

## 耕地非农化过程中生态价值补偿量化研究——以陕西省为例

李滕 (陕西地建土地勘测规划设计院有限责任公司, 陕西西安 710075)

**摘要** [目的]构建耕地非农化过程中的生态价值补偿量化模型。[方法]以陕西省为例,综合考虑省内 11 个市区的经济发展水平,对各市区的耕地生态服务价值、生态承载力、生态足迹等进行量化测算,通过引入生态超载指数,构建区域内的生态价值补偿量化模型,对各市区的生态价值补偿量进行测算。[结果]2019 年陕西省耕地生态服务价值整体上有少量盈余,全省可获得生态补偿量  $2.10 \times 10^8$  元;关中地区的西安市和杨凌示范区耕地生态处于赤字状态,尤其是西安市耕地生态超载指数达 -2.15;陕北和陕南地区耕地生态处于盈余状态,该区域耕地生态状况良好。关中地区需支付  $48.36 \times 10^8$  元的耕地生态补偿费,陕北、陕南地区分别可获得  $44.31 \times 10^8$  和  $6.15 \times 10^8$  元的耕地生态补偿费。[结论]测算结果与各市区的现实情况基本相符,可为陕西省耕地生态补偿标准的制定和耕地生态补偿机制的建立提供依据,该测算方法可为各地区的耕地生态补偿费测算提供参考。

**关键词** 耕地非农化;生态超载指数;生态价值补偿;陕西省

中图分类号 F 301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)03-0067-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.03.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Quantitative Study on Ecological Value Compensation of Cultivated Land in the Process of Non-agricultural Conversion —A Case Study of Shaanxi Province

LI Meng (Shaanxi Geotechnical Land Survey Planning and Design Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075)

**Abstract** [Objective] To establish the quantitative model of ecological value compensation in the process of cultivated land conversion. [Method] Taking Shaanxi Province as an example, based on the economic development level of 11 urban areas in the province, the cultivated land ecological service value, ecological carrying capacity and ecological footprint of 11 urban areas in Shaanxi Province were calculated. Through the introduction of ecological overload index, a quantitative model of ecological value compensation in the region was constructed, and the ecological value compensation of each urban area was calculated. [Result] In 2019, the value of cultivated land ecological service in Shaanxi Province had a small surplus, and the province could obtain the ecological compensation of  $2.10 \times 10^8$  yuan. The cultivated land ecology of Xi'an and Yangling demonstration areas in Guanzhong area was in deficit, especially the cultivated land ecological overload index of Xi'an reaches -2.15. The cultivated land ecology in northern and southern Shaanxi was in surplus state, and the cultivated land ecology in this region was good. The Guanzhong region needed to pay  $48.36 \times 10^8$  yuan of cultivated land ecological compensation, while northern and southern Shaanxi regions could get  $44.31 \times 10^8$  yuan and  $6.15 \times 10^8$  yuan of cultivated land ecological compensation, respectively. [Conclusion] The calculation results are consistent with the actual situation of each urban area, which can provide a basis for the establishment of cultivated land ecological compensation standard and mechanism in Shaanxi Province. The calculation method can provide a reference for the calculation of cultivated land ecological compensation in various regions.

**Key words** Cultivated land non-agricultural; Ecological overload index; Ecological value compensation; Shaanxi Province

耕地不仅对国家的粮食安全、农业生产以及人民生活具有基本的保障作用,还具有气候调节、景观优化、生态服务等功能<sup>[1]</sup>。然而,随着我国城镇规模的不断扩张,城镇建设用地需求越来越大,造成大量的农用地转为非农用地,在此过程中,农地被非农建设占用,不仅丧失了其原有的经济价值和保障粮食安全的社会价值,而且其净化空气、改善区域生态环境等生态价值也随之丧失<sup>[2]</sup>。因此,在农用地转用过程中土地生态价值如何补偿成为国内外研究的热点问题之一<sup>[3]</sup>。比如,崔宁波等<sup>[4]</sup>从公平视角出发,采用当量因子法对生态服务价值进行测算,并构建水足迹模型,对耕地生态服务非市场价值进行量化评估;李玉恒等<sup>[5]</sup>构建了非农化配制效益评价模型,对我国沿海省市的边际经济收益、边际生态价值和边际社会保障价值进行了量化评估;贺晓英等<sup>[6]</sup>运用直接市场法构建了农地非农过程中损失农地的生态价值评估模型,分别计算农地的各项生态服务价值。国外对土地生态价值的研究始于 20 世纪 80 年代,重点研究耕地的生态

价值;随后,涌现了大量不同土地生态功能价值评估的研究<sup>[7-9]</sup>,比如,Clark Archer 等<sup>[8]</sup>采用方差分析测试法,比较大城市和非大城市 3 种主要环境对耕地价值的影响,以及主要农业区之间主要环境对耕地价值的影响;Rega<sup>[9]</sup>从空间规划决策层面对意大利空间规划或土地利用过程中的生态补偿要求进行了探索;Vaissière 等<sup>[10]</sup>认为科学严谨的生态补偿政策应该兼顾生物多样性的分析性和规范性 2 个方面,并提出了双层生态补偿政策的组织构建模块。

通过分析现有文献资料发现,目前国内外关于耕地转用中土地生态补偿价值的研究成果相对较少。现有研究主要集中于农地非农化过程中的土地生态评估,但并未建立相应的补偿机制<sup>[3]</sup>。因此,该研究以陕西省为研究对象,在现有研究成果的基础上,尝试构建耕地非农化过程中土地生态补偿价值测算模型,将耕地非农化过程中的土地生态损失进行量化,并提出相应的补偿机制,为陕西省耕地非农化过程中的土地生态价值补偿政策提供参考。

#### 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 陕西省处于我国西北部,全省设 10 个省辖市和 1 个示范区。地域南北最长为 878 km,东西最宽为 517 km。全省平均海拔 1 127 m,境内气候存在南北差异,由北向南逐渐过渡为温带、暖温带和北亚热带。年降雨量

**基金项目** 陕西省哲学社会科学重大理论与现实问题研究项目(2021ND0136);陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2022-9)。

**作者简介** 李滕(1988—),女,河北保定人,工程师,硕士,从事土地利用及土地规划研究。

**收稿日期** 2022-04-02

576.9 mm, 年均气温 13.0 ℃, 无霜期 218 d。截至 2019 年末, 全省总人口 3 876.21 万, 耕地面积 301.052 万  $\text{hm}^2$ , 种植作物主要为小麦、玉米。2019 年粮食作物播种面积 299.892 万  $\text{hm}^2$ , 比 2018 年缩减 0.2%; 其中, 夏粮 110.435 万  $\text{hm}^2$ , 下降 0.4%; 秋粮 189.457 万  $\text{hm}^2$ , 下降 0.2%; 全年 GDP 为 25 793.17 亿元, 人均 GDP 为 66 649 元, 比 2018 年增长 5.4%。

**1.2 数据来源** 该研究的相关数据来源于《陕西统计年鉴(2019年)》、陕西省国民经济和社会发展统计公报(2019年)、陕西省自然资源厅统计资料。

### 1.3 模型构建

**1.3.1 耕地生态服务功能测算模型构建。**该研究借鉴谢高地等<sup>[11]</sup>关于生态服务价值量化的研究, 采用当量因子法对农地的生态价值进行测算, 测算模型如下:

$$A_e = E_a \times S \quad (1)$$

$$E_a = \sum_{j=1}^c \left[ \left( \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M} \right) \times \gamma_j \right] \quad (2)$$

式中,  $A_e$  为生态服务价值总量(亿元);  $E_a$  为单位当量因子价值量(元/ $\text{hm}^2$ );  $S$  为耕地面积( $\text{hm}^2$ )。  $n$  为农作物总数;  $i$  为农作物的具体类型;  $p_i$  为第  $i$  种农作物的全国平均价格(元/kg);  $q_i$  为第  $i$  种农作物的单产( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $m_i$  为第  $i$  种农作物的种植面积( $\text{hm}^2$ );  $M$  为  $n$  种农作物的种植总面积( $\text{hm}^2$ );  $j$  为生态服务功能类型;  $\gamma_j$  为第  $j$  种生态服务功能的当量值。

**1.3.2 区域获得或支付补偿的判定及补偿比例测算模型。**

**1.3.2.1 耕地生态承载力测算模型。**耕地生态承载力是指具有生物生产力的耕地面积, 反映了耕地生态系统对人类活动的供给和安全程度<sup>[12]</sup>。具体模型如下:

$$EC = N \times a \times r \times y \quad (3)$$

式中,  $EC$  为区域耕地生态承载力( $\text{hm}^2$ );  $N$  为区域总人口;  $a$  为人均生产性耕地面积( $\text{hm}^2$ );  $r$  为耕地均衡因子;  $y$  为区域耕地产量因子。

关于耕地均衡因子和产量因子的取值, 大部分研究选取 Wackernagel 等<sup>[13]</sup>的测算成果, 即耕地均衡因子 2.17、产量因子 1.66。但此数值的测算是基于全球层面, 不能真实反映我国不同省份耕地的实际生产能力, 因此该研究引用刘某承等<sup>[14-15]</sup>关于我国各地生态足迹均衡因子和产量因子的测算结果, 具体数值见表 1。

**1.3.2.2 耕地生态足迹测算模型。**耕地生态足迹指能够持续地提供资源或消纳废物的且具有生物生产力的耕地空间<sup>[12]</sup>。模型如下:

$$EF = N \times ef \quad (4)$$

$$ef = \sum_{i=1}^n \left( r \times \frac{C_i}{P_i} \right) \quad (5)$$

式中,  $EF$  为区域耕地生态足迹总量( $\text{hm}^2$ );  $N$  为区域人口总量;  $ef$  为区域人均耕地生态足迹( $\text{hm}^2$ );  $i$  为区域各消费项目具体类型;  $r$  为耕地均衡因子, 依据表 1 取值 0.72;  $C_i$  为第  $i$  种消费项目的人均消费量(kg);  $P_i$  为全球第  $i$  种消费项目的

平均生产力( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

表 1 我国各省市耕地均衡因子和产量因子

Table 1 Equilibrium factor and yield factors of cultivated land in different provinces and cities of China

地区 Region	均衡因子 Equilibrium factor	产量因子 Yield factor
北京市 Beijing City	1.03	0.83
天津市 Tianjin City	0.98	0.65
河北省 Hebei Province	1.10	0.91
山西省 Shanxi Province	0.85	0.48
内蒙古自治区 Inner Mongolia Autonomous Region	1.50	0.52
辽宁省 Liaoning Province	1.06	0.84
吉林省 Jilin Province	1.09	0.83
黑龙江省 Heilongjiang Province	0.79	0.58
上海市 Shanghai City	1.03	0.81
江苏省 Jiangsu Province	1.64	1.29
浙江省 Zhejiang Province	0.69	0.79
安徽省 Anhui Province	1.15	1.02
福建省 Fujian Province	0.78	1.01
江西省 Jiangxi Province	1.12	1.34
山东省 Shandong Province	1.49	1.13
河南省 Henan Province	1.81	1.36
湖北省 Hubei Province	1.11	1.00
湖南省 Hunan Province	1.32	1.43
广东省 Guangdong Province	1.36	1.65
广西壮族自治区 Guangxi Zhuang Autonomous Region	3.39	1.39
海南省 Hainan Province	0.93	1.50
重庆市 Chongqing	1.02	0.94
四川省 Sichuan Province	1.13	1.04
贵州省 Guizhou Province	0.56	0.52
云南省 Yunnan Province	0.76	0.93
西藏自治区 Tibet Autonomous Region	1.47	0.51
陕西省 Shaanxi Province	0.72	0.51
甘肃省 Gansu province	1.05	0.36
青海省 Qinghai Province	1.30	0.46
宁夏回族自治区 Ningxia Hui Autonomous Region	1.78	0.55
新疆维吾尔自治区 Xinjiang Uygur Autonomous Region	2.25	0.74
香港 Hongkong	1.96	1.65
澳门 Macao	0.00	0.00
中国台湾 Taiwan, China	0.92	1.01

**1.3.2.3 耕地生态超载指数测算模型。**区域耕地生态超载指数用于表征区域耕地生态的利用水平。具体模型如下:

$$I = \frac{EC - EF}{EC} \quad (6)$$

式中,  $I$  为区域耕地生态超载指数;  $EC$  为区域内总耕地生态承载力( $\text{hm}^2$ );  $EF$  为区域内耕地生态足迹总量( $\text{hm}^2$ )。当  $I=0$  时, 说明该地区耕地生态平衡; 当  $I>0$  时, 说明该地区耕地生态盈余,  $I$  值越大, 则盈余越多; 当  $I<0$  时, 说明该地区耕地生态利用超载,  $I$  值越小, 则超载越严重。

**1.3.3 耕地生态补偿系数测算模型。**该研究借鉴李金昌<sup>[16]</sup>提出的用皮尔曲线模型近似模拟耕地生态补偿价值, 并用恩格尔系数衡量社会经济水平和人们生活质量的, 模型如下:

$$t = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{1}{E_n} - 3\right)}} \quad (7)$$

$$E_n = E_b \times \beta + E_c \times (1 - \beta) \quad (8)$$

式中,  $t$  为耕地生态补偿系数;  $E_n$  为区域综合恩格尔系数;  $E_b$  为城镇恩格尔系数;  $E_c$  为农村恩格尔系数;  $\beta$  为城镇化水平。

**1.3.4 耕地生态补偿量测算模型。** 科学合理的耕地生态价值补偿标准应基于对区域内耕地生态效益较为完善的认识, 综合考虑补偿区域内资源利用情况和实际补偿能力等因素。因此, 该研究将耕地生态服务价值、耕地生态承载力、耕地生态足迹、耕地生态补偿系数与区域经济发展水平相关联, 计算出区域耕地生态补偿金额。具体模型如下:

$$A_{ec} = A_e \times I \times t = A_e \times \frac{EC - EF}{EC} \times t \quad (9)$$

式中,  $A_{ec}$  为区域支付或获得的耕地生态补偿总量 (元/a);  $A_e$  为区域耕地生态服务价值总量 (元/a);  $EC$  为区域耕地生态承载力 ( $\text{hm}^2$ );  $EF$  为区域耕地生态足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $t$  为耕地生态补偿系数,  $0 < t < 1$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 耕地生态服务价值分析** 从表 2 可以看出, 2019 年陕西省耕地生态服务总价值为  $665.49 \times 10^8$  元, 其中关中地区可提供的耕地生态服务价值为  $291.44 \times 10^8$  元, 占全省总量的 43.79%; 陕北地区可提供的耕地生态服务价值为  $252.78 \times 10^8$  元, 占全省总量的 37.99%; 陕南地区可提供的耕地生态服务价值为  $121.27 \times 10^8$  元, 占全省总量的 18.22%。总体上陕西省耕地生态服务价值量呈北高南低的态势 (图 1)。

表 2 2019 年陕西省各市区耕地生态服务价值量

Table 2 Ecological service value of cultivated land in Shaanxi Province in 2019

地区 Region	单位当量 因子价值 Unit equivalent factor value amount 元/ $\text{hm}^2$	耕地面积 Cultivated land area 万 $\text{hm}^2$	耕地生态 服务价值 Ecological service value of cultivated land// $\times 10^8$ 元
关中 Guanzhong			
	西安市	37 119.07	24.09
	宝鸡市	18 775.69	29.17
	咸阳市	32 560.41	31.96
	铜川市	13 459.68	7.16
	渭南市	5 949.95	48.10
	杨凌示范区	98 603.34	0.50
陕北 Northern Shaanxi	延安市	40 230.66	26.14
	榆林市	18 650.01	79.16
陕南 Southern Shaanxi	汉中市	28 860.25	21.02
	安康市	21 423.93	19.33
	商洛市	14 336.79	13.40
合计 Total			665.49

**2.2 耕地生态超载指数分析** 由表 3 可知, 关中地区的西安市和杨凌示范区耕地生态处于赤字状态, 这是因为西安市和杨凌示范区的经济相对发达, 城市经济和人口的发展占用了大量耕地, 致使 2 个市区的耕地生态消费超出了其生态承载范围。陕北和陕南地区耕地生态超载指数集中在 0.10~0.67, 说明该地区耕地生态处于盈余状态, 耕地生态状况良

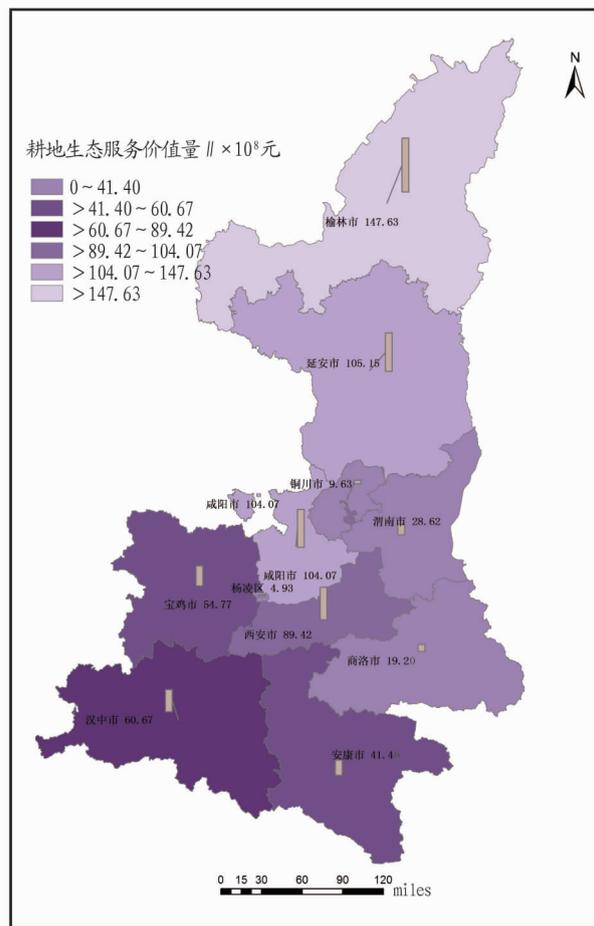


图 1 2019 年陕西省各市区耕地生态服务价值量空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of cultivated land ecological service value in different urban areas of Shaanxi Province in 2019

好。从各市区耕地生态超载指数空间分布 (图 2) 可以看出, 陕西省耕地生态超载指数分布总体上呈北高南低的态势。

表 3 2019 年陕西省各市区耕地生态超载指数

Table 3 Ecological overload index of cultivated land in Shaanxi Province in 2019

地区 Region	耕地生态 足迹总量 Total ecological footprint of cultivated land 万 $\text{hm}^2$	耕地总生 态承载力 Total ecological carrying capacity of cultivated land//万 $\text{hm}^2$	超载指数 Overload index
关中 Guanzhong			
	西安市	27.90	8.85
	宝鸡市	8.43	10.71
	咸阳市	9.17	11.74
	铜川市	1.45	2.63
	渭南市	11.61	17.66
	杨凌示范区	0.45	0.18
陕北 Northern Shaanxi	延安市	5.45	9.60
	榆林市	9.69	29.07
陕南 Southern Shaanxi	汉中市	6.74	7.72
	安康市	5.37	7.10
	商洛市	4.41	4.92
合计 Total	90.67	110.18	

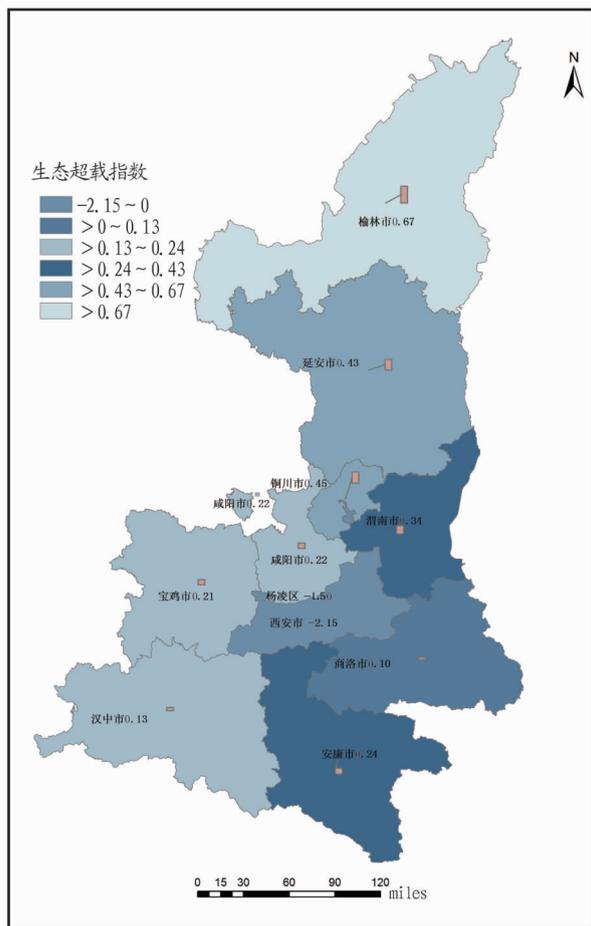


图2 2019年陕西省各市区耕地生态超载指数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of ecological overload index of cultivated land in each city of Shaanxi Province in 2019

关中、陕北、陕南3个片区生态足迹总量比为1:0.26:0.28,其可提供的耕地生态服务价值比为1:0.87:0.42,说明关中、陕北和陕南耕地生态足迹和耕地生态服务价值之间呈现“空间异位”的格局。根据区域生态超载或盈余的判定方法,2019年关中的西安市和杨凌示范区耕地资源利用超出了其生态承载力,表现为生态超载,应支付生态补偿;陕北和陕南的各市区耕地资源利用均未超过其承载范围,表现为生态盈余,应获得生态补偿。

**2.3 耕地生态补偿量分析** 从表4可以看出,2019年陕西省耕地可获得耕地生态补偿费 $2.10 \times 10^8$ 元,生态服务价值总体上能满足生态消费,且有少量盈余。省内关中地区需支付 $48.36 \times 10^8$ 元的耕地生态补偿费,其中付费最高的西安市,应支付 $61.39 \times 10^8$ 元;陕北和陕南地区分别可获得 $44.31 \times 10^8$ 和 $6.15 \times 10^8$ 元的耕地生态补偿费,其中榆林市可获得的耕地生态补偿费最高,为 $30.30 \times 10^8$ 元;其次是延安市,可获得 $14.01 \times 10^8$ 元的耕地生态补偿费;其余各市区可获得的耕地生态补偿费多集中于 $0 \sim 5 \times 10^8$ 元。从各市区耕地生态补偿量空间分布(图3)可以看出,陕西省耕地生态补偿量总体上呈环形分布,即中心地区最低,中心往外越来越高。

### 3 结论

该研究通过引入生态超载指数,构建了区域内的生态价值补偿量化模型,并以陕西省为例,对省内各市区的生态价值补偿量进行测算。结果表明,2019年陕西省耕地生态服务价值整体上有少量盈余,全省可获得生态补偿量 $2.10 \times 10^8$ 元;关中地区的西安市和杨凌示范区耕地生态处于赤字状态,尤其是西安市耕地生态超载指数达-2.15;陕北和陕南地区耕地生态处于盈余状态,该区域耕地生态状况良好。陕西省总体上可获得耕地生态补偿费,其中关中地区需支付

表4 2019年陕西省各市区耕地生态补偿量

Table 4 Ecological compensation of cultivated land in Shaanxi Province in 2019

地区 Region		耕地生态服务价值总量 The total value of ecological services of cultivated land $\times 10^8$ 元	超载指数 Overload index	补偿系数 Compensation factor	生态补偿量 Ecological compensation amount/ $\times 10^8$ 元
关中 Guanzhong	西安市	89.42	-2.15	0.3187	-61.39
	宝鸡市	54.77	0.21	0.3152	3.68
	咸阳市	104.07	0.22	0.3180	7.24
	铜川市	9.63	0.45	0.3008	1.30
	渭南市	28.62	0.34	0.3062	3.00
	杨凌示范区	4.93	-1.50	0.3089	-2.19
陕北 Northern Shaanxi	延安市	105.15	0.43	0.3082	14.01
	榆林市	147.63	0.67	0.3078	30.30
陕南 Southern Shaanxi	汉中市	60.67	0.13	0.3147	2.43
	安康市	41.40	0.24	0.3082	3.10
	商洛市	19.20	0.10	0.3137	0.62
合计 Total		665.49			2.10

$48.36 \times 10^8$ 元的耕地生态补偿费,西安市需支付的耕地生态补偿费最高( $61.39 \times 10^8$ 元),陕南和陕北地区分别可获得 $6.15 \times 10^8$ 和 $44.31 \times 10^8$ 元的耕地生态补偿费,说明经济水平和城镇化水平相对较高的地区应着力推进耕地生态价值补偿。该研究的测算结果与各市区的现实情况基本相符,可为

陕西省耕地生态补偿标准的制定和耕地生态补偿机制的建立提供依据,该测算方法可为陕西省各地区的耕地生态补偿费测算提供参考。值得说明的是,该研究基于前人的研究成果,将生态服务价值量的测算方法进行了改进,但耕地非农化过程中的生态价值补偿测算模型还存在一定的不足,有待

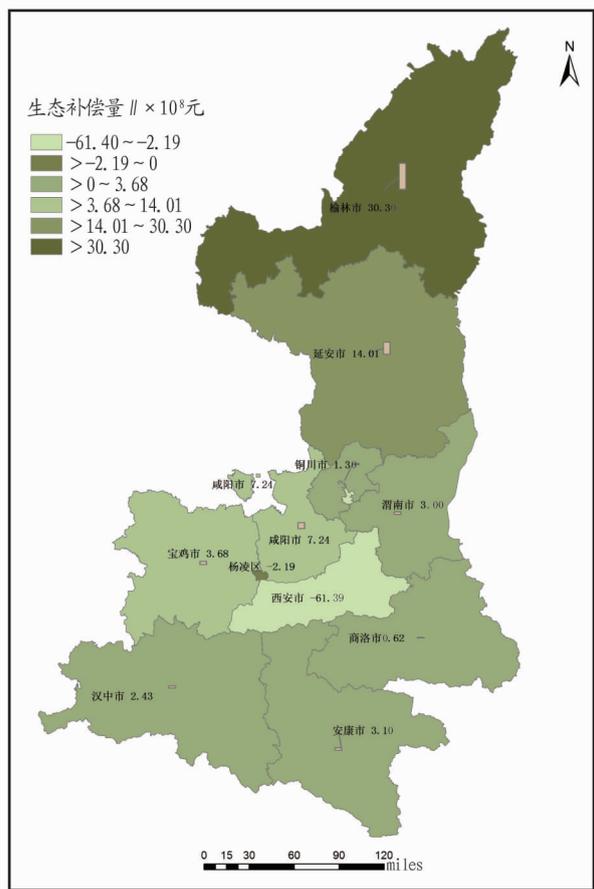


图 3 2019 年陕西省各市区耕地生态补偿量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of cultivated land ecological compensation in each urban area of Shaanxi Province in 2019

(上接第 66 页)

中丘陵地区 NPP 均值最高, 达  $669.29 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 而高山地区 NPP 均值最低, 仅为  $324.18 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。在面积占比上, 丘陵地区 NPP 面积占比最高, 达 38.68%, 而高山地区 NPP 面积占比最低, 仅为 0.07%, 表明植被 NPP 均值随海拔和坡度增加而呈现出减小态势。

#### 参考文献

- [1] 王修信, 孙涛, 朱启疆, 等. 利用 BEPS 模型估算城区植被净初级生产力的时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 1-5.
- [2] 蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等. 基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征[J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6708-6716.
- [3] 陈广洲, 李鑫海, 焦利锋, 等. 2000—2012 年淮南煤矿区植被净初级生产力的时空变化特征[J]. 生态环境学报, 2017, 26(2): 196-203.
- [4] 陶波, 李克让, 邵雪梅, 等. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 372-380.
- [5] 王继燕, 李爱农, 靳华安. 湿地植被净初级生产力估算模型研究综述[J]. 湿地科学, 2015, 13(5): 636-644.
- [6] 罗上华, 毛齐正, 马克明, 等. 城市土壤碳循环与碳固持研究综述[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7177-7189.
- [7] 刘昱, 陈敏鹏, 陈吉宁. 农田生态系统碳循环模型研究进展和展望[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 1-9.
- [8] 胡海清, 魏书精, 孙龙, 等. 气候变化、火干扰与生态系统碳循环[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 57-75.
- [9] 孙庆龄, 李宝林, 李飞, 等. 三江源植被净初级生产力估算研究进展[J]. 地理学报, 2016, 71(9): 1596-1612.
- [10] 简太敏. 重庆市植被净初级生产力的遥感估算及分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(4): 80-82.
- [11] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].

进一步优化和创新。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 李菲. 陕西省农地非农化过程中损失农地的生态价值研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2012.
- [3] 任方红. 农用地转用中土地生态补偿价值评估研究: 以杨凌区为例[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [4] 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.
- [5] 李玉恒, 胡智超, 刘彦随. 中国东部沿海地区农地非农化配置效益研究[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(2): 130-134.
- [6] 贺晓英, 李菲, 郭蓓. 农地非农化过程中损失农地的生态价值研究: 以陕西省为例[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 13134-13137.
- [7] 唐建, 沈田华, 彭钰. 基于双边界二分式 CVM 法的耕地生态价值评价: 以重庆市为例[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 207-215.
- [8] CLARK ARCHER J, LONSDALE R E. Geographical aspects of US farmland values and changes during the 1978-1992 period[J]. Journal of rural studies, 1997, 13(4): 399-413.
- [9] REGA C. Ecological compensation in spatial planning in Italy[J]. Impact assessment and project appraisal, 2013, 31(1): 45-51.
- [10] VAISSIÈRE A C, MEINARD Y. A policy framework to accommodate both the analytical and normative aspects of biodiversity in ecological compensation[J/OL]. Biological conservation, 2021, 253[2021-11-25]. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108897.
- [11] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [12] 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.
- [13] WACKERNAGEL M, REES W E. Our ecological footprint, reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: Gabriola Island New Society Publishers, 1996: 192-210.
- [14] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 401-406.
- [15] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 592-597.
- [16] 李金昌. 价值核算是环境核算的关键[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(3): 11-17.

植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424.

- [12] 孙成明, 孙政国, 刘涛, 等. 基于 MODIS 的中国草地 NPP 综合估算模型[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1079-1085.
- [13] 孙成明, 刘涛, 田婷, 等. 基于 MODIS 的南方草地 NPP 遥感估算与应用[J]. 草业学报, 2013, 22(5): 11-17.
- [14] 冯益明, 姚爱冬, 姜丽娜. CASA 模型的改进及在干旱区生态系统 NPP 估算中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(8): 39-43.
- [15] 史晓亮, 杨志勇, 王馨爽, 等. 基于光能利用率模型的松嫩平原玉米单产估算[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 385-390.
- [16] 周磊, 李刚, 贾德伟, 等. 基于光能利用率模型的河南省冬小麦单产估算研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(6): 108-115.
- [17] 张振宇, 钟瑞森, 李小明, 等. 中国西北地区 NPP 变化及其对干旱的响应分析[J]. 环境科学研究, 2019, 32(3): 431-439.
- [18] 程春晓, 徐宗学, 王志慧, 等. 2001—2010 年东北三省植被净初级生产力模拟与时空变化分析[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2401-2412.
- [19] 崔林丽, 杜华强, 史军, 等. 中国东南部植被 NPP 的时空格局变化及其与气候的关系研究[J]. 地理科学, 2016, 36(5): 787-793.
- [20] 李燕丽, 潘贤章, 王昌昆, 等. 2000—2011 年广西植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5220-5228.
- [21] 潘竟虎, 黄克军, 李真. 2001—2010 年疏勒河流域植被净初级生产力时空变化及其与气候因子的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1888-1899.
- [22] 戴黎聪, 郭小伟, 张法伟, 等. 青藏高原两种植被类型净初级生产力与气候因素的关系及周转值分析[J]. 生态学报, 2019, 39(14): 5241-5251.
- [23] 刘洋洋, 王倩, 杨悦, 等. 黄土高原草地净初级生产力时空动态及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2309-2319.
- [24] 秦豪君, 韩永翔. 近 56a 蒙古高原草原地上净初级生产力变化[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 914-922.
- [25] 朱文泉, 潘耀忠, 龙中华, 等. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算: 以中国内蒙古为例[J]. 遥感学报, 2005, 9(3): 300-307.
- [26] 刘凤, 曾永年. 近 16 年青海高原植被 NPP 时空格局变化及气候与人为因素的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(5): 1528-1540.