

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.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.011

## 连作对芋头根际土壤理化性状和微生物特性的影响

李春宏, 殷剑美, 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:** 为探索芋头连作对土壤理化性状和微生物性状的影响, 对芋头头茬和连作 2 年的根际土壤理化性状进行测定, 用荧光定量 PCR 技术与 Illumina 高通量测序检测细菌和真菌数量、群落结构。连作芋头根际土壤有机质、碱解氮、速效磷、钙、镁、铁含量较头茬下降显著, 而速效钾、锌含量显著增加。连作细菌与真菌的基因拷贝数显著高于头茬。连作芋头根际土壤细菌群落多样性指数、相对丰度较头茬差异较小, 但连作芋头根际土壤真菌群落多样性指数显著高于头茬, 且门、属的丰度与头茬有较大的差异, 其中连作镰刀菌属、亡革菌属、周刺座霉属、小画线壳属的丰度较头茬大幅增加。连作改变了根际土壤营养元素含量, 造成根际土壤细菌与真菌数量显著高于头茬, 引起了土壤致病真菌丰度大幅增加。

**关键词:** 芋头; 连作; 根际; 土壤理化性状; 土壤微生物

**中图分类号:** S632.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0825-09

## Effects of continuous cropping on soil physicochemical and microbial properties of taro

LI Chun-hong, YIN Jian-mei, WANG Li, JIANG Lu, GUO Wen-qi, HAN Xiao-yong, ZHANG Pei-tong  
(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** To explore effects of continuous cropping of taro on soil physicochemical and microbial properties, the physicochemical properties of rhizosphere soil were investigated on 2-year continuous-cropping and new cropping of taro, and the number and community structure of bacteria and fungi were revealed by real-time PCR and Illumina Miseq sequencing platform. The contents of organic matter, alkali-hydrolyzable N, available P, Ca, Mg, Fe in the rhizosphere soils for continuous-cropping were significantly lower than those for new cropping, while the contents of available K, Zn were significantly higher than those for new cropping. The number of gene copies of bacteria and fungi in rhizosphere soil of continuous cropping was significantly higher than that of new cropping. The bacterial community diversity index and relative abundance in the rhizosphere soils for continuous-cropping were not significantly different from those for new cropping, but the diversity index of fungal community for continuous-cropping was significantly higher than that for new cropping. Furthermore, the abundance of phylum and genus level for continuous-cropping differed greatly from that for new cropping, the abundance of *Fusarium*, *Thanatephorus*, *Volutella* and *Monographella* for continuous-cropping was significantly higher than that for new cropping. Continuous-cropping seriously changed the balance of nutrient contents in rhizosphere soil, resulted in more number of bacteria and fungi, and led to more abundance of soil pathogenic fungi.

**Key words:** taro; continuous cropping; rhizosphere; soil physicochemical properties; soil microbe

收稿日期: 2018-11-28

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[ CX(2017)3045 ]

作者简介: 李春宏(1972-), 男, 江苏射阳人, 博士, 副研究员, 主要从事芋头栽培技术研究。(Tel) 025-84390373; (E-mail)

2350772535@qq.com

通讯作者: 张培通, (E-mail) 1196764929@qq.com

芋头[ *Colocasia esculenta* (L.) Schott ] 是天南星科多年生草本植物, 多作为一年收获的粮菜兼用作

物。因芋头营养丰富、药用价值高,近年来需求量逐年增加,规模化和设施化栽培面积逐年增加<sup>[1]</sup>。但芋头不耐连作,连作障碍正成为限制其可持续发展的主要瓶颈。因此研究揭示连作对土壤环境的影响,为有效消减芋头连作障碍具有重要指导意义。已有研究表明,土壤理化性质变差,作物营养元素亏缺、比例失衡,根际微生物种群结构异化,土传病害加剧是连作障碍主要原因<sup>[2]</sup>。然而每种作物的连作障碍发生具有特殊性。随着连作年限的增加,怀牛膝<sup>[3]</sup>、番茄<sup>[4]</sup>连作的土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量等呈增加趋势,而大豆<sup>[5]</sup>、三七<sup>[6]</sup>等连作的土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量呈减少趋势;番茄<sup>[4]</sup>、草莓<sup>[7]</sup>连作的土壤细菌与真菌的数量呈增加趋势,而花生连作土壤的真菌大量增加,细菌和放线菌则大量减少<sup>[8]</sup>。

前人在研究芋头连作时发现,连作导致球茎中淀粉、粗脂肪、维生素 C、铁、锌等含量降低,口感差,产量大幅下降<sup>[9-10]</sup>,芋头连作土壤的过氧化氢酶与脲酶活性明显低于套作<sup>[11]</sup>。但目前缺乏对芋头连作障碍机理的深入探究,尤其是连作对土壤理化性质、微生物群落变化等方面的研究尚未见报道。本研究以芋头头茬种植和连作 2 年的根际土壤为研究对象,测定土壤理化性状和微生物的种群结构变化特征,探索芋头连作障碍产生机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地和取样

试验地位于江苏省农业科学院六合基地(东经 118.63°,北纬 32.48°),属于亚热带季风气候。年平均气温 15.3℃,平均降水量 1 073.8 mm,无霜期 225 d,年均日照总时数 1 956.2 h。

芋头品种选用苏芋 1 号。试验设置芋头头茬(前茬空闲地)种植、芋头连作 2 年(前茬芋头)2 个处理,试验地田块相邻,土壤状况和田间管理方式相同。芋头种植采用宽窄行种植方式:宽行行距 80 cm,窄行行距 40 cm,株距均为 33 cm,小区面积 60 m<sup>2</sup>,每小区种植 6 行,每个处理 3 次重复。基肥为 45% 高效复合肥 1 125 kg/hm<sup>2</sup>,播种期为 4 月 13 日。7 月 23 日膨大初期分别施硫酸钾 225 kg/hm<sup>2</sup> 和 45% 高效复合肥 750 kg/hm<sup>2</sup>。

芋头膨大盛期(8 月 23 日)取根际土壤<sup>[12]</sup>进行土壤特性测定。成熟期(10 月 31 日)测定单株结芋

数、母子芋质量、子芋产量、芋头畸形和病斑率。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤理化性状测定 重铬酸钾氧化还原滴定法测定有机质含量,碱解扩散法测定碱解氮含量,NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量,HF-HClO<sub>4</sub> 消煮-火焰光度计法测定速效钾含量,EDTA-铵盐交换法测定土壤交换钙含量,乙酸铵交换-原子吸收分光光度计法测定交换镁含量,DTPA 浸提-原子吸收分光光度法测定有效铁、锌、锰、铜含量<sup>[13]</sup>。

1.2.2 细菌和真菌数量检测与高通量测序 用 MoBio 强力土壤微生物 DNA 提取试剂盒(Power Soil TM DNA Isolation Kit, MoBio, USA)提取土壤 DNA, -20℃ 保存。土壤 DNA 送上海美吉生物有限公司进行细菌、真菌核糖体编码基因相应区段的扩增与测序。

荧光定量 PCR 法检测根际土壤细菌和真菌数量。将提取的 DNA 作为模板,用 16S rRNA-F/R 引物扩增细菌 16S rRNA 基因,用 ITS1/ITS2 引物扩增 ITS,引物序列见表 1。PCR 扩增体系(20 μl)参照前人方法<sup>[14]</sup>。将 PCR 扩增获得目的片段进行 TA 克隆。提取质粒后通过预试验分别选取 16S 和 ITS 标准品的 1×10<sup>-2</sup>~1×10<sup>-7</sup> 稀释液用于制备标准曲线。采用 SYBR Green 定量 PCR 法测定细菌 16S rRNA 基因丰度,反应在 ABI 7500 荧光定量 PCR 仪上进行,利用 7500 system SDS software 软件构建标准曲线及对荧光定量数据进行分析<sup>[15]</sup>。

表 1 用于细菌和真菌定量测定和多样性分析的引物

Table 1 Primers for quantitative determination and diversity analysis of bacteria and fungi

种类	引物	序列(5'→3')
细菌 16S	338F	ACTCTACGGGAGGCGAGCA
	806R	GGACTACHVGGGTWTCTAAT
真菌 ITS	ITS1-F	CTTGGTCATTAGAGGAAGTAA
	ITS2-R	GCTGCGTTCTTCATCGATGC

高通量测序分析连作根际土壤细菌和真菌群落结构。用表 1 中的引物分别扩增细菌 16S rRNA 基因与真菌 ITS 基因,扩增体系和程序同上。为区分样品,每个样品的上游引物 5'端添加 8 个特异性核苷酸(Bar code)。PCR 产物回收后调整各处理样品 DNA 浓度一致,利用 Illumina MiSeq 测序平台进行双末端(Paired-end)测序<sup>[16]</sup>。

用 FLASH 及 Trimmomatic 软件对高通量测序初始数据进行杂质 reads 的去除及双端序列拼接。去除 bar code,对有效序列去杂得到优化序列,并进行数据统计<sup>[5]</sup>。将多条基因信息序列进行聚类,将相似性>97%的序列认同为一个操作单元 (OTU),用 Chao1、香浓 (Shannon) 指数反映群落丰富度、多样性,用 coverage 指数反映各样品文库的覆盖率。得到 OTU 代表序列后,通过软件 RDP classifier (V2.2) 与 UNITE、Greengene 数据库进行比对<sup>[17-18]</sup>,进行物种门、属的注释,比对阈值设置为 70%<sup>[19-20]</sup>,统计每个处理在各分类水平上的构成,以热图 (Heatmap) 显示在属水平上相对丰度排名前 20 的物种。

1.3 数据分析

采用 SPSS17.0 软件进行数据统计分析,进行 *t* 测验和 Duncan’s 多重比较分析。

2 结果

2.1 连作对芋头产量构成因子的影响

连作 2 年的单株结芋数、单株芋鲜质量、芋头鲜

质量较头茬下降明显,而芋头畸形与病害率增加了 6.6 倍 (表 2)。

表 2 连作对芋头产量性状的影响

Table 2 Effect of continuous cropping on taro yield traits

处理	单株结芋数	单株芋鲜质量 (g)	芋头鲜质量 (t/hm <sup>2</sup> )	芋头畸形与病害率 (%)
头茬	11.6±0.4a	423.4±22.4a	19.0±0.7a	4.5±0.2b
连作 2 年	10.1±0.3b	332.3±15.3b	13.5±0.5b	29.7±1.3a

数据为平均值±标准差 (n=3)。不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05)。

2.2 连作对芋头根际土壤理化性质的影响

芋头连作对土壤理化性状产生明显的影响 (表 3)。连作 2 年土壤有机质、碱解氮、有效磷含量分别比头茬土壤分别下降 22.8%、26.7%、22.9%,下降显著,锰、铝、铜、硼含量也有所小幅下降,但变化不显著;土壤有效钾和锌含量较头茬土壤分别增加 48.3%、10.4%。连作 2 年土壤钙、镁、铁含量比头茬土壤分别下降 23.4%、11.6%、79.1%;锌含量比头茬土壤上升 10.4%。

表 3 连作对芋头土壤理化性质的影响

Table 3 Effects of continuous cropping on the physical-chemical properties of taro soil

处理	有机质含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	钙含量 (mg/g)	镁含量 (mg/g)	铁含量 (mg/kg)	锰含量 (mg/kg)	铜含量 (mg/kg)	锌含量 (mg/kg)	铝含量 (mg/kg)	硼 (mg/kg)
头茬	32.0±1.2a	85.7±4.3a	354.3±12.4b	151.4±5.3a	3.07±0.1a	3.04±0.2a	8.75±0.3	43.32±2.4a	0.34±0a	6.33±0.4a	246.1±15.3a	0.27±0a
连作 2 年	24.7±1.3b	62.8±2.9b	525.4±17.3a	116.8±3.5b	2.35±0.1b	2.69±0.1b	1.83±0.1b	41.1±2.3a	0.33±0a	6.99±0.3a	232.2±13.2a	0.28±0a

数据为平均值±标准差 (n=3)。不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05)。

2.3 连作对芋头根际土壤微生物数量的影响

芋头头茬、连作 2 年的根际土壤细菌的基因拷贝数分别为每 1 g 土壤 1.60×10<sup>8</sup>、6.01×10<sup>8</sup>,连作 2 年根际土壤细菌数显著高于头茬;头茬、连作 2 年的

根际土壤真菌基因拷贝数分别为每 1 g 土壤 2.38×10<sup>7</sup>、4.25×10<sup>7</sup>,连作 2 年芋头根际土壤真菌基因拷贝数也显著高于头茬种植 (图 1)。

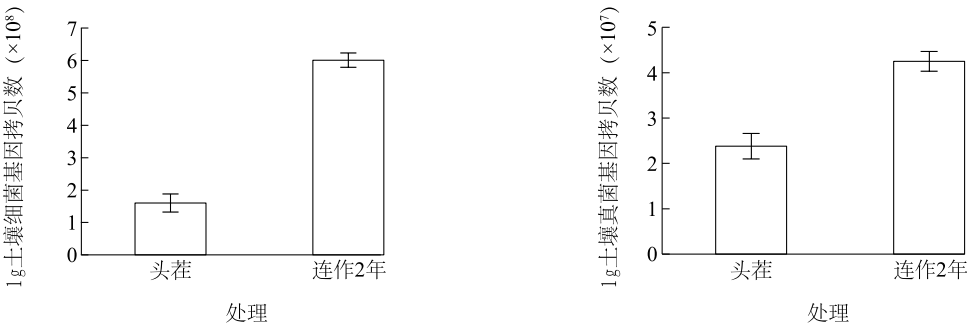


图 1 连作 2 年、头茬芋头根际土壤细菌 16S rRNA 与真菌 ITS rRNA 基因拷贝数

Fig.1 Abundance of bacterial 16S rRNA and fungal ITS rRNA gene copies in taro rhizosphere soils for continuous-cropping two years and new cropping

## 2.4 连作对芋头根际土壤微生物种群的影响

2.4.1 连作对芋头根际土壤微生物群落多样性的影响 16S rDNA 和 18S rDNA 高通量测序结果(表 4)显示,测序覆盖率大于 98%,基本覆盖样品中的所有物种。连作 2 年、头茬芋头根际土壤细菌的多样性香农指数分别为 6.61、6.27,丰度 Chao1 指数分别为 2013、1844。连作提高了芋头根际土壤细菌群落多样性与丰富度,但差异不显著。而连作 2 年、头茬真菌香农指数分别为 3.73、3.41,Chao1 指数分别为 668.8、602.0。连作显著提高了芋头根际土壤真菌群落多样性与丰富度。

表 4 芋头连作对根际土壤细菌和真菌多样性指数的影响

Table 4 Effects of continuous cropping on bacterial and fungal diversity index in taro rhizosphere soil

微生物	处理	操作分类单元数	香农指数	Chao1 指数	覆盖率 (%)
细菌	连作 2 年	2 013a	6.61a	2 248.0a	98.77
	头茬	1 844b	6.37a	2 231.0a	98.55
真菌	连作 2 年	585a	3.73a	668.8a	99.82
	头茬	475b	3.41b	602.0b	99.81

不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.4.2 连作对芋头根际土壤细菌类群的影响 测序结果表明,芋头连作 2 年、头茬的细菌分别属于

28、29 个细菌门,共有的细菌门有 27 个。其中变形菌门(Proteobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、绿弯菌门(Chloroflexi)、酸杆菌门(Acidobacteria)、拟杆菌门(Bacteroidetes)、Saccharibacteria 门、硬壁菌门(Firmicutes)、芽单胞菌门(Gemmatimonadetes)为芋头根际土壤优势菌门(表 5),这些细菌相对丰度在连作 2 年、头茬中分别占 89.2%、90.7%。通过分析各门细菌所占比例发现,连作 2 年、头茬中细菌分布结构存在差异,连作 2 年根际土壤绿弯菌门、酸杆菌门丰度比例较头茬明显增加,而拟杆菌门、变形菌门比例明显减少;其他细菌门比例差异不明显。

连作 2 年、头茬芋头根际中分别检测出分类菌属 493 个、468 个,共有菌属为 437 个。连作 2 年根际中丰度>1%的菌属 27 个,优势菌属依次为未命名酸杆菌门(norank Acidobacteria)、未命名 Saccharibacteria 门(norank Saccharibacteria)、黄质菌属(*flavobacterium*)、未命名放线菌纲(norank Gaiellales),丰度分别为 5.86%、3.43%、3.28%、3.01%。头茬根际中丰度>1%的菌属有 25 个,其中优势菌属依次为未命名 Saccharibacteria 门(norank Saccharibacteria)、粘液杆菌属(*mucilaginibacter*)、未命名放线菌纲(norank Gaiellales)、链孢菌属(*Streptomyces*)、丰度分别为 4.56%、3.35%、3.25%、3.16%(表 5)。

表 5 连作两年(2 年)、头茬(1 年)芋头根际土壤细菌门、属水平的物种组成

Table 5 Bacterial species composition at phylum and genus level in taro rhizosphere soils for continuous-cropping two years and new cropping

物种组成 比例>1%的门	连作 2 年 (%)	头茬 (%)	物种组成比例>1%的属	连作 2 年 (%)	头茬 (%)
变形菌门	26.01	32.18	未命名 Saccharibacteria 门	3.43	4.56
放线菌门	26.03	25.44	未命名酸杆菌门	5.86	1.85
绿弯菌门	11.68	9.11	未命名放线菌纲	3.01	3.25
拟杆菌门	8.61	12.11	黄质菌属	3.28	2.69
酸杆菌门	11.39	6.89	链孢菌属	1.68	3.16
Saccharibacteria 门	3.43	4.56	鞘氨醇单胞菌属	1.52	2.70
硬壁菌门	3.02	2.99	芽孢杆菌属	1.71	1.91
芽单胞菌门	2.44	2.01	噬几丁质菌属	1.39	2.21
疣微菌门	1.9	1.34	根瘤菌属	1.58	1.92
硝化螺旋菌门	1.66	1.57	玫瑰弯菌属	2.00	1.38
蓝细菌门	1.77	0.66	硝化螺旋菌属	1.66	1.57
			Gaiella 菌属	1.88	1.28
			未命名 JG30-KF-AS9	1.24	1.87
			水恒杆菌属	1.23	1.81
			未归类小单孢菌科	1.51	1.53



续表 5 Continued 5

物种组成 比例>1%的门	连作 2 年 (%)	头茬 (%)	物种组成比例>1%的属	连作 2 年 (%)	头茬 (%)
			RB41	1.46	1.38
			类诺卡氏菌属	1.75	1.08
			未命名 KD4-96	2.11	
			未命名 TK10	1.36	
			未命名芽单胞菌科	1.52	1.14
			未命名酸微菌目	1.34	
			慢生根瘤菌属	1.07	1.13
			未命名厌氧绳菌科	1.19	
			未命名 SC-1-84	1.14	
			未命名黄色杆菌科	1.08	
			未归类微球菌科	1.06	
			Bryobacter 菌属		1.13
			未命名蓝细菌	1.09	
			黏液杆菌属		3.35
			未命名 TK10		1.39
			克霍尔德菌属		1.44
			罗思河小杆菌属		1.08
			贪噬菌属		1.14

细菌群落相对丰度排名前 20 属的热图(图 2)显示,连作 2 年未命名酸杆菌门(*norank Acidobacteria*)、未命名 KD4-96 的相对丰度较头茬分别增加 0.11、0.03,而黏液杆菌属(*mucilaginibacter*)、链霉菌属(*streptomyces*)较头茬分别减少 0.07、0.04,其他菌属则相差较小。

2.4.3 连作对芋头根际土壤真菌类群的影响 连作 2 年与头茬芋头根际中分别检测出 7 个真菌门和 5 个真菌门,主要为担子菌门(*basidiomycota*)、子囊菌门(*Ascomycota*)、未归类真菌门(*unclassified-k-Fungi*)和接合菌门(*Zygomycota*)(表 6)。芋头连作 2 年土壤中子囊菌门、接合菌门的丰度明显高于头茬,而担子菌门的丰度则明显低于头茬。

连作 2 年芋头根际中优势菌属为亡革菌属(*Thanatephorus*)、未归类角担菌科(*unclassified Ceratobasidiaceae*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、周刺座霉属(*Volutella*)、小画线壳属(*Monographella*)等,丰度分别为 0.124 4、0.121 9、0.118 5、0.103 8、0.081 0。头茬种植芋头根际中优势菌属为未归类角担菌科(*unclassified Ceratobasidiaceae*)、绣球菌属

(*Sparassis*)、角担菌属(*Ceratobasidium*)、镰刀菌(*Fusarium*),丰度分别为 0.361 2、0.119 8、0.078 5、0.056 3(表 6)。

真菌群落相对丰度排名前 20 属的热图(图 3)显示,连作对真菌菌属的丰度产生较大的影响,连作 2 年芋头根际中镰刀菌属(*Fusarium*)、亡革菌属(*Thanatephorus*)、周刺座霉属(*Volutella*)、小画线壳属(*Monographella*)、未归类木耳菌目(*unclassified Auriculariales*)等较头茬大幅增加,而未归类角担菌科(*unclassified Ceratobasidiaceae*)、绣球菌属(*Sparassis*)、角担菌属(*Ceratobasidium*)较头茬显著减少。

3 讨论

大量研究结果表明,土壤中营养元素含量失衡是导致连作障碍的重要因素之一<sup>[21]</sup>。本研究中芋头连作明显改变了土壤营养元素的含量,芋头连作 2 年土壤的有机质、速效磷、中微量元素铁、钙、镁的含量呈下降趋势,而钾含量增加。推测与芋头营养元素吸收的特性<sup>[22-23]</sup>、施肥种类与用量不合理有很大的关系。多年来本地区芋头种植中一直主要施用

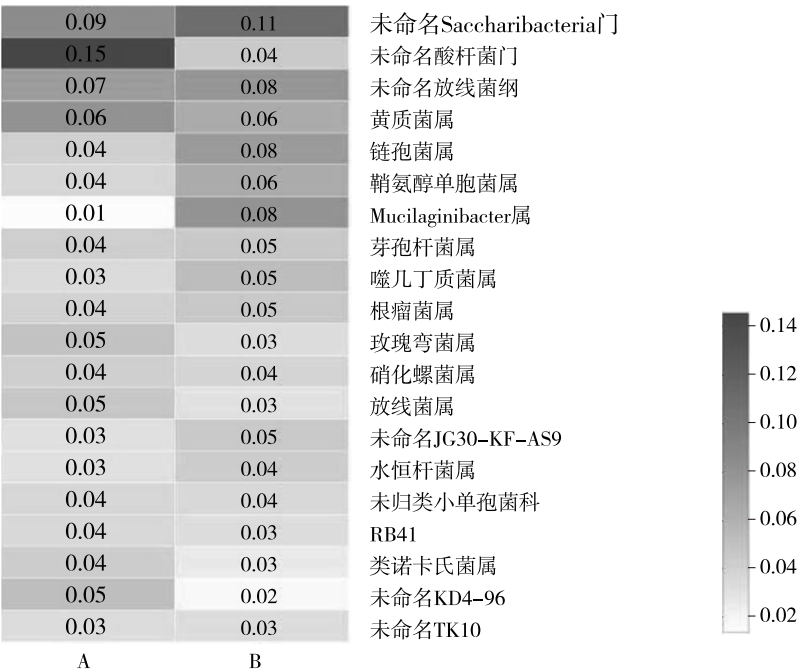


图 2 连作 2 年 (A)、头茬 (B) 芋头根际土壤细菌群落热图  
Fig.2 Heatmap of bacterial community in taro rhizosphere soils for continuous-cropping two years (A) and new cropping (B)

表 6 连作两年 (2 年)、头茬 (1 年) 芋头根际土壤真菌门、属水平的物种组成

Table 6 Fungal species composition at phylum and genus level in taro rhizosphere soils for continuous-cropping two years and new cropping

物种组成 比例>1%的门	连作 2 年 (%)	头茬种植 (%)	物种组成比例>1%的属	连作 2 年 (%)	头茬种植 (%)
担子菌门	37.50	58.59	亡革菌属	12.44	0.94
子囊菌门	53.74	37.87	未归类角担菌科	12.19	36.12
接合菌门	3.80	1.40	镰刀菌属	11.85	5.63
未归类真菌门	4.93	2.13	周刺座霉属	10.38	5.05
			小画线壳属	8.10	4.58
			角担菌属	3.20	7.85
			未归类真菌	4.93	2.13
			未归类木耳目	6.52	0.61
			未归类子囊菌门	1.15	5.36
			未归类丛赤壳科	2.69	3.00
			被孢霉菌属	3.73	1.35
			未归类发菌科	1.79	1.57
			赤霉菌属	1.27	1.30
			未归类毛壳菌科	1.16	0.77
			木霉菌属	0.44	1.35
			链格孢菌属	0.63	1.17
			四枝孢菌属	1.28	0.42
			gibellulopsis 菌属	1.51	0.18
			波氏假性霉样菌属	1.06	0.20
			绣球菌属		11.98

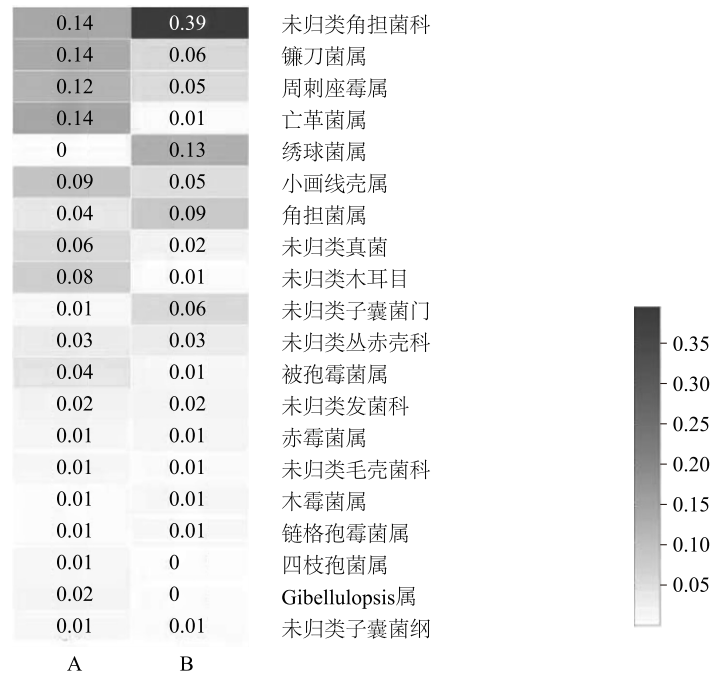


图3 连作2年(A)、头茬(B)芋头根际土壤真菌群落热图

Fig.3 Heatmap of fungal community in taro rhizosphere soils for continuous-cropping two years(A) and new cropping(B)

氮磷钾化学肥料,不施或少施有机肥及微量元素肥料,此外,芋头成熟后将大部分叶片及整个块茎移除田外,未保留足够的腐殖质等,造成土壤一些主要养分的亏缺。其中铁元素表现最为明显,芋头连作引起铁元素含量急剧下降。芋头吸收的铁元素主要分配于芋头块茎<sup>[24]</sup>,芋头成熟后整个块茎的移走,必然导致连作土壤铁元素的耗竭。三七是一种喜钾作物,在生产上为追求高产,过量施加钾肥,引起了三七连作土壤中钾含量大幅增加<sup>[6]</sup>,芋头生产中也有类似的情况。钾在植物体内移动性很强,连作作物吸收的大量钾,会与其他以阳离子状态存在的元素(钙、镁、硼、铁、锌等)形成拮抗作用<sup>[25]</sup>,从而引起多种生理病害,降低作物的产量与品质<sup>[26]</sup>。

微生物是土壤微生态系统最重要组成部分之一<sup>[27-28]</sup>。本研究中,连作2年芋头根际土壤细菌与真菌数量、群落多样性与丰富度均高于头茬,这与前人研究枸杞<sup>[17]</sup>、大豆<sup>[5]</sup>的结果不一致,而与荞麦<sup>[29]</sup>、番茄<sup>[4]</sup>、棉花<sup>[30]</sup>、大豆<sup>[31]</sup>、桔梗<sup>[32]</sup>研究结果相似。这可能是受到了连作芋头根系分泌物的种类、数量及其生境条件的影响。连作2年的芋头根系分泌的营养物质(碳水化合物、氨基酸等)积累较多,有利于根际微生物的生长和繁殖<sup>[33]</sup>,可能是芋

头连作根际土壤微生物区系群落数量较高的原因。

芋头连作根际土壤细菌门属的类群结构与头茬相似,也未发现有益菌群比例大幅减少现象<sup>[5]</sup>,推测芋头连作障碍可能并不来源于细菌群落。而真菌群落门属丰度有较大的差异,连作2年芋头根际土壤亡革菌属、镰刀菌属、周刺座霉属、小画线壳属等成为优势菌属。亡革菌属为半知菌立枯丝核菌的有性形态属,立枯丝核菌可使多种作物出现立枯、猝倒、褐腐等严重疾病<sup>[34]</sup>;镰刀菌是世界性分布的最重要的植物病原真菌之一,能引起100多种寄主发生萎蔫、枯萎、腐烂,由镰刀菌引起的芋头块茎腐病可导致芋头70%的减产<sup>[35]</sup>;小画线壳属真菌会引起根腐病的发生<sup>[36]</sup>;周刺座霉属真菌能引起植物茎叶枯斑与溃疡病<sup>[37]</sup>。因此推测,连作造成芋头病原真菌丰度大幅提高,是连作障碍重要因素之一。这也与前人在黄花蒿<sup>[38]</sup>、杨树<sup>[39]</sup>、芝麻<sup>[40]</sup>等农作物上的研究结果相一致。已有研究结果表明,植物可通过根系分泌物和残体对土壤病原菌种群产生影响,连作大豆根分泌物对引起根腐病的粉红粘帚菌、尖镰孢菌、半裸镰孢菌的生长具有明显促进作用<sup>[41]</sup>;茄子的根分泌物及其浸提液促进大丽轮枝菌、核盘菌和灰葡萄孢3种土传病原菌的生长<sup>[42]</sup>。因而进

一步阐明芋头根系分泌物和残体对芋头生长发育与致病危害的影响是今后有待研究的重要课题。

本研究中发现连作导致芋头明显减产,块茎畸形与病害率大幅增加,初步证实与土壤营养元素含量改变、致病真菌数量与丰度增加有关。本研究为阐明芋头连作障碍初步奠定了理论基础,然而芋头连作障碍是芋头与土壤两个系统内部多种因素综合作用的结果<sup>[43]</sup>,需要从土壤理化性质、微生物、化感作用、植物生理及这些关键因子互作方面系统地探究连作障碍发生机理<sup>[44]</sup>,从而为最终克服芋头连作障碍提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] 殷剑美,韩晓勇,张培通,等.靖江香沙芋生长发育的动态特征[J].江苏农业科学,2013,41(11):154-156.
- [2] 侯慧,董坤,杨智仙,等.连作障碍发生机理研究进展[J].土壤,2016,48(6):1068-1076.
- [3] 王娟英,许佳慧,吴林坤,等.不同连作年限怀牛膝根际土壤理化性质及微生物多样性[J].生态学报,2017,37(17):5621-5629.
- [4] 杨风军,安子靖,杨薇薇.番茄连作对日光温室土壤微生物及土壤理化性状的影响[J].中国土壤与肥料,2016(1):42-46.
- [5] 殷继忠,李亮,接伟光,等.连作对大豆根际土壤细菌菌群结构的影响[J].生物技术通报,2018,34(1):230-238.
- [6] 孙雪婷,龙光强,张广辉,等.基于三七连作障碍的土壤理化性状及酶活性研究[J].生态环境学报,2015,24(3):409-417.
- [7] 赵帆,赵密珍,王钰,等.草莓不同连作年限土壤养分及微生物区系分析[J].江苏农业科学,2017,45(16):110-113.
- [8] 薛超,黄启为,凌宁,等.连作土壤微生物区系分析、调控及高通量研究方法[J].土壤学报,2011,48(3):612-618.
- [9] 邵雪玲,吴良欢,林钊沐,等.芋艿残体降解物对芋艿生长、产量和品质的影响[J].浙江农业学报,2008,20(6):480-483.
- [10] 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(2):64-65.
- [11] 张翰林,郑宪清,王一斐,等.连作芋艿套作对土壤养分及酶活性的影响[J].环境污染与防治,2014,36(11):55-59.
- [12] 于寒,吴春胜,王振民,等.连作对大豆根际可培养微生物及土壤理化性状的影响[J].华南农业大学学报,2014,35(2):28-34.
- [13] 王慧颖,徐明岗,周宝库,等.黑土细菌及真菌群落对长期施肥响应的差异及其驱动因素[J].中国农业科学,2018,51(5):914-925.
- [14] DONG L L, XU J, ZHAN L J, et al. High-throughput sequencing technology reveals that continuous cropping of American ginseng results in changes in the microbial community in arable soil[J]. Chinese Medicine, 2017, 12(18):1-11.
- [15] 杨亚东,王志敏,曾昭海.长期施肥和灌溉对土壤细菌数量、多样性和群落结构的影响[J].中国农业科学,2018,51(2):290-301.
- [16] XIONG W, ZHAO Q Y, ZHAO J, et al. Different continuous cropping spans significantly affect microbial community membership and structure in a vanilla-grown soil as revealed by deep pyrosequencing[J]. Microb Ecol, 2015, 70: 209-218.
- [17] 纳小凡,郑国琦,彭励,等.不同种植年限宁夏枸杞根际微生物多样性变化[J].土壤学报,2016,53(1):241-251.
- [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] YANG S, YONG R B, FANG W, et al. Effects of biochar on dechlorination of hexachlorobenzene and the bacterial community in paddy soil[J]. Chemosphere, 2017, 186: 116-123.
- [20] 张东艳,赵建,杨水平,等.川明参轮作对烟地土壤微生物群落结构的影响[J].中国中药杂志,2016,41(24):4556-4563.
- [21] 黄艺,黄红燕,刘昔辉,等.不同连作年限桑园土壤肥力变化及其与桑叶产量的关系[J].南方农业学报,2017,48(4):628-632.
- [22] 杨佳,王必武,黄立强,等.芋氮磷钾吸收规律的研究[J].湖北农业科学,2016,55(14):3562-3565.
- [23] 宋春风,徐坤.芋对铁锰铜锌吸收分配规律的研究[J].西北农业学报,2004,13(3):114-117.
- [24] 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.
- [25] 赵鹏,谭金芳,介晓磊,等.施钾条件下烟草钾与钙镁相互关系的研究[J].中国烟草学报,2000,3(6):23-26.
- [26] 祝海燕,王海峰,李春燕.过量施用钾肥对寿光设施果菜类蔬菜的影响[J].中国蔬菜,2015(11):93-95.
- [27] 徐佳欣,刘芳,吴三林,等.海拔对魔芋根际微生物区系和软腐病发生的影响[J].南方农业学报,2018,49(1):79-84.
- [28] NANNIPIERI P, ASCHER J, CECCHERINI M T, et al. Microbial diversity and soil functions[J]. European Journal of Soil Science, 2003, 54(4):655-670.
- [29] 高扬,高小丽,马瑞瑞,等.轮作连作荞麦田主要微生物类群及土壤酶活性变化[J].中国农业大学学报,2014,19(4):47-53.
- [30] 顾美英,刘洪亮,李志强,等.新疆连作棉田施用生物炭对土壤养分及微生物群落多样性的影响[J].中国农业科学,2014,47(20):4128-4138.
- [31] 朱琳,曾椿淋,李雨青,等.基于高通量测序的大豆连作土壤细菌群落多样性分析[J].大豆科学,2017,26(3):419-424.
- [32] 祝丽香,霍学慧,孙洪信.桔梗连作对土壤理化性状和生物学性状的影响[J].水土保持学报,2013,27(6):177-181.
- [33] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等.大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(5):1000-1006.
- [34] SIBEL D, SONER S, CIGDEM U S. Corm and root rot of *Colocasia esculenta* caused by *Ovatisporangium vexans* and *Rhizoctonia solani* [J]. Romanian Biotechnological Letters, 2014, 19(6):9868-9874.



- [35] WIDODO S. *Fusarium* species associated with corm rot of taro in Bogor[J]. Microbiology Indonesia, 2014, 15(3): 132-138.
- [36] 李 皓,董建华,袁紫倩,等. 山核桃林地土壤真菌群落结构研究[J]. 浙江林业科技,2018,38(5): 67-72.
- [37] ANAM G B, SANG W K, DIL R Y, et al. A New record of *Volu-tella ciliata* isolated from crop field soil in Korea[J]. Mycobiology, 2014, 43(1): 71-74.
- [38] 李 倩,杨水平,崔广林,等. 不同种植年限条件下黄花蒿根际土壤微生物生物量、酶活性及真菌群落组成[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 34-42.
- [39] 陆 茜. 杨树连栽对根际土壤环境演变的影响及其自毒效应研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [40] 华菊玲,刘光荣,黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2936-2942.
- [41] 鞠会艳,韩丽梅,王树起,等. 连作大豆根分泌物对根腐病病原菌的化感作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 723-727.
- [42] 黄奔立,朱键鑫,许云东,等. 茄分泌物及其浸出液对 3 种土传病原菌生长的促进作用[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(4): 301-305.
- [43] 李孝刚,张桃林,王兴祥. 花生连作土壤障碍机制研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 266-271.
- [44] 郭 肖,孔德章,黄本婷,等. 农作物连作障碍产生机理与调控技术研究[J]. 作物研究, 2016, 30(2): 215-220.

(责任编辑:张震林)