

基于 GIS 的沧州市暴雨气象灾害风险评估

高操¹, 韩典辰^{2*}, 赵晓涵², 张方敏², 李连祥³

(1. 国电环境保护研究院有限公司, 江苏南京 210031; 2. 南京信息工程大学气象

灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏省农业气象重点实验室, 江苏南京 210044; 3. 河北省沧州市气象局, 河北沧州 061000)

摘要 基于自然灾害风险评估理论, 建立以致灾因素危险性、孕灾环境敏感性、灾害承受体脆弱性和防灾抗灾能力为主的评估体系, 选取河北省 2010—2018 年的暴雨频次、暴雨强度、自然环境和社会经济等指标, 利用 GIS 分析技术和加权综合评价方法, 对沧州市暴雨气象灾害风险进行了评估。结果表明, 大面积的暴雨灾害高风险区主要分布在东部的海兴、黄骅和盐山地区, 该地区暴雨发生危险性和环境敏感性较大; 中南部地势低且平坦, 环境敏感性和承载体易损性相对低, 导致暴雨灾害发生的风险较低; 沧州市区的承载体易损性特别高, 市区西部的防灾减灾能力也较差, 导致沧州市区西部的暴雨灾害发生风险高于东部。

关键词 暴雨气象灾害; GIS 分析技术; 风险区划; 加权综合评价方法; 河北省沧州市

中图分类号 P 429 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)22-0210-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.22.061



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Risk Assessment of Rainstorm Meteorological Disasters in Cangzhou City Based on GIS

GAO Cao¹, HAN Dian-chen², ZHAO Xiao-han² et al (1. Limited Company of State Power Environmental Protection Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210031; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science&Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract Based on the natural disaster risk assessment theory, rain frequencies and intensities, natural and socioeconomic data from 2010 to 2018, the index system for evaluating the rainstorm and flood meteorological disasters in Cangzhou City was established. Risk of disaster-causing factors, sensitivity of disaster-forming environment, vulnerability of disaster-bearing body, and ability of disaster prevention and mitigation were calculated and the rainstorm and flood risk was zoned using GIS analysis technology and weighted comprehensive evaluation method. Results showed that the higher risk was mainly distributed in the eastern region especially in Haixing, Huanghua and Yanshan regions. That was attributed to the high risk of heavy rain meteorological disasters and environmental sensitivity, and weak ability of disaster prevention and mitigation. The lower risk was mainly distributed in the central-south region where environmental sensitivity and vulnerability of disaster-bearing body were lower. Since vulnerability of disaster-bearing body was very high in Cangzhou downtown area, the ability of disaster prevention and mitigation in western downtown area was lower than the eastern area, leading that the risk in western downtown area was higher than in eastern downtown area.

Key words Rainstorm meteorological disasters; GIS analysis technology; Risk zoning; Weighted comprehensive evaluation method; Cangzhou City, Hebei Province

在全球气候变化背景下, 近年来极端气候事件特别是暴雨的发生频率、强度、持续时间等都发生了明显变化, 给人民生命财产和社会经济造成了重大损失, 严重阻碍了社会经济的发展^[1]。

灾害风险评估是近年来灾害学研究的热点, IPCC 第五次评估报告将风险管理纳入气候变化适应对策中^[2-3]。根据自然灾害风险的形成机理, 结合影响灾害风险的因素, 建立灾害风险评估体系, 可为当地针对灾害现象的建设提供正确的指导方向, 为风险管理提供依据。Varazanashvili 等^[4]通过建立致灾因素与承灾体之间的关系模型, 对格鲁吉亚山洪灾害进行了风险评估。Pandey 等^[5]利用卫星遥感图像评估了印度哈尔邦的洪水灾害风险, 生成了一份印度比哈尔邦的暴雨洪涝灾害风险图。缪启龙等^[6-7]全面考虑了灾害成因、灾害环境、灾害载体和防灾能力, 建立了杭州市台风暴雨洪涝灾害风险评估模型。张会等^[8]综合考虑了东北地区发生洪涝灾害风险的 4 个主要因子, 绘制了辽河中下游地区的洪涝灾害风险区划图。万君等^[9-10]从发生洪涝灾害的危险性以及对社会经济损害性 2 个方面, 分析了湖北省的地形、人口、

暴雨频次等因素, 对湖北省洪涝灾害进行了风险评估。李楠等^[11]利用山东省地理数据以及年统计资料, 建模计算了影响山东省暴雨洪涝灾害风险的主要综合评价指标。

河北省沧州市位于冀中平原东部, 地势较低, 且地形比较平坦, 容易发生暴雨积涝灾害。因此, 笔者综合考虑致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力因子, 选取影响沧州市暴雨的主要因素, 建立暴雨灾害评估指标, 绘制沧州市暴雨灾害区划图, 并针对沧州市地理分布, 提出暴雨气象灾害防御建议。

1 资料与方法

1.1 资料来源 气象资料来源于河北省沧州市 2010—2018 年 192 个区域自动站和 14 个国家自动站的逐日降水量。自然地理数据来自中国科学院地理科学与资源研究所, 包括沧州市 1:50 000 县行政边界(图 1)、土地利用数据、河网密度、河流水系数据、数字高程模型(DEM)数据等。社会统计数据来自于沧州市统计部门, 包括沧州市 6 个县的人口密度、国民生产总值(GDP)、地均 GDP、耕地比重等。

1.2 研究方法 根据自然灾害风险形成机理^[12-14], 沧州市暴雨灾害风险区划综合考虑致灾因子危险性(V_E)、孕灾环境敏感性(V_S)、承灾体易损性(V_H)和防灾减灾能力(V_R), 建立沧州市暴雨灾害风险指标体系(图 2), 并采用加权综合评价法^[15]来评估暴雨气象灾害风险, 即:

基金项目 江苏省科技部重大研发计划项目(2018YFC1506606); 中国气象局气候变化专项(CCSF201809)。

作者简介 高操(1985—), 男, 满族, 江苏南京人, 工程师, 硕士, 从事大气与环境评估研究。*通信作者。

收稿日期 2019-05-25; **修回日期** 2019-06-21

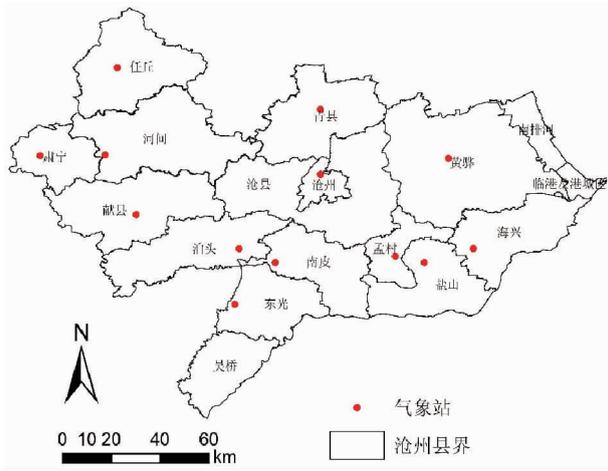


图 1 沧州市县界行政区划

Fig.1 County boundary administrative division of Cangzhou City

$$V = V_E \times W_E + V_S \times W_S + V_H \times W_H + V_R \times W_R \quad (1)$$

式(1)中, V 越大则表明该地区发生灾害的可能性越大, 其中 W_x 表示权重, 采用层次熵权分析法^[13,16] 确定。由于各指标量纲不同, 故对各指标值进行归一化处理, 即:

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (2)$$

式(2)中, D_{ij} 为因子 j 的第 i 个指标的归一化值, A_{ij} 为因子 j 的第 i 个指标值, A_{\min} 和 A_{\max} 分别是第 i 个指标值当中的最小值和最大值。



图 2 沧州市暴雨灾害风险指标体系

Fig.2 Risk index system of rainstorm in Cangzhou

2 暴雨灾害风险评估

2.1 致灾因子危险性

降水异常偏多是引发暴雨灾害的主要原因之一, 灾害强度与降水强度和降水持续时间密切相关, 因此采取暴雨频次和暴雨过程强度指数作为灾害强度指标来分析致灾因子。将日降雨量 $\geq 50 \text{ mm}$ 1 d 以上且若有 1 d 无降水发生则过程中断的降水过程定义为暴雨过程^[13]。笔者利用沧州市气象站逐日降水资料, 分别将全市不同站点的降水资料进行筛选, 对 1~6 d 的暴雨过程降水进行统计, 计算不同持续时间下暴雨过程的总降水量, 同时根据暴雨过程持续时间建立 6 个时间序列, 利用百分位法, 把暴雨强度分为 5 个不同等级, 判断 6 个时间序列下的暴雨总降水量是否达到标准, 最后统计各站不同暴雨等级的发生频次^[13,15], 将不同测站暴雨致灾因子危险性指数运用加权相加后绘制

致灾因子危险性分布图(图 3)。

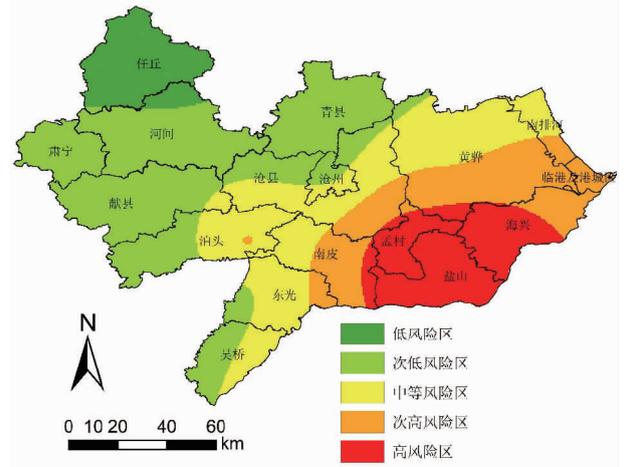


图 3 沧州市致灾因子危险性区划

Fig.3 Hazard zoning of disaster-causing factors in Cangzhou

由图 3 致灾因子危险性分布可知, 孟村、盐山、海兴地区属于致灾因子危险性高风险区, 南皮东部地区和临港及港区属于次高风险区, 发生暴雨气象灾害时, 雨势较猛、强度偏大, 并易造成居民房屋倒塌现象, 从而形成内涝灾害; 东光、南排河、泊头东部地区、南皮西部地区、沧州和沧县东部地区、黄骅北部地区属于中等风险区; 吴桥、献县、青县、沧州市区、河间南部地区、肃宁东部地区、泊头西部地区属于次低风险区, 任丘和肃宁西部地区属于低风险区, 暴雨气象灾害发生频次较少, 同时暴雨气象灾害强度较低。

2.2 承灾体易损性

承灾体易损性是指受灾期间发生暴雨气象灾害的环境破坏程度。损害程度一般取决于该地区的人口密度、经济和土地利用类型^[16]。耕地面积分布反映了一个地区的农业发展水平^[13], 当灾害影响到大量的耕地面积时, 由农业产生的连锁反应会辐射到城市发展的方方面面, 严重制约城市化发展。笔者主要考虑人口密度、GDP 密度和耕地占比 3 个指标, 计算公式如下:

$$V_S = V_{SP} \times W_P + V_{SC} \times W_G + V_{SC} \times W_C \quad (3)$$

式(3)中, V_S 、 V_{SP} 分别代表总易损性、人口易损性, V_{SC} 和 V_{SC} 分别代表经济易损性和耕地面积易损性。

由图 4 沧州市承灾体易损性区划可以看出, 承灾体易损性对沧州市不同区域暴雨气象灾害影响程度相差不大, 除任丘市中部地区及沧州市区外, 其他地区人口密度、GDP 的发展和耕地占比情况相近, 多属于低风险区, 若发生暴雨气象灾害, 单位面积上的经济损失与受灾人口较少; 任丘市外围属于次低风险区, 中部地区属于次高风险区, 风险高于全市大部分地区, 由于任丘市人口密度与 GDP 发展属沧州市前列, 故暴雨灾害发生时所造成的人员伤亡以及社会财产的损失比其他大部分地区严重; 沧州市区中的运河区与新华区属于高风险区, 是全市范围内风险最高的地区, 由于市区中城市人口偏多, 分布较为密集, 城市化水平较高, 社会经济发展状况好, 所以一旦暴雨灾害发生, 就会给当地的社会经济建设以及人民的生命财产造成极大的威胁。

2.3 孕灾环境敏感性

孕灾环境敏感性是指暴雨灾害承灾

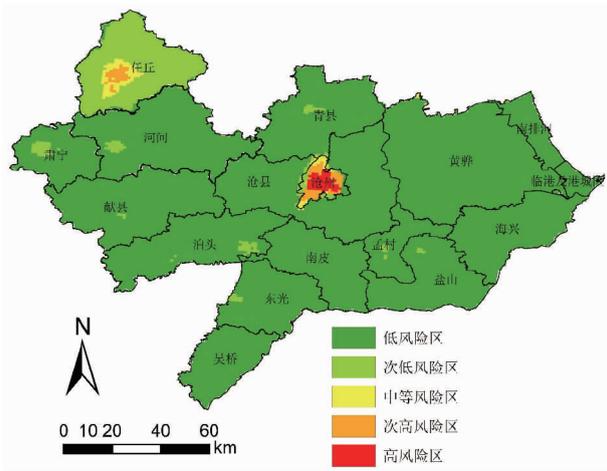


图4 沧州市承灾体易损性区划

Fig.4 Vulnerability zoning of disaster bearing body in Cangzhou

体外部环境对损害的敏感性。地形和水体结构是敏感性的主要影响因素^[17]。地形主要考虑高程和地形变化(以高程标准差表示),并采用不同的值组合^[18](表1)。考虑到水系对气象灾害地区造成的影响,将河流缓冲区分为2级(6、10 km),分别赋值0.9、0.8;非缓冲区取0.5。经归一化后,孕灾环境敏感性(V_H)计算公式如下:

$$V_H = V_{HDEM} \times W_D + W_{HRI} \times W_{RI} \quad (4)$$

式(4)中, V_{HDEM} 和 V_{HRI} 分别代表因地形原因造成的影响和因水系结构与分布造成的影响, W_D 和 W_{RI} 分别为两者权重。根据熵权法和层次分析法^[19-20], W_D 和 W_{RI} 分别赋值0.6、0.4,水系数据考虑河网密度和河流水系。采用加权综合评价法^[15],得出沧州市孕灾环境敏感区划结果如图5所示。

表1 沧州市地形因子赋值(暴雨)

Table 1 Terrain factor assignment (rainstorm) in Cangzhou City

地形高程 Elevation of terrain m	高程标准差 Elevation standard deviation//m		
	1级(≤1)	2级(1,10)	3级(≥10)
1级(≤100) First level	0.9	0.8	0.7
2级(100,300) Second level	0.8	0.7	0.6
3级[300,700) Third level	0.7	0.6	0.5
4级(≥700) Fourth level	0.6	0.5	0.4

由图5可以看出,沧州市孕灾环境危险性总体表现出由西南地区逐步向东北地区上升趋势。高风险区主要分布在黄骅、海兴地区的东北部,次高风险区分布在青县和黄骅、海兴地区的西南部以及任丘、沧县、盐山地区的东北部,其中黄骅市地区高风险区面积最大,危险程度最高,吴桥地区低风险区面积最大,危险程度最小。其主要原因可能是沧州市位于冀中平原东部,整体地势较为平坦,地形类型较少,且以平原为主,变化起伏较小,自西南向东北倾斜,高风险区在暴雨过后,雨水易存于地表,无法借助地形排泄至别处,当雨量累计到一定程度时,暴雨就会引发城市内涝等一系列灾害。所以建议在这些风险较高区域,加强城市排水作业,使得城市引流系统更加科学高效,保障其在暴雨天气下的正常运转。

2.4 防灾减灾能力 防灾减灾能力体现了一个地区在受灾

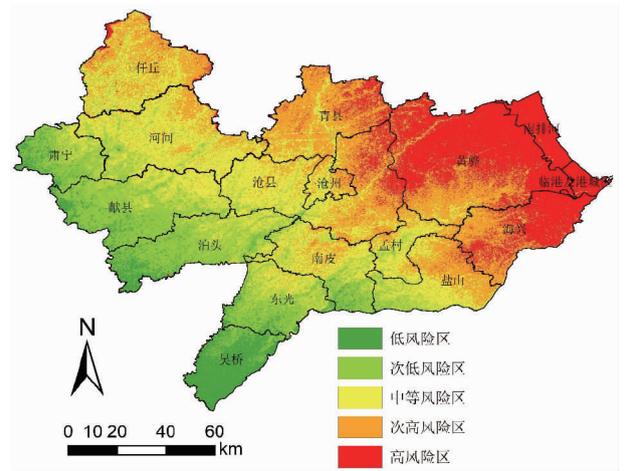


图5 沧州市孕灾环境敏感性区划

Fig.5 The sensitivity division of disaster environment in Cangzhou City

后的承载能力大小与灾后重建能力的强弱,是除去自然灾害形成因子之外的重要因素,对气象灾害风险评估有着很大作用。防灾减灾能力包括工程措施和非工程措施,与当地GDP 经济发展水平密切相关,所以笔者主要采用人均GDP和防旱涝水利耕地面积2个指标来反映这一地区的防灾减灾能力,具体区划结果见图6。

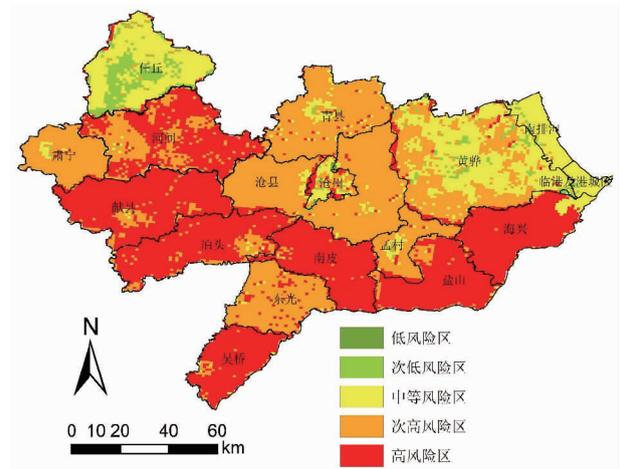


图6 沧州市防灾减灾能力区划

Fig.6 Disaster prevention and reduction capacity division in Cangzhou City

由图6可以看出,防灾减灾能力因子危险性对沧州市地区的影响程度较为严重,这与沧州市的经济发展不均衡现象密不可分。其中,河间、献县、泊头、南皮、吴桥、盐山、海兴属于高风险区,防灾减灾能力较差,这些地区人均GDP就全市范围来说发展水平较低,暴雨灾害发生后的承受能力还有很大的提升空间;沧县、肃宁、青县、东光、孟村以及黄骅西南部和东北部地区属于次高风险区,这些地区人均GDP与旱涝保收能力就全市来说处在中中等发展水平,防灾能力比高风险区有一定提升;任丘市外围、黄骅市中部地区和沧州市区属于中等风险区,这些地区的经济发展水平就沧州市而言处于领先水平,但人口密度较大,需要进一步提高群众防灾能

力;任丘市中部属于次低风险区,这是因为任丘市经济发展处于全市前列,GDP 高达 641.1 亿元,同时任丘市中部城市体系较完备,居民防灾意识处于全市领先水平。综上,建议沧州市大力推动高风险地区的经济建设,增强居民在面对灾害发生时的应变处理能力,同时在公共场地多建立避难设备,提高防灾抗灾能力。

2.5 暴雨灾害风险区划 综合上述 4 因子区划结果后,将 4 因子数据进行回归加权得出暴雨气象灾害风险指数,利用百分位法将灾害风险指数划分为 5 个等级(高风险区、次高风险区、中等风险区、次低风险区、低风险区),以 GIS 空间分析技术为支持,绘制暴雨气象灾害风险区划图(图 7)。

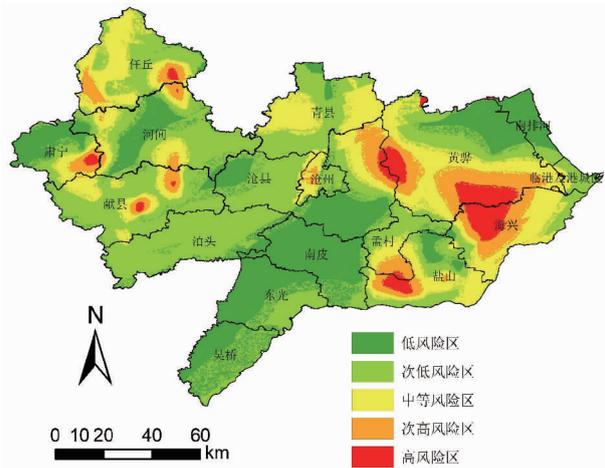


图 7 沧州市暴雨灾害风险区划

Fig.7 Risk regionalization of rainstorm disaster in Cangzhou City

2.5.1 高风险区。主要分布在海兴与黄骅交界地区、盐山西部地区、黄骅西部地区、肃宁东部地区、献县东部地区和任丘东部地区,其中海兴和黄骅交界地区高风险区域面积最大,虽然该区域承灾体易损性风险较低,但是该区域地势低且平缓,暴雨频次高灾害强度大,抗灾能力较差,使得致灾因子危险性和防灾减灾能力皆属于高风险区和次高风险区。黄骅西部地区地势低且平坦,不利于暴雨气象灾害后的引流排泄,而肃宁东部地区、献县东部地区和任丘东部地区防灾能力较差,导致这些地区为暴雨灾害高风险区。

2.5.2 次高风险区。主要分布在以上高风险区外围,此外任丘西部地区、河间南部献县东北部地区和沧州市区中心也为暴雨气象灾害次高风险区。任丘西部地区和沧州市区中心人口密度较大,发展水平就沧州全市来说处于领先地位,一旦发生暴雨气象灾害,对沧州市的经济发展影响很大,综合 4 因子后,确定该地区属于暴雨灾害次高风险区;河间南部献县东北部地区防灾抗灾能力较差,灾后重建能力还需要进一步提升,综合 4 因子后,确定该地区属于暴雨灾害次高风险区。

2.5.3 中等风险区。主要分布在高风险区、次高风险区外圈还有青县西侧,任丘西北侧地区也属于中等风险区。其中任丘西北侧、青县西侧地区地势较低,地形变化小,孕灾环境敏感性风险较高,综合 4 因子考量后,确定该地区为暴雨风险

中等风险区。

2.5.4 低风险区和次低风险区。主要分布在沧州市中的沧县、泊头、东光、吴桥、南皮和南排河的大部分地区。其中泊头、东光、吴桥地区孕灾环境敏感性风险较低,南皮、南排河地区承灾体易损性风险较低,综合 4 因子后,确定南皮、南排河、东光西部和吴桥西部地区属于低风险区,沧县西部地区、吴桥东部地区和东光东部地区属于次低风险区。

3 结论与讨论

(1)沧州市暴雨灾害分布不均匀,整体来看东部地区暴雨灾害风险较高,中部地区暴雨气象灾害综合风险级别较低,其大部分地区为次低风险区和低风险区,中等风险区和次高风险区面积较小。东南部地区暴雨气象灾害发生频次较多,灾害强度较大。高风险区主要分布在海兴与黄骅交界地区、盐山西部地区、黄骅西部地区、肃宁东部地区、献县东部地区和任丘东部地区,其中海兴和黄骅交界地区高风险区域面积最大,孕灾环境敏感性风险较高,暴雨发生频次较高,暴雨灾害强度较大,建议改进这些地区的城市排水引流系统,增强区域排水能力,提高抗灾能力。西南部地区防灾减灾能力较差,发生暴雨气象灾害时,难以及时针对灾害进行有效应对,灾后重建能力较弱,因此出现高风险区、次高风险区。

(2)城市暴雨灾害是一个复杂的系统,风险评估影响因素众多,笔者仅从有限的评价指标出发,对沧州市暴雨气象灾害进行了风险区划分析,存在一定的局限性。今后在研究风险区划时,应进一步完善和优化暴雨灾害形成机理,建立更加科学合理的城市暴雨气象灾害风险区划模型。

参考文献

- [1] 张昂,李双成,赵昕奕.基于 TRMM 数据的京津冀暴雨风险评估[J].自然灾害学报,2017(2):160-168.
- [2] 傅新殊.城市群对夏季降水影响的观测分析和数值模拟研究[D].南京:南京大学,2013.
- [3] 朱卫浩,陈霞,邵丽芳,等.基于格网的河北省精细化暴雨洪涝灾害风险区划[J].中国农学通报,2016,32(23):142-147.
- [4] VARAZANASHVILI O, TSERETELI N, AMIRANASHVILI A, et al. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia [J]. Natural hazards, 2012, 64(3): 2021-2056.
- [5] PANDEY A C, SINGH S K, NATHAWAT M S. Waterlogging and flood hazards vulnerability and risk assessment in Indo Gangetic plain [J]. Natural hazards, 2010, 55(2): 273-289.
- [6] 缪启龙,陈鑫,俞布,等.杭州市暴雨洪涝灾害风险区划[J].长江流域资源与环境,2012,21(S2):163-168.
- [7] 俞布,缪启龙,潘文卓,等.杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划与评价[J].气象,2011,37(11):1415-1422.
- [8] 张会,张继权,韩俊山.基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究:以辽河中下游地区为例[J].自然灾害学报,2005,14(6):141-146.
- [9] 万君,周月华,王迎迎,等.基于 GIS 的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):328-333.
- [10] 郭广芬,周月华,史瑞琴,等.湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J].暴雨灾害,2009,28(4):357-361.
- [11] 李楠,任颖,顾伟宗,等.基于 GIS 的山东省暴雨洪涝灾害风险区划[J].中国农学通报,2010,26(20):313-317.
- [12] HUANG D P, LIU C, FANG H J, et al. Assessment of waterlogging risk in Lixiahe region of Jiangsu Province based on AVHRR and MODIS image [J]. Chinese geographical science, 2008, 18(2): 178-183.
- [13] 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.

表 4 一级指标模糊隶属度

Table 4 First-level indicator fuzzy membership

R	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
经济效益 Economic benefits	0.349	0.371	0.198	0.060	0.020
社会效益 Social benefits	0.353	0.256	0.268	0.021	0.036
生态效益 Ecological benefits	0.036	0.334	0.302	0.010	0.007

4 评价结果分析与建议

4.1 数据结果分析 计算结果表明,大庆地区秸秆利用供应链的综合得分为 76.54,该供应链的绩效评价为良好,这说明核心企业在该供应链中发挥着重要作用,能有效地与上下游企业之间进行合作,供应链的运行状况良好。其中经济效益、社会效益和生态效益分值分别为 88.56、72.70、81.34,经济效益和生态效益得分较高,这说明该供应链上的企业对经济和生态方面很重视,尤其是生态方面,生态环境的改善可以增加人们的生活品质,促进经济的发展乃至促进整个人类社会的进步,希望企业将绿色发展纳入长期规划共创美好生活。但是社会效益的分值为 72.70,低于综合得分,这表明对社会效益不够重视,是整个供应链上的短板,有待加强。其中信息化程度最低,这说明供应链上各企业之间交流渠道狭窄,信息化程度有待提高。

4.2 建议 对政府而言,建立秸秆综合利用领导小组,管理大庆地区各乡镇的秸秆综合利用工作。出台相应的指导性文件和方案,细化工作任务、实施措施、职责明确,切实保障工作得以进行。并加大政策的扶持力度,对秸秆利用供应链上的核心企业给予政策、资金或技术上的扶持。加强宣传引导力度,通过各种媒体宣传焚烧秸秆的危害和有关露天焚烧秸秆的惩治措施,大力宣传秸秆利用对于环境保护、资源节约和收入增加的意义。进一步引导农户增强秸秆利用意识,形成农户自觉利用秸秆、禁烧秸秆的良好氛围。加强拓宽融资渠道,大力吸引相关秸秆利用的高新企业,增加秸秆资源的利用率。

对于企业而言,成立专门的科室与政府人员相对接,认真研读政府下达的每一条关于秸秆综合利用的文件,并针对政府行为快速调整企业的战略部署。协助政府部门宣传秸秆焚烧的危害和秸秆利用的好处,与农户之间形成亲密无间的关系,提高契约农户的数量从而提高企业的效益。由于大庆地区地广人稀,秸秆资源过于分散,不能很好地将秸秆收集在一起,应分区域成立秸秆收购站,这样既便民利民又节省运输费用。加强信息化程度,与上下游企业达成战略联盟伙伴关系,建造一个信息共享的网络平台,使得信息可以最

大化的传播,资源得到充分的利用。加强互联网和大数据技术的使用,引进相关人才,将企业与消费者和企业与企业之间紧密结合起来,以提高供应链的整体柔性,使供应链形成一个完整的闭环。

参考文献

- [1] 王滨杰. 秸秆综合利用与农业生态环境保护探究[J]. 农业与技术, 2018, 38(23): 47-48.
- [2] 刘耀堂, 李晓梦. 我国农业秸秆的现状与利用方法[J]. 北方环境, 2011(7): 150, 155.
- [3] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃物焚烧与资源化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 350-354.
- [4] 徐晶雪, 韩晓煜, 陈金, 等. 大庆地区玉米秸秆分解微生物的筛选及初步研究[J]. 中国微生物学杂志, 2015, 27(1): 33-35.
- [5] ARSHINDER, KANDA A, DESHMUKH S G. A framework for evaluation of coordination by contracts: A case of two-level supply chains[J]. Computers & industrial engineering, 2009, 56(4): 1177-1191.
- [6] 张慧, 孙秀梅. 基于 AHP 模糊综合评价对低碳供应链绩效评价的研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2016, 30(1): 73-78.
- [7] 毕伟华. 基于绿色供应链管理的供应商评价与选择研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2018.
- [8] 方伟, 杨步. 基于 DEA 方法的企业绿色供应链运营效率评价研究[J]. 工业技术经济, 2017, 36(12): 19-26.
- [9] 杜丽霞. 基于平衡计分卡的绿色供应链绩效评价研究[J]. 商业经济, 2017(11): 124-125, 128.
- [10] 杨光勇, 计国君. 构建基于三重底线的绿色供应链: 欧盟与美国的环境规制比较[J]. 中国工业经济, 2011(2): 120-130.
- [11] 耿美金, 纪静, 魏育红. “农超对接”模式下供应链的绩效评价及优化: 以徐州睢宁县为例[J]. 中国集体经济, 2018(15): 50-51.
- [12] 黄婷华. 基于模糊综合评价法的江苏省集成供应链绩效评价[J]. 科技视界, 2018(14): 236-237.
- [13] 王明明, 郑军, 张明月. “农超对接”供应链运行效果评价指标体系构建[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2016, 18(4): 54-58, 139.
- [14] 朱怡臻, 罗明亮. 企业物流绩效评价指标体系研究[J]. 经营管理者, 2018(8): 70-71.
- [15] 许轩瑜. 基于价值链的 Z 发电企业绩效评价研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2018.
- [16] 唐毅, 张彬乐, 王忠伟. 基于粗糙集 AHP 农产品供应链信息共享评价指标体系研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(6): 124-130.
- [17] 戚永光. 基于供应链的油茶投资项目财务分析与风险控制[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
- [18] 白世贞, 郭秋霞, 汪洋洋. 基于灰色评价模型的猪肉绿色供应链绩效评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(14): 307-311.
- [19] 李敏. 基于供应链的绿色创新及其对企业绩效和竞争优势的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [20] 谭海燕. 基于层次分析方法的电煤供应链协调评价研究[J]. 中国管理信息化, 2018, 21(12): 68-70.
- [21] 雷亨勇, 陈燕, 潘晓骏, 等. 杭州市主城区暴雨内涝灾害风险区划[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2019, 18(1): 105-112.
- [22] 鲜铁军. 基于 GIS 的南充市暴雨洪涝农业气象灾害风险区划与评估[J]. 现代农业科技, 2018(23): 199-202.
- [23] 张靖, 郝立生, 许晓光. 基于 GIS 技术的河北省洪涝灾害风险区划与分析[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 51-56.
- [24] 胡波, 丁焯毅, 何利德, 等. 基于模糊综合评价的宁波暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 380-385.

(上接第 213 页)

- [14] 魏一鸣, 金菊良, 杨存建, 等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [15] 石涛, 谢五三, 张丽, 等. 暴雨洪涝风险评估的 GIS 和空间化应用: 以芜湖市为例[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 169-176.
- [16] 温跃修, 胡彩虹, 荐圣淇. 郑州市区暴雨洪涝风险区划研究[J]. 人民珠江, 2018, 39(12): 17-23.