

引用格式: 费罗成, 吴次芳, 程久苗. 农村土地整治的碳效应及其政策响应[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2073-2082. [Fei L C, Wu C F, Cheng J M. Carbon effect of rural land consolidation and its policy response[J]. *Resources Science*, 2017, 39(11): 2073-2082.]

DOI: 10.18402/resci.2017.11.06

# 农村土地整治的碳效应及其政策响应

费罗成<sup>1</sup>, 吴次芳<sup>2</sup>, 程久苗<sup>1</sup>

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241003; 2. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310029)

**摘要:** 在中国加强生态文明建设和“固碳减排”目标的新形势下, 对大规模农村土地整治产生的生态环境影响进行分析显得尤为重要, 其造成的碳效应也逐渐受到重视。根据农村土地整治的实施流程逻辑, 本文分别探讨了项目造成的土地利用结构碳效应、工程措施碳效应、农田管理碳效应, 并据此提出项目立项阶段、施工阶段和管护阶段的政策响应, 以推动农村土地整治向更高阶段发展。研究表明: ①农村土地整治的碳效应具有复杂性、多样性、动态性, 并不是简单的项目区碳库储量增加或减少的关系, 需要综合考虑项目区土地利用变化、工程施工量和施工类型、后期农田管理措施等; ②项目的立项阶段、施工阶段和后期管护阶段需要制定“项目区碳库增加最多或损失最少”的导引性目标, 以实现农村土地整治项目的固碳作用; ③碳效应的管理措施应该注重地区和群众的内在需求层次, 综合考虑地区的社会经济发展水平、人民群众意愿等多种因素, 逐步有序推广引导, 防止农村土地整治由“经济至上主义”走向“生态至上主义”。

**关键词:** 农村土地; 土地整治; 碳效应; 政策响应; 碳库

DOI: 10.18402/resci.2017.11.06

## 1 引言

近年来, 国家加大土地整治投资力度, 年投资额约1000亿元, 大规模推进土地整治<sup>[1]</sup>。根据《全国土地整治规划(2016—2020年)》, “十三五”期间, 全国规划通过土地整治补充耕地133.33万hm<sup>2</sup>(2000万亩), 通过农用地整理改造中低等耕地1333.33万hm<sup>2</sup>(2亿亩)左右, 整理农村建设用地40万hm<sup>2</sup>(600万亩)<sup>[2]</sup>。可以说, 中国农村土地整治正以其前所未有的项目规模、推广范围和投资力度成为土地资源管理领域的重要议题和社会关注的焦点, 并持续深入影响农村地区经济、社会、文化的发展<sup>[3]</sup>。在国家推进生态文明建设的新形势下, 如此大规模的农村土地整治活动对农村生态环境的影响将显得尤为重要。作为典型的土地利用活动, 农村土地整治项目联系着人类系统和自然系统, 对自然界的碳循环过程有直接影响。然而, 现阶段土地整治过程中工

具理性思想仍然严重<sup>[1]</sup>, 虽然逐渐认识到土地整治对生态环境造成的一系列影响, 但受社会经济发展阶段、科学技术水平等局限, 土地整治项目规划设计和施工时大多仍停留在水土流失、环境污染、景观格局等方面, 项目实施的碳效应尚未得到实践重视。

目前学术界对于农村土地整治的碳效应研究还不够深入, 仅有少数学者进行了有益探索<sup>[4]</sup>, 关注到土地整治造成的土壤碳含量变化<sup>[5]</sup>及其生态补偿政策设计<sup>[6]</sup>等内容, 但现有研究更多地是对土地整治项目区碳库的“截面”实测或估算, 揭示了“碳效应存在”的现象, 而碳效应的产生机理研究有待深入, 更是缺乏农村土地整治的全过程碳效应分析。由于农村土地整治复合了项目区自然条件和社会条件、土地利用结构变化、工程施工扰动等多种因素, 其对项目区造成的碳效应十分复杂, 有必要加

收稿日期: 2016-08-19; 修订日期: 2017-08-20

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKY2015D73)。

作者简介: 费罗成, 男, 安徽当涂人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地利用与土地整治。E-mail: flcbbm@126.com

通讯作者: 吴次芳, E-mail: wucifang@zju.edu.cn

强研究。因此,本文试图从农村土地整治的实施流程逻辑出发,揭示农村土地整治对项目区造成的碳效应,并据此提出政策响应,以推动农村土地整治向更高阶段发展。

## 2 农村土地整治碳效应的逻辑框架

工业革命以来,化石燃料燃烧和土地利用这两种人类活动严重干扰了全球碳循环,成为大气中温室气体浓度增加、全球气候变化的主要原因。据学者估计,土地利用导致了30%的温室气体排放<sup>[7]</sup>。而因为土地利用、土地利用变化,1870年之前造成全球碳库损失估计在45~114PgC(平均79.5 PgC),1870-2014年造成碳库损失则在108~188PgC(平均148PgC)<sup>[8]</sup>。

农村土地整治是典型的土地利用活动,也会影响项目区的碳循环和碳库储量,产生极为明显的碳效应。从农村土地整治项目的实施流程逻辑看,项目区依次经历立项阶段、施工阶段和管护阶段,其对项目区的碳效应也分布于三个阶段之中(图1)。简而言之,农村土地整治产生的碳效应主要有三类:①项目区预期和实际土地利用结构变化导致的碳库转变而形成的碳效应(如林地碳库转变为耕地碳库);②项目施工过程中的工程扰动和工程自身碳排放而造成的碳效应(如土地平整对土壤有机碳库影响、工程机械运行的能源消耗);③项目管护阶段的农田管理方式造成的长期碳效应(如耕作方式的改变对土壤有机碳库的影响)。

## 3 农村土地整治的土地利用结构碳效应

农村土地整治不仅是新增耕地的过程,更是土地利用结构优化的过程。土地利用结构变化影响着陆地与大气之间碳迁移变化,土地利用由一种类型转变为另一种类型往往伴随着大量的碳交换<sup>[9]</sup>。在农村土地整治过程中,项目区大部分土地利用类型转变为耕地后,往往将产生明显的碳效应。江苏省案例表明,耕地碳密度为9.84kg/m<sup>2</sup>,而林地、草地碳密度分别为14.67kg/m<sup>2</sup>、10.18kg/m<sup>2</sup>,其转换为耕地的过程是项目区碳库损失过程;建设用地、水域碳密度分别为7.31kg/m<sup>2</sup>、8.17kg/m<sup>2</sup>,其转换为耕地的过程是项目碳库增加过程<sup>[10,11]</sup>。巴基斯坦兴都库什地区的研究结果也类似,从林地、草地转变为耕地意味着会造成56%和37%的碳库损失<sup>[12]</sup>。当然,各种土地利用类型之间转换的碳效应在各区域之间也表现出较大的差异,甚至某些转换在一些区域表现为碳源,而在另一些区域则表现为碳汇<sup>[13]</sup>。

深究之,农村土地整治的土地利用结构碳效应是项目区碳库类型改变的缘故,实质是整治前后项目区分碳库的变化。从物质循环和能量流动视角看,项目区光合作用固定的CO<sub>2</sub>被分配到4个分碳库:植被碳库、枯落物碳库、土壤有机碳库和动物碳库。其中,动物碳库的碳储量仅占很少一部分,全球不足0.1%<sup>[14]</sup>,而且动物具有可迁移性,不易观测对比。为此,本文重点比较项目区整治前后的植被碳库、枯落物碳库、土壤有机碳库的变化,忽略动物

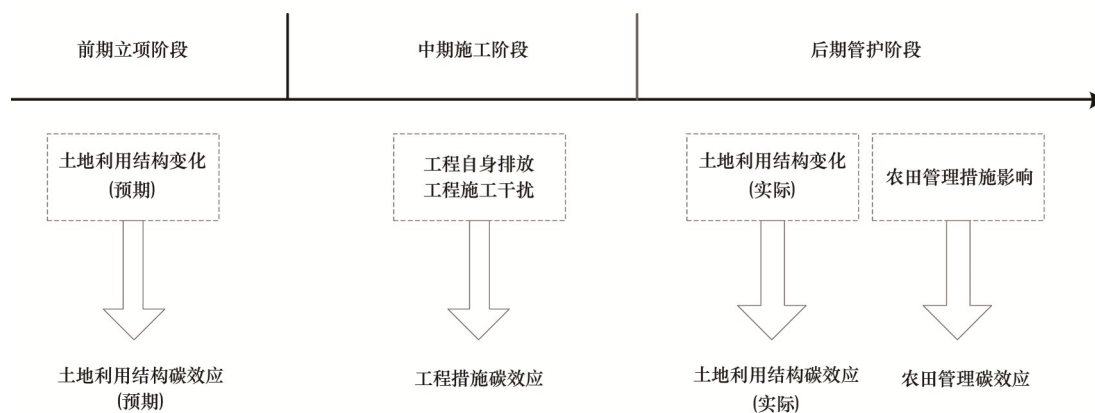


图1 农村土地整治碳效应的逻辑框架

Figure 1 The logical framework of the carbon effect of rural land consolidation

2017年11月

碳库。

### 3.1 植被碳库变化

植物的光合作用是整个生态系统的碳输入,也是项目区各类碳库的源头。在农村居民点整理、土地复垦等土地整治过程中,项目区原先没有植被碳库或仅少量植被碳库,转变为从事农作物种植的耕地之后,其植被碳库明显增加;在农用地整治过程中,项目区增加了可耕种面积,农田生产条件也明显改善,农作物的生物量明显增加,其植被碳库是增加的;在土地开发过程中,项目区由原先的森林植被、草原植被转变为农作物植被,光合作用效果减弱,其植被碳库是减少的。

### 3.2 枯落物碳库变化

枯落物碳库作为植被自然凋落后形成的碳库,是沟通植被碳库和土壤有机碳库的关键纽带:来源于植被碳库,但又是土壤有机碳库的碳输入源。在农村居民点整理、土地复垦等土地整治过程中,项目区原先没有枯落物碳库,转变为耕地之后存在少量枯落物碳库,呈现增加态势;在农用地整治过程中,项目区地表覆被增加,枯落物碳库也相应少量增加;在土地开发过程中,项目区地表覆被减少,枯落物碳库也明显减少。

### 3.3 土壤有机碳库变化

土壤有机碳库主要取决于土壤中有有机碳的输入与流失之间的平衡。在农村居民点整理、土地复垦、农用地整理等土地整治过程中,项目区植被碳库、枯落物碳库均增加,导致土壤中碳的输入增加,项目区土壤有机碳库明显增加;在土地开发过程中,项目区植被碳库、枯落物碳库均减少,导致土壤中碳的输入减少,项目区土壤有机碳库明显减少。

综上所述,由于项目区土地利用结构变化,农村居民点整理、土地复垦、农用地整理等土地整治活动将对项目区碳库起正向积极作用,荒草地、林地等土地开发活动将对项目区碳库起负向消极作

用(表1)。值得注意的是,在农村土地整治项目的立项阶段,虽然已经进行了初步规划设计、可行性研究等,但此时项目区土地利用结构是预期的,其产生的碳效应也是预期的。在整治项目实际施工时,因多方因素可能会适当修改土地利用结构。因此,只有当施工结束后,项目区才可对比实际产生的土地利用结构变化,其产生的碳效应也才可准确估算。

## 4 农村土地整治的工程措施碳效应

农村土地整治目标的实现,需要大量的工程措施保障。根据项目实施流程,农村土地整治的工程措施一般可以分为土地平整工程、农田水利工程、田间道路工程、防护林工程和地力培肥工程等。上述工程措施对项目区碳库的影响可以分为工程自身排放和工程施工干扰两个方面:①工程自身排放主要是因为大量物料投入和能源消耗,从而成为区域温室气体排放的重要来源;②项目施工干扰主要是整个工程建设过程对项目区植被碳库、枯落物碳库、土壤有机碳库等产生的直接和间接影响。

### 4.1 土地平整工程

土地平整工程是整治项目最先开始的施工阶段,是其他后续工程的基础。土地平整工程是农村土地整治主要的施工碳排放源,占到施工总碳排放的64.53%,主要来自于推土机剥离表土和农地平整(合计93.43%)<sup>[15]</sup>。不当的土方平整工程将改变土壤分层结构、团粒结构、温度、水分等自然性状,增加土壤微生物活性,加快土壤有机质分解,最终降低项目区的土壤有机碳库。研究表明,整治后的土壤有机质含量总体呈下降趋势,降幅为17.5%~55.8%<sup>[16]</sup>。此外,土地平整工程进行的地表清理直接将项目区原有植被碳库、枯落物碳库清理出项目区边界,是项目区碳库直接损失的过程。

### 4.2 农田水利工程

灌溉和排水等农田水利工程是项目区新增耕

表1 农村土地整治的土地利用结构碳效应

Table 1 The carbon effect of land use structure of rural land consolidation

整治类型	土地利用结构变化	作用效果	碳效应
农村居民点整理、土地复垦	建设用地整治为耕地	正向积极	植被碳库、枯落物碳库和土壤有机碳库增加
土地开发	荒草地、林地等整治为耕地	负向消极	植被碳库、枯落物碳库和土壤有机碳库减少
农用地整理	田坎、废弃沟渠等整治为耕地	正向积极	植被碳库、枯落物碳库和土壤有机碳库增加



地的必备工程。但是,不当的农田水利工程不仅会危及项目区青蛙、蛇等生物生存<sup>[17]</sup>,还对项目区土壤有机碳库产生明显影响。在沟渠、涵管、排水管、水闸等农田水利工程施工中,项目区土壤需要进行翻动、搬移,其理化性状被明显改变,可能促使土壤有机碳库降低。此外,农田水利工程自身碳排放也不可忽视,约占到施工总碳排放的5.23%,主要来源于输电线路工程(41.14%)、灌排沟渠建设(30.21%)、灌排机井建设(28.43%)<sup>[15]</sup>。

当然,长时间尺度上看,合理布局的农田水利工程将保证项目区后续农业生产的用水、排水需求,明显增加农作物产量,在一定程度上会增加植被碳库;同时,合理的农田水利工程对项目区土壤水分的保持将起着关键作用,会影响项目区长时间尺度的土壤有机碳库储量。

4.3 田间道路工程

田间道路工程主要指新增耕地的生产路、田间道等,是沟通项目区各地块的重要纽带。从施工工艺上看,田间道路工程自身碳排放十分明显,占施工总碳排放的30.24%,主要来源于拆除旧路面(46.31%)、生产路建设(34.06%)、田间道建设(15.66%)<sup>[15]</sup>。较大工程量的田间道路施工还会干扰项目区土壤有机碳库:施工会压实土壤,对土壤理化性状、土壤结构等影响明显,可能造成项目区土壤有机碳库减少;道路工程自身一般都是砼构件或者砂石路面,对项目区物质流、能量流有着明显的阻断干扰,在改变项目区碳循环过程的同时也减少了土壤有机碳库。此外,田间道路工程占地面积较大,减少了项目区可耕种面积,也是项目区植被碳库损失的一个方面。

4.4 防护林工程

不同于土地平整工程、农田水利工程和田间道路工程,防护林工程的自身排放是有限的。虽然防护林工程并不是完整的森林生态系统,但对于项目区碳库仍有着明显的固碳作用,且具有长期性。这种提升不仅表现为防护林增加了项目区植被碳库,还表现为防护林通过枯落层等增加了项目区土壤碳输入,进而增加了项目区的土壤有机碳库。据测算,农田防护林中常用的速生杨单年固碳量平均为20万kg/a以上,单位面积固碳总量达1159.57kg/hm<sup>2</sup>,固碳能力不容忽视<sup>[18]</sup>。

4.5 地力培肥工程

为了保障新增耕地质量,提升耕地的生产力,有些农村土地整治项目还有地力培肥工程。一般来说,当前地力培肥工程还是以分层施肥为主,以有机粗肥为土壤基肥,以精肥混合无机肥作为土壤表层肥料,使土壤中肥料分布均匀,土肥相融,进而提升土壤质量<sup>[19]</sup>。同时,在土地平整阶段将草本植物等地表植被翻耕到土壤中,对项目区土壤施以绿肥,也可有显著的地力培肥效果<sup>[20]</sup>。总的来说,根据测土配方开展的地力培肥工程不仅直接增加了土壤有机碳库,还促进了后期农作物生长,间接提升了项目区植被碳库。

综上所述,农村土地整治的工程措施对项目区碳库有着明显影响。不同于碳库类型转变造成的碳效应,工程措施的影响更为复杂多变(表2)。值得注意的是,农村土地整治项目施工过程中,挖掘机、推土机等大型机械的广泛使用加剧了对项目区土壤有机碳库的干扰,同时也增加了额外的碳排放。

表2 农村土地整治的工程措施碳效应

Table 2 The carbon effect of engineering measures of rural land consolidation

碳效应来源	影响因素	作用效果	碳效应
工程自身影响	物料投入和能源消耗	负向消极	物料的生产和工程消耗的石油能源将直接造成碳排放
项目施工干扰	土地平整工程	负向消极	地表植被碳库、枯落物碳库直接损失,土壤有机碳库也明显流失
	农田水利工程	短期负向消极 长期正向积极	短期尺度上工程施工将导致土壤有机碳库损失,但长期尺度上农田水利将增加农田产量,进而增加植被碳库和土壤有机碳库
	田间道路工程	负向消极	土壤有机碳库减少,植被碳库减少
	防护林工程	正向积极	增加植被碳库,长期尺度上增加枯落物碳库和土壤有机碳库
	地力培肥工程	正向积极	增加土壤有机碳库,长期尺度上增加植被碳库

2017年11月

## 5 农村土地整治的农田管理碳效应

农村土地整治后的土地利用类型呈现多元化,但在耕地保护的政策目标导向下,仍以新增耕地为主要类型。土地整治后,新增耕地的理化性状产生较为明显变化:土层厚度较整理前增加 14.29cm,土壤体质量较整理前减少  $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ <sup>[21]</sup>;土壤中有铁、锰、铜、锌、硼的含量均下降,其中有效铁较整理前减少 72.7%<sup>[16]</sup>;土壤 pH 值显著提高了 14.6%;土壤有机碳含量显著下降了 65.4%<sup>[22]</sup>。新增耕地的碳库储量变化也不例外。

鉴于项目区新增耕地碳库主要由植被碳库和土壤有机碳库组成,而其中土壤有机碳库占绝对比例,本文主要讨论项目区新增耕地土壤有机碳库变化。农田土壤有机碳库的动态变化取决于土壤有机质(作物残茬)输入和分解之间的平衡<sup>[23]</sup>。一般认为,种植制度、耕作措施、灌溉类型、施肥方式等均会对土壤有机质输入或者有机质分解产生影响,从而成为影响新增耕地土壤有机碳库的重要因素。

### 5.1 种植制度

提高复种指数可以增加农作物产量、作物残茬量,从而增加项目区植被碳库和枯落物碳库,提升土壤有机碳输入。虽然该种植行为同时也增加了土壤微生物活性,加快了土壤有机质分解速率,但最终由于输入大于分解,总体上土壤有机碳库仍将有不同程度的增加<sup>[23]</sup>。贵州的研究案例表明,低复种旱作区(一年一季)、高复种旱作区(一年两季)和高复种复合农作区(一年三季)的土壤有机质平均含量分别是为  $41.87\text{g}/\text{kg}$ 、 $56.58\text{g}/\text{kg}$ 、 $77.99\text{g}/\text{kg}$ <sup>[24]</sup>。

此外,不同作物的轮作将改善土壤结构,其土壤有机碳库储量明显高于单作。在轮作过程中,增加残茬比例高的农作物,可以有效增加土壤有机碳库输入,进而提高土壤有机碳库;轮作豆科作物(生物固氮作用)将会增加后茬作物生长,也会对土壤有机碳汇集产生作用;轮作多年生作物则因为减少了耕作干扰,降低了土壤呼吸,从而减少了土壤有机碳的分解,增加了新增耕地土壤有机碳库。

### 5.2 耕作措施

耕作措施通过影响土壤理化和生物学特性来影响土壤团聚体、土壤呼吸、土壤矿化等因素,从而影响土壤有机碳库。一般认为,正是加快了土壤有

机碳库的分解,耕作过程实际就是减少土壤有机碳库的过程。据估计,1850-1998年期间,由于耕作原因,造成全球土壤有机碳库损失了  $78\text{PgC}$ ,占目前全球土壤有机碳储量(0~1m)的 5%<sup>[8]</sup>。传统耕作、翻耕将会破坏土壤大团聚体,增加土壤呼吸作用,加快土壤有机质的分解,对土壤有机碳库起负向作用;免耕、少耕过程使土壤不稳定碳输入增加,减少了风雨对土壤的侵蚀作用,有利于大团聚体的形成,对土壤有机碳库起正向作用。

### 5.3 灌溉类型

灌溉是增加农田生产力的有效方式,也会增加土壤有机碳库,尤其是在受水分胁迫的干旱、半干旱地区。据测算,水田有机碳质量分数( $17.20\text{g}/\text{kg}$ )显著高于旱地有机碳质量分数( $14.78\text{g}/\text{kg}$ ),整治后水田含碳量几乎无差别、旱地有机碳含量大幅度提升<sup>[5]</sup>。此外,沟灌、滴灌、渗灌等不同灌溉模式对农田土壤有机碳库的影响也各不相同。一般认为,由于土壤水分含量和分布差异,沟灌最有利于土壤有机碳库汇集,滴灌则会加速土壤有机质矿化,土壤有机碳库最少,渗灌则处于两者之间。

也有学者认为灌溉过程对土壤有机碳库无影响,甚至降低了土壤有机碳库<sup>[25]</sup>。究其原因,可能是不同的环境因素造成的。在湿润地区,土壤水分充足,灌溉对农作物生长的促进作用有限,却增加了土壤微生物活性,造成土壤有机碳库是减少状态。总之,“万事有度,过犹不及”,只有适宜于农作物生长和土壤发育的水分才会明显增加土壤有机碳库。

### 5.4 施肥方式

当前,中国农村土地整治后的新增耕地质量不高,一般都采取施化肥和有机肥的方式保障农作物产量。施肥对项目区农田土壤有机碳库的影响机理主要表现为:①施肥可以提高农作物生物产量,增加土壤中残茬和根的输入;②施肥影响土壤微生物的数量和活性,进而影响土壤有机质分解<sup>[23]</sup>。施肥可以有效增加农作物产量,提高作物残茬向土壤有机碳库的转化率,进而增加土壤有机碳库的输入;施用化肥(N、P)将增加土壤酸性,减少土壤微生物数量和活性,减慢有机质分解速度。一般来说,不施肥的土壤有机质将下降,单施化肥基本维持土壤有机质水平,而有机肥的施用将明显增加土壤有机碳

库<sup>[26,27]</sup>。当然,施肥也会额外造成大量的碳排放,尤其是化肥的生产、运输过程。

综上所述,新增耕地的农田管理措施将直接或间接地影响项目区土壤有机碳库,种植制度、耕作措施、灌溉类型、施肥方式等措施尤为明显(表3)。值得注意的是,由于新增耕地质量不高的现实困境,短期时间尺度上土地整治项目区农田管理措施更侧重于施肥培育、少耕等土壤质量提升措施,但长期时间尺度上仍会逐渐过渡到传统大田管理措施。土地整治对新增耕地生态系统的影响自然恢复期限为29a<sup>[28]</sup>,对土壤理化性状的逐渐恢复需3~5a<sup>[21]</sup>,因此其对土壤有机碳库的影响最终也将随着时间推移逐渐恢复为传统大田管理措施产生的影响。

6 结论与讨论

6.1 农村土地整治的碳效应事实

根据农村土地整治的实施流程逻辑,整个项目的碳效应主要分为前期土地利用结构碳效应、中期工程措施碳效应和后期农田管理碳效应(表4)。在前期,项目区由高碳密度的林地、草地转换为低碳密度的耕地过程是项目区一次性碳库损失过程;项目区由低碳密度的建设用地、水域转换为高碳密度的耕地过程是项目区一次性碳库增加过程。在中期,农村土地整治工程施工会大量使用柴油、水泥等能源、材料,是项目区一次性的碳排放过程;而五大工程施工对项目区植被碳库、枯落物碳库和土壤有机碳库的扰动更多地是长期的、复杂的、动态的影响,与后期的农田管理措施共同作用。在后期,

表3 农田管理措施对土壤有机碳库的影响

Table 3 Effect of farmland management measures on soil organic carbon pool

影响因素	具体管理措施	作用效果
土壤有机质(对土壤有机碳库起正向作用)	提高复种指数	提高作物产量,增加作物残茬
	适当免耕少耕	不稳定碳输入增加,减少风雨对土壤有机质的侵蚀
	轮作残茬比例高的作物	增加作物残茬,提升土壤有机质输入
	轮作豆科作物	C/N比低,促进后茬作物生长
	施化肥	稳定农作物产量,稳定土壤有机质
	施有机肥和无机肥混合	提高农作物产量,增加作物残茬
土壤团聚体(对土壤有机碳库起正向作用)	传统耕作	破坏大团聚体,减少土壤有机碳库
	翻耕	破坏大团聚体,减少土壤有机碳库
	免耕少耕	有利于大团聚体产生,增加土壤有机碳库
	轮作多年生作物	减少耕作干扰,增加土壤有机碳库
土壤呼吸(对土壤有机碳库起负向作用)	传统耕作	增加微生物活性,增加土壤呼吸
	休耕	促进微生物活动,增加土壤呼吸
	提高复种指数	增加微生物分解速率,增加土壤呼吸
	滴灌	土壤水分、温度适宜,增加土壤呼吸
	适当免耕少耕	增加植物可利用水,降低土壤呼吸
	轮作多年生作物	减少微生物活性,降低土壤呼吸
	施化肥(N、P)	增加土壤酸性,降低土壤呼吸
	渗灌	地表过于干燥,降低土壤呼吸
	沟灌	土壤水分过分饱和,降低土壤呼吸
	传统耕作	提高土壤碳、氮矿化速率
土壤矿化(对土壤有机碳库起负向作用)	翻耕	加快土壤矿化速率
	适当免耕少耕	增加微生物种类,减少矿化损失
	轮作多年生作物	减少耕作干扰,降低矿化速率
	沟灌	矿化速率较低
	滴灌	矿化速率最高
	渗灌	矿化速率最低



2017年11月

表4 农村土地整治的碳效应一览表

Table 4 The carbon effect of rural land consolidation

整治环节	影响因素	类型	作用效果	周期
前期立项阶段	土地利用结构变化	高碳密度转为低碳密度	碳源	一次性
		低碳密度转为高碳密度	碳汇	一次性
中期施工阶段	土地整治工程措施	工程自身排放	碳源	一次性
		工程施工扰动	土地平整、农田水利、田间道路为碳源;防护林、地力培肥为碳汇	一次性/年度
后期管护阶段	农田管理措施	种植制度	提高复种指数、轮作豆科或多年生农作物为碳汇	年度
		耕作措施	传统耕作、翻耕为碳源;免耕、少耕为碳汇	年度
		灌溉类型	沟灌为碳汇,其他灌溉作用不明	年度
		施肥方式	施有机肥为碳汇	年度

项目区新增耕地的种植制度、耕作措施、灌溉类型、施肥方式等农田管理措施通过影响土壤中有有机质输入和分解而产生相应的碳效应。

6.2 农村土地整治的政策响应

在中国生态文明建设和全球“固碳减排”的背景下,农村土地整治的碳效应已经不可忽视,并应据此对现行农村土地整治的管理政策体系进行调整。具体来说,可以按照前述农村土地整治项目的碳效应,分别从项目的立项阶段、施工阶段、管护阶段进行政策响应。

(1)项目立项阶段政策响应。在项目立项阶段,调整农村土地整治项目的立项政策和标准,重视从碳库变化视角开展项目区筛选、项目可行性研究等工作,充分考虑项目区开发前后的碳库储量对比:项目区筛选过程中,应侧重于项目实施后碳库损失最小或增加最大的项目区;项目可行性研究过程中,应引入碳效应核算分析,优先考虑提出碳减缓、碳补偿的土地整治项目。

(2)项目施工阶段政策响应。在项目施工阶段,调整农村土地整治施工管控的政策目标导向,一方面要尽量减少不必要的工程量,选取生态工程材料,减少工程自身碳排放;另一方面重新审视现有项目施工管理要求、规划编制规程和设计规范等标准,并逐步修正工程施工规范,以实现工程施工对项目区扰动最少的目标。

(3)项目管护阶段政策响应。在项目管护阶段,调整农村土地整治的验收和考核政策体系,侧重于项目区新增耕地的碳库稳定和增加。未来应加强农村土地整治的后期管护力度,建立科学有效的新增耕地保护激励措施,因地制宜地提出种植制

度、耕作措施、灌溉类型、施肥方式等农田管理措施,以后期管护政策来提高新增耕地的碳库储量。

6.3 讨论

回顾发展历史,由于社会、经济和生态等理念的变化,农村土地整治的目标也处于动态化、多元化发展之中。在生态文明建设的新形势下,农村土地整治的碳效应也逐渐重要,理应成为农村土地整治的目标体系之一。考虑到农村土地整治对生物多样性、水土保持、固碳效应等生态系统服务产生的负面效应<sup>[29]</sup>,建构生态型农村土地整治尤为必要。据梁颖等测算,传统型土地整治实施后项目区土壤有机碳由8.38g/kg下降到7.91g/kg,但采用了表土剥离回填、客土培养及改良等措施的生态型土地整治实施后土壤有机碳却提高了28.41%<sup>[30]</sup>,可以有效增加项目区固碳效果。

此外,在国际碳汇贸易市场蓬勃发展的背景下,鉴于农村土地整治的碳效应事实和现实发展困境,可以在新增耕地指标交易市场之外建立农村土地整治的碳汇指标交易市场,并与农村承包经营权流转等其他产权交易市场融合关联。通过市场配置和政府引导,吸引大量社会资金融入农村土地整治活动,最终将不断优化农村土地利用结构和布局,有效激发乡村活力,推动人地协调的城乡融合发展。

然而,在农村土地整治的战略层面,也要警惕从“经济至上主义”走向“生态至上主义”。根据马斯洛需求层次理论(Maslow's hierarchy of needs)和生态心理学思想,人的需求是从初级的生理性需求向高级的社会性需求发展,它们的递进关系在一定程度上符合“金字塔”模型。如,当前部分地区农民

对土地整治工程建设中低碳设计、生态技术应用认识还不足,偏爱水泥硬质路面、预制板衬砌的渠道,对低碳型田间道路和材料有排斥心理<sup>[31]</sup>。为此,在倡导考虑农村土地整治的碳效应及其政策设计时,要有序推进,充分尊重农民需求层次和个人意愿,不能跨越阶段强制推动,严防出现“生态至上”的另一极端。

## 参考文献 (References):

- [1] 吴次芳, 费罗成, 叶艳妹. 土地整治发展的理论视野、理性范式 and 战略路径[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1718-1722. [Wu C F, Fei L C, Ye Y M. The theoretical perspective, rational paradigm and strategic solution of land consolidation[J]. *Economic Geography*, 2011, 31(10): 1718-1722.]
- [2] 中国国土资源部, 中国国家发展和改革委员会. 全国土地整治规划(2016-2020年)[EB/OL]. (2017-01-10) [2017-08-28]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201702/t20170215\\_1440315.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201702/t20170215_1440315.htm). [The Ministry of Land and Resources of PRC, the National Development and Reform Commission. The National Land Consolidation Planning (2016-2020)[EB/OL]. (2017-01-10) [2017-08-28]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201702/t20170215\\_1440315.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201702/t20170215_1440315.htm).]
- [3] 罗文斌, 吴次芳. 农村土地整理项目绩效评价及影响因素定量分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 273-281. [Luo W B, Wu C F. Quantitative analysis of performance evaluation and influencing factors of rural land consolidation projects[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(22): 273-281.]
- [4] 张庶, 金晓斌, 杨绪红, 等. 农用地整治项目的碳效应分析与核算研究[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 93-101. [Zhang S, Jin X B, Yang X H, et al. Determining and estimating impacts of farmland consolidation projects on the regional carbon effects[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1): 93-101.]
- [5] 谭梦, 黄贤金, 钟太洋, 等. 土地整理对农田土壤碳含量的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 324-329. [Tan M, Huang X J, Zhong T Y, et al. Impacts of land consolidation on soil organic carbon content[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(8): 324-329.]
- [6] 钟学斌, 喻光明, 何国松, 等. 土地整理过程中碳量损失与生态补偿优化设计[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 303-308. [Zhong X B, Yu G M, He G S, et al. Carbon storage loss during land readjustment and optimization of ecological compensation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(3): 303-308.]
- [7] Boateng I, Dalyot S, Friesecke F, et al. The Surveyor's Role in Monitoring, Mitigating, and Adapting to Climate Change[R]. Copenhagen: The International Federation of Surveyors (FIG), 2014.
- [8] Sá J C D M, Lal R, Cerri C C, et al. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security[J]. *Environment International*, 2016, 98: 102-112.
- [9] Houghton R A, Hackler J L, Lawrence K T. The US carbon budget: contributions from land-use change[J]. *Science*, 1999, 285(5427): 574-578.
- [10] 揣小伟, 黄贤金, 郑泽庆, 等. 江苏省土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响[J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1932-1939. [Chuai X W, Huang X J, Zheng Z Q, et al. Land use change and its influence on carbon storage of terrestrial ecosystems in Jiangsu Province[J]. *Resources Science*, 2011, 33(10): 1932-1939.]
- [11] Chuai X W, Huang X J, Wang W J, et al. Spatial simulation of land use based on terrestrial ecosystem carbon storage in coastal Jiangsu, China[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5667-5667.
- [12] Ahmad A, Nizami S M. Carbon stocks of different land uses in the Kumrat Valley, Hindu Kush Region of Pakistan[J]. *Journal of Forestry Research*, 2015, 26(1): 57-64.
- [13] 张梅, 赖力, 黄贤金, 等. 中国区域土地利用类型转变的碳排放强度研究[J]. 资源科学, 2013, 35(4): 792-799. [Zhang M, Lai L, Huang X J, et al. The carbon emission intensity of land use conversion in different regions of China[J]. *Resources Science*, 2013, 35(4): 792-799.]
- [14] 杨晓菲, 鲁绍伟, 饶良懿, 等. 中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(3): 73-78. [Yang X F, Lu S W, Rao L Y, et al. Advances in the researches of carbon storage of forest ecology and related factors in China[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(3): 73-78.]
- [15] 郭晓辉, 顿耀龙, 薄广涛, 等. 平原区土地整理项目的碳排放效应研究-以河北省巨鹿县土地整理项目为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 241-246. [Guo X H, Dun Y L, Bo G T, et al. Study on effect of land consolidation project on carbon emission in plain area-taking the land consolidation project in Julu County of Hebei Province as an example[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015, 22(3): 241-246.]
- [16] 华颖, 王子芳, 高明, 等. 土地整理对土壤有效态微量元素的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 253-257. [Hua Y, Wang Z F, Gao M, et al. Impact of land consolidation on soil available microelements[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(5): 253-257.]
- [17] 叶艳妹, 吴次芳, 俞婧. 农地整理中灌排沟渠生态化设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 148-153. [Ye Y M, Wu C F, Yu J. Ecological design of irrigation and drainage ditches in agricultural land consolidation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011,



2017年11月

- 27(10):148-153.]
- [18] 姚念深,郭义强,付梅臣. 基于农田整理工程的碳减排估算与分析[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(1): 190-197. [Yao N S, Guo Y Q, Fu M C. Estimation and analysis of carbon emission reduction based on farmland consolidation project[J]. *Acta Agricolae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(1): 190-197.]
- [19] 吴宝祥,吴洪红. 耕地地力培肥与测土配方施肥技术[J]. 现代农业科技, 2009, (21): 235-235. [Wu B X, Wu H H. Farmland fertilizer of soil fertility and soil fertilizer technology[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009, (21): 235-235.]
- [20] 姜新有,周江明. 不同绿肥养分积累特点及地力培肥效果研究[J]. 浙江农业科学, 2012, (1): 45-47. [Jiang X Y, Zhou J M. Study on the effect of soil fertility characteristics and nutrient accumulation of different green manure fertilizer[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2012, (1): 45-47.]
- [21] 王璠玲,赵庚星,王庆芳,等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 311-315. [Wang A L, Zhao G X, Wang Q F, *et al.* Effects of land consolidation on soil physical and chemical characteristics of hilly region[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(9): 311-315.]
- [22] 叶晶,何立平,李东宾,等. 土地整理对土壤微生物群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1265-1270. [Ye J, He L P, Li D B, *et al.* Effect of land consolidation on soil microbial community diversity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4): 1265-1270.]
- [23] 杨景成,韩兴国,黄建辉,等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796. [Yang J C, Han X G, Huang J H, *et al.* The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 787-796.]
- [24] 廖婧琳,苏跃,李航,等. 喀斯特山区不同复种指数条件下的土壤质量变化-以普定县猫洞小流域为例[J]. 中国岩溶, 2009, 28(3): 308-312. [Liao J L, Su Y, Li H, *et al.* Changes of soil quality with different multiple crop index in karst hills-a case study in Maodong Small Basin, Puding County[J]. *Carsologica Sinica*, 2009, 28(3): 308-312.]
- [25] 李发东,赵广帅,李运生,等. 灌溉对农田土壤有机碳影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(11): 1905-1910. [Li F D, Zhao G S, Li Y S, *et al.* Effects of irrigation on soil organic carbon in farmland: a review[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(11): 1905-1910.]
- [26] 王旭东,张一平,吕家珑,等. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 75-81. [Wang X D, Zhang Y P, Lv J L, *et al.* Effect of long term different fertilization on properties of soil organic matter and humic acids [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(2): 75-81.]
- [27] Bauer T, Strauss P, Grims M, *et al.* Long-term agricultural management effects on surface roughness and consolidation of soils[J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, 151: 28-38.
- [28] 郭贝贝,金晓斌,林忆南,等. 基于生态流方法的土地整治项目对农田生态系统的影响研究[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7669-7681. [Guo B B, Jin X B, Lin Y N, *et al.* Determining the effect of the land consolidation project on the cropland ecosystem based on the ecological flow method[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(23): 7669-7681.]
- [29] Zhang Z, Zhao W, Gu X. Changes resulting from a land consolidation project (LCP) and its resource- environment effects: a case study in Tianmen City of Hubei Province, China [J]. *Land Use Policy*, 2014, 40(1): 74-82.
- [30] 梁颖,耿楦,鲍海君. 生态型土地整治工程对土壤固碳能力的影响研究[J]. 上海国土资源, 2016, 37(2): 5-8. [Liang Y, Geng B, Bao H J. A study on the impacts of ecological land reclamation engineering on soil carbon sequestration ability[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2016, 37(2): 5-8.]
- [31] 罗明,郭义强,曹湘潭. 低碳土地整治: 打造生态文明建设新平台-以湖南省长沙县低碳土地整治示范项目为例[J]. 中国土地, 2015, (4): 6-9. [Luo M, Guo Y Q, Cao X T. Low-carbon land consolidation: Building a new platform for ecological civilization construction-a case study of Changsha low-carbon land improvement demonstration project in Hunan Province[J]. *China Land*, 2015, (4): 6-9.]

## Carbon effect of rural land consolidation and its policy response

FEI Luocheng<sup>1</sup>, WU Cifang<sup>2</sup>, CHENG Jiumiao<sup>1</sup>

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China;

2. School of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** In the new era, China is strengthening the construction of ecological civilization to realize the goal of “carbon sequestration and emission reduction”. It is important to promote ecological environmental protection in large-scale rural land consolidation, and take the carbon effect as a great concern. According to the framework of the implementation of rural land consolidation, we, from a theoretical perspective, analyzed the carbon effect in terms of land use structure, engineering measures, and cropland management caused by the project. Subsequently, the comparative analysis method was used to discuss the causes of carbon effect of rural land consolidation. Finally, according to the fact that the carbon effect exists in the rural land regulation, we propose relevant policies for the project of rural land consolidation in initiation stage, construction stage and maintenance stage. According to the research, we look forward to promote rural land consolidation to a higher stage. Research shows that: (1) the carbon effects of rural land consolidation is featured by complexity, diversity and dynamics, instead of by a linear relationship of increasing or decreasing carbon storage. We need to consider land use change, construction quantity and construction type, final farmland management measures, etc. in the project-covered area; (2) the priority policy needs to be formulated to realize the leading goal of “the maximum increase or minimum decrease in carbon pools” in initiation stage, construction stage and final management and maintenance stage. Then the carbon sequestration function of rural land consolidation project may be enhanced; (3) management measures related to carbon effects should focus on internal needs of the local governments and the grassroots, as well as factors such as socio-economic status of a region. Accordingly, the policy guidance of carbon effect in rural land consolidation should be promoted gradually and orderly, to avoid the trend from “economic supremacy” to “ecological fundamentalism”.

**Key words:** rural land; land consolidation; carbon effect; policy response; carbon pool