生态服务价值、退耕还林及其补偿价格
——最小数据方法在重庆黔江区的应用[1]

周静璇[1]，周洪文[1]，[2]

（1.西南大学 经济管理学院，重庆 400715；

2.西南大学 西南大学农村经济与管理研究中心，重庆 400715）

【摘 要】：为探讨退耕还林工程的生态服务价值及其补偿标准，文章以黔江区耕地产出为依据，运用最小数据方法，利用单位面积退耕还林水源涵养量的机会成本的空间分布模拟出水源涵养供给曲线。结果表明：实施生态补偿可以激励农户自愿退耕，随补偿价格的提高，退耕比例以及所能提供的水源涵养量均可显著提高。政策规定的补偿水平下仅能使 2.50%的退耕土地得到的补偿不低于其机会成本，相应的退耕还林地提供的水源涵养量仅为 $4.0873\times10^{6}m^{3}$。

【关键词】：退耕还林；水源涵养量；生态补偿价格；最小数据方法

【中图分类号】：F062.2;X196　　**【文献标识码】**：A　　**【文章编号】**：1671-4407（2018）03-191-05

1、引言

我国的退耕还林工程是世界上最大的生态建设项目之一，可持续性是该项工程的关键，一旦过了补偿期，退耕农户很有可能因收入问题而复耕[1]。中国现有的退耕还林补偿制度的实施主要由政府推动，其补偿依据主要是农民参与退耕还林产生的直接经济损失[2]，参与的主体较为单一且补偿标准的依据单薄，直接造成补偿额度的不合理，无法充分体现补偿的科学性和公平性[3]，不能保证退耕还林工程的可持续性。因此，确定生态补偿金额，制定生态补偿标准既是生态补偿的重要环节，也是退耕还林工程持续性的有效保障。

目前学术界还没有公认的确定生态补偿标准的方法。生态服务评价可以作为重要的参考依据，但由于生态系统结构复杂且相关理论和方法研究还不成熟，所以生态服务的价值估算往往远超当地财政的承受能力[4]。有国外学者的研究结果表明，生态补偿标准的制定应考虑生态系统服务提供者的机会成本[5]，基于这一观点，不少学者采用机会成本的方法确定生态补偿标准，如土

[1][**基金项目**]：国家社会科学基金一般项目“江河大型水库库区生态建设补偿机制研究”（13BJL086）；重庆市人文社会科学重点基地项目 “文化资本、产业扶贫与西南山区农村现代化”（16SKB063）；中央高校基本业务费项目“基于生态补偿理论的扶贫问题与对策研究”（SWU1709410）

[**第一作者简介**]：周静璇（1989-），女，河南周口人，硕士生，研究方向为区域经济学。E-mail：cqzjx@hotmail.com

[**通讯作者简介**]：周洪文（1965-），男，河南郸城人，博士，副教授，研究方向为区域经济学、农业经济管理。E-mail：zhouhw@swu.edu.cn

地利用的机会成本[6-7]等，此机会成本停留在宏观调查层面，只简单地取平均值，忽略了个体差异，致使补偿标准与实际情况的不符，影响实施效果。

事实上，有“损失”才需“补偿”，生态补偿的本质是一种经济激励机制，生态补偿标准直接影响补偿对象的决策行为。对于理性的经济人而言，自愿参与生态补偿的条件是补偿标准高于机会成本，因此，补偿标准越高，参与者自然越多，生态系统服务的供给量就越高，反之供给量低[8]。生态补偿需要考虑的一个重要目标是成本有效，即用尽可能少的投入去获取最多的生态系统服务[9]。因此，需要分析补偿标准与生态系统服务供给二者间的关系，进一步确定合适的生态补偿标准。对此，Just&Antle[10]于 1990 年构造了一个农业与环境政策关系的概念模型，将生态环境和经济系统相联系，这需要高质量的生物物理和经济数据并且要开发不同空间尺度上的生态与经济模型，无疑增加了工作量，加大了研究成本，实际操作性不强。对于此，Antle&Valdivia[11]在 2006 年提出了最小数据法，此方法从补偿对象的理性决策角度出发，通过改变土地利用方式的机会成本的空间分布来推导生态系统服务的供给曲线，进一步确定相应的生态补偿标准。

本文以重庆市黔江区为例，以退耕还林政策现行实施方案面临的现实问题为出发点，运用最小数据方法，通过单位面积退耕还林水源涵养量的机会成本的空间分布模拟出水源涵养供给曲线，分析分别在现行补偿标准、平均机会成本、最佳补偿标准下的退耕比例和退耕土地能提供的水源涵养量。旨在实践中丰富生态服务价值评价理论与方法，并为进一步完善退耕还林相关政策提供借鉴。

2、研究区概况与数据来源

黔江区位于重庆市东南部，地处武陵山区腹地，属武陵山连片特困区，超过三分之一的耕地坡度在 25。以上，是我国退耕还林工程首批示范区县。同时，黔江区属渝东南生态保护发展区，是长江流域自然保护重点区域，也是水源涵养重要区域。2016 年 9 月重庆市人民政府印发的《重庆市生态文明建设“十三五”规划》中强调要强化五大功能区生态调控，其中渝东南生态保护发展区要突出生态修复和保护，要以森林生态系统保护和建设为重点，着力实施天然林保护、退耕还林还草等工程。

研究用到的数据主要来源于渝东南的黔江区 2005-2009 年村级社会经济情况普查。本次普查涵盖全区 30 个乡镇（街道）共 218 个村（居委会），剔除掉种植业生产所占比例小且与退耕还林关系不大的部分城区居委会（村）后，保留 196 个村（居委会）的数据，以其 5 年种植业收入的均值衡量退耕还林的机会成本。退耕还林补偿额度依据《国务院关于进一步做好退耕还林还草试点工作的若干意见》（国发〔2000〕24 号）、《国务院关于进一步完善退耕还林政策措施的若干意见（国发〔2002〕210 号）》和《退耕还林条例》确定。

3、研究方法

3.1 最小数据方法

最小数据方法主要通过生态系统服务供给的机会成本的空间分布来推导生态系统服务的供给。首先，假设同一地块 $_5$有两种利用方式 a 和 b，当农户选择土地利用方式 a 时，单位土地面积产生的生态系统服务为 0；当农户选择土地利用方式 b 时，单位面积土地产生的生态系统服务为 e，亦即土地利用方式由 a 变为 b 后增加的生态系统服务为 e。考虑到计算过程中分析的是生态系统服务供给量的变化情况，故此假设不影响结果。

同时，假设农户使用土地和管理决策皆基于经济福利最大化，并且在单位面积土地上的期望收益为 v（p,s,z），其中，p 表示土地利用产出的价格参数，s 表示某一地块，z=（a,b）表示土地利用方式。当农户选择土地利用方式 a 时，在单位面积土地上的期望收益为 v（p,s,a），当农户选择土地利用方式 b 时，在单位面积土地上的期望收益为 v（p,s,b）。为简化分析，假设转换土地利用方式的成本为 0，在没有生态补偿的情况下，农户对土地利用方式的选择机制为：

$$\omega(p,\ s) = v(p,\ s,\ a) - v(p,\ s,\ b) \qquad (1)$$

若$\omega(p,\ s) \geq 0$，即选择土地利用方式 a 的收益大于选择 b 的收入时，则农户将选择土地利用方式 a，反之则选择土地利用方式 b。

若已知$\omega(p,\ s)$的空间分布，可得其概率密度函数$\varphi(\omega)$,进一步可得出采用土地利用方式 b 的土地单元的比例$r(p)$：

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

给定一个总面积为 H 的区域，在没有实施生态补偿的前提下，生态系统服务供给量为：

$$S(p) = r(p) \cdot H \cdot e \qquad (3)$$

公式（1）～（3）中：出$\omega(p,\ s)$是关于价格参数 p 的函数，因此$r(p)$同样也是关于价格参数厂的函数，而$S(p)$被看作是生态系统服务供给的基线，H • e 表示区域内所有土地 b 类利用方式时提供的生态系统服务供给总量。

为了在基线水平上提高生态系统服务供给量目标，向农户进行生态补偿。此时，如果农户选择土地利用方式 a，在单位面积土地上的期望收益仍为$v(p,\ s,\ a)$；如果农户选择土地利用方式 b，则在单位面积土地上的期望收益变为$v(p,\ s,\ a) + e \cdot P_e$，其中$P_e$表示单位面积土地上产生的单位生态系统服务的补偿价格，即当农户跟随政策导向改变土地利用方式后，在单位土地面积内，每增加一单位的生态服务供给，则补偿农户P_e元。此时：

$$\omega(p,\ s) = v(p,\ s,\ a) - v(p,\ s,\ b) - e \cdot P_e \qquad (4)$$

如果$\omega(p,\ s) \geq 0$，即$\omega/e \geq P_e$，没有农户愿意选择改变土地利用方式，将继续选择土地利用方式 a，土地所能提供的生态系统服务供给量仍为$S(p)$；反之，如果$\omega(p,\ s) \leq 0$，即$\omega/e \leq P_e$，时，农户会自愿选择土地利用方式仏并接受生态补偿，土地提供的生态系统服务供给量在原来的$S(p)$基础上有所增加。上述不等式中，ω/e表示农户提供单位生态系统服务的机会成本。

根据前文定义的ω概率密度函数$\varphi(\omega)$，同样地，可定义ω/e的概率密度函数为$\varphi(\omega/e)$。从而，当补偿标准为P_e时，机会成本ω/e从 0 到P_e变化时，土地利用方式由 a 转为 b 的土地面积所占比例记为$r(p,\ p_e)$则：

$$r(p,\ p_e) = \int_{0}^{p_e} \varphi(\omega/e)d(\omega/e) \quad 0 \leq r(p,\ p_e) \leq 1 \qquad (5)$$

同时，有对应的生态系统服务供给总量$S(p,\ p_e)$：

$$S(p,\ p_e) = S(p) + S(p_e) = r(p) \cdot H \cdot e + r(p,\ p_e) \cdot H \cdot e \qquad (6)$$

式中：$S(p_e) = r(p,\ p_e) \cdot H \cdot e$表示当农户自愿选择土地利用方式 b 时，即$\omega/e \leq p_e$时，土地利用方式从 a 改变成 b 增加的生态系统服务供给量。

综上所述，在已知新增生态系统服务的目标$S(p_e)$的情况下，可以根据公式（6）计算出补偿标准p_e。利用最小数据方法确定补偿标准，其过程可以以坐标图描述为用机会成本曲线推导生态系统服务的供给曲线，见图 1。

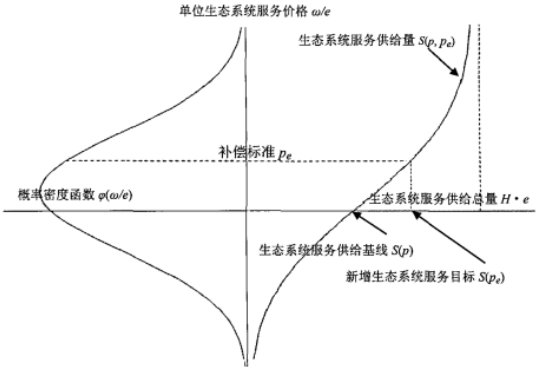

图 1 有单位生态服务机会成本的空间分布推导出的生态服务供给曲线[11]

3.2 林冠截留剩余量法

森林生态系统水源涵养量主要由森林土壤的拦截、渗透及雨水的贮藏三部分组成，一般情况下，森林土壤不会因水分饱和而产生地表径流，因此可通过降雨量和林冠截留率来计算森林水源涵养量[12]。

$$W_t = \sum PS_i(1 - I_i) \times 10 \quad (7)$$

式中 t 表示年份，W_t为区域森林年水源涵养量，m^3； P 为年降雨量，mm；S_i为第 i 类森林类型的占地面积，hm^2；I_i为第 i 类森林的林冠截留率。

4、结果与分析

考虑到黔江区第一阶段退耕还林以生态林为主（生态林面积比例不小于 80%，经济林面积比例不大于 20%），第二阶段取消了这一比例限制。因此，第一阶段退耕还林水源涵养量对生态林和经济林分别进行计算。通常情况下，经济林林木下面为草地，而草地水源截留量远远小于林冠截留量，因此文章忽略草地水源截留，只考虑林冠截留量，用林冠截留剩余量法计算得到水源涵养量作为参考，进一步运用最小数据法，利用机会成本模拟出水源涵养量供给曲线，从而确定合理的补偿标准。

4.1 水源涵养量

据气象数据，黔江区年均降雨量为 1213mm，生态林（主要是阔叶林）和经济林对应的林冠截留率分别为 31.2%和 26.1%。根据公式（7）估算研究区域单位面积水源涵养量为：生态林$e_k = 8345.44\,m^3/hm^2$，经济林$e_j = 8964.07\,m^3/hm^2$。

4.2 退耕地机会成本的正态分布检验

考虑退耕还林后农户的直接损失主要为种植业收益的减少，假设退耕后单位面积林地的净收益为零，则研究区域单位面积退耕还林的机会成本为原种植业的净收益。依据 2005-2009 年的普查数据，黔江区单位面积退耕还林的机会成本ω均值为 18117.79 元/hm^2，标准差为 7623.64 元/hm^2。因此，退耕后建设生态林时，单位面积水源涵养量的机会成本ω/e的均值为 2.1710 元/m^3,若退耕后建设经济林，则ω/e的均值为 2.0212 元/m^3。

在 MATLAB 软件中用 Lilliefors 检验法对单位面退耕还林机会成本ω的正态分布进行检验，h 值为 0，即在显著水平 a=0.05 的情况下接受原假设。因此，单位面积退耕还林机会成本ω服从正态分布。退耕后建设生态林的单位面积水源涵养量的机会成本ω/e也服从正态分布。利用 Excel 绘制单位面积退耕还林机会成本ω的空间分布如图 2 所示。

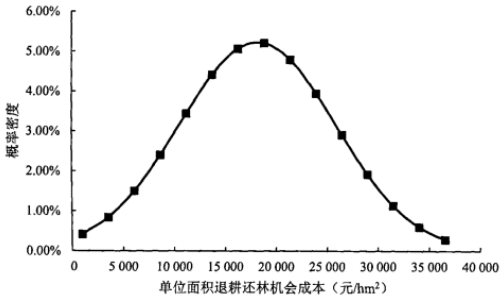

图 2 单位面积退耕还林的机会成本空间分布图

4.3 水源涵养量及补偿标准

现已知单位面积退耕还林的机会成本ω和单位面积林地的水源涵养量的机会成本ω/e，根据公式（5）利用 Excel 模拟出单位面积退耕林地的机会成本ω与退耕还林面积比例$r(p,\ p_e)$和退耕林地所能提供的水源涵养量$S(p_e)$间的关系如图 3 和图 4 所示。

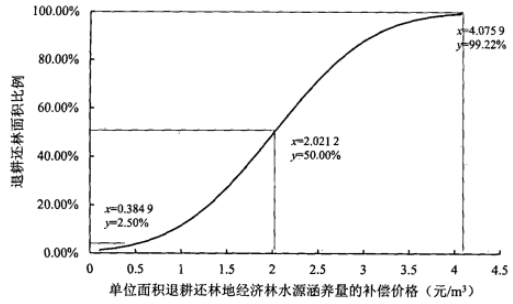

图 3 补偿价格与退耕比例关系

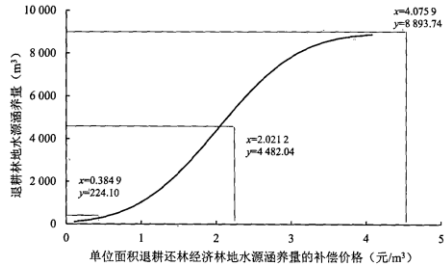

图 4 补偿价格与退耕还林水源含养量关系

图 3 和图 4 显示，随着单位面积退耕还林水源涵养量补偿价格的增加，自愿退耕的土地比例上升，退耕林地提供的水源涵养量增加。

据第一阶段的退耕还林实施政策，长江流域及南方地区每公顷退耕地每年补助粮食（原粮）2250kg；从 2004 年起，按每千克粮食（原粮）1.40 元计算，且每公顷退耕地每年补助生活费 300 元，年均折合 3450 元/hm^2。不同补偿价格下经济林和生态林对应的自愿退耕面积及生态效应（水源涵养量）分别见表 1、表 2。以经济林为例，单位面积退耕林地水源涵养量补偿价格 p_e=0.3849 元/hm^2（若为生态林，则补偿价格 p_e=0.4134 元/m^3）时，在此补偿水平下能激励农地自愿退耕的比例约为 2.50%，即 759.95hm^2，退耕林地能提供的水源涵养量约为 $6.8122\times10^6m^3$（同样面积的生态林能提供的水源涵养量约为 $6.3421\times10^6m^3$）；当采用平均机会成本 18117.79 元/hm^2，即单位面积退耕林地水源涵养量补偿价格 p_e=2.0212 元/m^3时（生态林的补偿价格凡=2.1710 元/m^3），自愿退耕的比例约为 50.00%，即 15198.91hm^2,退耕林地能提供的水源涵养量约为 $1.3624\times10^8m^3$（生态林能提供的水源涵养量约为 $1.2684\times10^8m^3$）。若继续提高补偿标准，达到最佳补偿标准 p_e=4.0759 元/m^3时（生态林的补偿标准 p_e=4.3780 元/m^3），能够激励自愿退耕还林土地面积比例达到 99.22%，即 30160.72hm^2，此时退耕林地能提供的水源涵养量为 $2.7035\times10^8m^3$（生态林能提供的水源涵养量约为 $2.5169\times10^8m^3$）。

表 1 第一阶段退耕还林补偿价格与退耕林地水源涵养量（经济林）

单位面积退耕林地水源涵养量补偿价格/（元/m^3）	退耕		退耕林地提供的水源涵养量/m^3	平均机会成本/（元/hm^2）
	比例/%	面积/hm^2		
0.3849	2.50	759.95	6.8122×10^6	—
2.0212	50.00	15198.91	1.3624×10^8	18117.79
4.0759	99.22	30160.72	2.7035×10^8	—

表 2 第一阶段退耕还林补偿标准与退耕林地水源涵养量（生态林）

单位面积退耕林地水源涵养量补偿价格/（元/m^3）	退耕		退耕林地提供的水源涵养量/m^3	平均机会成本/（元/hm^2）
	比例/%	面积/hm^2		
0.4134	2.50	759.95	6.3421×10^6	—
2.1710	50.00	15198.91	1.2684×10^8	18117.79
4.3780	99.22	30160.72	2.5169×10^8	—

5、结论

本文以林地水源涵养量表征生态服务价值基础，通过调查数据，基于农户的理性决策，采用最小数据法，通过单位面积退耕林地的水源涵养量的机会成本的空间分布推导出林地水源涵养量的供给曲线，将补偿标准与退耕林地所能提供的水源涵养量结合起来，得出以下结论。

（1）理论上，生态补偿可以明显提高退耕林地的水源涵养量。分析结果表明，当补偿额度提高时，退耕还林面积比例会上升，同时退耕林地提供的水源涵养量增加。若视补偿为投入，退耕林地提供的水源涵养量为产出，则边际补偿效益呈递减趋势，并且当单位面积退耕林地的补偿价格处于拐点时边际补偿收益达到最高。

（2）第一阶段退耕还林工程中的补偿价格偏低，仅有约 2.50%的退耕地得到的补偿金额大于其机会成本。如果没有后续的补偿手段，这一阶段的退耕成果将难以巩固。若要实现 50%的耕地自愿退耕还林，补偿价格应当提高到原标准的大约 5 倍，本价

格可以作为制定退耕还林后期扶持弥补政策的参考。

（3）考虑到国家目前已经开展的第二阶段退耕还林的相关政策解除了对生态林比例的限制，且与第一阶段相比没有明显提高补偿标准，则出于经济收入的考虑，退耕主体会更倾向于栽植经济林。各地方政府应当注意引导退耕还林的经济林林种，以尽可能稳定其产品（如各种水果、干果）的供求关系和市场价格的稳定，以此弥补政策性补偿的不足，保证退耕还林工程的可持续性。

[**参考文献**]：

[1]Uchida E，Xu J T，Rozelle S. Grain for green：Cost-effectiveness and sustainability of China's conservation set-aside program[J]. Land Economics，2005，81（2）：247-264.

[2]黄富祥，康慕谊，张新时.退耕还林还草过程中的经济补偿问题探讨[J].生态学报，2002（4）：471-478.

[3]庞 淼.后退耕还林时期生态补偿的难点与问题探析[J].社会科学研究，2012（5）：138-141.

[4]中国 21 世纪议程管理中心.生态补偿原理与应用[M].北京：社会科学文献出版社，2009：156-170.

[5]Macmillan D C，Harley D，Morrison R. Cost-effectiveness analysis of woodland ecosystem restoration[J]. Ecological Economics，1998，27（3）：313-324.

[6]李晓光.机会成本法在确定生态补偿标准中的应用——以海南中部山区为例[J].生态学报，2009（9）：4875-4883.

[7]韩洪云，喻永红.退耕还林生态补偿研究——成本基础、接受意愿抑或生态价值标准[J].农业经济问题，2014(4)：64-72.

[8]唐 增，徐忠民，武翠芳，等.生态补偿标准的确定——最小数据法及其在民勤的应用[J].冰川冻土，2010(5)：1044-1048.

[9]韦惠兰，宗 義.禁牧草地补偿标准问题研究——基于最小数据方法在玛曲县的运用[J].自然资源学报，2016(1)：28-38.

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

[11]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.

[12]邓坤枚，石培礼，谢高地.长江上游森林系统水源涵养量与价值的研究[J].资源科学，2002（6）：68-73.