

罗慧, 刘杰, 王丽, 等. 气候变化与极端气象灾害对宁夏农业经济的影响评估[J]. 灾害学, 2023, 38(2): 74–78. [LUO Hui, LIU Jie, WANG Li, et al. Impact Assessment of Climate Change and Extreme Meteorological Disasters on Agricultural Economic Output in Ningxia[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(2): 74–78. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2023.02.011.]

气候变化与极端气象灾害对宁夏农业经济的影响评估^{*}

罗 慧^{1,2,3}, 刘 杰⁴, 王 丽⁵, 唐智亿⁶

(1. 宁夏气象局, 宁夏 银川 750002; 2. 中国气象局秦岭气溶胶与云微物理野外科学试验基地, 陕西 西安 710015; 3. 中国气象局旱区特色农业监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏 银川 750002; 4. 陕西师范大学 国际商学院, 陕西 西安 710119; 5. 西安市气象局, 陕西 西安 710016; 6. 西安交通大学 未来技术学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 综合气候学与经济学交叉学科理论, 定量评估了气候变化与极端气象灾害对宁夏农业经济的影响。结果表明, 年平均温度和降水量均非线性影响农业经济, 温度对农业经济的影响大于降水, 北部引黄灌区对平均温度和降水的变化更加敏感; $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 极端高温和重旱显著负面影响农业经济; 中南部非灌溉区面临“高温干旱”复合型灾害影响, 北部引黄灌溉区面临“旱涝急转”型灾害影响。在宁夏南北部“暖湿”和“暖干”可能进一步分异的背景下, 决策者与生产者要抓住有利气候条件, 规避极端气象灾害不利影响, 促进地区粮食丰收和乡村产业振兴。

关键词: 气候变化; 极端气象灾害; 农业经济; 宁夏

中图分类号: F32; P49; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2023)02–0074–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2023.02.011

不同气候因素对不同地区农业生产影响存在明显差异^[1–2], 气候变化影响评估中需要区分不同区域对不同气候因素的响应^[3]。从地区层面科学评估气候平均水平变化与极端天气气候事件的农业影响有助于更深入地了解气候变化影响的区域差异, 为最佳适应气候变化提供依据。

国内外学者围绕中国农业气候变化影响评估主要聚焦于粮食生产视角, 关注农业经济影响的研究相对较少。仅仅考察气候变化对粮食生产的影响容易忽略瓜果蔬菜等非粮作物, 不能够全面地评估气候变化对农业部门的影响。因此, 本文着重总结了气候变化对中国农业经济影响评估的主要发现。在理论分析方面, 丑清明等^[4]较早探讨了气候变化与农业经济的关系, 提出了将光照、温度和降水等气候平均变化要素纳入传统经济学评价方法的建议。在实证研究方面, 刘杰等^[5]发现温度对农业经济的影响效应大于降水, 温度与降水综合影响的区域农业经济产出变化幅度为3.4%~19.5%; 张影^[6]从空间计量经济视角分析气候变化对我国省级农业经济增长影响的季节性和区域性差异, 进一步证实了温度影响显著高于降水, 并且揭示了升温对西北农业经济的不利影响。

降水增加可以部分抵消升温负面影响; 田国萍^[7]使用企业微观数据研究了温度变化对农业加工企业的影响, 将温度变化对农业经济影响的研究拓展到了农业下游加工企业, 结果发现温度变化与我国农业加工企业的产出存在非线性关系, 其中, 日均温度超出 21°C ~ 24°C 这一范围均会导致农业加工企业的产出下降, 并且日均温度 $>30^{\circ}\text{C}$ 对农业加工企业产出的负向影响最大。

与气候平均水平变化不同, 各类极端事件均显著抑制中国农业经济。刘杰等^[8]首先将极端高温、极端低温、极端降水和干旱四类极端事件引入计量经济学模型, 论证了极端天气气候事件对我国地市级农业经济产出的长期均衡与短期波动影响, 其中, 极端降水和干旱是影响农业经济最显著的因子。在地区层面, 郁珍艳等^[9]定量分析了极端天气气候事件对浙江省农业总产值的影响, 发现极端高温、极端低温和强降水日数显著抑制农业经济总产出; 常浩娟等^[10]采用结构向量自回归(SVAR)模型分析极端天气引发的气象灾害对新疆生产建设兵团农业经济的动态效应, 气象灾害对农业经济的负向效应周期长, 表明农业经济对气象灾害的适应能力和自我缓解能力不足。

^{*} 收稿日期: 2022–10–21 修回日期: 2023–02–10

基金项目: 中国气象局气象软科学研究项目(2023ZDIANXM05); 教育部人文社会科学研究项目(20XJC790002); 陕西省政府重点产业创新链(群)项目(2020ZDLSF06–02); 国家自然科学基金国际合作项目(41861144021)

第一作者简介: 罗慧(1971–), 女, 汉族, 甘肃陇南人, 博士, 正研级高级工程师, 主要从事气象灾害风险管理等研究。

E-mail: qxluohui@163.com

通信作者: 王丽(1986–), 女, 汉族, 陕西汉中, 硕士, 工程师, 主要从事气象防灾减灾研究. E-mail: wangli_cma@163.com

中国西北地区是全球最主要的干旱半干旱区之一,既是生态环境脆弱区,又是气候变化响应敏感区。20 世纪末以来,西北地区出现暖湿化趋势,并逐渐增强东扩,与之伴随的极端高温与极端低温事件均逐渐增多,且极端低温较极端高温增高更明显,极端降水强度明显增强,稳定性变差^[11]。宁夏位于西北地区东部,贺兰山特殊气候生态屏障造成宁夏气候变化敏感区和自然灾害脆弱区高度重合,气候条件更加复杂多样,加剧了气候变化对自然灾害的影响,西北暖湿化背景下 2011 年以来年降水总量增多,但降水日数减少,降水强度增强,南北“暖湿”和“暖干”现象同时出现的概率增大^[12]。南北气候差异扩大使得农业经济影响更加复杂,增加了防灾减灾难度。科学评估气候条件对宁夏农业经济的影响机理,有助于当地更好地适应气候变化,保障农业可持续发展。

1 理论分析与模型构建

气候变化和极端气象灾害对农业经济的影响评估隶属于气候学与经济学的交叉学科问题。经济评价的方法是定性和定量分析的统一,核心是综合运用应用经济学、数学以及统计学方法定量评价气候要素与农业经济之间的因果关系。本文基于宁夏农业经济生产实际构建气候要素影响农业经济的关系(图 1)。

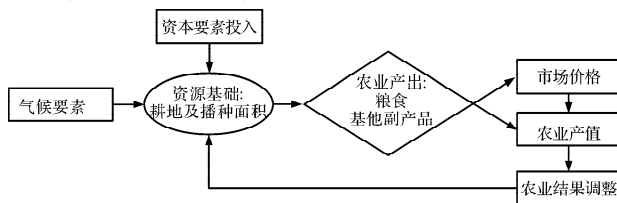


图 1 气候要素影响农业经济产出关系图

参与农业经济生产过程的关键要素可以分为两类。第一类是气候要素,既包括反映气候平均变化的温度和降水量,也包括发生概率小但负面影响大的极端气象灾害;第二类是资本投入要素,包括固定资本和人力资本。在一定资源基础上,农业产出包括粮食和其他农副产品,在赋予市场价格条件下得到农业产值。宁夏农业生产的南北气候条件差异大,中部引黄灌区有黄河灌溉,但供水矛盾突出;北部干旱带和南部山区生态环境脆弱,降水是制约农牧业发展的主要因素。气候变化背景下南北农业种植制度和生产结构势必发生相应调整,以应对气候变化和频发极端气象灾害的不利影响。

基于上述理论分析,气候因素对宁夏农业经济影响的评估模型设定如下:

$$\ln GDP_{it} = \beta_0 + \beta_1 C_{it} + \beta_2 IRR_{it} + \beta_3 C_{it} \times IRR_{it} + \beta_4 \ln X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: GDP_{it} 为个体 i 时间 t 的单位面积农业经济产值; C_{it} 为气候要素,包括年平均温度及其二次项、年降水量及其二次项、极端高温、极端低温、重旱、极端降水四类极端气象灾害; IRR_{it} 为是否属于引黄灌区的虚拟变量,若某一区县属于引黄灌区则赋值为 1,反之则赋值为 0;气候要素和地区虚拟变量的交互项可以表征气候要素对农业经济影响的地区差异; X_{it} 为农业生产过程中的资本、

劳动力、农业机械总动力三类要素投入; μ_i 为不随时间变化的地区异质性,如海拔高度与土壤类型; λ_t 为不随个体变化的时间异质性,如农业经济生产的宏观经济政策。

2 数据描述性分析

2.1 社会经济数据

社会经济数据由宁夏全区内地市级统计局提供。基于投入产出原理,模型因变量为单位面积农业经济产值(万元/hm²)的对数值,自变量为农业资本投入(万元)对数值、农业从业人员(人)对数值、农业机械总动力(万 W)对数值以及是否为引黄灌区的虚拟变量。为消除价格因素对相关变量的影响,本文基于宁夏农村商品零售价格总指数(1990 = 100)对农业经济产的名义值进行价格调整,得到农业经济产出的实际值;基于宁夏农业生产资料价格总指数(1990 = 100)对农业资本投入的名义值进行价格调整,得到农业资本投入的实际值。数据描述性统计分析(表 1)表明,宁夏单位面积农业经济产值(万元/hm²)均值约为 1.19 万元/hm²,63% 的区县属于引黄灌溉区。

表 1 数据描述性统计

变量	均值	标准差	极小值	极大值
农业经济产值/(万元/hm ²)	0.17	1.84	-3.08	10.85
农业资本投入/万元	8.03	1.98	1.88	12.86
农业从业人员/人	11.04	0.87	7.00	12.29
农业机械总动力/万 W	9.42	2.49	2.80	13.30
是否灌溉	0.63	0.48	0.00	1.00
年平均温度/℃	9.03	1.60	5.00	11.80
年降水量/mm	291.98	163.11	56.80	1 019.80
≥35℃ 极端高温/d	3.01	3.94	0.00	17.00
≤-20℃ 极端低温/d	2.31	3.81	0.00	28.00
重旱天数/d	25.38	24.21	0.00	136.00
≥25 mm 极端降雨/d	1.81	1.87	0.00	11.00

2.2 气候要素数据

气候要素数据由宁夏气象局提供,具体包括年平均气温(℃)、年降水量(mm)、极端高温(≥35℃)、极端低温(≤-20℃)、重旱以及极端降雨(≥25 mm)。其中,遵照气象学将日最高温度≥35℃定义为“高温日”的方法,计算得到宁夏各区县逐年高温日数;基于张冰等^[13]采用百分位阈值法计算得到宁夏自北向南的极端降水阈值为 20~32 mm,本文采用 25 mm 大雨量阈值作为极端降水指标,计算得到各区县逐年极端降雨日数;借鉴王璠等^[14]宁夏冬季极端低温事件分析结果,采用 20℃作为全区极端低温阈值,计算得到各区县逐年极端低温日数。

3 结果分析

3.1 平均温度和降水对农业经济的影响

表 2 为本文模型的参数估计结果。表 2 中列(1)为控制基本投入要素条件下平均温度和降水对农业经济的影响,其中,平均温度一次项系数显著为正且二次项系数显著为负,表现为“倒 U”型曲线;降水二次项系数显著为正,表现为“U”型曲

线。分别计算平均温度和降水对农业经济的预测
边际值和边际效应(图 2)，可见升温有利于农业经
济增长，但其边际效应递减，当平均温度超过
11.71℃ 阈值后，温度对农业经济的影响将由“正

向促进”作用变为“负向抑制”作用；降水不足显著
抑制农业经济增长，当年降水量超过 370.80 mm
阈值后，降水对农业经济的影响将由“负向抑制”
作用变为“正向促进”作用。

表 2 参数估计值

	(1)	(2)	(3)	(4)
平均温度	0.459 ***	0.484 *		
平均温度平方	-0.020 **	-0.035 **		
降水	-0.001	0.004 ***		
降水平方	0.000 **	-0.000 ***		
是否灌溉#平均温度		1.858 ***		
是否灌溉#平均温度平方		-0.083 ***		
是否灌溉#降水		-0.004 **		
是否灌溉#降水平方		-0.000		
是否灌溉		-7.795 ***		0.819 ***
极端高温			-0.012 **	-0.080 ***
极端低温			-0.002	-0.014
重旱			-0.002 *	-0.003 **
极端降水			-0.004	-0.009
是否灌溉#极端高温				0.073 ***
是否灌溉#低温				0.030 **
是否灌溉#重旱				-0.031 **
是否灌溉#极端降水				-0.151 ***
资本	0.056 ***	0.089 ***	0.055 ***	0.086 ***
劳动力	-0.247 ***	-0.341 ***	-0.275 ***	-0.408 ***
机械	0.050 **	0.031 ***	0.063 ***	0.034 ***
常数	-1.304	-1.360	1.501 ***	2.196 ***
样本量	528	528	527	527
地区控制	是	否	是	否
年份控制	是	是	是	是

注：* 表示 $p < 0.1$ ，** 表示 $p < 0.05$ ，*** 表示 $p < 0.01$ 。

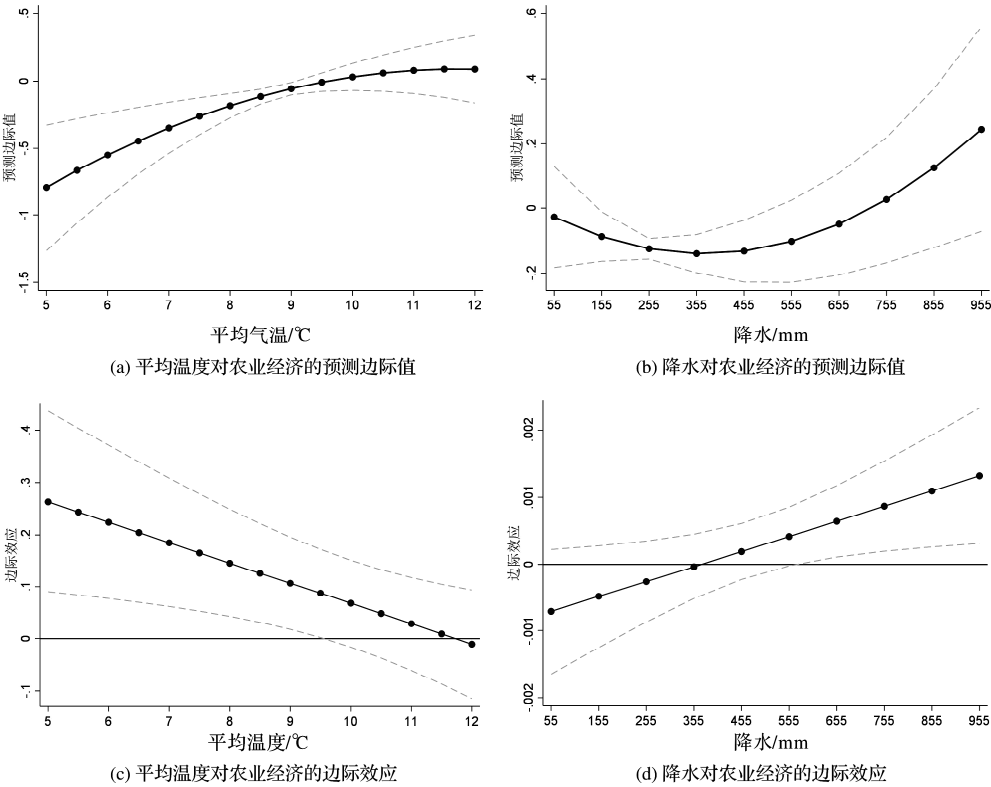


图 2 平均温度和降水对农业经济的预测边际值和边际效应

表 3 平均边际效应估计结果

		平均边际效应	标准差	<i>t</i> 统计量	伴随概率 <i>P</i>
平均温度	非灌溉区	-0.139	0.049	-2.820	0.005
	灌溉区	0.218	0.066	3.330	0.001
降水	非灌溉区	0.002	0.001	3.580	0.000
	灌溉区	-0.003	0.001	-5.800	0.000
极端高温	非灌溉区	-0.080	0.018	-4.520	0.000
	灌溉区	-0.007	0.008	-0.880	0.380
极端低温	非灌溉区	-0.014	0.010	-1.350	0.178
	灌溉区	0.016	0.011	1.420	0.156
重旱	非灌溉区	-0.004	0.002	-2.000	0.046
	灌溉区	-0.034	0.007	-4.740	0.000
极端降水	非灌溉区	-0.009	0.019	-0.510	0.613
	灌溉区	-0.161	0.027	-5.880	0.000

表 2 中列(2)在列(1)基础之上进一步引入是否灌溉这一虚拟变量与平均温度和降水的交互项,部分交互项的估计系数显著异于零,表明平均温度和降水对农业经济的影响存在显著地区差异。因此,分地区计算平均温度和降水的平均边际效应(表 3)表明,非灌溉区温度的平均边际效应为 -0.139,降水的平均边际效应为 0.002;灌溉区温度的平均边际效应为 0.218,降水的平均边际效应为 -0.003。中南部非灌溉区海拔更高,温度更低,不利于农业经济产值增长,但是更多的降水量有利于农业经济产值增长,能够部分抵消温度的负面效应。北部干旱的引黄灌区地处平原,温度更高,显著促进了农业经济产值增长,但是自然降水不足显著降低了农业经济产出水平。整体来看,温度对农业经济的影响大于降水,北部引黄灌区对平均温度和降水的变化更加敏感。

3.2 极端气象灾害对农业经济的影响

表 2 中列(3)为控制基本投入要素条件下四类极端气象灾害对农业经济的影响。结果表明,极端气象灾害显著负面抑制农业经济产值,其中,极端高温和重旱的估计参数具有统计学显著性。极端高温天数每增加 1 d,农业经济产值平均减少 1.22%;重旱天数每增加 1 d,农业经济产值平均减少 0.18%。表 2 中列(4)为进一步引入是否灌溉这一虚拟变量与四类极端气象灾害的交互项,四个交互项的估计系数均显著异于零,表明极端气象灾害对宁夏农业经济的影响存在显著地区差异。同理,分地区计算四类极端气象灾害的平均边际效应(表 3)表明,非灌溉区极端高温和重旱的平均边际效应显著为负,分别为 -0.080 和 -0.004;灌溉区重旱和极端降水的平均边际效应显著为负,分别为 -0.034 和 -0.161。中南部非灌溉区温度更低,无灌溉条件,极端高温和重度干旱显著抑制农业经济产值提高,北部引黄灌溉区降水量少,有灌溉条件,重度干旱和极端降水显著抑制农业经济产值提高。整体来看,中南部地区农业生产需防“高温干旱”复合型极端气象灾害影响,北部地区需防“旱涝急转”型极端气象灾害影响。

4 结论与讨论

本文综合气候学与经济学交叉学科理论,定量评估了气候变化与极端气象灾害对宁夏农业经济的影响。结果表明,年平均温度和降水量均非线性影响农业经济,超过 11.71 °C 阈值后平均温度对农业经济的影响将由正向促进转为负向抑制,超过 370.80 mm 阈值后降水对农业经济的影响将由负向抑制转为正向促进;温度对农业经济的影

响大于降水,北部引黄灌区对平均温度和降水的变化更加敏感;极端高温和重旱显著负面影响农业经济,极端高温的影响大于重旱;极端气象灾害已经形成复杂灾害组合影响,中南部非灌溉区面临“高温干旱”复合型灾害影响,北部引黄灌溉区面临“旱涝急转”型灾害影响。

基于上述结论可知,西北气候“暖湿化”趋势对宁夏农业经济造成十分复杂的影响。一方面,适度升温有利于农业经济增长,但持续的升温会反向抑制农业经济发展;极端高温发生频率与强度的增加,特别是伴随干旱的复合型极端气候风险直接威胁宁夏农业经济发展。另一方面,气温升高带来降水量增加,在一定程度上有利于农业经济增长,可以部分抵消高温和干旱的负面影响。在此背景下,农业生产者与部门决策者要抓住有利气候条件,规避不利气象灾害影响,具体建议为:及时制作或更新区县层面的农业生产气候适宜条件的空间区划;宁夏南部“暖湿”地区考虑扩大喜温作物种植面积,推广多熟制作物,重点防范“高温干旱”复合型极端气象灾害;宁夏北部“暖干”地区依托“引黄灌溉”基础设施,采纳先进节水灌溉技术和耐旱作物品种,注重农田排涝基础设施建设,防范“旱涝急转”型极端气象灾害。本文所得结论与政策建议对西北其他地区农业经济发展具有启示意义。

参考文献:

- [1] PÖRTNER H O. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Working Group II contribution to the Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge University Press. In Press, 2022.
- [2] 段居琦,袁佳双,徐新武,等.对 IPCC AR6 报告中有关农业系统结论的解读[J].气候变化研究进展,2022,18(4): 422-432.
- [3] 丑洁明,董文杰,徐洪,等.气候变化影响中国粮食安全研究的新思路[J].气候与环境研究,2022,27(1): 206-216.
- [4] 丑洁明,封国林,董文杰,等.气候变化影响下我国农业经济评价问题探讨[J].气候与环境研究,2004,9(2): 361-368.
- [5] 刘杰,许小峰,罗慧.气象条件影响我国农业经济产出的计量经济分析[J].气象,2010,36(10): 46-51.
- [6] 张影.气候变化对我国农业经济增长影响的空间计量分析[D].上海:华东师范大学,2016.
- [7] 田国萍.温度变化对我国农业经济的影响研究:基于农业生产和加工的视角[D].成都:西南财经大学,2021.
- [8] 刘杰,许小峰,罗慧.极端天气气候事件影响我国农业经济产出的实证研究[J].中国科学:地球科学,2012,42(7): 1076-1082.
- [9] 郁珍艳,李正泉,高大伟,等.定量评估极端天气影响农业总产出的方法[J].气候变化研究进展,2016,12(2): 147-153.
- [10] 常浩娟,刘卫国.气候变化背景下气象灾害影响新疆生产建

- 设兵团农业经济的动态效应分析[J]. 生态经济, 2019, 35 (5): 125–129.
- [11] 朱枫. 西北地区气候暖湿化背景下水汽、潜在蒸散及极端温度和降水的变化特征[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [12] 王素艳, 李欣, 王璠, 等. 宁夏降水资源格局演变特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(3): 733–746.
- [13] 张冰, 刘宣飞, 郑广芬, 等. 宁夏夏季极端降水日数的变化规律及其成因[J]. 大气科学学报, 2018, 41(2): 176–185.
- [14] 王璠, 李清泉, 孙银川, 等. 宁夏冬季极端低温事件特征及其与秋季北极海冰异常的联系[J]. 高原气象, 2021, 40(4): 887–897.

Impact Assessment of Climate Change and Extreme Meteorological Disasters on Agricultural Economic Output in Ningxia

LUO Hui^{1,2,3}, LIU Jie⁴, WANG Li⁵, TANG Zhiyi⁶

(1. Ningxia Meteorological Bureau, Yinchuan 750002, China; 2. Qinling Mountains Field Experiment Station for Aerosol and Cloud Microphysics, China Meteorological Administration, Xi'an 710015, China;
3. Key Laboratory of Characteristic Agrometeorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China;
4. International Business School, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;
5. Xi'an Meteorological Bureau of Shaanxi, Xi'an 710016, China;
6. School of Future Technology, Xi'an Jiao tong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: By combining the interdisciplinary theory of climatology and economics, This paper quantitatively assesses the impacts of climate change levels and extreme events on the agricultural economy of Ningxia, respectively. The results show that both annual average temperature and precipitation have non-linear effects on agricultural economy, and the effect of temperature on agricultural economy is greater than that of precipitation, and the northern irrigated area is more sensitive to changes in average temperature and precipitation; extreme high temperature $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ and severe drought have significant negative effects on agricultural economy; The non-irrigated area in the south-central region faces compound disaster effects of high temperature and drought, and the irrigated areas in the north face type disaster impacts of drought and flood. In the context of a possible further divergence between “warm-wet” and “warm-dry” between northern and southern Ningxia, agricultural producers and policy makers should seize favorable climatic conditions, avoid the impact of adverse climatic hazards and promote sustainable development of the regional agricultural economy.

Keywords: climate change; extreme meteorological disaster events; agricultural economy values; Ningxia

(上接第 52 页)

Glacial Debris Flow Susceptibility Assessment in Palongzangbu Basin

LIU Fusheng¹, XI Chuanjie², HU Xiewen², ZHOU Yonghao², HE Kun²,
SHENG Hao¹, XU Yulong¹, LIU Bo²

(1. Faculty of Geosciences and Environment Engineering, Wuhan 430063, China;
2. School of Earth Science and Environmental Engineering Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Palongzangbo watershed is located in the topographic abrupt change zone southeast of Tibet, with high altitude, high ground stress, high intensity, and high ground temperature. Marine glaciers are distributed and glacier debris flows occur frequently in this watershed. Reasonable glacier debris flows susceptibility mapping has important significance to engineering construction. Considering the application limitation of current popular machine learning methods, This paper adopt the coupling method of factor analysis and weight of evidence model to establish the susceptibility assessment model. The Palongzangpo basin is divided into 169 sub-basins in the study, in which the development of debris flows occurred in sub-basins are determined by remote sensing interpretation and field investigation, and 14 factors associated with glacial debris flow are selected for analysis. The results show that the areas of Guxiang to Tongmai in Palongzangpo mainstream, Boduizangbo upper stream, and Rangdaqu sub-basin has very high susceptibility, including 104 sub-basins with a total watershed area of $2\,308.4\text{ km}^2$, accounting for 24% of all sub-basins.

Keywords: Palongzangbu Basin; glacial debris flow; factor analysis; susceptibility assessment