

雷娜, 穆兴民. 黄土丘陵沟壑区治沟造地工程碳效应分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(2): 392–398.

LEI Na, MU Xing-min. Analysis on effect of gully control and land reclamation projects on carbon emission in hilly and gully regions of Loess Plateau[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(2): 392–398.

黄土丘陵沟壑区治沟造地工程碳效应分析

雷娜^{1,2}, 穆兴民^{3,4*}

(1.西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; 3.西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 4.中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为研究黄土丘陵沟壑区治沟造地工程碳效应, 运用 IPCC 碳排放测算方法以及国家地质调查总局制定的《多目标区域地球化学调查规范》中的采样方法实地采样, 分析治沟造地工程中土地平整、灌溉与排水、田间道路工程、农田防护与生态环境保护等主要工程及工程实施后土地利用类型变化导致的碳排放。结果表明: 延安市南泥湾镇治沟造地工程施工导致的碳排放量为 $3.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 表现为碳源效应。其中对碳排放贡献最大的是土地平整工程, 碳排放量为 $2\,335.50 \text{ t}$, 农田防护工程碳排放最小, 不产生碳排放。治沟造地工程实施后土地利用类型变化使碳储量增加 $95.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 表现为碳汇效应。其中耕地面积增加使碳储量增加了 $1\,119.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 水田的碳储量增加量最多, 为 $716.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 园地、交通运输用地、水域及水利设施面积减少导致碳储量减少了 $1\,024.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 水域及水利设施用地碳储量减少量最多, 为 $807.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。治沟造地工程实施后土地利用类型变化的碳储量抵消了工程施工产生的碳排放, 碳储量为 $91.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。研究表明, 治沟造地工程总体上表现为碳汇效应, 有利于区域碳储量的增加。

关键词: 治沟造地; 土地整理; 碳排放; 黄土高原沟壑区

中图分类号: S281 文献标志码: A 文章编号: 1672–2043(2018)02–0392–07 doi:10.11654/jaes.2017–1006

Analysis on effect of gully control and land reclamation projects on carbon emission in hilly and gully regions of Loess Plateau

LEI Na^{1,2}, MU Xing-min^{3,4*}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Shaanxi Provincial Land and Engineering Construction Group CO., LTD., Xi'an 710075, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming of the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: Hilly and gully regions comprise the main loess landforms of the Loess Plateau in China. These landforms are a result of the loose texture of soil, serious destruction of the ecological system and vegetation, and rainwater erosion of the surface during the rainy season. A gully control and land reclamation project aimed at special features on the Loess Plateau has been undertaken in the hilly and gully regions in Yan'an. This project integrated dam system construction, old dam reparation, saline-alkali land reform, waste valleys idle-land utilization, and ecological construction as a new model of gully management. The gully control and land reclamation project includes land leveling engineering, irrigation and drainage engineering, field road engineering, and farmland protection and ecological protection engineering; thus, the implementation of the project will affect carbon emissions regionally. Recent research have mainly focused on changes in carbon emissions resulting from different land use types and low carbon emission from land-use by measures such as land planning. However, research on carbon emissions in land improvement engineering are still in the exploration stage. The study analysis of carbon emissions from the gully

收稿日期: 2017–07–18 录用日期: 2017–10–16

作者简介: 雷娜(1985—), 女, 陕西渭南人, 博士研究生, 从事土地生态资源利用与管理等方面的研究。E-mail: 619648133@qq.com

* 通信作者: 穆兴民 E-mail: xmmu@msn.iswc.ac.cn

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201501049)

Project supported: The Special Scientific Research Fund for Public Welfare Profession of Ministry of Water Resources(201501049)

control and land reclamation project and changes in carbon emissions before and after regulation have not been conducted so far. In order to study the effect of the project on carbon emission in the hilly and gully regions of the Loess Plateau, this study analyzed changes in carbon emissions caused by land leveling, irrigation and drainage, road construction, farmland protection, and land use using carbon emission measurements from IPCC and the sampling method from the multipurpose regional geochemical investigation and specification compiled by the China Geological Survey. Changes before and after the project were also analyzed supporting by the practice of gully control and land reclamation in Nanniwan Town, Yan'an. The main results of this study are as follows: Carbon emissions from the construction sector was $3.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, showing the effect of carbon source. One of the biggest contributors to carbon emissions was land leveling ($2\,335.50 \text{ t}$). The minimum amount of carbon emissions was by farmland protection engineering as $0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. After the implementation of the project, changes in land use types increased carbon storage by $95.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, showing the effect of carbon sink. Because cultivation area increased, carbon reserves increased by $1\,119.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and that of paddy fields increased the most by $716.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. The carbon reserves were reduced by $1\,024.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ because of the reduction of garden land and construction of transportation and water conservancy facilities; the reduction caused by the construction of water facilities on water and land up to $807.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. Changes in land use type after the implementation of the gully control and land reclamation project offset the carbon emissions from the construction sector. The carbon reserves of the project increased by $91.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. Our results indicated that the gully control and land reclamation project had a carbon sink effect overall, which is beneficial to the increase of regional carbon reserves.

Keywords: gully control and land reclamation; land consolidation; carbon emission; hilly and gully regions of the Loess Plateau

人类不同的土地利用方式是影响陆地系统碳循环过程,引起区域碳源/汇变化的主要因素。土地整治是人们利用工程、生物措施改良土地资源及其土地利用方式的主要措施^[1]。我国经济的发展需要大量的建设用地,合理的土地整治工程在一定程度上能缓解用地矛盾。因此,国土资源部每年会批准一批重大土地整治工程,治沟造地就是其中之一。工程实施会对区域乃至全国的土地利用格局产生影响,打破原有生态平衡,影响土壤碳库^[2],另外开展土地整治工程可以调整土地利用结构、优化景观格局,对于降低碳排放、减缓温室效应具有重要意义^[3-4]。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)评估报告指出,影响全球气候变暖的两大碳源分别是化石燃料的大量使用和土地利用方式的变化^[5]。Houghton等^[6]认为土地利用变化在陆地与大气系统碳循环中起着重要作用,主要表现为碳源。Levy等^[7]提出土地利用变化、区域景观格局以及水域的变化是影响区域碳排放的主要因素。Lal^[8]认为土地利用变化既可能成为碳源,也可能成为碳汇。土壤作为陆地最大的碳库,微小波动都会引起温室气体浓度的剧烈变化,以致影响全球气候^[9]。魏凤娟等^[10]指出,施工中大型机械的运作以及施工所需水泥、混凝土等产品的生产、使用均会产生大量温室气体。王长波等^[11]计算了中国农村能源消费的碳排放,包括土地整治工程引起的碳排放。郭义强等^[12]核算出柏乡县土地整理后碳储量增加了 278.81 t ,表现为碳汇效应。郭晓辉等^[13]核算出巨鹿县土地整理后碳储量减少了 $4\,160.3 \text{ t}$,表现为碳源效

应。王慧敏等^[14]运用模型模拟了海东市土地利用低碳优化空间格局。王少鹏等^[15]指出现阶段中国工业化和城市化建设都需要大量的碳排放空间。学者们大多以省域、市域、县域土地利用为研究对象,分析不同区域土地利用类型的土壤碳储量,测算不同土地利用方式下的土地碳排放量,提出降低碳排放的建议。

现阶段土地碳排放的研究主要侧重于不同土地利用类型引起的碳排放变化以及通过土地规划等技术手段实现土地利用低碳化,土地整治碳排放研究还处于探索阶段,治沟造地工程的碳效应研究更为鲜见。本文以地处黄土丘陵沟壑区的延安市宝塔区南泥湾镇治沟造地工程为研究内容,运用碳排放测算方法以及中国地质调查局编制的《多目标区域地球化学调查规范》中的采样方法实地采样,分析治沟造地工程碳效应,为发展低碳型土地整理提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

项目区选址在距离延安市 48 km 的南泥湾镇,其区域属于典型的沟道地貌,共涉及 6 个沟道,其中,仅阳湾沟、九龙泉沟两条沟道长度达到 21 km ,河道海拔自西向东由 1190 m 降至 1095 m ,平均比降 0.95% ,河谷宽一般在 $250\sim 500 \text{ m}$ 之间。气候属于温带季风气候区,冬季寒冷干燥,降水较少;夏季炎热多雨,降雨集中。项目区水土流失、滑坡等自然灾害严重,同时存在部分水田盐碱严重、田坎占地多等问题。治沟造地对于在该区域增加耕地面积、保障粮食安全、保护生

态环境、促进社会主义新农村建设具有积极意义。其中,延安市南泥湾镇治沟造地项目为全国治沟造地的典型项目,项目建设期为2012年3月至2014年12月,项目区面积为651.79 hm²,建设期间实施了土地平整工程(总土方量352.49万m³)、灌溉与排水工程(灌溉渠道30.44 km、排洪渠34.40 km、截水沟4.94 km)、田间道路工程(田间道3.29 km、生产路14.27 km)以及农田防护和生态保护工程(油松9056株、侧柏10757株、柳树8336株)。

1.2 数据来源

研究利用的项目区治沟造地工程施工前后土地利用变化数据主要来源于《延安市宝塔区南泥湾镇等土地整治项目设计报告书》《延安市宝塔区南泥湾镇等土地整治项目补充设计报告》;土地整理施工工程量和能源消费数据等来源于《延安市宝塔区南泥湾镇等土地整治项目预算书》;能源使用量计算的相关参数来源于《中国能源统计年鉴》《2006年IPCC国家温室气体清单指南》《土地开发整理项目预算定额》、《土地开发整理项目施工机械台班费用定额》。

1.3 样品的采集与测定

土壤样品的采集参照《多目标区域地球化学调查规范》中样品采集方法,采样时间为2017年4月,在不同土地利用类型中,按4 hm²布点,用土钻取3个点0~20 cm的土壤均匀混合作为混合样品;面积不足4 hm²,采集1个混合样品;同时在每个大格内用100 cm³环刀取样,测定土壤容重。全碳均采用TOC/TN分析仪测定;容重采用环刀法测定。

1.4 治沟造地施工碳排放计算

治沟造地施工碳排放包括推土机、铲车、挖掘机等现代化机械设备的使用以及工程所需的钢筋、水泥、混凝土等材料的生产排放的温室气体。《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中汽油、柴油的建议排放系数为2.26 kg·L⁻¹和2.73 kg·L⁻¹,运用汽油和柴油的平均密度换算单位质量燃料的碳排放量,得到汽油、柴油的二氧化碳排放系数分别为3.12 kg·kg⁻¹和3.21 kg·kg⁻¹,进而得到汽油、柴油的碳排放系数分别为0.85 kg·kg⁻¹和0.88 kg·kg⁻¹,治沟造地工程碳排放量计算公式如下:

$$E_c = \alpha Q_1 + \beta Q_2 \quad (1)$$

式中: E_c 表示治沟造地工程碳排放量,kg; α 、 β 分别表示汽油、柴油的碳排放系数,kg·kg⁻¹; Q_1 、 Q_2 分别表示施工中汽油、柴油的使用量,kg。

根据公式1,综合延安市治沟造地项目的投资情

况,把单位投资额碳排放量(式2)、单位投资比例的碳排放比率(式3)引入评价指标体系,多方面评价施工过程中的碳排放情况。

$$Y_c = \frac{D_i}{Y_i} \times 1000 \quad (2)$$

$$Y_R = \frac{D_i \sum Y_i}{Y_i \sum D_i} \quad (3)$$

式中: Y_c 为单位投资额碳排放量,kg·万元⁻¹; Y_R 为单位投资比例的碳排放比率; D_i 为不同类型整理工程的碳排放量,t; Y_i 为不同整理工程的投资额,万元。

1.5 工程实施后土地利用变化的碳储量计算^[16]

$$TC = \sum_{i=1}^n TC_i \times S \times h \times \rho \times 10^4 \quad (4)$$

式中: TC 为区域土壤碳储量,t; TC_i 为用TOC分析仪测定的所取样品的土壤全碳的值, g·kg⁻¹; h 为采样深度,0.2 m; S 为单位土壤面积, hm²; 10^4 为单位土壤面积换算系数; ρ 为土壤容重, g·cm⁻³。

2 结果与分析

2.1 治沟造地施工碳排放

运用《土地开发整理项目预算定额》《土地开发整理项目施工机械台班费用定额》计算出柴油、汽油的使用量,结合1.4中所述的计算方法,计算得到延安市治沟造地工程施工的碳排放量(表1)。

由表1可知治沟造地项目施工中,柴油的碳排放量是汽油的115.56倍,主要是因为治沟造地中土地平整工程量大,需要用到大型机械设备多,柴油耗用量大;对柴油碳排放量贡献最大的是土地平整工程,其柴油碳排放量为2335.50 t,占柴油总排放量的94.62%,贡献最小的是农田防护与生态环境保护工程,不产生碳排放;汽油碳排放量来自灌溉与排水工程和田间道路工程,分别为14.74 t和6.22 t,主要是灌溉与排水工程中载重汽车和起重机的使用以及田间道路建设中洒水车的使用。

各类工程投资总额的排序为土地平整工程>灌溉与排水工程>田间道路工程>其他工程>农田防护工程;各类工程碳排放、单位投资碳排放、单位投资比例的排序均为土地平整工程>田间道路工程>其他工程>灌溉与排水工程>农田防护工程(表1),单位投资碳排放、单位投资比例具有高度相关性,但与投资总额排序不一致,主要是因为灌溉与排水工程施工过程中多使用插入式振捣器、起重机等电力设备以及风水(砂)枪等清洁能源设备,汽油、柴油使用量相对较少。

灌溉与排水工程投资后的生态效应优于其他产生碳排放的工程。

2.2 土地利用类型变化对碳储量的影响

根据 1.3 中所述的样品采集与测定方法,测定延安市治沟造地工程实施后发生变化的土地利用类型的土壤全碳及土壤容重,运用 SPSS 19.0 软件进行分析得到土壤全碳及容重的均值(表 2)。

由表 2 可知,整治后全碳含量最高的是水域及水利设施用地中的坑塘水面,均值为 $35.21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;最小的是交通运输用地,为 $18.47\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土地利用类型变化后,耕地面积增加,其中水田增加最多,为 6.58 hm^2 ,治沟造地工程根据项目区因地制宜,将坑塘水面以及一部分沟渠和农田道路改为水田;水域及水利设施用地中沟渠面积减少最多,为 5.33 hm^2 ,主要是因为治沟造地工程中实施灌排一体渠技术,节约用地面积。

2.3 治沟造地碳效应测算

治沟造地工程施工产生的碳排放表现为碳源效应;土地利用变化导致的储量变化中一类是碳低密度转高密度(农田道路、沟渠转化为耕地),表现为碳汇

效应,另一类是碳高密度转化为碳低密度(园地、坑塘转化为耕地),表现为碳源效应;土地利用保持不变的地类对碳效应不产生影响(林地、其他土地),不计入碳效应测算中,由此构建了治沟造地项目碳效应的测算表(表 3),明确治沟造地中的碳源/汇作用。

项目区治沟造地施工后单位面积的碳排放量为 $3.76\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,土地利用变化后单位面积碳储量为 $95.34\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,治沟造地总体碳汇量为 $91.58\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,有利于减缓区域温室效应。单位投资的碳排放量为 $3\,564.46\text{ kg}\cdot\text{万元}^{-1}$,单位投资的碳储量为 $90\,488.23\text{ kg}\cdot\text{万元}^{-1}$,单位投资的碳储量为 $86\,923.77\text{ kg}\cdot\text{万元}^{-1}$,表明治沟造地工程投资契合我国集约型经济发展方式,不仅对区域经济增长有重要作用,也有利于环境保护和生态建设。

整理年限是影响土壤碳储量的重要因素之一,随着整理年限的增加,农作物种植季数增加,土壤生物量大量积累,土壤肥力与耕层结构改善,土壤熟化,碳含量稳定。同时通过良性循环形成区域农田小气候以及稳定的生态系统,发挥涵养水源、保育土壤、固碳供养、净化空气、增加生物多样性、田间游憩等生态服务

表 1 项目区治沟造地工程施工碳排放

Table 1 The carbon emissions of gully control and land reclamation engineering construction in project area

项目	投资总额/万元	柴油碳排放/t	汽油碳排放/t	单位投资碳排放/ $\text{kg}\cdot\text{万元}^{-1}$	单位投资比例的碳排放比率/%
土地平整工程	4 713.24	2 335.50	0	495.52	1.40
灌溉与排水工程	1 747.81	10.14	14.74	14.23	0.04
田间道路工程	333.82	95.94	6.22	307.23	0.75
农田防护工程	76.11	0	0	0	0
其他工程	113.81	26.86	0	235.99	0.67
合计	6 984.79	2 468.34	21.36	354.52	0.99

表 2 项目区施工前后不同土地利用类型土壤全碳及容重(均值±标准差)

Table 2 Total carbon and density of different land use types before and after construction in project area(mean±standard deviation)

土地利用类型	二级分类	整治前			整治后		
		面积/ hm^2	全碳/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	面积/ hm^2	全碳/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
耕地	水田	88.61	$31.02\pm 4.03\text{B}$	$1.11\pm 0.05\text{a}$	95.19	$32.52\pm 3.98\text{A}$	$1.11\pm 0.03\text{a}$
	水浇地	1.84	$20.98\pm 0.62\text{B}$	$1.15\pm 0.03\text{a}$	5.66	$22.65\pm 0.68\text{A}$	$1.15\pm 0.03\text{a}$
	旱地	466.66	$19.85\pm 5.78\text{B}$	$1.16\pm 0.03\text{a}$	467.99	$22.13\pm 5.34\text{A}$	$1.16\pm 0.04\text{a}$
园地	园地	27.12	$26.97\pm 3.12\text{A}$	$1.18\pm 0.02\text{a}$	26.88	$28.22\pm 2.18\text{A}$	$1.15\pm 0.02\text{b}$
交通运输用地	农田道路	11.13	$17.79\pm 0.12\text{A}$	$1.42\pm 0.04\text{a}$	7.74	$18.47\pm 0.05\text{A}$	$1.31\pm 0.03\text{b}$
水域及水利设施用地	坑塘	14.93	$32.21\pm 1.18\text{A}$	$1.10\pm 0.03\text{a}$	12.16	$35.21\pm 1.57\text{A}$	$1.10\pm 0.02\text{a}$
	沟渠	20.52	$18.43\pm 1.34\text{A}$	$1.30\pm 0.01\text{a}$	15.19	$18.82\pm 1.23\text{A}$	$1.29\pm 0.05\text{a}$

注:整治前后全碳差异性用大写字母表示,容重用小写字母表示,字母不同表示差异性显著($P<0.05$)。

Note: TC before and after remediation followed by different capital letters are significantly different at $P<0.05$. The density followed by different lowercase letters are significantly different at $P<0.05$.

表 3 项目区治沟造地碳效应测算
Table 3 The calculation of carbon effect in project area

项目	类型	二级分类	碳源(汇)量/t	单位面积碳源(汇)量/ t·hm ⁻²	单位投资碳源(汇)量/ kg·万元 ⁻¹
治沟造地施工(碳源)	主体工程	土地平整工程	-2 335.00	-3.58	-3 343.69
		灌溉与排水工程	-24.88	-0.04	-35.62
	配套工程	田间道路工程	-102.46	-0.16	-146.69
		农田防护工程	0	0	0
		其他工程	-26.86	-0.04	-38.45
		合计	-2 489.20	-3.76	-3 564.46
土地利用变化	耕地(碳汇)	水田	475 030.15	716.54	680 092.23
		水浇地	199 011.90	299.41	284 921.80
		旱地	68 284.33	104.77	97 761.46
	园地(碳源)	园地	-16 842.23	-25.84	-24 112.72
	交通运输用地(碳源)	农田道路	-114 635.84	-101.89	-164 122.09
	水域及水利设施用地(碳源)	沟渠	-58 608.25	-89.92	-83 908.39
		坑塘	-489 035.93	-807.50	-700 144.06
		合计	121 812.38	95.34	90 488.23
	总计		119 322.68	91.58	86 923.77

注:碳汇用正数表示,碳源用负数表示。

Note: The carbon sink is represented by a positive number, and the carbon source is negative.

功能。项目区整理工程完成近 3 年,土壤已基本熟化,在土地平整完成后及时保证灌溉与排水,保土保肥,同时通过林网建设提高林网覆盖率和水土保持能力,防止水土流失和土地沙漠化,改善区域内田间小气候,建立生态系统,从而改善农田生态环境,使土壤碳储量趋于稳定,实现经济、生态协同发展。

3 讨论

3.1 施工对碳排放的影响分析

从碳排放的作用机制上看,施工碳排放主要包括直接碳排放和间接碳排放。文章主要考虑包括土地平整工程、灌溉与排水工程、田间道路工程等施工中由于能源消耗而导致的直接碳排放,但间接碳排放,如混凝土预制板、钢材、水泥、PVC 管等制备和运输过程等也会影响碳收支的变化^[17-18],考虑治沟造地工程施工周期内的间接碳排放量,建立包括直接碳排放和间接碳排放在内的土地整理工程碳排放计算方法体系,更加真实反映土地整理项目碳排放情况^[19],限于资料和数据原因,暂未将间接碳排放量计入其中;治沟造地工程实施后,地形局部平坦,田块平整,生产路和田间路形成路网体系,适合机械化耕作,机械化耕作过程产生的碳排放会影响碳收支,因此有学者认为在土地平整工程、田间道路工程等其他工程的施工中,

应该提高动力机械的使用效率,保证专业的维修和保养,防止操作员不够专业、机具不配套,损坏、浪费、油耗高的现象发生^[20-21],逐步实现农业机械的“低碳化”^[22],保障治沟造地工程绿色环保。

3.2 土地利用类型变化对土壤碳储量的影响分析

耕地向建设用地转化是土地利用变化碳排放的一个主要过程,将对土壤碳库造成长期的影响。耕地转化为建设用地伴随着地表植被的清除,经过土地的翻动和回填后,以不透水地面和绿化用地代替原本的用地类型,这些覆被类型吸纳碳的能力减弱,将对土壤有机碳含量产生直接的影响^[23]。姜群鸥等^[24]指出耕地与建设用地之间的转移是减少植被碳储量的主要原因。建设用地面积增加将导致强烈的碳排放^[25]。项目区土地利用类型变化方式是建设用地转化为耕地,使碳低密度转向高密度,有利于土壤碳储量的积累。叶延琼等^[26]对广东省 1996—2012 年农业用地碳汇进行计算,得到园地固碳量是耕地的 140.33 倍。固碳是湿地生态系统参与陆地生态系统碳循环的重要服务功能^[28],湿地储存的碳占陆地土壤碳库的 18%~30%^[27],是全球最大的碳库之一。项目区将园地、坑塘水面等土地利用类型变为耕地,由碳高密度转向低密度,减少了区域碳储量,这是考虑到项目区整体规划以及项目补充耕地的性质,但最终与增加的碳储

量抵消后还是有所增加。

4 结论

(1)项目区治沟造地工程施工表现为碳源效应。治沟造地项目施工过程中应该提倡使用清洁能源以及采取各种措施提高机械动力的使用效率,减少碳排放,保障治沟造地工程绿色环保。

(2)项目区治沟造地工程实施后土地利用类型变化使碳储量增加,表现为碳汇效应。治沟造地项目实施前应注重规划土地利用方式,在保证耕地面积的基础上增加有利于土壤固碳的土地利用类型。

(3)项目区治沟造地工程总体上表现为碳汇效应。该示范工程是国家开展治沟造地工程实现“生态与经济协同发展”预期目标的成功案例,为黄土丘陵沟壑区治沟造地工程可持续发展提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 于贵瑞,李胜功,伏玉玲,等. 陆地生态系统碳循环[M]. 北京:科学出版社,2009:1-3.
YU Gui-rui, LI Sheng-gong, FU Yu-ling, et al. China's terrestrial ecosystem carbon cycle[M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-3.
- [2] 李颖,黄贤金,甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报,2008,24(增刊2):102-107.
LI Ying, HUANG Xian-jin, ZHEN Feng. Effects of land use patterns on carbon emission in Jiangsu Province[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Suppl 2): 102-107.
- [3] 王军,严慎纯,白中科,等. 土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J]. 中国土地科学,2012,26(9):87-94.
WANG Jun, YAN Shen-chun, BAI Zhong-ke, et al. Land consolidation and rehabilitation of landscape pattern and ecological effect research were reviewed[J]. *China Land Science*, 2012, 26(9): 87-94.
- [4] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等. 区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J]. 农业工程学报,2013,29(17):220-229.
ZHAO Rong-qin, HUANG Xian-jin, ZHONG Tai-yang, et al. Carbon effect evaluation and low-carbon optimization of regional land use[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(17): 220-229.
- [5] IPCC. Climate Change 2001-Synthesis Report: Third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. New York: IPCC, 2001: 36-39.
- [6] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(2): 1034-1053.
- [7] Levy P E, Friend A D, White A, et al. The influence of land-use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems[J]. *Climatic Change*, 2004, 67(2): 185-209.
- [8] Lal R. Mitigation and adaptation strategies for global change[J]. *Carbon Management in Agricultural Soils*, 2007(12): 303-322.
- [9] 齐玉春,郭树芳,董云社,等. 灌溉对农田温室效应贡献及土壤碳储量影响研究进展[J]. 中国农业科学,2014,47(9):1764-1773.
QI Yu-chun, GUO Shu-fang, DONG Yun-she, et al. Advances in research on the effects of irrigation on the greenhouse gases emission and soil carbon sequestration in agro-ecosystem[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(9): 1764-1773.
- [10] 魏凤娟,李江风,房超. 能源消费视角下农村土地整理碳排放研究[J]. 国土资源科技管理,2013,30(2):24-28.
WEI Feng-juan, LI Jiang-feng, FANG Chao. Study of carbon emission in rural consolidation from angle of energy consumption[J]. *Science and Technology of Land and Resources Management*, 2013, 30(2): 24-28.
- [11] 王长波,张力小,栗广省. 中国农村能源消费的碳排放核算[J]. 农业工程学报,2011,27(增刊):6-11.
WANG Chang-bo, ZHANG Li-xiao, LI Guang-sheng. Carbon emission accounting from rural energy consumption in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(Suppl): 6-11.
- [12] 郭义强,陈朝锋,刘琳. 河北省柏乡县土地整理项目的碳排放效应研究[J]. 中国农学通报,2015,31(36):205-210.
GUO Yi-qiang, CHEN Chao-feng, LIU Lin. Carbon emission effect of land consolidation project in Baixiang County of Hebei Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(36): 205-210.
- [13] 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 Xiao-hui, DUN Yao-long, BO Guang-tao, et al. Study on effect of carbon emissions about land consolidation project in Julu County of Hebei[J]. *Research of Water and Soil Conservation*, 2015, 22(3): 241-246.
- [14] 王慧敏,曾永年. 青海高原东部土地利用的低碳优化模拟:以海东市为例[J]. 地理研究,2015,34(7):1270-1284.
WANG Hui-min, ZENG Yong-nian. Land use optimization simulation based on low-carbon emissions in eastern part of Qinghai Plateau[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1270-1284.
- [15] 王少鹏,朱江玲,岳超. 碳排放与社会经济发展:碳排放与社会发展Ⅱ[J]. 北京大学学报(自然科学版),2010,46(4):505-509.
WANG Shao-peng, ZHU Jiang-ling, YUE Chao. Carbon emissions and socio-economic development: Carbon emissions and social development Ⅱ[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2010, 46(4): 505-509.
- [16] 王明霞,张小卫,王会锋,等. 关中地区表层土壤碳储量问题的研究[J]. 地球与环境,2013,41(3):303-310.
WANG Ming-xia, ZHANG Xiao-wei, WANG Hui-feng, et al. Study on the topsoil carbon reserves of Guanzhong region[J]. *Earth and Environment*, 2013, 41(3): 303-310.
- [17] 吴淑艺,赖发宇,孙晓丹. 基于工程量清单的建筑施工阶段碳排放计算:以福建省为例[J]. 工程管理学报,2016,30(3):53-58.
WU Shu-yi, LAI Ji-yu, SUN Xiao-dan. Calculation of carbon emissions of in the construction stage based on the bill of quantities: A case in Fujian Province[J]. *Journal of Engineering Management*, 2016, 30(3): 53-58.
- [18] 李静,刘燕. 基于全生命周期的建筑工程碳排放计算模型[J]. 工程管理学报,2015,29(4):12-16.

- LI Jing, LIU Yan. The carbon emission accounting model based on building lifecycle[J]. *Journal of Engineering Management*, 2015, 29(4): 12-16.
- [19] 王逸韵. 农村土地整理项目碳排放研究: 基于江苏省盐都区的实证分析[J]. *农村经济与科技*, 2016, 27(15): 1-4.
- WANG Yi-yun. The research of carbon emission rural land consolidation project based on the empirical analysis of Yancheng of Jiangsu Province[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2016, 27(15): 1-4.
- [20] 王 术, 刘一明. 农业机械化与区域农业可持续发展关系实证分析[J]. *农机化研究*, 2015, 37(4): 1-6.
- WANG Shu, LIU Yi-ming. Agricultural mechanization and regional agricultural sustainable development relationship between the empirical analyses[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015, 37(4): 1-6.
- [21] 刘亚琼, 黄 英. 农业机械化对农村环境影响的实证研究[J]. *农机化研究*, 2016(12): 75-80.
- LIU Ya-qiong, HUANG Ying. An empirical research on impact of agricultural mechanization to rural environment[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016(12): 75-80.
- [22] 杨印生, 舒坤良. 低碳农业机械化与农业机械低碳化[J]. *农业机械化*, 2015(2): 6-9.
- YANG Yin-sheng, SHU Kun-liang. Low-carbon agricultural mechanization and agriculture machinery low carbonization[J]. *Agriculture Machinery*, 2015(2): 6-9.
- [23] 罗上华, 毛齐正, 马克明, 等. 城市土壤碳循环与碳固持研究综述[J]. *生态学报*, 2012, 32(22): 7177-7189.
- LUO Shang-hua, MAO Qi-zheng, MA Ke-ming, et al. A review of carbon cycling and sequestration in urban soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(22): 7177-7189.
- [24] 姜群鸥, 邓祥征, 战金艳, 等. 黄淮海平原耕地转移对植被碳储量的影响[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 839-846.
- JIANG Qun-ou, DENG Xiang-zheng, ZHAN Jin-yan, et al. Impacts of cultivated land conversion on the vegetation carbon storage in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 839-846.
- [25] 王克强. 土地利用变化的碳排放效应研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
- WANG Ke-qiang. The research on carbon emission effects of land use change[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [26] 叶延琼, 章家恩, 陈丽丽, 等. 广东省 1996—2012 年农业用地碳汇效应及时空变化特征[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(5): 139-146.
- YE Yan-qiong, ZHANG Jia-en, CHEN Li-li, et al. Carbon sequestration by agricultural land and its spatio-temporal characteristics in Guangdong Province from 1996 to 2012[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(5): 139-146.
- [27] Mitsch W J, Nahlik A M, Wolski P, et al. Tropical wetlands: Seasonal hydrologic pulsing, carbon sequestration, and methane emissions[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2010, 18(5): 576-586.
- [28] Smith L C, Macdonald G M, Velichko A A, et al. Siberian peatlands a net carbon sink and global methane source since the Early Holocene[J]. *Science*, 2004, 303(5656): 353-356.
- [29] 陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等. 土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展[J]. *生态学报*, 2011, 31(18): 5358-5371.
- CHEN Zhao, LÜ Chang-he, FAN Lan, et al. Effects of land use change on soil organic carbon: A review[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(18): 5358-5371.