

基于 GIS 与 RS 的退耕还林生态补偿金的确定

郭慧敏^{1,2}, 王武魁^{1*}, 冯仲科³

(1. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 河北北方学院经济管理学院, 张家口 075000;
3. 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 中国自实施退耕还林生态补偿政策以来, 执行分长江南北两种不同的补偿政策, 生态补偿并未考虑退耕还林微观地理区位及造林质量的差异。“一刀切”虽具有统一简化的优点, 却忽视了实际存在的造林质量及林地地形、土壤、气候等诸多因素, 补偿标准不尽合理。该文为了探讨退耕还林补偿金的合理标准, 以张家口地区为研究区, 应用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)等数据, 建立了退耕还林生态补偿体系。结果表明: 张家口地区各区县中, 单位面积退耕还林补偿系数最高的是尚义县(0.082), 退耕还林补偿系数最低是怀来县(0.036), 各县单位面积退耕还林补偿系数的差距较大。该文结果为生态补偿金的科学、合理分配提供参考。

关键词: 遥感; 地理信息系统; 生态; 补偿; 距离衰减; NDVI; 退耕还林

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.15.036

中图分类号: F326.2; F304.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-15-0264-08

郭慧敏, 王武魁, 冯仲科. 基于 GIS 与 RS 的退耕还林生态补偿金的确定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 264—271.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.15.036 http://www.tcsae.org

Guo Huimin, Wang Wukui, Feng Zhongke. Determination of eco-compensation of sloping land conversion program based on GIS and RS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(15): 264—271. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.15.036 http://www.tcsae.org

0 引 言

2000 年, 为了增加林草植被, 减轻水土流失, 中国实施了退耕还林工程, 对参与退耕还林的农户进行了生态补偿^[1]。补偿金数量在行政区域内一般采用统一的补偿标准, 未考虑退耕区域中影响生态补偿金的各种要素差异, 致使退耕补偿呈现出合理现象。因此, 什么是合理的补偿以及如何计算补偿成为生态补偿要解决的重要问题^[2]。

在国外, 生态补偿的相关研究主要集中在生态系统服务价值的计算、支付意愿程度、空间优化配置等方面。Costanza 等利用经济学方法将全球生态系统服务功能划分为 17 类, 并估算了其价值量, 开创了生态系统价值评估的实践先河^[3]; Moran 等建立了多元 Logistic 模型, 研究农户生态补偿的支付意愿程度^[4]; Wünscher 等依据参与成本、生态服务及环境服务受损风险 3 个空间变量, 构造了补偿区域选择方法, 提高森林保护项目的资金使用效率^[5], 而 Ferraro 采用非参数复合生态服务目标定位方法, 根据效益成本比例标准利用距离函数去分配补偿

项目资金^[6]。在理论和方法上, 国外的生态补偿对中国生态环境保护和建设都有重要的借鉴和参考价值。

在国内, 现有生态补偿的相关研究较多, 归纳起来主要包括生态补偿机制的内涵、对象、主客体、原则、方式、标准等几个方面。回溯生态补偿标准的研究成果, 其涉及生态系统服务价值、扶贫途径、未来发展趋势、空间差异等领域, 如谢高地等构建了基于专家知识的生态系统服务评估体系, 该体系可以用于已知土地利用面积的生态系统服务价值估算^[7]; 张颖等^[8]、孙贤斌等^[9]进行了不同地区的生态补偿标准与扶贫途径的研究; 张媛和支玲提出了森林生态补偿标准问题的未来发展趋势是不同事权等级的公益林补偿标准问题^[10]; 张伟等^[11]、戴其文等^[12]研究了空间异质性, 提出因地制宜进行补偿。从区域经济学与空间经济学角度考虑, Brunsdon 等^[13]认为在地理空间上区域缺乏均一性, 存在发达地区和落后地区, 核心和边缘地区等地理结构, 从而导致了经济社会发展具有较大的差异性。许多学者对补偿标准的问题进行了探讨, 但对退耕还林生态补偿资金的空间分配开展的相关研究还比较欠缺。

本文以河北省张家口地区为研究区, 探讨退耕还林生态补偿标准计算问题, 考虑因地理要素禀赋的差异而导致的区域生态、经济效率的差别, 兼顾社会公平, 提出区域间生态补偿的相对标准, 以期为解决补偿标准“一刀切”不合理问题及为决策者确定生态补偿标准提供科学依据。

1 研究区概况和数据获取

1.1 研究区概况

河北省张家口市东南毗连北京市(图 1), 总面积

收稿日期: 2015-05-26 修订日期: 2015-07-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAH34B01); 国家林业局林业公益性行业科研专项经费课题(200904003); 河北省社会科学基金项目(HB10EYJ302); 河北省高等学校科学研究项目(GH151075)。

作者简介: 郭慧敏, 女, 内蒙古人, 副教授, 博士生, 主要从事林业经济理论与政策、林业资源核算与评价研究。北京 北京林业大学经济管理学院, 100083。Email: ghm_2000@163.com。

*通信作者: 王武魁, 男, 黑龙江省铁力市人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事林业信息化、林业资源核算与评价研究。北京 北京林业大学经济管理学院, 100083。Email: wangwukui@bjfu.edu.cn。

3.68 万 km², 其中耕地面积 0.93 万 km²、林地面积 1.1 万 km²; 总人口为 468.41 万人^[14]。张家口地区辖宣化、张北、康保、沽源、尚义、蔚县、阳原、怀安、万全、怀来、涿鹿、赤城、崇礼等 13 个县和下花园、张家口市 2 个区市。既是密云水库、官厅水库水源的重要汇集地, 又是北京的生态屏障, 所以决定了张家口市生态地位非常重要。张家口市于 2000 年启动退耕还林工程。按照《退耕还林条例》的退耕地补助价格 (1050 元/hm²) 估算, 2013 年张家口地区得到的退耕补偿额为 3.02×10^8 元; 另外, 按 300 元/hm² 生活补助费计算, 2013 年张家口地区得到的生活补助费为 8.63×10^3 元, 2 种补助共计 3.88×10^8 元。



图 1 研究区位置示意图

Fig.1 Sketch map of study area location

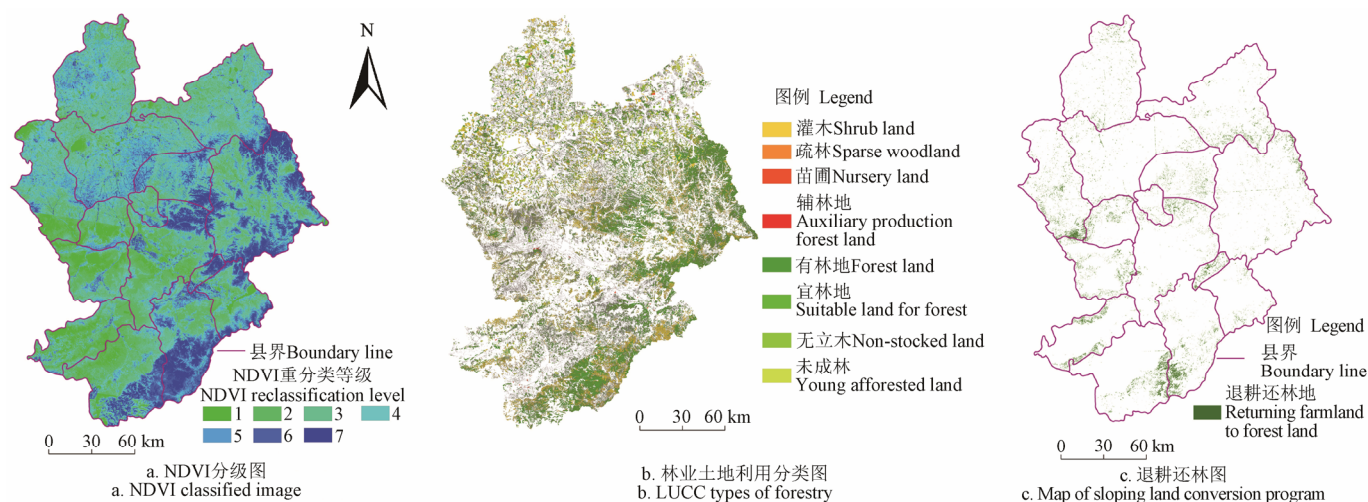


图 2 2013 年张家口市 NDVI、林业土地利用分类及退耕还林图

Fig.2 Map of classified NDVI, LUCC types of forestry and sloping land conversion program (SLCP) of Zhangjiakou city in 2013

2 退耕还林生态补偿金的确定方法

2.1 退耕还林生态补偿体系各指标综合值的计算

1) 退耕还林生态补偿体系的构建

按照生态经济理论和区域济理论, 从研究区域自然、经济、社会发展现状出发, 遵循生态贡献优先, 兼顾社会公平的补偿原则, 确定退耕还林生态补偿体系的主要影响因素^[15-20]如下:

自然因素: 目前退耕还林生态补偿主要与森林生态效益密切相关, 所以退耕还林生态补偿应首先考虑自然资源状况

1.2 数据获取

遥感数据: 采用研究区的 2000 年、2013 年 7 月至 9 月 2 期各 5 张 TM 影像数据 (30 m×30 m) 和 2014 年 DEM 数据 (30 m×30 m), 利用 ERDAS 以及 ArcGIS 软件进行校正、边缘拼接、裁剪, 再对影像数据解释进行植被分类。本文将研究区的植被主要分为耕地、林地、草地、建设用地、水域及未利用地 6 种类型, 计算林地的 NDVI 值 (图 2a)。从张家口林业局获取 1:50 万 ArcGIS 图件, 并利用此图件提取出行政区划图边界、居民点、1:25 万林业土地利用分类图层 (图 2b), 最终对原始遥感影像裁剪出研究区域, 提取退耕还林图层 (图 2c), 计算退耕还林地到居民点的距离。

统计数据: 乡村人口、乡村户数等来源于《张家口统计年鉴 (2014 年)》。海拔高度、大风出现天数等数据来源于张家口气象局。退耕土地的面积等二类森林资源清查数据主要来源于张家口林业局。

调查数据: 为了估算农户退耕机会成本, 调查问卷设计的主要内容: 研究地区单位面积收益最好的农作物的产量及价格, 以及种子、化肥、种地、收割、翻地等费用。课题组于 2013 年秋冬季采用随机抽样调查法在研究区的 15 个区县进行了调查。共发放问卷 720 份, 通过对研究区农民进行非正式访谈了解当地的实际情况。调查获得有效调查问卷 563 份。

好的区域。区域自然资源状况越好, 其对生态贡献就越大。本文自然因素选取生态功能重要性、NDVI、海拔高度、大风出现天数、各县退耕还林块质心与县居民点的距离等指标。生态功能重要性已被国内专家^[12]应用在生态补偿的研究方面。张家口市被环境保护部和中国科学院列入“极重要生态功能区域”^[21]。在张家口市内, 不同的区县生态功能也有区别。通过调查发现, 张家口坝上四县生态环境更差, 防风固沙生态功能比坝下显得更加重要。本研究根据区县的防风固沙生态功能将张家口地区划分生态功能重要的区县和生态功能非重要的区县。生态功能越重要的区县, 其在生态保护中

的贡献越大, 退耕还林生态补偿就越多, 该指标与退耕还林生态补偿金成正比。目前, NDVI 已被国内一些部门^[22]和专家^[20]应用在生态植被评价的研究方面, 本文采用对研究区的影像图计算 NDVI 值^[23]。基于贡献程度, 假设研究区内退耕还林区域的 NDVI 越大, 表示生态恢复的植被质量越高, 森林的生态效益越大, 补偿金越多。一般情况下, 大风出现天数越多, 沙多气候恶劣, 植被生长越困难。在植被质量相同的情况下, 大风出现天数越多表明该区产生的生态贡献越高, 该指标与退耕还林生态补偿金成正比。一般而言, 海拔越高的县城, 空气越稀薄, 气压也越低, 植被生长越困难。在植被质量相同的情况下, 海拔越高表明该区产生的生态贡献越高, 该指标与退耕还林生态补偿金成正比^[20]。根据凯雷发现在自然环境中, 水面对小气候的影响、烟筒污染物的散布, 地震烈度的递减等都受距离衰减规律制约^[24]。目前距离这一负面影响的因素已被应用在环境污染、旅游流研究领域^[25-26]。本研究假设退耕还林地对居民点的影响都受距离衰减规律制约, 即退耕还林地离县居民点越近, 县居民点产生的生态效益和社会效益越大, 基于贡献程度, 该地获得的补偿额应该越多。

经济与科技因素: 研究区为了保护区域生态环境, 不得不退耕还林而影响了地区经济发展, 所以生态补偿必须考虑不同地区农民的经济损失。机会成本是指当把一定的经济资源用于生产某种产品时放弃的另一些产品生产上最大的收益。退耕还林损失机会成本是指对因环境保护而丧失发展机会。有专家认为应该对因环境保护而丧失发展机会的区域内的居民进行资金、技术、实物上的补偿和政策上的优惠^[2]。本研究只考虑种植与退耕 2 种土地利用方式, 因此该地区农民的机会成本主要为保护林地生态系统而放弃耕种所获得的收入, 即退耕前后的净收益之差。假设: 1) 退耕后的收益为零; 2) 不考虑时间因素; 3) 不考虑风险因素(干旱); 4) 如果不退耕, 这些土地(坡地)都要种植当地的收益最好农作物, 则机会成本相当于退耕前的净收益。一般是退耕还林后农民损失的机会成本越大, 遭受的经济损失越大, 表明农民对保护区域生态环境的贡献越大。因此, 农民退耕还林的机会成本与补偿金成正比。科技水平对生态补偿区域环境质量存在较大影响, 所以生态补偿应考虑科技水平因素。本研究选取教育经费、科研人员比例指标反映区域科技贡献程度。教育经费反映了为增进环境保护意识, 提高环境保护水平而产生的科研、教育费用, 有专家认为应进行补贴^[2]。基于贡献程度, 区域投入的教育经费越多, 应获得的补偿金越多, 该指标与退耕还林生态补偿金成正比。本研究科研人员比例指大专以上人口比例。基于贡献程度, 区县的科研人员比例越高, 对生态保护的意识越强, 森林受到保护后产生的生态效益会越好, 研究区获得的生态补偿金越多^[2], 且该指标与退耕还林生态补偿金成正比。

社会因素: 由于劳动收入和财富分布的差异性, 生态补偿应考虑向相对欠发达地区倾斜, 体现社会公平的原则。本研究社会因素选择农业人口总量、人均农民纯收入、非农人口比例、贫困人口比例、成灾人口指标。根据相关研

究得知, 农业人口总量是影响生态补偿的主要因素^[11], 农业人口总量越多, 表明当地经济越落后。基于公平原则, 退耕还林补偿应该向贫困地区倾斜, 向农业人口总量越多的地区倾斜, 该指标与退耕还林生态补偿金成正比。人均农民纯收入是影响生态补偿的主要因素^[11], 农村居民人均纯收入越低, 说明该地区农民越贫困, 退耕还林补偿金应该向贫困地区倾斜, 人均农民纯收入越低的区县获得的补偿金应越多, 该指标生态退耕还林补偿金成反比。有些文献^[9]选取非农人口比例(为非农人口占总人口数的比例)作为补偿金的计算指标, 非农人口比例是衡量一个地区城镇化水平的主要指标。基于公平原则, 本文退耕还林补偿金向城镇化水平低的地区倾斜, 城镇化水平越低地区获取的补偿金额越多, 该指标与退耕还林补偿额成反比。贫困人口比例(各个国家级贫困县人口占全县人口的比例)反映了当地的贫困程度, 可以作为影响退耕还林生态补偿的指标^[9]。2012 年, 研究区内, 除了宣化、张家口、怀来, 其他县城都被国家扶贫开发领导小组办公室评定为国家级贫困县^[27]。基于公平原则, 本文退耕还林生态补偿金向贫困人口比例高的区域倾斜, 假设该指标与退耕还林生态补偿金成正比。成灾人口(直接受到灾害影响的所有的人口数)代表农业灾情状况, 可以作为影响生态补偿金的指标^[11], 退耕还林补偿应该向农业灾情严重的地区倾斜, 向成灾人口多的地区补偿越多资金, 假设该指标与退耕还林补偿金成正比。

基于以上分析, 本文构建了退耕还林生态补偿体系, 如表 1。

表 1 张家口市退耕还林生态补偿体系
Table 1 System of eco-compensation on SLCP of Zhangjiakou city

目标层 Objective layer A	准则层 Norm layer B	准则层 Norm layer weight	指标层 Index layer C	指标层 权重 Index layer weight	指标选择 依据的相 关文献 Related literature	预期作用 方向 Expected direction
不同地区 退耕还林 生态补偿 评价	自然因 素 B1	0.5279	生态功能重要 性 C1	0.1939	[12]	+
			NDVI C2	0.4665	[20-22]	+
			海拔高度 C3	0.0728	[11,20]	+
			大风出现天数 C4	0.0728	[20]	+
			各县退耕还林 块质心至 县居民点的距 离 C5	0.1939	[23-25]	-
	经济、 科技因 素 B2	0.1396	损失机会成本 C6	0.5279	[2,11,16]	+
			教育经费 C7	0.3325	[2]	+
			科研人员比例 C8	0.1396	[2,17]	+
	社会因 素 B3	0.3325	农业人口总量 C9	0.0728	[11]	+
			人均农民纯收 入 C10	0.4665	[11,20]	-
			非农人口比例 C11	0.0728	[9]	-
			贫困人口比例 C12	0.1939	[9]	+
			成灾人口 C13	0.1939	[11]	+

注: “+”表示变量与退耕还林生态补偿金呈正相关关系; “-”表示变量与退耕还林生态补偿金呈负相关关系。

Note: “+” expresses relationship between variable and eco-compensation on SLCP is positively related; “-” expresses relationship between variable and eco-compensation on SLCP is negative related.

2) 主要指标的解释与计算

NDVI 是标准化植被指数, 用于检测植被生长状态、植被覆盖度和消除部分辐射误差, 其计算公式如下:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

式中: NIR 为近红外波段数值; R 为可见光红波段数值^[22]。

各县退耕还林地质心与居民点的距离指各县退耕还林地质心与居民点的距离。根据凯雷发现地域间人类活动的相互吸引力与万有引力模式相似, 据此提出居民点间的吸引公式, 表示 2 个居民点间的吸引力与距离平方成反比, 与人口成正比。

退耕还林损失的机会成本是指对因环境保护而丧失发展机会。本研究坝上、坝下农民的机会成本主要为保护林地生态

系统而放弃耕种所获得的收入, 即退耕前后的净收益之差。

3) 指标标准化处理

采用极差标准化对各评价指标的原始数据进行标准化处理。正相关指标采用式 (2) 计算:

$$a_i^* = \frac{a_i - a_{i\min}}{a_{i\max} - a_{i\min}} \quad (2)$$

负相关指标采用式 (3) 计算:

$$a_i^* = \frac{a_{i\max} - a_i}{a_{i\max} - a_{i\min}} \quad (3)$$

式中: i 为各参与计算的区域, $i=1, 2, \dots, n$; a_i 为第 i 个计算区域某个指标的原始值; $a_{i\min}$, $a_{i\max}$ 为该指标的最小值和最大值, 极差标准化后, a_i^* 可以满足 $0 \leq a_i^* \leq 1$ 。

张家口各区县标准化处理结果见表 2。

表 2 2013 年张家口市生态补偿体系各指标标准化值

Table 2 Standardization value of each index of eco-compensation system of Zhangjiakou city in 2013

市区县	B1					B2			B3				
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
涿鹿县	0.000	0.971	0.000	0.000	0.331	1.000	0.230	0.487	0.675	0.562	0.937	0.147	0.876
蔚县	0.000	0.706	0.426	0.000	0.170	0.507	0.344	0.117	1.000	0.928	0.958	0.774	1.000
赤城县	0.000	0.529	0.379	0.122	0.355	0.412	0.184	0.000	0.556	0.950	0.927	0.783	0.975
宣化县	0.000	0.706	0.112	0.317	0.956	0.296	0.404	0.563	0.713	0.423	0.479	0.474	0.000
万全县	0.000	0.412	0.253	0.171	0.891	0.271	0.129	0.209	0.415	0.903	0.933	0.000	0.917
张家口市	0.000	0.647	0.272	0.366	1.000	0.007	1.000	0.213	0.116	0.201	0.000	0.048	0.000
沽源县	1.000	0.000	0.988	0.122	0.148	0.730	0.128	0.432	0.449	0.997	1.000	1.000	0.952
怀来县	0.000	0.500	0.046	1.000	0.467	0.043	0.238	0.052	0.572	0.000	0.769	0.272	0.000
下花园	0.000	1.000	0.046	1.000	0.837	0.000	0.000	0.111	0.000	0.929	0.316	0.153	0.428
怀安县	0.000	0.912	0.345	0.171	0.781	0.212	0.154	1.000	0.360	0.804	0.732	0.093	0.951
尚义县	1.000	0.324	0.949	0.390	0.548	0.609	0.093	0.531	0.287	1.000	0.780	0.655	0.895
张北县	1.000	0.000	0.967	0.463	0.639	0.658	0.277	0.491	0.717	0.927	0.896	0.492	0.819
崇礼县	0.000	1.000	0.795	0.220	0.858	0.106	0.050	0.367	0.185	0.853	0.873	0.098	0.892
康保县	1.000	0.029	1.000	0.341	0.000	0.668	0.126	0.101	0.525	0.982	0.944	0.266	0.969
阳原县	0.000	0.500	0.457	0.024	0.458	0.109	0.206	0.206	0.444	0.981	0.787	0.392	0.927

注: B1 代表自然因素; B2 代表经济、科技因素; B3 代表社会因素; C1 代表生态功能重要性; C2 代表 NDVI; C3 代表海拔高度; C4 代表大风出现天数; C5 代表各县退耕还林地质心至县居民点的距离; C6 代表损失机会成本; C7 代表教育经费; C8 代表科研人员比例; C9 代表农业人口总量; C10 代表人均农民纯收入; C11 代表非农业人口比例; C12 代表贫困人口比例; C13 代表成灾人口。

Note: B1 expresses natural factor; B2 expresses economic, scientific and technological factors; B3 expresses social factors; C1 expresses the importance of ecological function; C2 expresses NDVI; C3 expresses altitude; C4 expresses windy days; C5 expresses the distance between land centroid of SLCP and residential area of counties; C6 expresses lost opportunity cost; C7 expresses education fund; C8 expresses proportion of scientific research personnel; C9 expresses agricultural population; C10 expresses per capita net income of farmers; C11 expresses non-agricultural population proportion; C12 expresses the proportion of poor people; C13 expresses disaster population.

4) 退耕还林生态补偿体系各指标权重的确定

采用层次分析法确定退耕还林生态补偿体系各指标的权重。首先以专家咨询的方式进行调查, 然后建立判断矩阵, 再进行层次单要素排序和一致性判断与验证, 最后进行层次总排序和指标权重计算, 具体过程参考文献^[9]。各权重值利用 Matlab7.0 软件来计算, 结果见表 1。

5) 退耕还林生态补偿综合值的计算

根据研究区各指标的标准化值和权重值, 采用式 (4) 计算出各县域单元退耕还林生态补偿综合值:

$$Y_j = \sum_{i=1}^n w \cdot a_i^* \quad (4)$$

式中: Y_j ($j=1, 2, \dots, 15$) 为第 j 个区县退耕还林生态补偿综合值; a_i^* ($i=1, 2, \dots, 13$) 为各指标的标准化值; w 为各指标权重。

2.2 各区县退耕还林生态补偿系数

对第 j 个区县退耕还林生态补偿综合值进行归一化处理, 得到第 j 个区县的退耕还林生态补偿综合值与研究区总退耕还林生态补偿综合值的比值, 即为该地区生态

退耕还林生态补偿系数, 其计算公式为:

$$P_j = \frac{Y_j}{\sum_{j=1}^m Y_j}, \text{ 且 } \sum_{j=1}^m P_j = 1 \quad (5)$$

式中: P_j 为 j 区县生态退耕还林生态补偿系数; Y_j ($j=1, 2, \dots, m$) 为第 j 个区县生态退耕还林补偿综合值; m 为研究区的区县数量。

2.3 各区县退耕还林生态补偿金的确定

按照《退耕还林条例》补偿水平, 确定张家口市各区县退耕还林生态补偿金, 计算公式如下:

$$Q_j = P_j \cdot m \cdot Q_0 \quad (6)$$

式中: Q_j 为第 j 个区县新的退耕还林生态补偿金, 元; Q_0 为第 j 个区县按照《退耕还林条例》补偿金, 元。

3 结果与分析

3.1 张家口市各区县单位面积退耕还林生态补偿综合值

根据各指标的标准化值和权重值, 采用式 (4) 计算出张家口市各区县退耕还林生态补偿综合值。采用式 (5) 计

算各区县单位面积退耕还林生态补偿系数, 结果如表 3 所示。由表 3 可知: 1) 尚义县退耕还林生态补偿综合值最高, 为 0.082。该县地处坝上、坝下 2 个不同地貌类型区, 海拔在 1 050~1 500 m; 森林资源总量比较充足, 森林质量较高; 境内坝上区有大清河、二龙河两条内陆时令河和鸳鸯河; 坝下区有三级支流一条(东洋河), 四级支流 12 条, 五级以下河道 114 条, 均属海河水系; 其又是以农业收入为主的县, 退耕还林对该县农民的收入影响极大。因为该县生态功能重要、海拔高、人均农民纯收入低, 获得补偿金最高。怀来县退耕还林生态补偿综合值最低, 为 0.036。怀来县是中国葡萄之乡和中国葡萄酒之乡, 是中国林果百强县。因为该县人均农民纯收入高, 获得的补偿金最低。由表 3 可知, 张家口市各区县单位面积生态补偿系数的差距较大, 达到了因空间差异而设定不同生态补偿金的目的, 这不仅解决了以前统一补偿的问题, 而且也反映了各区县的综合条件, 符合社会公平原则。

表 3 张家口市各区县退耕还林生态补偿系数
Table 3 Eco-compensation coefficient on SLCP of counties in Zhangjiakou city

区县 Country	补偿系数 Eco-compensation coefficient	区县 Country	补偿系数 Eco-compensation coefficient
涿鹿县	0.073	下花园	0.073
蔚县	0.074	怀安县	0.076
赤城县	0.068	尚义县	0.082
宣化县	0.060	张北县	0.073
万全县	0.061	崇礼县	0.080
张家口市	0.049	康保县	0.063
沽源县	0.071	阳原县	0.062
怀来县	0.036		

利用 ArcGIS10.0 软件对单位面积退耕还林生态补偿系数进行层次聚类分析, 将张家口市各区县划分为 5 个等级, 即 5 个补偿区(图 3)。

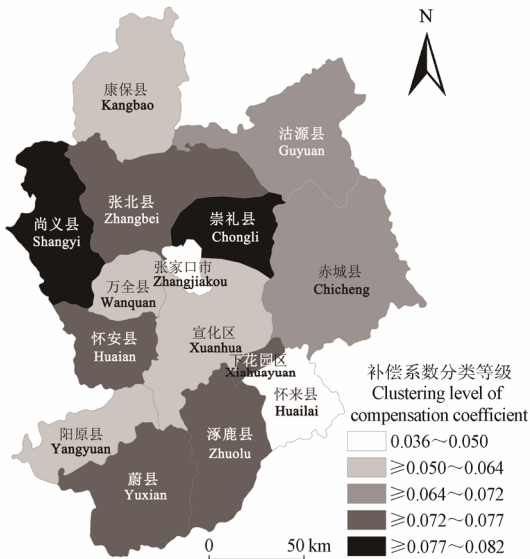


图 3 张家口市各区县退耕还林生态补偿系数分类等级
Fig.3 Clustering level of eco-compensation coefficient and on SLCP of counties in Zhangjiakou city

从空间的分布看(图 3), 退耕还林生态补偿系数最高的区县主要分布在坝上尚义县和崇礼县, 分析其因为它们拥有相似的特征, 如海拔较高、防沙蓄水生态功能重要、人均农民纯收入比较低; 而退耕还林生态补偿系数最低的区县主要分布在坝下的张家口市和怀来县, 分析其因为它们的人均退耕面积少、非农人口比例高、人均农民纯收入较高等特征相似。

3.2 张家口市各区县单位面积退耕还林生态补偿金

按照《退耕还林条例》, 退耕地补助价格和生活补助费共为 1 350 (元/hm²)。以此为基数, 结合表 3 的退耕还林生态补偿系数, 采用式(6)计算各区县单位面积退耕还林生态补偿金, 结果如图 4 所示。则尚义县退耕还林生态补偿金最高, 为 1 658 元/hm²; 怀来县的补偿金最低, 为 727 元/hm²。这说明按退耕还林生态补偿系数计算的各区县补偿金差额较大; 与原来各区县均采用相同的补偿标准相比(图 4), 补偿金最高的增加了 308 元/hm², 补偿金最少的减少了 623 元/hm², 区县最高补偿金额是最低补偿金额的 2.28 倍。这是由于尚义县生态功能重要海拔高、人均农民纯收入低, 怀来县人均农民纯收入高决定的。补偿的结果比较合理, 体现了公平与效益的原则, 达到了因空间差异而设定生态补偿标准的目的。

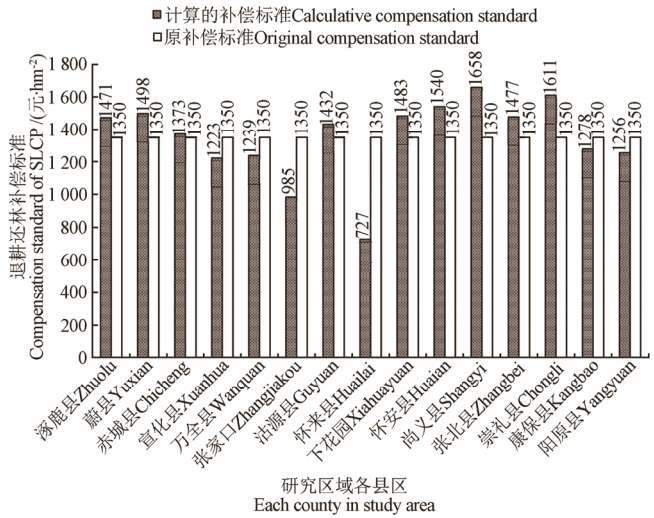


图 4 基于本文方法的张家口市各区县退耕还林补偿金与原补偿标准的比较

Fig.4 Comparative analysis both calculative compensation and original compensation on SLCP of counties in Zhangjiakou city based on method in this paper

4 讨论

1) 关于退耕还林补偿额的计算, 多数注重生态建设工程绩效, 很少考虑公平问题。本研究基于公平与效率的原则, 不仅补充了 NDVI 这一反映绩效的因素, 而且还补充了人均农民纯收入这一反映公平的因素。补充 NDVI 这一反映绩效的指标, 是因为它既能准确地反映各区县的植被覆盖情况, 比植被覆盖度更精确, 又容易从遥感影像中提取。补充人均农民纯收入这一反映公平的指标, 是因为在退耕还林的人均机会成本或人均退耕面积相同的情况下, 农民越贫穷即人均农民纯收入越低,

退耕还林的人均机会成本占人均农民纯收入的比重越大, 表明越穷的农民贡献越大。

2) 多数注重补偿中正面效应的计算指标, 很少考虑补偿中负面效应的计算指标。本研究对退耕还林补偿的负面影响因素也进行了考虑, 认为退耕还林补偿应考虑林地与区县的距离这一负面影响的指标。距离这一负面影响的因素已被应用在环境污染、旅游流研究中^[24], 在此, 本研究也增加了该因素。当然, 距离需利用遥感影像, 采用 ERDAS 软件对影像数据进行处理提取的。这有一定的技术难度, 因此也是本研究的创新之一。

3) 该方法在理论上具有一定的科学性, 但还需实践检验。有关生态补偿金模型的构建, 结合实际选择较广泛的指标, 使指标具有科学性和合理性; 计算指标的数据容易获得; 构建的模型可以利用 GIS 软件多次操作, 方便实用, 是比较科学的区域生态补偿标准模型, 对促进各区域单元之间利益合理分配、社会经济与生态环境保护的协调发展均有一定科学指导作用; 通过实例对生态补偿标准模型进行了验证, 计算的结果比较合理, 该模型还需在实践中进一步验证和完善。

4) 该方法是针对退耕还林生态补偿的相对标准进行研究。一些区县获得的退耕还林生态补偿减少后, 对其大多数农户不会产生太大的影响。因为这些区县退耕还林面积很少, 经济发展水平较高, 退耕还林补偿金占农户收入的比例极低, 这些农户对农业的依赖性不高。对于个别贫困农户, 需出台一些配套政策如扶贫政策来弥补退耕还林补偿金的缺陷, 使得退耕还林农户在一定的补偿机制下主动地不去破坏林地, 这样才会使生态环境得到好转。

但作为一项探索性的初步研究, 此方法还可能有多拓展余地。例如 GIS 计算单元的选择, 受到多种条件的限制, 本研究以县作为最小计算单元, 这样就难以反映县级行政区域内生态补偿的空间布局变化, 在后续研究中, 可以乡为最小计算单元加以改进, 从而提高计算的精度。另外, 本研究以居民点为距离要素的一个端点, 从退耕还林的本质出发, 以水系为端点计算退耕区域的距离要素也是合理的, 未来的研究可以考虑这种计算形式。

5 结 论

基于研究区生态补偿指标的统计数据、气象统计数据、抽样调查数据以及遥感影像数据, 运用层次分析法, 构建退耕还林生态补偿体系, 研究表明:

1) 相对目前实践中应用的统一的补偿标准而言, 将层次分析法与 RS 和 GIS 技术的空间分析方法相整合, 充分发挥层次分析法善于多要素综合评价的优点, 同时 GIS 软件在应用过程中, 以数据表达空间, 数字和图形融合为一体, 对数据处理、分析和管理的功能展现出较大的优势, 可以较客观地反映出该地区的具体状况。该方法是为退耕还林生态补偿标准提供了新思路。

2) 利用构建的退耕还林生态补偿体系对研究区退耕还林生态补偿金进行计算, 从空间的分布看, 退耕还林补偿系数最高为坝上尚义县, 退耕还林补偿系数最低为坝下的怀来县, 符合实际, 也符合公平的原则。

3) 利用退耕还林生态补偿体系计算的研究区各区县补偿金差额较大, 与原来的各区县均采用统一的补偿标准相比, 补偿金最高的增加了 308 元/hm², 补偿金最少的减少了 623 元/hm², 区县最高补偿金额是最低补偿金额的 2.28 倍。这不仅解决了补偿标准“一刀切”的问题, 而且也体现了生态贡献优先与社会公平的补偿原则。

[参 考 文 献]

- [1] 王静爱, 徐伟, 史培军, 等. 2000 年中国风沙灾害的时空格局与危险性评价[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 1—7.
Wang Jingai, Xu Wei, Shi Peijun, et al. Spatio-temporal pattern and risk assessment of wind sand disaster in China in 2000[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(4): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李文华. 专家视点: 林业建设与生态补偿[EB/OL]. (2004-11-01)[2014-12-20]. <http://www.people.com.cn/GB/hu-anbao/35525/2957193>.
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(5): 253—260.
- [4] Moran D, Mcvittie A, Allcroft D J, et al. Quantifying public preferences for agri-environmental policy in Scotland: A comparison of methods[J]. Ecological Economics, 2007, 63(1): 42—53.
- [5] Wuenscher T, Engel S, Wunder S. Spatial targeting of payments for environmental services: A tool for boosting conservation benefits[J]. Ecological Economics, 2008, 65(4): 822—833.
- [6] Ferraro P J. Targeting conservation investments in heterogeneous landscapes: A distance function approach and application to watershed management[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2004, 86(4): 905—918.
- [7] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911—919.
Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911—919. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张颖, 张艳. 森林生态补偿标准影响因素的调查研究——以江西省瑞昌市为例[J]. 环境经济, 2013(5): 56—57.
Zhang Ying, Zhang Yan. Forest ecological compensation standard survey on the influencing factors in Jiangxi Province: A case study of Ruichang city[J]. Environmental Economy, 2013(5): 56—57. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙贤斌, 黄润. 基于 GIS 的生态补偿分配模型及其应用研究——以安徽省会经济圈六安市为例[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 195—199, 205.
Sun Xianbin, Huang Run. Study on GIS-based allocation model of ecological compensation and its application: A case study of Lu an city in capital economic circle of Anhui province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(4): 195—199, 205. (in Chinese with English abstract)

- [10] 张媛, 支玲. 我国森林生态补偿标准问题的研究进展及发展趋势[J]. 林业资源管理, 2014(2): 15—20.
Zhang Yuan, Zhi Ling. Research and development trends of ecological compensation standard issues of forests in China[J]. Forest Resources Management, 2014(2): 15—20. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张伟, 张宏业, 张义丰. 基于“地理要素禀赋当量”的社会生态补偿标准测算[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1253—1265.
Zhang Wei, Zhang Hongye, Zhang Yifeng. The determination of social ecological compensation standard based on "equivalent value of geographical factor endowment"[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1253—1265. (in Chinese with English abstract)
- [12] 戴其文. 生态补偿对象的空间选择研究——以甘南藏族自治州草地生态系统的水源涵养服务为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 415—425.
Dai Qiwen. Study on the spatial selection of ecological compensation objects: A case study of water conservation of grasslands in Gannan Tibetan Autonomous prefecture[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(3): 415—425. (in Chinese with English abstract)
- [13] Brunsdon C, Fotheringham A S, Charlton M. Some notes on parametric significance test for geographically weighted regression[J]. Journal of Regional Science, 1999, 39(3): 497—524.
- [14] 张家口统计局. 张家口经济年鉴[M]. 张家口市: 张家口市人民政府主办, 2013.
- [15] 肖淳, 邵东国, 杨丰顺, 等. 基于友好度函数的流域初始水权分配模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 80—85.
Xiao Chun, Shao Dongguo, Yang Fengshun, et al. Initial water rights allocation models at river basin scale based on friendly function[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 80—85. (in Chinese with English abstract)
- [16] 薛佳, 徐明德, 阎正坤. 流域水污染物总量分配模型研究[J]. 环境工程, 2014, 32(3): 126—130, 134.
Xue Jia, Xu Mingde, Yan Zhengkun. Research on total pollutant load allocation model for river basin[J]. Environmental Engineering, 2014, 32(3): 126—130, 134. (in Chinese with English abstract)
- [17] 何芳, 程方平, 夏宏. 重庆地区煤炭资源开发生态补偿指标体系及补偿标准研究[J]. 中国人口资源与环境, 2014, 24(3): 335—339.
He Fang, Cheng Fangping, Xia Hong. Study on the eco-compensation mechanism and standard of coal resource exploitation of chongqing area[J]. China Population, Resources And Environment, 2014, 24(3): 335—339. (in Chinese with English abstract)
- [18] 胡洁, 徐中民. 基于多层次多目标模糊优选法的流域初始水权分配——以张掖市甘临高地区为例[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 776—782.
Hu Jie, Xu Zhongmin. Initial water rights allocation model for basins based on the multilevel and multi-objective fuzzy optimization: A case study in Zhangye municipality[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 776—782. (in Chinese with English abstract)
- [19] 邓欧, 尹忠东, 冯仲科, 等. 四川省长江上游水土保持工程生态经济综合评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 8—95, 394.
Deng Ou, Yin Zhongdong, Feng Zhongke, et al. Comprehensive evaluation for ecological economy of soil and waterconservation engineering in upper Yangtze River in Sichuan Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 88—95, 394. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李百岁, 宝音, 哈斯巴根. 内蒙古高原生态环境质量评价指标体系及其应用研究[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学, 2006, 35(3): 349—354.
Li Baisui, Bao Yin, Hasbargen. Study on estimation index system of eco-environmental quality of inner mongolia plateau and its application[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition, 2006, 35(3): 349—354. (in Chinese with English abstract)
- [21] 环境保护部公告. 关于发布《全国生态功能区划》的公告[EB/OL]. (2008-07-18)[2015-03-22]. http://www.zhb.gov.cn/info/bgwb/gg/200808/20080801_126867.htm?COLLCC=4091302658&.
- [22] 中华人民共和国环境保护部, HJ/T192-2006, 生态环境状况评价技术规范(试行)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [23] 郭伟伟, 王秀兰, 冯仲科, 等. 基于 NDVI 的植被覆盖度变化的研究与分析——以河北省张家口市为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(7): 63—66.
Guo Weiwei, Wang Xiulan, Feng Zhongke, et al. The research on vegetation coverage changes based on NDVI: A case study of Zhangjiakou[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012, 35(7): 63—66. (in Chinese with English abstract)
- [24] 胡兆量. 地理环境概述[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 60—73.
- [25] 冯仲科, 毛海颖, 李虹. 环首都圈植被分布与可吸入颗粒物的空间相关性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 220—227.
Feng Zhongke, Mao Haiying, Li Hong. Spatial correlation between vegetation distribution and respirable particulate matter around capital region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(1): 220—227. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘宏盈. 广东入境旅游流西向扩散距离衰减规律研究[J]. 经济地理, 2012, 32(11): 162—170.
Liu Hongying. The distance attenuation rules of guangdong inbound tourism flow's western towards diffuse[J]. Economic Geography, 2012, 32(11): 162—170. (in Chinese with English abstract)
- [27] 国家扶贫开发领导小组办公室. 国家扶贫开发工作重点县名单[EB/OL]. (2012-03-19)[2015-02-11]. <http://www.cpad.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/FPB/fpyw/201203/175445.html>

Determination of eco-compensation of sloping land conversion program based on GIS and RS

Guo Huimin^{1,2}, Wang Wukui^{1*}, Feng Zhongke³

(1. College of Economic and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Economic and Management, Hebei North University, Zhangjiakou, 075000, China;

3. Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Since the implementation of ecological compensation policy in China, micro difference of geographic location does not been considered basically, but the implementation of the "sweeping approach" national compensation policy is divided into north and south of the Yangtze River. In practical application, although it has the advantages of unified standard, it ignores the actual existence of many realistic factors, such as terrain, soil, climate in forest land. The gap between compensation and woodland fine operation and management is very big. The objective of this paper was to solve the problem of ecological compensation standard in different regions. Taking compensation configuration of the Sloping Land Conversion Program in Zhangjiakou area as the research object, remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and other space technologies were applied, the method of qualitative and quantitative analysis was adopted, the analytic hierarchy process (AHP) was used to determine the factors affecting ecological compensation weight, and the space allocation model of ecological compensation was established in this research. The results showed that: 1) The AHP method and the spatial analysis technology of RS and GIS were integrated. The AHP was good at multi-factor comprehensive evaluation, and in the application process, the GIS software showed a greater advantage on the data expression space, the digital and graphics integration as a whole, and the data processing, analysis and management functions, which could objectively reflect the specific situation of the region. Overall, the method in this research provides a new way for the calculation of the ecological compensation standard of farmland. 2) Among affecting factors of ecological restoration compensation in the study area, the weights of natural factors, social factors, economic factors were 0.5279, 0.3325 and 0.1396, respectively. 3) Based on the total sum of annual payment for ecosystem services (PES) from the Sloping Land Conversion Program in Zhangjiakou City, taking the districts as the main areas of the distribution, the value of PES for every district and county allocated by using the space allocation model was the most in Shangyi county, and the least in Huailai county. The PES that farmers in Shangyi county received was 0.082 per hectare on average; the PES that farmers in Huailai county received was 0.036 per hectare. This was in accordance with the principle of fairness. 4) Compared with the original uniform standards for different counties, the highest amount of compensation increased by 308 yuan/hm², in Huailai county, the least amount of compensation reduced by 623 yuan/hm² in Shangyi county, and the highest amount of compensation was 2.28 times the minimum amount. This not only solved the problem of the previous unified compensation standards, but also followed the principle of ecological contribution priority and social justice. This paper concludes combining the hierarchical analysis method and the spatial analysis method of RS and GIS technology provides a new idea for eco-compensation of the Sloping Land Conversion Program. The accurate purpose for Sloping Land Conversion Program is realized by space allocation model for compensation. Space allocation model for compensation is a technical method to explore the scientific, reasonable, optimizational ecology compensation. Spatial distributional model of PES based on GIS and RS can solve the "sweeping approach" phenomenon basically.

Key words: remote sensing; geographic information system; ecology; compensation; distance decay; NDVI; sloping land conversion program