

网络出版日期:2017-06-05
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170605.1728.026.html

追施沼肥对番茄生长、产量和品质的影响

贾亮亮^{1,3},赵京奇^{1,3},杨晨璐^{1,3},刘兰清^{1,3},
陈建伟^{2,3},杨改河^{1,3},任广鑫^{1,3}

(1.西北农林科技大学 农学院,陕西杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 林学院,陕西杨凌 712100;
3.陕西省循环农业工程技术研究中心,陕西杨凌 712100)

摘 要 探讨追施沼肥对番茄生长、产量和品质的影响,旨在为日光温室栽培追施沼肥在番茄上的应用提供理论依据。采用裂区设计,研究主栽蔬菜—番茄在日光温室种植条件下,追施不同量的沼肥和喷施不同体积分数的沼液对番茄生长、产量和品质的影响。结果表明,在喷施沼液体积分数相同的条件下,追施 75 t·hm⁻²沼肥促进番茄植株的生长,提高番茄的硬度、单果质量、产量、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数和糖酸比,且优于常规施肥(CG),有效改善番茄品质,提高经济效益。在沼肥追施量一致的条件,下,喷施体积分数为 50%的沼液为最优。在二因素交互作用下,喷施沼液的体积分数为 50%、沼肥追施量为 75 t·hm⁻²时,有利于番茄的生长、增产和品质的改善。

关键词 沼肥;番茄;产量;品质

中图分类号 S141.8 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2017)06-0897-09

沼肥是畜禽粪便、农作物秸秆、生活垃圾等废弃物经厌氧发酵产气后所得沼液、沼渣等剩余物质的总称^[1]。沼肥中不仅含有丰富的有机质、腐植酸、N、P、K 等营养成分,而且含有氨基酸、维生素、酶、微量元素等生命活性物质,这些营养物质可利用率高,能迅速被作物吸收利用,是一种速效兼备的有机复合肥。沼肥在蔬菜种植中已得到广泛应用,可以在很大程度上降低生产成本,保护环境,节约能源等。目前,中国蔬菜栽培主要以设施栽培为主,为了高产而大量使用化肥和农药,严重影响蔬菜的产量和品质以及土壤的环境。沼肥作为一种可再生的优质有机肥料^[2-3],应用在农业生产中,不仅具有增产提质的作用^[4-5],还具有改良土壤^[6-7],增强作物的抗性,减少病虫害发生的作用^[8-9],促进生态农业、绿色食品的发展^[10]。此外,沼肥的合理施用还可以减少农药和化肥的使用量,减轻化肥和农药对农产品、土壤和水体的污染,为发展无公害农业提供基础数据。因此,本研究通过日光温室里的小区试验,探讨追施沼肥对

设施番茄生长发育、产量和品质的影响,揭示沼肥资源化利用、具有经济效益的最佳追肥量、喷施体积分数,为沼肥的合理利用、无公害蔬菜的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

番茄品种:北京银月亮种业生产的抗 TY 粉果 HL2109。

沼肥:追施的沼肥取自陕西省杨凌示范区大寨镇农村户用沼气池正常产气 3 个月以上的沼气池水压间沼液和沼渣的混合物(统称为沼肥),以猪粪和人粪为主要发酵原料。

沼液:是沼肥沉淀后过滤所得到的液体。沼液、沼渣的具体基本成分见表 1。

1.2 试验地点

试验地位于大寨镇的设施栽培基地。日光温室面积约为 667 m²,类型为长屋面短后坡半地下式塑料温室,跨度为 8 m,长度 85 m,钢架土木结

收稿日期:2016-09-12 修回日期:2016-11-15
基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划(2014KTCL02-12);陕西省循环农业工程技术研究中心项目(2015QTGC-083);中国农村能源生态建设二期 GEF 赠款项目(G0203-PC)。
第一作者:贾亮亮,男,硕士研究生,从事循环农业技术研究。E-mail:jialiangliangwan@163.com
通信作者:任广鑫,男,硕士生导师,副教授,研究方向为农业区域发展及循环农业。E-mail:rengx@nwsuaf.edu.cn

构混搭。土壤基本成分见表 1。

1.3 试验方案

试验为沼肥追施量和叶面喷施沼液体积分数 2 个因素的裂区试验,其沼肥追施量为主处理,共设 6 个水平,分别为 ZF1(追施沼肥 45 t·hm⁻²)、ZF2(追施沼肥 60 t·hm⁻²)、ZF3(追施沼肥 75 t·hm⁻²)、ZF4(追施沼肥 90 t·hm⁻²)、CG(常规追施复合肥 162 kg·hm⁻²,即每株约 5 g^[11])、CK(不追肥),其中 CG 和 CK 是对照组;叶面喷施沼液体积分数为副处理,共设 3 个水平,分别为 PF1(喷施沼液体积分数为 0%,即喷施清水)、PF2(喷施沼液体积分数为 50%)、PF3(喷施沼液体积分数为 100%)。试验共设 18 个处理,每垄作为一个处理,每处理重复 2 次。小区面积为 10.5 m²(1.5 m×7 m),处理间间隔 50 cm,重复

间间隔 50 cm,每垄栽植 2 行,相邻处理间间隔 1 行作为保护行。具体施肥安排为:追施沼肥共 2 次,以灌根的形式分别在第 1 层、第 3 层果的膨大期各施 1 次;喷施沼肥共 3 次,按 375 kg·hm⁻² 喷施沼液,分别在开花期、第 2 层、第 4 层果的膨大期各喷施 1 次。基肥各处理施肥标准一致,施农家肥 45 000 kg·hm⁻²、复合肥 750 kg·hm⁻² [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=15:15:15$],磷肥 1 125 kg·hm⁻²(P₂O₅ 质量分数≥12%)^[12-14]。

番茄种植按当地常规方法,2015-11-13 移栽,每垄栽植 2 行,垄长 7.0 m,宽 1.2 m,株间距为 40 cm 左右,每行定植 17 株,移栽后大水浇灌,移栽后到开花前一般不浇水,可根据实际情况而定。2016-02-17 打顶,留 4 穗果,3 月 7 日试验结束。

表 1 耕层土壤及沼肥的基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of soil and biogas fertilizer

样品 Sample	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Available N	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K	pH	质地 Texture
耕层土壤(0~30 cm) Root layer soil	26.45	362.08	82.13	416.52	7.60	粉砂质壤土 Silty loam
沼液 Biogas slurry	—	750.76	113.45	1 305.31	7.20	—
沼渣 Biogas residue	56.7	479.12	134.26	1 247.24	7.20	—

1.4 测定项目及方法

1.4.1 沼肥及土壤理化性质 沼肥选用中下部的固液混合物,耕层土样采用“S”形取样法取 5 个点混合,测定各指标。有机质测定采用重铬酸钾容量法、碱解氮用碱解扩散法、速效磷用碳酸氢钠法、速效钾用火焰光度法,用 pH 计测定 pH^[15]。

1.4.2 番茄农艺性状及生理指标 每处理随机抽取 5 株挂牌并测定生长和生理指标。株高用卷尺测定;茎粗用游标卡尺测定;叶片数为完全展开叶,用直接观察法;叶绿素 SPAD 值用 SPAD-502 测定。

1.4.3 果实品质及产量 番茄品质的测定:取第 3 穗成熟果测定各项品质指标,采用硬度计测定硬度,可溶性固形物质量分数采用折光计测定;可溶性糖质量分数采用蒽酮法测定^[16];有机酸质量分数采用酸碱滴定法测定^[17];维生素 C 质量分数采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[18]。单果质量及产量用电子天平测量,其中产量以累计采收量计。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据,

SPSS 20.0 统计软件进行方差分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 沼肥对番茄植株生长发育的影响

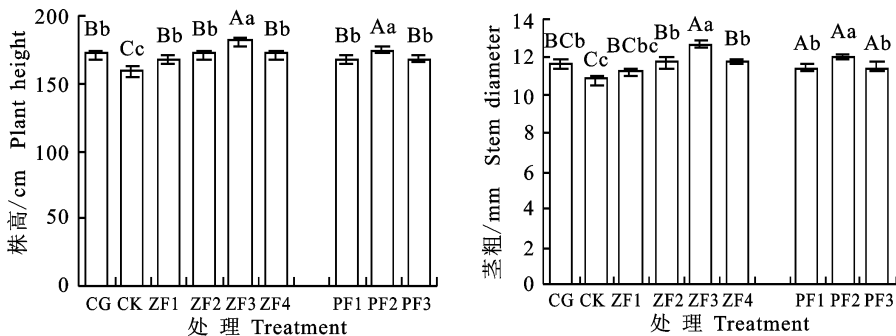
2.1.1 株高和茎粗 由图 1 可知,株高和茎粗均随追肥量的增加先增大后减小。在喷施沼液体积分数一致的条件下,ZF3 处理的株高最大(182.1 cm),与对照 CK(不追肥)和 CG(常规施肥)相比,分别增加 22.8 cm 和 10.2 cm,且均达到极显著性水平($P<0.01$);茎粗的变化趋势与株高相似,也是 ZF3 处理达到最大,与 CK、CG 差异达到极显著水平,而其他(CG、ZF1、ZF2、ZF4)追肥处理间差异不显著。

在追肥量相同的条件下,PF2 的株高和茎粗均达到最大值,差异达到显著性水平($P<0.05$),说明只要追肥量、喷肥沼液体积分数适当,均有益于番茄株高、茎粗的生长。

2.1.2 叶片数和叶绿素 由图 2 可知,叶片数的变化随追肥量的增加呈先增大后减小的趋势。在喷施沼液体积分数相同的条件下,ZF3 处理的叶

片数最多(25.13),与 CK、ZF1、ZF2 相比差异显著($P<0.05$),但与对照 CG 相比差异不显著;在追肥量相同的条件下,PF2 处理的叶片数最多

(23.9),与喷施清水(PF1)相比显著增加,但喷肥处理间叶片数差异不显著,说明追肥和喷施都有助于叶片数的增加。



不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。下同。 Different uppercase letters and lowercase letters mean significant difference at 1% and 5% levels, respectively. The same as below.

图 1 不同处理组合下番茄的株高和茎粗

Fig. 1 Plant height and stem diameter of tomato under different treatments

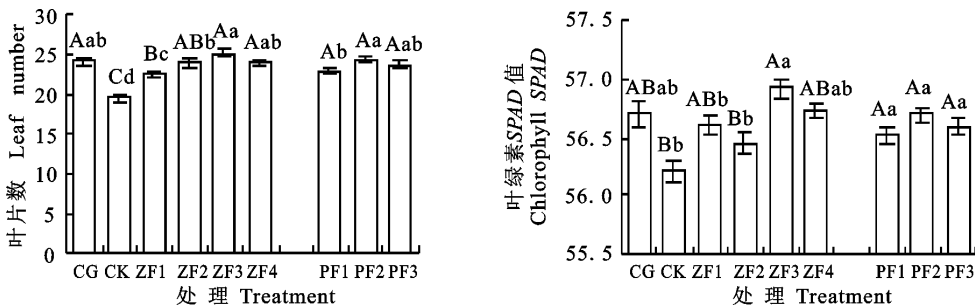


图 2 不同处理组合下番茄的叶片数和叶绿素 SPAD 值

Fig. 2 Leaf number and chlorophyll SPAD value of tomato under different treatments

不同处理的叶绿素 SPAD 值变化相对较小,变幅为 56.21~56.91。在喷施沼液体积分数一致的条件下,ZF3 处理的叶绿素 SPAD 值最高(56.91),显著高于 CK、ZF1、ZF2 处理,与 CK 相比提高 1.2%。在追肥量一致的条件下,喷施不同体积分数的沼液对叶绿素 SPAD 值的影响相对较小,均未达到显著水平,说明喷施不同体积分数的沼液对提高叶绿素 SPAD 值的效果不明显。

2.2 沼肥对番茄外观品质及产量的影响

从表 2 和表 3 可以看出,追施沼肥和喷施沼液对番茄单果质量、纵横比和产量具有极显著影响,但追施沼肥和喷施沼液的交互作用对番茄单果质量、纵横比和产量的影响不显著。ZF3PF2 处理的单果质量最大,为 212.32 g,比对照常规施肥(CGPF2)和不施肥(CKPF2)分别提高 3.8%和 20.1%。喷施沼液体积分数相同时,番茄的单果质量随追施沼肥量的增加而增加,当追肥量增加

到一定值时,继续增施沼肥,番茄的单果质量随追施沼肥量的增加有减少的趋势,这可能是施肥过量,土壤水势小,不利于植物吸收更多的养分与水分,导致果实生长受限。追施沼肥量相同时,总体趋势为 PF2 处理的单果质量最大。

果实纵横比最小的处理为 ZF3PF3,其值为 0.671,而纵横比最大的处理为 CKPF1(0.752)。喷施沼液体积分数相同时,果实纵横比随追肥量的增大而减小,当追肥量增加到一定值时,继续增加追施沼肥量,番茄的纵横比差异不显著。追施沼肥量相同时,果实纵横比随喷施沼液体积分数的增加而减小。

ZF3PF2 处理产量最大,为 9.97 kg·m⁻²,显著高于对对照常规施肥(CGPF2)和不施肥(CKPF2)处理,且分别提高 11.8%和 29.8%。喷施沼液体积分数相同时,番茄的产量随追施沼肥量的增加而增加,当追肥量增加到一定值时,继续增施沼肥,对产量无显著性差异。其中 ZF3、

ZF4 处理差异不显著,ZF3 与 ZF4 处理相比,当追肥量减少 20.0%,产量反而增加 1.3%。追施沼肥量相同时,总体趋势 PF2 处理的番茄产量最高。因此,在 ZF3PF2 处理下,产量最高,更节肥。

表 2 不同施肥处理下番茄的外观品质及产量($\bar{x}\pm S_x$)

Table 2 Appearance quality and yield of tomato under different fertilization treatments				
处理 Treatment		单果质量/g Average fruit mass	纵横比 Aspect ratio	产量/(kg·m ⁻²) Yield
CG	PF1	187.26±5.80 cd	0.708±0.014 bc	8.20±0.20 c
	PF2	204.62±6.13 ab	0.694±0.007 bc	8.92±0.14 bc
	PF3	191.12±7.22 c	0.695±0.007 bc	8.70±0.16 bc
CK	PF1	168.36±10.99 d	0.752±0.007 a	7.13±0.18 e
	PF2	176.72±5.34 d	0.739±0.007 ab	7.68±0.16 d
	PF3	170.62±4.86 d	0.733±0.005 ab	7.54±0.16 de
ZF1	PF1	181.88±12.31 cd	0.727±0.017 ab	8.24±0.08 c
	PF2	192.62±9.00 bc	0.718±0.013 b	8.61±0.14 bc
	PF3	187.46±8.22 cd	0.716±0.007 b	8.39±0.18 c
ZF2	PF1	191.26±8.44 c	0.728±0.005 ab	8.44±0.21 c
	PF2	197.64±11.64 bc	0.715±0.005 b	8.99±0.12 b
	PF3	193.06±6.58 bc	0.699±0.012 bc	8.62±0.21 bc
ZF3	PF1	203.90±7.71 ab	0.696±0.010 bc	9.62±0.18 a
	PF2	212.32±12.41 a	0.690±0.017 bc	9.97±0.19 a
	PF3	206.20±9.19 ab	0.671±0.017 c	9.82±0.14 a
ZF4	PF1	210.66±10.89 a	0.682±0.007 c	9.84±0.16 a
	PF2	206.24±11.79 ab	0.682±0.009 c	9.63±0.24 a
	PF3	194.08±18.40 bc	0.674±0.016 c	9.53±0.18 a

注:同列不同字母表示显著性差异($P<0.05$),下同。

Note:Different letters in each column indicate significant difference($P<0.05$),the same as below.

2.3 沼肥对番茄储运品质和营养品质的影响

由图 3-A、图 3-E 可知,追施沼肥对果实的硬度和有机酸质量分数有显著影响。喷施沼液体积分数一致时,果实的硬度、有机酸质量分数随沼肥追施量的增加而增大,ZF4 的硬度和有机酸质量分数均达到最大,分别为 9.88 kg·cm⁻² 和 0.38%,与 CK 相比达到极显著性差异($P<0.01$),但与 CG 相比差异不显著。追施沼肥量一致时,PF3 处理果实的硬度最大(9.65 kg·cm⁻²),但处理间差异不显著。PF2 处理的有机酸质量分数最大(0.363%),与处理 PF1 和 PF3 差异显著。

由图 3-B、图 3-C、图 3-D、图 3-F 分析得知,追施沼肥和喷施沼液对番茄的可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数、糖酸比均影响显著。且在喷施沼液体积分数相同时,都随追肥量的增大先增加后减小。其中,ZF3 的可溶性固形物质量分数最高(6.00%),与 CK、ZF1、ZF4 达到显著性水平($P<0.05$),其中与 CK

达到极显著性水平($P<0.01$);维生素 C 质量分数的变化趋势与其类似,ZF3 的维生素 C 质量分数最高(10.93%),与 CK、ZF1、ZF4 达到显著性水平,与对照 CK、ZF1 达到极显著性水平;ZF3 的可溶性糖质量分数也是最高(3.62%),除与 ZF4 差异不显著外,与其他处理相比均达到显著性差异;从番茄的糖酸比来看,糖酸比最大的为 ZF3 处理(9.79),比对照 CG 和 CK 分别提高 5.0%和 10.1%,差异达到显著水平。当追施沼肥量一致时,PF2 处理的可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数和糖酸比均达到最大值,分别为 5.98%,10.39%、3.46%和 9.51,其中可溶性固形物质量分数、可溶性糖质量分数和糖酸比达到显著性水平,说明喷施沼液可提高番茄的营养品质。

2.4 二因素交互作用对番茄储运品质和营养品质的影响

从表 4、表 5 可知,追施沼肥、喷施沼液对番茄的硬度、可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分

数、可溶性糖质量分数、有机酸质量分数都有极显著性影响。硬度最大的处理为 ZF4PF3(10.15 kg·cm⁻²),最小的处理为 CKZF1(8.48 kg·cm⁻²)。喷施沼液体积分数相同时,果实的硬度随施肥量的增加而增加,当硬度增加到一定值时,继续增加追肥量,则对硬度影响的差异不显著。ZF3 处理与 ZF4 处理相比,追肥量减少了 20.0%,而果实硬度只减少了 0.1%,因此,在硬度减少不大的情况下,ZF3 处理更节肥。追施沼肥量相同时,PF3 硬度最大,但处理间差异不显著。

ZF3PF2 处理的可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数、有机酸质量分数和糖酸比均达到最大值,分别为 6.43%、11.93%、3.8%、0.384%和 9.90%。当喷施沼液体积分数相同时,果实可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数、有机酸质

量分数和糖酸比均随追肥量的增大呈先增大后减少的趋势。追肥量相同时,PF2 处理的总体趋势较好。因此,追施 75 t·hm⁻²、喷施 50%的沼液(ZF3PF2 处理)的果实综合品质较好。

表 3 不同施肥处理下番茄的外观品质及产量的显著性检验 F 值

Table 3 Significant test F value for appearance quality and yield of tomato under different fertilization treatments			
处理 Treatment	单果质量 Average fruit	纵横比 Aspect ratio	产量 Yield
ZF	24.928 **	13.334 **	77.509 **
PF	6.411 **	3.756 **	7.719 **
ZF×PF	1.140	0.231	1.102

注: * 表示差异显著, ** 表示差异极显著,下同。
Note: * means significant difference, and ** means extremely significant difference, the same as below.

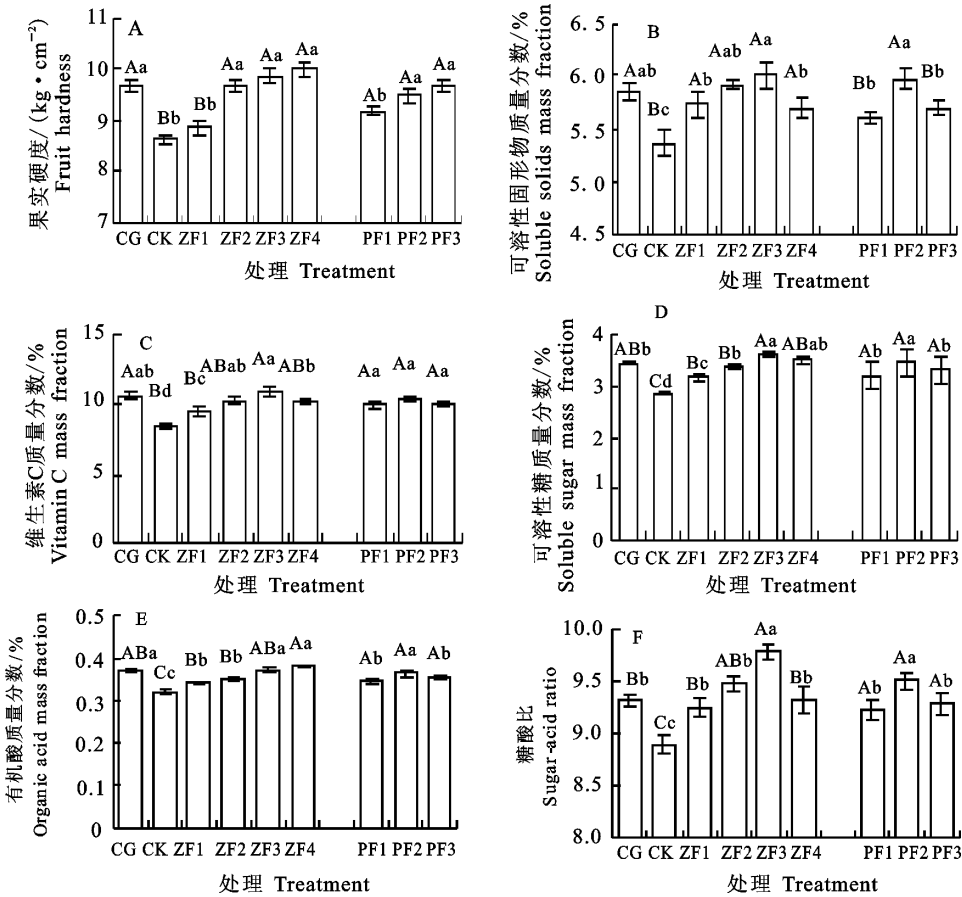


图 3 不同处理下番茄的果实硬度、可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数、有机酸质量分数和糖酸比

Fig. 3 Fruit hardness, soluble solid, vitamin C mass fraction, soluble sugar organic acid mass fraction and sugar-acid ratio of tomato under different treatments

表 4 二因素交互作用对番茄储运品质和营养品质的影响($\bar{x}\pm s_x$)

Table 4 Effects of two factors on storage, transportation and nutritional quality of tomato

处理 Treatment		硬度/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) Hardness	可溶性固形物 质量分数/% Soluble solid mass fraction	维生素 C 质量分数/% Vitamin C mass fraction	可溶性糖 质量分数/% Soluble sugar mass fraction	有机酸 质量分数/% Organic acid mass fraction	糖酸比 Sugar- acid ratio
CG	PF1	9.25±0.21 b	5.68±0.10 cd	10.51±0.84 b	3.34±0.06 c	0.363±0.010 b	9.21±0.11 bc
	PF2	9.75±0.17 ab	6.18±0.12 abc	10.87±0.27 ab	3.56±0.03 b	0.376±0.001 ab	9.46±0.04 b
	PF3	9.93±0.14 ab	5.73±0.09 cd	10.69±0.09 ab	3.38±0.06 c	0.364±0.008 b	9.28±0.06 bc
CK	PF1	8.48±0.09 c	5.28±0.25 d	8.13±0.18 c	2.69±0.12 e	0.303±0.008 e	8.86±0.18 c
	PF2	8.53±0.22 c	5.45±0.21 d	8.83±0.44 c	3.02±0.07 d	0.331±0.005 cd	9.11±0.07 bc
	PF3	8.88±0.23 bc	5.38±0.22 d	8.75±0.40 c	2.84±0.05 e	0.326±0.002 d	8.71±0.08 c
ZF1	PF1	8.65±0.20 c	5.53±0.21 cd	9.28±0.77 bc	3.10±0.04 d	0.337±0.005 cd	9.21±0.25 bc
	PF2	8.93±0.23 bc	5.93±0.22 bc	9.81±0.40 bc	3.27±0.06 cd	0.349±0.001 bc	9.38±0.14 b
	PF3	8.95±0.21 bc	5.70±0.18 cd	9.45±0.92 bc	3.16±0.06 d	0.344±0.003 c	9.17±0.11 bc
ZF2	PF1	9.43±0.14 b	5.88±0.13 cd	9.98±0.39 bc	3.22±0.07 cd	0.342±0.006 cd	9.42±0.04 b
	PF2	9.63±0.24 ab	5.98±0.03 abc	10.87±0.27 ab	3.51±0.07 bc	0.365±0.005 b	9.62±0.07 ab
	PF3	9.90±0.25 ab	5.93±0.05 c	10.25±0.54 b	3.32±0.03 cd	0.353±0.003 bc	9.40±0.19 b
ZF3	PF1	9.60±0.22 ab	5.75±0.14 cd	11.48±0.44 ab	3.46±0.01 bc	0.356±0.006 bc	9.72±0.12 ab
	PF2	9.95±0.28 ab	6.43±0.15 a	11.93±0.00 a	3.80±0.07 a	0.384±0.005 a	9.90±0.05 a
	PF3	10.10±0.15 a	5.83±0.12 cd	11.13±0.46 ab	3.59±0.03 b	0.368±0.004 ab	9.76±0.20 ab
ZF4	PF1	9.70±0.12 ab	5.58±0.15 cd	11.04±0.44 ab	3.35±0.03 c	0.374±0.009 ab	8.96±0.13 c
	PF2	10.08±0.15 a	5.90±0.20 cd	10.78±0.18 ab	3.60±0.05 b	0.376±0.006 ab	9.57±0.02 ab
	PF3	10.15±0.16 a	5.63±0.13 cd	9.98±0.39 bc	3.55±0.05 bc	0.376±0.002 ab	9.44±0.17 b

表 5 二因素交互作用下番茄储运品质和营养品质的显著性检验 F 值

Table 5 Significant F value of tomato storage and nutrient quality under two-factor interaction

处理 Treatment	硬度 Hardness	可溶性固形物 质量分数 Soluble solid mass fraction	维生素 C 质量分数 Vitamin C mass fraction	可溶性糖 质量分数 Soluble sugar mass fraction	有机酸 质量分数 Organic acid mass fraction	糖酸比 Sugar- acid ratio
ZF	24.882 **	5.931 **	14.044 **	66.739 **	40.898 **	15.380 **
PF	8.699 **	8.395 **	1.850 **	31.540 **	14.870 **	7.461 **
ZF×PF	0.236	0.601	0.445	0.583	1.137	0.833

3 讨论与结论

张璘玮等^[10]通过连续 3 a 定位施用沼液试验表明,施用沼液可显著提高油菜产量和品质,优于常规施用化肥种植油菜。本研究通过日光温室追施沼肥试验发现在番茄的第 1、第 3 层果的膨大期追施沼肥更能促进番茄植株的生长。当喷施沼液体积分数相同时,在本试验的追施沼肥水平内(45~90 t·hm⁻²),增加沼肥追施量均能促进番茄植株的生长,并以追施 75 t·hm⁻² (ZF3)为最优,与灌施清水和常规施化肥相比,差异显著。在沼肥追施量相同的条件下,喷施体积分数为 50%的沼液,可增强番茄植株的长势和抗逆性,与喷施

清水相比,番茄的株高、茎粗、叶片数、叶绿素均有不同程度的提高,且叶片颜色有加深的趋势。这与苗锋等^[19]的研究结果一致。

杨合法等^[20]的研究结果表明,施用沼肥可提高番茄的产量,比不施肥增产 88.24%,比施用等养分化肥相比增产 7.87%。本试验结果显示,在喷施沼液体积分数一致的条件下,追施沼肥为 45~90 t·hm⁻²时,产量随沼肥追施量的增大呈先增加后减少的趋势。其中追施 75 t·hm⁻²处理最优,与对照灌施清水和常规使用化肥相比,分别提高 31.5%和 13.8%。当追肥量为 90 t·hm⁻² (ZF4)时,产量降低,这可能是追肥过量会造成土壤水势低,养分和水分供应不足,影响生

殖生长,使番茄的产量降低。在沼肥追施量一致的情况下,喷施沼液处理的产量显著高于喷施清水,这可能与喷施沼液可以增强光合作用有关^[21],延长番茄的结果期,进而使产量提高,喷施沼液原液比喷施体积分数为 50% 的沼液的产量低可能是沼液体积分数过高,不利于植株叶片的吸收,或促进植株的营养生长,使营养生长过盛,影响番茄的产量,具体原因有待进一步研究。

白昕等^[22]研究认为,施用有机沼液生物肥可提高番茄的维生素 C 质量分数和可溶性糖质量分数,与对照灌水相比,分别提高 56.8% 和 84.2%,使果实的品质得到改善。本试验研究表明,在喷施沼液体积分数相同时,追施沼肥 90 t·hm⁻² 处理的硬度最大,为 9.98 kg·cm⁻²,番茄的硬度与追肥量呈正相关,这与周啸尘^[11]的研究结果一致。当沼肥追施量为 75 t·hm⁻² 时,番茄的可溶性固形物质量分数、维生素 C 质量分数、可溶性糖质量分数以及糖酸比均达到最大值,与对照不施肥相比,分别提高 11.7%、27.5%、27.0% 和 10.1%;与常规使用化肥相比,分别提高 2.4%、2.2%、5.5% 和 5.1%,不同程度地改善了番茄果实的品质,这与杨柳^[23]的研究结果一致。当沼肥追施量一致时,喷施沼液也能改善番茄果实的品质,其中喷施 50% 的沼液为最佳,这与徐艳玲^[24]的研究结果一致。据相关文献报道,糖酸比提高 1%,其食味就有明显不同^[25]。按照这个推断,常规施肥与追施沼肥番茄的风味和口感就有明显不同。

本试验追施沼肥是随水冲施,节省劳动力,可以缓解农村劳动力不足的问题。当追施沼肥 75 t·hm⁻²、沼肥体积分数为 50% 时,番茄的生长、产量和品质均达到最佳。合理施用沼肥不仅使废弃物中的 N、P、K 等养分得到循环利用,还节约资源、减少污染、增加农民的经济效益,提高种植者的积极性,实现农业生产和保护环境的双赢,为无公害农业的发展奠定基础。

参考文献 Reference:

- [1] 徐卫红,王正根,王旗,等.沼气发酵残留物对蔬菜产量及品质影响的研究进展[J].中国沼气,2005,23(2):27-29.
XU W H, WANG ZH G, WANG Q, *et al.* A review on studies of biogas fermentation residue effect on vegetable yield and quality[J]. *China Biogas*, 2005, 23(2): 27-29 (in Chinese with English abstract).
- [2] 钟茜,王莉艳.沼肥对蔬菜产量和品质及土壤理化性质影响的研究进展[J].北方园艺,2013(17):192-195.
ZHONG Q, WANG L Y. Evaluation on nutritional values of five grass species and effect on soil fertility after mulching in pear orchards [J]. *Northern Horticulture*, 2013(17): 195-198 (in Chinese with English abstract).
- [3] 沈钢粮.沼肥对无公害蔬菜营养品质与产量影响的探讨[J].福建农业科技,2005(5):50-51.
SHEN G L. To investigate the effects of biogas fertilizer on yield and nutrient quality of pollution-free vegetables [J]. *Fujian Agricultural Sciences and Technology*, 2005(5): 50-51 (in Chinese).
- [4] 罗勤,陈竹君,闫波,等.水肥减量对日光温室土壤水分状况及番茄产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):449-457.
LUO Q, CHEN ZH J, YAN B, *et al.* Effects of reducing water and fertilizer rates on soil moisture and yield and quality of tomato in solar greenhouse [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(2): 449-457 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈永杏,尚斌,董红敏,等.猪粪发酵沼液对油菜(*Brassica chinensis* L.)品质的影响[J].中国农业科技导报,2011,13(3):117-121.
CHEN Y X, SHANG B, DONG H M, *et al.* Effect of biogas slurry from swine farms on cole quality [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(3): 117-121 (in Chinese with English abstract).
- [6] 高红莉.施用沼肥对青菜产量品质及土壤质量的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):43-47.
GAO H L. Effect of biogas fertilizer on the yield and quality of vegetables and soil quality [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(S): 43-47 (in Chinese with English abstract).
- [7] ABUBAKER J, CEDERLUND H, AATHURSON V, *et al.* Bacterial community structure and microbial activity in different soils amended with biogas residue and cattle slurry [J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 72(72): 171-180.
- [8] 陶秀萍,董红敏,尚斌,等.新鲜猪沼液和牛沼液对农作物病原真菌抑制作用的比较研究[J].农业环境科学学报,2011,30(7):1443-1449.
TAO X P, DONG H M, SHANG B, *et al.* Comparison of inhibiting effects between fresh effluents of an aerobically digested piggery waste and an aerobically digested dairy waste on plant pathogenic fungi [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7): 1443-1449 (in Chinese with English abstract).
- [9] 马艳,李海,常志州,等.沼液对植物病害的防治效果及机理研究 I:对植物病原真菌的抑制效果及抑菌机理初探[J].农业环境科学学报,2011,30(2):366-374.
MA Y, LI H, CHANG ZH ZH, *et al.* Biocontrol effect and mechanism of biogas slurry on plant disease I: primary study of growth inhibition effects and mechanism on phytopathogen Fungi [J]. *Journal of Agro-Environment Science*,

- 2011,30(2):366-374(in Chinese with English abstract).
- [10] 张璘玮,伍 钧,杨 刚,等. 猪粪沼液连续定位施用对油菜产量及菜籽品质的影响[J]. 农业环境科学学报,2014,33(3):562-568.
- ZHANG L W, WU J, YANG G, *et al.* Effects of continuous applications of digested pig biogas slurry on *Brassica napus* yields and rapeseed quality[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33 (3): 562-568 (in Chinese with English abstract).
- [11] 周啸尘. 灌水量与追肥量对番茄产量和品质的影响[D]. 江苏扬州:扬州大学,2014.
- ZHOU X CH. Effects of irrigation and top dressing amount on yield and fruit quality of tomato [D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [12] 陆方祥,杨永健,张加扬,等. 西红柿大田沼肥应用试验效果分析[J]. 中国沼气,2011,29(6):49-50.
- LU F X, YANG Y J, ZHANG J Y, *et al.* Experiment and analysis of tomato field application of biogas fertilizer [J]. *China Biogas*, 2011, 29(6): 49-50 (in Chinese with English abstract).
- [13] MAHAJAN G, SINGLY K G. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation[J]. *Agricultural Water Manage*, 2006, 84(1/2): 202-206.
- [14] ZOTARELLI L, SCHOLBERG J M, DUKES M D. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(1): 23-34.
- [15] 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,2000:106-196.
- LU R K. Soil Agricultural Chemical Analysis Method [M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press of China, 2000: 106-196 (in Chinese).
- [16] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:54-55,111-112.
- ZOU Q. Plant Physiology Experiment Guide [M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2000: 54-55, 111-112 (in Chinese).
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:199-200.
- GAO J F. Experimental Instruction of Plant Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 199-200 (in Chinese).
- [18] 苑乃香,宣亚文,谢东坡,等. 2,6-二氯酚靛酚钠测定蔬菜中抗坏血酸的含量[J]. 安徽农业科学,2009,37(25):11853-11854.
- YUAN N X, XUAN Y W, XIE D P, *et al.* Determination on the contents of vitamin C in vegetables by 2,6-dichlorophenol indophenol sodium method[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(25): 11853-11854 (in Chinese with English abstract).
- [19] 苗 锋,刘进余,孙秀坤,等. 沼液浓度对温室番茄产量及品质的影响[J]. 河北农业科学,2009,13(10):46,49.
- MIAO F, LIU J Y, SUN X K, *et al.* Effects of different concentrations of biogas slurry on the yield and quality of greenhouse tomato [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13(10): 46, 49 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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.
- YANG H F, FAN J F, HAO J M, *et al.* The research of marsh fertilizer impact on tomatoes' output, quality and soil fertility in protected field [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22 (7): 369-372 (in Chinese with English abstract).
- [21] 赵曙光,任广鑫,杨改河,等. 线辣椒叶面喷施沼液的效应[J]. 西北农业学报,2007,16(3):128-131.
- ZHAO SH G, REN G X, YANG G H, *et al.* Effect of spraying biogas slurry on *Capsicum* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(3): 128-131 (in Chinese with English abstract).
- [22] 白 昕,李亚男,刘双全. 有机沼液生物肥对蔬菜品质的影响研究[J]. 环境科学与管理,2013,8(8):75-78.
- BAI X, LI Y N, LIU SH Q. Impacts of organic biogas slurry bio-fertilizer on vegetable quality [J]. *Environmental Science and Management*, 2013, 8 (8): 75-78 (in Chinese with English abstract).
- [23] 杨 柳. 沼肥对大棚番茄生长性能及品质影响的研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.
- YANG L. Study on biogas fertilizer on growth performance and quality of tomato in greenhouse [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [24] 徐艳玲. 不同施入方式对番茄农艺性状及产量的影响[J]. 中国沼气,2015,33(3):83-86.
- XUN Y L. Effect of different fertilizing methods on agronomic trait and yield of tomato [J]. *China Biogas*, 2015, 33(3): 83-86 (in Chinese with English abstract).
- [25] 唐 政,李 虎,邱建军,等. 有机种植条件下水肥管理对番茄品质和土壤硝态氮累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):413-418.
- TANG ZH, LI H, QIU J J, *et al.* Effects of different water and manure management practices on quality and yield of tomato and N accumulations in soil profile [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 413-418 (in Chinese with English abstract).

Effect of Topdressing Biogas Fertilizer on Growth, Yield and Quality of Tomato

JIA Liangliang^{1,3}, ZHAO Jingqi^{1,3}, YANG Chenlu^{1,3}, LIU Lanqing^{1,3},
CHEN Jianwei^{2,3}, YANG Gaihe^{1,3} and REN Guangxin^{1,3}

(1. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract We investigated the effect of topdressing biogas fertilizer on growth, yield and quality of tomato, so as to provide theoretical basis for the biogas fertilization to tomato in greenhouse. With split plot design, the growth, yield and quality of tomato in greenhouse affected by different topdressing amounts and spraying concentrations of biogas fertilizer were analyzed. The results showed that under same concentration, topdressing $75\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ biogas fertilizer promoted the growth of tomato plants, the tomato hardness, yield, vitamin C mass fraction, soluble sugar mass fraction and sugar acid ratio, and it was better than conventional fertilization. It also improved tomato quality and increased economic benefit. By consistent topdressing amount of biogas fertilizer, spraying biogas slurry with volume of 50% was the best. Under the condition of the interactive effect of topdressing and spraying fertilizer, the volume fraction of the spraying biogas slurry was 50% and topdressing biogas fertilizer was $75\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and this was beneficial to increase growth, yield and quality of tomato.

Key words Biogas fertilizer; Tomato; Yield; Quality

Received 2016-09-12 **Returned** 2016-11-15

Foundation item Project of Shaanxi Science and Technology Innovation (No. 2014KTCL02-12); Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province (No. 2015QTGC-083); GEF Grants Program (second phase) of China's Rural Energy Ecological Construction (No. G0203-PC).

First author JIA Liangliang, male, master student. Research area: circular agricultural technology. E-mail: jialiangliangwan@163.com

Corresponding author REN Guangxin, male, master supervisor, associate professor. Research area: agricultural regional development and circular agriculture. E-mail: rengx@nwsuaf.edu.cn

(责任编辑: 成敏 **Responsible editor: CHENG Min**)