

中国耕地空间格局变化及其生态系统服务价值响应

黄海潮^{1,2}, 雷鸣^{1,2}, 孔祥斌^{1,2}, 温良友^{1,2}

(1.中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193; 2.自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要:研究耕地空间格局变化对耕地生态系统服务供给能力的影响,能为我国耕地空间格局优化和耕地生态保护提供科学参考,具有重要的理论和实践意义。以往研究缺乏全国耕地生态系统服务供给能力动态变化的综合研究,因此在深入分析耕地空间格局演变的基础上,构建了图斑尺度的耕地生态系统服务价值时空异质评估模型,全面评估 2000—2015 年我国耕地生态系统服务价值,探究了我国耕地生态系统服务供给能力时空变化规律。结果表明:(1) 2000—2015 年,中国耕地重心持续向西北方向迁移,水田和旱地重心分别向西北和东北迁移。北方干旱半干旱区旱地持续增加,东北平原区水田持续增加,其他农业区耕地持续减少;(2) 2000—2015 年我国耕地生态系统服务总价值和单位面积价值均减少,减幅分别为 1.35% 和 0.55%。耕地供给服务总价值和单位面积价值增加,调节服务、支持服务和文化服务总价值与单位面积价值均减少。(3) 中国耕地生态系统服务价值变化空间分异明显。北方的北方干旱半干旱区、东北平原区耕地生态系统服务总价值增加,单位价值减少;青藏高原区耕地生态系统服务总价值和单位价值均减少;其他农业区耕地生态系统服务总价值减少,而单位价值增加。应通过优化耕地空间格局、精准实施耕地休养生息策略、建立耕地保护生态补偿机制等有效提升耕地生态系统服务供给能力。

关键词:耕地空间格局; 耕地生态系统服务价值; 耕地生态提升

中图分类号:F323.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0339-10

Spatial Pattern Change of Cultivated Land and Response of Ecosystem Service Value in China

HUANG Haichao^{1,2}, LEI Ming^{1,2}, KONG Xiangbin^{1,2}, WEN Liangyou^{1,2}

(1.College of Land Sciences and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2.Key Laboratory for Farmland Quality, Monitoring and Control, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China)

Abstract: It is of great theoretical and practical significance to study the impact of the change of cultivated land spatial pattern on the supply capacity of cultivated land ecosystem services, which can provide scientific reference for the optimization of cultivated land spatial pattern and the protection of cultivated land ecology in China. Previous studies lacked comprehensive research on the dynamic change of cultivated land ecosystem service supply capacity in China. Based on the in-depth analysis of the spatial pattern change of cultivated land, we constructed the spatiotemporal heterogeneity evaluation model of cultivated land ecosystem services in China at patch scale, evaluated the service value of cultivated land ecosystem in China from 2000 to 2015, and explored the evolution law of the supply capacity of cultivated land ecosystem services in China. The results show that: (1) from 2000 to 2015, the gravity center of cultivated land continued to move to the northwest, while the gravity center of paddy field and dry land moved to the northwest and northeast, respectively; the dry land increased continuously in arid and semi-arid areas of north China, the paddy field increased continuously in Northeast Plain, and the cultivated land decreased continuously in other agricultural areas. (2) from 2000 to 2015, the total value of cultivated land ecosystem services and the value of cultivated land ecosystem services per unit area decreased by 1.35% and 0.55%, respectively; the total value of cultivated land supply services and the value of cultivated land supply services per unit area increased, the total value and unit area value of regulatory services, support services and cultural services decreased; (3) the spatial

收稿日期:2021-01-17

修回日期:2021-02-17

资助项目:国家社科基金重大项目(19ZDA096);国家自然科学基金(41771561,41801210)

第一作者:黄海潮(1994—),男,安徽六安人,硕士,研究方向为耕地资源利用与评价。E-mail:2399257361@qq.com

通信作者:孔祥斌(1969—),男,河北承德人,博士,教授,主要从事土地资源评价、利用与保护研究。E-mail:kxb@cau.edu.cn

differentiation of cultivated land ecosystem service value change in China was obvious; the total ecosystem service value of cultivated land in arid and semi-arid areas of northern China and Northeast Plain increased, but the ecosystem service value of cultivated land per hectare decreased; the total value of cultivated land ecosystem services and the value of cultivated land ecosystem services per unit area decreased in the Qinghai-Tibet Plateau; the total value of cultivated land ecosystem services in other agricultural areas decreased, while the value of cultivated land ecosystem services per unit area increased. the supply capacity of cultivated land ecosystem services should be effectively improved through optimizing spatial pattern of cultivated land, accurately implementing the strategy of cultivated land recuperation and establishing ecological protection compensation mechanism.

Keywords: spatial pattern of cultivated land; ecosystem service value of cultivated land; ecological improvement of cultivated land

土地利用格局变化对区域乃至全球的生态系统服务供给能力具有重要影响^[1],耕地作为土地利用结构中最重要的重要组成部分之一^[2],承担着食物生产、环境调节等重要功能,是实现粮食安全和生态安全的物质基础^[3]。当前,耕地空间格局变化导致的生态问题已引起广泛关注^[4],正确评估中国耕地空间格局变化对生态系统服务供给的影响及其时空演变规律,是保障国家可持续粮食安全和生态安全的科学基础,也是耕地数量—质量—生态“三位一体”保护政策制定的重要依据。

耕地空间格局变化是 LULCC (Land use/land cover change) 研究的重要课题,相关研究主要集中于耕地空间格局变化的时空过程、耕地空间格局变化的驱动力和驱动机制,耕地空间格局的模拟以及耕地空间格局变化的生态环境效应^[5]。其中前三者的研究方法较为成熟,相关学者从耕地空间格局变化的宏观趋势^[6-7]、耕地转换特征^[8-10]等维度对耕地空间格局变化的时空过程进行了深入研究,在国家^[11-12]、省^[13-14]、市县等^[15-16]不同尺度探讨了自然和社会经济要素变化对耕地空间格局变化的驱动作用,利用支持向量机^[17]、Markov 模型^[18]、CLUE-S 模型等^[19]模拟了不同空间尺度耕地空间格局,取得了较为丰富的研究成果。关于耕地空间格局变化的生态环境效应研究,全国尺度上相关学者主要研究了耕地空间格局变化对耕地生产能力^[20]、气候^[21]、地形^[22]、水资源^[23]、土壤等^[24]单一要素的影响。相关学者也探究了耕地空间格局变化对生态系统服务价值的影响,但大多从整个陆地生态系统出发,研究耕地与其他地类之间转换对整个陆地生态系统服务价值变化的影响^[25-27],对于耕地空间格局变化对耕地本身生态系统服务价值影响的关注较少,为数不多的研究主要集中于耕地空间格局变化对耕地食物生产功能的影响^[28-31],相关研究表明耕地空间格局变化过程中耕地

食物生产能力降低明显,但耕地空间格局变化过程中供给服务、调节服务、支持服务等其他生态系统服务价值及耕地生态系统服务总体价值的变化规律尚待研究,耕地生态系统服务供给能力的时空演变规律需进一步综合深入探究。在耕地生态保护的新要求和共识下,迫切 need 要加强全国尺度上的耕地生态系统服务价值的综合研究。

生态系统服务价值是指生态系统通过生态结构、功能和过程为人类生存所提供的不同生态产品和服务^[25],被广泛应用于生态系统服务供给能力的评估中^[32-33]。本文基于 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年四期遥感数据,在利用重心模型等方法深入刻画我国耕地空间格局演变的基础上,选择 NPP (Net Primary Production)、降水、侵蚀 3 个关键因素,构建图斑尺度的全国耕地生态系统服务价值时空异质评估模型,分析我国耕地生态系统服务价值时空变化,量化我国耕地空间格局变化对耕地生态系统服务供给能力的影响,以期有效和精细的耕地生态保护提供科学参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 耕地生态系统服务当量时空修正 本文基于谢高地 2015 年提出的当量因子表,其将耕地分为水田和旱地 2 种二级地类,将耕地生态系统服务功能分为 4 种一级功能和 11 种二级功能(表 1)。本文借鉴谢高地等^[34]的研究选取 NPP、降水和侵蚀 3 个关键指标对 11 种服务功能进行空间修正。公式为:

$$F_{nij} = F_j \times R_{nij} \quad (1)$$

式中: F_{nij} 是指第 n 年第 i 个耕地图斑第 j 类耕地生态系统服务价值当量; F_j 指第 j 类耕地生态系统服务全国平均当量; R_{nij} 是针对第 n 年耕地图斑 i 第 j 类耕地生态系统服务的调节因子。文中分为 3 类调

节因子: R_{ni1} 为 NPP 时空调节因子; R_{ni2} 为降水时空调节因子; R_{ni3} 为侵蚀时空调节因子。其中: R_{ni3} 用于对土壤保持服务价值时空修正; R_{ni2} 用于对水资源供给和水文调节服务价值时空修正;其他耕地生态系统服务功能均采用 R_{ni1} 进行时空修正。下面介绍 3 类调节因子的计算。

(1) NPP 时空调节因子。NPP 时空调节因子的计算方法为:

$$R_{ni1} = B_{ni} / \bar{B}_n \quad (2)$$

式中: B_{ni} 指第 n 年第 i 个耕地斑块的 NPP(t/hm^2); \bar{B}_n 表示第 n 年全国耕地平均 NPP(t/hm^2)。

(2) 降水时空调节因子。降水时空调节因子的计算方法为:

$$R_{ni2} = P_{ni} / \bar{P}_n \quad (3)$$

式中: P_{ni} 指第 n 年第 i 个耕地斑块的降雨量(mm/hm^2); \bar{P}_n 表示第 n 年全国耕地平均降雨量(mm/hm^2)。

(3) 侵蚀时空调节因子。侵蚀时空调节因子的计算公式为:

$$R_{ni3} = E_{ni} / \bar{E}_n \quad (4)$$

式中: E_{ni} 指第 n 年第 i 个耕地斑块的侵蚀度; \bar{E}_n 表示第 n 年全国耕地平均侵蚀度。根据中国科学院地理科学与资源环境所的土壤侵蚀分类进行赋值,1 代表剧烈侵蚀,6 代表轻微侵蚀,值越小侵蚀越强。

表 1 耕地生态服务价值当量^[34]

生态系统服务		水田	旱地
供给服务	食物生产	1.36	0.85
	原料生产	0.09	0.40
	水资源供给	-2.63	0.02
调节服务	气体调节	1.11	0.67
	气候调节	0.57	0.36
	环境净化	0.17	0.10
	水文调节	2.72	0.27
支持服务	土壤保持	0.01	1.03
	维持养分循环	0.19	0.12
	生物多样性	0.21	0.13
文化服务	美学服务	0.09	0.06

1.1.2 标准当量因子价值量核算 本文采用谢高地等^[35]的标准当量因子价值核算方法,将单位面积农田生态系统粮食生产的净利润作为 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量。稻谷、小麦和玉米是我国三大主要粮食,依据这三大主要粮食计算。考虑到不同年份三大主要粮食价格和播种面积的波动,取 2005—2015 年三大粮食净利润的平均值作为本文的标准当量因子价值。其计算公式如下:

$$D = \frac{1}{10} \sum_{n=2006}^{2015} r_n (S_n^r \times F_n^r + S_n^w \times F_n^w + S_n^c \times F_n^c) \quad (5)$$

式中: D 指 1 个标准当量因子的生态系统服务经济价值(元/ hm^2), S_n^r, S_n^w, S_n^c 分别指稻谷、小麦和玉米的播种面积占 3 种作物播种总面积的比例; F_n^r, F_n^w 和 F_n^c 分别指稻谷、小麦和玉米的单位面积净利润(元/ hm^2); n 指年份; r_n 为折现系数。依据(5)式计算得到 D 值为 3 222.4 元/ hm^2 。

1.1.3 重心模型 本文利用重心模型探究耕地空间转移的总体趋势,耕地重心指的是某一时间区域耕地面积在空间平面上力矩达到平衡的点,重心运动的方向、速度等特性能够很好表征耕地的空间变化^[36]。耕地重心的计算公式如下:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n S_i X_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (6)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n S_i Y_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (7)$$

式中: X, Y 分别表示全国耕地重心的经度和纬度; S_i 表示行政单元 i 的耕地面积; X_i 和 Y_i 分别表示行政单元 i 重心的经度和纬度;本研究中重心计算以省为基本单元。

1.2 数据来源

本文所用的数据主要包括:(1) 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年耕地空间分布数据,分辨率为 1 km×1 km,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn);(2) 2000 年、2005 年、2010 年 NPP 数据。来源于中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn)。(3) 20 世纪 90 年代以来多年平均降水数据和土壤侵蚀数据。来源于中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn);(4) 2005—2015 年水稻、玉米和小麦播种面积与净利润。来源于 2006—2015 年《全国农产品成本收益资料汇编》。(5) 2006—2015 年全国 CPI(Consumer Price Index)数据。来源于 2006—2015 年《中国统计年鉴》。

2 结果与分析

2.1 近 20 年我国耕地空间格局演变

2000—2015 年,我国水田、旱地面积均明显减少。我国耕地以旱地为主,旱地面积占耕地面积的 70%以上。2000—2015 年,耕地面积由 1 797 502.0 km^2 减少为 1 783 013.0 km^2 ,共减少 0.8%,但耕地减速降低,减幅由 2000—2005 年的 0.40%的降低为 2010—2015 年的 0.10%。其中,旱地面积总体减少

5 381.0 km², 减幅为 0.41%, 2005—2010 年旱地减少最明显。水田共减少 9 108.0 km², 减幅为 1.92%, 减

速不断降低, 2000—2005 年减幅为 1.75%, 2010—2015 年耕地面积小幅增加(图 1)。

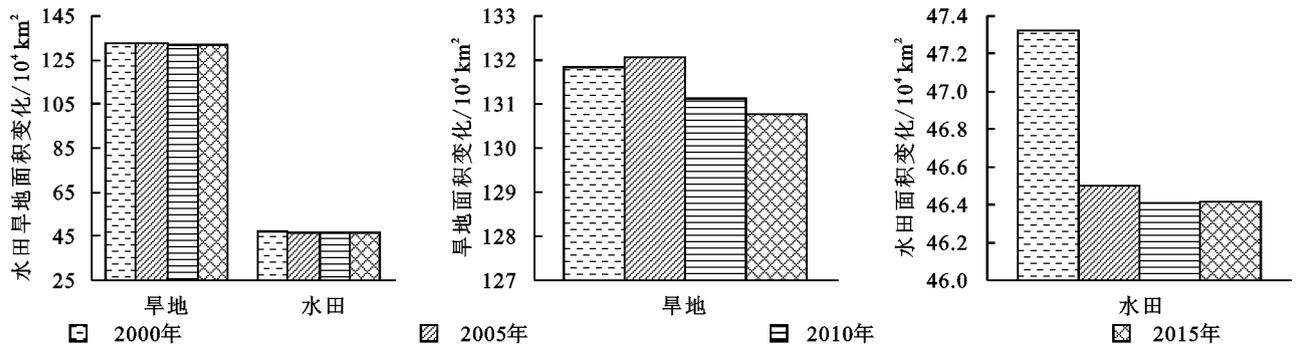


图 1 2000—2015 年耕地、旱地、水田面积变化

2000—2015 年, 耕地、旱地和水田重心均发生明显的迁移, 耕地重心持续向西北方向迁移, 旱地总体向西北迁移, 水田重心总体向东北迁移(表 2)。2000 年耕地重心坐标为(112°48′00″E, 35°33′27″N), 位于山西省泽州县内, 2015 年耕地重心坐标为(112°33′19″E, 35°45′06″N), 位于山西省沁水县境内, 耕地重心以西偏北 40.8°方向迁移 30 884.1 km。2000 年旱地重心坐标为(112°28′27″E, 37°12′28″N), 位于山西省祁县境内, 2015 年重心坐标为(112°04′37″E, 37°18′11″N), 位于山西省平遥县境内, 旱地重心以西偏北 13.1°的方向偏移了 36 238.2 km。2000 年水田重心坐标为(113°38′35″E, 30°55′27″N), 位于湖北省应

城市境内, 2015 年水田重心坐标为(113°48′59″E, 31°19′26″N), 位于湖北省安陆市境内, 水田重心以东偏北 75.1°方向迁移了 478 14.4 km。不同时段, 耕地、水田和旱地重心迁移方向和速度存在明显的差异。耕地重心迁移方向较为稳定, 但迁移速度存在明显差异, 2005—2010 年迁移速度较慢, 其他两个时段迁移速度相当。旱地重心在 2000—2005 年时段以西偏北 30.9°方向迁移, 其他两个时段迁移方向西偏北角度较小, 与该时段差异明显, 2005—2010 年迁移速度明显小于其他两个时段。2000—2005 年, 水田重心向西偏北 36.0°方向迁移, 而后向东北方向迁移, 重心迁移速度不断增加。

表 2 2000—2015 年耕地、旱地、水田重心迁移方向与速度

年份	耕地			旱地			水田		
	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)
2000—2005	39.9°WN	12383.3	2476.7	30.9°WN	12470.2	2494.0	36°WN	4757.2	951.4
2005—2010	42.4°WN	5402.2	1080.4	1°WN	6801.3	1360.3	75.3°EN	15023.9	3004.8
2010—2015	40.9°WN	13102.2	2620.4	5.4°WN	17877.4	3575.5	66.9°EN	31399.0	6279.8
2000—2015	40.8°WN	30884.1	2058.9	13.1°WN	36238.2	2415.9	75.1°EN	47814.4	3187.6

注: 表中 WN 表示西偏北, EN 表示东偏北。

九大农业区中, 北方干旱半干旱区、东北平原区耕地面积持续增加, 北方干旱半干旱区耕地增加主要来源于旱地, 东北平原区耕地增加主要来源于水田, 其他农业区耕地面积持续减少(图 2)。2000—2015 年, 北方干旱半干旱区、东北平原区耕地面积分别增加 17 104.0 km², 3 351.0 km², 分别增加 6.67% 和 1.12%。其他农业区耕地面积均减少, 其中长江中下游平原区和黄淮海平原区耕地面积减少最明显, 分别减少 14 062.0 km², 6 623.0 km², 减幅为 3.91% 和 2.06%。北方干旱半干旱区旱地增加明显, 增加 17 013 km², 占区域增加耕地面积的 99.5%, 其他农业区旱地面积均减少, 其中黄淮海平原区和东北平原区旱地减少最明显, 分别减少 5 555.0 km², 5 553.0

km², 减幅分别为 1.82% 和 2.17%。东北平原区水田面积增加明显, 增加 8 904.0 km², 增幅为 20.25%, 北方干旱半干旱区水田少量增加。其他农业区水田面积均减少, 其中长江中下游区和华南区水田面积减少最明显, 分别减少 10 931.0 km², 3 090.0 km², 减少幅度分别为 4.86% 和 5.97%。

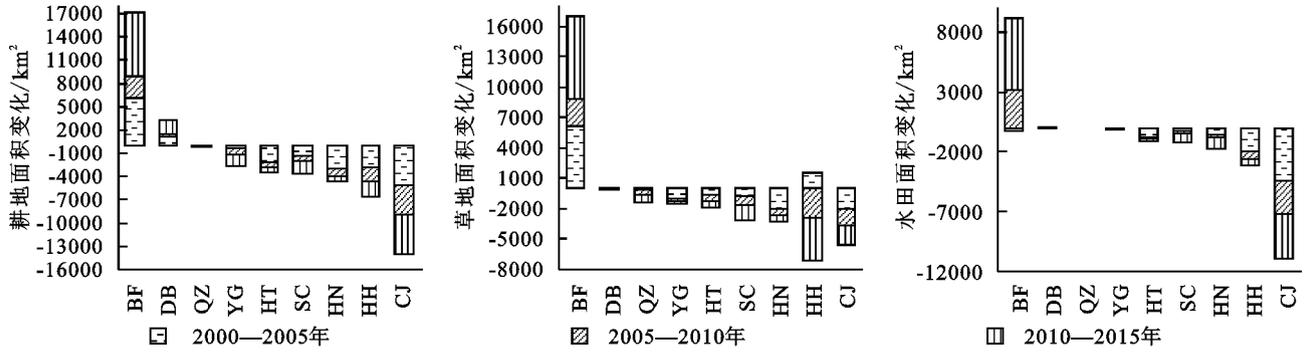
2.2 近 20 年耕地生态服务价值时空变化

2.2.1 全国耕地生态系统服务价值变化

2000—2015 年我国耕地生态系统服务总价值和单位耕地生态系统服务价值均持续减少, 减少速度总体呈现先降后升的趋势(表 3)。2000 年我国耕地生态服务总价值为 23 402.3 亿元, 2015 年耕地生态服务价值总量为 23 087.1 亿元, 共减少 315.2 亿元, 减幅为 1.35%。

2000—2005 年、2005—2010 年、2015—2020 年耕地生态系统服务价值量分别减少 114.7、86.2、114.3 亿元,减幅分别为 0.49%、0.37%和 0.49%。2000—2015 年,每 hm²耕地生态系统服务价值由 12 990.4 元降低到 12 919.2

元,减少 71.2 元,降幅为 0.55%。2000—2005 年、2005—2010 年、2015—2020 年耕地生态系统服务价值量分别减少 11.4 元、8.4 元和 51.5 元,降幅分别为 0.09%、0.06%和 0.40%。



注:图中 DB,BF,QZ,HT,HH,YG,SC,HN,CJ 分别是东北平原区、北方干旱半干旱区、青藏高原区、黄土高原区、云贵高原区、四川盆地及周边地区、华南区、长江中下游地区的简称。

图 2 九大农业区耕地、旱地、水田面积变化情况

2000—2015 年,耕地供给服务总价值和单位耕地供给服务价值增加,耕地调节服务、支持服务、文化服务总价值和单位面积耕地服务价值均减少,调节服务价值减少最明显。耕地供给服务价值由 1 927.0 亿元增加到 2 000.1 亿元,增幅为 3.79%;单位面积耕地供给服务价值由 1 069.7 亿元/hm²增加

到 1 119.2 亿元/hm²,增幅为 4.63%。耕地调节服务、支持服务、文化服务价值分别减少 325.3 亿元、57.0 亿元和 5.9 亿元,减幅分别为 2.17%、0.94%和 1.44%;每 hm²耕地调节服务、支持服务、文化服务分别减少 114.7 元、4.7 元和 1.5 元,减幅分别为 1.38%、0.14%和 0.64%。

表 3 耕地不同功能服务价值和单位面积耕地不同功能服务价值变化

类别	生态系统服务价值量				价值变化 2000—2015 年	变化率/% 2000—2015 年	
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年			
生态系统 服务价值/亿元	供给服务	1927.0	1992.0	1997.4	2000.1	73.1	3.79
	调节服务	15000.8	14832.9	14766.4	14675.4	-325.3	-2.17
	支持服务	6065.6	6056.2	6032.5	6008.5	-57.0	-0.94
	文化服务	409.0	406.5	405.1	403.1	-5.9	-1.44
	总价值	23402.3	23287.6	23201.4	23087.1	-315.2	-1.35
单位面积耕地 生态系统服务 价值/(元·hm ⁻²)	供给服务	1069.7	1110.2	1116.6	1119.2	49.6	4.63
	调节服务	8326.8	8266.9	8255.1	8212.1	-114.7	-1.38
	支持服务	3366.9	3375.4	3372.5	3362.3	-4.7	-0.14
	文化服务	227.0	226.5	226.5	225.6	-1.5	-0.64
总价值	12990.4	12979.1	12970.7	12919.2	-71.3	-0.55	

2.2.2 区域尺度耕地生态系统服务价值变化

(1) 九大农业区耕地生态系统服务总价值变化。九大农业区中,长江中下游地区耕地生态系统服务价值明显高于其他区域,青藏高原区明显低于其他区域(图 3)。长江中下游地区耕地生态系统服务价值超过 6 000 亿元,黄淮海平原、东北平原耕地生态系统服务价值在 3 500~4 500 亿元,四川盆地及周边地区、云贵高原区耕地生态系统服务价值 2 000~3 000 亿元,华南区、北方干旱半干旱区、黄土高原区耕地生态系统服务价值在 1 000~1 500 亿元,青藏高原耕地生态系统服务价值低于 100 亿元。

耕地生态系统服务持续增加,增速先降后升,其他农业区耕地生态系统服务价值持续下降,但减速变化存在明显差异(图 4)。2000—2015 年北方干旱半干旱区耕地生态系统服务价值由 1 408.8 亿元增加到 1 460.8 亿元,增加幅度为 3.70%。东北平原区耕地生态系统服务价值由 3 641.6 亿元增加到 3 681.0 亿元,增幅为 1.08%。其中,2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年北方干旱半干旱区耕地生态系统服务价值分别增加 21.2 亿元、9.3 亿元和 21.5 亿元,东北平原区分别增加 15.1、3.9、20.3 亿元。其他农业区中,长江中下游地区耕地生态系统服务价值减少最明显,达到 171.2 亿元,降低幅为 2.73%。黄淮

九大农业区中,北方干旱半干旱区、东北平原区

海平原区、四川盆地及周边地区、华南区耕地生态系统服务价值减少均超过 50 亿元,黄土高原区、云贵高原区、青藏高原区耕地生态系统服务价值减少不明显,青藏高原区仅减少 0.4 亿元。不同农业区耕地生

态系统服务价值减速变化存在明显差异,长江中下游区、四川盆地及周边地区、黄淮海平原区、黄土高原区减速先降后升,华南区减速持续降低,云贵高原区减速持续增加,青藏高原区减速总体保持在较低水平。

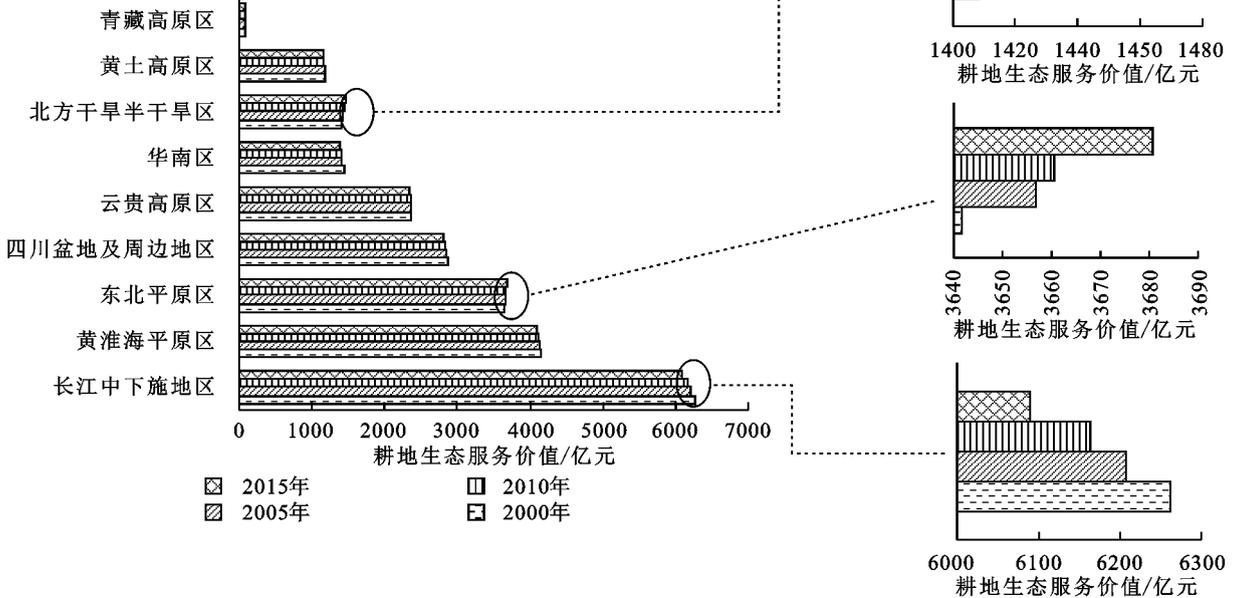


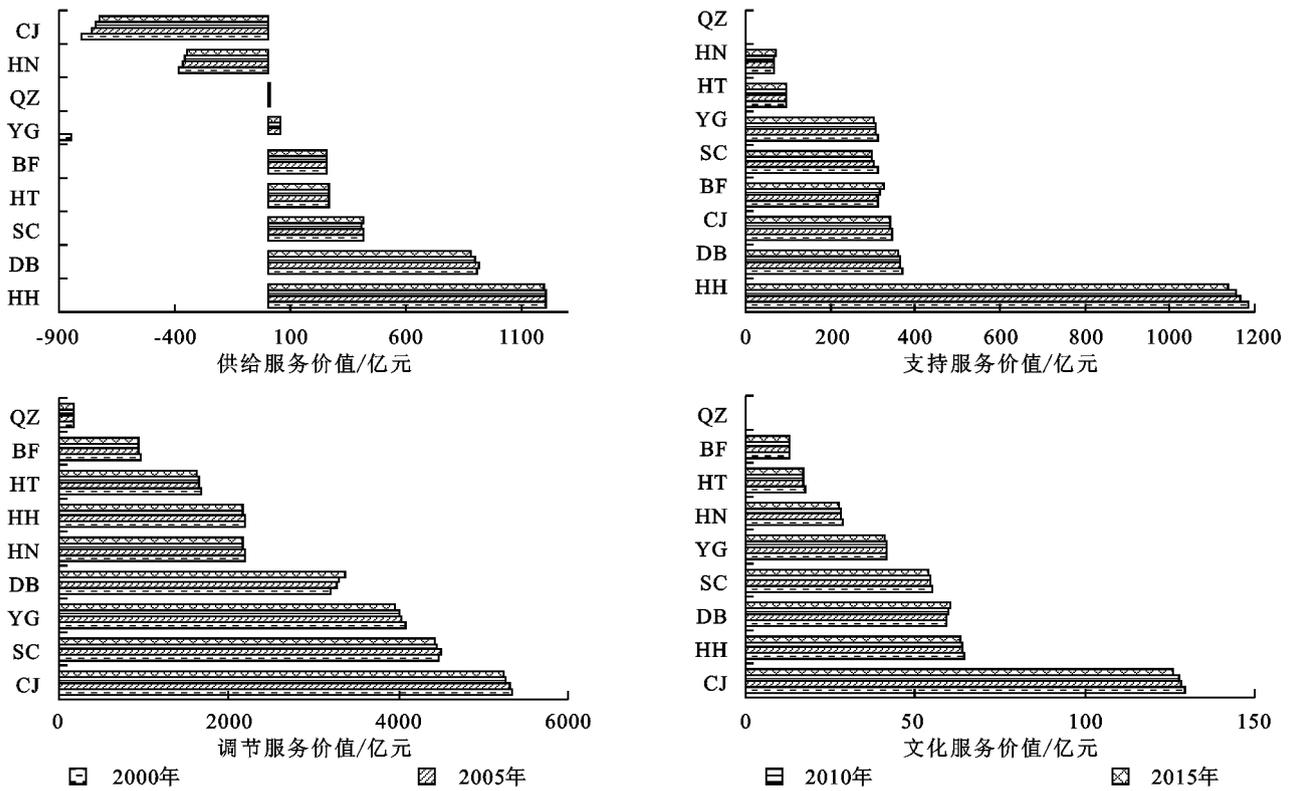
图 3 九大农业区耕地生态系统服务价值变化

不同农业区供给服务、支持服务、调节服务、文化服务 4 类生态系统服务价值变化存在明显差异(图 4)。东北平原区和黄淮海平原区耕地供给服务价值减少最明显,2000—2015 年分别减少 27.5 亿元、12.5 亿元。长江中下游地区和华南区耕地供给服务价值为负值,主要是因为水田的水资源供给价值为负,导致水田的供给服务价值为负值,而长江中下游地区和华南区耕地以水田为主,所以区域耕地供给价值总体为负,但区域供给服务的负向价值分别减少 80.6 亿元,35.2 亿元。北方干旱半干旱区是九大农业区中唯一支持服务价值增加农业区,增加 45.1 亿元,长江中下游地区和黄淮海平原区支持服务价值分别减少 27.2 亿元和 24.0 亿元,减少最为明显。北方干旱半干旱区和东北平原区调节服务价值持续增加,分别增加 77.7 亿元和 4.7 亿元,其他农业区调节服务价值持续减少,其中长江中下游地区和华南区减少明显,分别减少 221.2 亿元和 75.7 亿元。东北平原区和北方干旱半干旱区文化服务价值分别增加 0.49 亿元和 0.14 亿元,其他农业区文化服务价值均减少。

(2) 九大农业区单位耕地生态系统服务价值变化。九大农业区中,四川盆地及周边地区、华南区、长江中下游地区单位耕地生态系统服务价值较高,其次

是云贵高原区、黄淮海平原区、东北平原区,黄土高原区、青藏高原区、北方干旱半干旱区单位耕地生态系统服务价值相对较低(图 5)。四川盆地及周边地区、华南区、长江中下游地区单位耕地生态系统服务价值超过 17 000 元/hm²,云贵高原区、黄淮海平原区、东北平原区单位耕地生态系统服务价值介于 12 000~14 000 元/hm²,黄土高原区、青藏高原区、北方干旱半干旱区单位耕地生态系统服务价值均低于 9 000 元/hm²,其中北方干旱半干旱区单位耕地生态系统服务价值最低,处于 5 000~6 000 元/hm²。

2000—2015 年,北方干旱半干旱区、东北平原区、青藏高原区单位耕地生态服务价值总体降低,其他农业区单位耕地生态服务价值上升。北方干旱半干旱区单位耕地生态服务价值持续下降,由 5 491.5 元/hm²下降到 5 338.5 元/hm²,降幅达 2.79%。东北平原和青藏高原区单位耕地生态服务价值波动变化,总体分别下降 4.3 元/hm²,8.3 元/hm²。长江中下游地区、华南区、四川盆地及周边地区、黄淮海平原区单位耕地生态系统服务价值持续上升,分别增加 212.8 元/hm²,358.3 元/hm²,49.2 元/hm²,60.0 元/hm²。云贵高原区、黄土高原区单位耕地生态系统服务价值波动变化,总体分别增加 16.6 元/hm²,28.9 元/hm²。



注:图中 DB,BF,QZ,HT,HH,YG,SC,HN,CJ 分别是东北平原区、北方干旱半干旱区、青藏高原区、黄土高原区、云贵高原区、四川盆地及周边地区、华南区、长江中下游地区的简称。

图 4 九大农业区供给、支持、调节、文化服务价值变化

九大农业区单位面积耕地供给服务、支持服务、调节服务、文化服务 4 类生态系统服务价值变化存在明显差异。东北平原区(-123.7 元/hm²)、北方干旱半干旱区(-53.4 元/hm²)单位面积耕地供给服务价值减少,其他农业区单位面积耕地供给服务价值均增加,华南区(176.5 元/hm²)和长江中下游地区(142.6 元/hm²)增加最明显。北方干旱半干旱区(-67 元/hm²)单位面积耕地调节服务减少最明显,东北平原区(198.3 元/hm²)、华南区(129.4 元/hm²)增加最明显,其他农业区变化较小。东北平原区(-81.5 元/hm²)、北方干旱半干旱区(-30.0 元/hm²)单位面积耕地支持服务减少最明显,华南区(44.4 元/hm²)和长江中下游平原区(36.6 元/hm²)支持服务增加最明显。各农业区单位面积耕地文化服务价值变化均不明显(图 6)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

Costanza 等在全球尺度上,以及谢高地等针对中国的研究被广泛应用于生态系统服务价值的评估中,多位学者采用不同方法对我国耕地生态系统服务价值进行了评估(表 4)。将国内外关于我国耕地生

态生态系统服务价值的评估结果通过 CPI 调整到 2015 年后,对比发现,本文的研究结果基本与谢高地等、薛明皋等的研究较为一致,Song 等的研究结果最高,为 88 057.4 亿元,Li 等的研究结果最低,为 19 557.1 亿元。耕地生态系统服务价值的差异与所采用的当量因子表有较大关系,Song 等基于 Costanza 等的当量因子表,该当量因子表对于耕地的重视程度较高,Li 等采用 TEEB 等提供的当量因子表。本文和薛明皋等的研究均采用谢高地等提供当量因子表和时空校正方法,结果较为接近。

本文采用的耕地空间分布数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn)的中国土地利用遥感监测数据集,该数据集中将耕地分为水田和旱地,将大部分水浇归入到旱地中,一定程度上导致旱地的占耕地的比例较高,影响耕地生态系统服务价值估算。此外,本文在估算耕地生态服务价值过程中没有充分考虑耕地的利用状况,不同利用条件下耕地生态系统服务存在一定的权衡关系,如耕地利用强度过大,耕地供给服务价值短时间内会增加,但耕地的调节服务、支持服务等价值会降低甚至为负值,不同利用条件下耕地生态系统服务价值的差异化评估及其权衡关系需要进一步深入研究。

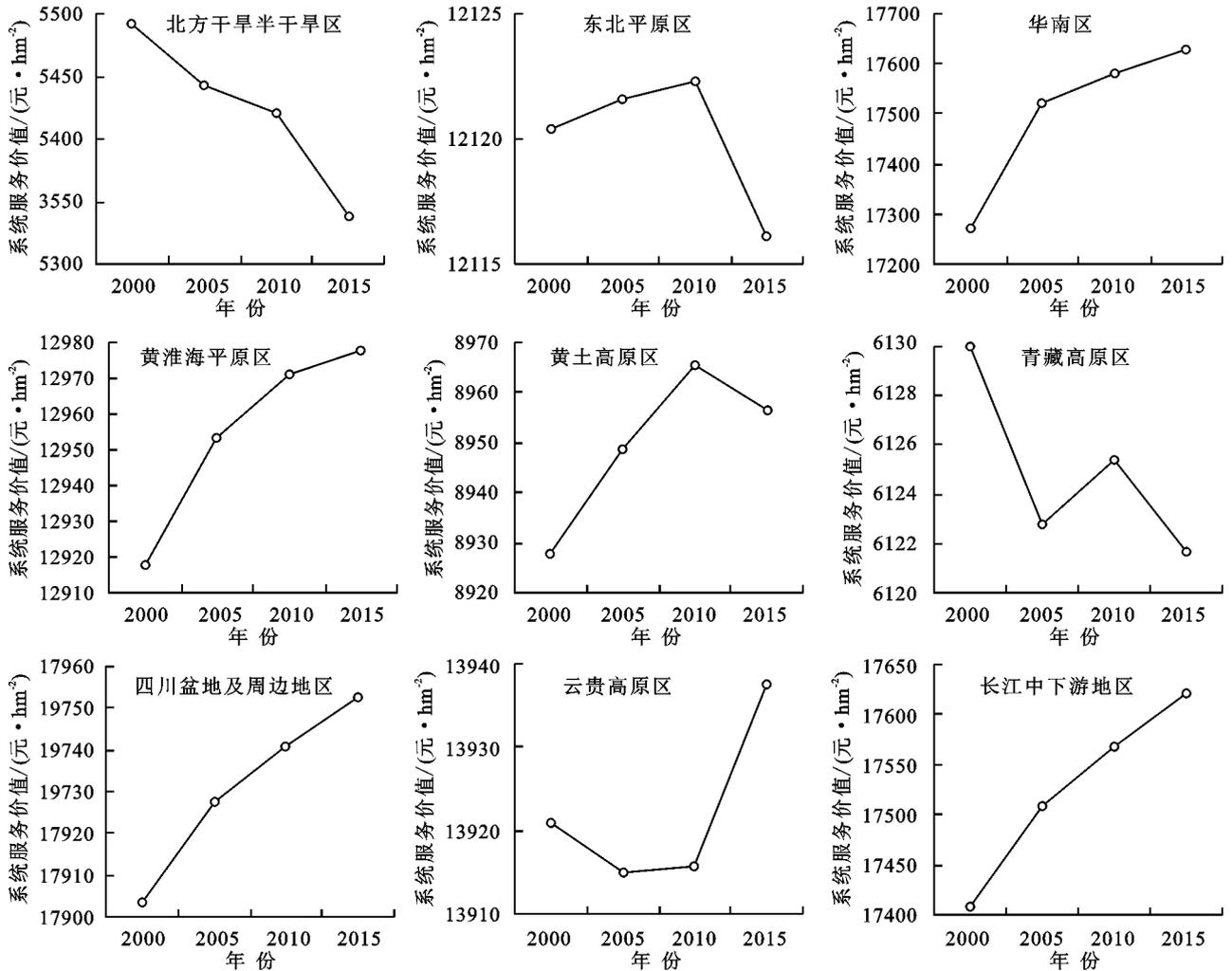


图5 九大农业区单位耕地生态系统服务价值变化

3.2 结论

(1) 2000—2015年,中国耕地重心持续向西北方向迁移,水田和旱地重心分别向东北和西北迁移,东北平原区水田面积持续增加,北方干旱半干旱区旱地面积持续增加,其他农业区耕地面积均持续减少,其中长江中下游区和黄淮海平原区耕地减少最明显。

(2) 2000—2015年耕地生态系统服务总价值和单位价值均减少,不同生态系统服务价值变化存在差异。总价值由23 402.3亿元减少为23 087.1亿元,减幅为1.35%;每 hm^2 价值分别由12 990.4元减少为12 919.2元,减幅为0.55%。全国耕地供给服务、调节服务、支持服务、文化服务总价值变化幅度分别为3.79%, -2.17%, -0.94%, -1.44%,每 hm^2 耕地供给服务、调节服务、支持服务、文化服务价值变化幅度分别为4.63%, -1.38%, -0.14%, -0.64%。

(3) 我国耕地生态系统服务价值变化空间分异特征明显。北方的东北平原区和北方干旱半干旱区耕地生态系统服务总价值增加,而单位面积耕地价值降低;青藏高原区耕地生态系统服务总价值和单位价

值均降低;其他农业区耕地生态系统服务总价值减少,而单位面积耕地生态服务价值增加。

我国耕地空间格局变化导致耕地生态系统服务价值总量和单位面积耕地生态系统服务价值持续减少,耕地生态系统服务供给能力持续降低,这与我国耕地数量—质量—生态“三位一体”保护策略相违背。因此,提出以下建议:

(1) 采用有效手段优化耕地空间格局,有效提升我国耕地生态系统服务供给能力。通过国土空间规划,禁止南方经济发达区域随意占用耕地,特别要禁止占用优质耕地,保护好现有生态系统服务价值较高的耕地,约束东北和西北等生态脆弱区无序开垦耕地,从宏观上遏制耕地北移的趋势,通过优化耕地空间格局提升耕地生态系统服务供给能力。

(2) 全面精准实施耕地休养生息战略,2016年国家发改委联合财政部等八部门印发《耕地草原河湖休养生息规划(2016—2030年)》,将生态文明的理念贯穿到耕地保护中,应对当前生态条件较差或存在明显限制因子的实施休耕轮作,降低利用强度,权衡耕

地生态系统服务,恢复耕地生态系统服务供给能力。对于耕地生态严重退化,生态供给服务能力严重下降

的耕地应实施退耕,积极进行生态保育,防止耕地利用导致生态问题。

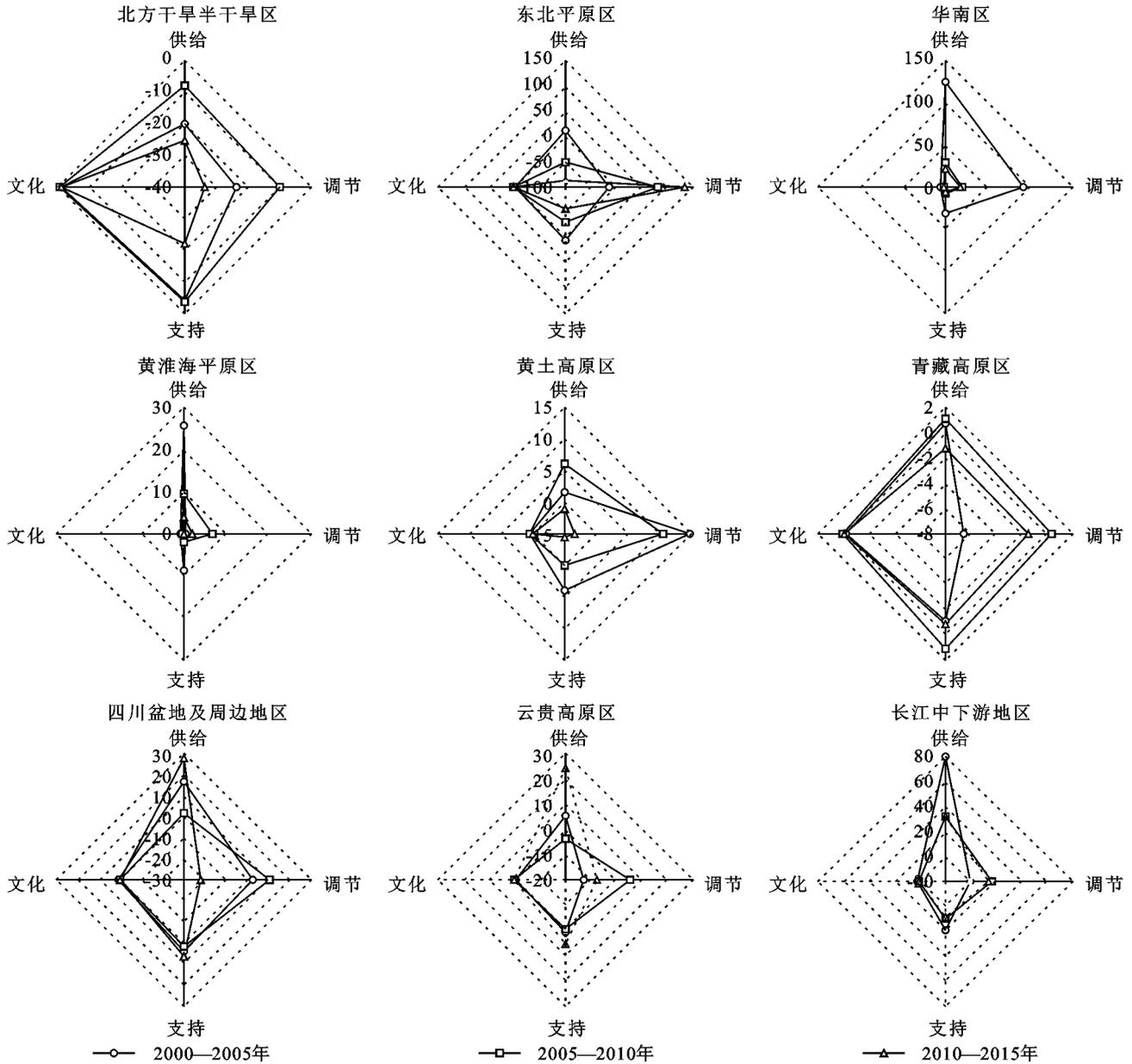


图 6 九大农业区单位面积耕地各类生态系统服务价值变化

表 4 相关研究比较

文献来源	Song ^[26]	Li 等 ^[37]	谢高地等 ^[34]	薛明皋等 ^[25]	本文
耕地生态系统服务价值量/亿元	80557.4	19557.1	27355.4	22245.0	23087.1

(3) 建立区域间的耕地保护生态补偿机制,耕地保护的目的是为了实现粮食安全这一公共利益,但不同地区所承担的耕地保护责任及其付出的生态代价差异明显,通过建立耕地生态保护补偿机制,实现耕地保护责任共担、利益共享,为耕地生态保护提供制度和资金保障。

参考文献:

[1] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].地

理学报,1999,54(3):51-56.
 [2] 苏锐清,曹银贵.中国耕地利用变化的研究方法分析:立足驱动与模拟研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(6):96-105.
 [3] 封永刚,彭珏,邓宗兵,等.面源污染、碳排放双重视角下中国耕地利用效率的时空分异[J].中国人口·资源与环境,2015,25(8):18-25.
 [4] Kong X B. China must protect high-quality arable land: Figures from a national survey of land use seem positive, but the effort exposed some worrying trends[J].

- Nature, 2014, 505(7486):7-8.
- [5] 陈万旭,李江风,曾杰,等.中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J].地理研究,2019,38(9):2173-2187.
- [6] 关兴良,方创琳,鲁莎莎.中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析[J].自然资源学报,2010,25(12):1997-2006.
- [7] 高晓雨,程维明,王楠,等.基于地貌分区的1990—2015年中国耕地时空特征变化分析[J].地理学报:英文版,2019,29(2):180-196.
- [8] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学D辑,2002,32(12):1031-1040.
- [9] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等.20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J].地理学报,2014,69(1):3-14.
- [10] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等.2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802.
- [11] 戈大专,龙花楼,杨忍.中国耕地利用转型格局及驱动因素研究:基于人均耕地面积视角[J].资源科学,2018,40(2):273-283.
- [12] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. Land Use Policy, 2015, 45:1-7.
- [13] 余国强.湖南省耕地变化特点、驱动力及可持续利用研究[J].中国农业资源与区划,2005,26(1):15-18.
- [14] 金贵,邓祥征,陈冬冬,等.黄淮海平原农地流转空间分布与格局特征[J].资源科学,2016,38(8):1515-1524.
- [15] 于伯华,吕昌河.城市边缘区耕地面积变化时空特征及其驱动机制:以北京市顺义区为例[J].地理科学,2008,28(3):348-353.
- [16] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶,等.黄土丘陵沟壑区县域耕地变化驱动要素研究:以安塞县为例[J].水土保持学报,2003,17(4):146-148.
- [17] 熊华,刘耀林,车珊珊,等.基于支持向量机的土地利用变化模拟模型[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(3):366-369.
- [18] 周锐,苏海龙,王新军,等.基于CLUE-S模型和Markov模型的城镇土地利用变化模拟预测:以江苏省常熟市辛庄镇为例[J].资源科学,2011,33(12):2262-2270.
- [19] 刘欣,赵艳霞,冯晓森,等.基于CLUE-S模型的多目标土地利用格局模拟与优化:以河北省廊坊市北三县为例[J].地理与地理信息科学,2018,34(5):92-98.
- [20] 李圆圆,谈明洪,张红旗.中国耕地空间格局变化对粮食生产的影响[J].中国工程科学,2018,20(5):90-95.
- [21] 石瑞香,杨小唤.中国耕地变化区的气候背景对比分析[J].地球信息科学学报,2010,12(3):309-314.
- [22] Song W, Liu M L. Farmland conversion decreases regional and national land quality in China[J]. Land Degradation & Development, 2016, 28(2):459-471.
- [23] 陈紫璇,陈云浩,雷添杰.中国耕地变化及耕地与水资源的匹配研究[J].水利水电技术,2019,50(2):69-78.
- [24] 田光进,张增祥,赵晓丽,等.中国耕地土壤侵蚀空间分布特征及生态背景[J].生态学报,2002,22(1):10-16.
- [25] 薛明皋,邢路,王晓艳.中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J].中国土地科学,2018,32(9):81-88.
- [26] Song W, Deng X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 576:705-719.
- [27] 史洋洋,吕晓,黄贤金,等.江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应[J].自然资源学报,2017,32(6):961-976.
- [28] 李圆圆,谈明洪,张红旗.中国耕地空间格局变化对粮食生产的影响[J].中国工程科学,2018,20(5):90-95.
- [29] He C Y, Liu Z F, Xu M, et al. Urban expansion brought stress to food security in China: Evidence from decreased cropland net primary productivity[J]. the Science of the Total Environment, 2017, 576:660-670.
- [30] Chen Q M, Liu Y J, Ge Q S, et al. Impacts of historic climate variability and land use change on winter wheat climatic productivity in the North China Plain during 1980—2010[J]. Land Use Policy, 2018, 76:1-9.
- [31] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China[J]. Land Use Policy, 2005, 23(4):372-384.
- [32] 李圆圆,谈明洪,郝海广.1992—2015年全球耕地变化对陆地生态系统服务价值的影响[J].地理学报:英文版,2019,29(3):323-333.
- [33] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2014,34(12):3311-3319.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 吴凯,顾晋怡,何宏谋,等.基于重心模型的丘陵山地区耕地利用转换时空特征研究[J].农业工程学报,2019,35(7):247-254.
- [37] Li G D, Fang C L, Wang S J. Exploring spatiotemporal changes in ecosystem-service values and hotspots in China[J]. Science of the Total Environment, 2016, 545:609-620.