

DOI:CNKI:61-1390/S.20110810.1012.004

网络出版时间:2011-08-10 10:12:00

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20110810.1012.004.html>

有机基质中微生物数量随番茄生育期的变化

孟焕文,徐文俊,程智慧,孙金利,贾 荣,闫会玲

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究不同有机基质配方中微生物数量在番茄不同生育期的变化,为进一步揭示有机基质对番茄生长、产量和品质的影响奠定基础。**【方法】**以稻壳、玉米秸秆、玉米芯、麦糠、菇渣等农业生物质为原料,将其腐熟后配成 5 种复合有机栽培基质,基质 A: $V(\text{玉米秸秆}):V(\text{麦糠}):V(\text{菇渣})=2:5:3$,基质 B: $V(\text{稻壳}):V(\text{玉米芯}):V(\text{菇渣})=5:2:3$,基质 C: $V(\text{稻壳}):V(\text{玉米秸秆}):V(\text{菇渣})=5:2:3$,基质 D: $V(\text{稻壳}):V(\text{玉米芯}):V(\text{菇渣})=3:2:5$,基质 E: $V(\text{玉米芯}):V(\text{麦糠}):V(\text{菇渣})=2:3:5$,同时以常规有机生态型栽培基质($V(\text{泥炭}):V(\text{珍珠岩})=2:1$)为对照(CK)。2009-07-25 将番茄幼苗定植于装有上述不同配方基质的基质袋中,定期取样采用平板法测定各基质中细菌、真菌和放线菌的数量。**【结果】**在番茄生育期内,不同配方基质中的微生物数均以细菌最多,其次是放线菌,真菌最少。基质 A、B、C 的细菌和真菌数均在番茄结果前期达到峰值,分别为每 g 干样中 5.17×10^7 , 6.53×10^7 , 6.64×10^7 个和 26.80×10^4 , 18.00×10^4 , 19.33×10^4 个;基质 D、E 和 CK 中的细菌和真菌数均在番茄结果中期达到峰值,分别为每 g 干样中 5.34×10^7 , 5.06×10^7 , 2.54×10^7 个和 8.00×10^4 , 7.73×10^4 , 27.73×10^4 个。所有基质的放线菌数均在番茄结果中期达到峰值,峰值以基质 B 最高,达每 g 干样 11.27×10^6 个;其次是基质 C,为 7.81×10^6 个;对照基质(CK)最少,为 5.30×10^6 个。**【结论】**不同配方基质中的微生物数量在番茄不同生育期存在差异。

【关键词】 番茄;有机栽培基质;生育期;微生物数量

【中图分类号】 S144

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)09-0152-07

Variation of microbial biomass in different organic culture media at different growth stages of tomato

MENG Huan-wen, XU Wen-jun, CHENG Zhi-hui,

SUN Jin-li, JIA Rong, YAN Hui-ling

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this study was to investigate the quantity variation of microorganism in the organic culture media all over tomato growth stages to establish a base for revealing the influence of culture medium on growth, yield and quality of tomato. **【Method】** Taking fermented rice hull, corn straw, corn cob, wheat bran, mushroom scrap as materials, 5 multiple organic culture media A ($V(\text{corn straw}):V(\text{wheat bran}):V(\text{mushroom scrap})=2:5:3$), B ($V(\text{rice hull}):V(\text{corn cob}):V(\text{mushroom scrap})=5:2:3$), C ($V(\text{rice hull}):V(\text{corn straw}):V(\text{mushroom scrap})=5:2:3$), D ($V(\text{rice hull}):V(\text{corn cob}):V(\text{mushroom scrap})=3:2:5$) and E ($V(\text{corn cob}):V(\text{wheat bran}):V(\text{mushroom scrap})=2:3:5$) were prepared in volume proportion to grow tomato in bag from September to December

* [收稿日期] 2011-03-17

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD57B03, 2006BAD07B02)

[作者简介] 孟焕文(1961—),女,陕西蒲城人,副教授,主要从事蔬菜栽培生理和黄瓜育种研究。

[通信作者] 程智慧(1958—),男,陕西兴平人,教授,博士生导师,主要从事蔬菜栽培生理生态和生物技术研究。

E-mail:chengzh@nwsuaf.edu.cn

of 2009, with the conventional cultural medium (peat : perlite=2 : 1) as the control (CK). The media were sampled at different tomato growth stages to measure the quantity of bacteria, fungus and actinomycete by plate method. 【Result】 The quantity of bacteria ranked the first, actinomycete the second and fungus the last in different media at different growth stages of tomato. The quantity of bacteria and fungus in media A, B and C reached peaks at early fruit stage, which was 5.17×10^7 , 6.53×10^7 , 6.64×10^7 and 26.80×10^4 , 18.00×10^4 , 19.33×10^4 /g dry media (DM), respectively. The quantity of bacteria and fungus in media D, E and CK reached peaks at middle fruit stage, which was 5.34×10^7 , 5.06×10^7 , 2.54×10^7 and 8.00×10^4 , 7.73×10^4 , 27.73×10^4 /g (DM). The quantity of actinomycete in all the 6 media reached peaks at middle fruit stage. The quantity of actinomycete in medium B at the peak stage was 11.27×10^6 /g (DM) which ranked the first. The next was 7.81×10^6 /g (DM) in medium C, and the least was 5.30×10^6 /g (DM) in CK. 【Conclusion】 The microbial biomass is different in different organic culture media at different growth stages of tomato.

Key words: tomato; organic culture medium; growth stage; variation of microbial biomass

栽培基质中最为活跃的微生物与基质、植物之间存在着相互依赖、相互作用的复杂关系^[1],在这三者构成的微环境中,一方面基质中微生物的硝化作用和氨化作用加速了微环境中的营养循环,为植物提供了良好的营养条件,可促进植物生长;另一方面,植物的一些代谢产物(如根系分泌物)、脱落物以及有机基质,可为微生物活动提供重要的营养和能量物质。不同配方基质由于理化性状不同,对微生物种群数量及植物根系的影响不同,从而影响植物的生长和产量^[2]。因此,研究农业生物质栽培基质中的微生物种类和数量,对于栽培基质管理和促进园艺作物有机基质栽培的发展具有重要意义。

近年来,以农业生物质为栽培基质的园艺作物有机生态型无土栽培和有机基质栽培迅猛发展,已显示出良好的生态效益和经济效益^[3-4],但研究热点主要集中在基质配方筛选和栽培基质对作物生长发育及产量、品质的影响方面,而对栽培基质中微生物种类和数量变化的研究报道较少^[2]。本试验以发酵后的玉米秸秆、玉米芯、稻壳、麦糠、菇渣等农业废弃物配成番茄栽培基质,分析各配方基质中微生物数量在番茄不同生育期的变化,以期为深入揭示不同有机基质对番茄生长、产量和品质的影响奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试基质材料为玉米秸秆、玉米芯、稻壳、菇渣、麦糠等农业生产废弃物。基肥为消毒膨化鸡粪(河北省恒昌有机肥厂生产)和腐熟牛粪。栽培袋选用市售黑色聚乙烯塑料袋,长48 cm、宽28 cm;小区长3.3 m、宽1 m。供试番茄品种为“金棚一号”,果实

粉红色,品质优良,耐贮运。

1.2 试验方法

试验于2009-07-12在西北农林科技大学园艺学院试验站塑料大棚内进行。

1.2.1 试验设计 试验设5个栽培基质配方处理,分别为基质A:V(玉米秸秆):V(麦糠):V(菇渣)=2:5:3,基质B:V(稻壳):V(玉米芯):V(菇渣)=5:2:3,基质C:V(稻壳):V(玉米秸秆):V(菇渣)=5:2:3,基质D:V(稻壳):V(玉米芯):V(菇渣)=3:2:5,基质E:V(玉米芯):V(麦糠):V(菇渣)=2:3:5,同时以常规有机生态型基质^[5]V(泥炭):V(珍珠岩)=2:1为对照(CK)。每处理重复3次,共有18个小区。

使用前先将玉米秸秆和玉米芯粉碎,所有基质材料经过充分发酵腐熟后按配方配制成复合有机基质。以市售商品泥炭、珍珠岩为对照基质原料,采用袋式栽培。每小区均匀摆放2行栽培袋,每行12袋,每袋装基质8 kg。所有处理均加入消毒膨化鸡粪 15 kg/m^3 、腐熟牛粪 50 kg/m^3 作基肥。

番茄于07-01播种,07-25定植,每袋栽1株,株距30 cm,行距35 cm。定植后铺设滴灌设施,按常规管理定时浇水,采取统一的常规施肥制度。

1.2.2 基质样品的采集 将番茄定植后的生育期分为开花坐果期(08-10-08-30)、结果前期(08-20-09-20)、结果中期(09-21-11-05)和结果后期(11-06-12-10)。07-20取基质样1次。定植后,分别在08-15、09-20、10-25和11-30各取基质样1次,每次随机选取5株番茄,在距根部10 cm处选1点,取表面以下深5 cm处的基质,将取好的样品混合均匀后按四分法取舍,装入无菌塑封袋带回实验室测定每

g 基质中的微生物数量。

1.2.3 微生物数量的测定 细菌、放线菌和真菌总数分别用牛肉膏蛋白胨培养基、改良高氏 1 号培养基和 PDA 培养基接种,置于 28 ℃ 温箱中培养,每处理重复 3 次;分别在培养第 2,3 和 6 天,用平板法测定细菌、真菌和放线菌的菌落数^[6]。

1.2.4 数据处理与分析 试验数据采用软件 SAS/ Win(v8)及 Microsoft Office Excel 2003 进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同配方栽培基质中细菌数随番茄生育期的变化

由图 1 可以看出,不同配方栽培基质中的细菌数在番茄各生育期内有较大变化,而且达到峰值的

时期不同。其中,基质 A、B、C 中的细菌数在番茄栽培后不断增加,并于结果前期达到峰值,之后呈连续下降趋势,且番茄生育期基质 A 中的细菌数均显著高于栽培前基质。基质 D、E 和 CK 中的细菌数呈现先增加后减少再增加又减少的变化趋势,并于结果中期达到峰值。

在栽培前,不同配方基质中的细菌数有显著差异,其中基质 B 中的细菌最多,达每 g 干样中 4.47×10^7 个,比 CK 高 255%,差异显著;其次为基质 C,较 CK 高 243%,差异显著,但与基质 B 差异不显著;再次为基质 D 和 E,分别较 CK 高 180%和 175%,二者差异不显著,但均显著高于 CK;基质 A 中细菌数虽然较少,但也较 CK 高 85%,且差异显著。对照基质(CK)中的细菌数最少,每 g 干样中仅有 1.26×10^7 个。

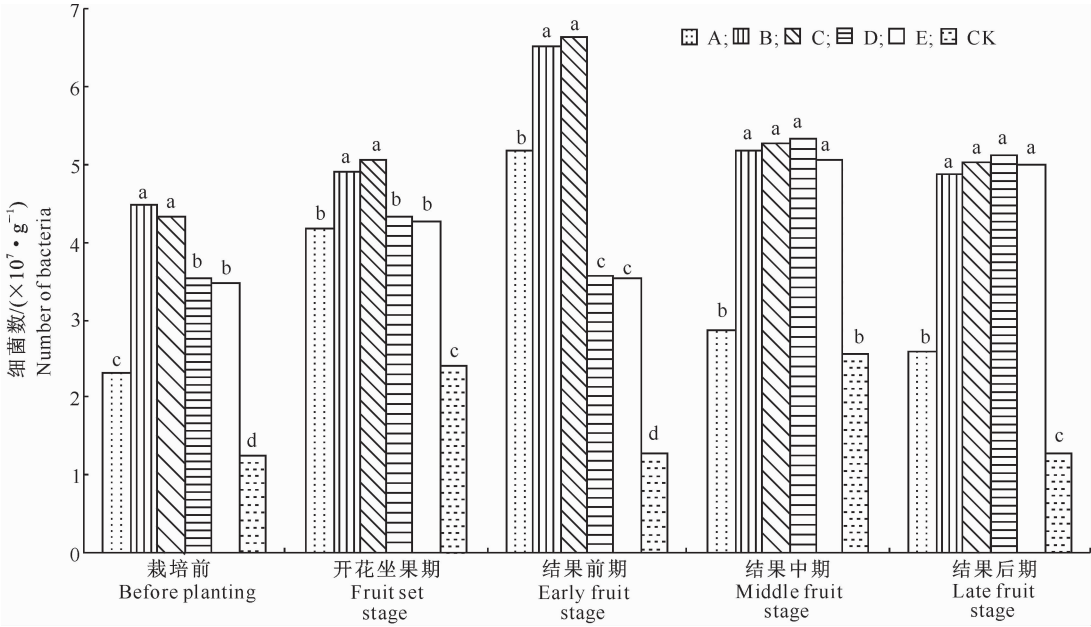


图 1 不同配方栽培基质中细菌数随番茄生育期的变化

不同小写字母表示同一指标不同配方间在 $P=5\%$ 水平上差异显著,下同

Fig. 1 Changes of the bacteria quantity in different culture media at different developmental stages of tomato

Different small letters in the columns mean significant differences at $P=5\%$ level, and the same in Fig. 2 and Fig. 3

在开花坐果期,不同配方基质中的细菌数急剧增加。基质 A、B、C、D、E 和 CK 中的细菌数分别较栽培前增加了 80.2%,10.0%,17.0%,23.1%,23.3%和 92.6%。此期细菌以基质 C 中最多,达每 g 干样 5.05×10^7 个,分别较基质 A、D、E 和 CK 高 20.5%,16.4%,18.3%和 108.2%,差异显著;较基质 B 高 2.9%,差异不显著。

在结果前期,基质 D、E 和 CK 中的细菌数大幅度降低,基质 A、B 和 C 中继续增加。与开花坐果期相比,基质 D、E 和 CK 中细菌数分别降低了

17.4%,17.3%和 48.1%,而基质 A、B 和 C 中则分别增加了 23.4%,32.8%和 31.4%。此期仍以基质 C 的细菌最多,达每 g 干样 6.64×10^7 个,比基质 A、D、E 和 CK 分别高 28.4%,85.1%,87.9%和 413.4%,差异显著;比基质 B 高 1.7%,差异不显著。对照(CK)的细菌最少,每 g 干样中仅 1.29×10^7 个。

在结果中期,基质 A、B 和 C 中的细菌数分别比结果前期减少 44.6%,20.6%和 20.4%;而基质 D、E 和 CK 中的细菌数有一定回升,并超过开花坐果

期。此期基质 D 中的细菌最多,达到每 g 干样中 5.34×10^7 个,比基质 A 和 CK 分别高 86.3% 和 110.2%,差异显著;比基质 B、C 和 E 分别高 3.1%, 1.0% 和 5.5%,差异不显著。

在结果后期,不同配方基质中的细菌数均有不同程度降低,与结果中期相比,对照基质(CK)降幅最大,达 49.3%;基质 E 降幅最小。此期,不同配方基质中的细菌数顺序为 $D>C>E>B>A>CK$,以基质 D 中的细菌最多,达每 g 干样 5.14×10^7 个,但与基质 B、C、E 的差异不显著,四者又均显著高于基质 A;对照基质(CK)中的细菌最少,每 g 干样中仅 1.29×10^7 个,显著少于各处理。

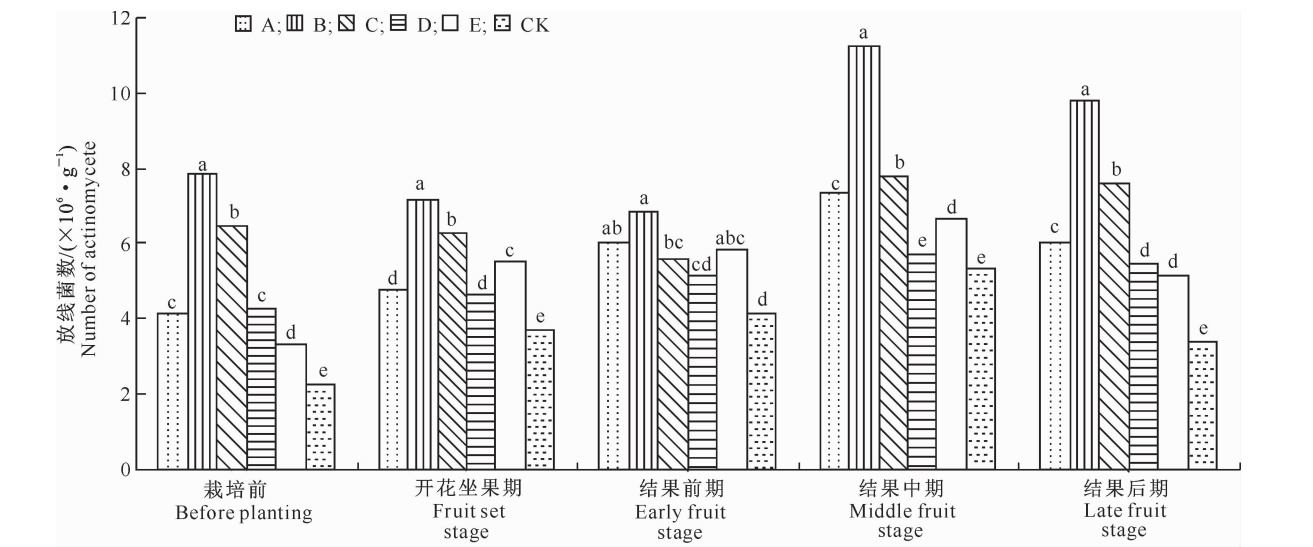


图 2 不同配方栽培基质中放线菌数随番茄生育期的变化

Fig. 2 Changes of the actinomycete quantity in different culture media at different developmental stages of tomato

在栽培前,不同配方基质中的放线菌数顺序为 $B>C>D>A>E>CK$,其中基质 B 中的放线菌为每 g 干样中 7.83×10^6 个,分别比基质 C、D、A、E 和 CK 高 20.5%, 82.9%, 90.3%, 136.7% 和 250%,差异均达到显著水平;除基质 A 与 D 间放线菌数差异不显著外,其他各基质配方间均有显著性差异。

在开花坐果期,基质 B 和 C 中的放线菌数有所下降,分别比栽培前降低 8.0% 和 3.7%;基质 A、D、E 和 CK 中的放线菌数有所增加,分别比栽培前高 15.4%, 7.2%, 66.7% 和 64.9%。基质 B 中的放线菌达到每 g 干样 7.20×10^6 个,分别比基质 A、C、D、E 和 CK 高 51.7%, 15.1%, 57.0%, 30.6% 和 95.0%。除基质 A 与 D 间放线菌数差异不显著外,其他各基质配方间差异均达到显著水平。

在结果前期,不同配方基质中放线菌数的变化规律与开花坐果期基本相同。与开花坐果期相比,基质 B 和 C 中的放线菌数分别降低 4.4% 和 11.1%,基质 A、D、E 和 CK 分别增加了 27.7%, 11.6%, 6.3% 和 11.4%。各配方基质中的放线菌数表现为 $B>A>E>C>D>CK$ 。基质 B 中的放线菌为每 g 干样中 6.88×10^6 个,分别比基质 A、E、C、D 和 CK 高 13.5%, 17.4%, 23.7%, 34.4% 和 67.3%,与基质 C、D 和 CK 差异显著,但与基质 A 和 E 差异不显著。

在结果中期,基质 B 和 C 中的放线菌数量急剧回升,并达到峰值,分别为每 g 干样中 11.27×10^6 和 7.81×10^6 个。基质 A、D、E 和 CK 中的放线菌数与结果前期相比,分别增加了 20.9%, 11.3%, 13.1% 和 29.0%。基质 B 中的放线菌数最多,分别比基质 C、A 和 CK 高 44.2%, 53.8% 和 112.3%;除基质 D 与 CK 间放线菌数差异不显著外,其他各处理及其与 CK 间都有显著性差异。

在结果后期,不同配方基质中的放线菌数均有所下降,各配方基质中的放线菌数顺序为 B>C>A>D>E>CK,基质 A、B、C、D、E 和 CK 中的放线菌数分别较结果中期降低 13.1%,2.6%,17.5%,4.3%,22.4%和 36.7%。基质 B 中的放线菌达每 g 干样 9.79×10^6 个,分别较基质 A、C、D、E 和 CK 高 61.91%,28.5%,79.5%,90.4%和 191.3%,CK 处理放线菌每 g 干样中仅 3.36×10^6 个。除基质 D 与 E 间放线菌数差异不显著外,其他各处理间差异均达到显著水平。

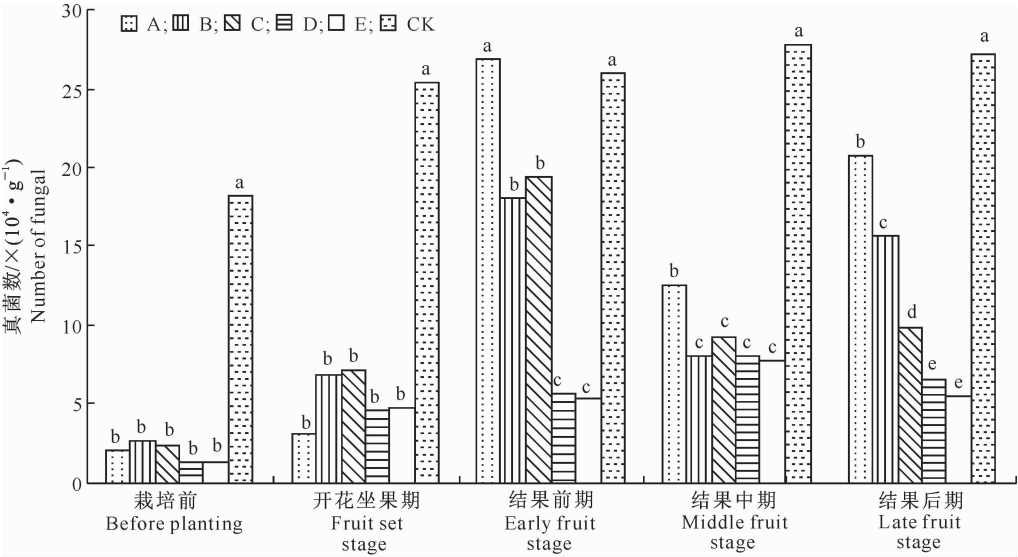


图 3 不同配方栽培基质中真菌数随番茄生育期的变化

Fig. 3 Changes of the fungal quantity in different culture media at different developmental stages of tomato

在栽培前,不同配方基质中的真菌数表现为 CK>B>C>A>D>E,对照基质(CK)中的真菌为每 g 干样 18.20×10^4 个,显著高于其他各处理,比基质 B 和 E 分别高 612%和 1 359%;各基质配方处理间差异均不显著。

在开花坐果期,各配方基质中的真菌数均有一定程度增加,且以基质 E 和 D 的增幅较大,分别比栽培前增加 279%和 253%;其次为基质 C、B 和 A,分别比栽培前增加 200%,169%和 53%;基质 CK 仅比栽培前增加 40%。该时期基质中真菌数仍以基质 CK 最多,为每 g 干样中有 25.40×10^4 个,显著高于其他各处理;各基质配方处理间差异均不显著。

在结果前期,不同配方基质中的真菌数均持续增加,其中基质 A、C 和 B 增幅较大,分别较开花坐果期增加 755%,171%和 162%;基质 D、E 和 CK 的增幅较小,分别为 28.4%,11.3%和 5.8%。该时期基质 A 中的真菌最多,为每 g 干样 26.80×10^4 个,

2.3 不同配方栽培基质中真菌数随番茄生育期的变化

由图 3 可以看出,基质 A、B 和 C 中的真菌数在开花坐果期和结果前期呈增加趋势,并于结果前期达到峰值,结果中期有所下降,结果后期又有所上升;基质 D、E 和 CK 中的真菌数不断增加,并在结果中期达到峰值,结果后期有所下降。在番茄整个生育期(除结果前期的基质 A 外)中,对照基质(CK)中的真菌数均显著高于其他各基质。

分别比 C、B、D、E 和 CK 高 38.6%,48.9%,367.4%,408.9%和 3.3%。基质 A 与 CK、B 与 C、D 与 E 间的差异均不显著。

在结果中期,基质 D、E 和 CK 中的真菌数均继续上升,但上升幅度不大,分别比结果前期增加39.5%,46.8%和 6.9%;基质 A、B 和 C 中的真菌数则急剧下降,分别比结果前期降低 53.2%,55.6%和 52.4%。在结果中期,基质 CK 中的真菌数为每 g 干样 27.73×10^4 个,显著高于其他各处理。

在结果后期,基质 A、B 和 C 中的真菌数有所上升;其中基质 B 中的真菌数较结果中期增加 95.8%,增幅最大,其次是基质 A(65.4%);基质 D、E 和 CK 中的真菌数则呈下降趋势,分别比结果中期降低 17.5%,30.17%和 2.2%。该时期不同配方基质中的真菌数表现为 CK>A>B>C>D>E,其中基质 CK 中真菌数达每 g 干样 27.13×10^4 个,显著高于其他各处理。

3 讨论

研究表明,不同植物或同一植物在不同生育期,其根系微生物的数量、种类等存在很大差异^[7-8],这与植物根系释放有机物质的种类和数量随植物品种及生育期的不同而变化有关^[9]。同时,根系分泌物通过改变根际环境,如 pH、氧化还原电位等,也可间接影响根际微生物的类型^[10]。有机基质栽培条件下,番茄根际微生物数量的变化可能与其根系分泌物有关。植物根系分泌物通常由高分子质量的粘胶(多糖、多糖醛酸)和低分子质量的糖、氨基酸、有机酸、生长因子、酶类等组成^[11],根系分泌物对细菌种类和数量的影响较大,因为细菌的生育期短、个体较小,对环境变化的响应快^[12]。细菌对根系微生态的稳定及根际养分的供应起重要作用;放线菌数量虽然少于细菌,但由于单个放线菌菌丝体的生物量通常较单个细菌大得多,所以其总生物量也不可忽视,且放线菌数量表现出与细菌相似的变化规律,因此放线菌对番茄生长发育可能也起着重要作用。真菌种类很多,一些真菌的菌丝与高等植物的根系可形成一种联合体(如菌根),有利于提高植物对不良环境的抗御能力,促进植物生长;但通常植物的病原物也以真菌最多。一般认为,土壤细菌化是土质改善的重要标志之一^[13]。本研究表明,在番茄生长期间,栽培基质中的微生物数量以细菌最多,放线菌次之,真菌最少;后期试验也表明,细菌数多的基质配方番茄产量也高(另文报道),说明有机栽培基质为番茄生长发育和产量形成提供了良好的根际微生物环境。

Given 等^[14]和 Solbraa^[15]研究显示,不同类型基质中微生物的种类和数量差异很大。本研究表明,不同有机基质配方中的微生物数量不同,在番茄生育期内不同种类微生物数量达到峰值的时期也不同。基质 A、B 和 C 中的细菌和真菌均在结果前期达到峰值,而基质 D、E、CK 均在结果中期达到峰值;不同配方基质中放线菌数量均在结果中期达到峰值。不同基质中微生物数量的差异可能与不同类型基质中的有机物成分、pH、EC、水分、孔隙度不同有关(如稻壳比例大的配方,其基质总孔隙度较大,因此细菌和放线菌数量较多),还可能与根系环境中的氧气和二氧化碳含量等有关^[2]。

稻壳、麦糠、玉米芯等农业废弃物经发酵后会产生大量的微生物,而大部分泥炭 pH 较低,因此所含微生物种类和数量较少^[14],这可能是对照基质

(CK)的细菌数和放线菌数在番茄整个生育期中最低的重要原因。

[参考文献]

- [1] Morgan J A W, Bending G D, White P J. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere [J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 56(417): 1729-1739.
- [2] 佟小刚, 蒋卫杰, 尹明安, 等. 无土栽培基质中的微生物及其对作物生长发育的影响 [J]. 园艺学报, 2005, 32(3): 544-550.
Tong X G, Jiang W J, Yin M A, et al. Microorganism in soilless substrates and its effects on crop growth [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(3): 544-550. (in Chinese)
- [3] 蔡象元. 现代蔬菜温室设施和管理 [M]. 上海: 上海科技出版社, 2000: 131-132.
Cai X Y. Modern facilities and management of greenhouse vegetables [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000: 131-132. (in Chinese)
- [4] 蒋卫杰, 刘伟, 余宏军. 我国有机生态型无土栽培技术研究 [J]. 中国生态农业学报, 2000, 8(3): 17-21.
Jiang W J, Liu W, Yu H J. Eco-organic type soilless culture technique in China [J]. Eco-Agriculture Research of China, 2000, 8(3): 17-21. (in Chinese)
- [5] 费伟英. 番茄有机生态型无土栽培技术研究 [J]. 长江蔬菜, 2007(6): 46-47.
Fei W Y. Research on technique of ecological sound organic soilless culture of tomato [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2007(6): 46-47. (in Chinese)
- [6] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 102-109.
Xu G H, Zheng H Y. Methodology handbook of soil microorganism analysis [M]. Beijing: Agricultural Press Sinic, 1986: 102-109. (in Chinese)
- [7] 陈双臣, 刘爱荣, 贺超兴, 等. 有机土栽培和土壤栽培番茄根际基质微生物和酶活性的比较 [J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 815-818.
Chen S C, Liu A R, He C X, et al. Microbial and enzyme activities in tomato rhizosphere with organic soil cultivation in solar greenhouse [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(4): 815-818. (in Chinese)
- [8] 谢芝春, 程智慧, 孟焕文, 等. 非洲菊不同生育期配方栽培基质中微生物的变化 [J]. 园艺学报, 2010, 37(1): 89-96.
Xie Z C, Cheng Z H, Meng H W, et al. Variation of microbial biomass in different culture media of *Gerbera jamesoni* at different growth and developmental periods [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(1): 89-96. (in Chinese)
- [9] Rupam Kapoor. Root exudation and its implication on rhizosphere microflora [J]. Advances in Microbial Biotechnology, 1999: 351-362.
- [10] 张淑香, 高子勤. 连作障碍与根际微生态研究. II: 根系分泌物与酚酸物质 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 152-156.
Zhang S X, Gao Z Q. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology II. Root exudates and phenolic acids [J].

Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 152-156. (in Chinese)

[11] 王茹华, 张启发, 周宝利, 等. 浅析植物根分泌物与根际微生物的相互作用关系 [J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 167-172. Wang R H, Zhang Q F, Zhou B L, et al. Analysis on the interaction between root exudates and rhizosphere microbes [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(1): 167-172. (in Chinese)

[12] Herndl G J, Mueller-Niklas G, Frick J. Major role of ultraviolet-B in controlling bacterioplankton growth in the surface layer of the ocean [J]. Nature, 1993, 361: 717-719.

[13] 徐瑞富, 任永信. 连作花生田土壤微生物群落动态与减产因素分析 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(1): 33-38. Xu R F, Ren Y X. Effect of peanut continuous cropping on soil microbiological population [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2003, 19(1): 33-38. (in Chinese)

[14] Given P H, Dickinson C H. Biochemistry and microbiology of peats [J]. Soil Biochemistry, 1975, 3(1): 56-61.

[15] Solbraa K. Bark as growth medium [J]. Acta Horticulturae, 1986, 178: 129-135.

(上接第 151 页)

[15] 张立新, 耿增超, 张朝阳, 等. 韩城市花椒园土壤养分状况及施肥研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 65-67. Zhang L X, Geng Z C, Zhang Z Y, et al. Study on soil nutrient condition and fertilizer application in Chinese prickly ash orchard in Hancheng [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(4): 65-67. (in Chinese)

[16] 路克国, 朱树华, 张连忠. 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响 [J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2003, 7(3): 205-208. Lu K G, Zhu S H, Zhang L Z. The effect of bio-fertilizer on soil property and fruit quality of red Fuji apple [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science Edition, 2003, 7(3): 205-208. (in Chinese)

[17] 李会民, 程雪绒, 徐 驰, 等. 咸阳地区苹果园土壤养分状况调查及建议 [J]. 陕西农业科学, 2002(2): 10-12. Li H M, Cheng X R, Xu C, et al. Investigation and recommendations of apple on soil nutrients in Xianyang [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2002(2): 10-12. (in Chinese)

[18] 君广斌, 查养良, 曹群虎, 等. 长武县富士果园施肥现状调查及施肥建议 [J]. 山西果树, 2009(6): 33-34. Jun G B, Cha Y L, Cao Q H, et al. The status and recommendations of fertilization of Fuji orchards in Changwu County [J]. Shanxi Fruits, 2009(6): 33-34. (in Chinese)

[19] 山东青岛华宇农资超市(莱西). 苹果施肥技术[ED/OL]. (2009-09-10) [2011-02-28]. <http://blog.bandao.cn/archive/28606/blogs.aspx?BlogID=239835>.

[20] 刘汝亮, 同延安, 高义民, 等. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 136-140. Liu R L, Tong Y A, Gao Y M, et al. Study on soil nutrients in apple orchard and balanced fertilization in Shaanxi Weibei dryland [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(3): 136-140. (in Chinese)