

基于农户尺度的社会—生态系统对干旱的恢复力研究 ——以甘肃省榆中县为例

汪兴玉¹, 王俊^{1,2}, 白红英¹, 刘文兆², 孙晶¹

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 频繁发生的旱灾已成为限制我国西北半干旱区农业发展和生态环境建设的主要气象因子。以甘肃省榆中县为例, 基于农户问卷调查, 结合 GIS 技术, 从社会、经济和生态三个角度选择水分敏感因子, 构建社会—生态系统, 然后根据修正的脆弱度概念性模型计算出干旱环境下农户尺度上社会—生态系统恢复力, 并对造成恢复力差异的原因进行了分析。结果表明, 榆中县农户社会生态系统对干旱的恢复力依赖于外部胁迫压力(干旱)和内部因素(社会、经济、生态)之间的相互作用。户人口数量、土壤湿度和土壤养分是 3 个区域农户社会—生态系统共同的水分敏感因子; 而其它指标则属于局部区域农户社会—生态系统的水分敏感因子。

关键词: 社会—生态系统; 干旱; 恢复力; 农户

文献标识码: A 文章编号: 1000—288X(2008)01—0014—05 中图分类号: S157.2, X171.1

Social Ecosystem Based on Peasant Household Versus Drought Resilience —A Case Study in Yuzhong County of Gansu Province

WANG Xing-yu¹, WANG Jun^{1,2}, BAI Hong-ying¹, LIU Wen-zhao², SUN Jing¹

(1. Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an,

Shaanxi 710069, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese

Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Frequent drought disaster has been the crucial meteorological factor limiting the agricultural development and eco-environmental construction in the northwest area of China. Based on the household questionnaire, the resilience of social-ecological system to drought in Yuzhong County, Gansu Province was studied by integrating statistical approaches and GIS. Water-sensitive factors were selected in view of society, economy, and ecology so as to build social-ecological systems. The resilience of the systems was then calculated at the household level under arid environment according to the modified conceptual model of fragility degree. Results indicate that the resilience of Yuzhong County depends on the interactions between internal factors (social, economical, and ecological) and external factors (drought). Population quantity, soil moisture, and soil nutrients are the common water-sensitive factors to the household social-ecological systems in the three regions, whereas others belong to local villages.

Keywords: social-ecological system; drought; resilience; household

气候变化是全球变化研究的一个重要领域。在我国西北地区, 频繁发生的干旱是最主要的气候干扰因子之一, 也是当地农业发展和生态环境建设最主要的限制因素。如何应对气候变化及其不确定性, 提高农业对干旱的恢复能力和适应能力, 是当前学术界面

临的主要目标之一^[1]。在过去的几十年中, 我国学者从防灾减灾角度对干旱的成因机制、灾情分析、遥感监测、风险评估与模型预测等诸多方面进行了探讨^[2-7], 然而这些研究主要侧重于干旱(旱灾)自然方面的成因, 对干旱胁迫下的社会学过程重视不够, 而

收稿日期: 2007-10-15

修回日期: 2007-11-03

资助项目: 国家自然科学基金(30500077); 陕西省自然科学基金资助项目(2006D02)

作者简介: 汪兴玉(1979—), 男(汉族), 安徽省枞阳县人, 硕士研究生, 从事社会—生态系统恢复力研究。E-mail: wangxingyunwu@126.com。

通讯作者: 王俊(1974—), 男(汉族), 河南省虞城县人, 博士, 副教授, 主要从事农业生态学研究。E-mail: wangj@nwu.edu.cn。

这方面的工作对灾害风险管理、灾害救助、减灾政策制定具有更为重要的指导作用。尽管近年来已有学者开始关注人为因素在旱灾形成过程中的影响^[8],但尚缺乏合适的理论框架来实现学科交叉与知识整合。如何通过深入了解干旱环境中的社会学与生态学的交互作用过程与机理来建立对干旱的适应对策,近年来国外逐渐形成的“社会—生态系统恢复力 [social-ecological system (SES) resilience]”整合理论^[9-14]为此提供了一个可供参考的研究框架。

1 社会—生态系统恢复力理论

1.1 社会生态系统恢复力的定义

社会系统和自然系统相互依赖,也都是动态的和复杂的^[9-15],二者紧密相连共同构成了一个复杂适应的社会—生态系统,它具有非线性相关、阈值效应、历史依赖和多种可能结果等特征^[8,11]。由于社会—生态系统的多稳定态机制,任何外部的干扰都可能导致系统发生灾变,进入管理者所不希望的状态中,因此对系统恢复力测度成为进一步探讨恢复力,研究系统稳定性的重要步骤^[17]。1973年 Holling 率先把恢复力^[9]概念引入生态系统,并将之定义为“系统受到干扰后仍然能够保持原来系统完整性的能力”,30多年来,这个概念在生态学、生态经济学和社会学领域备受关注,其内涵与外延均得到了进一步的发展。国际性学术组织恢复力联盟 (Resilience Alliance)^[18-16]将它作为社会—生态系统的 3 个基本属性之一,并将之定义为“系统能够承受且可以保持系统的结构、功能、特性以及对结构、功能的反馈在本质上不发生改变扰动大小”。要从理论向实际应用的转变需要对恢复力进行评估和计算。但社会生态系统的行为往往由几个关键变量进行控制^[15],且迄今尚缺乏有关 SES 恢复力测算的实例,这都构成下一步工作的障碍^[8]。所以有必要通过几个关键变量来测度社会—生态系统对干旱的恢复力。

1.2 恢复力计算模型

在社会—生态系统研究中,恢复力与脆弱性被认为是同一事物的两面(恢复力高,脆弱性就低,反之亦然)^[11]。Zurnili 等提出在任意特定时空尺度上^[18],社会—生态系统的脆弱性同时取决于系统的敏感性和自然、人类导致的压力,这种关系可以用一个简单的概念性模型来表示

$$F = K + (U) \quad (1)$$

式中: F ——代表特定时空尺度上的系统脆弱性;

——系统内的敏感性因子; U ——外部压力; K ——常数,代表了当外部压力 $U = 0$ 时系统的背景脆弱性。由于恢复力与脆弱度的一体两面性^[11],因此可以使用下述公式进行系统恢复力的测定

$$R = 1 / (U \times i) \quad (2)$$

式中: R ——社会—生态系统的恢复力; 其它参数含义同式(1)不变。

作为一个随机事件,干旱缺水是黄土高原地区社会—生态系统最主要的外部干扰因素,直接影响到生态系统生产力并间接对经济系统的效益和社会系统的稳定性产生影响。因此,特定时空尺度上社会—生态系统对干旱的恢复力大小取决于系统内部(社会、经济、生态诸要素)对干旱的敏感程度和干旱胁迫压力。系统对干旱的敏感程度可通过构建系统水分敏感因子体系来加以表示,而干旱胁迫压力与降水、气温、径流等多种气象要素有关,可采用孟猛等(2004)提出的干燥度进行表述^[19],计算方法如下

$$U = 0.16 \times T_{10} / P_{10} \quad (3)$$

式中: T_{10} ——气温 10 期间的连续积温; P_{10} ——气温 10 连续期的降水量。

综上所述,在干旱环境中社会生态系统对干旱的恢复力测定可用下述公式进行测定

$$R = \frac{1}{U \times (i \times j)} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

式中: R ——系统恢复力; U ——系统承受的干旱胁迫压力,用干燥度(式 3)表示; i ——系统内部水分敏感因子特征值; j ——该水分敏感因子所占权重。

2 实例分析

2.1 研究区域概况

甘肃省榆中县位于东经 103°50'—104°34',北纬 35°34'—36°26' 之间,海拔 1 430 ~ 3 670 m,面积 3 301.64 km²,日照时数 2 665.9 h。全县共辖 8 镇 15 乡,人口 42.36 万人,其中农业人口 38.5 万人(1999 数据)。区内地形复杂,海拔高差大,由生态与社会经济条件迥异的 3 个区域组成:南部山区、北部山区两大贫困带和中部的川区。南部为石质高寒山区,年平均降雨量 550 mm,年平均气温为 3.2℃,森林草地植被良好,气候湿润,农作物以小麦、豆类为主,其中兴隆山林区降水最多达 621.6 mm;中部为川塬沟壑地带,光照充足,水源丰富,属灌溉农业区,年降雨量为 376.8 mm,年气温为 6.57℃,农作物以小麦、玉米、蔬菜为主,兼种马铃薯、油料等;北部山

区,干旱少雨,沟壑纵横,植被稀少,年平均降雨量 328.1 mm,年均气温 6.57℃,农作物以小麦、豆类、马铃薯为主,是退耕还草养畜的重点地区。本文针对 3 个不同区域,分别选择了南部山区的马坡乡窑沟村、中部川区的三角城乡三角城村和北部山区的中连川乡中连川村进行研究。受自然、社会、经济等条件的制约,当地(尤其是南部和北部山区)农民谋生手段单一,绝大多数从事农业劳动,经济可替代性差。干旱作为当地社会—生态系统稳定性的主要干扰因子,符合上述模型的应用目的。

2.2 社会生态系统构建

一个系统的行为往往是由一个或几个关键变量决定的^[19]。如何了解系统内部各亚系统的行为并将

它们有机地整合在社会—生态系统的框架内,需找到联系各个亚系统的关键变量。作为随机事件,干旱是研究区内社会—生态系统最主要的外部干扰因素,直接影响到生态系统生产力并间接对经济系统的效益和社会系统的稳定性产生影响。因此,将水分敏感与否及其程度作为联结关键变量选择的主要依据,按照代表性及可获取性原则,分别从社会、经济和生态 3 个角度,构建一套水分敏感因子指标体系即可用来表征干旱环境下的社会—生态系统(表 1)。然后对构建水分敏感因子指标进行专家打分,打分原则分为重要(9 分)、较重要(7 分)、一般(5 分)、较不重要(3 分)、不重要(1 分)5 个等级;并运用 AHP 层次分析法确定各因子的权重,其结果如表 1 所示。

表 1 构成社会—生态系统的水分敏感因子体系及其权重

系统层	亚系统层	指标变量	与干旱的相关关系	指标权重 w_i
社会—生态系统	社会亚系统(A ₁)	户人口总量(A ₁₁)	直接 +	0.091 9
		户社会关系(A ₁₂)	间接 +	0.065 7
		户牲口头数(A ₁₃)	直接 +	0.068 7
		学习能力(A ₁₄)	间接 +	0.059 4
	生态亚系统(B ₁)	土壤湿度(B ₁₁)	直接 +	0.109 5
		土壤养分(B ₁₂)	间接 +	0.088 3
		户可取得水量(B ₁₃)	直接 +	0.110 3
		NDVI 指数(B ₁₄)	直接 +	0.084 7
	经济亚系统(C ₁)	户农业收入比(C ₁₁)	直接 +	0.118 7
		户粮食储存量(C ₁₂)	直接 +	0.081 9
		户纯收入(C ₁₃)	直接 +	0.120 9

2.3 资料来源与数据处理

为了理清人类与自然对系统恢复力大小形成过程中所起到的作用,对榆中县 3 个不同区域背景行政村进行了调查。从北山的中连川乡中连川村 205 户中抽取 150 户进行调查,川区三角城乡三角城村 907 户中抽取 150 户进行调查,南山马坡乡窑沟村 270 户中抽取 150 户进行调查。抽选的样本依照农户家庭经济状况好、中、差 3 个级别来选取;其中共收集到有效问卷 450 份,整理后获得表 1 中社会、经济亚系统所有指标以及生态亚系统中的户可取得水量指标,土

壤湿度、养分指标则采用县农业局 1999 年土壤普查数据,NDVI 数值通过使用 ERDAS Imagine 8.4 和 ArcGIS 9.0 软件对该县 Landsat 5 TM 影像(1999 年 7 月 18 日)进行处理获得。然后将不同量纲的指标数据进行归一化处理,得到系统水分敏感因子特征值(表 2);以农业局提供气温 10 期间连续积温和降雨量多年统计资料进行计算获得干旱胁迫压力(U);最后把水分敏感特征值(w_i)、干旱胁迫压力(U)和权重(w_i)的值代入公式(4),计算 3 个行政村农户社会—生态系统的恢复力。

表 2 归一化处理后的 3 个行政村水分敏感因子特征值

研究区域	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
中连川村	0.63	0.42	0.61	0.54	0.58	1.00	0.20	0.22	0.17	0.12	0.07
三角城村	0.64	0.35	0.42	0.26	0.90	0.86	1.00	0.20	0.40	0.24	0.11
窑沟村	0.57	0.40	0.05	0.32	0.92	0.92	0.50	0.45	0.12	0.08	0.03

2.4 结果分析

2.4.1 社会—生态系统水分敏感度及各因子贡献率

中连川村农户系统主要敏感因子为户人口数量、户牲口数量、土壤湿度和土壤养分,这些系统指标因子对水分敏感度贡献率较高,累积贡献率达到 64.6%。次要指标包括户社会关系、学习能力、户可取得水量、NDVI 指数、户农业收入比以及户纯收入指标。尽管这些指标因子对系统水分敏感度总贡献率不是很高,但能够起到调节系统对干旱恢复力。三角城村的农户社会—生态系统主要敏感因子为户人口数量、土壤湿度、土壤养分、户可取得的水量和户农业收入比,这些系统指标对总的水分敏感度贡献较高,累积贡献率达到 76.9%;次要的水分敏感指标包括户牲口数量和户粮食储存量。而窑沟村农户社会—生态系统主要水分敏感因子为户人口数量、土壤湿度、土壤养分、户可取得水量和 NDVI 指数,对系统总的水分敏感度贡献较高,累积贡献率达到 81.6%;次要指标是户社会关系和学习能力。对比分析表明,户人口数量、土壤湿度和土壤养分 3 个指标变量是 3 个行政村农户社会—生态系统共同的主要水分敏感因子。这是因为户人口数量的多少,一方面要影响到农户生活和生产的需水量,增加系统对干旱的敏感度;另一方面也影响到农业生产以及旱灾预测、灾中自救和灾后重建等诸多方面。在干旱环境中,土壤湿度和土壤养分含量是表征生态系统生产力的关键因子,特别是在干旱发生时,它们对干旱恢复力具有重要的指示作用。

还有一些指标隶属于局部区域农户社会—生态系统,对干旱胁迫压力较为敏感。如户牲口数量指标仅在中连川村农户社会—生态系统表现较为敏感,在其它区域不明显。这是因为中连川村人畜生活水源单一,干旱季节对水的缺乏显得更为敏感,再加上经济状况与地理位置,决定着他们只能采用传统农业耕作方式,牲口成了他们主要生产工具,势必导致水与农业耕作之间产生的矛盾。同样窑沟村采用的也是传统的农业耕作方式,但其生活水源充足,户牲口数量对水分敏感表现出惰性。三角城村不仅水源充足,而且还采用了现代农业耕作方式,因而户牲口数量对水分敏感也表现为惰性。从上面分析可以看出,在生活水源缺乏的地区,户牲口数量才对水分比较敏感,户牲口数量越多,农户社会—生态系统对干旱的恢复力就越低;而在水源充足的地区,户牲口数量对水分敏感就表现为惰性,户牲口数量的多少对农户社会—生态系统恢复力大小不会有明显影响。户可取得的水量和户农业收入比仅是三角城村农户社会—生态系统对干旱比较敏感的因子,这是因为三角城水资源丰富,适合于农业经济发展。正常年份,农户能够获

得较高的农业经济收入,但干旱出现后,农户就需增加更多人力、物力投入,使作物不受干旱的影响;正是增加这些过多的其它投入费用,农业收入与支出出现了赤字,势必影响农户家庭支出与投入平衡。经济亚系统恢复力就会降低,甚至对社会系统恢复力也产生影响。而其它村地理位置和环境决定着农业比较落后,农业收入在整个家庭收入中所占的比例较低,在干旱出现后,农户很快就会转移家庭劳动力到其它部门,以获取经济收入,补偿农业带来的损失。从上面的分析说明了地区资源优势反而会限制农户行为多样性选择,而行为的多样性能够提高系统恢复力;即资源优势会成为改变农户社会—生态系统系统恢复力大小的陷阱。NDVI 指数仅是窑沟村农户社会—生态系统对水分比较敏感的因子;窑沟村植被受长期自然选择的结果,早已被驯化为适应当地的湿润气候环境,对干旱抵制能力较弱,因而,社会—生态系统系统对干旱的恢复力较低;而三角城村与中连川村存在的植被是一些比较耐旱的植被,对干旱有较强的抵制能力,因而其社会—生态系统对干旱有较高的恢复力。

2.4.2 干旱压力及社会—生态系统对干旱的恢复力

中连川村和三角城村受到的干旱胁迫压力一样,而窑沟村受到胁迫压力是其 1/2(表 3),这是因为 2005 年 3 个行政村的气温变化几乎一致,而窑沟村的降雨量高于其它两村的缘故,当中连川村和三角城村受到相同的外部胁迫压力时,系统对外部干旱压力的敏感度却不一样,说明了不同区域系统因子对干旱胁迫压力敏感度是不一样的,而且对干旱敏感起主导作用的因子也不尽相同。干旱胁迫压力与系统敏感度不是简单的成正比或者反比,而是一种非线性的关系,随系统主导敏感因子对干旱压力抵制能力大小不同,系统的恢复力大小也不一样。窑沟村系统受到干旱胁迫压力比中连川村低 0.70,而系统敏感度却比其高。假若它们受到相等干旱胁迫压力 1.40 时,窑沟村系统对干旱敏感更加强烈,这是因为受长期人类活动以及自然选择的不同,系统因子已经适应现时外部对它的干旱胁迫压力,一旦这种压力超过系统内部抵制机制,系统可能选择新的适应配置来抵制外部的胁迫压力,也就有更多因子加入对干旱敏感行列,直到系统恢复力为零或系统瓦解。假若 3 个村受干旱胁迫压力一致时,三角城村和中连川村系统对干旱的敏感度必然降低,但很难确定降到多大程度。外部胁迫压力降低,必然导致其它外来因子占据原来系统因子的角色,使得新的因子对外部胁迫压力再次敏感。因子角色的转换,系统就会由这些主导因子形成新的稳定状态,具有不同的恢复力来应对外部胁迫压力。

表 3 榆中县不同行政村农户社会—生态系统对干旱的恢复力

研究区域	干旱胁迫压力 (U)	系统敏感程度 ($i \cdot i$)	社会—生态系统 恢复力(R)
中连川村	1.40	0.39	1.82
三角城村	1.40	0.51	1.40
窑沟村	0.70	0.40	3.55

3 结语

被研究的 3 个行政村的农户社会—生态系统对干旱的恢复力大小依次为窑沟村农户 > 三角城村农户 > 中连川村农户, 其中三角城村农户和中连川村农户受到干旱胁迫压力一样, 而窑沟村农户受到干旱胁迫压力是其它 2 村的 0.5 倍。这 3 个行政村的农户社会—生态系统对干旱敏感度大小依次为三角城村 > 窑沟村 > 中连川村。户人口数量、土壤湿度和土壤养分是 3 个行政村农户社会—生态系统对水分敏感的共同因子; 而中连川村户牲口数量指标, 三角城村户获取的水量和户农业收入比指标, 窑沟村户可获取水量和 NDVI 指数指标属于局部区域农户社会—生态系统对水分比较敏感的指标因子。区域水资源优势反而限制了农户行为多样性选择, 而农户行为多样性是能够增加系统恢复力的, 即在特定环境条件下, 资源优势反而成为系统提高恢复力的陷阱。社会—生态系统为了抵制外部干旱胁迫压力的影响, 对内部各个亚系统的因子进行新的组合, 以满足社会生态系统对外部干旱扰动稳定态的保持。在组合新的适应机制过程中, 因子所扮演的角色也在不断发生变化, 以前的作用必然被其它因子所代替。

通过构建简单的系统模型, 从系统内部敏感程度和外部压力 2 个角度来对干旱扰动下的社会—生态系统恢复力进行探讨, 并为恢复力的定量化研究提供了一个新的思路。但本文的指标和权重确立带有很大区域性特点, 有待于继续探讨一个普遍适用的评价方法。系统因子对干旱的敏感度只考虑了不同因子累加效应, 并没有考虑其累积效应。事实上系统因子之间具有较强耦合关联, 而且这种耦合关系还会随时间、空间的转变而变化; 当前的理论和方法还很难完全鉴定一个系统多个敏感因子如何协同作用机理, 尤其是对复杂的社会生态系统。Zurnili 等提供的恢复力线性模型^[18], 能够提供一种定量方法用来比较不同区域系统当前的恢复力大小, 并找出影响恢复力的主要敏感因子。

[参 考 文 献]

- [1] 石缎花. 气候变化科学: 适应, 减缓, 还是漠视[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1570—1572.
- [2] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [3] 隋洪智, 田国良. 遥感旱灾模型综合分析[J]. 自然灾害学报, 1996, 15(3): 109—115.
- [4] 王静爱, 孙恒, 徐伟, 等. 近 50 年中国旱灾的时空变化[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 1—6.
- [5] 朱晓华, 杨秀春. 中国旱灾分维及其灾情演变趋势研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 747—750.
- [6] 刘兰芳, 刘盛和, 刘沛林, 等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析 with 定量评价[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 78—83.
- [7] 李育慧, 李森, 李茂松. 中国近 50 年旱灾灾情分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(2): 7—10.
- [8] Beisner B E, Haydon D T, Cuddington K. Alternative stable states in ecology [J]. *Front. Ecol. Environ.*, 2003, 1(7): 376—382.
- [9] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1—23.
- [10] Holling C S. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change [C]// Clark W C, Munn R F (eds.). *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- [11] Gunderson L H, Holling C S. *Understanding Transformations in Human and Natural Systems*[M]. Panarchy: Island Press, Washington, DC, 2002.
- [12] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems [J]. *Ecosystems*, 2001, 4: 390—405.
- [13] Berkes F, Folke C. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience* [M]. UK: Cambridge University Press, 1998.
- [14] Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, et al. Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations[J]. *Ambio* 2002, 31: 437—440.
- [15] Primm S L. The complexity and stability of ecosystems [J]. *Nature*, 1984, 307: 321—326.
- [16] Walker B, Carpenter S, Anderies J, et al. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach[J]. *Conservation Ecology*, 2002, 6(1): 14.
- [17] Scheffer M, Carpenter S R, Folke J, et al. Catastrophic shifts in ecosystems[J]. *Nature*, 2001, 413: 591—696.
- [18] Zurlini G, Rossi O, Amadio V. A landscape approach to biodiversity and biological integrity planning: the map of the Italian nature [J]. *Ecosystem Health*, 1999, 5: 294—311.
- [19] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 853—861.