

马巧莉,赵 倩,肖龙仲,等.微生物菌剂对枇杷幼苗养分吸收及转运的影响[J].江苏农业科学,2024,52(2):168-174.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.02.024

微生物菌剂对枇杷幼苗养分吸收及转运的影响

马巧莉¹,赵 倩¹,肖龙仲²,徐雅欣³,林立金³,陈铭敏¹,邓群仙¹

(1. 四川农业大学园艺学院,四川成都 611130; 2. 四川省雷波县生产力促进中心,四川雷波 616550;

3. 四川农业大学果蔬研究所,四川成都 611130)

摘要:为探讨喷施微生物菌剂对枇杷幼苗养分吸收及转运的影响,以期在生产上提高养分利用率、促进果树营养吸收及转运提供参考。以枇杷幼苗为试验材料,对其喷施 0、50、100、150、200 倍液的微生物菌剂,研究微生物菌剂对枇杷幼苗养分吸收及转运的影响。结果表明,喷施微生物菌剂增加了枇杷幼苗根系、茎秆和叶片生物量。微生物菌剂也增加了枇杷幼苗各器官的养分(全氮、全磷和全钾)含量及吸收量、转运量,且均以浓度为 100 倍液的微生物菌剂效果最佳。当微生物菌剂喷施浓度为 100 倍液时,枇杷幼苗根系、茎秆、叶片的氮吸收量分别较对照增加了 41.18%、55.80%、57.90%,氮转运量分别是对照的 2.02、3.19、3.60 倍,磷吸收量分别较对照增加了 30.23%、58.91%、61.54%,磷转运量分别是对照的 2.58、3.75、7.53 倍,钾吸收量分别较对照增加了 21.46%、52.74%、46.46%,钾转运量分别是对照的 1.33、8.28、4.12 倍。此外,在喷施 100 倍液微生物菌剂处理下,土壤中有有效磷含量较对照增加了 24.95%。由此得出,微生物菌剂可以增加枇杷幼苗生物量,促进枇杷幼苗对氮、磷和钾养分的吸收与转运,提高土壤中的有效磷含量,以喷施 100 倍液的微生物菌剂效果最好。

关键词:微生物菌剂;枇杷;养分;吸收;转运;生物量

中图分类号:S667.306 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)02-0168-07

在生产上,化肥的超量施用、施肥技术不合理和专用配方肥料缺乏等现象普遍存在,不仅造成肥料浪费、养分利用率不高,还会导致土壤板结酸化,从而严重影响果树对养分的吸收利用^[1-3]。枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是原产于四川省大渡河流域的常绿果树^[4-5]。因其果肉细腻多汁、甜酸适口且具有清咽润肺、化痰止咳的功效而深受人们喜爱^[6]。当前大部分农户对枇杷园的管理大多凭借经验,缺乏优质的栽培管理技术,其中盲目施用化肥会导致化肥过量、养分利用率低等,是枇杷栽培中存在的显著问题^[7]。因此,提高枇杷对养分的吸收转运至关重要。改变传统的施肥方式、添加外源调节物质、使用新型肥料等均能促进果树对养分的吸收。生物刺激素是一种能够促进

植物生长和发育、减轻非生物胁迫、提高作物品质的物质或微生物,主要包括腐殖酸、海藻提取物、蛋白质水解物与氨基酸、壳聚糖和几丁质及其衍生物和微生物菌剂。上述 5 种生物刺激素具有不同的功能和优势^[8]。微生物菌剂是一种含有有益真菌、细菌的特定微生物活体的物质,它通过微生物的生命活动促进植物对微量元素和其他营养物质的吸收,从而提高作物产量、减轻病害、改善农产品品质和农业生态环境^[9]。有研究发现,施用微生物菌剂可以促进苹果新梢增长,增加叶面积、叶厚和叶鲜质量^[10]。此外,施用微生物菌剂还有利于苹果果实中可溶性糖、可溶性固形物的积累,降低可滴定酸含量,提高糖酸比^[11]。施用复合微生物菌剂可提高大樱桃土壤中具有溶磷、固氮功能的细菌丰度,同时减少病原菌、寄生线虫的数量,可见这种菌剂对大樱桃植株生长有促进作用,能够使植株生长旺盛,提高坐果率,使果实颜色均匀,商品性好,产量显著增加^[12]。施用微生物菌剂后,灰枣果实的含水率、可滴定酸、纤维素、蛋白质、黄酮和总酚含量显著提升^[13]。由此可见,使用微生物菌剂可以显著增加土壤中的微生物含量,这些微生物的活动还可以促进土壤酶活性的增强,改善根系环境,分解难溶性矿

收稿日期:2023-03-06

基金项目:四川省科技支撑计划“十四五”育种攻关项目(编号:2021YFYZ0023-07);国家现代化农业产业技术体系四川水果创新团队项目(编号:scextd-2022-04)。

作者简介:马巧莉(1998—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事枇杷优质高效生产研究。E-mail:1986219950@qq.com。

通信作者:邓群仙,博士,教授,博士生导师,主要从事果树栽培理论与技术研究。E-mail:dqxwjw@sina.com。

物养分并释放,从而促进作物生长。与此同时,这些微生物还能分泌植物激素,从而提高果实品质^[8,14-15]。近年来,微生物菌剂在处理果树、蔬菜和大田作物等方面都有促进营养吸收、提高作物产量和品质的作用^[16-20],但是关于微生物菌剂在枇杷上的相关研究尚未见报道。本研究通过使用不同浓度的微生物菌剂对枇杷幼苗进行喷施,研究不同浓度微生物菌剂对枇杷幼苗养分吸收及转运的影响,以期筛选出能够促进枇杷幼苗养分吸收的微生物菌剂浓度,为枇杷生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为大五星枇杷一年生实生幼苗(苗高约 17 cm,茎粗约 3 mm),移栽自四川农业大学崇州现代化农业研发基地(地理位置 30°33′45″N, 103°39′6″E)。

微生物菌剂购自拜尔作物科学(中国)有限公司,为拜尔卓润液体微生物菌剂。主要成分:解淀粉芽孢杆菌含量 ≥ 3.0 亿个/mL;霉菌杂菌含量 $\leq 3.0 \times 10^6$ 个/mL;杂菌率 $\leq 10.0\%$;汞(Hg)含量 ≤ 2 mg/kg,砷(As)含量 ≤ 15 mg/kg,镉(Cd)含量 ≤ 3 mg/kg,铅(Pb)含量 ≤ 50 mg/kg,铬(Cr)含量 ≤ 150 mg/kg。

供试土壤为潮土,取自成都市温江区周边农田,土壤基本理化性质:pH 值 7.61,碱解氮含量 63.89 mg/kg,有效磷含量 18.32 mg/kg,速效钾含量 61.88 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 10 月在四川农业大学成都校区(海拔 496 m,30°42′19″N,103°51′29″E)开展。每个育苗盆(20 cm×16 cm)中装土 3.5 kg,选取长势一致的大五星枇杷幼苗,将其移入育苗盆中,每盆 3 株。待枇杷幼苗全部成活后,用不同浓度(喷施浓度梯度依据产品瓶身的建议浓度设定,即 0、50、100、150、200 倍液)微生物菌剂对枇杷幼苗进行全株喷施处理(以叶片正反面均匀布满雾状水滴为宜),每盆喷施 100 mL,每个处理重复 3 次(3 盆)。隔 15 d 再喷施 1 次,共喷施 2 次。

1.3 测定指标及方法

于未喷施前将枇杷幼苗整株收获 1 次。用自来水洗净枇杷幼苗后,用去离子水再冲洗 3 次,分为根系、茎秆和叶片 3 个部分,于 110 ℃杀青 15 min,再

于 75 ℃烘干至恒质量后,分别称取根系、茎秆和叶片干质量。植物样品的全氮、全磷、全钾含量先经过 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,然后分别采用蒸馏法、钼锑抗比色法和火焰分光光度计法测定^[21]。

于第 2 次喷施后 30 d,再整株收获 1 次枇杷幼苗。枇杷幼苗各器官的生物量及植物样品全氮、全磷、全钾含量的测定方法同上^[21]。土壤中的碱解氮含量采用扩散皿法测定;速效磷采用 $NaHCO_3$ 提取,用钼锑抗比色法测定含量;速效钾采用 NH_4OAc 提取,用火焰光度计法测定含量^[21]。土壤 pH 值用 PHS-3C 型酸度计测定,称取 10.0 g 风干并过筛的无杂质土样,加 25 mL 蒸馏水,持续搅拌悬浮液 15 min,静置悬浮液 30 min 后,用 pH 仪电极测定其 pH 值。

1.4 数据处理与分析

枇杷幼苗根系、茎秆和叶片的氮、磷和钾吸收及转运相关指标的计算参照文献[22],具体计算公式如下:

吸收量(mg/株) = 生物量(g/株) × 元素含量(mg/g);

转运量(mg/株) = 元素试验末期吸收量(mg/株) - 元素试验初期吸收量(mg/株);

元素转运效率 = 元素转运量(mg/株)/试验初期元素吸收量(mg/株) × 100%;

元素转运贡献率 = 元素转运量(mg/株)/元素吸收量(mg/株) × 100%;

某器官的元素收获指数 = 某器官的元素吸收量(mg/株)/植株元素总吸收量(mg/株) × 100%。

试验数据用 SPSS 24.0 软件进行单因素方差分析,用 Duncan's 法进行多重比较检验($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 枇杷幼苗的生物量

由表 1 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度的微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗根系、茎秆和叶片的生物量。根系、茎秆和叶片生物量的排序均为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 200 倍液处理 > 对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根系、茎秆和叶片生物量分别显著增加 13.33%、33.06% 和 34.72%。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根冠比显著降低了 0.04,喷施 50、150、200 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根冠比与对照之间差异均不显著。

表 1 枇杷幼苗的生物量

微生物菌剂 (倍液)	根系生物量 (g/株)	茎秆生物量 (g/株)	叶片生物量 (g/株)	根冠比
0	0.75 ± 0.02b	1.21 ± 0.08c	1.44 ± 0.08d	0.28 ± 0.01ab
50	0.83 ± 0.03a	1.46 ± 0.02b	1.65 ± 0.08b	0.27 ± 0.01b
100	0.85 ± 0.04a	1.61 ± 0.07a	1.94 ± 0.07a	0.24 ± 0.02c
150	0.81 ± 0.02a	1.36 ± 0.04b	1.63 ± 0.05bc	0.27 ± 0.01b
200	0.80 ± 0.03a	1.24 ± 0.03c	1.51 ± 0.05cd	0.29 ± 0.01a

注:表中数据为 3 次重复的平均值。同列数据后标有不同小写字母表示各器官间存在显著差异($P < 0.05$)。下表同。

2.2 枇杷幼苗的全氮含量、氮吸收量和氮转运量

由表 2 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度的微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗各器官的全氮含量、氮吸收量和氮转运量。不同器官全氮含量、氮吸收量和氮转运量的排序均为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 200 倍液处理 > 对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂分别使根系、

茎秆、叶片的全氮含量显著增加 24.39%、17.11%、17.33%;与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗的根系、茎秆、叶片的氮吸收量分别显著增加 41.18%、55.80%、57.90%;喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根系、茎秆、叶片中的氮转运量分别是对照的 2.02、3.19、3.60 倍。

表 2 枇杷幼苗的氮含量、氮吸收量和氮转运量

微生物菌剂 (倍液)	全氮含量(mg/g)			氮吸收量(mg/g)			氮转运量(mg/g)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	4.10 ± 0.18d	4.91 ± 0.25c	9.98 ± 0.13c	3.06 ± 0.06d	5.95 ± 0.60d	14.37 ± 0.75d	1.24 ± 0.07d	1.52 ± 0.59d	3.20 ± 0.90d
50	4.83 ± 0.11b	5.51 ± 0.22ab	11.25 ± 0.46ab	3.99 ± 0.23ab	8.05 ± 0.36b	18.59 ± 0.37b	2.18 ± 0.22ab	3.62 ± 0.42b	7.42 ± 0.21b
100	5.10 ± 0.07a	5.75 ± 0.18a	11.71 ± 0.30a	4.32 ± 0.21a	9.27 ± 0.37a	22.69 ± 1.35a	2.51 ± 0.22a	4.85 ± 0.39a	11.51 ± 1.42a
150	4.56 ± 0.14c	5.25 ± 0.23bc	10.92 ± 0.38b	3.70 ± 0.21bc	7.16 ± 0.40c	17.83 ± 1.17bc	1.89 ± 0.22bc	2.73 ± 0.46c	6.65 ± 1.00bc
200	4.39 ± 0.11c	5.11 ± 0.17bc	10.65 ± 0.27b	3.52 ± 0.19c	6.34 ± 0.08d	16.06 ± 0.41cd	1.71 ± 0.19c	1.91 ± 0.13cd	4.89 ± 0.49cd

2.3 枇杷幼苗的氮转运效率、氮转运贡献率和氮收获指数

由表 3 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗各器官的氮转运效率和氮转运贡献率。不同器官的氮转运效率、氮转运贡献率的排序均为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 20 倍液处理 > 对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根系、茎秆和叶片的氮转运效率分别是对照的 2.02、3.20、3.59 倍。喷施 100 倍液微生物菌剂稀释液后的枇杷幼苗根系、茎秆和叶片氮转运贡献率分别比对照显著增加 17.29、27.16、28.54 百分点。

此外,与对照相比,喷施 200 倍液微生物菌剂稀释液枇杷幼苗根系的氮收获指数提高,比对照提高了 0.46 百分点($P < 0.05$),50、100、150 倍液微生物菌剂处理与对照之间没有显著差异。与对照相比,不同浓度微生物菌剂喷施处理后的枇杷幼苗茎秆、叶片中的氮收获指数均无显著差异。

2.4 枇杷幼苗的全磷含量、磷吸收量和磷转运量

由表 4 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗各器官全磷含量、磷吸收量和磷转运量。不同器官的全磷含量、磷吸收量和磷转运量的排序均为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 200 倍液处理 > 对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂分别使根系、茎秆和叶片的全磷含量显著增加 14.78%、18.98%、20.00%,磷吸收量分别显著增加 30.23%、58.91%、61.54%。此外,各处理下的磷转运量分别是对照的 2.58、3.75、7.53 倍。

2.5 枇杷幼苗的磷转运效率、磷转运贡献率和磷收获指数

由表 5 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度的微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗各器官的磷转运效率和磷转运贡献率。不同器官的磷转运效率、磷转运贡献率的排序均为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 200 倍液处理 > 对照。与对

表 3 枇杷幼苗的氮转运效率、氮转运贡献率和氮收获指数

微生物菌剂(倍液)	氮转运效率(%)			氮转运贡献率(%)			氮收获指数(%)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	68.48±3.83d	34.24±13.37d	28.72±8.42d	40.63±1.34d	25.03±7.18d	22.09±5.20d	13.11±0.80ab	25.40±1.61a	61.49±1.57a
50	119.82±11.93ab	81.77±10.74b	66.37±0.94b	54.42±2.40ab	44.85±3.37ab	39.89±0.34b	13.03±0.66ab	26.27±1.15a	60.70±1.34a
100	138.08±12.32a	109.45±9.82a	103.11±13.51a	57.92±2.19a	52.19±2.20a	50.63±3.17a	11.91±0.60b	25.59±1.72a	62.49±1.93a
150	104.10±12.08bc	61.69±11.40bc	59.48±8.05bc	50.89±2.81bc	37.95±4.24bc	37.19±3.08b	12.93±0.99ab	24.97±1.85a	62.10±2.27a
200	93.92±10.15c	43.26±3.48cd	43.79±4.86cd	48.34±2.77c	30.17±1.72cd	30.40±2.32c	13.57±0.62a	24.48±0.66a	61.95±0.54a

表 4 枇杷幼苗的磷含量、磷吸收量和磷转运量

微生物菌剂(倍液)	全磷含量(mg/g)			磷吸收量(mg/g)			磷转运量(mg/g)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	2.30±0.10c	2.74±0.10c	2.80±0.11c	1.72±0.12c	3.31±0.20e	4.03±0.14d	0.33±0.12d	0.71±0.27d	0.38±0.17d
50	2.56±0.09ab	3.15±0.07ab	3.23±0.09ab	2.11±0.07ab	4.60±0.04b	5.35±0.40b	0.72±0.07ab	2.00±0.11b	1.70±0.38b
100	2.64±0.05a	3.26±0.12a	3.36±0.07a	2.24±0.14a	5.26±0.27a	6.51±0.36a	0.85±0.17a	2.66±0.23a	2.86±0.36a
150	2.50±0.05ab	3.11±0.13ab	3.14±0.10b	2.03±0.02b	4.23±0.07c	5.12±0.21bc	0.64±0.02bc	1.63±0.16bc	1.46±0.22bc
200	2.42±0.08bc	2.97±0.11b	3.06±0.14b	1.93±0.05b	3.69±0.19d	4.61±0.30cd	0.54±0.05c	1.09±0.22cd	0.96±0.36cd

照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根系、茎秆和叶片的磷转运效率分别是对照的 2.59、3.72、7.56 倍。用 100 倍液微生物菌剂稀释液处理枇杷幼苗时,枇杷幼苗根系、茎秆、叶片中的磷转运贡献率分别是对照的 2.01、2.38、4.73 倍。

与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂稀释液

枇杷幼苗根系中磷收获指数显著降低,比对照显著降低了 3 百分点,50、150、200 倍液微生物菌剂处理的枇杷幼苗根系中磷收获指数与对照之间没有显著差异。与对照相比,不同浓度喷施处理后的枇杷幼苗茎秆、叶片中磷收获指数均无显著差异。

表 5 枇杷幼苗的钾转运效率、钾转运贡献率和钾收获指数

微生物菌剂(倍液)	钾转运效率(%)			钾转运贡献率(%)			钾收获指数(%)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	23.49±8.83d	27.50±10.84c	10.33±4.83d	18.74±5.95c	21.18±6.88c	9.24±4.02d	18.98±1.27a	36.51±1.27a	44.51±0.21a
50	51.59±4.36ab	76.97±6.94b	46.38±10.44b	34.00±1.92ab	43.43±2.27ab	31.44±5.10b	17.50±0.03ab	38.16±1.73a	44.34±1.75a
100	60.80±9.28a	102.25±8.83a	78.14±10.03a	37.67±3.64a	50.49±2.18a	43.75±3.09a	15.98±0.88b	37.54±2.27a	46.48±2.17a
150	46.07±1.67bc	63.00±8.44b	40.05±6.55bc	31.54±0.78ab	38.54±3.26b	28.49±3.35bc	17.86±0.36a	37.18±0.91a	44.96±1.26a
200	39.01±3.23c	42.15±9.69c	26.27±10.37cd	28.04±1.69b	29.44±4.65c	20.47±6.24c	18.92±1.03a	36.05±1.03a	45.03±1.61a

2.6 枇杷幼苗的全钾含量、钾吸收量和钾转运量

由表 6 可以看出,不同器官的全钾含量、钾吸收量和钾转运量的排序均为 100 倍液处理>50 倍液处理>150 倍液处理>200 倍液处理>对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂分别使得根系、茎秆和叶片的全钾含量增加了 6.86%、14.44%($P<0.05$)、8.82%($P<0.05$);根系、茎秆、叶片中的钾吸收量分别显著增加 21.46%、52.74%、46.46%。此外,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗根系、茎秆和叶片中的钾转运量分别是对照的 1.33、8.28、4.12 倍。

2.7 枇杷幼苗的钾转运效率、钾转运贡献率和钾收获指数

由表 7 可以看出,与对照相比,喷施不同浓度微生物菌剂均显著增加了枇杷幼苗各器官钾转运效率和钾转运贡献率。不同器官的钾转运效率、钾转运贡献率的排序均为 100 倍液处理>50 倍液处理>150 倍液处理>200 倍液处理>对照。与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂枇杷幼苗中根系、茎秆、叶片钾转运效率分别是对照的 1.33、8.25、4.12 倍,钾转运贡献率分别是对照的 1.10、5.65、2.82 倍。

表 6 枇杷幼苗的全钾含量、钾吸收量和钾转运量

微生物菌剂(倍液)	全钾含量(mg/g)			钾吸收量(mg/g)			钾转运量(mg/g)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	27.68±0.73a	17.38±1.03b	23.93±1.05c	20.64±0.58c	20.99±1.48c	34.42±0.98d	13.33±0.57c	1.52±1.15c	5.12±1.17d
50	28.52±1.06a	18.88±1.01ab	25.61±1.21ab	23.53±0.08ab	27.57±1.07b	42.43±4.10b	16.22±0.08ab	8.10±0.98b	13.13±4.10b
100	29.58±1.35a	19.89±1.18a	26.04±0.44a	25.07±0.20a	32.06±0.64a	50.41±1.95a	17.76±0.21a	12.59±0.48a	21.11±2.01a
150	27.94±1.09a	18.57±1.15ab	25.02±0.73ab	22.71±0.93b	25.34±2.14b	40.83±1.93bc	15.40±0.93b	5.87±2.27b	11.53±1.93bc
200	27.80±1.03a	17.84±0.98ab	24.23±0.42c	22.30±1.46b	22.14±0.73c	36.56±1.71cd	14.99±1.45b	2.67±0.77c	7.26±1.78cd

表 7 枇杷幼苗的钾转运效率、钾转运贡献率和钾收获指数

微生物菌剂(倍液)	钾转运效率(%)			钾转运贡献率(%)			钾收获指数(%)		
	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片	根系	茎秆	叶片
0	182.40±7.57c	7.84±7.97c	17.50±4.12d	64.57±0.94c	6.95±6.62c	14.82±2.97d	27.15±0.90ab	27.59±1.64a	45.26±0.81a
50	221.94±1.10ab	41.60±4.95b	44.80±14.01b	68.94±0.11ab	29.32±3.46b	30.48±7.12b	25.19±1.01bc	29.52±1.94a	45.30±2.85a
100	242.92±3.03a	64.66±2.06a	72.05±7.02a	70.84±0.26a	39.26±0.76a	41.81±2.38a	23.31±0.30c	29.82±0.72a	46.86±0.95a
150	210.65±12.67b	30.20±11.94b	39.37±6.60bc	67.77±1.34b	22.78±6.75b	28.14±3.50bc	25.57±1.49ab	28.48±1.33a	45.95±1.57a
200	205.09±19.80b	13.74±4.02c	24.78±6.15cd	67.13±2.20b	12.01±3.05c	19.73±4.02cd	27.51±1.02a	27.37±1.73a	45.12±0.87a

与对照相比,喷施 100 倍液微生物菌剂稀释液枇杷幼苗根系中磷收获指数显著降低,比对照显著降低了 3.84 百分点,50、150、200 倍液微生物菌剂处理与对照之间没有显著差异。与对照相比,不同浓度喷施处理后的枇杷幼苗茎秆和叶片中钾收获指数均无显著差异。

由图 1 可以看出,枇杷幼苗生物量与养分指标间的相关性存在差异。枇杷幼苗生物量与氮含量($r=0.78$)、氮吸收量($r=0.87$)、氮转运量($r=0.83$)、氮收获指数($r=0.82$)、磷含量($r=0.91$)、磷吸收量($r=0.99$)、磷转运量($r=0.77$)、磷收获指数($r=0.94$)、钾吸收量($r=0.84$)和钾收获指数($r=0.77$)呈极显著正相关。与钾含量($r=-0.42$)、钾转运效率($r=-0.77$)和钾转运贡献率($r=-0.64$)呈极显著负相关。枇杷幼苗生物量与磷含量、磷吸收量和磷收获指数间的相关性最强。

2.8 土壤 pH 值及有效态养分含量

由表 8 可以看出,与对照相比,不同浓度微生物菌剂处理后的土壤 pH 值均降低,喷施 100 倍液微生物菌剂稀释液条件下的土壤 pH 值为 7.47,与对照间存在显著差异,喷施 50、150、200 倍液微生物菌剂后,土壤 pH 值虽都有降低,但与对照相比差异不显著。

由表 8 还可以看出,与对照相比,不同浓度微生物菌剂处理后的土壤中有有效磷含量均提高,各处理的有效磷含量排序为 100 倍液处理 > 50 倍液处理 > 150 倍液处理 > 200 倍液处理 > 对照。微生物

菌剂 100 液稀释液处理后的土壤中有有效磷含量比对照增加了 24.95% ($P<0.05$)。与对照相比,不同浓度微生物菌剂处理土壤中碱解氮、速效钾含量无显著差异。

3 讨论

微生物菌剂能够分解土壤中的养分,为植株的生长提供营养物质,增加作物生物量,提高产量和果实品质^[23-25]。王丽丽等研究发现,施用微生物菌肥后,番茄株高和茎粗明显增加,生长量和产量也增加,果实品质提高^[26]。周芳等的研究表明,施用微生物菌剂可以促进草莓植株的生长,使叶片更厚实,并增加草莓的开花数和结果数,改善草莓果实品质,增加糖度^[27]。陈晓燕等的研究表明,施用微生物菌剂能够增加玉米的穗数、穗行数、行粒数和千粒质量,还能增加土壤中的酶活性^[28]。在本研究中,喷施不同浓度的微生物菌剂后,枇杷幼苗根系、茎秆和叶片的生物量均增加,这与前人的研究结果^[29]一致。微生物菌剂处理可以增加枇杷的生物量,可能由于微生物菌剂中含有多种有益微生物,能够分解土壤中的养分,改善土壤环境,促进枇杷根系对各种营养元素的吸收利用,增加枇杷幼苗的生物量^[30-31]。土壤酶参与土壤养分的分解和转化过程,有利于促进土壤营养物质的活化和更新。此外,土壤酶活性的提高可以有效改善土壤的肥力状况,进而提高作物对养分的吸收^[17],从而增加

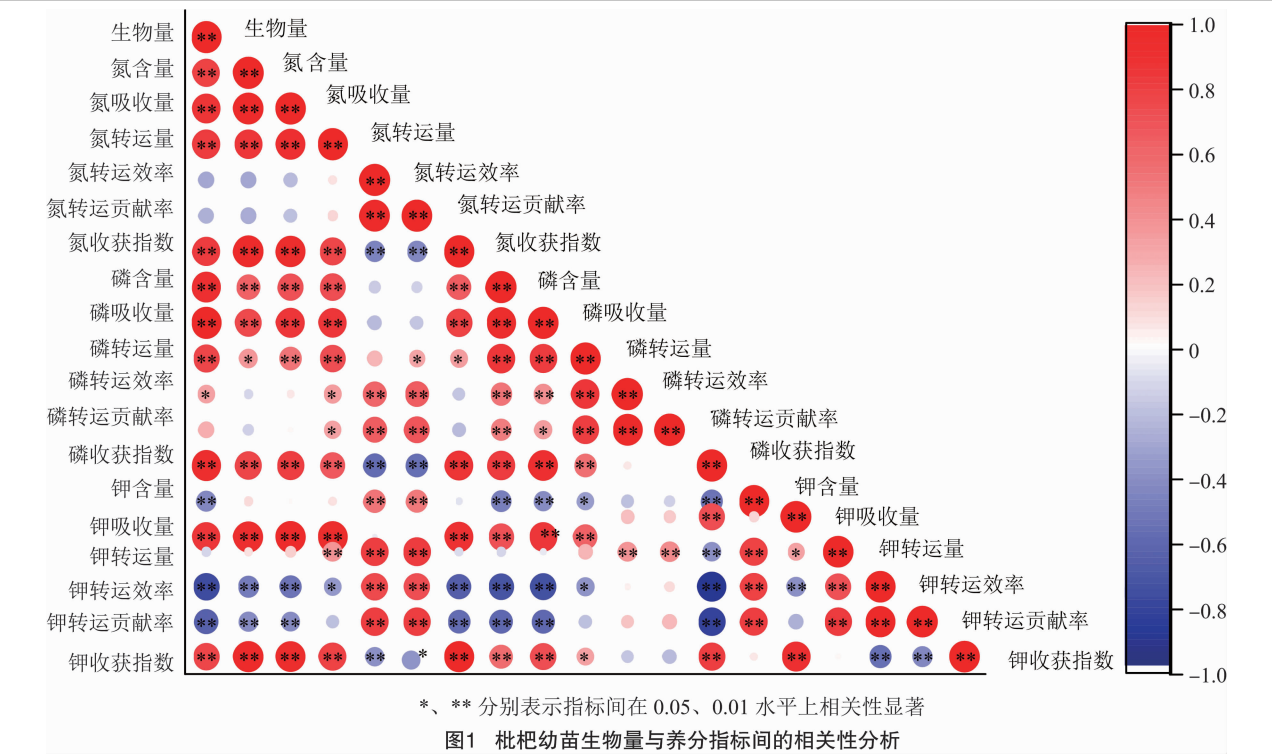


表 8 土壤 pH 值及有效态养分含量

微生物菌剂 (倍液)	土壤 pH 值	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0	7.61 ± 0.10a	63.89 ± 2.31a	18.32 ± 0.98c	61.88 ± 1.58a
50	7.55 ± 0.02ab	66.45 ± 2.80a	21.23 ± 1.00ab	62.38 ± 1.62a
100	7.47 ± 0.03b	67.38 ± 1.67a	22.89 ± 1.07a	63.16 ± 1.25a
150	7.50 ± 0.06ab	65.06 ± 2.61a	20.34 ± 0.99b	62.26 ± 2.11a
200	7.54 ± 0.05ab	64.26 ± 2.74a	20.23 ± 0.54b	62.10 ± 1.84a

植株生物量。

微生物菌剂能够有效改良土壤环境,促进植物吸收营养。姜永雷等研究发现,在连作土壤中施用微生物菌剂,能够提高土壤全氮、有效磷、硝态氮和铵态氮含量,提高土壤胞外酶活性,促进烟草生长,缓解连作障碍^[32]。高立波等研究发现,微生物菌剂可以提高土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量,莴苣的株高、茎粗和单株质量也有明显增加^[33]。朱诗君等的研究也发现,施用微生物菌剂可以提高土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量,同时降低土壤电导率^[34]。在本研究中,喷施不同浓度微生物菌剂后,土壤中碱解氮、有效磷和速效钾含量均增加,这与前人的研究结果^[35-36]一致。微生物菌剂中携带有固氮、溶磷和解钾的微生物,使更多难分解的养分分解,可以增加土壤中的氮素,并促进难溶性磷和钾的释放^[37]。施用微生物菌剂,能够增加土

壤中的酶活性,也促进了土壤中氮、磷、钾含量的增加。王凤娇等研究发现,微生物菌剂单施或配施均有利于促进地上部和根系对氮、磷和钾养分的吸收,促进丹参幼苗的生长并有效提高丹参的生物量^[38]。本研究中,喷施不同浓度微生物菌剂后,枇杷幼苗各器官中氮、磷、钾的含量、吸收量和转运量等相关指标均增加,这与前人的研究结果^[38]一致,可能是由于微生物菌剂改变了根系微生物群体数量,使土壤中有益微生物增加,从而促进了土壤中氮、磷、钾的释放^[39]。施用微生物菌剂后,土壤中碱解氮、有效磷和速效钾含量增加,这可能会促进枇杷植株根系、茎秆和叶片对氮磷钾含量、吸收量和转运量的增加。微生物菌剂的施入会增加土壤中有益微生物的含量,改善土壤的理化状况,进而增加土壤肥力,使更多的养分运输到植株体内,促进作物生长。

4 结论

用不同浓度微生物菌剂喷施枇杷幼苗,枇杷幼苗各器官的生物量增加,微生物菌剂还促进了枇杷幼苗根系、茎秆和叶片中氮、磷、钾含量的增加,同时促进了枇杷幼苗各器官对氮、磷、钾的吸收和转运,提高了土壤中的有效磷含量。这些处理中,以 100 倍液微生物菌剂处理枇杷幼苗效果最佳。

参考文献:

- [1] 刘永青,李玉才,李明军. 土壤局部施加不同种类有机肥对苹果园土壤理化性质和果树养分利用率的改善[J]. 西北林学院学报,2020,35(1):112-117.
- [2] 李宽莹,王泽林,徐兴有,等. 不同施肥处理对日光温室土壤微生物数量与酶活性的影响[J]. 西北林学院学报,2019,34(2):56-61.
- [3] 袁德澜,卢爵广. 探讨果树施肥中存在的问题及对策[J]. 种子科技,2017,35(6):48,50.
- [4] 林顺权. 新中国果树科学研究 70 年——枇杷[J]. 果树学报,2019,36(10):1421-1428.
- [5] 林顺权. 栽培枇杷国际传播史考[J]. 果树学报,2020,37(2):272-277.
- [6] 罗吉庆,张永杰,江丽慧. 枇杷营养价值和功能价值的应用研究[J]. 农产品加工,2021(4):83-87.
- [7] 马丽萍. 果树施肥中存在的问题及对策[J]. 河北果树,2014(3):40.
- [8] 谢尚强,王文霞,张付云,等. 植物生物刺激素研究进展[J]. 中国生物防治学报,2019,35(3):487-496.
- [9] 杨 颂,杨利民. 微生物菌剂在农业生产上的应用[J]. 吉林农业,2015(12):86-87.
- [10] 邢 瑜,周晓丽,张小东,等. 微生物菌剂在苹果上的应用效果研究[J]. 烟台果树,2022(1):22-25.
- [11] 刘洋洋,束怀瑞,陈 伟. 混施微生物菌剂和有机肥对‘新红星’苹果解袋后果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(1):169-179.
- [12] 曾文官. 复合微生物菌剂在治理大樱桃连作障碍上的应用效果初探[J]. 中国农业文摘农业工程,2022,34(3):36-38.
- [13] 杨智鹏,魏喜喜,孙 佳. 枣专用微生物菌剂对灰枣果实品质的影响[J]. 经济林研究,2022,40(3):251-258.
- [14] Zhai Z G, Hu Q L, Chen J R, et al. Effects of combined application of organic fertilizer and microbial agents on tobacco soil and tobacco agronomic traits[J]. IOP Conference Series:Earth and Environmental Science,2020,594(1):1-9.
- [15] 马凤捷,蔡立群,刘垠霖. 不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质及土壤养分和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(2):69-77.
- [16] 沈建华,宋献策,蔡红玲. 微生物菌剂“菌刀”在“阳光玫瑰”葡萄上的施用方法初探[J]. 上海农业科技,2020(4):113-114.
- [17] 王明湖,连 瑛,李雅颖,等. 不同微生物菌剂对草莓炭疽病防

- 控和土壤微生物群落结构的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(4):783-786.
- [18] 全倩倩,祝 英,崔得领,等. 我国微生物肥料发展现状及在蔬菜生产中的应用[J]. 中国土壤与肥料,2022(4):259-266.
 - [19] 刘 双,李永斌,李云龙,等. 微生物菌剂对夏玉米产量及农艺性状的影响[J]. 中国农业大学学报,2020,25(6):20-25.
 - [20] Zhao W, Zhou Q, Tian Z Z, et al. Apply biochar to ameliorate soda saline-alkali land, improve soil function and increase corn nutrient availability in the Songnen Plain [J]. Science of the Total Environment,2020,722(7):137428.
 - [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
 - [22] Papakosta D K, Gagianas A A. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling[J]. Agronomy Journal,1991,83(5):864-870.
 - [23] 王倩倩,闫 冲,申术霞,等. 农用微生物菌剂在小白菜上的施用效果研究[J]. 现代农村科技,2022(6):74-75.
 - [24] 温玉转. 微生物菌剂在花生上施用效果的试验[J]. 河南农业,2022(13):28-29.
 - [25] 陈吉昆,钱彩霞,余丽燕,等. 微生物菌剂对马铃薯生长发育的影响[J]. 农业工程技术,2022,42(14):15-17.
 - [26] 王丽丽,朱诗君,狄 蕊,等. 微生物菌肥菌剂对番茄生长发育和产量品质的影响[J]. 土壤与作物,2022,11(1):88-95.
 - [27] 周 芳,马新远,赵 雪. 不同微生物菌剂对设施草莓生长发育的影响研究[J]. 上海蔬菜,2022(1):63-64.
 - [28] 陈晓燕,王小琳,谢先进. 不同微生物菌剂对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 热带农业科学,2021,41(9):11-16.
 - [29] 吕鹏超,王成慧,林悦香. 复合微生物菌剂对温室黄瓜生长和品质的影响[J]. 安徽农学通报,2020,26(17):47-49.
 - [30] 王国丽,张晓丽,张晓霞. 施用功能微生物菌剂对重度盐碱地向日葵生长及土壤微生物的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(5):133-139.
 - [31] Cong P F, Zhu O Y, Hou R X, et al. Effects of application of microbial fertilizer on aggregation and aggregate-associated carbon in saline soils[J]. Soil & Tillage Research,2017,168(5):33-41.
 - [32] 姜永雷,肖 雨,邓小鹏,等. 微生物菌剂对烟草连作土壤理化性质及土壤胞外酶活性的影响[J]. 中国烟草学报,2022,28(4):59-66.
 - [33] 高立波,梁 群,管 欢,等. 微藻微生物菌剂在莴苣生产上的效果试验[J]. 中国果菜,2021,41(7):74-77.
 - [34] 朱诗君,王丽丽,金树权,等. 生物有机肥和菌剂对土壤肥力及草莓生长品质的影响[J]. 中国农学通报,2022,38(21):36-43.
 - [35] 何 嘉,马婷慧,白小军. 微生物菌剂对枸杞生长发育、产量品质及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):149-154.
 - [36] 吕亮雨,段国珍,李发毅,等. 微生物菌剂对枸杞生长及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):168-175.
 - [37] 温尚昆. 微生物菌剂在马铃薯种植中的应用效果试验[J]. 农业科技与信息,2022(5):5-8.
 - [38] 王凤娇,郭新送,祝丽香,等. 腐殖酸与微生物菌剂对丹参幼苗生长的影响[J]. 山东农业科学,2021,53(11):70-74.
 - [39] 常芳娟,张贵云,张丽萍. 生物熏蒸配施微生物菌剂对西瓜连作土壤真菌群落结构的影响[J]. 中国生态农业学报,2022,30(2):248-257.