

武杞蔓,刘朋宇,张颖,等.微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响[J].江苏农业科学,2022,50(24):125-130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.24.018

微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响

武杞蔓¹,刘朋宇²,张颖¹,李玥莹¹

(1. 沈阳师范大学生命科学学院,辽宁沈阳 110034; 2. 沈阳市食品药品检验所,辽宁沈阳 110122)

摘要:为研究微生物菌肥在设施栽培番茄上的实施效果与作用,以番茄品种 185 为供试材料,以微生物菌肥宁盾为供试菌肥,设定对照(CK)、宁盾 A 液灌根(T_1)、宁盾 B 液喷施(T_2)、宁盾 A 液与 B 液配合施用(T_3)4 个处理,研究微生物菌肥对番茄植株生长发育、增产增收、果实品质及糖代谢相关酶活性的影响。结果表明,微生物菌肥能够显著增加番茄植株产量,改善番茄果实品质,提高叶片叶绿素含量,其中以宁盾 A 液、宁盾 B 液配合施用的效果最佳,与对照相比番茄产量增加了 14.4%,叶绿素含量提高了 9.9%,可溶性糖含量增加了 55.1%。除此之外,微生物菌肥能显著促进番茄植株生长、提高番茄果实中糖代谢相关酶的活性,以单独浇灌宁盾 A 液促进株高、茎粗增长的效果最好,其蔗糖合成酶、磷酸蔗糖合成酶、酸性转化酶活性分别比对照提高了 44.4%、49.1%、35.4%。由此可见,微生物菌肥能够通过调节番茄中 4 种与蔗糖代谢相关酶的活性,提高番茄果实中可溶性糖含量,从而改善果实的营养品质,增加番茄果实中的营养物质含量。

关键词:微生物菌肥;番茄;生长;品质;糖代谢相关酶

中图分类号:S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)24-0125-06

番茄作为常规蔬菜的一种,有较高的营养价值,又兼具价格便宜、味道酸甜且食用方法丰富等特点,深受全球人民的喜爱。此外,番茄拥有特殊的抗氧化能力,有助于消除引起人体细胞老化、病变的自由基,从而控制了人类前列腺细胞的致癌进程,也因此有效降低了胰腺等器官中恶性肿瘤的增殖风险^[1]。因此,番茄已经成为人们日常生活中不

可或缺的食物。但是最近几年来,随着可控环境农业的发展与人民思想觉悟、生活质量的提高,人们对于农产品的要求越来越高,番茄的口感品质、对人体是否有伤害都是人们担忧的问题。

近年来,研究者把目光投向了根际土壤-微生物-植物三者之间的相互作用上,探索这三者之间在代谢产物、酶活性和基因调控方面的关系对于植株的生长繁殖、土壤根系环境的稳定都有着极其重要的作用。根际微生物群落就是宿主植物在自然土壤环境中通过根系吸引并筛选特定微生物群落而形成的部分微生物类群^[2]。有研究发现,宿主植物在生长发育的过程中,为了提高其在大自然中的生存能力,会自发地调控自身代谢物分泌进而调控根际微生物群落的组成以适应自身的发育过程。

收稿日期:2022-01-12

基金项目:辽宁省科学技术基金博士启动项目(编号:20170520357);

辽宁省科学计划(编号:2017208001);辽宁省重点研发计划(编号:2018103004)。

作者简介:武杞蔓(1997—),女,辽宁葫芦岛人,硕士研究生,主要从事生物化学与分子生物学研究。E-mail:1730056486@qq.com。

通信作者:张颖,博士,副教授,主要从事设施逆境栽培研究。E-mail:f5944@163.com。

[19]齐红岩,李天来,张洁,等.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.

[20]黄红荣,李建明,张军,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄光合、产量和干物质分配的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):6-12.

[21]高方胜,徐坤,徐立功,等.土壤水分对番茄生长发育及产量品质的影响[J].西北农业学报,2005,14(4):69-72.

[22]雷震.水分-沸石耦合调控策略对番茄生长特性影响研究[D].太原:太原理工大学,2021:20-25.

[23]李长洪,李华兴,张新明.天然沸石对土壤及养分有效性的影响[J].土壤与环境,2000(2):163-165.

[24]Szatanik-Kloc A, Szerement J, Adamczuk A, et al. Effect of low zeolite doses on plants and soil physicochemical properties[J]. Materials, 2021, 14(10):2617.

[25]迟道才,孙一迪,吴奇,等.肥与沸石对节水稻作产量及氮素吸收利用的影响[J].沈阳农业大学学报,2015,46(5):588-595.

[26]申宇,李乐雷.节水灌溉新技术应用现状与进展研究[J].中国农业信息,2017(18):77-78.

王梦姣等发现,用土壤-植物-根际微生物的共同作用来修复被有机物污染的土壤环境是净化土壤最有效的方式^[3]。宿主植物与根际附着的微生物之间似乎形成了一种类似互惠互利的关系,有些微生物类群与植物的基因型保持着协同性,证明了某些特定微生物与植物之间存在共进化关系^[4]。已有研究发现,大多数根际促生菌均具有固定氮元素、溶解磷元素磷和产生吲哚乙酸的作用^[5];ACC 脱氨酶(1-氨基环丙烷-1-羧酸脱氨酶)活性是植物根际促生微生物在盐胁迫下促进植物生长的主要机制^[6]。在农业生产中,通过调节植物根际附着的微生物群落的组成来调控植物生长发育或增加作物产量的方法已经得到了大范围应用,微生物菌肥会在今后的市场中占有举足轻重的地位。

微生物菌肥具有众多优势,如活化有机质、增强土壤酶活力、改善果实营养品质、增加作物产量、促进生长发育、减少环境污染等^[7],能够解决我国当前农业发展中遇到的很多重大问题,为有机农业生产的未来提供更多可能,符合我国向生态型农业发展的趋势。本研究通过施加微生物菌肥提高根际微生物菌群的丰度,从而促进番茄植株生长发育、提高产量、改善品质,探究微生物与植物之间在生理生化和基因层面的互作关系,旨在为我国微生物菌肥在番茄上的应用奠定理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为 185,果实为大果红果,供试微生物菌肥为南京农业大学研发的农用微生物菌剂宁盾 A 液与宁盾 B 液,有效成分为芽孢杆菌,有效活菌数≥20 亿/mL。宁盾 A 液灌根使用,主要功能是防治根结线虫病、提高基肥的肥效、促进作物生长、增产增收;宁盾 B 液喷施使用,主要功能是促进作物生长、提高作物免疫力和抗逆能力、延长果蔬自然保鲜期。

1.2 试验方法

试验采用随机区组设计,共设 4 个处理,每个处理设 3 次重复。具体试验设计见表 1,各处理除微生物菌肥不同外,其他底肥、追肥等栽培方式同正常番茄栽培管理方式,分别为空白对照(CK),不施用微生物菌剂,正常栽培管理;T₁ 处理,只施用宁盾 A 液;T₂ 处理,只施用宁盾 B 液;T₃ 处理,施用宁盾 A 液+宁盾 B 液。

表 1 番茄菌肥试验设计及菌肥施用安排

试验处理	菌肥施用情况	
	宁盾 A 液	宁盾 B 液
CK	-	-
T ₁	+	-
T ₂	-	+
T ₃	+	+

注:-表示未施用;+表示施用。

本试验于 2020 年 9 月 3 日至 2021 年 1 月 7 日在沈阳师范大学日光温室内进行,2020 年 9 月 3 日将番茄 185 定植于体积为 20 L 的栽培盆中,草炭、蛭石体积比为 2:1,底肥为 3 000 mg/L 腐熟鸡粪。种植期间将宁盾 A 液稀释 200 倍后,每间隔 30 d 浇灌于番茄根部(定植时第 1 次浇灌宁盾 A 液);将宁盾 B 液稀释 200 倍每间隔 10 d 后喷施于番茄茎叶间(9 月 22 日第 1 次喷施宁盾 B 液),其他栽培及田间管理同各处理。于 2020 年 12 月 2 日至 2021 年 1 月 7 日采收。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标、叶绿素含量及产量的测定 在番茄定植当天第 1 次浇灌宁盾 A 液,20 d 后(9 月 22 日)使用常规方法测定株高、茎粗、叶片数^[8],每隔 5 d 测 1 次计算增长量;在番茄成熟期用电子天平测定果实产量,苗期、成熟期用 502 Plus 型手持 SPAD 仪测定叶绿素含量^[9]。

1.3.2 番茄果实品质的测定 在番茄成熟期,各处理选取第 1 穗花的果实测定可溶性糖、可溶性蛋白质、可溶性固形物、有机酸、硝酸盐和维生素 C 含量。采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[10],采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质含量^[11],采用爱拓牌数显糖度计 PAL-1 测定可溶性固形物含量^[12],采用氢氧化钠滴定法测定有机酸含量^[13],采用硫酸水杨酸法测定硝酸盐含量^[14],采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量^[15]。

1.3.3 番茄果实中蔗糖代谢相关酶活性的测定 试验共测定 4 种酶,分别是蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI),测定参照韩启厚的方法^[16]。

1.4 数据处理

用 Excel 2010 进行数据处理,用 SPSS Statistics 17.0 进行单因素方差分析和显著性检验,最后用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 微生物菌肥对设施番茄生长指标的影响

由表 2 可以看出,与 CK 相比,施用微生物菌肥各个处理的番茄株高、茎粗增长量都有显著提高,叶片数增长量并没有受到显著影响。在 2020 年 9 月 22—27 日(宁盾 A 处理 24 d 后,宁盾 B 处理 5 d 后), T_1 、 T_2 、 T_3 处理的株高增长量分别比对照增加了 55.2%、23.7%、39.5%,并且 T_1 与 CK 差异显著;在 2020 年 9 月 27 日至 10 月 2 日, T_1 、 T_2 、 T_3 处理的株高增长量分别比对照增加 16.3%、22.5%、6.1%,但差异不显著,此时处于宁盾 A 处理 30 d 后、宁盾 B 处理 10 d 后,宁盾 A 与宁盾 B 已经不发挥作用;在 2020 年 10 月 2—7 日(第 2 次施用宁盾

A 处理 5 d 后,第 2 次喷施宁盾 B 处理 5 d 后), T_1 、 T_2 、 T_3 处理的株高增长量分别比对照显著增加 104.7%、33.3%、52.4%。由此可见,微生物菌肥处理能够促进植株株高的增加,在微生物菌肥处理前期的促生作用最佳,以 T_1 处理的效果最好。植株茎粗在用微生物菌肥处理后得到了显著增加,在 2020 年 9 月 22—27 日, T_1 、 T_2 、 T_3 处理的茎粗增长量分别比对照显著增加 82.2%、52.5%、18.1%;在 2020 年 9 月 27 日至 10 月 2 日, T_1 、 T_2 、 T_3 处理的茎粗增长量分别比对照显著增加 18.6%、56.6%、61.1%;在 2020 年 10 月 2—7 日, T_1 、 T_2 处理的茎粗增长量分别比对照显著增加 53.5%、35.4%。由此可见,微生物菌肥的确具有促生作用,能够显著增加植株的株高与茎粗,以 T_1 处理的效果最佳。

表 2 微生物菌肥对番茄生长指标的影响

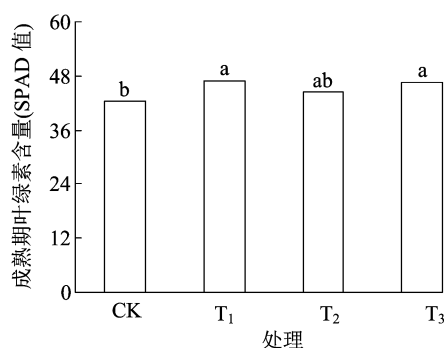
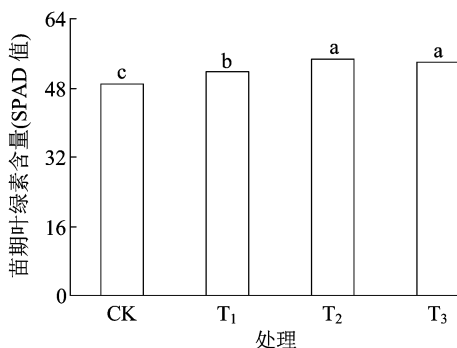
处理	株高增长量(cm)			茎粗增长量(mm)			叶片数增长量(张)		
	9 月 22— 27 日	9 月 27 日— 10 月 2 日	10 月 2— 7 日	9 月 22— 27 日	9 月 27 日— 10 月 2 日	10 月 2— 7 日	9 月 22— 27 日	9 月 27 日— 10 月 2 日	10 月 2— 7 日
CK	12.67±2.89b	16.33±2.31a	7.00±1.73c	0.997±0.09c	0.447±0.03b	0.480±0.03b	1.00±0.00a	2.00±0.00a	1.00±0.00a
T_1	19.67±2.31a	19.00±1.73a	14.33±1.15a	1.817±0.25a	0.530±0.05b	0.737±0.08a	1.33±0.58a	1.67±0.58a	1.00±0.00a
T_2	15.67±0.58ab	20.00±3.46a	9.33±1.15b	1.520±0.14b	0.700±0.07a	0.650±0.07a	1.67±0.58a	1.67±0.58a	0.00±0.00a
T_3	17.67±2.31ab	17.33±2.89a	10.67±0.58b	1.177±0.08c	0.720±0.05a	0.453±0.05b	1.33±0.58a	1.67±0.58a	1.00±0.00a

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2 微生物菌肥对设施番茄叶绿素含量和产量的影响

由图 1 可以看出,番茄苗期 T_1 、 T_2 、 T_3 处理的叶片叶绿素含量分别比对照提高了 5.9%、11.6%、9.9%,成熟期各处理的叶片叶绿素含量分别比对照

提高了 10.8%、5.0%、9.9%,说明施用微生物菌肥处理显著提高了番茄叶片的叶绿素含量。单独施用宁盾 A、宁盾 B 对番茄叶片叶绿素含量都有不同程度的提高效果,但是宁盾 A、宁盾 B 配合施用的综合表现效果最好,发挥作用的时间最长。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下图同

图 1 微生物菌肥对番茄叶绿素含量的影响

由表 3 可知,施用微生物菌肥能够提高番茄产量, T_1 、 T_2 、 T_3 处理的平均产量分别比 CK 提高了 1.6%、

12.2%、14.4%,但差异不显著。施用微生物菌肥后能不同程度地提高番茄产量,以 T_3 处理的产量最高。

表 3 微生物菌肥对番茄产量的影响

处理	果数 (个)	产量 (g)	单株产量 (g)
CK	36	2 745	305.00a
T ₁	38	2 790	310.00a
T ₂	42	3 080	342.22a
T ₃	42	3 140	348.89a

2.3 微生物菌肥对设施番茄果实品质的影响

由图 2 可知,用微生物菌肥处理后,各处理果实中维生素 C、可溶性糖、硝酸盐含量与对照相比的差异都达到了显著水平,T₁、T₂、T₃ 处理的维生素 C 含量分别比对照增加了 14.2%、18.5%、22.0%,可溶性糖含量分别比对照增加了 45.8%、52.2%、

55.1%,硝酸盐含量分别比对照降低了 16.5%、29.1%、14.3%。各处理果实中的有机酸含量、可溶性固形物含量没有显著差异,但糖酸比分别比对照提高了 76.7%、75.0%、75.0%。

可溶性糖含量包括蔗糖、葡萄糖和果糖,果实中积累的糖含量越高,说明果实的品质越好。从图 2 可以看出,番茄果实中可溶性糖含量表现为 T₃ 处理>T₂ 处理>T₁ 处理>CK 处理,有机酸含量表现为 CK 处理>T₂ 处理>T₃ 处理>T₁ 处理,糖酸比表现为 T₁ 处理>T₃ 处理>T₂ 处理>CK 处理,说明施用微生物菌肥后,番茄果实中积累的可溶性糖含量增加,糖酸比显著提高,果实品质得到了明显改善,可能是通过酶的调控来实现的。

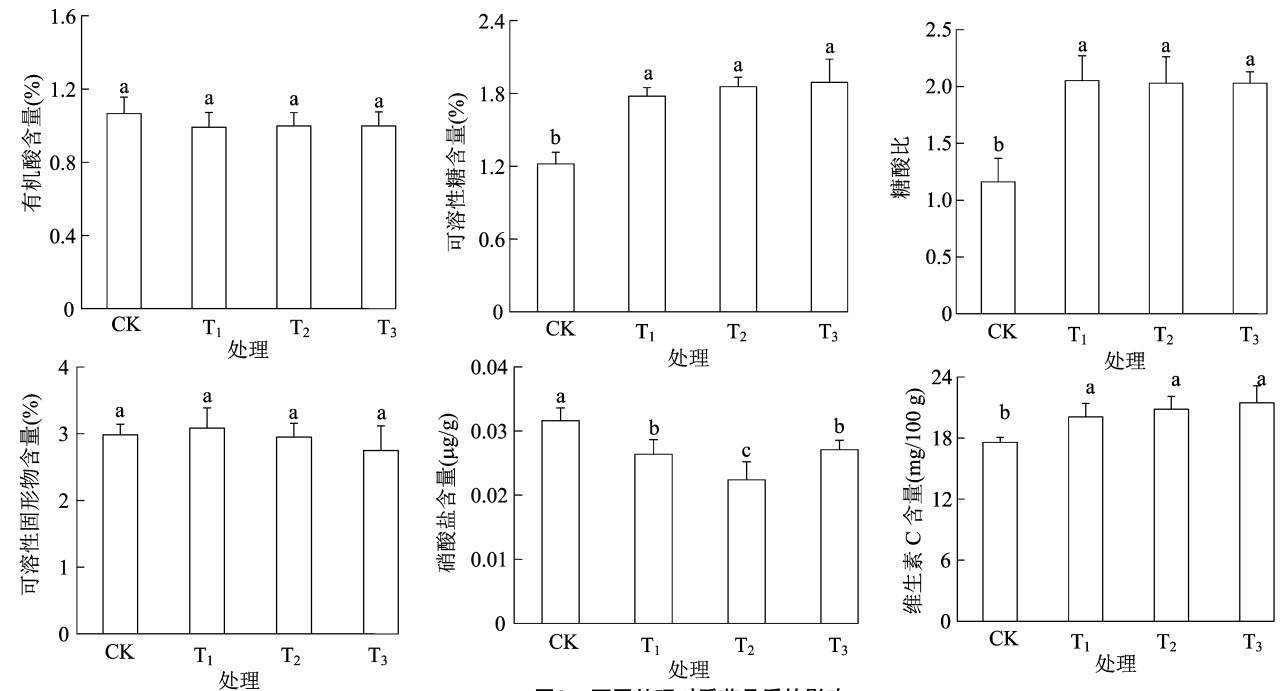


图2 不同处理对番茄品质的影响

2.4 微生物菌肥对番茄果实中蔗糖代谢相关酶的影响

由图 3 可知,微生物菌肥处理显著提高了番茄果实中蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)的活性,其中 T₁、T₂、T₃ 处理的 SS 活性分别比 CK 处理提高了 44.4%、39.9%、26.6%,T₁ 处理的 SPS 活性比对照提高了 49.1%,而 T₂、T₃ 处理的 SPS 活性与对照相比均提高了 2 倍。由此可见,微生物菌肥通过增强 SS、SPS 活性,提高番茄果实中的蔗糖合成速率,从而使储存在果实中的糖含量增多,改善果实品质。微生物菌肥处理对酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)的活性同样具有显著影响,其中 AI

活性与对照相比显著提高,T₁、T₂、T₃ 处理分别比对照提高了 35.4%、80.6%、42.8%,而 NI 活性与对照相比显著降低,T₁、T₂、T₃ 处理分别比 CK 处理降低了 29.3%、55.1%、61.3%。由此可见,微生物菌肥处理提高了番茄果实中酸性转化酶活性,降低了中性转化酶活性,从而提高了蔗糖被分解成果糖、葡萄糖的速率,加速了糖的积累。

3 结论与讨论

微生物菌肥中含有大量枯草芽孢杆菌等植物根际促生菌,浇灌到土壤中后,通过小分子的运动和分泌次生代谢产物的作用,能够调节植物根系微

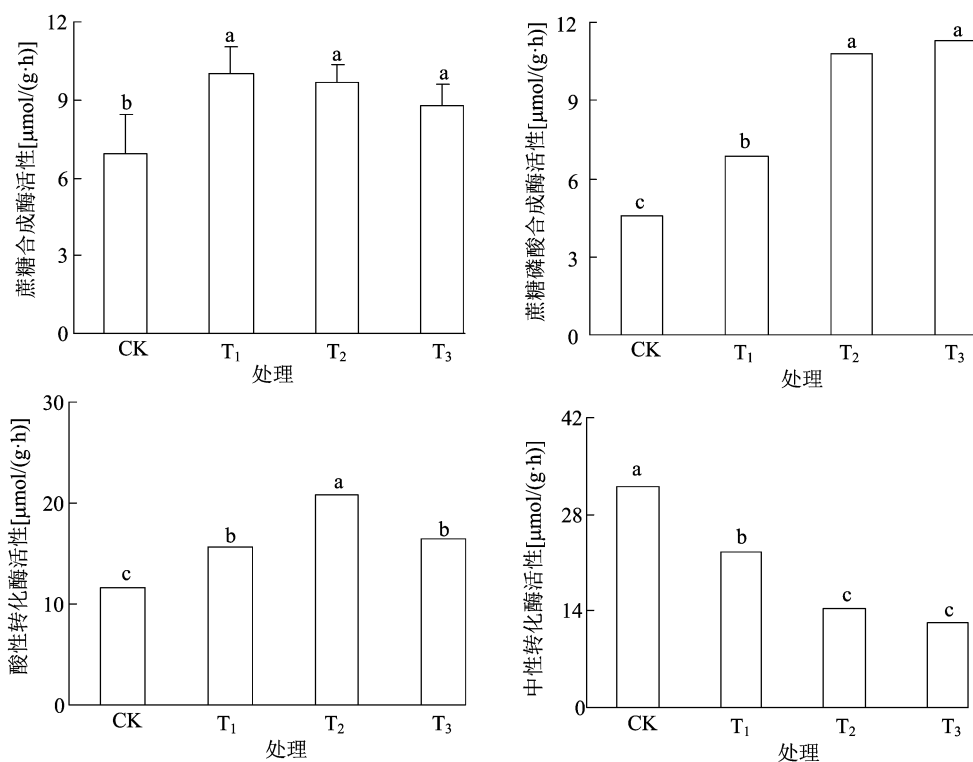


图3 不同处理对番茄蔗糖代谢酶活性的影响

生物群落的组成,从而迅速适应土壤环境,提高土壤透气度^[17],改善土壤板结状况,增强土壤肥沃度^[7],增加土壤养分,进而达到促进植物生长、提高作物产量的效果。

本试验结果表明,通过施用宁盾 A 液(T₁ 处理)和喷施宁盾 B 液(T₂ 处理),均可以促进番茄营养生长。此外,单独施用 A 液或喷施 B 液也均能提高番茄产量,说明宁盾 A 液、宁盾 B 液对于促进番茄营养生长、提高产量均有作用。徐宗昌等研究发现,微生物菌肥能够促进烟草的生长发育,提高烟草产量和产值^[18];王书娟等研究发现,施用微生物菌肥能够显著提高番茄生长势,提高番茄坐果率,大幅度提升番茄产量^[19],本研究中微生物菌肥促进番茄生长、提高番茄产量的结果与之一致。此外,施用宁盾 A(T₁ 处理)、喷施宁盾 B(T₂ 处理)及二者互作(T₃ 处理)均能提高番茄果实中的可溶性糖含量、维生素 C 含量,降低硝酸盐含量,在一定程度上改善了番茄的品质,这与余小兰等的研究结果^[20]有相似之处。除此之外,微生物菌肥还可以显著促进白菜的生长发育,提高叶绿素含量、可溶性糖含量和维生素含量^[21],本试验中微生物菌肥提高番茄叶绿素含量、改善果实品质的结果与之一致。

番茄果实中的糖含量是评价番茄质量最主要的

指标之一,番茄光合物质合成、运转和代谢与果实中糖含量的多寡具有密不可分的关系,而光合产物运转的最主要形式是番茄中的蔗糖。蔗糖在进入果实中后主要在蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、酸性转化酶(AI)、中性转化酶(NI)等蔗糖代谢相关酶的作用下转变为果糖、葡萄糖等其他形式储存起来,因此,果实中的可溶性糖含量及蔗糖代谢相关酶的活性与果实品质密切相关^[16]。其中,转化酶的作用是分解蔗糖,SPS 的作用是合成蔗糖,SS 既有合成作用也有分解作用。齐红岩等研究发现,果实通过提高 4 种酶活性来提高蔗糖含量、产量和品质^[22];王丽娟等发现,蔗糖含量与 SS 活性呈显著正相关,果糖、葡萄糖含量与 AI 活性呈显著正相关^[23],本研究中微生物菌肥通过调控 4 种糖代谢相关酶来积累糖的结果与之一致。AI 酸性转化酶主要存在于液泡中,参与果实内糖的积累与运用,NI 大多是一种胞质酶,存在于细胞质中,在果实成熟期 AI 酸性转化酶活性高于 NI 中性转化酶活性^[24]。诸多研究发现,果实发育过程中的转化酶活性与果实中的蔗糖含量呈负相关^[25]。Verma 等分别以高糖、低糖 2 个品种的甘蔗为试验材料,测定叶片中的 AI、NI 活性,结果表明,与高糖品种相比,低糖甘蔗品种叶片中的 AI 活性较高,而 NI 活性较低,且 AI

活性与蔗糖含量呈负相关;相反,叶片中的 NI 活性与蔗糖含量呈正相关^[26]。本试验中微生物菌肥通过增强酸性转化酶活性、降低中性转化酶活性来调控蔗糖的合成与分解,结果与之类似。在本试验中,施用微生物菌肥显著提高了番茄果实中的可溶性糖含量,除此之外,番茄果实中的 SS、SPS、AI 活性均增强,而 NI 活性降低,说明微生物菌肥增加番茄果实中的可溶性糖含量是通过调节 4 种蔗糖代谢相关酶的活性来实现的,这与齐红岩等的研究结果^[24]一致。笔者后续会继续进行基因表达方面的研究,研究微生物菌肥中的根际促生菌是如何调控蔗糖代谢相关酶的活性从而达到积累糖含量的目的。

综上所述,施用微生物菌肥能够促进番茄植株生长、提高果实产量,通过增强番茄果实中蔗糖代谢相关酶活性来改善果实品质,增加果实中糖含量的积累,改善果实品质。其中宁盾 A 液和宁盾 B 液配合施用(T₃ 处理)的效果最好,与 CK 相比产量提高了 14.4%,可溶性糖含量提高了 55.1%,运用到农业生产中对促进我国有机农业的整体发展有积极作用。

参考文献:

- [1]王珊珊. 番茄的药用价值[J]. 山西医药杂志,2011,40(11): 1104-1106.
- [2]连文慧,董 雷,李文均. 土壤环境下的根际微生物和植物互作关系研究进展[J]. 微生物学杂志,2021,41(4):74-83.
- [3]王梦姣,杨国鹏,乔 帅,等. 植物-根际微生物协同修复有机物污染土壤的研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):5-8.
- [4]Baltrus D A. Adaptation, specialization, and coevolution within phytobiomes[J]. Current Opinion in Plant Biology,2017,38:109-116.
- [5]Hauser F,Pessi G,Friberg M,et al. Dissection of the *Bradyrhizobium japonicum* NifA + sigma54 regulon, and identification of a ferredoxin gene (fdxN) for symbiotic nitrogen fixation[J]. Molecular Genetics and Genomics,2007,278(3):255-271.
- [6]Glick B R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world[J]. Microbiological Research,2014,169(1):30-39.
- [7]武杞蔓,张金梅,李玥莹,等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展[J]. 生物技术通报,2021,37(5):221-230.
- [8]李英楠,曹 正,杜南山,等. 三种 PGPR 菌株对黄瓜生长及根际土壤环境的影响[J]. 北方园艺,2019(24):21-27.
- [9]吕鹏超,王成慧,林悦香,等. 复合微生物菌剂对温室黄瓜生长和品质的影响[J]. 安徽农学通报,2020,26(17):47-49,131.
- [10]张 佼,屈 锋,朱玉尧,等. 增施有机肥和微生物菌剂对春季杨凌设施番茄产量和品质的影响[J]. 西北农业学报,2019,28(5):767-773.
- [11]杨志刚,叶英杰,常海文,等. 微生物菌肥及土壤修复剂对干制辣椒生长、品质及产量的影响[J]. 北方园艺,2020(19):1-7.
- [12]刘洋洋,束怀瑞,陈 伟. 混施微生物菌剂和有机肥对‘新红星’苹果解袋后果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(1):169-179.
- [13]周 进. 微生物菌肥配施对葡萄土壤养分和品质的影响[J]. 北方园艺,2020(24):51-56.
- [14]赵 贞,杨延杰,林 多,等. 微生物菌肥对日光温室黄瓜生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜,2012(18):149-153.
- [15]管文芳,谢越盛,戴相群,等. 微生物肥料“宁盾”粉剂在叶菜类作物生产上的应用效果[J]. 安徽农业科学,2016,44(5):152-154.
- [16]韩启厚. 不同生育期施钾肥对温室番茄蔗糖代谢的调控[D]. 北京:中国农业科学院,2009:19-20.
- [17]关 菁,史利平. 复合微生物肥和生物有机肥对不同土壤改良作用的机理探究[J]. 现代农业,2016(1):28.
- [18]徐宗昌,李天卫,蔡宪杰,等. 3 种微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶产量和质量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):108-114.
- [19]王书娟,齐合玉,孙 超,等. 微生物菌肥对大棚番茄的影响[J]. 蔬菜,2020(1):34-37.
- [20]余小兰,李光义,邹雨坤,等. 蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌互作对小白菜产量与品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020(2):206-212.
- [21]庞强强,蔡兴来,周 曼,等. 微生物菌肥对设施白菜生长、品质和土壤酶活性的影响[J]. 热带农业科学,2018,38(4):20-23.
- [22]齐红岩,李天来,陈元宏,等. 叶面喷施磷酸二氢钾与葡萄糖对番茄光合速率和蔗糖代谢的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊2):137-142.
- [23]王丽娟,李天来. 夜间亚低温对番茄果实糖含量和糖代谢酶活性的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(20):12021-12023.
- [24]齐红岩,李天来,刘海涛,等. 番茄不同部位中糖含量和相关酶活性的研究[J]. 园艺学报,2005,32(2):239-243.
- [25]宁秀娟. 高钾水平对温室番茄生长发育和蔗糖代谢的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2011:4-9.
- [26]Verma A K,Solomon S,Verma P C,et al. Relationship between invertase (s) activity and sucrose metabolism in the leaves of high and low sugar cultivars of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) [J]. Guangxi Agricultural Sciences,2010,41(4):313-318.