

叶面喷施含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料的肥效研究^①

卢云峰¹, 许航¹, 段华泰¹, 梅新兰¹, 李荣^{1*}, 管晓进^{2*}, 张楠¹, 沈其荣¹

(1 江苏省固体有机废弃物资源化高新技术研究重点实验室/江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心/国家有机肥料工程技术研究中心/南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要: 研究叶面喷施含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料在辣椒和白菜上的应用效果, 以期开发出根际有益微生物新的应用模式和新的叶面肥产品。以辣椒和白菜为供试材料, 设以下 6 个处理评估肥料效果: 喷施清水处理(CK)、喷施与复合微生物液体肥料等养分的化肥处理(CF)、喷施含化肥+氨基酸+糖蜜的水溶肥处理(T₁)、喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+微量元素的水溶肥处理(T₂)、喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+SQR9 的水溶肥处理(T₃)和喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+微量元素+SQR9 的复合微生物液体肥料处理(T₄)。盆栽试验结果表明, 与其他 5 个处理(CK、CF、T₁、T₂、T₃)相比, T₄ 处理在各项促生指标上虽未全部达到显著性差异, 但其更能够促进辣椒和白菜的生长, 提高其生物学性状。可培养微生物数量上, 新型菌株 SQR9 复合微生物液体肥料的喷施, 增加了叶际芽孢杆菌的数量; 与喷施清水对照(CK)和与复合微生物液体肥料等养分的化肥处理(CF)相比, 其他 4 个处理(T₁、T₂、T₃、T₄)对辣椒和白菜叶际可培养微生物数量影响更大, 而喷施含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料(T₄)的影响更为明显。叶面喷施含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料可有效促进辣椒和白菜的生长。

关键词: 解淀粉芽孢杆菌 SQR9; 微量元素; 叶面喷施; 玉米; 白菜; 复合微生物液体肥料

中图分类号: S144.1 **文献标识码:** A

复合微生物肥料是指由两种或两种以上互不拮抗的有效微生物或有特殊功能的单一微生物(固氮、溶磷、解钾类微生物)与一些营养物质加工复合而成的微生物制品, 其应用于农业生产后, 能获得特定的肥料效应, 其制品中的活性微生物为发挥作用的关键, 分为液体剂型和固体剂型^[1-3]。复合营养物质的复合微生物肥料因其具有改良土壤、增加作物产量和改善品质、提高植株的抗逆性和抗病虫能力、对微生态环境起保护作用等特点^[4-7], 其研究和应用越来越受到人们的关注和认可。因含有一定量的养分, 复合微生物肥料液体剂型中的功能菌在肥料中易于死亡, 数量和活性下降, 影响了肥料的效果, 也因此得到科研、生产等各界的广泛关注。近年来, 对复合微生物液体肥料的应用研究主要是集中在根部灌施方面^[8-11], 在叶面喷施方面的研究还比较少, 而叶面喷施养分全面、针对性强、肥料用量少、肥料利用率高、

肥效快^[12-13], 因此, 对复合微生物液体肥料叶面喷施方面的研究同样具有重要意义。

植物根际益生菌(plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) 是一类能够在植物根际有效定殖, 不仅对植物生长和增收有直接或间接促进作用, 还能对植物病害有一定防控作用的一类有益微生物的统称^[14]。传统根际有益微生物的应用模式主要为根际灌施或制成生物有机肥施入土壤^[15]。近年来, 随着研究的不断深入和市场需求, 植物根际促生菌的概念和研究范围, 已从根际扩大至叶围的研究领域^[16]。解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*) SQR9 是本实验室从黄瓜根际分离筛选获得、并鉴定保存的一株适应能力较强的革兰氏阳性菌, 它能够在植物的根际有效定殖促进植物生长和防控土传病害^[17]。将菌株 SQR9 接入到秸秆、动物粪便等一些有机物料中进行腐熟堆肥制成的生物有机肥已经被广泛地应用于

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200805、2016YFD0800605)、江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A061)和校大学生创新训练项目(1713A24)资助。

* 通讯作者(lirong@njau.edu.cn; guanxiaojin@ofdc.org.cn)

作者简介: 卢云峰(1992—), 男, 云南大理人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物与生物肥料研究。E-mail: 2284932093@qq.com

农业生产中,且在促进作物生长、增收和防控土传病害等方面取得了显著的效果^[18-20]。但迄今为止,仍然还未有叶面喷施该功能菌株的研究。

本研究在以上背景下,选择 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 为目标菌株,以酸解废弃猪毛所制成的氨基酸为主要原料,螯合一定量的微量元素,配比一定量的养分和糖蜜研制成含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料,并通过在辣椒和白菜叶面喷施,研究该新型水溶肥料的促生效果,以期开发出根际有益微生物新的应用模式和新的叶面肥产品。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试微生物 供试功能微生物为本实验室分离保存的具有防控土传病害和促进植物生长的根际促生解淀粉芽孢杆菌 SQR9(*Bacillus amyloliquefaciens* SQR9)^[18],该菌株为革兰氏阳性菌,寄生于中国微生物菌种保存管理委员会普通微生物中心,菌种保藏号为 CGMCC NO.5808。

1.1.2 供试培养基 蛋白胨 10 g,酵母粉 5 g,NaCl 10 g,去离子水 1 000 ml,pH 6.5~7.0;完全溶解后分装到三角瓶,115℃灭菌 30 min。

1.1.3 供试氨基酸 氨基酸水解液由本实验室研制,主要通过酸解废弃猪毛制得,总氮(N)含量 28.4 g/kg,全磷(P₂O₅)含量 0.76 g/kg。

1.1.4 供试作物 辣椒(超大甜椒王)和白菜(精纯改良青杂三号)种子均购自江苏省农业科学院。

1.1.5 供试肥料 腐熟鸡粪有机肥由南通惠农生物有机肥有限公司提供,含水量 20%,有机质≥45%、全氮 1.31%、全磷(P₂O₅)2.64%、全钾(K₂O)1.55%。供试化肥:氮肥为尿素(含 N 46.4%),磷钾肥为磷酸氢二钾(含 K₂O 54.0%、含 P₂O₅ 17.8%)。

1.2 试验设计

1.2.1 复合微生物液体肥料的制备 将菌株 SQR9 接种到 LB 培养液中液体发酵生产,使发酵液中含菌或芽孢量≥1×10⁹ cfu/ml;用 200 ml 氨基酸分别螯合微量元素,微量元素含量分别为 Fe 0.6%、Mn 0.5%、B 0.2%、Zn 0.5%、Cu 0.3% 和 M 0.05%;

将尿素、磷酸氢二钾、糖蜜、螯合了微量元素的氨基酸、去离子水混合搅拌均匀,用 KOH 调节 pH 至 4.0~4.5。其中,尿素、磷酸氢二钾、糖蜜、氨基酸液和去离子水的量分别为 100 g、50 g、200 ml、200 ml 和 400 ml;往搅拌均匀、调节好 pH 的液体肥料中

添加 3% 的表面活性剂,并搅拌均匀;将步骤制备的菌株 SQR9 发酵液接种到步骤制备的液体肥料中,接种量为 10%,并定容至 1 L,测得总养分为 100 g/kg(包括液体氨基酸所含养分),即得成品复合微生物液体肥料。

1.2.2 盆栽试验设计 盆栽试验于 2017 年 9—10 月在江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室温室内进行,供试土壤采自江苏宜兴,基本性质如下:pH 7.24,有机质 15.44 g/kg,全氮 1.96 g/kg,全磷 1.62 g/kg,全钾 11.58 g/kg,有效磷 21.26 mg/kg,速效钾 86.53 mg/kg。供试作物为辣椒和白菜,共设 6 个处理:处理 1(CK):喷施清水;处理 2(CF):喷施与复合微生物液体肥料等养分的化肥;处理 3(T₁):喷施含化肥+氨基酸+糖蜜的水溶肥;处理 4(T₂):喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+微量元素的水溶肥;处理 5(T₃):喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+SQR9 的水溶肥;处理 6(T₄):喷施含化肥+氨基酸+糖蜜+微量元素+SQR9 的复合微生物液体肥料。每个处理 9 个重复,每个盆钵装土 3 kg,添加 1%(肥料干重/土干重)的腐熟鸡粪有机肥与土拌匀作为基肥,选取长势均一的种苗移栽。于移栽 7 d 后开始喷施肥料,6 d 喷施一次,共喷施 3 次,均按 500 倍稀释喷施,喷施时间为晴天的早上、傍晚或者阴天进行。

1.3 测试项目及方法

1.3.1 生物学性状的测定 于移栽后 35 d 时测定各处理的株高、茎粗、叶绿素相对含量测量值(SPAD 值)、叶长、叶宽、叶片数、地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量。株高、茎粗和 SPAD 值分别选用钢卷尺、得威斯游标卡尺和 TYS-A 型叶绿素测定仪进行测定;叶长、叶宽选用直尺进行测定;地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量用百分之一天平进行测定,将称完鲜重后的植株放置于牛皮纸袋中于 105℃下杀青 15 min 后,于 70℃下烘干至恒重,称重^[21]。

1.3.2 辣椒和白菜叶际中芽孢杆菌、细菌和真菌数量的测定 芽孢杆菌采用半选择性培养基涂布测定^[22-23],培养基配方如下:蛋白胨 10 g、酵母粉 5 g、NaCl 10 g、琼脂 2.5%、去离子水 1 000 ml,pH 7.2~7.4,121℃高压灭菌 20 min。1% 多粘菌素 2 ml/L、1% 放线菌酮 4 ml/L(抗生素在培养基倒前冷却后加入)。测定步骤如下^[24]:各处理分别取相同叶位的新鲜叶片 5 g,无菌环境下剪碎放入装有 45 ml 无菌水的三角瓶内,匀浆 2 min,再用超声波震荡 2 min 混匀^[25]。将样品稀释成不同梯度稀释液后,用无菌吸管各取 0.1 ml 涂布于相应培养基平板中,于 30℃培养 36 h 后

计数。细菌培养采用牛肉膏蛋白胨固体培养基^[24]，真菌采用马丁-孟加拉红培养基^[26]，叶际中可培养细菌和真菌数量的测定操作步骤与芽孢杆菌相同。细菌和真菌分别于 30 ℃ 和 28 ℃ 培养 36 h 和 72 h 后计数。菌落统计结果均以 cfu/g 鲜叶重表示。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 13.0 软件进行数据统计分析，使用最小显著差异法 (least significant difference, LSD) 检验进行多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 喷施不同肥料对辣椒生物学性状的影响

不同处理对辣椒生物学性状的影响如表 1 所示。在株高和茎粗方面，喷施复合微生物液体肥料处理 (T_4) 优于其他处理，且具有显著性差异； T_3 与 T_1 间无显著性差异，但指标均高于 T_1 ，表明功能菌的应用

能够提高辣椒的株高和茎粗； T_2 与 T_1 之间具有显著性差异，表明微量元素的添加也能够提高辣椒的株高和茎粗。在 SPAD 值方面，5 个喷施肥料处理与 CK 之间均存在显著性差异，且喷施复合微生物液体肥料处理效果最优($T_4>T_3>T_2>T_1$)。在叶片数方面，5 个喷施肥料处理与 CK 之间均存在显著性差异，同时 T_4 显著优于 T_1 、CF 和 CK。在地上部鲜物质质量和干物质质量方面， T_4 处理显著优于其他处理，同时 T_3 与 T_1 、 T_2 与 T_1 间均具有显著性差异，表明功能菌和微量元素的应用能够提高辣椒地上部鲜物质质量和干物质质量，两者结合后效果更优。在地下部鲜物质质量方面，CF、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 处理间均没有显著性差异，但均与 CK 处理存在显著性差异；在地下部干物质质量方面， T_4 显著优于 T_1 、CF 和 CK，且无论鲜物质质量还是干物质质量， T_4 处理均为最高，表明复合微生物肥料的施用同样能够促进地下部的生长。

表 1 不同处理对辣椒生物学性状的影响
Table 1 Effects of different fertilization treatments on pepper biological traits

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	SPAD 值	叶片数	地上部鲜 物质质量(g)	地上部干 物质质量(g)	地下部鲜 物质质量(g)	地下部干物 质量(g)
CK	8.83 ± 0.76 e	2.33 ± 0.12 e	42.70 ± 0.56 c	12.00 ± 1.00 c	5.25 ± 0.09 e	0.52 ± 0.01 e	0.57 ± 0.06 b	0.08 ± 0.00 c
CF	12.20 ± 0.53 d	2.57 ± 0.06 d	45.43 ± 1.07 b	15.00 ± 0.00 b	7.27 ± 0.31 d	0.73 ± 0.03 d	0.68 ± 0.04 a	0.10 ± 0.01 bc
T_1	14.10 ± 0.66 c	2.76 ± 0.09 c	47.47 ± 1.70 ab	15.33 ± 1.15 b	8.43 ± 0.15 c	0.84 ± 0.02 c	0.74 ± 0.06 a	0.12 ± 0.01 bc
T_2	15.90 ± 0.78 b	2.93 ± 0.04 b	48.87 ± 1.36 a	16.00 ± 0.00 ab	9.62 ± 0.16 b	0.96 ± 0.02 b	0.70 ± 0.03 a	0.09 ± 0.02 ab
T_3	15.20 ± 0.72 bc	2.85 ± 0.06 bc	48.07 ± 1.40 a	16.00 ± 1.00 ab	9.36 ± 0.17 b	0.93 ± 0.02 b	0.73 ± 0.06 a	0.11 ± 0.02 ab
T_4	17.17 ± 0.76 a	3.10 ± 0.11 a	49.10 ± 1.95 a	17.00 ± 0.00 a	10.46 ± 0.23 a	1.07 ± 0.04 a	0.93 ± 0.02 a	0.13 ± 0.03 a

注：表中数据表示平均值±标准偏差。同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平，下同。

2.2 喷施不同肥料对白菜生物学性状的影响

不同处理对白菜生物学性状的影响如表 2 所示。在株高、叶长和叶绿素 SPAD 值方面， T_4 处理与 T_2 处理间无显著性差异，但均显著优于 T_3 、 T_1 、CF 和 CK，表明微量元素的添加能够促进白菜的株高、叶长和叶绿素含量，其中 T_4 处理要优于 T_2 处理，表明

功能菌同样起到了促生作用。在叶片数和叶宽方面， T_4 、 T_3 、 T_2 和 T_1 之间均无显著性差异，但均显著优于 CK，且 $T_4>T_3>T_2>T_1$ 。在地上部鲜物质质量和干物质质量方面， $T_4>T_3>T_2>T_1>CF>CK$ ，且 T_4 显著优于除 T_2 外其他处理和对照，表明功能菌和微量元素的添加均起到了促生效果。在地下部鲜物质质量方面，

表 2 不同处理对白菜生物学性状的影响
Table 2 Effects of different fertilization treatments on cabbage biological traits

处理	株高 (cm)	叶片数	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	SPAD 值	地上部鲜 物质质量(g)	地上部干 物质质量(g)	地下部鲜 物质质量(g)	地下部干 物质质量(g)
CK	19.17 ± 0.76 e	12.00 ± 0.00 c	18.17 ± 0.76 e	11.60 ± 0.79 c	29.20 ± 0.95 b	36.85 ± 2.01 d	3.67 ± 0.21 d	0.30 ± 0.06 b	0.14 ± 0.03 b
CF	21.00 ± 1.00 d	13.67 ± 0.58 b	20.00 ± 1.00 d	12.30 ± 0.30 bc	30.17 ± 0.85 ab	45.64 ± 4.14 c	4.53 ± 0.40 c	0.45 ± 0.06 a	0.20 ± 0.02 ab
T_1	22.17 ± 1.04 cd	14.00 ± 1.00 ab	21.17 ± 1.04 cd	12.83 ± 0.61 ab	30.80 ± 0.78 ab	50.64 ± 0.40 b	5.07 ± 0.04 b	0.59 ± 0.11 a	0.27 ± 0.07 a
T_2	24.00 ± 1.00 ab	14.00 ± 0.00 ab	23.00 ± 1.00 ab	13.13 ± 0.12 ab	31.73 ± 0.86 a	57.31 ± 4.01 ab	5.73 ± 0.40 ab	0.56 ± 0.08 a	0.25 ± 0.05 a
T_3	23.17 ± 0.76 bc	14.00 ± 0.00 ab	22.17 ± 0.76 bc	12.93 ± 0.51 ab	30.90 ± 1.01 ab	55.17 ± 1.26 bc	5.53 ± 0.15 bc	0.52 ± 0.05 a	0.22 ± 0.03 ab
T_4	25.17 ± 0.80 a	15.00 ± 1.00 a	24.17 ± 0.80 a	13.67 ± 0.35 a	32.43 ± 2.05 a	61.67 ± 2.52 a	6.17 ± 0.26 a	0.55 ± 0.04 a	0.25 ± 0.04 a

CF、T₁、T₂、T₃和 T₄处理间均没有显著性差异,但均与 CK 处理存在显著性差异。在地下部干物质质量方面,T₄、T₃、T₂、T₁、CF、CK 之间均无显著性差异,但 T₄、T₂和 T₁显著优于 CK。

2.3 不同处理对辣椒和白菜叶际中芽孢杆菌数量的影响

不同处理对辣椒叶际中芽孢杆菌数量的影响如图 1A 所示,T₃和 T₄处理间无显著性差异,但显著高于 T₁、T₂、CF、CK 处理;T₁与 T₂和 CK 处理间均无显著性差异,但显著高于 CF 处理,且 T₂、CF 和 CK 间无显著性差异。

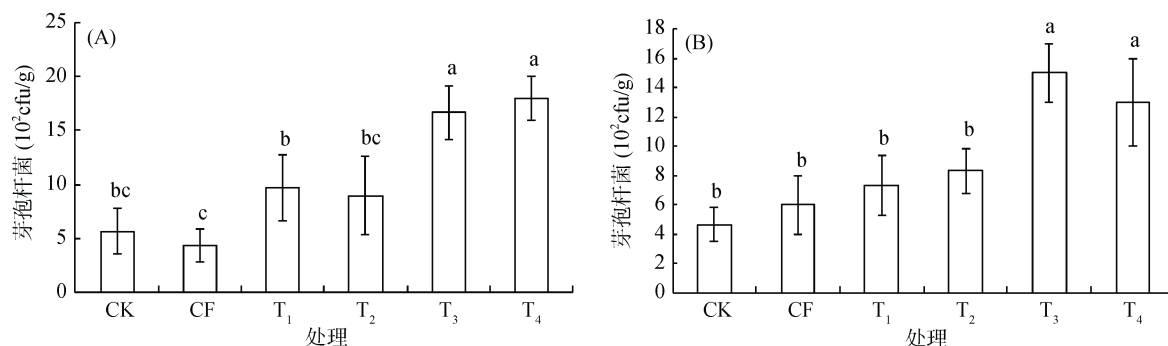
2.4 不同处理对辣椒叶际中可培养微生物数量的影响

不同处理对辣椒叶际中可培养细菌数量的影响如图 2A 所示,T₄和 T₃处理间无显著性差异,但显著高于

其他处理;T₁和 T₂处理均与 CK 存在显著性差异,但 T₁、T₂和 CF 处理间无显著性差异;CF 和 CK 间无显著性差异。不同处理对辣椒叶际中可培养真菌数量的影响如图 2B 所示,CK 与 CF 处理间无显著性差异,但高于其他处理;CF、T₁、T₂和 T₃处理间无显著性差异。

不同处理对白菜叶际中芽孢杆菌数量的影响如图 1B 所示,T₃和 T₄处理间无显著性差异,但显著高于 T₂、T₁、CF 和 CK,且 T₁、T₂、CF、CK 处理间无显著性差异。

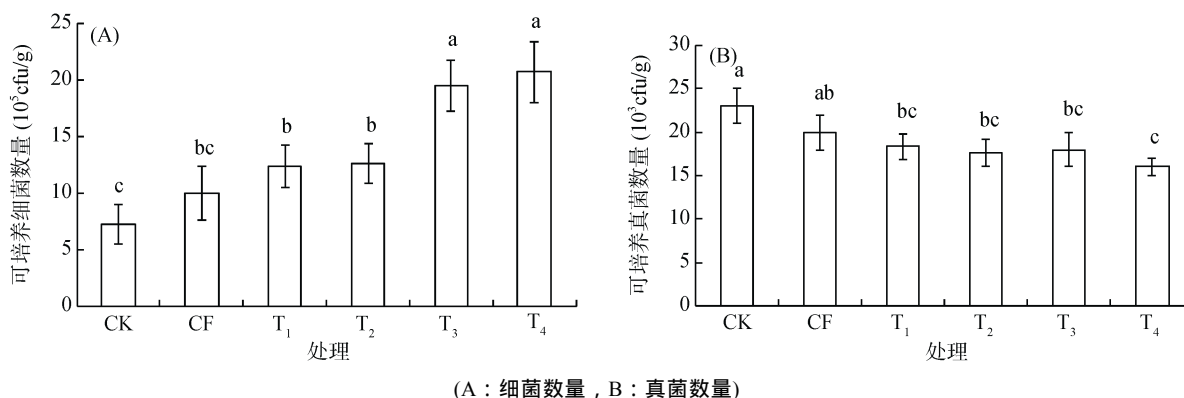
结果表明,含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料能够提高辣椒和白菜叶际中芽孢杆菌的数量(T₃和 T₄处理),且含化肥+氨基酸+糖蜜+微量元素+SQR9 的复合微生物液体肥料的效果最佳,推测 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 在辣椒和白菜叶际得到了有效定殖。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平,下同)

图 1 不同处理对辣椒(A)和白菜(B)叶际中芽孢杆菌数量的影响

Fig.1 Effects of different treatments on *Bacillus* population in pepper and cabbage phyllosphere



(A: 细菌数量, B: 真菌数量)

图 2 不同处理对辣椒叶际中可培养微生物数量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on culturable microbial population in pepper phyllosphere

2.5 不同处理对白菜叶际中可培养微生物数量的影响

不同处理对白菜叶际中可培养细菌数量的影响如图 3A 所示,T₃和 T₄处理间无显著性差异,但显著高于

T₂、CF 和 CK 处理;T₁、T₂和 CF 处理间无显著性差异;T₁显著高于 CK。不同处理对白菜叶际中可培养真菌数量的影响如图 3B 所示,CK 和 CF 高于 T₁、T₂、T₃和 T₄处理,且 CK 与各施有机肥处理间具有显著性差异。

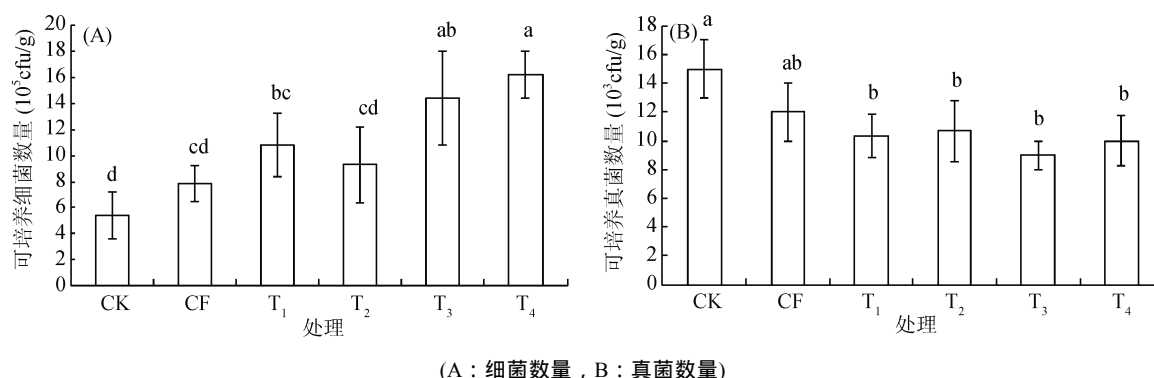


图 3 不同处理对白菜叶际中可培养微生物数量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on culturable microbial population in cabbage phyllosphere

3 讨论

辣椒和白菜的盆栽试验结果表明,综合各项指标,添加了功能菌的水溶肥料的效果均要优于未添加的,功能菌 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 促进植物生长的效果已经在多种作物上被证明^[27-28],本研究进一步表明叶面喷施 SQR9 菌株同样能够有效促进植物的生长,研究结果能够为根际有益菌应用范围的拓宽提供依据。添加了微量元素的水溶肥料同样体现出优异的促生作用,微量元素是作物体内很多化学反应中所必需酶或辅酶的重要组成部分,对植物的生长发育起着至关重要的作用^[29],刘广富等^[30]的研究同样表明,在辣椒种植过程中添加微量元素肥料能够有效提高辣椒生物学性状、产量和品质。同时添加了氨基酸、微量元素和功能菌 SQR9 的 T₄ 处理比其他处理(CF、T₁、T₂、T₃)和对照(CK)更要优异,其更能够促进辣椒和白菜的生长,提高辣椒和白菜的生物学性状,推断是氨基酸、微量元素和功能菌株的协同作用,氨基酸同样已经被广泛证明能够有效促进植物的生长^[31-32],王蓓等^[33]研究表明,在辣椒和豇豆叶面喷施氨基酸水溶肥料能够有效提高它们的产量,本研究进一步证实了联合多种促生因子,能够进一步提高叶面水溶肥的促生效果,为高效叶面水溶肥的开发提供了依据。

对辣椒和白菜叶际中芽孢杆菌的数量测定结果表明,含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 水溶肥料(T₃和 T₄ 处理)喷施到辣椒和白菜叶部后,提高了辣椒和白菜叶际中芽孢杆菌的数量,推测增加的芽孢杆菌中含有试验添加的 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9。谢兰芬等^[34]研究表明,在玉米叶片上喷雾解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 菌液后,能够在玉米叶片上检测到该菌株,说明解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 能够在玉米叶际有效定殖。因此,根据叶际芽孢杆菌数量增

加,表明功能菌在叶际的有效定殖是新型水溶肥叶际发挥作用的重要原因。

植物的叶、茎、花、果等地上有效部分组成的生境统称为叶际,生存在其表面和内部的大量的各种类型的微生物称为叶际微生物^[35],它们发挥着重要的生态功能,能改变宿主微环境、防御病害、促进生长、降解有害污染物和固氮^[36-39]等。本研究在获得促生效应的同时,初步研究了叶面喷施含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料对辣椒和白菜叶际可培养微生物数量的影响。结果表明,喷施该肥料能显著提高辣椒和白菜叶际中细菌的数量,降低真菌的数量。有大量研究表明,细菌生物有机肥施用后能促进根际土壤中细菌和放线菌的增殖,降低真菌数量,进而改善微生物群落结构^[21, 41-42]。因此,初步推测含 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 复合微生物液体肥料的施用,同样能够改善叶际微生物群落结构,改善微生物环境。

综上,叶面喷施以解淀粉芽孢杆菌 SQR9 为目标菌株,酸解废弃猪毛所制成的氨基酸为主要原料、并螯合一定量的微量元素、配比一定量的养分和糖蜜研制成的复合微生物液体肥料可有效促进辣椒和白菜的生长,改变辣椒和白菜叶际微生物组成。

参考文献:

- [1] 吴正肖. 复合微生物肥料研制与效果研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017
- [2] 中华人民共和国农业部. 复合微生物肥料(NY798-2015)[S]. 北京: 标准出版社, 2015
- [3] 王素英, 陶光灿, 谢光辉, 等. 我国微生物肥料的应用研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 14-18
- [4] 常换换, 张立猛, 崔永和, 等. 微生物肥料在中国烤烟生产中的应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(10): 214-220

- [5] 孟瑶, 徐凤花, 孟庆有, 等. 中国微生物肥料研究及应用进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 276–283
- [6] 范丙全. 我国生物肥料研究与应用进展[J]. 植物营养与肥科学报, 2017, 23(6): 1602–1613
- [7] 吴建峰, 林先贵. 我国微生物肥料研究现状及发展趋势[J]. 土壤, 2002, 34(2): 68–72
- [8] 权国玲, 谢开云, 仝宗永, 等. 复合微生物肥料对羊草草原土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(2): 27–36
- [9] 江燕霞. 微生物液体肥料 SP-100 在油菜、菠菜、黄瓜上的应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009
- [10] 邵铖. 添加解淀粉芽孢杆菌 SQR9 的含氨基酸水溶肥研制及促生效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016
- [11] 宋亚, 林肖剑. 不同复合微生物肥料在小白菜上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2015(23): 62–63
- [12] 杨岩荣, 翟丙年, 王旭东. 专用叶面肥对黄瓜产量和经济性状的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 135–138, 144
- [13] 李燕婷, 李秀英, 等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 162–172
- [14] Gray E J, Smith D L. Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 37(3): 395–412
- [15] 胡江春, 薛德林, 马成新, 等. 植物根际促生菌(PGPR)的研究与应用前景[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1963–1966
- [16] Kloepper J W, Rodriguez-Ubana G W, Zehnder B, et al. Plant root bacterial interactions in biological control of soil-borne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases[J]. Australasian Plant Pathology, 1999, 28: 21–26
- [17] 曹云. SQR9 微生物有机肥防治黄瓜枯萎病的效应与机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
- [18] Cao Y, Zhang Z H, Ling N, et al. *Bacillus subtilis* SQR9 can control *Fusarium* wilt in cucumber by colonizing plant roots[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 7: 495–506
- [19] 张楠, 吴凯, 沈怡斐, 等. 根际益生菌解淀粉芽孢杆菌 SQR-9 在香蕉根表的定殖行为研究[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(6): 59–65
- [20] 梁晓琳, 孙莉, 张娟, 等. 利用 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 研制复合微生物肥料[J]. 土壤, 2015, 47(3): 558–563
- [21] 何欣, 郝文雅, 杨兴明, 等. 生物有机肥对香蕉植株生长和香蕉枯萎病防治的研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2010, 16(4): 978–985
- [22] Wang B B, Yuan J, Zhang J, et al. Effects of novel bioorganic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of *Fusarium* wilt of banana[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49: 435–446
- [23] Turner J T, Backman P A. Factors relating to peanut yield increases after seed treatment with *Bacillus subtilis*[J]. Plant Disease, 1991, 75: 347–353
- [24] 沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [25] 周育, 乔雄梧, 王静, 等. 植物叶际微生物提取方法研究[J]. 植物研究, 2006(2): 2233–2237
- [26] 范秀容, 沈萍, 李广武. 微生物学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999
- [27] Zhang M, Shi J J, Cao L L, et al. Algal sludge from Taihu Lake can be utilized to create novel PGPR-containing bio-organic fertilizers[J]. Journal of Environmental Management, 2014, 132: 230–236
- [28] 袁玉娟. *Bacillus subtilis* SQR9 的黄瓜促生和枯萎病生防效果及其作用机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
- [29] 孙传梅. 微量元素锌、锰螯合肥的施用效果[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
- [30] 刘广富, 李伟, 李新柱, 等. 微量元素对辣椒生长和产量的影响[J]. 作物杂志, 2013(4): 80–82
- [31] Nsholm T, Ekblad A, Nordin A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392: 914–916
- [32] Kinnerseely A M, Robert C D, Kinnerseely C Y, et al. Method for increasing fertilizer efficiency[P]. Unite States Patent: 5840656, 1998
- [33] 王蓓, 高旭, 王甜甜, 等. 叶面喷施含氨基酸水溶肥料在辣椒和豇豆上的肥效[J]. 土壤, 2017, 49(4): 692–698
- [34] 谢兰芬, 何鹏飞, 吴毅歆, 等. 解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 在玉米叶际定殖能力的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(5): 827–834
- [35] Lindow S E, Brandl M T. Microbiology of the phyllosphere[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2003, 69(4): 1875–1883
- [36] Sandhu A, Halverson L J, Beattie G A. Bacterial degradation of airborne phenol in the phyllosphere[J]. Environmental Microbiology, 2007, 9(2): 383–392
- [37] Krimm U, Abanda-Nkpaw D, Schwab W, et al. Epiphytic microorganisms on strawberry plants (*Fragaria ananassa* cv. *Elsanta*): Identification of bacterial isolates and analysis of their interaction with leaf surfaces[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2005, 53(3): 483–492
- [38] Vorholt J A. Microbial life in the phyllosphere[J]. Nature Reviews Microbiology, 2012, 10(12): 828–840
- [39] Luo J, Ran W, Hu J, et al. Application of Bio-organic fertilizer significantly affected fungal diversity of soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(6): 2039–2048
- [40] 王小慧, 张国漪, 李蕊, 等. 拮抗菌强化的生物有机肥对西瓜枯萎病的防治作用[J]. 植物营养与肥科学报, 2013, 19(1): 223–231
- [41] 高雪莲, 邓开英, 张鹏, 等. 不同生物有机肥对甜瓜土传枯萎病防治效果及对根际土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(6): 55–60
- [42] Shen Z Z, Zhong S T, Wang Y G, et al. Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality[J]. European Journal of Soil Biology, 2013, 57: 1–8

Foliar Spraying of Liquid Compound Microbial Fertilizer Containing *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 Promoted Plant Growth

LU Yunfeng¹, XU Hang¹, DUAN Huatai¹, MEI Xinlan¹, LI Rong^{1*}, GUAN Xiaojin^{2*},
ZHANG Nan¹, SHEN Qirong¹

(1 Jiangsu Key Laboratory of Solid Organic Waste Utilization/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization / National Engineering Research Center for Organic-based Fertilizer / College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China)

Abstract: This research aims to study the effects of foliar spraying of compound microbial liquid fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 on the plant growth for developing a novel application mode of plant growth-promoting rhizobacteria and a novel foliage liquid fertilizer. Pepper and cabbage were selected as the tested model crops, and pot experiments were performed containing 6 treatments: spraying with water (CK), water soluble chemical fertilizer (CF), water soluble fertilizer containing chemical fertilizer, amino acids, and molasses (T₁), water soluble fertilizer containing chemical fertilizer, amino acids, molasses, and microelement (T₂), water soluble fertilizer containing chemical fertilizer, amino acids, molasses, and strain SQR9(T₃), liquid compound microbial fertilizer containing chemical fertilizer, amino acids, molasses, microelement, and strain SQR9(T₄). Pot experiment results showed that compared to the other five treatments (CK, CF, T₁, T₂, T₃), T₄ treatment efficiently promoted pepper and cabbage growth by improving their biological characters; and the results from the number of cultural microbes showed that compared to CK and CF, the other four treatments (T₁, T₂, T₃, T₄), after application of strain SQR9 containing fertilizers effectively enhanced the number of *Bacillus* and led to greater impact on the culturable microbial population in pepper and cabbage phyllosphere with the greatest influence for T₄ treatment. In conclusion, the liquid compound microbial fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 can effectively promote the growth of pepper and cabbage by foliar spraying.

Key words: *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9; Microelement; Foliar spraying; Pepper; Cabbage; Compound microbial liquid fertilizer