

张中秋, 胡宝清, 张世康, 等. 临时用地土地复垦碳效应分析与测算——以广西为例[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 744-756.

ZHANG Zhong-qiu, HU Bao-qing, ZHANG Shi-kang, et al. Analysis of carbon effects of temporary land reclamation using Guangxi as an example[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2019, 36(6): 744-756.

临时用地土地复垦碳效应分析与测算 ——以广西为例

张中秋¹, 胡宝清^{2*}, 张世康¹, 韦金洪³

(1. 北部湾大学资源与环境学院, 广西 钦州 535011; 2. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001; 3. 北部湾大学经济管理学院, 广西 钦州 535011)

摘要:为揭示临时用地土地复垦碳效应机理, 系统掌握土地复垦碳效应的规律性, 遵循系统论原理, 以土地复垦项目周期的时间逻辑为出发点, 从土地结构、工程实施和项目管护三方面对其碳效应机理进行探析, 并运用碳排放系数法和综合对比分析法, 以广西8个项目为例进行碳效应测算。结果表明, 基于项目时间逻辑的临时用地土地复垦碳效应机理包括土地结构碳效应Ⅰ、工程实施碳效应Ⅰ、工程实施碳效应Ⅱ、土地结构碳效应Ⅱ和管护碳效应; 项目周期内各项目的碳效应为-24.41~78.74 t(负值表示排放量, 正值表示固碳量), 其中土地结构变化所致碳效应情况为3.66~82.50 t, 工程实施所致碳效应为-33.57~-0.78 t, 后期管护所致碳效应为-13.48~0.01 t。土地结构碳效应的主要影响因素是林地复垦后林木根冠比变小, 固碳能力降低。工程实施碳效应的主要影响因素是工料消耗, 特别是水泥的消耗所致碳排放较大。管护碳效应的主要影响因素是复垦后为期3年的土地培肥管护, 大量化肥的使用所致碳排放增加。研究表明, 实施耕作层剥离与再利用、强调复垦后林地固碳能力、降低工料消耗是占用耕地资源、占用林地资源和中度及以上破坏程度的临时用地低碳化复垦的重要措施。

关键词:土地复垦; 临时用地; 碳效应; 碳测算; 项目周期

中图分类号:F301.2

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2019)06-0744-13

doi: 10.13254/j.jare.2019.0170

Analysis of carbon effects of temporary land reclamation using Guangxi as an example

ZHANG Zhong-qiu¹, HU Bao-qing^{2*}, ZHANG Shi-kang¹, WEI Jin-hong³

(1. College of Resources and Environment, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China; 2. Key Laboratory of Environmental Evolution and Resources Utilization in Beibu Gulf under Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 3. School of Economics and Management, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China)

Abstract: As a typical land consolidation type, there is great significance for mastering regularity of carbon effect in land reclamation systematically by analyzing carbon effect mechanisms and calculation methods under the new situation of strengthening ecological civilization construction and "carbon fixation & emission reduction". Following the principle of system theory and starting from the time logic of land reclamation project cycles, this study illustrated the carbon effect mechanism from three aspects, including land structure, construction implementation, and project management. Meanwhile, the carbon emission coefficient method and comprehensive comparative analysis were used to calculate carbon emission for eight projects in Guangxi. The results illustrated that the carbon effect mechanism for temporary land reclamation based on project time logic included: Carbon effect I for land structure and for construction implementation, carbon effect II for construction implementation and for land structure, and carbon management effect. During the project cycle, the carbon effects of each

收稿日期: 2019-04-05 录用日期: 2019-07-04

作者简介: 张中秋(1989—), 男, 内蒙古赤峰人, 信息系统项目高级管理师, 讲师, 房地产经济师, 从事土地利用与土地整治研究。E-mail: 773972555@qq.com

*通信作者: 胡宝清 E-mail: h bq1230@gxtc.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361022, 41966007); 广西自然科学基金创新团队项目(2016GXNSFGA380007); 广西科技计划项目(桂科AD19110142)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41361022, 41966007); The Natural Science Foundation of Guangxi, China(2016GXNSFGA380007); Science and Technology Program of Guangxi, China(AD19110142)

project was $-24.41\sim 78.74$ t (negative for carbon emissions and positive for carbon sequestration), respectively, including the carbon effects caused by land structure change at $3.66\sim 82.50$ t, carbon effects from construction implementation at $-33.57\sim -0.78$ t, and carbon effects from later management at $-13.48\sim 0.01$ t. The main influencing factors of the carbon effect in land structure were that the root canopy has become smaller after reclamation and its carbon fixation capability had been reduced accordingly. Moreover, the main influencing factor of the carbon effect in construction implementation was material consumption, especially cement. The main influencing factors of carbon management effects were soil fertilization for three years after reclamation and the use of large quantities of chemical fertilizers, which had increased carbon emissions. The implementation of stripping and using plow layer soil, emphasizing the carbon sequestration capacity of woodland after reclamation, and reducing the consumption of industrial materials will be important measures for low-carbon reclamation of temporary land, which occupies cultivated land resources and occupies woodland resources and has a damage degree of moderate or above.

Keywords: land reclamation; temporary land use; carbon effects; carbon calculation; project cycle

在加强生态文明建设和“固碳减排”新形势下,《全国土地整治规划(2016—2020年)》提出,土地整治应坚持创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念。土地整治作为典型的二次土地利用,在增加耕地面积、提高耕地质量、保障国家粮食安全等方面发挥了重要作用。但是在实践过程中还存在生态修复效果不显著、工程实施能耗大和低碳整治理念落实不到位等不利于绿色发展的问題。

土地利用碳效应分析一直是国内外学者研究的重点^[1-7],在此基础上进一步探究土地整治自身碳排放及其对区域生态环境和自然界碳循环的影响评价日益成为政府部门和科研工作者的研究热点。已有研究表明,土地综合整治有其特定的碳效应机理^[8],其自身的工程实施碳排放效果显著^[9-14],土地综合整治碳效应变化会进一步影响区域的物质循环和能量流动等生态过程^[15-22],从而可能导致区域碳排放增加的风险。从所掌握的文献来看,现有研究各具特色,但也存在以下不足:①在研究方式上,侧重将农用地整治作为综合体进行整体碳排放研究,有关具体土地整治类型的分项研究相对较少,特别是有关土地开发和土地复垦碳排放的研究尚不充分;②在研究内容上,多以土地利用碳排放为参照,侧重对土地综合整治项目的施工过程和土地利用结构变化进行碳效应测算,忽视了项目前期和项目后期碳效应的存在;③在研究成果上,揭示了土地综合整治项目存在碳效应,并能够进行量化估算,但碳效应的产生机理研究有待深入,特别是缺乏土地开发、土地复垦的全过程碳效应机理分析。通过从项目周期层面分析各项工作实施情况,进而探讨碳效应机制,对系统掌握具体类型土地整治碳排放机理的规律性具有重要意义。

土地复垦作为土地整治的重要类型,对修复土地生态和维持土地可持续发展具有重要作用,其类型有

矿山复垦、临时用地复垦和城乡建设用地增减挂钩等。《土地管理法》和《土地管理法实施条例》中规定,临时用地使用期限一般不超过两年,使用后应当通过复垦使其恢复原状。当前阶段,矿山复垦和城乡建设用地增减挂钩已经形成了较为完善的技术体系,而临时用地复垦相对薄弱。随着国家对交通、水利、农业基础设施等建设力度不断加大,单独选址的用地项目日益增多,保障主体项目建设的临时用地量也十分庞大^[23],对临时用地的复垦较为频繁,土地复垦的实施必将会对区域碳循环产生一定影响。因此本文在土地利用与土地整治碳效应相关研究的基础上,以典型临时用地土地复垦为例,依据复垦工程的实施时间轴,梳理土地复垦项目碳效应机理,并估算其碳效应值,揭示基于项目周期的临时用地土地复垦碳效应机制和规律,以期为区域实施低碳土地复垦提供参考借鉴。

1 材料与方法

1.1 土地复垦碳效应机制

从临时用地土地复垦项目的实施过程来看,以时间轴为依据,具体包括:项目前期的表土剥离与堆放等前期作业;使用期的临时使用过程作业;复垦工程实施期的表土回覆等工程作业;管护期的土地培肥等管护工作。因此,项目周期内其碳效应主要包括土地结构碳效应、工程实施碳效应和管护碳效应,其中土地结构碳效应包括土地结构碳效应Ⅰ和土地结构碳效应Ⅱ,工程实施碳效应包括工程实施碳效应Ⅰ和工程实施碳效应Ⅱ,具体碳效应机制见图1。

1.2 研究区概况和数据来源

广西作为北部湾经济区发展的重要地区,近年来各项重点工程建设较活跃,临时用地量大,复垦工作较为典型。本文选取的8个项目类型分别是地方重

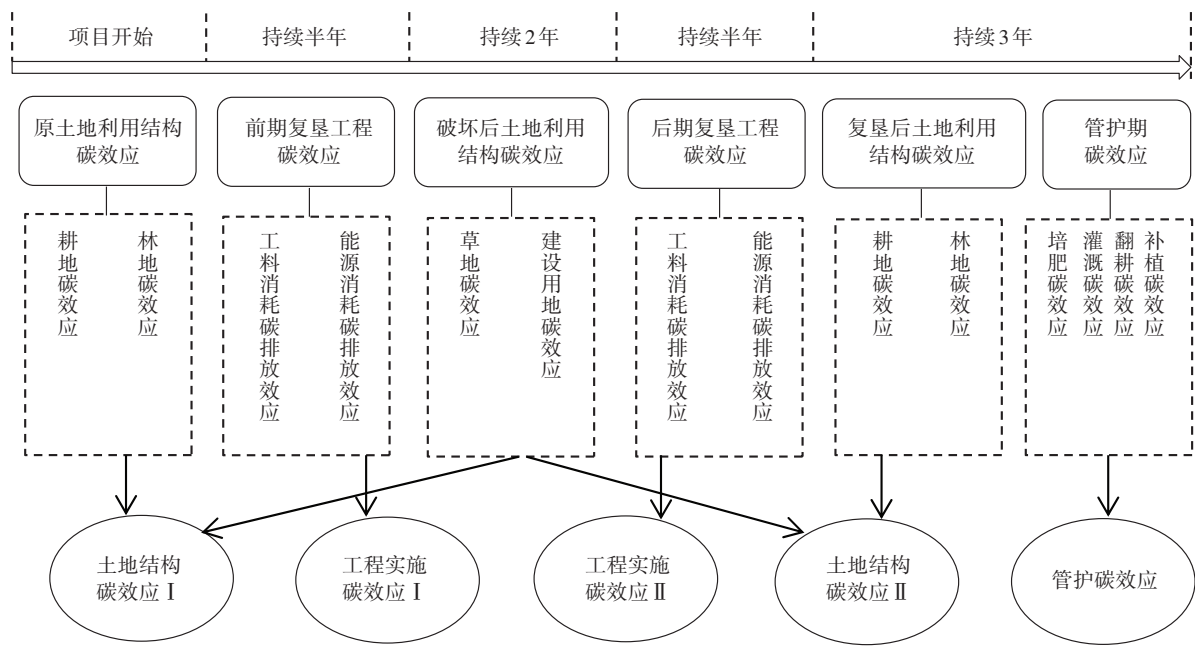


图1 土地复垦碳效应机制

Figure 1 Carbon effect mechanism of land reclamation

点交通、地方重点水利、地方重点扶贫和地方重点民生项目的临时用地复垦,项目主要位于南宁市、河池市、崇左市、百色市和钦州市,且所选项目均由本课题组作为乙方承担复垦方案编制,数据资料详实。8个项目分别是:南宁市横县马岭至良圻二级公路段临时用地土地复垦项目(XM1)、河池市天峨县更旦水库临时用地土地复垦项目(XM2)、南宁市西乡塘区八桂思源桑果园(蚕丝被)项目临时用地土地复垦项目(XM3)、百色市平果县金沙临时用地土地复垦项目(XM4)、隆安至硕龙公路(崇左市境)临时用地土地复垦项目(XM5)、平果县构树产业精准扶贫核心示范区

项目临时用地土地复垦项目(XM6)、大新(桃城)至龙州(金龙)公路工程项目临时用地土地复垦项目(XM7)和钦州市三娘湾旅游管理区滨海社区卫生服务中心项目临时用地土地复垦项目(XM8),项目分布如图2所示,项目具体情况见表1,各项目复垦前后土地利用结构情况见表2。

本研究所采用的复垦前土地利用结构数据源于国土部门提供的项目区土地利用现状图(年度变更数据),临时使用土地利用结构数据源于业主单位的用地规划布局图,复垦后土地利用结构数据源于国土部门与财政部门批复的复垦项目报告表和工程规划设

表1 各项目基本情况

Table 1 The basic information of each project

项目编号 Project number	所在区域 Location	复垦规模 Land reclamation scale/hm ²	投资规模/万元 Investment scale/10 ⁴ yuan	单位面积投资额/万元·hm ⁻² Investment per unit area/10 ⁴ yuan·hm ⁻²	破坏程度及类型 Degree and type of damage	主体工程类型 Main engineering type
XM1	南宁市	0.410	4.73	11.537	轻度压占	重点交通项目
XM2	河池市	0.550	19.34	35.183	重度压占	重点水利项目
XM3	南宁市	0.738	12.98	17.598	中度压占	扶贫开发项目
XM4	百色市	2.452	56.68	23.117	中度压占	重点交通项目
XM5	崇左市	0.461	3.47	7.525	轻度压占	重点交通项目
XM6	百色市	0.516	2.19	4.243	轻度压占	扶贫开发项目
XM7	崇左市	1.859	10.32	5.552	轻度压占	重点交通项目
XM8	钦州市	0.364	7.19	19.753	中度压占	重点民生项目

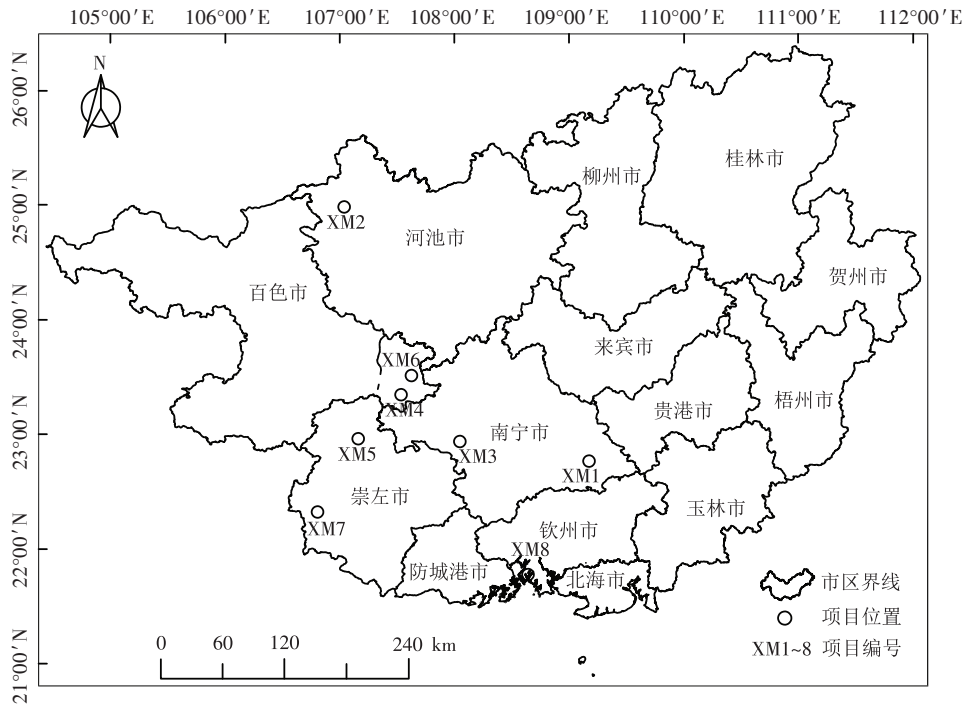


图2 项目位置

Figure 2 Location of the projects

表2 复垦前后土地利用结构变化(hm²)

Table 2 The change of land use structure after land reclamation(hm²)

项目 Items	工程项目 Project	旱地 Nonirrigated farmland	水田 Paddy field	林地 Woodland	草地 Grass land	建设用地 Construction land
复垦前	XM1	0.410	—	—	—	—
	XM2	0.420	0.110	0.030	—	—
	XM3	—	0.740	—	—	—
	XM4	0.910	—	1.540	—	—
	XM5	—	—	0.253	0.208	—
	XM6	0.516	—	—	—	—
	XM7	0.591	1.120	0.148	—	—
	XM8	0.364	—	—	—	—
临时用地使用中	XM1	—	—	—	0.080	0.320
	XM2	—	—	—	0.110	0.440
	XM3	—	—	—	—	0.740
	XM4	—	—	—	0.220	2.230
	XM5	—	—	—	—	0.461
	XM6	—	—	—	—	0.516
	XM7	—	—	—	0.128	1.731
	XM8	—	—	—	0.146	0.218
复垦后	XM1	0.410	—	—	—	—
	XM2	0.440	0.110	—	—	—
	XM3	—	0.740	—	—	—
	XM4	0.910	—	1.540	—	—
	XM5	—	—	0.253	0.226	—
	XM6	0.516	—	—	—	—
	XM7	0.591	1.120	0.148	—	—
	XM8	0.364	—	—	—	—

计图纸,水稻和甘蔗产量以及复垦后林木种植情况数据均为实地调研获取,能源与工料消耗等相关数据均是从土地开发整理项目造价(营改增)软件原始工程量清单中导出(表3),所有项目数据均经过国土部门核实批准,数据具有较强的可信度和公信力。

1.3 土地结构碳效应测算方法

土地结构碳效应主要为临时用地由破坏前用地结构转变为破坏后用地结构,继而转变为复垦后用地结构的过程中,土地结构变化引起的碳效应,其测算模型如下:

(1)耕地碳汇测算模型

耕地碳汇主要表现为农作物的固碳量,参考张黎明等^[24]在土地复垦碳排放测算时采用的作物经济产量-经济系数-含碳率-根冠比的计算模型。

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{di} = \sum_{i=1}^n [C_i \times P_i \times (1 - V_i) \times (1 + R_i)] / H_i \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

式中: C_d 为耕地农作物碳吸收总量,kg; i 为农作物类型; C_i 为第*i*类农作物的含碳率; P_i 为第*i*类农作物的产量,kg; V_i 为第*i*类农作物果实的含水率; R_i 为第*i*类农作物的根冠比; H_i 为第*i*类农作物的经济系数。复垦项目中涉及的作物含碳率、含水率、根冠比及经济系数参数见表4。

耕地在利用过程中,由于使用了化肥、农膜、农药和农用柴油等,会引起间接碳排放效应,其测算公式^[24]如下:

$$C_r = \sum_{i=1}^n A_i \times \delta_i \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

式中: C_r 为耕地碳排放量,kg; i 为各类碳源类型,本研究只考虑化肥、农膜、农药和农用柴油; A_i 为第*i*类碳源的使用量,kg; δ_i 为第*i*类碳源类型的碳排放系数。参考相关研究^[28-29],取化肥碳排放系数为0.895 6 kg·

kg⁻¹^[30],农膜碳排放系数为5.18 kg·kg⁻¹^[30],农药碳排放系数为4.934 1 kg·kg⁻¹^[30],柴油碳排放系数为0.592 7 kg·kg⁻¹^[30]。根据2017年《广西统计年鉴》数据,广西耕地每667 m²化肥用量为57.8 kg,根据2017年《中国农村统计年鉴》数据,广西旱地每667 m²农膜用量为4.35 kg,耕地每667 m²农药用量为1.89 kg,耕地每667 m²柴油用量为140.23 kg。

有研究指出水稻生长发育过程中会产生CH₄气体^[31],水稻在生育期内CH₄排放量的推荐数值为215.5 kg·hm⁻²。另据IPCC第二次评估报告指出,CH₄碳效应是CO₂碳效应的25倍,因此水田的CH₄碳效应测算公式^[24]如下:

$$C_s = S \times \varphi \times 25 \quad (3)$$

式中: C_s 为CH₄的CO₂当量,kg; S 为水田面积,hm²; φ 为CH₄排放系数,取215.5 kg·hm⁻²。

综上所述,耕地碳吸收总量与碳排放总量的差值即为耕地碳效应总量,公式如下:

$$E_a = C_d - C_r - C_s \quad (4)$$

式中: E_a 为耕地碳效应总量,kg; C_d 为耕地农作物碳吸收总量,kg; C_r 为耕地碳排放量,kg; C_s 为水田考虑CH₄气体的CO₂当量,kg。

(2)林地碳汇测算模型

本次所选8个项目复垦前林地均种植桉树,而复垦后林地均种植马尾松。林地碳汇测算采用林木年净增长生物量中的含碳总量估算,参考李职奇^[32]

表4 作物碳储量估算参数

Table 4 Estimation parameter for crop carbon storage

作物类型 Agrotype	含碳率 Carbon content	果实含水率 Water content	经济系数 Economic coefficient	根冠比 Root/shoot ratio
水稻	0.42 ^[24-25]	0.12 ^[24-25]	0.49 ^[24-25]	0.60 ^[24-25]
甘蔗	0.43 ^[26]	0.72 ^[26]	0.70 ^[26]	0.20 ^[27]

表3 能源与工料消耗统计

Table 3 Energy and material consumption statistics

项目 Project	汽油 Gasoline/kg	柴油 Diesel/kg	粗砂 Coarse sand/m ³	卵石 Pebble/m ³	块石 Rock block/m ³	板枋材 Sheet material/m ³	水泥 Cement/kg
XM1	321.150	1 354.000	3.050	1.020	—	—	956.590
XM2	0	1 559.760	123.730	19.030	266.230	—	38 235.700
XM3	0	1 365.060	74.360	1.850	191.040	0.430	17 949.350
XM4	2 920.720	5 399.190	134.720	1.120	365.120	0.530	32 055.420
XM5	423.504	550.422	—	—	—	—	—
XM6	101.047	806.561	—	—	—	—	—
XM7	1 024.488	3 251.439	—	—	—	—	—
XM8	0	927.226	13.382	6.907	—	0.022	4 600.153

对桉树和马尾松的碳汇测算模型,其具体计算公式如下:

$$V_{\text{桉树}}=0.001\ 091\ 541\ 45\times\text{DBH}^{[C1-C2\times(\text{DBH}+H)]}\times H^{[C3-C4\times(\text{DBH}+H)]} \quad (5)$$

$$V_{\text{马尾松}}=0.000\ 071\ 426\ 543\ 7\times\text{DBH}^{1.867}\times H^{0.901} \quad (6)$$

$$V_k=V\times 10\ 000/400 \quad (7)$$

$$B_{\text{TREE}}=V_k\times D\times\text{BEF}\times(1+R)\times\text{CF}_{\text{TREE}} \quad (8)$$

式中: V 为林木的材积, m^3 ;DBH为林木的胸高直径, cm ;H为林木的树高, m ;C1、C2、C3、C4为常数,其值分别为1.878 9、5.691 9 $\times 10^{-3}$ 、0.652 6和7.847 5 $\times 10^{-3}$;V_k为每公顷活立木蓄积量, m^3 ;D为基本木材密度, $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$ (DW),桉树林地的基本木材密度约为0.58 $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$ (DW)^[32],马尾松的基本木材密度约为0.4 $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$ (DW)^[32];BEF为地上林木生物量和树干生物量之间转化的生物量扩展因子,其中桉树为1.48^[32],马尾松为1.46^[32];R为林木根茎比,其中桉树的根茎比为0.201^[32],马尾松的根茎比为0.283^[32];CF_{TREE}为林木的平均碳含量, $\text{t}\cdot\text{t}^{-1}$ (DW),采用IPCC默认值为0.5 $\text{t}\cdot\text{t}^{-1}$;B_{TREE}为每公顷平均林木生物量碳储量, $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$;C_{TREE}为林木生物量碳储量总量, kg ;A为林地总面积, hm^2 。

通过实地调查与现场测算,取11 cm为桉树胸高直径,取12 m为树高;马尾松为新种植,取3.25 cm为马尾松胸高直径,1.75 m为树高。

(3)草地碳汇测算模型

临时用地在使用过程中,需要建表土堆放场存放表土,并播撒草籽进行保护。同时为防止水土流失,开挖断面、边坡等需要植草防护。草地碳效应通过草地植被年净增长生物量估算,计算公式^[24]如下:

$$C_e=M_e\times f_e\times\frac{44}{12}\times 2 \quad (9)$$

式中: C_e 为草地碳吸收量, kg ;M_e为草类年净生长生物量, kg ,本研究测算取8.05 $\times 10^3$ kg ^[24];f_e为草类平均含碳率,本研究取0.45^[24];2为两年期限。

(4)建设用地碳源测算

临时用地使用过程中,为保证主体工程的顺利建设,需要建搅拌站、工棚、工料堆放场等服务型用地。参考唐彩飞^[33]对工业型建设用地碳排放测算模型,其计算公式如下:

$$C_t=G_t\times A\times 2 \quad (10)$$

式中: C_t 为建设用地碳排放量, kg ;G_t为建设用地碳排放系数^[33-35],本研究取7.43 $\times 10^3$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[33];A为建设用

地总面积, hm^2 ;2为两年期限。

1.4 工程实施碳效应测算方法

土地复垦的工程实施过程就是能源与工料投入过程,所耗能源主要有柴油和汽油,所耗工料主要有粗砂、卵石、块石、板枋材和水泥5种。测算能源和工料消耗碳排放的模型如下:

$$C_z=C_h+C_n \quad (11)$$

式中: C_z 为能源和工料碳排放总量, C_h 、 C_n 分别为能源消耗碳排放量和工料消耗碳排放量。参考赵荣钦等^[36]能源消耗碳排放测算模型,计算公式如下:

$$C_h=Q_h\times\text{NCV}_i\times\frac{1}{1000}\times (f_c\times\frac{1}{1000}\times\frac{12}{44}+f_m\times\frac{1}{1000}\times\frac{12}{16}) \quad (12)$$

式中: Q_h 为能源的消费量, t ;NCV_i为能源净发热值,该值为43 $\text{TJ}\cdot\text{Gg}^{-1}$;1/1000为单位转化系数; f_c 为缺省CO₂排放因子,其中,汽油为69 300 $\text{kg}\cdot\text{TJ}^{-1}$,柴油为74 100 $\text{kg}\cdot\text{TJ}^{-1}$;f_m为缺省CH₄排放因子,其中,汽油为25 $\text{kg}\cdot\text{TJ}^{-1}$,柴油为3.9 $\text{kg}\cdot\text{TJ}^{-1}$;NCV_i、 f_c 、 f_m 均采用IPCC指南2007^[37]的给定值;12/44为CO₂所含碳量的转化系数;12/16为CH₄所含碳量的转化系数。

基于碳排放系数法,参考张中秋等^[38]工料消耗碳排放测算模型,C_n的计算公式如下:

$$C_n=\sum M_{nj}\times A_{nj} \quad (13)$$

式中:M_{nj}为第j种工料消耗量,A_{nj}为第j种工料碳排放系数,其中:粗砂碳排放系数取2.213 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[39-40],卵石碳排放系数取3.075 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[40-41],块石碳排放系数取1.660 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[40-41],板枋材碳排放系数取0.200 $\text{t}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[42],水泥碳排放系数取0.795 $\text{t}\cdot\text{t}^{-1}$ ^[43-47]。

1.5 复垦管护碳效应测算方法

根据各项的复垦设计方案,管护碳效应主要包括土地培肥、土地翻耕、农业灌溉和林地补植(第一年补植率按林地面积的20%计算,第二年按10%计算,第三年按3%计算)。其中土地培肥施肥量按每667 m^2 施肥100 kg 测算,其碳效应按式(2)计算;林地补植碳效应按式(5)~(8)计算;参照碳排放系数法,翻耕碳效应及农业灌溉碳效应测算模型如下:

$$H=f_c\times A_h\times 3 \quad (14)$$

$$L=y_c\times A_h\times 3 \quad (15)$$

式中:H为翻耕碳排放量, kg ;f_c为翻耕碳排放系数,取312.6 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[48];A_h为耕地面积, hm^2 ;L为农业灌溉碳排放量, kg ;y_c为农业灌溉碳排放系数,文献[27]中,农业灌溉的碳排放系数为25 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,但考虑到火电系

数,依据2017年《中国统计年鉴》的电力统计数据,2017年广西火电系数为0.736 8,本次农业灌溉碳排放系数为18.42 kg·hm⁻²。

2 结果与分析

2.1 碳效应的计算结果

2.1.1 土地结构碳效应与管护碳效应

对8个项目的土地结构碳效应和管护碳效应进行测算,结果见表5。

从土地结构碳效应测算结果来看,耕地复垦前后结构变化所引起的碳效应不明显,在8个项目中,只有XM2复垦后固碳量有所增加,其他项目基本不变。这主要是因为复垦项目,要求保证复垦前后耕地总量及其生产力不降低,因此其碳效应也基本保持一致。林地复垦前后结构变化所引起的碳效应较为显著,其中XM2复垦后将原有林地复垦为耕地,复垦后林地面积减少,固碳能力下降。XM4复垦前林地固碳量为4.64 t,复垦后林地面积不变,固碳量仅为0.02 t,复垦后较复垦前降低了4.62 t;XM5复垦前林地固碳量为0.76 t,复垦后林地面积不变,固碳量仅为0.003 t,复垦后较复垦前降低了0.757 t;XM7复垦前林地固碳量为0.45 t,复垦后林地面积不变,固碳量仅为0.002 t,复垦后较复垦前降低了0.448 t。将XM4、XM5和

XM7复垦前和复垦后林地固碳量进行比较,复垦后林地固碳量仅为复垦前固碳量的0.4%,林地复垦后固碳能力降低主要是由于复垦前林地中林木的根冠比较大,而复垦后新种植的林木根冠比较小,其固碳能力大大缩减。复垦项目的草地固碳量,主要表现为临时使用中的在表土堆放顶层播撒草籽,以保护表土理化性质,保持土壤肥力。所选项目中,除XM3、XM5和XM6没有设计表土场外,其他项目的草地固碳效果较明显,XM1草地固碳量为2.25 t,XM2草地固碳量为2.83 t,XM4草地固碳量为5.90 t,XM7草地固碳量为3.39 t,XM8草地固碳量为3.87 t。复垦项目的建设用地碳排放主要表现为2年临时使用过程的用地布局,XM1~XM8的建设用地碳排放量为3.25~33.13 t。将各项目复垦前土地结构碳效应、临时使用过程土地结构碳效应和复垦后土地结构碳效应进行累加求和,得到各项目在复垦周期内的综合土地结构碳效应。XM1~XM8的综合土地结构碳效应分别为17.66、19.81、3.66、22.64、5.43、29.74、82.5 t和24.52 t。据此可知,8个项目在项目周期内的综合土地结构碳效应均表现为碳汇。

从管护碳效应测算结果来看,除XM5外,其他各项目均表现为碳排放,XM1~XM4和XM6~XM8为期3年的管护碳排放量分为6.01、8.16、10.95、13.48 t和

表5 土地结构碳效应和管护碳效应(t)

Table 5 Carbon emission of land structure and engineering management(t)

项目 Project	复垦前碳效应 Carbon effect before reclamation								临时用地使用中碳效应 Carbon effect of temporary land use								复垦后碳效应 Carbon effect after reclamation							
	XM1	XM2	XM3	XM4	XM5	XM6	XM7	XM8	XM1	XM2	XM3	XM4	XM5	XM6	XM7	XM8	XM1	XM2	XM3	XM4	XM5	XM6	XM7	XM8
旱地碳吸收量	13.81	14.15	—	30.95	—	23.44	23.47	15.29	—	—	—	—	—	—	—	—	13.81	15.10	—	30.95	—	23.44	23.47	15.29
水田碳吸收量	—	2.47	17.13	—	—	—	49.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.47	17.13	—	—	—	49.06	—
小计	13.81	16.63	17.13	30.95	—	23.44	72.53	15.29	—	—	—	—	—	—	—	—	13.81	17.57	17.13	30.95	—	23.44	72.53	15.29
化肥碳排放量	1.15	1.49	2.10	2.59	—	1.47	4.87	1.04	—	—	—	—	—	—	—	—	1.15	1.57	2.10	2.59	—	1.47	4.87	1.04
农膜碳排放量	0.50	0.52	0.00	1.13	—	0.64	0.73	0.45	—	—	—	—	—	—	—	—	0.50	0.55	0.00	1.13	—	0.64	0.73	0.45
农药碳排放量	0.21	0.27	0.38	0.47	—	0.26	0.88	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21	0.28	0.38	0.47	—	0.26	0.88	0.19
柴油碳排放量	1.85	2.39	3.37	4.15	—	2.36	7.82	1.66	—	—	—	—	—	—	—	—	1.85	2.51	3.37	4.15	—	2.36	7.82	1.66
小计	3.72	4.66	5.85	8.33	—	4.73	14.30	3.34	—	—	—	—	—	—	—	—	3.72	4.91	5.85	8.33	—	4.73	14.30	3.34
CH ₄ 转碳排放量	—	0.57	3.97	—	—	—	6.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.57	3.97	—	—	—	6.03	—
小计	—	0.57	3.97	—	—	—	6.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.57	3.97	—	—	—	6.03	—
耕地总固碳量	10.09	11.40	7.31	22.61	—	18.71	52.19	11.95	—	—	—	—	—	—	—	—	10.09	12.09	7.31	22.61	—	18.71	52.19	11.95
林地固碳量	—	0.08	—	4.64	0.76	—	0.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.003	—	0.002	—	
草地固碳量	—	—	—	—	5.53	—	—	—	2.25	2.83	—	5.90	—	—	3.39	3.87	—	—	—	—	5.99	—	—	—
建设用地碳排放量	—	—	—	—	—	—	—	—	4.77	6.59	10.96	33.13	6.85	7.67	25.73	3.25	—	—	—	—	—	—	—	—
培肥碳排放	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.99	8.12	10.90	13.43	—	7.63	—	—
补植固碳量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—	0.01	—	—
翻耕碳排放	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0.01	0.01	0.01	—	0.01	0.02	0.003
农业灌溉碳排放	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.03	0.04	0.05	—	0.03	0.09	0.02

7.67、0.10、0.02 t。XM5管护碳效应表现为碳汇,固碳量为0.01 t,主要原因为该项目占地主要为林地,复垦后不涉及培肥、翻耕和灌溉的管护。从管护碳效应结构来看,XM1~XM8主要是由培肥碳排放和农业灌溉碳排放构成,其中又以培肥碳排放为主。XM1~XM4和XM6培肥碳排放占管护碳排放比例分别为99.7%、99.6%、99.7%、99.6%和99.7%,说明培肥碳排放是影响临时用地土地复垦管护碳效应的重要指标。上述5个项目的共性是临时用地使用中都占用了耕地资源,而利用过程中均未对耕作层表土进行有效剥离与存储,复垦后需要进行培肥。XM5临时用地使用中未占用耕地,复垦后的土地利用类型中也没有耕地,因此该项目不需要进行培肥工程设计。XM7和XM8临时用地使用中占用了耕地资源,但是该项目有效进行了耕作层表土剥离与存储。复垦后的耕地可以直接将提前剥离的耕作层土壤回覆利用,无需再进行培肥工程设计,其培肥碳排放占管护碳排放的比例为0。将XM7和XM8与其他5个项目对比可知,临时用地使用中占用耕地资源,有效进行了耕作层表土剥离与存储,能避免或降低培肥工程量,进而促进复垦项目管护碳排放的大幅降低,说明耕作层表土剥离与再利用是有效降低培肥碳排放的重要路径。

2.1.2 工程实施碳效应

对8个项目的能源与工料消耗的碳排放进行测算,结果见表6。

从表6可以看出,XM1~XM8的工程实施碳排放总量分别为2.208、32.527、16.030、33.556、0.823、0.783、3.659 t和4.518 t,其中能源消耗碳排放总量分别为1.438、1.355、1.186、7.068、0.823、0.783、3.659 t和0.806 t,占工程实施碳排放量的比例分别为65.12%、4.17%、7.40%、21.06%、100%、100%、100%和17.84%;

建筑工料碳排放总量分别为0.770、31.172、14.758、26.391、0、0、0 t和3.712 t,占工程实施碳排放量的比例分别为34.88%、95.83%、92.60%、78.94%、0、0、0和82.16%。

XM1、XM5、XM6和XM7的能源消耗碳排放量大于工料消耗碳排放量,能源消耗所致的碳排放成为XM1、XM5、XM6和XM7的主要影响因素,这4个项目的共同特点是临时用地破坏程度为轻度,XM1复垦措施只需采取简单的场地平整等机械作业即可,不需要太多的工程措施便可以恢复利用,建筑工料消耗量较少,产生碳效应也较低。XM5、XM6和XM7虽然布置了单项工程措施,但由于工程设计中未消耗建筑工料,没有产生建筑工料碳效应。

XM2、XM3、XM4和XM8的建筑工料碳排放量大于能源消耗碳排放量,建筑工料消耗所致的碳排放成为XM2、XM3、XM4和XM8的主要影响因素,这4个项目的共同特点是临时用地破坏程度为中度及以上,复垦措施中需要安排一定量的工程措施才能恢复利用。这4个项目在布设单项工程措施中,工程设计中均消耗了一定量的建筑工料,产生的工料碳效应较为显著。

将XM1、XM5、XM6、XM7的工程实施碳排放总量与XM2、XM3、XM4、XM8对比可知,在同时具有能源消耗碳效应的前提下,XM1、XM5、XM6、XM7的建筑工料消耗量少于XM2、XM3、XM4、XM8,导致XM1、XM5、XM6、XM7的工程实施碳排放总量明显低于XM2、XM3、XM4、XM8,说明临时用地土地复垦项目中,建筑工料是工程实施碳效应的主要影响因素。

临时用地破坏程度为中度以上的项目,其复垦措施需安排一定量工程措施,消耗了一定量的建筑工料,其中XM2、XM3、XM4和XM8导致建筑工料碳排

表6 能源与工料消耗碳排放量(t)

Table 6 Carbon emission of energy and material consumption(t)

项目 Project	汽油 Gasoline	柴油 Diesel	粗砂 Coarse sand	卵石 Pebble	块石 Rock block	板枋材 Sheet material	水泥 Cement	合计 Total
XM1	0.261	1.177	0.007	0.003	0	0	0.760	2.208
XM2	0	1.355	0.274	0.059	0.442	0	30.397	32.527
XM3	0	1.186	0.165	0.006	0.317	0.086	14.270	16.030
XM4	2.376	4.692	0.298	0.003	0.606	0.106	25.484	33.566
XM5	0.345	0.478	0	0	0	0	0	0.823
XM6	0.082	0.701	0	0	0	0	0	0.783
XM7	0.833	2.826	0	0	0	0	0	3.659
XM8	0	0.806	0.030	0.021	0	0.004	3.657	4.518

放量大的因素是水泥,其消耗水泥的碳排放量分别是30.397、14.270、25.484 t和3.657 t,占工程实施碳排放总量的比例分别为93.45%、89.02%、75.92%和80.94%,说明破坏程度为中度及以上的复垦项目,影响建筑工料消耗碳排放的主要因素是水泥。

2.2 碳效应的对比分析

XM1~XM8的土地结构碳效应、工程实施碳效应与管护碳效应如表7所示。

XM1、XM5、XM6、XM7和XM8在项目周期内的碳效应表现为碳吸收,每667 m²固碳量分别为1.53、0.67、2.75、2.82 t和3.66 t,平均值为2.29 t。各项目的土地结构碳效应占项目总碳效应的比重较大,分别为68.24%、86.74%、77.91%、95.62%和84.38%,平均值为82.58%,说明项目总碳效应表现为碳吸收的主要贡献因素为土地结构碳效应;XM2、XM3和XM4在项目周期内的碳效应表现为碳排放,每667 m²碳排放量分别为2.53、2.10 t和0.66 t,平均值为1.77 t。各项目的工程实施碳效应占项目总碳效应的比重较大,分别为53.78%、52.35%和48.17%,平均值为51.43%,说明项目总碳效应表现为碳排放的主要贡献因素为工程实施碳效应。

从所选8个项目的管护碳效应来分析,培肥是主要影响因素。除XM5外,其他7个项目的临时用地均占用了耕地资源,为了满足耕地资源复垦前后土地生产力不降低的要求,其中XM1、XM2、XM4、XM7和XM8进行了耕作层表土剥离与回覆利用设计,XM1、XM2和XM4设计了为期3年的培肥管护。事实上,按照广西自然资源厅出台的“关于印发《广西建设占用耕地耕作层土壤剥离利用技术规程(试行)》的通知”中明确要求占用耕地的必须进行耕作层土壤剥离与

再利用,此项政策的实施是能够有效避免或降低复垦后耕地地力培肥工程设计的,也就是说管护中的培肥碳效应是能够有效避免的。而实际执行中,方案编制单位在复垦工程措施中设计了耕作层表土剥离与存储,但业主对耕作层土壤剥离不重视,基本很少有效进行此项工作。如本次所选的8个项目中,有7个项目占用耕地资源,但真正进行了有效耕作层剥离与存储的只有XM7和XM8。XM1、XM2和XM4随意堆放一些非耕作层土壤,回覆再利用时土壤肥力不达标,还需要在复垦方案中设计实施培肥措施。XM3则是先压占使用,再补充临时用地申请,属于先利用后审批的情况,编制复垦方案时,现场耕作层已经破坏,无表土可用,在复垦方案中无法设计耕作层剥离与存储工程措施。因此针对临时用地占用耕地资源的复垦项目,国土部门应重点监督、检查业主实施耕作层剥离与利用工作,杜绝耕作层土壤资源的浪费,避免复垦后对耕地实施工程措施的培肥行为,从而降低项目管护碳效应。

从所选8个项目的工程实施碳效应情况分析,工料消耗是主要影响因素。临时用地使用过程中,8个项目均设计有具体的单项工程,如挡土墙、截排水沟等。临时用地使用期限最多为2年,部分工程并非永久工程,临时使用完毕,需对其进行拆除。针对2年时间的非永久工程,各项工程措施在设计中除了满足结构、功能、稳定性等方面的需求,还要重点考虑降低建筑工料的消耗。因此本课题组作为复垦项目的规划设计方,对工程设计进行了改革。在XM1~XM4的单项工程设计与施工中,对挡土墙、截排水沟等采取的是浆砌石、浆砌砖等常规设计形式;在XM5~XM7的单项工程设计与施工中,对挡土墙、截

表7 碳效应对比表(t)

Table 7 Comparison of carbon effect(t)

项目 Project	土地结构碳效应 Carbon effect of land structure	工程实施碳效应 Carbon effect of engineering implementation	管护碳效应 Carbon effect of engineering management	合计 Total
XM1	17.66	-2.21	-6.01	9.44
XM2	19.81	-32.53	-8.15	-20.87
XM3	3.66	-16.03	-10.95	-23.32
XM4	22.64	-33.57	-13.48	-24.41
XM5	5.43	-0.82	0.01	4.62
XM6	29.74	-0.78	-7.67	21.29
XM7	82.50	-3.66	-0.10	78.74
XM8	24.52	-4.52	-0.02	19.98

注:表中正值表示固碳量,负值表示排放量。

Note: Positive values mean carbon sequestration, negative values mean carbon emission.

排水沟等采取的是编织袋挡土墙、土质截排水沟等实用化设计形式;在XM8的单项工程设计与施工中,对挡土墙采取的是编织袋挡土墙设计形式,对截排水沟采取的是浆砌砖设计形式。根据各项目工程实施碳效应计算结果可知,XM1~XM4的工程实施碳排放为2.208~33.566 t,这4个项目工程实施碳效应占项目周期内总碳效应比重的平均值约为41%。XM5~XM7为0.78~3.66 t,这3个项目工程实施碳效应占项目周期内总碳效应比重的平均值约为6%。XM8为4.52 t,其工程实施碳效应占项目周期内总碳效应的比重约为16%。由于XM1~XM4的单项工程均采用如水泥、石块、砂等建筑工料,复垦项目中建筑工料消耗所引起的工程实施碳排放量较显著。而XM5~XM7中没有采用上述建筑工料,而是针对具体情况进行了施工工艺改进,有效降低了建筑工料消耗量,其工程实施碳效应显著下降。因此,改进的实用化工程设计降低了建筑工料消耗量,对工料消耗碳排放有显著影响,能够有效降低复垦项目的工程实施碳排放。

3 讨论

3.1 土地复垦项目碳效应

已有相关研究从工程实施角度测算了土地复垦碳效应,本研究进一步拓宽了视角,发现以项目实施时间逻辑为出发点,土地结构变化和项目管护环节虽不是土地复垦碳效应的决定因素,但却能间接地从多方面对其产生影响,因此未来临时用地复垦项目规划设计和施工工艺改进等应充分考虑二者的影响。项目临时使用周期内,针对临时用地破坏类型和破坏程度的不同,变革复垦措施中单项工程设计思路,以减少物料、工料、能源投入。土地复垦本身就是通过生物措施和工程措施对破损土地进行生态修复的过程,因此重视并强调生物措施的运用,降低或避免使用工程措施,应是低碳土地复垦的未来导向。受数据获取及核算方法等的限制,本研究所选案例数量及其所覆盖的主体工程类型有限,可能对分析结果产生一定影响。另外本研究仅分析了临时用地土地复垦,对矿山土地复垦和城乡建设用地增减挂钩等其他复垦类型暂未考虑,以上两方面有待后期进一步深化研究。

3.2 进一步开展低碳土地复垦的建议

绿色发展背景下赋予低碳土地复垦新契机:一是对非重点交通、水利和扶贫工程项目占用临时用地的,严格限制临时用地审批,严禁各类建设项目大规模占用临时用地,强化临时用地预审流程,临时用地

占用耕地资源的,必须编制耕作层剥离与再利用方案,并将其作为临时用地审批的要件。严禁未批先建用地,为规避政府行政审查,将未批先建用地套核成某主体工程的临时用地,从源头制止违法土地利用临时用地打政策擦边球,更好落实土地用途管制制度;二是临时用地占用林地的复垦项目,要强调复垦前后地类数量和地表植被固碳能力的一致性,从土地结构碳效应层面考虑复垦后植被固碳能力不降低,确保不因复垦而损失固碳能力;三是改革复垦后管护工程措施,对临时用地占用耕地资源的,复垦工作中强制业主执行耕作层剥离与再利用,避免或降低复垦后培肥工作量。针对临时用地未占用耕地资源,但复垦后为耕地资源的,对复垦后土地培肥方式进行调整,例如种植增肥植被(如种植绿肥苕子)、增施糖厂滤泥等生态环保培肥措施,禁止使用化肥进行土壤改良;四是针对临时性用地降低建筑工料消耗量,如在不影响安全、稳定的前提下用黏土泥替代水泥,用编织袋挡土墙替代浆砌石挡土墙,进而减少工程实施碳排放;五是强化临时用地布局管理机制,规定临时用地使用过程中最低绿化率指标,确保临时使用过程中固碳能力不降低。

4 结论

(1)基于复垦工程的实施时间逻辑,临时用地土地复垦碳效应机理包括:土地结构碳效应Ⅰ、工程实施碳效应Ⅰ、工程实施碳效应Ⅱ、土地结构碳效应Ⅱ和管护碳效应。

(2)占用耕地资源的临时用地,有效进行耕作层剥离与再利用应是土地复垦方案编制与复垦工程实施的重要内容,是降低复垦项目管护碳排放的重要途径。

(3)占用林地资源的临时用地,按原地类进行复垦时应特别强调复垦后植被固碳能力不降低,这是确保复垦项目土地结构固碳量不降低的重要举措。

(4)破坏程度为中度及以上的临时用地,复垦工程措施中可以考虑用黏土替代水泥、用编织袋挡土墙替代浆砌石挡土墙以降低工料消耗量,这是减少复垦项目工程实施碳排放的重要方法。

参考文献:

- [1] Houghton R A, House J I, Pongratz G R, et al. Carbon emissions from land use and land-cover change[J]. *Biogeosciences*, 2012, 9 (12): 5125-5142.

- [2] 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.
- [3] Sá J C, 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.
- [4] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 1999, 51(2):298-313.
- [5] Kaplan J O, Krumhardt K M, Ellis E C, et al. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change[J]. *Holocene*, 2011, 21(5):775-791.
- [6] Liu D, Liu C L, Fu Q, et al. Construction and application of a refined index for measuring the regional matching characteristics between water and land resources[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91:203-211.
- [7] Goh C S, Junginger M, Potter L, et al. Identifying key factors for mobilising under-utilised low carbon land resources: A case study on Kalimantan[J]. *Land Use Policy*, 2018, 70:198-211.
- [8] 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 Luo-cheng, WU Ci-fang, CHENG Jiu-miao. Carbon effect of rural land consolidation and its policy response[J]. *Resources Science*, 2017, 39(11):2073-2082.
- [9] 贺大为, 金 贵, 望元庆, 等. 湖北省不同类型土地整治项目施工阶段的碳排放核算[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(6):568-573.
HE Da-wei, JIN Gui, WANG Yuan-qing, et al. Carbon emissions accounting for construction of different types of land consolidation projects in Hubei Province[J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2018, 40(6):568-573.
- [10] 张利国, 王占岐, 李冰清. 湖北省土地整治项目碳效应核算及其分析[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(11):2006-2019.
ZHANG Li-guo, WANG Zhan-qi, LI Bing-qing. Carbon effect accounting and analysis of land consolidation in Hubei Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(11):2006-2019.
- [11] 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):24-29.
WEI Feng-juan, LI Jiang-feng, FANG Chao. Study of carbon emission in rural land consolidation from angle of energy consumption[J]. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2013, 30(2):24-29.
- [12] 郭义强, 陈朝锋, 韩 赧, 等. 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, HAN Ze, et al. 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 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.
- [14] 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 Shu, JIN Xiao-bin, YANG Xu-hong, et al. Determining and estimating impacts of farmland consolidation projects on the regional carbon effects[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1):93-101.
- [15] Chartin C, Evrard O, Salvador-Blanes S, et al. Quantifying and modelling the impact of land consolidation and field borders on soil redistribution in agricultural landscapes (1954—2009)[J]. *Catena*, 2013, 110(2):184-195.
- [16] Jitendra A, Adarsh K, Marcin P, et al. Reclamation of coal mine spoil and its effect on technosol quality and carbon sequestration: A case study from India[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(28):27992-28003.
- [17] Dong Y, Liu S, Wang J, et al. Assessment of risk and carbon sequestration function of land consolidation based on landscape pattern[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(7):246-253.
- [18] 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 Meng, HUANG Xian-jin, ZHONG Tai-yang, et al. Impacts of land consolidation on soil organic carbon content[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8):324-329.
- [19] 师晨迪. 土地整治工程对土壤有机碳的影响[J]. *现代农业科技*, 2018(12):185, 189.
SHI Chen-di. Effects of land reclamation engineering on soil organic carbon[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(12):185, 189.
- [20] 曹婷婷, 孙婴婴, 花东文, 等. 土地整治工程对土壤碳固持的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(2):250-256.
CAO Ting-ting, SUN Ying-ying, HUA Dong-wen, et al. Effects of land remediation on soil carbon fixation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(2):250-256.
- [21] 王媛玲, 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 Ai-ling, ZHAO Geng-xing, WANG Qing-fang, et al. Effects of land consolidation on soil physical and chemical characteristics of hilly region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(9):311-315.
- [22] 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 Xue-bin, YU Guang-ming, HE Guo-song. Carbon storage loss during land readjustment and optimization of ecological compensation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(3):303-308.
- [23] 汪燕衍. 临时用地管理现状分析与对策建议[J]. *上海国土资源*, 2013, 34(1):69-72.
WANG Yan-yan. Legal and management aspects of temporary land

- use[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2013, 34(1):69-72.
- [24] 张黎明, 张绍良, 侯湖平, 等. 矿区土地复垦碳减排效果测度模型与实证分析[J]. *中国矿业*, 2015, 24(11):65-70.
- ZHANG Li-ming, ZHANG Shao-liang, HOU Hu-ping, et al. Evaluation model and empirical study of carbon emission reduction effect from mining land reclamation[J]. *China Mining Magazine*, 2015, 24(11):65-70.
- [25] 谷家川, 查良松. 皖江城市带农作物碳储量动态变化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(12):1507-1513.
- GU Jia-chuan, ZHA Liang-song. Research on dynamic change of vegetation carbon storage of crops in the Wanjiang City belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(12):1507-1513.
- [26] 朱苑维, 管东生, 胡燕萍. 珠三角地区农田生态系统植被碳储量与碳密度动态研究[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(8):1313-1317.
- ZHU Yuan-wei, GUAN Dong-sheng, HU Yan-ping. Dynamic of vegetation carbon storage and carbon density of farmland ecosystem in Pearl River Delta[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(8):1313-1317.
- [27] 梁丽琼, 谭裕模, 张革民. 甘蔗植株根冠比及叶片束缚水含量与抗旱性的关系[J]. *广西蔗糖*, 1996(1):20-22.
- LIANG Li-qiong, TAN Yu-mo, ZHANG Ge-min. Relationship between drought resistance and root-shoot ratio of sugarcane and bound water content in leaves of sugarcane[J]. *Guangxi Sugarcane & Cane-sugar*, 1996(1):20-22.
- [28] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(2):1-6, 11.
- ZHAO Qin-rong, QIN Ming-zhou. Temporospatial variation of partial carbon source/sink of farmland ecosystem in coastal China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(2):1-6, 11.
- [29] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2002, 91(1/2/3):217-232.
- [30] 田云, 李波, 张俊飏. 我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2011, 11(1):59-63.
- TIAN Yun, LI Bo, ZHANG Jun-biao. Research on stage characteristics and factor decomposition of agricultural land carbon emission in China[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2011, 11(1):59-63.
- [31] 国家发展改革委. 省级温室气体清单编制指南(试行)[R]. 北京: 国家发展改革委, 2011.
- National Development and Reform Commission. Guidelines for the preparation of provincial greenhouse gas inventories (trial) [R]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2011.
- [32] 李职奇. 广西苍梧县珠江流域治理再造林项目碳汇供给研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- LI Zhi-qi. Study on carbon sequestration of reforestation project in Cangwu County[D]. Nanning: Guangxi University, 2017.
- [33] 唐彩飞. 工业型乡村用地低碳测算与布局模式研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- TANG Cai-fei. Study on low carbon measurement and distribution model of industrial rural land use[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [34] 唐洪松, 苏洋, 汪晶晶. 碳排放视角下我国建设用地利用强度与效率研究[J]. *生态经济*, 2018, 34(9):25-30, 60.
- TANG Hong-song, SU Yang, WANG Jing-jing. Study on the efficiency and efficiency of construction land use from the perspective of carbon emissions in China[J]. *Ecological Economy*, 2018, 34(9):25-30, 60.
- [35] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(9):1048-1057.
- ZHAO Rong-qin, HUANG Xian-jin, ZHONG Tai-yang. Research on carbon emission intensity and carbon footprint of different industrial spaces in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9):1048-1057.
- [36] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. *地理研究*, 2010, 29(9):1639-1649.
- ZHAO Rong-qin, HUANG Xian-jin. Carbon emission and carbon footprint of different land use types based on energy consumption of Jiangsu Province[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(9):1639-1649.
- [37] Eggleston S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Geneva: IPCC, 2006.
- [38] 张中秋, 胡宝清, 韦金洪. 基于能源与工料消耗的土地整治项目碳排放与碳足迹[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(7):1867-1872, 1879.
- ZHANG Zhong-qiu, HU Bao-qing, WEI Jin-hong. Carbon emission and carbon footprint of land consolidation projects based on energy and material consumption[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55(7):1867-1872, 1879.
- [39] 刘娜. 建筑全生命周期碳排放计算与减排策略研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2014.
- LIU Na. Research on carbon emission calculation and emission reduction strategies of building based on life cycle assessment[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2014.
- [40] 黎礼刚, 李凌云, 周紧东, 等. 护岸工程材料综合能耗和碳排放计算及评价[J]. *人民长江*, 2012, 43(7):50-55.
- LI Li-gang, LI Ling-yun, ZHOU Jin-dong, et al. Calculation and evaluation of comprehensive energy consumption and carbon emissions of revetment works materials[J]. *Yangtze River*, 2012, 43(7):50-55.
- [41] 李艳红. 护岸材料碳排放及综合能耗推求与评估[J]. *水利规划与设计*, 2017(5):94-97.
- LI Yan-hong. Calculation and evaluation of carbon emission and comprehensive energy consumption of revetment materials[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2017(5):94-97.
- [42] 贾珍. 某绿色建筑的全生命周期碳排放研究[J]. *建设科技*, 2016(17):78-81.
- JIA Zhen. Study on the life-cycle carbon emission of green building[J]. *Construction Science and Technology*, 2016(17):78-81.
- [43] 龚志起, 张智慧. 水泥生命周期中物化环境状况的研究[J]. *土木工程学报*, 2004, 37(5):86-91.
- GONG Zhi-qi, ZHANG Zhi-hui. A study on embodied environmental profile during the life cycle of cement[J]. *China Civil Engineering*

- Journal*, 2004, 37(5): 86-91.
- [44] 吴红, 崔素萍, 王志宏. 中国水泥工业环境负荷分析[J]. 中国建材科技, 2006(3): 50-54.
WU Hong, CUI Su-ping, WANG Zhi-hong. LCA for cement production in China[J]. *China Building Materials Science & Technology*, 2006(3): 50-54.
- [45] 陈超, 胡聃, 文秋霞, 等. 中国水泥生产的物质消耗和环境排放分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8986-8989.
CHEN Chao, HU Dan, WEN Qiu-xia, et al. Resource depletion and environmental discharge of cement production in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(28): 8986-8989.
- [46] 张涛, 姜裕华, 黄有亮, 等. 建筑中常用的能源与材料的碳排放因子[J]. 中国建设信息, 2010(23): 58-59.
ZHANG Tao, JIANG Yu-hua, HUANG You-liang, et al. Carbon emission factors of energy and materials commonly used in buildings[J]. *Information of China Construction*, 2010(23): 58-59.
- [47] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣, 等. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1729-1735.
XIE Hong-yu, CHEN Xian-sheng, LIN Kai-rong, et al. The ecological footprint analysis of fossil energy and electricity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1729-1735.
- [48] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2035-2039.
WU Fen-lin, LI Lin, ZHANG Hai-lin, et al. Effects of conservation tillage on net carbon flux from farmland ecosystems[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 2035-2039.

欢迎订阅

2020年《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》是由农业农村部主管、农业农村部环境保护科研监测所和中国农业生态环境保护协会联合主办的全国性学术期刊,是中国科学引文数据库核心期刊(CSCD)、中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国精品科技期刊、中国国际影响力优秀学术期刊、中国权威学术期刊。被Scopus、《化学文摘》(CA)、《剑桥科学文摘(自然科学版)》(CSA (Natural Science))、《国际农业与生物科学研究中心》(CABI)、《史蒂芬斯数据库》(EBSCO)、《文摘杂志》(AJ)、《日本科学技术振兴集团(中国)数据库》(JST China)、《乌利希期刊指南(网络版)》(Ulrichsweb)等数据库收录。开设栏目:专论与综述、污染生态、土壤环境、水体环境、畜禽环境、水产环境、废弃物处理及资源化利用、碳氮循环、面源污染、分析方法、环境影响评价。

《农业环境科学学报》为月刊,每月20日出版,大16开,208页,每册定价75.00元,全年900.00元。国际标准连续出版物号ISSN 1672-2043,国内统一连续出版物号CN 12-1347/S。国内外公开发行,全国各地邮局均可订阅,国内邮发代号6-64,国外发行代号M5872,也可直接与编辑部联系订阅。

地址:天津市南开区复康路31号(300191)

电话:022-23674336 传真:022-23674336

邮箱:caep@vip.163.com;nyhjkxxb@vip.163.com

网址:www.aes.org.cn