

《生物炭基土壤调理剂施用技术规范》

团体标准编制说明

立项文号：浙环产协 [2022]31 号

承担单位：浙江科技学院、浙江省耕地质量与肥料管理总站、舟山市农业科学研究院、浙农集团股份有限公司、绍兴市粮油作物技术推广中心、浙江同奥环保科技有限责任公司、浙江金锅锅炉有限公司、浙江佶竹生物科技有限公司、杭州银江环保科技有限公司、浙江绿农生态环境有限公司

标准负责人：单胜道

标准联系人：高红贝

联系电话：13634115728

联系电话：18220872526

邮箱：shanshd@vip.sina.com

邮箱：ghb_fsh@zust.edu.cn

一、工作简况

（一）立项必要性和依据

农业生产活动为我国社会稳定和经济发展的关键基础，为我国各行各业提供了必要的基础生产资料。从 1982 年始至今，历年中央的一号文件都紧紧围绕我国农业与农村的稳定和发展进行系统部署，有力地保障了我国农业产业和粮食生产持续健康增长。农业生产中最基本的生产资料即土壤。虽然我国疆域辽阔，但巨大的人口数量使得我国人均土地资源非常有限，并且在自然历史和人为因素的共同影响下还产生了许多障碍因子，如普遍存在土壤结构耕性较差、土壤盐碱酸化加剧、土壤养分匮乏等问题，甚至难以正常开展农业

活动，严重制约了农业发展。人们在不断的研究与实践中发现，向障碍土壤中投入适宜的物料可以改善土壤的理化性质，降低土壤的障碍因素影响，从而使得土壤肥力特性满足正常的农业生产活动。上述所添加的物料一般统称为土壤调理剂。

土壤调理剂亦称土壤改良剂，是指添加到土壤中用于改善土壤物理、化学及生物活性，进而优化土壤结构、降低土壤盐碱危害、调节土壤酸碱度、改善土壤水分状况以及修复污染土壤等，从而提高退化土壤的生产力、促进植物生长和健康的物料。按照物料性质，我国常用土壤调理剂大致可归为有机土壤调理剂、无机土壤调理剂和有机-无机混合土壤调理剂三大类。常见的土壤调理剂原料有生石灰、矿物、工农业废弃物、微生物肥料、脱硫石膏、腐殖酸、生物炭等有机或无机物质。其中，生物炭基土壤调理剂作为新型土壤调理剂，是农林业固体废弃物热裂解产物生物炭与其他有机或无机物料进行复配后应用于土壤改良调理。

基于生物炭所特有的理化性质，生物炭基土壤调理剂在许多方面均具有优异的性能，如优化土壤结构、改善土壤孔隙度、增加土壤持水能力、调节土壤 pH、提高土壤阳离子交换量、增加土壤肥力、减缓温室气体排放等等。研究表明，将生物炭、熟石灰、有机肥等不同材料配制的土壤调理剂在有效改善土壤的理化性质并促进作物生长的同时，还能有效降低土壤酸度，提高土壤速效磷和钾的含量。生物炭来源广泛，如农作物秸秆、畜禽养殖粪便、林业废弃物等废弃生物质均可作为制炭原料，可有效缓解农林牧业废物的环境污染

问题，同时实现了废弃生物质的循环利用。因此，生物炭基材料在农业土壤改良及环境污染治理方面具有广泛的发展前景。2019年农业农村部全国技术推广服务中心下发了《关于做好2019年“农作物秸秆炭化还田改土培肥”绿色农业生产试验示范工作的通知》，在河北、内蒙古、吉林等8个省（区）开展“农作物秸秆炭化还田改土培肥”绿色农业生产试验示范工作，示范土地面积达到了400万亩以上。2020年，农业农村部更是将“秸秆炭基肥利用增效技术”作为年度十大引领性技术之一予以发布和推广，取得了显著的社会和生态效益。

尽管基于生物炭复配而成的土壤调理剂在各地区已经被广泛认可，并应用于土壤调理和农业生产，但依然缺乏具有相对统一的技术指导和标准，处于粗放式应用的阶段，施用风险防控意识仍然不足。为促进生物炭基土壤调理剂的科学应用和生物炭产业的健康发展，特起草了《生物炭基土壤调理剂施用技术规范》标准，以期为利用生物炭基调理剂开展土壤调理提供技术支持，同时为废弃生物质资源的循环利用提供一条行之有效的绿色途径。

（二）国内外相关标准情况

查阅文献发现，国外尚无关于生物炭基土壤调理剂的权威标准，可能与此具有一定相关的标准是国际生物炭倡导组织（International Biochar Initiative, IBI）发布的《Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar: That Is Used in Soil》，在该标准中更多的是关注生物炭本身性质的测定及注意事项，以及施用后对土

壤产生的理化性质的变化测定，对于生物炭在土壤改良中的使用方法并没有做出具体规定。欧洲生物炭认证机构（European Biochar Certificate, EBC）于2021年8月发布了生物炭的《EBC-Guidelines for a sustainable production of biochar》、《EBC -Guidelines for Biochar for use as animal feed additive》、《EBC-Guidelines for the Certification of Biochar Based Carbon Sinks》等认证标准，但在这些标准中并未涉及生物炭应用于土壤调理剂的相关内容。

国内对生物炭应用于农业土壤改良的标准也非常有限，从国家标准信息公共服务平台查询结果显示，目前已发布的和生物炭有关的国家标准仅有《农作物秸秆炭化还田土壤改良项目运营管理规范》（GB/Z 39121-2020），行业标准有《生物炭基肥料（NY/T 3041-2016）》、《生物炭基有机肥料（NY/T 3618-2020）》、《生物炭检测方法通则（NY/T 3672-2020）》和《生物炭（NY/T 4159-2022）》4项。其他均为地方标准，且多以生物炭理化性质的检测技术为主，总发布量也较少。从上述国内外有关生物炭在农业土壤领域的应用可以看出，生物炭标准的制定，已经严重滞后于生物炭在土壤调理和改良方面的实际应用。

（三）工作基础

（1）牵头单位浙江科技学院：浙江科技学院生态环境研究院拥有一支专门从事生物炭技术研发团队，现有研究人员30余人，拥有国家百千万人才工程入选者、国家有突出贡献中青年专家、享受国务院特殊津贴专家、浙江省首批万人计划科技创新领军人才等一批

高层次研发专家。建有浙江省重点科技创新团队“种养废弃物循环利用与污染防控技术”、浙江省废弃生物质循环利用与生态处理技术重点实验室、农林废弃生物质资源化利用浙江省工程研究中心和生物质综合利用技术浙江省国际科技合作基地。近 5 年，先后承担国家自然科学基金重点项目、国家国际科技合作欧盟专项、国家重点研发计划项目和浙江省重点研发计划项目等省部级及以上科研项目 50 余项。已建成富阳新桐酸性土壤重金属污染修复、富阳环山碱性土壤重金属污染修复、临安矿区土壤综合污染修复、桐乡易腐垃圾炭安全还田、衢江土壤培肥改良、西湖小和山土壤培肥改良、金华茶园土壤培肥改良、舟山岱山盐碱地改良、桐庐农田退水污染防控等生物炭水土环境修复与改良综合应用示范基地 20 余个，覆盖浙江省 11 个地市和周边省市。发表高水平学术论文 210 余篇，授权国内外发明专利 50 余件，承担国家、行业和浙江省标准近 10 项，出版《生物炭科技与工程》等专著 10 余部。研究成果先后获国家科技进步二等奖、浙江省科技进步一等奖、中国产学研合作创新成果一等奖、全国商业联合会科技进步一等奖。

(2) 主要参与单位浙江省耕地质量与肥料管理总站：浙江省农业农村厅所属专门负责浙江省范围内耕地质量保护与肥料技术指导与推广的机构，承担浙江省范围内耕地地力培肥、土壤改良等农田土壤质量提升规划；组织开展耕地质量、土壤墒情、农田土壤污染状况调查、监测评价及农业投入品对耕地质量安全的风险评估；制定并实施耕地地力培肥、土壤改良、质量提升、安全利用等技术规

范和标准拟订，以及相关产品技术试验示范、效果评价及推广应用工作；同时还承担科学施肥技术规范 and 标准拟订以及相关肥料产品、技术的试验示范、效果评价。在地方土壤健康、耕地保护的政策与标准的制定及农业新技术的推广方面具有丰富的基层工作经验。

(3) 标准项目负责人单胜道：首批二级教授，博士生导师，国家百千万人才工程人选、国家有突出贡献中青年专家、享受国务院特殊津贴专家、浙江省首批万人计划科技创新领军人才、浙江省“151”人才工程第一层次培养人才。国家农村人居环境整治技术服务与提升项目高级专家。浙江省循环经济学会理事长、浙江省环境科学学会副理事长、浙江省可持续发展研究会副理事长。浙江省重点科技创新团队“种养废弃物循环利用与污染防控技术”负责人，浙江省废弃生物质循环利用与生态处理技术重点实验室主任，农林废弃生物质资源化利用浙江省工程研究中心主任，生物质综合利用技术浙江省国际科技合作基地负责人。主要研究领域包括废弃生物质炭化循环利用及水土修复等。先后主持国家高技术“863”项目、国家自然科学基金重点项目、国家科技部国际科技合作欧盟专项和浙江省重点研发计划项目等省部级及以上项目近 30 项。在国内外学术刊物上发表论文 150 多篇；授权发明专利 50 余件，其中国际发明专利 8 件；专著 10 多部；主持或参与国家行业标准、省地方标准 6 项。获国家科技进步二等奖 1 项，主持项目获省部级成果奖 7 项，其中省部级一等奖 4 项。

(四) 工作过程

表 1 标准编制过程间表

时间安排	编制过程	具体工作内容
2018 年 12 月 ~2019 年 01 月	成立标准编制 工作联合组	由浙江科技学院牵头，联合浙江省耕地质量与肥料管理总站、舟山市农业科学研究院、浙农集团股份有限公司、绍兴市粮油作物技术推广中心、浙江同奥环保科技有限公司、浙江金锅锅炉有限公司、浙江佶竹生物科技有限公司、杭州银江环保科技有限公司、浙江绿农生态环境有限公司等单位组成标准起草团队，探讨标准编制的必要性和目标。
2019 年 01 月 ~2019 年 03 月	成立标准编制 工作专班	发起人:单胜道。 参与人：高红贝，孟俊，虞轶俊、庄海峰、张敏、傅建舟、丁少华、李文健、马琨、李章涛等。 召开标准内容讨论会，明确各单位工作内容，细化工作方案。
2019 年 03 月 ~2022 年 07 月	试验研究与 调研分析	根据工作方案，各单位部门根据既定的分工内容完成相关工作，详细记录了试验过程和调研过程： （1）浙江科技学院：总体负责标准中各类数据资料的汇总、试验数据的分析、标准框架撰写等。负责人：单胜道，高红贝 （2）浙江省耕地质量与肥料管理总站：负责协调标准内容在不同区域的中试观测。负责人：虞轶俊； （3）舟山市农业科学研究院：负责生物炭基土壤调理剂在盐碱地上的实地应用与监测。负责人：高红贝，傅建舟。 （4）浙江科技学院：承担生物炭基土壤调理剂在重金属污染土壤中的实验与数据分析。 （5）绍兴市粮油作物技术推广中心：负责标准内

容的推广，负责人：丁少华。

(6) 浙江金锅锅炉有限公司：负责试验用生物炭的生产，负责人：李文健。

(7) 浙农集团股份有限公司、浙江同奥环保科技有限公司、浙江佶竹生物科技有限公司、杭州银江环保科技有限公司、浙江绿农生态环境有限公司：标准内容的示范与推广。

2022 年 07 月 ~2022 年 10 月	标准文本撰写	根据前期的文献查阅和数据分析结果，起草了团体标准《生物炭基土壤调理剂施用技术规范》及《编制说明》（草案）。
2022 年 11 月	标准立项	召开标准立项讨论会，邀请 5 名专家对标准草案进行论证研讨。根据专家意见对标准内容进行修改后，同意立项。立项文号：浙环产协 [2022]31 号。

（五）主要起草单位

本标准由浙江科技学院牵头，浙江省耕地质量与肥料管理总站、舟山市农业科学研究院、浙农集团股份有限公司、绍兴市粮油作物技术推广中心、浙江同奥环保科技有限公司、浙江金锅锅炉有限公司、浙江佶竹生物科技有限公司、杭州银江环保科技有限公司、浙江绿农生态环境有限公司等单位联合起草。

（六）编写人员与分工

标准制定过程主要由浙江科技学院、浙江省耕地质量与肥料管理总站等单位的人员参与资料收集、文本完成、市场调研、实验室比对、数据处理等工作。

表 2 主要起草人员信息及任务分工

姓名	单位	职称	专业特长及分工
单胜道	浙江科技学院	教授	研究方向为废弃生物质炭化及土壤改良修复。本标准起草负责人，全面负责标准起草团队的人员调配，任务分工和进度安排。
高红贝	浙江科技学院	副教授	研究方向为土壤改良与修复。在本标准起草过程中负责大田实验和土壤调理剂对比分析，以及标准草案各类支撑材料的收集与整理。
孟俊	浙江科技学院	副教授	主要研究方向土壤重金属污染控制与修复。在本标准起草过程中负责大田实验，以及土壤调理剂对比研究和分析。
虞轶俊	浙江省耕地质量与肥料管理总站	研究员	研究方向为土壤培肥改良。在本标准起草过程中负责组织推广与验证。
平立风	浙江科技学院	研究员	研究方向为土壤改良与修复。在本标准起草过程中负责大田实验和土壤调理剂对比分析，以及标准草案各类支撑材料的收集与整理。
靳泽文	浙江科技学院	讲师	研究方向为土壤改良与修复。在本标准起草过程中负责大田实验和土壤调理剂对比分析，以及标准草案各类支撑材料的收集与整理。
庄海峰	浙江科技学院	副教授	研究方向为农田水土污染修复。在本标准起草过程中负责碱性生物炭基土壤改良剂的田间试验研究。
张敏	浙江科技学院	副研究员	主要研究方向为农林废弃生物质循环利用。在本标准中负责调理剂在水田应用的实验研究和分析。

傅建舟	舟山市农业科学研究院	高级工程师	主要研究方向为农林废弃生物质循环利用。在本标准中负责碱性生物炭基土壤调理剂应用实验研究和分析。
丁少华	绍兴市粮油作物技术推广中心	高级工程师	主要从事农业技术的推广和应用。在本项目主要对调理剂施用过程中发现的问题进行收集和研判。
李文健	浙江金锅锅炉有限公司	高级工程师	主要从事生物炭性能调控。在本项目主要承担调理剂性能分析。
马琨	浙农集团股份有限公司	工程师	主要从事农业技术的推广和应用。在本项目主要对调理剂施用过程中发现的问题进行收集和研判。
李章涛	浙江科技学院	讲师	主要研究方向土壤重金属污染控制与修复。在本标准起草过程中负责大田实验,以及土壤调理剂对比研究和分析。

二、标准编制原则和确定标准主要内容

(一) 标准的编写原则

(1) 全面性原则

在标准的起草过程中,严格按 GB/T 1.1-2020 的要求规划标准内容。根据标准的内容将本标准划分为四个不同要素类型:资料性概述要素、资料性补充要素、规范性一般要素和规范性技术要素。

(2) 统一性原则

本标准的编写和表达方式在三个方面实现统一:一是标准结构的统一,即标准中的章、条、段、表、图和附录的排列顺序与

GB/T1.1-2020 的要求统一；二是文体的统一，即类似的条款由类似的措辞来表达，相同的条款由相同的措辞来表达；三是术语的统一，即同一个概念使用同一个术语，每一个术语尽可能只有唯一的含义。

（3）可行性原则

本标准的制定过程中，充分考虑标准设计的技术和程序在不同区域的可行性，既要保障标准中指标参数和技术的科学合理性，又要确保相关技术参数和方法可落地实施。

（4）适用性原则

本标准的制定过程中，充分考虑到标准的适用性。一是便于标准使用者直接使用，每项条款都具有可操作性，将规范性引用文件作为标准技术内容的重要补充，方便标准的广泛应用；二是便于引用，在标准的结构和条款的设计方面，尽可能根据技术内容相同或相似的部分区别，减少相同技术内容在不同条款中反复出现，方便其他标准引用。

（5）规范性原则

本标准按照 GB/T 1.1-2020 有关标准结构的规定，确定标准的结构和内在关系，特别是在内容的划分和层次的划分符合 GB/T 1.1-2020 的规定。

（二）提出本标准主要内容的依据

按照 GB/T 1.1-2020 的规定起草得本标准草案的内容细分为 9 个部分，其中：

（1）范围

本部分内容规定了本标准的适用范围。

(2) 规范性引用文件

罗列了本标准草案引用的其他标准：

GB/T 6679-2003 固体化工产品采样通则

GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB 38400-2019 肥料中有毒有害物质的限量要求

GB/T 39229-2020 肥料和土壤调理剂中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定

GB 15618-2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准

NY/T 1377-2007 土壤 pH 的测定

NY/T 1121.1-2006 土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 3034-2016 土壤调理剂 通用要求

NY/T 4159-2022 生物炭

NY/T 3041-2016 生物炭基肥料

NY/T 525-2021 有机肥料

NY/T 3036-2016 肥料和土壤调理剂 水分含量、粒度、细度的测定

NY/T 1868-2021 肥料合理使用准则 有机肥料

NY/T 4160-2022 生物炭基肥料田间试验技术规范

NY/T 2544-2014 肥料效果试验和评价通用要求

NY/T 499-2013 旋耕机 作业质量

(3) 术语与定义

除了应用 NY/T 3034-2016、NY/T3041-2016 界定的术语和定义外，本标准详细定义了以下术语：

1) 生物炭 **biochar**

在绝氧或限氧、300~700℃条件下，将农作物秸秆、畜禽粪便、林业废弃物等生物质原料热解炭化形成的一类难熔的稳定的孔隙结构丰富、高度芳香化、富含碳素的固态物质。

2) 生物炭基土壤调理剂 **Biochar based soil conditioner**

以生物炭为主要基质配制而成的，适用于改善土壤结构、调理土壤酸碱度和提升土壤肥力为主要功能的复合物料。

3) 重金属污染土壤 **Heavy metals contaminated soil**

由于自然的或人为的因素导致土壤中重金属含量或有效态提高，引起土壤理化及生物功能特性的改变，进而影响土壤健康利用、农作物生长和农产品安全，威胁生态环境和人类健康。

4) 土壤 pH 调节剂 **Soil pH regulator**

施入土壤后能够安全、有效地降低或提高土壤 pH 的物料。

(4) 指标要求与依据

1) 外观

黑色或黑灰色颗粒或粉末状物料，无明显机械杂质。

2) 生物炭选用

所用生物炭应符合 NY/T4159-2022 中表 1 技术指标要求。

3) 技术指标及限量指标

表 3 生物炭基土壤调理剂的技术指标、限量指标要求及依据

项目	指标要求	参数依据
外观	黑灰色	目测
生物炭(以 C 计)含量, %	≥8.0	依据 NY/T 3041-2016、NY/T3618-2020 的相关指标参数, 以及国内外的研究成果和本标准起草团队的前期研究积累。
酸碱度 (pH)	5.5-8.5	依据 NY/T 525-2021、NY/T 3034-2016 的要求及国内外的研究成果和本标准起草团队的前期研究积累。
水的质量分数 (H ₂ O), %	≤10.0%	依据 NY/T 525-2021、NY/T 3034-2016、NY/T 3036-2016 的要求及国内外土壤调理剂相关指标要求。
粒度(1.00 mm-4.75 mm) ^a , %	≥75.0%	依据 NY/T 525-2021、NY/T 3034-2016、NY/T 3036-2016 的要求及国内外土壤调理剂相关指标要求。
总砷(As)(以烘干基记), mg/kg	≤15	
总汞(Hg)(以烘干基记), mg/kg	≤5	
总铅(Pb)(以烘干基记), mg/kg	≤20	依据强制性标准 GB 38400-2019、推荐性标准 GB/T 39229 等指标要求。
总镉(Cd)(以烘干基记), mg/kg	≤5	
总铬(Cr)(以烘干基记), mg/kg	≤50	

(5) 试验方法

对外观及各参数指标的测定提供了测试方法和标准:

1) 外观

目测法测定。

2) 生物炭(以 C 计)的质量分数测定

按照 NY/T3041-2016 中附录 A 元素分析仪法执行。

3) 酸碱度(pH)的测定

按照 NY/T525-2021 中 5.7 的规定执行。

4) 水的质量分数(H₂O)的测定

按照 NY/T 3036-2016 中 3 的规定执行。

5) 粒度的测定

按照 NY/T 3036-2016 中 4 的规定执行。

6) 汞、砷、铅、镉、铬含量的测定

按照 GB/T 39229-2020 中的规定执行。

7) 生物炭的鉴别

按照 NY/T 4159-2022 中附录 B 中的规范执行。

(6) 使用规程

依据 NY/T 2544-2014 和实际实践过程的经验积累，对生物炭基土壤调理剂的施用量、施用方法和施用过程中的主要事项做了详细说明：

1) 施用时期

在每季作物播种或移栽前，作为基肥撒施。用于水田改良调理时，应在水稻等作物秧苗插播前泡田犁耙时施用。用于旱作农田改良调理时，应在作物播种前或秧苗移栽前 5~7 天以上施入并及时翻耕入田。

2) 施用量

表 4 推荐施用量

土壤类型	推荐施用量
障碍土壤类型	施用量 t/667 m ²
酸性土壤 (pH<6)	1.0~2.4
碱性土壤 (pH>8.5)	0.8~1.5
盐碱土壤 (可溶性盐含量>4g/kg)	1.0~1.5
黏性土壤	1.0~2.0
沙性土壤	0.8~1.2
重金属污染土壤	1.5~2.5

注 1: 土壤耕作层厚度参考值, $D=0.2\text{ m}$

注 2: 土壤容重参考值, $B=1300\text{ kg/m}^3$

注 3: 当土壤类型叠加时, 施用量不可累加

对于不同类型土壤, 当主要障碍因子影响越大时, 施用量也越大, 但年最大施用量不可超过 $2\text{t}/667\text{m}^2$, 连续施用最长不可超过 3 年。

3) 施用方法

① 根据目标土壤调理需求和调理深度确定好生物炭基调理剂施用量后, 选择晴朗无风的天气, 将生物炭基土壤调理剂均匀撒施于土壤表层, 利用农业翻耕机械对特定深度的土壤进行破碎翻耕。

② 对于盐碱化及酸化程度严重, 且易板结的土壤, 可在首次翻耕 10~15 天内进行二次翻耕。

③ 耕作后土壤田面情况应符合 NY/T 499-2013 要求。

4) 注意事项

① 生物炭基土壤调理剂在施用前, 除了要符合目标土壤调理改良的需求, 还要综合考虑目标土壤种植作物的适应性要求, 避免影

响作物的正常生长发育和产量。

② 生物炭基土壤调理剂在施用过程中，若需要利用酸性或碱性调节剂进行酸碱度调节，须选用环境友好、无毒性的试剂，避免造成土壤其他性质的破坏甚至污染。

③ 生物炭基土壤调理剂在施用过程中，避免与其他物料如有机/无机肥进行同步施肥作业，以避免可能产生的拮抗效应，影响调理成效。

④ 生物炭基土壤调理剂在施用后，单位容重土壤中生物炭的有效成分要控制在 2%以内，以免影响土壤的持水导肥性能。

（三）新旧标准对比

本标准初次制定。

三、主要试验（或验证）的分析、综合报告，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要试验或验证的分析综述

本标准为工艺使用标准，标准内容的主要就是参数指标，通过查阅大量本行业领域研究文献，以及经过长期的研究和实践基础上总结而来，并进行试验分析验证。

（1）生物炭基土壤调理剂对盐碱土壤的改良试验

改良盐碱地首先是要通过改良土壤结构，进而促进洗盐排碱过程中盐分的快速下移和流失，从而保证耕作层的盐碱含量处于适宜作物正常生长的范围内。生物炭丰富的孔隙和巨大的比表面积能够显著改善盐碱化土壤的孔隙分布、持水能力和团聚结构。

2021年9月在浙江科技学院研究人员开展生物炭基土壤调理剂

对滨海盐碱地土壤结构及水分迁移的相关试验研究。土壤样品采自浙江省舟山市岱山县岱西镇火箭盐场集中新垦造耕地。场区新增耕地 ($30^{\circ}07'-30^{\circ}38'N$, $121^{\circ}31'-123^{\circ}17'E$), 由原岱山县岱西镇废弃晒盐场集中垦造而来, 属亚热带海洋型季风气候。将采样区采集的土壤样品风干、研磨, 过 2mm 筛后, 称取 6 份 5000g 等量土壤分别置于不同的圆盆容器中。按照调理剂-土质量分数 0% (无添加)、0.3% (0.5t/亩)、0.5% (0.8t/亩)、0.8% (1.25 t/亩)、1% (1.6 t/亩)、5% (8 t/亩) 和 8% (12.8t/亩) 分别称取 0g、15g、25g、50g、250g 和 400g 混入不同的装土圆盆中, 充分搅拌至混合均匀。

将充分混合后的含炭土壤以 1.30 g/cm^3 容重分层装入内径为 10 cm, 高 30 cm 的透明有机玻璃柱中, 每层装土高度为 5cm, 总装土高度为 25 cm。装土完成后利用马氏瓶对土柱供水开展定水头土壤水分入渗试验。入渗试验过程中记录入渗时间 t , 累计入渗量 I 及湿润锋距离 D 。入渗试验完成后对土柱进行浸水充分饱和, 利用定水头法测定不同含炭土壤的饱和导水率。

累计入渗量和湿润锋距离是可直观反应土壤水分入渗过程的两个重要参数。不同含炭量滨海盐碱土壤湿润锋距离和累计入渗量随时间变化如图 1 所示。不同含炭处理下湿润锋距离随时间的变化结果如图 1a 所示。从图中可知, 当炭基调理剂添加量 $<1.0\%$ 时, 其对供试土壤湿润锋距离 $D_{0.3}$ 、 $D_{0.5}$ 、 $D_{0.8}$ 与 D_0 并没有产生明显的差异。此阶段炭基调理剂对湿润锋影响最大的为 $D_{0.3}$, 但也仅比 D_0 提高 9.6%。然而, 随着调理剂添加量继续增加, 其对湿润锋距离的拖滞作用趋于明显。与 D_0 相比, 湿润锋 D_1 、 D_3 、 D_5 、 D_8 到达土柱底部的时间分别增加了 122.4%、109.6%、98.8%、58.3%。在炭基

调理剂添加量为 1.0% 时对水分迁移的阻碍作用最为明显，之后随着生物质炭含量的增加，这种阻碍作用反而趋于降低。

在相同入渗时间段内，随着炭基调理剂的增加土壤累计入渗量呈现先增大后减小的变化趋势（图 1b）。以生物质炭添加量为 0%时的累计入渗量 I_0 作为空白对照，当炭添加量为 0.3%、0.5%和 0.8% 时，相同时间点累积入渗量 $I_{0.3}$ 、 $I_{0.5}$ 、 $I_{0.8}$ 明显高于入渗量 I_0 。到土柱入渗完成时，入渗量 $I_{0.3}$ 、 $I_{0.5}$ 、 $I_{0.8}$ 分别比 I_0 高出了 23.1%、60.3%和 59.5%。然而，当炭基调理剂添加量为 1.0%、3.0%、5.0%和 8.0%时，对应的累计入渗量 I_1 、 I_3 、 I_5 、 I_8 与 I_0 相比则降低了 38.8%、30.6%、13.2%和 16.5%，降低趋势明显。需要特别注意的是，当生物质炭调理剂添加量为 5%和 8%时相同入渗历时条件下尽管累计入渗量 I_5 、 I_8 依然小于 I_0 ，却显著高于 I_1 、 I_3 。

上述实验结果表明，利用生物炭基调理剂调理盐碱地，适宜的添加量是关键。通过本实验，推荐 1-1.5t/亩的添加量为最佳。

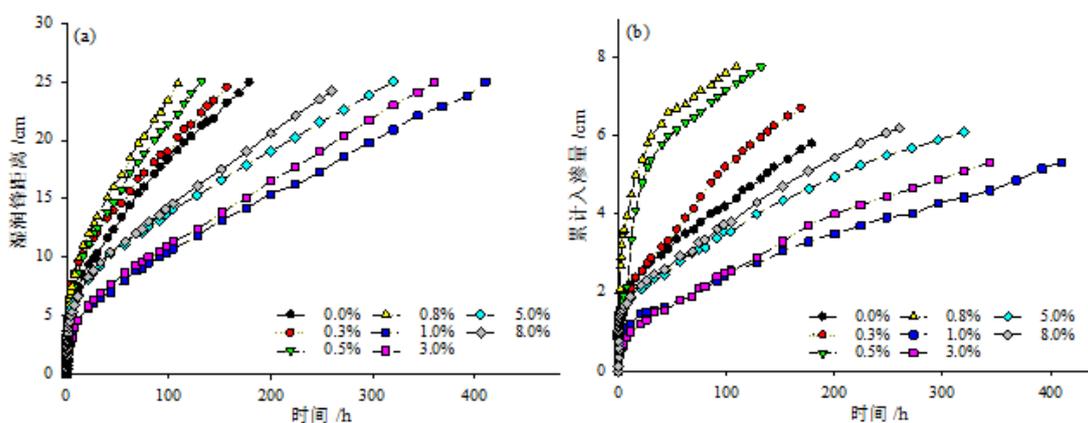


图 1 炭基调理剂不同添加处理对滨海土壤水分入渗过程影响:

(a) 湿润锋距离，(b) 累计入渗量

在室内试验基础上，2020 年-2022 年连续三年以舟山市岱山县

典型滨海滩涂盐碱地为调理改良对象，选取相邻的 4 个地块开展分别施用生物炭基土壤调理剂，试验组生物炭基调理剂添加量分别 0.5%，1% 和 2%，并配以空白对比试验。酸碱调节剂为水解马来酸酐（HPMA），调控 pH=4。试验区土壤含盐量高，0-20cm 土壤水溶性盐平均含量在 34.4 g/kg 之间，平均 pH 为 8.3，土壤容重均质 1.4 g/cm³，施肥前后测定 4 个地块 0-20cm 深度范围内土壤 pH，土壤 EC，土壤有机碳含量及土壤孔隙度作为基本性能指标。施肥期间作物为油菜和西蓝花。测定结果如下表所示：

表 5 土壤基本理化指标对比分析

试验	pH		土壤 EC		土壤渗透系数 ×10 ⁻⁵ cm/s	
	施用前	施用后	施肥前	施肥后	施肥前	施肥后
田块 1	8.7	7.8	1.47	1.03	0.23E	5.00E
田块 2	9.1	7.7	1.34	0.98	0.32E	5.00E
田块 3	9.1	7.9	1.3	0.9	0.33E	4.50E
对照	8.8	8.5	1.28	1.30	0.30E	0.22E

从上述结果可以看出，生物炭基土壤调理剂可以显著改善滨海盐碱土的理化性质，添加量为 1%（1.25t/亩）左右时最佳

（2）生物炭基调突然调理剂对酸性红壤的改良

茶园土壤为典型的酸性土壤性质。茶农每年会向茶园中施用过量的化肥以获得更高的收入，但在长期连续采集、单一栽培的茶园，过量施用化肥会带来土壤酸化和肥力下降问题。生物炭基土壤调理剂合理有效的利用既可解决土壤酸化问题，又能改良培肥土壤，提升耕地土壤地力。

酸性土壤调理试验区选址于浙江省衢州市开化县池淮镇某茶园。作物为茶树，选用品种为春雨 1 号，株高约 100 cm，苗龄为 5 年。园区酸性土壤 pH 值 4.51，有机质 20.11 g/kg，全氮 0.85 g/kg，全磷 0.54 g/kg，全钾 3.15 g/kg，碱解氮 60.5 mg/kg，速效磷 42.8 mg/kg，速效钾 53.2 mg/kg，病虫害及水分管理按常规进行。

试验过程中应用到以秸秆炭制备的生物炭基土壤调理剂和以猪粪炭制备的生物炭基土壤调理剂，其各自施用量如下：

表 6 生物炭基土壤调理剂施用量

编号	化肥施用	生物炭基土壤调理剂 (%)	炭类型
CK	√	0	/
S1	√	1	水稻秸秆炭
S2	√	2	水稻秸秆炭
A1	√	1	猪粪炭
A2	√	2	猪粪炭

① 生物炭施用对茶园土壤酸碱性的影响

施用猪粪炭后，茶园土壤酸碱度有了显著的提高（图 2）。添加炭基调理剂后，土壤 pH 值提高，且随着施用量的增加而提高。施用 5 个月后，施炭的 4 个处理对土壤 pH 有显著提高，升幅在 9.5% 左右，各个处理间没有显著性差异，在不同施用量下，pH 值变化不显著。在施用 8~14 个月，单施化肥处理组的土壤 pH 较对照有一定的下降，最大降幅为 3.08%，说明相比施用化肥，生物炭可在一定程度上防止土壤酸化现象。

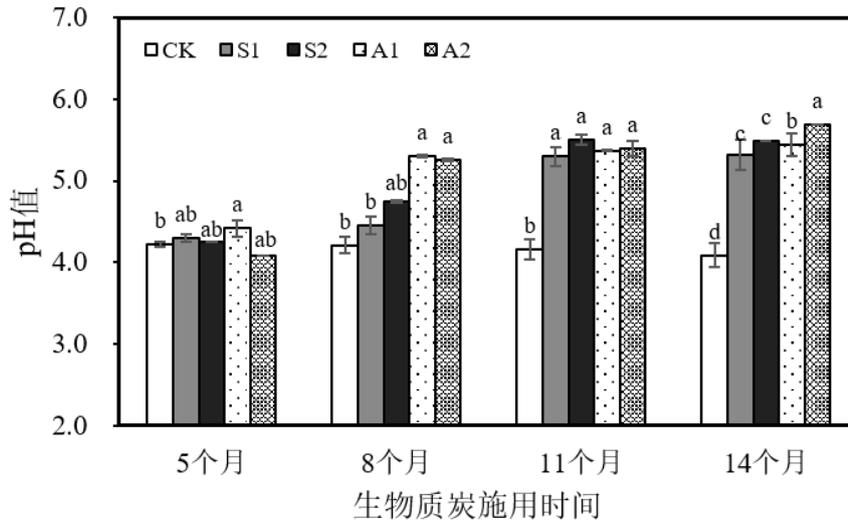


图 2 生物炭调理剂施用对土壤 pH 值的影响

② 生物炭施用对茶园土壤氮含量的影响

猪粪炭调理剂施用 5~14 个月后，土壤全氮含量如图 3 所示，在施用 5 个月、8 个月、11 个月、14 个月后，猪粪炭调理剂处理下表层土壤全氮含量均高于对照处理。与对照组相比，猪粪炭调理剂处理土壤全氮含量增加 0.07~0.12 g/kg，随调理剂施用量的增加，土壤全氮并无明显上升趋势，可能是因为猪粪炭能够吸附氮素，减少氮素淋溶所致。在同一施量情况下，通过与水稻秸秆炭对比研究发现，猪粪炭对土壤全氮的提升效果较优。由于生物炭相较化肥，含有丰富的芳环结构和羟基、羧基等基团，离子交换的位点显著增加，其表面活性高于化肥，促进氮素的转化和吸收，所以施加生物炭效果优于化肥施用。

施用猪粪炭调理剂能增加土壤碱解氮的含量（图 4）。在猪粪炭作用下，土壤碱解氮含量随着施用时间的延长而提高，这是因为生物炭的小孔隙结构能够降低土壤养分的渗透速度。在施用猪粪炭

调理剂 14 个月后，土壤碱解氮增量在 11.69~22.37 mg/kg，且随着施用量的增加，土壤碱解氮呈现上升趋势，这是因为生物炭能通过阳离子交换而达到对土壤中 NO_3^- 、 NH_4^+ 的吸附，从而使土壤中有效氮质量分数大幅增加。

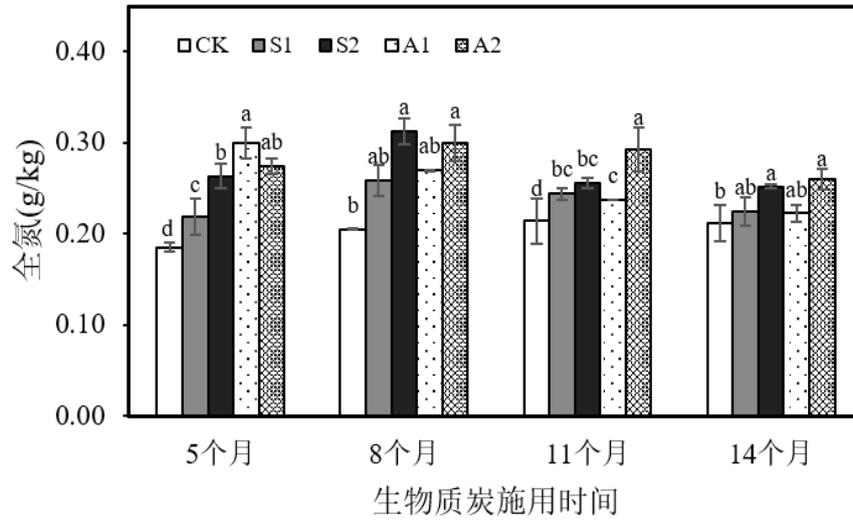


图 3 生物炭调理剂施用对土壤全氮含量随时间变化的影响

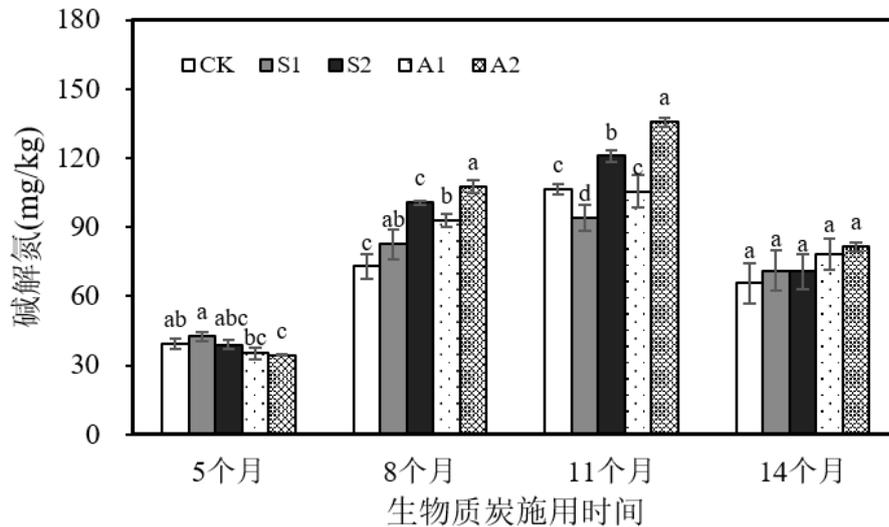


图 4 生物炭调理剂施用对土壤碱解氮含量随时间变化的影响

③ 生物炭施用对茶园土壤磷含量的影响

在猪粪炭调理剂作用下，土壤全磷随着施用时间的延长而增加

(图 5)。本研究中，对照组中土壤全磷含量为 1.10 g/kg，施加猪粪炭调理剂后，土壤全磷增量在 0.07~0.67 g/kg，且随着施用量的增加，土壤全磷呈上升趋势，这是因为猪粪炭吸附能力较强，可吸附土壤磷等水溶性盐离子从而减少养分的淋失。在同一施用浓度下，通过对比可得，猪粪炭对土壤全磷的提升效果要优于秸秆炭。

施用猪粪炭调理剂能增加土壤速效磷的含量(图 6)。在猪粪炭作用下，土壤速效磷含量在猪粪炭施用后 11、14 个月要高于施用后 5~8 个月。本研究中，施用 14 个月后，对照组中土壤速效磷含量为 3.78 mg/kg，经猪粪炭处理后，土壤速效磷增量在 1.58~2.34 mg/kg。

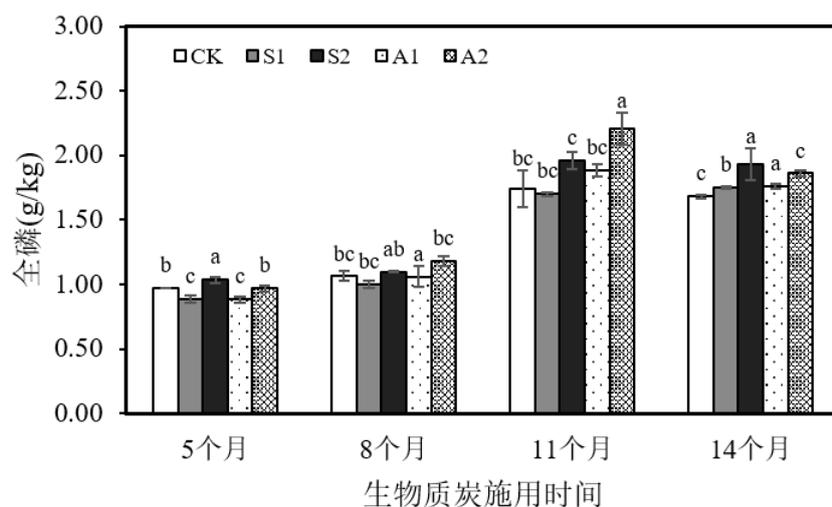


图 5 生物质炭调理剂施用对土壤全磷含量随时间变化的影响

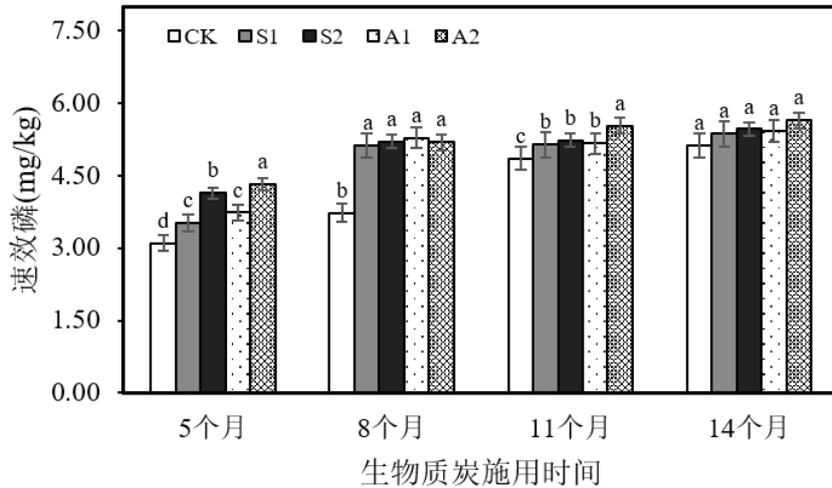


图6 生物炭调理剂施用对土壤速效磷含量随时间变化的影响

④ 生物炭施用对茶园土壤钾含量的影响

施用猪粪炭调理剂能增加土壤全钾的含量（图7）。这是因为调理剂自身氮磷钾等养分含量较高，添加到土壤中后能够显著增加土壤中的养分供应。如图7所示，猪粪炭调理剂施用5个月后，土壤全钾增量在0.02~0.18 g/kg，且随施用量的增加而增加。在同一施用量下，猪粪炭和秸秆炭调理剂对土壤全钾的提升效果无显著性差异，这是因为两种调理剂本身所带的全钾含量相差不大。

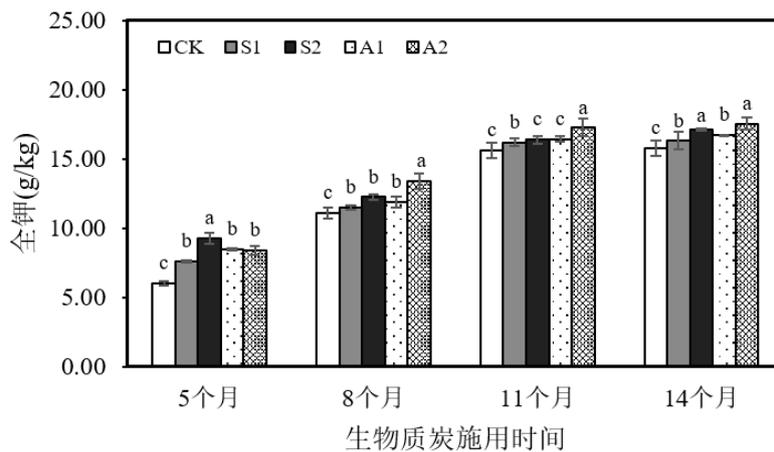


图7 生物炭调理剂施用土壤全钾含量随时间变化的影响

⑤ 猪粪炭施用对茶园土壤有机质含量的影响

施用猪粪炭基土壤调理剂能增加土壤有机质含量（图 8）。经猪粪炭调理剂处理后，土壤有机质增量在 0.04~4.34 g/kg，土壤有机质含量随调理剂施用量的增加而增加。在同一施用浓度下，秸秆炭基调理剂对土壤有机质的提高效果优于猪粪炭，这是因为猪粪炭的灰分和盐基离子含量比较高，适合用于增加土壤养分；而秸秆类生物质炭则适用于土壤固碳，提升土壤有机质含量。本研究结果说明生物质炭能够增加茶园土壤中的有机质含量。

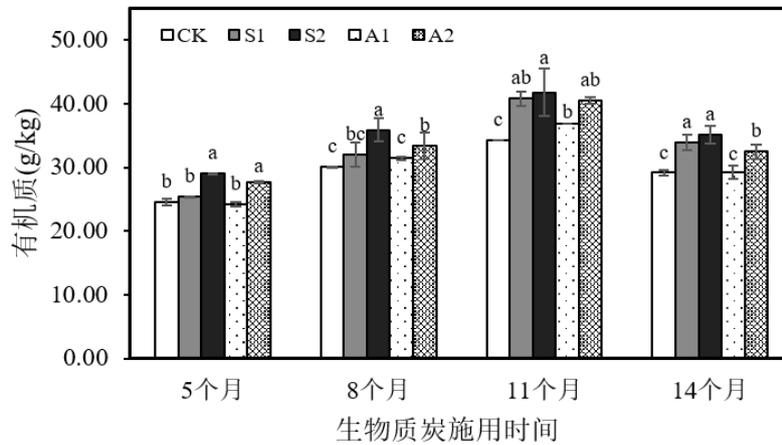


图 8 生物炭调理剂施用对土壤有机质含量随时间变化的影响

(3) 生物炭基土壤调理剂对重金属污染土壤的修复

生物炭基土壤调理剂对重金属土壤的修复试验区稻田位于杭州富阳新桐乡某酸性 Cd 污染农田。农田土壤 pH 介于 5.28~5.83，平均为 5.54 ± 0.09 ，呈酸性；土壤中总 Cd 含量介于 0.55~0.88 mg kg⁻¹，平均含量为 0.67 ± 0.06 mg kg⁻¹；有效 Cd 含量介于 0.16~0.22 mg kg⁻¹，平均含量为 0.18 ± 0.01 mg kg⁻¹；有效镉含量占总 Cd 含量介于 19.27%~35.97%，平均值为 $27.83 \pm 3.38\%$ 。根据《土壤环境质量标准 农用地土壤污染风险管控标准》（GB15618-2018）农用地土壤污染风险筛选值（基本项目），新桐乡农田土壤镉含量超标。

试验设置：试验用生物炭基土壤调理剂由猪粪炭制备而成。针对新桐某 Cd 污染农田土壤，设置不同温度热解温度制备的猪粪炭（BCA、BCB、BCC 和 BCD）、猪粪堆肥（PM）和空白对照（CK）处理，每个处理 3 个重复。猪粪炭调理剂施用量设置 4 个添加梯度（即炭基调理剂施用量分别占表层土壤总重量的 0.2%。

对于土壤有效 Cd 来说（图 9），试验前期有效 Cd 含量介于 0.16~0.22 mg kg⁻¹，平均含量为 0.18±0.01 mg kg⁻¹。与对照相比，施用猪粪有机肥对土壤有效 Cd 含量无明显影响；猪粪炭基调理剂在高施用水平下可以显著降低分蘖期和成熟期土壤有效 Cd 的含量。与对照相比，BCA1/B1/C1/D1 土壤有效态 Cd 降低约 3%~15%，BCA2/B2/C2/D2 土壤有效态 Cd 降低约 16%~20%，BCA3/B3/C3/D3 土壤有效态 Cd 降低 30%~50%。BCA4/B4/C4/D4 土壤有效态 Cd 降低约 70%~80%。且随施加量的增加而减少有效态 Cd 的含量。这可能由于生物炭施用后土壤 pH 相较于对照有所上升，土壤中 Cd 的移动性下降，从而降低了土壤有效 Cd 的含量。成熟期土壤有效 Cd 含量升高，可能由于水稻生长根系分泌有机酸促进根际土壤有效 Cd 含量的增加。

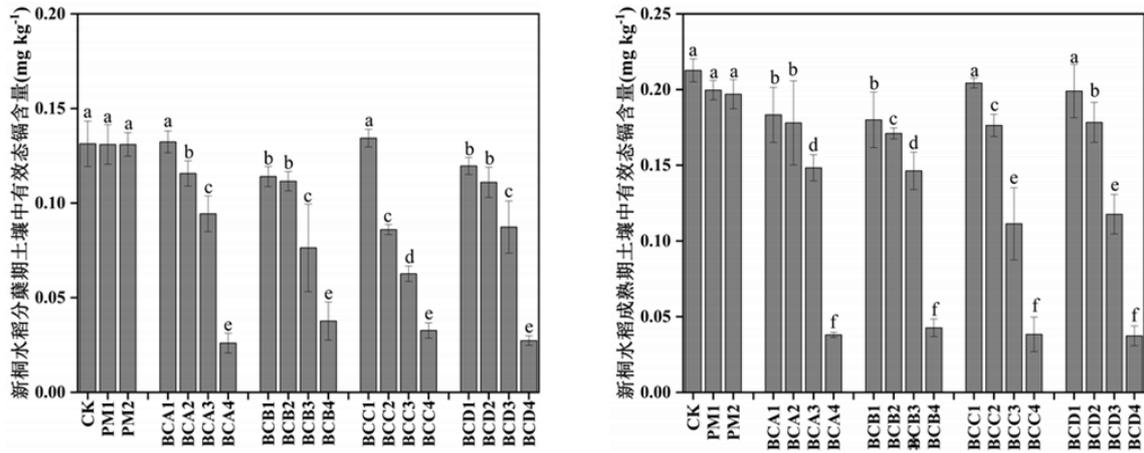


图 9 新桐施用猪粪和生物炭调理剂对酸性土壤有效 Cd 的影响

由图 10 可以看出，对照处理土壤中 Cd 主要以酸可提取态存在，占 40%左右。分蘖期对照组弱酸可提取态占比为 46%，与对照组相比，分蘖期猪粪有机肥（PM1、PM2）酸可提取态 Cd 的百分比降低了 12%和 15%，残渣态增加了 18%和 20%，土壤中 Cd 由酸可提取态向残渣态转化；猪粪炭基调理剂处理中，Cd 酸可提取态均向可还原态和残渣态转化，1%施用量时转化程度最明显，与对照组相比，BCA3 酸可提取态降低了 16%，可还原态和可氧化态减少了 3%，残渣态增加了 16%；BCB3 酸可提取态降低了 13%、可氧化态增加了 1%、残渣态增加了 13%；BCC3 酸可提取态显著降低了 11%，可还原态和可氧化态增加了 1%、残渣态增加了 6%；BCD3 酸可提取态降低了 10%，可还原态和可氧化态增加了 4%，残渣态增加了 6%。至成熟期时，与对照相比，PM1 比 PM2 转化更明显，比 PM2 多转化了 5%；与分蘖期相比，猪粪炭调理剂施加 0.5%添加量时向残渣态转化的更明显。BCA2 酸可提取态降低了 13%，残渣态增加了 13%；BCB2 酸可提取态降低 13%，可还原态和残渣态增加了 2%和 16%；BCC2 酸可提取态降低了 10%，可还原态降和残渣态增加了

1%和 11%;5%施用量时 BCD4 转化更显著,酸可提取态是降低 6%,可还原态增加了 13%。成熟期酸可提取态有所降低,有机肥处理使其向残渣态转化,其他处理使其可还原态转化。形态分析的结果表明,生物炭基调理剂的施用会影响土壤中 Cd 的形态分布,土壤中的弱酸提取态重金属转化为更加稳定的形态(如可还原态和残渣态),这种变化会显著降低土壤 Cd 的移动性和植物有效性

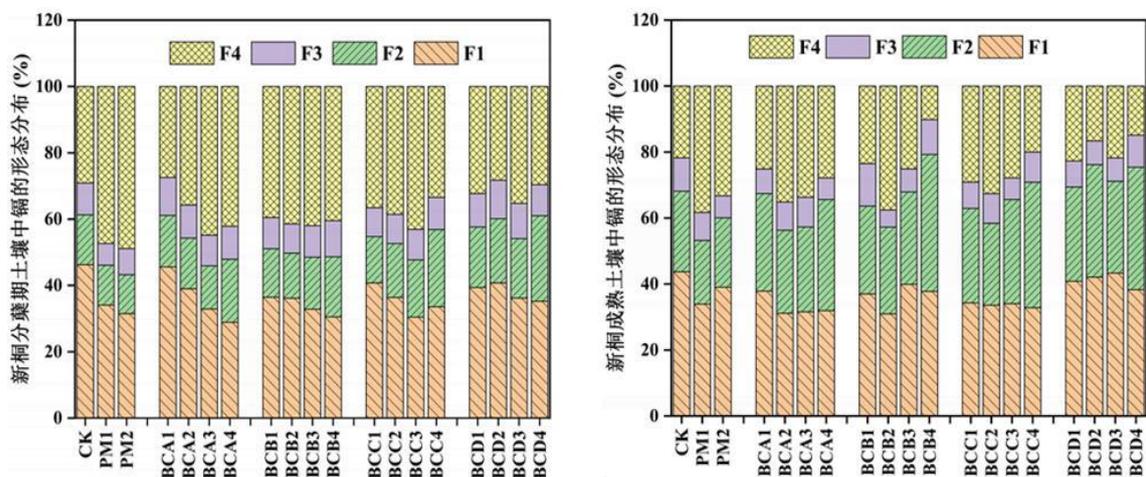


图 10 施用猪粪和生物炭调理剂对土壤中 Cd 的形态分布的影响

(三) 技术经济论证

本标准内容在实施过程中技术成本较低,有利于标准内容的实施。在实施过程中,首先对生物炭原料及适配材料的生态环境安全性进行有效管控,避免给环境携入有毒有害物质。其次仅将各种材料按照既定比例进行混合后施入目标土壤即可,具有原料广泛,参数灵活、操作简便的特点。

(四) 预期的经济效果

本标准的实施,将有利于生物炭基土壤调理剂及相关行业的规范化发展,推动土壤调理剂产业和生物炭产业的多途径融合,同时

还能促进废弃生物质的循环利用，不仅能够创造良好的经济效益，助推共同富裕，还有利于推动区域生态环境的建设。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

在本标准草案编写过程中，未采用与本标准内容相关的国际、国外其他标准。

五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准为技术工艺性标准，严格遵守了我国相关的法律法规，并与其他相关标准保持了标准之间的协调统一。与本标准下列法律法规及强制性标准要求相一致。

(1) 中华人民共和国土壤污染防治法要求

第二十六条 国务院农业农村、林业草原主管部门应当制定规划，完善相关标准和措施，加强农用地农药、化肥使用指导和使用总量控制，加强农用薄膜使用控制。

国务院农业农村主管部门应当加强农药、肥料登记，组织开展农药、肥料对土壤环境影响的安全性评价。

制定农药、兽药、肥料、饲料、农用薄膜等农业投入品及其包装物标准和农田灌溉用水水质标准，应当适应土壤污染防治的要求。

第二十七条 地方人民政府农业农村、林业草原主管部门应当开展农用地土壤污染防治宣传和技术培训活动，扶持农业生产专业化服务，指导农业生产者合理使用农药、兽药、肥料、饲料、农用薄

膜等农业投入品，控制农药、兽药、化肥等的使用量。

地方人民政府农业农村主管部门应当鼓励农业生产者采取有利于防止土壤污染的种养结合、轮作休耕等农业耕作措施；支持采取土壤改良、土壤肥力提升等有利于土壤养护和培育的措施；支持畜禽粪便处理、利用设施的建设。

(2) GB 38400-2019 肥料中有毒有害物质的限量要求

表 7 肥料中有毒有害物质的限量要求（基本项目）

序号	项目	含量限值	
		无机肥料	其他肥料 ^a
1	总镉	≤ 10 mg/kg	≤ 3 mg/kg
2	总汞	≤ 5mg/kg	≤ 2 mg/kg
3	总砷	≤ 50 mg/kg	≤ 15 mg/kg
4	总铅	≤ 200 mg/kg	≤ 50 mg/kg
5	总铬	≤ 500 mg/kg	≤ 150 mg/kg
6	总铊	≤ 2.5 mg/kg	≤ 2.5 mg/kg
7	缩二脲 ^b	≤ 1.5%	≤ 1.5%
8	蛔虫卵死亡率	— ^c	95%
9	粪大肠菌群数	—	≤ 100个/g 或 ≤ 100个/mL

^a 除无机肥料意外的肥料，有毒有害物质含量以烘干基计

^b 仅在表明总氮含量时进行检测和判定

^c 该指标不做要求

六、涉及的著作权、专利信息

本标准不涉及著作权及专利信息。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准和技术工艺标准，未涉及有关国家安全、保护人体健康和人身财产安全、环境质量要求等有关强制性地方标准或强制性条文。

九、贯彻标准的要求和措施建议

本标准为首次制定，建议在实施过程中先试行一段时间，根据实际应用情况，作进一步修订完善，以适应发展要求。

十、废止现行有关标准的建议

无。

十一、其他应予说明的事项

无。