

缓释复合肥料对酸性菜园土壤微生物数量特征的影响

胡小凤^{1,2}, 李文一³, 王正银^{1*}

(1.西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2.盘锦市农业技术推广站, 辽宁 盘锦 124010; 3.辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009)

摘要 采用盆栽试验研究缓释复合肥料(SRF)对酸性菜园土壤微生物数量特征的影响。两次测定(35 d 和 45 d)结果表明,在各处理中,SRF 处理土壤微生物量碳(SMBC)含量、细菌和放线菌数量均为最高,其中 SMBC 达到显著,SRF 处理微生物量氮(SMBN)含量显著高于普通复合肥(CCF)处理(分别提高 25.8%和 38.6%),真菌数量低于包膜缓释肥(CRF)处理,高于 CCF 处理;与施用普通复合肥(CCF)处理相比,SRF 能够显著提高白菜产量(分别提高 16.4%和 13.9%),而与包膜肥料 CRF 处理无显著差异。

关键词 缓释复合肥 酸性菜园土壤 微生物

中图分类号 S145.6 文献标志码 A 文章编号 :1672-2043(2011)08-1594-08

Effect of Slow Release Compound Fertilizer on Quantitative Characteristics of Microorganism in Acidic Garden Soil

HU Xiao-feng^{1,2}, LI Wen-yi³, WANG Zheng-yin^{1*}

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2.Panjin Station for Agricultural Technology Extension, Panjin 124010, China; 3.Liaoning Agriculture College, Yingkou 115009, China)

Abstract Slow/controlled release fertilizers are new type of fertilizer with optimum nutrient uptake by crops, fertilization conveniently and higher recovery of fertilizer than common chemical fertilizer. In a pot experiment, the organic material-based uncoated slow release compound fertilizer(SRF) produced by the Southwest University was adopted to study the effect of slow release compound fertilizer on quantitative characteristics of microorganism in acidic garden soil. Results showed that SRF could increase the number of SMBC, bacteria and actinomycetes in rhizosphere soil on the 35th day and the 45th day compared to the other 3 treatments, and the SMBC reached the remarkable level. The soil SMBN in the SRF treatment was great higher(increased by 25.8% and 38.6%, respectively) than the CCF treatment. The soil fungus number of SRF treatment was lower than coated slow release fertilizer(CRF) but higher than CCF. SRF could significantly increase the yield of cabbage(increased by 16.4% and 13.9% in two sampling, respectively) compared with CCF, and there was no significant difference with CRF. SRF played a unique role on promoting the reproduction of acidic garden soil microorganisms and improving the structure of functional microorganisms, and then regulating the soil fertility, increasing the growth and yield of crops. SRF is a new type high efficient fertilizer, a friendly ecology coordination agent of acidic soil and an activator of keeping soil good functional microorganism population.

Keywords slow release compound fertilizer; acidic garden soil; soil microorganism

重庆菜园土壤酸化现象十分普遍, pH<6.5 的土壤约占蔬菜用地总面积的 60%, 其中 pH<5.5 的土壤几乎占 40%^[1], 显然这影响优质高产蔬菜产业的发

展。土壤肥力与土壤的微生态环境息息相关, 而土壤微生物数量是影响土壤微生态环境的重要因素, 参与土壤中各种生物化学过程, 对土壤有机质的分解和植物营养元素的循环起着非常重要的作用, 也与环境质量和作物生产力等密切相关^[2]。缓/控释肥料能提高氮肥(肥料)利用率, 减少施肥次数和减轻环境污染, 已成为国内外新型肥料研究的主要内容之一^[3-5]。目前关于施肥对根际土壤微生物影响的研究有很多^[6-9], 但关于缓释复合肥料对土壤微生物的研究不多^[10], 而非包膜缓释复合肥料对酸性菜园土壤微生物的影响研究尚

收稿日期 2011-02-24

基金项目: 国家“863”计划项目(2001AA246022, 2004AA246020), 科技部农业科技成果转化资金项目(2007GB2F100266), 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B10)

作者简介: 胡小凤(1981—), 女, 山东省郓城人, 博士, 农艺师, 主要从事植物营养资源利用、植物营养与品质、农业技术推广等研究。E-mail: huxiaofeng81@163.com

* 通讯作者: 王正银 E-mail: wang_zhengyin@163.com

未见报道。本研究从非包膜有机无机缓释复合肥料对酸性菜园土壤微生物生物量、微生物数量和蔬菜生长情况等方面的影响入手,探讨非包膜型多养分缓释复合肥料对土壤微生物的影响及其培肥地力的作用,为非包膜缓控释肥的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤

供试土壤为酸性紫色菜园土,土样采自西南大学农场。土壤 pH 为 5.3,有机质为 $16.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $79.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷为 $19.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $90.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.1.2 供试肥料

非包膜缓释复合肥(SRF)系西南大学研制的一种以优质有机肥为基础的有机-无机非包膜养分结构型缓释肥料^[11],有机质含量 15%,养分含量为 15:7:12 (N:P₂O₅:K₂O),其中氮素由铵态氮、硝态氮、酰胺态氮和有机氮等形态组成。

Multicote(15-15-15)聚合物包膜缓控释复合肥“魔力康”为以色列海法化学工业公司生产,氮素为铵态氮 3.5%、硝态氮 4.0%、酰胺态氮 7.5%,肥料颗粒直径为 2~4 mm, pH 为 6.2。

普通复合肥(CCF):尿素(N 46%)、磷酸二氢铵(N 10%, P₂O₅ 44%)、氯化钾(K₂O 60%)按 15:7:12 (N:P₂O₅:K₂O)养分比例混合造粒而成。

1.1.3 供试作物

盆栽试验所用白菜品种为鲁抗早熟 5 号。

1.2 试验方法

白菜盆栽试验于 2008 年 3 月—4 月进行。试验设非包膜缓释复合肥(SRF)、普通复合肥(CCF)、包膜缓控释复合肥(CRF)和对照(不施肥,CK)4 个处理,每个处理设 6 个重复,随机排列。肥料一次性基施。采用自制根袋法,即用 500 目的尼龙网作成高×周长=12 cm×16 cm 的根袋,根袋里装根际土 200 g,根袋置于装土 2.30 kg 的塑料盆中。土壤施氮量为 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土,每盆的根袋中播入已催芽的大白菜种子 5 粒,出苗后逐次间苗,最后定苗 2 株。每天加入去离子水以保持田间持水量。分别在白菜生长 35 d 和 45 d 时取各处理根际土和非根际土样测定土壤微生物量碳、氮,微生物区系(细菌、真菌、放线菌)等指标。

1.3 分析方法

土壤基本理化性质按常规方法测定^[12]。土壤微生物

量碳、氮采用氯仿熏蒸-淹水培养法测定^[13]。好气性细菌、真菌、放线菌采用稀释平板计数法测定,各 4 次重复^[14]。

1.4 数据处理

数据分析处理采用 SPSS 和微软 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 缓释复合肥料对土壤微生物量碳、氮的影响

2.1.1 土壤微生物量碳

在根际土和非根际土中不同施肥处理的土壤微生物量碳(SMBC)含量具有明显差异(图 1)。

根际土(图 1a) 35 d 取样 SRF 处理 SMBC 含量最高($152.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),显著高于其他 3 个处理,其次为 CCF 处理($123.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),CRF 处理与 CK 处理差异不显著。与 CCF 处理相比,SRF 处理提高 23.7%。45 d 取样 SRF 处理 SMBC 含量依然最高($125.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),且与其他 3 个处理达显著差异。与 35 d 时相比,SRF 和 CCF 处理 SMBC 含量降低,可能的原因是随作物生长期的延长土壤养分含量下降,为土壤中微生物提供的能量减少,土壤中微生物活性下降。CRF 处理 SMBC 含量虽有提高但幅度不大,表明 CRF 处理在提高根际 SMBC 方面作用不明显,CK 处理 SMBC 含量与第一次取样测定比较变化不大。

非根际土(图 1b) 35 d 时,SMBC 含量测定结果与根际土相似,同样为 SRF 处理($141.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)最高,CCF 处理($114.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)次之,但均小于根际土,而 CRF 处理显著高于 CK,可能是非根际土受作物影响较小,根系与土壤微生物竞争养分能力较弱,在释放相同养分情况下,作物吸收较少,土壤微生物固定碳能力增强有关。45 d 时,与根际土相似,非根际土 SRF 处理 SMBC 含量最高($115.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),与 35 d 时相比,随作物生长期的延长,各处理 SMBC 含量有所下降。

2.1.2 土壤微生物量氮

两次取样测定(图 2),各处理根际土中微生物量氮(SMBN)均低于非根际土,表现出明显的根际负效应,这是由于作物根系与土壤微生物存在对土壤氮素的竞争关系^[15],在作物生长季内土壤氮的矿化大于固持,在作物生长旺盛时期这种现象更为明显^[16],且作物根系影响较大的根际土壤较非根际土尤其明显。

如图 2a 所示,根际土中 35 d 时 SRF 处理 SMBN 含量最高($31.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),显著高于其他 3 个处理;其次为 CCF 处理($23.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。与 35 d 时相比,45 d 时 SRF 和 CCF 处理 SMBN 含量有下降趋势,原因

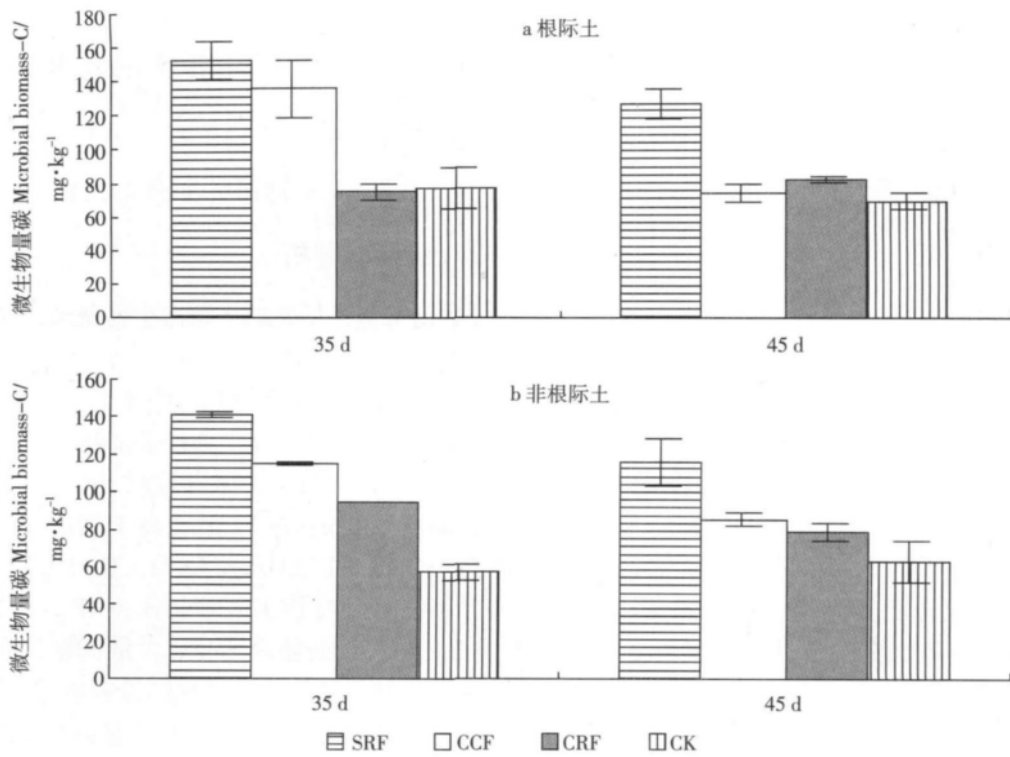


图 1 酸性菜园土壤微生物量碳

Figure 1 Microbial biomass-C of acid vegetable field soil

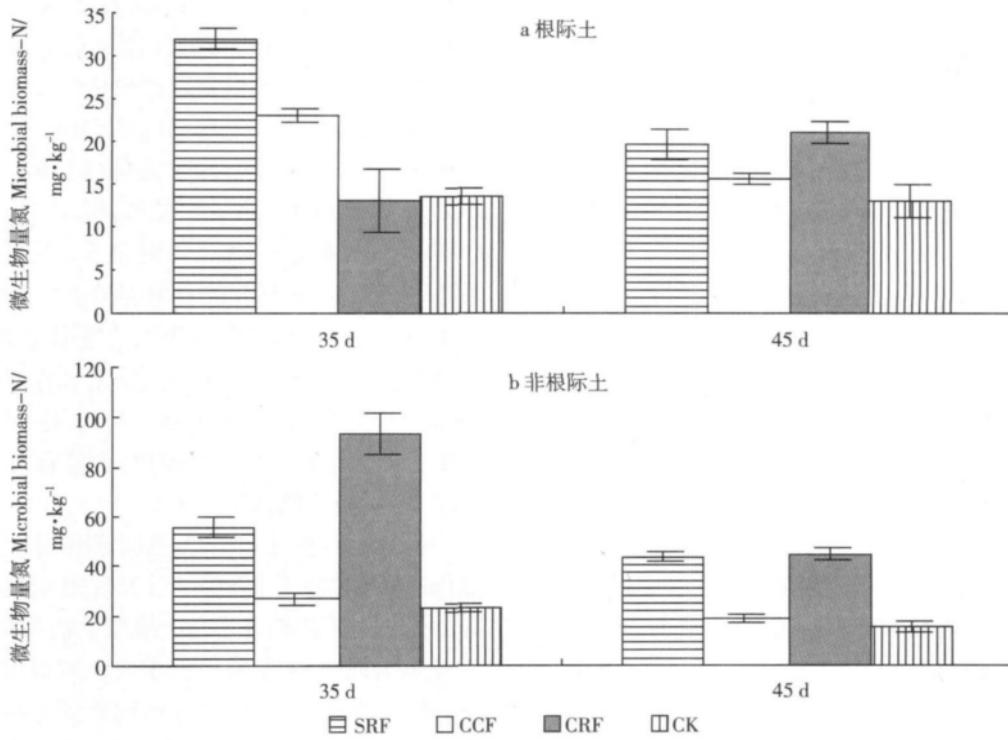


图 2 酸性菜园土壤微生物量氮

Figure 2 Microbiomass-N of acid vegetable field soil

可能为随作物生长期的延长土壤养分含量降低,土壤中微生物固定的氮较少;而 45 d 时 CRF 处理 SMBN

含量有所提高,可能是此时期 CRF 养分释放量较大。45 d 时 SRF 处理 SMBN 含量显著高于 CCF 和 CK 处

理,与CRF处理差异不显著,CCF处理与CK处理之间无显著差异。

非根际土壤中(图2b),35 d时CRF处理SMBN显著高于其他处理,SRF处理次之,CRF和SRF显著高于CCF处理。45 d时SRF处理和CRF处理显著高于CCF和CK处理,但SRF和CRF处理之间、CCF和CK处理之间均无显著差异。

2.2 缓释复合肥料对土壤微生物数量的影响

2.2.1 细菌

土壤细菌占微生物总量的70%~80%,可分解多种有机物,数量大,代谢强,繁殖快,是土壤中最活跃的微生物,细菌分解有机物料带来大量的可溶性物质,进而大量繁殖^[17]。

两次测定,所有处理根际土中细菌数量均高于非根际土,表现出明显的根际效应。由图3a可以看出,根际土中,35 d时SRF处理细菌数量最多(28.63×10⁵个·g⁻¹干土),CCF处理次之,CRF与CK处理无显著差异;45 d时SRF处理细菌数量依然最多;与35 d时相比,CCF处理细菌数量有所降低,而CRF处理细菌数略有增加,各施肥处理均显著高于CK处理。非根际土中(图3b),35 d时SRF处理细菌数最多,CCF处理细菌数最少,其中CRF和CK间差异不显著;45 d

时,土壤细菌数仍以SRF处理最多,与35 d时相比,除CRF处理下降外,其余处理均有增加趋势。

2.2.2 真菌

由图4可以看出,两次测定,各处理根际土中真菌数量均低于非根际土,表现出根际负效应,这可能是由于根际土壤中其它微生物数量上升,抑制了真菌生长。根际土中(图4a),35 d时CRF处理土壤真菌数量最高,SRF和CCF处理间无显著差异且均低于CK处理;45 d时各处理真菌数量均有所下降,SRF和CRF处理显著高于CCF和CK处理。非根际土中(图4b),35 d时CRF处理真菌数量最高,SRF处理次之,CCF与CK处理间差异不显著;45 d时与35 d相比,各施肥处理真菌数量呈现下降趋势,且均低于CK处理,施肥处理中以SRF处理真菌含量最高。

2.2.3 放线菌

放线菌具有改善土壤团粒结构,转化氮、磷等元素和加速养分转化的功能^[18]。研究表明,土壤中细菌、放线菌密度高,表明土壤肥力水平较高^[19]。

两次测定,所有处理根际土中放线菌数量均低于非根际土,表现出根际负效应(图5)。根际土中,35 d时SRF处理放线菌数量最高(1.130×10⁴个·g⁻¹干土),其余各处理之间差异不显著;45 d时仍以SRF

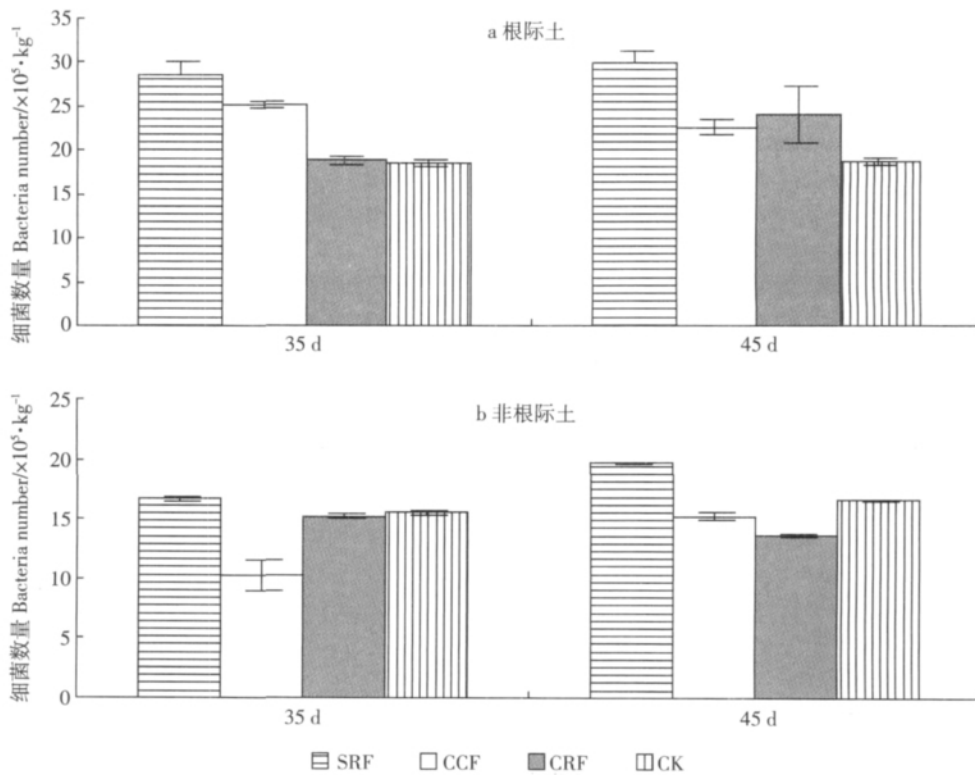


图3 酸性菜园土壤细菌数量

Figure 3 Bacteria number of acid vegetable field soil

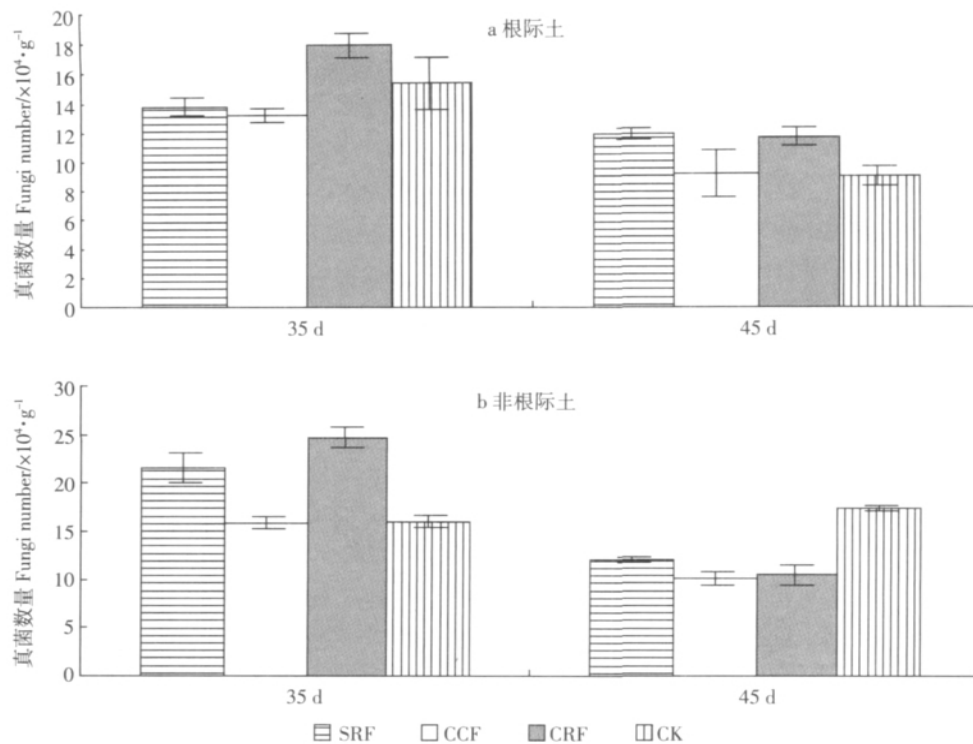


图4 酸性菜园土壤真菌数量

Figure 4 Fungi number of acid vegetable field soil

处理最高(1.053×10^4 个·g⁻¹ 干土),除 CRF 处理有所增加外,其余处理表现出下降趋势。非根际土中 35 d 时 SRF 处理放线菌数量最高,CCF 和 CRF 处理之间差异不显著,各施肥处理显著高于 CK 处理;45 d 时与 35 d 相比,各处理放线菌数量均呈下降趋势,但 SRF 处理仍显著高于其他处理。

2.3 缓释复合肥料对盆栽大白菜产量影响

如图 6 所示,两次测定显示,与 CK 处理相比,各施肥处理均显著提高了白菜产量。35 d 时 SRF、CRF 处理与 CCF 处理相比白菜增产显著,分别增加了 16.4% 和 16.9%,而 SRF 和 CRF 处理间无显著差异。45 d 时与 CCF 处理相比,SRF 和 CRF 处理白菜仍显著增产(分别增加 13.9% 和 21.9%),这表明 SRF 和 CRF 较 CCF 处理能更有效地提供肥力、促进白菜生长。

3 讨论

土壤微生物数量与土壤肥力之间有很强的联系。在不施肥的条件下,土壤微生物库也能为作物提供部分氮素,有机和无机氮肥的施用能够影响土壤微生物种群数量。不同施肥处理对土壤微生物数量产生重大影响。Ndayeyamiye 等^[20]报道,有机肥或有机-无机肥配

施可提高土壤细菌、真菌和放线菌数量,也能显著增加氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌及自生固氮菌数量。Nanda 等^[21]报道,有机-无机肥配施,可增加细菌数量。国内研究表明,长期有机-无机肥配施可提高土壤微生物量碳和氮,土壤微生物学特性可以反映土壤质量的变化,并可用作评价土壤的生物指标^[22-24]。

本研究中,盆栽试验白菜生长期较短,只有 45 d,但在两次测定中,与包膜缓释肥 CRF 相比,非包膜有机无机缓释复合肥料 SRF 提高了酸性菜园土壤中微生物生物量和微生物数量,在根际土壤中表现更为突出,根际土壤微生物的提高对土壤有机养分的转化具有十分重要的作用,因此根际土壤中微生物的数量更能体现 SRF 提高土壤微环境质量和土壤肥力的优势。这是由于随 SRF 携带的有机肥释放,微生物得到了充足的碳源,对微生物数量的增加促进作用明显。此外,由于缓释肥的施用白菜生长旺盛,根系更加发达,也可能是其能够促进土壤微生物生长和繁殖的原因所在。另一方面,SRF 中的有机肥成分本身也带有大量活的微生物^[24],在某种程度上起到了“接种”的作用,可以增强土壤中微生物的活动。表明 SRF 能促进酸性菜园土壤中微生物繁衍和改善功能微生物结构,既是一种新型高效环境友好型肥料,又是酸性土壤生

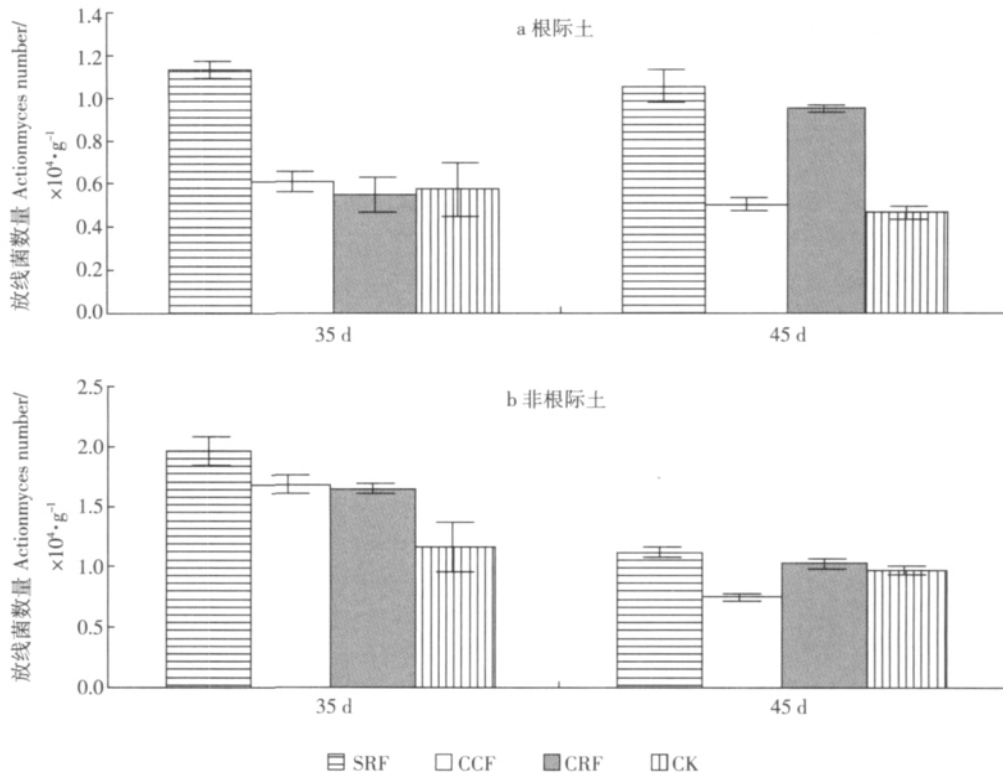


图5 酸性菜园土壤放线菌数量
Figure 5 Actinomycetes number of acid vegetable field soil

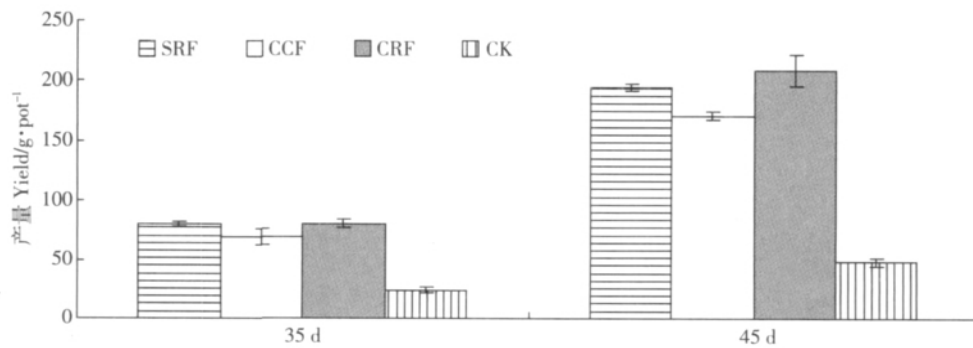


图6 不同肥料处理的白菜产量
Figure 6 Yield of cabbage in different fertilizer treatments

态友好协调剂和保持土壤良好功能微生物群落的激活剂。

植物根系分泌物富含各种无机离子、低分子量糖、多种氨基酸和有机酸,为根际微生物提供了更多额外的营养源和能量源,使植物根际微生物数量和生物量增加。白菜根际由于承接了大量根系分泌物和根表脱落物,给微生物提供了丰富的养分和能源物质^[25],所以本研究中根际土壤中细菌、放线菌数量均高于非根际土壤。真菌的数量一般不作为衡量土壤肥力的指标,而且,某些真菌可能会合成植物毒素,对植物生长不利,甚至有些真菌具有致病性,是

植物病害的病原菌^[26]。本试验中根际土壤的真菌较少,是否因为较多的细菌和放线菌限制了真菌的生长,抑或致病真菌的数量少,尚不明确,其原因有待于进一步研究。

4 结论

(1)与施用普通复合肥的CCF处理相比,施用SRF的处理能够显著提高盆栽白菜根际土、非根际土微生物量碳和微生物量氮含量,可见SRF中的缓释物质并没有对微生物生物量产生抑制作用。

(2)施肥比不施肥有利微生物的生长,其中微生

物对肥料的敏感性以细菌>放线菌>真菌。与CCF处理和CRF处理相比,SRF处理能够提高盆栽白菜根际土和非根际土细菌含量;与35d比,45d时SRF处理真菌数量有所下降,SRF处理能够提高白菜根际土、非根际土中放线菌数量。

(3)SRF、土壤、作物和微生物之间关系十分密切,SRF促进了白菜生长,适宜的根土系统促进了微生物的生长,进而促进了土壤有机物的矿化,从而形成作物与微生物在土壤载体中的共生关系。SRF在促进酸性菜园土壤中微生物生长和改善功能微生物结构方面表现出独特的作用,可作为酸性土壤生态友好的协调剂和保持土壤良好功能微生物群落的激活剂。

参考文献:

- 王正银,李成琼,徐卫红,等.平衡施肥对酸性菜园土壤豇豆产量和营养品质的影响[C]//中国西南地区平衡施肥研究与进展.成都:四川大学出版社,2002:221-234.
WANG Zheng-yin, LI Cheng-qiong, XU Wei-hong, et al. Influence of balanced fertilization on yield and nutrient quality of cowpea in acidic garden soils[C]//Research and development of balanced fertilization in Southwest China. Chengdu: Sichuan University Press, 2002: 221-234.
- Dick R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality[C]//Doran J W, Coleman D C, Stewart B A. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci Soc Am SpecPublication, Madison, 1994:107-124.
- Elizabeth A G. Preplant slow-release nitrogen fertilizers produce similar bell pepper yields as split applications of soluble fertilizer[J]. *Agr J*, 2000, 92: 388-393.
- 肖强,张夫道,王玉军,等.纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料的特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):779-785.
XIAO Qiang, ZHANG Fu-dao, WANG Yu-jun, et al. Effects of slow/controlled release fertilizers felted and coated by Nano-materials on nitrogen recovery and loss of crops[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4): 779-785
- Li J Y, Hua Q X, Tan J F, et al. Mineral coated fertilizer effect on nitrogen-use efficiency and yield of wheat[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 526-531.
- 王延军,宗良纲,李锐,等.不同肥料对有机栽培番茄生长和土壤酶及微生物量的影响[J].南京农业大学学报,2007,30(3):83-87.
WANG Yan-jun, ZONG Liang-gang, LI Rui, et al. Effects of different fertilizers on the growth of tomato and soil enzymes activities and microbial biomass-C[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, 30(3): 83-87.
- 姬兴杰,熊淑萍,李春明,等.不同肥料类型对土壤酶活性与微生物数量时空变化的影响[J].水土保持学报,2008,22(1):123-133.
JI Xing-jie, XIONG Shu-ping, LI Chun-ming, et al. Studies on spatial-temporal variations of soil enzyme activities and microorganism number under different fertilizer types[J]. *Journal of Soil and Water Conserva-*
- tion, 2008, 22(1): 123-133.
- 刘骅,林英华,张云舒,等.长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响[J].生态学报,2008,28(8):3898-3904.
LIU Hua, LIN Ying-hua, ZHANG Yun-shu, et al. Effects of long-term fertilization on biodiversity and enzyme activity in grey desert soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3898-3904.
- 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1093-1099.
LI Juan, ZHAO Bing-qiang, LI Xiu-ying, et al. Seasonal variation of soil microbial biomass and soil enzyme activities in different long-term fertilizer regimes[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(5): 1093-1099.
- 李东坡,武志杰,梁成华,等.缓/控释氮素肥料对土壤生物学活性的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(3):664-669.
LI Dong-po, WU Zhi-jie, LIANG Cheng-hua, et al. Effect of slow/controlled release fertilizer on soil biological activities[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3): 664-669.
- 王正银,叶学见,叶进,等.绿色控释多养分肥料生产方法[Z].中华人民共和国国家知识产权局发明专利公报,2005,21(1):162.
WANG Zheng-yin, YE Xue-jian, YE Jin, et al. Production method of green controlled release fertilizers with various nutrients[Z]. Patents Gazette Granted in the State Intellectual Property Office of the People's Republic of China, 2005, 21(1): 162.
- 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:56-109,263-271.
BAO Shi-dan. Soil agriculture chemistry analysis(Third edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 56-109, 263-271.
- 陈果,刘岳燕,姚槐应,等.一种测定淹水土壤中微生物生物量碳的方法:液氮熏蒸浸提-水浴法[J].土壤学报,2006,43(6):981-987.
CHEN Guo, LIU Yue-yan, YAO Huai-ying, et al. A method for measuring microbial biomass C in waterlogged soil: Chloroform fumigation extraction-water bath method[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 981-987.
- 李卓棣,喻子牛,何绍江.农业微生物学实验技术[M].北京:中国农业出版社,1996,36:305-308.
LI Zhao-li, YU Zi-niu, HE Shao-jiang. Agricultural microbiology experimental techniques[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996, 36: 305-308.
- 韩晓日,郑国砥,刘晓燕,等.有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J].中国农业科学,2007,40(4):765-772.
HAN Xiao-ri, ZHENG Guo-di, LIU Xiao-yan, et al. Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4): 765-772.
- Choi W J, Jin S A, Lee S M, et al. Corn uptake and microbial immobilization of N-labeled urea N in soil as affected by composted pig manure[J]. *Plant and Soil*, 2001, 235(1): 1-9.
- 郭荣君,刘杏忠,杨怀文.大豆根际细菌拮抗大豆根腐病菌研究[J].大豆科学,1998,17(1):53-58.

- GUO Rong-jun, LIU Xing-zhong, YANG Huai-wen. Soybean rhizobacteria studies on control of soybean root rot disease[J]. *Soybean Science*, 1998, 17(1) :53-58.
- [18] 张 烈, 王鹏文, 戴俊英, 等. 有效微生物群在秸秆有机肥上的应用研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(3) :99-103.
- ZHANG Lie, WANG Peng-wen, DAI Jun-ying, et al. Study on application in stalk organic manure[J]. *Acta Agriculturae Boreall-Sinica*, 2002, 17(3) :99-103.
- [19] 罗 明, 文启凯, 陈全家, 等. 不同用量的氮磷化肥对棉田土壤微生物区系及活性的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2) :67-68.
- LUO Ming, WEN Qi-kai, CHEN Quan-jia, et al. Influences of different nitrogen and phosphorus fertilizers on soil microflora and microbial activities in cottoned soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(2) :67-68.
- [20] Ndayeyamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69(1) :39-47.
- [21] Nanda S K, Ds P K, Behera B. Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification, and CO₂ evolution in a rice soil[J]. *Oryza*, 1998, 25(4) :413-416.
- [22] 李 娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (1) :144-152.
- LI Juan, ZHAO Bing-qiang, LI Xiu-ying, et al. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1) :144-152.
- [23] 贾 伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4) :700-705.
- JIA Wei, ZHOU Huai-ping, XIE Wen-yan, et al. Effects of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C, N and enzyme activity in cinnamon soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4) :700-705.
- [24] 刘更另, 金维续. 中国有机肥料[M]. 北京 :农业出版社, 1991 :238-241.
- LIU Geng-ling, JIN Ji-xu. Organic fertilizer of China[M]. Beijing :Agriculture Press, 1991 :238-241
- [25] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil[J]. *Biol Rev*, 1992, 67 :321-358.
- [26] Johansson J F, Paul L R, Finlay R D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture [J]. *FEMS Microbiol Ecol*, 2004, 48(1) :1-13.