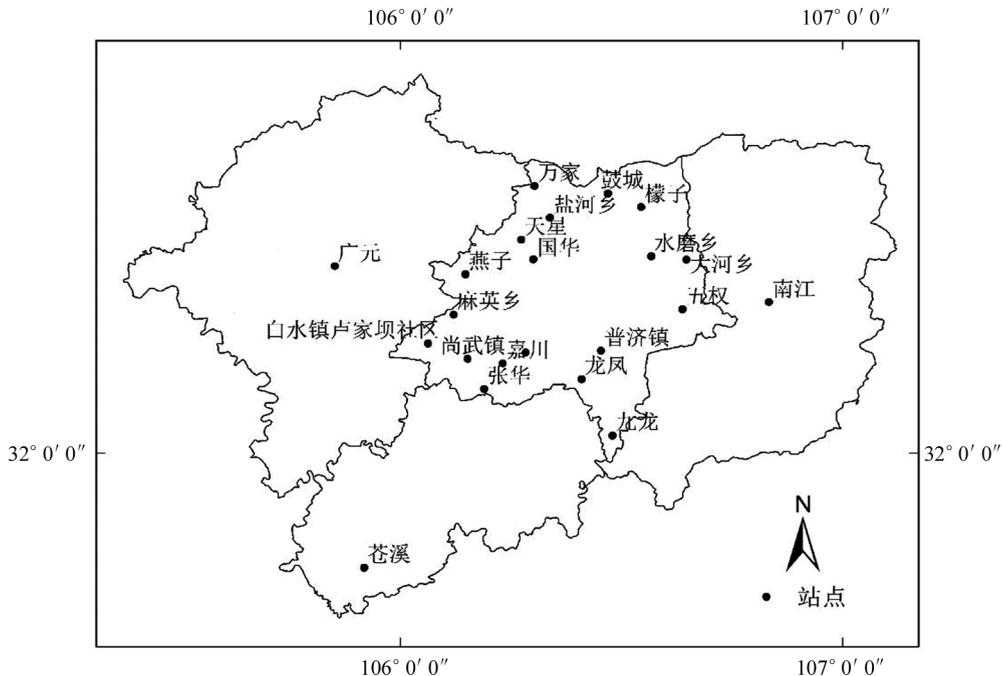


图 1 研究区域气象观测站点分布

1.2 研究方法

根据地理地貌类型以及种植区形成的现状,四川盆地分为盆南丘陵区、盆中浅丘区、盆西平丘区、盆周边缘山地区、盆东平行岭谷区 5 个种植区,其中旺苍县及本研究所选附近气象站点均属于盆周边缘山地区^[20],片区气候具有相似性,由于乡镇水稻产量资料局限性,本研究通过提取同片区(广元、苍溪、旺苍、南江)主要气象灾害类型确定区划因子,从而对旺苍县水稻气象灾害开展评估。

本研究采用灾害风险评估原理对旺苍县水稻进行风险评估,综合考虑旺苍县水稻种植情况、地形地貌特征和经济数据等资料,基于 GIS 技术平台,对旺苍县水稻不同生育期气象灾害进行风险评估,采用加权综合评价法和层次分析法建立旺苍水稻综合气象灾害风险评估体系,从而对旺苍县水稻进行气象灾害风险评估,利用 GIS 技术中自然断点法确定旺苍县水稻气象灾害风险等级,并将其划分为低风险性、次低风险性、中风险性、次高风险性、高风险性 5 个等级。

灾害风险评估原理:自然灾害风险是致灾因子、孕灾环境、承灾体特征和防灾减灾能力多方面因素综合作用的结果,其中致灾因子危险性由气象灾害发生种类、频次、强度等反映。孕灾环境是孕育灾害的外部自然环境。承灾体特征是指暴露在自然灾害环境下的承灾体的危险程度,主要由脆弱性和暴露性两方面构成。防灾减灾能力作为社会属性,由经济水平、文化水平、公共设施以及当地政策等因素共同构成^[21]。

$$FDRI = f(D, V, E, S, P) \quad (1)$$

式中: $FDRI$ 为危险性; D 为致灾因子危险性; V 为承灾体脆弱性; E 为承灾体暴露性; S 为孕灾环境敏感性; P 为防灾减灾能力。

加权综合评价法是根据各指标因子对研究对象的影响程度赋予各因子不同的数量化指标,并进行综合评价的方法^[21]。

$$f = \sum_{i=1}^m W_i \times D_i \quad (2)$$

式中: f 为综合评价指标; D_i 为第 i 指标归一化值; W_i 为第 i 指标权重; m 为评价指标个数。

层次分析法是通过专家打分的方法对同一层次指标的重要性进行两两比较,并将比较结果 A_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 写成 $n \times n$ 阶矩阵形式,构建判断矩阵,在建立有序递阶的基础上,计算得出矩阵中各指标权重向量和特征根,计算各层指标权重系数^[22]。

自然断点法是一种根据数值统计分布规律分级和分类的统计方法,利用数列中的自然转折点、特征点,将相似值进行最恰当地分组,并使各个类之间的差异最大化。

2 结果与分析

2.1 水稻气象灾害指标提取

水稻属喜温、喜湿、短日照作物,研究认为水稻适宜出苗温度为 $12 \sim 18 \text{ }^\circ\text{C}$,日均温 $20 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时稻苗生长旺盛,温度过高或过低都会影响水稻的正常生长。温度过高时,水稻无法正常开花结实,空秕粒所占比重上升,结实率下降,水稻产量降低,温度过低也会影响水稻的秧苗素质,孕穗期冷害会使得籽粒灌浆过程受阻,千粒质量下降,从而造成水稻产量大幅下降。水稻生长过程中对水分要求也比较严格,水分不足或过多,都会影响水稻秧苗的正常生长。综合水稻生长发育所需环境要求和旺苍县特殊地理地形,初选低温冷害(灌浆期、乳熟期)、高温(孕穗期、抽穗期)、暴雨(抽穗期、灌浆期)、连阴雨(抽穗期、灌浆期)4类8种灾害,并分析不同灾害对水稻产量的影响,具体灾害阈值如表1所示。

表1 旺苍县水稻主要农业气象灾害指标

气象灾害	发生时间	临界气象条件	临界天数	
低温冷害	灌浆期冷害	抽穗到乳熟期(8月下旬-9月下旬)	$T_{\text{avg}} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	3
	乳熟期冷害	乳熟到成熟(9月下旬-10月上旬)	$T_{\text{avg}} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	3
高温	孕穗期高温	拔节到孕穗期(7月下旬-8月中旬)	$T_{\text{max}} \geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$	3
	抽穗期高温	孕穗到抽穗期(8月中旬-8月下旬)	$T_{\text{max}} \geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$	3
暴雨	抽穗期暴雨	孕穗到抽穗期(8月中旬-8月下旬)	$R \geq 50 \text{ mm}$	1
	灌浆期暴雨	抽穗到乳熟期(8月下旬-9月下旬)	$R \geq 50 \text{ mm}$	1
连阴雨	抽穗期连阴雨	孕穗到抽穗期(8月中旬-8月下旬)	$R \geq 0.1 \text{ mm}$ 且 $S < 0.1 \text{ h}$	5
	灌浆期连阴雨	抽穗到乳熟期(8月下旬-9月下旬)	$R \geq 0.1 \text{ mm}$ 且 $S < 0.1 \text{ h}$	5

注: T_{avg} 为日平均气温; T_{max} 为日最高气温; R 为日降水量; S 为日照时数。

采用滑动平均方法从水稻单产中分离得出各地水稻气象产量^[23],并与各气象灾害进行相关分析(表2)。由表2可知,大部分站点水稻气象产量与气象灾害之间表现为负相关关系,其中乳熟期低温冷害、抽穗期连阴雨和灌浆期连阴雨对水稻产量影响较显著,综合相关分析结果和旺苍水稻实际生产,选取抽穗期高温、抽穗期暴雨、抽穗期连阴雨、灌浆期冷害、灌浆期连阴雨和乳熟期冷害6种灾害作为旺苍水稻气象灾害评估的主要影响因素。

表 2 各灾害发生频次与气象产量相关系数(R)

气象灾害		旺苍	苍溪	南江	广元
低温冷害	灌浆期冷害	-0.291*	-0.067	-0.118	-0.301*
	乳熟期冷害	-0.152	-0.341*	-0.271	-0.208
高温	孕穗期高温	0.077	-0.056	-0.019	-0.021
	抽穗期高温	-0.064	-0.212	-0.231	-0.132
暴雨	抽穗期暴雨	-0.142	-0.078	-0.162	-0.114
	灌浆期暴雨	0.133	-0.043	0.156	0.016
连阴雨	抽穗期连阴雨	-0.372*	-0.421*	-0.191	-0.267
	灌浆期连阴雨	-0.371*	0.092	-0.246	-0.346*

2.2 孕灾环境信息分析

旺苍县以山地为主, 壑谷纵横, 地形复杂, 气象灾害与海拔、地形地貌等环境条件密切相关. 本研究提取海拔、坡度、坡向 3 个地形因子(图 2), 根据不同气象灾害致灾机理, 选取不同地形指标来表示孕灾环境敏感性, 参考专家打分法分别赋予不同地形因子对孕灾环境敏感性的影响指数(表 3).

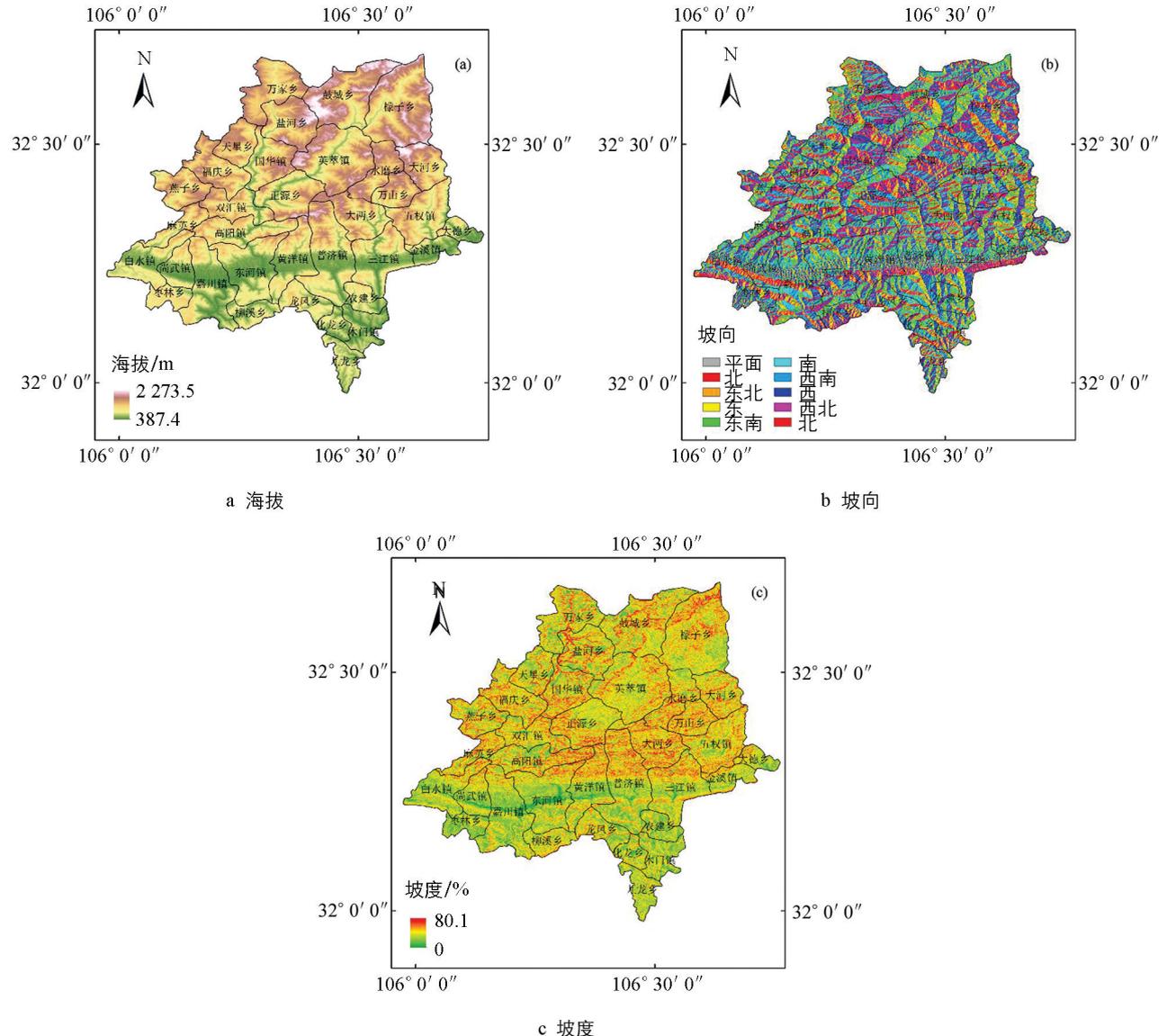


图 2 旺苍县海拔(a)、坡向(b)、坡度(c)分布图

表 3 主要气象灾害地形因子影响指数

气象灾害	地形因子	影响指数
灌浆期冷害	海拔、坡向	海拔: 0.70
		坡向: 0.30
乳熟期冷害	海拔、坡向	海拔: 0.70
		坡向: 0.30
抽穗期暴雨	海拔、坡度	海拔: 0.60
		坡度: 0.40
抽穗期高温	海拔、坡向	海拔: 0.70
		坡向: 0.30
抽穗期连阴雨	海拔、坡度	海拔: 0.60
		坡度: 0.40
灌浆期连阴雨	海拔、坡度	海拔: 0.60
		坡度: 0.40

2.3 承灾体特征分析

2.3.1 承灾体脆弱性分析

承灾体脆弱性是指承灾体在遭受自然灾害打击时的易损程度, 承灾体脆弱性越高, 易损程度越严重. 本研究从作物敏感性角度分析旺苍县水稻种植环境脆弱性程度, 采用历史产量的变异程度作为脆弱性评价指标^[24]. 利用自然断点法划分为 5 个等级, 得到图 3, 其中 $0 \leq V < 0.2$ 为低脆弱性, $0.2 \leq V < 0.39$ 为次低脆弱性, $0.39 \leq V < 0.57$ 为中脆弱性, $0.57 \leq V < 0.75$ 为次高脆弱性, $0.75 \leq V \leq 1$ 为高脆弱性. 由图 3 可知旺苍中西部地区水稻生产脆弱性较低, 易损度低, 檬子乡、大河乡、万山乡、五权镇、大德乡、金溪镇等东部乡镇水稻生产脆弱性较高, 易损程度高.

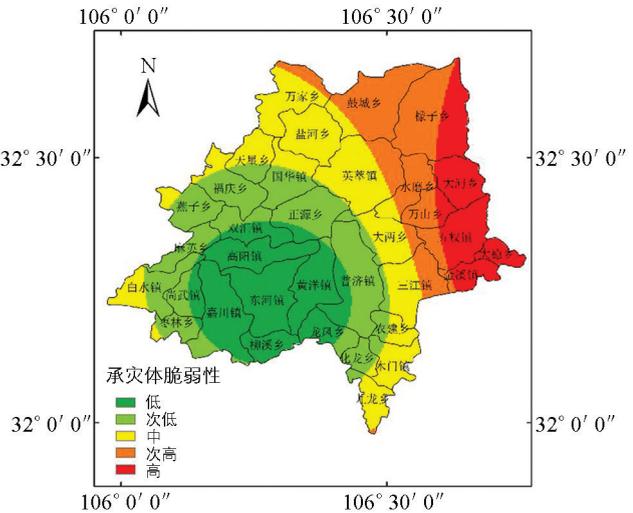


图 3 旺苍县水稻生产脆弱性分布

2.3.2 承灾体暴露性提取

承灾体暴露性是指暴露在自然灾害环境下的水稻种植程度, 水稻种植程度越大, 承灾体暴露性越高, 受气象灾害威胁越严重, 本研究用水稻种植比例来表征承灾体暴露性指标^[24], 绘制水稻种植暴露性分布图(图 4), 图中, $0 \leq E < 0.21$ 为低暴露性, $0.21 \leq E < 0.37$ 为次低暴露性, $0.37 \leq E < 0.57$ 为中暴露性, $0.57 \leq E < 0.76$ 为次高暴露性, $0.76 \leq E \leq 1$ 为高暴露性. 可知以白水镇至大德乡为界, 南部地区水稻种植比例较大, 暴露性较高, 北部地区山地较多, 水稻种植面积小, 承灾体暴露性低.

2.4 防灾减灾能力分析

防灾减灾能力是指风险承担者抵御自然灾害所制定的方针、政策、行动等一系列活动的总称, 防灾减灾能力越强, 灾害所造成的潜在损失越小. 本研究选取农村居民人均纯收入来表征当地防灾减灾能力, $0 \leq P < 0.33$ 为低防灾减灾能力, $0.33 \leq P < 0.52$ 为次低防灾减灾能力, $0.52 \leq P < 0.65$ 为中防灾减灾能力, $0.65 \leq P < 0.78$ 为次高防灾减灾能力, $0.78 \leq P \leq 1$ 为高防灾减灾能力. 可知防灾减灾能力较强地区分布

在白水镇至金溪镇、燕子乡等地区, 檬子乡、正源乡防灾减灾能力最弱(图 5)。

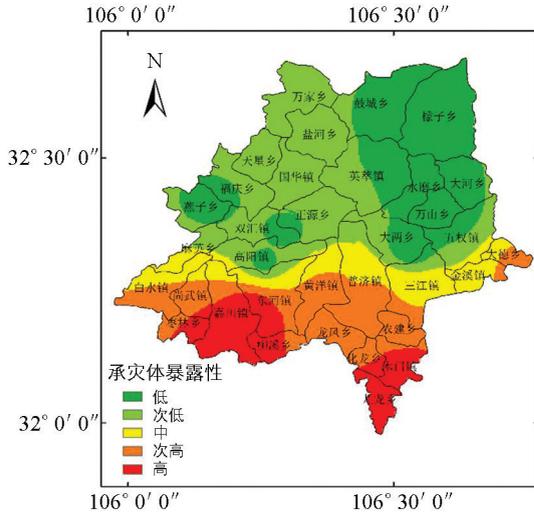


图 4 旺苍县水稻暴露性分布

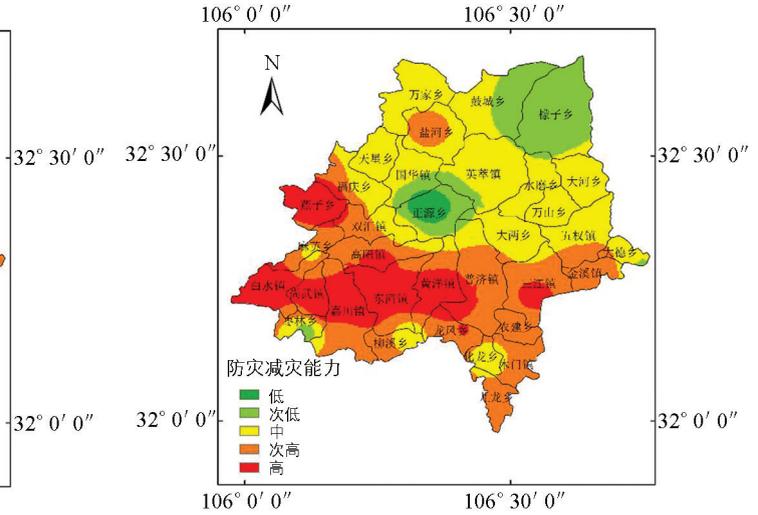


图 5 旺苍县防灾减灾能力分布图

2.5 各项指标权重

采用层次分析法(AHP), 分别计算单灾种风险评估指标权重(表 4)和综合气象灾害各指标权重系数(表 5)。

表 4 水稻单灾种风险评估指标权重系数

指标类型	致灾因子危险性	承灾体脆弱性	承灾体暴露性	孕灾环境敏感性	1/防灾减灾能力
权重系数	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1

表 5 水稻综合气象灾害权重系数

灾害类型	灌浆期冷害	乳熟期冷害	抽穗期暴雨	抽穗期高温	抽穗期连阴雨	灌浆期连阴雨
权重系数	0.35	0.12	0.12	0.06	0.23	0.12

2.6 水稻单灾种风险评估

2.6.1 抽穗期高温风险评估

抽穗期是水稻高温热害的敏感期, 温度过高直接影响水稻幼穗分化, 导致最终产量下降. 以抽穗期高温年平均发生日数为致灾因子, 综合考虑高程、坡向等地形因子和承灾体脆弱性、暴露性以及防灾减灾能力, 根据自然断点法得出旺苍县水稻抽穗期高温风险分布, 如图 6 所示, 图中 5 个等级分别为: 低风险性(0.25~0.40)、次低风险性(0.41~0.50)、中风险性(0.51~0.60)、次高风险性(0.61~0.70)、高风险性(0.71~0.88), 由图 6 可知, 旺苍县水稻抽穗期高温风险分布呈现较强的层次性, 西南高东北低, 其中东河镇、柳溪乡、嘉川镇、黄洋镇、龙凤乡、尚武镇等地高温风险性最高。

2.6.2 抽穗期暴雨风险评估

水稻不同生育阶段耐涝性不同, 据研究, 水稻苗期、分蘖期耐涝性较强, 抽穗开花期耐涝性最差, 此时遭遇暴雨会影响水稻小穗分化和生殖细胞发育^[25-27]. 分析旺苍县抽穗期暴雨发生频率, 地形因子, 承灾体脆弱性、暴露性和当地防灾减灾能力, 绘制旺苍县水稻抽穗期暴雨风险分布图(图 7). 分别为: 低风险性(0.25~0.38)、次低风险性(0.39~0.45)、中风险性(0.46~0.52)、次高风险性(0.53~0.60)、高风险性(0.61~0.75), 由图 7 可知, 旺苍县水稻抽穗期暴雨风险分布自西南向东北递减, 水稻抽穗期暴雨高风险区域主要分布在东河镇、黄洋镇、嘉川镇、柳溪乡、龙凤乡等地区. 中部和东北部等乡镇处于暴雨中风险性或次低风险性地区。

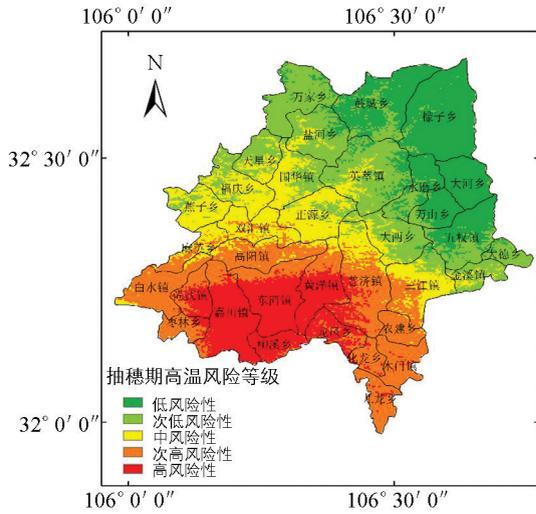


图 6 抽穗期高温风险分布图

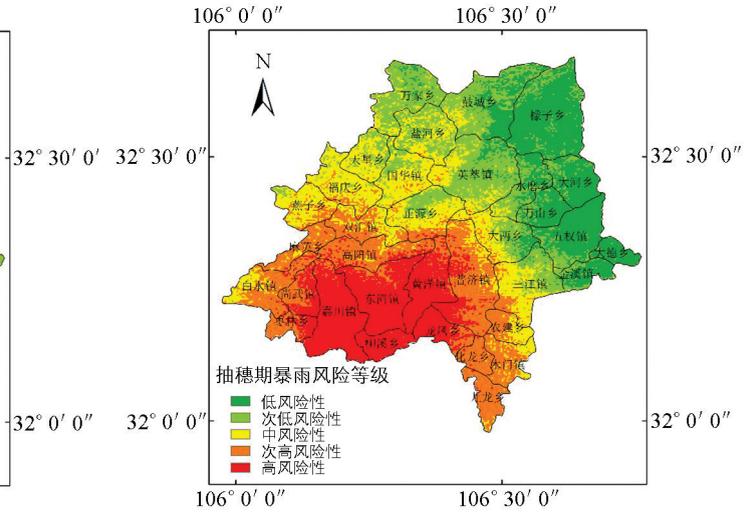


图 7 抽穗期暴雨风险分布图

2.6.3 抽穗期连阴雨风险评估

连阴雨是指连续多日的阴雨天气, 8 月下旬至 9 月末的秋季连阴雨正值水稻成熟收获的关键时期, 连阴雨及其伴随的低温、寡照、高湿等外界环境直接影响水稻干物质积累, 导致水稻减产. 旺苍县水稻抽穗期连阴雨风险分布如图 8 所示, 5 个等级分别为: 低风险性(0.13~0.29)、次低风险性(0.30~0.37)、中风险性(0.38~0.46)、次高风险性(0.47~0.56)、高风险性(0.57~0.78). 由图 8 可知, 旺苍县水稻抽穗期连阴雨风险性呈现东高西低的变化特征, 且大部分地区处于次低、低风险性区域, 仅檬子乡至三江镇以东的乡镇, 风险等级较高, 其中大河乡、大德乡、金溪镇东部、五权镇东部风险等级最高.

2.6.4 灌浆期冷害风险评估

考虑灌浆期冷害年平均日数、水稻产量变异程度以及旺苍县海拔和坡向等因素, 利用自然断点法对旺苍县水稻进行灌浆期冷害风险评估, 分别为: 低风险性(0.27~0.40)、次低风险性(0.41~0.47)、中风险性(0.48~0.55)、次高风险性(0.56~0.61)、高风险性(0.62~0.78). 由图 9 可知, 水稻灌浆期冷害风险呈现自西向东递减的分布. 其中白水镇、尚武镇、枣林镇、嘉川镇、柳溪乡、东河镇、龙凤乡、九龙乡等西南乡镇水稻灌浆期冷害风险最高, 次高风险性区域沿万家乡—麻英乡—龙凤乡呈倒 V 型分布, 中风险性区域沿鼓城乡—高阳镇—三江镇分布, 东部乡镇水稻灌浆期冷害风险性较低.

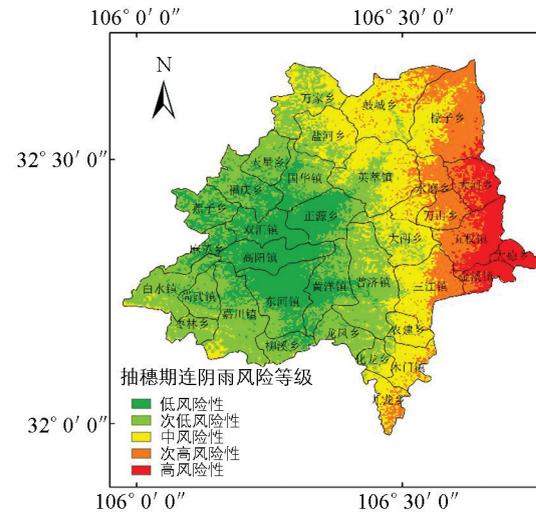


图 8 抽穗期连阴雨风险分布

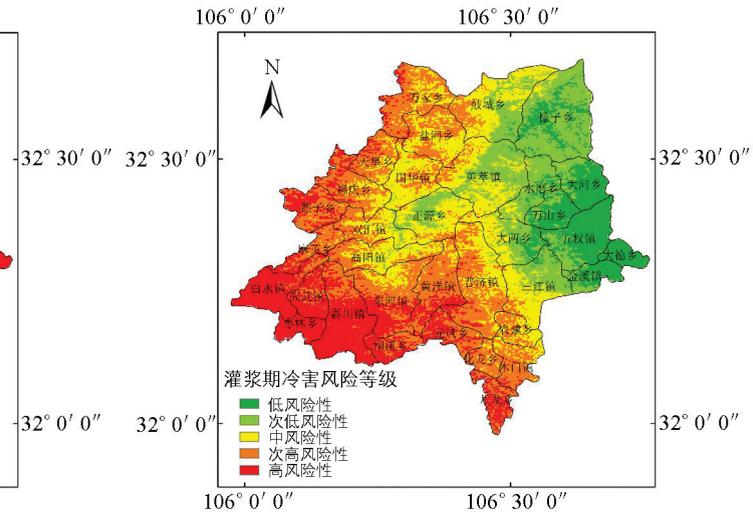


图 9 灌浆期冷害风险分布图

2.6.5 灌浆期连阴雨风险评估

灌浆期是连阴雨灾害发生的主要时期，灌浆期连阴雨会影响水稻灌浆结实，增大水稻空秕率，影响水稻的成熟收获，严重时可造成田间籽粒发芽或者籽粒霉烂、病虫害滋生，水稻产量和品质严重下降。旺苍县灌浆期连阴雨风险评估为：低风险性(0.27~0.41)、次低风险性(0.42~0.48)、中风险性(0.49~0.55)、次高风险性(0.56~0.62)、高风险性(0.63~0.75)。由图 10 可知旺苍县西南乡镇大多处于高风险或次高风险区域，其中东河镇、嘉川镇、柳溪乡、尚武镇东部、枣林乡、黄洋镇、龙凤乡风险等级最高，万家乡、盐河乡、天星乡、国华镇、福庆乡等西北部乡镇水稻灌浆期连阴雨风险等级为中级，旺苍东部地区灌浆期连阴雨风险等级较低。

2.6.6 乳熟期冷害风险评估

旺苍县水稻乳熟期一般开始于九月中旬，受大气环流控制，这一阶段旺苍县温度较低，水稻主要气象灾害为低温冷害。综合分析水稻乳熟期低温冷害年平均发生日数、海拔、坡向、水稻产量、种植比例以及防灾减灾能力等相关因素，绘制旺苍县水稻乳熟期冷害风险分布图：低风险性(0.10~0.25)、次低风险性(0.26~0.35)、中风险性(0.36~0.43)、次高风险性(0.44~0.49)、高风险性(0.50~0.62)。由图 11 可知，旺苍大部分地区水稻处于乳熟期冷害高风险或次高风险区域，主要分布在中西部乡镇，其中福庆乡—龙凤镇以西乡镇均为高风险性地区。中风险性地区自鼓城乡至九龙乡呈南北向分布，大河乡、大德乡、金溪镇和五权镇西部水稻乳熟期冷害风险等级最低。

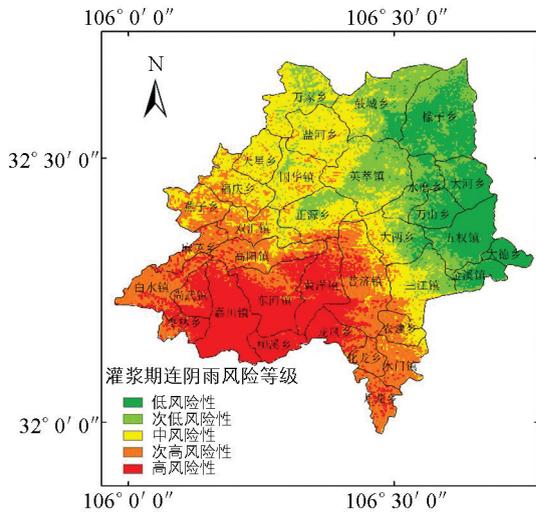


图 10 灌浆期连阴雨风险分布图

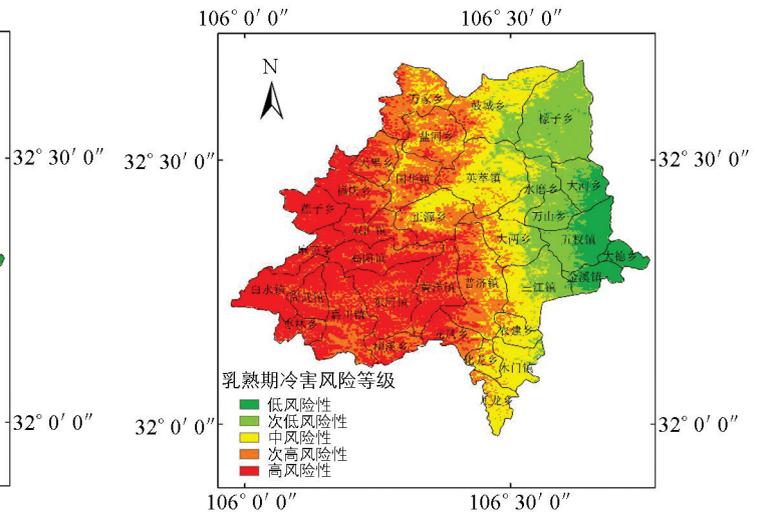


图 11 乳熟期冷害风险分布图

2.7 旺苍县水稻气象灾害风险评估

采用多指标综合风险评估法建立旺苍县水稻气象灾害指标体系，通过专家打分和层次分析方法设定不同气象灾害因子权重，将不同气象灾害风险均一化处理，通过 GIS 平台进行栅格计算，利用自然段点分级法，将旺苍县水稻气象灾害风险划分为高风险性(1.31~1.62)、次高风险性(1.08~0.30)、中风险性(0.86~1.07)、次低风险性(0.63~0.85)、低风险性(0.34~0.62) 5 个等级，得出旺苍县水稻气象灾害风险分布图(图 12)。高风险区：尚武镇南部、枣林乡东部、嘉川镇中南部、东河镇中南部、黄洋镇中南部、龙凤乡西部、柳溪乡。次高风险区：白水镇、枣林镇西部、尚武镇北部、嘉川镇北部、东河镇北部、高阳镇西南部、黄洋镇北部、普济镇中南部、农建乡大部、化龙乡、木门镇、九龙乡。中风险区：燕子乡、麻英乡北部、福庆乡、双汇镇、高阳镇中东部、天星乡西南部、国华镇西南部、正源乡南部、普

济镇北部、三江镇中南部。次低风险区:天星乡中北部、万家乡、盐河乡、鼓城乡西部、国华镇中北部、正源乡北部、英萃镇、大两乡大部以及三江镇北部、金溪镇。低风险区:鼓城乡东部、檬子乡、大河乡、水磨乡、万山乡、五权镇、大德乡、大两乡东部。

3 结论与讨论

本研究基于自然灾害风险评估原理,基于GIS技术综合考虑旺苍县附近国家站和区域站气象观测数据、水稻种植自然环境、旺苍地理地貌特征复杂性、水稻产量变异性、种植面积以及当地防灾减灾能力等相关信息,构建水稻气象灾害风险评估体系,对旺苍县水稻气象灾害风险开展初步评估,具体结果如下:

气象灾害风险评估是致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力等因子相互作用下的综合评价的结果。从致灾因子来看,旺苍县对水稻种植影响较大的气象灾害主要有低温冷害、连阴雨、暴雨以及高温,主要发生在水稻抽穗至乳熟阶段,其中灌浆期低温冷害和抽穗期连阴雨对水稻产量影响最大,高温对旺苍水稻生产影响最小。从孕灾环境来看,旺苍县以山地为主,地势北高南缓,腹部低平,复杂山地下的孕灾环境对不同灾种的影响存在差异,高海拔、阴面山坡对低温冷害有促进作用,地势陡峭、海拔高地区则有利于暴雨、连阴雨等灾害的发生。从承灾体来看,暴露性和脆弱性的大小可以用来表征孕灾环境对水稻气象灾害的促进或延缓作用,旺苍县南部乡镇地势平缓,属农业重点发展区,水稻种植面积较大,水稻暴露性较高,脆弱性较小,东北部乡镇海拔较高地势险峻,是生态重点保护区,水稻种植面积少,产量变异程度较大,脆弱性较高但暴露性较小。防灾减灾能力是区域范围内政策、人力、物力、生产力水平等多种因素综合作用下的结果,东河、嘉川等西南乡镇是旺苍经济发展的核心地区,经济水平高,综合防灾减灾能力强,东北部乡镇经济较薄弱,综合防灾减灾能力弱。

水稻综合气象灾害风险分布受单灾种灾害风险分布影响,旺苍县水稻灾害风险呈现为西南高东北低的分布,这与抽穗期高温、抽穗期暴雨、灌浆期连阴雨、灌浆期冷害以及乳熟期冷害的风险分布类似,但综合气象灾害风险分布较单灾种风险分布层次较分明。次高、高风险地区大多分布在西南乡镇,主要由致灾因子危险性高和承灾体暴露性高导致,应不断提高农业发展水平,选育抗性强的水稻品种,提高抵御风险能力,中风险地区大多在旺苍中部地区,该区域在生产过程中应加强水稻种植管理,改进种植方式,东北部乡镇水稻综合风险等级低,但地势较高,地形复杂,孕灾环境较为敏感,且防灾减灾能力较弱,也应加以重视。

参考文献:

- [1] 周进,张明广. 旺苍县水稻直播生产现状与前景分析 [J]. 农技服务, 2017, 34(3): 46.
- [2] 王春乙,张雪芬,赵艳霞. 农业气象灾害影响评估与风险评价 [M]. 北京:气象出版社, 2010.
- [3] NULLET D, GIAMBELLUCA T W. Risk Analysis of Seasonal Agricultural Drought on Low Pacific Islands [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1988, 42(2-3): 229-239.

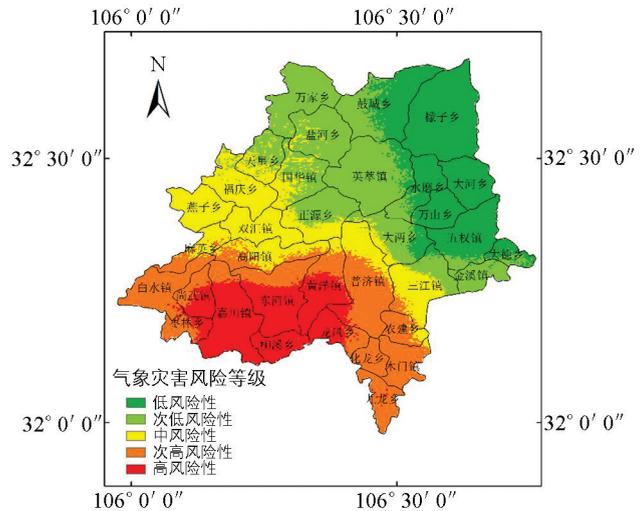


图12 旺苍县水稻气象灾害风险分布图

- [4] CITTADINI E D, DE RIDDER N, PERI P L, et al. A Method for Assessing Frost Damage Risk in Sweet Cherry Orchards of South Patagonia [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 141(2-4): 235-243.
- [5] 李世奎. 中国农业灾害风险评价与对策 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [6] 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): 692-703.
- [7] 葛全胜, 邹 铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] 陈晓艺, 马晓群, 孙秀邦. 安徽省冬小麦发育期农业干旱发生风险分析 [J]. *中国农业气象*, 2008, 29(4): 472-476.
- [9] 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.
- [10] 谭孟祥, 何 燕, 王 莹, 等. 基于 MeteoGIS 的广西早稻高温热害精细化区划 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(8): 27-32.
- [11] 朱 琳, 叶殿秀, 陈建文, 等. 陕西省冬小麦干旱风险分析及区划 [J]. *应用气象学报*, 2002, 13(2): 201-206.
- [12] 王明田, 张玉芳, 马 均, 等. 四川省盆地区玉米干旱灾害风险评估及区划 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2803-2811.
- [13] 张雪芬, 余卫东, 王春乙. 基于作物模型灾损识别的黄淮区域冬小麦晚霜冻风险评估 [J]. *高原气象*, 2012, 31(1): 277-284.
- [14] 孙 宁, 冯利平. 利用冬小麦作物生长模型对产量气候风险的评估 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(2): 106-110.
- [15] 陈家金, 李丽纯, 林 晶, 等. 福建省枇杷气象灾害综合风险评估 [J]. *应用气象学报*, 2014, 25(2): 232-241.
- [16] 陈家金, 王加义, 李丽纯, 等. 极端气候对福建省橄榄产量影响的风险评估 [J]. *中国农业气象*, 2011, 32(4): 632-637.
- [17] 陈家金, 王加义, 李丽纯, 等. 影响福建省龙眼产量的多灾种综合风险评估 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 819-826.
- [18] 陆魁东, 彭莉莉, 黄晚华, 等. 气候变化背景下湖南油菜气象灾害风险评估 [J]. *中国农业气象*, 2013, 34(2): 191-196.
- [19] 赵俊晔, 张 峭, 赵思健. 中国小麦自然灾害风险综合评价初步研究 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(4): 705-714.
- [20] 刘琰琰, 张玉芳, 王明田, 等. 四川盆地水稻不同生育期干旱频率的空间分布特征 [J]. *中国农业气象*, 2016, 37(2): 238-244.
- [21] 薛晓萍, 马 俊, 李鸿怡. 基于 GIS 的乡镇洪涝灾害风险评估与区划技术——以山东省淄博市临淄区为例 [J]. *灾害学*, 2012, 27(4): 71-74, 91.
- [22] 程乾生. 层次分析法 AHP 和属性层次模型 AHM [J]. *系统工程理论与实践*, 1997, 17(11): 25-28.
- [23] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 等. 华北北部冬小麦干旱和产量灾损的风险评估 [J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(1): 131-139.
- [24] 王春乙, 姚蓬娟, 张继权, 等. 长江中下游地区双季早稻冷害、热害综合风险评价 [J]. *中国农业科学*, 2016, 49(13): 2469-2483.
- [25] 陈家金, 林 晶, 李丽纯, 等. 暴雨灾害对福建水稻产量影响的灾损评估方法 [J]. *中国农业气象*, 2010, 31(S1): 132-136.
- [26] 蔺万煌, 孙福增, 彭克勤, 等. 洪涝胁迫对水稻产量及产量构成因素的影响 [J]. *湖南农业大学学报*, 1997, 23(1): 50-54.
- [27] 陈永华, 严钦泉, 肖国樱. 水稻耐淹涝的研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(12): 151-153, 159.

GIS-Based Risk Evaluation of Meteorological Disasters for Rice

——A Case Study of Wangcang County, Guangyuan Sichuan

HOU Qi-qi¹, YANG Liu², ZHANG Xiu-qiong², XIE Shi-juan²,
FENG Wen-shuai², ZOU Yu-jia^{3,4}, ZHANG Yu-fang^{3,4}

1. Langfang Meteorological Bureau, Langfang Hebei 065000, China;

2. Rural Technology Development Center of Sichuan Province, Chengdu 610041, China;

3. Agro-meteorological Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;

4. Water-Saving Agriculture in Southern Hill Area Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610066, China

Abstract: In order to study the meteorological disaster risks for rice in Wangcang county of Sichuan province and provide scientific basis for rice production management, the meteorology data of 4 national meteorological stations around Wangcang from 1981 to 2017 and of 19 regional stations of the county from 2012 to 2017, and the statistical yearbook data of 35 townships and 4 counties were used to determine the major meteorological disasters during rice growth period through correlation analysis. The principles of natural disaster risk assessment were used to comprehensively analyze sensitivity of disaster-inducing environment, disaster-causing factor risk, vulnerability and exposure of the hazard-bearing body and the local disaster prevention and mitigation capabilities and to assess the different meteorological disaster risks during the growing period of rice crop. Analytic hierarchy process (AHP) and weighted comprehensive evaluation methods were used to construct a meteorological disaster assessment system for rice. Then a comprehensive evaluation of the meteorological disaster was made for the local rice production. The results showed that the distribution of meteorological disaster risk for rice diminished from southwest to northeast in Wangcang county. The high-risk and sub-high-risk areas were found to be distributed mainly in its southwestern townships, such as Baishui, Shangwu, Zaolin, Jiachuan, Donghe, Liuxi, Huangyang, Longfeng, Puji, Nongjian, Hualong, Mumu and Jiulong; and the townships in the northeastern region such as Mengzi, Dahe, Gucheng, Shuimo, Wanshan, Wuquan, Dade and Daliang belonged to low-risk zones. In conclusion, it is necessary to breed and cultivate rice varieties with strong resistance, especially in high-risk and moderately high-risk areas, and continuously improve the local ability to resist disaster risks in actual production.

Key words: rice; meteorological disaster; GIS; AHP; risk assessment