

ICS 65.020.01
CCS B10

T/SSSC
团 标 准

T/SSSC 0—2026

亚热带坡耕地土壤培育技术规范

Technical Specification for Soil Cultivation in Sloping Farmland of Subtropical Regions

(征求意见稿)

2026年2月

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国土壤学会 发 布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 亚热带坡耕地 Subtropical Sloping Farmland	1
3.2 土壤培育 Soil Cultivation	1
3.3 水土保持措施 Soil and Water Conservation Measures	1
3.4 土壤酸化 Soil Acidification	1
3.5 铝毒 Aluminum Toxicity	2
3.6 土壤调理剂 Soil Conditioners	2
3.7 土壤团粒结构 Soil Aggregate Structure	2
4 总则	2
4.1 基本原则	2
4.2 通用管理原则	2
4.3 技术实施流程	2
5 水土保持措施	4
5.1 一般规定	4
5.2 梯田工程	4
5.3 排水沟与沉沙池	4
5.4 等高植物篱	4
5.5 豆科绿肥间作	4
5.6 保护性耕作	4
6 土壤有机质提升措施	5
6.1 一般规定	5
6.2 秸秆还田	5
6.3 有机肥施用	5
6.4 冬闲绿肥翻压	6
6.5 生物炭还田	6
7 土壤养分均衡管理措施	6
7.1 测土配方施肥	6
7.2 有机无机配合施肥	6
7.3 豆科绿肥间作/轮作	7
7.4 生物炭养分增效技术	7
8 酸化土壤改良措施	7
8.1 直接改良土壤酸化措施	7
8.2 减缓土壤酸化与提升酸缓冲能力措施	7
9 改善土壤团粒结构措施	8

9.1 增加土壤有机质投入	8
9.2 保护性耕作	8
9.3 控制水土流失	8
10 作物种植与种植制度配置	8
10.1 作物类型选择	8
10.2 种植制度配置	9
10.3 与土壤培育措施的协同	9
11 土壤培育效果评价	9
11.1 评价工作流程	9
11.2 评价指标与监测方法	10
11.3 土壤质量综合评价	10
11.4 培育措施的优化调整	11
附录 A (规范性) 推荐用量	12
附录 B (规范性) 土壤培育评价指标、阈值与等级判定表	13
附录 C (资料性) 标准化方法与示例公式	14
附录 D (资料性) 典型应用场景与高效培育模式示例	16

前　　言

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国土壤学会提出并归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：吴永红、蔺兴武、赵洪猛、张帅、张志毅、刘俊琢、孙朋飞。

亚热带坡耕地土壤培育技术规范

1 范围

本文件规定了亚热带坡耕地土壤培育的原则、技术要求与评价方法。

本文件适用于亚热带区域（秦岭—淮河以南）坡度为 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的坡耕地土壤培育技术实施与效果评价，可用于指导土壤质量提升、地力维持与可持续利用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 20287—2006 农用微生物菌剂

GB/T 16453.1—2008 水土保持综合治理技术规范 坡耕地治理技术

GB/T 33469—2016 耕地质量等级

NY 609—2022 有机物料腐熟剂

NY/T 1118—2006 测土配方施肥技术规范

NY/T 1121.2—2006 土壤检测 第2部分：土壤pH的测定

NY/T 1121.4—2006 土壤检测 第4部分：土壤容重的测定

NY/T 1121.6—2006 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定

NY/T 1121.19—2008 土壤检测第19部分：土壤水稳定性大团聚体组成的测定

NY/T 1121.24—2012 土壤检测 第24部分：土壤全氮的测定自动定氮仪法

NY/T 1121.7—2014 土壤检测 第7部分：酸性土壤有效磷的测定

NY/T 1868—2021 肥料合理使用准则 有机肥料

NY/T 4159—2022 生物炭

NY/T 496—2010 肥料合理使用准则 通则

NY/T 889—2004 土壤速效钾和缓效钾含量的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 亚热带坡耕地 Subtropical sloping farmland

分布于我国亚热带区域（秦岭—淮河以南）丘陵山地区域，以红壤、黄壤、赤红壤、黄棕壤等为主要地带性土壤，以旱地作物种植为主，地表坡度为 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，且受季节性强降雨影响、水力侵蚀风险较高的坡面耕地。

3.2 土壤培育 Soil cultivation

综合运用农艺、生物及工程等技术措施，系统提升土壤质量、增强其生产潜力与生态服务功能的过程。

3.3 水土保持措施 Soil and water conservation measures

为防治土壤侵蚀与调控地表径流，在坡耕地上布设的工程、生物和农艺等技术措施的总称。

3.4 土壤酸化 Soil acidification

在自然或人为因素作用下，土壤交换体上的盐基离子（ Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 等）被 H^{+} 与 Al^{3+} 等致酸离子取代，导致土壤pH值下降与交换性酸含量升高的土壤退化过程。

3.5 铝毒 Aluminum toxicity

在酸性土壤环境（通常pH<5.5）下，由于交换性铝（Al³⁺）及其羟基铝聚合物大量释放进入土壤溶液，抑制植物根系生长发育、干扰养分吸收并导致作物减产的生理受阻现象。

3.6 土壤调理剂 Soil conditioners

施入土壤后改善土壤物理、化学、生物特性，但其主要功能并非提供植物必需营养元素的物质。

3.7 土壤团粒结构 Soil aggregate structure

由土壤颗粒经胶结作用形成的团聚体（即团粒），及其在土体中所构成的空间构型与孔隙网络的总称。

4 总则

4.1 基本原则

亚热带坡耕地土壤退化通常由水土流失、土壤有机质衰减、土壤养分失衡、土壤酸化及土壤结构恶化等多重因素叠加造成。土壤培育应遵循系统治理、因地制宜、多措并举与协同增效的原则，形成以水土保持为基础、以地力提升为核心、以养分均衡与酸化治理为支撑、以结构改善为保障的综合技术体系。

4.2 通用管理原则

4.2.1 可持续性原则

土壤培育措施应以减少土壤侵蚀、提升土壤有机质、提高肥料利用效率和降低环境风险为目标，避免造成新的面源污染或生态破坏。

4.2.2 经济性原则

措施选择应综合考虑投入产出、劳动力条件与机械化水平，优先采用本地易获取且符合质量要求的有机物料与工程/农艺组合。

4.2.3 安全与合规原则

施用的有机肥、生物炭、土壤调理剂等投入品应符合相应标准的质量与限量要求，避免重金属与有机污染物风险。

4.2.4 可操作性原则

各项措施应明确实施时机、关键参数与田间管理要求，并与当地种植制度相协调。

4.3 技术实施流程

亚热带坡耕地土壤培育应按照“基础控蚀—核心培育—精准养分—针对性修复—结构改善—评价优化”的流程组织实施。实施前，应开展地块侵蚀风险识别与土壤理化性状的基础调查与检测。土壤检测方法按第2章引用文件及第11章相关规定执行。技术实施流程见图1。

4.3.1 基础控蚀（水土保持）

对存在明显径流与侵蚀风险的地块，应优先配置水土保持措施，相关技术要求按第5章执行。

当坡度较大、降雨强度大或侵蚀敏感性高时，宜优先采用梯田工程、等高植物篱、排水沟与沉沙池等组合措施（见5.2~5.4）。

4.3.2 核心培育（土壤有机质提升）

土壤培育过程中，应持续增加有机物投入、提升土壤有机质含量，相关技术要求按第6章执行。

当土壤有机质含量偏低或退化明显时，宜优先采用秸秆还田、绿肥翻压与有机肥施用等措施，并根据条件选用生物炭还田（见6.2~6.5）。

4.3.3 精准养分（养分均衡管理）

在实施有机物培肥的同时，应开展测土配方施肥，合理确定氮、磷、钾及中微量元素投入，相关技术要求按第7章执行。

为降低坡耕地养分流失风险，宜采用分次施用、沟施/穴施及缓控释肥等方式（见7.1）。

4.3.4 针对性修复（酸化土壤改良）

当土壤pH值低于第11章规定的适宜范围或存在铝毒等酸化危害风险时，应采取酸化土壤改良措施，相关技术要求按第8章执行。

酸化改良措施的选择与用量应基于土壤检测结果确定，宜与有机物投入、优化施肥结构等长期措施配套实施（见8.1、8.2）。

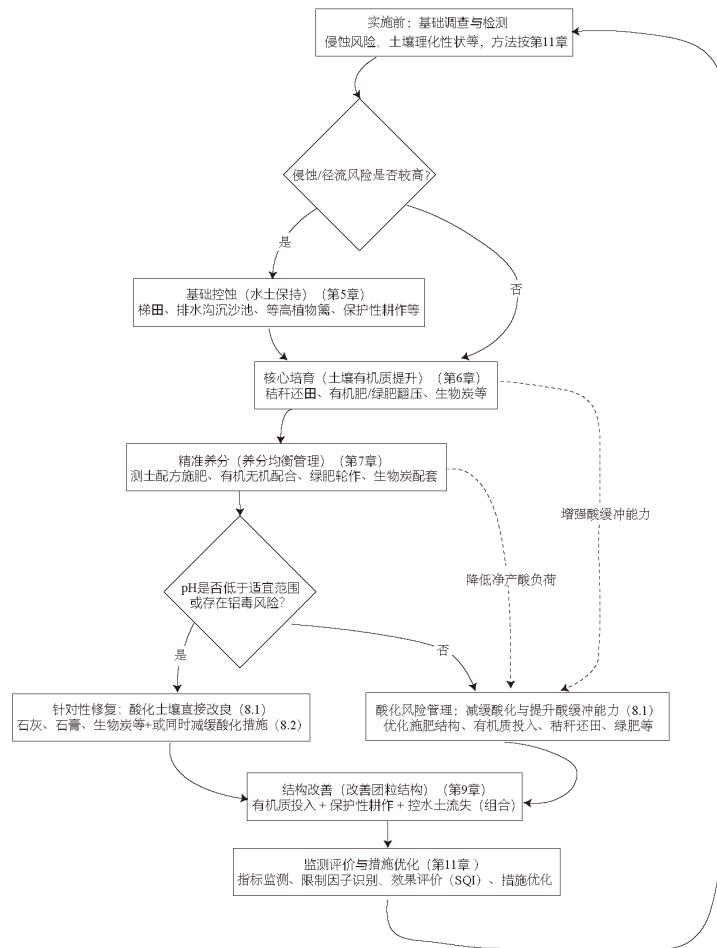


图1 亚热带坡耕地土壤培育技术实施流程与逻辑框架

注：本图为示意图，实施时应结合地块诊断结果选择适用措施。流程以“实施前检测（第11章）一分环节措施配置（第5~9章）一监测评价与动态优化（第11章）”为主线；当侵蚀风险较高时优先配置水土保持措施；当pH低于适宜范围或存在铝毒风险时启动酸化土壤改良措施。

4.3.5 土壤结构改善（改善土壤团粒结构）

土壤培育过程中，应以改善耕层物理结构、促进团粒结构形成与稳定为重要目标，相关技术要求按第9章执行。

当土壤存在板结、容重偏高、渗透性差或侵蚀敏感性高等问题时，宜优先采用增加有机质投入、保护性耕作与控制水土流失等措施的组合配置（见第6章、第5章与第9章）。

当存在犁底层或明显压实层时，宜结合条件开展深松等措施以改善耕层结构，相关要求按5.6执行。

4.3.6 培育评价与措施优化

土壤培育措施实施后，应按第11章开展监测评价，并依据监测结果对技术组合与参数进行措施优化。

5 水土保持措施

5.1 一般规定

水土保持措施应以减少土壤侵蚀和径流损失为主要目标。宜采用土壤侵蚀模数或径流系数等定量指标，对水土保持效果进行监测与评价，并据此对措施配置和管理进行优化调整。

5.2 梯田工程

在坡度为 5° ~ 25° 且地质稳定的坡耕地，宜通过梯田工程降低坡长与坡度并控制地表径流，相关设计与施工应符合GB/T 16453.1标准，确保田坎稳固性。坡度为 5° ~ 15° 的地块，宜优先采用坡式梯田、隔坡梯田等简化形式；坡度为 15° ~ 25° 的地块，宜优先采用水平梯田或配套完善的蓄排设施。根据地形条件、施工能力及机械化水平，可选择修建坡式或隔坡梯田，并逐步过渡到水平梯田。梯田应配套田间蓄排沟，并与5.3规定的排水沟系统衔接。

5.3 排水沟与沉沙池

在存在地表径流汇集与泥沙输移风险的坡耕地，应布设排水沟与沉沙池，形成分级汇流与拦沙排水系统。排水沟应沿坡面等高线方向开挖，断面可设计为梯形，沟底宽度为30~50 cm，深度20~40 cm。坡度为 15° ~ 25° 或暴雨频发区域，排水沟间距宜取5~10 m；坡度为 5° ~ 15° 或降雨相对较小区域，间距可取10~20 m。各级排水沟逐级汇流，并在排水沟末端或汇流关键节点应设置沉沙池，并定期清淤。沟岸宜种植草本植物，护坡固土。因暴雨造成的沟渠、沉沙池损坏应及时修复。

5.4 等高植物篱

在坡耕地存在径流冲刷与泥沙输移风险的地块，宜沿坡面等高线布设等高植物篱，用于拦截泥沙、削减径流能量并稳定坡面。等高植物篱宜选择根系发达、耐修剪的多年生植物，包括多年生禾本科（香根草、狗牙根等）、豆科（紫花苜蓿、紫穗槐等）及其他类经济作物（黄花菜、香椿、构树等）。植物篱宽度保持宜为30~50 cm；相邻篱笆带之间的距离宜根据坡度和降雨量调整，即坡度陡、雨量大的区域间距宜为3~5 m，坡度缓、雨量少的区域间距宜为5~8 m。植物篱应保持连续完整，并定期修剪与补植；发生缺株断带时应及时补栽修复。

5.5 豆科绿肥间作

在坡耕地主作物生育期内，为提高地表覆盖并增强固土能力，宜在主作物行间采用豆科绿肥间作或带状混播。豆科绿肥品种宜选用适应亚热带地区的紫云英、苕子、箭筈豌豆、田菁等；具体品种应结合当地种植制度、气候条件及病虫害风险确定。间作方式宜采用行间条播或带状混播；绿肥带宽宜为0.3 m~0.6 m，并可根据主作物行距与田间光照条件调整。绿肥管理宜采用刈割覆盖或翻压还田，刈割/翻压时机宜安排在主作物需肥高峰前后或绿肥现蕾至初花期；采取间作时宜合理控制密度与播期，避免与主作物争光、争水、争肥。

5.6 保护性耕作

在坡耕地水土流失风险较高或土壤结构较弱的地块，宜实施保护性耕作，并采取少（免）耕、秸秆（残茬）覆盖与合理耕作制度等措施，减少土壤扰动并保持地表覆盖。保护性耕作实施过程中，应结合作物类型、土壤墒情与农机条件确定作业方式与作业时机，并避免在土壤过湿条件下作业。当存在犁底层或压实层时，宜在适宜墒情下采用深松（松土）等作业改善耕层通透性，并防止重复碾压造成二次压实。

5.6.1 免耕或少耕

免耕：前茬作物收获后，不进行翻耕，直接使用免耕播种机在残茬覆盖的地表上开槽播种，能最大程度减少土壤裸露、保持土壤结构、防止水土流失。

少耕：通过旋耕机进行浅层松土（深度<15 cm），降低耕作强度；采用免耕与传统翻耕交替进行的方式（如每隔2~3年翻耕一次），减少耕作频次。

5.6.2 深松耕作

对存在紧实犁底层或压实问题的地块，宜实施深松耕作，在作物收获后或播种前采用深松机械进行深层松动，松动深度宜大于30 cm，且不翻转土层。深松作业应结合土壤墒情与机具条件确定作业时机，并避免在土壤过湿条件下作业，以减少结构破坏与二次压实风险。为维持土壤结构的长期稳定，深松耕作宜每隔约3年实施1次；具体频次可根据土壤紧实程度与产量响应适当调整。

5.6.3 草秆覆盖

作物收获后，将草秆粉碎并均匀撒铺至地表，草秆覆盖率应达到70%以上，覆盖厚度宜为2~5 cm。草秆覆盖应尽量连续均匀，避免成堆或裸露带；在大风、暴雨等易造成覆盖物移位的地块，宜采取压埋、条带铺设等方式提高稳定性。

6 土壤有机质提升措施

6.1 一般规定

土壤有机质提升措施以提高土壤有机质含量为核心目标，宜将土壤有机质含量（g/kg）作为主要评价指标。亚热带坡耕地表层（0~20 cm）土壤有机质含量一般宜达到20 g/kg以上；对于退化严重地块，可分阶段将有机质含量由低于15 g/kg 提升至15~20 g/kg，再逐步稳定在20 g/kg以上。

亚热带坡耕地在积温、降水和土壤类型方面差异显著，土壤培育措施的配置与强度应因区而异。可结合当地年积温、年降水量和优势土壤类型，将亚热带坡耕地原则上划分为：

暖湿区：年积温高、降水量大，红壤、黄壤等强（潜）酸性土壤分布广，水土流失和养分淋失风险高，宜突出水土保持、绿肥与秸秆还田、生物炭施用和酸化改良等综合措施；

偏干区：年降水量相对偏少或季节分配不均，中度及以下坡耕地较多，壤土、砂壤土常见，宜突出秸秆覆盖保墒、有机肥和绿肥培肥地力，并结合保护性耕作等措施；

冷凉区：海拔较高、积温偏低，山地黄棕壤、棕壤等较为集中，生长季短，宜选择适应性强的绿肥和抗逆作物，合理安排轮作、间作，兼顾地力培育与冻融侵蚀防控。

各类土壤有机质提升措施（6.2~6.5）在具体实施时，应结合上述分区特征及当地实际，对秸秆还田量、绿肥翻压量以及有机肥、生物炭施用量等进行适当调整，优先采用与当地气候条件和土壤类型相匹配的技术组合。

6.2 秸秆还田

在亚热带坡耕地开展土壤有机质提升时，宜实施秸秆还田，并可采用翻压还田或覆盖还田等方式。根据土壤有机质含量水平，可对秸秆还田量作适当调整：当0~20 cm土层土壤有机质含量<15 g/kg时，宜增加秸秆还田比例，尽量实现全量还田，并配合补施氮肥和促腐剂，以加快有机质累积；当土壤有机质含量处于15~20 g/kg时，宜稳定开展秸秆还田，一般不宜减少秸秆还田量；当土壤有机质含量>20 g/kg时，可结合作物需肥水平和病虫害防控需要，适当调整还田量，但不宜长期大幅减少秸秆还田。

6.2.1 秸秆翻压还田

直接还田：利用机械将秸秆粉碎至长度5~15 cm，均匀撒施于地表，通过旋耕翻入0~20 cm土层。为加速腐解，建议随翻压补施适量氮肥（30~45 kg N/hm²），调节碳氮比。

腐熟还田：将粉碎的秸秆（长度5~15 cm）堆积发酵。每吨秸秆添加10~20 kg尿素和专用促腐剂（固态1~2 kg或液态2~5 kg）。堆高控制在1~1.5 m，保持含水量60%~70%，定期翻堆通气。腐熟周期约15~30天。将腐熟好的物料均匀撒施并翻耕入土。秸秆腐熟剂的技术指标应符合GB 20287和NY 609的要求。

6.2.2 秸秆覆盖还田

在坡耕地或降雨侵蚀风险较高地块，宜优先采用秸秆覆盖还田，以增强地表覆盖并减少地表径流冲刷造成的有机质流失；秸秆分解过程中可持续为表层土壤补充有机质与养分。秸秆覆盖还田应在作物收获后将秸秆粉碎并均匀覆盖于地表实施；覆盖质量控制指标与作业要求应符合本文件第 5.6.3 节规定。

6.3 有机肥施用

在亚热带坡耕地土壤有机质提升过程中，宜施用腐熟有机肥料补充土壤有机质与养分；农家肥、堆肥等应充分腐熟后方可施用。腐熟判定宜满足以下要求之一：a) 堆体温度完成高温期后降至接近环境

温度且不再明显回升；b) 物料无明显氨臭等刺激性气味，呈腐殖土气味；c) 质地疏松、原料形态基本不辨认。有机肥产品质量应符合NY/T 1868等相关标准要求。农家肥多作基肥一次性施入，推荐施用量15~30 t/hm²。商品有机肥多作基肥，推荐施用量为1.5~7.5 t/hm²（或参照产品说明书）。生物有机肥可做基肥或追肥，具体施用方法需参照产品说明。

6.4 冬闲绿肥翻压

在具备冬季闲置条件的坡耕地，宜利用冬闲期种植绿肥作物并翻压还田；翻压作业宜用于改善土壤结构并提高表层（0~20 cm）土壤有机质含量。绿肥作物宜选择豆科植物（如紫云英、苕子、草木樨等），其生物固氮作用能额外补充土壤氮素。10月中旬至11月上旬播种（播种量为15~20 kg/hm²）。翌年3月中旬至4月上旬（绿肥盛花期，生物量最高时），使用旋耕机或犁，将绿肥整体翻入0~20 cm土层中。根据土壤有机质含量状况，可对绿肥种植密度和翻压量进行调节：当0~20 cm土层土壤有机质含量<15 g/kg时，宜提高绿肥播种量上限并保证翻压量，以加快有机质累积；当土壤有机质含量处于15~20 g/kg时，宜保持现有绿肥种植制度，稳定翻压量；当土壤有机质含量>20 g/kg时，可结合当地气候条件与种植制度，对绿肥种植面积和翻压量进行适度优化，但不宜取消绿肥制度。

6.5 生物炭还田

生物炭还田宜作为亚热带坡耕地土壤有机质提升的配套措施，用于提高表层（0~20 cm）土壤有机质含量并改善土壤理化性质与生态功能。施用于农田的生物炭产品质量应符合 NY/T 4159 规定的技术指标要求（包括总碳含量、重金属含量及有机污染物限值等）。

生物炭还田可分为以下两种施用方式：

逐年改良：适用于逐步提升土壤肥力，推荐施用量为 3~5 t/hm²。

快速修复：适用于退化土壤修复或快速提升肥力，每隔 3~5 年施用一次，推荐施用量为 10~30 t/hm²。

施用时，应将生物炭均匀撒施于土壤表面，通过旋耕或深耕（混拌深度宜为15~20 cm）使其与土壤充分混合。在土壤有机质提升过程中，可结合0~20 cm土层土壤有机质含量状况，优化生物炭施用剂量：当土壤有机质含量<15 g/kg时，宜采用“快速修复”模式，在推荐范围内选取较高施用量；当土壤有机质含量处于15~20 g/kg时，可采用“逐年改良”模式，选择3~5 t/hm²的施用量，稳步提高有机质含量；当土壤有机质含量>20 g/kg时，一般不宜高剂量、短周期重复施用生物炭，可根据土壤综合质量状况适当延长施用间隔或降低施用量。

7 土壤养分均衡管理措施

7.1 测土配方施肥

测土配方施肥应依据土壤养分测试结果与作物目标产量（或需肥规律）确定氮、磷、钾等养分施用量与配比，以提高肥料利用率、避免养分失衡，并减少过量施肥带来的环境风险。土壤样品采集按NY/T 1118执行；土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的测定分别按NY/T 1121.6、NY/T 1121.24、NY/T 1121.7 和NY/T 889执行。氮、磷、钾肥的施用量根据土壤养分状况和作物需求，遵循NY/T 1118标准进行计算；肥料施用方法与安全环保要求按NY/T 496的规定执行。

在满足测土配方施肥确定的施用量与配比前提下，坡耕地宜采用缓控释肥料或分次施用、沟施、穴施等方式，减少养分随径流或淋溶流失。

7.2 有机无机配合施肥

有机无机配合施肥宜将有机肥的长效与改土作用与无机肥的速效供肥作用相结合，并在测土配方施肥结果基础上优化养分投入结构，实现养分均衡供应与肥料高效利用。有机无机配合施肥应按“先定需求、再算供给、差额补足”的原则确定：应先确定作物目标产量对应的总养分需求量；应核算有机肥可提供的养分量；应以无机肥补足养分差额，并与测土配方施肥确定的施用量与配比相协调。当土壤肥力较低时，宜以无机肥保障当季养分供给，有机肥配合改良土壤；当土壤肥力较高时，宜以有机肥维持地力并适度减少无机肥用量。

有机无机配合施肥中，宜以折纯氮（N）投入量计，有机肥提供的氮素投入量占总氮投入量的20%~50%；其余氮素由无机肥补足。磷、钾及中微量元素应根据测土配方施肥结果同步平衡。有机肥替代比

例宜结合土壤肥力水平或表层（0~20 cm）土壤有机质含量分档确定：土壤肥力较低或土壤有机质含量<15 g/kg的地块，有机肥替代比例可提高至30%~50%；土壤肥力中等以上或土壤有机质含量≥15 g/kg的地块，有机肥替代比例宜不低于20%。具体替代比例与实施方案应结合当地土壤养分状况、作物类型、肥料来源与施用条件等因素，在测土配方施肥结果基础上综合确定。

7.3 豆科绿肥间作/轮作

在亚热带坡耕地，宜采用豆科绿肥与主作物间作或轮作，并在适宜生育期进行刈割覆盖或翻压还田，以增加地表覆盖与有机物投入、促进养分均衡供给。

豆科绿肥轮作宜与粮食作物或经济作物进行1~2年轮作安排；在冬闲期明显的地区，宜采用“冬季豆科绿肥—春夏主作物”的轮作模式。绿肥播期与翻压期应与当地气候与主作物茬口相协调；翻压还田宜在现蕾至盛花期进行，翻压深度与方法按6.4的规定执行。

绿肥品种与播种量宜结合当地气候条件、土壤类型和种植制度确定；有条件地区可依据地方试验结果优化品种组合与用种量。冬季绿肥宜选用紫云英、苕子、箭筈豌豆等，宜在10月中下旬至11月上旬播种，播种量宜为15~22 kg/hm²。夏季绿肥宜选用田菁、草木樨、豇豆、大豆等，可在主作物收获后或行间空隙播种，播种量宜为12~20 kg/hm²。

7.4 生物炭养分增效技术

生物炭的施用应符合6.5的规定。在养分均衡管理中，应发挥生物炭对矿质养分的吸附与缓释作用，提高肥料利用效率。宜将生物炭与化学肥料、有机肥混合施用，或采用“炭基肥”形式。通过生物炭的高孔隙度与高阳离子交换量（CEC），减少坡耕地氮、磷养分的径流流失。以养分保蓄为主要目标时，生物炭推荐施用量宜为1.5~3.0 t/hm²。施用时机宜作为基肥在作物播种前一次性施入，并结合翻耕均匀混入耕层。生物炭用于酸化土壤改良时，其推荐施用量按附录A表A.2执行。

8 酸化土壤改良措施

8.1 直接改良土壤酸化措施

土壤pH<5.5时，应采取直接改良措施。直接改良措施应通过向土壤施用无机调理剂等外源改良材料，中和土壤酸度、降低交换性（活性）铝毒性，实现酸化土壤的快速治理。

8.1.1 施用无机调理剂（石灰与石膏）

石灰与石膏宜作为酸化土壤直接改良的无机调理剂，并按其作用机制分别选用或配合施用：熟石灰（氢氧化钙）可中和土壤酸度，用于快速提升土壤pH；石膏（硫酸钙）可提供钙离子，置换并促进淋洗土壤中有毒活性铝，用于降低酸性土壤铝毒风险。

施用前，调理剂应均匀撒施于土壤表面；翻耕时应将其翻入0~20 cm土层，并应与土壤充分混合。熟石灰改良效果维持期宜为约3年。土壤pH宜每3年测定一次，测定方法应符合NY/T 1121.2的规定，并根据监测结果确定是否需要再次施用及调整用量。石灰与石膏的施用量应根据土壤酸化程度确定，推荐值见附录A表A.1。

8.1.2 施用生物炭

利用生物炭含有的碱性官能团及碳酸盐成分中和土壤酸度，并利用其表面络合作用降低交换性铝的活性，缓解铝毒。生物炭的应用应符合6.5的规定。宜选用碱性较强且符合NY/T 4159规定的生物炭产品（pH>9.0）；生物炭施用量应根据土壤酸化程度确定，推荐值见附录A表A.2。

8.2 减缓土壤酸化与提升酸缓冲能力措施

通过优化亚热带坡耕地田间管理与养分投入结构，提升土壤酸缓冲能力，宜减缓土壤酸化进程并降低铝毒风险。

8.2.1 优化施肥结构

施肥结构调整应以降低净产酸负荷、减少铵态氮长期过量投入为目标，并与测土配方施肥结果相衔接。长期或过量施用硫酸铵、氯化铵等铵态氮肥的地块，宜降低其施用比例，并结合土壤与作物需求优

化氮肥形态与施用方式（如分次施用、配施有机肥等），以降低酸化风险。宜增加有机肥投入，利用有机质及腐殖化产物对酸度与铝离子的缓冲（络合）作用，提高土壤酸缓冲能力。推广有机无机配合施肥时，配施原则、替代比例与分档要求应按 7.2 执行。

8.2.2 秸秆还田

秸秆还田宜作为提升土壤有机质与补充钙、镁等盐基离子的管理措施，以增强土壤酸缓冲能力并减缓酸化进程。秸秆还田的作业方式、还田量、还田时期及配套管理要求应按本文件6.2的规定执行。

8.2.3 豆科绿肥间作/轮作

豆科绿肥间作或轮作宜用于减缓酸化与提升酸缓冲能力，并可通过增加地表覆盖、减少盐基离子淋溶损失、提高土壤有机质及部分替代化学氮肥投入等途径发挥综合效益。在酸性较强或铝毒风险较高的地块，豆科绿肥品种宜优先选用耐酸性较强的苕子、田菁等。绿肥翻压还田后，宜与有机无机配合施肥及石灰/生物炭等改良措施配套实施，避免单一措施导致改良效果不足。豆科绿肥间作/轮作的模式、播期、翻压时期与播种量等技术要求应按 7.3 执行；石灰、石膏与生物炭等直接改良措施应按8.1.1和8.1.2执行。

9 改善土壤团粒结构措施

9.1 一般规定：

本章规定通过增加有机质投入、实施保护性耕作和控制水土流失等措施的协同配置，促进土壤颗粒胶结与团聚体形成，提升团粒结构稳定性与抗侵蚀能力。应定期开展土壤水稳定性大团聚体含量(>0.25 mm) 检测，评估土壤抗冲刷能力，检测方法按 NY/T 1121.19执行。

本章所涉有机质提升措施按第6章执行，保护性耕作措施按本文件前文保护性耕作相关条款（5.6）执行，水土保持措施按本文件前文水土保持相关条款（第5章）执行。

9.2 增加土壤有机质投入

持续增加土壤有机质投入应作为改善团粒结构的基础措施。有机质提升措施按第6章执行。

对侵蚀风险较高地块，应与第5章水土保持措施协同实施，以减少有机质随泥沙流失并保障团粒形成与稳定的环境条件。涉及有机无机配合施肥技术要求按7.2执行；涉及豆科绿肥间作/轮作技术要求按 7.3执行。

9.3 保护性耕作

保护性耕作宜用于减少耕作扰动对土壤团粒结构的破坏，并降低降雨打击与径流冲刷导致表层团聚体解体的风险。保护性耕作措施按5.6执行。

保护性耕作应与地表覆盖管理及水土保持措施协同配置，重点控制耕作强度与作业时机，避免在土壤过湿条件下作业造成结构破坏与二次压实。

9.4 控制水土流失

水土流失控制应作为团粒结构改善的重要保障措施，通过降低地表径流能量与侵蚀强度，维护表层土壤结构完整性并促进团聚体稳定。水土保持措施按第5章执行。

对侵蚀敏感或径流汇集明显地块，应优先落实水土保持措施，并与第6章有机质提升及5.6保护性耕作协同实施，形成“控蚀—培肥—减扰”的组合路径。

10 作物种植与种植制度配置

不合理的作物结构和种植制度可能加剧土壤养分消耗、加快有机质衰减并增加水土流失风险，从而破坏土壤肥力与健康。因此，在亚热带坡耕地土壤培育过程中，应根据地形坡度、土壤类型、侵蚀敏感性和水热条件，因地制宜配置作物种类和种植制度。

10.1 作物类型选择

在坡度较大、侵蚀风险高的地块，宜减少和避免种植需耕作次数多、覆盖度低、深根系较弱的作物，优先选择覆盖度高、根系发达、抗倒伏能力强的作物，如玉米、高粱、甘薯等，或选择能够形成较好地表覆盖的杂粮、饲草类作物。在坡度较小、土壤条件较好的地块，可实行粮食作物、经济作物与饲草作物的合理搭配，兼顾经济效益与地力培育。对于轻度退化和中度退化坡耕地，宜适当提高豆科作物（大豆、豇豆、花生等）及豆科绿肥在轮作或间作体系中的比例，以增强土壤生物固氮和有机质补充。

10.2 种植制度配置

宜推广粮—绿（肥）轮作、粮—饲轮作、粮—经—肥（绿肥）轮作等多元化种植制度，避免长期单一作物连作导致土壤养分失衡和病虫害加重。在条件允许的地区，可采用“主栽作物+间作豆科绿肥（或饲草作物）”模式，提高生长期内的地表覆盖度，减少雨滴冲刷和径流侵蚀（相关技术可参见7.3）。在冬闲期，宜因地制宜种植紫云英、苕子、箭筈豌豆等冬季豆科绿肥，并在适宜时期翻压还田（可参见6.4），以培肥地力、改善团粒结构。

10.3 与土壤培育措施的协同

作物种植与土壤培育措施应统筹考虑：在已实施梯田、等高植物篱等水土保持措施的地块（见5.2~5.6），宜优先安排覆盖度高、根系发达的作物或绿肥作物；在实施有机质提升和酸化改良措施的地块（见6.2~6.5和8.1~8.2），应通过增加豆科作物和绿肥比例、减少高耗肥作物比例等方式，降低对化肥的过度依赖，促进土壤养分平衡和酸缓冲能力提升。

11 土壤培育效果评价

土壤培育效果评价用于检验培育措施实施成效、识别限制因子并指导后续优化。应建立包含“现状诊断—培育目标—措施实施要求—监测与效果评价”的技术链条，支撑亚热带坡耕地土壤质量持续提升。

11.1 评价工作流程

土壤培育效果评价的工作流程应按以下步骤开展（见图2）：

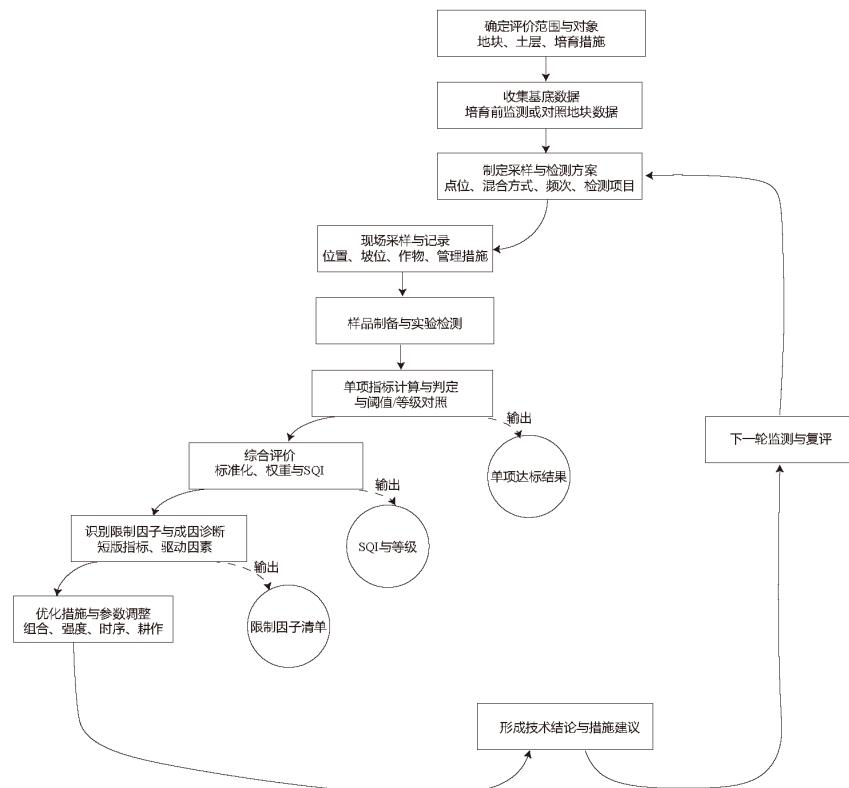


图2 土壤培育效果评价流程

1. 确定评价范围与对象：明确评价地块、评价土层、培育措施类型与实施时间，确定评价目标与成果输出要求。
2. 收集基底数据：收集培育前监测数据；无培育前数据时，应选取同类条件对照地块数据或区域背景数据作为基底。
3. 制定采样与检测方案：确定采样点位布设、样品混合方式、采样频次、检测项目与质量控制要求，并明确样品编码与流转规则。
4. 现场采样与记录：按方案开展采样，同步记录位置坐标、坡位、作物类型、田间管理措施、异常情况及气象/扰动等影响因素。
5. 样品制备与实验检测：按相关标准方法进行样品制备与实验检测，形成原始检测数据与质控记录。
6. 单项指标计算与判定：对各评价指标进行计算或换算，并与附录B规定的目标范围、阈值及等级划分进行对照，获得单项指标等级结果。
7. 综合评价（SQI计算与等级划分）：按附录C给出的标准化方法与示例公式对指标进行标准化，结合权重计算土壤质量指数（SQI），并进行等级划分。
8. 识别限制因子与成因诊断：基于单项指标等级与SQI结果，识别主要限制因子，结合管理措施与现场记录分析可能成因。
9. 优化措施与参数调整：针对限制因子提出优化建议，明确技术组合、投入强度、作业方式与实施时序等调整方案，可参照附录D（资料性）选取相近场景的技术组合示例，形成培育措施建议及关键控制要点。
10. 形成技术结论与措施建议（提出培育目标达成情况、限制因子对应的技术措施调整建议及关键参数控制要点）。

11.2 评价指标与监测方法

11.2.1 监测周期与对比原则

土壤培育措施实施后 2~3 年，应在代表性地块开展一次效果评价监测，并与培育前基底数据进行对比分析。后续监测宜与主要管理周期相衔接，形成连续时间序列数据，用于动态优化。

11.2.2 评价指标体系

效果评价应至少包括下列关键指标（指标的单位、适用土层、分级阈值与评分规则见附录B）：**pH**：表征酸化改良效果与适宜性区间控制指标；**容重**：表征压实程度与孔隙状况的关键物理指标；**土壤有机质**：表征培肥与结构稳定性提升的核心指标；**养分状况**：全氮、有效磷、速效钾，用于评价基础肥力提升水平；**结构指标**：土壤水稳定性大团聚体含量(>0.25 mm)可选/宜纳入。相关指标的测定按NY/T 1121.2、NY/T 1121.4、NY/T 1121.6、NY/T 1121.24、NY/T 1121.7、NY/T 889、NY/T 1121.19执行。

11.2.3 指标评判准则（阈值与等级）

各指标的目标范围、分级阈值与达标判定规则应符合附录B的规定。
pH值的适宜控制范围宜为 5.5~6.5；当评价对象与作物类型存在差异时，适宜范围可按区域经验与相关标准调整，并在评价报告中说明依据。单项指标判定应采用统一口径（“达标/未达标”或“Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ级”），并与SQI综合评价等级保持一致。

11.3 土壤质量综合评价

本节规定土壤质量综合指数（Soil Quality Index, SQI）的计算步骤与判定要求。指标标准化方法、示例公式、参数取值与示例计算过程见附录C。

11.3.1 指标标准化（无量纲化）

为消除量纲影响，评价指标实测数据应进行标准化处理，得到标准化得分 S_i 。标准化方法应在同一评价批次内保持一致，并按指标属性选取效益型、成本型或区间最适型的标准化方法执行，具体见附录C。其中，**pH**和有效磷宜按区间最适型指标进行评价与标准化处理，避免仅以“越高越好”导致风险误判。标准化得分宜控制在[0,1]范围内；当计算结果超出该范围时，应按附录C规定进行截断处理。

11.3.2 权重确定

权重 w_i 宜采用主成分分析（PCA）等方法确定；当样本量不足或不具备统计条件时，可采用等权重法，并在评价报告中说明采用理由与权重取值。权重应满足归一化要求（见附录C）。

11.3.3 SQI计算

SQI计算方法与参数取值口径按附录C执行；指标阈值与等级判定按附录B执行。

11.3.4 综合评价等级划分与成果表达

SQI的等级划分阈值、等级命名与判定规则应符合附录B的规定，并在同一区域评价中保持一致。评价结论应至少包括：单项指标达标情况及变化幅度；SQI数值与等级；限制因子清单（未达标项及风险解释）；对应的优化建议与下一轮监测安排（与11.1规定的流程衔接）。

11.4 培育措施的优化调整

应依据单项指标判定结果与SQI综合评价结论开展动态优化，形成“监测—评价—调整”循环。培育措施优化调整可参照附录D（资料性）典型模式，并结合本章评价结果进行适配。

11.4.1 限制因子识别

当出现下列情形之一时，相关指标应判定为限制因子并优先治理：指标未达到附录B规定的达标阈值；指标虽达标但呈持续恶化趋势；指标异常波动且与侵蚀、酸化或压实风险相一致。

11.4.2 优化策略与措施调整

针对限制因子，宜按“措施组合+参数调整”方式优化：pH偏低：优先核查酸性肥投入结构，并与石灰/生物炭等措施联动调整；容重偏高：增加有机质输入、优化耕作扰动方式并配套覆盖；有机质不足：提高秸秆还田、有机肥、绿肥翻压等投入强度与连续性；养分不足或失衡：按测土配方结果优化施肥结构与时期。

11.4.3 评价报告与归档

每次评价应形成报告并归档，内容至少包括：采样信息、检测结果、单项判定、SQI计算过程与结果、限制因子诊断、优化建议与下一轮监测计划。

附录 A
(规范性)
推荐用量

表A.1 石灰/石膏推荐施用量

土壤酸化程度	土壤 pH 值范围	推荐施用量 (t/hm ²)
酸化风险 (维护性调理)	5.5~6.0	熟石灰 1.5~3.0 (可选)
中度酸化	4.5~5.5	熟石灰 3.0~4.5 与石膏粉 2.0~3.0
重度酸化	<4.5	熟石灰 4.5~6.0 与石膏粉 3.0~5.0

表A.2 酸化改良时生物炭推荐施用量

土壤酸化程度	pH 值范围	推荐施用量 (t/hm ²)
酸化风险 (维护性调理)	5.5~6.0	5~10
中度酸化	4.5~5.5	10~20
重度酸化	<4.5	20~30

注：表A.2推荐量用于酸化土壤改良用途（见8.1.2）；用于养分保蓄增效时可按7.4执行。

附录 B
(规范性)
土壤培育评价指标、阈值与等级判定表

表B.1按“指标—阈值—等级”给出统一判定口径，用于本文件第11章单项判定与SQI综合评价的基础数据表。

指标	单位	土层	目标范围/阈值	等级划分（I/II/III）
pH 值	—	耕作层 (0~20 cm)	5.5~6.5	I (优) : 5.5~6.5; II (良) : 4.5~5.5 或 >6.5~7.0; III (差) : <4.5 或 >7.0
容重 (BD)	g/cm ³	耕作层 (0~20 cm)	见等级阈值	I (优) : <1.20; II (良) : 1.20~1.35; III (差) : >1.35
土壤有机质 (SOM)	g/kg	耕作层 (0~20 cm)	≥20 g/kg (一般地块); 退化地块分阶段提升 (见6.1)	I (优) : >25; II (良) : 15~25; III (差) : <15
全氮 (TN)	g/kg	耕作层 (0~20 cm)	达到区域适宜供氮水平	I (优) : >1.5; II (良) : 1.0~1.5; III (差) : <1.0
有效磷 (AP)	mg/kg	耕作层 (0~20 cm)	满足作物需求且避免过量	I (优) : 20~40; II (良) : 10~20 或 40~60; III (差) : <10 或 >60
速效钾 (AK)	mg/kg	耕作层 (0~20 cm)	满足作物需钾水平	I (优) : >150; II (良) : 100~150; III (差) : <100
SQI	—	耕作层 (0~20 cm)	0~1	I (优) : >0.8; II (良) : 0.6~0.8; III (差) : <0.6

注：

- 表 B.1 所列“目标范围/阈值”适用于亚热带坡耕地土壤培育效果评价的一般情形。当评价对象的作物类型、土类/质地、母质与区域背景值与一般情形存在显著差异时，阈值参数应进行校准，并在评价报告中说明校准依据与取值来源。
- pH 为区间最适型指标。表 B.1 中 pH 目标范围（如 5.5~6.5）为默认推荐值，主要适用于多数旱作作物与果园体系；对茶园等酸性适生作物或特殊土类，应按作物适宜范围确定目标区间 [L,U]。
- 表 B.1 中容重、有机质及养分阈值的适用性受土壤质地与区域背景水平影响较大；当采用分质地或分区阈值时，应在本附录中另表列出或在评价报告中明确所采用的分组规则与阈值来源。
- 当有效磷>60 mg/kg 时，虽满足作物需求，但因径流污染风险极高，判定为III等。
- SQI 标准化范围与计算方法见附录 C。
- 指标检测方法与单位口径应与本文件引用的相关标准一致；当检测方法不同导致阈值不可直接比对时，应进行方法换算或采用与方法匹配的阈值体系，并在评价报告中说明。

附录 C
(资料性)
标准化方法与示例公式

附录给出土壤培育效果评价中常用的指标标准化方法与示例公式。标准化后得到各指标无量纲得分 S_i , 通常取值范围为 [0,1]。同一评价批次内应采用一致的标准化方法与参数取值口径。

表C.1 指标标准化方法与示例公式

指标类型	适用情形(示例)	标准化得分 S_i (示例公式)	参数说明
效益型 (越大越好)	有机质、全氮、速效钾 (在不过量风险不纳入时)	$S_i = \frac{x_i - L_i}{U_i - L_i}$	x_i 为实测值; L_i 、 U_i 为该指标下限/上限(可取阈值边界或样本分位值); 当 $x_i \leq L_i$ 时取 $S_i=0$, 当 $x_i \geq U_i$ 时取 $S_i=1$
成本型 (越小越好)	容重、侵蚀强度(如纳入)	$S_i = \frac{U_i - x_i}{U_i - L_i}$	当 $x_i \leq L_i$ 时取 $S_i=1$, 当 $x_i \geq U_i$ 时取 $S_i=0$
区间最适型 (目标区间内最好)	pH值、有效磷 (既要避免不足也要避免过量)	$S_i = \begin{cases} 0, & x_i \leq L_i - \Delta_i \\ \frac{x_i - (L_i - \Delta_i)}{\Delta_i}, & L_i - \Delta_i < x_i < L_i \\ 1, & L_i \leq x_i \leq U_i \\ \frac{(U_i + \Delta_i) - x_i}{\Delta_i}, & U_i < x_i < U_i + \Delta_i \\ 0, & x_i \geq U_i + \Delta_i \end{cases}$	$[L_i, U_i]$ 为目标最适区间; Δ_i 为区间外的“容许过渡带宽度”(由附录B等級边界或区域经验确定), 实现从 1 线性衰减至 0

注:

1. 上述为“线性隶属函数”示例, 优点是直观、易落地; 也可采用 S 型函数, 但应在评价报告中说明并保持一致。

2. L_i 、 U_i 的选取建议优先使用附录 B 中对应指标的等级阈值; 若采用样本统计范围(如 5% 与 95% 分位数), 应说明样本来源与数量。

C.1 评分截断与边界处理(资料性说明)

为避免出现 $S_i < 0$ 或 $S_i > 1$, 计算后宜进行截断:

$$S_i = \max(0, \min(1, S_i))$$

C.2 综合指数(SQI)示例公式(资料性说明)

当采用加权求和法时:

$$SQI = \sum_{i=1}^n w_i S_i$$

并满足:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

若采用等权重:

$$w_i = \frac{1}{n}$$

若采用 PCA 确定权重：权重由主成分贡献率与载荷综合确定（按 GB/T 33469 或你们选定的统计口径执行），最终仍需归一化满足权重和为 1。

C.3 参数取值示例（可与附录 B 衔接）

以 pH 为例：目标区间 $[L_i, U_i]=[5.5, 6.5]$ ；若将 II 级边界扩展至 5.0 与 7.0，则可取 $\Delta_i=0.5$ ，则： x_i 在 5.5~6.5 内 $S_i=1$ ； $x_i=5.0$ 或 $x_i=7.0$ 时 $S_i=0$ ；5.0~5.5 与 6.5~7.0 区间线性过渡。

附录 D
(资料性)
典型应用场景与高效培育模式示例

本附录给出亚热带坡耕地常见限制因子与典型应用场景下的综合培育技术组合示例。示例用于指导使用者在同类条件下完成“诊断—选型—实施—监测评价”的技术闭环，不作为强制性规定。各模式涉及的单项指标等级判定与综合评价方法分别按附录B与附录C以及第11章执行。

D.1 典型模式快速对照表

下表用于按“主限制因子/主风险”快速选型；当多项问题叠加时，可采用“以控蚀为先、培肥为核、养分与酸化为支撑、结构为保障”的组合原则，并用第11章评价结果校核与调整。

模式编号	典型场景/主问题	触发条件(示例)	核心技术组合(按章节归类)	监测评价要点(第11章)
D—1	高侵蚀风险坡耕地(优先控蚀)	坡度5°~25°且暴雨期径流明显；出现细沟/冲沟/坡脚淤积/外排浑水等迹象	第5章(梯田/排水沟沉沙池/等高植物篱/绿肥间作/保护性耕作) + 第6章有机质提升 + 第10章种植制度协同	过程：覆盖度、侵蚀迹象、设施完好；结果：SOM、TN、AP、AK、pH、结构指标按第11章
D—2	工程控蚀+稳产基础(坡改梯典型)	坡度较大或坡长较长、侵蚀敏感；常规农艺控蚀效果不足	5.2 梯田工程 + 5.3 排水沟与沉沙池 + 配套覆盖/绿肥/保护性耕作(5.5/5.6)	同D—1，重点关注“径流通道是否被分散/消能”与田坎稳定性
D—3	有机质偏低(地力基础薄弱)	SOM等级偏低(按附录B)；产量波动、保水保肥差	第6章(秸秆还田/有机肥/冬闲绿肥翻压/生物炭) + 第7章配方施肥 + 适配的第5章保土措施	SOM、TN为核心；同步看BD/结构趋势与养分平衡
D—4	养分失衡(N—P—K结构不合理)	TN/AP/AK出现偏低或AP异常积累(>60mg/kg)；肥效低、投入高、流失风险大	第7章(测土配方+有机无机配合+豆科轮作/间作+生物炭) + 必要时第5章控流失	AP偏高时重点看径流风险与控流失措施到位
D—5	土壤酸化(pH偏低)与缓冲能力不足	pH等级偏低(附录B)；酸化风险显著	第8章(直接改良+减缓酸化/提升酸缓冲) + 第6章有机质提升 + 第7章养分优化	pH为核心，同时看SOM与养分有效性变化
D—6	团粒结构差/易板结(结构性退化)	团粒结构差、渗透差、表层易结皮；或BD偏高(按附录B)	第9章(有机质投入+保护性耕作+控制水土流失) + 关联第5/6章	结构指标以本文件第11章口径为准，过程可记录结皮/入渗表现
D—7	“控蚀+培肥+种植制度”协同提升(综合示范型)	多因子叠加：侵蚀风险+SOM偏低+养分失衡/酸化	第5章控蚀为基础 + 第6章培肥为核心 + 第7/8章精准调控 + 第10章制度配置	SQI综合评价(附录C) + 关键限制因子单项改善

注：

1. 触发条件以附录 B 单项指标等级判定为准；当同一指标在不同作物制度下目标不同，可在项目实施方案中细化目标等级。
2. 监测指标“最少集”应满足本文件第十一章监测与评价要求；必要时可根据场景增加过程性指标。

D.2 典型模式卡（示例）

D—2.1 模式 D—1：高侵蚀风险坡耕地“综合控蚀—培肥协同”模式（示例）

a) 适用条件

坡耕地暴雨期径流明显，或出现细沟侵蚀、坡脚淤积、田块外排浑水等迹象；裸地期较长、地表覆盖不足；或耕作扰动频繁导致表土易被冲刷。

b) 培育目标

明显降低侵蚀与养分随径流流失风险，稳定耕作层；在控蚀基础上提升 SOM 并维持/改善 TN、AP、AK 供给水平；结构不恶化并逐步改善（按第 11 章判定口径）。

c) 技术措施组合（按章引用）

水土保持主措施：按第 5 章执行（优先组合 5.3 排水沟与沉沙池 + 5.4 等高植物篱 + 5.6 保护性耕作；必要时叠加 5.5）。

有机质提升：按第 6 章执行（6.2/6.3/6.4/6.5 按条件选配）。

种植制度协同：按 10.3 执行，确保雨季关键窗口有覆盖、少裸露。

d) 关键控制要点

等高措施应连续布设，避免形成集中出流“缺口”；排水沟与沉沙池需保证通畅与可清掏；雨季保持地表覆盖，保护性耕作避免高含水条件下重载作业造成车辙与二次冲刷；AP 偏高地块应避免地表撒施与高磷投入，控流失优先。

e) 监测与评价

理化指标监测与评价按第 11 章、附录 B 执行；SQI 按附录 C 执行；

建议记录：覆盖度、侵蚀迹象、沟渠/沉沙池完好性（作为过程性证据）。

D—2.2 模式 D—2：梯田工程（坡改梯）“工程控蚀骨架+覆盖培肥”模式（示例）

a) 适用条件

坡度较大或坡长较长、侵蚀敏感，常规农艺控蚀效果不足；存在持续冲刷、耕作层变薄或汇流通道难以稳定分散。

b) 培育目标

通过工程措施显著削减坡面汇流能量并稳定坡面；工程扰动后快速恢复覆盖并提升 SOM，降低二次侵蚀风险。

c) 技术措施组合（按章引用）

梯田工程：按 5.2 执行；

排水沟与沉沙池：按 5.3 执行（与梯田排导系统协同）；

覆盖与保护性耕作：按 5.6 执行，必要时配套 5.5；

有机质提升：按第 6 章执行（工程后优先恢复有机输入与覆盖）。

d) 关键控制要点

工程措施必须与排导消能协同，避免形成新的集中冲刷点；

工程完成后的关键降雨期应避免裸露，覆盖与培肥同步推进；

工程设计与施工验收按 GB/T 16453.1—2008 等相关标准执行（本模式强调协同与技术组合）。

e) 监测与评价

按第 11 章开展理化指标监测与 SQI 评价；

重点过程记录：梯面集中径流迹象、田坎/排水设施稳定性、沉沙池淤积与清理情况。

D—2.3 模式 D—3：SOM 偏低“持续有机输入+保土保墒”模式（示例）

a) 适用条件

SOM 等级偏低（附录 B），地力基础薄弱、保水保肥差；可能伴随轻—中度侵蚀风险或作物抗逆性差。

b) 培育目标

SOM 稳步提升并带动 TN 供给能力改善；在提升地力的同时减少表土流失与有机碳流失。

c) 技术措施组合（按章引用）

有机质提升主措施：按第 6 章执行（6.2 秸秆还田、6.3 有机肥、6.4 冬闲绿肥翻压、6.5 生物炭按条件组合）；

养分协同：按第 7 章执行（7.1 测土配方、7.2 有机无机配合）；

控蚀托底：按第 5 章选择至少 1 - 2 项（优先 5.6 保护性耕作+覆盖相关措施）。

d) 关键控制要点

有机投入强调“持续与稳定来源”，质量与腐熟要求应符合相关引用标准；

秸秆/绿肥翻压应兼顾雨季控蚀与播种质量，避免造成裸地窗口扩大；

生物炭等投入应与养分管理协同，避免单一措施替代测土配方。

e) 监测与评价

重点指标：SOM、TN（按第 11 章）；同步评价 pH、AP、AK 等；

SQI 按附录 C 计算并用于综合判定改良效果。

D—2.4 模式 D—4：养分均衡“测土配方+有机无机协同”模式（示例）

a) 适用条件

TN/AP/AK 存在短板或累积风险（附录 B），投入高但肥效不稳；

坡耕地存在面源风险担忧（尤其 AP 偏高时）。

b) 培育目标

提升肥料利用效率，实现 TN/AP/AK 供给与作物需求匹配；

AP 偏高地块控制累积与径流迁移风险。

c) 技术措施组合（按章引用）

测土配方施肥：按 7.1 执行；

有机无机配合施肥：按 7.2 执行；

豆科绿肥间作/轮作与生物炭（可选）：按 7.3、7.4 执行；

控流失配套（必要时）：按第 5 章执行（尤其 AP 偏高或侵蚀明显地块）。

d) 关键控制要点

养分调控必须以检测数据为依据，避免经验性加量；

AP 偏高时优先“减磷+控流失+定位施肥”，避免地表撒施；

有机投入应核算其养分贡献，防止“有机肥+化肥”叠加过量。

e) 监测与评价

重点指标：TN、AP、AK 及其等级变化（附录 B）；综合评价按第 11 章与附录 C；

AP 偏高地块建议结合侵蚀迹象与控蚀措施落实情况进行风险校核。

D—2.5 模式 D—5：酸化土壤“直接改良+缓冲提升”模式（示例）

a) 适用条件

pH 等级偏低（附录 B）且有酸化持续加剧风险；

常伴随养分有效性下降或施肥效率降低。

b) 培育目标

pH 向目标等级改善并趋于稳定；

提升酸缓冲能力，减少再次酸化风险，同时改善养分有效性。

c) 技术措施组合（按章引用）

直接改良土壤酸化：按 8.1 执行（用量可参考附录 A “推荐用量”相关内容）；

减缓酸化与提升酸缓冲能力：按 8.2 执行；

有机质提升与施肥结构优化协同：分别按第 6 章与第 7 章执行。

d) 关键控制要点

改良材料与施用方式应与酸化程度、土壤缓冲特性相匹配，宜“稳调+监测校核”；

避免因施肥结构不当持续驱动酸化，强调与测土配方协同；

AP 偏高地块需同时考虑控流失，避免改良后养分迁移风险上升。

e) 监测与评价

重点指标：pH（核心）、SOM 与养分指标（按第 11 章）；

综合评价：SQI 按附录 C 执行，并用于措施优化（11.4）。

D—2.6 模式 D—6：团粒结构改善“有机投入+保护性耕作+控蚀”模式（示例）

a) 适用条件

结构退化表现明显：表层易结皮、入渗差、作业适宜性差；或 BD 等级偏高（附录 B）；

往往与侵蚀风险和 SOM 偏低叠加。

b) 培育目标

改善团粒结构与孔隙状况，提高入渗与抗蚀能力；

结构改善与 SOM 提升协同，提升稳定产能。

c) 技术措施组合（按章引用）

增加有机质投入：按 9.1 并对接第 6 章具体措施；

保护性耕作：按 9.2 并对接 5.6；

控制水土流失：按 9.3 并对接第 5 章（视侵蚀风险组合选配）。

d) 关键控制要点

结构改善依赖“有机投入+少扰动”的持续协同，避免短期频繁深翻破坏团聚体；

在降雨集中季节优先保证覆盖与控蚀措施连续性；

机械作业需规避高含水窗口，降低压实与结构破坏风险。

e) 监测与评价

结构相关指标按第 11 章与附录 B 执行（如含 BD 等）；并结合现场过程表现记录（结皮、径流等）解释效果；

SQI 按附录 C 用于综合判定。

D—2.7 模式 D—7：综合示范型“控蚀优先+多因子协同提升”模式（示例）

a) 适用条件

侵蚀风险与培肥、养分、酸化、结构问题多项叠加；

需要形成成套技术路径用于连片推广或示范点建设。

b) 培育目标

以控蚀稳定坡面为前提，系统提升土壤质量与稳定产能；

关键限制因子显著改善，SQI 整体提升并保持可持续趋势。

c) 技术措施组合（按章引用）

基础控蚀：第 5 章（优先落实梯田/排导/等高/保护性耕作等组合）；

核心培肥：第 6 章（秸秆+有机肥+绿肥/生物炭按地块配置）；

精准养分与酸化治理：第 7 章与第 8 章；

结构保障：第 9 章（与 5.6、6 章联动）；

制度协同：第 10 章（覆盖窗口与农时匹配）。

d) 关键控制要点

组合实施顺序遵循 4.3 “基础控蚀—核心培育—精准养分—针对性修复—结构改善—监测优化”；

当控蚀与培肥发生资源冲突时，优先保证覆盖与控蚀不断档；

用第 11 章评价结果驱动措施调整（11.4），避免“一套措施用到底”。

e) 监测与评价

按第 11 章开展单项指标等级判定（附录 B）与 SQI 综合评价（附录 C）；

对控蚀措施同步记录覆盖与侵蚀过程证据，用于解释理化指标变化与风险控制效果。

D.3 使用与适配原则

模式选取应以地块诊断与监测数据为依据，单项指标按附录 B 判定，综合评价按附录 C 与第 11 章执行。

各模式为“技术组合示例”，使用者应结合坡度、坡长、降雨特征、土壤类型、作物制度及投入条件进行适配；工程措施的设计与施工验收按相关引用标准执行。

当水土流失风险与培肥目标冲突时，应优先保证控蚀与覆盖（与 4.1 “以水土保持为基础”一致），再推进培肥与养分调控。