

《双季稻区冬闲田油菜紫云英高效配置技术规程》

（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 29 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，预期的经济效益；
- 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

本标准由土壤学会归口管理，由中国科学院南京土壤研究所等 9 家单位提出，中国土壤学会批准立项的团体标准项目，并计划在 2026 年 9 月前完成。任务来源于中国科学院 A 类先导专项课题“南方丘陵坡岗地酸性红壤消障提质与产能提升示范区”（编号：XDA0440404），国家重点研发计划子课题“红壤板结消减与增碳提质的多功能改良剂研制及应用”（编号：2023YFD1900205-04），井冈山农高区省级科技专项“揭榜挂帅”项目“红壤板结消减与地力提升关键技术创新及场景应用”（编号：20222-051261）。

（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

江西省红壤及种质资源研究所、江西省农业技术推广中心、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所、江西农业大学、景德镇市农业技术推广中心、萍乡市农业技术推广中心、九江市农业技术推广中心。

（三）主要工作过程

1、成立标准编制项目组

2025 年 12 月，中国科学院南京土壤研究所牵头组织成立了标准编制项目组，初步研讨确定了标准基本框架、主要内容，并制定了标准制定工作计划、人员分工等。

2、数据和资料收集

本标准是在南方丘陵坡岗地酸性红壤消障提质与产能提升示范区、红壤板结消减与增碳提质的多功能改良剂研制及应用和红壤板结消减与地力提升关键技术创新及场景应用等多组试验所形成的紫云英油菜高效配置共性技术基础上，进一步结合在双季稻区的示范成果编制而成。

2022 年 5 月—2022 年 9 月，中国科学院南京土壤研究所联合江西省红壤及种质资源研究所等单位，对双季稻区的绿肥和油菜生产现状开展多次调研，在充分调研基础上经多轮论证，形成了紫云英和油菜高效配置技术方案。

2022 年 10 月—2023 年 12 月，研究团队在进贤县地势较高和较低的田块分别开展了紫云英油菜混播和条播的小区试验，重点监测不同播种方式对油菜产量、紫云英生物量和早晚稻产量的影响，试验效果良好。同时，在进贤县开展油菜紫云英高效配施下化肥减量的试验，明确水稻季科学合理的减肥用量；为本标准制定提供了可靠的实证数据与技术支撑。

2023 年 10 月—2024 年 12 月，团队一方面在永修、崇仁和进贤县开展大区示范，系统开展土壤样品采集与测试分析，并进行综合评价，形成共性关键技术，另一方面，在进贤县开展油菜紫云英高效配

施的大区示范推广，从而进一步验证并完善了技术体系，确保了本标准内容的科学性、适用性与可行性。

3、标准起草与立项

2025 年 1 月—12 月，根据大田试验结果，结合相关文献资料及国内外相关标准调研结果，编制组经多次讨论和修改，完成了标准草案。

2026 年 8 月，提交草案至中国土壤学会开展标准立项函评。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 号发布立项公告。

4、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。2026 年 9 月，编制组启动征求意见工作，面向相关科研、教学、技术推广和生产单位征集意见，并同步对术语、关键技术参数、规范性引用文件及技术流程进行复核。征求意见结束后，编制组将对反馈意见逐条汇总处理，据此修改完善标准文本和编制说明，形成送审材料后按程序提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

柳开楼 江西省红壤及种质资源研究所 负责标准整体结构设计和
技术内容确定，指导标准编制工作。

郭自春 中国科学院南京土壤研究所 负责标准技术内容与关键技术参数的确定，组织工作组及专家团队开展标准编制工作。

孙明珠 焦敏 付海才 何小林、朱安繁、黄星瑜 周懿豪 王志美 尹伟 江西省农业技术推广中心 参与标准编制工作，并协调标准编制过程中各编制单位协作。

李嘉奇 江西农业大学 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。

张红霞 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。

吴艳 胡丹丹 黄尚书 徐小林、胡志华 江西省红壤及种质资源研究所 负责标准技术内容试验、数据资料收集、技术方案论证工作。

黄晶 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 负责标准技术内容试验、数据资料收集、技术方案论证工作。

冀建华 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所 负责标准相关技术内容试验、数据资料收集，标准文本起草和修订工作。

熊鹏 江西农业大学 负责资料收集、样品采集与分析、标准文本起草和修订工作。

罗文汉 江麟 景德镇市农业技术推广中心 负责资料收集、文献检索、样品采集与分析、标准编写等工作。

康锋 王美芳 萍乡市农业技术推广中心 负责资料收集，数据归纳整理，参与标准起草和标准论证工作。

余红英 九江市农业技术推广中心 参与标准起草和标准论证，协助组织专家评审及意见修改工作。

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，结合双季稻区冬闲田生产实际，对适用范围、规范性引用文件、术语和定义、产地环境和操作流程、品种选择、播种技术、田间管理、油菜收获与秸秆还田、紫云英翻压与稻田深耕等内容作出系统规定。文件所涉及的绿肥种子、油菜种子、油菜产地环境、病虫害防治、机械收获及南方稻田绿肥利用等要求，分别与 GB 8080、NY/T 414、NY/T 794、NY/T 846、NY/T 1231、NY/T 3633 和 NY/T 3840 等现行标准相衔接，保证技术条款表述规范、内容协调、执行边界清晰。

2、科学性原则

本文件以双季稻区冬闲田光温水土资源高效利用和稻田周年生产力提升为目标，在 2022—2024 年田间试验、示范验证和生产调研基础上，综合分析不同田块排水条件、油菜与紫云英配置方式、播期、用种量、养分管理、秸秆与绿肥还田方式及其对油菜、紫云英和后茬水稻的影响，确定关键技术参数。试验结果表明，油菜与紫云英合理配置能够在获得油菜籽粒产出的同时形成较高的紫云英生物量，并通过油菜秸秆和紫云英协同还田改善土壤培肥条件；相关参数兼顾了油

菜产量、紫云英培肥功能、后茬早稻茬口和双季稻周年稳产需求，具有较充分的试验与示范依据。

3、适用性和可操作性原则

适用范围明确。本文件适用于我国双季稻区冬闲田，在保证油菜籽粒稳产的前提下协同发挥紫云英绿肥培肥作用，重点解决冬季油料生产、绿肥利用和后茬早稻茬口衔接之间的技术协调问题。

配置方式因田制宜。对不易积水田块，可采用机械开沟免耕直播或旋耕直播，并根据作业条件选择混播或条播；对易积水田块，提出3行紫云英与2行油菜带状配置及配套行距要求，以增强排水适应性并降低作物间不合理竞争。

关键参数具体可执行。文件明确了紫云英和油菜的品种特性、播种时期、用种量、行距、“三沟”规格、基肥与蘖肥用量、水分管理、病虫草害防治、油菜成熟判定、秸秆粉碎长度、翻压时期与深度等要求，便于农户、合作社和农业技术推广部门按条款组织实施。

作业流程完整。技术内容由产地选择和品种确定开始，依次衔接播种、开沟防渍、施肥与水分管理、病虫草害防治、油菜机械收获、秸秆粉碎抛撒、紫云英联合翻压和灌水沤田，形成可操作、可检查的全过程技术链。

4、先进性原则

生产模式具有协同性。不同于仅收获油菜或仅翻压绿肥的单一利用方式，本文件将油菜籽粒收获、油菜秸秆还田和紫云英绿肥利用纳

入同一冬闲田生产周期，在不改变双季稻主体种植制度的基础上，统筹油料增产、冬闲田利用和土壤培肥。

配置决策具有针对性。文件根据田块是否易积水设置差异化播种与配置方式，并通过适宜熟期品种、播期和密度调控，减少油菜与紫云英之间的光、肥、水竞争，提高技术对南方双季稻区不同田块条件的适配能力。

关键环节实现集成化。文件将种子质量、促生管理、“三沟”防渍、油菜机械收获、秸秆粉碎、紫云英与秸秆联合翻压以及早稻前灌水沤田等技术有机衔接，强化冬季作物生产与后茬水稻之间的周年协同。

资源利用体现绿色高效。通过增加冬季地表覆盖和生物量投入、回收油菜籽粒、还田油菜秸秆与紫云英，可提高冬闲田复种和资源利用水平，为化肥减量、土壤有机质维持及稻田可持续生产提供技术支撑。

（二）确定标准主要内容的论据

本文件针对双季晚稻收获后至次年早稻种植前的有限冬闲期，构建了“适宜品种选择—适期适量播种—分类配置与防渍—水肥及病虫害管理—油菜机械收获—秸秆与紫云英联合还田”的技术体系。主要技术内容及其确定依据如下。

1、关于适用范围和技术目标

双季稻区冬闲期短，冬季作物既要完成生长和油菜籽粒形成，又不能延误早稻整地与移栽。本文件将适用对象限定为我国双季稻区冬

闲田，技术目标限定为在油菜籽粒稳产基础上协同实现紫云英生物培肥，使标准边界与双季稻周年生产制度、冬闲田利用需求和试验示范条件相一致。

2、关于品种与播期参数

紫云英选用耐迟播、耐渍、鲜草产量高且与油菜共生性较好的品种，油菜选用双低、早熟、抗倒伏、适宜迟播的甘蓝型品种，生育期控制在 180 d~200 d，以适应晚稻收获后的迟播条件并保证次年 4 月下旬至 5 月上旬成熟。紫云英可在晚稻收获前 15 d~20 d 套播，也可在晚稻收获后与油菜同期播种；油菜一般于 10 月下旬至 11 月上旬抢时播种，原则上不迟于 11 月 15 日。上述规定主要依据双季稻茬口、冬前有效积温和油菜成熟期要求确定。

3、关于播种方式与群体配置

不易积水田块采用机械开沟免耕直播或旋耕直播，紫云英用种量为 1.5 kg/亩~2.0 kg/亩，油菜播种量为 0.2 kg/亩~0.3 kg/亩、行距为 25 cm~30 cm；易积水田块采用 3 行紫云英与 2 行油菜带状种植，紫云英行距 15 cm、油菜行距 35 cm、两作物相邻行距 40 cm。该参数组合综合考虑了出苗成苗、群体通风透光、机械作业、排水防渍及两作物竞争关系。

4、关于田间管理要求

油菜和紫云英生育期跨越南方冬春低温多雨时段，渍害、养分竞争和病虫害是影响模式稳定性的主要因素。因此，文件规定播后及时开设厢沟、腰沟和围沟，厢宽 2.0 m~3.0 m、沟深 20 cm~25 cm；施

肥遵循“油菜足施基肥、重施薹肥，紫云英以磷增氮”的原则，并明确基肥、紫云英促生肥和油菜薹肥用量；病虫害防治优先采用农业、物理和生物措施，必要时规范使用高效低毒农药。

5、关于油菜收获和联合还田

油菜于全株角果呈枇杷黄色、主轴中上部角果籽粒转为黑褐色时机械收获，留茬 30 cm~40 cm，秸秆粉碎长度不超过 10 cm 并均匀抛撒。油菜收获后 3 d 内，将粉碎秸秆和紫云英植株翻压入土，翻压深度 20 cm~25 cm，并在早稻移栽前 10 d~15 d 完成；翻压后保持 3 cm~5 cm 浅水层 5 d~7 d 促进腐解。相关要求依据油菜成熟特征、紫云英盛花至初荚期生物量与养分积累、机械作业能力以及早稻茬口衔接需要确定。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要试验（或验证）的分析、综述报告

双季稻区是我国重要粮食主产区和长江中下游冬季油菜主产区，水稻和油菜生产在保障国家粮油安全、稳定农民种植收益和提升耕地周年利用效率中具有重要地位。双季稻收获后冬闲田面积较大，冬季光温水土资源仍具有较大开发潜力，发展稻田冬季油菜和绿肥作物，是提高耕地复种指数、增加国产油料供给、改善土壤肥力和促进农业绿色低碳发展的重要途径。

近年来，国家高度重视粮油作物大面积单产提升和冬闲田综合利用，长江流域冬闲田扩种油菜成为稳定油料供给的重要抓手。双季稻

区的各级农技部门也积极推进冬闲田油菜开发利用。随着油菜扩种和稻油轮作规模扩大，双季稻区冬季作物配置对茬口衔接、播期安排、机械作业、田间水分管理和后茬早稻生产的要求不断提高，传统单一冬闲、单一种植或粗放管理方式已难以满足稳粮、扩油、培肥和绿色生产协同发展的需要。

紫云英是南方稻田重要冬季绿肥作物，具有固氮培肥、改善土壤结构、增加土壤有机质、促进化肥减量和提升稻田生态功能等作用。油菜具有较高经济产出和油料供给价值，紫云英具有显著生态培肥功能，二者在冬闲田中进行合理配置，有利于兼顾油料生产、地力提升、后茬水稻稳产和农业面源污染风险降低。然而，在实际生产中，油菜与紫云英配置比例、适宜品种、播种时期、播种方式、田间管理、翻压还田、养分调控及后茬水稻衔接等环节仍存在技术不统一、操作随意性较大、区域适配性不足等问题，影响了该模式的稳定推广和综合效益发挥。

目前，南方稻田绿肥种植与利用已有农业行业标准，双季稻区的部分省份也已发布稻草全量还田下油菜直播、油菜—中稻生产、油菜毯状苗机械移栽等相关地方标准，为稻田绿肥利用和油菜生产提供了技术基础。但现有标准主要针对单一绿肥种植利用、油菜直播、油菜移栽或油菜—中稻轮作生产，对南方双季稻区冬闲田油菜与紫云英协同配置的技术环节覆盖不足，尚不能系统指导油菜增产、绿肥培肥、茬口协调和周年高效利用相结合的复合生产模式。因此，制定《南方双季稻区冬闲田油菜紫云英高效配置技术规程》，对规范我国双季稻

区冬闲田油菜紫云英配置技术、提升冬季农业资源利用效率和推动稻田绿色高效生产具有现实必要性。

本项目团队历经多年科技攻关，分别在冬闲田紫云英油菜高效配置方式、双季稻区油菜紫云英配置方式对冬季油菜和早晚稻产量的影响、冬季绿肥翻压下氮肥用量对早稻生长和产量的影响、永修、崇仁和进贤县冬闲田开展紫云英油菜高效配施技术验证和示范。

1、冬闲田紫云英油菜高效配置方式

1.1 材料与方法

1.1.1 试验地概况

试验设置于 2022 年在江西省南昌市进贤县张公镇马家村进行。试验区属亚热带季风气候，供试田块为南方冬闲稻田，前茬作物为晚稻，土壤类型为水稻土。

1.1.2 供试材料

供试紫云英品种为余江大叶，油菜品种为赣油杂 5 号。钼酸铵、根瘤菌剂、缓释硼肥、枯草芽孢杆菌微生物肥及有机物料腐熟剂均为市售产品。其中，微生物肥的枯草芽孢杆菌有效活菌数不低于 20 亿 CFU g⁻¹。

1.1.3 试验设计

试验设置实施例一至三、对照例一至九及空白例。采用大区设计，每个处理 1 个处理，大区面积为 200m²，采用随机区组，各处理的田间管理措施保持一致。空白例在冬闲期不种植任何作物。主要处理设置见表 1。

表 1 主要试验处理及技术差异

处理	处理说明
实施例一	3 行紫云英/2 行油菜条播；行距分别为 15、35 和 40 cm；播前 10 d 套播；钼酸铵 10 g 和根瘤菌剂 200 g/1.5 kg 紫云英种子；晾晒 2 d；翻压深度 40/30 cm
实施例二	3 行紫云英/2 行油菜条播；行距分别为 20、40 和 45 cm；播前 15 d 套播；钼酸铵 15 g 和根瘤菌剂 400 g/1.5 kg 紫云英种子；晾晒 3 d；翻压深度 45/35 cm
实施例三	3 行紫云英/2 行油菜条播；行距分别为 25、45 和 50 cm；播前 20 d 套播；钼酸铵 20 g 和根瘤菌剂 600 g/1.5 kg 紫云英种子；晾晒 2 d；翻压深度 50/40 cm
对照例一	紫云英与油菜混播，其余同实施例一
对照例二	紫云英不采用钼酸铵拌种且不配施根瘤菌剂，其余同实施例二
对照例三	油菜配施硼肥但不配施微生物肥，其余同实施例三
对照例四	紫云英盛花期翻压；油菜成熟收获后以不带籽秸秆还田；其余技术参数【待补充核对】
对照例五	带籽紫云英和带籽油菜收割后不晾晒，其余同实施例一
对照例六	同作物秸秆与同作物根茬就地翻压，其余同实施例一
对照例七	油菜条和紫云英条翻压深度均为 20 cm，其余同实施例一
对照例八	油菜条和紫云英条翻压深度均为 60 cm，其余同实施例一
对照例九	连续 5 年重复实施例一的复合种植方法
空白例	冬闲期不种植任何作物

注：实施例中每 100 g 油菜种子均配施 100 g 缓释硼肥和 200 g 微生物肥；翻压深度按“油菜种植条/紫云英种植条”顺序表示。

带状复合种植采用 3 行紫云英与 2 行油菜交替配置，紫云英和油菜均采用条播。紫云英种子播种时用钼酸铵拌种并配施根瘤菌剂；油菜播种时按每 100 g 种子配施 100 g 缓释硼肥和 200 g 微生物肥。紫云英和油菜成熟结籽后带籽收割并晾晒 2–3 d。紫云英留茬 3–5 cm，油菜留茬 5–10 cm。晾晒后的带籽紫云英与油菜根茬共同翻压至油菜

种植条，带籽油菜与紫云英根茬共同翻压至紫云英种植条，并施用有机物料腐熟剂。

1.1.4 测定指标与方法

表 2 测定指标与方法

测定指标	测定方法
紫云英和油菜生物量	在收割前按【待补充：样方大小及数量】取样，测定地上部鲜重或干重【待补充】，折算为 kg 亩 ⁻¹ 。
秸秆腐解率	采用【待补充：尼龙网袋法或其他方法】，分别在还田后【待补充】d 取样，测定 120 d 累积腐解率。腐解率计算式及样品烘干条件为【待补充】。
>2 mm 土壤团聚体比例	在【待补充：取样时期】采集【待补充】cm 土层土样，采用【待补充：湿筛法或干筛法】测定。
土壤有机质	在【待补充：取样时期】采集【待补充】cm 土层土样，采用【待补充：重铬酸钾容量法或仪器法】测定。
后茬水稻产量	在水稻成熟期按【待补充：实收面积】实收计产，籽粒含水率统一校正至【待补充】%，折算为 kg 亩 ⁻¹ 。

1.2 结果与分析

1.2.1 后茬水稻产量

实施例一至三的后茬水稻产量为 6825–6945 kg hm⁻²，平均为 6880.00 kg hm⁻²，较混播对照例一（6315 kg hm⁻²）提高 8.95%，较冬闲空白例（6045 kg hm⁻²）提高 13.81%（表 3）。其中，实施例二产量最高，为 6945 kg hm⁻²。对照例二、三、六和八的产量为 6210–6285 kg hm⁻²，说明取消紫云英促生处理、取消油菜微生物肥、改为同作物就地翻压或将翻压深度统一增至 60 cm 后，后茬水稻产量均低于 3 个实施例。上述差异为单值间的描述性差异，尚需重复数据验证其统计显著性。

表 3 各处理后茬水稻产量

处理	产量 (kg hm ⁻²)
实施例一	6825.00
实施例二	6945.00
实施例三	6870.00
对照例一	6315.00
对照例二	6210.00
对照例三	6285.00
对照例四	6375.00
对照例五	6465.00
对照例六	6225.00
对照例七	6390.00
对照例八	6270.00
空白例	6045.00

1.2.2 秸秆腐解特征

实施例一至三的油菜秸秆 120 d 累积腐解率为 66.45%–67.98%，平均为 67.05%，较混播对照例一提高 23.98%；紫云英秸秆腐解率为 85.40%–86.90%，平均为 86.00%，较对照例一提高 7.10%（表 4，图 2）。各处理中紫云英秸秆腐解率均高于油菜秸秆，二者平均相差 18.95 个百分点，反映两类秸秆的分解特性存在明显差异。

不晾晒的对照例五油菜和紫云英秸秆腐解率分别为 47.98%和 72.10%，较实施例一分别降低 27.80%和 15.87%；同作物就地翻压的对照例六分别为 50.87%和 76.40%，较实施例一分别降低 23.45%和 10.85%（表 4）。结果提示，收获后适度晾晒以及异源秸秆与根茬交

叉翻压可能有利于秸秆腐解。

表 4 各处理秸秆 120 d 累积腐解率

处理	油菜秸秆 (%)	紫云英秸秆 (%)
实施例一	66.45	85.70
实施例二	67.98	86.90
实施例三	66.71	85.40
对照例一	54.08	80.30
对照例二	55.89	79.60
对照例三	55.11	78.50
对照例四	54.26	79.20
对照例五	47.98	72.10
对照例六	50.87	76.40
对照例七	50.67	74.20
对照例八	43.14	73.10

1.2.3 土壤团聚体与有机质

实施例一至三的>2 mm 土壤团聚体比例为 12.35%–13.92%，平均为 13.29%，较混播对照例一和空白例分别提高 28.56%和 71.09%（表 5）。实施例一至三的土壤有机质含量为 24.68–25.87 g kg⁻¹，平均为 25.32 g kg⁻¹，较对照例一和空白例分别提高 10.62%和 28.59%（表 5，图 3）。两项土壤培肥指标的变化方向一致，表明带状复合种植及配套的促生、晾晒和交叉翻压措施具有改善土壤结构与有机质状况的潜力。

连续实施条件下，>2 mm 土壤团聚体比例由第 1 年的 12.35%增至第 5 年的 14.78%，累计提高 19.68%。第 2—4 年的增幅相对平缓，第

5 年进一步升高至 14.78%，说明土壤结构改善可能具有时间累积特征。

表 5 各处理土壤培肥指标

处理	>2 mm 团聚体 (%)	有机质 (g kg ⁻¹)
实施例一	12.35	24.68
实施例二	13.61	25.41
实施例三	13.92	25.87
对照例一	10.34	22.89
对照例二	11.05	22.41
对照例三	10.88	21.98
对照例四	10.49	22.30
对照例五	8.91	20.97
对照例六	9.64	22.62
对照例七	8.55	21.41
对照例八	7.96	21.65
空白例	7.77	19.69

1.2.4 紫云英和油菜生物量

实施例一至三的紫云英生物量为 11310–11685 kg hm⁻²，平均为 11470.00 kg hm⁻²；油菜生物量为 7695–7905 kg hm⁻²，平均为 7800.00 kg hm⁻²（表 6）。实施例二的紫云英生物量为 11685 kg hm⁻²，较未采用钼酸铵拌种且未配施根瘤菌剂的对照例二（10635 kg hm⁻²）提高 9.87%。实施例三的油菜生物量为 7905 kg hm⁻²，较不配施微生物肥的对照例三（6795 kg hm⁻²）提高 16.34%。这些结果与促生处理有利于提高相应绿肥作物生物量的预期一致，但单因素效应仍需在具有独

立重复的试验中验证。

表 6 各处理紫云英和油菜生物量

处理	紫云英 (kg hm ⁻²)	油菜 (kg hm ⁻²)
实施例一	11310.00	7800.00
实施例二	11685.00	7695.00
实施例三	11415.00	7905.00
对照例一	11220.00	7785.00
对照例二	10635.00	7935.00
对照例三	11370.00	6795.00
对照例四	11100.00	7635.00
对照例五	11085.00	7575.00
对照例六	11100.00	7755.00
对照例七	11265.00	7710.00
对照例八	11160.00	7920.00

1.3 小结

（1）2 行油菜与 3 行紫云英带状复合种植处理总体表现优于紫云英与油菜混播处理。实施例一至三的后茬水稻平均产量为 6880.00 kg hm⁻²，较混播对照和冬闲空白分别提高 8.95%和 13.81%。

（2）实施例一至三的油菜秸秆和紫云英秸秆 120 d 累积腐解率平均分别为 67.05%和 86.00%。不晾晒、同作物就地翻压以及翻压深度偏浅或偏深时，多项腐解和土壤培肥指标出现下降，表明晾晒、交叉翻压及适宜翻压深度是该技术体系的重要环节。

（3）实施例一至三的>2 mm 土壤团聚体比例和土壤有机质含量平均分别为 13.29%和 25.32 g kg⁻¹，较冬闲空白分别提高 71.08%和

28.59%。连续实施 5 年后，后茬水稻产量和>2 mm 土壤团聚体比例较第 1 年分别增加 10.11%和 19.68%，显示出潜在的持续培肥效应。

（4）钼酸铵与根瘤菌剂配施对应较高的紫云英生物量，硼肥与微生物肥配施对应较高的油菜生物量。

2 双季稻区油菜紫云英配置方式对冬季油菜和早晚稻产量的影响

2.1 材料与方法

2.1.1 试验地概括

试验地点位于江西省进贤县张公镇马家村（28.346997° N，116.181573° E）。选择两个田块开展试验：A 田块地势较低，冬春季易积水；B 田块为常规田块，一般不易积水。两个田块的初始土壤均呈酸性，A 田块 pH 为 5.38，B 田块 pH 为 5.48。B 田块有机质、全氮、全磷、全钾和速效钾含量高于 A 田块，速效磷含量低于 A 田块（表 1）。

表 1 试验田块初始土壤基本性质

土壤指标	A 田块地势较低	B 田块地势较高
pH	5.38	5.48
有机质 (g·kg ⁻¹)	23.21	24.58
全氮 (g·kg ⁻¹)	1.57	2.05
全磷 (g·kg ⁻¹)	0.39	0.48
全钾 (g·kg ⁻¹)	6.91	7.33
速效磷 (mg·kg ⁻¹)	72.16	62.12
速效钾 (mg·kg ⁻¹)	125.13	198.82

2.1.2 试验设计

试验包括四个处理：常规施肥（对照）；常规施肥+撒施紫云英；常规施肥+紫云英和油菜混播；常规施肥+2 行紫云英+4 行油菜。每个

处理重复 4 次，所有试验小区中化肥施用强度相等。

A 田块每个小区的面积为 $4.2\text{m} \times 10\text{m} = 42\text{m}^2$ ；B 田块每个小区的面积为 $4.3\text{m} \times 10\text{m} = 43\text{m}^2$ 。所有处理早稻使用复合肥（N:P:K 比例为 15:15:15） $600\text{kg}/\text{hm}^2$ 作基肥，加上追肥尿素（46%N） $128\text{kg}/\text{hm}^2$ 和钾肥（KCl, 60%K₂O） $113\text{kg}/\text{hm}^2$ ，晚稻使用复合肥（N:P:K 比例为 15:15:15） $690\text{kg}/\text{hm}^2$ 作基肥，加上追肥尿素（46%N） $147\text{kg}/\text{hm}^2$ 和钾肥（KCl, 60%K₂O） $130\text{kg}/\text{hm}^2$ 。插秧、使用农药与施肥等管理方式皆根据当地村民常用的管理方式进行稻田管理，早稻稻种选择“陵两优 739”，晚稻选择“泰优 390”。早稻于 2024 年 5 月 3 日施用基肥和改良剂，2024 年 5 月 10 追肥，早稻于 2024 年 5 月 5 日插秧，2024 年 7 月 19 日收获。

2.1.3 测定指标

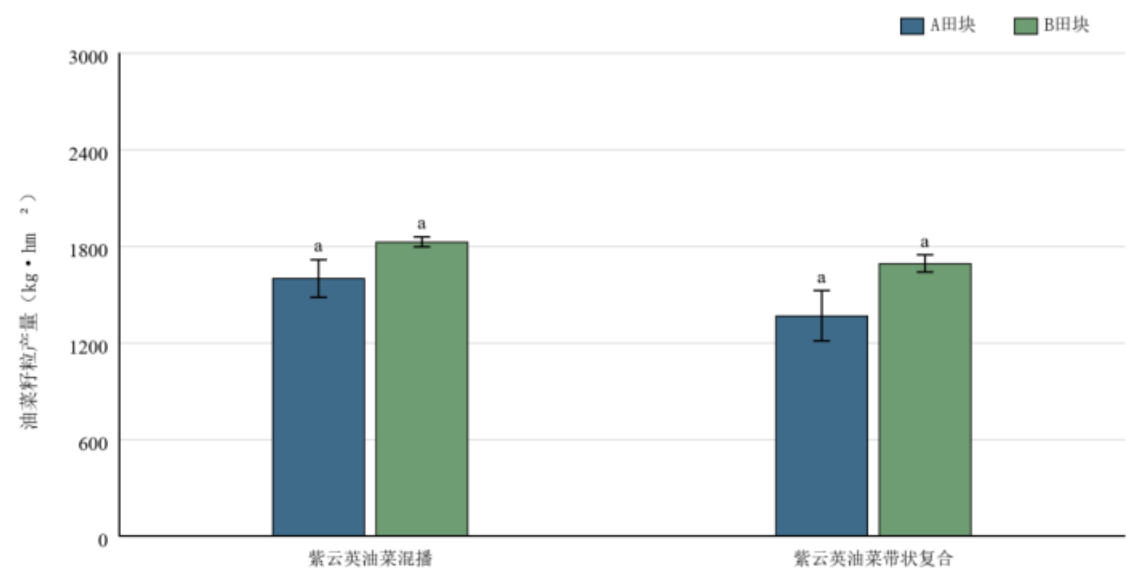
冬季作物成熟或适宜收获期按小区分别收获，测定油菜籽粒产量和紫云英地上部鲜重。早稻和晚稻成熟期按小区单独收获，测定籽粒产量、秸秆产量和地上部总生物量，并计算收获指数。各指标以平均值 $\pm$ 标准差表示，重复数为 4。

2.2 结果分析

2.2.1 不同田块条件下油菜紫云英配置方式对油菜产量和紫云英生物量的影响

两个田块中，紫云英与油菜混播处理的油菜籽粒产量均高于带状复合处理（图 1）。A 田块混播处理油菜籽粒产量为 $1597.93 \pm 116.51 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，较带状复合处理提高 17.03%；B 田块混播处理为

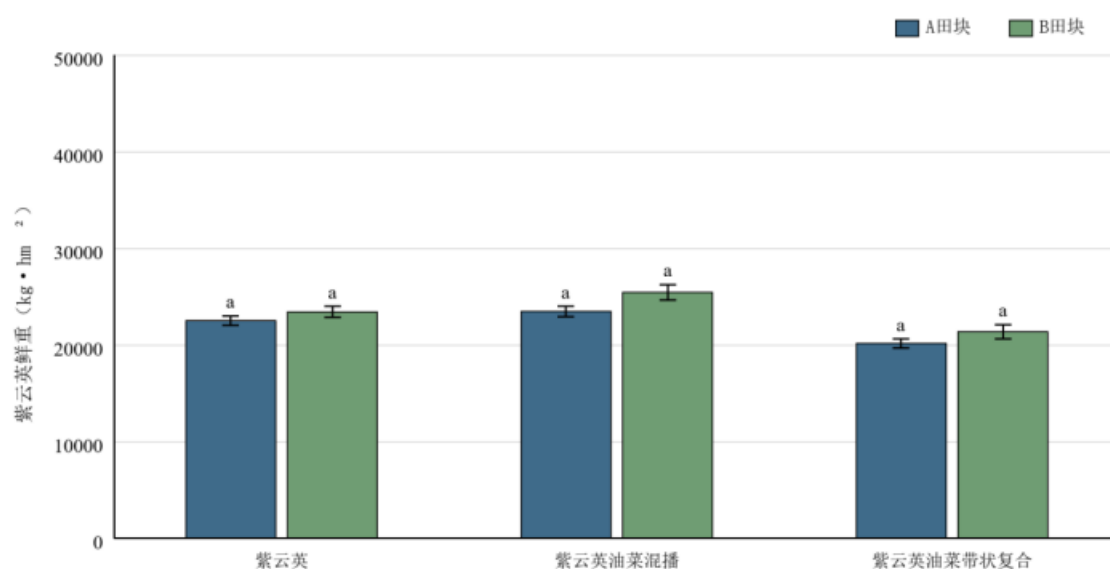
1824.91±31.26 kg·hm⁻²，较带状复合处理提高 7.88%。同一田块两种配置方式间的显著性字母相同，表明油菜籽粒产量差异未达到显著水平。B 田块两种配置方式的油菜籽粒产量分别比 A 田块高 14.21%和 23.89%，说明不易积水的田块更有利于油菜产量形成。



注：数据为平均值±标准差（n=4）；同一田块内相同小写字母表示处理间差异不显著。

图 1 不同田块和冬季作物配置方式下的油菜籽粒产量

紫云英鲜重在两个田块中均以混播处理最高（图 2、表 5）。A 田块混播处理鲜重为 23450±522 kg·hm⁻²，较紫云英单播提高 4.16%，较带状复合处理提高 16.47%；B 田块混播处理鲜重为 25432±789 kg·hm⁻²，分别较紫云英单播和带状复合处理提高 8.63%和 19.15%。各处理显著性字母均为 a，处理间差异不显著。

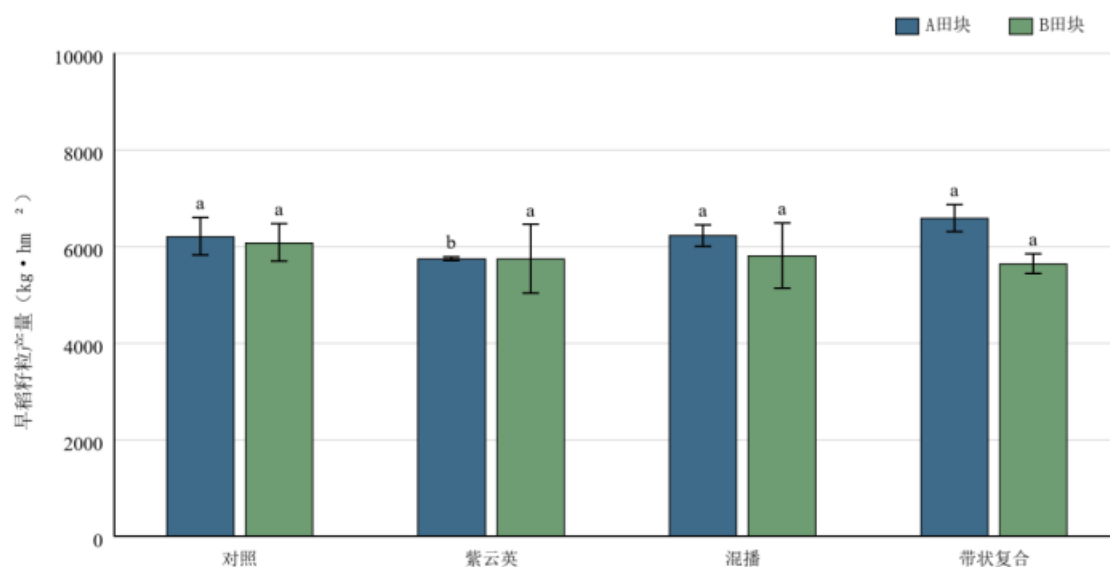


注：数据为平均值±标准差（n=4）；同一田块内相同小写字母表示处理间差异不显著。

图 2 不同田块和冬季作物配置方式下的紫云英鲜重

2.2.2 不同田块条件下油菜紫云英配置方式对早稻产量的影响

A 田块早稻籽粒产量在 $5739 \sim 6579 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间（图 3、表 6）。紫云英单播处理较对照降低 7.48%，且显著低于其他 3 个处理；混播处理与对照接近，带状复合处理较对照提高 6.06%。B 田块各处理早稻籽粒产量为 $5634 \sim 6076 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，处理间差异不显著，其中带状复合处理较对照降低 7.27%。A 田块带状复合处理地上部总生物量最高，为 $10557 \pm 521 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；B 田块对照处理最高，为 $9739 \pm 690 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。各处理收获指数为 60.28%~63.68%，变化幅度较小。

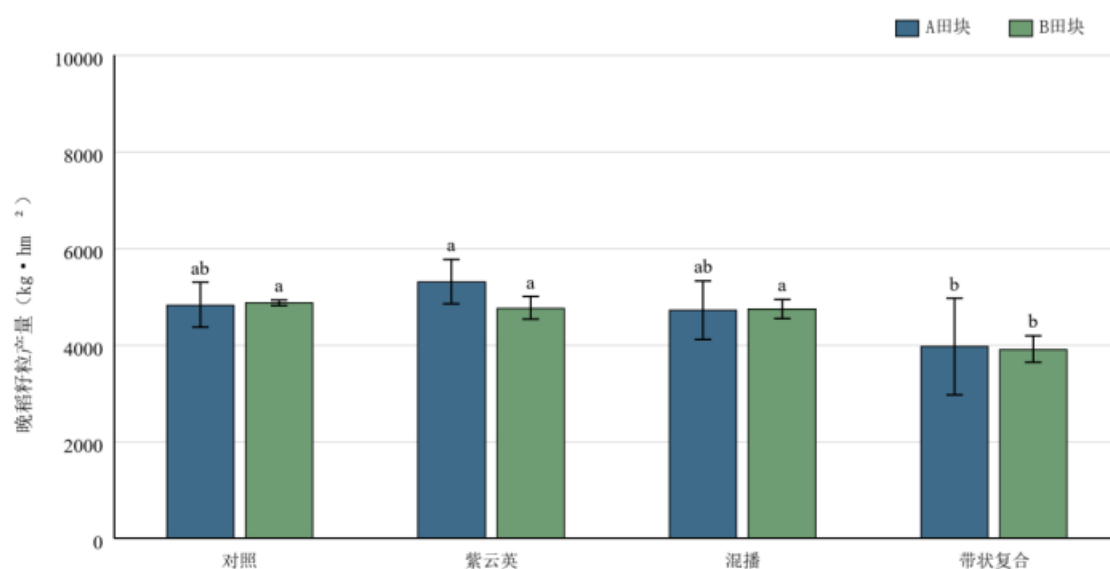


注：数据为平均值±标准差（n=4）；同一田块同一指标内不同小写字母表示处理间差异显著。

图 3 不同田块和冬季作物配置方式下的早稻籽粒产量

2.2.3 不同田块条件下油菜紫云英配置方式对晚稻产量的影响

晚稻籽粒产量对冬季作物配置方式的响应较早稻明显（图 4、表 7）。A 田块紫云英单播处理籽粒产量最高，为 $5307 \pm 462 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，较对照提高 9.97%；带状复合处理最低，为 $3962 \pm 994 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，较对照降低 17.90%，并显著低于紫云英单播处理。B 田块对照、紫云英单播和混播处理籽粒产量差异不显著，带状复合处理为 $3910 \pm 275 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，较对照降低 19.75%，且显著低于其余处理。带状复合处理在 A、B 田块的地上部总生物量均最低，分别为 8820 ± 1203 和 $7581 \pm 418 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。



注：数据为平均值±标准差（n=4）；同一田块同一指标内不同小写字母表示处理间差异显著。

图 4 不同田块和冬季作物配置方式下的晚稻籽粒产量

2.3 结论

紫云英与油菜混播在两个田块中均获得较高的油菜籽粒产量和紫云英鲜重。与带状复合处理相比，混播处理的油菜籽粒产量在 A、B 田块分别提高 17.03%和 7.88%，紫云英鲜重分别提高 16.47%和 19.15%。因此，在兼顾油菜生产和绿肥生物量的条件下，混播配置表现较为稳定。

冬季作物配置方式对早稻的影响受田块条件调节。A 田块带状复合处理的早稻籽粒产量最高，较对照提高 6.06%；B 田块各处理间差异不显著，带状复合处理较对照降低 7.27%。紫云英单播在 A 田块显著降低早稻籽粒产量，但在 B 田块未形成显著差异。

带状复合种植对晚稻产量形成不利。在 A、B 田块中，该处理的晚稻籽粒产量分别较对照降低 17.90%和 19.75%，地上部总生物量也

均为最低。综合冬季作物和双季稻表现，紫云英与油菜混播更有利于维持系统生产力；带状复合配置仍需从冬季作物带宽、还田量及水肥衔接等方面进一步优化。

3 冬季绿肥翻压下氮肥用量对早稻生长和产量的影响

3.1 材料与方法

3.1.1 试验地点

试验地于2022-2023年在江西省进贤县张公镇马家村(116°17'70"E, 28°35'03"N)进行,该地区属中亚热带季风气候,年均降水量1537 mm,年蒸发量1100~1200 mm;年均气温17.7~18.5℃,最冷月(1月)平均气温为4.6℃,最热月(7月)平均气温为28.0~29.8℃。季节性干旱主要发生在每年的7—8月。海拔高度28.54 m,为典型的低丘红壤地区,土壤类型为第四纪红粘土发育的红壤性水稻土,试验开始时耕层土壤pH为5.18,有机碳26.44 g/kg,全氮1.35 g/kg,全磷1.28 g/kg,全钾14.06 g/kg,碱解氮110.25 mg/kg,有效磷14.40 mg/kg,速效钾80.90 mg/kg。

3.1.2 试验设计

采用绿肥种类和肥料用量两因素随机区组试验,绿肥处理分别为紫云英+油菜混播(V1)和冬闲(V0)。肥料用量处理共4个,分别为对照处理(N0,不施氮肥)、氮肥用量为90 kg/hm²(N90)、氮肥用量为150 kg/hm²(N150)、氮肥用量为210 kg/hm²(N210)和氮肥用量为270 kg/hm²(N270)。紫云英的翻压还田量为22500 kg/hm²,其含水量为83%,烘干后有机碳、氮、磷、钾含量分别为467、8.0、

2.2、7.1g/kg。每个处理 4 次重复，每个重复的面积为 60 m²。除了 N0 处理之外，其他处理的氮肥种类均为尿素，且 60%作为基肥在早稻移栽前施用，40%在早稻返青期（移栽后 10 d）施用。所有处理均施用磷钾肥，磷钾肥均作基肥一次性施用。磷肥种类为钙镁磷肥，P₂O₅ 用量为 75 kg/hm²，钾肥种类为氯化钾，K₂O 用量为 135 kg/hm²。早稻品种为陵两优 739，移栽株行距为 20 和 20 cm。田间管理按照常规栽培技术进行管理。

3.1.3 测定指标

3.1.3.1 籽粒和秸秆氮素积累及氮肥利用率

在水稻成熟期采集 3 穴植株，105℃杀青 30 min，85℃烘干至恒重称重。同时，对籽粒和秸秆样品进行研磨，采用凯氏定氮法测定籽粒和秸秆样品氮素含，并计算氮肥利用效率。氮肥利用率计算公式如下：

$$\text{氮肥利用率 (\%)} = (\text{施氮肥处理的氮素积累量} - \text{不施氮肥处理的氮素积累量}) / \text{氮肥用量} \times 100$$

3.1.3.2 籽粒和秸秆产量及产量构成

在成熟时每个小区采集 1 m²的植株样品考种，测定单位有效穗数、株高、每穗穗长、每穗总粒数、结实率和千粒重。同时，每个小区实打实收，去除采样面积后计算籽粒产量和秸秆产量。

所有数据均采用 Excel 2003 进行整理，统计分析采用 SAS 9.1 进行，不同处理的显著性为 $P < 0.05$ 。图件采用 Origin 8.1 进行制作。

3.2 结果与分析

3.2.1 冬闲和绿肥翻压下氮肥用量对早稻籽粒和秸秆产量的影响

表 1 显示，绿肥翻压还田下的水稻产量（秸秆和籽粒产量分别为 2.67~8.96 和 2.29~8.46 t/hm²，平均值分别为 6.12 和 5.85 t/hm²）明显高于冬闲（秸秆和籽粒产量分别为 3.10~6.32 和 2.99~6.22 t/hm²，平均值分别为 5.04 和 4.94 t/hm²）。除了 N0 和 N90 处理之外，N150、N210 和 N270 处理下，绿肥翻压还田下早稻产量分别比冬闲增加了 23.32%、47.19%和 39.85%。而不同氮肥用量间则大体呈现出 N150 和 N210 处理最高，其次为 N270 和 N90 处理，而 N0 处理则最低。与 N0 处理相比，冬闲和绿肥翻压还田下 N150 处理的秸秆产量分别增加了 1.02 和 1.08 倍，籽粒产量分别增加了 2.15 和 2.35 倍。

表 1 冬闲和绿肥翻压下不同氮肥用量的秸秆和籽粒产量变化 (t/hm²)

处理	早稻秸秆产量	早稻籽粒产量
V0-N0	3.10±0.46b	2.99±0.24c
V0-N90	4.50±0.47ab	4.60±0.80 b
V0-N150	6.25±0.60a	6.22±0.63a
V0-N210	6.32±0.30 a	5.75±0.53ab
V0-N270	5.04±0.10a	5.17±0.31ab
V1-N0	2.67±0.73c	2.29±0.50d
V1-N90	3.55±0.88c	3.61±0.80c
V1-N150	8.41±0.66a	7.67±0.64b
V1-N210	8.96±0.71a	8.46±0.42a
V1-N270	7.02±0.69b	7.23±0.58b
V0	5.04±1.34B	4.94±1.25B
V1	6.12±2.86A	5.85±2.72A

注：不同的小写字母表示冬闲或绿肥翻压下不同氮肥处理间存在显著差异（ $P<0.05$ ）；不同的大写字母表示冬闲和绿肥之间存在显著差异（ $P<0.05$ ）。下同。

3.2.2 冬闲和绿肥翻压下氮肥用量对早稻产量构成的影响

表 2 结果表明，冬闲和绿肥翻压还田下水稻的单位有效穗数、穗长和每穗总粒数存在差异，而株高、结实率和千粒重则差异不显著。除了 N270 处理的穗长之外，与冬闲相比，绿肥翻压还田下所有氮肥

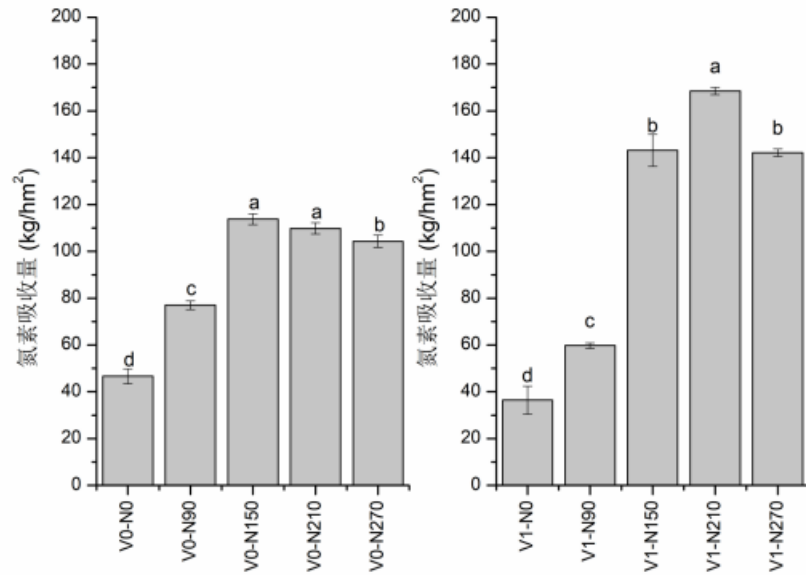
处理的水稻单位有效穗数、穗长和每穗总粒数分别增加了 16.46%~35.12%、5.80%~12.22%和 10.50%~36.31%，平均值分别提高了 21.76%、6.59%和 25.54%。而在不同氮肥用量之间，则呈现出单位有效穗数存在显著差异，其余指标均差异不显著；在单位有效穗数上，冬闲和绿肥翻压还田下均呈现出 N150 和 N210 处理最高，其次为 N270 和 N90 处理，而 N0 处理最低。与 N0 处理相比，冬闲和绿肥翻压还田下 N150 处理的单位有效穗数分别提高了 57.52%和 63.16%。

表 2 冬闲和绿肥翻压下不同氮肥用量的水稻产量构成变化

处理	单位有效穗数 (个/m ²)	株高 (cm)	每穗穗长 (cm)	每穗总粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)
V0-N0	113c	96.50a	23.63a	170a	69.33a	25.62a
V0-N90	146b	96.38a	24.50a	168a	65.82a	26.50a
V0-N150	178a	92.63a	22.50a	181a	66.63a	27.95a
V0-N210	168a	90.81a	23.75a	172a	67.14a	27.97a
V0-N270	164a	97.75a	25.13a	163a	68.43a	26.16a
V1-N0	133d	97.63a	25.00a	221a	57.75a	26.83a
V1-N90	170c	98.75a	26.50a	229a	66.33a	26.74a
V1-N150	217a	95.81a	25.25a	200a	58.52a	24.88a
V1-N210	227a	95.00a	26.50a	225a	63.27a	24.60a
V1-N270	191b	93.81a	24.13a	196a	68.55a	25.21a
V0	154B	94.81A	23.90B	171B	67.47A	26.84A
V1	187A	96.20A	25.48A	214A	62.88A	25.65A

3.2.3 冬闲和绿肥翻压下氮肥用量对早稻氮素吸收量的影响

冬闲和绿肥翻压还田下水稻氮素吸收量存在明显分异（图 1），除了 N0 和 N90 处理之外，与冬闲相比，绿肥翻压还田下水稻的氮素吸收量提高了 25.84%~53.41%。不同氮肥用量之间，则大体表现出 N150 和 N210 处理处理最高，其次为 N270 和 N90，而 N0 处理最低的趋势。与 N0 处理相比，冬闲和绿肥翻压还田下 N150 处理的水稻氮素吸收量分别提高了 1.44 和 2.93 倍。



注：不同的小写字母表示冬闲或绿肥翻压下不同氮肥处理间存在显著差异（ $P<0.05$ ）。下同。

图 1 冬闲和绿肥翻压下不同氮肥用量的水稻氮素吸收变化

3.2.4 冬闲和绿肥翻压下氮肥用量对早稻氮肥利用率的影响

图 2 结果显示，绿肥翻压还田下水稻的氮肥利用率（均值为 43.08%）显著高于冬闲（均值为 32.50%）。在冬闲条件下，不同氮肥用量间则呈现出 N150 处理（44.76%）最高，其次为 N90 和 N210 处理，而 N270 处理最低。在绿肥翻压还田下，则呈现出 N150 和 N210 处理的氮肥利用率（64.35%）最高，其次为 N270 处理，而 N90 处理最低。与 N0 处理相比，冬闲和绿肥翻压还田下 N150 处理的水稻氮肥利用率分别提高了 32.59%和 341.77%。

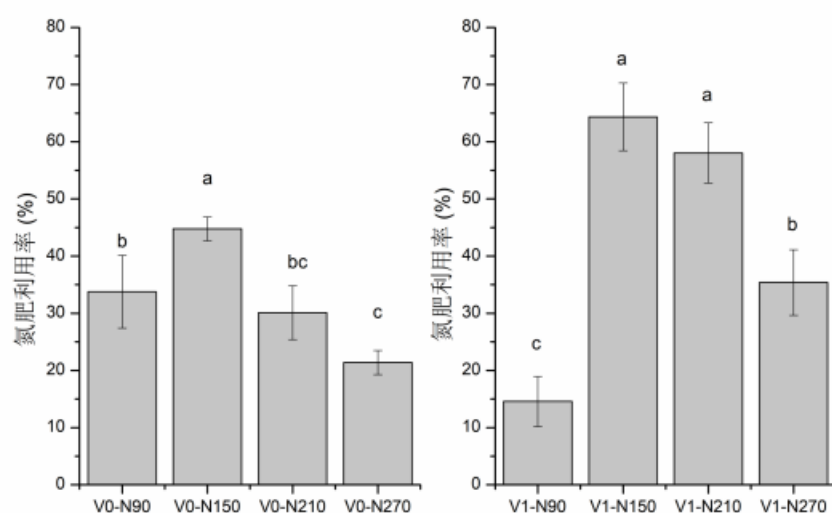


图 2 冬闲和绿肥翻压下不同氮肥用量的水稻氮肥利用率变化

3.3 结论

在南方双季稻区，与冬闲相比，绿肥翻压还田下水稻产量、氮素吸收量和氮肥利用率均显著提升。进一步分析发现，绿肥翻压还田主要是通过增加单位有效穗数实现水稻产量提升。结合氮肥利用率的结果发现，与冬闲的结果相似，绿肥翻压还田下早稻的合理氮肥用量为 150 kg/hm^2 。

4 永修、崇仁和进贤县冬闲田紫云英油菜高效配施技术验证和示范

4.1 材料与方法

4.1.1 研究区概况

本研究选取了江西省的永修县、崇仁县以及进贤县作为研究区域（图 1），位于中国南方丘陵区，具有典型的亚热带湿润季风气候特征，气候温暖湿润，年平均气温在 $17\sim 18^\circ\text{C}$ 之间，年降水量丰富，约为 $1500\sim 1700$ 毫米，降水集中在 4~6 月，雨热同期，为农业生产提供了良好的气候条件。永修县地处鄱阳湖西岸，地势较为平坦，以平原

和岗地为主，土壤类型主要为水稻土和红壤。其农业生产以水稻种植为主，种植历史悠久，农业基础设施相对完善。崇仁县地形以丘陵为主，山地、丘陵、河谷平原交错分布。土壤类型多样，包括红壤、黄壤、水稻土等。农业产业结构丰富，除水稻种植外，还发展了特色的麻鸡养殖等产业，但在水稻种植方面也占据重要地位。进贤县位于鄱阳湖东南岸，地形以低丘岗地和滨湖平原为主。土壤类型主要有红壤、水稻土和潮土。该县农业生产较为发达，是重要的商品粮生产基地，水稻种植规模较大，且在渔业养殖等方面也有一定发展。这三个县域在地形地貌、土壤类型和农业生产方式上既有相似之处，又存在一定差异，能够较好地代表中国南方丘陵区农业生产特点，为研究土壤功能与土壤健康提供了理想的研究样本。

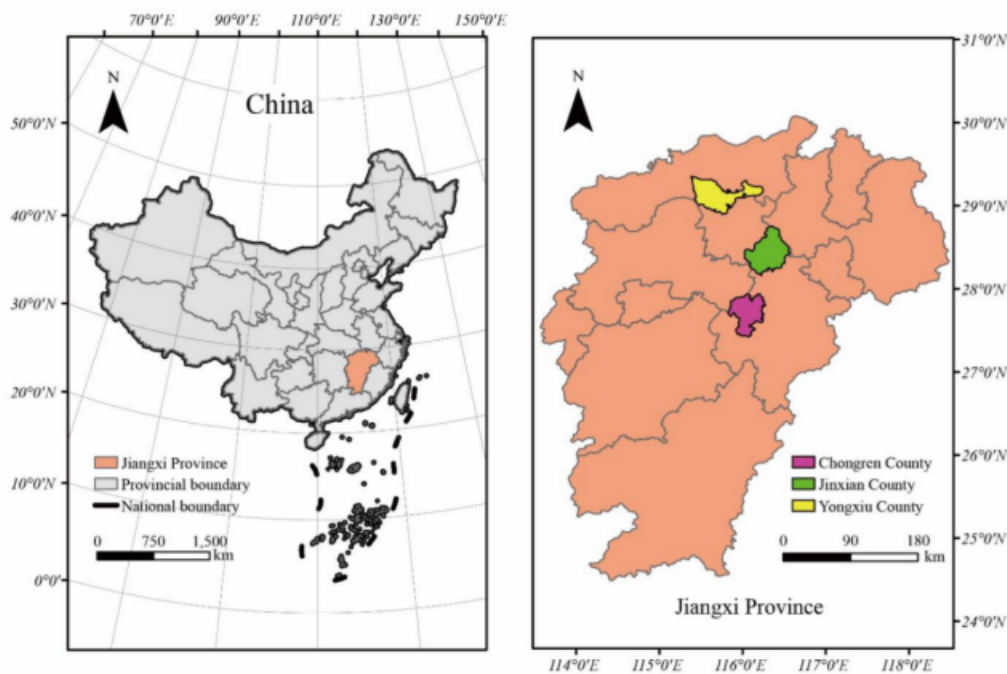


图 1 研究区位置图

4.1.2 样品采集与测定

根据当地农技人员提供的耕地利用信息，在永修县、崇仁县和进

贤县实施的耕地质量提升项目支撑下，于 2023-2024 年在每个县域内均布置了冬季绿肥处理、优化施肥处理、农民习惯施肥处理的示范，每个处理的示范面积在 500-2000 亩。其中农民习惯施肥为当地农户常用的施肥措施和用量，优化施肥处理为在农民习惯基础上按照当地农技部门推荐的测土配方施肥措施和用量，冬季绿肥处理为在优化施肥基础上冬季进行紫云英和油菜混播并在春季收割油菜，油菜秸秆和紫云英联合翻压还田。3 个县域的具体施肥用量见表 1。在 2022 年，对三个不同管理模式的水稻种植区域进行样品采集。在每个管理模式区域内，随机选取 10 个样点，每个样点间隔至少 500 米，以确保样品的代表性和独立性。

表 1 3 个县域 3 种施肥措施的具体施肥量

地点	处理	早稻季		晚稻季		休闲期
		复合肥	尿素	复合肥	尿素	绿肥还田量
		kg/667m ²	kg/667m ²	kg/667m ²	kg/667m ²	kg/667m ²
永修	冬季绿肥	34-39	6-8	48-54	8-10	1400-1700
	优化施肥	34-39	6-8	48-54	8-10	
	农民习惯施肥	43-48	7-9	52-57	10-13	
崇仁	冬季绿肥	36-39	6-8	45-53	8-10	1300-1600
	优化施肥	36-39	6-8	45-53	8-10	
	农民习惯施肥	40-45	8-10	50-57	10-12	
进贤	冬季绿肥	38-41	8-11	47-51	11-14	1500-1800
	优化施肥	38-41	8-11	47-51	11-14	
	农民习惯施肥	45-50	10-12	55-60	13-15	

对于水稻样品的采集，每个县域均测定早稻及晚稻产量，每个点位选择 3 个 1m² 的样方，人工脱粒晾晒和称重，并换算成标准产量，

即为水稻绝对产量 (absolute yield, kg/hm²)。同时, 11 月中旬于水稻收获后按照 5 点法在每个样点随机采集了 0~20 cm 耕层土壤样品, 将同一管理模式区域内的 10 个样点土壤混合均匀, 形成一个混合土壤样品, 每个县域每个管理模式区域共得到 1 个混合土壤样品, 总计 9 个土壤样品, 每个土壤样品设置 5 个重复。采集后的土壤样品首先去除其中的植物残体、石块等杂质, 一部分新鲜土壤用于测定土壤团聚体, 另一部分土壤样品经风干、剔除杂质、研磨、分别过 20 目和 100 目筛后, 测定土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、缓效钾、交换性酸、阳离子交换量, 参考《土壤农化分析》。

土壤 pH 值采用 DMP-2mV/pH 计测定; 土壤有机质 (SOM) 采用重铬酸钾容量法-外加热法测定; 阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法测定; 土壤全氮(TN)采用凯氏定氮法测定; 土壤全磷(TP)采用氢氧化钠熔融-钼酸铵比色法测定; 土壤全钾(TK)采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定; 土壤速效钾(AK)采用 1 mol/L 中性 NH₄OAc 浸提, 土壤缓效钾(SAK)为采用 1 mol/L 的 HNO₃ 煮沸法浸提的酸溶性钾量减去速效钾含量, 浸提液和消煮待测液中的钾含量均采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定; 土壤速效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定。土壤碱解氮(AN)采用酸水解法测定。采用湿筛法对土壤团聚体进行物理分组, 得到 6 个粒径组分的团聚体, 分别为: >2、2~1、1~0.5、0.5~0.25、0.25~0.053 和 <0.053mm。采用 KCl 中和滴定法测定交换性酸、交换性 H⁺和交换性 Al³⁺。

4.1.3 产量相关指标

水稻相对产量 (relative yield, %) 为各点位水稻产量占每个典型县域所有点位中最高产量的百分比。

可持续产量指数 (sustainable yield index, SYI) 是评估农业实践可持续性的定量指标(Qaswar et al., 2020), 可持续产量指数采用以下公式计算。

$$SYI = \frac{Y - \sigma}{Y_{max}} \quad (1)$$

公式(1)中, Y 表示各点位水稻产量 (kg/hm^2), Y_{max} 表示各县域所有点位中最大产量水平 (kg/hm^2), σ 表示标准差。

4.1.4 土壤功能指数和健康指数计算

4.1.4.1 指标标准化

采用线性评分函数将每一项指标转化为从 0~1 之间的无量纲数字得到各个指标的归一化评分值, 属于“越多越好”的正向指标和“越少越好”的负向指标分别用公式 (2) 和公式 (3) 计算。

$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{ijmin}}{X_{ijmax} - X_{ijmin}} \quad (2)$$

$$S_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{ijmin}}{X_{ijmax} - X_{ijmin}} \quad (3)$$

在本研究中, X_{ijmax} 表示 X_{ij} 的最大值, X_{ijmin} 表示 X_{ij} 的最小值。 $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 。其中, n 指的是所有指标的样本量, m 指的是土壤健康评估指标的数量。

4.1.4.2 土壤各功能指数计算

土壤功能包括碳循环功能(用 SOM、C/TN、C/TP 和 C/TK 表示)、缓冲和过滤功能(用 pH、ETA、EH、EA 和 CEC 表示)、营养循环

功能（用 AN、AP、AK 和 SAK 表示）、物理结构稳定性功能（用 MWD、GMD 和 wVLSI 表示）和初级生产力功能，作物产量代表了土壤生产力(Li et al., 2023)。

基于平均法的 5 项土壤功能（Soil functions, SFa）是根据以下公式计算的：

$$SF_a = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^f S_{ij} \quad (4)$$

公式(4)中， f 是代表各土壤功能的土壤指标的总数， S_{ij} 是每个指标的归一化评分值， $i = 1, 2, 3, \dots, f$ ，其中， f 指的是代表某一土壤功能的所有土壤指标的数量。

4.1.4.3 土壤健康指数计算

“土壤健康指数面积法（Soil health index-Area, SHI-Area）”是一种综合反应土壤多功能性的新型土壤健康评估方法。该方法首先是对标准化处理后的各项参评参数进行雷达图的构建，然后以雷达图的面积大小综合反映评估区域整体土壤健康的状况。以雷达图中的多边形总面积来表示的土壤健康指数用以下公式进行计算：

$$SHI = 0.5 \cdot \sum_{i=1}^n SF_a^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \quad (5)$$

公式(5)中： SHI 的数值表征土壤健康指数； SF_a 为各参数的标准化值，在本研究中是各土壤功能指数； n 为用于土壤健康评估的指标参数个数，在本研究中 n 的取值为 5。

4.1.5 数据统计分析与制图

利用 Microsoft Excel 2019 进行数据计算与整理。采用 IBS SPSS Statistics 26 软件进行统计分析，利用单因素分析法（One-Way ANOVA）

进行方差分析,并选用LSD法进行多重比较,显著性水平设为 $P<0.05$ 。利用R语言(4.5.1)中“randomForest”包对影响土壤健康指数的不同土壤功能进行排序。利用Origin 2025以及ArcMap 10.8进行绘图。

4.2 结果分析

4.2.1 3个县域3种施肥措施对稻田土壤理化指标的影响

分析三个县域不同管理模式下的土壤肥力指标(表7)发现。在永修县冬季绿肥处理的MWD、GMD、wVLSI、pH、TP、AK、CEC均显著高于优化施肥处理、农民习惯施肥处理($P<0.05$),冬季绿肥处理以及农民习惯施肥处理的SOM、TN显著高于优化施肥处理($P<0.05$),冬季绿肥处理以及优化施肥处理的TK、AN显著高于农民习惯施肥处理($P<0.05$),优化施肥处理的SAK显著高于优化施肥处理和农民习惯施肥处理($P<0.05$),而不同管理模式下的AP、ETA、EH、EA无显著差异;在崇仁县冬季绿肥处理的MWD、wVLSI、pH、SOM、CEC均显著高于优化施肥处理和农民习惯施肥处理($P<0.05$),优化施肥处理的TK显著高于冬季绿肥处理和农民习惯施肥处理($P<0.05$),农民习惯施肥处理的SAK、ETA、EA显著高于冬季绿肥处理和优化施肥处理($P<0.05$),农民习惯施肥处理以及优化施肥处理的EH显著高于冬季绿肥处理($P<0.05$),而不同管理模式下的GMD、TN、TP、AN、AP、AK无显著差异;在进贤县农民习惯施肥处理的MWD、GMD、wVLSI、pH显著高于冬季绿肥处理和优化施肥处理($P<0.05$),冬季绿肥处理的TK、SAK显著高于优化施肥处理和农民习惯施肥处理($P<0.05$),优化施肥处理的ETA、EA显著

高于冬季绿肥处理和农民习惯施肥处理 ($P<0.05$), 而不同管理模式下的 SOM、TN、TP、AN、AP、AK、EH、CEC 无显著差异。

表 7 不管理模式下的土壤理化指标

County name	Yongxiu			Chongren			Jinxian		
Management pattern	GM	OF	CF	GM	OF	CF	GM	OF	CF
MWD	0.89a	0.44b	0.46b	0.76a	0.56ab	0.49b	0.69b	0.96ab	1.21a
GMD	0.37a	0.23b	0.20b	0.32a	0.23a	0.23a	0.30b	0.48ab	0.61a
wVLSI	0.24a	0.16b	0.15b	0.20a	0.16b	0.15b	0.20b	0.24ab	0.30a
pH	5.15a	4.96ab	4.82b	4.69a	4.70b	4.84b	4.91b	4.95b	5.32a
SOM(g/kg)	25.32a	15.48b	25.52a	43.67a	38.23ab	31.73b	25.99a	32.05a	24.43a
TN(g/kg)	1.77a	1.16b	1.69a	2.45a	2.42a	2.03a	1.66a	1.96a	1.64a
TP(g/kg)	0.71a	0.59b	0.54b	0.68a	0.64a	0.64a	0.62a	0.78a	0.84a
TK(g/kg)	23.62a	23.65a	16.86b	14.81c	22.57a	19.64b	21.54a	10.55b	11.09b
AN(mg/kg)	144.06a	96.65a	141.12b	185.22a	177.50a	163.91a	140.88a	173.95a	160.23a
AP(mg/kg)	26.59a	28.82a	28.87a	63.70a	57.91a	64.69a	33.92a	34.74a	36.48a
AK(mg/kg)	234.50a	113.50b	100.50b	123.00a	129.00a	143.50a	109.17a	108.33a	141.50a
SAK(mg/kg)	425.50b	656.50a	297.00c	214.50c	321.00b	489.00a	407.50a	143.75c	238.50b
ETA(cmol/kg)	1.77a	1.79a	1.89a	2.13b	2.47b	3.08a	1.73ab	2.20a	1.06b
EH(cmol/kg)	0.25a	0.19a	0.27a	0.19b	0.33a	0.34a	0.29a	0.28a	0.23a
EA(cmol/kg)	1.52a	1.60a	1.62a	1.94b	2.14ab	2.74a	1.45ab	1.92a	0.83b
CEC(cmol/kg)	12.12a	8.38b	8.64b	10.87a	9.25b	8.80b	10.61a	11.28a	13.38a

4.2.2.3 三个县域 3 种施肥措施对水稻产量的影响

分析江西省 3 个县域的水稻绝对产量和相对产量可知 (图 1), 水稻的实际产量状况与受不同管理模式影响。从平均绝对产量来看, 永修县、崇仁县和进贤县在冬季绿肥处理的水稻绝对产量 (994.88、1118.74、1011.33 kg·hm⁻²) 分别比优化施肥处理 (846.30、947.10、887.49 kg·hm⁻²) 显著高出 17.56%、18.12%、13.95%, 比农民习惯施肥处理 (617.80、758.50、713.28 kg·hm⁻²) 显著高出 61.04%、47.49%、41.79%。

结合相对产量分析, 永修县冬季绿肥处理的相对产量均值 (86.74%) 比优化施肥处理 (73.78%) 显著高 17.56%, 比农民习惯施肥处理 (53.86%) 显著高 61.04%; 崇仁县冬季绿肥处理的相对产量均值 (97.54%) 比优化施肥处理 (82.57%) 显著高 18.12%, 比农民习惯施肥处理 (66.13%) 显著高 47.79%; 进贤县冬季绿肥处理的相对产量均值 (88.17%) 比优化施肥处理 (77.37%) 显著高 13.95%,

比农民习惯施肥处理（62.19%）显著高 41.79%。

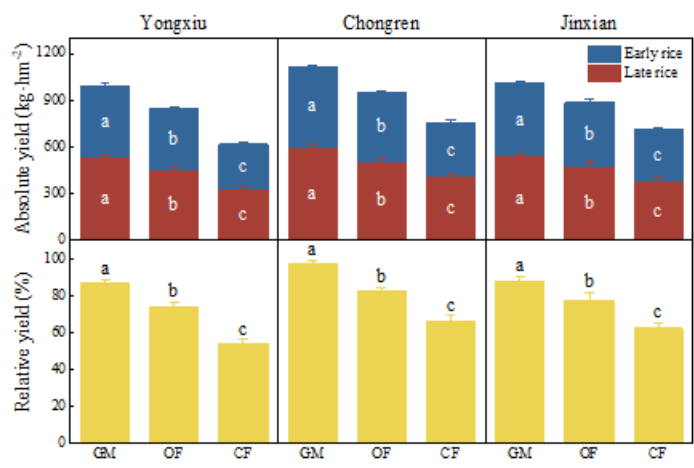


图 1 不同管理模式下的水稻绝对产量与相对产量

4.2.3 3 个县域 3 种施肥措施对水稻可持续产量指数与经济效益的影响

进一步探究水稻可持续产量指数与经济效益（图 2）。我们发现，永修县、进贤县在冬季绿肥处理的水稻可持续产量指数（0.73、0.74）分别比优化施肥处理（0.60、0.63）显著高出 21.64%、17.01%，比农民习惯施肥处理（0.40、0.48）显著高出 82.29%、53.83%；而崇仁县在冬季绿肥处理的水稻可持续产量指数（0.84）比优化施肥处理（0.69）、农民习惯施肥处理（0.52）分别显著高出 21.79%、60.15%，且优化施肥处理、农民习惯施肥处理的数值差异不显著。对于永修县（202.55yuan·hm⁻²）和进贤县（242.12yuan·hm⁻²）在冬季绿肥处理的经济效益为正值；就崇仁县而言，冬季绿肥处理和优化施肥处理的经济效益为正值，且冬季绿肥处理（500.41yuan·hm⁻²）比优化施肥处理（87.64yuan·hm⁻²）的效益高了 4.71 倍。

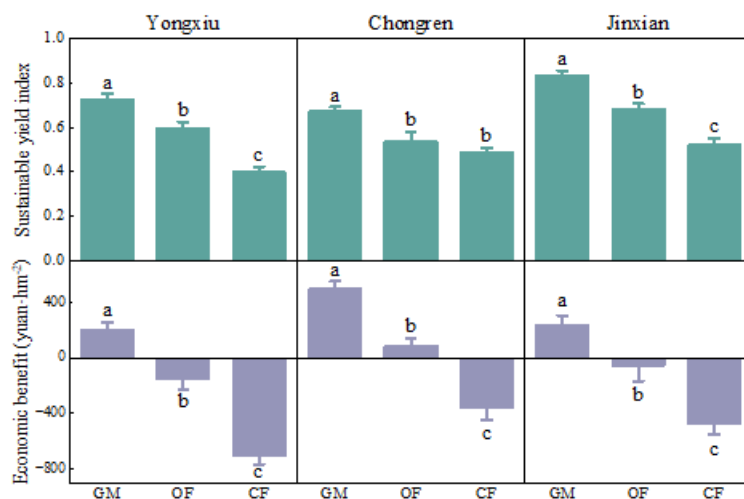


图 2 不同管理模式下的可持续产量指数与经济效益

4.2.4 3 个县域 3 种施肥措施对稻田土壤功能指数与土壤健康指数的影响

分析三个县域不同管理模式下的土壤功能指数（图 3）发现其碳循环功能、缓冲和过滤功能、营养循环功能、物理结构稳定功能和初级生产力功能均有显著差异（ $P < 0.05$ ）。其中，永修县农民习惯施肥处理下的碳循环功能比其他处理提高了 36.96%~193.53%（ $P < 0.05$ ），冬季绿肥处理下的缓冲和过滤功能、营养循环功能、物理结构稳定功能和初级生产力功能分别比优化施肥处理提高了 18.11%、27.50%、152.73%、53.75%（ $P < 0.05$ ）；崇仁县的土壤营养循环功能在各管理模式无显著差异，冬季绿肥处理下的碳循环功能、缓冲和过滤功能、物理结构稳定功能和初级生产力功能分别比其他处理提高了 36.75%~63.11%、52.29%~98.03%、65.79%~95.23%、45.50%~190.99%（ $P < 0.05$ ）；进贤县优化施肥处理下的碳循环功能比其他处理提高了 51.88%~52.18%，农民习惯施肥处理下的缓冲和过滤功能和物理结

构稳定功能比其他处理分别提高了 51.37%~62.67%、39.05%~126.90% ($P<0.05$)，冬季绿肥处理下的初级生产力功能比其他处理提高了 38.99%~207.86% ($P<0.05$)；综合三个县域整体土壤功能来看，冬季绿肥处理下的初级生产力功能比其他处理提高了 45.72%~272.52% ($P<0.05$)，碳循环功能、缓冲和过滤功能、营养循环功能和物理结构稳定功能无显著差异。

利用雷达面积法进一步计算土壤健康指数可知（图 4），永修县和崇仁县的土壤健康指数在冬季绿肥管理模式下比优化施肥模式和农民习惯施肥模式显著提高了 113.52%~195.92%、81.55%~191.14%，进贤县在各管理模式无显著差异，整体来看，冬季绿肥处理下的土壤健康指数（0.75）比优化施肥处理（0.48）、农民习惯施肥处理（0.40）分别提高了 57.12%、87.16%。

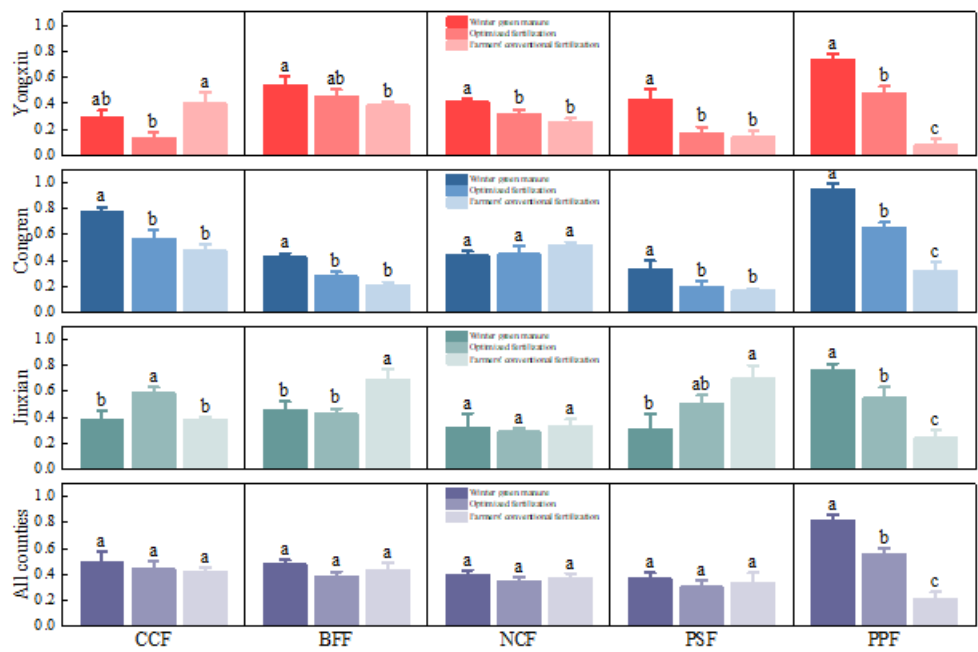


图 3 不同管理模式下的土壤功能指数

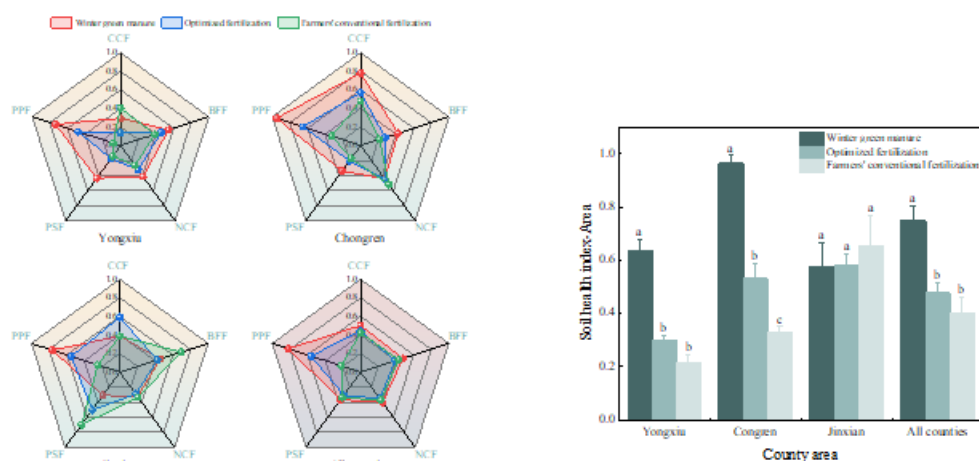


图 4 不同管理模式下的土壤健康指数

4.2.5 3 种施肥措施下土壤功能指数与土壤健康指数的关系

为探究不同管理模式下土壤健康指数与各土壤功能的数量关系，并识别关键土壤功能，我们利用随机森林重要性排序分析（图 5）。冬季绿肥处理下，碳循环功能和初级生产力功能是影响土壤健康的关键土壤功能（ $P < 0.05$ ），当土壤健康指数每提高 0.1，碳循环功能、初级生产力功能分别提高 0.11（ $P < 0.001$ ）、0.05（ $P < 0.001$ ）；优化施肥处理下，碳循环功能、物理结构稳定功能是影响土壤健康的关键土壤功能（ $P < 0.01$ ），当土壤健康指数每提高 0.1，碳循环功能、物理结构稳定功能分别提高 0.12（ $P < 0.001$ ）、0.09（ $P < 0.01$ ）；农民习惯施肥处理下（ $P < 0.01$ ），缓冲和过滤功能和物理结构稳定功能是影响土壤健康的关键土壤功能（ $P < 0.01$ ），当土壤健康指数每提高 0.1，缓冲和过滤功能、物理结构稳定功能分别提高 0.07（ $P < 0.01$ ）、0.12（ $P < 0.001$ ）。

综合三个县域来看，影响土壤健康状况最关键的 3 个土壤功能是物理结构稳定功能、初级生产力功能（图 6），不同土壤功能与土壤

健康状况具有显著线性函数关系，当土壤健康指数每提高 0.1，碳循环功能、缓冲和过滤功能、营养循环功能、物理结构稳定功能和初级生产力功能分别提高 0.05 ($P<0.001$)、0.02 ($P<0.05$)、0.02 ($P<0.05$)、0.06 ($P<0.001$)、0.07 ($P<0.001$)。

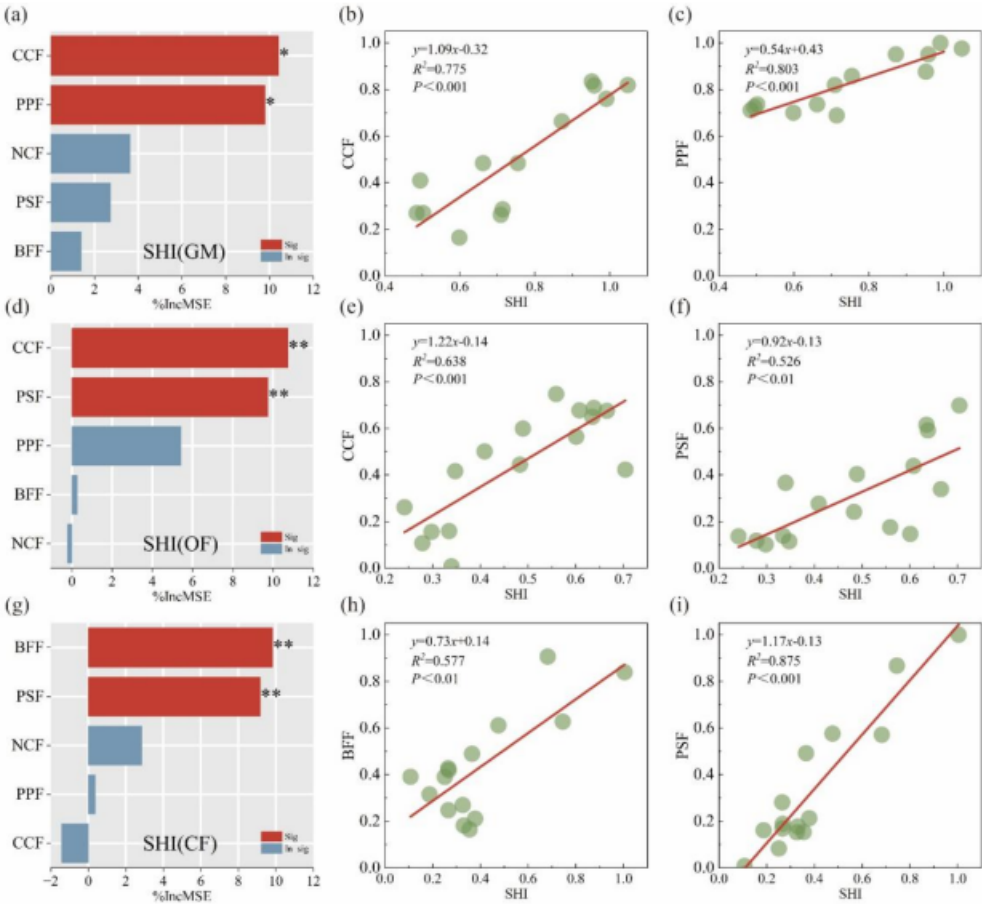


图 5 不同管理模式下的土壤功能指数与土壤健康指数的关系

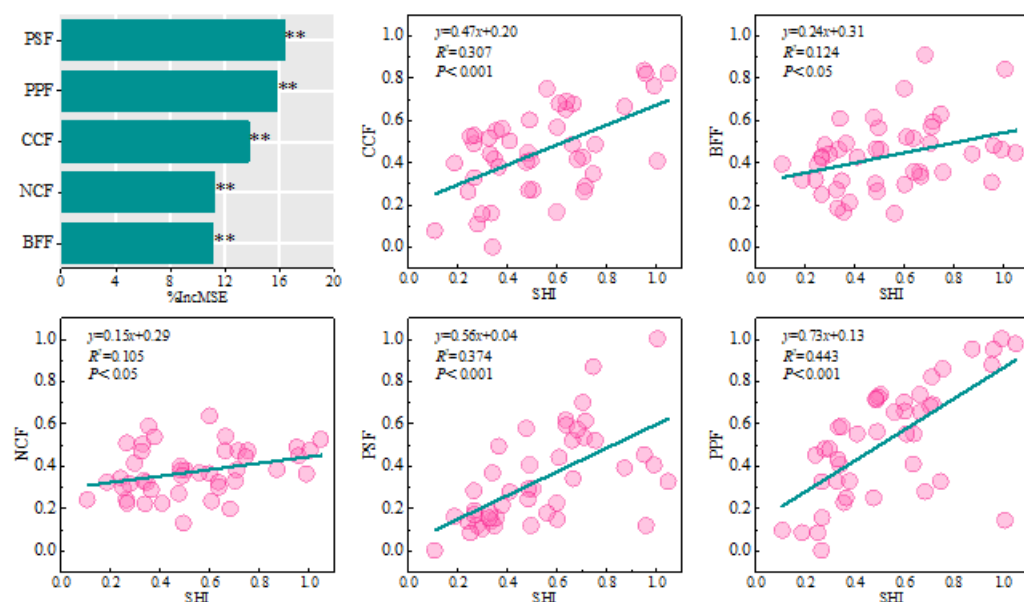


图 6 不同土壤功能与土壤健康指数的关系

4.3 结论

与优化施肥 (OF) 和农民习惯施肥 (CF) 相比, 冬季绿肥 (GM) 作为一种农业管理措施, 不仅提高了土壤有机质含量、养分有效性及结构稳定性, 还增强了碳循环功能、缓冲和过滤功能以及初级生产力功能等土壤生态系统功能, 从而显著提升土壤健康指数。尤为重要的是, 碳循环功能与初级生产力功能被确定为 GM 模式下驱动土壤健康的核心功能; 整体来看, 物理结构稳定性功能和初级生产力功能对健康指数的提升具有最为显著的影响。这些结果凸显了冬季绿肥作为可持续农业管理策略的重要价值, 既有助于提高农业生产力, 又能增强生态韧性。本研究为未来研究和推广工作中土壤健康功能驱动因素提供了新见解。

(二) 技术经济论证, 预期的经济效益

进一步在进贤县张公镇新城村 (地势较高田块) 和温圳镇何家村 (地势较低田块) 的双季稻田开展示范。主要示范模式包括: 处理 1

为冬季休闲，早稻和晚稻按当地习惯施肥；处理 2 为紫云英与油菜混播，早稻和晚稻复合肥基肥用量减少 20%；处理 3 为紫云英与油菜条播（3 行紫云英、2 行油菜），早稻和晚稻复合肥基肥用量减少 20%。每个模式示范面积 4 亩。

	
A 地势较高条件下紫云英油菜混播	A 地势较高条件下紫云英油菜混播
	
B 地势较低条件下紫云英油菜条播	B 地势较低条件下紫云英油菜条播

图 7 进贤县示范区紫云英油菜混播和条播长势情况

表 5 表明，两类田块的油菜紫云英配置处理均形成了稳定的油菜籽粒产出，产量为 823.25 kg/hm²~1038.65 kg/hm²。地势较高田块中，混播和条播处理的早稻产量分别较冬季休闲提高 24.75%和 29.21%，晚稻产量分别提高 30.32%和 34.52%，土壤有机质分别提高 6.74%和 7.24%，且与冬季休闲处理的差异达到显著水平。地势较低田块中，混播和条播处理的早稻产量分别提高 44.05%和 50.00%，晚稻产量分

别提高 26.99%和 32.60%；土壤有机质分别提高 6.58%和 7.54%，但处理间差异未达到显著水平。地势较低田块条播油菜产量显著高于混播处理。总体上，油菜紫云英配置在减少早、晚稻复合肥基肥用量 20%的条件下，仍表现出增加冬季油料产出、维持或提高水稻产量和改善土壤有机质的综合效应。

表 5 优化培肥措施下晚稻产量和土壤有机质变化

田块	处理	油菜籽粒产量 (kg/hm ²)	早稻籽粒产量 (kg/hm ²)	晚稻籽粒产量 (kg/hm ²)	土壤有机质 (g/kg)
地势较高 A	冬季休闲	0	6847.22±731.95b	7341.52±823.44b	36.19±1.00b
	紫云英油菜混播	1038.65±33.42a	8541.67±1061.27a	9567.11±722.14a	38.63±1.20a
	紫云英油菜条播	998.21±78.48a	8847.22±862.31 a	9875.89±543.87a	38.81±1.09a
地势较低 B	冬季休闲	0	5286.09±241.63b	6745.83±256.77b	36.33±1.00a
	紫云英油菜混播	823.25±20.90b	7614.69±155.31a	8566.33±333.45a	38.72±1.94a
	紫云英油菜条播	975.34±24.75a	7929.08±67.58a	8945.12±225.76a	39.07±2.27a

生产效益：示范条件下，油菜紫云英配置可新增油菜籽粒 823.25 kg/hm² ~ 1038.65 kg/hm²，并同步提高冬闲田周年利用率。按每推广 1 万 hm²测算，可新增油菜籽约 0.82 万 t ~ 1.04 万 t；按目标区域 50% 的面积推广测算，每 1 万 hm²目标区域可新增油菜籽约 0.41 万 t ~ 0.52 万 t。新增油菜产值可依据实际推广面积、示范产量和当地年度油菜籽收购价格测算。

培肥与节本效益：示范处理中，早稻和晚稻复合肥基肥用量均由 50 kg/亩降至 40 kg/亩，每季减少 10 kg/亩，全年减少 20 kg/亩，折合减少复合肥投入 300 kg/hm²。在此条件下，两类田块的早稻和晚稻产量总体保持较高水平，土壤有机质较冬季休闲处理提高 6.58% ~ 7.54%。每推广 1 万 hm²，全年可减少复合肥基肥投入约 3000 t，节本

金额可按当地复合肥实际采购价格折算；同时，紫云英和油菜秸秆联合还田可增加有机物料投入，为土壤培肥和养分循环提供持续支撑。

此外，需要强调的是，2026 年 9 月 23 日，在丰收节之际，本项目联合江西五套，开展了题为“丰收节里话沃土，红壤焕新地生金”的直播宣传活动，柳开楼在直播中重点讲解了冬闲田紫云英油菜高效配置技术。同时，江西五套也在 9 月 29 日进行了电视播放。



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

本文件未直接采用或等同采用 ISO、IEC 等国际标准。文件技术内容主要依据我国双季稻区种植制度、冬闲期气候与田块水分条件、农业机械作业方式以及编制组田间试验和示范结果确定。

1) 本文件所规范的对象是双季稻区冬闲田油菜与紫云英复合配置。目前,国际标准主要从种子质量、农业投入品、作业安全或环境管理等单项环节提出通用要求,难以直接覆盖我国双季稻茬口条件下油菜收获与紫云英培肥协同的完整技术过程,因此不具备直接采用相应国际标准的条件。

2) 文件关于绿肥种子、油菜种子、产地环境、病虫害防治、油菜机械收获和南方稻田绿肥利用的要求,均与我国现行国家标准、农业行业标准和相关地方标准衔接;关键技术参数由本土试验与示范数据验证,更符合我国南方双季稻区的生产条件和推广需要。

综上,本文件未采用国际标准,标准技术水平以解决我国双季稻区冬闲田油料生产与绿肥培肥协同利用的实际问题为主要定位。

(二) 与现行有关法律法规和强制性标准的关系

本文件的技术内容与我国现行农业生产、耕地保护、种子管理、农产品质量安全和农业投入品管理等法律法规的基本要求相一致,与相关强制性标准和推荐性标准协调配套。

1) 在法律法规方面,文件以提高冬闲田利用效率、保护和提升耕地质量、规范种子和农药使用为基本要求,与《中华人民共和国农业法》《中华人民共和国种子法》《中华人民共和国农产品质量安全法》以及《农药管理条例》等规定的原则相一致。文件未设置行政许可、监督执法或处罚性条款。

2) 在强制性标准方面,紫云英等绿肥种子质量直接引用现行强制性国家标准 GB 8080《绿肥种子》的要求;油菜种子、产地环境、

病虫害防治和机械收获等内容引用相应农业行业标准。各项技术要求不存在降低强制性标准要求或与其相抵触的情形。

3) 在现行标准体系方面, NY/T 414、NY/T 846、NY/T 1231 和 NY/T 3633 主要规范油菜种子、产地环境、机械收获及轻简化生产, NY/T 3840 和 DB36/T 2213 主要规范南方稻田绿肥种植利用及绿肥—双季稻生产。上述标准为单项生产环节提供了依据, 但尚未系统规定双季稻区冬闲田油菜与紫云英协同配置、油菜籽粒收获以及秸秆与绿肥联合还田的全过程技术。

4) 本文件在现有标准基础上, 进一步明确不同田块水分条件下的配置方式、关键播种参数、田间管理、油菜收获和联合翻压等要求, 是对双季稻区冬闲田复合利用技术标准体系的补充, 与现行相关标准不存在重复和冲突。

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

立项时题目为《南方双季稻区冬闲田油菜紫云英高效配置技术规程》, 在征求意见时, 专家建议修改为《双季稻区冬闲田油菜紫云英高效配置技术规程》。我们采纳了该意见, 理由是双季稻区主要分布在我国南方, 南方和双季稻属于重复表述。谢谢!

2026 年 8 月因标准技术内容完善需求, 经协调, 中国科学院南京土壤研究所张红霞加入编制组, 共同参与后续内容的修订工作。