

DOI: 10.5846/stxb201912302823

韩晓佳,王继军,赵晓翠,王超远,夏雨.城市近郊型乡镇农业生态经济系统生态潜力及产业空间布局——以延安市河庄坪镇为例.生态学报, 2021, 41(12): 4720-4731.

Han X J, Wang J J, Zhao X C, Wang C Y, Xia Y. The potential of agricultural eco-economic system and the spatial distribution of its industry in suburban township: A case study of the Hezhuangping Town, Yan'an City. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 4720-4731.

# 城市近郊型乡镇农业生态经济系统生态潜力及产业空间布局

## ——以延安市河庄坪镇为例

韩晓佳<sup>1,3</sup>, 王继军<sup>1,2,\*</sup>, 赵晓翠<sup>2</sup>, 王超远<sup>4</sup>, 夏雨<sup>2</sup>

1 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 杨陵 712100

2 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨陵 712100

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 延安市宝塔区河庄坪镇人民政府, 延安 716000

**摘要:** 生态脆弱区抗干扰能力弱, 明确其系统的生态潜力, 在潜力的基础上开发利用资源对区域的可持续发展具有重要的意义。研究基于生态系统服务价值视角, 尝试测度农业生态经济系统生态潜力, 同时以三产融合典型代表乡镇为研究对象, 对其农业生态经济系统生态潜力和主导产业进行时空分析, 最后对生态系统加以功能分区。结果显示: (1) 气体调节、气候调节、水源涵养和土壤形成与保护是生态系统提供的主要服务功能。随退耕还林工程实施, 林地面积的增加使生态系统服务价值量随之上升, 在空间上呈现“中间低两翼高”的格局。(2) 农业生态经济系统生态潜力受服务价值与资源开发过程影响, 与生态系统服务价值在空间上相对一致, 呈现出“两翼高中间低, 北高南低”的分布格局, 其中, 退耕还林工程的推进直接导致林地的生态潜力增加, 耕地的生态潜力减少。(3) 研究区在退耕过程中形成以大棚种植为主的设施农业、以农林特色销售为主的商业型种植农业, 以山地苹果为主的林果产业以及以酒店商贸为主的服务行业。并随城镇一体化的推进, 主导产业呈现出由传统粗放型大田种植向集约型设施农业方向发展。在空间上形成了以镇区分布为主的第三产业、依托拐沟坡地的林果产业和沿川道展开的设施农业的产业布局。(4) 基于生态系统服务价值, 研究区农业生态经济系统功能区划分为城镇生态环境维护区(第 I 类型区)、农业生态保护区(第 II 类型区)、生态安全屏障区(第 III 类区) 3 个区域。

**关键词:** 生态系统服务价值; 农业生态经济系统; 生态潜力; 主导产业; 河庄坪镇

## The potential of agricultural eco-economic system and the spatial distribution of its industry in suburban township: A case study of the Hezhuangping Town, Yan'an City

HAN Xiaojia<sup>1,3</sup>, WANG Jijun<sup>1,2,\*</sup>, ZHAO Xiaocui<sup>2</sup>, WANG Chaoyuan<sup>4</sup>, XIA Yu<sup>2</sup>

1 Research center for soil and water conservation and ecological environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China

2 Northwest A&F University, Yangling 712100, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

4 People's Government of Hezhuangping Town, Baota District, Yan'an City, Yan'an 716000, China

**Abstract:** The anti-interference ability in ecologically fragile areas is weak. It is of great significance for regional sustainable

基金项目: 延安山仑院士工作站科研项目; 国家自然科学基金项目(41571515); 国家重点研发计划项目(2016YFC0501707, 2016YFC0503702)

收稿日期: 2019-12-30; 网络出版日期: 2021-04-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

development to make clear the ecologically potential of the ecosystem and utilize resources on the basis of the potential. Based on the perspective of ecosystem service value, we attempt to measure the ecological potential of the agricultural eco-economic system. A typically representative town of three industries integration was selected as the study area to analyze the ecological potential of their agricultural eco-economic system and the leading industries in temporal and spatial aspect. Finally, the ecological functional areas were divided. The results showed that (1) the gas regulation, climate regulation, water conservation, and soil formation and protection were main service functions of the ecosystem. With the implementation of the Grain to Green program (GTGP), the ecosystem service value presented an increasing trend as the woodland became the main type of land use. There was a pattern of "middle low, side high" in spatial distribution. (2) The potential of the agricultural eco-economic system was affected by the service value and resource development process, and the potential was relatively consistent with the ecosystem service value in spatial distribution. There was a distribution pattern of "middle low and side high, high in north, and low in south". Among them, the GTGP directly led to an increasing potential of woodland, and the potential of farmland was reduced. (3) In the process of GTGP, the facility agriculture, commodity farming, forest fruit industry and service industry were formed. With the development of urban integration, the leading industry developed a trend from the extensive form to intensive mode. The tertiary industry was mainly distributed in the center of the township. The forest fruit industry was distributed in mountainous area. The facility agriculture was mainly distributed in flat area. (4) Based on the value of ecosystem services, the functional areas of agricultural eco-economic system in the study area were divided into three areas: urban eco-environment maintenance area (type I area), agricultural ecological protection area (type II area), and ecological security barrier area (type III area).

**Key Words:** ecosystem service value; agricultural eco-economic system; ecological potential; leading industry; Hezhuangping township

新时代背景下,随着生态文明建设新要求的提出,实现绿色转型、建设命运共同体等理念相继被提上日程。而实现资源的有效利用与生态保护的有机统一是走向社会经济发展与环境保护双赢的必经之路<sup>[1]</sup>。其中,为实现两者的协同发展,需进一步明确生态系统的生态潜力,在潜力的基础上开发利用区域内资源是促进可持续发展、完成“两山理论”落地的关键。作为人类生存的基本系统,农业生态经济系统交互耦合了农业生态系统和经济系统<sup>[2]</sup>,其整体结构和功能的定量化研究,寻求系统内部经济稳定、环境良好、资源合理且高效利用的有序状态是长期以来不同领域学者所具有的共同关注点<sup>[3-5]</sup>,且研究成果多集中在构建指标体系<sup>[6]</sup>,运用能值理论<sup>[7]</sup>、耦合协调度模型<sup>[8]</sup>等,分别在干旱区绿洲<sup>[9]</sup>、黄土丘陵区<sup>[10]</sup>、农牧交错区<sup>[11]</sup>、喀斯特地区<sup>[12]</sup>等对农业生态经济系统的演变规律<sup>[13]</sup>、耦合过程与态势<sup>[14]</sup>、耦合机制<sup>[15]</sup>、安全评价<sup>[16]</sup>及其预警机制<sup>[17]</sup>加以探讨。其中,对于生态系统生态潜力的研究多集中于基于能值分析,注重生态系统的生产过程,且首要考虑无机环境的能量与物质循环,并综合运用农业生态系统生产潜力模型加以研究<sup>[18]</sup>。而农业实质上是由自然系统经人为干扰后,以其农业化的结构和功能获取更多产品的特定生态系统,在其潜力研究中仅基于能值讨论初级生产力,对于农业生态经济系统的整体性功能缺乏整合,因此需要引入生态系统服务价值(Ecosystem Service Value)。

生态系统服务是人类从生态系统中得到的直接或间接的全部收益,是人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[19]</sup>。自生态系统被视为一种自然资本被提出后,对生态系统提供的服务加以经济价值量化,将有助于避免自然资源的过度消耗与生态系统破坏。由此,生态系统服务价值的评估在学术界开始进入白热化阶段,在研究对象<sup>[20]</sup>、价值构成<sup>[21]</sup>、评估方法<sup>[22]</sup>以及时空变化<sup>[23]</sup>等方面取得丰富的研究成果。研究尺度经历了从全球<sup>[24]</sup>、区域<sup>[25]</sup>、流域<sup>[26]</sup>、城市<sup>[27]</sup>到单项生态系统服务功能价值评估<sup>[28]</sup>,直接市场法、条件价值法以及环境选择模型法等相继被应用于价值量的评估之中。而生态系统服务功能作为农业生态经济系统生产力的重要组成部分,将服务价值转化为生态经济系统潜力,对于科学合理测算农业生态经济系统生态潜力,制定相应区域

农业生态经济系统开发警戒线具有重要的意义。

延安市河庄坪镇地处生态环境脆弱的黄土高原上,是城市化进程中三产融合的典型代表乡镇,兼具了生态环境脆弱与经济发展强度较高的特点。因此,了解其农业生态经济系统生态潜力及其主导产业的时空变化,对于指导转型中的乡村实现人地协调发展,建立持续高效的农业生态经济系统具有重要的意义。鉴于此,本文选取近郊型河庄坪镇为研究对象,基于生态系统服务价值的定量计算结果,尝试将服务价值量转化为生态经济系统生态潜力,同时对退耕还林后近 20 年研究区的主导产业进行分析,最后基于生态系统服务价值加以功能区划分,以期把握研究区资源开发适度性与产业间的相互关系,从而促进农业生态系统中社会经济发展与资源环境的合理高效利用。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

河庄坪镇位于延安市宝塔区北部(36°40′—36°45′N,109°20′—109°25′E),延河中上游地带,是延安市北部的城郊镇,包茂高速、省道 206 南北向纵贯镇区,交通区位优势明显(图 1)。该地属典型的黄土高原地貌特征,以丘陵、沟壑为主,高原大陆性气候特征显著,自然生态条件差,主要以种植玉米、谷子等农作物为主。全镇行政区域面积 102 km<sup>2</sup>,总人口 3.24 万人,其中农业人口 9912 人。在城乡统筹、美丽乡村建设、环境综合整治以及人居环境建设等工程的推进下,河庄坪镇于 2014 年被确定为国家级重点镇。目前全镇已初步形成三大主导产业,至 2018 年底,全镇人均纯收入达到 16200 元。

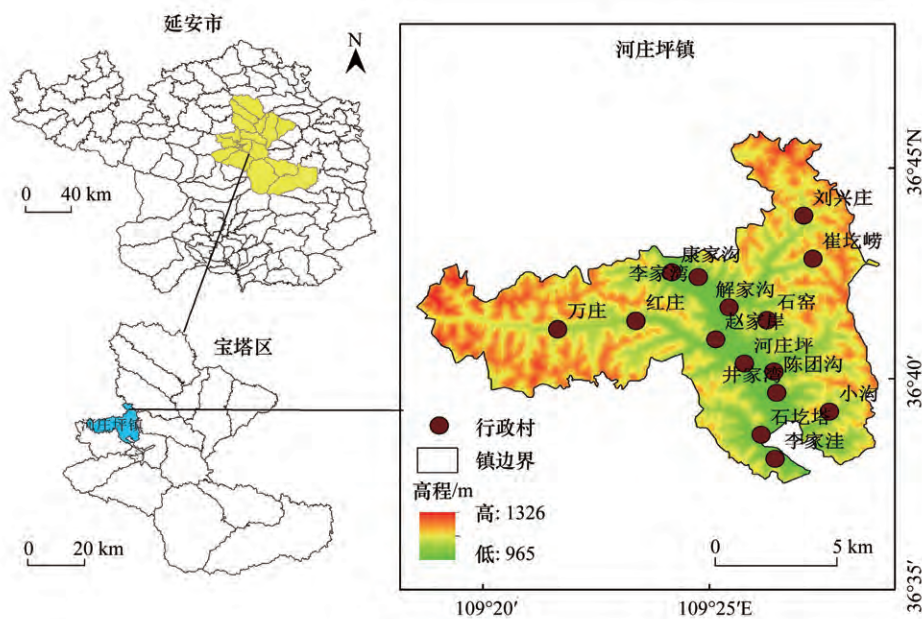


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

### 1.2 数据来源

基于退耕还林工程实施 20 年的背景下,本研究采用 1995 年、2005 年和 2018 年三个时间节点的数据以分别表征退耕还林工程实施的三个阶段,即退耕前(1999 年前)、前退耕时期(2000—2010 年)和后退耕时期(2010 年—至今)。其中使用的土地利用数据和社会经济数据来源于宝塔区河庄坪镇人民政府提供的土地变更数据和统计数据,各行政村的主导产业演变情况来源于对村干部的半结构化访谈。参考土地资源分类标准,河庄坪镇土地利用划分为林地、草地、耕地、园地、水域、建设用地以及未利用地 7 种土地利用类型。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 生态系统服务价值估算法

本研究采用谢高地<sup>[29]</sup>等提出的当量因子法来测算河庄坪镇的生态系统服务价值。该方法将生态系统服务功能确定为气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产和休闲娱乐 9 项服务。同时结合河庄坪镇的实际生产情况,即主要播种粮食作物,包括玉米、谷子、大豆等的播种面积和产量,以 2015 年全国农作物平均价格计算单位农田生态系统服务价值量,按单位面积农田生态系统服务价值为平均粮食单产市场经济价值的 1/7 计算<sup>[30]</sup>,最终确定不同土地类型单位面积生态系统服务价值系数(表 1)。

表 1 研究区不同生态系统单位服务价值系数/(元/hm<sup>2</sup>)

Table 1 Unit service value coefficient of different ecosystems in the study area

生态系统服务 Ecosystem services	林地 Woodland	草地 Grassland	水域 Water	农田 Farmland	园地 Orchard land	未利用地 Unused land
气体调节 Gas regulation	2393.02	546.98	0	341.86	444.42	273.49
气候调节 Climate regulation	1846.04	615.35	314.51	608.51	611.93	30.77
水源涵养 Water conservation	2187.90	546.98	13934.19	410.23	478.60	283.74
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	2666.50	1333.25	6.84	998.23	1165.74	673.46
废物处理 Waste disposal	895.67	895.67	12430.01	1121.23	1008.49	451.25
生物多样性保护 Biodiversity conservation	2228.92	745.25	1702.46	485.44	615.35	448.86
食物生产 Food production	68.37	205.12	68.37	683.72	444.42	105.98
原材料生产 Raw material production	1777.67	34.19	6.84	68.37	51.28	17.09
娱乐文化 Amusement culture	875.16	27.35	2967.34	6.84	17.09	17.09

最后依据研究区不同时段、不同土地利用类型的面积和单位面积生态系统服务价值计算生态系统服务总价值<sup>[31]</sup>(表 2)。计算公式如下:

$$E_T = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 S_i C_{ij} \quad (2)$$

式中  $E_T$  为生态系统服务价值(元/a);  $S_i$  为  $i$  类土地类型的面积(hm<sup>2</sup>);  $C_{ij}$  为单位面积的生态系统服务价值(元 hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)。

表 2 研究区 1995—2018 年不同土地利用类型生态系统服务价值变化

Table 2 Changes of ecosystem service value (ESV) of different land use types from 1995 to 2018 in study area

土地类型 Land use type	ESV/(10 <sup>6</sup> 元/a)					年均增长率 Average annual growth rate
	1995 年	变化率 Change rate	2005 年	变化率/ Change rate	2018 年	
耕地 Farmland	25.98	-0.54	11.81	-0.52	5.67	-0.034
林地 Woodland	8.96	5.00	53.78	0.11	59.76	0.247
水域 Water	6.39	-0.51	3.14	0	3.14	-0.022
草地 Grassland	11.39	0	11.39	0.09	12.38	0.003
园地 Orchard land	4.84	0.20	5.80	0.50	8.71	0.035
未利用土地 Unused land	4.92	-0.19	3.98	-0.41	2.34	-0.023
合计 Total	62.48	0.44	89.9	0.02	92	0.021

为进一步描述生态系统服务价值的空间变化,借鉴景观生态学中网格采样法,对研究区进行系统采样,采样单元为 1km×1km,共 102 个样方(图 2),分别计算每一个样方的生态系统服务价值,并将其作为样方单元格的中

心点的属性,在 ArcGIS 地统计模块中采用 Kriging 插值法得到研究区生态系统服务价值的空间分布图。

### 1.3.2 农业生态经济系统生态潜力测算

生态系统服务价值的量化实质上反映了生态系统在理论上所能提供的最大价值量。而其中,生态系统的经济价值有多少能够为人类所开发利用,又有多少经济价值仍停留在理论层面,是我们有待进一步解决的问题。在本研究中,生态经济系统生态潜力用来表示生态系统服务中未能全部转化为实际经济的部分,是生态系统中存在的生态潜力,潜力的大小衡量了实际经济活动对生态系统的开发利用是否合理,若潜力值为正,说明生态系统未被充分利用,仍存在尚可利用的部分;若潜力值为负值,则说明对生态系统的开发和利用已逼近生态承载力,需要对该利用方式加以重新的考量;若潜力

值为零,则说明生态系统服务价值量已全部转化为实际经济价值。农业生态经济系统提供食物生产和原材料生产功能,是能够为人类所直接利用的终端生态系统服务<sup>[32]</sup>,因此,在本研究中,选择食物生产和原材料生产两项服务的生态系统服务价值量作为农业生态经济系统提供的理论价值量,通过测算不同土地利用上农业生产活动的实际经济价值,包括各项农业生产活动的经济收入等,可得到农业生态经济系统的实际经济价值量。结合研究区的实际农业生产活动,对不同土地利用类型之上的产业活动加以归类和划分,即耕地主要为种植产业,林地为原料加工业,园地为山地苹果产业,水域为渔业,草地为养殖业。由于建设用地提供的生态系统服务价值默认为零,所以在本文中考虑以建设用地为主要活动场地的第三产业。以不同土地类型上产业的经济收入代表该土地类型上产生的经济价值,分别构建不同土地类型之上产业活动价值量系数(即单位面积上农业经济活动价值量),最后以面积和价值系数的乘积表示实际生产经济价值量。

其中,农业生态经济系统生态潜力为生态系统的理论价值量与实际生产经济价值量之差(表 3)。计算公式如下:

$$D_p = D_{ESV} - D_{AP} \quad (3)$$

式中  $D_{ESV}$  为理论价值量,  $D_{AP}$  为实际生产经济价值量,  $D_p$  为农业生态经济系统生态潜力。

表 3 研究区 1995—2018 年农业生态经济系统潜力/( $\times 10^6$ 元/a)

Table 3 The potential of agro-ecological economic system from 1995 to 2018 in the study area

土地类型 Land use type	1995 年			2005 年			2018 年		
	$D_{ESV}$	$D_{AP}$	$D_p$	$D_{ESV}$	$D_{AP}$	$D_p$	$D_{ESV}$	$D_{AP}$	$D_p$
耕地 Farmland	4.14	1.05	3.12	1.89	2.51	-0.62	0.90	2.11	-1.21
林地 Woodland	1.11	2.70	-1.59	6.65	3.08	3.57	7.39	3.59	3.8
水域 Water	0.01	0.02	-0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01
草地 Grassland	0.55	0.21	0.34	0.56	0.11	0.45	0.60	0.10	0.5
园地 Orchard land	0.50	0.28	0.22	0.59	0.44	0.15	0.89	1.42	-0.53
合计 Total	6.31	4.26	2.05	9.7	6.15	3.55	9.79	7.22	2.57

## 2 结果分析

### 2.1 生态系统服务价值的时空变化

退耕前,研究区的生态系统服务主要由耕地和草地提供,其服务价值量占总价值量的 59.8%,废物处理、土壤形成与保护、水源涵养和生物多样性保护是这一阶段生态系统的主要服务功能。前退耕时期,随退耕还

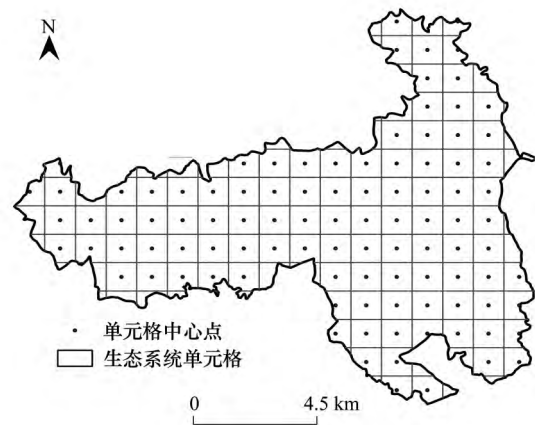


图 2 研究区网格采样

Fig.2 Grid division of the study area

林工程的开展,林地面积增加,原材料生产、气体调节、生物多样性保护以及娱乐文化等服务功能价值量增加明显,分别以 3.18、1.10、0.65 和 1.82 的变化率增加。耕地面积的减少,直接导致了食物生产功能价值量的减少,10 年间共减少 0.36%。后退耕时期,生态系统服务价值总量继续增加,增速开始减缓,耕地的生态系统服务价值量继续下降(表 4)。

表 4 研究区 1995—2018 年生态系统服务价值变化

Table 4 Changes of ESV from 1995 to 2018 in study area

服务功能 Ecosystem services	生态系统服务价值 $ESV/( \times 10^6 \text{元/a})$					年均增长率 Average annual growth rate
	1995 年	变化率 Change rate	2005 年	变化率 Change rate	2018 年	
气体调节 Gas regulation	5.59	1.10	11.73	0.06	12.42	0.053
气候调节 climate regulation	6.61	0.57	10.40	0.04	10.82	0.028
水源涵养 Water conservation	8.69	0.45	12.61	0.04	13.15	0.022
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	12.74	0.39	17.71	0.01	17.97	0.018
废物处理 Waste disposal	13.21	-0.14	11.31	-0.06	10.68	-0.008
生物多样性保护 Biodiversity conservation	7.70	0.65	12.69	0.03	13.13	0.031
食物生产 Food production	4.95	-0.36	3.15	-0.63	2.52	-0.021
原材料生产 Raw material production	1.61	3.18	6.74	0.10	7.39	0.156
娱乐文化 Amusement culture	1.27	1.82	3.58	0.09	3.92	0.091

从生态系统服务价值量的空间分异来看,大致呈现出中间低两边高的空间格局,并随时间的变化,高值区面积扩大,出现沿川道向两边增加的趋势(图 3)。退耕前,生态系统服务价值量北高南低,高值和较高值区覆

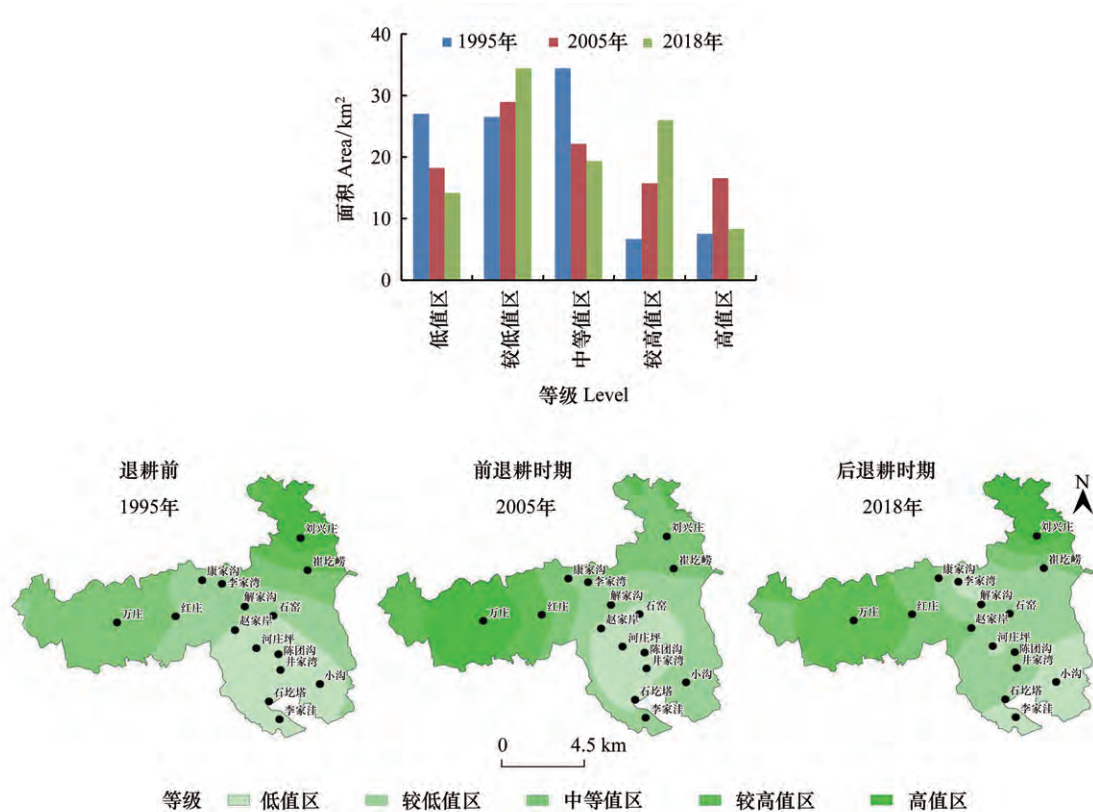


图 3 1995—2018 年研究区生态系统服务价值空间分异

Fig.3 Spatial distribution of ESV from 1995 to 2018 in the study area

盖面积达 14.23 km<sup>2</sup>, 中值区面积约 34.39 km<sup>2</sup>, 占到总面积的 33.7%。较低值区和低值区覆盖面积最广, 主要分布在沿川道的中部村域, 总面积达 53.55 km<sup>2</sup>, 生态系统服务价值量较低是该阶段的主要特征。前退耕时期, 生态系统服务价值量大幅的增加, 空间分布上仍呈现北高南低。其中低价值量在空间上以河庄坪、井家湾等村域为中心, 向四周扩散, 低值区面积开始减小, 逐渐向较高和高价值区转换。后退耕时期, 生态系统服务价值量基本形成两翼高中间低的空间分布格局, 低值区和高值区面积都有所减少, 研究区呈现出生态系统服务价值量的空间差异性减少、价值总量上升的特点。

## 2.2 农业生态经济系统生态潜力及其空间分异

农业生态经济系统生态潜力测算结果显示(图4)在研究期间, 退耕还林工程的推进直接导致了林地生态经济系统生态潜力增加, 耕地生态潜力的下降。随生态系统服务价值量的增加, 农业生态经济系统生态潜力的峰值出现在前退耕时期。而后, 随着不同土地类型之上的农业活动的开展, 研究区内实际经济价值量大幅增加, 系统潜力开始下降, 表现在耕地、林地、水域和园地潜力值的下降。伴随封山禁牧的力度加大, 牧业的生产经济价值量开始减少, 草地生态经济系统潜力的上升是其重要的表现。其中, 耕地面积的减少, 由耕地提供的以粮食生产为主的生态系统服务价值量随之降低, 而设施农业在研究区内的迅速发展, 进一步加剧了耕地生态经济系统潜力的降低, 说明研究区内耕地生态系统服务价值量被较好地转换成实际经济价值, 注重其经济系统潜力价值的过度开发, 是研究区当下所要关注的重点。

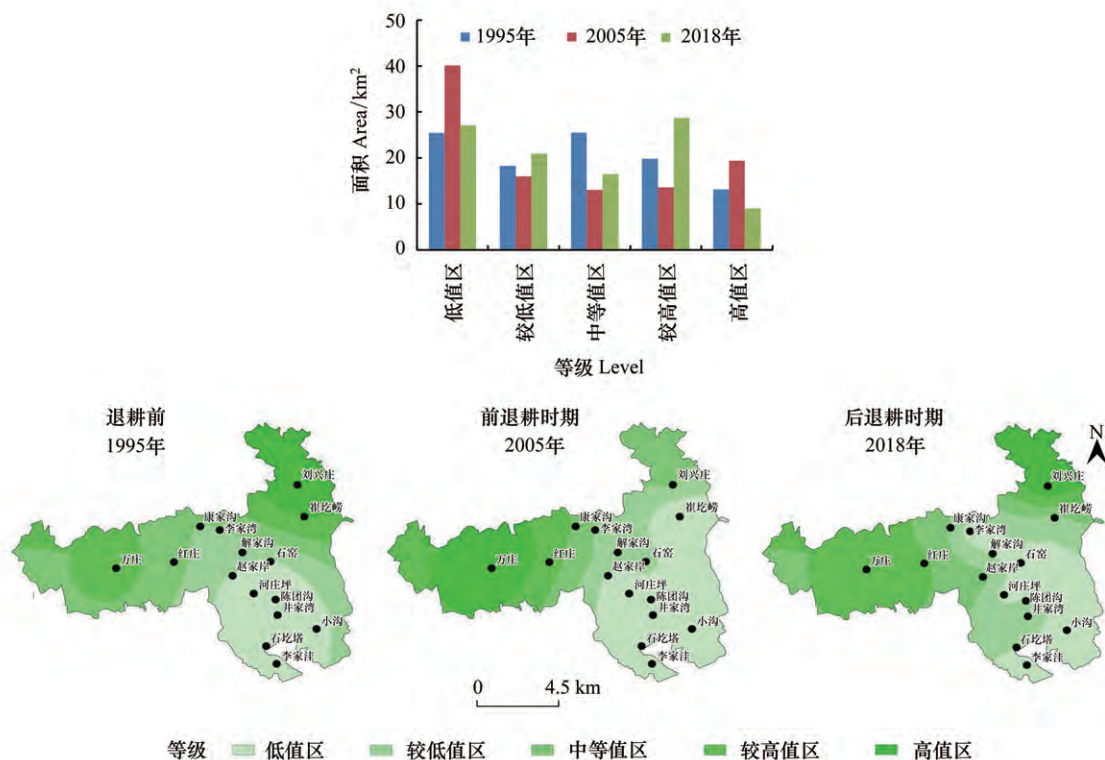


图4 1995—2018年研究区农业生态经济系统潜力空间分异

Fig.4 Spatial distribution of agro-ecological economic system potential from 1995 to 2018 in the study area

农业生态经济系统生态潜力与生态系统服务价值量的分布在空间上相对一致, 均呈现出“两翼高川道低, 北高南低”的分布格局。退耕前, 该阶段的农业活动多以自给自足的生产为主, 并未形成规模型经济活动, 农业生态经济系统生态潜力值较高, 各等级潜力面积之间差异较小。其中, 潜力的高值分布在林地面积覆盖较广, 人类干扰较少的刘兴庄、崔圪崂和万庄。潜力的低值区分布在镇区中心周围, 呈现出向外增加的趋势。前退耕时期, 各村域规模产业逐渐成型, 生态经济系统潜力高值重心向产业单一的西北方向偏移。潜力

低值面积开始向北扩大,较 1995 年增加了 14.67 km<sup>2</sup>,该阶段的生态经济系统潜力值在空间上形成由东南向西北方向依次递减的空间格局。后退耕时期,潜力低值沿川道南北方向延伸明显,潜力值由中间向两侧依次递增,这一阶段低值区和高值区面积下降,较高值区面积增加显著,说明生态经济系统潜力的空间分异性降低,由生态系统提供的潜在价值量被较好地利用。

### 2.3 主导产业演变及其布局

研究区在城镇化和退耕还林政策推动下,内部村域的主要农业生产活动发生了变迁,由传统的农业生产,逐渐向集约化、专业化、组织化和社会化相结合的新型农业经营体系发展。各村域的主体功能演变,可追溯 20 世纪 80 年代,结合退耕还林时段,主导产业在三阶段内呈现出不同的生产功能和特点(表 5)。从变化过程来看,主导产业呈现出由传统农业向集约式设施农业、劳务输出和服务行业为主的第三产业方向发展,以李家洼、康家沟、井家湾、小沟和石窑等村为代表。其中,万庄和红庄因其适宜的自然地理条件,且种植山地苹果历时较长,外加成熟的管理经验和完善的种植技术,在退耕还林后,主导产业未有明显变化,至今仍以山地苹果为主。

表 5 研究区行政村主导产业演变及其驱动要素

Table 5 The evolution of leading industry and its driving factors in the study area

行政村 Administrative village		退耕前(1980—1999年) Before GTGP	前退耕时期(2000—2010年) Pre-GTGP period	后退耕时期(2011年—至今) Post-GTGP period
李家洼	主导产业	种植(旱地耕作)	种植、劳务输出	商贸服务业、劳务输出
	驱动要素	粮食需求	经济效益	城镇化
小沟	主导产业	果树、种植	种植、劳务输出	商贸服务业、劳务输出
	驱动要素	合作社推广、粮食需求	经济效益	土地整治、征地扩建
井家湾	主导产业	种植业、设施大棚	大棚、农家乐	农家乐、民宿
	驱动要素	粮食需求、市场需求	市场需求、经济效益	工程征地、项目带动
石屹塔	主导产业	种植、劳务输出	商贸、劳务输出	商贸服务业、劳务输出
	驱动要素	粮食需求、经济效益	城镇化	棚户区改造
陈团沟	主导产业	果树、种植	种植、劳务输出	劳务输出
	驱动要素	合作社推广、粮食需求	城镇化	土地整治、城镇化
河庄坪	主导产业	种植业、设施大棚	商贸、大棚	商贸服务业
	驱动要素	粮食需求、市场需求	城镇化	棚户区改造
石窑	主导产业	种植业	大棚、商贸、劳务输出	商贸服务业、劳务输出
	驱动要素	粮食需求	市场需求、城镇化	棚户区改造
赵家岸	主导产业	种植业	大棚、劳务输出	大棚、劳务输出
	驱动要素	粮食需求	政策支持、市场需求	市场需求
康家沟	主导产业	种植业	大棚	大棚
	驱动要素	粮食需求、耕地面积广	市场需求、城镇化	市场需求、交通发展
李家湾	主导产业	种植业	大棚、劳务输出	大棚、劳务输出
	驱动要素	粮食需求	市场需求、周边辐射带动	投资招商带动发展
解家沟	主导产业	种植业	大棚	大棚、劳务输出
	驱动要素	粮食需求、资源禀赋	市场需求	市场需求、经济收入
万庄	主导产业	种植业、养殖业	山地苹果	山地苹果、劳务输出
	驱动要素	粮食需求、经济效益	技术引进、政策支持	成熟技术与管理机制
红庄	主导产业	种植、山地苹果	山地苹果、养殖	山地苹果、劳务输出
	驱动要素	合作社功能、粮食需求	技术完善	管理完善、技术成熟
刘兴庄	主导产业	种植、山地苹果	大棚、养殖	大棚、劳务输出
	驱动要素	合作社推广、粮食需求	土地流转、市场需求	产业扶贫、经济收入
崔屹崂	主导产业	山地果树	种植、劳务输出	劳务输出
	驱动要素	合作社推广	交通环境改善、经济收入	交通环境改善、经济收入

GTGP: 退耕还林工程 Grain to Green Program



从空间变化来看(图5),退耕前,以种植业为代表的传统农业为研究区的主导产业,且多分布在地势平坦的川道地区。林果产业主要分布在川道两侧的山地拐沟村。其中,河庄坪和井家湾村因其便利的交通条件和市场需求,大棚蔬菜开始推广,率先兴起大棚为代表的设施农业。退耕还林后,人均耕地减少,粮食种植效益低下,大多数农户实现了生计的初步转型,集约经营式的设施大棚和外出务工成为该阶段农户的主要选择,设施农业成为研究区的主导产业。位于拐沟位置的刘兴庄和崔屹崂则由于缺乏山地苹果种植技术外加品种老化,设施大棚和外出务工逐渐替代了果树种植。而位于镇中心的河庄坪和石屹塔,在城镇一体化趋势的带动下,以商贸等各种服务业为主的第三产业开始发展。后退耕时期,交通等各种基础设施相继完善,第三产业开始以镇区(河庄坪、井家湾)为中心,向周边辐射发展,在空间上形成了以镇区分布为主的第三产业、依托拐沟坡地的林果产业和沿川道展开的设施大棚的产业空间格局。其中第三产业在距镇区中心远近呈现出功能演变,由中心向四周依次呈现出商业功能、生活服务功能和居住功能。

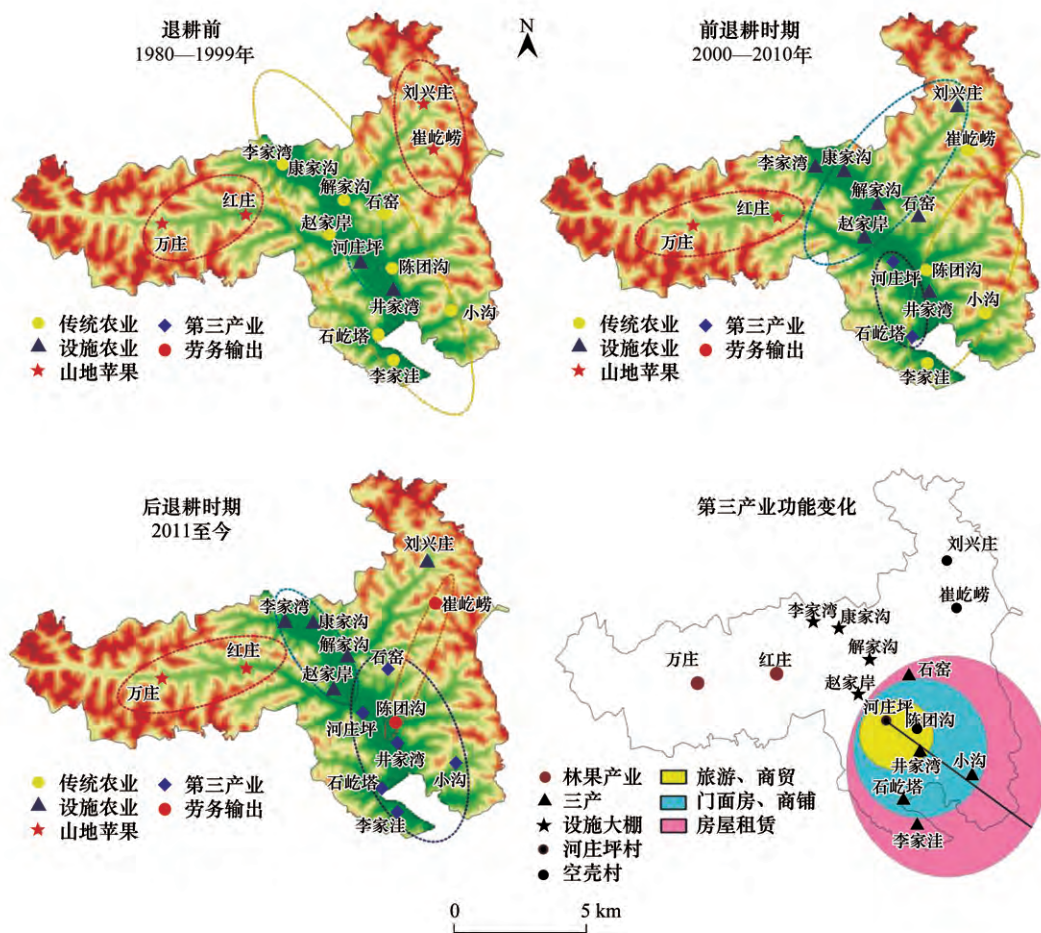


图5 研究区 1995—2018 年主导产业空间布局及其演化特征

Fig.5 Leading industry spatial layout and its evolution characteristics from 1995 to 2018 in the study area

### 2.4 农业生态经济系统功能分区

基于生态系统服务价值制定不同的生态系统战略分区管理目标,以采取不同的空间开发保护策略。以各村域的生态系统服务价值为基准,在 SPSS 中完成系统聚类分区(图6和表6)。河庄坪镇农业生态经济系统可划分为3个区:即第I类型区以川道两侧村域为主的城镇环境维护区,该区域建设用地比重较大,提供的生态系统服务价值量和生态系统潜力值也最低,平均值约为  $2.76 \times 10^6$  元  $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ;第II类型区为农业生态保护区,该区域农田生态系统覆盖面积大,生态系统服务价值量居于中等水平,平均为  $6.81 \times 10^6$  元  $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ;第III类为生态安全屏

障区,该区域林草面积广,人类干扰少,生态系统服务功能价值量最高,达到  $10.09 \times 10^6$  元  $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。

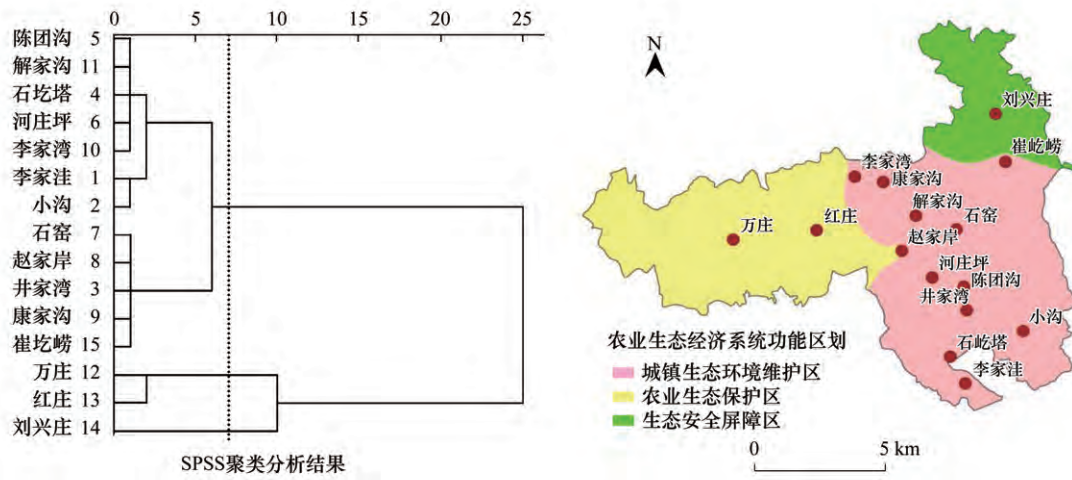


图 6 研究区农业生态经济系统功能分区

Fig.6 Functional division of agro-ecological economic system in the study area

表 6 农业生态经济系统功能分区面积比例

Table 6 Proportion of functional area of agricultural eco-economic system

类别 Type	功能分区 Functional area	主要土地利用类型结构特征 Characteristics of land use structure/%				行政村 Administrative village
		林地 Woodland	农田 Farmland	建设用地 Built-up land	水域 Water	
I	城镇环境维护区	58.06	18.94	10.86	0.22	陈团沟、解家沟、石屹塔、河庄坪、李家湾、李家洼、小沟、石窑、赵家岸、井家湾、康家沟、崔屹崂
II	农业生态保护区	36.37	40.04	5.62	0.95	万庄、红庄
III	生态安全屏障区	54.69	18.81	2.77	0	刘兴庄

### 3 讨论

参照并对比已有退耕还林区生态系统服务价值的研究成果显示,退耕还林工程对土地利用程度影响较大,退耕区内生态系统服务价值量的变化主要集中在耕地、林地和草地之间<sup>[33]</sup>。其中,林地和草地提供的服务价值量比重最大,且生态系统服务价值的变化主要发生在前退耕阶段<sup>[34]</sup>。退耕后,退耕区内储蓄了较大的碳汇潜力,其生态系统的服务功能以调节和支持功能为主,进一步说明了退耕还林工程对生态系统的优化和改善<sup>[35]</sup>。而耕地面积的锐减,导致生态系统的食物生产能力下降<sup>[36]</sup>,但从生态经济系统生态潜力结果来看,单位面积耕地的实际经济价值量在增加,耕地提供的生态系统服务价值量被较好地转化为经济价值量。从生态系统服务价值与生态经济系统生态潜力来看,生态系统服务价值作为自然资本的货币转化形式,蕴含了自然生态环境所提供的巨大潜在价值量,以生态系统服务价值表征农业生态经济系统生态潜力,与唐秀美等研究的切入视角相一致<sup>[37]</sup>。而生态系统服务价值量作为理论上提供的经济价值,最大程度上反映了生态系统的功能价值的最高供给力,即生态系统的潜在价值量。因此,在相关研究中,生态系统服务价值即等同与生态系统的生态潜力值。而在本研究中,农业生态经济系统生态潜力则是由理论经济价值和实际农业活动的经济价值之差,用以表征生态系统之中未被充分利用的状态,即反映生态经济价值量的转化效率,以此能更为直观地反应资源的利用与环境之间的关系。

而基于生态系统服务价值的功能区划分,充分体现了三生空间(“生活-生产-生态”空间)的功能在空间中的聚集性<sup>[38]</sup>。其中,城镇环境维护区在城镇一体化的推动下,建设面积比重逐渐增大,承载着研究区内居

住、交通、存储和公共服务的功能<sup>[39]</sup>,同时也是维持区域系统运行的基地,是研究区内的生活空间。针对该区域的调控应当以优化经济社会发展规模和格局为主,重点加强城镇建设用地的布局与扩张,同时加强绿化用地面积以提升该类型区域内气候调节、废物处理以及娱乐文化等功能,在提供基本物质生活保障的同时,提升精神生活保障功能。农业生态保护区则是研究区内的生产空间,兼具有物质能源供给与生产功能,该区域农田生态系统覆盖面积大,是河庄坪镇的主要农业生产区,该区域应当加强对农田保护,以提升土壤形成与保护、食物生产、原材料提供等功能。生态安全屏障区主要以林地和草地为主,气体和气候调节是主要的生态服务功能,也是研究区的生态空间。对于该区域的发展需要注重开发建设用地的强度和速度,保护生态用地,以维护区域的气体、气候调节功能、水源涵养功能、土壤形成与保护功能以及生物多样性保护等功能。

从生态经济系统潜力与主导产业互动关系来看,第三产业和设施农业的发展,带动了生态系统潜在价值量的转换,潜力低值区沿川道南北延伸趋势明显,而潜力高值区则主要以兼具生态和经济效益为一体的山地苹果产业为主,在研究区内生态潜力的高、低值的空间差异性明显。因此,如何在产业发展中科学地转换生态系统的潜在价值,需要进一步科学且合理地测度生态潜力,从生态经济系统最低开发控制标准和最高开发警戒线切入确定区域合理开发阈值,对于避免因过度开发造成资源枯竭或因闲置造成资源浪费具有重要的意义。同时,鉴于生态系统服务价值包含有直接或间接服务价值的估算,而实际农业生产活动中主要以考量原材料生产、粮食生产等直接为人类所使用的服务功能,因此,在农业生态经济系统生态潜力测算中,需要进一步完善对间接服务价值的开发和利用,亦是今后关于农业生态经济系统生态潜力测算精准性的需求。

#### 4 结论

调节服务和支持服务是研究区生态系统提供的主要服务功能。林地对于生态系统服务价值的贡献率最大,表现在随退耕还林工程的实施,林地面积的增大致使生态系统的服务价值量随之上升。生态系统服务价值在空间上沿川道向两边增加,呈现出“中间低两翼高”的空间格局。

农业生态经济系统生态潜力与生态系统服务价值在空间上相对一致,大致呈现“两翼高中间低、北高南低”的空间分布格局。退耕还林工程的推进直接导致了林地的生态经济系统潜力的显著增加,耕地的生态经济系统潜力下降。其中,生态系统潜在价值量的转化效率是影响生态经济系统生态潜力的主要原因。

研究区在退耕过程中形成以大棚种植为主的设施农业、以农林特产销售为主的商业型种植业、以山地苹果为主的林果产业以及以酒店商贸为主的服务行业,在空间上形成了以镇区分布为主的第三产业、依托拐沟坡地的林果产业和沿川道展开的设施大棚的产业空间格局。

研究区的功能区划分为城镇生态环境维护区(第Ⅰ类型区)、农业生态保护区(第Ⅱ类型区)、生态安全屏障区(第Ⅲ类区)3个区域。

#### 参考文献(References):

- [1] 王雨辰. 人类命运共同体与全球环境治理的中国方案. 中国人民大学学报, 2018, 32(4): 67-74.
- [2] 王继军, 姜志德, 连坡, 郭满才, 姜峻, 苏鑫, 李慧, 牛艳丽. 70年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势. 生态学报, 2009, 29(9): 5130-5137.
- [3] 蒙吉军, 龙花楼, 刘松. 绿洲农业生态经济系统的结构与功能分析——以张掖绿洲为例. 应用生态学报, 1999, 10(2): 213-217.
- [4] Shi W Y, Wang K B. Assessment of ecological, economic and social impacts of grain for green on the counties of north Shaanxi in the Loess Plateau, China: a case study of Mizhi County. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(70): 15763-15769.
- [5] 李玥, 王继军, 刘普灵, 成思敏, 李茂森, 乔梅. 退耕还林工程与农业生态经济社会系统协同性研究——以安塞县为例. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1179-1190.
- [6] 任春燕, 王继军. 黄土丘陵区农业生态经济效益评价指标体系的构建. 水土保持通报, 2009, 29(1): 155-159.
- [7] 王闰平, 荣湘民. 山西省农业生态经济系统能值分析. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2259-2264.
- [8] 王继军, 郭满才, 姜志德, 苏鑫, 李慧, 李奇睿. 农业生态经济系统耦合过程模型的建立及应用. 生态学报, 2010, 30(9): 2371-2378.
- [9] 蔡文春, 杨德刚, 杨永平. 干旱区绿洲农业生态经济系统结构与功能分析——以塔克拉玛干沙漠南缘的墨玉县为例. 干旱区资源与环境

境, 2005, 19( S1): 28-32.

- [10] 刘佳, 王继军. 黄土丘陵区农业生态系统和经济系统的互动关系——以安塞县纸坊沟小流域为例. 应用生态学报, 2009, 20( 6): 1401-1407.
- [11] 何文清, 陈源泉, 高旺盛, 尹存宝. 农牧交错带风蚀沙化区农业生态系统服务功能的经济价值评估. 生态学杂志, 2004, 23( 3): 49-53.
- [12] 韩清延, 胡宝清, 陈琪. 喀斯特地区都安瑶族自治县农业生态经济系统能值分析. 广西科学院学报, 2010, 26( 2): 188-192.
- [13] 李文军, 郝明德, 牛育华. 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态经济系统演变过程. 水土保持通报, 2016, 36( 1): 298-302.
- [14] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析. 应用生态学报, 2009, 20( 11): 2723-2729.
- [15] 成思敏, 王继军, 李茂森, 李玥, 乔梅. 陕北退耕区农业产业-资源系统耦合机制演变过程分析. 水土保持研究, 2018, 25( 3): 265-271, 278-278.
- [16] 姬翠梅. 生态-经济-社会系统视角下的山西省农业生态安全评价. 中国农业资源与区划, 2019, 40( 5): 174-179.
- [17] 李芬, 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态安全预警分析. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36( 4): 75-82.
- [18] 曹明奎. 中国农业生态系统的生产潜力和人口承载力. 生态学报, 1993, 13( 1): 83-91.
- [19] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, 10( 5): 635-639.
- [20] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. 资源科学, 2001, 23( 6): 5-9.
- [21] 孙刚, 盛连喜, 冯江. 生态系统服务的功能分类与价值分类. 环境科学动态, 2000, ( 1): 19-22.
- [22] 韩祎, 孙辉, 唐亚. 生态系统服务价值及其评估方法研究进展. 四川环境, 2005, 24( 1): 20-26.
- [23] Hu M M, Li Z T, Wang Y F, Jiao M Y, Li M, Xia B C. Spatio-temporal changes in ecosystem service value in response to land-use/cover changes in the Pearl River Delta. Resources, Conservation and Recycling, 2019, 149: 106-114.
- [24] Li Y Y, Tan M H, Hao H G. The impact of global cropland changes on terrestrial ecosystem services value, 1992-2015. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29( 3): 323-333.
- [25] 高奇, 师学义, 黄勤, 张琛, 马梓薇. 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应. 中国人口·资源与环境, 2013, 23( S2): 308-312.
- [26] 刘海, 殷杰, 林苗, 陈晓玲. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态系统服务价值结构变化研究. 生态学报, 2017, 37( 8): 2575-2587.
- [27] 荔琢, 蒋卫国, 王文杰, 吕金霞, 邓越. 基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究. 自然资源学报, 2019, 34( 8): 1654-1665.
- [28] Balasubramanian M. Economic value of regulating ecosystem services: a comprehensive at the global level review. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191( 10): 616.
- [29] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37( 9): 1740-1746.
- [30] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30( 8): 1243-1254.
- [31] 黄木易, 岳文泽, 方斌, 冯少茹. 1970—2015 年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制. 地理学报, 2019, 74( 9): 1904-1920.
- [32] 郑德凤, 王燕燕, 曹永强, 王燕慧, 郝帅, 吕乐婷. 基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局——以中国地级及以上城市为例. 资源科学, 2020, 42( 6): 1110-1122.
- [33] 侯孟阳, 姚顺波, 邓元杰, 丁振民, 鲁亚楠, 郑雪, 李雅男. 格网尺度下延安市生态服务价值时空演变格局与分异特征——基于退耕还林工程的实施背景. 自然资源学报, 2019, 34( 3): 539-552.
- [34] 张楠, 王继军, 崔绍芳, 梅花, 高亮. 黄土丘陵沟壑区退耕林生态系统服务价值评估——以陕西省安塞县为例. 水土保持研究, 2013, 20( 2): 176-180, 185-185.
- [35] 赖元长, 李贤伟, 冯帅, 王鹏, 唐骄萍, 赵安玖, 赖家明. 退耕还林工程对四川盆周低山丘陵区生态系统服务价值的影响——以洪雅县为例. 自然资源学报, 2011, 26( 5): 755-768.
- [36] 丁振民, 姚顺波. 陕西省耕地转移对生态系统服务价值的影响. 资源科学, 2019, 41( 6): 1070-1081.
- [37] 唐秀美, 潘瑜春, 郝星耀, 刘玉. 中国耕地整治生态潜力测算方法. 农业工程学报, 2015, 31( 17): 270-277.
- [38] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71( 1): 49-65.
- [39] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化. 地理研究, 2018, 37( 6): 1100-1114.