

三种芽孢杆菌菌剂对甜瓜壮苗的影响

毛永炜¹, 刘君², 王惠林¹

(1. 新疆农业大学园艺学院 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学生命科学院 乌鲁木齐 830052)

摘要: 甜瓜壮苗是植株健康生长、高产优质的根基, 探明甜瓜育苗中能显著促进壮苗的微生物菌剂种类及其用量, 可为绿色高效的甜瓜育苗水肥一体化措施提供参考。本研究选择地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌 3 种菌剂, 以 4.50、6.75、9.00 kg·hm⁻² 等 3 种用量分别处理两种甜瓜(早黄蜜、Vm9-62)幼苗的栽培基质, 以清水作为对照, 比较分析不同处理下幼苗株高、茎粗、壮苗指数等指标的变化。结果表明, 6.75 kg·hm⁻² 以上用量的 3 种菌剂均可显著增加早黄蜜幼苗定植后 21 d 的叶绿素相对含量; 6.75 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌显著降低两种甜瓜幼苗的株高, 提高壮苗指数; 3 种菌剂用量与幼苗壮苗指数、生长函数及叶绿素相对含量均呈正相关, 与株高均呈负相关。综合评价两种甜瓜幼苗生长指标可知, 6.75 kg·hm⁻² 枯草芽孢杆菌菌剂处理对两种甜瓜幼苗生长的促进效果较好且具有壮苗作用, 生产中建议施用 6.75 kg·hm⁻² 枯草芽孢杆菌作为绿色高效的甜瓜育苗措施。

关键词: 甜瓜幼苗; 芽孢杆菌; 菌剂; 壮苗; 用量

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)02-101-09

Effects of three *Bacillus*-based microbial agents on vigorous seedling of melon

MAO Yongwei¹, LIU Jun², WANG Huilin¹

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. College of Life Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: The cultivation of vigorous melon seedlings is crucial for plant healthy growth, high yield and high quality. Clarifying the types of *Bacillus*-based microbial agents that markedly enhance melon seedling vigor and their optimal dosage may serve as a reference for developing green and efficient fertigation strategies in melon nursery production. In this study, *Bacillus licheniformis*, *B. subtilis* and *B. amyloliquefaciens* were selected to treat the root matrix of two types of melon seedlings with 4.50, 6.75 and 9.00 kg·hm⁻², respectively. Water was used as the control. A comparative analysis of variations in seedling growth indicators (including plant height, stem diameter, and strong seedling index) across different treatment conditions. The results showed that 6.75 kg·hm⁻² dosage and more of three microbial agents can significantly promote the increase of relative chlorophyll content of Zaohuangmi seedlings 21 days after planting. The application of 6.75 kg·hm⁻² *B. licheniformis* and *B. subtilis* significantly decreased the plant height of two types of melon seedling, and increase the strong seedling index. The dosages of three kinds of microbial agents were positively correlated with strong seedling index, growth function and relative chlorophyll content, and negatively correlated with plant height. The comprehensive evaluation of the growth indicators of the two melon varieties' seedlings showed that the treatment of 6.75 kg·hm⁻² *B. subtilis* had significant effects on the growth of seedlings and exhibited a robust seedling-strengthening effect. For melon seedling production, application of *B. subtilis* at 6.75 kg·hm⁻² is recommended as an environmentally friendly and efficient cultivation practice.

Key words: Melon seedling; *Bacillus*; Microbial agent; Vigorous seedling; Dosage

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是重要的经济作物^[1], 在我国甜瓜生产栽培中育苗移栽的模式比例约占 90%^[2]。当前, 甜瓜育苗环节存在的问题集中表现为

“成苗率低、秧苗不壮、苗期多病”, 已成为甜瓜早熟高产及后续稳产的瓶颈^[3]。微生物菌剂作为一种新型环保肥料^[4], 具有改善土壤结构、促进植物生长、增

收稿日期: 2025-08-05; 修回日期: 2025-11-11

基金项目: 新疆土壤与植物生态过程重点实验室开放课题(23XJTRZW17); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2023B02017-3); 新疆现代农业产业技术体系(XJARS-06)

作者简介: 毛永炜, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为西瓜、甜瓜栽培与育种。E-mail: myw010827@126.com

通信作者: 王惠林, 男, 副教授, 研究方向为西瓜、甜瓜栽培与育种。E-mail: wanghuilin@126.com

强抗病性等多重功效^[5],广泛应用于各类作物生产。

微生物菌剂在促进作物幼苗生长方面效果显著^[6]。芽孢杆菌(*Bacillus*)类菌剂表现出影响种子萌发^[7]、根系发育^[8]及光合作用^[9]等生理过程,对多种作物幼苗的形态建成^[10]和生物量积累^[11]有积极作用。甲基营养型芽孢杆菌处理黄瓜幼苗,促进了地上部和根系的干鲜质量、生长函数以及壮苗指数^[12];解淀粉芽孢杆菌显著增加西瓜幼苗的茎粗、株高、干物质积累和壮苗指数^[13];哈茨木霉 T-22 与枯草芽孢杆菌 MBI600 联合接种日本甜宝甜瓜幼苗,使茎粗、地上部干质量及叶片叶绿素相对含量显著提高^[14]。上述研究表明,芽孢杆菌类菌剂在不同作物上均显示出促进根系形态建成、茎部增粗和叶绿素积累的效果,从而提升幼苗壮苗指数。但也有研究报道,不同作物甚至同一作物的不同品种对同一种菌剂的反应存在差异^[15-17]。在同一田间条件下,4 种菌剂分别处理同一品种的谷子,其中异株解淀粉芽孢杆菌提高了粒穗比,复合木霉菌却无影响^[15]。在施用同一复合微生物菌剂(主要含枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌)后,花椰菜、茶叶、葡萄、翠冠梨等增产幅度存在差异^[16]。以同一浓度的哈茨木霉和长枝木霉分别处理玉米品种 ZJ8 与 JY417,ZJ8 的叶绿素相对含量提升幅度较多,而 JY417 对两种菌剂的响应均不显著^[17]。由此可见,应用微生物菌剂时,必须明确菌剂种类、用量对作物(品种)的效果。

甜瓜幼苗期是植株生长发育的关键时期,微生物菌剂及其用量对甜瓜壮苗作用的研究报道较少。鉴于此,本试验以两种甜瓜幼苗为材料,选用 3 种芽孢杆菌(地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌)菌剂,分析不同用量处理下幼苗生长指标(如株高、茎粗、叶绿素相对含量、壮苗指数等)的变化,探讨菌剂种类及其用量对促进甜瓜生长和壮苗的效果,以期制定高效甜瓜育苗栽培技术方案奠定理论基础。

1 材料与方法

试验于 2025 年 1—2 月在新疆农业大学生命科学学院植物逆境生理研究室进行,试验期间培养架的气温变化范围为 27~31 ℃。

1.1 材料

供试甜瓜品种为早黄蜜(早熟软肉品种,新疆昌吉市沃丰农业科技有限公司生产)和 Vm9-62(中熟脆肉品种,新疆西域种业股份有限公司生产)。试验微生物菌剂:地衣芽孢杆菌(*B. licheniformis*)、枯草芽

孢杆菌(*B. subtilis*)、解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)(可湿性粉剂,有效活菌数 $\geq 1\times 10^{11}$ CFU·g⁻¹),均为广西农保生物工程有限公司生产。

1.2 试验设计

微生物菌剂按推荐用量设置为 1.0 倍、1.5 倍和 2.0 倍,分别对应菌剂用量为 4.50、6.75、9.00 kg·hm⁻²,以 L、M 和 H 表示;地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌分别以 D、K 和 J 代表,清水处理作为对照(CK)。试验处理及菌剂用量信息见表 1。

基质按照大田土、珍珠岩、草炭体积比 3:2:2 配制。育苗采用 32 孔穴盘,单个穴盘基质总量为 2.5 L,用量杯量取基质后,加入对应量的菌剂,充分混匀后装盘。每种菌剂每个浓度处理 1 盘,3 次重复,共计 3 盘。

选取大小相同、完全成熟且颗粒饱满的甜瓜子,经 55 ℃温汤浸种 7 h、催芽露白后,分别播种于不同处理基质内,并置于光照培养架上育苗,采用完全随机区组试验,苗期管理参照常规育苗方法^[18]。

表 1 微生物菌剂处理与用量
Table 1 Treatment and dosage of microbial agent

菌剂 Microbial agent	处理 Treatment	菌剂用量 Dosage of microbial agent/ (g·plant ⁻¹)
地衣芽孢杆菌 <i>B. licheniformis</i> (D)	CK	0
	DL	0.062 50
	DM	0.093 75
	DH	0.125 00
解淀粉芽孢杆菌 <i>B. amyloliquefaciens</i> (J)	CK	0
	JL	0.062 50
	JM	0.093 75
	JH	0.125 00
枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i> (K)	CK	0
	KL	0.062 50
	KM	0.093 75
	KH	0.125 00

1.3 形态和生理指标测定及方法

1.3.1 生长指标的测定 于植株第 1 片真叶展平时(定植后第 12 天),随机选取长势均匀的幼苗植株 10 株,测定 3 次重复,每 3 d 测量 1 次,共测定 4 次。采用游标卡尺测量株高(茎基部到生长点的位置)和茎粗(距离地表 1 cm 位置);拍照第一片真叶,采用 ImageJ 1.53e 软件分析叶面积大小。

1.3.2 叶片叶绿素相对含量测定 于植株第 1 片真叶展平时(定植后第 12 天),随机选取长势均匀的幼苗植株 10 株,测定重复 3 次,每 3 d 测量 1 次,共测定 4 次。采用 SPAD - 502 叶绿素仪测定第一片真叶的叶绿素相对含量。

1.3.3 植株根系生长指标测定 于种植后 21 d, 取出完整根系冲洗干净。采用 RHIZO 2017a 根系扫描仪测量根长、根表面积、根平均直径、根体积、根尖数、根分支数;地上和地下部干质量:以茎基部为分割线,用剪刀剪下地上部和地下部,烘箱 105 °C 杀青,75 °C 恒温烘干至恒质量,用电子天平测定质量分别为地上部和地下部干质量。壮苗指数及生长函数^[19]采用以下公式计算:壮苗指数=(茎粗/株高)×全株干质量;生长函数=全株干质量/育苗天数。

1.4 数据处理及统计分析

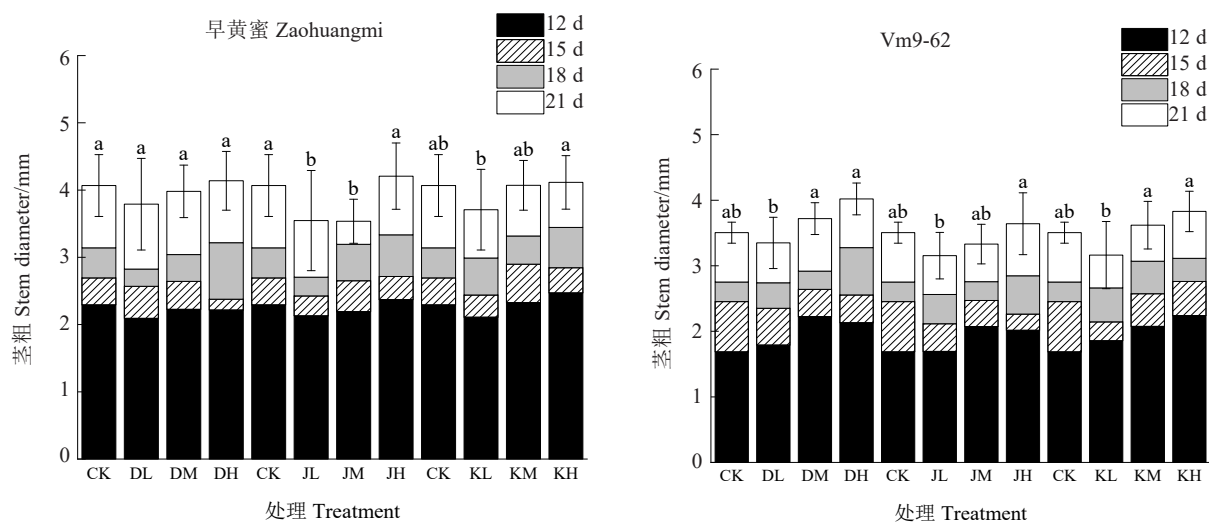
采用 SPSS 23.0 软件中的 Duncan's 方法进行差异显著性分析,采用 Excel 2010 软件整理试验数据,采用 Origin 2024 作图,数据以“平均值±标准误”表示,采用模糊数学中的隶属函数法^[20]对不同菌剂

处理进行评价。

2 结果与分析

2.1 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗茎粗的影响

3 种菌剂的不同用量对两种甜瓜幼苗茎粗的影响存在差异(图 1)。与 CK 相比,4.50、6.75 kg·hm⁻² 用量的解淀粉芽孢杆菌及 4.50 kg·hm⁻² 用量的枯草芽孢杆菌显著抑制了早黄蜜甜瓜幼苗的茎粗,3 种不同用量的地衣芽孢杆菌对茎粗的影响不显著(图 1-A)。与 CK 相比,地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌处理对 Vm9-62 甜瓜茎粗的影响均不显著(图 1-B)。以上结果表明,相对低用量的解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌可显著抑制早黄蜜甜瓜幼苗茎粗的增长。



注:不同小写字母表示同一菌剂的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference between treatments of the same microbial agent at 0.05 level. The same below.

图 1 3 种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗茎粗的影响

Fig. 1 Effects of three microbial agents on stem diameter of different melon seedlings

2.2 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗株高的影响

3 种菌剂的不同用量对两种甜瓜幼苗株高的影响存在差异(图 2)。4.50 kg·hm⁻² 解淀粉芽孢杆菌显著增加两种甜瓜幼苗的株高。对于早黄蜜品种,地衣芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌的 6.75、9.00 kg·hm⁻² 处理及 9.00 kg·hm⁻² 解淀粉芽孢杆菌处理均显著抑制幼苗株高增长(图 2-A)。6.75 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌及 3 种不同用量的枯草芽孢杆菌处理均显著抑制 Vm9-62 甜瓜幼苗株高增长(图 2-B)。由此可见,枯草芽孢杆菌抑制甜瓜幼苗株高增长的效果最显著。

2.3 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗叶面积的影响

3 种菌剂的不同用量对两种甜瓜幼苗叶面积的

影响表现不同(图 3)。与 CK 相比,6.75 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌显著增加早黄蜜幼苗的叶面积,而 4.50、9.00 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌显著增加 Vm9-62 幼苗的叶面积;4.50 kg·hm⁻² 枯草芽孢杆菌可显著减小早黄蜜幼苗的叶面积,但其对 Vm9-62 无显著影响;4.50、6.75 kg·hm⁻² 解淀粉芽孢杆菌处理显著增加 Vm9-62 幼苗的叶面积,而对早黄蜜无显著影响。由此可见,6.75 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌处理增加早黄蜜幼苗的叶面积,其他两种用量处理则抑制叶面积增加;3 种菌剂 3 种用量处理均可增加 Vm9-62 幼苗的叶面积。

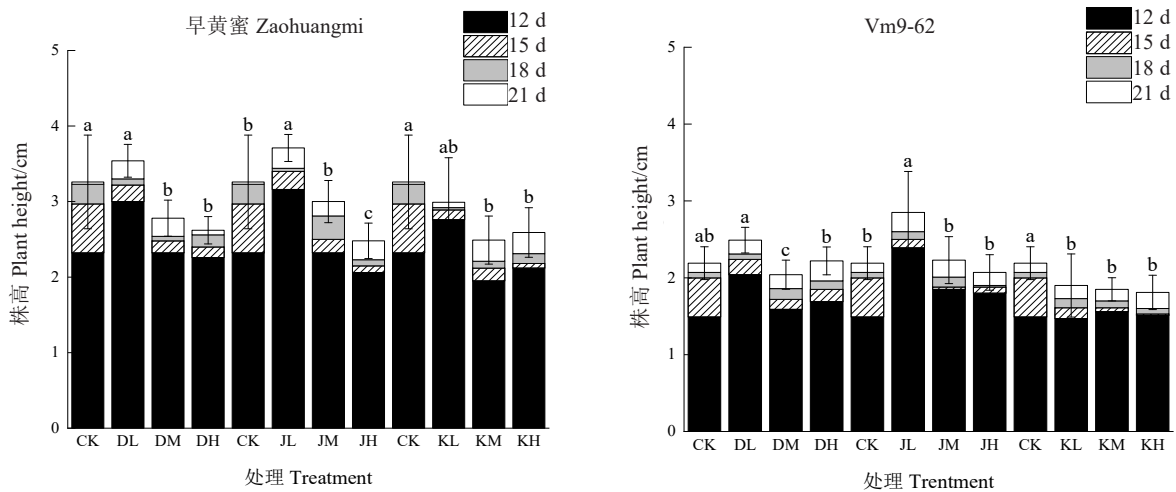


图2 3种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗株高的影响

Fig. 2 Effects of three microbial agents on plant height of different melon seedlings

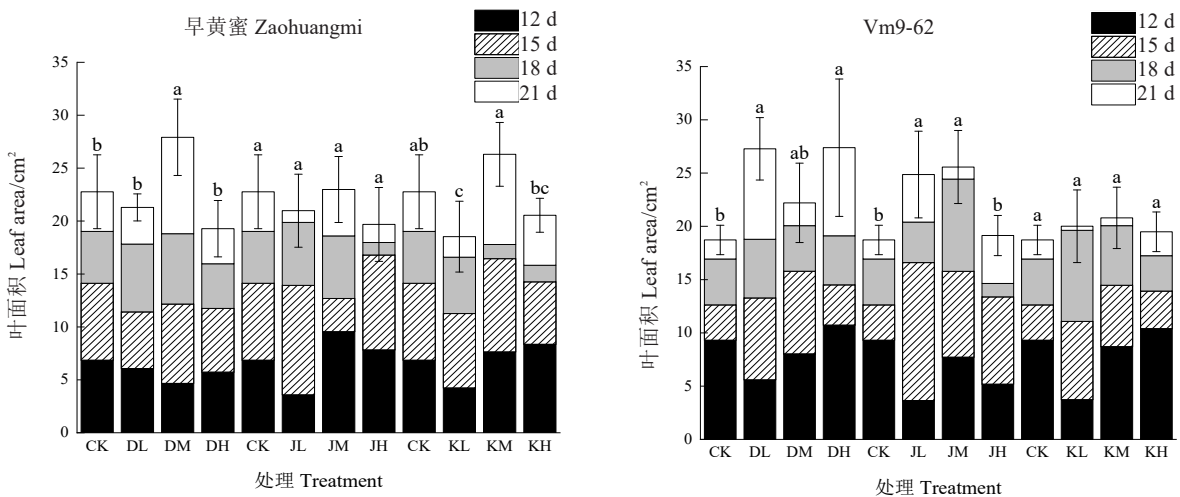


图3 3种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗叶面积的影响

Fig. 3 Effects of three microbial agents on leaf area of different melon seedlings

2.4 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗叶绿素相对含量的影响

3种菌剂的不同用量对两种甜瓜幼苗叶绿素相对含量的影响效果不同(表2)。3种菌剂处理下,Vm9-62定植后21d的叶绿素相对含量没有显著变化。地衣芽孢杆菌的3种用量处理、6.75和 $9.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的枯草芽孢杆菌与解淀粉芽孢杆菌处理均可显著提高早黄蜜定植后21d的叶绿素相对含量。上述结果表明,不同甜瓜品种幼苗的叶绿素相对含量变化受菌剂种类及其用量的影响。

2.5 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗根系生长的影响

3种菌剂的不同用量对两种甜瓜幼苗根系生长的影响表现不同(表3)。对于早黄蜜而言,3种菌

剂处理下,除 $6.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 解淀粉芽孢杆菌处理的幼苗根系总长度高于CK外,其他处理均减少了根系总长度;3种菌剂不同用量均减少了根系总表面积;除 $4.50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 地衣芽孢杆菌处理的根系直径小于CK外,其他处理均大于等于CK;3种菌剂不同用量对根体积和根尖数的影响无明显规律;除 $6.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 地衣芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌处理的根分支数大于CK外,其他处理均小于CK。对于Vm9-62甜瓜幼苗而言,和CK相比, 6.75 和 $9.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 地衣芽孢杆菌处理增加了幼苗根系的多个指标; $6.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌和 $9.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 解淀粉芽孢杆菌处理增加根系总长度、总表面积、平均直径、根体积和分支数。以上结果表明,不同菌剂及用量对甜瓜幼苗根系生长的影响存在差异。

表 2 3 种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗叶绿素相对含量的影响

Table 2 Effects of three microbial agents on relative chlorophyll content of different melon seedlings

品种 Variety	处理 Treatment	叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content/SPAD			
		12 d	15 d	18 d	21 d
早黄蜜 Zaohuangmi	CK	35.94±2.33 a	41.54±3.39 c	44.56±2.39 c	42.48±2.87 b
	DL	36.03±2.26 a	42.83±2.56 bc	45.54±3.78 b	45.20±3.87 a
	DM	38.36±1.81 a	44.77±2.36 b	47.09±3.42 ab	45.69±2.67 a
	DH	37.56±2.79 a	47.25±1.55 a	49.19±1.96 a	47.22±2.29 a
	CK	35.94±2.33 c	41.54±3.39 b	44.56±2.39 b	42.48±2.87 b
	KL	37.32±2.95 c	43.48±3.56 ab	44.74±3.53 b	41.32±3.53 b
	KM	41.38±2.77 b	45.44±4.20 a	46.88±3.61 ab	48.84±5.22 a
	KH	44.30±1.94 a	45.55±2.70 a	47.96±2.01 a	46.09±3.03 a
	CK	35.94±2.33 b	41.54±3.39 b	44.56±2.39 b	42.48±2.87 b
	JL	37.18±5.91 b	41.92±2.85 b	44.69±3.79 b	43.23±3.39 ab
Vm9-62	JM	41.58±2.58 a	45.59±2.81 a	47.81±4.08 a	46.95±5.39 a
	JH	38.71±3.20 ab	44.84±2.29 a	48.08±2.08 a	46.71±4.26 a
	CK	40.34±4.94 b	45.67±4.25 a	49.20±2.60 a	44.96±4.26 a
	DL	36.11±3.42 c	45.99±3.30 a	47.33±2.29 a	46.52±3.23 a
	DM	44.22±2.28 a	47.37±1.86 a	49.05±2.47 a	46.95±2.95 a
	DH	40.74±2.35 b	47.10±2.17 a	47.59±3.28 a	46.37±4.11 a
	CK	40.34±4.94 b	45.67±4.25 a	49.20±2.60 a	44.96±4.26 a
	KL	39.62±1.74 b	45.26±3.21 a	46.13±3.26 b	46.39±3.91 a
	KM	42.81±4.06 ab	47.56±1.66 a	49.44±1.66 a	47.03±3.64 a
	KH	46.44±2.36 a	47.13±2.37 a	47.98±1.86 ab	44.64±4.90 a
	CK	40.34±4.94 ab	45.67±4.25 a	49.20±2.60 a	44.96±4.26 a
	JL	36.20±2.61 b	43.60±3.23 a	48.65±3.17 a	44.86±2.36 a
	JM	42.16±3.42 a	45.83±3.22 a	49.15±2.70 a	45.53±3.64 a
	JH	41.62±5.22 a	45.04±3.02 a	50.68±2.40 a	45.27±4.41 a

注:同列不同小写字母表示同一菌剂的不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference between different treatments of the same microbial agent at 0.05 level . The same below.

2.6 不同菌剂及其用量对甜瓜幼苗壮苗指数和生长函数的影响

3 种菌剂的不同用量处理下两种甜瓜幼苗壮苗指数和生长函数的变化不同(表 4)。在 9.00 kg·hm⁻² 的 3 种菌剂及 6.75 kg·hm⁻² 枯草芽孢杆菌处理下,两种甜瓜幼苗的壮苗指数均显著增加;6.75 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌处理仅显著增加早黄蜜的壮苗指数。4.50 kg·hm⁻² 解淀粉芽孢杆菌处理下两种甜瓜幼苗的壮苗指数均显著下降。6.75 和 9.00 kg·hm⁻² 地衣芽孢杆菌及枯草芽孢杆菌处理下,Vm9-62 甜瓜幼苗的生长函数显著增加。3 种菌剂处理的早黄蜜甜瓜幼苗生长函数无显著变化。上述结果表明,9.00 kg·hm⁻² 用量的 3 种菌剂均显著增加两种甜瓜幼苗的壮苗指数,6.75 kg·hm⁻² 枯草芽孢杆菌处理也可以达到壮苗效果。

2.7 不同生长指标相关性分析

对两种甜瓜所有生长指标与 3 种微生物菌剂

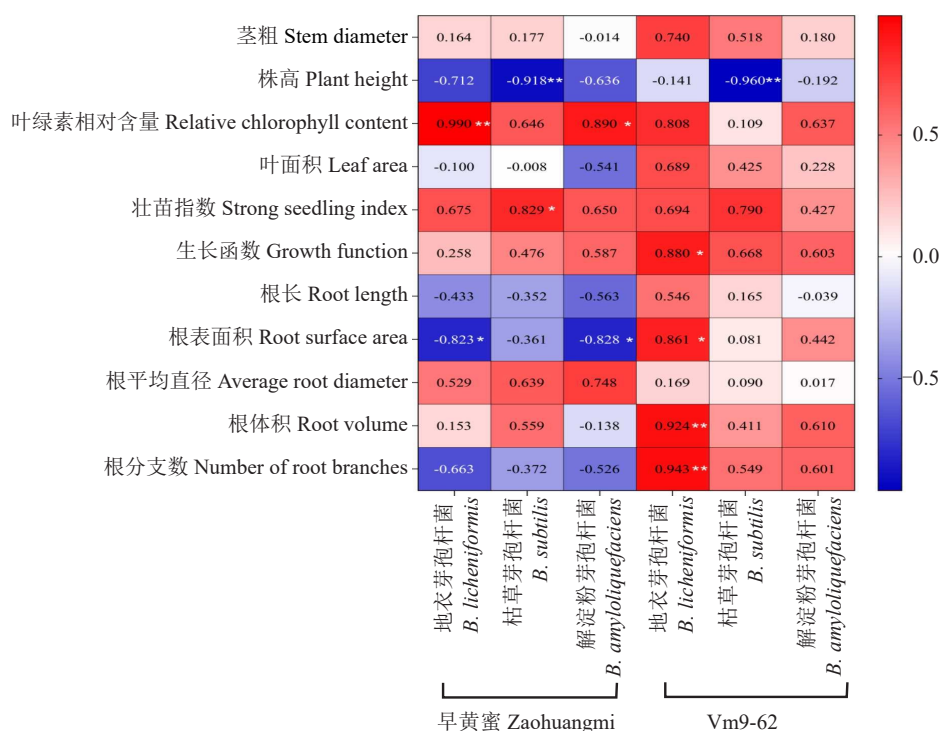
用量进行相关性分析,结果见图 4,3 种菌剂的用量对不同品种甜瓜幼苗生长指标的影响存在差异。地衣芽孢杆菌菌剂用量与早黄蜜甜瓜叶绿素相对含量呈极显著正相关,与根表面积呈显著负相关;枯草芽孢杆菌用量与早黄蜜株高呈极显著负相关,与壮苗指数呈显著正相关;解淀粉芽孢杆菌用量与早黄蜜甜瓜叶绿素相对含量呈显著正相关,与根表面积呈显著负相关。地衣芽孢杆菌用量与 Vm9-62 甜瓜根体积和根分叉数呈极显著正相关,与生长函数和根表面积呈显著正相关;枯草芽孢杆菌用量与 Vm9-62 甜瓜株高呈极显著负相关;除株高外,Vm9-62 的其他生长指标与 3 种菌剂用量均呈正相关。3 种菌剂用量与两种甜瓜幼苗的壮苗指数和生长函数均呈正相关。由此可见,3 种菌剂都有利于促进两种甜瓜幼苗壮苗的发生,其中枯草芽孢杆菌对壮苗指数的影响最大。

表 3 3 种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗根系生长的影响
Table 3 Effects of three microbial agents on root growth of different melon seedlings

品种 Variety	处理 Treatment	根系总长度 Total length of root/cm	总表面积 Total surface area/cm ²	平均直径 Average diameter/mm	根体积 Root volume/cm ³	根尖数 Number of root trips	分支数 Forks number
早黄蜜 Zaohuangmi	CK	1 015.27±76.71 a	128.86±12.92 a	0.33±0.04 a	1.41±0.45 ab	1 287.25±233.82 a	5 542.25±392.06 a
	DL	803.81±105.50 b	105.38±11.56 b	0.32±0.01 a	1.27±0.20 b	989.00±52.40 ab	5 196.75±522.29 ab
	DM	841.08±156.45 b	107.54±7.87 b	0.35±0.03 a	1.80±0.24 a	844.00±258.61 b	5 581.50±652.84 a
	DH	938.31±67.20 ab	108.21±7.56 b	0.34±0.02 a	1.33±0.15 b	886.00±123.31 b	4 556.50±435.58 b
	CK	1 015.27±76.71 a	128.86±12.92 a	0.33±0.04 b	1.41±0.45 a	1 287.25±233.82 ab	5 542.25±392.06 a
Vm9-62	KL	778.52±41.51 b	93.64±7.66 c	0.35±0.02 ab	1.41±0.19 a	911.75±205.53 b	4 350.75±311.27 b
	KM	800.60±121.70 b	109.29±14.29 bc	0.38±0.01 a	1.76±0.26 a	1 137.50±240.02 b	5 584.75±440.40 a
	KH	954.28±73.21 a	116.64±7.23 ab	0.35±0.04 ab	1.53±0.29 a	1 639.75±402.13 a	4 678.50±350.48 b
	CK	1 015.27±76.71 a	128.86±12.92 a	0.33±0.04 a	1.41±0.45 a	1 287.25±233.82 a	5 542.25±392.06 a
	JL	861.92±83.36 b	118.28±14.09 a	0.37±0.02 a	1.54±0.27 a	1 366.25±209.05 a	3 973.25±542.71 c
	JM	1 077.66±86.33 a	117.80±16.19 a	0.37±0.02 a	1.51±0.39 a	1 508.50±407.88 a	5 039.00±527.13 ab
	JH	659.93±67.44 c	79.26±2.07 b	0.36±0.02 a	1.35±0.32 a	757.00±196.13 b	4 487.50±830.75 bc
	CK	1 141.31±80.38 ab	130.01±17.60 b	0.33±0.02 a	1.51±0.41 b	1 838.50±323.42 a	6 214.00±829.91 b
	DL	1 003.46±183.94 b	128.54±19.46 b	0.34±0.01 a	1.77±0.25 ab	1 153.75±240.66 b	6 525.50±1 220.8 ab
	DM	1 169.94±70.11 ab	151.81±12.38 ab	0.34±0.02 a	2.10±0.18 a	1 755.25±346.04 a	7 367.00±659.77 ab
	DH	1 310.47±74.94 a	163.73±12.95 a	0.33±0.01 a	2.01±0.29 a	1 899.50±130.88 a	7 943.50±293.92 a
	CK	1 141.31±80.38 ab	130.01±17.60 a	0.33±0.02 a	1.51±0.41 a	1 838.50±323.42 a	6 214.00±829.91 a
	KL	1 026.79±239.85 b	121.35±31.79 a	0.34±0.02 a	1.94±0.69 a	1 500.50±429.94 a	5 872.75±1 267.64 a
	KM	1 360.02±123.44 a	154.97±14.87 a	0.37±0.02 a	2.26±0.32 a	1 717.25±536.72 a	7 043.25±205.93 a
	KH	1 100.39±80.94 b	121.83±10.92 a	0.32±0.06 a	1.65±0.61 a	1 464.00±158.54 a	6 624.00±232.20 a
	CK	1 141.31±80.38 ab	130.01±17.60 ab	0.33±0.02 b	1.51±0.41 c	1 838.50±323.42 a	6 214.00±829.91 bc
	JL	1 057.21±44.63 ab	144.84±14.93 ab	0.39±0.03 a	2.13±0.37 a	1 787.75±181.29 a	5 381.00±472.82 c
	JM	1 028.69±108.65 b	123.49±12.56 b	0.33±0.01 b	1.65±0.15 bc	1 697.50±297.03 a	6 665.50±431.89 ab
	JH	1 169.94±70.11 a	151.81±12.38 a	0.34±0.02 b	2.10±0.18 ab	1 755.25±346.04 a	7 367.00±659.77 a

表 4 3 种微生物菌剂对不同甜瓜幼苗壮苗指数和生长函数的影响
Table 4 Effects of three microbial agents on strong seedling index and growth function of different melon seedlings

品种 Variety	处理 Treatment	干质量 Dry mass/(g·plant ⁻¹)		壮苗指数 Strong seedling index	生长函数 Growth function/(g·d ⁻¹)
		地下部 Underground	地上部 Aboveground		
早黄蜜 Zaohuangmi	CK	0.055±0.009 a	0.362±0.059 a	0.512 4±0.057 8 b	0.019 8±0.003 2 a
	DL	0.051±0.018 a	0.336±0.063 a	0.427 4±0.105 6 b	0.018 4±0.003 8 a
	DM	0.060±0.011 a	0.406±0.065 a	0.748 9±0.089 8 a	0.022 2±0.003 6 a
	DH	0.066±0.011 a	0.350±0.101 a	0.700 5±0.196 6 a	0.019 8±0.005 3 a
	CK	0.055±0.009 ab	0.362±0.059 a	0.512 4±0.057 8 b	0.019 8±0.003 2 a
	KL	0.047±0.011 b	0.339±0.059 a	0.476 7±0.099 3 b	0.018 4±0.003 3 a
	KM	0.063±0.006 a	0.358±0.062 a	0.767 9±0.071 0 a	0.020 0±0.003 2 a
	KH	0.046±0.010 b	0.395±0.039 a	0.830 0±0.094 3 a	0.021 0±0.002 3 a
	CK	0.055±0.009 ab	0.362±0.059 ab	0.512 4±0.057 8 b	0.019 8±0.003 2 ab
	JL	0.047±0.016 b	0.307±0.094 b	0.343 6±0.115 8 c	0.016 8±0.005 2 b
Vm9-62	JM	0.058±0.016 ab	0.409±0.068 a	0.581 9±0.089 5 b	0.022 2±0.003 9 ab
	JH	0.071±0.014 a	0.419±0.063 a	0.912 1±0.119 7 a	0.023 3±0.003 2 a
	CK	0.051±0.008 b	0.340±0.049 bc	0.684 3±0.053 9 b	0.018 6±0.002 7 b
	DL	0.063±0.015 ab	0.329±0.082 c	0.644 3±0.124 3 b	0.018 7±0.004 6 b
	DM	0.068±0.007 a	0.416±0.027 ab	0.707 1±0.027 4 b	0.023 0±0.001 5 a
	DH	0.074±0.010 a	0.443±0.056 a	1.044 3±0.066 8 a	0.024 6±0.002 5 a
	CK	0.051±0.008 b	0.340±0.049 b	0.684 3±0.053 9 b	0.018 6±0.002 7 b
	KL	0.049±0.021 b	0.284±0.089 b	0.579 0±0.184 9 b	0.015 9±0.005 3 b
	KM	0.072±0.010 a	0.437±0.053 a	1.008 6±0.136 9 a	0.024 2±0.003 0 a
	KH	0.067±0.014 ab	0.433±0.067 a	1.157 5±0.147 4 a	0.023 8±0.003 7 a
	CK	0.051±0.008 b	0.340±0.049 a	0.684 3±0.053 9 b	0.018 6±0.002 7 ab
	JL	0.050±0.008 b	0.305±0.063 a	0.442 5±0.083 9 c	0.016 9±0.003 4 b
	JM	0.057±0.010 ab	0.338±0.063 a	0.660 7±0.127 1 b	0.018 8±0.003 5 ab
	JH	0.071±0.014 a	0.402±0.094 a	0.887 3±0.195 4 a	0.022 5±0.005 0 a



注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * represents significant correlation at 0.05 level; ** represents extremely significant correlation at 0.01 level.

图 4 3 种微生物菌剂用量与两种甜瓜幼苗生长指标间相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis between the application amount of three microbial agents and the growth indexes of two kinds of melon seedlings

2.8 不同菌剂及其用量隶属函数值及其综合评价

采用隶属函数法对甜瓜幼苗 13 个主要指标进行综合评价,发现不同菌剂及用量对两种甜瓜幼苗的生长均有促进作用,但影响存在差异。不同菌剂及用量对早黄蜜甜瓜幼苗生长的影响程度(表 5)表现为 JH>KM>KH>DH>DM>JM>KL>JL>DL>CK,其中 $9.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 解淀粉芽孢杆菌、 $6.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌和 $9.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌促进生长的作用效果较好。不同菌剂及其用量对 Vm9-62 甜瓜幼苗的影响程度(表 6)排序为 DH>KM>DM>JH>KH>JM>JL>DL>CK>KL,即 $9.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 地衣芽孢杆菌、 $6.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌和 $6.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 地衣芽孢杆菌对幼苗生长的促进作用较强。以上结果表明, $6.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌对两种甜瓜幼苗生长的促进效果均较好。

3 讨论与结论

微生物菌剂可以促进幼苗干物质积累,优化形态指标,有利于壮苗指数的提升^[21],为作物健壮育苗奠定物质与形态基础^[22]。芽孢杆菌类菌剂对作物幼苗的生长影响显著,可促进其生长发育和提高健壮性^[23]。枯草芽孢杆菌处理黄瓜^[24]、甜椒^[25]、莴苣^[26]、柠

条^[27]等幼苗,对株高、茎粗、叶面积、叶绿素相对含量、根长及干物质积累等方面有显著促进作用。本试验的研究结果与上述研究结果相似,3 种菌剂不同用量下均不同程度对两种甜瓜幼苗的生长产生促进作用, $9.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 芽孢杆菌处理下不同甜瓜幼苗的壮苗指数均显著增加。综上,适当用量的芽孢杆菌类菌剂促进甜瓜幼苗生长和干物质积累,壮苗作用显著。

同一种微生物菌剂应用于不同作物时,生长效果不同^[28]。枯草芽孢杆菌制剂显著提高生菜幼苗中叶绿素含量和可溶性糖含量,对芹菜幼苗则表现为增加根长和根系活力^[29]。PGPR 复合菌剂显著增加娃娃菜幼苗根长和叶绿素含量,对菠菜幼苗仅提高根系活力^[30]。在本研究中,3 种菌剂处理下早黄蜜甜瓜幼苗根长生长受到抑制,但对 Vm9-62 甜瓜幼苗根长无显著影响; $9.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 芽孢杆菌处理的早黄蜜分支数显著减少,而 Vm9-62 分支数增加。综上,同种芽孢杆菌类菌剂对不同品种甜瓜幼苗生长的作用效果存在差异。

不同微生物菌剂在同一种作物生长上的作用效果不同^[31]。在西瓜幼苗试验中,含有解磷细菌和多种促生代谢产物菌剂的处理导致株高、茎粗和干

表 5 三种微生物菌剂对早黄蜜甜瓜幼苗主要性状指标影响效果的隶属函数值及综合排序
Table 5 Membership function value and comprehensive ranking of three microbial agents on main traits of Zaohuangmi melon seedlings

指标 Index	处理 Treatment									
	CK	DL	DM	DH	KL	KM	KH	JL	JM	JH
茎粗 Stem diameter	0.79	0.38	0.66	0.90	0.26	0.80	0.86	0.01	0.00	1.00
株高 Plant height	0.23	0.13	0.78	0.83	0.47	1.00	0.95	0.00	0.59	0.92
叶面积 Leaf area	0.53	0.90	0.00	0.96	0.54	1.00	0.36	0.71	0.54	0.84
叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content	0.15	0.52	0.58	0.78	0.00	1.00	0.63	0.25	0.75	0.72
根长 Root length	0.15	0.66	0.57	0.33	0.72	0.66	0.30	0.52	0.00	1.00
根表面积 Root surface area	0.00	0.47	0.43	0.42	0.71	0.39	0.25	0.21	0.22	1.00
根平均直径 Average root diameter	0.17	0.00	0.50	0.33	0.50	1.00	0.50	0.83	0.83	0.67
根体积 Root volume	0.26	0.00	1.00	0.11	0.26	0.92	0.49	0.51	0.45	0.15
根尖数 Number of root tips	0.60	0.26	0.10	0.15	0.18	0.43	1.00	0.69	0.85	0.00
根分支数 Number of root branches	0.03	0.24	0.00	0.64	0.77	0.00	0.56	1.00	0.34	0.68
总干质量 Total dry mass	0.46	0.24	0.82	0.46	0.24	0.49	0.64	0.00	0.83	1.00
壮苗指数 Strong seedling index	0.30	0.15	0.71	0.63	0.23	0.75	0.86	0.00	0.42	1.00
生长函数 Growth function	0.46	0.25	0.83	0.46	0.25	0.49	0.65	0.00	0.83	1.00
平均值 Average value	0.318	0.322	0.538	0.539	0.393	0.688	0.619	0.365	0.513	0.767
排序 Rank	10	9	5	4	7	2	3	8	6	1

表 6 三种微生物菌剂对 Vm9-62 甜瓜幼苗主要性状指标影响效果的隶属函数值及综合排序
Table 6 Membership function value and comprehensive ranking of three microbial agents on the main traits of Vm9-62 melon seedlings

指标 Index	处理 Treatment									
	CK	DL	DM	DH	KL	KM	KH	JL	JM	JH
茎粗 Stem diameter	0.41	0.23	0.65	1.00	0.01	0.54	0.78	0.00	0.20	0.56
株高 Plant height	0.52	0.30	0.76	0.55	0.77	0.78	1.00	0.00	0.57	0.71
叶面积 Leaf area	0.00	0.74	0.42	1.00	0.24	0.26	0.09	0.64	0.65	0.07
叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content	0.13	0.79	0.97	0.72	0.73	1.00	0.00	0.09	0.37	0.26
根长 Root length	0.39	0.00	0.47	0.86	0.07	1.00	0.27	0.15	0.07	0.47
根表面积 Root surface area	0.20	0.17	0.72	1.00	0.00	0.79	0.01	0.55	0.05	0.72
根平均直径 Average root diameter	0.14	0.29	0.29	0.14	0.29	0.71	0.00	1.00	0.14	0.29
根体积 Root volume	0.00	0.35	0.79	0.67	0.57	1.00	0.19	0.83	0.19	0.79
根尖数 Number of root tips	0.92	0.00	0.81	1.00	0.46	0.76	0.42	0.85	0.73	0.81
根分支数 Number of root branches	0.33	0.45	0.78	1.00	0.19	0.65	0.49	0.00	0.50	0.78
总干质量 Total dry mass	0.32	0.32	0.82	1.00	0.00	0.96	0.91	0.12	0.34	0.76
壮苗指数 Strong seedling index	0.34	0.28	0.37	0.84	0.19	0.79	1.00	0.00	0.31	0.62
生长函数 Growth function	0.31	0.32	0.82	1.00	0.00	0.95	0.91	0.11	0.33	0.76
平均值 Average value	0.307	0.324	0.665	0.830	0.271	0.784	0.466	0.335	0.343	0.584
排序 Rank	9	8	3	1	10	2	5	7	6	4

质量增加;以木霉为主的菌剂,抑制病害,但对壮苗指数无显著影响^[29]。烟草的基质拌菌试验显示,枯草芽孢杆菌促进根系生长^[32],哈茨木霉菌抑制叶面积扩展^[33]。本研究中,同一浓度的不同菌剂对甜瓜幼苗株高的影响不同,4.50 kg·hm⁻²枯草芽孢杆菌处理对幼苗株高起抑制作用,而 4.50 kg·hm⁻²地衣芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌起促进作用。这些结果提示,在甜瓜育苗中需根据品种筛选适宜的菌剂种类。

同一种菌剂不同用量对作物产生的效果不同^[34]。红鼠尾草试验中,随着 EM 菌液浓度的提高,

植株高度及 SPAD 值下降^[35]。修复污染土试验中,菌株 NM-1 的活菌数≥10⁸ CFU·g⁻¹时,大豆株高、叶绿素含量均显著降低^[36]。高剂量(≥10⁸ CFU·g⁻¹)的放线菌会导致贝母叶绿素含量、株高显著下降^[37]。在本研究中,随着枯草芽孢杆菌用量的增加,Vm9-62 甜瓜株高受到抑制;地衣芽孢杆菌菌剂用量与早黄蜜甜瓜的叶绿素相对含量呈极显著正相关;6.75 kg·hm⁻²芽孢杆菌处理的早黄蜜叶面积增大,而 4.50 和 9.00 kg·hm⁻²芽孢杆菌处理的叶面积减小。由此可见,在甜瓜育苗中,合理的菌剂用量

才能达到甜瓜壮苗的效果。

综上所述,不同种类菌剂及其用量对不同品种甜瓜幼苗各生长指标的影响不同。 $6.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌对两种甜瓜幼苗均有促进生长和壮苗的效果。在甜瓜育苗生产中,建议施用 $6.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 枯草芽孢杆菌作为绿色高效的甜瓜育苗措施,本研究结果可为优化新疆地区甜瓜优质高效设施育苗措施提供参考。

参考文献

- [1] 张腾,赵伟,解立泽,等.甜瓜果肉颜色基因 *CmOr* 高通量 KASP-SNP 标记开发与应用[J].分子植物育种,1-14[2025-07-21].<https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20250721.1029.004>.
- [2] 王利霞,王淑枝,韩瑞华,等.基于主成分分析的设施栽培厚皮甜瓜品种种质资源评价[J].蔬菜,2025(7):62-70.
- [3] 李东起,路胜利,宋倩,等.惠民县瓜菜集约化育苗产业现状及发展对策[J].现代园艺,2024,47(21):96-98.
- [4] 张恒嘉,韩彦斌,祝红,等.98%棉隆颗粒剂配施微生物菌剂对重茬地西洋参生长及产量的影响[J].西北农业学报,2025,34(7):1263-1269.
- [5] 李跃安,张卫东,阿不力孜·肉孜.春播玉米品种筛选试验[J].农村科技,2022(5):23-26.
- [6] 宋健丽,刘希港,李静,等.不同浓度微生物菌剂蘸根对番茄幼苗质量的影响[J].中国蔬菜,2024(9):99-103.
- [7] 蔡子平,何勇,王宏霞,等.不同部位当归种子产量及质量对不同微生物菌剂的响应[J].北方园艺,2025(13):80-88.
- [8] 傅献忠,张炜,刘厚诚,等.微生物菌剂对烟草农艺性状和生理指标的影响[J].安徽农学通报,2025,31(13):22-26.
- [9] 赵永俪.黄瓜水肥一体化栽培技术分析[J].世界热带农业信息,2025(7):33-35.
- [10] 刘玲,冯乃杰,郑殿峰,等.不同微生物菌剂对水稻幼苗形态建成和生理特性的影响[J].南方农业学报,2022,53(1):88-95.
- [11] 金江华,夏冰,李旭,等.根区施用微生物肥料下的稻茬烤烟烟叶品质和经济性状模糊综合评价[J].河南农业科学,2025,54(8):82-91.
- [12] 王君正.微生物菌剂在黄瓜育苗和基质栽培中应用效果的研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [13] 王明霞,严从生,孙学良,等.不同微生物菌剂对西瓜幼苗生长的影响[J].安徽农学通报,2021,27(7):76-78.
- [14] 刘恩琪,张宏彦,杨合法.2种根际促生菌在甜瓜育苗中的应用效果[J].农业研究与应用,2019,32(4):11-14.
- [15] 方瑞琳,王帝,王雨婷,等.不同微生物菌剂对谷子主要农艺性状及产量的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2021,33(2):1-6.
- [16] 严建辉.施用复合微生物菌剂对几种农作物产量品质及土壤养分状况的影响[J].农学学报,2018,8(12):35-39.
- [17] 付健,王玉凤,张翼飞,等.不同木霉菌对寒地盐碱土壤玉米杂交种光合特性及活性氧代谢的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2021,33(1):7-14.
- [18] 戚佳妮.春季甜瓜穴盘育苗技术[J].园艺与种苗,2013(4):49-50.
- [19] 任杰.不同配比基质及微生物菌剂对黄瓜穴盘育苗及生长发育的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [20] 马庆华,李永红,梁丽松,等.冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J].中国农业科学,2010,43(12):2491-2499.
- [21] 张萱,杨玉莹,王花,等.微生物菌剂对黄瓜幼苗生长及基质理化环境的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(3):49-61.
- [22] 云菲,许跃奇,王明鑫,等.不同植物源育苗基质与功能微生物菌剂配施对烟苗生长的影响[J].河南农业大学学报,2025,59(5):814-825.
- [23] 任晓童,张冉冉,魏绍巍,等.种子际微生物研究展望[J].植物学报,2023,58(3):499-509.
- [24] 路露,钱晶晶,闫妍,等.不同浓度枯草芽孢杆菌对黄瓜壮苗的影响[J].安徽科技学院学报,2021,35(6):68-72.
- [25] 赵莉,尚烨,闫庚洋,等.枯草芽孢杆菌 B2-GFP 菌株对甜椒幼苗生长和生理特性的影响[J].福建农业学报,2024,39(4):448-455.
- [26] SARTI G C, GALELLI M E, ARREGHINI S, et al. Inoculation with biofilm of *Bacillus subtilis* promotes the growth of *Lactuca sativa*[J]. Sustainability, 2023, 15(21):15406.
- [27] 吴玮婷,刘振婷,高广磊,等.枯草芽孢杆菌对沙生植物种子萌发和幼苗生长生理特征的影响[J].中国水土保持科学(中英文),2024,22(6):70-76.
- [28] 石慧敏.贝莱斯芽孢杆菌 YH-18 工业化发酵工艺及在经济果林上的应用[D].南京:南京林业大学,2022.
- [29] WANG Q Y, ZHAO M R, WANG J Q, et al. Effects of microbial inoculants on agronomic characters, physicochemical properties and nutritional qualities of lettuce and celery in hydroponic cultivation[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 320:112202.
- [30] 王丽春,胡媛楠,王瑞霞,等.不同生物菌肥对娃娃菜土壤酶活性及产量品质的影响[J].农业科技通讯,2022(4):190-193.
- [31] WANG X T. Application and effect evaluation of microbial fertilizer strain[J]. Nature Environmental Protection, 2025, 6(1):060101.
- [32] 刘文健,孙慕白,郭丹丹,等.枯草芽孢杆菌固态高密度发酵工艺条件的优化[J].饲料博览,2023(2):24-29.
- [33] 任志超,殷全玉,王华阳,等.哈茨木霉灌根对烤烟生长发育、发病及产质量的影响[J].江苏农业科学,2023,51(8):86-91.
- [34] 刘欣悦,王杰,张海娟,等.施用复合微生物菌剂对燕麦生长和根系发育的影响[J].草地学报,2025,33(7):2357-2367.
- [35] BOROWIAK K, WOLNA-MARUWKA A, NIEWIADOMSKA A, et al. The effects of various doses and types of effective microorganism applications on microbial and enzyme activity of medium and the photosynthetic activity of scarlet sage[J]. Agronomy, 2021, 11(3):603.
- [36] CHENG Y, FU Q, XU J, et al. Possible use in soil bioremediation of the bacterial strain *Bacillus sphaericus* NM-1 capable of simultaneously degrading promethrin and acetochlor[J]. Microorganisms, 2025, 13(7):1698.
- [37] KONG X T, HAN L, YANG L, et al. Effects of actinomycetes on the growth, antioxidant and genes expression in *Fritillaria taipaiensis* P. Y. Li[J]. Heliyon, 2024, 10(14):e34846.