

沼液与化肥配施对西红柿生长和土壤组分的影响

徐铭泽¹, 孙丽英², 张 良¹, 张忠兰¹, 潘仕梅¹, 杨守军¹, 董仁杰¹

(1. 中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2. 农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125)

摘 要: 研究采用沼液与化肥不同比例配施来探讨沼液对西红柿生长和土壤组分的影响, 以期为沼液肥料化应用提供理论参考。实验以施入等量的 N 养分为依据, 共设 7 个处理, 分别为 CK(空白)、CF(常规施肥)、HF(全化肥)、ZF(全沼液)、ZF80% + HF20%(80% 沼液 + 20% 化肥)、ZF50% + HF50%(50% 沼液 + 50% 化肥)、ZF20% + HF80%(20% 沼液 + 80% 化肥)。研究结果表明, 在西红柿定植后的 40~80 d, 化肥对土壤的有效养分和叶片养分含量产生较大的影响, CF 和 HF 处理的 0~20 cm、20~40 cm 以及 40~60 cm 土层的碱解氮、速效磷和速效钾含量以及叶片的全氮、全磷和全钾含量较高; 但在定植后的 160 d, ZF80% + HF20% 处理的 0~20 cm 土层有效养分及叶片全氮、全磷和全钾含量最高。与 CF 处理相比, 在定植后的 40 d, ZF 处理的有机质含量无明显差异, ZF80% + HF20% 处理的微生物数量较高; 在定植后的 160 d, 土壤有机质含量和微生物总量以 ZF 处理和 ZF80% + HF20% 处理较高。数据说明, 叶片过氧化物酶活性始终以 ZF 处理最高, ZF80% + HF20% 处理的西红柿产量最高, ZF 处理的西红柿品质最佳。综合分析认为, ZF80% + HF20% 处理是西红柿生长发育较合理的配施比例。

关键词: 沼液; 化肥; 配施; 西红柿; 品质; 产量

中图分类号: S216.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-1166(2017)06-0075-08

Effect of Biogas Slurry Combined with Chemical Fertilizer on Tomato Growth and Soil Composition / XU Ming-ze¹, SUN Li-ying², ZHANG Liang¹, ZHANG Zhong-lan¹, PAN Shi-mei¹, YANG Shou-jun¹, DONG Ren-jie¹ / (1. Yantai Institute, China Agricultural University, Yantai 264670, China; 2. Rural Energy & Environment agency, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China)

Abstract: This study was conducted to discuss the effect of biogas slurry combined with chemical fertilizer in different ratios on tomato growth and soil composition. Seven treatments were designed including CK (control), CF (conventional fertilization), HF (chemical fertilizer), ZF (biogas slurry), ZF80% + HF20%, ZF50% + HF50%, ZF20% + HF80%. The result showed that, for CF and HF treatment groups, 40~80 days after tomato planting, the available nutrients in the soil depth of 0~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm were markedly increased, and synchronously the total nutrition of leaves was also significantly higher than those of other treatments. But 160 days after tomato implanting, for ZF80% + HF20% group, the nutrients in 0~20 cm soil and in leaves were clearly increased comparing to other treatments. The ZF and ZF80% + HF20% treatment groups had higher organic matter contents and microorganism population in soil. Data also indicated that the ZF group had the highest activity of peroxidase in leaves; the ZF80% + HF20% group had highest tomato yield; and the ZF group had best fruit quality. The comprehensive analysis suggested that the ZF80% + HF20% treatment group was a better proportion for tomato growth.

Key words: biogas slurry; chemical fertilizer; combined fertilization; tomato growth; yield; quality

近年来畜禽养殖业区域化、规模化、集约化的快速发展, 在带动区域经济提升的同时也伴随着大量粪污的产生, 而粪污能否及时消纳又成为决定畜禽养殖业可持续发展的关键因素。针对畜禽粪污的消纳问题, 以开发利用养殖场粪污为对象的厌氧

发酵沼气工程不仅是畜禽养殖废水处理利用的可缓解能源短缺的绿色新技术, 而且畜禽粪便经厌氧发酵后能有效地改善养殖场周边的卫生环境, 为畜禽粪污的无害化处理提供了有利的消解途径^[1]。沼气工程在制取生物燃气的同时又会排出大量的沼渣

收稿日期: 2017-03-16 修回日期: 2017-07-04

项目来源: 公益性行业(农业)科研专项(201403019)

作者简介: 徐铭泽(1995-)男, 山东枣庄人, 本科生, 主要从事设施农业方面的研究等工作, E-mail: cau2014xmz@163.com

通信作者: 董仁杰, E-mail: rjdong@cau.edu.cn

沼液,而沼渣沼液中的总氮、总磷等含量依然较高且无法直接排放,又成为新的污染源^[2]。考虑到沼渣、沼液中含有丰富的营养元素、有机质、腐殖酸等物质,其对土壤结构和土壤养分的改善以及农作物品质和产量的提升有良好的效果,因此可将沼渣、沼液作为肥料以施入土壤的方式来解决沼渣沼液的消纳问题^[3-4]。

众多学者早已广泛开展了沼肥养分、沼肥施用促进作物生长等相关研究,张利^[5]等在施入等量磷酸二铵的条件下研究不同沼肥用量对番茄产量和品质的影响,结果表明沼肥用量在 52500 ~ 60000 kg · hm⁻² 范围时,可有效促进番茄增产并对番茄的品质有较好的改善作用。Jothi^[6]等研究发现沼液可以促进番茄的生长,使番茄的开花和结果期提前、增加番茄的产量。由于不同来源的沼肥物质构成组分不同,难以进行分类比较,多数学者在研究沼肥利用时只注重沼肥肥效或沼肥潜在危害中的某一个节点,对沼肥的施肥工艺、沼肥施用后的作物生长发育、土壤理化性状和生物学特性的变化较少有系统研究。因此,笔者以设施大棚西红柿(*Lycopersicon esculentum*, Mill) 和土壤研究对象,探讨沼肥与化肥不同配施比例对西红柿生长发育的影响,同时分析沼肥施用后对土壤理化性状和微生物区系的影响,以此确立沼液与化肥的合理配比,为沼液的标准化应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验起始于 2016 年 4 月 1 号,于 2016 年 9 月 30 号结束。实验地点为山东省烟台市牟平区高陵镇双山屯村(121°9′ ~ 121°56′ E, 37°4′ ~ 37°30′ N)。实验地土壤为温室大棚棕壤土,其碱解氮、速

效磷、速效钾含量分别为 96.7 mg · kg⁻¹ 72.5 mg · kg⁻¹, 88.3 mg · kg⁻¹,有机质含量 3.64% pH 值 6.5。试验材料为一年生的西红柿(*Lycopersicon esculentum*, Mill) 品种为粉冠王。实验所用的沼液为山东某规模化养鸡场鸡粪厌氧发酵工程产生的沼液,未经固液分离,其全氮、全磷、全钾含量分别为 5.7 × 10³ mg · L⁻¹, 780 mg · L⁻¹ 和 2.5 × 10³ mg · L⁻¹, pH 值为 8.24。

1.2 实验设计

实验采用完全随机区组设计,共 7 个处理 3 次重复。处理 1: CK,无任何肥料施用;处理 2: CF,农民常规施肥;处理 3: HF 纯化肥施用;处理 4: ZF 纯沼液施用;处理 5: ZF80% + HF20%,80% 沼液与 20% 化肥配施;处理 6: ZF50% + HF50%,50% 沼液与 50% 化肥配施;处理 7: ZF20% + HF80%,20% 沼液与 80% 化肥配施。小区面积为 10.4 m² (1.3 m × 8 m),种植西红柿两行共 44 株。目标产量为 10000 公斤,肥料总施入量 N - P₂O₅ - K₂O = 570 - 570 - 1140 kg · hm⁻²。沼液用量以氮含量进行折算,所缺磷、钾养分以化肥补齐。基肥与追肥情况详见表 1 和表 2。

1.3 样品采集与测定方法

在西红柿苗定植后的 40,80,160 d 分别采集西红柿南部外围成熟叶片和 0 ~ 20,20 ~ 40,40 ~ 60 cm 深度土壤用来进行叶片养分、酶活性和土壤理化性状分析。叶片全氮、全磷和全钾的测定分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰光度法^[7];叶片过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚法^[8]。土壤碱解氮、速效磷、速效钾的测定分别采用碱解扩散法、钼锑抗比色法和火焰光度法,有机质的测定采用重铬酸钾外加热法^[9]。土壤微生物总量的测定采用平板扩散法^[10]。西红柿收获期进行产量和品质

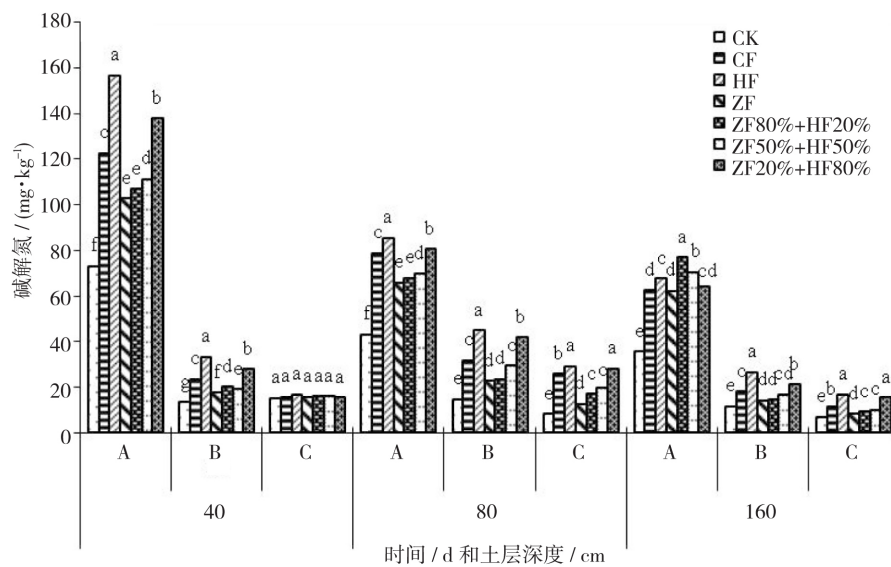
表 1 基肥

处 理	小区面积 m ²	沼肥 kg	尿素 kg	磷酸二氢钾 kg	硫酸钾 kg	商品有机肥 kg
CK	10.4	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
CF	10.4	0.0	0.13	0.08	0.11	15.59
HF	10.4	0.0	0.81	0.38	0.53	0.00
ZF	10.4	64.97	0.00	0.28	0.27	0.00
ZF80% + HF20%	10.4	51.98	0.17	0.30	0.32	0.00
ZF50% + HF50%	10.4	32.49	0.41	0.33	0.40	0.00
ZF20% + HF80%	10.4	13.00	0.65	0.36	0.48	0.00

的测定,可溶性糖含量用手持折光仪测定,果实 VC 化钠滴定法^[11]。
测定用 2,6-二氯靛酚滴定法,果实总酸测定用氢氧化

表 2 追肥

时 间	小区面积 m ²	沼肥量 kg	磷酸二氢钾 kg	硫酸钾 kg	N:P:K
施肥后 25 d	10.4	3.59	0.034	0.00	21:21:21
施肥后 35 d	10.4	2.57	0.008	0.04	15:6:30
施肥后 45 d	10.4	2.57	0.008	0.04	15:6:30
每隔 10 d 至 5 层果	10.4	2.57	0.008	0.07	15:6:42



注: 图中 A、B、C 分别代表深度为 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层, 柱上方不同小写字母表示处理间在 5% 水平下差异显著, 下同。

图 1 沼液与化肥配施对土壤剖面碱解氮含量的影响

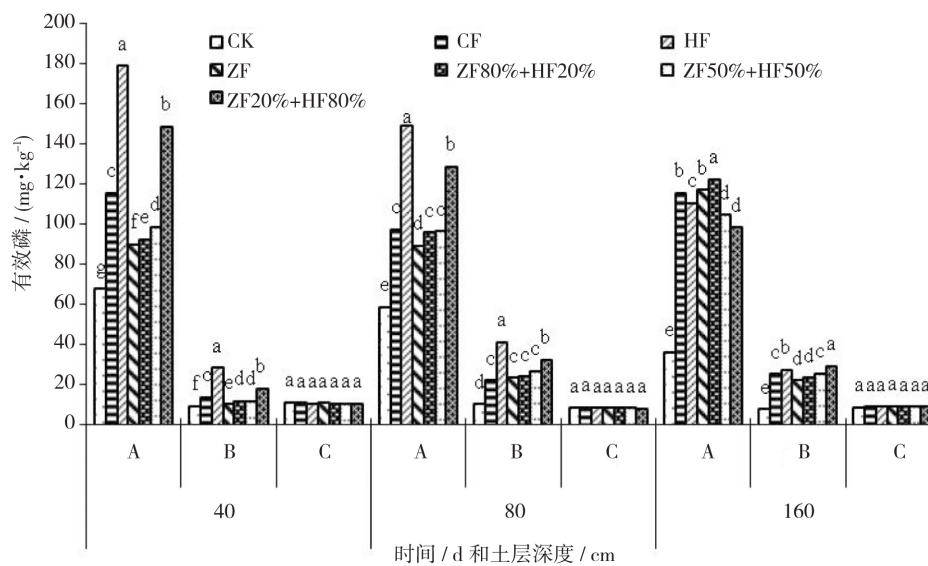


图 2 沼液与化肥配施对土壤剖面有效磷含量的影响

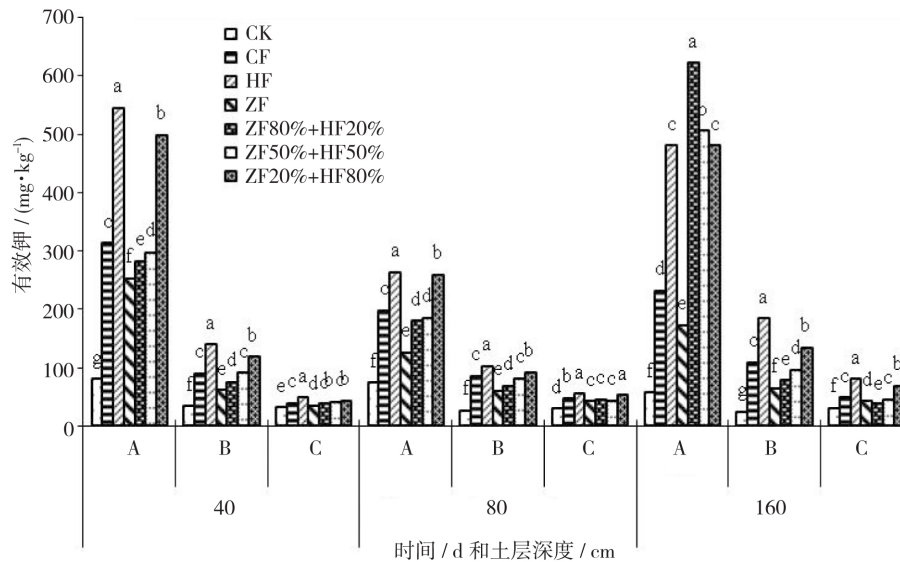


图3 沼液与化肥配施对土壤剖面有效钾含量的影响

1.4 数据统计分析

数据采用 Excel 2003 和 SAS 6.0 进行统计分析,采用最小显著差异法(LSD)处理显著差异性。

2 结果与分析

2.1 沼液与化肥配施对土壤剖面养分含量的影响

由图1、图2和图3可以看出,在定植后40 d 0~20 cm 土层碱解氮、速效磷、速效钾含量均以 HF 处理最高,其次为 ZF20% + HF80%,CF,ZF50% + HF50%,ZF80% + HF20%,ZF 和 CK;20~40 cm 土层速效养分含量变化趋势与0~20 cm 土层相似;40~60 cm 土层碱解氮、速效磷含量无显著差异,但速效钾含量则以 HF 处理最高。在定植后的80 d 0~20 cm 土层速效养分含量变化趋势与定植后的40 d 相似,但与定植后的40 d 相比,ZF,ZF80% + HF20%和 ZF50% + HF50% 处理有效磷含量出现了上升趋势,CK,CF, HF, ZF, ZF80% + HF20%, ZF50% + HF50%, ZF20% + HF80% 处理的碱解氮、速效钾含量则分别下降了40.92%,35.83%,45.42%,35.93%,36.43%,37.19%,41.53%和8.02%,36.55%,51.76%,50.32%,36.37%,37.92%,48.03%,下降幅度以 HF 处理最大;20~40 cm 土层碱解氮、速效磷含量均比定植40 d 后的20~40 cm 土层有所提高,其中 HF 处理提升最为显著;40~60 cm 土层碱解氮含量以 HF 处理最高,其次为 ZF20% + HF80%,CF,ZF50% + HF50%,ZF80% + HF20%,ZF 和 CK,其中 HF 和 ZF20% +

HF80% 处理显著高于其他施肥处理,速效磷含量处理间仍无显著性差异,而速效钾含量变化与碱解氮相似,仍以 HF 处理最高;定植后的160 d 0~20 cm 土层碱解氮、速效磷、速效钾含量均以 ZF80% + HF20% 处理为最高且与其他处理间差异显著,20~40 cm 以及40~60 cm 土层碱解氮、速效钾含量与定植后的80 d 相似,仍以 HF 和 ZF20% + HF80% 处理较高,40~60 cm 土层速效磷含量仍无显著差异。

2.2 沼液与化肥配施对土壤剖面有机质含量的影响

由图4得知0~20 cm 土层有机质含量在定植后的40~80 d 均以 CF 处理为最高,其次为 ZF, ZF80% + HF20%,ZF50% + HF50%,ZF20% + HF80%,CK 和 HF 处理;在定植后的160 d 则以 ZF 处理为最高。20~40 cm 土层有机质含量在定植后的40 d 与0~20 cm 土层变化趋势相似,但在定植后的80~160 d 则以 ZF 处理有机质含量为最高。40~60 cm 土层有机质含量在定植后的40 d 以 ZF, CF 和 ZF80% + HF20% 处理较高;在定植后的80~160 d 则以 ZF, ZF80% + HF20% 和 ZF50% + HF50% 处理较高。统计数据表明,土壤有机质含量与沼液的用量呈较好的正相关关系。

2.3 沼液与化肥配施对土壤剖面微生物数量的影响

在定植后的40 d 0~20 cm 土层细菌数量以 ZF80% + HF20%,ZF 和 ZF50% + HF50% 处理较高,真菌数量以 ZF, ZF80% + HF20% 和 CF 处理较

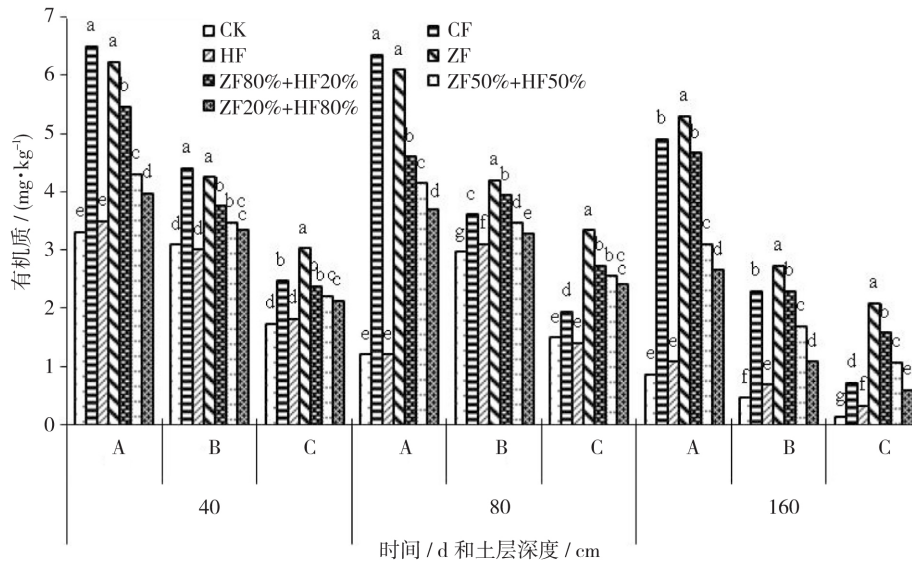


图4 沼液与化肥配施对土壤剖面有机质含量的影响

高,放线菌数量则以 ZF80% + HF20% ,CF 和 ZF 处理较高; 20 ~ 40 以及 40 ~ 60 cm 土层真菌以 ZF , ZF80% + HF20% 和 ZF50% + HF50% 处理较高,细菌和放线菌数量则与 0 ~ 20 cm 土层无显著差异。在定植后的 80 ~ 160 d ,各土层微生物数量虽有所变化但均以 ZF80% + HF20% 处理为最高,并且在定植后的 160 d 分别比 CF 和 HF 处理的 0 ~ 20 ,20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm 土层微生物总量增加了 1.45 倍和 2.88 倍,1.61 倍和 3.30 倍、1.85 倍和 3.82 倍(见图 5 ~ 图 7)。

2.4 沼液与化肥配施对西红柿叶片全氮、磷、钾含量的影响

从表 3 可以看出,在西红柿定植后的 40 d ,叶片

全氮、全磷、全钾含量以 HF 处理最高,其次为 ZF20% + HF80% ,CF ,ZF50% + HF50% ,ZF80% + HF20% ,ZF 和 CK ,叶片养分含量与化肥施用量呈正相关关系。在定植后的 80 d ,西红柿叶片全氮、全磷、全钾含量与定植后 40 d 变化趋势相似,仍以 HF、ZF20% + HF80% 处理较高。在定植后的 160 d ,西红柿叶片全氮、全磷、全钾含量则以 ZF80% + HF20% 处理为最高,分别是 CF 处理和 HF 处理的 1.13 和 1.07 倍,1.36 和 1.29 倍,1.47 和 1.17 倍。数据说明,沼液施用对叶片养分含量产生显著影响,影响程度取决于沼液与化肥的配施比例。

2.5 沼液与化肥配施对叶片抗性酶活性的影响

在西红柿定植后的 40 d ,叶片过氧化物酶活

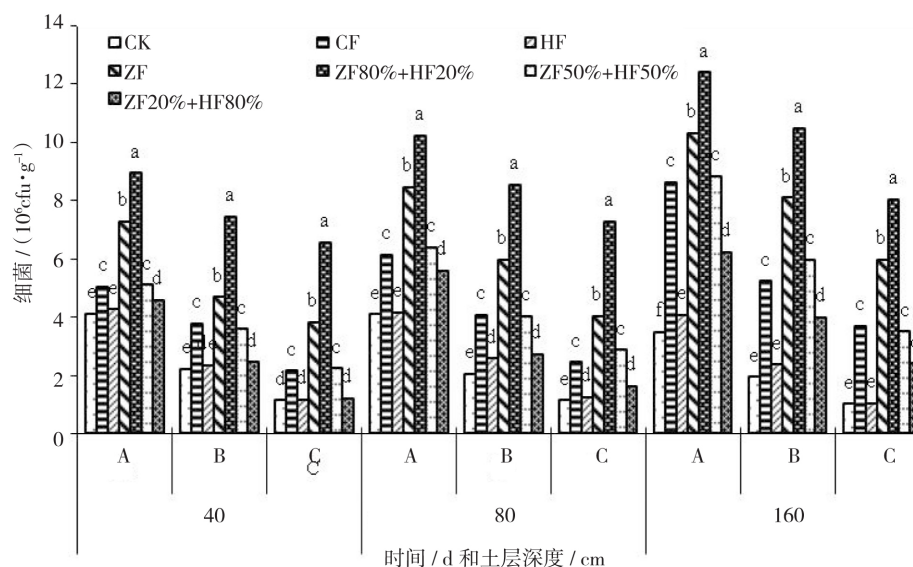


图5 沼液与化肥配施对土壤剖面细菌群落数量的影响

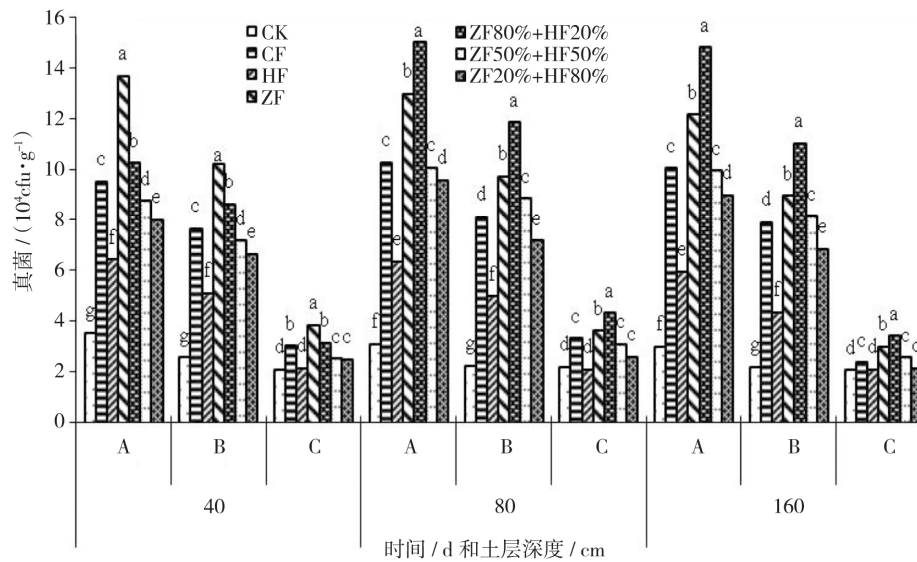


图6 沼液与化肥配施对土壤剖面真菌群落数量的影响

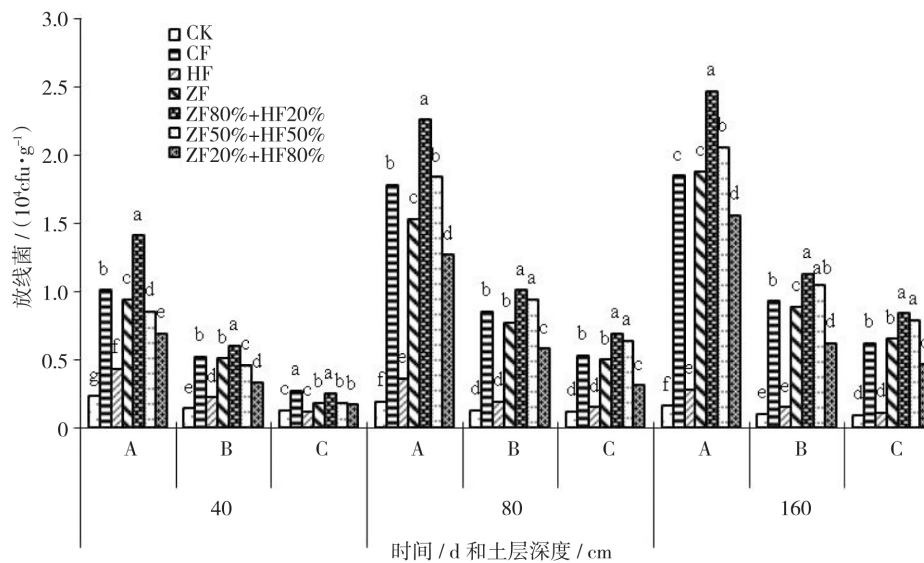


图7 沼液与化肥配施对土壤剖面放线菌群落数量的影响

表3 沼液与化肥配施对西红柿叶片全氮、磷、钾含量的影响

(mg·kg⁻¹)

处 理	全氮			全磷			全钾		
	40 d	80 d	160 d	40 d	80 d	160 d	40 d	80 d	160 d
CK	1.67f	4.01e	2.17e	1.28g	4.28e	1.59f	3.47f	1.99d	1.05f
CF	7.63c	4.51b	2.9c	3.96c	6.8c	2.24d	6.82b	2.34b	1.51d
HF	9.56a	4.68a	3.06c	5.24a	11.47a	2.36c	7.31a	3.08a	1.89c
ZF	4.24e	4.16d	2.71d	2.56f	4.79d	1.87e	5.07e	2.17c	1.4e
ZF80% + HF20%	5.45d	4.44c	3.28a	2.78e	5.82d	3.05a	6.04d	2.17c	2.22a
ZF50% + HF50%	7.49c	4.46c	3.15b	3.28d	5.84d	2.49b	6.23c	2.27b	2.21a
ZF20% + HF80%	8.59b	4.67a	3.12b	4.75b	7.27b	2.39c	7.23a	3.05a	2.02b

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平($P < 0.05$,下同)。

表4 沼液与化肥配施对西红柿叶片
过氧化物酶活性的影响 ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

处 理	过氧化物酶		
	40 d	80 d	160 d
CK	114.09g	147.72g	125.24g
CF	1094.17d	1243.75d	1122.91d
HF	813.97f	919.02f	878.84f
ZF	1283.12a	1497.93a	1374.67a
ZF80% + HF20%	1205.20b	1417.20b	1285.03b
ZF50% + HF50%	1186.36c	1379.21c	1193.16c
ZF20% + HF80%	1007.41e	1181.16e	1078.68e

性以 ZF 处理最高,分别是 CF, HF 和 ZF80% + HF20% 处理的 1.17, 1.58 和 1.06 倍。在定植后的 80 和 160 d,各处理过氧化物酶活性变化趋势与定植后 40 d 相似,始终以 ZF 处理最高,CK 处理最低。表 4 可以看出,各处理过氧化物酶活性在定植后的 80 d 达到高峰,但随着时间的推移,在定植后的 160 d 叶片酶活性又出现不同程度的下降。

2.6 沼液与化肥配施对西红柿产量和品质的影响

表5 沼液与化肥配施对西红柿产量和果实品质的影响

处 理	产量	Vc	可溶性糖可滴定酸	
	($\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$)	($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	%
CK	3214.06d	0.172e	2.60e	0.39b
CF	7915.87c	0.402c	3.40c	0.27d
HF	8154.40b	0.326d	3.03d	0.45a
ZF	7887.04c	0.627a	3.91a	0.20e
ZF80% + HF20%	8290.11a	0.530b	3.55b	0.27d
ZF50% + HF50%	8204.64b	0.407c	3.43bc	0.29c
ZF20% + HF80%	8179.41b	0.385cd	3.39cd	0.30c

注:番茄亩产量 = 亩栽株数 × 单株结果数 × 平均单果重 × 缩值系数(0.9)。

沼液与化肥配施对西红柿产量和品质的影响如表 5 所示。ZF80% + HF20% 处理西红柿产量最高,分别比 CK, CF, HF, ZF, ZF50% + HF50%, ZF20% + HF80% 处理提高了 157.93%, 4.73%, 1.66%, 5.11%, 1.04% 和 1.35%,但统计分析表明 ZF50% + HF50%, ZF20% + HF80% 和 HF 处理间以及 CF 与 ZF 处理间无显著差异。西红柿果实中 Vc,可溶性糖含量以 ZF 处理为最高,ZF80% + HF20% 和 ZF50% + HF50% 处理略低,可滴定酸含量则以 ZF 处理为最低,其次为 ZF80% + HF20% 和 ZF50% + HF50% 处理,说明沼液的施用对西红柿品质有明显的改善效果。

3 讨论

土壤作为作物营养的供应源,其肥力的高低对作物的生长发育起着极其关键的作用。沼液施用后,耕作层土壤的碱解氮、速效磷、速效钾含量在西红柿定植后的一定时间段内明显低于 HF 处理,但随着时间的推移,在西红柿的生长后期 ZF80% + HF20% 处理的碱解氮、速效磷、速效钾含量则显著高于 HF 和 CF 处理。这可能因为沼液在分解矿化过程中产生的有机酸,对土壤中的难溶性养分具有螯合增溶作用,进而活化土壤中的潜在养分,使沼液肥效具有明显的后效,同时沼液的施用又有助于土壤团聚体的形成,吸附土壤中有效养分,减少养分尤其是氮素的淋失,进而增加耕层土壤的养分含量^[12-13]。本研究发现沼液施用对土壤有机质含量的影响与土壤速效养分变化趋势相似,ZF 处理的土壤有机质含量前期低于 CF 处理,在后期则明显高于 CF 处理。这与沈连峰^[14]研究结果“沼液作为生物废弃物厌氧发酵后的残留物,在发酵过程中,易降解的物质大部分在微生物的作用下水解、酸化、降解,但并没有完全降解,连同沼液中的纤维素、半纤维素以及木质素等难以降解的有机物质施入土壤后,在众多微生物作用下,经过一段时间慢慢的分解,最终转变为土壤有机质”相一致。

细菌、真菌、放线菌作为土壤微生物的主要组成部分,其数量的变化一方面反映了土壤中各因素的变化,另一方面反映了微生物对土壤物质循环和能量转化的调节,其数量的变化与耕作制度、施肥制度、肥料类型有关^[15-16]。实验中 ZF80% + HF20% 处理土壤的微生物总量明显高于其他处理,说明 ZF80% + HF20% 配施为微生物提供了更为合适的碳氮比,分化了微生物的食性和减弱微生物间的相互竞争,为微生物的生存提供了更为丰富的物质能量,造成了土壤中微生物数量的迅速增加^[17-18]。

植物在长期的系统进化中,细胞内形成了防御活性氧、自由基毒害的保护机制,其中起主要作用的是活性氧清除系统,维护生物体内细胞正常的生理代谢和生化反应^[19-20]。过氧化物酶作为植物抗氧化酶系统的主要成员,能有效地提高植物的抗逆性,延缓植物衰老。研究表明,合理的施肥和适宜的土壤水分含量,尤其是充足钾营养的供应,对提高叶片过氧化物酶活性和促进膜系统的稳定性具有重要作用^[21-22]。实验中 ZF 和 ZF80% + HF20% 处理西红柿叶片中过氧化物酶活性始终高于其它处理,可能是因为沼液的合理施用提高了土壤肥力,增加了土壤有机质含量,有助于土壤团聚体结构的形成,增

强了土壤的保水能力,满足了西红柿生长对高钾肥的需求。

沼液施用推动了土壤结构的重塑,化肥配施又消除了沼液养分释放迟缓对土壤养分含量的不利影响,因此根系微域土壤的理化性状及生物学特性均有利于西红柿的生长,造成 ZF80% + HF20% 处理西红柿叶片氮、磷、钾含量和产量的提升。

西红柿的品质不仅与其农艺性状有关,而且还取决于当地的生产管理水平,尤其是施肥模式是否科学。果实中 Vc 含量的高低是评价果实品质的一个重要指标而糖酸比是影响番茄风味的一个重要因素^[23]。沼液中含有丰富的氨基酸、维生素以及各种生长素等,能提供植物生长发育所需的营养,显著增加西红柿中 VC、可溶性糖的含量,降低可滴定酸含量,这与前人的研究结果一致^[24-25]。实验数据表明 ZF 和 ZF80% + HF20% 处理的可溶性糖含量较 CF 处理高,而可滴定酸含量分别低于和近似于 CF 处理,因此 ZF 和 ZF80% + HF20% 处理的糖酸比高于 CF 处理,果实有着更好的风味。

4 结论

ZF80% + HF20% 配施提高了土壤有机质含量,促进了土壤结构改良和土壤微生物总量的增加,保证了土壤有效养分的供给,为西红柿生长提供了良好的土壤环境,促进了西红柿增产提质。ZF80% + HF20% 配施在替代传统施肥方式基础上,为沼液的资源化利用提供了可复制的模式。

参考文献:

- [1] 赵莉. 施用沼液对水芹产量、品质及土壤氮挥发的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [2] 王卫平, 朱凤香, 陈晓旻, 等. 沼液浇灌对露地西瓜产量及土壤环境的影响[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(7): 1024 - 1026.
- [3] Svensson L M, Christensson K, L Bjornsson. Biogas production from crop residues on a farm-scale level in Sweden: scale, choice of substrate and utilization rate most important parameters for financial feasibility[J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2006, 29(7): 137 - 142.
- [4] 艾俊国. 沼肥与化肥不同配比对春玉米生长发育、产量及品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [5] 张利, 李立军, 冯志国, 等. 不同沼肥用量对番茄产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(16): 266 - 271.
- [6] Jothi G, Pugalendhi S, Poornima K. Management of root-knot nematode in tomato *Lycopersicon esculentum*. Mill, with biogas slurry[J]. Bioresource Technology, 2003, 89: 169 - 170.
- [7] 柴小媛, 王蒙, 冯文涛, 等. 沼液不同施用方式对苹果园土壤及叶片养分和果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 64 - 70.
- [8] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [10] 陈文新. 土壤与环境微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [11] 曲明山, 郭宁, 陈保华, 等. 沼液与化肥长期配施对蔬菜生产和土壤肥力的影响[J]. 中国沼气, 2013, 31(1): 44 - 47.
- [12] 杨敬华. 沼渣、沼液在茄子无土栽培中的应用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [13] 司婷. 有机无机肥配施对旱地作物生长的影响及环境效应研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [14] 沈连锋. 沼肥施用对作物能量和养分利用效率的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [15] 郑学博, 樊剑波, 何园球, 等. 沼液化肥全氮配比对土壤微生物及酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 142 - 150.
- [16] 刘守龙, 童成立, 吴金水, 等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106 - 112.
- [17] 宋蒙亚, 李忠佩, 刘明, 等. 不同有机物料组合对土壤养分和生化性状的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(17): 3594 - 3603.
- [18] Williams A, Börjesson G, Hedlund K. The effects of 55 years of different inorganic fertilizer regimes on soil properties and microbial community composition[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 67: 41 - 46.
- [19] 袁颖红, 樊后保, 黄欠如, 等. 长期不同施肥对水稻叶片光合特性和部分保护酶活性及产量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(2): 299 - 304.
- [20] YU B J, LIU Y L. Effects of salt stress on the metabolism of active oxygen in seedlings of annual halophyte *Glycine soja*[J]. Acta Bot Sin, 2003, 23(1): 18 - 22.
- [21] 李伦刚. 水肥处理对汉源花椒抗逆性的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [22] 周冀衡, 程多福, 王丹丹, 等. 钾素对花叶病毒侵染后烤烟叶片过氧化物酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2000, 8: 45 - 48.
- [23] 谢景欢. 沼渣利用下温室番茄及土壤环境对水氮耦合的响应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [24] 曹卢波. 沼肥对露地栽培茄子产量、品质和土壤肥力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [25] 杨合法, 范聚芳, 郝晋珉, 等. 沼肥对保护地番茄产量、品质和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 369 - 372.