

DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2018.129

李彩瑛, 阎建忠, 花晓波, 等. 农户生计对气候变化的敏感性研究综述 [J]. 气候变化研究进展, 2019, 15 (3): 290-300

Li C Y, Yan J Z, Hua X B, et al. Review on the sensitivity of farmers' livelihoods to climate change [J]. Climate Change Research, 2019, 15 (3): 290-300

## 农户生计对气候变化的敏感性研究综述

李彩瑛<sup>1</sup>, 阎建忠<sup>1</sup>, 花晓波<sup>2</sup>, 张镜铨<sup>3</sup><sup>1</sup> 西南大学资源环境学院, 重庆 400716;<sup>2</sup> 京都大学亚洲非洲地域研究研究科, 京都 606-8501, 日本;<sup>3</sup> 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

**摘要:** 开展农户生计对气候变化的敏感性研究有利于深入认识气候变化与生计的关系, 对增强农户的气候变化适应能力和降低生计脆弱性具有重要意义。在梳理不同领域敏感性概念的基础上, 阐述了农户生计对气候变化敏感性的科学内涵和研究框架, 重点分析了敏感性表征和综合评价指标体系。农户生计对气候变化的敏感性是指气候变化和极端事件对农户生计的影响程度, 敏感性表征主要表现在气候变化对自然资源、人类健康、牲畜、资产和收入等方面的影响, 不同地区 and 人群敏感性表征具有差异性。农户生计对气候变化的敏感性随着发展程度提高而下降, 生计多样化、基础设施建设等有助于降低气候变化的影响。生计敏感性多为脆弱性研究的一部分, 常以可持续生计分析为框架, 运用指标评估法进行综合评价。未来研究需要完善敏感性理论框架和研究方法, 加强适应的有效性评估, 以及开展跨区域或跨时段生计敏感性对比研究, 重点关注生态脆弱和贫困地区。

**关键词:** 敏感性; 脆弱性; 气候变化; 生计; 发展中国家

### 引言

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告<sup>[1]</sup>指出, 全球地表平均温度升高了 0.85 °C (1880—2012 年), 平均海平面升高了 0.19 m (1901—2010 年), 低温极端事件减少, 高温极端事件增多以及许多区域强降水事件增多。尽管一些区域受益于气候变化 (如中高纬度地区, 气候变暖会增加作物和牧草产量<sup>[2]</sup>), 但多数地区受到气候变化的不利影响, 特别是发展中国家的农村地区。一方面, 农户生计极大地依赖农、林、牧、渔业等部门, 这些部门受气候变化的影响较大, 如粮食减

产、水资源短缺、捕鱼量下降等<sup>[3]</sup>; 另一方面, 农村地区医疗、灌溉等基础设施薄弱, 农业投入不足, 农户抵抗外部风险的能力较弱<sup>[4]</sup>。农户生计对气候变化非常敏感和脆弱, 研究气候变化背景下农户生计敏感性问题, 探寻气候变化适应措施, 对降低农村贫困人口生计脆弱性具有重要意义<sup>[5]</sup>。

敏感性是某个系统对其内部或外部因素变化的响应程度, 敏感性研究从自然生态系统、社会经济系统发展到自然—社会—经济复合式系统<sup>[6]</sup>。自然—社会—经济复合式系统的敏感性研究多是脆弱性框架的一部分。气候变化脆弱性被定义为暴露度、敏感性、适应能力的函数<sup>[7]</sup>, 国内外学者对脆弱性

收稿日期: 2018-09-26; 修回日期: 2018-12-21

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41571093); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA20040201)

作者简介: 李彩瑛, 女, 硕士研究生, licaiying2012@foxmail.com; 阎建忠 (通信作者), 男, 研究员, yanjzswu@126.com

理论和实证研究进行了大量阐述<sup>[8-13]</sup>。脆弱性评估有利于发现脆弱性表现和脆弱性成因,了解脆弱区域和人群的分布<sup>[14]</sup>,脆弱性研究更关注综合评估结果,而忽视了内部要素之间的作用机制。通过剖析脆弱性框架下的敏感性,能够认识气候变化和研究主体之间的相关关系,更有利于发现关键制约因素。

目前,很少有研究系统梳理农户生计敏感性问题,在气候变化背景下,农户生计的敏感性表现有哪些?如何定量评估农户生计的敏感性?这些问题亟待厘清。因此,本文在梳理不同领域的敏感性概念基础上,阐述了农户生计对气候变化敏感性的科学内涵,基于可持续生计分析框架,提出了农户生计对气候变化敏感性研究初步框架,重点分析了敏感性表征和指标评价体系,最后指出未来研究方向,旨在为不同区域的脆弱性和敏感性实证研究提供科学借鉴,并为政府制定科学的气候变化适应策略提

供参考。

## 1 农户生计对气候变化的敏感性科学内涵和研究框架

### 1.1 农户生计对气候变化的敏感性科学内涵

从医学、生物学到数学、经济学、生态学等许多学科都使用“敏感性”术语,不同学科背景敏感性的内涵不同(表1)。早期敏感性研究关注社会经济系统和自然生态系统,如药物敏感性、利润敏感性、气候敏感性、生态环境敏感性等,随后发展到自然-社会-经济复合式系统,如农业敏感性、人群(社区)敏感性等。综合各学科对敏感性的定义,敏感性是某个系统(受体)对外部或内部变化(扰动)的反应程度<sup>[6]</sup>。

农户对气候变化的敏感性研究多是在脆弱性框架下进行的。IPCC 第三次评估报告<sup>[7]</sup>将气候变化

表 1 不同领域敏感性的定义

Table 1 Definition of sensitivity in different fields

研究对象	举例	概念内涵	解释说明	参考文献
社会经济系统	药物敏感性	抗菌药物对病原微生物的抑制作用大小,研究药物敏感性能够指导选择治疗药物和了解病原菌耐药性变迁	应用于医学、生物学领域	[15-16]
	利润敏感性	利润大小受到某一种或多种因素(如产品价格、销售量、成本水平、产品品种结构等)变化的影响程度。若某一因素变动不大对利润造成的影响却很大,则说明利润对这一因素的敏感性较强。对利润进行敏感性分析可辅助企业进行经营风险防范	应用于经济学领域	[17-18]
自然生态系统	气候敏感性	气候系统对外界扰动的响应程度,即大气 CO <sub>2</sub> 含量加倍或气候辐射平衡变化引起的全球平均温度变化	应用于气象学领域	[19-20]
	生态环境敏感性	1995 年,陈利顶等 <sup>[21]</sup> 提出生态环境敏感度的概念,指一个区域生态系统对人类活动反应的敏感程度,即区域生态系统在人类活动影响下,发生恶化的潜在可能性。后来,欧阳志云等 <sup>[22]</sup> 进一步深化了该概念,指出生态环境敏感性是生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反应程度,说明发生区域生态环境问题的难易程度和可能性大小	包括独立敏感性研究和脆弱性框架下的研究	[21-22]
自然-社会-经济复合式系统	农业敏感性	农业系统受到气候变化(包括气候变率和极端气候事件)的不利影响程度,粮食生产系统对气候变化的敏感性即粮食种植制度和布局、产量和品质等对气候情景的响应程度。如小麦对气候变化的敏感程度可以用小麦产量的变化率来表示	包括独立敏感性研究和脆弱性框架下的研究	[23-24]
	人群(或社区)敏感性	特定人群(如女性、儿童、老年人、农民)或社区对气候变化或自然灾害事件的敏感程度	脆弱性框架下的研究	[25]

脆弱性定义为“系统受到气候变率和极端气候事件而产生不利影响的程度，是气候变率的特征、强度、速率以及敏感性和适应能力的函数”。尽管脆弱性概念庞杂，但暴露度、敏感性、适应能力是脆弱性的3个构成要素得到学者普遍认可<sup>[26-27]</sup>，厘清三要素的概念内涵有利于加深对敏感性概念的理解。(1) 暴露度：是系统经历的气候事件、环境条件、社会政治压力大小、频率、持续时间等或人员、生计、环境服务和各种资源、基础设施以及经济、社会或文化资产处在有可能受到不利影响的位置<sup>[3]</sup>。(2) 敏感性：是系统受到不同因素影响的程度，这种影响可能是直接的（如作物响应于气温导致产量的变化）或间接的（如由海平面上升引起的沿海洪泛频率的增加造成的损害）<sup>[9]</sup>。(3) 适应能力：是系统为适应环境危害或政策变化而演变的能力<sup>[28]</sup>，是对经济资本、自然资源、技术水平、社会保障的综合评价<sup>[29]</sup>。

对农户而言，暴露度是与农户相关的资产处在气候变化和极端事件不利影响的位置，可用强度、频率、持续时间衡量暴露度的大小，敏感性是气候变化和极端事件对农户生计的影响程度，适应能力是农户为适应气候变化演变的能力。农户生计对气候变化的敏感性大小受到外界压力和内部适应力的共同影响，如气候变化、极端事件等暴露因素可能会减少作物产量，而农户采取改善灌溉设施、改变作物品种等策略可以降低气候变化的影响。

### 1.2 农户生计对气候变化的敏感性研究框架

崔胜辉等<sup>[6]</sup>提出全球变化背景下敏感性研究框架（图1），将敏感性研究分为敏感性分析和敏感性评价。前者是通过回答“什么是敏感的”“对什么敏感”“为什么敏感”“有多敏感”等探明敏感因素影响敏感主体的机制，而后者是解决“敏感的结果”问题，即评估研究主体受到气候变化影响的程度。该框架仅从整体上厘清了全球变化背景下敏感性研究思路，即确定敏感主体、敏感因素及后者对前者的作用机制和影响程度，但并未深入分析某一主体的敏感性。

英国国际发展署（DFID）<sup>[30]</sup>提出的可持续生计

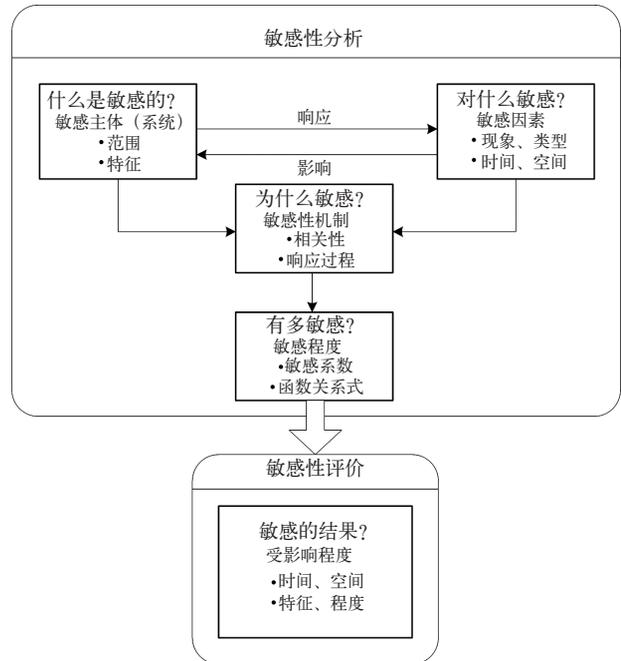


图1 全球变化背景下敏感性框架<sup>[6]</sup>

Fig. 1 Sensitivity framework in the context of global change<sup>[6]</sup>

框架为农户生计研究提供了理论基础，它能够用于分析构成生计的关键组成部分和影响生计的背景因素。农户的生计资产被分为自然、物质、人力、金融和社会资产，为实现谋生目的而选择的组合构成生计策略。资产的获取及利用受外在冲击（如气候、经济、政策或自然灾害等）及制度和社会过程（如组织、乡规民约、权属等）的影响<sup>[31]</sup>，可持续生计框架可用于鉴别生计的主要限制因素和不同因素的关系，并在此基础上设计有针对性的干预措施<sup>[32]</sup>。结合可持续生计框架，学者多以“暴露度—敏感性—适应能力”框架评估脆弱性<sup>[33]</sup>，Turner等<sup>[34]</sup>提出了跨尺度的脆弱性框架，该框架包括区域的人文条件和环境条件，二者相互作用的压力和扰动，以及表征脆弱性的暴露度、敏感性、适应能力（恢复力）要素，各要素在不同尺度上相互作用（全球、区域、地方）。脆弱性框架有利于理解脆弱性内部构成要素，为脆弱性评估提供参考。

本文参考以上框架，绘制农户生计对气候变化的敏感性框架（图2）。气温、降雨、大气CO<sub>2</sub>浓度等气候因素及自然灾害事件等直接或间接对农户生计资产产生影响，而政策、体制、经济、社会文化以及农户的生计策略等适应因素能够降低气候变

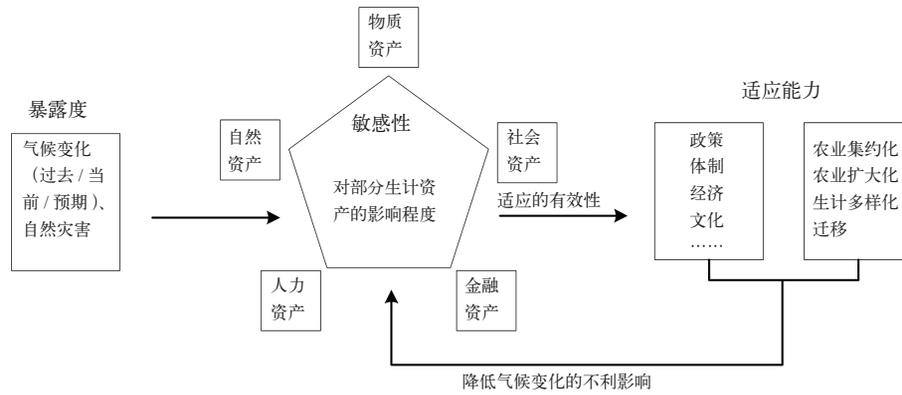


图 2 农户生计对气候变化的敏感性研究框架

Fig. 2 Research framework of farmers' sensitivity to climate change

化的不利影响<sup>[34-35]</sup>。适应是一种学习和调整的风险管理策略<sup>[36]</sup>, 家庭收入多样化程度、教育水平、社会网络、采取适应气候变化的措施等因素有助于降低农户生计对气候变化的敏感程度<sup>[37-38]</sup>。如干旱地区农户可通过种植抗旱作物和开采地下水来降低对干旱的敏感性<sup>[39]</sup>; 增强有效灌溉能力、引进先进技术和资金投入等增强适应能力的措施都能降低农业区域的敏感性<sup>[40-41]</sup>。气候变化适应选择的有效性可以通过观察自然资本(及相关生态系统服务)和其他资本对农户所面临的气候变化水平的敏感性来衡量<sup>[31]</sup>。

## 2 农户生计对气候变化的敏感性表征

当前, 许多研究关注与农户生计相关的单一要

素(如作物产量、牲畜健康、人类健康等)对气候变化的敏感性<sup>[42-43]</sup>, 而农户生计总体对气候变化的敏感性则多为脆弱性研究的一部分。本文从自然资源、人类健康、牲畜、资产和收入几个方面总结了农户生计对气候变化的敏感性表征(表 2)。

不同地区农户赖以生存的自然资源不同, 农户生计对气候变化的敏感性表征具有差异性。众多农业对气候变化的敏感性研究表明, 作物对气候变化的敏感性因地域差异<sup>[67]</sup>、作物种类差异<sup>[43]</sup>、作物生育期不同阶段<sup>[68]</sup>而不同。总的来说, 气候变化对作物的生长发育、产量品质和种植制度产生一定程度的有利和不利影响<sup>[23]</sup>, 一方面, 气候变暖使作物生长季延长、生育期缩短、种植界线向高纬度和高海拔移动、产量增加<sup>[69-71]</sup>; 另一方面, 气象灾害或病虫害等会导致作物产量减少、品质

表 2 农户生计对气候变化的敏感性表征

Table 2 Sensitivity characterization of farmers' livelihood to climate change

类别	敏感性主要表征	参考文献
自然资源	耕地: 作物产量、品质、生长季、生育期、种植带等变化	[43-45]
	牧业: 草地生物量、生产力、生长季等变化, 虫草、贝母、羌活等药材资源变化	[46-48]
	渔业: 鱼类产量、繁殖、死亡率、分布等变化	[49-51]
	林业: 薪柴、药用植物等变化	[52-53]
	水资源短缺	[54-55]
人类健康	死亡、发病率变化、营养不良等	[56-59]
牲畜	死亡、发病率变化, 肉类、奶制品产量和质量及产蛋量变化等	[42, 46, 60-62]
资产和收入	房屋、农田、渔船、基础设施等直接受损, 收入间接波动	[58, 63-66]

降低<sup>[44, 72]</sup>。此外, 农业水资源缺乏也会影响作物的敏感性<sup>[55]</sup>, 特别是在干旱和半干旱地区<sup>[54]</sup>。气候变化对作物的影响会间接影响粮食价格和农户的家庭收入<sup>[45, 65]</sup>。

气候变化还对草地、药材、鱼类、林产品等资源产生直接影响, 除少数有利影响外(如草地地上生物量增多<sup>[48]</sup>、某些鱼类生长季节性增加、冷水死亡率降低等<sup>[58]</sup>), 多数为不利影响。如在牧区, 草场生产力降低、植物多样化降低、植物生长季缩短、虫草等药材产量减少等, 最终导致牧民收入减少<sup>[46, 66, 73]</sup>; 在沿海社区, 洪水、飓风、海平面上升等加深了渔民脆弱性<sup>[74]</sup>, 气候变化可能导致鱼类产量下降, 从而影响依赖渔业的社区生计<sup>[49-50]</sup>; 对依赖森林资源的农户而言, 气候变化影响了森林产品木材、药用植物等<sup>[52-53]</sup>。总之, 气候变化通过直接影响土地、森林、牧场、水源等自然资源, 最终间接影响依赖这些自然资源的家庭收入, 较高的自然资源依赖度会加大农户生计对气候变化的敏感性<sup>[64, 75]</sup>。

养殖牲畜是畜牧业生产系统(包括纯牧系统、作物-牲畜混合系统及工业化养殖系统)农户的生计活动之一。虽然气温升高使得一些地区牲畜死损率下降、幼畜存活率上升<sup>[76]</sup>, 但牲畜受到的不利影响仍然较多。气候变化会直接或间接影响牲畜生产(生长、肉和奶的产量和质量、产蛋量等)、繁殖及健康状况<sup>[42, 61]</sup>。直接影响主要表现为对动物的生理影响, 极端自然灾害甚至会直接导致牲畜死亡<sup>[62]</sup>。气候变化通过改变水源或牧草、植物入侵以及增加寄生虫间接影响牲畜生产<sup>[47]</sup>。

气候变化对人类健康的影响主要表现为直接影响(气温、降水变化及高温热浪、暴雨、洪涝等造成的暴露效应)、自然系统的间接影响(如生物性、水源性传染病)和人类系统调节的间接影响(如营养不良、心理压力等)<sup>[77-78]</sup>。如在孟加拉国沿海地区, 飓风、洪水等极端天气事件会直接造成人的死亡、身体残疾等<sup>[58]</sup>; 在尼日利亚, 由于洪水污染水源, 导致渔民疟疾、伤寒和霍乱发病率增加<sup>[57]</sup>。不同人群对气候变化的敏感性不同, 如妇女、幼儿和老年人是较为脆弱、敏感的社会群体。据报道, 年龄

在15岁以下和65岁以上的人更容易受到与热相关的死亡威胁, 气温高于20℃时, 儿童和老人死亡率增加约2.6%<sup>[79]</sup>。

### 3 农户生计对气候变化的敏感性综合评价

#### 3.1 指标评估法

农户生计对气候变化的敏感性常采用指标评估法进行综合评价, 该方法通过选取自然、社会、经济等众多指标并赋予指标权重, 从而计算敏感性指数。指标评估计算过程简单、易于操作, 通过选择指标能够较好反映农户生计敏感性的具体情况。选择指标时需要基于理论和数据, 并考虑研究尺度和研究区情况<sup>[80]</sup>。此外, 也会采用专家或关键信息人士访谈的方式, 综合利益相关者的信息, 建立适合当地的指标体系<sup>[25, 81-82]</sup>。Gbetibouo等<sup>[82]</sup>将指标选择标准总结如下: (1) 相关性(relevancy), 应以脆弱性框架为理论基础; (2) 适当性(adequacy), 指标能够得到准确测量; (3) 简单易行性(ease), 政策制定者容易掌握; (4) 数据可用性(data availability), 数据能够在相关尺度上进行分析。尽管指标选择具有一定的标准, 但研究者在选择指标时仍然具有一定的主观性并且会受到数据的限制, 同时, 跨区域和跨时段的指标体系较难建立。

在选择指标之后, 为消除指标量纲的影响, 需对数据进行标准化处理。然后, 用一定的方法确定指标权重, 赋权方法一般可分为主观法和客观法。在主观赋权法中, 均值权重法是普遍使用的方法之一<sup>[83-86]</sup>, 即将每个指标视为同等重要的程度, 忽视不同指标对指数的影响。该法可能会削弱重要指标的影响程度, 加强不重要指标的影响程度。此外, 专家咨询法<sup>[25, 87]</sup>也可确定权重, 此法赋权重时能够一定程度反映指标的重要程度, 但带有一定的主观性。在客观赋权法中, 熵值法<sup>[88-89]</sup>和主成分分析法<sup>[90]</sup>运用较广且能避免主观人为因素的影响, 但客观赋权可能具有统计学偏差。任何赋权方法都具有一定的优势和劣势, 当前研究还未形成哪一种方法更好的定论, 没有标准的加权方法对每种赋权方法进行精确度测试<sup>[51]</sup>。

### 3.2 敏感性指标

敏感性指标在不同背景和研究尺度下差异较大, 敏感性因素多样化导致指标选择并不统一。本文总结了不同尺度和研究区的敏感性指标(表3), 为脆弱性和敏感性评价提供参考。农户生计对气候变化的敏感性在地区<sup>[82]</sup>、社区<sup>[56]</sup>和家庭<sup>[90]</sup>等不同尺度均有研究。地区和社区尺度的敏感性评价侧重

于从区域的角度了解农户生计受到的限制性因素, 一些发展中国家农户受到健康、食物、水的影响较大, 研究多从这三方面选择敏感性指标, 如在孟加拉国<sup>[84]</sup>、莫桑比克<sup>[83]</sup>、加纳北部<sup>[91]</sup>、印度<sup>[56]</sup>、尼泊尔<sup>[92]</sup>等地均有相应的案例研究; 一些以农业为主的地区, 多选择与农业敏感性相关的指标, 如灌溉能力、土地适宜性、土地覆被变化、作物产量变化、

表3 农户生计对气候变化的敏感性评价指标  
Table 3 Sensitivity assessment indicators of farmers' livelihood to climate change

研究尺度	研究区	指标选择	文献来源
地区尺度	莫桑比克、加纳北部	健康(到医疗点时间、慢性病、因病误工或误学、平均疟疾暴露 × 预防指数); 食物(依赖农业获取食物、寻找食物时间、平均作物多样化指数、未存储作物、未存储种子); 水(因水产生冲突、使用自然水源、到水源时间、储存水情况)	[83, 91]
	特立尼达和多巴哥	健康、食物、水(同上, 各别指标根据研究区情况有所调整); 房屋和土地产权(抗风暴能力弱的房屋、抗洪水弱的房屋、没有合法土地产权的房屋)	[86]
	南非农业部门	灌溉比例、土地退化指数、作物多样化指数、小规模农业比例、农村人口密度	[82]
	埃塞俄比亚热带高原地区	生态系统(农业土地适宜性、土地利用系统可持续性、土地覆被变化、水土保持技术的应用、灌溉能力); 农业(产量变化、作物品种多样性)	[85]
社区尺度	印度、尼泊尔(喜马拉雅游牧社区)、孟加拉国河岸区	健康、食物、水(同上, 各别指标根据研究区情况有所调整)	[56, 84, 92]
	孟加拉国西南部海岸	经济(依赖自然资源作为收入和食物的消费支出, 失业率, 贫困线以下家庭, 土地、船、渔网等因灾害损害或损失); 物质(道路、电力、饮用水、卫生厕所、慢性病)	[63]
	印度斯利那加	人力资本(死亡、疾病、迁移比例); 自然资本(农业依赖性); 物质资产(无灌溉、低洼地比例); 社会资本(获得信息能力); 金融资本(农药使用、借款)	[33]
	加利福尼亚北部墨西哥湾渔业社区	渔业依赖度, 包括目标物种数量、每100人口渔民数量、每100人登记的船只数量、每100人捕鱼许可证、渔业基础设施指数等	[93]
	印度洋西部5个国家29个沿海社区	渔业依赖度, 包括从事渔业活动的家庭比例、这些家庭是否从事非渔业职业、受访者是是否认为渔业比农业重要	[50]
社区、家庭尺度	尼泊尔中部山区	恶性事故(因自然灾害人员死亡); 财产损失(土地破坏、牲畜死亡、作物损失); 收入结构(自然资源相关收入份额、非农工资相关收入份额)	[90]
	尼泊尔喜马拉雅山喀利根德格流域	户主性别、抚养比、气候敏感性职业、健康问题人群、健康问题严重程度、休耕农田、非灌溉农田、农业在生计中的份额、家庭债务、经济状况、每月家庭粮食不安全级别、气候变化的生物物理影响	[94]
家庭尺度	墨西哥	生计(迁移、收入变化、农业收入); 作物(冬季作物、夏季作物、受影响土地面积、气候变化影响、气候事件影响、虫害)	[95]
	澳大利亚北部奶牛产业区	职业粘性、就业能力、家庭情况(抚养比)、自然资源依赖性、业务规模和技能/方法、财务状况和信贷能力、收入多样性、环境知识、环保意识、正式和非正式网络	[96]
	中国石羊河中下游	水资源紧缺影响程度、荒漠化影响程度	[87]
	中国内蒙古锡林郭勒盟	社会人口状况(抚养比、家庭人口务农放牧情况); 自然资源依赖程度(迁移、收入多样化程度、牲畜结构)	[88]
	中国甘南高原	用水对天然水资源的依赖性、食物自给度、家庭收入对自然资源的依赖性	[89]

作物多样化等<sup>[82, 85]</sup>。在家庭尺度上, 指标选择时不仅考虑农户受到的外界限制性因素, 也会考虑农户自身生计资产和生计策略情况。如 Eakin 等<sup>[95]</sup> 从生计敏感性和作物敏感性两个维度, 分别选取迁移、收入变化、农业收入和作物、受影响土地面积、气候变化和事件影响、虫害等指标评估了墨西哥农户的敏感性; Marshall 等<sup>[96]</sup> 选择职业粘性、就业能力、抚养比、自然资源依赖性、业务规模和技能/方法、财务状况和信贷能力、收入多样性、环境知识、环保意识、正式和非正式网络等指标评估了澳大利亚北部奶牛产业区牧户的敏感性。值得注意的是, 自然资源依赖度是衡量敏感性的常用指标, 如 Cinner 等<sup>[50]</sup>、Morzaria-Luna 等<sup>[93]</sup> 分别在评估印度洋西部沿海社区和加利福尼亚北部墨西哥湾渔业社区脆弱性时, 采用渔业依赖度来衡量敏感性; 谭淑豪等<sup>[88]</sup>、张钦等<sup>[89]</sup> 选用自然资源依赖度分别衡量了我国内蒙古和甘南高原的家庭生计敏感性。总之, 常用的敏感性指标包括健康、食物、水、基础设施(灌溉、道路、电力、饮用水、卫生厕所等)、自然资源依赖度(农业、渔业、牧业等)、社会人口状况(职业、性别、收入等)。

## 4 研究展望

### 4.1 完善敏感性研究方法

敏感性的综合评价主要采用指标评估法, 来研究气候变化对农户生计的影响程度。当前的研究多在某一个时间节点进行评价, 数据的限制、指标选择的不确定性等阻碍了对敏感性的深入研究。因此, 有必要开发多元化数据(如长时间序列的农户调查数据), 结合实地科学考察, 改善指标评估体系, 采用定性和定量结合的方式对农户生计敏感性轨迹变化进行科学评估。同时, 发展相对准确的赋权重方法, 提高评价的精度。此外, 现有的敏感性评价多是脆弱性框架的一部分, 可结合不同研究目的完善理论框架, 重点关注暴露度、敏感性和适应能力三者之间的作用机制。

除指标评估法之外, 还可采用函数模型法定量研究农户单一生计要素对气候变化的敏感性, 以探

明敏感性影响机制。现有研究多从宏观角度研究气候变化的影响(如作物产量对降雨、气温和辐射等气候因子的敏感性), 较少从农户角度开展研究。在未来有必要利用函数模型法, 引入政府或农户的不同适应措施, 研究作物产量、牲畜肉类产量等对气候变化的敏感性, 以深入分析农户生计的敏感性。

### 4.2 加强适应的有效性评估

当前研究主要关注气候变化影响, 忽视了对气候变化适应的有效性评估。随着人类改造自然生态系统的能力加强, 社会、经济因素已经逐渐成为系统的重要组成部分。在相关研究中, 应重视适应能力在气候变化影响评估中的作用。因此, 可重点关注适应对敏感性的影响, 如探究基础设施(水利、交通、医疗、卫生、电力)和惠农政策等社会经济因素与敏感性的相互关系。通过观察一些指标的变化(如牲畜健康、作物产量变化、草场质量变化等)来定量评价农户生计对气候变化的敏感性, 以监测适应措施的有效性。此外, 生态建设对改进生态系统服务功能具有重要的作用, 生态系统服务变化直接影响依赖自然资源的农户生计。因此, 有必要加强生态建设对农户生计的影响研究, 从而为生态保护政策提出科学的政策建议。

### 4.3 开展跨区域敏感性对比研究

开展跨区域的敏感性案例研究, 区分不同区域的敏感性表征, 对不同地区的农户敏感性进行比较。例如, 在亚洲, 中国农村通过长期的基础设施建设, 有效地减轻了气候变化的不利影响, 但一些国家仍然受到健康、食物、水等基本需求的影响。可以选择气候、自然环境条件类似的地区, 开展跨境对比研究(如中国和印度、尼泊尔等), 从而对易受气候变化影响的地区提供经验。同时, 小尺度的敏感性研究有利于因地制宜、因人而异地提出特定适应措施, 将社区和农户尺度相结合, 可以分别从社区层面、农户层面发现降低气候变化不利影响的关键参数, 从而更好地促进社区和农户发展, 增强抵御气候变化的能力, 为政府决策提供依据。■

## 参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2014: synthesis report [M]. Geneva, Switzerland, 2014: 2-7
- [2] IPCC. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 11
- [3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 16
- [4] 刘绿柳, 许红梅, 马世铭. 气候变化对城市和农村地区的影响、适应和脆弱性研究的认知 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (4): 254-259. Liu L L, Xu H M, Ma S M. Understanding of climate change impacts, adaptation and vulnerability in urban areas and rural areas [J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 2014, 10 (4): 254-259 (in Chinese)
- [5] 张钦, 赵雪雁, 王亚茹, 等. 气候变化对农户生计的影响研究综述 [J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37 (9): 71-79. Zhang Q, Zhao X Y, Wang Y R, *et al.* A review: influence of climate change on farmers' livelihood [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37 (9): 71-79 (in Chinese)
- [6] 崔胜辉, 李方一, 黄静, 等. 全球变化背景下的敏感性研究综述 [J]. 地球科学进展, 2009, 24 (9): 1033-1041. Cui S H, Li F Y, Huang J, *et al.* Review of sensitivity research on the context of global change [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24 (9): 1033-1041 (in Chinese)
- [7] IPCC. Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 21
- [8] Füssel H, Klein R J T. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking [J]. Climatic Change, 2006, 75 (3): 301-329
- [9] Adger W N. Vulnerability [J]. Global Environmental Change, 2006, 16 (3): 268-281
- [10] 喻鸥, 阎建忠, 张锺铨. 区域气候变化脆弱性综合评估研究进展 [J]. 地理科学进展, 2011, 30 (1): 27-34. Yu O, Yan J Z, Zhang Y L. Reviews on regional climate change vulnerability assessment [J]. Progress in Geography, 2011, 30 (1): 27-34 (in Chinese)
- [11] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法 [J]. 地理科学进展, 2008, 27 (2): 18-25. Li H, Zhang P Y, Cheng Y Q. Concepts and assessment methods of vulnerability [J]. Progress in Geography, 2008, 27 (2): 18-25 (in Chinese)
- [12] 黄晓军, 黄馨, 崔彩兰, 等. 社会脆弱性概念、分析框架与评价方法 [J]. 地理科学进展, 2014, 33 (11): 1512-1525. Huang X J, Huang X, Cui C L, *et al.* The concept, analytical framework and assessment method of social vulnerability [J]. Progress in Geography, 2014, 33 (11): 1512-1525 (in Chinese)
- [13] Jurgilevich A, Räsänen A, Groundstroem F, *et al.* A systematic review of dynamics in climate risk and vulnerability assessments [J]. Environmental Research Letters, 2017, 12: 013002
- [14] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems [J]. Annual Review of Environment and Resources, 2006, 31 (1): 365-394
- [15] 凌代文. 乳酸细菌分类鉴定及实验方法 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 130. Ling D W. Screening, identification and experimental methods of lactic acid bacteria [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999: 130 (in Chinese)
- [16] 周宁, 张建新, 樊明涛, 等. 细菌药物敏感性实验方法研究进展 [J]. 食品工业科技, 2012, 33 (9): 459-464. Zhou N, Zhang J X, Fan M T, *et al.* Research progress in antimicrobial susceptibility tests and their applications in bacteria [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33 (9): 459-464 (in Chinese)
- [17] 王竹泉. 利润敏感性分析与利润预测分析和经营风险防范 [J]. 会计研究, 1996 (7): 6-10. Wang Z Q. Profit sensitivity analysis, profit forecast analysis and risk prevention [J]. Accounting Research, 1996 (7): 6-10 (in Chinese)
- [18] 潘小春. 利润敏感性分析: 利用函数的弹性求利润的敏感系数 [J]. 经济师, 2005 (9): 121-122. Pan X C. Profit sensitivity analysis: using the elasticity of the function to obtain the sensitivity coefficient of profit [J]. China Economist, 2005 (9): 121-122 (in Chinese)
- [19] Caldeira K, Jain A K, Hoffert M I, *et al.* Climate sensitivity uncertainty and the need for energy without CO<sub>2</sub> emission [J]. Science, 2003, 299 (5615): 2052-2054
- [20] Rohling E J, Marino G, Foster G L, *et al.* Comparing climate sensitivity, past and present [J]. Annual Review Marine Science, 2017, 10. DOI: 10.1146/annurev-marine-121916-063242
- [21] 陈利顶, 傅伯杰. 榆林地区生态环境对人类活动的敏感度评价 [J]. 环境科学进展, 1995 (4): 33-38. Chen L D, Fu B J. Evaluation of eco-environmental susceptibility to human activity in Yulin region [J]. Advances in Environmental Science, 1995 (4): 33-38 (in Chinese)
- [22] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究 [J]. 生态学报, 2000, 20 (1): 10-13. Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20 (1): 10-13 (in Chinese)
- [23] 谢立勇, 李悦, 钱凤魁, 等. 粮食生产系统对气候变化的响应: 敏感性与脆弱性 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24 (5): 25-30. Xie L Y, Li Y, Qian F K, *et al.* Analysis on agricultural sensitivity and vulnerability to climate change and countermeasures [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24 (5): 25-30 (in Chinese)
- [24] 孙芳, 杨修, 林而达, 等. 中国小麦对气候变化的敏感性和脆弱性研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (4): 692-696. Sun F, Yang X, Lin E D, *et al.* Study on the sensitivity and vulnerability of wheat to climate change in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38 (4): 692-696 (in Chinese)
- [25] Nguyen C V, Home R, Fien J, *et al.* Assessment of social vulnerability to climate change at the local scale: development and application of a social vulnerability index [J]. Climatic Change, 2017, 143 (3-4): 355-370
- [26] 刘小茜, 王仰麟, 彭建. 人地耦合系统脆弱性研究进展 [J]. 地球科学进展, 2009, 24 (8): 917-927. Liu X Q, Wang Y L, Peng J. Progress in vulnerability analysis of coupled human-environment system [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24 (8): 917-927 (in Chinese)
- [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 (in Chinese)
- [28] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16 (3): 282-292
- [29] 居辉, 秦晓晨, 李翔翔, 等. 适应气候变化研究中的常见术语辨析 [J]. *气候变化研究进展*, 2016, 12 (1): 68-73. Ju H, Qin X C, Li X X, *et al.* Discrimination of adaptation terminology to climate change [J]. *Climate Change Research*, 2016, 12 (1): 68-73 (in Chinese)
- [30] DFID. Sustainable livelihoods guidance sheets [M]. London: Department for International Development, 2000: 68-125
- [31] Reed M S, Podesta G, Fazey I, *et al.* Combining analytical frameworks to assess livelihood vulnerability to climate change and analyse adaptation options [J]. *Ecological Economics*, 2013, 94 (9): 66-77
- [32] 安迪, 许建初. 可持续生计框架: 对云南的生物多样性保护与社区发展的针对性 [R]. 云南省生物多样性和传统知识研究会, 2003: 1-15. Andreas W, Xu J C. Sustainable livelihood and biodiversity in Yunnan [R]. Center for Biodiversity and Indigenous Knowledge, 2003: 1-15 (in Chinese)
- [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]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100 (14): 8074-8079
- [35] Otto I M, Reckien D, Reyer C P O, *et al.* Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence [J]. *Regional Environmental Change*, 2017, 17 (6): 1651-1662
- [36] Nelson D R, Adger W N, Brown K. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2007, 32 (1): 395-419
- [37] Mendelsohn R, Dinar A, Sanghi A. The effect of development on the climate sensitivity of agriculture [J]. *Environment and Development Economics*, 2001, 5 (1): 564-568
- [38] Tian Q, Lemos M C. Household livelihood differentiation and vulnerability to climate hazards in rural China [J]. *World Development*, 2018, 108: 321-331
- [39] 陈萍, 陈晓玲. 全球环境变化下人-环境耦合系统的脆弱性研究综述 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29 (4): 454-462. Chen P, Chen X L. Summary on research of coupled human-environment system vulnerability under global environmental change [J]. *Progress in Geography*, 2010, 29 (4): 454-462 (in Chinese)
- [40] 林而达, 王京华. 我国农业对全球变暖的敏感性和脆弱性 [J]. *生态与农村环境学报*, 2015, 10 (1): 1-5. Lin E D, Wang J H. The sensitivity and vulnerability of China's agriculture to global warming [J]. *Rural Eco-Environment*, 2015, 10 (1): 1-5 (in Chinese)
- [41] Brugere C, Lingard J. Irrigation deficits and farmers' vulnerability in Southern India [J]. *Agricultural Systems*, 2003, 77 (1): 65-88
- [42] Fang Y P, Liu Y W, Yan X. Meat production' sensitivity and adaptation to precipitation concentration index during the growing season of grassland: insights from rural households [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 201 (3): 51-60
- [43] Padakandla S R. Climate sensitivity of crop yields in the former state of Andhra Pradesh, India [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 70: 431-438
- [44] Kumar K S K, Parikh J. Indian agriculture and climate sensitivity [J]. *Global Environmental Change*, 2001, 11 (2): 147-154
- [45] Bandara J S, Cai Y. The impact of climate change on food crop productivity, food prices and food security in South Asia [J]. *Economic Analysis and Policy*, 2014, 44 (4): 451-465
- [46] Wang Y, Wang J, Li S, *et al.* Vulnerability of the Tibetan pastoral systems to climate and global change [J]. *Ecology and Society*, 2014, 19 (4): 8
- [47] Derner J, Briske D, Reeves M, *et al.* Vulnerability of grazing and confined livestock in the Northern Great Plains to projected mid-and late-twenty-first century climate [J]. *Climatic Change*, 2018, 146 (1-2): 19-32
- [48] Wang L, Yu H, Zhang Q, *et al.* Responses of aboveground biomass of alpine grasslands to climate changes on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 12 (28): 1953-1964
- [49] Brander K. Impacts of climate change on fisheries [J]. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79 (3): 389-402
- [50] Cinner J E, Mcclanahan T R, Graham N A J, *et al.* Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries [J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22 (1): 12-20
- [51] Bhuiyan M A H, Islam S M D, Azam G. Exploring impacts and livelihood vulnerability of riverbank erosion hazard among rural household along the river Padma of Bangladesh [J]. *Environmental Systems Research*, 2017, 6: 25
- [52] Sonwa D J, Somorin O A, Jum C, *et al.* Vulnerability, forest-related sectors and climate change adaptation: the case of Cameroon [J]. *Forest Policy and Economics*, 2012, 23 (10): 1-9
- [53] Bele M Y, Tiani A M, Somorin O A, *et al.* Exploring vulnerability and adaptation to climate change of communities in the forest zone of Cameroon [J]. *Climatic Change*, 2013, 119 (3-4): 875-889
- [54] Misra A K. Climate change and challenges of water and food security [J]. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2014, 3 (1): 153-165
- [55] Meng Q, Chen X, Lobell D B, *et al.* Growing sensitivity of maize to water scarcity under climate change [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 19605
- [56] Pandey R, Jha S K. Climate vulnerability index-measure of climate change vulnerability to communities: a case of rural Lower Himalaya, India [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2012, 17 (5): 487-506
- [57] Oyekale A S. Impact of flooding on the health of coastal fishing folks in Epe Division of Lagos State, Nigeria [J]. *Journal of Human Ergology*, 2013, 44 (2): 183-188
- [58] Islam M M, Sallu S, Hubacek K, *et al.* Vulnerability of fishery-based livelihoods to the impacts of climate variability and change: insights from coastal Bangladesh [J]. *Regional Environmental Change*, 2014, 14 (1): 281-294
- [59] Dovie D B K, Dzodzomenyo M, Ogunseitan O A. Sensitivity of health

- sector indicators' response to climate change in Ghana [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 837-846
- [60] Wu N, Yan Z. Climate variability and social vulnerability on the Tibetan Plateau: dilemmas on the road to pastoral reform [J]. *Erdkunde*, 2002, 56 (1): 2-14
- [61] Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, *et al.* Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems [J]. *Livestock Science*, 2010, 130 (1-3): 57-69
- [62] Yeh E T, Nyima Y, Hopping K A, *et al.* Tibetan pastoralists' vulnerability to climate change: a political ecology analysis of snowstorm coping capacity [J]. *Human Ecology*, 2014, 42 (1): 61-74
- [63] 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
- [64] Amos E, Akpan U, Ogunjobi K. Households' perception and livelihood vulnerability to climate change in a coastal area of Akwa Ibom State, Nigeria [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2015, 17 (4): 887-908
- [65] Wossen T, Berger T, Haile M G, *et al.* Impacts of climate variability and food price volatility on household income and food security of farm households in East and West Africa [J]. *Agricultural Systems*, 2018, 163: 7-15
- [66] Qiu X, Yang X, Fang Y, *et al.* Impacts of snow disaster on rural livelihoods in southern Tibet-Qinghai Plateau [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, 31: 143-152
- [67] 谢云. 中国粮食生产对气候资源波动响应的敏感性分析 [J]. *资源科学*, 1999, 21 (6): 13-17. Xie Y. Analysis of sensitivity of crop yields to climate change resource function in China [J]. *Resources Science*, 1999, 21 (6): 13-17 (in Chinese)
- [68] 陈超, 庞艳梅, 张玉芳, 等. 四川冬小麦产量对气候变化的敏感性和脆弱性研究 [J]. *自然资源学报*, 2017, 32 (1): 127-136. Chen C, Pang Y M, Zhang Y F, *et al.* Study on the sensitivity and vulnerability of winter wheat yield to climate change in Sichuan province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32 (1): 127-136 (in Chinese)
- [69] Zhang G, Dong J, Zhou C, *et al.* Increasing cropping intensity in response to climate warming in Tibetan Plateau, China [J]. *Field Crops Research*, 2013, 142: 36-46
- [70] 朱珠, 陶福祿, 娄运生, 等. 江苏省水稻产量对气候变化的敏感性研究: 基于县级和站点尺度 [J]. *资源科学*, 2013, 35 (5): 1035-1043. Zhu Z, Tao F L, Lou Y S, *et al.* Rice yield sensitivity to climate change in Jiangsu province [J]. *Resources Science*, 2013, 35 (5): 1035-1043 (in Chinese)
- [71] 张荣荣, 宁晓菊, 秦耀辰, 等. 1980 年以来河南省主要粮食作物产量对气候变化的敏感性分析 [J]. *资源科学*, 2018, 40 (1): 137-149. Zhang R R, Ning X J, Qin Y C, *et al.* Analysis of sensitivity of main grain crops yield to climate change since 1980 in Henan province [J]. *Resources Science*, 2018, 40 (1): 137-149 (in Chinese)
- [72] Zhang L, Zhang Z, Chen Y, *et al.* Exposure, vulnerability, and adaptation of major maize-growing areas to extreme temperature [J]. *Natural Hazards*, 2018, 91 (3): 1257-1272
- [73] Yan J, Wu Y, Zhang Y. Adaptation strategies to pasture degradation: gap between government and local nomads in the eastern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21 (6): 1112-1122
- [74] Nguyen T T X, Bonetti J, Rogers K, *et al.* Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: a review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 123: 18-43
- [75] Marshall N A. Assessing resource dependency on the rangelands as a measure of climate sensitivity [J]. *Society and Natural Resources*, 2011, 24 (10): 1105-1115
- [76] 姚玉璧, 王润元, 邓振镛, 等. 黄河首曲流域草原气候变化特征及其对牲畜生存的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12 (1): 27-32. Yao Y B, Wang R Y, Deng Z Y, *et al.* Climatic changes over the grassland around the first meander of Yellow River and its influence on animal subsistence [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2007, 12 (1): 27-32 (in Chinese)
- [77] 张存杰, 黄大鹏, 刘昌义, 等. IPCC 第五次评估报告气候变化对人类福祉影响的新认知 [J]. *气候变化研究进展*, 2014, 10 (4): 246-250. Zhang C J, Huang D P, Liu C Y, *et al.* IPCC AR5 updated understanding of climate change impacts on human well-beings [J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2014, 10 (4): 246-250 (in Chinese)
- [78] 李国栋, 张俊华, 焦耿军, 等. 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展 [J]. *生态学报*, 2013, 33 (21): 6762-6773. Li G D, Zhang J H, Jiao G J, *et al.* Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33 (21): 6762-6773 (in Chinese)
- [79] Gouveia N, Hajat S, Armstrong B. Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil [J]. *International Journal of Epidemiology*, 2003, 32 (3): 390-397
- [80] Vincent K. Creating an index of social vulnerability to climate change in Africa [G]//Tyndall Centre Working Papers. Norwich: Tyndall Center for Climate Change Research, 2004, 56
- [81] Kumar P, Geneletti D, Nagendra H. Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: a study in Bangalore, India [J]. *Land Use Policy*, 2016, 58: 514-532
- [82] Gbetiboubo G A, Ringler C, Hassan R. Vulnerability of the South African farming sector to climate change and variability: an indicator approach [J]. *Natural Resources Forum*, 2010, 34 (3): 175-187
- [83] 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*, 2009, 19 (1): 74-88
- [84] Monirul Alam G M, Alam K, Mushtaq S, *et al.* Vulnerability to climatic change in riparian char and river-bank households in Bangladesh: implication for policy, livelihoods and social development [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 72: 23-32
- [85] 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
- [86] 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
- [87] 赵雪雁, 刘春芳, 王学良, 等. 干旱区内陆河流域农户生计对生态退化的脆弱性评价: 以石羊河中下游为例 [J]. *生态学报*, 2016, 36 (13): 4141-4151. Zhao X Y, Liu C F, Wang X L, *et al.* Assessment of the vulnerability of farmers' livelihoods to ecological degradation in arid regions of a continental river basin: a case study of the middle-lower reaches of the Shiyang River in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (13): 4141-4151 (in Chinese)
- [88] 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.* Herders' social vulnerability to climate change: based on the investigation of four livestock husbandry banner in Xilinguole League, Inner Mongolia [J]. *Chinese Rural Economy*, 2016 (7): 67-80 (in Chinese)
- [89] 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.* Assessment of the impact of climate change on vulnerability of farmer households' livelihood in an ecologically vulnerable alpine region: taking Gannan Plateau for example [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35 (3): 781-790 (in Chinese)
- [90] Piya L, Joshi N P, Maharjan K L. Vulnerability of Chepang households to climate change and extremes in the Mid-Hills of Nepal [J]. *Climatic Change*, 2016, 135 (3-4): 521-537
- [91] Etwire P M, Al-Hassan R M, Kuwornu J K M. Application of livelihood vulnerability index in assessing vulnerability to climate change and variability in Northern Ghana [J]. *Journal of Environment and Earth Science*, 2013, 3 (2): 157-170
- [92] Aryal S, Cockfield G, Maraseni T N. Vulnerability of Himalayan transhumant communities to climate change [J]. *Climatic Change*, 2014, 125 (2): 193-208
- [93] Morzaria-Luna 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
- [94] Pandey R, Bardsley D K. Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya [J]. *Applied Geography*, 2015, 64: 74-86
- [95] Eakin H, Bojórquez-Tapia L A. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis [J]. *Global Environmental Change*, 2008, 18 (1): 112-127
- [96] 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 and Environment*, 2014, 186: 86-93

## Review on the sensitivity of farmers' livelihoods to climate change

LI Cai-Ying<sup>1</sup>, YAN Jian-Zhong<sup>1</sup>, HUA Xiao-Bo<sup>2</sup>, ZHANG Yi-Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup> College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

<sup>2</sup> Graduate School of Asian and African Area Studies, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan;

<sup>3</sup> Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract:** Research on the sensitivity of farmers' livelihoods to climate change contributes to the understanding of the relationship between climate change and livelihoods, and it is of great significance to enhance farmers' climate change adaptability and reduce livelihood vulnerability. On the basis of combing the concept of sensitivity in different fields, the scientific connotation, the research framework, the characterization, and the indicator system of farmers' livelihood sensitivity to climate change are analyzed. The sensitivity of farmers' livelihoods to climate change refers to the extent to which climate change and extreme events affect the livelihood of farmers. Sensitivity characterization is mainly reflected in the impacts of climate change on natural resources, human health, livestock, assets, and income. Different regions and populations have different sensitivities to climate change. The sensitivity of farmers' livelihoods to climate change usually declines as the degree of development increases. For example, livelihood diversification and good infrastructure can reduce the impacts of climate change. Livelihood sensitivity assessment is mostly part of the vulnerability study, and the sustainable livelihood framework and the indicator method are often used for sensitivity assessment. Future research needs to improve sensitivity theory frameworks and research methods, enhance the study on the effectiveness of adaptation, and make cross-regional or cross-period comparisons of livelihood sensitivities, with a focus on ecologically fragile and poor areas.

**Keywords:** Sensitivity; Vulnerability; Climate change; Livelihood; Developing countries