

《水利工程土地复垦耕作层快速熟化技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

中国科学院南京土壤研究所

2026年3月16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

本标准由土壤学会归口管理，由中国科学院南京土壤研究所等 8 家单位提出，中国土壤学会批准立项的团体标准项目，并计划在 2026 年 6 月前完成。任务来源于国家重点研发计划子课题“新整治耕地地表整形规划设计及生态防护技术研究”（2024YFD1500502-01）。

（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

安徽省水利水电勘测设计研究总院股份有限公司，河南城建学院，中向旭曜科技有限公司，河南省地质局生态环境地质服务中心，江苏省农业科学院，山东农业大学，郎溪县农村饮水安全管理中心，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所。（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

本标准是在东北黑土区新整治耕地土体障碍层消减与生态防护能力提升技术试验所形成的复垦土地快速培肥共性技术基础上，结合

引江济淮工程复垦土地快速培肥技术研发与示范成果编制而成。

2022年12月—2023年3月，中国科学院南京土壤研究所联合安徽省水利水电勘测设计研究总院股份有限公司等单位，对引江济淮工程临时用地复垦现状开展多次调研，在充分调研基础上经多轮论证，形成了复垦土地耕作层快速熟化技术方案。

2023—2025年，研究团队在安徽省合肥市肥西县、庐江县等3个水利工程土地复垦区布设复垦土地快速培肥技术大田试验并开展示范验证，重点监测快速培肥技术对土壤有机质、团聚体、微生物群落的影响，同步监测土壤全量养分、速效养分及作物产量等指标，试验效果良好，为本标准制定提供了可靠的实证数据与技术支撑。

2025年4月—7月，团队进一步在黑龙江省大庆市、绥化市黑土地复垦区开展背景调查，系统完成土壤样品采集与测试分析，同步开展土体快速培肥技术试验研究，形成共性关键技术，并申请国家发明专利，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11月—12月，根据大田试验结果，结合相关文献资料及国内外相关标准调研结果，编制组经多次讨论和修改，完成了标准草案。2026年1月提交草案至中国土壤学会开展标准立项函评。经函评专家评审论证，同意立项，中国土壤学会于2026年1月21号发布立项公告。

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2月，编制组向20家单位22位专家进行意见征集，共收集专家反馈意见112条；其中，采纳82条，部分采纳8条，未采纳22条。2026年3月，编制组根据征集意见对标准文本进行了修订；此外，因标准技术内容完善需求，经协调，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所郑飞翔加入编制组，共同参与后续内容的修订工作。征求意见稿及编制说明撰写工作完成后，于2026年3月16日提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

张佳宝 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。

张丛志 中国科学院南京土壤研究所 负责标准技术与关键
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。

李涛 刘伟 李勇 李泽青 叶磊 刘四中 吴永生 安徽省水利水电
勘测设计研究总院股份有限公司 参与标准编制工作，并协调标准编
制过程中各编制单位协作。

杨文亮 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。

徐基胜 朱安宁 赵炳梓 陆芸萱 王丽萍 陈卓 杨庆君 中国科学
院南京土壤研究所 负责标准技术内容试验、数据资料收集、技术方
案论证工作。

赵占辉 河南城建学院 负责标准技术内容试验、数据资料收集、

技术方案论证工作。

潘慧 罗梅利 中向旭曜科技有限公司 负责标准相关技术内容试验、数据资料收集，标准文本起草和修订工作。

郑飞翔，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所，负责资料收集、样品采集与分析、标准文本起草和修订工作。

赵金花 河南省地质局生态环境地质服务中心 负责资料收集、文献检索、样品采集与分析、标准编写等工作。

吴其聪 山东农业大学 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。

张辉 江苏省农业科学院 参与标准起草和标准论证，协助组织专家评审及意见修改工作。

杨鹏 郎溪县农村饮水安全管理中心 参与标准编制工作。

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

本标准严格遵循 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则》的要求，结构完整、术语统一、逻辑清晰。涵盖范围、规范性引用文件、术语定义、总则、方案编制、技术实施、验收评价及附录，形成闭环技术管理体系。对“耕作层快速熟化”“稳定性天然腐殖质材料”“生物激发剂”等核心术语进行了科学界定，避免歧义。引用了 GB、NY、TD 等系列标准，涵盖土壤环境、肥料质量、灌溉排水、土地复垦等多个领

域，确保标准内容的协调性和可操作性。

2、科学性原则

本标准针对耕作层快速熟化过程中有机质-团聚体-微生物需要协同提升的核心需求，以耕地地力核心要素“有机质”为突破点，明确提出通过施加“稳定性天然腐殖质材料”“活性生物质材料”和“生物激发剂”三类功能性物料，分别作用于土壤的难分解有机质、易分解有机质和微生物活性，形成协同增效的熟化机制，构建了基于土壤有机质组分调控的科学技术路径。同时提供了基于土壤有机质组分（难分解/易分解有机质系数）的物料用量计算公式，体现了个性化、精准化的科学调控理念。

3、适用性和可操作性原则

适用范围明确：适用于防洪、农田水利、航道、供排水等多种水利工程类型，覆盖旱地、水田及生态恢复用地。

因地制宜设计：强调根据复垦区土壤类型、有机质组分、气候条件、种植制度等因素，差异化配置物料种类与用量，体现了对不同区域土壤特征和复垦目标的适应性。同时，鼓励结合当地种植制度、秸秆资源、有机肥源等条件，制定本地化实施方案。

施工流程清晰：从资料收集、现场调查、方案编制到施工工序、机械配置、验收评价，流程完整，便于工程实施和管理。技术实施部分明确了施工准备、机械配置、作业流程、现场管理等环节的具体要求，具有较强的工程指导性。还强调与水利工程建设各阶段（可行性研究、初步设计、复垦方案编制）的衔接，确保技术融入工程整体流

程，提升复垦工作的系统性和协同性。

验收机制合理：设定抽样数量和检测频次，确保工程质量可追溯、可评价。

4、先进性原则

理念创新：突破传统“自然恢复”或“单一施肥”模式，提出“有机质-团聚体-微生物协同提升”的快速熟化路径，缩短熟化周期至 1~2 年。

材料分级与功能分工：首次在标准中明确三类物料的功能定位与技术指标，尤其是对“稳定性天然腐殖质材料”提出专属严格限值，杜绝劣质原料。

技术集成与量化管理：通过引入新型土壤改良材料和定量化计算方法，推动土地复垦从“形似”向“质优”转变，为高标准农田建设、耕地质量提升提供技术支撑。将土壤有机质组分调控、微生物激活、工程化施工有机结合，形成可量化、可复制的技术模式。

可持续性管理：强调快速熟化仅是“启动措施”，明确要求快速熟化技术需与后续农艺措施（如秸秆还田、绿肥种植、合理轮作等）相结合，强调短期启动与长期培育相衔接，防止“一次性改良”带来的地力回落，保障复垦耕地的长期生产力，体现可持续发展理念。

（二）确定标准主要内容的论据

本标准针对水利工程建设过程中对土地造成的挖损、压占等破坏，提出了一套科学、系统、可操作的耕作层快速熟化技术体系。其核心内容包括方案编制、技术实施、验收评价三个环节，主要技术手段为

“有机质-团聚体-微生物”协同提升的快速熟化模式。以下为主要内容的编制依据和论据：

1、关于标准适用范围

水利工程建设对土地的扰动类型多样，涉及防洪、灌溉、供水、生态修复等多种工程类型，损毁土地的复垦需求迫切。本标准明确适用于上述工程建设后复垦为旱地、水田及生态恢复用地的耕作层快速熟化，具有广泛的适用性和针对性。

2、关于技术路径的设定

传统培肥措施培育周期长，难以满足复垦后快速恢复生产力的需求。本标准提出以“稳定性天然腐殖质材料+活性生物质材料+生物激发剂”为核心的技术路径，具有以下科学依据和实践支撑：稳定性天然腐殖质材料提供长效稳定有机质和结构骨架，促进团聚体形成，改善土壤物理结构；活性生物质材料提供速效养分和易矿化有机质，激发短期肥力；生物激发剂激活土著微生物，加速物质转化和养分循环。三者协同作用，实现土壤有机质、团聚体、微生物的快速恢复，达到1~2年内地力恢复目标。

3、关于物料配比计算的科学性

为确保技术实施的精准性和可操作性，附录 B 提供了基于土壤有机质组分（难分解有机质系数、活性有机质系数）的物料用量计算方法。该方法以目标土壤有机质提升量为基准，结合区域肥沃土壤的有机质组成特征，科学确定稳定性与活性材料的配比，避免了盲目施用，提升了技术的适应性和推广性。

4、关于物料质量与安全要求

为保证复垦土壤的生态环境安全，附录 A 对三类核心物料提出了严格的技术指标，包括有机质含量、腐殖质含量、pH 值、重金属限量、粪大肠菌群数、蛔虫卵死亡率等，明确引用国家或行业标准（如 NY/T 525、GB/T 23349、GB 38400 等），从源头上杜绝劣质原料进入复垦工程，保障土壤环境安全。

5、关于施工与验收的规范要求

为保证技术实施效果，标准对施工准备、工序、机械配置、环境控制等提出明确要求。验收环节强调“过程+结果”双控，要求对材料使用量、撒施均匀度、混耕深度等进行核查，并设置抽样数量分级标准。质量验收则以土壤有机质、团聚体、微生物量等关键指标为核心，参照农田破坏前或周边未破坏同等地力农田水平，确保复垦效果可比、可评、可信。

6、关于标准的实用性与推广性

本标准在编制过程中充分考虑了不同区域、不同土壤类型、不同工程条件的差异，提供了灵活性较强的技术路径和计算方法，同时强调与现有土地整治、灌溉排水、耕地质量评定等标准体系的衔接（如 GB/T 30600、TD/T 1036、NY/T 1634 等），具备良好的兼容性和推广基础。

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、技术背景

我国耕地面积（19.18 亿亩）居世界第三位，但人均耕地面积仅为世界平均水平 40%；耕地地力水平普遍低下，中低产田占比高达 68.8%，导致我国难以摆脱对进口粮食的依赖。海关统计 2024 年我国进口粮食 1.58 亿吨，占我国粮食总产量的 22.4%，相当于有 8 亿亩耕地在国外。习近平总书记强调“粮食安全是国之大者，耕地是粮食生产的命根子”，但当前我国耕地非农化、非粮化形势依然十分严峻。第三次全国国土调查显示，2009~2019 年全国有 4.3 亿亩耕地流向园林草、建设、水域等用地，同时又有 3.2 亿亩上述地类流向耕地，10 年间耕地进出置换量高达 7.5 亿亩，严重制约了我国粮食安全保障体系建设。复垦耕地普遍肥力瘠薄，短期内无法有效耕种，着重提升复垦耕地地力是破解耕地资源紧约束、保障粮食安全的战略工程，推动我国“藏粮于地”的战略目标实现。

复垦耕地地力低下的核心问题是土壤有机质匮乏，致使土壤因缺乏充足的碳源物质难以建立土壤团聚体结构与水养库容，最终表现为土壤贫瘠、低产且难以在短期内快速提升生产力。外源有机物料投入是提升土壤有机质最直接和有效的措施，当前我国农田提升有机质的有机物料来源主要是秸秆和畜禽粪类有机肥。但秸秆、有机肥活性较高，在土壤中极易被微生物快速降解，通常需要较长的熟化培育过程才能显著地提升土壤有机质的含量，限制了熟化活化层的快速形成。

2、技术原理

针对新增耕地优质耕作层缺乏而研发的快速构建技术，其模式的

原理为：肥沃耕作层受限于土壤有机质的缓慢积累而需要长期培育。土壤有机质由难分解（稳定性）腐殖质类和易分解（活性）有机质组成，其中难分解的占 80~95%。天然腐殖质材料富含 80%以上有机质和 45%以上的腐殖质，重金属含量低于土壤本底值，是一种天然优质的土壤改良添加材料。通过“相似增效”原理，利用天然腐殖质基新材料和活性有机材料构建与肥沃土壤有机质类似的组合材料，天然腐殖质材料和易分解有机材料对应土壤有机质难分解和易分解两部分，并添加生物激发调理剂进行激活，并耕翻、混匀添加材料，同时构建出耕作层结构层次，经 1-2 年的高有机质和强微生物活性驱动和自驯化，促进土壤团聚化和沃土微生物群落结构形成，从而构建快速提升土壤有机质，促进土壤熟化，使冗长土壤熟化过程培育简化为一次性工程化作业。



图 1 技术原理图

3、田间验证试验实施

编制组前期以大型水利工程“引江济淮工程”临时用地复垦农田为研究对象，采用不同活性的有机物料配施的方式，研究有机肥、生物激发剂及不同用量天然腐殖质材料（木本泥炭，MT）对土壤有机

质、团聚体组成与稳定性、微生物生物量等土壤肥力指标以及作物产量的影响，为本标准制定提供了可靠的实证数据与技术验证。

田间试验于 2023 年 6 月~2024 年 11 月在水稻-小麦-水稻三季作物连续开展，试验地位于安徽省合肥市庐江县引江济淮工程 CZHX-QT-9#号弃土场复垦农田 (117°8'35"E, 31°10'50"N)。选择天然腐殖质 (中向旭耀科技有限公司)、生物激发剂 (中向旭耀科技有限公司)、有机肥(家禽粪便发酵, 安徽祥丰肥业有限公司)作为主要培肥材料, 设置 5 个处理: (1) CK: 常规施肥; (2) OM: 7.5 吨/公顷有机肥+常规施肥; (3) A1: 7.5 吨/公顷天然腐殖质材料+7.5 吨/公顷有机肥+1.5 吨/公顷生物激发剂+常规施肥; (4) A2: 15 吨/公顷天然腐殖质+7.5 吨/公顷有机肥+1.5 吨/公顷生物激发剂+常规施肥; (5) A3: 22.5 吨/公顷天然腐殖质+7.5 吨/公顷有机肥+1.5 吨/公顷生物激发剂+常规施肥。

(1) 不同活性的有机物料配施对土壤有机质组分的影响

与对照 (CK) 相比, 单施有机肥 (OM) 和不同用量有机物料配施 (A1、A2、A3) 均显著提高了土壤有机质含量, 且随天然腐殖质施用量增加而显著增加, 其中 A3 处理提升到 10.4 g/kg (比对照增加 162%), 但与邻近长期稻麦轮作农田有机质含量仍有较大差距(表 1)。不同处理下土壤有机质组分与肥沃农田相似, 均以惰性有机质为主 (>55%), 其次是活性有机质, 缓性有机质占比较低; 与对照相比, 不同用量有机物料配施均显著提高土壤活性有机质 (增加 40%~98%) 和惰性有机质含量 (增加 110%~231%), 对缓性有机质没有显著影响;

随天然腐殖质施用量增加，活性和缓性有机质相对比例均显著降低，而惰性有机质比重显著提高，不同活性的有机物料配施主要是快速提升了惰性有机质含量（表 1）。

表 1 不同活性的有机物料配施下土壤有机质及不同活性有机质含量

处理	有机质 (g/kg)	活性有机质		缓性有机质		惰性有机质	
		(g/kg)	相对量 (%)	(g/kg)	相对量 (%)	(g/kg)	相对量 (%)
肥沃 农田	31.2	9.1	32	3.1	11	16.2	57
CK	4.0±0.2e	0.8±0.1d	22±2a	0.7±0.0a	19±2a	2.1±0.2e	59±2d
OM	5.2±0.4d	0.9±0.0cd	20±2a	0.7±0.1a	16±1b	3.0±0.3d	64±3c
A1	7.2±0.3c	1.1±0.0bc	17±1b	0.9±0.2a	14±3bc	4.4±0.5c	69±2b
A2	8.6±0.6b	1.2±0.2b	16±2b	0.9±0.2a	12±2cd	5.6±0.5b	72±4ab
A3	10.4±0.6a	1.5±0.1a	16±1b	0.9±0.1a	10±1d	6.9±0.6a	74±2a

注：相对量为不同活性有机质含量占三个组分之和的比例。不同的小写字母表示不同处理间存在显著差异（ $p < 0.05$ ），下同。

不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）均显著提高了颗粒有机质（提高 108%~230%）和矿物结合态有机质含量（提高 77%~151%），且随天然腐殖质施用增加而显著增加；颗粒有机质增加量与矿物结合态有机质相近，但颗粒有机质增幅明显高于矿物结合态有机质（表 2）。本实验各处理下土壤有机质均以矿物结合态有机质为主（47~51%），但其比重明显低于周边肥沃农田，同时颗粒态有机质占比明显高于肥沃农田（32%~42%）；与 CK 相比，不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）显著提高了颗粒有机质对有机质积累的贡献，但对矿物结合态有机质比重没有显著影响。

表 2 不同活性的有机物料配施下土壤颗粒态有机质与矿物结合态有机质含量

处理	颗粒态有机质		矿物结合态有机质	
	(g/kg)	占比(%)	(g/kg)	占比(%)
肥沃农田	8.2	26	18.7	60
CK	1.3±0.1d	33±3b	2.0±0.2e	49±3a
OM	1.7±0.2d	32±2b	2.6±0.2d	51±1a
A1	2.8±0.5c	38±8ab	3.5±0.5c	48±5a
A2	3.6±0.3b	41±2a	4.2±0.3b	49±3a
A3	4.4±0.5a	42±2a	5.0±0.5a	47±2a

注：占比为该组分占土壤有机质总量的比例。

外源有机物输入土壤后在微生物等因素作用下，与金属阳离子、黏土矿物等结合形成有机无机复合体是土壤有机质积累稳定的重要途径。与肥沃农田一致，钙镁键合态有机质对土壤有机质积累贡献很低，且不同处理间没有显著差异（表 3）。与 CK 相比，不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）显著提高了铁铝键合态有机质含量（增加 158%~296%），且随天然腐殖质施用量增加而显著增加。与 CK 相比，外源有机物料施用均显著提高了紧密结合态有机质含量；不同活性的有机物料配施下紧密结合态有机质增量（1.0~2.3 g/kg）略低于铁铝键合态有机质（1.3~2.4 g/kg），但其增幅（36%~80%）明显低于铁铝键合态有机质。与肥沃农田相似，紧密结合态有机质比重明显高于铁铝键合态有机质；不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）显著提高了铁铝键合态有机质对有机质积累的贡献，而显著降低了紧密结合态有机质的贡献。

表 3 不同活性的有机物料配施下土壤有机无机复合体组分含量

处理	钙镁键合态有机质		铁铝键合态有机质		紧密结合态有机质	
	(g/kg)	/	(g/kg)	占比(%)	(g/kg)	占比(%)
肥沃农田	0.29	/	7.8	25	19.1	61
CK	0.04a	/	0.8±0.2d	20±5b	2.9±0.2c	73±2a
OM	0.05a	/	1.1±0.1d	20±2b	3.6±0.2b	69±6a
A1	0.05a	/	2.1±0.2c	29±1a	3.9±0.2b	55±3b

A2	0.05a	/	2.8±0.3b	32±1a	4.0±0.3b	47±6c
A3	0.05a	/	3.2±0.4a	31±2a	5.2±0.4a	50±2bc

注：占比为该组分占土壤有机质总量的比例。

(2) 不同活性的有机物料配施对土壤团聚体的影响

肥沃农田形成了良好的土壤团聚结构，>2 mm 的粗大团聚体占比 21%，而在大量不同活性的有机物料施入下复垦农田也基本没有形成 >2 mm 粗大团聚体（图 2a）。与 CK 相比，单施有机肥对土壤团聚结构没有显著影响，随天然腐殖质用量增加，0.25-2 mm 团聚体比例逐渐升高而 <0.053mm 粉粘粒比例逐渐降低。天然腐殖质施用量超过 15 吨/hm² 时（A2、A3），0.25-2 mm 团聚体比例提升效果达到显著水平，其中 A3 处理 0.25-2 mm 团聚体比例基本达到肥沃农田水平，<0.053mm 粉粘粒也显著降低。团聚体稳定性（MWD、GMD）随有机物料施用量增加而提高，与 CK 相比，A2、A3 处理团聚体稳定性提升效果达到显著水平（图 2b）；由于未能有效形成 >2 mm 粗大团聚体，团聚体稳定性最高的 A3 处理与肥沃农田仍有较大差距。总体而言，天然腐殖质材料的添加改善了土壤团聚结构，主要是促进了 0.25-2 mm 团聚体的形成。

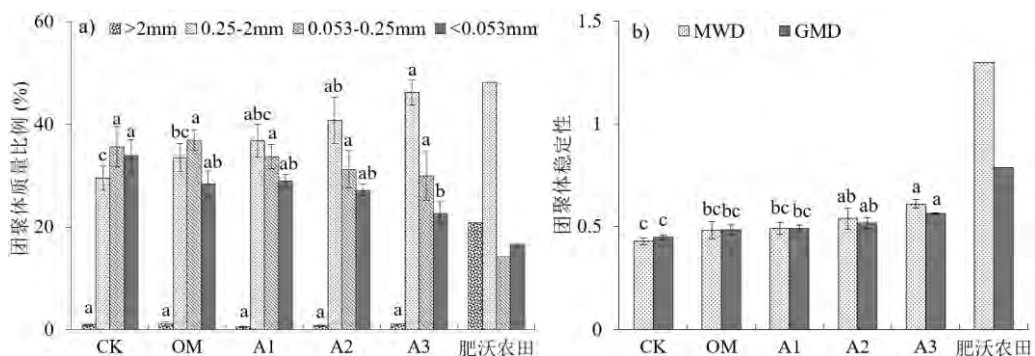
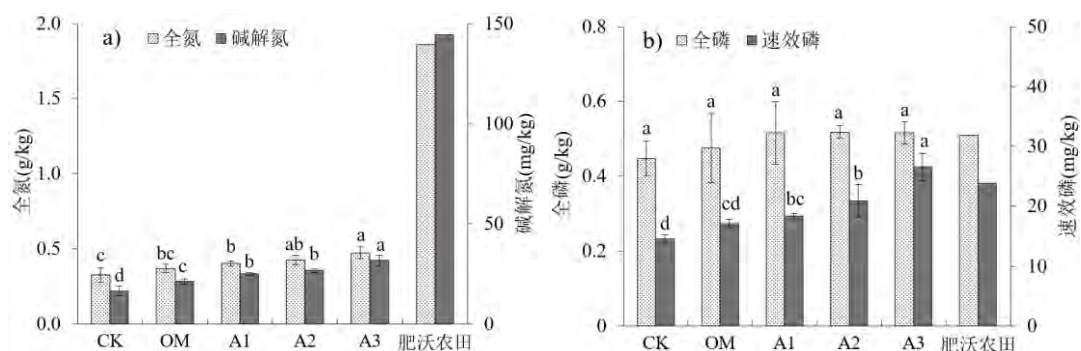


图 2 不同活性的有机物料配施下土壤团聚体质量比例及稳定性

(3) 不同活性的有机物料配施对土壤养分及微生物量碳氮的影响

与 CK 相比，不同活性的有机物料配施显著提高了土壤全氮和碱解氮含量，分别增加 24%~45%、51%~93%；但土壤全氮、碱解氮含量最高的 A3 处理明显低于周边肥沃农田，分别低 1.39 g/kg、113 mg/kg，仍有较大缺口（图 3a）。与 CK 相比，不同培肥措施对土壤全磷、全钾没有显著影响，不同活性的有机物料配施显著提高了土壤速效磷钾含量；但因复垦土壤成土母质富含磷钾元素，各处理磷钾全量及有效库容与周边肥沃农田差异较小，A3 处理速效磷含量已超过肥沃农田，CK 处理速效钾含量最低但高于肥沃农田（图 3b, 3c）。不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）显著提高了土壤微生物生物量碳氮含量，与 CK 相比，MBC、MBN 分别增加 93%~166%、41%~146%，提升效果随天然腐殖质材料施用量增加而显著升高；但与肥沃农田有一定差距，肥沃农田 MBC、MBN 分别比 A3 处理高 67%、97%（图 3d）。与 CK 相比，单施有机肥可提高土壤速效养分和微生物生物量碳氮含量，但仅碱解氮、MBC 达到显著水平。总体而言，不同活性的有机物料配施可显著提高土壤速效养分含量和微生物活性，但土壤供氮能力还有较大提升空间。



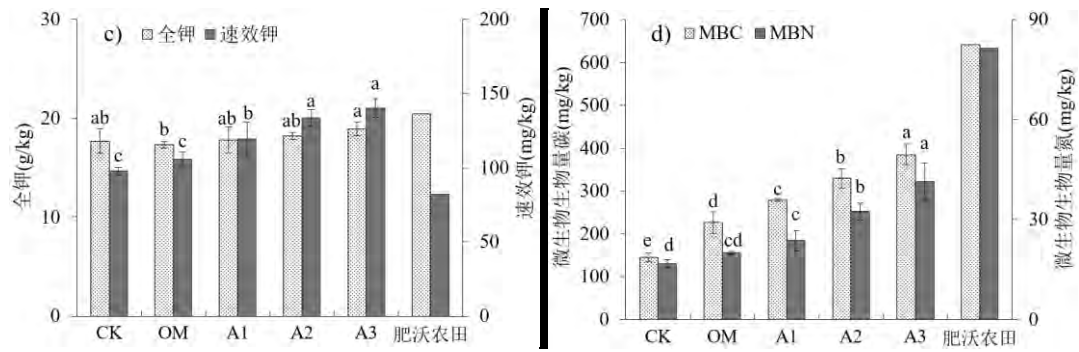


图 3 不同活性的有机物料配施下土壤养分及微生物量碳氮含量

(4) 不同活性的有机物料配施对作物产量的影响

与 CK 相比，不同培肥措施均显著提高了作物产量（表 4）。不同活性的有机物料配施（A1、A2、A3）下第一季水稻、第二季小麦、第三季水稻分别比对照增产 36%~40%、71%~114%、29%~45%，随作物种植季数增加不同天然腐殖质用量的增产效应出现显著差异，尤其是小麦季不同处理间均有显著差异，但高量天然腐殖质施用（A2、A3）下作物增产效应较为稳定；不同活性的有机物料配施主要通过显著提高穗数和穗粒数促进水稻产量提升，而小麦增产源于产量三要素全面提升。与 CK 相比，单施有机质时第一季水稻、第二季小麦、第三季水稻产量分别增加 28%、35%、16%，均有显著差异；但与不同活性的有机物料配施相比，单施有机肥的增产效应在持续下降；第三季水稻 OM 处理下产量三要素均高于 CK，但都没有显著差异。与周边肥沃农田相比，产量最高的 A3 处理三季作物产量分别低 10%、13%、18%，对复垦土壤而言，快速培肥技术的增产效果较好；但 A3 处理与肥沃农田产量差距逐渐扩大，主要是一次性配施的有机肥增产效应降低导致。

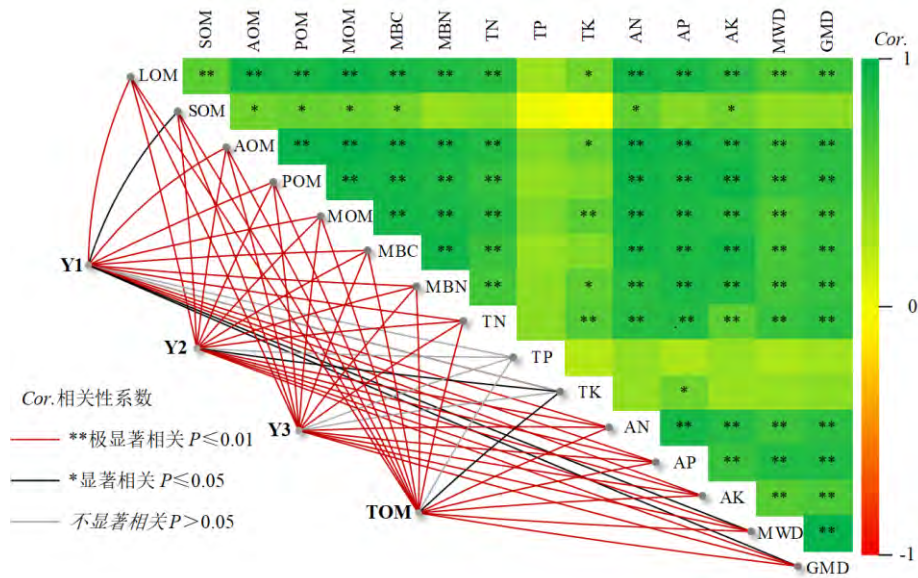
表 4 不同活性的有机物料配施下作物产量及产量构成

作物种类	处理	经济产量 (kg/公顷)	千粒重 (g)	穗数 (万/公顷)	穗粒数
第一季 水稻	CK	6863±171c	20.47±0.88a	306.7±12.2b	129±7c
	OM	8763±131b	20.50±0.08a	317.4±1.8b	139±3b
	A1	9344±133a	20.58±0.68a	338.3±9.5a	147±8ab
	A2	9579±164a	20.66±0.34a	344.3±12.3a	152±6a
	A3	9595±144a	20.42±0.22a	340.6±2.8a	152±4a
	肥沃农田	10689	23.10	344.4	165
第二季 小麦	CK	2768±147e	36.95±0.34c	460.5±25.6c	17±1c
	OM	3738±315d	39.28±1.24b	478.5±8.2c	20±3b
	A1	4738±180c	40.06±0.62ab	523.5±13.8b	27±1a
	A2	5233±163b	39.87±0.99ab	532.5±10.4ab	28±2a
	A3	5926±350a	41.18±0.87a	555.0±11.3a	29±1a
	肥沃农田	6798	44.28	618.5	31
第三季 水稻	CK	5147±267d	21.34±0.08a	213.6±12.2c	108±13b
	OM	5955±201c	21.50±0.59a	216.2±14.8c	122±7ab
	A1	6664±323b	19.64±1.56b	247.7±6.6b	137±10a
	A2	7151±144a	20.64±0.69ab	260.4±11.0ab	140±18a
	A3	7484±197a	19.63±1.02b	273.2±13.1a	143±12a
	肥沃农田	9183	22.16	322.2	140

(5) 不同活性的有机物料配施下作物产量的影响因素

相关分析表明土壤有机质各组分与作物产量均呈显著正相关关系（图 4），其中活性有机质、惰性有机质、颗粒有机质、矿质结合态有机质与三季作物产量的相关性均达极显著水平（ $P < 0.01$ ）。其他土壤肥力指标中，微生物量碳氮、全氮、速效氮磷钾也均与三季作物产量呈极显著正相关（ $P < 0.01$ ），团聚体稳定性与三季作物产量显著正相关（ $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ），全磷、全钾对作物产量没有显著影响。为进一步明确土壤肥力指标对产量的相对重要性，采用随机森林算法构建预测模型，模型解释方差为 90.4%（ $P = 0.01$ ），表明模型具有良好的预测性能（图 5）。变量重要性分析结果显示，微生物量碳对产量变异的解释能力最强，均方误差增加率为 8.1%；其次为颗粒有机质、

总有机质、矿质结合态有机质和活性有机质，均方误差增加率为7.0%~7.4%；碱解氮、速效磷、微生物量氮和惰性有机质也表现出显著的预测重要性（6.0%~6.9%）。值得注意的是，团聚体稳定性对模型预测能力的贡献较小且不显著（ $P > 0.05$ ）。微生物量碳、颗粒有机质、总有机质等指标对产量预测的重要性最高，与相关性分析结果高度一致，表明土壤有机质的不同组分，特别是微生物量碳和活性有机质组分，是影响作物产量的关键因子。



注：图中 Y1、Y2、Y3 分别为第一、二、三季作物产量，TOM 为土壤有机质含量，LOM、SOM、AOM 分别为活性、缓性、惰性有机质含量，TN、TP、TK 分别为全量氮磷钾，AN、AP、AK 分别为碱解氮、速效磷、速效钾。

图 4 不同活性的有机物料配施下土壤理化性质与作物产量相关性

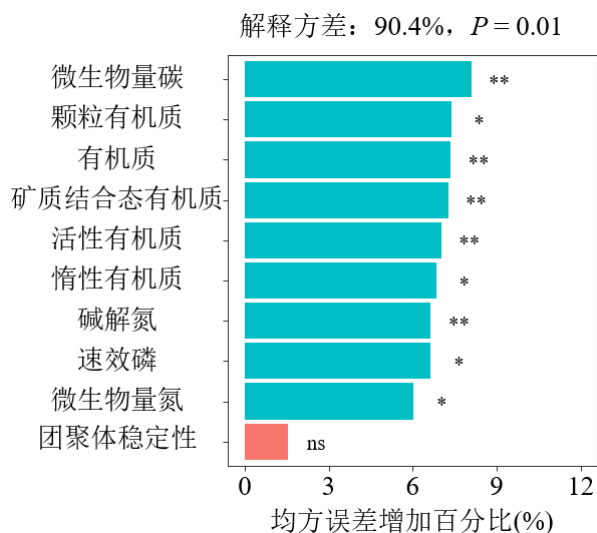


图 5 土壤理化性质对作物产量预测的随机森林模型分析

综上所述，天然腐殖质材料配施有机肥、生物激发剂和秸秆能够快速提升土壤有机质含量（81%~162%），富含胡敏酸的天然腐殖质材料明显提高了土壤惰性有机质含量。天然腐殖质施入复垦农田后主要以颗粒态有机质（占比 38%~42%）和矿物结合态有机质（占比 47%~49%）两种主要形态存在，但从周边肥沃农田有机质赋存形态看，改良后土壤有机质长期积累主要依赖矿物结合态有机质，其中铁铝键合态有机质的形成起关键作用。不同活性的有机物料配合施用主要以提高土壤有机质含量为核心，进而促进土壤团聚体形成，提升土壤速效养分含量，激活土壤微生物活性，短期内形成了土壤有机质快速提升带动土壤团聚体-养分-微生物协同提升的激发效应，作物产量大幅提升，实现了低肥力新垦耕地快速培育地力目的。但从作物产量主控因素及土壤有机质缺口看，在天然腐殖质一次性施用快速提升有机质的基础上，还需坚持秸秆还田配施有机肥，以快速弥补土壤活性有机质缺口。

（二）技术经济论证，预期的经济效果

不同活性有机物料施用显著影响了作物的产量(表5)。与CK相比,施用有机肥(OM)和不同用量有机物料(A1、A2、A3)均显著提高了第一季水稻产量(增产27.7%~39.8%),天然腐殖质施用增产效果最好,但不同用量间没有显著差异。在第二季小麦,不同处理间小麦产量均存在显著差异,且差异高于第一季水稻,有机物料施用增产35.0%~114.1%,不同培肥措施下小麦产量均有显著差异。在第三季水稻,有机肥的增产作物显著降低(增产15.7%),不同用量有机物料(A1、A2、A3)仍有明显增产效果(增产29.5%~45.4%)。单用有机肥培肥复垦土壤成本较低,与对照相比,OM处理培肥增效当年即可覆盖培肥成本;天然腐殖质材料价格较高,成本远高于有机肥,但其增效比OM处理提高68.8%~139.9%,培肥增效在2.3~3.5年即可覆盖培肥成本。

表5 不同活性有机物料配施下作物产量和经济效益

处理	经济产量 (kg/公顷)			年均产量 收益 (元/公顷)	年均培肥 增效 (元/公顷)	培肥成本 (元/公顷)	投资回 收期 (年)
	第一季-水稻	第二季-小麦	第三季-水稻				
CK	6863±171c	2768±147e	5147±267d	23456			
OM	8763±131b	3738±315d	5955±201c	29575	6119	5625	0.9
A1	9344±133a	4738±180c	6664±323b	33782	10326	26550	2.3
A2	9579±164a	5233±163b	7151±144a	35981	12524	42675	3.0
A3	9595±144a	5926±350a	7484±197a	38133	14676	58800	3.5

注:年均产量收益是第一、三季水稻产量收益均值与第二季小麦产量收益之和;年均培肥增效是培肥技术比CK增加的产量收益;培肥成本是各培肥技术所用有机肥、生物激发剂、天然腐殖质成本,为一次性投入成本;投资回收期是累积培肥增效等于培肥成本所需时间。

单施有机肥增产效应的不可持续性,以及长期施用有机肥的高额成本凸显了单施有机肥培肥新垦农田土壤的局限性。而天然腐殖质、有机肥、生物激发剂及秸秆不同活性有机物料配施下耕地产能持续稳

定提升，一次性施用大量有机物料的高额成本不到 4 年时间就能通过培肥增产收益弥补，有效弥补了单施有机肥持续性差、成本高昂的不足，是快速长效、经济可行的新垦耕地质量提升技术。

四、标准涉及的相关知识产权说明

无。

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

本标准在制定过程中未直接采用国际标准（如 ISO、IEC 等），其技术内容主要基于国内相关标准、科研成果和实践经验。但从技术内容的科学性和规范性角度看，具有以下特点：

1) 技术方法具有国际前沿性：文件提出的“稳定性天然腐殖质材料+活性生物质材料+生物激发剂”协同作用的技术模式，体现了当前国际土壤修复与耕地质量提升领域的研究热点，具有一定的创新性和前瞻性。

2) 指标体系科学严谨：文件中涉及的土壤理化性质、物料质量控制、施工工艺等指标，参考了国内外相关研究成果，具备与国际接轨的潜力。

3) 检测方法引用国家标准：附录 A 中列出的各项检测方法（如 NY/T 525、GB/T 23349 等）均为我国现行有效的国家或行业标准，虽未直接引用国际标准，但其技术内容与国际通行方法具有一致性。

综上，该文件未直接采用国际标准，但在技术思路、指标体系和

方法学上具有与国际标准接轨的水平，具备一定的国际可比性和参考价值。

（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) 符合国家法律法规要求：文件内容符合《中华人民共和国土地管理法》、《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水土保持法》等相关法律法规对土地复垦、耕地保护、生态环境安全的基本要求。
- 2) 与强制性标准协调一致：文件在技术指标、检测方法、施工要求等方面严格遵循或引用了以下强制性国家标准，GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》、GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》、GB 5084《农田灌溉水质标准》、GB/T 50123《土工试验方法标准》等。这些引用确保了文件在实施过程中不会与国家强制性标准发生冲突，并为其执行提供了法律和技术支撑。
- 3) 补充和完善了现行标准体系：现行标准如 TD/T 1036《土地复垦质量控制标准》主要规定了复垦土地的基本质量要求，但缺乏针对“耕作层快速熟化”的专项技术指导；本文件填补了这一空白，是对现行标准体系的细化与补充。与 GB/T 33469《耕地质量等级》等标准形成配套，明确了如何通过技术手段快速提升耕地质量等级。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

2026年3月因标准技术内容完善需求，经协调，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所郑飞翔加入编制组，共同参与后续内容的修订工作。