《设施土壤障碍生态消减技术规范(征求意见稿)》编制说明

一、目的意义

中共中央、国务院在2022-2024年中央一号文件均提出加快发展设施农业的战略规划。蔬菜集约化设施栽培已成为我国农业生产中的一种主要方式，为保障蔬菜稳定安全供给、促进农民增收和地方经济发展、提高耕地利用效率等做出重要贡献。目前，我国设施蔬菜栽培面积已接近6000万亩，约占总蔬菜栽培面积的20%。以设施蔬菜生产为典型代表的集约化农业已然成为我国现代农业重要组成部分。然而，有别于传统大田作物，设施蔬菜种植过程中，高复种指数带来土壤致病微生物富集、微生物功能衰退等生物障碍问题，过量施肥（尤其是氮肥）带来土壤次生盐渍化、酸化等理化障碍问题，造成蔬菜作物生长受限和大量经济损失，已成为制约我国设施农业可持续发展的瓶颈。

另一方面，随着设施蔬菜产业的稳步发展，设施蔬菜秸秆、尾菜等蔬菜残体的产生量逐年增多。蔬菜残体中含有大量水分和营养物质，并可能携带病菌虫卵，若是处理不当，不仅对农业农村环境造成破坏，还会进一步加剧土壤生物障碍的发生。蔬菜残体本身是一种有机废弃物资源，科学合理的利用蔬菜秸秆资源，使其变废为宝，是生态农业可持续发展的重要保障。近年来，蔬菜秸秆和尾菜的处理利用已经被相关部门纳入循环农业发展和农村人居环境整治中并取得初步成效。

将设施蔬菜残体原位应用于设施土壤障碍的修复，将取得事半功倍的效果和双重效益。研发将蔬菜残体应用于设施土壤障碍消减的技术，并制定易于技术推广应用的操作标准，对于设施土壤的可持续利用与设施农业的可持续发展具有重要意义。

强还原土壤处理（RSD）是一种提升耕地质量、修复退化土壤、遏制作物连作障碍的方法，广泛应用于中国、美国和日本等国家。RSD 是一种作物种植前的土壤处理方法，通过施用以易分解有机物料、灌溉至土壤水分饱和，覆膜 2-4 周，快速创造土壤强还原环境，短期内实现土传病害防控、退化土壤修复和耕地质量提升的方法。该技术具有以下特点：（1）广谱性：RSD 方法可以杀灭多种土壤病原细菌、真菌及植物根结线虫，其中杀菌率和杀线率分别高达 90%以上；（2）综合性：RSD 方法不仅可以杀灭土传病原菌，而且可以减少杂草萌发率，降低化感物质含量，解决土壤酸化、次生盐渍化和板结问题，提高土壤肥力和作物产量；（3）环境友好：RSD 方法不使用任何化学试剂，而利用大量农业有机废弃物，特别是作物秸秆，减少作物秸秆焚烧造成的空气污染；（4）操作简单：RSD 方法都是作物生产管理常用的操作手段，无需其它特殊技术，且处理时间较短，不耽误农时。该技术可以解决以下问题：（1）有效解决土壤酸化、次生盐渍化和板结的问题；（2）提高作物秸秆等农业有机废弃物的资源化利用率，保护生态环境；（3）提升耕地质量，修复退化土壤，消除蔬菜、瓜果和中药材的连作障碍，实现农业可持续生产；（4）提升土壤地力，增加土壤生物肥力，提高肥料的利用率，大幅度减少农

药使用量，达到“减肥减药”的农业生产要求。本团队在江苏、浙江、云南、河南等地开展的田间试验结果表明，RSD 处理能有效缓解土壤酸化、次生盐渍化和土壤板结等问题，且对消除香蕉、黄瓜、青椒、番茄、芹菜、芥蓝、甜瓜、草莓、洋桔梗、非洲菊、百合等作物的连作障碍效果显著，实现了花卉洋桔梗的多年连续种植。该技术于 2019 年被列入江苏省耕地质量保护新技术、于 2023 年获得教育部第六届省属高校精准帮扶项目。

强还原处理过程中需向土壤添加大量易分解有机物料，通过有机物的分解产生电子，创造强还原的土壤环境。因此，从理论上而言，蔬菜残体作为一种有机资源，将其用做强还原土壤处理的原料、消减设施土壤障碍完全可行。基于强还原处理技术将设施蔬菜生产过程中的蔬菜秸秆和尾菜就地用于设施土壤障碍因子的消减，可充分利用蔬菜残体这一有机资源，修复设施障碍土壤，保障设施蔬菜作物的健康生产，对减少环境污染、降低土壤修复成本、提高设施农业经济效益等均具有重要的贡献，符合循环农业、绿色农业、生态农业等理念，对我国设施蔬菜产业的可持续发展具有重要支撑作用。综上，有必要进一步研究以蔬菜残体为主要原料、基于强还原处理的设施土壤复合障碍消减技术，优化技术参数，并制定可复制、易推广的标准化技术规程，为设施农业的可持续发展提供技术支撑。

二、任务来源

根据 2024 年 1 月 10 日江苏省农学会下达的关于征集 2024 年江苏省农学会团体标准（第一批）立项项目的通知，标准牵头单位向江

苏省农学会提交立项申请;根据 2024 年 4 月 1 日江苏省农学会下达的关于~团体标准立项的公告（苏农学字[2024] 20 号），批准本标准（标准名称）立项。

本标准的编制获得以下项目的支持：（1）江苏省农业科技自主创新资金项目 CX(23)1038 作物秸秆制作土壤强还原剂联合异地堆肥高值利用技术体系构建与应用；（2）国家重点研发计划青年科学家项目 2023YFD1902000 设施土壤次生盐渍化与土传病害协同发生的微生态机制与消减原理。

本标准由南京师范大学牵头，联合南京农业大学、南京工业大学和江苏省农业科学院联合起草，主要起草人员为黄新琦、蔡祖聪、赵军、凌宁、张楠、周俊、雍晓雨、王秋君。

三、编制过程（需根据标准制定程序各阶段的进展不断补充，直到可发布为止）

（一）资料收集

起草小组全面收集了现有蔬菜残体处理技术、设施土壤障碍类型与危害、障碍土壤修复技术等方面的相关文献资料。经过对现有资料的全面分析，了解国内外相关研究和技术现状，初步搭起标准体系框架。

（二）实地调研

起草小组对江苏省多个设施蔬菜主产区进行了实地考察，全面了解目前实际生产中蔬菜残体的处置方式、设施障碍土壤的修复措施与效果等，并与一线农业生产者就本标准的实践可行性进行了充分的交

流与沟通。

（三）试验验证

起草小组进一步开展试验验证，主要内容包括：蔬菜残体的种类、前处理方式、添加量、辅料种类、处理时长等技术参数的优化，以及以蔬菜残体为原料的强还原土壤处理对设施土壤次生盐渍化、酸化、化感物质积累和致病菌富集等障碍的消减效果评价。

（四）技术论证

起草小组进一步开展本标准技术实施试点示范，开展标准实施信息反馈与监测，建立标准实施情况统计分析报告制度，开展标准实施效果评价，评估技术实施后的环境经济效益。

（五）草拟文本

在上述工作基础上，起草小组起草了本标准文本，并对其不断完善。

（六）征求意见

面向社会广泛征求意见，邀请领域专家进行标准的技术审查。根据社会和专家意见，修改、完善本标准文本。

四、主要内容技术指标确立依据

（一）本标准主要内容技术指标如下：

1　适宜操作时期

宜在设施环境内最高气温≥25°C，最低气温≥15°C时进行处理，夏季7-8月间的高温休耕期最佳。

2　蔬菜残体的预处理与施用

2.1 蔬菜残体的预处理

瓜果类和茄果类蔬菜秸秆以及各种蔬菜尾菜均可作为设施土壤生态修复的原材料。将田间新鲜或半风干的蔬菜残体通过粉碎机、破碎机或铡草机等设备进行破碎，以破碎后长度≤5 cm为宜。推荐将待修复大棚中前茬蔬菜作物残体就地粉碎。

2.2 蔬菜残体的施用方法

将破碎后的蔬菜残体均匀摊撒于土壤表面，同时添加辅料，然后用旋耕机将蔬菜残体及辅料与耕层土壤充分、均匀混合。混匀后平整土地，剔除土壤表面可能损坏薄膜的尖锐物体。新鲜蔬菜残体的推荐施用量为4 t/亩，半干的蔬菜残体施用量可适当减少。

2.3 辅料的添加

向土壤中添加风干的鸡粪、猪粪或牛粪作为辅料，腐熟或未腐熟的均可，添加量以所添加蔬菜残体干物质重量的1/4为宜。亦可向土壤中添加豆粕等有机氮、尿素等酰胺态氮或碳酸氢铵等铵态氮作为辅料，推荐用量为20 kg/亩。不宜采用硝态氮肥作为辅料。

3 灌水

推荐采用喷灌方式灌溉土壤，灌溉量应大于100 mm。若无喷灌条件，亦可采用漫灌的方式，保证待修复田块达到田间持水量。灌溉水应符合GB 5084要求。

4 覆膜

灌水结束后立即覆膜。在处理田块四周开沟，深度以≥20 cm为佳。将薄膜平摊于土面，薄膜四边置于沟内，且用土压实。宜采用厚度≥0.04 mm白色农用薄膜。农膜应符合GB/T 4455要求，若出现破损情

况，需及时修补。覆膜处理期间，宜封闭设施大棚所有通风口和出入口，处理地块无需其他额外的操作。

5　揭膜

若于夏季7-8月高温休耕期间进行处理，则覆膜时间以≥3周为宜；若于其他时节处理，应保证设施环境内最高气温≥25°C且最低气温≥15°C，且覆膜时间以≥6周为宜，覆膜达到规定时间后即可揭膜。揭膜后，应开棚通风晾干1周左右，随后充分翻耕土壤，翻耕深度应≥25 cm。翻耕后应再晾晒、通风5天左右，方可进行下茬种植。

（二）确立依据

处理期间温度和水分条件指标根据查阅《Effects of water regime, crop residues, and application rates on control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*》、《强还原土壤消毒防控连作障碍效果及影响因素研究》、《强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究》等文献资料确定。蔬菜残体类型、施用量、粉碎度、辅料添加等指标根据下列试验论证结果确定。

1、物料类型与添加量对设施退化土壤改良效果的影响

添加水稻、小麦等粮食作物秸秆和番茄、黄瓜等蔬菜残体的 RSD 处理均能有效改良设施退化土壤（图 1-4），当物料添加量为 0.3%（500 kg/亩）时，所有 RSD 处理均能显著提高土壤 pH，增幅为 0.38~0.60 个单位，其中水稻秸秆的提升作用最明显，而番茄植株残体的提升作用最弱；所有 RSD 处理均能显著降低土壤电导率，处理后分别降低至对照的 75.7%~87.6%，其中水稻、小麦等粮食作物秸秆对土壤电导率的降低作用优于番茄、黄瓜等蔬菜残体；所有 RSD 处理均能有效降低土壤中青枯菌和尖孢镰刀菌的数量，其中青枯菌的杀菌率为

96.4%~99.5%，尖孢镰刀菌的杀菌率高达 99.4%以上。随着物料添加量的增加，RSD 处理对设施退化土壤的改良效果随之加强，当物料添加量为 1%（1700 kg/亩）时，RSD 处理对土壤 pH 的提升作用大幅增加，达 1.00~1.85 个单位；RSD 处理对土壤电导率的降低作用同样大幅提高，处理后土壤电导率分别降低至对照的 47.4%~88.9%，其中粮食作物秸秆对土壤电导率的降低作用明显优于蔬菜残体，而番茄植株残体的降低作用并未随物料添加量的增加而明显加强；RSD 处理对土壤病原菌的杀灭效果变化不大。双因素方差分析结果显示（表 1），物料类型、添加量及其交互作用对退化土壤的改良效果影响显著，其中物料类型对土壤电导率的影响强于添加量，而对土壤 pH、青枯菌和尖孢镰刀菌数量的影响弱于添加量。以上结果表明，番茄、黄瓜等蔬菜残体可用于改良具有酸化、次生盐渍化和土传病原菌富集等退化特征的设施土壤，其中对次生盐渍化的消减作用弱于粮食作物秸秆，而对酸化、土传病原菌的改良效果与粮食作物秸秆相当，且随着物料添加量的增加，蔬菜残体对设施土壤的改良效果有所增强。

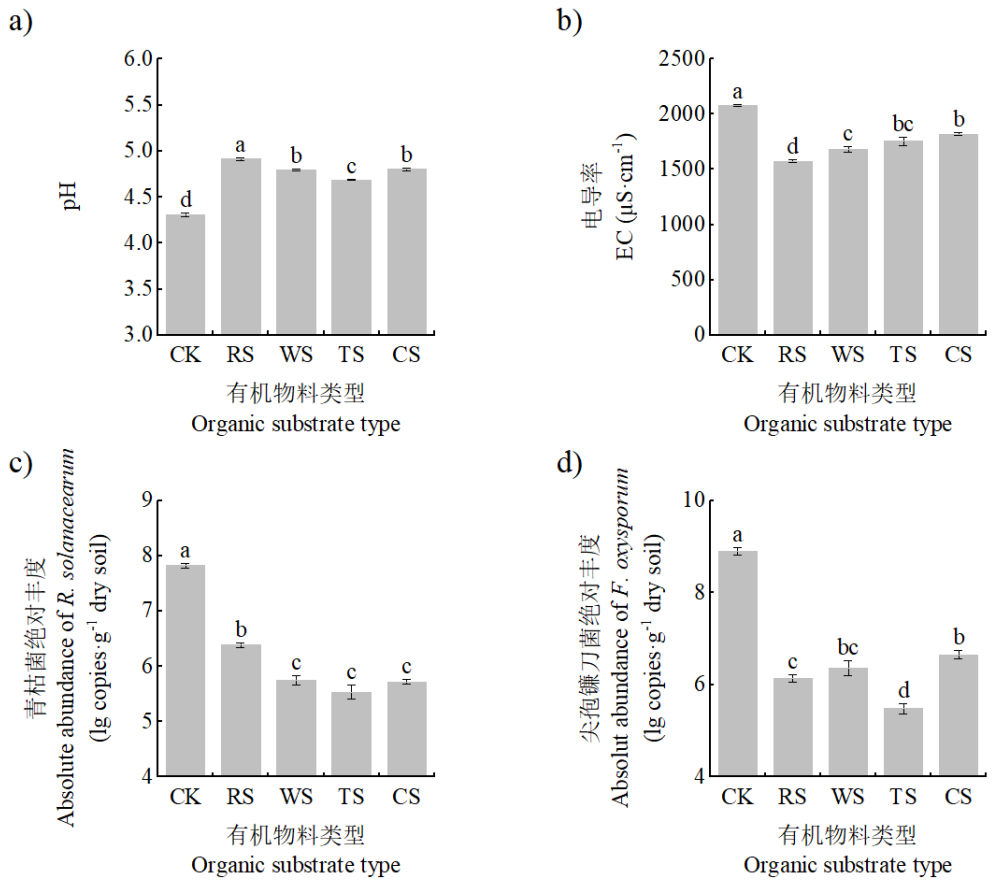

图 1 添加量 0.3%条件下不同物料 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响

注：CK，不处理对照；RS、WS、TS 和 CS 分别为添加水稻秸秆、小麦秸秆、番茄植株残体和黄瓜植株残体的 RSD 处理；处理温度 30℃，处理时间 21d；添加量 0.3%相当于 500 kg/亩。

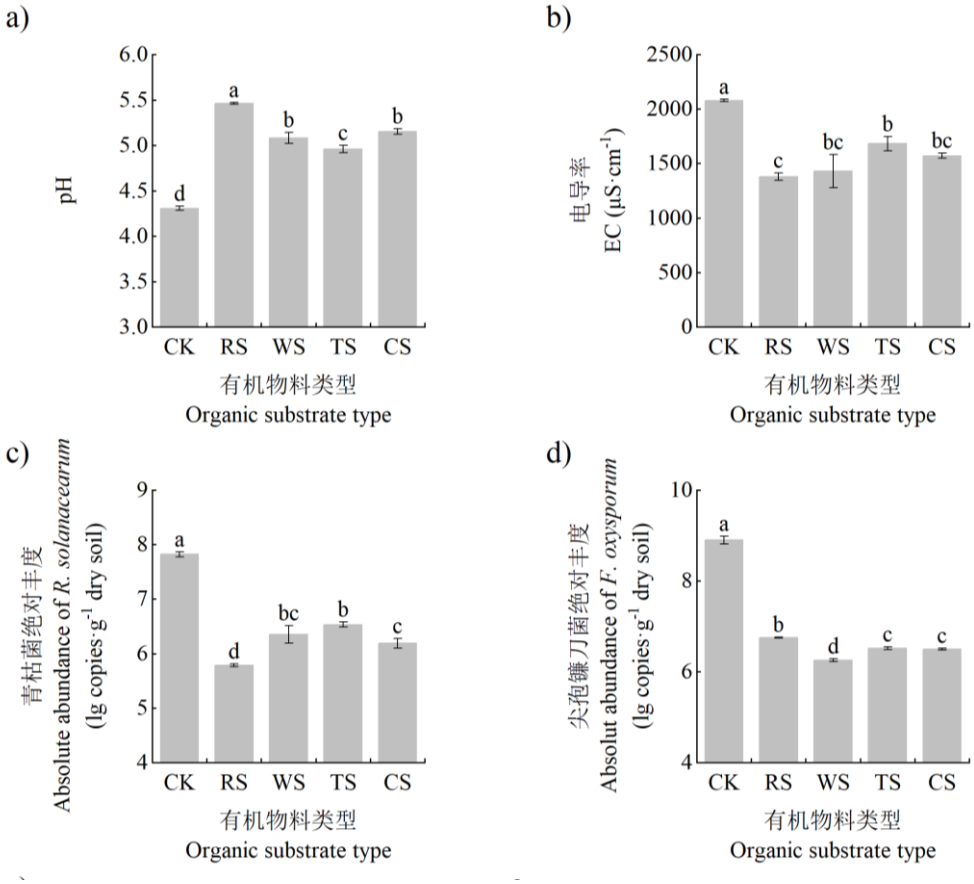

图2 添加量0.5%条件下不同物料RSD处理对退化土壤改良效果的影响

注：添加量0.5%相当于800 kg/亩。

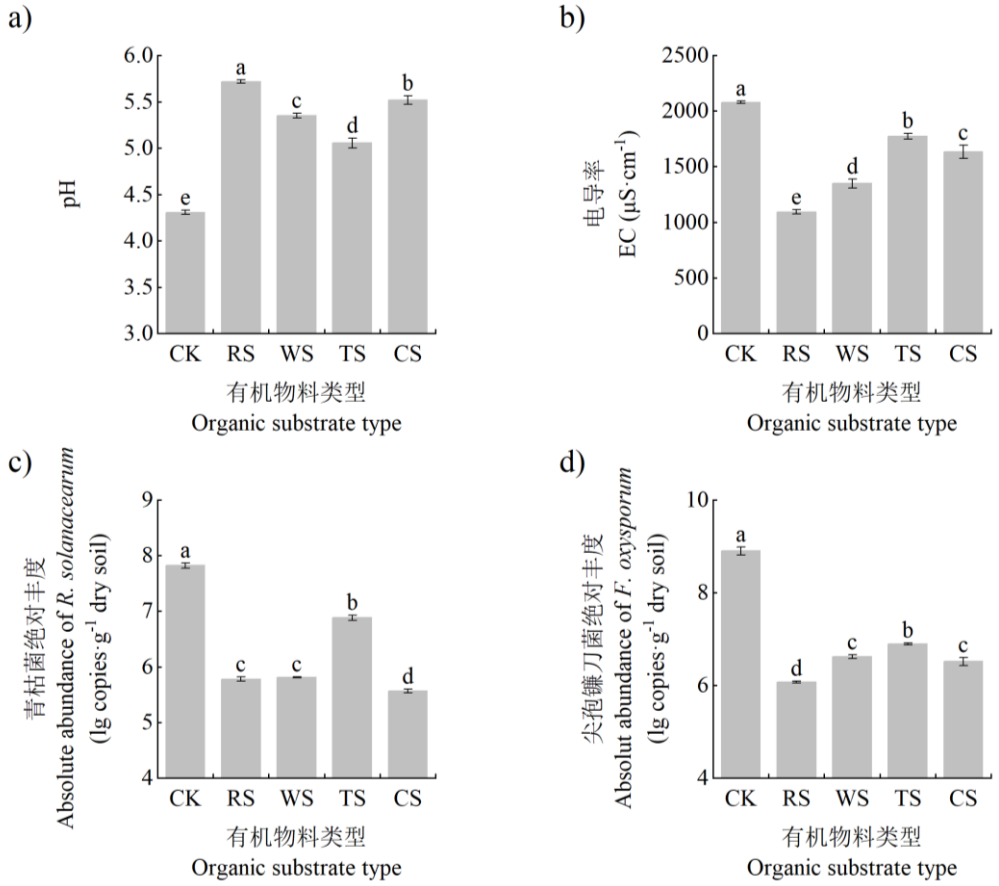

图3 添加量0.7%条件下不同物料RSD处理对退化土壤改良效果的影响

注：添加量0.7%相当于1200 kg/亩。

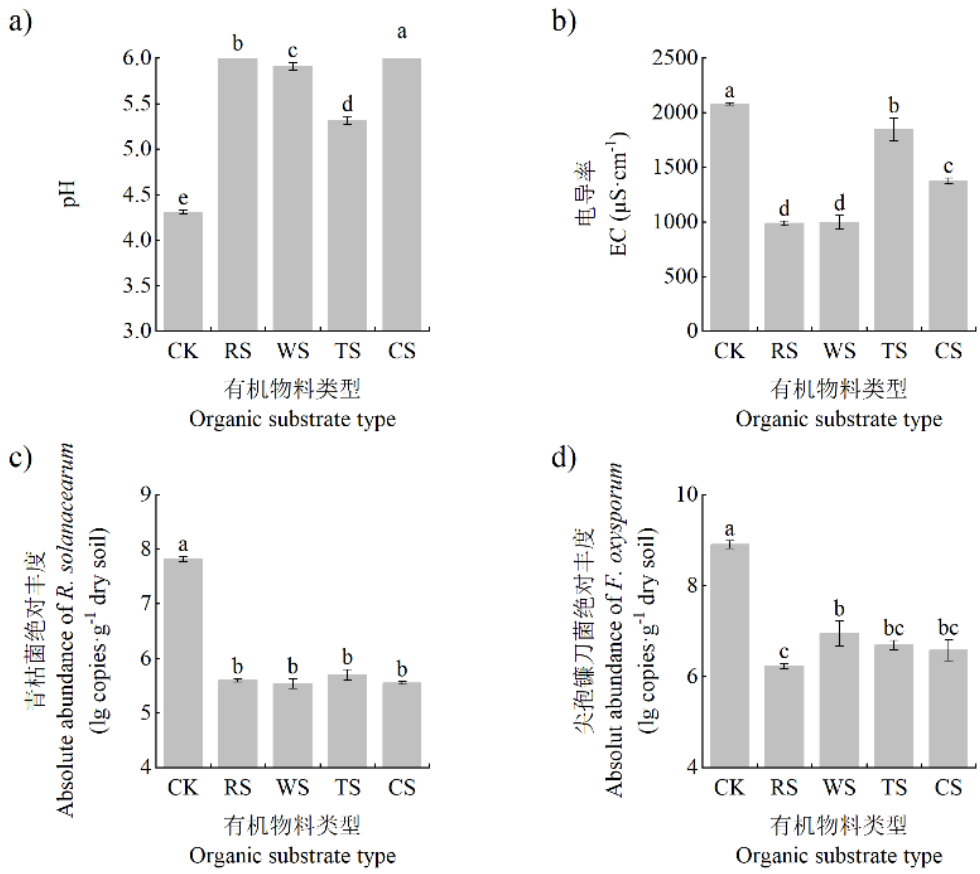

图 4. 添加量 1%条件下不同物料 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响

注：添加量 1%相当于 1700 kg/亩。

表 1 物料类型与添加量对退化土壤改良效果的双因素方差分析

指标	物料类型	添加量	物料类型×添加量
pH	193.4***	748.1***	22.2***
EC	61.9***	33.3***	7.7***
青枯菌绝对丰度	21.7***	49.6***	28.7***
尖孢镰刀菌绝对丰度	4.9**	12.2***	11.1***
青枯菌杀菌率	43.4***	31.7***	35.2***
尖孢镰刀菌杀菌率	2.2	4.3*	4.1**

***, $P<0.001$; **, $P<0.01$; *, $P<0.05$

2、物料破碎程度与处理时间对设施退化土壤改良效果的影响

添加不同粒径番茄植株残体的 RSD 处理均能有效改良设施退化土壤（图 5-7），当处理时间为 14 d 时，所有 RSD 处理均能显著提高土壤 pH，增幅为 0.60~0.96 个单位，其中粒径为 12 mm 的提升作用最明显，而 8 mm 的提升作用最弱；所有 RSD 处理均能显著降低土壤电导率，处理后分别降低至对照的 84.6%~92.4%，其中粒径为 12 mm 的降幅最大；所有 RSD 处理均能有效降低土壤中青枯菌和尖孢镰刀菌的数量，其中青枯菌的杀菌率为 90.3%~97.2%，粒径为 12 mm 的青枯菌杀菌效果最优，而尖孢镰刀菌的杀菌率达 98.8%~99.3%，不同粒径之间差异不显著。随着处理时间的延长，RSD 处理对设施退化土壤的改良效果有所增强，当处理时间为 21 d 时，RSD 处理对土壤 pH 的提升作用有所增加，达 0.99~1.13 个单位；RSD 处理对土壤电导率的降低作用大幅提高，处理后土壤电导率分别降低至对照的 68.3%~78.2%，其中粒径 12 mm 的降低作用最强；RSD 处理对土壤

中青枯菌的杀灭效果较 14 d 时有所增强，但尖孢镰刀菌的杀灭效果变化不大。双因素方差分析结果显示（表 2），物料粒径、处理时间对退化土壤的改良效果影响显著，其中物料粒径对土壤电导率的影响强于处理时间，而对土壤 pH、青枯菌和尖孢镰刀菌数量的影响弱于处理时间。以上结果表明，物料粒径对理化和生物退化特征的影响有所差异，不同粒径对土壤酸化和次生盐渍化的改良效果不同，其中大粒径（12 mm）的改良效果优于 4 mm 和 8 mm，而对土壤青枯菌和尖孢镰刀菌的杀灭效果影响不大；随着处理时间的延长，RSD 处理的改良修复效果有所增强，特别是酸化土壤 pH 提升和土壤病原菌消减。

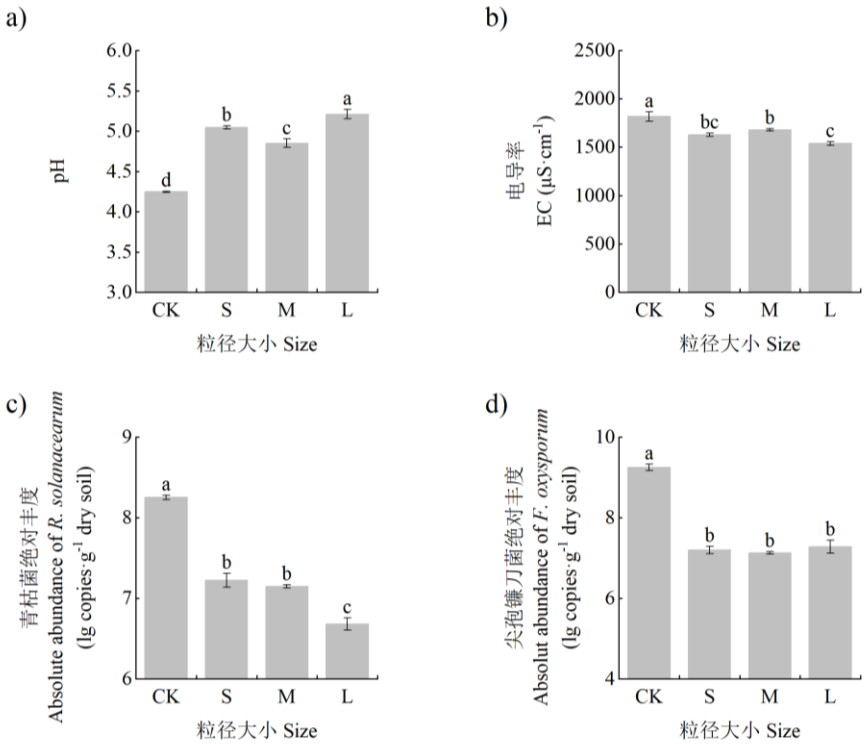

图 5 不同破碎程度物料 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 14 d）

注：CK，不处理对照；S、M 和 L 分别为添加 4 mm、8 mm 和 12 mm 番茄植株残体的 RSD 处理；处理温度为 30℃，添加量为 0.5%。

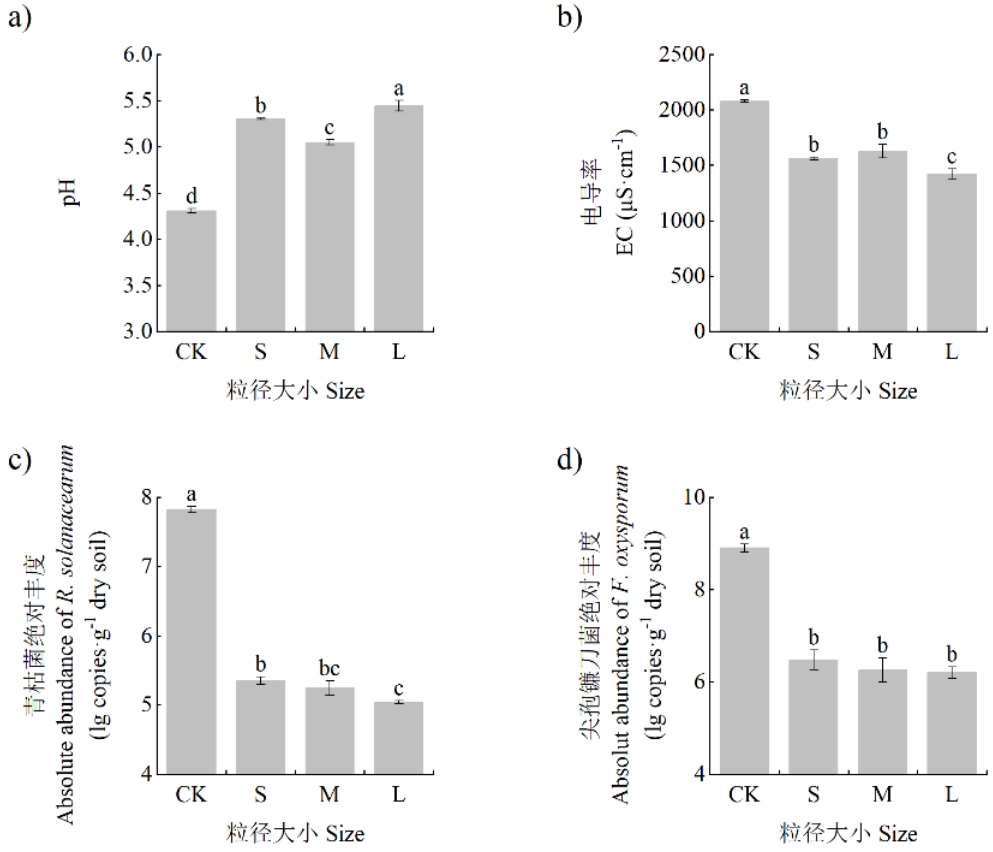

图 6 不同破碎程度物料 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 21 d）

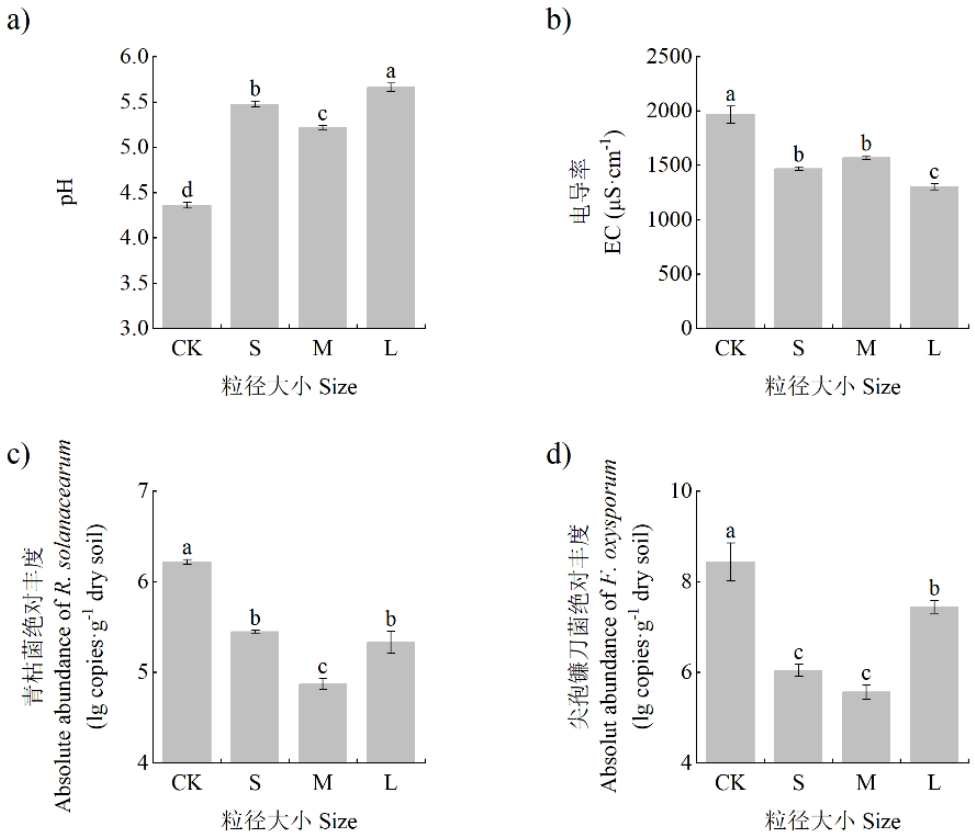

图 7 不同破碎程度物料 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 28 d）

表 2 物料破碎程度与处理时间对土壤改良效果的双因素方差分析

指标	处理时间	物料粒径	时间×粒径
pH	80.6***	75.7***	0.4
EC	23.2***	34.6***	1.1
青枯菌绝对丰度	643.2***	17.2***	11.6***
尖孢镰刀菌绝对丰度	29.9***	12.9***	12.9***
青枯菌杀菌率	38.3***	7.5**	7.5**
尖孢镰刀菌杀菌率	7.1**	10.9**	9.7***

***, $P<0.001$; **, $P<0.01$; *, $P<0.05$

3、辅料类型与处理时间对设施退化土壤改良效果的影响

通过添加不同辅料调控物料 C/N 比的 RSD 处理能显著改变其对设施退化土壤的改良效果（图 8-10），当处理时间为 14 d 时，添加辅料为豆粕的 RSD 处理对土壤 pH 的提升作用达 1.94 个单位，显著强于添加辅料为尿素的 RSD 处理（1.08 个单位）；添加辅料为豆粕的 RSD 处理后，土壤电导率下降至对照的 54.7%，而添加辅料为尿素的 RSD 处理土壤电导率仅下降至对照的 88.8%；添加辅料为豆粕的 RSD 处理对青枯菌的杀灭效果达 99.2%，优于添加辅料为尿素的 RSD 处理，其杀菌率为 84.2%，而添加辅料为豆粕的 RSD 处理对尖孢镰刀菌的杀灭效果为 95.5%，不如添加辅料为尿素的 RSD 处理（99.2%）。随着处理时间的延长，添加不同辅料的 RSD 处理对设施退化土壤的改良效果均有所增强，当处理时间为 28 d 时，RSD 处理对土壤 pH 的提升作用有所增加，达 1.57~2.69 个单位，其中添加辅料为豆粕的 RSD 处理对土壤 pH 的增加作用更为明显；RSD 处理对土壤电导率的降低作用同样有所提高，处理后土壤电导率分别降低至对照的 42.8%~71.0%，其中添加辅料为豆粕的 RSD 处理对土壤电导率的降低作用更强；添加不同辅料 RSD 处理对青枯菌和尖孢镰刀菌数量的影响差异不大。双因素方差分析结果显示（表 3），辅料类型、处理时间对退化土壤的改良效果影响显著，其中辅料类型对土壤 pH 和土传病原菌的影响强于处理时间，而对土壤电导率的影响弱于处理时间。以上结果表明，辅料添加可显著影响 RSD 处理对设施退化土壤的改良效果，相较而言，有机类辅料如豆粕等添加有助于提高 RSD 处理的改良效果。

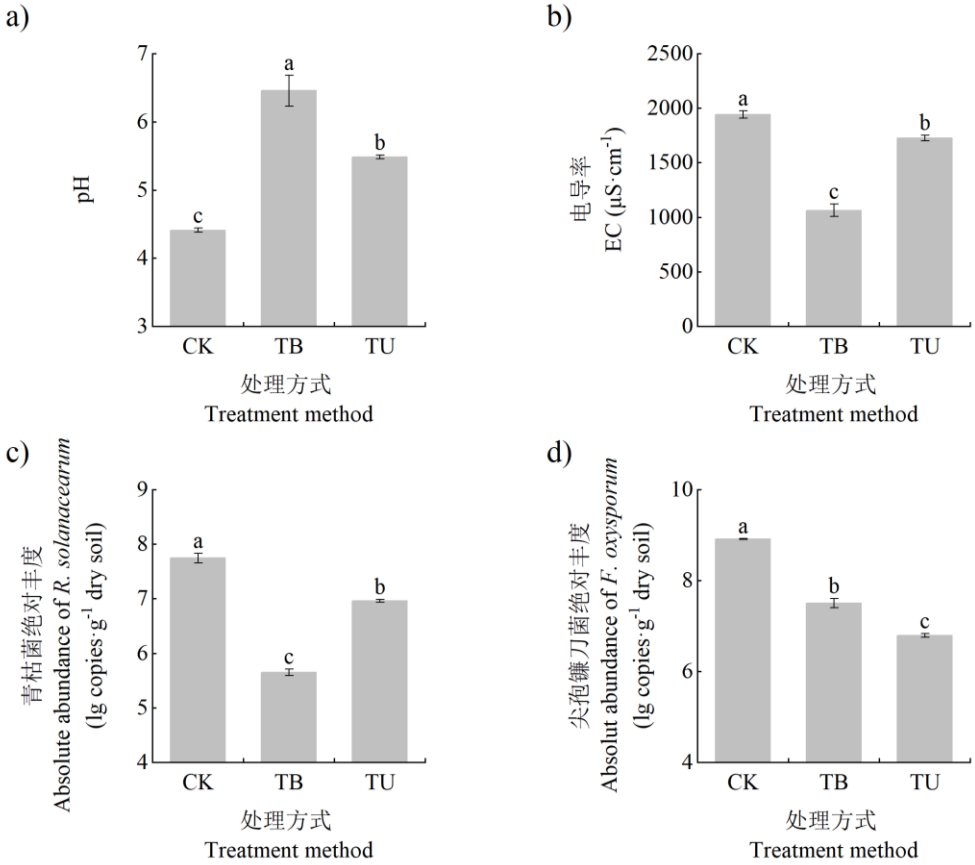

图 8 不同辅料添加的 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 14 d）

注：CK，不处理对照；TB 和 TU 分别为添加豆粕和尿素使番茄植株残体 C/N 比至 25~30 的 RSD 处理；处理温度为 30℃，添加量为 0.5%。

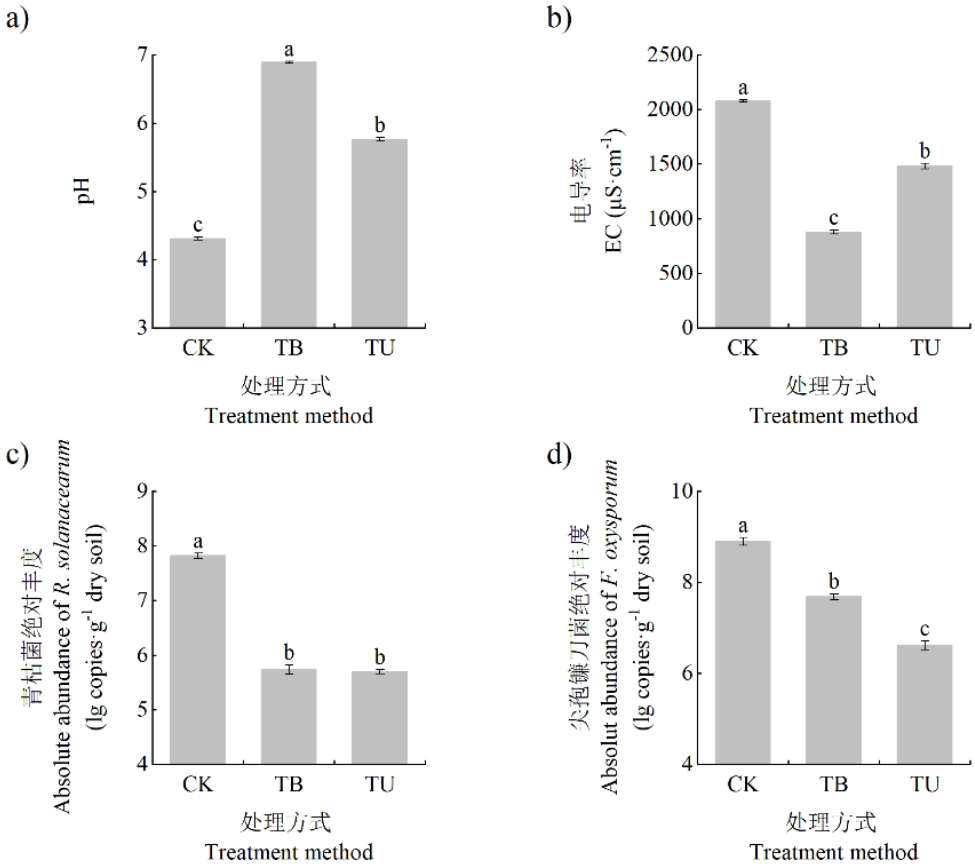

图 9 不同辅料添加的 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 14 d）

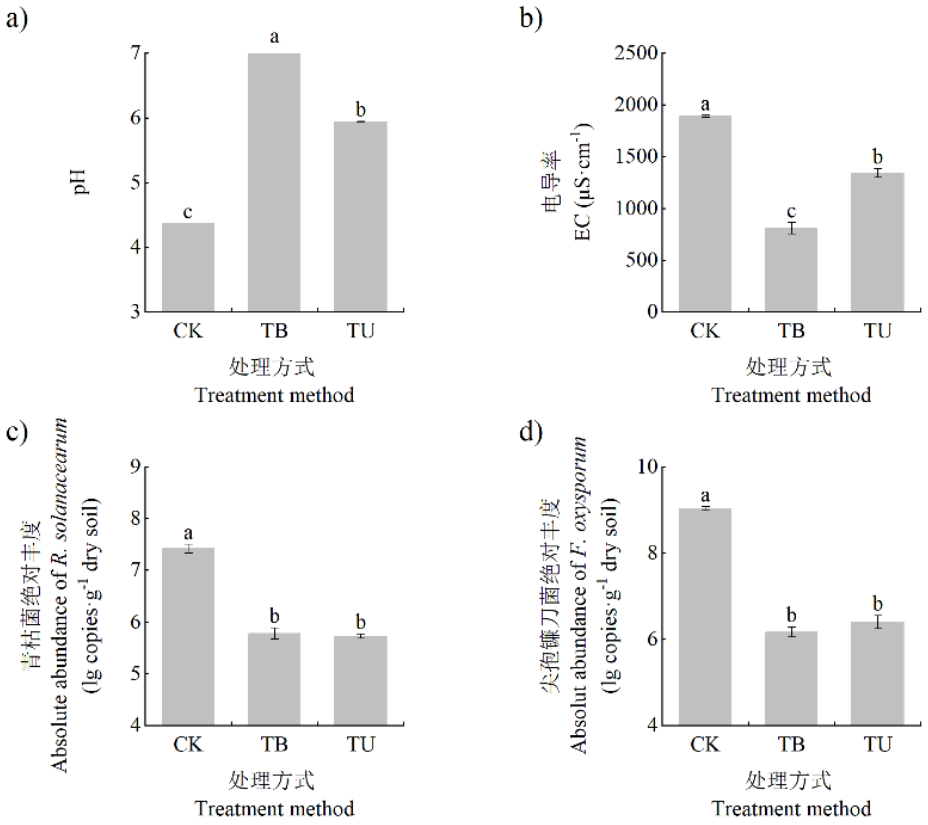

图 10 不同辅料添加的 RSD 处理对退化土壤改良效果的影响（处理 28 d）

表 3 辅料类型与处理时间对退化土壤改良效果的双因素方差分析

指标	处理时间	辅料类型	时间×辅料类型
pH	75.67 ***	80.62 ***	0.36
EC	34.58 ***	23.19 ***	1.10
青枯菌绝对丰度	17.23 ***	643.25 ***	11.64 ***
尖孢镰刀菌绝对丰度	12.89 ***	29.86 ***	12.90 ***
青枯菌杀菌率	7.51 ***	38.32 ***	7.49 ***
尖孢镰刀菌杀菌率	10.94 ***	7.06 ***	9.71 **

***, $P<0.001$; **, $P<0.01$; *, $P<0.05$

五、与相关法律法规和国家标准的关系

本标准是在符合 GB/1.1—2020《标准化工作指导　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》等标准的基础上，结合国内实际情况编制的，与现行法律法规和强制性标准都不冲突。连作障碍是制约现代农业发展的重要瓶颈之一，尽管生产实践中有一些应对方法，但不同操作方式对连作障碍土壤修复效果及对环境的影响千差万别。由此引发的问题，正影响着设施农业可持续发展的推进。

本团队前期制定了国家农业行业标准 NY/T 4312-2023《保护地连作障碍土壤治理　强还原处理法》，该标准规定了采用水稻、小麦等大宗作物秸秆和糖蜜等农产品加工中产生的水溶性副产品为原料进行强还原土壤处理过程中的各项技术规范。然而，设施蔬菜残体与上述有机物料在含水量、化感物质含量、碳氮比等特性方面具有较大差异，因此，有必要制定针对设施蔬菜残体用于强还原处理的专用技术规程，以便指导蔬菜残体的资源化利用和设施障碍土壤的修复。

六、实施推广建议

本标准是在以往国内外标准的基础上，针对蔬菜残体无害化处理和设施土壤障碍修复的现实需求制定的。本标准发布实施后，推荐设施蔬菜生产过程中参照本标准进行蔬菜残体的处理和设施土壤障碍的生态修复。在标准实施过程中可根据实际情况适当对本标准进行合理修订。

七、团体标准涉及专利的说明

本团体标准不涉及专利。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定无重大分歧意见。

团体标准 《设施土壤障碍生态消减技术规范》编制组

2024 年 1 月 30 日