

山东省农田生态系统服务价值时空变化特征分析

孙希超, 赵晋宇, 王伟

引用本文:

孙希超, 赵晋宇, 王伟. 山东省农田生态系统服务价值时空变化特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2674–2686.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0706>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

施用生物炭对干旱区玉米农田碳足迹的影响

王冠丽, 孙铁军, 刘廷玺, 程功

农业环境科学学报. 2019, 38(11): 2650–2658 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0533>

山东省畜禽粪污土地承载力时空分异特征分析

郑莉, 张晴雯, 张爱平, 刘杏认, 刘士清, 韩聪

农业环境科学学报. 2019, 38(4): 882–891 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0863>

基于能值与生命周期评价耦合模型的农业系统生态效率评估——以北京市郊区为例

王一超, 赵桂慎, 彭澎, 梁龙, 李彩恋

农业环境科学学报. 2018, 37(6): 1311–1320 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1345>

长期施用有机物料对稻田生态系统服务功能的影响

全孝飞, 颜晓元, 王书伟, 周伟

农业环境科学学报. 2017, 36(7): 1406–1415 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0401>

"十三五"国家重点研发计划农田镉砷污染防治领域资助情况概述

徐长春, 郑戈, 林友华

农业环境科学学报. 2018, 37(7): 1321–1325 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0298>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孙希超, 赵晋宇, 王伟. 山东省农田生态系统服务价值时空变化特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2674-2686.

SUN X C, ZHAO J Y, WANG W. Analysis of spatiotemporal variation characteristics of farmland ecosystem service values in Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(12): 2674-2686.



开放科学 OSID

山东省农田生态系统服务价值时空变化特征分析

孙希超, 赵晋宇, 王伟*

(农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:为明确山东省农田生态系统服务价值的时空变化特征,采用生态经济学评价方法,定量核算了2000—2020年间山东省及省内16个地级市的17项农田生态系统服务价值(包括13个正向服务和4个负向服务)。结果表明:从时间上看,2000—2020年,山东省农田生态系统总服务价值表现出波动增长的态势,农田生态系统提供的服务价值逐渐升高。供给服务和调节服务是最重要的服务功能,合计贡献了83.39%~86.72%,其余支持服务、社会保障服务、文化服务贡献率不足20%。负向服务价值在20年间呈波动递减的趋势。从空间上看,2000—2020年间,环鲁中南山地的平原地区,即潍坊、菏泽、德州、聊城、济宁、临沂6市的农田生态系统总服务价值位居前列,接近全省的2/3。威海、东营、日照、淄博、烟台、滨州、枣庄7市的总服务价值位居末位,不足全省的20%。在单位面积农田生态系统总服务价值上,枣庄、泰安稳居全省前二,此外,枣庄的单位面积农田生态系统负向服务价值常年处于全省第一。建议要在加快农业基础设施建设,改善生态环境的同时,根据不同地区的自然条件合理发展农业生产,采用科学的种植技术和高效的管理方式,提高农业生产效率,持续提升农田生态系统的各类服务价值。

关键词:农田生态系统;价值评估;时空变化;山东省;农田生态系统损害

中图分类号:S181 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2023)12-2674-13 doi:10.11654/jaes.2023-0706

Analysis of spatiotemporal variation characteristics of farmland ecosystem service values in Shandong Province, China

SUN Xichao, ZHAO Jinyu, WANG Wei*

(Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China)

Abstract: To clarify spatiotemporal changes in the farmland ecosystem service values in Shandong Province, China, an ecological economics evaluation method was used to quantitatively calculate 17 farmland ecosystem service values (including 13 positive services and 4 negative services) provincially and in 16 prefecture-level cities from 2000 to 2020. During this period, the total farmland ecosystem service values in Shandong Province showed a fluctuating growth trend, and the service value provided by farmland ecosystems gradually increased. Supply and regulation services were the most important service functions, contributing a total of 83.39% to 86.72%. Other support services, social security services, and cultural services contributed <20%. The negative service value displayed a decreasing trend of fluctuation. From a spatial perspective, the Weifang, Heze, Dezhou, Liaocheng, Jining, and Linyi plain areas surrounding the central and southern mountainous areas of Shandong ranked among the top in terms of total farmland ecosystem service values, representing nearly two-thirds of the province. The total farmland ecosystem service values of Weihai, Dongying, Rizhao, Zibo, Yantai, Binzhou, and Zaozhuang ranked last, representing <20% of the province. In terms of the total farmland ecosystem service values per unit area, Zaozhuang and Tai'an consistently ranked first and second, respectively, in the province. In addition, the negative service value of the farmland ecosystem per unit area in Zaozhuang consistently ranked first in the province. The findings support the view that construction of agricultural infrastructure

收稿日期:2023-08-30 录用日期:2023-11-06

作者简介:孙希超(1992—),男,河北万全人,博士,助理研究员,主要从事农业环境损害鉴定评估研究。E-mail:915634280@qq.com

*通信作者:王伟 E-mail:wangweirenzhe@126.com

基金项目:中国农业科学院创新工程项目

Project supported: The Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences

should be accelerated and the ecological environment improved, while reasonably developing agricultural production according to the natural conditions of different regions, adopting scientific planting techniques and efficient management methods, improving agricultural production efficiency, and continuously enhancing the various farmland ecosystem service values.

Keywords: farmland ecosystem; value evaluation; spatiotemporal variation; Shandong Province; damage to farmland ecosystem

农田生态系统指的是人类为满足自身生存需求,立足于土地资源,积极干预自然,利用农田中生物和非生物环境以及生物种群间的关系来生产食物和其他农产品的半自然、半人工生态系统。农田生态系统提供了全球66%的粮食产出,而且还具有气候调节、水源涵养、生物多样性保持等间接服务功能,是世界上最重要的生态系统之一,因其蕴含着巨大的服务功能价值,形成了人类社会生存及发展的基础^[1-4]。当前,经济飞速发展导致的生态环境问题逐渐显露,农田生态系统损害事件日益频发,环境污染和生态破坏为我国农业绿色发展套上了“枷锁”。随着生态环境损害赔偿制度改革工作的持续推进,环境损害鉴定评估工作的重要性逐步明确^[5]。深入研究并定量评估农田生态系统服务价值,有助于科学认识农田的生态效益,进而合理开发利用和管理农田生态系统,推动农业可持续发展^[6-7];此外,有助于农田生态系统损害鉴定评估工作走向精准化、科学化、规范化,有效解决涉农环境纠纷、维护社会和谐稳定。

国外学者对生态系统服务价值的研究始于1925年,Drumarx以人们观赏野生生物的费用来衡量其经济价值;而后Clawson、Flotting、Davis等学者对生态系统价值评估的方法进行了修正;在1997年,Costanza等^[8]开创性地对全球生态系统服务价值进行了评估,具有里程碑式意义;同样是1997年,Daily^[1]对湿地、森林等生态系统服务价值评估案例进行分析,为国内学者开展农田生态系统服务价值评估打下基础。目前国内在生态系统服务功能方面的研究,主要集中于森林、湿地、草原、荒漠等自然生态系统,相关成果形成了系列标准,例如《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T 38582—2020)、《荒漠生态系统服务评估规范》(LY/T 2006—2012)、《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估》(HJ 1173—2021)。由于农田的功能主要侧重于直接服务方面,特别注重产量指标,再加上农田生态系统受人为影响较大,给其服务价值测算带来一定困难^[9],相关研究较少。目前的研究,从评估方法来看,多数基于Costanza等^[8]、谢高地等^[10]提出的价值当量因子修正法^[11],这种方法使用简便,数据需求量少,适用于大尺度的宏观总体

评价,但准确性较低,无法针对具体的服务功能进行差异化量化,也无法反映不同地域间的差异性。从评估指标来看,研究中有参考联合国千年生态系统评估(MA)^[12],将生态系统服务功能划分为供给、调节、文化和支持服务四大类型^[13],也有参考欧阳志云等^[14]提出的GEP概念,将生态系统服务功能划分为生产、生态、生活三大类型,但在具体服务功能指标的选取上,往往只选择几种诸如农产品供给、气体调节、土壤保持、水源涵养等常规指标,忽略了其他指标特别是农田生态系统的负向服务功能指标,导致价值核算不准确。从研究对象来看,针对市县一级范围内单一年份的研究较多^[15-16],往往不具有时间和空间代表性,无法反映长时序、大尺度范围内的农田生态系统服务价值的变化规律。

构建合理的农田生态系统服务评估框架,全面科学地评估农田生态系统服务功能与价值,掌握其时空演变规律,具有重要意义。山东省是我国的农业大省,农业基础雄厚、优势突出。本研究以山东省及省内16个地级市为研究对象,针对农田生态系统特征,选取17个服务功能指标(13个正向指标和4个负向指标),采用生态经济学评价方法,核算2000—2020年间山东省及省内各市农田生态系统服务价值的时空动态变化,以期对政府部门合理调整和规划农业产业结构提供决策依据,也为农田生态系统损害量化工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山东省地处我国东部沿海,濒临渤海、黄海,地跨北纬34°22.9'~38°24.0',东经114°47.5'~122°42.3',全省陆地面积15.58万km²。截至2022年,省内下辖16个地级市,常住人口达10 162.79万人。山东省气候属于暖温带季风气候类型,全年平均气温11~14℃,光照时数2 290~2 890 h,降水量550~950 mm,耕地土壤类型主要为潮土、棕壤和褐土三种。山东省粮食总产连续9年稳定在千亿斤以上,粮菜果、肉蛋奶、水产品等产量均居全国前列,形成了寿光蔬菜、沿黄肉牛等产业集群,农林牧渔业总产值2020年在

全国率先突破并保持在万亿元以上,农产品出口额达1 394亿元,连续24年领跑全国。

1.2 数据来源

本文在计算过程中所采用的农作物产量、农作物播种面积、单位面积粮食产量、耕地面积、农业产值、大小牲畜存栏数、农村地区就业人数、化肥施用量、农药施用量、地膜覆盖面积、降水量数据来源于2001、2011、2021年的《山东省统计年鉴》。因2019年,莱芜市划归济南市,为统一标准,文中涉及2000年和2010年的济南市数据均为济南市和莱芜市之和。此外,为了消除通货膨胀等因素的影响,增强年际间的可比性,本研究中涉及到的价格选取统一标准计算。

1.3 农田生态系统服务评价指标体系构建

为了全面准确核算山东省农田生态系统服务价值,参考前人研究^[9-10,15-20]将其划分为供给服务、调节服务、支持服务、文化服务、社会保障服务、生态环境污染6项一级服务功能,共17项二级服务功能,见表1。

1.4 农田生态系统服务价值核算方法

1.4.1 供给服务价值核算

(1)农产品生产价值

农田生态系统向系统外输出粮食、蔬菜、水果等各种农产品所产生的价值。计算公式为:

$$V_1 = \sum_{i=1}^n Q_i \times P_i$$

式中: V_1 为农产品生产价值,元; Q_i 为第*i*类农作物的产量,t,参考《山东省统计年鉴》,选取山东省产量较大的小麦、水稻、玉米、大豆、薯类、花生、棉花、蔬菜、瓜果9类农作物; P_i 为第*i*类农产品的市场价格,参考《2021年中国农村统计年鉴》中农产品平均出售价格,9类农产品 P_i 分别取值2 284、2 750、2 312、4 860、2 400、7 626、13 852、4 660、5 270元·t⁻¹。

(2)原材料生产价值

农田生态系统的原材料生产价值包括农田提供纤维、木材等工农业生产所需原材料的价值。计算公式为:

$$V_2 = \sum_{i=1}^n Q_i \times \eta_i \times \lambda_i \times P_j$$

式中: V_2 为原材料生产价值,元; Q_i 为第*i*类农作物的产量,t,参考《山东省统计年鉴》,选取山东省产量较大的小麦、水稻、玉米、大豆、薯类、花生、棉花7类农作物; η_i 为第*i*类农作物秸秆的收集系数,7类农作物 η_i 分别取值0.76、0.78、0.95、0.87、0.89、0.88、0.89^[21]; λ_i 为第*i*类农作物秸秆的草谷比,7类农作物 λ_i 分别取值1.03、0.97、1.37、1.71、0.61、1.52、3^[21]; P_j 为秸秆价格,取值180元·t^{-1[21]}。

1.4.2 调节服务价值核算

(1)气体调节价值

气体调节价值是农田生态系统通过作物的光合作用固定大气中的CO₂并释放O₂,维持大气化学组分平衡所产生的价值。计算公式为:

$$V_3 = NPP \times 1.63 \times 27.27\% \times P_c + NPP \times 1.2 \times P_o$$

$$NPP = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \times (1-r_i)}{h_i}$$

式中: V_3 为气体调节价值,元; NPP 为农作物的净初级生产力,t;1.63为常数,每生产1g干物质需要1.63gCO₂;27.27%为常数,为C与CO₂的分子量之比; P_c 为固定CO₂的成本,取值260.9元·t^{-1[22]};1.2为常数,为每生产1g干物质释放1.2gO₂; P_o 为生产O₂的成本,取值376.47元·t^{-1[22]}; Q_i 为第*i*类农作物的产量,t,参考《山东省统计年鉴》,选取山东省产量较大的小麦、水稻、玉米、大豆、薯类、花生、棉花、蔬菜、瓜果9类农作物; r_i 为第*i*类农作物的含水率,9类农作物 r_i 分别取值13%、14%、13%、9%、70%、9%、8%、83%、85%^[22]; h_i 为第*i*类农作物的经济系数,9类农作物 h_i 分别取值0.35、0.47、0.35、0.18、0.75、0.17、0.15、1、0.15^[22]。

表1 山东省农田生态系统服务评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for farmland ecosystem services in Shandong Province

一级服务功能 First level service function	二级服务功能 Second level service function	评价方法 Evaluation method	价值方向 Value direction
供给服务	农产品生产	市场价值法	正向
	原材料生产	市场价值法	正向
调节服务	气体调节	替代成本法	正向
	大气净化	替代工程法	正向
	气候调节	成果参照法	正向
	水源涵养	替代工程法	正向
	洪水调蓄	替代工程法	正向
支持服务	土壤保持	市场价值法	正向
	生物多样性维持	成果参照法	正向
	废弃物消纳	替代成本法	正向
文化服务	养分循环	影子价格法	正向
	休闲旅游	当量因子法	正向
社会保障服务	就业保障	替代成本法	正向
	环境污染	替代成本法	负向
环境污染	化肥污染	替代成本法	负向
	农药污染	替代成本法	负向
	地膜污染	替代成本法	负向
	温室气体排放	碳税法	负向

(2) 大气净化价值

大气净化价值是农田生态系统通过作物枝叶吸纳空气中SO₂、NO_x、HF等有毒气体和粉尘,降低大气污染物质浓度、改善大气质量所产生的价值。计算公式为:

$$V_4 = \sum_{i=1}^n E_i \times C_i \times S$$

式中:V₄为大气净化价值,元;E_i为单位面积农田吸收*i*类污染物的量,SO₂、NO_x、HF、粉尘分别取值45、33.31、0.33、1 500 kg·hm⁻²[22];C_i为*i*类污染物的治理费用,SO₂、NO_x、HF、粉尘分别取值0.6、0.6、0.9、0.17元·kg⁻¹[22];S为农田面积,hm²。

(3) 气候调节价值

气候调节价值是农田生态系统通过植被蒸腾作用和水面蒸发过程吸收热量、降低温度、提高湿度所产生的价值。计算公式为:

$$V_5 = S \times H \times f \times P_e$$

式中:V₅为气候调节价值,元;S为农田面积,hm²;H为单位面积农田吸收的热量,取值81 100 kJ·hm⁻²[9];f为常数,取值1 kWh⁻¹(3 600 kJ⁻¹)^[9];P_e为电价,参考《山东省发展和改革委员会关于继续降低一般工商业电价的通知》,取值0.51元·kWh⁻¹。

(4) 水源涵养价值

水源涵养价值是农田生态系统通过作物层、枯枝落叶层、根系和土壤层拦截降水并蓄水,有效涵养土壤水分、调节地表径流、补充地下水所产生的价值。计算公式为:

$$V_6 = S \times W \times A \times E \times P_k$$

式中:V₆为水源涵养价值,元;S为农田面积,hm²;W为年平均降水量,mm;A为多年平均产流降水占降水总量比例,取值0.4^[15];E为产流降雨条件下农田与裸地降雨径流率之差,取值0.2^[15];P_k为库容造价,取值6.110 7元·t⁻¹[15]。

(5) 洪水调蓄价值

洪水调蓄价值是农田生态系统中水田的田埂类似水库,汛期能蓄积洪水,缓解洪峰造成的威胁和损失所产生的价值。计算公式为:

$$V_7 = S_s \times d \times P_k$$

式中:V₇为洪水调蓄价值,元;S_s为水田面积,hm²;d为一般水田可以蓄积洪水的高度,取值0.2 m^[21];P_k为库容造价,取值6.110 7元·t⁻¹[15]。

因无法获取山东省水田面积数据,故洪水调蓄价值不予计算。

1.4.3 支持服务价值核算

(1) 土壤保持价值

土壤保持价值是农田生态系统通过作物层、枯枝落叶层、根系削减降水对土壤的侵蚀力,从而减少耕地废弃和土壤养分流失的价值。计算公式为:

$$V_8 = V_g + V_b$$

$$V_g = \frac{P_t \times Q_s}{h \times \rho}$$

$$V_b = \sum_{i=1}^n Y_i \times D_i \times Q_s$$

$$Q_s = S \times (E_p - E_r)$$

式中:V₈为土壤保持价值,元;V_g为固土价值,元;V_b为保肥价值,元;P_t为农田平均收益,元·hm⁻²,即农业总产值与农作物播种面积的比值^[21];Q_s为土壤保持量,t;h为耕作层厚度,取值0.5 m^[21];ρ为土壤容重,取值1.34 t·m⁻³[21];Y_i为土壤中第*i*类养分含量,参考山东省2021年度耕地质量监测报告,全氮、有效磷、速效钾分别取值0.113%、0.004 29%、0.02%;D_i为第*i*类养分的市场价格,N、P、K分别取值17 142.86、15 989.34、4 400元·t⁻¹[23];S为农田面积,hm²;E_p为裸地土壤侵蚀模数,取值4.305 2 t·hm⁻²[24];E_r为农田土壤侵蚀模数,取值1.983 8 t·hm⁻²[24]。

(2) 生物多样性维持价值

生物多样性维持价值是农田生态系统为动植物及土壤微生物等提供良好的生长环境,进而维持农田生态系统生态平衡所产生的价值。计算公式为:

$$V_9 = S \times \varepsilon$$

式中:V₉为生物多样性维持价值,元;S为农田面积,hm²;ε为单位面积农田的生物多样性维持价值,取值628.2元·hm⁻²[9]。

(3) 废弃物消纳价值

废弃物消纳价值是农田生态系统对牲畜粪便进行降解、消纳,保持农田的养分平衡所产生的价值。计算公式为:

$$V_{10} = P_f \times (Q_d \times q_d + Q_s \times q_s)$$

式中:V₁₀为废弃物消纳价值,元;P_f为有机肥价格,取值1 000元·t⁻¹[15];Q_d、Q_s分别为大、小牲畜存栏数,头;q_d、q_s分别为大、小牲畜个体年平均排放粪便量,分别取值1.96、0.33 t·头⁻¹[25]。

(4) 养分循环价值

养分循环价值是农田生态系统通过作物吸收和农产品输出与土壤耕作和施肥的联动,使土壤养分得以循环利用所产生的价值。计算公式为:

$$V_{11} = \sum_{i=1}^n Q_i \times S_{ni, pi, ki} \times D_{n, p, k}$$

式中: V_{11} 为养分循环价值, 元; Q_i 为第 i 类农作物的产量, t, 参考《山东省统计年鉴》, 选取山东省产量较大的小麦、水稻、玉米、大豆、薯类、花生、棉花、蔬菜、瓜果 9 类农作物; S_{ni} 、 p_i 、 k_i 分别为第 i 类农作物体内 N、P、K 的含量, 9 类农作物体内 N 含量分别取值 3%、2.4%、2.6%、5%、1.11%、6.8%、25%、0.33%、0.315%, P 含量分别取值 0.55%、0.55%、0.39%、0.39%、0.33%、0.57%、2.62%、0.15%、0.086%, K 含量分别取值 2.07%、2.57%、1.74%、3.07%、1.53%、3.15%、8.3%、0.49%、0.32%^[21, 25]; $D_{n,p,k}$ 分别为 N、P、K 养分的市场价格, 分别取值 17 142.86、15 989.34、4 400 元·t⁻¹^[23]。

1.4.4 文化服务价值(休闲旅游价值)核算

文化服务价值(休闲旅游价值)是农田生态系统的景观吸引游客来体验、休闲、康养、旅游等产生的价值。计算公式为:

$$V_{12} = S \times \theta$$

式中: V_{12} 为休闲旅游价值, 元; S 为农田面积, hm²; θ 为休闲旅游价值当量, 取值 17.6 元·hm⁻²^[25]。

1.4.5 社会保障价值(就业保障价值)核算

社会保障价值(就业保障价值)是农田生态系统在提供农产品的过程中, 增加工作机会, 对农村劳动力起到失业保险作用的价值。计算公式为:

$$V_{13} = N \times 46.8\% \times M \times r$$

式中: V_{13} 为就业保障价值, 元; N 为农村地区就业人数, 人; 46.8% 为常数, 我国农业生产中隐性失业的比例; M 为最低社会保障标准, 参考《2020 年山东省国民经济和社会发展统计公报》, 取值 6 720 元·人⁻¹; r 为农村居民人均消费支出与城镇居民人均消费支出的比值。

1.4.6 环境污染价值

(1) 化肥污染价值

化肥污染价值是农田生态系统生产中化肥的过量施用或不合理施用, 在环境中残留造成污染的价值。计算公式为:

$$V_{14} = Q_f \times (1 - r_f) \times P_f$$

式中: V_{14} 为化肥污染价值, 元; Q_f 为化肥用量, t; r_f 为化肥利用率, 取值 39.2%^[18]; P_f 为化肥市场价格, 取值 2 300 元·t⁻¹^[23]。

(2) 农药污染价值

农药污染价值是农田生态系统生产中农药的过量施用或不合理施用, 在环境中残留造成污染的价值。计算公式为:

$$V_{15} = Q_y \times (1 - r_y) \times P_y$$

式中: V_{15} 为农药污染价值, 元; Q_y 为农药用量, t; r_y 为农药利用率, 取值 39.8%^[18]; P_y 为农药市场价格, 取值 20 797 元·t⁻¹^[21]。

(3) 地膜污染价值

地膜污染价值是农作物生长过程中使用的地膜残留对环境造成污染导致粮食减产的价值。计算公式为:

$$V_{16} = J \times C \times K \times s \times P_l$$

式中: V_{16} 为地膜污染价值, 元; J 为地膜覆盖面积, hm²; C 为地膜残留比例, 取值 41.7%^[26]; K 为单位面积粮食产量, kg·hm⁻²; s 为粮食损失率, 取值 10%^[27]; P_l 为粮食价格, 参考《2021 年中国农村统计年鉴》中粮食平均出售价格, 取值 2.45 元·kg⁻¹。

(4) 温室气体排放价值

温室气体排放价值是农田生态系统在生产过程中常伴随 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等温室气体排放, 加速环境温室效应的发生。计算公式为:

$$V_{17} = \sum_{i=1}^n A_i \times P_c \times (Q_{ic} \times GWP_C + Q_{ich} \times GWP_{CH} + Q_{in} \times GWP_N)$$

式中: V_{17} 为温室气体排放价值, 元; A_i 为第 i 类农作物的播种面积, hm², 选取小麦、水稻、玉米、大豆 4 类农作物^[27]; P_c 为固定 CO₂ 的成本, 取值 260.9 元·t⁻¹^[22]; Q_{ic} 、 Q_{ich} 、 Q_{in} 分别为第 i 类农作物排放 CO₂、CH₄、N₂O 的量, 4 类农作物排放 CO₂ 的量分别取值 9.7、7.9、5.6、6.9 t·hm⁻², 排放 CH₄ 的量分别取值 0、0.17、0、0 t·hm⁻², 排放 N₂O 的量分别取值 0.005 32、0.000 43、0.001 46、0.000 44 t·hm⁻²^[27]; GWP_C 、 GWP_{CH} 、 GWP_N 分别为 CO₂、CH₄、N₂O 的 GWP 指数, 分别取值 1、25、298^[27]。

1.4.7 农田生态系统服务总价值

(1) 正向服务价值(V_Z)

正向服务价值(V_Z)指农田生态系统提供的供给服务、调节服务、支持服务、文化服务、社会保障服务的总和, 本研究中的农田生态系统正向服务价值为 13 种正向服务价值的总和。

(2) 负向服务价值(V_F)

负向服务价值(V_F)指农田生态系统造成的环境污染价值的总和, 本研究中的农田生态系统负向服务价值为 4 种负向服务价值的总和。

(3) 总服务价值

总服务价值指农田生态系统所能提供的净服务价值, 本研究中的农田生态系统总服务价值为正向服务价值与负向服务价值的差值, 计算公式为:

$$V_T = V_Z - V_F$$

式中: V_T 为总服务价值,元。

2 结果与讨论

2.1 山东省农田生态系统服务价值时间变化分析

2.1.1 总服务价值结构分析

农田生态系统的总服务价值由正向服务价值和负向服务价值构成,其中正向服务价值主要体现在供给服务(农产品生产、原材料生产)、调节服务(气体调节、大气净化、气候调节、水源涵养)、支持服务(土壤保持、生物多样性维持、废弃物消纳、养分循环)、文化服务(休闲旅游)和社会保障服务(就业保障)等方面,而化肥污染、农药污染、地膜污染、温室气体排放等构成了农田生态系统的负向服务价值(表2)。

2000—2020年,山东省农田生态系统总服务价值表现出波动增长的态势,20年间从7 164.99亿元上升到8 258.40亿元,增长了1 093.41亿元,其中2010年到2020年总服务价值降低了45.92亿元,主要原因是蔬菜、瓜果产量降低导致农产品供给价值下降所致。不同于总服务价值,单位耕地面积总服务价值呈逐年增长趋势,20年内从108 437.82元·hm⁻²提升到了128 845.65元·hm⁻²,特别是近10年增长了18 280.04元·hm⁻²,说明伴随政策、资金的投入和技术、管理水平的改进,农田生态系统向人类提供服务价值的能力有较大提升。

随着时间推移,山东省农田生态系统的正向服务价值和负向服务价值之比逐渐提升,由19.24升高到23.29。对于正向服务价值,因其价值量较大,变化趋势同总服务价值一致。对于负向服务价值,2000年和2010年的计算结果同祁兴芬^[26]的研究结果接近,整体上看20年间呈现波动递减的趋势,由392.88亿元降低至370.53亿元,单位耕地面积负向服务价值也由5 946.02元·hm⁻²降低到了5 780.99元·hm⁻²,说明山东省农业生产过程中加大了对生态环境的重视程度和保护力度。

2.1.2 正向服务价值结构分析

在山东省农田生态系统正向服务价值组成中,供给服务和调节服务合计在20年间贡献了83.39%~86.72%,是最主要的服务功能。其中农产品生产和气体调节两项服务则占据了正向服务功能的79.44%~82.45%,是贡献率最大的两项服务功能,其原因一方面在于农田生态系统最基本的功能就是提供农产品,同时能够以市场价值体现,而人们对于其他服务功能的认识还处在起步阶段,相应的支付意愿

也就较低;另一方面,由于山东省农作物产量很高,根据初级生产力决定固碳释氧量的思路,因而气体调节服务功能的价值也相应较大。有研究报道,湖北省农田生态系统农产品供给和气体调节价值占到总服务价值的90%左右^[9],河北北戴河区为70%左右^[16],而重庆市北碚区仅为60%左右^[15],这可能与不同地区的农田生产力有关,也可能与指标选取和计算方式有关。其余支持服务贡献了8.53%~11.26%,文化服务贡献了0.01%~0.02%,社会保障服务贡献了4.40%~5.63%,相比之下,北戴河区的休闲旅游服务价值贡献率高达23.96%^[16],可能与其旅游城市的定位有关。

具体来看,供给服务中在2000—2010年农产品生产价值提升了1 064.85亿元,而在2010—2020年下降了264.26亿元,其原因主要是耕地面积以及蔬菜、瓜果产量降低所致。得益于农业生产力的提升,单位面积农产品生产价值在20年间提升了18.88%。原材料生产在总价值和单位面积价值上都表现出逐年上升的趋势,分别提高了38.11%和42.37%。稻秸、玉米秸和麦秸是最主要的三种秸秆类型,而山东省小麦、水稻、玉米产量在20年内有大幅提升,带动了原材料生产价值的升高。近年,东北黑土地地区通过保护性耕作,特别是秸秆全覆盖技术模式,使土壤各项理化指标和农作物产量有了好转和提升^[28],山东省作为我国秸秆资源最丰富的省份之一,应当适度借鉴推广,充分利用好省内的秸秆资源。

调节服务中气体调节价值逐年增长,由777.39亿元提升到995.43亿元,可能因为小麦、玉米的产量逐步提升,而这两种农作物的净初级生产力较高,因而固碳释氧能力较强,单位面积气体调节价值相较于2000年也提升了将近1/3,虽不及森林生态系统,但也为我国未来实现碳达峰、碳中和贡献了一定力量。综合考虑农田生态系统中农作物的光合作用及呼吸作用,其净价值同样呈现逐年增长的趋势,由627.07亿元提升至833.59亿元,20年内提升了32.93%。水源涵养价值主要取决于耕地面积的大小和降水量的多少,2020年全省年平均降水量较2000年和2010年分别提高了31.65%和15.35%,因此虽然耕地面积有所减少,整体水源涵养价值仍较为可观。因大气净化和气候调节价值是以耕地面积为基础计算得出,故其变化趋势同耕地面积一致,呈现出先升高后降低的变化规律,而耕地面积的减少主要受生态退耕、非农建设占用农田、农业结构调整等因素的影响。

支持服务中土壤保持主要包括固土和保肥两项

功能,相较于裸地,耕地依靠其上种植的农作物具有一定的土壤保持能力,以土壤侵蚀模数和耕地面积为基准计算土壤保持量,进而获得固土保肥价值,土壤保持价值变化趋势同耕地面积一致,单位面积土壤保持价值20年内提升了近1/4。废弃物消纳价值呈逐步减少趋势,相比于2000年,2020年总价值和单位面积价值降低了近50个百分点,其原因主要是大小牲畜存栏数降低所致,特别是大牲畜,20年内降低了3/4,故农田生态系统消纳牲畜排泄粪便的价值出现下降。养分循环主要涉及到N、P、K三种营养元素的循环,主要在农作物和土壤中进行,为作物生长发育和产量形成提供了物质保障。因小麦、玉米体内N、P、K含量较高且产量逐步提升,养分循环总价值和单位面积价值分别增长了87.06亿元和1 546.47元·hm⁻²。生物多样性维持价值以耕地面积为基准依靠当量因子法进行计算,同样表现出先增大后减小的趋势,相比于森林、草原、湿地等生态系统,农田生态系统中的生物种类非常少,农田对于维持生物多样性的作用也较小,仅占农田生态系统总服务价值的0.5%左右。

文化服务主要体现在休闲旅游方面,通过当量因子法计算得到休闲旅游价值,同样呈现出先增加后降低的趋势,山东省农田生态系统文化服务价值占比较低,仅占总服务功能的0.015%左右。近几年,休闲农业成为了乡村旅游的一个新亮点。农业同旅游业融合的新模式把传统农作物种植生产同休闲采摘为主的乡村旅游结合起来,对于推动实现农村新业态、增加农民收入具有重要意义^[29]。山东省应当依托本地规模化种植的农作物,特别是蔬菜、水果类农作物,大力发展乡村休闲农业,提升农田生态系统的文化服务价值。

社会保障服务主要体现在就业保障方面,2010年就业保障价值相比2000年降低了20.40亿元,而2020年又比2010年提升了102.77亿元,主要与农村地区就业人数以及农村、城镇居民人均消费水平的变化相关。单位面积耕地提供的就业保障价值共提升了24.14%,充分发挥了耕地的失业保险作用,有利于社会的和谐稳定发展。

2.1.3 负向服务价值结构分析

山东省农田生态系统负向价值主要体现在对环境造成的污染,在农业生产中主要包括化肥、农药、地膜等农业投入品以及农作物排放的温室气体造成的污染。其中化肥、农药、地膜污染价值占到环境污染价值的50%以上,在研究时限内表现出相同的变化趋势,2000—2010年上升,2010—2020年显著降低了

20%~30%。其原因可能是在2010年之前,通过大量施加化肥、农药,使用地膜来最大程度提升农作物产量,未被利用的化肥、农药以及残留在田间的地膜严重破坏了农田生态系统的平衡和稳定。2010年后,随着农业农村部持续开展化肥农药使用量零增长行动,以及对地膜管理的逐步规范,并出台《农用薄膜管理办法》,再加上种质的改良,实现了农作物的高产高效,减少了对农田生态环境的污染。在气体调节过程中,农作物本身会通过呼吸作用排放CO₂,同时农田土壤也会排放产生CO₂、CH₄和N₂O,这些气体都会对全球变暖产生影响,加剧温室效应。温室气体排放价值呈现出先降低后升高的趋势,其原因主要是2010年小麦、水稻、大豆等农作物的种植面积降低所致,未来应当采取措施应对排放增多的温室气体,最大程度降低其对气候的影响。

2.2 山东省农田生态系统服务价值空间变化分析

2000、2010、2020年山东省各市农田生态系统总服务价值变化范围分别为119.24亿~827.73亿元、144.65亿~977.18亿元、126.34亿~1 083.38亿元(图1)。其中在2000年,潍坊、菏泽、德州、聊城、青岛处于第一梯队,到2010年,济宁、临沂进入第一梯队,青岛总服务价值降到600亿元以下,2020年仍维持2010年的总体格局,即环鲁中南山地的平原地区,农田生态系统总服务价值位居全省前列,超过全省的60%。20年间,威海、东营、日照、淄博、烟台、滨州、枣庄7市的总服务价值均处在第三梯队,不足全省的1/5,可能与所处地形和耕地面积较小有关。冯媛^[30]针对2007—2016年间的研究结果同样证实,德州、菏泽、聊城、潍坊、济宁、临沂耕地提供的生态服务价值量相对较大,而枣庄、淄博、日照、威海、东营提供的生态服务价值量偏小。同2000年相比,2020年淄博、日照、东营、青岛、济南、泰安总服务价值降低,其余各市均有不同程度的提升,其中临沂、菏泽增长率位居前列,分别为42.57%、39.93%。单位面积农田生态系统总服务价值方面,不同地区相差较大,3个研究年份变化范围分别为65 306.93~162 382.92元·hm⁻²、70 031.39~166 527.71元·hm⁻²、60 168.93~188 990.62元·hm⁻²(图1)。其中枣庄和泰安常年稳居全省前两位,可能是由于山东农业大学位于泰安市,农业相关的科研成果能够第一时间在当地转化应用,助推泰安农业生产效率的提升,祁兴芬^[26]研究发现,2011年山东省单位面积农田生态系统服务价值最高的城市同样为泰安市。与总服务价值类似,东营、威海、日照、滨州、烟台的单位面积总

表2 山东省农田生态系统服务价值

Table 2 Farmland ecosystem service values in Shandong Province

功能分类 Functional classification	一级服务功能 First level service function	二级服务功能 Second level service function	2000年			2010年			2020年		
			价值 Value/ 亿元	所占比例 Proportion/ %	单位面积价值 Value per unit area/元·hm ⁻²	价值 Value/ 亿元	所占比例 Proportion/ %	单位面积价值 Value per unit area/元·hm ⁻²	价值 Value/ 亿元	所占比例 Proportion/ %	单位面积价值 Value per unit area/元·hm ⁻²
正向	供给服务	农产品生产	5 226.70	69.16	79 102.94	6 291.55	72.31	83 767.19	6 027.29	69.85	94 036.37
		原材料生产	78.72	1.04	1 191.44	90.24	1.04	1 201.53	108.73	1.26	1 696.31
	调节服务	气体调节	777.39	10.29	11 765.39	881.93	10.14	11 742.27	995.43	11.54	15 530.45
		大气净化	19.97	0.26	302.28	22.70	0.26	302.28	19.37	0.22	302.28
		气候调节	0.01	0	0.11	0.01	0	0.11	0.01	0	0.11
		水源涵养	199.72	2.64	3 022.60	259.11	2.98	3 449.86	255.05	2.96	3 979.29
	支持服务	土壤保持	3.47	0.05	52.51	4.53	0.05	60.36	4.17	0.05	65.05
		生物多样性维持	41.51	0.55	628.20	47.18	0.54	628.20	40.26	0.47	628.20
		废弃物消纳	403.18	5.33	6 101.92	259.72	2.99	3 457.98	202.03	2.34	3 152.03
		养分循环	402.70	5.33	6 094.68	459.47	5.28	6 117.46	489.76	5.68	7 641.15
	文化服务	休闲旅游	1.16	0.02	17.60	1.32	0.02	17.60	1.13	0.01	17.60
	社会保障服务	就业保障	403.33	5.34	6 104.15	382.93	4.40	5 098.48	485.70	5.63	7 577.80
	负向	环境污染	化肥污染	197.01	50.14	2 981.55	201.30	50.78	2 680.12	160.84	43.41
农药污染			17.57	4.47	265.84	20.65	5.21	274.91	14.31	3.86	223.28
地膜污染			6.46	1.64	97.76	16.06	4.05	213.82	11.52	3.11	179.75
温室气体排放			171.85	43.74	2 600.86	158.39	39.96	2 108.87	183.86	49.62	2 868.54
总价值合计			7 164.99		108 437.82	8 304.32		110 565.61	8 258.40		128 845.65

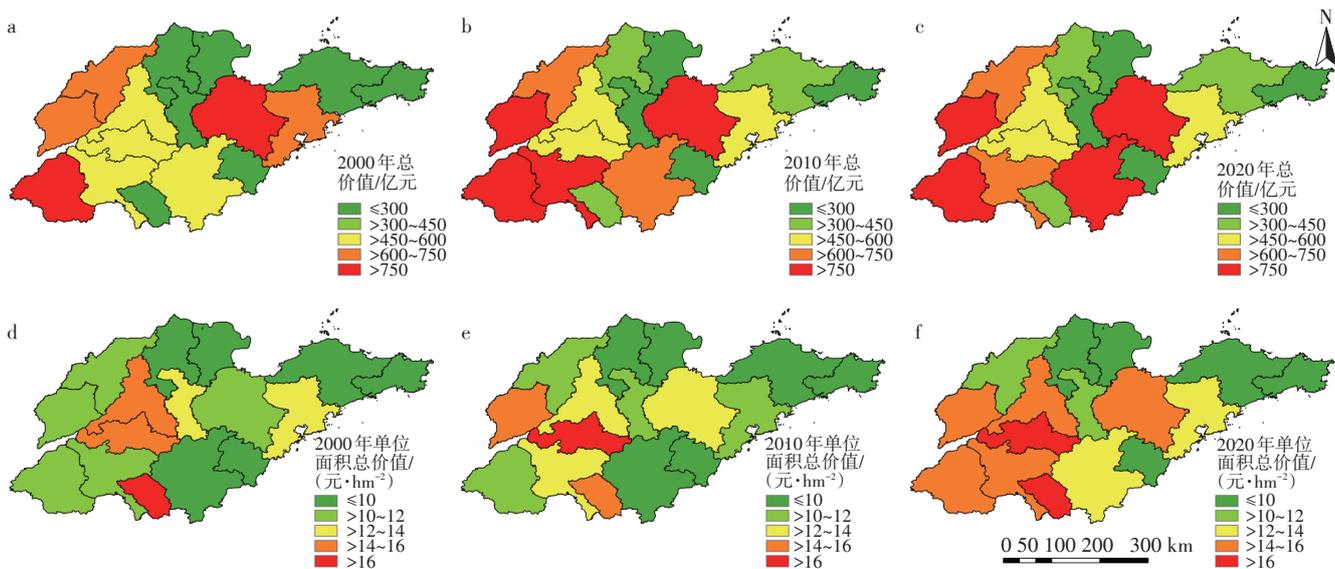


图1 2000年、2010年、2020年农田生态系统总服务价值和单位面积农田生态系统总服务价值

Figure 1 Total farmland ecosystem service values and total farmland ecosystem service values per unit area in 2000, 2010, 2020

服务价值排位同样相对靠后,其中东营、日照、淄博3市的单位面积总服务价值在20年内出现降低,其余各市均有不同程度的提升,临沂上升幅度最大,超过45%。

在正向、负向服务价值之比上,泰安一直处于前两位,且比值接近30,而烟台常年位于末两位,比值

通常不超过15,说明泰安以较低的环境污染代价获取了较高的农田生态系统服务价值,而烟台投入产出比较低。潍坊和临沂两地的比值在20年间升高了10以上,说明两地长期致力于保护农田生态环境和提升农业生产效率工作。各地区农田生态系统正向服务价值量较大,其变化规律同总服务价值基本

一致(图2),在此不再赘述。对于农田生态系统负向服务价值,各市在不同年份的变化范围分别为9.81亿~39.60亿元、9.72亿~48.93亿元、7.05亿~48.66亿元(图3)。其中菏泽、德州、潍坊、聊城、济宁、临沂一直位居全省前6,在2020年接近全省的60%,而日照、威海、淄博、东营、枣庄、泰安常年位居全省末6位,在2020年合计为17.65%,同总服务价值具有一定的对应关系,说明较高的农田生态系统服务价值产出往往伴随着环境污染增加,这同祁兴芬^[26]的研究结果具有一致性。除菏泽、德州、枣庄、聊城、泰安外,其余各市负向服务价值均呈下降趋

势,降幅最高的日照和威海相较2000年降低了30%以上。枣庄的单位面积农田生态系统负向服务价值常年位居全省第一,在2020年甚至接近日照的两倍(图3),这在一定程度上说明了枣庄通过各类农业投入品的大量施用,来换取单位面积农田生态系统服务价值的提升。

在山东省农田生态系统服务中,农产品生产、气体调节、养分循环和就业保障占到正向服务价值的90%以上,化肥污染和温室气体排放占到负向服务价值的90%以上,是主导服务功能。2000—2020年的20年间,环鲁中南山地的菏泽、潍坊、德州、临沂、聊

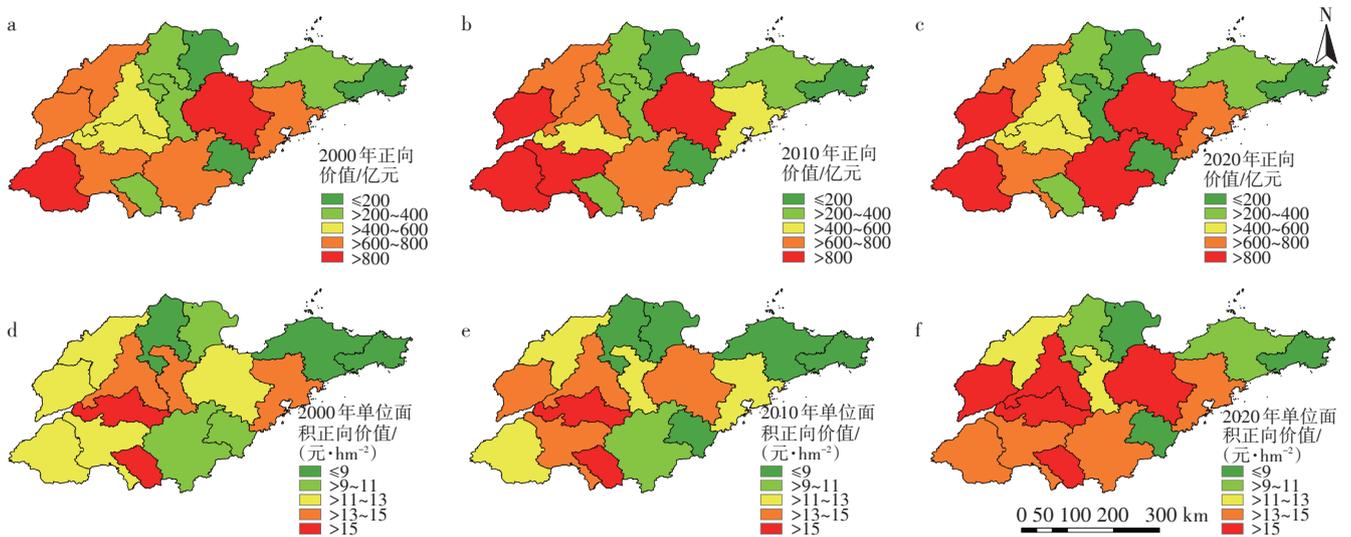


图2 2000年、2010年、2020年农田生态系统正向服务价值和单位面积农田生态系统正向服务价值

Figure 2 Positive farmland ecosystem service values and positive farmland ecosystem service values per unit area in 2000, 2010, 2020

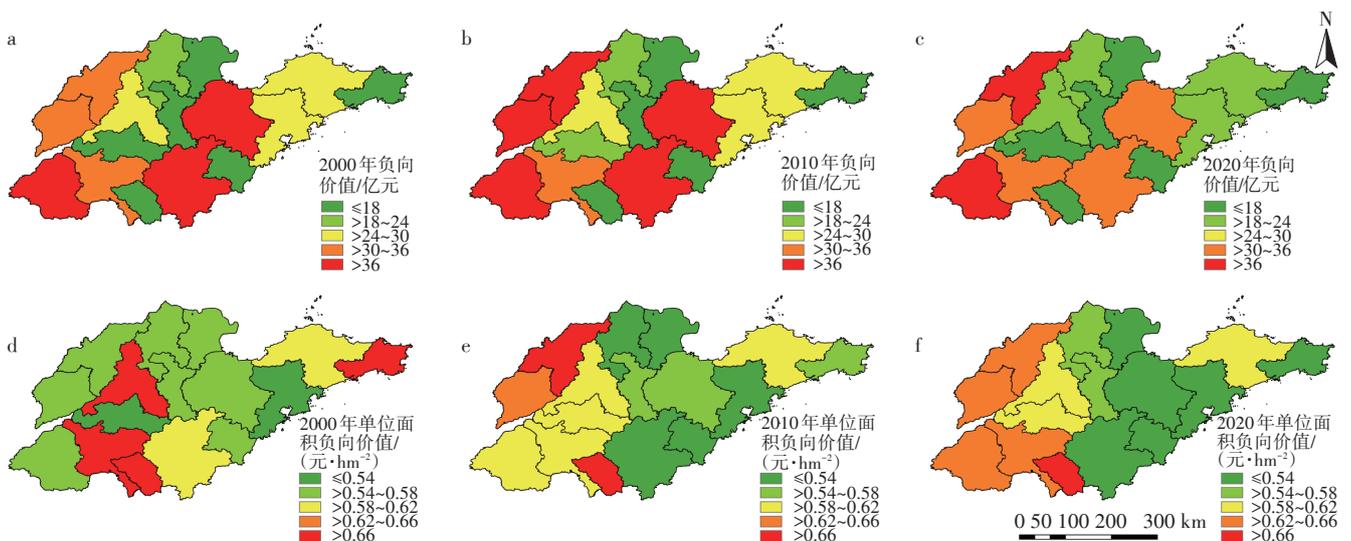


图3 2000年、2010年、2020年农田生态系统负向服务价值和单位面积农田生态系统负向服务价值

Figure 3 Negative farmland ecosystem service values and negative farmland ecosystem service values per unit area in 2000, 2010, 2020

城、济宁6市,因地处平原,加上接近全省6成的广阔耕地面积,无论是正向服务农产品生产、气体调节、养分循环、就业保障价值,还是负向服务化肥污染、温室气体排放价值长期位居全省前列;而淄博、威海、日照、枣庄、东营或因地形以山地为主,或因市内耕地面积较小,上述6种服务价值常年居于全省末尾(图4)。20年间,德州、菏泽两市因耕地面积均增加70 000 hm²以上,各项服务价值增长率也相应位居全省前列;而临沂、聊城、潍坊、济宁四地耕地面积虽出现下降,但农产品生产价值仍实现增长,甚至增长率超过

全省平均水平。枣庄是全省唯一一个在20年内化肥污染价值正增长的城市,同时单位面积化肥污染价值在研究期内均位居全省第一,也正因如此,在不考虑环境污染的前提下,枣庄市的单位面积耕地生产力有了大幅提高,提供的各类农田生态系统服务价值也位居全省前列(图5)。东营与枣庄的耕地面积相近,但单位面积耕地提供的各类农田生态系统服务价值却相差较大,同时在20年间的增长率较低,可能是东营市靠海,盐碱耕地占比较高所致,未来应当致力于盐碱地改良,持续提升单位面积耕地的生产力^[1]。日照

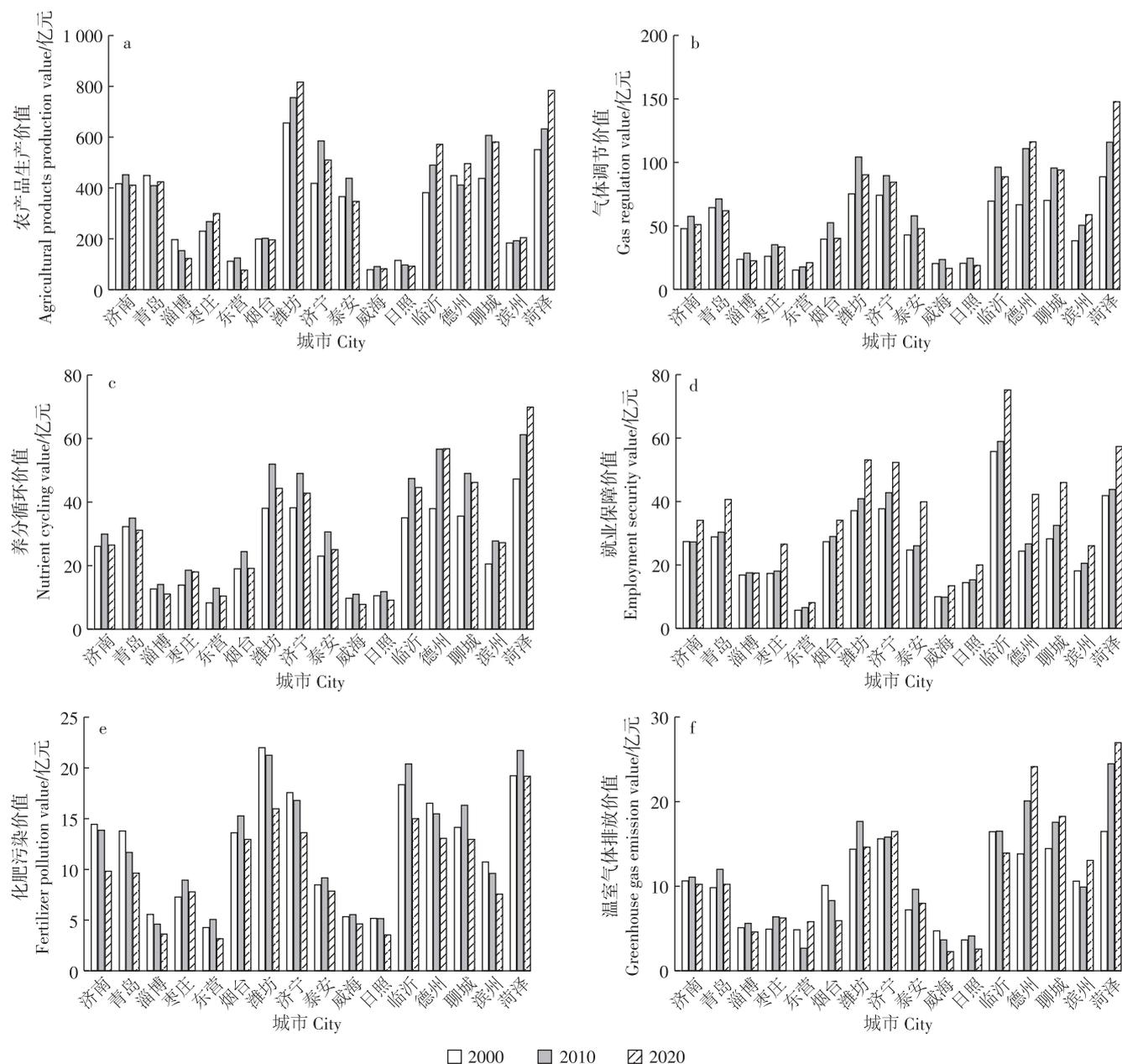


图4 农田生态系统服务价值

Figure 4 Farmland ecosystem service values

市除就业保障外的其余5项主要服务功能单位面积价值均为负增长,需引起当地政府的重视。相比之下,聊城市在具有500 000 hm²耕地的情况下,在降低单位面积化肥污染价值的同时实现了农产品生产、气体调节、养分循环和就业保障价值的正增长,对其他地区具有重要示范意义。

3 结论

(1)从时间上看,2000—2020年,山东省农田生

态系统总服务价值表现出波动增长的趋势,从7 164.99亿元提升至8 258.40亿元,农田生态系统提供的服务价值逐渐升高,在2020年相当于该省GDP的11.34%,不容忽视。正向服务价值的变化趋势同总服务价值一致,其中,供给服务和调节服务是最主要的服务功能,合计贡献了83.39%~86.72%,支持服务贡献了8.53%~11.26%,社会保障服务贡献了4.40%~5.63%,文化服务贡献了0.01%~0.02%。负向服务价值在20年间呈波动递减的趋势,由392.88亿元降低

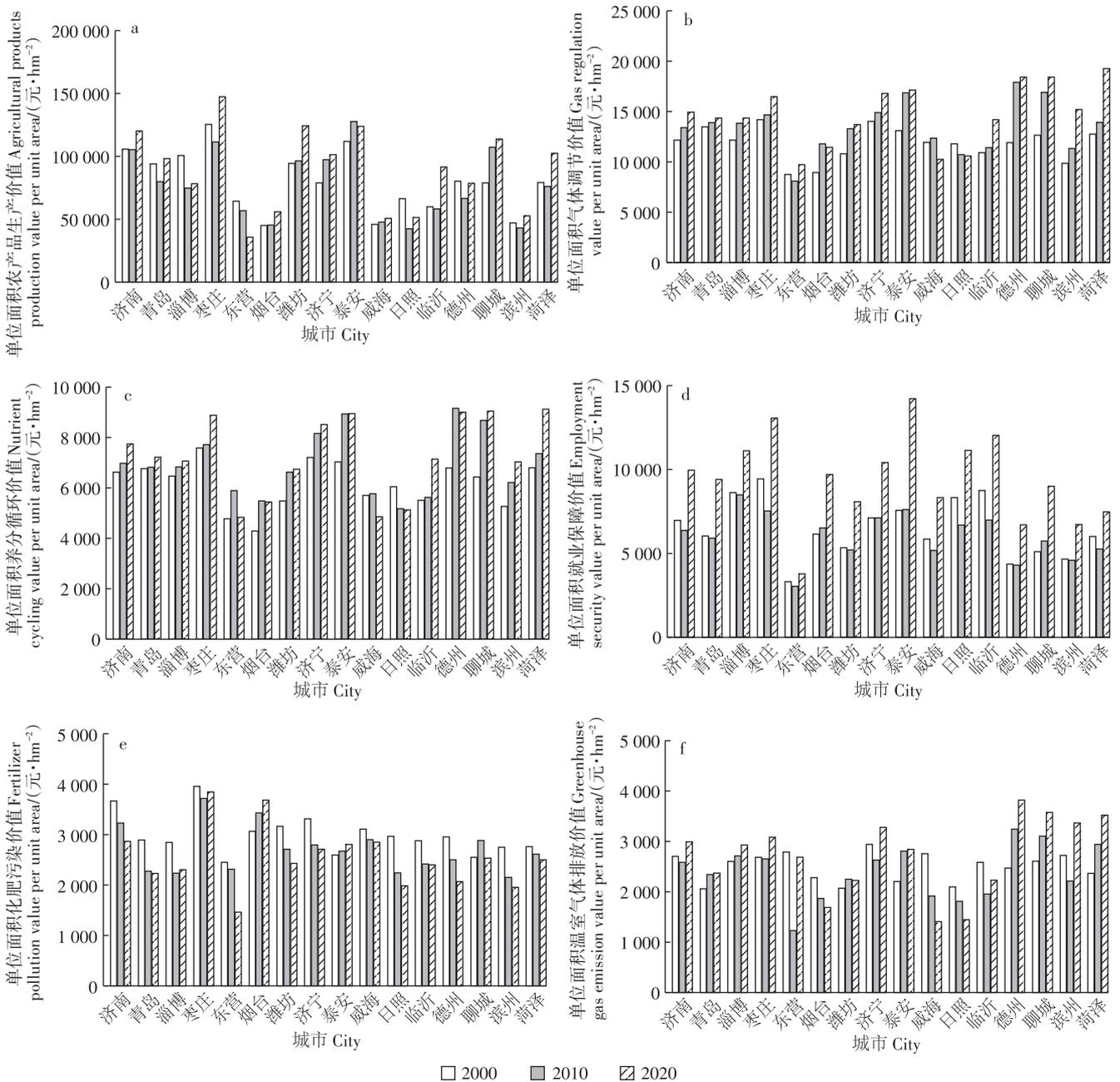


图5 单位面积农田生态系统服务价值

Figure 5 Farmland ecosystem service values per unit area

至370.53亿元。

(2)从空间上看,2000—2020年间,环鲁中南山地的平原地区,即潍坊、菏泽、德州、聊城、济宁、临沂6市的农田生态系统总服务价值位居前列,接近全省的2/3。威海、东营、日照、淄博、烟台、滨州、枣庄7市的总服务价值位居末位,不足全省的两成。在单位面积农田生态系统总服务价值上,枣庄、泰安稳居全省前二,其中,枣庄的单位面积农田生态系统负向服务价值常年位居全省第一,说明其通过各类农业投入品的大量施用,来换取单位面积农田生态系统服务价值的提升。

参考文献:

- [1] DAILY G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] HASSAN R M, SCHOLLES R, ASH N, et al. Ecosystems and human well-being[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [3] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. *American Scientist*, 1974, 62(3): 282-292.
- [4] CAIRNS J T. Protecting the delivery of ecosystem services[J]. *Ecosystem Health*, 1997, 3(3): 185-194.
- [5] 王伟, 张国良, 赵晋宇, 等. 我国农业环境损害鉴定评估标准体系研究[J]. *生态学报*, 2022, 42(1): 161-168. WANG W, ZHANG G L, ZHAO J Y, et al. Research on the standardization construction of agricultural environmental damage appraisal in China[J]. *Ecologica Sinica*, 2022, 42(1): 161-168.
- [6] OUYANG Z Y, SONG C S, ZHENG H, et al. Using gross ecosystem product(GEP) to value nature in decision making[J]. *PNAS*, 2020, 117(25): 14593-14601.
- [7] BAI Y, WONG C P, JIANG B, et al. Developing China's ecological redline policy using ecosystem services assessments for land use planning[J]. *Nature Communications*, 2018(9): 1-13.
- [8] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [9] 熊文, 幸悦, 孙晓玉, 等. 长江经济带重点区域农田生态系统服务价值评价[J]. *人民长江*, 2022, 53(12): 56-62. XIONG W, XING Y, SUN X Y, et al. Study on accounting evaluation of farmland ecosystem service values in key areas of Yangtze River Economic Belt[J]. *Yangtze River*, 2022, 53(12): 56-62.
- [10] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 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[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254. XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [11] CAO Y N, KONG L Q, ZHANG L F, et al. The balance between economic development and ecosystem service value in the process of land urbanization: a case study of China's land urbanization from 2000 to 2015[J]. *Land Use Policy*, 2021, 108: 1-12.
- [12] LEEMANS R, GROOT R D. Millennium ecosystem assessment: ecosystems and human well-being-A framework for assessment[M]. Washington DC: Island Press, 2003.
- [13] FISHER B, TURNER R K, MORLING P, et al. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [14] 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[J]. *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[J]. *Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [15] 李林蔚, 王龙昌, 吴伊雪, 等. 重庆市北碚区农田生态系统服务功能评价[J]. *三峡生态环境监测*, 2021, 6(2): 8-16. LI L Y, WANG L C, WU Y X, et al. Evaluation on service functions of farmland ecosystem in Beibei district of Chongqing[J]. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 2021, 6(2): 8-16.
- [16] 刘小丹, 赵忠宝, 李克国. 河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究[J]. *农业资源与环境学报*, 2017, 34(4): 390-396. LIU X D, ZHAO Z B, LI K G. Measurement of farmland ecosystem services evaluation in Beidaihe district, Hebei Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(4): 390-396.
- [17] 孔凡靖, 陈玉成, 陈庆华, 等. 重庆市农田生态服务价值时空变化特征及其驱动因素分析[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(11): 1637-1648. KONG F J, CHEN Y C, CHEN Q H, et al. Temporal and spatial variation and driving factors of farmland ecological service value in Chongqing[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(11): 1637-1648.
- [18] 胡晓燕, 于法稳, 徐湘博, 等. 农田生态系统服务价值核算: 指标体系构建及应用研究[J]. *生态经济*, 2023, 39(4): 111-121. HU X Y, YU F W, XU X B, et al. Accounting of cropland ecosystem services: indicator system construction and its application[J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(4): 111-121.
- [19] 谢高地, 肖玉. 农田生态系统服务及其价值的研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(6): 645-651. XIE G D, XIAO Y. Review of agro-ecosystem services and their values[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(6): 645-651.
- [20] CAI S Z, ZHANG X L, CAO Y H, et al. Values of the farmland ecosystem services of Qingdao City, China, and their changes[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2020, 11(5): 443-453.
- [21] 曹兴进. 农田生态系统多功能价值评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. CAO X J. Valuation of multi-function of farmland ecosystem [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [22] 余漫. 土地整治对农田生态系统服务的影响[D]. 北京: 中国矿业大学, 2019. YU M. Impact of land consolidation on farmland ecosystem services[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2019.
- [23] 张飞雪. 丹江口库区农田生态强化的生态系统服务价值评估[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022. ZHANG F X. Assessment of ecological service value of farmland ecological rehabilitation in Danjiangkou Reservoir Area[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2022.
- [24] 李翠艳. 牟汶河流域土壤保持功能及其影响因子分析[D]. 济南:

- 山东师范大学, 2021. LI C Y. Analysis of soil conservation function and its influencing factors in Mouwen River Basin[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2021.
- [25] 李帅, 任奚嫻. 山西省农田生态系统服务价值评估[J]. 青海农林科技, 2019(2): 54-59. LI S, REN X X. Value evaluation of farmland ecosystem service in Shanxi Province[J]. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 2019(2): 54-59.
- [26] 祁兴芬. 区域农田生态系统正、负服务价值时空变化及影响因素分析: 以山东省为例[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(5): 622-626. QI X F. Spatial and temporal change of positive and negative services value and its impact factors in regional farmland ecosystem: a case study in Shandong Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2013, 34(5): 622-626.
- [27] 付静尘. 丹江口库区农田生态系统服务价值核算及影响因素的情景模拟研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010. FU J C. Evaluation on farmland ecosystem services value and scenario simulation study of influence factors in Danjiangkou Reservoir Area[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [28] 纪树岩. 黑土地保护性耕作技术应用效果及推广策略[J]. 农业工程, 2021, 11(5): 25-28. JI S Y. Application effect and promotion strategy of conservation tillage technology about black soil[J]. *Agricultural Engineering*, 2021, 11(5): 25-28.
- [29] 颜小花. 休闲农业与乡村旅游管理经营模式的探讨[J]. 南方农机, 2018, 49(3): 104, 106. YAN X H. Discussion on the management and operation models of leisure agriculture and rural tourism[J]. *Nanfang Nongji*, 2018, 49(3): 104, 106.
- [30] 冯媛. 基于生态系统服务价值的山东省耕地生态补偿标准量化研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2018. FENG Y. The research on land ecological compensation standard of Shandong Province based on ecosystem service value[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2018.
- [31] 国金义. 东营市盐碱地农业高质量发展探讨: 以垦利区永安镇为例[J]. 山西农经, 2023(4): 146-149. GUO J Y. Discussion on high quality development of saline alkali land agriculture in Dongying City [J]. *Shanxi Agricultural Economy*, 2023(4): 146-149.