《红壤坡耕地作物多样化空间配置与有机循环控酸培肥技术》

（征求意见稿）

编制说明

中国科学院南京土壤研究所

2026 年 10 月 22 日

目 次

一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等；

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比；

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；

四、标准涉及的相关知识产权说明；

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系；

六、重大意见分歧的处理经过和依据；

七、其他应予说明的事项。

一、工作简况

（一）任务来源

本文件由中国土壤学会提出并归口，中国科学院南京土壤研究所牵头，江西省红壤及种质资源研究所、萍乡市农业技术推广中心、江西农业大学和江西省萍乡市芦溪县银河镇农技推广综合服务站共同起草。项目周期为12个月。标准编制依托江苏省杰出青年基金项目“作物多样化促进植物—土壤—微生物‘信息通讯’机制”（BK20250112）和农业科技重大项目“耕地土壤酸瘦阻控和肥力恢复关键技术及应用示范”（NK2022803）开展。

（二）协作单位

1、牵头单位

中国科学院南京土壤研究所，组织实施标准起草工作及各起草单位之间的协调工作。

2、参加单位

江西省红壤及种质资源研究所、萍乡市农业技术推广中心、江西农业大学和江西省萍乡市芦溪县银河镇农技推广综合服务站。

（三）主要工作过程

1、成立标准编制项目组

2025年11月，中国科学院南京土壤研究所牵头组织成立了标准编制项目组，初步研讨确定了标准基本框架、主要内容，并制定了标准制定工作计划、人员分工等。

2、数据和资料收集

本文件在红壤坡耕地作物多样化配置、有机物料循环利用、酸化土壤改良和耕地质量提升等研究与示范基础上编制而成。编制组系统收集了南方红壤区坡耕地立地条件、土壤酸化与有机质状况、作物种植模式、畜禽粪污资源化利用及土壤质量监测等资料，并对相关国家标准、行业标准、地方标准和团体标准进行了调研与比对。

2023 年 5 月—2023 年 9 月，中国科学院南京土壤研究所，对红壤坡耕地作物多样化配置和培肥改良现状开展多次调研，在充分调研基础上经多轮论证，形成了红壤坡耕地作物多样化配置与有机循环控酸培肥技术方案。

2023 年 10 月—2023 年 12 月，中国科学院南京土壤研究所联合江西省红壤及种质资源研究所等单位，在江西省萍乡市芦溪县等红壤丘陵坡耕地开展了作物多样化种植、有机循环、控酸培肥及产能提升等调查、试验和示范工作，形成了坡位分层配置、冬夏季轮作、饲草利用与粪肥还田相衔接的技术基础。同时，在进贤县开展石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施、无机和有机材料复配对红壤复垦耕地肥力提升和油菜玉米产量的影响，明确石灰和有机肥等的精准用量；为本标准制定提供了可靠的实证数据与技术支撑。

2024 年 1 月—2024 年 12 月，团队一方面在芦溪县和进贤县开展大区示范，系统开展土壤样品采集与测试分析，并进行综合评价，形成共性关键技术，另一方面，在芦溪县等地开展技术示范推

广，从而进一步验证并完善了技术体系，确保了本标准内容的科学性、适用性与可行性。

3、标准起草与立项

2025 年 1 月—12 月，编制组在前期试验、示范和资料调研基础上，结合国内外相关标准和文献资料，多次讨论并修改，形成标准草案。

2026 年 1 月—7 月，编制组提交标准草案至中国土壤学会开展立项函评。经专家评审论证，同意立项；中国土壤学会于 2026 年 7 月 24 日发布立项公告。

4、征求意见阶段

标准立项公示结束后，编制组根据立项函评专家意见进一步修改完善标准草案，完成征求意见初稿撰写工作。2026 年 7 月，编制组向 8 家单位进行意见征集，共收集专家反馈意见 31 条；其中，采纳 31 条，部分采纳 0 条，未采纳 0 条。2026 年 9 月，编制组根据征集意见对标准文本进行了修订；征求意见稿及编制说明撰写工作完成后提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

陈晏 中国科学院南京土壤研究所 负责标准整体结构设计和技术内容确定，指导标准编制工作。

柳开楼 江西省红壤及种质资源研究所 负责标准技术内容与关键技术参数的确定，组织工作组及专家团队开展标准编制工作。

李九玉 王美艳 张红霞 贺彦琨、沈一　中国科学院南京土壤研究所 负责标准相关技术内容试验、数据资料收集，标准文本修订和编制说明撰写工作，协助组织专家评审及意见修改工作。

康锋 王美芳 萍乡市农业技术推广中心　负责标准技术参数的验证和示范数据资料收集等工作。

胡丹丹、吴艳、宋惠洁、李亚贞 江西省红壤及种质资源研究所 负责资料收集，数据归纳整理，参与标准起草和标准论证工作。

张嵌 江西农业大学 负责标准技术内容试验、数据资料收集、技术方案论证工作。

胡永朝、傅朋绍 何婷婷 江西省萍乡市芦溪县银河镇农技推广综合服务站 参与标准技术参数的验证和示范数据资料收集等工作。

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据

（一）标准编制原则

1、规范性原则

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，结构设置、术语表述、条款编排和引用文件均与现行标准化要求保持协调。

文件围绕红壤坡耕地作物多样化配置与有机循环控酸培肥的技术需求，设置范围、规范性引用文件、术语和定义、基础条件调查与分级、多样化作物时空配置、有机循环控酸培肥及档案管理等内容。规范性引用GB 5084、GB/T 25246、GB/T 36195、NY/T 391、

NY/T 393、NY/T 394、NY/T 525、NY/T 1121.1、NY/T 1121.2、NY/T 1121.6、NY/T 1868 和 NY/T 3443 等标准，保证技术要求、投入品质量和检测方法具有一致性与可操作性。

2、科学性原则

本文件以红壤坡耕地酸化、瘠薄和水土流失等复合障碍为对象，依据坡位差异、季节差异、作物生物学特性和养分循环规律，构建“坡位分层配置—冬夏季轮作—草畜衔接—粪肥还田—控酸培肥”的综合技术路径。

作物配置采用坡上固氮、坡中高产、坡下固土的分层思路，结合花生、甘薯、玉米、羽扇豆、马铃薯和黑麦草等作物的适应性与功能特征，兼顾覆盖固土、养分利用和经济产出；有机循环环节以黑麦草、香根草和作物秸秆等植物性有机物料利用为基础，经畜禽过腹和无害化处理后还田，实现养分资源循环利用；控酸培肥环节根据土壤 pH 和有机质水平，统筹有机肥、石灰等改良物料施用，增强土壤改良的针对性。

3、适用性和可操作性原则

本文件适用于南方红壤区坡度 6°～25°、土壤 pH 值 4.0～6.5 的坡耕地，其他类似生态区域可参照执行。针对坡耕地地形破碎、坡位差异显著和农户经营条件多样等特点，文件给出基础条件调查、坡度与土壤条件分级、作物配置、粪肥处理与施用、控酸培肥和档案管理等可直接执行的技术要求。

在作物多样化配置方面，明确春季和冬季坡面立体种植模式、主要作物品种选择、播种或栽插时期、种植密度及边坡植物篱配置要求；在有机循环控酸培肥方面，明确有机物料收集、畜禽粪污无害化处理、粪肥还田施用量与施用方法，以及石灰和有机肥配施、土壤质量跟踪监测等要求。

技术参数以南方红壤区坡耕地生产实践和示范结果为基础，并允许根据当地坡度、土壤 pH、有机质含量、种植制度、畜禽养殖条件和有机物料资源条件进行合理调整，兼顾区域适应性、经济可行性与农户操作便利性。

文件将技术实施过程划分为调查分级、作物配置、种植管理、有机物料循环利用、控酸培肥和质量监测等环节，形成完整的技术链条；通过建立地块基础信息、土壤检测、投入品使用、种植管理、粪肥还田和作物产量等档案，确保技术实施过程可追溯、效果可评价。

技术要求与绿色食品产地环境、农药和肥料使用准则，以及畜禽粪便无害化处理、还田利用和酸化土壤改良等现行标准相衔接，有利于在保障农产品质量安全和生态环境安全的前提下开展推广应用。

4、先进性原则

本文件突出红壤坡耕地“地形—作物—养分—土壤”协同调控，突破仅以单一土壤调理剂或单一作物栽培为主的技术模式，将

坡位分层种植、冬季覆盖、植物篱固土、草畜循环、粪肥还田和控酸培肥有机集成。

在技术理念上，强调以地适种、用养结合和种养循环；在技术措施上，将地上作物多样化配置与地下土壤控酸培肥联动，兼顾减少坡面裸露、促进有机物料资源化利用、改善土壤酸度和提升土壤有机质。

在管理方式上，建立以坡度、土壤 pH 和有机质为基础的调查分级与动态监测要求，并通过档案管理记录投入品、种植和还田信息，为技术效果评估和持续优化提供依据。

该技术模式可与当地粮食、油料、饲草生产和畜禽养殖条件相衔接，促进农业废弃物资源化利用和耕地质量持续提升，具有较好的生态、生产和资源循环效益。

文件强调控酸培肥应与合理轮作、秸秆或绿肥利用、粪肥还田和长期土壤质量监测相结合，避免以一次性投入替代持续培肥，促进红壤坡耕地生产力的稳定提升。

（二）确定标准主要内容的论据

本文件主要内容依据红壤坡耕地的障碍特征、作物适应性、养分循环规律、现有研究与示范结果确定，并充分吸收相关标准的通用要求。

文件以红壤坡耕地酸化、瘠薄、易侵蚀和地块破碎化等问题为导向，形成基础条件调查与分级、多样化作物时空配置、有机循环控酸培肥和档案管理四个相互衔接的技术模块。基础条件调查与分

级为技术措施选择提供依据；作物时空配置通过坡位分层、季节轮作和植物篱配置提升地表覆盖与系统稳定性；有机循环控酸培肥通过有机物料收集、畜禽粪污无害化处理、粪肥还田和改良物料配施促进养分循环和土壤质量改善；档案管理为过程追溯和效果评价提供支撑。

1、关于标准适用范围

南方红壤区坡耕地普遍存在坡度较大、土壤酸化、养分贫瘠和水土流失风险高等问题。文件将适用范围限定为坡度6°～25°、土壤pH值4.0～6.5的坡耕地，与红壤坡耕地的主要障碍和技术适用边界相匹配；对其他类似生态区域，明确可参照执行，以兼顾标准适用的针对性与推广性。

2、关于基础条件调查与分级

坡度、土壤pH和有机质是影响红壤坡耕地作物配置、控酸措施和有机肥施用量的关键因子。文件规定对地形地貌、土壤类型、土壤肥力和水土流失状况进行调查，采用0 cm～20 cm耕层土壤样品测定pH和有机质，并提出坡度、土壤酸度和有机质分级要求，为分区分类配置技术措施提供基础。

3、关于作物多样化配置

文件依据不同坡位的水肥条件、侵蚀风险和作物功能特征，提出春季花生—甘薯—玉米和冬季羽扇豆—马铃薯—黑麦草的坡面分层配置，以及边坡香根草植物篱配置模式。该配置有利于提高坡面

覆盖度和土地利用效率，发挥豆科作物固氮、饲草和绿肥作物覆盖固土、经济作物增收等功能，并为有机物料循环利用提供来源。

4、关于有机循环控酸培肥

文件规定黑麦草、香根草和作物秸秆等有机物料的收集利用方式，明确畜禽粪污无害化处理、粪肥施用量、施用方法和质量要求；同时提出通过有机肥替代部分化学氮肥、石灰调酸和土壤质量跟踪监测等措施，促进养分循环利用、减缓土壤酸化并提升土壤有机质。相关要求与 GB/T 25246、GB/T 36195、NY/T 525、NY/T 1868 和 NY/T 3443 等标准保持协调。

5、关于档案管理与技术评价

文件要求建立地块基础信息、土壤检测、作物种植、粪污处理与还田、病虫害防治、作物产量和土壤质量跟踪监测等档案，保存期限不少于 3 年。通过过程记录与年度土壤 pH、有机质监测相结合，可为技术措施调整、效果评价和规模化推广提供依据。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要试验（或验证）的分析、综述报告

1 红壤坡耕地多样化种植的试验报告

1.1 材料与方法

1.1.1 试验和示范区的介绍

试验区在江西省鹰潭市余江区刘家站中国科学院鹰潭红壤生态实验站内。红壤站地理位置为东经 116°55′30″，北纬 28°15′20″。所在

地年降雨量 1785mm，年均温 17.8℃，＞10℃积温 5528℃，无霜期 262 天，是典型的亚热带气候，其生境是我国中亚热带东部第四纪红粘土红壤丘岗区的一个缩影，水热资源丰富，生产潜力巨大。站内的生物多样性小区建立于 2012 年，田间土壤特征如下：有机质 4.58 g kg^{-1}、全氮 0.45 g kg^{-1}、全磷 0.35 g kg^{-1}、全钾 11.84 g kg^{-1}、速效磷 1.68 mg kg^{-1}、速效钾 54.17 mg kg^{-1}、铵态氮 5.24 mg kg^{-1}、硝态氮 2.59 mg kg^{-1}，pH 为 4.84。

示范区在江西省萍乡市芦溪县银河镇陇田村，地理位置位于东经 113°55′，北纬 27°25′。芦溪县年平均气温大致在 17℃-18℃ 之间，降雨量在 1600-1800 毫米。总体特征温暖潮湿，雨量充沛。示范地块原为撂荒地，经复垦后土壤肥力仍处于较低水平，作物生长受限，如图 1.2 显示，有机质平均 11.75g kg^{-1}, pH 4.48，酸化严重。



图 1.1 江西鹰潭红壤实验站生物多样性试验小区（左）江西省萍乡市银河镇示范区（右）

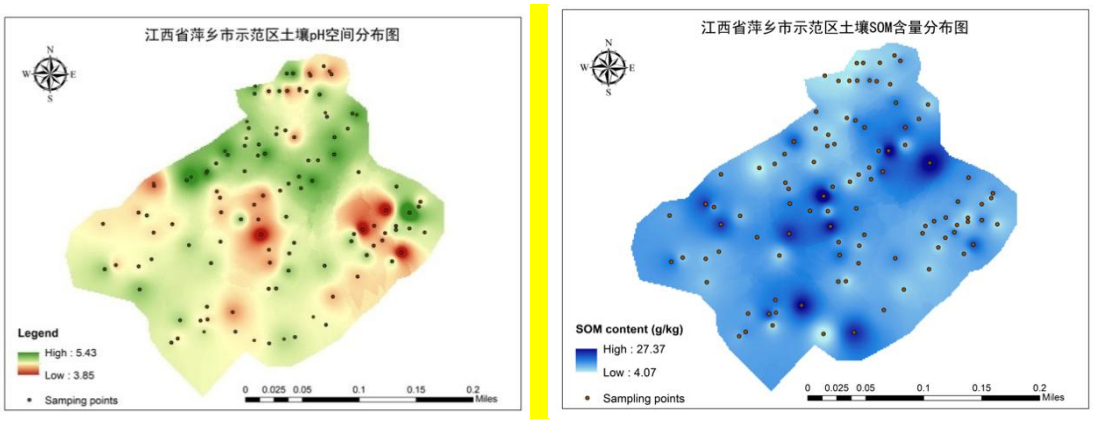


图 1.2 萍乡示范基地土壤有机质和 pH 分布

1.1.2 研究内容

根据坡面不同部位的土壤肥力、水分条件和光照差异，按“坡上固氮、坡中高产、坡下固土”的原则配置作物。实行春-夏（3-7 月），冬季（10 月～翌年 3 月）沿坡面自上而下实行三层立体配置（表 1），避免连作障碍，提高土地利用效率。

表 1　红壤坡面作物立体配置

春季坡面作物立体配置			
坡位	**推荐作物**	**种植方式**	**主要功能**
坡上	花生	条播	耐酸覆盖、固氮培肥
坡中	甘薯	垄栽	坡面覆盖、经济产出
坡下	玉米	穴播	高秆作物，拦截径流
冬季坡面作物立体配置			
坡上	羽扇豆	条播	固氮培肥、冬覆盖
坡中	马铃薯	垄栽	经济产出、减少冬闲裸露
坡下	黑麦草	撒播	冬绿肥、饲草供应

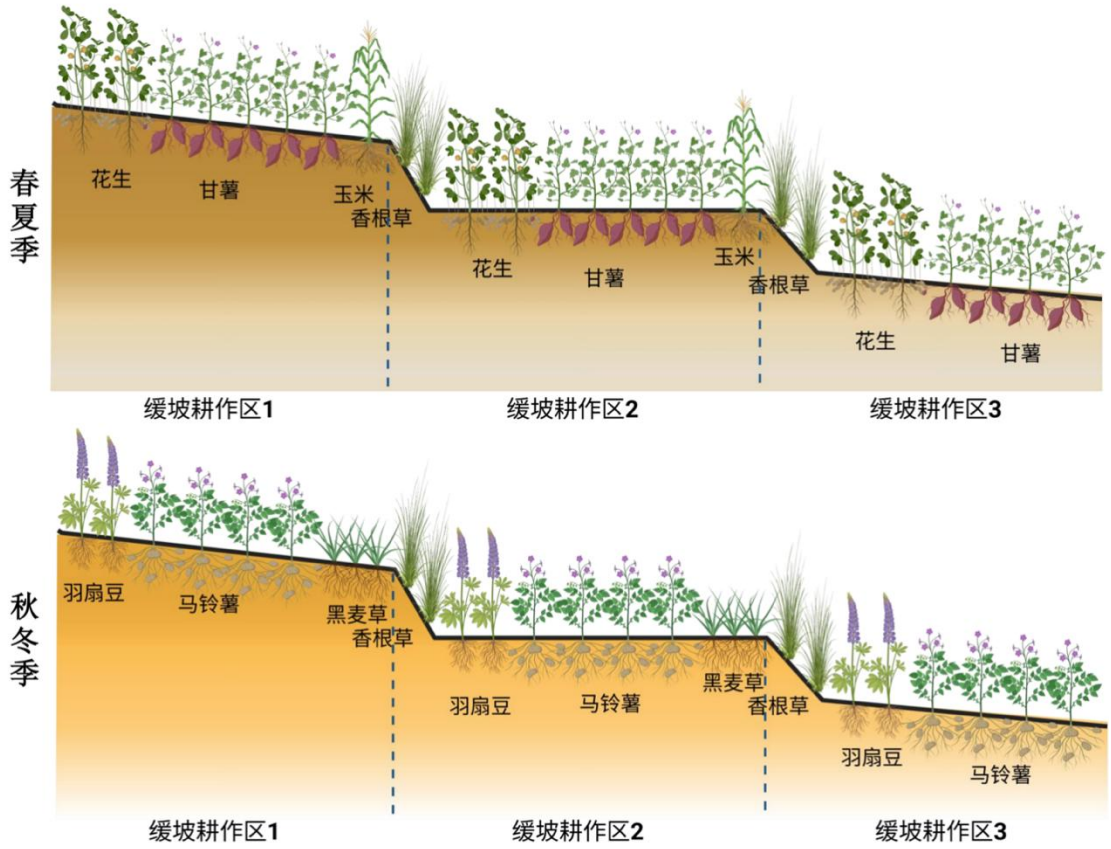


图 1.3 红壤区旱坡地多样化作物时空配置模式

（1）花生种植

播种时间：3 月中旬～4 月上旬。推荐采用手推式单人播种机或人工播种，播种方式为条播，每 667 m²播种量约为 12.5 kg～15 kg，种植密度每 667 m²约 1.0 万～1.5 万株，行距 40 cm～50 cm。播前每 667 m²施用腐熟有机肥 500 kg～800 kg。

（2）甘薯种植

栽插时间：4 月中下旬～5 月上旬。推荐采用机械化移栽设备或人工移栽，采用高垄单行种植，垄距 70 cm～80 cm，株距 25 cm～30 cm，每 667 m²栽插 3 000 株～3 500 株。

（3）玉米种植

播种时间：3 月下旬～4 月上旬。推荐采用机械化播种设备或手推式单人播种机或人工移栽，每 667 m²种植 3 000 株～3 500 株，行距 60 cm，株距 30 cm～35 cm。播种时施足基肥，基肥为复合肥（N、P_2O_5 和 K_2O 均为 15%），每 667m² 施用量为 40 kg～50 kg。

（4）羽扇豆种植

播种时间：11 月上旬～12 月上旬。采用高垄单行种植，垄距 60 cm～70 cm，株距 25 cm～30 cm，每 667 m²播种 3 000～3 500 穴。

（5）马铃薯种植

栽插时间：12 月中下旬～1 月上旬。采用高垄单行种植，垄距 70 cm～80 cm，株距 25 cm～30 cm，每 667 m²栽插 3 000～3 500 株。

（6）黑麦草种植

播种时间：10 月中下旬。推荐采用手推式单人播种机播种或人工播种，播种方式为条播，每 667 m²播种量 1.5 kg～2.0 kg，可撒播或条播。黑麦草可作为冬绿肥覆盖地表，减少冬闲期裸露，防止水土流失，春季翻压还田或收割饲用。

（7）香根草种植

沿等高线栽植，单行或双行配置，株距 20 cm～30 cm。栽植时间宜在春季（3 月～4 月）或雨季初期。香根草根系发达，能有效增强土壤抗侵蚀性能，对减少坡面土壤侵蚀和养分流失具有显著作用。

1.2 结果分析

1.2.1 作物多样化空间配置对作物生长的影响

经过两年的多样化空间配置种植，植物生产力均有明显提升（如

图）。夏季甘薯单作区亩产 1854kg， 空间配置示范区亩产 1872kg，产量提升 0.97%。同时，增加了一季的花生，花生产量达到每亩 624kg，增幅达 100%。 冬季马铃薯单作区亩产 2926kg，空间配置示范区亩产 3230kg，产量提升 10.39%。同时，增加了一季饲料黑麦草，黑麦草产量每亩 8133kg，增幅达 100%。

经过 2 年作物多样化空间配置种植，土壤的 pH 与有机质也有所提高。甘薯单作区土壤 pH 4.39，有机质为 10.75g kg^{-1} ；而空间配置示范区土壤 pH 4.83-5.02，提升了 0.44-0.63 个单位； 有机质为 12.12-12.73g kg^{-1}，提升了 13-18%。冬季马铃薯单作区土壤 pH 降至 4.42，而空间配置示范区土壤 pH 大袋 4.95-4.96，pH 提升了 0.53 个单位以上。马铃薯单作区土壤有机质为 10.88 g kg^{-1}，而在空间配置示范区土壤有机质达到了 11.25-13.5 g kg^{-1}，提高了 3.40-24.1%（表 2）。



图 1.4 示范区轮作作物生长情况现场图

表 2　2026 示范区作物产量及土壤理化性质

处理	作物	产量 kg/亩	增幅	收益增幅	土壤 pH	有机质
常规	甘薯	1854	-	-	4.39	10.75
技术	马铃薯	2926	-	-	4.42	10.88
	花生	624		100%	5.02	12.12
技术	甘薯	1872	0.97%	-	4.83	12.73
集成	马铃薯	3230	10.39%	5%	4.95	11.25
	黑麦草	8133		100%	4.96	13.5

2 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对红壤坡耕地改良培肥的效果

2.1 材料与方法

2.1.1 示范区的介绍

吉安市吉州区曲濑镇位于江西省中部，属典型红壤丘陵区，土壤类型为第四纪红黏土发育的红壤，属于典型的亚热带季风气候区，其年平均气温通常在 15 ℃ 到 20 ℃ 之间，年降水量在 1 500 mm 左右。示范地块原为撂荒地，经复垦后土壤肥力仍处于较低水平，作物生长受限。图 1 显示，曲濑示范基地的土壤有机质含量在 3.14～17.59 g/kg 之间，有机质平均值为 6.72 g/kg，整体水平较低；土壤容重在 1.05～1.54 g/kg 之间，容重平均值为 1.23 g/kg。土壤 pH 在 4.14～5.04 之间，pH 平均值为 4.44，酸化严重。根据江西省地方标准《酸性土壤改良与评价技术规范》（DB36/T 1517-2021）进行酸化等级分级，表 1 显示，pH＜4.5 的极强酸性土壤比例最高（77.70%），其次为 pH 为 4.5～5.0 的强酸性土壤（比例为 22.25%），而 pH 为 5.0～5.5 的中酸土壤的比例最低（比例仅为 0.15%）。因此选择石灰+牡蛎壳粉+风化煤（5-2.5-2.5）复配配方进行改良。

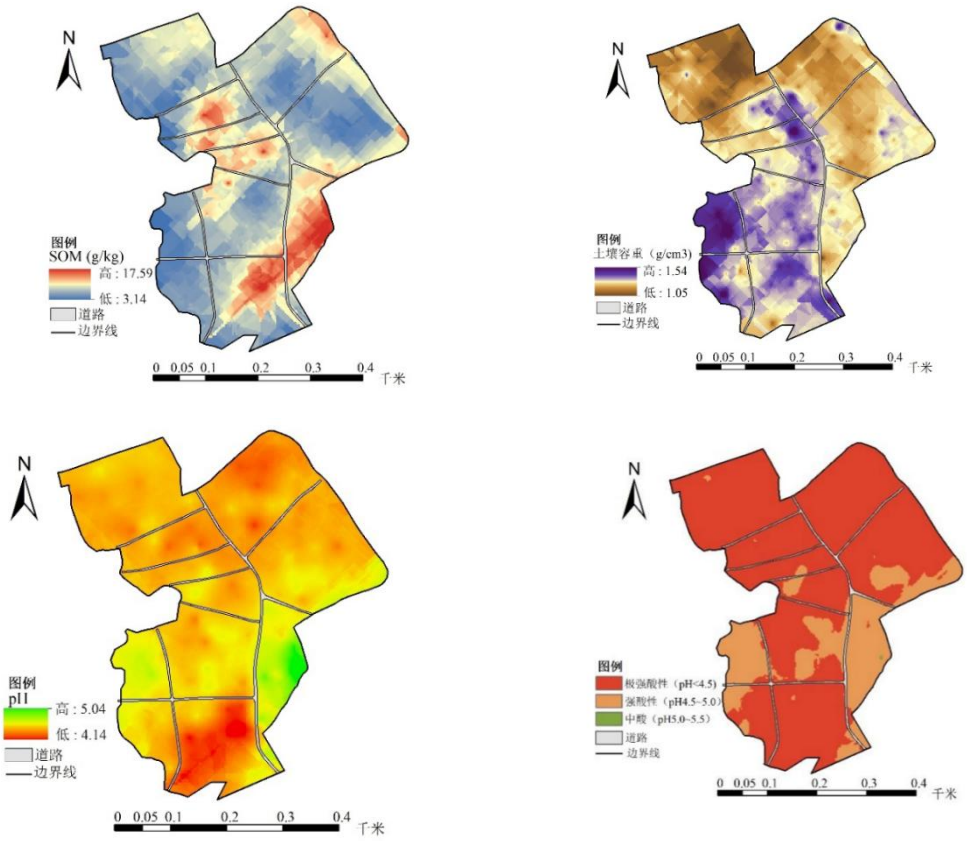


图 1 曲濑示范基地土壤有机质、容重和 pH 分布

表 1 曲濑示范基地土壤酸化等级划分

土壤 pH	酸化等级	面积比例%
<4.5	极强酸性	77.70
4.5~5.0	强酸性	22.25
5.0~5.5	中酸	0.15
5.5~6.0	弱酸性	0
6.0~6.5	微酸性	0

2.1.2 示范内容

吉安市吉州区曲濑镇选择 2 hm^2 酸化耕地，其中传统改良措施（石灰+农民习惯施肥）0.5 hm^2，新型改良措施石灰+牡蛎壳粉+风化

煤（5-2.5-2.5）1 hm²，农民习惯施肥（对照）0.5 hm²。夏季芝麻于 2025 年 6 月 5 日播种，冬季油菜于 2024 年 10 月 3 日播种。

（1）传统改良措施（石灰）T1。生石灰用量约 1 500 kg/hm²，复合肥（15-15-15）用量 450 kg/hm²，有机肥 3 750 kg/hm²。

（2）新型改良措施（石灰+牡蛎壳粉+风化煤（5-2.5-2.5））T2。牡蛎壳粉用量 375 kg/hm²，生石灰用量约 750 kg/hm²，风化煤用量为 375 kg/hm²，复合肥（15-15-15）用量 450 kg/hm²，有机肥 3 750 kg/hm²。

（3）农民习惯施肥（对照）CK。复合肥（15-15-15）用量 450 kg/hm²。

2.1.3 材料准备与施用

试验布局详情见表 2，芝麻种子为新黑芝 9 号，播种量为 4.5 kg/hm²，油菜种子为德油核 5 号，播种量为 4.5 kg/hm²，化肥、改良材料都在播种前 10～15 d，结合整地翻耕一次性基施，人工撒施+机械翻耕，深度 15～20 cm，确保与耕层充分混合，油菜额外需要施加硼肥，施加量为 7.5 kg/hm²，作为基肥施用。在栽培管理方面，病虫害及杂草的防控措施均与当地农田的常规生产实践相一致。

表 2 复配产品在生产上的试验布局

季节	作物	处理	面积（hm^2）	改良材料用量（kg/hm^2）	复合肥（15-15-15）（kg/hm^2）
夏季	芝麻	农民习惯施肥（CK）	0.5	无	450
		传统改良（T1）	0.5	1500 石灰+3750 有机肥	450
		新型改良（T2）	1	375 牡蛎壳粉+375 石灰+750 风化煤+3750 有机肥	450
		农民习惯施肥（CK）	0.5	无	450
冬	油	传统改	0.5	1500 石灰	450

季节	作物	处理	面积（hm^2）	改良材料用量（kg/hm^2）	复合肥（15-15-15）（kg/hm^2）
季	菜	良（T1）		+3750 有机肥	
		新型改良（T2）	1	375 牡蛎壳粉+375 石灰+750 风化煤+3750 有机肥	450

2.1.4 样品采集与前处理

在油菜收获后（芝麻播种前）和芝麻收获后分别采集各处理耕层土壤。每个处理按“S”形路线布设 5 个采样点，采集 0～20 cm 土层土壤，每点取土约 1 kg，同处理多点土样充分混合后采用四分法取约 1 kg 作为该处理混合代表样。土样经自然风干后，研磨分别过 2 mm 和 0.149 mm 筛，用于后续土壤理化性质测定。作物成熟后，各处理分别实打实收，记录实际收获面积与籽粒产量。同时，在各处理内选取有代表性的 3 个 1 m² 样方进行测产，取平均值作为该处理产量数据，并折算为 kg/hm²。本示范试验为田间大区示范，各处理不设重复大区，但土壤采样每个处理设 5 次采样重复（混合样），作物测产每个处理设 3 个样方重复，以保证数据的代表性和可靠性。

2.1.5 测定方法

参考《土壤农业化学分析方法》**错误!未找到引用源。**测定土壤 pH 值、有机质含量、速效钾含量、有效磷含量、交换性酸含量。同时，分析玉米生物量与土壤理化性质的相关性。

每年均实打实收测定油菜/芝麻籽粒产量，并按照油菜/芝麻籽粒计算收益。收益计算方式如下：收益 = 产量 × 油菜/芝麻单价 −（种子购置成本 + 肥料购置成本 + 农药购置成本 + 机械作业成本 + 人工成本 + 其他相关成本）。

2.2 结果与分析

2.2.1 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对土壤理化性质的影响

复配产品的施入，可以有效地改善吉安曲濑地区的红壤酸化状况，提升土壤肥力（表 3）。在土壤 pH 方面，新型改良措施 T2 处理后的土壤较 CK 提升 0.5 个 pH 单位，与传统改良措施 T1 相比，提升 0.05 个 pH 单位；在提升土壤有机质方面，新型改良措施 T2 处理后的土壤较 CK 提升 111%，与传统改良措施 T1 相比，提升 29.1%；在提升土壤有效磷方面，新型改良措施 T2 处理后的土壤较 CK 提升 64.8%，与传统改良措施 T1 相比，提升 23.6%；在提升土壤速效钾方面，新型改良措施 T2 处理后的土壤较 CK 提升 31.4%，与传统改良措施 T1 相比，提升 13.6%；在降低土壤交换性酸方面，新型改良措施 T2 处理后的土壤较 CK 下降了 15.6%，与 T1 相比，下降了 3.57%。

表 3 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对土壤理化性质的影响

处理	pH	有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	交换性酸 (cmol/kg)
CK	4.48±0.02b	6.91±0.1c	10.8±0.8c	70±5c	4.80±0.15a
T1	4.93±0.03a	11.29±0.08b	14.4±0.7b	81±6b	4.20±0.05b
T2	4.98±0.05a	14.58±0.16a	17.8±1.1a	92±3a	4.05±0.1b

注：不同小写字母表示不同处理之间的差异显著，下同（$P < 0.05$）。

2.2.2 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对产量的影响

由图 2 可知，与 CK 相比，传统改良措施 T1 和新型改良措施

T2 都可以提高作物的产量，且新型改良措施提升产量的效果要优于传统改良措施。与 CK 相比，新型改良措施 T2 可以提高油菜产量 32.5%，提高芝麻产量 28.1%；与 T1 相比，新型改良措施 T2 可以提高油菜产量 10.1%，提高芝麻产量 9.3%。

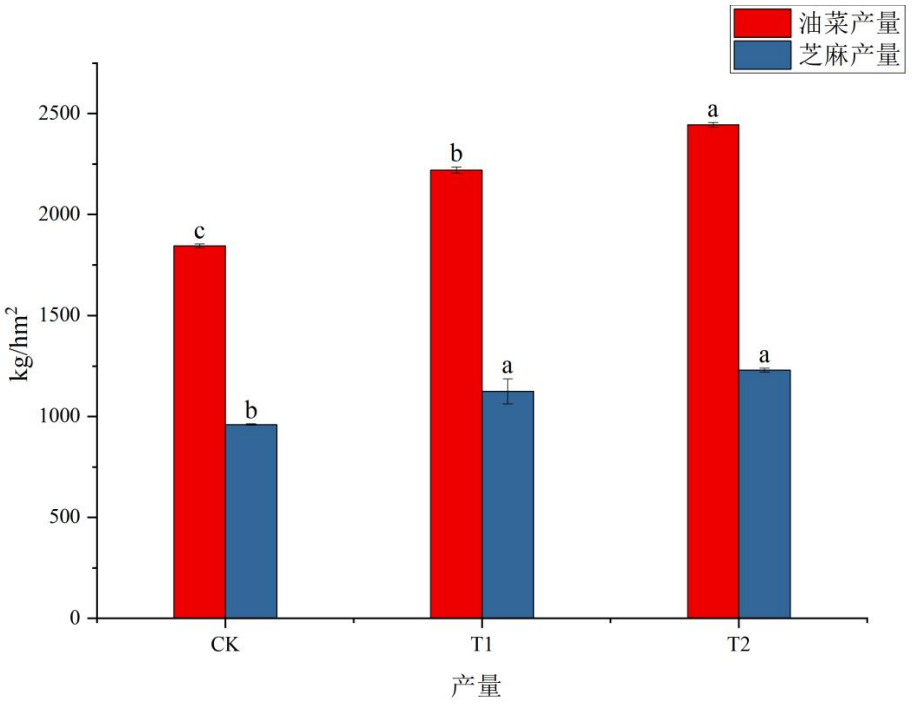


图 2 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对油菜、芝麻产量的影响

2.2.3 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对收益的影响

由表 4 和表 5 可知，在原料及肥料投入方面，CK 处理的肥料费最低，为 800 元/hm²；T1 处理增至 1 000 元/hm²；T2 处理最高，达 1 200 元/hm²。各处理的油菜种子费均为 60 元/hm²，芝麻种子费均为 90 元/hm²。在人工费方面：CK 处理为 1 500 元/hm²，T1 处理增至 2 100 元/hm²，T2 处理最高，达 2 400 元/hm²；其他费用方面：CK 处理为 600 元/hm²，而 T1 与 T2 处理均提高至 1 000 元/hm²。此外，所有处理的农药费一致，均为 450 元/hm²；机械作业费也一致，均为 4 500 元/hm²。在产出与收益方面，与 CK 处理相比，T1、

T2 处理油菜和芝麻总产值均有提升。其中，T2 处理表现最优，油菜总产值达 14 670 元/hm²，较 CK 处理增加 3 600 元/hm²，芝麻总产值达 14 760 元/hm²。T2 处理的油菜纯收益也最高，为 5 150 元/hm²，较 CK 处理增加 1 920 元/hm²，增幅达 56.5%。

表 4 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对油菜收益的影响

处理	种子费（元/hm²）	肥料费（元/hm²）	农药费（元/hm²）	机械作业费（元/hm²）	人工费（元/hm²）	其他（元/hm²）	总产值（元/hm²）	纯收益（元/hm²）
CK	60	800	450	4500	1500	600	11070	3160
T1	60	1000	450	4500	2100	1000	13320	4210
T2	60	1200	450	4500	2400	1000	14670	5150

表 5 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对芝麻收益的影响

处理	种子费	肥料费	农药费	机械作业费	人工费	其他	总产值	纯收益

（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）	（元/hm²）
CK	90	800	450	4500	1500	600	11340	3400
T1	90	1000	450	4500	2100	1000	13500	4360
T2	90	1000	450	4500	2400	1000	14760	5320

由表 6 可知，复配产品可以有效地提高芝麻和油菜的总收益，纯收益与 CK 相比提高了 59.6%，与 T2 相比提高了 37.3%。

表 6 石灰和牡蛎壳粉及风化煤配施对芝麻和油菜总收益的影响（元/hm²）

处理 Treatment	种子费 Seed costs	肥料费 Fertilizer costs	农药费 Pesticide costs	机械作业费 Machinery operating costs	人工费 labour cost	其他 Other costs	总产值 Total value of output	纯收益 Income net
CK	150	160	900	9000	3000	1200	22410	6560
T1	150	2000	900	9000	4200	2000	26820	8570
T2	150	2200	800	9000	4800	2000	29340	10470

2.3 小结

石灰+牡蛎壳粉+风化煤（5-2.5-2.5）在实际生产中表现出良好的

应用潜力。与传统单一施用生石灰的改良措施相比，该产品能更全面地改善土壤性状：使土壤 pH 提升 0.05 个单位，有机质含量显著提高 29.1%，有效磷与速效钾含量分别提升 23.6% 和 13.6%，同时使交换性酸降低 0.2 cmol/kg。在作物增产方面，施用该产品后油菜与芝麻产量分别提高了 10.1% 和 9.3%。在作物增益方面，施用该产品后油菜和芝麻纯收益分别提高了 63.0% 和 56.5%。这些结果表明，该复配产品具有较好的综合改良与增产效果，但其长期稳定性与效应仍需通过后续监测予以验证。

3 无机和有机材料复配对红壤复垦耕地肥力提升和油菜玉米产量的影响

3.1 材料和方法

试验地位于江西省进贤县张公镇小蒋村（116°17'60"E、28°35'24"N），地处中亚热带，年均气温 18.1℃，≥10℃积温 6480℃，年降雨量 1537 mm，年蒸发量 1150 mm，无霜期约为 289 d，年日照时数 1950 h。土壤为第四纪红粘土发育的红壤。据实地调研，该复垦耕地在 2010 年以前主要种植花生、芝麻等作物，但受劳动力转移和种植效益较低的影响，2010 年至 2019 年处于抛荒状态，2020 年当地政府部门对该地进行了复垦，试验前（2022）年土壤 pH 为 4.25，SOC 为 12.31g/kg。

试验设置化肥（F）、化肥＋腐殖酸（FH）、化肥＋腐殖酸＋石灰（FHL）、化肥＋腐殖酸＋有机肥（FHM）、化肥＋腐殖酸＋石灰＋有

机肥（FHLM）5 个处理，各处理的化肥、腐殖酸和石灰用量见表 7。化肥是三元复合肥，其氮（N）磷（P2O5）钾（K2O）含量分别为 15%、15%、15%。有机肥是腐熟猪粪，N、P、K 含量分别为 6.0g/kg、4.5g/kg、5.0g/kg。化肥、有机肥、石灰均一次性基施。种植模式为油菜-玉米轮作。油菜和芝麻品种分别为赣油杂 906 和郑单 958。油菜于 2022 年 10 月 3 日播种，2023 年 4 月 23 日收获；玉米于 2023 年 4 月 25 播种，2023 年 7 月 31 日收获。所有管理措施包括病虫害治理、水分管理尽量与大田保持一致。

表 7 各处理化肥、腐殖酸和石灰用量

处理	复合肥 kg/hm^2	腐殖酸 kg/hm^2	石灰 kg/hm^2	有机肥 kg/hm^2
化肥（F）	750			
化肥+腐殖酸（FH）	750	1500		
化肥+腐殖酸+石灰（FHL）	750	1500	1500	
化肥+腐殖酸+有机肥（FHM）	750	1500		7500
化肥+腐殖酸+石灰+有机肥（FHLM）	750	1500	1500	7500

在作物成熟期每个小区实打实收测定产量，同时，在每小区随机取 3 个点位 0-20 cm 土样，混合为 1 个复合土样，混匀，并去除石块和根茬等杂物后分别进行团聚体分级和指标测定。一部分土壤进行风干、研磨、过 20 和 100 目筛后测定土壤 pH（水浸提-电极法测定）、有机碳（高温外热重铬酸钾法）、交换性酸（EA）、交换性铝（EAl）（KCl 交换-中和滴定法）等土壤酸度指标和全氮（凯氏定氮法）、有效磷（$NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法）、速效钾（NH_4OAC 浸提-火焰光度计法）等速效养分指标，具体测定方法参照鲍士旦的《土壤农化分析》。团聚体分级采用湿筛法获得>2mm、>0.25~2mm、≥0.053~0.25mm 和<0.053 mm 团聚体组分。风干后称重，计算各团聚体组分的质量比例。

采用 Microsoft Excel 2010 软件分析试验数据，采用 SPSS 20.0 软件 Duncan 新复极差法检验分析不同处理间差异显著性，土壤 pH 和 SOC 与作物相对产量的关系采用线性拟合方程进行拟合。所有图件均采用 Origin 8.5 软件作图。

3.2 结果分析

3.2.1 无机和有机材料复配对作物产量的影响

由图 3 可以看出，与单施化肥相比，无机和有机材料复配不同程度地提升油菜与玉米产量，分别增产 14.69%～29.86%和 7.98%～32.45%。其中 FHL、FHM 和 FHML 处理达到显著水平（$P<0.05$），而 FH 处理在油菜季达到显著水平（$P<0.05$）。五个处理中，油菜和玉

米产量均呈现 F<FH<FHL<FHM<FHML 的趋势，其中 FHL 处理的玉米产量比 FH 显著增加了 10.84%，油菜产量无显著差异。FHM 处理的油菜和玉米产量显著高于 FH 的 9.92%和 20.69%；FHML 处理比 FH 处理的油菜和玉米显著增产 13.22%和 22.66%，且 FHM 与 FHML 处理间油菜和玉米的产量无显著差异。上述结果表明，化肥+腐殖酸+有机肥（FHM）处理有利于提升油菜和玉米的产量。

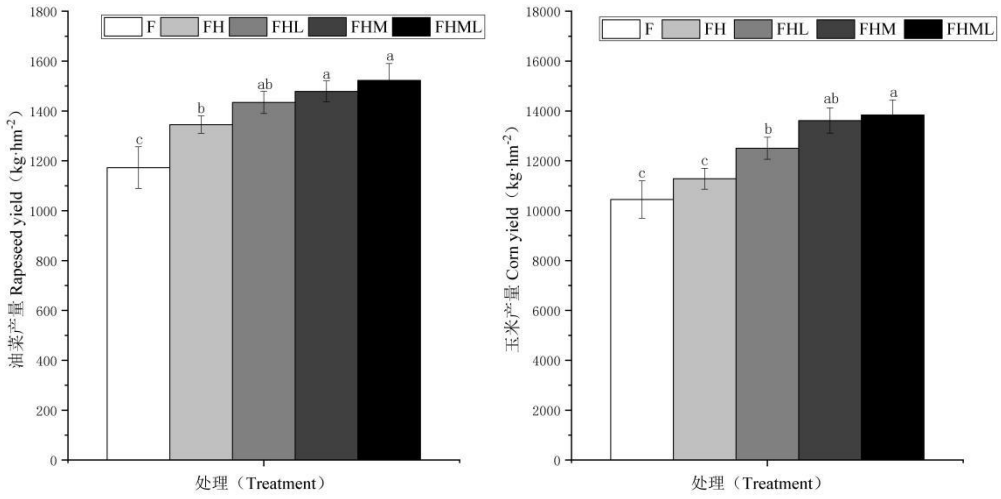


图 3 不同无机和有机材料复配对油菜、玉米产量的影响

注：F：化肥，FH：化肥＋腐殖酸，FHL：化肥＋腐殖酸＋石灰，FHM：化肥＋腐殖酸＋有机肥，FHLM：化肥＋腐殖酸＋石灰＋有机肥，下同。Note: F: fertilizer, FH: fertilizer+humic acid, FHL: fertilizer+humic acid+lime, FHM: fertilizer+humic acid+organic fertilizer, FHLM: fertilizer+humic acid+lime+organic fertilizer, the same below.

3.2.2 无机和有机材料复配对土壤团聚体组分的影响

无机与有机材料复配对土壤团聚体的粒径分布如图 4 所示，各处

理土壤团聚体含量在0.25-2mm粒级内占比最高，达到53.40%～66.59%。与单施化肥相比，无机与有机材料复配增加了0.053-0.25mm粒级的团聚体含量，增幅达21.46%～66.39%。FH与F相比，在所有粒级团聚体均没有显著差异。相比F处理，FHL处理显著降低了0.25-2mm粒级团聚体的8.33%，而FHML处理显著增加了0.25-2mm粒级团聚体14.30%，其他处理则没有显著差异。而不同的无机与有机材料复配对不同粒级团聚体的影响也不同。其中FHL与FH相比，分别显著降低了>2mm和0.25-2mm粒级团聚体44.17%和8.40%，显著增加了<0.053mm粒级团聚体78.53%，而增加0.053-0.25mm粒级团聚体未达到显著水平。FHM与FH相比，对各粒级团聚体含量没有显著影响。相比FH，FHML处理在0.25-2mm粒级团聚体显著增加了14.20%，在其他粒级团聚体中均无显著差异。

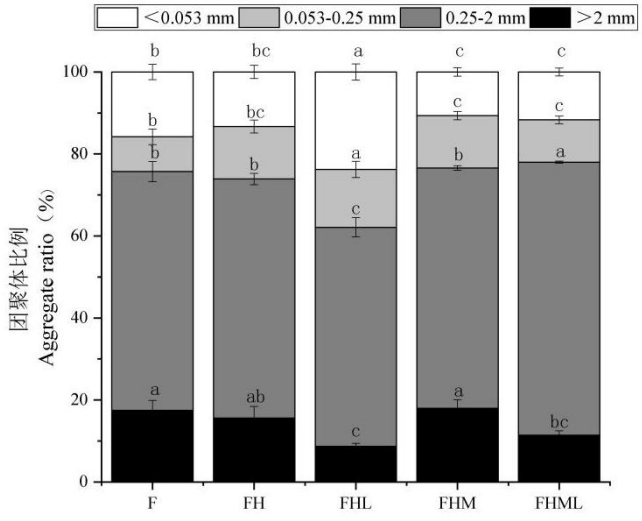


图4 不同无机和有机材料复配的土壤团聚体组分

3.2.3 无机和有机材料复配对土壤酸化指标的影响

不同处理对土壤 pH 影响如表 8 所示，与 F 相比，FHL 和 FHML 处理分别显著提升了 2.07 和 1.93 个单位，FH、FHM 与 F 处理之间 pH 没有显著差异。不同有机无机复配材料对 pH 影响结果一致，FHL 和 FHML 处理与 FH 处理相比，显著提升 1.55 个单位和 1.41 个单位 pH，而 FHM 与 FH 相比，提高土壤 pH 但未达到显著水平。结果表明添加石灰处理可以有效提高土壤 pH，而腐殖酸与有机质对土壤 pH 无显著影响。

土壤交换性酸含量与土壤 pH 呈现负相关。与 F 相比，所有处理均不同程度上降低了土壤交换性酸和土壤交换性 H^+含量，交换性酸含量呈现出 F>FH>FHM>FHL>FHML 的趋势，其中 FHL、FHLM 处理达到显著水平（$P<0.05$）。土壤交换性 H^+与土壤交换性 Al^{3+}结果一致，与 F 相比，均表现出 FHML 处理的土壤交换性 Al^{3+}含量、交换性 H^+显著降低，所有有机无机复配处理之间无显著差异。

表 8 不同无机和有机材料复配对土壤酸化指标的影响

处理	PH	酸总量 (cmol·kg^{-1})	交换性氢 (cmol·kg^{-1})	交换性铝 (cmol·kg^{-1})
F	4.35±0.14b	2.29±0.62a	0.69±0.41a	1.60±0.53a
FH	4.87±0.06b	2.15±0.30a	0.52±0.48ab	1.63±0.78ab
FHL	6.42±0.98a	0.70±1.01b	0.25±0.33ab	0.44±0.67ab
FHM	5.13±0.09b	1.88±0.42a	0.60±0.04ab	1.28±0.45ab

FHML	6.28±0.52a	0.41±0.26b	0.16±0.11b	0.25±0.16b

3.2.4 无机和有机材料复配对土壤肥力指标的影响

由表 9 可知。与 F 处理相比，FH、FHL、FHM 和 FHML 处理分别不同程度地提高了土壤有机质含量的 20.65%、23.38%、3.25%和 11.69%，其中 FH 和 FHL 处理达到显著水平（$P<0.05$）。而有效磷结果则相反，相比 F 处理，FH 和 FHL 处理分别显著降低了土壤有效磷含量的 39.84%和 37.19%，其他处理间没有显著差异。不同无机与有机材料复配处理与单施化肥相比，均降低了土壤碱解氮和速效钾含量。相比 F 处理，FH、FHL、FHM 和 FHML 处理分别显著降低了土壤碱解氮含量的 45.74%、47.75%、41.60%和 40.88%，分别降低了土壤速效钾含量的 16.48%、47.84%、53.15%和 46.60%。其中 FHL、FHM、FHML 与 F 处理达到显著水平（$P<0.05$）。

表 9 不同无机和有机材料对土壤肥力指标的影响

处理	有机质 SOM ($g \cdot kg^{-1}$)	速效氮 AN ($mg \cdot kg^{-1}$)	有效磷 AP ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾 AK ($mg \cdot kg^{-1}$)
F	19.08±0.96b	205.45±19.02a	35.44±1.01a	370.64±16.13a
FH	23.28±2.24a	111.48±7.65b	21.32±3.93b	309.57±61.92a
FHL	23.54±2.68a	107.34±3.08b	22.26±1.92b	193.34±18.06b
FHM	19.70±0.36b	119.99±0.84b	33.79±11.91a	173.64±39.99b
FHML	21.31±0.82ab	121.47±5.48b	37.71±2.18a	197.93±19.13b

3.2.5 无机和有机材料复配下调控作物产量的关键因素分析

利用随机森林对油菜和玉米产量的影响因素进行关键因素分析，结果如图 5 所示。Logarithm of Mean Squared Error 可以有效地表示各个指标的贡献程度，该值越大表示该变量的重要性越大。各指标对油菜和玉米产量均有一定的影响。通过比较各变量因素对油菜和玉米产量的重要性可知，其中土壤 pH 和速效钾（AK）2 个因素重要程度最大，达到显著水平（P<0.05）；对油菜产量而言，土壤碱解氮（AN）在（P<0.1）水平显著差异，其余指标相对重要程度较弱。

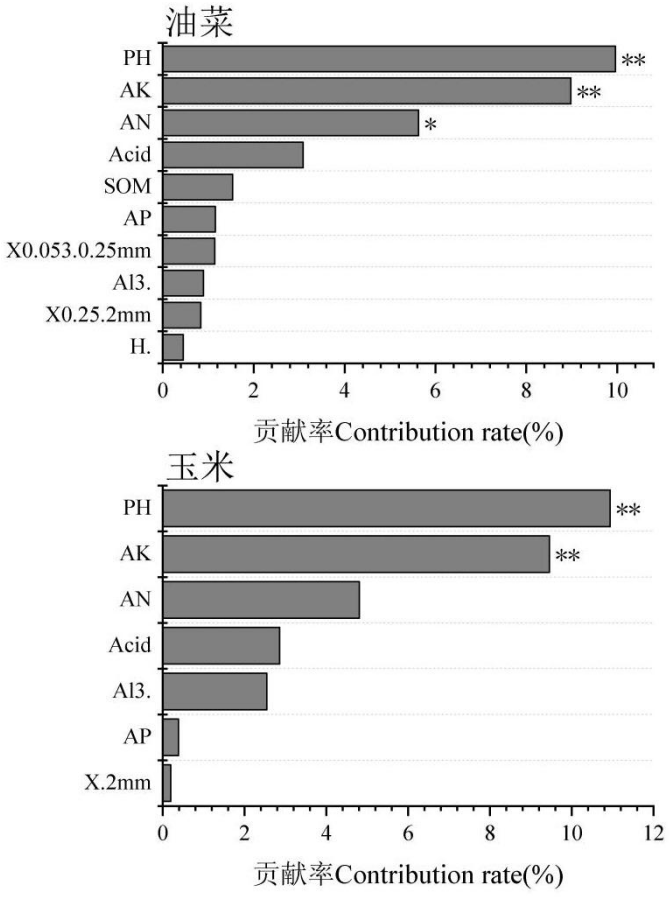


图 5 各因素影响油菜、玉米产量变化的贡献率

注：** 表示同一作物不同因素间差异显著 (P＜0.01)，* 表示同一作

物不同因素间差异显著 ($P < 0.05$)。

3.3 小结

在红壤复垦耕地上，相比于单施化肥，增施腐殖酸效果不显著，而化肥＋腐殖酸＋有机肥和化肥＋腐殖酸＋石灰＋有机肥协同施用既能提高玉米、油菜轮作产量，又能增加 0.053-0.25mm 粒级团聚体，改善土壤结构，还能减缓土壤酸化，以化肥＋腐殖酸＋石灰＋有机肥联合利用效果最好。

（二）技术经济论证，预期的经济效果

1 在进贤县建立了核心示范区 1 个，并进行了主要核心示范区的测产和地力等级评价。

在进贤县建立了核心示范区 1 个，示范面积 6000 余亩，示范区油菜和玉米长势良好。



2025 年 5 月 24 日，江西省有关专家对江西省红壤及种质资源研究所承担的江西省重点研发计划“揭榜挂帅”课题“旱地酸化防控与培肥协同关键技术研究与示范”（20223BBF61020）进贤县示范区（具体位置：进贤县张公镇小蒋村）进行了酸化改良协同培肥技术的油菜测产。结果表明，与当地常规管理相比，在当地常规种植的基础上施用石灰和在当地常规种植的基础上施用石灰+生物有机肥的油菜分别增产 6.76%和 10.57%，

2025 年 8 月 3 日，江西省有关专家对江西省红壤及种质资源研究所承担的江西省重点研发计划“揭榜挂帅”课题“旱地酸化防控与培肥协同关键技术研究与示范”（20223BBF61020）进贤县示范区（具体位置：进贤县张公镇小蒋村）进行了酸化改良协同培肥技术的玉米测产。与当地常规管理相比，在当地常规种植的基础上施用石灰和在当地常规种植的基础上施用石灰+生物有机肥的玉米分别增产 12.98%和 32.28%。

2 在萍乡市银河镇建立了核心示范区 1 个，并进行了主要核心示范区的测产。

在萍乡市银河镇建立了核心示范区 1 个，示范面积 1115 余亩，示范区甘薯和马铃薯长势良好。



2026 年 10 月 11 日，中国科学院南京土壤研究所承担的农业科技重大项目“耕地土壤酸瘦阻控和肥力恢复关键技术及应用示范”（NK2022803）和江苏省杰出青年基金项目“作物多样化促进植物—土壤—微生物‘信息通讯’机制”（BK20250112）江西萍乡市银河镇进行了酸化改良协同培肥技术的甘薯、马铃薯测产。结果表明，与当地常规管理下亩产 3365.57kg 相比，多样化种植综合技术区下甘薯平均亩产 3654.05kg，增产率达 8.57%。

四、标准涉及的相关知识产权说明

本文件不涉及专利等相关知识产权。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

（一）采用国际标准的程度与水平的简要说明

本文件制定过程中未直接采用国际标准。技术内容主要基于我国南方红壤区坡耕地生产实践、相关科研成果及现行国家标准、行业标准和团体标准确定。

文件涉及的土壤采样、土壤 pH 和有机质测定、肥料使用、畜禽粪便无害化处理与还田、农田灌溉水质和酸化土壤改良等技术要求，均引用或参照现行国内标准。其技术思路与国际上重视农田生态系统多样性、养分循环和土壤健康管理的理念相一致，但具体参数和操作要求依据我国红壤坡耕地生产条件确定。

因此，本文件属于自主制定的团体标准，未采用国际标准；其内容具有明确的区域适用性和较好的科学性、规范性与可推广性。

1）技术思路强调坡耕地农田生态系统的多样化配置、养分循环利用和土壤健康培育，符合农业绿色发展与可持续土壤管理的通行理念。

2）技术要求以作物配置、有机物料资源化利用、畜禽粪污无害化处理、粪肥还田和土壤质量监测为重点，注重生产、生态和资源循环效益的协同。

3）土壤采样、pH 和有机质测定、肥料使用、粪便无害化处理与还田等方法均执行或参照我国现行标准，保证了技术要求的规范性和可验证性。

综上，本文件未直接采用国际标准，但其技术理念和方法具有一定的国际可比性与参考价值。

（二）与现行有关法律法规和强制性标准的关系

本文件在制定过程中充分考虑了我国现行法律法规和强制性标准的要求，与其关系如下：

1）符合相关法律法规要求。

文件内容符合耕地保护、农业面源污染防治、畜禽养殖污染防治和水土保持等有关法律法规对耕地利用、农业生态环境保护和资源循环利用的基本要求。

2）与相关强制性标准和技术标准协调一致。

文件在农田灌溉、肥料使用、畜禽粪便无害化处理与还田、农药使用和酸化土壤改良等方面，分别与 GB 5084、GB/T 25246、GB/T 36195、NY/T 393、NY/T 394、NY/T 525、NY/T 1868 和 NY/T 3443 等标准衔接，不低于相关标准的基本要求。

3）补充和完善现行标准体系。

现有标准多对酸化土壤改良、有机肥施用、绿肥种植或坡耕地水土保持等单一环节提出要求，缺少针对红壤坡耕地作物配置与有机循环协同的综合技术规范。

本文件针对红壤坡耕地酸化、瘠薄和易侵蚀等复合障碍，进一步细化了基础条件调查、作物多样化配置、有机循环和控酸培肥的协同技术要求。

本文件是对现有相关标准的补充，不与现行法律法规和强制性标准相抵触。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

本文件编制过程中未出现重大意见分歧。后续如收到征求意见，将按照中国土壤学会团体标准管理程序进行汇总、研究和处理。

七、其他应予说明的事项

1. 在团体标准意见征求阶段，基于草案内容，由于“空间配置”更准确反映坡面立体种植特征，“培肥”比“提质”更贴合有机循环培肥地力的技术核心，因此将标题修改为“红壤坡耕地作物多样化空间配置与有机循环控酸培肥技术”，力求更加聚焦项目内容。
2. 在草案撰写阶段，由于撰写遗漏，文件主要起草人需要添加成员：中国科学院南京土壤研究所王美艳。该成员在标准起草中负责空间地理分配格局信息的整合。