

ENSO 影响下陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害风险评价

马振宁, 杨蓉, 杨美玲

(宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

摘要:选取致灾因子危险性、载体体易损性、区域防灾抗灾能力三个因子,从宏观、中观、微观三个尺度对 ENSO 影响下陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害的风险性进行了评价。研究表明:(1) 研究区暴雨灾害在宏观、中观、微观尺度上都表现出与拉尼娜事件有很强的相关性;(2) 暴雨灾害的致灾因子危险性、承灾体易损性、防灾抗灾能力在空间分布上有很强的区域差异性,暴雨灾害的致灾因子危险性与降水的分布特征表现出了一致性,呈明显的自东南向西北逐渐降低的带状分布特征;承灾体易损性最高的区域主要在腾格里沙漠的景泰、阿拉善左旗和甘肃民勤地区;防灾抗灾能力最高的区域主要在陕西的长武、延安、吴旗,甘肃的平凉;(3) 受降水特点及地形因素的影响,暴雨灾害风险最高的区域主要在毛乌素沙地的榆林、横山、绥德,黄土丘陵沟壑区的西峰、平凉、长武等地区。

关键词:风险评价; ENSO; 暴雨灾害; 陕甘宁蒙接壤区

中图分类号: P426. 616

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)04-0294-06

Risk Assessment on Rainstorm Disaster Under the Influence of ENSO in the Border Area of Shaanxi, Gansu, Ningxia and Inner Mongolia

MA Zhenning, YANG Rong, YANG Meiling

(College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: From three aspects: hazards risk, vulnerability of carrier, disaster prevention and resilience, we evaluated the rainstorm disaster under the influences of ENSO in the border area of Shaanxi, Gansu, Ningxia and Inner Mongolia from the macro, meso and micro scales. The results show that: (1) northwest fragile zone rainstorm disasters and Lanina events showed a strong correlation at macro, meso, micro scales; (2) the hazard risk, vulnerability of carrier, disaster prevention and resilience have a strong regional differences, the hazard risk and distribution of rainfall showed a consistent feature, it gradually reduced and showed obvious zonal distribution features from southeast to northwest; the regions with the highest vulnerability of carrier mainly include the Tengger Desert of Jingtai, Alxa Left Banner and Minqin of Gansu; the highest regional in disaster prevention and resilience are Changwu, Yan'an, Wuqi and Pingliang; (3) because of rainfall characteristics and terrain factors, the highest risk areas of storm disaster are Yulin, Xifeng, Pingliang, Changwu and other areas.

Keywords: ENSO; rainstorm disaster; risk assessment; fragile zone

陕甘宁蒙接壤区位于我国西北内陆陕西、甘肃、宁夏、内蒙古四省的接壤地区,是一个近似四边形的区域,总面积约为 34 万 km²,包括陕西北部、宁夏、甘肃东南部、内蒙古临近宁夏的南部地区,是典型的从半湿润区向半干旱、干旱区过渡的农牧交错区,降水量由南到北逐渐减少,是世界上气候变率较大的地区之一。由于特殊的地理环境和气候条件,该区域干旱、暴雨洪涝、大风沙尘、低温冻害、冰雹和雷暴等气象灾害种类多、危害大,由暴雨原因引发的洪涝、地质灾害以及生

物灾害等也时有发生。此区域暴雨灾害风险与其他一般地区的不同之处主要体现在脆弱的生态环境因素上,该区域孕灾环境的暴露性和承灾体的易损性要比其他一般地区都要大得多,此外在暴雨致灾因子上,诱发暴雨灾害的因素很多,如降水的季节变异极大,植被覆盖率低且地表起伏大易发生泥石流、滑坡等暴雨次生灾害等等,是暴雨灾害的易、多发区域,因此极易产生巨大的暴雨灾害风险。在已有的历史文献中,有大量关于该区暴雨等气象灾害灾情的记载^[1-4]。

近年来在全球变化及 ENSO(气象上把拉尼娜和厄尔尼诺现象合称为 ENSO(El Niño/La Niña-Southern Oscillation,简写 ENSO)加剧的影响下^[5],该区域在响应环境变化的过程中将更为敏感、及时。由于敏感性、脆弱性和易变性,这里各种气象灾害包括暴雨灾害发生的频度和强度也较其他地区更大,且会通过一系列连续脆弱环节的反应造成更大灾害损失,因而区域所面临的暴雨灾害风险也会具有放大的作用。有效防范此区域的暴雨灾害,将对我国西部的生态环境与社会经济的发展有重要的作用^[6-8]。

1 资料来源及研究方法

为了详细分析西北脆弱带的气候变化特征,论文依据区域自然地理环境的差异性将西北脆弱带做了进一步的中尺度划分,以我国干湿环境的大致分界线 105°E 线作为区域的東西分界线,大致以 37°N 线为界作为区域的南北分界线,分为干旱的东北毛乌素沙区、半湿润的东南黄土丘陵区、半干旱的西南黄土沟壑区、极干的西北腾格里沙区四个中尺度区域。此外,再在各分区中各选择一个具有地理代表性的站点作为典型站点做气候变化背景的分析,选择的四个小尺度典型站点依次为东胜、洛川、榆中、民勤。这样分别从大、中、小三种空间尺度进行西北脆弱带气候变化背景的分析探讨。

1.1 资料来源

(1) ENSO 数据获取。论文主要利用中国气象局国家气候中心网 1961—2014 年 ENSO(El Niño-Southern Oscillation)的数据资料来研究西北脆弱带暴雨灾害与 ENSO 发生的相关关系。

(2) 相关气象数据获取。暴雨灾害致灾因子的降水量等气象数据主要来源于《国家气象数据共享网》西北脆弱带所属的 1961—2013 年降水日数据较全的共 15 个站点的逐月、逐日降水数据,通过 Excel 工具统计计算得到。

(3) 统计数据收集。暴雨灾害风险的承灾体易损性及防灾抗灾能力指标所需的各种社会经济指标数据,如人口、GDP、农业产值等数据的获取,主要是来源于西北脆弱带所在各省市的统计局、民政局、环保局、农牧局、国土资源局等相关管理部门的统计报表和统计资料(2013 年)及《统计年鉴》(2013 年)。

1.2 研究方法

选取致灾因子危险性、承载体易损性、区域防灾抗灾能力三个因子、从宏观、中观、微观三个尺度对 ENSO 影响下西北脆弱带暴雨灾害的风险性进行评价。

1.2.1 暴雨致灾因子危险性评价 暴雨致灾因子是

指自然环境中可能发生的暴雨的灾变因素,是暴雨灾害发生的诱因。当环境中的暴雨致灾因子的量达到某临界值时,就可能发生暴雨灾害风险。暴雨灾害发生本身的危险性程度是由致灾因子反映,称之为致灾因子的危险性,主要影响因子包括暴雨灾害发生频率、发生强度、影响范围等因素^[9]。对暴雨致灾因子危险性进行评价是通过分析过去时段致灾因子的活动频繁程度和强度,得到定量的暴雨致灾因子的危险性指数。暴雨致灾因子危险性指数高低可用公式(1)求得:

$$H=f(M,P) \quad (1)$$

式中: H 为 Hazard,代表致灾因子的危险性指数; M 为 Magnitude,代表致灾因子的变异强度; P 为 Possibility,代表气象灾害灾变发生的概率。致灾因子危险性指数越大,气象灾害发生可能性就越大,遭受的气象灾害风险也就越大^[6]。

1.2.2 承灾体易损性评价 有了致灾因子说明有灾的存在,但并不代表一定有害,也就是不一定会出现暴雨灾害风险,害的形成还需要承灾对象的存在。暴雨灾害承灾体是承受暴雨灾害带来影响和损失的各类受灾体,主要暴雨灾害的承灾因子包括:人口、农作物、植被、交通道路等社会经济因素和人类生活生产活动。区域在暴雨致灾因子的影响下,由于区域承灾体的脆弱易损性而产生暴雨灾害损失的可能性称之为承灾体的易损性^[10]。

对承灾体易损性的评价主要通过分析区域中处于暴雨灾害风险中的各类承灾体的分布情况、数量,以及区域内主要承灾体的社会经济价值属性进行估算,得到区域的承灾体易损性指数。暴雨承灾体易损性指数的大小可用公式(2)表示:

$$D=f(p,e) \quad (2)$$

式中: D 为 Damaga,代表气象灾害的易损性指数; p 为 person,代表与人口相关的因素; e 为 economy,代表与经济相关的因素。

1.2.3 区域防灾抗灾能力评价 区域防灾减灾能力表示区域在受到暴雨灾害影响后在短期或长期内能够从灾害中恢复的能力,包括灾前资源储备、灾中应急能力和减灾投入、灾后恢复能力等。区域的防灾抗灾能力是承灾体易损性的对立面,防灾抗灾能力越强,则相应的承灾体易损性会越弱,则区域面临的暴雨灾害风险就可能越小;反之,风险可能越大。一般来说,区域的防灾抗灾能力和社会经济发展水平是密切相关的。经济越发达,区域的防灾设施建设就会越完备,抗灾物资储备和投入就会越多,区域人口的受教育水平会越高,人口的防灾意识和抗灾自救能力也会越强,所以说,社会经济越发达的区域,其防灾抗灾能力会越

强^[11]。区域抗灾能力指数的大小可用公示(3)表示:

$$F=f(e,p) \quad (3)$$

式中: F 为 Fight natural calamities,代表区域的抗灾能力指数; e 为 economy,代表与经济相关的因素; p 为 person,代表与人口相关的因素。

1.2.4 西北脆弱带暴雨灾害风险评价模型 充分考虑暴雨灾害的致灾因子危险性、承灾体易损性、区域灾害防御能力指标,主要采用加权综合评价法(WCA)和层次分析法(AHP),建立以下暴雨灾害风险指数评价模型得到西北脆弱带暴雨灾害的气象灾害风险指数,用公式(4)表示:

$$MDRI=\sum W_{ij}Q_{ij} \quad (4)$$

式中:MDRI为暴雨灾害风险指数,指数值越大则表示区域的暴雨灾害风险越高。 W_{ij} 是第*i*个评价因子的第*j*个指标的权重值, Q_{ij} 表示第*i*个评价因子的第*j*个指标的量化值。用 H,D,R 分别代表致灾因子危险性、承灾体易损性、防灾减灾能力,则有:

$$MDRI=(WHQH+WDQD+WRQR)/3 \quad (5)$$

(1) 评价指标体系。西北脆弱带暴雨灾害风险的评价指标主要包括了致灾因子危险性指标,承灾体易损性指标、区域防灾抗灾能力指标三大部分。在对西北脆弱带实地考察和暴雨灾害特征分析的基础上,综合考虑影响暴雨灾害风险的各类因素,参考国内外常采用的指标,兼顾所获取资料的实际情况,并考虑指标是否方便表达和计算等方面因素,对暴雨灾害风险的评价指标进行选择,建立了西北脆弱带暴雨灾害风险评价的指标体系,共选取了 14 个不同类别的指标^[11-12]。暴雨致灾因子危险性指标选取年均降水量、年均暴雨日数、暴雨发生频率、年降水距平百分率 4 个指标。由于大多数地区地处全年降水不丰富但却集中的干旱半干旱地区,因此,将 24 h 内降水量达到 30 mm 及以上定为 1 次暴雨过程,即一次暴雨日。为了方便统计,不考虑暴雨过程持续的天数,仅计算日降水量在 30 mm 及以上水平的天数来统计年均暴雨日数。选取 1961—2013 年降水日数据较全的 15 个站点进行数据分析。承载体易损性指标选取人口密度、海拔高程、绿地覆盖面积、耕地面积和农业产值比例 5 个指标因素。区域抗灾能力指标选取人均 GDP、第三产业产值所占比例、千人拥有医院床位数、绿地覆盖率、受高等教育人口比例 5 个指标来反映区域对暴雨灾害的防御和抵抗能力(图 1)。

(2) 数据的量化。数据质量是暴雨灾害风险评价结果是否真实科学的基础,也是保证暴雨灾害风险等级划分的客观性和准确性的关键因素。由于选取的评价指标涉及到降水量等要素、生态及社会经济等

各个方面,各个指标数据的单位是不同的,为了便于最后做出归一化计算,需将各个指标标准量化成可比较计算的 0~10 的无量纲指标,可采用公式(6):

$$X'_{ij}=\frac{X_{ij}\times 10}{X_{imaxj}} \quad (6)$$

式中: X_{ij} 与 X'_{ij} 对应的表示像元*j*上指标*i*的原始值和量化值; X_{imaxj} 表示指标*i*在所有像元中的最大值。

(3) 权重确定。评价过程中,不同的评价因子相对于评价标准来说具有不同的相对重要程度,需要通过赋予指标权重值来确定不同指标的相对重要程度大小。评价指标权重的合理性将直接影响到评价结果的科学性和准确性,明确各指标之间的权重将是量化的风险评价非常重要的一步。因此对所有评价指标量化之后,还要对暴雨灾害的致灾因子危险性指标、承灾体易损性指标,区域抗灾能力指标三部分指标分别赋予不同的权重值。权重的确定方法有很多,论文综合考虑指标的可信度和实用性等因素采用了专家评分法来确定指标权重(表 1)。

2 暴雨灾害与 ENSO 的关系

从宏观、中观、微观三个空间尺度暴雨灾害的变化特征与 1961—2013 年的 ENSO 事件进行相关分析来探讨两者之间的关系,宏观尺度即西北脆弱带整个区域的暴雨灾害、中观尺度选取西南黄土丘陵沟壑区暴雨灾害,微观尺度选取榆林中站点的暴雨灾害。

西北脆弱带全区暴雨灾害共有 13 个灾害事件,有 8 次暴雨灾害出现在 ENSO 事件年中,其中有 5 次发生在拉尼娜事件期间占 62.5%,剩余 3 次暴雨灾害发生在厄尔尼诺事件期间占 37.5%。与西北脆弱带旱灾事件的出现正好相反,暴雨灾害发生在拉尼娜事件期间的比例明显高于厄尔尼诺事件期间,说明拉尼娜事件对西北脆弱带暴雨灾害的发生影响更大,两者具有较大相关性。西南黄土丘陵沟壑区暴雨灾害共有 14 个事件年份,共 8 次出现在 ENSO 事件年中,其中有 5 次发生在拉尼娜事件期间占 62.5%,剩余 3 次暴雨灾害发生在厄尔尼诺事件期间,占 37.5%,暴雨灾害出现在拉尼娜事件期间的比例更高,说明拉尼娜事件对西南黄土丘陵沟壑区暴雨灾害的发生影响更大,这与西北脆弱带全区暴雨灾害发生表现出一样的特征。榆中站暴雨灾害共 12 个灾害事件,有 9 次出现在 ENSO 事件年中,其中 6 次发生在拉尼娜事件期间占 66.67%,剩余 3 次暴雨灾害发生在厄尔尼诺事件期间占 33.33%,榆中暴雨灾害发生在拉尼娜事件期间的比例明显高于厄尔尼诺事件期间,说明拉尼娜事件对榆中暴雨灾害的发生影响更大。

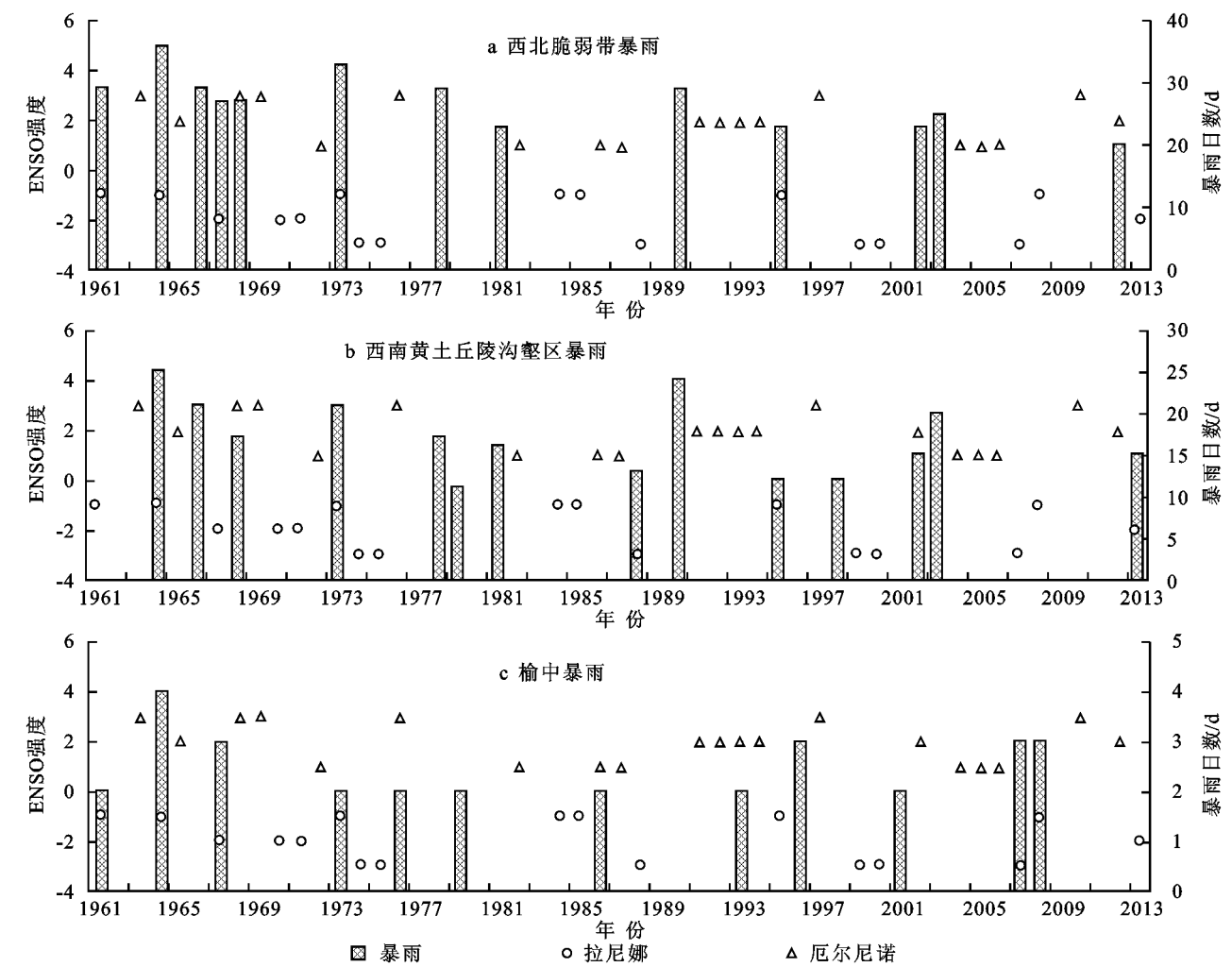


图 1 西北脆弱带暴雨灾害与 ENSO 事件的关系

表 1 陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害风险评价指标体系

评价因子	指标	权重
致灾因子 危险性	年均降雨量	0.20
	暴雨发生频率	0.26
	年均暴雨日数	0.30
	年均降水距平百分比	0.24
承灾体易 损性	人口密度	0.19
	海拔高度	0.16
	绿地面积	0.24
	耕地面积	0.23
区域抗灾 能力	农业产值比例	0.18
	人均 GDP	0.22
	三产占比	0.25
	千人拥有病床数	0.19
	绿地覆盖率	0.16
	受高等教育比例	0.18

通过分析三个尺度暴雨灾害与 ENSO 事件的时间对应关系(图 2)可知,1961—2013 年西北脆弱带暴雨灾害发生的大部分年份都出现在 ENSO 事件期间。具体而言,发生暴雨灾害的年份中出现 ENSO 事件的比例,西北脆弱带暴雨灾害事件占 61.54%,西南黄土丘陵沟壑区暴雨灾害为 57.14%,榆中站暴

雨灾害为 75%。研究表明,宏观、中观、微观尺度的暴雨灾害都表现出与拉尼娜事件有很强的相关性。

3 暴雨灾害风险评价

3.1 暴雨致灾因子危险性指数

在此采用年均降雨量、暴雨发生频率、年均暴雨日数和年均降水距平四个指标来衡量暴雨致灾因子的强度和频率。按公式(6)分别对各暴雨致灾因子的强度值进行标准量化,利用专家评分法对各指标确定相应的权重值,利用公式 1 即可得出暴雨灾害致灾因子的危险性指数并得到西北脆弱带暴雨灾害致灾因子危险性指数空间分布图(图 2)。

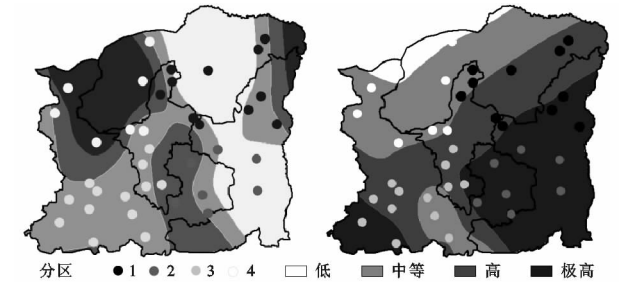


图 2 暴雨灾害致灾因子危险性指数、易损性指数空间分布

3.2 暴雨灾害承灾体易损性指数

暴雨灾害对区域的产生的影响主要是:极大降水量到达地表,由于各种原因导致汇流、下渗不畅而产生洪涝灾害,洪水淹没农田、村庄、房屋,交通线路等,也会导致人员伤亡。因此在此选择了对暴雨洪水汇流、下渗产生影响的海拔高度、绿地覆盖面积;对农业产生影响的耕地面积、农业产值比例及对人口产生影响人口密度的五个指标因素作为反映区域对暴雨灾害的易损程度的反映。同样按照公式 6 分别对各暴雨承灾体易损性指标的原始数值进行标准量化,再利用专家评分法对各指标给定相应的权重值,最后利用公式 2 即可得出西北脆弱带暴雨灾害承灾体易损性指数和承灾体易损性指数空间分布图(图 3)。

3.3 区域防灾抗灾能力指数

区域对暴雨灾害的防御抵抗能力大都取决于区域的社会经济发展水平及区域人口的防灾应灾能力的高低,因此对于西北脆弱带暴雨灾害区域防灾抗灾能力的分析评价,主要选取了人均 GDP、第三产业所占比重、千人拥有医院床位数、绿地覆盖率、受高等教育人口比例五个指标来反映区域对暴雨灾害的防范应对能力。同样先确定西北脆弱带暴雨灾害区域抗灾能力各评价指标的标准量化值及权重值,再根据公式 3 计算出西北脆弱带各站点对气象灾害的区域抗灾能力指数及得到西北脆弱带暴雨灾害区域抗灾能力指数空间分布图(图 3)。

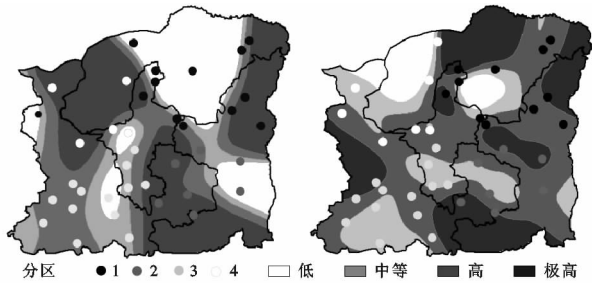


图 3 暴雨灾害区域抗灾能力指数、灾害风险指数空间分布

3.4 西北脆弱带暴雨灾害风险指数

根据暴雨灾害风险指数计算模型(公式 5)可计算出研究区暴雨灾害风险指数(表 2)。

3.5 西北脆弱带暴雨灾害风险空间分布

通过大量文献的参考和与西北脆弱带的暴雨灾害实际情况相结合可制定出如下西北脆弱带暴雨灾害风险等级划分标准(表 3),可得到西北脆弱带暴雨灾害风险等级空间分布图(图 3)。通过对暴雨灾害风险指数和暴雨灾害风险等级划分标准可以得到暴雨灾害风险区划图,由图可知,暴雨灾害风险最高的区域在中尺度区域都有分布,主要在东北毛乌素沙地的榆林、横山、绥德,东南黄土丘陵区的西峰、平凉、长武等,以及西北

腾格里沙区的民勤、阿拉善左旗、景泰,这些区域极易发生暴雨灾害,这主要是由于这些地区的降水特点叠加上独特的地形因素造成暴雨发生的次数相对较多;而东北区的惠农、陶乐、鄂托克旗及东南区的洛川,西南区的会宁等地区暴雨灾害风险相对较低。

表 2 西北脆弱带暴雨灾害风险指数

区县 站点	危险性 指数	易损性 指数	抗灾能 力指数	暴雨风 险指数
长武	8.768	3.665	6.574	5.127
武威	3.309	4.423	4.109	2.960
榆中	4.800	3.278	4.783	3.590
西峰	9.033	3.068	3.614	4.179
岷县	6.832	3.866	3.786	3.621
银川	3.897	5.029	7.469	4.224
陶乐	3.843	2.459	3.680	2.621
中卫	3.557	4.673	5.758	3.497
中宁	4.019	2.897	4.499	2.854
盐池	5.132	2.956	4.438	3.507
海原	5.443	3.367	2.967	3.194
同心	4.612	3.731	3.912	3.314
固原	6.351	4.875	4.037	4.191
泾源	4.532	3.248	4.542	3.331
东胜	4.475	3.374	6.827	3.794

表 3 暴雨灾害风险等级划分标准

风险指数	MDRI≥4.0	4.0>MDRI≥3.40	3.40>MDRI≥3.0	MDRI<3.0
风险等级	高风险区	较高风险区	中等风险区	低风险区

4 结论

(1) 1961—2013 年西北脆弱带发生暴雨灾害的年份中出现 ENSO 事件的比例,西北脆弱带全区占 61.54%,中尺度黄土沟壑区为 57.14%,小尺度榆中为 75%。选取的三个空间尺度区域中暴雨灾害都表现出与拉尼娜事件有很强的相关性。研究表明西北脆弱带的暴雨灾害主要受 ENSO 的拉尼娜事件影响。

(2) 陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害的致灾因子危险性呈明显的自东南向西北逐渐降低的带状分布特征,这与降水的分布特征表现出了一致性。危险性最高的区域主要分布在黄土丘陵沟壑地区,具体有陕北的大部分地区,甘肃的环县、西峰、长武、平凉、合作、岷县等地;而吉兰泰、民勤、武威等地区的暴雨灾害致灾危险性最弱。

(3) 暴雨灾害的承灾体易损性最高的区域主要在腾格里沙区的景泰、阿拉善左旗和民勤;而黄土丘陵沟壑区的大部分地区,如兰州、榆中、临洮、西吉、海原等,毛乌素沙地的中部地区,如榆林、横山、东胜等地区暴雨灾害的承灾体易损性最弱。

(4) 暴雨灾害的防灾抗灾能力最高的区域主要在黄土丘陵沟壑区陕西的长武、延安、吴旗,甘肃的平凉,

陕西的榆林、宁夏的惠农、银川,及甘肃兰州,这些地区抵抗气象灾害的能力最强;毛乌素沙区的陶乐以东、鄂托克旗以南区域以及宁夏的西吉、固原、海原,甘肃的岷县、临洮等地区气象灾害的区域抗灾能力最弱。

(5) 暴雨灾害风险最高的区域主要在毛乌素沙区的榆林、横山、绥德,黄土丘陵沟壑区的西峰、平凉、长武以及腾格里沙区的民勤、阿拉善左旗、景泰,这些区域极易发生暴雨灾害,这主要是由于这些地区的降水特点叠加独特的地形因素造成暴雨发生的次数相对较多;惠农、陶乐、鄂托克旗及东南区的洛川,西南区的会宁等地区暴雨灾害风险相对较低。

参考文献:

- [1] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
 - [2] 章国才. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京: 气象出版社, 2010.
 - [3] 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.
 - [4] 李佳, 杨太保, 何毅, 田洪阵. 1990—2011年天山东部冰川退缩对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 212-216.
 - [5] 李恩菊, 赵景波. 厄尔尼诺/拉尼娜事件对山东省气候的影响[J]. 陕西师范大学学报, 2010, 38(3): 80-84.
 - [6] 尹姗, 孙诚, 李建平. 灾害风险的决定因素及其管理[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(2): 84-89.
 - [7] 王炜, 权循刚, 魏华. 从气象灾害防御到气象灾害风险管理的管理方法转变[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(1): 7-13.
 - [8] 周梦甜, 李军, 朱康文. 西北地区 NDVI 变化与气候因子的响应关系研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 182-187.
 - [9] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 - [10] Adger W N, Hughes T P, Folke C, et al. Social-ecological resilience to coastal disasters [J]. Science, 2005, 309(5737): 1036-1039.
 - [11] Arnold M, Chen R S, Deihmann U, et al. Natural Disaster Hots Pots Case Studies, Washington DC: Hazard Management Unit[R]. World Bank, 2006: 1-181.
 - [12] 武红, 张松林, 季云. 近 55 年来民勤绿洲胡杨林物候对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 123-127.
- ~~~~~
- (上接第 293 页)
- [26] Takala T, Tahvanainen T, Kouki J. Grazing promotes bryophyte species richness in semi-natural grasslands [J]. Ann. Bot. Fennici, 2014, 51(3): 148-160.
 - [27] 刘玲玲, 吴兆录, 李青, 等. 滇西北藏族地区不同管理方式的草地生物量的比较研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1409-1412.
 - [28] Medina-Roldán E, Paz-Ferreiro J, Bardgett R D. Grazing-induced effects on soil properties modify plant competitive interactions in semi-natural mountain grasslands[J]. Oecologia, 2012, 170(1): 159-169.
 - [29] Silva da D M, Batalha M A. Soil-vegetation relationships in Cerrados under different fire frequencies[J]. Plant Soil, 2008, 311(1/2): 87-96.
 - [30] Stephan K, Miller M, Dickinson M B. First-order fire effects on herbs and shrubs: present knowledge and process modeling needs[J]. Fire Ecology, 2010, 6(1): 95-114.
 - [31] Nayak R R, Vaidyanathan S, Krishnaswamy J. Fire and grazing modify grass community response to environmental determinants in savannas: Implications for sustainable use[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 185: 197-207.
 - [32] 漆良华, 彭镇华, 张旭东, 等. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1697-1702.
 - [33] 王长庭, 龙瑞军, 王启基, 等. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 483-487.
 - [34] 袁自强, 魏盼盼, 高本强, 等. 取样尺度对亚高寒草甸物种多样性与生产力关系的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(12): 1248-1255.
 - [35] Komac B, Domènech M, Fanlo R. Effects of grazing on plant species diversity and pasture quality in subalpine grasslands in the eastern Pyrenees (Andorra): Implications for conservation[J]. Journal for Nature Conservation, 2014, 22(3): 247-255.
 - [36] Cingolani A M, Noy-Meir I, Díaz S. Grazing effects on rangeland diversity: A synthesis of contemporary models [J]. Ecological Application, 2005, 15(2): 757-775.