

不同原料堆肥的有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响

蒋小芳, 罗佳, 黄启为*, 徐阳春, 杨兴明, 沈其荣

(南京农业大学资环学院, 江苏南京 210095)

摘要: 通过田间试验, 研究了施用以菜粕堆肥、猪粪堆肥和中药渣堆肥的 3 种有机无机复混肥对辣椒产量、土壤矿质态氮和土壤微生物量碳、氮以及微生物多样性的影响。结果表明: 1) 各施肥处理辣椒果实产量为 2451.1 ~ 3301.5 kg/hm², 均显著高于对照 (CK, 1700.8 kg/hm²); 3 种原料堆肥的有机无机复混肥的辣椒果实产量为 2851.3 ~ 3301.5 kg/hm², 显著高于单施化肥 CF, 增产率为 16.3% ~ 34.7%。2) 与 CF 和 CK 处理比较, 3 种原料堆肥的有机无机复混肥处理明显提高了土壤矿质态氮含量, 改善了土壤供氮能力, 增加了土壤微生物量 C、N 含量。3) 对各处理土壤 DNA 条带采用邻接法分析 (Neighbor joining) 表明, 5 个处理土壤样品共分为 3 大族群, CF 与 CK 为一种族群, 菜粕堆肥的有机无机复混肥 (RCC) 为另一种族群, 猪粪堆肥的 (PMC) 和中药渣堆肥的有机无机复混肥 (CMC) 又属另一种族群。说明施入外源有机物质 (菜粕、猪粪与中药渣) 可能改变土壤的细菌群落结构, 而施入化肥对土壤的细菌群落结构影响较小。

关键词: 有机无机复混肥; 辣椒; 产量; 矿质态氮; 微生物生物量

中图分类号: S143.6; S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0766-08

Effect of different organic-inorganic mixed fertilizer application on pepper yield and soil microbial properties

JIANG Xiao-fang, LUO Jia, HUANG Qi-wei*, XU Yang-chun, YANG Xing-ming, SHEN Qi-rong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effect of organic-inorganic mixed fertilizer application on pepper yield, soil mineral nitrogen, soil microbial biomass carbon and nitrogen and microbial diversity. Rapeseed cake compost (RCC), pig manure compost (PMC) and Chinese medicine residue compost (CMC) were mixed with chemical fertilizers (nitrogen, phosphorus and potassium). All the treatments except the CK received the same rate of nitrogen application. The following results were obtained: 1) All fertilization treatments had higher yields than CK (1700.8 kg/ha). Compared with CF (2451.1 kg/ha), the pepper yield at the three organic-inorganic mixed fertilizer application treatments ranged from 2851.3-3301.5 kg/ha and the increased percentage was 16.3% - 34.7%. 2) All organic-inorganic mixed fertilizer treatments could improve the capability of soil nitrogen supply, and increase soil microbial biomass carbon and nitrogen content relative to CF and CK. 3) Neighbor joining analysis indicated that bacteria in the five treatment soils could be classified into three clusters. Soil bacterial communities of CF and CK belonged to the same cluster, while RCC was the second cluster. The soil bacterial communities of PMC and CMC were in the third cluster. Application of organic fertilizers could alter soil bacterial communities, while the application of CF had little effects on soil bacterial communities.

Key words: organic-inorganic mixed fertilizer; pepper; yield; mineral nitrogen; microbial biomass

收稿日期: 2007-09-14

接受日期: 2007-11-28

基金项目: 国家科技部 973 项目 (2007CB109304); 农业部 948 项目 (2006-G62); 国家科技部支撑计划 (2006BAD10B09) 资助。

作者简介: 蒋小芳 (1982-), 女, 湖南祁阳人, 硕士研究生, 主要从事有机肥料研制与肥料合理利用研究。E-mail: 2005103075@njau.edu.cn

* 通讯作者 Tel: 025-84396228, E-mail: qwhuang@njau.edu.cn

由于产业结构调整,现代化畜牧业的快速发展使得畜禽粪便等有机废弃物数量大幅增加。目前畜禽粪便中氮、磷、钾总贮量约为 6330 万吨,分别相当于 4930 万吨尿素、11940 万吨的过磷酸钙和 3380 万吨的氯化钾,是潜力较大的有机肥源^[1]。如果不加以处理和利用,将会严重污染环境。另外,随着中医药卫生事业的发展以及人们健康意识的增强,中草药和中成药的生产加工过程中产生的“废物”——药渣的污染防治也迫在眉睫。据报道,仅云南省两家进行三七皂苷分离的药厂平均每年产生的三七药渣就达到 15 万吨^[2],可知全国所有药厂所产生的药渣量将是一个惊人的数字。

实践证明,堆肥化是处理畜禽粪便、作物秸秆和中药渣等固体有机废弃物的一个有效途径。大量的试验表明,有机无机肥配合施用有利于提高作物的氮肥利用率^[3-5]。有关这方面的报道很多,但多数研究都是利用新鲜粪便或厩肥与无机氮肥的配合施用。目前广大农民已经很少施用传统意义上的有机肥(粪便或厩肥),而是趋向于施用商品有机肥,堆肥行业在我国方兴未艾。商品有机肥(腐熟堆肥)与化学氮肥配合施用后对作物生长和产量的影响报道较多,但对于不同原料废弃物堆肥化后制成的商品有机无机复混肥施入土壤以后,对作物产量、土壤矿质态氮变化和土壤微生物量碳、氮变化特别是土壤微生物多样性的影响等方面的报道尚不多见,而生产实践上又非常需要提供这方面的结果与资料,用于指导面上农业生产。本试验通过大田试验研究了不同原料堆肥有机无机复混肥对辣椒产量、土壤矿质态氮和土壤微生物量碳、氮变化及土壤细菌多样性的影响,试图为指导辣椒大面积施肥及农业废弃物资源的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

本试验在南京农业大学江浦农场进行。供试的土壤为河流冲击母质形成的砂质壤土,其基本理化性状如下:全氮 1.54 g/kg、全磷 0.94 g/kg、速效磷 12.8 mg/kg、有机质 26.3 g/kg、速效钾 209.6 mg/kg、pH 值(水浸土:水=1:2.5)5.94。供试辣椒品种为楚椒 808。化肥处理中氮肥用尿素(N 46%)、磷肥用过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、钾肥用氯化钾(K₂O 60%);有机无机复混肥处理选用猪粪堆肥、菜粕堆肥和中药渣堆肥的有机无机复混肥。

试验设 5 个处理:1)对照(CK,不施氮肥);2)

化肥(Chemical fertilizer,CF,10-7-8);3)菜粕堆肥的有机无机复混肥(简称 RCC,12-4-4,OM≥15%);4)猪粪堆肥的有机无机复混肥(简称 PMC,12-4-4,OM≥15%);5)中药渣堆肥的有机无机复混肥(简称 CMC,12-4-4,OM≥15%)。各处理氮磷钾用量一致,以氮磷钾含量最高的处理为标准,其它处理中氮磷钾量不足的用化肥尿素、过磷酸钙和氯化钾补足,用量为 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 126 kg/hm²,K₂O 144 kg/hm²,重复 3 次,随机区组排列。小区面积 5.5 m × 10 m,试验田四周设有保护行,所有处理的肥料在移栽前作基肥于 2006 年 7 月 14 日一次性施入。辣椒苗于 2006 年 7 月 16 日移栽,田间管理同常规。

1.2 样品采集与测定方法

每次采摘辣椒时均按小区计产,每小区总产量为各次收获辣椒之总和。

分别于移栽后 30 d(8 月 17 日)、45 d(9 月 2 日)、60 d(9 月 16 日)、75 d(10 月 1 日)、95 d(10 月 21 日)采集 0—20 cm 的土样,新鲜土样通过 2 mm 筛后 4℃ 保存,供测定土壤微生物生物量碳、氮用。

辣椒移栽后 95 d(10 月 21 日)采集的 0—20 cm 的三个重复土样混合后取 100 g 在 4℃ 条件下保存,一周后提取 DNA,测定土壤微生物多样性。

土壤矿质态氮的测定:用氯化钙浸提法提取^[6],用 BRAN + LUEBBE AutoAnalyzer 3 进行测定分析。

土壤微生物生物量碳、生物量氮的测定:根据 Vance 和 Schlesinger^[7-8]提出的方法,采用氯仿熏蒸—K₂SO₄ 提取法并略有改进。

土壤全氮、全磷、有机质、速效磷、速效钾、pH 等均采用常规方法测定^[9]。

利用 DGGE 对土壤微生物群落变化分析:通过直接法^[10-11]提取土壤 DNA,经过 PCR 扩增^[12]后(PCR 引物为 PRBA338F:5'-AC TCC TAC GGG AGG CAG CAG-3'和 PRUN518R:5'-ATT ACC GCG GCT GCT GG-3',在 PRBA338F 的 5'-端添加 GC clamp:5'-CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG G-3'),采用 D-Code 突变检测系统(Bio-Rad)对样品进行 DGGE 分析。所用的聚丙烯酰胺凝胶浓度为 8%,变性梯度为 40%~60%^[12],80V、恒温 60℃、1 × TAE 中电泳 16 h,银染后扫描。

在图像处理过程中,对于在 DGGE 电泳图上是肉眼可见,但被软件忽略掉的一些小条带进行了手动处理,条带的密度由该软件自动算出。

试验数据处理使用 Excel 2003 程序和 SPSS11.5

统计分析软件。采用 Quantity One 分析软件(Bio-Rad)分析样品电泳条带。

2 结果与讨论

2.1 不同有机无机复混肥对辣椒产量的影响

不同配比的水平各施肥处理辣椒果实产量为 2451.1 ~ 3301.5 kg/hm²(图 1),均显著高于对照(CK)的产量(1700.8 kg/hm²);增产幅度为 44.1% ~ 94.1%。其中菜粕复混肥(RCC)增幅达 94.1%、猪粪复混肥(PMC)增幅最大达 89.7%、中药渣复混肥(CMC)增幅为 67.7%,而单施化肥(CF)仅增产 44.1%。3 种原料堆肥的有机无机复混肥处理辣椒果实产量显著高于 CF,为单施化肥处理的 1.16 ~ 1.35 倍,其中增产幅度最大的是 RCC(34.7%)和 PMC(31.6%),增产幅度较小的是 CMC(16.3%)。不同原料堆肥有机无机复混肥处理之间的辣椒果实产量也达到了显著水平,其中, RCC 和 PMC 产量显著高于 CMC,且比 CMC 分别增产 15.8% 和 13.2%,而 RCC 与 PMC 产量比较接近,差异不显著。

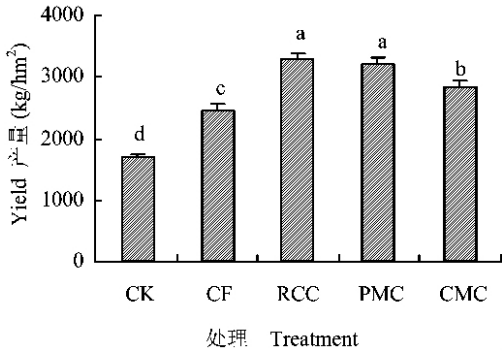


图 1 不同有机无机复混肥对辣椒果实产量的影响

Fig.1 Effects of application of different organic-inorganic mixed fertilizers on among different treatments pepper yield

[注(Note): 柱上不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著

Different letters above the bars indicate a significant difference among different treatments($P < 0.05$).]

许多研究表明,合理配施有机无机肥料能够提高蔬菜的产量[13-15]。武翻江等[16]的试验结果表明,施用有机-无机复混肥能显著提高日光温室蔬菜的产量,黄瓜、辣椒和西红柿较对照处理分别增产 16.4%、17.2%、21.5%,较常规施肥分别增产 5.47%、8.31%、4.91%。本试验结果也证明,施用不同原料堆肥的有机无机复混肥能够显著提高辣椒果实产量。施用有机无机复混肥之所以能够提高作物的产量,主要是施用有机无机复混肥使土壤中的

微生物多样性发生了变化,外源有机物质(菜粕堆肥、中药渣堆肥与猪粪堆肥)改变了土壤的细菌群落结构,也改善了土壤微生物量 C 和 N 的状况,最终改善了土壤的供氮特性,为作物增产奠定了基础。其中 RCC 和 PMC 的增产效果较 CMC 大,可能是由于菜粕堆肥和猪粪堆肥本身养分(如 N)含量较高,碳含量相对较低,而中药渣堆肥养分(如 N)含量较低,碳含量相对较高,所以菜粕堆肥和猪粪堆肥在作物生长后期还能提供较充足的养分,从而导致菜粕堆肥和猪粪堆肥的有机无机复混肥的增产潜力高于中药渣堆肥有机无机复混肥。

2.2 不同有机无机复混肥对土壤矿质态氮的影响

在辣椒整个生长期各处理土壤矿质态氮都表现出比较一致的变化趋势(图 2)。辣椒移栽 45 d 时土壤矿质态氮含量达到最高峰,这与土壤微生物氮的变化一致(图 4)。随着辣椒植株的生长,45 d 后土壤矿质氮逐渐降低,到 75 d 时降到了最低,这除了与作物吸收利用有关外,还与土壤微生物固氮作用也有密切的关系,此时土壤中微生物固持了较多的氮,微生物量氮上升到了一个比较高的水平,收获时由于土壤微生物体内固定的氮又释放出来,从而使土壤矿质态氮含量增加。

有机物料和化肥配合施用对土壤氮素矿化有明显影响[17]。图 2 看出,CK 和 CF 的土壤矿质态氮含量在整个生长期一直处于较低的水平,而 3 个有机无机复混肥处理的土壤矿质态氮含量始终处于较高水平。这是由于对照处理无外源氮素施入,氮素主要是从土壤本身有机氮矿化而来,而土壤中有机氮含量有限,所以其矿质态氮始终维持在较低水平。而化肥全部是速效形态的氮素,施入土壤后短时间内就释放出来,但是作物在前期的吸氮量少而土壤微生物对化肥氮的固定能力又较低,过多的氮素就有可能通过淋失、挥发等途径进入环境,造成浪费。而 3 种原料堆肥的有机无机复混肥处理在生长期内土壤矿质态氮始终保持较高的含量,为作物生长提供了充足的氮素营养,表明施用不同原料堆肥的有机无机复混肥较单施化肥在供氮方面具有明显的渐进性和持续性。

施用不同原料堆肥的有机无机复混肥土壤矿质氮含量差异也较大,这是由于堆肥原料自身的特性(含氮量、C/N 等)所决定的。施用不同原料堆肥有机无机复混肥后,由于土壤微生物数量不同,微生物固氮总量也不同,而土壤微生物量氮的消长(图 4)与土壤矿质态氮的变化(图 2)又有一定的对应关

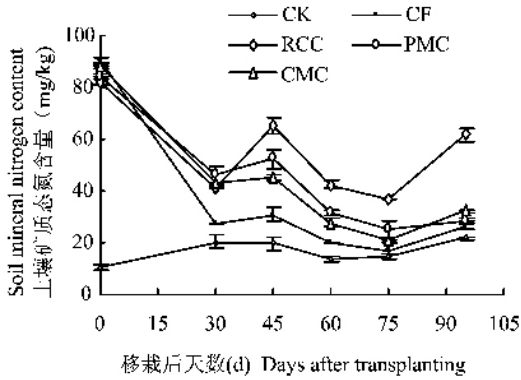


图2 不同有机无机复混肥对土壤矿质态氮含量的影响

Fig.2 Effects of different organic-inorganic mixed fertilizer application on soil mineral nitrogen

系,最终导致土壤矿质氮含量不同。

2.3 不同有机无机复混肥对土壤微生物量 C、N 的影响

2.3.1 对土壤微生物量 C 的影响 土壤微生物量 C 的消长反映了土壤中微生物利用土壤 C 源进行自身细胞建成并大量繁殖和微生物细胞解体使有机 C 矿化的过程^[18],它受土壤温度、水分、营养状况等因素的影响。由图 3 可知,3 个有机无机复混肥处理土壤微生物量 C 含量均随着作物的生长变化而变化,且各处理均表现出一致的变化趋势:移栽后各施肥处理土壤微生物量 C 含量逐渐增加,到 30 d 达到一个小高峰,然后迅速下降,到 45 d 时降到最低,然后又逐渐上升,PMC 和 RCC 到 60 d 达到最高峰,CMC 和 CF 到 75 d 出现最高峰;之后各处理土壤微生物量 C 含量缓慢下降,到收获时土壤还维持在较高的水平。姚政等^[19]研究结果表明,化肥配施不同有机物后土壤微生物量 C 比单施化肥处理明显增

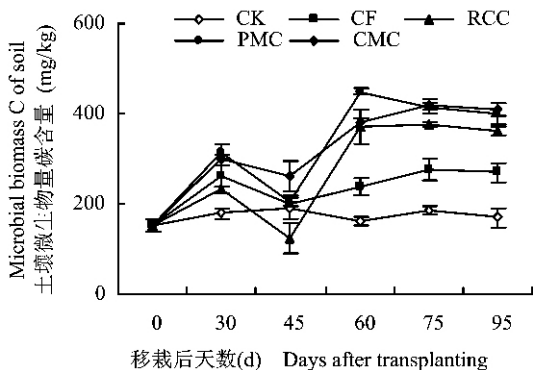


图3 不同有机无机复混肥对土壤微生物量 C 的影响

Fig.3 Effects of different organic-inorganic mixed fertilizer application on soil microbial biomass carbon

加,增加的幅度及其动态因有机物的质量(生物降解难易性)不同而异。本试验采用的 3 种原料堆肥中,CMC 在整个作物生长期土壤微生物量 C 持续增加,而 RCC 和 PMC 在作物生长前期迅速增加,到后期稍有降低。这可能是因为 CMC 中含有的易分解的有机物质较少,而 PMC 和 RCC 中含有的易分解的有机物质较多,这一变化趋势与姚政等人的报道结果相似。

在没有有机物施入土壤时,土壤微生物量 C 和 N 相对较稳定,二者能较好地反映一定土壤的肥力状况^[20]。本试验中,对照处理的土壤微生物量 C 含量变化很小,始终在最低水平下徘徊。除移栽 45 d 外,CK 与 CF 的土壤微生物量 C 含量均低于不同原料堆肥的有机无机复混肥处理,这与有关报道相似^[21-22]。

2.3.2 对土壤微生物量 N 的影响 土壤微生物量 N 是土壤中氮素转化的重要环节,也是土壤有效氮活性库的主要部分,研究土壤微生物量 N 的消长有助于考察土壤的供氮能力。图 4 看出,土壤微生物量 N 的变化趋势与土壤微生物量 C 稍有不同。除 CK 外,其它施肥处理均表现出一致的变化趋势:移栽 45 d 内,各施肥处理土壤微生物量 N 含量持续增加,到 45 d 时达到一个高峰,然后又逐渐降低,到 60 d 降到最低,然后又逐渐上升,到 75 d 达到一个次高水平,随后土壤微生物量 N 又降低,收获时各处理的土壤微生物量 N 含量接近,但高于 CK。

许多研究表明^[23-26],长期施用有机肥或化肥均能增加土壤微生物量 N 含量,有机肥与化学 N 肥配合施用,土壤微生物固定无机氮的能力增强,且有机无机复混肥处理的增加幅度大于化肥处理。本试验的 3 种有机无机复混肥在整个生长过程中各个时期之间的土壤微生物量 N 的变化幅度大于化肥处理,而 CF 与 CK 相比较,土壤微生物量 N 稍有增加(图 4)。这说明施用化肥后对土壤中微生物的活动有一定的促进作用,但与有机无机复混肥相比,单施化肥处理土壤微生物量 N 的增加主要是微生物对化肥 N 的固定,所以单施化肥后土壤微生物量 N 的增加并不多。施入有机无机复混肥为微生物提供充足的 C 源和能源,促进了土壤微生物的活动,土壤中很大一部分 N 被微生物固定,所以有机无机复混肥处理微生物量 N 的增加量大于化肥处理。说明施用有机无机复混肥有利于土壤微生物的繁育,保蓄土壤氮素,减少氮的损失。

不同有机物料对微生物体 N 的影响不一样^[27]。

一般认为,有机物料中 N 的质量分数^[27]和 C/N 比^[28]是决定微生物体 N 增加量的关键因子。N 的质量分数愈低、C/N 比愈高,对微生物体 N 影响持续时间愈长。本试验采用的 3 种堆肥原料中,CMC 的 N 的质量分数最低、C/N 比最大,对土壤微生物体 N 影响持续时间可能会长于 PMC 和 RCC,这还

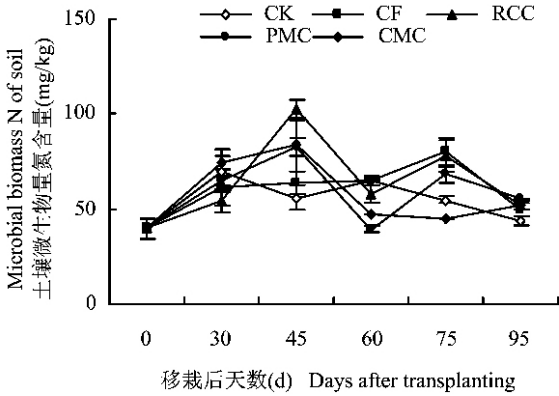


图 4 不同有机无机复混肥对土壤微生物量 N 的影响
Fig.4 Effects of different organic-inorganic mixed fertilizer application on soil microbial biomass nitrogen

需作进一步的验证。

2.4 不同有机无机复混肥对土壤微生物多样性的影响

2.4.1 土壤微生物群落 DGGE 图谱分析 应用 DGGE 技术分离 16S rDNA V3 片段 PCR 产物,可以看到分离为若干条带(图 5),但不同处理土壤样品的 PCR 产物出现的带型有一定的差别。从 PCR 产物的 DGGE 图谱进行初步统计发现,5 种处理土壤在 DGGE 图谱中电泳条带数目、强度和迁移率均存在一定的差异,充分显示了微生物的多样性。不同处理土壤间具有许多共同的条带,说明这些供试处理土壤来源于同一质地土壤,其间可能存在一些共有的细菌类型;然而这些公共条带的亮度也不相同,说明不同处理土壤微生物在 DNA 水平上有明显的改变。通过观察图 5 的 DGGE 图谱以及泳道比较图可以看出,施用 3 种原料堆肥的有机无机复混肥处理的土壤条带和 CK 土壤条带存有明显的差异,其中以 CMC 差异最大,而 CF 和 CK 之间的土壤条带差异性很小。

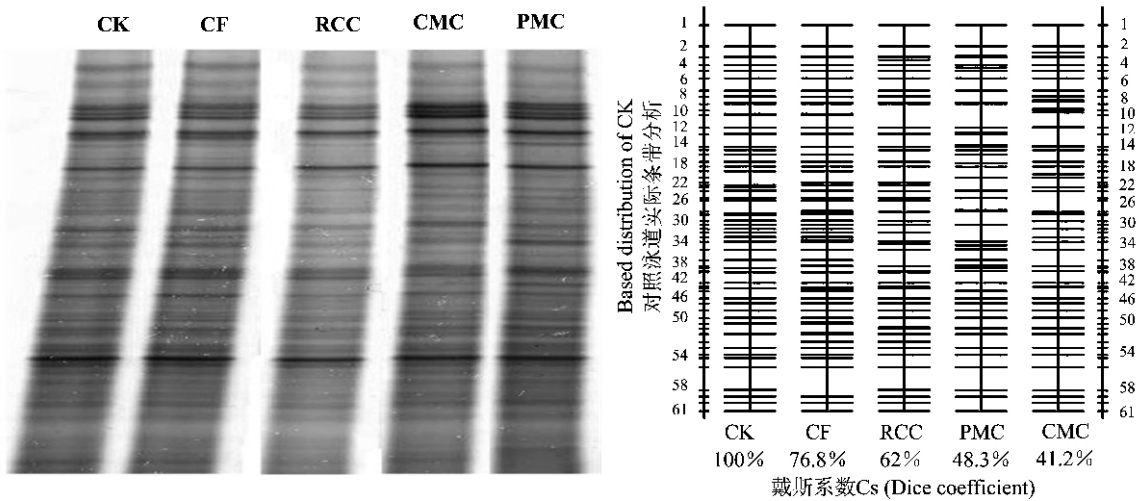


图 5 16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 图谱以及泳道比较图
Fig.5 DGGE profile of amplified 16S rDNA fragments from soil samples and lane comparison

2.4.2 土壤微生物群落相似性分析 所得图像用 Bio Rad Quantity One 4.6.3 软件进行处理,有关泳道和条带的技术处理都用该软件进行。DGGE 条带图案相似性的系统树图,由系统依据戴斯系数 Cs (Dice coefficient)按照有关方法(如 Neighbor joining 算法,UPGMA 算法等)计算绘出。Cs = 2j / (a + b), j 是样品 A 和 B 共有的条带, a 和 b 分别是样品 A

和 B 中各自的条带数。戴斯系数的范围是从 0 (没有共同带)到 1 (所有的条带相同)。用戴斯系数计算出的各泳道样品相似性矩阵,可以对 DGGE 图谱中各泳道样品间的相似性进行比较。

邻接法分析(Neighbor joining)表明,5 个土壤样品共分为三大族群,CF 与 CK 为一种族群,RCC 为另一种族群,PMC 和 CMC 又属另一种族群(图 6)。

说明施入外源有机物质(菜粕、中药渣与猪粪)可能改变土壤的细菌群落结构,而施入化肥对土壤的细菌群落结构影响不大。

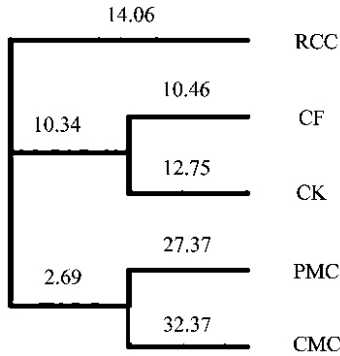


图 6 DGGE 图谱系统(Neighbor joining)分析

Fig. 6 GGE systems analysis(Neighbor joining) of 16S rDNA profiles of bacterial communities in soil samples

从相似性指数(表 1)看,各处理土壤间的相似性差别比较大,其中,CK 与 CF 之间的相似性最高,达到 76.8%。这与 Kinura 等^[29]和 O'Donnell 等^[30]报道相同。但施用有机无机肥料处理的土壤与 CK 以及 CF 土壤之间的相似性除 RCC 达 62% 外,其余都低于 50%,说明有机物料的加入对于土壤微生物区系的影响是比较大的。不同有机物料堆肥对于土壤微生物区系的影响也是有差异的,本试验中 CMC 对土壤微生物区系的改变是最大的。Marschner 等^[31]认为,土壤有机 C 的含量和 C/N 比能够显著影响土壤细菌群落结构。不同处理间土壤微生物群落结构的相似性或多样性变化主要是由于不同施肥条件下土壤的微域生境的改变所致,这种改变影响了土壤生境对多种微生物的适宜性。

PCR-DGGE 技术是从土壤微生物基因组的角度研究其多样性的方法。Gelsomino 等^[32]对 2 种粉沙壤土和 15 种其它土壤的研究表明了相同的土壤具

表 1 有机无机复混肥对土壤微生物群落相似性指数的影响

Table 1 Effects of different organic-inorganic mixed fertilizer on similarity coefficient of soil microbial populations

处理 Treatment	CK	CF	RCC	CMC	PMC
CK	1.000				
CF	0.768	1.000			
RCC	0.620	0.660	1.000		
CMC	0.412	0.407	0.530	1.000	
PMC	0.483	0.518	0.538	0.403	1.000

有同样的微生物种群。刘恩科等^[33]利用褐潮土研究了长期定位条件下的不同施肥制度对土壤微生物量碳、氮变化及微生物多样性的影响,发现不同的长期施肥措施虽未影响土壤质地的变化,但 15 年长期不同施肥制度、轮作和撂荒下,对土壤微生物多样性有明显的影。长期 NPK 肥配施外源有机物质(猪粪、秸秆)可以改变土壤细菌的群落结构,而长期单施化肥(NPK)或不施肥与长期撂荒的细菌的群落结构相似。本试验土壤为沙壤土,短期施肥后虽未影响土壤质地的变化,但施入不同原料堆肥的有机无机复混肥显然都导致了土壤微生物群落发生了比较大的变化,这可能是因为有有机肥的加入使土壤中原来处于劣势的微生物能够成为优势菌群,造成了土壤微生物区系发生了改变的缘故。而且短期内这种土壤微生物群落变化的剧烈程度可能比长期定位条件下还要大得多。施用 CMC 的土壤微生物群落的变化程度最大,其次是施用 PMC 的土壤。这可能是因为 CMC 对土壤中的微生物区系进行了改造,使土壤中原本对植物生长有利但处于劣势的微生物菌群成为了优势菌群,造成土壤微生物区系发生了最大的变化。

3 小结

与化肥处理比较,3 种原料堆肥的有机无机复混肥处理均明显提高了辣椒果实产量,比 CF 增产 16.3%~34.7%;3 种有机无机复混肥处理明显提高了土壤矿质态氮含量,改善了土壤供氮能力,增加了土壤微生物量 C、N 含量。微生物种群结构的分子生态分析表明,5 个处理土壤样品共分为三大族群,CF 与 CK 为一种族群,RCC 为另一种族群,CMC 和 PMC 又属另一种族群,说明施入外源有机物质能显著改变土壤的细菌群落结构。

参考文献:

- [1] 李国学,张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京:化学工业出版社,2000. 5-20.
Li G X, Zhang F S. Composting of solid wastes and production of inorganic compound fertilizers[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 5-20.
- [2] 潘化儒. 云南省医药行业中中药渣作为配合饲料资源的调查报告[J]. 中国民族民间医药杂志,1995,1(4):41-44.
Pan H R. The research report on Chinese traditional medicine residue as forage resource in medicine industry in Yunnan province[J]. Chin. J. Ethnomed. Ethnopharm., 1995, 1(4):41-44.
- [3] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等. 有机肥无机肥配施对稻田氮挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(1):51

- 56.
- Li J M, Xu M G, Qin D Z *et al.* Effects of chemical fertilizers application combined with manure on ammonia volatilization and rice yield in red paddy soil [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(1): 51-56.
- [4] 李伟, 戴亨林, 蔡国学. 有机-无机复混肥料的肥料效应初探 [J]. *磷肥与复肥* 2003, 18(6): 67-69.
- Li W, Dai H L, Cai G X. Preliminary study on effect of organic-inorganic compound fertilizers [J]. *Phosp. & Comp. Fert.*, 2003, 18(6): 67-69.
- [5] 李冬初, 李菊梅, 徐明岗, 等. 有机无机肥配施对红壤稻田氮素形态及水稻产量的影响 [J]. *湖南农业科学* 2004 (3): 23-25, 31.
- Li D C, Li J M, Xu M G *et al.* Effect of organic manure applied combining with inorganic fertilizer on nitrogen conformation and yield of rice in red soil paddy field [J]. *Hunan Agric. Sci.*, 2004, (3) 23-25, 31.
- [6] Houba V J G, Novozamsky J, Huybregts A W M *et al.* Comparison of soil extractions by 0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures [J]. *Plant. Soil*, 1986, 96: 433-437.
- [7] Vance E D, Brooks P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19: 703-707.
- [8] Gallardo A, Schlesinger W H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1990, 22(17): 927-932.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-165.
- Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (3rd Version) [M]. Beijing: China Agric. Press, 2000. 30-165.
- [10] 张瑞福, 曹慧, 崔中利, 等. 土壤微生物总 DNA 的提取和纯化 [J]. *微生物学报* 2003 43(2): 276-282.
- Zhang R F, Cao H, Cui Z L *et al.* Extraction and purification of soil microbial total DNA [J]. *Acta Microbiol. Sin.*, 2003, 43(2): 276-282.
- [11] 黄婷婷, 曹慧, 王兴祥, 崔中利. 一种土壤微生物总 DNA 的高效提取方法 [J]. *土壤* 2004, 36(6): 662-666.
- Huang T T, Cao H, Wang X X, Cui Z L. An efficient method for DNA extraction from soil microorganism [J]. *Soils*, 2004, 36(6): 662-666.
- [12] Nakatsu C H, Torsvik V, Øvreås L *et al.* Soil community analysis using DGGE of 16S rDNA polymerase chain reaction products [J]. *Soil Sci. Soc.*, 2000, 64: 1382-1388.
- [13] 张杨珠, 杨志海, 吴名宇, 周卫军. 有机无机肥配合施用对菜园土壤及蔬菜硝酸盐类动态的影响 [J]. *农村生态环境* 2005, 21(3): 38-42.
- Zhang Y Z, Yang Z H, Wu M Y, Zhou W J. Nitrate kinetics in vegetable garden as result of combined application of organic manure and chemical fertilizers [J]. *Rur. Eco-Environ.*, 2005, 21(3): 38-42.
- [14] 倪治华, 马国瑞. 有机无机生物活性肥料对蔬菜作物生长及土壤生物活性的影响 [J]. *土壤通报* 2002, 33(3): 212-215.
- Ni Z H, Ma G R. Effect of bio-activated organic-inorganic-mixed fertilizer on growth of cabbage and soil biological activity [J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2002, 33(3): 212-215.
- [15] 叶景学, 吴春燕, 沈凌凌, 等. 有机肥与化肥配施对结球白菜产量和品质的影响 [J]. *吉林农业大学学报* 2004, 26(2): 155-157, 161.
- Ye J X, Wu C Y, Shen L L *et al.* Effect of combined application of organic manure and fertilizer on Chinese cabbage yield and quality [J]. *J. Jilin Agric. Univ.*, 2004, 26(2): 155-157, 161.
- [16] 武翻江, 张树清, 罗志楨. 有机-无机复混肥在日光温室无公害蔬菜上的应用 [J]. *土壤肥料* 2004 (4): 22-24.
- Wu F J, Zhang S Q, Luo Z Z. Effects of organic-inorganic compound fertilizer applied to non-pollution vegetables in sunlight greenhouse [J]. *Soils Fert.*, 2004, (4): 22-24.
- [17] 李世清, 李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用 [J]. *生态学报* 2001 21(1): 136-142.
- Li S Q, Li S X. Effects of organic materials on maintaining soil microbial biomass nitrogen [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2001, 21(1): 136-142.
- [18] 张成娥, 梁银丽. 不同氮磷施肥量对玉米生育期土壤微生物量的影响 [J]. *中国生态农业学报* 2001 9(2): 72-74.
- Zhang C E, Liang Y L. Effect of different amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers applied on soil microbial biomass during corn growth period [J]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 2001, 9(2): 72-74.
- [19] 姚政, 赵京音, 蒋小华. 施用不同有机物后土壤微生物量的动态变化 [J]. *上海农业学报* 1997, 13(1): 47-48.
- Yao Z, Zhao J Y, Jiang X H. Dynamic changes of soil microbial biomass in soils after applying chemical fertilizers and different organic matters [J]. *Acta Agric. Shanghai*, 1997, 13(1): 47-48.
- [20] Bonde A T, Schmirer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable N in soil from long term field experiments [J]. *Soil Biol. & Biochem.*, 1988, 20: 447-452.
- [21] 沈其荣, 余玲, 刘兆普, 薛泽圣. 有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤生物量态氮及土壤供氮特征的影响 [J]. *土壤学报* 1994, 31(3): 287-294.
- Shen Q R, Yu L, Liu Z P, Mao Z S. Effects of combining application of organic and inorganic nitrogen fertilizers on biomass nitrogen and nitrogen-supplying characteristics of coastal saline soil [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1994, 31(3): 287-294.
- [22] 王岩, 张莹, 沈其荣, 史瑞和. 施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究 [J]. *植物营养与肥料学报* 1997, 3(4): 307-314.
- Wang Y, Zhang Y, Shen Q R, Shi R H. The changes of soil microbial biomass and the clay fixed ammonium after application of organic and inorganic fertilizers and their bio-effects [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1997, 3(4): 307-314.
- [23] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 土壤肥力水平对肥料氮生物固定的影响 [J]. *华北农学报* 2003, 18: 136-138.
- Tang Y X, Meng C X, Jia S L *et al.* Effect of the level of soil fertility on biologic fixation of nitrogen fertilizer [J]. *Acta Agric. Boreali-Sin.*, 2003, 18: 136-138.
- [24] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 不同碳源物质对土壤无机氮生物固定的影响 [J]. *河北农业科学* 2004, 8(1): 6-9.

- Tang Y X, Meng C X, Jia S L *et al.* Effects of different organic substance on biological nitrogen fixation in soil[J]. J. Hebei Agric. Sci. , 2004 , 8(1): 6-9.
- [25] 韩晓日, 邹德乙, 郭鹏程, 陈恩凤. 长期施肥条件下土壤生物量氮的动态及其调控氮素营养的作用[J]. 植物营养与肥学报, 1996, 2(1): 16-22.
- Han X R, Zhou D Y, Guo P C, Chen E F. Change of soil biomass-N and its role in adjusting-controlling nitrogen nutrition under long-term fertilization conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 1996, 2(1): 16-22.
- [26] 韩晓日, 郭鹏程, 陈恩凤, 邹德乙. 土壤微生物对施入肥料氮的固持及其动态研究[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 412-418.
- Han X R, Guo P C, Chen E F, Zhou D Y. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes and its change[J]. Acta Pedol. Sin. , 1998, 35(3): 412-418.
- [27] Aoyama M, Nozawa T. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic material[J]. Soil Sci. Plant Nutr. , 1993, 39 : 23-32.
- [28] Sinha M K, Sinha D P, Sinha H. Organic matter transformation in soils. V. Kinetics of carbon and nitrogen mineralization in soils amended with different organic materials[J]. Plant Soil, 1977, 46 : 579-590.
- [29] Kimura M, Shibagaki T, Nakajima Y *et al.* Community structure of the microbiota in the floodwater of a Japanese paddy field estimated by restriction fragment length polymorphism and denaturing gradient gel electrophoresis pattern analysis[J]. Biol. Fert. Soils, 2002, 36(4): 306-312.
- [30] O'Donnell A G, Seasman M, Macrae A *et al.* Plants and fertilisers as drivers of change in microbial community structure and function in soil[J]. Plant Soil, 2001, 232 : 135-145.
- [31] Marschner P, Kandeler E, Marschner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. Soil Biol. & Biochem. , 2003, 35(3): 453-461.
- [32] Gelsomino A, Keijzer-Wolters A C, Cacco G *et al.* Assessment of bacterial community structure in soil by polymerase chain reaction and denaturing gradient gel electrophoresis[J]. J. Microbiol. Meth. , 1999, 38(1-2): 1-15.
- [33] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落 16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1079-1085.
- Liu E K, Zhao B Q, Ling X Y *et al.* Microbial C and N biomass and soil community analysis using DGGE of 16S rDNA V3 fragment PCR products under different long-term fertilization systems[J]. Acta Ecol. Sin. , 2007, 27(3): 1079-1085.