

渭干河流域农田生态系统服务价值变化及其影响因素分析

乔旭宁¹, 顾羊羊¹, 唐 宏², 杨永菊¹

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003;
2. 四川农业大学 四川省农村发展研究中心, 四川 成都 611130)

摘 要: 以渭干河流域为例, 计算了 2000—2010 年间上游山区、中游山间盆地、下游冲洪积平原的农田生态系统服务价值变化, 并采用多元逐步回归模型分析了人类活动对流域不同区域农田生态系统服务价值的影响。结果表明: 渭干河流域农田生态系统综合服务价值呈中游山间盆地 > 上游山区 > 下游冲洪积平原的空间分异特征, 单位面积农田生态服务价值则表现为上游山区 > 下游冲洪积平原 > 中游山间盆地; 流域农田生态系统综合服务价值呈增长趋势, 其中上游山区增加了 3.86 亿元、中游山间盆地增加了 2.26 亿元、下游冲洪积平原增加了 6.02 亿元; 农田生态系统基本服务价值, 上游山区、中游山间盆地及下游冲洪积平原年均分别增加 0.56 亿元、0.61 亿元和 0.75 亿元; 使用化肥等导致农田环境污染损失的价值表现出不同程度的增大趋势; 农业耗水损失价值方面, 上游山区和中游山间盆地年均分别减少 0.19 亿元和 0.35 亿元, 下游冲洪积平原变化较小; 回归分析结果显示渭干河流域农田生态系统服务价值的变化主要是由农业现代化以及种植结构调整引起的, 流域不同地貌单元主要影响因子及影响程度具有较大差异性。

关键词: 农田生态系统; 服务价值; 空间异质性; 影响因素; 渭干河流域
中图分类号: S314 **文献标志码:** A

Service values change of farmland ecosystem and its influence factors analysis in Weigan River Basin

QIAO Xu-ning¹, GU Yang-yang¹, TANG Hong², YANG Yong-ju¹

(1. College of Surveying and Land Information Engineering, Henan Science and Technology University, Jiaozuo, Henan 454003, China; 2. Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: Taking Weigan River Basin(WRB) as an example, calculated the service value change of farmland ecosystem for mountainous areas in upstream, intermountain basin in midstream and alluvial-proluvial plain in downstream during 2000—2010, and adopted the multiple stepwise regression model to analyze the impacts of human activities on the service value of farmland ecosystem(SVFE) for different areas in river basin. The results showed that: The comprehensive SVFE in WRB assumed the characteristics of spatial heterogeneity as intermountain basin in midstream > mountainous area in upstream > alluvial-proluvial plain in downstream. The SVFE per unit area are shown as mountainous area in upstream > alluvial-proluvial plain in downstream > intermountain basin in midstream; The comprehensive SVFE in whole river basin was shown the increase trend, among them the mountainous area in upstream was increased 386 million yuan, the intermountain basin in midstream was increased 226 million yuan and the alluvial-proluvial plain in downstream was increased 602 million yuan. The basic SVFE was yearly increased 56 million, 61 million and 75 million yuan in upstream, midstream and downstream, respectively. The loss values of farmland environmental pollution caused by using chemical fertilizer was showed increasing trend in different degrees. The yearly loss values of agricultural water consumption was reduced 19 million and 35 million in upstream and midstream, respectively, but it was small change in alluvial-proluvial plain of downstream. The results from regression analysis were shown that change of SVFE in Weigan River

收稿日期: 2014-04-10
基金项目: 国家社会科学基金(14BJY021); 教育部人文社会科学研究青年基金(13YJCZH140); 河南省高校青年骨干教师资助计划(2014GGJS - 044); 中国博士后基金(2012M521392)
作者简介: 乔旭宁(1977—), 男, 河南偃师人, 副教授, 博士, 主要从事资源与区域发展研究。E-mail: qiaoxuning@126.com。

Basin was mainly caused by the agricultural modernization as well as the adjustment of planting structure, the main impact factors and the degree of influence in different geographical unit in river basic will be had great difference.

Keywords: farmland ecosystem; service values; spatial heterogeneity; influence factors; Weigan River Basin

生态系统服务是指人类直接或者间接地通过生态系统的结构、过程、功能得到的生命支持产品和服务^[1]。生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[2]。保持与恢复生态系统服务功能是实现可持续发展的基础,分析与评价生态系统服务功能的价值已成为当前国际上生态学与生态经济学研究的热点^[3]。农田是陆地生态系统中较为重要的生态系统,它与森林、草地、湿地等生态系统一样,对人类的生存环境产生重要影响,同时,农田生态系统在人类活动的强烈干扰下,具备了许多特殊的功能,如兼具正负双重环境效应等。近年来关于农田生态系统服务价值的评估为众多学者关注, Costanza 等提出了全球生态系统服务价值测算方法,并给出了农田生态系统当量因子^[1]。我国学者谢高地等在 Costanza 等提出的评价模型基础上,概况出九项生态系统服务功能,并对国内生态学者进行问卷调查,制定出了“中国生态系统生态服务价值当量因子表”,把每公顷全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值定义为 1,其它生态系统生态服务价值当量因子是指生态系统产生该类生态服务相对于农田生态系统食物生产服务贡献的大小^[4]。杨志新等^[5]对北京郊区农田生态系统服务价值的动态变化进行分析,表明农田生态系统的服务价值巨大,人们却对此有所忽视,研究未能考虑农业生产过程中所产生的负面影响。孙新章^[6]等采用生态经济学的方法全面评价了中国农田生态系统的服务功能价值,认为全国尺度下农田生态系统服务功能高于森林和草地。而岳东霞^[7]及石福习^[8]等则综合运用了国内外学者的研究成果对河西走廊相关区域的农田生态系统服务价值进行动态分析,并提出了影响价值变动的主要因素。上述成果为农田生态系统服务价值研究提供了评价指标和研究方法,但是对同一流域内上中下游不同地貌单元的农田生态系统服务价值的差异及其驱动力研究深度不够。在干旱区内陆河流域,由于人类对自然资源,特别是水资源的不合理利用,加剧了脆弱生态环境的演变过程,影响了流域的生态安全^[9],人类活动突出表现为对上中游的水土资源开发过度,致使下游河道断流。农田作为人地作用关系强烈的生态系统,其稳定性将直接关系到这些区域的可持续发展、农户生计和社会稳定^[8]。本文

以渭干河流域为例,采用生态经济学和多元线性回归方法,评价渭干河流域上游山区、中游山间盆地及下游冲洪积平原农田生态系统服务价值的差异,分析影响流域不同地貌单元农田生态系统服务价值变化的驱动力因子,为全面认识和科学管理流域农田生态系统提供支撑,为流域生态安全和人地和谐提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渭干河发源于天山南麓,是塔里木河流域九大水系之一,由木扎提河、卡布斯浪河、台勒外丘克河、卡拉苏河、黑孜河 5 条支流汇合而成,干流河长 452 km,流域总面积 27 849 km²,经拜城、库车、新和、沙雅 4 县,最后消失于塔里木河北岸。该流域为典型的大陆性气候,光热资源丰富,降水稀少,蒸发强烈,气温差异显著,多年平均降雨量 473 mm,平均蒸发量 2 013 mm,年平均气温 10.7℃。按地形地貌可分为北部山区、中部山间盆地和南部冲洪积平原三大地貌单元,根据渭干河流域水资源利用分区情况,克孜尔水库以上拜城、温宿两县范围为流域上游,库车、新和两县范围为中游,沙雅县范围为流域的下游^[10](图 1)。流域不同地貌单元之间的自然资源状况、气候条件及土地利用方式等差别较大,这决定着人类具体的农业生态活动亦不同,从而使农田生态系统服务价值和影响因子表现出一定的空间异质性特点。本文选取上游山区的拜城县、中游山间盆地的库车县和新和县以及下游冲洪积平原的沙雅县代表这三种不同的地貌单元,有利于反映流域农田生态系统服务价值的时空异质性及人为驱动因子的差异性。

1.2 农田生态系统服务价值评价方法

1.2.1 农田生态系统服务价值评价的指标体系构建及选择

1) 指标体系构建的原则。

① 目的性和可操作性相对应原则。以农田生态系统为研究对象,通过价值评价,了解农田生态系统的结构与功能,分析空间异质性及原因,为增强农田生态系统功能及稳定性提供依据。在实现上述研究目的基础上,指标体系的设置应尽可能简单明了、容易理解,指标体系所涉及的数据是目前统计制度中具有或通过计算能取得的,应具有可操作性。

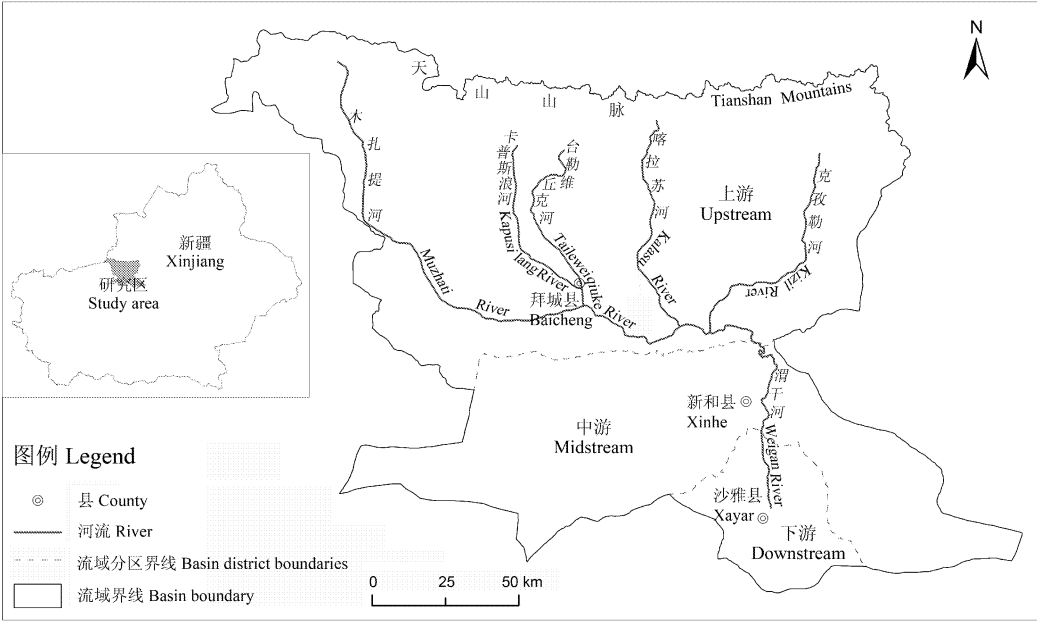


图1 渭干河流域概况

Fig.1 General situation in Weigan River Basin

② 科学性和可比性相统一的原则。在理论上必须有科学依据,在实践上必须可行而有效。农田生态系统服务价值指标体系既要涵盖农田生态系统的主要功能,又能综合反映绿洲农业在集约化生产条件下,生态系统服务供给的正负功能,这样根据搜集资料通过数量分析和运算,才能得出正确的结论并科学指导实践。同时指标体系的设计要注意时间、地点和适应范围的可比性,以便纵向、横向比较和经验的推广与应用。

③ 系统性和层次性相统一的原则。层次性是系统性的一个重要特性之一,农田生态系统价值的评价指标体系分3个层次,即目标层、准则层和功能层,分别反映总价值、分类价值和功能价值;同时又分为4个子系统,各子系统由多种要素组成,既相互联系又相对独立。

2) 基于渭干河流域的农田生态系统服务价值评价指标体系构建。

依照指标体系构建原则,在总结国内外研究成果的基础上,构建渭干河流域农田生态系统服务价值评价指标体系(表1)。

1.2.2 农田生态系统服务价值估算的方法

1) 农田生态系统基本生态服务价值。

农田生态系统包括生物多样性的产生与维持、气候调节、营养物质贮存与循环、土壤肥力的更新与维持、环境净化与有害有毒物质的降解、植物花粉的传播与种子的扩散、有害生物的控制、减轻自然灾害

等许多方面^[1,11]。此外,农田系统可以成为人们的休闲娱乐、文化、教育和科研场所。本文基于生态服务功能价值与单位面积生物量成正比的假设,通过计算渭干河流域单位农田面积的产出价值,来确定农田生态服务价值^[12],过程如下:

① 单位面积农田食物生态服务价值的确定

$$E_a = 1/7 \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \tag{1}$$

式中, E_a 为单位面积农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元·hm⁻²); i 为作物种类; p_i 为*i* 种作物全国平均价格(元·t⁻¹); q_i 为*i* 种粮食作物单产(t·hm⁻²); m_i 为*i* 种粮食作物面积(hm²); M 为*n* 种粮食作物总面积(hm²)。渭干河流域主要粮食作物为玉米、小麦、水稻,其价格按照全国最低统一价格分别为2 270 元·t⁻¹、2 240 元·t⁻¹ 和 2 640 元·t⁻¹ 计算。

② 农田生态系统基本服务价值的确定

$$V_0 = \sum_{i=1}^9 AE_a e_i \quad (i = 1, \dots, 9) \tag{2}$$

式中, V_0 为农田生态系统基本服务价值, A 为耕地面积, e_i 为农田生态系统*i* 种生态服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子,可根据“中国生态系统服务价值当量因子表”获取; i 为农田生态系统服务功能类型,包括气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐。

渭干河流域大量种植棉花等经济作物,其经济价值较粮食作物高,参照岳东霞^[6]的研究成果,将经济作物归类为原材料生产,用经济作物经济价值与粮食作物经济价值的比值作为原材料服务价值的当量因子,其他采用谢高地等^[4]提出的当量因子(表 2)。

表 1 渭干河流域农田生态系统服务价值评价的指标体系

Table 1 Index system of service value evaluation of farmland ecosystem in Weigan River Basin

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	功能层 Function layer
农田生态系统 服务总价值 Gross service values of farmland ecosystem	基本服务价值 Basic service value	气体调节价值 Gas regulation value
		气候调节价值 Climate regulation value
		水源涵养价值 Water conservation value
		土壤形成与保护价值 Soil formation and erosion control value
		废物处理价值 Waste treatment value
		生物多样性维持价值 Bio-diversity maintain value
	环境污染服务价值 Environmental pollution service value	食物生产价值 Food production value
		原材料生产价值 Raw materials production value
		休闲娱乐价值 Leisure entertainment value
	水资源消耗功能价值 Water consumption function value	化肥污染损失价值 Loss value by chemical fertilizer pollution
		农药污染损失价值 Loss value by pesticide pollution
	社会保障功能价值 Social security function value	除草剂污染损失价值 Loss value by herbicide pollution
		农业灌溉用水消耗价值 Agriculture irrigation water-consumption loss value
		剩余劳动力失业保险功能价值 Surplus labor unemployment insurance function value

表 2 渭干河农田生态系统服务价值的当量因子

Table 2 The equivalent factors of farmland ecosystem in Weigan River Basin

因子 Factor	气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	水源涵养 Water conservation	土壤形成与保护 soil formation and erosion control value	废物处理 Waste treatment	生物 多样性 Biodiversity	食物生产 Food production	原材料 Raw materials	休闲娱乐 Leisure entertainment
当量 Equivalent	0.5	0.89	0.6	1.46	1.64	0.71	1	2.3	0.01

2) 社会保障服务价值评价方法。

土地对部分从农村流动到城市的剩余劳动力起到失业保险的作用,因此可以间接测算出农田所提供的社会保障服务价值^[6-7]。其表达式为:

$$V_1 = N \times S \times R \tag{3}$$

式中, V_1 为社会保障服务价值; N 为保障的人数; S 为城市最低社会保障标准; R 为农村生活消费支出与城镇居民生活消费支出的比值。据农业部门的测算,我国的农业隐性失业率为 48.6%,全国最低生活保障为 155 元·人⁻¹^[6]。

3) 水资源消耗服务价值评价方法。

在西北干旱地区,由于农业灌溉措施的普及,农田生态系统服务具备了比原生生态系统更高的生产潜力,使得该区人类物质保障和生活水平得到提高,但同时也导致诸多环境问题,如过度开采地下水导致地下水漏斗的形成、土地盐碱化等。水资源消耗价值可用水库蓄水成本法来计算^[6-7],表达式为:

$$V_2 = - (W \times R \times C_w) \tag{4}$$

式中, V_2 为水资源消耗价值(元); W 为农业用水量(m^3); R 为农业耗水率(%); C_w 为水库蓄水成本(取 1.17 元· m^{-3})。农业耗水率均值为 35%(取水分利用率为 63% ~ 66% 的平均值)。

4) 环境污染与破坏服务价值评价方法。

随着农业现代化的发展,农田生态系统也受到严重的环境污染与破坏,其中以使用化肥、农药、除草剂等造成的污染最为严重。因资料所限,渭干河流域农田生态系统受到的负面经济价值仅以化肥的使用来评估^[6-7],表达式为:

$$V_3 = M \times (1 - r) \times p \tag{5}$$

式中, V_3 为化肥的污染价值; M 为化肥使用量(t), r 为化肥利用率(%), S 为化肥价格(元·t⁻¹)。当前我国的化肥平均利用率为 34.17%,化肥平均价格以 1 500 元·t⁻¹ 计算。

5) 综合服务价值评价方法。

农田生态系统服务的综合服务价值包括农田产生的正负服务价值之和。正面生态服务价值为农田基本服务价值 V_0 和社会保障服务价值 V_1 , 负面生态服务价值为水资源消耗服务价值 V_2 和环境污染与破坏服务价值 V_3 ^[8]。农田生态综合服务价值 (V_t) 表达式如下:

$$V_t = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 \tag{6}$$

1.3 数据来源

研究所涉及的农业、经济社会、水资源利用等方面的基础数据均来源于《阿克苏地区统计年鉴(2001—2011)》^[13]、《新疆统计年鉴 2011》^[14] 和《阿克苏地区水资源公报(2000—2010)》。

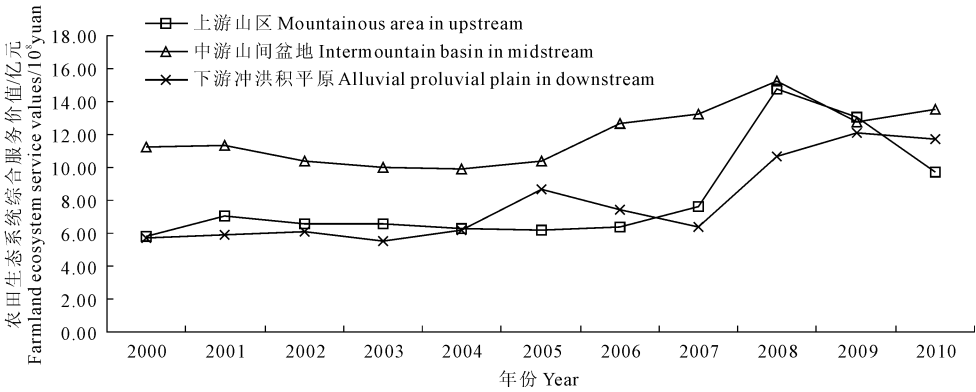


图 2 2000—2010 年渭干河流域农田生态系统综合服务价值变化

Fig.2 Comprehensive service value change of farmland ecosystem in Weigan River Basin during 2000—2010

上游山区:2000 年的农田综合服务价值为 5.85 亿元,高于下游冲洪积平原的 5.68 亿元,但是远远低于中游山间盆地的 11.23 亿元。2000 年到 2006 年之间,该区的农田生态系统服务价值呈波动上升趋势,但总体上变化不大(图 3(a))。2006 年到 2008 年该区的农田生态系统价值迅速增加,两年间增加了 8.38 亿元,每年增加 4.19 亿元。但是从 2008 年以后,拜城的农田生态系统服务价值迅速下降,从 2008 年的 14.72 亿元下降到 2010 年的 9.71 亿元,平均每年下降 1.67 亿元,耕地面积快速增加需要大量的农业用水,根据阿克苏地区水资源公报,上游拜城的农业用水量从 2008 年的 5.22 亿 m³ 增长到 2010 年的 12.36 亿 m³,两年间增加了近 7.14 亿 m³,使得上游山区的水资源消耗价值从 2008 年的 2.14 亿元增加到 2010 年的 5.08 亿元,是导致该区农田生态系统服务价值降低的重要因素。

中游山间盆地:渭干河中游农田生态系统服务价值呈波动上升趋势,从 2000 年的 11.23 亿元增加到 2010 年的 13.49 亿元,其中在 2008 年中游地区的

2 结果与分析

2.1 渭干河流域农田生态系统综合服务价值变化

渭干河流域农田生态系统服务价值总体呈上升趋势(图 2),从 2000 年的 22.76 亿元增加到 2010 年的 34.9 亿元,年均增加 1.1 亿元。流域中游山间盆地的农田生态系统服务价值最高,2000 年和 2010 年分别占农田生态系统服务价值的 49.36% 和 38.66%;下游冲洪积平原变化次之,2000 年和 2010 年分别占农田生态系统服务价值的 24.94% 和 33.51%;中游的农田生态系统服务价值变化不大,约占农田生态系统服务价值的 25.7%~27.83%。

农田服务价值达到最大值 15.26 亿元(图 3(b))。农田生态系统服务价值在空间分布上,中游山间盆地高于上游山区以及下游冲洪积平原。2008 年耕地面积的增加导致该区农业用水的增多,水资源消耗价值从 2008 年的 5.48 亿元增加到 2010 年的 8.53 亿元,农业用水的增加引起农田生态服务价值的下降。

下游冲洪积平原:该区农田生态系统综合服务价值总体上呈增加趋势,农田生态服务价值从 2000 年的 5.68 亿元增加到 2010 年的 11.70 亿元,年均增长 0.55 亿元(图 3(c))。该区农田基本服务价值与综合服务价值之间呈正相关,受社会保障服务价值、水资源消耗服务价值以及环境污染与破坏服务价值波动影响不大。

2.2 渭干河流域单位面积农田生态系统服务价值变化

渭干河流域单位面积农田生态系统服务价值总体上呈上升趋势,在流域不同地貌单元,单位面积农田生态服务价值呈上游山区>下游冲洪积平原>中

游山间盆地的空间梯度分异(图 4)。上游山区单位面积服务价值水平最高,从 2000 年的 18 350.72 元·hm⁻²增加到 2010 年的 23 106.38 元·hm⁻²,年均增加 432.33 元·hm⁻²;中游山间盆地从 2000 年的 18 091.92 元·hm⁻²增加到 2010 年的 19 226.96 元·

hm⁻²;下游冲洪积平原从 2000 年的 17 609.93 元·hm⁻²增加到 2010 年的 20 922.81 元·hm⁻²。农田生态系统的气候调节、保持水土、环境净化、食物生产、原材料提供等方面的贡献越来越突出。

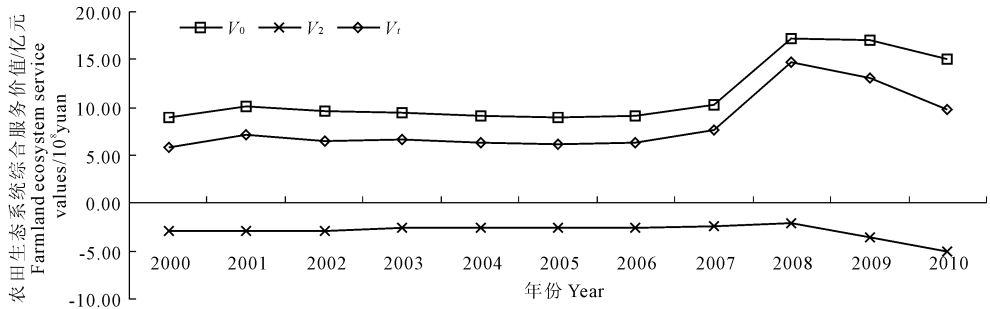


图 3(a) 2000—2010 年渭干河上游山区农田生态系统服务价值变化

Fig.3(a) Changes of farmland ecosystem service values in upstream of Weigan River Basin during 2000—2010

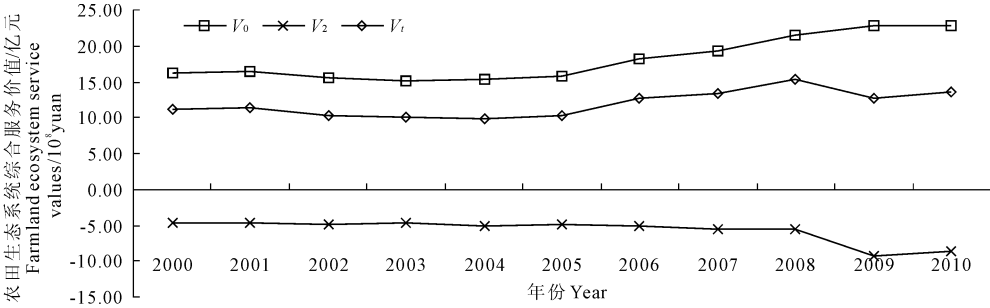


图 3(b) 2000—2010 年渭干河中游山间盆地农田生态系统服务价值变化

Fig.3(b) Changes of farmland ecosystem service values in midstream of Weigan River Basin during 2000—2010

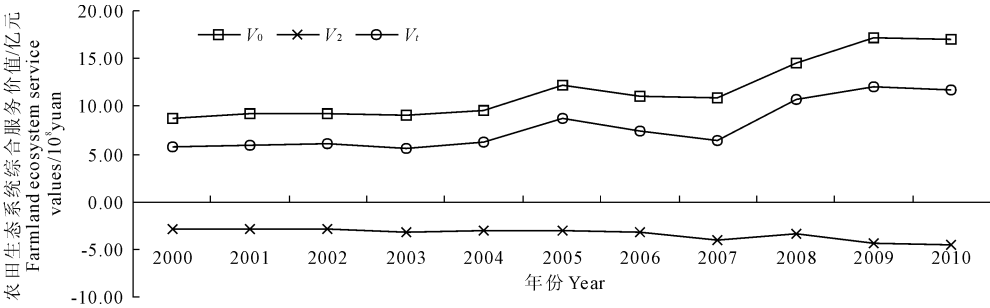


图 3(c) 2000—2010 年渭干河下游冲洪积平原农田生态系统服务价值变化

Fig.3(c) Changes of farmland ecosystem service values in downstream of Weigan River Basin during 2000—2010

2.3 渭干河流域农田生态系统服务价值变化的影响因子多元回归分析

人类活动对农田生态系统服务产生了较大的影响,研究在总结相关学者研究成果的基础上,归纳出 4 类 16 项影响农田生态系统服务价值变化的人文因素指标。采用回归分析法,对渭干河流域不同生态功能区的农田生态系统服务价值的变化规律进行了定量分析。各指标如下:① 社会经济发展及农业投入,包括 GDP(X_1)、农业总产值(X_2)、农民人均纯

收入(X_3)、第一产业投资(X_4)、乡村劳动力(X_5);② 农业现代化,包括农业机械总动力(X_6)、农用化肥使用量(X_7)、农用塑料薄膜使用量(X_8)、农业用电量(X_9)、机电井数量(X_{10});③ 水资源利用,包括农业用水量(X_{11})、地表水资源供水量(X_{12})、有效灌溉面积(X_{13});④ 种植结构变化,包括经济作物面积(X_{14})、粮食单产(X_{15})、饲料作物面积(X_{16})。

根据 2000—2010 年统计数据,运用 SPSS 18.0 软件对渭干河流域农田生态系统服务价值的变化和

人文因素指标进行多元逐步回归分析,发现影响流域不同地貌单元农田生态系统服务价值变化的影响因子有较大的差异性(表 3)。

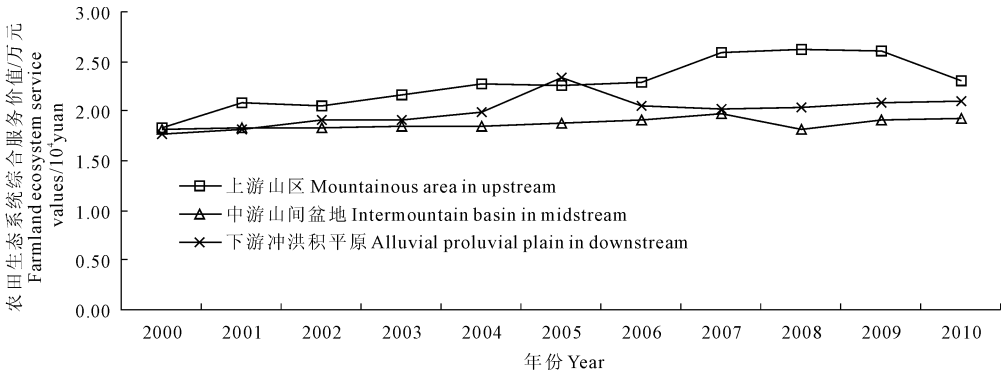


图 4 2000—2010 年渭干河流域单位面积农田生态系统服务价值

Fig.4 The service values of per unit area of farmland ecosystem in Weigan River Basin during 2000—2010

表 3 渭干河流域不同生态功能区农田生态系统服务价值多元线性回归模型

Table 3 Multivariate Linear Regression model of farmland ecosystem service values in different ecology function areas in Weigan River Basin

功能区 Functional areas	多元线性回归模型 Multiple linear regression model	R ²	F	Sig
上游山区 Mountainous area in upstream	$Y = 8.803 + 0.752X_5 + 0.941X_6 - 0.263X_{11} + 0.001X_{15}$	0.992	196.78	0
中游山间盆地 Intermountain basin in midstream	$Y = 11.125 + 0.001X_8 - 0.174X_{11} + 0.333X_{13}$	0.925	28.687	0
下游冲洪积平原 Alluvial proluvial plain in downstream	$Y = 2.955 + 0.188X_{14}$	0.83	43.939	0

该模型中, Y 为农田生态系统服务总价值, F 检验和 t 检验的显著性概率 $Sig \leq 0.05$, 表明方程整体拟合优度及所有变量对应的回归系数皆通过检验。由该模型可知农民人均纯收入(X_3)、农业机械总动力(X_6)、农用塑料薄膜使用量(X_8)、农业用水量(X_{11})、有效灌溉面积(X_{13})、经济作物面积(X_{14})、粮食单产(X_{15})等 7 个人为因素对渭干河流域不同功能区农田生态系统服务价值变化影响较为显著(表 4)。

对上游山区而言, 农田生态系统服务价值与农民人均纯收入、农业机械总动力和粮食单产呈正比, 与农业用水量呈反比。农民人均纯收入的增加表明人们生活质量的提高, 是社会经济发展的结果。农民收入水平的提高, 促使其对农业的投入不断增加, 从 2000 年到 2010 年第一产业投资增加了近 20 倍, 建立了各种农业基础设施, 修筑饮水沟渠, 确保农业用水的需要, 11 年间上游山区耕地面积增加了 16.66 千 hm^2 , 农业机械化水平不断提高, 农业机械总动力增长了 1.25 倍, 现代农业管理技术的改进, 提升了农田生态系统的生产功能, 粮食单产增加了 132.69%。农业用水量的增加, 在提升农业产量的

同时, 增加了农田的水资源消耗价值, 从回归系数 $B = -0.263$ 来看, 农田用水量的增加对水资源消耗价值的增加和农田生态系统服务总价值的减少作用显著。

在中游山间盆地, 农田生态系统服务价值与农用塑料薄膜的使用量和有效灌溉面积呈正比, 与农业用水量呈反比。农用塑料薄膜的使用量在一定程度上表征了农业现代化的进程, 即随着农田施肥量、地膜覆盖等农业技术的运用, 提高了农田科技管理水平, 不仅使粮食产量由 2000 年的 6 114.93 $kg \cdot hm^{-2}$ 增加到 2010 年 6 570 $kg \cdot hm^{-2}$, 而且对节约水资源, 保持水土肥力起到了重要作用。该区有效灌溉面积从 2000 年的 82.54 千 hm^2 增加到 2010 年的 108.99 千 hm^2 , 增加了 26.45 千 hm^2 , 促使农田食物生产及原材料增多, 农田生态服务价值增加。由于地处干旱区, 过度开采地下水导致的地下水漏斗的形成、土地盐碱化以及农田有效灌溉面积的增加使得该区水资源消耗价值从 2000 年的 3.11 亿元增加到 2010 年的 5.52 亿元, 发展节水农业、推广现代农业新技术, 是维持并提升该区农田生态系统服务功能的关键。

表 4 回归系数与显著性检验

Table 4 Regression coefficients and significant testing

模型 Model	上游山区 Mountainous area in upstream			中游山间盆地 Intermountain basin in midstream			下游冲洪积平原 Alluvial proluvial plain in downstream		
	非标准 回归系数 Non standard regression coefficients	回归系 数检验 统计量 Regression coefficient test statistic	显著性 水平 Significance level	非标准 回归系数 Non standard regression coefficients	回归系 数检验 统计量 Regression coefficient test statistic	显著性 水平 Significance level	非标准 回归系数 Non standard regression coefficients	回归系 数检验 统计量 Regression coefficient test statistic	显著性 水平 Significance level
常数项 Constant	8.803	3.742	0.01	11.125	11.813	0	2.995	3.73	0.005
农民人均纯收入(X ₃) Per capita net income of farmers	0.752	7.425	0						
农业机械总动力(X ₆) Agricultural machinery total power	0.941	15.534	0						
农用塑料薄膜使用量(X ₈) Agricultural plastic film usage				0.001	4.477	0.003			
农业用水量(X ₁₁) Agricultural water use	-0.263	-5.604	0	-0.174	-2.461	0.043			
有效灌溉面积(X ₁₃) Effective irrigation area				0.333	3.026	0.019			
经济作物面积(X ₁₄) Economic crops area							0.188	6.202	0
粮食单产(X ₁₅) Per unit area of grain yield	0.001	2.589	0.041						

在下游冲洪积平原,农田生态系统服务价值与经济作物面积成正比。经济作物面积的变化,映射出下游冲洪积平原区农业种植结构的变化。由于市场经济以及水资源限制的导向作用,人们趋于种植效益高的经济作物,使得渭干河流域下游经济作物面积 11 年间增加了 30.02 千 hm²,其中棉花的种植面积从 2000 年的 26.7 千 hm² 增加到 2010 年的 56.67 千 hm²,产量增加了 43 911 t,西瓜、甜瓜等的种植面积也在不断增长。经济作物的广泛种植,对农田生态系统服务价值产生了重要影响。适当调整种植结构,有利于绿洲水资源的合理利用和提高农田生态系统服务价值,也可以增加农民的收入,是绿洲农田生态系统可持续管理的重要手段。

3 结论与讨论

3.1 结论

1) 通过对渭干河流域上游山区、中游山间盆地和下游冲洪积平原的三种不同地貌类型的农田生态系统服务价值进行计算,发现渭干河流域农田生态系统综合服务价值呈中游山间盆地>上游山区>下游冲洪积平原的空间梯度分异,单位面积农田生态系统服务价值呈上游山区>下游冲洪积平原>中游山间

盆地的空间分异特点,而这种同一流域内部不同生态功能区服务价值的差异主要由不同地区土地利用方式和气候资源决定;在 2000—2010 年间,不同生态功能区单位面积农田生态系统基本服务价值和农田生态系统服务总价值都呈一定增长趋势。单位面积农田生态服务价值,上游山区增加了 25.92%,中游山间盆地增加了 6.27%,下游冲洪积平原增加了 18.81%。农田生态服务总价值,下游冲洪积平原增幅最大,增加了 106%;上游山区增幅次之,增加了 66%;中游山间盆地增加了 20%,增幅最小。

2) 基于影响因子的回归分析可知,农田生态系统服务功能的经济价值主要由农民人均纯收入、农业机械总动力、农用塑料薄膜使用量、农业用水量、有效灌溉面积、经济作物面积、粮食单产决定,在流域上中下游表现出明显的差异性,为流域不同地貌单元种植结构调整、水资源的综合利用及农田生态系统功能的维持与提升提供了依据。

3.2 讨论

1) 通过构建指标体系,对渭干河流域农田生态系统服务价值进行综合评价,评价方法的合理性和结果正确性表现在:① 研究区不同生态功能区服务价值的差异与不同地区土地利用方式和气候资源密

切相关,这一结果与蒋小荣等^[15]研究成果一致。② 由于综合考虑了农田生态系统服务的多种价值,该区域农田单位面积服务价值平均为 20 055.85 元·hm⁻²,若按照可比价格进行测算,高于相关学者测算的渭干河流域 9 561.89 元·hm⁻²^[10]、全国平均水平 3 547.89 元·hm⁻²^[16]及洞庭湖区 12 970.79 元·hm⁻²^[17],表现出较强的生态服务供给功能。

2) 研究尚需进一步完善,主要表现在:① 价值的测算方法过于简化,基本价值在国内学者谢高地研究成果基础上,对当量因子简单修正,其与实际情况会存在一定偏差;对于环境污染服务价值的评价,由于数据的可获取性,仅仅考虑了化肥的因素,这并不能全面反映环境污染对农田生态系统服务价值的影响。② 计算单元也存在一定的近似性,在计算中既考虑了流域单元,同时也兼顾了行政单元,二者存在范围上的误差。

3) 根据研究结果,为促进渭干河流域农田生态系统的可持续发展,应从以下几个方面开展工作:① 积极调整种植业结构。渭干河流域应适当缩小粮食作物面积,扩大种植经济效益高、耗水量少的经济作物规模,以增强农田原材料服务供应,从而推动该区农田生态系统总服务价值较快增长。② 走生态绿色可持续发展道路,实现新型农业现代化。化肥和塑料薄膜的使用量一定程度上促进了渭干河农业生产力的提高,但也使得该区农田生态系统损失的价值呈增大趋势,因此在实现农业现代化过程中,要注意其对生态环境的负面效应。③ 合理配置农业用水,使农田生态系统的生态和经济效益兼顾。水资源是河西地区农业发展的最大限制性因素,塔里木河流域农业用水又占到了用水总量的 90% 以上^[18],根据研究结果,农业用水对农田生态系统服务价值具有正负双重效应,因此,找到二者的均衡点对合理利用农田灌溉用水意义重大。④ 构建基于农业用水的生态补偿策略。相关研究成果表明,在流域层面,社区和社会公众承担了水利设施投资成本,但地下水是免费的公共资源,由于政策的不当,灌溉成本低,使流域农民选择大面积种植耗水作物而非节水作物^[19-20],政府如果能执行合理的补偿政策,则能提高获取资源的公平性,产生持续的收益。

参 考 文 献:

[1] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and nature capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[2] Daily G C. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997.

[3] Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic cost s of soil erosion and conservation benefits[J]. Science, 1995, 267: 1117-1123.

[4] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[5] 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.

[6] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(4): 55-60.

[7] 岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2567-2575.

[8] 石福习, 宋长春, 赵成章, 等. 河西走廊山地-绿洲-荒漠复合农田生态系统服务价值变化及其影响因子[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1598-1604.

[9] 王让会, 游先祥. 西部干旱区内陆河流域脆弱生态环境研究进展—以新疆塔里木河流域为例[J]. 地球科学进展, 2000, 16(1): 39-44.

[10] 黄 凤, 乔旭宁, 唐宏等. 近 20 年渭干河流域土地利用与生态系统服务价值时空变化[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 214-224.

[11] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.

[12] 肖 玉, 谢高地, 安 凯, 等. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 676-680.

[13] 新疆统计局. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[14] 阿克苏地区统计局. 阿克苏地区统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[15] 蒋小荣, 李 丁, 李智勇. 基于土地利用的石羊河流域生态服务价值[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(6): 68-73.

[16] 谢高地, 甄 霖, 鲁春霞. 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(9): 911-919.

[17] 梁守真, 李仁东, 朱超洪. 洞庭湖区生态服务价值变化区域差异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 196-200.

[18] 乔旭宁, 杨永菊. 塔里木河流域绿洲经济与自然资源关系探析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 6-11.

[19] 乔旭宁, 杨永菊, 杨德刚. 流域生态补偿研究现状及关键问题剖析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(4): 395-402.

[20] Shiferaw B. Watershed externalities, shifting cropping patterns and groundwater depletion in Indian semi-arid villages: The effect of alternative water pricing policies[J]. Ecological Economics, 2008, 67(2): 327-340.