

长期有机栽培对稻米产量、品质及土壤微生物群落的影响

李 清¹, 王 磊¹, 靳亚康¹, 肖 新^{1, 2*}, 吴红宝^{1*}

(1. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 凤阳 233100;

2. 安庆师范大学资源与环境学院, 安徽 安庆 246000)

摘 要: 有机栽培对提升稻米品质和维持土壤微生物多样性具有重要作用。于 2021 年 6—10 月在安徽省天长市牧马湖有机水稻种植基地设置水稻有机栽培和常规栽培 2 个处理, 通过对水稻结实率、千粒重、精米率、垩白度、微量元素及根际土壤的微生物多样性进行测定, 探究长期有机栽培下稻米产量、品质及土壤微生物多样性特性。结果表明: (1) 较常规栽培而言, 有机栽培土壤的碱解氮含量和 pH 值分别显著增加 16.07% 和 35.71%, 而土壤全钾和有效磷含量则显著降低 41.03% 和 47.59%; (2) 有机栽培处理的产量、糙米率、垩白度、垩白粒率和蛋白质含量分别显著降低 46.29%、2.35%、32.51%、38.34% 和 6.76% ($P<0.05$), 整精米率显著提高, 稻米中铁 (Fe)、硒 (Se) 元素含量显著提高 48.88% 和 83.93%; (3) 两种栽培方式均以变形菌门、酸杆菌门、绿弯菌门和拟杆菌门为优势类群, 常规栽培体系下的细菌物种数目更高; 相较常规栽培, 有机栽培土壤的绿弯菌门、拟杆菌门、放线菌门、硝化螺旋菌门和酸杆菌门相对丰度分别提升 74.58%、3.21%、19.92%、122.67% 和 41.15%; 有机栽培下细菌的丰富度和多样性均大于常规栽培。可见, 长期有机栽培可以提升稻米加工品质、外观品质及蒸煮食味品质, 提升土壤微生物群落多样性。

关键词: 有机栽培; 常规栽培; 土壤微生物; 稻米品质; 产量

水稻是我国主要食用作物之一, 全世界大约有一半以上的人口以大米为主食^[1-2]。我国是水稻生产大国, 水稻年产量约占世界水稻年产量的 34%, 居世界首位, 被誉为“水稻王国”^[3]。目前我国的温饱问题已经得到解决, 现如今随着全球人口的不断增长、时代的高速发展和人们生活水平的提高, 粮食安全问题愈发凸显, 有机农业越来越受重视, 消费者对稻米品质的要求也越来越高^[4-5], 有机稻米开始备受关注, 提高水稻生产对保障全球粮食供应至关重要^[6]。有机种植方式是指按照一定的有机农业标准进行生产, 过程中不使用基因工程产品以及化学合成的农药、化肥、生长调节剂、饲料添加剂等物质。它遵循自然规律和生态学原理, 保持种植业和养殖业的平衡, 运用一系列可持续发展的农业技术, 以维护持续稳定的农业生产体系^[7-8], 化肥农药零投入的有机栽培是保障稻米品质的重要途径。黄丽芬等^[9]发现,

有机栽培较常规栽培降低了稻米加工品质, 但显著改善了外观品质, 提高了胶稠度, 降低了直链淀粉含量, 对蛋白质含量影响较小, 总体上改善了蒸煮食味品质。金淑等^[10]认为与常规种植方式相比, 有机种植方式能够显著提高稻麦的安全品质, 但在营养品质上存在差异性。侯立刚等^[11]研究表明, 有机栽培相对常规栽培而言, 显著提升了稻米的外观品质、胶稠度及食品值, 但是蛋白质含量有所降低。刘洋等^[12]研究表明, 有机水稻与常规水稻的产量之间存在差距, 有机水稻产量的下降是制约其发展的重要因素。

前人的研究集中于有机水稻的产量和品质, 对有机水稻的种植具有一定的指导意义。然而, 涉及有机水稻栽培模式下土壤微生物群落结构的相关研究较少。因此, 本研究在安徽省天长市牧马湖有机水稻种植基地设置常规水稻和有机水稻两种栽培模式试验, 分析两种栽培模式下水稻产量与稻米品质的差异性, 着重探究有机栽培模式下土壤微生物的物种丰富度及多样性, 为揭示有机栽培模式下稻田土壤微生物群落结构特征及有机农业可持续发展提供科学依据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2022 年 10 月在安徽省滁州市天长市

收稿日期: 2023-10-16; 录用日期: 2024-01-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42305127); 安徽省教育厅科学研究重点项目 (2023AH051854)。

作者简介: 李清 (1999-), 硕士研究生, 主要从事有机稻米品质研究。E-mail: liketolike17@163.com。

通讯作者: 肖新, E-mail: xiaoxin8088@126.com; 吴红宝, E-mail: wuhb1120@163.com。

牧马湖农业开发集团有限公司有机稻米种植基地 (32.64°E, 119.08°N) 进行, 该公司有多年有机水稻种植经验, 大面积种植管理, 规范化种植模式, 于 2007 年在仁和集镇林庄、东风等 6 个村 (社区) 集中流转 346.67 hm² 优质耕地建立水稻有机种植基地, 并划分区块开始栽培有机水稻。该地属北亚热带湿润季风气候, 多年平均气温 14.9 °C, 无霜期 219.3 d, 年平均降水量 1048 mm, 多集中在 6、7、8 月, 旱季 7 个月、雨季 5 个月, 雨季降水量占年降水量的 68%, 符合水稻生长条件, 适宜种植水稻。定位试验地田块栽培模式均为单季水稻种植模式, 地带性土壤类型为黄棕壤, 播前土壤 pH 为 6.58, 全氮含量 0.91 g/kg, 全磷含量 0.19 g/kg, 全钾含量 10.31 g/kg, 有效磷含量 4.0 mg/kg, 速效钾含量 85.83 mg/kg, 有机质含量 5.87 g/kg。

1.2 试验设计

试验设置有机栽培 (OF) 和常规栽培 (CF) 2 个处理, 每个处理 3 个重复, 样地栽培面积为 667 m², 试验于 2020 年进行, 至今持续 3 年。有机栽培全程按照国家有机产品生产标准 (GB/T 19630—2019) 进行管理^[13], 采用紫云英—水稻的种植方式, 水稻移栽前 15 d 左右一次性翻埋紫云英 (N 0.33%、P₂O₅ 0.08% 和 K₂O 0.23%), 翻入量为 12000 kg/hm²。水稻移栽前施入菜籽饼 (N 5.25%、P₂O₅ 0.08%、K₂O 1.04%、Ca 0.08% 和 Mg 0.48% 及各类微量元素) 1200 kg/hm²、三安生物有机肥 (含多种有机酸、肽类以及 N 3.35%、P₂O₅ 1.87%、K₂O 2.28% 和 53% 有机质在内的营养元素)^[13] 1200 kg/hm², 7 月中旬追施 450 kg/hm² 三安生物有机肥作为穗肥^[13], 氮肥施用总量为 180 kg/hm², 不使用化学合成的农药、化肥、生长调节剂等^[13]。常规栽培根据当地生产习惯, 采用高产栽培管理方式使用化肥和化学农药, 施肥量为 N 140 kg/hm²、P₂O₅ 80 kg/hm²、K₂O 100 kg/hm², 氮肥分基肥、分蘖肥、穗肥、粒肥 4 次施入 (比例为 4:3:2:1), 磷肥全部作为底肥一次施入, 钾肥分为基肥和粒肥两次施入 (比例为 1:1)。除草等田间管理与一般生产田相同, 水稻品种为荃香 19。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及其构成因素

在水稻进入成熟期后, 测定水稻种植的行距和株距, 计算单位面积 (1 m²) 的水稻穴数, 并推算单位面积 (hm²) 的有效穗数。从各处理中量取 6

穴具有平均茎蘖数的水稻植株, 测定其每穴穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重, 并计算其理论产量。计算公式为:

$$\text{理论产量 (kg)} = \text{有效穗 (穗/hm}^2\text{)} \times \text{穗粒数 (粒)} \times \text{结实率 (\%)} \times \text{千粒重 (g)} \times 10^{-6}$$

1.3.2 稻米品质

按照 GB/T 19630—2019^[13-15] 标准方法测定稻米的精米率、整精米率、直链淀粉含量; 采用《优质稻谷》(GB/T 17891—2017) 标准^[16] 测定垩白度、垩白粒率; 按《食品中蛋白质的测定方法》(GB 5009.5—2016)^[17] 测定稻米的蛋白质含量, 微量元素 Fe、Zn、Se、Cu、Ca、K 含量采用 GB 5009.268—2016 标准^[18] 测定。

1.3.3 土壤采集与测定

于水稻成熟期用土钻依据五点取样法^[19] 取耕层土壤, 每个处理重复 3 次, 采集的土壤经风干、研磨后过筛, 测定土壤碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量及其微生物活性等指标。土壤样品的化学性质的测定方法参照鲍士旦^[19]、鲁如坤^[20] 的方法, 将土壤样品与水混合, 按照 1:2.5 的比例使用酸度计测定其 pH 值。风干土样经浓硫酸消煮后, 采用凯氏蒸馏法测定其全氮含量。碱解氮含量采用碱解扩散法进行测定; 土壤有机质含量的测定采用油浴加热重铬酸钾氧化—容量法; 全磷和全钾含量的测定采用氢氧化钠熔融—原子吸收分光光度法; 速效钾含量采用乙酸铵浸提—原子吸收分光光度法进行测定; 有效磷含量采用碳酸氢钠法进行测定。取各土壤样品 0.5 g, 采用 Omega soil DNA kit 试剂盒提取土壤样品微生物 DNA, 用 1.2% 琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 质量, 进行土壤真菌和细菌等微生物群落结构测定。

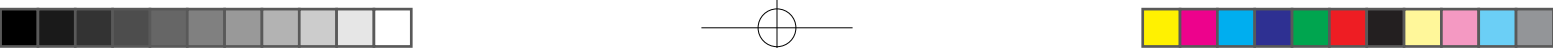
1.4 数据分析

采用 Excel 2019 进行数据整理与分析, 采用 SPSS 25.0 进行显著性分析 ($P < 0.05$), 采用独立样本 T 检验分析不同处理间水稻各指标的差异。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下稻田土壤理化性质

理化指标检测结果显示, 不同栽培模式能在不同程度上影响土壤的理化性质 (表 1), 总体来看, 有机栽培模式提高了土壤 pH, 增加了土壤有机质、碱解氮、全氮和速效钾的积累, 同时降低了土壤中全磷、全钾和有效磷的含量。从 pH 来看, 有机



栽培处理的土壤 pH 值大于常规栽培处理, 显著提高 25%。从氮、磷、钾等营养元素方面来看, 有机栽培处理土壤全钾含量比常规栽培处理显著降低 41.03%, 碱解氮含量显著增加 16.13% ($P<0.05$), 其他土壤养分含量均无显著差异 ($P>0.05$)。这样的结果是由于有机栽培通过施用有机肥, 有机肥中的物质在分解过程中会释放出有机质和各种养分, 维持良好的土壤酸碱度, 避免土壤酸化, 提升土壤肥力, 为作物生长发育提供良好的生长环境。

表 1 不同栽培模式下土壤理化性质

处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	pH
常规栽培	1.62 ± 0.06a	0.51 ± 0.01a	29.00 ± 2.3a	186.70 ± 2.60b	9.35 ± 0.45a	116.00 ± 0.88a	3.98 ± 0.11a	5.60 ± 0.12b
有机栽培	1.70 ± 0.03a	0.39 ± 0.02a	17.10 ± 0.6b	216.70 ± 2.03a	4.90 ± 0.15b	119.00 ± 0.67a	4.31 ± 0.11a	7.00 ± 0.00a

注: 小写字母不同表示不同水稻栽培模式下土壤养分差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 不同栽培模式下水稻产量及其构成因素

水稻产量受结实率、千粒重及有效穗数等因素影响。从表 2 可以看出, 有机栽培的水稻产量显著低于常规栽培 ($P<0.05$), 在有机生产条件下, 水稻产量为 363.50 kg/hm², 常规栽培水稻的产量达到 676.75 kg/hm², 产量降低 46.29%。从产量构成因素方面分析, 有机栽培的有效穗数比常规栽培减少 48.33%, 且达到了显著水平 ($P<0.05$); 有机栽培的每穗粒数和结实率均略低于常规栽培, 分别降低 1.02% 和 0.01%; 千粒重增加了 4.66%, 未达到显著水平。由此可知, 有效穗数的减少是导致有机栽培水稻相比于常规栽培水稻产量锐减的重要因素, 而栽培模式对水稻的每穗粒数、千粒重和结实率影响不大。

表 2 不同栽培模式下水稻的产量及其构成因素

处理	有效穗数 (万穗 /hm ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
常规栽培	322.70 ± 28.69a	195 ± 10.92a	77.12 ± 0.03a	20.83 ± 0.49a	676.75 ± 43.12a
有机栽培	166.75 ± 13.75b	193 ± 19.59a	77.03 ± 0.04a	21.80 ± 0.26a	363.50 ± 45.97b

2.3 不同栽培模式下水稻加工品质和外观品质

稻米的加工品质主要受到精米率和整精米率以及糙米率的影响。总体来看, 与常规栽培相比, 有机栽培稻米的整精米率提高, 糙米率、精米率、垩白度和垩白粒率均降低。从图 1a、b、c 可以看出, 在糙米率和精米率方面, 有机栽培较常规栽培呈降低趋势, 且差异显著, 分别降低了 2.35% 和 7.78%; 在整精米率方面, 有机栽培下的稻米整精米率显著高于常规栽培, 提高了 5.81%, 图 1d、e 表明, 有机栽培水稻的垩白度相对于常规栽培水稻减少了 32.51%, 垩白粒率减少了 38.34%, 都达到了显著水平。整体来看, 有机栽培对降低稻米垩白粒率和垩白度、提升整精米率效果明显, 透明度也较常规稻米更优, 有机栽培对稻米的加工品质有一定的提升作用, 还具有提升稻米外观品质的作用。

2.4 不同栽培模式下水稻蒸煮食味品质

稻米中蛋白质含量和直链淀粉含量对稻米的食味品质有决定性作用, 蛋白质和直链淀粉含量降低, 米饭的柔软度提高, 稻米的食味品质就会提高。稻米的胶稠度反映了稻米的蒸煮品质, 胶稠度越小, 米饭的口感越粗糙, 食味品质越低。由图 2 可见, 有机栽培降低了水稻的直链淀粉含量、蛋白质含量和胶稠度, 其中, 蛋白质含量差异达到了显著水平, 降低了 6.76%; 食味品质得分结果显示, 有机栽培对稻米食味品质有一定的提升。由此可见, 有机栽培可显著提高稻米的蒸煮食味品质。

2.5 不同栽培模式下水稻微量元素

由图 3 可知, 有机栽培水稻籽粒中的 Fe、Se、Zn、K 含量高于常规水稻, 其中 Fe 和 Se 两种元素达到了显著水平; 有机栽培水稻籽粒的 Ca、K 和

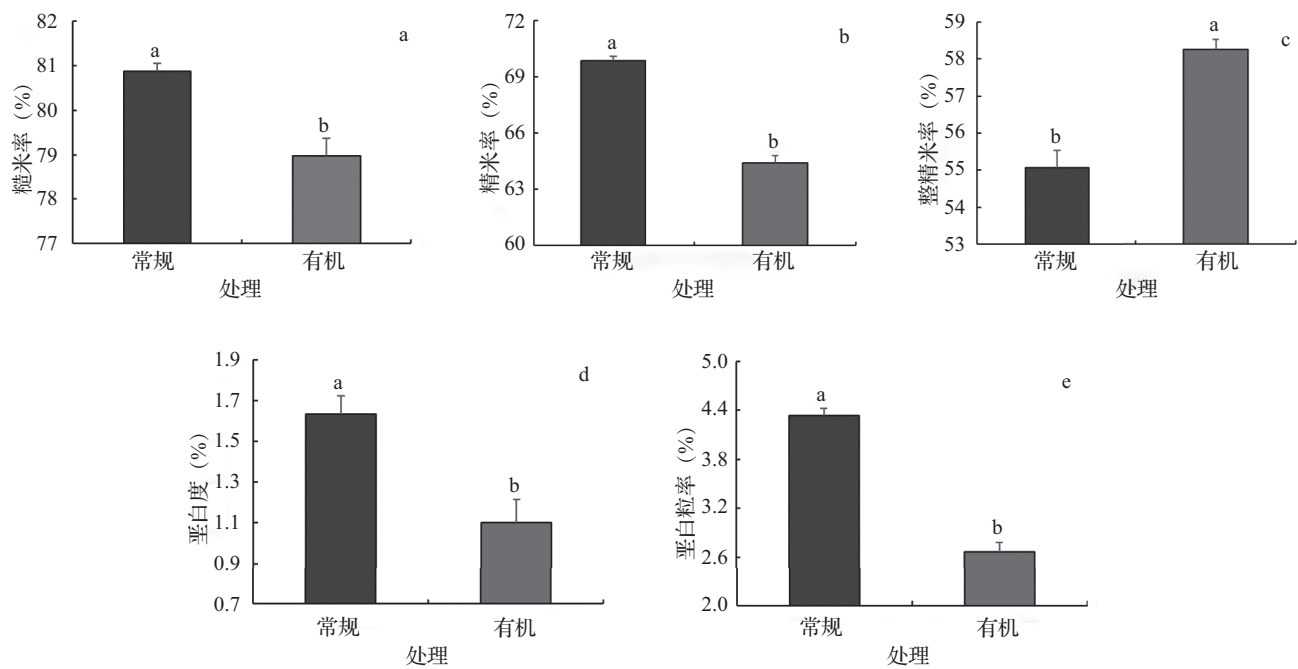


图 1 不同栽培模式下水稻的外观品质

注：小写字母不同表示不同水稻栽培模式下土壤养分差异显著 ($P<0.05$)。下同。

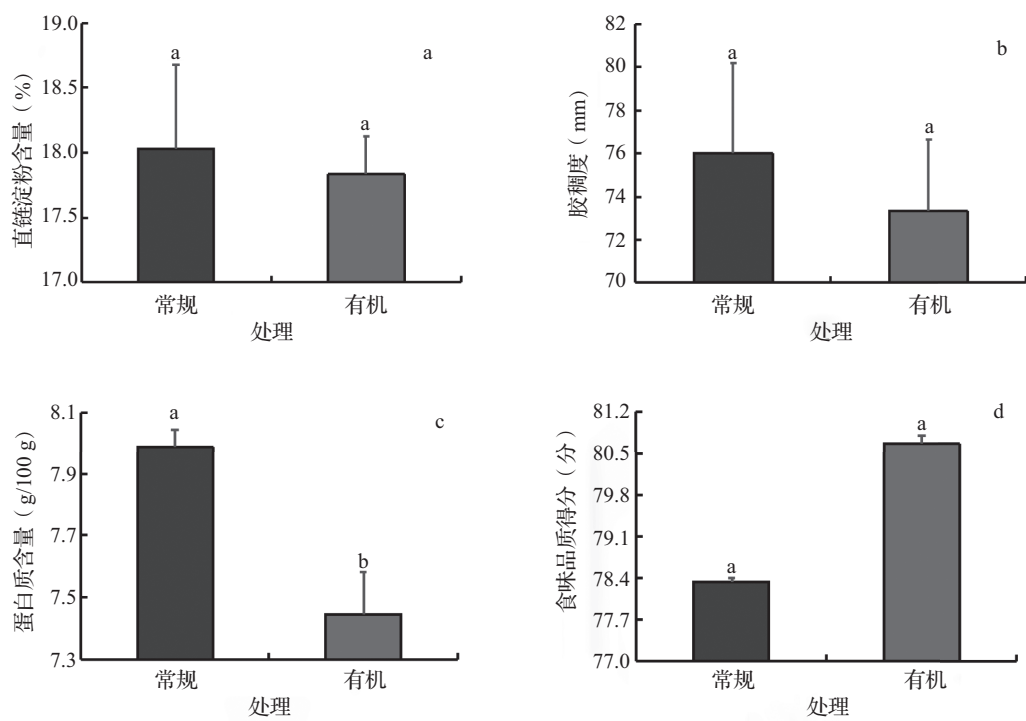


图 2 不同栽培模式下水稻的蒸煮食味品质

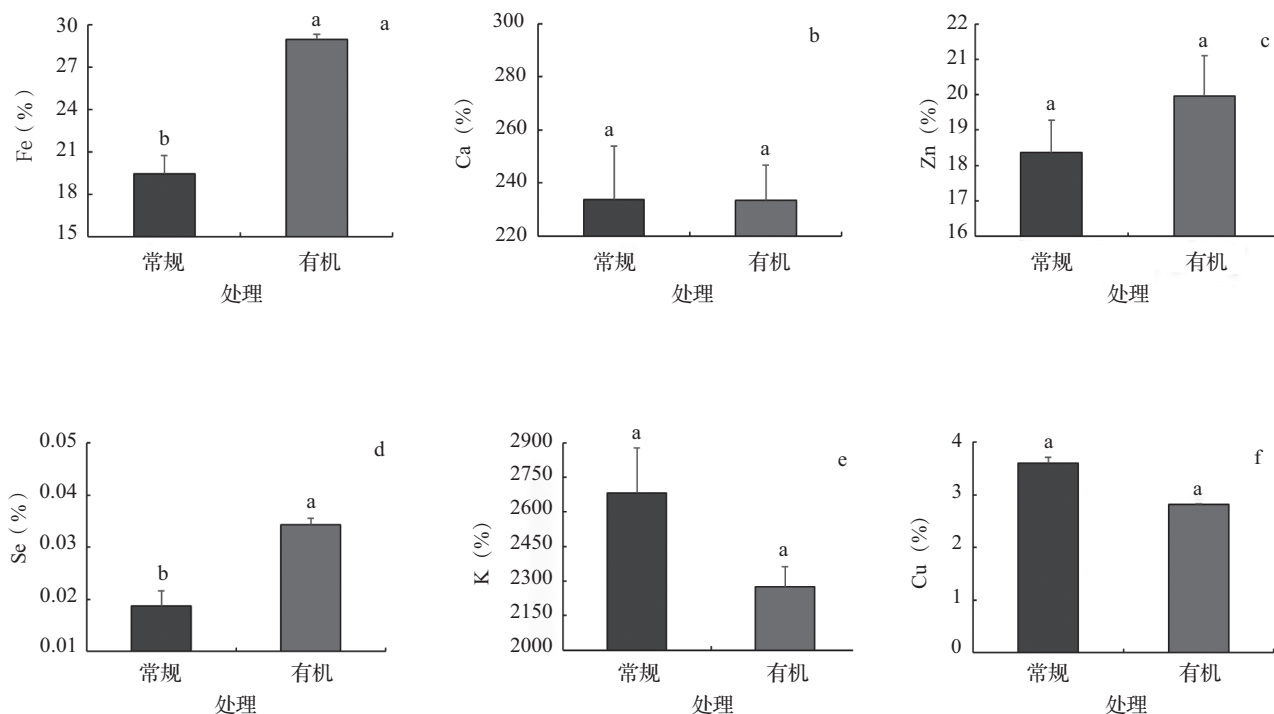


图3 不同栽培模式下水稻的微量元素

Cu 含量低于常规栽培稻米, 但差异未达到显著水平。可见, 有机栽培的稻米安全性和营养价值远高于常规栽培的稻米。

2.6 不同栽培模式下土壤微生物群落组成分析

如图4所示, 常规水稻和有机水稻栽培土壤样品在微生物门水平上共有9个主要菌群为优势菌门, 分别是变形菌门 (Proteobacteria)、酸杆菌门 (Acidobacteria)、绿弯菌门 (Chloroflexi)、拟杆菌门 (Bacteroidetes)、Gemmatimonadetes、疣微菌门 (Verrucomicrobia)、放线菌门 (Actinobacteria)、硝化螺旋菌门 (Nitrospirae)、髌骨菌门 (Patescibacteria)。其中变形菌门 (Proteobacteria)、酸杆菌门 (Acidobacteria)、绿弯菌门 (Chloroflexi)、拟杆菌门 (Bacteroidetes), 共占比 78.26%。有机栽培稻田土壤中的变形菌门、酸杆菌门和疣微菌门的相对丰度分别为 29.91%、19.55% 和 3.82%, 低于常规栽培的 30.60%、30.52% 和 4.11%。而绿弯菌门、拟杆菌门、放线菌门、硝化螺旋菌门和髌骨菌门的相对丰度分别为 20.74%、6.76%、2.89%、3.34% 和 2.71%, 高于常规栽培土壤的 11.88%、6.55%、2.41%、1.50% 和 1.92%。结果表明, 两种栽培方式均以变形菌门、酸杆菌门、绿弯菌门和拟杆菌门为优势类群。

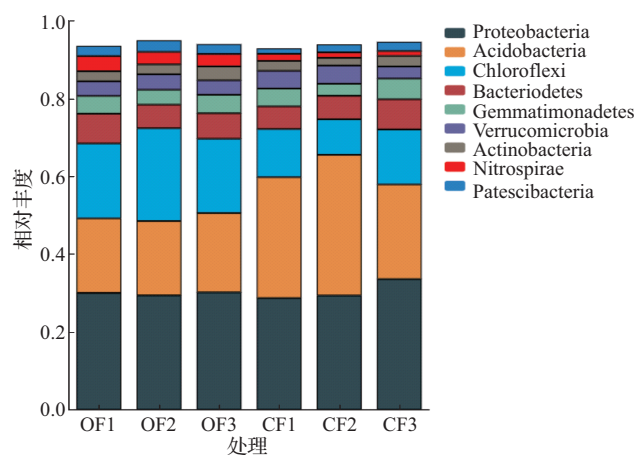


图4 微生物门水平群落组成

注: 横坐标中数字 1、2、3 表示 3 个重复样品。

2.7 不同栽培模式下土壤微生物物种差异

韦恩图可以较好地表征环境样品 OTU 数目特征。对两种栽培方式下土壤细菌 OTU 数目的分析, 6 个样品中含有 OTUs 1593 个, 其中常规栽培处理样品特有的 OTUs 有 849 个, 有机栽培处理特有的 OTUs 有 930 个。有机栽培模式下稻田土壤细菌 OTU 数目较常规栽培模式呈降低趋势, 表明常规栽培模式下稻田土壤细菌物种数目更高 (图5)。

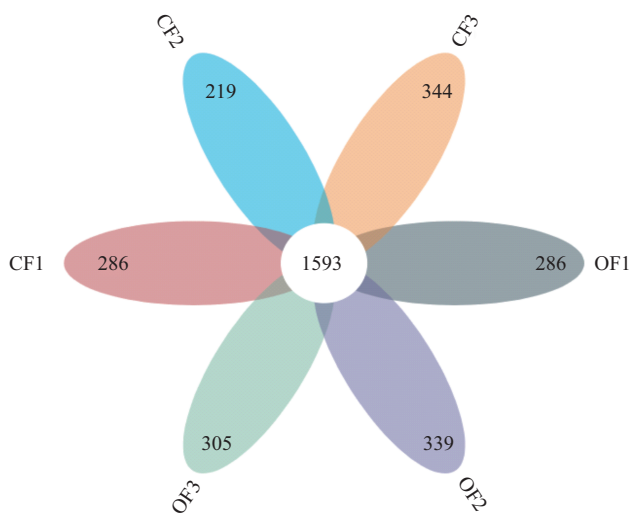


图5 不同栽培方式土壤微生物 OTUs 的韦恩图

2.8 不同栽培模式土壤微生物 Alpha 多样性分析

Chao1 指数、Shannon 指数及 Simpson 指数作为 Alpha 多样性的关键指标表征微生物物种丰富度、多样性和均匀度。较常规栽培而言，有机栽培稻田土壤细菌 Chao1 指数显著增加 13.8% ($P<0.05$)，Shannon 指数呈下降趋势，Simpson 呈增加趋势，但均无显著差异 ($P>0.05$) (表 3)。较常规栽培而言，有机栽培模式下土壤真菌的 Chao1 指数、Shannon 指数及 Simpson 指数变化趋势与细菌表现一致。有机栽培下土壤细菌 Chao1 指数和 Shannon 指数较真菌分别显著增加 685.4% 和 81.9%，Simpson 指数显著降低 95.8% ($P<0.05$)，而常规栽培模式下细菌 Chao1 指数、Shannon 指数和 Simpson 指数较真菌而言，其变化趋势与有机栽培一致。

表 3 有机栽培下土壤细菌和真菌 Alpha 多样性指数分析				
类别	处理	Chao1 指数	Shannon 指数	Simpson 指数
细菌	常规栽培	3468.50 ± 208.36b	9.57 ± 0.25a	0.0047 ± 0.0013c
	有机栽培	3947.83 ± 47.74a	10.02 ± 0.04a	0.0027 ± 0.0001c
真菌	常规栽培	522.67 ± 22.28c	4.89 ± 0.30b	0.0924 ± 0.0128a
	有机栽培	502.67 ± 21.62c	5.51 ± 0.17b	0.0644 ± 0.0097b

3 讨论

3.1 有机栽培对土壤养分的影响

碱解氮是水稻生长发育的主要养分^[21]。Rich-ter 等^[22] 研究认为，有机栽培显著提升土壤碱解氮含量，这是因为有机肥中所含的养分可以被

微生物分解释放，长期提供有效氮养分，这与本试验研究结果一致。土壤有机质作为土壤中含碳的有机化合物，是衡量土壤肥力的重要指标之一^[23]。研究结果表明，与常规栽培相比，水稻有机栽培可以提升全氮、速效氮和土壤有机质含量^[24-26]，本研究得出的结论与前人的观点一致。

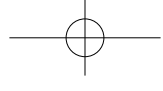
3.2 有机栽培对产量及构成因素的影响

水稻产量受结实率、千粒重、有效穗数、穗粒数等因素影响。试验结果显示，有机栽培的水稻产量和有效穗数比常规栽培显著减少 (表 2)，有效穗数的减少是导致有机栽培水稻相比常规栽培水稻产量锐减的重要因素。常规栽培稻田施氮量较有机栽培明显增加，导致其土壤氮含量，尤其是土壤 NO₃-N 含量明显增加。土壤 NO₃-N 有效性的增加有利于作物根系发育，有助于提高作物产量^[27]。然而，有机栽培模式下其稻田土壤 NO₃-N 含量较低，将导致水稻灌浆期氮素供应不足，降低作物产量^[28]。

3.3 有机栽培对稻米品质及微量元素的影响

稻米品质特性是衡量水稻生产的重要指标，稻米的加工品质主要受精米率和整精米率以及糙米率的影响。其中，整精米率是影响稻米加工品质的决定性因素，整精米率越高，稻米的可食用性就越高，其经济效益相对提高。垩白粒率和垩白度可决定稻米的外观品质，垩白度越高，说明稻米的透明度降低，加工时容易断裂，稻米的外观品质下降。本试验在有机栽培条件下稻米的垩白度显著减少、透明度提高、整精米率提高，表明外观品质和加工品质都有显著提升，这印证了赵海成等^[29] 的研究结果。稻米中蛋白质含量和直链淀粉含量对稻米的食味品质有决定性作用^[30]，蛋白质和直链淀粉含量降低，米饭的柔软度提高，稻米的食味品质就会提高，胶稠度越小，米饭的口感越粗糙，食味品质低。本试验中，有机栽培模式下稻米直链淀粉和蛋白质含量均降低，米饭柔软度提升，稻米食味值增加，与前人采用稻鸭共作有机栽培模式的研究结果一致^[31]。因此，有机栽培总体上是一种有利于稻米品质改善的栽培方式。

稻米的微量元素含量势必会影响稻米品质，稻谷中各种营养元素含量虽然不是很高，但因食用量很大，因此也具有很高的营养功效，人体所需的各类元素都通过食物进行补充。本试验中有机栽培显著提升了稻米中一些对人体健康有益的微量元素，



如 Fe、Se 的含量,且有机栽培对于其他微量元素如 Zn、K 均有不同程度的提升;有机栽培还减少了稻米中 Cu 元素的含量,稻米中微量元素 Fe、Se、Zn、K 含量的提升有助于调节人体生理功能,从而增强生理防御机制、提升体力和精力、预防特殊疾病等。

3.4 有机栽培对土壤微生物群落的影响

从群落组成来看,两种栽培方式均以变形菌门、酸杆菌门、绿弯菌门和拟杆菌门为优势类群,且常规栽培体系下的细菌物种数目更高。有机栽培模式提高了细菌群落 Chao1 指数和 Shannon 指数,而 Chao1 指数和 Shannon 指数是表征物种丰富度多样性指数,说明有机栽培提高了微生物群落的丰富度和多样性,这与 Manoeli 等^[32]的研究结果一致。

4 结论

本研究结果表明,有机栽培模式增加土壤 pH 及土壤有机质、碱解氮、全氮和速效钾含量,降低土壤全磷、全钾和有效磷含量;同时,有机栽培条件种植模式可以提高水稻的外观品质、加工品质、蒸煮食味品质,但会导致水稻的产量显著降低;此外,有机栽培显著提升了稻米中一些对人体健康有益的微量元素,如 Fe、Se 的含量,且对于 Zn、K 的含量均有不同程度的提升;减少了稻米中 Cu 的含量。

微生物群落方面,两种栽培方式均以变形菌门、酸杆菌门、绿弯菌门和拟杆菌门为优势类群,常规栽培体系下的细菌物种数目更高;有机栽培降低了变形菌门、酸杆菌门、疣微菌门的相对丰度,提升了绿弯菌门、拟杆菌门、放线菌门、硝化螺旋菌门和酸骨菌门的相对丰度,两种栽培方式下细菌的丰富度显著大于真菌,有机栽培下细菌的丰富度和多样性大于常规栽培。

参考文献:

[1] Kusano M, Yang Z, Okazaki Y, et al. Using metabolomic approaches to explore chemical diversity in rice [J]. *Molecular Plant*, 2015, 8: 58–67.

[2] Ibrahim M, Peng S B, Tang Q Y, et al. Comparisons of yield and growth behaviors of hybrid rice under different nitrogen management methods in tropical and subtropical environments [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12 (4): 621–629.

[3] Peng B, Zhang Q X, Tian X Y, et al. Influencing factors of grain nutritional quality and its genetic improvement strategy in rice [J]. *Journal of Biotechnology Research*, 2020 (71): 1–11.

[4] 刘丹. 北方优质绿色水稻栽培关键技术 [J]. *农业科技与装备*, 2023 (2): 57–58, 61.

[5] 卜容燕, 韩上, 程文龙, 等. 皖南单季稻区种植利用紫云英对水稻产量、氮肥利用率及稻米品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2022 (8): 184–190.

[6] 丁伟华, 李娜娜, 任伟征, 等. 传统稻鱼系统生产力提升对稻田水体环境的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21 (3): 308–314.

[7] Seufert V, Ramankutty N, Foley J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture [J]. *Nature*, 2012, 485 (7397): 229–232.

[8] 王磊, 杨静, 席运官, 等. 有机耕作方式对我国南方典型土壤质量影响的评价 [J]. *生态与农村环境学报*, 2017, 33 (6): 564–570.

[9] 黄丽芬, 张蓉, 余俊, 等. 有机栽培对杂交粳稻产量和品质的影响 [J]. *作物学报*, 2015, 41 (3): 458–467.

[10] 金淑, 席运官, 王磊, 等. 有机与常规种植稻麦品质的比较研究 [J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34 (6): 571–576.

[11] 侯立刚, 马巍, 孙洪娇, 等. 有机栽培对水稻产量和品质影响的研究 [J]. *吉林农业科学*, 2012, 37 (1): 1–3.

[12] 刘洋, 张玉烛, 柏连阳, 等. 有机、绿色与常规栽培对水稻产量、品质及土壤肥力的影响 [J]. *湖南农业科学*, 2017 (12): 71–74.

[13] 国家市场监督管理总局. GB/T 19630–2019, 有机产品生产、加工、标识与管理体系要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

[14] 凌启鸿, 张洪程, 鞠章网, 等. 三安生物有机肥不同用量对有机水稻产量、品质和氮素吸收利用的影响 [J]. *中国稻米*, 2010, 16 (1): 17–22.

[15] 王利民, 黄东风, 何春梅, 等. 紫云英还田对黄泥田土壤理化和微生物特性及水稻产量的影响 [J]. *生态学报*, 2023, 43 (11): 4782–4797.

[16] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 17891–2017, 优质稻谷 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[17] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5–2016, 食品中蛋白质的测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[18] Ning H F, Qiao J F, Liu Z H, et al. Distribution of proteins and amino acids in milled and brown rice as affected by nitrogen fertilization and genotype [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52 (1): 90–95.

[19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.

[20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

[21] 董一漩, 屠乃美, 魏征. 不同基础肥力水稻土对施肥响应的差异性研究进展 [J]. *中国稻米*, 2019, 25 (5): 19–23.

[22] Richter J, Roelcke M. The N-cycle as determined by intensive agriculture—examples from central Europe and China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 57 (1): 33–46.

[23] Tirol-Padre A, Ladha J K, Regmi A P, et al. Organic

amendments affect soil parameters in two long-term rice-wheat experiments [J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71 (2): 442-452.

[24] 徐一兰, 唐海明, 程爱武, 等. 长期不同施肥模式对双季稻田土壤养分及水稻产量的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32 (6): 192-197.

[25] Pulleman M, Jongmans A, Marinissen J, et al. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands [J]. Soil Use and Management, 2003, 19 (2): 157-165.

[26] Aldebron C, Jones M S, Snyder W E, et al. Soil organic matter links organic farming to enhanced predator evenness [J]. Biological Control, 2020, 146 (10): 1042-1049.

[27] Li S X, Wang Z H, Stewart B A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N [J]. Advances in Agronomy, 2013, 118: 205-397.

[28] Li J L, Li Y E, Wan Y F, et al. Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield [J]. Geoderma, 2018, 315: 1-10.

[29] 赵海成, 杜春影, 魏媛媛, 等. 施肥方式和氮肥运筹对寒地水稻产量与品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 76-86.

[30] 李书先, 蒲石林, 邓飞, 等. 不同生态条件下氮肥优化管理对杂交中稻米品质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2019, 27 (7): 1042-1052.

[31] 全国明, 章家恩, 杨军, 等. 稻鸭共作对稻米品质的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28 (7): 3475-3483.

[32] Manoeli L, Korthals G W, Mattias D H, et al. Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 1 (7): 2064.

Effects of long-term organic cultivation on rice yield, quality and soil microbial communities

LI Qing¹, WANG Lei¹, JIN Ya-kang¹, XIAO Xin^{1, 2*}, WU Hong-bao^{1*} (1. College of Resources and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang Anhui 233100; 2. College of Resources and Environment, Anqing Normal University, Anqing Anhui 246000)

Abstract: Organic cultivation plays an important role in enhancing rice quality and maintaining soil microbial diversity. Two treatments of rice organic cultivation and conventional cultivation were set up at the organic rice planting base of Muma Lake, Tianchang City, Anhui Province, from June to October 2021, to investigate the characteristics of rice yield, quality and soil microbial diversity under long-term organic cultivation by determining the grain yield, thousand kernel weight, rice refinement, chalky whiteness, microelements, and microbial diversity of the soil at the inter-root level. The results showed that: (1) Compared to conventional cultivation, alkaline dissolved nitrogen content and pH of organically cultivated soils were significantly increased by 16.07% and 35.71%, respectively, while soil total potassium and available phosphorus content were significantly decreased by 41.03% and 47.59%, respectively; (2) The yield, brown rice rate, chalkiness, chalky white grain rate and protein content of the organic cultivation treatments were significantly reduced by 46.29%, 2.35%, 32.51%, 38.34% and 6.76% ($P<0.05$), respectively, and the rate of whole semolina was significantly increased, the elemental content of iron (Fe) and selenium (Se) in the rice was significantly increased by 48.88% and 83.93%, respectively; (3) In both cultivation methods, Ascomycetes, Acidobacteria, Green Bay and Mycobacteria were the dominant taxa, and the number of bacterial species was higher in the conventional cultivation system; compared with the conventional cultivation, the relative abundance of Green Bay, Mycobacteria, Actinobacteria, Nitrospirillum and Patelllobacteria in the organically cultivated soil was increased by 74.58%, 3.21%, 19.92%, 122.67% and 41.15%, respectively. The abundance and diversity of bacteria under organic cultivation were greater than those under conventional cultivation. In conclusion, the long-term organic cultivation could improve rice processing quality, appearance quality, cooking and eating quality, and improve soil microbial community diversity.

Key words: organic cultivation; conventional cultivation; soil microbes; rice quality; yield