

刘玉连, 卢红, 李明, 等. 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 208–214.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.029

## 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响

刘玉连<sup>1</sup>, 卢红<sup>1</sup>, 李明<sup>1,2</sup>, 张金梅<sup>1</sup>

(1. 广东药科大学中药学院, 广东广州 510000; 2. 国家中医药管理局岭南药材生产与开发重点研究室, 广东广州 510000)

**摘要:**探究 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响, 旨在为栽培生产应用提供依据。采用盆栽试验, 以苗期、快速生长期、始花期的穿心莲为材料, 分别设置不施肥(CK), 施化肥(A, 0.5 g/kg), 低浓度(SF, 0.5 g/kg)、中浓度(MF, 1.0 g/kg)、高浓度(LF, 2.0 g/kg)的复合芽孢杆菌菌肥(F), 低浓度(SG, 5.0 g/kg)、中浓度(MG, 15.0 g/kg)、高浓度(LG, 25.0 g/kg)的菌动力复合微生物菌肥(G), 共 8 个处理, 研究不同处理对不同生长期穿心莲根际土壤的含水量、理化性质、微生物数量及酶活性的影响。根据隶属函数法进行分析。结果表明, 不同处理对不同时期穿心莲根际土壤的影响不同。SF 处理在苗期、快速生长期、始花期均比 CK 增加了根际土壤含水量和细菌数量, 提高了土壤脲酶活性, 减少了真菌数量; 其中苗期土壤含水量显著提高 25.64%, 快速生长期真菌数量显著降低 46.08%, 始花期土壤蔗糖酶活性、细菌数量、放线菌数量显著提高 87.40%、45.83%、18.54% ( $P < 0.05$ )。MG 处理的土壤有机质、碱解氮、速效钾含量分别比 CK 显著增加 21.57%、146.67%、14.10% ( $P < 0.05$ )。最佳处理为 SF, 其次是 LF、MF 处理。施用适宜浓度的复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥, 均能增加土壤养分、土壤细菌及放线菌数量, 提高土壤酶活性, 改善穿心莲的根际土壤环境, 提升土壤肥力。

**关键词:**复合芽孢杆菌菌肥; 菌动力复合微生物菌肥; 穿心莲; 土壤微生态; 酶活性

**中图分类号:**S182; S567.23<sup>+</sup>9.06

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2023)12-0208-07

穿心莲药材为爵床科植物穿心莲 [*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees] 的地上干燥部分, 其味苦, 性寒, 具有清热解毒、凉血、消肿的功效<sup>[1]</sup>。穿心莲分布于热带和亚热带地区, 在我国广东、广西、福建等地均有种植<sup>[2]</sup>。穿心莲为喜肥作物, 但长期施用过量化肥, 不仅无法促进穿心莲对养分的吸收利用, 还会使氮素流失, 污染土壤环境, 破坏土壤结构, 最终导致植株长势变差, 穿心莲有效成分含量下降, 限制穿心莲药材的持续性发展<sup>[3]</sup>。国家对中药质量的安全可控非常重视, 中药材原植物的生态栽培是今后的发展方向, 是从源头控制品质的根本措施。微生物菌肥因具有改良土壤, 改善土壤微生态环境, 增加肥效, 提高作物产量、效益及品质等作

用而逐渐被重视和应用<sup>[4-6]</sup>。土壤的微生态体现了土壤的肥力情况, 土壤理化性质、微生物数量和土壤酶活性的变化, 导致植物根际微生态发生变化, 对植物的生长发育产生重要的影响<sup>[7]</sup>。本研究通过盆栽试验, 研究 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤性质的影响, 旨在为穿心莲生态栽培生产应用提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

穿心莲成熟种子, 来自广东省英德市穿心莲规范化种植基地。

化肥(A), N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 15:5:25, 购自云南云天化股份有限公司。复合芽孢杆菌菌肥(F), 富含枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌等, 有效菌数≥200 亿 CFU/g; 菌动力复合微生物菌肥(G), 富含固氮菌、放线菌、芽孢杆菌等, 有效菌数≥20 亿 CFU/g; 均购自山东君德生物科技有限公司。

#### 1.2 试验设计

盆栽试验于 2021 年 6 月至 11 月在广东药科大

收稿日期: 2022-08-25

基金项目: 广东省重点领域研发计划(编号: 2020B020221002); 广东省普通高校重点领域专项(编号: 2020ZDZX1055); 广东省农村科技特派员项目(编号: KTP20200168)。

作者简介: 刘玉连(1998—), 女, 海南儋州人, 硕士研究生, 研究方向为中药资源开发与品质评价。E-mail: 970257535@qq.com。

通信作者: 李明, 博士, 教授, 主要从事药用植物资源及质量评价等研究。E-mail: 13539843803@163.com。

学大学城校区中药培育棚进行,培育基质为园土、营养土、蛭石(体积比为3:1:1),每盆装土2 kg。设置不施肥(CK)、化肥(A,0.5 g/kg)为对照;复合芽孢杆菌菌肥(F)3个处理SF、MF、LF,浓度分别为0.5、1.0、2.0 g/kg;菌动力复合微生物菌肥(G)3个处理SG、MG、LG,浓度分别为5.0、15.0、25.0 g/kg;共8个处理,每个处理20盆,共160盆。将育苗盆中培育45 d的穿心莲幼苗,移栽至装有培养基质的种植盆中,定植10 d后,开始施加不同肥料。施用化肥A和菌肥F时,分别用250 mL水溶解后,浇灌;施用菌肥G是在距离茎5 cm处挖小穴沟,将肥料均匀散在穴中,覆土,每盆浇水250 mL。定期浇水、观察,测定苗期(移栽后40 d)、快速生长期(移栽后70 d)、始花期(移栽后110 d)的相关指标。

### 1.3 土壤样品的采集

在穿心莲苗期(移栽40 d)、快速生长期(移栽70 d)、始花期(移栽110 d)去除表层土,采用抖根法收集穿心莲根际土壤。其中一部分新鲜根际土样用于土壤含水量与土壤微生物数量的测定;另一部分根际土壤自然风干后,过60目筛,用于土壤理化性质和土壤酶活性的测定。

### 1.4 测定指标与方法

**1.4.1 土壤含水量测定** 通过烘干称质量法测定土壤含水量,称取5 g新鲜土样置于坩埚中,然后将坩埚放置在温度为105℃的烘箱中,烘2~4 h至恒质量。土壤含水量计算如下<sup>[8]</sup>:

$$\text{土壤含水量} = \frac{\text{湿土质量} - \text{干土质量}}{\text{干土质量}} \times 100\%$$

**1.4.2 土壤理化性质测定** 参考鲁如坤的方法<sup>[9]</sup>,土壤pH值、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量,分别采用电位法、高温外热重铬酸钾氧化-容量法、凯氏定氮法、碱解扩散法、钼锑抗比色法、火焰光度法测定。

**1.4.3 土壤微生物数量测定** 参考程丽娟等的方法<sup>[10]</sup>,对穿心莲3个不同生长期进行根际土壤细菌、真菌及放线菌数量的测定。

**1.4.4 土壤酶活性测定** 参考关松荫的方法<sup>[11]</sup>,测定土壤脲酶、土壤蔗糖酶、土壤过氧化氢酶的活性,分别采用靛酚蓝比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法和高锰酸钾滴定法。

**1.4.5 隶属函数值计算** 用隶属函数分析法对穿心莲苗期、快速生长期、始花期的根际土壤相关指标进行综合评价。对3个不同生长期各指标的隶属

函数值进行平均计算,得出综合隶属函数值,根据综合隶属函数值的大小进行排名,选出最佳的微生物菌肥及最适浓度处理。计算公式如下<sup>[12]</sup>:

正相关的隶属值 =  $(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;  
负相关的隶属值 =  $1 - (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。  
式中: $X_i$ 为某一浓度微生物菌肥处理下第*t*个指标的测定值; $X_{\max}$ 为所有浓度微生物菌肥处理第*t*个指标的最大值; $X_{\min}$ 为所有浓度微生物菌肥处理第*t*个指标的最小值。

2种微生物菌肥对穿心莲综合评价*D*值,为某处理下穿心莲3个生育期的各指标平均隶属函数值的平均值。

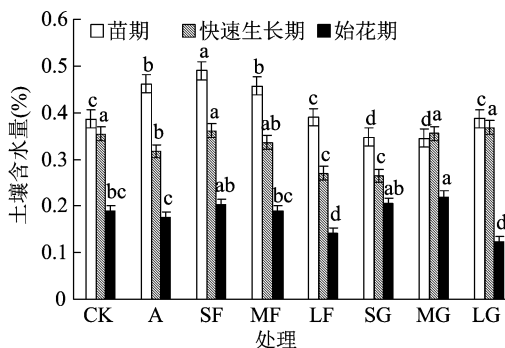
### 1.5 数据分析

采用Excel 2019和SPSS 26.0软件对试验数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤含水量的影响

由图1可见,各个处理的根际土壤含水量大部分呈苗期>快速生长期>始花期的特点。在苗期,SF处理促进效果最为显著,分别比CK、A处理提高25.64%、6.52%。在快速生长期,LG处理比CK、A处理提高5.71%、15.63%。随复合芽孢杆菌菌肥浓度的增加,土壤含水量呈降低趋势;而随菌动力复合微生物菌肥浓度的增加,土壤含水量呈升高趋势。在始花期,随菌动力复合微生物菌肥浓度的增加,土壤含水量呈先增后减的变化,MG处理较CK、A处理提高15.79%、29.41%。综合分析3个时期,复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥最佳处理总体较CK、A处理高,其中以SF、MG处理对穿心莲根际土壤含水量的提升效果较好。



柱上不同字母表示不同处理之间具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

图2至图7同

图1 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤含水量的影响

2.2 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对始花期穿心莲根际土壤理化性质的影响

不同浓度处理的 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质有显著的影响(表 1)。SF 处理的土壤 pH 值比 CK、A 处理分别提高了 3.21%、9.36%。SG 处理显著影响了土壤有机质含量,比 CK、A 处理分别提高 21.72%、18.34%。MG 处理的土壤有机

质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别比 CK 处理增加 21.57%、5.30%、146.67%、44.85%、14.10%;与 A 处理相比,能显著提高土壤有机质、碱解氮和速效钾含量。综合分析 2 种微生物菌肥对土壤 pH 值和养分含量的影响发现,施用菌动力复合微生物菌肥比复合芽孢杆菌菌肥的效果更好。

表 1 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对始花期穿心莲根际土壤理化性质的影响

处理组	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	4.98b	45.16b	1.32ab	75.60c	9.52b	176.29b
A	4.70c	46.45b	1.45a	151.20b	18.82a	189.41ab
SF	5.14a	45.23b	1.09c	75.60c	8.20c	184.24b
MF	5.12a	49.50ab	1.01c	70.56c	9.62b	199.59a
LF	5.07ab	45.84b	1.02c	75.60c	8.29c	199.50a
SG	5.03ab	54.97a	1.30ab	75.60c	10.09b	181.38b
MG	5.04ab	54.90a	1.39a	186.48a	13.79ab	201.14a
LG	4.82c	46.35b	1.25b	136.08b	11.33b	179.66b

注:同列数据后不同字母表示不同处理之间具有显著性差异( $P<0.05$ )。

2.3 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤微生物数量的影响

2.3.1 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤细菌数量的影响

由图 2 可见,根际土壤细菌数量随不同菌肥处理浓度的增加,其变化规律不同。在始花期,土壤细菌数量均随复合芽孢杆菌浓度增加而呈降低变化;菌动力复合微生物菌肥在苗期和快速生长期无显著的浓度效应,在始花期根际土壤细菌数量随其浓度的增加而增加。而各处理对不同生长期穿心莲根际土壤细菌数量均呈增加的影响趋势,其中始花期增加幅度显著,SF、MF、LF 处理分别比 CK 处理增加了 45.83%、29.58%、23.33%;MG、LG 处理分别比 CK 处理增加了 19.17%、75.83%,SG 处理则与 CK 处理无显著差异;SF、MF、LG 处理分别比 A 处理提高了 17.06%、4.01%、41.14%。

2.3.2 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤真菌数量的影响

由图 3 可见,不同生长期,其根际土壤真菌数量随处理浓度的增加,其变化规律也不同。苗期与快速生长期的土壤真菌数量总体比 CK 处理降低,始花期的土壤真菌数量在不同处理浓度下比 CK 处理降低或略有升高,但无显著差异(除 LF 处理显著低于 CK 外)。这 2 种菌肥处理的土壤真菌数量在 3 个生

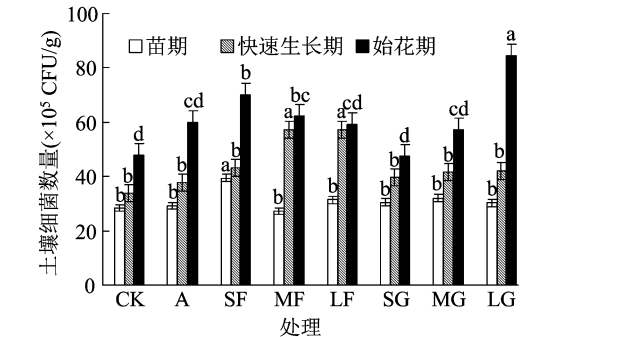


图2 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤细菌数量的影响

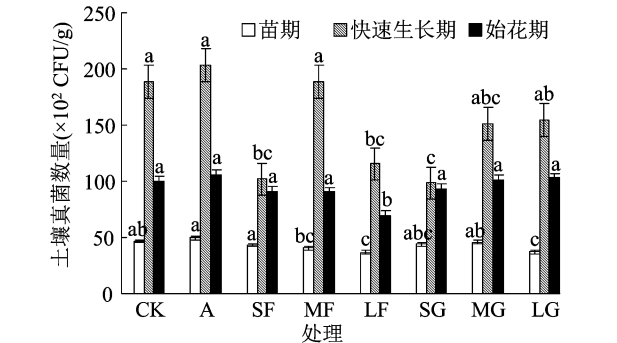


图3 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤真菌数量的影响

长期总体比 A 处理降低。SF、SG 处理在快速生长期降低幅度最大,比 CK 处理显著降低 46.08%、47.88%,而比 A 处理显著降低 49.95%、51.62%。

2.3.3 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤放线菌数量的影响 由图 4 可见,各处理的不同生长期,穿心莲根际土壤的放线菌整体较对照呈增加的变化趋势;其中始花期增加幅度最显著,SF、MG 处理升幅最大,分别比 CK 处理增加 18.54%、27.67%。不同菌肥处理对根际土壤放线菌数量的影响随浓度增加的变化,其规律不同。在苗期,土壤放线菌数量均随复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥处理浓度的增加整体增加;在快速生长期,随复合芽孢杆菌菌肥处理浓度的增加而增加,而随菌动力复合微生物菌肥处理浓度呈降低变化;在始花期,随复合芽孢杆菌菌肥浓度的增加而降低,随菌动力复合微生物菌肥浓度呈先增后降的变化趋势。在 3 个时期中,复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥的最佳处理均高于对照和化肥处理,且达显著性水平 ( $P < 0.05$ )。

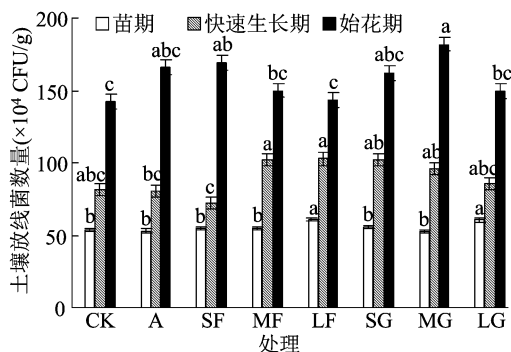


图4 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤放线菌数量的影响

2.4 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤酶活性的影响

2.4.1 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤蔗糖酶活性的影响 由图 5 可见,2 种菌肥对不同生长期土壤蔗糖酶活性的影响各不相同。始花期的土壤蔗糖酶活力均高于 CK 处理。土壤蔗糖酶活性在苗期、快速生长期,随菌动力复合微生物菌肥浓度的增加而升高,LG 处理分别比 CK 提高 87.57%、83.81%;快速生长期,LF 处理较 CK 提高 32.26%。始花期 SF 处理和苗期、快速生长期 LG 处理的土壤蔗糖酶活性均显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。

2.4.2 2 种微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤过氧化氢酶活性的影响 由图 6 可见,土壤过氧化氢酶活性,均随复合芽孢杆菌菌肥处理浓度的

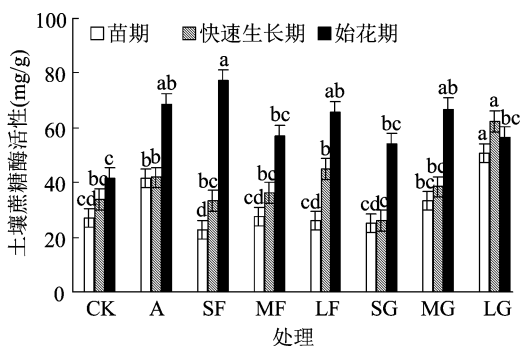


图5 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤蔗糖酶活性的影响

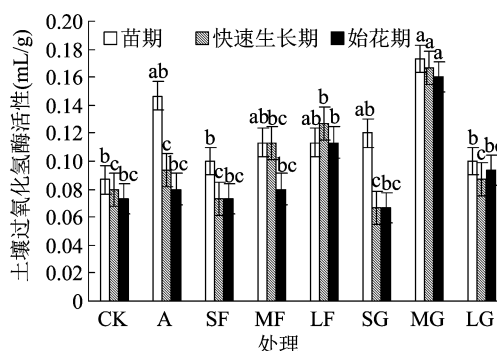


图6 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤过氧化氢酶活性的影响

增加而增加,随菌动力复合微生物菌肥处理浓度的增加呈先增后降的变化趋势;且复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥的最佳处理均较 CK 和 A 处理显著升高 ( $P < 0.05$ )。菌动力复合微生物菌肥对土壤过氧化氢酶活性的促进效果较好,苗期、快速生长期、始花期的 MG 处理分别比 CK 处理显著提高 88.89%、112.50%、128.57%,比 A 处理增加 13.33%、88.89%、100.00%。

2.4.3 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤脲酶活性的影响

由图 7 可见,复合芽孢杆菌菌肥均提升了根际土壤脲酶活性,苗期的 MF 处理比 CK 处理提高 20.58%,快速生长期的 SF 处理比 CK 处理提高 25.85%,始花期的 LF 处理比 CK、A 处理提高 17.19%、21.75%。在 3 个不同的生长期中,MG 处理分别比 CK 提高 9.39%、7.82%、5.94%。比较 2 种微生物菌肥,以复合芽孢杆菌菌肥对穿心莲根际土壤脲酶活性的促进效果较好。

### 3 隶属函数法综合评价

采用隶属函数法综合分析不同浓度微生物菌

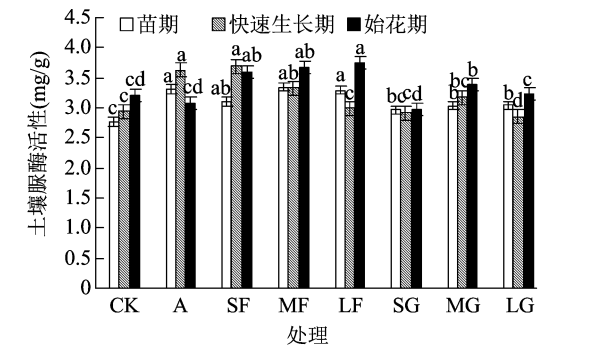


图7 复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对不同生长期穿心莲根际土壤脲酶活性的影响

肥对穿心莲的影响。在苗期,各处理对穿心莲根际土壤微生态的影响效果排序依次为 SF > LF > MF > CK > LG > SG > A > MG。在快速生长期,各处理对穿心莲根际土壤微生态的影响效果排序依次为 LF > CK > SF > MF > LG > SG > MG > A。在始花期,各处理对穿心莲根际土壤微生态的影响效果排序依次为 SF > MG > LF > MF > A > LG > SG > CK(表2、表3、表4)。

根据综合评价结果,最佳的施用处理为 SF,其次是 LF、MF 处理(表5)。

表 2 穿心莲苗期各指标的隶属函数值

指标	CK	A	SF	MF	LF	SG	MG	LG
土壤含水量	0.284	0.799	1.000	0.771	0.312	0.021	0.000	0.294
土壤脲酶活性	0.936	0.000	0.581	1.000	0.913	0.331	0.459	0.477
土壤过氧化氢酶活性	1.000	0.692	0.154	0.308	0.308	0.385	0.000	0.154
土壤蔗糖酶活性	0.407	0.401	1.000	0.244	0.361	0.420	0.000	0.009
土壤细菌数	0.037	0.062	1.000	0.000	0.130	0.099	0.149	0.093
土壤真菌数	0.242	0.000	0.500	0.712	1.000	0.424	0.318	0.939
土壤放线菌数	0.143	0.071	0.238	0.310	1.000	0.357	0.000	0.952
平均属值	0.436	0.289	0.639	0.478	0.575	0.291	0.132	0.417
排名	4	7	1	3	2	6	8	5

表 3 穿心莲快速生长期各指标的隶属函数值

指标	CK	A	SF	MF	LF	SG	MG	LG
土壤含水量	0.870	0.509	0.936	0.691	0.055	0.000	0.880	1.000
土壤脲酶活性	0.945	0.437	1.000	0.422	0.414	0.730	0.122	0.000
土壤过氧化氢酶活性	1.000	0.267	0.067	0.467	0.600	0.000	0.133	0.200
土壤蔗糖酶活性	0.757	0.487	0.355	0.000	0.610	0.194	0.073	1.000
土壤细菌数	0.079	0.000	0.449	1.000	1.000	0.315	0.386	0.402
土壤真菌数	0.139	0.000	0.968	0.141	0.838	1.000	0.497	0.469
土壤放线菌数	0.291	0.272	0.000	0.993	1.000	0.980	0.768	0.444
平均属值	0.583	0.282	0.539	0.531	0.645	0.460	0.408	0.502
排名	2	8	3	4	1	6	7	5

表 4 穿心莲始花期各指标的隶属函数值

指标	CK	A	SF	MF	LF	SG	MG	LG
土壤含水量	0.671	0.531	0.817	0.671	0.173	0.853	1.000	0.000
土壤脲酶活性	0.302	0.148	0.809	0.898	1.000	0.000	0.544	0.333
土壤过氧化氢酶活性	1.000	0.143	0.071	0.143	0.500	0.000	0.071	0.286
土壤蔗糖酶活性	0.000	0.760	1.000	0.439	0.679	0.349	0.707	0.423
土壤细菌数	0.047	0.132	0.793	0.646	0.169	0.000	0.431	1.000
土壤真菌数	0.000	0.153	0.106	0.266	1.000	0.308	0.187	0.015
土壤放线菌数	0.000	0.500	0.595	0.092	0.138	0.590	1.000	0.212
平均属值	0.289	0.338	0.599	0.451	0.523	0.300	0.563	0.324
排名	8	5	1	4	3	7	2	6

表 5 穿心莲 3 个时期土壤指标的综合隶属函数值

时期	CK	A	SF	MF	LF	SG	MG	LG
苗期	0.436	0.289	0.639	0.478	0.575	0.291	0.132	0.417
快速生长期	0.583	0.282	0.539	0.531	0.645	0.46	0.408	0.502
始花期	0.289	0.338	0.599	0.451	0.523	0.300	0.563	0.324
平均属值	0.436	0.303	0.592	0.487	0.581	0.35	0.368	0.414
排名	4	8	1	3	2	7	6	5

## 4 讨论

土壤水分是土壤的重要组成部分,是植物生长发育不可或缺的条件,一般用土壤含水量反映土壤的水分情况<sup>[13]</sup>。土壤中有有机质、速效钾、碱解氮、有效磷的含量,可用来衡量土壤对氮素、磷素、钾素营养的吸收利用,体现土壤的肥力状态,与植物生长发育息息相关<sup>[14]</sup>。微生物菌肥含丰富的有益微生物,可以增加土壤有机质的含量,从而提高土壤的 pH 值及肥力<sup>[15]</sup>。复合芽孢杆菌菌肥中含枯草芽孢杆菌,菌动力复合微生物菌肥含有固氮菌;枯草芽孢杆菌能提升土壤全钾、碱解氮、速效磷、速效钾的含量<sup>[16]</sup>;固氮菌的多样性与土壤有机质、碱解氮、全氮、有效磷、速效钾含量有着密切关联<sup>[17]</sup>。施用固氮根瘤菌和根际促生菌菌肥可提高苜蓿土壤的全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量,施加复合微生物肥料可提高水稻土壤的有机质和有效养分含量<sup>[18-19]</sup>。本研究结果表明,施用复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥,均对穿心莲根际土壤的含水量和土壤理化性质产生影响。SF、MG 处理对土壤含水量的促进效果较好,SF 处理土壤 pH 值显著高于对照和化肥处理;MF 处理较对照和化肥处理土壤的有机质和速效钾含量明显增加;MG 处理较对照土壤的碱解氮、全氮、有机质、有效磷、速效钾含量明显提高。

土壤中含有细菌、真菌和放线菌,土壤微生物的数量可以通过土壤施肥、植物间套种等土壤改良措施而变化<sup>[20-22]</sup>。土壤细菌对土壤养分的利用及植物生长发育具有重要作用<sup>[23]</sup>。土壤放线菌种类多、数量多,可促进土壤养分的转化和植物生长,对有害生物有一定的生长抑制作用<sup>[24]</sup>。真菌群落的组成和结构,与植物生长发育和土传病害的传播和发展密切相关<sup>[25]</sup>。施用微生物菌肥可提高生菜重茬土壤、连作黄瓜土壤、萝卜土壤的细菌和放线菌数量,降低真菌数量<sup>[26-28]</sup>。本研究结果表明,施用适宜浓度的菌动力复合微生物肥,可以明显增加土

壤细菌和放线菌数量,且随生长期的增加,其作用效果更强;适宜浓度的复合芽孢杆菌菌肥能显著降低土壤真菌数量。通过施加适宜浓度的菌肥处理,可以改变土壤微生物数量,从而改善土壤微生物环境。

土壤酶参与催化有机物代谢过程中的各种反应,能够为植物及微生物提供能量,可维持土壤环境结构,循环土壤养分。脲酶活性体现了土壤氮素的供给情况,过氧化氢酶可以分解对生物和土壤有毒害作用的过氧化氢,蔗糖酶的活性能够使土壤中的碳发生转化;土壤酶活性与植物生长状况有着密切关系<sup>[29-31]</sup>。施用微生物菌肥能够提升白菜土壤蔗糖酶、土壤脲酶和土壤多酚氧化酶的活性,增强草原矿区排土场和罗汉果土壤中的脲酶及过氧化氢酶活性<sup>[32-34]</sup>。本研究结果表明,施用适宜浓度的复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥,穿心莲根际土壤的蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶活性较对照处理显著提高,说明菌肥能够促进穿心莲根际土壤微生物活动。

施用微生物菌肥可显著改善枸杞、钩藤、太子参、人参、苹果等作物的根际土壤微生态结构,改良土壤性质,增加土壤细菌、放线菌数量,提升土壤酶活性,降低土壤真菌数量,从而促进肥力增加<sup>[35-40]</sup>。复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥均具有浓度效应,对于不同生长期的影响各不相同,SF 处理对苗期根际土壤含水量及始花期根际土壤细菌、放线菌数量及土壤脲酶、土壤蔗糖酶活性的促进效果显著。MG 处理对始花期根际土壤含水量促进效果最好,且显著提高了 3 个时期的土壤过氧化氢酶活性。复合芽孢杆菌菌肥和菌动力复合微生物菌肥对穿心莲根际土壤性质的影响在不同生长期具有差异性,可能与植物的生长代谢有关;不同生长期植物根系代谢水平不同,对根际微生态影响不同,进而与微生物菌肥的互作也不同。相关问题有待进一步研究。

## 5 结论

施用适宜浓度的复合芽孢杆菌菌肥和菌动力

复合微生物菌肥能显著改善穿心莲的土壤性质,提高穿心莲根际土壤含水量及土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和脲酶活性,优化穿心莲根际土壤理化性质,增加穿心莲根际土壤细菌、放线菌数量,降低根际土壤真菌数量。

#### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典一部[M]. 2020 版. 北京:中国医药科技出版社,2020:280-281.
- [2] 阮丽君,姚彩云,吴云秋,等. 不同国家(地区)穿心莲药材质量标准现状概述[J]. 中国中药杂志,2020,45(24):5890-5897.
- [3] 黄辰昊,薛建平,王 振,等. 南药大品种穿心莲无公害栽培技术体系探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2018,20(11):2095-2100.
- [4] 高向南. 微生物菌肥在农业生产中的价值和应用[J]. 化工管理,2022(1):51-53.
- [5] 许剑敏. 生物菌肥对矿区复垦土壤磷、有机质、微生物数量的影响[J]. 山西农业科学,2011,39(3):250-252.
- [6] 陈 龙. 菌肥对粮饲兼用型玉米生长和品质及土壤特性影响研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016:9.
- [7] van Wyk D A B, Adeleke R, Rhode O H J, et al. Ecological guild and enzyme activities of rhizosphere soil microbial communities associated with *Bt*-maize cultivation under field conditions in North West Province of South Africa[J]. Journal of Basic Microbiology, 2017,57(9):781-792.
- [8] 施政乐,张建军,申明爽,等. 晋西黄土区不同土地利用类型对土壤水分的影响[J]. 水土保持学报,2021,35(6):190-197.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [10] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2012:285-286.
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:274-329.
- [12] 田 方,陈 锡,王普昶,等. 微生物菌剂对白刺花苗期抗旱酶系及生理生化指标的影响[J]. 植物生理学报,2022,58(2):435-446.
- [13] 王晓艳. 不同菌肥对油茶叶内源激素及氮磷钾含量和林下土壤理化性质的影响[J]. 江苏林业科技,2021,48(5):28-32,38.
- [14] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报,2006,26(3):901-913.
- [15] 肖 娴,桂一峰,朱 艳,等. 微生物菌肥对水稻土壤细菌群落结构与活性的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(10):2174-2181.
- [16] 徐洪宇,孙兴权,张 强,等. 枯草芽孢杆菌有机肥对土壤条件及烤烟产质量的影响[J]. 湖南农业科学,2017(7):55-58,64.
- [17] 史 策,聂立水,魏一凡,等. 北京海坨山典型林分土壤固氮菌群落特征研究[J]. 林业科学研究,2022,35(4):153-161.
- [18] 韩 光,张 磊,邱 勤,等. 复合型 PGPR 和苜蓿对新垦土地壤培肥效果研究[J]. 土壤学报,2011,48(2):405-411.
- [19] 唐毓杰,王 晖,刘海涛,等. 水稻爱恩 Si/TE 复合微生物肥料的研究与应用[J]. 浙江农业科学,2021,62(10):1921-1924.
- [20] 张 利,邱 松,刘建霞,等. 植物根际土壤生态研究进展[J]. 四川农业科技,2021(7):39-40.
- [21] 李巧玲,肖 忠,任明波,等. 间作不同作物对茄子根际土壤微生物生态的影响[J]. 微生物学通报,2021,48(10):3588-3602.
- [22] 唐秀梅,钟瑞春,蒋 菁,等. 木薯/花生间作对根际土壤微生物生态的影响[J]. 基因组学与应用生物学,2015,34(1):117-124.
- [23] 吴波波,王 鹏,肖胜生,等. 水保措施对柑橘果园土壤细菌群落结构的影响[J]. 环境科学研究,2021,34(2):419-430.
- [24] 章家恩,刘文高,胡 刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [25] Fraç M, Hannula S E, Belka M, et al. Fungal biodiversity and their role in soil health[J]. Frontiers in Microbiology, 2018,9:707.
- [26] 黄 伟,张俊花,刘倩男,等. 微生物菌肥对生菜土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 湖北农业科学,2019,58(22):54-57,64.
- [27] 胡基华,李 晶,张淑梅,等. 解淀粉芽孢杆菌 TF28 对设施连作黄瓜根际土壤酶活性和微生物的调节[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):152-156.
- [28] 张丽娜,塔秀成,黄 伟,等. 微生物菌肥对萝卜土壤微生物及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):93-96.
- [29] 郭 辉,唐卫平. 不同林龄华北落叶松根际与非根际土壤酶和土壤微生物研究[J]. 生态环境学报,2020,29(11):2163-2170.
- [30] 唐玉妹,魏朝富,颜廷梅,等. 土壤质量生物学指标研究进展[J]. 土壤,2007,39(2):157-163.
- [31] Nannipieri P, Giagnoni L, Renella G, et al. Soil enzymology: classical and molecular approaches[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012,48(7):743-762.
- [32] 庞强强,蔡兴来,周 曼,等. 微生物菌肥对设施白菜生长、品质和土壤酶活性的影响[J]. 热带农业科学,2018,38(4):20-23.
- [33] 珊 丹,何京丽,邢恩德,等. 微生物菌肥对草原矿区排土场土壤微生物与土壤酶活性的影响[J]. 水土保持通报,2017,37(3):81-85.
- [34] 冯世鑫,蒋 妮,陈乾平,等. 微生物菌肥对罗汉果根结线虫和土壤酶活性的影响[J]. 热带农业科学,2021,41(4):73-78.
- [35] 张 晟. 微生物肥料对枸杞种植地土壤生态特征及理化性质的影响[J]. 林业科技通讯,2018(3):71-72.
- [36] 柳玲玲,王文华,杨再刚,等. 不同生物有机肥对钩藤产量、品质及土壤生物性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(3):116-121.
- [37] 吴莉雅. 微生物菌肥对连作太子参的生长状况及品质提高的探究[J]. 海峡药学,2019,31(11):56-59.
- [38] 牛玮浩. 人参菌肥对人参生长及根际微生态的影响[D]. 烟台:鲁东大学,2017:44-47.
- [39] 李 茜,苏国权,危月辉,等. 增施微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶品质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(19):123-129.
- [40] 吴晓娴. 微生物菌肥对苹果砧木幼苗氮、磷和钙吸收的影响研究[D]. 泰安:山东农业大学,2020:32-36.