

张兴明, 张春琴, 郭浩, 等. 基于网格脆弱性曲线的世界小麦旱灾风险评价[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 228–234. [Zhang Xingming, Zhang Chunqin, Guo Hao, et al. Drought risk assessment on world wheat based on grid vulnerability curves[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 228–234.]

基于网格脆弱性曲线的世界小麦旱灾风险评价^{*}

张兴明^{1,2}, 张春琴^{1,2}, 郭浩³, 尹卫霞^{1,2}, 王然^{1,2}, 王静爱^{1,2}

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学 区域地理研究实验室, 北京 100875;
3. 浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 旱灾是世界上影响范围最广、造成农业损失最大的自然灾害之一, 同时, 在全球变化的背景下, 旱灾风险呈现加重的趋势。评价农业旱灾风险并进行有效的防范是保障粮食安全的重要措施。借助 EPIC 模型, 假定 0.5° 网格为均值单元, 使用灌溉情景法模拟全球均值网格的小麦旱灾脆弱性曲线。结合历史气象数据评价全球小麦的干旱致灾因子, 最后计算了全球小麦因旱灾导致的产量损失风险, 并编绘了全球小麦旱灾风险图。结果显示: ①中国、俄罗斯、美国/哈萨克斯坦为风险排名前三的国家, 归一化后的风险指数分别为 0.53、0.22 和 0.19; ②春小麦的旱灾风险要高于冬小麦。在已有的作物旱灾风险评价研究基础上, 同时兼顾了脆弱性评价的空间分辨率和表示精度, 建立了与风险评价空间分辨率相一致的小麦旱灾脆弱性曲线, 从而极大地提升了区域旱灾风险评价, 特别是大尺度风险评价的准确度。

关键词: 脆弱性曲线; 小麦; 旱灾; 空间分辨率; EPIC

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)02–0228–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.02.042

旱灾是世界上影响范围最广、造成农业损失最大的自然灾害之一。世界近一半的国家干旱情况严重。过去半个世纪, 全球极端干旱区域的面积扩大了两倍以上^[1]。在气候变暖背景下, 由于降水减少、蒸发加剧, 南欧、地中海地区、中欧、中美洲、美洲、墨西哥、巴西东北部和南部非洲等地区的干旱未来风险上升的可能性非常大^[2–3]。2012 年小麦总产量达到 6.7×10^9 t, 占世界谷物产量的 26.4%, 其播种面积约 2.15×10^9 hm², 主要生产国包括中国、印度、美国、法国、俄罗斯、澳大利亚、加拿大、巴基斯坦、德国以及土耳其等^[4]。因此, 在全球尺度开展农作物旱灾风险评价能够为农作物旱灾风险管理与防范提供科学依据, 对于提高生产稳定性、解决粮食安全问题有着重要意义。

旱灾风险评价精度很大程度上决定于脆弱性评价^[5]。脆弱性是风险评价三要素(致灾因子、脆弱性和暴露性)之一。其评价的主要表示方式包括脆弱性指数和脆弱性曲线。

脆弱性指数是指使用指标综合的方法进行区域旱灾风险评价将脆弱性表达为指数的形式^[6–7]。如 Li 等在全球尺度上使用旱灾频次、旱灾强度、

产量水平和旱灾适应能力等指数来评价粮食产量的干旱风险^[8]。He 等人通过计算农业旱灾的致灾因子(不同强度干旱的加权和)和脆弱性(生长季水分亏缺, 土壤持水能力和灌溉能力)完成三种主要作物(玉米、小麦和水稻)的旱灾风险评价^[9]。Elagib 综合干旱的频次、持续时间、强度范围以及应对能力和产量水平对 Eastern Sahel 地区进行农业旱灾风险评价^[10]。Zhao 等人通过使用 CERES-Wheat 模型模拟各个年份的产量损失率来确定小麦干旱阈值(基于生育期降水量), 并在此基础上划分旱灾等级, 最后进行风险评价^[11]。尽管指数形式的风险评价结果精度偏低, 不能够量化的表达损失, 但是该方法很好地体现了脆弱性的空间差异性。

基于脆弱性曲线进行风险评价能够得到以损失表征的高精度风险。脆弱性曲线应用所基于的假设是以研究区为站点尺度或者均一的区域^[12]。当前基于脆弱性曲线进行的区域旱灾风险评价忽视了研究区(特别是大尺度研究区)内部的脆弱性差异。如 Yin 等利用 EPIC 模型模拟的方法构建了全球 35 个地区的玉米旱灾脆弱性曲线, 在此基础上完成了全球玉米旱灾风险评价^[13]。Xu 等基于历

^{*} 收稿日期: 2014–10–11 修回日期: 2014–11–30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“全球变化与环境风险关系及其适应性范式研究”(2012CB955403)

作者简介: 张兴明(1987–), 男, 河北张家口人, 博士研究生, 主要从事自然灾害风险与灾害经济等研究。

E-mail: zhixming@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 王静爱(1955–), 女, 满族, 河北定州人, 教授, 主要从事区域地理教学和自然灾害等研究。E-mail: jwang@bnu.edu.cn

史损失建立了中国 6 个区的作物旱灾脆弱性曲线,结合连续无降水日,评价了中国东部季风区的期望损失^[14]。两者都假定在较大的区域内进行脆弱性曲线的构建,没有考虑区域内承灾体脆弱性的异质性。

总之,当前研究都没有同时兼顾研究区内脆弱性的空间差异和表征精度。脆弱性曲线空间分辨率的提高将极大的提升区域旱灾风险评价特别是大尺度风险评价的精度。本文以 EPIC 作物生长模型为基础处理工具,通过设定不同的灌溉情景,在假定的均值单元分辨率上模拟干旱与小麦减产损失(脆弱性曲线)。结合历史干旱致灾因子,计算小麦因旱灾导致的产量损失风险。

1 数据与方法

农业旱灾风险大小完全取决于孕灾环境、致灾因子和承灾体的相互作用^[15-17]。本文将风险定义为孕灾环境影响下的作物旱灾致灾强度和孕灾环境影响下的脆弱性的乘积:

$$R = f(E, H, V) = H \{ < P, h_E > \} \times V \{ h_E, l_E \} \quad (1)$$

式中: E 为孕灾环境敏感性; H 为致灾因子危险性; V 为承灾体脆弱性; P 为发生概率; h_E 为考虑孕灾环境影响的作物旱灾致灾强度; l_E 为考虑孕灾环境影响的一定致灾强度下的作物损失率。旱灾致灾强度指数 h_E 为作物生长季水分胁迫量累积值的归一化值。

在上述风险定义指导下,我们开展研究的主要思路是通过作物生长模拟模型,在全球范围内建立干旱打击强度与小麦损失关系(脆弱性曲线),结合历史干旱的强度概率进行风险评价并制图(见图 1)。

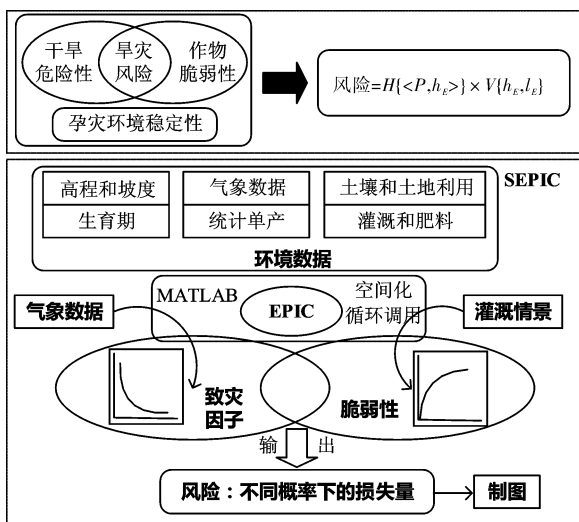


图1 研究方法

在 GEPIC-V-R 模型的基础上,我们使用 Matlab 平台开发了适宜于大区域尺度的农作物旱灾风险评估模型 Spatial-EPIC-Vulnerability-Risk (SEPIC-V-R),该模型具有网格脆弱性曲线拟

合和旱灾风险计算的功能。SEPIC-V-R 模型的核心模块包括 4 个:①作物模型校正,其目标是实现小麦单产的精确模拟;②致灾因子模块,基于输入的气象要素获取不同强度致灾因子的发生概率;③脆弱性模块,使用情景模拟法获取承灾体对不同强度致灾因子的损失响应函数;④风险计算与制图模块,计算不同年遇型下的致灾因子强度和损失率,输出小麦旱灾损失风险图谱。思路可参见文献[13]。

1.1 EPIC 模型和数据库

环境政策综合气候模型(EPIC,前身为侵蚀生产力的影响计算器)是建立 Spatial-EPIC-Vulnerability-Risk 模型的基本工具,也是当前最为流行的作物生产模拟模型之一。它可以依据不同作物的具体参数模拟了超过 100 种作物的生长,如水稻、小麦、玉米、谷物、高粱、大豆等^[18-19]。它模拟的核心内容包括天气发生器、土壤水文水分动态研究、风和水侵蚀、养分(N,P,K)和碳循环、土壤温度、耕作、作物生长、作物和土壤管理^[20]。

基于 EPIC 模型的数据需求,本文涉及的基本数据大致分为 4 类:①小麦生长环境数据,主要包括:全球 DEM 栅格数据^[21]和坡度数据^[22]、土壤理化性质数据^[23]、气象数据、小麦生长范围数据^[24]、评价单元数据;②小麦生长管理数据,主要包括小麦生育期数据^[25]、灌溉数据^[26]、肥料数据^[27];③小麦品种属性数据(指 EPIC 模型运行需要的与小麦属性相关的各项参数,通过调整模型中这些参数,实现在不同地区的准确模拟);④实际产量数据,主要包括 2000-2004 年不同地区的小麦统计产量(用于模型校准)。全球大部分国家的产量数据主要来源于 FAO 历年统计数据,对于中国、美国等农业生产大国,则分别以省、州、邦等单位进行统计。

为了使模型具有更准确的模拟能力,使用产量统计数据对模型进行了校准,最终 2000-2004 年的模型模拟产量与实际产量的 RMSE 为 1.30。

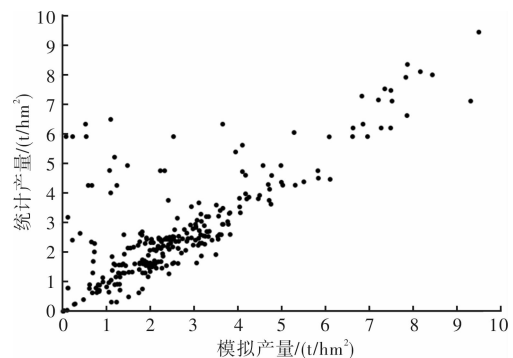


图2 2000-2004 年模拟产量与统计产量

1.2 干旱强度的表征

旱灾是干旱发展到一定程度后导致供水水源匮乏,并对作物和植被正常生长、人类正常生活和生产、生态环境的正常功能造成不利影响而产生危害的事件^[28],此处我们用作物的水分胁迫生长季累加的归一化值表示干旱强度^[13]。水分胁迫(WS)是

表 1 基础数据

数据名称	数据内容	数据来源与时空分辨率
DEM	全球高程信息	United States Geological Survey (USGS), 0.083 3° × 0.083 3°
坡度	全球坡度信息	10 km × 10 km International Institute for Applied Systems Analysis-Global Agro-ecological Zones (GAEZ), 0.083 3° × 0.083 3°
土壤	全球土壤分布栅格图像以及土壤理化性质如:PH、土壤深度等信息	International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 5' × 5'
气象	全球降水、气温、太阳辐射等信息	German Federal Ministry of Education and Research (BMBF)-The ISIMIP Fast Track project(1971 – 2099), 0.5° × 0.5°
种植范围	全球小麦的区域等信息	Sustainability and the Global Environment, University of Wisconsin-Madison, 5' × 5'
小麦参数	小麦的 EPIC 模型参考值(美国)	Texas A&M University College of Agriculture and Life Sciences
生育期	小麦种植时间和生育期长度等信息	Nelson Institute for Environmental Studies at the University of Wisconsin-Madison, 0.5° × 0.5°
灌溉	全球不同地区每年农业灌溉用水量	东京大学生产技术研究所, 0.5° × 0.5°
肥料	全球每年氮肥施用量	麦吉尔大学全球环境与气候变化研究中心, 0.5° × 0.5°
产量	全球国家单元的产量	FAO
	中国省级单元产量数据	中国农业部种植业管理司
	美国州级单元产量	United States Department Of Agriculture
	澳大利亚州级单元产量	Australian Bureau of Statistics
	印度邦级单元产量	Department of Agriculture and Cooperation
评价单元数据	世界行政区划、河流、湖泊等	ESRI 公司、中国测绘地理信息局、CRU TS2.1、DIVA-GIS

EPIC 模型中表征农作物生长过程中水分的供给与需求关系的一个指数。模型中的水分胁迫输出步长为天,大小根据水分供给与作物需求的关系进行计算^[20]。日水分胁迫的取值范围为 0 ~ 1,值越大则胁迫越大,采用作物生长季的水分胁迫量累积数的归一化值作为作物生长季内所受到的致灾强度,取值范围在 0 ~ 1 之间,值越大代表致灾强度越大。该强度指数能够同时反映水分胁迫强度和胁迫持续时间两个特征。

$$DI = WS_{total}/\max(WS_{total}), WS_{total}, WS_{total} = \sum_{i=1}^n (WS_i)。(2)$$

式中:DI 为某种情景下的干旱强度指数;WS_i 第 i 天的水分胁迫值(当水分胁迫为所有胁迫中最大时);n 为生长季内受水分胁迫影响的天数;WS_{total} 为某一情景下的生长季水分胁迫累积值;max(WS_{total}) 为当无降水且无灌溉情景下累积胁迫的最大值。

1.3 脆弱性的模拟

我们进行脆弱性曲线计算时所使用的损失率是相对于理想的条件下(即完全满足养分和水分需求)的模拟产量而言的,即在理想的情况下产量是最大的,此时损失率为 0。不同情况下的损失率计算公式如下:

$$lr = \frac{\max(y) - y}{\max(y)}。(3)$$

式中:y 为某种情景下的小麦产量;lr 为小麦因干旱导致的产量损失率;max(y) 为最优灌溉情况下(不产生通气性胁迫的灌溉最大值)的小麦产量。

控制每天的灌溉量,通过灌溉量的增加来减少

水分胁迫,以模拟不同强度的干旱及其产量损失率组合{< DI,lr >,...}。模拟的灌溉量从 0 增加到最优灌溉量(不产生水分胁迫的最大灌溉量),使用 EPIC 模型进行不同情景(即干旱强度)下的小麦产量模拟,得到一一对应的干旱强度与产量的组合样本。其中,当灌溉为 0 时,干旱强度为 1;生长季水分胁迫指数为 0 的灌溉情景即最优情景,其产量为最大产量,即 max(y)。

使用干旱与损失率的组合样本{< DI,lr >,...},通过函数拟合得到每个网格一条脆弱性曲线函数。

$$lr = \frac{(a/(1 + b * \exp(c * DI)) - a/(1 + b))}{(a/(1 + b * \exp(c)) - a/(1 + b))} \times d。(4)$$

参考前人研究结果^[29],作物的脆弱性曲线是 Logistic 形。其中,a、b、c、d 为拟合参数;lr 为损失率;DI 为旱灾致灾因子强度。

2 世界小麦旱灾风险评价结果与验证

以校准后的模型为基本工具,将地形、田间管理等基本数据和 1975 – 2004 年历史实际日气象数据输入到模型中,计算各个年份产生的小麦水分胁迫和年度致灾因子强度。基于三十年的样本数据,使用信息扩散的方法^[30] 计算产量损失率/干旱强度的概率密度函数,并在此基础上提取所有网格的 10 年一遇,20 年一遇,50 年一遇,100 年一遇损失率/干旱强度,最后进行基于网格单元的风险制图。

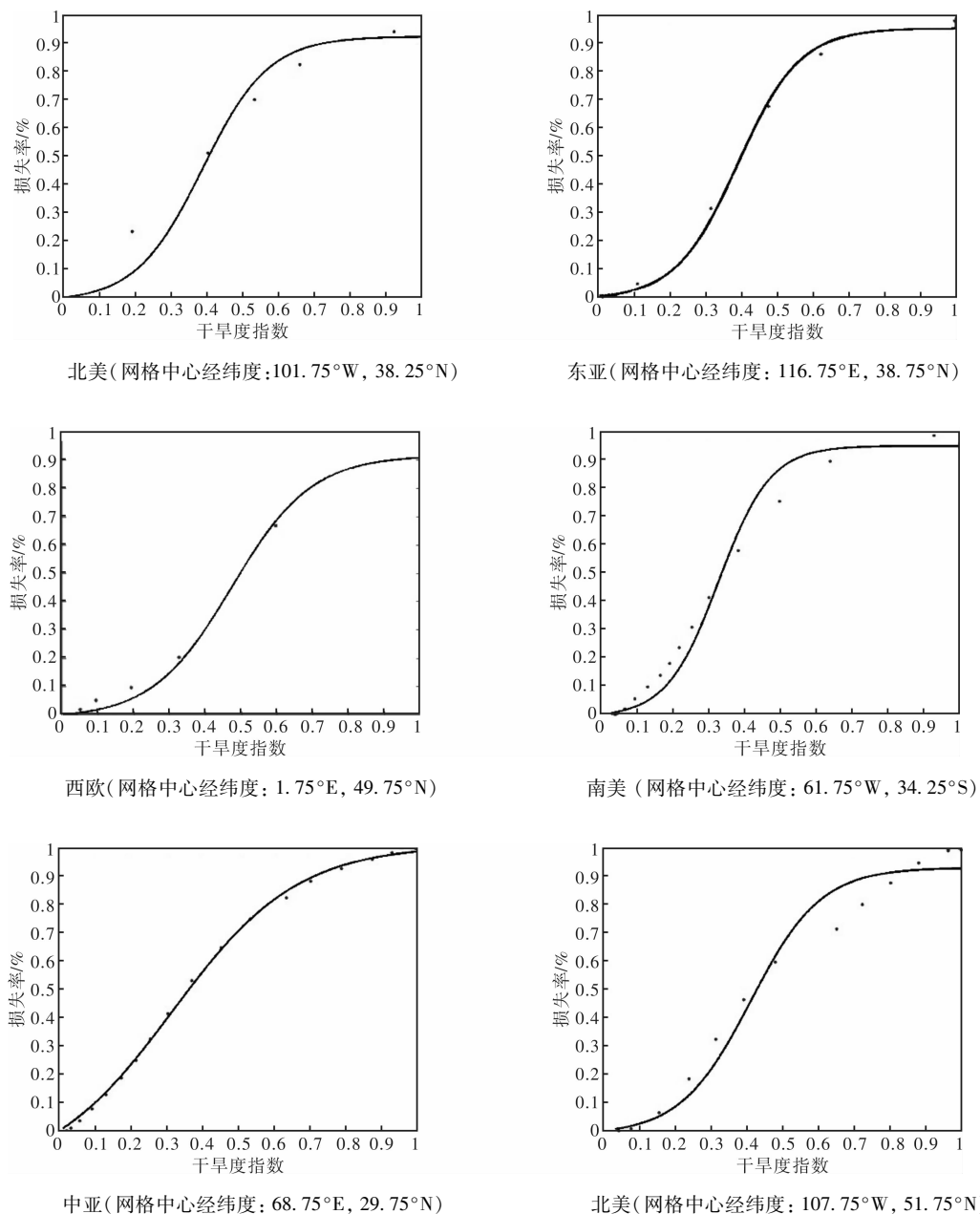


图3 世界小麦旱灾脆弱性曲线示例

春小麦致灾强度指数高值区主要分布于中国内蒙古中部阴山-贺兰山、昆仑山-阿尔金山-祁连山北缘、天山山脉南缘、阿尔泰山南缘等地区,以及南美洲西海岸智利、玻利维亚、秘鲁中部一带。

冬小麦致灾强度指数高值区主要集中在北半球 30° ~ 60° 纬度地区,包括三大区域:欧洲西部的沿海地带,如英国大不列颠岛,荷兰,德国西北部、法国北部、西部和东南部等;亚洲西部地区、兴都库什山脉和帕米尔高原一带;美国西部高原中部、中央大平原西部以及阿巴拉契亚山脉一带。

基于 SEPIC-V-R 模型中的脆弱性曲线模块,采用灌溉情景模拟的方法计算每个 0.5° 网格内的承灾体脆弱性曲线,用以表征每个网格单元小麦生长季内的旱灾致灾指数和产量损失率,最后得到世界小麦旱灾脆弱性曲线库。下面给出世界小麦种植区不同地区的典型网格的脆弱性曲线示例(见图 3)。

结合干旱强度的期望值和不同年遇型值,结合脆弱性曲线,我们可以计算出全球的小麦产量损失率。

本研究选取易于获取的中国灾情数据进行评价结果的验证。具体数据包括 1997-2005 年中国 22 个省(不包括香港、澳门和台湾地区)统计的旱灾成灾面积 CZ 、受灾面积 SZ 、绝收面积 JS ^[31] 和农作物播种面积 S ^[32]。通过计算损失指数 L ^[33] 对本文的风险评价结果进行验证。该验证方法也被 YIN 等人用过^[13]。

$$L = \frac{JS \times 0.9 + (CZ - JS) \times 0.55 + (SZ - CZ) \times 0.2}{S}$$

(5)

将 4 个年遇型的损失率与上述方法计算得到的 22 个省份统计风险值进行皮尔逊相关分析(见表 2)。

表 2 不同年遇型损失率与基准数据的相关分析结果

损失率的年遇型	相关系数	显著性水平
10 年一遇	0.499 5	0.017 9
20 年一遇	0.522 8	0.012 6
50 年一遇	0.544 7	0.008 8
100 年一遇	0.550 5	0.007 9

小麦风险验证结果的显著性水平全部小于 0.05, 其中五十年一遇损失率和百年一遇损失率显著性水平小于 0.01。

总体来讲, 春小麦的旱灾风险要高于冬小麦(见图 4)。其中, 春小麦旱灾风险较高的区域主要分布在中国西北地区、巴基斯坦中部、南美洲西海岸、北美洲墨西哥与美国接壤处, 非洲肯尼亚和南非东部。此外, 加拿大中南部以及与其接壤的美国北部、乌克兰北部、地中海沿岸和澳大利亚西南地区的风险也较高。冬小麦的旱灾高风险主要分布于阿富汗及其北方地区、美国中西部、西欧平原、英格兰东部和南非东南部等地, 此外, 中国华北地区和土耳其中部等区域风险也较高。

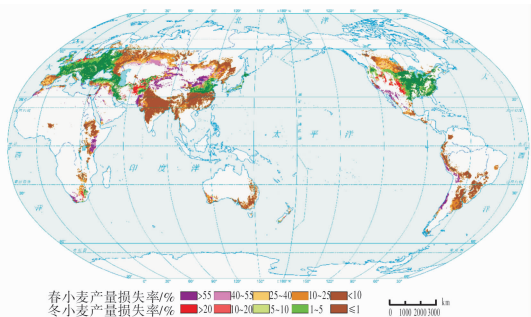


图 4 全球小麦因旱灾导致的期望损失率

为了在国家之间进行对比, 我们将每个国家内所有网格的风险值之和进行归一化处理, 将其作为对应国家的风险指标, 表征区域内的风险总量相对大小(见表 3)。

世界小麦产量排名前 10 的国家分别是中国、印度、美国、法国、俄罗斯、澳大利亚、加拿大、巴基斯坦、德国和土耳其。由表 3 可以看出上述小麦主产国中, 除了法国和德国以外都面临着较高的干旱损失风险。每个国家所面临的风险受到其生长总量和绝对风险共同影响: 风险较高的中国、俄罗斯、美国和加拿大既是生产大国, 同时还地处中高纬度, 降水量偏少且波动性较大的地区, 因此风险相对较高; 生产大国中的澳大利亚、印度和土耳其则因有较好的农业条件, 风险相对较小; 而地处欧洲的德国和法国其小麦旱灾风险的世界排名则分别为 25 和 44。

3 结语

风险评价的精度不仅依赖于我们原始输入数据的精度, 同时也依赖于我们对致灾因子和脆弱

表 3 区域风险指数排名前 20 的国家

国家	期望值	10 年一遇	20 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
中国	0.53	0.8	0.88	0.97	1
俄罗斯	0.22	0.51	0.63	0.75	0.81
美国	0.19	0.31	0.37	0.43	0.46
哈萨克斯坦	0.19	0.29	0.31	0.33	0.34
加拿大	0.09	0.19	0.23	0.27	0.28
肯尼亚	0.08	0.1	0.1	0.11	0.11
蒙古	0.08	0.14	0.16	0.18	0.18
巴基斯坦	0.07	0.09	0.09	0.1	0.1
墨西哥	0.06	0.09	0.1	0.11	0.12
智利	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09
南非	0.06	0.09	0.1	0.11	0.11
阿富汗	0.05	0.08	0.09	0.1	0.1
阿根廷	0.05	0.13	0.17	0.21	0.22
西班牙	0.05	0.08	0.09	0.1	0.1
秘鲁	0.04	0.06	0.07	0.07	0.07
玻利维亚	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
澳大利亚	0.03	0.06	0.07	0.09	0.09
印度	0.03	0.07	0.09	0.11	0.12
土耳其	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07
摩洛哥	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04

性的刻画精度。本文的旱灾风险评价是基于空间作物模型开展的, 作物模型空间化的基本思路是假定评价最小网格单元是均质单元进行模拟^[34], 在均质单元上通常不考虑单元之间的相互作用、水平方向的水分和养分物质流动过程^[35-36]。尹圆圆等基于 0.5° 均质单元的假设, 建立了大量均值单元平均状态的脆弱性曲线, 但忽视了单元间的差异脆弱性差异。提升脆弱性的空间分辨率有助于提升风险评价的准确性, 但是如何突破分辨率的限制, 连续地将脆弱性进行表征是未来需要进一步研究的内容。

区域旱灾风险评价中, 脆弱性评价的精度包括脆弱性的定量化程度和空间分辨率两个要素。脆弱性的定量化程度包括等级、指数和脆弱性曲线三种; 空间分辨率包括三种区域脆弱性、基本单元的脆弱性和空间连续表达的脆弱性。我们将区域旱灾风险评价的精度二维空间划分为 I、II、III、IV 四个象限(见图 5)。第一象限是在低空间分辨率的高精度量化, 即使用损失打击关系来表征区域范围的脆弱性, 不考虑区域范围内脆弱性的异质性^[13-14]。第二象限是空间精度和量化精度都高的脆弱性表达, 是在假定均值单元上建立损失打击关系表达, 或者是空间上连续地表达脆弱性。第三象限的脆弱性评价精度最低, 忽略了区域范围的脆弱性差异, 使用等级、指数代表了其平均水平。第四象限的脆弱性评价应用较多, 能够使用指标的差异表示均值单元或者连续表达的脆弱性^[6-8]。

本文中假定的均值单元为 0.5° 的网格, 在均值网格上建立了脆弱性曲线并进行风险评价, 兼顾到了脆弱性的空间分辨率和表征精度两个属性。

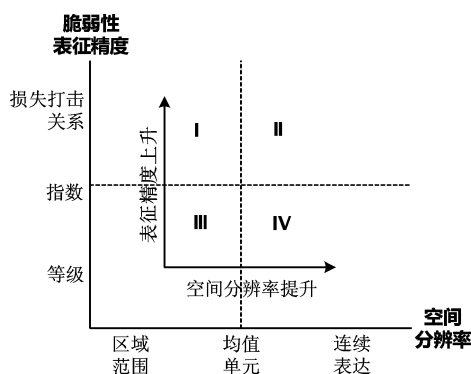


图5 区域脆弱性的二维精度

尽管脆弱性在灾害形成过程中起着重要作用, 但干旱致灾因子对于小麦旱灾风险的空间分布具有决定性作用。比较本文的干旱致灾因子与产量损失率风险的空间分异规律, 二者的分布规律相近。总体来讲, 春小麦的旱灾风险要高于冬小麦。春小麦致灾强度指数和风险的高值区凸显在南亚北部和南美洲西海岸, 而冬小麦致灾强度指数和风险集中分布于北半球 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 纬度地区。

参考文献:

- [1] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870 – 2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, 5(6): 1117 – 1130.
- [2] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2012: 582.
- [3] IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis[M]. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- [4] FAO. FAO statistical database[EB/OL]. (2013 – 01 – 01)[2014 – 03 – 01]. <http://www.fao.org/statistics/databases/en>.
- [5] 史培军. 中国自然灾害风险地图集[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [6] Cardona O D. Indicators of disaster risk and risk management: Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report [M]. Washington: Inter-American Development Bank, 2005.
- [7] Dilley M. Natural disaster hotspots: A global risk analysis[M]. Washington: World Bank Publications, 2005.
- [8] Li Y, Ye W, Wang M, et al. Climate change and drought: A risk assessment of crop-yield impacts[J]. *Climate Research*, 2009, 39(1): 31 – 46.
- [9] He B, Wu J, Lü A, et al. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China[J]. *Natural hazards*, 2013, 66(2): 155 – 166.
- [10] Elagib N A. Development and application of a drought risk index for food crop yield in Eastern Sahel[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 43(0): 114 – 125.
- [11] Zhao H, Gao G, Yan X, et al. Risk assessment of agricultural drought using the CERES-Wheat model: a case study of Henan Plain, China[J]. *Climate Research*, 2012, 50: 247 – 256.
- [12] Undro. Natural disasters and vulnerability analysis report of expert working group meeting[M]. Geneva: united nations disaster relief organisation, 1982.
- [13] Yin Y, Zhang X, Lin D, et al. GEPIC-VR model: A GIS-based tool for regional crop drought risk assessment[J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 144: 107 – 119.
- [14] Xu X, Ge Q, Zheng J, et al. Agricultural drought risk analysis based on three main crops in prefecture-level cities in the monsoon region of east China[J]. *Natural hazards*, 2013, 66(2): 1257 – 1272.
- [15] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 1996, 5(4): 6 – 17.
- [16] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(3): 1 – 9.
- [17] 李杨, 王玉萍, 欧朝敏. 洞庭湖流域农业旱灾风险评价[J]. *灾害学*, 2014, 29(1): 52 – 57.
- [18] Williams J, Wang E, Meinardus A, et al. EPIC users guide v. 0509[M]. Temple, Texas: Blackland Research and Extension Center, 2006.
- [19] Wang X, He X, Williams J, et al. Sensitivity and uncertainty analyses of crop yields and soil organic carbon simulated with EPIC [J]. *Transactions-american society of agricultural engineers*, 2005, 48(3): 1041 – 1054.
- [20] Williams J, Jones C, Kiniry J, et al. The EPIC crop growth model [J]. *Transactions of the ASAE*, 1989, 32(2): 497 – 511.
- [21] USGS. Digital Elevation Model: U. S[EB/OL]. (1997 – 02 – 28) [2012 – 09 – 01], <http://tahoe.usgs.gov/DEM.html>.
- [22] FAO/IIASA. Global Agro-ecological Zones (GAEZ) ver. 3. 0[M]. Rome, Italy: IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, 2010.
- [23] Batjes N H. ISRIC-WISE derived soil properties on a 5 by 5 arc-minutes global grid (version 1. 2) [M]. Wageningen: ISRIC-World Soil Information, 2012.
- [24] Monfreda C, Ramankutty N, Foley J A. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(1): GB1022, doi: 10.1029/2007GB002947.
- [25] Sacks W J, Deryng D, Foley J A, et al. Crop planting dates: an analysis of global patterns[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(5): 607 – 620.
- [26] Tan G, Shibasaki R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 168(3): 357 – 370.
- [27] Potter P, Ramankutty N, Bennett E M, et al. Characterizing the spatial patterns of global fertilizer application and manure production[J]. *Earth Interactions*, 2010, 14(2): 1 – 22.
- [28] 金菊良, 郦建强, 周玉良, 等. 旱灾风险评估的初步理论框架[J]. *灾害学*, 2014, 29(3): 1 – 10.
- [29] 王志强. 基于自然脆弱性评价的中国小麦旱灾风险研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2008.
- [30] Chongfu H. Principle of information diffusion[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, 91(1): 69 – 90.
- [31] 中华人民共和国农业部. 灾情数据库[EB/OL]. (2014 – 01 – 01) [2014 – 03 – 01]. <http://202.127.42.157/moazzys/zaiqing.aspx>.
- [32] 中华人民共和国农业部. 农作物数据库[EB/OL]. (2014 – 01 – 01) [2014 – 03 – 01]. <http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx>.
- [33] 王克, 张峭. 基于数据融合的农作物生产风险评估新方法[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(5): 1054 – 1060.
- [34] Liu J, Williams J R, Zehnder A J B, et al. GEPIC-modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale[J]. *Agricultural Systems*, 2007, 94(2): 478 – 493.
- [35] Wenjia W, Hao F. The progress and problems in the development of foreign crop models[J]. *Water Saving Irrig*, 2012 (8): 62 – 68.
- [36] Yi L, Wei G. Development and problems of crop models[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008(5): 307 – 312.

Drought Risk Assessment on World Wheat Based on Grid Vulnerability Curves

Zhang Xingming^{1, 2}, Zhang Chunqin^{1, 2}, Guo Hao³, Yin Weixia^{1, 2},
Wang Ran^{1, 2} and Wang Jingai^{1, 2}

(1. *School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*;
2. *The Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 3. *School of Geography and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China*)

Abstract: Drought is one of the world's natural disasters of the widest influence and greatest loss for agriculture. Under the background of global change, drought risk has shown an increasing trend. Assessment and effective prevention on agricultural drought risk is an important measure to ensure food safety. With the help of EPIC model, assuming that the 0.5 degree grid is the average unit, wheat drought vulnerability curve of global mean grid is simulated by irrigation scenario method. Combining with the historical meteorological data, drought disaster causing factors of the global wheat are evaluated. Finally, yield loss risk of the global wheat causes by drought is calculated and the drought risk map of the global wheat is drawn up. Results show that: ① China, Russia and USA/Hasikesitan are the first three countries in the risk ranking, risk index normalized are respectively 0.53, 0.22 and 0.19; ② Spring wheat drought risk is higher than that of winter wheat. Based on the existing research on the evaluation of drought risk crops, taking into account the spatial resolution and accuracy of the vulnerability evaluation, wheat drought vulnerability curve consistent with spatial resolution of risk assessment is established, regional drought risk assessment is thus greatly enhanced, especially the accuracy of large scale.

Key words: vulnerability curve; wheat; drought; spatial resolution; EPIC

(上接第 192 页)

Three-dimensional Simulation and Echo Characters Analysis on Downbursts

Du Aijun¹, Wei Ming¹ and Wang Bingyun^{1, 2}

(1. *Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, NUIST, Nanjing 210044, China*; 2. *Chengdu University of Information Technology, Chengdu 6100225, China*)

Abstract: Wind shear generated by downburst has a harmful to the plan's flight and landing. In order to avoid the harm to the flight, it is necessary to fully understand the structural characteristics of the airflow of the downburst. By using characteristics of wind farm modeling, three-dimensional structure of downburst is simulated. Based on the characteristics of wind field radius, twist factor, center position, and ceiling height setting, the different types of shear wind field are obtained, including symmetrical and asymmetrical shear wind farm. Along the radar radial projection, simulating of three-dimensional wind field can get radar radial velocity of downburst. By analyzing downburst of three-dimensional structure and the corresponding radar echo characteristics, Verified the structure of the wind field is coincide with the actual observation. The results show that by analyzing downburst radar echo, can help pilots identify and early warn to downburst, and are helpful to ensure flight safety.

Key words: downburst; wind structure; three-dimensional simulation space structure; radar echo characters