

《砂姜黑土内外源结构障碍联合消减技术规程》

（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，中国农业大学，长江大学，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障碍诊断分级技术、“刚柔相济”材料研发与分类消减技术模式集成成果基础上，结合内外源结构障碍联合消减综合技术模式的大田验证与示范成果编制。

2023 年 11 月—2026 年 6 月，中国科学院南京土壤研究所联合安

徽农业大学、中国农业大学、长江大学等单位，在安徽省宿州市埇桥区开展砂姜黑土结构障碍诊断指标与分级技术研究：通过四类典型砂姜黑土力学属性分析、三类典型砂姜黑土排水与导气率试验、土壤收缩试验与龟裂点测定，明确了砂姜黑土的黏闭点含水量、龟裂点含水量等临界水分阈值，重构了适用于强胀缩性土壤的最小限制水分范围（LLWR）理论框架；结合 100 个样点的土壤属性实测数据，采用克里金空间插值方法绘制了埇桥区耕层土壤 LLWR 空间分布图，并利用自然断点法将区域土壤结构障碍划分为三个等级。

2024 年 10 月—2026 年 6 月，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）典型砂姜黑土农田设置大田验证试验，其中集成技术处理的技术要点为：玉米收获后秸秆全量粉碎还田，翻地前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，第一年采用深耕机深翻至 30 cm~35 cm，第二、三年采用旋耕机旋耕 15 cm~20 cm，玉米全部采用免耕播种；采用微喷带控制精量灌溉并结合土壤水分监测，玉米季每隔 10 m 开挖排水沟预防涝渍。同期开展了不同排水沟间距（5 m、10 m、20 m、40 m）对玉米渍害与产量的影响试验，明确排水沟适宜间距。

3、标准起草与立项

2026 年 7 月，根据研究与验证结果，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43项，其中采纳40项、部分采纳3项、未采纳0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

马东豪 中国科学院南京土壤研究所 负责标准整体结构设计、技术内容确定与关键技术参数论证，指导标准编制工作。

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。

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。

王擎运 安徽农业大学 负责砂姜黑土内外源障碍诊断与改良技术试验研究工作。

李金才 安徽农业大学 负责耕层结构障碍诊断与耕作技术试验研究工作。

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。

陈超 中国农业大学 负责作物耕作制度与水分调控技术研究，参与标准技术内容论证工作。

陈晏 安徽农业大学 负责秸秆还田与有机物料施用技术试验研究工作。

齐永波 安徽农业大学 负责土壤水分特征参数测定与数据分析工作。

付威 安徽农业大学 负责田间裂隙调查与土壤样品采集分析工作。

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。

蔡青青 中国科学院南京土壤研究所 负责资料收集、文献检索与标准文本校核工作。

刘则文 长江大学 负责农田排水技术与数据整理分析工作。

郭子妍 中国科学院南京土壤研究所 负责土壤收缩特征与水分阈值测定试验工作。

李佳鑫 中国科学院南京土壤研究所 负责田间试验数据采集与整理分析工作。

王静茹 中国科学院南京土壤研究所 负责资料收集、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、内外源结构障碍联合消减原理及技术流程、结构障碍诊断、

刚-柔材料耦合消减内源属性结构障碍技术、外源衍生结构障碍消减技术、联合消减技术实施工序及管理、结构改良效果验收、田间档案等内容，并附障碍诊断指标测定方法、田间档案记录表两个资料性附录。核心术语“砂姜黑土”“内源属性结构障碍”“外源衍生结构障碍”“刚-柔材料耦合”“深浅轮耕”“龟裂含水量”“土壤水分安全阈值”均给出定义。基础指标测定与作业质量要求引用 GB 20287、GB/T 25246、GB 38400、GB 47500、NY 884、NY/T 499、NY/T 500、NY/T 525、NY/T 742、NY/T 1121 系列、NY/T 1782、NY/T 3034 等现行标准。

2、科学性原则

本标准针对砂姜黑土内源属性障碍与外源衍生障碍相互叠加、单一技术难以系统解决的问题，明确“内源属性障碍消减与外源衍生障碍管控同步进行”的技术思路：一方面以生物炭作为刚性多孔基质、配施秸秆与有机肥等柔性富碳物料对膨胀性黏土矿物进行改性，弱化土壤颗粒间静电斥力、增强团聚引力，从根源上消减土壤胀缩特性；另一方面以深浅轮耕打破厚硬犁底层、增加耕层厚度，通过水分安全阈值调控实现防龟裂精量灌溉与抗涝渍快速排水。技术路线建立在课题组对砂姜黑土临界水分阈值、胀缩特性与结构障碍成因的系统研究之上。

3、适用性和可操作性原则

适用范围明确：适用于黄淮地区冬小麦-夏玉米一年两熟轮作区存在耕层浅薄、犁底层厚硬、土壤黏闭僵板等复合型结构障碍的砂姜黑土农田。

诊断标准量化：将结构障碍分为内源属性结构障碍、机械压实型外源障碍、水分失调型外源障碍三类，分别给出可量化、可现场判别的判定指标与阈值。

技术措施具体：对秸秆还田、有机肥与生物炭/天然腐殖质施用、深浅轮耕、水分安全阈值确定、实时监测、精量灌溉、快速排水等环节均给出用量、深度、间距、时间节点等参数，并明确第一年与第二至三年的差异化实施工序。

验收机制合理：设定耕层厚度、有机质含量、容重、裂隙面积占比 4 项验收指标及全部同时满足的判定规则，明确采样点数量与判定依据的统计口径。

4、先进性原则

技术思路方面，改变以往针对单一障碍类型实施单一改良技术的做法，将内源属性障碍与外源衍生障碍的消减进行系统集成，形成“刚-柔材料耦合消胀+周年深浅轮耕消障+生物驱动+精准水分管控”的一体化技术模式。

诊断体系方面，引入表征砂姜黑土胀缩行为的黏闭点含水量与龟裂点含水量两个新的临界水分阈值，重构适用于强胀缩性土壤的最小限制水分范围（LLWR）理论框架，实现对结构障碍的量化与分级。

调控手段方面，将水分安全阈值调控作为独立技术环节，明确阈值上下限、监测深度与灌溉排水参数，推动砂姜黑土水分管理由经验判断向定量调控转变。

（二）确定标准主要内容的论据

本标准针对砂姜黑土土体构型不良、黏闭僵板结构障碍突出、现有结构改良技术单一且缺乏针对性集成的问题，构建内外源结构障碍联合消减技术体系，核心内容包括结构障碍诊断、刚-柔材料耦合消减内源障碍、深浅轮耕与水分安全阈值调控消减外源障碍、实施工序与效果验收等环节。主要内容的编制依据如下：

1、关于标准适用范围

砂姜黑土区中低产田占比高，调查表明 61%的砂姜黑土存在结构障碍特征，其中以淮北平原分布面积最大、障碍性最突出，淮北平原砂姜黑土区中低产田占比高达 81%，且以内源属性障碍与外源衍生障碍叠加的复合型障碍最为普遍。因此，本标准将适用范围确定为黄淮地区冬小麦-夏玉米一年两熟轮作区存在耕层浅薄、犁底层厚硬、土壤黏闭僵板等复合型结构障碍的砂姜黑土农田。

2、关于内源属性结构障碍判定标准

标准规定土壤同时满足“黏粒含量 $\geq 30\%$ 、黏土矿物以 2:1 型蒙脱石为主（占最高比例）、耕层土壤有机质含量 $< 15\text{ g/kg}$ ”三项指标时，判定为存在内源属性结构障碍。依据为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；区域调查显示重度障碍土壤通常黏粒含量大于 30%、以膨胀性 2:1 型蒙皂石族为主、有机质含量低于 1.5%。三项指标分别对应土壤质地、矿物组成与有机质水平，共同刻画土壤的胀缩潜能。

3、关于外源衍生结构障碍判定标准

机械压实型外源障碍：规定“耕层厚度 $<15\text{ cm}$ ；犁底层容重 $\geq 1.5\text{ g/cm}^3$ ，或紧实度 $\geq 1\text{ MPa}$ ”同时满足时判定。依据为：我国砂姜黑土区耕层厚度普遍小于 15 cm ，犁底层平均厚度 12.38 cm ，犁底层土壤紧实度大多高于 1 MPa ，部分区域超过 2 MPa ；当土壤强度大于 1 MPa 时植物根系生长明显放慢。

水分失调型外源障碍：规定“干燥时地面出现宽度 $\geq 0.5\text{ cm}$ 的裂隙且深度达 25 cm 、地面宽度 $\geq 1\text{ cm}$ 的裂隙面积占比超过 50% ；玉米季雨后田面积水超过 3 天 ”同时满足时判定。依据为田间调查结果：砂姜黑土区玉米播前土壤开裂现象普遍，实测裂隙最长达 9 m ；同时因土壤渗透性差、夏季降雨集中，玉米季涝渍灾害频发，渍害试验期间累积降雨量超过 400 mm 。

4、关于刚-柔材料耦合技术

“刚-柔材料耦合”定义为以生物炭作为刚性多孔骨架材料，与秸秆、有机肥、木本泥炭等柔性富碳材料配合施用，对膨胀性黏土矿物进行改性的土壤结构障碍消减技术。该技术路线依据长期定位试验结论：粉煤灰、生物炭单独添加需要较大用量才能显现效果，成本高、功能单一，且粉煤灰受资源与环境因素制约；秸秆对土壤团聚体有很好的改良效果，生物炭对团聚体影响较小但对土壤孔隙度影响较大；综合比较，小麦秸秆还田结合秸秆碳添加更符合抑制土壤收缩、改良土壤结构的生產需求。因此标准确定以生物炭为刚性骨架、秸秆等为柔性富碳材料的“刚-柔耦合”技术路线。

材料质量要求：生物炭比表面积 $\geq 10\text{ m}^2/\text{g}$ 、总孔容积 $\geq 0.3\text{ cm}^3/\text{g}$ ，

天然腐殖质有机质含量 $\geq 75\%$ （干基）、腐殖质含量 $\geq 40\%$ （干基）。上述指标依据课题组所用天然腐殖质材料的实测特征（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）以及相关产品标准确定。

施用量与施用频次：标准规定生物炭和天然腐殖质的施用量均为 $7.5 \text{ t/hm}^2 \sim 15 \text{ t/hm}^2$ ，两者宜任选其一单施，配合施用时应各取推荐用量下限；施用频次为每 3 年周期 1 次。依据为：一是大田验证中生物炭 1 t/亩、天然腐殖质 1 t/亩（即约 15 t/hm^2 ）一次性施用的实测改良效果；二是生物炭为惰性碳、天然腐殖质结构稳定，均具有较好的蓄积作用，不宜长期连续大量施用；三是两种材料功能相近，单施即可达到改良目的，配合施用时应降低用量可避免叠加过量。

5、关于深浅轮耕消减压实技术

标准规定实行“小麦季 1 年深耕+2 年旋耕-玉米季免耕”的 3 年轮耕周期，第一年耕深 30 cm $\sim$ 35 cm，第二、三年旋耕深度 18 cm $\sim$ 20 cm，玉米季均采用免耕播种。深度确定依据为：大田验证表明深耕可快速打破压实层，使耕层、亚耕层土壤紧实度分别降低 58.5%和 45.8%；长期试验表明，连年深耕机具耗能高且易导致土壤二次压实，故采用深浅轮耕制度。作业条件方面，标准规定深耕、旋耕作业应在土壤含水量低于田间持水量 70%的条件下进行，或以“手握成团、落地即散”的田间适耕状态作为辅助判别依据，避免土壤含水量过高导致二次压实。

6、关于水分安全阈值调控技术

阈值确定：标准规定水分安全阈值下限为龟裂含水量、上限为田间持水量的 85%~95%。依据为课题组重构的 LLWR 理论框架——在新的 LLWR 体系中，砂姜黑土的适宜水分范围介于黏闭点含水量（通气性障碍上限）与龟裂点含水量（有效水丧失下限）之间；实测表明，砂姜黑土龟裂点含水量基本比凋萎含水量高出 5%以上，塑限含水量与田间持水量相当，若以凋萎含水量作为灌溉下限，土壤将大量处于开裂失水状态，故以龟裂含水量作为下限预警指标更为科学。

实时监测：标准规定对耕层 10 cm、20 cm、30 cm 含水量进行实时监测。监测深度依据为：砂姜黑土耕层与亚耕层是结构障碍发生的重点层次，区域调查中将 0 cm~15 cm、15 cm~30 cm 作为分层采样区间，10 cm、20 cm、30 cm 三个深度可覆盖耕层与亚耕层的水分动态。

防龟裂精量灌溉：标准规定当耕层含水量临近龟裂含水量时须立即灌溉，灌溉方式须采用微喷带、喷灌或滴灌，严禁大水漫灌，单次灌水量宜控制在 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \sim 450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。依据为水分管控技术验证结果——采用微喷带控制精量灌溉、结合土壤水分监测及时灌溉，可有效防止土壤龟裂发生，水分管控下小麦增产 6.4%，其中穗数和穗粒数分别提高 10.0%和 6.4%。

抗涝渍快速排水：标准规定田间排水沟网应作为农田基础设施与整地作业同步或提前施工，纵向沟间距 10 m~15 m、横向沟间距 50 m、沟宽 15 cm~20 cm、沟深不宜小于 20 cm。依据为沟排控水试验结果——随排水沟间距增加玉米产量显著降低，排水沟间距为 5 m 时

玉米产量最高(535 kg/亩), 间距 10 m、20 m、40 m 时分别减产 6.6%、16.0%、26.4%, 排水沟间距设置 5 m~10 m 可有效消减玉米渍害。标准综合考虑排水效果与土地占用、作业便利性, 确定纵向沟间距 10 m~15 m, 并明确沟网须“纵横交错、沟渠相通”, 与田头沟或支沟相连形成完整排水网络。

7、关于实施工序与效果验收

实施工序: 标准按“第一年(深耕-破障年)”与“第二至三年(旋耕-培肥年)”分别规定实施工序, 明确物料撒施顺序、深耕与旋耕遍数、耙磨镇压整地、水分监测设备安装等要求, 并明确第二、三年不再施入生物炭和天然腐殖质, 仅维持秸秆、秸秆腐解菌剂、有机肥等物料投入。该安排依据为生物炭与天然腐殖质具有长效蓄积作用、每 3 年周期施用 1 次即可达到改良目的, 避免重复投入与过量施用。

效果验收: 标准规定联合消减技术实施一个完整周期(3 年)后, 耕作层土壤应达到“耕层厚度 ≥ 25 cm、土壤有机质含量 ≥ 18 g/kg、土壤容重 < 1.35 g/cm³、干燥时地面宽度 ≥ 1 cm 且深度达 25 cm 的裂隙面积占比 $< 50\%$ ”4 项指标, 且全部同时满足。指标阈值依据大田验证结果——综合技术模式实施后耕层、亚耕层土壤有机质含量分别提高 7.3%和 23.9%, 孔隙度分别提高 16.3%和 15.7%, 土壤胀缩性分别降低 65.0%和 23.9%, 耕层、亚耕层土壤紧实度分别降低 58.5%和 45.8%, 小麦增产 21.0%、玉米增产 21.7%。验收要求每个田块采样点不少于 5 个、以各采样点算术平均值作为判定依据, 可有效降低田块内空间变异对判定结果的影响。

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。砂姜黑土地处我国南北气候过渡带，降水分配极不均匀、土壤渗透性差，导致易旱易涝。调查表明 61% 的砂姜黑土存在结构障碍特征，其中以淮北平原分布面积最大、障碍性最突出，淮北平原砂姜黑土区中低产田占比高达 81%。

砂姜黑土的结构障碍具有复合特征：一方面是黏粒含量高、有机质含量低、黏土矿物以 2:1 型蒙脱石为主导致的内源属性障碍，表现为土壤易干缩开裂、湿胀黏闭；另一方面是区域机械化程度高、不合理耕作导致的机械压实、耕层浅薄、犁底层厚硬，以及春季干旱导致的土壤收缩开裂、夏季多雨排水不畅导致的膨胀黏闭与涝渍等外源衍生障碍。两类障碍相互叠加，导致现有单一改良技术难以系统解决。

2、技术原理

本标准技术模式的原理包括两个方面：一是以生物炭作为刚性多孔基质提高土壤孔隙度和通气透水能力，配施秸秆、有机肥、天然腐殖质等柔性富碳物料对障碍性黏土矿物进行改性，弱化土壤颗粒间静电斥力、增强颗粒团聚引力，从根源上消减土壤胀缩特性，消减内源属性结构障碍；二是以深浅轮耕打破厚硬犁底层、增加耕层厚度、构

建全耕层疏松结构，通过精量灌溉防龟裂、快速排水抗涝渍，将土壤含水量控制在水分安全阈值以内，消减外源衍生结构障碍。两类技术协同实施，实现内外源结构障碍的同步消减。

3、试验实施与验证

(1) 结构障碍诊断与分级

通过四类典型砂姜黑土力学属性的分析表明，达到作物根系穿透阻力阈值（2 MPa）的砂姜黑土含水量约为 15%，高于作物凋萎含水量；通过三类典型砂姜黑土排水和导气率试验表明，砂姜黑土重力水排水基本在 5 h 之内完成，但透气孔隙率至少达 15% 所对应的黏闭点含水量远低于田间持水量，即排水结束并不等于通气条件满足作物生长要求；三类典型砂姜黑土的塑限含水量与田间持水量相当，但龟裂点含水量基本比凋萎含水量高出 5% 以上。据此，引入黏闭点含水量（通气性障碍上限）和龟裂点含水量两个新的临界水分阈值，重构了适用于强胀缩性土壤的 LLWR 理论框架，明确砂姜黑土的适宜水分范围介于黏闭点含水量与龟裂点含水量之间。

进一步利用新构建的 LLWR 模型，结合 100 个样点的土壤属性实测数据，采用克里金空间插值方法绘制宿州市埇桥区耕层土壤 LLWR 空间分布图，并利用自然断点法确定分级阈值，将埇桥区土壤结构障碍划分为三个等级：轻度障碍区（ $LLWR \geq 6.89\%$ ，面积 648.19 km²）、中度障碍区（ $6.59\% < LLWR < 6.89\%$ ，面积 1258.04 km²）、重度障碍区（ $LLWR \leq 6.59\%$ ，面积 1001.23 km²）。2025 年 6 月在核心示范区布设 44 个土壤属性调查样点、5 个裂隙观测样方和 4 个典型剖面进行验

证，田间原位观测证实玉米播前土壤开裂（裂隙最长达 9 m）和严重板结（土壤穿透阻力普遍超过 2 MPa）现象基本落在重度障碍分区内，验证了分级的合理性。

（2）刚-柔材料耦合技术验证

以秸秆还田、生物炭、粉煤灰添加等长期定位试验为基础开展机制研究，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，自 2017 年 6 月起实施，设置氮磷钾平衡施肥（CK）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。结果表明：三种物料的添加量在土体质量 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；粉煤灰添加可有效提高水的有效性但保水性能较差，秸秆碳与秸秆还田均显示迟效水并未显著下降，主要受制于其大量毛管孔隙结构的存在；秸秆碳为惰性碳，在土壤中具有很好的蓄积作用。

大田验证结果表明，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），土壤胀缩系数降低 68.9%，土壤孔隙度提高 17.8%；黏闭僵板的改良显著提高小麦穗数和穗粒数（分别提高 27.1%和 13.1%），经专家测产小麦增产 22.1%。

（3）外源障碍消减技术验证

深浅轮耕验证：示范区土壤紧实度随深度增加而快速升高，耕层

10 cm 以下存在坚实厚硬的压实层。实施深耕后，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%；第一年深耕虽导致耕层土壤有机质略有降低，但生物有机肥与秸秆还田可显著提高亚耕层土壤有机质（增加 12.4%）。

沟排控水验证：针对砂姜黑土玉米渍害问题，在宿州市埇桥区朱仙庄镇塔桥村傅家组典型砂姜黑土农田开展沟排控水消减玉米渍害技术研发，研究不同间距排水沟设置（5 m、10 m、20 m、40 m）对玉米生长的影响。试验期间累积降雨量超过 400 mm，多次出现强降雨天气，当地玉米涝渍灾害普遍较重。结果表明：随排水沟间距增加玉米产量显著降低，排水沟间距为 5 m 时玉米产量最高（535 kg/亩）；间距 40 m 时渍害严重导致玉米秸秆生物量、株高、叶片叶绿素含量显著降低，造成玉米早枯、叶片功能期缩短、光合能力下降、灌浆不足。与间距 5 m 相比，间距 10 m、20 m、40 m 下玉米分别减产 6.6%、16.0%、26.4%，排水沟间距设置 5 m~10 m 可有效消减玉米渍害。

水分管控验证：小麦季采用微喷带控制精量灌溉、结合土壤水分监测及时灌溉（灌溉上限为田间持水量）防止土壤龟裂发生；玉米季以 10 m 间距开挖排水沟预防涝渍。与对照相比，水分管控技术显著提高小麦穗数和穗粒数（分别提高 10.0%和 6.4%），经专家测产水分管控下小麦增产 6.4%。

（4）综合技术模式验证

在宿州市埇桥区核心示范区开展内外源结构障碍联合消减综合技术模式的大田验证。技术模式要点为：玉米收获后秸秆全量粉碎还田，

翻地前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，第一年采用深耕机深翻至 30 cm~35 cm，第二、三年采用旋耕机旋耕 15 cm~20 cm，玉米全部采用免耕播种；采用微喷带控制精量灌溉并结合土壤水分监测及时灌溉防止土壤龟裂，玉米季每隔 10 m 开挖一条排水沟预防涝渍。

实施效果：与对照相比，综合技术模式显著提高耕层、亚耕层土壤有机质含量（分别提高 7.3%和 23.9%）和孔隙度（分别提高 16.3%和 15.7%），土壤胀缩性显著降低（分别降低 65.0%和 23.9%）；耕层、亚耕层土壤紧实度分别降低 58.5%和 45.8%。小麦增产 21.0%，玉米增产 21.7%，主要是小麦穗数和穗粒数分别提高 19.7%和 13.5%。

4、综述

课题组通过结构障碍诊断分级、刚-柔材料耦合技术、深浅轮耕与水分安全阈值调控技术的系统研究与集成，构建了砂姜黑土内外源结构障碍联合消减综合技术模式，即“三轮一驱”（作物轮作、深浅轮耕、秸秆轮还、生物驱动）消障综合技术模式。大田验证结果表明，该技术模式可同步实现内源胀缩特性的弱化与外源压实、涝渍障碍的消减，耕层与亚耕层的有机质、孔隙度、紧实度等结构指标全面改善，小麦、玉米分别增产 21.0%和 21.7%。试验同时确认了秸秆粉碎长度、生物炭与天然腐殖质施用量、深耕与旋耕深度、排水沟间距、单次灌水量、水分安全阈值等关键技术参数的适配性。

（二）技术经济论证，预期的经济效果

本标准综合技术模式涉及生物炭、天然腐殖质、有机肥等物料投

入以及深耕、旋耕、开沟等作业投入，一次性投入相对较高，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，综合技术模式实施下小麦增产 21.0%、玉米增产 21.7%，增产收益可有效弥补改良材料与作业投入。同时，生物炭与天然腐殖质为每 3 年周期施用 1 次，第二、三年仅需维持秸秆还田与有机肥投入，进一步降低年均成本。

从推广看，本标准技术措施依托现有农业机械即可实施，改良材料均有稳定的产品来源与质量标准，配套的水分监测设备与灌溉排水设施可与高标准农田建设项目相衔接。技术实施后可改善砂姜黑土复合型结构障碍、提高耕地质量等级与水分利用效率，降低涝渍与干旱灾害风险。课题组在埇桥区完成的障碍分级区划图可直接服务于地方政府，为制定差异化改良方案与农业补贴政策提供决策依据。

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科研成果和实践经验。

标准涉及的有机质、容重、紧实度、耕层厚度、裂隙面积占比、土壤水分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；附录中列出的各项检测方法（如 NY/T 1121 系列、GB 47500

等)均为我国现行有效的国家或行业标准,其技术内容与国际通行方法一致。

(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》《中华人民共和国环境保护法》以及耕地质量保护与提升、高标准农田建设、农业面源污染防治等政策对耕地改良与土壤环境安全的基本要求。标准中对生物炭、天然腐殖质、有机肥等物料的施用频次与用量作出限定,并要求生物炭、天然腐殖质符合 GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》、NY/T 3034《土壤改良剂 通用要求》,腐熟粪肥符合 GB 47500《畜禽粪肥还田有害物质限量》,从源头上保障土壤环境安全。

标准在术语体系、技术指标、检测方法等方面遵循或引用 GB 20287、GB/T 25246、GB 38400、GB 47500、NY 884、NY/T 499、NY/T 500、NY/T 525、NY/T 742、NY/T 1121 系列、NY/T 1782、NY/T 3034 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》等主要规定砂姜黑土综合培肥改良的通用技术要求,尚未针对内外源复合型结构障碍的联合消减建立专项技术规范;同时,现行标准中对砂姜黑土水分安全阈值的界定仍以田间持水量与凋萎含水量为主体,未能反映其强胀缩特性约束。本标准填补了这一空白,并与本批同期编制的砂姜黑土龟裂点测定、周年秸秆错位轮还、耕层障碍快速消减等技术规程配套。

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 43 项，其中采纳 40 项、部分采纳 3 项、未采纳 0 项，无重大意见分歧。3 项部分采纳意见的处理情况如下：

1) 关于龟裂含水量测定方法引用的意见。考虑到龟裂含水量应采用室内模拟蒸发法测定，与本批同期编制的《砂姜黑土龟裂点测定技术规程》所规定的方法一致，标准中已明确“采用室内模拟蒸发法测定，并记录土样初始含水量、室内温度与湿度等条件”。为使两份标准在方法引用上完全对应，待该规程标准编号正式确定后统一补入规范性引用文件，其余条款已按专家意见完成修订。

2) 关于结构障碍判定指标数量的意见。征求意见初稿中内源属性结构障碍判定曾表述为“四项指标”，经专家指出，其中“黏土矿物以 2:1 型蒙脱石为主”属可通过 X 射线衍射一次性判别的矿物组成特征，与其余指标存在包含关系，据此修订为“三项指标”，使判定逻辑更为清晰。

3) 关于排水沟网施工时序的意见。经专家指出并复核，田间排水沟网属农田基础设施，应在整地阶段与整地作业同步或提前施工，不宜在播种后开挖；同时原文本中第 8 章玉米季表述与第 7 章要求存在不一致，已一并修改统一。

七、其他应予说明的事项