

DOI: 10.5846/stxb201901080067

周小平, 冯宇晴, 罗维, 贾文涛, 杨剑, 李红举. 两种生态系统服务价值评估方法比较研究——以四川省金堂县三星镇土地整治工程为例. 生态学报, 2020, 40(5): 1799-1809.

Zhou X P, Feng Y Q, Luo W, Jia W T, Yang J, Li H J. Comparing two ecosystem service evaluation methods of the ecological benefits from a land consolidation project at a township level: a case study in Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(5): 1799-1809.

两种生态系统服务价值评估方法比较研究 ——以四川省金堂县三星镇土地整治工程为例

周小平¹, 冯宇晴¹, 罗 维^{2,*}, 贾文涛³, 杨 剑³, 李红举³

1 北京师范大学政府管理学院, 北京 100875

2 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

3 自然资源部国土整治中心, 北京 100035

摘要: 乡镇土地整治是建设中国美丽乡村的重要途径, 对当地生态环境带来正面和负面影响, 如何准确评价其生态效益是国家开展土地整治和美丽乡村建设需要面临的重要科学问题。以中国西南部丘陵地区典型乡镇——四川省金堂县三星镇的土地整治工程为例, 对比分析了生态系统服务价值当量修正法和单项服务评价法评估土地整治生态效益的异同, 以期确定适合我国西南部丘陵地区乡镇土地整治生态效益评估的合理方法。研究结果表明: 单项服务评价法的评估结果(生态系统服务价值约 300 万元)比当量修正法(生态系统服务价值约 290 万元)高 3.5%。当量修正法评估的各项生态系统服务价值增量由高到低依次为: 调节服务价值>支持服务价值>供给服务价值>文化服务价值; 单项服务评价法评估的生态系统服务价值增量大小排序为: 调节服务价值>支持服务价值>文化服务价值>供给服务价值。方法依据和参数的选取不同, 导致评估结果具有显著差异, 主要表现在单项服务评价法测算的维持养分循环价值、美学景观价值分别是当量修正法的 46.90 倍和 6.94 倍, 当量修正法测算的水文调节价值是单项服务评价法的 5.93 倍。单项服务评价法针对各项生态系统服务特征, 灵活地选取差异化评估方法, 因而其评估结果更准确、真实地反映了生态效益价值。建议运用单项服务评价法评估我国西南部丘陵地区乡镇土地整治的生态效益。
关键词: 土地生态; 生态效益评估; 生态系统服务价值; 当量修正法; 单项服务评价法; 土地整治工程

Comparing two ecosystem service evaluation methods of the ecological benefits from a land consolidation project at a township level: a case study in Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province

ZHOU Xiaoping¹, FENG Yuqing¹, LUO Wei^{2,*}, JIA Wentao³, YANG Jian³, LI Hongju³

1 School of Government, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 State Key Lab of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

Abstract: Land consolidation project at a township level is one of key ways to build a beautiful countryside in China. However, an important scientific problem is how to evaluate the ecological benefits produced by the land consolidation at a township level. Two methods of ecosystem service valuation (ESV), namely equivalent correction and single ecosystem service, were used to evaluate the ecological benefits in a representative case study area—the Sanxing Town, Jintang County, Sichuan Province of China. In order to find a suitable evaluation method of the ecological benefits at a township

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571479, 41271502); 自然资源部国土整治中心外协项目(2019-19-02)

收稿日期: 2019-01-08; **网络出版日期:** 2019-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luow@rcees.ac.cn

level, a comparative analysis of differences of estimated results and reasons for the differences was conducted. It indicated that the value estimated by the single ecosystem service method (about 3.0×10^6 Yuan) was 3.5% larger than that estimated by the equivalent correction method (about 2.9×10^6 Yuan). Economic values of all kinds of ecosystem services, calculated by the equivalent correction method, decreased as follows: regulating service > support service > supply service > cultural service. While those calculated by the single ecosystem service method were in an increasing order: regulating service > support service > cultural service > supply service. Different bases and parameters for the two methods caused the significant differences in the evaluation results. Values of nutrient cycling maintenance service and aesthetic landscape service, estimated by the single ecosystem service method, were 46.90 and 6.94 times higher than those estimated by the equivalent correction method, respectively. Value of hydrologic regulation service, estimated by the equivalent correction method, was 5.93 times greater than that estimated by the single ecosystem service method. The single ecosystem service method more accurately and truly reflects values of ecological benefits than the equivalent correction method, since it uses different methods to flexibly evaluate any single ecosystem service according to its characteristics. Therefore, the single ecosystem service method is recommended for evaluation of ecological benefits produced by a land consolidation project in a hilly area of Southwest China at a township level.

Key Words: land ecology; ecological benefit evaluation; ecosystem service value; equivalent correction method; single ecosystem service method; land consolidation project

自然生态环境保护和乡镇土地整治是乡村振兴及生态宜居美丽乡村建设的基本前提与途径,协调两者间的关系有助于全面建设美丽乡村、推动生态文明和美丽中国建设。乡镇土地整治可能对当地生态环境带来正面和负面影响,包括直接或间接地对土壤^[1]、水^[1]、植被^[2]、生物多样性^[1, 3-4]、大气^[1, 5]和景观格局^[1, 5-7]等生态环境要素产生正面影响,但也包括过度追求短期经济效益而破坏生态环境的负面影响,例如中国以农业为导向的土地整治使耕地增加,但非农作物生境减少,造成生态系统破碎化^[8]、生态连通性降低^[9]、生物多样性^[10]和景观服务价值减小^[9]。因此,如何准确评估乡镇土地整治的生态效益是国家开展土地整治和美丽乡村建设所要面临的重要科学问题,恰当地使用定量评估方法对其进行准确评估有助于客观反映乡镇土地整治与生态环境影响之间的关系,对于提高生态保护的重视程度和建设美丽乡村具有重要意义。

生态系统服务价值法可用于乡镇土地整治的生态效益评估,这种方法包括效益转移法和单项服务评价法。效益转移法包括当量修正法和函数转移法等。单项服务评价法通常采用替代市场技术和模拟市场技术。Costanza 等将全球生态系统服务价值细分为 17 种类别^[11],谢高地等依据中国情况重新将其分为供给、调节、支持和文化服务 4 大类、11 小类^[12],并将 Costanza 等提出的世界单位面积生态系统服务价值当量^[11]修正至中国国家尺度,构建生态系统服务价值的时空动态评估法^[12]。在此基础上,国内外在乡镇土地整治生态效益评估中多运用当量修正法和单项服务评价法,其中,当量修正法即以区域粮食平均产量或生物量为依据修正项目区单位面积生态系统服务价值当量,评估整治前后的区域生态系统服务价值^[13-19],例如湖北省内江汉平原、鄂西山地和鄂中丘陵土地整治的生态效益评估^[14];单项服务评价法即采用环境价值评估方法计算各项生态系统服务的货币价值^[20-24],例如安徽省宣城市宣州区杨柳镇新龙村土地整治的生态效益评估^[20]。但是,上述两种方法均存在如下问题:①两种方法评估结果差异大,准确性存在质疑。Costanza 等采用当量修正法和 Pimentel 等采用单项服务评价法开展的全球生态系统服务价值评估成果分别为 3.3×10^{13} $\$/a$ ^[11]和 2.9×10^{12} $\$/a$ ^[25],后者约为前者的十分之一。国内使用当量修正法基于谢高地等提出的偏低生态系统服务当量^[26],评估结果往往低于单项服务评价法^[27]。这种差异必然导致对评估结果准确性的质疑,难以为决策者提供可靠依据。目前尚未有研究者运用两种方法同时评估同一乡镇土地整治的生态效益,并对比分析其评价结果异同及其原因。②当量修正法测算简便、能充分考虑评估区域生态系统特点和地区特征,但是精确度较低、需要另外修正区域当量^[28]。而单项服务评价法针对各项生态系统服务价值选取适宜评估方法,其精确度较高,但测算繁琐、数据需求量较大^[28],有时评估因子测算方法难定和数据缺失问题会导致评估结果不全面。由于仅根据某一种方法评估乡镇土地整治生态效益,其结果可能缺乏说服力,因此,运用两种不同生态系统服务价值

评估法进行对比研究,最终确定适合乡镇土地整治生态效益评估的方法显得尤为重要。

我国经济发达的东部沿海地区、中部沿江地区以及北方平原地区较早开展了乡镇土地整治工作,该区域土地整治生态效益评估的理论和实践较西南部地区更为成熟。国内外现行的生态效益评估大多建立在我国东部沿海、中部沿江以及北方平原区土地整治的经验基础之上^[8-9,14-18,20-22],但西南部山地和丘陵地区情况显然与此不同,该地区生态系统较为脆弱、土地整治以土地平整措施为主,因此生态系统特征和土地整治措施均具有区域特殊性。深入研究西南部土地整治生态效益的评估方法,对于我国土地整治可持续发展具有重要意义。四川省金堂县三星镇生态系统特征及其高标准农田建设项目是我国西南部丘陵地区乡镇土地整治工程的典型代表之一,本研究以此为案例,对比分析两种评估方法异同及其评估结果内涵,以期西南部丘陵地区乡镇土地整治生态效益评估方法的选择提供依据,从而提高评估准确性、促进土地整治可持续发展。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

所选典型土地整治工程-高标准农田建设项目区(图1)位于四川省成都市东北部的金堂县三星镇幸福村和来宝沱村,总土地面积 1228.99 hm^2 。金堂县土地利用类型以耕地和林地为主,2001 年以来,建设用地和林地显著增加,耕地、草地、水体和其他用地减少。金堂县是成都平原经济圈重点发展区域,自然地理位置优越,土地资源丰富,由平坝、丘陵和低山组成,地处亚热带季风气候区,气候温和,四季分明,雨量充沛,平均风速小,无霜期长。

项目区适宜农作,生产方式以农业为主,2006—2016 年粮食作物单产为 4524 kg/hm^2 (四川省成都市金堂县农林局)^[29]。但当地存在土地利用率低、耕地质量差、农田水利设施不完善、水资源缺乏且分布不均等问题,土地整治可有效增加耕地面积、改善灌排系统和生态条件,提高农民生活质量。高标准农田建设项目内容包括平整土地、建设田间道路和农田水利工程,整治面积为 493.36 hm^2 ,涉及总人口 4312 人,实际投资 1405.17 万元,整治时间为 2015 年 10 月至 2017 年 4 月。

1.2 典型土地整治工程生态效益评估方法

本研究将项目区土地利用类型分类划入生态系统类型,分别运用基于生态系统服务价值的当量修正法和单项服务评价法评估项目区生态效益。

1.2.1 生态系统类型确定

项目区整治前后的土地利用变化如图 2 所示,其中耕地、交通过地(含农村道路)、水域(含河流水面、坑塘水面、内陆滩涂、沟渠)和其他土地(含田坎和裸地)面积均发生改变^[30]。根据前人研究成果,将三星镇生态系统分为 7 大类和 8 小类,包括农田(旱地和水田)、森林(阔叶林)、园地(果园)、草地(草甸)、湿地、荒漠(裸地)和水域(水系),将土地利用类型分类划入生态系统。根据三星镇土地利用实际情况,将耕地划入农田,林地(仅阔叶林)划入森林,草甸划入草地,园地划入果园、且由于其价值量处在林草地中间,因此将林草地平均值作为园地当量^[31],内陆滩涂和沟渠划入湿地^[13],田坎、裸地等其他土地和农村道路统一划入荒漠生态系统^[13],河流和坑塘的水面生态调节作用相似,因而二者皆作为水系划入水域生态系统,不考虑冰川积雪和建设用地。

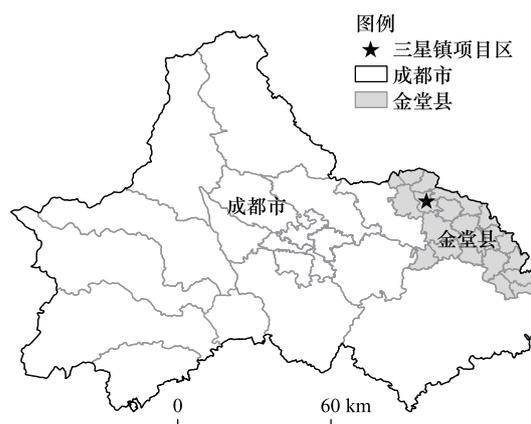


图1 四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设项目区的位置

Fig.1 Location of the construction project of high standard farmland in the Laibaotuo and Xingfu Villages, Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province

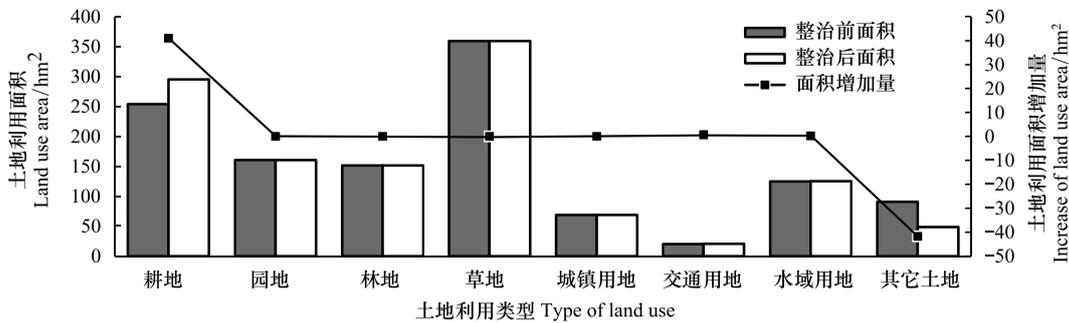


图2 四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设前后土地利用结构变化

Fig.2 Change of land-use structure in the construction project of high standard farmland in the Laibaotuo and Xingfu Villages, Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province

1.2.2 当量修正法

通过地区修正计算三星镇生态系统服务价值当量,确定基准当量价值和生态系统服务单价。根据生态系统面积变化计算整治前后的生态系统服务价值,评估生态效益。测算过程如下:

(1) 以农田为基准的地区修正

借鉴谢高地等的研究,本研究假设生物量能在很大程度上反映各类生态系统间服务价值的差异^[12],由于粮食平均产量和生物量正向相关,因而可用粮食平均产量替代生物量反映该差异。另外,水资源供给和水文调节服务价值与降水量相关。因此,本研究利用2015年三星镇降水量对中国水资源供给和水文调节服务当量^[12]进行修正,利用同期三星镇粮食平均产量修正其他9项中国生态系统服务价值当量^[12],得到2015年(整治前)三星镇生态系统服务当量。同理,利用2017年三星镇降水量和粮食平均产量将三星镇生态系统服务当量从2015年修正至2017年(整治后)。公式如下:

$$\lambda = \frac{Q}{Q_0} \text{ 或 } \frac{B}{B_0} \quad (1)$$

$$E_j = \lambda \cdot E_{0j} \quad (2)$$

式中, λ 为生态系统服务当量的区域修正系数, Q 、 Q_0 分别为四川省金堂县三星镇和全国农田单位面积粮食产量, B 、 B_0 分别为四川省金堂县三星镇和全国的平均降水量, E_j 为第 j 类生态系统经过区域修正后的生态系统服务当量, E_{0j} 为第 j 类生态系统全国平均生态系统服务当量,其中 $j = 1 \cdots 8$,依次分别为旱地、水田、阔叶林、果园、草甸、湿地、裸地和水系。

(2) 生态系统服务单价计算

由于无人力投资的自然生态系统输出价值为农田食物生产服务单价的 $1/7$ ^[32],因而,将三星镇粮食作物单产和成都市粮食均价相乘得到三星镇农田食物生产服务单价,然后再乘 $1/7$ 得到基准当量价值。根据公式3计算三星镇各类生态系统单位面积生态服务价值:

$$E_{ij} = e_{ij} \cdot E_a \quad (i = 1, 2, \dots, 11; j = 1, 2, \dots, 8) \quad (3)$$

式中, E_{ij} 为第 j 类生态系统的第 i 种生态系统服务单价(元/hm²), e_{ij} 为第 j 种生态系统的第 i 种生态系统服务相对于农田食物生产服务的当量因子, i 为11种生态系统服务类型^[12], j 同公式2。

(3) 土地整治工程生态系统服务价值评估

按照 Costanza 等的方法(公式4)^[11],计算三星镇高标准农田建设项目生态系统服务总价值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_j \cdot K_{ij} \quad (4)$$

式中,ESV是生态系统服务总价值(元), n 是生态系统服务数量, m 是生态系统类型数量, L_j 是项目区内第 j 类生态系统面积(hm²), K_{ij} 是第 j 类生态系统类型单位面积对第 i 类生态系统服务的经济价值(元/hm²)。

根据项目区各生态系统面积及生态系统服务单价,计算整治前后生态系统服务价值,公式如下:

$$ESV_{\text{实施前}} = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^8 L_j \cdot K_{ij} \tag{5}$$

$$ESV_{\text{实施后}} = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^8 L_j \cdot K_{ij} \tag{6}$$

土地整治工程实施产生的生态系统服务价值增加量即为生态效益:

$$ESV_{\text{土地整治生态效益}} = ESV_{\text{土地整治}} = ESV_{\text{实施后}} - ESV_{\text{实施前}} \tag{7}$$

1.2.3 单项服务评价法

单项服务评价法运用环境价值评估方法(包括市场价值法、影子价格法、替代工程法、机会成本法、费用支出法、条件价值法和成果参照法等)计算各项生态系统服务货币价值。借鉴国内外相关研究成果^[20-24],结合三星镇高标准农田建设项目实际情况,选取适宜方法和参数、测算出各项生态系统服务价值(表1)。

表1 四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田项目的生态效益评估单项服务评价法、参数及结果

Table 1 Evaluation methods, parameters and values of single ecosystem service provided by the construction project of high standard farmland in the Laibaotuo and Xingfu Villages, Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province

生态服务 Ecosystem Service	评估因子 Factor	评估方法 Method	测算公式 Formula	结果 Result/10 ⁵ 元
食物生产、 原材料生产 Food and raw material production	产品生产	市场价值法	$V = \sum v_i = v_{\text{食物}} + v_{\text{原料}} = s_{\text{食物}} \times p_{\text{食物}} + s_{\text{原料}} \times p_{\text{原料}}$ 式中 V 是供给服务总价值, v_i 是第 i 种因子的供给服务总价值, s_i 为第 i 种因子的总面积, p_i 是第 i 种因子的供给服务单价	1.5
水资源供给 Water supply	渠系蓄水	替代工程法	渠系蓄水体积 = 单位面积蓄水量 × 集水面积 渠系灌溉面积 = 蓄水体积 ÷ 平均土层厚度 运用修建水库成本价值折算,同水文调节价值公式	0.012
气体调节 Gas regulation	固碳制氧	替代工程法	农作物类: $V = Q \times P \times K, Q = \frac{1-R}{F} \times B$ ^[33] 式中, V 是固碳或制氧价值, Q 是农作物年净生物量, P 和 K 是固碳制氧成本和系数, R 是作物产量含水量, F 是经济系数, B 是产量 $V = N_2O \text{ 排放量} \times 2.94 \text{ \$/kg} + CH_4 \text{ 排放量} \times 0.11 \text{ \$/kg}$	5.7
	温室气体 排放	成果参照法、 市场价值法	$N_2O/CH_4 \text{ 排放量} = \text{水稻收割面积} \times$ (生长季)稻田 N_2O/CH_4 年平均排放通量 式中, V 是温室气体排放价值	-0.00085
气候调节 Climate regulation	气候调节	成果参照法	借鉴前人研究成果 ^[26] : $p = (\frac{b_i}{B}) P_i$ 式中, p 为修正后气候调节服务单价, $i = 1, 2, \dots, n$ 表示第 i 类生态系统, P_i 是中国第 i 类生态系统的气候调节服务单价, b_i 和 B 分别为项目区和中国第 i 类生态系统每公顷平均生物量	3.3
净化环境 Environmental purification	滞留粉尘	成果参照法、 替代工程法	$V_d = Q_d \times C_d$ $Q_d = \text{单位面积稻田滞尘量} \times \text{稻田面积} + \text{单位面积旱作物滞尘量} \times \text{旱作物面积}$ 式中, V_d 为滞尘服务价值, Q_d 为滞尘增量, C_d 为削减粉尘成本	0.021
水文调节 Hydrologic regulation	涵养水源	替代工程法	$V = P(R - ET)A = PR\theta A$ 式中, V 为水文调节服务价值(元); P 为项目区平均蓄水成本(元/m ³); R 是项目区平均降雨量(mm); ET 是项目区平均蒸发量(mm); θ 为径流系数,取 0.5; A 是灌溉面积(m ²)	2.6
土壤保持 Soil protection	水土保持	影子价格法	土壤保持价值提高的效果直接体现在粮食产量提高,因此可用粮食增产的经济效益表示土壤保持价值。公式为:粮食增产经济效益 = 受保护耕地面积 × 整治前后农作物单产差 × 农作物价格	0.063

续表

生态服务 Ecosystem Service	评估因子 Factor	评估方法 Method	测算公式 Formula	结果 Result/10 ⁵ 元
维持养分循环 Nutrient cycle maintenance	土壤有机质 持留	机会成本法	$V_0 = S \times T \times \rho \times OM \times P^{[34]}$ V_0 为土壤有机质持留价值(元), S 为作物种植面积(hm^2), T 为表 层土壤厚度, ρ 为土壤容重(g/cm^3), OM 为土壤有机质含量(%), P 为有机质价格(元/t)	9.0
生物多样性 Biodiversity	生物多样性	成果参照法	采用前人研究成果 ^[26] : $p = (\frac{b_i}{B}) P_i$ 其中, p 为修正后生物多样性服务单价, $i = 1, 2, \dots, n$ 表示第 i 类 生态系统, P_i 是中国第 i 类生态系统生物多样性服务单价, b_i 和 B 分别为研究区和中国第 i 类生态系统每公顷平均生物量	1.7
美学景观 Aesthetic landscape	农业观光 旅游	费用支出法	$V = \text{旅行费用} + \text{旅行时间成本} + \text{其他费用}$ 其中, 旅行费用为到采摘园的往返交通费用, 旅行时间成本取成都 市平均工资水平, 其他费用为购买农产品费用	6.1
合计 Total				30

1.3 数据来源

所需数据主要从成都市和金堂县规划和自然资源局、金堂县农林局收集获得, 部分数据通过网络查询和实地调研获取。其中自然、经济和社会指标及来源包括: 全国和成都市平均降水量来源于 2016—2017 年《中国统计年鉴》^[35-36], 通过实地调研获取项目区年平均蓄水成本、复种指数、当地旅游费用和时间数据, 城镇年人均收入来源于《2017 年成都市统计年鉴》^[37]。土地整治前后的土地利用数据来源于《四川省金堂县三星镇高标准农田建设项目竣工报告》^[30], 项目区有效土层厚度和土壤有机质含量等数据来源于该项目的《新增耕地质量等别评定报告》^[38]。三星镇平均粮食单产来源于 2015 和 2017 年金堂县农业统计年报^[29], 全国平均粮食单产来源于国家统计局网站^[39], 2006—2016 年四川省成都市农作物均价来源于全国粮油价格监测网站^[40]。

2 结果与讨论

2.1 基于当量修正法的生态效益评估

根据公式 1 和 2 计算修正后 2015 和 2017 年三星镇生态系统服务价值当量。将 2006—2016 年成都市粮食(水稻、小麦、玉米)均价(1.9 元/kg)作为金堂县粮食价格^[40], 根据公式 3 计算 2015 和 2017 年金堂县生态系统服务单价。根据公式 4—10, 金堂县生态系统服务单价和生态系统面积, 计算整治前后生态系统服务价值变化量(表 2)。用当量修正法评估三星镇高标准农田建设项目生态效益约为 290 万元。从生态系统类型角度看, 旱地、阔叶林、果园、草甸、湿地和水系的生态系统服务价值提高, 其中水系贡献最高, 裸地和水田的生态系统服务价值降低。从单项生态系统服务价值角度看, 11 项二级生态系统服务价值均提高, 其中水文调节价值提高最明显。

2.2 基于单项服务评价法的生态效益评估

根据生态系统服务分类^[26]评估生态效益, 测算 4 项一级生态系统服务及其下设 11 项二级生态系统服务价值(表 1)。各单项服务价值分别采用市场价值法、影子价格法、替代工程法、费用支出法、机会成本法和成果参照法进行估算(表 1)。

气体调节价值包括固碳制氧和温室气体排放价值(表 1)。^①采用替代工程法计算固碳制氧价值: 根据杨志新等和欧阳志云等人的研究, 固碳和制氧系数分别取 1.63 和 1.20^[33], 中国 CO₂ 吸收成本为 260.9 元/t, O₂ 释放效益为 369.7 元/t^[41], 农作物产量含水量 R 为 0.6, 经济系数 F 取 0.35; 由此计算 2015 年和 2017 年农作物年净生物量分别为 5.135 t/hm² 和 5.551 t/hm², 利率折算后 2017 年价格水平下的固碳和制氧总价值为

57 万元。②采用成果参照法和市场价值法评估温室气体排放价值:根据陈冠雄等和 Costanza 等人的研究,生长季稻田 CH_4 排放总量为 13.3—17.28 g/m^2 ,计算时取 15.3 g/m^2 , N_2O 年排放总量约为 1.63 kg/hm^2 ^[42], CH_4 和 N_2O 的经济价值为 0.11 $\$/\text{kg}$ 和 2.94 $\$/\text{kg}$ ^[11],计算得到 2017 年价格水平下温室气体排放价值为 85 元。

表 2 四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设项目实施前、后生态系统服务价值变化量/ 10^5 元

Table 2 Change of ecosystem service value produced by construction project of high standard farmland in the Laibaotuo and Xingfu Villages, Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province

一级服务 1st level service	二级服务 2nd level service	农田 Cropland		森林 Forest	园地 Garden	草地 Grassland	湿地 Wetlands	荒漠 Desert	水域 Water shed	合计 Total
		旱地 Dry land	水田 Paddy field	阔叶 Broad-leaf forest	果园 Orchard	草甸 Meadow	湿地 Wetlands	裸地 Bareland	水系 Water system	
供给服务 Supply service	食物生产	0.63	-0.0014	0.041	0.038	0.074	0.028	0	0.051	0.86
	原料生产	0.30	-0.000090	0.093	0.074	0.11	0.027	0	0.015	0.62
	水资源供给	0.019	0.0028	0.075	0.061	0.094	0.22	0	0.82	1.3
调节服务 Regulating service	气体调节	0.50	-0.0011	0.31	0.25	0.38	0.10	-0.0085	0.049	1.6
	气候调节	0.27	-0.00057	0.92	0.71	1.0	0.20	0	0.15	3.3
	净化环境	0.075	-0.00017	0.27	0.22	0.33	0.20	-0.042	0.35	1.4
	水文调节	0.25	-0.0029	1.0	0.81	1.2	2.1	-0.013	10	15
支持服务 Support service	土壤保持	0.77	-10	0.37	0.30	0.47	0.13	-0.0085	0.059	2.1
	养分循环	0.090	-0.00019	0.028	0.023	0.037	0.0099	0	0.0044	0.19
	生物多样性	0.097	-0.00021	0.34	0.27	0.43	0.43	-0.0085	0.16	1.7
文化服务 Cultural service	美学景观	0.045	-0.000090	0.15	0.12	0.19	0.26	-0.0042	0.12	0.88
合计 Total		3.0	-0.0039	3.6	2.9	4.3	3.7	-0.085	12	29

净化环境价值由滞留粉尘价值表示^[12],采用成果参照法和替代工程法估算其价值(表 1)。 C_d 取中国治理粉尘平均成本 0.17 元/kg;单位面积稻田、水浇地和二年三熟秋杂旱作的滞尘质量为 33.2 kg/hm^2 , 39 kg/hm^2 和 30 kg/hm^2 ^[43]。项目区为一年二熟制,水田种小麦、水稻,旱地种小麦、玉米,由此计算出滞尘量为 3194.33kg,2017 年价格水平下滞尘服务价值为 2100 元。

采用机会成本法计算维持养分循环服务价值。作物种植(包括农田、森林、园地、草地)面积增加总量为 40.94 hm^2 ,表层土壤有效土层厚度为 0.80 m ^[41],土壤容重取 1.34 t/m^3 ,土壤有机质含量为 2.0%^[38],根据薪炭材转换成有机质的比例(2:1)和薪材的机会成本价格(51.3 元/t)换算^[44],得到整治后土壤有机质持留价值增量为 90 万元。由于丘陵区土地整治对土壤氮磷钾含量影响不显著^[45],因而可忽略其生态服务价值。

采用费用支出法评估提供美学景观价值(由表 1 中农业观光旅游价值表示)。项目区距金堂县城较近(仅 7.6 km),便于发展观光采摘和旅游。游客主要来自金堂县城及成都市区,往返车费及餐饮费用人均 40 元,平均日工资 98.36 元^[37]。游客食用和采摘水果约需花费 60 元/人,每年游客量约为 3100 人。由此计算提供美学景观价值增量为 61 万元。

其他生态系统服务价值计算方法及结果见表 1。综上,单项服务评价法计算的项目区土地整治生态效益约为 300 万元(表 1),说明整治后生态环境极大改善。

2.3 两种方法评估结果的比较

比较两种评估方法的生态效益评估结果发现:采用当量修正法和单项服务评价法得到整治前后总生态系统服务价值增加量分别为 290 万元和 300 万元,后者比前者高 10 万元,即高出 3.5%。对比两种方法中各项生态系统服务价值增量占总增加量的比例(图 3)发现:当量修正法评估的各项生态系统服务价值变化从大到小依次是调节、支持、供给和文化服务,价值变化量占比分别为 73.89%,13.65%,9.46%和 3.00%。单项服务评价法评估的各项生态系统服务价值变化由大到小依次为调节、支持、文化和供给服务,价值变化量占比分别为

38.74% ,35.88% ,20.34% ,5.04%。两种方法评估结果中 4 项一级生态系统服务价值均提高,但水文调节、维持养分循环和美学景观价值占比差异较大。

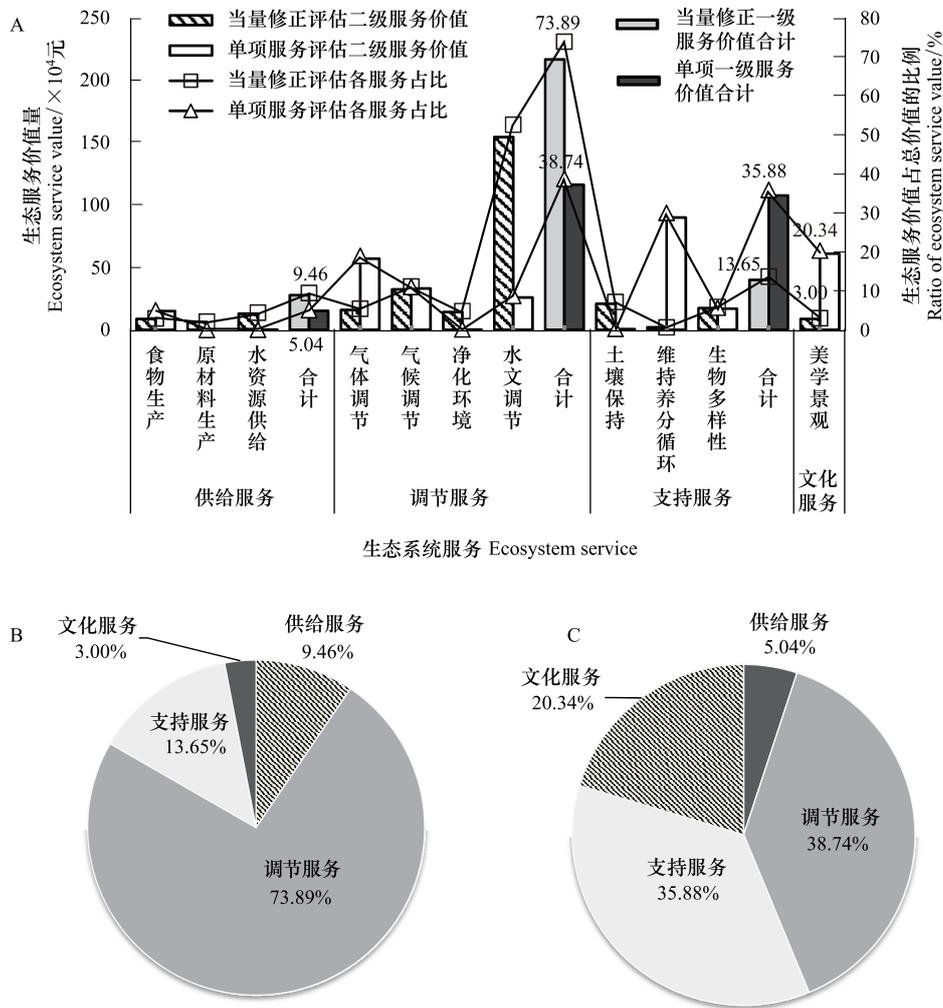


图 3 四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设项目生态效益的评估结果比较 (A), 当量修正法和单项服务评价法评估各项生态系统服务价值占总价值的比例 (B 和 C)

Fig.3 Comparison of the results of ecological benefits evaluation of the construction of high standard farmland in Laibaotuo and Xingfu Villages, Sanxing Town, Jintang County of Sichuan Province, the ratios of ecosystem service values evaluated by the equivalent correction method and the single ecosystem service method

FP: Food production (食物生产); RMP: Raw materials production (原材料生产); WS: Water supply (水资源供给); GR: Gas regulation (气体调节); CR: Climate regulation (气候调节); EP: Environmental purification (净化环境); WR: Water regulation (水文调节); SF: Soil formation (土壤保持); NC: Nutrient cycling (维持养分循环); B: Biodiversity (生物多样性); AL: Aesthetic landscape (美学景观); CS: Cultural service (文化服务)

2.4 讨论

本项研究表明,单项服务评价法比当量修正法评估的四川省金堂县三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设项目生态效益高 3.5%。前人研究亦表明,基于当量修正法的评估结果低于单项服务评价法^[27],由于当量修正法仅根据生态系统面积、生物量和降雨量等变化评估生态效益,未考虑土地整治通过改善景观格局、吸引更多游客观光旅游产生的隐性价值,因而低估了生态效益;而单项服务评价法运用费用支出法全面评估了这一隐性价值,生态效益评估结果更高。

综合分析表明,各项生态系统服务价值增加原因如下:(1) 供给服务价值增加。归并零碎地块、田坎减

少、平整土地、完善道路及灌溉设施提高了耕地质量和利用效率,使食物生产和水资源供给价值增加。(2)调节服务价值增加量最大。其中,气体和气候调节价值增加是由于田块规整和废除多余田埂使农作物种植面积增加与耕地质量提高,且能满足多种种植需求,增加了生物量和作物产量,有助于减少温室气体排放、固碳制氧、维持大气组分平衡及调节气候^[22]。(3)水文调节、净化环境、土壤保持、维持养分循环和生物多样性价值增加原因主要包括 3 方面:①由于湿地能够涵养水源、降解污染物和保护生物多样性,因而增加湿地使废物处理、水文调节和生物多样性价值增加;②完善沟渠建设和修建网格护坡解决了土渠渗漏与田间毛渠堵塞问题、提高了灌溉保证率、有效减轻了水土流失,有助于涵养水源、调节水文和保护土壤;③规整田块和合理改善作物布局可有效增加耕地,提高田块平整度、耕作层厚度和土壤质量,减少土壤侵蚀和增加植物多样性,同时,农田绿色植被增加也有助于滞尘和涵养水源。(4)通过改善空间格局、道路设施等,提高了项目区景观美感度及文化服务价值。

两种方法的评估依据和参数选取截然不同,造成评估结果差异较大。当量修正法主要依据土地利用变化数据,单项服务评价法的评估参数包括土地利用变化、粮食产量、土壤质量、生物量和旅游费用等。对两种方法评估结果中差异较大的原因分析和讨论如下:

(1)单项服务评价法测算的维持养分循环价值是当量修正法的 46.90 倍。由于整治前土壤有机质含量无法测定,因而单项服务评价法直接将新增耕地的土壤有机质含量折算为持留价值,故计算结果较大。而当量修正法中维持养分循环服务单价是 11 项服务价值中最小的,单价变化量也最小,计算时直接用单价变化量乘以面积计算总价值变化量,因而计算结果较低。降低误差的有效方法为通过实验法实地测定整治前后相同地块的土壤有机质含量和有效土层厚度,根据实验数据计算土壤容重,提高评估结果精确性。

(2)单项服务评价法测算的美学景观价值是当量修正法的 6.94 倍。两种方法均考虑了土地整治通过改善空间格局和道路设施提高景观美感度、改善生态环境,而单项服务评价法另外计算了景观格局改善后吸引更多游客观光旅游产生的隐性价值,因而评估结果更高且更全面。提高美学景观价值评估精确性可利用 GIS 技术分析整治前后空间变化,构建评估指标体系,涵盖景观多样性指数、破碎度和美感度等景观格局指标,赋予各指标合理权重,综合评定美学景观价值。

(3)当量修正法计算的水文调节价值是单项服务评价法的 5.93 倍,原因为新增水系的实际可灌溉面积难以确定,单项服务评价法仅用项目区新增耕地面积(可能小于实际可灌溉面积)衡量涵养水源价值,因而低估了该价值。此外,径流系数难以测量,仅根据经验选取了平均值,误差较大。若要减少误差,需通过实验测定项目区地形、流域特性因子、平均坡度、地表植被情况及土壤特性等自然地理要素,实地调查水域使用和管理情况等社会因素,综合评估水源涵养价值。

结合上述评估过程及结果分析两种方法的异同,相同点包括 2 方面:(1)理论基础均为生态系统服务价值理论。(2)评估结果能体现区域特征。当量修正法运用三星镇农田粮食单产和降水量将全国当量修正为区域当量,单项服务评价法选取项目区生物量、粮食单产、降雨量、土壤有机质含量、蓄水成本和旅游费用等区域特色参数,赋予评估结果区域特异性。两种评估方法的不同点体现为 3 方面:(1)可操作性不同。当量修正法操作简便易行,土地利用变化数据易获取,使用广泛;单项服务评价法的具体评估方法较难确定,操作繁琐,数据难获取,且该方法难以直接量化气候调节和维持生物多样性价值,需深入探究。(2)适宜空间尺度不同。在较小(乡镇级)空间尺度中,评估过程更精细的单项服务评价法比当量修正法更合适。(3)评估过程不同。当量修正法仅根据生态系统面积、生物量和降雨量等变化测算生态效益,采用统一方法评估各项生态系统服务价值;单项服务评价法深入分析每项生态系统服务价值变化原因及核算途径,并运用适宜方法分别计算各项服务价值,评估方法使用灵活。

由于四川省金堂县三星镇土地整治工程以改善丘陵地区生产条件为目标,以平整土地、修筑网络护坡、建设田间道路和农田水利为主,重点保护生态系统生物多样性和土壤保持服务价值,因此,可结合研究案例特征,根据上述评估方法异同点分析总结出我国西南部丘陵地区乡镇土地整治生态效益的适宜评估方法。虽然

当量修正法简便易行,但是评估考虑的因素不全面导致评估结果偏低、误差较大,例如评估结果显示美学景观价值增量较低,原因是该方法忽视了土地整治的积极景观格局效应可吸引更多游客观光旅游和提高文化服务价值、导致生态效益被低估,其重要性被忽视,因此当量修正法不适用于精度要求较高的西南部丘陵地区乡镇土地整治生态效益评估,这与国内外通常将当量修正法运用于省市县级等较大空间尺度评估研究结果相一致^[8-9,18,46]。单项服务评价法针对各项生态系统服务特征,灵活地选择差异化评估方法,其结果全面、可靠且误差较小。该方法所需数据相对繁多,国内外研究常因数据缺失忽略某项生态服务价值^[20-22,24],导致评估结果准确度存在质疑。由于乡镇尺度数据较易获取,因而本研究中数据的完善性有效增加了评估准确度。总体看来,在我国西南部丘陵地区乡镇尺度土地整治生态效益评估中,单项服务评价法具备更多优越性,其结果的高精确度和可信服性有利于综合展现土地整治实施效果,其评估结果有助于提高公众对生态效益的重视程度、鼓励工程实施者采取更多提高生态效益的措施,从而促进生态环境保护、推动美丽乡村和生态文明建设。

当然,本研究评估时空尺度有待完善。在时间尺度上,仅静态评估项目区整治前后的生态系统服务价值,未考虑土地整治对土壤等生态要素的动态影响,为了完善评估结果,可长期、动态地研究土地整治生态效益年际变化趋势。虽然目前已有一些动态研究^[17,19],但均仅使用其中一种生态服务价值评估方法,未来可继续比较两种方法的动态评估结果差异。在空间尺度上,仅评估项目区内部生态效益,但其对周边临近区域生态环境亦可能产生影响,因此未来可将评估单元扩展为土地整治工程区及周边临近区域。

3 结论

运用当量修正法和单项服务评价法分别评估 2015—2017 年我国西南部丘陵地区典型乡镇土地整治工程的生态效益,评估结果均表明:整治后生态系统服务总价值提高,其中调节服务价值增量最高,因而土地整治工程创造了较大的生态系统间接使用价值。两种方法中各项生态系统服务价值增量占总增量的比例按大小排序为:(1)当量修正法:调节服务价值(73.89%)>支持服务价值(13.65%)>供给服务价值(9.46%)>文化服务价值(3.00%);(2)单项服务评价法:调节服务价值(38.74%)>支持服务价值(35.88%)>文化服务价值(20.34%)>供给服务价值(5.04%)。由于两种方法评估依据和参数的选取不同,因而单项服务评价法的生态效益评估结果比当量修正法高 3.5%,单项服务评价法测算的维持养分循环价值、美学景观价值分别是当量修正法的 46.90 倍和 6.94 倍,当量修正法测算的水文调节价值是单项服务评价法的 5.93 倍。与单项服务评价法相比,当量修正法测算结果较低,生态系统服务价值被低估,导致生态效益重要性易被忽略。考虑到单项服务评价法可针对各项生态系统服务灵活地选择评估方法,评估结果全面、误差较小、更为精确,而且其较大的生态效益评估价值有助于提高生态效益重视度,因此建议运用单项服务评价法评估我国西南部丘陵地区乡镇土地整治的生态效益。

参考文献 (References):

- [1] Dudzinska M, Kocur-Bera K. Land consolidation as the driving force behind ecological and economic development of rural areas//9th International Conference on Environmental Engineering (ICEE). Vilnius, Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University Press, 2014.
- [2] Uematsu Y, Koga T, Mitsuhashi H, Ushimaru A. Abandonment and intensified use of agricultural land decrease habitats of rare herbs in semi-natural grasslands. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2010, 135(4): 304-309.
- [3] Di Falco S, Penov I, Aleksiev A, Van Rensburg T M. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: evidence from Bulgaria. *Land Use Policy*, 2010, 27(3): 763-771.
- [4] Osawa T, Kohyama K, Mitsuhashi H. Trade-off relationship between modern agriculture and biodiversity: Heavy consolidation work has a long-term negative impact on plant species diversity. *Land Use Policy*, 2016, 54: 78-84.
- [5] Hiironen J, Mattila P, Lääti M, Oja H, Katajamäki M, Tanskanen H, Konttinen K, Penttilä L. Renewing the evaluation of land consolidation effects//FIG Congress 2010. Sydney, Australia: FIG, 2010.
- [6] Thapa G B, Niroula G S. Alternative options of land consolidation in the mountains of Nepal: An analysis based on stakeholders' opinions. *Land Use Policy*, 2008, 25(3): 338-50.
- [7] Sklenicka P. Applying evaluation criteria for the land consolidation effect to three contrasting study areas in the Czech Republic. *Land Use Policy*, 2006, 23(4): 502-510.

- [8] Zhang Z F, Zhao W, Gu X K. Changes resulting from a land consolidation project (LCP) and its resource-environment effects: A case study in Tianmen City of Hubei Province, China. *Land Use Policy*, 2014, 40: 74-82.
- [9] Wang J, Yan S C, Guo Y Q, Li J R, Sun G Q. The effects of land consolidation on the ecological connectivity based on ecosystem service value: A case study of Da'an land consolidation project in Jilin province. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(5): 603-16.
- [10] Li P Y, Chen Y J, Hu W H, Li X, Yu Z R, Liu Y H. Possibilities and requirements for introducing agri-environment measures in land consolidation projects in China, evidence from ecosystem services and farmers' attitudes. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 3145-3155.
- [11] Costanza R, D'arge R, Groot R D, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'neil R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [12] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [13] 蒋玲, 蒲春玲, 刘彦晶, 苏丽丽, 马文娟, 梁文靖. 基于生态服务价值的土地整理生态效益评价——以庆阳市西峰区董志镇土地整理项目为例. *天津农业科学*, 2016, 22(3): 68-74.
- [14] 谷晓坤. 湖北省不同类型土地整治生态效应评价. *应用生态学报*, 2012, 23(8): 2263-2269.
- [15] 付光辉, 陆守超. 基于生态系统服务价值的区域土地整理生态效益评价——以南京市为例. *生态经济*, 2010, (5): 142-145.
- [16] Wang J, Yan S C, Guo Y Q, Li J R, Sun G Q. The effects of land consolidation on the ecological connectivity based on ecosystem service value: A case study of Da'an land consolidation project in Jilin province. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(5): 603-616.
- [17] Cheng W, Wang L P. Applying analysis of ecological benefit from local land use in reconstructed land configurations//International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering IEEE. Nanjing, China: IEEE, 2011: 119-123.
- [18] 唐秀美, 潘瑜春, 程晋南, 任艳敏. 高标准基本农田建设对耕地生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2015, 35(24): 8009-8015.
- [19] Li Y F, Zhan J Y, Liu Y, Zhang F, Zhang M L. Response of ecosystem services to land use and cover change: A case study in Chengdu City. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 132: 291-300.
- [20] 郑加玉, 张忠峰, 程森, 蔡宪杰, 朱启法, 薛琳, 王传义, 张继光. 皖南烟区村域尺度土地整理的生态效益评价研究. *中国烟草科学*, 2015, 36(5): 90-95.
- [21] 杨健. 基于生态系统服务价值分析的土地整理生态效益研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [22] Chen L, Sui X, Wang D S, Yin X Y, Ji G D. The ecological benefit-loss evaluation in a riverine wetland for hydropower projects-A case study of Xiaolangdi reservoir in the Yellow River, China. *Ecological Engineering*, 2016, 96: 34-44.
- [23] Temesgen H, Wu W. Farmers' value assessment of sociocultural and ecological ecosystem services in agricultural landscapes. *Sustainability*, 2018, 10(3): 703-703.
- [24] Nikodinoska N, Paletto A, Pastorella F, Granvik M, Franzese P P. Assessing, valuing and mapping ecosystem services at city level: The case of Uppsala (Sweden). *Ecological Modelling*, 2018, 368: 411-424.
- [25] Pimentel D, Wilson C, McCullum C, Huang R, Dwen P, Flack J, Tran Q, Saltman T, Cliff B. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, 1997, 47(11): 747-757.
- [26] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [27] 张翼然. 基于效益转换的中国湖沼湿地生态系统服务功能价值估算[D]. 北京: 首都师范大学, 2014.
- [28] 王小莉, 高振斌, 苏婧, 陈志凡, 郑明霞, 孙源媛, 纪丹凤. 区域生态系统服务价值评估方法比较与案例分析. *环境工程技术学报*, 2018, 8(2): 212-220.
- [29] 四川省成都市金堂县农林局. 金堂县农业统计年报. 成都: 金堂县农林局, 2006-2016.
- [30] 四川省成都市金堂县规划和自然资源局. 三星镇幸福村、来宝沱村高标准农田建设项目竣工报告. 成都: 金堂县规划和自然资源局, 2017.
- [31] 白晓飞, 陈焕伟. 土地利用的生态服务价值——以北京市平谷区为例. *北京农学院学报*, 2003, 18(2): 109-111.
- [32] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [33] 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. *自然资源学报*, 2005, 20(4): 564-571.
- [34] 李向东, 陈尚洪, 陈源泉, 高旺盛, 马月存, 马丽. 四川盆地稻田多熟高效保护性耕作模式的生态系统服务价值评估. *生态学报*, 2006, 26(11): 3782-3788.
- [35] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2016. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [36] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2017. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [37] 中华人民共和国国家统计局. 成都统计年鉴-2016. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [38] 四川省成都市金堂县规划和自然资源局. 四川省成都市金堂县三星镇幸福村、来宝沱村全面整治高标准基本农田项目新增耕地质量等级评定报告. 成都: 金堂县规划和自然资源局, 2017.
- [39] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据. [2018-05-22]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [40] 郑州华粮科技股份有限公司. 全国粮油价格监测系统. [2018-05-22]. <http://price.cngrain.net/sinoprice/search.aspx>.
- [41] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [42] 陈冠雄, 黄国宏, 黄斌, 吴杰, 于克伟, 徐慧, 薛晓华, 王正平. 稻田 CH₄ 和 N₂O 的排放及养萍和施肥的影响. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 378-382.
- [43] 马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 83-86.
- [44] 肖寒. 区域生态系统服务功能形成机制与评价方法研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2001.
- [45] 王瑗玲, 赵庚星, 王庆芳, 刘文鹏. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 311-315.
- [46] 王萌辉, 白中科, 董潇楠. 基于生态系统服务供需的陕西省土地整治空间分区. *中国土地科学*, 2018, 32(11): 73-80.