

公平规范与自然资源保护 ——基于进化博弈的理论模型

宋志远, 欧阳志云*, 徐卫华

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 传统理论认为社区对公共自然资源的管理必然导致“公共地悲剧”。但新近研究证明个人行为往往受到社会规范的影响并遵循公平互惠等“非理性”原则, 进而指出社群有可能自发实现对公共资源有效的合作保护。基于这一思路, 综合运用进化博弈论与行为经济学理论构建数学模型模拟了社区居民参与对自然资源的家庭承包管护的策略演化动态, 并分析公平规范在该过程中能够发挥的潜在作用。结果表明在经济补偿相对管护所需劳动成本较为有限的情况下, “理性”的参与者无法长期维持高水平的保护合作; 相比之下, 如果公平规范对当地居民有较强的约束力, 则可以实现更高的保护合作水平, 其最终均衡由群体中对公平有较高要求的参与者比例决定。这一结果从理论上预测了利用公平规范推动社区参与自然资源保护合作并提高生态补偿效率的可行性。

关键词: 公共地悲剧; 公平规范; 家庭承包管护; 进化博弈论; 生态补偿

文章编号: 1000-0933(2009)01-0251-08 **中图分类号:** Q147, Q988, Q16 **文献标识码:** A

Fairness norm and natural resources conservation: a theoretical study based on evolutionary game model

SONG Zhi-Yuan, OUYANG Zhi-Yun*, XU Wei-Hua

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China
Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0251 ~ 0258.

Abstract: Due to the concern with the “tragedy of the commons”, the capacity of community governance is usually underrated in natural resource management such as the natural forest conservation. Nevertheless, the recent studies indicated that the individual's behavior is bounded-rational and follows social norms such as fairness. In this study, we developed a mathematical model based on evolutionary game theory and behavioral economics, simulated the evolutionary dynamics of the strategies the local people could choose in the context of family-contracted natural resource conservation, and analyzed the role that the fairness norm could play in the conservation program. The result indicated that the rational players are not able to sustain a high level of cooperation for conservation when the material subsidy is only limited and comparable to the costs needed for monitoring; in contrast, improved level of cooperation is possible if the local people comply with the fairness norm, and the convergent equilibrium is determined by the proportion of the players who highly regard the value of fairness. The result in theory predicted the availability of facilitating the participation and cooperation of the local community in the common resource conservation by crowding in the fairness norm with the ecological compensation policies.

Key Words: tragedy of the commons; fairness norm; family-contracted conservation; evolutionary game theory; ecological compensation

基金项目: 国家自然科学基金委创新群体计划资助项目(40621061); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAC01A01)

收稿日期: 2008-03-10; **修订日期:** 2008-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

出于对“公共地悲剧”的忧虑^[1],政府的集中管理长期以来一直被认定为公共自然资源(如国有天然林)管理模式的不二选择。尽管这种资源保护的基本目标之一是提高当地社区福利,但由于管理过程中对社区参与的忽视,不可避免地加剧了社区发展与自然资源保护之间的矛盾。事实上,这一问题的根源在于被广泛接受的“经济人(homo economicus)”理论假设,即任何人在本质上都是自私理性的,所以利他性的主动合作不可实现。

然而进化生物学的研究却从理论上证明了广泛的社会合作能够在一定的社会网络中进化产生^[2~4];神经科学的最新发展对人类公平情感的存在给予了直接支持^[5~7];行为经济学和人类学的研究则通过实验证明了公平规范在人类社会的确是普遍存在的^[8~10],并进而指出以此为基础的社会合作可能避免公共地悲剧的发生^[11]。从这一思路出发,对社会资本的重新认识为自然资源的管理指出了“第三条道路”^[12]。

为探究公平规范在具现实意义的公共自然资源保护管理实践中所能够扮演的重要角色,选择在我国广泛应用的家庭承包管护模式^[13]为例作为研究背景。该模式的实施一般是将可明确划分责任边界的国有自然资源(如天然林)通过合同的方式划分给若干家庭或家庭小组负责管理,承包者对所承包资源只有管理权,没有所有权与使用权,政府定期审核资源管护质量并按照合同支付生态补偿。实施承包管护的初衷在于通过合同补偿的方式激励承包者积极参与管护,从而提高监管的力度。然而由于经费有限而社区人口众多,补偿款往往不足以补偿管护所需投入的劳动成本,因而使得这一管护模式的实际效果受到很大影响^[14]。但部分案例却取得了出人意料的成功,如在卧龙自然保护区推行的天保工程^[15],即在承包管护实施之后,当地居民表现出高度的自律性,从而实现超出预期的合作水平与保护效果。这一现象很难用单纯的经济动机加以解释,而社会资本则很可能在其中发挥着重要作用,因此首先通过理论模型的分析与模拟论证这一推断的可能性,而后在另一篇文章中将通过实验研究对该理论预测加以验证^[16]。

1 研究方法

1.1 基础博弈模型描述

为不失一般性,假定在一个由若干家庭组成的社区内推行自然资源承包保护,每个家庭作为独立参与者,每个参与者同时选择两项相互独立的对策,其中之一是进攻性对策,另一是防御性对策。前者包括两个选项,参与者可以选择合作 C (即不去破坏别人承包管护的资源)或背叛 D (盗采别人的承包管护资源);后者可以选择容忍 T (不去监管自己承包管护的资源)或者监管 M (监管自己承包管护的资源并惩罚背叛者的破坏)。进攻者与防御者相遇时,如进攻者选择合作 C ,则相安无事;如进攻者选择背叛 D ,而防御者选择容忍 T ,则背叛者获得净收益效用 U_b ,防御者损失效用 U_c (因管护失职扣除);如防御者选择监管 M ,则背叛者受到惩罚 p ,防御者无损失。另外在每一轮管护周期中,每个参与者获得生态补偿 S ,监管者投入劳动成本 e ,合作与容忍均无投入。则每一次二人博弈的相应支付矩阵形式如下

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} T & M \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \begin{pmatrix} 0, S & 0, S-e \\ U_b, S-U_c & -p, S-e \end{pmatrix} \end{array} \quad (1)$$

1.2 将公平引入效用函数

事实上,个人不仅仅会关注自身的物质利益,同时也会关心分配的社会公平性^[9],则效用函数 U 应当同时包括这两类因素^[8,17]。当背叛者与合作者进行博弈时,前者通过损害后者的利益而使自己获利,其行为违背公平规范。因此如果博弈者受到公平规范的影响,那么背叛者的效用收益就会因破坏公平造成的“内疚”而降低,而合作者的效用损失则会因违反公平造成的额外的“不满”而增加^[6,18]。于是可以将效用函数表示为^[5,8]:

$$\begin{aligned} U_b &= b - \beta(b + c) \\ U_c &= c + \alpha(b + c) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, b 代表盗采资源得到的直接物质净收益, c 表示因管理失职被扣除的补偿金,系数 α 和 β 分别代表

合作者与背叛者博弈时前者的“不满”和后者的“内疚”敏感性系数(不满与内疚只是行为上的表现,可能另由其他深层因素引起^[6])。 $\alpha = \beta = 0$ 即为不受公平规范影响的经济理性情况。

1.3 进化博弈模型

假设参与者群体充分混合,任意两者相遇的概率相等,个体在每一轮博弈之后按照“成比例模拟规则”^[14]选择新的行动策略,即每一轮博弈后适宜度低的个体会倾向于转而模仿更好的策略(即其互补策略),而模仿的概率与支付差异成正比^[19,20]。 x_1, x_2, y_1, y_2 分别为合作者、背叛者、容忍者和监管者在群体中所占比例,显然有 $x_1 + x_2 = y_1 + y_2 = 1$ 。定义 f_i, g_i 分别为进攻性对策 i 与防御性对策 j 相应的适宜度,则在宏观上群体策略选择的模仿动态可表示如下:

$$\begin{aligned}\dot{x}_i &= w_1 x_i (f_i - \bar{f}) \\ \dot{y}_j &= w_2 y_j (g_j - \bar{g})\end{aligned}\quad (3)$$

式中, w_1, w_2 是对应策略的选择强度, $\bar{f}, \bar{g}$ 为社会群体的平均适宜度。

为便于描述,令 $x = x_1, y = y_1$,得到如下进化动态方程组:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= w_1 x (1-x) \left[1 - \left(1 + \frac{U_b}{p} \right) y \right] \\ \dot{y} &= w_2 y (1-y) \left(\frac{e}{U_c} - 1 + x \right)\end{aligned}\quad (4)$$

1.4 策略选择的随机变异

由于获取信息不准确或其他偶然因素可能引起违反行为规则的策略选择偏差,表现为小概率的随机变异。用 $P(s' | s)$ 表示在本轮博弈中选择策略 s 的某人在下一轮博弈中随机选择策略 s' 的概率,令 $P(D | C) = |\theta|, P(C | D) = |\tau|, P(M | T) = |\nu|, P(T | M) = |\varepsilon|$, $\theta, \tau, \nu, \varepsilon$ 是服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 的独立同分布随机变量, $\sigma \ll 1$ 。则在群体水平上,行为规则的随机变异表现为频率依赖性的漂变而非白噪声,于是进化动态方程可表示如下:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= w_1 x (1-x) \left[1 - \left(1 + \frac{U_b}{p} \right) y \right] - |\theta| x + |\tau| (1-x) \\ \dot{y} &= w_2 y (1-y) \left(\frac{e}{U_c} - 1 + x \right) - |\nu| y + |\varepsilon| (1-y)\end{aligned}\quad (5)$$

1.5 公平规范的异质模型

个人对公平的重视程度是存在差异的,因此 α 与 β 值及效用函数 U_b 和 U_c 会有所不同。不失一般性,假定个人的 α 和 β 两个参数在整个群体中服从连续分别(比如正态分布),令 $u = Pr(U_b < 0)$,即在违反公平时的内疚感强度满足 $\beta > b/(b + S)$ 的个人在群体中所占比例为 u 。则对于这一部分人,合作策略严格优于背叛策略,因而成为稳定的合作者。相应地,处于变化状态的合作者比例为 $x - u$,于是由公式(4)可以得到如下进化动态方程(即将表示可变合作比例的乘子 x 替换为 $x - u$):

$$\begin{aligned}\dot{x} &= w_1 (1-u) (1-x) \left[1 - \left(1 + \frac{\bar{U}_b^+}{p} \right) y \right] \\ \dot{y} &= w_2 y (1-y) \left(\frac{e}{U_c} - 1 + x \right)\end{aligned}\quad (6)$$

式中, $\bar{U}_b^+$ 表示所有潜在背叛者(满足 $U_b < 0$)与合作者博弈时的平均效用收益; $\bar{U}_c$ 表示所有潜在合作者与背叛者博弈时的平均效用损失。

2 结果

2.1 基础模型分析

首先考虑二人博弈的情况。如果 $b > c$,则 DT 策略组合是最佳合作解,即背叛者盗采自己承包管护的资

源,或与其他人共谋相互盗采对方所承包管护的资源而不举报,达成集体利益最大化($b + S - c$);如果 $b < c$, 则 CT 策略组合是最佳合作解,即两人达成协议互不侵犯,实现整体利益最大化(S)。又有 $c \leq S$,因此 $b < S$ 是合作保护的必要条件。

在多人博弈的情况下,达成合作协议的成本过高并且通常需要经过很长时间^[21],因此在较短的时间尺度下忽略通过讨价还价实现群体合作的可能性是合理的。相应地,以下结果皆是基于随机匹配的博弈规则。

由公式(4)可知, $(0, 0)$, $(1, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 1)$ 和 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 是该系统在二维平面上的 5 个平衡态,而演化动态轨迹取决于参数的具体设置。

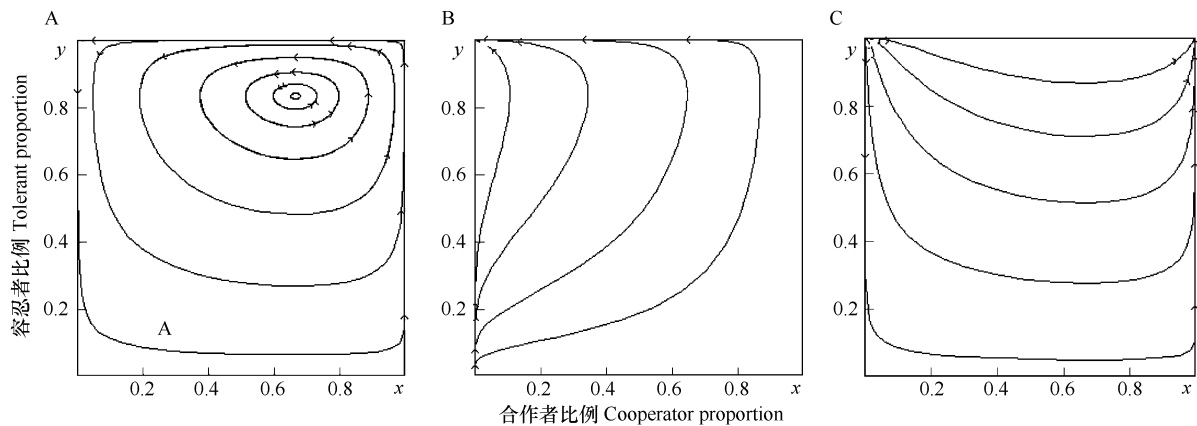


图1 策略演化动态,箭头显示演化方向

Fig. 1 The evolutionary dynamics of the strategies. The arrows indicate the moving directions

(a) $U_b > 0$, $U_c > e$; 轨迹为以 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 为中心的闭合同心圆环; (b) $U_b > 0$, $e > U_c$; 全局稳定点是 $(0, 1)$, 即全部为背叛者; (c) $U_b < 0$; 全局稳定点是 $(0, 1)$, 最终全部成为合作者 (a) $U_b > 0$, $U_c > e$; The trajectory is closed circles centered with the unstable equilibrium point $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$; (b) $U_b > 0$, $e > U_c$; The equilibrium $(0, 1)$ is global stable and the final population is composed of pure defectors; (c) $U_b < 0$; The equilibrium $(1, 1)$ is global stable and the final population is composed of pure cooperators

在一般默认的情况下,参数满足 $U_b > 0$, $U_c > e > 0$,则对策演化的动态轨迹是以内部平衡点 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 为中心的闭合同心圆环,该轨迹非渐进性稳定,对噪音干扰引起的波动敏感(图 1a)。合作者比例 x 振荡的中心位置仅由 e 与 U_c 的比值决定,而与其他因素无关。 e/U_c 越小,则合作者的平均比例越高。与直觉相左的一点是单纯提高对被举报的背叛者的惩罚力度 p 只能降低同等保护效果下监管者的平均比例,并不能彻底抑制背叛者的出现。

如果 $e > U_c$,则容忍策略对监管策略占优,在子博弈中背叛策略对合作策略占优,策略空间的动态轨迹将收敛至顶点 $(0, 1)$,最终发展为一个完全由背叛者和容忍者组成的稳定群体(图 1b)。

保护的最理想结果是 $(1, 1)$ 成为全局稳定点,即所有人都选择合作,且无需管护,相应的条件要求是 $U_b < 0$,即盗采资源的净收益效用为负。此条件等价于 $b/(b + S) < 0$ 。

数值模拟结果与上述理论分析一致(图 2),值得注意的是,随着 U_b/p 和 e/U_c 的减小,合作者与容忍者在群体中占主导的时间比例相应增大。

2.2 随机变异的影响

如在策略选择过程中存在随机变异(公式 5),模拟结果(图 3)与不存在随机变异的情况(图 2)相比,在 $U_b > 0$ 且 $U_c > e$ 即不存在占优策略的情况下,小概率的随机变异足以显著改变策略演化的轨迹,频率循环的波动幅度逐渐缩小并向状态 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 的邻域收敛(由于变异的发生概率是随机的,因此最终的均衡会存在小范围波动,而并非稳定比例);而且随 U_b/p 和 e/U_c 的减小,收敛速度加快。而在 $U_b < 0$ 或 $U_c < e$ 即存在占优策略的情况下,小概率的随机变异并没有明显影响。

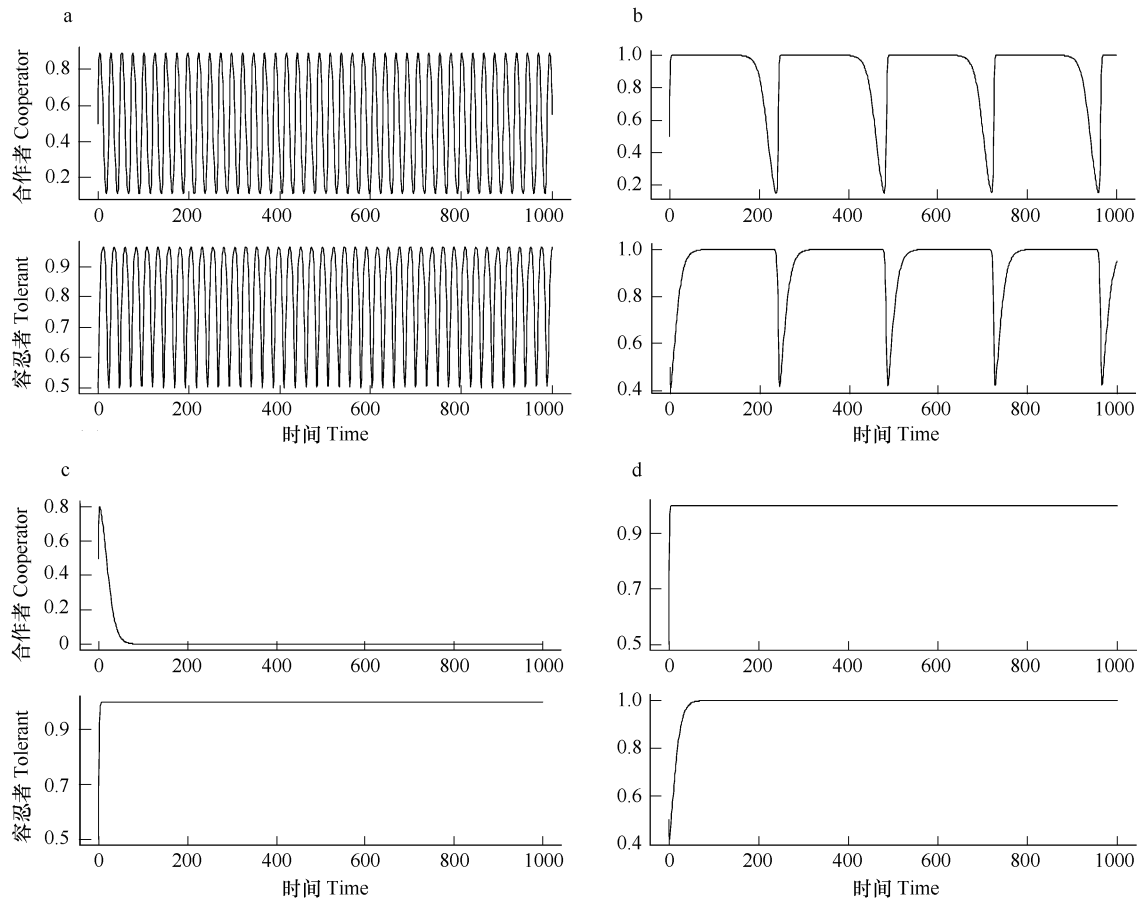


图2 无随机变异情况下的模拟动态(每一轮博弈为一个时间单位)

Fig. 2 The dynamics of simulation without random mutation (each game round is a time unit)

(a) $U_b > 0$, $U_c > e$, 合作者与容忍者的比例以 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 为中心振荡; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 0.5$, $U_c = 1$; (b) 随着 U_b/p 和 e/U_c 的减小, 合作者与容忍者主导的时间比例相应增大; $p = 2$, $U_b = 0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$; (c) $U_b > 0$, $e > U_c$, 全部群体成员迅速转变为背叛者; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 1.1$, $U_c = 1$; (d) $U_b < 0$, 全部群体成员迅速转变为合作者; $p = 2$, $U_b = -0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$ (a) $U_b > 0$, $U_c > e$, the proportions of cooperator and the tolerant oscillate centered with $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 0.5$, $U_c = 1$; (b) With the decrease of U_b/p and e/U_c , the cooperator and tolerant dominate the population longer during the oscillation; $p = 2$, $U_b = 0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$; (c) $U_b > 0$, $e > U_c$, the population quickly converge to pure defectors and tolerant; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 1.1$, $U_c = 1$; (d) $U_b < 0$, the population quickly converge to pure cooperators; $p = 2$, $U_b = -0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$

2.3 公平规范的异质情景

若 $u > 1 - e/\bar{U}_c$, 则 x 收敛至 u (图 4a)。

若 $u < 1 - e/\bar{U}_c$, 则 x 以 $1 - e/\bar{U}_c$ 为中心振荡。在存在随机变异的情况下, 合作比例最终将收敛至接近 $1 - e/\bar{U}_c$ (图 4b)。

综合上述结果, 在 $S > b$ 的前提下, 有:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \max(u, 1 - e/\bar{U}_c) \quad (7)$$

最终的合作者比例主要决定于 e , b , S , α 和 β 5 个参数。当经济状况一定(即 e , b , S 一定), 尤其是物质激励 S 相对有限的情况下, 对公平规范的认同水平, 特别是出于内疚感的自我约束, 决定了保护合作的水平。与经济理性假设的情况相比, 公平规范的存在对提高合作水平有明显作用(图 5, 假定个人的 α 和 β 两个参数在整个群体中服从正态分布)。

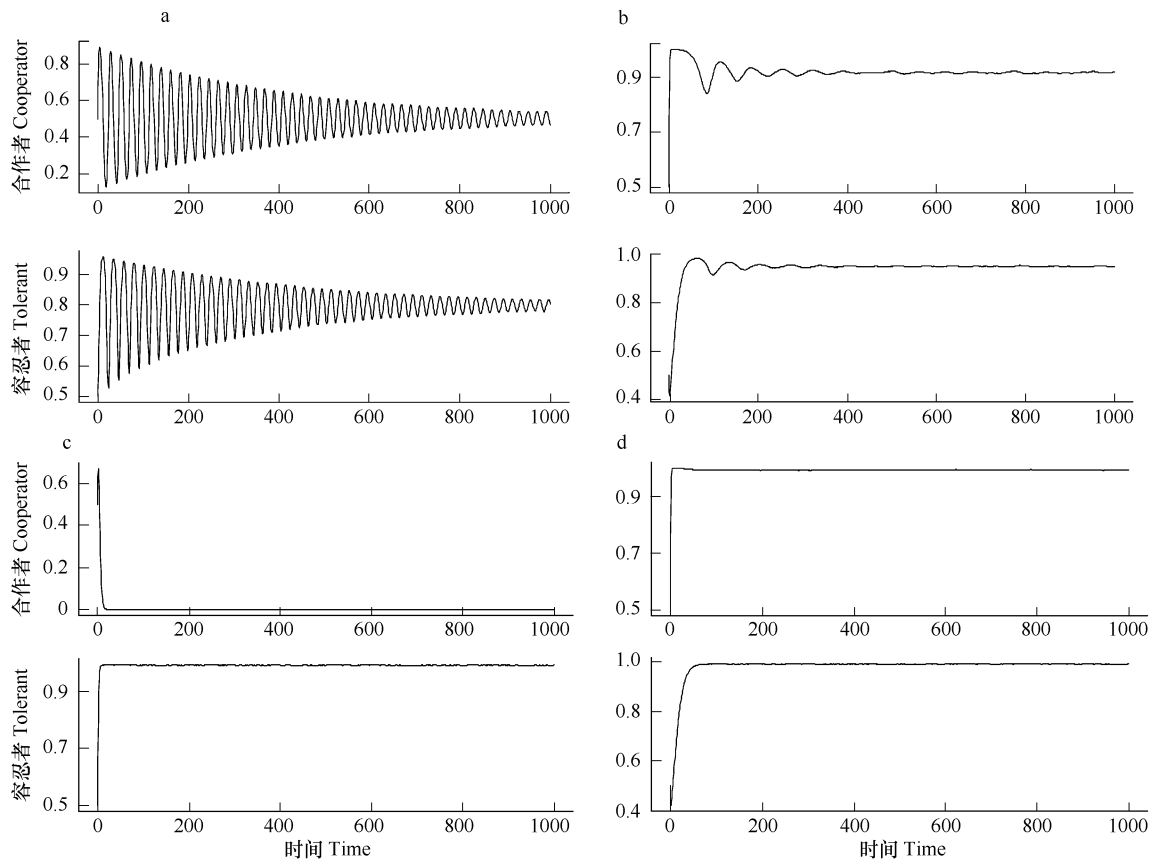


图3 策略选择存在小概率随机变异情况下的模拟结果(每一轮博弈为一个时间单位)

Fig.3 The dynamics of simulation with small random mutation in decision-making (each game round is a time unit)

$\sigma = 0.001$; (a) $U_b > 0$, $U_c > e$, 振荡幅度逐渐减小, 最终收敛至 $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$ 的邻域; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 0.5$, $U_c = 1$; (b) 随 U_b/p 和 e/U_c 减小, 收敛速度加快; $p = 2$, $U_b = 0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$; (c) $U_b > 0$, $e > U_c$, 随机变异无明显影响; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 1.1$, $U_c = 1$; (d) $U_b < 0$, 随机变异无明显影响; $p = 2$, $U_b = -0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$ $\sigma = 0.001$; (a) $U_b > 0$, $U_c > e$, the oscillation converges to the neighborhood of $(1 - e/U_c, p/(p + U_b))$; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 0.5$, $U_c = 1$; (b) With the decrease of U_b/p and e/U_c , the oscillation shrinks faster; $p = 2$, $U_b = 0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$; (c) $U_b > 0$, $e > U_c$, the mutation has little impact on the dynamics; $p = 2$, $U_b = 0.5$, $e = 1.1$, $U_c = 1$; (d) $U_b < 0$, the mutation has little impact on the dynamics; $p = 2$, $U_b = -0.1$, $e = 0.1$, $U_c = 1$

3 讨论

3.1 对外界侵扰的响应

无论是政府直管或是社区自治的管理模式, 一个共同的必要基础是资源的排他性, 即能够有效地将其他非管理者者排除在外^[22]。但在现实情况下, 本地自然资源通常并不能够与外界完全隔离, 不妨假设外来侵扰(如盗伐盗猎)对每个容忍者造成的平均损失为 d ($< e$), 则达到均衡时 $x = 1 - (e - d)/U_c$, 即本地合作比例反而升高, 而监管者比例维持不变。因此家庭承包管理的保护模式对外界侵扰具有弹性。但是如果侵扰强度超过阈值 e , 则全部家庭将被迫选择监管措施, 这会导致平均家庭收益的显著降低。并且在补偿有限的情况下($S < e$), 家庭选择退出保护项目的可能性会随外界侵扰强度升高而增大。因此, 抑制外界侵扰的额外措施是必要的。

同时, 对于潜在市场价值较高的并存在向外输出可能的受保护资源(如珍稀生物制品), 必要条件 $b < S$ 的实现通常需要额外的附加管理措施加以辅助限制(比如设置公路检查站)。

3.2 经济发展的潜在影响

上述分析与讨论皆是建立在社会与经济背景情况保持稳定均衡的理论假设基础之上, 而现实情况却是处

于不断的变化中。在经济发展的预期情景下,社区居民的经济资本与劳动力成本都会逐步提高,其直接预期结果是一方面盗采自然资源的净收益 b 会降低,因而合作比例会相应提高,在这一点上保护与发展是一致的;而另一方面,监管的劳动成本 e 将升高,因而如果社会资本不足,则合作比例可能反而降低,这就涉及到另一潜在的重要影响,即市场化对传统社会资本的冲击。由于经济关系结构的巨大转变,维持传统社会关系网络的基础将可能随之瓦解,社会规范也必然发生相应变化。一旦诸如公平信任等社会资本发生退化,则可能引起合作水平的显著下降,这一影响可能需要巨大的经济资本投入才能够弥补(图5)。也就是说,如果忽视对社会资本的影响,即便经济发展没有对自然资源造成直接威胁,其最终结果对于保护仍可能是得不偿失的。另外考虑到社区经济对生态服务功能的依赖性,则削弱社会资本的经济发展模式同时也很可能是不可持续性的。因此,可持续性的经济发展在保证严格控制环境影响的同时也必须兼顾社会资本的保护与建设,创造鼓励互惠合作与相互信任的社会环境。

3.3 对管理制度的思考

社会规范的普遍存在及其多样性与异质性并存的复杂情况对管理制度设计的灵活性提出了更高的要求,这是因为政策干预(如生态补偿)的效果并不仅仅取决于干预的力度,更加重要的是如何充分利用本地的社会资本将政策干预的效果良性放大^[23]。而如果忽视公平规范等社会因素,外部激励或惩罚措施的介入可能反而削弱本地社会资本在公共自然资源管理过程中原本所发挥的积极作用,甚至造成两者的对抗,因而难以取得预期的管理效果^[24]。反之,如果外部干预的形式能够充分调动本地的社会资本并与之形成互补合作关系,那么保护管理就可能取得事半功倍的效果。

以家庭承包管护模式为例,本研究的分析结果指出,经济补偿的关键作用可能并非直接雇佣本地居民以提高管护强度,而是通过将公共资源转化为名义上的“私有财产”,利用公平规范提高滥用资源的道德压力和社会成本,从而实现对个人行为的有效约束。因此,补偿的效果不仅取决于社区的经济状况,同时也视社会资本情况而异。在充分调查了解当地社会资本状况的基础上绘制出补偿与合作关系的预测曲线(图5),可以更准确地估计补偿政策方案的预期效果。

4 结论

理论模型的分析结果指出,在实施公共自然资源承包管护的过程中,公平规范能够扮演抑制自私动机而促进合作的重要角色。针对目前的实际情况,单纯依靠物质激励维持社区合作对于相对贫困的大多数重点保

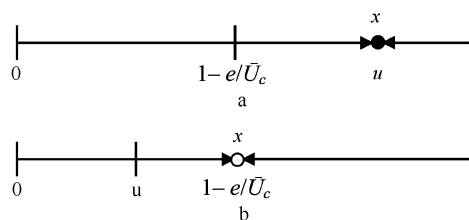


图4 公平效用参数分布与合作水平的关系

Fig. 4 The relationship between the parameter distribution of fairness utility and the level of cooperation

(a) u 大于 $1 - e/\bar{U}_c$, 则合作比例收敛于 u ; (b) u 小于 $1 - e/\bar{U}_c$, 则合作比例收敛于 $1 - e/\bar{U}_c$ 的邻域 (a) The proportion of cooperators converges to u , if the proportion u exceeds $1 - e/\bar{U}_c$; (b) The proportion of cooperators converges to the neighborhood of $1 - e/\bar{U}_c$, if the proportion u is below $1 - e/\bar{U}_c$

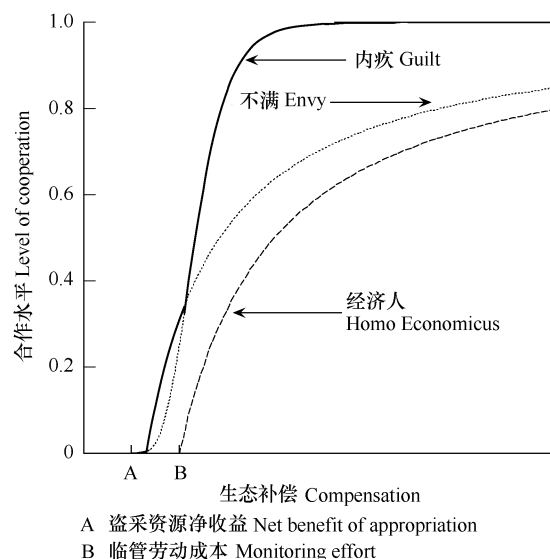


图5 管护补偿与合作比例的关系

Fig. 5 The relationship between the size of ecological compensation and the proportion of cooperation in conservation

黑色实线为由公平规范(内疚与不满)决定的关系曲线, $\alpha, \beta \sim N(0.5, \sigma^2)$; 破折线为经济理性模拟情景 ($\alpha = \beta = 0$) The thick black line denotes the relationship shaped by the social norm of fairness (guilt and envy), $\alpha, \beta \sim N(0.5, \sigma^2)$; The dash line denotes the scenario with a population of Homo Economicus ($\alpha = \beta = 0$)

护地区特别是自然保护区来说并不可行,因此,对社会资本的重视与潜力发掘对于自然资源的保护管理具有非常重要的现实意义。同时,考虑到社会生态系统的复杂性和多样性,公共自然资源管理制度的设计需要具备足够的灵活性,以确保资源保护工作与当地社会规范的协调并充分发挥其积极作用,从而提高生态补偿的实施效率。

References:

- [1] Hardin G. The tragedy of the commons. *Science*, 1968, 162: 1243—1248.
- [2] Axelrod R. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, 1984.
- [3] Nowak M A, Sigmund K. Evolution of indirect reciprocity. *Nature*, 2005, 437: 1291—1298.
- [4] Nowak M A, Sigmund K. Evolution of indirect reciprocity by image scoring. *Nature*, 1998, 393: 573—577.
- [5] Hsu M, Anen C, Quartz S R. The right and the good: Distributive justice and neural encoding of equity and efficiency. *Science*, 2008, 320: 1092—1095.
- [6] Sanfey a G, Rilling J K, Aronson J A, *et al.* The neural basis of economic decision-making in the Ultimatum Game. *Science*, 2003, 300 (5626): 1755—1758.
- [7] Fehr E, Camerer C F. Social neuroeconomics: the neural circuitry of social preferences. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 2007, 11 (10): 419—427.
- [8] Fehr E, Schmidt K M. A theory of fairness, competition and cooperation. *The Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114 (3): 817—868.
- [9] Dawes C T, Fowles J H, Johnson T, *et al.* Egalitarian motives in humans. *Nature*, 2007, 446: 794—796.
- [10] Henrich J, Boyd R, Bowles S, *et al.* 'Economic Man' in cross-cultural perspective: Behavioral experiments in 15 small-scale societies. *Behavioral and Brain Sciences*, 2005, 28: 795—855.
- [11] Falk A, Fehr E, Fischbacher U. Appropriating the commons: a theoretical explanation. In: Ostrom E, Dietz T, Dolsak N, *et al.* editors. *The Drama of the Commons*. Washington, DC: National Academy Press, 2002. 157—192.
- [12] Pretty J. Social capital and the collective management of resources. *Science*, 2003, 302: 1912—1914.
- [13] Chen P. Establish contract relations of management and protection, protect natural forest effectively. *Forestry Economics*, 2003, (7): 24—26.
- [14] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H, *et al.* Problems of management system of China's nature preservation zones and their solutions. *Science and Technology Review*, 2002, (1): 49—52.
- [15] Viña A, Bearer S, Chen X, *et al.* Temporal changes in giant panda habitat connectivity across boundaries of Wolong Nature Reserve, China. *Ecological Applications*, 2007, 17 (4): 1019—1030.
- [16] Song Z Y, Ouyang Z Y, Li Z Q, *et al.* Fairness norm and natural resources conservation II: An experimental study in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 240—250.
- [17] Rabin M. Incorporating fairness into game theory and economics. *American Economic Review*, 1993, 83: 1281—1302.
- [18] Camerer C F. *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*. Princeton New Jersey: Princeton University Press, 2003.
- [19] Schlag K H. Why imitate, and if so, how? A boundedly rational approach to multi-armed bandits. *Journal of Economic Theory*, 1998, 78 (1): 130—156.
- [20] Hofbauer J, Sigmund K. *Evolutionary Games and Population Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [21] Janssen M A, Ostrom E. Adoption of a new regulation for the governance of common-pool resources by a heterogeneous population. In: Baland J-M, Bardhan P, Bowles S eds. *Inequality, Cooperation and Environmental Sustainability*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2006. 60—96.
- [22] Agrawal A. Common resources and institutional sustainability. In: Ostrom E, Dietz T, Dolsak N, *et al.* eds. *The Drama of the Commons*. Washington, DC: National Academy Press, 2002. 41—86.
- [23] Ostrom E. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2005.
- [24] Ostrom E. Policies that crowd out reciprocity and collective action. In: Gintis H, Bowles S, Boyd R, *et al.* eds. *Moral Sentiments and Material Interests: The Foundations of Cooperation in Economic Life*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2005. 253—276.

参考文献:

- [13] 陈蓬, 建立管护经营承包制有效保护天然林. *林业经济*, 2003(7): 24~26.
- [14] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿 等. 我国自然保护区管理体制所面临的问题与对策探讨. *科技导报*, 2002(1): 49~52.
- [16] 宋志远, 欧阳志云, 李智琦 等. 公平规范与自然资源保护——在卧龙自然保护区的实验研究. *生态学报*, 2009, 29(1): 240~250.