

耕地公共生态产品供给状况及能力提升路径 ——以河南省为例

高攀¹, 梁流涛², 诸培新³

(1. 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095; 2. 河南大学地理与环境学院, 开封 475004;

3. 中国资源环境与发展研究院, 南京 210095)

摘要: 借鉴马克思扩大再生产理论对耕地公共生态产品供给机理进行分析, 并结合能值法和灰色关联度分析方法对河南省耕地公共生态产品供给状况以及影响因素进行实证分析, 量化结果表明: 2000—2020年间, 河南省耕地公共生态产品供给总体呈现增长趋势; 截至2020年, 河南省耕地公共生态损害减少了8.57%的生态供给; 阻碍河南省耕地生态产品供给能力进一步提升的因素主要是价值实现机制的缺失以及耕地绿色化利用水平的下降。基于此, 分别从生态产品价值实现方面和农业绿色化利用方面提出河南省耕地公共生态产品供给能力的提升路径。进而为缓解当前中国人民日益增长的优美生态环境需求与不平衡不充分发展之间的矛盾提供理论参考。

关键词: 公共生态产品供给; 耕地; 扩大再生产; 提升路径

当前中国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。生态环境作为“发展不平衡不充分”的问题之一, 成为满足人民日益增长的美好生活需要的重要制约因素^[1]。在此背景下, 如何提高生态产品供给能力, 满足人民对于优美生态环境的需求具有重要意义。

目前学术界针对生态产品的相关内涵、价值实现模式、经验、困境等方面展开了大量研究, 并形成许多优秀的学术成果^[2-5], 然而, 针对耕地生态产品尤其是耕地公共生态产品这一主题展开的研究较少。耕地公共生态产品是指耕地生态系统通过生物生产过程和人类社会的保护、利用行为所产生的改善生存与生活环境的调节服务类生态产品, 包括固碳释氧、涵养水源、生成土壤等人居环境产品以及净化气体、物候调节等维系生态安全的产品^[2]。相较于农产品等物质供给类生态产品以及绿色景观、农耕文化等文化服务类生态产品, 耕地公共类生态产品通常具有较强的外部性特征, 其交换、流通存在诸多障碍, 导致该类生态产品供给的内生动力不足, 进而产生供给不足问题^[3]。因此, 针对耕地公共生态产品供给方面的研究, 对于缓解中国当前社会生态产品供给不足具有针对性和关键性。另外, 当前研究多基于生态产品价值实现这一视角展开, 而基于生态产品供给这一整体性视角的探讨还较为缺乏^[4]。因此, 有必要从生态产品供给这一全局性视角讨

收稿日期: 2022-09-13; 修订日期: 2023-03-27

基金项目: 江苏省智库办2022智库研究课题重点项目(22-5); 河南大学“研究阐释党的二十大精神专项项目”(HDCS-14)

作者简介: 高攀(1994-), 男, 河南滑县人, 博士研究生, 主要从事土地资源可持续利用研究。

E-mail: 924593117@qq.com

通讯作者: 诸培新(1968-), 男, 江苏南京人, 博士, 教授, 主要从事土地经济与政策、土地可持续利用管理研究。E-mail: zpx@njau.edu.cn

论推动中国优质生态产品供给能力提升的整体性建议和措施。

基于上述分析,本文以耕地公共生态产品为研究对象,以耕地公共生态产品供给机理分析作为优化公共生态产品供给的理论指导框架。在此基础上,以中国粮食主产区河南省为例,运用能值分析方法量化和灰色关联度分析对研究区耕地公共生态产品供给现状以及影响因素进行实证分析,结合实证分析结果针对性地提出河南省耕地公共生态产品供给能力提升的路径。

1 耕地公共生态产品供给机理分析

马克思在《资本论》中指出经济社会供给能力的提升有赖于社会资本的扩大再生产,扩大再生产有两个前提条件:第一,社会要有剩余的生产资料,即第一部类生产的全部产品除了补偿两大部类消耗掉的生产资料外,还能为两大部类的扩大再生产提供追加的生产资料。第二,社会要有剩余的消费资料,即第二部类生产的全部产品除了补偿两大部类消耗掉的消费资料外,还能为两大部类的扩大再生产提供追加的消费资料。因而第二部类中代表不变资本和供积累用的剩余价值之和要大于第一部类的可变资本加资本家个人消费用的剩余价值的价值之和^[5]。简言之,扩大再生产以简单再生产为起点和基础,以资本积累为前提。耕地公共生态产品的有效供给同样面临着扩大再生产问题,其原因主要如下:(1)根据马克思的“生产直接也是消费”的观点,无论物质生产还是社会发展都离不开对生态环境以及自然资源的消费。相应地,生态环境和自然资源在作为社会生产的消费对象的同时,也在作为再生产的对象。因此,扩大再生产理论理应扩展到生态产品供给领域^[6]。(2)提高生态产品供给能力,满足人民群众对于优美生态环境的需求,与马克思社会再生产理论“实现社会供给和需求达到均衡状态”具有目标契合性^[7]。(3)扩大再生产理论强调结构均衡与社会总量平衡同样重要,也即实现经济社会的永续发展需要满足结构均衡和质量要求,这与满足中国高质量发展、生态文明建设的战略要求具有一致性^[8]。综合来看,扩大再生产理论与生态产品供给范围适用、目标契合、要求一致。所以将扩大再生产理论运用到耕地公共生态产品供给领域是恰当和有效的,耕地公共生态产品的有效供给需要满足马克思扩大再生产理论的前提和基础。然而,由于耕地公共生态产品的非排他性、非竞争性特征导致了其在交换流通过程中存在较多障碍,不能像普通商品一样自发、高效地完成剩余价值的积累^[9]。耕地公共生态产品扩大再生产的基础和前提条件缺失,阻碍了耕地公共生态产品的有效供给。因此,如何实现耕地公共生态产品的价值,使相关供给主体获得充分的剩余价值,进而激发其生产公共生态产品的内生动力,成为耕地公共生态产品扩大再生产的首要环节。政府作为公共物品的主要提供者,理应承担起耕地公共生态产品价值实现的责任。然而,以政府为主导的生态产品价值实现通常存在着资金压力大、运作效率低、效果不尽如人意等弊端。因此,应当积极引入市场机制,发挥市场配置资源的效率优势。另外,在耕地公共生态产品价值实现过程中,社会公众不能作为旁观者。一方面,社会公众作为耕地公共生态产品的受益主体,理应为自己享受到的耕地公共生态产品效用“买单”;另一方面,随着社会民众生活水平的提高以及生态文明素养的提升,社会公众的生态付费能力和观念逐渐增强^[10]。因此,在耕地公共生态产品价值实现过程中,应当积极整合政府、市场、社会等多元主体的力量,从而提高耕地公共生态产品价值实现的整体效率。

基于经济理性思维，耕地利用者在价值实现的动力驱使下会通过特定的行为推动耕地公共生态产品的扩大再生产以获得更大的利益回报。根据扩大再生产理论，扩大再生产一般分为两种类型，即外延式扩大再生产和内含式扩大再生产。外延式扩大再生产是通过增加生产要素的数量而实现的扩大再生产，内含式扩大再生产是通过提高生产要素的使用效率而实现的扩大再生产^[5]。引申到耕地公共生态产品领域即通过耕地公共生态产品生产规模的提升实现外延式扩大再生产，以及通过耕地公共生态产品生产效率的提高实现内涵式扩大再生产。耕地公共生态产品是基于人类农业生产行为和耕地生态系统而产生的，其生产规模的提升主要依赖于耕地播种面积和粮食产量的增加。耕地公共生态产品内涵式扩大再生产的核心则是通过提高农业绿色生产水平，不断降低耕地利用过程中的公共生态损害，从而提升耕地公共生态产品的供给效率。耕地生态系统是以人类福祉为主导、农产品供给为主要目的、高效产出率为目标的半自然半人工系统。在当前发展阶段，耕地公共生态产品更多的是作为物质供给类生态产品的附属产物而存在的。人类在基于农产品供给这一首要目标进行耕地利用的过程中，不仅会产出正向的生态产品，还会因为化肥、农药、机械等经济系统的过度干预，产生一系列负向生态损害。如化肥农药的大量使用带来的温室气体排放、土壤重金属污染、水体富营养化等问题^[11]，一定程度上降低了优质耕地公共生态产品的产出效率。综合上述分析，耕地公共生态产品供给能力提升的关键在于以生态产品价值实现触发内生动力，以耕地规模增加和绿色生产推动目标实现（图1）。

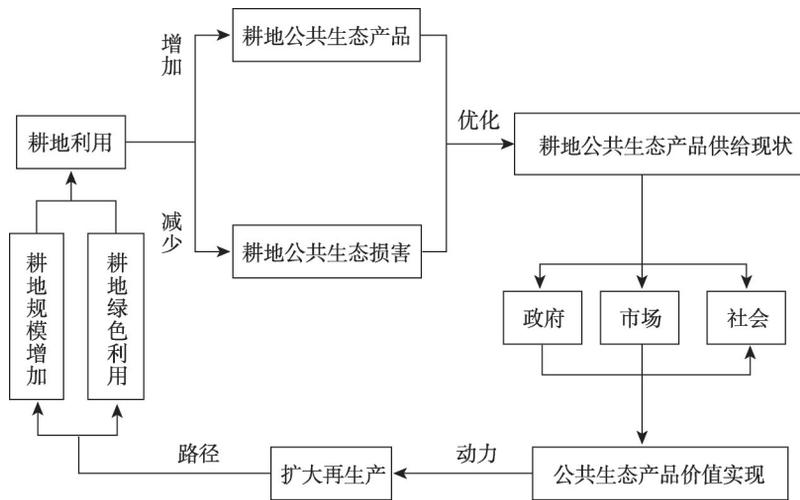


图1 耕地公共生态产品供给机理

Fig. 1 Supply mechanism of cultivated land public ecological products

2 研究方法 with 数据来源

本文选取中国重要的粮食生产基地河南省为研究区，以河南省耕地公共生态产品核算为基础，并结合机理分析内容分别选取价值实现、耕地规模以及绿色利用水平相关影响因素进行验证分析，以期摸清当前河南省耕地公共生态产品供给状况和困境，进而为河南省耕地公共生态产品供给动力触发以及供给能力提升提供数据支撑和方向引领，也为中国其他地区实践提供借鉴。

2.1 研究方法

2.1.1 河南省耕地公共生态产品供给状况测算方法

当前生态产品的量化研究尚未能形成统一的认识和标准。首先,在核算思路方面目前主要存在净初级供给能力核算和动态调整供给能力核算两种思路。净初级供给生产力是指计算过程中只考虑生态产品的理论产出量,动态调整核算思路是在净初级生产力的基础上对由于人为因素而产生的负向影响进行剔除,从而获得更加真实的供给状况^[12]。由于耕地利用过程中是以粮食供给为主要目的的,相关主体为了提高粮食产量,而不断加大化肥、农药的施用量,从而对耕地生态系统的循环产生过渡干预,这一过程中必然会带来负向的生态损害。因此,在进行耕地公共生态产品量化过程中需要考虑由人为因素引起的生态折损问题。其次,学术界虽然针对生态产品的核算内容进行了诸多研究,但始终没有建立一个统一的指标体系。2013年欧阳志云等^[13]提出了生态系统生产总值(GEP)的概念,旨在建立一个独立的核算国家或地区生态系统为人类提供产品与服务的指标,完善社会—经济—自然复合生态系统的评估体系。但该指标体系是基于生态系统的整体性视角,在进行耕地公共生态产品供给状况量化过程中应结合耕地生态系统以及研究区的实际状况进行修正。基于此,本文以GEP核算体系为基础,根据河南省耕地生态系统实际情况和可计算原则分别选取固碳释氧、涵养水源、生成土壤、调节气候、净化大气作为生态产品的核算内容,选取温室气体排放、土壤重金属污染、土壤侵蚀以及水体富营养化作为生态损害的核算内容。最后,针对生态产品的量化目前形成了功能法、当量法和能值法等不同类型的方法。功能法是基于生态产品类型对其实物量进行计算^[14]。该方法因地制宜、针对性强,具有根据具体区域某时间点的生态特征,逐一归纳生态产品实物量的功能。但存在各类型生态产品不可通约,不可加总的缺陷。当量法是一种简化版生态系统服务核算方法,其本质是一种基于专家背景知识的生态系统服务量化方法^[15]。该方法较为直观易用,数据需求少,但具有一定的主观性。能值法是选择太阳能值作为核算量纲,核算未受人类活动影响的初始状态下生态系统服务对应的能值,然后分别考虑环境污染和生态环境治理对生态系统服务价值的影响,对能值进行减值和增值调整^[16]。使用这种方法计算出的能量学价值可作为稳定的标的物,使各类型生态产品之间实现可加总和可比性,同时还受人类偏好影响,为客观地评价生态产品提供了一种崭新思路。因此,本文基于ODUM^[16]提出的能值分析方法并结合刘耕源等^[17]的研究对耕地公共生态产品供给状况进行量化。具体量化方法如表1所示。

2.1.2 河南省耕地公共生态产品供给影响因素分析方法

灰色关联度分析是考察观测因素之间关联程度的一种方法,该方法的主要思想是基于比较序列所构成的二维图形形状之间的相似程度,判断因素之间联系的紧密性,进而结合因素间紧密性,进而得出推动系统演化的核心要素。序列曲线的相似性越高,相应的关联度也就越大,该因素则越能推动系统演化。反之,关联度越小,该因素则在系统演变中所发挥的作用有限。由于灰色关联度分析所需样本量小、计算简单、可靠,且不需要满足数据典型的分布规律。因此,本文采用灰色关联度来验证机理分析内容,具体计算公式见表2中式(3)和式(4)。首先,将河南省耕地公共生态供给部分测算得到的耕地公共生态产品能值、耕地公共生态损害能值以及耕地公共生态供给能值作为参考序列。其次,结合机理分析内容,对比序列分别选取耕地面积、粮食产量表征耕地公共生态产品外延式扩大再生产因素,选取耕地环境承载力、可更新环境资源投入比表征内涵

表1 耕地公共生态产品供给量化方法

Table 1 Quantitative methods for supply of public ecological products of cultivated land

一级指标	二级指标	计算方法	说明	方法来源
耕地公共生态产品(EP)	固碳释氧(EP _{CS})	$EP_{CS} = (SOC \times UEV_{SOC}) + (CO_2 \times UEV_{CO_2}) + (O_2 \times UEV_{O_2})$ $CO_2 = NPP \times 1.63$ $O_2 = NPP \times 1.2$ $NPP = \frac{CP \times (1 - \delta) \times C_A}{C_e}$	SOC为耕地土壤有机碳含量(kg);CO ₂ 为耕地固定二氧化碳重量(kg);O ₂ 为耕地释放氧气重量(kg);UEV _v 为碳和氧的能值转换率(sej/kg);δ为农作物产量部分的含水量(%);C _d 为碳吸收率(%);C _e 为作物的经济系数,是农作物产量与经济产量之间的比例,经济产量是指在单位面积土地上所收获作物可供食用或其他用途的作物籽粒或其他的干物重;NPP为农作物净初级生产力;CP为农作物产量(kg)	[18-20]
	涵养水源(EP _{mh_w})	$EP_{mh_w} = M_{hw} \times UEV_{hw}$ $M_{hw} = Q_1 + Q_2$ $Q_1 = \sum (S \times m \times d_j)$ $Q_2 = S \times H \times D \times \gamma$	EP _{mh_w} 为农田涵养水源能值(sej);M _{hw} 为农田涵养水源量(g/a);UEV _{hw} 为田间水的能值转换率(sej/J);Q ₁ 为地上水源含氧量(g);Q ₂ 为地下涵养水源量(g);S为农田面积(hm ²);m为年均降雨量(mm);d _j 为农作物的降雨截留率;H为农田土壤平均厚度(cm);D为农田土壤容重(g/cm ³);γ为田间持水量(%)	[17,21,22]
	生成土壤(EP _{om})	$EP_{om} = Em_{NPP} \times K_1 \times K_2$ $Em_{NPP} = MAX(R) + (R_i)$	EP _{om} 为土壤有机质构建的能值(sej/a);Em _{NPP} 为农业生态系统可更新资源对应的能值(sej/a);K ₁ 为秸秆还田量占农田生物量的比例(%);K ₂ 为植被凋落物中碳含量(%);R为可更新环境资源能值投入(sej/a);R _i 为可更新有机能值投入(sej/a)	[17]
	调节气候(EP _{me})	$EP_{me} = E_{EW} \times \rho_w \times j_w \times UEV_{EW}$	EP _{me} 为农田蒸发所需能值(sej);E _{EW} 为农田年蒸发量(m ³ /a);ρ _w 为水密度(kg/m ³);j _w 为水的吉布斯自由能(J/kg);UEV _{EW} 为水蒸气的能值转换率(sej/J)	
	净化大气(EP _m)	$EP_m = \sum M_i \times S \times DALY_i \times \tau_{H_i}$	EP _m 为大气污染物净化后人体健康损失减少量对应的能值(sej);M _i 为农田生态系统净化第i种大气污染物的能力(kg/hm ²);S为农田面积(hm ²);DALY _i 为第i种大气污染物在Eco-indicator 99的评估框架中的影响因子,即单位第i种大气污染物对人造成的失能生命调整年(人/kg);τ _{H_i} 为区域人均能值(sej/人)	
耕地公共生态损害(ED)	温室气体排放(ED _{HL})	$ED_{HL} = \sum M_i \times DALY_i \times \tau_{H_i}$	ED _{HL} 为由温室气体排放引起人类健康损失的能值(sej);M _i 为第i种排放到空气中的温室气体的量(g/a),结合实际情况,选择稻田CH ₄ 排放量(已将生长周期考虑在内)、化肥施用的引起的N ₂ O排放量以及由柴油、灌溉、翻耕、秸秆焚烧等人类经济社会系统投入产生的CO ₂ 排放量;DALY _i 为第i种温室气体导致的失能生命调整年(人/年/kg);τ _{H_i} 为人均能值(sej/人)	[17,23]
	土壤重金属污染(ED _{ZJ})	$ED_{ZJ} = \sum N_i \times DALY_i \times \tau_{H_i}$	ED _{ZJ} 为由土壤重金属污染人类健康损失的能值(sej);N _i 为土壤中第i种重金属的量(g/a),结合实际情况,本文选择受农业活动影响较大的Cd和Hg的量;DALY _i 为第i种重金属导致的失能生命调整年(人/年/kg);τ _{H_i} 为人均能值(sej/人)	[17]
	土壤侵蚀(ED _{SE})	$ED_{SE} = SE \times A \times OM \times G \times UEV_E$	ED _{SE} 为土壤侵蚀能值损失量;SE为土壤侵蚀量(g/km ²);A为耕地面积(km ²);OM为土壤有机质含量(%);G为能量转换系数(kcal/g);UEV _E 为土壤能值转换率(sej/J)	

续表1

一级指标	二级指标	计算方法	说明	方法来源
耕地公共生态损害 (ED)	水体污染 (ED _{WL})	$ED_{WL} = \sum Q_i \times DALY_i \times \tau_{ii}$	ED _{WL} 为由水体富营养化人类健康损失的能值 (sej); Q _i 为第 i 种化肥施用过程中随地表径流流失到水体中的量 (g/a); DALY _i 为第 i 种化肥元素导致的失能生命调整年 (人/年/kg); τ _{ii} 为人均能值 (sej/人)	[17]
耕地生态产品供给 (ES)	生态产品-生态损害	$ES = EP - ED$	ES 为耕地公共生态产品供给能值 (sej); EP 为耕地各类型公共生态产品总能值 (sej); ED 为耕地各类型生态损害总能值 (sej)	[24]

表2 耕地公共生态产品供给影响因素分析方法

Table 2 Analysis method of influencing factors of cultivated land public ecological products supply

一级指标	二级指标	计算方法	说明	方法来源
耕地绿色利用水平 (GUL)	(1) 生态环境承载力 (ELR)	$ELR = (N+F)/(R+R_1)$	N 为不可更新环境资源投入能值, 主要指表土能; F 为不可更新工业辅助能投入, 主要包括柴油能值、化肥能值、地膜能值、农药能值、电力能值、机械动力能值;	[25]
	(2) 可更新环境资源投入比 (ERI)	$ERI = R/T$ $T = N+F+R+R_1$	R 为可更新环境资源投入能值, 主要包括太阳能、雨水化学能、雨水势能、灌溉用水能; R ₁ 为可更新有机能投入, 主要包括种子能值和劳动力能值; T 为耕地总投入能值	
灰色关联度分析 (GRA)	(3) 关联系数 (δ _y)	$\delta_y = \frac{\min_j \times \min_k \times \Delta_y(k) + \beta \times \max_k \times \Delta_y(k)}{\Delta_y(k) + \beta \times \max_j \times \max_k \times \Delta_y(k)}$	$ \Delta_y(k) = x_i(k) - x_j(k) $ 为序列 i{x _i (k)} 与序列 j{x _j (k)} 在第 k 点的绝对值; min _j , min _k Δ _y (k) 为两极最小值; max _j , max _k Δ _y (k) 为两极最大值; β 为分辨系数, 其值为 0~1, 取 β=0.5	[26]
	(4) 灰色关联度 (R _y)	$R_y = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \delta_y(k)$	k=1, 2, 3, ..., n	

式扩大再生产因素, 计算方法见表1中的式 (1) 和式 (2)。此外, 由于当前河南省并未建立严格意义上的耕地公共生态产品价值实现机制。因此, 本文采用农业产值以及农业经营人均纯收入来侧向考察经济因素对于耕地公共生态产品供给能力的影响。

2.2 数据来源

基础数据主要来源于历年《河南统计年鉴》《河南省水资源公报》《全国农产品成本收益资料汇编》以及国家农业农村部 (<http://www.moa.gov.cn/>) 和河南省农业农村厅官方网站 (<https://nynct.henan.gov.cn/>) 发布数据。计算过程中所需参数来源于《省级温室气体清单编制指南》《第二次全国污染源普查农业源产排污系数手册》以及相关书籍^[27,28]和文献研究^[29-41]。

3 结果分析

3.1 2000—2020年河南省耕地公共生态产品供给状况

依据量化方法，以5年为一期，分别对河南省2000—2020年耕地公共生态产品正向产出、负向损害以及动态调整后的耕地公共生态产品供给状况进行了计算（表3）。为了使计算结果表达更加直观，本文利用堆积柱状图（图2）对耕地公共生态产品、耕地公共生态损害和耕地公共生态产品供给进行了可视化表达。

表3 河南省耕地公共生态产品供给量化结果表

Table 3 Quantitative results of public ecological products supply of cultivated land in Henan province (sej)

一级指标	二级指标	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
耕地公共生态产品	固碳释氧	8.79E+21	1.03E+22	1.26E+22	1.42E+22	1.60E+22
	涵养水源	6.06E+21	5.86E+21	6.10E+21	5.57E+21	7.16E+21
	生成土壤	5.08E+20	7.23E+20	1.03E+21	1.17E+21	1.90E+21
	调节气候	5.48E+20	5.76E+20	6.39E+20	6.81E+20	7.30E+20
	净化大气	1.78E+18	1.70E+18	1.89E+18	1.99E+18	2.03E+18
	总计	1.59E+22	1.74E+22	2.03E+22	2.17E+22	2.58E+22
耕地公共生态损害	温室气体排放	7.98E+18	8.29E+18	1.00E+19	1.05E+19	8.91E+18
	土壤重金属污染	1.75E+21	1.67E+21	1.86E+21	1.96E+21	1.99E+21
	土壤侵蚀	2.16E+20	2.41E+20	2.73E+20	2.41E+20	2.06E+20
	水体污染	7.70E+18	7.66E+18	8.29E+18	8.05E+18	5.79E+18
	总计	1.98E+21	1.93E+21	2.15E+21	2.22E+21	2.21E+21
耕地公共生态产品供给	生态产品-生态损害	1.39E+22	1.55E+22	1.82E+22	1.94E+22	2.36E+22

河南省2000—2020年耕地公共生态产品实物量总能值分别为1.59E+22sej、1.74E+22sej、2.03E+22sej、2.17E+22sej、2.58E+22sej，总体呈现增加趋势。从公共生态产品组成结构来看，2000—2020年间，固碳释氧为河南省耕地公共生态产品最主要的产出类型，平均占比为60.75%，且随时间发展呈现不断增加的趋势，但其所占比例在时间序列上自2015年开始表现出下降趋势。河南省耕地公共生态产品第二大类型为涵养水源，研究期平均占据河南省耕地公共生态产品实物量总能值的31.04%，其实物量在研究期内呈现出波动上升的变化趋势。河南省调节气候类耕地公共生态产品随时间演变呈现增长态势，但在总生态产品中的占比逐渐降低，自2005年开始由原来的第三大类型降为第四大类型。生成土壤类生态产品总体同样呈现不断增加的趋势，且增加迅速，自2005年开始增加成为河南省耕地第三大生态产品类型。占比最少的类型为净化大气，不足总生态产品的1%，且随时间演变，呈现不断下降趋势。

2000—2020年，河南省耕地公共生态损害总能值分别为1.98E+21sej、1.93E+21sej、2.15E+21sej、2.22E+21sej、2.21E+21sej，在时间序列上呈现波动上升趋势，峰值出现在2015年。从生态产品组成结构来看，土壤重金属污染是河南省耕地公共生态损害的主要类型，研究期内平均占据耕地公共生态损害总能值的87.94%，时间序列上土壤重金属污染呈现“U”型变化趋势，谷值出现在2005年，与研究基期相比，研究期末土壤重金属污染能值增加了13.71%。土壤侵蚀为河南省耕地生态损害的第二大类型，2000—2020年间，在总生态损害中的平均占比为11.27%；时间序列上呈现倒“U”型变化趋势，总

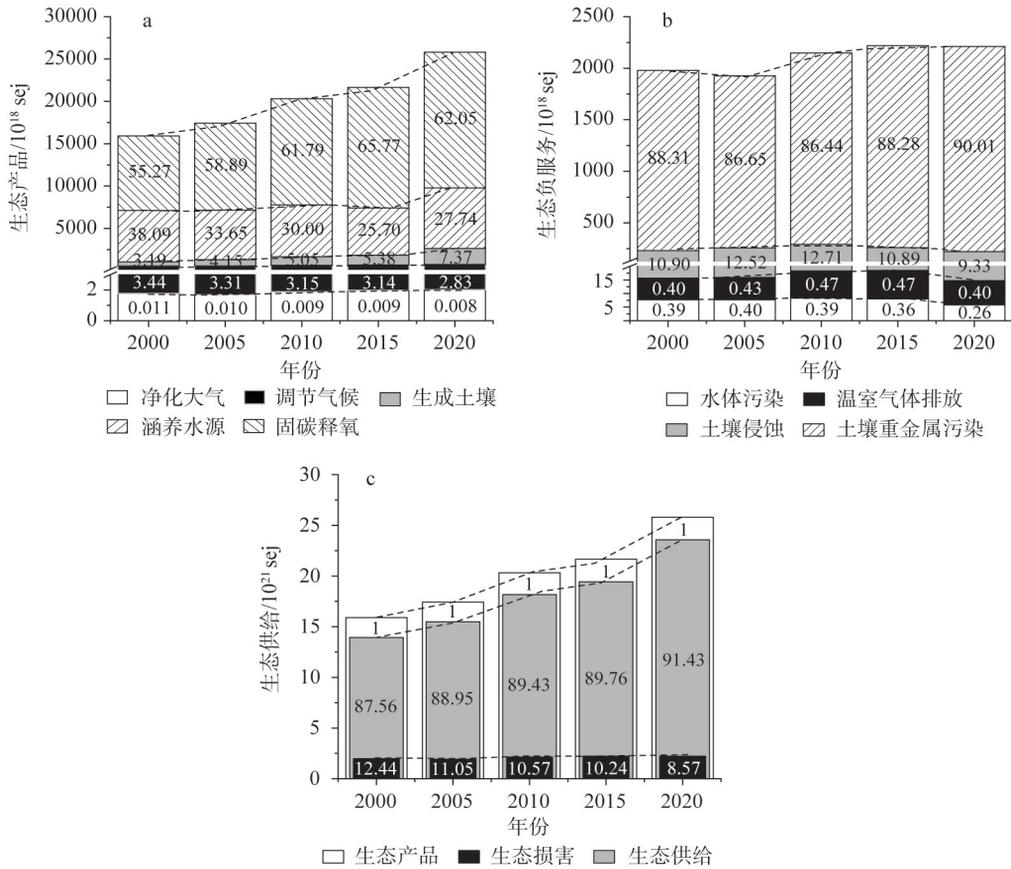


图2 河南省耕地公共生态产品供给量化结果

Fig. 2 Quantitative results of public ecological products supply of cultivated land in Henan province

体来看有所降低。第三大类型的温室气体排放以及占比最小的水体污染在2000—2020年间平均占比均不足1%。其中温室气体排放在时间序列上的变化趋势与耕地公共生态损害总能值时间变化趋势保持一致，水体污染则在时间序列上呈现波动下降趋势。

耕地公共生态损害负向效用的存在会在一定程度上抵消耕地公共生态产品带来的正向效用，降低耕地公共生态产品的供给。因此，在进行耕地公共生态产品供给量化过程中需将耕地公共生态损害所造成的负面效用予以扣除（耕地公共生态产品供给量=耕地公共生态产品实物量-耕地公共生态损害实物量），从而得出真实的耕地公共生态产品供给状况。依据动态调整后的河南省耕地生态产品供给结果可知：2000—2020年间，河南省耕地生态产品供给分别为1.39E+22sej、1.55E+22sej、1.82E+22sej、1.94E+22sej、2.36E+22sej，随时间增长呈现不断增加趋势。耕地公共生态损害虽然在研究期内对于耕地公共生态产品供给的负面影响呈现不断降低的趋势，但截至2020年，河南省耕地生态损害仍占据了生态产品总产出的8.57%，在一定程度上阻碍了河南省耕地生态产品的供给效率的提高。

3.2 2000—2020年河南省耕地公共生态产品供给影响因素

表4为河南省耕地公共生态产品供给影响因素数据的统计性分析，可以看出，2000—2020年间，河南省耕地播种面积、粮食产量、环境负载率、农业产值、农业人均

收入呈现持续增长趋势，也即河南省耕地规模和农业经济效益随着时间演进不断增加；而耕地生态系统则随着时间发展面临着越来越大的压力，即耕地绿色利用水平随时间演变呈现不断降低趋势。可更新环境资源能投入比虽然在研究期内呈现波动上升趋势，但上升趋势并不明显，20年间仅上升了0.45%。同时，从总体来看，河南省耕地利用过程中绿色投入占总投入比值较低，平均仅为4.7%。综上可知，当前河南省应当改善耕地利用方式，遏制耕地绿色利用水平降低趋势。

表4 河南省耕地公共生态产品供给影响因素指标描述性统计

Table 4 Descriptive statistics of influencing factors and indicators of cultivated land public ecological products supply in Henan province

评价指标	年份					描述性统计			
	2000	2005	2010	2015	2020	最小值	最大值	均值	标准差
播种面积	7583.2	7982.1	8854	9425.52	10108.75	7583.2	10108.75	8790.71	1031.52
粮食产量	3629.74	4235.46	5188.2	5886.17	6609.21	3629.74	6609.21	5109.76	1205.42
可更新能值投入比	4.61	4.75	4.60	4.16	5.35	4.16	5.35	4.70	0.43
环境负载率	1.38	1.88	2.38	3.06	3.34	1.38	3.34	2.41	0.81
农业产值	1264.29	1790.37	3504.07	4503.71	6244.84	1264.29	6244.84	3461.46	2028.26
农业人均收入	933	1261	2154	3265	3419	933	3419	2206.40	1130.17

表5为2000—2020年河南省耕地公共生态产品供给影响要素关联度。其中耕地公共生态产品影响要素的关联度排序为粮食产量>播种面积>环境负载率>可更新资源能值比率>种植业收入>农业产值，关联度分别为0.87、0.86、0.71、0.68、0.54、0.53，表明2000—2020年间耕地规模是河南省耕地公共生态产品产出的最核心影响要素，耕地绿色利用水平次之，种植业收入和农业产值对于耕地公共生态产品产出的影响最弱。耕地公共生态损害影响要素关联度排序为播种面积>可更新能值投入比>粮食产量>环境负载率>农业产值>农业产值，关联度分别为0.92、0.84、0.78、0.68、0.57、0.56。与耕地公共生态产品产出相比，耕地公共生态损害除了受到耕地规模要素影响外，耕地绿色化利用水平对于耕地公共生态损害也具有高度关联性，农业产值和种植业收入的影响同样为最弱。耕地公共生态产品供给影响要素关联度排序为粮食产量>播种面积>环境负载率>可更新资源能值比率>种植业收入>农业产值，与耕地公共生态产品产出驱动要素排序具有一致性，关联度分别为0.88、0.83、0.72、0.65、0.54、0.53。综合来看，2000—2020年间河南省耕地公共生态产品供给能力的核心影响要素为耕地规模，其次为耕地绿色利用

表5 2000—2020年河南省耕地公共生态产品供给影响因素

Table 5 Influencing factors of public ecological products supply of cultivated land in Henan province from 2000-2020

耕地公共生态产品			耕地公共生态损害			耕地公共生态产品供给		
评价项	关联度	排名	评价项	关联度	排名	评价项	关联度	排名
粮食产量	0.87	1	播种面积	0.92	1	粮食产量	0.88	1
播种面积	0.86	2	可更新资源能值比率	0.84	2	播种面积	0.83	2
环境负载率	0.71	3	粮食产量	0.78	3	环境负载率	0.72	3
可更新资源能值比率	0.68	4	环境负载率	0.68	4	可更新资源能值比率	0.65	4
农业人均收入	0.54	5	农业产值	0.57	5	农业人均收入	0.54	5
农业产值	0.53	6	农业人均收入	0.56	6	农业产值	0.53	6

水平。印证了机理分析中所提出的耕地公共生态产品供给能力主要受到耕地生产规模增加的外延式扩大再生产行为和农业绿色化水平提高的内涵式扩大再生产行为的影响，而农业产值和种植业收入对于耕地公共生态产品供给的影响则相对较弱，这也从侧面证实了当前河南省耕地公共生态产品价值尚未得到有效实现，难以有效激发耕地利用者耕地公共生态产品的生产积极性。

3.3 河南省耕地公共生态产品供给能力提升路径

通过对耕地公共生态产品供给机理分析可以发现耕地公共生态产品供给能力的提高主要有两个方面的路径：一是通过耕地公共生态产品价值实现激发生态产品供给主体的内生动力；二是通过耕地面积增加以及农业绿色化生产等扩大再生产行为，提高耕地公共生态产品的生产规模和效率，最终实现耕地公共生态产品供给能力的提高。然而结合实证分析内容发现，当前河南省耕地生态产品供给的关键驱动要素为耕地生产规模的外延式扩大再生产行为，而耕地公共生态产品价值实现机制的缺失导致相关利用主体供给内生动力不足，以及耕地绿色化利用的内涵式扩大再生产行为对耕地公共生态产品供给的驱动影响仍有待提高和完善。因此，现阶段河南省耕地公共生态产品供给能力提升的关键在于构建和完善耕地公共生态产品价值实现机制以及提高农业绿色生产水平（图3）。

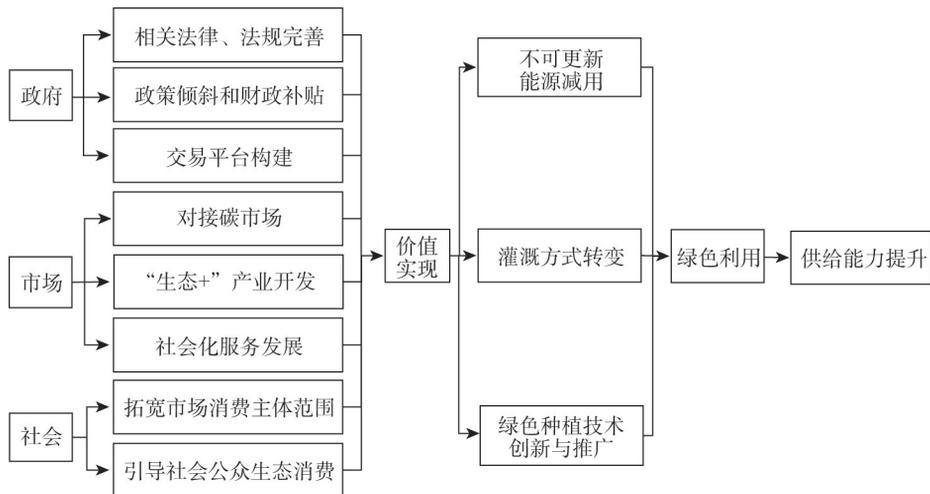


图3 河南省耕地公共生态产品供给能力提升路径

Fig. 3 Ways to improve the supply capacity of public ecological products of cultivated land in Henan province

3.3.1 建立健全价值实现机制以激发耕地公共生态产品供给内生动力

虽然当前河南省针对耕地设置了地力补贴、良种补贴、农机补贴等倾斜性政策，但这些补贴政策的本质是基于农产品等物质供给类生态产品构建的价值实现机制。在农产品供给与耕地公共生态产品供给冲突的情况下，难以保障耕地公共生态产品的供给。而且，对于耕地公共生态产品价值实现过程管理、服务、监督的缺失，容易引发耕地公共生态产品交易成本增加和信任问题，对于耕地公共生态产品供给成效及供给主体的信心带来损害。此外，由于缺乏对耕地公共生态产品消费对象划分的规范性政策标准以及消费环境的鼓励和培育，导致耕地公共生态产品供给者对于耕地公共生态产品市场预期不足，从而对供给积极性产生不利影响^[42]。基于此，本文提出以下优化路径，以期推动耕地公共生态产品价值充分实现，激发供给主体的内生动力，从而推动耕地公共生态产品

扩大再生产行为的具体实践。

(1) 加强耕地公共生态产品价值实现的顶层设计

首先，需要完善和细化耕地公共生态产品价值实现的相关法律法规，在法律层面对耕地公共生态产品的范围、内容出台统一标准，对耕地公共生态产品生产、交易过程进行有效监管，防止标准不一以及监管缺失造成信任危机和规则混乱，从而不利于耕地公共生态产品价值实现。其次，通过制定倾斜性政策，引导和鼓励耕地利用方积极参与耕地公共生态产品供给，如通过耕地生态补偿政策，对耕地公共生态产品供给者进行财政补贴。值得注意的是，虽然目前河南省对农民实施了一系列农业补贴政策，但这些政策多是基于农民发展成本的补贴，并不是针对耕地公共生态产品这一主体进行的补偿。因此，应设立针对耕地公共生态产品的专项补偿政策，并通过多元化补偿方式和广泛的宣传，提高农户政策感知和满意度。最后，应充分利用互联网技术发展带来的红利，构建耕地公共生态产品价值实现大数据平台，推动“区块链”技术与耕地生态产品价值实现领域的充分融合，为耕地公共生态产品的量化、交易、监督提供技术支撑。

(2) 健全耕地公共生态产品市场交易路径

政府主导的倾斜性政策难以充分实现耕地公共生态产品价值，必须充分利用政府+市场的合力作用，提高耕地公共生态产品价值实现程度和效率。耕地公共生态产品的非排他性和非竞争性特征所带来的交易标的物的缺失导致市场交易路径缺乏^[43]，阻碍了市场机制作用的发挥，健全耕地公共生态产品市场化交易路径成为提高其价值实现成效的重要因素。首先，应基于中国当前“双碳”背景下，积极对接碳市场交易。河南省耕地公共生态产品量化结果显示固碳释氧类型的生态产品占据总生态产品的60%左右，是耕地公共生态产品的主要类型，因此，通过对接碳市场交易能够显著提升耕地公共生态产品价值实现程度。其次，对于尚未建立市场机制的耕地公共生态产品类型，可以通过加强与物质载体融合的深度与广度，具体如通过生态+农产品、生态+康养、生态+旅游、生态+研学的方式，充分发挥耕地公共生态产品的产权依附性、产品依附性以及价值依附性，从而提高耕地公共生态产品与市场交易标的物结合的广度。并结合现代信息手段和生产技术，进行生态信息认证、溯源、绿色品牌标识打造、网络销售以及产业链延长，从而获得消费者的信任和青睐，实现与消费市场的有效对接，提高耕地公共生态产品价值实现的深度。此外，由于当前中国耕地利用者仍以小农户为主，供给主体的细碎化以及行为能力的差异，会带来交易成本和风险的增加。因此需培育专业合作社、代理人、生态金融等社会化服务组织，减少农户参与耕地公共生态产品市场化交易路径的阻力，降低交易成本和风险。

(3) 激活耕地公共生态产品消费需求

公共生态产品供给难题的核心在于供需身份的模糊^[44]，在耕地生态产品价值实现过程中，由于当前农地三权分置和土地确权登记制度的深入推行，耕地公共生态产品供给者身份较为明确，于是合理划分耕地公共生态产品消费者身份成为关键问题。这里可以进一步发挥政府调节作用，通过扩大公共生态产品产权交易范围，将更多的产排污企业、组织纳入到消费市场，具体如设置污水排放权交易、污染气体排放权交易，具有排放污水和废气需求的企业需要通过购买相对应类型的生态产品指标，企业用于购买指标

的资金纳入生态产品价值实现的专项资金池,然后依据耕地公共生态产品在指标交易中所占份额抽取相应比例的资金用于耕地公共生态产品的价值实现。同时,还可以通过广泛宣传 and 激励,培育社会民众生态付费观念,引导个人绿色消费偏好,进一步扩大生态产品消费市场需求。如可以对于购买生态农产品的个人消费者实行绿色积分制度,当积分达到一定额度,可以获得荣誉证书、兑换公共交通等其他低碳生活消费的优惠券。最终形成“谁生产,谁获益;谁使用,谁付费;谁污染,谁赔偿”的全方位覆盖的生态市场环境。

3.3.2 推进农业绿色生产以提升耕地公共生态产品供给效率

实证分析结果表明,研究期内耕地生态负载率是河南省耕地公共生态损害的重要影响因素。河南省耕地生态负载率的不断上升,导致截至2020年,河南省耕地生态损害仍占据耕地公共生态产品总产出的8.09%,在一定程度上阻碍了河南省耕地生态产品的高效供给。由于耕地生态负载率主要受化肥、农药等经济社会系统的不合理投入影响^[45]。因此,本文主要从减少经济社会系统不合理投入出发,提出推动耕地绿色利用水平提升的现实路径,从而进一步提升河南省耕地公共生态产品供给效率。

(1) 减少农用化学品的使用

河南省耕地生态损害量化结果表示,当前的耕地利用过程中由化肥农药大量使用带来的土壤重金属污染平均占据了生态损害总能值的87.94%,是影响耕地公共生态产品供给效率的主要因素。因此,化学药品的减用是提高河南省耕地公共生态产品供给效率的有效路径。大量研究表明,随着化学农药施用量的不断增加,其带来的边际收益呈现不断降低的趋势。而中国当前普遍存在化肥农药的过量使用状况。化肥农药的过量使用,对产量提高作用不断降低,甚至会造成粮食减产,同时还会带来农业生产成本的增加,进一步降低农业增收空间^[46]。基于此,可根据河南省耕地具体状况,编制出台耕地化学药品使用规范,对化学药品亩均合理用量标准作出建议要求。同时,积极利用农机站、村委会等线下方式以及广播、电视、互联网等线上媒体平台,进行广泛宣传,提高农户对于化学药品减施政策的科学认识。

(2) 改变当前灌溉方式

土壤侵蚀作为河南省耕地生态损害的第二大类型,其主要是由于当地水文条件和大水漫灌所引起的。水文条件是自然界和人类社会综合作用的结果,其牵扯因素繁杂。而改进作为人类主观行为的灌溉方式,则成为降低耕地土壤侵蚀类型生态损害,提高耕地公共生态产品供给效率的主要方向。大水漫灌不仅会带来水土流失,还会引起土壤盐碱化,继而引发作物减质、减产。当前河南耕地灌溉方式仍以大水漫灌为主,不仅造成了水土流失,还浪费了大量水资源^[47]。因此,需要通过改变当前大水漫灌的灌溉方式,降低土壤侵蚀这一类型的生态损害,进而提高耕地公共生态产品的供给能力。具体可通过完善农田节水设施覆盖范围,在全省逐步推广节水灌溉方式。以此降低不合理灌溉带来的耕地公共生态产品折损,同时还能达到水资源节约以及生产成本降低的目标。

(3) 农业绿色种植技术创新与推广

农业绿色利用水平的提高,其关键在于绿色种植技术能否带来效益的提升。当某项绿色种植技术相比传统种植模式能够带来效益的明显提升,耕地利用者则会积极采用这

一绿色种植技术。相反，如果采用某项绿色种植技术会造成收益的降低或者提升效果不明显，耕地利用者基于经济理性和风险意识，则会失去采用绿色种植模式的动力^[48]。当前，农业种植技术普遍存在“重经济、轻生态”或者“重生态、轻经济”问题，难以满足“既要绿水青山，又要金山银山”的生态文明实践要求。因此，需要深入推进农业绿色技术创新，不断降低绿色种植技术的使用成本、风险，提高农业产出，实现“两山”协同发展，从而推动农民采纳绿色种植技术，最终达到耕地公共生态产品的供给能力提升目标。这就要求加大农业科研投入，专业人才培养和引进，产学研有效融合。此外，作为耕地利用主体的农民，常常由于生态素养和行为能力的参差不齐造成创新性绿色种植技术难以落地或者执行不到位的窘境^[49]。因此，可以结合绿色种植技术宣讲会和绿色种植示范点等措施提高农民对于耕地绿色种植技术的认识和掌握程度，清除农民绿色种植的顾虑和障碍。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文在耕地公共生态产品供给机理讨论的基础上，利用能值法对河南省耕地公共生态产品供给状况进行量化，结合机理分析内容及量化结果对河南省耕地公共生态产品供给过程中存在的困境进行识别，并提出供给能力提升路径。主要结论如下：

(1) 耕地公共生态产品供给能力提升的本质在于耕地公共生态产品的扩大再生产，根据扩大再生产理论及耕地公共生态产品自身特性，影响其扩大再生产的关键是耕地公共生态产品价值的实现以及有效的扩大再生产行为。耕地公共生态产品价值的实现能够为推动耕地公共生态产品扩大再生产提供内生动力，有效的扩大再生产行为能够显著增强耕地公共生态产品供给能力。

(2) 研究期内，河南省耕地公共生态产品供给量分别为 $1.39E+22sej$ 、 $1.55E+22sej$ 、 $1.82E+22sej$ 、 $1.94E+22sej$ 、 $2.36E+22sej$ ，呈现不断上升趋势。农业生产过程中农药、化肥等经济系统的过渡干预带来的耕地公共生态损害分别造成了河南省耕地公共生态产品供给下降了12.44%、11.05%、10.57%、10.24%、8.57%。耕地公共生态损害所造成的耕地公共生态产品供给能力的折损虽然在研究期内呈现下降趋势，但耕地公共生态损害本身则呈现出波动上升趋势。

(3) 河南省耕地公共生态产品供给能力提升的关键影响因子为耕地规模的增加；绿色化利用水平虽然同样表现出较强影响，但当前河南省耕地绿色利用水平呈现降低态势，其对于河南省耕地公共生态产品供给能力的提升有待加强；经济因素则对于河南省耕地公共生态产品供给能力的影响最弱，侧面证实当前河南省耕地公共生态产品价值尚未得到有效实现。

(4) 实证结果表明，当前河南省存在耕地公共生态产品价值实现机制缺失而损害扩大再生产积极性以及耕地不合理投入带来的公共生态损害阻碍供给能力提升的困境。基于此，本文分别从加强顶层设计、健全交易路径、激发市场需求等具体路径构建和完善耕地公共生态产品价值实现机制，以激发耕地公共生态产品扩大再生产行为的内生动力；从化学药品减用、灌溉方式转变、绿色种植技术创新与推广等方面推动耕地绿色利

用水水平的提升, 最终实现耕地公共生态产品供给能力提升目标。

4.2 讨论

(1) 本文以扩大再生产理论为指导, 结合能值法和灰色关联度分析对耕地公共生态产品供给能力以及关键影响因素进行了分析与验证, 得出耕地公共生态产品供给能力提升的关键在于以价值实现激发耕地利用者耕地规模扩大以及绿色化利用的扩大再生产行为, 为耕地公共生态产品供给能力提升提供了理论支撑与方向引领。然而由于耕地利用者在面临复杂的经济社会信息时, 会产生不完全经济理性, 导致耕地公共生态产品价值实现与耕地公共生态产品扩大再生产行为之间不一定有必然的因果联系。因此, 在后续研究中还需对价值实现到扩大再生产行为产生的中间环节进行深入讨论。

(2) 现有研究对于耕地公共生态产品供给的量化多以正面的生态产品核算为主, 未能将耕地利用过程中产生的生态损害予以剔除, 从而导致耕地公共生态产品供给的量化结果过高, 进而导致后续价值实现环节、扩大再生产环节难以落地。本文则利用能值分析法的统一量纲优势和客观优势, 以扣除耕地公共生态损害的净生态产品表征耕地公共生态产品供给量。虽然, 耕地公共生态产品与耕地公共生态损害在逻辑主体上存在区别, 耕地公共生态产品主要是耕地生态系统和人类社会的耕地利用行为附加的结果, 而耕地公共生态损害则主要是人类社会的耕地利用行为对耕地生态系统的扰动。但是耕地公共生态产品和耕地公共生态损害所带来的正负效用最终都会作用在人类社会身上, 两者具有共同的作用对象。耕地公共生态产品供给能力提升的目的在于满足人类社会的需求, 而耕地公共生态损害会带来人类社会生态产品使用价值的折损, 进而引起需求无法满足的情况。因此, 在核算耕地公共生态产品供给能力过程中, 应将耕地公共生态损害的带来的负向效用予以剔除, 从而反映出更真实的供给状况, 同时也更符合经济学规律, 并能够激发耕地绿色利用意愿。

(3) 在实证分析部分, 由于相关基础数据、计算参数的可获得性, 本文仅考虑了小麦、玉米、水稻等播种面积较大(所占比例在90%左右)的主粮作物带来的耕地公共生态产品供给; 在研究单元上, 仅从河南省全省角度进行了时间序列的分析。而受限于当前河南省尚未构建严格意义上的耕地公共生态产品价值实现机制, 本文则使用了农业产值和农业经营人均可支配收入来侧面考察价值实现对于耕地公共生态产品供给能力的影响。在后续研究中则需要综合考虑各类农作物所带来的耕地公共生态产品, 并选取已经构建耕地公共生态产品价值实现机制的研究区进行对照研究, 同时细化研究单元, 进行时空分析, 以得出更为精准的研究结果。

参考文献(References):

- [1] 秦昌波, 苏洁琼, 王倩, 等. “绿水青山就是金山银山”理论实践政策机制研究. 环境科学研究, 2018, 31(6): 985-990. [QIN C B, SU J Q, WANG Q, et al. Practice mechanism analysis of the theory of "lucid waters and lush mountains are invaluable assets". Research of Environmental Sciences, 2018, 31(6): 985-990.]
- [2] 张林波, 虞慧怡, 李岱青, 等. 生态产品内涵与其价值实现途径. 农业机械学报, 2019, 50(6): 173-183. [ZHANG L B, YU H Y, LI D Q, et al. Connotation and value implementation mechanism of ecological products. Transactions of the CSAM, 2019, 50(6): 173-183.]
- [3] 刘耕源, 杨青, 黄潇霄, 等. 2000—2020年中国“两山”价值测算与动态分析. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2022, 58(2): 241-252. [LIU G Y, YANG Q, HUANG X X, et al. Value accounting and dynamic analysis of the "two moun-

- tains" strategy 2000-2020. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2022, 58(2): 241-252.]
- [4] 金铂皓, 黄锐, 冯建美, 等. 生态产品供给的内生动力机制释析: 基于完整价值回报与代际价值回报的双重视角. *中国土地科学*, 2021, 35(7): 81-88. [JIN B H, HUANG R, FENG J M, et al. Implementation of the value eco-label products: Connotation, path and predicament. *Natural Resource Economics of China*, 2021, 35(7): 81-88.]
- [5] 马克思. 《资本论》(第二卷). 北京: 人民出版社, 2004. [MARX K. *Das Kapital* (Vol. 2). Beijing: People's Publishing House, 2004.]
- [6] 严金强. 基于再生产理论的生态与经济协调发展理论探讨. *政治经济学报*, 2019, 16(3): 146-158. [YAN J Q. Discussion on the theory of coordinated development of ecology and economy based on reproduction theory. *The Chinese Journal of Political Economy*, 2019, 16(3): 146-158.]
- [7] 冯娟. 中国高质量供给体系建构研究: 基于马克思再生产理论考察. *当代经济管理*, 2020, 42(6): 6-15. [FENG J. Research on the construction of high-quality supply system in China: An investigation based on Marx's reproduction theory. *Contemporary Economy & Management*, 2020, 42(6): 6-15.]
- [8] 吴义刚. 供给侧结构性改革: 均衡增长的理论与逻辑: 基于马克思扩大再生产理论的研究. *当代经济研究*, 2019, (8): 27-34. [WU Y G. Supply-side structural reform: The theory and logic of balanced growth: Based on Marx's theory of expanded reproduction. *Contemporary Economy Research*, 2019, (8): 27-34.]
- [9] 赵斌, 郑国楠, 王丽, 等. 公共产品类生态产品价值实现机制与路径. *地方财政研究*, 2022, (4): 35-46. [ZHAO B, ZHENG G N, WANG L, et al. The value realization mechanism and path of ecological products of public goods. *Sub National Fiscal Research*, 2022, (4): 35-46.]
- [10] 贾晋, 刘嘉琪. 唤醒沉睡资源: 乡村生态资源价值实现机制: 基于川西林盘跨案例研究. *农业经济问题*, 2022, (11): 1-14. [JIA J, LIU J Q. The value realization mechanism of rural ecological resources: A cross-case study based on linpan in West Sichuan. *Issues in Agricultural Economy*, 2022, (11): 1-14.]
- [11] 王超, 张道军. 中国粮食耕作面积与农用化学品投入的时空协同分析. *中国农业资源与区划*, 2022, 44(2): 194-206. [WANG C, ZHANG D J. Analysis on the spatio-temporal synergy of grain cultivating area and agrochemical inputs in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 44(2): 194-206.]
- [12] 车裕斌. 论耕地资源的生态价值及其实现. *生态经济*, 2004, (s1): 224-228. [CHE Y B. Ecological value of cultivated land resources and its realization. *Ecological Agriculture*, 2004, (s1): 224-228.]
- [13] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. *生态学报*, 2013, 33(21): 6747-6761. [OUYANG Z Y, ZHU C Q, YANG G B, et al. Gross ecosystem product: Concept, accounting framework and case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 6747-6761.]
- [14] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [15] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746. [XIE G D, ZHANG C X, ZHANG C S, et al. The value of ecosystem services in China. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740-1746.]
- [16] ODUM H T. *Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making*. New York: John Wiley&Sons Inc, 1996.
- [17] 刘耕源, 何萍, 王永阳. 农业生态产品及其价值实现路径. *应用生态学报*, 2021, 32(2): 737-749. [LIU G Y, HE P, WANG Y Y. Agro-ecological product and its value realization pathway. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(2): 737-749.]
- [18] 张婧婷, 石浩, 田汉勤, 等. 1981—2019年华北平原农田土壤有机碳储量的时空变化及影响机制. *生态学报*, 2022, 42(23): 9560-9576. [ZHANG J T, SHI H, TIAN H Q, et al. Spatial-temporal changes in and influencing mechanisms for cropland soil organic carbon storage in the North China Plain from 1981 to 2019. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(23): 9560-9576.]
- [19] 卢龙辉, 陈福军, 许月卿, 等. 京津冀“生态系统服务转型”及其空间格局. *自然资源学报*, 2020, 35(3): 532-545. [LU L H, CHEN F J, XU Y Q, et al. Ecosystem services transition in Beijing-Tianjin-Hebei Region and its spatial patterns. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(3): 532-545.]
- [20] 马凤娇, 刘金铜. 基于能值分析的农田生态系统服务评估: 以河北省栾城县为例. *资源科学*, 2014, 36(9): 1949-1957. [MA F J, LIU J T. Agricultural ecosystem services assessment based on emery analysis in Luancheng county. *Re-*

- sources Science, 2014, 36(9): 1949-1957.]
- [21] 王慧, 龙开胜. 基于耕地多功能的江苏省耕地保护补偿标准研究. 中国农业资源与区划, 2022, 43(11): 101-111. [WANG H, LONG K S. Research on the compensation standard of cultivated land protection in Jiangsu province base on the multifunctional cultivated land. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(11): 101-111.]
- [22] 马波, 马璠, 李占斌, 等. 模拟降雨条件下作物植株对降雨再分配过程的影响. 农业工程学报, 2014, 30(16): 136-146. [MA B, MA F, LI Z B, et al. Effect of crops on rainfall redistribution processes under simulated rainfall. Transactions of the CASE, 2014, 30(16): 136-146.]
- [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. 农业工程学报, 2020, 36(19): 252-263. [LIU L H, ZHANG B X, LIU X H. Compensation of provincial cultivated land protection in China from the dual perspectives of food security and ecological security. Transactions of the CSAE, 2020, 36(19): 252-263.]
- [24] 刘利花, 杨彬如. 中国省域耕地生态补偿研究. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(2): 52-62. [LIU L H, YANG B R. Research on ecological compensation of provincial cultivated land in China. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(2): 52-62.]
- [25] 吕晓, 孙晓雯, 彭文龙, 等. 基于能值分析的沈阳市耕地利用可持续集约化时空分异特征研究. 中国土地科学, 2022, 36(9): 79-89. [LYU X, SUN X W, PENG W L, et al. Spatial-temporal differentiation of sustainable intensification of cultivated land use in Shenyang city based on emergy analysis. China Land Science, 2022, 36(9): 79-89.]
- [26] 李源, 李田慧, 梁金水, 等. 辽宁省海洋渔业碳收支及驱动因素分析. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(2): 253-264. [LI Y, LI T H, LIANG J S, et al. Carbon budget and driving factors in marine fisheries in Liaoning province, China. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(2): 253-264.]
- [27] 刘耕源, 杨志峰. 能值分析理论与实践: 生态经济核算与城市绿色管理. 北京: 科学出版社, 2018. [LIU G Y, YANG Z F. Emergy Theory and Practice: Ecological Environmental Accounting and Urban Green Management. Beijing: Science Press, 2018.]
- [28] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002. [LAN S F, QIN P, LU H F. Emergy Analysis of Eco-economic System. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.]
- [29] 郭永奇. 河南省农田生态系统碳源/碳汇及其碳足迹动态变化. 东北农业科学, 2021, 46(6): 87-92. [GUO Y Q. Dynamic change of carbon source/sink and carbon footprint of farmland ecosystem in Henan province. Journal of North-east Agricultural Sciences, 2021, 46(6): 87-92.]
- [30] 罗清元, 杨丹, 刘丽娜, 等. 基于不同环境下的河南省典型区域土壤田间持水量研究. 节水灌溉, 2019, (6): 35-38, 42. [LUO Q Y, YANG D, LIU L N, et al. Study on soil field water capacity in typical regions of Henan province under different environments. Water Saving Irrigation, 2019, (6): 35-38, 42.]
- [31] 张志高, 邵亚军, 郭超凡, 等. 基于MOD16的河南省地表蒸散量时空变化特征. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2021, 46(9): 128-135. [ZHANG Z G, SHAO Y J, GUO C F, et al. On spatial-temporal variation characteristics of evapotranspiration in Henan province based on MOD16 data. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2021, 46(9): 128-135.]
- [32] 于建军, 杨锋, 吴克宁, 等. 河南省土壤有机碳储量及空间分布. 应用生态学报, 2008, 29(5): 1058-1063. [YU J J, YANG F, WU K N, et al. Storage and spatial distribution of soil organic carbon in Henan province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 29(5): 1058-1063.]
- [33] 党照亮, 段理杰, 魏未, 等. 市县级农业温室气体清单编制的研究与探讨. 资源节约与环保, 2020, (1): 119-120, 122. [DANG Z L, DUAN L J, WEI W, et al. Research and discussion on the compilation of agricultural greenhouse gas inventory at city and county level. Resource Conservation and Protection, 2020, (1): 119-120, 122.]
- [34] 郭险峰, 艾静静. 农业碳排放的时空演变、影响因素及脱钩效应研究: 基于31省2000—2019年面板数据. 西昌学院学报: 自然科学版, 2022, 36(1): 9-15, 22. [GUO X F, AI J J. Temporal and spatial variation, influencing factors and decoupling effect of agricultural carbon emissions: Based on panel data of 31 provinces from 2000 to 2019. Journal of Xichang University: Natural Science Edition, 2022, 36(1): 9-15, 22.]
- [35] 尚二萍, 许尔琪, 张红旗, 等. 中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析. 环境科学, 2018, 39(10): 4670-4683. [SHANG E P, XU E Q, ZHANG H Q, et al. Spatial-temporal trends and pollution source analysis for heavy

- metal contamination of cultivated soils in five major grain producing regions of China. *Environmental Sciences*, 2018, 39(10): 4670-4683.]
- [36] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡, 等. 基于InVEST模型的黄河流域土壤侵蚀评估及其时空变化. 兰州大学学报: 自然科学版, 2021, 57(5): 650-658. [YANG J, XIE B P, ZHANG D G, et al. Soil erosion and its temporal-spatial variation in the Yellow River Basin based on the InVEST model. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2021, 57(5): 650-658.]
- [37] 赵敏言. 河南省农作物秸秆资源化利用现状分析. 合作经济与科技, 2021, (17): 38-39. [ZHAO M Y. Analysis on the current situation of crop straw resource utilization in Henan province. *Co-operative Economy & Science*, 2021, (17): 38-39.]
- [38] GOEDKOOP M J, SPRIENSMA R. *The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. The Netherlands: PRé Consultants, Amersfoort, 1999.
- [39] 田云, 尹恣昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应. 中国农村经济, 2022, (3): 104-127. [TIAN Y, YIN M H. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: Basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects. *Chinese Rural Economy*, 2022, (3): 104-127.]
- [40] 刘善劫, 何秉宇, 邹嘉琪. 农用地土壤重金属分布特征与污染分析. 新疆大学学报: 自然科学版, 2022, 39(2): 219-228, 241. [LIU S J, HE B Y, ZOU J Q. Distribution characteristics and pollution analysis of soil heavy metals in agricultural land. *Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition*, 2022, 39(2): 219-228, 241.]
- [41] 陈雅丽, 翁莉萍, 马杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展. 农业环境科学学报, 2019, 38(10): 2219-2238. [CHEN Y L, WENG L P, MA J, et al. Review on the last ten years of research on source identification of heavy metal pollution in soils. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(10): 2219-2238.]
- [42] 苏伟忠, 周佳, 彭棋, 等. 长江三角洲跨界流域生态产品交易机制: 以天目湖流域为例. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1598-1608. [SU W Z, ZHOU J, PENG Q, et al. Ecosystem service products trading in the transboundary basin of the Yangtze River Delta: An example of Tianmu Lake Basin. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1598-1608.]
- [43] 曾贤刚, 虞慧怡, 谢芳. 生态产品的概念、分类及其市场化供给机制. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 12-17. [ZENG X G, YU H Y, XIE F. Concept, classification and market supply mechanism of ecological products. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(7): 12-17.]
- [44] 张林波, 虞慧怡, 李岱青, 等. 生态产品内涵与其价值实现途径. 农业机械学报, 2019, 50(6): 173-183. [ZHANG L B, YU H Y, LI D Q, et al. Connotation and value implementation mechanism of ecological products. *Transactions of the CASM*, 2019, 50(6): 173-183.]
- [45] 张英男, 龙花楼. 农业生产转型及其环境效应的研究进展与展望. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1691-1706. [ZHANG Y N, LONG H L. Agricultural production transition and its environmental effects: Research progress and prospect. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(7): 1691-1706.]
- [46] 张中一, 施正香, 周清. 农用化学品对生态环境和人类健康的影响及其对策. 中国农业大学学报, 2003, 8(2): 73-77, 89. [ZHANG Z Y, SHI Z X, ZHOU Q. Impacts of agrochemical on environment & human health and relevant strategies. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8(2): 73-77, 89.]
- [47] 周明耀. 农田水分高效利用理论与管理技术研究. 南京: 河海大学, 2007. [ZHOU M Y. Study on the theory and management technology of farmland water efficient utilization. Nanjing: Hohai University, 2007.]
- [48] 侯晓康, 刘天军, 黄腾, 等. 农户绿色农业技术采纳行为及收入效应. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2019, 19(3): 121-131. [HOU X K, LIU T J, HUANG T, et al. Adoption behavior and income effects of green agricultural technology for farmer. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2019, 19(3): 121-131.]
- [49] 余威震, 罗小锋, 李容容, 等. 绿色认知视角下农户绿色技术采纳意愿与行为悖离研究. 资源科学, 2017, 39(8): 1573-1583. [YU W Z, LUO X F, LI R R, et al. The paradox between farmer willingness and their adoption of green technology from the perspective of green cognition. *Resources Science*, 2017, 39(8): 1573-1583.]

The supply situation of cultivated land public ecological products and the path of capacity improvement: Taking Henan province as an example

GAO Pan¹, LIANG Liu-tao², ZHU Pei-xin³

(1. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Geography and Environment, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China;

3. China Resources and Environment Development Academy, Nanjing 210095, China)

Abstract: Drawing on Marx's theory of expanded reproduction, this paper argues that the key to enhancing the supply of public ecological products from agricultural land lies in effectively harnessing the value of these products and increasing and greening the scale of agricultural land. To this end, the paper employs both the emergy method and grey correlation analysis to conduct an empirical examination of the supply of public ecological products from agricultural land in Henan province and the factors that influence the supply. The results of the quantitative analysis indicate that during the period of 2000-2020, the overall supply of public ecological products from agricultural land in Henan showed a growth trend, with carbon sequestration and oxygen release being the main types of these products. Ecological damage, overall, presents a fluctuating upward trend, with soil heavy metal pollution being the main type of ecological damage. In addition, the damage caused by public ecological products in the province on the supply of public ecological products from agricultural land shows a decreasing trend, but as of 2020, the ecological damage in Henan still reduced 8.57% of the ecological supply. In this regard, the key driving factors of the current supply of ecological products from agricultural land are the expansionary reproduction behaviors of agricultural land production scale. However, the lack of mechanism for realizing the value of public ecological products from agricultural land and the decline in the level of green utilization of agricultural land hinder the further enhancement of the ecological products supply from agricultural land. Based on this, we propose different paths for enhancing public ecological products from agricultural land from the perspective of realizing the value of ecological products: improving the top-level mechanism, enhancing market transaction path, and stimulating market demand; from the stand of green utilization of agriculture, we propose: reducing the use of chemical fertilizers, converting irrigation mode, innovating and promoting of green planting technology. Taken together, our findings can provide the theoretical reference and directional guidance for relieving the contradiction between the people's growing demand for an agreeable ecological environment and the unbalanced and insufficient development.

Keywords: supply of public ecological products; cultivated land; extended reproduction; lifting path