

流域多尺度耕地保护生态价值及其补偿标准

王盼盼¹, 高佳²

(1.沈阳建筑大学 管理学院, 辽宁 沈阳 110168; 2.东北大学 土地管理研究所, 辽宁 沈阳 110167)

摘要: [目的] 测算并分析流域多尺度耕地生态价值及补偿标准, 为完善耕地保护补偿机制及促进区域协调发展提供科学参考。[方法] 以吉林省辽河流域为例, 运用当量子法、市场替代法、景观格局指数等, 综合考虑耕地数量及空间配置情况、耕地质量差异及耕地生态负外部性, 建立流域多尺度耕地生态价值核算体系, 在此基础上, 制定耕地生态补偿标准。[结果] ① 吉林省辽河流域耕地具有非常重要的生态服务价值, 且其价值具有显著的空间差异特征及尺度依赖效应。② 2020 年, 辽河流域耕地生态价值为 20 502.78 元/hm², 各区县耕地生态价值取值在 4 261.97~16 873.59 元/hm²。不同区域分布不均衡, 整体西北地区高于东南地区。③ 流域耕地生态补偿标准为 4 319.36 元/hm², 各区县的补偿标准在 814.68~3 471.85 元/hm², 差异较大。[结论] 针对不同空间尺度, 应结合耕地生态价值及地区实际, 建立差别化的耕地保护生态补偿标准及方案。

关键词: 生态价值; 耕地保护; 补偿标准; 多尺度; 辽河流域; 吉林省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)06-0185-08

中图分类号: F301.21

文献参数: 王盼盼, 高佳. 流域多尺度耕地保护生态价值及其补偿标准[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 185-192. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.023; Wang Panpan, Gao Jia. Ecological value of multi-scale cultivated land protection and compensation standards in watersheds [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 185-192.

Ecological Value of Multi-scale Cultivated Land Protection and Compensation Standards in Watersheds

Wang Panpan¹, Gao Jia²

(1. School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, Liaoning 110168, China;

2. Institute of Land Management, Northeast University, Shenyang, Liaoning 110167, China)

Abstract: [Objective] The ecological value of cultivated land and compensation standards at multiple scales in a watershed was measured and analyzed in order to provide scientific reference for improving the compensation mechanism for cultivated land protection and promoting coordinated regional development. [Methods] The Liaohe River basin in Jilin Province was taking as an example, and used the equivalent sub-method, the market substitution method, and a landscape pattern index were used to establish a multi-scale cultivated land ecological value accounting system for the basin. The quantity and spatial allocation of cultivated land, differences in cultivated land quality, and the negative ecological externality of cultivated land were taken into account. On this basis, the cultivated land ecological compensation standard was formulated. [Results] ① Cultivated land had very important ecological values in the Liaohe River basin of Jilin Province, and the ecological values had significant spatial differences and scale-dependent effects. ② In 2020, the ecological value of cultivated land in the watershed was 20 502.78 yuan/ha, and the ecological value of cultivated land in each district and county had values between 4 261.97 and 16 873.59 yuan/ha, with values

收稿日期: 2023-02-01

修回日期: 2023-03-20

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于耕地‘三位一体’保护的流域多尺度耕地保护生态补偿研究”(42101260), “东北粮食主产区政府主导型土地流转的农户福利变化及调控政策研究”(42101254); 2022 年辽宁省哲学社会科学青年人才培养对象委托课题(20221s1qnrcwtkt-47)

第一作者: 王盼盼(1992—), 女(汉族), 黑龙江省嫩江市人, 博士, 副教授, 主要从事耕地保护、国土空间规划等方面的研究。Email: panpan@sju.edu.cn.

通信作者: 高佳(1988—), 女(汉族), 辽宁省丹东市人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事土地利用与管理方面的研究。Email: gaojia@wfyx.neu.edu.cn.

in the northwest region being higher than in the southeast region. ③ The compensation standard for cultivated land protection in the watershed was 4 319.36 yuan/ha, and the compensation standard of each district and county ranged from 814.68 to 3 471.85 yuan/ha. [Conclusion] For different spatial scales, differentiated ecological compensation standards and programs for cultivated land protection should be established, taking into account the ecological value of cultivated land and regional realities.

Keywords: ecological value; cultivated land protection; compensation standard; multi-scale; Liaohe River basin; Jilin Province

耕地保护在维护国家粮食安全、经济安全及生态安全方面占据重要地位。在快速城镇化和工业化的背景下,优质耕地锐减、耕地生态环境恶化等问题日益凸显,造成耕地数量、质量及生态“三位一体”保护压力的增加^[1-2]。耕地保护生态补偿作为平衡区域发展与耕地保护矛盾的重要手段,可以缓解耕地保护压力,激发地方耕地保护热情^[3-4]。耕地生态价值作为耕地保护的非市场价值,是耕地生态补偿标准制定的依据,建立多尺度耕地生态价值核算体系,对于完善耕地保护生态补偿机制、促进区域协调发展与国土空间格局优化具有重要意义^[5-6]。

目前,国内外对于耕地保护生态价值及补偿标准等相关研究,多基于生态系统服务理论、外部性理论、公共物品理论及效用价值理论等^[7],耕地作为一种特殊的生态系统,其所蕴含的生态服务价值巨大。耕地生态价值的测算方法主要采用谢高地提出的当量因子法^[8-10]。根据中国陆地生态系统单位面积服务价值表进行耕地生态价值测算,部分学者^[11-12]在此基础上利用物价指数、粮食单产、耕地复种指数等进行了适当的修正与改进;或采用市场替代法,找到某种有市场价格的替代物来间接衡量耕地生态系统的供给、调节、支持和文化功能等没有市场价格的环境物价值,如替代工程法、机会成本法、影子价格法等^[13-17];或基于条件值评估法,多以问卷调查为基础,通过模拟市场来揭示消费者(市民和农户)对耕地生态功能价值的认知情况,推导出消费者对耕地生态效益的支付意愿或受偿意愿,从而得到耕地作为公共物品的非经济价值^[18-21]。相关研究表明,直接将耕地保护生态价值作为耕地生态补偿标准会超出地区实际支付能力,从而降低耕地生态补偿的实际可操作性,因此,部分学者引入耕地保护事权、耕地保护财权、社会发展阶段、经济发展阶段等修正系数^[22-24],在耕地生态价值修正的基础上,得到耕地生态补偿标准及额度。以上研究为本研究提供重要的理论与方法支撑,但相关研究在测算区域耕地生态价值时,忽略了不同空间尺度下,耕地作为重要的生态要素,其内部连通度、破碎度等空间配置差异对耕地生态价值的影响,多是将区域尺度下耕地生态价值进行简单加和,作为

更高级尺度下的耕地生态价值量。且研究区域多集中在国家、省(市)、经济带等区域尺度^[25-27],对于流域耕地生态价值与补偿标准的测算研究较少。

鉴于此,本研究以吉林省辽河流域为例,基于耕地数量、质量及生态“三位一体”保护的观念,综合考虑耕地数量及空间配置情况、耕地质量差异,耕地生态负外部性等,建立流域多尺度耕地生态价值核算体系。采用当量因子法、市场替代法等,引入景观格局指数,测算以耕地数量及空间配置情况为基础的耕地生态价值总量,以耕地质量差异修正耕地生态价值,以耕地生态负外部性核减耕地生态价值,分析流域不同空间尺度下耕地生态价值差异,制定研究区多尺度耕地生态补偿标准。在此基础上,结合耕地面积,确定耕地保护生态补偿额度。研究成果对于流域耕地保护生态补偿相关政策的制定具有一定的参考价值。

1 研究思路与方法

1.1 基于耕地数量及其空间配置的多尺度耕地生态服务价值

耕地生态服务价值受耕地数量、质量及生态保护的三重影响。因此,本研究在以耕地数量及空间配置状况为前提计算耕地生态服务价值的基础上,结合耕地质量差异修正生态价值,并且对耕地利用的生态负外部性进行核减,建立流域多尺度的耕地生态价值核算体系。首先,基于生态服务价值理论,采用当量因子法,选取水稻、玉米、小麦、豆类和薯类 5 种粮食作物参与计算基于耕地数量的耕地保护生态价值。

$$E_a = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot k_i \cdot p_i}{N} / 7 \quad (1)$$

$$E = f \cdot E_a \quad (2)$$

式中: E_a 为每 1 单位生物当量因子价值量(元/hm²); a_i 为粮食作物 i 的播种面积(hm²); k_i 为粮食作物 i 的单产(kg/hm²); p_i 为粮食作物 i 的单价(元/kg); N 为粮食作物总播种面积(hm²); f 为单位耕地生物当量因子,根据谢高地^[8]的研究,耕地生物当量因子为 7.9,由于农户在经营中已经获得生产食物和生产原材料的市场价值,因此,本研究剔除该部分市场价值后 f 取值为 6.51; 1/7 代表全国粮食

单产的市场价值是单位耕地当量因子价值量的 7 倍;
 E 为基于耕地数量计算的耕地生态价值(元/hm²)。

耕地作为生态系统中重要的子系统,其内部要素的连通性、破碎度等对其发挥生态功能具有重要的影响^[28-30],为将此影响纳入到耕地生态价值核算体系中,本研究借助景观格局指数,参考相关研究,选取耕地景观斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、平均周长面积比(PARA_MN)、聚合指数(AI)和景观形状指数(LSI)综合评价研究区耕地景观空间配置情况,对研究区流域尺度、地市尺度及区县尺度下基于耕地数量的耕地生态价值进行校核。以耕地分布

的栅格数据为基础,基于 Fragstats 4.2 软件,计算研究区不同尺度下的耕地景观格局指数,对各景观指数进行无量纲化处理,采用熵权法对其进行权重赋值(表 1)。

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n R_{ij} \times \ln R_{ij} \quad (3)$$

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (4)$$

式中: R_{ij} 为 j 指标值占 i 区域指标值之和的比重; e_j 为 j 指标的熵权值; n 为区域个数; m 为景观指标数; W_j 为 j 指标的权重值。

表 1 耕地景观格局指数与权重

Table 1 Cultivated land landscape pattern indices and weights

景观指数	计算公式	指数含义	指标权重
斑块密度(PD)	$PD = \frac{n_i}{A}$	反映斑块的破碎程度,其值越大,斑块数量越多,破碎度越高。 n_i 为斑块数量, A 为景观面积	0.160 5
最大斑块指数(LPI)	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100\%$	反映最大斑块对景观的控制程度,其值越大,表示该优势景观的集中连片程度越高。 a_{ij} 为斑块 ij 面积, A 为景观面积	0.161 4
平均周长面积比(PARA_MN)	$PARA_MN = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{a_i} / N$	反映景观斑块面积与周长的关系,其值越大,斑块形状越复杂。 a_i 和 b_i 分别为斑块 i 的面积与周长, N 为斑块数量	0.234 3
聚合指数(AI)	$AI = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right) P_i \right] \times 100\%$	反映景观斑块的聚集度,其值越高,斑块的聚集程度越高。 g_{ii} 为 i 景观斑块相似邻接的斑块数量, p_i 为 i 类景观斑块占景观比例	0.171 9
景观形状指数(LSI)	$LSI = \frac{e}{4\sqrt{a}}$	反映景观斑块的规则程度,其值越大,代表斑块的形状越不规则。 e 为斑块栅格单元边长与边界数量的乘积, a 为栅格单元空间分辨率与边长的乘积	0.271 9

在确定区域耕地景观格局指数无量纲化值及权重基础上,采用耕地景观空间配置调整系数对研究区基于耕地数量的耕地生态价值进行校核。

$$E_j = E \times \lambda = E \times \frac{ap_j}{ap} = E \times \frac{\sum_{i=1}^n la_{ij} \times w_{ij}}{ap} \quad (5)$$

式中: E_j 为区域 j 基于耕地数量及空间配置的耕地生态服务价值(元/hm²); λ 为耕地景观空间配置修正系数; ap_j 为区域 j 的耕地景观空间配置评价价值; ap 为耕地景观空间配置评价平均值; la_{ij} 为耕地景观格局指数的无量纲化值; i 为景观指标数。

1.2 考虑耕地质量差异的耕地生态价值修正

耕地质量提升势必会促进耕地生态价值,而耕地质量退化的区域,将会对耕地生态价值造成不良影响。因此,本研究考虑区域耕地质量差异特征,利用耕地综合质量系数对耕地生态价值进行修正。

$$Q_j = \sum_{i=1}^n \frac{T_{ij}}{T_j} \times k / Y \quad (6)$$

$$k = \frac{100(m-i)}{m} \quad (7)$$

式中: Q_j 为区域耕地质量修正系数; k 为 i 类别耕地的分值; T_{ij} 为 j 区域 i 等耕地面积(hm²); T_j 区域 j

的耕地总面积(hm²); Y 为全国耕地质量的平均等级; m 为耕地质量等级。

1.3 综合耕地生态负外部性的耕地生态价值核减

诸多农业生产方式如农药、化肥、农膜的过度使用、农业用水及耗水等会对耕地生态造成负面的影响,产生负向价值。耕地生态负向价值是耕地生态价值核算过程中不可忽略的一部分。吉林省辽河流域属于资源型缺水区域,且水资源利用开发率较高,水体污染较为严重。本研究采用市场替代法,计算农药、化肥的过度使用、地膜残留及农业耗水等产生的耕地生态负外部性,对耕地生态价值进行核减。

$$NE = ne_1 + ne_2 + ne_3 \quad (8)$$

$$ne_1 = \frac{q \times (1-\alpha) \times P_q + d \times (1-\beta) \times P_d}{A} \quad (9)$$

$$ne_2 = \frac{\gamma \times \theta \times dm \times v \times s}{A} \quad (10)$$

$$ne_3 = \frac{Z \times c \times G}{A} \quad (11)$$

式中: NE 为耕地生态负外部价值(元/hm²); ne_1 , ne_2 , ne_3 分别为农药化肥使用、农膜覆盖及农业耗水产生的负外部价值(元/hm²); q 为农药使用量(kg);

d 为化肥使用量(kg); P_q, P_d 分别为农药和化肥的市场价格(元/kg); α, β 分别为农药利用率和化肥利用率(%); γ, θ 为地膜残留比率和粮食损失率(%); dm 为农膜覆盖面积(hm^2); v, s 分别为研究区粮食单产(kg/hm^2)和粮食市场价格(元/kg); Z 为农业用水量(m^3); c 为农业耗水率(%); G 为水库蓄水成本(元/ m^3); A 为耕地面积(hm^2)。参考相关研究^[23], 农药利用率取值为 34.17%, 化肥利用率取值为 35%, 地膜残留比例取值为 41.7%, 粮食损失率取值为 10%, 水库蓄水成本取值为 1.17 元/ m^3 。

综合以上分析, 得出研究区基于耕地数量及空间配置、耕地质量差异及耕地生态负外部性的耕地生态价值。

$$\text{aqe} = E_j \times Q_j - \text{NE} \quad (12)$$

式中: aqe 为考虑耕地数量及空间配置、耕地质量及耕地生态负外部性的区域耕地生态服务价值(元/ hm^2)。

1.4 耕地保护生态补偿标准测算

相关研究表明, 直接将耕地生态价值作为耕地生态补偿标准会超出政府的实际支付能力, 同时, 会引起由于耕地补偿而产生的地方财政“暴富”现象, 削弱耕地生态补偿的操作水平。因此, 为提高研究区耕地生态补偿的实际可操作性, 在确定流域多尺度耕地保护生态价值的基础上, 引入社会及经济发展阶段系数, 对耕地生态价值进行修正, 制定研究区不同尺度的耕地保护生态补偿标准。

$$\text{ECS} = \text{aqe} \times r \quad (13)$$

$$r = \frac{1}{1 + e^{-h}} \times \text{GDP}_i \quad (14)$$

$$h = \text{en}_u \times \delta + \text{en}_v \times (1 - \delta) \quad (15)$$

式中: ECS 为区域耕地保护生态补偿标准(元/ hm^2); r 为补偿系数; GDP_i 为区域人均 GDP 与全国人均 GDP 的比值; δ 为城镇化率(%); en_u, en_v 分别为城镇居民和农村居民的恩格尔系数; h 为区域居民综合恩格尔系数。

2 区域概况与数据来源

2.1 研究区概况

辽河流域作为中国东北地区南部河流, 由发源于河北省的西辽河及发源于吉林省的东辽河在辽宁省汇合而成, 流经河北省、内蒙古自治区、吉林省和辽宁省, 流域全长 1 345 km, 面积 $2.19 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是中国七大河流之一。吉林省辽河流域整体处于上游区域, 地势由东向西逐渐降低, 东南地区地势较高, 多为低山丘陵, 中西部多为平原, 在吉林省境内涉及的行政区域有铁西区、铁东区、梨树县、伊通县、公主岭市、双

辽市、龙山区、西安区和东辽县 9 个县(市、区), 总人口 391.29 万人, 其中农业人口 231.48 万人, 占总人口 59.16%, 流域国土面积 $1.70 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中耕地面积占 65% 以上, 2020 年流域粮食播种面积 $1.04 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 粮食产量 $7.62 \times 10^6 \text{ t}$, 占全省粮食产量的 20% 以上, 是全国重要粮食主产区和吉林省重要工业基地, 耕地保护对于维护区域粮食安全、生态安全等具有重要意义。但近年来, 辽河流域已呈现出整体用水效率偏低、局部地下水超采、水体环境质量污染恶化等诸多问题。

2.2 数据来源

本研究所涉及的铁西区、铁东区、梨树县、伊通县、公主岭市、双辽市、龙山区、西安区、东辽县等各县(市、区)的耕地面积、粮食作物播种面积、粮食作物产量、粮食单产、农药化肥使用量、农膜覆盖面积、人口、人均 GDP、城镇居民恩格尔系数、农村居民恩格尔系数、水土流失面积等数据均来源于《吉林省统计年鉴》《吉林省水土保持公报》《四平市统计年鉴》《辽源市统计年鉴》以及各区县的国民经济和社会发展统计公报等。由于各县、区农业用水及耗水率数据缺失, 本研究仅统计四平市及辽源市农业用水量及耗水率, 以四平市及辽源市的农业耗水负向价值代替各区县, 相关数据来源于水资源公报。水稻、玉米、小麦、豆类 and 薯类等粮食作物的市场价格来源于《中国农产品价格调查年鉴》, 农药与化肥的市场价格来源于《全国农产品成本收益资料汇编》和《中国农村统计年鉴》, 以上相关数据年份均为 2020 年, 研究区 2020 年耕地空间分布数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所, 数据分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 基于 ArcGIS 软件对栅格数据进行转换, 转为 grid 格式, 导入景观指数软件获取相应耕地景观格局指数。研究区耕地质量数据来源于 2018 年农用地分等定级成果, 全国耕地质量数据来源于全国耕地质量等别更新评价成果。

3 结果与分析

3.1 基于耕地数量及其空间配置的耕地保护生态价值分析

结合当量子法及耕地景观格局指数, 得到研究区基于耕地数量及空间配置的耕地保护生态价值(表 2)。根据结果可知, 引入耕地景观空间配置修正系数后, 不同尺度下耕地保护生态价值均有所调整, 考虑耕地空间配置差异, 可以将尺度效应的影响纳入到耕地生态价值核算中。流域整体耕地景观空间配置修正系数最大, 为 1.531 7。修正后耕地生态价值为 25 714.46 元/ hm^2 , 在流域尺度下, 耕地景观综合评价

指数最大,证明耕地空间分布的集中连片程度最高。由于其耕地内部连通度的提高,流域耕地生态价值增长显著。四平市耕地景观空间配置修正系数略高于辽源市,修正系数分别为 1.142 7 和 1.015 7,均大于 1,修正后的耕地生态价值分别为 19 527.84 和 14 436.47 元/hm²。各区县耕地景观空间配置修正系数介于 0.652 4~1.149 9,差异显著。当耕地作为重要的生态空间,其内部要素连通性较大、破碎度较低时,会对耕地所发挥的生态价值起到促进作用;相反,当耕地内部的连通性较低、破碎度较大的情况下,会削弱耕地生态价值,产生抑制作用。经修正后的

各区县耕地生态价值更能体现其区域差异及尺度效应特征,其中,耕地景观空间配置修正系数对耕地生态价值起到促进作用的有梨树县、伊通县、公主岭市和双辽市,修正后的耕地生态价值分别为 18 740.66, 19 556.34, 18 972.08 和 17 592.28 元/hm²;对耕地生态价值起到抑制作用的有铁西区、铁东区、龙山区、西安区和东辽县,修正后的耕地生态价值分别为 11 308.68, 10 028.46, 8 232.267, 10 270.49 和 13 796.78 元/hm²。总体来看,基于耕地数量及空间配置所得出的耕地生态价值,不同空间尺度下的价值量差异较大。

表 2 基于耕地数量及其空间配置的耕地保护生态价值

Table 2 Ecological value of cultivated land protection based on amount of cultivated land and its spatial allocation

空间尺度	地区	当量因子 价值量/ (元·hm ⁻²)	基于耕地数量的 耕地生态价值/ (元·hm ⁻²)	耕地景观 综合评价指数	耕地景观空间 配置修正系数	基于耕地数量及空间 配置的耕地生态价值/ (元·hm ⁻²)
区县尺度	铁西区	2 228.88	14 510.03	0.411 6	0.779 4	11 308.68
	铁东区	2 212.25	14 401.74	0.367 8	0.696 3	10 028.46
	梨树县	2 720.33	17 709.34	0.558 9	1.058 2	18 740.66
	伊通县	2 612.34	17 006.35	0.607 4	1.149 9	19 556.34
	公主岭市	2 691.87	17 524.10	0.571 8	1.082 6	18 972.08
	双辽市	2 443.36	15 906.28	0.584 1	1.106 0	17 592.28
	龙山区	1 938.35	12 618.65	0.344 6	0.652 4	8 232.267
	西安区	1 911.66	12 444.90	0.435 9	0.825 3	10 270.49
	东辽县	2 208.51	14 377.41	0.506 8	0.959 6	13 796.78
地市尺度	四平市	2 624.99	17 088.69	0.603 5	1.142 7	19 527.84
	辽源市	2 183.21	14 212.70	0.536 5	1.015 7	14 436.47
流域尺度	辽河流域	2 578.78	16 787.85	0.809 0	1.531 7	25 714.46

3.2 考虑耕地质量及生态负外部性的耕地保护生态价值分析

以基于耕地数量及其空间配置的耕地保护生态价值为基数,采用耕地质量综合评价系数对其进行修正,同时,核减农业生产过程中农药、化肥过度使用、农膜残留及农业耗水等产生的负外部性价值后,得到研究区多尺度耕地保护生态价值(表 3),利用 GIS 软件进行空间表达(图 1)。综合考虑耕地数量及空间配置、耕地质量差异及耕地生态负外部性,2020 年,吉林省辽河流域耕地生态价值为 20 502.78 元/hm²,生态效益显著,流域耕地不仅保障区域粮食安全,同样提供了重要的生态产品与服务。但由于耕地不友好的利用行为而带来的生态负面价值同样较大,流域耕地生态负面价值为 3 203.04 元/hm²,占耕地生态价值总量的 15.62%,其中,由于化肥的使用所产生的负向价值最大,为 2 593.85 元/hm²。农业生产要素的过度投入势必会对耕地生态造成巨大压力,是耕地

保护生态价值衡量及补偿标准测算过程中不可忽视的一部分。四平市耕地生态价值及生态负向价值均高于辽源市,四平市耕地生态价值及负向价值分别为 14 604.33 和 3 301.51 元/hm²,辽源市耕地生态价值及负向价值分别为 11 392.30 和 2 483.55 元/hm²。各区县耕地生态价值差异较大,其中,梨树县耕地生态价值最大,为 16 873.59 元/hm²,其次是公主岭市,其值为 14 087.09 元/hm²,梨树县和公主岭市均为全国重要的商品粮基地,且经典的“梨树模式”在国内已得到高度的认可,耕地的保护性耕种行为对耕地生态价值具有显著的促进作用,耕地生态价值最小的为龙山区,值为 4 261.97 元/hm²,其次为西安区,值为 5 614.49 元/hm²。总体来看,耕地生态价值受耕地数量及空间分布、质量差异及生态保护行为等多种因素的影响,流域耕地生态价值在不同区域分布不均衡,空间差异较大,整体西北区域的耕地生态价值高于东南区域。

表 3 吉林省辽河流域多尺度耕地保护生态价值

Table 3 Ecological value of multi-scale cultivated land protection in Liaohe River basin of Jilin Province

空间尺度	地区	耕地质量修正系数	化肥负向价值/ (元·hm ⁻²)	农药负向价值/ (元·hm ⁻²)	农膜负向价值/ (元·hm ⁻²)	农业水资源消耗负向价值/ (元·hm ⁻²)	负向价值总量/ (元·hm ⁻²)	耕地生态价值/ (元·hm ⁻²)
区县尺度	铁西区	0.980 0	2 148.16	126.92	0.65	414.71	2 690.44	8 391.99
	铁东区	0.917 2	1 215.68	150.20	6.86	414.71	1 787.45	7 411.15
	梨树县	1.084 3	2 894.71	130.08	7.13	414.71	3 446.63	16 873.59
	伊通县	0.722 4	2 641.85	177.74	2.82	414.71	3 237.12	10 889.76
	公主岭市	0.947 8	3 215.43	239.13	25.07	414.71	3 894.35	14 087.09
	双辽市	0.804 8	2 056.52	103.28	2.64	414.71	2 577.16	11 580.80
	龙山区	0.779 3	1 512.30	189.90	4.23	447.16	2 153.58	4 261.97
	西安区	0.820 0	1 998.66	348.57	12.92	447.16	2 807.31	5 614.49
	东辽县	1.008 3	1 816.61	217.46	8.39	447.16	2 489.61	11 421.14
地市尺度	四平市	0.916 9	2 709.39	166.73	10.68	414.71	3 301.51	14 604.33
	辽源市	0.961 2	1 804.44	223.56	8.40	447.16	2 483.55	11 392.30
流域尺度	辽河流域	0.921 9	2 593.85	173.98	10.42	424.79	3 203.04	20 502.78

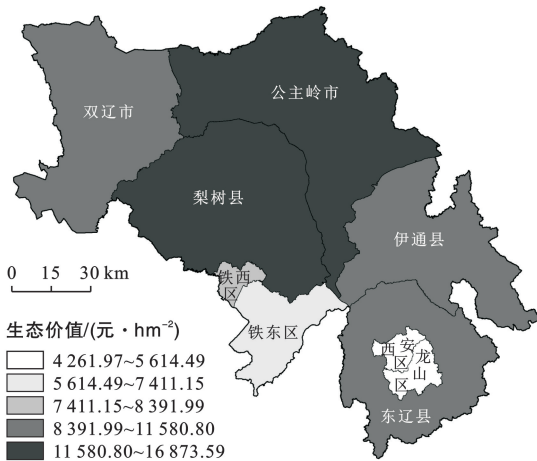


图 1 研究区耕地生态价值空间差异

Fig.1 Spatial differences in ecological values of cultivated land in study area

3.3 耕地保护生态补偿标准

在研究区耕地保护生态价值测算的基础上,为提高耕地保护生态补偿的实际可操作性,引入社会发展阶段补偿系数对耕地生态价值进行修正,结合区域耕地面积,得到研究区多尺度耕地生态补偿标准和补偿额度(表 4)。根据结果可知,吉林省辽河流域耕地保护生态补偿标准为 4 319.36 元/hm²,补偿额度为 49.727 0 亿元,补偿额度占区域 GDP 的比例为 4.81%,进行耕地生态补偿可以提高流域耕地生态保护动力,且不会造成因补偿而出现地方财政“暴富”的现象;四平市与辽源市的耕地保护生态补偿标准分别为 3 033.83 和 2 536.47 元/hm²,补偿额度分别为 30.753 1 和 3.489 8 亿元,四平市耕地面积基数大,且其耕地生态补偿标准也高于辽源市,因此补偿额度远

高于辽源市,补偿额度占区域 GDP 的比例分别为 3.76% 和 1.62%;各区县耕地保护生态补偿标准差异显著,取值在 814.68~3 471.85 元/hm²,补偿额度在 0.070 4~11.781 8 亿元,补偿额度占区域 GDP 的比例在 0.12%~5.12%,其中,公主岭市的补偿标准及补偿额度最高,其次为梨树县,补偿标准和补偿额度分别为 2 827.74 元/hm²,7.095 5 亿元,公主岭市和梨树县作为流域耕地生态价值的主要贡献区域,为其他地区提供了额外的生态产品与服务,应作为耕地生态补偿的重点区域与优先区域,西安区的补偿标准和补偿额度最低,分别为 814.68 元/hm² 和 0.070 4 亿元。

由于区域资源禀赋差异,耕地保护的责任与义务不同。对于资源禀赋充裕地区承担着更多的耕地保护责任,发展财权受限,从而影响着耕地保护的热情,且人们对耕地生态功能的认知程度随着经济社会的发展而不断提高,对耕地生态服务价值的支付或受偿意愿也会随之增长,同样会对耕地生态补偿的有效性产生影响。因此,以研究区耕地保护生态价值为基础,综合经济社会发展差异,考虑地区实际及尺度依赖制定耕地生态补偿标准及额度,可以提高耕地生态补偿的针对性和有效性,对于建立差别化的耕地生态保护补偿机制,提高地方耕地生态保护积极性具有重要意义。

4 讨论

科学测算耕地生态价值,制定差异化耕地生态补偿标准是进行耕地生态补偿的核心内容。相关研究大多采用当量子法、市场替代法、条件值评估法等^[5,31],量化区域不同空间尺度下的耕地生态价值,在此基础上进行适当修正,作为耕地生态补偿标

准^[17],但却忽略了耕地作为重要生态要素,其内部空间配置差异对所发挥生态价值的影响,从而对多尺度的耕地生态价值核算只做简单加和处理,研究结果有待进一步完善。本研究以流域为研究对象,引入景观格局指数,建立以耕地数量及空间配置计算耕地生态价值总量、考虑耕地质量差异修正耕地生态价值,以及对耕地生态负向价值进行核减的流域多尺度耕地生态价值核算体系,更加全面地分析流域耕地生态价值的空间差异特征,确定耕地生态补偿标准。对比刘利花^[6]、崔宁波等^[11]近几年针对中国省域及东北地区的耕地生态补偿标准及额度的测算研究,从吉林省耕地生态价值来看,其取值在 6 875.83~17 424 元/hm²,

差异较大,本研究所测算的区域耕地生态价值大部分位于其区间范围内。由于考虑耕地景观空间配置差异,纳入尺度效应等影响,吉林省辽河流域耕地生态价值的差异加大。目前吉林省尚未出台耕地生态补偿的相关实践标准,相关研究确定的吉林省耕地生态补偿标准在 3 919.44~5 429.19 元/hm²,四平市耕地生态补偿额度在 25.95~47.25 亿元^[32]。本研究所制定的吉林省辽河流域耕地生态补偿标准为 4 319.36 元/hm²,四平市的补偿额度为 30.753 1 亿元,均在相关研究的合理区间内,测算结果相对可信,研究成果对于建立耕地保护生态补偿机制具有一定的参考价值。

表 4 吉林省辽河流域多尺度耕地保护生态补偿标准及额度

Table 4 Ecological compensation standard and amount for multi-scale cultivated land protection in Liaohe River basin of Jilin Province

空间尺度	地区	耕地生态净价值/ (元·hm ⁻²)	社会发展阶段 补偿系数	经济发展阶段 补偿系数	补偿标准/ (元·hm ⁻²)	补偿额度/ 亿元	补偿额度占 GDP 比例
	铁西区	8 391.99	0.572 0	0.311 4	1 494.75	0.165 7	0.21%
	铁东区	7 411.15	0.571 6	0.328 3	1 390.85	0.560 3	0.76%
	梨树县	16 873.59	0.575 7	0.291 1	2 827.74	7.095 5	4.59%
	伊通县	10 889.76	0.575 8	0.309 2	1 938.74	3.034 3	3.06%
区县尺度	公主岭市	14 087.09	0.575 8	0.428 0	3 471.85	11.781 8	3.74%
	双辽市	11 580.80	0.574 4	0.343 4	2 283.91	4.922 2	5.12%
	龙山区	4 261.97	0.570 4	0.453 2	1 101.87	0.117 6	0.12%
	西安区	5 614.49	0.570 4	0.254 4	814.68	0.070 4	0.26%
	东辽县	11 421.14	0.576 0	0.385 9	2 538.50	3.002 5	3.27%
地市尺度	四平市	14 604.33	0.574 8	0.361 4	3 033.83	30.753 1	3.76%
	辽源市	11 392.30	0.572 8	0.388 7	2 536.47	3.489 8	1.62%
流域尺度	辽河流域	20 502.78	0.574 4	0.366 8	4 319.36	49.727 0	4.81%

依据耕地生态价值核算体系,应从耕地数量、质量及生态等多方面提高其价值。耕地数量及空间分布决定着耕地生态价值的总量,应坚决维护耕地红线及永久基本农田保护线,遏制耕地的非农化及非粮化,严格控制非农用地占用优质耕地,防止占优补劣等现象,通过土地开发整理、土地复垦等多种途径扩大耕地数量,增加耕地后备资源的比例。同时,采取多种措施提高耕地质量等级,通过集中连片开展田块整治、土壤改良、配套设施建设等措施,完善农田的基础设施建设,改善农业生产条件,增强农田防灾抗灾能力,解决耕地碎片化、质量下降、设施不配套等问题,建设高标准农田,提升耕地生产能力。针对耕地生态负外部性等问题,应最大限度降低耕地生态负外部性价值,合理减少农药、化肥等化学品的使用,增施有机肥,推广农业绿色生产方式,针对农业耗水问题,引入高效节水农业生产技术,提高水资源利用率等。

同时,受相关数据获取及价值量化方法等限制,本研究在耕地生态价值核算中未能将耕地水土流失而带来的生态负向价值进行核减,但水土流失治理对于维护流域及黑土地的生态安全、粮食安全等具有重要意义。目前,吉林省辽河流域水土流失面积占国土面积的比例为 28.98%,以水力侵蚀为主,水力侵蚀比例为 85.34%,风力侵蚀的比例为 14.66%。针对以上问题,治理方式可采用相应的林草措施、水土保持耕作措施及工程措施等。根据水土流失形式、强度的不同,在适地适树基础上安排水土保持林、农田防护林等建设;通过耕作改变坡耕地的微地形,采取轮作、间作等增加地面覆被,因地制宜开展秸秆粉碎深翻还田、秸秆免耕覆盖还田等保持土壤水分,防治土壤风蚀水蚀;加强梯田工程、固沙工程及侵蚀沟治理工程等建设。

判别耕地生态补偿的利益主体,界定耕地保护生

态补偿的支付区与受偿区是进行精准补偿的关键内容。且耕地不同的种植结构或耕种方式所发挥的生态价值不同^[33],其价值量受众多自然及人文因素的影响^[18],甄别耕地生态价值的关键性影响因子,结合影响因子的时空异质性,建立差别化的耕地生态补偿标准测算模型,以上将作为下一步的研究重点与方向。

5 结论

(1) 综合耕地数量及空间分布、耕地质量差异及耕地生态负外部性,可以满足流域多尺度耕地生态价值核算的要求。流域耕地具有非常重要的生态服务价值,且其价值具有显著的空间差异特征及尺度依赖效应。同时,耕地生态服务的负外部性不可忽视。由于化肥使用引起的负面价值是耕地生态负外部性的主要来源。

(2) 根据流域多尺度耕地生态价值核算体系,吉林省辽河流域耕地生态价值在不同游段、不同区域分布不均衡,整体西北地区高于东南地区,梨树县与公主岭市作为流域耕地保护生态价值的核心区,为其他区域提供了额外的生态产品与服务,应作为流域耕地生态补偿的重点区与优先区。

(3) 结合流域耕地生态价值的空间差异特征及尺度效应,引入社会经济发展阶段等补偿系数,所制定的流域耕地生态补偿标准在相关研究的合理区间范围内,针对流域多尺度耕地生态补偿标准及额度,应建立差异化的耕地生态补偿方案,从而提高耕地生态补偿的有效性。

[参 考 文 献]

- [1] 张俊峰,梅岭,张雄,等.长江经济带耕地保护生态价值的时空特征与差别化补偿机制[J].中国人口·资源与环境,2022,32(9):173-183.
- [2] 张玉周,马彦瑞.我国粮食核心区耕地生态补偿效率测度及影响因素分析[J].地域研究与开发,2022,41(6):153-158.
- [3] Wells G J, Stuart N, Furlley P A, et al. Ecosystem service analysis in marginal agricultural lands: a case study in Belize [J]. *Ecosystem Services*, 2018,32:70-77.
- [4] Wang Kunpeng, Ou Minghao, Wolde Z. Regional differences in ecological compensation for cultivated land protection: an analysis of Chengdu, Sichuan Province, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020,17(21):8242.
- [5] 刘利花,杨彬如.中国省域耕地生态补偿研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(2):52-62.
- [6] 吴宇哲,钱恬楠,郭珍.休养生息制度背景下耕地保护生态补偿机制研究[J].郑州大学学报(哲学社会科学版),2020,53(3):27-31,127.
- [7] 欧名豪,王坤鹏,郭杰.耕地保护生态补偿机制研究进展[J].农业现代化研究,2019,40(3):357-365.
- [8] 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.
- [9] 李晓燕.基于生态价值量和支付能力的耕地生态补偿标准研究:以河南省为例[J].生态经济,2017,33(2):151-155,161.
- [10] Costanza R, De Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services [J]. *Global Environmental Change*, 2014,26:152-158.
- [11] 崔宁波,生世玉.基于公平视角的耕地生态补偿标准量化研究[J].水土保持通报,2021,41(1):138-143.
- [12] 胡蓉,邱道持,谢德体,等.我国耕地资源的资产价值核算研究[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(11):127-132.
- [13] 覃洁,秦成,周慧杰,等.基于生态承载力供需与生态服务价值的广西耕地生态补偿研究[J].江西农业学报,2016,28(3):77-81,86.
- [14] 唐秀美,潘瑜春,刘玉.北京市耕地生态价值评估与时空变化分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(3):132-140.
- [15] 崔宁波,生世玉,方袁意如.粮食安全视角下省际耕地生态补偿的标准量化与机制构建[J].中国农业大学学报,2021,26(11):232-243.
- [16] 许恒周,曲福田,郭忠兴.市场失灵、非市场价值与农地非农化过度性损失:基于中国不同区域的实证研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(1):68-72.
- [17] 刘祥鑫,蒲春玲,刘志有,等.区域耕地生态价值补偿量化研究:以新疆为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(5):84-90.
- [18] 唐秀美,陈百明,刘玉,等.耕地生态价值评估研究进展分析[J].农业机械学报,2016,47(9):256-265.
- [19] 望晓东,魏玲.耕地生态价值支付意愿的影响因素实证研究:基于武汉市的实地调查[J].生态经济,2015,31(8):121-124.
- [20] 葛颖,徐崇森,李坦.农户视角下耕地生态服务保护补偿意愿研究[J].云南农业大学学报(社会科学),2020,14(5):104-111.
- [21] Yang Xin, Zhang Anlu, Zhang Fan. Farmers' heterogeneous willingness to pay for farmland non-market goods and services on the basis of a mixed logit model: a case study of Wuhan, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019,16(20):3876.
- [22] 张俊峰,贺三维,张光宏,等.流域耕地生态盈亏、空间外溢与财政转移:基于长江经济带的实证分析[J].农业经济问题,2020(12):120-132.

[参 考 文 献]

- [1] 沈贝贝,魏一博,马磊超,等.内蒙古草原植被覆盖度时空格局变化及驱动因素分析[J].农业工程学报,2022,38(12):118-126.
- [2] 张琳,陆兆华,唐思易,等.露天煤矿排土场边坡植被组成特征及其群落稳定性评价[J].生态学报,2021,41(14):5764-5774.
- [3] 袁立敏,高永,汪季,等.沙袋沙障对流动沙丘地表风沙及植被恢复的影响[J].水土保持通报,2014,34(1):46-50.
- [4] 闫德仁,杨制国,高海燕,等.直压立式纱网沙障不同取样季节输沙量变化特征[J].水土保持通报,2022,42(4):129-134,152.
- [5] 韩庆杰,倪成君,屈建军,等.不同防沙工程措施对海岸带沙地植被恢复和土壤养分的影响[J].干旱区资源与环境,2009,23(2):155-163.
- [6] 李昌龙,张永虎,段晓峰,等.民勤荒漠草地机械沙障对草地结构及物种多样性的影响[J].中国草地学报,2021,43(12):100-106.
- [7] 王文彪,党晓宏,张吉树,等.库布齐沙漠北缘不同作物秸秆平铺式沙障的防风效能[J].中国沙漠,2013,33(1):65-71.
- [8] 李生宇,雷加强.草方格沙障的生态恢复作用:以古尔班通古特沙漠油田公路扰动带为例[J].干旱区研究,2003,20(1):7-10.
- [9] 张英华.1991—2020年乌拉盖大风变化特征分析[J].农业灾害研究,2021(3):35-36.
- [10] 包乌云,邢旗,张健,等.乌拉盖草原植物群落多样性现状[J].草原与草业,2018,30(3):13-20.
- [11] 庞营军,屈建军,谢胜波,等.高立式格状沙障防风效益[J].水土保持通报,2014,34(5):11-14.
- [12] 靳灵娜,党晓宏,高永,等.库布齐沙漠北缘机械沙障对地表土壤可蚀性的影响[J].水土保持通报,2021,41(3):50-55.
- [13] 党晓宏,高永,虞毅,等.新型生物可降解 PLA 沙障与传统草方格沙障防风效益[J].北京林业大学学报,2015,37(3):118-125.
- [14] 陈琦,锡林郭勒草原煤矿排土场植被恢复措施应用效果初步评价[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [15] 李红丽,万玲玲,董智,等.沙柳沙障对沙丘土壤颗粒粒径及分形维数的影响[J].土壤通报,2012,43(3):540-545.
- [16] 贾瑞庭.沙区光伏电站不同植被恢复措施对土壤理化性质的影响[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [17] 卢立强.栅栏式葵花和玉米秸秆沙障防风固沙效应研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [18] 王逸敏,刘康,屈建军.沙障对流沙地植被和土壤养分的影响[J].中国沙漠,2019,39(3):56-65.
- [19] 齐雪,锡林郭勒盟露天煤矿排土场植被重建与恢复效果研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [23] 刘利花,张丙昕,刘向华.粮食安全与生态安全双视角下中国省域耕地保护补偿研究[J].农业工程学报,2020,36(19):252-263.
- [24] Zhang Junfeng, Zhang Anlu, Song Ming. Ecological benefit spillover and ecological financial transfer of cultivated land protection in river basins: a case study of the Yangtze River Economic Belt, China [J]. Sustainability, 2020,12(17):7085.
- [25] 党昱譞,孔祥斌,温良友,等.中国耕地生态保护补偿的省级差序分区及补偿标准[J].农业工程学报,2022,38(6):254-263.
- [26] 张宇,张安录.基于生态安全视角的耕地生态补偿财政转移支付研究:以湖北省为例[J].中国农业资源与区划,2021,42(11):220-232.
- [27] 阮熹晟,李坦,张藕香,等.基于生态服务价值的长江经济带耕地生态补偿量化研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(1):68-76.
- [28] 钱风魁,于洋,孙福军,等.不同地貌区县域耕地质量与耕地景观格局关联性特征分析[J].土壤通报,2020,51(6):1282-1289.
- [29] 张显源,蔡忠亮,李桂娥,等.耕地景观破碎化成因及对农村收入影响分析[J].测绘科学,2020,45(4):134-141.
- [30] 蔡汉,朱权,罗云建,等.快速城镇化地区耕地景观生态安全格局演变特征及其驱动机制[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):181-188.
- [31] 朱文娟,李建兵,高阳,等.基于经济—社会—生态价值的耕地价值量核算研究:以 Y 市为例[J].长江流域资源与环境,2022,31(9):2086-2095.
- [32] 崔宁波,生世玉.粮食安全视角下的东北黑土区耕地生态补偿研究[J].浙江农业学报,2021,33(9):1759-1769.
- [33] 吴兆娟,丁声源,魏朝富,等.丘陵山区地块尺度耕地生态价值测算与提升[J].农机化研究,2013,35(11):1-8.

(上接第 192 页)