

尾菜有机肥对土壤肥力及圆白菜和小茴香产量和品质的影响

张新建¹, 高贤彪¹, 宁晓光¹, 陈秋生², 张玉婷², 张强², 梁海恬¹,
何宗均¹, 赵琳娜¹, 王晓静³, 李峰^{1*}

- (1. 天津市农业科学院农业资源与环境研究所, 天津 300383;
2. 天津市农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 天津 300383;
3. 天津市农业科学院农作物研究所, 天津市农作物遗传育种重点实验室, 天津 300383)

摘要: 目的 研究尾菜有机肥对土壤肥力及圆白菜和小茴香的产量与品质的影响, 筛选出适宜不同蔬菜的尾菜有机肥用量。**方法** 将不同量尾菜有机肥和商品有机肥通过田间实验应用于圆白菜和小茴香2种蔬菜, 研究尾菜有机肥对土壤及蔬菜的影响。**结果** 尾菜有机肥能提升土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量, 与CK差异达显著水平; 与CK相比, 施用尾菜有机肥后, 圆白菜增产幅度为12.01%~43.02%, 小茴香为12.88%~30.82%。**结论** 尾菜有机肥可以明显提升土壤养分含量以及圆白菜和小茴香的产量, 尾菜有机肥的适宜用量为45 t/hm², 为蔬菜尾菜资源化利用提供理论依据。

关键词: 蔬菜尾菜; 尾菜有机肥; 圆白菜; 小茴香; 产量

Effects of vegetable waste fertilizer on soil fertility, yield and quality of cabbage and cumin

ZHANG Xin-Jian¹, GAO Xian-Biao¹, NING Xiao-Guang¹, CHEN Qiu-Sheng², ZHANG Yu-Ting²,
ZHANG Qiang², LIANG Hai-Tian¹, HE Zong-Jun¹, ZHAO Lin-Na¹, WANG Xiao-Jing³, LI Feng^{1*}

- (1. Institute of Agricultural Resource and Environmental Science, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300383, China; 2. Institute of Agricultural Quality Standard and Testing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300383, China; 3. Tianjin Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Institute of Crop, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300383, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of vegetable waste fertilizer on soil fertility, yield and quality of cabbage and cumin, and to screen out the suitable amount of vegetable waste fertilizer for different vegetables.

Methods Different amounts of vegetable waste fertilizer and commercial organic fertilizer were applied to cabbage and cumin through field experiments to study its effects on soil and vegetables. **Results** Vegetable waste fertilizer could increase the contents of soil alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium, which

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0801007)、国家重点研发计划项目(2018YFD0800405)、天津市重点研发计划项目(19YFYZSN00030)、天津市科技支撑重点项目(17YFZCNC00420)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0801007), the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0800405), the Key Research and Development Program of Tianjin(19YFYZSN00030), and the Key Technology R&D Program of Tianjin(17YFZCNC00420)

*通信作者: 李峰, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农村环境及农业废弃物处理。E-mail: lifengishere@139.com

*Corresponding author: LI Feng, Ph.D, Associate Professor, 17 kilometers of jinjing Road, Xiqing District, Tianjin 300383, E-mail: lifengishere@139.com

had significant differences with CK. Compared with CK, the yield of cabbage and cumin increased by 12.01%–43.02% and 12.88%–30.82%, respectively, after the application of vegetable waste fertilizer. **Conclusion** The content of soil nutrients and the yield of cabbage and cumin can be significantly increased by applying vegetable waste fertilizer. The suitable amount of vegetable waste fertilizer is 45 tons per hectare, which provides a theoretical basis for the resource utilization of vegetable waste.

KEY WORDS: vegetable waste; vegetable waste fertilizer; cabbage; cumin; yield

0 引言

目前,农业废弃物处理不当,利用效率不高及资源浪费等诸多问题,成为生态环境污染的重要来源,不仅造成农业生态环境质量不断恶化,同时导致大量附加值高的有用成分和养分资源流失,极大地削弱了我国现代农业可持续发展能力。据统计,2017年京津冀地区的蔬菜种植面积为757.69万公顷,蔬菜产量高达5484.96万吨^[1-3]。在蔬菜生产、收采、运输、加工和售卖等过程中产生的,不能作为商品销售的蔬菜废弃物的总称为尾菜,在蔬菜产业蓬勃发展的同时,京津冀地区蔬菜尾菜年形成量高达1842.95万吨(折损比33.6%)^[4]。据研究,尾菜干物质含量为5%~15%,含水量为85%~95%,干样含氮量为1.9%~2.4%,含磷量为1.3%~1.8%,含钾量为1.2%~2.1%,有机质含量为35%~50%^[5-6]。尾菜中含有大量的营养元素及微量元素,具有很大的利用空间。因此,蔬菜尾菜资源化利用成为解决目前困境的重要途径,为有效解决蔬菜尾菜的污染问题,在传统堆肥的基础上,结合微生物菌剂,将蔬菜尾菜经过高温发酵制成尾菜有机肥,还田施用,实现了养分在生产过程中的循环。蔬菜尾菜通过堆肥处理利用,既能改良土壤,增加土壤中的有机质含量,又能改善农产品的品质,提高产量,起到增产增效的作用^[7-8]。既解决了尾菜资源浪费和农村环境污染问题,又能减少肥料的投入成本,使蔬菜尾菜得到资源化利用,具有良好的生态效益、经济效益和社会效益。关于蔬菜尾菜堆肥化利用的研究已见报道,但是大多数集中在番茄秸秆和辣椒秸秆堆肥化利用^[9-11]。耿凤展等^[9]研究发现番茄秸秆高温堆肥作为番茄的育苗基质,可以促进番茄的生长;杨冬艳等^[10]发现番茄秸秆堆肥还田能够持续促进番茄植株生长,改善果实品质,提高番茄产量,增加土壤养分含量和有机质含量。本研究充分利用当地蔬菜主产区蔬菜尾菜,探讨蔬菜尾菜堆肥后形成的尾菜有机肥对圆白菜和小茴香的产量及品质的影响,以期对蔬菜尾菜的无害化处理和资源化利用提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 仪器与试剂

UV-2600 紫外分光光度计(日本岛津公司);BSA124S

分析天平(德国赛多利斯科学仪器公司);DHG-9123A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器公司);DHP-9052 电热恒温培养箱(上海一恒科学仪器公司);TAS-990F 原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

KIO₃(优级纯)、KCl(优级纯)、KNO₃(优级纯)、NaOH(分析纯)、H₃BO₃(分析纯)、H₂SO₄(分析纯)、NH₄OAc(分析纯)、NaHCO₃(分析纯)、草酸(分析纯)、维生素C(分析纯)、2,6-二氯酚(分析纯)、K₂Cr₂O₇(分析纯)、FeSO₄(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 实验设计

实验地位于天津市西青区辛口镇当城村(39°06'47"N, 116°55'29"E),属暖温带半湿润大陆性季风气候,干湿季节分明,寒暑交替明显,冬季寒冷干燥;夏季闷热、降水集中。全年平均气温11.6℃,全年无霜期203d,日均气温大于10℃的有199d,活动积温4130.6℃。全年日照总量2810.4h。多年平均自然降水总量586.1mm^[12]。土壤为潮土,土壤基本理化性质为有机质18.52g/kg,碱解氮138.23mg/kg,速效磷80.66mg/kg,速效钾114.25mg/kg,全盐1.05g/kg,pH8.2。供试圆白菜品种为“中甘15号”,供试小茴香为“割茬茴香”,供试商品有机肥为恒润(天津)生物科技开发有限公司生产的有机肥,供试尾菜有机肥为天津市农业资源与环境研究所各种蔬菜尾菜为原料研制。尾菜有机肥和商品有机肥的基本理化性质见表1。

表1 尾菜有机肥和商品有机肥的基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of vegetable waste fertilizer and commercial organic fertilizer

	pH 值	水分/%	有机质/%	N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%
尾菜 有机肥	8.4	40.80	48.33	2.08	2.01	5.77
商品 有机肥	7.4	42.16	44.78	2.59	5.50	0.96

圆白菜和小茴香田间试验共设置5个处理,每个处理3个重复,每个小区面积36m²,每公顷每个小区的基肥施标准(表2):处理CK不施用有机肥,处理T1尾菜有机肥15t,处理T2尾菜有机肥30t,处理T3尾菜有机肥45t,处理T4商品有机肥30t。底肥仅施以上的有机肥,后期追肥量和追肥方式相同。圆白菜在生长期共追肥3次,在莲座

期每公顷追施尿素 120 kg, 硫酸钾 60 kg; 包心初期每公顷追施尿素 180 kg, 硫酸钾 90 kg; 包心中期每公顷追施尿素 120 kg, 硫酸钾 60 kg。小茴香仅在生长旺盛期每公顷追施尿素 225 kg, 硫酸钾 90 kg。

表 2 实验处理设置
Table 2 Experimental treatment settings

处理编号	有机肥	用量/(t/hm ²)
CK	无有机肥	0
T1	尾菜有机肥	15
T2	尾菜有机肥	30
T3	尾菜有机肥	45
T4	商品有机肥	30

1.3 实验方法

实验在收获期统一采集圆白菜和小茴香统计产量并测定其品质。蔬菜品质主要测定水分、可溶性固形物、维生素 C 和硝酸盐。水分采用烘干法测定, 维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[13], 可溶性固形物采用折射法测定^[14], 硝酸盐含量采用水杨酸法测定^[15]。试验结束后采集各处理 0~20 cm 土壤样品; 采用碱解扩散法测定碱解氮, 采用钼锑抗比色法测定速效磷, 采用火焰光度法测定速效钾, 采用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质^[16]。使用电位计法测定 pH 值。

实验数据采用 Excel 软件进行处理, 采用 SPSS16.0 统计软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

由表 3 可以看出, 不同的处理条件下土壤的理化性质中, 圆白菜部分处理之间的 pH 值和全盐含量差异达显著

水平, 但变化趋势与施用有机肥的量相关性不大。小茴香的处理中, 土壤盐分随着有机肥施用量的增加而增加。各处理的土壤有机质含量均高于对照组 CK, 这是因为尾菜有机肥和商品有机肥中均含有大量的有机质, 可以改善土壤结构; 其中圆白菜和小茴香的所有尾菜有机肥和商品有机肥处理的有机质含量与对照组 CK 差异均达到了显著水平, 圆白菜处理中土壤有机质含量最高为处理 T2, 数值为 19.55 g/kg, 比对照组增加 7.18%, 比商品有机肥处理 T4 增加 2.89%; 小茴香处理中土壤有机质含量最高的为处理 T2, 其数值为 22.44 g/kg, 比对照组增加 15.61%, 比商品有机肥处理 T4 增加 5.75%。尾菜有机肥各处理的土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于对照组, 差异均达显著水平。其中, 圆白菜处理中碱解氮、速效磷和速效钾最高值分别为 190.50(T3)、111.43(T3)和 179.32 mg/kg(T3), 比对照组 CK 分别增加了 70.26%、35.79%和 52.09%, 比商品有机肥处理分别增加了 11.67%、13.50%和 8.24%; 小茴香处理中碱解氮、速效磷和速效钾最高值分别为 170.45(T3)、101.48(T3)和 176.13 mg/kg(T3), 比对照组 CK 分别增加了 42.16%、44.29%和 78.70%, 比商品有机肥处理分别增加了 13.30%、17.55%和 37.86%。另外圆白菜和小茴香的 T2 和 T4 处理在使用相同量的有机肥的情况下, 土壤中的速效磷含量 T2 均高于 T4, 但是尾菜有机肥中的磷含量低于商品有机肥(表 1), 造成这种差异的可能原因是尾菜有机肥中的磷更容易转化速效磷供蔬菜利用。综合来看, 施用尾菜有机肥能明显提升土壤中的有机质和养分含量。从表 3 的还可以看出, T2 处理的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于 T4 处理, 部分指标之间差异达到显著水平, 圆白菜 T2 处理比 T4 处理分别增加了 2.89%、0.36%、1.00%和 3.64%, 小茴香 T2 处理比 T4 处理分别增加了 5.75%、10.06%、8.24%和 14.03%, 从数据结果来看, 尾菜有机肥在增加土壤养分含量方面优于商品有机肥。

表 3 不同处理条件下的土壤理化性质(n=3)
Table 3 Soil physical and chemical properties under different treatments (n=3)

处理编号	作物	pH 值	全盐/(g/kg)	有机质/(g/kg)	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)
CK		8.3±0.02 ^b	1.06±0.03 ^{bc}	18.24±0.35 ^b	111.89±4.72 ^d	82.06±1.97 ^d	117.9±5.52 ^c
T1		8.27±0.01 ^{bc}	1.12±0.03 ^{ab}	18.96±0.11 ^a	144.96±6.2 ^c	92.32±1.34 ^c	140.38±2.3 ^b
T2	圆白菜	8.17±0.02 ^d	1.07±0.01 ^{bc}	19.55±0.33 ^a	171.20±3.78 ^b	97.35±1.08 ^b	171.7±5.23 ^a
T3		8.2±0.02 ^{cd}	1.15±0.02 ^a	19.43±0.2 ^a	190.50±1.15 ^a	111.43±2.56 ^a	179.32±8.94 ^a
T4		8.39±0.06 ^a	1.04±0.03 ^c	19±0.15 ^a	170.59±3.15 ^b	96.39±1.41 ^{bc}	165.67±3.77 ^a
CK		8.23±0.06 ^a	1.06±0.04 ^c	19.41±0.23 ^c	119.9±2.35 ^c	70.33±2.53 ^d	98.56±3.61 ^d
T1	小茴香	8.22±0.01 ^a	1.15±0.03 ^{bc}	21.29±0.56 ^b	149.62±5.18 ^b	81.47±3.92 ^c	121.29±4.65 ^c
T2		7.92±0.04 ^c	1.24±0.06 ^b	22.44±0.1 ^a	165.58±4.54 ^a	93.44±5.23 ^{ab}	145.69±5.21 ^b
T3		8.04±0.02 ^b	1.4±0.08 ^a	22.41±0.25 ^a	170.45±6.74 ^a	101.48±4.12 ^a	176.13±5.83 ^a
T4		8.19±0.04 ^a	1.19±0.04 ^{bc}	21.22±0.15 ^b	150.44±2.97 ^b	86.33±4.36 ^{bc}	127.76±4.58 ^c

注: 同一列中不同字母代表具有显著性差异, $P < 0.05$, 以下同。

2.2 不同施肥处理对作物产量的影响

由表 4 可以看出,与对照组 CK 相比,随着尾菜有机肥施用量的增加,圆白菜和小茴香的产量均有明显提升,差异均达到显著水平;商品有机肥与 CK 之间产量差异不显著。其中,圆白菜产量最高的是施用 45 t 尾菜有机肥的 T3 处理,产量达到 65.63 t/hm²,与对照组相比增产了 43.02%;其次是施用 30 吨尾菜有机肥的处理 T2,其产量为 62.63 t/hm²,比对照组增产 36.50%;圆白菜的产量高低顺序为 T3>T2>T4>T1>CK,与 CK 相比,施用尾菜有机肥后,圆白菜产量显著增加,增产幅度为 12.01%~43.02%。与对照组 CK 相比,施用尾菜有机肥后,小茴香的产量明显提高,增产在 12.88%~30.82%之间,其中小茴香产量最高的为 T3 处理,其比对照 CK 处理增产 30.82%。由此可见,施用尾菜有机肥后,圆白菜和小茴香的产量得到了明显提升,与对照相比差异达显著水平。圆白菜和小茴香的产量随着尾菜有机肥用量的增加而递增,在相同有机肥用量的情况下,尾菜有机肥增产效果高于商品有机肥,圆白菜和小茴香的最优施肥处理为使用 45 t 尾菜有机肥的处理 T3。

表 4 不同施肥处理条件下圆白菜和小茴香的产量(n=3)
Table 4 Yield of cabbage and cumin under different fertilization treatments (n=3)

处理编号	作物	产量/(t/hm ²)	与 CK 相比增量	
			增产量 (t/hm ²)	增产率 /%
CK		45.89±3.71 ^c		
T1		51.4±3.19 ^a	5.51	12.01
T2	圆白菜	62.63±0.67 ^a	16.74	36.50
T3		65.63±2.82 ^b	19.74	43.02
T4		55.7±0.97 ^b	9.81	21.40
CK		48.15±2.27 ^c		
T1	小茴香	54.35±1.71 ^b	6.20	12.88
T2		56.33±1.23 ^b	8.18	16.99
T3		62.99±2.39 ^a	14.84	30.82
T4		52.35±2.61 ^{bc}	4.20	8.72

2.3 不同施肥处理对果实品质的影响

由表 5 可以看出,圆白菜施用有机肥之后的水分含量均有所提升,但差异不显著。圆白菜可溶性固形物含量最高值为 T1 处理数值为 4.73%,其次为 T4 处理数值为 4.59%,但与对照组 CK 之间差异不显著;小茴香的可溶性固形物各处理之间差异不显著,最大值为 T2 和 CK 处理,其数值均为 2.00%。圆白菜的维生素 C 含量大小顺序为 T4>T2>CK>T1>T3,小茴香的维生素 C 含量大小顺序为 T2>T1>CK>T4>T3,各处理之间差

异不显著。小茴香的硝酸盐含量最大值为 T3,其数值为 432.59 mg/kg,其可能的原因施用的尾菜有机肥最多。综合来看,施用一定量的尾菜有机肥能够提升圆白菜和小茴香的部分品质指标,但规律不明显。

3 结论与讨论

土壤是农业生产的基础,保持土壤肥力的可持续性,建立良性高效的农业生态循环系统是农业生产的必然趋势^[17]。蔬菜尾菜中含有纤维素、蛋白质、氮、磷、钾、钙、镁等多种成分,其有机质含量较高,是其他农肥的 1.70~7.43 倍,可有效提高土壤有机质的含量,增强土壤肥力,为作物提供多种营养^[18]。腐熟的畜禽粪便虽然具有肥力高、成本低的特点,但畜禽粪便中重金属含量较高,连续使用可能会导致土壤中重金属的积累,农产品的品质下降,对人们的健康造成影响^[19]。与腐熟畜禽粪便相比,尾菜有机肥具有增产效果明显、绿色环保,能有效预防设施土壤次生盐渍化的发生等特点,在蔬菜生产上具有良好的市场前景,大力推广尾菜有机肥可以实现蔬菜尾菜的资源化利用^[10],实现农业的可持续发展。本研究结果表明,尾菜有机肥各处理的土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于对照组,差异均达显著水平。其中,圆白菜处理中碱解氮、速效磷和速效钾比对照组 CK 分别增加了 70.26%、35.79%和 52.09%,比商品有机肥处理分别增加了 11.67%、13.50%和 8.24%;小茴香处理中碱解氮、速效磷和速效钾比对照组 CK 分别增加了 42.16%、44.29%和 78.70%,比商品有机肥处理分别增加了 13.30%、17.55%和 37.86%。施用尾菜有机肥能明显提升土壤中的有机质和养分含量。圆白菜 T2 处理的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量比 T4 处理分别增加了 2.89%、0.36%、1.00%和 3.64%,小茴香 T2 处理比 T4 处理分别增加了 5.75%、10.06%、8.24%和 14.03%。施用尾菜有机肥能明显提升土壤中的有机质和养分含量,尾菜有机肥在增加土壤养分含量方面优于商品有机肥。

与 CK 相比,施用尾菜有机肥后,圆白菜增产幅度为 12.01%~43.02%,小茴香增产在 12.88%~30.82%之间。由此可见,施用尾菜有机肥后,圆白菜和小茴香的产量得到了明显提升,与对照相比差异达显著水平。圆白菜和小茴香的产量随着尾菜有机肥用量的增加而递增,在相同有机肥用量的情况下,尾菜有机肥增产效果高于商品有机肥。施用一定量的尾菜有机肥能够提升圆白菜和小茴香的部分品质指标,但影响规律不明显。尾菜有机肥在提升蔬菜产量和品质方面的研究结果与胡晓婷等^[20]的研究结论基本一致。综合分析,圆白菜和小茴香的推荐施肥处理为每公顷使用 45 t 尾菜有机肥。尾菜有机肥的利用,不仅降低了蔬菜尾菜带来的潜在污染风险,并确定了蔬菜尾菜发酵后的产物作为有机肥使用的可行性及施用量,为蔬菜尾菜发酵产生的尾菜有机肥的循环利用提供了理论支持。

表5 不同施肥处理的圆白菜和小茴香的品质(n=3)
Table 5 Quality of cabbage and cumin under different fertilization treatments (n=3)

处理编号	作物	水分/%	可溶性固形物/%	维生素 C/(mg/100 g)	硝酸盐/(mg/kg)
CK	圆白菜	92.81±1.26 ^a	4.45±0.47 ^a	44.46±4.13 ^a	
T1		93.60±2.59 ^a	4.73±0.31 ^a	44.00±5.95 ^a	
T2		93.37±2.60 ^a	4.43±0.06 ^a	45.79±2.96 ^a	
T3		93.46±1.54 ^a	4.51±0.28 ^a	43.10±8.71 ^a	
T4		93.00±2.04 ^a	4.59±0.44 ^a	46.37±0.54 ^a	
CK	小茴香		2.00±0.25 ^a	27.80±4.51 ^a	112.57±6.07 ^b
T1			1.80±0.06 ^a	28.21±3.65 ^a	110.79±21.97 ^b
T2			2.00±0.33 ^a	31.71±3.73 ^a	107.52±8.06 ^b
T3			1.50±0.34 ^a	27.13±2.55 ^a	432.59±37.26 ^a
T4			1.75±0.20 ^a	27.70±0.45 ^a	105.79±7.71 ^b

参考文献

- [1] 天津市统计局, 国家统计局天津调查总队. 天津统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
Tianjin Bureau of statistics, Tianjin investigation team of National Bureau of Statistics. Tianjin statistical yearbook 2019 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [2] 河北省人民政府. 河北经济年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
Hebei people's government. Hebei economic yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [3] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
Beijing Bureau of statistics, Beijing investigation team of National Bureau of Statistics. Beijing statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [4] 吴东升. 蔬菜秸秆堆肥对设施番茄生长、品质和产量的影响[J]. 宁夏农林科技, 2019, 60(8): 1-4.
WU DS. Effects of vegetable straw compost on growth, quality and yield of tomato plants [J]. Ningxia J Agric For Sci Technol, 2019, 60(8): 1-4.
- [5] 徐瑞, 于安芬, 李瑞琴, 等. 蔬菜废弃物堆肥研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2014, (7): 44-46, 47.
XU R, YU AF, LI RQ, *et al.* Research progress of vegetable waste composting [J]. Gansu J Agric For Sci Technol, 2014, (7): 44-46, 47.
- [6] 席旭东, 晋小军, 张俊科. 蔬菜废弃物快速堆肥方法研究[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (3): 62-66.
XI XD, JIN XJ, ZHANG JK. The study of rapid composting method by vegetable wastes [J]. Soil Fertil Sci, 2010, (3): 62-66.
- [7] 韩伶, 李衍素, 于贤昌, 等. 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[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1553-1559.
HAN L, LI YS, YU XC, *et al.* Effects of vegetable residue compost returning to soil on soil properties and vegetable yield in solar greenhouse [J]. Chin J App Econ, 2016, 27(5): 1553-1559.
- [8] 胡晓婷, 陈丹艳, 牛博宇, 等. 番茄秸秆堆肥提高番茄果实风味的适宜添加比例研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(4): 611-619.
HU XT, CHEN DY, NIU BY, *et al.* The suitable percentage of tomato straw compost in graden soil for improvement of tomato flavor [J]. J Plant Nutr Fertil, 2019, 25(4): 611-619.
- [9] 耿凤展, 李荣华, 高波, 等. 番茄秸秆高温堆肥作为番茄育苗基质的循环利用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 102-106.
GENG FZ, LI RH, GAO B, *et al.* Composting of tomato residues and cow dung under the aerobic condition and its recyclable potential in tomato nursery seedling [J]. Soil Fertil Sci, 2016, (1): 102-106.
- [10] 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.
YANG DY, FENG HP, SANG T, *et al.* Effects of different methods of returning tomato straw to field on tomato growth, soil carbon/nitrogen contents and enzyme activity [J]. Chin Veg, 2018, (10): 55-59.
- [11] 高青海, 陆晓民, 贾双双. 不同作物秸秆还田对设施黄瓜生长及光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(10): 2065-2070.
GAO QH, LU XM, JIA SS. Effects of different crop straw returnings on growth and photosynthesis characteristic of cucumber [J]. Acta Botan Boreal-Occid Sin, 2013, 33(10): 2065-2070.
- [12] 天津市西青区人民政府 [EB/OL]. [2015-06-24]. <http://www.tjxq.gov.cn/zjxq/system/2015/06/24/010000039.shtml>.
- [13] 天津市西青区人民政府 [EB/OL]. [2015-06-24]. <http://www.tjxq.gov.cn/zjxq/system/2015/06/24/010000039.shtml>.
- [14] 王学奎. 植物生理生化实验原理核技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
WANG XK. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [15] 吕炯璋, 桑鹏图, 李灵芝, 等. 不同营养液配方与浓度对番茄幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(2): 112-116.
LV JZ, SANG PT, LI LZ, *et al.* Effect of nutrient solution with different formulas and concentrations on the growth of tomato seed ling [J]. J Shanxi Agric Univ (Nat Sci Ed), 2010, 30(2): 112-116.
- [16] 张以顺, 黄霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
ZHANG YS, HUANG Y, CHEN YF. Experimental course in plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.

- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO SD. Soil agro-chemical analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [17] 牛继瑶. 凌海市秸秆肥的应用现状及发展前景[J]. 现代农村科技, 2011, (7): 46-47.
NIU JY. Application status and development prospect of straw fertilizer in Linghai city [J]. Mod Agric Sci Technol, 2011, (7): 46-47.
- [18] 余立云. 设施蔬菜应重视使用作物秸秆肥[J]. 西北园艺, 2006, (2): 40.
YU LY. Attention should be paid to the use of crop straw fertilizer in protected vegetables [J]. Northwest Hort, 2006, (2): 40.
- [19] 覃丽霞, 马军伟, 孙万春, 等. 浙江省畜禽有机肥重金属及养分含量特征研究[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(4): 604-610.
TAN LX, MA JW, SUN WC, *et al.* Characteristics of heavy metal and nutrient contents in livestock manure in Zhejiang province [J]. Acta Agric Zhejiangensis, 2015, 27(4): 604-610.
- [20] 胡晓婷, 陈丹艳, 牛博宇, 等. 番茄秸秆堆肥对番茄生长发育、产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 108-111.
HU XT, CHEN DY, NIU YB, *et al.* Effects of tomato straw compost on

growth, yield and quality of tomato [J]. Jiangsu Agric Sci, 2019, 47(1): 108-111.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张新建, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为新型肥料研发及生态农业。
E-mail: zxx_bjfu@163.com



李峰, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农村环境及农业废弃物处理。
E-mail: lifengishere@139.com