

T/OTOP

团 体 标 准

T/OTOP XXXX—2023

面向便捷交易的高标准农田减排固碳碳汇方法学

Methodology for High Standard Farmland Emission Reduction and Carbon
Sequestration Oriented Towards Convenient Trading

(征求意见稿)

2023-xx-xx 发布

2023-xx-xx 实施

中国民族贸易促进会 发布

目 录

前 言	2
引 言	3
面向便捷交易的高标准农田减排固碳碳汇方法学	4
1 范围	4
2 适用条件	4
3 规范性引用文件	4
4 术语和定义	5
5 项目边界的确定方法	7
6 碳库和温室气体排放源选择	7
7 额外性论证	8
8 分层	9
9 项目减排固碳量计算	9
10 可交易智能测算系统软件工具	15
附录 A	16
（资料性附录）	16
高标准农田减排固碳碳汇项目的地块抽样设计	16
附录 B	17
（资料性附录）	17
抽样样本的精度计算	17
附录 C	19
（资料性附录）	19
高标准农田减排固碳碳汇项目数据监测	19
附录 D	20
（资料性附录）	20
推荐的参数值	20

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江南大学国家安全与绿色发展研究院提出。

本文件由中国民族贸易促进会归口。

本文件起草单位：江南大学国家安全与绿色发展研究院、中国矿业大学经济管理学院、中国民贸一乡一品产业促进中心、国利（无锡）技术信息有限责任公司、安徽省农业科学院作物研究所、安徽省产权交易中心有限责任公司、北京市农林科学院。

本文件主要起草人：陈红、王欣茹、杨舒涵、龙如银、那静文、马万祺、吴继安、李倩文、彭旭、史艳旻、张芊、孙青青、吴梅芬、陈佳巍、蓝军、杨子谦、董春松、汪建来、黄磊、韩平。

本文件为首次发布。

引 言

农业领域作为中国国民经济的重要组成部分和基础性行业，存在着碳排放总量大、涉及主体类型多、影响面广等实际情况。高标准基本农田是一定时期内，通过土地整治建设形成的集中连片、设施配套、高产稳产、生态良好、抗灾能力强，与现代农业生产和经营方式相适应的基本农田。高标准农田建设在推进农业碳减排方面潜力巨大，可以通过良好的农业措施和农田管理增加农田土壤有机碳储量和减少农业生产过程中的温室气体排放。开发高标准农田减排固碳碳汇是推进农业农村减排固碳的重要抓手，对促进农业可持续发展及实现我国“双碳”目标具有重要作用。

本方法学聚焦于高标准农田减排固碳碳汇测度，结合我国高标准农田建设现状，构建高标准农田减排固碳碳汇项目基线、项目排放、项目泄漏等多情景物理场域，利用排放因子法、机器学习等多条件跨域碳排因子拟合技术对高标准农田减排固碳碳汇项目进行精准测算，形成可交易智能测度系统（HSFERCS）工具。旨在为高标准农田减排固碳的规模化核算及碳减排路径提供方法学指导和标准化思路，推动高标准农田可持续、高质量建设，同时，为满足碳汇便捷性交易需求提供科学合理的方法学支撑，进一步推动高标准农田减排固碳碳汇交易的有序开展。

本方法学的制定和实施将有助于推动完善高标准农田建设模式，一方面，可以减少温室气体排放，提高农业资源利用效率和生态效益，为农田建设保护注入新动能；另一方面，可以增强农业生态系统对气候变化的适应性，加强农业与其他行业在低碳环保领域的协同合作，对推动农业生态良性循环和双碳目标早日实现具有重要的示范引领作用和深刻的时代意义。

本方法学同已有的相关项目方法学相比，具有如下4个特点：

- ①填补高标准农田碳汇标准的空缺，规范和完善高标准农田减排固碳碳汇项目的计量和监测方法；
- ①重点面向高标准农田碳汇资源的可交易性进行碳汇核算；
- ②采用了简明核算方法测度不同现代化农业措施下高标准农田的碳汇规模水平；
- ④开发了可交易智能测度系统（HSFERCS）智能计算软件工具，满足碳汇市场交易便捷性需求。

面向便捷交易的高标准农田减排固碳碳汇方法学

1 范围

本文件规定了面向便捷交易的高标准农田减排固碳碳汇的术语和定义、高标准农田减排固碳碳汇的核算原则、核算边界、核算对象和核算方法。

本文件适用于高标准农田减排固碳碳汇项目的碳汇核算工作。

2 适用条件

本方法学的适用条件包括：

- (1) 项目活动的高标准农田遵循当前国家高标准农田建设的相关规定；
- (2) 高标准农田碳汇的计算以单个高标准农田项目建设面积作为基础，原则上平原地区不低于5000亩，丘陵地区不低于2000亩；
- (3) 高标准农田碳汇核算仅按照年度进行核算，碳汇规模的核算周期为三年；
- (4) 高标准农田权属清晰；
- (5) 项目年减排总量应该小于或等于6万吨CO₂当量；
- (6) 项目活动采取对应保护性耕作措施。基准线情景下土地利用方式包括旱地和水田，耕作方式为常规耕作且秸秆不还田。

3 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T30600-2022 高标准农田建设 通则

国家发展与改革委员会 [2012] 1668号 温室气体自愿减排交易管理暂行办法

IPCC 土地利用、土地利用变化和林业良好做法指南

CDM EB CDM 项目活动和规划类项目抽样与调查指南（V2.0）

CMS-017-V01 在水稻栽培中通过调整供水管理实践来实现减少甲烷的排放

CMS-083-V01 保护性耕作减排增汇项目方法学

Soil Carbon Quantification Methodology, V 1.0

ISBN 4-88788-032-4 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

AMS-III.AU.-V4.0 Methane emission reduction by adjusted water management practice in rice cultivation

VCS-VM0017-V1.0 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management

VCS-VM0022-V1.1 Quantifying N₂O Emissions Reductions in Agricultural Crops through Nitrogen Fertilizer Rate Reduction

VCS-VM0042-V1.0 Methodology for Improved Agricultural Land Management

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1

高标准农田 High Standard Farmland

高标准农田是指田块平整、集中连片、设施完善、节水高效、农电配套、宜机作业、土壤肥沃、生态友好、抗灾能力强,与现代农业生产和经营方式相适应的旱涝保收、稳产高产的耕地。

4.2

面向便捷交易 Oriented Towards Convenient Trading

高标准农田作物固碳碳汇项目中,通过采用一系列的技术和方法,实现了碳汇项目的高效开展和快速交易,从而提高了项目的实施效率和效益。

4.3

高标准农田减排固碳碳汇 High Standard Farmland Emission Reduction and Carbon Sequestration

高标准农田碳汇主要是通过加强高标准农田建设,采用改变常规灌溉方式、增加秸秆还田、增加有机肥施用等保护性耕作措施,提升农田土壤的有机质含量,增强农田土壤固碳能力,同时减少农业生产过程中的温室气体排放。

4.4

基线情景 Baseline Scenario

合理代表在没有高标准农田减排固碳碳汇项目活动时,历史和现在的高标准农田碳汇水平。

4.5

项目情景 Project Scenario

拟议的高标准农田减排固碳项目下的高标准农田碳汇水平。

4.6

项目边界 Project Boundary

指拥有高标准农田所有权或使用权的业主或其它项目参与方实施减排固碳碳汇项目实施的活动地理范围;高标准农田减排固碳碳汇项目活动可在若干不同地块上进行,并且每个地块都有特定边界。项目边界有事前项目边界和事后项目边界之分。

事前项目边界:是在项目设计和开发阶段确定的项目边界,是计划实施项目活动的边界。

事后项目边界:是在项目活动结束后经过核实的实际项目活动边界。在实施阶段,经监测核实的事后项目边界。

4.7

基线碳汇量 Baseline Carbon Sink

基线情景下高标准农田减排固碳碳汇项目边界内各碳库的碳储量变化和温室气体排放变化之和。

4.8

项目碳汇量 Project Carbon Sink

项目情景下高标准农田减排固碳碳汇项目边界内各碳库的碳储量变化和温室气体排放变化之和。

4.9

额外性 Additionality

指高标准农田减排固碳项目的碳汇量高于基线的碳汇量水平，即这种项目活动在没有外来的诸如投资、技术、融资以及风险等方面的竞争劣势和/或障碍因素，这种额外的碳汇量在没有拟议的碳汇项目活动时是不会产生的。

4.10

温室气体 Greenhouse Gas

指大气中那些吸收和重新放出红外辐射的自然和人为的气态成分，包括对太阳短波辐射透明（吸收极少）、对长波辐射有强烈吸收作用的二氧化碳、甲烷、一氧化碳、氟氯烃及臭氧等30余种气体。

4.11

土壤碳库 Soil Carbon Pool

指土壤中的有机碳（腐殖质）和无机碳，不包括土壤中的生物量（根、块根等）以及土壤动物。

4.12

保护性耕作 Conservation Tillage

指通过少耕、免耕、深松及秸秆还田的综合配套措施，既能减少农田土壤侵蚀，增加农田土壤有机碳含量，实现土壤碳库增汇，又能保护农田生态环境，从而获得生态环境效益、经济效益及社会效益协调发展的可持续农业技术

4.13

常规耕作 Conventional Tillage

指作物生产过程中由耕翻、耙压和中耕等组成的土壤耕作体系。

4.14

土壤有机质 Soil Organic Matter

是指土壤中的腐殖质

4.15

土壤有机质含量 Soil Organic Matter Content

是指每千克土壤中的土壤有机质含量

4.16

土壤有机碳含量 Soil Organic Carbon Content

是指单位质量土壤有机质中的碳元素含量

4.17

土壤有机碳密度 Soil Organic Carbon Density

是指单位面积、一定深度土体中土壤有机碳质量。

4.18

土壤有机碳储量 Soil Organic Carbon Stock

是指项目所在区域一定深度的土壤有机碳总质量。

4.19

灌溉类型 Irrigation Type

指连续淹灌和间歇灌溉（包括一次排水，多次排水）等。

5 项目边界的确定方法

项目边界可采用下述方法之一确定，面积测定误差不超过5%：

(a) 采用全球定位系统（GPS）、北斗卫星导航系统（Compass）或其他卫星导航系统直接测定项目所有地块边界的拐点坐标，定位误差不超过5米。

(b) 使用大比例尺地形图（比例尺不小于1:10000）进行现场勾绘，结合GPS、Compass等定位系统进行精度控制。面积勾绘时要排除地块之间的道路、灌溉渠和田埂等非种植面积。

在项目审定和核查时，项目参与方须提交地理信息系统（GIS）产出的项目边界的矢量图形文件（.shp文件）。在项目审定和首次核查时，项目参与方须提供项目主体所有地块的土地所有权或使用权证明。

6 碳库和温室气体排放源选择

在基准线情景和项目活动下包括的碳库和排放源如表 1和表 2。

表 1 在基准线和项目活动下碳库的选择

碳库种类	包括/不包括	理由/说明
地上部木本生物量	不包括	不涉及
地下部木本生物量	不包括	不涉及
一年生农作物生物量	不包括	不涉及
枯枝落叶	不包括	不涉及
土壤有机碳	包括	保护性耕作主要引起土壤有机碳库的变化

表 2 基准线和项目活动中不包括或包括的温室气体排放源和种类

排放源	气体	不包括/包括	理由/说明	
基线情景	施用化肥	CO ₂	不包括	不适用。
		CH ₄	不包括	不适用。
		N ₂ O	包括	农田施肥是 N ₂ O 的主要排放源。
	秸秆还田	CO ₂	不包括	基准线情景下无秸秆还田。
		CH ₄	不包括	基准线情景下无秸秆还田。
		N ₂ O	不包括	基准线情景下无秸秆还田。
	有机肥施用	CO ₂	不包括	不适用。
		CH ₄	不包括	不适用。
		N ₂ O	包括	有机肥施用是 N ₂ O 的主要排放源。
	灌溉管理	CO ₂	不包括	简化排除。
		CH ₄	包括	主要 CH ₄ 排放源。
		N ₂ O	不包括	简化排除。
农机化石燃料消耗	CO ₂	包括	是主要 CO ₂ 排放源。	
	CH ₄	不包括	简化排除。	
	N ₂ O	不包括	简化排除。	
项目情景	施用化肥	CO ₂	不包括	不适用。
		CH ₄	不包括	不适用。
		N ₂ O	包括	农田施肥是 N ₂ O 的主要排放源。
	秸秆还田	CO ₂	不包括	不适用。
		CH ₄	不包括	不适用。
		N ₂ O	包括	农田秸秆还田是 N ₂ O 主要排放源。
	有机肥施用	CO ₂	不包括	不适用。
		CH ₄	不包括	不适用。
		N ₂ O	包括	有机肥施用是 N ₂ O 的主要排放源。
	灌溉管理	CO ₂	不包括	简化排除。
		CH ₄	包括	主要 CH ₄ 排放源。
		N ₂ O	不包括	简化排除。
农机化石燃料消耗	CO ₂	包括	是主要 CO ₂ 排放源。	
	CH ₄	不包括	简化排除。	
	N ₂ O	不包括	简化排除。	

7 额外性论证

项目参与方可通过下述程序，论证项目活动的额外性：

减排量小于20000吨CO₂ eq的保护性耕作减排增汇项目可以免除额外性论证；

对于减排量在20000-60000吨CO₂ eq项目，项目参与方可借助最新版本的用来验证和评估VCS农业、林业和其它土地利用方式（AFOLU）项目活动额外性的VCS工具《VT0001 Tool for the Demonstration and

Assessment of Additionality in VCS Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Project Activities, v3.0》²来验证项目的额外性。项目参与方须证明拟议项目活动的保护性耕作措施与项目区域普遍实施的耕作方式具有本质的差异，提供证明材料。项目活动一旦被论证不是普遍性实践，即被认定在其计入期内不具有额外性。

8 分层

项目边界内可能包括不同的种植制度、农田水肥管理措施以及不同的土壤条件。为了使层内均一性增加、降低监测成本，需要对基准线情景和项目情景下的地块进行分层。分层包括基准线情景分层和项目分层。

基准线情景分层：项目参与方须根据现有种植制度、农田水肥管理措施等对基准线情景进行分层。

项目分层包括事前项目分层和事后项目分层。事前项目分层用于项目减排增汇的事前计量，主要是根据保护性耕作类型、种植制度、农田水肥管理措施等划分。事后项目分层用于项目减排增汇的事后监测和核算。

9 项目减排固碳量计算

9.1 基线情景

项目基准线情景包括土壤有机碳储量、农田N₂O排放量、农田CH₄排放量和农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量。

9.1.1 土壤有机碳储量

步骤 1：计算土壤有机碳密度

基准线情景下土壤有机碳密度的计算方法：

$$C_{bsl,s,i} = SOC_{bsl,s,i} \times w_s \times h \times (1 - g_s) \times 0.1 \quad \#(1)$$

其中，

$C_{bsl,s,i}$ 基准线情景下分层s、抽样地块i的土壤有机碳密度（tC/ha）；

$SOC_{bsl,s,i}$ 基准线情景下分层s、抽样地块i的土壤有机碳含量（gC/kg）， $SOC_{bsl,s,i} = SOM_{bsl,s,i} \div 1.724$ ， $SOM_{bsl,s,i}$ 为基准线情景下分层s、抽样地块i的土壤有机质含量（g/kg），1.724为土壤有机质含量转换成土壤有机碳含量的系数；

w_s 分层s表层30cm的土壤容重（g/cm³）；

h 表层土壤深度（30cm）；

g_s 分层s表层30cm土壤中直径大于2mm的砾石所占百分比（%）；

0.1 单位转换系数。

步骤 2：计算平均土壤有机碳密度

基准线情景下对给定分层s的所有抽样地块平均的土壤有机碳密度的计算方法：

$$C_{bsl,s} = \frac{\sum_{i=1}^{I_s} C_{bsl,s,i}}{I_s} \quad \#(3)$$

²
<https://verra.org/methodologies/vt0001-tool-for-the-demonstration-and-assessment-of-additionality-in-vcs-agriculture-forestry-and-other-land-use-afolu-project-activities-v3-0/>

其中，

$C_{bsl,s,i}$ 基准线情景下对给定分层s的所有抽样地块平均的土壤有机碳密度（tC/ha）；

I_s 基准线情景下分层s的所有抽样地块总数（块）。

步骤 3：计算土壤有机碳储量

基准线情景下土壤有机碳储量计算方法：

$$C_{bsl} = \sum_{s=1}^S (C_{bsl,s} \times A_{bsl,s}) \quad \#(4)$$

其中，

C_{bsl} 基准线情景下土壤有机碳储量（tC）；

$A_{bsl,s}$ 基准线情景下分层s所有地块的总面积（ha）；

S 分层总数（个）。

9.1.2 农田 N₂O 排放量

基准线情景下施肥导致的农田N₂O排放源包括两个方面：1)施用无机氮肥； 2)施用有机肥。

步骤 1：施用无机氮肥造成的 N₂O 排放

基准线情景下施用无机氮肥造成的N₂O排放计算：

$$N_{bsl,\alpha} = F_{bsl,\alpha} \times f_{\alpha} \quad \#(5)$$

$$F_{bsl,\alpha} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{p=1}^P M_{bsl,\alpha,s,i,p} \times NC_{bsl,\alpha,p}}{I_s} \times A_{bsl,s} \right] \quad \#(6)$$

其中，

$N_{bsl,\alpha}$ 基准线情景下项目边界内施用无机氮肥造成的N₂O 排放（t）；

$F_{bsl,\alpha}$ 基准线情景下无机氮肥施用量（t）；

f_{α} 无机氮肥N₂O排放因子；

$M_{bsl,\alpha,s,i,p}$ 基准线情景下分层s、抽样地块i、单位面积施用无机氮肥类型p的量（t/ha）；

$NC_{bsl,\alpha,p}$ 无机氮肥类型p的含氮量（%）

步骤 2：施用有机肥造成的 N₂O 排放

基准线情景下施用有机肥造成的N₂O排放计算：

$$N_{bsl,\beta} = F_{bsl,\beta} \times f_{\beta} \quad \#(7)$$

$$F_{bsl,\beta} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{q=1}^Q M_{bsl,\beta,s,i,q} \times NC_{bsl,\beta,q}}{I_s} \times A_{bsl,s} \right] \quad \#(8)$$

其中，

$N_{bsl,\beta}$ 基准线情景下项目边界内施用有机肥造成的N₂O排放（t）；

$F_{bsl,\beta}$ 基准线情景下有机肥施用量（t）；

f_{β} 有机肥N₂O排放因子；

$M_{bsl,\beta,s,i,q}$ 基准线情景下分层s、抽样地块i、单位面积施用有机肥类型q的量（t/ha）；

$NC_{bsl,\beta,q}$ 有机肥类型q的含氮量（%）

步骤 3：农田 N₂O 排放总量

$$N_{bsl} = (N_{bsl,\alpha} + N_{bsl,\beta}) \times 44/28 \times GWP_{N_2O} \quad \#(9)$$

其中，

N_{bsl} 基准线情景下项目边界内施肥造成的N₂O排放（t CO₂eq）；

44/28 N₂O-N转换为N₂O的系数；

GWP_{N_2O} N₂O的增温潜势（298）。

9.1.3 农田 CH₄ 排放量

基准线情景下水田灌溉管理的CH₄排放量计算：

$$CH_{bsl} = \sum_{s=1}^S \left(\frac{\sum_{i=1}^{I_s} f_{bsl,s,i}}{I_s} \times A_{bsl,s} \times 10^{-3} \times GWP_{CH_4} \right) \quad \#(10)$$

其中，

CH_{bsl} 基准情景下的CH₄排放量（t CO₂ eq）；

$f_{bsl,s,i}$ 基准情景下分层s、抽样地块i的CH₄排放因子；

GWP_{CH_4} CH₄的全球变暖潜势（t CO₂ eq/t CH₄，默认值：25）

9.1.4 农机耕作消耗化石燃料造成的 CO₂ 排放量

基准线情景下农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量计算：

$$FC_{bsl} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K FC_{bsl,s,i,l,k} \times f_{co_2,k} \times NCV_k}{I_s} \times A_{bsl,s} \right] \quad \#(11)$$

其中，

FC_{bsl} 基准情景下农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量（t CO₂）；

$FC_{bsl,s,i,l,k}$ 基准情景下分层s、抽样地块i、农机类型l耕作单位面积年平均消耗的燃料类型k的量（重量或体积/ha）；

$f_{co_2,k}$ 燃料类型k的排放因子；

NCV_k 燃料类型k的净热值（GJ/重量或体积单位）；

k 燃料类型；

K 使用的燃料类型数量；

l 农机类型。

9.2 项目情景

项目基准线情景包括土壤有机碳储量、农田NO_x排放量、农田CH₄排放量和农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量。

9.2.1 土壤有机碳储量

步骤 1：计算土壤有机碳密度

项目活动下土壤有机碳密度的计算方法：

$$C_{proj,m,s,i} = SOC_{proj,m,s,i} \times w_s \times h \times (1 - g_s) \times 0.1 \quad \#(12)$$

其中，

$C_{proj,m,s,i}$ 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期分层s、抽样地块i的土壤有机碳密度 (tC/ha) ;

$SOC_{proj,m,s,i}$ 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期分层s、抽样地块i的土壤有机碳含量 (gC/kg),

$SOC_{proj,m,s,i} = SOM_{proj,m,s,i} \div 1.724$, $SOM_{proj,m,s,i}$ 项目活动下分层s、抽样地块i的土壤有机质含量 (g/kg), 1.724 土壤有机质含量转换成土壤有机碳含量的系数。

步骤 2: 计算平均土壤有机碳密度

项目活动下对给定分层s的所有抽样地块平均的土壤有机碳密度的计算方法:

$$C_{proj,m,s} = \frac{\sum_{i=1}^{I_s} C_{proj,m,s,i}}{I_s} \#(13)$$

其中,

$C_{proj,m,s}$ 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期分层s的所有抽样地块平均的土壤有机碳密度 (tC/ha)。

步骤 3: 计算土壤有机碳储量

项目活动下不同有机质含量监测期的土壤有机碳储量计算方法:

$$C_{proj,m} = \sum_{s=1}^S (C_{proj,m,s} \times A_{proj,m,s}) \#(14)$$

其中,

$C_{proj,m}$ 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期土壤有机碳储量 (tC) ;

$A_{proj,m,s}$ 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期分层s所有地块的总面积 (ha)。

9.2.2 农田 N₂O 排放量

项目活动下施肥导致的农田N₂O排放源包括三个方面: 1)施用无机氮肥; 2)施用有机肥; 3)秸秆还田。

步骤 1: 施用无机氮肥造成的 N₂O 排放

项目活动下施用无机氮肥造成的N₂O排放计算:

$$N_{proj,\alpha,y} = F_{proj,\alpha,y} \times f_{\alpha} \#(15)$$

$$F_{proj,\alpha,y} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{p=1}^P M_{proj,\alpha,s,i,p,y} \times NC_{proj,\alpha,s,i,p,y}}{I_s} \times A_{proj,m,s} \right] \#(16)$$

其中,

$N_{proj,\alpha,y}$ 项目活动下第y年施肥造成的N₂O排放 (t) ;

$F_{proj,\alpha,y}$ 项目活动下第y年无机氮肥施用量 (t) ;

f_{α} 无机氮肥N₂O排放因子;

$M_{proj,\alpha,s,i,p,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积施用无机氮肥类型p的量 (t/ha) ;

$NC_{proj,\alpha,s,i,p,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积施用的无机氮肥类型p的含氮量 (%)。

步骤 2: 施用有机肥造成的 N₂O 排放

项目活动下施用有机肥造成的N₂O排放计算:

$$N_{proj,\beta,y} = F_{proj,\beta,y} \times f_{\beta} \#(17)$$

$$F_{proj,\beta,y} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{q=1}^Q M_{proj,\beta,s,i,q,y} \times NC_{proj,\beta,s,i,q,y}}{I_s} \times A_{proj,m,s} \right] \#(18)$$

其中,

$N_{proj,\beta,y}$ 项目活动下第y年施用有机肥造成的N₂O排放 (t) ;

$F_{proj,\beta,y}$ 项目活动下第y年有机肥施用量 (t) ;

f_{β} 有机肥N₂O排放因子;

$M_{proj,\beta,s,i,q,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积施用有机肥类型q的量 (t/ha) ;

$NC_{proj,\beta,s,i,q,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积施用的有机肥类型q的含氮量 (%) 。

步骤 3：秸秆还田造成的 N₂O 排放

项目活动下秸秆还田造成的N₂O排放计算方法:

$$N_{proj,\gamma,y} = F_{proj,\gamma,y} \times f_{\gamma} \#(19)$$

$$F_{proj,\gamma,y} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{j=1}^J M_{proj,\gamma,s,i,j,y} \times NC_{proj,\gamma,s,i,j,y}}{I_s} \times A_{proj,m,s} \right] \#(20)$$

$$M_{proj,\gamma,s,i,j,y} = G_{proj,\gamma,s,i,j,y} \times RG_j \times DW_j \times PR_{proj,\gamma,s,i,j,y} \#(21)$$

其中,

$N_{proj,\gamma,y}$ 项目活动下第y年秸秆还田造成的N₂O排放 (t) ;

$F_{proj,\gamma,y}$ 项目活动下第y年秸秆还田的N量 (t) ;

f_{γ} 秸秆还田的N₂O排放因子;

$M_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积秸秆还田量 (t/ha) ;

$NC_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、单位面积施用的秸秆含氮量 (%) ;

$G_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、作物类型j的单位面积产量 (t/ha) ;

RG_j 作物类型j的秸秆/作物产量比;

DW_j 作物类型j的秸秆干重比;

$PR_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ 项目活动下第y年分层s、抽样地块i、作物类型j的秸秆还田比例 (%) 。

步骤 4：农田 N₂O 排放总量

$$N_{proj,y} = (N_{proj,\alpha,y} + N_{proj,\beta,y} + N_{proj,\gamma,y}) \times 44/28 \times GWP_{N_2O} \#(22)$$

其中,

$N_{proj,y}$ 项目活动下第y年农田N₂O排放总量 (t CO₂eq) 。

9.2.3 农田 CH₄ 排放量

根据不同灌溉类型, 对应不同排放因子。项目情景下水田灌溉管理的CH₄排放量计算:

$$CH_{proj,y} = \sum_{s=1}^S \left(\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{v=1}^V f_{proj,s,i,v,y}}{I_s} \times A_{proj,m,s} \times 10^{-3} \times GWP_{CH_4} \right) \#(23)$$

其中,

$CH_{proj,y}$ 项目情景下第y年CH₄排放量 (t CO₂ eq) ;

$f_{proj,s,i,y}$ 项目情景下第y年分层s、抽样地块i、灌溉类型v的CH₄排放因子, ;

$A_{proj,m,s}$ 项目情景下分层s的所有地块的总面积。

9.2.4 农机耕作消耗化石燃料造成的 CO₂ 排放量

基线情景下农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量计算：

$$FC_{proj,y} = \sum_{s=1}^S \left[\frac{\sum_{i=1}^{I_s} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K FC_{proj,s,i,l,k,y} \times f_{co_2,k} \times NCV_k}{I_s} \times A_{proj,m,s} \right] \#(24)$$

其中，

$FC_{proj,y}$ 项目情景下农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量（t CO₂）；

$FC_{proj,s,i,l,k,y}$ 项目情景下分层s、抽样地块i、农机类型l耕作单位面积年平均消耗的燃料类型k的量（重量或体积/ha）；

$f_{co_2,k}$ 燃料类型k的排放因子；

NCV_k 燃料类型k的净热值（GJ/重量或体积单位）；

k 燃料类型；

K 使用的燃料类型数量；

l 农机类型。

9.3 项目活动引起的土壤有机碳储量、温室气体排放的变化

保护性耕作减排增汇项目活动的减排量计算包括四个方面：1)土壤有机碳储量变化；2)农田N₂O排放量变化；3)农田CH₄排放量变化；4)农机具耕作化石燃料消耗造成的CO₂排放量变化。

$$\Delta E_y = \Delta SOC_y + \Delta N_2O_y + \Delta CH_4_y + \Delta CO_2_y \#(25)$$

其中，

ΔE_y 第y年项目活动引起的土壤有机碳储量和温室气体排放的变化（t CO₂eq）；

ΔSOC_y 第y年项目活动引起的土壤有机碳储量的变化（t CO₂）；

ΔN_2O_y 第y年项目活动引起的农田 N₂O 排放量的变化（t CO₂eq）；

ΔCH_4_y 第y年项目活动引起的农田CH₄排放量的变化

ΔCO_2_y 第y年项目活动引起的农机具耕作化石燃料消耗造成的 CO₂ 排放量的变化（t CO₂）。

9.3.1 土壤有机碳储量变化

1) 针对第1次土壤有机质含量监测

项目活动下第1次土壤有机质含量监测，土壤有机碳储量平均年变化量计算：

$$\Delta SOC_y = (C_{proj,m} - C_{bsl}) \div y_1 \times \frac{44}{12} \#(27)$$

其中，

ΔSOC_y 项目活动开始到第1次土壤有机质含量监测期土壤有机碳储量平均年变化量（t CO₂）；

y_1 项目活动开始到第1次土壤有机质含量监测期的时间间隔（年）；

m 项目活动下第m次土壤有机质含量监测期，第1次土壤监测时，m等于1；

44/12 将土壤C转化成CO₂的系数。

2) 针对第2个及后续的土壤有机质含量监测期

项目活动下的第2次及后续的土壤有机质含量监测，土壤有机碳储量平均年变化量的计算：

$$\Delta SOC_y = (C_{proj,m} - C_{proj,m-1}) \div y_m \times \frac{44}{12} \#(28)$$

其中，

ΔSOC_y 第m-1次监测至第m次土壤有机质含量监测期土壤有机碳储量平均年变化量 (t CO₂)；

$C_{proj,m-1}$ 第m-1次土壤有机质含量监测期土壤有机碳储量 (t CO₂)；

y_m 第m-1次与第m次土壤有机质含量监测期的时间间隔 (年)。

9.3.2 农田 N₂O 排放量变化

项目活动造成的农田N₂O排放量的变化计算：

$$\Delta N_2O_y = N_{bsl} - N_{proj,y} \#(29)$$

9.3.3 农田 CH₄ 排放量变化

项目活动造成的农田 CH₄ 排放量的变化计算：

$$\Delta CH_4_y = CH_{bsl} - CH_{proj,y} \#(30)$$

9.3.4 农机耕作消耗化石燃料造成的 CO₂ 排放量变化

项目活动下农机耕作消耗化石燃料造成的CO₂排放量的变化计算：

$$\Delta CO_2_y = FC_{bsl} - FC_{proj,y} \#(31)$$

9.4 泄漏

本方法学不考虑项目活动对项目边界外温室气体排放的影响。因此，本方法学假设泄漏排放为零，即 $LE_y = 0$

9.5 项目减排量

项目活动引起的减排量计算：

$$ER_y = \Delta E_y - LE_y \#(32)$$

ER_y 第 y 年项目活动引起的减排增汇量 (t CO₂ eq)。

10 可交易智能测算系统软件工具

本方法学基于 JAVA、VUE、MYSQL 等开发语言，辅以内嵌机器学习算法，开发了可交易智能测度系统 (HSFERCS) 智能计算软件工具。

附录 A
(资料性附录)
高标准农田减排固碳碳汇项目的地块抽样设计

1 抽样设计

采用分层随机抽样的方法抽取基线情景和项目活动下的监测地块。对土壤有机质含量、氮素施入量、甲烷排放和农机化石燃料消耗的抽样地块数量应满足置信区间为 90% 时该参数的精度超过 90% 的要求。

2 预抽样

首先对项目涉及的所有地块按照不同的耕作方式、种植制度、水肥管理措施、土壤类型等进行分层；对每一分层的所有地块进行编号，采取预抽样的方法从每一分层中随机抽取 2% 的地块监测土壤有机质含量、抽取 5% 的地块监测氮素施入量、甲烷排放和农机化石燃料消耗量。如果每一分层的抽样样本地块数少于 30 块，则按 30 块抽取。如果某一分层的地块总数小于 30 块，则需要监测该分层所有地块。

3 抽样样本数的确定

对预抽样样本进行统计分析，计算预抽样样本的精度，判断是否满足置信区间为 90% 时该参数的精度超过 90% 的要求。抽样样本精度计算步骤见附录 B。

4 抽样时间

对于基线情景下各个参数的监测，抽样时间为项目开始时确定监测的地块。在项目活动下，对于氮素输入量和耕作耗油量的监测，抽样时间定于上年年底（例如，2019 年年底确定 2020 年氮素输入量和耕作耗油量的监测地块）。由于土壤有机质的监测频率为 3-5 年，抽样时间应在监测开始之前确定（例如，2020 年监测土壤有机质含量，则在监测开始之前随机确定各层的监测地块）。

附录 B
(资料性附录)
抽样样本的精度计算

(1) 根据基线或者项目活动下每一个分层的地块数量，从中随机抽取 p% 的地块。每一个分层的抽样样本数。

$$n_i = N_i \times p\% \quad \#(B.1)$$

其中，

n_i 第 i 层的抽样样本的地块数量；

N_i 第 i 层的地块总数。

(2) 按照计算的每一分层的抽样样本数进行随机抽样，并监测每一地块的土壤有机质含量、氮素施入量、农机化石燃料消耗量，以及不同灌溉方式的 CH₄ 排放因子。

(3) 第三步：根据监测数据，分别计算每一分层的抽样样本的平均值 \bar{x}_i 和标准差 S_i 。

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad \#(B.2)$$

$$s_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \times \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad \#(B.3)$$

其中，

\bar{x}_i 第 i 分层抽样地块监测数据的平均值；

x_{ij} 第 i 分层第 j 抽样地块的监测数据 (土壤有机质含量、氮素输入量、CH₄ 排放因子、耕作耗油量)；

s_i^2 第 i 层监测数据的方差。

(4) 根据各个分层的面积以及参与项目的总面积，求出各分层的总体相对权重 W_i 。

$$W_i = \frac{M_i}{M} \quad \#(B.4)$$

其中，

W_i 第 i 层的总体相对权重 (%)；

M_i 第 i 分层的所有地块的面积 (ha)；

M 参与项目总面积 (ha)。

(5) 根据各分层的面积相对权重，以及各个分层的监测参数的平均值、标准差，计算项目的总体平均值的估计值 \bar{x} 及其标准差 $s_{\bar{x}}$ 。

$$\bar{x} = \sum_i W_i \times \bar{x}_i \quad \#(B.5)$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{1}{n} \times \sqrt{\sum_i n_i \times s_i^2 \times (1 - f)} \quad \#(B.7)$$

$$f = \frac{n}{N} \quad \#(B.8)$$

\bar{x} 项目总体的平均值的估计值；

W_i 第 i 层的总体相对权重 (%)；

\bar{x}_i 第 i 分层抽样数据的平均值；

$s_{\bar{x}}$ 项目的总体标准差；

n 所有分层抽样样本总数；

s_i 第 i 分层样本的标准差；

f 抽样分数；

N 项目的地块总数。

(6) 计算样本监测数据的精度。

$$p_c = 1 - \frac{t_{\alpha} s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \#(B.9)$$

其中，

p_c 表示精度；

t_{α} 在特定的置信水平下 t 值，本方法学的置信水平为 90%，即 $\alpha=0.1$ （根据相应的自由度，查 t 分布表可得相应数值）。

(7) 判断 p_c 是否达到 90% 的精度要求，如果 $p_c > 0.9$ ，则预抽样的样本数量可以满足项目精度要求。

附录 C
(资料性附录)

高标准农田减排固碳碳汇项目数据监测

表 C.1 高标准农田减排固碳碳汇项目基本数据监测

S (个)	I_s (块)	$A_{bsl,s}$ (ha)	$A_{proj,m,s}$ (ha)

表 C.2 计算土壤有机碳储量数据监测

基线情景	项目情景	w_s (g/cm ³)	g_s (%)
$SOM_{bsl,s,i}$ (g/kg)	$SOM_{proj,m,s,i}$ (g/kg)		

表 C.3 计算高标准农田 N₂O 排放量数据监测

基线情景		项目情景		f_α
$M_{bsl,\alpha,s,i,p}$ (t/ha)	$NC_{bsl,\alpha,p}$ (%)	$M_{proj,\alpha,s,i,p,y}$ (t/ha)	$NC_{proj,\alpha,s,i,p,y}$ (%)	
$M_{bsl,\beta,s,i,q}$ (t/ha)	$NC_{bsl,\beta,q}$ (%)	$M_{proj,\beta,s,i,q,y}$ (t/ha)	$NC_{proj,\beta,s,i,q,y}$ (%)	f_β
—	—	$M_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ (t/ha)	$NC_{proj,\gamma,s,i,j,y}$ (%)	f_γ
—	—			

表 C.4 计算高标准农田 CH₄ 排放量数据监测

基线情景	项目情景
$f_{bsl,s,i}$	$f_{proj,s,i,v,y}$

表 C.5 计算农机耕作消耗化石燃料造成的 CO₂ 排放量数据监测

基线情景	项目情景	$f_{CO_2,k}$	NCV_k (GJ/重量或体积)	k	K	l
$FC_{bsl,s,i,l,k}$ (重量或体积/ha)	$FC_{proj,s,i,l,k,y}$ (重量或体积/ha)					

附录 D
(资料性附录)
推荐的参数值

表 D.1 全国不同区域高标准农田 N₂O 直接排放因子默认值

区域	N ₂ O 排放因子 (t-N /t-N 施肥量)	范围
I 区 (内蒙、新疆、甘肃、青海、西藏、陕西、山西、宁夏)	0.0056	0.0015~0.0085
II 区 (黑龙江、吉林、辽宁)	0.0114	0.0021~0.0258
III 区 (北京、天津、河北、河南、山东)	0.0057	0.0014~0.0081
IV 区 (浙江、上海、江苏、安徽、江西、湖南、湖北、四川、重庆)	0.0109	0.0026~0.022
V 区 (广东、广西、海南、福建)	0.0178	0.0046~0.0228
VI 区 (云南、贵州)	0.0106	0.0025~0.0218

表 D.2 化石燃料的净热值及 CO₂ 排放因子推荐值

能源	计量单位	净热值 ^a (GJ/t)	CO ₂ 排放因子 ^b (10 ⁻⁶ t CO ₂ /GJ)
汽油	t	43.070	74100
柴油	t	42.652	74100

注：^a 数据取值来源《中国能源统计年鉴》(2013)的各种能源折标准煤参考系数；^b IPCC 2006 国家温室气体排放清单编制指南 第二卷 能源 表 1.4

表 D.3 高标准农田主要农作物秸秆含氮量

农作物种类	秸秆/作物产量	干重比	秸秆含氮量
小麦	1.304	0.87	0.00516
玉米	1.283	0.86	0.0058
高粱	1.545	0.87	0.0073
谷子	1.597	0.83	0.0085
其他谷类	1.198	0.83	0.0056
大豆	1.353	0.86	0.0181
其他豆类	1.597	0.82	0.022
油菜籽	2.690	0.82	0.00548
花生	0.799	0.9	0.0182
芝麻	1.398	0.9	0.0131
籽棉	1.611	0.83	0.00548

甜菜	0.499	0.4	0.00507
甘蔗	0.333	0.32	0.0058
麻类	0.205	0.83	0.0131
薯类	0.499	0.45	0.011
蔬菜类	0.205	0.15	0.008

注：数据来源于省级温室气体清单编制指南(试行)

参考文献

- [1]范婷婷. 黑龙江省旱田生态系统碳汇测算及其分布规律研究[D].东北农业大学,2020.
- [2]朱燕茹. 山东省农田生态系统碳源碳汇时空格局演变[D].山东师范大学,2019.
- [3]杨柯. 我国典型农耕区土壤固碳潜力研究[D].中国地质大学(北京),2016.
- [4]李颖. 农业碳汇功能及其补偿机制研究[D].山东农业大学,2014.
- [5]唐海明,汤文光,肖小平等. 中国农田固碳减排发展现状及其战略对策[J].生态环境学报,2010,19(07):1755-1759.
-