

doi: 10.11838/sfsc.20180317

沼液与化肥配合基施对大棚番茄产量和品质的影响

谢汉友¹, 董仁杰^{1,2}, 吴树彪², 杨守军¹, 杨军香^{3*}

(1. 中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083;
3. 农业部全国畜牧总站, 北京 100125)

摘要: 采用不同比例沼液与化肥配合做基肥施用用来研究沼液施用对番茄产量和品质的影响, 以期对沼液的资源化合理利用提供理论参考。基于 N 平衡原理, 本研究采用完全随机区组设计, 共设计了 7 个基肥处理, 分别为 CK (空白)、CF (常规施肥)、HF (化肥)、ZF (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, 与化肥处理相比, 在番茄定植后的 40 和 80 d 沼液配施所占的比例越大, 其对土壤有效养分和有机质含量抑制作用越强, 但在番茄定植后 160 d 沼液对土壤有效养分和有机质含量却有明显的促进作用。沼液与化肥配施提高了番茄叶片叶绿素含量, 其中以 ZF80% + HF20% 处理最高, 且在番茄定植后的 40、80、160 d 分别比 CF 和 HF 处理提高了 19.60%、11.91%、2.92% 和 184.25%、23.08%、35.03%。沼液与化肥配施还提高了土壤阳离子交换量和重金属含量, 且含量的高低与沼液施用量呈正相关关系。沼液与化肥配施提高了番茄果实中 Vc 和可溶性糖含量, 降低了可滴定酸含量, 虽然 ZF 处理中检测到重金属, 但均未超过国家标准, 可以忽略不计。番茄产量以 ZF80% + HF20% 处理最高, 分别是 CK、CF、HF、ZF、ZF50% + HF50% 和 ZF20% + HF80% 处理的 2.58、1.05、1.02、1.05、1.01 和 1.01 倍。综合分析认为, ZF80% + HF20% 能明显提高土壤养分含量, 改善土壤生态环境, 促进番茄产量提高和品质改善。

关键词: 沼液; 化肥; 大棚番茄; 土壤理化性状; 产量; 品质

中图分类号: S147.5; S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2018) 03-0108-08

畜禽养殖规模化和集约化的快速发展, 在解决人们对肉食生活资料需求的同时, 也在环境污染中扮演着重要角色。畜禽养殖废弃物资源化利用技术的研发和优化, 不仅能减少化学需氧量 (COD) 的排放和氮素损失, 而且对保护环境和建设生态文明具有举足轻重的意义和立竿见影的效果。厌氧发酵工艺是畜禽养殖废物减量化、资源化、无害化处理利用的不可或缺的重要组成部分, 但由于沼液量大且集中、养分含量低、不适宜长距离经济运输, 沼液无法及时消纳成为限制沼气工程正常运行的瓶颈。因此, 沼液还田技术的研发及应用推广是目前畜禽养殖废弃物资源化利用的关键所在。

沼渣、沼液中含有丰富的氮、磷、钾元素、有

机质和腐植酸等物质, 对作物生长具有良好的促进作用, 有效利用沼渣、沼液代替部分化肥和农药, 以此减轻我国资源短缺的压力^[1-4]。沼肥施用可以显著提高土壤阳离子交换量, 改善土壤结构, 提高土壤肥力, 促进土壤微生物的均衡生长, 提高作物产量, 具有单施化肥所达不到的效果^[5-7]。额尔和花等^[8]研究表明, 沼液替代部分氮肥灌溉农田, 能够显著提高番茄产量, 同时降低了番茄果实中的总酸含量, 但对果实中的总糖、Vc 含量则无明显影响, 而隋好林等^[9]研究提出沼液滴灌使番茄可溶性糖、可滴定酸、Vc 含量均增加, 果实硬度和生食品质提高, 硝酸盐含量降低。目前, 研究人员在过多注重沼肥施用对作物品质和产量等经济效益影响研究的同时, 未能对沼肥施用对土壤以及作物中重金属含量的安全风险做出综合评估^[10-11]。配合饲料中添加 Cu、Zn 等重金属元素在世界各国较为普遍, 由于畜禽对重金属元素的利用率较低, 故大部分随粪便排出体外^[12]。因此, 以畜禽粪便为主要原料的厌氧发酵工艺决定了沼渣、沼液中含有一定量的重金属元素, 沼渣、沼液的应用可能存在重金属污染的风险。

收稿日期: 2017-08-29; 最后修订日期: 2017-09-28

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项“农村沼气集中供气标准化模式研究与系统评价” (201403019)。

作者简介: 谢汉友 (1995-), 男, 山东菏泽人, 大学本科, 主要从事设施农业方面的研究。E-mail: xiehyys@163.com。

通讯作者: 杨军香, E-mail: 18611952670@163.com。

王福山^[13]研究认为,长期过量施用沼肥使部分农田土壤有轻度的重金属累积风险,而姜丽娜等^[14]研究表明,长期施用沼液未对农产品和土壤重金属累积产生明显影响。这说明不同的沼液来源和不同的沼液施用技术对农产品质量和土壤环境的影响不尽相同,沼液还田技术亟需规范化。本研究基于 N 平衡原理,采用沼液与化肥不同比例配施的方法,研究沼液施用对设施大棚番茄 (*Lycopersicon esculentum*. Mill) 产量、品质及重金属含量的影响,以期为沼液的施用及其安全风险评估提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2016 年 4 月 1 日在塑料大棚进行,试验地点为山东省烟台市牟平区高陵镇双山屯 (121°9′~121°56′E, 37°4′~37°30′N)。试验地土壤为棕壤土,其碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 96.7、72.5、88.3 mg/kg,有机质含量 3.64%,pH 值 6.5。试验材料为一年生的番茄 (*Lycopersicon esculentum*. Mill),品种为粉冠王。试验所用沼液由山

东某公司提供,未经固液分离,其全氮、全磷、全钾含量分别为 5.7×10^3 、780 和 2.5×10^3 mg/L, pH 值为 8.24,有机质含量为 0.82%,重金属铅、铬、汞、砷、镉含量分别为 <0.01 、 $<4 \times 10^{-3}$ 、 4.0×10^{-4} 、0.097 6、 6×10^{-3} mg/kg。根据中华人民共和国农业行业标准《NY/T 2596 - 2014 沼肥》^[15],试验所用沼液符合沼液肥农用标准。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,共 7 个处理,3 次重复。分别为 CK (不施肥)、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)。小区面积为 10.4 m² (1.3 m × 8 m),种植番茄两行共 44 株。目标产量为 150 000 kg/hm²,肥料总施入量 N - P₂O₅ - K₂O = 570 - 570 - 1 140 kg/hm²。沼液用量以氮含量进行折算,所缺磷、钾养分以化肥补齐。沼液施用方式为行间灌溉,所有处理追肥相同,基肥与追肥情况详见表 1 和表 2。

表 1 试验不同处理所用基肥量

处理	小区面积 (m ²)	沼液 (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	0.00	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

表 2 番茄试验追肥方法与追肥量

追肥时间	小区面积 (m ²)	沼液量 (kg)	磷酸二氢钾 (kg)	硫酸钾 (kg)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
25 d	10.4	3.59	0.034	0.00	21:21:21
35 d	10.4	2.57	0.008	0.04	15:6:30
45 d	10.4	2.57	0.008	0.04	15:6:30
每隔 10 d 至 5 穗果	10.4	2.57	0.008	0.07	15:6:42

1.3 样品采集与测定方法

在番茄转色期至完熟期进行产量、果实品质和重金属的测定。每处理随机选取 10 株,调查每株的结果数,计算每株的平均结果数;随机选取 10 个成熟转色的商品果,称重后计算单果重。番茄单位面积产量 = 单位面积株数 × 单株结果数 × 平均单果重 × 缩值系数 (0.9)。可溶性糖含量测定采用手持折光仪法,果实 Vc 测定采用 2,6 二氯酚酚滴定

法,果实总酸测定采用氢氧化钠滴定法;与此同时,在番茄苗定植后的 40、80、160 d 采集南部向阳叶片用于叶绿素含量的测定,叶绿素测定采用丙酮提取法。在番茄株间采集 0~20、20~40、40~60 cm 深度土壤用于土壤理化性状分析。土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的测定分别采用碱解扩散法、钼锑抗比色法和火焰光度法,有机质含量的测定采用重铬酸钾外加热法,土壤阳离子交换量的测

定采用乙酰胺法^[16]。番茄果实及土壤 (0 ~ 20 cm) 中铅、铬、汞、砷、镉含量的检测采用原子吸收法。

1.4 数据统计分析

数据采用 Excel 2013 和 SPSS 13.0 进行统计分析, 采用最小显著差异法 (LSD) 分析差异显著性。

2 结果与分析

2.1 沼液与化肥不同配比基施对土壤剖面养分和有机质含量的影响

图 1 可以看出, 在定植后的 40 和 80 d, 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 土层的碱解氮、有效磷、速效钾含

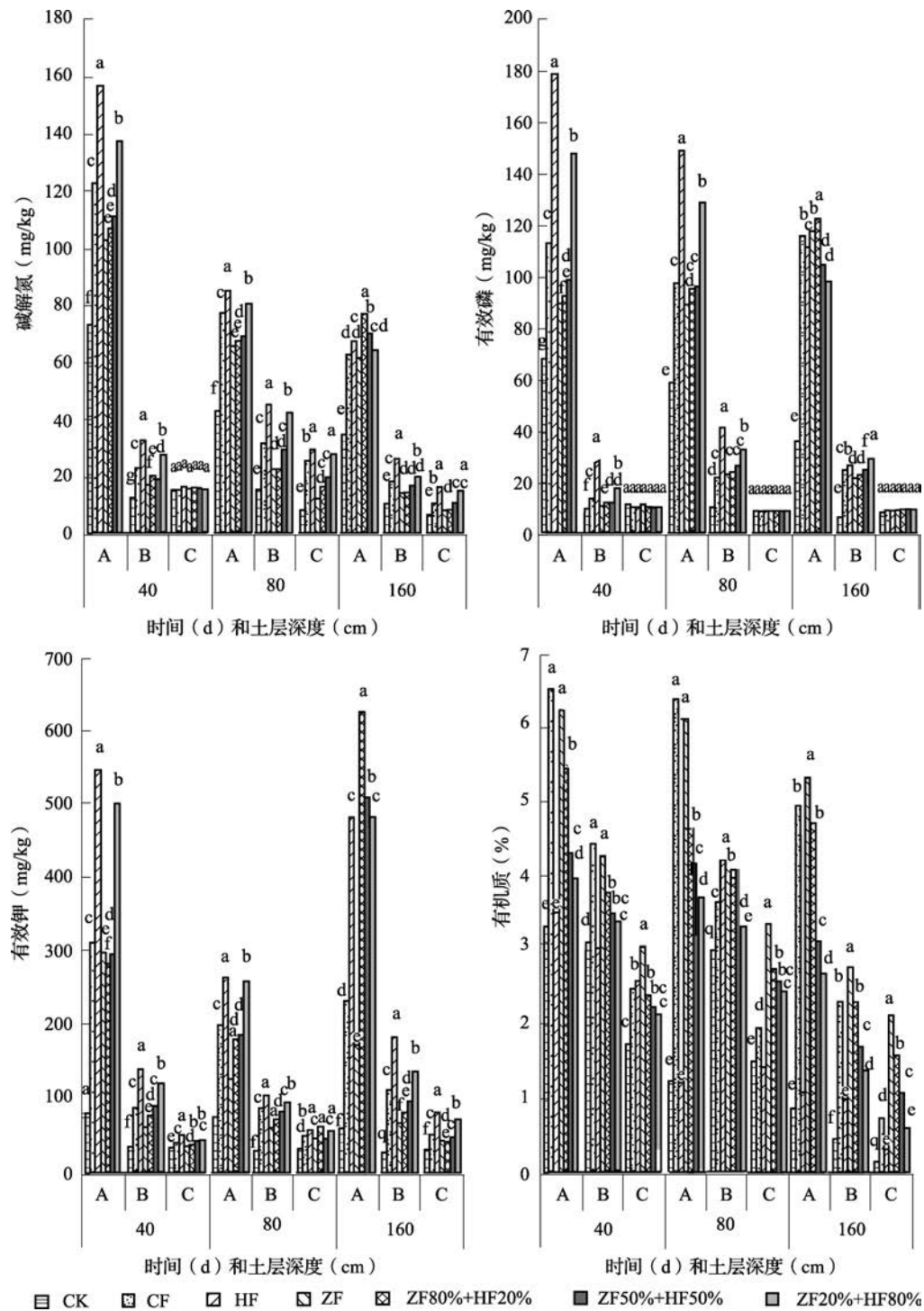


图 1 土壤剖面有效养分和有机质含量

注: 图中 A、B、C 分别代表深度为 0 ~ 20、20 ~ 40、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。

量均以 HF 处理最高，其次为 ZF20% + HF80%、CF、ZF50% + HF50%、ZF80% + HF20%、ZF 和 CK；40 ~ 60 cm 土层碱解氮和速效钾含量仍以 HF 处理最高，但有效磷含量处理间无明显差异。在定植后的 160 d，0 ~ 20 cm 土层的碱解氮、有效磷、速效钾含量以 ZF80% + HF20% 处理最高，20 ~ 40 cm 土层的碱解氮、有效磷、速效钾含量仍以 HF 处理最高，40 ~ 60 cm 土层的碱解氮、有效磷、速效钾含量变化趋势与定植后的 80 d 相似。0 ~ 20 cm 土层的有机质含量在定植后的 40 和 80 d 均以 CF 处理最高，但与 ZF 处理间无显著性差异；在定植后的 160 d，土壤有机质则以 ZF 处理最高，并且与 CF 处理间差异显著。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 和 160 d 则以 CF 处理有机质含量最高，ZF80% + HF20% 处理次之。40 ~ 60 cm 土层的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 和 160 d 则以 ZF、ZF80% + HF20% 和 ZF50% + HF50% 处理较高。方差分析表明，土壤有机质含量与沼液施用量呈较好的正相关关系。

2.2 沼液与化肥不同配比基施对番茄不同生长期叶片叶绿素含量的影响

在番茄的整个生长周期内，叶片叶绿素含量始终最终以 ZF80% + HF20% 处理最高，CK 处理最低。在定植后的 40、80 和 160 d，ZF80% + HF20% 处理的叶绿素含量分别比 CF 和 HF 处理升高了 19.60%、11.91%、2.92% 和 184.25%、23.08%、35.30%。表 3 可以看出，各处理叶片叶绿素含量的最高值均出现在定植后的 80 d，最低值出现在定植后的 40 d。其中，在定植后 160 d 的 CK、CF、HF、ZF、ZF80% + HF20%、ZF50% + HF50% 和 ZF20% +

表 3 番茄叶片叶绿素含量 (mg/kg)

处理	定植天数 (d)		
	40	80	160
CK	0.550g	1.930e	1.418f
CF	1.464b	2.192c	2.160b
HF	0.616f	1.993e	1.643e
ZF	1.297c	2.241b	2.089c
ZF80% + HF20%	1.751a	2.453a	2.223a
ZF50% + HF50%	1.069d	2.062d	2.033cd
ZF20% + HF80%	0.909e	2.044d	1.960d

注：不同小写字母表示处理间在 5% 水平下差异显著，下同。

HF80% 处理的叶片叶绿素含量分别比定植后 80 d 下降了 26.53%、1.46%、17.56%、6.78%、9.37%、1.41% 和 4.10%。

2.3 沼液与化肥不同配比基施对土壤阳离子交换量的影响

在定植后的 40 d，0 ~ 20 cm 土层阳离子交换量以 CF 处理最高，其次为 ZF 和 ZF80% + HF20% 处理；20 ~ 40 以及 40 ~ 60 cm 土层阳离子交换量仍以 CF 处理最高，但与 ZF 和 ZF80% + HF20% 处理间的差异逐渐缩小。在定植后的 80 d，0 ~ 20、20 ~ 40 以及 40 ~ 60 cm 土层均以 ZF 处理最高，但与 CF 和 ZF80% + HF20% 处理间无明显差异。在定植后的 160 d，不同深度土层的阳离子交换量的变化趋势与定植后的 80 d 相似；与 CF 处理相比，ZF、ZF80% + HF20%、ZF50% + HF50% 和 ZF20% + HF80% 处理的 0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 土层的阳离子交换量分别是 CF 处理的 105.79%、98.94%、82.39%、62.41% 和 104.69%、98.50%、87.05%、83.49% (图 2)。

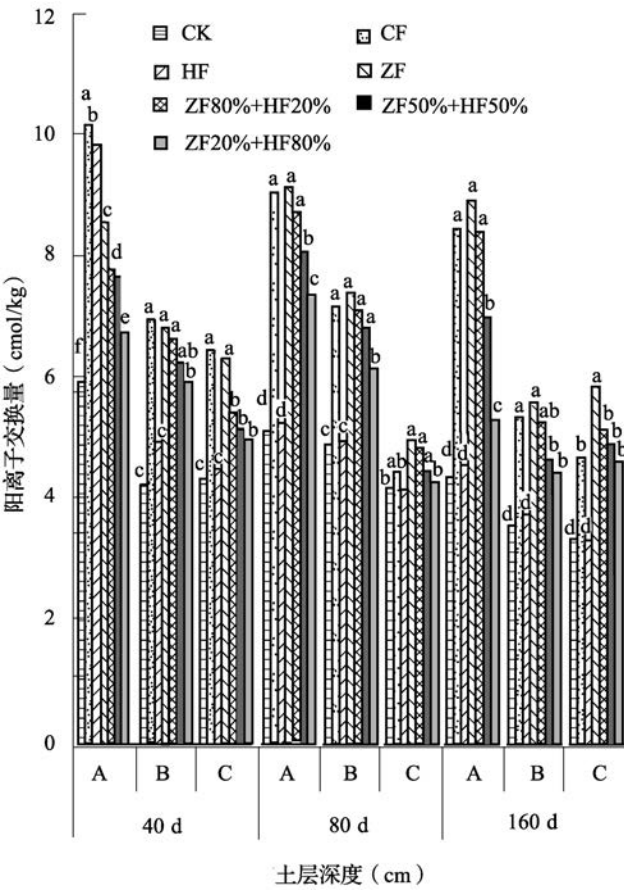


图 2 不同剖面土壤阳离子交换量

2.4 沼液与化肥不同配比基施对土壤重金属含量的影响

从表4可以看出,所有处理的土壤重金属含量均以ZF处理最高,CK处理最低。ZF处理土壤中铅、铬、汞、砷、镉含量分别是CK处理的1.26、1.30、40、1.47和1.33倍。与CF和HF处理相比,ZF80%+HF20%处理土壤中的铅和铬含量均升高,但铅的含量与HF处理无显著差异,汞含量分别比CF和HF处理降低了7.41%和34.21%,砷含量比CF处理增加了28.62%,但比HF处理降低了25.25%,镉含量明显高于HF处理,但与CF处理无显著性差异。

表4 0~20 cm深度土壤重金属含量 (mg/kg)

处理	铅	铬	汞	砷	镉
CK	18.3d	44.7f	0.004e	7.48c	0.12b
CF	20.8c	54.0c	0.027c	5.80e	0.16a
HF	22.4b	49.2d	0.038b	9.98b	0.12b
ZF	23.1a	58.2a	0.160a	11.0a	0.16a
ZF80%+HF20%	22.5b	58.8a	0.025c	7.46c	0.15a
ZF50%+HF50%	17.8d	57.9b	0.018d	6.02d	0.12b
ZF20%+HF80%	16.8e	46.0e	0.019d	9.52b	0.097c

2.5 沼液与化肥不同配比基施对番茄果实重金属含量的影响

检测结果可以看出,仅有ZF处理的果实中检测出重金属铅、铬、砷和镉,其它处理均未检测出任何重金属(表5)。

表5 番茄果实中重金属含量 (mg/kg)

处理	铅	铬	汞	砷	镉
CK	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
CF	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
HF	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
ZF	0.16	0.19	未检出	0.07	0.021
ZF80%+HF20%	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
ZF50%+HF50%	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
ZF20%+HF80%	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出

注:其中未检出分别表示铅<0.05 mg/kg、铬<0.05 mg/kg、汞<0.02 mg/kg、砷<0.02 mg/kg、镉<0.05 mg/kg。

2.6 沼液与化肥不同配比基施对番茄品质、产量的影响

不同处理果实中Vc和可溶性糖含量均以ZF处理最高,分别是CK处理的3.65和1.50倍。ZF80%+HF20%处理果实中Vc和可溶性糖含量低于ZF处理,且二者之间差异显著。统计分析表明,ZF50%+HF50%与ZF20%+HF80%处理、CF与ZF20%+HF80%处理间果实Vc和可溶性糖含量均无显著性差异。果实中可滴定酸含量以HF处理最高,CK处理次之,ZF处理最低。数据表明,果实中可滴定酸含量与Vc、可溶性糖含量呈负相关,与化肥施用量呈正相关。果实产量以ZF80%+HF20%处理最高,分别是CK、CF、HF、ZF、ZF50%+HF50%和ZF20%+HF80%处理的2.58、1.05、1.02、1.05、1.01和1.01倍。表6可以看出,HF、ZF50%+HF50%和ZF20%+HF80%3个处理间以及CF和ZF处理间产量均无显著性差异。

表6 番茄果实品质和产量

处理	Vc (mg/g)	可溶性糖 (%)	可滴定酸 (%)	产量 (kg/hm ²)
CK	0.17e	2.60e	0.39b	48 210.90d
CF	0.40c	3.40c	0.27d	118 738.05c
HF	0.32d	3.03d	0.45a	122 316.00b
ZF	0.62a	3.91a	0.20e	118 305.60c
ZF80%+HF20%	0.53b	3.55b	0.27d	124 351.65a
ZF50%+HF50%	0.40c	3.43bc	0.29c	123 069.60b
ZF20%+HF80%	0.38cd	3.39cd	0.30c	122 691.15b

注:番茄单位面积产量=单位面积株数×单株结果数×平均单果重×缩值系数(0.9)。

3 讨论

研究发现,番茄定植后的40和80 d,HF处理的0~20和0~40 cm土壤的碱解氮、有效磷、速效钾含量明显高于CF处理和ZF80%+HF20%处理。这是因为沼液和有机肥中含有一定量的有机态养分,施入土壤后存在矿化过程,导致土壤有效养分含量低于化肥处理;而在番茄定植后的160 d(完熟期),ZF80%+HF20%处理土壤的有效养分含量显著高于HF处理和CF处理,主要是因为沼液中富含腐植酸和生长素等物质,促进了土壤胶体和团粒结构形成,同时沼液中的微生物群落又加速土壤养分的分解、转化和释放,减少养分尤其是氮

素的流失,提高无机磷的含量,进而提高了土壤有效养分的供给水平^[17-24]。与CF处理相比,ZF处理和ZF80%+HF20%处理土壤有机质含量的变化趋势与土壤有效养分相似,在番茄定植后的160 d,ZF处理土壤的有机质含量高于CF处理,ZF80%+HF20%处理土壤有机质含量与CF处理无显著差异。这主要是因为沼液中含有的大量纤维素、半纤维素、木质素等物质经一系列的微生物分解过程转化为土壤有机质,而沼液对土壤团聚体数量和稳定性的促进作用,又为有机质提供了稳定的保持场所,使沼液处理的土壤有机质含量明显升高^[25-27]。

作物叶片叶绿素含量反映了植物体内营养状况、生物及环境胁迫程度,其含量高低与光合速率密切相关,直接影响着光合作用的大小^[28]。本研究结果表明,ZF80%+HF20%处理的叶片叶绿素含量始终最高,可能是因为沼液施用使土壤养分含量和通透性增加,改善了土壤环境,促进了叶片中叶绿素含量升高;也可能是因为沼液作为一种有机液体肥,与化肥配施,不仅能保证番茄生长对营养元素的需求,降低了养分对叶绿素合成的胁迫作用,而且沼液中含有与叶绿素的合成过程有关的矿质元素Zn,可显著降低植物光合午休现象,促进植物生长发育,降低叶绿素的降解速度^[29-34]。土壤阳离子交换量影响土壤缓冲能力高低,也是评价土壤保肥能力、改良土壤和合理施肥的重要依据。廖凯华等^[35]和王训等^[36]研究发现,土壤中的有机质和矿质胶体含量愈高,土壤阳离子交换量愈大。这与本研究结果“沼液施用增加土壤有机质含量,提高土壤阳离子交换量”相一致。在番茄定植后的80和160 d,ZF和ZF80%+HF20%处理土壤的阳离子交换量超过或接近CF处理,说明沼液施用增加了土壤交换性盐基离子的数量,改变了土壤活性组分表面功能团的电荷性能,增加了土壤中可变负电荷数量,进而提高了土壤中的阳离子交换量^[37-39]。

重金属不能被生物降解,具有富集性和对土壤污染的不可逆性。检测结果表明,所有处理土壤均检测出重金属,但根据中华人民共和国国家标准《GB 15618—2008 土壤环境质量标准》^[40],重金属含量均未超标。ZF和ZF80%+HF20%处理土壤的重金属铅、铬、汞和砷含量明显增加,并且与沼液的施用量呈正相关关系,说明沼液中含有一定量的重金属。ZF处理果实中检测到Pb、Cd、Cr和As 4

种重金属,但未检测到Hg。这可能是因为汞进入土壤后,一部分被土壤迅速固定和强烈吸附,另一部分由于土壤微生物的活动使汞向大气中挥发^[41]。根据中华人民共和国国家标准《GB 2762—2012 食品中污染物限量》,番茄果实中的重金属含量均未超标,一方面可能是番茄的生物量较大,对吸收的重金属起到稀释作用,另一方面可能是沼液中的有机质和腐植质等有机官能团对重金属离子具有较强的专性吸附和固定作用,在土壤中能够形成稳定的络合物^[42-46]。

沼液施用改善了土壤的物理性质,增强了土壤的保水保肥性能,为作物的生长发育提供了均衡的养分,促进根系生长和叶片光合作用,利于干物质的积累和同化物的运输^[47-49]。这可能是沼液施用使果实中Vc和可溶性糖含量升高的主要原因。ZF80%与HF20%配施既提高了土壤中有效养分含量和阳离子交换量,改善了土壤环境,又促进了番茄的光合作用,因此提高了番茄产量。

4 结论

沼液与化肥配施提高了土壤肥力,改善了土壤生态环境,具有单施化肥所不具有的优点。在产量增加的基础上,ZF80%+HF20%、ZF50%+HF50%、ZF20%+HF80%处理还显著地改善了番茄果实营养品质,且土壤和果实中重金属含量均未超标。综合分析认为,ZF80%+HF20%处理可有效增产和改善番茄品质,采用此配方可以有效利用沼液养分,为沼液资源化利用提供了切实可行的应用方法。

参考文献:

- [1] 赵金华. 沼液、化肥配施对基质性质及西瓜生长、产量和品质的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [2] 曾繁星. 沼肥与化肥配施对东北不同株型玉米叶片光合特性及产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2016, 25 (1): 16-24.
- [3] 李萍, 蒋滔, 陈云跃, 等. 沼液灌溉对作物生长·土壤质量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (4): 1501-1503.
- [4] 张凤梅. 沼液复合肥的研制及其在大棚番茄上的应用 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [5] 刘文科, 杨其长, 王顺清. 沼液在蔬菜上的应用及其土壤质量效应 [J]. 中国沼气, 2009, 27 (1): 43-47.
- [6] 李轶, 张玉龙, 谷士艳, 等. 施用沼肥对保护地土壤微生物群落影响的研究 [J]. 可再生能源, 2007, 25 (2):

- 44-46.
- [7] 叶晶, 苗纪法, 黄宇民, 等. 沼液灌溉对茼蒿重金属含量及产量的影响 [J]. 江西农业学报, 2014, 26 (7): 96-99.
- [8] 额尔和花, 丁伟, 王锦. 猪粪发酵液对番茄产量、品质及土壤的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016, (7): 144-146.
- [9] 隋好林, 陈晓峰, 秦娜, 等. 沼液滴灌对番茄产量、品质和土壤理化性状的影响 [J]. 山东农业科学, 2016, 48 (2): 80-84.
- [10] 王远远, 沈飞, 刘荣厚, 等. 沼肥对小白菜产量及品质的影响 [J]. 可再生能源, 2007, 25 (5): 40-43, 48.
- [11] 李泽碧, 王正银, 李清荣, 等. 沼液、沼渣与化肥配施对茼蒿产量和品质的影响 [J]. 中国沼气, 2006, 24 (1): 27-30.
- [12] 黄玉溢, 陈桂芬, 刘斌, 等. 畜禽粪便中重金属含量、形态及转化的研究进展 [J]. 广西农业科学, 2010, 41 (8): 807-809.
- [13] 王福山. 畜禽粪肥重金属残留对农产品和土壤环境的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [14] 姜丽娜, 王强, 陈丁江, 等. 沼液稻田消解对水稻生产、土壤与环境安全影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30 (7): 1328-1336.
- [15] NY/T 2596-2014, 沼肥 [S].
- [16] 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.
- [17] 李文涛. 沼液对土壤改良作用研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [18] 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.
- [19] 孙广辉. 沼液灌溉对蔬菜产量和品质以及土壤质量影响的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [20] 陈艳. 沼液沼渣在番茄生产中的应用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [21] 陈永杏. 猪场沼液农用生态环境效应研究 - 以北京地区冬小麦/夏玉米轮作农田为例 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [22] 王远远, 刘荣厚. 沼液综合利用研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (4): 1089-1091.
- [23] 张玉凤, 董亮, 李彦, 等. 沼肥对大豆产量、品质、养分和土壤化学性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25 (4): 135-138.
- [24] 刘建玲, 张风华. 土壤磷素化学行为及影响因素研究进展 [J]. 河北农业大学学报, 2000, 23 (3): 36-45.
- [25] 窦森, 李凯, 关松. 土壤团聚体中有机质研究进展 [J]. 土壤学报, 2011, 48 (2): 412-418.
- [26] 郑学博, 范剑波, 周静. 沼液还田对旱地红壤有机质及团聚体特征的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (16): 3201-3210.
- [27] 王金明. 规模化畜牧生产对环境的污染及防治措施 [J]. 家畜生态学报, 2007, 28 (2): 5-8.
- [28] 李改艳. 东北东部主要阔叶树种叶绿素与 SPAD 值模型及影响因素 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [29] 朱练峰, 刘学, 禹盛苗, 等. 增氧灌溉对水稻生理特性和后期衰老的影响 [J]. 中国水稻科学, 2010, 24 (3): 257-263.
- [30] 李合生. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [31] 李清莹, 文珊娜, 姜清彬, 等. 不同营养元素缺乏对火力楠幼苗生长的影响 [J]. 生态学杂志, 2017, 36 (3): 664-669.
- [32] 魏世清, 伍琪, 黄凌志, 等. 沼肥配施复合肥对油茶生长及产量的影响 [J]. 中南林业科技大学学报 (自然科学版), 2014, 34 (3): 53-57.
- [33] 孙桂芳, 杨光穗. 土壤-植物系统中锌的研究进展 [J]. 华南热带农业大学学报, 2002, 8 (2): 22-30.
- [34] 王通明, 陈伟, 潘文杰, 等. 有机肥和化肥对烟叶气体交换、叶绿素荧光特性及叶绿体超微结构的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 517-526.
- [35] 廖凯华, 徐绍辉, 程桂福, 等. 土壤 CEC 的影响因子及 Cokriging 空间插值分析——以青岛市大沽河流域为例 [J]. 土壤学报, 2010, 47 (1): 26-32.
- [36] 王训, 闫飞, 王永敏, 等. 秸秆改良剂对沙质土有机质和阳离子交换量的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (23): 224-228.
- [37] 林志灵, 王静, 张杨珠. 不同施肥结构对稻田土壤 CEC 和土壤酸性的影响 [J]. 土壤通报, 2011, 42 (1): 42-45.
- [38] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [39] 赵麒麟. 旱旱轮作模式下沼液连续施用对土壤质量和玉米产量及品质的影响研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [40] GB 15618-2008, 土壤环境质量标准 [S].
- [41] 刘佳. 重金属汞在中国两种典型土壤中的吸附解吸特性研究 [D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [42] GB 2762-2012, 食品中污染物限量 [S].
- [43] 杨军芳, 冯伟, 贾良良, 等. 追施沼液对白菜及土壤重金属含量的影响 [J]. 河北农业科学, 2015, 19 (5): 68-73.
- [44] Namasivayam C. Adsorption of chromium (VI) by a low-cost adsorbent: Biogas residual slurry [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1995, 30 (3): 561-578.
- [45] 鲁如坤, 熊礼明, 时正元. 关于土壤-作物生态系统中镉的研究 [J]. 土壤, 1992, 24 (3): 129-133, 137.
- [46] 普锦成, 符娟林, 章明奎. 土壤性质对水稻土中外源镉与铅生物有效性的影响 [J]. 生态环境, 2008, 17 (6): 2253-2258.
- [47] 高同国, 陈楠, 李伟群, 等. 新型高效沼液营养液在蔬菜产量及品质上的效果 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (21): 12684-12686.
- [48] 李晓莉. 沼液对石灰性土壤理化性质及油菜产量的影响研

究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2014.
[49] 孙常青. 施肥和密度对杂交谷可溶性糖、可溶性蛋白及硝

酸还原酶的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (5): 1169 – 1177.

Effect of biogas slurry combined with chemical fertilizer on the yield and quality of tomato growth in greenhouse

XIE Han-you¹, DONG Ren-jie^{1,2}, WU Shu-biao², YANG Shou-jun¹, YANG Jun-xiang^{3*} (1. Yantai Institute, China Agricultural University, Yantai 264670; 2. Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083; 3. China Animal Husbandry Station, Ministry of Agriculture, Beijing 100125)

Abstract: The effect of biogas slurry combined with fertilizer at the different ratios on the yield and quality of tomato were studied. A completely randomized block design with 3 replicates was used in the experiment. Seven treatments were applied including CK (control), CF (conventional fertilization), HF (chemical fertilizer application), ZF (biogas slurry application), ZF80% + HF20% (80% biogas slurry combined with 20% chemical fertilizer), ZF50% + HF50% (50% biogas slurry combined with 50% chemical fertilizer), ZF20% + HF80% (20% biogas slurry combined with 80% chemical fertilizer). The results showed that the greater proportion of biogas slurry application, the stronger the inhibition of biogas slurry on available nutrients and organic matter contents in soil in comparison to HF treatment on the 40 d and 80 d after tomato seedlings were planted. However, biogas slurry improved the available nutrients and organic matter contents in soil on the 160 d after tomato seedlings were planted. Compared to CF and HF treatments, application of biogas slurry combined with fertilizer enhanced the chlorophyll content of tomato leaves, especially ZF80% + HF20% increased chlorophyll content by 19.60%, 11.91%, 2.92% and 184.25%, 23.08%, 35.03%. Biogas slurry combined with fertilizer increased cation exchange capacity and heavy metal content in soil and positive correlation was found between application amount of biogas slurry and cation exchange capacity and heavy metal content. Also, biogas slurry combined with fertilizer improved fruit quality such as increasing vitamin C and soluble sugar and decreasing titratable acid. Although heavy metals were tested in soil and fruits, its concentration was not exceeded the national standard. The yield of tomato in ZF80% + HF20% treatment was 2.58, 1.05, 1.02, 1.05, 1.01 and 1.01 times those of CK, CF, HF, ZF, ZF50% + HF50% and ZF20% + HF80% treatments, respectively. It is concluded that ZF80% + HF20% could increase available nutrient content and improve soil environment, and therefore enhanced yield and fruit quality.

Key words: biogas slurry; fertilizer; tomato growth in high plastic tunnel; soil physic-chemical property; yield; quality