

李 晶, 张微微. 关中 - 天水经济区农田生态系统涵养水源价值量时空变化[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(3): 52-57.

关中 - 天水经济区农田生态系统涵养水源 价值量时空变化

李 晶¹, 张微微^{1,2}

(1 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2 陕西师范大学 西北国土资源研究中心, 陕西 西安 710062)

摘要:【目的】科学、准确地量化农田生态系统的涵养水源服务,有助于其更好地发挥调节水源、稳定水源供应的作用,以缓解水源短缺的危机。【方法】在 3S 技术支持下,采用土壤蓄水法估算了关中 - 天水经济区农田生态系统水源涵养量,并采用影子工程法、成本估算法等计算了其涵养水源的价值量。【结果和结论】关中 - 天水经济区农田生态系统涵养水源量及其价值在 1980—2010 年的 30 年间呈先减少后增加的总体变化趋势,其中,1980—2005 年农田生态系统涵养水源总量从 32.219 亿 m³·年⁻¹减少至 19.691 亿 m³·年⁻¹,涵养水源总价值从 21.587 亿元·年⁻¹减少至 13.193 亿元·年⁻¹,年均减少 1.56%; 2005—2010 年生态系统总涵养水源数量从 19.691 亿 m³·年⁻¹增加到 31.638 亿 m³·年⁻¹,总涵养水源价值从 13.193 亿元·年⁻¹增加到 32.219 亿元·年⁻¹,年均增长为 7.42%。由于退耕还林还草政策的正向引导,在耕地面积日益减少的情况下,农田生态系统的涵养水源量及涵养水源价值量依然呈增长趋势,并具有一定的时空变化:在时间上表现为先减少后增加;在空间上表现为东南平原高,西北山地、丘陵低的变化趋势。

关键词: 关中 - 天水经济区; 农田生态系统; 涵养水源量; 涵养水源价值; 时空变化
中图分类号: X322 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2014)03-0052-06

Temporal and spatial variations of water conservation values in the farmland ecosystem in Guanzhong-Tianshui economic zone

LI Jing¹, ZHANG Weiwei^{1,2}

(1 College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;
2 Center of Land Resources Research in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract:【Objective】It is important to quantify the water conservation services of the farmland ecosystem scientifically and accurately, which is helpful to play roles of regulating water and stabling the water supply, alleviating the water scarcity crisis. 【Method】Under 3S, the quantity of water conservation in the farmland ecosystem in Guanzhong-Tianshui economic zone was estimated by the method of soil water storage, and the value with Shadow Engineering and Cost Accounting Methods. 【Result and conclusion】During the 30 years from 1980 to 2010, the change tendency of the quantity and value of water conservation in the farmland ecosystem in Guanzhong-Tianshui economic zone had been decreasing at the beginning and then increaseing. From 1980 to 2005, the water conservation quantity decreased from $3.2219 \times 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$ to $1.9691 \times 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$, and water conservation values decreased from $2.1587 \times 10^9 \text{ yuan} \cdot \text{year}^{-1}$ to $1.3193 \times 10^9 \text{ yuan} \cdot \text{year}^{-1}$, with an average annual decrement of 1.56%; while from 2005 to 2010, the water conservation quantity increased from $1.9691 \times 10^9 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$ to $3.1638 \times 10^9 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$, and water conservation values increased from $1.3193 \times 10^9 \text{ yuan} \cdot \text{year}^{-1}$ to 3.2219×10^9

yuan · year⁻¹, with an average annual increment of 7.42%. Under the positive guidance of returning farmland to forest/grass land policy, even if the farmland area was reducing gradually, there was an increasing trend of the quantity and value of water conservation in the farmland ecosystem in Guanzhong-Tianshui economic zone. And there was a certain temporal and spatial variation: It decreased at the beginning and then increased in the time; while in the space, it was high in in the southeast plains and low in the northwest mountainous areas.

Key words: Guanzhong-Tianshui economic zone; farmland ecosystem; water conservation quantity; water conservation value; temporal and spatial variation

随着城市建设的不断扩展及退耕还林还草的政策要求,导致原有耕地面积不断减少,另外由于大量喷洒农药和化肥及大范围使用塑料薄膜,造成耕地的生产力大大降低,对农田生态系统产生大量的负面影响,因此开展农田生态系统生态服务价值评价的研究,可以充分认识农田生态系统生态服务价值的重要性,促进农田生态系统形成良性循环,产生更多的经济价值,对实现农田生态系统的可持续发展具有重要意义. 目前,人类可利用的水资源普遍紧缺,一方面是由于用水需求增加导致水源的绝对短缺,另一方面是由于水源时空分布不均导致水源的相对匮乏^[1]. 然而,生态系统是地球水循环中重要的媒介或调节器,能够发挥调节水源、稳定水源供应的作用. 其中,农田生态系统是受人类强烈干预的经过人工驯化的自然生态系统,具有截流蓄水的生态服务功能^[2]. 因此客观、准确地评价农田生态系统涵养水源服务功能,是量化农田生态系统服务功能的重要环节,可以为农田生态系统管理和区域生态安全管理提供科学决策的依据. 生态服务价值研究始于 Costanza 等^[3]发表的“全球生态系统服务功能价值和自然资本”,他们测算出每年整个生物圈产生的生态服务价值平均为 33 万亿美元. 此后国内外学者开始将研究对象转为生态系统的生态服务价值. 而对生态系统涵养水源服务价值的研究主要集中在森林和草地生态系统的涵养水源服务价值,并且进行了较深入的研究,方法较成熟,并取得了一定的研究成果. 但对农田生态系统服务价值涵养水源服务的研究案例较少,农田生态系统不同于森林、草原生态系统,其生存环境和生态效益评价也与其有很大差异,因此,其生态效益的经济评价有其特殊性. 农田生态系统是在自然基础上经人工控制形成的农业生态系统中的亚生态系统,是地球上最重要的生态系统之一,提供全世界 66% 的粮食供给,因其具有巨大的服务功能价值,构成人类社会存在和发展的基础. 但人类在利用其服务功能的同时,又通过非持续的发展方式导致农田生态系统以史无前例的速度退化和破

坏^[4-5]. 因为农田生态系统受人类因素影响较多,无法形成准确、统一的评价模型. 目前只有少部分学者对农田生态系统的涵养水源价值进行了研究: 其中何文清等^[6]采用差值法对农牧交错带农业生态系统的水源涵养进行评价;王勇等^[2]采用替代法对佛山市农田系统的截流蓄水功能进行了研究;白杨等^[7]采用降水储量法对海河流域农田生态系统的涵养水源服务进行了分析;汤洁等^[8]采用替代工程法对白城市农田生态系统涵养水源服务进行研究;庄树宏等^[9]采用影子工程法对庙岛群岛海岸带农田生态系统涵养水源服务进行了评估;肖玉等^[10]采用水量平衡法在县域尺度下对农田生态系统服务涵养水源价值进行了探讨;对稻田生态系统水分涵养也有相关的研究报道^[11-13]. 农田生态系统是与人类活动最为密切,也是分布最广的生态系统,量化农田生态系统的涵养水源服务,既可以在一定程度上缓解水源短缺的问题,又可以实现农田生态系统水源的有效调控,并可以充分利用农田生态系统的蓄水节流功能,实现农田生态系统的可持续发展. 本文在确定农田生态系统的涵养水源物质量和价值量的测评模型及评价指标的基础上,采用影子工程法和成本估算法^[14-15]对农田生态系统的涵养水源服务功能在时空尺度上分别进行研究.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

关中-天水经济区是《国家西部大开发“十一五”规划》中确定的西部大开发三大重点经济区之一. 该经济区东西宽 573.44 km、南北宽 276.926 km, 总面积 8.01×10^4 km², 2008 年末总人口为 2 863.33 万人. 介于北纬 33° 21' 37" ~ 35° 51' 15"、东经 104° 34' 48" ~ 110° 48' 39" 之间. 关中-天水经济区包括陕西省西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、杨凌示范区、商洛市(商州、洛南、丹凤、柞水一区三县)和甘肃省天水市, 关中-天水经济区地处亚欧大陆桥中心,处于承东启西,连接南北的战略要地,是

我国西部地区经济基础好、自然条件优越、人文历史深厚、发展潜力较大的地区. 该区主要属于暖温带半干旱、半湿润大陆季风性气候, 降水量偏少, 且季节分布不均; 地形以塬阶地为主大部分位于渭河谷地, 土壤肥沃; 其耕地面积相对于中东部地区而言较少, 但该区却是我国西北地区粮食主产区和人口稠密区之一.

1.2 数据来源

数据源为 1980 年 MSS 影像、2000 年 LandsatTM 影像和 2005 年和 2010 年 Landsat-7 ETM 影像, 全年逐月平均降水数据, 《陕西省土壤志》、《天水市土壤志》、关中 - 天水经济区土地利用类型图、土壤植被分布图、自然地理基础资料和野外样点调查资料. 数据处理平台包括 Erdas8.5 和 Arcgis 9.3. 首先用 Erdas 8.5 对研究区域 1980、2000、2005 和 2010 年 4 年的遥感影像解译, 进行土地利用分类, 后导入 Arcgis 9.3 中实现 4 期影像的空间分析. 在 ArcCatalog 中将 1980、2000、2005 和 2010 年 4 年的降水数据分别进行建库, 然后构建涵养水源测评型, 并在 Arcmap 中提取空间属性信息, 进行涵养水源物质量与价值量测评和时空变化分析.

1.3 农田生态系统涵养水源测评方法

1.3.1 农田生态系统水源涵养物质量 目前, 对生态系统涵养水源功能的理论研究已逐渐成熟, 一般有 3 种研究方法: 土壤蓄水估算法、水量平衡核算法、多因子回归法和地下径流增长法. 结合关中 - 天水经济区农田生态系统耕地灌溉及降水的空间分布现状, 农田生态系统可通过农作物截留水和土壤持水来保持降雨过程中的一部分水分, 从而减少径流, 起到涵养水源的作用^[16]. 因此本文结合前人经验, 采用土壤蓄水估算法^[17-19]测算其水源涵养量.

1) 农作物截流服务功能: 农田生态系统能够通过农作物截留降水减少和推迟地面径流的形成, 这是一种现实功能. 从农田生态系统减少地表水分流失的作用来说, 水浇地明显优于旱地, 间作的地块优于单作的地块^[20]. 由于农业生产强度大, 随农产品输出了大量的生理性水分, 并且田间的生态用水量远远大于生物的生理用水量^[21]. 其计算公式^[22]如下:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n P \times S_i \times K_i,$$

式中, Q_1 为农作物截留量, P 为降水量, S_i 为 i 作物旱地和水浇地面积, K_i 为 i 作物截留率, i 为作物种类, n 为作物种类数.

2) 土壤持水服务功能: 农田生态系统能够在特定区域内保存水源, 既可维持当前生物生长, 又能保障未来水分供应, 这是一种潜在持水功能, 在农田生态系统中主要指土壤的有效持水量. 土壤水库是广

泛分布于陆地表层土壤内的非饱和水体, 是大气水、地表水、土壤水、地下水、植物水等“五水”相互转化的中枢, 又是植物生长的必要水源, 是人类重要的淡水资源. 因此农田生态系统的持水能力主要基于土壤进行估算, 其计算公式^[22]如下:

$$Q_2 = \sum_{j=1}^n S_j \times C_j \times H_j,$$

式中, Q_2 为土壤层截留量, S_j 为 j 种土壤的面积, C_j 为 j 种土壤的粗孔隙率(非毛管孔隙度), H_j 为 j 种土壤的深度, j 为土壤类型, n 为土壤的种类数.

1.3.2 农田生态系统涵养水源价值估算模型 生态服务功能不是生物体生长发育的经济功能, 而是对生态环境资源的支持功能^[23]. 农田生态服务功能评估应当以生态服务的实际过程为基础, 而且要考虑过程的时间限度和范围尺度, 并注意人为干预强度和农业管理方式对过程影响的差别, 这种结果才有可比性^[24-25]. 因此, 农田生态系统水源涵养功能在进行价值化的过程中, 应注意以下几点: 1) 确定核算的对象和对象的尺度范围; 2) 选择适宜且便于计价的水利工程; 3) 考虑人们的支付意愿. 为了解决人们的支付意愿问题, 乘以发展阶段系数, 发展阶段系数可在一定程度上代表人们的支付意愿的相对水平. 因此本文采用基于替代水利工程的影子价格法^[26-28]来计算涵养水源的价值量, 其计算公式为:

$$V = l \times \frac{Q}{Q_g} \times V_g,$$

式中, V 为农田生态系统涵养水源价值, Q 为植被涵养水源的总物质量, Q_g 为某种替代工程的水容量, V_g 为替代水利工程的值, l 为发展阶段系数(中国生态价值发展阶段系数为 0.217 5 ~ 0.425 7^[29]).

2 结果与分析

2.1 关中 - 天水经济区农田的年际空间分布

农田主要分布于地势平坦、易于耕种的地区, 旱地主要分布在关中 - 天水经济区的西北地区, 水浇地多分布于东南地区, 与关中 - 天水经济区降水东南多、西北少的空间分布基本一致. 另外由于地形因素的影响, 旱地主要分布在地势崎岖的西北地区, 而水浇地主要分布在地势平坦、气候条件适宜的中部和东南地区.

表 1 为关中 - 天水经济区各年农田面积变化情况, 从整体上看, 从 1980—2010 年的 30 年间农田面积不断减少, 旱地面积也呈减少趋势, 这与农业生产技术的提高及科技的发展有密切关系.

表1 关中-天水经济区农田面积年际变化

Tab.1 The interannual variability of cultivated land areas in Guanzhong-Tianshui economic zone

年份	旱地		水浇地		农田	
	S/km ²	占比/%	S/km ²	占比/%	S/km ²	占比/%
1980	21 473.9	29.8	14 518.5	15.3	35 992.4	45.1
2000	21 466.7	26.8	14 201.8	17.8	35 668.5	44.6
2005	20 932.8	26.2	14 411.7	18.0	35 344.5	44.2
2010	20 788.1	26.1	14 255.6	17.8	35 033.7	43.9

表2为关天经济区1980—2010年农田变化矩阵,从表2可以看出,1980—2000年农田转移到草地的面积最大,达到3 209.2 km²,与此同时,草地转变成农田的面积最大达2 861.1 km².这是由于草地生态系统与农田生态系统成分接近,且面积广,主要位于地势平坦地区,易于进行农业生产.在生产技术有限的条件下,人们为了更多地获取生产资料,不得不采取广种薄收的生产方式大量地开垦草地,这样的生产方式给生态环境带来了极大的破坏.由于草地生态系统较脆弱,不足以提供农作物所需的有机物,在地表失去草地的覆盖后,水土极易流失,不利于进行再生产,外加退耕还草政策的实施,人们只能选择将开垦的农田荒废,最终变为草地.

2000—2005年期间农田与林地转化面积变化最大:林地变为农田为756.1 km²,农田变为林地529.0 km²,主要原因是21世纪初人们多以经济发展为重,伐林种地以提高生产,造成部分林地转化为农田.在人们大力发展生产的同时,对环境造成了巨大的破坏,考虑到区域发展和生态环境保护,政府及时提出退耕还林政策,在一定程度上缓解了生态危机.

表2 1980—2010年农田与其他土地利用类型面积年际变化矩阵¹⁾

Tab.2 The interannual variability matrix of cultivated land areas in Guanzhong-Tianshui economic zone

土地利用类型	S/km ²					
	1980—2000年		2000—2005年		2005—2010年	
	转入	转出	转入	转出	转入	转出
林地	580.4	429.0	756.1	529.0	14.6	101.6
草地	2 861.1	3 209.2	2 809.4	3 203.0	2 065.5	2 146.9
工矿居民用地	136.1	79.2	125.1	187.7	62.3	89.0
水域	96.7	256.3	148.6	230.7	173.0	295.9
未利用地	8.6	33.1	15.2	27.9	17.9	23.8

1) 转入:其他土地所用类型转变为农田的面积;转出:农田转变为其他土地利用类型的面积.

随着社会经济的发展和人们生活水平的提高,城市建设规模不断扩大,需要更多的城市用地,造成

郊区的农田不断被占用,诸多因素的影响下导致了农田面积的不断减少.

2.2 关中-天水经济区农田生态系统水源涵养量空间分布

由图1可以看出,关中-天水经济区农田生态系统涵养水源量在空间分布上有以下规律:1)从整体来看,关中-天水经济区农田生态系统涵养水源量呈现东南多、西北少的变化趋势.因受秦岭山脉影响,水汽从东南到西北逐渐降低,降水呈下降趋势,且水浇地多分布在中部和东南部,因而导致水源涵养量逐渐减少.2)从地形因素上考虑,平原地区水源涵养量远远大于山地、丘陵地区.平原地区耕种面积广,农作物有效截留量增加,且土壤持水能力增强,导致平原地区农田生态系统的水源涵养量较山地、丘陵地区大.3)从降水因素上看,关中-天水经济区境内山脉纵横,地势西北高、东南低,受季风气候影响,降水分布呈现东南多、西北少的变化趋势.降水增多既可以增加农作物截留量,也可以最大限度地减少径流损失,因而可以有效地增加农田生态系统的水源涵养量.最终受降水因素影响,水源涵养量也呈现出东南多、西北少的变化趋势.4)从行政区域分布上看,农田生态系统水源涵养量在行政区域基础上的分布规律为:渭南市>咸阳市>天水市>宝鸡市>西安市>商洛市(部分区县)>铜川市>杨凌示范区.这主要受行政辖区内的耕地面积及降水因素的影响.5)从年际变化上看,农田生态系统水源涵养量年际变化规律为:1980年>2010年>2000年>2005年,为先减少后增加的变化趋势.其主要有以下几点原因:一是从1980—2010年的30年间耕地面积不断减少;二是降水量的年际变化大;三是人为干扰因素的不断增加,使农田生态系统不稳定,导致水源涵养量呈现降低趋势;四是农业科学技术的引进,使得农田生态系统抗压能力增强,趋于稳定;五是政府的政策导向,及时采取退耕还林还草政策,确保了生态环境的可持续发展.

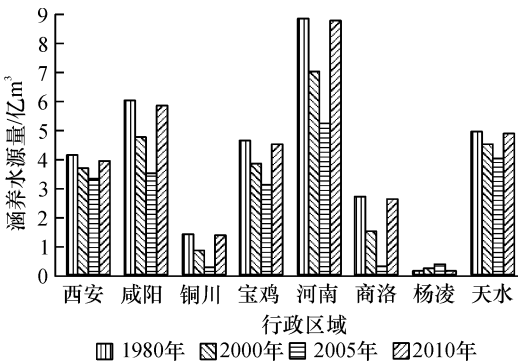


图1 关中-天水经济区涵养水源量年际变化

Fig.1 The interannual variability of water conservation amount in Guanzhong-Tianshui economic zone

2.3 关中－天水经济区农田生态系统涵养水源价值量空间分布

如图 2 所示,关中－天水经济区农田生态系统涵养水源价值量的空间分布与其水源涵养量的空间分布一致,呈现东南大、西北小的总体变化趋势. 其年际

变化规律为: 2010 年 > 1980 年 > 2000 年 > 2005 年, 1980 年的涵养水源价值量达 21. 587 亿元,由于人类的不合理利用导致耕地面积逐渐减少,进而导致其涵养水源的价值量也呈减少趋势,但 2005—2010 年间呈现增加趋势,并在 2010 年达 32. 219 亿元.

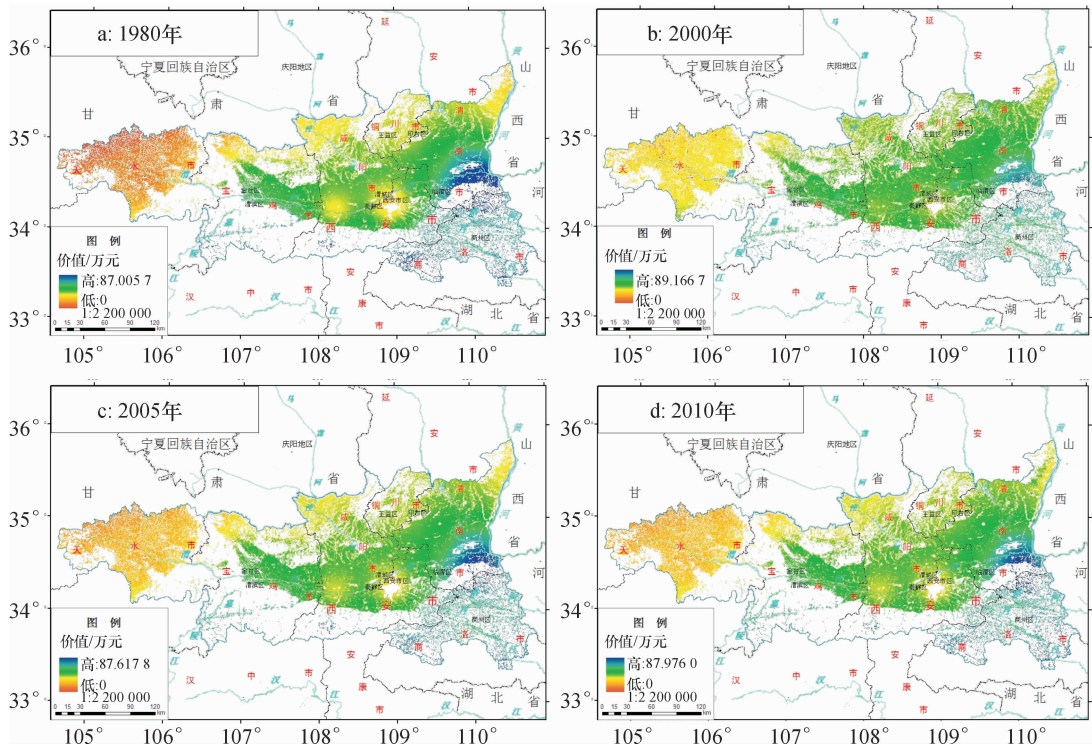


图 2 1980—2010 年关中－天水经济区农田生态系统单位面积涵养水源价值空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of water conservation value in unit areas of Guanzhong-Tianshui economic zone's farmland ecological system from 1980 to 2010

3 讨论与结论

农田生态系统作为一个半人工半自然的生态系统,人为不确定因素较多,导致农田生态系统至今未形成一个统一的模型来评价其水源涵养价值量,目前少部分学者多采用蓄水库容法,将农田生态系统替换为森林生态系统进行计算^[2,18]. 虽然不精确,但是可以粗略地估计农田生态系统的水源涵养能力,本文选择农作物截留量和土壤持水能力 2 个指标来估算水源涵养能力,最大限度地 将农田生态系统的相关指标引入模型中,以期获得更加真实可靠的数据.

在农田生态系统中,天然水分的输入输出理论上是瞬时完成的,田埂与田间蓄水面之间的高度差可以短时地截流降水、减少径流. 从农田生态系统减少地表水分流失的作用来说,水浇地明显优于旱地;而土壤持水能力则与所分布的土壤类型有关,土壤孔隙率的大小与持水能力呈反比关系.

关中－天水经济区农田生态系统的涵养水源价值的空间分布主要受耕地面积、地形因素、降水因

<http://xuebao.scau.edu.cn>

素、政策因素和人为因素的影响. 地形因素和降水因素在很大程度上决定了耕地的空间分布及耕地的类型;农田生态系统本身的特性加入了较多的外来不确定因素,导致农田生态系统更多地受人为影响,正因为如此人类为获取更多利益不惜以牺牲生态环境为代价,导致一系列的生态危机不断产生;当生态系统达到它的临界值时,它会反过来对人类施以警告,近些年来气候异常、灾难频繁都是生态系统的反馈. 为有效地遏制和解决生态危机,政府部门出台了一系列措施来缓解恶化的局势,最有效的当属“退耕还林还草”.

对农田生态系统而言,目前尚未形成完整、统一的评价水源涵养服务功能的模型,在已经出现的研究模型中,多数是参考森林生态系统的测评模型,精度不够,也不能完全反映农田生态系统的自身特点. 本文在模型的指标选取上更多地考虑农田生态系统,以求测评的水源涵养量更加精确,并在求取价值量时采用的是更能反应人们支付意愿及现实替代价格的测评模型.

本研究结果表明:1) 关中-天水经济区耕地面积占总面积的44%左右,其中旱地约占28%,水浇地占17%左右。从整体上看,从1980—2010年的30年间耕地面积不断减少,主要原因在于城市建设的不断发展需要更多的土地;旱地面积也呈减少趋势,而水浇地面积有一定的增长趋势,这与农业生产技术的提高及科技的发展有密切关系;2) 1980—2000年、2000—2005年和2005—2010年3个时间段中,其他土地利用类型转变为耕地的面积分别为3 682.9、3 854.4和2 333.3 km²,而耕地转变为其他土地利用类型的面积分别为4 006.6、4 178.3和2 657.2 km²;其中耕地与草地间转化最多,最高达3 209.2 km²,其次是林地;3) 从整体来看,1980—2010年间,关中-天水经济区农田生态系统涵养水源量呈现东南多、西北少的变化趋势;平原地区水源涵养量远远大于山地、丘陵地区;年际变化规律为:1980年>2010年>2000年>2005年,为先减少后增加的变化趋势;4) 关中-天水经济区农田生态系统涵养水源价值量变化与其水源涵养量的空间分布基本保持一致,呈现东多西少、南多北少的变化趋势。其年际变化规律为:2010年>1980年>2000年>2005年,1980年的涵养水源价值量达21.587亿元,由于人类的不合理利用导致耕地面积逐渐减少,进而导致其涵养水源的价值量也呈减少趋势,但2005—2010年间呈现增加趋势,并在2010年达32.219亿元。

参考文献:

- [1] 万朴,李和玉.资源·环境·地球[M].重庆:重庆大学出版社,1999:23-27.
- [2] 王勇,骆世明.农林生态系统截流蓄水的功能及其核算方法[J].广东农业科学,2007,34(5):50-54.
- [3] CONSTANTA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world ecosystem service and natural capital[J]. Nature, 1997(387):253-260.
- [4] DAILY G C. Nature's services: Social dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [5] PIMENTEL L D, LARCH L, ZUNIGA R, et al. Environmental and economic costs of non indigenous species in United States[J]. BioScience, 2000,50(1):53-65.
- [6] 何文清,陈源泉,高旺盛,等.农牧交错带风蚀沙化区农业生态系统服务功能的经济价值评估[J].生态杂志,2004,23(3):49-53.
- [7] 白杨,欧阳志云.海河流域农田生态系统环境损益分析[J].应用生态学报,2010,21(11):2938-2945.
- [8] 汤洁,刘森,韩源,等.白城市农田生态系统服务功能价值时间序列变化[J].安徽农业科学,2011,39(25):15641-15644.
- [9] 庄树宏,初洋,卞福花.庙岛群岛海岸带农田生态系统

- 服务价值的评估[J].烟台大学学报,2008,21(4):273-280.
- [10] 肖玉,谢高地,鲁春霞,等.华北平原小麦-玉米农田生态系统服务评价[J].中国生态农业学报,2011,19(2):429-435.
- [11] 周卫军,王克林,王凯荣,等.长江流域稻田生态系统水分和养分的转化过程[J].地理学报,2004,59(1):25-32.
- [12] 谢小立,尹春梅,宋颖帕,等.江南丘岗复合农业生态系统雨水资源化及其调控研究[J].农业现代化研究,2008,29(6):676-679.
- [13] 邹君,刘兰芳,谢小立.湖南亚热带丘岗区稻田生态系统水分平衡研究[J].热带地理,2002,22(3):270-274.
- [14] 李金昌.生态价值论[M].重庆:重庆大学出版社,1999.
- [15] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].自然资源学报,2004,19(4):481-490.
- [16] 余艳玲,熊耀湘,文俊.土壤水资源及土壤水分调控研究[J].云南农业大学学报,2003,18(3):298-291.
- [17] 王斌瑞,罗彩霞,王克勤.国内外土壤蓄水保墒技术研究动态[J].北京林业大学学报,1997,19(1):74-80.
- [18] 张灿强,李文华,张彪,等.基于土壤动态蓄水的森林水源涵养能力计量及其空间差异[J].自然资源学报,2012,27(4):697-704.
- [19] 宋吉红,王百田,林富荣.黄土高原旱地果园土壤蓄水保墒技术定量研究[J].水土保持学报,2000,14(4):95-98.
- [20] 王晓龙,李辉信,胡锋,等.红壤小流域不同土地利用方式下土壤N、P流失特征研究[J].水土保持学报,2005,19(5):31-34.
- [21] 赵传燕,冯兆东,刘勇.干旱区森林水源涵养生态服务功能研究进展[J].山地学报,2003,21(2):157-161.
- [22] 姜文来.森林涵养水源的价值核算研究[J].水土保持学报,2003,17(2):34-40.
- [23] 戴星翼,俞厚未,董梅.生态服务的价值实现[M].北京:科学出版社,2005:32-35.
- [24] 李晶,任志远.陕北黄土高原生态系统涵养水源价值的时空变化[J].生态杂志,2008,27(2):240-244.
- [25] 李晶,任志远.秦巴山区植被涵养水源价值测评研究[J].水土保持学报,2003,17(4):132-138.
- [26] 苏帆,张颖.森林涵养水资源价格计算方法的比较讨论[J].农村经济与科技,2010,21(3):42-44.
- [27] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探:以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000,11(4):481-484.
- [28] 康艳,刘康,李团胜,等.陕西省森林生态系统服务功能价值评估[J].西北大学学报,2005,35(3):351-354.
- [29] 部金凤.中外生态价值发展阶段系数的理论探讨及对比研究[D].北京:北京工商大学,2006.

【责任编辑 周志红】

<http://xuebao.scau.edu.cn>