

生态系统服务供给量的确定 ——最小数据法在黑河流域中游的应用

唐 增*, 黄茹莉, 徐中民

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所生态水文与集成流域管理研究重点实验室, 甘肃兰州 730000)

摘要: 确定生态系统服务供给量与付费标准是进行生态系统服务付费研究的关键问题。最小数据方法是一个推导生态系统服务供给曲线的数学模型, 该模型通过分析土地利用收益的空间分布, 计算出生态系统服务机会成本的空间分布, 从而推导出生态系统服务供给曲线。介绍了最小数据方法, 然后以黑河流域张掖市甘州区为例, 以植被蒸散发量的减少表征生态系统服务, 通过调查获得机会成本的空间分布, 利用最小数据方法推导了水资源服务供给曲线。结果表明: 随着补偿价格的提高, 农业部门提供的水资源服务逐渐增加。当补偿价格从 0.067 元 m^{-3} (农业用水价格) 提高到 3 元 m^{-3} (建筑用水水价), 农业部门提供的水资源服务由 $2.08 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ 增加到 $2.7 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ 。这表明, 采用生态系统服务付费政策可以有效减少农业用水量, 同时这也为补偿标准的制定提供一种新的思路。

关键词: 生态系统服务付费; 水资源服务; 最小数据方法; 供给曲线; 甘州区

Modeling the supply of water services: the application of minimum data approach in Ganzhou District, Heihe River

TANG Zeng*, HUANG Jiali, XU Zhongmin

Key Laboratory of Ecohydrology and Integrated River Basin Science, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Most of ecosystem services, such as water service and climate regulation et al, are public good. Consequently, the value of these ecosystem services are not embodied in the prices of conventional products, and therefore the market does not provide people with the economics incentives to supply the amount of ecosystem services demand by society. Payment for ecosystem services (PES) is emerging as a new approach to managing the valuable services derived from ecosystem globally. It provides farmers with incentives to increase the supply of ecosystem services, so it tends to be easier to secure cooperation from land users and protect the ecosystem. When come to practice, how the level of payments is related to the supply of ecosystem service is a very important problem. Traditionally, it needs to integrate physical and economic models at a disaggregate level necessary to capture the heterogeneity of the physical environment and the economic behaviors of landholders. However, high-resolution biophysical and economic data with the geographic coverage needed for analysis are exceptional. In most cases, the time and resources required to get these data precludes their use for most policy analysis.

In order to provide timely, sufficiently accurate information to support policy decision making, the minimum-data (MD) approach was introduced, which is a trade-off between timeliness and accuracy of information. The MD approach exploits the structure of the PES problem to obtain an approximation to the ecosystem service supply curve that can be implemented using relatively simple data. This method shows that the supply of ecosystem services can be derived from the spatial distribution of opportunity cost of providing those services on the assumption that landholders take land use and management decision to maximize their perceived economic well being.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971291); 中国科学院知识创新工程重要方向项目群资助项目(KZCX2-YW-Q10-4-03)

收稿日期: 2009-10-20; **修订日期:** 2010-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tangzeng@lzb.ac.cn.

Then the MD approach was applied to simulate the supply of water services from agriculture in Ganzhou District, which located in middle reaches of Heihe River. The water services from this area are measured by the difference of evapotranspiration between two kinds of land-use: irrigated land and non-irrigated land. The spatial distribution of opportunity cost of providing water services was obtained by undertaken a field survey ($n = 120$). Under some plausible simplifying assumptions, the supply curve of water services was approximately determined. The results show, as the price of payments increasing, more land chooses to take the land-using which in favor the water services supply. When the price increase from 0.067 RMB m^{-3} (irrigation water price) to 3 RMB m^{-3} (construction water price), the additional added water services are increase from $2.08 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ to $2.7 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$. This means that the payments for ecosystem services can be used to decrease the water consume of agriculture, and increase the water supply for the ecosystem which would better off the environmental condition of downstream. The MD appears to be a transparent and cost effective tool to quantify the effect of financial incentives in the provision of water resources. Policy relevant information can be generated without the need to conduct expensive field surveys and to set up more elaborate econometric simulation models. Also, by using the MD, the appropriate level of price under certain objective of ecosystem services was determined.

Key Words: payments for ecosystem services; water services; minimum data approach; supply curve; Ganzhou District

生态系统服务付费(Payments for ecosystem services, PES)是当前国际上非常流行的保护生态环境的手段,它将生态系统服务的外部的、非市场的价值转化为提供生态系统服务的财政激励^[1]。从科学研究的思考范式来看^[2],生态补偿其实是对原有的结构性成分关系的颠倒,即从惩罚性的保护措施,阻止人们破坏环境转变为激励性的环保措施,鼓励人们保护生态环境。这种转变让传统的生态环境保护有了创新思路。由于正面的激励措施更能得到民众的支持和配合,相比传统的环保手段,生态系统服务付费能更好地起到保护生态环境的作用^[3]。目前国际上已有许多关于生态系统服务付费的研究,如美国的保护与储备计划(Conservation Reserve Program, CRP),厄瓜多尔的森林固碳项目等^[4]。生态系统服务付费在中国通常称为生态补偿^[5]。但两者存在一定的差异,生态系统服务付费是市场经济制度下的产物,强调生态系统服务使用者和受益者向生态系统服务提供者付费,而我国生态补偿的概念要宽泛一些,除了补偿生态系统服务提供者,还包含了对生态系统本身的补偿。尽管存在一定的差异,但这种差异并不是本质的,其根本目的都在于通过付费(补偿))改善生态环境,增加生态系统服务的供给。

在设计生态系统服务付费项目时,一个重要的目标是如何实现成本有效,即利用最小的成本获得最多的生态系统服务。因此,关键问题之一就是弄清付费与生态系统服务改善程度之间的定量关系。由于生态系统服务的产生和影响生态系统系统服务的行为都具有空间异质性,因此通常都需要开发不同尺度上集成的经济和自然模型来定量模拟付费,例如,Just 和 Antle 在 1990 年提出了一个分析农业与环境政策关系的概念框架,其基础就是在不同尺度上开发集成的经济和环境模型^[6]。但这些模型需要详细和复杂的生物物理和经济数据,这些数据尤其是经济数据的获取通常需要很高的成本,也需要大量的时间,而政策分析通常只需要结果及时,并具有一定的精度就可为决策提供信息支持^[7]。基于此,Antle 和 Valdivia 提出了一个最小数据方法模拟土壤碳的供给,通过降低对数据的要求,扩展了生态系统服务供给模型的应用^[7]。

本文首先简要介绍最小数据方法的基本原理,然后以黑河中游甘州区为例,推导了在不同补偿价格情形下水资源服务的供给曲线,最后针对性的提出了在黑河流域实施生态系统服务付费政策的建议。这可为黑河流域实施生态系统服务付费提供重要的理论和数据支撑,也可给其他地区提供借鉴。

1 最小数据方法介绍

最小数据方法的基本思想是基于生态系统服务供给的机会成本推导生态系统服务的供给。生态系统服务的供给不便于测量,通常以土地利用方式为替代指标。农户通过改变土地利用方式影响生态系统服务供给以及农户自身的经济收益。为了简化分析,假定在地块 s 上只存在两种土地利用方式(a 和 b),采用土地利用

方式 a , 单位土地面积产生的生态系统服务为 0, 采用土地利用方式 b , 单位土地面积产生的生态系统服务为 $e(s)$ (生态系统服务产出率), 这种假设并不会影响后面的分析, 因为考虑的是生态系统服务供给的变化, 而 $e(s)$ 即土地利用方式由 a 变为 b 后新增加的生态系统服务。 $e(s)$ 既与地块的自然环境有关, 也与土地管理有关。尽管 $e(s)$ 具有空间上的异质性, Antle 在碳汇的研究中表明, 采用单一的期望值与采用具有异质性的 $e(s)$ 的结果差异很小^[8]。同时, 由于政策分析也不需要精度太高的数据, 因此本文采用 $e(s)$ 的期望值, 记为 e 。

假设农户为理性的经济人, 以最大化经济利益为目标进行土地利用和管理。假设单位土地面积每年的收益为 $v(p, s, z)$, 其中 $z = a, b$ 表示土地利用方式, p 表示农产品价格, s 某一表示地块。假设土地利用方式转换的成本为 0, 如果:

$$\omega(p, s) = v(p, s, a) - v(p, s, b) \geq 0 \quad (1)$$

农户将采用土地利用方式 a , 反之就会选择土地利用方式 b 。如果已知 $\omega(p, s)$ 的空间分布 $\varphi(\omega)$ (概率密度函数)。在不存在其他经济激励的条件下, 采用土地利用方式 b 的土地的比例为 $r(p)$:

$$r(p) = \int_{-\infty}^0 \varphi(\omega) d\omega \quad 0 \leq r(p) \leq 1 \quad (2)$$

式中, $\omega(p, s)$ 是 p 的函数, 因此 r 也是 p 的函数。由此可知, 一个总面积为 H 的区域, 如果没有实施生态系统服务付费政策, 生态系统服务供给量为:

$$S(p) = r(p)He \quad (3)$$

如果实施生态系统服务付费政策, 每年向农户支付一定的补偿 p_e , 促使农户增加生态系统服务的供给 (即从土地利用方式 a 转为 b)。 p_e 定义为提供单位生态系统服务的价格, 即农户多提供 1 单位生态系统服务, 就可以获得 p_e 的补偿。

在实施生态系统服务付费政策的情况下, 如果农户采用土地利用方式 a , 单位面积土地可以获得期望收益 $v(p, s, a)$; 如果采用 b , 因提供单位生态系统服务可获得价值 p_e 的补偿, 这时单位面积土地可获得期望收益 $v(p, s, b) + ep_e$, 其中 $v(p, s, b)$ 是农户直接从采用土地利用方式 b 中获得的收益, ep_e 是农户提供生态系统服务而获得的补偿。从而, 如果:

$$v(p, s, a) - v(p, s, b) - ep_e = \omega(p, s) - ep_e \geq 0 \quad (4)$$

农户将采用土地利用方式 a ; 反之, 如果 $\omega(p, s) - ep_e < 0$, 即 $\omega/e < p_e$, 农户将采用土地利用方式 b 。 ω/e 是农户提供单位生态系统服务的机会成本, 根据 ω 的密度函数 $\varphi(\omega)$ 可以定义 ω/e 的空间分布 $\varphi(\omega/e)$ 。从而, 在补偿价格为 p_e 时, 机会成本处于 0 到 p_e 的土地将从利用方式 a 转为 b , 这部分土地的比例为:

$$r(p, p_e) = \int_0^{p_e} \varphi(\omega/e) d(\omega/e) \quad (5)$$

新增的生态系统服务供给量 $S(p_e)$ 为 $r(p, p_e)He$, 生态系统服务的供给总量为:

$$S(p, p_e) = S(p) + r(p, p_e)He \quad (6)$$

通过生态系统服务供给机会成本的空间分布推导生态系统服务供给的过程可以用下图 (图 1) 表示。左边的曲线表示机会成本的空间分布, 右边是生态系统服务的供给曲线。

2 实证研究

2.1 研究区简介

黑河流域是典型的内陆河流域, 气候干燥, 水资源缺乏, 生态环境脆弱。随着中游张掖市的发展, 尤其是农业灌溉用水大量增加, 导致生态用水急剧减少, 造成严重的生态问题^[9]。甘州区位于张掖市, 人口 50.66 万, 其中农业人口 32.23 万, 总耕地面积为 45746.7 hm²。目前农业水价为 0.067 元 m⁻³, 2006 年人均纯收入为 4132 元, 其中农业收入占总收入的 50%^[10]。在张掖市五县一区中, 甘州区人口最多, 耕地面积最大, 灌溉用水量也最大, 占全市总灌溉水量的 37.7%。水资源是一种重要的自然资源, 是生态系统提供的关键生态系统服务之一^[11]。对于内陆河流域而言, 水资源的重要性显得更为突出。减少甘州区农业灌溉用水对改善生态环境, 乃至改善黑河流域中下游生态环境都有重要意义。

2.2 生态系统服务确定

在农田灌溉中,有相当一部分水量会通过径流或渗透返回到地表和地下水系统,可以被再次利用,这部分水在灌溉中并没有被消耗,而在灌溉中真正被消耗掉的是通过作物蒸散损耗的水量,因此,减少灌溉用水实际上是通过降低蒸散量来减少水分的消耗。因此可用两种土地利用方式蒸散量的差异定量地表示新增的水资源服务^[12]。蒸散量的计算方法为:

$$ET = K_a ET_0 \quad (8)$$

式中, ET 为实际蒸散量(mm), K_a 为蒸散发系数, ET_0 是参考作物蒸散量(mm d^{-1})。蒸散发系数 K_a 采用FAO-56推荐的公式和推荐值进行调整得出^[13]。参考作物蒸散量 ET_0 选择采用联合国粮农组织所提出的Penman-Monteith公式进行计算,计算公式为:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (9)$$

其中, Δ 是饱和蒸气压-温度曲线的梯度($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n 是净辐射($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), G 是地热通量($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), T 是平均气温, u_2 是高度为2m处的风速, e_s 和 e_a 分别是温度为 T 时的饱和水汽压和实际水汽压(kPa), γ 是干湿球常数($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)。

计算结果表明,甘州区灌溉用地的年平均蒸发蒸腾量为 856.3 mm a^{-1} ,非灌溉用地年平均蒸发蒸腾量为 224.2 mm a^{-1} 。因此,通过减少灌溉,单位面积土地每年可提供的水资源服务量为 $6321 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 。

2.3 生态系统服务供给机会成本空间分布的确定

生态系统服务供给的机会成本是指为提供生态系统服务所放弃的收益。在本例中,水资源服务的机会成本是放弃灌溉所损失的收益,即灌溉耕地收益与非灌溉耕地收益之差。耕作收益通过调查获得,在95%的置信度和抽样误差系数不超过3%的条件下,采用分层抽样的方法,随机抽取120户农户进行调查,回收有效调查问卷116份,有效回收率为96.7%。调查结果显示,耕地年收益的均值和标准差分别为 9228 元 hm^{-2} 、 5154 元 hm^{-2} ,农户种植主要作物是玉米和小麦,两者占总种植面积91.5%,占总收益90.3%。调查发现,由于甘州区降水稀少,在不进行灌溉的情况下,种植作物基本上很难有收成,可以认为非灌溉土地的收益为0。水资源服务供给的机会成本(ω)就是灌溉耕地的收益。

χ^2 拟合检验表明, ω 服从正态分布($\chi^2 = 7.87 < \chi_{0.1}^2(7) = 12.017$ ^①),从而,单位水资源服务的机会成本 ω/e 也服从正态分布($e = 6321 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$),平均值为每年 1.46 元 m^{-3} ,标准差为 0.82 元 m^{-3} 。已知机会成本的均值和标准差,在正态分布的假设下,利用Matlab 6.5绘图命令plot绘制机会成本空间分布图(图2)^②。

2.4 结果分析

2.4.1 没有实施生态系统服务付费时的水资源服务供给状况

在不实施生态系统服务付费政策的情况下,即补偿价格为0($p_e = 0$),采用非灌溉土地的比例为: $r(p) = \int_{-\infty}^0 \varphi(\omega) d\omega = 3.75\%$,如图3。提供的水资源服务为 $0.11 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$,新增生态系统服务为0。

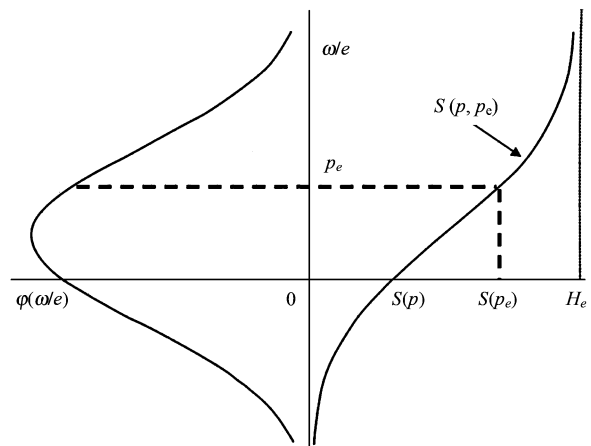


图1 通过生态系统服务供给机会成本的空间分布推导生态系统服务供给^[5]

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

① 在 χ^2 检验中,数据分为10组,自由度为 $10 - 2 - 1 = 7$ 。

② 下文的曲线都是利用Matlab 6.5绘制。

2.4.2 存在付费时的水资源服务供给

当存在生态系统服务付费时,根据机会成本的空间分布(图2),利用(4)和(5)式,得到不同补偿价格(p_e)下土地利用变化比例(图3),生态系统服务供给曲线(图4),以及补偿总金额与新增水资源服务供给量之间的关系(图5)。从图3—图5可以看出,随着补偿价格的提高,放弃灌溉的土地越来越多,提供的水资源服务也越来越多,同时所需资金也逐渐增加。当补偿价格为0时(没有生态系统服务付费),采用非灌溉的土地的比例为3.75%,没有新增水资源服务。当补偿价格为4元 m^{-3} 时,几乎所有耕地都将选择非灌溉,生态系统服务供给总量为 $45746.7\text{hm}^2 \times 6321\text{m}^3\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1} = 2.89 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1}$ 。此时每年新增的水资源服务接近最大值 $2.89 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1} - 0.11 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1} = 2.78 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1}$ 。

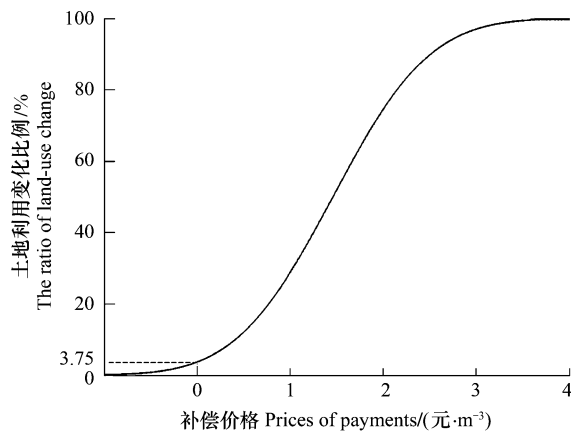


图3 补偿价格与土地利用变化比例之间的关系

Fig. 3 The relationship between the prices of payments and the ratio of land-use change

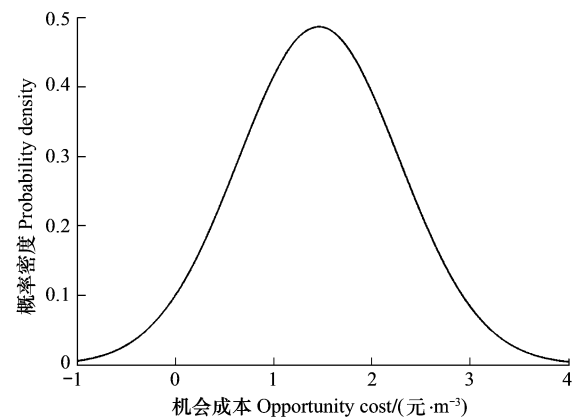


图2 生态系统服务供给机会成本的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution opportunity cost per unit of ecosystem services

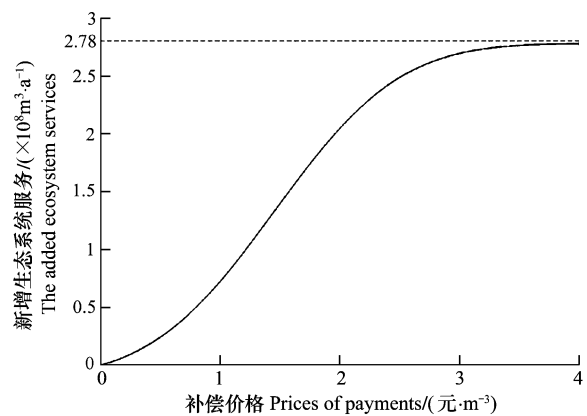


图4 补偿价格与新增生态系统服务的关系

Fig. 4 The relationship between price of payments and the added ecosystem services

当前甘州区的农业灌溉水价,城市居民用水价,工业用水价以及建筑用水水价分别为0.067元 m^{-3} 、1.3元 m^{-3} 、2元 m^{-3} 、3元 m^{-3} [7]。表1表明了在上述4种不同的补偿价格情形下的生态系统服务付费实施的情况。当补偿价格等于当前农业水价时($p_e = 0.067$ 元 m^{-3}),相当于补偿423.5元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ (每 hm^2 耕地能提供的水资源服务量为 $6321\text{m}^3\text{a}^{-1}$),只有4.47%的耕地选择非灌溉,新增的水资源服务为 $2.08 \times 10^6\text{m}^3\text{a}^{-1}$ 。所需资金总额为13.94万元 a^{-1} 。如果补偿价格等于城市居民用水水价(1.3元 m^{-3}),新增生态系统服务将大大增加,达到 $1.1 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1}$,当补偿价格等于建筑用水价格时(3元 m^{-3}),新增生态系统服务增加到 $2.7 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1}$ 。这也说明,如果非农用水者能通过生态系统付费的方式补偿农业用水者,就可以减少农业对水资源的消耗,缓解各部门间用水的矛盾。

3 结语

生态系统服务付费是当前国际上流行的保护生态环境,促进生态系统服务供给的方法。确定生态系统服务付费中补偿价格与生态系统服务供给之间的关系是其中的关键问题之一。本文以黑河中游张掖市甘州区为

表 1 不同补偿价格情境下的生态系统服务付费
Table 1 Payments for ecosystem services under different prices

项目 Item	补偿价格 The prices of payments /(元 m ⁻³)	单位耕地补偿金额 Payments for unit area of land /(元 hm ⁻² a ⁻¹)	非灌溉土地比例 The ratio of non- irrigated land/%	新增生态系统服务 The added ecosystem services/(m ³ a ⁻¹)	补偿资金总额 The total payments /(元 a ⁻¹)
农业灌溉用水水价 Irrigation water price	0.067	423.51	4.47%	2.08 × 10 ⁶	1.4 × 10 ⁵
城市居民用水水价 Urban domestic water price	1.3	8217.3	42.3%	1.1 × 10 ⁸	1.43 × 10 ⁸
工业用水水价 Industrial water price	2	12642	74.5%	2.05 × 10 ⁸	4.1 × 10 ⁸
建筑用水水价 Construction water price	3	18963	97.0%	2.7 × 10 ⁸	8.1 × 10 ⁸

例,利用最小数据方法,推导了区域水资源服务的供给曲线,探讨水资源供给量与补偿价格之间的关系,分析了生态系统服务付费对区域生态系统服务供给的影响。通过分析,本文得到以下的结论:

(1)利用生态系统服务付费的方法可以促使农户耕作行为发生变化,减少农业用水,从而增加生态环境的用水,改善黑河中下游的生态环境。

(2)最小数据方法在黑河中游甘州区的应用表明,该方法数据要求低,计算简单,能快速推导生态系统服务供给曲线,可以很好地满足政策分析对时效性的要求。

(3)本文实际上引入了一种确定补偿标准的新方法,通过推导确定生态系统服务供给曲线,可以计算在某一生态系统目标(生态系统服务供给量)下的补偿标准,且这种补偿标准是动态的,随着目标的变化而变化。这为可为黑河流域及其他地区实施生态补偿确定补偿标准提供一定的借鉴作用。

同时,本文的研究也存在一些有待改进之处。在实际过程灌溉用水的减少是连续的,并非简单直接从灌溉变为非灌溉。这需要考虑用水量、灌溉方式等与产量的关系,同时可能还涉及到节水措施和种作物结构等问题。

References:

[1] Xu Z M, Zhong F L, Zhao X Y, Li X W. Payments for ecosystem services: an overview. Research of Financial & Accounting, 2008, 23: 67-72.

[2] Xu Z M, Cheng G D. Framework to address human factors in a human-being system. Science & Technology Review, 2008, 26(3): 86-92.

[3] Engel S, Pagiola S, Wunder S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. Ecological Economics, 2008, 65(4): 663-675

[4] Wunder S, Engel S, Pagiola S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. Ecological Economic, 2008, 65(4):834-852.

[5] Taskforce on Eco-compensation Mechanisms and Policies. Eco-compensation Mechanisms and Policies in China. Beijing: Science Press, 2007: 4-5.

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

[7] Antle J M, Valdivia R O. Modeling the supply of ecosystem services from agriculture: a minimum data approach. The Australian Journal of

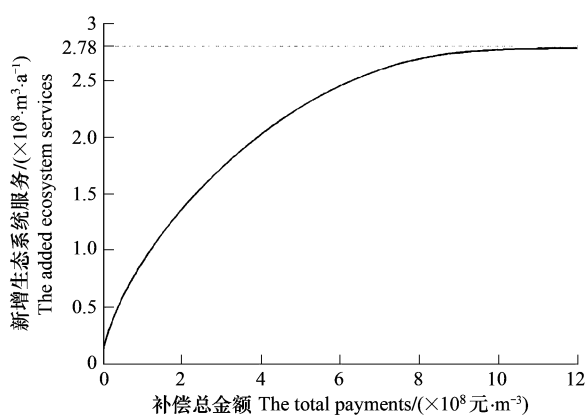


图 5 补偿总金额与新增生态系统服务的关系
Fig.5 The relationship between the total payment and the added ecosystem services

Agricultural and Resource Economics, 2006, 50 (1): 1-15.

- [8] Antle J M, Capalbo S M, Paustian K H, Ali M K. Estimating the economic potential for agricultural soil carbon sequestration in the central United States using an aggregate econometric-process simulation model. *Climatic Change*, 2007, 80(1/2):145-171.
- [9] Ministry of Water Resources. Pilot Experiences of Establishing a Water-saving Society in China. Beijing: China Water Press, 2004: 5-10.
- [10] Statistical Bureau of Ganzhou District. The Statistical Yearbook of Ganzhou District, 2006.
- [11] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well Being: A Framework for Assessment Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC: Island Press, 2003:23-24.
- [12] Immerzeel W, Stoorvogel J, Antle J M. Can payments for ecosystem services secure the water tower of Tibet? *Agricultural Systems*, 2008, 96 (1/3): 52-63.
- [13] Allen R G, Pereira I S, Raes D, Smith M. FAO Irrigation and Drainage Paper No.56, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Rome: FAO, 1998:65-66.

参考文献:

- [1] 徐中民, 钟方雷, 赵雪雁, 李兴文. 生态补偿研究进展综述. *财会研究*, 2008, 23: 67-72.
- [2] 徐中民, 程国栋. 人地系统中人文因素作用的分析框架探讨. *科技导报*, 2008, 26(3): 86-92.
- [5] 中国生态补偿机制与政策研究课题组. 中国生态补偿机制与政策研究. 北京: 科学出版社, 2007: 4-5.
- [9] 水利部. 全国节水型社会建设试点经验资料汇编. 北京: 中国水利水电出版社, 2004:5-10.
- [10] 甘州区统计局. 甘州区 2006 年统计年鉴, 2006.