

基于娃娃菜幼苗生长生理特性的 微生物菌剂适宜用量筛选

杨岩松¹, 赵晓峰², 马世庚¹, 陈格桃², 聂姗姗¹, 惠麦侠¹, 逯明辉¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100; 2. 宝鸡市农业技术推广服务中心 陕西宝鸡 721001)

摘要: 为了探究新型生物肥料微生物菌剂促进作物生长的效果, 为其大面积推广应用提供基础, 本研究选取 7 种不同微生物菌剂, 通过比较不同浓度的菌剂对娃娃菜幼苗生长的影响, 筛选苗期最适宜的菌剂施用浓度。结果显示, 丛枝菌根真菌的高浓度 T1C(基质用量 10%) 和 T2C(基质用量 10%) 处理对促进幼苗生物量积累、光合能力增强和根系生长发育效果最优; 中浓度的放线菌 T3B(750 倍液) 和 T4B(750 倍液) 处理显著改善幼苗生物量和根系形态; 高浓度的 EM 菌 T5C(50 倍液)、哈茨木霉菌 T6C(800 倍液) 和枯草芽孢杆菌 T7C(800 倍液) 处理可促进幼苗生长、光合性能提高及根系发育。综上所述, 施用中、高浓度的各微生物菌剂, 可显著促进娃娃菜幼苗的生长。研究结果可为明确不同菌剂及其浓度在娃娃菜壮苗培育上的最佳施用方案提供科学依据。

关键词: 娃娃菜; 微生物菌剂; 幼苗生长; 壮苗

中图分类号: S634.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)08-155-12

Screening of suitable dosages of microbial agents based on the growth and physiological characteristics of baby Chinese cabbage seedlings

Yang Yansong¹, Zhao Xiaofeng², Ma Shigeng¹, Chen Getao², Nie Shanshan¹, Hui Maixia¹, Lu Minghui¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Baoji Agricultural Technology Extension Service Center, Baoji 721001, Shaanxi, China)

Abstract: To investigate the growth-promoting effects of novel biofertilizer microbial agents on crops and provide a basis for their large-scale application, this study selected seven different microbial agents. By comparing the effects of different concentrations of these agents on the growth of baby Chinese cabbage seedlings, the most suitable application concentration at the seedling stage was determined. The results showed that the high concentration treatments of arbuscular mycorrhizal fungi [T1C and T2C (10% substrate dosage)] yielded the best effects on seedling biomass, photosynthetic capacity, and root development. The medium concentration treatments of actinomycetes [T3B and T4B (750-fold dilution)] significantly improved seedling biomass and root morphology. The high concentration treatments of EM bacteria [T5C (50-fold dilution)], *Trichoderma harzianum* [T6C (800-fold dilution)], *Bacillus subtilis* [T7C (800-fold dilution)] promoted seedling growth, photosynthesis, and root development. In summary, the application of medium and high concentrations of the tested microbial agents significantly promoted the growth of baby Chinese cabbage seedlings. These results provide an important references for determining the optimal application strategies of different microbial agents and their appropriate concentrations in the cultivation of baby Chinese cabbage seedlings.

Key words: Baby Chinese cabbage; Microbial agent; Seedling growth; Strong seedlings

在现代农业生产中, 培育壮苗是实现作物优质高产的基础。壮苗不仅具有较强的抗逆性和适应性, 还能后续生长发育提供充足的物质保障^[1]。

娃娃菜作为一种重要的叶菜类蔬菜, 幼苗的生长发育状况与最终产量和品质形成密切相关。而传统育苗方式过于依赖化学肥料和农药, 不仅增加了生产

收稿日期: 2025-10-23; 修回日期: 2026-04-14

基金项目: 宝鸡市农业科技合作项目(2024BJNY-38); 西北农林科技大学科技推广项目(TGZX2025-18); 国家现代农业产业技术体系(CARS-23-G-22)

作者简介: 杨岩松, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为农艺与种业。E-mail: 1624696924@qq.com

通信作者: 惠麦侠, 女, 研究员, 研究方向为白菜类蔬菜种质创新及栽培技术。E-mail: maixiahui@163.com

聂姗姗, 女, 副教授, 研究方向为十字花科蔬菜育种与生物技术。E-mail: niess@nwfau.edu.cn

成本,还可能导致土壤退化和环境污染^[2]。因此,探索绿色高效的壮苗培育技术已成为当前研究的重点。

微生物菌剂作为一种环境友好型农业投入品,因其具有促进作物生长、提高抗逆性、改善土壤环境等优势,在蔬菜育苗栽培中具有重要意义。前人研究表明,添加枯草芽孢杆菌能够显著提高辣椒幼苗的鲜质量和株高^[3];复合微生物菌剂显著提高了绿豆幼苗的株高、地上部鲜质量和干质量以及地下部干质量^[4]。丛枝菌根真菌的施用显著提高了幼苗中常见微生物的存活率和总叶绿素含量^[5];根内根孢囊霉与哈茨木霉菌的联合施用显著增强了植株根系活力^[6]。在黄瓜育苗阶段施用草根8号菌剂,可使幼苗株高增高、茎秆增粗、叶片扩展以及根系活力增强^[7]。目前,关于微生物菌剂在娃娃菜壮苗培育中的应用研究仍较为有限,不同菌剂种类及其施用浓度对娃娃菜幼苗生长发育的具体影响仍不明确。因此,笔者选取7种不同微生物菌剂,并设置高、中、低3个浓度梯度,通过分析株高、茎粗、生物量、根系形态、叶绿素含量等指标,明确不同菌剂及其浓度的最佳施用方案,以期对娃娃菜的壮苗培育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试娃娃菜品种为CR上汤娃娃菜(购于北京东汇盛种业科技有限公司),试验选用7种微生物菌剂,分别为丛枝菌根真菌1、丛枝菌根真菌2、放线菌1、放线菌2、EM菌、哈茨木霉菌、枯草芽孢杆菌,各微生物菌剂类型、特征及来源参考杨岩松等^[8]的报道。

1.2 试验设计及处理

本研究根据选用的7种不同微生物菌剂共设置7组试验,每组试验分别设置不添加任何菌剂的对照(CK)和3个不同浓度梯度的微生物菌剂处理,具体如下。

丛枝菌根真菌1(摩西斗管囊霉):CK1、T1A(基质用量5%)、T1B(基质用量7.5%)、T1C(基质用量10%);

丛枝菌根真菌2(根内根孢囊霉):CK2、T2A(基质用量5%)、T2B(基质用量7.5%)、T2C(基质用量10%);

放线菌1(混合菌群):CK3、T3A(1000倍液)、T3B(750倍液)、T3C(500倍液);

放线菌2(细菌链霉菌):CK4、T4A(1000倍

液)、T4B(750倍液)、T4C(500倍液);

EM菌:CK5、T5A(300倍液)、T5B(150倍液)、T5C(50倍液);

哈茨木霉菌:CK6、T6A(1200倍液)、T6B(1000倍液)、T6C(800倍液);

枯草芽孢杆菌:CK7、T7A(1200倍液)、T7B(1000倍液)、T7C(800倍液)。

播种前将不同浓度的微生物菌剂分别与育苗基质充分混匀,T3~T7处理按照上述浓度每穴盘浇灌600 mL菌剂溶液。采用198孔漂浮育苗盘进行育苗,每穴播种1粒种子。漂浮育苗所用营养液为改良霍格兰配方。每个处理30株幼苗,随机区组排列,3次重复。育苗于2024年4—5月在西北农林科技大学科研温室进行,温室环境为日平均温度20~25℃,空气相对湿度60%~75%,光照强度8000~12 000 lx。

1.3 指标测定与方法

在娃娃菜苗龄20 d时,每个处理随机选取5株幼苗,分别测量幼苗株高、株幅、地上部和地下部鲜质量及干质量,及其光合特性、根系形态等指标。采用乙醇提取比色法测定叶绿素含量^[9],采用TTC法测定根系活力^[9]。采用便携式光合作用测定仪(LI-6400)测定幼苗光合参数。采用根系扫描仪测定根系总长度、根系总表面积、根系总体积及根尖数等根系形态指标。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2010软件处理数据和绘图,采用SPSS 22.0软件对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同用量的丛枝菌根真菌1(摩西斗管囊霉)对娃娃菜幼苗生长的影响

不同浓度的摩西斗管囊霉处理对娃娃菜幼苗的生长指标均产生了显著影响,其中T1C处理的株高和株幅最大,并显著高于CK1(表1)。各浓度处理的地上部鲜质量和干质量均显著高于CK1,且T1C的值达到最大值。T1A处理的地下部鲜质量和干质量与CK1无显著差异,T1C处理的地下部鲜质量和干质量达到最大值且显著大于CK1。

娃娃菜幼苗光合色素含量测定结果显示,T1B和T1C处理的叶绿素a含量较对照CK1显著增加,所有处理的叶绿素b含量均显著高于CK1,T1B和T1C处理的类胡萝卜素和总叶绿素含量均显著

表1 不同浓度摩西斗管囊霉处理对娃娃菜幼苗生物量的影响

Table 1 Effects of different concentrations of *Glomus claroideum* on the biomass of baby Chinese cabbage seedlings

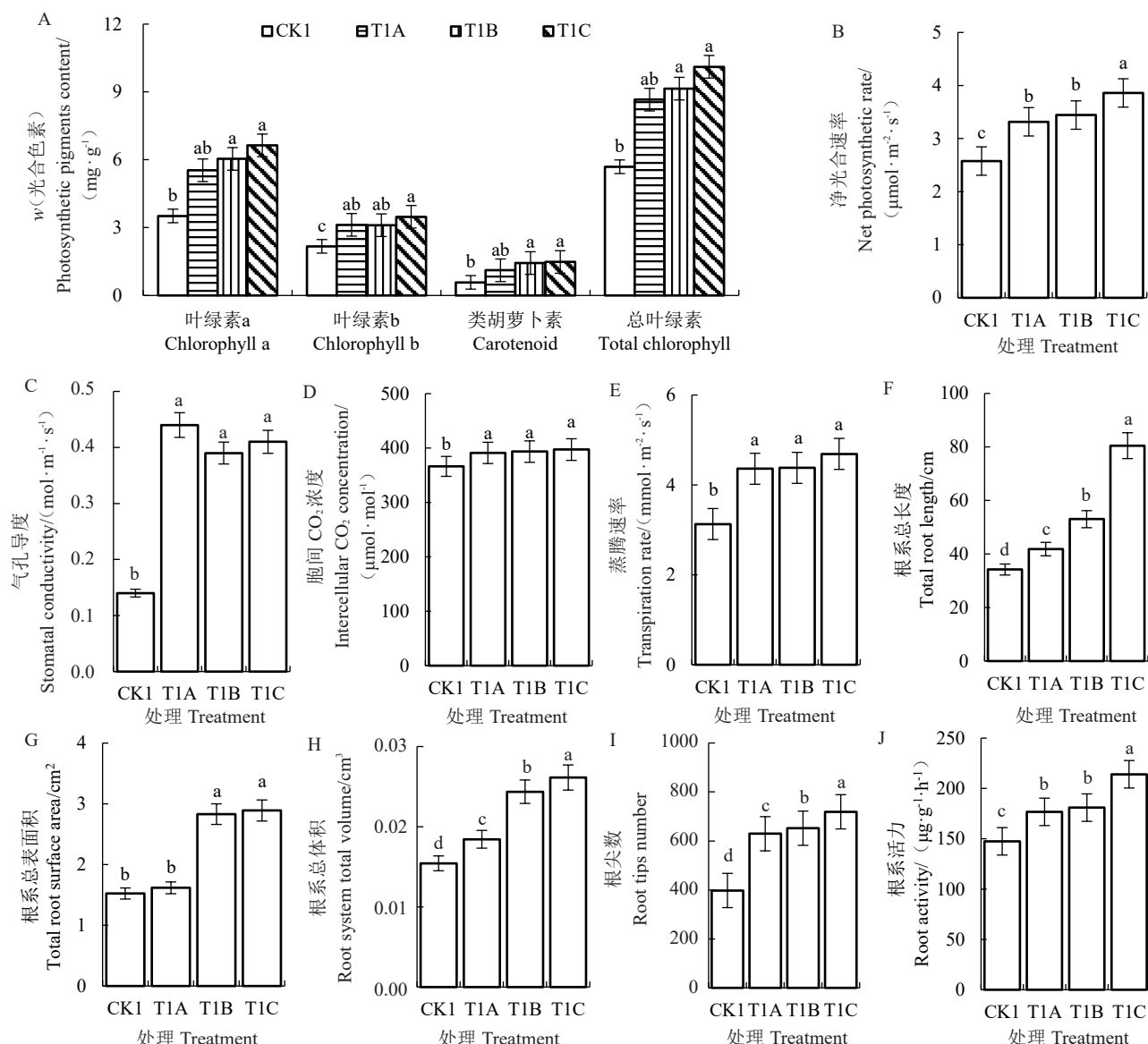
处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK1	6.3±0.6 c	8.7±1.0 c	1.53±0.05 d	0.084±0.001 d	0.09±0.01 c	0.012±0.003 c
T1A	6.7±0.3 c	9.2±0.3 bc	2.71±0.01 c	0.170±0.001 c	0.10±0.01 c	0.011±0.001 c
T1B	7.5±0.3 b	9.8±0.2 ab	3.04±0.01 b	0.180±0.001 b	0.11±0.01 b	0.017±0.001 b
T1C	8.5±0.3 a	10.7±0.3 a	3.61±0.02 a	0.201±0.002 a	0.17±0.01 a	0.032±0.005 a

注: 同列数字后不同小写字母代表在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

高于 CK1(图 1-A)。同时,对幼苗的光合特性指标分析显示,T1C 处理的净光合速率显著高于其他处理(图 1-B),各处理的气孔导度均显著高于 CK1,但

处理间差异不显著,T1A 处理的气孔导度值最高(图 1-C)。胞间 CO₂ 浓度各处理均显著高于 CK1(图 1-D)。T1C 处理的蒸腾速率达到最高值,且显



注: 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图1 不同浓度摩西斗管囊霉处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of *Glomus claroideum* on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

著高于 CK1(图 1-E)。在根系总长度方面,各处理均显著高于 CK1(图 1-F)。T1B 和 T1C 处理的根系总表面积较 CK1 显著增加(图 1-G)。T1C 处理的根系总体积达到最大值,且显著高于其他处理(图 1-H)。各处理的根尖数显著大于 CK1,T1C 处理根尖数最多(图 1-I)。在根系活力方面,T1C 处理达到最高值,显著高于其他处理,T1A 和 T1B 处理之间差异不显著(图 1-J)。

以上结果表明,适宜浓度的摩西斗管囊霉处理显著促进娃娃菜幼苗的生长,提高幼苗叶绿素含量

和光合性能,并促进根系的形态发育和生理功能提升,其中以 T1C 处理效果最为显著。

2.2 不同用量的丛枝菌根真菌 2(根内根孢囊霉)对娃娃菜幼苗生长的影响

由表 2 可知,不同浓度的根内根孢囊霉处理后,娃娃菜幼苗的株高、株幅显著提高,T2C 处理均达到最大值。在地上部及地下部生物量方面,鲜质量均表现为 T2C>T2A>T2B>CK2,干质量均表现为 T2C>T2B>T2A>CK2,T2C 处理的干质量和鲜质量均达到最大值,且显著大于其他处理。

表 2 不同浓度根内根孢囊霉处理对娃娃菜幼苗生物量的影响
Table 2 Effects of different concentrations of *Rhizopus oryzae* on the biomass of baby Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK2	6.5±0.6 c	8.7±0.8 c	1.54±0.15 d	0.084±0.009 d	0.09±0.01 d	0.009±0.001 d
T2A	6.8±0.2 b	9.2±0.2 bc	4.86±0.01 b	0.202±0.002 c	0.26±0.01 b	0.012±0.001 c
T2B	6.8±0.3 b	9.7±0.2 ab	3.10±0.01 c	0.242±0.002 b	0.18±0.01 c	0.022±0.001 b
T2C	7.4±0.2 a	10.2±0.2 a	6.32±0.01 a	0.351±0.002 a	0.40±0.01 a	0.033±0.001 a

对娃娃菜幼苗的光合色素含量分析显示,各处理叶绿素 a 含量均显著高于 CK2(图 2-A),且处理间差异显著,T2C 处理的叶绿素 a 含量达到最高值;各处理的叶绿素 b 含量均显著高于 CK2,T2C 的含量最高,且与 T2B 差异不显著;各处理的类胡萝卜素及总叶绿素含量均表现为 T2C>T2B>T2A>CK2。对娃娃菜幼苗的光合特性指标分析显示,各处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率均显著高于 CK2,但处理间差异不显著,除胞间 CO₂ 浓度外(T2C 处理最高),各指标在 T2B 处理下的值最高(图 2-B~E)。在根系总长度方面,T2C 处理的根系总长度达到最大值(图 2-F)。各处理的根系总表面积均显著大于 CK2(图 2-G),表现为 T2B>T2C>T2A>CK2。T2B 处理的根系总体积最大且显著大于其他处理(图 2-H)。在根尖数方面,T2B 处理的值最高,且显著高于其他处理,T2A 和 T2C 处理的根尖数显著高于 CK2(图 2-I)。T2C 处理的根系活力达到最高值,且显著高于其他处理(图 2-J)。

以上结果表明,根内根孢囊霉对娃娃菜幼苗生长的影响存在显著的浓度差异,T2C 处理对植株生物量、根系总长度、根系活力、叶绿素及类胡萝卜素含量的促进作用最为显著,T2B 处理更有利于改善植株光合性能以及增加根系总表面积、根系总体积和根尖数。

2.3 不同用量的放线菌 1(混合菌群)对娃娃菜幼苗生长的影响

由表 3 可知,不同浓度的放线菌-混合菌群处理显著影响了娃娃菜幼苗的生长指标。各处理的株高均高于 CK3,T3B 处理的株高最高,显著高于 CK3,但处理间差异不显著。T3B 处理的株幅最大,但与 T3C 处理差异不显著。各处理的地上部鲜质量和干质量均显著高于 CK3,表现为 T3B>T3C>T3A>CK3。在地下部鲜质量和干质量方面,各处理均显著高于 CK3,其中 T3B 和 T3C 处理鲜质量最高,而 T3C 干质量最高。

对处理后幼苗的光合色素含量分析显示,T3A、T3B 和 T3C 处理的各指标含量均显著高于 CK3(图 3-A),其中 T3A 和 T3C 处理的叶绿素 a、类胡萝卜素和总叶绿素含量最高,T3C 处理的叶绿素 b 含量显著高于其他处理。测定幼苗的光合特性指标显示,各处理的净光合速率和气孔导度均显著高于 CK3(图 3-B~C),3 个处理间的净光合速率差异不显著,T3C 处理的气孔导度达到最高值,并显著高于其他处理。在胞间 CO₂ 浓度上,各处理与 CK3 相比均无显著差异(图 3-D)。各处理的蒸腾速率显著高于 CK3,但处理间差异不显著(图 3-E)。在根系总长度方面,各处理均显著高于对照 CK3,T3C 的值最大(图 3-F)。T3B 处理的根系总表面积、根系总体积、根尖数达到最大值,并显著高于其他处理

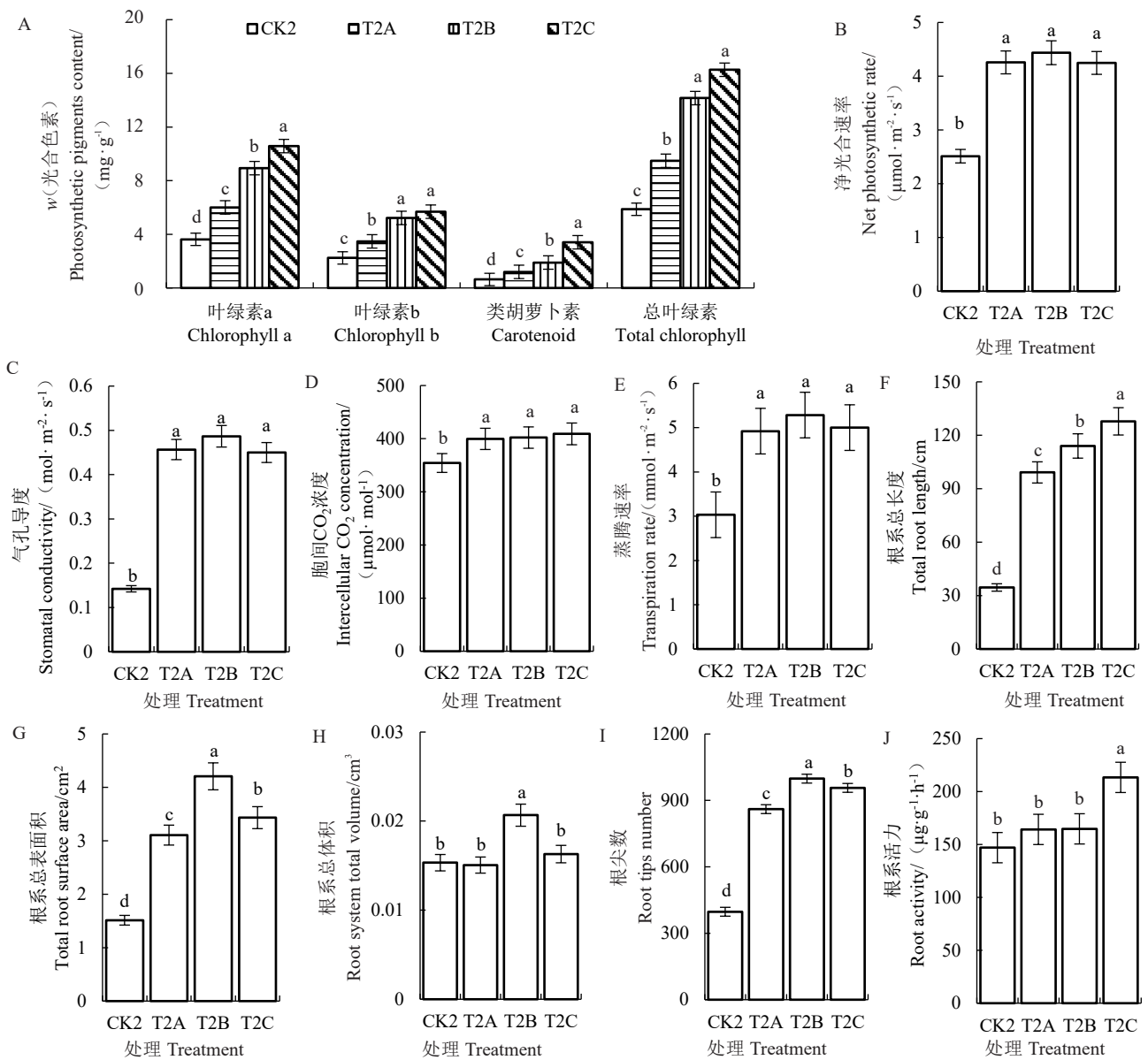


图 2 不同浓度根内根孢囊霉处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of *Rhizopus oryzae* on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

表 3 不同浓度放线菌(混合菌群)处理对娃娃菜幼苗生物量的影响

Table 3 Effects of different concentrations of actinobacteria (mixed bacterial community) on biomass of baby Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK3	6.4±0.7 b	8.5±0.7 b	1.52±0.09 d	0.084±0.005 d	0.09±0.01 c	0.012±0.001 d
T3A	6.7±0.3 ab	8.8±0.3 b	3.52±0.02 c	0.193±0.004 c	0.15±0.01 b	0.015±0.001 c
T3B	7.5±0.3 a	9.7±0.2 a	4.56±0.03 a	0.273±0.002 a	0.24±0.01 a	0.020±0.001 b
T3C	7.1±0.3 ab	9.2±0.2 ab	4.18±0.01 b	0.230±0.007 b	0.24±0.01 a	0.022±0.001 a

(图 3-G~I)。在根系活力方面,T3B 处理的根系活力显著低于 T3A、T3C 和 CK3,其他处理与 CK3 相比虽有提高但差异不显著(图 3-J)。

以上结果表明,放线菌(混合菌群)处理能够显

著促进娃娃菜幼苗的生长,T3B 处理对植株生物量、根系总表面积、根系总体积和根尖数的促进效果最显著,T3A 和 T3C 处理对光合色素含量的提升作用显著,T3C 处理对改善幼苗光合特性和增加

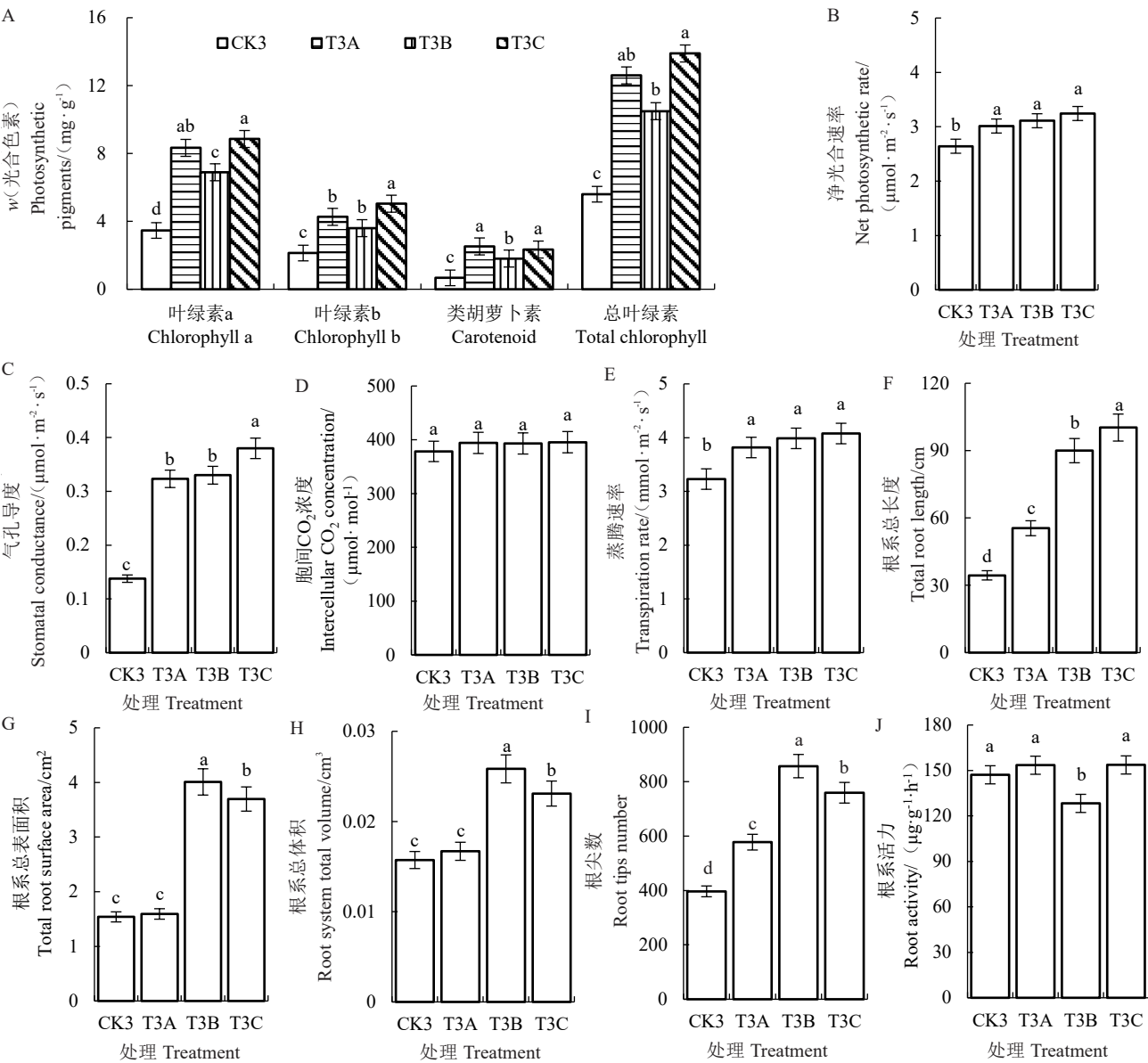


图3 不同浓度放线菌(混合菌群)处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响
Fig. 3 Effects of different concentrations of actinobacteria (mixed bacterial community) on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

根系总长度的作用较好。

2.4 不同用量的放线菌2(细黄链霉菌)对娃娃菜幼苗生长的影响

由表4可知,不同浓度的放线菌-细黄链霉菌处

理后,对娃娃菜幼苗的生长指标进行分析,结果显示,T4B处理的株高和株幅均最大。各处理的地上部及地下部的干鲜质量均表现为T4B>T4A>T4C>CK4。

表4 不同浓度放线菌(细黄链霉菌)处理对娃娃菜幼苗生物量的影响
Table 4 Effects of different concentrations of actinobacteria (*Streptomyces microflavus*) on the biomass of baby Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK4	5.5±0.7 b	8.4±0.6 c	1.53±0.061 d	0.084±0.003 d	0.094±0.004 d	0.012±0.005 d
T4A	5.8±0.3 ab	8.7±0.3 bc	6.26±0.002 b	0.318±0.012 b	0.351±0.001 b	0.031±0.006 b
T4B	6.5±0.2 a	9.7±0.2 a	6.84±0.061 a	0.348±0.001 a	0.376±0.001 a	0.037±0.005 a
T4C	6.2±0.2 ab	9.2±0.2 ab	5.05±0.052 c	0.274±0.004 c	0.215±0.006 c	0.022±0.011 c

不同浓度处理后,各处理的娃娃菜幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均显著高于对照 CK4,处理间的叶绿素 a 含量差异不显著,T4C 处理的叶绿素 b 含量最高,T4A 和 T4B 处理的类胡萝卜素含量显著高于 CK4 和 T4C(图 4-A)。不同处理 T4A、T4B 和 T4C 的娃娃菜幼苗的光合特性指标均显著高于 CK4,但处理间净光合速率和胞间 CO_2 浓度均差异不显著(图 4-B,D),T4B 处理的气孔导度最高(图 4-C),T4B 和 T4C 处理的蒸腾速率最高(图 4-E)。进一步对处理后娃娃菜幼苗根系形态指标进行分析,结果显示,各处理的根系总长度、根系总表面积、根系总体积、根尖数均显著高于 CK4,

T4B 处理的根系总长度、根系总表面积和根尖数达到最大值(图 4-F,G,I),T4C 处理的根系总体积最大(图 4-H)。在根系活力方面,随着处理浓度的增加呈现下降趋势(图 4-J),其中 T4A 处理达到最高值,T4B 处理与 CK4 相比差异不显著;而 T4C 处理的根系活力显著低于 CK4。

以上结果表明,放线菌-细黄链霉菌处理能够显著促进娃娃菜幼苗的生长,T4B 处理效果最好。另外,T4A 处理对幼苗叶绿素含量的促进效果最为显著,T4B 处理在改善幼苗光合性能,以及促进根系总长度、根系总表面积和根尖数增加方面效果最显著,而 T4C 处理则更有利于根系总体积的增加。

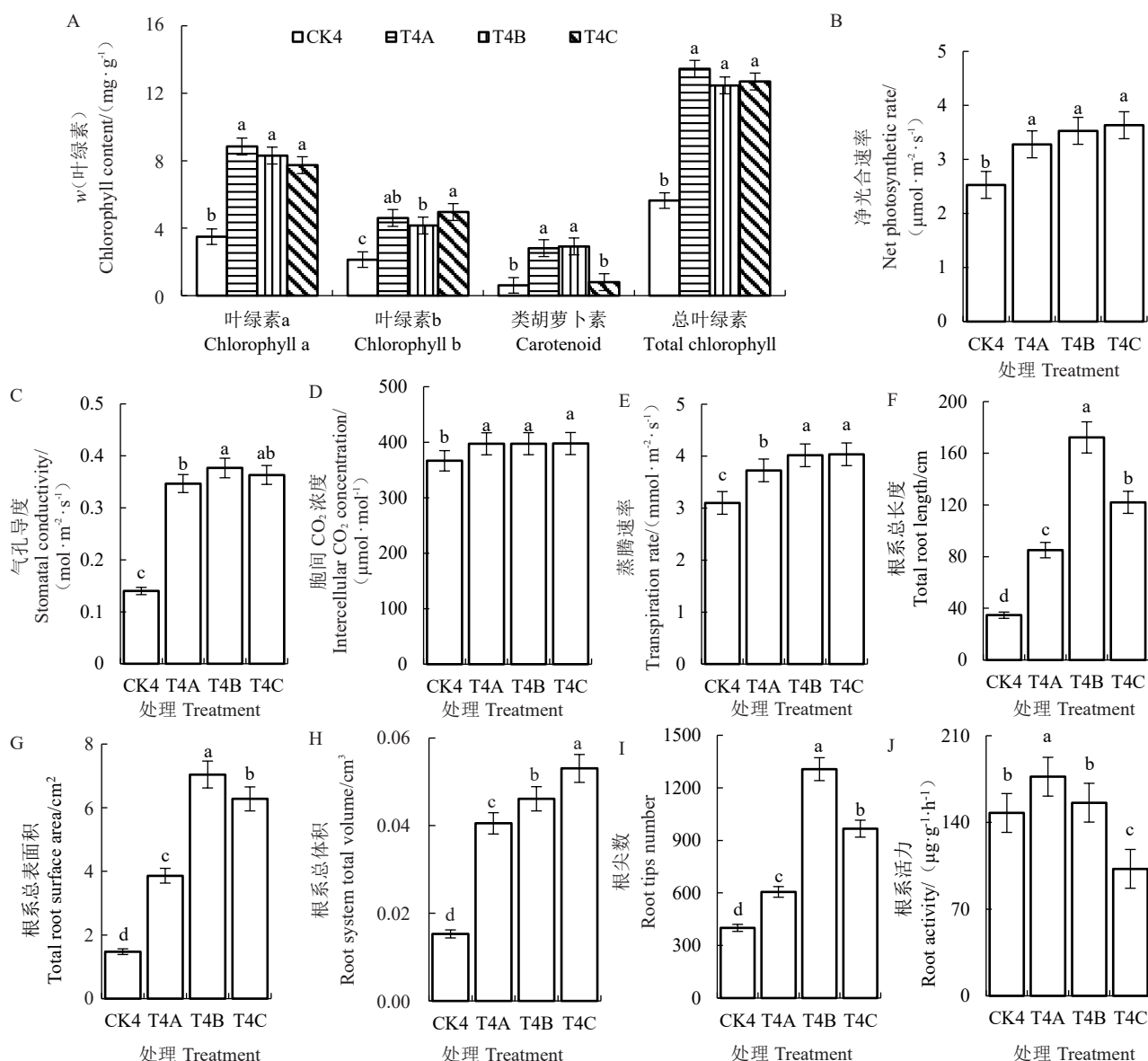


图 4 不同浓度放线菌(细黄链霉菌)处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of actinobacteria (*Streptomyces microflavus*) on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

2.5 不同用量的EM菌对娃娃菜幼苗生长的影响

不同浓度的EM菌处理对娃娃菜幼苗的生长均有一定的促进作用(表5),T5C处理的株高和株幅最高,但T5C处理的株高与CK5相比差异不显著。地上部鲜质量和干质量的变化趋势一致,均随着处理浓度的增加而显著增加,T5C处理达到最大

值;另外 T5C 处理的地下部鲜质量和干质量也均达到最大值。

不同浓度的EM菌处理使娃娃菜幼苗的叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量均显著升高(图5-A),其中T5C和T5B的含量最高,但二者间差异不显著。各处理的类胡萝卜素含量均显著高于

表5 不同浓度EM菌处理对娃娃菜幼苗生物量的影响

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK5	6.4±0.7 a	8.4±1.0 b	1.53±0.19 d	0.083±0.007 d	0.09±0.01 c	0.012±0.001 c
T5A	6.4±0.2 a	8.8±0.3 b	3.05±0.01 c	0.153±0.003 c	0.07±0.01 d	0.009±0.001 d
T5B	6.7±0.2 a	9.2±0.2 ab	3.57±0.01 b	0.186±0.001 b	0.14±0.01 b	0.016±0.001 b
T5C	7.0±0.2 a	9.7±0.2 a	5.10±0.01 a	0.265±0.004 a	0.29±0.01 a	0.031±0.001 a

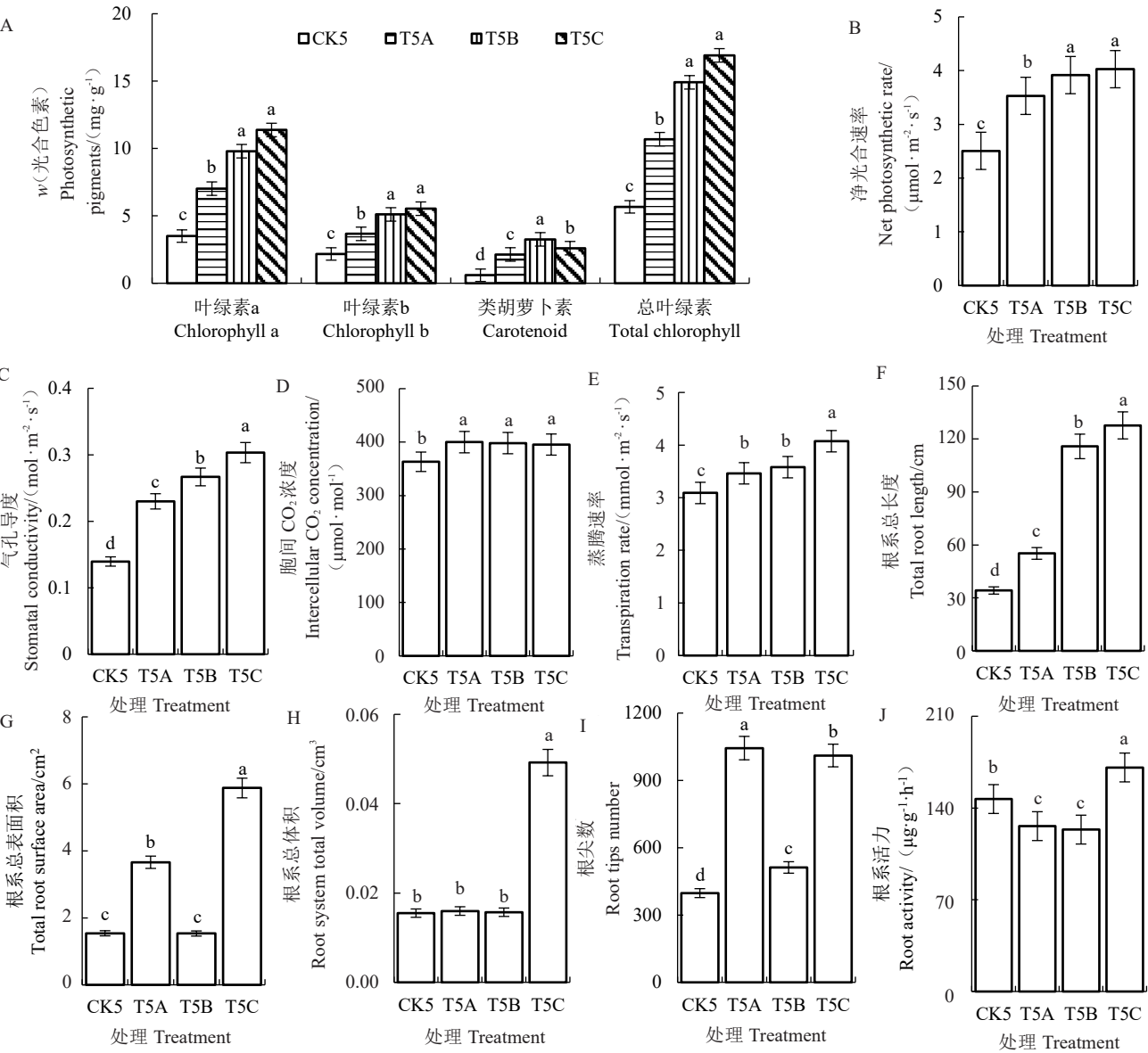


图5 不同浓度EM菌处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of EM bacteria on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

CK5,其中 T5B 处理达到最高值,且显著高于其他处理。另外,EM 菌处理后娃娃菜幼苗的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率均显著高于 CK5,除了 T5A、T5B 和 T5C 处理间胞间 CO_2 浓度差异不显著之外(图 5-D),T5C 处理的值均最高(图 5-B,C,E)。对不同浓度 EM 菌处理后娃娃菜幼苗根系形态指标分析显示,T5C 处理的根系总长度、总表面积及总体积均达到最大值(图 5-F~H)。各处理的根尖数均显著高于 CK5,其中 T5A 处理达到最大值(图 5-I)。在根系活力方面,仅 T5C 处理显著高于 CK5,而 T5A 和 T5B 处理则显著低于 CK5(图 5-J)。

以上结果表明,适宜浓度的 EM 菌处理能

够显著促进娃娃菜幼苗的生长,其中 T5C 处理对促进植株生物量、叶绿素含量增加及根系生长等的效果最为显著,而 T5B 处理则更有利于类胡萝卜素的积累,T5A 处理有利于根尖数的增加。

2.6 不同用量的哈茨木霉菌对娃娃菜幼苗生长的影响

由表 6 可知,不同浓度的哈茨木霉菌处理后,娃娃菜幼苗的株高和株幅均有所提高,其中 T6C 处理达到最大值,但 T6C 和 T6B 处理间差异不显著。在地上部生物量方面,鲜质量和干质量的变化趋势一致,各处理均显著高于 CK6,T6C 处理达到最大值。在地下部鲜质量和干质量方面,T6C 处理

表 6 不同浓度哈茨木霉菌处理对娃娃菜幼苗生物量的影响

Table 6 Effects of different concentrations of *Trichoderma harzianum* on biomass of baby Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK6	6.2±0.5 c	8.5±0.7 b	1.52±0.13 d	0.084±0.004 d	0.09±0.01 b	0.012±0.001 b
T6A	6.5±0.2 bc	8.8±0.3 b	2.64±0.01 c	0.135±0.006 c	0.09±0.01 b	0.005±0.001 d
T6B	6.8±0.2 ab	9.3±0.2 ab	3.15±0.01 b	0.154±0.004 b	0.06±0.01 c	0.009±0.001 c
T6C	7.3±0.2 a	9.7±0.2 a	3.47±0.02 a	0.186±0.003 a	0.22±0.01 a	0.020±0.001 a

达到最大值,且显著高于其他处理。

不同浓度哈茨木霉菌处理后,娃娃菜幼苗的叶绿素及类胡萝卜素含量均显著高于 CK6,但随着哈茨木霉菌处理浓度的增加,各光合色素含量均呈现显著下降趋势,T6A 和 T6B 处理的色素含量较高(图 6-A)。对处理后的娃娃菜幼苗光合特性指标分析显示,各处理的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均显著高于 CK6(图 6-B,C,E),其中 T6A 处理下各指标的值较高,另外各处理的胞间 CO_2 浓度与 CK6 相比差异不显著(图 6-D)。对处理后娃娃菜幼苗的根系形态指标分析显示,随着处理浓度的增加,根系总长度和根尖数呈现显著上升趋势(图 6-F,I),且 T6C 处理达到最大值。在根系表面积和总体积上,T6C 处理显著大于其他处理,但 T6A 处理显著小于 CK6(图 6-G,H)。在根系活力方面,T6A 和 T6B 处理显著高于 CK6,T6C 处理与 CK6 相比差异不显著(图 6-J)。

以上结果表明,较高浓度的哈茨木霉菌 T6C 处理对娃娃菜幼苗生长的促进作用最显著,较低浓度的 T6A 处理在提高娃娃菜幼苗光合色素含量和改善光合性能方面效果较好,T6C 处理对根系总长度、总表面积和总体积的促进作用最为显著,而

T6B 处理有利于根系活力的提高。

2.7 不同用量的枯草芽孢杆菌对娃娃菜幼苗生长的影响

由表 7 可知,不同浓度的枯草芽孢杆菌处理后,娃娃菜幼苗的株高和株幅均有一定的增加,其中 T7C 处理的株高和株幅均最大。地上部鲜质量和干质量变化趋势基本一致,T7C 处理达到最大值。T7B 处理的地下部鲜质量最大,T7C 处理的地下部干质量最大。

对娃娃菜幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素及总叶绿素含量分析发现,随着枯草芽孢杆菌处理浓度的增加,光合色素含量呈现显著上升趋势(图 7-A),其中 T7C 处理均达到最大值。对娃娃菜幼苗的光合特性指标分析发现,不同浓度枯草芽孢杆菌处理后净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著升高,T7C 处理下各指标均达到最大值(图 7-B,C,E)。仅 T7C 处理的胞间 CO_2 浓度显著高于 CK7,其他处理与 CK7 相比差异不显著(图 7-D)。对娃娃菜幼苗根系形态指标分析显示,T7C 和 T7B 处理的根系总长度、总表面积和总体积均显著高于对照 CK7(图 7-F~H),T7C 处理达到最大值,而 T7A 处理的根系表面积和总体积显著小于 CK7。在根尖

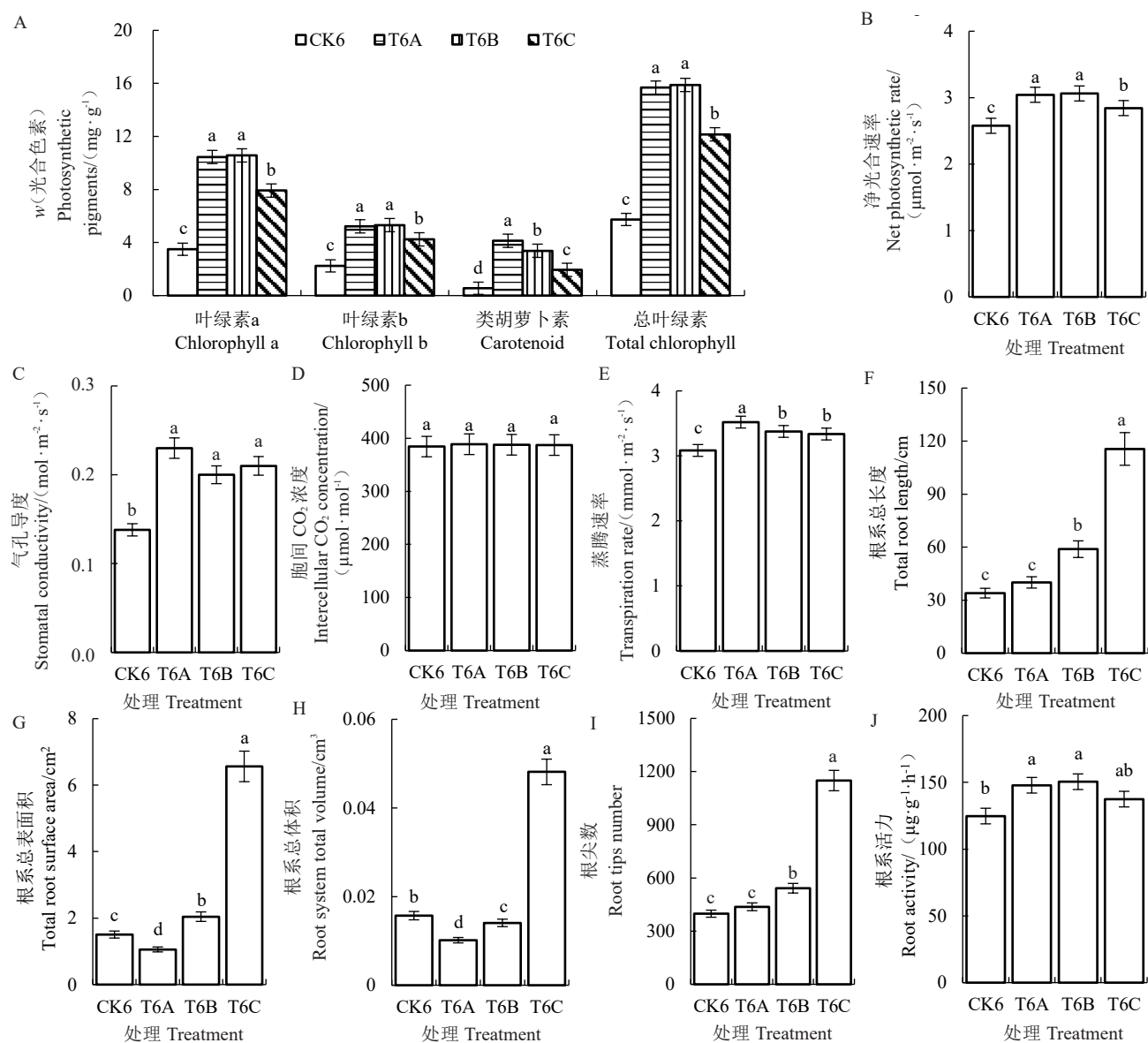


图 6 不同浓度哈茨木霉菌处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响
Fig. 6 Effects of different concentrations of *Trichoderma harzianum* on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

表 7 不同浓度枯草芽孢杆菌处理对娃娃菜幼苗生物量的影响
Table 7 Effects of different concentrations of *Bacillus subtilis* on the biomass of baby Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	地上部 Aboveground		地下部 Underground	
			鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass /g	干质量 Dry mass/g
CK7	6.3±0.5 c	8.5±0.7 b	1.53±0.08 d	0.084±0.003 d	0.09±0.01 d	0.012±0.001 c
T7A	6.6±0.2 bc	8.8±0.3 b	1.67±0.02 c	0.110±0.001 c	0.11±0.01 c	0.013±0.001 b
T7B	6.9±0.2 ab	9.4±0.2 ab	2.25±0.01 b	0.142±0.002 b	0.18±0.01 a	0.015±0.001 b
T7C	7.2±0.2 a	9.7±0.2 a	4.00±0.01 a	0.239±0.003 a	0.13±0.01 b	0.019±0.001 a

数方面,仅 T7C 处理显著高于 CK7(图 7-I)。在根系活力方面,各处理均显著高于 CK7,但相邻处理间差异不显著(图 7-J)。

以上结果表明,枯草芽孢杆菌处理可显著促进娃娃菜幼苗的生物量、光合色素含量、光合性能的提高及根系的生长,且高浓度的 T7C 处理效果最为显著。

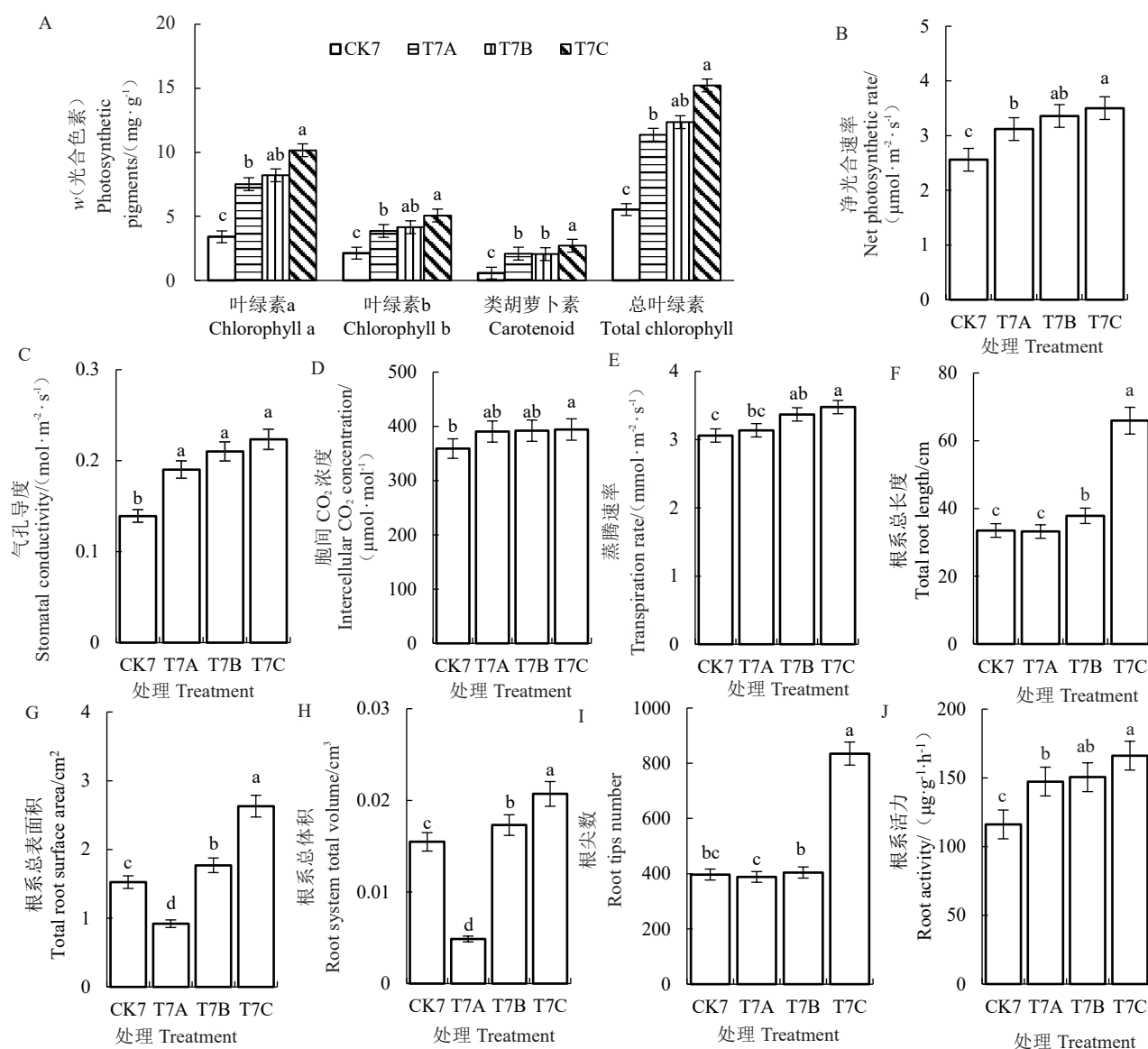


图7 不同浓度枯草芽孢杆菌处理对娃娃菜幼苗生长指标的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of *Bacillus subtilis* on growth indicators of baby Chinese cabbage seedlings

3 讨论与结论

微生物菌剂是一类具有多功能特性的生物制剂,对不同作物幼苗的生长发育具有促进作用。株高、株幅及干鲜质量等,是衡量幼苗生长发育的重要参数^[10]。在番茄育苗中,较高浓度EM菌处理能显著促进幼苗的株高、茎粗、地上部鲜质量和干质量的增加^[11]。本研究结果表明,枯草芽孢杆菌T7C(800倍液)处理后娃娃菜幼苗的株高和株幅呈现显著升高,EM菌T5C(50倍液)处理使娃娃菜幼苗地上部鲜质量和干质量均显著增加。另外,根内根孢囊霉T2C(基质用量10%)处理后地下部生物量显著增加,而枯草芽孢杆菌T7C(800倍液)处理的地下部干质量增幅相对较小,表明不同微生物菌剂对

幼苗地下部生物量的影响存在差异。黄秋良等^[12]也发现,4种不同微生物菌剂对芳樟苗木的苗高、地径等生长指标呈现出差异化的促进效果。因此,在娃娃菜实际育苗时应根据不同微生物菌剂的作用效果及育苗需求,选择合适的菌剂及适宜剂量,也可考虑不同微生物菌剂的配合施用。

不同微生物菌剂对幼苗的光合特性具有明显的调控效应^[13]。在本研究中,从枝菌根真菌-摩西斗管囊霉T1C处理在提高娃娃菜幼苗株高和株幅的同时显著改善其光合特性;且不同菌剂处理后幼苗蒸腾速率普遍提升,表明微生物菌剂可能通过提高蒸腾速率间接促进光合作用^[14]。李百云等^[15]研究发现,不同微生物菌剂可通过显著促进苹果植株叶绿素的合成,进而提高光合速率。本研究中不同菌剂

处理不仅显著提高了娃娃菜幼苗叶绿素含量,也提高了类胡萝卜素含量,表明光合色素含量是评估植株光合效率的重要指标。

幼苗的根系形态和生理功能可为地上部生长提供坚实基础^[16]。李丽等^[17]发现,微生物菌剂处理显著促进了水稻不同生长阶段根长和根表面积的增加。曹彩红等^[18]的研究表明,微生物菌剂能显著促进生菜根系活力和地上部生物量的同步增加。在本研究中,EM菌T5C(50倍液)处理的根系总长度与地上部鲜质量的增加趋势一致;根内根孢囊霉T2C(基质用量10%)处理后根系活力和地上部干质量较对照显著增加。以上结果表明,微生物菌剂处理可改善娃娃菜幼苗根系形态,促进其对水分和养分的吸收,也可提高根系活力和对养分的吸收转运效率^[19],促进植株生长。本试验的主要目的是筛选实际育苗中适用的最佳菌剂和浓度,针对多个微生物菌剂复配的研究有待于在后续工作中继续开展。

不同微生物菌剂及不同使用浓度处理对娃娃菜幼苗生长的影响存在差异。在同一微生物菌剂的不同浓度处理中,丛枝菌根真菌(摩西斗管囊霉)T1C(基质用量10%)处理对植株生长、生物量积累及光合性能的提升效果最为突出;丛枝菌根真菌(根内根孢囊霉)T2C(基质用量10%)处理在整体生长和光合色素积累方面效果最优;放线菌(混合菌群)T3B(750倍液)处理对生物量积累和根系发育的促进作用最佳;放线菌(细黄链霉菌)T4B(750倍液)处理在整体生长和根系发育方面表现最优;EM菌T5C(50倍液)处理对各项生长指标及根系形态的促进作用最为全面;哈茨木霉菌T6C(800倍液)处理对生物量积累和根系发育的提升效果最佳;枯草芽孢杆菌T7C(800倍液)处理对幼苗整体生长的促进作用最为显著。在育苗中,应根据实际需要对应不同的微生物菌剂,选用适宜的施用浓度,可达到培育壮苗的效果。

参考文献

- [1] 曹玲玲,周也莹,江春雨,等.基于三维建模的蔬菜幼苗壮苗评价研究[J].中国蔬菜,2024(12):72-78.
- [2] 张泽锦,张河庆,喻华,等.蔬菜化肥农药减量生产技术要点[J].四川农业科技,2021(8):39-40.
- [3] 许文钊,白甜,程瑞,等.不同微生物菌剂对辣椒幼苗生长的影响[J].安徽农业科学,2024,52(22):39-41.
- [4] 何芬,赵蕊,黄鸾凤,等.芒苣根际复合微生物菌剂对绿豆幼苗生长及根际微生物群落的影响[J].微生物学通报,2025,52(3):1073-1088.
- [5] Kumar P, Joshi A, Sharma N, et al. Integrative approaches to improve litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) plant health using bio-transformations and entomopathogenic fungi[J]. BMC Plant Biology, 2024, 24(1):902.
- [6] 魏云飞,宋克光,王策,等.微生物菌剂调控连作番茄生长和养分吸收的效应[J].山东农业科学,2024,56(5):110-115.
- [7] 朱明,张越,张明科.5种菌剂处理对黄瓜生长及果实品质的影响[J].浙江农业科学,2024,65(3):680-684.
- [8] 杨岩松,赵晓峰,马世庚,等.不同种类微生物菌剂对娃娃菜生长、品质及土壤性质的影响[J/OL].甘肃农业大学学报,(2025-11-26)[2026-06-02]. <https://link.cnki.net/urlid/62.1055.S.20251126.1427.004>.
- [9] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 张爱梅,金琦慧,范志俊.菌株SLF-1菌剂制备及其对小油菜生长的影响[J].西北师范大学学报(自然科学版),2025,61(1):15-20.
- [11] 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.
- [12] 黄秋良,袁宗胜,刘西琳,等.促生菌组合接种对芳樟苗生长的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(5):40-47.
- [13] Li L, Liu K, Lan F, et al. A study on the preparation of multi-functional *Bacillus* spp. composite inoculants and their ability to promote watermelon growth[J]. Agronomy, 2025, 15(2):350.
- [14] 王琳,胡凯基,及华,等.微生物菌剂对金银花生长和品质的调控[J].农业环境科学学报,2022,41(12):2817-2823.
- [15] 李白云,许泽华,郭鑫年,等.不同微生物菌剂对土壤肥力及苹果果实品质的影响[J].果树资源学报,2024,5(6):55-60.
- [16] Hasegawa T, Wainaina C M, Shibata A, et al. The outstanding rooting1 mutation gene maintains shoot growth and grain yield through promoting root development in rice under water deficit field environments[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2022, 208(6):815-829.
- [17] 李丽,韩周,张昀,等.减氮配施菌剂对水稻土酶活性及水稻根系生长的影响[J].辽宁农业科学,2019(2):1-7.
- [18] 曹彩红,曹玲玲,田雅楠,等.5种微生物菌剂对冬季生菜幼苗生长的应用效果评价[J].天津农业科学,2023,29(8):23-28.
- [19] Dong S Q, Bismark A B, Li S S, et al. Ammonium polyphosphate promotes maize growth and phosphorus uptake by altering root properties[J]. Plants, 2024, 13(23):3407.