

最小数据方法在生态补偿中的应用 ——以甘南黄河水源补给区为例

赵雪雁^{1,2}, 董 霞¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区工程研究所, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 甘南黄河水源补给区蓄水、补水功能对整个黄河流域水资源调节起了关键作用, 亟需建立生态补偿机制保护生态环境。采用最小数据方法模拟出了草地水源涵养服务供给曲线, 根据不同的生态恢复目标, 确定补偿标准, 估算新增水源涵养量。研究结果显示: (1) 通过生态补偿提高甘南黄河水源补给区水源涵养能力是可行的; (2) 当合作、夏河、玛曲、碌曲、卓尼、临潭的补偿额分别达 1 024. 3、999. 79、861. 74、1 008. 54、585. 54、983. 22 元/hm² 时, 该区退化草地将全部禁牧, 将新增水源涵养量 $2.253 \times 10^9 \text{ m}^3$; (3) 草地提供的水源涵养服务和农户经济行为存在空间异质性, 因此应建立差别化、动态化补偿标准。

关键词: 甘南黄河水源补给区; 最小数据方法; 新增水源涵养量; 生态补偿标准

中图分类号: F062. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)05-0748-07

随着全球生态系统的退化及其提供有用生态服务的丧失和减少, 全球环境政策开始由传统补贴和贸易政策向为农户提供刺激以增加生态服务供给的政策转变, 这种政策就是生态补偿。生态补偿不同于一般的环境经济政策与命令控制型环境政策, 传统方法强调环境负外部性内化, 虽然有助于阻止破坏环境的行为, 但不能促使人们主动保护生态环境, 而生态补偿注重环境正外部性内化, 让环境保护者受益, 这种保护环境的正面激励措施更能得到民众的支持和配合^[1]。因此, 自1997年纽约市在实施流域水资源保护规划中首次使用生态补偿概念以来^[2], 生态补偿就引起社会各界关注, 在发达国家和发展中国家被广泛应用。

在生态补偿研究中, 弄清支付水平与新增生态服务供给量之间的关系, 让决策者明确得到期望的生态服务供给量所需的投入非常关键。由于生态服务供给与农户经济行为都具有空间异质性, 因此, 需要开发在不同尺度上集成的自然和经济模型, Just 和 Antle 提出了一个分析农业与环境政策关系的概念框架^[3], 此后大批学者利用特定地点的数据与模型评估了生态补偿项目的经济可行性^[4,5]。这种研究尽管有助于深入理解自然和经济系统的关系, 但需要高分辨率的生物物理和经济

数据, 可在大多数情况下, 没有时间也没有资源去收集如此详细的资料。而通常进行政策分析时, 只要分析结果及时、具有一定精度, 就能为决策提供信息支持。基于这种需求, Antle 和 Valdivia 开发了最小数据方法^[6], 利用一些容易得到的二手数据(如统计报表上的数据), 将自然模型与生产模型结合起来, 通过提供生态服务的机会成本的空间分布来模拟新增生态服务的供给, 将支付水平与新增生态服务量有机地联系起来。最小数据方法因其所需数据较少, 模拟也足够精确, 可为决策分析服务。目前, 已有研究人员尝试将最小数据方法与水文和生产模型结合起来评价生态服务供给情况^[7]。本文以甘南黄河水源补给区为例, 采用最小数据方法将自然模型与农户改变生产方式意愿的经济分析结合起来, 模拟了草地水源涵养量供给曲线, 并根据生态恢复目标, 确定补偿标准, 估算新增水源涵养量, 旨在为中国生态补偿研究与政府决策提供借鉴与参考。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区

甘南黄河水源补给区雄踞在青藏高原东北部甘南高原, 辖合作、夏河、碌曲、玛曲、临潭、卓尼等

收稿日期: 2009-09-23; 修订日期: 2010-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目“黑河流域生态补偿研究”(40971291)、教育部科学技术研究重点项目“甘南黄河水源补给区生态补偿机制研究”资助。

作者简介: 赵雪雁(1971-), 女, 甘肃武都人, 教授, 主要从事生态经济研究。E-mail: zhaoxy@nwnu.edu.cn

5 县 1 市。黄河自青海省久治县进入该区,在阿尼玛卿山下的玛曲县形成九曲黄河第一湾,黄河干流流程在玛曲县境内长达 433.3 km,年净增水量 $108.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,占黄河源区总径流量 58.7%;黄河一级支流洮河、大夏河的多年平均径流量分别达到 $36.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,这三条河流及其大小支流在甘南境内流域面积达 $3.057 \times 10^4 \text{ km}^2$,产水模数达 $21.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,多年平均补给黄河水资源量 $65.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,使该区成为黄河上游最重要的水源补给区,也成为青藏高原中华水塔的重要水源涵养区,其蓄水、补水功能对整个黄河流域水资源调节起到关键作用。由于全球气候变化与人文因素交互胁迫,甘南黄河水源补给区生态环境日趋恶化^[8],与 20 世纪 80 年代初相比,草地退化面积增加 120 倍,水土流失面积增加 47.57%,湿地面积减少 67.68%,生态系统服务功能遭受严重损害,水源涵养能力锐减,20 世纪 90 年代以来,玛曲段补给黄河水量减少了 25.3%,洮河径流量减少了 27.0%,大夏河减少 11.8%,致使整个黄河流域、乃至中国北方地区的生态安全遭受严峻挑战。

1.2 研究方法

1) 降水贮量法。完好的天然草地不仅有截留降水功能,而且具有较高的渗透性和保水能力,对调控径流具有重要意义。甘南黄河水源补给区草地面积达 $248.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占国土面积的 81.32%,承担着重要的水源涵养、水土保持等功能。本文仅对草地生态系统水源涵养功能进行分析。

甘南黄河水源补给区草地超载过牧严重,退化草原面积从 1984 年 $1.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到 2004 年 $190.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,20 a 间增加近 120 倍。目前该区退化草地达 $195.49 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中重度以上退化草地达 $64.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占退化草地面积 33.19%;中度退化草地达 $112.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占 57.63%,导致草地生态系统的水源涵养能力显著下降。为增强草地生态服务功能,该区采取了禁牧、休牧等措施。本文采用降水贮存量法,通过对比放牧与禁牧两种土地利用方式下的草地生态系统蓄水效应,来衡量其截留降水、涵养水分的功能^[9,10]:

$$Q = A \cdot J \cdot R \tag{1}$$
$$J = J_0 \cdot K \tag{2}$$
$$R = R_0 - R_g \tag{3}$$

式中, Q 为与放牧地相比,禁牧草地生态系统截留降水、涵养水分增加量; A 为计算区草地面积; J 为

计算区多年均产流降雨量($P > 20 \text{ mm}$); J_0 为计算区多年均降雨总量; K 为计算区产流降雨量占降雨总量的比例; R 为与放牧地相比,禁牧草地生态系统截留降水、减少径流的效益系数; R_0 为产流降雨条件下放牧地降雨径流率; R_g 为产流降雨条件下禁牧草地降雨径流率。

2) 最小数据方法。最小数据方法假定农户使用土地和管理决策的目的是经济福利最大化^[6,7]。当农户没有得到额外激励时,生态服务有一个初始均衡供给,为了在初始均衡供给基础上增加水供给,下游用水者必须给农户提供金融刺激,激励农户改变土地利用方式。

假定每个土地单元可采取两种生产方式 a (放牧)与 b (禁牧),在地点 s 采用土地利用方式 b 时,单位时间内每公顷草地能产生 e 单位水源涵养量;若采用土地利用方式 a ,产生的水源涵养量为 0^[8]。农户每一时刻的土地使用决策都是基于最大化土地利用期望价值 $v(p, s, z)$,其中 p 为产品价格, s 表示不同的地块, $z = a, b$ 表示土地利用方式, $v(p, s, a)$ 与 $v(p, s, b)$ 分别为农户采用 a 与 b 两种土地利用方式时的净收益; $\omega(p, s)$ 为农户由生产方式 a 转为 b 时的机会成本,为简单起见,假设土地利用转换成本为 0。

当 $\omega(p, s) = v(p, s, a) - v(p, s, b) < 0$ 时,即使没有补偿,农户也会选择土地利用类型 b 。为估算没有补偿时草地提供水源涵养量,可将所有采用 b 方式土地单元上 $\omega(p, s)$ 排序,确定机会成本的概率密度函数 $\varphi(\omega)$ 。通过 $\varphi(\omega)$,可以计算出在没有补偿时采用土地利用方式 b 的土地单元的比例为 $r(p)$:

$$r(p) = \int_0^{\omega} \varphi(\omega) d\omega \quad 0 \leq r(p) \leq 1 \tag{4}$$

如果草地总面积为 H ,则没有补偿时草地提供的基线水源涵养量 $S(p)$ 为:

$$S(p) = r(p) \cdot H \cdot e \tag{5}$$

为了在基线数量上增加水源涵养量,可向农户进行补偿。如果农户仍采用土地利用方式 a ,获得净收益为 $v(p, s, a)$;若农户采用土地利用方式 b ,将获得净收益 $v(p, s, b) + ep_e$,其中 p_e 为提供单位水源涵养量的补偿值^[8]。

当 $0 < \omega(p, s) = v(p, s, a) - v(p, s, b) > p_e \cdot e$,即补偿费低于机会成本($\omega/e > p_e$)时,没有农户会放弃土地利用方式 a ,此时草地提供的水源涵养量

仍为基线水源涵养量 $S(p)$ 。

当 $0 < \omega(p, s) = v(p, s, a) - v(p, s, b) \leq p_e e$, 即补偿费高于机会成本 ($\omega/e < p_e$) 时, 农户将接受补偿选择土地利用方式 b 。利用前面定义的机会成本的空间分布 $\varphi(\omega)$, 进行变量转换, 可定义单位生态服务机会成本的空间分布 $\varphi(\omega/e) = \varphi(\omega) e$ 。通过从 0 到 p_e 的积分, 就可确定在给定的补偿价格 p_e 下从 a 转变为 b 的土地单元数量, 即新转变为土地利用方式 b 的土地单元比例为 $r(p, p_e)$:

$$r(p, p_e) = \int_0^{p_e} \varphi(\omega/e) d\omega/e \quad (6)$$

此时, 草地提供的水源涵养量为:

$$S(p, p_e) = S(p) + r(p, p_e) \cdot H \cdot e \quad (7)$$

其中, $r(p, p_e) \cdot H \cdot e$ 为补偿费高于机会成本时, 因土地单元从 a 转为 b 而新增的水源涵养量。

图 1 显示从单位生态服务的机会成本的空间分布推导生态服务供给曲线的过程。图 1 实际上由两副图组成, 左图显示了单位生态服务机会成本 (ω/e) 的空间分布, 它旋转了坐标轴, 纵轴是单位生态服务的价格 ω/e , 横轴是单位生态服务机会成本的密度函数 $\Phi(\omega/e)$, 它的形状取决于机会成本的方差与均值; 右图显示的是生态服务供给曲线, 纵轴上是单位生态服务价格 p_e , 横轴是生态服务供给量 S , 它是单位生态服务价格 p_e 的函数。右图中生态服务供给曲线的形状取决于左图中机会成本的空间分布形式及其距离原点的位置, 机会成本的方差在确定生态服务供给曲线形状中起着非常关键的作用, 当方差为正时, 供给曲线有一个正的斜率, 它的凹度取决于机会成本空间分布距离原点的位置, 它的拐点取决于机会成本的均值。在右图中, 生态服务供给曲线与横轴相交于初始均衡点 $[S(p)]$, 在该点 $p_e = 0$; 随着 p_e 的增加, 采取土地利用方式 b 的土地单元比例 $r(p, p_e)$ 随之增加并接近 $1 - r(p)$, 生态服务量不断增加并逼近最大生态服务量 ($H \cdot e$) 的垂直渐近线, 当所有土地单元都改变为生产方式 b 时, 生态服务量达到最大值 ($H \cdot e$)。

2 结果与分析

2.1 改变土地利用方式后新增的水源涵养量

采用降水贮量法进行草地水源涵养量的估算, 关键要确定 K 值、 J_0 及 R 值。

K 值的确定: 甘南黄河水源补给区气候寒冷湿润, 年平均气温 $\sim 3^\circ\text{C}$, 降雨量多集中在 7 月上旬

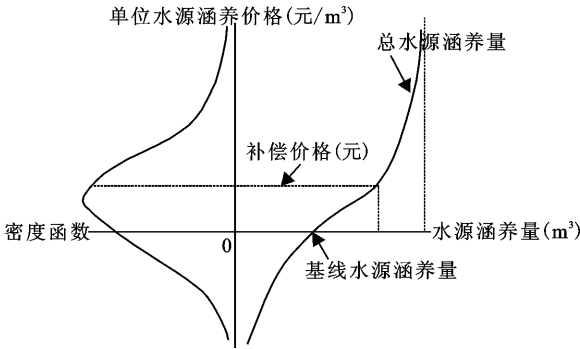


图 1 单位生态服务机会成本的空间分布推导出生态服务供给曲线

Fig. 1 Derivation of supply of ecosystem services from spatial distribution of opportunity cost per unit of ecosystem services

到 9 月上旬, 年降水量 510.2 ~ 800 mm, 相对湿度 0.57 ~ 0.69, 降雨强度 (7.8 ~ 10) mm/24 h, 根据这些降雨特征, 将 K 值取为 0.5 [10, 11]。

J_0 的确定: 受全球气候变化的影响, 甘南黄河水源补给区降水量年际变化趋势除夏河下降趋势不明显外, 其余各地年降水量呈下降趋势 [12]。根据甘南藏族自治州气象局的气象观测资料 (1987 ~ 2007 年), 可计算出各地 20 a 均降雨总量。

R 值的确定: 根据实测结果, 甘南黄河水源补给区优良草地 (盖度为 95%) 的平均产流系数是 0.55, 而退化草地 (盖度为 70%) 的平均产流系数是 0.50。禁牧可以增加草地的盖度、密度和高度, 中度退化草地在禁牧 3 ~ 4 a 后, 即可接近退化前的水平。根据已有的实测和研究成果, 结合各地草地退化程度、产流降雨量、土壤、地形特征以及禁牧草地的相关特征等 [11, 13 ~ 15], 确定研究区的 R 值。

根据公式 (1 ~ 3), 可计算出甘南黄河水源补给区草地由放牧变为禁牧后的新增水源涵养量 (表 1)。从表 1 可看出, 禁牧后甘南黄河水源涵养区 1 hm^2 草地上平均新增水源涵养量 1 086.99 m^3 , 其中夏河县单位草地面积上新增水源涵养量最高, 达 2 221.76 m^3/hm^2 ; 而最低的临潭县, 新增水源涵养量也达 491.61 m^3/hm^2 。这说明, 在甘南黄河水源涵养区实施禁牧, 有助于提高草地生态系统的水源涵养服务功能。

2.2 经济模型

1) 机会成本的空间分布。本研究利用甘南藏族自治州 2007 年农村住户收支台帐和课题组的入户调查资料, 计算甘南黄河水源补给区农户转变生

表 1 甘南黄河水源补给区新增水源涵养量估算

Table 1 Additional quantity of conservation of water resources in Huanghe River Water Source Supply Area of Gannan

区域	草地面积 (10 ⁴ hm ²)	草地退化率(%)		年均降雨量 (mm)	20 年均降雨 总量(mm)	R	K	J	新增水源涵养量 (m ³ /hm ²)
		重度	中度						
合作	17.4	32.38	44.17	525.02	10500.4	0.030	0.5	5250.2	1575.85
夏河	49.3	0.00	62.62	444.13	8882.6	0.050	0.5	4441.3	2221.76
玛曲	91.1	33.76	41.35	580.0	11600.0	0.015	0.5	5800	870.44
碌曲	49.4	26.28	46.53	572.75	11455.0	0.011	0.5	5727.5	630.34
卓尼	33.2	14.49	63.22	522.54	10450.8	0.014	0.5	5225.4	731.92
临潭	8.2	5.26	88.27	491.36	9827.2	0.010	0.5	4913.6	491.61

资料来源: 甘肃省林业调查规划院. 甘肃省甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设规划, 2007.

产方式的机会成本均值和方差。其中,农村住户收支台帐涉及甘南黄河水源补给区 6 县(市)的 360 户农户(60 户/县),记录着每户家庭每月的收支情况;同时,课题组设计调查问卷,聘请来自甘南黄河水源补给区的大学生利用 2008 年暑期社会实践的机会,在自己家乡所在村随机选取 2~3 户农户进行转变生产方式的机会成本调查,共发放问卷 150 份,收回有效问卷 120 份。课题组分别对 360 户家庭的收支台帐及 120 户受访户的调查问卷进行整理分析,计算出甘南黄河水源补给区农户转变生产方式的机会成本均值和方差(表 2)。

表 2 甘南黄河水源补给区由放牧转为禁牧时的机会成本均值与方差

Table 2 Opportunity cost and variance from grazing to prohibiting grazing in Huanghe River Water Source Supply Area of Ganan

区域	机会成本		区域	机会成本	
	值(元/hm ²)	方差		均值(元/hm ²)	方差
合作	709.35	355.20	夏河	731.85	276.45
玛曲	562.20	242.40	碌曲	445.35	465.9
卓尼	529.05	248.85	临潭	797.55	431.25

通过频数直方图分析其形状,进一步利用相关性分析法对数据进行了检验分析后,发现其分布曲线呈正态分布,利用 MATLAB 软件模拟甘南黄河水源补给区所辖各县农户的机会成本密度函数 $\varphi(\omega)$ 及水源涵养量供给曲线。

根据公式(4,5),可计算出没有补偿时甘南黄河水源补给区禁牧草地的比例 $r(p)$ 与基线水源涵养量。没有补偿时该区禁牧草地比例非常低,平均 3.41%,其中合作市该比例最高,仅 8.2%,而夏河县仅有 0.4% 的草地禁牧(表 3、图 3);该区草地提供的基线水源涵养量 $[\text{S}(p)]$ 仅为 $5.954 \times 10^7 \text{ m}^3$,

其中,合作、夏河、玛曲、碌曲、卓尼、临潭草地提供的基线水源涵养量分别为 2.31×10^7 、 0.44×10^7 、 1.33×10^7 、 1.34×10^7 、 0.413×10^7 、 $0.121 \times 10^7 \text{ m}^3$ (表 3、图 4 中的 A 点)。

2) 水源涵养服务供给曲线的模拟。根据公式(6~7),可根据不同生态恢复目标,确定相应的补偿标准及新增水源涵养量。甘南黄河水源补给区退化草地占到草地总面积的 78.63%,合作、夏河、玛曲、碌曲、卓尼、临潭退化草地分别占草地总面积的 77.78%,86.65%,87.79%,71.53%,56.59%,62.61%。目前,该区已退牧还草 $106.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占草地总面积的 42.92%,其中合作、夏河、玛曲、碌曲、卓尼、临潭该比例分别为 40.97%,48.05%,52.20%,41.51%,18.08%,22.07%。按照目前退牧还草比例,甘南黄河水源补给区平均补偿费 $p_e \cdot e$ 应为 544.98 元/hm²,其中夏河县最高,为 722.07 元/hm²,卓尼县最低,为 292.77 元/hm²;新增水源涵养量 $1.234 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中夏河县新增水源涵养量最高,为 $5.26 \times 10^8 \text{ m}^3$,临潭县最少,为 $8.87 \times 10^6 \text{ m}^3$ (表 3、图 4 中的 B 点)。

根据《甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设规划》,近期甘南黄河水源补给区退化草地将全部退牧还草,根据公式(6~7),要使退化草地全部退牧,甘南黄河水源补给区的平均补偿费 $p_e \cdot e$ 应达到 910.54 元/hm²,其中合作市最高,为 1 024.3 元/hm²,卓尼县最低,为 585.54 元/hm²;此时,该区将新增水源涵养量 $2.253 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中夏河县新增水源涵养量最高,为 $9.53 \times 10^8 \text{ m}^3$,临潭县最少,也达 $2.54 \times 10^7 \text{ m}^3$ (表 3、图 4 中的 C 点)。这充分说明,通过生态补偿提高甘南黄河水源补给区水源涵养能力是可行的。

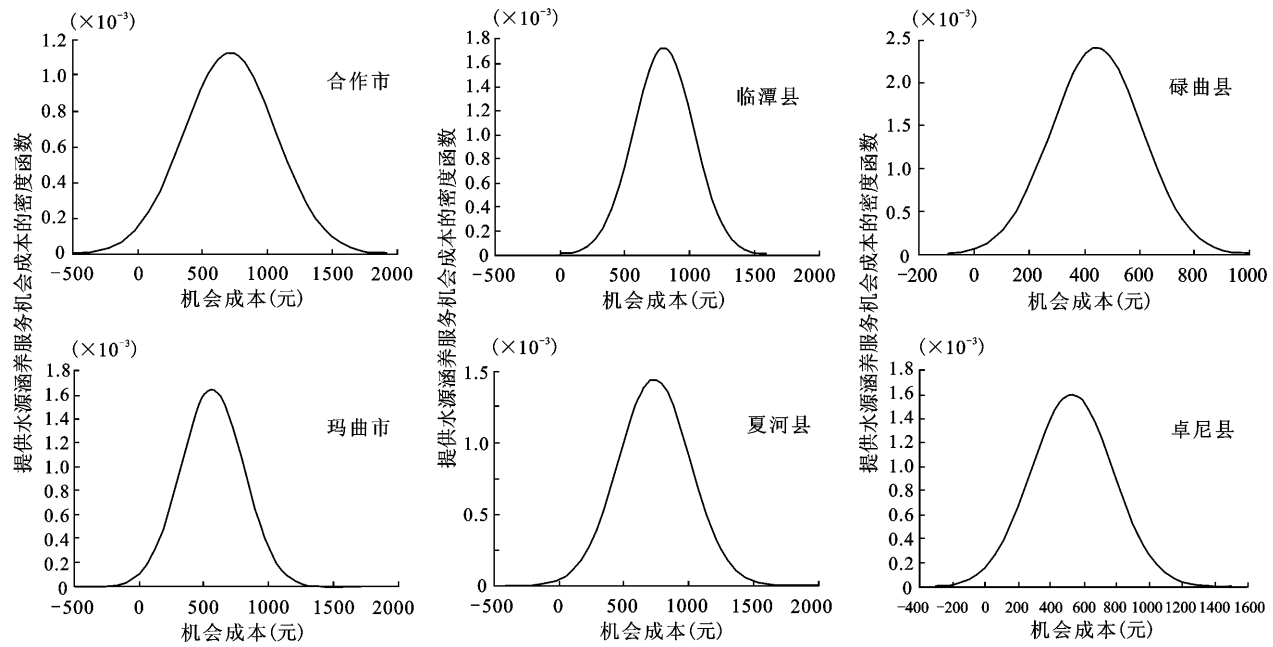


图2 甘南黄河水源补给区草地转变生产方式的机会成本的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of opportunity cost in Huanghe River Water Source Supply Area of Gannan

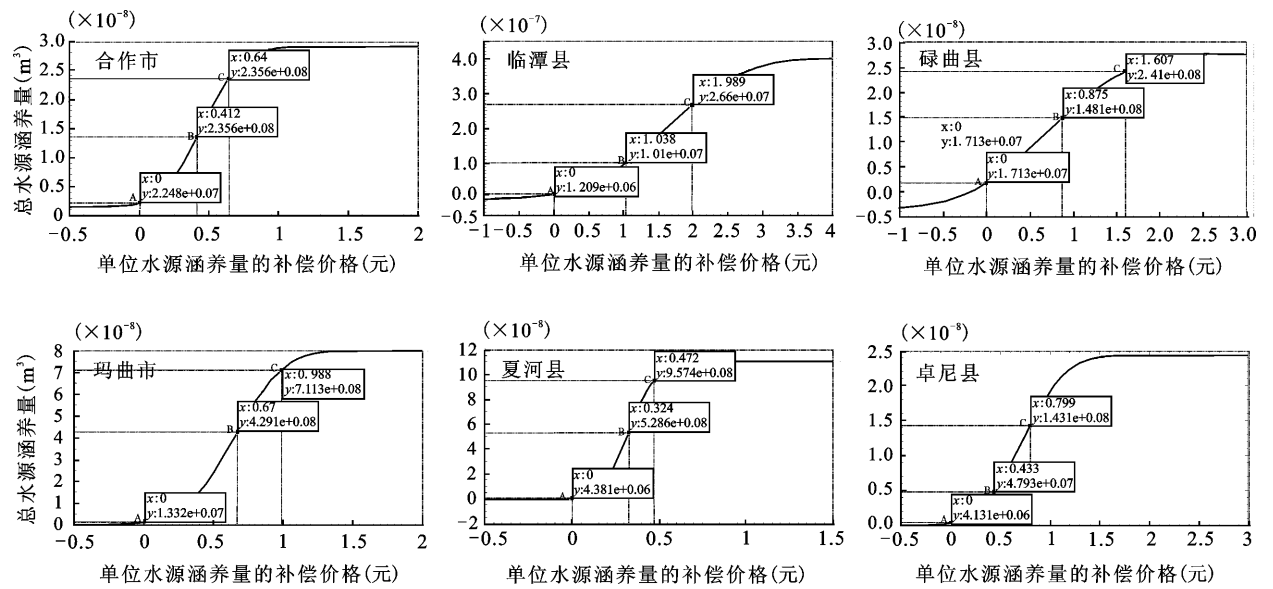


图3 甘南黄河水源补给区水源涵养量供给曲线

Fig. 3 Supply curve of conservation of water resources in Huanghe River Water Source Supply Area of Gannan

3 结论与讨论

3.1 结 论

1) 实施生态补偿有助于提高甘南黄河水源补给区水源涵养能力。研究结果显示,当为农户提供足够高经济刺激时,农户将改变生产方式,水源

涵养量显著增加;当合作、夏河、玛曲、碌曲、卓尼、临潭的补偿额分别达到1 024.3、999.79、861.74、1 008.54、585.54、983.22 元/ hm^2 时,该区退化草地将全部禁牧,新增水源涵养量将高达 $2.253 \times 10^9 m^3$ 。

2) 甘南黄河水源补给区应建立差别化、动态

表3 甘南黄河水源补给区提供的生态服务量及补偿标准

Table 3 Supplied ecosystem service quantity and compensation standard in Huanghe River Water Source Supply Area of Gannan								
研究区域	e (m^3/hm^2)	H (10^4 hm^2)	$r(p)$	$S(P)$ (10^7 m^3)	$r(p,p_e)$	补偿标准 $p_e \cdot e$ (元/ hm^2)	提供的水源涵养量 $S(p,p_e)$ (10^8 m^3)	新增水源涵养量 $r(p,p_e) \cdot H \cdot e$ (10^8 m^3)
合作	1575.85	17.4	0.082	2.31	0.41	630.34	1.35	1.12
					0.78	1024.3	2.36	2.14
夏河	2221.76	49.3	0.004	0.44	0.48	722.07	5.30	5.26
					0.87	999.79	9.57	9.53
玛曲	870.44	91.1	0.0168	1.33	0.52	565.79	4.26	4.12
					0.88	861.74	7.11	6.98
碌曲	630.34	49.4	0.055	1.34	0.42	567.31	1.48	1.31
					0.72	1008.54	2.41	2.24
卓尼	731.92	33.2	0.017	0.413	0.18	292.77	0.479	0.437
					0.57	585.54	1.43	1.39
临潭	491.61	8.2	0.03	0.121	0.22	491.61	0.101	0.0887
					0.63	983.22	0.266	0.254

化的补偿标准。研究结果显示: 由于草地水源涵养服务供给与农户经济行为存在空间异质性,不同区域的草地水源涵养服务供给曲线不同; 而且对于同一地区,补偿标准不同、转为禁牧的土地单元比例与新增水源涵养量也不同,应根据生态修复目标或下游用水需求建立差别化、动态化补偿标准。

3) 作为一种简单、透明、成本有效的方法,最小数据方法利用二手数据可以为生态补偿提供准确、及时的决策支持信息。

3.2 讨论

对于决策分析,简单模型比复杂模型更优越。最小数据方法就是为了满足政策分析需求而提出的,它提供了非常准确的政策情景分析以支持方针政策的制定。目前来看,最小数据方法主要有三种用途,第一,为决策提供及时、准确的信息支持,即使在数据相对较好的美国等国家也用这种方法; 第二,由于最小数据方法的学习和应用成本很低,因而与其他更精确的模拟方法相比,更适合发展中国家; 第三,由于最小数据方法简单、透明,容易掌握并应用,目前已在拉丁美洲和非洲的农业系统模拟中使用^[6]。由于最小数据方法有及时、准确、透明、简单、低成本等优点,可在我国推广使用,为分析生态补偿的可行性、核定生态补偿标准、制定相应的生态环境政策等提供准确、及时的信息支持。

国际上常用分布式水文模型[土壤与水文评价工具(SWAT)]模拟水文过程与流域的作物生长^[6~19],该模型包含水文循环所有成分。由于研究区数据缺乏,没有可用的流域水文数据进行SWAT模拟,所以本研究仅采用降水贮量法模拟草地生态系统的水源涵养量,本质上具有探究性,是

为显示生态补偿是否对提高水源涵养功能起促进作用; 该研究本意上是概念性的,分析目的是用一些随手可得的数据评估分析生态补偿的经济可行性,并不是对所有影响农户决策的因素(如风险规避、其他制度约束)进行全面评估,因而研究结果只显示了基于过去实践的合理变动范围,即为农户付费让他们禁牧是提高草地水源涵养能力最好选择。

参考文献:

[1] Sven Wundera,Stefanie Engelb,Stefano Pagiolac. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries [J]. Ecological Economic,2008,65(4): 834-852.

[2] Stefanie Engela,Stefano Pagiolab,Sven Wunderc. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues [J]. Ecological Economic,2008,65(4): 663-674.

[3] Just R E,Antle J M. Interaction between agricultural and environmental policies: a conceptual framework [J]. American Economic Review,1990,80(2): 197-202.

[4] Antle J M,Capalbo S M,Mooney S,et al. Spatial heterogeneity, contract design, and the efficiency of carbon sequestration policies for agriculture [J]. Journal of Environmental economics and Management,2003,46(2): 231-250.

[5] Wu J,Adams R M,Kling C L,et al. From micro level decisions to landscape changes: an assessment of agricultural conservation policies [J]. American Journal of Agricultural Economics,2004,86(2): 26-41.

[6] Antle J M,Valdivia R O. Modeling the supply of ecosystem services from agriculture: a minimum data approach [J]. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics,2006,50(1): 1-15.

[7] Walter Immerzeel,Jetse Stoorvogel,John Antle. Can payments for ecosystem services secure the water tower of Tibet? [J]. Agricultural Systems,2008,96(1-3): 52-63.

- [8] 李志刚,段焕娥. 西北高寒民族地区生态环境问题及农牧业发展——以甘南藏族自治州为例 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 551 ~ 555.
- [9] 范世香,高 雁,程银才,等. 林冠对降雨截流能力的研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(2): 200 ~ 204.
- [10] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价 [J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1103 ~ 1104.
- [11] 赵焕胤,朱劲伟,王维华. 林带和牧草地径流的研究 [J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 56 ~ 61.
- [12] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等. 黄河上游主要产流区气候变化及其对水资源的影响——以甘南高原为例 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 903 ~ 909.
- [13] 罗伟祥,白立强,宋西德,等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量 [J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 30 ~ 35.
- [14] 张 杰,李栋梁,王 文. 夏季风期间青藏高原地形对降水的影响 [J]. 地理科学, 2008, 28(2): 235 ~ 240.
- [15] 李宏权,范广州,周定文,等. 青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响 [J]. 地理科学, 2008, 28(2): 259 ~ 265.
- [16] Arnold J G, Fohrer N. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling [J]. Hydrological Processes, 2005, 19: 563 ~ 572.
- [17] Srinivasan R, Ramanarayanan T S, Arnold J G, et al. Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application [J]. Journal of American Water Resource Association, 1998, 34: 91 ~ 101.
- [18] 张 东,张万昌,朱 利,等. SWAT 分布式流域水文物理模型的改进与应用研究 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 434 ~ 440.
- [19] 刘三超,张万昌,高懋芳,等. 分布式水文模型结合遥感研究地表蒸散发 [J]. 地理科学, 2007, 27(3): 354 ~ 358.

Application of Minimum-data Approach in Ecological Compensation

—A Case of Huanghe River Water Supply Area of Gannan

ZHAO Xue-yan^{1,2}, DONG Xia¹

(1. The College of Geography and Environment Science, North-west Normal University, Lanzhou, Gansu 730070; 2. Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract: The Huanghe (Yellow) River Water Supply Area of Gannan lies in the Qinghai-Tibet Plateau, so it can be considered as the important part of the water tower of China and the protection of its water resources is crucial. The minimum-data approach, which integrates the spatial heterogeneity of the biophysical environment and the economic behavior of farmers, is a transparent and cost effective tool to quantify the effect of financial incentives in the conservation of water resource. Policy relevant information can be generated without the need to conduct expensive field survey and to set up more elaborate economics simulation models. The paper makes use of the precipitation storage model to simulate the additional water conservation from grazing to grazing prohibition, then applies the minimum-data approach to simulate the supply curve of the water conservation of the grassland ecosystem from the spatial distribution of opportunity cost per unit of water conservation. The results show that it is theoretically possible to increase water conservation quantity by implementing the ecological compensation in the Huanghe River Water Supply Area of Gannan, and the initial equilibrium supply of water before farmers are given payments is $5.954 \times 10^7 \text{ m}^3$. When the compensation standard of the Hezuo, Xiahe, Maqu, Luqu, Zhuni and Lintan respectively equal to 1024.3 yuan/ha, 999.79 yuan/ha, 861.74 yuan/ha, 1008.54 yuan/ha, 585.54 yuan/ha and 983.22 yuan/ha, all of the degradation grassland will be prohibited from grazing, the additional water conservation will equals to $2.253 \times 10^9 \text{ m}^3$ in the Huanghe River Water Supply Area of Gannan. That is to say, it would be technically and economically feasible to pay farmers to increase water conservation quality and secure the water tower of Qinghai-Tibet Plateau. This water supply curve can be used by policy decision makers to assess how much farmers are willing to supply at a given price per unit of water. Integrated with an assessment of how much water is expected, the efficient water and grassland protection policy can be implemented.

Key words: Huanghe River Water Supply Area of Gannan; additional water conservation; minimum-data approach; ecological compensation standard