

生物发酵肥对温室黄瓜土壤微生物组成的影响

刘灵霞, 王金成, 刘建新, 肖朝霞, 王鑫

(陇东学院 甘肃省高校陇东生物资源保护与利用省级重点实验室, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 以大棚黄瓜根区土壤为研究对象, 测定了不同施肥方式下温室黄瓜地土壤微生物 3 大类群和主要功能群组成及土壤微生物量碳(microbial biomass carbon, MBC), 研究了温室中不同施肥方式对黄瓜根区土壤微生物组成及土壤 MBC(土壤微生物生物量碳)的影响, 探讨了微生物发酵有机肥对土壤肥力的影响。结果表明, 土壤中细菌、真菌、放线菌数量由高到低的顺序依次为: 发酵肥 > 发酵肥 + 50% 化肥 > 常规施肥 > 普通有机肥 > CK; 土壤微生物综合指标 Shannon—Wiener 指数以生物发酵肥最高; 氨化细菌、固氮菌及纤维素分解菌数量以生物发酵肥最高, 硝化细菌数量以发酵肥 + 50% 化肥处理最高; 生物发酵肥和发酵肥 + 50% 化肥两处理的 MBC 均显著高于常规施肥。施用微生物发酵有机肥可显著增加土壤微生物数量及微生物的群落多样性, 并有助于提高土壤综合肥力。

关键词: 微生物发酵有机肥; 土壤微生物; 土壤微生物量碳(MBC)

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0084-05

中图分类号: S154.3

Effects of Compost Application on Microorganism Composition in Soil with Growing Cucumber in Greenhouse

LIU Ling-xia, WANG Jin-cheng, LIU Jian-xin, XIAO Zhao-xia, WANG Xin

(Provincial University Key Laboratory for Protection and Utilization of Longdong Bio-resources in Gansu Province, College of Life Science and Technology, Longdong University, Qiangyang, Gansu 745000, China)

Abstract: Soil microbes in the root zones of cucumber were investigated. Three major micro-groups, major functional groups and the soil microbial biomass carbon (MBC) were addressed with various fertilization treatments. The study aimed to further understand the effects of different fertilization on microbial composition and MBC in cucumber root zone soil. The results showed that the fertilizer could be ranked in a descending order in terms of the total amount of soil bacteria, fungi and actinomycetes of the root zone as following: compost > 50% compost + 50% chemical fertilizer > common fertilizer > ordinary organic fertilizer > CK. For the diversity, soil actinomycetes of the compost treatment had the highest Shannon—Weiner index and the greatest amount of soil ammonifying bacteria, nitrogen-fixing bacteria and cellulose decomposition bacteria, while the treatment with 50% compost + 50% chemical fertilizer had the greatest amount of soil nitrifying bacteria. Furthermore, soil MBC increased after applying both fertilizers containing compost. These results indicated that compost fertilizer could increase the amount and diversity of soil micro-organisms and subsequently improve the soil fertility.

Keywords: bio-fermentation fertilizer; soil microorganisms; microbial biomass carbon

目前世界各国均十分关注农业的可持续发展问题, 因此肥料的选择和有效配置就显得尤为重要。生物肥料、有机肥料将逐渐成为肥料行业生产和农资消费的重要方面。生物有机肥料是将有益微生物、有机物质及无机营养元素复合而成的一种新型肥料, 它既

能保证增产, 又减少化肥施用量, 降低成本, 还能改善土壤及作物品质, 保护生态环境, 已成为无公害蔬菜生产中施用的重要肥料之一^[1]。合理施用生物有机肥还可提升土壤有机质含量, 增加土壤微生物数量及种类, 改善土壤物理性状, 能使土壤变得疏松易于耕

收稿日期: 2011-11-29

修回日期: 2012-01-09

资助项目: 甘肃省高校研究生导师计划项目“微生物发酵有机肥在设施蔬菜上的试验研究”(1110-03); 庆阳市农业科技创新计划(NK2011-27)

作者简介: 刘灵霞(1973—), 女(汉族), 甘肃省宁县人, 实验师, 主要从事生态学研究。E-mail: llx752828@126.com。

通信作者: 王鑫(1956—), 男(汉族), 甘肃省镇原县人, 硕士, 教授, 主要从事土壤生态与植物营养研究工作。E-mail: qywangxin@126.com。

种,提高农产品的产量和品质。此外,生物有机肥产业的发展还可以从减少有机废弃物对大气、水和土壤环境的污染,促进农业环境保护,同时,使农业生产走上可持续发展的道路。

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化、循环的动力,是影响土壤肥力的重要因素之一,参与土壤有机质分解,腐殖质形成,养分转化及循环的各种生化过程^[2]。土壤微生物生物量碳(microbial biomass carbon, MBC)^[3]是土壤肥力的生物指标,是土壤养分的贮存库和植物生长可利用养分的重要来源^[4]。本研究选择黄瓜根区土壤为研究对象,以 AM 生物发酵肥为试验材料,探讨其对温室黄瓜土壤微生物组成的影响,为绿色蔬菜生长环境的改善提供基础依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验在黄土高原沟壑区庆阳市西峰区董志乡蔬菜生产基地温室进行。供试土壤为黑垆土,试验地前茬为辣椒,0—20 cm 土层土壤有机质含量为 19.63 g/kg,全氮为 0.86 g/kg,碱解氮为 48.03 mg/kg,速效磷为 18.3 mg/kg,速效钾为 226.7 mg/kg。

1.2 微生物菌肥与有机发酵肥的制作

AM 为人工组合微生物群(artificial micro-organisms),是甘肃大圣生物科技有限公司和大圣生物工程研究所在中国农业大学李维炯教授率先由日本引进的世界著名应用微生物学家日本琉球大学比嘉照夫教授发明的 EM 微生态技术的基础上,研制开发出具有中国特色、功效显著、拥有完全自主知识产权的新型微生态制剂。与一般生物制剂相比,它具有结构复杂、性能稳定、功能齐全的优势。供试 AM 液态菌肥由甘肃大圣公司提供。有机肥为市售优质肥料。活化液配方:米汤(熬制过滤除渣,保留汤汁待用):AM 原液:红糖:白酒=500:2:2:1。制作方法:先将红糖溶解于米汤中,冷却至 50~60℃后将 AM 原液倒入糖水中,再将白酒倒入,均匀搅拌,保存在塑料水桶中并封口,35℃发酵 3 d,待活化液有醋香味溢出即可(pH 值=3.5~4.5)。AM 生物发酵有机肥的制作:以有机肥:活化液=100:6(kg)配制,用无菌喷雾器喷洒搅拌,使其混合均匀,而后保温土封 7~15 d。供试蔬菜品种为天津白叶三黄瓜。

1.3 试验设计

1.3.1 试验处理 共设置 5 个处理。处理 A:AM 生物发酵有机肥+微量元素肥料;处理 B:AM 生物发酵有机肥+微量元素肥料+50%化肥;处理 C:普

通有机肥+100%化肥(菜农习惯施肥法);处理 D:普通有机肥;处理 E:不施肥。试验处理中生物发酵有机肥与普通有机肥各小区用量均为 135 t/hm²,作基肥一次于 2009 年 3 月 3 日施入。各试验处理均设 3 次重复,随机区组。小区面积为 22.5 m²(6.0 m×3.75 m),管理同生产田。2009 年 1 月 15 日育苗,3 月 8 日移栽,4 月 20 日开始采收,7 月 24 日采收结束,全生育期 140 d。在生育期内进行田间观察记载,连续计产。分期用土钻按照五点法随机采集土壤样品进行有关项目分析。

1.3.2 肥料用量及施用方法 发酵有机肥处理全部作基肥一次施入垄中,其它处理按当地习惯施肥方法进行。处理 C 中化肥[三元复合肥(17-17-17)]用量为 5 550 kg/hm²,其中基肥用量为 1 200 kg/hm²,其余分 4 次追施。处理 B 中的 50%化肥(处理 C 中化肥用量的 50%),其中 10%基施,其余 40%分 4 次追施。微量元素肥料基施硫酸锌 33.75 kg/hm²,硫酸锰 25.35 kg/hm²,硼砂 16.95 kg/hm²。

在 A 和 B 处理中附加了一些措施:(1)土面处理:AM 原液在整地前用喷雾器喷洒于试验小区 A 和 B 处理土壤表面。(2)蘸根:定植前用 AM 蘸根,将 AM、红糖、水按 1:1:250 比例稀释加入鸡粪或羊粪干粉末呈糊状蘸根后移栽。(3)定植苗灌根:将 AM、红糖、水,以 1:1:500 比例稀释,250 ml/株灌根。(4)叶面喷施:AM500 倍液 and 硫酸锌 6.0 g/kg,硼砂 4.0 g/kg,钼酸铵 0.5 g/kg,硫酸锰 1.0 g/kg,硫酸亚铁 10.0 g/kg,硫酸铜 0.4 g/kg,尿素 3.0 g/kg,碳酸氢铵 10.0 g/kg,磷酸二氢钾 4.0 g/kg 一次配成,分别于幼苗期、初花期和盛果期喷施 3~5 次。

1.4 土壤微生物类群测定

微生物数量测定除硝化细菌采用 MPN 法外,其余均采用稀释平板法。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用高氏 I 号培养基,真菌采用马丁氏培养基,氯化细菌用蛋白胨琼脂培养基,固氮菌采用改良阿须贝无氮琼脂培养基,纤维素分解菌采用赫奇逊氏培养基,硝化细菌采用改良的斯蒂芬逊培养基^[5-6]。

1.5 土壤微生物生物量碳测定

采用“熏蒸提取—容量分析法”测定土壤微生物生物量碳^[7-8]。

1.6 数据处理

采用 SPSS 16.0 统计分析软件,对测定数据进行统计分析。以 Shannon—Wiener(H')指数作为土壤可培养微生物的综合性指标^[9],公式为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

式中: P_i ——样品中第 i 种类群个体所占比例。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式下温室黄瓜土壤微生物 3 大类群的组成变化

不同施肥方式对土壤细菌、放线菌、真菌的影响情况详见表 1。由 F 检验结果显示,不同施肥间土壤细菌、放线菌、真菌数量差异极显著($F_{\text{细}}=363.119 > F_{0.01}$, $F_{\text{放}}=250.865 > F_{0.01}$, $F_{\text{真}}=506.643 > F_{0.01}$); 多重比较(Duncan, $\alpha=0.05$)结果表明,不同处理之间细菌数量差异显著($p < 0.05$),施用发酵肥后土壤细菌数量明显高于其它施肥方式下土壤细菌数量,且细菌数量表现出与微生物总量相似的变化;放线菌数量在施用发酵肥和发酵肥+50%化肥之间无显著差异,与其它 3 种处理之间差异显著,发酵肥和发酵肥+50%化肥处理的放线菌数量明显高于其它处理;真菌数量在常规施肥和普通有机肥之间无显著差异,在发酵肥和发酵肥+50%化肥之间以及和其它处理之间有显著差异,发酵肥和发酵肥+50%化肥的真菌数量明显高于其它,且发酵肥+50%化肥的处理真菌数量最高。不同处理土壤可培养微生物 Shannon—Wiener 指数的 F 检验结果显示,不同处理间土壤微生物 Shannon—Wiener 指数差异达极显著水平($F=115.513 > F_{0.01}$)。不同处理间 Shannon—Wiener 指数较 CK 总体上呈增加的趋势,生物发酵肥 Shannon—Wiener 指数值最高,且与其它处理间差异显著($p < 0.05$)。

表 1 不同处理土壤微生物 3 大类群的数量 10^4 cfu/g

处理	细菌	真菌	放线菌
A	1 718.8 ± 11.37 ^a	6.39 ± 0.16 ^b	75.62 ± 1.05 ^a
B	1 478.33 ± 29.80 ^b	9.93 ± 0.25 ^a	74.12 ± 2.46 ^a
C	1 015.17 ± 40.19 ^c	2.79 ± 0.44 ^c	50.47 ± 1.81 ^b
D	869.63 ± 12.33 ^d	2.61 ± 0.21 ^c	29.32 ± 0.62 ^c
E	612.10 ± 5.22 ^e	1.37 ± 0.11 ^d	22.10 ± 1.16 ^d

注:(1) 处理 A: AM 生物发酵有机肥+微量元素肥料; 处理 B: AM 生物发酵有机肥+微量元素肥料+50%化肥; 处理 C: 普通有机肥+100%化肥; 处理 D: 普通有机肥; 处理 E: 不施肥。下同。(2) 表中同一列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

土壤微生物是土壤的重要组成部分,是土壤有机体、无机体转化的作用者,它参与土壤的 C, N, P 和 S 等元素的循环过程和土壤矿物的分解过程,对土壤结构,尤其是团聚体的形成及其稳定性起着决定性的作用^[10]。本研究中的不同施肥处理的试验分析表明,在不同施肥处理中土壤微生物的数量不同,而且都有增加的趋势,其中施用生物发酵肥和发酵肥+50%化

肥的微生物数量增高且达到极显著水平($p < 0.01$); 同时,土壤微生物的数量总体表现出:生物发酵肥 > 发酵肥+50%化肥 > 常规施肥 > 普通有机肥 > 不施肥的特点。这可能是由于生物有机肥中含有大量的有机质、生物酶及各种有益微生物,施入土壤后在增加土壤有机质含量的同时进一步促进了土壤有机质的分解,有机质分解形成大量腐殖质等有机养分,适合土壤微生物的繁殖,从而提高了土壤微生物的数量^[11-13]。本研究中的生物发酵肥也有这样的特点,因此有利于微生物的繁殖,提高了土壤微生物的数量。但是真菌的数量表现为:发酵肥+50%化肥 > 发酵肥 > 常规施肥 > 普通有机肥 > CK,真菌的数量在施用发酵肥+50%化肥后明显高于发酵肥,这可能与发酵肥中加入化肥后增加了土壤的速效养分有关。因为细菌和放线菌通常比较适合在中性至偏碱性的土壤环境生长,而真菌生长更适合偏酸性的土壤环境^[14]。因此,施用生物发酵肥可明显增加细菌、放线菌和真菌的数量。Shannon—Wiener 指数结果显示,生物发酵肥的土壤可培养微生物 Shannon—Wiener 指数最高,说明施用发酵肥不仅增加了细菌、放线菌、真菌的数量,还增加了土壤微生物多样性。

2.2 施肥模式对土壤微生物主要功能群组成变化的影响

不同施肥处理对温室黄瓜土壤微生物功能群组成具有一定的影响(表 2)。 F 检验结果显示,土壤微生物各功能群在不同施肥间均达极显著水平($F_{\text{固}}=92.598 > F_{0.01}$; $F_{\text{硝}}=677.709 > F_{0.01}$; $F_{\text{氨}}=85.191 > F_{0.01}$; $F_{\text{纤}}=78.165 > F_{0.01}$)。

表 2 施用发酵肥土壤微生物功能群组成 10^3 cfu/g

编号	氨化细菌	固氮菌	纤维分解菌	硝化细菌	总数
A	135.77 ± 5.51 ^a	114.97 ± 2.18 ^a	4.32	5.30	260.36
B	121.84 ± 5.00 ^b	101.33 ± 2.96 ^b	1.58	17.74	242.49
C	89.32 ± 2.90 ^c	70.58 ± 2.08 ^c	1.60	8.97	170.47
E	47.86 ± 3.75 ^d	38.76 ± 3.48 ^c	1.98	0.53	89.13
D	84.64 ± 2.91 ^c	51.02 ± 3.21 ^d	0.79	5.34	141.79

对不同处理间各类群分别进行多重比较分析(Duncan, $\alpha=0.05$),与 CK 相比普通有机肥和常规施肥的固氮菌的数量显著降低($p < 0.05$),生物发酵肥和发酵肥+50%化肥的固氮菌的数量显著增加,其中生物发酵肥的固氮菌的数量最高,且达到显著水平($p < 0.05$)。不同施肥处理硝化细菌的数量较 CK 都有所增加,普通有机肥和生物发酵肥之间无显著差异($p > 0.05$),与其它处理之间差异显著($p < 0.05$),且

发酵肥+50%化肥的硝化细菌数量最高。土壤氨化细菌的数量在普通有机肥与 CK 之间无显著差异($p > 0.05$),其它处理之间差异显著($p < 0.05$),与 CK 比较普通有机肥氨化细菌的数量有所下降,而生物发酵肥和发酵肥+50%化肥两处理氨化细菌的数量有所增加,尤以生物发酵肥氨化细菌的数量最高。纤维素分解菌的数量在 CK、常规施肥、发酵肥+50%化肥之间无显著差异($p > 0.05$),与其它处理之间差异显著($p < 0.05$),其中普通有机肥较 CK 有所下降,生物发酵肥为最高,常规施肥为最低。

土壤氮素循环在很大程度上受土壤微生物活动的调节,与生理群微生物的协调作用直接相关^[2]。氨化细菌能将植物不能直接吸收利用的有机含氮化合物转化为可有效态氮,为植物和一些自养或异养微生物繁殖和生长提供氮素养分;固氮菌可以将植物不能吸收利用的大气中的气态 N 转化为可利用的形态,对土壤 N 素的增加起重要的作用;硝化细菌的数量决定了土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 向 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 转化程度;土壤纤维素分解菌既能降解土壤有机质,形成腐殖质并释放各种养分;同时,还能转化土壤碳素,固定无机态养分,形成生物量^[3]。

本研究生物发酵肥和发酵肥+50%化肥处理土壤中氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌的数量显著高于其它施肥方式,且生物发酵肥显著高于发酵肥+50%化肥,说明施用生物发酵肥较其它施肥方式更有利于氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌的生长,同时也促进了氮素循环,将不可利用的含氮化合物转化为有效态氮,为黄瓜生长提供可利用的氮素,而发酵肥+50%化肥处理虽增加了氮、磷的含量,但增施化肥后抑制了微生物的繁殖,不利于养分循环。硝化细菌则不同,仅施用氮肥的处理(有机肥配施氮肥除外)在数量上有明显增加的效果^[15]。

本研究中的硝化细菌的数量各处理均比 CK 有所增加,但生物发酵肥+50%化肥处理的硝化细菌数量显著高于其它,可能是由于施化肥后增加了 N 素含量,促进了硝化细菌生长,这也是单施发酵肥硝化细菌数量低于常规施肥和发酵肥+50%化肥处理的原因。

综上所述,生物发酵肥较其它处理显著有利于氨化细菌、固氮菌、纤维素分解菌和硝化细菌的生长繁殖,促进土壤养分的循环,增加土壤养分的有效性。

2.3 不同施肥下温室土壤微生物生物量碳(MBC)

表 3 为不同施肥下温室黄瓜地土壤 MBC 变化状况。 F 检验结果表明,不同施肥土壤 MBC 差异极显著($F = 395.698 > F_{0.01}$)。施用不同肥料后,MBC

都有所增加,其中生物发酵肥和发酵肥+50%化肥处理的 MBC 增幅较大。多重比较(Duncan, $\alpha = 0.05$)结果显示,与 CK(59.79 mg/kg)比较,常规施肥的 MBC(73.42 mg/kg)增幅最低,生物发酵肥(226.20 mg/kg)和发酵肥+50%化肥(229.68 mg/kg)的增幅较其它施肥方式增幅较高,生物发酵肥与发酵肥+50%化肥处理之间无显著差异($p > 0.05$),与其它处理之间差异显著($p < 0.05$)。

表 3 施用发酵肥土壤 MBC 分析 mg/kg

编号	MBC	比对照 增减	增减率/ %	位次
A	226.20±3.48 ^a	175.74	348.3	2
B	229.68±6.02 ^a	179.22	355.2	1
C	67.86±5.22 ^c	17.40	34.5	4
E	50.46±1.24 ^d	—	—	5
D	88.74±6.02 ^b	38.28	75.9	3

注: MBC 的数据均为 3 个重复的平均值。 $F = 341.701 > F_{0.01}$, $p < 0.01$ 。

土壤微生物生物量碳是土壤中所有活微生物体中碳的总量,通常占微生物干物质的 40%~45%,是反映土壤微生物量大小的一个重要指标^[8]。而土壤 MBC 对土壤环境的各种变化极为敏感,能反映土地利用方式和土壤生态功能的变化^[16-18],土壤 MBC 的含量和转化能力直接影响植物对养分的吸收^[19-21]。研究表明,施用有机无机复合肥能显著提高农田土壤微生物量碳、氮,增强土壤养分供应强度,有利于培肥土壤^[22]。侯晓杰等^[23]研究认为肥料合理配施可增加土壤微生物对碳源的利用程度,显著增加微生物多样性。本研究结果与上述研究结果相似,施用不同肥料后 MBC 均有所增加,但不同的施肥处理之间 MBC 增加程度有一定的差别。尤其生物发酵肥和发酵肥+50%化肥两处理的 MBC 增加幅度显著高于其它施肥方式。Bhattacharyya 等^[24]研究表明,施肥能增加 MBC,其中化肥和有机肥配施效果最显著。刘文娜等^[25]也认为,施用有机肥能提高 MBC 水平,化肥在一定程度上也能够增加 MBC。本研究中的生物发酵肥和发酵肥+50%化肥处理本身含有微生物和有机物,在施入土壤中后为微生物提供了一个良好的生长和繁殖场所,使土壤微生物数量大大增加,加速了土壤养分的分解转化和释放。而常规施肥和普通有机肥两处理的有机肥均为未发酵的有机肥,虽能增加 MBC,但增幅相对较小。

3 结论

生物发酵有机肥具有显著提高土壤肥力的作用。

各处理土壤中细菌、真菌、放线菌数量排序依次为:发酵肥>发酵肥+50%化肥>常规施肥>普通有机肥>CK;从 MBC 含量来看,生物发酵肥和发酵肥+50%化肥两处理显著高于常规施肥,与普通有机肥比较具有很显著的差异,既反映了土壤中所有活微生物体中碳的总量,又可加速土壤养分的分解转化和释放。Shannon—Wiener 指数分析进一步表明了生物发酵肥还丰富了土壤微生物群落多样性。生物发酵肥还有利于固氮菌、硝化细菌、氨化细菌和纤维素分解菌等功能群微生物的繁殖,可提升土壤中的可利用养分的有效性。

AM 生物发酵肥作为一种新型的肥料,使肥料资源潜力得到了充分的发挥,使土壤肥力进一步提高,可为蔬菜生长提供极其重要的保证。因此,此项技术完全可以在绿色蔬菜生产中推广使用。

[参 考 文 献]

- [1] 李庆康,张永春,杨其飞. 生物有机肥肥效机理及应用前景展望[J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):78-80.
- [2] 罗明,文启凯,周仰强. 有机、无机肥料配合施用对地膜棉田土壤微生物及生化特性的影响[J]. 新疆农业大学学报,1997,20(4):45-48.
- [3] 蒋和,翁文钰,林增泉. 施肥十年后的水稻土微生物学特性和酶活性的研究[J]. 土壤通报,1990,21(6):265-268.
- [4] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in soil microbial biomass[J]. Soil Biol. Biochem., 1984, 16(2):169-175.
- [5] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社,2006:160-163.
- [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,1986:176-179.
- [7] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社,2006:58-59.
- [8] 朱波,胡跃高,曾昭海. 双季稻区冬种覆盖作物对土壤微生物量的影响[J]. 生态环境,2008,17(5):2074-2077.
- [9] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 3版. 北京:北京师范大学出版社,2001:398-399.
- [10] Spaling G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health[M]// Pandhurst C E, Double B M, Gupta V V S R. Biological indicators of soil health. Oron, United Kingdom: CAB International, 1997:97-119.
- [11] 李新海,傅骏骅,张世煌. 利用 SSR 标记研究玉米自交系的遗传变异[J]. 中国农业科学,2000,33(2):1-9.
- [12] 李俊芳,孙世贤,王守才. 国家玉米主产区预试品种的 SSR 分析预试品种的遗传多样性[J]. 玉米科学,2007, 15(1):16-20.
- [13] 孙波,赵其国,张桃林. 土壤质量与持续环境 III 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤,1997(5):225-234.
- [14] 张文婷,来航线,王延平. 黄土高原不同植被坡地土壤微生物区系特征[J]. 生态学报,2008, 28(9):4228-4234.
- [15] 于学珍,路葵,李秀艳. 天同常绿阔叶林退化过程中土壤微生物主要类群变化特性研究[J]. 安全与环境学报,2005,5(4):61-64.
- [16] 曹志洪. 科学施肥与我国粮食安全保障[J]. 土壤,1998(2):57-69.
- [17] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil[J]. Biological Reviews, 1992,67(3):321-358.
- [18] 薛莲,刘国彬,戴全厚,等. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变[J]. 应用生态学报,2008,19(3):517-523.
- [19] Roy A, Singh K P. Dynamics of microbial biomass and nitrogen supply during primary succession on blast furnace slag dumps in dry tropics[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003,35(3):365-372.
- [20] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, et al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005,37(1):877-887.
- [21] 胡婵娟,傅伯杰,靳甜甜. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(1):45-50.
- [22] 隋跃宇,张兴义,焦晓光. 不同施肥制度对玉米生育期土壤微生物量的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(3):52-54.
- [23] 侯晓杰,汪景宽,李世民. 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报,2007,27(2):656-660.
- [24] Bhattacharyya R, Kundu S, Prakash V, et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soy-bean-wheat system of the Indian Himalayas[J]. European Journal of Agronomy, 2008,28(1):33-46.
- [25] Liu Wenna, Wu Wenliang, Wang Xmingxin, et al. Effects of soil type and land use pattern on microbial biomass carbon[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006,12(3):406-411.