

中国农业绿色发展研究会团体标准 编制说明

《农产品碳足迹核算规范 茶叶》

（征求意见稿）

《农产品碳足迹核算规范 茶叶》编制组

二〇二五年九月

目 录

一、团体标准制修订背景、目的和意义	1
二、工作简况.....	3
三、标准编制原则和依据	5
四、标准主要条文或技术内容及其确定依据	6
五、主要试验、验证及试行结果	21
六、采用国际标准的程度及水平说明	21
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系	24
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据	25
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果	25
十、其他应说明的事项	25

《农产品碳足迹核算规范 茶叶》

一、团体标准制修订背景、目的和意义

1. 制定背景

当前，应对气候变化与落实“双碳”目标已成为我国农业高质量发展的硬约束。从既有研究和政策实践看，茶叶系统是农业温室气体排放的热点之一：全球茶园面积虽不足农业用地的 0.3%，却贡献了约 5% 的 N_2O 排放；在我国，茶园仅占农用地面积的 2%，其 N_2O 排放却占农业源的 15%，单位排放强度甚至高于蔬菜与粮谷作物。因此，构建科学的茶叶碳足迹核算体系，对行业绿色转型与碳减排意义重大。

为满足市场和监管需求，近两年业界已陆续发布茶叶碳足迹核算标准，包括安徽省市场监督管理局发布的《DB34/T 4934—2024 茶园碳足迹核算指南》地方标准、中国茶叶学会发布的《T/CTSS 90-2024 茶叶碳足迹核算方法》团体标准和南京国环有机产品认证中心有限公司发布的《TCF 001—2023 茶叶碳足迹核算和标识使用技术规范》企业标准。三部标准在总体框架上形成了较为完整的技术雏形，但在适用范围、系统边界深度及数据质量要求等方面仍存在差异与空白，具体表现为：适用范围侧重不同。地方标准聚焦茶园经营阶段，提供了源汇识别与抽样技术指南，更贴近生产端需求；团体标准专注于“种植—加工—包装”全过程核算，界定了完整的核算流程与数据质量控制要求；企业标准同时覆盖核算与标识管理，强调组织层面的内部应用。系统边界深度不一致。地方标准仅核算到鲜叶运出茶园，未覆盖

后续加工与包装环节；企业与团体标准均采用“摇篮到大门”模式，但对采摘运输、能源分配等环节的划分粒度不同。数据质量与排放因子来源层级不统一。团体标准提出了分级优先原则和>95 %完整性门槛，而企业、地方标准侧重原则性描述，导致数据可比性不足。

通过建立健全的监测、核算与报告机制，可提升信息透明度和数据可信度，为行业节能减排提供坚实基础支撑。本标准旨在对各生产环节的碳排放进行精确量化，并为企业与农户提供可行的减排路径与技术方案，助力茶叶产业实现高质量与低碳协同发展。

2. 目的和意义

碳足迹核算是推进农业绿色低碳转型和开展温室气体减排管理的重要基础工作。建立科学、规范的碳足迹核算标准体系，既是农业应对气候变化、实现“双碳”战略目标的必然要求，也是提升农产品绿色竞争力、推动绿色生产与绿色消费协同发展的关键支撑。近年来，国家高度重视碳排放统计与核算体系建设。2022 年 4 月，国家发展改革委、国家统计局、生态环境部联合印发的《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》明确提出，鼓励各地区、行业及重点产品探索建立科学合理的碳排放核算方法，逐步实现产品碳足迹核算的标准化、规范化。与此同时，我国积极参与碳排放核算国际标准制定，持续加强在农业碳领域的技术与国际交流。

本团体标准的制定有三重目标。首先，它旨在统一核算边界与专业术语，通过系统梳理并吸收现有企业、团体和地方三部标准的成熟做法，在“种植—加工—包装”完整链条上建立一套可互通、可比对的

单元过程划分与术语体系，从而消除不同产区、不同企业在方法学上的差异。其次，标准通过引入分级数据来源、缺口补偿与不确定度分析等要求，进一步提升数据质量的一致性与可溯源性，确保核算结果既准确又具备权威性，便于政府监管、行业自律与市场认可。第三，本文件以 GB/T 24067 和 ISO 14067 等上位标准为参照，主动对接企业碳信息披露、绿色产品评价以及国际贸易“碳关税”等应用场景，使我国茶叶碳足迹核算体系能够与国际规则无缝衔接，从而增强茶叶出口的绿色竞争力。

标准的实施意义体现在产业、政策、科研投资以及消费四个维度：在产业层面，通过对各生产环节碳排放的量化，可精准揭示减排潜力，引导企业在施肥管理、能源替代、绿色包装等关键节点发力，降低碳成本并提升品牌价值；在政策层面，统一的数据口径和技术框架将为地方政府制定激励措施、评估减排成效，以及构建茶叶碳标签体系提供可靠依据；在科研与投资层面，标准化的数据将支持碳汇测算、低碳技术评估与绿色金融工具设计，为科研成果和资本向节能减排领域聚集创造条件；在消费层面，清晰透明的碳足迹信息能够提升消费者对低碳茶产品的认知度，进一步推动绿色消费和低碳生活方式的普及。

总而言之，本标准在充分吸收现有企业、团体和地方成果的基础上，对核算方法与数据规范进行了系统化、细化和国际化的升级，力求为茶叶产业链提供一套“可执行、可核查、可对标”的统一碳足迹核算方案，为茶产业迈向低碳、高质量发展奠定坚实的技术基础。

二、工作简况

1. 任务来源

根据 2025 年 1 月 20 日，中国农业绿色发展研究会农绿（培）〔2025〕2 号《关于征集 2025 年中国农业绿色发展研究会团体标准项目的通知》，由南京农业大学主持承担《农产品碳足迹核算规范 茶叶》的制定工作。本标准由南京农业大学提出，由中国农业绿色发展研究会归口，标准起草首席专家为王金阳副教授。

2. 主要工作过程

2025 年 1~3 月：组建项目团队，制定实施方案，收集和整理与茶叶碳足迹核算相关的国内外文献、专利、标准及技术规程等资料。标准编制小组成员结合多年科研与生产实践经验，参考国内外碳足迹核算与温室气体清单编制的相关文件，向标准化专家请教，深入学习标准的结构、术语及编写要求。

2025 年 4~6 月：在量化茶园系统碳足迹核算关键参数的基础上，起草《农产品碳足迹核算规范 茶叶》及编制说明，严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则》的要求组织编写，形成标准讨论稿。

2025 年 7~8 月：组织茶叶生产、科研、管理等领域的专家对标准讨论稿进行论证，结合专家建议进行修改和完善，最终形成标准征求意见稿。

3. 主要起草人及其分工

表 1 主要起草人员信息及任务分工

姓名	工作单位	职称	项目分工
王金阳	南京农业大学	副教授	标准起草与参数构建

邹建文	南京农业大学	教授	标准起草
韩召强	南京农业大学	讲师	参数构建与校对
林海燕	南京农业大学	无	参数校对
郭姝敏	南京农业大学	无	参数校对
徐继东	江苏省绿色食品办公室	高级农艺师	参数校对
朱凤	江苏省绿色食品办公室	推广研究员	参数校对
曹爱兵	江苏省绿色食品办公室	研究员	参数校对
姚瑶	江苏省绿色食品办公室	农艺师	参数校对
张冰心	江苏省绿色食品办公室	注册会计师	参数校对
孙以文	江苏省农业科学院	副研究员	参数校对
徐品上	淮阴工学院	讲师	参数构建与校对
徐凯达	中国国检测试控股集团股份有限公司	工程师	参数校对
郭汝清	南京国环有机产品认证中心有限公司	高级工程师	参数校对
陈健	通标标准技术服务(上海)有限公司	高级工程师	参数校对
王栋	江苏天圭认证有限公司	工程师	参数校对
魏俊杰	江苏天圭认证有限公司	工程师	参数校对

三、标准编制原则和依据

1. 编制原则

本标准在科学性、先进性和实用性原则的指导下编制：

科学性：标准制定基于起草单位多年在茶园系统温室气体排放与碳足迹核算方面的系统研究成果，参数选取和方法构建均依托田间实测与多源数据综合分析，确保科学可靠。

先进性：在现有农产品碳足迹核算体系基础上，结合茶园酸性土壤特征和氮肥利用现状，首次引入适用于茶园的分区管理模式 N_2O

排放因子及减排措施效果参数，具有较强的创新性和推广价值。

实用性：核算方法、参数体系和数据获取途径均经过多地茶园试点验证，操作简便、数据来源明确，便于在不同生产条件下推广应用。

2. 编制依据

2.1 本标准依据 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》的要求和规定起草制定。

2.2 依据起草单位承担的多项国家自然科学基金项目成果，包括茶园酸性土壤温室气体排放同步观测、茶园 N_2O 排放特征与驱动机制、间作绿肥和生物有机肥施用的减排效应及生物炭施用对茶叶碳足迹的影响等方面的系统研究，为本标准的制定提供了坚实的科学支撑。

2.3 起草单位在茶园碳足迹核算和温室气体排放研究方面的主要成果：在我国主要茶区开展多点田间长期观测，获取高分辨率 N_2O 排放数据，构建茶园 N_2O 排放与氮肥施用量、土壤 pH、气候因子之间的响应关系模型；基于全球 3700 余条观测数据，确定茶园 N_2O 排放因子为全球中值的约 2.3 倍，并首次估算全球及中国茶园直接 N_2O 排放总量；系统评估生物炭施用在茶园系统的碳足迹减排潜力，明确其在减少 N_2O 排放、改善土壤酸度、提高经济效益方面的综合优势。

四、标准主要条文或技术内容及其确定依据

1. 范围

本文件确立了茶叶碳足迹核算的原则与目的，规定了核算范围、核算步骤、核算数据以及核算报告的要求，描述了相应的核算方法。

本文件适用于茶叶生命周期温室气体（GHG）排放的核算、评价

和报告。

2. 规范性引用文件

本标准中明确引用了 1 个标准文件。

3. 术语和定义

本标准对茶叶碳足迹核算中涉及的常见术语进行了定义，包括产品碳足迹、系统边界、二氧化碳当量、温室气体排放量和活动数据。这些数据的定义来源于 GB/T 32150-2015 和 GB/T 24067-2024。

4. 应用

本标准可适用于但不限于为茶叶研究和开发、技术改进、产品碳足迹绩效追踪和信息交流提供信息。

5. 原则

本标准明确了茶叶碳足迹核算的原则，包括相关性、完整性、一致性、统一性、准确性和透明性。

6. 目的和范围

本标准明确了茶叶核算的目的和范围

6.1 核算目的

核算目的包括以下几点：

- （1）评价茶叶生产生命周期内相关活动带来的 GHG 排放；
- （2）识别茶叶生产关键排放环节，挖掘减排潜力；
- （3）为茶叶碳足迹标识提供依据。

6.2 核算范围

本文件将茶叶产品的生命周期视为一个具有特定功能的产品系

统，并依照生命周期评价（LCA）方法对系统进行分区划分，以明确物质与能量流的进入和输出。总体系统边界采用“摇篮到大门”（cradle-to-gate）模式，即从农资及包装材料的原料获取开始，至成品茶离开加工厂大门为止。为便于量化温室气体（GHG）排放与碳清除，将茶叶产品系统划分为若干单元过程，并按照生命周期阶段进行分组（见图 1）。

茶叶碳足迹核算的系统边界和核算内容示意图，如图 1 所示。

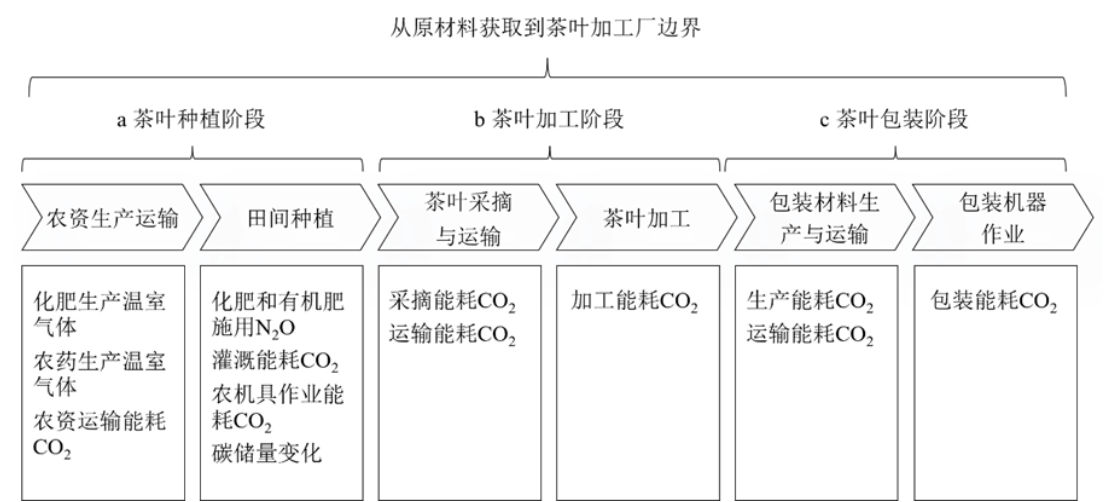


图 1 茶叶碳足迹核算的单元过程、生命周期阶段和系统边界

6.3 功能单位

茶叶采用 1 千克干重作为功能单位。

6.4 系统边界

本标准明确了茶叶碳足迹核算的系统边界及其包括的生命周期阶段和单元过程。

- a) 茶叶种植阶段：应包括茶叶种植涉及的农资生产运输、田间种植两个单元过程（见图 1）。各单元过程核算内容如下：

1) 农资生产运输单元过程核算内容包括氮肥、磷肥、钾肥等化肥生产过程产生的 GHG 排放、农药生产过程产生的 GHG 排放和农资运输消耗能源产生的 CO₂ 排放；

2) 田间种植单元过程核算内容包括化肥和有机肥施用产生的 N₂O 排放、农机具作业消耗能源产生的 CO₂ 排放、灌溉消耗能源产生的 CO₂ 排放；茶树年生物量增量形成的生物量固碳，以及有机肥、生物炭施用和修剪物还田提高土壤有机质所形成的土壤有机碳增量，在评价期内折算为 CO₂ 当量，并自总排放量中扣减。

b) 茶叶加工阶段：应包括茶叶采摘与运输、茶叶加工两个单元过程：

1) 原料运输与储存单元过程核算内容包括鲜叶采摘以及由茶园运输至加工厂及厂内短途周转引起的 CO₂ 排放；

2) 茶叶加工单元过程核算内容包括萎凋（摊青）、杀青、揉捻、发酵、干燥等工序使用过程中燃料或电力产生的 CO₂ 排放。

c) 茶叶包装阶段：由包装材料生产与运输、包装机器作业两个单元过程组成：

1) 包装材料生产与运输单元过程核算内容包括纸箱、塑料袋等材料生产和运输过程中产生的 CO₂ 排放；

2) 包装机器作业单元过程核算内容包括计量、充填、真空封口、装箱等作业所消耗电力引起的 CO₂ 排放。

6.5 单元过程的取舍准则

在对茶叶碳足迹量化过程中，可舍弃影响小于 1% 的环节，但系统

边界内舍弃环节总的影响不应超过碳足迹总量的 5%。

6.6 时间边界

数据采集时间边界至少应以 1 年为期限。

7. 核算步骤

茶叶碳足迹核算包括以下步骤：

- (1) 确定茶叶核算的系统边界、GHG 产生阶段和功能单位；
- (2) 选择和收集系统边界内各单元过程的定性活动信息和定量活动数据；
- (3) 选择和获取排放因子数据；
- (4) 计算各单元过程的 GHG 排放量和碳清除量；
- (5) 计算系统边界内茶叶碳足迹。

8. 数据收集、数据质量控制和数据保存

8.1 茶叶碳足迹与 GHG 相关的活动数据

活动数据应根据系统边界和包括的生命周期阶段和功能单元进行数据收集。

8.1.2 茶叶种植管理阶段收集内容宜包括下列内容：

- 茶园位置、面积、茶树品种与树龄；
- 不同茶青原料（鲜叶）年产量；
- 采摘周期与年采摘次数；
- 氮肥、磷肥、钾肥、有机肥、农药等投入量；
- 茶园田间机械/设备作业能源消耗量；
- 灌溉用水量及能源消耗量；

- 农资运输距离与能源消耗量；
- 鲜叶含水率、干物质含量及鲜叶-干茶转换系数。

8.1.3 茶叶加工阶段收集内容宜包括以下内容：

- 茶青原料来源地及投入量；
- 原料运输距离与能源消耗量；
- 加工工艺；
- 加工阶段能源消耗量。

8.1.4 茶叶包装阶段收集内容宜包括以下内容：

- 包装类型与材料；
- 包装材料运输距离与能源消耗量；
- 包装作业能源消耗量。

8.2 数据收集方法和数据质量

(1) 收集的数据应明确记录其收集过程、收集时间和地理信息；

(2) 活动数据应按照以下方法收集现场数据：

——茶叶种植管理阶段 活动数据应依据茶园（或茶农）农资使用台账、农机作业记录、能耗计量台账（柴油、电力）、灌溉用水计量记录及结算单或发票等确认；

——茶叶加工阶段 活动数据应依据初制、精制加工厂生产台账或统计报表、能源计量台账、燃料采购发票、锅炉运行记录、水耗计量记录等确认；

——茶叶包装阶段 活动数据应依据包装材料领用台账、包装生产线能耗计量台账、压缩空气用量记录、包装材料采购发票和结算单

等确认；

——在现场数据不可获取的情况下，宜使用国家最新公布的数据。

(3) 排放因子数据应按照以下方法收集：

——优先使用现场排放因子及特征参数；

——在现场排放因子及特征参数不可获取的情况下，宜使用国家最新公布的数据和经评估过的相关数据库数据；

——在国家已公布数据不可获取时，宜使用 IPCC 指南缺省值或附录 A 提供的推荐值。

(4) 数据审定宜通过质量平衡、能量平衡、排放因子的比较分析或其他适当方法进行。

8.3 数据保存

(1) 开展茶叶碳足迹核算应建立数据管理系统（包括数据来源、数据获取时间及相关负责人等信息的记录管理），保留相关文件和记录，用于数据审查和质量评估；

(2) 纸质版数据应存放于保护袋、卷夹或保护盒等保存介质中，由负责人签字并定点保存；如有破损应及时修补，并留存备查。保存地点应具备通风、防盗、防火、防潮、防灾、防鼠、防虫、防霉及防污染等措施。纸质数据记录应至少保存 5 年；

(3) 电子化数据应存放于电子储存介质中并进行数据备份，由负责人定期维护管理。文件名称的命名方式应为编号+茶园名称+记录年份，电子化存储记录宜长期保存，如确实缺乏储存条件，应至少保存 10 年。

9. 茶叶碳足迹核算方法

9.1 茶叶碳足迹核算

茶叶碳足迹计算如下：

$$CFP = \frac{E-C}{W}$$

式中：

CFP ——茶叶净碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千克茶叶（ $\text{kg CO}_2\text{e/kg}$ ）；

E ——茶叶种植、加工和包装阶段的GHG排放量总和，单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）；

C ——目标茶叶产品种植边界内的碳清除量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）；

W ——茶叶产量（以干重计， kg ）。

9.1.1 总 GHG 排放量

茶叶种植、加工和包装阶段的GHG排放量计算如下：

$$E = E_{\text{种植}} + E_{\text{加工}} + E_{\text{包装}}$$

式中：

$E_{\text{种植}}$ ——茶叶种植阶段产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）；

$E_{\text{加工}}$ ——茶叶加工阶段产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）；

$E_{\text{包装}}$ ——茶叶包装阶段产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）。

9.1.1.1 种植阶段的 GHG 排放量

茶叶种植阶段产生的GHG排放量计算如下：

$$E_{\text{种植}} = E_{\text{田间}} + E_{\text{农资}}$$

式中：

$E_{\text{田间}}$ ——种植阶段田间管理产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{农资}}$ ——种植阶段农资投入品（如化肥、农药等）产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）。

9.1.1.1.1 种植阶段田间管理产生的 GHG 排放量

计算公式如下：

$$E_{\text{田间}} = E_{\text{肥料}} + E_{\text{农机具}}$$

式中：

$E_{\text{肥料}}$ ——由氮肥施用引起的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{农机具}}$ ——田间机械作业能源消耗引起的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）。

注：茶园单位面积肥料施用产生的GHG排放量，计算如下：

$$E_{\text{肥料}} = E_{\text{N}_2\text{O}} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$$

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = \text{N}_2\text{O}_{\text{直接}} + \text{N}_2\text{O}_{\text{间接}}$$

式中：

$E_{\text{肥料}}$ ——茶叶种植阶段单位面积种植场肥料施用产生的 GHG 排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg

$\text{CO}_2\text{e}/\text{hm}^2$);

$E_{\text{N}_2\text{O}}$ ——单位面积茶园肥料施用产生的氧化亚氮排放总量, 单位为千克二氧化碳当量每公顷 ($\text{kg N}_2\text{O}/\text{hm}^2$);

$\text{N}_2\text{O}_{\text{直接}}$ ——单位面积茶园肥料施用产生的氧化亚氮直接排放量, 主要来源于化肥(氮肥、磷肥和钾肥)及有机肥施用引起的氧化亚氮直接排放, 单位为千克氧化亚氮每公顷 ($\text{kgN}_2\text{O}/\text{hm}^2$);

$\text{N}_2\text{O}_{\text{间接}}$ ——单位面积茶园肥料施用产生的氧化亚氮间接排放量, 主要来源于施用化肥和有机肥后, 所引起的氮氧化物和氨挥发经大气氮沉降而导致的氧化亚氮排放, 以及施加氮源后所导致的土壤氮经淋溶或径流损失进入水体而引发的氧化亚氮排放, 单位为千克氧化亚氮每公顷 ($\text{kg N}_2\text{O}/\text{hm}^2$);

$\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$ ——氧化亚氮相对于二氧化碳的全球变暖潜势, 本标准建议采用IPCC第六次评估报告的最新值273。

9.1.1.1.2 种植阶段农资投入品 GHG 排放量

计算公式如下:

$$E_{\text{农资}} = E_{\text{生产}} + E_{\text{运输}}$$

式中:

$E_{\text{生产}}$ ——农资投入品生产过程中产生的GHG排放量, 单位为千克二氧化碳当量每公顷 ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{hm}^2$);

$E_{\text{运输}}$ ——农资投入品运输到茶园过程中产生的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）。

9.1.1.2 加工阶段产生的 GHG 排放量

茶叶加工阶段的GHG排放量计算如下：

$$E_{\text{加工}} = E_{\text{茶叶采摘}} + E_{\text{茶叶运输}} + E_{\text{加工用能}}$$

$E_{\text{茶叶采摘}}$ ——茶叶采摘过程能源消耗引起的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{茶叶运输}}$ ——茶叶运输过程能源消耗引起的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{加工用能}}$ ——茶叶加工过程能源消耗引致的GHG排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）。

9.1.1.3 包装阶段产生的 GHG 排放量

茶叶包装阶段的GHG排放包括包装材料生产、运输和包装机器作业的GHG排放量，按如下公式计算：

$$E_{\text{包装}} = E_{\text{包装生产}} + E_{\text{包装运输}} + E_{\text{包装机器}}$$

式中：

$E_{\text{包装生产}}$ ——包装材料生产过程产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{包装运输}}$ ——包装材料由生产厂运至包装现场的运输排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$E_{\text{包装机器}}$ ——包装机具作业能耗产生的排放量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）。

9.1.2 碳清除量

碳清除量主要包括茶树生物质碳储量和土壤有机碳储量的变化。
为量化这一部分贡献，应按照如下公式计算总清除量：

$$C = \Delta NPP + \Delta SOCS$$

式中：

ΔNPP ——核算期内，每公顷茶园的茶树生物质碳储量变化量，
单位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）；

$\Delta SOCS$ ——核算期内，每公顷茶园土壤有机碳储量变化量，单
位为千克二氧化碳当量每公顷（ $\text{kg CO}_2\text{e/hm}^2$ ）。

9.1.2.1 茶树生物质碳储量变化量

茶树生物质碳储量变化量按如下公式计算：

$$\Delta NPP = (\Delta M_a \times C_a + \Delta M_b \times C_b) \times 44/12$$

$$\Delta M_a = M_{a_t} - M_{a_0}$$

$$M_a = -14.95 + 56.3 \times (1 - e^{-0.27t})$$

式中：

ΔM_a ——每公顷茶树地上生物量的增量，单位为千克碳每公顷
（ kg C/hm^2 ）；

ΔM_b ——每公顷茶树地下生物量的增量，通过公式 $\Delta M_b = \Delta M_a \times 0.6$ ，即假设地下部分约占地上部分的60%，单位为千克碳每公
顷（ kg C/hm^2 ）；

M_{a_0} ——根据核算期初的茶树树龄计算得到的每公顷茶树地上
生物量，单位为千克碳每公顷（ kg C/hm^2 ）；

M_{at} ——根据核算期末的茶树树龄计算得到的每公顷茶树地上生物量，单位为千克碳每公顷（kg C/hm²）；

t ——茶树树龄，单位为年；

C_a ——茶树地上生物量的含碳量（%）；

C_b ——茶树地下生物量的含碳量（%）；

44/12 ——将土壤碳转换为二氧化碳的系数。

注：茶叶和凋落物碳停留时间太短、最终会迅速返回大气，为防止重复和高估，只将能长期储碳的木质部入茶园生物物质碳固存。

9.1.2.2 土壤有机碳储量变化量

该部分的量化按如下公式计算：

$$C = SOCS_t - SOCS_0$$

$$SOCS = BD \times H \times SOC \times 44/12$$

式中：

$SOCS_t$ ——核算期末的土壤碳储量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

$SOCS_0$ ——核算期初的土壤碳储量，单位为千克二氧化碳当量每公顷（kg CO₂e/hm²）；

BD ——土壤容重，单位为克每立方厘米（g/cm³）；

H ——土层厚度，单位为厘米（cm）；

SOC ——核算期初或者期末的土壤有机碳含量，单位为克碳每一百克土壤（g C/100 g）。

10. 核算报告

茶叶碳足迹核算报告，应包括茶叶生产单位的基本信息、功能单位、系统边界、取舍原则、时间边界、数据信息和来源、核算结果和结果解释。

11. 附录部分

附录部分主要包括农资投入品、能源（燃料和电力）及包装材料的碳排放因子推荐值；茶叶碳足迹核算所需相关参数的推荐值，以及茶叶碳足迹核算报告的模板。

12. 参考资料

本规范形成过程中参照的主要标准和文件：

- [1] GB/T 24067 温室气体产品碳足迹量化要求和指南
- [2] GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- [3] 生态环境部环境规划院，北京师范大学，中山大学，中国城市温室气体工作组. 中国产品全生命周期温室气体排放系数集 [R]. 北京：生态环境部环境规划院, 2022.
- [4] Wang, J. and P. Smith, et al. (2022). Direct N₂O emissions from global tea plantations and mitigation potential by climate-smart practices. *Resources, Conservation and Recycling* 185: 106501.
- [5] Nabuurs, G-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlík, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, 2022: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

[6] IPCC (2019). Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Edited by Kristell Hergoualc'h, Hiroko Akiyama, Martial Bernoux, Ngonidzashe Chirinda, Agustin del Prado, Åsa Kasimir, James Douglas MacDonald, Stephen Michael Ogle, Kristiina Regina, and Tony John van der Weerden. IPCC, Geneva, Switzerland.

[7] 尤雪琴等(2008). 田间条件下不同园龄茶树氮、磷、钾养分需求规律的研究. 茶叶科学(03): 207-213.

[8] 张敏等(2013). 在茶园生产周期过程中茶树群落生物量和碳储量动态估算. 浙江大学学报（农业与生命科学版）(6): 687-694.

[9] Han, Z. et al. (2022). Impact of organic fertilizer substitution and biochar amendment on net greenhouse gas budget in a tea plantation. Agriculture, Ecosystems & Environment 326: 107779.

[10] Lin, H. et al. (2023). Can biochar application improve the net economic benefits of tea plantations? Science of The Total Environment

856: 159029.

五、主要试验、验证及试行结果

1. 排放因子测定与参数确定

为科学确定茶叶碳足迹核算中的温室气体排放参数，起草单位在我国典型茶区开展了多点、多年的田间观测，连续获取高分辨率的 N_2O 排放通量数据。试验结合氮肥用量梯度、土壤 pH 差异及气候因子变化，建立了 N_2O 排放强度的响应关系模型。基于全球 3700 余条茶园观测数据的综合分析，结果表明茶园 N_2O 排放因子为全球农田缺省值的 2.3 倍，并首次估算了全球及中国茶园的直接 N_2O 排放总量，识别出我国部分主产区（如东南沿海与西南部分地区）为排放热点。这些成果为本标准提供了分区适用的排放系数及热点区碳足迹核算参数依据。

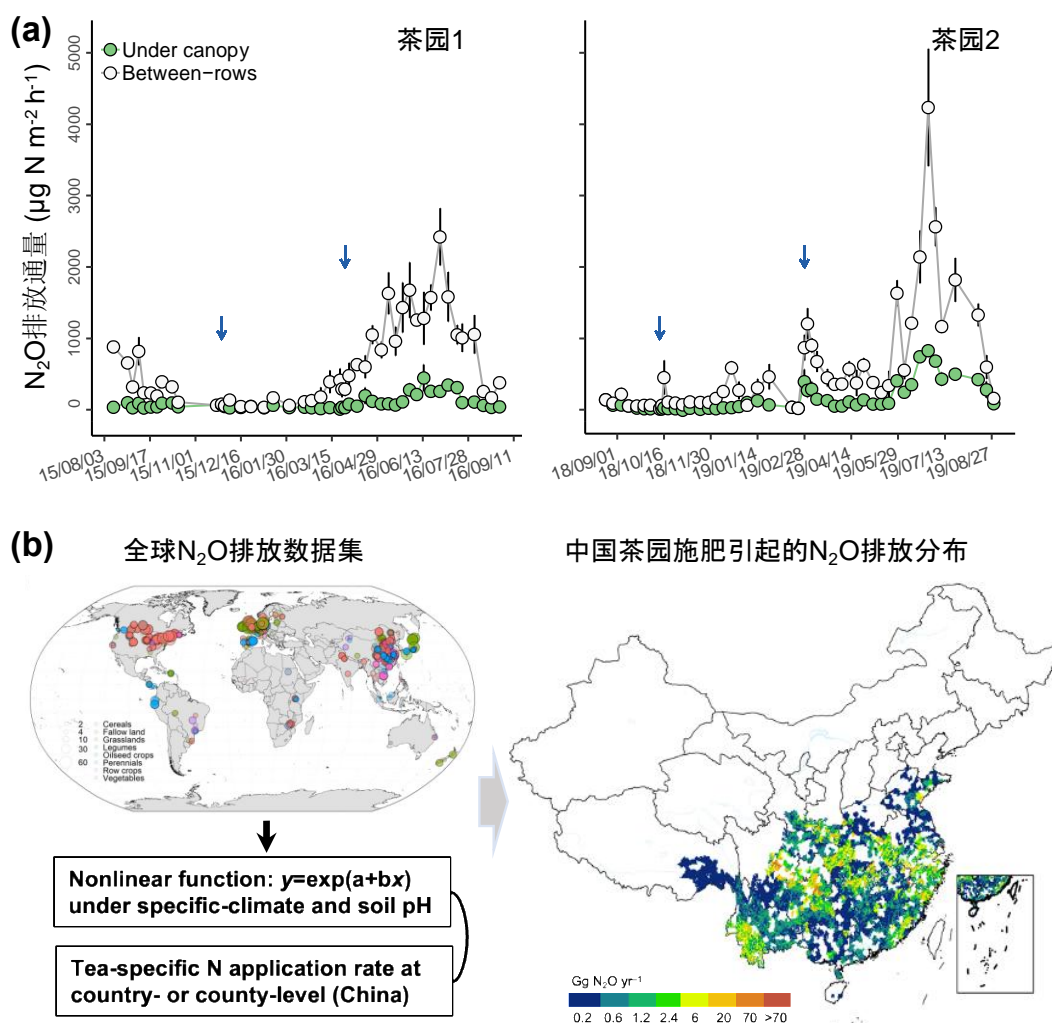


图2 茶园 N₂O 排放通量原位观测和我国茶园施肥引起的 N₂O 排放模型建立与估算

2. 生物炭施用对茶园土壤 N₂O 减排效果与机理

本团队在亚热带茶园开展长期定位试验与室内培养实验，探究生物炭对酸性茶园土壤 N₂O 排放的影响及机制。在江苏宜兴和句容的茶园试验中，设置单施复合肥、复合肥+生物炭处理，结果显示：与单施复合肥相比，短期生物炭施用可显著降低 N₂O 排放（图 3），主要通过促进 N₂O 还原为 N₂ 和抑制硝化细菌与反硝化细菌活性实现。7 年长期定位试验发现，生物炭的减排效果减弱，但仍通过降低土壤

底物有效性和改变氮循环功能微生物群落如 AOA 丰度下降、AOB/AOA 比值升高抑制排放。进一步研究发现，生物炭与其他优化氮肥管理相比，减排幅度仅高于有机肥部分替代措施，而优化或减少氮肥施用量和高效氮肥施用条件下可达 50%左右，且部分措施在酸性较强的土壤中表现出更稳定的效果。这些研究成果为本标准在酸性茶园推广生物炭及其与施肥优化组合的减排技术提供了直接的实验支撑、技术参数和适用条件依据。

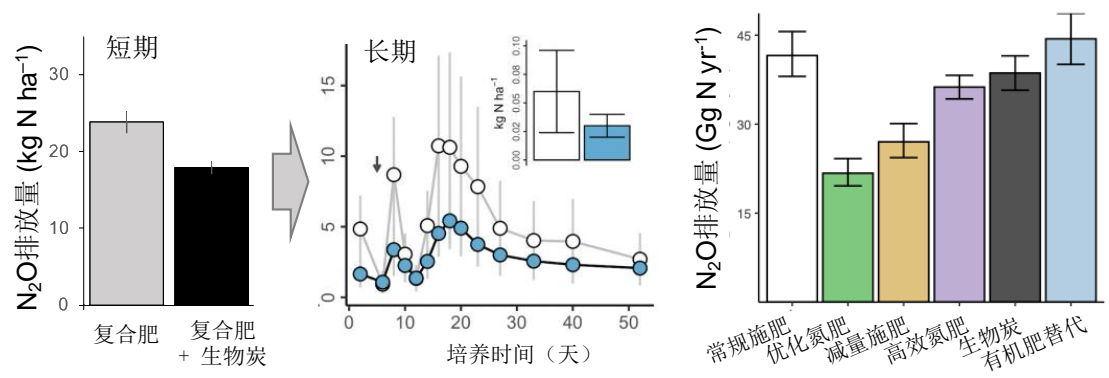


图 3 生物炭施用对茶园 N₂O 排放影响及其他优化管理措施的减排潜力估算

3. 生物炭对茶园碳收支及排放的影响

起草单位结合在江苏宜兴和句容的两个茶园生产基地开展的生物炭应用试验结果，为茶叶碳足迹核算中减排措施量化与参数设定提供了科学依据，试验设置单施复合肥、复合肥+生物炭处理，结果显示生物炭施用的净生态系统碳收支达 9515~13292 kg C hm⁻² yr⁻¹，显著高于单施复合肥处理，主要源于生物炭直接碳输入，同时减少 N₂O 排放为 16%，但总温室气体排放因生物炭生产运输碳未显著下降。经济可行性方面，现状下生物炭未提升产量且成本较高，生物炭施用处

理净生态经济收益较单施复合肥处理低 4.9%~8.6%，而在乐观情景（如碳价 160 美元 $t^{-1} CO_2e$ ，产量增 9.6%）下，净生态经济收益可提升 17%，显示政策激励下的应用潜力。这些试验数据为茶叶碳足迹精准核算及减排措施评估提供了科学支撑。

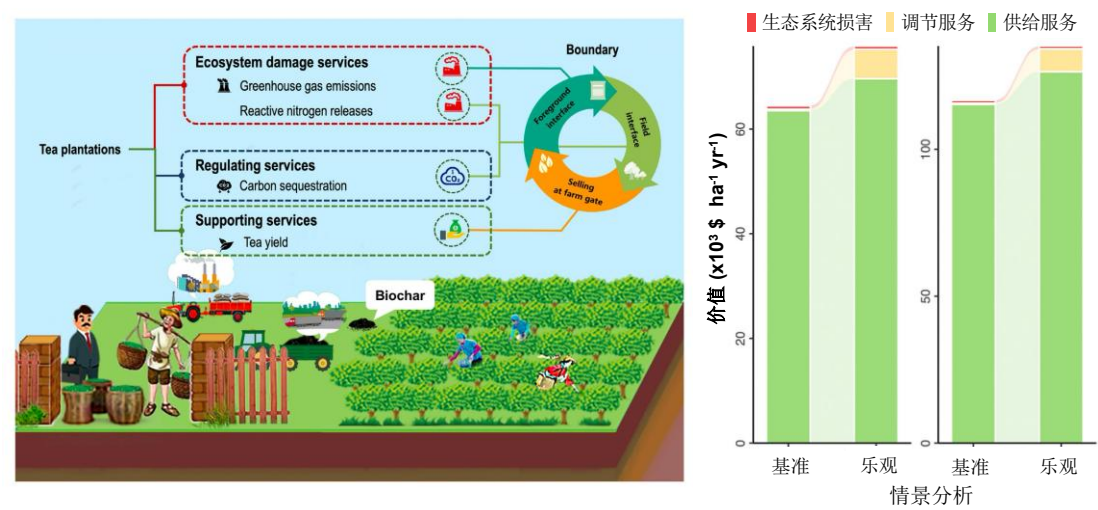


图 4 生物炭对茶园生态系统服务功能和净经济效益影响评价

六、采用国际标准的程度及水平说明

本标准没有采用国际标准。

七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

目前我国尚未专门制定针对茶叶碳足迹核算方面的国家或者行业标准，但发布了企业标准、团体标准和地方标准，这些标准一定程度上可为茶叶碳足迹核算提供了雏形。另外，还颁布有《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》、《农作物温室气体排放核算指南》、《种植农产品温室气体排放核算指南》等相关文件，在一定程度上可为茶叶碳足迹核算规范的编制提供参考和指导。然而，这些现行标准尚无法完全满足茶叶产业精准碳足迹核算和减排效果评估的要求。因此，本标准的编制充分借鉴了现有的标准，从格式和内容上提高茶叶碳足

迹核算的编制。本标准编制过程遵循了现行的相关法律法规。通过与现行相关标准的比较，本标准具有较好协调性。

八、重大分歧或重难点的处理经过和依据

本草案在工作组起草讨论过程中无重大分歧意见。

九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果

本规范针对茶叶碳足迹核算进行完善，为推荐规范，旨在为行业提供统一、科学且可操作的核算框架。可先在团体内一些固定观测试验站和示范种植基地中推广应用，并逐步带动行业内其他企业和种植主体积极实施本规范。实施过程中，若出现问题或需改进的内容，应及时反馈给起草单位，以便对本标准进行修订和完善。标准发布后，建议组织开展宣传与培训，加大示范和宣传力度，增强行业内对标准的理解和实施能力，加快推进本标准的实施，并推动茶叶产业实现绿色低碳转型。

本标准的实施要求相关单位配备具有农业、环境或相关专业的人员，并开展标准和技术要求的培训，负责标准的具体落实与技术要求的实施。同时，要合理分配人员开展茶叶生产过程中的各项数据监测，包括农资投入品的使用、土壤、气象、农事操作、温室气体排放等各类数据的收集与分析。建议组织培养或委托 3 名专业人员负责数据的分析与质量控制，确保获得的碳足迹数据符合可监测、可报告、可核查的要求，助力茶叶产业的低碳发展与环境绩效评估。

十、其他应说明的事项

无。