
中国土壤学会团体标准

《亚热带坡耕地土壤培育技术规范》编制说明

标准编制组

2026 年 2 月

标准名称：亚热带坡耕地土壤培育技术规范

拟报批标准编号：T/SSSC—2026（待定）

标准起草单位：中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院农业
资源与农业区划研究所、湖北省农业科学院植保土肥研究所

标准起草人：吴永红、蔺兴武、赵洪猛、张帅、张志毅、刘俊琢、
孙朋飞

一、工作简况:

1.1 任务来源

受坡度较大、降雨强度高等自然因素与不合理耕作方式的共同影响，我国亚热带坡耕地普遍存在水土流失加剧、土壤有机质下降、土壤酸化、土壤养分失衡及土壤结构退化等问题，削弱了土壤生产力及其生态功能，严重制约了区域农业的可持续发展。

为应对亚热带坡耕地土壤质量退化的挑战，规范并推广系统性的土壤培育技术，中国土壤学会批准立项《亚热带坡耕地土壤培育技术规范》团体标准。本规范由中国科学院南京土壤研究所牵头，联合多家单位共同制定。本规范旨在构建“侵蚀防控—有机质提升—酸化改良—养分协同—结构改善”五位一体的综合技术体系，为提升亚热带坡耕地土壤质量提供标准化指导。本标准由中国土壤学会归口管理。

1.2 协作单位

牵头单位：中国科学院南京土壤研究所，负责规范的总体框架设计、技术路线确定、技术规范起草与组织协调。

参加单位：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、湖北省农业科学院植保土肥研究所，参与规范的联合起草、技术验证与应用示范。

1.3 主要工作过程

2024 年 5 月，成立了由土壤学、环境科学、生态学等多领域专家组成的标准编制组，编制工作正式启动。编制组随即召开启动会，明确了编制方案、任务分工、规范适用范围及核心内容框架。

2024 年 6 月~8 月，编制组系统梳理了国内外相关文献、标准及技术规范，重点聚焦“坡改梯”建设、水土保持、土壤有机质提升、土壤酸化阻控、土壤养分协同、土壤结构改善等相关技术，为本技术规范的制定提供全面且深入的理论基础和技术参考。

2024 年 9 月~12 月，编制组对团队在“国家农业重大专项（NK20221803）”项目支持下取得的多年研究成果进行了系统性的梳理与总结。在坡耕地土壤酸化

阻控技术上,依托长期定位试验揭示了土壤酸化的驱动机制,构建了综合阻控技术体系,为本规范“酸化土壤改良措施”相关章节提供了关键技术方法与参数。在土壤培肥增效方面,构建了“团聚体—有机质—生物功能”耦合的培肥增效技术体系,通过强化有机质的物理保护,实现了土壤有机质库容扩增与养分平衡,为规范“土壤有机质提升措施”及“土壤养分均衡管理措施”等相关章节提供了技术依据。综上,这些研究成果为本规范的制定提供了充足的科学依据与技术支撑。

2025年1月~6月,编制组多次赴湖南、湖北、重庆、广西等亚热带地区坡耕地开展实地调研,深入了解当地土壤管理现状、技术需求及存在问题。同时,通过组织专家座谈和技术交流会,广泛征求地方行政管理部门、科研单位、企业及相关领域专家的意见,全面分析和论证技术规范的必要性、科学性、合理性、可行性和先进性。

2025年7月~10月,编制组在前期调研、文献查阅及已有研究成果的基础上,起草了《亚热带坡耕地土壤培育技术规范》初稿。此后,通过多次专家研讨会,围绕规范的科学性、实用性和可操作性进行了深入论证。为确保技术指标的准确性,编制组还结合相关科研项目累积的试验数据,对稿件中的关键参数进行了验证与优化,并根据专家建议完成了多轮修订。2025年11月,完成《亚热带坡耕地土壤培育技术规范(征求意见稿)》的编制工作。

2025年12月,编制组根据西北农林科技大学、华中农业大学、扬州大学、江苏省农业科学院等单位专家提出的审查意见,对征求意见稿进行了逐条梳理、修订与完善。2026年1月,编制组召开专家评审会,相关领域专家对标准的技术内容、科学性与可操作性进行了评审,并提出进一步修改建议。编制组依据评审意见完成最终修订,重点采纳了关于增加定量评价指标、补充作物种植与种植制度配置、细化分区分类技术建议、完善土壤结构(团粒结构)改善相关措施以及完善标准化评价体系等建议,最终形成标准正文及相应编制说明。

1.4 起草组成员及其所做的主要工作

吴永红(中国科学院南京土壤研究所),全面负责规范的总体方案设计、核心技术内容审定、编制过程协调与审核。

蔺兴武(中国科学院南京土壤研究所),负责系统梳理文献资料,并执笔完成规范初稿的起草、修订与统稿工作。

赵洪猛（中国科学院南京土壤研究所），负责“水土保持措施”、“土壤有机质提升措施”章节的撰写及技术参数确定。

张帅（中国农业科学院农业资源与农业区划研究所），负责“酸化土壤改良措施”、“土壤养分均衡管理措施”章节的撰写及技术参数确定。

张志毅（湖北省农业科学院植保土肥研究所），负责“改善土壤团粒结构措施”章节撰写与技术参数确定。

刘俊琢（中国科学院南京土壤研究所），负责组织开展多地实地调研与技术验证。

孙朋飞（中国科学院南京土壤研究所），负责资料收集、文献检索及协助标准起草及修订工作。

二、标准编制原则和确定标准主要内容

2.1 编制原则

本标准在编制过程中，严格遵循了以下原则：

系统性：亚热带坡耕地土壤退化是水土流失、土壤有机质衰减、土壤酸化、土壤养分失衡、土壤结构恶化等多重因素并发的过程。因此，本规范确立了以“水土保持为基础、地力提升为核心”的系统性土壤培育框架，强调各项技术措施的协同增效。

科学性：本规范的技术内容与技术参数，立足于编制团队长期的定位试验与科研数据积累，并广泛借鉴了国内外相关标准与文献报道的研究成果。这确保了规范中的各项技术措施与指标均有坚实的科学理论和试验数据作为支撑，确保了科学性与准确性。

可操作性：本规范充分考虑了亚热带坡耕地的自然条件、经济水平及生产者的实际状况，对各项技术的关键环节与要点进行了条理清晰、简明易懂的描述，便于农业技术人员和农户能够理解、掌握和应用。

规范性：本文件严格依据 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，保证了标准的规范性。

环保协同原则：标准不仅关注作物产量提升，更引入了有效磷（AP）环境风险阈值，通过“区间评价法”引导农户在保障产量的同时减少面源污染风险。

2.2 确定标准主要内容的论据（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）

本标准各项技术内容、指标及参数的确定，严格遵循了土壤学、生态学、水土保持学及农学的相关原理，并结合了亚热带坡耕地土壤退化的核心障碍因素（水土流失、酸化、有机质衰减、养分失衡、结构退化）和现有成熟技术的研究成果。

2.2.1 水土保持措施的主要论据

水土保持是亚热带坡耕地土壤培育的基础条件。各项指标的设定，旨在构建一个能够有效拦截地表径流、减少土壤侵蚀的耕地平台，保障土壤的可持续利用。

（1）梯田工程

坡度：5°~25°，这是确定是否需要修建梯田的阈值。坡度小于 5°的耕地，水土流失风险相对较低，可通过传统农艺措施有效控制水土流失；大于 25°的陡坡，土壤侵蚀剧烈，梯田工程的稳定性差，已不适宜作为耕地，应以林草自然恢复为主。因此，将适用范围限定在 5°~25°，这是兼顾治理效益与工程可行性的科学选择。

引用 GB/T 16453.1—2008 标准：该国家标准是水土保持综合治理的权威技术规范，引用该标准可确保梯田的设计、施工与田坎稳固性符合该国家标准要求，保证工程的安全性与长效性。

（2）排水沟与沉沙池

断面与尺寸：底宽 30~50 cm，深 20~40 cm，该尺寸可以保证足够的蓄排水能力，应对短时强降雨，同时便于日常维护。

沟间距：坡度越陡、降雨量越大，地表径流的汇流速度和冲刷力越强。因此，在陡坡区域（>15°）设置更密的沟渠（5~10 m），能及时截断径流；在缓坡区域可适当放宽间距（10~20 m），可以节约投入成本。

（3）等高植物篱

篱宽与篱间距：单条植物篱宽度 30~50 cm，能保证植物篱形成有效的阻水屏障。相邻篱笆带之间的间距设定原理与排水沟类似，即坡陡雨大则密，坡缓雨少则疏。

植物选择：香根草、狗牙根、紫穗槐、黄花菜、香椿等均为深根系或分蘖能

力强的多年生植物。其发达的根系能有效固持土壤，植物的地上部分能形成致密的屏障，这些生态特性是植物篱发挥水土保持功能的基础。

（4）豆科绿肥间作

豆科绿肥间作是一种“以地养地”的生态学措施，能同时实现增加土壤有机质、增加土壤氮素输入以及通过增加地表覆盖减少土壤侵蚀三重功效。

植物选择：紫云英、箭筈豌豆、苕子、田菁等豆科植物根部的根瘤菌具有生物固氮能力，能将空气中氮气转化为植物可利用的氮，补充土壤氮素、减少化学氮肥的投入。这些豆科植物具有亚热带气候适应性强、生物量大、固氮效率高的特点。

翻压时期：盛花期是绿肥植株营养体生长最茂盛、积累生物量和氮素等养分达到峰值的时期。此时植株的碳氮比（C/N）适中，翻压入土后能快速分解。因此，盛花期翻压是兼顾“产量”与“质量”的最佳平衡点。

（5）保护性耕作

少耕、深松深度：少耕深度限定在 15cm 以内，是为了在疏松表土的同时，最大限度减少对土壤结构的破坏。深松深度大于 30cm，是为了有效打破长期耕作形成的坚实犁底层，该犁底层通常位于 20 cm 左右的土层，深松至其下部才能彻底改善土壤的垂直通透性。

秸秆覆盖率与厚度：秸秆覆盖率达到 70%以上时，能显著削减雨滴击溅能量和地表径流流速，有效控制土壤侵蚀。2~5 cm 的秸秆覆盖厚度是在保证覆盖效果与不影响后续农事操作之间取得的平衡点。

（6）评价指标的设定

为实现水土保持效果的定量化评估，标准采纳“土壤侵蚀模数”和“径流系数”作为核心评价指标。通过监测单位面积土壤流失量及降雨径流转化率，可准确判断措施有效性，并为后续优化提供数据支撑。

2.2.2 土壤有机质提升措施的主要论据

土壤有机质是土壤肥力的核心，也是改善土壤结构、提升酸缓冲能力的关键。土壤有机质提升措施所涉及的各项指标确定，旨在实现有机物料的高效、安全还田。

（1）秸秆还田

粉碎长度：5~15 cm 这是为了平衡分解速度和作业效率（过长则与土壤接触不充分，分解慢；过短则增加能耗。），是当前机械作业能够满足的、较为理想的长度。

补施氮肥剂量：作物秸秆碳氮比（C/N）高，直接还田会引发微生物与作物争夺土壤氮素。补施 30~45 kg N/hm² 的氮肥可以降低秸秆施入后土壤的 C/N，从而加速秸秆腐解，避免作物前期缺氮。

秸秆腐熟参数：含水量 60%~70% 是微生物发酵的最佳环境参数，保持此湿度并定期翻堆供氧，能确保高温发酵菌群快速繁殖；发酵腐熟 15~30 天，可实现无害化和确保充分腐殖化。

还田量：依据土壤有机质含量现状设定了差异化的还田量，稳定开展、不宜减少/不宜长期大幅减少。

（2）有机肥施用

施用量：有机肥推荐量（农家肥 15~30 t/hm²，商品有机肥 1.5~7.5 t/hm²）是基于提升土壤有机质含量 0.5%~1% 的目标，并考虑了不同有机肥的平均养分含量和有机质贡献率而设定的。这是在经济成本和培肥效果之间取得平衡的指导范围。

（3）冬闲绿肥翻压

作物选择：选择紫云英、苕子等豆科植物，核心优势是其“生物固氮”功能，能在增加土壤有机质的同时，为土壤额外补充氮素，从而为下季替代部分氮肥。

播种与翻压时期：晚秋播种是为了让绿肥安全越冬；而在春季“盛花期”翻压，是因为此时绿肥的生物量达到峰值，且植株碳氮比最适中，翻压后能快速分解释放养分。

（4）生物炭还田

施用剂量：生物炭是稳定的有机材料，其还田后增加土壤有机质的效果具持久性。低剂量（3~5 t/hm²）逐年施用属于“维持改良型”，适合长期培肥；高剂量（10~30 t/hm²）一次性施用属于“修复型”，针对严重退化土壤，该用量范围是国内外大量田间试验的有效剂量。

翻深：将生物炭混入主要耕作层（翻深 15~20 cm），能使其与根系环境充分作用，最大化发挥其改良土壤理化性质和吸附养分的功能。

（5）分区培育策略

考虑到亚热带区域气候差异，标准提出了分区建议：暖湿区重点防控淋溶与酸化；偏干区重点覆盖保墒；冷凉区需兼顾地力培育与冻融侵蚀防控。

2.2.3 土壤养分均衡管理措施的主要论据

该部分各项措施的设定，旨在从“开源”（增加养分来源）和“节流”（减少养分流失、提升利用效率）两个维度，构建科学的养分管理体系。其核心依据在于：通过综合手段满足作物养分需求，同时维持土壤养分库的长期平衡，并降低因不合理施肥造成的环境风险。

（1）测土配方施肥

科学精准施肥：通过土壤检测精确诊断土壤的“营养状况”，再根据作物的“营养需求”，实现按需施肥。这是实现养分精准“节流”、避免过量施肥导致养分浪费与环境污染的技术依据。

引用系列国家或行业标准：从土壤样品的采样到土壤 pH 值、有机质、氮磷钾的分析测定，全部采用国家或行业推荐标准，保证了诊断结果的准确性。

针对坡耕地径流风险，标准特别推荐采用“包膜肥料等缓控释技术”及“沟施/穴施”。论据在于：缓控释肥释放曲线与作物需肥规律同步，可显著减少因强降雨导致的养分径流流失。

（2）有机无机配合施肥

化学肥料养分含量高、速效性强，能快速满足作物生长需求；有机肥料养分全面、持效期长，并能改良土壤。二者配合，可实现速效与长效结合、用地与养地结合。此外，有机肥可以提升土壤的保肥能力，减少化肥的淋溶和氨挥发损失，从而提高化肥利用率，实现养分形态的协同增效。

标准明确了“有机肥替代化肥比例为 20%~50%”。该范围基于长期定位试验：低于 20%改良效果不显著，高于 50%可能导致当季减产。具体比例需随土壤肥力提升而动态下调，实现稳产与培肥的双赢。

（3）豆科绿肥间作/轮作

补充土壤氮素：豆科植物通过与根瘤菌共生，能将空气中游离的氮素转化为植物可利用的形态，是养分“开源”最经济的途径。

培肥效应：绿肥还田作为优质有机物料，能全面补充和活化土壤养分，其依

据与“6.4 冬闲绿肥翻压”一致，是兼具“开源”与“培肥”双重功能的一项措施。

明确推荐紫云英、光叶苕子等适宜品种，并设定播种量为 15~22.5 kg/hm²（注意：此处为种子重量，非翻压量）。该密度能确保构建良好的群体结构，既能有效覆盖地表抑制侵蚀，又能实现最佳生物固氮量

（4）生物炭还田

养分固持与缓释：依据生物炭巨大的比表面积和吸附性能，标准提出了“生物炭+化肥”混施技术，利用其吸附铵根离子和硝酸根离子的特性，减少氮素淋溶损失，提高肥料利用率。

土壤改良载体：生物炭凭借其丰富的多孔结构，为有益微生物群落构建了的“微型栖息地”，同时能有效优化土壤的团粒结构，提升通气性与保水性。这种对生物和物理性状的双重改良作用，使其成为一种性能优异的土壤改良基质。

2.2.4 酸化土壤改良措施的主要论据

土壤酸化是制约亚热带地区土壤健康与生产力的主要障碍因子之一。有效的改良措施必须兼顾短期与长期目标：短期内，迅速中和酸度、解除铝毒危害；长期上，则必须强化土壤酸缓冲能力，防止土壤再次酸化。

（1）施用无机调理剂（石灰与石膏）

石灰施用量：根据土壤的酸化程度设定石灰与石膏施用量，是基于土壤酸碱中和滴定原理，并结合大量田间试验数据建立的推荐值。

石膏的配合使用：在中度和重度酸化土壤中推荐配合施用石膏，是因为石膏中的 Ca²⁺能有效置换出土壤胶体上的致毒活性 Al³⁺，并通过淋溶作用将其带出根层，这是单独施用石灰难以达到的改良效果。

（2）施用生物炭

施用量：生物炭的碱性（要求 pH>9.0）能中和土壤酸度，其多孔隙结构能吸附植物毒性的 Al³⁺。因此，其施用量也与土壤酸化程度成正比。

改良周期：生物炭的改良效果并非永久。由于养分淋洗和土壤持续产酸，pH 值会再次下降，改良效果减弱。因此，建议每隔 3 年左右检测一次土壤 pH 值，并根据结果决定是否需要补充施用。

（3）优化施肥结构

源头控制外源酸化：依据化学肥料的生理酸碱特性，优先选用生理中性或生理碱性肥料（如硝酸钙、硝酸钾等），是减少酸根离子（如 SO_4^{2-} ）和产酸离子（如 NH_4^+ 经硝化作用产生 H^+ ）直接输入、从源头控制外源性酸化的关键。

提升土壤酸缓冲能力：施用有机肥是提升土壤抗酸能力的有效措施。有机质在腐解过程中形成的腐殖质，富含羧基、酚羟基等官能团，不仅能通过络合作用钝化致酸的活性铝离子（ Al^{3+} ），还能显著提高土壤阳离子交换量（CEC），从而增强土壤体系的酸缓冲能力。

有机无机协同增效：有机肥与无机肥的配合施用，构成了一种“减酸”与“抗酸”并举的策略。一方面通过有机替代部分化肥来减少外源酸的输入总量，另一方面通过补充有机质强化土壤自身的酸缓冲能力，实现协同增效。

（4）秸秆还田

直接中和：秸秆自身富含的钙、镁、钾等盐基离子，在分解后能直接中和土壤中的部分酸。

提升酸缓冲能力：秸秆是补充土壤有机质的有效物料，而土壤有机质是构成土壤酸缓冲体系的重要组分，其含量与缓冲能力呈正相关。

（5）豆科绿肥间作/轮作

氮肥替代：豆科植物的生物固氮作用，可以替代部分化学氮肥的施用，从而显著减少因过量施用氮肥这一土壤酸化的主要驱动因素所带来的影响。

保土保肥：绿肥间作、套作是通过增加地表植被覆盖，有效减少雨水冲刷和淋溶，从而降低土壤盐基离子的流失。

培肥抗酸：将绿肥翻压还田，向土壤中输入了优质有机质，提升了土壤酸缓冲能力。

2.2.5 改善土壤团粒结构措施的主要论据

土壤团粒结构的改善，是前述水土保持、有机质提升等措施综合作用下的结果。因此，本节不再另设参数，直接沿用相关章节的核心技术参数。

（1）增加土壤有机质投入

依据团聚体形成机理，有机质是微团聚体形成大团聚体的核心胶结剂。标准强调通过秸秆、绿肥及有机肥的持续投入（见标准正文第 6 章），增加土壤腐殖质和多糖类物质，促进水稳性团粒的形成与稳定。

（2）保护性耕作

频繁的机械翻耕会破坏土壤结构。标准推荐采用免耕、少耕或深松技术。免耕可保护表层团粒结构不被机械破碎；深松（每 2~3 年一次）可打破犁底层，改善土壤通透性，促进根系穿插对土壤结构的生物改良。

（3）控制水土流失

坡耕地表层团粒最易随径流流失。标准强调通过水土保持措施（见标准正文第 5 章）减少径流冲刷，保护富含团粒结构的表土层，维持土壤物理结构的完整性。

2.2.6 作物种植与种植制度配置的主要论据

不合理的作物种植是导致坡耕地退化的重要人为驱动力。

（1）作物类型选择

依据“适地适作”原则，标准规定：在坡度较大或侵蚀敏感区，应避免种植需频繁翻耕的块根块茎类作物（如红薯、马铃薯），优先推荐根系发达、地面覆盖度高的作物（如茶树、饲草、果树），利用植物冠层截留雨水和根系固土作用减少侵蚀。

（2）种植制度配置

推广“粮—绿（肥）轮作”与“粮—经—肥间套作”。科学依据在于：引入豆科作物轮作能打破连作障碍，阻断土传病害；间套作能增加地表覆盖时间，提高光能利用率，并通过生物多样性维持土壤生态系统健康。

2.2.7 土壤培育效果评价与措施优化的主要论据

（1）评价指标体系

标准构建了涵盖物理（容重、团粒结构）、化学（pH 值、有机质、全氮、有效磷）及生物学特性的综合评价指标体系。阈值的设定参考了《耕地质量等级》（GB/T 33469—2016）及亚热带区域土壤背景值。

（2）土壤质量综合指数法（SQI）

为解决单一指标评价的片面性，标准引入了土壤质量综合指数（SQI）法。通过隶属度函数（线性分段函数为示例；亦可采用 S 型函数，但需在评价报告中说明并保持一致）对指标进行标准化评分，并采用加权求和计算综合得分。该方法能科学量化土壤质量的整体变化趋势，使评价结果更具可比性。

（3）技术实施全流程闭环

标准确立了“监测—评价—优化”的闭环流程（图 2）。依据监测结果识别主要限制因子（如酸化复发或有机质提升停滞），从而动态调整石灰用量或有机物料的投入量，实现精准培育。

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

2024 年我国粮食总产量约 7.06 亿吨，人均占有量约 501 千克，略高于世界平均水平。然而，为满足国内日益增长的饲料、工业用粮及特定食品加工用粮的需求，2024 年我国进口了 1.58 亿吨粮食。我国依然大量依赖国外进口的粮食格局，凸显了保障本土粮食产能、筑牢国家粮食安全防线的重要性与紧迫性。土壤质量保障作物产能的重要前提，其综合体现了土壤的物理、化学与生物学三大属性，并通过这些属性的协同作用，在调节水肥气热、高效供给养分、维持生物群落等方面发挥着关键功能，支撑着农田生态系统的生产力水平与可持续性。我国耕地的土壤质量存在结构性短板：据农业农村部 2019 年公报，我国仍有 73%（13.28 亿亩）的耕地属于中低产田，普遍面临着东北黑土退化、南方土壤酸化、北方耕地盐碱化等一系列严峻挑战。因此，全面提升耕地土壤质量保障我国的粮食安全与农业可持续发展的必然要求。

在各类耕地资源中，坡耕地因其独特的立地条件，是土壤质量最脆弱、退化风险最高的区域。这一问题在我国分布广泛，不容忽视。据《第三次全国国土调查主要数据公报》（2021 年），全国坡度 $>6^{\circ}$ 的坡耕地达 2928 万公顷，占全国耕地总面积（12786 万公顷）的 23%。而这一问题在我国亚热带地区表现得尤为严峻，该区域不仅坡耕地分布更广，坡度也更陡峭。《中国第二次全国农业普查资料汇编》（2006 年）统计数据显示，我国亚热带区域坡度 $>15^{\circ}$ 的坡耕地占比达 28%。作为重要农业生产区，亚热带高温多雨的气候特征及复杂地形，叠加不合理耕作方式的人为因素，共同导致亚热带坡耕地面临严重的水土流失、土壤酸化、有机质衰减、养分失衡、土壤结构恶化等问题。这些问题共同导致了土壤质量的系统性退化，严重削弱了其作为农业生产基础和区域生态屏障的核心功能。然而，目前尚缺乏一套系统、科学、可操作的技术标准来指导亚热带坡耕地土壤质量的

培育提升。因此，制定《亚热带坡耕地土壤培育技术规范》，不仅是填补该领域标准化指导的空白，更对保障区域粮食安全、控制农业面源污染、维护生态环境具有十分重要的意义。

本技术规范的制定，以长期的科学研究与广泛的田间试验为基础，融合了土壤学、生态学、农学及水土保持学等多科学理论及其研究成果。规范中所提出的各项技术指标与模式，其科学性、可操作性及综合效益均已得到系统性的验证与评估。

3.1 主要试验（或验证）的分析与综述报告

本规范的技术核心是围绕“侵蚀防控—有机质提升—养分协同—酸化改良—结构改善”五个关键环节，构建一个协同增效的土壤培育系统。

3.1.1 侵蚀防控：构建以水土保持为核心的耕作平台

亚热带地区的水热条件与地形地貌特征，共同构成了水土流失的高风险环境。该区域年均降雨量高达 1200~2000 mm，且集中于汛期（5~9 月），易形成高强度侵蚀性降雨，而陡峭的坡耕地地形则加剧了雨水冲刷的破坏力。因此，水土流失是导致亚热带坡耕地土壤质量衰减的首要驱动因子。

通过梯田、排水沟与沉沙池、等高植物篱等工程与生物措施，改变坡面微地形，增加地表糙率，有效分割坡长，从而降低径流速度、削减径流能量，最大限度地减少水力侵蚀，为地力培育创造一个稳定的基础平台。一项亚热带坡耕地的长期定位观测研究表明，将坡耕地改造为水平梯田（坡改梯），可削减 79% 以上的土壤流失量和 53% 以上的地表径流。同时，编制团队在湖北坡耕地的长期监测表明，应用秸秆覆盖、豆科绿肥、等高植物篱等水土保持措施后，减少了坡耕地 26% 以上的地表径流，使泥沙拦截效率达到了 42% 以上。这些水土保持措施的应用，共同构建了稳固的耕作平台，为后续的土壤培育奠定了坚实基础。

3.1.2 有机质提升：驱动土壤质量提升的核心

土壤有机质是衡量土壤肥力的核心指标，在维持土壤结构稳定性、调节养分高效循环与提升环境缓冲性能中起着重要作用。因此，其含量是决定土壤健康与生产力的关键因素。在亚热带坡耕地高温高湿的气候条件下，土壤有机质的矿化分解速度快；加之传统耕作模式中普遍存在秸秆移除与有机肥投入不足的问题，导致了亚热带坡耕地土壤有机质的衰减。

多项基于全球已发表论文的 Meta 分析证实，秸秆还田、种植绿肥、施用有机肥及生物炭还田等措施是提升土壤有机质的有效途径：秸秆还田可使耕层土壤有机质平均提升约 13%；与施用化肥相比，施用有机肥能将土壤有机碳水平平均提高 42%；持续的绿肥翻压，可实现土壤有机碳库年均增长约 $0.32 \text{ Mg C hm}^{-2}$ ；生物炭因其高稳定性，施用后可使土壤有机碳平均增加高达 84%，显示较强固碳潜力。因此，本规范建议，在亚热带坡耕地推广秸秆、绿肥、有机肥及生物炭等有机物料还田，在实现“有机质提升”的同时，同步改善土壤结构、缓解酸化趋势、平衡养分供给，从而实现土壤质量的协同增效。

3.1.3 养分协同：实现均衡的养分供给

亚热带坡耕地因其水土流失和强淋溶特性，导致土壤养分不仅表现为总量的“贫瘠”，也表现为氮磷钾比例失调、中微量元素相对匮乏的结构失衡。本规范提出的养分均衡管理，其核心为通过测土配方进行“精准诊断”、有机无机配合、生物增效等措施，实现从“被动施肥”到“主动培肥”的转变。

编制团队在湖北坡耕地定位试验的研究表明，与农户常规施肥相比，测土配方施肥可在作物不减产的前提下，将氮、磷、钾化肥用量平均减少 15%~25%；实施有机无机配合（有机肥替代 20%~30% 化肥养分），作物产量比单施化肥处理增产约 8%，且土壤有机质、有效磷、速效钾含量呈现逐年累积增加的趋势。在冬闲期种植紫云英或苕子等豆科绿肥并翻压还田，是替代部分化学氮肥投入的有效措施。有研究发现，当冬闲紫云英（鲜草）翻压量达到 $15\sim30 \text{ t/hm}^2$ 时，并在后季作物上减少 40% 的化学氮肥用量，其后季作物产量仍能与常规全量施肥处理的水平相当。与此同时，绿肥腐解释放的有机酸还能有效活化土壤中被固定的磷，进一步提升土壤养分的有效性。生物炭凭借其自身富集的矿质元素、多孔隙结构对养分吸附能力，以及中和土壤酸度的“石灰效应”，可增强土壤的养分持留能力与元素有效性。如编制团队的一项研究发现，在强淋溶红壤土施用秸秆生物炭或鸡粪生物炭（施用量为 $24\sim48 \text{ t/hm}^2$ ），与对照相比，土壤总氮、速效钾、有效镁和有效钼含量分别提升了 34%~78%、108%~464%、55%~366% 和 35%~415%；鸡粪生物炭的增幅更加显著，与对照相比，土壤有效磷和有效钙的含量分别增加了 29.3 倍和 6.8 倍。

3.1.4 酸化改良：消除化学障碍

在亚热带强降雨的淋溶作用下，坡耕地土壤中的钾、钙、镁等盐基离子处于持续流失的过程中。而集约化农业管理模式，特别是长期施用酸性肥料和高强度的耕作扰动，显著加速了这一酸化进程，导致土壤酸化问题日益突出，已成为制约亚热带坡耕地土壤健康和生产力的化学障碍。

酸化土壤的改良可分为直接改良和减缓酸化两大类。直接改良措施是通过施用外源调理剂（如石灰、石膏和生物炭等）快速中和土壤酸性、降低铝毒性，是治理酸化土壤的有效手段。编制团队在典型酸化土壤区域开展了多项试验，结果表明，在 pH 值为 4.9 的紫色土中，施用石灰（4 t/hm²）与石膏（3 t/hm²）可将土壤 pH 值提高 0.6 个单位；而在 pH 值为 4.7 的红壤土中，施用秸秆生物炭（24~48 t/hm²）可使 pH 值增加 0.1~0.3 个单位，而施用碱性更强的鸡粪炭（24~48 t/hm²）则可将 pH 值提高 1.7~2.6 个单位。减缓酸化措施是通过施用有机肥、秸秆还田以及豆科绿肥间作等手段，从源头减少酸性物质的累积，同时提升土壤有机质含量及酸缓冲能力。编制团队的一项研究表明，在酸性紫色土中施用生物有机肥（3 t/hm²），相较于对照，土壤酸缓冲容量提高了 15%，有效减缓了土壤的酸化进程。

3.1.5 结构改善：构建水肥协调的物理骨架

土壤团粒结构是影响土壤理化性质和生态功能的重要因素，改善土壤结构对于提升土壤肥力、增强结构稳定性以及促进农业可持续发展具有重要意义。在亚热带坡耕地中，增加有机质投入、实施保护性耕作以及控制水土流失是改善土壤团粒结构的主要措施。

通过秸秆还田、施用有机肥以及种植绿肥等措施，可以显著提升土壤有机质含量，增强土壤颗粒间的胶结能力，从而促进团粒结构的形成与稳定。一项基于全球数据的 meta 分析表明，有机质还田可显著提高土壤团聚体的含量，平均增幅达 148%。其中，易分解的有机物质效果更加显著，可使土壤团聚体增加 314%。保护性耕作通过减少机械耕作对土壤的扰动，能够有效保护土壤既有的团粒结构。同时，秸秆覆盖地表可以缓冲雨滴击溅和地表径流，降低对土壤团聚体的破坏。一项基于全球数据 meta 分析验证了保护性耕作对土壤结构改善的积极作用表明：与常规耕作相比，免耕处理使耕层土壤水稳性团聚体和大团聚体的含量分别增加了 10%和 22%。通过构建梯田、设置等高植物篱等水土保持措施，可以有效减缓

地表径流速度，降低水力侵蚀对土壤团粒结构的破坏，保护表层土壤结构的完整性。一项基于植物篱控制水土流失的长期定位试验研究表明，与常规等高农作模式相比，采用植物篱—农作复合农业模式后，土壤中大于 0.25 mm 的水稳性团聚体含量大幅提升了 37.8%~55.6%，机械稳定性团聚体也增加了 13.3%~16.1%，这说明水土保持措施对土壤结构改善效果显著。

3.2 技术经济论证与预期的经济效益

本规范在技术上具备可行性，在经济上具有显著的成本效益平衡与长期收益潜力。其实施不仅能显著提升亚热带坡耕地耕作区的农业生产效益，还能改善生态环境和推动社会可持续发展，具有广泛的推广价值。

3.2.1 技术经济论证

（1）技术可行性

本规范中涉及的技术（如梯田建设、秸秆还田、测土配方施肥等）均为成熟技术，易于推广和掌握。规范强调“因地制宜”的原则，结合区域特点提供多种技术选项，具有广泛的适应性和较强的可操作性，能够满足不同区域的实际需求。这些技术措施在改善土壤质量、提升地力方面效果显著。

（2）经济合理性

投入分析：初期投入主要集中在梯田建设及排水系统等一次性工程上，成本约为 2~3 万元/hm²，其他技术措施如等高植物篱的建植（0.2~0.4 万元/hm²）和深松作业（0.1~0.2 万元/hm²）成本也不高。后续投入则以有机肥、生物炭、石灰或石膏等为主，每年成本约为 0.5~2 万元/hm²。后期维护成本如排水沟清理和植物篱的维护费用较低，仅约 0.05~0.1 万元/hm²。

收益分析：通过提升地力和优化养分协同利用，可减少化肥用量 15%~30%，节约成本约 0.2~0.45 万元/hm²；同时作物产量提升 5%~15%，根据不同作物的市场价格波动，折合增产效益约为 0.1~0.4 万元/hm²。

（3）成本—效益平衡

综合测算表明，在理想条件下（即初期投入较低、节本增效成果显著），投资回收期最短约为 3 年；而在综合条件一般或较差时，回收期可能延长至 12 年。随后进入纯收益增长阶段，年均净收益有望增加 0.2~0.8 万元/hm²。尽管当年净收益存在波动，但考虑到技术的长期生态效益（如地力培肥、保水保土），以及

在进入纯收益阶段后可持续获得盈利的潜力，本规范在经济上依然具备长远的可行性与可持续性。

3.2.2 预期的经济效益

改技术规范的应用推广将为亚热带坡耕地区域农业的可持续发展提供重要支撑，显著提升坡耕地的生产力与生态服务功能，实现经济、生态与社会效益的协调统一。

（1）直接经济收益

通过技术集成措施的推广实施，亚热带坡耕地的作物产量提升 5%~15%，化肥使用量减少 10%~30%，每公顷年均净收益增加 0.2~0.8 万元。

（2）生态环境效益

减少水土流失量 30%~60%，显著降低坡耕地侵蚀对下游河流和水库的泥沙淤积压力，降低治理成本；有望提升土壤有机质含量 0.3~1.0 个百分点，增强亚热带坡耕地土壤固碳能力；改善土壤酸化状况，提升土壤健康水平和生态功能。

（3）社会效益

推广秸秆还田、生物炭还田与绿肥种植等技术，促进农业废弃物资源化利用，推动绿色循环农业发展；提高农户技术水平和土地利用效率，增强农业经营主体的收益能力和抗风险能力。

参考文献：

- Chagas, J. K. M., Figueiredo, C. C. D., & Ramos, M. L. G. (2022). Biochar increases soil carbon pools: Evidence from a global meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 305, 114403.
- Halder, M., Islam, M. U., Liu, S., Guo, Z., Zhang, Z., & Peng, X. (2024). Organic materials quality to control soil aggregation: A meta-analysis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(2), 1857-1870.
- Lin, X., Xie, Z., Hu, T., Wang, H., Chen, Z., Zhou, R., & Jin, P. (2023). Biochar application increases biological nitrogen fixation in soybean with improved soil properties in an Ultisol. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3), 3095-3105.
- Mondal, S., & Chakraborty, D. (2022). Global meta—analysis suggests that no—tillage favourably changes soil structure and porosity. *Geoderma*, 405, 115443.

-
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.
- Shi, T.—S., Collins, S. L., Yu, K., Peñuelas, J., Sardans, J., Li, H., & Ye, J.-S. (2024). A global meta—analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands. *Nature Communications*, 15(1), 3411.
- Zhang, M., Yang, N., Han, X., Lal, R., Huang, T., Dang, P., Xue, J., Qin, X., & Siddique, K. H. M. (2025). Effects of straw returning depth on soil organic carbon sequestration and crop yield in China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393, 109799.
- 陈静蕊, 秦文婧, 王少先, 等. 化肥减量配合紫云英还田对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(6): 280—287.
- 胡建民, 胡欣, 左长清. 红壤坡地坡改梯水土保持效应分析[J]. *水土保持研究*, 2005, (04): 271—273.
- 黄泽河, 刘藜, 吴长辉, 杨明. 贵州黄壤地区坡改梯水土保持效果研究—以贵州松桃牛郎监测点为例[J]. *中国水土保持*, 2014, (08): 55—57.
- 蒲玉琳, 林超文, 谢德体, 等. 植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(01): 122—128.

四、标准涉及的相关知识产权说明

本标准不涉及相关专利及其他知识产权问题。所有引用的标准或文献均已注明出处，并尊重原作者的知识产权。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明

5.1 与国内外同类标准水平对比情况

本规范以亚热带坡耕地为特定对象，围绕“侵蚀防控—有机质提升—酸化治理—养分协同—结构改善”五位一体的目标，系统整合了水土保持、土壤培肥与障碍消减等多项技术，与国内外同类标准相比，具有显著的系统集成性与区域专属性。

（一）与国内标准的对比分析

国内现有的相关标准为本规范的制定提供了重要的技术参考，但多为针对“单项技术”或“单一目标”的规范，未能系统性解决亚热带坡耕地普遍面临的水土流失、土壤酸化、地力衰减等多重障碍因子叠加的“复合型退化”问题。

（1）现有相关标准的专业领域与局限性

水土保持领域：国家标准《水土保持综合治理—技术规范—坡耕地治理技术》（GB/T 16453.1—2008），以及地方标准如《坡耕地侵蚀治理技术规范 第3部分：香根草篱》（DB36/T 1067.3—2019）、《坡耕地侵蚀治理技术规范 第1部分：生态路沟》（DB36/T 1067.1—2018）、《黑土区坡耕地玉米大豆轮作免耕保土减蚀技术规程》（DB15/T 3602—2024）、《小流域水土保持综合治理项目实施方案编制技术规范》（DB42/T 2189—2024）等，主要聚焦于水土流失的治理，提出了工程、生物和农艺措施的基本要求，但其核心目标在于防治侵蚀，未系统性地涉及水土流失后的土壤质量恢复与地力培育。

土壤酸化治理领域：现有标准如《菜地酸性土壤改良技术规程》（DB43/T 3056—2024）、《稻田土壤酸化治理技术规程》（DB43/T 3134—2024）、《酸性土壤改良技术规范》（DB3301/T 1123—2023）、《酸性土壤改良与评价技术规范》（DB36/T 1517—2021）、《酸性土大豆田生物炭应用技术规程》（DB23/T 2859—2021）、《稻作烟区土壤酸化治理技术规程》（DB43/T 3136—2024）、《茶园土壤酸化改良技术规程》（DB36/T 1140—2019）、《气候过渡地带土壤酸化防治技术规范》（DB32/T 3345—2017）等，其目标是解决土壤酸化这一限制因子，应用场景多限于特定作物、特定改良剂或特定区域，缺乏对亚热带坡耕地复杂环境下的综合性土壤培育方案。

土壤培肥领域：现有标准如《红壤区贫瘠农田土壤快速培肥技术规程》（DB43/T 2720—2023）、《旱地麦田土壤培肥技术规程》（DB14/T 1398—2024）、《退化黑土地绿肥种植和翻压还田培肥技术规程》（DB15/T 3607—2024）、《秸秆颗粒化倍量还田培肥技术规程》（DB23/T 3583—2023）、《砂姜黑土培肥改良技术规程》（DB34/T 4124—2022）、《双季稻田全耕层培肥技术规程》（DB43/T 2093—2021）、《稻田土壤肥力等级划分和培肥技术规程》（DB43/T 2087—2021）、《黄壤耕地综合培肥技术规程》（DB52/T 1604—2021）、《稻麦轮作区土壤培肥技术规范》

(DB42/T 1573—2020)、《耕地土壤综合培肥技术规范》(DB33/T 942—2014)等,主要针对特定土壤类型或特定区域,提出了绿肥翻压、秸秆还田、有机肥施用等培肥技术,但未涉及与水土保持和障碍消减等措施形成的有机协同增效。

(2) 本规范的系统性与区域专属性

系统集成性: 上述标准解决了坡耕地治理链条上的“点”(如单一技术)或“线”(如单一目标)的问题。而本规范的先进性在于,它将这些分散的技术措施,整合成一个“平台构建(水土保持)—地力培育(有机质提升)—障碍消减与精准调控(酸化治理与科学施肥)”的系统性解决方案。该方案强调各项措施的协同增效,旨在解决由多重障碍“叠加”导致的“面”状退化问题。

区域专属性: 本规范所针对的亚热带地区,具有“水热同期、降雨强度大、土壤酸性强、盐基淋溶和养分流失剧烈”的典型特征,其退化机理和治理重点与其他地区有显著的区别。本规范充分考虑了这一区域特性,将“应对高强度降雨的水土保持措施”作为基础平台,将“土壤酸化治理”与“地力培育”作为关键环节,这是为其他区域制定的标准所不具备或不侧重的。

(二) 与国际标准的对比分析

目前,国际上尚未发现专门针对“亚热带坡耕地”这一特定类型,并集成了水土保持、酸化改良、有机质提升等多重目标的综合性、可操作的技术标准。

联合国粮食及农业组织(FAO)发布的《可持续土壤管理自愿准则(Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management)》和《肥料可持续使用和管理国际行为规范(International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers)》等全球性指导文件,以及美国农业部发布的《田间办公室技术指南(Field Office Technical Guide, FOTG)》与欧盟发布的《2030年欧盟土壤战略(EU Soil Strategy for 2030)》等文件,侧重于宏观原则性指导和框架构建。这些文件对于可持续土壤管理具有重要的指导意义,但缺乏针对亚热带地区高降雨强度、强酸性土壤等具体问题的可操作技术规范。

本规范通过系统集成与技术创新,提出了“五位一体”技术体系,将水土保持、土壤培育与生态功能提升相结合,为全球亚热带及类似气候区域的坡耕地可持续利用提供了一套完整的系统技术解决方案。

5.2 与现行法律法规和强制性标准的关系

本规范的制定严格遵守我国现行法律法规，与国家及行业标准体系相协调，是一种相互支撑、补充和细化的关系。

（一）与现行法律法规的关系

本规范的技术内容积极响应并服务于国家相关法律法规的战略要求：符合《中华人民共和国水土保持法》中关于预防和治理水土流失、保护和改善生态环境的规定；响应《中华人民共和国土壤污染防治法》中关于优先保护和改善耕地土壤环境的要求；支撑《中华人民共和国土地管理法》和《基本农田保护条例》中关于保护耕地、提高地力的规定。本规范为落实国家“藏粮于地、藏粮于技”战略，保障国家粮食安全和生态安全提供了具体、可操作的技术路径。

（二）与现行强制性标准的关系

本规范在编制过程中，与现行基础性、方法性标准保持了高度协调。例如，在水土保持工程方面遵循 GB/T 16453 系列标准，在土壤检测方面遵循 NY/T 1121 系列标准，在肥料使用方面参照 NY/T 496 和 NY/T 1118 等准则，确保了技术参数和检测方法的统一性。本规范并非对现有标准的重复，而是将分散在不同标准中的单项技术，根据亚热带坡耕地的具体特点进行有机整合与优化创新，形成了一套完整的系统性解决方案。它解决了现有单一标准无法提供综合治理方案的问题，是对现有标准体系在特定生态区域和应用场景下的重要补充和实践细化。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

在本规范的编制过程中，编制组成员就技术框架、核心内容与具体条款进行了充分研讨。所有编制成员对本规范的内容达成共识，未出现重大分歧意见。

七、其他应予说明的事项。

本规范为推荐性团体标准，不具有强制性。任何单位或个人均可根据自身实际情况选择是否采用。为确保规范的顺利实施和推广应用，建议相关农业、水土保持等主管部门加强宣传和培训力度，提高技术人员及生产者对亚热带坡耕地土壤培育技术的认识和理解。规范实施后，及时收集反馈意见，并适时进行修订完善，以适应农业生产的实际需求和技术发展的要求。