

日光温室蔬菜残株堆腐后还田对根区土壤环境及蔬菜产量的影响

韩 伶 李衍素 于贤昌 贺超兴*

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘 要 为了探究设施蔬菜收获后剩余残株合理利用的途径,通过温室土壤栽培试验研究了番茄、黄瓜残株堆肥还田(0、15、20、30 t·hm⁻²)对土壤性状及蔬菜生长和产量的影响.结果表明:将番茄、黄瓜残株堆肥处理后还田可降低土壤容重,提高土壤有机质含量、微生物生物量和酶活性,促进蔬菜植株生长,增加蔬菜产量,改善蔬菜营养品质.残株堆肥使用量越多,改善效果越好,且对第二茬春黄瓜的作用效果优于第一茬秋番茄.表明施用蔬菜残株堆肥还田可改善设施蔬菜根区土壤环境,并提高设施蔬菜产量和品质.

关键词 蔬菜残株;堆肥;日光温室;根区环境;蔬菜产量

Effects of vegetable residue compost returning to soil on soil properties and vegetable yield in solar greenhouse. HAN Ling, LI Yan-su, YU Xian-chang, HE Chao-xing* (*Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*).

Abstract: In order to explore reasonable utilization of vegetable residue, the effects of application of different levels (0, 15, 20, 30 t·hm⁻²) of tomato and cucumber residue compost on soil properties, the leaf photosynthesis and the yield of vegetables were studied in solar greenhouse. The results showed that both kinds of vegetable compost could reduce soil bulk density, increase soil organic matter content, soil microbial biomass and soil enzyme activity, promote plant growth, and improve vegetable yield and quality. The more amount compost returned, the better was the effect on plant growth and yield. The positive effect of the vegetable residue compost application in the second cucumber growing season was more noticeable than that in the first tomato growing season, which indicated the application of vegetable residue compost could effectively promote soil fertility, increase vegetable yield and improve vegetable nutrient quality.

Key words: vegetable residue; compost; solar greenhouse; root environment; vegetable yield.

随着蔬菜种植面积的扩大,无经济利用价值的根、茎、叶等蔬菜残株^[1]的产生量也在日益增多.据统计,我国每年产生的蔬菜残株已达1~1.5亿t^[2].这些蔬菜残株矿质养分和有机质含量丰富,但因缺

乏科学合理的利用措施,通常是随意丢弃,造成严重的资源浪费和环境污染.堆肥化,即将蔬菜残株经过自然堆腐高温处理后形成安全无害且结构稳定的有机物,是解决上述问题的有效途径之一.大量研究表明,秸秆等农业废弃物堆腐处理后还田可显著改善土壤结构^[3],增加土壤有机质含量^[4],改善土壤的生物学性质,包括土壤微生物生物量、与土壤碳、氮、磷元素转化相关的土壤酶活性等^[5-7].蔬菜残株堆肥还田不仅可以解决随意堆放和焚烧所带来的环境问题,而且也可节省肥水,提高资源利用率,是实现其资源化利用的有效途径^[5,8].

本文由现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25-C-01)、中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIT-IVFCAAS)、公益性行业(农业)科研专项(201203005)和农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室资助 This work was supported by the China Agriculture Research System (CARS-25-C-01), the Science and Technology Innovation Program of the Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIT-IVFCAAS), the Special Public Welfare Industry (Agriculture) Research Project (201203005), and the Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops, Ministry of Agriculture, China. 2015-11-13 Received, 2016-02-24 Accepted.

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: hechaoxing@126.com

近年来,我们开展了利用作物秸秆与有机肥配

制有机土用于蔬菜栽培的研究^[6-7],关于玉米、小麦秸秆等就地还田的报道也较多^[9-10],然而关于蔬菜残株的无害化处理和资源化利用研究尚不多见^[8].已有研究表明,堆肥作为潜在的肥料来源,可提高土壤养分含量,但由于大田地温低,养分释放缓慢,通常当季施用对速效养分含量的提高有限,而设施栽培温光条件好,可持续提高土壤有机质含量和改善根区环境^[7,11-12].本文以主要设施蔬菜番茄、黄瓜的残株作为材料,经高温好氧堆腐后还田,经日光温室秋茬番茄、春茬黄瓜连续两茬栽培,研究了两种设施蔬菜残株堆肥还田对土壤理化性状、微生物生物量、土壤酶活性及番茄和黄瓜生长、产量、品质的影响,以期对蔬菜残株资源化利用提供理论和实践依据.

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2014年8月—2015年6月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所试验农场日光温室进行,试区属于暖温带半湿润大陆性季风气候,试验期间温室夏季平均气温30.19℃,冬季平均气温13.33℃.试验地土壤质地为壤土,0~15 cm土层土壤基本理化性状为:容重 $1.01 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,有机质含量 $36.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮 $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $596 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH值7.84,EC值 $240 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$.

1.2 试验材料

试验所用的番茄、黄瓜残株均来源于中国农业科学院蔬菜花卉所的试验农场日光温室秋冬茬采收后的蔬菜残株.2月将收集的新鲜番茄、黄瓜残株分别放入水泥发酵池,覆盖塑料膜,进行高温好氧发酵,堆腐周期为60 d,其中55~60℃以上的高温持续15 d.发酵期间,通过发酵池下方风机进行气体交换;腐熟池四周喷水增加堆腐物的湿度,控制湿度在60%~75%范围内,每周翻堆一次.采用北京旗硕基业公司提供的农用通环境监测仪监测堆体中心温度和环境温度,当堆体中心温度趋于环境温度时,停止堆腐处理^[13],自然放置于腐熟池中备用.

1.3 试验设计

试验设置7个处理,对照为未添加堆肥的栽培土壤; T_1 :番茄残株堆肥 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_2 :番茄残株堆肥 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_3 :番茄残株堆肥 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; H_1 :黄瓜残株堆肥 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; H_2 :黄瓜残株堆肥 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; H_3 :黄瓜残株堆肥 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$.堆肥还田量均以干物质质量计.采用单因子随机区组设计,3次重

复.于2014年7月15日将堆肥添加至底部铺用旧棚膜的简易栽培槽中,栽培槽长7.5 m,上口宽0.8 m,下口宽0.6 m,高0.25 m,将菜秧堆肥铺于栽培槽底部,然后用栽培土覆盖施入基肥后做栽培畦.2014年秋季栽培番茄(第一茬, A_1),供试番茄品种为‘中杂105’,于2014年8月13日定植,11月2日至12月26日采收;番茄拉秧后2015年春季栽培黄瓜(第二茬, S_2),黄瓜品种为‘中农26’,于2015年2月6日定植,双行种植,株距0.3 m,行距0.5 m,各处理小区面积 6 m^2 ,每个小区定植30株,3个重复,4月7日至6月7日采收.肥料施用情况:番茄共施N $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $235 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,按5:5分为基肥和结果期追肥,追肥分3次施用;黄瓜施N $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $125 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,按4:6分为基肥和盛果期追肥,追肥分2次施用.

1.4 土壤样品采集

在番茄、黄瓜生长后期,于每个处理小区用五点取样法采集0~20 cm土壤,充分混合后再用四分法制备土壤样品,分别过0.25和1 mm筛,用于土壤养分、微生物生物量和土壤酶活性测定.

1.5 测定项目与方法

土壤容重采用环刀法;土壤有机质采用油浴 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$ 氧化法;全N采用凯氏定氮法;碱解N采用碱解扩散法;速效P、速效K采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AEC)分析方法^[14].

土壤微生物生物量碳、氮含量采用氯仿熏蒸法^[15-17];土壤 β -葡糖苷酶、磷酸酶、氨基基酶、过氧化物酶活性采用荧光微型板酶检测技术^[18-19].

叶绿素含量采用丙酮提取法;根系活力采用TTC(氯化三苯基四氮唑)法.采用美国Li-Cor公司生产的Li-6400XT便携式光合仪分别于2014年10月25日和2015年3月26日9:00—10:00测定番茄和黄瓜植株上数第4片功能叶的净光合速率(P_n),番茄测定环境条件为:叶温(27 ± 1)℃,光量子通量密度(PFD) $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 浓度 $340 \sim 350 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$;黄瓜测定环境条件为:叶温(28 ± 1)℃,PFD $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 浓度 $350 \sim 360 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$.可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250染色法;维生素C采用钼蓝比色法;可溶性糖采用蒽酮乙酸乙酯比色法;游离氨基酸采用茚三酮比色法;番茄红素参照GB 142152008中的方法^[20]测定.

1.6 数据处理

试验数据的计算和作图采用Excel 2010软件,

表 1 蔬菜残株堆肥还田对土壤容重和孔隙度的影响
Table 1 Effects of vegetable residue compost returning to soil on soil bulk density and porosity

处理 Treatment	容重 Bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		孔隙度 Total porosity (%)	
	A ₁	S ₂	A ₁	S ₂
CK	1.06a	1.09a	47.31b	42.59b
T ₁	0.99b	0.96b	51.17ab	53.32ab
T ₂	0.96bc	0.91b	52.45ab	54.81ab
T ₃	0.93bc	0.87c	54.15a	61.17a
H ₁	1.03ab	0.95b	47.96b	52.49ab
H ₂	0.94bc	0.93b	52.49ab	54.90b
H ₃	0.91c	0.82c	55.59a	61.92a

A₁: 第一年秋茬,栽培番茄 Autumn season of the first year, planting tomato; S₂: 第二年春茬,栽培黄瓜 Spring season of the second year, planting cucumber. 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

数据的单因素方差分析采用 DPS 7.05 软件,差异显著性检验采用 Duncan 新复极差法 ($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 蔬菜残株还田对土壤容重和孔隙度的影响

容重和孔隙度可反映土壤的紧实度,容重小、孔隙度高则表示土壤质地疏松、透气性较好^[21]。蔬菜残株堆肥还田后可降低土壤容重,增加土壤孔隙度(表 1)。第一茬秋番茄栽培后,与对照相比,堆肥还田处理均降低了土壤容重,除 H₁ 外,其他处理均与对照差异显著, T₁、T₂、T₃、H₁、H₂、H₃ 处理分别较对照降低了 6.6%、9.4%、12.3%、2.8%、11.3%、14.2%,以添加量较高的 T₃、H₃ 处理容重降低最为明显。与对照相比,堆肥还田量越多,土壤孔隙度越高,以 H₃ 处理孔隙度最高,较对照增加 17.5%。

第二茬春黄瓜栽培后的土壤容重和孔隙度的变化趋势与第一茬一致,以 H₃ 处理最佳,与对照相比,容重减小 24.8%,孔隙度增加 45.4%, T₃ 与 H₃ 之间无显著差异。与第一茬相比,第二茬不同处理之间容重

和孔隙度的差异更为明显,堆肥还田处理容重进一步减小,孔隙度进一步增加,对照处理则表现为容重增加 2.8%,孔隙度减少 10.0%。

2.2 蔬菜残株堆肥还田对土壤养分的影响

经过秋茬番茄和春茬黄瓜两个蔬菜栽培生长周期后,土壤养分发生了明显的变化。从表 2 可以看出,与对照相比,番茄、黄瓜残株堆肥还田后不同程度地提高了土壤养分含量。第一茬 A₁ 中,各堆肥还田处理显著增加了土壤有机质和速效钾含量, T₃ 对全氮和速效磷含量的提高作用达到显著水平,较对照分别增加 66.6% 和 45.9%, T₃、H₂、H₃ 处理显著增加了碱解氮含量,较对照分别增加 16.4%、14.3% 和 20.7%,这 3 个处理间无显著差异。第二茬 S₂ 中,与对照相比,各处理碱解氮和速效钾含量的升高均达到显著水平,同时有机质、全氮和速效磷含量也有不同程度的提高。与 A₁ 相比, S₂ 的有机质和碱解氮含量又有明显增加,而全氮和速效磷含量降低,速效钾含量则因增施堆肥而增加,施用量大增加较多。

2.3 蔬菜残株堆肥还田对土壤微生物生物量碳、氮含量的影响

如图 1 所示,堆肥还田处理的土壤微生物生物量碳、氮含量均高于对照,且差异显著。第一茬 A₁ 各处理与对照相比,土壤微生物生物量碳差异均达到显著水平,堆肥还田量越多,土壤微生物生物量碳的含量越高,以 T₃ 和 H₃ 处理的含量最高,分别较对照增加 80.1%、79.0%;土壤微生物生物量氮含量与土壤微生物生物量碳的变化趋势相同,以 T₃ 处理最高,与对照相比增加 27.6%, H₃ 和 T₃ 处理之间无显著差异。第二茬 S₂ 的土壤微生物生物量碳以 T₃ 处理最高, T₁、T₂、H₁、H₂、H₃ 间无显著差异,与对照相比, T₁、T₂、T₃、H₁、H₂、H₃ 处理分别较对照提高了 66.0%、66.2%、121.1%、66.0%、66.2%、87.0%;各堆肥处理土壤微生物生物量氮与对照相比均差异显著,以

表 2 蔬菜残株堆肥还田对土壤养分含量的影响
Table 2 Effects of vegetable residue compost returning on soil nutrient content

处理 Treatment	有机质 Organic matter (%)		全氮 Total N (%)		碱解氮 Alkali-hydrolyzable N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		速效磷 Available P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		速效钾 Available K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
	A ₁	S ₂	A ₁	S ₂	A ₁	S ₂	A ₁	S ₂	A ₁	S ₂
	CK	4.78c	5.63c	0.30b	0.11c	140b	106c	75.87b	32.38c	539.9e
T ₁	4.19bc	7.23bc	0.33ab	0.26b	141b	147ab	82.31b	37.74c	602.5d	701.8bc
T ₂	4.35bc	7.58bc	0.42ab	0.29ab	140b	152ab	88.33b	51.32b	717.2c	801.4b
T ₃	6.16ab	8.19ab	0.50a	0.38a	163a	203a	110.70a	77.20a	889.3b	976.3a
H ₁	5.96b	7.01b	0.40ab	0.19bc	153ab	196a	83.63b	36.29c	700.6c	601.2c
H ₂	6.12ab	7.09ab	0.41ab	0.25b	160a	168ab	86.73b	55.92b	719.2c	715.8bc
H ₃	6.98a	8.21a	0.46ab	0.38a	169a	166b	91.38b	36.95c	989.7a	920.2b

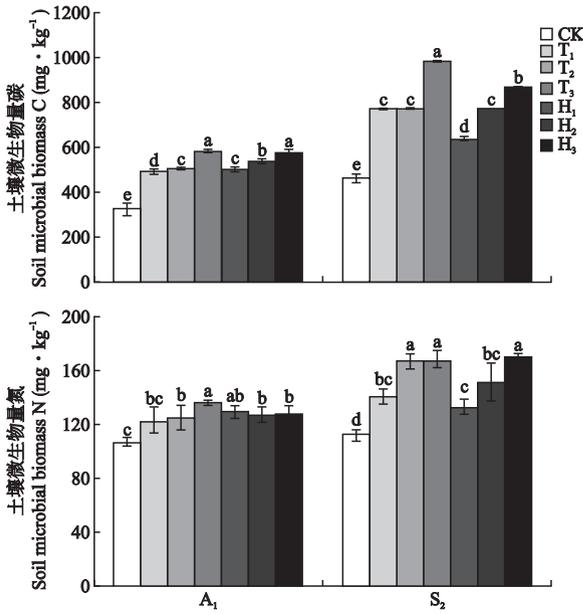


图1 蔬菜残株堆肥还田对土壤微生物量碳、氮的影响
Fig.1 Effects of vegetable residue compost returning on soil microbial biomass C and N.

A₁: 第一年秋茬,栽培番茄 Autumn season of the first year, planting tomato; S₂: 第二年春茬,栽培黄瓜 Spring season of the second year, planting cucumber. 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

T₂、T₃、H₃ 处理最为明显,分别较对照增加 49.1%、48.8%、51.1%。与第一茬 A₁ 相比,第二茬 S₂ 的土壤微生物量碳和氮均显著增加。

2.4 蔬菜残株堆肥还田对土壤酶活性的影响

本文研究了与土壤 C、N、P 转化相关的水解酶

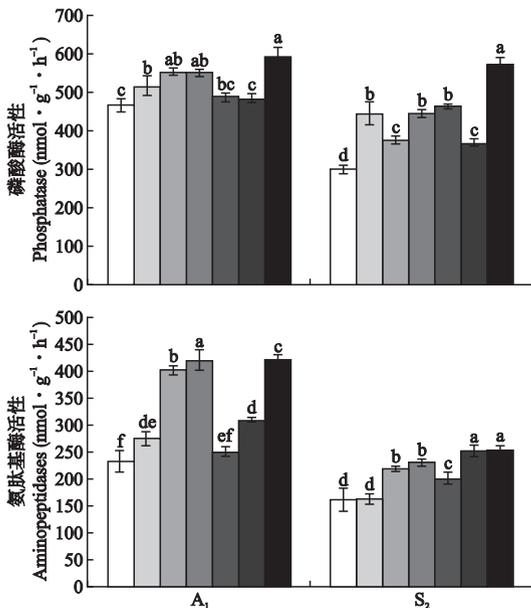


图2 蔬菜残株堆肥还田对土壤酶活性的影响

Fig.2 Effects of vegetable residue compost returning on soil enzyme activities.

活性和过氧化物酶活性.由图2可知,蔬菜残株堆肥还田对土壤酶活性的影响较大.第一茬秋番茄栽培 A₁ 的土壤磷酸酶活性以 H₃ 处理最强,较对照提高 26.5%,其他处理与对照相比亦有程度不同的提高, H₁ 和 H₂ 与对照无显著差异,其他各处理与对照差异显著.各堆肥还田处理土壤 β -葡糖苷酶活性较对照提高 19.3%~48.2%,除 H₂ 外,各处理与对照差异均达到显著水平,其中以 T₃ 处理酶活性最强,显著高于其他处理.各堆肥还田处理土壤氨基基酶活性均高于对照,以 T₃ 处理活性最强.过氧化物酶活性亦以 T₁ 处理最高,其中 T₂、T₃ 与对照差异显著,分别较对照提高 43.4%和 60.1%。

第二茬 S₂ 春黄瓜栽培后各处理的土壤磷酸酶活性较 A₁ 都有下降,然而与对照相比,堆肥还田处理的土壤磷酸酶活性均显著提高,其中 H₃ 处理活性最高,较对照提高 90.8%。 β -葡糖苷酶活性 T₃ 处理显著高于其他处理,除 T₁ 外,各堆肥还田处理均与对照差异显著.氨基基酶活性 H₂ 和 H₃ 显著高于其他处理,分别较对照提高 58.2%和 59.4%。S₂ 各堆肥还田处理土壤的过氧化物酶活性均显著高于对照,较对照提高 23.8%~71.0%,且均高于第一茬处理.可见,与第一茬相比,第二茬土壤磷酸酶、 β -葡糖苷酶、氨基基酶活性有所降低,而过氧化物酶活性升高。

2.5 蔬菜残株堆肥还田对番茄、黄瓜光合速率和产量的影响

从表3可见,堆肥还田处理增加了番茄和黄瓜

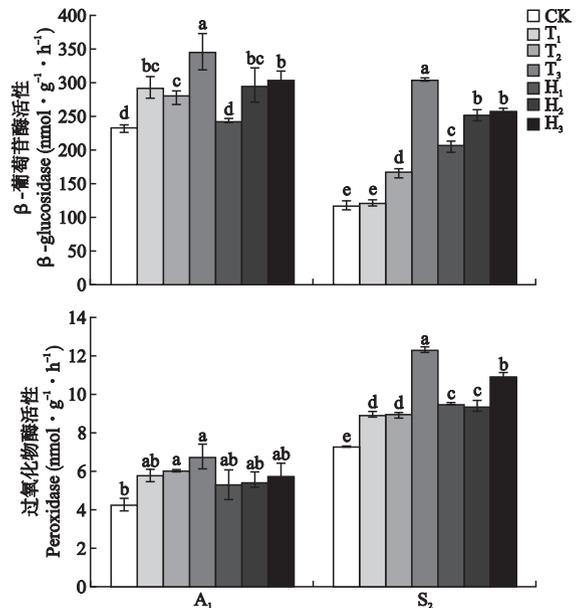


表 3 蔬菜残株堆肥还田对番茄、黄瓜光合生理指标和产量的影响

Table 3 Effects of vegetable residue compost returning on physiological index and yield of tomato and cucumber

蔬菜 Vegetable	处理 Treat- ment	叶绿素 含量 Chlorophyll content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	根系活力 Root activity ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	净光合 速率 Photosynthetic rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	单果质量 Single fruit mass (kg)	单株产量 Yield per plant (kg)	
番茄 Tomato	CK	3.01c	327.75c	13.44c	0.102a	1.28c	
	T ₁	3.07c	522.63ab	20.82ab	0.106a	1.36abc	
	T ₂	3.35b	490.34c	16.64bc	0.107a	1.54ab	
	T ₃	3.62a	510.09b	23.75a	0.111a	1.67ab	
	H ₁	3.18bc	524.91ab	18.96b	0.103a	1.33bc	
	H ₂	3.32b	576.99ab	13.82c	0.108a	1.37abc	
	H ₃	3.56a	636.269a	20.17ab	0.127a	1.69a	
	黄瓜 Cucumber	CK	3.81b	69.52c	10.04b	0.168a	1.49c
		T ₁	4.35ab	98.48abc	11.10ab	0.169a	1.60c
T ₂		4.53ab	104.78ab	12.24ab	0.173a	1.71bc	
T ₃		5.21a	113.39a	13.14a	0.174a	1.90ab	
H ₁		3.95b	75.17c	11.39ab	0.171a	1.69bc	
H ₂		4.34ab	78.30bc	12.13ab	0.184a	1.70bc	
H ₃		4.66ab	110.79a	12.88a	0.192a	2.01a	

叶片叶绿素含量,增强了植株根系活力和净光合速率,提高了番茄和黄瓜的产量,对单果质量无显著影响.与对照相比,T₁、T₂、T₃、H₁、H₂、H₃处理番茄产量分别提高了6.3%、26.9%、30.5%、3.9%、20.3%、32.0%,其中T₂、T₃、H₃与对照相比产量增加显著.各堆肥还田处理还增加了黄瓜产量,以H₃处理产量最高,T₃和H₃的产量均显著高于对照,分别较对照提高了34.9%和27.5%.表明堆肥还田量越多,蔬菜增产效果越明显.

2.6 蔬菜残株堆肥还田对番茄和黄瓜营养品质的影响

从表4可见,蔬菜残株堆肥还田处理可改善番茄和黄瓜的营养品质.其中番茄果实的Vc含量以T₃处理最高,较对照显著增加17.1%,T₁、H₂、H₃与T₃差异不显著,仅T₃和H₃与对照相比增产显著;各堆肥还田处理均可增加番茄果实可溶性糖含量,提高糖酸比和番茄红素含量.其中,可溶性糖含量以H₃处理最高,较对照增加了21.8%;糖酸比则以T₃处理最高;而番茄红素含量以T₂处理最高,与对照相比增加了75.2%.可见堆肥还田量越多,对番茄营养品质改善效果越好.

对黄瓜瓜条营养品质的分析可以看出(表4),黄瓜的Vc含量以T₃处理最高,为13.70 mg·kg⁻¹,显著高于对照,增幅49.6%;堆肥还田处理的可溶性糖含量均显著高于对照,处理间相差不大,番茄残株堆

表 4 蔬菜残株堆肥还田对番茄、黄瓜营养品质的影响

Table 4 Effects of vegetable residue compost returning on nutrient quality of tomato and cucumber

蔬菜 Vegetable	处理 Treat- ment	Vc ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	番茄糖酸比/ 黄瓜可 溶性蛋白 Sugar to acid ratio/ crude protein	番茄红素/ 黄瓜游离 氨基酸 Lycopene/ free aminon acid	
番茄 Tomato	CK	13.20b	2.39c	3.66d	36.55b	
	T ₁	14.50ab	2.63b	4.76c	61.65ab	
	T ₂	13.50b	2.75ab	3.86d	64.02a	
	T ₃	15.45a	2.88a	5.47a	59.90ab	
	H ₁	13.30b	2.74ab	3.91d	60.05ab	
	H ₂	14.70ab	2.82ab	4.85bc	49.90ab	
	H ₃	15.20a	2.91a	5.39ab	50.45ab	
	黄瓜 Cucumber	CK	9.16c	1.38b	1.33e	230.0a
		T ₁	11.30abc	2.68a	1.58cd	220.0a
T ₂		12.41ab	2.76a	1.68bc	240.0a	
T ₃		13.70a	2.82a	1.88a	230.0a	
H ₁		9.58c	2.97a	1.43de	220.0a	
H ₂		10.78bc	3.01a	1.78abc	230.0a	
H ₃		12.48ab	3.15a	1.94a	240.0a	

肥处理略高于黄瓜残株处理,以H₃处理最高;可溶性蛋白含量以T₃和H₃处理最高,除H₁外,各处理与对照差异显著;各堆肥处理黄瓜的游离氨基酸含量与对照无显著差异.

3 讨 论

有机堆肥在改善土壤物理性质、增加土壤养分含量方面作用显著.如全少伟等^[22]施用啤酒污泥、牛粪和菇渣3种不同堆肥种植苹果苗,6个月后发现有机堆肥可显著提高土壤有机质和养分含量,并显著降低土壤容重,增加土壤孔隙度.Mylavarapu等^[23]研究表明,有机堆肥可促进养分释放,增加土壤的碳氮供应能力,并降低土壤容重.Shukla等^[24]通过连续3年的甘蔗大田定位试验发现,随着堆肥施用量的增加,土壤容重降低,水分渗透率增加,且土壤有机质含量和氮素利用效率增加.本试验结果与前人类似,连续种植番茄、黄瓜两茬蔬菜后,蔬菜残株堆肥还田处理的土壤容重分别较对照降低11.9%~24.8%,孔隙度较对照增加23.2%~45.4%,有机质和速效养分含量也有不同程度的提高,且随着堆肥还田量的增加,作用效果增强.主要原因是番茄、黄瓜残株堆肥本身含有丰富的有机质和矿质元素,还田后可直接增加土壤有效养分和有机质含量;另一方面堆肥添加后可有效改善土壤湿度,提高地温并减小地温变化幅度^[10],有利于养分吸收和释放,同时也加速了堆肥中有机物的腐殖化过程.容重

减小与有机质含量增加显著相关^[25-26],有机质含量高的土壤容重小,土壤透气性好,有利于根系的生长发育,根系活力较强.此外,氮元素直接参与了叶绿素的形成和光合产物的运输,堆肥中含有大量的氮素,因此堆肥还田处理的叶绿素含量显著高于对照.

土壤微生物生物量碳和氮能反映土壤中有效碳、氮的状况^[9,17,23],是重要的养分储备库,土壤酶可加速土壤中的生化反应,提高微生物活性,两者可反映土壤的生物学性质,且都与土壤微生物的数量和活性相关.本试验表明,番茄、黄瓜残株堆肥还田后,土壤微生物生物量碳、氮和土壤酶活性均显著提高,且堆肥施用量最多的处理效果最显著.这与前人的研究结果^[9,27-28]类似.主要原因是堆肥中含有大量的活体微生物,还田后可直接增加土壤微生物的数量,加快土壤中养分吸收和释放的速率,且这些微生物可将堆肥中的碳和氮同化后为自身所用^[29];堆肥还田后,提高微生物活性的同时也促进了根系分泌物的形成,且堆肥为土壤酶分解提供了大量的底物,因此相关土壤酶的活性得到提高^[30];此外番茄、黄瓜堆肥的C/N分别为22:1和23:1,与秸秆相比,C/N适宜,还田后不仅不会与土壤竞争氮素,还可提供适宜微生物生长繁殖的环境,进而改善土壤的生物学性状.另外,堆肥还田还可改善番茄和黄瓜的营养品质,这可能与堆肥还田后提高植株光合速率、增强根系活力有关.

本试验还发现,蔬菜残株堆肥还田对第二茬的影响大于第一茬,主要原因是秋冬季温度较低,通常在10℃左右,堆肥中的有机质分解速率慢,养分的转化速率也缓慢,而春夏季土壤温度相对较高,通常在30℃左右,微生物活性提高,土壤养分转化迅速,一般情况下堆肥中含有较多难以分解的有机质,通常会在下一个生长季对土壤的影响更大^[11].

参考文献

[1] Huang D-X (黄鼎曦), Lu W-J (陆文静), Wang H-T (王洪涛). Progress on study of agricultural vegetable waste treatment. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control* (环境污染治理技术与设备), 2002, **3**(11): 38-42 (in Chinese)

[2] Sun Z-J (孙振钧), Sun Y-M (孙永明). Situation and development of agricultural residues as energy resource utilization in rural areas in China. *Journal of Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 2006, **8**(1): 6-13 (in Chinese)

[3] Yogeve A, Raviv M, Hadar Y, *et al.* Induced resistance as a putative component of compost suppressiveness. *Biological Control*, 2010, **54**: 46-51

[4] Zhang XY, Cao YN, Tian YQ, *et al.* Short-term compost application increases rhizosphere soil carbon mineralization and stimulates root growth in long-term continuously cropped cucumber. *Scientia Horticulturae*, 2014, **175**: 269-277

[5] Buyer JS, Teasdale JR, Roberts DP, *et al.* Factors affecting soil microbial community structure in tomato cropping system. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42**: 831-841

[6] Shu H-B (舒海波), He C-X (贺超兴), Zhang Z-B (张志斌), *et al.* Effects of organic soil on growth, yield and quality of tomato in solar greenhouse. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2010, **19**(6): 120-125 (in Chinese)

[7] Zhang ZB, He CX. Effects of organized soil cultivation on yield and quality of tomato in greenhouse. *Acta Horticulturae*, 2005, **691**: 305-311

[8] Wang L-Y (王丽英), Wu S (吴 硕), Zhang Y-C (张彦才), *et al.* Research progress on composting treatment of vegetable wastes. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2014(6): 6-12 (in Chinese)

[9] Han X-Z (韩新忠), Zhu L-Q (朱利群), Yang M-F (杨敏芳), *et al.* Effects of different amount of wheat straw returning on rice growth, soil microbial biomass and enzyme activity. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2012, **31**(11): 2192-2199 (in Chinese)

[10] Yang B-J (杨滨娟), Huang G-Q (黄国勤), Qian H-Y (钱海燕). Effects of straw incorporation plus chemical fertilizer on soil temperature, root microorganisms and enzyme activities. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2014, **51**(1): 150-157 (in Chinese)

[11] Tits M, Elsen A, Bries J, *et al.* Short-term and long-term effects of vegetable, fruit and garden waste compost applications in an arable crop rotation in Flanders. *Plant and Soil*, 2014, **376**: 43-59

[12] Odlare M, Arthurson V, Pell M, *et al.* Land application of organic waste effects on the soil ecosystem. *Applied Energy*, 2011, **88**: 2210-2218

[13] Zucconi F, Forte M, Monaco A, *et al.* Biological evaluation of compost maturity. *Biology Cycle*, 1981, **22**: 27-29

[14] Tian X-Y (田晓娅). Study on ICP-AES analysis method of simultaneously high-speed determination for quick-acting P and K in the soil. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory* (光谱实验室), 1997, **14**(4): 40-43 (in Chinese)

[15] Tessier L, Gregorich EG, Topp E. Spatial variability of soil microbial biomass measured by the fumigation extraction method, and k_{EC} as affected by depth and manure application. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**: 1369-1377

[16] Wu J-S (吴金水), Lin Q-M (林启美), Huang Q-Y (黄巧云), *et al.* Determination of Soil Microbial Biomass and Its Application. Beijing: China Meteorological Press, 2006 (in Chinese)

[17] Hu C-J (胡婵娟), Liu G-H (刘国华), Wu Y-Q (吴

- 雅琼). A review of soil microbial biomass and diversity measurements. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2011, **20**(6-7): 1161-1167 (in Chinese)
- [18] Marx MC, Wood M, Jarvis SC, *et al.* A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, **33**: 1633-1640
- [19] Stemmer M. Multiple-substrate enzyme assays: A useful approach for profiling enzyme activity in soils? *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, **36**: 519-527
- [20] Wang P-B (王鹏勃), Li J-M (李建明), Ding J-J (丁娟娟), *et al.* Effect of water and fertilizer coupling on quality, yield and water use efficiency of tomato cultivated by organic substrate in bag. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2015, **48**(2): 314-323 (in Chinese)
- [21] Wang Q (王 群), Yin F (尹 飞), Hao S-P (郝四平). Effects of subsoil bulk density on rhizospheric soil microbial population, microbial biomass carbon and nitrogen of corn (*Zea mays* L.) field. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(6): 3096-3104 (in Chinese)
- [22] Tong S-W (仝少伟), Shi N-H (时连辉), Liu D-M (刘登民), *et al.* Effects of different organic composts on soil characteristics and microbial biomass. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer* (植物营养与肥料学报), 2014, **20**(1): 110-117 (in Chinese)
- [23] Mylavarapu RS, Zinati GM. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*, 2009, **120**: 426-430
- [24] Shukla SK, Singh PN, Chauhan RS, *et al.* Soil physical, chemical and biological changes and long term sustainability in subtropical India through integration of organic and inorganic nutrient sources in sugarcane. *Sugar Tech*, 2015, **17**: 138-149
- [25] Erhart E, Hartl W, Putz B, *et al.* Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *European Journal of Agronomy*, 2005, **23**: 305-314
- [26] Fagnano M, Adamo P, Zampella M, *et al.* Environmental and agronomic impact of fertilization with composted organic fraction from municipal solid waste: A case study in the region of Naples, Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, **141**: 100-107
- [27] Song W-J (宋为交), Li Y-S (李衍素), Yan Y (闫妍), *et al.* Remediation effects of crop straw on continuous cultivated organic substrate in solar greenhouse. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2013(20): 46-53 (in Chinese)
- [28] Song W-J (宋为交), He C-X (贺超兴), Yu X-C (于贤昌), *et al.* Changes of organic soil substrate properties with different cultivation years and their effects on cucumber growth in solar greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(10): 2857-2862 (in Chinese)
- [29] Wang Z-M (王志明), Zhu P-L (朱培立), Huang D-M (黄东迈), *et al.* Straw carbon decomposition in situ in field and characteristics of soil biomass carbon turnover. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2003, **40**(3): 446-453 (in Chinese)
- [30] He C-X (贺超兴), Zhang Z-B (张志斌), Wei M (魏民), *et al.* Studies on organic soil cultivation system of sweet pepper in green house. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2004, **9**(3): 84-87

作者简介 韩 伶,女,1990年生,硕士研究生.主要从事设施蔬菜栽培研究. E-mail: hanling517@126.com

责任编辑 张凤丽
