

江苏省地方标准

《设施蔬菜连作障碍综合防控技术规程》

编制说明

一、目的意义

我国设施蔬菜产业经过多年发展，已成为保障蔬菜供应、促进农民增收的重要支柱产业，目前，我国设施蔬菜种植面积超 4000 万亩。江苏设施蔬菜种植面积和产值效益一直名列全国前列，设施蔬菜种植类型以茄果类、瓜类、豆类及叶菜类为主，产量已达江苏省蔬菜总产量的 50%以上，总产值超过 3000 亿元，已成为全国高水平设施农业示范区。然而，随着设施蔬菜种植面积的持续扩大，连作年限也越来越长，普遍存在连作障碍严重，导致病虫害危害加大，已明显影响产量和品质。因此，解决设施连作障碍问题，是江苏设施蔬菜产业迫切需要解决的重大生产实际问题。

设施蔬菜连作障碍是指在同一设施内连续或频繁种植同一种蔬菜或近缘种类后，即使在正常栽培管理条件下，依然会造成蔬菜生长发育不良、产量下降、病虫害严重、品质变劣等问题。易发生连作障碍的设施蔬菜主要有茄果类、瓜类、豆类、叶菜类蔬菜。设施蔬菜连作障碍主要表现为以下几方面：①土壤团粒结构体减少、通透性下降、紧实板结、耕性较差，干时龟裂明显，湿时泥泞闭气，土壤生物活性下降，不利于蔬菜根系生长与养分吸收。结构性差的土壤，还容易发生渍水危害，影响蔬菜根系生长。②土壤次生盐渍化严重。次生盐渍化是指在自然条件或人为因素影响下，原本不含有大量可溶性盐分的

土壤，在长期过度施用单一化肥、排水不良或者地下水位升高等因素的作用下，逐渐积累了大量的可溶性盐分，从而形成了高盐度的盐渍土层，造成土壤持水能力大于作物吸收水分的能力，引起作物“缺水”胁迫。土壤中部分养分的离子浓度过高，还会抑制蔬菜对其他养分离子的吸收，造成营养严重失调。同时，不合理的施肥与轮作，导致作物对部分需要较多的养分种类或形态的养分吸收较多，而对其他种类、形态的养分吸收较少，常引起土壤酸碱性分化。目前，设施蔬菜土壤酸化现象较为普遍，少数情况下表现为土壤碱化。土壤过酸、过碱均不利于土壤综合肥力的提升，也不利于作物正常生长发育与优质高产的形成。③土壤生物多样性恶化。土壤物理学、化学性质的退化，对土壤生物的影响也十分明显。不合理的施肥、用药、灌排、连作等往往导致土壤生物多样性恶化，田间杂草危害加重，土壤有益微生物减少，而有害微生物增多，导致各种土传病虫害频发、失控。同类或同种蔬菜连作，还加剧了土壤中其他有害物质的积累，严重妨碍蔬菜的健康生长。

针对江苏省设施蔬菜连作障碍逐渐加重发生的严峻形势，我们通过淹水改良、高温闷棚、土壤熏蒸、土壤酸碱度调节、土壤生物改良、土壤休耕等土壤改良措施，并配合不同种类蔬菜轮作、水（湿）旱轮作、种植填闲作物、嫁接育苗等农艺措施；有效改良了设施蔬菜土壤理化性状，设施蔬菜土壤连作障碍得到有效控制，节本增效效果显著。近年来，设施蔬菜连作障碍综合防控技术已经趋于成熟，相关技术已在江苏全省设施蔬菜主产区大面积推广应用，多项相关技术连续入选

江苏省农业主推技术。因此，为了规范相关技术的实施应用，更大规模推广设施蔬菜连作障碍综合防控技术，并保障相关技术的推广应用取得实效，更好地服务和保障江苏省设施蔬菜产业高质量发展，特制定本标准。

二、任务来源

根据江苏省市场监督管理局《关于下达 2025 年度江苏省地方标准制修订计划的通知》（苏市监标[2025]185 号），标准制定计划表中 2025160 号，由江苏省农业技术推广总站、扬州市江都区农业技术综合服务中心、张家港市蔬菜技术指导站、如东县园艺技术指导站、扬州大学、江苏省农业宣传教育与文化体育中心等单位负责编制。

三、编制过程

1.制定标准编制草案

在标准的起草阶段，成立标准起草小组，小组成员查询相关标准情况，总结江苏各地设施蔬菜连作障碍综合防控相关试验结果，明确任务分工和工作进度计划，经讨论并编制了标准草案。

2.制定标准编制征求意见稿

拟在进一步查阅设施蔬菜连作障碍发生及其综合防控相关技术，结合相关试验结果，按 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，起草完成了征求意见稿。

3.初审

征求意见稿将按要求呈送相关技术、管理、生产专家征求修改意见，并根据专家修改意见进行认真研判，并修改完善标准稿，形成报

审稿，提交审查会审查。

4. 审定

组织相关领域权威专家对规程进行审定，根据审定意见进一步优化调整，形成最终规程文本。

四、主要内容技术指标确立

（一）连作障碍诊断指标

表 1 连作障碍土壤诊断指标参照表

| 诊断类型 | 指标参数 | 障碍判定标准 |
|--------|----------------|--|
| 土壤理化性质 | pH 值 | ≤5.8 或≥7.8 为酸碱失衡 |
| | EC 值（μS/cm） | ≥1000 为次生盐渍化风险 |
| | 盐分含量（g/kg） | 3~5 为弱盐渍土，5~10 为中盐渍土，10~20 为强盐渍土，>20 为盐土 |
| | 容重（g/cm³） | ≥1.3 为结构劣变 |
| | 有机质（g/kg） | <20 为含量匮乏 |
| 微生物群落 | 细菌/真菌数量比 | ≤10 为群落失衡 |
| | 尖孢镰刀菌数量（cfu/g） | ≥1×10 ⁴ 为土传病害高风险 |
| 土壤酶活性 | 转化酶（mg/g·24h） | 较轮作对照下降≥20% 为异常 |
| | 脲酶（mg/g·24h） | 较轮作对照下降≥15% 为异常 |
| 作物表现 | 株高增长率 | 较轮作对照下降≥10% 为异常 |
| | 产量降幅 | ≥10% 为连作障碍发生 |
| | 土传病害发病率 | ≥15% 为障碍显著 |

（二）主要试验或验证的分析

针对江苏省设施蔬菜连作障碍逐渐加重发生的严峻形势，我们通过高温闷棚、土壤消毒、土壤酸碱度调节、土壤微生物改良、土壤休耕等土壤改良措施，并配合不同种类蔬菜轮作、水（湿）旱轮作、种植填闲作物、嫁接育苗等农艺措施；有效改良了设施蔬菜土壤理化性状，设施蔬菜土壤连作障碍得到有效控制，节本增效效果显著。

1.生态安全消毒配合均衡施肥对连作障碍地块土壤和青蒿菜生长的影响

1.1 不同处理对土壤基本理化性质的影响

由表 2 知，各处理的 pH 变化较小，均处于弱碱性范围。各处理土壤 EC 值变化幅度也不大，且均处于适宜作物生长范围的上限附近。各处理土壤硝态氮含量变化较大，CK 和 YSF 均为 35.5 mg/kg，YS 增加到 52.22 mg/kg，但都处于适宜作物生长的范围，石灰氮闷棚、石灰氮闷棚 + 全元均衡施肥两个处理有利于提高土壤铵态氮含量，在作物还原硝态氮能力受限的情况下，有利于改善作物的氮素营养。YS 和 YSF 两个处理土壤有效磷和速效钾含量均显著下降，其中，YS 处理有效磷下降 56.9 mg/kg、速效钾下降 55.7 mg/kg，YSF 处理有效磷下降 75.8 mg/kg、速效钾下降 50 mg/kg，一方面使土壤磷、钾供应仍处于较高水平，另一方面有利于减少磷、钾养分的流失和土壤次生盐渍化发生的风险。不同处理对土壤水溶性钙、镁、钾、钠含量均未产生太大的影响。YS 处理显著提高了土壤有效铁、锰含量，降低了土壤有效锌、有效钼含量。YSF 处理显著提高了土壤有效铁、锰、铜、硼含量，降低了土壤有效锌、有效钼含量。

表 2 不同处理对设施土壤基本理化性质的影响

| 项目 | CK | YS | YSF |
|---|--------------|--------------|---------------|
| pH | 8.00 ± 0.07 | 7.94 ± 0.01 | 8.02 ± 0.11 |
| EC/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) | 524.7 ± 76.2 | 568.8 ± 10.2 | 494.0 ± 151.9 |
| 有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 22.38 ± 2.48 | 20.30 ± 2.17 | 20.80 ± 1.60 |
| 硝态氮/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 35.5 ± 19.9 | 52.2 ± 48.3 | 35.5 ± 13.3 |
| 铵态氮/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 4.8 ± 1.5 | 7.3 ± 1.4 | 8.3 ± 3.8 |
| 有效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 97.2 ± 13.5 | 40.3 ± 15.8 | 21.4 ± 16.2 |
| 速效钾/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 221.7 ± 49.2 | 166.0 ± 28.7 | 171.7 ± 12.3 |
| 水溶性钙/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 79.4 ± 15.3 | 96.7 ± 0.8 | 71.3 ± 9.2 |
| 水溶性镁/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 15.8 ± 3.2 | 15.6 ± 0.5 | 11.7 ± 1.1 |
| 水溶性钾/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 29.4 ± 5.1 | 18.3 ± 5.0 | 17.2 ± 4.2 |
| 水溶性钠/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 13.9 ± 1.0 | 12.8 ± 3.5 | 17.2 ± 2.6 |
| 有效铁/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 19.0 ± 6.2 | 37.3 ± 3.1 | 39.8 ± 3.5 |
| 有效锰/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 5.8 ± 2.5 | 11.8 ± 1.9 | 11.0 ± 1.2 |
| 有效铜/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 1.6 ± 0.4 | 2.0 ± 0.2 | 3.1 ± 0.5 |
| 有效锌/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 4.3 ± 0.4 | 2.2 ± 0.6 | 2.8 ± 0.3 |
| 有效硼/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.93 ± 0.16 | 0.80 ± 0.04 | 1.24 ± 0.32 |
| 有效铝/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.10 ± 0 | 0.08 ± 0 | 0.08 ± 0.01 |

注：CK：常规施肥；YSF：闷棚消毒 + 全元均衡施肥；YS：闷棚消毒 + 不施肥。

1.2 不同处理对土壤细菌群落结构特征的影响

1.2.1 不同处理下土壤细菌的 Alpha 多样性

各处理土壤的微生物多样性计算结果列于表 3。Alpha 多样性指数可以表示一个处理生态系统内的多样性，其中 ACE、Chao 和 Sobs 指数表示细菌丰富度；Shannon 和 Simposon 指数表示均匀度，其中 Shannon 指数越高，或 Simposon 指数越低则表明土壤细菌的均匀度越高。表 3 结果表明，YSF 处理无论细菌的丰富度或均匀度均为最高，且丰富度指标均显著高于 YS 处理，Chao 和 Sobs 指数显著高于 CK 和 YS 处理；同样，CK 土壤的细菌多样性也高于 YS 处理。

表 3 不同处理土壤细菌 Alpha 多样性指数

| 处理 | Ace 指数 | Chao 指数 | Sobs 指数 | Shannon 指数 | Simpson 指数 | 平均值 |
|-----|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CK | 4 580 ± 201.3 ^{ab} | 4 406 ± 224.7 ^b | 3 119 ± 114.7 ^b | 6.136 ± 0.239 ^a | 0.016 ± 0.009 ^a | 0.959 ± 0.002 ^b |
| YS | 3 883 ± 536.3 ^b | 3 552 ± 443.2 ^c | 2 504 ± 352.2 ^c | 5.873 ± 0.303 ^a | 0.014 ± 0.004 ^a | 0.967 ± 0.004 ^a |
| YSF | 5 199 ± 224.2 ^a | 4 745 ± 245.4 ^a | 3 404 ± 249.8 ^a | 6.434 ± 0.346 ^a | 0.011 ± 0.008 ^a | 0.956 ± 0.002 ^c |

注：同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05），下同。

1.2.2 NMDS 分析

采用非度量多维尺度分析（NMDS）直观反映处理后土壤细菌群落组成的变化，结果显示 NMDS 分析的应力值 Stress 值为 0.025，P 值为 0.001，说明该模型拟合得比较好。不同处理对土壤细菌群落组成产生了显著影响，导致所有样本之间明显分离，各处理土壤的细菌群落组成存在显著差异（ANOSIM，P<0.05），且重复间聚类较好。其中，YSF 与 CK 和 YS 距离较远，表明其细菌群落组成差异更大。

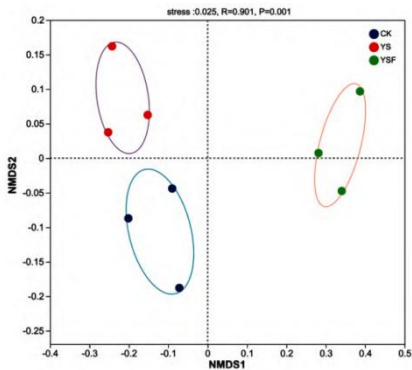


图 1 基于 OTU 水平的（NMDS）分析图

1.2.3 基于 16S rRNA 基因高通量测序

基于 16S rRNA 基因高通量测序结果表明，各处理样品中相对丰度大于 1% 的细菌门有 12 个，优势菌门依次包括厚壁菌门，平均占比 28.98%；变形菌门，平均占比 18.64%；绿弯菌门，平均占比 12.89%；放线菌门，平均占比 11.98%；酸杆菌门，平均占比 8.29%。

与对照相比, YS 处理的变形菌门、放线菌门、拟杆菌门、浮霉菌门、Methylomirabilota 和蓝细菌有所下降, 而其他菌门则有所增加, 其中绿弯菌门的相对丰度增加了 7.55%。而 YSF 处理中, 厚壁菌门、变形菌门、拟杆菌门、黏球菌门和蓝细菌有所下降, 以厚壁菌门下降最多, 降幅为 13.9%, 而放线菌门的相对丰度增加了 11.28%。尽管存在着一定的差异, 在各优势细菌门中, 只有位列 12 的骸骨菌各样品的差异达到了显著水平 ($P<0.05$), 其他存在显著差异的菌门多属于相对丰度小于 0.01% 的稀有菌群, 表明均衡施肥处理对土壤稀有菌群的相对丰度影响更大。

在细菌属水平上, 相对丰度为前三的分别有芽孢杆菌、奇异假芽孢杆菌和属于酸杆菌门的 *gnorankfnorankoVicinamibacterales*, 平均占比分别为 13.07%、7.35%和 3.32%, 其中前两位均相比对照有所增加, 在 YSF 处理中增幅分别达到 5.17%和 5.00%。YSF 处理显著增加了红球菌属、RB41、*Turepera*、*Mycobacterium*、*Nocardioides*、*Microbulbifer* 和 *Agromyces*; 显著降低了 *norankfRhodothermaceae*、*Micromonospora*、*Paenibacillus* 和 *Flavobacterium* 等细菌属的相对丰度 ($P<0.05$)。

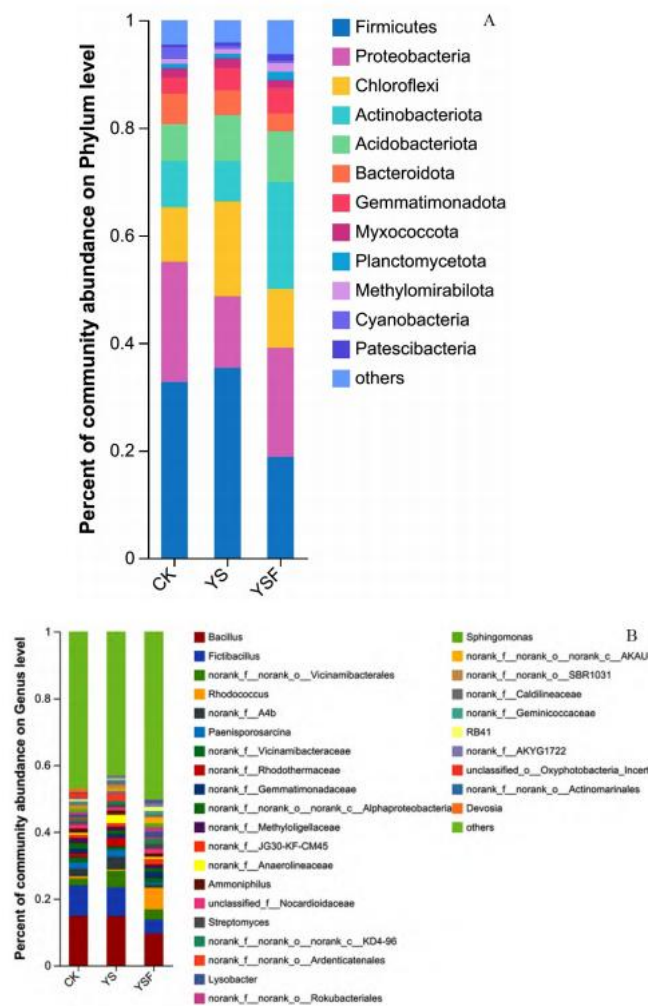


图 2 不同处理下门水平下 (A) 和属水平 (B) 细菌类群的相对丰度 (相对丰度>1%)

1.2.4 细菌群落结构与主要土壤性质的关系

采用冗余分析 (RDA) 分析不同处理的土壤样品中细菌门水平上的群落结构和土壤理化性质之间的关系, 结果显示: 对照土壤菌群结构受土壤硝态氮、EC、有效钾、各水溶性阳离子以及有效钼和有效锌影响较大; YS 处理主要受土壤有机质含量影响; YSF 处理的细菌群落结构则与土壤铵态氮、有效硼和有效锰关系更为密切; CK 与土壤电导率及交换性盐离子关系较大。

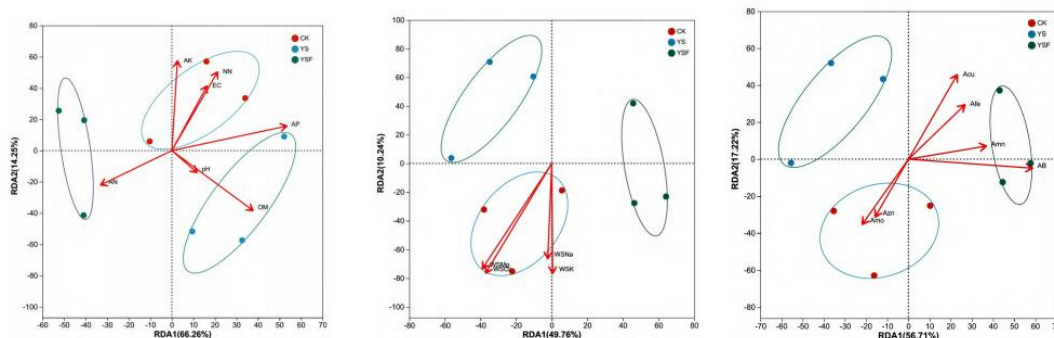


图 3 基于 RDA 的细菌群落结构与主要土壤性质的关系分析

注：AN：铵态氮；NN：硝态氮；AP：有效磷；AK：有效钾；WSCa：水溶性钙；WSMg：水溶性镁；WSK：水溶性钾；WSNa：水溶性钠；AFe：有效铁；ACu：有效铜；AMn：有效锰；AZn：有效锌。

1.2.5 细菌功能的相对丰度

基于 FAPROTAX 功能预测，分析各处理土壤中细菌功能尤其是参与各重要养分的代谢基因丰度差异，结果显示不同处理土壤中各代谢功能的丰度有所变化。其中，与化能异养、碳氢化合物降解、几丁质酶相关的功能均在 YSF 处理土壤中显著富集；在 YS 处理中，样品具有最高丰度的与硝酸还原、锰氧化和发酵相关的功能基因，以及一系列与 N 循环相关基因，包括 N 呼吸、铵化、硝化、反硝化等；CK 样品中有关 N 固定和铁呼吸的基因显著高于其他处理 ($P<0.05$)，此外，虽然差异不显著，但是 CK 中植物致病菌的丰度也远高于 YS 和 YSF 处理。

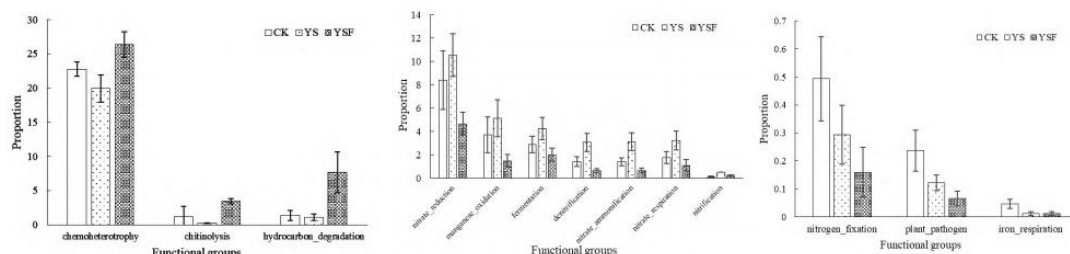


图 4 各处理 FAPROTAX 预测的细菌功能的相对丰度

1.3 不同处理真菌群落结构特征

1.3.1 不同处理土壤真菌的 Alpha 多样性

各处理土壤真菌多样性的分析结果如表 4 所示。与细菌多样性分布类似，表示土壤真菌丰富度的 Ace、Chao 和 Sobs 指数均是 YSF 处理最高，其次为 CK，最低为 YS 处理；而均匀度指标 Shannon 和 Simpson 指数的规律也是一样，YSF 最高。所有样本检测覆盖度达到 99.8%以上。

表 4 不同处理土壤的真菌 Alpha 多样性

| 处理 | Ace 指数 | Chao 指数 | Sobs 指数 | Shannon 指数 | Simpson 指数 | 平均值 |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| CK | 256.5 ± 34.06 ^b | 262.7 ± 37.31 ^b | 237.7 ± 35.95 ^b | 2.520 ± 0.680 ^a | 0.204 ± 0.133 ^a | 0.999 ± 0 |
| YS | 134.9 ± 11.73 ^c | 133.4 ± 12.23 ^c | 129.3 ± 10.97 ^c | 2.204 ± 0.363 ^a | 0.224 ± 0.073 ^a | 0.999 8 |
| YSF | 371.2 ± 17.57 ^a | 370.4 ± 19.99 ^a | 340 ± 22.72 ^a | 3.123 ± 0.089 ^a | 0.109 ± 0.006 ^a | 0.998 8 |

1.3.2 不同处理土壤真菌群落组成的 beta 分析

对土壤真菌群落组成的 beta 多样性进行 NMDS 分析，结果显示应力值 Stress 值为 0， $P=0.001$ ，说明该模型拟合较好，即 NMDS 的低维表示能够完美地反映原始数据中的距离。不同处理对土壤真菌群落组成产生了显著影响，其中，YSF 处理的真菌群落组成显著不同于其他处理，而 YS 和 CK 的样本则有一定的重叠，表明这两个处理的土壤真菌群落组成较为相近。

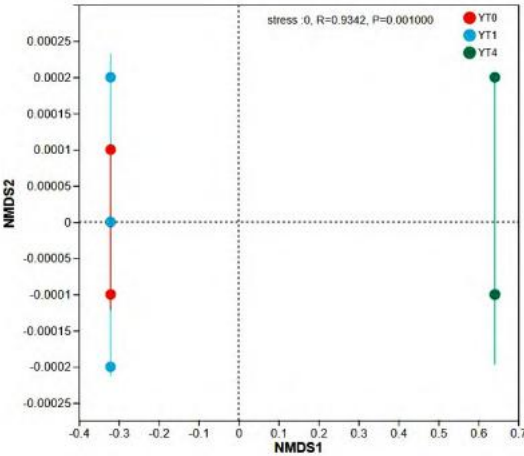


图 5 基于 OTU 水平的 (NMDS) 分析图

1.3.3 不同处理土壤真菌 ITS 序列分析

基于真菌 ITS 序列的分析结果表明，子囊菌门为各处理土壤中最优势菌门，占比为 79.56%~88.93%，在 YS 样品中占比最高；丰度排列第二的为未分类的 unclassified_k_Fungi，占比为 8.39%~8.89%；排列第三的为被孢霉门，在各样品中的占比为 1.19%~10.57%，在 YSF 处理中显著高于其他处理。

在属水平上，Mycothermus 属在各处理中平均占比为 18.15%，但主要集中在 CK 和 YS 处理中，在 YSF 处理中几乎无该菌属存在；同样，相对丰度为第二和第三的均属于粪壳菌目，在 YSF 中分别只占 0.31% 和 0.29%，远低于 CK 和 YS 处理；平均丰度为第四的 Lasiobolus，仅在 YSF 中出现，占比为 25.11%，显著高于其他处理 ($P<0.05$)。总体而言，YSF 处理中，真菌在属水平上的组成分布更为均匀。

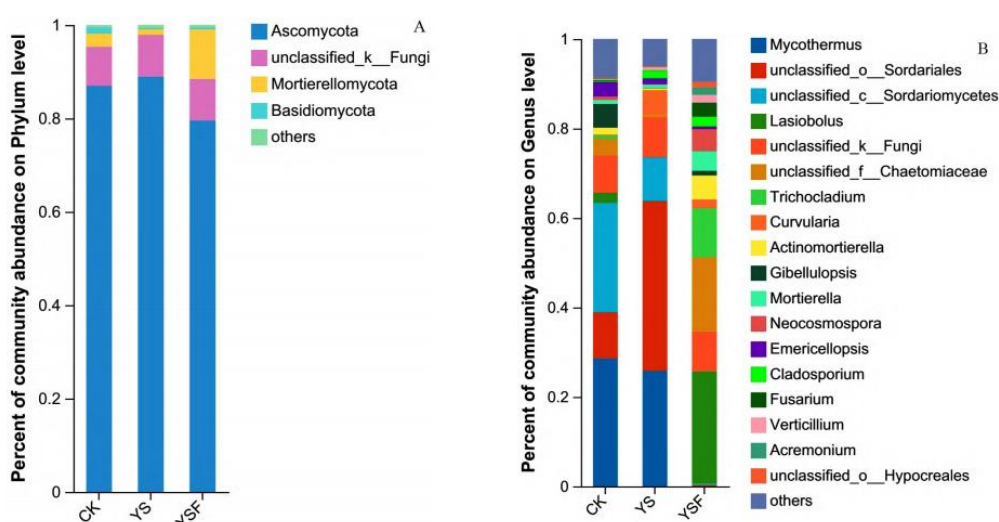


图 6 不同处理下门水平 (A) 和属水平 (B) 细菌类群的相对丰度 (相对丰度>1%)

1.3.4 不同处理真菌群落结构与主要土壤性质的关系

采用冗余分析 (RDA) 分析不同处理的土壤样品中真菌门水平上的群落结构和土壤理化性质之间的关系, 结果显示: 对照土壤真菌群落结构受土壤 pH、硝态氮、铝和有效锌影响较大; YS 处理的真菌群落结构主要受土壤有机质、有效磷和有效铝含量影响; YSF 处理的真菌群落结构则与土壤有效硼、有效铁、锰的关系更为密切, 其中受有效硼的影响达到了显著水平 ($P<0.05$)。

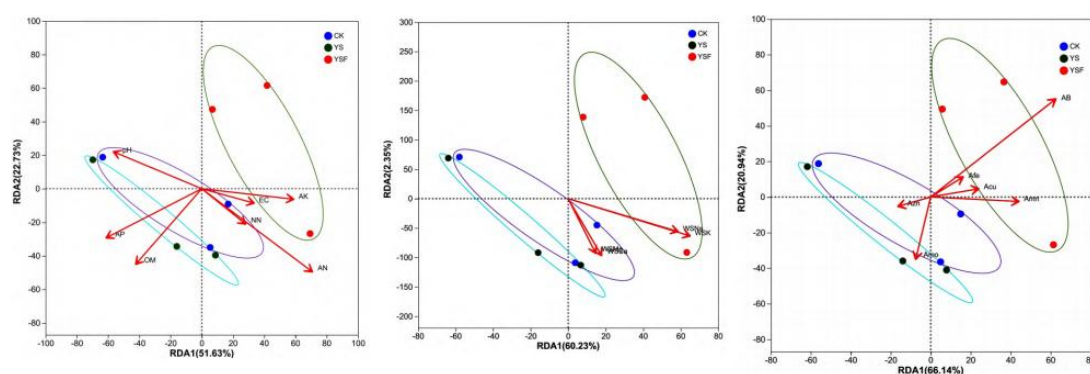


图 7 基于 RDA 的真菌群落结构与主要土壤性质的关系分析

1.4 不同处理对青蒿菜产量和品质的影响

青蒿菜是按达标叶片数量计费的销售品种, 产量由达标叶片的张数决定。结果表明, 石灰氮闷棚处理加全元均衡施肥有效提高了青蒿菜产量, 在采收期内 YSF 处理平均每小区采收的叶片数为 11420, 比常规种植处理增加了 26.2%; 石灰氮闷棚处理平均每小区收获叶片数为 10360, 比常规种植处理增加了 14.5%。

本试验通过淹水闷棚并添加石灰氮处理，有效改变了土壤中微生物群落结构，在此基础上增加均衡施肥处理，使得土壤中细菌与真菌的多样性显著提高，且对土壤中稀有菌群的影响较大。研究表明，强还原处理能改善土壤物理性质，降低土壤硝态氮含量，还能显著降低土壤中病原真菌数量。植物病原细菌的相对丰度在未处理的对照中最高，而在闷棚杀菌后进行均衡施肥处理中最低；闷棚但不施肥的处理中，与氮循环相关的基因丰度（除固氮基因外）均为最高，这表明在不额外供肥的情况下，土壤中微生物氮循环比较活跃，有利于为植物生长提供充足的氮源，这也能解释不施肥处理同样获得比常规施肥更高产量的原因。

设施种植土传病原菌中多数为真菌，本试验中，闷棚加均衡施肥处理显著降低了粪壳菌目数量，而 *Lasiobolus* 则得到了富集；更重要的是，均衡施肥处理使得土壤中真菌群落组成更为均匀，大大降低了某类病原菌主导及病害暴发的可能。

通过冗余相关性分析发现，土壤菌群的变化与土壤理化性质关系密切。其中，对照土壤中微生物群落组成受土壤电导率及水溶性钾、钙、钠和镁影响，未经过漫水洗盐使得上述离子浓度高于其他处理，因此微生物组成存在显著差异；而均衡施肥的细菌与真菌群落组成均与土壤微量元素锰和硼相关，可见补充土壤微量元素可有效改善微生物群落结构。

蔬菜产量与品质是设施种植追求的主要目标，本试验表明，闷棚可以显著增加青蒿菜产量，主要原因可能是闷棚过程改善了土壤养分

循环，且土壤微生物菌群更有利于植物生长；而均衡补充施肥，可进一步使产量提升近 30%。结合土壤理化性质分析结果可以看出，土壤中大量营养元素、中量营养元素和铜、锌等微量营养元素并不缺乏，而是需要调整养分供应结构的平衡性。试验中，补充铁、锰、硼等微量营养元素肥料后，相应的土壤有效养分含量均有一定程度的提升，但钼肥的施用可能因用量低、施用均匀性及土壤样品采集的代表性等原因，未见对土壤有效钼含量产生影响。因此，在实际生产中，应全面综合考虑土壤中各种养分的供应状况进行施肥。

2.微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响

2.1 对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤生态系统中重要的组成部分，其群落结构组成及其变化在一定程度上反映了土壤的质量及其功能性。微生物肥本身富含大量微生物和有机物质，有机物质同时又为微生物的生长与繁殖创造了条件，因而施用微生物有机肥后土壤微生物数量会发生变化，如下表所示，与对照 T0 相比，T1、T2、T3、T4 的土壤细菌、放线菌数量均明显增加，分别比对照平均增加了 64.80%、40.28%；而真菌、尖孢镰刀菌数量变化趋势具有相似性，土壤中真菌、尖孢镰刀菌数量随着微生物肥用量增加呈现下降的趋势，与对照相比，平均下降幅度分别为 35.42%、29.68%。这可能是因为，该试验所用微生物有机肥本身含有大量的尖孢镰刀菌拮抗菌，而其中含有有机物和养分，刺激了土壤中细菌和放线菌的增殖，使土壤中放线菌与真菌的比值增加，从而抑制了尖孢镰刀菌增殖，使土壤微生物区系更趋合理；对于

真菌来说，与 T0 相比，施用微生物肥处理的真菌含量相对较低，是因为微生物肥中含有黑曲霉与杂色曲霉，在制肥过程中，主要用来分解原料中秸秆类成分，所以在微生物肥生产后期，两种真菌数量已经显著小于细菌数量。

表 5 不同施肥处理对土壤微生物的影响

| 检测 项目 | 细菌 (× 10 ⁶ Cfu/g) | 真菌 (× 10 ⁶ Cfu/g) | 放线菌 (× 10 ⁶ Cfu/g) | 尖孢镰刀菌 (× 10 ⁴ Cfu/g) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| T0 | 60.93 ± 3.43e | 1.80 ± 0.09a | 3.01 ± 0.08c | 2.51 ± 0.08a |
| T1 | 85.03 ± 2.71d | 1.30 ± 0.01b | 3.82 ± 0.16b | 2.21 ± 0.17b |
| T2 | 95.20 ± 2.66c | 1.28 ± 0.04b | 3.75 ± 0.17b | 2.13 ± 0.04b |
| T3 | 103.70 ± 3.89b | 1.23 ± 0.05b | 4.69 ± 0.29b | 1.52 ± 0.05c |
| T4 | 117.73 ± 4.56a | 0.84 ± 0.01c | 4.63 ± 0.18a | 1.20 ± 0.06d |

注：不同小写字母代表不同处理间差异达显著水平（P≤0.05），下同；
T1：0.3 kg/m² 微生物肥；T2：0.6 kg/m² 微生物肥；T3：0.9 kg/m² 微生物肥；T4：1.2 kg/m² 微生物肥；T0：常规施肥（CK）。T1、T2、T3、T4 各施用常规化肥用量的 50%。

2.2 不同处理对土壤性状、养分和镉含量的影响

微生物肥的施用提高了土壤中有益微生物细菌的数量，加快了土壤有机质的分解，促进了作物对有机物中养分的吸收，而微生物肥本身含有的有机质又保证了土壤有机质的供给。从表 6 看出，与对照 T0 相比，T1、T2、T3、T4 处理的土壤有机质含量分别比对照提高了 4.81%、13.05%、21.54%、28.35%。

土壤容重是反映土壤紧实程度、孔隙状况等结构特性的重要指标，它对土壤的孔隙度及大小分配、土壤的穿透阻力等有重要影响。虽然有机质能提高土壤的通透性，土壤容重随微生物肥施入量的增加而减

少，降幅为 1.60%~11.20%，但该试验各处理之间土壤容重并没有显著变化，可能是微生物肥施入时间短，未对土壤容重产生显著影响。

从土壤矿质养分含量来看，如表 6 所示，施用微生物肥可以提高土壤全氮含量。与对照相比，全氮的提高在施用微生物肥料后尤为明显，T1 处理提高了 8.8%，T3 处理时提升率 29.41%，但在 T4 处理后却呈现略有下降现象。对于速效养分来说，由于施用微生物肥可促进番茄对土壤有效磷的吸收，使土壤有效磷含量降低了 3.88%~29.85%，导致土壤中有效磷含量降低，而对速效钾含量没有显著影响。

表 6 显示，随着施用微生物肥量增加，土壤全盐量显著下降，与对照相比，T1、T2、T3、T4 处理的土壤含盐量分别下降了 0.76、1.49、1.54、1.87 g/kg。与之相反，与对照相比，随着微生物肥施用量增加，土壤 pH 值显著升高，在 T4 处理时，pH 值趋向中性，最高提高了 2.52，提高幅度为 60.29%。由此可见，施用微生物肥对次生盐渍化有显著的缓解作用。施用微生物肥可有效降低盐渍化土壤中 NO_3^- 的含量，与对照相比， NO_3^- 含量下降显著，T4 降幅最大，达 96.18%，说明在微生物肥替代 50% 化肥条件下，可促使植株大量吸收土壤中 NO_3^- ，降低了土壤中 NO_3^- 含量，从而使得土壤次生盐渍化状况得以缓解。

表 6 不同施肥处理的土壤性状、养分和镉含量的变化特征

| 检测项目 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---|--------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| pH 值 | 4.18 ± 0.16d | 5.8 ± 0.11c | 6.12 ± 0.16b | 6.4 ± 0.19ab | 6.7 ± 0.23a |
| 有机质 (g/kg) | 26.6 ± 1.37c | 27.88 ± 2.28c | 30.07 ± 2.06bc | 32.33 ± 1.56ab | 34.14 ± 2.08a |
| 容重 (g/cm ³) | 1.25 ± 0.08a | 1.18 ± 0.07a | 1.20 ± 0.05a | 1.23 ± 0.08a | 1.11 ± 0.07a |
| 全盐量 (g/kg) | 3.84 ± 0.01a | 1.98 ± 0.00b | 1.35 ± 0.02c | 1.30 ± 0.01d | 0.97 ± 0.03e |
| 全氮 (g/kg) | 1.72 ± 0.02d | 1.91 ± 0.07c | 2.00 ± 0.03b | 2.20 ± 0.01a | 2.21 ± 0.01a |
| NO ₃ ⁻ 含量 (mg/kg) | 3.14 ± 0.11a | 3.12 ± 0.10b | 2.30 ± 0.08c | 0.20 ± 0.09d | 0.12 ± 0.05e |
| 有效磷 (mg/kg) | 33.5 ± 1.83b | 30.7 ± 1.17b | 32.2 ± 2.34b | 29.6 ± 3.00b | 23.5 ± 1.32a |
| 速效钾 (mg/kg) | 102 ± 5.47a | 96.6 ± 4.59a | 95.4 ± 8.23a | 90 ± 8.80a | 92 ± 3.50a |
| Cd 含量 (mg/kg) | 0.42 ± 0.00a | 0.22 ± 0.00c | 0.30 ± 0.01b | 0.18 ± 0.00d | 0.10 ± 0.00e |

试验区土壤重金属 Cd 含量略高，个别点位超过《土壤环境质量标准》的二级限值，而且土壤酸性越强，有效态 Cd 含量越高，Cd 容易被作物吸收。施用微生物肥使得土壤 pH 值升高，从而降低了土壤中有效态 Cd 含量。表 6 显示，与对照相比，随着微生物肥用量增加，土壤中有效态 Cd 含量下降明显，T4 下降最显著，比对照下降了 76.09%，说明施用微生物肥在缓解土壤次生盐渍化的同时也降低了土壤有效态 Cd 含量，进一步保障了番茄生产的安全性。

2.3 不同处理对番茄植株生长的影响

微生物肥料对不同生育时期番茄植株的株高、茎粗、叶龄以及开展度产生明显影响。如图所示，在整个番茄植株生长过程中，与对照相比，微生物肥对茎粗和叶龄均有促进作用，其效果从移栽后 30 d 后开始体现。尤其是 T1、T2，移栽 40 d 后茎粗、叶龄和开展度高于其他处理，而 T4 与常规相比，并无明显差异。这可能是因为设施番茄最适宜生长的 pH 值为中偏酸性，从本研究来看，使用微生物肥明显提升了土壤 pH 值，随着用量增加，酸化现象逐步缓解，在 T3 处理时，土壤酸碱性最适宜番茄生长，因此随着微生物肥用量增加，番茄植株性状亦呈现增加趋势。由此可见，微生物肥料投入量应该控制在合理的范围之内，才能促进作物健康生长。

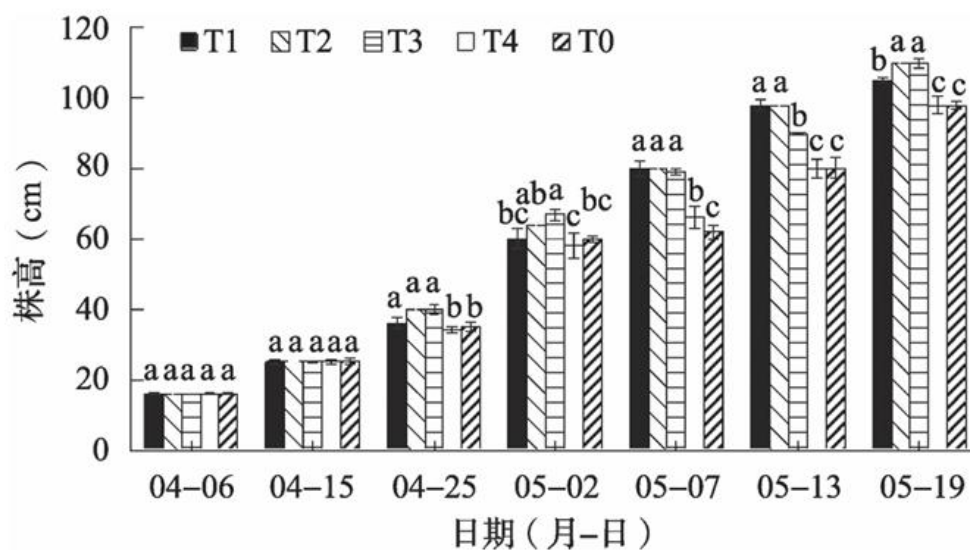


图 8 各处理番茄株高变化

注：不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)，下同

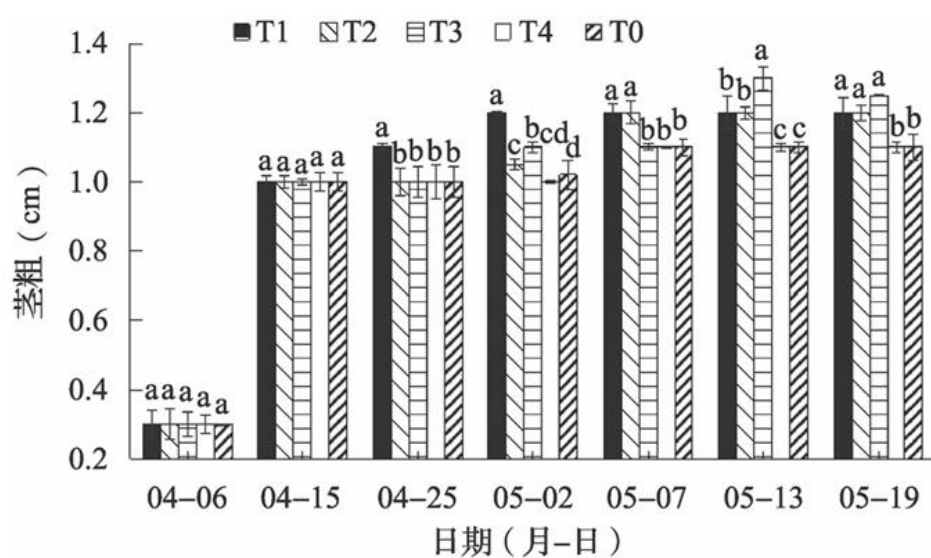


图 9 各处理番茄茎粗变化

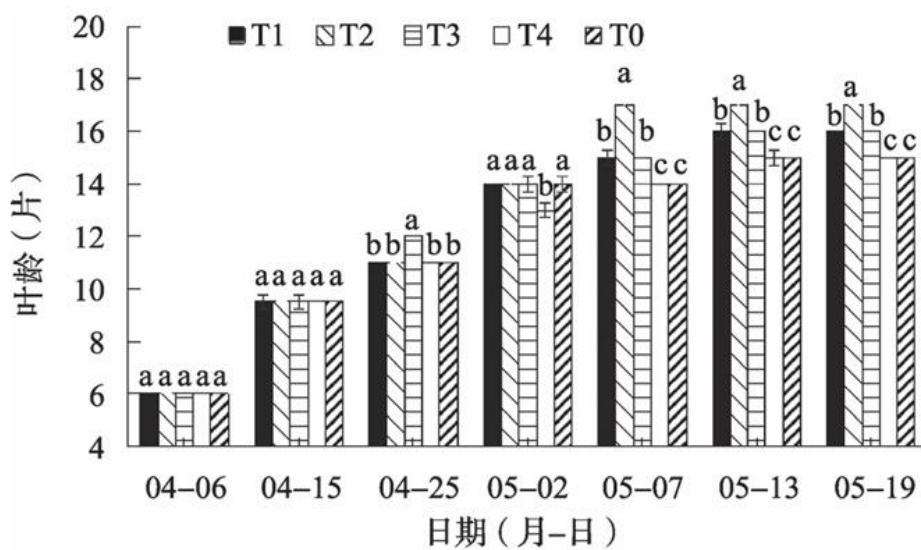


图 10 各处理番茄叶龄变化

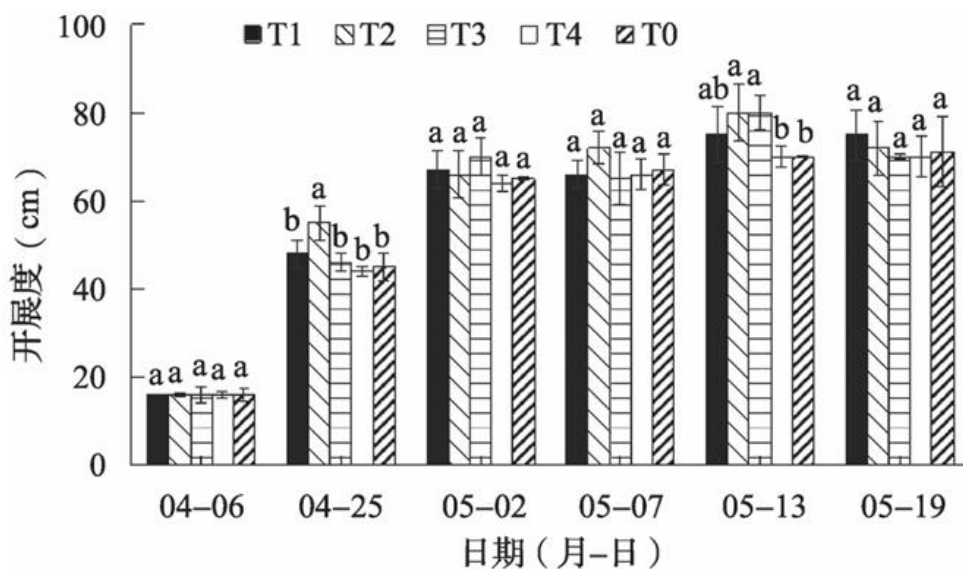


图 11 各处理番茄开展度变化

2.4 不同处理对番茄座果数量和果重的影响

本试验共采摘番茄果实 12 次，计算单株总果数，称量单株果实重量，结果如表 7 所示，与常规施肥相比，施用微生物肥均能显著提高番茄单株坐果数和总重，分别提高了 14.29%~42.86%、10.62%~36.36%，在 T3 处理时坐果数和总重最大，分别为 10 个 / 株，1

489 g / 株，分别高于常规施肥处理 42.86%、36.36%。对于单果重而言，除 T4 处理外，其他处理的平均单果重都略低于常规施肥处理，且随着微生物肥施用量的增加，番茄单果重量有降低的趋势，但同时随着微生物肥用量的增加，番茄果实总重量却随之升高。说明降低化肥用量，可提高单株番茄坐果数，降低单果重，但总体上显著提高了番茄的产量。

表 7 不同处理番茄的座果数量和果重

| 处理 | 坐果数 (个/株) | 总重 (g/株) | 平均单果重 (g) |
|----|----------------|-----------------|----------------|
| T0 | 7.2 ± 0.64c | 1 092 ± 69.8c | 154.56 ± 7.27b |
| T1 | 8.0 ± 0.64b | 1 208 ± 51.6b | 144.93 ± 8.25a |
| T2 | 10.0 ± 0.74a | 1 470 ± 60.6a | 149.99 ± 7.41a |
| T3 | 10.0 ± 0.64a | 1 489 ± 55.75a | 145.07 ± 7.77a |
| T4 | 8.3 ± 0.46b | 1 323 ± 61.83ab | 158.79 ± 9.00b |

2.5 不同处理对番茄品质的影响

从番茄果实品质分析来看 (表 8)，施用微生物肥料对番茄品质产生明显影响。与对照相比，随着施肥水平的提高，可溶性糖、Vc 及有机酸含量均有所提高，T2 处理时番茄可溶性糖、有机酸含量最高，比对照分别提高 34.21%、21.57%，T3 处理时番茄 Vc 含量最高，比对照提高了 18.43%。

表 8 显示，随着微生物肥用量提高，番茄果实中硝酸盐含量下降明显，可能是微生物肥料改变了番茄植株吸收机制，促使番茄的叶、茎、根中吸收了土壤中的 NO₃⁻，从而使果实中的硝酸盐含量下降造成的，具体原因需要进一步探究。T4 硝酸盐含量最低，比对照降低

了 1.97 倍，且差异均达到了显著水平 ($P \leq 0.05$)，表明施用微生物肥料能够显著降低番茄硝酸盐含量，提高番茄品质。这可能是因为，微生物肥料施入土壤后，其所含的各类微生物对土壤中的营养元素进行了活化分解，如解磷细菌和解钾细菌能分解土壤中被固定的磷、钾，特别是固氮菌能固定空气中的氮，促进了番茄植株对养分的吸收利用率，因此，有利于番茄品质的提高。

微生物肥显著降低了番茄果实中 Cd 含量，表 8 显示，T4 处理的番茄果实 Cd 含量最低，比常规施肥降低了 42.97%。这是因为微生物肥施入土壤后显著提高了土壤 pH 值，降低了土壤中有效态 Cd 含量，从而抑制了番茄从土壤中吸收 Cd。

表 8 不同处理番茄品质特征

| 处理 | 可溶性糖 (%) | Vc (mg/100 g) | 有机酸 (%) | NO ₃ ⁻ 含量 (mg/kg) | Cd 积累量 (mg/kg) |
|----|--------------|---------------|--------------|---|----------------|
| T0 | 1.90 ± 0.09b | 28.20 ± 1.12b | 0.51 ± 0.03a | 365 ± 17.49a | 0.102 ± 0.003a |
| T1 | 2.44 ± 0.11a | 28.30 ± 1.16b | 0.51 ± 0.02a | 355 ± 25.75b | 0.085 ± 0.002b |
| T2 | 2.55 ± 0.10a | 29.10 ± 1.19a | 0.62 ± 0.02b | 340 ± 15.49b | 0.083 ± 0.002b |
| T3 | 2.52 ± 0.06a | 33.40 ± 0.85a | 0.61 ± 0.02b | 298 ± 28.19c | 0.076 ± 0.004c |
| T4 | 2.54 ± 0.06a | 29.00 ± 0.73a | 0.60 ± 0.03b | 123 ± 23.02d | 0.073 ± 0.001c |

2.6 对番茄产量的影响

与常规施肥措施相比，施用微生物肥会显著提高番茄产量，图 12 显示，随着微生物肥施用量的增加，番茄产量明显增加；同时，随着微生物肥用量的持续增加，产量增幅趋势放缓，说明随着微生物肥用量的进一步增加，超过一定限度，对番茄增产效果已不明显，产量反而下降，由此可见，仅从考虑增产角度出发，微生物肥料施肥量控制在 6000 ~ 9000 kg/hm² 为宜。

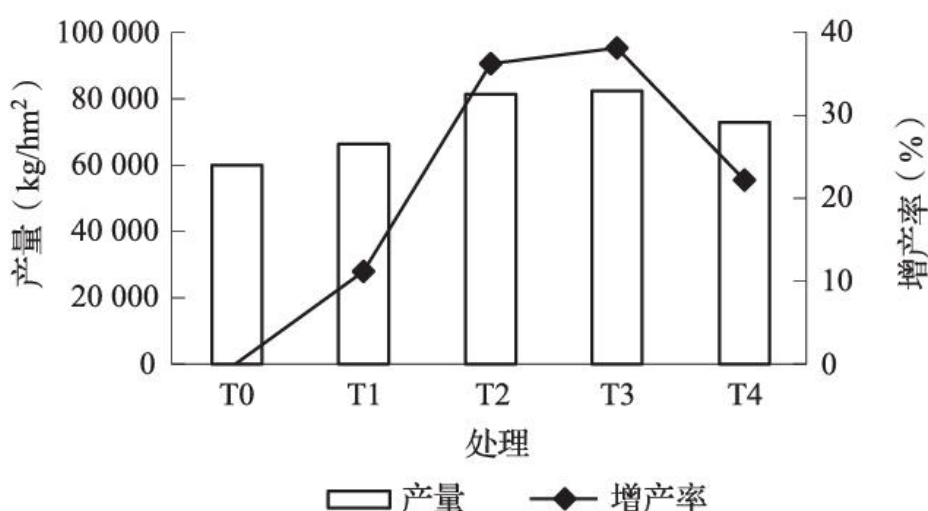


图 12 不同微生物肥施肥量对番茄产量的影响

3.不同改良措施对设施辣椒土壤障碍问题的影响

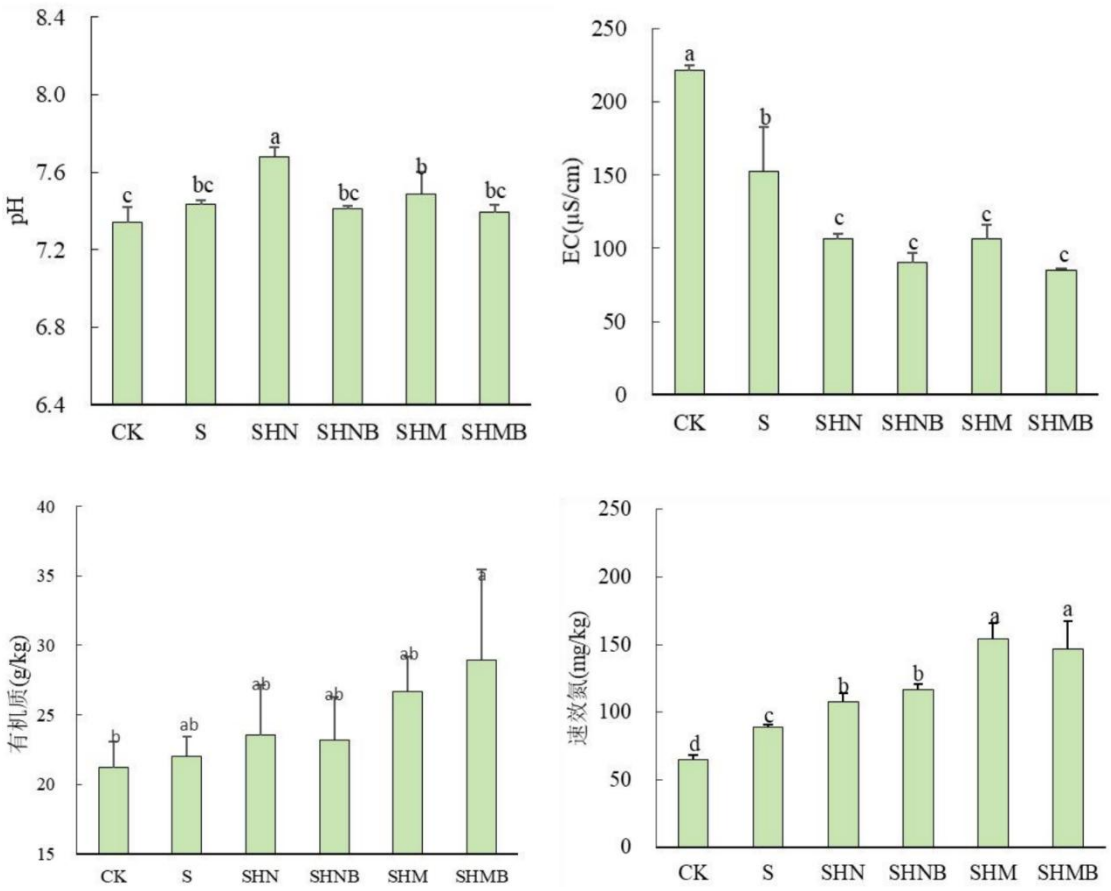
试验共设 5 个处理，分别为玉米秸秆还田处理(S)、玉米秸秆还田 + 高温闷棚 + 腐熟菌剂处理(SHM)、玉米秸秆还田 + 高温闷棚 + 腐熟菌剂 + 全元平衡施肥处理(SHMB)、玉米秸秆还田 + 高温闷棚 + 石灰氮处理 (SHN)、玉米秸秆还田 + 石灰氮 + 全元平衡施肥 + 高温闷棚处理(SHNB)，另设不处理对照 (CK)，每个处理重复 3 次。

3.1 不同改良措施对土壤理化性质的影响

不同改良措施后土壤理化性质结果见图 13。从图中可以看出，均衡施肥处理等改良措施提高了土壤 pH 值，各处理土壤 pH 值分别比对照提高了 1.27%、4.63%、0.95%、2.00%、0.73%。其中，秸秆还田 + 高温闷棚 + 石灰氮施用复合处理 (SHN)、秸秆还田 + 高温闷棚 + 腐熟菌剂施用复合处理 (SHM) 处理下的土壤 pH 显著提高

($p<0.01$)。所有处理均显著降解了土壤 EC 含量，以秸秆还田 + 高温闷棚 + 腐熟菌剂 + 平衡施肥施用复合处理 (SHMB) 条件下 EC 含量最低。

不同改良措施均提高了土壤有机质含量。各处理土壤有机质含量分别比对照提高了 3.90%、11.11%、9.41%、26.05%、36.67%。以 SHMB 处理的土壤有机质提高最为显著。除了秸秆还田 (S) 处理外，其余处理土壤硝态氮含量均显著高于对照，其中秸秆还田 + 高温闷棚 + 腐熟菌剂施用 (SHM) 处理的土壤硝态氮含量最高。铵态氮也有所提高，SHNB、SHM、SHMB 处理显著高于对照。各处理的土壤有效磷和速效钾含量均显著高于对照，均以 SHMB 为最高。



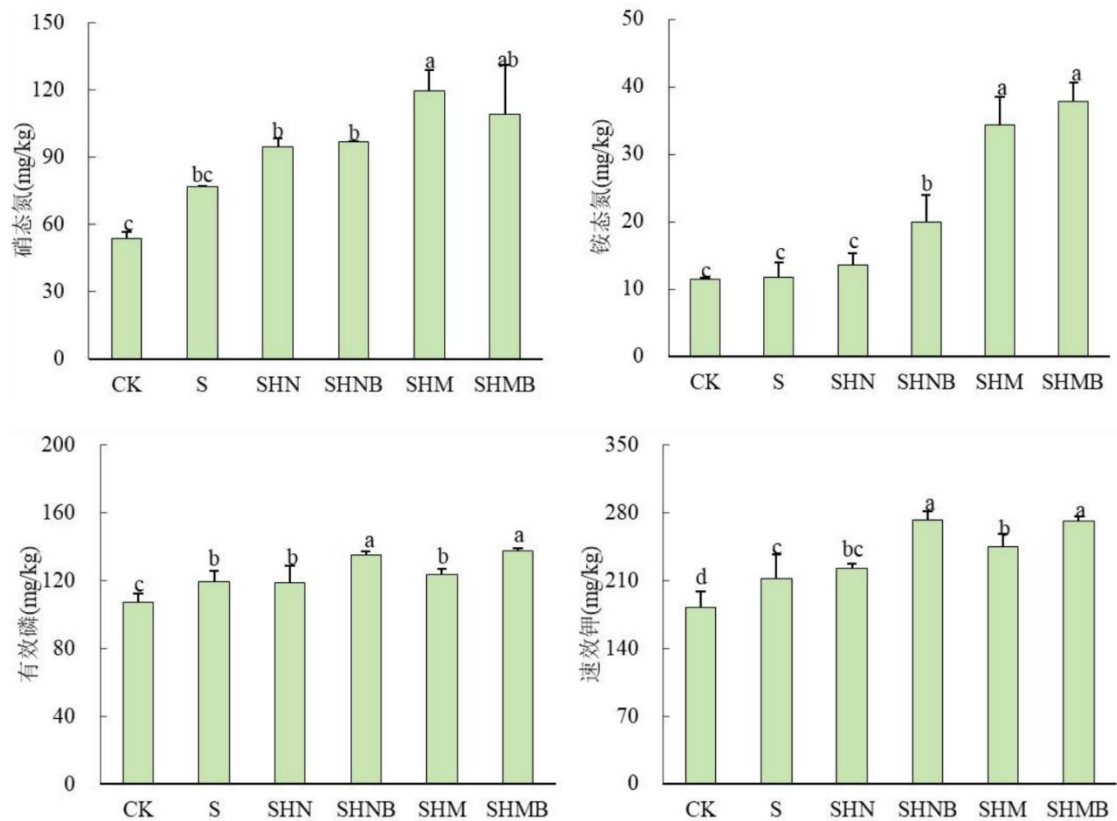


图 13 不同改良措施对土壤理化性质的影响

3.2 不同改良措施对土壤微生物群落的影响

土壤真菌和细菌 Alpha 多样性指数计算结果如表 9 所示。其中，表示群落丰富度的有 ACE、Sobs 和 Chao1 指数；而表示均匀度有 Shannon 和 Simpson 指数。结果表明，处理 S、SHM 和 SHN 处理细菌丰富度较高，而 SHMB、SHNB 处理细菌丰富度低于 CK；细菌的 Shannon 和 Simpson 指数表明对照土壤的细菌均匀度最低，表明各改良措施增加了细菌均匀度。

土壤真菌 Alpha 多样性指数计算结果表明，真菌 Ace、Sobs 和 Chao1 指数均显示 SHM 处理真菌丰富度最高($p < 0.05$)，而 SHN 处理真菌丰富度较低；而真菌 Shannon 与 Simpson 指数表明 CK 的真菌多样性最高，表明上述指标真菌均匀度较好。上述结果表明，秸

秆配施腐熟菌剂显著提升土壤真菌的多样性，而秸秆配施石灰氮降低了真菌丰富度。

表 9 不同改良措施条件下土壤微生物多样性

| | 处理 | Ace | Chao1 | Shannon | Simpson | Sobs | Coverage |
|----|------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| 细菌 | CK | 4958±372.1 | 4749±291.4 | 6.643±0.077 | 0.006±0.002 | 3471±175.2 | 0.956±0.004 |
| | S | 5870±825.9 | 5699±764.3 | 6.944±0.297 | 0.003±0.001 | 3936±521.2 | 0.947±0.008 |
| | SHN | 5847±221.3 | 5674±216.6 | 7.164±0.041 | 0.002±0.000 | 4189±123.5 | 0.948±0.003 |
| | SHNB | 4601±42.1 | 4388±145.9 | 6.760±0.059 | 0.005±0.002 | 3455±66.8 | 0.961±0.002 |
| | SHM | 5871±258.6 | 5605±254.6 | 7.061±0.192 | 0.003±0.001 | 4153±249.4 | 0.948±0.003 |
| | SHMB | 4797±854.1 | 4639±728.3 | 6.687±0.362 | 0.005±0.002 | 3462±626.5 | 0.958±0.008 |
| 真菌 | CK | 278.1±74.98 | 286±81.93 | 3.760±0.2854 | 0.047±0.015 | 263±72.02 | 0.999±0.000 |
| | S | 252.1±69.33 | 252±69.02 | 3.334±0.4374 | 0.098±0.048 | 239±58.29 | 0.10±0.0002 |
| | SHN | 272.4±31.52 | 277±30.39 | 2.856±0.3223 | 0.164±0.056 | 247±32.45 | 0.999±0.0007 |
| | SHNB | 314.3±55.54 | 316±57.94 | 3.310±0.4904 | 0.117±0.064 | 291±39.07 | 0.999±0.000 |
| | SHM | 352.6±38.08 | 364±39.74 | 3.257±0.3600 | 0.114±0.053 | 323±21.08 | 0.999±0.000 |
| | SHMB | 302.6±67.14 | 304±66.03 | 3.458±0.2426 | 0.096±0.057 | 285±60.11 | 0.999±0.000 |

在门水平上 (图 14)，丰度最高的是变形菌门 (Proteobacteria, 17.23%-24.31%)，其次是厚壁菌门 (Firmicutes, 12.71%-28.69%)、绿弯菌门(Chloroflexi, 12.02%-17.98%)、酸杆菌门 (Acidobacteriota, 8.06%-16.76%)、放线菌门 (Actinobacteriota, 5.58%-14.50%)和芽单胞菌门 (Gemmatimonadota, 4.16%-6.81%) 等。其中，不同改良措施 (S、SHN、SHNB、SHM、SHMB) 相对丰度最高的变形菌门较 CK 分别提升 1.44%、14.11%、31.80%、17.20%、41.07%。

在真菌门的水平上，各处理中的优势真菌门，丰度最高的是子囊菌门 (Ascomycota, 67.79%-80.99%)，其次是未分类真菌菌群 (unclassified_k_Fungi, 6.59%-22.73%)、被孢霉门 (Mortierellomycota, 2.74%-7.19%)、担子菌门 (Basidiomycota, 1.57%-8.55%)、壶菌门 (Actinobacteriota, 1.08%-7.70%) 等。其中，S、SHN 处理与对照相

比，对丰度最高的子囊菌门提升效果较好，分别为 67.79%、80.99%；SHNB 处理与对照相比，对未分类真菌菌群 (unclassified_k_Fungi) 提升效果最好，达 37.69%；各改良措施与对照相比，均降低了担子菌门丰度；表明各处理对担子菌门有抑制作用；SHM 处理对壶菌门提升效果最好，高达 506.5%。

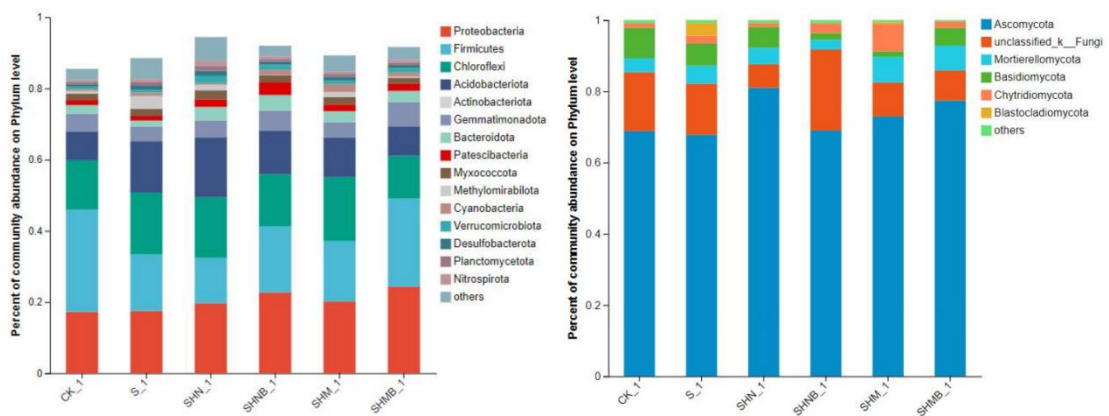


图 14 不同改良措施对土壤细菌和真菌门水平群落组成的影响

3.3 不同改良措施对辣椒产量的影响

不同改良措施对设施辣椒产量影响结果见图 15。从图 15 可以看出，各处理均在一定程度上提高了辣椒产量。S、SHN、SHNB、SHM、SHMB 这几个处理产量分别为 47.69、51.43、53.70、56.20、54.76 t/ha，分别比对照 (45.59 t/ha) 提高了 4.60%、12.80%、17.78%、23.28%、20.11%。产量提升效果依次为 SHM>SHMB>SHNB>SHN>S。

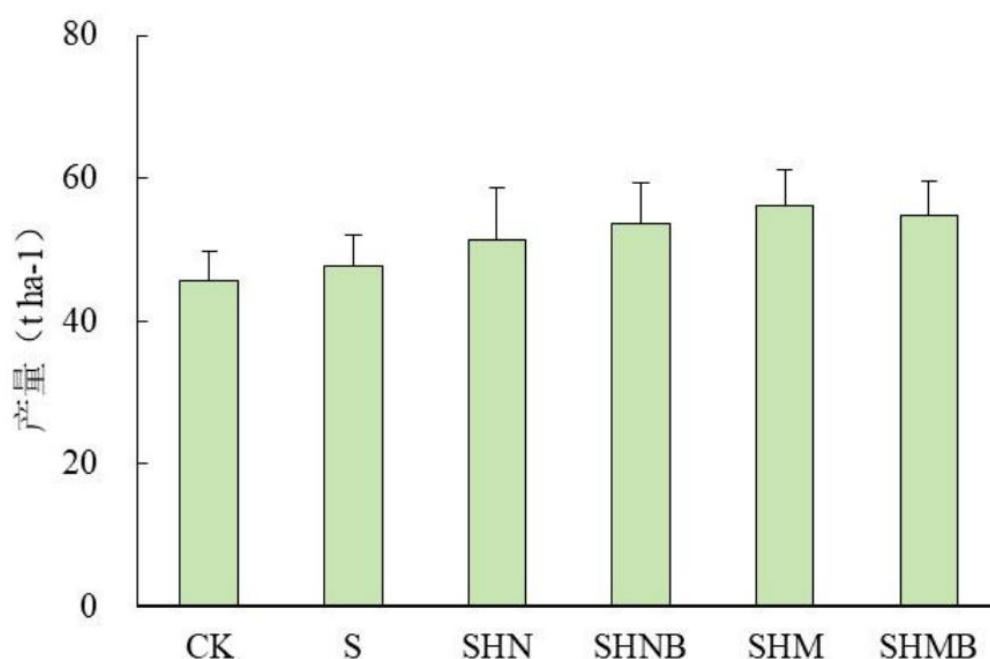


图 15 不同改良措施对设施辣椒产量的影响

4.不同蔬菜轮作对设施连作黄瓜根际土壤微生态的影响（引用徐宁等人研究）

试验土壤为连续 15 年种植黄瓜的日光温室耕层土壤。土壤砂质粘壤土，其基本理化性状为 pH 5.96，EC 值 $354\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，碱解氮 $125.48\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，有效磷 $226.26\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，速效钾 $174.86\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。共设 3 个处理：黄瓜-苦瓜(T1)，黄瓜-大葱(T2)，黄瓜-黄瓜(CK)。每处理 30 盆，随机排放。

4.1 轮作对根际土壤 EC 值和 pH 的影响

由图 16 可知，拉秧期轮作作物根际土壤的 EC 值均显著低于连作，pH 均显著高于连作。10 月 15 日黄瓜根际土壤的 EC 值较低，这与 3 种作物的生育速度有关，黄瓜苗期生长迅速且生物量大，根系较发达，能一定程度的吸收土壤中的盐离子。拉秧期 EC 值以大葱根际

土壤最低,轮作苦瓜和大葱分别比对照 EC 值降低了 10.01%和 15.64%。由图 1 还可知,黄瓜和苦瓜根际土壤的 pH 呈先升后降的趋势,而大葱根际土壤的 pH 呈一直升高的趋势,拉秧期苦瓜和大葱根际土壤的 pH 分别为 6.61 和 6.70,连作土壤 pH 也高于基础土样,可能与浇水状况有关。可见,轮作大葱和苦瓜对防止日光温室黄瓜连作土壤酸化和次生盐渍化均有一定的效果,其中以轮作大葱效果较好。

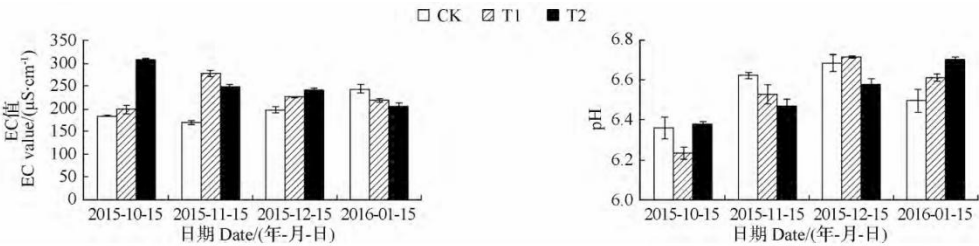


图 16 不同处理下根际土壤 EC、pH 的动态变化

4.2 轮作对根际土壤微生物的影响

4.2.1 不同处理下根际土壤细菌和放线菌的动态变化

由图 17 可以看出,轮作大葱和苦瓜根际土壤中细菌数较轮作前均有所增加,连作处理细菌数量略有下降。2 种轮作作物根际土壤细菌数量均高于连作,以大葱轮作处理较多。这可能是由于大葱根系分泌物及根系残茬为土壤细菌繁殖提供了可利用的碳源,从而更有效的增加了细菌数量。大葱和苦瓜分别比连作黄瓜根际土壤细菌数高出了 167.84%和 47.22%。轮作一茬大葱后,放线菌数量较轮作前大幅增加;轮作一茬苦瓜,放线菌数量变化不明显;连作后放线菌数量大幅度下降。拉秧期大葱和苦瓜轮作处理放线菌数量比连作高 122.17%和 51.29%。

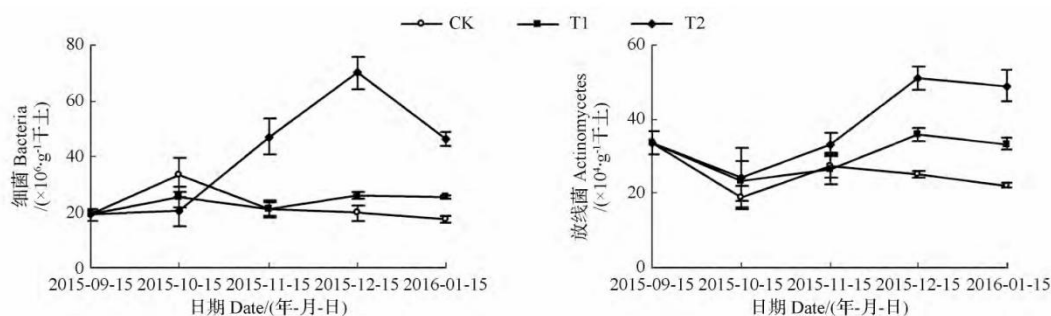


图 17 不同处理下根际土壤细菌和放线菌的动态变化

4.2.2 不同处理下根际土壤真菌和镰刀菌的动态变化

由图 18 可知，3 个处理根际土壤真菌数量变化趋势一致，都呈先升后降的趋势，大葱和苦瓜根际土壤真菌数量在各时期均低于连作，且大葱处理根际土壤真菌数量最低。拉秧期，大葱和苦瓜根际土壤真菌数量比连作低 53.63%和 20.46%。枯萎病是黄瓜最主要的一种土传病害，温室黄瓜连年栽种后，土传病害加重，其致病菌就是镰刀菌。3 个处理根际土壤镰刀菌的变化趋势与真菌相似，以连作黄瓜根际土壤镰刀菌数量最多，苦瓜次之，大葱最少。拉秧期大葱和苦瓜根际土壤真菌数量比连作低 67.27%和 32.99%。

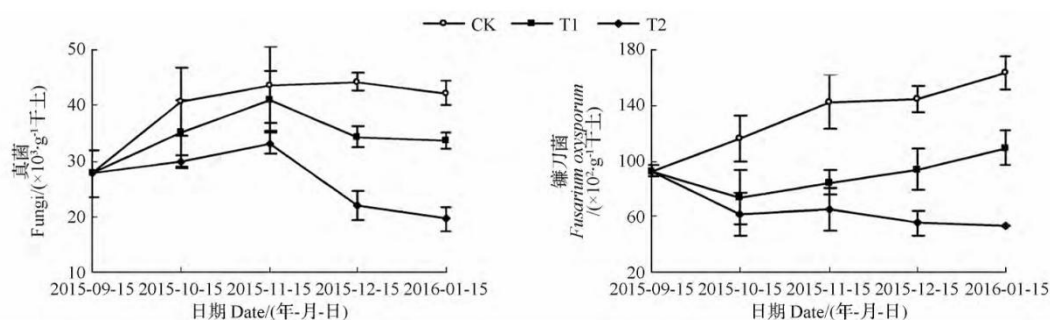


图 18 不同处理下根际土壤真菌和镰刀菌的动态变化

4.3 不同处理下对根际土壤酶活性的影响

4.3.1 对土壤转化酶和脲酶活性的影响

土壤转化酶也叫蔗糖酶，是土壤中参与碳循环的一种重要酶，可促进蔗糖水解成葡萄糖和果糖，对增加土壤可溶性营养具有重要作用。由图 19 可知，3 个处理的转化酶活性呈先升后降的趋势，连作处理 11 月 15 日后就明显的下降，而苦瓜和大葱轮作处理在 12 月 15 日后才略有下降。连作黄瓜后，转化酶活性略有降低；而轮作大葱和苦瓜后，转化酶活性有所升高，且大葱根际土壤转化酶活性一直高于苦瓜。拉秧期，大葱和苦瓜根际土壤转化酶活性比连作处理高 95.96%和 44.44%。脲酶也是土壤水解酶中的一种重要酶，对尿素水解及尿素氮的利用具有重要影响。轮作大葱和苦瓜根际土壤中的脲酶活性显著提高，连作处理的脲酶活性变化不显著。拉秧期大葱和苦瓜根际土壤脲酶活性比连作处理高 52.94%和 29.41%。

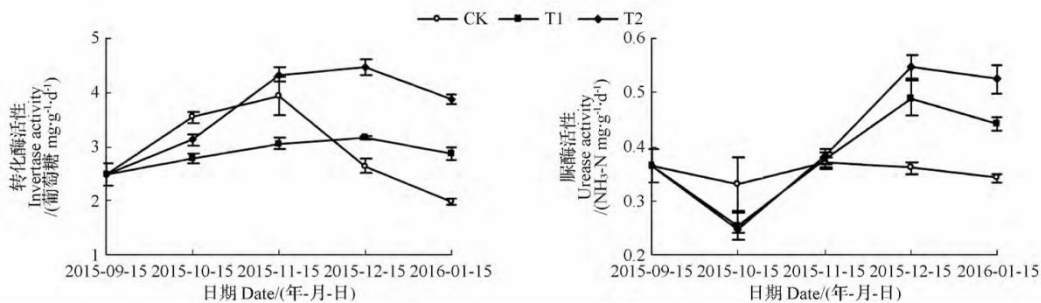


图 19 不同处理下根际土壤转化酶和脲酶活性的动态变化

4.3.2 对土壤过氧化氢酶和多酚氧化酶活性的影响

过氧化氢酶参与植物的呼吸代谢，同时可清除在呼吸过程中会产生的对活细胞有害的过氧化氢，其活性可用来表示土壤氧化过程的强度。由图 20 可以看出，根际土壤中的过氧化氢酶活性呈先升后降的趋势，作物生长期间，大葱根际土壤过氧化氢酶活性最高。11 月 15 日前苦瓜根际土壤过氧化氢酶活性与对照差异不显著，11 月 15 日之

后苦瓜轮作处理显著高于连作处理。拉秧期大葱和苦瓜根际土壤过氧化氢酶活性较连作高 182.69%和 100.00%。土壤多酚氧化酶参与土壤有机组分中芳香化合物的转化，对增加土壤有机质积累，提高土壤肥力具有重要意义。轮作大葱和苦瓜根际土壤多酚氧化酶活性显著升高，而连作处理的酶活性略有下降。拉秧期大葱和苦瓜根际土壤多酚氧化酶活性较连作处理高 151.11%和 75.56%。

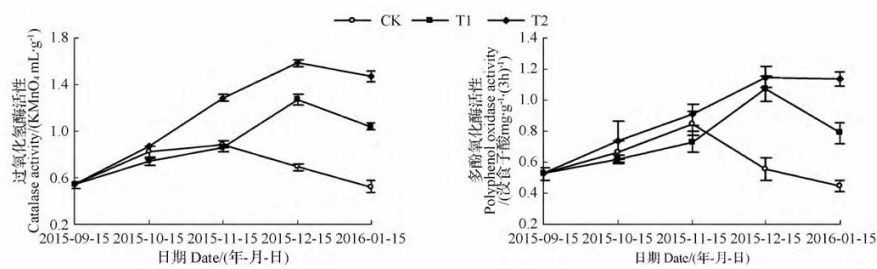


图 20 不同处理下根际土壤过氧化氢酶和多酚氧化酶活性的动态变化

设施蔬菜水旱轮作可以有效解决土壤连作障碍，减轻病虫害发生，提高土壤肥力，达到用地养地的有效结合，可以显著提升全年的生产经济效益。标准起草组为制定完善的设施蔬菜连作障碍综合防控技术规范，便于在江苏全省乃至全国适宜地区推广，近几年来，标准编制小组在江苏省范围内，选择典型设施黄瓜、西瓜及茄果类蔬菜等连作田块，开展了水旱轮作试验，分析水旱轮作后设施蔬菜连作土壤的总盐（EC 值）、pH、全氮、有效磷、速效钾和土壤微生物群落等的变化，初步探明了水旱轮作对设施连作障碍的克服机理、技术和途径。

5.水旱轮作对设施障碍土壤影响的研究

5.1 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤氮素赋存的影响

大棚番茄连作栽培田经淹水栽培水芹、蕹菜后，耕层土壤总氮（TN）、铵氮（ $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ ）量和硝氮（ $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ ）含量分别依次为

FW>FC>CK>FI、CK>FC>FI>FW 和 FW>CK>FC>FI, FW 与 CK 的 TN 和 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 差异显著(表 10)。表层(D1)土壤 TN、 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 量都呈 CK>FC>FW>FI, CK 与 FI 的 TN、CK 与 FW 的 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 、CK 与淹水处理的 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 的差异显著; 中层(D2)土壤 TN、 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 量依次呈 FW>FC>CK 和 FI、FW>FC>FI>CK 和 FW>CK>FC>FI。FW、FC 和 FI 的 TN, FW 与 FC 的 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$, FW、CK、FC、FI 的 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 量差异显著; 下层(D3)土壤 TN、 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 量依次呈 FW>FC>CK 和 FI、FW>FC>FI>CK 和 FW>FC>CK>FI。FW、FC 与 CK 的 TN 差异显著, FW 与 FC $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 差异显著, FW、FC 和 CK 的 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 差异显著(图 21)。

表 10 水生蔬菜轮作对设施连作耕层土壤理化性质的影响

| 项目 | CK | FW | FC | FI |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 总氮 TN ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 0.81±0.06b | 0.99±0.02a | 0.86±0.03b | 0.77±0.04b |
| 铵氮 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 97.40±4.90b | 113.55±4.46a | 99.88±3.06b | 89.05±3.17b |
| 硝氮 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 11.84±0.82b | 21.89±0.41a | 10.45±0.31b | 7.78±0.26c |
| 总磷 TP ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 0.95±0.10a | 0.95±0.04a | 0.82±0.02a | 0.78±0.03a |
| 有效磷 Olsen~P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 71.51±2.87a | 79.42±4.83a | 52.61±2.22b | 54.92±0.64b |
| 有效钾 Availablepotassium ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 256.30±15.18a | 241.26±10.48a | 153.29±8.13b | 141.78±3.29b |
| 有机质 Organic matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 27.51±1.08b | 32.38±1.18a | 28.08±1.14b | 27.44±0.79b |
| pH | 8.13±0.03ab | 8.02±0.08b | 8.26±0.04a | 8.22±0.02a |
| 电导率 EC ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) | 125.18±3.35b | 150.18±3.22a | 123.05±4.37bc | 113.48±2.20c |
| 细菌 Bacterial ($\times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | 0.58±0.05c | 0.65±0.05c | 0.88±0.05b | 1.23±0.09a |
| 真菌 Fungi ($\times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | 4.43±0.34b | 3.30±0.23c | 5.75±0.48a | 5.25±0.48ab |
| 放线菌 Actinomycete ($\times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | 1.40±0.14b | 1.58±0.25b | 2.18±0.06b | 4.00±0.41a |

注: 1.表中数据为平均值±标准误, 同行不同字母表示 0.05 水平上差异显著。

2.CK: 土壤不耕翻自然休闲; FW: 土壤耕翻灌水休闲; FC: 土壤耕翻灌水种植水芹;
FI: 土壤耕翻灌水种植薤菜。下同。

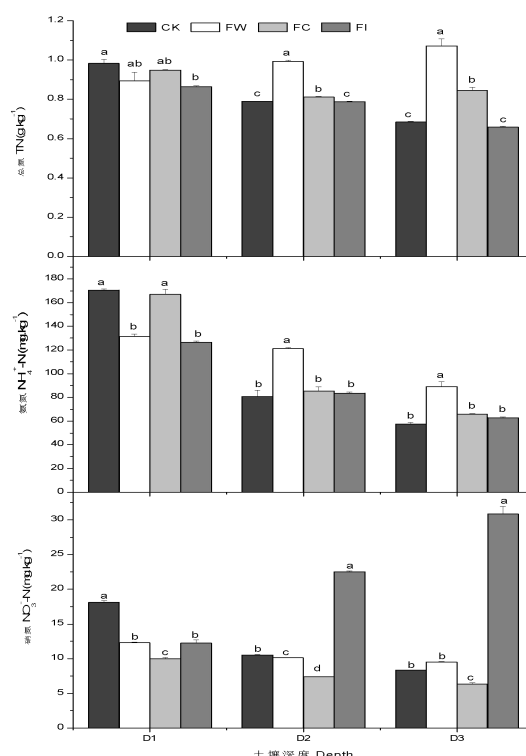


图 21 水生蔬菜轮作对土壤氮素的影响

注：图中数据为平均值±标准误，不同字母表示 0.05 水平上差异显著，下同。

4.2 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤磷素赋存的影响

设施土壤耕层土壤总磷（TP）量呈 CK=FW>FC>FI，有效磷（Olsen~P）量呈均 FW>CK>FI>FC，CK 与 FI 的 Olsen~P 差异显著（表 10）。图 22 表明，表层（D1）土壤 TP 和 Olsen~P 量呈 CK>FI>FC>FW，CK 与 FC、FI 和 FW 间差异显著；中层（D2）土壤 TP 和 Olsen~P 量呈 FW>FC>FI>CK，FW 与 FC、FI 和 CK 间差异显著。下层（D3）土壤 TP 量呈 FW>CK>FC>FI，FW 与 CK、FC 和 FI 间差异显著，而 Olsen~P 量呈 FW>CK>FC 和 FI，FW 与 CK、FC 和 FI 间差异显著（图 2）。

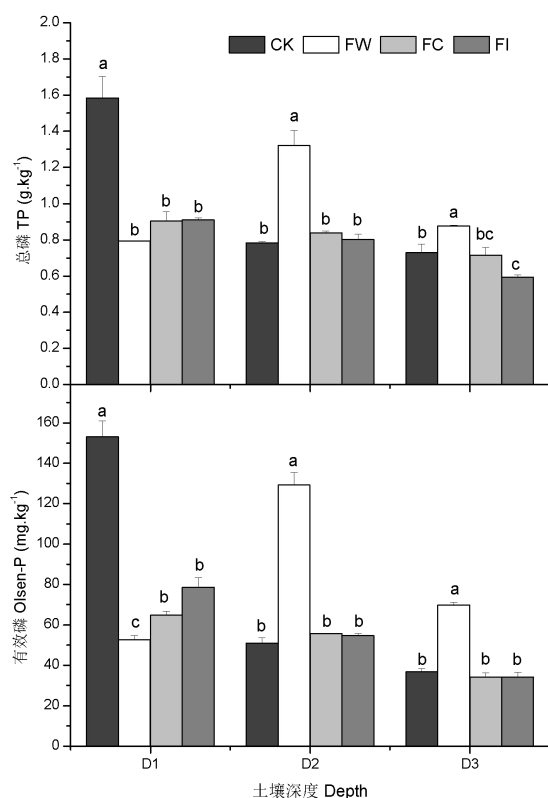


图 22 水生蔬菜轮作对土壤磷素的影响

5.3 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤有效钾和有机质的影响

大棚番茄连作栽培田经淹水栽培水芹、蕹菜后，耕层土壤总磷（TP）量呈 CK=FW>FC>FI，有效磷（Olsen~P）量呈均 FW>CK>FI>FC，CK 与 FI 的 Olsen~P 差异显著（表 10）。表层（D1）土壤 TP 和 Olsen~P 量呈 CK>FI>FC>FW，CK 与 FC、FI 和 FW 间差异显著；中层（D2）土壤 TP 和 Olsen~P 量呈 FW>FC>FI>CK，FW 与 FC、FI 和 CK 间差异显著；下层（D3）土壤 TP 量呈 FW>CK>FC>FI，FW 与 CK、FC 和 FI 间差异显著，而 Olsen~P 量呈 FW>CK>FC 和 FI，FW 与 CK、FC 和 FI 间差异显著（图 23）。

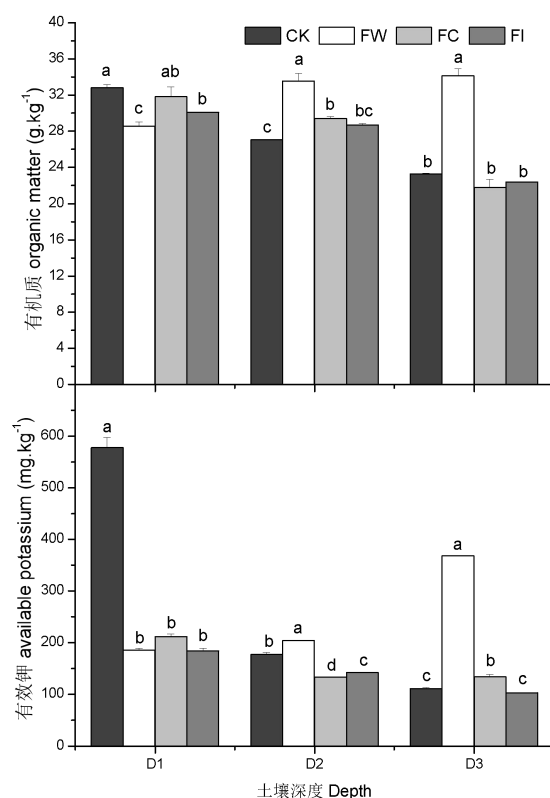


图 23 水生蔬菜轮作对土壤有效钾和有机质的影响

5.4 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤 pH 值和 EC 值的影响

大棚番茄连作栽培田经淹水栽培水芹、蕹菜后，耕层土壤酸碱性（pH）呈 $FC > FI > CK > FW$ ，土壤电导率（EC）呈 $FW > CK > FC > FI$ （表 10）。表层（D1）土壤 pH 值呈 $FW > FI > FC > CK$ ，FW 与 CK 间差异显著。而 D1 土壤 EC 值呈 $CK > FC > FW > FI$ ，FC 与 FW 间差异显著；中层（D2）土壤 pH 值呈 $FI > FC > CK > FW$ ，FC 与 CK 间差异显著。而 D2 土壤 EC 值呈 $FW > CK > FC > FI$ ，FW、CK、FC 间差异显著；下层（D3）土壤 pH 值呈 $FC > CK > FI > FW$ ，FI 与 FW 间差异显著。D3 土壤 EC 值呈 FW 最大，CK、FC、FI 基本相等，FW 与 CK、FC 和 FI 间差异显著（图 24）。

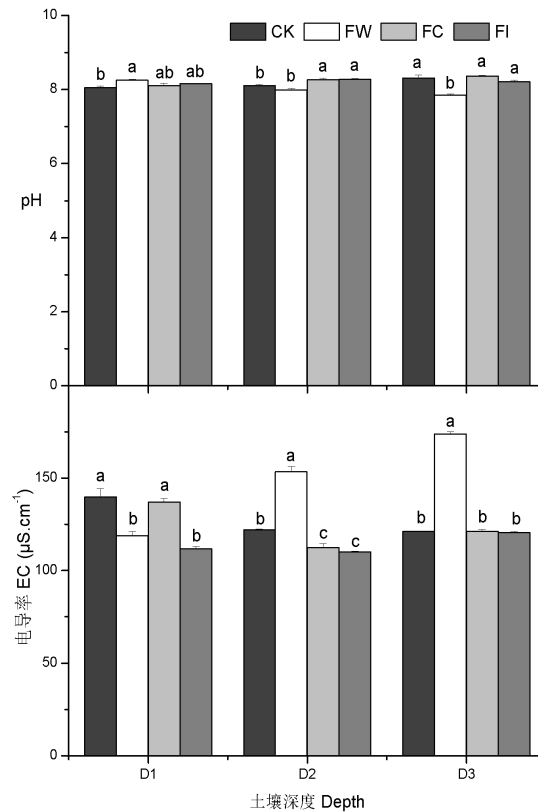


图 24 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤 pH 值和 EC 值的影响

5.5 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤微生物的影响

大棚番茄连作栽培田经淹水栽培水芹、蕹菜后，耕层土壤细菌和放线菌数量呈 $FI > FC > FW > CK$ ，FI 与 CK 间差异显著；土壤真菌量呈 $FC > FI > CK > FW$ ，但处理间差异不显著（表 10）。表层（D1）土壤细菌数量呈 $FI > FW > FC > CK$ ，土壤真菌数量呈 $FW > FI > FC > CK$ ，土壤放线菌数量呈 $FC > FI > FW > CK$ ，FC 和 CK 间土壤细菌、真菌和放线菌数量差异显著；中层（D2）土壤细菌数量呈 $FC > FI > CK > FW$ ，土壤真菌数量呈 $CK > FI > FC > FW$ ，土壤放线菌数量呈 $FI > CK > FC > FW$ ，FC 和 FW 间土壤细菌数量差异显著，CK 与 FI 间土壤真菌数量差异显著，FI、CK、FC 和 FW 土壤放线菌数量差异显著；下层（D3）土壤细菌数量呈 $FI > FC > CK > FW$ ，土壤真菌数

量呈 FC>FI>CK>FW，土壤放线菌数量呈 FI>FC>CK>FW，处理间土壤细菌和放线菌数量差异不显著，FC 与 FI，FI 与 FW 土壤放线菌数量差异显著（图 25）。

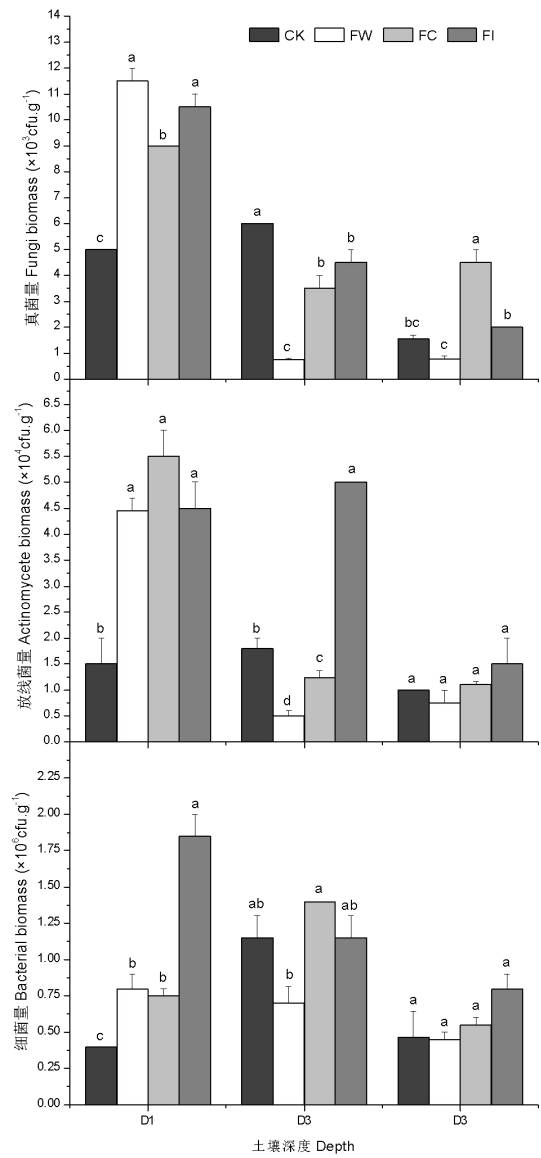


图 25 水生蔬菜轮作对大棚草莓栽培土壤微生物量的影响

5.6 水生蔬菜轮作对大棚番茄连作土壤相关理化指标的相关性

相关分析表明，淹水调控后土壤 TN 与 $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 、TP、Olsen~P、有机质、EC 值、有效钾， $\text{NH}_4^+ \sim \text{N}$ 与 TP、Olsen~P、有机质、真菌量， $\text{NO}_3^- \sim \text{N}$ 与 TP、Olsen~P、有机质、EC 值，TP 与 Olsen~

P、有机质、有效钾，Olsen~P 与有机质、有效钾，EC 值与有效钾，真菌量、放线菌量均呈极显著正相关； $\text{NH}_4^+\sim\text{N}$ 与放线菌量， $\text{NO}_3^-\sim\text{N}$ 、有效钾，EC 值与 TP、有效钾，细菌量与真菌量、放线菌量均呈显著正相关；pH 值与 TN 与 $\text{NO}_3^-\sim\text{N}$ 、TP、Olsen~P、有机质、EC 值、有效钾，EC 值与细菌量均呈极显著负相关；pH 值与 $\text{NH}_4^+\sim\text{N}$ ，细菌量与 $\text{NO}_3^-\sim\text{N}$ ，EC 值与真菌量均呈显著负相关（表 11）。

表 11 淹水调控大棚番茄栽培土壤性质指标相关性分析

| | 总氮 TN (g.kg ⁻¹) | 铵氮 NH ₄ ⁺ ~N (mg.kg ⁻¹) | 硝氮 NO ₃ ⁻ ~N (mg.kg ⁻¹) | 总磷 TP (g.kg ⁻¹) | 有效磷 Olsen~P (mg.kg ⁻¹) | 有机质 Organic matter (g.kg ⁻¹) | pH | 电导率 EC (μS.cm ⁻¹) | 有效钾 Available potassium (mg.kg ⁻¹) | 细菌 Bacterial (×10 ⁶ cfu.g ⁻¹) | 真菌 Fungi (×10 ³ cfu.g ⁻¹) |
|--|-----------------------------------|---|---|-----------------------------------|--|---|-----------|-------------------------------------|---|---|---|
| 铵氮 NH ₄ ⁺ ~N (mg.kg ⁻¹) | 0.639** | | | | | | | | | | |
| 硝氮 NO ₃ ⁻ ~N (mg.kg ⁻¹) | 0.849** | 0.309 | | | | | | | | | |
| 总磷 TP (g.kg ⁻¹) | 0.622** | 0.690** | 0.520** | | | | | | | | |
| 有效磷 Olsen~P (mg.kg ⁻¹) | 0.657** | 0.701** | 0.567** | 0.962** | | | | | | | |
| 有机质 Organic matter (g.kg ⁻¹) | 0.829** | 0.692** | 0.731** | 0.686** | 0.732** | | | | | | |
| pH | ~0.720** | ~0.423* | ~0.842** | ~0.551** | ~0.591** | ~0.777** | | | | | |
| 电导率 EC (μS.cm ⁻¹) | 0.758** | 0.262 | 0.937** | 0.449* | 0.475* | 0.604** | ~0.0828** | | | | |
| 有效钾 Available potassium (mg.kg ⁻¹) | 0.612** | 0.716** | 0.514* | 0.960** | 0.947** | 0.617** | ~0.0529** | 0.469* | | | |
| 细菌 Bacterial (×10 ⁶ cfu.g ⁻¹) | ~0.233 | ~0.011 | ~0.409* | ~0.214 | ~0.159 | 0.03 | 0.192 | ~0.569** | ~0.326 | | |
| 真菌 Fungi (×10 ³ cfu.g ⁻¹) | 0.078 | 0.539** | ~0.339 | ~0.058 | ~0.058 | 0.072 | 0.207 | ~0.436* | ~0.022 | 0.450* | |
| 放线菌 Actinomycete (×10 ⁴ cfu.g ⁻¹) | ~0.006 | 0.444* | ~0.367 | ~0.14 | ~0.145 | 0.143 | 0.165 | ~0.397 | ~0.161 | 0.431* | 0.790** |

注：“*”表示显著相关（0.05 水平），“**”表示极显著相关（0.01 水平）。

6.稻菜（菌）轮作高效生产模式效果

6.1 设施辣椒-水稻轮作对辣椒生长和产量的影响

江苏农科院蔬菜研究所专家对连续种植3年6茬的设施辣椒地块，采用与水稻水旱轮作模式进行改良后，发现辣椒品种‘苏椒478’植株长势强壮、挂果性能强，‘苏椒478’单果重平均提高10.7%、亩产量提高32.2%（表12），‘苏椒1614’单果重平均提高12.4%，亩产量提高26.4%（表13）。辣椒-水稻增产效果明显。

表 12 苏椒 478 水旱轮作后生长和产量比较

| 模式 | 株高/cm | 平均单果质量/g | 平均单株产量/Kg | 亩产量/kg |
|--------------|-------|----------|-----------|--------|
| 苏椒 478（连作） | 73.2 | 89.8 | 0.988 | 2667.1 |
| 苏椒 478（水旱轮作） | 90.3 | 100.5 | 1.31 | 3527.6 |

表 13 苏椒 1614 水旱轮作后生长和产量比较

| 模式 | 株高/cm | 平均单果质量/g | 平均单株产量/Kg | 亩产量/kg |
|---------------|-------|----------|-----------|--------|
| 苏椒 1614（连茬） | 64.3 | 70.2 | 1.12 | 3481.9 |
| 苏椒 1614（水旱轮作） | 75.2 | 78.9 | 1.42 | 4402.6 |

采用大棚辣椒-水稻水旱轮作生产模式，红椒亩均增收约800斤，青椒亩均增收约1000斤，亩平均增收约2000元；辣椒每亩减少2次病虫害打药节省成本200元，每亩增加移大棚钢架费用500元，综合亩平均增收1700元。

6.2 稻菜（菌）轮作模式研究

6.2.1 水稻 - 食用菌高效轮作

“水稻 - 食用菌”模式指在水稻种植收获后，在水稻田种植食用菌，再将出菇后的菌渣作为肥料还田的种植模式。此模式应选择耐低温的食用菌种类，这里主要介绍“水稻 - 大球盖菇”“水稻 - 羊肚菌”两种高效栽培模式。

大球盖菇亩产可达 2000 kg，产值 12000 多元，水稻亩产量约 550 kg，产值约 1500 元，合计亩均产值 13500 元左右。大球盖菇生产过程不使用化肥农药，也为水稻秸秆处理提供了新的选择。

生产管理措施到位情况下，羊肚菌出菇稳定且亩均产量可达 150 kg 以上。羊肚菌是一种珍稀名贵食药兼用真菌，经济价值较高，目前市场价格高昂，干货 1600 元 /kg 左右，鲜货 300 元 /kg 左右。

6.2.2 水稻 - 西甜瓜高效轮作 (以西瓜为例)

6.2.2.1 茬口安排

实行“西瓜 - 水稻”轮作栽培模式。选用早熟、高产、优质的抗病西瓜品种，如 8424、苏密、早春红玉等。2 月初于大棚内西瓜播种育苗，3 月初定植于大棚，5 月初开始采收，6 月中旬采收结束。水稻于 5 月中旬育苗，6 月下旬开始定植，收获后土壤深耕冻垡养地。

6.2.2.2 效益分析

大型西瓜亩产 3500 ~ 5000 kg 左右，小型瓜一般 1500 ~ 2500 kg，经济效益较高，且稻瓜轮作对有效防治西瓜枯萎病等土传病害，避免西瓜连作障碍，改变西瓜种植“打一枪换一个地方”的传统做法，提供了较好的解决方案。此模式西瓜茬口也可选中甜瓜、黄瓜等。

6.2.3 水稻 - 茄果类蔬菜高效轮作 (以番茄为例)

6.2.3.1 茬口安排

实行“水稻 - 番茄”轮作栽培模式，选用耐低温、早熟、成熟集中的番茄品种，10 月中下旬播种育苗，11 月下旬至 12 月上旬移栽至

大棚，翌年 5 月上旬收获结束种植水稻，水稻收割后及时耕翻土壤晒垡培肥。

6.2.3.2 效益分析

“茄后稻”产量高，一般要比大面积水稻生产增产 15%~20%，产量亩均 700 kg 以上，且稻米生产过程中几乎无需施用化肥，生长季节与生育进程同步，米质优，亩均产值可达 2200 元以上。“番茄 - 水稻”轮作模式全年亩均产值 1.7 万元以上。

6.2.4 水稻 - 甘蓝类蔬菜高效轮作 (以甘蓝为例)

6.2.4.1 茬口安排

实行“水稻 - 甘蓝”轮作栽培模式。水稻生育期 6 月初至 11 月初，甘蓝穴盘育苗于 11 月中旬移栽，翌年 4~5 月份收获结束。

6.2.4.2 效益分析

该模式优质水稻亩均产量 500 kg 左右，产值以 5000 元/亩计；甘蓝亩均产量 5000 kg，产值以 5000 元/亩计，合计亩均总产值可达 10000 元左右。

当前，稻菜 (菌) 轮作模式在江苏省及周边地区已得到普遍应用，除上述几种生产模式外，还有“水稻 - 草莓”、“水稻 - 葱蒜类蔬菜”、“水稻 - 水生蔬菜”、“水稻-菜-菜”等高效栽培技术模式可供广大农户选择。

6.3 稻菜 (菌) 轮作的优势

一是可提高经济效益。相比传统稻麦两熟种植模式，稻菜 (菌) 轮作具有明显提升亩均经济效益的优势。据徐州铜山区示范结果显示，

以 2~3 茬蔬菜替代小麦，实现每年 3~4 熟的“稻 - 菜 - 菜”多元高效种植模式后，原小麦茬口的亩均产值可由 850 元左右提升至 6000 元以上，产值提升 7 倍左右，同时水稻产量由原来的 540 kg / 亩提高至 625 kg / 亩，产值由 1500 元 / 亩提高至 1750 元 / 亩，均提高 15% 左右，增效明显。

二是可优化农业生态。常年蔬菜种植或稻麦两熟种植田块因肥水管理在肥料种类、施肥方式、水分运筹等方面比较单一，导致土壤可能出现养分组成失衡、微生物区系紊乱、团粒结构破坏、病原及虫口基数变大、植物自毒物质积累等问题，引发如连作障碍、病害加重、产量下降、品质下滑等一系列生产问题，稻菜（菌）轮作既是水旱轮作，也是科间轮作，可有效避免以上问题，也可有效减少化肥农药的用量，对土壤生态恢复休养具有积极作用。

三是可改善作物茬口。稻麦两熟制改成稻菜（菌）轮作制后，因蔬菜（食用菌）种类繁多，选择余地较大，茬口机动性强，可有效缓解传统稻麦两熟茬口矛盾，缓解夏收夏种和秋收秋种期间农民的劳动紧张程度，有利于提高农业科技成果的示范推广成效，有助于打造高质量水稻、蔬菜生产基地和提升农产品质量和安全。

五、与相关法律法规和国家标准的关系

本标准涉及内容未违反任何相关的法律法规及强制性标准，其中的部分内容参考、借鉴、引用了有关国家和行业标准，包括：《农药贮运、销售和使用的防毒规程》（GB 12475）、《有机肥料》（NY/T 525）等，并与《设施土壤石灰氮应用技术规程》（DB32/T 4277-2022）

等地方标准相衔接，同时结合设施蔬菜连作障碍防控的特殊性，进一步细化技术指标和操作规程，具有较强的针对性和可操作性。

六、实施推广建议

1 实施对象

本标准的适用对象为生产技术推广工作者、规模化生产企业、经营主体和种植大户。

2 作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准不涉及有关国家安全、保护人体健康和人身财产安全、环境质量要求等有关强制性地方标准或强制性条文等的八项要求之一，因此建议作为推荐性标准发布实施。

3 推广实施建议

3.1 发挥政府相关单位的行业引导作用，通过江苏省市场监督管理局会同江苏省农业生产主管部门，加大对本标准的宣传、推广力度。

3.2 加强地方产业生产的技术示范效果，通过江苏省农业科学院等科研单位及各级作物产区农技推广单位和行业协会等，举行技术示范和培训观摩活动，强化本标准的技术指导、示范应用和质量论证。

3.3 针对农业技术推广人员、种植大户、新型农业经营主体等不同对象，开展规程解读和技术实操培训，通过现场观摩、田间课堂等形式，提高技术应用到位率。

3.4 利用报刊、广播电视、网络平台等媒体，宣传规程的核心技术和应用成效，扩大规程的知晓度和覆盖面。

七、起草单位、起草人员信息及分工

| 序号 | 姓名 | 单位名称 | 职务/职称 | 分工 | 参与国际、国家、行业和地方标准起草情况 |
|----|-----|--------------------|--------|-----------|---------------------|
| 1 | 印荔 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 高级农艺师 | 起草试验宣贯 | 主持、参与过省市地方标准起草 |
| 2 | 周晗昕 | 江苏省农业技术推广总站 | 农艺师 | 技术试验总结 | 参与过省市地方标准起草 |
| 3 | 王玲玉 | 如东县园艺技术推广站 | 农艺师 | 起草试验宣贯 | 参与过省市地方标准起草 |
| 4 | 马静静 | 张家港市蔬菜技术指导站 | 高级农艺师 | 起草试验宣贯 | 参与过省市地方标准起草 |
| 5 | 陈 和 | 江苏省农业宣传教育与文化体育中心 | 高级农艺师 | 技术宣传 | 参与过省市地方标准起草 |
| 6 | 钱晓晴 | 扬州大学 | 教授 | 技术指标分析 | 参与过省市地方标准起草 |
| 7 | 夏冬健 | 江苏省农业技术推广总站 | 农艺师 | 技术试验总结 | 参与过省市地方标准起草 |
| 8 | 周蕾 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 正高级农艺师 | 组织试验宣贯 | 参与过省市地方标准起草 |
| 9 | 曾晓萍 | 江苏省农业技术推广总站 | 推广研究员 | 技术试验总规划设计 | 主持、参与过多个省地方标准起草工作 |
| 10 | 王娟娟 | 扬州大学 | 教授 | 技术指标分析 | 参与过省市地方标准起草 |
| 11 | 王楠 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 农艺师 | 参与总结起草 | 参与过省市地方标准起草 |
| 12 | 范婷婷 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 农艺师 | 参与总结起草 | 参与过省市地方标准起草 |
| 13 | 刘彦文 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 高级农艺师 | 参与总结起草 | 参与过省市地方标准起草 |
| 14 | 王颖 | 扬州市江都区农业技术综合服务中心 | 农艺师 | 参与总结起草 | 参与过省市地方标准起草 |
| 15 | 季雪松 | 扬州市江都区小纪镇蔬菜园区管理办公室 | 主任 | 试验示范宣贯 | 参与过省市地方标准起草 |
| 16 | 卮小丽 | 扬州市江都区吴桥镇蔬菜园区管理办公室 | 副主任 | 试验示范宣贯 | 参与过省市地方标准起草 |