

《砂姜黑土耕层障碍快速消减与结构优化技术规程》

（征求意见稿）

编 制 说 明

中国科学院南京土壤研究所

2026 年 9 月

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

本标准由中国科学院南京土壤研究所、安徽农业大学提出，中国土壤学会批准立项，计划于 2027 年 2 月前完成。任务来源于国家重点研发计划项目“淮河流域砂姜黑土产能提升综合技术模式与应用”课题一“砂姜黑土结构障碍消减关键技术与产品研发应用”（2023YFD1901001）。

（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

安徽农业大学，中向旭曜科技有限公司。

（三）主要工作过程

1、成立标准编制项目组

2026 年 7 月，中国科学院南京土壤研究所牵头成立标准编制项目组，确定了标准基本框架、主要内容和人员分工，制定工作计划。

2、数据和资料收集

本标准在砂姜黑土结构改良“刚柔相济”材料及其应用技术研发成果基础上，结合耕层结构障碍快速消减技术的大田验证与示范成果编制。

2017 年 6 月—2025 年 12 月，中国科学院南京土壤研究所联合安

徽农业大学，在安徽省宿州市埇桥区安徽农业大学新农村发展研究院皖北综合试验站布设长期定位试验，系统研究秸秆还田、生物炭、粉煤灰等物料的添加对砂姜黑土容重、孔隙特征、田间持水能力及胀缩变形规律的调控机理，确定了以生物炭作为“刚性”多孔骨架材料、配合秸秆等“柔性”富碳材料进行改性的技术路线，以及生物炭施用总量、分期施用方式、配套耕整作业条件等关键技术参数。

2024 年 10 月—2026 年 6 月，在宿州市埇桥区朱仙庄镇典型砂姜黑土农田设置大田验证试验，其中黏闭僵板改良处理的技术要点为：玉米收获后秸秆全量粉碎还田，每年撒施生物有机肥 200 kg/亩，一次性施入生物炭 1 t/亩、天然腐殖质 1 t/亩，配合水分监测与调控技术；系统监测土壤有机质、容重、孔隙度、胀缩系数与作物产量，并组织专家实打实收测产。

3、标准起草与立项

2026 年 7 月，根据大田试验结果，结合相关文献及国内外相关标准调研，编制组经多次讨论修改形成标准草案，并向中国土壤学会提交立项申请。经立项函评专家评审同意立项，标准编制工作启动。

4、征求意见阶段

标准立项后，编制组根据立项函评专家意见修改完善标准草案，完成征求意见初稿。2026 年 7 月—8 月，向 8 家单位专家征集意见，共收到反馈意见 49 项，其中采纳 42 项、部分采纳 6 项、未采纳 1 项。2026 年 9 月，编制组根据征集意见对标准文本逐条修订，完成征求意见稿和编制说明，提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

王擎运 安徽农业大学 负责标准整体结构设计和技术内容确定，组织标准编制工作。

马东豪 中国科学院南京土壤研究所 负责标准关键技术参数的确定与技术方案论证工作。

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。

张佳宝 中国科学院南京土壤研究所 负责标准技术路线确定，指导标准编制工作。

李金才 安徽农业大学 负责砂姜黑土耕层结构障碍诊断与改良技术试验研究工作。

李晓玉 安徽农业大学 负责土壤理化性质测定与作物测产，参与标准技术内容验证工作。

潘慧 中向旭曜科技有限公司 负责标准相关技术内容试验、数据资料收集及标准文本修订工作。

陈翔 安徽农业大学 负责田间试验数据采集与整理分析工作。

孔海燕 安徽农业大学 负责资料收集、文献检索与标准文本校核工作。

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

本标准按 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》起草，规定了范围、规范性引用文件、术语和定义、耕层结构障碍指标、耕层结构障碍快速消减技术原则与工作流程、实施细则、耕层质量指标与验收等内容。核心术语“砂姜黑土”“耕层结构障碍”“有机肥料”“生物炭”“天然腐殖质”“胀缩阈值”均给出定义。基础指标测定与作业质量要求引用 NY/T 499、NY/T 500、NY/T 525、NY/T 742、NY/T 1121 系列、NY/T 3041 等现行标准。

2、科学性原则

本标准针对砂姜黑土因膨胀性黏土矿物导致的黏闭僵板内源属性障碍，以适量骨性材料（生物炭）添加抑制黏土矿物内聚力、降低土壤黏闭特性，辅以秸秆还田利用其较高含量的纤维素改善土壤胀缩特征并逐步提高土壤有机质含量。技术路线建立在长期定位试验揭示的生物炭多孔结构效应与秸秆纤维素-黏土矿物相互作用机制之上，并明确以 3 年为一个实施周期的分期施入方式，兼顾改良效果与土壤环境安全。

3、适用性和可操作性原则

适用范围明确：适用于砂姜黑土区存在耕层结构障碍的旱作农田土壤改良与地力提升，其他土壤条件相似地区可参照执行。

材料与用量明确：明确了生物炭、有机肥、秸秆、天然腐殖质的施用种类、质量依据与用量范围，其中生物炭施用总量上限定为 22.5 t/hm²并分 3 年均衡施入，避免因生物炭碱性较强而一次性大量施用带来的土壤环境风险；同时明确了旋耕混拌作业条件（土壤绝对含水

量宜控制在 15%~22%)。

作业要求清晰：对秸秆粉碎长度、深耕与深松深度、砂姜结核层自适应调整规则等提出明确要求。

验收机制合理：设定耕层厚度、容重、有机质、总孔隙度、田间持水量 5 项验收指标及全部同时满足的判定规则，明确验收时间、采样方法和测定依据。

4、先进性原则

技术定位方面，改变以往砂姜黑土改良“重有机培肥、轻结构调控”的做法，以生物炭等骨性材料调控黏土矿物内聚力为核心，消减土壤内源属性障碍。

参数方面，针对砂姜黑土提出生物炭总量不超过 22.5 t/hm²、分 3 年均衡施入的施用方案，以及适宜作业的土壤含水量区间，明确骨性材料-柔性材料-有机肥协同输入的量化配置。

(二) 确定标准主要内容的论据

本标准针对砂姜黑土耕层黏闭僵板、耕性恶劣、结构改良周期长等问题，提出以骨性材料调控为核心的耕层结构障碍快速消减技术体系，核心内容包括耕层结构障碍判定、生物炭施用、秸秆还田、有机肥与天然腐殖质施用、深耕作业及耕层质量验收等环节。主要内容的编制依据如下：

1、关于标准适用范围

砂姜黑土黏粒含量高、黏土矿物以 2:1 型蒙脱石为主，湿时膨胀黏闭、干时收缩僵硬，结构体和结构性孔隙在反复胀缩过程中崩解，

表现出容重和紧实度高、耕性差、适耕期短等障碍特征。当土壤有机质含量低于 15 g/kg 时土体极易发生黏闭行为，而传统单一秸秆还田、单纯增施有机肥等措施仅能缓慢累积有机质，在抑制黏土矿物胀缩效应、降低土壤容重、优化孔隙结构方面见效慢。因此，本标准将适用范围确定为砂姜黑土区存在耕层结构障碍的旱作农田，重点解决结构性障碍快速消减问题。

2、关于耕层结构障碍指标

标准以“耕层黏粒含量大于 30%、黏土矿物以膨胀性 2:1 型蒙皂石族为主、耕层有机质含量低于 15 g/kg、表层 0 cm~5 cm 内存在宽度大于 1 cm 且面积占比大于 5%的裂隙”四项指标同时满足作为耕层结构障碍的判定标准。该指标体系来源于对砂姜黑土结构障碍内源成因的研究：砂姜黑土结构障碍的内源成因主要是黏粒含量高、有机质含量低、黏土矿物类型以 2:1 型蒙脱石为主。四项指标从土壤质地、矿物组成、有机质水平与裂隙发育四个维度刻画耕层结构障碍。

3、关于骨性材料的选择与用量

选择生物炭作为骨性材料：对比研究了粉煤灰、秸秆生物炭、秸秆三类物料对砂姜黑土持水性能、团聚体与胀缩特性的影响。结果表明，粉煤灰多以 2.5 μm 的颗粒存在，成分以硅酸盐和铁铝氧化物为主，添加后可有效提高水的有效性但保水性能较差；秸秆碳富含芳香类环状结构，属惰性碳，与秸秆在结构上有一定相似度，均具有很高的孔隙度；三种物料添加量在土体质量 3%以内并不足以改变土壤机械组成，主要通过其自身特性及其与土壤黏土矿物之间的作用影响土

壤水有效性。综合考虑资源与环境因素，秸秆碳（生物炭）更适合作为骨性材料。

施用量与分期方式：标准规定生物炭施用量不高于 22.5 t/hm^2 ，因其碱性较强，分 3 年施入耕层土壤，每年施用量为 7.5 t/hm^2 。依据为：一是长期定位试验确认了生物炭总量 22.5 t/hm^2 、分 3 年均衡施入的技术参数；二是生物炭为惰性碳，在土壤中具有很好的蓄积作用，不宜长期施用或一次性大量施入；三是现实生产中每亩可按约 1.5 t 分 3 年施入，符合农业生产实际。

作业条件：标准规定施用生物炭时土壤绝对含水量宜控制在 $15\% \sim 22\%$ 。砂姜黑土在过湿条件下作业易发生黏闭、破坏结构，过干条件下则形成大块土块、混合不均， $15\% \sim 22\%$ 是兼顾作业质量与结构保护的适宜含水量区间。

4、关于秸秆还田与有机肥施用

秸秆还田：标准规定小麦收获后秸秆直接粉碎均匀覆盖于地表，粉碎长度 $\leq 8 \text{ cm}$ ；玉米收获后秸秆伴随生物炭直接粉碎均匀翻压还田，粉碎长度 $\leq 5 \text{ cm}$ 。该参数依据秸秆粉碎还田机作业能力与试验结论确定，玉米秸秆块体较大、冬季低温腐解较慢，需加大粉碎力度使其长度不超过 5 cm ，以降低对后续生产的影响。

有机肥施用：标准规定有机肥宜选用商品有机肥或腐熟粪肥，于秋季结合耕翻作基肥一次施入，每年施用量为 $4.5 \text{ t/hm}^2 \sim 7.5 \text{ t/hm}^2$ ，产品质量应符合 NY/T 525 的规定。该用量范围依据长期定位试验与大田验证结果确定，可有效补充土壤活性有机质、改善土壤微生物活

性，同时避免过量施用带来的养分失衡与成本增加。

5、关于深耕与深松作业

标准规定每 3 年实施 1 次深耕或深松作业，深耕作业深度为 30 cm~35 cm，深松作业深度为 30 cm~40 cm。深度确定依据大田验证结果：深耕可快速打破压实层，使耕层和亚耕层土壤紧实度分别降低 59.8%和 47.9%，亚耕层土壤孔隙度提高 15.1%；深松作业不翻转土层、仅疏松土体，作业深度可略深于深耕。针对砂姜黑土中普遍存在的层状砂姜结核，标准规定当 25 cm~35 cm 土层大量存在砂姜结核时，深耕深度适度下调至 25 cm~30 cm，避免大量砂姜结核翻入耕层。

6、关于天然腐殖质施用

标准规定对于耕层有机质含量低于 15 g/kg 的田块，宜结合深耕施用天然腐殖质，施用量为 3 t/hm²~5 t/hm²，可与生物炭或秸秆配合施用。天然腐殖质具有高度腐殖化、结构稳定的特点，富含胡敏酸，能够快速提升土壤活性有机碳、促进团粒结构形成。富含腐殖酸的天然腐殖质材料明显提高了土壤惰性有机质含量，其与骨性材料配合施用可加快土壤有机质提升速度、缩短改良周期。

7、关于耕层质量指标与验收

标准规定技术实施后目标耕层应达到耕层厚度>20 cm、土壤容重<1.35 g/cm³、有机质含量>20 g/kg、土壤总孔隙度>45%、田间持水量提高 10%以上，且各项指标全部同时满足。指标阈值依据：一是大田验证试验中实施黏闭僵板改良后土壤有机质提高 15.9%（净提高 3.7

g/kg)、土壤胀缩系数降低 68.9%、土壤孔隙度提高 17.8%的实测变化幅度；二是砂姜黑土耕层培育的现实可达性与耕地质量提升目标要求；三是与同批标准保持口径一致。验收要求在播种前未施肥时按 NY/T 1121.1 采集样品，容重、有机质、田间持水量分别按 NY/T 1121.4、NY/T 1121.6、NY/T 1121.22 测定。

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

砂姜黑土主要分布在黄淮海平原南部的安徽、河南、山东和江苏等地，面积约 4835.6 万亩，是我国重要的粮食生产基地。砂姜黑土富含黏粒和膨胀性黏土矿物，湿润时膨胀黏闭、干燥时龟裂僵硬，结构体和结构性孔隙在反复胀缩过程中崩解，通常表现出容重和紧实度高、耕性差、适耕期短等属性障碍。有机质含量低且以惰性腐殖质为主，是砂姜黑土“黑而不肥”的主要原因之一。

当前砂姜黑土改良实践普遍存在重有机培肥、轻结构调控的短板，大量改良田块虽有机质含量有所提升，但耕层板结僵硬、土体裂隙发育、胀缩灾害频发等核心障碍依旧存在。传统措施在抑制黏土矿物胀缩效应、降低土壤容重、优化孔隙结构方面见效慢。因此需要建立以结构改良材料调控为核心的耕层障碍快速消减技术规范。

2、技术原理

本标准技术模式的原理为：以适量骨性材料（生物炭）添加抑制

黏土矿物内聚力、降低土壤黏闭特性；辅以秸秆还田，利用其较高含量的纤维素改善土壤胀缩特征，并逐步提高土壤有机质含量；配合有机肥与天然腐殖质施用快速补充活性有机质与惰性腐殖质组分；通过周期性的深耕或深松作业打破犁底层、增加耕层厚度。通过骨性材料、柔性材料与有机肥料的协同输入，对砂姜黑土障碍源进行改性，降低土壤颗粒间的斥力、增强颗粒间的引力，从而降低土壤胀缩性，实现耕层障碍的快速消减与耕层结构的优化。

3、试验实施与验证

(1) 长期定位试验与材料筛选

试验设置于安徽省宿州市埇桥区安徽农业大学新农村发展研究院皖北综合试验站，土壤类型为砂姜黑土，种植方式为小麦-玉米轮作，供试土壤 pH 7.46，碱解氮 91.82 mg/kg，有效磷 14.41 mg/kg，速效钾 182.06 mg/kg。试验自 2017 年 6 月开始，设置氮磷钾平衡施肥（CK）以及小麦秸秆+玉米秸秆碳、小麦秸秆碳+玉米秸秆、粉煤灰、小麦玉米秸秆+粉煤灰等处理，每个处理 3 次重复，随机区组排列。玉米收获后将生物炭按当年秸秆生物量的 1/3 施入农田，粉煤灰按 45×10^3 kg/hm² 一次性添加（约占耕层土壤质量 2%），各处理氮磷钾肥料品种及施用量一致。

土壤基本理化性质测定参考《土壤农化分析》方法：pH 值采用电位计法（水土比 5:1），碱解氮采用碱解扩散法，有效磷采用碳酸氢钠溶液浸提-钼锑抗比色法，速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法，有机质采用重铬酸钾浓硫酸外加热法，土壤容重、孔隙度及田间持水量采

用环刀法，水稳性团聚体采用湿筛法分离。土壤收缩特征采用 van Genuchten 方程拟合收缩特征曲线，并据此计算土壤线性伸展系数（COLE）与土壤收缩率。

（2）技术模式大田验证

验证试验于 2024 年 10 月小麦播种季在宿州市埇桥区朱仙庄镇塔桥村傅家组（117°8'34"E，33°40'16"N）开始，试验点 0 cm~15 cm 耕层土壤黏粒含量 37%、黏粒中蒙脱石含量 22%、有机质 22.6 g/kg；15 cm~30 cm 亚耕层黏粒含量 36%、黏粒中蒙脱石含量 46%、有机质 16.0 g/kg。试验设黏闭僵板改良处理，技术要点为：玉米收获后秸秆全量粉碎还田，每年撒施生物有机肥 200 kg/亩，一次性施入生物炭 1 t/亩、天然腐殖质 1 t/亩，旋耕后播种小麦；配合土壤水分监测、微喷带精量灌溉、机械化沟渠排水等水分调控技术。作物测产按《全国粮食高产创建测产验收办法（试行）》（农办农〔2008〕82 号）组织专家实打实收测产。

（3）试验结果

有机质提升效果：常规有机肥、秸秆还田对土壤有机质提升效果缓慢且有限，惰性的富碳材料添加可快速提高土壤有机质。与对照相比，刚-柔材料耦合施用下土壤有机质提高 15.9%（净提高 3.7 g/kg）。

土壤结构改善效果：刚-柔材料耦合施用显著降低了砂姜黑土的胀缩性，土壤胀缩系数降低 68.9%，同时土壤孔隙度提高 17.8%。

产量效果：黏闭僵板的改良显著提高了小麦穗数和穗粒数，分别提高 27.1%和 13.1%，是小麦产量提高的主要贡献。经专家测产，黏

闭僵板改良下小麦增产 22.1%。

4、综述

长期定位试验与大田验证结果表明，以生物炭为骨性材料、配合秸秆、有机肥与天然腐殖质形成的“刚柔相济”技术模式，能够快速提升砂姜黑土有机质含量、降低土壤胀缩性、提高土壤孔隙度，并表现出显著的增产效果。试验同时确认了生物炭总量 22.5 t/hm²分 3 年施入、秸秆粉碎长度、有机肥 4.5 t/hm²~7.5 t/hm²、深耕 30 cm~35 cm 与深松 30 cm~40 cm、适宜作业含水量 15%~22%等关键技术参数的适配性。

（二）技术经济论证，预期的经济效益

本标准技术模式一次性投入较高（主要为生物炭与天然腐殖质材料投入），但分摊至 3 年实施周期后年均投入可控，且增产收益显著。大田验证表明，黏闭僵板改良下小麦增产 22.1%，增产收益可有效弥补改良材料投入。相比传统单一秸秆还田、单纯增施有机肥等措施需要多年才能显现改良效果，本技术模式可在 3 年内实现耕层结构障碍的快速消减，缩短改良周期、提高资金使用效率。

从推广看，本标准技术措施依托现有农业机械即可实施，生物炭、有机肥、天然腐殖质等材料均有稳定的产品来源与质量标准。技术实施后可显著改善砂姜黑土黏闭僵板状况、降低土壤胀缩性、提高耕地质量等级，有助于沿淮及同类型区域中低产田产能提升和耕地质量改善。

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

本标准未直接采用国际标准，技术内容主要基于国内相关标准及课题组的长期定位试验成果和实践经验。

标准涉及的有机质、容重、孔隙度、田间持水量、胀缩阈值等指标及其测定方法，均引用我国现行有效的国家或行业标准；NY/T 3041《生物质炭土壤改良剂》、NY/T 525《有机肥料》等对改良材料质量控制提出明确要求，与国际上同类产品的质量控制思路一致。

（二）与现行有关法律法规和强制性标准的关系

标准内容符合《中华人民共和国土壤污染防治法》以及耕地质量保护与提升、高标准农田建设等政策对耕地改良与土壤环境安全的基本要求，标准中明确限定了改良材料用量与作业条件，避免因大量施用改良材料造成土壤环境风险。

标准在术语体系、技术指标、检测方法等方面遵循或引用 GB/T 1.1—2020、NY/T 525、NY/T 3041、NY/T 499、NY/T 500、NY/T 742、NY/T 1121 系列等现行标准，与其他标准不发生冲突。

现行标准中，DB34/T 4124—2022《砂姜黑土培肥改良技术规程》、DB34/T 1956—2013《砂姜黑土麦玉两熟制秸秆粉碎还田培肥技术规程》以及 T/SSSAP 007—2025《砂姜黑土障碍消减与培肥技术规程》等，主要规定砂姜黑土综合培肥与障碍消减的通用技术内容，尚未将

生物炭等骨性结构改良材料应用作为核心技术模式进行系统规范。本标准填补了这一空白，是对现行标准体系的细化与补充。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

本标准在征求意见阶段共收到专家反馈意见 49 项，其中采纳 42 项、部分采纳 6 项、未采纳 1 项，无重大意见分歧。未采纳意见的处理情况如下：

关于将粉煤灰列为可选结构改良材料的建议。课题组虽在早期研究中发现粉煤灰具有一定的结构改良作用、可有效提高水的有效性，但受制于资源与环境因素（粉煤灰保水性能较差、来源与品质波动较大、存在潜在环境风险），并经长期定位试验比较，确认秸秆碳（生物炭）更适合作为“刚柔相济”技术的骨性材料，故未予采纳，并在标准中明确以生物炭作为骨性材料、引用 NY/T 3041 作为其质量依据。

另有 6 项意见为部分采纳，主要涉及深松作业深度的补充、砂姜结核层条件下深耕深度的调整、胀缩阈值表述方式、耕层厚度指标的调整以及部分条款的语句精简，编制组已按专家意见对相应条款作出调整，具体处理情况见《征求意见汇总表》及《修订补充说明》。

七、其他应予说明的事项