生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响

曲成闯[1], 陈效民[1], 韩召强[1], 张 俊[2], 黄春燕[2], 刘云梅[2]
(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 如皋市农业科学研究所, 江苏 如皋 226500)

摘 要: [目的] 研究生物有机肥对潮土不同土层土壤物理特性及微生物碳氮的影响,为生物有机肥在土壤改良、水土保持和促进设施农业可持续发展等方面提供科学依据。[方法] 采用田间小区试验的方法,研究生物有机肥对潮土 0—15 和 15—30 cm 土层土壤水力学性质、土壤团聚体及微生物量碳、氮的改善效果,其中生物有机肥施用量分别为 0,10,20 t/hm^2。[结果] 施用生物有机肥可显著降低土壤容重,提高土壤孔隙度和各水力学指标,其中土壤容重降低了 10.37%～19.26%,田间持水量和饱和导水率提高了 13.12%～32.25%和 37.28%～67.11%;生物有机肥可提高土壤大团聚体含量和平均质量直径,降低分形维数;生物有机肥提高了土壤微生物量碳、氮含量,增幅分别为 33.66%～52.67%和 11.52%～22.64%;土壤物理特性与微生物量碳、氮具有明显相关性。[结论] 生物有机肥可有效改善潮土土壤结构和水力学特性,增加土壤蓄水供水能力,提高土壤大团聚体含量、稳定性和微生物量碳、氮含量。

关键词: 生物有机肥; 潮土; 物理特性; 微生物量碳、氮
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2018)05-0070-07 **中图分类号**: S152, S157.4

文献参数: 曲成闯, 陈效民, 韩召强, 等. 生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 70-76. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.012. Qu Chengchuang, Chen Xiaomin, Han Zhaoqiang, et al. Effects of Bioorganic fertilizer application on soil physical properties and microbial biomass carbon and nitrogen in fluvoaquic soil[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 70-76.

Effects of Bioorganic Fertilizer Application on Soil Physical Properties and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Fluvoaquic Soil

QU Chengchuang[1], CHEN Xiaomin[1], HAN Zhaoqiang[1], ZHANG Jun[2], HUANG Chunyan[2], LIU Yunmei[2]
(1. *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *Rugao Institute of Agricultural Sciences, Rugao, Jiangsu* 226500, *China*)

Abstract: [Objectives] To study the effects of bioorganic fertilizer application on soil physical properties and microbial biomass carbon and nitrogen in different soil layers, in order to provide scientific data for applying bioorganic fertilizer in soil improvement, soil and water conservation and the sustainable development of agricultural facilities. [Methods] Field soil tests were conducted to study the effects of bioorganic fertilizers on soil hydraulic properties, aggregate and microbial biomass carbon and nitrogen in 0—15 and 15—30 cm soil layers of fluvoaquic soil. The application rates of bioorganic fertilizer were 0, 10 and 20 t/hm^2, respectively. [Results] The application of bio-organic fertilizer could significantly reduce soil bulk density, increase soil porosity and hydraulics indexes. The soil bulk density decreased by 10.37%～19.26%, the field capacity and saturated hydraulic conductivity increased by 13.12%～32.25% and 37.28%～67.11%, respectively. Bioorganic fertilizer could also increase the content and average mass diameter of soil aggregates and reduce the fractal dimension of aggregates. Application of bio-organic fertilizer could increase the content of soil microbial biomass carbon and nitrogen by 33.66%～52.67% and 11.52%～22.64%, respectively. Soil physical properties had a significant correlation with microbial biomass carbon and nitrogen. [Conclusions] Application of bioorganic

收稿日期: 2018-04-23 **修回日期**: 2018-05-29
资助项目: 国家重点研发计划项目"耕地地力影响化肥养分利用的机制与调控"(2016YFD0200305)
第一作者: 曲成闯(1992—),男(汉族),山东省聊城市人,硕士研究生,研究方向为水土资源保持及利用。E-mail: 2016103065@njau.edu.cn。
通讯作者: 陈效民(1957—),男(汉族),江苏省张家港市人,博士,教授,博士生导师,主要从事水土资源与环境物理过程研究。E-mail: xmchen@njau.edu.cn。

fertilizer can effectively improve the structure and hydraulic characteristics of fluvoaquic soil, increase the capacities of soil water storage, improve soil aggregate content, stability and microbial biomass carbon and nitrogen content.

Keywords: bioorganic fertilizer; fluvoaquic soil; physical properties; microbial biomass carbon and nitrogen

潮土作为中国主要农业土壤类型,分布于重要的粮食和蔬菜生产区,如长江流域和黄河流域的中、下游平原地区以及三角洲地区,其主要受地下水运动和人为耕作活动的影响。由于潮土土壤本身特有的形成与发生过程[1],加上长期不合理利用,导致土壤耕性变差、土壤板结、水气矛盾突出以及土壤肥力失衡等现象,严重阻碍了潮土区农业生产活动。如何改良土壤质量、解决水肥矛盾、提高和维持潮土区土壤农业可持续性,已成为目前亟待解决的问题。

生物有机肥是含有腐熟有机肥和规定数量功能菌微生物的一种特殊肥料[2],是微生物肥料和有机肥的有机统一体,故生物有机肥兼具微生物肥和有机肥的特点[3]。已有研究表明[4],生物有机肥本身含有益菌群,对土壤土著微生物有一定活化作用,可增强土壤对病原菌的抵抗作用,增加土壤菌群数,从而改变土壤微生物群落结构。钟书堂等[5]证实了施用生物有机肥可提高土壤中微生物生物量,丰富土壤微生物群落结构,抑制有害病原菌微生物的生存。生物有机肥中含有多种营养元素,可增强土壤肥力,从而提高作物产量和品质。目前,有关施用生物有机肥对土壤影响作用的研究很多,但大多围绕在对土壤肥力质量和微生物群落结构的影响效果,而针对生物有机肥对土壤物理特性影响的综合评价及其对土壤团聚体粒径分布规律和微生物量碳氮影响的研究鲜有报道,且关于施用生物有机肥条件下土壤物理指标与微生物量碳、氮关系的研究更少,这在一定程度上限制了生物有机肥应用于改善土壤物理性质和耕作性能。因此,本文拟采用田间小区试验的方法,对施用不同用量生物有机肥的潮土不同土层土壤容重、总孔度、田间持水量、土壤有效水含量、土壤饱和导水率、土壤水稳性团聚体及微生物量碳、氮等指标进行研究,分析土壤结构、土壤水力学特征和微生物量碳氮含量,旨在改善土壤物理性状和生物学特性,提高土壤耕性,增强土壤侵蚀抗性,为生物有机肥在土壤改良、水土保持和促进设施农业可持续发展等方面提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验于 2016 年 8 月到 2017 年 1 月在江苏省南通市如皋市农业科学研究所(东经 120°28′54.7″,北纬 32°22′03″)进行。如皋市属于典型的亚热带季风气候(属于东亚季风),四季分明,夏季高温多雨,冬季低温少雨。试验地土壤类型为典型潮土类,供试土壤基本理化状况如下:土壤容重 1.41 g/cm^3,土壤总孔度 46.79%,土壤饱和导水率 2.21×10^{-5} cm/s,土壤有机质含量 20.89 g/kg,全氮含量 1.03 g/kg,硝态氮含量 120.36 mg/kg,土壤铵态氮含量 6.95 mg/kg,速效磷含量为 135.69 mg/kg,pH 值为 7.4。

本研究所用生物有机肥是江阴市联业生物科技有限公司提供的“镶播王”牌生物有机肥,由作物秸秆制作而成,总养分含量 8%(N+P_2O_5+K_2O),其中 N 含量 4.23%,P_2O_5 含量为 1.18%,K_2O 含量为 2.59%,有机质含量 246.35 g/kg,有效活菌数为 2.0×10^7 个/g,其中细菌 1.60×10^7 个/g,真菌为 3.0×10^6 个/g,其他菌种 1.00×10^6 个/g。

供试黄瓜品种为博美 8 号。

1.2　试验设计

1.2.1　试验小区设计　试验采用随机区组设计,设计 3 个处理,每个处理设置 3 次重复:生物有机肥用量分别是 CK:0 t/hm^2,Y_1:10 t/hm^2,Y_2:20 t/hm^2,共 9 个小区,每个小区面积 3 m×7 m=21 m^2。

黄瓜种植基肥采用 187.52 kg/hm^2 复合肥(N∶P_2O_5∶K_2O=17∶17∶17),于黄瓜种植前一次性施入,提供黄瓜生命活动所需养分。生物有机肥于 2016 年 9 月 13 日黄瓜种植前施入各小区,通过人工翻耕与 0—20 cm 表层土壤混匀。黄瓜苗龄为 31 d 时统一移栽,株距 25 cm,行距 50 cm。试验期间采取同样的管理措施(大棚管理措施),自然条件下生长,试验期间不追肥,定期人工除草,且适时采用滴灌方式适量灌水。

1.2.2　土样采集　在黄瓜成熟末期,黄瓜主要收获期结束后采样,分别取 0—15 和 15—30 cm 土层的原状土样。另外,每个小区采用“之”字形 5 点采样法,在 5 个点采集土样,混合均匀后作为该小区的 1 个代表性样品;采样和运输过程中减少扰动土样,以免对团聚体造成影响。将土样室内自然风干,沿土块自然裂隙掰开,并去除杂物。

利用环刀对土壤 0—15 和 15—30 cm 土层采样(尽量减少对环刀内土壤的扰动),用锋利的削土刀将环刀内土样上下表面削平,用铝盖封紧。各土层重复

5次,带回实验室测定土壤各物理指标。利用A型环刀(100 cm^3)和B型环刀(60 cm^3)分别在土壤剖面不同土层采样,其中A型环刀所采样用于测定土壤容重和土壤孔隙度,B型环刀所采样用于测定土壤饱和含水量、土壤田间持水量、凋萎系数等水力学指标。

1.3 测定项目与方法

土壤饱和含水量、土壤田间持水量和凋萎系数的测定:利用压力膜仪测定,其中0 Pa吸力下含水量为饱和含水量,33 000 Pa吸力时的含水量为田间持水量,1.50×10^6 Pa吸力下含水量为凋萎系数;土壤有效水含量=土壤田间持水量-凋萎系数。

土壤饱和导水率测定:采用常水头法,所用仪器为南京电力自动化设备厂55型渗透仪;

团聚体粒径分布及稳定性测定:将不同孔径的土筛按照5,2,1,0.5,0.25 mm的顺序依次由上到下排列,并将排列好的土筛安装和固定到筛架上。称取100 g风干土样置于土筛最顶层(即孔径为5 mm的筛子),将筛架同土筛放入装水的沉降铁桶里,调整桶内水面高度,使筛子移动到最高位置时,桶内水面刚好淹没最顶层土筛中土样。待土样浸泡10 min后开启FT-3型土壤团粒电动分析器,土筛上下移动频率为每分钟30次,共筛分5 min。将筛架从铁桶内缓慢取出,控水1 min后,将每层土筛内的团聚体分别转移至铝盒中,烘干后称重,计算不同粒径团聚体的质量百分数,其中大团聚体为:粒径>0.25 mm的团聚状结构单位,微团聚体为:粒径<0.25 mm的团聚状结构单位;土壤团聚体平均质量直径(MWD)计算采用邱莉萍等[6]推导的公式;土壤团聚体分形维数(D)的计算采用杨培岭等[7]推导的公式。

采用氯仿熏蒸提取法测定土壤微生物量碳(SMBC)和土壤微生物量氮(SMBN)含量;其他土壤指标测定参照《土壤农化分析》[8]中的方法。

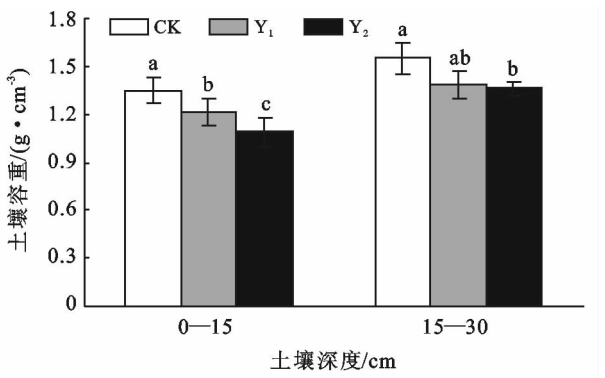
1.4 数据分析

采用Excel 2010及SPSS 19.0软件对试验数据进行统计分析和作图。采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)分析不同生物有机肥用量对土壤物理特性及微生物量碳、氮含量的影响,采用LSD法进行多重比较,显著性水平设为$\alpha=0.05$。

2 结果与分析

2.1 不同生物有机肥施用量对土壤结构和水力学特性的影响

2.1.1 生物有机肥对土壤容重和总孔度的影响 图1和图2为施用不同量生物有机肥后土壤容重和总孔度变化的对比结果。由图1和图2可知,随土层深度增加,土壤容重呈增加趋势,土壤总孔度逐渐减小。0—15 cm土层Y_1和Y_2处理中土壤容重与CK相比,分别降低了10.00%和19.11%,土壤总孔度分别增加了10.46%和19.86%,且差异均达到显著水平($p<0.05$)。15—30 cm土层Y_1和Y_2处理与CK相比,土壤容重分别降低了10.97%和12.26%,土壤总孔度分别增加了15.66%和17.35%,且Y_2处理中土壤容重和土壤总孔度与CK相比,差异显著($p<0.05$)。可见,施用生物有机肥对不同土层土壤结构均有一定影响,尤其对0—15 cm土层土壤容重和总孔度影响更大。



注:不同小写字母表示各处理差异达5%显著水平。CK,Y_1,Y_2处理分别为施用有机肥0,10,20 t/hm^2。下同。

图1 施用不同量生物有机肥对土壤容重的影响

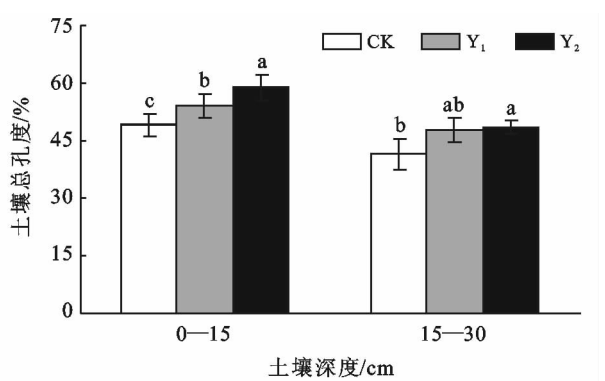


图2 施用不同量生物有机肥对土壤总孔度的影响

2.1.2 对土壤水力学特性的影响 表1为施用生物有机肥后不同土层中土壤各水力学指标变化情况。由表1可知,随着土层深度增加,各处理土壤水力学指标均呈下降趋势,且同一土层中各水力学指标含量按由大到小排列均表现为为$Y_2>Y_1>CK$。施用生物有机肥对0—15 cm土层中各水力学指标含量影响显著,其中对土壤饱和导水率和凋萎系数的影响最明显,而对15—30 cm土层中各水力学指标含量影响较小。0—15 cm土层施用有机肥的Y_1和Y_2处理中土

壤质量含水量、饱和含水量、田间持水量、凋萎系数、有效水含量和饱和导水率与 CK 相比,分别提高了 19.50%～23.89%,5.45%～13.55%,13.12%～32.25%,8.37%～12.93%,14.56%～37.97% 和 37.28%～67.11%,其中 Y_2 处理中各水力学指标含量与 CK 相比,差异均达到显著水平($p<0.05$)。Y_1 和 Y_2 处理中 15—30 cm 土层各土壤水力学指标含量均高于 CK,但各处理之间差异并不明显。

表 1　生物有机肥对土壤水力学特性的影响

土层深度	处理	质量含水量/%	饱和含水量/%	田间持水量/%	凋萎系数/%	有效水含量/%	饱和导水率/(10^{-5} cm·s^{-1})
0—15 cm	CK	21.64±0.37^{b}	41.10±0.78^{b}	23.47±2.96^{b}	5.26±0.08^{c}	18.20±3.02^{b}	2.28±0.11^{c}
	Y_1	25.86±0.96^{a}	43.34±0.62^{b}	26.55±1.80^{ab}	5.70±0.07^{b}	20.85±1.47^{ab}	3.13±0.94^{b}
	Y_2	26.81±0.59^{a}	46.67±1.48^{a}	31.04±2.80^{a}	5.94±0.02^{a}	25.11±1.08^{a}	3.81±0.04^{a}
15—30 cm	CK	12.43±1.18^{a}	29.85±1.19^{a}	15.23±1.14^{a}	4.69±0.05^{a}	10.54±1.10^{a}	0.90±0.04^{a}
	Y_1	13.83±0.54^{a}	30.30±0.65^{a}	16.40±1.23^{a}	4.76±0.04^{a}	11.64±1.28^{a}	0.92±0.01^{a}
	Y_2	14.30±0.93^{a}	30.32±0.83^{a}	16.44±0.51^{a}	4.79±0.02^{a}	11.65±0.50^{a}	1.07±0.13^{a}

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。CK,Y_1,Y_2 分别为施用有机肥 0,10,20 t/hm^2。下同。

2.2　不同生物有机肥施用量对土壤水稳性团聚体粒径分布及稳定性的影响

土壤团聚体是土壤颗粒经过黏结团聚和切割造型形成的土壤结构单元,其在维持土壤结构稳定、营养元素转化和增强土壤抗蚀能力等方面有重要作用,且土壤团聚体稳定性会直接或间接地影响其它土壤物理和化学性质。从表 2 可以看出,施用生物有机肥可明显降低土壤水稳性微团聚体(粒径<0.25 mm)含量。施用生物有机肥的 Y_1 和 Y_2 处理不同土层中土壤水稳性微团聚体含量与 CK 相比,分别降低了 5.40%～10.59%和 3.77%～24.40%,且 0—15 cm 土层施用生物有机肥的处理中土壤微团聚体含量与 CK 相比,差异达显著水平($p<0.05$)。施用生物有机肥处理的不同土层中 2～5,1～2,0.5～1 和 0.25～0.5 mm 粒径团聚体含量均高于 CK,且 0—15 cm 土层中各处理不同粒径土壤团聚体含量差异较明显。由表 2 可知,Y_1 和 Y_2 处理不同土层中土壤团聚体平均质量直径均高于 CK,分形维数均低于 CK,其中 0—15 cm 土层 Y_1 和 Y_2 处理与 CK 相比,土壤团聚体平均质量直径分别提高了 11.11%和 33.33%,分形维数分别降低了 6.01%和 9.19%,且各处理土壤团聚体平均质量直径相比差异显著($p<0.05$),而 15—30 cm 土层各处理中土壤团聚体平均质量直径和分形维数差异均不明显。

表 2　生物有机肥对土壤团聚体粒径分布、平均质量直径及分形维数的影响

土层深度	处理	团聚体百分含量/%						平均质量直径 MWD	分形维数 D
		>5 mm	2～5 mm	1～2 mm	0.5～1 mm	0.25～0.5 mm	<0.25 mm		
0—15 cm	CK	0.90±0.05^{a}	1.54±0.05^{c}	2.74±0.21^{c}	10.89±0.61^{c}	20.12±0.85^{c}	62.43±0.44^{a}	0.45±0.03^{c}	2.83±0.05^{a}
	Y_1	0.81±0.12^{a}	1.94±0.04^{b}	4.18±0.55^{b}	14.27+0.52^{b}	22.98±0.54^{b}	55.82±0.12^{b}	0.50±0.03^{b}	2.66±0.08^{ab}
	Y_2	0.83±0.03^{a}	2.94±0.07^{a}	5.98±0.60^{a}	17.02±0.77^{a}	26.03±0.24^{a}	47.20±1.22^{c}	0.60±0.01^{a}	2.57±0.10^{b}
15—30 cm	CK	0.02±0.04^{a}	0.61±0.03^{a}	1.26±0.06^{b}	4.65±0.45^{a}	11.25±0.96^{b}	82.06±1.43^{a}	0.33±0.01^{a}	2.90±0.06^{a}
	Y_1	0.02±0.04^{a}	0.60±0.14^{a}	1.50±0.03^{a}	5.41±0.43^{a}	12.00±0.86^{b}	77.63±3.57^{a}	0.34±0.02^{a}	2.89±0.09^{a}
	Y_2	0.03±0.03^{a}	0.61±0.02^{a}	1.50±0.02^{a}	5.44±0.14^{a}	13.31±0.88^{a}	78.97±0.72^{a}	0.34±0.01^{a}	2.86±0.11^{a}

注:MWD 表示土壤团聚体平均重量直径;D 表示团聚体分形维数。

2.3　不同生物有机肥施用量对土壤微生物量碳、氮含量的影响

研究土壤微生物量碳氮对了解土壤微生物活动情况及土壤养分转化过程等方面有重要意义。由图 3 和图 4 可知,施用生物有机肥可提高不同土层土壤微生物量碳、氮含量,且随着生物有机肥施用量增加,土壤微生物量碳、氮含量呈增加趋势。0—15 cm 土层,与 CK 相比,施用生物有机肥的 Y_1,Y_2 处理显著增加了土壤微生物量碳和氮含量,增幅分别为 33.66%～52.67%和 11.52%～22.64%,且差异均达显著水平($p<0.05$);15—30 cm 土层,Y_1,Y_2 处理中土壤微生物量碳、氮含量与 CK 相比,均有一定程度提高,但各

处理之间差异并不明显。表明施用生物有机肥对土壤微生物量碳、氮含量有明显提升作用，其中对 0—15 cm 土层影响最显著。

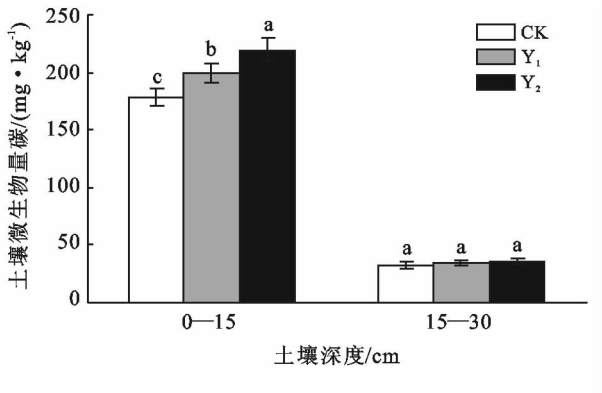


图 3 生物有机肥对土壤微生物量碳的影响

2.4 土壤物理特性指标及黄瓜产量之间相关性

施用不同量生物有机肥于潮土土壤后，对 0—15 cm 土层土壤物理特性指标和微生物量碳氮之间进行 Pearson 相关性分析，结果如表 3 所示。由表 3 可知，各土壤物理指标之间关系密切，其中土壤容重和总孔度与土壤各水力学特性指标均呈显著或者极显著的关系，与土壤团聚体平均质量直径均呈极显著相关关系（$p<0.01$）。土壤各水力学特性指标（田间持水量、凋萎系数、土壤有效水含量、饱和导水率）两两相关性均呈显著或者极显著正相关关系；除土壤水稳性大团聚体含量外，其他土壤物理指标与微生物量碳、氮关系均达到显著水平（$p<0.05$），其中土壤有效水含量与微生物量碳、氮关系均达到极显著水平（$p<0.01$）。

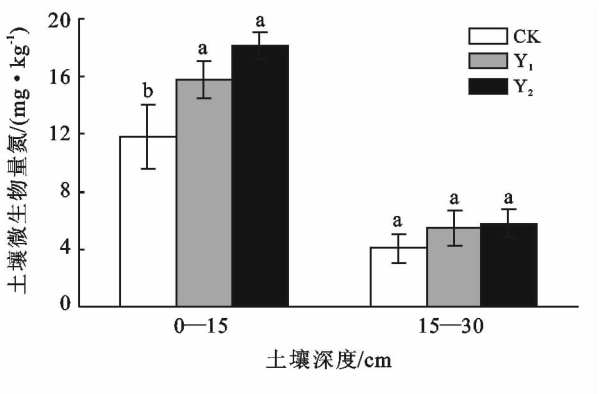


图 4 生物有机肥对土壤微生物量氮的影响

表 3 潮土土壤物理特性与微生物量碳、氮的相关关系

指 标	容重	总孔度	田间持水量	凋萎系数	有效水含量	饱和导水率	$D>0.25$ mm	平均质量直径	SMBC	SMBN
容 重	1									
总孔度	−1.000**	1								
田间持水量	−0.756*	0.756*	1							
凋萎系数	−0.793*	0.793*	0.808**	1						
有效水含量	−0.740*	0.740*	0.991**	0.777*	1					
饱和导水率	−0.756*	0.756*	0.921**	0.808**	0.990**	1				
$D>0.25$ mm	−0.396	0.396*	0.238	0.566	0.205	0.238	1			
平均质量直径	−0.829**	0.830**	0.954**	0.861**	0.948**	0.954**	0.236	1		
SMBC	−0.677*	0.678*	0.750*	0.956**	0.878**	0.788*	0.589	0.801**	1	
SMBN	−0.659*	0.685*	0.806**	0.784*	0.809**	0.688*	0.408	0.768*	0.893**	1

注：* 表示不同处理之间差异显著（$p<0.05$），** 表示不同处理之间差异极显著（$p<0.01$），且 $D>0.25$ mm 为土壤粒径>0.25 mm 大团聚体含量，SMBC 表示土壤微生物量碳，SMBN 表示土壤微生物量氮。

3 讨论与结论

3.1 讨 论

3.1.1 *施用生物有机肥对土壤结构和水力学特性的影响* 土壤容重和土壤总孔度作为土壤物理性质的重要指标，反映了土壤紧实程度、通气状况以及耕性质量好坏等[9-10]。本研究发现，施用生物有机肥后土壤容重降低，土壤孔隙度升高，原因可能是生物有机肥含有大量功能菌，功能菌微生物利用土壤中各种有机物质和无机物质进行生命活动，其通过分泌酶催化土壤中生物学和化学过程，促进土壤生物生命活动和作物根系生长，加上生物有机肥中有机质可改善土壤孔隙结构，从而导致土壤容重减小和总孔度增大。本研究还发现，随土层深度增加，潮土土壤容重呈增加趋势，而土壤总孔度呈下降趋势，主要因为潮土区主要受人为耕作活动影响，土壤表层含有较多有机质和养分，使土壤疏松多孔，而随土层深度增加，有机类物质和养分含量减少，再加上土壤自然沉积作用，下层土壤容重较大，通气性较差。

研究生物有机肥对潮土土壤水力学特性的影响，对潮土区水资源合理利用、灌溉安排及干旱评估等方面有重要指导作用。本研究发现土壤质量含水量、土壤饱和含水量、田间持水量、凋萎系数、土壤有效水含量和土壤饱和导水率在不同土层中变化趋势相同，即

随着土壤深度增加,土壤中各水力学指标含量均呈减小趋势。施用生物有机肥未改变随土层深度增加各指标含量的变化趋势,但不同土层土壤水力学特性指标含量差值变大。土壤有机质含量和土壤养分含量对土壤各水力学指标含量具有影响作用[11],施用生物有机肥可显著增强土壤微生物活性,加快土壤有机质分解转化和速效养分释放,提高了土壤有机质含量和土壤肥力[12],且生物有机肥含有的腐殖酸类物质是亲水胶体,具有很强的吸水能力,同时生物有机肥中功能菌可促进土壤团聚体结构形成,土壤团聚体可增加土壤持水能力,从而使土壤质量含水量、土壤饱和含水量、凋萎系数、土壤有效水含量和田间持水量指标含量增大。本研究发现,施用生物有机肥可明显提高土壤饱和导水率。刘祖香等[13]的研究表明土壤中有机质含量与土壤饱和导水率呈正相关关系,生物有机肥含有的有机质、养分和微生物可促进土壤生物活动以及团粒结构的形成,增加了毛管孔隙数量和通气性,使土壤变得疏松,从而提高了土壤饱和含水量。施用生物有机肥对 15—30 cm 土层土壤各水力学指标含量均有一定促进作用,但效果并不明显,这与高红军等[14]研究有所不同,原因可能是本研究中生物有机肥主要与表层土壤混匀,而 15—30 cm 土层土壤比较紧实,通气性较差,不利于生物有机肥发挥作用,从而导致 15—30 cm 土层各处理中土壤各水力学指标含量之间差异不明显。

3.1.2　施用生物有机肥对水稳性团聚体粒径分布及稳定性的影响　土壤团聚体是土壤重要的组成部分,其粒径分布及稳定性状况对土壤肥力、土壤生态环境和生物种群特征等方面都具有重要意义。本研究发现,随生物有机肥施用量增加,不同土层水稳性大团聚体含量和团聚体平均质量直径系数均呈增大趋势,而分形维数呈降低趋势,说明生物有机肥可改善土壤团聚体分布情况,提高土壤团聚体稳定性。已有研究表明[15],有机质是土壤团聚体的重要组分,在土壤团聚体的形成中具有重要的作用,生物有机肥中含有丰富的有机物质,有机质中的多糖和腐殖物质通过功能基、氢键及范德华力等机制改变土壤分散无结构和黏结大块结构,促进团粒形成,提高了水稳性大团聚体含量。微生物是形成土壤团聚体最活跃的生物因素,土壤团聚体和微生物是不可分割的,前者是后者存在的场所,后者是前者形成的主要因素,施用生物有机肥可增加土壤微生物数量和活性[16],土壤微生物通过直接改造或物理缠绕、分泌有机物和改变土壤疏水性等机制促进土壤团聚结构的形成和稳定。本研究中不同粒径团聚体含量与赵红等[17]研究的结果差异较大,原因可能是施肥种类不同造成土壤肥力水平差异,从而影响团聚体粒径分布,且作物根系分泌物也会在一定程度影响土壤团聚体分布。

3.1.3　施用生物有机肥对土壤微生物量碳、氮的影响　微生物量碳是土壤中易利用的养分库及有机物分解和氮矿化的动力,其与土壤各养分循环均有密切关系,而微生物量氮是土壤活性氮重要来源,其可调节土壤氮元素的供给。土壤微生物量碳、氮可作为土壤微生物量大小的指标,土壤微生物量碳、氮含量越高,土壤微生物生物量越大[18]。本研究发现,施用生物有机肥可提高不同土层土壤微生物量碳、氮含量,且随生物有机肥施用量增加,土壤微生物量碳、氮均呈增加趋势,原因可能是生物有机肥含有丰富的功能菌,功能菌微生物利用土壤中养分进行生命活动,同时生物有机肥中含有的丰富有机质和营养元素为土壤微生物活动提供了能量和动力,从而改善了种植黄瓜土壤微生物种群[19],增加了土壤微生物生物量,使土壤微生物量碳、氮含量提高。生物有机肥可改善土壤生态环境,增强土壤生态系统稳定性,提高土壤质量和土壤肥力水平[3],从而提高土壤氮素利用率和抑制土壤中有害物质的产生,为微生物营造良好生长环境,增加了土壤微生物生物量。施用生物有机肥使 0—15 cm 土层土壤水肥气热条件均优于 15—30 cm 土层土壤,有利于微生物进行生命活动,故 0—15 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量均高于 15—30 cm。

3.1.4　土壤物理指标和微生物碳、氮的相关性分析　通过对潮土土壤物理特性与微生物量碳、氮进行相关分析,结果表明:除土壤水稳性大团聚体含量外,其他土壤物理指标与微生物量碳、氮关系均达到显著水平。土壤物理环境可通过影响土壤质量为土壤微生物生物活性提高奠定基础,从而促进土壤微生物量碳、氮含量增加,这与 Liang 等[20]研究基本一致。施用生物有机肥增加了土壤有机质含量和土壤微生物数量,导致土壤疏松多孔和毛管孔隙增多,从而降低土壤容重,同时生物有机肥中功能微生物还可以促进土壤团聚体形成,提高土壤团聚体稳定性,增加土壤蓄水供水能力,故土壤容重与土壤水力学指标和土壤团聚体平均质量直径呈显著负相关关系。团聚体粒径分布和稳定性影响土壤结构质量,良好的土壤结构解决了土壤水、气矛盾,增强土壤保水保肥能力,进而提高了土壤各水力学特性指标,故土壤大团聚体含量和平均质量直径与土壤各水力学指标呈正相关关系。

3.2　结　论

(1) 施用生物有机肥可增加 0—15 和 15—30 cm 土层中土壤各水力学指标含量、土壤大团聚体含量和

平均质量直径,降低土壤容重和土壤团聚体分形维数,说明生物有机肥可改良土壤物理特性,提高土壤耕作质量。

(2) 施用生物有机肥对提高不同土层土壤微生物量碳氮含量均有一定促进作用,且不同土层中土壤微生物量碳、氮含量随生物有机肥施用量增加呈增加趋势。

(3) 土壤物理指标中有效水含量与微生物量碳、氮含量均存在极显著相关性,其对土壤微生物活动影响最明显。

[参 考 文 献]

[1] Ding Weixin, Yu Hongyan, Cai Zucong. Impact of urease and nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from fluvo-aquic soil in the North China Plain[J]. Biology & Fertility of Soils, 2011,47(1):91-99.

[2] 侯云鹏, 秦裕波, 尹彩侠,等. 生物有机肥在农业生产中的作用及发展趋势[J]. 吉林农业科学,2009,34(3):28-29.

[3] 孙家骏,付青霞,谷洁,等. 生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(3):829-837.

[4] Van Elsas J D, Garbeva P, Salles J. Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens[J]. Biodegradation, 2002,13(1):29-40.

[5] 钟书堂,沈宗专,孙逸飞,等. 生物有机肥对连作蕉园香蕉生产和土壤可培养微生物区系的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(2):481-489.

[6] 邱莉萍,张兴昌,张晋爱. 黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布[J]. 生态学报,2006,26(2):364-372.

[7] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1896.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2002.

[9] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil [J]. Geoderma, 2010,158(3):443-449.

[10] Chen Yan, Yoshiyuki S, Masahiko T. Influence of biochar useon sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality [J]. Australian Journal of Soil Research, 2010,48(7):526-530.

[11] 李孝良,陈效民,周炼川,等. 西南喀斯特石漠化过程对土壤水分特性的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(5):198-203.

[12] Chen Can, Pan Jianjun, Shu Kee Lam. A review of precision fertilization research[J]. Environmental Earth Sciences, 2014,71(9):4073-4080.

[13] 刘祖香,陈效民,靖彦,等. 典型旱地红壤水力学特性及其影响因素研究[J]. 水土保持通报,2013,33(2):21-25.

[14] 高洪军,朱平,彭畅,等. 不同施肥方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(4):195-200.

[15] Alagöz Z, Yilmaz E. Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey [J]. Soil & Tillage Research, 2009,103(2):419-424.

[16] Javoreková S, Maková J, Medo J, et al. Effect of bio-fertilizers application on microbial diversity and physiological profiling of microorganisms in arable soil [J]. Eurasian Journal of Soilence, 2015,4(1):54-61.

[17] 赵红,袁培民,吕贻忠,等. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 土壤,2011,43(2):306-311.

[18] 贾淑霞,赵妍丽,孙玥,等. 施肥对落叶松和水曲柳人工林土壤微生物生物量碳和氮季节变化的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(9):2063-2071.

[19] 陈波,马海林,刘方春,等. 生物有机肥对樱桃生长及根际土壤生物学特征的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(2):267-271.

[20] Liang Bin, Yang Xueyun, He Xinhua, et al. Effects of17-year fertilization on soil microbial biomass C and N and soluble organic C and N in loessial soil during maize growth[J]. Biology & Fertility of Soils, 2011,47(2):121-128.