

张 菡,郑 昊,李媛媛,等. 针对水稻的四川盆地高温热害风险评估[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):406-409.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.124

针对水稻的四川盆地高温热害风险评估

张 菡^{1,2}, 郑 昊^{1,3}, 李媛媛^{1,2}, 游 超^{1,2}

(1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川成都 610072;

2. 四川省农业气象中心, 四川成都 610072; 3. 四川省气象服务中心, 四川成都 610072)

摘要:以四川盆地水稻作物为研究对象,结合水稻的生理特征和自然灾害系统理论,选取灾害频率、地形、河网、农村经济等因子为主要评估指标,利用层次分析法建立灾害风险评估指标体系,在此基础上构建针对水稻的四川盆地高温热害风险评估模型,并计算风险指数。通过对四川盆地稻区高温热害风险指数分布的精细化分析,将盆地区划分为由高至低的 6 个风险区域,以此反映盆地稻区由于致灾、孕灾、承灾、抗灾等评价因子的不同而造成高温热害风险水平的区域分布存在显著差异。评估结果为四川盆地农区水稻作物的种植布局及灾害风险转移工作提供了更具针对性和实际应用意义的科学指导与决策依据。

关键词:水稻;高温热害;风险;四川盆地

中图分类号: S428 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0406-04

水稻是四川省最重要的粮食作物。2010 年四川省水稻种植面积为 199.3 万 hm^2 ,总产量为 1 541.9 万 t,分别占全省粮食作物种植面积、产量的 28.9%、42.5%,在全省粮食生产中居主导地位。四川盆地地处亚热带湿润季风性气候区,冬暖春早,热量资源丰富,雨量充沛,尤其在 4—9 月的大春生产季节,盆地大部分农区“雨热同季”,十分适宜水稻作物积极生长^[1]。优越的自然条件和温暖湿润的气候环境使四川盆地成为全国最大的优质稻谷主产区。

作为喜温、好湿的短日照作物,光、温、水等农业气象条件是影响水稻生长发育的决定性因素。水稻作物对高温具有较强的适应性,但优质稻谷的形成仍对温度水平有一定要求。当环境温度长时间超过稻株正常生长所能承受的临界值时,会对作物造成危害。相关田间试验表明,整个水稻生育期内尤以抽穗扬花期对温度的变化最为敏感,连续 3 d 以上日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温热害胁迫可直接引起稻株花粉死亡,导致开花散粉受阻、子房受精不良、秕粒增多、结实率下降,严重影响稻谷的产量和品质^[2-5]。在西太平洋副热带高压天气系统控制下,盛夏时节四川盆地部分低海拔地区高温连晴酷热天气频发,常与夏、伏旱灾害叠加,影响深远,致害性严重^[6]。另一方面,受热量和雨水季节分配的影响,四川盆地水稻种植以一季中稻为主,7 月中下旬至 8 月中旬大面积稻区进入抽穗开花期,恰与高温热害高发时段耦合,对盆地水稻结实率造成巨大威胁。如 2006、2011 年的夏、伏旱时段,持续的异常高温灾害为盆地大春收获带来极大损失。近年来,在自然气候波动和人类活动增强的背景下,全球气候变暖加剧,四川盆地高温日数显著增加、强度显著增强,高温热害已经成为盆地

稻区的主要农业灾害之一^[7]。

目前,从灾害风险角度出发,针对四川盆地区水稻作物高温热害的研究尚属鲜见。本研究立足于自然灾害系统理论,利用 GIS 空间信息处理和模型构建方法^[8-13],结合水稻作物生育期的生理特征,研究四川盆地分区域高温热害的强度和频率,选取地形、河网、农村经济等因子,建立包括致灾、孕灾、承灾、抗灾 4 个方面的风险评估模型,分析四川盆地稻区高温热害风险的地域分布差异,以期有效提高高温热害预测和评估工作精度,为防灾减灾政策的制定提供理论依据。

1 资料来源与技术方法

1.1 资料来源

本研究采用的资料包括由四川省农业气象中心提供,四川盆地有完整气象记录的 98 个台站 1971—2010 年共计 40 年逐日气温及最高气温数据;源自《2010 年四川农村统计年鉴》的四川盆地行政区划土地面积、耕地面积、水稻播种面积、农业生产总值等农业社会经济资料;四川盆地 1:5 万 GIS 基础地理信息资料中的 DEM 数字地面高程及河网水系数据;《中国气象灾害大典(四川卷)》中关于四川历年高温灾害的灾情数据。

1.2 技术方法

按照自然灾害形成理论,自然灾害是社会与自然综合作用的产物,是由孕灾环境、致灾因子、承灾体共同组成的灾害系统相互影响的结果^[14]。充分考虑四川盆地水稻作物的生态特征及生育期指标,根据高温热害致害机理,选择能较好体现致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性、抗灾能力 4 个评估因子的要素指标,建立高温热害风险评估指标体系,利用加权综合评分法进行定量分析。加权综合评分法公式为:

$$H_j = \sum_{i=1}^n V_i \cdot Q_{ji} \quad (1)$$

式中: H_j 为第 j 个因子的风险指数; j 为第 j 个因子; n 为指标

收稿日期:2015-05-27

基金项目:气象关键技术集成与应用项目(编号:CAMGJ2012M43)。

作者简介:张 菡(1982—),女,四川眉山人,硕士,工程师,主要从事农业气象灾害风险及灾损评估的研究。E-mail: feeling1023@163.com。

个数; V_i 为第 i 个指标的权重; Q_{ji} 为第 j 个因子第 i 个指标的归一化数值。各指标的权重代表该指标在高温热害风险评估中的相对重要程度,即影响度,具体数值通过层次分析法和专家打分法确定。

结合四川盆地水稻农业生产的实际情况,利用计算出的各因子指数构建高温热害精细化风险评估模型,公式为:

$$F = (E^{we})(I^{wh})(S^{ws})(10 - R)^{wr} \quad (2)$$

式中: F 为灾害风险指数,用于表征风险程度,风险程度越高则灾害对受灾区域造成伤害或损失的可能性越大; E 、 I 、 S 、 R 的值分别表示风险评估模型中的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性、抗灾能力因子指数; we 、 wh 、 ws 、 wr 分别为各因子权重。借此求得高温热害风险指数,通过自然断点法划分风险等级,进而分析四川盆地稻区高温热害风险水平的地区分布差异。

2 四川盆地稻区高温热害风险评估

2.1 致灾因子危险性指标及评估

致灾因子的危险性通常使用灾害强度及频次进行表征。盛夏时段,四川盆地大部分农区水稻作物正值抽穗扬花的关键生育期,稻株能否良好授粉是稻丰产和米质好坏的决定性因素^[15-16]。由试验和多年灾情实地调研可知,水稻秕粒、空壳率与高温强度及其持续时间呈显著正相关。以日最高气温作为研究对象,将日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 持续 3 d 以上视为 1 次致害高温过程,高温过程持续日用 $D_{T_{\max}}$ 表示,借此将高温热害划分为轻度、中度、重度 3 个等级^[17](表 1)。

表 1 水稻高温热害致灾因子危险性因子分级标准及影响度值

热害等级	致灾因子 $D_{T_{\max}}$ (d)	影响度值
轻度	$3 \leq D_{T_{\max}} < 5$	0.164
中度	$5 \leq D_{T_{\max}} < 8$	0.297
重度	$D_{T_{\max}} \geq 8$	0.539

四川盆地一季中稻种植因各区域栽培形式不同而各有差异,其中盆南长江沿江浅丘河谷区、盆东北低海拔嘉陵江沿江区域受地理特性影响,春季回暖早、热量充足、降水丰富,有利于水稻作物早熟高产,因此稻作生育期普遍早于盆地其他农区^[18]。为更切合水稻抽穗扬花期高温热害的实际致灾结果,采用多年逐日平均气温数据计算有效积温,结合实地调研记录,将盆地农区划分为生育期不同的 2 个区域(图 1),分别进行致灾因子危险性指数的计算。利用四川盆地 98 个台站 1971—2010 年(共计 40 年)7—8 月的逐日最高气温资料,分别提取逐年 7 月下旬至 8 月中旬(区域 I)、7 月中旬至 7 月下旬(区域 II)2 个时段各区域对应台站的高温日数据,统计各站点高温日、高温过程次数,分别计算 40 年来每站平均轻、中、重度高温热害发生频次,通过层次分析法确定各级致灾因子影响度值(表 1)。基于 GIS 软件,根据各站点经纬度数据形成点要素矢量文件,利用空间分析功能进行反距离权重差值,对得到的各级危险性因子图层进行加权叠加运算,最终获得致灾因子危险性空间分布图层。由图 2 可知,盆地东北部和南部丘陵区、盆中部分浅丘区的高温热害危险性水平明显高于盆地其他地区。其中,毗邻重庆高温区域的盆东缓丘区是盆地最显著的危险性高值中心。

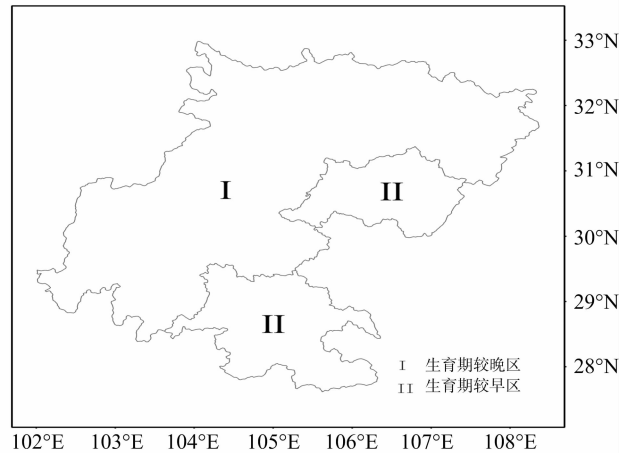


图 1 四川盆地水稻生育期划分

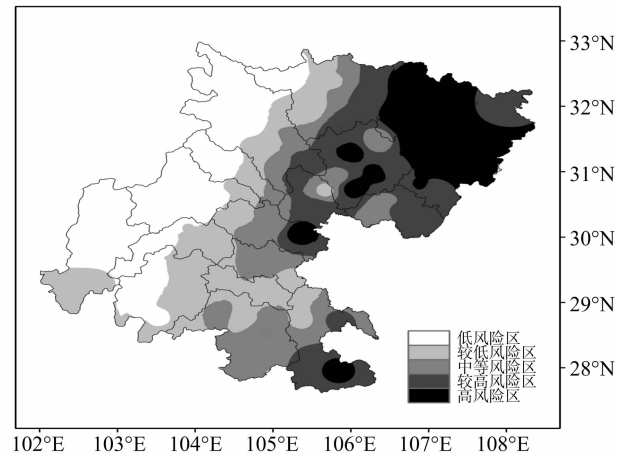


图 2 四川盆地高温热害致灾因子危险性分布

2.2 孕灾环境敏感性指标及评估

孕灾环境代表孕育灾害的自然环境。在气候条件一致的情况下,不同孕灾环境与相同强度的高温热害配合,呈现出效果迥异的灾害性后果。四川地区多山,地形地貌复杂,区域内水系交错、河网稠密。由水稻的生理特性及历史高温热害灾情调查结果可知,水稻作物集中种植于盆地平坝及丘陵地区,在 200~800 m 的立体高度间均有分布。四川盆地高温日数随海拔的升高明显下降,高海拔凉爽区如遇阶段性高温天气,反而有益于水稻作物积极生长^[19],因此认定海拔 ≥ 700 m 的地区已无致害性高温出现。以地形、水系 2 个要素作为敏感性指数的主导因子,对高温热害孕灾环境进行分析。

地形因子主要从切割深度、海拔高度 2 个方面进行分析。首先,利用四川盆地 1:5 万 GIS 基础地理信息资料中的 DEM 数字地面高程资料,采用邻域分析模块计算地形切割深度数据,从而将盆地按地貌形态特征重分级为平丘、缓丘、低丘、中高丘、山区 5 个层次^[20-21];考虑到地势越低遭受高温热害的可能性越大,使用专家打分法对地貌形态赋予由高至低的影响度值(表 2)。随后,再次将海拔高度图层重分级,并将海拔高度 ≥ 700 m 的区域值赋为 0,以此剔除高海拔地区受高温热害胁迫的可能性,使最终区划结果更符合四川盆地的农业生产实际。将新生成的海拔高度图层与切割深度图层叠加相乘,得到孕灾环境敏感性地形因子影响指数图层。

表 2 孕灾环境敏感性因子影响度

形态类型	地形因子		水系因子	
	(影响度值 0.667)		(影响度值 0.333)	
	切割深度(m)	影响度赋值	河网密度	影响度赋值
平丘	≤10	0.5	≤0.55	0.5
缓丘	10~20	0.4	0.55~0.60	0.4
低丘	20~50	0.3	0.60~0.65	0.3
中高丘	50~200	0.2	0.65~0.75	0.2
山区	≥200	0.1	≥0.75	0.1

水系因子选择河网密度作为衡量指标。与其他下垫面相比,水体本身热容量较大,大型水体附近空气升温相对缓慢^[22];另一方面,水稻为半水生作物,在生殖生长关键期若能维持田间较深水层不至脱水干田,就能有效抵御高温危害,显著降低空壳率。河网分布越密集的地区水源支持越便利,从而可减少高温热害的不利影响。利用四川盆地 1:5 万 GIS 基础地理信息河网水系数据,在 GIS 空间分析模块中计算盆地稻区河网密度,去掉量纲影响后建立 100 m×100 m 网格水系因子图层,根据表 2 的影响度分类标准重分级,得到孕灾环境敏感性水系因子影响指数。分别对地形、水系因子进行加权叠加运算(表 2),得到分为 6 级的孕灾环境敏感性评估结果(图 3)。盆南偏西丘区、盆东北低海拔平丘区、盆地中西部浅丘区敏感性水平较高,表明这些区域易遭受高温热害侵扰;盆周山地区地势陡峭,海拔多在 1 000 m 以上,受高温热害胁迫的可能性极小。

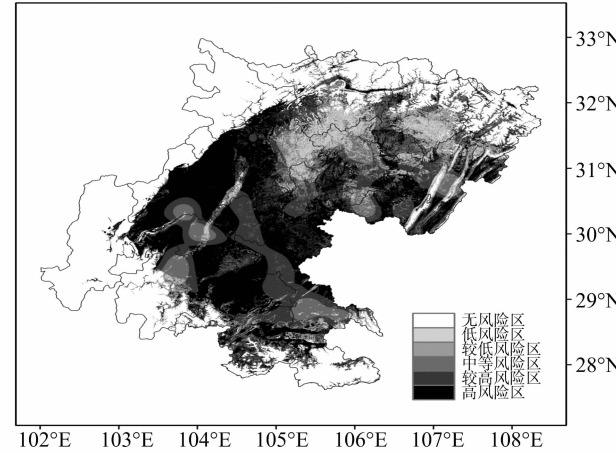


图 3 四川盆地稻区高温热害孕灾环境敏感性分布

2.3 承灾体易损性指标及评估

承灾体易损性代表整个社会系统中的生命、财物遭受高温热害威胁和损失的容易程度。面对特定强度的灾害时,受灾区域经济发展水平越高、人口越多,该区域因灾损失就越严重。本研究选取水稻播种面积、农业经济发展水平、人口密度等数据,间接反映研究区域范围内的易损性水平分布。

以四川省农业经济数据中的乡镇矢量文件为基础,借助 GIS 平台空间分析模块中的转化工具,生成水稻播种面积比重、地均农业 GDP、地均农业人口 3 个要素栅格图层,分别进行标准化处理后根据层次分析法赋予不同的影响度值(表 3);按公式(1)进行栅格加权叠加运算,得到易损性指数栅格图层;最后按照自然断点法将其划分为由高至低的 5 个等级(图 4),借此对承灾体易损性分布特征进行评价。

表 3 易损性及抗灾能力因子影响度

易损性	抗灾能力	
	因子类型	影响度值
水稻播种面积比重(%)	0.643	灌溉面积比重(%) 0.50
地均农业 GDP(万元/hm ²)	0.260	地方地均农业支出(万元/hm ²) 0.50
地均农业人口(万人/hm ²)	0.106	

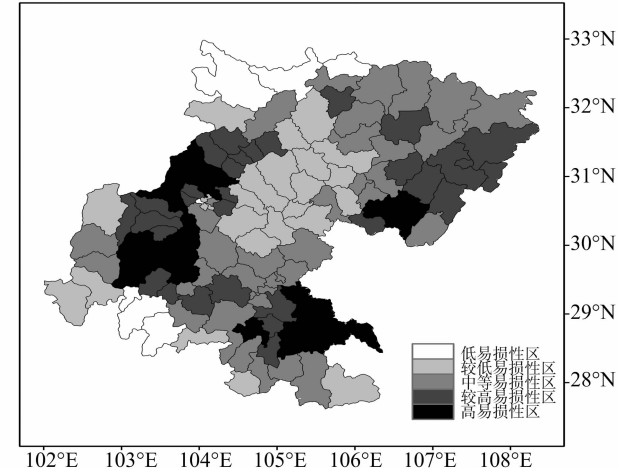


图 4 四川盆地稻区高温热害承灾体易损性分布

2.4 抗灾能力指标及评估

抗灾能力代表受灾区域遭受自然灾害时抵御和灾后重建的能力,主要包括灾害预报水平、减灾投入、救灾资源准备等因素。充足的灌溉能保障水稻生长所需水分,有效对抗高温热害的袭击,地方政府对农业的重视度则直接决定了当地农业发展水平;因此,选取盆地稻区灌溉面积比重、地方地均农业支出 2 项数据作为反映当地抗灾能力的指标,采用与计算易损性指数相同的方法(表 3),得到四川盆地稻区高温热害抗灾能力评估结果,以此反映抗灾能力的区域分布差异(图 5)。

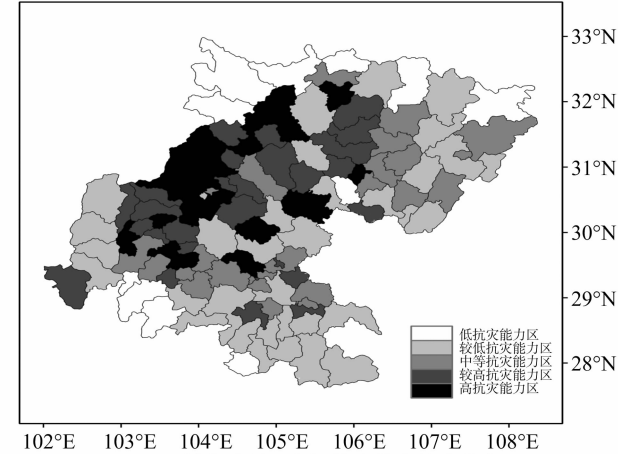


图 5 四川盆地稻区高温热害抗灾能力分布

2.5 四川盆地稻区高温热害精细化风险评估

四川盆地水稻高温热害风险是综合考虑灾害灾情构成、孕灾环境、社会抗灾能力等诸多因素,结合水稻作物生育期指标对高温热害致害性进行分析,利用层次分析法分别确定致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性、抗灾能力 4 个评估因子的权重为 0.467、0.315、0.139、0.080,在此基础

上建立四川盆地稻区高温热害精细化风险评估模型[公式(2)],求得高温热害风险指数并以此为分区指标,使用自然断点法对盆地区域进行等级划分,得到分为6个等级的四川盆地水稻高温热害风险评估结果(图6)。

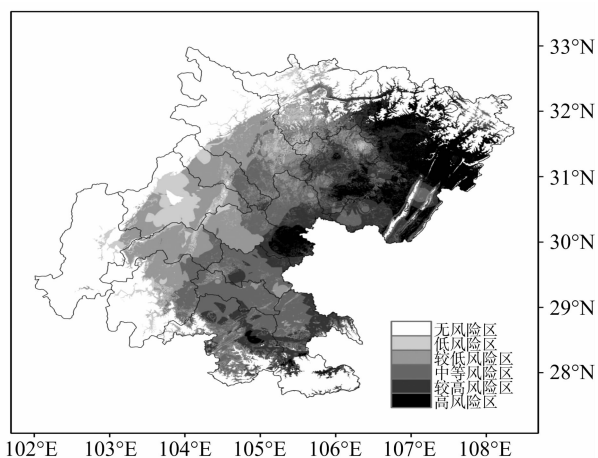


图6 四川盆地水稻高温热害风险分布

纵观整个盆地稻区,风险水平最高和较高的区域约占总面积的32.6%,主要分布于盆东北丘陵区、盆中浅丘区、盆南长江河谷区,尤以盆东北缓丘区最为集中。这些区域地势以较低矮的缓丘为主,与长江上游重庆高温区邻接,常年高温酷热天气频繁,高温热害对水稻抽穗扬花期威胁极大,是影响区域水稻生产的主要气象灾害。生产中需特别重视播种期的合理调节,致力使花期避开高温天气,同时加快毗河引水等水利扩建工程,改善灌溉条件,降低因灾损失。由于龙泉山、龙门山、邛崃山之间的成都平原地势平坦、灌溉条件优越、气候条件适宜、社会经济发展水平凸出,多处于较低风险水平以下,约占总面积的35%;此区域应保持灌溉沟渠的通畅,主动防范高温热害侵袭。此外,北起大巴山、西至邛崃山、南抵大娄山余脉的盆周中高山区山势险峻、高差显著,仅种植少量高山水稻,属于盆地水稻高温热害的无风险区。通过统计《中国气象灾害大典(四川卷)》中四川省历年高温灾害灾情数据,与模型评估结果进行对比验证,发现水稻高温热害风险区与实际发生情况大体一致,表明构建的灾害风险评估指标体系及权重系数设置整体较为合理,评估结果可较为真实地反映盆地农区水稻的高温热害风险分布事实。

3 结论与讨论

水稻是四川盆地农区种植面积最大的作物,是四川省人民的主要食粮。本研究以四川盆地为研究区,立足于自然灾害系统理论,充分考虑四川盆地水稻作物的生态特征及生育期指标,从高温热害致害机理出发,建立风险评估指标体系,从而构建针对水稻的高温热害精细化风险评估模型,以此反映盆地稻区由于致灾、孕灾、承灾、抗灾等评价因子的不同而造成风险水平的区域分布存在显著差异。与其他关于高温热害的研究相比,本研究不局限于对高温日数的气象学分析,而充分考虑盆地不同地区水稻生育期的差异,从水稻作物生理受损角度出发划分受灾时段,在灾害影响因子和分区指标的选取上更切合四川盆地水稻生产现状、高温热害灾损实际,解决了以往风险评估工作中评估对象过大、评估指标过于空泛、

实用性不足的难点问题,为区域水稻农业生产产品种布局、灾害风险转移提供更具实用性、针对性的科学指导和决策依据。

鉴于自然灾害形成、发展、致灾后果的多样性,灾害风险系统的影响因子众多,且结构关系复杂,致使风险评估结果尚未与实际情况完全吻合,风险评估指标体系中不同指标的权重系数验证、评估因子的筛选仍需通过历史灾害反演及业务应用不断改进和完善,使研究精度得到进一步提升。

参考文献:

- [1] 四川亚热带丘陵山区农业气候资源及开发利用课题组. 四川亚热带丘陵山区农业气候资源及开发利用[M]. 成都:四川科学技术出版社,1997:1-8.
- [2] 何永坤,范莉,阳园燕. 近50年来四川盆地东部水稻高温热害发生规律研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2011,33(12):39-43.
- [3] 张桂莲,陈立云,张顺堂,等. 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(7):1345-1352.
- [4] 田小海,松井勤,李守华,等. 水稻花期高温胁迫研究进展与展望[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2632-2636.
- [5] 刘伟昌,张雪芬,余卫东,等. 水稻高温热害风险评估方法研究[J]. 气象与环境科学,2009,32(1):33-38.
- [6] 熊志强. 四川农业灾害与减灾对策[M]. 成都:四川科学技术出版社,1999:65-67.
- [7] 周长艳,张顺谦,齐冬梅,等. 近50年四川高温变化特征及其影响[J]. 高原气象,2013,32(6):1720-1728.
- [8] 唐为安,田红,杨元建,等. 基于GIS的低温冷冻灾害风险区划研究——以安徽省为例[J]. 地理科学,2012,32(3):356-361.
- [9] 肖志强,赵彦锋. 陇南山区近40年农业冰雹灾害发生规律与风险区划研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):323-326.
- [10] 王景红,梁轶,柏秦凤,等. 陕西猕猴桃高温干旱灾害风险区划研究[J]. 中国农学通报,2013,29(7):105-110.
- [11] 张书娟,尹占娥,刘耀龙,等. 基于GIS的华东地区高温灾害危险性分析[J]. 灾害学,2011,26(2):59-65.
- [12] 李蒙,朱勇,吉文娟. 基于GIS的云南烟区冰雹灾害风险评价[J]. 中国农业气象,2012,33(1):129-133.
- [13] 罗培. 基于GIS的重庆市干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农业气象,2007,28(1):100-104.
- [14] 章国材. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京:气象出版社,2010:1-21.
- [15] 霍治国,王石立. 农业和生物气象灾害[M]. 北京:气象出版社,2009:72-79.
- [16] 万安良. 四川稻作[M]. 成都:四川科学技术出版社,1991:23-61.
- [17] 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,2010:221-227.
- [18] 孟俊修. 四川省农业资源与区划[M]. 成都:四川省社会科学院出版社,1986:81-84.
- [19] 四川亚热带丘陵山区农业气候资源及开发利用课题组. 四川气候[M]. 成都:四川科学技术出版社,1997:129-135.
- [20] 王瑾,刘黎平. 基于GIS的贵州省冰雹分布与地形因子关系分析[J]. 应用气象学报,2008,19(5):627-634.
- [21] 穆桂春,刁承泰. 四川省百万分之一地貌图的地貌分类系统[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,1988(3):93-99.
- [22] 马进. 基于GIS的洛阳市高温灾害风险区划[J]. 气象与环境科学,2012,35(4):62-68.