中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

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

孔凡靖，陈玉成，陈庆华，牟秦杰，阎建忠

引用本文:
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.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190192

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于系数修正的青龙县生态系统服务价值动态变化研究

Study on dynamic changes in ecosystem service values in Qinglong County based on coefficient correction

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(6): 971−980 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180927

2000—2013年衡阳市土地利用格局转变对生态系统服务的影响

Effect of land use transformation pattern in 2000−2013 on ecosystem services in Hengyang City, China

中国生态农业学报. 2017, 25(7): 1060−1070 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160913

南方稻区绿肥生态服务功能及生态价值评估研究

Assessment of the functions and ecological services values of green manure in paddy fields in South China

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(2): 327−336 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180525

喀斯特石漠化生态系统服务价值对生态治理的响应*−−以贵州花江峡谷石漠化治理示范区为例

Ecosystem service value responses to ecological control in Karst region−A case study of Huajiang Gorge Demonstration Area of Rocky Desertification Control in Guizhou

中国生态农业学报. 2015(6): 775−784 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.141035

焉耆盆地气候变化和人类活动对生态系统服务价值的影响研究

The impact of human activity and climate change on ecosystem services value in the Yanqi Basin, Xinjiang, China

中国生态农业学报. 2016, 24(5): 684−694 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.151135

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190192

孔凡靖, 陈玉成, 陈庆华, 牟秦杰, 阎建忠. 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, MOU Q J, YAN J Z. 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

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*

孔凡靖[1,2], 陈玉成[1,2**], 陈庆华[1,2], 牟秦杰[1], 阎建忠[1]

(1. 西南大学资源环境学院 重庆 400716; 2. 农村清洁工程重庆市工程研究中心 重庆 400716)

摘 要: 农田对保障区域物质供给、生态系统服务供给有着不可替代的作用, 为探究区域农田生态服务价值的时空变化和驱动因素, 本文基于重庆市 2007—2016 年统计年鉴及相关年份区县年鉴数据信息, 构建农田生态服务价值指标体系, 引入物价指数, 通过列表清单法对重庆市农田生态服务价值进行评估, 利用 STIRPAT 模型分析各区县间人均农田生态服务价值差异的社会驱动因素。研究表明: ①2007 年、2012 年和 2016 年重庆市农田生态服务价值分别为 898.06 亿元、938.97 亿元和 1 038.45 亿元, 呈明显上升趋势, 增幅为 15.63%; 年均农田正向服务价值(1 024.49 亿元)远高于其负向价值(59.02 亿元)。②就农田生态服务价值空间变化而言, 渝西片区的总量和人均变化幅度最大, 为 30.32%和 16.80%, 其中农业较为发达的永川区、江津区农田负向价值相对突出; 人均年农田生态服务价值排序为: 渝东南片区(5 855 元·人$^{-1}$)>渝东北片区(4 027 元·人$^{-1}$)>渝西片区(3 846 元·人$^{-1}$)>主城片区(840 元·人$^{-1}$)。③农业人口、城市化率、万元 GDP 能耗是重庆市各区县人均农田生态服务价值空间差异的社会驱动因素, 主城片区的发展对其农田生态系统造成较大的压力, 该区域应合理调整产业结构, 以提升农田生态服务价值。研究结果为重庆市农田生态环境保护、恢复以及耕地补偿等提供科学依据。

关键词: 农田; 生态服务价值; 列表清单法; 正向服务价值; 负向价值; 重庆市

中图分类号: S181

文章编号: 2096-6237(2019)11-1637-12 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Temporal and spatial variation and driving factors of farmland ecological service value in Chongqing*

KONG Fanjing[1,2], CHEN Yucheng[1,2**], CHEN Qinghua[1,2], MOU Qinjie[1], YAN Jianzhong[1]

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Chongqing Engineering Research Center of Rural Cleaning, Chongqing 400716, China)

Abstract: Farmland plays an irreplaceable role in ensuring the supply of materials and of ecosystem services. In this study, we aimed to explore the regional farmland ecological service value in terms of spatial and temporal changes as well as driving factors, based on the statistical yearbook of Chongqing from 2007 to 2016 and the counterpart annual data of the districts and

* 国家自然科学基金项目(41761144081, 41571093)资助

** 通信作者: 陈玉成, 研究方向为环境规划与管理。E-mail: chenyucheng@swu.edu.cn

孔凡靖, 研究方向为农田重金属风险评估。E-mail: 503845560@qq.com

收稿日期: 2019-03-15 接受日期: 2019-07-22

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41761144081, 41571093).

** Corresponding author, E-mail: chenyucheng@swu.edu.cn

Received Mar. 15, 2019; accepted Jul. 22, 2019

counties in Chongqing in the relevant years. We constructed a farmland ecological service value index system, evaluated the farmland ecological service value in Chongqing based on the price index and tabulation and list method, and analyzed the social driving factors contributing to the difference in per capita farmland ecological service value among districts and counties in Chongqing using the STIRPAT model. The results showed that the values of farmland ecological services in Chongqing in 2007, 2012 and 2016 were ¥89.80 billion, ¥93.89 billion and ¥103.84 billion, respectively. The farmland ecological service value showed an evident upward trend with an increase rate of 15.63%. The 10-year mean farmland positive service value (¥102.45 billion) was considerably higher than its negative value (¥5.90 billion). In terms of the temporal change of farmland ecological services value, the total amount and per capita difference in the west of Chongqing were the most significant (30.32% and 16.80%, respectively). In the west of Chongqing, the farmland negative value of the Yongchuan and Jiangjin Districts, where agriculture is more developed, was relatively prominent. The farmland ecological service value ranked as follows: southeast of Chongqing (¥5 855 per person) > northeast of Chongqing (¥4 027 per person) > west of Chongqing (¥3 846 per person) > center of Chongqing (¥40 per person). The agricultural population, urbanization rate and energy consumption per ¥10 000 of GDP were the social driving factors attributable for the spatial difference of the per capita farmland ecological service value in all districts and counties of Chongqing. Development of the main city area had exerted a substantial pressure on its farmland ecosystem. The industry structure in this area should be rationally adjusted to improve the farmland ecological service value. The research results provide a scientific basis for the ecological environment protection, restoration, and compensation of farmland in Chongqing.

Keywords: Farmland; Ecological service value; Tabulation and list method; Positive service value; Negative value; Chongqing City

农田作为食物的生产载体与农户的生产活动场所不仅带来可观的经济价值, 同时也带来不菲的生态价值。随着经济的发展, 人们逐步意识到生态服务功能是人类生存与现代文明的基础, 科学技术并不能替代自然[1]; 对农田生态服务价值的评估研究为我们正确认识农田生态服务价值提供重要依据。国内外学者已对生态服务价值评估进行了大量研究[2-11], 从评估方法上, 谢高地等[2]结合国内实际情况, 以核算国内实物量为基础, 修订并分析了各类生态系统的服务价值; 刘小丹等[4]和张宏锋等[5]采用列表清单法对研究区域农田生态服务价值进行测算, 得到农田固碳释氧功能具有可观价值。从体系框架上, 国外学者 Costanza 等[6]通过把生态系统服务功能分为 17 种不同的类型, 进而估算其生态服务价值; 联合国参考 Costanza 等[6]相关研究提出《千年生态系统评估》[7], 将生态系统服务功能分为 4 个大类, 即提供功能、文化功能、调节功能、支持功能; 国内学者对于生态系统功能评估指标体系的构建大多基于前人研究基础。从评估结果表达上, 马依拉•热合曼等[12]采用价值当量法结合地理信息技术对绿洲生态系统进行评估, 展示了区域生态服务价值的空间分布情况。但以往研究在评估方法、指标体系等方面存在一些问题, 从评估方法上, 生态服务价值当量法的运用中农田单价被低估[8,13], 使其评估得到的生态服务价值偏低, 列表清单法虽能较为全面地评估生态系统的服务价值[4-5], 但部分研究[11]在运用过程中对库容单价等的选取不妥, 延用以往参数并未进行修正; 从指标体系上, 多数研究[4-5,10]以静态分析农田正向服务价值为主, 缺乏农田负向服务价值的研究; 同时, 也缺乏农田生态服务价值空间差异分析的研究。

重庆市为典型的大城市带动大农村, 无论是农村区域、农村人口都占有很大的比例, 然而关于农田生态服务价值研究相对较少。张艳军等[8]根据遥感影像资料, 对土地类型进行划分, 结合生态服务价值当量法, 从空间上表达区域中各类型生态系统的服务价值; 杜家强等[9]利用生态服务价值当量法, 从时间上预测重庆市生态服务价值的变化趋势。在乡村振兴的背景下, 经济快速发展将导致部分区域土地利用覆被发生了剧烈变化, 在“人工-自然”驱动下生态系统更为脆弱[14], 尤其是农田生态系统, 农田生态系统具有多种服务功能, 因此, 研究农田生态服务价值及其时空变化规律具有重要意义。为此, 本文以重庆市为例, 构建农田生态服务价值评估体系, 结合物价修正指数, 运用列表清单法计算重庆市 2007—2016 年农田生态服务正向与负向价值, 通过 ArcGIS 分析各区县农田生态服务价值的空间分布特征, 利用 STIRPAT 模型分析各区县间人均生态服务价值差异的社会驱动因素, 为重庆市的农田生态环境保护、恢复以及耕地补偿等提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

重庆市位于中国内陆西南部, 总面积为 8.24 万 km^2, 辖 38 个区县, 农田面积为 2.56 万 km^2, 约占总面

积的 1/3, 其中渝中区无耕地。据年鉴资料, 2017 年重庆市农业人口为 1 776.60 万, 农业增加值为 1 363.87 亿元。重庆市气候属湿润亚热带季风气候, 多年平均气温为 14.8~18.7 ℃, 多年平均降雨量为 1 038~1 186 mm; 境内山地丘陵面积占 98%。农用耕地开发度较高, 主要以坡耕地为主, 主要粮食作物有水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)、小麦(*Triticum aestivum*)、红薯(*Ipomoea batatas*)4 大类, 尤以水稻居首。然而水田兼有广义人工湿地的功能, 具有潜在的生态服务价值。因此, 研究重庆市农田生态服务价值的时间、空间变化规律显得尤为重要。

1.2　数据来源

研究采用的作物、经济等数据来源于 2007—2016 年《重庆统计年鉴》, 2007 年、2012 年和 2016 年重庆各区县统计年鉴; 评估方法中的系数、参数来源于相关文献。

1.3　农田生态服务价值指标体系构建与评估方法

以 Costanza 等[6]的研究以及《千年生态系统评估》为基础, 重新划分农田生态服务功能价值的类型。按照环境要素、环境与生态的关系等将农田生态服务价值分为 7 个大类, 分别为大气生态价值、水生态价值、土壤生态价值、生物生态价值、防灾减灾价值、环境净化价值以及农田负向价值。根据重庆市的农田特点以及作物特色, 确定重庆市农田生态服务价值指标的框架体系(表 1)。

表 1　重庆市农田生态服务价值指标

Table 1　Farmland ecological service value indexes of Chongqing

一级指标 First-level index	二级指标 Second-level index	三级指标 Third-level index	评估方法 Assessment method
生态正向价值 Positive ecological value	大气生态价值 Atmosphere ecological value	固碳价值(V_1) Value of carbon sequestration (V_1)	碳税法 Carbon tax method
		释氧价值(V_2) Releasing oxygen value (V_2)	工程替代法 Alternative engineering method
	水生态价值 Water ecological value	涵蓄降水价值(V_3) Value of storing precipitation (V_3)	影子工程法 Shadow engineering method
	土壤生态价值 Soil ecological value	土壤保持价值(V_4) Soil conservation value (V_4)	机会成本法 Opportunity cost method
		养分循环价值(V_5) Nutrient cycling value (V_5)	机会成本法 Opportunity cost method
	生物生态价值 Biological ecological value	授粉价值(V_6) Pollination value (V_6)	机会成本法 Opportunity cost method
		生物多样性价值(V_7) Biodiversity value (V_7)	系数修正法 Coefficient correction method
	防灾减灾价值 Value of disaster prevention and reduction	洪水调蓄价值(V_8) Flood control value (V_8)	影子工程法 Shadow engineering method
		防风固沙减淤价值(V_9) Value of reducing silt (V_9)	影子工程法 Shadow engineering method
环境正向价值 Positive environmental value	环境净化价值 Environmental purification value	秸秆还田价值(V_{10}) Value of straw returning to field (V_{10})	机会成本法 Opportunity cost method
		消纳畜禽粪便价值(V_{11}) Value of handling livestock manure (V_{11})	机会成本法 Opportunity cost method
生态环境负向价值 Negative value of ecological environment	农田负向价值 Negative value of farmland	地膜负面价值(V_{12}) Negative value of plastic film mulching (V_{12})	市场价值法 Market valuation method
		化肥负面价值(V_{13}) Negative value of fertilizers (V_{13})	市场价值法 Market valuation method
		农药负面价值(V_{14}) Negative value of pesticides (V_{14})	市场价值法 Market valuation method
		温室气体排放价值(V_{15}) Value of greenhouse gas emissions (V_{15})	碳税法 Carbon tax method

收集重庆市主要农作物水稻、玉米、大豆(*Glycine max*)、蔬菜、油菜、薯类播种面积、经济产量等数据, 采用影子工程法、机会成本法、工程替代法、市场价值法等, 以 2016 年的市场价格为基准, 同时引入物价修正指数对重庆市 2007—2016 年及各区县 2007 年、2012 年和 2016 年农田生态系统所产生的大气生态、水生态、土壤生态、生物生态、环境净化、防灾减灾等正向及负向价值量进行评估(表 2)。

表 2 重庆市农田生态服务价值评估方法

Table 2 Farmland ecological service value assessment methods in Chongqing

生态服务价值类型 Type of ecological service value	测算方法 Calculating method	参数含义 Meaning of parameter
固碳价值(V_1) Value of carbon sequestration (V_1)	$V_1=\mathrm{NPP}_i\times S_i\times E_c\times P_c$ $\mathrm{NPP}_i=[B\times(1-D)]/(F\times S_i)$	S_i 为播种面积(hm^2)[15], P_c 为固碳成本(¥·kg^{-1})[16], NPP_i 为净生物量($kg·hm^{-2}·a^{-1}$), E_c为固碳系数[17], B为作物产量(t)[15], D为作物含水量(%)[18], F为经济系数[18]。(表中相同的符号表示一个含义, 故不重复解释) S_i is the planting area (hm^2)[15], P_c is the cost of carbon fixation (¥·kg^{-1})[16], NPP_i is net biomass ($kg·hm^{-2}·a^{-1}$), E_c is the carbon sequestration coefficient[17], B is the crop yield (t)[15], D is the crop water content (%)[18], F is the economic coefficient[18]. (The same symbols in the table indicate the same meaning, so the explanation is not repeated).
释氧价值(V_2) Releasing oxygen value (V_2)	$V_2=\mathrm{NPP}_i\times S_i\times E_o\times P_o$ $\mathrm{NPP}_i=[B\times(1-D)]/(F\times S_i)$	E_o为释氧系数[17], P_o为释氧成本[16] E_o is the oxygen release coefficient[17], P_o is the cost of industrial oxygen production[16].
涵蓄降水价值(V_3) Value of storing precipitation (V_3)	$V_3=P_i\times A\times S\times E\times P_k$	P_i为降水量($mm·a^{-1}$)[15], A为多年平均产流降雨占降雨总量比例[19], E为产流降雨条件下农田与裸地降雨径流率之差[4], S为农田面积(hm^2)[15], P_k为库容造价(¥·t^{-1})[20] P_j is the amount of precipitation ($mm·a^{-1}$)[15], A is the ratio of average annual runoff rainfall to total rainfall[19], E is the difference in runoff rates between farmland and bare land under runoff rainfall conditions[4], S is the farmland area (hm^2)[15], P_k is the cost of storage capacity (¥·t^{-1})[20].
土壤保持价值(V_4) Soil conservation value (V_4)	$V_4=\dfrac{(A_i\times S_i\times B_1)}{(H\times 10\,000\times\rho)}$	A_i 为土壤保持量($t·hm^{-2}·a^{-1}$)[21], B_1 为农田多年平均收益(10^4¥·$hm^{-2}·a^{-1}$)[15], ρ为土壤容重($t·m^{-3}$)[22], H为表层土平均厚度(m)[23] A_i is the amount of soil retained ($t·hm^{-2}·a^{-1}$)[21], B_1 is the average annual income of farmland[15], ρ is the soil bulk density ($t·m^{-3}$)[22], H is the average thickness of the topsoil (m)[23].
养分循环价值(V_5) Nutrient cycling value (V_5)	$V_5=S_i\times(X_2-X_1)\times(N\times C_1/R_1+P\times C_1/R_2+K\times C_2/R_3+M\times C_3)$	X_1为农田侵蚀模数($t·hm^{-2}·a^{-1}$), X_2为裸地侵蚀模数($t·hm^{-2}·a^{-1}$)[24], N、P、K、M分别为土壤N、P、K和有机质含量($g·kg^{-1}$)[25]。C_1、C_2、C_3分别为磷酸二铵化肥、氯化钾化肥和有机质价格(¥·t^{-1})[26]。R_1为磷酸二铵化肥含氮量, R_2为磷酸二铵化肥含磷量, R_3为氯化钾化肥含钾量[26] X_1 is the farmland erosion modulus, X_2 is the bare ground erosion modulus ($t·hm^{-2}·a^{-1}$)[24]; N, P, K, and M are soil nitrogen, phosphorus, potassium, and organic matter contents ($g·kg^{-1}$)[25]; C_1, C_2, and C_3 are the prices of diammonium phosphate fertilizer, potassium chloride fertilizer, and organic matter (¥·t^{-1})[26]; R_1 is the nitrogen content of the diammonium phosphate fertilizer, R_2 is the phosphorus content of the diammonium phosphate fertilizer, and R_3 is the potassium content of the potassium chloride fertilizer[26].
授粉价值(V_6) Pollination value (V_6)	$V_6=S_i\times P_p$	P_p为传粉功能价值(¥·$hm^{-2}·a^{-1}$)[27] P_p is the value of pollination function (¥·$hm^{-2}·a^{-1}$)[27].
生物多样性价值(V_7) Biodiversity value (V_7)	$V_7=\left(B_j/B_i\right)\times W\times S$	B_j为耕地潜在经济产量($t·hm^{-2}$)[28]; B_i为全国耕地潜在经济产量($t·hm^{-2}$); W为耕地生物多样性价值(¥·hm^{-2})[28] B_j is the potential economic output of cultivated land ($t·hm^{-2}$)[28], B_i is the potential economic output of cultivated land in China ($t·hm^{-2}$), W is the value of cultivated land biodiversity (¥·hm^{-2})[28].
洪水调蓄价值(V_8) Flood control value (V_8)	$V_8=H_1\times S_f\times P_k$	H_1为田埂平均高度(m); S_f为耕地面积($hm^2·a^{-1}$)[15] H_1 is the average height of the field (m), S_f is the area of cultivated land ($hm^2·a^{-1}$)[15].
防风固沙减淤价值(V_9) Value of reducing silt (V_9)	$V_9=24\%\times A_i\times P_k/\rho$	
秸秆还田价值(V_{10}) Value of straw returning to field (V_{10})	$V_{10}=45\times S_i+P_z\times 3/365$	P_z为大气治理费用(10^8¥·a^{-1})[29] P_z is the cost of managing the atmosphere (10^8¥·a^{-1})[29].
消纳畜禽粪便价值(V_{11}) Value of handling livestock manure (V_{11})	$N_1<N_2$: $V_{11}=(2N_1-N_2)\times E_f\times P_f$ $N_1>N_2$: $V_{11}=N_2\times E_f\times P_f$ $N_1=L\times S$	N_2为实际猪当总量[15], N_1为最大承载猪当总量, L为单位面积最大承载猪当量(头·hm^{-2})[30], E_f为单位猪当量粪便排泄量(kg·头$^{-1}$), P_f为粪便处理成本(¥·kg^{-1}) N_2 is the actual pig equivalent[15], N_1 is the maximum load of pig equivalent, L is the maximum load of pig equivalent per unit area (pigs·hm^{-2})[30], E_f is the fecal excretion per unit pig equivalent ($kg·pig^{-1}$), P_f is the cost of manure treatment (¥·kg^{-1}).
地膜负面价值(V_{12}) Negative value of plastic film mulching (V_{12})	$V_{12}=J\times C\times B\times r\times p$	J为地膜覆盖面积(hm^2)[15], C为地膜残留比例(%)[31], r为粮食损失率(%)[32], p为粮食价格(¥·t^{-1})[33] J is the mulch cover area (hm^2)[15], C is the ratio of mulch residue (%)[31], r is the rate of food loss (%)[32], p is the price of food (¥·t^{-1})[33].

续表 2

生态服务价值类型 Type of ecological service value	测算方法 Calculating method	参数含义 Meaning of parameter
化肥负面价值(V_{13}) Negative value of fertilizer (V_{13})	流失: $V_{13}=M_1\times(1-r_1)\times p_1$ 治理: $V_{13}=V_s\times F_1\times F_2$	M_1为化肥用量(t)[15], r_1为化肥利用率(%)[34], p_1为化肥价格(¥·t^{-1}), V_s为水环境污染的经济损失(¥·a^{-1})[15,35], F_1为全国平均农业面源污染负荷占水体污染负荷的比例[35], F_2为重庆市农业面源污染中化肥的贡献率[36] M_1 is the amount of fertilizer (t)[15], r_1 is the fertilizer utilization rate (%)[34], P_1 is the price of fertilizer (¥·t^{-1}), V_s is the economic loss of water pollution (¥·a^{-1})[15,35], F_1 is the ratio of the national average agricultural non-point source pollution load to the water pollution load[35], F_2 is the contribution ratio of chemical fertilizers in agricultural non-point source pollution in Chongqing[36].
农药负面价值 (V_{14}) Negative value of pesticides (V_{14})	$V_{14}=M_2\times(1-r_2)\times p_2$	M_2为农药用量(t)[15], r_2为农药利用率(%)[34], p_2为农药价格(¥·t^{-1}) M_2 is the amount of pesticide (t)[15], r_2 is the pesticide utilization rate (%)[34], P_2 is the price of pesticides (¥·t^{-1}).
温室气体排放价值(V_{15}) Value of greenhouse gas emissions (V_{15})	$V_{15}=\mathrm{EF}\times\mathrm{AD}\times 25\times P_c$	EF 为稻田甲烷排放因子(kg·hm^{-2})[18], AD 为水稻播种面积(hm^2)[15] EF is rice field methane emission factor (kg·hm^{-2})[18], AD is rice planting area (hm^2)[15].

1.4　物价指数的修正

参考相关文献及标准规范[20], 对本研究评估方法中某些价格进行修正, 修正方法见式 1。

$$P_1=L_1/L_0\times P_0 \quad (1)$$

式中: P_1为修正后价格(¥), L_1为评估基准时间的物价指数, L_0为评估对象原购置时间的物价指数, P_0为评估对象原价格(¥)。

1.5　STIRPAT 模型

可拓展随机性环境影响评估模型(stochastic impacts by regression on population, affluence & technology, STIRPAT)是对随机回归影响模型的重新定义, 该模型可模拟变量对环境的影响[37]。将 STIRPAT 模型用于分析农田生态服务价值空间差异的驱动因素时, 该模型表达式为:

$$I=\mathrm{a}\times P^b\times A^c\times T^d\times e \quad (2)$$

式中: I 表示环境压力, P 表示人口数量, A 表示富裕度, T 表示技术水平, a 为常系数, e 为模型误差, b、c、d 为弹性系数。

本研究在重庆市农田生态服务价值空间差异的驱动因素选择上, 避开自然驱动因素, 参考相关学者基于该模型的分析[38-39], 重点考虑农田生态服务价值差异可能存在的社会驱动因素。以人均农田生态服务价值(I)为环境压力指标, 选取重庆市各区县以下社会经济发展指标: 农业总人口(P)、人均 GDP(A_1)、农村居民人均可支配收入(A_2)、第二产业比重(T_1)、城市化率(T_2)、万元 GDP 能耗(T_3)。通过对公式(2)两边取对数所形成的模型在 SPSS 23 中进行逐步回归分析。

2　结果与分析

2.1　农田生态服务价值时间分布特征

根据重庆市农田生态服务价值量, 将各类型价值整合, 计算得到 2007—2016 年农田生态服务价值总量与 7 个类型的生态服务价值量占比(图 1)。由图 1 可知, 2007—2016 年, 重庆市农田生态服务价值呈明显上升趋势, 且农田各类型的生态服务价值存在较大的差异,

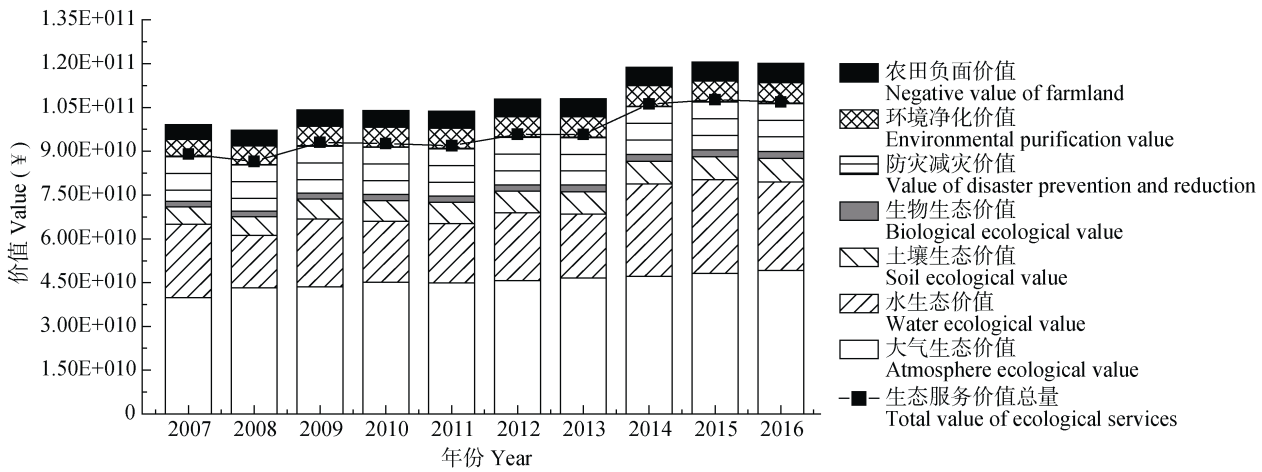

图 1　2007—2016 年重庆市农田生态服务价值量

Fig. 1　Values of farmland ecological services in Chongqing from 2007 to 2016

年均生态服务价值排序为: 大气生态价值(41.91%)>水生态价值(22.64%)>防灾减灾价值(15.07%)>土壤生态价值(6.67%)>环境净化价值(6.24%)>农田负面生态价值(5.44%)>生物生态价值(2.03%)。其中, 大气生态价值与水生态价值所占农田生态价值比例达 64.55%, 说明农田生态系统这两块功能尤为重要。其次, 防灾减灾价值与土壤生态价值所占农田生态服务价值比例为 21.74%, 该两项功能也占据不少比例, 原因在于重庆市的耕地多为坡耕地, 农作物的栽种能够减少土壤流失。

重庆市农田生态服务价值总体呈现出明显上升趋势(图 1), 为具体分析其变化情况, 计算得到重庆市 2007 年、2016 年的农田生态服务价值量(表 3)。从价值类型分析, 大气生态价值、水生态价值、土壤生态价值、环境净化价值都有一定程度的上升, 其中涵蓄降水价值和土壤保持价值增幅相对明显, 为 34.59%和 34.74%, 原因在于涵蓄降水价值受年降雨量影响, 降雨量的多少直接影响其价值的高低, 而土壤保持价值的大小与农田面积密切相关。从农田负向价值分析, 2007—2016 年农田生态负面价值整体呈现出上升趋势, 增加了 13.33 亿元, 其中化肥不合理使用的负面价值突出, 说明农业所带来的面源污染正在逐渐增强。消纳畜禽粪便价值为正向价值, 说明从整体看重庆市农田的环境容量并未达到饱和, 畜禽粪便的还田能够带来积极效益。

表 3 2007—2016 年重庆市农田生态服务价值量变化

Table 3 Changes in the values of farmland ecological services in Chongqing from 2007 to 2016

生态服务价值类型 Type of ecological services value	价值量 Value (10^8¥)		两年间的变化量 Change from 2007 to 2016	
	2007	2016	数量 Quantity (10^8¥)	幅度 Rate (%)
固碳价值(V_1) Value of carbon sequestration (V_1)	253.92	293.81	39.89	15.71
释氧价值(V_2) Releasing oxygen value (V_2)	172.39	199.47	27.08	15.71
涵蓄降水价值(V_3) Value of storing precipitation (V_3)	210.36	283.12	72.76	34.59
土壤保持价值(V_4) Soil conservation value (V_4)	20.84	28.08	7.24	34.74
养分循环价值(V_5) Nutrient cycling value (V_5)	53.17	58.20	5.03	9.46
授粉(V_6) Pollination value (V_6)	2.46	2.69	0.23	9.35
生物多样性价值(V_7) Biodiversity value (V_7)	21.28	23.30	2.02	9.49
洪水调蓄价值(V_8) Flood control value (V_8)	162.12	156.31	−5.81	−3.58
防风固沙减淤价值(V_9) Value of reducing silt (V_9)	10.59	11.59	1.00	9.44
秸秆还田价值(V_{10}) Value of straw returning to field (V_{10})	19.86	21.53	1.67	8.41
消纳畜禽粪便价值(V_{11}) Value of handling livestock manure (V_{11})	24.14	26.75	2.61	10.81
地膜负面价值(V_{12}) Negative value of mulch (V_{12})	0.62	0.48	−0.14	−22.58
化肥负面价值(V_{13}) Negative value of fertilizer (V_{13})	15.45	31.24	15.79	102.20
农药负面价值(V_{14}) Negative value of pesticides (V_{14})	10.31	8.95	−1.36	−13.19
温室气体排放价值(V_{15}) Value of greenhouse gas emissions (V_{15})	26.69	25.73	−0.96	−3.60
总计 Total	898.06	1 038.45	140.39	15.63

2.2 农田生态服务价值空间分布特征

根据各区县 2007 年、2012 年、2016 年统计年鉴, 计算得到重庆市各区县农田生态服务价值(表 4)。从时间上分析, 重庆市主城片区的农田生态服务价值在缓慢降低, 总量变化率为−13.35%, 人均变化率为−25.52%。渝西、渝东北、渝东南片区的农田生态服务价值在稳定增长, 其中渝西片区的总量与人均变化比例最大, 为 30.32%和 16.80%。从空间上分析, 重庆市 4 大片区的农田生态服务价值总量排序为: 渝西片区(41.81%)>渝东北片区(34.92%)>渝东南片区(17.04%)>主城片区(6.23%); 3 年人均农田生态服务价值排序为: 渝东南片区(5 855 元·人$^{-1}$)>渝东北片区(4 027 元·人$^{-1}$)>渝西片区(3 846 元·人$^{-1}$)>主城片区(840 元·人$^{-1}$)。

为直观了解 2007—2016 年重庆市各个区县农田生态服务价值的变化趋势, 绘制重庆市各区县农田生态服务价值分布图(图 2), 将农田生态服务价值量分为 6 个等级。结果显示, 2007—2016 年重庆市各区县农田生态服务价值整体呈现上升的趋势, 其中潼南区、江津区、涪陵区、万州区、合川区农田生态服务价值较高且上升趋势明显, 表明这 5 个区县农业较为发达; 主城片区的农田生态服务价值较低; 而渝东北片区中, 相对偏远的城口县农田生态服务价值较低, 原因在于该县人口总数少、可用的

表 4　2007 年、2012 年、2016 年重庆市农田生态服务价值变化
Table 4　Farmland ecological service value in Chongqing in 2007, 2012 and 2016

地区 Area	2007		2012		2016		总量变化率 Total change rate (%)	人均变化率 Per capita change rate (%)
	总量 Total amount (10^8¥)	人均 Per capita (¥)	总量 Total amount (10^8¥)	人均 Per capita (¥)	总量 Total amount (10^8¥)	人均 Per capita (¥)		
主城片区 Main city area	64.66	994.71	57.48	784.84	55.03	740.84	–13.35	–25.52
渝西片区 Western Chongqing	358.64	3 653.29	381.93	3 617.29	466.37	4 267.38	30.32	16.80
渝东北片区 Northeastern Chongqing	317.23	3 755.11	343.73	4 071.90	342.38	4 254.85	7.93	13.30
渝东南片区 Southeastern Chongqing	157.53	5 661.83	155.83	5 445.59	174.67	6 456.32	10.20	14.03

耕地面积不多、其矿业经济在县域经济中占有重要地位。

同时为分析重庆市各区县 2016 年农田负面价值的空间分布, 绘制各区县农田负面价值分布图(图 3), 将农田负面价值量分为 5 个等级。对比 2016 年农田生态服务价值总量, 研究显示, 农业发达的区县带来的农田负面价值也相对较高, 渝西片区农田负面价值较大, 其中永川区、江津区农田负面价值突出, 达到第 4、5 等级, 表明该区域存在一定的污染风险, 应严格控制形势。

2007—2016 年重庆市各区域农田负面价值(表 5)在空间上呈现出不同的变化趋势。其中, 主城片区及渝东北片区的农田负向价值量和占比都呈上升的势态, 这可能与区域长期建设发展相关。渝西片区与渝东南片区的农田负向价值量在缓慢升高的同时, 其占比呈现出一种先升后降的势态, 说明农业较发达的区域往往伴随着相对较高的负向价值, 但研究数据显示, 随着时间的推移, 农户的环境保护意识在逐渐增强, 农田所带来的正向价值远远大于其负面价值。

2.3　农田生态服务价值空间差异的社会驱动因素分析

将重庆市 2016 年各区县(除渝中区外)所选取的社会经济指标以及人均农田生态服务价值, 根据公式(2)取其对数, 利用 SPSS 23.0 软件对自变量进行逐步回归分析, 构建重庆市各区县人均农田生态服务价值空间差异的 STIRPAT 模型, 见表 6。

模型 3 的 R^2 为 0.834, 且通过了 0.01 水平的显著性检验, 说明该模型的拟合度较好。3 个自变量 $\ln P$、$\ln T_2$ 和 $\ln T_3$ 分别在 0.01、0.01 和 0.05 水平对因变量产生显著影响。因此, 对 $\ln I$(人均农田生态服务价值)产生显著影响的自变量有 $\ln P$、$\ln T_2$ 和 $\ln T_3$, 即农业人口、城市化率和万元 GDP 能耗是引起重庆各区县人均农田生态服务价值空间差异的驱动因素。而 $\ln A_1$(人均 GDP)、$\ln A_2$(农村居民人均可支配收入)和 $\ln T_1$(第二产业比重)对因变量影响不显著。根据拟合结果, 得到模型方程:

$$\ln I=4.166+0.813\ln P-1.791\ln T_2+0.584\ln T_3 \quad (3)$$

农业人口、万元 GDP 能耗的弹性系数为正数(0.813、0.584)(表 6), 说明随着这些因子的增长, 区县人均农田生态服务价值也会相应增长, 且每增加 1%的农业人口或万元 GDP 能耗, 人均农田生态服务价值增加 0.813%或 0.584%。因此, 农业人口数量在一定程度上影响农业发展, 农业人口多的区县能够产生较高的农业产值, 区域的人均农田生态服务价值也随之较高, 如渝西部分地区、渝东南部分地区; 万元 GDP 能耗低, 说明区域属于集约型经济增长方式, 产业构成以服务业为主, 如主城区, 其人均农田生态服务价值相对较低。城市化率的弹性系数为负值(–1.791), 说明人均农田生态服务价值会随着城市化率的增大而减小(图 4); 城市化的进程, 特别对于土地的过度开发, 导致农田面积减少, 进而影响其生态服务价值。弹性系数可以解释变量承受的压力, 系数绝对值越大, 因变量所受压力越大, 因此城市化率高的地区, 如主城片区, 对农田生态系统造成的压力更大。由图 4 可知, 涪陵区作为渝西片区中的一部分, 人均农田生态服务价值较高的同时, 城市化水平和人均 GDP 也较高, 说明该区在经济发展、工业发展过程中, 相对更注重农田生态系统保护; 重庆市各区县间发展速度的差距仍然较大, 地区间发展不平衡。

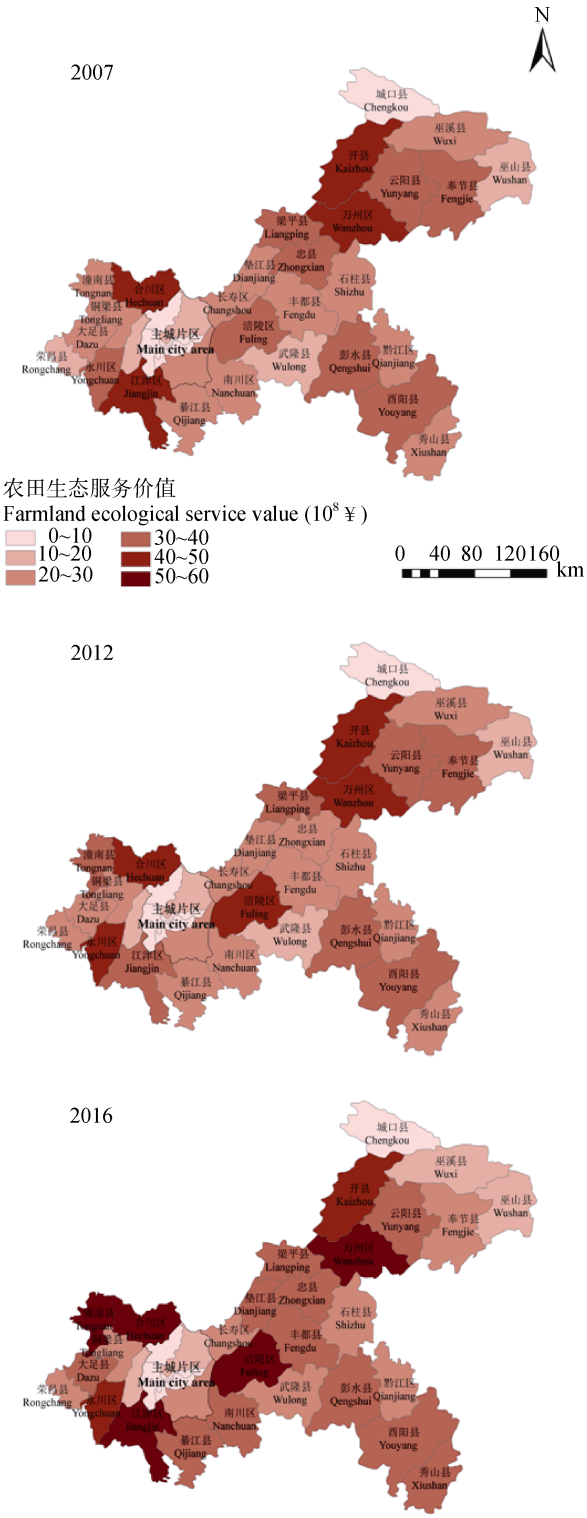

图 2 2007 年、2012 年和 2016 年重庆市区县农田生态服务价值分布

Fig. 2 Value distribution of farmland ecological services in Chongqing in 2007, 2012 and 2016

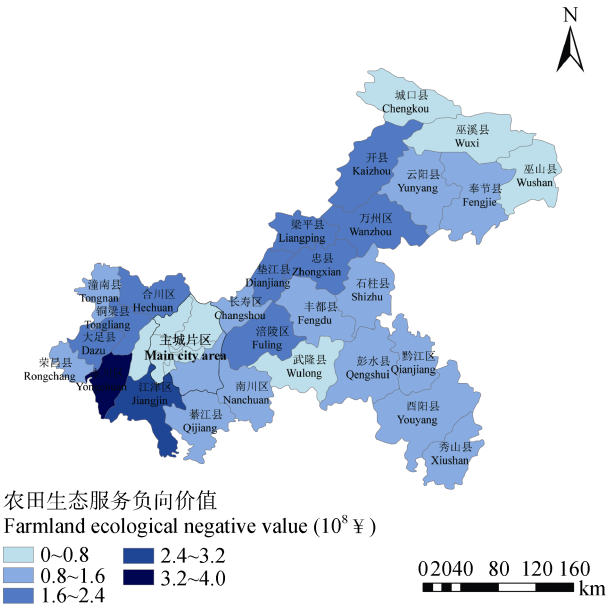

图 3 2016 年重庆市区县农田负向价值分布

Fig. 3 Distribution of negative value of farmland in Chongqing in 2016

3 讨论

以往研究[8-9]发现农田生态服务价值具有时效性，故前人研究能反映当时状况但并不能作为本研究的比较对象。因此，为验证列表清单法运用于本研究的可行性与合理性，采用价值当量法简单评估农田生态服务价值与本研究评估结果进行对比。相关学者[2]构建了农田生态服务价值当量法中全国当量因子表。根据中国生态系统价值当量表，结合修正系数，得到重庆市农田生态服务价值当量表(表 7)，计算出 2016 年重庆市农田生态服务价值总量，为 812.04 亿元。从农田生态服务价值总量分析，当量法测算的农田生态服务价值(812.04 亿元)小于列表清单法测算的农田生态服务价值(1 038.45 亿元)，原因在于农田，尤其是水田相当于人工湿地[8]，对于水源涵养、灾害的调控意义重大，况且水稻为重庆市主要农作物，水田面积占比很高，其生态服务价值不可忽视。而当量法将其归于旱地，低估了水田的生态服务价值，进而低估农田的生态服务价值。从生态功能类型分析，当量法中的废物处理价值(229.32 亿元)与本研究中环境净化价值(48.28 亿元)相差甚远，原因在于当量法中废物处理价值未考虑农田的环境容量，一致认为废物量在环境中处于一种未饱和的状态，导致结果出现偏差，高估了农田废物处理的实际生态服务价值，该指标需结合研究区域实际情况，考虑畜禽养殖等对农田存在的风险[30]。本研究测算的大气生态价值(498.28 亿元)较为可观，与张宏锋等[5]的结论一致。价值当量法并未考虑农田负向价值，虽然农田所带来的正服务价值远大于负服务价值，但农田负向价值(66.40 亿元)客观存在不容忽视。

表 5　2007 年、2012 年和 2016 年重庆市农田负向价值及其占比

Table 5　Negative value of farmland and its' proportion of total ecological services values in Chongqing in 2007, 2012 and 2016

地区 Area	2007		2012		2016	
	负向价值 Negative value (10^8 ¥)	占比 Proportion (%)	负向价值 Negative value (10^8 ¥)	占比 Proportion (%)	负向价值 Negative value (10^8 ¥)	占比 Proportion (%)
主城片区 Main city area	5.54	8.57	7.60	13.23	9.78	17.77
渝西片区 Western Chongqing	24.62	6.86	27.24	7.13	29.21	6.14
渝东北片区 Northeastern Chongqing	16.01	4.81	17.55	5.11	20.09	5.37
渝东南片区 Southeastern Chongqing	6.90	4.38	7.07	4.54	7.32	4.15

表 6　重庆市各区县人均农田生态服务价值空间差异的 STIRPAT 模型分析

Table 6　STIRPAT model analysis of spatial difference in ecological services value of each county (district) of Chongqing

模型 Model	常数 constant	ln$P$	lnA_1	lnA_2	lnT_1	lnT_2	lnT_3	R^2	样本量 Sample size	D-W
模型 1 Model 1	3.877	1.099**						0.646	37	
模型 2 Model 2	4.000	0.746**				−1.886**		0.796	37	
模型 3 Model 3	4.166	0.813**				−1.791**	0.584*	0.834	37	1.329

P: 农业总人口; A_1: 人均 GDP; A_2: 农村居民人均可支配收入; T_1: 第二产业比重; T_2: 城市化率; T_3: 万元 GDP 能耗。**和*分别表示在 1%、5%水平显著。P: agricultural population; A_1: GDP per capita; A_2: disposable income per farmer; T_1: proportion of the secondary industry; T_2: urbanization rate; T_3: energy consumption for ten thousand CNY. ** and * mean significant effects of the variables at 1% and 5% levels, respectively.

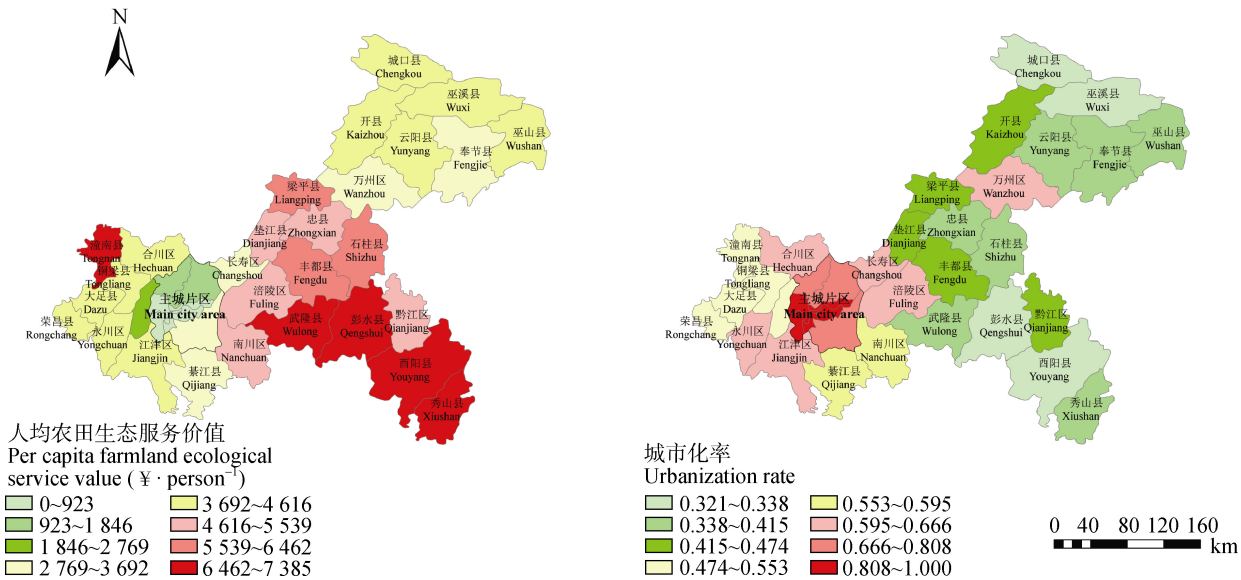

图 4　2016 年重庆市各区县人均农田生态服务价值与城市化率

Fig. 4　Per capita farmland ecological service value and urbanization rate in Chongqing in 2016

从农田生态服务价值空间差异分析，本研究通过测算得到重庆市各区县年均生态服务价值渝东南片区(5 855 元·人$^{-1}$)>渝东北片区(4 027 元·人$^{-1}$)>渝西片区(3 846 元·人$^{-1}$)>主城片区(840 元·人$^{-1}$)。主城片区人均农田生态服务价值较低，然而主城片区人口密度大，数量多，对于农田生态系统的服务应具有较大的需求。通过 STIRPAT 模型分析，得到城市化率、农业人口、万元 GDP 能耗对重庆市农田生态服务价值的空间分布有较大影响，区域城市化进程会给整个生态系统造成影响[40]。根据重庆市各区县农田面积[15]，主城片区农田逐渐减少，结合主城片区人均农田生态服务价值(840 元·人$^{-1}$)，可以得出主城片区对农田生态系统服务的需求远大于供给，相反偏远地区对农田生态系统服务的需求相对过剩。因此，主城片区对农田生态系统造成的压力较大，农田生态服务供给较为紧张。

表 7 重庆市农田生态服务价值当量与其生态服务价值
Table 7 Farmland ecological value equivalent and its ecological service value of Chongqing

生态功能 Ecosystem service function	当量 Equivalent	服务价值 Service value (10^8 ¥)
气体调节 Air regulation	0.52	70.14
气候调节 Climate regulation	0.92	124.10
水源涵养 Water conservation	0.62	83.63
土壤形成与保护 Soil formation and protection	1.51	203.69
废物处理 Waste treatment	1.70	229.32
生物多样性保护 Biodiversity conservation	0.74	99.82
生态娱乐 Ecological recreation	0.01	1.34
合计 Total	6.02	812.04

列表清单法能够较为全面地评估农田的生态服务价值[4-5]，但所采用的价格是否合理、是否具有时效性是农田生态服务价值评估是否可靠的关键。以往相关研究[11,41]对于某些价格，如库容造价，未进行修正，导致农田生态服务价值评估结果失去一定的公信度。引入物价指数作为修正系数能较好地解决价格老化问题，在面对时间层面上农田生态服务价值的分析与比较时，更为合理。综上，列表清单法运用于本研究更具可行性和合理性。本研究在驱动因素选择上避开自然驱动因素的原因是在农田生态服务价值评估过程中涉及了许多自然驱动因素，再将此纳入驱动指标进行分析会失去研究意义。

4 结论

1)重庆市农田生态服务价值总量 2007 年、2012 年和 2016 年分别为 898.06 亿元、938.97 亿元和 1 038.45 亿元，总体呈上升趋势，变化幅度为 15.63%。农田平均生态服务价值量排序为：大气生态价值(41.91%)>水生态价值(22.64%)>防灾减灾价值(15.07%)>土壤生态价值(6.67%)>环境净化价值(6.24%)>农田负面生态价值(5.44%)>生物生态价值(2.03%)，农田生态系统的固碳释氧功能价值可观。

2)重庆市 4 大区域中，主城片区农田生态服务价值缓慢降低，降低幅度为–13.35%；渝西、渝东北、渝东南片区农田生态服务价值在稳定增长，其中渝西片区的总量与人均变化比例最大，为 30.32%、16.80%。一年内人均农田生态服务价值量排序为：渝东南片区(5 855 元·人$^{-1}$)>渝东北片区(4 027 元·人$^{-1}$)>渝西片区(3 846 元·人$^{-1}$)>主城片区(840 元·人$^{-1}$)。农业较为发达的永川区、江津区，农田负面价值相对突出，说明该区域存在着一定的农业面源污染风险，应采取相关措施，改善其状况。

3)农业人口、万元 GDP 能耗与农田人均生态服务价值呈正相关；城市化率与农田人均生态服务价值呈负相关，它们是重庆市农田生态服务价值空间差异的社会驱动因素。因此城市化率高的主城片区应合理调整产业结构，以提升农田生态服务价值。

参考文献 References

[1] 刘胜涛，高鹏，刘潘伟，等. 泰山森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3302–3310
LIU S T, GAO P, LIU P W, et al. An ecosystem services assessment of Tai Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3302–3310

[2] 谢高地，张彩霞，张昌顺，等. 中国生态系统服务的价值[J]. 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[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740–1746

[3] 肖强，肖洋，欧阳志云，等. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 216–223
XIAO Q, XIAO Y, OUYANG Z Y, et al. Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 216–223

[4] 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

[5] 张宏锋，欧阳志云，郑华，等. 玛纳斯河流域农田生态系统服务功能价值评估[J]. 中国生态农业学报，2009，17(6): 1259–1264
ZHANG H F, OUYANG Z Y, ZHENG H, et al. Evaluation of agricultural ecosystem services value in Manas River Watershed of China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(6): 1259–1264

[6] COSTANZA R, D'ARGE R, De GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature Volume, 1997, 387(6630): 253–260

[7] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment[M]. Washington DC: Island Press, 2003

[8] 张艳军，官冬杰，翟俊，等. 重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1169–1177
ZHANG Y J, GUAN D J, ZHAI J, et al. Spatial and temporal variations of ecosystem services value in Chongqing City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(3): 1169–1177

[9] 杜加强，王金生，滕彦国，等. 重庆市生态系统服务价值动态评估[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1187–1192
DU J Q, WANG J S, TENG Y G, et al. Dynamic evaluation on ecosystem service value of Chongqing City[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(7): 1187–1192

[10] 唐秀美，潘瑜春，刘玉. 北京市耕地生态价值评估与时空变化分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 132–140
TANG X M, PAN Y C, LIU Y. Evaluation and spatio-temporal analysis of ecological value of cultivated land in

Beijing[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(3): 132–140

[11] 段颖琳, 刘峰, 赵帅, 等. 三峡库区蓄水前后农田生态系统服务与环境压力分析[J]. 生态学报, 2016, 36(9): 2750–2763
DUAN Y L, LIU F, ZHAO S, et al. Analysis of farmland ecosystem services and environmental pressures in the Three Gorges Reservoir Area, before and after impoundment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(9): 2750–2763

[12] 马依拉•热合曼, 买买提•沙吾提, 尼格拉•塔什甫拉提, 等. 基于遥感与 GIS 的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5938–5951
MAYILA R H M, MAMAT S W T, NIGELA T X P L T, et al. The ecosystem service value spatial-temporal changes in the Ugan-kuqa River Delta Oasis based on RS and GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): 5938–5951

[13] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911–919
XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911–919

[14] 邓伟, 刘红, 李世龙, 等. 重庆市重要生态功能区生态系统服务动态变化[J]. 环境科学研究, 2015, 28(2): 250–258
DENG W, LIU H, LI S L, et al. Dynamic changes of ecosystem services of Key Ecological Function Areas in Chongqing, China[J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28(2): 250–258

[15] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴 2007、2012、2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017
Chongqing Bureau of Statistics. Chongqing Statistical Yearbook 2007, 2012, 2016[M]. Beijing: China Statistical Press, 2017

[16] 王娇. 南疆农林复合系统生态价值及环境成本研究——以典型区域为例[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016: 30–40
WANG J. The ecological value and environmental cost research of agroforestry system in southern Xinjiang — Take the typical area as an example[D]. Alar: Tarim University, 2016: 30–40

[17] 北京市统计局. 2016 年北京都市型现代农业生态服务价值监测公报[R/OL]. 2017-04-27. http://tjj.beijing.gov.cn/tjsj/tjgb/stgb/201704/t20170427_372648.html
Beijing Municipal Bureau of Statistics. Ecosystem service value of urban modern agriculture in Beijing in 2016[R/OL]. 2017-04-27. http://tjj.beijing.gov.cn/tjsj/tjgb/stgb/201704/t20170427_372648.html

[18] 中国环境科学研究院气候中心. 省级温室气体清单编制指南(试行)[S]. 2011-05-01. https://wenku.baidu.com/view/7ae95325f111f18583d05a67.html?pn=50
Climate Center of China Academy of Environmental Sciences. Guidelines for the Preparation of Provincial Greenhouse Gas Inventories (Trial)[S]. 2011-05-01. https://wenku.baidu.com/view/7ae95325f111f18583d05a67.html?pn=50

[19] 重庆市水利局. 重庆市水资源公报 2007, 2016[R]. 2018-11-29. http://www.cqwater.gov.cn/slsj/szygb/Pages/ Default.aspx
Chongqing Water Resources Bureau. Chongqing Water Resources Bulletin 2007, 2016[R]. 2018-11-29. http://www.cqwater.gov.cn/slsj/szygb/Pages/Default.aspx

[20] 国家林业局. LY/T1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
State Forestry Administration. LY/T1721—2008 Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services in China[S]. Beijing: China Standard Press, 2008

[21] 倪九派, 袁道先, 谢德体, 等. 基于 GIS 的岩溶槽谷区小流域土壤侵蚀量估算[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(2): 217–225
NI J P, YUAN D X, XIE D T, et al. Estimating soil erosion in small watershed of Karst Valley area using GIS[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010, 18(2): 217–225

[22] 李汝莘. 土壤容重和含水量对耕作阻力的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 81–85
LI R Z. Effect of soil bulk density and moisture content on the draft resistance[J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(1): 81–85

[23] 赵荣钦, 黄爱民, 秦明周, 等. 农田生态系统服务功能及其评价方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 267–270
ZHAO R Q, HUANG A M, QIN M Z, et al. Study on farmland ecosystem service and it's valuation method[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2003, 19(4): 267–270

[24] 徐金英. 基于 ^{137}Cs 示踪技术的土壤侵蚀特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 25–35
XU J Y. The study of the characteristics of soil erosion based on ^{137}Cs tracing technique[D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 25–35

[25] 全国农技推广服务中心. 测土配方施肥土壤基础养分数据集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015
National Agricultural Technology Extension Service Center. Soil-Based Nutrient Data Set for Soil Testing and Fertilization[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015

[26] 沈纶宇, 胡耀俊, 王刚. 北川小寨子沟自然保护区森林生态效益评价[J]. 山西林业科技, 2017, 46(4): 15–18
SHEN L Y, HU Y J, WANG G. Forest ecological benefits evaluation of Xiaozhaizigou Nature Reserve in Beichuan[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2017, 46(4): 15–18

[27] 李国洋. 农业生态功能价值及其应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 10–18
LI G Y. Study on the service functions and value of agricultural ecosystem and it's application[D]. Guiyang: Guizhou University, 2009: 10–18

[28] 张颖聪. 四川省耕地生态服务价值时空变化研究——基于农业产业结构调整视角[D]. 成都: 四川农业大学, 2012: 57–64
ZHANG Y C. Study on the spatial-temporal change of cultivated land ecological service value in Sichuan Province[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012: 57–64

[29] 重庆市环境保护局. 重庆市五大环保行动——蓝天行动实施方案(2018—2022)[R/OL]. 2017
Chongqing Environmental Protection Bureau. Chongqing Five Major Environmental Protection Actions — Blue Sky Action Implementation Plan (2018–2022)[R]. 2017

[30] 周媛媛. 基于 ArcGIS 和种养平衡的重庆市畜禽养殖容量及其外部经济性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 30–35
ZHOU Y Y. Livestock breeding capacity & its external economy based on ArcGIS and crop-animal balance in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2017: 30–35

[31] 何为媛, 李玫, 李真熠, 等. 重庆市地膜残留系数研究[J]. 农业资源与环境学报, 2013, (3): 76–78

HE W Y, LI M, LI Z Y, et al. Study on residual coefficient of plastic film in Chongqing[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2013, (3): 76–78

[32] 高利伟, 许世卫, 李哲敏, 等. 中国主要粮食作物产后损失特征及减损潜力研究[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 1–11
GAO L W, XU S W, LI Z M, et al. Main grain crop postharvest losses and its reducing potential in China[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(23): 1–11

[33] 国家统计局. 全国农产品成本收益资料汇编[R]. 北京: 中国统计出版社, 2017
National Bureau of Statistics. Compilation of Cost and Income Data of Agricultural Products[R]. Beijing: China Statistical Press, 2017

[34] 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: 24–37
FU J C. Evaluation on farmland ecosystem services value and scenario simulation of influence factors in Danjiangkou Reservoir area[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010: 24–37

[35] 李贵春. 农田退化价值损失评估研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 32–50
LI G C. Study on assessment of value losses for farmland degradation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007: 32–36

[36] 刘志欣. 近十年来重庆三峡库区农业面源污染变化研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2016: 35–45
LIU Z X. Changes of agricultural non-point source pollution in Chongqing Three Gorges Reservoir Area in recent ten years[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2016: 35–45

[37] 冉凤维, 罗志军, 曹丽萍, 等. 南昌市生态服务价值变化及其驱动因素分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 177–183
RAN F W, LUO Z J, CAO L P, et al. Analysis on the change of ecological service value and its driving factors in Nanchang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(3): 177–183

[38] 赵志刚, 余德, 韩成云, 等. 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8411–8421
ZHAO Z G, YU D, HAN C Y, et al. Ecosystem services value prediction and driving forces in the Poyang Lake eco-economic zone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24): 8411–8421

[39] 徐嫒银, 郭泺, 薛达元, 等. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 1969–1978
XU N Y, GUO L, XUE D Y, et al. Land use structure and the dynamic evolution of ecosystem service value in Gannan region, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): 1969–1978

[40] 罗盛锋, 闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3248–3259
LUO S F, YAN W D. Evolution and driving force analysis of ecosystem service values in Guangxi Beibu Gulf coastal areas, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(9): 3248–3259

[41] 杨志新, 郑大玮, 文化. 北京郊区农田生态系统服务功能价值的评估研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 564–571
YANG Z X, ZHENG D W, WEN H. Studies on service value evaluation of agricultural ecosystem in Beijing region[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(4): 564–571

欢迎订阅 **2010** 年《烟台果树》

《烟台果树》, 为烟台市农业局主管、烟台市农业科学研究院主办的技术性果树期刊。立足北方水果的主产区山东省烟台市, 面向全国。经过近 40 年的发展, 已成为我国广大果树业者新观点、新品种、新技术的交流平台, 也是苗木、农药、肥料及各种生产机具等信息发布的平台。期刊发行量大、覆盖面广, 深受广大读者的欢迎。

目前, 《烟台果树》主要栏目包括专题论坛、本期聚焦、试验研究、种质资源、技术交流和果农园地等。在继续刊登常规栽培技术文章的基础上, 进一步增加和调整文章内容。主要包括: 果树精致管理方面的新知识、新方法和新成果; 各地不同果品当年产量和当年产量预测有关的信息; 不同果品在当地市场的销售价格和销售形势预测; 产后处理技术研究成果及开发应用的新进展; 不同果品包装方式、包装物料研发新进展等, 文章安排更合理, 更贴近果业发展的需求。

每期定价 4 元, 全年仅需 16 元。每季度首月 15 日发行。若挂号, 全年 28 元。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号为 24-107; 也可随时直接汇款至编辑部订阅。

汇款地址: 山东省烟台市芝罘区环山路 145 号　邮编: 264008

单位名称: 《烟台果树》编辑部

电话: 0535-6236524, 6615052　微信号: 13589835061

E-mail: ytgsbjb@163.com(编辑部)　ytgsgg@163.com(广告部)