

中国耕地整治生态潜力测算方法

唐秀美, 潘瑜春*, 郝星耀, 刘 玉

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;
3. 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097; 4. 北京市农业物联网工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要: 为合理测算耕地整治生态潜力, 指导区域土地整治生态建设, 该研究在耕地整治数量、质量潜力测算的基础上, 采用生态系统服务价值增加值表征耕地整治生态潜力, 提出了全国耕地生态潜力的测算方法, 并以县为单位, 对全国的耕地整治生态潜力进行了测算。结果表明, 中国的耕地整治生态潜力巨大, 生态服务价值总量达到 6.14×10^{11} 元; 潜力较高的县集中分布在黑龙江省、吉林省, 其次是东部地区的河南省、安徽省、湖北省, 西南地区的四川省、宁夏回族自治区大部分县的生态潜力也较高; 潜力较低的县主要分布在西北地区、闽粤琼地区和青藏区。该研究探索了耕地整治生态潜力的新思路和方法, 研究结果对掌握全国耕地整治潜力分布特点、指导区域土地整治生态建设、确定全国的土地整治与生态保护重点区等有很好的指导作用。

关键词: 土地利用; 整治; 生态; 计算; 耕地; 潜力

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.036

中图分类号: F301.21; F323.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-17-0270-08

唐秀美, 潘瑜春, 郝星耀, 刘 玉. 中国耕地整治生态潜力测算方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 270—277.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.036 <http://www.tcsae.org>

Tang Xiumei, Pan Yuchun, Hao Xingyao, Liu Yu. Calculation method of cultivated land consolidation ecological potential in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(17): 270—277. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.036 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

耕地的可持续利用是影响区域可持续发展的关键问题^[1-2]。土地整治, 特别是耕地整治在保证中国粮食安全和实现耕地总量动态平衡等方面做出了巨大贡献^[3]。土地整治潜力评价是编制土地整治规划的重要前提和基础, 对确定区域土地整治的目标与方针、划定土地整治区和指导区域土地整治活动等具有重要的意义^[4]。耕地整治是农用地整治最重要的方面, 耕地潜力内涵逐渐从早期的追求数量增加延伸到追求质量提高和生态条件的改善^[5]。当前, 分析与评价土地利用诱发的生态环境问题已成为可持续发展研究的热点之一^[6-8], 学者开始关注土地整治造成的生态影响^[9-11], 或由于土地整治造成的生态系统服务价值的损益^[12-14], 但目前的研究多限于土地整治造成的耕地数量变化而引起生态系统服务价值变化。当前对耕地整治潜力测算研究多集中于不同尺度整治数量潜力和质量潜力方面^[15], 其中, 数量潜力多采用新增耕地系数法^[16-18], 质量潜力多采用农用地等级或耕地产能提高法^[19-21]。近年来有学者对耕地的数量质量折算研究进行了初步探索^[22-23], 并开始关注耕地数量-质量-价值折算及

其系数方面的研究^[24], 但目前针对耕地等级-产量-生态价值方面的研究还少有涉及。耕地具备食物生产和生态两重功能^[25], 科学合理测算耕地整治生态潜力对于耕地资源合理利用和生态保护具有重要意义。由于耕地生态质量提升程度难以衡量, 目前针对耕地整治生态质量提高方面的研究较少。基于此, 本文以全国分县耕地为研究对象, 探索耕地整治生态潜力方法, 试图从耕地等级提升与生态系统服务价值的折算方面, 对耕地整治造成的生态系统服务价值的变化进行定量分析, 以期把握全国耕地整治生态潜力及其分布, 从而指导土地整治生态建设及耕地资源的合理利用。

1 耕地整治潜力内涵与数据来源

1.1 耕地整治潜力内涵

耕地整治潜力与许多因素有关, 包括自然、经济、社会等各个方面, 地质、地貌及水文等自然状况、土地利用程度与土地生产力水平、经济发展状况以及社会文化发展状况都对耕地整治潜力有较大影响。

新背景下, 耕地整治潜力的内容愈来愈丰富, 总体而言, 耕地整治潜力主要包括新增耕地面积、提高耕地质量及改善生态条件 3 个方面: 1) 新增耕地面积潜力。新增耕地面积潜力主要表现为耕地经整治后有效使用面积的增加。主要来源于 3 个方面: 道路、沟渠整治所增加的耕地面积; 土地平整后小田并大田减少田坎占地等所增加的耕地面积; 土地利用结构调整增加的耕地面积。2) 提高耕地质量潜力。耕地质量提高表现为耕地质量等级或生产能力的提高, 提升途径主要有 2 种: 通过完善基础设施

收稿日期: 2015-04-13 修订日期: 2015-08-07

基金项目: 国家自然科学基金 (41301093)

作者简介: 唐秀美, 女, 山东莱芜人, 助理研究员, 博士, 从事土地利用与土地信息技术研究。北京 北京农业信息技术研究中心, 100097。

Email: Tangxm@nercita.org.cn

*通信作者: 潘瑜春, 男, 安徽歙县人, 研究员, 主要从事土地信息技术研究。北京 北京农业信息技术研究中心, 100097。Email: panyuc@nercita.org.cn

施提高耕地生产能力；通过改造、消除耕地中的限制因素提高耕地生产能力。3) 改善生态条件潜力。生态条件潜力表现为整治前后耕地生态质量的改善程度，主要通过改善耕地生产条件，加强风险管理，降低污染风险，从而改善耕地生态条件、提高生态价值、降低生产风险。

耕地整治生态潜力内涵丰富，测算难度大，已有研究多集中在项目区尺度生态效应与生态服务价值的损益方面^[26-29]，耕地整治生态潜力测算方面的研究较少。生态系统服务价值作为一项易于量化测算的指标在整治生态效益评价、生态价值评估等被较多的应用^[12,14,30]，据此，本研究中耕地整治生态潜力定义为耕地整治过程中生态系统服务价值的可提升程度，并采用生态系统服务价值增加值的潜力作为表征指标。

1.2 数据来源

本研究数据资料主要包括：全国分县耕地面积数据（2008 年土地变更调查的数据）；全国分县的农用地分等数据等。

2 研究方法

2.1 技术路线

本研究测算耕地整治生态潜力的步骤是：1) 测算整治前耕地生态系统服务总价值，在确定全国平均耕地生态系统服务基准价值的基础上，对其进行时间、空间尺度校正，得到全国分县生态系统服务基准价值，结合耕地面积测算整治前全国分县耕地生态系统服务总价值；2) 测算整治后耕地生态系统服务总价值，包括 2 部分：①原有耕地整治后的生态系统服务总价值，根据耕地整治后生态系统服务基准价值与耕地面积乘积测算；②整治后新增耕地的生态系统服务价值，根据整治前耕地生态系统服务基准价值与新增耕地面积的乘积测算；3) 将整治前后全国分县耕地生态系统服务总价值差值作为耕地整治生态潜力，并据此汇总得到分省、9 个土地利用区（《全国土地利用总体规划（2006—2020 年）》划分了 9 个土地利用区，即青藏区、西南区、西北区、东北地区、晋豫区、湘鄂皖赣区、京津冀鲁区、苏浙沪区、闽粤琼区）和全国的耕地整治生态潜力，具体技术路线如图 1 所示。

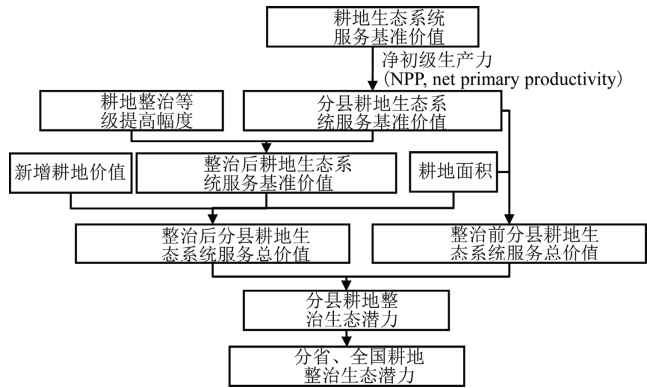


图 1 耕地整治生态潜力测算技术路线图

Fig.1 Research technical route of evaluation of cultivated land consolidation ecological potential

2.2 测算步骤

本研究以笔者已做过的全国耕地整治数量质量测算的方法和结果作为基础^[21]，已有研究中，分别采用新增耕地系数法测算整治数量潜力，采用等级与产能提高法测算质量潜力，本文中直接引用已有研究的方法和结果，并以此为基础进行全国分县耕地整治生态潜力测算。

2.2.1 划分测算基本单元

测算单元选择直接影响着耕地整治潜力测算精度。为保证耕地整治潜力测算的精度，测算单元的资源禀赋、土地利用结构与方式、社会经济发展状况应相对一致，同时考虑到资料占有状况，本研究中选择以县为基本测算单元，并以此为基础汇总省级、全国土地利用分区和全国的耕地整治生态潜力。

2.2.2 整治规模确定

本研究主要测算耕地整治的远景理论生态潜力，利用土地利用现状与变更调查和最新土地资源调查有关资料测算待整治耕地的面积，具体是以测算行政单元的 2008 年土地利用变更调查中的全部耕地面积作为整治规模。

2.2.3 生态系统服务基准价值的确定

基于目前生态系统服务价值研究的经典成果^[31-32]，本研究将谢高地的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表作为耕地生态系统基准价格，该成果以全国平均水平状况下的农田每年自然粮食产量的经济价值为基准，由于地区差异大，本研究在该成果基础上对耕地生态系统服务价值进行了时间尺度和空间尺度的订正。

时间尺度的校正方法：根据统计年鉴中 2013 年全国平均粮食单产市场价值，将 1 个当量因子的价格确定为 1 906 元/hm²，由此得到全国评价的耕地生态系统服务基准价值，如表 1 所示。

表 1 全国耕地生态系统服务基准价值
Table 1 Basic ecosystem service value of cultivated land in China

生态系统服务功能 Ecosystem service	价值 Value/(元·hm ²)
气体调节 Gas regulation	952.89
气候调节 Climate regulation	1696.21
水源涵养 Water conservation	1143.51
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	2782.64
废物处理 Waste disposal	3125.76
生物多样性保护 Biological diversity protection	1353.09
食物生产 Food production	1906.00
原材料 Raw materials	190.62
娱乐文化 Entertainment culture	18.95
总价值 Total value	13169.69

空间校正：生态系统功能大小与生物量有密切关系，一般来说，生物量越大，生态系统功能越大，因此，不同区域生态系统服务价值也会随着其生物量的变化而变化。研究采用净初级生产力（net primary productivity, NPP）代表生物量，采用 NPP 进行空间校正，将生态系统服务价值单价由全国平均校正到全国区县，使每个区

县有一个生态系统服务基准价值,并用区域差异性系数来体现这一差别,公式如下:

$$S_i = b_i / B \quad (1)$$

$$E_i = E \cdot S_i \quad (2)$$

式中: S_i 为 i 县耕地生态系统区域差异性系数; b_i 为 i 县耕地生态系统的平均 NPP, $\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$, 以 C 计; B 为全国耕地生态系统的平均 NPP, $\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$, 以 C 计; E_i 为 i 县的生态系统服务价值基准价值, 元/ hm^2 , E 为全国耕地平均生态系统服务价值, 根据表 1 取值 13 169.69 元/ hm^2 。

NPP 和校正生态系统服务价值的土地利用数据来自于中国科学院资源环境科学数据中心数据库。以 1981—2000 年间全国 NPP 数据为基础, 将生态系统与 NPP 叠加, 在全国数据的基础上计算各区县耕地生态系统平均 NPP, 以此对各区县耕地生态系统服务价值进行空间校正。

2.2.4 耕地整治生态潜力测算

耕地整治除增加有效耕地面积外, 更重要的是可以改善耕地质量, 提高耕地生产力, 增加粮食产量。一般采用耕地等别或者产能的提高幅度代表耕地整治的质量提升潜力。本研究中耕地整治质量潜力测算以耕地所在农用地分等三级指标区的农用地最高等别作为耕地整治后耕地所能达到的等别^[21], 县所在农用地分等三级指标区的最高利用等与县利用等的差距即为耕地等级提升潜力。

$$D_{ip} = D_g - D_i \quad (3)$$

式中: D_g 为 i 县所在三级指标区的最高利用等别; D_i 为 i 县的原有平均利用等别。 D_{ip} 为 i 县耕地整治等级提升潜力。

耕地经过整治后质量等级提高, 同时, 耕地集中连片、高产稳产、生态良好、抗灾能力强。耕地质量提高必然影响到耕地的生态功能, 耕地质量越高, 生态系统服务功能越大, 其生态系统服务价值相应提高。农用地分等中以耕地的质量等级衡量耕地质量高低, 耕地等级提高必定会提高耕地的生态系统服务能力和价值。基于以上分析, 耕地的等级、产量和生态系统服务价值存在正相关关系, 因此结合耕地等级的提升程度, 计算耕地整治后的生态系统服务基准价值。计算方法如下:

$$E_{ip} = E_i \cdot D_g / D_i \quad (4)$$

式中: E_{ip} 为 i 县整治后的生态系统服务价值基准价值。

整治后的耕地生态服务价值增加来源有 2 个方面, 一方面是原有耕地质量提升, 耕地生态系统服务价值增加, 另一方面是新增耕地产生的生态系统服务价值, 考虑到新增耕地的质量不会达到最好的耕作状态和质量, 其生态系统服务价值采用整治前的耕地基准价值与新增耕地面积的乘积计算, 据此, 计算整治后的耕地生态系统服务总价值, 公式如下:

$$ESV_{ip} = E_{ip} \cdot A + E_i \cdot a \quad (5)$$

式中: ESV_{ip} 为 i 县耕地整治后的生态系统服务价值总量,

元; A 为 i 县的耕地面积, hm^2 ; a 为 i 县的新增耕地面积, hm^2 。

整治前后生态系统服务总价值差即为分县的生态系统服务价值潜力, 公式如下:

$$ESV_{\text{潜}} = ESV_{ip} - E_i \cdot A \quad (6)$$

式中: $ESV_{\text{潜}}$ 为 i 县的总生态系统服务价值潜力, 元。

3 结果与分析

3.1 全国耕地生态系统服务价值总体分布

根据各县的整治前生态系统服务基准价值与耕地面积, 得到整治前分县耕地生态系统服务总价值, 结果如图 2 所示。从图 2a 中可以看出, 全国分县耕地生态系统总价值分布总体东高西低, 价值较高的县主要分布于东部的山东省、河南省、安徽省及中部地区的湖北省、四川省等地, 多数县生态系统服务总价值高于 5.00×10^9 元, 辽宁省、河北省、山西省及中部的湖南省等总价值也较高, 多数超过 1.50×10^9 元, 而西部的新疆维吾尔自治区、西藏自治区、青海省等区域及内蒙古自治区等区域的县总价值较低, 多数在 5.00×10^8 元以下。县域生态系统服务总价值大小与区域耕地面积及生态系统服务基准价值有较大的关系, 总体而言, 东部区域耕地面积大, 生产条件好、耕地质量等级和生态系统服务基准价值高, 因此其生态系统服务总价值较高。

3.2 全国分县耕地整治生态潜力

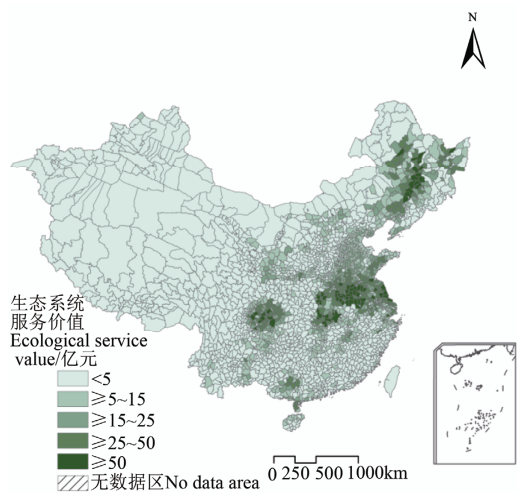
根据公式 (6) 对全国分县耕地整治生态潜力进行测算, 测算结果如图 2b 所示, 并据此汇总得到全国、全国九大土地利用区和各省市自治区的耕地整治生态潜力。据测算, 全国耕地整治生态总潜力 6.14×10^{11} 元, 耕地整治的生态潜力巨大, 耕地整治生态潜力较高的县集中分布在东北地区的黑龙江省、吉林省, 东部地区的河南省、安徽省、湖北省, 西南地区的四川省、宁夏回族自治区大部分县的生态潜力也较高, 潜力较低的县主要分布在西北地区、闽粤琼地区和青藏区。

3.3 全国分省土地整治潜力分析

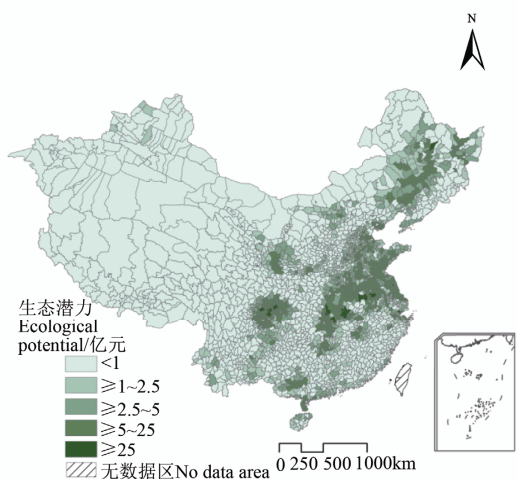
全国 31 个省(市、区)耕地整治生态潜力值及分布如表 2、图 2c 所示。由表 2 和图 2c 可知, 全国 31 个省(市、区)耕地整治生态潜力值及分布差别悬殊。耕地整治生态潜力值较高的为中东部各省, 绝对数量最高的是四川省, 达到 8.02×10^{10} 元, 这与四川省的耕地面积大、生态系统服务基准价值高有很大关系。其次是安徽、湖北、山东、河南等省, 生态潜力都高于 5.00×10^{10} 元, 耕地整治生态潜力较低的省份主要为西部地区各省。

3.4 全国九大分区耕地整治生态潜力

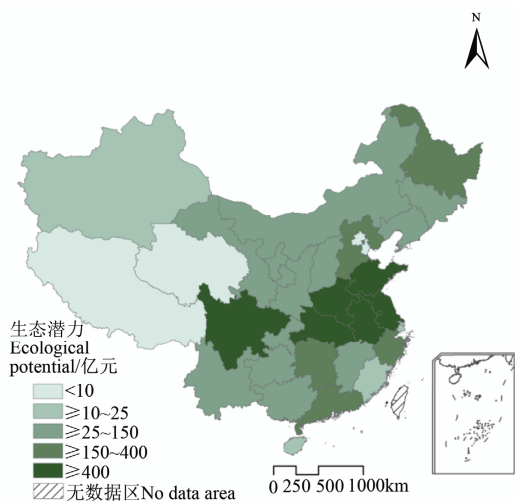
9 个土地利用区的耕地整治生态潜力汇总结果如表 3 所示。9 个土地利用区中, 耕地整治生态潜力最高的为湘鄂皖赣区, 达到 1.59×10^{11} 元, 潜力较高的为西南区、京津冀鲁区, 潜力都超过了 9.00×10^{10} 元, 而苏浙沪区、东北地区及晋豫区也超过了 5.00×10^{10} 元, 潜力较低的区域为西北区、闽粤琼区, 尤其是青藏区的潜力最低, 只有 1.16×10^8 元。



a. 分县的耕地生态系统服务总价值
a. Ecosystem services value of cultivated land at county-level



b. 分县的耕地整治生态潜力
b. Ecological potentials of cultivated land consolidation at county-level



c. 分省的耕地整治生态潜力
c. Ecological potentials of cultivated land consolidation at province-level

图 2 全国耕地生态系统服务价值和耕地整治生态潜力
Fig.2 Ecosystem service value and ecological potentials of cultivated land consolidation in China

表 2 全国各省耕地整治生态潜力
Table 2 Cultivated land consolidation ecological potential in province-level

地区 Province	整治规模 Scale /10 ⁴ hm ²	生态潜力 Ecological potentials /10 ⁸ 元
全国 Total	12709.75	6142.88
北京市 Beijing city	23.17	1.38
天津市 Tianjin city	44.11	9.84
河北省 Hebei province	630.74	353.27
山西省 Shanxi province	407.4	90.05
辽宁省 Liaoning province	408.53	146.00
吉林省 Jilin province	553.46	125.16
黑龙江省 Heilongjiang province	1752.83	284.10
上海市 Shanghai city	25.38	22.06
江苏省 Jiangsu province	475.34	448.90
浙江省 Zhejiang province	192.03	220.20
安徽省 Anhui province	555.79	626.78
福建省 Fujian province	133.01	23.97
江西省 Jiangxi province	282.35	92.79
宁夏回族自治区 Ningxia Hui Autonomous Region	107.22	25.75
内蒙古自治区 Inner Mongolia Autonomous Region	704.2	127.29
河南省 Henan province	789.6	507.92
湖北省 Hubei province	465.3	626.16
湖南省 Hunan province	378.94	248.63
广东省 Guangdong province	288.57	177.83
海南省 Hainan province	66.25	21.30
重庆市 Chongqing city	223.59	76.66
四川省 Sichuan province	594.74	802.15
贵州省 Guizhou province	448.53	71.73
云南省 Yunnan province	607.21	94.27
西藏自治区 Tibet Autonomous Region	36.16	0.04
陕西省 Shanxi province	405.03	91.83
甘肃省 Gansu province	465.65	121.01
青海省 Qinghai province	54.77	1.13
山东省 Shandong province	751.53	569.81
新疆维吾尔自治区 Xinjiang Uygur Autonomous Region	412.45	18.08
广西壮族自治区 Guangxi Zhuang Autonomous Region	425.84	116.88

表 3 全国 9 个土地利用区耕地整治生态潜力
Table 3 Ecological potential of cultivated land consolidation in nine major land use areas in China

土地利用区 Land use areas	整治规模 Scale/10 ⁴ hm ²	生态潜力 Ecological potentials/10 ⁸ 元
东北地区 Northeast region	2727.76	557.68
京津冀鲁区 Beijing-Tianjin-Hebei-Shandong region	1449.55	934.29
晋豫区 Shanxi-Henan region	1197.00	597.97
湘鄂皖赣区 Hunan-Hubei-Anhui-Jiangxi region	1682.39	1594.35
苏浙沪区 Jiangsu-Zhejiang-Shanghai region	692.76	691.16
西北区 Southwest region	2081.62	381.51
西南区 Southwest region	2299.91	1161.68
闽粤琼区 Fujian-Canton-Hainan region	487.83	223.10
青藏区 Qinghai-Tibet region	90.94	1.16
全国 Total	12709.75	6142.88

3.5 土地整治生态建设对策

土地整治是对土地资源及其利用方式的再组织和再优化过程,耕地经过整治后,其利用空间结构和质量都发生了较大的变化,结合中国耕地整治生态潜力测算的结果,在耕地整治活动中应重视从宏观到微观的生态建设,重点包括以下几方面的内容:1)提高耕地质量,促进耕地生态价值提升。在中国东部地区等耕地生态潜力较高的区域,整治过程中要注意使耕地集中连片、高产稳产,保障耕地生态良好、抗灾能力提升;在西北部等生态潜力较低的区域,耕地质量等级和耕地生态系统服务基准价值相对较低,需大力改造、消除耕地中的限制因素,提高耕地质量等级和生产能力,促进区域耕地生态价值提高。2)重视景观生态建设和生物多样性保护。耕地作为区域面积较大的土地利用类型,对区域生态系统安全有重要的作用,在不同的耕地生态潜力分布区域,要采取与自然生态环境和社会发展相适应的整治措施,在耕地整治过程中要重视景观生态建设,在中国中东部等耕地分布面积和整治生态潜力大的区域,要从大尺度上构建生态良好、有廊道沟通的耕地生态斑块,促进区域整治后生态质量提高;在西北部等耕地整治生态潜力相对小的区域,整治过程中应采取适合区域环境的景观生态建设,尽量避免对区域生态环境的干扰和破坏,促进区域生态稳定和环境美化。3)加强土地整治工程生态设计。从土地整治工程措施角度,要重视整治工程的生态建设,结合不同区域的实际情况,对整治工程进行适合不同地区环境的生态化设计,包括确定区域田块的形状、大小、朝向,对各类整治工程的形状、沟渠的质地、材料、工艺及工程措施等进行生态化设计。保证整治活动在提高土地综合生产力的同时,能提高耕地物质和能量流动的效率,维护农业景观多样化生境,保护与改善耕作环境。

4 结论与讨论

在对耕地整治新形势和新内涵进行分析的基础上,本文提出了耕地整治生态潜力的测算方法。以2008年土地利用变更调查数据和全国分等数据为基础,对全国分县的耕地整治生态潜力进行了测算,并据此得到了分省、9个土地利用区和全国的耕地整治生态潜力值,从而为全面了解全国耕地整治生态潜力的分布特点和未来耕地整治和生态保护的重点方向提供参考。结果显示,中国的耕地整治生态潜力巨大,总量达到 6.14×10^{11} 元。在9个土地利用区中,潜力值较高的土地利用区为湘鄂皖赣区、西南区、京津冀鲁区,潜力值较低的土地利用区为西北区、闽粤琼区、青藏区;在各省中,潜力值较高的省份为四川、安徽、湖北、山东、河南等省,潜力值较低的省份主要分布在西部地区;在分县中,潜力值较高的县主要集中分布在东北地区黑龙江省、吉林省,潜力值较低的县主要分布在西北地区和西藏自治区等区域。研究成果可以为农用地分等成果的转化应用、新一轮土地整治规划的科学编制、基本农田保护指标的合理分配、生态安全问题的正确认识、数量质量生态并重的土地整

治规划编制规程制定等提供积极的借鉴意义,并能为区域土地整治生态建设提供相应的建设对此,也将推动耕地整治生态潜力研究的进程。

本文对耕地整治的生态潜力测算方法进行了初步的探索,需要注意的问题:1)耕地整治生态潜力内涵丰富,包括景观改善、环境提升、降低风险等各方面,本研究中耕地整治生态潜力采用生态系统服务价值增加值进行表征,更丰富内涵的耕地整治生态潜力测算是将来研究的重点。2)本研究中进行的耕地整治潜力的测算包括了原有耕地质量提高和新增耕地部分的生态系统服务价值,新增耕地数量来源于田坎整治、未利用地开发及其他地类的调整,而其他地类的调整为耕地在增加耕地生态潜力的同时,客观上也会造成其他地类生态系统服务价值的减少,将来应加强基于全域的、综合考虑整个整治项目区的生态潜力的测算研究。3)当前的耕地整治潜力测算的方法多集中于数量和质量两个方面的内容,特别是数量潜力,将来应加强耕地整治引起的生态环境、社会经济、人文发展等综合潜力的测算研究。

【参 考 文 献】

- [1] 赵其国,周生路,吴绍华,等.中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策[J].土壤学报,2006,43(4):662—672.
Zhao Qiguo, Zhou Shenglu, Wu Saohua, et al. Cultivated land resource and strategies for its sustainable utilization and protection in china [J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 662—672. (in Chinese with English abstract)
- [2] Liu Yansui, Wang Jieyong, Guo Liying. GIS-based assessment of land suitability for optimal allocation in the Qinlin mountains, China[J]. Pedosphere, 2006, 16(5): 579—586.
- [3] 倪九派,李萍,魏朝富,等.基于AHP和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009,25(5): 202—209.
Ni Jiupai, Li Ping, Wei Chaofu, et al. Potentialities evaluation of regional land consolidation based on AHP and entropy weight method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 202—209. (in Chinese with English abstract)
- [4] 国土资源部土地规划司.县级土地开发整理规划编制要点[M].北京:国土资源部,2002.
- [5] 陈建设,韩武波.中国土地开发整理战略重点的新定位[J].中国土地科学,2005,19(1):30—33.
Chen Jianshe, Han Wubo. Study on strategic point of land reclamation and consolidation in China[J]. China Land Science, 2005, 19(1): 30—33. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵微,闵敏,李俊鹏.土地整理区域生态系统服务价值损益规律研究[J].资源科学,2013,35(7):1415—1422.

- Zhao Wei, Min Min, Li Junpeng. Regulation of ecosystem services in land consolidation regions[J]. Resources Science, 2013, 35(7): 1415—1422. (in Chinese with English abstract)
- [7] 郑江坤, 余新晓, 夏兵, 等. 基于生态服务价值的潮白河上游土地利用优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 337—344.
- Zheng Jiangkun, Yu Xinxiao, Xia Bing, et al. Land use pattern optimization based on eco-service value in the upper Chaobai River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(12): 337—344. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王成, 赵万民, 谭少华. 基于生态服务价值评价的局地土地利用格局厘定[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 222—229.
- Wang Cheng, Zhao Wanmin, Tan Shaohua. Redefinition of land-use patterns at local level based on evaluation of ecological service value[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(4): 222—229. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王军, 罗明, 龙花楼. 土地整理生态评价的方法与案例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 363—367.
- Wang Jun, Luo Ming, Long Hualou. Methodoloy and case study of ecological evaluation for land consolidation[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(3): 363—367. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王瑗玲, 赵庚星, 王瑞燕, 等. 区域土地整理生态环境评价及其时空配置[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1481—1484.
- Wang Ailing, Zhao Gengxing, Wang Ruiyan, et al. Eco-environmental evaluation and spatial-temporal collocation of regional consolidation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8): 1481—1484. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李岩. 土地整理的区域生态环境影响及其综合效益评价研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- Li Yan. Impact of Land Consolidation on Regional Ecological Environment and Evaluation of Its Comprehensive Effects[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张正峰. 土地整理中的生态服务价值损益估算[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 69—72.
- Zhang Zhengfeng. Estimation of gains and losses of ecosystem services value with land consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(9): 69—72. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张贞, 高金权, 杨威, 等. 土地整理工程影响下农业生态系统服务价值的变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 723—733.
- Zhang Zhen, Gao Jinquan, Yang Wei, et al. Changes of agroecosystem services value under effects of land consolidation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 723—733. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张正峰, 王琦, 谷晓坤. 秀山自治县土地整治生态系统服务价值响应研究[J]. 国土科学, 2012, 26(7): 50—55.
- Zhang Zhengfeng, Wang Qi, Gu Xiaokun. Ecosystem-services value response of land comprehensive consolidation in Xiushan autonomous County [J]. China Land Sciences, 2012, 26(7): 50—55. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘巧芹, 李子君, 吴克宁, 等. 中国耕地整理潜力测算方法研究综述[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(2): 126—131.
- Liu Qiaoqin, Li Zijun, Wu Kening, et al. Review on methods for cultivated land consolidation potential calculation in China[J]. Resource Development and Market, 2013, 29(2): 126—131. (in Chinese with English abstract)
- [16] 赵玉领, 苏强, 吴克宁, 等. 河南嵩县土地整理的数量质量潜力[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 73—78.
- Zhao Yuling, Su Qiang, Wu Kening, et al. Quantitative and qualitative potential of land consolidation in song county, Henan province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(9): 73—78. (in Chinese with English abstract)
- [17] 叶公强, 姜开勤, 史娟. 零星地类整理在耕地整理中的潜力研究——以重庆永川市、万盛区、丰都县、巫山县为例[J]. 中国土地科学, 2004, 18(1): 33—38.
- Ye Gongqiang, Jiang Kaiqin, Shi Juan. Study on the consolidation potential of fragmentary land in farmland consolidation: Cases study in Yongchuan city, Wansheng district, Fengdu xian, Wushan xian of Chongqing city[J]. China Land Sciences, 2004, 18(1): 33—38. (in Chinese with English abstract)
- [18] 范金梅, 孟宪素, 薛永森. 中国耕地整理潜力评价初探: 以北京延庆县为例[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 736—744.
- Fan Jinmei, Meng Xiansu, Xue Yongsen. A preliminary study on China's arable land readjustment potential evaluation: A case of Yanqing county in Beijing[J]. Geographical Research, 2004, 23(6): 736—744. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张一飞, 黄劲松, 沈秀峰, 等. 以定级为基础的农用地整理潜力测算方法研究[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(2): 96—100.
- Zhang Yifei, Huang Jinsong, Shen Xiufeng, et al. Research on estimation of farmland rearrangement potential based on farmland classification[J]. Areal Research and Development, 2005, 24(2): 96—100. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张瑞娟, 姜广辉, 周丁扬, 等. 耕地整治质量潜力测算方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 238—244.

- Zhang Ruijuan, Jiang Guanghui, Zhou Dingyang, et al. Calculation method of qualitative potential of farmland consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 238—244. (in Chinese with English abstract)
- [21] Tang Xiumei, Chen Baiming, Zhang Leina, et al. Analysis of cultivated land consolidation potential in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(1): 219—224. (in English with Chinese abstract)
唐秀美, 陈百明, 张蕾娜, 等. 中国耕地整理潜力测算分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 219—224.
- [22] 袁天凤, 邱道持, 黄家林, 等. 基于 GIS 的重庆市耕地质量评价模型建立与检验[J]. 国农学通报, 2007, 23(5): 357—363.
Yuan Tianfeng, Qiu Daochi, Huang Jialin, et al. Build-up & checkout of evaluation model of cultivated land of Chongqing based on GIS[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(5): 357—363. (in Chinese with English abstract)
- [23] 周佳松, 钟沛林, 张弘. 占补平衡补充耕地按等级折算研究——以南方丘陵山区为例[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 360—362.
Zhou Jiasong, Zhong Peilin, Zhang Hong. Research on quantity-quality convert of supplementary cultivated land in requisition-compensation balance: Taking southern hillside area as an example[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11): 360—362. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李蔓. 基于 GIS 技术的区域耕地等级价值及其折算系数研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
Li Man. Studies on the Grade Value and Conversion Coefficient of Regional Farmland by GIS[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张凤荣, 赵华甫, 姜广辉. 都市何妨驻田园——基本农田保护与城市空间规划的一点设想[J]. 中国土地, 2005(6): 13—14.
Zhang Fengrong, Zhao Huafu, Jiang Guanghui. Why not to construct the city surrounded with farm: A tentative plan about the basic farmland protection and urban spatial planning[J]. China Land, 2005(6): 13—14. (in Chinese with English abstract)
- [26] 胡廷兰, 杨志峰. 农用土地整理的生态效益评价方法[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 275—280.
Hu Tinglan, Yang Zhifeng. Method for ecological benefit assessment of rural land consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(5): 275—280. (in Chinese with English abstract)
- [27] 邓胜华, 梅昀, 胡伟艳. 于模糊模型识别的石碑坪镇土地整理社会生态效益评价[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 72—75.
Deng Shenghua, Mei Yun, Hu Weiyan. Evaluation on social and ecological benefits of land consolidation in Shibeiping town based on fuzzy model recognition[J]. China Land Science, 2009, 3(3): 72—75. (in Chinese with English abstract)
- [28] 冯文斌. 于生态环境视角的土地整治规划及其规划环评研究[D]. 京: 南京农业大学, 2013.
Feng Wenbin. Research on Land Remediation Planning and Environment Impact Assessment based on the Perspective of Ecological Environment[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [29] 于娜. 土地开发整理生态效益评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
Yu Na. A Study on Ecological Evaluation of Land Rearrangement[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [30] 王瑗玲, 刘文鹏, 纪广韦, 等. 山东低山丘陵土地整治区耕地生态价值评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊 1): 244—250.
Wang Ailing, Liu Wenpeng, Ji Guangwei, et al. Evaluation on ecological value of arable land in hilly land consolidation region of Shandong province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(Supp.1): 244—250. (in Chinese with English abstract)
- [31] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253—260.
- [32] 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.
Xie Gaodi, Lu Cunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan plateau[J]. Journal of Natural Resource, 2003, 18(2): 189—196. (in Chinese with English abstract)

Calculation method of cultivated land consolidation ecological potential in China

Tang Xiumei, Pan Yuchun^{*}, Hao Xingyao, Liu Yu

(1. *Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China*; 2. *National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China*; 3. *Key Laboratory of Agri-informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China*; 4. *Beijing Engineering Research Center of Agricultural Internet of Things, Beijing 100097, China*)

Abstract: Cultivated land consolidation (CLC) is the key component of agricultural land consolidation and the potential of CLC has great significance for the planning of land consolidation and major projects. Based on the evaluation of quantitative and qualitative potential of CLC, in this study, we explored the ecological potential of CLC in China at county scale using the ecosystem services value (ESV) to characterize the ecological potential. First, the national basic average ESV of cultivated land was determined by the existing research. Then, the reference ESV of each county in China was calculated after the spatial correction and time scale correction. Combined with the original area of cultivated land, the total ESV of each county in China was calculated. Second, the qualitative potential of CLC was calculated by pre-evaluation of farmland classification, and then the ESV of cultivated land after CLC was obtained by combining the farmland classification, production capacity and ESV. The total ecological potential included the added ESV of original cultivated land after CLC and the ESV of added cultivated land. The added ESV of original cultivated land was equal to the product of the basic ESV after CLC and the area of original cultivated land. The ESV of added cultivated land was equal to the product of the basic ESV before CLC and the area of new cultivated land. Finally, the ecological potential of each county was calculated with the ESV before and after CLC. Based on the result on county-scale, we got the total ecological potential of CLC on provincial-scale and, national scale. The results proved that there were considerable and concentrated potential capacities of the CLC in China. The total ecological potential was 6.14×10^{11} Yuan. The counties with high ecological potential were mainly distributed in Heilongjiang and Jinlin in Northeast China, Henan, Anhui and Hubei in the east, Sichuan in the southwest, Xinjiang in the northwest; and the counties with low ecological potential were distributed in the southwest, Fujian-Canton-Hainan and Qinghai-Tibet area. The provinces with high ecological potential were mainly distributed in the middle east region, and the highest number was Sichuan province with the ecological potential of 8.02×10^{10} Yuan. This had a great relationship with the large area of cultivated land area and high basic average ESV of cultivated land in Sichuan province. In nine major land use areas in China, the region with highest ecological potential was the Hunan-Hubei-Anhui-Jiangxi region, reached to 1.59×10^{11} Yuan. The ecological potential of the Southwest region and the Beijing-Tianjin-Hebei-Shandong region were more than 9.00×10^{10} Yuan, and the Jiangsu-Zhejiang-Shanghai region, the Northeast region and the Shanxi-Henan region achieved to 5.00×10^{10} Yuan. The regions with low ecological potential were the Southwest region and the Fujian-Canton-Hainan region, especially the Qinghai-Tibet region, only 1.16×10^8 Yuan. In this study, we explored the new ideas and methods of ecological potential of cultivated land. The result provided guidance for the planning and ecological construction of CLC, the ecological protection in key areas. The ecological potential of CLC was represented by added characterization of ESV in this study. Owing to the limitation of data availability, the calculation of ecological potential in this study neglected the ESV reduction caused by the adjustment of other land use types. The future study should focus on the calculation of overall value of ecological potential on the CLC project regions with the consideration of ecological environment, social effect, and human development.

Key words: land use; consolidation; ecology; calculation; cultivated land; potential