

气象干旱对甘肃省榆中县乡村社会—生态系统的影响

石育中^{1,2}, 杨新军², 赵雪雁¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

摘要: 干旱影响研究是干旱及半干旱地区人地关系研究的重要内容, 社会—生态系统的视角为西北地区生态脆弱—贫困区的可持续性研究提供了新的思路。选取甘肃省榆中县为研究区, 运用标准化降水指数、干旱经济损失估算模型和GIS分析工具, 分析干旱对粮食产量、经济发展和农户家庭的影响, 归纳干旱对乡村社会—生态系统的影响机制。研究结果表明: (1) 1960-2015年, 榆中县气象干旱程度较强, 且与粮食产量呈显著正相关, 尤其对榆中县南、北部山区的粮食产量影响显著; (2) 气象干旱造成的经济损失具有频率高和空间分布广的特征, 经济损失严重区集中在榆中县南、北部山区; (3) 农户家庭受灾面积较大, 农作物减产和家庭收入损失明显, 气象干旱造成的粮食安全问题严重, 且“纯农型”家庭收入损失和粮食安全问题尤为突出; (4) 水资源利用环、产量环、收入环—生计环和经济环为干旱影响社会—生态系统运行机制的关键环节。

关键词: 干旱; 标准化降水指数; 干旱经济损失估算模型; 因果循环; 乡村社会—生态系统

干旱是最为常见且较为复杂的自然灾害, 也是自然灾害造成经济损失最高的灾害类型, 对人类的影响远超其他自然灾害^[1]。随着全球变化的推进, 干旱发生频率与影响面积迅速增加^[2], 造成粮食减产、经济损失与农民收入降低^[1,3-4], 严重威胁地方粮食安全、经济发展及农民脱贫, 阻碍地方的可持续发展。

干旱产生的负面影响在全球变化、可持续性科学、地理学等领域引起广泛关注。国内外学者主要聚焦于干旱对粮食安全、经济损失和农户生计的单维影响研究。具体而言, 干旱对粮食安全的影响研究主要采用降水数据、干旱指数与不同农作物产量进行数理分析, 识别干旱与农作物产量的相关关系^[5-12]。干旱对经济的影响研究集中在经济损失的测算^[13-18]。然而干旱对农户生计的影响研究则是通过农户访谈与问卷调查, 查究干旱对农户生计系统的影响^[19-22]。随着干旱影响研究的不断深入, 面向干旱综合影响的研究开始受到关注。Freire-González等^[23]认为评估干旱影响的实证研究缺乏系统和全面考虑; Shahbazbegan等^[24]进一步阐释干旱的影响具有复杂性, 并以系统的视角分析干旱对社会—环境—经济要素的直接影响和间接影响。干旱综合影响研究有助于辨识受干旱影响的普遍变量, 厘清干旱影响社会、环境和经济要素的内在机制^[24], 而国内对干旱的综合影响研究关注不足。社会—生态系统理论具备多尺度和多要素特征^[25], 为解释干旱影响的

收稿日期: 2019-02-25; 修订日期: 2019-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571163)

作者简介: 石育中 (1988-), 男, 甘肃礼县人, 博士, 讲师, 研究方向为社会—生态系统脆弱性与区域可持续发展。

E-mail: syz19880919@126.com

通讯作者: 杨新军 (1972-), 男, 陕西扶风人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为旅游地理学与人地关系的社会—生态整合研究。E-mail: yangxj@nwu.edu.cn

复杂性提供了新的研究视角。

社会—生态系统理论源自生态学与复杂性理论^[26],是由社会系统、经济系统和生态系统三个子系统组成的复杂系统,它的复杂性体现在系统内部要素与外部干扰因素的多样性^[27-28]。干旱作为外部干扰因素,它将受其扰动影响的生态系统和社会经济系统紧密耦合在一起,构成一个社会—生态系统^[29]。干旱作为我国西北半干旱地区最主要的扰动因素,是当地乡村农业发展的主要限制因素^[29-30]。因此,本文选择西北半干旱区的榆中县作为研究区,选择粮食产量、经济损失和农户生计三个要素构建社会—生态系统,以系统的视角解构干旱对半干旱地区的影响及影响机制,为生态脆弱—贫困区经济发展政策的制定、减灾防灾与减贫脱贫提供理论借鉴。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区域

榆中县地处黄土高原西部,隶属于甘肃省兰州市,地势南高北低,中部凹,呈马鞍形,可分为北部干旱山区、南部高寒二阴山区和中部川塬河谷区,全县现辖8镇15乡(图1)。榆中县地处典型的温带半干旱大陆性季风气候区^[31]。1960-2015年,年平均气温 6.9°C ,年平均降水量 386 mm ^[32](图2)。榆中县近年来一直处于干旱高发区^[30],高频率的干旱事件导致生态环境恶化和农民贫困问题严重,致使当地人地系统脆弱性加剧。此外,榆中县地势复杂,北部与南部为山区,中部为河谷盆地,因而形成了北山、河川和南山三个农业区。由于地势不同,三个农业区降水分布差异明显,以至于干旱对其影响程度存在差异。选择榆中县作为研究区,对揭示干旱综合影响的时间变化规律与空间异质性,促进乡村人地系统可持续发展方面具有典型意义。

1.2 数据来源

本文数据包含气象数据、统计数据和问卷调查数据共三部分。其中,通过中国气象

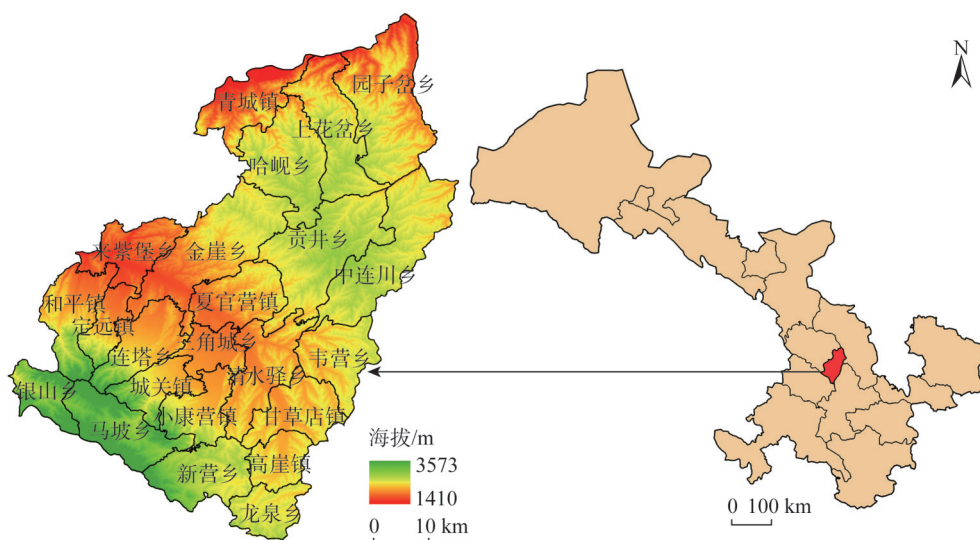


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

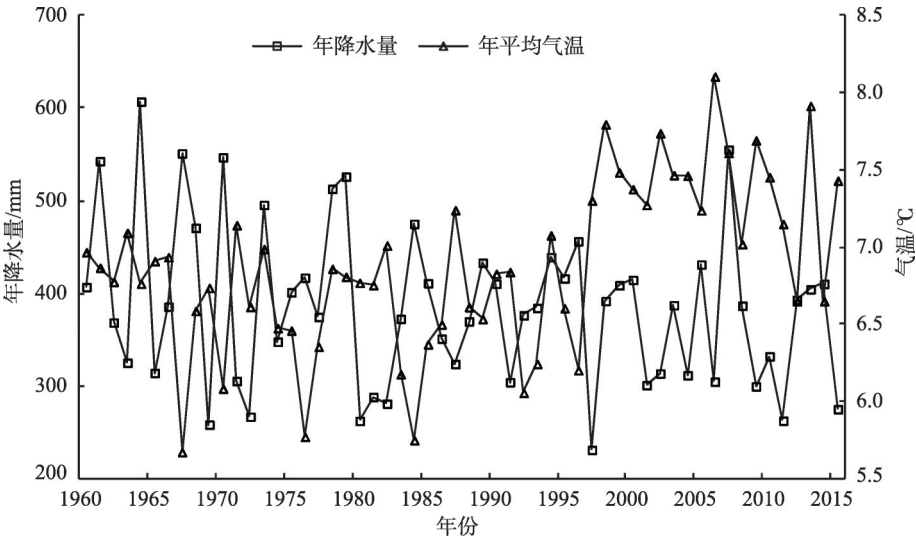


图2 研究区气候指标^[32]
Fig. 2 Meteorological condition of the study area

科学数据共享服务网，获取榆中县1960-2015年间的日降水量和日气温数据。通过实地调研，分别于2016年7月和2017年6月获取《榆中县农业统计年报（2002-2015年）》（包含粮食产量、干旱受灾面积和干旱成灾面积等指标）和农户调查数据。农户调查采用系统抽样法，覆盖榆中县3个农业区、22个乡镇、85个行政村，共获取有效问卷1022份。调研内容包含农户家庭基本情况、农户生计资本、干旱影响（经济损失和感知）及适应策略等。

1.3 研究方法

1.3.1 标准化降水指数

标准化降水指数（Standardized Precipitation Index, SPI）被用于干旱监测与分析，是国内外应用范围最广泛的干旱指标之一，计算原理及其计算公式参考相关文献^[33-35]。干旱等级识别标准如表1所示。

表1 SPI干旱等级划分标准^[36]

Table 1 Level standard of drought by SPI

SPI值	等级	概率/%	SPI值	等级	概率/%
≥2.0	极端湿润	2.3	-0.99~0	轻微干旱	34.1
1.5~1.99	严重湿润	4.4	-1.49~-1.00	中等干旱	9.2
1.0~1.49	中度湿润	9.2	-1.99~-1.50	严重干旱	4.4
0~0.99	轻微湿润	34.1	≤-2.0	极端干旱	2.3

1.3.2 干旱经济损失估算模型

干旱经济损失估算模型是用以评价经济损失的测度方法，本文采用2002-2015年统计数据，运用改进后的干旱经济损失估算模型进行测算，计算公式如下^[17,37]：

$$D=C\times[a_1\times(y_1-y_2)+a_2y_2]\times 10 \tag{1}$$

式中： D 为干旱经济损失（亿元）； C 为种植业的单位面积产值（亿元/ 10^3 hm^2 ）； y_1 为干

旱的受灾面积 (万 hm^2); y_2 为干旱的成灾面积 (万 hm^2); a_1 、 a_2 为受灾面积的净减产面积系数, $a_1=0.1$ 、 $a_2=0.5$ 。

2 结果分析

2.1 SPI时序演变特征

运用标准化降水指数模型, 计算不同时间尺度的 SPI 值, 即 1 月 (SPI1)、3 月 (SPI3)、6 月 (SPI6)、12 月 (SPI12) 和 24 月 (SPI24)。如图 3 所示, 1960-2015 年, 研究区干旱事件出现频率较高, 且 SPI 时间尺度越大, 干旱等级与干旱程度越高。具体而言, SPI1 值、SPI3 值、SPI6 值均在 $(-1.3, 1.4)$ 区间, 表明 1 月、3 月和 6 月时间尺度下, 榆中县干旱特征明显, 且基本处于轻微干旱和中等干旱两种气候状态; 而 SPI12 值和 SPI24 值均在 $(-2.3, 2)$ 区间, 表明 12 月和 24 月时间尺度下, 榆中县干旱特征突出, 且存在轻微干旱、中等干旱、严重干旱和极端干旱事件 4 种气候状态。

2.2 干旱与粮食产量相关性分析

为了揭示榆中县干旱与粮食产量的关系, 选择 2002-2015 年不同时间尺度下的标准化降水指数与粮食产量进行相关性分析。如表 2 所示, 1 月、3 月、6 月、12 月和 24 月的标准化降水指数与粮食产量均呈正相关性, 相关系数分别为 0.611、0.578、0.596、0.699 和 0.584, Sig. 分别为 0.020、0.030、0.025、0.005 和 0.028, 均通过显著性检验, 由此说明标准化降水指数越大, 气候越趋于湿润, 粮食产量越大; 反之, 标准化降水指数越小, 气候越趋于干旱, 粮食产量越小。

如图 4 所示, 将 2002-2015 年间的不同时间尺度的 SPI 与榆中县各乡镇粮食产量进行相关性分析。结果表明: 不同时间尺度的 SPI 与绝大多数乡镇的粮食产量呈正相关。其中, SPI12 与 19 个乡镇的粮食产量呈正相关, 说明 19 个乡镇的粮食产量受干旱影响, 受干旱影响的乡镇数量占榆中县所辖乡镇总数的 83%, 且主要集中在北部山区和南部山区。此外, 青城、夏官营镇、来紫堡乡和三角城乡的粮食产量与 SPI1、SPI3、SPI6、SPI12、SPI24 不显著相关, 原因在于四个乡镇都位于河川区, 地下水资源较为充裕且灌溉设施便利, 易于缓解干旱带来的不良影响, 因而对于干旱有较强的适应能力。

2.3 干旱对社会—生态系统的直接影响

2.3.1 经济损失时空分析

如图 5 所示, 2002-2015 年, 经济损失整体呈现增长趋势, 2006 年干旱导致的经济损失占种植业生产总值的 52%, 达到了 2002-2015 年干旱经济损失的极值, 为 2002-2015 年干旱直接造成榆中县经济损失最为严重的一年。2007-2010 年及 2012 年, 榆中县未发生干旱事件, 故而未造成经济损失; 2011 年经济损失达 2.344 亿元, 为 2002-2015 年经济损失值最高的年份, 由于榆中县产业结构变化, 农业产值所占比例降低, 导致 2011 年虽为经济损失最高的一年, 但占种植业生产种植的比例略低。2013-2015 年经济损失呈现降低趋势。

采用干旱经济损失估算模型计算榆中县各乡镇的 2002 年和 2015 年的经济损失值, 运用自然断点法, 将 23 个乡镇干旱经济损失整体分为 5 类 (图 6)。分析结果表明: 2002 年干旱造成经济损失严重的区域主要出现在北部山区、南部山区和中部河川区, 金崖镇和

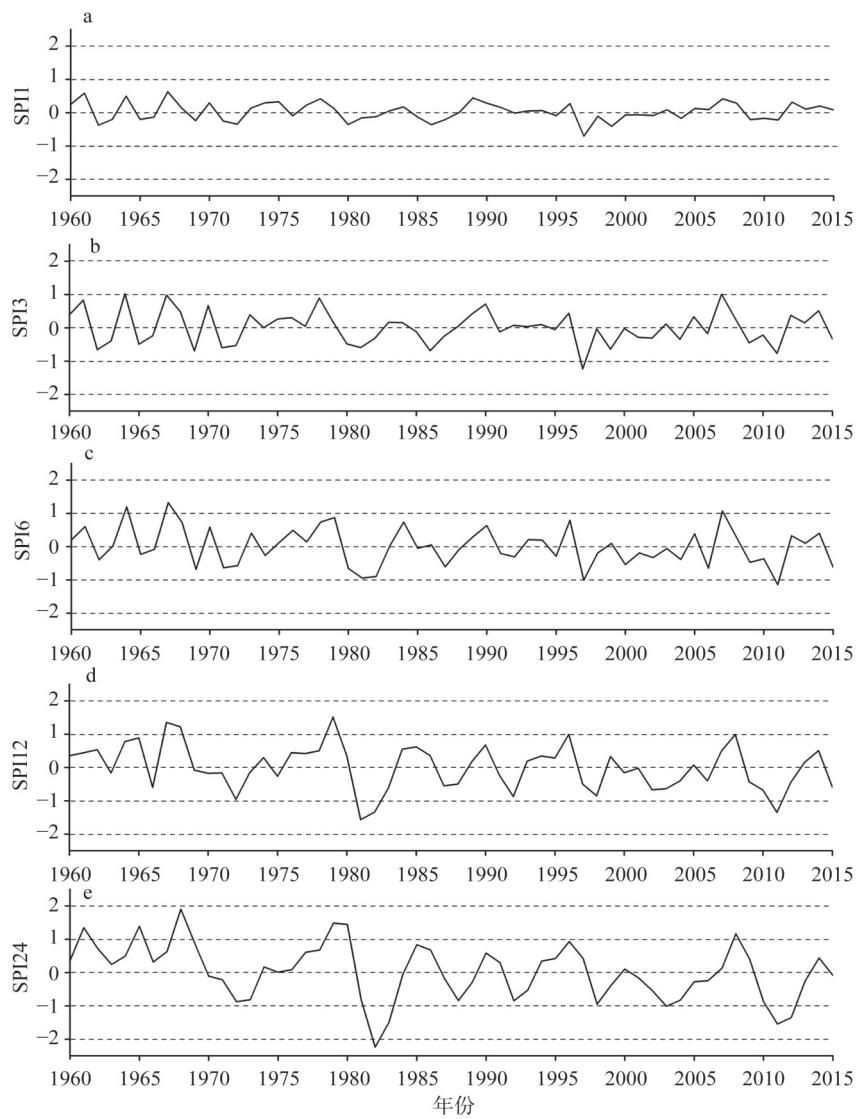


图3 1960-2015年不同时间尺度SPI时序变化^[32]
Fig. 3 Temporal changes of SPI in time scales from 1960 to 2015

表2 SPI与粮食产量相关系数^[32]

	SPI1		SPI3		SPI6		SPI12		SPI24	
	系数	Sig.	系数	Sig.	系数	Sig.	系数	Sig.	系数	Sig.
粮食产量	0.611	0.020	0.578	0.030	0.596	0.025	0.699	0.005	0.584	0.028

中连川乡经济损失最高,马坡乡、三角城乡次之,和平镇、定远镇、小康营镇和甘草店镇经济损失程度一般。2015年,干旱造成经济损失严重的区域主要出现在北部山区和南部山区,来紫堡乡经济损失最高,马坡乡次之,夏官营镇、小康营镇、甘草店镇、清水驿乡、新营乡和龙泉乡经济损失程度一般。研究发现,经济损失严重的区域主要集中在

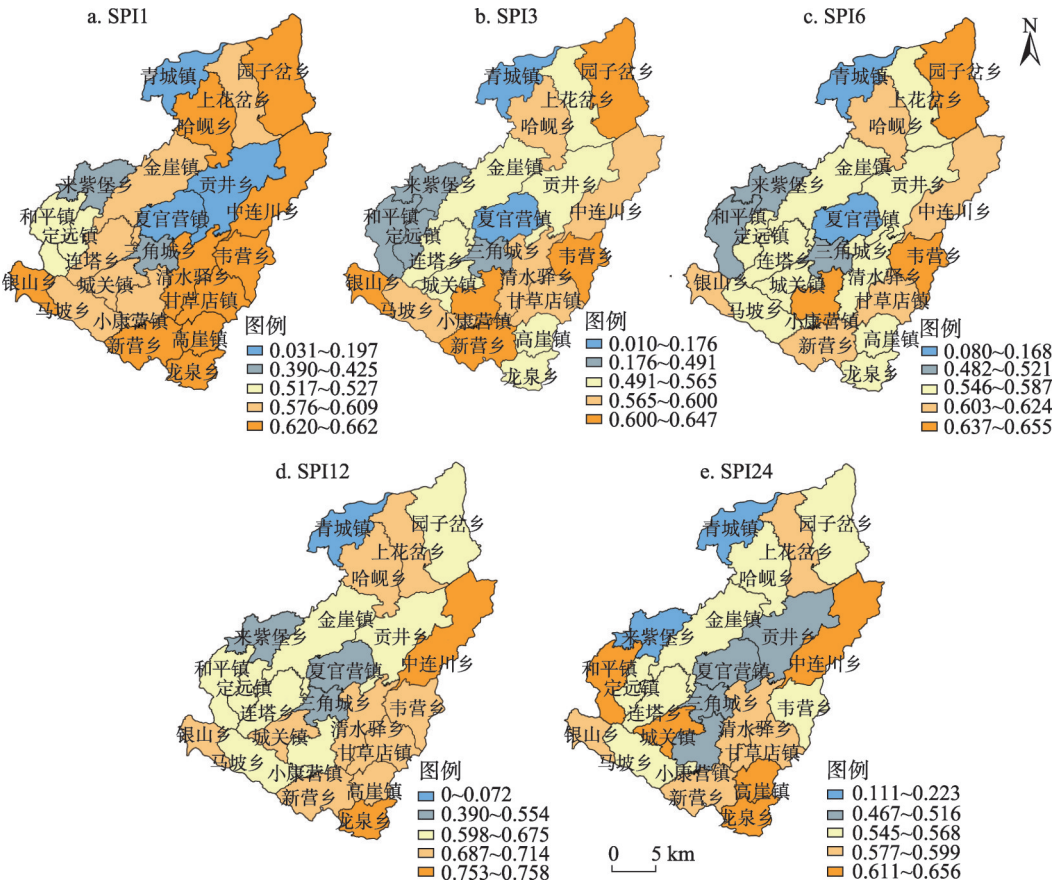


图4 标准化降水指数与乡镇粮食产量相关系数空间格局

Fig. 4 Spatial patterns of correlation coefficients between Standardized Precipitation Index and grain yield of towns

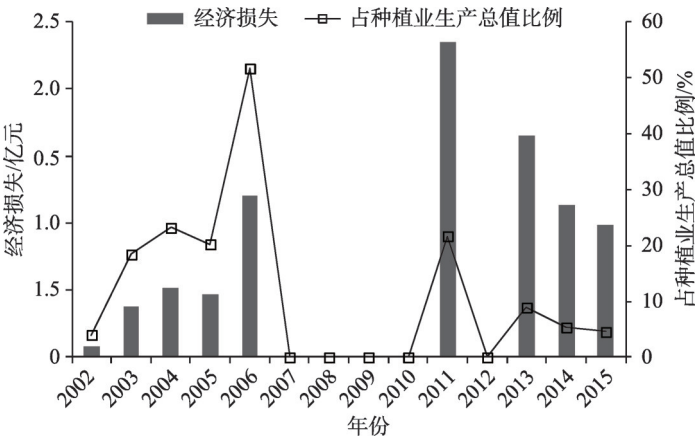


图5 2002-2015年榆中县干旱经济损失变化^[32]

Fig. 5 Change of drought economic loss in Yuzhong county in 2002-2015

北部山区和南部山区，而中部河川区也出现经济损失的乡镇（如三角城乡），河川区地下水资源丰富，水利设施便捷，然而出现经济损失的主要原因与种植作物有关。河川区主

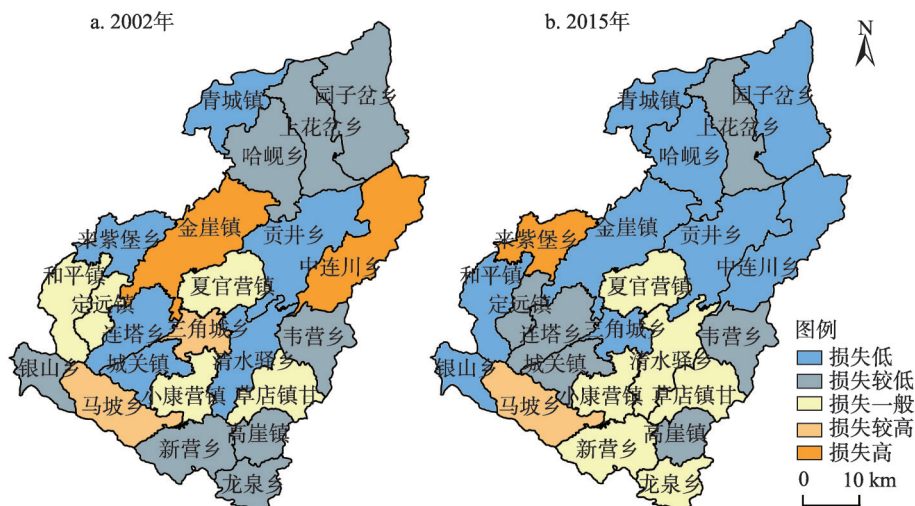
图6 2002年、2015年榆中县干旱经济损失空间演变^[32]

Fig. 6 Spatial change of drought economic loss in towns of Yuzhong county in 2002 and 2015

要以种植蔬菜等经济作物为主, 对干旱的敏感程度比传统的粮食作物高, 距离河川地下水资源较远的种植区域则会遭受更多的经济损失。

2.3.2 干旱对农户家庭的影响

(1) 农户类型划分

运用两步聚类分析方法对农户进行分类, 有利于更加科学地确定受干旱影响的农户类型和聚类特征, 使得农户类型划分具有统计学意义。农户类型划分前, 需要对农户调查数据进行信度和效度分析, 运用 SPSS 22 统计软件计算得出, 克隆巴赫信度系数为 0.821, 说明农户调查数据符合模型有效性与一致性的要求; 其次, 选择受灾面积、经济损失和粮食安全三个指标进行聚类分析。两步聚类分析方法最佳聚类个数由 BIC 值、BIC 更改量、BIC 更改率和最小距离变化率综合决定^[38]。聚类数为 5 时, 分类结果良好, 因而将农户划分为 5 种类型 (表 3)。

如表 4 所示, 根据聚类分析结果, 农户家庭被划分为 1~5 类 5 种类型。第 1 类农户家庭主要具备综合的生计方式, 集务农、务工、非农活动等多种生计活动为一体, 记为“综合型”; 第 2 类农户家庭主要从事农业种植兼短期的非农活动, 记为“兼农型”; 第 3 类农户家庭仅从事粮食和经济作物种植, 记为“纯农型”; 第 4 类农户家庭主要从事非农活动, 部分家庭成员参与小规模的农业活动, 记为“非农型”; 第 5 类农户家庭收入以外出务工为主, 其他家庭成员从事农业种植活动, 记为“务工型”。依据 5 种农户类型样本量, “纯农型”和“兼农型”家庭居多, 均超过总样本量的 20%, 而“纯农型”家庭样本量最多, 达到 262 户, 占总样本量的 25%, “兼农型”“务工型”“综合型”和“非农型”样本量依次次之。

(2) 干旱对农户家庭影响分析

如表 5 所示, 农户家庭受灾面积和经济损失较大, 且 5 种类型农户差异明显。整体而

表3 两步聚类分析指标

Table 3 Indicators of two-step cluster analysis

聚类数	施瓦兹贝叶斯准则 (BIC)	BIC 更改量	BIC 更改率	最小距离变化率
1	8696.169			
2	7780.617	-915.551	1.000	1.389
3	7152.637	-627.980	0.686	1.014
4	6534.977	-617.660	0.675	1.199
5	6038.183	-496.794	0.543	1.540
6	5754.417	-283.765	0.310	1.197
7	5535.556	-218.861	0.239	1.327
8	5397.924	-137.633	0.150	1.035
9	5268.643	-129.281	0.141	1.388
10	5206.383	-62.260	0.068	1.001
11	5144.219	-62.164	0.068	1.012
12	5084.182	-60.036	0.066	1.109
13	5040.904	-43.278	0.047	1.094
14	5010.874	-30.031	0.033	1.040
15	4986.252	-24.622	0.027	1.157

表4 两步聚类分析结果

Table 4 Result of two-step cluster analysis

聚类数	样本量/个	占样本量百分比/%	聚类特征
综合型	175	17	从事务农、务工、非农活动等多种生计活动
兼农型	213	21	主要从事农业种植，兼职短期的非农活动
纯农型	262	25	以粮食与经济作物种植作为主要经济来源
非农型	161	16	以非农活动为主，参与小规模农业活动
务工型	197	19	家庭收入以务工为主，也从事农业活动

注：排除个案 14 例，占样本量的 1%，样本量总计 1022 个。

表5 农户家庭受灾面积和经济损失

Table 5 Affected area and economic loss of rural household by drought

聚类数	受灾面积		经济损失	
	平均值/亩	标准偏差	平均值/元	标准偏差
综合型	4.474	6.657	4625.143	7082.685
兼农型	2.779	3.991	6567.606	8816.383
纯农型	5.340	5.663	8672.332	9844.934
非农型	4.217	6.237	7006.211	8350.514
务工型	2.878	5.584	6159.899	7455.360
混合	3.976	5.712	6750.651	8581.452

言，农户家庭受干旱影响面积3.976亩，农户干旱经济损失约6751元。5种类型农户中，“纯农型”家庭受干旱影响面积和干旱经济损失最大，是干旱影响最大的农户类型。“兼农型”和“务工型”家庭受干旱影响面积小但经济损失较高，而“综合型”和“非农

型”家庭受干旱影响面积大但经济损失较小，产生这种现象的原因在于农作物种类的选择。“兼农型”和“务工型”家庭主要经济作物（蔬菜），农业投入较大，虽然受干旱影响的面积小，但是经济损失较大；而“综合型”和“非农型”家庭主要种植粮食作物（玉米、土豆等），主要是自给自足，因而农业投入较小，故而受干旱影响面积较大但造成的经济损失较小。

此外，干旱造成的农作物减产，导致农户粮食安全问题严重（表6）。“兼农型”“纯农型”“非农型”和“务工型”家庭均出现粮食不够吃的问题，且出现粮食危机的家庭比例较高。“纯农型”家庭粮食安全问题最为突出，粮食不够吃的家庭占总调查家庭数的37%，主要因为“纯农型”家庭选择种植经济回报率较高的经济作物（蔬菜）和粮食作物（玉米、土豆），当干旱发生后，种植作物大幅度减产，粮食作物不够吃，需要从市场购买才能维持正常的粮食所需。“非农型”和“务工型”家庭粮食不足的情况也较为明显，由于家庭劳动力有限，导致农业生产人力投入不足，再加上干旱成灾，导致粮食产量无法维持家庭整年的日常所需。“兼农型”家庭同时兼顾务农与务工，农业投入高于“非农型”和“务工型”家庭，因而粮食短缺程度略轻。

2.4 干旱对社会—生态系统影响机制

通过平衡环（B）和增强环（R）刻画干旱对水资源、产量、收入和经济的影响机制。一方面，由于干旱对水资源具有负面反馈功能，而水资源在利用过程中对干旱造成的水资源短缺具有平衡作用，因而将水资源利用环视为平衡环（B）；另一方面，干旱对产量、收入和经济产生直接或间接的负面影响，而产量、收入和经济可通过增强措施得到减轻与缓解，因而将产量环、收入环和经济环视为增强环（R）。

如图7所示，干旱导致降水量减少，进一步引起水资源总量降低，直接影响到水资源的利用。伴随着农业生产的用水需求，外加水资源供应不足，使得水资源短缺情况加重，影响农作物生长，造成农户家庭种植作物的产量和榆中县农业总产量减少，进而影响到农户家庭收入与农业收入。就农户家庭而言，经济作物型家庭主要以经济作物种植为主，多位于中部河川区，农户家庭生计方式多样且收入较高，因而家庭人口稳定，然而对于粮食作物的种植投入不足，导致家庭粮食短缺，需要从市场购买，由此形成生计环1。干旱的影响对种植不同农作物的农户家庭略有差别。粮食作物型家庭单靠出售粮食作为主要生计来源，生计方式单一，常年干旱导致此类家庭处于贫困状态，为了缓解因旱灾致贫的现状，只能通过外出务工来增加家庭收入，故而形成粮食作物型家庭收入的生计环2，并主要集中在榆中县北部山区和南部山区。基于干旱对粮食作物与经济作物收入的影响，导致农业增加值和经济增加值受到损失，对榆中县的经济安全产生一定

表6 干旱对农户粮食安全的影响

Table 6 Influence of drought on food security of rural households				
聚类数	粮食够吃		粮食不够吃	
	频率	百分比/%	频率	百分比/%
综合型	175	55	0	0
兼农型	84	27	129	19
纯农型	6	2	252	37
非农型	4	1	161	23
务工型	48	15	149	21
混合	317	100	691	100

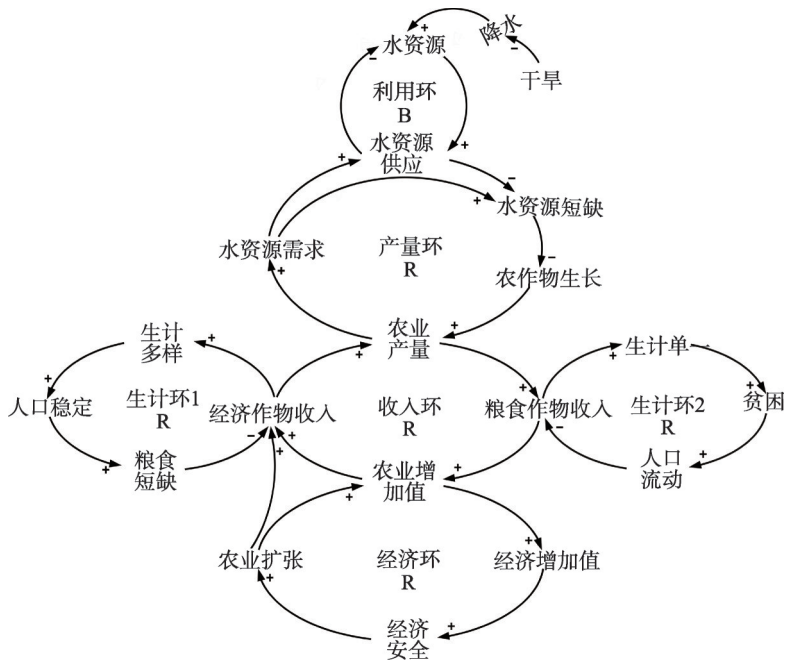


图7 干旱影响榆中县社会—生态系统的因果循环图

Fig. 7 Causal loop of drought effect on social-ecological system of Yuzhong county

的威胁与阻碍，进一步影响农业规模的扩张。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 1960-2015年，榆中县气象干旱程度较强，干旱频率较高，标准化降水指数与粮食产量呈正相关，对北部山区和南部山区乡镇的粮食产量影响显著。

(2) 气象干旱造成的经济损失频率较高，且呈现“高一低—高”的变化趋势，且经济损失严重区域主要集中在北部山区和南部山区。

(3) 农户家庭受灾面积较大，农作物减产和家庭收入降低明显，气象干旱造成的粮食安全问题严重，且“纯农型”家庭收入损失和粮食安全问题尤为突出。

(4) 气象干旱影响水资源利用、农作物产量、农户家庭收入、农业收入和经济产值，形成由水资源利用环、产量环、收入环—生计环和经济环构成的因果循环机制，而水资源利用环、产量环、收入环—生计环和经济环为干旱影响榆中县乡村社会—生态系统的4个关键环节。

3.2 讨论

脆弱性现为人地耦合系统的研究热点^[4,39-41]。已在诸多领域开展实证研究。随着脆弱性相关研究的不断推进，脆弱性的理论内涵得到进一步延伸与扩展。系统的敏感性与外部暴露因素对内部要素的影响有关（图8）。系统的致脆过程实际上是暴露因素对系统内部要素的影响过程^[42]。因此，深入分析暴露因素与系统内部要素之间的关系，有助于刻画系统脆弱性的形成过程与形成机制，反之，脆弱性分析框架为干旱对乡村社会

一生态系统的影响提供新的研究思路。

在宏观层面, 干旱对经济影响的估算受到广泛关注, 越来越多的分析方法诸如均衡模型 (partial equilibrium model)^[14]、投入—产出模型 (input-output model)^[15,43]等方法被运用于宏观空间尺度的研究中。而在微观层面, 农户对干旱适应能力的评价^[44]、适应行为^[45-46]和适应策略的选择^[47-48], 成为可持续发展领域关注的热点问题。因此, 脆弱性—适应分析框架为理解干旱对社会—生态系统的影响, 以及如何进行可持续发展提供了新的思路。

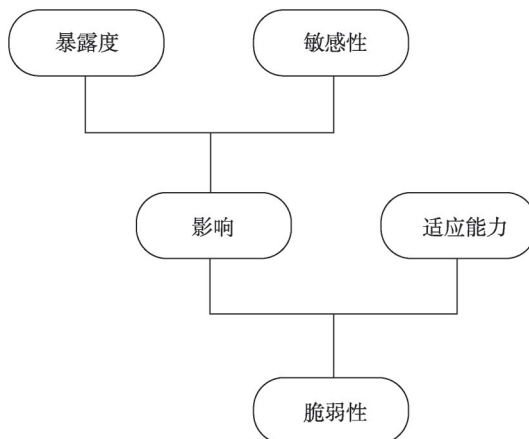


图8 脆弱性内部维度关系^[5]

Fig. 8 Relationship among internal dimensions of vulnerability

参考文献(References):

- [1] WU J, HE B, LYU A, et al. Quantitative assessment and spatial characteristics analysis of agricultural drought vulnerability in China. *Natural Hazards*, 2011, 56(3): 785-801.
- [2] IPCC. Climate Change: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
- [3] SIMELTON E, FRASER E D G, TERMANSEN M, et al. Typologies of crop-drought vulnerability: An empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961-2001). *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(4): 438-452.
- [4] TÁNAGO I G, URQUIJO J, BLAUHUT V, et al. Learning from experience: A systematic review of assessments of vulnerability to drought. *Natural Hazards Journal of the International Society for the Prevention & Mitigation of Natural Hazards*, 2016, 80(2): 951-973.
- [5] DEVEREUX S. The impact of droughts and floods on food security and policy options to alleviate negative effects. *Agricultural Economics*, 2007, 37(1): 47-58.
- [6] HUHO J M, MUGALAVAI E M. The effects of droughts on food security in Kenya. *International Journal of Climate Change Impacts & Responses*, 2010, 2(2): 61-72.
- [7] ELAGIB N A. Development and application of a drought risk index for food crop yield in eastern Sahel. *Ecological Indicators*, 2014, 43(3): 114-125.
- [8] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术. *生态学报*, 2013, 33(6): 1762-1769. [ZHANG J P, ZHAO Y X, WANG C Y, et al. Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(6): 1762-1769.]
- [9] 王鹏新, 冯明悦, 梅树立, 等. 应用 Morlet 评估不同生育时期干旱对小麦单产的影响. *中国农业信息*, 2018, 30(3): 1-13. [WANG P X, FENG M Y, MEI S L, et al. Assessment of droughts at different growth stages on winter wheat yield using the Morlet. *China Agricultural Informatics*, 2018, 30(3): 1-13.]
- [10] 颜亮东, 李林, 李红梅. 青海省气象干旱对粮食产量的影响及其评估方法研究. *冰川冻土*, 2013, 35(3): 687-691. [YAN L D, LI L, LI H M. The impact of drought on grain output in Qinghai province and how to assess. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(3): 687-691.]
- [11] 武荣盛, 吴瑞芬, 孙小龙, 等. 不同程度干旱对春玉米生物量和产量影响的模拟. *生态学杂志*, 2015, 34(9): 2482-2488. [WU R S, WU R F, SUN X L, et al. Simulating the impact of drought on spring maize biomass and yield. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(9): 2482-2488.]
- [12] 姚小英, 吴丽, 田广旭, 等. 甘肃旱作区玉米近 40 年干旱影响评估. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(5): 192-196. [YAO

- X Y, WU L, TIAN G X, et al. Variation of drought disaster characteristics and its risk assessment on maize for 40 years in the main growing area in arid regions of Gansu province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29 (5): 192-196.]
- [13] MAIA R, VIVAS E, SERRALHEIRO R, et al. Socioeconomic evaluation of drought effects: Main principles and application to Guadiana and Algarve case studies. *Water Resources Management*, 2015, 29(2): 575-588.
- [14] LIN Y, DENG X, JIN Q. Economic effects of drought on agriculture in North China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2013, 4(2): 59-67.
- [15] JENKINS K. Indirect economic losses of drought under future projections of climate change: A case study for Spain. *Natural Hazards*, 2013, 69(3): 1967-1986.
- [16] BANERJEE O, BARK R, CONNOR J, et al. An ecosystem services approach to estimating economic losses associated with drought. *Ecological Economics*, 2013, 91(2): 19-27.
- [17] 李翠金. 异常干旱气候事件及其对农业影响评估模式. *地理学报*, 2000, 55(1): 39-45. [LI C J. Abnormal drought climate events and the assessing model of impacts on agriculture. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 39-45.]
- [18] 刘阳. 秦岭南北极端干旱对农业的影响. 西安: 陕西师范大学, 2012. [LIU Y. Effects of extreme drought on southern and northern district in Qinling Mountain. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2012.]
- [19] KHAYYATI M, AAZAMI M. Drought impact assessment on rural livelihood systems in Iran. *Ecological Indicators*, 2016, 69: 850-858.
- [20] UDMALE P, ICHIKAWA Y, MANANDHAR S, et al. Farmers' perception of drought impacts, local adaptation and administrative mitigation measures in Maharashtra State, India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2014, 10: 250-269.
- [21] KESHAVARZ M, KARAMI E. Farmers' decision-making process under drought. *Journal of Arid Environments*, 2014, 108(108): 43-56.
- [22] 李博, 李青, 陈红梅. 气候变化对农户的经济影响研究: 基于南疆红枣主产区农户收入安全视角. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(12): 192-197. [LI B, LI Q, CHEN H M. Economic impacts of climate change on farmers. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(12): 192-197.]
- [23] FREIRE-GONZÁLEZ J, DECKER C, HALL J W. The economic impacts of droughts: A framework for analysis. *Ecological Economics*, 2017, 132: 196-204.
- [24] SHAHBAZBEGIAN M, BAGHERI A. Rethinking assessment of drought impacts: A systemic approach towards sustainability. *Sustainability Science*, 2010, 5(2): 223-236.
- [25] 张向龙. 半干旱区社会—生态系统动态演化机制研究: 以榆中县北部山区为例. 西安: 西北大学, 2009. [ZHANG X L. Dynamic mechanism of social-ecological system in semiarid area: A case study in northern highlands of Yuzhong county. Xi'an: Northwest University, 2009.]
- [26] 王子侨, 石翠萍, 蒋维, 等. 社会—生态系统体制转换视角下的黄土高原乡村转型发展: 以长武县洪家镇为例. *地理研究*, 2016, 35(8): 1510-1524. [WANG Z Q, SHI C P, JIANG W, et al. Rural transformation from the perspective of regime shifts of socio-ecological systems in the Loess Plateau: A case study of Hongjia town in Changwu county, China. *Geographical Research*, 2016, 35(8): 1510-1524.]
- [27] 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于 VSD 框架的半干旱地区社会—生态系统脆弱性演化与模拟. *地理学报*, 2016, 71(7): 1172-1188. [CHEN J, YANG X J, YIN S, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1172-1188.]
- [28] HOLLING C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 390-405.
- [29] 王俊, 杨新军, 刘文兆. 半干旱区社会—生态系统干旱恢复力的量化研究. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1385-1390. [WANG J, YANG X J, LIU W Z. A quantitative research on the resilience of social-ecological system to drought in the semiarid area. *Progress in Geography*, 2010, 29(11): 1385-1390.]
- [30] 石育中, 王俊, 王子侨, 等. 农户尺度的黄土高原乡村干旱脆弱性及适应机理. *地理科学进展*, 2017, 36(10): 1281-1293. [SHI Y Z, WANG J, WANG Z Q, et al. Rural household vulnerability to drought and adaptation mechanism on

- the Loess Plateau. *Progress in Geography*, 2017, 36(10): 1281-1293.]
- [31] 榆中县地方志办公室. 榆中县年鉴(2012-2014卷). 兰州: 甘肃民族出版社, 2015. [Local Chronicles Office of Yuzhong County. *Yearbook of Yuzhong County (2012-2014 volume)*. Lanzhou: Gansu Minorities Press, 2015.]
- [32] 石育中. 黄土高原社会—生态系统的干旱脆弱性及农户适应研究: 以甘肃榆中县为例. 西安: 西北大学, 2018. [SHI Y Z. *Drought vulnerability in social-ecological system and drought adaptation of farmer household on the Loess Plateau: A case study of Yuzhong county of Gansu province, China*. Xi'an: Northwest University, 2018.]
- [33] CHEVAL S, BUSUIOC A, DUMITRESCU A, et al. Spatiotemporal variability of the meteorological drought in romania using the standardized precipitation index. *EGU General Assembly*, 2014: 7021-7085.
- [34] 闫峰, 王艳姣, 吴波. 近50年河北省干旱时空分布特征. *地理研究*, 2010, 29(3): 423-430. [YAN F, WANG Y J, WU B. Spatial and temporal distributions of drought in Hebei province over the past 50 years. *Geographical Research*, 2010, 29(3): 423-430.]
- [35] 王允, 刘普幸, 曹立国, 等. 基于SPI的近53 a宁夏干旱时空演变特征研究. *水土保持通报*, 2014, 34(1): 296-302. [WANG Y, LIU P X, CAO L G, et al. A study on spatial-temporal variation characteristics of drought based on Standardized Precipitation Index in Ningxia Hui Autonomous region during recent 53 years. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(1): 296-302.]
- [36] DAI A. Erratum: Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2012, 3(1): 45-65.
- [37] 周进生. 我国旱灾特点及经济损失评估. *灾害学*, 1993, 8(3): 45-49. [ZHOU J S. Characteristics of drought and appreciation of economic losses in China. *Journal of Catastrophology*. 1993, 8(3): 45-49.]
- [38] 马志雄, 丁士军. 基于农户理论的农户类型划分方法及其应用. *中国农村经济*, 2013, (4): 28-38. [MA Z X, DING S J. Method and utilization of famer types division based on farmer theory. *Chinese Rural Economy*, 2013, (4): 28-38.]
- [39] NAUMANN G, BARBOSA P, GARROTE L, et al. Exploring drought vulnerability in Africa: An indicator based analysis to inform early warning systems. *Hydrology & Earth System Sciences*, 2013, 18(5): 12217-12254.
- [40] THOMAS T, JAISWAL R K, GALKATE R, et al. Drought indicators-based integrated assessment of drought vulnerability: A case study of Bundelkhand droughts in Central India. *Natural Hazards*, 2016, 81(3): 1627-1652.
- [41] 李文龙, 石育中, 鲁大铭, 等. 北方农牧交错带干旱脆弱性时空格局演变. *自然资源学报*, 2018, 33(9): 127-140. [LI W L, SHI Y Z, LU D M, et al. The spatio-temporal evolution of drought vulnerability in the ecotone between agriculture and animal husbandry in the north of China. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(9): 127-140.]
- [42] LEI Y, WANG J, YUE Y, et al. Rethinking the relationships of vulnerability, resilience, and adaptation from a disaster risk perspective. *Natural Hazards*, 2014, 70(1): 609-627.
- [43] PÉREZY P L, BARREIROHURLÉ J. Assessing the socio-economic impacts of drought in the Ebro River Basin. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2009, 7(2): 269-280.
- [44] 尹莎, 陈佳, 吴孔森, 等. 干旱环境胁迫下农户适应研究: 基于民勤绿洲地区农户调查数据. *地理科学进展*, 2016, 35(5): 644-654. [YIN S, CHEN J, WU K S, et al. Adaptation of farming households under drought stress: Based on a survey in the Minqin Oasis. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 644-654.]
- [45] 朱红根, 康兰媛, 周曙东. 南方稻区季节性干旱农户适应行为及其影响因素实证分析. *自然资源学报*, 2016, 31(9): 1540-1552. [ZHU H G, KANG L Y, ZHOU S D. The empirical analysis of farmers adaptation behavior to seasonal drought in southern rice growing area and its influencing factors. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(9): 1540-1552.]
- [46] 朱红根, 周曙东. 南方稻区农户适应气候变化行为实证分析: 基于江西省36县(市)346份农户调查数据. *自然资源学报*, 2011, 26(7): 1119-1128. [ZHU H G, ZHOU S D. Factors influencing southern rice farmers adapting to climate change behavior: Based on 346 household survey data of 36 counties in Jiangxi province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(9): 1540-1552.]
- [47] 靳乐山, 魏同洋, 胡振通. 牧户对气候变化的感知与适应: 以内蒙古四子王旗查干补力格苏木为例. *自然资源学报*, 2014, 29(2): 211-222. [JIN L S, WEI T Y, HU Z T. Herdsmen's perceptions and adaption to climate change: A case study in Chaganbulige, Siziwang Banner, Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(2): 211-222.]

- [48] 王亚茹, 赵雪雁, 张钦, 等. 高寒生态脆弱区农户的气候变化适应策略评价: 以甘南高原为例. 地理研究, 2016, 37(7): 2392-2402. [WANG Y R, ZHAO X Y, ZHANG Q, et al. Farmers' climate change adaptation strategies in an ecologically vulnerable alpine region: A case of Gannan Plateau. Geographical Research, 2016, 37(7): 2392-2402.]

Impacts of meteorological drought on social-ecological system in rural areas of Yuzhong county in Gansu province

SHI Yu-zhong^{1,2}, YANG Xin-jun², ZHAO Xue-yan¹

(1. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Impacts of drought play a vital role in studies on human-environment relationship in arid and semiarid regions. The assessment on the impacts of drought on social-ecological system in rural areas provides a new thinking for human-environment system sustainability of ecological fragile-poverty zone in Northwest China. The article analyses the impacts of drought on grain yield, economic development and rural household family. Then, it concludes impact mechanism of meteorological drought on social-ecological system in rural areas, applying Standardized Precipitation Index, economic loss of drought model and analysis tool of GIS. The main results include: (1) There is significant positive correlation between drought intensity and grain yield especially in the southern and northern parts of Yuzhong county, where drought intensity is high in 1960-2015. (2) Serious economy loss caused by drought characterized with high frequency and wide distribution occurs in the southern and northern parts of Yuzhong county. (3) Drought causes reduction of agricultural product and economic income obviously, and results in serious food security of rural household families that are engaged just in agriculture activity. (4) Impact mechanism of drought on social-ecological system in rural areas depends on water resource utilization loop, production loop, income and livelihood loop and economy loop.

Keywords: drought; standardized precipitation index; economic loss of drought model; casual loop; social-ecological system in rural areas