

《南方红壤区花生连作障碍综合防控技术规范》
（征求意见稿）
编制说明

江西省红壤及种质资源研究所
2026 年 10 月 19 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

1.1 任务来源

本标准《南方红壤区花生连作障碍综合防控技术规范》由土壤学会归口管理。根据 2024 年 4 月中国土壤学会第十四届理事会议通过 2024 年 5 月 6 日起实施的《中国土壤学会团体标准制修订项目管理办法（试行）》通知，江西省红壤及种质资源研究所联合中国科学院南京土壤研究所、江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所、江西省农业科学院植物保护研究所和江西省农业技术推广中心开展南方红壤区花生连作障碍综合防控技术规范的编制工作。该标准得到以下项目支持：江西省农业关键核心技术攻关课题（JXNK202602-04-01）、国家自然科学基金项目（42267055）等项目。

1.2 制定背景

花生是我国重要的油料、经济与饲用作物之一，常年种植面积超 700 万公顷，是保障我国食用油供给安全、助力农民增收的核心特色粮油作物。我国花生主产区相对集中和耕地资源有限，加之种植环境条件、种植习惯和种植效益等因素的综合影响，连作花生种植面积逐年增加。花生属于典型的对连作较敏感的作物，花生连作会引发土壤理化性质恶化、土壤酸化板结、养分比例失衡、根际土传病原菌累积、化感自毒物质富集、土壤微生物群落结构失衡等系列土壤障碍问题，直接导致花生出苗率下降、植株长势衰弱、病虫害频发、空壳烂果率升高、产量逐年递减、品质持续退化，极大降低花生种植经济效益，已成为制约花生规模化、标准化、绿色化可持续发展的核心瓶颈。

近年来，研究者围绕轮作倒茬、冬闲翻耕、肥料运筹等缓解花生连作障碍及连作花生高产栽培技术做了大量相关研究，但国内花生连作障碍防控技术应用存在以下问题：**一是技术体系碎片化**，现有轮作倒茬、土壤改良、微生物调控、施肥调控、田间管护等各类技术分散应用，缺乏统一、集成、标准化的组合技术规程，各地农户、农技人员操作方法不一；**二是技术适配性不足**，不同产区土壤质地、连作年限、障碍程度差异较大，通用高产栽培标准无法适配红壤区花生连作障碍治理需求；**三是技术落地性差**，市面各类抗重茬菌剂、土壤调理产品、改良技术应用无统一规范，用量、施用时期、操作方式无量化标准，防控效果参差不齐。南方红壤旱地因自然和人为因素影响，土壤自身“酸、黏、板、瘦”障碍因素加剧花生连作障碍发生，严重限制了花生产业的可持续发展。因此，亟需建立

针对南方红壤区花生连作障碍“地上-地下”协同全链条综合防控技术，以满足红壤区花生主产区连作障碍防控、规模化推广的需求。

在国家自然科学基金、江西省重点研发计划及江西省农业关键核心攻关技术攻关课题的支持下，项目实施单位揭示了旱坡地红壤的退化机制、研发土壤障碍消减技术、明确了花生种植的氮肥运筹施肥方案。在此基础上，联合花生生长性状、病虫害发生规律、土壤生物性状和土壤理化性质等数据，规定了花生连作障碍综合防控的栽培品种、土壤改良、冬闲轮作以及田间管理等技术规范。

1.3 协作单位

(1) **牵头单位：**江西省红壤及种质资源研究所，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：**中国科学院南京土壤研究所；江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所；江西省农科院植物保护研究所；江西省农业技术推广中心等参与标准起草及应用和验证工作。

1.4 主要工作过程

(1) 调研与数据收集阶段

2022年1月-2026年8月，基于位于江西省红壤及种质资源研究所和中国农业科学院鹰潭红壤实验站的长期定位试验，调查分析不同措施下土壤理化性质差异，并结合江西省农科院植物保护研究所平板对峙培养定向筛选拮抗菌，在红壤种质所内设置土壤改良剂种类、优化施肥、菌剂施用以及冬季绿肥筛选等试验，并结合丰城市、余江区等县域不同品种花生种植调查采样，通过测定土壤理化性质、生物学指标，以及作物生长状况，形成了花生连作障碍综合防控技术，并在江西省进贤县、丰城等地行了多点验证，优化花生连作障碍综合防控技术参数。

(2) 标准起草阶段与立项

2026年3月至7月，江西省红壤及种质资源研究所联合中国科学院南京土壤研究所、江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所、江西省农业科学院植物保护研究所和江西省农业技术推广中心等参加单位有关专家、技术人员等对各技术要点进行了认真研究和讨论，成立标准起草工作组，根据大田试验结果，结合相关文献资料及国内外相关标准、技术资料，编制组召开标准内部探讨会，经多次讨论和修改，明确标准编制原则，适用范围和主要技术框架，完成了标准草

案编制。

根据《中国土壤学会团体标准管理办法（试行）》，2026年8月25日提交标准草案至中国土壤学会开展专家立项函评。经函评专家评审论证，同意立项，中国土壤学会于2026年9月11日发布立项公告。

(3) 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。同时，2026年9月，编制组向8家单位进行专家意见征集，共收集专家反馈意见36条；其中采纳35条，未采纳1条。编制组根据征集意见对标准文本进行了修订，形成征求意见稿和编制说明，并提交给中国土壤学会。

1.5 起草组成员及其所做的主要工作

标准制定过程主要由江西省红壤及种质资源研究所、中国科学院南京土壤研究所、江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所、江西省农业科学院植物保护研究所、江西省农业技术推广中心等单位的人员参与资料收集、文本完成、实验室比对、数据处理、田间验证和技术推广应用等工作。具体分工情况见表1（标准起草组成员应当具备代表性，广泛吸收科研、生产、检测等方面的专家和技术人员参加。）

表 1 主要起草人员信息及任务分工

姓名	职务/职称	工作单位	任务分工
成艳红	研究员	江西省红壤及种质资源研究所	全面工作,标准起草
程坤	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	土壤改良,标准起草
吴艳	高级农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
徐小林	副研究员	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
吕丰娟	副研究员	江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所	参数获取,标准起草
段灵涛	助理研究员	江西省农业科学院植物保护研究所	参数获取,标准起草
何绍浪	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
罗细芽	正高级农艺师	江西省农业技术推广中心	示范应用

李大明	研究员	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
刘明	副研究员	中国科学院南京土壤研究所	土壤改良,参数校对
范贝贝	工程师	中国科学院南京土壤研究所	示范应用
王斌强	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	示范应用
柳开楼	研究员	江西省红壤及种质资源研究所	示范应用
钟义军	高级农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
何小林	农艺师	江西省农业技术推广中心	示范应用
胡丹丹	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	参数获取
刘宇新	农艺师	江西省农业技术推广中心	示范应用
吴火亮	农艺师	江西省农业技术推广中心	示范应用
高玉峰	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	样品采集,室内分析
祝琳	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	样品采集,室内分析
侯振宇	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	样品采集,室内分析
刘春香	基层高级农艺师	渝水区农业农村局	示范应用
万长艳	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	样品采集,室内分析
吴鑫	农艺师	江西省红壤及种质资源研究所	样品采集,室内分析
李剑灵	农艺师	渝水区农业农村局	示范应用
聂锦鹏	农艺师	丰城市董家镇便民服务中心	示范应用
熊勇斌	农艺师	丰城市现代农业技术服务中心	示范应用

二、标准编制原则和确定标准主要内容

2.1 标准编制原则

本标准在遵循“科学性、先进性、实用性”基础上,严格按照《标准化工作导则》(GB/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。编制工作遵循科学性、规范性、适用性、先进性的原则,并严格贯彻国家相关法律法规及强制性标准的要求。标准制定过程中严格贯彻国家有关方针、政策、法律和规章,严格执行强制性国家标准和行业标准。

在广泛调研和深入研究的基础上,针对连作花生土壤理化性质恶化、养分耗竭、微生物失衡、化感自毒物质累积等突出问题,起草工作组依托长期定位实验,

室内盆栽培养试验相结合，系统监测了土壤理化性质、生物性状、作物长势及病虫害发生等动态变化，经科学总结与系统凝练，最终形成《南方红壤区花生连作障碍综合防控技术规范》中国土壤学会团体标准。

2.2 标准主要内容

本文件针对连作花生导致土壤养分选择性耗竭、微生物失衡、病虫害频发等问题，通过多年定位试验研究、实地调查和文献、现行相关标准研究，通过整合土壤物理、化学、生物指标及作物健康数据，确立了本标准的科学性和可操作性。主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、防控对象、防控规则、防控技术、田间管理、废弃物处理和档案管理等技术要点。以下为主要内容的编制依据：

(1) 本标准的适用范围

花生是我国重要的油料和经济作物，有较高的经济价值。红壤区是我国花生的重要产区之一，而花生是江西旱地种植的首要作物。但花生连作会引发土壤理化性质恶化、土壤酸化板结、养分比例失衡、根际土传病原菌累积、化感自毒物质富集、土壤微生物群落结构失衡等系列土壤障碍问题，直接导致花生出苗率下降、植株长势衰弱、病虫害频发、空壳烂果率升高、产量逐年递减、品质持续退化，迫切需要研发花生连作障碍综合防控技术。本标准适用于花生连作红壤旱地，通过品种、土壤改良、耕作等防控模式实现连作花生地的用养结合，还增加不仅增加农户收入，具有广泛的适用性和针对性。

(2) 防控对象及防控原则的确定及依据

本标准规定了花生连作障碍综合防控技术的防控对象和防控原则，包括连作样地选择、防控遵循原则，此规定依据 GB/T 42812 等规范性文件，确保防控对象的针对性，强化了防控的科学性和经济可行性。

(3) 防控技术的确定依据

防控技术根据引起花生连作障碍的主要因素规定相关防控技术，包括品种选择、种子处理、土壤改良技术、冬闲轮作等。依据试验数据和多点验证，不同管理措施显著影响作物生长和土壤理化生物指标，不同花生品种根系分泌物组成存在差异，土壤中酚酸类化感物质累积量不同。技术内容参考 GB 4407.2 的要求，同时参考刘莘等（2015）研究，确定栽培抗性品种。土壤改良技术中，根据土壤结构恶化、养分失衡、微生物结构退化等问题推荐，包括深耕改土、无机氮肥运

筹、有机无机配施、酸化土壤改良以及菌剂施用等措施。依据试验结果，深耕能显著提高土壤团聚体稳定性，降低土壤容重；有机无机配施显著增加花生产量，提高土壤 pH 值，技术内容参 GB/T 42812、NY/T 525、NY/T 3443 等标准，确保控酸、培肥等措施的可行性。冬闲轮作技术，筛选冬季绿肥品种，冬闲轮作肥田萝卜花生增产 10%-40%，同时增加土壤细菌多样性，增加作物产量，技术内容参考 GB/T 42812 等标准，并参考江西省农科院土壤与肥料研究所研究结果，确保技术可行性。酸化土壤改良技术基于南方红壤区土壤酸化特征，参考 NY/T 3443、NY/T 3937 等规范性文件，确保碱性改良剂的施用效果。田间管理、化控措施及病虫草害防控等措施通过试验实践及示范基地调研，同时依据 GB 4285、GB/T 8321、NY/T 1276 等规范性文件确定。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益

3.1 试验分析

(1) 不同花生品种连作土壤中化感物质含量差异

表 2 不同花生品种连作年限土壤中酚酸类化感物质的含量

化合物名称 Compound	鲁花 11 Luhua 11			鲁花 12 Luhua 12		
	轮作 Rotation	连作 3 年 Continuous cropping for 3 years	连作 5 年 Continuous cropping for 5 years	轮作 Rotation	连作 3 年 Continuous cropping for 3 years	连作 5 年 Continuous cropping for 5 years
苯甲酸 Benzoic acid	4.53 ± 0.21a	3.24 ± 0.32b	3.67 ± 0.18b	4.53 ± 0.21a	3.04 ± 0.34c	3.45 ± 0.26b
对羟基苯甲酸 p-Hydroxybenzoic acid	1.20 ± 0.12c	2.38 ± 0.21b	3.25 ± 0.27a	1.20 ± 0.12c	2.14 ± 0.23b	3.07 ± 0.26a
邻苯二甲酸 Phthalic acid	2.80 ± 0.24c	3.52 ± 0.32b	4.73 ± 0.34a	2.80 ± 0.24b	3.38 ± 0.29b	4.41 ± 0.31a
肉桂酸 Cinnamic acid	0.75 ± 0.14c	1.27 ± 0.27b	1.92 ± 0.19a	0.75 ± 0.14c	1.12 ± 0.15b	1.62 ± 0.26a
2,5-二甲基苯甲醛 2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.92 ± 0.15c	1.32 ± 0.17b	2.04 ± 0.24a	0.92 ± 0.15b	1.24 ± 0.16b	1.97 ± 0.23a
2,6-二叔丁基苯酚 2,6-Di-tert-butylphenol	1.23 ± 0.18c	2.05 ± 0.22b	2.86 ± 0.23a	1.23 ± 0.18c	1.94 ± 0.21b	2.43 ± 0.31a

注：表格中数据后的小写字母表示显著性 0.05 水平上的差异

(引自 刘莘等，中国油料作物学报)

刘莘等研究结果表明，在鲁花 11、鲁花 12 不同种植年限土壤中均检测到了苯甲酸、对羟基苯甲酸、邻苯二甲酸、肉桂酸、2,5-二甲基苯甲醛和 2,6-二叔丁基苯酚这 6 种酚酸(醛)类化感物质(表 2)。除苯甲酸的含量变化没有明显的规律外，其他 5 种物质在 2 个花生品种连作后均在土壤中呈现出累积的趋势，连作 5 年后的含量均显著高于轮作处理。邻苯二甲酸的含量相对最高，其次为对羟基苯甲酸、2,6-二叔丁基苯酚和 2,5-二甲基苯甲醛，肉桂酸的含量相对最低。大花生品种鲁花 11 连作后土壤中积累的化感物质总量高于小花生品种鲁花 12。

(2) 不同耕作模式下土壤理化性质及花生产量

采用单因素随机区组设计, 设置连年冬耕 (CK)、隔年冬耕 (T1) 和不冬 (T2) 3 个冬耕模式。结果表明(表 3), 不同处理对花生播种前 0-10cm 和 10-20cm 土层土壤容重均有显著影响。2 年结果表明, 与 CK 处理相比, T2 处理显著增加了 0-10cm 和 10-20cm 土层土壤容重, 增幅分别为 4.06%-7.29%和 13.4%-16.7%。从土壤体积含水量来看, 不同处理对花生播种前 0~10cm 和 10~20cm 土层土壤体积含水量存在显著影响。其中: 2018 年, 与 CK 处理相比, T2 处理显著降低了 0~10 cm 和 10~20cm 土层土壤体积含水量, 降幅平均为 21.5%; 2019 年, 与 CK 相比, T1 和 T2 处理显著降低了 0~10cm 和 10~20cm 土层土壤体积含水量, 降幅平均为 20.7%。由此说明, 红壤旱地冬季翻耕有利于降低土壤容重、保持土壤体积含水量。

表 3 不同处理土壤容重和体积含水量的变化

年份 Year	处理 Treatment	0~10 cm		10~20 cm	
		土壤容重 Soil bulk density/ (g·cm ⁻³)	土壤体积含水量 Soil volumetric moisture content/%	土壤容重 Soil bulk density/ (g·cm ⁻³)	土壤体积含水量 Soil volumetric moisture content/%
2018	CK	1.14±0.02 b	27.1±0.36 a	1.24±0.01 b	32.6±0.35 a
	T1	1.15±0.02 b	26.3±0.20 a	1.24±0.03 b	32.5±0.30 a
	T2	1.23±0.02 a	21.3±0.15 b	1.41±0.02 a	25.5±0.25 b
2019	CK	1.15±0.01 b	27.5±0.55 a	1.22±0.03 b	31.3±0.50 a
	T1	1.20±0.02 a	22.1±0.45 b	1.41±0.03 a	24.8±0.35 b
	T2	1.23±0.02 a	21.5±0.40 b	1.42±0.02 a	24.7±0.35 b

注: CK 代表冬耕, T1 代表隔年冬耕, T2 代表不冬耕。不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

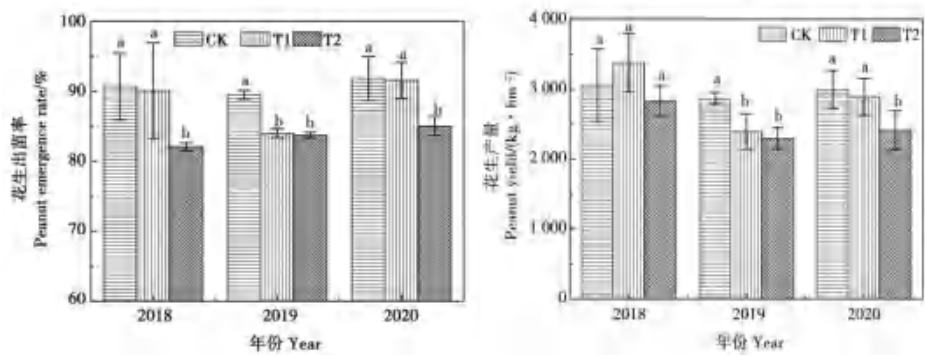


图 1 花生出苗率及产量

与 CK 相比, T2 处理显著降低了各年度花生出苗率, 降幅为 6.44%~9.46%, 而 T1 处理显著降低了休耕年 (2019 年) 花生出苗率, 降幅为 6.16%。3 年花生平均产量结果表明, CK 处理最高 (2974 kg/hm²), T1 处理略有下降, T2 处理降幅较大。

不同耕作模式下土壤有机质及速效氮磷钾含量如图 2 所示,不同处理对 0-10 cm 土层土壤养分含量无显著影响,而对 10~20 cm 土层土壤养分含量存在显著影响。与 CK 相比, T1 处理显著降低了 10~20 cm 土层土壤速效钾含量,降低 8.48%; T2 处理显著降低了 10~20 cm 土层土壤有机质、碱解氮和速效钾含量,降幅分别为 15.5%、18.8%和 8.48%。

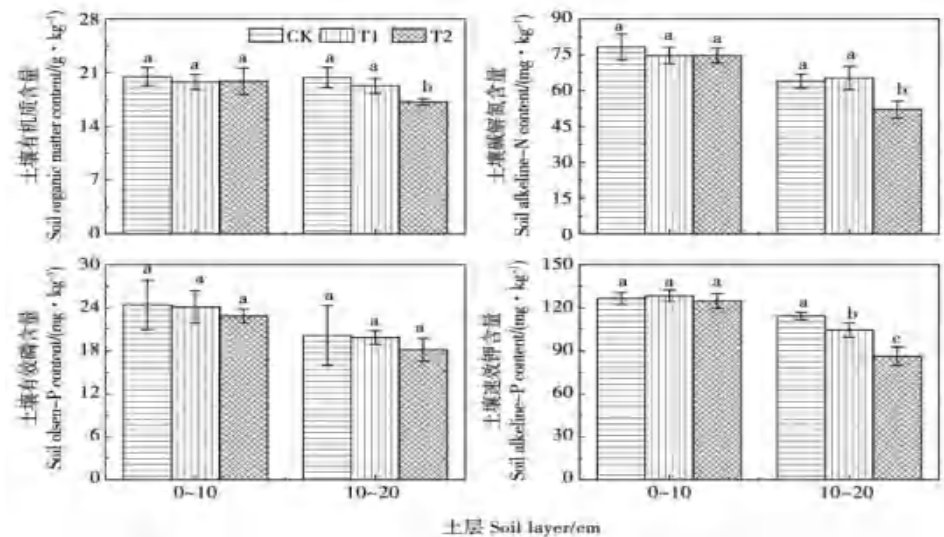


图 2 土壤理化性质

通过进一步花生单株产量与耕作厚度的米氏方程拟合及增产潜力分析结果表明,耕层厚度为 20、30、40、50、60、70、80 cm 时,花生单株产量分别比前一耕层厚度增产 20.17%、7.21%、3.74%、2.29%、1.55%、1.12%、0.85%。因此说明,红壤旱地耕层厚度宜在 30cm 内,耕层厚度大于 30 cm 时,进一步增加耕层厚度对花生增产潜力较小。

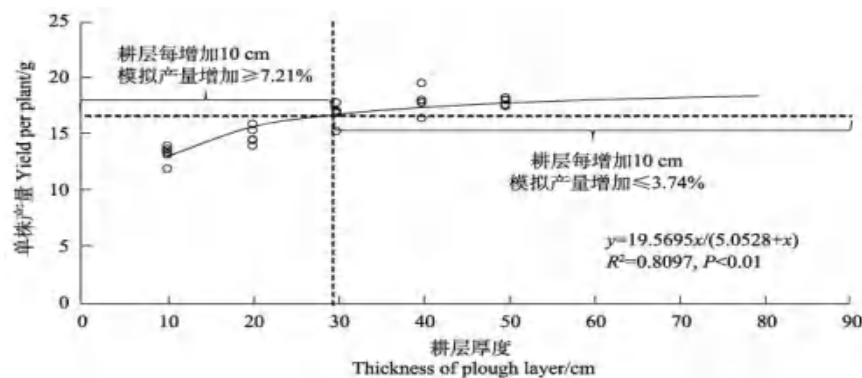


图 3 土壤耕层厚度与花生产量的关系

(3) 不同施肥方式下土壤理化性质及花生产量

采集了花生连作 36 年的土壤,比较了 NPK、NK、NPKS、NPKM 施肥处理

下根际土与非根际土 pH、有机碳、全氮、速效氮、有效磷和速效钾的变化特征（图 4）。

在根际土中，pH 在不同施肥处理下表现为 NPKM> NPKS> NPK> NK，与 NPK（pH 5.48）相比，NK 处理 pH 显著下降 0.48 个单位，NPKS 处理 pH 显著下降 0.13 个单位，NPKM 处理 pH 显著升高 0.31 个单位（ $p<0.05$ ）；有机碳含量组间差异显著，NPK 处理根际土有机碳为 $6.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理下有机碳含量较 NPK 显著降低 23.6%，NPKS 和 NPKM 处理下有机碳含量则分别显著增加 19.7%和 37.4%（ $p<0.05$ ）。全氮含量各处理差异明显，NPK 处理下全氮 $0.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理较 NPK 显著降低 23.5%，而 NPKS 和 NPKM 处理下全氮含量分别显著升高 15.1%和 40.7%（ $p<0.05$ ）。就速效氮而言，与 NPK 相比，NK 处理速效氮含量显著降低 28.6%，NPKS 和 NPKM 处理速效氮含量则分别显著升高 12.7%和 45.0%（ $p<0.05$ ）。有效磷对不同施肥措施的响应强烈，NPK 处理下有效磷含量为 $70.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与 NPK 相比，NK 处理下有效磷含量显著降低 96.8%，NPKS 处理下有效磷含量降低 29.7%，而 NPKM 处理下有效磷含量大幅显著升高 472.8%（ $p<0.05$ ）。NPK 处理下速效钾为 $432 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理显著降低 50.5%（ $p<0.05$ ），而 NPKS、NPKM 处理下速效钾与 NPK 则无显著差异。

非根际土中各项理化指标变化趋势与根际土基本一致。与 NPK（pH 5.13）相比，NK 处理 pH 显著下降 0.34 个单位，NPKS 处理 pH 显著增加 0.16 个单位，NPKM 处理 pH 显著升高 0.54 个单位；NPK 处理下有机碳含量为 $6.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理较 NPK 显著降低 28.1%，NPKS 处理下有机碳含量则分别显著增加 20.1%（ $p<0.05$ ）。NPK 处理下全氮为 $0.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理较 NPK 显著降低 27.5%，NPKS 和 NPKM 处理下全氮含量则分别显著增加 14.5%和 22.1%（ $p<0.05$ ）。NPK 处理下速效氮含量为 $63.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与 NPK 相比，NK 处理下速效氮含量显著降低 34.2%，NPKS 和 NPKM 处理下速效氮含量分别显著升高 18.3%和 28.5%（ $p<0.05$ ）。NPK 处理下有效磷含量为 $59.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理下有效磷含量显著降低 95.8%，NPKS 处理下有效磷含量降低 28.1%，而 NPKM 处理下有效磷含量显著升高 394.0%（ $p<0.05$ ）。NPK 处理下速效钾含量为 $329.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，NK 处理显著降低 57.5%（ $p<0.05$ ），NPKS 处理下速效钾增加 1.6%，NPKM 处理降低 6.0%。

结果表明,不同施肥处理对根际土与非根际土土壤理化性质的影响具有一致性。整体表现为缺磷NK处理显著降低土壤pH以及有机碳、全氮、速效氮、有效磷、速效钾养分含量。氮磷钾配施秸秆(NPKS)可不同程度提高土壤pH与养分水平,而猪粪配施氮磷钾(NPKM)对土壤pH和各类养分的提升效应最为突出。同一施肥条件下根际土理化指标整体高于非根际土。不同施肥模式显著改变根际、非根际土壤理化特征,根际土与非根际土壤理化性质对施肥处理的响应趋势整体吻合。

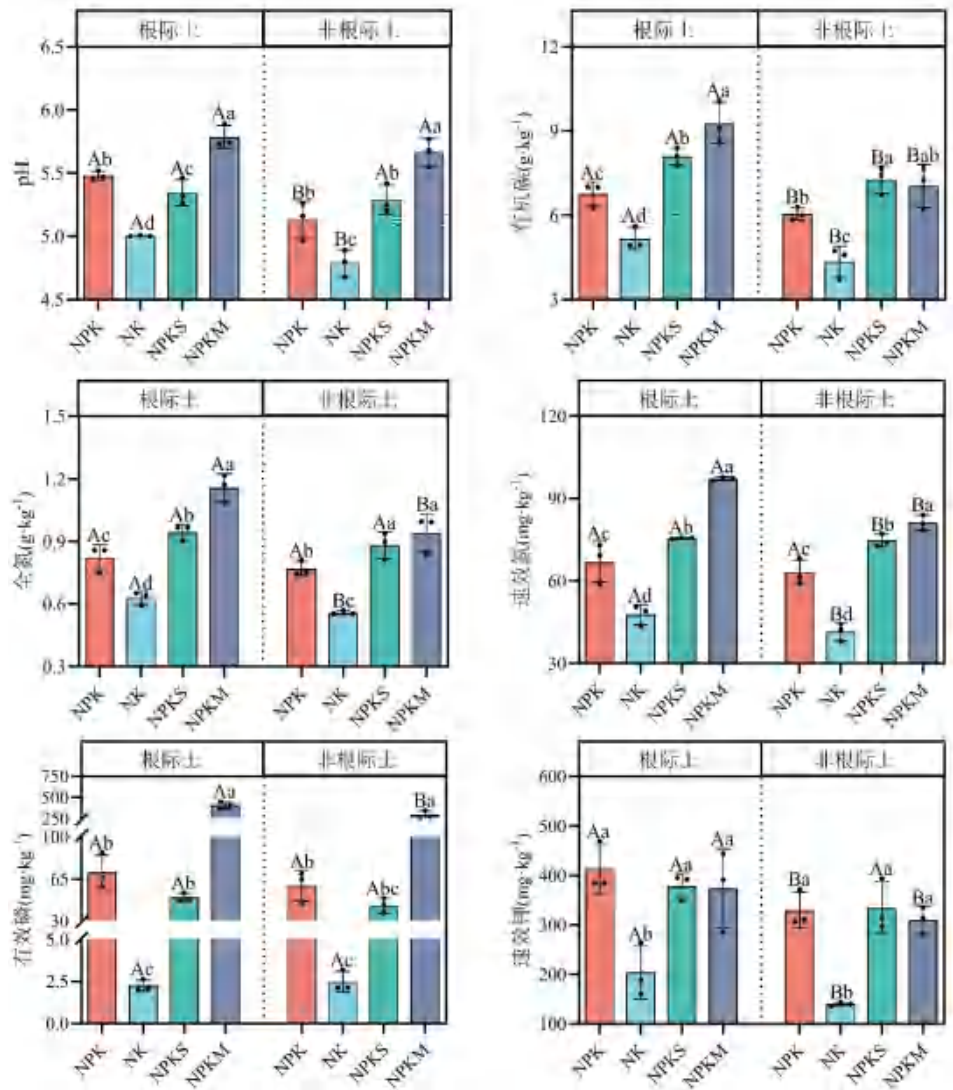


图4 不同施肥处理对连作花生根际土和非根际土理化性质的影响

为明确不同施肥模式对土壤碳、氮、磷循环相关水解酶活性的影响,本研究比较了NPK、NK、NPKS、NPKM施肥处理下根际土与非根际土β-葡萄糖苷酶、纤维二糖水解酶、亮氨酸氨基肽酶、N-乙酰-β-D-葡萄糖苷酶、β-木糖苷酶、酸

性磷酸酶活性变化（图 5）。

根际土中, β -葡萄糖苷酶活性在各处理间差异显著, 与 NPK ($24.5 \text{ nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) 为相比, NK 处理下 β -葡萄糖苷酶活性显著降低 47.4%, NPKS 处理升高 31.8%, NPKM 处理显著升高 63.6% ($p < 0.05$)。就纤维二糖水解酶活性来看, 与 NPK 相比, NK 处理纤维二糖水解酶活性显著降低 54.6%, NPKS 和 NPKM 处理下纤维二糖水解酶活性分别显著增加 51.3% 和 86.3% ($p < 0.05$), 而 NPKS 和 NPKM 间则无显著差异。NPK 处理下亮氨酸氨基肽酶活性为 $42 \text{ nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, 与 NPK 相比, NK 处理下亮氨酸氨基肽酶活性显著降低 66.8%, NPKM 处理显著增加 97.2% ($p < 0.05$), 而 NPKS 和 NPK 间亮氨酸氨基肽酶活性无显著差异。不同施肥措施下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性差异显著, NK 处理下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性较 NPK 显著降低 63.0%, NPKS 处理增加 9.4%, NPKM 处理下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性较 NPK 显著增加 44.8% ($p < 0.05$)。与 NPK 相比, NK 处理下 β -木糖苷酶活性显著降低 64.6%, NPKS 处理升高 46.6%, NPKS 和 NPKM 处理下 β -木糖苷酶活性则分别显著增加 42.7% 和 36.5% ($p < 0.05$), 而 NPKS 和 NPKM 间则无显著差异。酸性磷酸酶活性组间差异显著, 与 NPK 相比, NK 处理下酸性磷酸酶活性显著降低 19.6%, NPKS 和 NPKM 处理下酸性磷酸酶活性则分别显著增加 42.7% 和 36.5% ($p < 0.05$)。

非根际土中各类水解酶活性变化趋势与根际土保持一致。NPK 处理下 β -葡萄糖苷酶为 $19.4 \text{ nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, NK 处理下 β -葡萄糖苷酶活性较 NPK 显著降低 60.9%, 而 NPKS 和 NPKM 处理下 β -葡萄糖苷酶活性则分别显著升高 46.6% 和 76.1% ($p < 0.05$)。就纤维二糖水解酶活性来看, NK 处理纤维二糖水解酶活性较 NPK 显著降低 58.3%, 而 NPKS 和 NPKM 处理下纤维二糖水解酶活性分别显著增加 76.6% 和 140.9%, 且 NPKS 和 NPKM 间纤维二糖水解酶活性显著差异 ($p < 0.05$)。NPK 处理下亮氨酸氨基肽酶活性为 $15.5 \text{ nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, 与 NPK 相比, NK 处理下亮氨酸氨基肽酶活性显著降低 55.3%, NPKM 处理下亮氨酸氨基肽酶活性显著增加 183.3% ($p < 0.05$), 而 NPKS 和 NPK 间亮氨酸氨基肽酶活性无显著差异。不同施肥措施下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性差异显著, 与 NPK 相比, NK 处理下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性显著降低 64.4%, NPKS 处理增加 23.9%, NPKM 处理下 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶活性较 NPK 显

著增加 95.5% ($p<0.05$)。与 NPK 相比, NK 处理下 β - 木糖苷酶活性显著降低 64.6%, NPKS 处理升高 46.6%, NPKS 和 NPKM 处理下 β - 木糖苷酶活性则分别显著增加 42.7%和 36.5% ($p<0.05$), 而 NPKS 和 NPKM 间则无显著差异。酸性磷酸酶活性组间差异显著, 与 NPK 相比, NK 处理下酸性磷酸酶活性显著降低 48.0%,NPKS 和 NPKM 处理下酸性磷酸酶活性则分别显著增加 14.4%和 31.8% ($p<0.05$)。

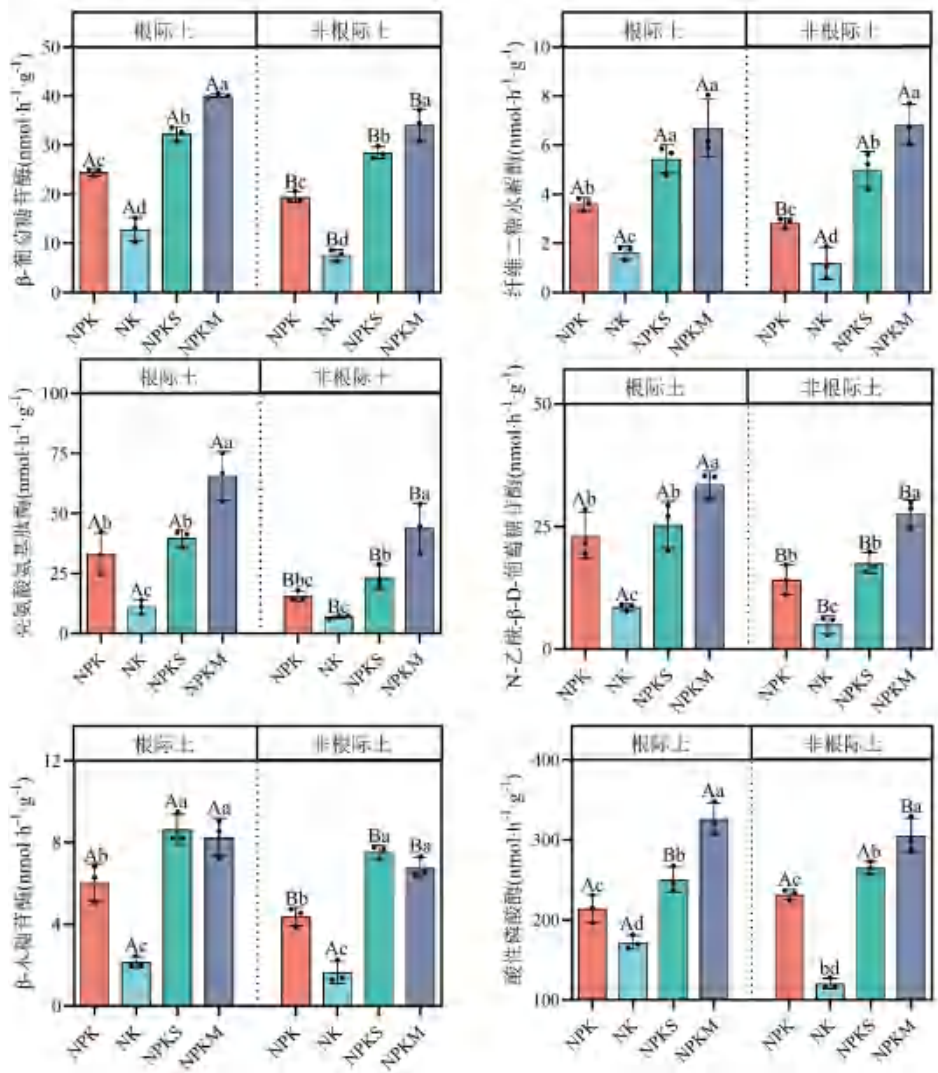


图 5 不同施肥处理对根际土和非根际土水解酶活性的影响

结果表明, 不同施肥处理对根际土、非根际土碳氮磷循环相关水解酶活性的影响具有一致性。整体表现为缺磷 NK 处理显著降低土壤水解酶活性; 氮磷钾配施秸秆 (NPKS) 可不同程度提升各类水解酶活性, 猪粪配施氮磷钾 (NPKM) 处理对土壤水解酶活性提升效果最为显著。同一施肥条件下根际土酶活性整体高于非根际土。不同施肥模式显著改变土壤水解酶活性特征, 根际土与非根际土酶

活性对施肥处理的响应趋势相似。

为明确不同施肥模式对土壤微生物群落 α 多样性的影响，本研究比较了 NPK（施用氮磷钾）、SNPK（氮磷钾配施秸秆）、NK（施用氮钾）、OM（氮磷钾配施猪粪）4 种处理下土壤细菌与真菌群落的丰富度与多样性指数变化（图 6）。

细菌群落中，表征物种丰富度的 Richness（图 6A）与 Chao1 指数（图 6C）在各处理间差异均达显著水平（ $p=0.024$ ）；与 NPK 处理相比，OM 处理下细菌 Richness 与 Chao1 指数显著升高（ $p<0.01$ ），NK 处理下两项丰富度指数均明显降低，SNPK 处理与 NPK 处理间无显著差异。Shannon 指数（图 6B）的组间整体差异显著（ $p=0.025$ ），变化趋势与丰富度指数一致，OM 处理显著提升了细菌群落的物种多样性水平；Simpson 指数（图 6D）在各处理间未达到统计学显著差异（ $p=0.092$ ），但其整体变化规律与 Shannon 指数相吻合。

真菌群落中，Richness（图 6E）与 Chao1 指数（图 6G）的组间差异均达显著水平（ $p=0.022$ ），OM 处理下真菌物种丰富度显著高于 NPK 处理（ $p<0.01$ ）。Shannon 指数（图 6F）在不同处理间差异显著（ $p=0.033$ ），其中 OM 与 NPK 处理下真菌多样性相对较高，SNPK 与 NK 处理下多样性水平较低；Simpson 指数（图 6H）的组间差异接近显著水平（ $p=0.05$ ），变化趋势与 Shannon 指数基本一致。

上述结果表明，不同施肥处理对土壤细菌与真菌群落 α 多样性的影响具有类群一致性，整体表现为配施猪粪处理显著提升土壤微生物的物种丰富度与多样性，缺磷的氮钾施肥处理会降低微生物群落多样性，而氮磷钾配施秸秆对微生物多样性的调控效应不显著。不同施肥模式显著改变了土壤微生物群落的 α 多样性特征，且细菌与真菌群落对施肥处理的响应趋势整体吻合。

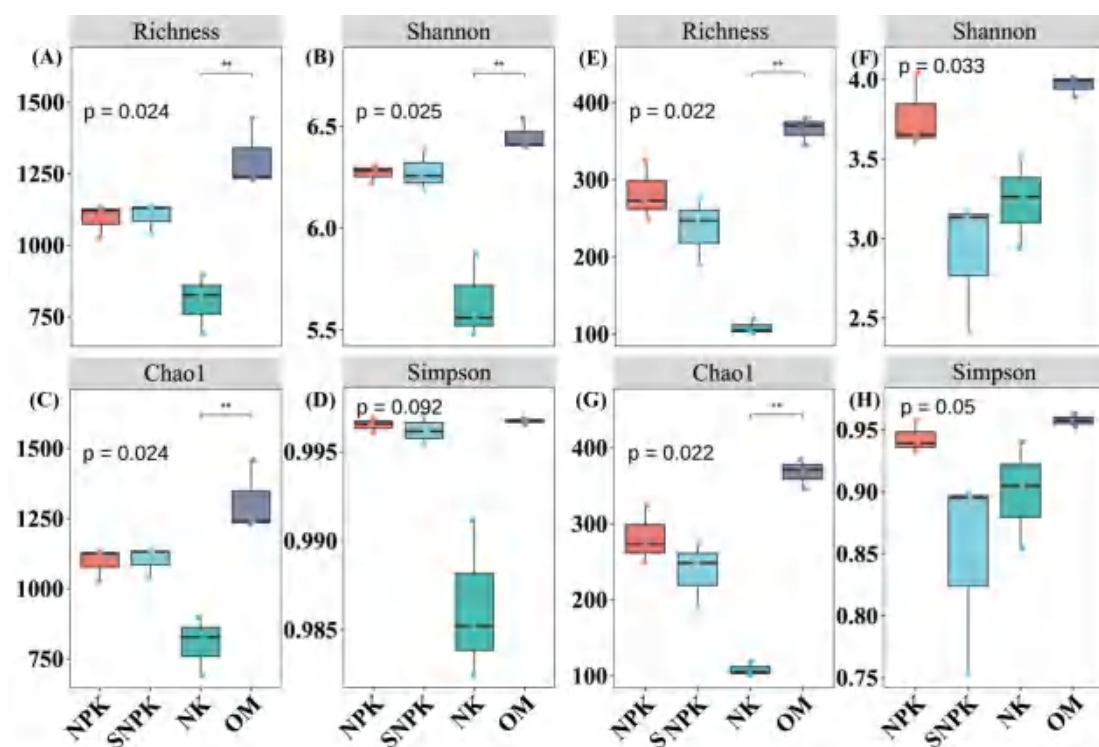


图 6 不同施肥处理对土壤微生物群落 α 多样性的影响

进一步分析纲水平上土壤细菌群落的相对丰度组成发现（图 7A），土壤细菌主要由纤维杆菌纲（Ktedonobacteria）、酸杆菌纲（Acidobacteria）、AD3、 α -变形菌纲（Alphaproteobacteria）、芽孢杆菌纲（Bacilli）、放线菌纲（Actinobacteria）及 γ -变形菌纲（Gammaproteobacteria）等类群构成。纲水平上细菌群落相对丰度的差异主要受施肥处理调控。与常规氮磷钾施肥（NPK）相比，氮磷钾配施秸秆（SNPK）处理下各优势细菌类群丰度无显著波动，群落组成相似度较高；缺磷氮钾（NK）处理中纤维杆菌纲与 AD3 类群的相对丰度明显升高，酸杆菌纲、 α -变形菌纲、芽孢杆菌纲、放线菌纲丰度则有所降低；配施猪粪（OM）处理对细菌群落组成的重塑效应最为显著，纤维杆菌纲与酸杆菌纲的相对丰度大幅下降，而 α -变形菌纲、芽孢杆菌纲的相对丰度均明显提升。

同样地，在目水平上的土壤真菌群落相对丰度组成中发现（图 7B），土壤真菌群落主要由粪壳菌目（Sordariales）、肉座菌目（Hypocreales）、散囊菌目（Eurotiales）、格孢腔菌目（Pleosporales）、被孢霉目（Mortierellales）、盘菌目（Pezizales）等类群组成。目水平上真菌群落相对丰度的差异主要受施肥处理的影响。与 NPK 处理相比，SNPK 处理下粪壳菌目与散囊菌目相对丰度显著升高，成为该处理的核心优势类群；NK 处理中粪壳菌目丰度大幅降低，盘菌目、

肉座菌目等类群占比相应上升；OM 处理下散囊菌目、格孢腔菌目与被孢霉目相对丰度有所提升，肉座菌目占比则呈下降趋势。

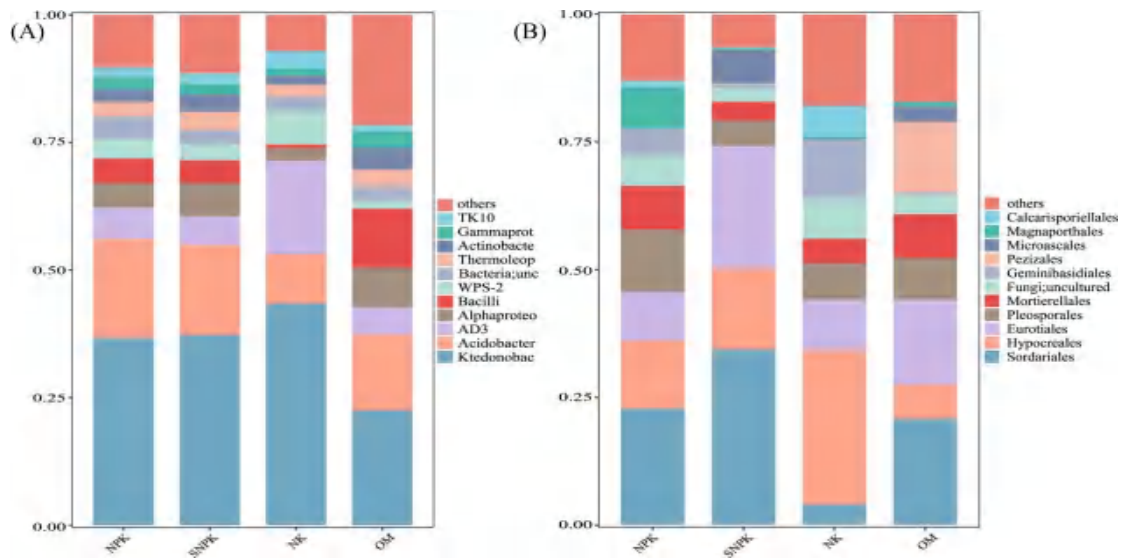


图 7 不同施肥处理对土壤微生物群落组成的影响

(4) 优化施肥下花生产量及养分吸收量

在等养分投入下设置不同控释肥配施比例试验(图 8), 结果表明控释肥 20% 比例的花生亩产量最高, 为 237.9kg, 其他施肥处理间花生产量无显著差异, 且随着控释肥配施比例的增加, 花生产量呈下降趋势, 其他控释肥处理与传统施肥处理花生产量均无显著差异。进一步分析表明, 花生产量(Y, kg/hm²)与控释肥配施比例回归方程为: $Y = -45.348X^2 + 18.888X + 224.664$ ($R^2 = 0.04580^*$), 当控释肥配施比例为 20.8% 时, 花生获得最高产量 3399.45kg/hm², 与实际最高产量差异不大。由此说明, 红壤旱地在覆盖条件下配施一定比例控释肥(20.8%), 可较好地协调花生生长前期与后期对氮素养分的需求, 为保证花生高产创造了良好的氮素营养条件。

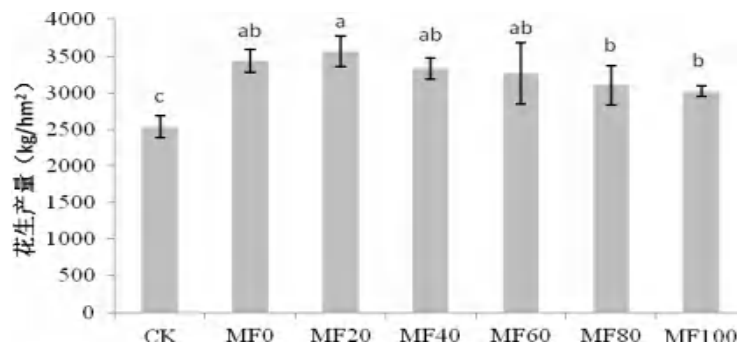


图 8 各处理花生产量的变化特征

注：表中不同的小写字母表示存在显著差异（ $p < 0.05$ ）。

从图 9 中可以看出，在相同养分供应的条件下，改变有机肥的施用比例明显影响花生的最终产量。处理 I(有机肥替代化肥比例 10%，以氮计)条件下，产量达到 274.2kg/亩，高出对照 10.5kg；当有机肥替代比例为 20%时(处理 II)，花生达到最高产，高出对照 12.6%，达显著水平；继续提高有机肥比例，则增产幅度减小，当有机肥替代比例 46%(处理 IV)时，产量较对照略低，但无显著差异。进一步分析表明（图 10），通过二次拟合方程推算得出，有机替代比例为 21.9%时，花生产量最高；当有机替代比例为 43.9%时，花生产量与无有机替代处理持平。

从表 4 中可以看出，不同有机无机配施对花生籽粒养分含量有一定的影响，各处理间籽粒 N 含量差异不显著，处理 II 籽粒含量除与处理 I 差异不显著外，与其他处理的差异均达到显著水平。从养分含量的平均值来看，N 的含量以对照处理最低。

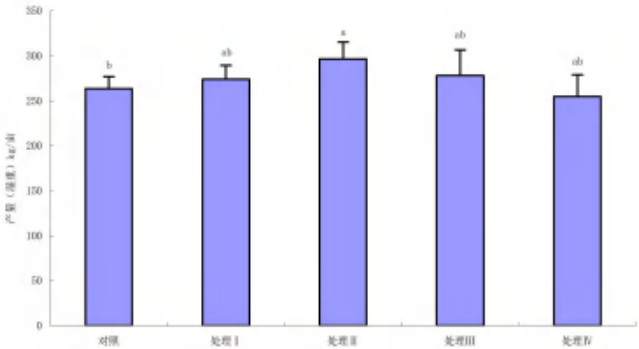


图 9 各处理花生产量的变化特征

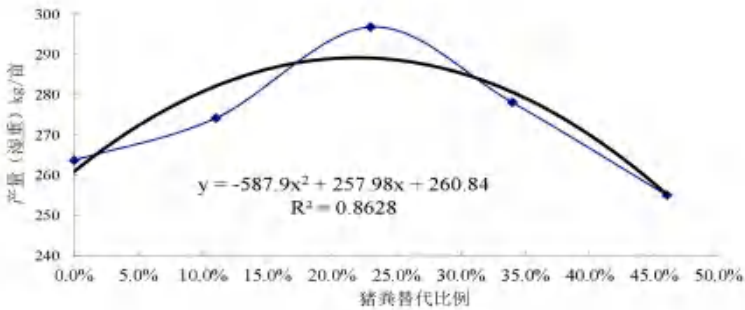


图 10 不同有机无机配施对花生产量的影响

表 4 不同有机肥配施处理对花生籽粒养分积累量的影响

处理	N (%)	P (%)	K (%)
处理I	4.30±0.87 a	0.33±0.03 a	0.68±0.06 a
处理II	4.76±0.40 a	0.28±0.08 ab	0.65±0.08 a
处理IV	4.52±1.00 a	0.26±0.14 b	0.66±0.07 a
处理III	4.47±0.85 a	0.26±0.09 b	0.65±0.05 a
对照	4.33±0.87 a	0.25±0.14 b	0.68±0.06 a

(5) 不同种植制度下花生生物量及产量

与花生冬闲相比，花生-绿肥模式显著提高当季花生生产量 33.33%；与花生-绿肥相比，玉米//花生-绿肥模式花生生产量降低，但是玉米产量显著高于玉米-绿肥模式。

表 5 作物产量变化

模式	玉米产量 kg/hm ²	花生产量 kg/hm ²
花生-冬闲	/	4752.4± 500.3
玉米//花生-绿肥	10338.5 ± 1041.4	4002.0±250.1
花生-绿肥	/	6336.5 ± 722.1
玉米-绿肥	8754.38 ± 901.84	/

玉米单作产量为 8754.38 ± 901.84 kg/hm²，玉米//花生和玉米//大豆间作中的玉米产量分别为 10338.50 ± 1041.35 和 9921.62 ± 946.96 kg/hm²，较玉米单作分别提高 18.10%和 13.33%（图 11a）。

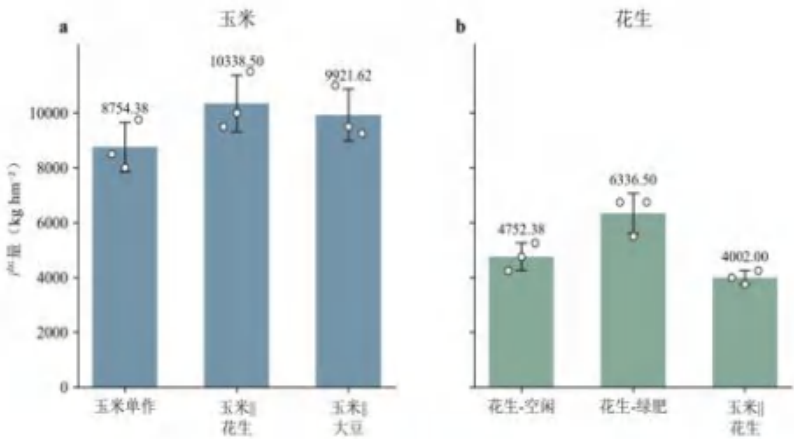


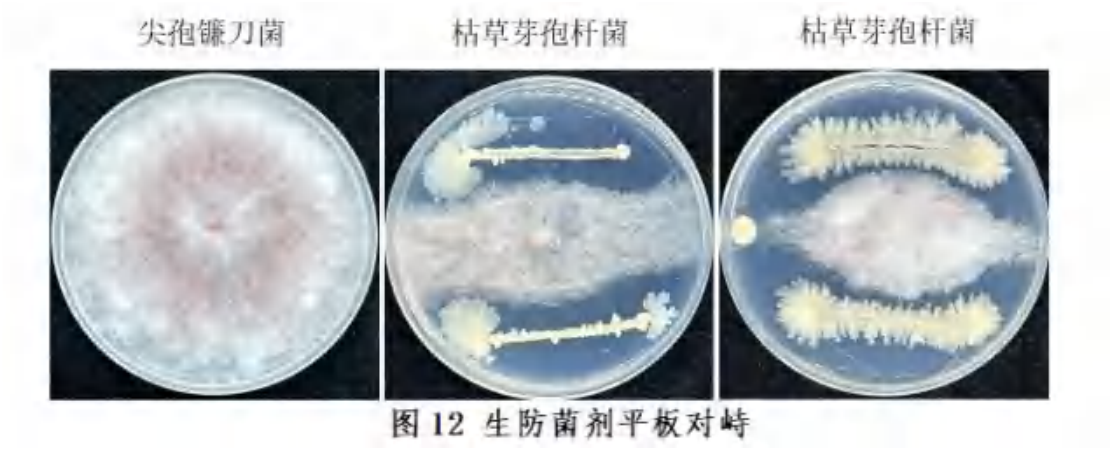
图 11 作物产量

花生-绿肥处理的花生产量为 6336.50 ± 722.05 kg/hm²，较花生-空闲处理（4752.38 ± 500.25 kg/hm²）提高 33.33%。玉米//花生间作中的花生产量为 4002.00 ± 250.12 kg/hm²，较花生-空闲和花生-绿肥处理分别降低 15.79%和 36.84%（图

11b)。

(6) 生防菌剂筛选

对根腐病主要致病菌尖孢镰刀菌的平板对峙试验如图 12 所示，结果表明，枯草芽孢杆菌对尖孢镰刀菌有显著的抑制作用。



(7) 技术验证

田间试验共设置优化施肥、中微肥调控、微生物定向培育、生防菌剂、土壤改良与冬季绿肥等单项和集成技术措施对花生病虫害、生长、产量及土壤理化性及微生物群落结构组成的影响。结果表明不同处理花生生物量和产量的结果表明（图 13），与不施肥相比，其他施肥方式均不同程度增加花生鲜重 8.2%-46.0%，其中以优化施肥产量最高。

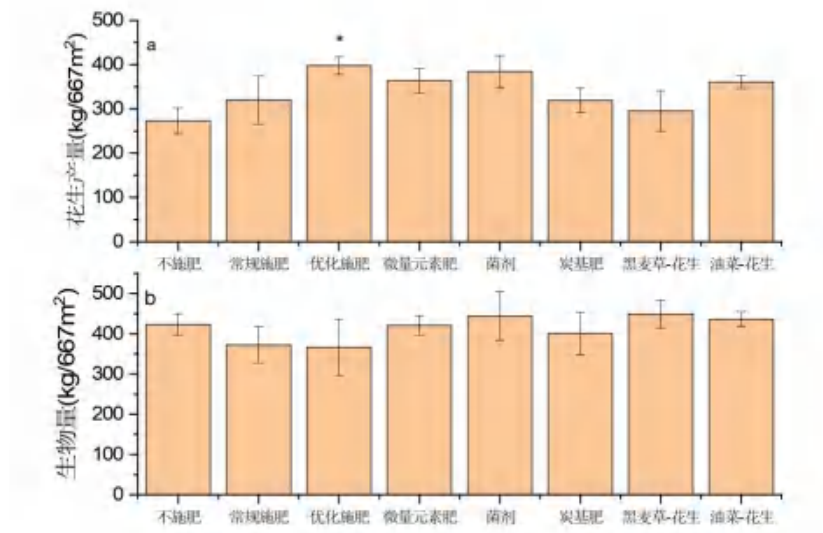


图 13 不同处理下花生产量和生物量的差异变化
a:花生鲜重产量；b: 花生生物量

不同处理花生成熟期发病率结果如图 14 所示，因花生生长末期多雨高温等天气，花生普遍发生了叶斑病，发病率在 70.8%-76.8%，但各处理间并无显著差异。

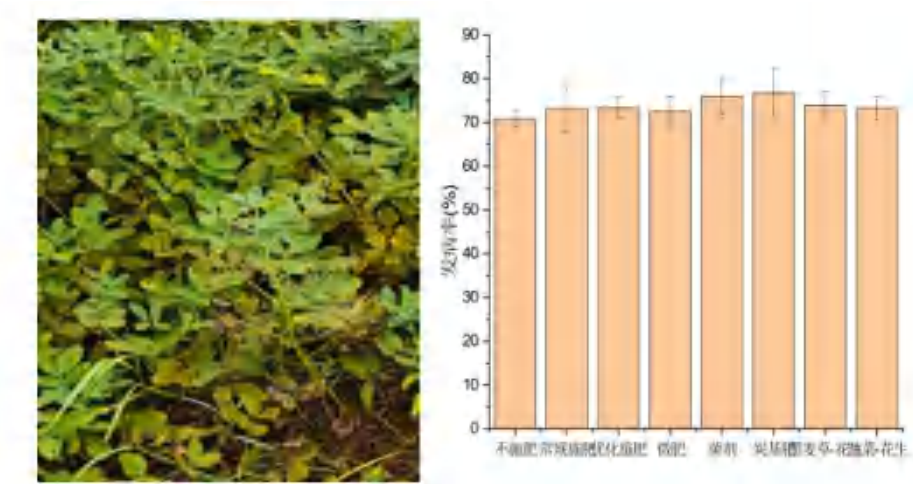


图 14 不同处理下花生成熟期发病率

在丰城市董家建立花生连作障碍消减技术示范基地，示范包括单项技术验证区和集成技术示范区。包括有机无机配施、化肥+中微肥、化肥+微生物菌剂以及有机无机配施+中微肥+微生物菌剂集成技术。测产结果表明，示范区花生生长势均匀，植株健壮，无明显病虫害，通过实收、脱粒、去除杂质后称重，按照 55%折干后计算实际产量后，与常规种植模式（193.4kg/亩）相比，集成模式花生产量（223.0kg/亩）增加 15.3%。



图 15 花生测产现场

3.2 技术经济论证和预期效果

(1) 构建了“作物-土壤”地上地下全链衔接兼顾生态效益的花生连作障碍综合防控技术，科学性强。目前关于花生的标准多聚焦于花生高产栽培的施肥、深耕、化控等技术，与导致花生连作障碍的土壤理化性质恶化、养分失衡、有益微生物减少等问题的关联性不足。本技术以防控连作障碍发生为出发点，规定了品种、土壤结构改良、生物菌剂施用等“土壤改良+生物调控+栽培管理”三位一体全链衔接兼顾生态效益的综合防控技术，针对性和科学性更强。

(2) 预期的经济效益

该技术的实施可显著提高红壤旱地的农业生产效益。通过本技术的实施，可实现红壤旱地花生连作障碍防控的精准投入和定向培育。预计可使作物平均增产 8%-15%，农产品品质同步提升，市场竞争力增强。同时，通过基于无机有机配施、生防菌剂的精准施用和土壤管理，可减少化肥和农药的盲目投入，预计降低生产资料成本 5%以上，从而实现节本增效。为保障国家粮食安全和农产品质量安全提供重要技术支撑。本技术面向我国重要的南方红壤区，其推广应用将系统提升该区域耕地的基础地力和可持续生产能力，对稳定粮油供给、践行“藏粮于地”战略具有重要意义。通过促进作物健康生长和品质提升，为市场提供更多优质农产品，有助于满足人民群众对高品质食物的需求，社会效益显著。促进农业绿色发展和生态环境改善。本技术采用有机无机配施、种植绿肥等培育技术，能有效增加土壤有机质，改善土壤团粒结构，增强土壤对胁迫的韧性。通过控酸改良和科学施肥，可减少养分流失对水体的面源污染，降低农业碳排放。该规程的实施将推动红壤旱地农业从追求产量向提质增效、资源节约、环境友好的绿色发展方向转型，生态效益明显。

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。本文件的知识产权说明严格遵循 GB/T 1.1-2020，确保标准起草的规范性和合法性，所有引用的标准和文献均已注明出处，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，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

该文本未采用国际标准。在全国标准信息公共服务平台检索“花生连作障碍”

和“红壤旱地”，现有《连作障碍土壤改良通用技术规范》（GB/T 42812-2023）和《花生连作高产栽培技术规程》（NY/T 1119-2013）。但是《连作障碍土壤改良通用技术规范》聚焦已发生连作障碍的土壤封膜、淹水还原、封膜熏蒸等改良措施；《花生连作高产栽培技术规程》聚焦花生连作高产栽培的施肥、改土、轮作等技术措施，对连作花生土壤菌群失衡以及红壤区自由障碍因子关注较少，不能用于针对旱地红壤区花生连作障碍综合防控。目前还没有相关的国际和国内同行标准。

本标准符合现行的法律法规要求，与强制性标准并不冲突，相关技术要求与现行国家标准、行业标准和地方标准相协调。

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9月，在立项专家函评、专家意见咨询过程中，专家指出原题目“花生连作障碍综合防控技术”太笼统，涉及区域较广泛，而文中对土壤改良措施更多关注酸化障碍以及旱地花生连作种植。并且根据团标内容需要在名称中明确是技术规范，而非笼统的技术。因此，经编制组查阅《中华人民共和国标准化法》、《中国土壤学会团体标准制修订项目管理办法(试行)》等，征询相关领域专家意见，为更好明确团体标准对各领域需要统一的技术要求以及针对性，将标准的题目修改为“南方红壤区花生连作障碍综合防控技术规范”。