文章编号:1000-7601(2017)03-0219-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2017.03.34

菌肥与有机肥配施对拱棚西瓜土壤的改良效果

顾 欣,孙 权,王 锐,王 婧,张佳群
(宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021)

摘 要:针对宁夏半干旱农区地力薄弱、西瓜连作土壤障碍等问题,通过田间试验和室内分析,研究了不同有机肥和菌肥配施对拱棚西瓜土壤质量的影响。结果表明:有机肥配施菌肥有利于降低耕层土壤容重,增加田间持水量,改善土壤孔隙状况,并显著降低土壤 pH 值,尤其生物有机肥配施菌肥和豆饼粉配施菌肥使表层土壤的 pH 比 CK 分别下降 5.66%~9.45%和 2.24%~2.54%。施用生物有机肥能显著增加土壤有机质和速效氮磷钾含量,相应提高土壤水溶性盐含量,表层土壤中养分平均增幅为有机质 84.98%,碱解氮 68.05%,速效磷 586.11%和速效钾 80.11%。施用有机肥和菌肥能显著提高土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶的活性,其中生物有机肥配施菌肥的表层土壤分别提高了 180.00%~220.00%、467.80~703.39%、190.91~245.45%和 18.46%~21.80%,豆饼粉配施菌肥分别提高 90.00%~150.00%、154.24%~174.58%、0.00%~163.64%和 19.30%~20.97%。有机肥配施菌肥有利于增加土壤细菌和放线菌数量,降低真菌数量,生物有机肥配施菌肥和豆饼粉配施菌肥的表层土壤细菌数量增幅分别为 303.92%~339.23%和 135.29%~203.92%,放线菌增幅分别为 225.00%~270.00%和 30.00%~92.50%,真菌降幅分别为 54.12%~56.47%和 44.71%~45.88%。通过比较,各施肥处理以生物有机肥配施解淀粉芽孢杆菌为改良培肥瓜田土壤的最优配施方案。

关键词:菌肥;有机肥;解淀粉芽孢杆菌;土壤质量;西瓜
中图分类号:S144.1;S651 **文献标志码**:A

Microbial fertilizer and organic fertilizer on soil improvement effect of plastic shed watermelon

GU Xin, SUN Quan, WANG Rui, WANG Jing, ZHANG Jia-qun
(*Agricultural College of Ningxia University*, *Yinchuan*, *Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: In order to solve the major problems such as poor soil fertility, soil obstacles from continuous watermelon cultivation in semi-arid area in Ningxia, a field experiment was carried out to study the effect of microbial fertilizer and organic fertilizer on soil quality with watermelon planted in the plastic shed. The results showed that, compared with CK, organic fertilizer combined with microbial fertilizer could reduce the soil bulk density and soil pH, increase soil field capacity and soil porosity. In particular, surface soil pH values of B + M treatment (biological organic fertilizer cooperated with microbial fertilizer) and S + M treatment (soybean cake powder cooperated with microbial fertilizer) were reduced by 5.66% ~ 9.45% and 2.24% ~ 2.54% respectively, compared with CK. The content of soil organic matter, available nitrogen, phosphorus and potassium was increased by 84.98%, 68.05%, 586.11% and 80.11%, respectively, and soil salt was also increased in biological organic fertilizer. The activity of soil urease, sucrase, alkaline phosphatase and catalase was enhanced by 180.00% ~ 220.00%, 467.80% ~ 703.39%, 190.91% ~ 245.45% and 18.46% ~ 21.80%, respectively, in B + M treatment, and 90.00% ~ 150.00%, 154.24% ~ 174.58%, 0.00% ~ 163.64% and 19.30% ~ 20.97%, respectively, in S + M treatment. The organic fertilizer combined with microbial fertilizer could significantly increase the quantity of soil bacterium and actinomycete, but decrease the quantity of fungus. The soil bacterium of B + M and S + M treatments was increased by 303.92% ~ 339.23% and 135.29% ~ 203.92%. The quantity of actinomycete was increased by 225.00% ~ 270.00% and 30.00% ~ 92.50% and the fungus was decreased by

收稿日期:2016-04-27 **修回日期**:2017-03-10
基金项目:宁夏高等学校科学技术研究项目(NGY2014064);宁夏重点研发计划项目"新型生物肥药开发及健康土壤培育关键技术研究与示范";宁夏农业科技支撑项目(2014 宁财农 06)
作者简介:顾 欣(1973—),女,河北行唐人,副教授,主要研究主向为农业微生物资源与利用。E-mail:guxin929@163.com。
通信作者:孙 权(1965—),男,教授,主要研究方向为农业资源与利用。E-mail:sqnxu@sina.com。

54.12% ~ 56.47% and 44.71% ~ 45.88%, respectively. Based on these results, the best measures for soil quality improvement in watermelon field was biological organic fertilizer combined with the microbial fertilizer of Bacillus amyloliquefaciens.

Keywords: microbial fertilizer; organic fertilizer; *Bacillus amyloliquefaciens*; soil quality; watermelon

菌肥富含功能微生物,在农业中发挥着改良土壤、维持根系微生物区系平衡、提高作物品质、促进增产等作用[1]。商品菌肥常以接种剂形式进行销售和应用,但单纯投入农田必然面临严峻的生存挑战。而有机肥富含作物所需养分,能保持较稳定的土壤酸碱度[2],却往往缺乏特定功能菌株。为达到优势互补,可人为将菌肥与有机肥配合施用,达到培肥土壤,促进功能菌生长、繁殖及产生生物活性物质,最终保障作物健康生长的目标。

有机肥和菌肥因原材料、菌种及生产工艺差别而种类多样、功能各异。然而,即使在同一种植环境中,不同有机肥、菌肥的施用对土壤理化和生物性质的影响也存在差异。一方面施用有机肥可改善土壤物理性状,降低土壤容重,增加孔隙度;另一方面有机肥种类、数量直接影响有机肥的养分效应和土壤生物学特征[3]。低产黄泥田施用不同有机肥,9 种土壤酶活性的响应不同,培肥效果具有差异[4]。施用有机肥的设施土壤盐分累积量不同,累积量随有机肥使用量增大而逐渐降低[5]。不同菌肥对生菜根际土壤理化性质、营养成分、土壤酶活性和土壤微生物种群数量具有不同程度的影响[6]。以上均是针对不同有机肥或菌肥施用效果的研究,而对不同有机肥与菌肥配合施用对比的研究鲜见报道。

我国中西部地区耕地以旱地为主,且地力多薄弱,成为限制作物高产的主因;种植瓜类等经济作物对增加当地农民收入意义重大,但瓜类的连作障碍又成为制约产业发展的瓶颈。为此,针对不同有机肥与菌肥的适宜配施方案及其对拱棚西瓜土壤质量的影响开展研究,利用有机肥和菌肥培肥地力,改良土壤,优化作物根部微生态,能够为相关肥料的科学应用提供依据,也有利于土地的合理利用和农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏平原中部的吴忠市扁担沟镇。该地区平均海拔 1 130 m,地势平坦,设施农业发达,为引黄灌区。属温带半干旱大陆性气候,降水少蒸发多,干旱指数达 10.41,年平均气温 8.8℃,昼夜温差大,日照时间 2 936 $h \cdot a^{-1}$,无霜期短,仅为 171 d。

1.2 试验材料

供试土壤为新积土,质地砂壤。设施为钢骨架塑料大棚,种植初期棚内加设小拱棚。西瓜品种为金城 1 号。

供试有机肥为商品生物有机肥(有机质≥45%,$N + P_2O_5 + K_2O \geq 5\%$,有效活菌数≥$2 \times 10^8$ $Cfu \cdot g^{-1}$,主要原料为秸秆和羊粪)和豆饼粉(有机质≥30%,$N + P_2O_5 + K_2O \geq 10\%$)。菌肥Ⅰ含单一生防菌——解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*),有效活菌数≥500×10^8 $Cfu \cdot g^{-1}$,稀释 1 000 倍使用;菌肥Ⅱ为水溶性复合微生物菌剂,含地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌、固氮菌、圆褐固氮菌、解钾菌、解磷菌和光合细菌等,有效活菌数≥20×10^8 $Cfu \cdot g^{-1}$,稀释 500 倍使用。

1.3 试验设计

试验采用单因素多水平随机区组设计,共 7 个处理,以非耕种土壤为 CK,另设 6 个处理,分别为豆饼粉(A1)、豆饼粉 + 菌肥Ⅰ(A2)、豆饼粉 + 菌肥Ⅱ(A3)、生物有机肥(B1)、生物有机肥 + 菌肥Ⅰ(B2)、生物有机肥 + 菌肥Ⅱ(B3)。试验用有机肥于瓜苗定植前基施并旋耕,用量为生物有机肥 15 $t \cdot hm^{-2}$和豆饼粉 1.5 $t \cdot hm^{-2}$。采用半高畦种植,畦面宽 1.4 m,畦距 0.75 m。畦面三角式开穴定植,每畦两行,株距 50 cm,行距 60 cm。瓜畦覆盖地膜,膜下滴灌。每处理小区面积 42 m^2,每处理重复 3 次;试验用菌肥于定植当日沾根,首花期和挂果初期为灌根和喷施叶面,施用量每株每次 50 ml。

1.4 测定项目

土壤理化指标测定:土样采集,CK 于底肥施用前取样,各施肥处理于收获前一周取样。用 S 型法分别取 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层多点混合样,四分法留取化学分析样,置土样于无菌自封袋中,带回实验室以备分析。新鲜土样经自然风干,过 1 mm 筛备用。土壤田间持水量、容重采用环刀法测定;土壤水分采用 105℃烘干法测定;pH 采用电位法测定;EC 采用电导率仪测定。有机质采用重铬酸钾 - 硫酸氧化法测定;碱解氮采用碱解蒸馏法测定;速效磷采用钼锑抗比色法测定;速效钾采用火焰光度法测定[7]。

土壤酶活性测定:过氧化氢酶采用高锰酸钾滴

定法测定;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定;脲酶采用苯酚 – 次氯酸钠比色法测定;蔗糖酶采用 3,5 – 二硝基水杨酸比色法测定[8]。

土壤微生物测定:取土样方法同上,新鲜土样过 1 mm 筛,装入无菌自封袋中,4℃保存。采用土壤悬液稀释平板计数法测定可培养细菌、真菌和放线菌数量。细菌采用牛肉汁蛋白胨琼脂培养基,真菌采用 PDA 培养基,放线菌采用改良高氏 1 号培养基进行选择性培养[7]。

1.5　数据统计及分析

本试验数据用 Microsoft Excel 2010 处理,制作图表。采用 SPSS 数据处理软件做方差分析;采用 LSD 法在 $P < 0.05$ 水平上进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　不同施肥处理对土壤物理性质的影响

2.1.1　对土壤容重的影响　施用有机肥促进土壤容重改善(图 1)。西瓜为起垄栽培,0 ~ 20 cm 土壤,豆饼粉处理组的容重比 CK 降低 2.42% ~ 4.03%,其中豆饼粉 + 菌肥处理的降幅较大;生物有机肥处理组对土壤容重降幅更大(4.03% ~ 5.65%),其中 B2 有机肥 + 菌肥Ⅰ的降幅最大(5.65%),其次为 B3。施肥后 20 ~ 40 cm 土壤容重与 CK 相比也多呈下降趋势,其中 B2 降幅最大。可见,相对于 CK,施用有机肥、菌肥均可不同程度降低土壤容重。施用生物有机肥较豆饼粉、配施菌肥较未配施菌肥、菌肥Ⅰ较菌肥Ⅱ更有利于降低土壤容重,改善土壤结构。以菌肥Ⅰ与生物有机肥配施更有利于土壤容重的降低。

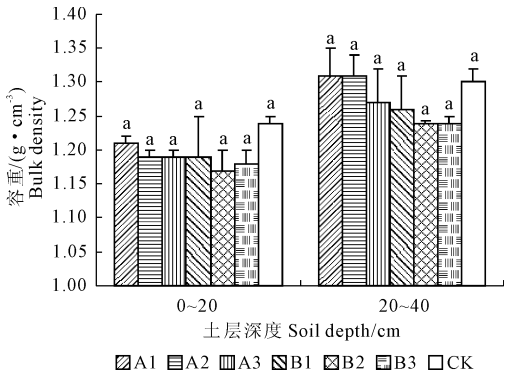

图 1　不同施肥处理对土壤容重的影响

Fig.1　The effect of different fertilization treatments on soil bulk density

2.1.2　对土壤孔隙度的影响　施用不同有机肥后土壤总孔隙度和毛管孔隙度都有增加趋势(图 2)。由图 2a 知,0 ~ 20 cm 土壤中,豆饼粉处理组总孔隙度比 CK 增加 1.54% ~ 3.35%,生物有机肥处理组增加 2.88% ~ 4.93%,其中 B2 和 B3 的增幅较大。施肥后 20 ~ 40 cm 土壤的总孔隙度与 CK 相比也多呈增加趋势。施用有机肥、菌肥可不同程度增加土壤总孔隙度,但差异不显著。由图 2b 知,0 ~ 20cm 土壤中施用豆饼粉各处理毛管孔隙度比 CK 增加 1.14% ~ 5.90%,施用生物有机肥增加 4.36% ~ 15.77%,其中 B3 增幅最大(15.77%)。施肥后 20 ~ 40 cm 土壤的毛管孔隙度与 CK 相比也呈增加趋势。可见,相对于 CK,施用有机肥、菌肥可不同程度增加土壤总孔隙度和毛管孔隙度,其中 0 ~ 20 cm 土壤中施加生物有机肥和菌肥的总孔隙度和毛管孔隙度增幅均高于其它处理。

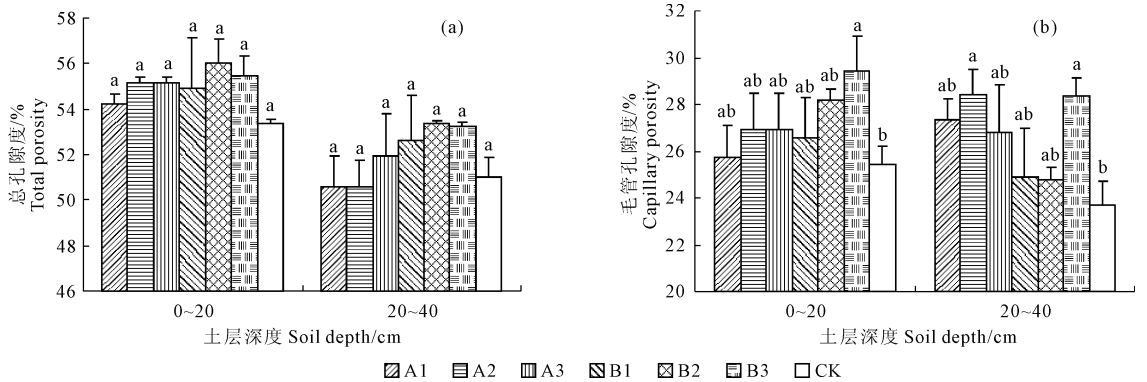

图 2　不同施肥处理对土壤总孔隙度(a)和毛管孔隙度(b)的影响

Fig.2　The effect of different fertilization treatments on total porosity (a) and capillary porosity (b) of experimental soil

2.1.3　对土壤田间持水量的影响　试验区西瓜采用膜下滴灌,田间持水量是进行田间土壤水分管理最主要的物理指标,以田间持水量的 55% 和 85% 作为滴灌的下限和上限。有机肥具有良好的物理性状,故施用不同有机肥能明显改善土壤田间持水量(图 3)。供试土壤的田间持水量较高,施用有机肥

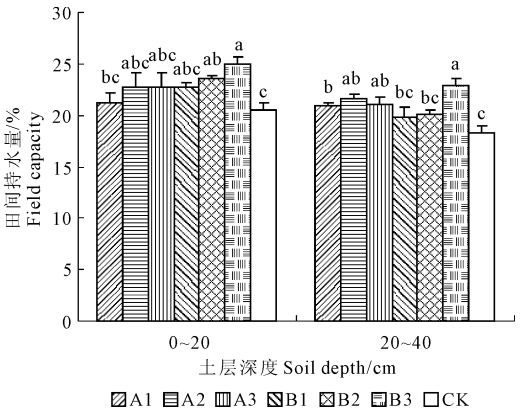

图 3 不同施肥处理对土壤田间持水量的影响

Fig.3 The effect of different fertilization treatments on field capacity of experimental soil

后,田间持水量得到提升。0 ~ 20 cm 土层,豆饼粉处理组的田间持水量比 CK 增加 2.92% ~ 10.20%,而生物有机肥处理组增加 10.40% ~ 21.04%,其中 B3 增幅最大(21.04%)。20 ~ 40 cm 土层,施肥后土壤田间持水量与 CK 相比均呈增加趋势,同样 B3 增幅最大。可见,施用有机肥、菌肥可不同程度增加土壤田间持水量,其中生物有机肥配施菌肥Ⅱ的田间持水量增幅显著高于其它处理。

2.2 不同施肥处理对土壤化学性质的影响

2.2.1 对土壤 pH 值和全盐的影响 试验区为强碱性土壤,土壤 pH 值 8.5 左右,不仅限制多种营养元素的有效供应,而且抑制植物根系的生长和吸收。由图 4 知,与 CK 比较,施有机肥后土壤 pH 均呈降低趋势。豆饼粉处理组与 CK 相比,其 0 ~ 20 cm 土壤 pH 值降低 1.40% ~ 2.54%;而生物有机肥处理呈显著降低(2.78% ~ 9.45%),其中 B2 降幅最大。施肥导致 20 ~ 40 cm 土壤 pH 亦呈下降趋势,尽管降幅较小(1.94% ~ 3.57%),但均达到显著差异水平。可见,施用有机肥、菌肥可显著降低土壤 pH,对碱性土壤具有一定调节和改良作用。

施用不同有机肥、菌肥对土壤全盐含量影响不同(图 5)。施用豆饼粉与 CK 比较 0 ~ 20 cm 土壤中全盐含量增幅 15.27% ~ 26.87%,而施用生物有机肥仅增加 10.53% ~ 13.16%,且差异显著。20 ~ 40 cm 土壤中,同样表现为施用豆饼粉比生物有机肥显著增加较多全盐含量。豆饼粉处理的全盐比 CK 增加 0.26% ~ 2.02%,但生物有机肥处理能显著促进西瓜根系发育和对养分的吸收,故收获后其全盐比 CK 降低了 5.25% ~ 17.09%。

2.2.2 对土壤养分的影响 在西瓜收获期测定土壤养分含量,各施肥处理的土壤养分含量均比不施肥(CK)有显著增加(表 1)。

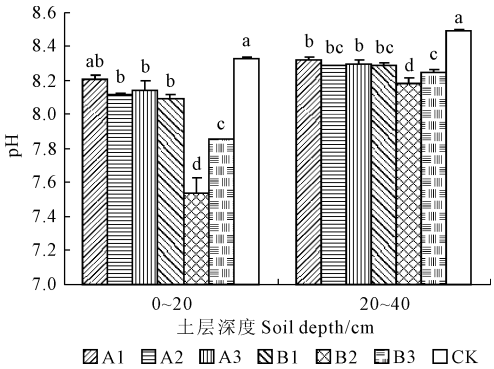

图 4 不同施肥处理对土壤 pH 值的影响

Fig.4 The effect of different fertilization treatments on soil pH

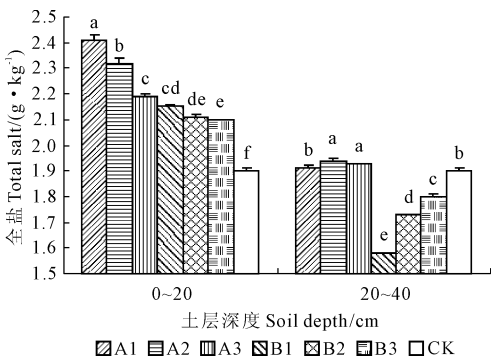

图 5 不同施肥处理对土壤全盐的影响

Fig.5 The effect of different fertilization treatments on total salt of experimental soil

施用有机肥和菌肥能显著增加土壤有机质含量。在 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土壤中,豆饼粉处理的有机质含量比 CK 平均增加 66.95% 和 69.87%;生物有机肥处理的平均增幅为 84.98% 和 95.90%。不同施肥处理的土壤有机质含量高低表现为 B2 > B1 > B3 > A3 > A2 > A1。施用生物有机肥比施用豆饼粉显著增加土壤有机质含量。施用不同有机肥及配施不同菌肥对土壤有机质含量的影响也存在显著差异。

施用不同有机肥和菌肥能显著增加土壤碱解氮含量。0 ~ 20 cm 土壤中,豆饼粉和生物有机肥两组处理的碱解氮含量较 CK 平均提高 62.629% 和 68.05%。豆饼粉供氮能力也较强,两组处理的供氮效果无显著差异。20 ~ 40 cm 土壤中碱解氮含量与 CK 比较,同样表现为豆饼粉处理组的平均增幅稍逊于生物有机肥处理组,为 214.14% 和 236.29%。生物有机肥配施菌肥Ⅰ促进氮素矿化较有利于土壤碱解氮提高。

表 1　不同施肥处理对土壤养分的影响

Table 1　The effect of different fertilization treatments on nutrient content of experimental soil

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	有机质 Organic matter /(g·kg^{-1})	碱解氮 Available nitrogen (mg·kg^{-1})	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg^{-1})	速效钾 Available potassium /(mg·kg^{-1})
0 ~ 20	A1	13.01 ± 0.42c	38.01 ± 0.20a	41.41 ± 1.82bc	250.00 ± 5.77b
	A2	13.07 ± 0.29c	38.36 ± 0.40a	36.28 ± 0.91c	330.00 ± 5.77a
	A3	14.08 ± 0.08b	39.06 ± 0.81a	48.12 ± 3.88b	340.00 ± 11.55a
	B1	14.85 ± 0.08ab	39.76 ± 0.40a	56.02 ± 1.14ba	175.00 ± 2.89d
	B2	15.02 ± 0.11a	40.11 ± 0.61a	58.98 ± 0.34a	205.00 ± 2.89c
	B3	14.63 ± 0.12ab	39.41 ± 0.20a	60.37 ± 4.33a	245.00 ± 2.89b
	CK	8.02 ± 0.32d	23.66 ± 1.46b	8.52 ± 0.50d	115.67 ± 3.33e
20 ~ 40	A1	12.77 ± 0.06b	35.56 ± 0.40c	21.86 ± 0.12e	160.00 ± 0.00ab
	A2	11.51 ± 0.00c	35.21 ± 0.20c	18.50 ± 0.23f	165.00 ± 2.89ab
	A3	13.05 ± 0.12b	33.46 ± 0.40d	29.17 ± 1.14d	170.00 ± 5.77a
	B1	14.19 ± 0.42a	37.31 ± 0.20ab	42.10 ± 0.51b	115.00 ± 2.89d
	B2	14.50 ± 0.14a	38.01 ± 0.20a	38.25 ± 1.82c	130.00 ± 5.77c
	B3	14.37 ± 0.25a	36.26 ± 0.40bc	53.06 ± 0.34a	155.00 ± 2.89b
	CK	7.33 ± 0.12d	11.06 ± 0.98e	7.85 ± 0.60g	115.00 ± 5.77d

注:表中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different small letters in the table mean significant difference at 0.05 level among treatments. The same as below.

与 CK 比较,不同施肥处理的土壤速效磷和速效钾含量显著增加。豆饼粉处理组与 CK 相比,0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层中土壤速效磷含量平均增加 392.21%(33.42 mg·kg^{-1})和 195.24%(15.33 mg·kg^{-1});生物有机肥处理组比 CK 平均增加 586.11%(49.94 mg·kg^{-1})和 466.50%(36.62 mg·kg^{-1})。各处理的土壤速效磷含量高低依次为 B3 > B2 > B1 > A3 > A1 > A2。不同土层菌肥Ⅱ处理的速效磷含量增幅均为最高。可见,施用生物有机肥比豆饼肥显著增加土壤速效磷含量,且生物有机肥配施菌肥Ⅱ提高土壤速效磷含量的效果最好。

0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层中,豆饼粉处理组土壤速效钾含量比 CK 平均增加 165.12%(191.00 mg·kg^{-1})和 43.48%(50.00 mg·kg^{-1});生物有机肥处理组分别比 CK 增加 80.11%(92.66 mg·kg^{-1})和 15.94%(18.33 mg·kg^{-1})。各处理的土壤速效钾含量高低排序为 A3 > A2 > A1 > B3 > B2 > B1。各土层中配施菌肥Ⅱ处理的土壤速效钾含量均为各组最高值。可见,施用豆饼粉比生物有机肥、配施菌肥较未配施菌肥、配施菌肥Ⅱ较菌肥Ⅰ明显增加土壤速效钾含量。豆饼粉配施菌肥Ⅱ提高土壤速效钾含量的效果最好。

2.3　不同施肥处理对土壤微生物学性质的影响

2.3.1　*对土壤酶活性的影响*　设施土壤中添加不同有机肥和菌肥,土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均呈增加趋势(表 2),对增强土壤微生物代谢活性、促进土壤质量改善具有积极作用。施用生物有机肥比豆饼粉有利于土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性的增加。0 ~ 20 cm 土壤中四种土壤酶活性与 CK 比较,豆饼粉组平均增加 106.67%、165.54%、60.61% 和 18.17%,生物有机肥组平均增加 190.00%、487.01%、200.00% 和 18.60%。施有机肥显著增加有机碳、氮和磷源,土壤蔗糖酶的增幅最为显著,其次是脲酶和碱性磷酸酶。20 ~ 40 cm 土层中四种土壤酶活性的变化趋势基本与 0 ~ 20 cm 土层相同。与 CK 比较,表层土壤中生物有机肥配施菌肥Ⅰ处理土壤脲酶和蔗糖酶活性增幅最大,分别为 137.78% 和 703.39%,配施菌肥Ⅱ较 CK 土壤碱性磷酸酶增幅最大(245.45%)。生物有机肥与菌肥配施能促进脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性的提高,各处理增幅大小可能与不同功能菌分解养分能力和土壤速效养分含量有关。施肥后过氧化氢酶活性有增加趋势,其中配施菌肥Ⅰ处理较 CK 显著增加,其它处理差异不显著。各种土壤酶活性随土层深度增加而降低。

2.3.2　*对土壤微生物区系组成的影响*　设施土壤中添加不同肥料后,土壤可培养微生物的数量及类群发生变化如表 3。

施肥处理后,不同土层中均出现细菌和放线菌数量显著增加、真菌数量降低。与 CK 比较,0 ~ 20 cm 土层中,豆饼粉处理组的细菌、放线菌数量平均增幅 126.14% 和 49.17%,真菌降幅 39.61%;生物有机肥处理组细菌、放线菌数量增幅 308.50% 和 223.33%,真菌降幅 53.73%。20 ~ 40 cm 土层中,三

类微生物数量变化趋势与表层相似。瓜类作物连作常导致土传病害加重,突出表现为真菌数量和比例的大幅度增加。表 3 表明施用有机肥有助于避免设施土壤“真菌化”,且生物有机肥效果优于豆饼粉。豆饼粉处理组各土层均为细菌数量 A2 > A3 > A1,放线菌数量 A3 > A2 > A1,真菌数量 A1 > A2 > A3(表层中 A2≈A3)。生物有机肥处理组各土层均为 B2、B3 细菌、放线菌数量增幅和真菌数量降幅都大于 B1,其中 B2 变化幅度最大。可见,以生物有机肥为底肥、配施菌肥均较未配施菌肥更有利于增加土壤细菌、放线菌数量,减少和控制真菌数量。豆饼粉配施菌肥Ⅱ放线菌和真菌数量指标优于配施菌肥Ⅰ。生物有机肥配施菌肥Ⅰ各微生物数量指标均优于菌肥Ⅱ。

表 2 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

Table 2 The effect of different fertilization treatments on enzymatic activity of experimental soil

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	脲酶 Urease /(mg·g^{-1})	蔗糖酶 Sucrase /(mg·g^{-1})	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase /(mg·g^{-1})	过氧化氢酶 Catalase (ml·g^{-1})
0 ~ 20	A1	0.18 ± 0.02c	1.58 ± 0.30d	0.13 ± 0.01d	3.15 ± 0.17ab
	A2	0.19 ± 0.00c	1.62 ± 0.31d	0.11 ± 0.00e	3.34 ± 0.08a
	A3	0.25 ± 0.02b	1.50 ± 0.14d	0.29 ± 0.01c	3.29 ± 0.33ab
	B1	0.27 ± 0.00b	2.30 ± 0.03c	0.29 ± 0.01c	3.19 ± 0.01ab
	B2	0.32 ± 0.01a	4.74 ± 0.02a	0.32 ± 0.00b	3.36 ± 0.05a
	B3	0.28 ± 0.02ab	3.35 ± 0.01b	0.38 ± 0.01a	3.27 ± 0.21ab
	CK	0.10 ± 0.00d	0.59 ± 0.04e	0.11 ± 0.00e	2.76 ± 0.02b
20 ~ 40	A1	0.13 ± 0.01c	0.53 ± 0.20c	0.20 ± 0.00d	1.64 ± 0.15b
	A2	0.17 ± 0.02c	0.38 ± 0.01c	0.14 ± 0.00e	2.02 ± 0.01a
	A3	0.16 ± 0.03c	0.41 ± 0.03c	0.14 ± 0.00e	2.07 ± 0.09a
	B1	0.22 ± 0.01b	1.20 ± 0.09b	0.34 ± 0.01b	1.76 ± 0.14b
	B2	0.30 ± 0.01a	1.98 ± 0.16a	0.24 ± 0.00c	2.14 ± 0.09a
	B3	0.27 ± 0.00a	1.83 ± 0.31a	0.38 ± 0.01a	2.08 ± 0.11a
	CK	0.06 ± 0.00d	0.37 ± 0.05c	0.09 ± 0.01f	1.63 ± 0.09b

表 3 不同施肥处理对土壤微生物区系组成的影响

Table 3 The effect of different fertilization treatments on microbial population of experimental soil

土层深度 Soil depth /cm	处理 Treatment	细菌 Bacteria ($\times 10^6$ Cfu·g^{-1})	真菌 Fungi ($\times 10^6$ Cfu·g^{-1})	放线菌 Actinomycetes ($\times 10^6$ Cfu·g^{-1})
0 ~ 20	A1	30.77 ± 4.13d	0.26 ± 0.03b	2.17 ± 0.11d
	A2	67.17 ± 3.12b	0.20 ± 0.02bc	2.25 ± 0.41d
	A3	52.00 ± 3.44c	0.20 ± 0.02bc	3.34 ± 0.30c
	B1	84.50 ± 4.18a	0.18 ± 0.03bc	4.77 ± 0.30b
	B2	97.07 ± 6.73a	0.16 ± 0.02c	6.41 ± 0.64a
	B3	89.27 ± 4.52a	0.17 ± 0.02c	5.63 ± 0.23a
	CK	22.10 ± 6.41d	0.37 ± 0.05a	1.73 ± 0.30d
20 ~ 40	A1	27.30 ± 4.92de	0.22 ± 0.05b	1.26 ± 0.04b
	A2	37.70 ± 1.99cd	0.17 ± 0.03b	1.47 ± 0.19b
	A3	29.03 ± 1.56d	0.15 ± 0.02b	2.60 ± 0.15a
	B1	45.07 ± 4.13c	0.20 ± 0.02b	2.90 ± 0.57a
	B2	79.30 ± 4.69a	0.16 ± 0.02b	3.21 ± 0.34a
	B3	65.87 ± 3.03b	0.18 ± 0.04b	2.73 ± 0.30a
	CK	17.77 ± 1.89e	0.34 ± 0.02a	1.04 ± 0.27b

3 讨 论

相关研究[9-10]表明,有机肥富含有机质,施入土壤后能有效降低土壤容重,提高土壤孔隙度、有效水含量和饱和导水率,使土壤具有较好持水性,有效改善土壤物理性状。本研究发现,施用豆饼粉和生物有机肥都能不同程度地改善土壤物理性状,且生物有机肥较豆饼粉的改善效果更好。此差异与有机肥的有机质含量及成分有关,这与李传章等[7]的研究结论一致。同时发现配施菌肥较未配施菌肥更有利于土壤物理性质的改善,但不同菌肥表现出不同的改善程度。这可能与不同功能菌促进土壤营养物质的矿化和利用具有差异有关。

设施土壤施用有机肥,土壤盐分含量出现不同程度累积[5]。本研究发现豆饼粉处理较生物有机肥的累积量多。一方面,土壤中未降解的豆饼粉显著增大了 EC 值,生物有机肥通过降解可增加土壤速效 NPK 成分。另外,有机肥含有大量盐离子,滴灌易使耕作层发生盐分表聚。这与纪立东等[11]的研究结果一致。有机肥富含有机酸,功能菌代谢分泌

有机酸,均促使土壤 pH 值下降。试验区土壤为碱性(8.33~8.49),种植西瓜土壤最适 pH 范围为 6.0~7.5。生物有机肥配施菌肥Ⅰ的土壤 pH 降至 7.54。故可利用有机肥和菌肥对当地碱性土壤进行调节和改良。

本研究结果表明,有机肥可增加土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量,菌肥可促进有机质的分解利用和养分的有效化,与其它研究结果[10,12]一致。生物有机肥配施菌肥Ⅰ较其它处理有利于增加土壤有机质和碱解氮含量,配施菌肥Ⅱ更有利于增加土壤速效磷含量;豆饼粉配施菌肥Ⅱ速效钾含量增幅最高。这可能是因为不同菌肥所含有益菌功能不同,菌肥Ⅱ中含有解磷菌、解钾菌以及豆饼粉含钾丰富有关。

施用有机肥和菌肥能显著提高土壤酶活性,增加土壤有益微生物,促进土壤肥力提高[10,13-15]。本研究结果发现,酶活高低与不同功能菌分解养分的能力和土壤中速效养分含量有关。其中,土壤脲酶活性与土壤碱解氮含量,土壤碱性磷酸酶活性与土壤速效磷含量的变化趋势基本一致,这与刘淑英[16-17]的研究结果相似。过氧化氢酶活性高低与土壤有机质含量和有机质转化具有极好相关性[8]。本研究中施肥处理的土壤过氧化氢酶活性有增加趋势,且有机肥配施菌肥Ⅰ处理较 CK 显著增加,可能与菌肥Ⅰ的功能菌氧化还原能力较强有关。有机肥的有效组份及含量不同,菌肥的功能菌种类、数量、功能存在差异,导致不同有机肥、菌肥配施对土壤微生物区系、数量的影响不一致。生物有机肥配施菌肥Ⅰ各项微生物数量指标最优。

4　结　论

有机肥配施菌肥有利于改善耕层土壤物理性质,调节当地碱性土壤 pH 值。施用生物有机肥导致土壤盐分累积较豆饼粉少。生物有机肥能有效增加土壤有机质和速效氮磷钾养分含量,菌肥中的功能菌可促进有机质分解利用和养分有效化,故二者能有效提高土壤酶活性,显著增加土壤细菌、放线菌数量,明显降低土壤真菌数量,生物有机肥处理相关指标均优于豆饼粉。生物有机肥配施解淀粉芽孢杆菌有利于增加土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性,配施复合菌有利于增加土壤碱性磷酸酶活性。由于有机肥和菌肥的组份、含量、功能存在差异,对土壤理化性质和生物性状影响不同,故菌肥与有机肥配施应因地制宜,考虑其适配性,科学制定施用方案。本试验各施肥处理中,生物有机肥配施解淀粉芽孢杆菌为最优配施方案。

参 考 文 献:

[1] 沈德龙,李　俊,姜　昕,等.GB 20287-2006 农用微生物菌剂[S].北京:中国标准出版社,2006.

[2] Stamatiadis S, Werner M, Buchanan M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California)[J]. Applied Soil Ecology, 1999,12(3):217-225.

[3] 李传章.不同有机肥分解转化特性及土壤培肥效果的研究[D].南宁:广西大学,2012.

[4] 荣勤雷,梁国庆,周　卫,等.不同有机肥对黄泥田土壤培肥效果及土壤酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,(5):1168-1177.

[5] 肖　辉,潘　洁,程文娟,等.不同有机肥对设施土壤全盐累积与 pH 值变化的影响[J].中国农学通报,2014,30(2):248-252.

[6] 褚义红.不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.

[7] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2005.

[8] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[9] 王慎强,李　欣,徐富安,等.长期施用化肥与有机肥对潮土土壤物理性质的影响[J].中国生态农业学报,2001,9(2):77-78.

[10] 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.

[11] 纪立东,杨建国,樊丽琴,等.滴灌施肥条件下设施甜瓜需水、需肥规律及土壤盐分空间变异研究[J].北方园艺,2015,(16):50-52.

[12] 韩晓增,王凤仙,王凤菊,等.长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):66-71.

[13] 吕卫光,黄启为,沈其荣,等.不同来源有机肥及有机肥与无机肥混施对西瓜生长期土壤酶活性的影响[J].南京农业大学学报,2005,28(4):68-71.

[14] 郭小强,毛　宁,张希彪,等.不同施肥处理对辣椒根际土壤微生物区系和酶活性的影响[J].作物杂志,2014,(6):123-126.

[15] 李双喜,沈其荣,郑宪清,等.施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):169-174.

[16] 刘淑英.不同施肥对西北半干旱区土壤脲酶和土壤氮素的影响及其相关性[J].水土保持学报,2010,24(1):219-223.

[17] 刘淑英.有机无机肥配施对灌耕灰钙土碱性磷酸酶和土壤磷素的影响[J].土壤通报,2011,42(3):670-675.