

李夏媛,王琦,武彦霞,等.微生物菌剂在提升果实品质中的作用研究进展[J].山西农业科学,2025,53(1):181-186.

LI X Y, WANG Q, WU Y X, et al. Research progress on the function of microbial agents in improving fruit quality[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(1): 181-186.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.01.21

微生物菌剂在提升果实品质中的作用研究进展

李夏媛¹,王琦¹,武彦霞¹,田鑫¹,高鹏¹,史高川²

(1.山西农业大学 果树研究所,山西太原 030031;2.山西农业大学 棉花研究所,山西运城 044000)

摘要:微生物菌剂是由1种或多种有益微生物所组成的制剂,可以应用于农业、畜牧、环保等领域中。利用微生物的代谢、多样性、繁殖能力以及其他的特殊功能能够降解土壤中的农药残留、减少环境污染,提高土壤酶活性、优化根系生长、加快根系营养物质吸收、提升果实品质和产量。当前,农业生产中对果实品质要求日益增高,长期不合理施用化肥导致土壤养分供应不足、微生物群落结构失衡等现象频发,微生物菌剂的优势和应用潜力也逐渐显现。通过文献阅读和整理,介绍了微生物菌剂的类型与常见菌株、微生物菌剂对果实外观品质和内在品质的影响以及微生物菌剂在提升果实品质中的作用机理等方面的研究进展,并指出今后微生物菌剂在提升果实品质方面应侧重于研发高效微生物菌剂、探索微生物菌剂与其他栽培技术的联合应用、深入研究微生物菌剂与果实品质的关联机制、推动微生物菌剂的产业化应用等方面。

关键词:微生物菌剂;果实品质;有益微生物;内在品质;外观品质

中图分类号:S144

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2025)01-0181-06

Research Progress on the Function of Microbial Agents in Improving Fruit Quality

LI Xiayuan¹, WANG Qi¹, WU Yanxia¹, TIAN Xin¹, GAO Peng¹, SHI Gaochuan²

(1. Institute of Pomology, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China;

2. Institute of Cotton, Shanxi Agricultural University, Yuncheng 044000, China)

Abstract: Microbial agents are preparations composed of one or more kinds of beneficial microorganisms, they can be applied in agriculture, animal husbandry, environmental protection and other fields. Microbial metabolism, diversity, reproductive capacity and other special functions are utilized to play a role in degradation of pesticide residues in the soil, so that the soil enzyme activity is enhanced, root growth and development are optimized, the root nutrient uptake is accelerated, the quality of fruits and yields are improved, and environmental pollution is reduced. With the increasing demand for fruit quality in current agricultural production, the long-term irrational application of chemical fertilisers leads to frequent occurrence of insufficient supply of soil nutrients, microbial community structure imbalance and other phenomena, advantages and potential for application of microbial agents are also gradually revealed. Through reading and organizing literature, in this paper, the research progress on the types and common strains of microbial agents, the effects of microbial agents on the appearance and inner quality of fruits, and the mechanism of microbial agents in the enhancement of fruit quality were introduced. It is also pointed out that the future research direction of microbial agents in improving fruit quality should focus on the fields such as the development of efficient microbial agents, exploration of the joint application of microbial agents and other cultivation techniques, further research on the association mechanism between microbial agents and fruit quality, and promotion of the industrial application of microbial agents.

Keywords: microbial agents; fruit quality; beneficial microorganisms; inner quality; appearance quality

水果具有丰富的营养价值,其中含有丰富的维生素和多种矿物质,可以促进人体的新陈代谢

收稿日期:2024-01-15

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD1901105);山西省科技重大专项计划“揭榜挂帅”(202101140601026)

作者简介:李夏媛,助理研究员,硕士,主要从事核桃资源收集和育种研究,E-mail:1210242491@qq.com

通信作者:史高川,副研究员,主要从事有害生物防控研究,E-mail:gchshyc@163.com

和能量代谢,有益身体健康^[1-2]。随着社会经济的快速发展和人们生活水平的逐渐提高,大众对身体健康愈加重视,对水果的需求不断增长。数据显示,2023年我国水果零售市场规模为1.22万亿元,预计到2026年有望增长至1.8万亿元,尤其是高端优质水果的市场份额逐渐增加。因此,提高果实品质尤为重要。果实品质是决定果实市场价值和消费者接受程度的重要因素。它包括了果实的外观品质和内在品质,其中,外观品质包括果实横径、纵径、果形指数和单果质量等,内在品质包括糖酸比、营养成分等,此外,可溶性糖含量、可滴定酸含量、糖酸比是影响水果风味品质和消费者选购的重要指标^[3]。传统的果实生产方式主要依赖农药和化肥的使用,然而,长期以来对农药残留和化肥过量施用的担忧不断增加,给环境和人类健康带来一定的风险。因此,开发和应用可持续和环境友好的农业生产方式迫在眉睫。

微生物菌剂是含有不同类型微生物活细胞的产品^[4],微生物菌剂利用有益微生物的作用机制,改善土壤养分状况^[5-7],增加微生物多样性^[8],促进植物生长和发育,提高果实抗逆性,促进养分吸收和利用,抑制病原菌的生长和繁殖,以及改善果实的营养成分^[9]。这些优势为果实生产提供了一种可替代传统农药和化肥的新途径。此外,微生物菌剂还具有环境友好和可持续的特点。有研究表明,用哈茨木霉菌剂处理网纹甜瓜,可提高网纹甜瓜中维生素C和可溶性固形物的含量,并能有效提高网纹甜瓜的货架期品质^[10]。用丛枝菌根菌剂处理后,黄瓜幼苗多个生长指标略高于对照,说明菌剂对黄瓜幼苗生长具有促进作用^[11]。通过使用微生物菌剂,可以减少对农药的依赖和使用,降低对环境的污染和生态系统的破坏,为农业可持续发展作出贡献。

深入研究微生物菌剂在提升果实品质方面的作用机制和应用效果,对于实现绿色农业、保障食品安全和提高果实经济价值具有重要意义。本研究旨在系统梳理和总结微生物菌剂在果实品质改善方面的研究进展,为果实生产提供一种可行的、环境友好的生产方式,并为进一步研究和应用提供理论和实践指导。

1 微生物菌剂的分类及常见菌株

微生物菌剂根据其所含有益微生物的种类可

以分成4类。

1.1 细菌菌剂 根瘤菌菌剂包括豆科植物的根瘤菌,如大豆根瘤菌(*Rhizobium japonicum*)和豌豆根瘤菌(*Rhizobium leguminosarum*)。枯草杆菌菌剂包括枯草杆菌属(*Bacillus*)的一些菌株,如枯草杆菌亚种(*Bacillus subtilis*)和枯草杆菌生物农药(*Bacillus thuringiensis*)。乳酸菌菌剂包括常见的乳酸菌,如乳酸杆菌(*Lactobacillus*)和酸奶杆菌(*Lactococcus*)。

1.2 真菌菌剂 木霉菌剂包括木霉属(*Trichoderma*)的一些菌株,如木霉菌(*Trichoderma harzianum*)和木霉绿僵菌(*Trichoderma viride*)。拟青霉菌菌剂包括拟青霉菌属(*Penicillium*)的一些菌株,如拟青霉菌(*Penicillium chrysogenum*)和淡紫拟青霉菌(*Paecilomyces lilacinus* (Thorn.) Samson)。

1.3 放线菌菌剂 促根放线菌菌剂包括促根放线菌属(*Streptomyces*)的一些菌株,如促根放线菌(*Streptomyces scabies*)和促根链霉菌(*Streptomyces griseus*)。

1.4 其他菌剂 酵母菌菌剂包括酵母菌(*Saccharomyces*)的一些菌株,如酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)和乳酸酵母菌(*Saccharomyces lactis*)。藻类菌剂包括藻类,如蓝藻(*Cyanobacteria*)和绿藻(*Chlorella*)等。

这些常见的菌株在微生物菌剂中起着重要作用,可以通过固氮^[12]、溶磷^[13]、解钾^[14]、合成植物激素^[15-16]等直接刺激植物生长。例如,固氮菌剂不仅可促进黄芪的生长和药效成分含量的积累,而且能够改善土壤养分和土壤酶活性^[17]。不同种类的微生物菌剂可以根据目标作物和目标效果的需求来进行选择和应用。此外,还有许多其他类型的微生物菌剂和菌株正在不断研究和开发中,以满足农业生产的多样化需求。

2 微生物菌剂对果实品质的影响

2.1 微生物菌剂能促进植物生长和发育

2.1.1 植物生长激素的释放 微生物菌剂中的有益微生物能够产生植物生长激素,如赤霉素、吲哚乙酸等,从而促进植物的生长和发育,对果实品质的提升起到重要作用。赤霉素是一种重要的植物生长调节物质,在微生物菌剂中产生的赤霉素能够促进植物茎叶和根系的生长。赤霉素能够促进

细胞分裂和伸长,增加细胞数量,并通过影响细胞壁的松弛来使植物茎叶和根系得以迅速生长。通过促进茎叶的生长,赤霉素能够增加光合作用的面积和效率,提高果实光合产物的合成能力。同时,赤霉素还能够调控植物的开花和果实发育,促进果实的形成和成熟。有研究表明,葡萄花后的膨大期用赤霉素类生长调节剂蘸穗,可促进坐果并获得商品性极佳的大粒葡萄^[18-19]。普继雄等^[20]研究发现,施用微生物菌剂可明显促进草莓植株的营养生长,叶绿素和净光合速率明显增加;同时果实的品质明显提高,果实可溶性固形物含量增加8.9%,维生素C含量最大值为564.1 mg/kg,比对照增加13.3%;平均单果质量最大值为28.46 g,增产13.33%。

吲哚乙酸(IAA)是一种天然的植物生长激素,它在微生物菌剂中的生成可以促进植物的生长和发育。吲哚乙酸能够刺激细胞分裂和伸长,促进植物的根系生长和分枝,增加植物的吸收面积和养分吸收能力。通过增加根系的生长,吲哚乙酸能够增加植物对水分和养分的吸收能力,提高果实的养分含量和水分利用效率。吲哚乙酸还能够促进植物的成熟和果实发育,增加果实的大小和产量。MENÉNDEZ等^[21]通过分析24株不同的中生根瘤菌(*Mesorhizobium*)产生吲哚乙酸的情况,筛选出产生吲哚乙酸最高的2株接种于番茄幼苗,研究表明,接种的番茄幼苗生长性状显著高于未接种的番茄幼苗。陆胜民等^[22]研究发现,益生菌剂连续施用2 a后红美人柑橘果实的平均单果质量高达293.7 g,比施用前显著提高21.4%,并且果实的可溶性固形物含量提高,总酸含量下降,Vc含量有所提高,表明施用益生菌剂不仅能显著提高产量而且品质更好。张旺林等^[23]研究表明,微生物菌剂对提高冬枣果实产量、品质有促进作用,其中以P7 K3 N9+常规肥料减施20%效果最为显著,产量较常规肥料组提高了27.22%,Vc含量较常规肥料组增长了6.79%,总糖含量增加了15.02%,可溶性固形物含量增加了17.87%。陈永发等^[24]研究认为,施用有机肥+微生物菌剂不仅能增加脐橙产量和果实品质,还能替代化肥,避免环境污染。仲光绪等^[25]在苹果上的研究结果也与此一致。

微生物菌剂中有益微生物产生的赤霉素和吲哚乙酸能够通过植物根系建立共生关系,向植物释放这些植物生长激素,从而促进植物的生长

和发育。这些激素的释放能够增加果实的产量和大小,提高果实的品质和营养价值。同时,这些激素还能够改善植物的抗逆性,增加植物对逆境条件的适应能力,进一步提高果实的质量和耐储存性。因此,微生物菌剂在促进植物生长和发育方面的作用对果实品质的提升具有重要影响。

2.1.2 微生物菌剂对根系结构和养分吸收的改善 微生物菌剂能够改善植物的根系结构和养分吸收能力,从而促进植物的生长和发育,对果实品质的提升起到重要作用。施加微生物菌剂能够提高土壤中细菌、真菌、放线菌数量^[26]。微生物菌剂中的有益微生物能够与植物根系建立共生关系,形成根际固氮菌根(*Rhizobium*)和菌根真菌(*Mycorrhizae*)等。这些共生关系可以改善植物的根系结构,增加根系的分枝和表面积,提高根系与土壤的接触面积,增加养分吸收的能力。

通过根际固氮菌根的共生关系,植物能够获得大量的固定氮素,提高氮的供应量。固定氮素是植物生长过程中重要的营养元素,对植物的生长和发育具有显著影响。充足的氮素供应能够促进植物叶片的生长和光合作用,增加果实光合产物的合成能力,进而提高果实的大小和产量。有研究表明^[27],微生物菌剂的施用可以提高叶绿素含量,该研究在增施微生物菌剂的条件下,微生物使氮肥转化为植株可吸收的硝态氮,增加了氮素的供应量,从而使增施微生物菌剂处理的叶绿素含量增加。

此外,菌根真菌能够与植物根系形成共生关系,形成菌根,扩展植物根系的吸收面积。有研究表明,哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)菌株能在土壤中迅速生长并传播^[28],能有效减少土壤传染病的发生^[29],能与多种植物建立紧密的关系^[30],因而其能促进植物的生长。菌根具有丰富的菌丝网络,能够有效地吸收土壤中的养分,包括磷、钾、钙等。VA菌根可以与多种植物的根系共生,其菌丝能够伸出根部很远,可以吸收更多的营养,其中对磷的吸收最为明显^[31],另外,对锌、铜、钙等也有加强吸收的作用^[32]。王洪旭等^[33]研究表明,施用哈茨木霉菌剂能显著提高网纹甜瓜株高、单瓜质量、果实纵径、根系鲜质量和根系干质量,提高产量及商品率,对网纹甜瓜植株及根系的生长具有一定的促进效果,并对网纹甜瓜品质及产量有一定的提升效果。此外,宋以玲等^[34]研究表明,复合微生物

菌剂可提高棉花根际土壤的菌群数量,改善根际微生物生态平衡,优化根际微环境,进而提高土壤有效氮、磷、钾、有机质含量,促进棉花生长和生物量的累积,达到增产增收的效果。

微生物菌剂通过改善植物的根系结构和养分吸收能力,能够增加植物对土壤中养分的吸收利用效率,提高果实的养分含量和品质。充足的养分供应能够促进果实的生长和发育,增加果实的大小和产量。同时,菌根真菌的共生关系还能增加果实对土壤中水分的吸收能力,提高果实的口感和风味特性。因此,微生物菌剂在改善根系结构和养分吸收方面的作用对果实品质的提升具有重要意义。

2.2 微生物菌剂能提高植物的抗逆性

有些微生物菌剂中的特殊微生物可提高植物的抗逆性,如抗旱性、抗盐碱性、抗重金属毒害等。有研究表明,高温蒸汽灭菌后土壤中Mn的含量显著上升,对植物有毒害作用,接种VA菌种后,可提高植株对Mn的抗性^[35-36]。VA菌根可促进植物对P的吸收利用,从而促进根系的生长,增强植物抗寒、抗旱能力^[37]。郭江等^[38]研究表明,使用生物菌肥后,葡萄的各生长量均提高,光合作用、抗逆防病能力增强。

微生物菌剂能够提高植物的抗逆性,其中包括促进抗逆蛋白和抗氧化物质的产生,从而帮助果实应对各种逆境条件。抗逆蛋白是一类能够帮助植物应对逆境条件的蛋白质,如热激蛋白(Heat shock proteins)和脯氨酸脱氢酶(Proline dehydrogenase)等。这些抗逆蛋白能够在逆境条件下迅速产生,帮助果实维持正常的生理功能,减轻氧化应激对果实的损伤。抗氧化物质是一类能够清除自由基和抑制氧化反应的物质,如类胡萝卜素(Carotenoids)、维生素C和维生素E等。微生物菌剂中的有益微生物能够促使果实增加抗氧化物质的合成,帮助果实对抗自由基的侵害,减少细胞氧化损伤,保护果实的细胞结构和功能。

2.3 微生物菌剂促进养分吸收和利用

微生物菌剂能够促进植物的养分吸收和利用,其中包括通过有机物分解和养分释放来提供植物所需的营养物质。

微生物菌剂中的有益微生物具有分解有机物的能力,它们可以分泌多种酶,如纤维素酶、蛋白酶和淀粉酶等,将复杂的有机物分解为简单的营

养物质。这些有机物分解产生的营养物质包括碳、氮、磷、钾等,能够为果实提供养分源。

具体而言,微生物菌剂中的有益微生物能够分解植物残体和有机肥料中的有机物质,将其分解为有机酸、氨基酸、糖类等可溶性物质。这些物质能够被植物根系吸收和利用,提供植物所需的营养元素。YOSHIKAWA等^[39]研究指出,1:1的琥珀酸与乳酸混合物在浓度为 1.0×10^{-5} 时,植物根的生物量增加了40%。通过促进有机物的分解和养分释放,微生物菌剂能够增加果实对养分的吸收利用效率,提高果实的养分含量和品质。

因此,微生物菌剂通过促进有机物分解和养分释放,能够提高果实对养分的吸收和利用效率,从而提高果实的养分含量和品质。

3 微生物菌剂的未来发展方向

微生物菌剂在提高果实品质方面的应用潜力巨大,配施微生物肥料可以在一定程度上提高自然资源的利用效率,是一种比较安全的减投增效、有利于可持续发展的措施^[40]。随着技术的进步和研究的深入,微生物菌剂未来的发展应从以下几方面着手。

3.1 研发高效微生物菌剂

未来的研究应该注重更加高效的微生物菌剂的研发,包括具有多重功能和抗逆性的菌种。对所使用的菌种进行生物学特征及作用机理研究,加强基础研究,这将有助于微生物菌剂研发的健康发展。

3.2 探索微生物菌剂与其他栽培技术的联合应用

微生物菌剂可以与其他栽培技术相结合,如植物生长调节剂、生物有机肥料等。未来的研究可以探索微生物菌剂与这些技术的联合应用,以进一步提高果实的品质和产量。

3.3 深入研究微生物菌剂与果实品质的关联机制

未来的研究可以更深入地研究微生物菌剂与果实品质之间的关联机制,包括调控果实发育和成熟的信号通路、影响果实呈色和口感的代谢途径等。这将有助于揭示微生物菌剂对果实品质的具体作用机制,为进一步优化微生物菌剂的应用提供理论基础。

3.4 推动微生物菌剂的产业化应用

未来还应该加强微生物菌剂的产业化应用,包括优化菌剂的生产工艺、扩大生产规模和提高

菌剂的稳定性。这将有助于推广和应用微生物菌剂,促进水果产业的可持续发展。

虽然很多研究表明,微生物菌剂对植物生长发育有积极的影响,但仍需更深入地了解微生物菌剂与植物之间的相互作用、信号传递和调控机制。此外,不同环境条件下微生物菌剂的适用性和效果也需要进一步验证和研究。

参考文献:

- [1] 王岩. 学会吃水果 营养又健康[J]. 食品营养, 2020(14): 122-123.
WANG Y. Learn to eat fruits for nutrition and health[J]. Food Nutrition, 2020(14): 122-123.
- [2] 杨晨, 鲍正德, 杨涛, 等. 浅析电子商务背景下水果产业发展的条件及前景[J]. 饮食科学, 2019(6): 246.
YANG C, BAO Z D, YANG T, et al. Analysis on the conditions and prospects of fruit industry development under the background of e-commerce[J]. Dietary Science, 2019(6): 246.
- [3] 刘美迎, 李小龙, 梁茁, 等. 基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 57-64.
LIU M Y, LI X L, LIANG Z, et al. Comprehensive quality assessment of table grapes varieties using fuzzy mathematics and cluster analysis[J]. Food Science, 2015, 36(13): 57-64.
- [4] 李晶晶, 刘聪, 王鑫鑫, 等. 微生物菌剂对青椒生长、品质和土壤养分状况的影响[J]. 北方园艺, 2021(13): 1-10.
LI J J, LIU C, WANG X X, et al. Effects of increasing microbial agents on growth, quality and soil nutrients of green pepper[J]. Northern Horticulture, 2021(13): 1-10.
- [5] 褚义红. 不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014: 63-68.
CHU Y H. Effects of different microbial fertilizer on growth, quality, yield and nitrogen accumulation of lettuce in greenhouse[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014: 63-68.
- [6] 张振荣, 布云红, 赖泳红, 等. 不同功能菌剂对连作烟叶农艺性状和根际土壤细菌的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(S1): 116-121.
ZHANG Z R, BU Y H, LAI Y H, et al. The effects of different function bacteria on the agronomic trait of continuous cropping tobacco and rhizospheric soil bacteria[J]. Journal of Yunnan University(Natural Sciences Edition), 2012, 34(S1): 116-121.
- [7] BRUSSAARD L, DE RUITER P C, BROWN G G. Soil biodiversity for agricultural sustainability[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007, 121(3): 233-244.
- [8] NABTI E, JHA B, HARTMANN A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2017, 14(5): 1119-1134.
- [9] 杨智鹏, 魏喜喜, 万胜, 等. 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.
YANG Z P, WEI X X, WAN S, et al. Effects of special jujube microbial agents on fruit quality of gray jujube[J]. Non-wood Forest Research, 2022, 40(3): 251-258.
- [10] 李婷, 王瑞琪, 张雪梅, 等. 哈茨木霉菌剂处理提高网纹甜瓜(*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* naud.)的货架期品质[J]. 现代食品科技, 2022, 38(7): 160-168, 142.
LI T, WANG R Q, ZHANG X M, et al. *Trichoderma harzia*-num enhance shelf life qualities of netted melon(*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* naud.)[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 160-168, 142.
- [11] 郭芳, 王铁臣, 赵鹤, 等. 丛枝菌根菌剂对春大棚黄瓜生长和品质的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(11): 1308-1311.
GUO F, WANG T C, ZHAO H, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculant on the growth and quality of spring greenhouse cucumbers[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(11): 1308-1311.
- [12] PAUNGFUO-LONHIENNE C, REDDING M, PRATT C, et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 233: 337-341.
- [13] YU L Y, HUANG H B, WANG X H, et al. Novel phosphate-solubilising bacteria isolated from sewage sludge and the mechanism of phosphate solubilisation[J]. Science of the Total Environment, 2019, 658: 474-484.
- [14] PRAMANIK P, GOSWAMI A J, GHOSH S, et al. An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria *Bacillus pseudomycoides* enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the *Mica* waste-treated soil of North-east India[J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 126(1): 215-222.
- [15] PARK Y G, MUN B G, KANG S M, et al. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones[J]. PLoS One, 2017, 12(3): e0173203.
- [16] HASHEM A, TABASSUM B, FATHI ABDALLAH E. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, 26(6): 1291-1297.
- [17] 杨振宇, 王宝慧, 宋诗娟, 等. 固氮菌剂对黄芪生长、土壤养分及酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(6): 861-868.
YANG Z Y, WANG B H, SONG S J, et al. Effects of nitrogen-fixing bacterial inoculants on the growth of *Astragalus membranaceus*, soil nutrients and enzyme activities[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(6): 861-868.
- [18] 张倍宁. 不同生长调节剂对设施‘玫香宝’果实无核化及品质影响研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2022.
ZHANG B N. Study on the effect of different growth regulators on the seedless and quality of ‘Mei xiang bao’ fruit in facility[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2022.
- [19] 苏晓兰, 童巧云, 张雪梅, 等. CPPU对设施栽培玫瑰香葡萄无核化及果实品质的影响[J]. 山西农业科学, 2023, 51(11): 1290-1298.
SU X L, TONG Q Y, ZHANG X M, et al. Effects of CPPU on seedless and fruit quality of muscat hamburg grape in greenhouse[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(11): 1290-1298.
- [20] 普继雄, 赵娟莉, 马桂梅, 等. 微生物菌剂对大棚草莓产量和品质的影响[J]. 云南农业科技, 2023(5): 12-13.

- PU J X, ZHAO J L, MA G M, et al. Effect of microbial agents on yield and quality of strawberries in greenhouses[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2023(5):12-13.
- [21] MENÉNDEZ E, PÉREZ-YÉPEZ J, HERNÁNDEZ M, et al. Plant growth promotion abilities of phylogenetically diverse mesorhizobium strains; effect in the root colonization and development of tomato seedlings[J]. Microorganisms, 2020, 8(3): 412.
- [22] 陆胜民, 陈巧云, 黄振东, 等. 根施益生菌剂对柑橘果园土壤化学指标及果实品质和产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(12):2819-2823.
- LU S M, CHEN Q Y, HUANG Z D, et al. Effect of root treatment with probiotics on soil chemical properties and fruit quality and yield in *Citrus* orchard[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(12):2819-2823.
- [23] 张旺林, 张智英, 吴颖欣, 等. 微生物菌剂在冬枣肥料减施及果实品质提升中的试验研究[J]. 农业科技通讯, 2021(4): 172-174.
- ZHANG W L, ZHANG Z Y, WU Y X, et al. Experimental study on reducing fertilizer application and improving fruit quality of winter jujube[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2021(4):172-174.
- [24] 陈永发, 周慧, 宋刘斌, 等. 有机肥和微生物菌剂对新宁脐橙产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(35):38-42.
- CHEN Y F, ZHOU H, SONG L B, et al. Effects of organic fertilizer and microbial agent on yield and quality of Xinning Navel orange[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(35):38-42.
- [25] 仲光绪, 陈伟, 束怀瑞. 菌剂和有机质处理对苹果园土壤微生物和果实品质的影响[J]. 中国果树, 2019(5):20-24.
- ZHONG G X, CHEN W, SHU H R. Effects of microbial agent and organic matter treatment on soil microorganisms and fruit quality in apple orchard[J]. Chinese Fruit Science, 2019(5):20-24.
- [26] 马学兰, 周连玉, 巨家升. 微生物菌剂在粮食作物生产中的应用研究进展[J]. 山西农业科学, 2023, 51(4):456-461.
- MA X L, ZHOU L Y, JU J S. Research progress on the application of microbial inoculants in grain crop production[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(4):456-461.
- [27] 张美存, 程田, 多立安, 等. 微生物菌剂对草坪植物高羊茅生长与土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(14):4763-4769.
- ZHANG M C, CHENG T, DUO L A, et al. Effects of microbial agents on the growth of turfgrass *Festuca arundinacea* and soil enzyme activity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(14): 4763-4769.
- [28] GENG L, FU Y L, PENG X H, et al. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea* in tomato plants[J]. Biological Control, 2022, 174:105019.
- [29] LIU L, XU Y S, CAO H L, et al. Effects of *Trichoderma harzianum* biofertilizer on growth, yield, and quality of *Bupleurum chinense*[J]. Plant Direct, 2022, 6(11):e461.
- [30] ALI I, KHAN A, ALI A, et al. Iron and zinc micronutrients and soil inoculation of *Trichoderma harzianum* enhance wheat grain quality and yield[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 960948.
- [31] ORLANDO. The vesicular-arbuscular mycorrhizal[J]. Afr J Biotechnol, 2003, 2(12):539-546.
- [32] 姚青, 冯固, 李晓林. 不同作物对 VA 菌根真菌的依赖性差异[J]. 作物学报, 2000, 26(6):874-878.
- YAO Q, FENG G, LI X L. Dependence of different crops on VA mycorrhizal fungi[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(6):874-878.
- [33] 王洪旭, 曲明山, 杨明宇, 等. 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜生长及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(2):44-49.
- WANG H X, QU M S, YANG M Y, et al. Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on growth and quality of reticulated melon[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(2): 44-49.
- [34] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 复合微生物菌剂对棉花生理特性及根际土壤微生物和化学性质的影响[J]. 土壤, 2019, 51(3): 477-487.
- SONG Y L, YU J, CHEN S G, et al. Effects of complex microbial inoculants on physiological characteristics of cotton and microbial and chemical properties of rhizosphere soil[J]. Soil Science, 2019, 51(3):477-487.
- [35] 葛诚. 微生物肥料的生产应用及其发展[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996:6-50.
- GE C. Production and application of microbial fertilizer and its development[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1996:6-50.
- [36] HALDER A K. Solubilization of inorganic phosphate by rhizobium[J]. Folia Microbial, 1993, 38:325-330.
- [37] 张道勇, 王鹤平. 中国实用肥料学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997.
- ZHANG D Y, WANG H P. Practical fertilizer science in China [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1997.
- [38] 郭江, 古亚汉, 邓正新, 等. 生物菌肥对葡萄应用效果试验总结[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(增刊):81-83.
- GUO J, GU Y H, DENG Z X, et al. Experimental summary of application effect of biofilm fertilizer on grape[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2005, 42(S):81-83.
- [39] YOSHIKAWA, HIRAI, WAKABEYSHI, et al. Succinic and lactic acids as plant growth promoting compounds[J]. Canad. J. of Micro-biol, 1993, 39(12):1150-1154.
- [40] 杨泽元, 吕德国. 我国微生物肥料在果树上的应用研究进展[J]. 北方果树, 2014(1):1-4.
- YANG Z Y, LV D G. Research progress on the application of microbial fertilizer on fruit trees in China[J]. Northern Fruit Tree, 2014(1):1-4.