

茭白叶堆肥不同用量对番茄生长、产量、品质及土壤肥力的影响

陈 剑, 齐 文, 蒋海凌, 陈伟强

(浙江省台州市农业科学研究院 浙江临海 317000)

摘要:为明确茭白叶堆肥的潜在应用价值,采用设施栽培,研究茭白叶堆肥的不同堆制原料和施肥量对番茄生长、产量、品质、氮肥利用率和土壤肥力的影响。结果表明,移栽后 21 d 内,2 种茭白叶堆肥对番茄株高、茎粗的促生长效果均好于商品有机肥;番茄的氮素农学效率、氮养分吸收量及氮素利用效率均随着茭白叶堆肥施肥量的增加呈上升趋势;商品有机肥在相同施肥量下对土壤有机质、氮、磷含量的提高效果好于 2 种茭白叶堆肥。2 种堆肥在氮肥施用量为 $470.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时番茄产量均最高,T5 处理(堆肥 A)、T8 处理(堆肥 B)产量分别为 $112.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $106.98 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;T8 处理番茄品质为各处理中最优,其可溶性蛋白、维生素 C、可溶性糖、有机酸含量(w , 后同)分别为 $7.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $40.61 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 、5.88% 和 0.66%。研究表明,茭白叶堆肥对番茄产量、品质、氮肥利用率均有较好提升效果,T8 处理(堆肥 B 施用量 $28\ 068.59 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的施肥方案最具推广价值。

关键词:番茄;茭白叶堆肥;产量;品质;氮肥利用率;土壤肥力

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)06-069-08

Effects of different application amounts of *Zizania latifolia* leaf compost on tomato growth, yield, quality and soil fertility

CHEN Jian, QI Wen, JIANG Hailing, CHEN Weiqiang

(Zhejiang Taizhou Academy of Agricultural Sciences, Linhai 317000, Zhejiang, China)

Abstract: To explore the application potential of *Zizania latifolia* leaves compost, the effect of raw materials of the compost and amount of the compost used on the growth, production and quality of tomato and nitrogen use efficiency, soil fertility under facility cultivation was evaluated. The growth-promoting effects of two kinds of *Zizania* leaf compost on tomato plant height and stem diameter were better than those of commercial organic fertilizer within 21 days after transplanting. The nitrogen agronomic efficiency, nitrogen nutrient uptake and nitrogen use efficiency of tomato increased with the increase of *Zizania latifolia* leaf compost fertilizer. The effect of commercial organic fertilizer on soil fertility was better than that of two kinds of *Zizania* leaf compost under the same amount of fertilizer. The yield of tomato was the highest when the nitrogen fertilizer application rate was $470.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the yield of T5 treatment (compost A) and T8 treatment (compost B) was $112.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $106.98 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. The quality of tomato treated with T8 was the best among all treatments, and the content of soluble protein, vitamin C, soluble sugar, organic acid reached $7.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $40.61 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 5.88% and 0.66% respectively. *Zizania latifolia* leaf compost has a good effect on tomato yield, quality and nitrogen use efficiency, and the fertilization scheme of T8 treatment (compost B application amount of $28\ 068.59 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) had the most promotion value.

Key words: Tomato; *Zizania latifolia* leaves compost; Yield; Quality; Nitrogen use efficiency; Soil fertility

浙江省是我国茭白生产的第一大省,近几年茭白的种植面积稳定在 $3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右,约占全国种植总面积的 45%^[1]。茭白生产中常有“一斤茭白一斤废叶”的说法,采收时茭白上部叶片和

下部残留叶鞘的鲜质量占植株总质量的 50%~70%,浙江省每年产生的茭白秸秆鲜质量可达 $2 \times 10^6 \text{ t}$ 以上^[2-3]。茭白秸秆如果得不到科学合理的处置,不仅会造成环境污染和资源浪费,也会

收稿日期:2022-11-07;修回日期:2023-02-20

基金项目:浙江省重点研发计划(2021C02063-3);台州市科技计划项目(1901hb01)

作者简介:陈 剑,男,农艺师,主要从事植保、土肥、农产品安全等方面的研究。E-mail:chenrichard615@163.com

通信作者:陈伟强,男,高级农艺师,主要从事植保等方面的研究。E-mail:34557927@qq.com

严重制约茭白产业的可持续发展。为了解决茭白秸秆综合利用的难题,各地茭白产区开展积极探索,形成了利用茭白秸秆堆制有机肥、覆盖果园、加工青贮饲料、制作食用菌基料、加工工艺品等多种应用模式^[3-5]。茭白叶中含有丰富的营养成分,其有机质含量(w,后同)可达65.50%、N含量为3.70%、P₂O₅含量为0.50%、K₂O含量为2.10%^[6],将茭白叶堆肥还田是补充农田土壤各类养分最直接和最有效的方式,具有良好的经济效益和生态效益,是发展生态农业的一条有效途径^[7]。

目前,我国关于茭白秸秆堆肥的研究主要集中在堆肥物料配比、堆肥过程变化、筛选发酵菌剂等方面^[6-9]。磐安县曾利用茭白秸秆发酵有机肥在鲜食大豆上开展肥效试验,发现茭白秸秆发酵有机肥对鲜食大豆的生物产量及干豆产量均有明显增产效果^[10],而关于茭白秸秆的堆肥产品在其他作物上的应用效果,现有的研究仍然较少。为了明确茭白叶堆肥在蔬菜生产中的施用方法和实际应用效果,笔者将茭白叶分别与鸡粪和猪粪按一定比例混合,并加入生物菌剂等辅料,堆制成2种有机肥,与当地常用的商品有机肥进行比较,研究不同堆肥施肥量对设施番茄生长、产量、品质、氮吸收以及土壤肥力等指标的影响,以期对茭白叶的堆肥还田提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021年1—7月在浙江省台州市黄岩区曦禾有机农场设施大棚内开展,试验区域内地势平坦,土层深厚,年降水量1708.5 mm左右。土壤基本状况为:沙壤土、pH值5.92、有机质含量(w,后同)25.34 g·kg⁻¹、全氮含量1.68 g·kg⁻¹、全磷含量0.42 g·kg⁻¹、全钾含量21.78 g·kg⁻¹、水解性氮含量(碱解氮)169.13 mg·kg⁻¹、有效磷含量20.35 mg·kg⁻¹、速效钾含量114.56 mg·kg⁻¹,整体属高肥力土壤。

1.2 材料

试验作物为番茄,品种为常丰903,由上海市常丰种苗有限公司繁育的大红果番茄。

参试商品有机肥选用当地蔬菜合作社常用品牌,为江苏省南通市产的尔康牌有机肥;参试的2种茭白叶堆肥均为项目组前期于台州市农业科学研究院基地内堆制而成。堆制方法如下:将茭白叶与畜禽粪便辅料(堆肥A辅料为干鸡粪,堆肥B为干猪粪)按照3:1质量称取混匀后,在自制堆肥箱(长×宽×高=2.0 m×2.0 m×1.5 m)中采用层层堆叠的方式,每堆叠完一层物料撒上适量的微生物菌剂(酵素菌速腐剂,淮安大华生物科技有限公司),物料装满堆肥箱后在箱体表面覆盖塑料薄膜,待堆体温度超过50℃后去除塑料薄膜,根据堆体实际发酵情况适时翻堆,保证堆体中心最高温度不超过70℃,堆制21 d。商品有机肥及2种茭白叶堆肥的基本理化性质见表1。

表1 商品有机肥及2种茭白叶堆肥的理化性质

处理	含水率/%	pH值	w(有机质)/%	w(N)/%	w(P ₂ O ₅)/%	w(K ₂ O)/%
商品有机肥	24.00	7.90	52.00	2.20	7.70	0.90
茭白叶堆肥A	41.10	8.39	46.50	3.10	3.76	4.13
茭白叶堆肥B	43.40	7.24	66.10	2.96	2.06	4.07

注:表中有机质、N、P₂O₅、K₂O含量均以烘干基计。

1.3 方法

试验共设8个处理,每个处理3次重复,每个小区面积约15 m²,随机区组排列。以不施肥处理T1为CK,T2处理为当地蔬菜合作社习惯施肥(即每667 m²施用商品有机肥22500 kg作为基肥,基肥中不再添加化肥,折合施用纯N量为376.20 kg·hm⁻²)。以T2处理中所施氮量作为1.00 N,2种茭白叶堆肥分别设置0.75 N(纯N 282.15 kg·hm⁻²)、1.00 N(纯N 376.20 kg·hm⁻²)、1.25 N(纯N 470.25 kg·hm⁻²)等3个氮肥施用梯度,所有处理有机肥均作为基肥一次性施入,试验期间不再追肥,具体试验设置见表2。

表2 不同处理肥料用量

处理	有机肥	施肥量/(kg·hm ⁻²)
T1(CK)	无	0
T2	商品有机肥	22 500.00(1.00 N)
T3	茭白叶堆肥A	15 452.65(0.75 N)
T4	茭白叶堆肥A	20 603.54(1.00 N)
T5	茭白叶堆肥A	25 754.42(1.25 N)
T6	茭白叶堆肥B	16 841.16(0.75 N)
T7	茭白叶堆肥B	22 454.88(1.00 N)
T8	茭白叶堆肥B	28 068.59(1.25 N)

参试番茄于2021年1月14日播种,2月25日(4叶期,株高20 cm左右)移栽,行株距为60 cm×

40 cm,折合 667 m²种植 4.10×10⁴株,移栽前对土地进行平整,均匀撒上有有机肥后加薄土覆盖,再盖地膜,种植期间采用膜下滴灌方式进行灌溉,其余各项措施均按田间习惯方法统一管理,5月18日开始采收,7月10日结束采收。

1.4 测定项目

番茄生长指标及产量测定:番茄移栽1周后,每个小区选取10株长势均匀的番茄植株做好标记,每周调查1次株高、茎粗。番茄果实成熟期,对各小区番茄根据长势分批采收,每次采收详细记录单株产量及果实个数。

化感效应指数(IR)的计算:当 T≥C 时,IR=1-C/T;当 T<C 时,IR=T/C-1,其中 C 为对照值,T 为处理值。IR>0 表示化感促进作用,IR<0 表示化感抑制作用,其绝对值的大小与作用强度保持一致^[1]。

番茄不同部分含 N 量:收获期每小区随机选取 3 株番茄植株采样,将采集的植株按不同器官(果实、茎、叶、根)分开,烘干、称质量、粉碎,采用硫酸-过氧化氢消煮法测定植株不同部位含 N 量。

氮肥利用相关指标的计算公式如下^[12]:

氮素农学效率/(kg·kg⁻¹)=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/施氮量; (1)

氮素偏生产力/(kg·kg⁻¹)=施氮处理产量/施氮量; (2)

氮养分吸收量/(kg·hm⁻²)=氮养分含量×干物质量; (3)

氮素利用效率/%=(施氮处理氮素累积量-不施氮处理氮素累积量)/施氮量×100。

番茄品质指标测定:采收中期,各个小区摘取长势均匀具有代表性的果实样品进行品质测定^[13-15],采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白含量,采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用滴定法测定有机酸含量。

土壤理化指标测定:番茄收获结束后,利用“S”型采样法在距离主根 5 cm 处,用取样器采集 0~20 cm 耕层土样,委托杭州绿城农科检测技术公司进行土壤理化指标的检测,土壤理化指标主要包括:pH 值、有机质含量、水解性氮(碱解氮)含量、有效磷含量、速效钾含量等。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理和制作图表,采用 SPSS16.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对番茄长势的影响

由表 3 可知,移栽后 35 d,各处理番茄株高以 T8 处理为最高,达 81.00 cm,分别比 T1(CK)、T2 处理显著提高了 35.45%、29.39%。调查期间,各处理番茄株高增幅为 164.60%~224.56%,增幅最大为 T6 处理,分别比 T1(CK)、T2 处理的株高增幅提高了 36.43%、22.54%。施用堆肥 A 的 3 个处理,移栽后

表 3 不同处理对番茄长势的影响

指标	处理	栽后时间/d				
		7	14	21	28	35
株高/cm	T1(CK)	22.60±2.25 b	24.30±3.12 c	33.10±2.95 c	41.10±3.21 c	59.80±5.31 d
	T2	22.10±1.35 b	24.20±3.33 c	35.20±2.78 c	41.50±2.56 c	62.60±5.12 cd
	T3	26.40±2.22 a	29.20±2.98 ab	44.10±3.33 ab	51.60±3.66 ab	76.00±4.36 ab
	T4	26.20±3.02 a	29.20±3.56 ab	43.40±3.64 ab	50.80±2.78 ab	80.60±5.39 ab
	T5	25.00±2.07 ab	26.30±3.44 bc	37.50±2.13 bc	45.30±3.92 c	67.80±6.03 c
	T6	22.80±2.11 b	28.30±3.09 b	43.00±2.96 ab	50.80±3.16 ab	74.00±5.88 b
	T7	23.80±1.64 b	29.20±2.13 ab	41.00±3.01 b	49.90±3.55 b	75.00±6.91 ab
	T8	27.60±1.98 a	32.90±2.56 a	46.40±3.23 a	55.10±4.02 a	81.00±6.78 a
茎粗/mm	T1(CK)	5.08±1.05 a	5.09±1.08 b	6.90±1.03 b	7.44±1.11 a	8.88±1.65 b
	T2	4.49±0.96 a	5.21±1.69 b	6.92±0.98 b	8.08±1.26 a	9.52±1.76 b
	T3	5.01±1.79 a	6.29±0.98 ab	8.17±1.53 ab	9.16±2.01 a	9.35±1.35 b
	T4	5.86±1.16 a	6.61±2.23 a	7.77±0.56 ab	8.52±1.17 a	9.40±1.54 b
	T5	5.53±0.88 a	5.77±1.56 ab	7.14±1.23 b	7.61±1.06 a	9.89±1.95 ab
	T6	5.15±0.76 a	5.88±1.21 ab	8.30±2.10 a	8.82±1.65 a	9.90±2.04 ab
	T7	5.25±1.32 a	5.83±1.08 ab	7.36±2.32 ab	8.22±1.76 a	10.54±2.19 ab
	T8	5.86±1.11 a	6.69±0.55 a	7.91±1.11 ab	8.08±1.36 a	10.87±1.54 a

注:相同指标同列数字后不同小写字母表示同时期各处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

35 d 的番茄株高及株高增幅,随着施肥量的增加均呈先升高后降低趋势;施用堆肥 B 的 3 个处理,移栽后 35 d 的番茄株高随着施肥量的增加而增加,株高的增幅随着施肥量的增加而降低。

移栽后 35 d,各处理番茄的茎粗以 T8 处理为最粗,达 10.87 mm,分别比 T1(CK)、T2 处理显著提高了 22.41%、14.18%。调查期间,各处理番茄的茎粗增幅为 60.41%~112.03%,T2 处理的茎粗增幅最大。施用同一种堆肥的处理,移栽后 35 d 的番茄茎粗均随着施肥量的增加而增加,茎粗的增幅则未呈现明显规律。

2.2 不同施肥处理对番茄植株生长的化感效应

由表 4 可以看出,各施肥处理中,T2 处理在 7 d 和 14 d 时对番茄株高表现出抑制效应,T2 处理和

T3 处理在 7 d 时对番茄茎粗表现出抑制效应,其余处理在不同时期对番茄株高、茎粗均表现为促进效应。各处理对番茄生长的化感效应并未随时间推移表现出明显规律,其中 T2、T3、T6 和 T8 处理均在 21 d 时对番茄株高促进效应最强,T4、T5 和 T7 处理均在 35 d 时对番茄株高促进效应最强;T3、T4、T5 和 T8 等处理均在 14 d 时对番茄茎粗促进效应最强,T2、T6 和 T7 处理分别在 28、21、35 d 时对番茄茎粗促进效应最强。除 T6 外的其余施用堆肥的处理,在调查期间对番茄株高的促进效应均显著高于 T2 处理,在 7、14、21 d,对番茄茎粗的促进效应也显著高于 T2 处理;施用同一种堆肥的处理,对番茄株高、茎粗的促进效应并未随着施肥量的提高而增强。

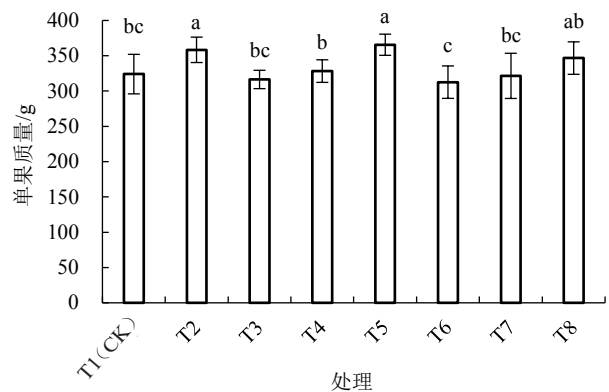
表 4 不同处理对番茄植株生长的化感效应指数

指标	处理	栽后时间/d				
		7	14	21	28	35
株高	T1(CK)					
	T2	-0.022±0.001 d	-0.004±0.001 d	0.060±0.001 d	0.010±0.001 d	0.045±0.001 d
	T3	0.144±0.002 ab	0.168±0.003 b	0.249±0.011 ab	0.204±0.008 ab	0.213±0.014 ab
	T4	0.137±0.002 b	0.168±0.005 b	0.237±0.013 b	0.191±0.003 b	0.258±0.007 a
	T5	0.096±0.002 b	0.076±0.001 c	0.117±0.005 c	0.093±0.002 c	0.118±0.006 c
	T6	0.009±0.001 d	0.141±0.007 b	0.230±0.009 b	0.191±0.007 b	0.192±0.010 b
	T7	0.050±0.001 c	0.168±0.008 b	0.193±0.011 b	0.176±0.003 b	0.203±0.005 b
	T8	0.181±0.005 a	0.261±0.010 a	0.287±0.005 a	0.254±0.014 a	0.262±0.011 a
茎粗	T1(CK)					
	T2	-0.116±0.002 e	0.023±0.001 c	0.004±0.001 d	0.079±0.001 c	0.067±0.001 c
	T3	-0.013±0.001 d	0.190±0.003 a	0.156±0.008 a	0.188±0.003 a	0.050±0.001 c
	T4	0.134±0.001 a	0.230±0.013 a	0.112±0.002 b	0.126±0.002 b	0.055±0.001 c
	T5	0.082±0.001 b	0.118±0.005 b	0.034±0.001 c	0.022±0.001 d	0.102±0.001 b
	T6	0.014±0.001 c	0.134±0.002 b	0.169±0.002 a	0.156±0.002 a	0.103±0.001 b
	T7	0.034±0.001 c	0.128±0.003 b	0.063±0.001 c	0.095±0.001 bc	0.157±0.002 a
	T8	0.133±0.001 a	0.239±0.014 a	0.128±0.003 b	0.079±0.001 c	0.183±0.003 a

2.3 不同施肥处理对番茄产量的影响

由图 1 可知,不同施肥处理间番茄的单果质量存在一定差异。其中单果质量最大为 T5 处理,达 365.60 g,比 T1(CK)显著提高 12.84%,比 T2 处理提高了 2.01%;3 种有机肥氮肥施用水平同为 1.00 N(纯 N 376.20 kg·hm⁻²)时,单果质量最大为 T2 处理,达 358.40 g,分别比 T4、T7 处理显著提高 9.17%、11.48%;当 2 种堆肥氮肥施用水平达到 1.25 N(纯 N 470.25 kg·hm⁻²)时,T5 处理、T8 处理与 T2 处理之间单果质量均无显著差异。施用同一种堆肥的处理,番茄的单果质量均随着施肥量的增加而增加;相同氮肥施用水平下,施用堆肥 A 处理的单果质量均要高于施用堆肥 B 的处理,但差

异均不显著。



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同处理对番茄单果质量的影响

由图 2 可知,不同施肥处理间番茄的产量存在一定差异。其中产量最高为 T2 处理,达 116.15 t·hm⁻²,施用堆肥的处理产量最高为 T5 处理,达 112.68 t·hm⁻²。当 3 种有机肥氮肥施用水平同为 1.00 N(纯 N 376.20 kg·hm⁻²)时,T4 处理、T7 处理分别比 T2 处理显著减产 19.78%、34.89%;当 2 种堆肥氮肥施用

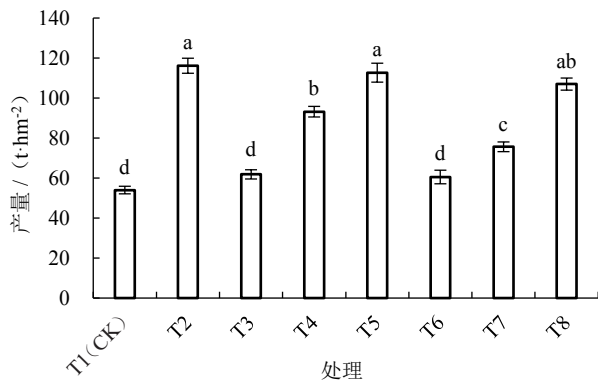


图 2 不同处理对番茄产量的影响

水平达到 1.25 N(纯 N 470.25 kg·hm⁻²)时,T5 处理、T8 处理与 T2 处理之间产量均无显著差异。施用同一种堆肥的处理,番茄产量均随着施肥量的增加而提高;相同氮肥施用水平下,施用堆肥 A 的处理产量均高于施用堆肥 B 的处理。

2.4 不同施肥处理对番茄品质的影响

由表 5 可知,不同施肥处理中 T8 处理番茄的品质最好,其可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、糖酸比均为最高,分别为 7.23 mg·g⁻¹、40.61 mg·100 g⁻¹、5.88%、8.91,比 T1(CK)分别显著提高 122.46%、123.13%、41.69%、110.64%,比 T2 处理分别显著提高 31.93%、36.64%、18.55%、23.92%。施用同一种堆肥的处理,可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、糖酸比均随着施肥量的增加而提高,有机酸含量随着施肥量的增加而降低;相同氮肥施用水平下,3 种有机肥对番茄品质的提升效果为堆肥 B>堆肥 A>商品有机肥。

表 5 不同处理对番茄品质的影响

处理	w(可溶性蛋白)/(mg·g ⁻¹)	w(维生素 C)/(mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖)/%	w(有机酸)/%	糖酸比
T1(CK)	3.25±0.11 d	18.20±1.05 d	4.15±0.16 d	0.98±0.15 a	4.23±0.25 d
T2	5.48±0.52 b	29.72±2.11 b	4.96±0.32 bc	0.69±0.10 c	7.19±1.13 b
T3	3.96±0.15 c	21.06±1.98 c	4.53±0.21 c	0.85±0.13 ab	5.33±1.01 c
T4	6.51±0.21 b	31.84±2.55 b	5.08±0.15 b	0.68±0.12 c	7.47±0.98 b
T5	7.07±0.31 ab	38.75±2.17 a	5.81±0.36 a	0.67±0.15 c	8.67±1.23 a
T6	4.08±0.19 c	20.98±2.96 c	4.69±0.22 c	0.82±0.21 b	5.72±0.68 c
T7	6.62±0.25 ab	33.64±3.05 b	5.64±0.17 ab	0.74±0.20 bc	7.62±1.12 b
T8	7.23±0.18 a	40.61±2.98 a	5.88±0.24 a	0.66±0.16 c	8.91±1.64 a

2.5 不同施肥处理对番茄氮肥利用率的影响

由表 6 可知,不同施肥处理间番茄各部位含氮量存在一定差异。番茄茎秆和叶片含氮量最高的均为 T8 处理,分别达 2.22%、2.68%,比 T1(CK)处理分别显著提高了 50.00%、44.86%,比 T2 处理分别提高了 6.22%、3.88%;番茄根部与果实含氮量最高的均为 T5 处理,分别达 2.25%、2.18%,比 T1(CK)处理分别显著提高了 41.51%、51.39%,比 T2

处理分别提高了 4.65%、7.39%。施用同一种堆肥的处理,番茄各部位的含氮量均随着氮肥施用水平的提高而提高。

由表 7 可知,不同施肥处理间番茄各部位的氮积累量存在一定差异。番茄茎秆和根部氮积累量最多的均为 T8 处理,分别达 47.05、7.23 kg·hm⁻²,比 T1(CK)处理分别显著提高了 54.06%、53.50%,比

表 6 不同各处理番茄不同部位含氮量 %

处理	茎	叶	根	果实
T1(CK)	1.48±0.13 c	1.85±0.19 c	1.59±0.12 c	1.44±0.16 c
T2	2.09±0.19 ab	2.58±0.16 a	2.15±0.13 a	2.03±0.16 ab
T3	1.97±0.10 b	2.13±0.14 b	1.93±0.19 b	1.86±0.13 b
T4	2.01±0.19 b	2.21±0.11 b	2.08±0.15 ab	1.98±0.18 ab
T5	2.19±0.11 ab	2.64±0.11 a	2.25±0.18 a	2.18±0.17 a
T6	1.84±0.19 b	2.18±0.13 b	1.88±0.15 b	1.81±0.18 b
T7	2.06±0.16 ab	2.27±0.14 b	2.03±0.19 ab	2.08±0.17 a
T8	2.22±0.17 a	2.68±0.12 a	2.19±0.15 a	2.16±0.10 a

表 7 不同施肥处理下番茄各部位氮积累量

处理	茎	叶	根	果实
T1(CK)	30.54±2.80 d	28.95±1.40 c	4.71±1.94 c	48.16±3.37 c
T2	40.13±1.29 b	38.42±1.54 ab	6.22±1.15 b	81.32±3.13 a
T3	36.27±1.42 c	35.77±1.16 b	6.01±2.80 b	52.25±3.32 c
T4	41.13±2.33 b	40.08±2.32 a	6.65±1.64 ab	62.51±2.20 b
T5	45.58±2.03 a	42.32±2.32 a	7.13±2.91 a	79.18±2.20 a
T6	37.08±2.25 bc	35.68±1.55 b	6.15±2.18 b	53.19±3.08 c
T7	42.61±1.04 ab	40.13±1.73 a	7.09±1.83 a	60.82±2.68 b
T8	47.05±2.46 a	41.62±1.79 a	7.23±1.38 a	75.49±3.59 a

T2 处理分别显著提高了 17.24%、16.24%；番茄叶片氮积累量最多的为 T5 处理，达 42.32 kg·hm⁻²，比 T1 (CK) 处理显著提高了 46.18%，比 T2 处理提高了 10.15%；番茄果实氮积累量最多的为 T2 处理，达 81.32 kg·hm⁻²，比 T1 (CK) 处理显著提高了 68.85%。施用同一种堆肥的处理，番茄不同部位的氮积累量均随着氮肥施用水平的提高而提高。

由表 8 可知，T2 处理的氮素农学效率、氮素偏生产力及氮素利用效率均最高，T5 处理的氮养分吸收量最高；施用同一种堆肥的处理，氮素农学效率、氮养分吸收量及氮素利用效率均随着氮肥施用水平的提高而显著提高；相同氮肥施用水平下，施用 2 种堆肥的处理间氮养分吸收量及氮素利用效率均无显著差异。

表 8 不同处理对番茄氮肥利用率的影响

处理	氮素农学效率/(kg·kg ⁻¹)	氮素偏生产力/(kg·kg ⁻¹)	氮养分吸收量/(kg·hm ⁻²)	氮素利用效率/%
T1(CK)			112.36±1.25 d	
T2	165.21±5.77 a	308.75±5.13 a	166.09±2.86 a	14.28±0.96 a
T3	27.80±1.45 e	219.19±3.16 c	130.30±1.53 c	6.36±0.55 d
T4	104.15±4.17 c	247.69±4.09 b	150.37±1.17 b	10.10±0.92 c
T5	124.78±3.44 b	239.62±3.13 bc	174.21±2.28 a	13.15±0.81 ab
T6	23.13±1.62 f	214.51±3.26 c	132.10±1.35 c	7.00±0.47 d
T7	57.50±2.08 d	201.04±2.89 c	150.65±1.19 b	10.18±0.65 c
T8	112.66±3.29 bc	227.50±2.51 bc	171.39±2.01 a	12.55±0.51 ab

2.6 不同施肥处理对土壤肥力的影响

由表 9 可知，番茄收获结束后，各处理土壤的 pH 值为 5.48~5.96；相同氮肥施用水平下，施用 2 种堆肥的处理间 pH 值均无显著差异；施用 2 种堆肥的处理在氮肥施用水平达到 1.25 N (纯 N 470.25 kg·hm⁻²) 时，与 T2 处理之间 pH 值均无显著差异。T2 处理收获后土壤的有机质、碱解氮、有效磷、全氮含量均为最高，分别为 29.70 g·kg⁻¹、192.71 mg·kg⁻¹、102.65 mg·kg⁻¹、2.09 g·kg⁻¹，分别较

试验前提高 17.21%、13.94%、404.42%、24.40%；土壤速效钾含量最高的为 T5 处理，达 386.17 mg·kg⁻¹，较试验前提高了 237.09%。施用同一种堆肥的各处理，土壤的有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量均随着施肥量的增加呈上升趋势；3 种有机肥在氮肥施用水平同为 1.00 N (纯 N 376.20 kg·hm⁻²) 时，商品有机肥对土壤肥力的提升效果最好，除速效钾外的其余土壤肥力指标均高于堆肥处理。

表 9 不同处理对土壤肥力的影响

处理	pH	w(有机质)/(g·kg ⁻¹)	w(碱解氮)/(mg·kg ⁻¹)	w(有效磷)/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾)/(mg·kg ⁻¹)	w(全氮)/(g·kg ⁻¹)
T1(CK)	5.48±0.26 b	22.20±1.13 c	106.32±3.21 d	18.13±1.03 e	73.15±1.21 e	1.45±0.11 d
T2	5.96±0.19 a	29.70±1.85 a	192.71±4.11 a	102.65±2.14 a	204.56±2.12 d	2.09±0.15 a
T3	5.55±0.21 b	23.90±1.23 c	168.05±2.56 bc	28.53±1.13 d	236.46±2.41 c	1.66±0.10 c
T4	5.61±0.18 b	25.30±1.51 bc	171.15±2.33 bc	47.86±1.84 b	313.55±2.68 b	1.81±0.17 b
T5	5.82±0.24 a	26.80±1.46 b	177.61±3.05 b	52.21±1.93 b	386.17±2.96 a	1.89±0.13 ab
T6	5.63±0.32 b	24.30±1.13 bc	163.13±4.01 c	23.54±1.11 d	238.14±2.41 c	1.63±0.05 c
T7	5.61±0.26 b	26.90±1.21 b	175.21±2.61 b	25.77±1.05 d	276.53±1.98 bc	1.64±0.13 c
T8	5.76±0.15 ab	28.50±1.65 a	183.18±2.81 ab	40.40±2.04 c	315.23±2.65 b	1.80±0.09 b

3 讨论与结论

3.1 茭白叶堆肥不同施肥量对番茄生长、产量及品质的影响

秸秆堆肥还田可以改善土壤环境、促进作物对养分的吸收利用、利于微生物种群的繁殖和多样性，进而促进作物的生长发育、改善品质、提高产量^[16-20]。笔者的研究结果与前人基本一致，2 种茭白

叶堆肥对番茄的株高、茎粗的增长均有很好的促进作用，利用化感指数分析可知，2 种茭白叶堆肥在番茄移栽后 21 d 内，对番茄株高、茎粗表现出的正向促进效应均强于商品有机肥；2 种茭白叶堆肥对番茄生长的促进效应并未随着施肥量的提高而增强。施用同一种堆肥的处理，番茄产量与品质均随着施肥量的增加而提高。当 3 种有机肥氮肥施用水平同为 1.00 N (纯 N 376.20 kg·hm⁻²) 时，商品有机

肥对番茄产量的提升效果最好,堆肥 B 对番茄品质提升效果最好;当 2 种堆肥氮肥施用水平达到 1.25 N(纯 N 470.25 kg·hm⁻²)时,T5 处理、T8 处理与 T2 处理之间产量均无显著差异,T8 处理的番茄品质最好,说明 2 种茭白叶堆肥在提高施肥量情况下,均可以替代商品有机肥,使番茄产量达到当地正常生产水平,而且番茄品质更好。此外有研究表明,有机肥对番茄产量的提升效果还取决于土壤地力水平,当土壤的有机质含量低于 10 g·kg⁻¹时,有机无机配施对番茄的增产效果不显著^[21],因此当茭白叶堆肥在其他地区应用时,需根据当地实际地力调整施肥量。

3.2 茭白叶堆肥不同施肥量对番茄氮肥利用率的影响

大量研究表明^[12,22-24],增施氮肥对于植株地上部生物量及地上部氮素累积都有显著的促进作用,但施氮量超过一定范围后,氮素累积效率及氮肥利用效率都会显著降低且伴随产量的明显下降。本研究结果与前人基本一致,施用同一种茭白叶堆肥的处理,番茄不同部位的含氮量、氮积累量及氮肥利用相关的指标均随着施肥量的提高呈上升趋势,且番茄的产量也随着施肥量的增加而显著提高。当 3 种有机肥氮肥施用水平同为 1.00 N(纯 N 376.20 kg·hm⁻²)时,施用商品有机肥的 T2 处理氮肥利用率最高,当 2 种堆肥的氮肥施用水平提高到 1.25 N(纯 N 470.25 kg·hm⁻²)时,T5、T8 处理的氮养分吸收量及氮素利用效率与 T2 处理间均无显著差异。在笔者的研究中,2 种茭白叶堆肥的最高氮肥施用量(纯 N 470.25 kg·hm⁻²)均处于适合番茄种植的范围,番茄的产量及氮肥利用率均未出现下降趋势,因此在今后的生产中可以尝试进一步提高堆肥的施肥量。

3.3 茭白叶堆肥不同施肥量对土壤肥力的影响

有机肥营养全面,作为缓效肥料应用于农业生产可以减缓并修复连作对土壤的危害,改善土壤理化性状、提高土壤肥力、创造良好的土壤生态环境^[25-28]。笔者的研究结果与前人基本一致,施用有机肥的处理土壤 pH 值较 T1(CK)均有所提高,这可能是由于施用的有机肥中含有较多的有机质,还含有大量的有益微生物,对土壤酸性环境有较好的缓冲作用^[29]。各施肥处理的有机质及养分元素含量较 T1(CK)均有所提高,且施用同一种堆肥的处理土壤有机质及养分元素含量随着施肥量的增加而增加;3 种有机肥在相同氮肥施用水平下,商品有机

肥对土壤肥力的提升效果最好。

笔者的研究中分别施用 2 种茭白叶堆肥的 T5、T8 处理(氮肥施用量均为 470.25 kg·hm⁻²),番茄的产量均能达到当地正常生产水平,对提升土壤肥力也有较好效果,其中 T8 处理的番茄品质为各处理中最好,因此该施肥方案(堆肥 B 施用量 28 068.59 kg·hm⁻²)在番茄生产中更具推广价值。

茭白叶堆肥对提高蔬菜产量、提升蔬菜品质、改善土壤环境等方面具有极大的利用价值,对茭白叶堆肥在其他蔬菜上的应用效果将在未来的研究中进一步摸索,希望能为茭白叶的肥料化利用提供理论支持。

参考文献

- [1] 杜叶红. 浙江省茭白不同栽培模式的效益分析[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(3): 383-384.
- [2] 聂泽宇, 王阿华, 陈开宁, 等. 茭白秸秆处置现状及其固态脱氮碳源材料制备循环利用思考[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 5-10.
- [3] 邓曹仁, 陈建明. 浙江省茭白叶综合利用技术成功案例分析[J]. 长江蔬菜, 2017(18): 191-193.
- [4] 马雅敏, 张哲, 丁丽玲, 等. 丽水市茭白秸秆利用模式探讨[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(11): 2406-2407.
- [5] 何圣米, 陈可可, 周佳燕, 等. 茭白秸秆果园覆盖对土壤温度的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5): 901-902.
- [6] 符长煊. 茭白草堆肥过程中温度及营养成分的变化[J]. 浙江农业科学, 2009, 50(1): 187-189.
- [7] 何圣米, 蒋良珍, 杨良军, 等. 茭白秸秆高温堆肥工艺试验[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(12): 2574-2576.
- [8] 徐四新, 诸海焱, 余廷园, 等. 微生物菌剂对茭白秸秆堆肥过程的影响[J]. 上海农业学报, 2018, 34(1): 37-40.
- [9] 翁丽青. 茭白草快速发酵菌种筛选试验[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(1): 39.
- [10] 张丽娟, 张利英. 茭白秸秆有机肥在鲜食大豆上的应用[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 878.
- [11] WMIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [12] 韩雪, 曲梅, 李银坤, 等. 不同施肥水平对温室番茄生长、氮吸收及产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 162-169.
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [16] 韩玲. 番茄、黄瓜残株堆肥还田对日光温室蔬菜生长及根区环境的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [17] 杨冬艳, 冯海萍, 桑婷, 等. 番茄秸秆不同还田方式对番茄生长及土壤碳氮含量和酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2018(10): 55-59.

- [18] 程学超,李衍素,闫妍,等.设施蔬菜茎秆堆肥理化性质的测定及其对番茄生长、产量和品质的影响[J].新疆农业大学学报,2018,41(5):331-338.
- [19] 杨霞,潘子涵,唐伟杰,等.有机废料生态肥还田对温室土壤环境质量及番茄品质和效益的影响[J].蔬菜,2022(5):26-32.
- [20] 孙利萍,赵增寿,高敏丽,等.不同有机肥种类及施用量对番茄产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2018,31(6):30-32.
- [21] 姜玲玲,刘静,赵同科,等.有机无机配施对番茄产量和品质影响的 Meta 分析[J].植物营养与肥料学报,2019,25(4):601-610.
- [22] 邢金金,邢英英,王秀康,等.不同施肥量对陕北日光温室番茄生长、产量和土壤硝态氮的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(6):29-35.
- [23] 周婕,刘唯一,刘继培,等.不同氮肥施用量对青花菜氮肥利用率、氮素含量及产量的影响[J].中国瓜菜,2014,27(5):38-39.
- [24] 毕晓庆,山楠,杜连凤,等.氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量品质及土壤硝态氮累积的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(11):2246-2250.
- [25] 孙晓,姜学玲,崔玉明,等.有机肥替代对设施番茄产量、品质与土壤性质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(4):46-52.
- [26] 刘馨,祁娟霞,蔡玉胜,等.有机营养肥料对设施连作番茄生长及土壤肥力的影响[J].中国蔬菜,2017(7):49-53.
- [27] 刘中良,高俊杰,谷端银,等.有机肥对设施番茄周年栽培土壤环境和产量的影响[J].应用生态学报,2020,31(3):929-934.
- [28] 刘中良,高俊杰,谷端银,等.有机肥替代化肥对土壤环境和番茄品质的影响[J].南方农业学报,2020,51(2):357-363.
- [29] 梁曼恬,黄科,袁怡鸣,等.有机肥部分替代化肥对甘蓝生长、品质及土壤状况的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1371-1377.