

赵群喜,王海霞,王磊元,等. 菌渣与化肥配施对水稻田土壤养分及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):191-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.027

菌渣与化肥配施对水稻田土壤养分及酶活性的影响

赵群喜¹,王海霞²,王磊元¹,宋颜志¹,李 许¹,杨 池¹,李风娟¹

(1. 新疆理工学院,新疆阿克苏 843100; 2. 新疆阿克苏职业技术学院,新疆阿克苏 843100)

摘要: 为了促进黑木耳菌渣的可持续利用并提供土壤培肥的理论依据,利用菌渣化肥不同比例配施方法,探讨土壤养分和酶活性的变化特征。结合水稻田间试验,设置空白对照、菌渣与有机肥不同比例配施共 7 个处理,分析各处理土壤的容重、pH 值、EC 值、有机碳含量、全氮含量、过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性、脲酶活性的变化特征,以及各指标之间的相关性。结果表明:施用菌渣处理土壤的各项指标均优于不施菌渣处理;在 C₅₀F₅₀ 处理中,土壤容重降低最明显,有机碳、全氮含量增加最为明显;在 C₅₀F₁₀₀ 处理中,蔗糖酶活性最强;在 C₁₀₀F₅₀ 处理中,土壤 pH 值降低最明显,土壤过氧化氢酶、脲酶活性最强;在 C₁₀₀F₁₀₀ 处理中,土壤 EC 值降低最明显。相关性分析结果表明,蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶活性之间存在显著或极显著的相关关系;土壤容重、pH 值、EC 值与土壤酶活性间大多存在显著或极显著负相关关系;土壤有机碳、全氮含量与土壤酶活性存在显著或极显著正相关关系。菌渣和化肥配施,能有效优化土壤理化性质及土壤酶活性,但各指标并不是随着施用量的增加而优化;适宜量的菌渣和化肥配施还田,才能够改善土壤环境,让“废渣”变成增产增收的“金粒”。

关键词: 菌渣;化肥;配施;土壤养分;土壤酶

中图分类号: S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2024)01-0191-06

黑木耳具有药食同源的特性,被称为“黑色瑰宝”^[1-2],是在东亚地区(特别是中国、日本、韩国)非常受欢迎的食用菌,更是贫困地区各级政府探索产业巩固脱贫成果的新路径。黑木耳产业的蓬勃发展产生了大量黑木耳菌渣,若处置不当,会给生态环境和食用菌产业持续健康发展带来巨大压力。因此,挖掘黑木耳菌渣的潜在价值,实现废弃物的循环利用,是一个非常值得研究的课题。

菌渣含有多种微生物和营养物质,是一种新型有机肥料;菌渣还田可有效增加土壤中养分含量,提高植物对养分的吸收,促进植物生长^[3]。许少杰研究发现,稻谷轮作中菌渣还田可降低土壤容重,增加土壤碱解氮和有效磷含量,促进水稻生长,提高水稻的产量和品质^[4]。马常钦等研究发现,低比

例菌渣还田(菌渣与土壤体积比为 1:10)可降低土壤容重和 pH 值,提高土壤中的有机质、碱解氮含量;而高比例菌渣还田(菌渣与土壤体积比为 1:2)可抑制土壤中有效养分的含量^[5]。新疆阿克苏地区作为新疆稻米高产区、特色苹果主产区、棉花产业示范区、核桃产业发源区、红枣机械化产业推广区,土壤质量是保持农作物生产力、维持农产品安全、促进生态系统健康及社会经济持续良好发展的基础。为了合理处理黑木耳菌渣,缓解菌渣对环境污染的压力,结合阿克苏地区废菌渣资源丰富的实际情况,根据菌渣富含丰富的有机质且容重小、总孔隙度大的特点^[6],在新疆阿克苏地区进行菌渣与有机肥配施还田,探索黑木耳菌渣还田对土壤养分的影响,为农业废弃物再利用和节本增效提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黑木耳菌渣,取自黑木耳栽培后发酵的废菌棒,由新疆理工学院黑木耳研究中心提供。菌渣理化性质:pH 值为 6.7, C/N 为 32.11,含有机碳 406.25 g/kg、全氮 12.65 g/kg、全钾 6.17 g/kg、全磷 0.96 g/kg。供试水稻品种为秋田小町。

收稿日期:2023-02-09

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(编号:2021D01B45、2021D01B44);新疆理工学院校级科研项目(编号:ZY202101、ZZ202103)。

作者简介:赵群喜(1990—),男,河南商丘人,硕士,讲师,主要从事农业生物质资源利用与农业机械装备研究。E-mail:990611699@qq.com。

通信作者:李风娟,硕士,教授,主要从事生物质资源研究。E-mail:276390658@qq.com。

1.2 试验区概况

田间试验于 2020—2022 年在新疆阿拉尔市十团三连($80^{\circ}30' \sim 81^{\circ}58'E, 40^{\circ}22' \sim 40^{\circ}57'N$)进行,该地位于天山南麓、塔里木盆地北部,处于阿克苏河、叶尔羌河、和田河三河交汇之处的塔里木河上游,属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,年均降水量为 40 ~ 82 mm,年均蒸发量为 1 876.6 ~ 2 558.9 mm。供试土壤试验前的理化性质:pH 值为 6.9,含有机质 26.17 g/kg、速效磷 28.51 mg/kg、速效钾 154.25 mg/kg、碱解氮 106.57 mg/kg。

1.3 试验设计

共设置 7 个处理,重复 3 次。处理 1 (CK),空白对照;处理 2 (C_0F_{100}),100% 施用菌渣;处理 3 ($C_{100}F_0$),100% 施用化肥;处理 4 ($C_{50}F_{50}$),施用 50% 化肥、50% 菌渣;处理 5 ($C_{50}F_{100}$),施用 50% 化肥、100% 菌渣;处理 6 ($C_{100}F_{50}$),施用 100% 化肥、50% 菌渣;处理 7 ($C_{100}F_{100}$),施用 100% 化肥、100% 菌渣。施用 50%、100% 化肥表示施用当地实际施肥量的 50%、100%;施用 50%、100% 菌渣表示菌渣施用量分别为 10、20 t/hm²。水稻移栽前,按照比例将处理后的菌渣和化肥(基肥部分)结合翻耕施入土壤中。常规化肥 100% 施用量具体如下:基肥施磷酸二铵 15 kg/667m²、尿素 10 kg/667m²、硫酸钾 5 kg/667m²;分蘖初期追施尿素 5 kg/667m²;分蘖盛期追施尿素 5 kg/667m²、磷酸二铵 5 kg/667m²。其他田间管理按照常规栽培技术要求进行。

1.4 样品采集与测定方法

土壤样品采集在水稻收获后进行,采样时运用“等量”“多点混合”原则进行采样,“S”形采集 6 个点点位的土壤,采集深度为 0 ~ 20 cm,然后混匀作为 1 个样本,每个样本均重复 3 次,部分土壤样本进行自

然通风晾干,通过 10、100 目孔径的筛子,用于土壤基本理化性质及有机碳、全氮含量的测定。部分土壤放置在冰箱内保存,用于测定土壤酶活性。

各指标的测定方法:土壤容重采用环刀法测定;土壤 pH 值和土壤电导率(EC 值)采用梅特勒 pH 计电导率测定仪测定;土壤有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定;土壤蔗糖酶活性采用 3,5 二硝基水杨酸比色法测定。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2010 进行数据整理,采用 SPSS 18.0 进行统计分析,方差分析采用重复测量方差分析法,多重比较采用邓肯氏(Duncan's)法,相关性分析采用皮尔森(Pearson)法。

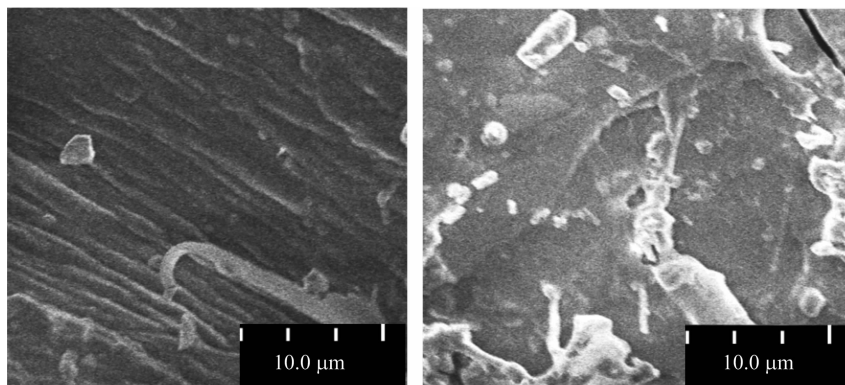
2 结果与分析

2.1 黑木耳生长前后菌棒的差异

新疆理工学院黑木耳研究中心的黑木耳菌棒主要由杨树木屑、棉籽壳等组成,主要成分为纤维素、半纤维素、木质素。由图 1 - A 可以看出,在黑木耳生长前,新鲜菌棒有较完整的管状纤维结构,这是生物质原本的结构。黑木耳生长后,废弃菌棒(菌渣)中生物质结构遭到微生物的分解,纤维结构遭到破坏(图 1 - B),保留了丰富的菌丝体、蛋白质、氨基酸等营养物质,可以在改良土壤的同时,为农作物的生长提供丰富的养分。

2.2 菌渣化肥配施后土壤容重、pH 值、EC 值的变化特征

土壤容重是一个衡量土壤紧实度的指标,直接影响土壤环境中水、肥、热、气的状况^[7]。由表 1 可



A. 生长前

B. 生长后

图1 黑木耳生长前后菌棒的扫描电子显微镜图像

知,菌渣还田后土壤容重显著下降 ($P < 0.05$), $C_{50}F_{50}$ 处理比 CK 降低 14.88%,其他施用菌渣的处理土壤容重均下降明显,降幅为 3.30% ~ 12.39%。

土壤酸碱度(pH 值)是影响土壤养分有效性及养分形态的重要指标。试验结果(表 1)表明,菌渣与化肥配施显著降低了土壤的 pH 值($P < 0.05$),随着菌渣还田用量的增加,土壤 pH 值整体呈下降趋势, $C_{100}F_{50}$ 处理的土壤 pH 值下降幅度最大,较 CK 显著下降 15.69% ($P < 0.05$),其次是 $C_{50}F_{100}$ 处理,较 CK 显著下降 14.45% ($P < 0.05$), C_0F_{100} 处理较 CK 下降幅度最小,下降 6.23%。南疆地区处于高蒸发地区,土壤偏碱性,试验结果说明菌渣还田可以有效平衡土壤酸碱度。

电导率(EC 值)是表征土壤电化学性质、土壤盐分及养分含量的重要指标^[8]。从表 1 可知,菌渣和化肥配施显著降低了土壤的电导率($P < 0.05$)。与 CK 相比,各处理的土壤 EC 值下降幅度为 20.39% ~ 30.99%,各处理土壤 EC 值表现为 $C_{100}F_{100} < C_{50}F_{100} < C_{100}F_{50} < C_0F_{100} < C_{50}F_{50} < C_{100}F_0 < CK$,其中 $C_{50}F_{100}$ 、 $C_{100}F_{100}$ 显著低于 CK ($P < 0.05$)。有研究表明,氮肥用量与土壤 EC 值呈负相关关系^[9]。从本研究试验结果来看,菌渣中含较高含量的氮素,导致土壤 EC 值下降。

表 1 菌渣还田后土壤理化性质的变化

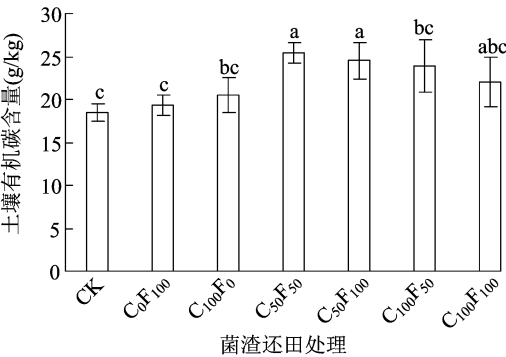
处理	土壤容重 (g/cm ³)	土壤 pH 值	土壤 EC 值 (mS/cm)
CK	1.21 ± 0.010a	8.03 ± 0.052a	204.33 ± 0.050a
C_0F_{100}	1.17 ± 0.018a	7.53 ± 0.060ab	151.67 ± 0.040bc
$C_{100}F_0$	1.11 ± 0.011bc	7.07 ± 0.029bc	162.67 ± 0.052b
$C_{50}F_{50}$	1.03 ± 0.024d	6.93 ± 0.036c	160.33 ± 0.060b
$C_{50}F_{100}$	1.11 ± 0.030bc	6.87 ± 0.030c	144.00 ± 0.032c
$C_{100}F_{50}$	1.06 ± 0.039cd	6.77 ± 0.016c	149.67 ± 0.038bc
$C_{100}F_{100}$	1.16 ± 0.022ab	6.97 ± 0.044c	141.00 ± 0.014c

注:表中数值为平均值 ± 标准差。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 菌渣化肥配施后土壤有机碳、全氮的变化特征

从图 2 可以看出,菌渣化肥配施后土壤有机碳含量均有不同程度的增加,其中 $C_{50}F_{50}$ 处理的土壤有机碳含量最高,为 25.49 g/kg。与 CK 相比,不同处理增幅为 4.4% ~ 37.9%,其中 $C_{50}F_{50}$ 处理增幅最大,为 37.9%。 C_0F_{100} 处理增幅最小,为 4.4%。

菌渣化肥配施后,土壤全氮含量的变化特征与有机碳含量变化特征基本一致。由图 3 可知,与 CK



柱上不同字母表示不同菌渣还田处理的差异达 5% 显著水平。图 3 至图 6 同

图2 菌渣化肥配施还田土壤有机碳的变化特征

相比,各处理土壤全氮含量显著升高 ($P < 0.05$)。在施用菌渣的处理中,土壤全氮含量均有明显增加,增幅为 15.7% ~ 85.3%,其中 $C_{50}F_{50}$ 、 $C_{50}F_{100}$ 处理下土壤全氮含量较 CK 显著增加 ($P < 0.05$),且增幅均超过 60%,更能提供充足的营养,促进水稻的生长和发育。

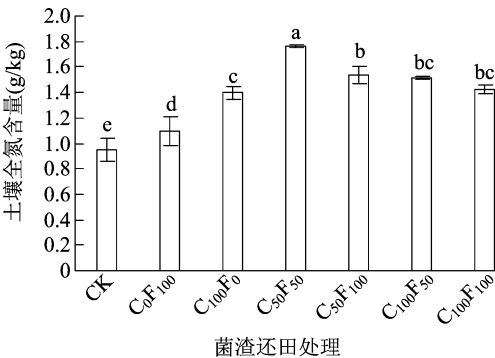


图3 菌渣化肥配施还田土壤全氮的变化特征

2.4 菌渣化肥配施后土壤酶活性的变化特征

与 CK 相比,菌渣化肥配施还田均能显著提高土壤酶的活性 ($P < 0.05$)。由图 4 可知, $C_{100}F_{50}$ 处理的土壤过氧化氢酶活性显著高于 CK 和其他各处理 ($P < 0.05$), $C_{100}F_0$ 、 $C_{100}F_{50}$ 、 $C_{100}F_{100}$ 处理的土壤过氧化氢酶活性分别是 CK 的 1.64、1.86、1.72 倍。在化肥施用量相同的情况下,土壤过氧化氢酶活性随着菌渣施用量的增加呈上升趋势。而在菌渣施用量相同时,随化肥用量的增加,土壤过氧化氢酶活性明显呈上升趋势。在单施化肥和单施菌渣的情况下,土壤过氧化氢酶活性均有显著变化,其中单施化肥更容易提高土壤酶的活性。

由图 5 可知,菌渣和化肥配施可以有效提高土壤蔗糖酶的活性, $C_{50}F_{100}$ 处理的土壤蔗糖酶活性显著高于 CK ($P < 0.05$)。在施用菌渣 F_{50} 和化肥 C_{50}

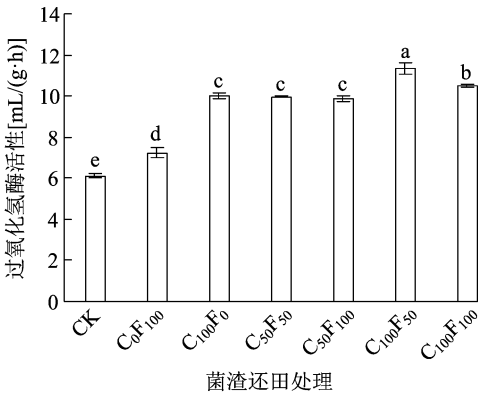


图4 菌渣化肥配施还田土壤过氧化氢酶活性的变化特征

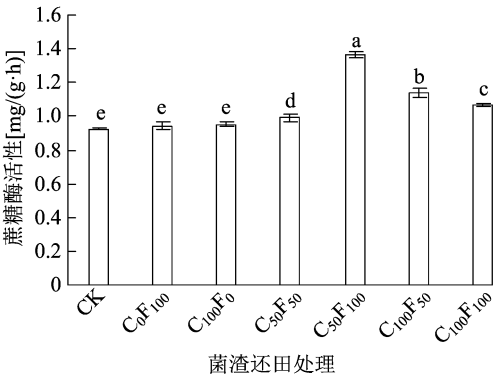


图5 菌渣化肥配施还田土壤蔗糖酶活性的变化特征

水平下,土壤蔗糖酶活性均随着化肥和菌渣施用量的增加而增大;而在施用菌渣 F₁₀₀和化肥 C₁₀₀水平下,土壤蔗糖酶活性呈现的则是先增后降的变化趋势。

由图 6 可知,菌渣化肥配施可以显著提高土壤脲酶的活性($P<0.05$),与 CK 相比,各处理增幅为 29.7%~67.6%;C₁₀₀F₅₀处理土壤脲酶活性上升幅度最大,C₀F₁₀₀处理土壤脲酶活性上升幅度最小。

在施用菌渣 F₅₀、F₁₀₀及化肥 C₅₀水平下,土壤脲酶活性均随化肥和菌渣施用量的增加而增大;而在施用化肥 C₁₀₀水平下,土壤脲酶活性呈先增后降的趋势。在单施菌渣和单施化肥处理中,单施菌渣处理的土壤脲酶活性要低于单施化肥的处理。

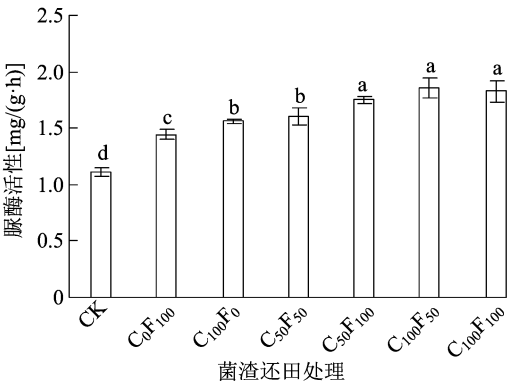


图6 菌渣化肥配施还田土壤脲酶活性的变化特征

2.5 土壤酶活性与土壤理化性质的相关性

对菌渣化肥配施后土壤酶活性与土壤理化性质的相关性进行分析,结果(表 2)表明不同土壤酶活性之间存在一定的相关性,过氧化氢酶活性与脲酶活性、蔗糖酶活性与脲酶活性存在极显著正相关关系($P<0.01$),过氧化氢酶活性和蔗糖酶活性存在显著正相关关系($P<0.05$)。这个结果表明,土壤酶活性之间存在着紧密的互作关系。本研究还发现,土壤酶活性与土壤养分因子之间具有一定的相关性,其中土壤脲酶活性与土壤 EC 值相关性最强,相关系数达到了 -0.843,土壤过氧化氢酶活性与土壤 pH 值和全氮含量之间的相关性也较强,相关系数分别为 -0.829 和 0.820。这说明土壤酶的活性是由多种因子协同影响的。

表 2 土壤酶活性与土壤理化性质的相关系数

项目	相关系数							
	pH 值	土壤容重	土壤 EC 值	有机碳含量	全氮含量	过氧化氢酶活性	蔗糖酶活性	脲酶活性
pH 值	1.000							
土壤容重	0.594 **	1.000						
土壤 EC 值	0.695 **	0.355	1.000					
有机碳含量	-0.608 **	-0.689 **	-0.473 *	1.000				
全氮含量	-0.744 **	-0.806 **	-0.592 **	0.770 **	1.000			
过氧化氢酶活性	-0.829 **	-0.713 **	-0.675 **	0.618 **	0.820 **	1.000		
蔗糖酶活性	-0.526 *	-0.285	-0.537 *	0.517 *	0.464 *	0.510 *	1.000	
脲酶活性	-0.814 **	-0.548 *	-0.843 **	0.571 **	0.544 *	0.913 **	0.636 **	1.000

注: * 表示显著相关($P<0.05$); ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

3 讨论与结论

3.1 菌渣化肥配施对土壤理化性质的影响机制

土壤容重是评价土壤品质的重要指标之一,同时也能有效反映土壤生产力的水平。孟庆英等研究发现,黑木耳菌糠还田降低了土壤容重、土壤贯入力,可以有效改变土壤板结和变硬的问题^[10]。胡留杰等的研究表明,菌渣还田对降低土壤容重、提高土壤透气性、改善土壤入渗能力具有显著成效^[11]。有研究者发现,菌渣自身的容重低且孔隙度高,将其还田后可明显降低土壤的容重^[12-14]。本研究结果显示,菌渣化肥配施明显降低了土壤容重,这说明菌渣可以有效改善土壤的团聚体结构,增加土壤孔隙度。但并不是施用的菌渣越多,土壤容重降低越快。本研究发现,当施入的菌渣和化肥都是中等量时,土壤容重的降幅最大,而菌渣或化肥施入量较大时土壤容重则下降幅度不大;这说明菌渣和化肥配施后产生了交互作用,导致菌渣和化肥配施后,土壤容重的降低幅度不同。

本研究结果显示,菌渣和化肥配施显著降低了土壤 pH 值,这与赵自超等对设施土壤的研究结果^[15]一致;另外本研究中土壤 pH 值随着菌渣施用量的增加而呈降低的趋势,这可能是菌渣发酵产生的酸性物质导致的。

土壤 EC 值是土壤水溶性盐的一个测定指标,而土壤水溶性盐是表层土壤中被植物迅速利用的重要无机营养^[16]。本研究发现,菌渣和化肥配施降低了土壤 EC 值,这可能与菌渣还田后土壤容重的降低有关,土壤孔隙度随着容重的降低而增大,导致土壤盐分淋失,进而土壤 EC 值下降。也有研究认为,土壤 EC 值下降的原因是菌渣经过发酵和转化,导致活性物质增多^[13]。

3.2 菌渣化肥配施对土壤养分的影响机制

土壤有机碳是土壤中各类含碳有机物的总和,其含量不仅关系到土壤肥力,还会影响着整个生态系统的碳循环,土壤有机碳既是温室气体“源”,也是其重要的“汇”^[17]。菌渣还田对土壤有机碳含量的变化影响很大。栗方亮等研究发现,对稻田土壤进行定位施用菌渣,土壤有机碳总量及各级团聚体碳含量明显升高,可有效改善土壤的团粒结构,进而提高稻田土壤的生产力;菌渣原位还田可以持续提高土壤有机碳的含量^[18-19]。孟庆英等对设施土壤菌渣还田进行研究发现,随着菌渣还田量的增

加,土壤有机碳含量呈增加趋势^[10,20]。本研究发现,菌渣和化肥配施后,土壤有机碳的含量明显增加,这说明菌渣的施入在一定程度上可以增加土壤有机碳含量,这可能是由于菌渣本身含有大量的纤维素、木质素等富碳物质,还有可能是菌渣进入土壤后分解转化一些有机酸,经过酸溶和螯合作用,促进了矿化物的养分释放,进一步增加了土壤有机碳的含量。本研究还发现,在 $C_{50}F_{50}$ 处理下,土壤有机碳含量最高,这说明菌渣本身含有丰富的有机质,在与化肥配施入土壤后进一步分解转化,使土壤有机碳的含量大幅度增加,最终形成培肥土壤的效果。但在化肥菌渣配施且施用总量超过 100% 水平下,有机碳含量随菌渣施用量增加呈现下降趋势,施用总量为 200% 时有机碳含量进一步降低,这可能是由于高量菌渣和化肥影响了有机碳的转化速度。

土壤全氮含量与作物产量密切相关,测定土壤全氮含量可用于指导施肥以达到增产的目的^[21]。有研究表明,黑木耳菌渣可以替代氮肥还田,并且增加土壤中的全氮含量^[10]。另外有研究者在菌渣中也检测到了丰富的氮、磷、钾等营养元素^[22]。本研究施用菌渣后,土壤全氮的含量显著升高,施入中量菌渣处理比高量菌渣处理的全氮含量增幅更大,这一变化与土壤有机碳含量变化一致,可能是因为过量的菌渣对土壤环境产生影响,进而影响了土壤碳氮的分解和转化。

3.3 菌渣化肥配施对土壤酶活性的影响机制

土壤酶作为产生生物化学反应的催化剂,其活性可用来判断土壤生物化学过程的强度^[23]。过氧化氢酶参与土壤中物质循环和能量转化过程,其活性在一定程度上可以反映土壤生物氧化过程的强弱程度。陈文博等的研究表明,菌渣还田后土壤过氧化氢酶、土壤脲酶、土壤蔗糖酶的活性显著增强^[24]。滕青等的研究结果也表明,菌渣的施用能够提高土壤过氧化氢酶的活性^[25],本研究结果与之一致。本研究还发现,高量化肥(C_{100})处理土壤过氧化氢酶活性明显高于低量化肥(C_{50})处理,而高量菌渣(F_{100})处理与低量菌渣(F_{50})处理则与化肥的变化相反,这说明化肥在提高土壤过氧化氢酶活性上的作用更强。然而,在所有处理中 $C_{100}F_{50}$ 处理的过氧化氢酶活性最高,这说明在原有施肥基础上增加 50% 菌渣会使两者交互作用更利于微生物进行代谢,进而增强了过氧化氢酶的活性。

蔗糖酶作为植物、微生物的营养源,其活性可以反映土壤呼吸的强度^[23]。邓欧平等研究认为,菌渣还田后土壤蔗糖酶活性显著增强^[26]。胡留杰等的研究表明,菌渣会抑制土壤蔗糖酶的活性^[11]。本研究中,在施入高量的菌渣和化肥后,土壤的蔗糖酶活性显著增强,而单施菌渣、单施化肥及配施低量的菌渣和化肥后,土壤蔗糖酶的活性变化并不明显。这说明菌渣和化肥的互作效应更利于土壤微生物脂肪、蛋白质的代谢以及激素合成的转化,进而提高蔗糖酶的活性。

脲酶是土壤中能将蛋白质、多糖等大分子物质裂解成简单的、易于被植物吸收的小分子物质的一种酶,其活性在土壤碳、氮循环过程中发挥着重要作用^[27]。胡留杰等研究认为,菌渣还田能显著增加土壤脲酶活性^[11]。滕青等的研究表明,单施菌渣比单施化肥的土壤脲酶活性高出 1.44 倍^[25]。本研究结果与其他研究者的结果一致,菌渣还田显著提高了土壤脲酶活性,菌渣和化肥配施后土壤脲酶的活性明显高于单施菌渣和单施化肥的处理,并且高量的菌渣化肥处理比低量的菌渣化肥处理土壤脲酶活性增加的幅度更大,这说明高量的菌渣和化肥的互作效应更强。

本研究中,菌渣化肥配施均不同程度提高了 3 种土壤酶的活性,一方面说明了菌渣本身具有丰富的养分物质,另一方面说明菌渣和化肥具有良好交互作用,对土壤质量有一定的提高。本研究还发现,不同酶活性之间、酶活性与土壤养分因子之间存在一定的相关性,这与陈文博等的研究结果^[24-26]一致。这也说明,土壤中腐殖质的合成与分解,有机化合物、动植物和微生物残体的水解与转化,土壤中有有机、无机化合物的各种氧化还原反应等生物化学过程都有土壤酶的参与。

菌渣与化肥配施能有效提高土壤有机碳、全氮含量,对改善土壤容重、pH 值、EC 值效果显著,对增强土壤酶活性有较好作用,但并不是随着菌渣用量的增加一直呈现增加的趋势;低量的菌渣与化肥配施更有利于土壤碳氮的转化和分解,但对土壤酶活性的促进作用相对较小。因此,适当比例的菌渣与化肥配施能更加有效地提高土壤碳氮的周转速度、土壤酶活性及土壤质量。

参考文献:

[1]柳霖,高峰,韩宁,等.基于黑木耳菌渣的生菜栽培基质研

究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2021,47(4):492-506.

[2]Li Y, Huang S, Wei Y, et al. Two physical processes enhanced the performance of *Auricularia auricula* dreg in Cd(II) adsorption: composting and pyrolysis[J]. Water Science and Technology, 2019, 79(8):1511-1526.

[3]邓欧平,李瀚,周稀,等.菌渣还田对土壤有效养分动态变化的影响[J].中国土壤与肥料,2014(4):18-23.

[4]许少杰.稻菇轮作中菌渣还田对土壤养分及水稻产量和品质的影响[D].武汉:华中农业大学,2022:14-34.

[5]马常钦,李敏,卫星.菌渣还田比例及粒级对土壤特性及水曲柳苗木生长的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2022,42(6):80-87.

[6]吴建华.黑木耳废弃菌渣对环境的影响以及环保处理再利用[J].农村牧区机械化,2019(3):44-45.

[7]Zheng K, Cheng J, Xia J F, et al. Effects of soil bulk density and moisture content on the physico-mechanical properties of paddy soil in plough layer[J]. Water, 2021, 13(16):2290.

[8]Aini I N, Ezrin M H, Aimrun W. Relationship between soil apparent electrical conductivity and pH value of jawa series in oil palm plantation[J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2014, 2:199-206.

[9]潘昭隆,刘会芳,赵帅翔,等.氮肥投入对不同土壤类型电导率变化的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2021,50(4):533-537.

[10]孟庆英,张春峰,朱宝国,等.黑木耳菌糠还田对土壤理化性状的影响[J].东北农业科学,2021,46(5):21-25.

[11]胡留杰,李燕,田时炳,等.菌渣还田对菜地土壤理化性状、微生物及酶活性的影响研究[J].中国农学通报,2020,36(1):98-104.

[12]冯德庆,黄勤楼,黄秀声,等.菌渣对水稻生长性状、产量及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2012(1):74-77.

[13]张恒栋,敖正友,何志旺,等.不同菌渣施用比例对水稻秧苗素质的影响[J].中国稻米,2021,27(5):111-114.

[14]邱春雨.节肥条件下菌渣还田对水稻产量和土壤肥力的影响[D].杭州:浙江农林大学,2014:15-19.

[15]赵自超,赵时锋,张宏启,等.菌渣还田对设施瓜菜产量、品质和土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2021,37(19):112-118.

[16]闫建文,史海滨.氮肥对不同含盐土壤水盐和小麦产量的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(4/5):50-53.

[17]祝贞科,肖谋良,魏亮,等.稻田土壤固碳关键过程的生物地球化学机制及其碳中和对策[J].中国生态农业学报(中英文),2022,30(4):592-602.

[18]栗方亮,张青,王煌平,等.定位施用菌渣对稻田土壤团聚体中碳氮含量的影响[J].土壤,2017,49(1):70-76.

[19]洪琦,赵勇,陈明杰,等.大球盖菇菌渣原位还田对土壤有机质、酶活力及细菌多样性的影响[J].食用菌学报,2022,29(1):27-35.

[20]李岩杰,曹修才.草菇菌渣还田对设施大棚内土壤理化性状和下茬蔬菜生长的影响[J].食用菌,2020,42(5):60-62.

[21]杨海滨,李中林,邓敏,等.不同施肥措施对重庆茶园土壤氮

樊建霞,吴 琼,游 龙,等. 不同微生物菌肥对连作番茄品质、土壤性质及微生物活性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):197-204.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.028

不同微生物菌肥对连作番茄品质、土壤性质及微生物活性的影响

樊建霞,吴 琼,游 龙,覃贵勇

(重庆三峡职业学院,重庆 404155)

摘要:采用棚内划区试验,设置连作土常规施肥(CK1),连作土化肥减施30%(CK2),连作土化肥减施基础上分别施用细菌型芽孢杆菌(XJ)、真菌型木霉菌(ZJ)、放线菌型链霉菌肥(FJ)及其组合性处理(XZ、XF、ZF、XZF),探索不同微生物菌肥对连作番茄品质、土壤性质及微生物活性的影响,为微生物菌肥应用于连作番茄生产提供参考。结果表明,与CK1相比,化肥减施30%处理影响了土壤理化性质(pH值、SOC、HU、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、AP、AK)、酶活性(SUE、CAT、SUC、CEL)、微生物量(MBC、MBN、MBP)、土壤微生物呼吸速率、果实品质(维生素C、LYC、TSSC、TOA、TSS),产量降低。与CK2相比,化肥减施基础上施用微生物菌肥可改善土壤性质,提升土壤酶活性,增加亚硝化螺菌和亚硝化单胞菌为主的土壤氨氧化微生物丰度,提高番茄品质;但不同种群菌肥间存在竞争作用,整体以ZX、FJ处理存在较优值,与CK1相比,二者产量分别显著提高15.32%、13.98%。综上,合理施用微生物菌肥可以促进番茄品质、改善土壤性质及提高微生物活性,然而不同微生物菌肥组合效果存在较大差异,链霉菌不宜与其他菌肥组合使用;因此,建议在连作番茄土壤中单施链霉菌肥或木霉菌配施芽孢杆菌菌肥。

关键词:微生物菌肥;番茄;品质;土壤理化性质;酶活性;氨氧化菌

中图分类号:S641.206

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2024)01-0197-08

施用化学肥料是现代农业生产的必要手段,化肥在促进植物早期生长、中期生理发育及后期产质形成的过程中起着关键作用^[1-2]。然而,长期单一、过量施用化肥会降低土壤质量,如土壤理化性质恶化、微生物结构失衡、土壤酶活性降低和土壤重金属污染等,显著影响作物的产量和品质^[3]。在我国,实现“化肥零增长”和“两减一增”是未来农业生产的必然趋势,因此,寻找化肥替代性肥料从而缓解土壤质量恶化是现今农业可持续化发展及推进

农田生态环境建设过程中亟待解决的问题^[4]。微生物菌肥指一类含有活性功能微生物、具有肥料效应的特定制品^[5]。微生物菌肥具有调节土壤微生物结构、增强土肥效率、改善土壤生态及增强植物抗虫抗病性能的作用^[6]。近年来,施用微生物菌肥已成为保障土壤可持续发展、促进植物生长和提高作物品质的重要措施之一。

氮是影响作物生长发育、品质及产量的限制因子,同时也是土壤中最活跃的营养元素之一^[7]。然而,只有无机氮才能被植物直接吸收,肥料中的其他氮源(如酰胺态氮)只有通过土壤微生物和酶驱动的土壤氮转化过程间接使用。土壤氮转化过程包括固氮、氨氧化、硝化和反硝化,这些过程在提高氮有效性中发挥着关键作用^[8]。硝化由氨氧化

转化酶活性的影响[J]. 应用与环境生物学报,2020,26(5):1107-1114.

收稿日期:2023-09-04

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(编号:KJQN202103504);重庆三峡职业学院科研项目(编号:cqxs202008)。

作者简介:樊建霞(1986—),女,河南滑县人,硕士,讲师,主要从事植物栽培的教学及科研工作。E-mail:fanjx7369@163.com。

[22]王良梅,黄松杉,郑光耀,等. 菌渣作为土壤调理剂资源化利用的研究进展[J]. 土壤通报,2016,47(5):1273-1280.

[23]秦 秦,宋 科,孙丽娟,等. 生物有机肥与化肥减量配施对稻田土壤酶活性和土壤肥力的影响[J]. 上海农业学报,2022,38(1):21-26.

[24]陈文博. 长期菌渣还田对土壤有机碳稳定性、酶活性和微生物

多样性的影响[D]. 杭州:浙江农林大学,2020:20-26.

[25]滕 青,曾梦凤,林慧凡,等. 菌渣还田对生菜生长、土壤养分及酶活性的影响研究[J]. 中国农学通报,2020,36(6):30-36.

[26]邓欧平,谢 汀,李 燕,等. 稻麦轮作下不同还田模式对土壤酶活性的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(10):2027-2034.

[27]袁 梦. 东北稻田“有机肥替代”对土壤酶活性和线虫群落的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2021:12-16.