

# 生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响

李志友

(安顺学院 农学院, 贵州 安顺 561000)

**摘要:**以蓝莓为试材,研究了生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响。结果表明:(1)生物有机肥(BOF)显著增加了蓝莓根区土壤含水量( $p<0.01$ ),显著降低了蓝莓根区土壤 pH 值、容重和总孔隙度( $p<0.01$ );(2)生物有机肥增加了蓝莓根区土壤养分,BOF 处理下蓝莓根区土壤有机碳、全氮、全钾、有效磷和有效钾含量均显著高于 CK ( $p<0.01$ ),其中,以土壤有效养分的增加幅度最大,而对全磷的影响并不显著( $p>0.05$ );(3)BOF 处理下蓝莓根区土壤酸性磷酸酶活性、脲酶活性、蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性均显著高于 CK ( $p<0.01$ );(4)BOF 处理下蓝莓根区土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)含量均显著高于 CK ( $p<0.01$ ),土壤微生物量碳和氮较养分的变化更为敏感,能有效评价生物有机肥的改良效果;(5)BOF 处理下蓝莓根区土壤微生物周转速率加快,周期缩短,转移量增加,土壤微生物活性增强,有利于土壤养分的循环和保持。综合比较来看,生物有机肥可有效促进蓝莓根区土壤养分的吸收和营养代谢协调均衡,确保蓝莓的高产优质。

**关键词:**生物有机肥;蓝莓;土壤养分;土壤微生物学特性

中图分类号:S144.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0036-07

## Effect of Bio-organic Fertilizer on Soil Microbial Properties and Nutrients in Blueberry Root Zone

LI Zhiyou

(Department of Agronomy, Anshun University, Anshun, Guizhou 561000, China)

**Abstract:** In order to provide bio-organic fertilizer references in the process of blueberry growth, blueberry was selected as test material, the effect of bio-organic fertilizer on soil microbial properties and nutrients in blueberry root zone was examined. The results are as follows. (1) The bio-organic fertilizer (BOF) had significantly increased the soil moisture ( $p<0.01$ ), and significantly decreased the soil pH, bulk density and total porosity in blueberry root zone ( $p<0.01$ ). (2) BOF had significantly increased the soil nutrients, the contents of soil organic carbon, total nitrogen, total potassium, effective phosphorus and effective potassium in blueberry root zone were significantly higher than those of CK ( $p<0.01$ ), the soil available nutrients rapidly increased, while BOF had no significantly effect on soil total phosphorus ( $p>0.05$ ). (3) BOF had significantly increased the soil acid phosphatase activity and soil urease activity and sucrase activity and catalase activity in blueberry root zone, which were significantly higher than those of CK ( $p<0.01$ ). (4) BOF had significantly increased the soil microbial biomass in blueberry root zone, which was significantly higher than that of CK ( $p<0.01$ ), and was more sensitive to soil nutrients and could effective evaluate the effects of bio-organic fertilizer. (5) BOF also significantly raised the contents of microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen, accelerated microbial turnover rate, shortened microbial turnover time, increased microbial transfer capacity and activate soil microbial activity, which was beneficial to recycling and maintaining soil fertility. In total, BOF could effectively promote the soil nutrition absorption and metabolic coordination equilibrium, and ensure the higher yield and quality of blueberry.

**Keywords:** bio-organic fertilizer; blueberry; soil nutrients; microbial properties

蓝莓(Blueberry)是杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(Vacciniodeae)蓝色小浆果的总称,为多年生落叶小灌木或常绿灌木<sup>[1-2]</sup>。全世界约有400余种,主要分布于北半球的温带和亚热带,我国约有91个种、28个变种,主要分布于东北和西南地区<sup>[3-4]</sup>。蓝莓具有极高的经济价值,其果实含有花青素、有机酸等多种生理活性成分,具有防止脑神经衰老、增强心脏功能、明目及抗癌等独特功效,被国际粮农组织列为人类五大健康食品之一<sup>[5]</sup>。蓝莓人工栽培已有百年历史,但我国蓝莓研究起步较晚<sup>[1-2]</sup>。20世纪80年代以来,吉林农大、中科院南京植物所、山东省果树研究所等单位先后从美国、加拿大、澳大利亚、芬兰等国家引入蓝莓优良品种100余个,并且对蓝莓的栽培技术进行了深入研究<sup>[3-4,6]</sup>,而我国的蓝莓育种工作仍相对薄弱,具有自主知识产权的蓝莓新品种极少<sup>[2,7]</sup>。

近年来经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高,化肥的大量施用使得环境污染日益加剧,从而造成了土壤环境质量的持续下降,不利于农业的可持续发展<sup>[8]</sup>。生物有机栽培作物顺应农业生态环境、生产优质无污染,日益受到重视并逐步发展起来,作为一种新型肥料,尤其是生物肥的研究与应用已受到世界各国的重视<sup>[9-10]</sup>。目前生产中存在重视施用化肥,轻视施用有机肥的情况,长期施用化肥易引起土壤物理、化学和生物学性状的改变,造成土壤肥力减退,土壤板结。而生物有机肥是一类因微生物生命活动及其代谢产物为作物提供特定肥效的微生物活体制品,其主要机理是利用其中微生物的各项生命代谢活动提供植物所需的营养元素或者微生物新陈代谢过程中产生的各种生理活性物质来调节作物的生长<sup>[11]</sup>;生物有机肥除了养分供应全面外,还可明显改善土壤团粒结构,提升土壤肥力,改善植株生长状况,提高植株抗性,达到产、效双增的目的<sup>[12]</sup>。目前已有关于露地栽培蓝莓的施肥研究,但生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响尚不多见。有鉴于此,本研究采用田间小区作物栽培试验研究生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响,以期蓝莓优质丰产及综合管理以及生物肥料在蓝莓中的应用提供理论和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验地位于安顺学院农学院野外试验大棚,试验区面积约为10 m×100 m,该地属于北亚热带季风气候,海

拔679 m,年平均温度15.6℃,年降雨量1 120.5 mm,≥10℃的有效积温4 780℃,年日照时数1 156.9 h,无霜期284 d。试验田平坦向阳,排灌方便,肥力均匀,土壤为烂泥田,供试土壤质地为壤质黏土。

蓝莓(品种为爱国者)蓝莓种子购自贵州省农科院,千粒重2.15±0.32 g,种子纯度97%以上,发芽率90%以上,待蓝莓种子安全贮存半年度过休眠期,挑选籽粒饱满、无病虫害、大小均匀、色泽一致的种子,80%乙醇消毒30 min,蒸馏水反复冲洗4℃保存以备。

### 1.2 试验设计和方法

有机肥由本实验室自制,利用鸡粪、稻壳、木屑堆制而成,其含水量42.37%,有机碳23.59%,全氮0.98%,全磷0.85%,全钾2.75%,普通细菌总含量为 $1.45\times10^8$  cfu/g。生物有机肥(BOF)以上述腐熟有机肥为载体,经自然风干后加入解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌(两种抗病功能芽孢细菌,均从蓝莓植株根内分离)、解磷芽孢细菌和解钾芽孢细菌,功能菌总含量为 $5.92\times10^7$  cfu/g。

采用完全随机设计,共计2个不同处理,生物有机肥,整地前均匀撒施50 000 kg/hm<sup>2</sup>,无生物有机肥为对照(CK),每处理5次重复,共计10个小区,每个小区面积为6 m×6 m=36 m<sup>2</sup>,为消除小区之间水肥相互影响,不同小区之间用厚塑料布埋入0.5 m深土层,进行隔离处理。采取沟垄覆膜种植模式,种植垄宽80 cm,高20 cm,每小区3垄,垄间距100 cm,株距30 cm。2014年2月初育苗,2叶1心时定植,缓苗一周,三蔓整枝,其他管理措施按当地种植经验。试验期间采取同样的管理措施(大田管理措施),分别在播种后、苗期、初花期灌水3次,保证灌水量均相等,自然条件生长,试验期间不追肥,定期除草,最大程度上保证其长势一致。

### 1.3 样品采集

2015年8月中,在每个小区设置随机选取3株蓝莓植株,采集其根区土壤,用小钢铲采集0—20 cm土层的混合土壤,采用四分法收集约2 kg新鲜土壤,采样时除去土壤表面动植物残体,所采土壤样品充分混匀后用聚乙烯无菌塑料袋密封包好,并迅速带回实验室内分析测定,所取土样分为2份,一份装自封袋中,一份新鲜土样过2 mm筛后测定土壤微生物量、土壤酶活性和微生物活性,一份自然风干(20 d)去除碎片和部分根后过0.5 mm筛测定土壤养分。

### 1.4 测定方法

采集蓝的土壤样品自然风干(20 d)去除有机碎

片后过研磨过 0.5 mm 筛用于土壤养分测定;pH 值采用电极电位法(1:2.5 土水比);土壤容重和孔隙度采用环刀法;土壤有机碳采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤全磷用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法;土壤全氮用全自动凯氏定氮法;有效磷采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提—钼锑抗比色法测定;有效钾和全钾采用火焰分光光度法;4℃ 保存的新鲜土样中采用氯仿熏蒸— $\text{K}_2\text{SO}_4$  浸提法测定土壤微生物量碳、氮<sup>[13]</sup>。

土壤酶活性参照文献:土壤蔗糖酶活性采用 3,5—二硝基水杨酸比色法;脱氢酶活性采用三苯基四唑氯化物(TTC)法;脲酶活性采用苯酚钠比色法;磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠法<sup>[14]</sup>。

土壤微生物活性:改进的 FDA 法<sup>[15]</sup>

土壤微生物的周转估算<sup>[15]</sup>:

$$\beta = \sum A / N$$

式中: $\beta$  为微生物量库容值( $\text{mg/kg}$ ); $A$  为微生物量总和( $\text{mg/kg}$ ); $N$  为采样次数。

$$r_b = \sum B / \beta$$

式中: $r_b$  为微生物量周转率( $\text{a}^{-1}$ ); $B$  为微生物量转移量( $\text{mg/kg}$ )

$$T = 1 / r_b$$

式中: $T$  为微生物量周转周期( $\text{a}$ )

$$F = \beta \times \rho \times h / T$$

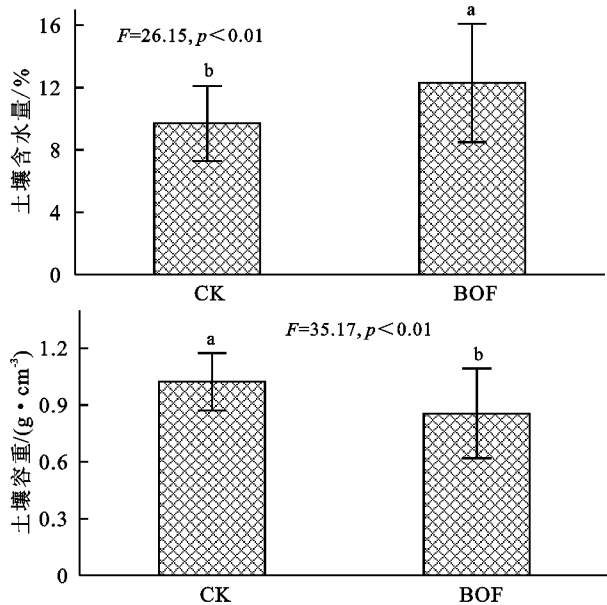
式中: $F$  为微生物量流通量 [ $(\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}))$ ]; $\rho$  为采样土壤密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $h$  为采样深度( $\text{m}$ )

试验所测数据用 Microsoft Excel 2010 和 Spss 18.0 进行显著差异分析、方差及相关性分析(平均数间的多重比较采用 Duncan's 检验方法, $p < 0.05$  差异显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生物有机肥对蓝莓根区土壤理化性质的影响

由图 1 可知,生物有机肥对蓝莓根区土壤理化性质的影响较为显著,具体表现为生物有机肥显著增加了蓝莓根区土壤含水量( $p < 0.01$ ),显著降低了蓝莓根区土壤 pH 值、容重和总孔隙度( $p < 0.01$ );BOF 处理下蓝莓根区土壤 pH 值、容重和总孔隙度均显著低于 CK( $p < 0.01$ ),土壤含水量显著高于 CK( $p < 0.01$ );与对照相比,BOF 蓝莓根区土壤含水量增加了 26.80%,土壤 pH 值减小了 14.94%,土壤容重减小了 16.32%,土壤总孔隙度减小了 7.68%。

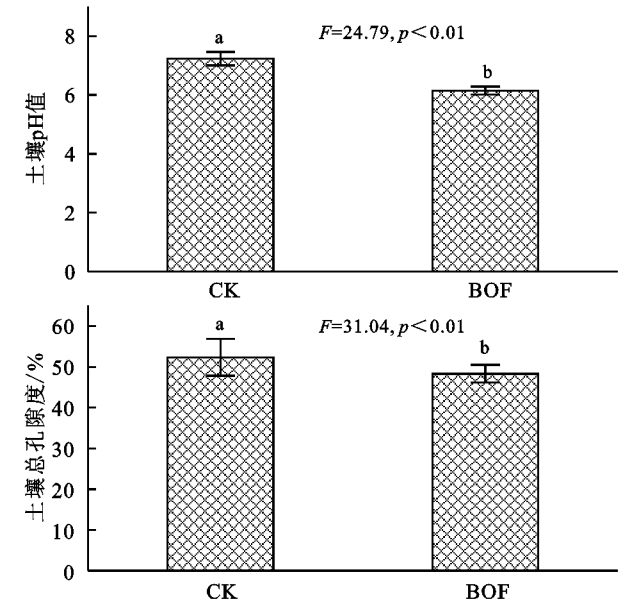


注:不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ),下同。

图 1 不同生物有机肥蓝莓根区土壤理化性质比较

### 2.2 生物有机肥对葡萄植物根区土壤养分的影响

由图 2 可知,生物有机肥对蓝莓根区土壤养分含量的影响较为显著,具体表现为生物有机肥增加了蓝莓根区土壤养分,BOF 处理下蓝莓根区土壤有机碳、全氮、全钾、有效磷和有效钾含量均显著高于 CK( $p < 0.01$ ),全磷含量表现为  $\text{BOF} > \text{CK}$ ,二者差异并不显著( $p > 0.05$ );与对照相比,BOF 蓝莓根区土壤



有机碳含量增加了 25.19%,土壤全氮含量增加了 20.87%,土壤全磷含量增加了 5.10%,土壤全钾含量增加了 33.53%,土壤有效磷含量增加了 31.81%,土壤有效钾含量增加了 66.23%,其中,土壤有效养分的增加幅度高于土壤全量养分的变化幅度。

### 2.3 生物有机肥对葡萄根区土壤酶活性的影响

由图 3 可知,生物有机肥对蓝莓根区土壤酶活性

的影响较为显著,具体表现为生物有机肥增加了蓝莓根区土壤酶活性,BOF 处理下蓝莓根区土壤酸性磷酸酶活性、脲酶活性、蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性均显著高于 CK( $p<0.01$ );与对照相比,BOF 蓝莓根

区土壤酸性磷酸酶活性增加了 22.34%,土壤脲酶活性增加了 55.81%,土壤蔗糖酶活性增加了 26.65%,土壤过氧化氢酶活性增加了 58.33%,其中以土壤过氧化氢酶活性增加幅度最大。

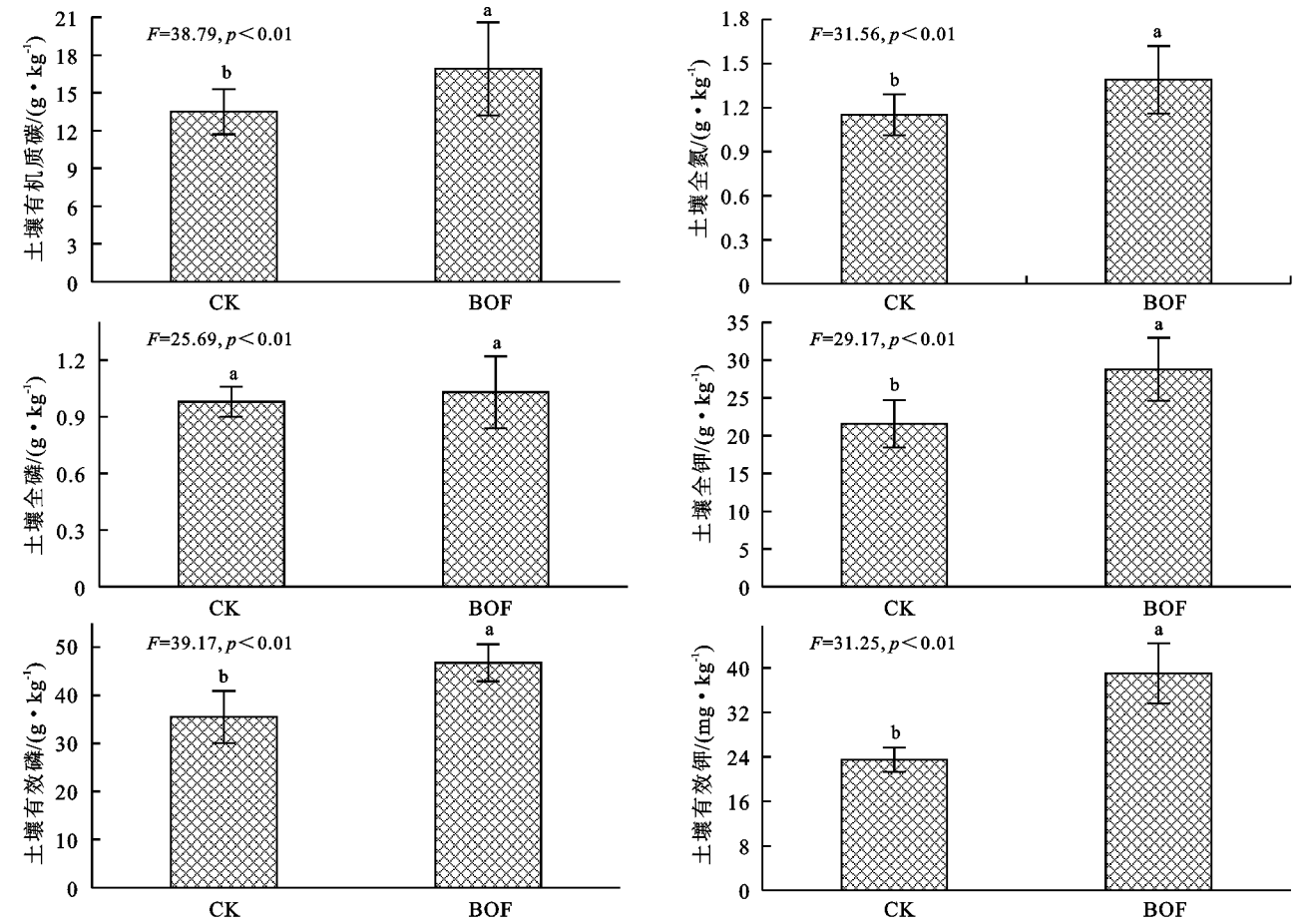


图 2 生物有机肥对蓝莓根区土壤养分的影响

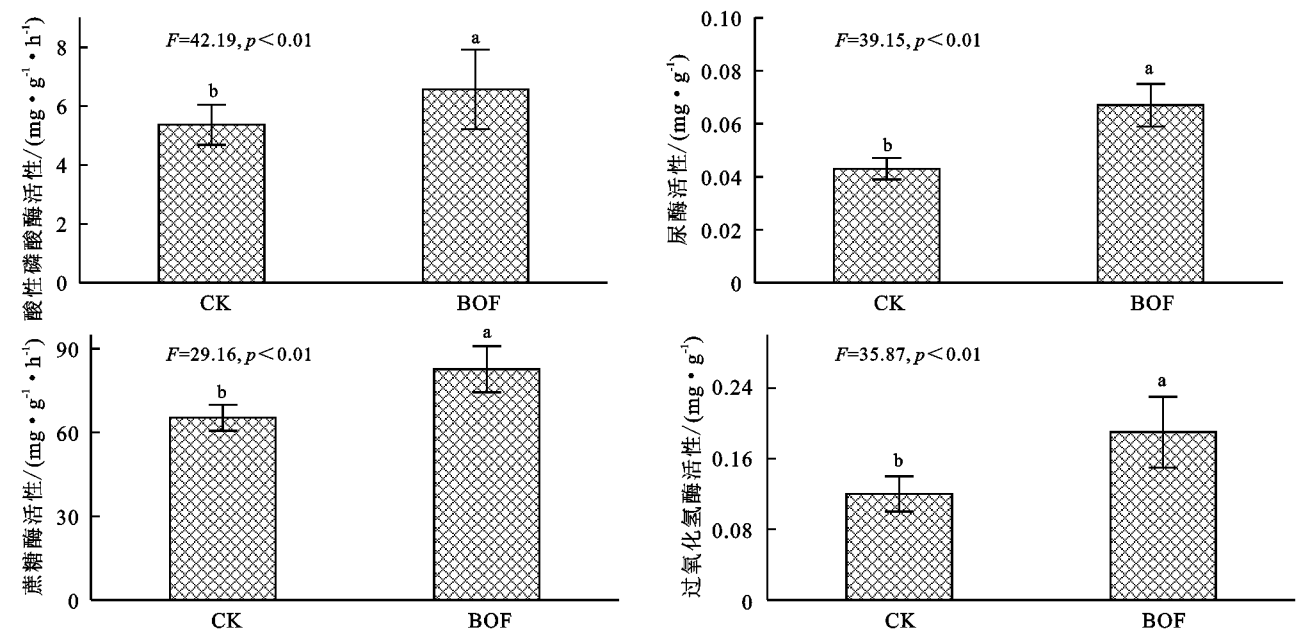


图 3 生物有机肥对葡萄根区土壤酶活性的影响

2.4 生物有机肥对蓝莓根区土壤微生物量的影响

土壤微生物量是土壤肥力的重要生物学指标,能

反映土壤同化和矿化能力。由图 4 可知,生物有机肥对蓝莓根区土壤微生物量的影响较为显著,土壤微生物

物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)含量趋势一致,具体表现为生物有机肥增加了蓝莓根区土壤微生物量,BOF 处理下蓝莓根区土壤微生物量碳(MBC)、微生

物量氮(MBN)含量均显著高于 CK( $p<0.01$ );与对照相比,BOF 蓝莓根区土壤微生物量碳含量增加了 49.41%,土壤微生物量氮含量增加了 106.09%。

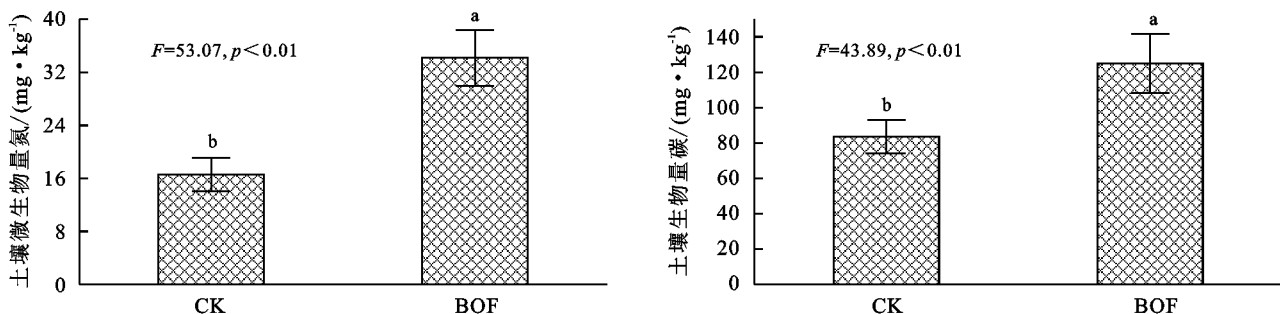


图 4 生物有机肥对蓝莓根区土壤微生物量的影响

## 2.5 生物有机肥对葡萄根区土壤微生物活度的影响

单因素方差分析结果表明,生物有机肥对蓝莓根区土壤微生物活度的影响较为显著,具体表现为生物有机肥增加了蓝莓根区土壤微生物活度,BOF 处理下蓝莓根区土壤微生物活度显著高于 CK( $p<0.01$ );与对照相比,BOF 蓝莓根区土壤微生物活度增加了 50.00%。

## 2.6 生物有机肥对土壤微生物周转的影响

土壤微生物周转对土壤有机碳和养分循环起着决定作用,对了解土壤养分供应潜力和植物养分的有效性有非常重要的意义。由图 5 可知,对照土壤微生物周转率较低,土壤微生物量碳周转率为 1.52/a,周转周期为 1.42 a,说明对照土壤微生物量碳在 1.52 a 更新 1 次,而 BOF 处理下蓝莓根区土壤土壤微生物量碳周转率为 1.67/a,周转周期为 1.27 a,说明对照土壤微生物量碳在 1.27 a 更新 1 次;对照土壤微生

物量氮周转率为 1.13/a,周转周期为 0.75 a,对照土壤微生物量氮在 0.75 a 更新 1 次,而 BOF 处理下蓝莓根区土壤土壤微生物量氮周转率为 1.36/a,周转周期为 0.73 a,说明对照土壤微生物量氮在 0.73 a 更新 1 次(图 6);由此可知 BOF 处理的土壤微生物量碳和氮周转率比对照大,周转期比对照短,且 BOF 量越大,微生物周转率越大,周转期越短,主要是由于生物有机肥加快了土壤微生物生长代谢,有利于养分的矿化释放,促进植物的生长。由图还可知,BOF 处理微生物量碳的流通量较大,而对照处理的流通量较低,表明 BOF 处理后微生物生长和消亡量增加,土壤中微生物繁殖速度加快,微生物活性加强,加快了土壤中营养元素的循环,且 BOF 用量越多效果也越明显。同时,对照微生物量碳周转期都要比微生物量氮短,说明微生物量碳更新比微生物量氮快,可能与生物有机肥含碳量高有关。

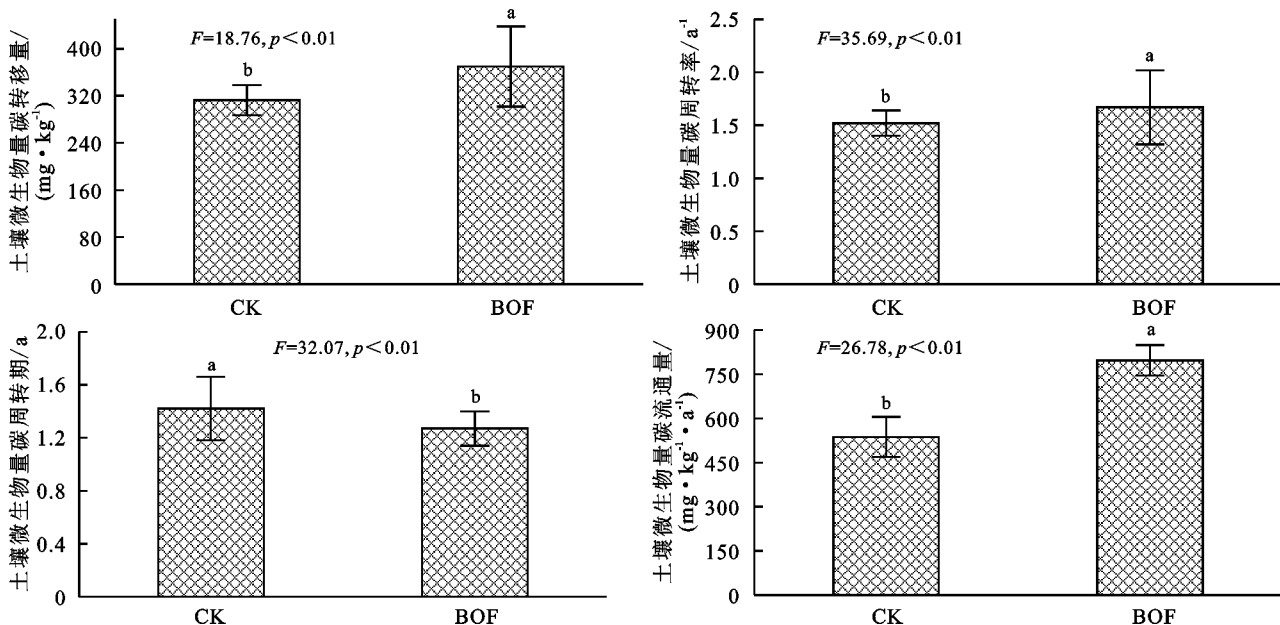


图 5 生物有机肥对土壤微生物量碳周转的影响

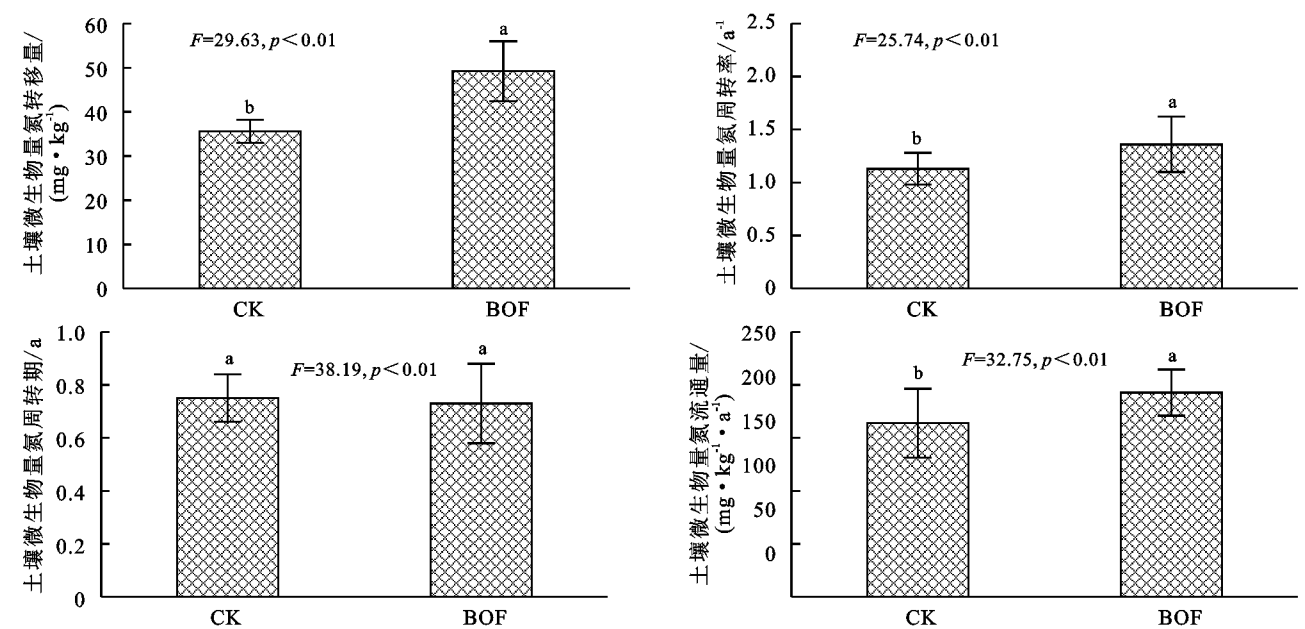


图 6 生物有机肥对土壤微生物量氮周转的影响

3 讨论与结论

生物有机肥对蓝莓根区土壤理化性质、土壤养分、土壤酶活性和土壤微生物量均具有一定的影响。图 1 的结果表明不同水平的生物有机肥增加了蓝莓根区土壤含水量,而降低了土壤容重和 pH 值;与对照相比,生物有机肥促进了蓝莓根区根系的大量生长和繁殖,增加了根区土壤的孔隙度,从而导致根区土壤容重的降低,土壤 pH 值的降低主要是由于生物有机肥处理后,通过固氮作用而引起蓝莓根区酸化,通过降低根区 pH 值,增加根区土壤养分的溶解而提高土壤养分含量,也有利于对土壤养分的有效吸收和利用,生物有机肥对蓝莓根区土壤全磷含量差异并不显著( $p>0.05$ ),表明生物有机肥对蓝莓根区土壤磷素并没有显著的影响<sup>[16]</sup>。同时,生物有机肥增加了蓝莓根区土壤含水量,主要是由于生物有机肥增加了蓝莓根区土壤的保水能力和可溶性离子,在一定范围内,土壤含水量的增加会导致蓝莓根区对土壤养分吸收的提高,也会影响养分的可利用性。

大量研究表明,生物有机肥可活化土壤养分,改善土壤理化性状,促进植物对养分的吸收,增加养分含量,提供干物质积累所需的营养,促进营养生长和生殖生长<sup>[16-19]</sup>。土壤养分不仅能反映土壤“营养库”中养分的贮量水平,而且在一定程度上能影响有效养分的供应能力,对土壤有机碳的分解、腐殖质的形成、养分的转化及循环等过程具有重要作用<sup>[20]</sup>;土壤酶活性是土壤养分循环和土壤微生物代谢活性的重要指标,通过分泌酶的方式参与土壤生态系统营养循环等,能够反映土壤养分累积、分解转化规律和土壤

中各种生化过程的强度及其方向<sup>[21-22]</sup>。生物有机肥在长期的分解过程中提高了土壤养分,在相同生境条件下,不同的 BOF 量对土壤养分表现为一定程度的增加效应,还能提高土壤中微生物量碳、氮含量,缩短微生物量周转时间,加快微生物对营养元素的吸收与释放,增加微生物流量,增强微生物活性,与前人的研究结果相一致<sup>[16-19]</sup>。由此表明了合理的生物有机肥有利于植被—土壤系统营养物质的循环、腐殖质的形成和土壤养分的提高。本研究结果表明,生物有机肥均显著增加了蓝莓根区土壤养分、酶活性和微生物量,其中以土壤微生物量的增加幅度较大,对生物有机肥体现出较大的敏感性,通过大幅度的增加土壤微生物量增加其他土壤养分和酶活性,进而促进了蓝莓根系对土壤养分的吸收和利用,提高有机物质积累和产量奠定了一定的基础<sup>[21-22]</sup>。同时,生物有机肥效能持续缓慢的释放有利于和作物的生理需求达到同步,可有效促进作物营养代谢协调均衡,主要是由于较低的 pH 值增加了土壤养分的吸收和利用,在生长繁殖过程中促进土壤养分和微生物量的增加,能提高养分矿化速率和土壤养分的有效性,有利于微生物群落的生长和增殖,通过正反馈环调节而相互刺激,从而提高土壤生态系统的物质循环和能量流动。

生物有机肥对蓝莓根区土壤养分影响的过程较为复杂,受施肥量、频率、方式、时间、土壤特性以及环境因子等综合影响,本研究区保证了相同的土壤基质和环境条件,结果表明生物有机肥对蓝莓根区土壤养分各指标具有一定的增加效应,通过降低土壤 pH 值,促进了根区土壤养分的吸收和利用,生物有机肥处理下蓝莓根区在生长繁殖过程中,势必会加大对土壤中有

效养分的吸收利用<sup>[16-19]</sup>。综合以上结果,生物有机肥能促进蓝莓根区土壤养分的吸收和循环,有助于土壤酶活性的提高,改善了土壤微生物量和微生物活度,可为蓝莓生产的科学施肥提供理论依据和参考而长期施用有机肥及其综合累积效应仍有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 苑兆和. 世界蓝莓生产历史与发展趋势[J]. 落叶果树, 2003, 35(1): 49-52.
- [2] 陈介甫, 李亚东, 徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. 药学学报, 2010(4): 422-429.
- [3] 李亚东, 刘海广, 张志东, 等. 我国蓝莓产业现状和发展趋势[J]. 中国果树, 2008, 6(2): 67-71.
- [4] 王辉, 王鹏云, 王蜀, 等. 我国蓝莓的发展现状及前景[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(2): 250-253.
- [5] 徐云, 徐建, 王婷婷, 等. 功能性保健食品蓝莓的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(6): 132-134.
- [6] 李亚东, 姜惠铁, 张志东, 等. 中国蓝莓产业化发展的前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 3(1): 39-42.
- [7] 陈介甫, 李亚东, 徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. 药学学报, 2010(4): 422-429.
- [8] 胡中华, 陈静芝. 化肥过度使用所导致的农业面源污染立法思考[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(4): 31-34.
- [9] Wu H, Yang X, Fan J, et al. Suppression of Fusarium wilt of watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms[J]. Bio-Control, 2009, 54(2): 287-300.
- [10] Qiu M, Zhang R, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control Fusarium wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(7): 807-816.
- [11] Huang X, Chen L, Ran W, et al. Trichoderma harzianum strain SQR-T37 and its bio-organic fertilizer could control Rhizoctonia solani damping-off disease in cucumber seedlings mainly by the mycoparasitism[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2011, 91(3): 741-755.
- [12] Yuan J, Ruan Y, Wang B, et al. Plant growth-promoting rhizobacteria strain Bacillus amyloliquefaciens NJN-6-enriched bio-organic fertilizer suppressed Fusarium wilt and promoted the growth of banana plants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(16): 3774-3780.
- [13] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 63-66.
- [14] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [15] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-480.
- [16] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 167-173.
- [17] 胡可, 李华兴, 卢维盛, 等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 303-306.
- [18] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 12(3): 15-21.
- [19] 周莉华, 李维炯, 倪永珍. 长期施用 EM 生物有机肥对冬小麦生产的影响[J]. 农业工程学报, 2005(S): 221-224.
- [20] 刘国顺, 彭华伟. 生物有机肥对烤烟土壤肥力及生长发育的影响[J]. 耕作与栽培, 2004(3): 29-31.
- [21] 肖相政, 刘可星, 张志红, 等. 生物有机肥对烤烟生长及相关防御性酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(1): 175-179.
- [22] 张连忠, 路克国, 王宏伟, 等. 重金属和生物有机肥对苹果根区土壤微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 92-95.

(上接第 35 页)

- [12] 吴淑芳, 吴普特, 宋维秀, 等. 黄土坡面径流剥离土壤的水动力过程研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 223-228.
- [13] 刘纪根, 雷廷武. 坡耕地施加 PAM 对土壤抗冲抗蚀能力影响试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 59-62.
- [14] 刘纪根, 张平仓, 陈展鹏. 聚丙烯酰胺对扰动红壤可蚀性及临界剪切力的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 45-49.
- [15] Horton R E, leach H R, Van V R. Laminar sheet flow[J]. Transactions of the American Geophysical union, 1934, 15(2): 393-404.
- [16] Foster G R, Huggins L F, Meyer L D. A laboratory study of rill hydraulics, II. Shear stress relationships[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3): 797-804.
- [17] 焦念, 王占礼, 刘俊娥. Jag C162 对黄土坡面降雨入渗的调控效应研究[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 25-30.
- [18] 刘俊娥. Jag S 及 Jag C162 对黄土坡面片蚀动力学过程的调控[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [19] Liu J E, Wang Z L, Yang X M, et al. The impact of natural polymer derivatives on sheet erosion on experimental loess hillslope[J]. Soil & Tillage Research, 2014, 139(2): 23-27.