

施用三环唑与二氯喹啉酸对水稻土细菌的影响

张冰, 王玖程, 汪冬至, 冯建骋, 侯文峰, 周雪, 高强

引用本文:

张冰, 王玖程, 汪冬至, 冯建骋, 侯文峰, 周雪, 高强. 施用三环唑与二氯喹啉酸对水稻土细菌的影响[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(7): 1514–1521.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1235>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

稻田土壤古菌群落组成对秸秆还田的响应

王宁, 赵亚慧, 艾玉春, 张永春, 汪吉东, 于建光

农业环境科学学报. 2019, 38(2): 374–382 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0508>

纳米银对四种不同性质土壤微生物量及酶活性的影响

舒昆慧, 张丽, 伍玲丽, 司友斌, 刘沁雪

农业环境科学学报. 2018, 37(5): 907–914 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1325>

施用鸡粪有机肥对种植小油菜土壤微生物群落结构多样性的影响

李可, 孙彤, 孙涛, 徐应明, 孙约兵

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2316–2324 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0036>

铅对土细菌群落组成的影响研究

安凤秋, 吕家珑, 刁展, 李海红, 赵琪琪

农业环境科学学报. 2018, 37(2): 268–275 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0960>

钝化材料对农田土壤Cd形态及微生物群落的影响

兰玉书, 袁林, 杨刚, 程蓉, 石楷岐, 高本汗

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2743–2751 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0637>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张冰, 王玖程, 汪冬至, 等. 施用三环唑与二氯喹啉酸对水稻土细菌的影响[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(7): 1514–1521.

ZHANG B, WANG J C, WANG D Z, et al. Effects of tricyclazole and quinclorac acid on bacteria in paddy field soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(7): 1514–1521.

施用三环唑与二氯喹啉酸对水稻土细菌的影响

张冰, 王玖程, 汪冬至, 冯建骋, 侯文峰, 周雪*, 高强

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘要:为探究三环唑与二氯喹啉酸对稻田土壤细菌多样性和群落结构的影响, 2021年在吉林省吉林市永吉县布设田间试验, 利用高通量测序技术, 研究推荐施用量(低剂量)和2倍推荐施用量(高剂量)对稻田土壤细菌群落的影响。结果表明: 高剂量或低剂量的三环唑与二氯喹啉酸对细菌 α 多样性均无显著影响($P>0.05$), 但对细菌群落结构产生显著影响($P<0.05$), 且高剂量施用的影响大于低剂量; 门水平注释结果显示, 丰度前5的菌门为Proteobacteria(丰度占比为33.54%)、Chloroflexi(20.75%)、Acidobacteria(13.81%)、Bacteroidetes(9.86%)、Actinobacteria(8.48%), 高剂量施用对菌门相对丰度的影响大于低剂量; 对丰富类群和稀有类群的分析发现, 施用不同剂量的三环唑和二氯喹啉酸均造成稀有类群减少, 条件稀有类群增加; 特化种分析结构显示, 不同处理对共有特化种所属菌门丰度均造成影响, 普遍规律为高剂量施用的影响大于低剂量施用, 与二氯喹啉酸相比, 三环唑的施用产生了更多的特化种, 且其所属菌门分布更广泛, 其中高剂量施用三环唑处理产生的特化种所属菌门数最多(6个), 低剂量施用三环唑处理和低剂量施用二氯喹啉酸处理各产生1个。综上所述, 施用三环唑与二氯喹啉酸不会造成稻田土壤细菌多样性的显著改变, 但显著影响了细菌的群落结构及物种组成, 且高剂量施用影响大于低剂量施用。在实际应用中, 三环唑与二氯喹啉酸的施用在满足生产所需的前提下应选择推荐施用的低剂量, 以减少对土壤微生物群落的潜在不利影响。

关键词:群落多样性; 群落结构; 水稻土; 三环唑; 二氯喹啉酸

中图分类号: S154.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2023)07-1514-08 doi:10.11654/jaes.2022-1235

Effects of tricyclazole and quinclorac acid on bacteria in paddy field soil

ZHANG Bing, WANG Jiucheng, WANG Dongzhi, FENG Jiancheng, HOU Wenfeng, ZHOU Xue*, GAO Qiang

(College of Resources and Environmental Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: To investigate the effects of tricyclazole and quinclorac acid application on soil bacterial diversity and community structure in rice fields, a field trial was set up in Yongji County, Jilin City, Jilin Province in 2021. High-throughput sequencing technology was used to investigate the effects of the recommended application rate (low dose) and two times the recommended application rate (high dose) on the soil bacterial community in rice fields. Both high and low dose applications of tricyclazole and quinclorac acid had no significant effect on bacterial α diversity ($P>0.05$), but they had a significant effect on bacterial community structure ($P<0.05$), and the effect of high dose application was greater than that of low dose application. The phylum annotation results showed that the most abundant phylum was Proteobacteria, with the highest abundance ratio of 33.54%, followed by Chloroflexi (20.75%) and Acidobacteria (13.81%). The top five phyla were completed by bacteroidetes, which accounted for 9.86% and Actinobacteria, which accounted for 8.48%. The effect of high dose application on the relative abundance of bacteroidetes was greater than that of low dose application. Analyzing abundant and rare taxa

收稿日期: 2022-12-01 录用日期: 2022-12-26

作者简介: 张冰(1996—), 女, 吉林长春人, 博士研究生, 从事土壤微生物研究。E-mail: 1519161286@qq.com

*通信作者: 周雪 E-mail: zhouxue_jlau@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(41807146); 吉林省自然科学基金项目(20190201274JC); 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20190908KJ)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (41807146); The Natural Science Foundation of Jilin Province, China (20190201274JC); The 13th Five-Year Science and Technology Project of Education Department of Jilin Province (JJKH20190908KJ)

showed that applying different doses of tricyclazole and quinclorac acid caused a decrease in rare taxa and an increase in conditionally rare taxa, without affecting the remaining taxa. The structure of the specialized species analysis showed that the different treatments affected the abundance of the phylum distributed by the shared specialized species. The general pattern was that the high dose application had a greater effect than the low dose application, and triconazole application produced more specialized species and their distributed endemic phyla than quinclorac acid application. There were a maximum of six in the high-dose triconazole treatment and one each in the low-dose triconazole treatment and the low-dose quinclorac acid treatment. In summary, although triconazole and quinclorac acid application did not cause significant changes in soil bacteria diversity in rice fields, it significantly affected community structure and species composition. The effect of high-dose application was greater than that of low-dose application, indicating that triconazole and quinclorac acid application in practice should follow the recommended low dose to meet the needs of production and the impact of pesticides on the soil environment and ecological safety.

Keywords: community diversity; community structure; paddy soil; tricyclazole; quinclorac acid

三环唑是防治稻瘟病专用的内吸性杀菌剂,隶属于噻唑类,其杀菌机理是通过抑制孢子的萌发和附着孢的形成,阻止病菌入侵和减少稻瘟病菌孢子的产生^[1]。自1987年首次在我国河北省推广并利用三环唑防治稻瘟病开始,至今已有30多年^[2]。二氯喹啉酸是一种激素型且具有高选择性的水田专用化学除草剂^[3],其作用机理在于促进ACC(1-氨基环丙烷-1-羧酸)在幼芽组织中合成并产生乙烯和氰化物,其大量积累后会产生毒害作用,导致杂草幼苗的黄化、失绿、坏死^[4-5]。二氯喹啉酸自20世纪80年代末开始被大面积的推广使用,距今已有30多年^[6]。

目前有关三环唑的研究主要集中在不同施用量对稻瘟病的防治效果^[7-8]以及施用后其降解、残留等污染情况与相应修复技术^[9-10],微生物方面主要聚焦于相关降解^[11]和拮抗菌株^[12]的富集与筛选。二氯喹啉酸的相关研究主要集中在作用效果^[13]、降解机制^[14]、抗性机制^[15]等方面,微生物方面主要关注降解菌的分离、鉴定^[16]以及通过添加外源菌剂修复受二氯喹啉酸污染的土壤等方面^[17],也有一些研究利用磷脂脂肪酸分析(PLFA)技术分析培养条件下二氯喹啉酸对土壤微生物群落结构的影响,结果显示稻田淹水情况不同,二氯喹啉酸对土壤微生物稳定性的影响不同,但均具有含有相同标致性脂肪酸(14:0、15:0、16:0和18:2n6c)^[18]的优势类群,这说明施用二氯喹啉酸会产生特异的类群。

三环唑和二氯喹啉酸在水稻种植中被广泛使用,但有关其对稻田土壤细菌多样性以及群落结构实际变化影响的研究较少。农药对土壤微生物群落结构影响的研究主要采用室内培养,技术手段为磷脂脂肪酸技术。本文以吉林省永吉县的稻田土壤为研究对象,分别添加不同剂量(推荐施用量以及2倍推荐施用量)的三环唑和二氯喹啉酸,利用高通量测序技术

研究施用不同时间后其对土壤细菌多样性和群落结构的影响,以期与安全合理使用三环唑与二氯喹啉酸提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于吉林省吉林市永吉县一拉溪镇鞠家村(43°47'42.98"N, 126°06'49.57"E),永吉县为吉林省水稻主产区,该试验区常年施用三环唑和二氯喹啉酸。试验地属于北温带半湿润大陆季风性气候,年平均日照时间约为2 600 h,日照充足,年均气温6.5℃,年均降水量在200~700 mm之间。供试土壤为白浆型水稻土,基础理化性质如下:pH 5.3,有机质15.7 g·kg⁻¹,碱解氮89.6 mg·kg⁻¹,速效磷45.7 mg·kg⁻¹,速效钾151.1 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

本研究采用三环唑250 g·hm⁻²悬浮剂,推荐施用量(低剂量)750 g·hm⁻²,有效成分187.5 g·hm⁻²,2倍推荐施用量(高剂量)1 500 g·hm⁻²,有效成分375 g·hm⁻²。50%二氯喹啉酸可湿性粉剂,推荐施用量(低剂量)450 g·hm⁻²,有效成分225 g·hm⁻²,2倍推荐施用量(高剂量)900 g·hm⁻²,有效成分450 g·hm⁻²。试验共设5个处理:未施用三环唑和二氯喹啉酸处理(CK)、低剂量施用三环唑处理(TL)、高剂量施用三环唑处理(TH)、低剂量施用二氯喹啉酸处理(QL)、高剂量施用二氯喹啉酸处理(QH)。农药采用手动喷洒方式施加,分别在第0、30、107天进行土壤样本采集(其中0 d采集样本即为CK处理),并迅速去除土样中可见的动植物残体及石块等,土样一部分带回实验室风干,用于土壤理化性质测定,一部分用干冰保存运输,-80℃冰箱储存用于微生物送检。

1.3 土壤化学性质测定

土壤化学性质测定参照《土壤农化分析》^[19]。通过电位法使用复合电极测定土壤 pH;重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量;碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定土壤速效磷含量;NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定速效钾含量。

1.4 DNA 提取、Illumina 测序和数据处理

选用 OMEGA Soil DNA Kit (D5625-01, Omega Bio-Tek, Norcross, GA, 美国)试剂盒,按试剂盒的标准步骤进行土壤总 DNA 的提取。选用长度约为 468 bp 的细菌 16S rRNA 基因的高度可变的 V3~V4 区测序。PCR 扩增选用细菌 16S rDNA V3~V4 区特异性引物 338F (5'-barcode+ACTCCTACGGGAGGCAGCA-3')和 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAA T-3')。16S rDNA 基因的测序在 Illumina NovaSeq 上完成,首先调用 qiime cutadapt trim-paired 切除序列的引物片段,弃去未匹配引物的序列,然后通过 qiime dada2 denoise-paired 调用 dada2 进行质控、去噪、拼接、去嵌合体,完成所有文库的去噪后,合并 ASVs 特征序列和 ASV 表格,并去除 singletons ASVs,最终基于 Silva 数据库 (Release132) 进行物种注释。

1.5 数据分析

采用 Excel 2019 软件进行数据处理。基于 R 语言 (4.1.3) 中的 vegan 包,计算细菌群落的 Shannon 指数和 Chao1 指数,并进行 Kruskal-Wallis 检验和 Dunn's test 检验的显著性标记 ($P < 0.05$) 以及 NMDS 分析;利用 RColorBrewer 包进行基于 Bray-Curtis 距离的 ANOSIM 分析;利用 ggplot2 包进行丰富-稀有物种的统计分析、绘图^[20]稀有类群 (ART) 为在所有样本中丰度均 $\leq 0.1\%$ 的 ASV, 丰富类群 (AAT) 为在所有样本中丰度均 $\geq 1\%$ 的 ASV, 中间类群 (MT) 为在所有样本中丰度均 $> 0.1\%$ 且 $< 1\%$ 的 ASV, 条件稀有类群 (CRT) 为在所有样本中丰度均 $< 1\%$ 且仅在部分样本中丰度 $< 0.1\%$ 的 ASV, 条件丰富类群 (CAT) 为在所有样本中丰度均 $> 0.1\%$ 且仅在部分样本中丰度 $> 1\%$ 的 ASV, 条件稀有或丰富类群 (CRAT) 为丰度跨越从稀有 (最低丰度 $\leq 0.1\%$) 到丰富 (最高丰度 $\geq 1\%$) 的 ASV, 计算 ASV 在各组样本中的特异性和占有率,并以阈值 > 0.7 为条件进行特化种的判定以及绘制 SPEC-Occu 图^[21]。

2 结果与分析

2.1 三环唑与二氯喹啉酸对土壤细菌 α 多样性的影响

图 1、图 2 分别为三环唑与二氯喹啉酸施用不同

天数后稻田土壤细菌群落 Simpson 指数和 Chao1 指数箱线图。30 d 时,与 CK 相比,施用三环唑对 Simpson 和 Chao1 指数的影响均表现为低剂量施用指数下降,高剂量施用指数提高;施用二氯喹啉酸对 Simpson 指数的影响与三环唑一致,而高剂量和低剂量施用均造成了 Chao1 指数的下降。107 d 时,同 CK 相比,三环唑只有低剂量施用降低了 Chao1 指数,而高剂量下的 Chao1 指数和两种剂量下的 Simpson 指数均升高;二氯喹啉酸只有高剂量施用提高了 Simpson 指数,而低剂量下的 Simpson 指数和两种剂量下的 Chao1 指数均降低。但不论是低剂量还是高剂量,与未施药 (CK) 相比,施用时长对 Chao1 指数和 Simpson 指数的影响均不显著 ($P > 0.05$),说明三环唑与二氯喹啉酸的添加对稻田土壤细菌 α 多样性无显著影响。

2.2 三环唑与二氯喹啉酸对土壤细菌 β 多样性的影响

通过 NMDS 分析三环唑与二氯喹啉酸对稻田土

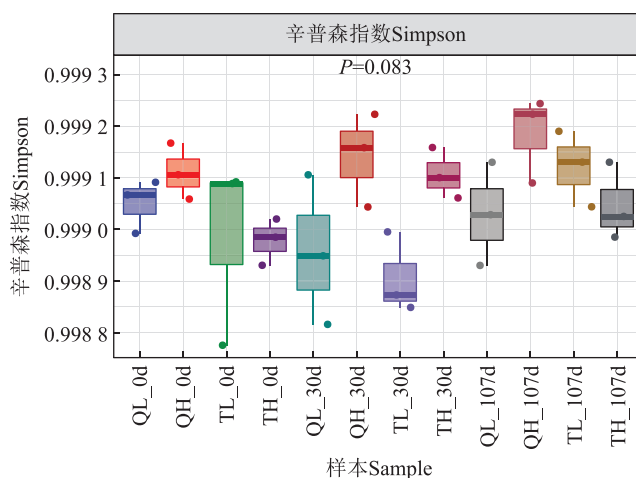


图 1 稻田土壤细菌群落的 Simpson 指数

Figure 1 Simpson index of paddy soil bacterial communities

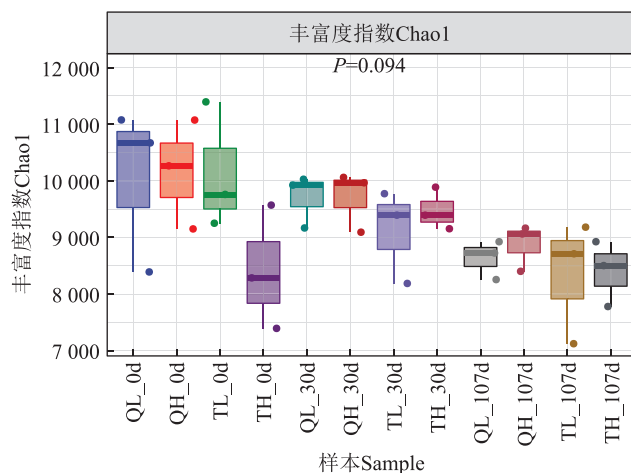


图 2 稻田土壤细菌群落的 Chao1 指数

Figure 2 Chao1 index of paddy soil bacterial communities

壤细菌群落的影响(图3a),结果表明在施用三环唑和二氯喹啉酸后的不同时间,不同处理的稻田土壤细菌群落结构均出现了明显的聚类分离。基于Bray-curtis距离的ANOSIM分析结果表明(图3b至图3e),0 d时,各稻田土壤样本之间微生物群落结构无显著差异($P>0.05$)。30 d时,同CK相比,施用三环唑和二氯喹啉酸均使稻田土壤细菌群落结构产生了显著差异,且高剂量施用引起的细菌群落结构差异大于低剂量施用;107 d时,同CK相比,三环唑和二氯喹啉酸的施用均使稻田土壤微生物群落产生了显著差异,且高剂量施用引起的差异大于低剂量。由此可知,三环唑与二氯喹啉酸的施用时长显著影响了稻田土壤细菌群落结构,且高剂量施用对细菌群落结构的影响大于

低剂量施用。

2.3 三环唑与二氯喹啉酸施用时长对土壤细菌物种组成的影响

2.3.1 对物种组成的影响

图4为三环唑与二氯喹啉酸施用后稻田土壤细菌群落门水平物种组成丰度图。在三环唑与二氯喹啉酸处理门水平的物种中,Proteobacteria、Chloroflexi、Acidobacteria、Bacteroidetes、Actinobacteria的总占比大于85%,为主要物种,其中Proteobacteria菌门丰度占比最高(30%~35%)。第0天各稻田土壤样本之间丰度前20的门水平注释结果无显著差异;同CK相比,施用三环唑30 d提高了Acidobacteria菌门的相对丰度,降低了Actinobacteria菌门的相对丰度,并表现

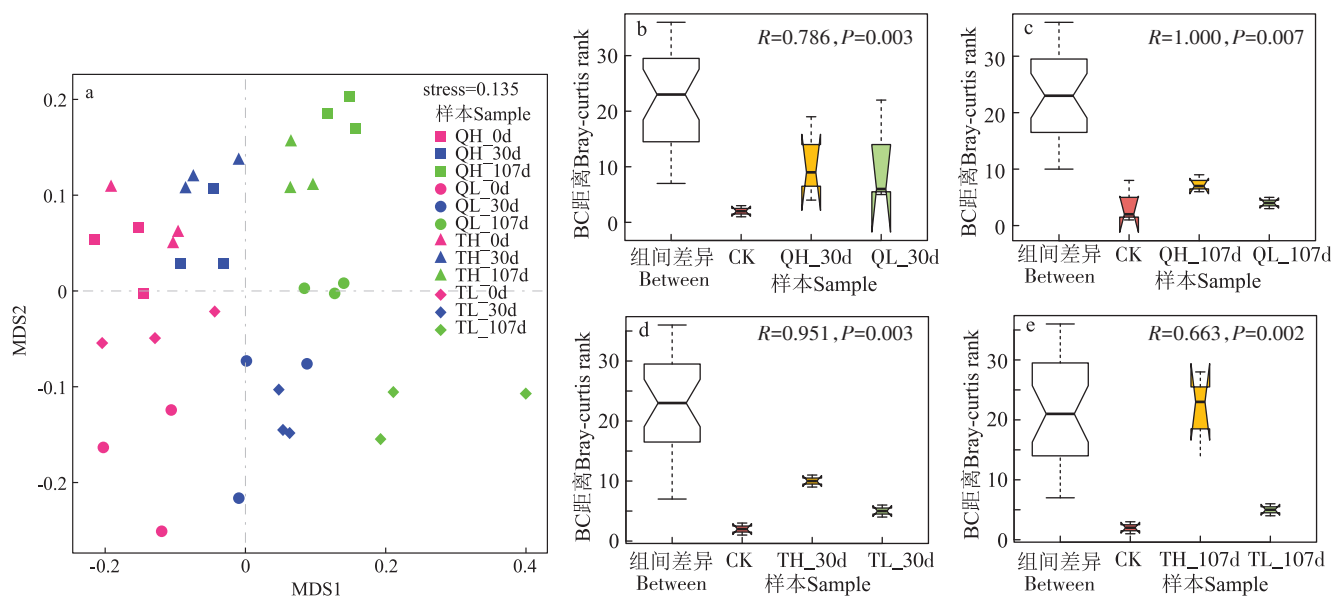


图3 稻田土壤细菌群落NMDS分析及ANOSIM相似性分析

Figure 3 NMDS analysis and ANOSIM similarity analysis of soil bacterial communities in paddy fields

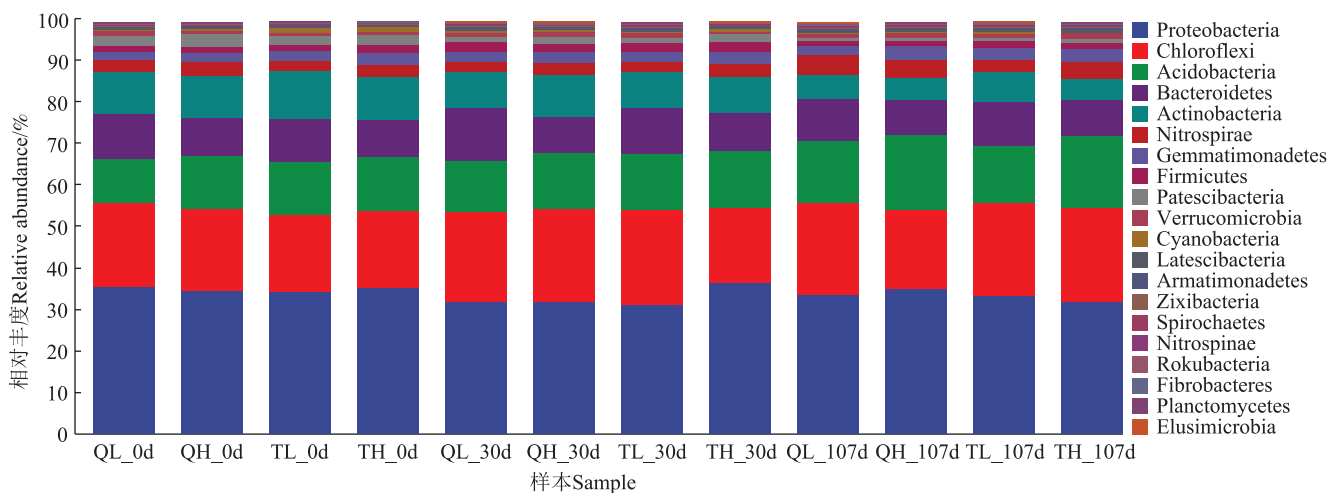


图4 稻田土壤细菌群落丰度前20的门水平物种组成丰度图

Figure 4 Abundances of top20 phylum horizontal species in soil bacterial communities in paddy fields

出高剂量施用对菌门相对丰度的提高和降低程度大于低剂量施用;施用二氯喹啉酸 30 d 提高了 *Chloroflexi*、*Acidobacteria* 菌门的相对丰度,降低了 *Proteobacteria* 菌门的相对丰度,且高剂量施用对菌门相对丰度的提高、降低程度大于低剂量;施用三环唑 107 d 提高了 *Chloroflexi*、*Acidobacteria* 菌门的相对丰度,降低了 *Proteobacteria*、*Actinobacteria* 菌门的相对丰度,高剂量施用的影响大于低剂量;施用二氯喹啉酸 107 d 提高了 *Acidobacteria* 菌门的相对丰度,高剂量施用影响大于低剂量,降低了 *Actinobacteria* 菌门的相对丰度,低剂量施用影响大于高剂量。在不同时间,不同处理对门水平物种组成造成了不同程度的影响,且普遍表现为高剂量施用对稻田土壤微生物群落结构的影响大于低剂量施用。

2.3.2 对丰富和稀有类群的影响

图 5 为三环唑与二氯喹啉酸施用后稻田土壤细菌群落中优势与稀有物种的丰度图。目前对土壤微生物的丰度研究较多关注于总类群和高丰度类群,而本研究关注了低丰度的稀有类群,结果表明三环唑与二氯喹啉酸施用对稀有和条件稀有类群造成了影响。整体观测趋势为:TL、TH 处理和 QL、QH 处理在 30 d 和 107 d 时,稀有类群的相对丰度均降低,且高剂量施用对稀有类群相对丰度的降低程度大于低剂量施用;条件稀有类群的相对丰度增高,且低剂量施用增加程度大于高剂量。三环唑和二氯喹啉酸的施用主要影响了稀有和条件稀有类群,最终均造成了稀有类群减少,条件稀有类群增加,而没有影响中间和条件丰富类群的相对丰度,因此三环唑和二氯喹啉酸的施用更偏向于影响低丰度类群。

2.3.3 对潜在关键物种(特化种)的影响

图 6 为三环唑与二氯喹啉酸施用后稻田土壤细

菌群落中潜在关键物种(特化种,特定于处理的同时又在大多数生境中常见的物种)的分析图,图 7 为进一步的特化种组成分析图。施用三环唑和二氯喹啉酸产生的特化种不同,施用三环唑处理产生的特化种主要隶属于 16 个菌门,其中低剂量施用三环唑产生的特化种所属菌门 8 个,高剂量施用产生的特化种所属菌门 13 个,共有菌门 5 个,低剂量施用产生的特化种所分布的特有菌门为 *Actinobacteria*、*Cyanobacteria* 和 *Firmicutes* 菌门,高剂量施用产生的特化种所分布的特有菌门为 *Elusimicrobia*、*Fibrobacteres*、*Kiritimatiellaeota*、*Latescibacteria*、*Nitrospirae*、*Verrucomicrobiav*、*WOR-1* 和 *WPS-2* 菌门,高剂量施用三环唑产生的特化种所分布的菌门种类多,说明在三环唑的施用中高剂量施用对特化种的影响更大。施用二氯喹啉酸处理产生的特化种主要隶属于 12 个菌门,其中低剂量施用二氯喹啉酸产生的特化种所属菌门均为 11 个,共有菌门 10 个,低剂量施用产生的特化种所分布的特有菌门为 *Zixibacteria*,高剂量施用产生的特化种所分布的特有菌门为 *Cyanobacteria*,说明高剂量施用和低剂量施用二氯喹啉酸产生的特化种虽分布的门数相同,但实际分布的菌门并不相同。本研究最终发现:不同处理对共有的特化种菌门丰度均造成了影响,普遍规律为高剂量施用的影响大于低剂量施用;施用三环唑产生更多的特化种,其所分布的特有菌门(7 种)高剂量施用 6 种,低剂量施用 1 种,而二氯喹啉酸施用只在低剂量下具有 1 个特有菌门。

3 讨论

近年来,三环唑和二氯喹啉酸的广泛施用在一定程度上改变了稻田土壤微生物群落结构^[22],本研究通过田间试验发现,不论高剂量还是低剂量施用三环唑

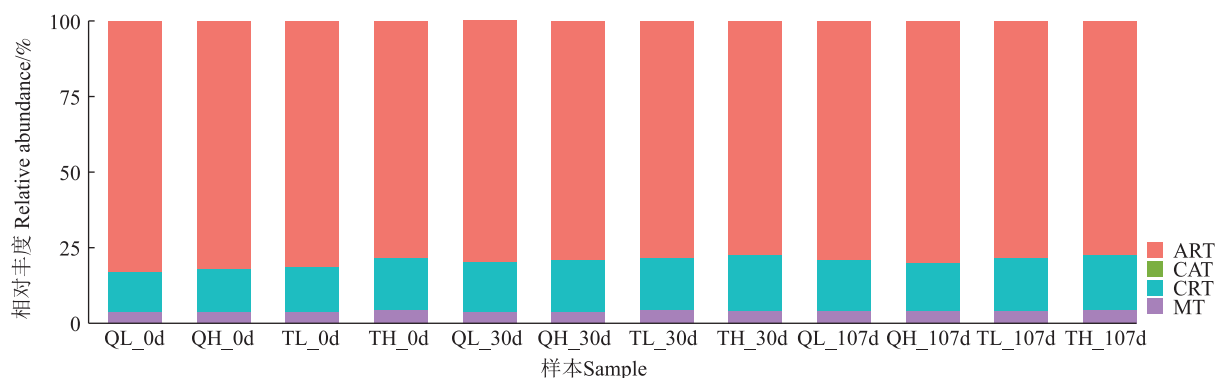


图5 稻田土壤细菌群落丰富及稀有物种组成丰度图

Figure 5 Abundances of rich and rare species composition of paddy soil bacterial community

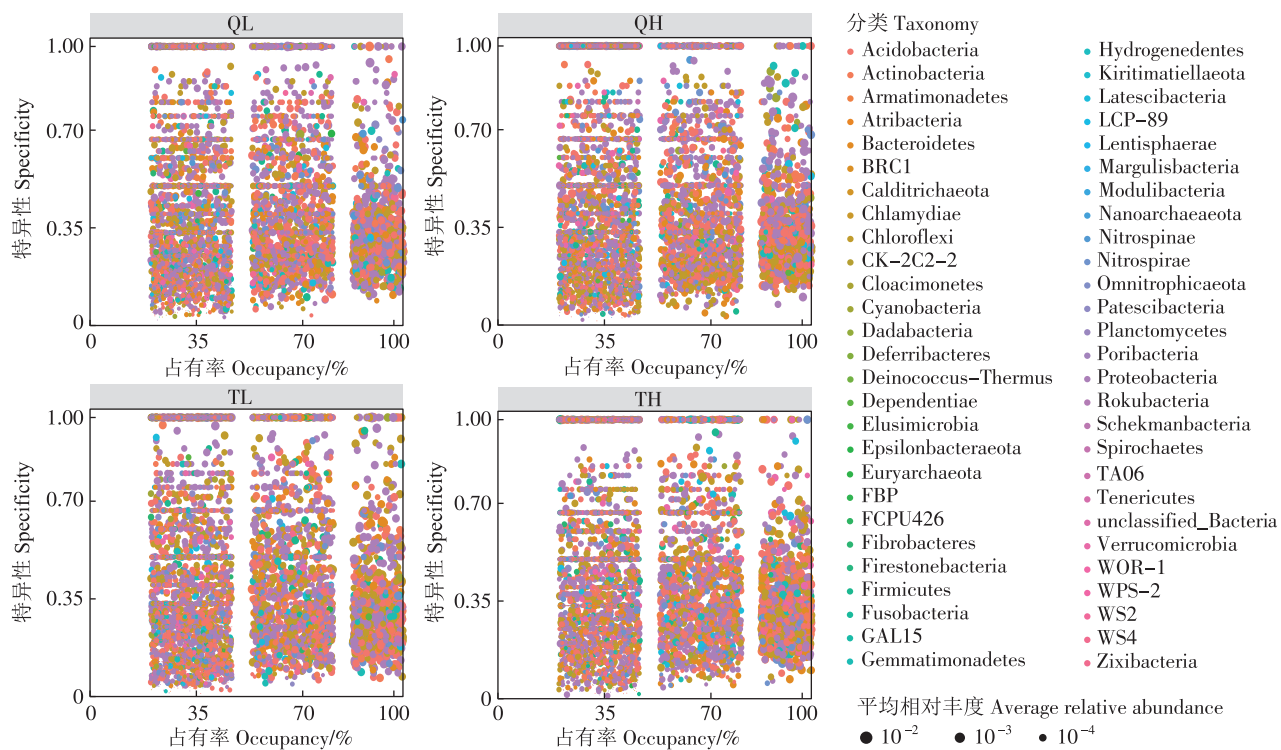


图6 稻田土壤细菌群落潜在关键物种(特化种)分析

Figure 6 Analysis of potential keystone species(specialized species) of paddy soil bacterial communities

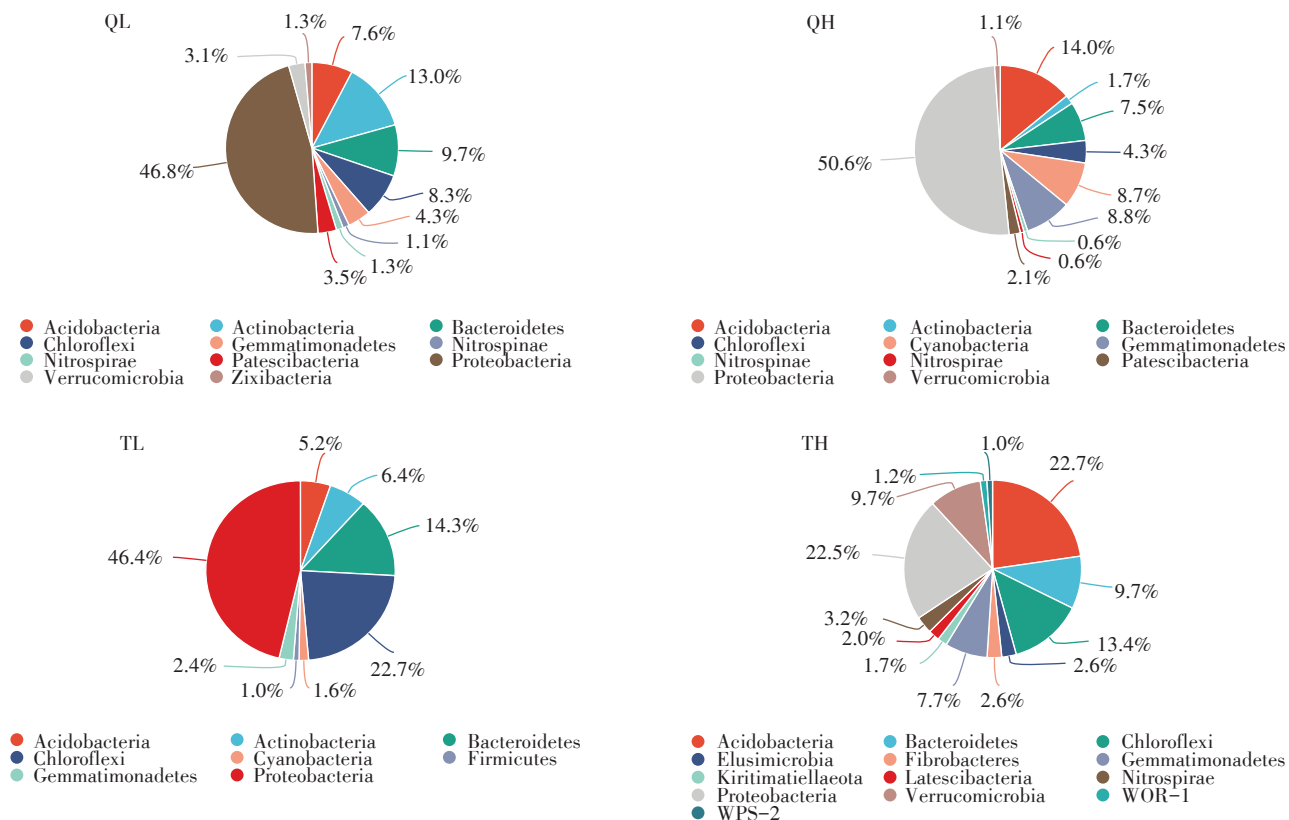


图7 稻田土壤细菌群落潜在关键物种(特化种)组成分析

Figure 7 Analysis of the composition of potential keystone species(specialized species) in paddy soil bacterial communities

和二氯喹啉酸均不影响土壤 α 多样性指数。García-Jaramillo等^[23]研究三环唑对土壤微生物群落的影响发现,随着水稻生长,三环唑不会影响细菌和真菌群落的多样性,这与本文研究结果一致,分析原因可能是三环唑与二氯喹啉酸的施用对微生物群落的影响特异性低,专一性较高。谢泰祥等^[24]的研究结果表明微生物的定殖与变化具有不同的喜爱偏好,其主要受外界不同因素的影响,可归因于微生物的生态专一性和多样性。但不同剂量三环唑和二氯喹啉酸与CK处理相比均显著影响了稻田土壤细菌群落结构,在施用不同时间后,时间不同处理的稻田土壤细菌群落结构均随着时间的演替,出现了明显的聚类分离。30 d和107 d时,三环唑和二氯喹啉酸处理均是高剂量施用的影响大于低剂量施用,这与张好^[25]、杨彩宏等^[26]利用磷脂脂肪酸法研究二氯喹啉酸对土壤微生物群落结构的影响结论一致。因此,高剂量施用三环唑和二氯喹啉酸对稻田土壤微生物群落结构的影响比低剂量施用更大。

在物种水平上进行分析发现,三环唑和二氯喹啉酸处理丰度前20的门水平物种同样受高剂量影响大于低剂量,其中优势菌门为Proteobacteria菌门^[17]。其他研究也表明施用农药后Proteobacteria为优势菌门^[27]。将不同丰度的ASV划分为丰富和稀有类群,发现三环唑和二氯喹啉酸的施用均造成稀有类群的减少,条件稀有类群的增加,中间类群和条件丰富类群并未受到影响。李涛等^[28]在乙草胺对农田土壤动物群落结构的影响研究中得出乙草胺施用主要是对常见类群和稀有类群的影响,这与本文研究结果趋同,均表明农药的添加与施用更偏向于对稀有类群的影响。Pedrós-Alió等^[29]发现丰富的物种生长速度快,适应性好,而稀有物种生长速度慢,对外界条件更为挑剔。因此,土壤稀有微生物可能对环境变化更为敏感。本文通过计算物种的特异性和占有率来寻找可归属于不同处理的潜在关键物种(特化种),并分析在施用三环唑和二氯喹啉酸条件下,共有特化种的相关丰度变化以及特异性差异组成,研究结果表明,特化种中共有的Acidobacteria、Bacteroidetes、Gemmatimonadetes、Chloroflexi、Proteobacteria 5个菌门的相对丰度均受到不同程度的影响,且高剂量施用对菌门相对丰度的影响大于低剂量施用,高剂量与低剂量施用对微生物的稳定性及丰度均造成不同程度的影响^[30]。同时在对特化种组成进一步分析中发现,施用三环唑处理产生的特异性物种及其分布的菌门远多于施用二

氯喹啉酸处理,且高剂量施用的影响大于低剂量施用。目前对农药处理下特化种的研究较少,大多研究主要集中于施用农药与除草剂后土壤微生物群落结构^[31]和物种组成的变化情况^[32]。

4 结论

通过田间试验发现,三环唑和二氯喹啉酸的施用对稻田土壤细菌 α 多样性无显著影响,但显著影响了细菌群落结构,且高剂量施用的影响大于低剂量施用,最终导致稀有类群的减少,条件稀有类群的增加。下一步可针对三环唑和二氯喹啉酸施用导致的土壤微生物整体群落功能及特化种功能的变化进行深入研究。

参考文献:

- [1] 许朝中, 张恩建, 张诗玉, 等. 三环唑防治水稻穗颈瘟病试验研究[J]. 安徽农学通报, 2001, 7(2): 50. XU C Z, ZHANG E J, ZHANG S Y, et al. Experimental study on tricyclazole control of rice panicle neck blast[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2001, 7(2): 50.
- [2] 张玉江, 时巨国, 刘慧珍. 应用三环唑防治稻瘟病效果好[J]. 中国农垦, 1993(8): 26. ZHANG Y J, SHI J G, LIU H Z. Tricyclazole was effective in controlling rice blast[J]. *China Agricultural Reclamation*, 1993(8): 26.
- [3] 宋伟丰. 水稻田稗草对二氯喹啉酸的抗性机理研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017. SONG W F. Study on the resistance mechanism to quinclorac of the barnyard grass[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [4] ZAWIERUCHA J E, PENNER D. Absorption, translocation, metabolism, and spray retention of quinclorac in digitaria sanguinalis and eleusine indica[J]. *Weed Science*, 2000, 48(3): 296-301.
- [5] HANSEN H, GROSSMANN K. Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition[J]. *Plant Physiology*, 2000, 124(3): 1437-1448.
- [6] 马国兰. 稗草(*Echinochloa crusgalli*(L.) Beauv.)对二氯喹啉酸的抗性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013. MA G L. The resistance of barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*(L.) Beauv.) to quinclorac[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [7] 杨家龙, 何成. 22%春雷·三环唑悬浮剂(韩稻福)防治水稻稻瘟病田间药效试验[J]. 上海农业科技, 2021(6): 126-127. YANG J L, HE C. Field efficacy test of 22% Chunlei tricyclazole suspension (Handaofu) against rice blast[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2021(6): 126-127.
- [8] 赵洪利, 薛忠海, 周璇. 30%稻瘟·三环唑悬浮剂对水稻稻瘟病防治效果[J]. 现代化农业, 2022(2): 24-25. ZHAO H L, XUE Z H, ZHOU X. Control effect of 30% rice blast and tricyclazole suspension on rice blast[J]. *Modern Agriculture*, 2022(2): 24-25.
- [9] 李佳. 三环唑在稻田生态环境中的残留降解与水解研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010. LI J. Study on degradation and residue of tricyclazole in ecological environment of paddy and its hydrolysis[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.

- [10] 刘击. 堆肥对菲及三环唑污染土壤修复研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007. LIU J. Investigation in remediation of phenanthrene- and tricyclazole- contaminated soil using compost[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [11] 李哲. 丛枝菌根真菌在农药三环唑污染控制中的应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012. LI Z. Application of arbuscular mycorrhizal fungi in pesticide tricyclazole pollution control[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [12] 韩雨桐, 刘烨, 张淋淋, 等. 稻瘟病菌拮抗细菌的筛选及其防效作用研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 67-72. HAN Y T, LIU Y, ZHANG L L, et al. Screening and evaluation of antagonistic bacteria against rice blast[J]. *Northeast Agricultural Sciences*, 2016, 41(3): 67-72.
- [13] 刘宾, 王海莲, 管延安, 等. 不同除草剂对高粱地杂草防除效果研究[J]. 山东农业科学, 2018, 50(4): 108-111. LIU B, WANG H L, GUAN Y A, et al. Screening and evaluation of antagonistic bacteria against rice blast[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(4): 108-111.
- [14] 宋德安. 锰氧化物对二氯喹啉酸农药的降解机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018. SONG D A. Degradation mechanism for the oxidation of quinclorac by using manganese oxide[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [15] 高原. 西来稗(*Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis*)对二氯喹啉酸抗药性机理的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019. GAO Y. Study on the mechanism of quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [16] 黄思琦, 屠王满措, 潘九月, 等. 稻田除草剂二氯喹啉酸降解菌 15^o 的分离、鉴定及降解特性[J]. 微生物学通报, 2021, 48(11): 4111-4122. HUANG S Q, TU W M C, PAN J Y, et al. Isolation, identification and degradation characteristics of paddy field herbicide quinclorac degrading bacteria 15^o[J]. *Microbiology China*, 2021, 48(11): 4111-4122.
- [17] 张智超, 高明, 赵昊, 等. 土壤微生态对二氯喹啉酸污染及 *Enterobacter ludwigii* EM1 修复的响应[J]. 河南农业科学, 2022, 51(4): 68-76. ZHANG Z C, GAO M, ZHAO H, et al. Response of soil microecology to quinclorac contamination and remediation by *Enterobacter ludwigii* EM1[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(4): 68-76.
- [18] 张好, 郭爱玲, 崔烨, 等. 培养条件下二氯喹啉酸对土壤微生物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 849-857. ZHANG Y, GUO A L, CUI Y, et al. Effect of quinclorac on soil microbial community structure under culture conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(3): 849-857.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. BAO S D. Agrochemical analysis of soil[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] DAI T, ZHANG Y, TANG Y, et al. Identifying the key taxonomic categories that characterize microbial community diversity using full-scale classification: a case study of microbial communities in the sediments of Hangzhou Bay[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2016, 92(10): fiw150.
- [21] GWEON H S, BOWES M J, MOORHOUSE H L, et al. Contrasting community assembly processes structure lotic bacteria metacommunities along the river continuum[J]. *Environmental Microbiology*, 2021, 23(1): 484-498.
- [22] 许博涛, 王璐, 田蓓, 等. 除草剂和种衣剂对东北森林土壤微生物群落功能的影响[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(4): 66-73. XU B T, WANG L, TIAN B, et al. Effects of herbicides and seed coating agents on the metabolic function of soil microbial communities in forest soils of northeast China[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2022, 50(4): 66-73.
- [23] GARCÍA-JARAMILLO M, REDONDO-GÓMEZ S, BARCIA-PIEDRAS J M, et al. Dissipation and effects of tricyclazole on soil microbial communities and rice growth as affected by amendment with alperujo compost[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 550: 637-644.
- [24] 谢彩祥, 郑清冬, 王艺, 等. 兰科植物与共生真菌互作关系的研究进展[J/OL]. 分子植物育种: 1-9[2022-12-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210716.1720.016.html>. XIE T X, ZHENG Q D, WANG Y, et al. Review of interaction between orchidaceae and symbiotic fungi[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 1-9[2022-12-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210716.1720.016.html>.
- [25] 张好. 二氯喹啉酸对土壤微生物群落和酶活性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. ZHANG Y. Effect of quinclorac on soil microbial community structure and enzyme activity[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [26] 杨彩宏, 张好, 崔烨, 等. 二氯喹啉酸在水旱条件下对土壤酶活性及微生物群落的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(6): 74-79. YANG C H, ZHANG Y, CUI Y, et al. Effects of quinclorac on soil enzymes activities and microbial community under flooded and non-flooded conditions[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(6): 74-79.
- [27] 夏芋蔚, 陈浩, 姚宇阔, 等. “优标”水稻体系对稻田土壤环境的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(17): 3343-3354. XIA Q W, CHEN H, YAO Y T, et al. Effects of ‘good quality standard’ rice system on soil environment of paddy field[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(17): 3343-3354.
- [28] 李涛, 陈雯, 章芸, 等. 乙草胺对农田土壤动物群落结构的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9502-9505. LI T, CHEN W, ZHANG Y, et al. Effects of acetochlor on community structure of soil fauna in farmland[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(20): 9502-9505.
- [29] PEDRÓS-ALIÓ C. The rare bacterial biosphere[J]. *Annual Review of Marine Science*, 2012, 4: 449-466.
- [30] 吕镇梅, 闵航, 叶叶芳. 除草剂二氯喹啉酸对水稻田土壤中微生物种群的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 605-609. LÜ Z M, MIN H, YE Y F. Effect of herbicide quinclorac on microbial populations in a paddy soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 605-609.
- [31] SYROMYATNIKOV M Y, ISUWA M M, SAVINKOVA O V, et al. The effect of pesticides on the microbiome of animals[J]. *Agriculture*, 2020, 10(3): 79.
- [32] 张世敏, 刘晓霞, 徐淑霞, 等. 二氯喹啉酸对土壤微生物的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(3): 538-541. ZHANG S M, LIU X X, XU S X, et al. Effects of quinclorac on soil microbes[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(3): 538-541.

(责任编辑:李丹)