

刘德才,殷剑美,金 林,等. 轮作蒜(青蒜)对大棚连作芋产量、品质及土壤微生物群落的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(11): 2040-2045.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.11.007

轮作蒜(青蒜)对大棚连作芋产量、品质及土壤微生物群落的影响

刘德才, 殷剑美, 金 林, 王 立, 蒋 璐, 郭文琦, 韩晓勇, 张培通
(江苏省农业科学院经济作物研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为明确轮作蒜(青蒜)对大棚连作芋产量、品质及土壤微生物的影响,本研究通过芋连作、芋-蒜(青蒜)轮作的比较试验,分析了轮作蒜(青蒜)对大棚连作芋产量、品质及土壤细菌和真菌丰富度、多样性和属水平上群落结构的影响。结果表明,与芋连作相比,蒜(青蒜)轮作后芋产量、总淀粉含量和总多糖含量均有显著提高;土壤有机质含量、有效铁含量显著增加,交换性钙含量无显著差异;被孢霉菌属(*Mortierella*)有益真菌的相对丰度显著增加,镰刀菌属(*Fusarium*)、枝孢属(*Cladosporium*)、新丛赤壳属(*Neonectria*)、链格孢属(*Alternaria*)和曲霉属(*Aspergillus*)等有害真菌的相对丰度显著降低。因此,蒜(青蒜)-芋轮作不但可以提高后茬芋的产量和品质,而且可以改善土壤理化性质和微生物群落结构,有利于缓解大棚芋的连作障碍。

关键词: 大棚种植; 蒜(青蒜)-芋轮作; 连作障碍

中图分类号: S632.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2024)11-2040-06

Effects of garlic (garlic sprouts) rotation on taro yield, quality and soil microbial community in plastic tunnel

LIU Decai, YIN Jianmei, JIN Lin, WANG Li, JIANG Lu, GUO Wenqi, HAN Xiaoyong, ZHANG Peitong
(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to clarify the effects of garlic rotation on the yield, quality and soil microorganisms of continuous cropping taro in greenhouse, a contrast test between taro continuous cropping and taro-green garlic rotation was conducted to analyze the effects of garlic rotation on the yield and quality of continuous cropping taro in greenhouse and the richness, diversity and community structure of soil bacteria and fungi at the genus level in this study. The results showed that compared with taro continuous cropping, the yield, total starch content and total polysaccharide content of taro under garlic rotation were significantly increased. The content of soil organic matter and available iron increased significantly, but there was no significant difference in exchangeable calcium content. The relative abundance of beneficial fungi in *Mortierella* increased significantly, while the relative abundance of harmful fungi such as *Fusarium*, *Cladosporium*, *Neonectria*, *Alternaria* and *Aspergillus* decreased significantly. Therefore, the rotation of green garlic-taro can not only improve the yield and quality of

subsequent taro, but also improve the soil physical and chemical properties and microbial community structure, which is conducive to alleviating the continuous cropping obstacles of greenhouse taro.

Key words: planting in greenhouse; garlic (garlic sprouts)-taro rotation; continuous cropping obstacles

收稿日期: 2024-04-18

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目(BK20201238); 江苏省科技项目现代农业重点及面上项目(BE2020337)

作者简介: 刘德才(1991-), 男, 河北沧州人, 博士, 助理研究员, 主要从事药食同源作物栽培研究。(E-mail) 1183580851@qq.com。殷剑美为共同第一作者。

通讯作者: 张培通, (E-mail) 1196764929@qq.com

芋头是天南星科多年生草本植物芋[*Colocasia*

esculenta (L.) Schott] 的地下球茎,具有洁齿防龋、节食减肥、润肠通便等功效,深受消费者欢迎。为更好地调控芋头的上市期,满足消费者不同时间对新鲜优质芋头的需求,目前大棚种植芋头在生产中得到越来越多的应用^[1]。生产中部分种植户为追求芋头的高产出和高收益,常采用连作的方式进行芋头的生产。因此,大棚芋连作障碍已成为制约大棚芋健康生产的主要限制因子。

合理轮作是预防和缓解连作障碍的有效方法之一^[2-4]。由于不同作物根系分泌物差异、根际微生物种群差异、根系土层深度差异和养分需求差异等,因此,作物轮作可以较好地平衡土壤养分,改善土壤微生态环境,缓解连作障碍给作物产量及品质带来的负面影响。葱蒜类蔬菜是公认的良好前茬作物^[5-6]。刘海娇等^[7]研究认为葱与三七轮作可以改善土壤微生物群落,缓解三七的连作障碍。徐新雯等^[8]与陈玉蓝等^[9]研究发现,烟蒜轮作可以优化土壤细菌和真菌群落结构,降低土传病害的发生。目前,芋与蒜(青蒜)轮作对芋头产量、品质及土壤性质、微生物群落结构方面影响的研究还鲜有报道。为此,本研究通过芋连作和芋-蒜(青蒜)轮作比较试验,分析不同种植方式对后茬芋产量、品质及土壤微生物组成与种群结构的影响,以明确芋-蒜(青蒜)轮作对缓解大棚芋连作障碍的效果,为大棚芋优质高效栽培提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料及方法

试验于2021年2月至2022年9月在江苏省太仓市城厢镇电站村生态园的塑料大棚中进行。大棚宽6 m、长50 m,2020年大棚内种植的前茬作物是辣椒,大棚内土壤条件一致性较好。纵向将大棚等分为芋连作区和芋-蒜(青蒜)轮作区。2021年2月至9月,大棚内全部种植芋,供试芋品种为太仓新毛芋。大棚芋采用行向种植,行距90 cm,株距25 cm,每区各种植3行。基肥使用专用复合肥(总养分含量 $\geq 25\%$)6 000 kg/hm²,芋膨大期追施专用复合肥3 000 kg/hm²及氨基酸冲施肥(氨基酸含量15%)150 kg/hm²。

2021年芋收获后,芋连作区作为空茬对照(CK),芋-蒜(青蒜)轮作区种植蒜(青蒜)。蒜(青蒜)品种为二水早,紫皮早熟蒜品种。2021年9月

底种植,行距20 cm,株距5 cm。播种后覆盖地膜保温保湿,出苗后及时破膜放苗。12月初,大棚覆膜保温。种植前施饼肥7 500 kg/hm²及三元复合肥(N含量、P₂O₅含量、K₂O含量均为15%)1 500 kg/hm²为基肥,大棚覆膜前追施尿素300 kg/hm²。2022年1月下旬收获。

2022年2月至9月分别在芋连作区和芋-蒜(青蒜)轮作区种植后茬芋,栽培措施与2021年一致。每个区设3个重复,每个重复40 m²。

1.2 数据测定

1.2.1 芋头产量及品质测定 2022年9月23日,每处理随机选择3个取样代表性点,每个取样代表性点选取长势一致连续植株5株测定单株子孙芋头数、子孙芋头鲜重,计算各处理的理论产量。参照文献[10]、[11]的方法测定芋头的总淀粉含量、总多糖含量和粗蛋白含量等品质指标。

1.2.2 土样采集与分析 在轮作蒜(青蒜)收获后(2022年1月)及后茬芋收获后(2022年9月)分别采集空茬对照和蒜(青蒜)轮作地块的土样,每个处理3个重复。根据文献[12]的方法测定不同处理下的土壤有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量、有效铁含量和交换性钙含量。土壤微生物高通量测序的方法如下:利用土壤微生物DNA提取试剂盒47014 DNeasy PowerSoil Pro Kit(德国QIAGEN公司产品)提取土壤微生物DNA,委托北京百迈客生物科技有限公司进行细菌和真菌的高通量测序。利用正向引物F(5'-ACTCCTACGGGAG-GCAGCA-3')及反向引物R(5'-GGACTACH-VGGGTWCTAAT-3')对细菌总DNA中16S rRNA V3~V4区进行PCR扩增。利用正向引物F(5'-CT-TGCTCATTTAGAGGAAGTAA-3')和反向引物R(5'-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3')对真菌DNA进行扩增。基于Illumina NovaSeq测序平台,利用双末端测序(Paired-End)法,构建小片段文库并进行测序。利用Trimmomatic软件对原始测序数据进行质量控制,然后利用Cutadapt软件进行引物序列的识别与去除,再利用Usearch软件对双端reads进行拼接并去除嵌合体,最终得到高质量序列。基于97%的序列相似性对高质量序列进行聚类划分操作分类单元(OTU)。基于SILVA细菌数据库,使用朴素贝叶斯分类器对细菌16S rRNA V3~V4区特征序列进行分类学注释;基于UNITE真菌数据库,使用朴素贝叶

斯分类器对真菌内转录间隔区(ITS)特征序列进行分类学注释。利用 QIIME2 软件计算土壤细菌与真菌群落结构的丰富度(ACE 指数和 Chao1 指数)和多样性(Shannon 指数);使用 STAMP 软件分析属水平上真菌群落的差异。

1.3 数据分析与处理

采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据整理与图表制作,利用单因素方差分析(ANOVA)进行处理间差异显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 轮作处理对芋头产量和品质的影响

2021 年连作区和轮作区的前茬芋理论产量分别为 $(25\,042.5\pm 683.2)\text{ kg/hm}^2$ 和 $(25\,516.5\pm 352.3)\text{ kg/hm}^2$,两者无显著差异,说明 2 个地块的地力水平

一致。轮作蒜(青蒜)后,2022 年大棚芋的单株子孙芋头数、单株子孙芋头鲜重及理论产量分别比空茬对照增加 81.40%、141.32%、128.04%,差异显著。此外,轮作蒜(青蒜)后 2022 年后茬芋的总淀粉含量和总多糖含量分别比空茬对照提高 11.33%和 38.40%,粗蛋白含量下降 32.51%,而折干率无显著差异(表 1)。

2.2 轮作对大棚土壤理化性质的影响

秋冬季茬口轮作蒜(青蒜)对大棚芋连作土壤的理化性状也产生了一定影响(表 2)。轮作蒜(青蒜)土壤中有机质含量和有效铁含量分别比空茬对照显著增加 40.38%和 51.53%,交换性钙含量无显著差异。同时,轮作蒜(青蒜)地块的速效氮含量和速效钾含量分别比空茬地块显著增加 26.82%和 14.61%,而速效磷含量差异不显著。

表 1 产量及营养品质比较

Table 1 Yield and nutritional quality comparison

处理	单株子孙芋头数(个)	单株子孙芋头鲜重(g)	子孙芋头理论产量(kg/hm ²)	折干率(%)	总淀粉含量(mg/g)	总多糖含量(mg/g)	粗蛋白含量(mg/g)
CK-h	8.6b	410.2±34.3b	14 767.5±361.4b	15.0a	445.99b	197.74b	159.81a
QS-h	15.6a	989.9±37.3a	33 676.5±876.2a	17.0a	496.52a	273.67a	107.85b

CK-h;秋冬季空茬的后茬种植芋处理;QS-h;秋冬季蒜(青蒜)轮作后种植芋处理。不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

表 2 轮作蒜(青蒜)对土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of rotating cropping of garlic (garlic sprouts) on soil physicochemical properties

处理	有机质含量(g/kg)	速效氮含量(mg/kg)	速效磷含量(mg/kg)	速效钾含量(mg/kg)	有效铁含量(mg/kg)	交换性钙含量(g/kg)
CK-h	16.42b	123.84b	184.13a	65.52b	95.34b	11.51a
QS-h	23.05a	157.06a	209.22a	75.09a	144.47a	10.09a

CK-h、QS-h 见表 1 注。不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.3 大棚芋-蒜(青蒜)轮作对土壤微生物 OTU 的影响

秋冬季轮作蒜(青蒜)后,后茬芋收获后土壤中细菌和真菌群落物种的丰富度和群落结构的多样性如表 3 所示。从表中可以看出,轮作蒜(青蒜)处理后,后茬芋收获后土壤中细菌 ACE 指数和 Chao1 指

数均低于空茬对照,而 2 个处理的 Shannon 指数无显著差异。轮作蒜(青蒜)处理土壤中真菌 ACE 指数、Chao1 指数和 Shannon 指数均显著低于空茬对照。说明轮作处理后,土壤微生物群落的丰富度和多样性在下降。

表 3 轮作蒜(青蒜)对土壤中细菌和真菌多样性指数的影响

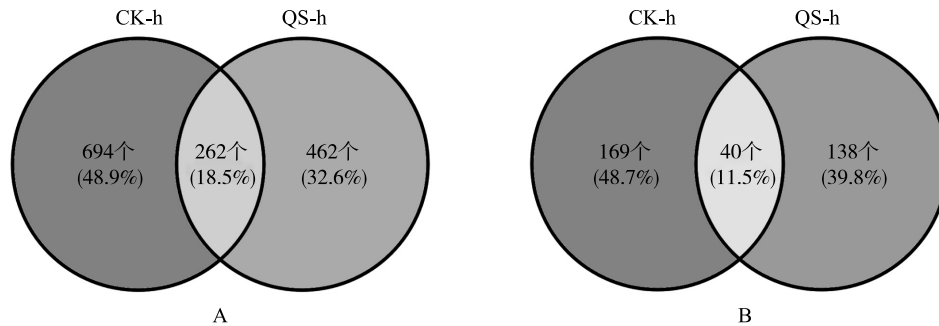
Table 3 Effects of rotating cropping of garlic (garlic sprouts) on diversity index of bacteria and fungi in soil

处理	细菌			真菌		
	ACE 指数	Chao1 指数	Shannon 指数	ACE 指数	Chao1 指数	Shannon 指数
CK-h	956.00a	956.00a	9.37a	209.00a	209.00a	6.47a
QS-h	724.16b	724.00b	8.82a	178.00b	178.00b	5.56b

CK-h、QS-h 见表 1 注。不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

不同处理后茬芋收获后土壤中细菌和真菌群落的物种维恩图如图 1 所示。从图中可以看出,空茬对照和蒜(青蒜)轮作 2 个处理土壤共有的细菌 OTU 数量为 262 个,而空茬对照土壤独有的细菌 OTU 数量为 694 个,高于蒜(青蒜)轮作处理的 462

个(图 1A)。空茬对照和蒜(青蒜)轮作 2 个处理土壤共有的真菌 OTU 数量占比为 11.5%,而空茬对照土壤独有的真菌 OTU 数量为 169 个,仍然高于蒜(青蒜)轮作处理的 138 个(图 1B)。



A:细菌;B:真菌。CK-h、QS-h 见表 1 注。

图 1 芋连作和轮作蒜(青蒜)土壤细菌和真菌群落维恩图

Fig.1 Venn diagram of soil bacteria and fungi in taro continuous cropping treatment and garlic (garlic sprouts) rotation treatment

2.4 土壤细菌在属分类水平上的差异分析

依据分类学注释,土壤中细菌群落在属分类水平上主要检测到 unclassified_Vicinamibacterales(未分类 Vicinamibacterales)、Sphingomonas(鞘氨醇单胞菌属)、unclassified_Gemmatimonadaceae(未分类 Gemmatimonadaceae)、unclassified_Bacteria(未分类 Bacteria)、unclassified_Vicinamibacteraceae(未分类 Vicinamibacteraceae)、unclassified_SC_I_84(未分类 SC_I_84)、Lysobacter(溶杆菌属)、Nitrospira(硝化螺菌属)、MND1 与 Dongia 等。蒜(青蒜)轮作后土壤中鞘氨醇单胞菌属(Sphingomonas)的细菌相对丰度比空茬对照显著增加 2.04 个百分点,其他属细菌的相对丰度无显著变化(图 2A)。蒜(青蒜)轮作后茬芋种植后土壤中 unclassified_Bacteria、unclassified_Vicinamibacteraceae 和 unclassified_Vicinamibacterales 等属的细菌相对丰度分别比与空茬对照后茬芋种植后的土壤显著降低 4.60 个百分点、3.73 个百分点和 2.52 个百分点,而 unclassified_Gemmatimonadaceae、Dongia、unclassified_SC_I_84 和 Sphingomonas 等属的细菌相对丰度分别显著增加 3.28 个百分点、2.38 个百分点、2.24 个百分点和 1.60 个百分点(图 2B)。

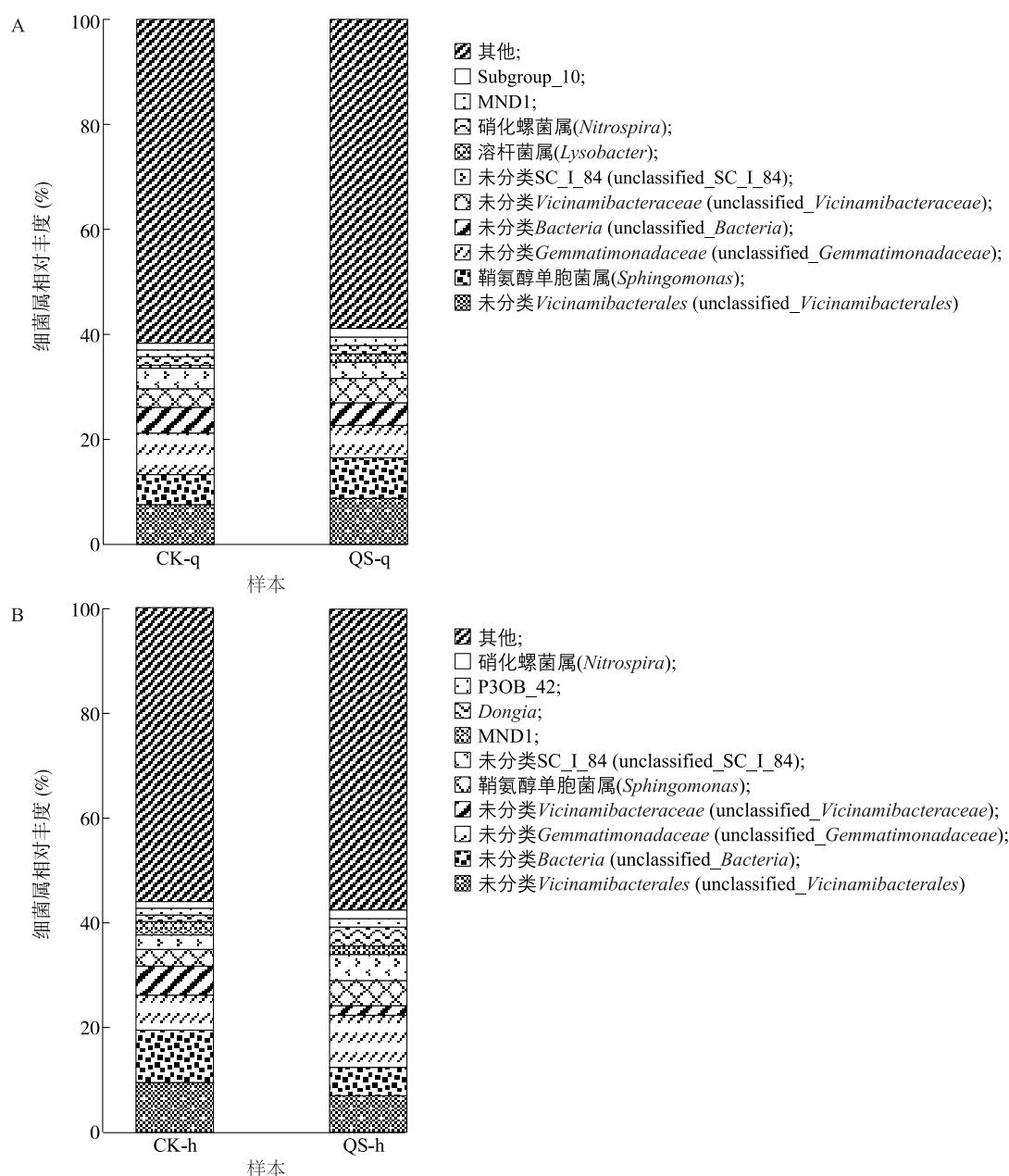
2.5 土壤真菌基于属分类水平上的差异分析

蒜(青蒜)轮作后,土壤中被孢霉菌属(Mortierella)有益真菌的相对丰度比空茬对照增加 12.05 个百分点,而新丛赤壳属(Neonectria)、镰刀菌属(Fusarium)、链格孢

属(Alternaria)和枝孢属(Cladosporium)有害真菌的相对丰度分别显著降低 18.56 个百分点、1.72 个百分点、0.21 个百分点和 0.13 个百分点(图 3A)。蒜(青蒜)轮作后茬芋收获后,土壤中被孢霉菌属(Mortierella)有益真菌的相对丰度比空茬对照后茬芋收获后增加 11.88 个百分点,而枝孢属(Cladosporium)、镰刀菌属(Fusarium)、曲霉属(Aspergillus)和链格孢属(Alternaria)有害真菌的相对丰度分别显著降低 4.53 个百分点、3.17 个百分点、1.46 个百分点和 0.23 个百分点(图 3B)。

3 讨论

前人研究结果表明,连作会造成芋头产量的大幅下降^[13],芋头中粗脂肪含量、维生素 C 含量、淀粉含量、铁含量和锌含量的降低,口感变差^[14]。本研究分析了蒜(青蒜)-芋轮作对大棚芋连作障碍的影响,结果发现蒜(青蒜)-芋轮作能提高后茬芋的产量及总淀粉含量和总多糖含量。此外,轮作蒜(青蒜)还能提高土壤有机质含量和有效铁含量,这不但有助于芋头对营养元素的吸收,还能促进芋头的生长发育^[15]。Lithourgidis 等^[16]研究发现,芋连作后土壤会出现磷含量过剩、钾含量不足的状况,而本研究结果表明,蒜(青蒜)-芋轮作后,土壤速效钾含量显著增加,而速效磷含量与空茬对照相比无显著差异,即轮作能在一定程度上解决土壤的营养平衡问题,缓解大棚芋的连作障碍,促进大棚芋生产。



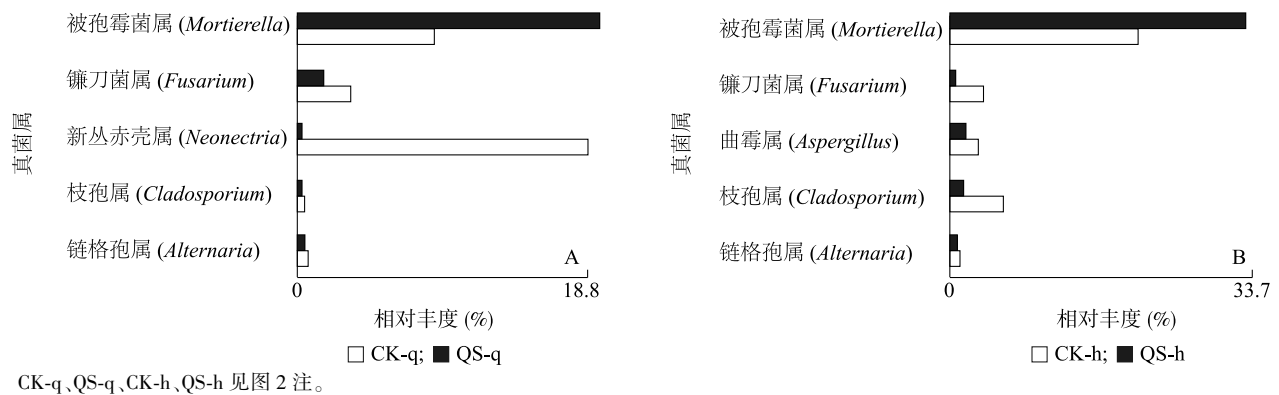
CK-q: 空茬对照后土样; QS-q: 蒜(青蒜)轮作后土样; CK-h: 空茬对照后茬芋收获后土样; QS-h: 蒜(青蒜)轮作后茬芋收获后土样。

图2 芋连作和轮作蒜(青蒜)土壤中细菌属水平上的群落结构

Fig.2 Community structure of soil bacteria at genus level in taro continuous cropping treatment and garlic (garlic sprouts) rotation treatment

土壤中真菌群落的构成对作物的病害发生有重要影响。*Fusarium* 属真菌能够引起芋茎腐病的发生,芋茎腐病严重地块芋头产量减产高达 70%^[17]; *Alternaria* 属真菌能够引起作物叶片的斑枯病和萎蔫病; *Neonectria* 属真菌是引起作物局部组织溃烂、坏死以及木栓层增生的病原菌; *Cladosporium* 和 *Aspergillus* 属真菌也会引起作物的腐烂、发霉和萎蔫等。本研究结果表明,轮作蒜(青蒜)后土壤中有益真菌的相对丰度提高,而

Fusarium、*Alternaria*、*Neonectria*、*Cladosporium* 和 *Aspergillus* 等属有害真菌的相对丰度下降,说明轮作能改善土壤真菌群落结构,降低真菌病害风险,这与张慧等^[18]的研究结果一致。李春宏等^[19]的研究发现,芋头根际土壤中的亡革菌属、镰刀菌属、周刺座霉属和小画线壳属是连作障碍的主要有害真菌。这与本研究中相对丰度显著下降的真菌类型有一些差异。但有害菌相对丰度的降低和有益菌相对丰度的增加对芋连作障碍的缓



CK-q、QS-q、CK-h、QS-h 见图 2 注。

图3 芋连作和轮作蒜(青蒜)处理下土壤真菌在属水平上的差异

Fig.3 Differences of fungi at genus level in soil under taro continuous cropping treatment and garlic (garlic sprouts) rotation treatment

解能起到一定的正向效果。

秋冬季轮作种植对土壤微生物的数量及种类造成影响的主要原因,一方面是由于秋冬季作物的根际效应,另一方面是由于秋冬季作物在土壤中遗留的残体物质。选择合适的轮作作物对土壤微生物群落的组成与结构有较大影响。本研究初步讨论了蒜(青蒜)-芋轮作对大棚土壤微生物结构的影响,但其具体的影响机制还有待进一步深入分析。

4 结论

大棚秋冬季茬口轮作蒜(青蒜)能够增加后茬芋的产量、总淀粉含量和总多糖含量,提高土壤有机质含量、有效铁含量、速效氮含量和速效钾含量,提升被孢霉属(*Mortierella*)有益真菌的相对丰度,降低新丛赤壳属(*Neonectria*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、链格孢属(*Alternaria*)和枝孢属(*Cladosporium*)有害真菌的相对丰度。因此,蒜(青蒜)与芋轮作具有缓解大棚芋连作障碍的潜力。

参考文献:

- [1] 殷剑美,陈红燕,黄春燕,等. 不同覆盖方式对大棚芋头产量、品质及效益的影响[J]. 江西农业学报,2022,34(9):42-47.
- [2] 金莉. 不同蔬菜轮作对温室番茄连作基质微生物多样性及番茄生长的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
- [3] WANG F Y, ZHANG X M, WEI M T, et al. Appropriate crop rotation alleviates continuous cropping barriers by changing rhizosphere microorganisms in *Panax notoginseng* [J]. Rhizosphere, 2022, 23:100568.
- [4] 王飞扬. 不同前茬作物对三七连作障碍的缓解作用[D]. 杭州:浙江理工大学,2022.
- [5] 徐少卓,刘宇松,夏明星,等. 棉隆熏蒸加短期轮作葱显著减轻苹果连作障碍[J]. 园艺学报,2018,45(1):11-20.

- [6] 苟宁捷,李冰,王昌全,等. 不同种植年限对稻-蒜轮作土壤团聚体水稳定性及其养分的影响[J]. 中国土壤与肥料,2022(7):178-189.
- [7] 刘海娇,左登鸿,徐杰,等. 葱轮作改善土壤微生物群落缓解三七连作障碍的潜力分析[J]. 中国生物防治学报,2022,38(6):1473-1483.
- [8] 徐新雯,林正全,拓阳阳,等. 烟蒜轮作对烟株根际土壤细菌群落结构的影响[J]. 西南农业学报,2020,33(9):1917-1924,2137.
- [9] 陈玉蓝,林正全,拓阳阳,等. 烟蒜轮作对易感病烟田土壤真菌群落结构的影响[J]. 西南农业学报,2022,35(4):972-980.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定:GB5009.9-2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.
- [11] 王晶,王春国,李冰,等. 苯酚-硫酸法测定慈姑中多糖的含量[J]. 吉林中医药,2017,37(12):1258-1260.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 韩利,侯笛鸣,孙剑霞,等. 香沙芋连作障碍绿色施肥调控及高产栽培技术[J]. 现代园艺,2018(3):64-65.
- [14] 邵雪玲,吴良欢,林钊沐,等. 芋残体降解物对芋生长、产量和品质的影响[J]. 浙江农业学报,2008,20(6):480-483.
- [15] 殷剑美,张培通,王立,等. 芋头植株养分含量和积累动态分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):200-204.
- [16] LITHOURGIDIS A S, DAMALAS C A, GAGIANAS A A. Long-term yield patterns for continuous winter wheat cropping in northern Greece[J]. European Journal of Agronomy,2006,25(3):208-214.
- [17] WIDODO W, SUPRAMANA S. *Fusarium* species associated with corm rot of taro in Bogor[J]. Microbiology Indonesia,2011,5(2):132-138.
- [18] 张慧,马连杰,杭晓宁,等. 不同轮作模式下稻田土壤细菌和真菌多样性变化[J]. 江苏农业学报,2018,34(4):804-810.
- [19] 李春宏,殷剑美,王立,等. 连作对芋头根际土壤理化性状和微生物特性的影响[J]. 江苏农业学报,2019,35(4):825-833.

(责任编辑:石春林)