

引用格式:常丽博,骆耀峰,刘金龙.哈尼族社会-生态系统对气候变化的脆弱性评估——以云南省红河州哈尼族农村社区为例[J].资源科学,2018,40(9):1787-1799.[Chang L B, Luo Y F, Liu J L. Hani minority social-ecological system vulnerability assessment to climate change—a case study of Hani minority rural community in Honghe Prefecture, Yunnan Province[J]. Resources Science, 2018, 40(9): 1787-1799.] DOI:10.18402/resci.2018.09.09

哈尼族社会-生态系统对气候变化的脆弱性评估

——以云南省红河州哈尼族农村社区为例

常丽博¹, 骆耀峰¹, 刘金龙²

(1. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100;

2. 中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100872)

摘要:中国云南红河哈尼梯田社会-生态系统被列入世界自然文化遗产,其在气候变化适应上具有一定的典型性,科学评估其对气候变化脆弱性对于制定气候变化适应政策及地区可持续发展具有重要意义。本文基于“气候-生计”脆弱性框架,以云南省哈尼族农村社区为例,结合问卷调查和气象数据,利用模糊综合评价法对哈尼族农村社会-生态系统对气候变化的脆弱性进行了评估与分析。结果表明:①哈尼族农村社区对气候变化的暴露度较高(0.52),但由于当地社会-生态系统的敏感性较小(0.44),适应能力适中(0.48),系统整体脆弱性较低(0.02);②哈尼族社会-生态系统对气候变化脆弱性较低得益于当地可持续的社会-生态系统,传统的文化组织制度及集体行动机制;③不同地区敏感性 & 适应能力内部结构分化,自然资本、物质资本及社会资本是制约地区适应能力的重要因素。因此,维护并发挥好当地的社会-生态系统及传统组织制度,同时提高公共服务供给有助于维持较低的气候变化脆弱性。

关键词:气候变化;社会-生态系统;脆弱性;哈尼族

DOI:10.18402/resci.2018.09.09

1 引言

全球气候变化给农村社会-生态系统带来前所未有的挑战,对农村生态系统、粮食生产、人类健康、农民发展、农民生计及自然资源的利用方式都有很大的影响^[1,2]。随着一系列不可控制的极端气候事件(如干旱、洪涝、雪灾等)增加,人类社会和生态系统逐渐暴露出对气候变化的脆弱性,即,社会-生态系统面临气候变化扰动和压力时表现出来的易损性质,表现为系统向不利于自身稳定和人类利益的方向发展^[3]。少数民族农村社区与自然资源和环

境压力最为直接和敏感,往往更容易受到气候变化的影响^[4]。中国云南哈尼族梯田社会-生态系统被列入世界自然文化遗产,其在气候变化适应上具有一定的典型性。因此,综合评价哈尼族社会-生态系统对气候变化的脆弱性是国家制定应对气候变化对策的科学依据,是提高脆弱区社会经济系统的适应能力、降低脆弱性、实现国家社会经济可持续发展的需求。

脆弱性作为全球环境变化和区域可持续发展研究中的热点和前沿,许多学者对其开展了大量研究^[5-11]。近几年来,社区层面的脆弱性研究迅速增

收稿日期:2017-12-22,修订日期:2018-07-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:71403209)。

作者简介:常丽博,女,河南长垣人,硕士生,主要研究方向为自然资源管理与气候变化。E-mail:clbsjd@163.com

通讯作者:骆耀峰, E-mail:lyfcl@163.com

加^[12],研究视角主要集中在气候变化的系统脆弱性^[13-15]和可持续生计脆弱性^[5,17,18]两个方面。国外学者大多利用IPCC的脆弱性框架从暴露度-敏感性-适应能力三个方面对脆弱性进行评估。Morzaria等对加利福尼亚北部墨西哥湾渔业社区对气候变化的社会脆弱性进行了研究^[19];Hahn M等利用IPCC的可持续生计框架分别测算了莫桑比克地区的生计脆弱性^[20];Ahsan M N等对孟加拉国西南部沿海地区的社会经济脆弱性进行了测算^[21]。国内的学者就脆弱性分析框架及评价体系尚未达成一致,根据研究对象及目的不同,所采用的分析框架及指标体系不同^[22,23]。吴洪斌等对从风险和敏感度两个方面出发,对沙坡头地区对气候变化的生态系统脆弱性做出了评价性分析^[24];陈佳等从系统对外界干扰的敏感性以及应对风险的适应能力两方面,对秦岭景区社会-生态系统的脆弱性进行了评价^[25];张钦等从暴露度、敏感性、适应能力三个方面评价了高寒生态脆弱区气候变化对农户生计的脆弱性^[18]。随着人类对脆弱性的认知加深,脆弱性的概念也逐渐拓展到融合自然、经济、社会、人文、环境等综合范畴。脆弱性指标体系的建立也不仅仅只关注气象、生态因素,更加关注社区的社会、经济、政治背景和文化传统^[26-29]。特定生态脆弱地区及脆弱群体也越来越受关注^[8,10,17-19]。但已有的研究还鲜有对微观农村社区社会-生态系统对气候变化的脆弱性进行系统评估,对少数民族等特殊群体脆弱性的案例研究更为缺乏,而中国哈尼族社区在长期与自然生态系统共处过程中形成了弹性的应对气候变化的知识和实践,在脆弱性评价中有特殊作用,这为本研究提供了空间。

文中基于社会-生态系统理论建立了“气候-生计”脆弱性分析框架,在此基础上,从暴露度、敏感性、适应能力三个维度,分别选取解释指标构建了社会-生态系统脆弱性的指标体系,利用模糊综合评价法测算了哈尼族社会-生态系统的脆弱性指数及暴露度、敏感性及适应能力水平,提出了政策建议。

2 研究区域概况及数据来源

2.1 研究区域概况

云南省地处中国西南边陲,自然地理环境复杂多样,气候、生物多样性和脆弱性并存,是气候变化

最为敏感的地区。与全球气候变暖趋势一致,1961—2012年间,云南年平均气温呈升温趋势,年降水量变化呈减少趋势,平均相对湿度呈下降趋势^[30]。其中,云南省红河哈尼族彝族自治州(简称:红河州)局部地区平均相对湿度减少速率较快,达3.00%/10a以上,红河州是云南省干旱的高发地段之一。据统计,红河州每10年春、夏、秋、冬四季之内轻旱约出现19~20次、中旱约出现5~6次、重旱约出现1~2次;局域性干旱约出现12~13次、区域性干旱约出现8~9次,全州性干旱约出现5~6次^[31]。

红河州位于云南省东南部,全州国土面积32931km²。地势西北高东南低,处于低纬度亚热带高原型湿润季风气候区,具有典型的高原型立体气候特征。红河州是一个多民族聚居的少数民族自治州,全州总人口456万人,少数民族人口241万,哈尼族达84.96万人,占总人口的18.69%(2015年)。山地多、少数民族多、贫困人口多和气候变化多样等特点,使得红河州成为生态脆弱与经济落后并存的地区。

2.2 数据来源

(1)统计数据。统计数据来自于云南省红河州、红河县和元阳县的统计局、农业局、林业局、哈尼梯田管理局、气象局等各局2011—2016年间的相关统计资料,以及调研点所在村的历史记载资料。

(2)问卷调查数据。问卷调查数据来自于课题组于2017年8月对云南省红河哈尼族彝族自治州哈尼族农民的抽样入户调查,通过典型抽样选取了红河县和元阳县两个县,随机抽样选取了9个村作为样本村。选择红河县及元阳县作为研究区域的理由如下:第一,这两个县是哈尼族的聚集地,哈尼族人口比例达50%以上,当地历史悠久“森林-村寨-梯田-水系”四素同构的社会-生态系统为本文的案例研究提供了空间。第二,这两个地区均位于云南省南部的山区,自然环境具有一定的相似性,同时,都具有多变的立体气候特点。2010年云南省各地发生重大干旱事件,然而两个地区的哈尼梯田农林复合系统并未出现严重缺水现象,成功应对了西南大旱。第三,红河县与元阳县毗邻,由于当地海拔等地理条件不同,气候变化情况具有一定的差异性,各自具有其典型代表性,可以观测不同区域

2018年9月

社会-生态系统在气候变化下各自的暴露度、敏感性和适应能力状态,进而分析各指标对脆弱性的影响程度。

在满足代表性的前提下,调查采用随机性原则,在红河县和元阳县共随机抽查了9个村,随机选取了280户农户,共收集问卷260份,其中有效问卷244份。样本呈现出家庭规模较大、户主年龄偏老龄化、生计以种植养殖为主、户主文化水平偏低等特点(表1)。

3 研究框架及方法

3.1 研究框架与指标选取

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)认为脆弱性是某个系统容易受到但却无力应对气候变化的各种不利影响的程度,其取决于暴露度、敏感性和适应能力,是某一个系统外在气候的变化特征、速率、强度以及系统内在敏感性和适应能力的函数^[32]。基于脆弱性的定义,IPCC提出“暴露度-敏感性-适应能力”分析框架。暴露度主要指扰动社会-生态系统的气候变化特征及变化速率。敏感性通常被界定为系统对气候变化响应的程度,例如在一定气候变化条件下,生态系统的结构、组分、基本功能以及社会系统的经济发展基础等。而适应性则是指系统的结构,系统的活动及其过程等在面临潜在和现实的气候变化的时候能够主动进行调整的程度。

Pandey R等的可持续生计脆弱性分析框架在暴露度、敏感性及适应能力三个维度下测算了人力资本、自然资本、物质资本、社会资本及金融资本五大生计资本在气候变化下的脆弱性,全面考察了社

区对气候变化对可持续生计的影响^[33]。Turner B N等的区域人地耦合系统脆弱性分析框架认为生态系统的适应弹性及人类社会的承载能力不同,在全球环境变化压力下,不同子系统的敏感性及恢复力的表现也不同,根据各系统的不同特征筛选指标,分析人类-环境耦合系统的脆弱性^[34]。本文借鉴IPCC的“暴露-敏感性-适应能力”脆弱性分析框架,参考Pandey R的可持续生计脆弱性评估的人力资本、自然资本、物质资本、社会资本及金融资本五大生计指标,并融合了Turner B N的人类-环境耦合系统脆弱性研究思想,分别考虑了生态系统及社会系统的敏感性特征,结合哈尼族社区社会-生态系统的特点构建了本文的社会-生态系统“气候-生计”脆弱性分析框架。整合后的脆弱性分析框架拓展了IPCC“暴露度-敏感性-适应能力”脆弱性框架的具体指标体系,填补了可持续生计脆弱性指标体系对气候变化因素的空缺,同时弥补了人类-环境耦合系统脆弱性框架难以量化的缺点(图1)。

基于“气候-生计”分析框架,构建了脆弱性评价指标体系(表2,见第1791页)。其中,暴露度包括气候变异和自然灾害两种。文中气候变异是指气候变率,是气候因子特征的内在变化,而自然灾害是指极端气候事件,是气候因子变化所引发的外在特征表现;敏感性包括生态亚系统敏感性、社会亚系统敏感性、社会-生态系统紧密度3个指标。社会-生态系统的紧密度指社会系统与生态系统之间的依赖程度及互动的密切程度,决定了系统在气候变化下的抵御能力,紧密度越高,敏感性就越低,脆弱性也就越低;适应能力包括适应意愿和适应资本

表1 调查样本基本特征

Table 1 Basic characteristics of survey sample

| | 类别 | 样本数 | 比例% | | 类别 | 样本数 | 比例% |
|--------|-------|-----|-------|--------|-------|-----|-------|
| 家庭规模/人 | <4 | 31 | 12.70 | 生计来源 | 种植 | 238 | 97.50 |
| | 4~5 | 91 | 37.30 | | 养殖 | 192 | 78.70 |
| | >5 | 122 | 50.00 | | 务工 | 146 | 59.80 |
| 户主年龄/岁 | <30 | 6 | 2.50 | 户主文化程度 | 文盲 | 87 | 35.70 |
| | 30~44 | 66 | 27.00 | | 小学 | 103 | 42.20 |
| | 45~59 | 106 | 43.50 | | 初中 | 44 | 18.00 |
| | >59 | 66 | 27.00 | | 高中及以上 | 10 | 4.10 |

注:生计来源为多选,即家庭谋生的途径。

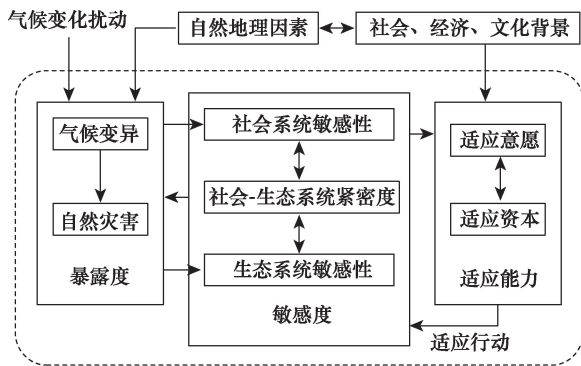


图1 社会-生态系统“气候-生计”脆弱性分析框架

Figure 1 Socio-ecosystem “climate-livelihood” vulnerability analysis framework

2个指标。适应意愿是指农户是否愿意主动适应气候变化的主观表达,包括气候变化感知度及主动参与沟渠管理的家庭比重两个参数。适应资本是指农户适应气候变化所需的各种资本,包括人力资本、自然资本、物质资本、金融资本及社会资本5种类型。

3.2 研究方法

基于暴露度、敏感性及适应能力的模糊性及复杂性,首先将运用模糊综合评价法分别求出暴露度(E)、敏感性(S)、适应能力(A)三大核心指标的评价值,然后再利用函数公式(5)求出脆弱性指数(VI)。具体步骤如下:

(1)建立暴露度、敏感性及适应能力的模糊函数:

$$W^{(E)} = \{X^{(E)}, \mu_W(x)\} \quad (1)$$

$$W^{(S)} = \{X^{(S)}, \mu_W(x)\} \quad (2)$$

$$W^{(A)} = \{X^{(A)}, \mu_W(x)\} \quad (3)$$

式中 $W^{(E)}$ 、 $W^{(S)}$ 、 $W^{(A)}$ 分别为暴露度、敏感性及适应能力的模糊函数; $X^{(E)}$ 、 $X^{(S)}$ 、 $X^{(A)}$ 分别为三者的模糊集,其中, $x \in X$, $\mu_W(x)$ 则是 x 对 W 的隶属度, $\mu_W(x) \in [0, 1]$ 。

(2)确定暴露度、敏感性及适应能力模糊函数的隶属度函数:

$$u(X_{ij}) = \begin{cases} 0 & 0 \leq X_{ij} \leq X_{ij}^{\min} \\ \frac{X_{ij} - X_{ij}^{\min}}{X_{ij}^{\max} - X_{ij}^{\min}} & X_{ij}^{\min} < X_{ij} < X_{ij}^{\max} \\ 1 & X_{ij} \geq X_{ij}^{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中 X_{ij} 为第 i 个功能子集中第 j 个初级指标; X_{ij}^{\max} 为 X_{ij} 指标的最大取值; X_{ij}^{\min} 为 X_{ij} 的最小取值。一

般情况下,指标类型不同,隶属度函数也不同,公式(4)适用于正向的连续变量和虚拟变量,逆指标要区别对待^[42]。

(3)确定各指标的权重。已有的客观赋权法不能满足敏感递减原则和损失厌恶原则,主观确定权重的方法又太随意,借鉴高进云等^[43]对权重的界定方法,即:

$$\omega_{ij} = \overline{\mu(X_{ij})}^{(-0.5)} \quad (5)$$

式中 ω_{ij} 为第 i 个功能子集中第 j 个初级指标的权重; $\overline{\mu(X_{ij})}$ 为第 i 个功能子集中第 j 个初级指标的隶属度。

(4)计算暴露度、敏感性及适应能力的指标值:

$$W = \sum_{i=1}^h \mu(x_i) \times \omega_i / \sum_{i=1}^h \omega_i \quad (6)$$

式中各功能性指标的权重为 $\omega_i = \mu(X_i)^{(-0.5)}$; h 为功能性指标的个数。暴露度、敏感性及适应能力的指标值是由指标层加总得来的,二级指标也是采用同样的方法由三级指标加总得到。

(5)计算气候-生计脆弱性指数。本文借鉴 Hahn 等^[20]对脆弱性的计算公式求“气候-生计”脆弱性指数(VI)。

$$VI = (W^{(E)} - W^{(A)}) \times W \quad (7)$$

式中 $VI \in [-1, 1]$, -1 表示最不脆弱, 1 表示最脆弱, 0 表示不脆弱。 VI 数值越大, 表示脆弱性越强。

4 实证结果及分析

在每个指标问卷缺失值不超过5%的前提下,根据模糊综合评价法,科学计算出暴露度、敏感性及适应能力的指标值,将数据代入公式(7)得到哈尼族农村社会-生态系统整体脆弱性水平。

4.1 哈尼族社区社会-生态系统对气候变化的脆弱性

4.1.1 脆弱性整体水平

根据脆弱性整体评估结果(表3,见第1792页),哈尼族农村社会-生态系统在高暴露度下对气候变化的整体脆弱性却很低,仅为0.02。从整体来看哈尼族社会-生态系统对气候变化的暴露度较高(0.52),适应能力一般(0.48),敏感性较弱,为0.44。

哈尼族农村社会-生态系统暴露度较高,近6年来,虽然气候变异速率不明显(0.29),但地区气候变化表征—自然灾害显著(0.94),从一定程度上增加

表2 “气候-生计”脆弱性指标体系

Table 2 “Climate-livelihood” vulnerability index system

| 一级指标(X) | 二级指标(i) | 三级指标(j) | 三级指标描述 | 方向 | 参考文献 |
|---------|------------|---------------|---|-----------------------------|--|
| 暴露度E | 气候变异 | 月最高气温均方差 | 近6年间每月的最高气温变化 | + | Hahn等 ^[20] ; Ahsan, M.N等 ^[21] ; 谭淑豪等 ^[11] ; |
| | | 月最低气温均方差 | 近6年间每月的最低气温变化 | + | |
| | | 年平均降雨量均方差 | 近6年间每年平均降雨量变化 | + | |
| | 自然灾害 | 干旱发生频率 | 近6年间干旱发生总次数 | + | |
| | | 洪水发生频率 | 近6年间洪水发生总次数 | + | |
| | | 大雪发生频率 | 近6年间大雪发生总次数 | + | |
| 敏感性S | 生态亚系统 | 种植多样性 | $1/(家庭种植种类+1) \times 100\%$ | + | Simane, B等 ^[35] ; 谭淑豪等 ^[11] ; |
| | | 森林覆盖率 | 森林总面积/土地总面积 $\times 100\%$ | - | |
| | 社会亚系统 | 社会抚养比重 | 小于18岁和大于65岁的人口与在19~64岁之间的人口之比 | + | Marshall, N.A. ^[36] , Hahn等 ^[20] ; Turner, BL等 ^[34] ; Füssel H M等 ^[37] ; |
| | | 女性主导家庭比重 | 以女性主导的家庭占比(家庭男性劳动力每年外出打工超过6个月的为女性主导家庭) | + | |
| | | 耕地有效灌溉率 | 灌溉面积与总耕地面积之比 | - | |
| | | 参加农业技术培训家庭比重 | 近6年间参加过技术培训的家庭与总家庭的比例 | - | |
| | 社会-生态系统紧密度 | 灾后收到政府援助的家庭比重 | 近6年间受过灾并收到过政府援助的家庭比例 | - | |
| | | 居住粘性 | 对当地生活满意并且不愿意搬迁居住地的家庭比重 | + | |
| | | 养殖多样性 | $1/(1+养殖种类)$ | - | |
| | | 乱砍滥伐程度 | 近6年间砍伐过森林的家庭所占比重 | + | |
| | | 气候变化感知程度 | 感知到近6年来有气候变化的家庭比重 | - | |
| | | 参与沟渠管理家庭比重 | 近6年参与过沟渠管理的家庭比例 | - | |
| 适应能力A | 适应意愿 | 家庭劳动力平均 | 劳动力共分三种:全能劳动力、半劳动力、零劳动力,分别赋值为2、1、0,如果一个家庭具备这三种劳动能力的劳动力分别有1人,则该家庭的劳动力为 $2+1+0=3$ | - | Adger W N等 ^[28] ; 李小云等 ^[38] ; 韩崢 ^[39] ; Hahn等 ^[20] ; 杨浩等 ^[40] ; 张冀等 ^[41] ; 喻忠磊等 ^[22] ; 谭灵芝等 ^[17] ; 陈佳等 ^[25] ; 李梦娜等 ^[23] ; |
| | | 户主平均受教育程度 | 户主的受教育程度有:文盲、小学、初中、高中、大专及以上,分别赋值为1、2、3、4、5 | - | |
| | 适应资本 | 人力资本 | 人均耕地面积 | 家庭人均耕地面积的均值 | - |
| | | | 粮食自给率 | 粮食能自给自足的家庭比重 | - |
| | 物质资本 | | 人均住房面积 | 家庭人均住房面积均值 | - |
| | | | 固定资产多样化指数 | $1/(1+家庭固定资产种类)$ | + |
| | 金融资本 | | 家庭人均收入 | 家庭人均收入 | - |
| | | | 能够获得经济无偿帮助的家庭比例 | 近6年来能获得无偿资金帮助的家庭占比 | - |
| | 社会资本 | | 参与合作组织家庭比重 | 近6年参与过合作组织的家庭比重 | - |
| | | | 社会保险多样化指数 | $1/(1+参保种类)$ | + |
| | | | 社会关系网络支持度 | 家庭能够从亲戚朋友那里获得资金、劳动力、物质支持的种类 | - |

了地区对气候变化脆弱性。哈尼族在千百年的生产生活实践中,因地制宜地建立了“森林-村寨-梯田-水系”四素同构的社会-生态系统,良好的生态

基础,使得当地的生态系统敏感性较低(0.43),社会-生态系统之间的紧密度较好,敏感性为0.37。传统的自然资源管理实践(如木刻分水、神林祭祀等)

表3 社会-生态系统脆弱性评价结果

Table 3 Socio-ecosystem vulnerability assessment results

| 一级指标 | 二级指标 | 隶属度 | 权重 | 三级指标 | 隶属度 | 权重 |
|---------------------|----------------|------|------|-----------------|------|------|
| 暴露度(0.52) | 气候变异 | 0.29 | 1.85 | 月平均最高气温方差 | 0.51 | 1.40 |
| | | | | 月最低气温均方差 | 0.46 | 1.48 |
| | | | | 年平均降雨量均方差 | 0.11 | 2.99 |
| 敏感性(0.44) | 自然灾害 | 0.94 | 1.03 | 干旱发生频率 | 1.00 | 1.00 |
| | | | | 洪水发生频率 | 1.00 | 1.00 |
| | | | | 大雪发生频率 | 0.83 | 1.10 |
| | | | | 种植多样性 | 0.34 | 1.72 |
| | 生态亚系统 | 0.43 | 1.52 | 森林覆盖率 | 0.53 | 1.35 |
| | | | | 社会抚养比重 | 0.47 | 1.46 |
| | | | | 女性主导家庭比重 | 0.42 | 1.54 |
| | | | | 耕地有效灌溉率 | 0.31 | 1.80 |
| | 社会亚系统 | 0.55 | 1.35 | 参加农业技术培训家庭比重 | 0.95 | 1.07 |
| | | | | 灾后收到政府援助的家庭比重 | 0.88 | 2.89 |
| | | | | 居住粘性 | 0.69 | 1.20 |
| | | | | 养殖多样性 | 0.20 | 2.24 |
| 适应能力(0.48) | 社会-生态系统紧密度 | 0.37 | 1.65 | 乱砍滥伐程度 | 0.36 | 1.67 |
| | | | | 气候变化感知程度 | 0.95 | 1.03 |
| | | | | 参与沟渠管理家庭比重 | 0.56 | 1.34 |
| | 适应意愿 | 0.73 | 1.17 | 家庭平均劳动能力 | 0.39 | 1.61 |
| | | | | 户主平均受教育程度 | 0.23 | 2.09 |
| | | | | 人均耕地面积 | 0.12 | 2.86 |
| | | | | 粮食自给率 | 0.59 | 1.30 |
| | 适应资本 (0.32) | | | 人均住房面积 | 0.23 | 2.09 |
| | | | | 家庭固定资产多样化指数 | 0.41 | 1.56 |
| | | | | 人均可支配收入 | 0.95 | 1.03 |
| | | | | 能够获得经济无偿帮助的家庭比重 | 0.59 | 1.30 |
| 脆弱性 <i>V</i> (0.02) | 社会资本 | 0.17 | 2.41 | 参与合作组织家庭比重 | 0.02 | 7.07 |
| | | | | 社会保险多样化指数 | 0.58 | 1.32 |
| | | | | 社会关系网络支持度 | 0.60 | 1.29 |

使社会系统与生态系统之间形成了良性的互动,不仅能够合理利用当地自然资源还能有效降低地区对气候变化的敏感性。在气候变化的冲击下,有效保障了系统内部资源可持续流动,从而降低了当地社会-生态系统的脆弱性。但由于当地的人口结构不合理及社会公共服务供给缺乏,社会系统的敏感性较强(0.55),适应资本较低(0.32),不利于哈尼族对气候变化的适应,在一定程度上增加了当地社会-生态系统气候变化的脆弱性。但当地传统的组织制度及集体行动在哈尼族社区是一种无形的社会资本,在现有适应资本有限的情况下,能够有效达成适应行动,为应对气候变化提供弹性的适应机

制,从而在一定程度上减弱了社会-生态系统对气候变化的脆弱性。具体各个指标对哈尼族社会-生态系统气候-生计脆弱性的影响方向及程度将在脆弱性的影响因素分析中展开。

4.1.2 脆弱性影响因素分析

(1)暴露度评估结果。哈尼族农村社会-生态系统暴露度为0.52,处于偏高水平。其中,近6年来年平均降雨量变异水平仅为0.11,短时间内,哈尼族社区的气候因子变异水平不高(0.29)。但由气候变异所引发的自然灾害显著(0.94),干旱、洪涝等极端气候事件年年发生,雪灾不断,气候变化已经是不争的事实,气候变化对社会-生态系统的农林生产

2018年9月

影响最为严重。2009年冬至2010年春季的持续旱情最为严重,红河州冬季作物受旱面积4.68万 hm^2 ,成灾4560 hm^2 ,与2008年相比,2009年甘蔗产量下降5.80%,烟叶产量下降0.30%,林业产业受灾严重,火情频发,苗木受损,造林地枯死,防护林、用材林受灾,林下草果产业大面积旱死,造成直接经济损失5593.43万元^[44]。社会-生态系统对气候变化暴露度越高,哈尼族的生计脆弱性就会大大增加,在其他条件不变的情况下,气候变化暴露度每增加0.10,生计脆弱性就会增加0.04,增加量是当前脆弱性水平的2倍。

(2)敏感性评估结果。哈尼族农村社会-生态系统敏感性水平最低,为0.41,其中,生态亚系统的敏感性为0.43。一方面是当地的森林覆盖率及种植多样性都较高,使之对气候变化的抵御能力较强,敏感性低。若将哈尼族的森林覆盖率提高0.10,当地脆弱性水平就会下降0.001。另一方面,当地对生态系统良好的经营与保护,使其受到极端气候事件冲击时恢复力较好。在森林经营中,哈尼族将森林奉为神灵,每个传统村寨都至少有一处神林,并对其严格保护,最大程度上保护了森林生物多样性及内部结构稳定性,良好的森林资源状况在当地发生干旱或洪涝时起到很好的缓冲作用。此外,当遇到干旱等极端气候事件时,当地农民会灵活调整种植类型及品种,如变水田为旱田,改种玉米代替水稻,在气候变化的冲击下稳定粮食产量,维持生计,降低脆弱性风险。社会亚系统敏感性最高为0.55,其中社会抚养比重为0.47,女性主导家庭比重为0.42,表现为社会人口老龄化严重,65岁以上老人所占比重高达8.50%,超过国际老龄化标准(7%)。此外,社区发部分男性劳动力都外出打工,近一半的家庭都是女性主导,作为弱势群体的妇女,在开展种植养殖等生产活动时,还要承担照顾老人和孩子的生活负担,导致社区缺乏人力资本应对气候变化,脆弱性增加。参与农业技术培训的家庭比重(0.95)及灾后收到政府补助的家庭比重(0.88)指标值较高,对敏感性的影响较大。若灾后收到政府补助的家庭比重每增加0.10,敏感性就会下降0.004,参与农业技术培训的家庭比重每提高0.10,敏感性就会下降0.003。然而目前当地只有极少数家庭享受到了

农业技术培训及灾后补助,要降低社会系统的敏感性,社会公共服务供给还有待提高。社会-生态系统紧密度较好,敏感性最低(0.3),有效地降低了社会-生态系统的脆弱性。人类活动对生态环境的破坏性很小,归属感较强,当地乱砍滥伐程度仅为0.36,居住粘性为0.69,居住粘性提高0.10,社会-生态系统的敏感性就会降低0.01,能够极大地降低了社会-生态系统的脆弱性。另外,当地居民生计以种植和养殖为主,种植、养殖种类多样,对自然资源的依赖度较高。哈尼族在生产实践中积累的传统劳作技术及习惯法,如传统的复合耕作方式(梯田养鱼)、习惯法(水冲肥)、传统的资源管理技术(木刻分水)等能够很好地适应当地的生境条件,使生态系统与社会系统互动更为紧密,有效降低社会-生态系统对气候变化的敏感性。敏感性越小,脆弱性水平越低,敏感性的变化将引起脆弱性水平的倍数增长,敏感性水平每降低0.10倍,其脆弱性水平也将降低0.10倍。

(3)适应能力评估结果。哈尼族社区的适应能力为0.48,处于一般偏下水平。由于哈尼族对气候变化的感知度较高(0.95),当地村民参与村寨沟渠维护的主动性较强(0.56),当地的适应意愿较高(0.73),为有效适应并应对气候变化提供了行动基础。主动参与沟渠管理的家庭比例提高0.10,适应意愿就提高0.06,相应地脆弱性将下降0.01。然而,哈尼族的适应资本较低(0.32),很大程度上限制适应能力,并增加哈尼族对气候变化的生计脆弱。适应资本每下降0.10,脆弱性将大大增加0.03。哈尼族社区的社会资本最低(0.17),其中参与合作社的家庭比重极少(0.02),在气候变化应对中发挥作用有限,若参与合作社的家庭比重提高0.10,则哈尼族社会-生态系统的脆弱性将大幅度降低0.015。农村合作社可以降低农户的生产成本及灾害风险,但哈尼族社区的合作社系统尚不完善。哈尼族社区的金融资本最高(0.75),由于当地良好的社会网络,拥有共同信仰的哈尼族继承并发扬着当地的互帮互助机制,来自亲朋好友的无偿援助能够帮助降低气候变化适应成本,能够获得无偿援助的家庭比重提高0.10,当地脆弱性就会下降0.002。哈尼族社区的自然资本和物质资本,分别为0.27和0.31,处于较低

水平。当地哈尼梯田资源有限,人均耕地面价较低,且位于半山腰之间,地势和土壤条件限制粮食产量,粮食自给率较低,极端气候事件发生时,农户生计受气候变化影响严重,脆弱性较低。哈尼族的人力资本为0.30,家庭平均劳动能力较低0.39,家庭人口结构以老人和小孩居多,劳动能力有限。户主受教育水平偏低(0.23)。由于哈尼族世居偏僻的山区,当地中小学学校数量少,条件简陋,教师队伍数量和质量不足,严重制约教育水平,甚至当地90%的哈尼族人听不懂汉语。良好的教育为气候变化适应决策提供指导,若当地教育水平提高0.10,当地的脆弱性就会降低0.005。

4.2 敏感性与适应能力维度下脆弱性的空间差异

在测算出整体脆弱性的基础上,本文通过比较分析不同地区在敏感性和适应能力两个维度上的差异,以识别影响脆弱性的重要因素,为有效降低社会-生态系统脆弱性提供科学依据(表4)。

在敏感性维度下,红河县和元阳县的整体敏感性指标值近似相等(0.45),但敏感性内部各指标有不同程度的差异。两个地区的社会系统敏感性最高(元阳县0.58),与元阳县相比,红河县的生态系统敏感性(0.42)及社会系统敏感性较低(0.54),社会-生态系统紧密度敏感性较高(0.40)。从生态系统敏感性来看,两个地区种植多样性相近,森林覆盖率越高,生态基础越好,生态系统的敏感性越低。在社会系统敏感性层面,两个地区的各指标都很接近,值得注意的是,两个地区的社会抚养比重及女性主导家庭比重都很高,而社会公共服务严重不足。由于哈尼族梯田受地理气候条件限制种植成本较高,而产量却很低,粮食自给率很低,更无利可

图,出于生计压力,当地大部分青年强壮劳动力均外出务工,只剩下老人、妇女和小孩,使得当地抚养比重及女性主导家庭比重较高,人口结构失衡,敏感性较高,不利于气候变化的适应,生计脆弱性增加。红河县参加农业技术培训的家庭比重仅为11%,元阳县更低(1%),在被访家庭中,红河县仅有14%的家庭在受灾后收到了政府援助,元阳县只有11%,两个指标在很大程度上增加了社会敏感性,说明政府的社会公共服务供给不足会增加当地的脆弱性。在社会-生态系统紧密度层面,元阳县(0.35)比红河县(0.40)的敏感性评价指数较低,说明元阳县对社会-生态系统的经营与维护更好,社会-生态系统的敏感性低,对气候变化更具有适应弹性。与红河县对比,元阳县的乱砍滥伐情况更少,养殖种类更多,当地居民对社区的依赖程度也更高(0.73),为达成社区层面的气候变化适应集体行动奠定了基础,在一定程度上减弱了对气候变化的敏感性,进而降低生计脆弱性。

适应能力包括适应意愿和适应资本两个层面(表5)。在适应意愿维度下,红河县与元阳县大多数被访农户(红河县0.98,元阳县0.94)都能感知到当地的气候变化。“是否主动参与沟渠管理”指标代表了当地是否主动采取气候变化行动,两个地区在该指标上有所差异,与敏感性评价结果相一致地,元阳县居住粘性更大,有更好的集体行动基础,有60%的家庭都参与了当地的沟渠管理行动,红河县有48%的家庭在近6年内采取了沟渠管理集体行动。综合上述两个指标,元阳县的适应意愿(0.75)比红河县(0.69)更强,有利于开展气候变化适应行动。

适应资本包括人力资本、自然资本、物质资本、金融资本和社会资本5个次级指标。从整体来看,

表4 不同地区的敏感性指标比较
Table 4 Comparison of sensitivity indicators in different regions

| 指标 | 红河县 | 元阳县 | 指标 | 红河县 | 元阳县 |
|----------|------|------|---------------|------|------|
| 生态亚系统 | 0.42 | 0.43 | 参加农业技术培训家庭比重 | 0.89 | 0.99 |
| 种植多样性 | 0.35 | 0.34 | 灾后收到政府援助的家庭比重 | 0.86 | 0.89 |
| 森林覆盖率 | 0.51 | 0.55 | 社会-生态系统紧密度 | 0.40 | 0.35 |
| 社会亚系统 | 0.54 | 0.58 | 居住粘性 | 0.63 | 0.73 |
| 社会抚养比重 | 0.47 | 0.48 | 养殖多样性 | 0.25 | 0.20 |
| 女性主导家庭比重 | 0.42 | 0.41 | 乱砍滥伐程度 | 0.40 | 0.30 |
| 耕地有效灌溉率 | 0.30 | 0.40 | 敏感性 | 0.45 | 0.45 |

2018年9月

红河县的适应资本(0.35)比元阳县的适应资本(0.30)强(表5)。分地区来看(图2),两地区金融资本对适应能力的贡献值最大,自然资本较低,人力资本和金融资本指标值相近,社会资本与物质资本相差显著,这些适应资本在气候变化适应实践中发挥着重要作用,适应资本越多,对气候变化的脆弱性就越小。

(1)人力资本。红河县的家庭劳动能力较高(0.42),户主代表家庭的管理者,两地区的户主受教育程度都较低,两地区78%的户主文化程度处于小学和文盲水平,远低于全国平均水平,而劳动能力及受教育水平将在很大程度上制约农户做出气候变化适应行动决策。

(2)自然资本。自然资本包括人均耕地面积及粮食自给率两个指标,红河县的自然资源(0.31)水平高于元阳县(0.28)。值得注意的是,红河县人均耕地面积高于元阳县,但红河县的粮食自给率

(0.46)却低于元阳县(0.68)。原因是哈尼族以水稻为主食,而红河县的养殖农户比例较高,追求成本最低而不是利益最大化的农户为了降低养殖成本,满足牲口需要大面积种植玉米面积,占总耕地面积的52.10%,这在一定程度上增加了红河县哈尼族对气候变化的生计脆弱性。

(3)物质资本。物质资本包括人均住房面积及家庭固定资产指数两个指标,红河县的物质资本(0.44)高于元阳县(0.30)。红河县的户主人均住房面积与元阳县相差不大,且住房类型相近,两个地区在住房条件差距不大。在固定资产方面,红河县拥有牲畜围栏(69.50%)及储水池(74.40%)的比重都比元阳县高,说明在物质相对匮乏的少数民族地区,牲畜围栏及储水池是影响当地社会-生态系统脆弱性的重要因素,若自家拥有牲畜围栏及储水池,人畜的居住条件和环境及饮水安全就能得到保障,适应气候变化的能力也就越强,生计脆弱性就

表5 适应能力地区比较

Table 5 Regional comparison of adaptability

| 适应能力 | 红河县 | 元阳县 | 适应能力 | 红河县 | 元阳县 |
|------------|------|------|--------------|------|------|
| 适应意愿 | 0.69 | 0.75 | 物质资本 | 0.44 | 0.30 |
| 气候变化感知程度 | 0.98 | 0.94 | 人均住房面积 | 0.34 | 0.22 |
| 参与沟渠管理家庭比重 | 0.48 | 0.60 | 家庭固定资产多样化指数 | 0.58 | 0.40 |
| 适应资本 | 0.35 | 0.30 | 金融资本 | 0.64 | 0.65 |
| 人力资本 | 0.32 | 0.34 | 人均可支配收入 | 0.71 | 0.71 |
| 家庭平均劳动能力 | 0.42 | 0.40 | 可获得无偿援助的家庭比例 | 0.58 | 0.60 |
| 户主平均受教育程度 | 0.24 | 0.28 | 社会资本 | 0.19 | 0.13 |
| 自然资本 | 0.31 | 0.28 | 参与合作组织家庭比重 | 0.04 | 0.01 |
| 人均耕地面积 | 0.22 | 0.12 | 社会保险多样化指数 | 0.32 | 0.52 |
| 粮食自给率 | 0.46 | 0.68 | 社会关系网络支持度 | 0.56 | 0.62 |
| | | | 适应能力指数 | 0.49 | 0.47 |

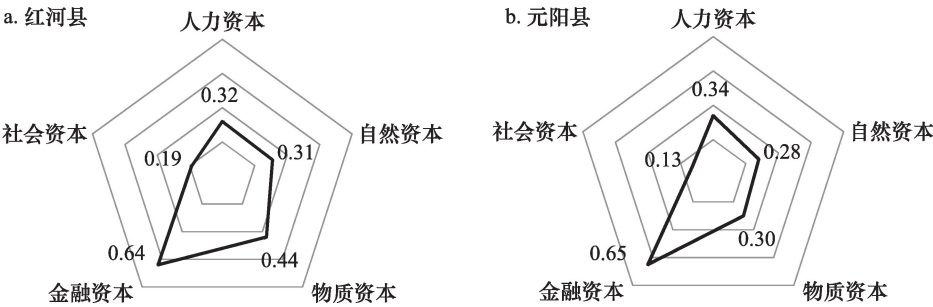


图2 适应资本地区比较

Figure 2 Comparison of regional differences in adaptation capital

越弱。

(4)金融资本。金融资本包括人均可支配收入及可以获得无偿援助的家庭比重两个指标。两地区的金融资本状况较好,在适应资本中占比最大,地区差异不大。虽然农户的人均可支配收入并不高,但亲朋好友的无偿援助可获得性较强,是哈尼族在气候变化条件下做出市场行为(如贷款办家庭旅馆、购买种苗化肥农药等),增强其适应能力,降低社会-生态系统脆弱性的重要保障。

(5)社会资本。社会资本包括参与合作组织家庭比重、社会保险多样化指数及社会关系网络支持度三个指标。两个地区的社会资本对适应资本的贡献最小,红河县的社会资本略优于元阳县。在社会保险方面几乎所有家庭都参加了医疗保险及养老保险,此外,说明红河县的社会保险的参与度及丰富度较高,有32.30%的农户还参加了住房保险,有效降低极端气候事件对生计冲击。与社会-生态系统敏感性相一致地,元阳县的社会关系网络支持度(0.62)高于红河县(0.56),但两地区哈尼族参与社会合作组织的比重都较少,均在5%以下。大多数农户没有参加相关合作组织及农林业保险,一旦气候变化和极端气候事件发生,农户将很难分散风险来保障生计。

5 结论与建议

在气候变化背景下,为了更好地了解哈尼族农村社区对气候变化的脆弱性,帮助其更好地在气候变化压力下维持生计,本文以社会-生态系统理论为基础,在气候-生计脆弱性分析框架下,利用相关统计数据及红河州2个县244农户的实地调研数据,科学地评估了研究区域社会-生态系统的脆弱性。

(1)在高暴露度的气候变化压力下,哈尼族社会-生态系统整体敏感性弱,脆弱性处于较低水平(0.02)。哈尼族可持续的“森林-村寨-梯田-水系”四素同构的社会-生态系统基础,降低了社会-生态系统对气候变化的敏感性。传统的组织制度,资源管理实践,集体行动及互帮互助机制有效提高哈尼族的适应能力,从而降低了其对气候变化的生计脆弱性。

(2)通过不同地区比较发现,哈尼族各地区整体脆弱性水平差异不大,但不同地区敏感性及适应

能力内部结构分化明显。由于各地的资源禀赋及社会经济文化基础不同,各指标对脆弱性的贡献大小也不同。

(3)自然资本、物质资本及社会资本是制约地区适应能力的重要因素。哈尼族农村经济基础薄弱,社区公共服务供给匮乏,家庭人力、物质、自然、社会等适应资本不足,脆弱性较大,限制气候变化适应行为的开展。

结合上述结论,本文针对性地提出以下政策建议:

(1)保护哈尼族传统的生态文化,维护可持续的社会-生态系统,增强少数民族地区气候变化的适应性。哈尼族的生态文化,尤其是传统的自然资源管理知识及组织制度能够为气候变化适应性策略的实施提供坚实的行动支撑,增强哈尼族对气候变化的适应性。此外,可持续的社会-生态系统是适应气候变化的物质保障,充分发挥哈尼族传统在社会-生态系统维护中的作用,使其积极参与到区域层面的气候变化适应行动中。

(2)区划脆弱地区,辨别脆弱性指标,因地制宜地降低社会-生态系统对气候变化的脆弱性。通过各个地区脆弱性测算,对脆弱性划定地区脆弱性等级。再通过地区之间的比较,找到各地区脆弱性指标的内部结构差异,从不同方面降低不同地区社会-生态系统的脆弱性,提高区域对气候变化的适应性。

(3)加强农村社会公共服务供给,有针对性增强适应资本。加强社会公共服务供给,增加当地教育、就业培训等投资,优化社会金融、保险机制,丰富生计来源,有针对性地提高人力、物质、自然等适应资本,是降低气候变化脆弱性的重点。

参考文献(References):

- [1] 陈莉,左停,唐丽霞. 改革三十年来中国村庄的环境与气候变迁—基于全国150个村庄调查数据的分析[J]. 调研世界, 2010, (10): 34-38. [Chen L, Zuo T, Tang L X. Environmental and climate change of Chinese villages in thirty years of reform: an analysis based on survey data of 150 villages in China [J]. *World Investigation*, 2010, (10): 34-38.]
- [2] 胡元凡,徐秀丽,齐顾波. 社区层面的气候变化脆弱性和适应能力表达—以宁夏盐池县Gt村为例[J]. 林业经济, 2012, (9): 46-

2018年9月

54. [Hu Y F, Xu X L, Qi G B. Changes of climate vulnerability and adaptability at community level—a case study of Gt village in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region[J]. *Chinese Journal of Forestry Economics*, 2012, (9): 46–54.]
- [3] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京: 商务印书馆, 2001. [Liu Y H, Li X B. *Vulnerable Environments and Sustainable Development*[M]. Beijing: The Commercial Press, 2001.]
- [4] IPCC. Summary for policymakers, Fourth Assessment Report (AR4) [C]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Shah K U, Dulal H B, Johnson C, *et al.* Understanding livelihood vulnerability to climate change: applying the livelihood vulnerability index in Trinidad and Tobago[J]. *Geoforum*, 2013, 47(2): 125–137.
- [6] 周利光. 基于脆弱性和适应对策评估的草原畜牧业适应气候变化研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2013. [Zhou L G. Study on Grassland and Husbandry to Adapt to Climate Change Based on Vulnerability and Adaptive Strategy Assessment [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2013.]
- [7] 王艳君, 高超, 王安乾, 等. 中国暴雨洪涝灾害的暴露度与脆弱性时空变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(6): 391–398. [Wang Y J, Gao C, Wang A Q, *et al.* Temporal and spatial characteristics of exposure and vulnerability of storm floods in China[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2014, 10(6): 391–398.]
- [8] 杨建平, 杨岁桥, 李曼, 等. 中国冻土对气候变化的脆弱性[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1436–1445. [Yang J P, Yang S Q, Li M, *et al.* Vulnerability of frozen soil in China to climate change[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(6): 1436–1445.]
- [9] 赵东升, 吴绍洪. 气候变化情景下中国自然生态系统脆弱性研究[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 602–610. [Zhao D S, Wu S H. Study on vulnerability of natural ecosystem in China under climate change scenarios[J]. *Journal of Geographical*, 2013, 68(5): 602–610.]
- [10] 夏军, 雒新萍, 曹建廷, 等. 气候变化对中国东部季风区水资源脆弱性的影响评价[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(1): 8–14. [Xia J, Luo X P, Cao J T, *et al.* Impact assessment of water resources vulnerability to climate change in monsoon region of east China [J]. *Climate Change Research*, 2015, 11(1): 8–14.]
- [11] 谭淑豪, 谭文列婧, 励汀郁, 等. 气候变化压力下牧民的社会脆弱性分析—基于内蒙古锡林郭勒盟4个牧业旗的调查[J]. 中国农村经济, 2016, (7): 67–80. [Tan S H, Tan W L J, Li T Y, *et al.* Analysis of social vulnerability of herdsmen under the pressure of climate change—based on the survey of 4 animal husbandry flags in Xilinguole League of Inner Mongolia [J]. *Chinese Rural Economy*, 2016, (7): 67–80.]
- [12] Medowell G, Ford J, Jones J. Community-level climate change vulnerability research: Trends, progress, and future directions[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(3): 1–10.
- [13] 周苏娥, 张明军, 王圣杰, 等. 甘肃省河西地区自然-社会系统脆弱性评价[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 452–462. [Zhou S E, Zhang M J, Wang S J, *et al.* Assessment of vulnerability in natural-social system in Hexi, Gansu[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 452–462.]
- [14] Pandey R, Bardsley D K. Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya[J]. *Applied Geography*, 2015, 64: 74–86.
- [15] Ford J D, Smit B. A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian arctic to risks associated with climate change[J]. *Arctic*, 2004, 57(4): 389–400.
- [16] Mendoza M E T, Bui D T, Heng N, *et al.* Assessing vulnerability to climate change impacts in Cambodia, the Philippines and Vietnam: an analysis at the commune and household level[J]. *Journal of Environmental Science and Management*, 2014, 17(2): 78–91.
- [17] 谭灵芝, 王国友, 马长发. 气候变化对干旱区居民生计脆弱性影响研究—基于新疆和宁夏两省区的农户调查[J]. 经济与管理, 2013, (3): 10–16. [Tan L Z, Wang G Y, Ma C F. Effective livelihood adaptation to climate change disturbance—based on Xinjiang and Ningxia’ social survey[J]. *Economy and Management*, 2013, (3): 10–16.]
- [18] 张钦, 赵雪雁, 雒丽, 等. 高寒生态脆弱区气候变化对农户生计的脆弱性影响评价—以甘南高原为例[J]. 生态学杂志, 2016, 35(3): 781–790. [Zhang Q, Zhao X Y, Luo L, *et al.* Evaluation of the impact of climatic change in the ecologically fragile areas of high-cold peasant households on the fragility of livelihoods of farmers—taking the Gannan plateau as an example[J]. *Journal of Ecology*, 2016, 35(3): 781–790.]
- [19] Morzaria-Lina H N, Turk-Boyer P, Moreno-Baez M. Social indicators of vulnerability for fishing communities in the northern Gulf of California, Mexico: implications for climate change[J]. *Marine Policy*, 2014, 45(2): 182–193.
- [20] Hahn M B, Riederer A M, Foster S O. The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change: a case study in Mozambique[J]. *Global Environmental Change Human and Policy Dimensions*, 2009, 19(1): 74–88.
- [21] Ahsan M N, Warner J. The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks: a case study in the south western coastal Bangladesh[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2014, 8: 32–49.
- [22] 喻忠磊, 杨新军, 石育中. 关中地区城市干旱脆弱性评价[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 581–588. [Yu Z L, Yang X J, Shi Y Z. Evaluation of urban drought vulnerability in Guanzhong Region[J]. *Resources Science*, 2012, 34(3): 581–588.]
- [23] 李梦娜, 钱会, 乔亮. 关中地区农业干旱脆弱性评价[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 166–174. [Li M N, Qian H, Qiao L. Evaluation of agricultural drought vulnerability in Guanzhong region [J]. *Re-*

- sources and Science*, 2016, 38(1): 166–174.]
- [24] 吴洪斌, 刘荣国, 王原, 等. 宁夏沙坡头自然保护区气候变化脆弱性评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, (S2): 30–34. [Wu H B, Liu R G, Wang Y, *et al.* Assessment of climate change vulnerability in Shapotou Nature Reserve of Ningxia[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2016, (S2): 30–34.]
- [25] 陈佳, 杨新军, 王子侨, 等. 乡村旅游社会-生态系统脆弱性及影响机理-基于秦岭景区农户调查数据的分析[J]. 旅游学刊, 2015, 30(3): 64–75. [Chen J, Yang X J, Wang Z Q, *et al.* Rural tourism society-ecosystem vulnerability and its impact mechanism-based on the survey of farmers in Qinling Mountains [J]. *Journal of Tourism*, 2015, 30(3): 64–75.]
- [26] IPCC. Climate Change on and Vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [27] 田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. 地理研究, 2013, 32(1): 55–63. [Tian Y P, Xiang Q C, Wang P. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 55–63.]
- [28] Adger W N. Vulnerability global [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268–281.
- [29] 余中元, 李波, 张新时. 社会生态系统及脆弱性驱动机制分析[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1870–1879. [Yu Z Y, Li B, Zhang X S. Analysis of social ecosystem and mechanism of vulnerability[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(7): 1870–1879.]
- [30] 程建刚, 宋连春. 云南未来10–30年气候变化预估及其影响评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2014. [Cheng J G, Song L C. Prediction of Climate Change in Yunnan in the Next 10–30 Years and Its Impact Assessment Report[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2014.]
- [31] 韩迁立, 唐浩鹏. 近50a云南红河州气象干旱气候特征分析[J]. 贵州气象, 2014, 38(5): 17–19. [Han Q L, Tang H P. Study on meteorological and arid climate characteristics of the Honghe in Yunnan in recent 50 years[J]. *Guizhou Meteorological*, 2014, 38(5): 17–19.]
- [32] Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, *et al.* Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [33] Pandey R, Jha S K, Alatalo J M, *et al.* Sustainable livelihood framework-based indicators for assessing climate change vulnerability and adaptation for Himalayan communities[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 79: 338–346.
- [34] Turner B N, Kasperson R E, Matson P A, *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2003, 100(14): 8074–8079.
- [35] Simane B, Zaitchik B F, Foltz J D. Agroecosystem specific climate vulnerability analysis: application of the livelihood vulnerability index to a tropical highland region[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2016, 21(1): 39–65.
- [36] Marshall N A, Stokes C J, Webb N P, *et al.* Social vulnerability to climate change in primary producers: a typology approach[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2014, 186(3): 86–93.
- [37] Fussler H M, Klein R. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking[J]. *Climatic Change*, 2006, 75 (3): 301–329.
- [38] 李小云, 董强, 饶小龙, 等. 农户脆弱性分析方法及其本土化应用[J]. 中国农村经济, 2007, (4): 32–39. [Li X Y, Dong Q, Rao X L, *et al.* Analysis method of peasant household vulnerability and its application in localization [J]. *Chinese Rural Economy*, 2007, (4): 32–39.]
- [39] 韩峥. 广西西部十县农村脆弱性分析及对策建议[J]. 农业经济, 2002, (5): 38–39. [Han Z. Analysis and countermeasures on rural vulnerability in ten counties in west Guangxi [J]. *Agricultural Economy*, 2002, (5): 38–39.]
- [40] 杨浩, 庄天慧, 蓝红星. 气象灾害对贫困地区农户脆弱性影响研究-基于全国592个贫困县53271户的分析[J]. 农业技术经济, 2016, (3): 103–112. [Yang H, Zhuang T H, Lan H X. Study on the vulnerability of meteorological disasters to farmers in poor areas-based on the analysis of 53271 Households in 592 impoverished counties in China [J]. *Agricultural Technology and Economy*, 2016, (3): 103–112.]
- [41] 张冀, 祝伟, 王亚柯. 家庭经济脆弱性与风险规避[J]. 经济研究, 2016, (6): 157–171. [Zhang J, Zhu W, Wang Y K. Family economic vulnerability and risk aversion [J]. *Journal of Economic*, 2016, (6): 157–171.]
- [42] 常丽博, 马广波, 金胜男. 国有林区林场撤并前后职工家庭的福利变化研究[J]. 中国林业经济, 2015, (1): 71–76. [Chang L B, Ma G B, Jin S N. Study on the change in welfare of worker family of forest before and after merging of the State-owned Forest Zone [J]. *China Forestry Economics*, 2015, (1): 71–76.]
- [43] 高进云, 乔荣锋. 森的可行能力框架下福利模糊评价的权重结构讨论[J]. 软科学, 2010, 24(6): 133–136. [Gao J Y, Qiao R F. A discussion on weighting structure of welfare fuzziness evaluation under the feasibility framework of Sen [J]. *Soft Science*, 2010, 24 (6): 133–136.]
- [44] 谭萍. 红河州年鉴[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2010. [Tan P. Honghe Yearbook[M]. Kunming: Yunnan People's Press, 2010.]

Hani minority social-ecological system vulnerability assessment to climate change——a case study of Hani minority rural community in Honghe Prefecture, Yunnan Province

CHANG Libo¹, LUO Yaofeng¹, LIU Jinlong²

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China;

2. School of Agricultural Economics & Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: The Hani terrace in Honghe Prefecture, Yunnan Province, China, has been listed as a world natural and cultural heritage, and its adaptation to climate change is typical. A scientific evaluation of vulnerability to climate change in ethnic minority regions is significant to make climate change adaption policy and sustainable development in minority area. A “climate-livelihood” vulnerability assessment framework was built based on a vulnerability analysis framework of “exposure- sensitive- adaptability” proposed by IPCC. The vulnerability of the minority rural social-ecological systems to climate change was evaluated and analyzed using the fuzzy comprehensive evaluation method combined the questionnaire survey data and meteorological statistics taking Hani minority area in Honghe prefecture, Yunnan Province as a case study. The results are as following: ① The minority communities in rural areas would have a higher exposure to climate change (0.52), but its overall vulnerability is low (0.02). It is noted that the sensitivity of social- ecological system is lower (0.44) while local adaptability is moderate (0.48). ② Social-ecological system in Hani rural area is less vulnerable to climate change due to the local sustainable social- ecological factors, traditional culture about production and living practice, efficient organization system, and low-cost collective action mechanism. ③ The internal structure of sensitivity and adaptability differ from region to region, such as, natural capital, material capital, and social capital. Thus, improving the adaptability of the region from these three aspects respectively is a key to reducing vulnerability. Moreover, protecting local social-ecological system, playing the role of traditional culture and organization system, as well as increasing the public services supply at community level can help maintain the low vulnerability and enhance the adaptability to climate change in ethnic minorities area.

Key words: climate change; social-ecological system; vulnerability; Hani minority