

2 种植物促生菌株在上海葡萄上的应用

王小月¹, 石慧敏², 王焱^{3*}

(1.上海市林业总站, 上海 200072; 2.南京林业大学, 江苏南京 210037; 3.上海市林学会, 上海 200072)

摘要 探究 2 种植物促生菌株对葡萄生长指标和果实品质的影响, 为微生物菌肥的研制及在葡萄上的推广应用提供理论与实践依据。2019 年 10 月将阿氏芽孢杆菌(*Bacillus aryabhattai*) SK1-7 和水拉恩氏菌(*Rahnella aquatilis*) JZ-GX1 应用于上海奉贤的阳光玫瑰。按菌:水=1:2 将菌液稀释, 1 hm² 450 L 稀释液喷施在园内牛粪肥上, 分析菌株结合牛粪肥对葡萄生长和结果的影响。2020 年 11 月及 2021 年 3 月, 在原地进行复施。300 d 后, SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理葡萄平均穗重比对照提高 23.64%、15.30%, 平均果粒重比对照提高 16.63%、14.09%。连续 2 年施菌后, SK1-7+有机肥处理平均叶片厚度比对照提高 48.86%。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理叶片横径比对照提高 11.81%、6.82%, 叶片纵径比对照提高 4.99%、10.45%, 叶面积比对照提高 13.57%、9.03%, 可溶性固形物含量比对照提高 7.94%、12.86%。2 种菌与牛粪肥结合显著提高了阳光玫瑰的穗重和果粒重, 同时提高了可溶性固形物含量, 提升了葡萄果实品质。

关键词 阿氏芽孢杆菌; 水拉恩氏菌; 有益微生物; 阳光玫瑰; 果实品质

中图分类号 S663.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)20-0133-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application of Two PGPR on Grape in Shanghai

WANG Xiao-yue¹, SHI Hui-min², WANG Yan³ (1. Shanghai Forestry Station, Shanghai 200072; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 3. Shanghai Forestry Society, Shanghai 200072)

Abstract To investigate the effects of two growth-promoting strains on grape growth index and fruit quality, and to provide theoretical and practical basis for the development and application of microbial fertilizer on grape. In October 2019, *Bacillus aryabhattai* SK1-7 and *Rahnella aquatilis* JZ-GX1 were applied to the sunshine rose. According to the ratio of bacteria: water 1:2, the bacteria solution was diluted, and 450 L of diluted solution per hectare was sprayed on the cow manure covered in the garden to analyze the influence of the strains combined with cow manure on grape growth and results. Reapplication will be carried out in situ in November 2020 and March 2021. After 300 d of application, the average ear weight of grapes in SK1-7 and JZ-GX1 treatment groups increased by 23.64% and 15.30%, and the average fruit weight increased by 16.63% and 14.09% compared with the control group. After three consecutive years of inoculation, the average leaf thickness in SK1-7 treatment group increased by 48.86% compared with the control group. SK1-7 and JZ-GX1 treatment groups increased by 11.81% and 6.82% compared with the control, 4.99% and 10.45% compared with the control, 13.57% and 9.03% compared with the control, and 7.94% and 12.86% higher than the control in soluble solid content. The combination of the two kinds of bacteria with cow manure significantly increased the ear weight and fruit weight of sunshine rose, meanwhile increased the content of soluble solid, and improved the fruit quality of grapes.

Key words *Bacillus aryabhattai*; *Rahnella aquatilis*; Beneficial microorganisms; Shine muscat; Fruit quality

上海地处北亚热带季风性气候, 是我国南方葡萄产区之一, 农业相对发达。葡萄是上海发展最好、效益最高的果树产业, 已成为各区农业增效、农民增收的重要来源。2019 年上海葡萄栽培面积达 3 010 hm², 葡萄产量受种植面积影响较大, 但单产稳定, 近 5 年保持在 19 500 kg/hm² 左右。上海奉贤、嘉定、金山是葡萄主要生产地区^[1]。经过对 3 区实地调查, 各果园使用有机肥的标准参差不齐, 使用量和种类不尽相同。主要存在以下问题: 有机肥肥效不足, 果树营养要求不能充分满足; 有机肥未完全腐熟, 造成烧根; 施用过多的有机肥, 堆积的肥料尚未完全利用又添新肥, 导致植物根际无法壮硕同时伴随烧根。

微生物菌肥是一类含有特定功能活性微生物并兼具有有机肥效应的新型生物有机肥料, 与传统化学肥料相比, 本身不直接向农作物提供养分, 而是通过活性微生物的固定、分解、分泌等生命活动改变土壤中养分变化, 进而影响作物的生长^[2-3]。2016 年中央财政启动了国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”试点专项, 力求解决农

业生产体系中因化肥农药过量施用带来的生态环境污染、农产品质量安全、生物多样性破坏等问题^[4]。因此替代传统化学肥料的新型肥料加速发展, 各类微生物菌肥产品应运而生。在果园常用的有机肥中添加有益微生物制成菌肥, 可以有助于土壤中残留已久的有机质释放, 果树能充分吸收营养。同时微生物添加后能调节土壤及有机肥中的微生物菌群, 进一步改善土壤环境。

水拉恩氏菌(*Rahnella aquatilis*) JZ-GX1 是一株从马尾松根际分离具有植酸酶活性的菌株, 具有较好地分解有机磷作用, 能提高叶绿素含量、净光合速率等参数, 显著促进马尾松幼苗的生长^[5]。JZ-GX1 还能显著提高玉米种子的活力和发芽率, 能有效促进玉米植株的生长, 同时具有较高地合成植物生长素 IAA 的能力^[6]。阿氏芽孢杆菌(*Bacillus aryabhattai*) SK1-7 是一株从杨树根际分离出的菌株, 具有极强地释放土壤氮肥、溶解土壤中难溶性磷、分泌蛋白酶、外泌有机酸、外泌植物生长素的特点, 能有效降解土壤中的硅酸盐、铝酸盐, 提高可溶性钾含量, 有效地缓解植物缺钾^[7]。

为进一步扩大各优良抗病促生菌的应用范围, 研制出更适合果树生长的微生物肥料, 笔者将 SK1-7、JZ-GX1 这 2 种菌株应用于上海市奉贤区的葡萄, 与原地块有机肥结合, 探究菌株结合有机肥处理对葡萄生长及果实品质的影响, 旨在发挥菌株的功效, 提高果品质量, 改良土壤环境, 同时为微生

基金项目 上海市绿化和市容管理局项目“微生物肥料的研究与应用”(G191208)。

作者简介 王小月(1989—), 女, 江苏兴化人, 工程师, 硕士, 从事林业植物检疫工作。* 通信作者, 教授级高级工程师, 博士, 从事林业有害生物防治等科研和管理工作。

收稿日期 2021-11-30

物肥料的研制及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地位于上海市农工商现代农业园区开发有限公司。该地位于奉贤区五四农场,属亚热带海洋性季风气候,四季分明,土壤为滨海微砂质黄壤土,pH 为 7.5~7.8,土壤养分丰富,供肥、保肥能力较强。试验地面积 0.4 hm²。

1.2 试验材料 试验葡萄品种为阳光玫瑰(*Vitis labruscana* Bailey×*V. vinifera* L.Shine Muscat),5年生。“阳光玫瑰”是日本农研机构以“安芸津 21 号×白南”杂交育成的欧美杂交种,自 2009 年开始引入我国多地种植^[8]。

供试菌株为阿氏芽孢杆菌 SK1-7、水拉恩氏菌 JZ-GX1,保存于南京林业大学林木病理学实验室。

培养基 Nutrient Broth (NB):牛肉膏 3 g/L,蛋白胨 10 g/L,氯化钠 5 g/L,pH 7.0,灭菌备用。

菌株原液制作方法:将菌种接种于 NB 培养基中置于摇

床活化培养 24 h(28 ℃,200 r/min)后取出,吸取 1 mL 活化好的菌液再次接种于内有 50 mL NB 培养基的 100 mL 容量瓶中摇床培养 24 h(28 ℃,200 r/min)即得种子液,将种子液接种于 50 L 液体发酵罐中发酵培养 24 h,获得大量细菌发酵液,取出储存备用。

园内施用的有机肥为牛粪肥,有机质含量≥30%。

1.3 试验方法 2019 年春季调查葡萄果园种植情况,试验方案见表 1。共设 3 个处理,分别为 SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥、对照处理,各约 0.13 hm²,每个处理 44 棵葡萄重复。2019 年 10 月 12 日按试验设计处理。将 135 t/hm² 的牛粪肥均匀覆盖在即将试验的土壤上。按照菌液:水=1:2 的比例搅拌配制形成稀释菌液,喷洒 450 L/hm² 稀释液。将稀释液倒入打药机内,通过喷洒方式将稀释的菌液直接喷洒在已覆土的牛粪肥上,菌液喷洒完毕后进行人工翻土搅拌。2020 年 11 月和 2021 年 3 月,在原试验地进行菌剂复施,处理方法和施菌用量与第一次相同。

表 1 2 种菌株在奉贤葡萄的试验处理(2019—2021 年)

Table 1 Experimental treatment of two strains in Fengxian grape (2019—2021)

处理 Treatment	有机肥及菌液用量 Organic fertilizer and bacteria liquid	处理面积 Area hm ²	葡萄株数 Replication numbers//株	处理方法 Treatment methods
SK1-7+有机肥 SK1-7+ cow manure	150 L/hm ² 菌液、135 t/hm ² 有机肥	0.13	44	喷施稀释液、搅拌覆盖
JZ-GX1+有机肥 JZ-GX1+cow manure	150 L/hm ² 菌液、135 t/hm ² 有机肥	0.13	44	喷施稀释液、搅拌覆盖
有机肥(简称 CK)Cow manure	135 t/hm ² 有机肥	0.13	44	喷施稀释液、搅拌覆盖

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生长指标

1.4.1.1 叶绿素含量。选择天气晴朗,每棵树选择 3 个结果枝上无病虫害、无机械损伤的第 4 基节叶片,用便携式叶绿素仪测定葡萄叶片叶绿素含量(用 SPAD 值表示)^[9]。

1.4.1.2 叶片横径、纵径。每棵树选择 2 个结果枝上无病虫害、无机械损伤的第 4 基节叶片,使用直尺测量叶片横径、纵径。

1.4.1.3 叶片厚度。每棵树随机选择 2 个结果枝的第 4 基节叶片,用游标卡尺从叶脉基部连同叶脉测定葡萄叶片厚度,每个处理测定 50 片叶片厚度。

1.4.1.4 叶片面积。将一张白纸板上面画一个 1 cm×1 cm 的小正方形,将叶片与小正方形放入同一平面内进行拍照。使用 Photoshop 软件将小正方形的像素和叶片的像素读取出来。

$$\text{叶面积} = \text{叶片像素} / \text{正方形像素} \times 1 \text{ cm}^2$$

1.4.2 果实品质

1.4.2.1 葡萄穗重。每个处理随机摘取 15 串葡萄,用电子秤测定每串葡萄的穗重,整理数据得到各处理的平均穗重。

1.4.2.2 葡萄果粒重。每个处理随机摘取 15 串葡萄,每串的上中下各摘出一粒葡萄,用电子秤测定其果粒重,整理数据得到各处理的平均果粒重。

1.4.2.3 葡萄果穗横径和纵径。每个处理随机摘取 15 串葡萄,用直角尺测定果穗横径、纵径,整理数据得到各处理的平均果穗横径、纵径。

1.4.2.4 葡萄可溶性固形物。每个处理随机摘取 15 串葡萄,每串的上中下位置各摘出一粒葡萄,用糖度仪 ATAGO 测定其可溶性固形物含量,整理数据得到各处理的平均果粒重。

2 结果与分析

2.1 2 种菌株处理下的叶绿素含量 2021 年 4 月 14 日测定叶片叶绿素含量,SK1-7+有机肥及 JZ-GX1+有机肥处理组的叶片叶绿素含量显著低于对照组(表 2)。

2.2 2 种菌株处理下的叶片厚度 2021 年 4 月 14 日测定叶片厚度,SK1-7+有机肥处理组的平均叶片厚度为 2.62 mm,比对照组平均叶片厚度 1.76 mm 提高 48.86%。JZ-GX1+有机肥处理组的平均叶片厚度为 1.88 mm,与对照组相比无显著差异(表 2)。

2.3 2 种菌株处理下的叶片横径和纵径 2021 年 4 月 14 日测定叶片横径、纵径,发现 2 个菌株处理组的叶片横径、纵径均比对照组提高。SK1-7+有机肥处理组的叶片横径为 25.09 cm, JZ-GX1+有机肥处理组的叶片横径为 23.97 cm,比对照组 22.44 cm 分别提高 11.81%、6.82%。SK1-7+有机肥处理组的叶片纵径为 17.68 cm, JZ-GX1+有机肥处理组的叶片纵径为 18.60 cm,比对照组 16.84 cm 分别提高 4.99%、10.45%(表 2)。

2.4 2 种菌株处理下的叶面积 2021 年 4 月 14 日测定叶面积,SK1-7+有机肥处理组的叶面积为 671.29 cm², JZ-GX1+有机肥处理组的叶面积为 644.43 cm²,比对照组 591.06 cm² 分别提高 13.57%、9.03%,且差异显著(表 2)。

表 2 2 种菌株对葡萄叶片叶绿素含量、叶片厚度和叶片大小的影响(2021 年)

Table 2 Effects of two strains on chlorophyll content, leaf thickness and leaf size of grape leaves (2021)

处理 Treatment	叶绿素 (SPAD) SPAD value	厚度 Thickness mm	叶片横径 Leaf transverse diameter//cm	叶片纵径 Leaf longitudinal diameter//cm	叶面积 Leaf area cm ²
SK1-7+有机肥 SK1-7+ cow manure	33.59±2.92 a	2.62±0.49 b	25.09±2.03 c	17.68±1.88 ab	671.29±127.08 bc
JZ-GX1+有机肥 JZ-GX1+cow manure	33.26±2.86 a	1.88±0.30 a	23.97±1.81 b	18.60±1.54 b	644.43±66.20 b
有机肥 (CK) Cow manure	36.17±3.27 b	1.76±0.40 a	22.44±2.75 a	16.84±1.67 a	591.06±102.09 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

2.5 2 种菌株处理下的葡萄穗重 2019 年 10 月施菌, 2020 年 8 月测定各处理的葡萄穗重。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理组葡萄平均穗重为 917.14、855.29 g, 明显高于同期对照组 741.79 g。SK1-7+有机肥和 JZ-GX1+有机肥处理较单施有机肥的穗重分别提高了 23.64% 和 15.30% (表 3)。

后期再连续 2 次施菌, 2021 年 8 月 3 日分别测定各处理的葡萄穗重。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理葡萄平均穗重为 732.99、753.00 g, 高于同期对照组穗重 (668.33 g)。施用 SK1-7+有机肥和 JZ-GX1+有机肥处理显著提高了穗重, 较单施有机肥的穗重分别提高了 9.67% 和 12.67% (表 4)。

2.6 2 种菌株处理下的葡萄果粒重 2019 年 10 月施菌, 2020 年 8 月分别测定各处理的葡萄果粒重。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理葡萄平均果粒重为 11.92、11.66 g, 显著高于同期对照组果粒重 (10.22 g)。施用 SK1-7+有机肥和 JZ-GX1+有机肥处理较单施有机肥的葡萄果粒重提高了 16.63% 和 14.09% (表 3)。

后期再连续 2 次施菌, 2021 年 8 月 3 日分别测定各处理的葡萄果粒重。结果表明, 2 株菌株处理后的葡萄果粒重与对照相比无显著差异 (表 4)。

2.7 2 种菌株处理下的葡萄果穗横径、纵径 果实成熟后测定各处理葡萄果穗横径、纵径。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理葡萄果穗横径为 12.63、12.68 cm, 略高于对照组 (12.36 cm)。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理葡萄果穗纵径为 22.69、23.06 cm, 略高于对照组葡萄的果穗纵径 (22.37 cm)。处理组的横径、纵径与对照之间差异未达显著水平 (表 3)。

后期再连续 2 次施菌, 2021 年 8 月 3 日分别测定各处理的葡萄果穗横径、纵径。结果显示, 2 株菌株处理后的葡萄横径、纵径与对照相比无显著差异 (表 4)。

2.8 2 种菌株处理下的葡萄可溶性固形物含量 2019 年 10 月施菌, 果实成熟后测定各处理的葡萄可溶性固形物含量。处理组的葡萄可溶性固形物含量与对照相比达显著差异 ($P<0.05$) (表 3)。

后期再连续 2 次施菌, 果实成熟后测定各处理的葡萄可溶性固形物含量。SK1-7+有机肥、JZ-GX1+有机肥处理的可溶性固形物含量为 17.12%、17.90%, 与对照相比分别提高了 7.94% 和 12.86%。结果表明, 连续 2 年施菌比仅 1 年施菌在提高可溶性固形物含量上效果更佳 (表 4)。

表 3 2 种生物菌肥对葡萄果实品质的影响(2020 年 8 月)

Table 3 Effects of two kinds of biological bacterial fertilizer on grape fruit quality (August, 2020)

处理 Treatment	穗重 Panicle weight//g	果穗横径 Ear transverse diameter//cm	果穗纵径 Ear longitudinal diameter//cm	果粒重 Grain weight g	可溶性固形物 Soluble solids %
SK1-7+有机肥 SK1-7+ cow manure	917.14±194.38 b	12.63±1.59 a	22.69±1.39 a	11.92±1.94 b	18.30±1.53 a
JZ-GX1+有机肥 JZ-GX1+cow manure	855.29±145.15 ab	12.68±1.51 a	23.06±2.28 a	11.66±1.94 b	18.47±1.66 a
有机肥 (CK) Cow manure	741.79±118.77 a	12.36±1.17 a	22.37±1.65 a	10.22±2.08 a	19.35±1.64 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

表 4 2 种生物菌肥对葡萄果实品质的影响(2021 年 8 月)

Table 4 Effects of two kinds of biological bacterial fertilizer on grape fruit quality (August, 2020)

处理 Treatment	穗重 Panicle weight//g	果穗横径 Ear transverse diameter//cm	果穗纵径 Ear longitudinal diameter//cm	果粒重 Grain weight g	可溶性固形物 Soluble solids %
SK1-7+有机肥 SK1-7+ cow manure	732.99±169.19 b	19.89±2.00 a	11.80±1.42 a	9.51±2.28 a	17.12±1.95 b
JZ-GX1+有机肥 JZ-GX1+cow manure	753.00±138.95 b	20.03±1.55 ab	11.83±1.69 a	9.44±2.15 a	17.90±1.29 bc
有机肥 (CK) Cow manure	668.33±164.23 a	20.03±1.84 ab	11.83±1.74 a	9.56±2.72 a	15.86±1.66 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

3 结论与讨论

Chen 等^[7]发现阿氏芽孢杆菌 SK1-7 在解钾发酵培养基中培养 168 h 后, 解钾量达 10.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 解钾率为 32.62%。

水拉恩氏菌 JZ-GX1 是前期从马尾松根际土壤中筛选获得的高效植酸盐降解菌株, 经测定具有较高的植酸酶活性, 并且能够显著促进杨树和马尾松的生长^[5]。孔维亮等^[10]研究

表明水拉恩氏菌 JZ-GX1 可分泌羧酸盐型和异羟肟酸型 2 种嗜铁素,属于复合型铁载体。优良菌株的解钾、固氮、解磷、解植酸盐、分泌嗜铁素、分泌 IAA 等能力将有机肥中难以释放的营养物质顺利分解,促进土壤肥力的提升。研究表明,微生物菌剂和有机肥复配后,可以提高土壤酶活性,增强土壤中速效氮磷钾和有机质含量,将难溶性的物质转化为植物可吸收的营养成分。当有机肥腐熟程度较低时,微生物菌剂会附着在其上生长繁殖,降解难溶性养分,最终提高肥效。而对于一些腐熟程度较高的肥料,添加微生物菌剂更有利于调节和优化土壤环境。

该研究在园内牛粪肥的基础上,施用菌剂 SK1-7、JZ-GX1 处理后,提高了阳光玫瑰的生长指标,如叶片厚度、叶片横纵径、叶面积,同时也显著改善了阳光玫瑰的果实品质,在穗重、果粒重、果穗横纵径、可溶性固形物含量等指标上均有所提高。在连续施菌的情况下,穗重和果穗横纵径 2 年测定结果均保持提高状态。在果粒重和穗重方面,1 年施菌即可,提高效果显著。SK1-7、JZ-GX1 连续 2 年处理后,葡萄的可溶性固形物含量显著提高 7.94% 和 12.86%。推测可溶性固形物含量的积累需要在养分积累充足时才显现。第 1 年施菌,菌剂与牛粪肥结合后充分腐熟牛粪肥,将肥料中难溶的氮、磷、钾逐步释放,供植物吸收;第 2 年继续施菌剂与牛粪肥,菌体数量增加,进一步充分释放了牛粪肥与土壤中的养分,供葡萄生殖生长与繁殖生长。养分积累到一定程度促进了可溶性固形物含量的充分积累,由此不同菌剂的作用与对照的差异逐渐拉开,菌剂的使用提高了阳光玫瑰的可溶性固形物含量。

目前在果园生产实际中,管理者对微生物肥料的原理、作用了解不足,储藏保管及施用方法不明确,片面依赖化肥

(上接第 132 页)

染抗性可能是因为 *Rab11* 基因的高表达增强了与茉莉酸途径中的 *OsOPR8* 基因相互作用,提高了茉莉酸的生物合成,从而增强了茉莉酸介导的系统性防御反应,提高了 TMV 侵染的抑制效果。具体机理还需要进一步探究。

综上所述,新合成的茉莉酸甲酯类似物 B2 处理烟草植株后,促进 SOD、LOX 的活性,抑制 TMV 在烟草植株中的积累,且茉莉酸信号通路中的相关基因和植物抗病相关基因 *NiRab11*、*COI1*、*PR-1a* 和 *PR-1b* 的相对表达量都有所提高。以上结果表明,B2 对 TMV 侵染烟草植株有抑制效果。

参考文献

- [1] 宾金华,潘瑞焱.茉莉酸甲酯的生理生化及在植物抗病中的作用[J].植物学通报,1995,12(4):17-21.
- [2] 夏明星,于晓云,陈伟.茉莉酸甲酯对藜感染黄瓜花叶病毒后的生理影响[J].安徽农业科学,2017,45(28):154-157.
- [3] 禹艳红,徐曲毅,宾金华.茉莉酸甲酯对烟草愈伤组织一些活性氧生成和相关酶活性的影响[J].热带亚热带植物学报,2005,13(3):239-245.
- [4] 宾金华,潘瑞焱.茉莉酸甲酯诱导烟草幼苗抗病与过氧化物酶活性和木质素含量的关系[J].应用与环境生物学报,1999,5(2):160-164.

的现象依然很明显^[4]。为了减肥增效,让管理者充分认识并使用微生物肥料十分必要。部分果园有机肥使用量很大,且未充分腐熟就覆盖果园土壤,肥效无法充分释放,且易造成烧苗现象,造成大量有机肥的浪费。菌剂与有机肥混合后形成菌肥,将促进 N、P、K 等营养释放。后期研究将围绕施用微生物菌剂后土壤熟化进度、氨气释放、电导度等土壤因素,在肥料利用效率上阐述微生物制剂的作用。同时在上海进一步开展应用试验,有针对性地选择如葡萄霜霉病严重地块、粗放式管理地块等,探究微生物菌剂能否缓解生产条件引起的限制。

参考文献

- [1] 高幸,王素青,周德.基于价值链模型的上海葡萄产业发展研究和经验启示[J].北方园艺,2021(10):141-146.
- [2] 武兴友.微生物菌肥对农业生产的影响及研究趋势分析[J].中国果菜,2018,38(4):9-11,15.
- [3] 戴美松,王月志,蔡丹英,等.我国微生物菌肥登记现状及其在果树减肥增效中的应用[J].浙江农业科学,2021,62(2):241-246.
- [4] 张凯,冯推紫,熊超,等.我国化学肥料和农药减施增效综合技术研发顶层布局与实施进展[J].植物保护学报,2019,46(5):943-953.
- [5] LI G E, WU X Q, YE J R, et al. Isolation and identification of phytate-degrading rhizobacteria with activity of improving growth of poplar and Masson pine[J]. World journal of microbiology and biotechnology, 2013, 29(11):2181-2193.
- [6] 李桂娥,吴小芹.水拉恩氏菌 JZ-GX1 及其诱变菌株对马尾松苗的促生效应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):83-87.
- [7] CHEN Y F, YE J R, KONG Q Q. Potassium-solubilizing activity of *Bacillus aryabhattai* SK1-7 and its growth-promoting effect on *Populus alba* L.[J]. Forests, 2020, 11:1-9.
- [8] 王成荣,王虎,杨军,等.江淮之间精品阳光玫瑰葡萄栽培管理关键技术研究[J].安徽农业科学,2019,47(16):54-58.
- [9] 窦承阳,王焱,张岳峰,等.3 种促生有益微生物在上海梨树上的应用[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(4):186-190.
- [10] 孔维亮,周敏,吴小芹.水拉恩氏菌 JZ-GX1 产嗜铁素特性及其对林木病原菌的拮抗作用[J].微生物学通报,2019,46(12):3278-3285.
- [5] 宋凤鸣,郑重,葛秀春.活性氧及膜脂过氧化在植物-病原物互作中的作用[J].植物生理学通讯,1996,32(5):377-385.
- [6] KOCH E, MEIER B M, EIBEN H G, et al. A lipoxygenase from leaves of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is induced in response to plant pathogenic *Pseudomonads*[J]. Plant Physiol, 1992, 99(2):571-576.
- [7] HONG M J, LEE Y M, SON Y S, et al. Rice Rab11 is required for JA-mediated defense signaling[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2013, 434(4):797-802.
- [8] FODOR J, GULLNER G, ADAM A L, et al. Local and systemic responses of antioxidants to tobacco mosaic virus infection and to salicylic acid in tobacco (role in systemic acquired resistance)[J]. Plant Physiol, 1997, 114(4):1443-1451.
- [9] ARANDA M A, ESCALER M, WANG D, et al. Induction of *HSP70* and polyubiquitin expression associated with plant virus replication[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1996, 93(26):15289-15293.
- [10] DERBY M C, GLEESON P A. New insights into membrane trafficking and protein sorting[J]. Int Rev Cytol, 2007, 261:47-116.
- [11] STRASSNER J, FÜRHOHL A, MACHEROUX P, et al. A homolog of old yellow enzyme in tomato. Spectral properties and substrate specificity of the recombinant protein[J]. J Biol Chem, 1999, 274(49):35067-35073.
- [12] PENG J L, ILARSLAN H, WURTELE E S, et al. AtRabD2b and AtRabD2c have overlapping functions in pollen development and pollen tube growth[J]. BMC Plant Biol, 2011, 11(1):1-16.