

畜禽粪便生态肥对灌漠土肥力质量 及人参果品质和效益的影响

李玉斌¹, 潘艳花², 薛亮³, 裴怀弟⁴, 闫治斌⁵

(1. 甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 酒泉市种子管理站, 甘肃 酒泉 735000;
3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070;
5. 甘肃省敦煌种业集团股份有限公司研究院, 甘肃 酒泉 735000)

摘要:在温室内进行了畜禽粪便生态肥对灌漠土肥力质量及人参果品质和效益影响的研究。结果表明:畜禽粪便生态肥适宜施肥量比例为畜禽有机肥 45.00 t · hm⁻²、人参果专用肥 1.50 t · hm⁻²、聚丙烯酰胺 0.09 t · hm⁻²;施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,土壤容重和 pH 值降低 5.39% 和 9.11%,总孔隙度、团聚体、CEC、饱和持水量增加 5.18%、21.03%、22.40% 和 5.18%,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾增加 20.36%、2.04%、2.01% 和 2.04%;细菌、放线菌、蔗糖酶活性、脲酶活性、磷酸酶活性和多酚氧化酶活性增加 10.53%、13.39%、13.74%、1.46%、5.41% 和 5.96%,人参果产量、可溶性糖、Vc 和可溶性蛋白质增加 5.45%、9.09%、7.55% 和 10.05%,施肥利润和肥料投资效率增加 30.31% 和 33.52%,硝酸盐降低 7.78%。施用畜禽粪便生态肥改善了灌漠土质量和人参果品质,提高了土壤有机质和人参果经济效益。

关键词: 畜禽粪便生态肥;灌漠土;肥力;人参果;品质;产量
中图分类号: S141 **文献标志码:** A

Effects of livestock manure ecological fertilizer on fertility of irrigated desert soil and ginseng fruit quality and benefit

LI Yubin¹, PAN Yanhua², XUE Liang³, PEI Huaidi⁴, YAN Zhibin⁵

(1. Institute of Forest fruits and Flowers, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Seed Management Station of Jiuquan, Jiuquan, Gansu 735000, China; 3. Institute of Soil Fertilizer and Water Saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
4. Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
5. Research Institute of Gansu Dunhuang Seed Industry Group Co Ltd Jiuquan, Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: In the greenhouse, a field experiment was carried out to study the effects of ecological manure of livestock and poultry on soil fertility and ginseng fruit quality and benefit. The results showed that the suitable fertilizer proportion of animal manure ecological fertilizer was 45.00, 1.50, 0.09 t · hm⁻² of polyacrylamide. Compared with traditional chemical fertilizer, the soil bulk density and pH value decreased by 5.39% and 9.11%, and the total porosity, aggregate, CEC and saturated water capacity increased by 5.18%, 21.03%, 22.40% and 5.18%. Organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 20.36%, 2.04%, 2.01% and 2.04%, while the activities of bacteria, actinomyces, sucrase, urease, phosphatase and polyphenol oxidase increased by 10.53%, 13.39%, 13.74%, 1.46%, 5.41% and 5.96%. Ginseng fruit yield, soluble sugar, Vc and soluble protein increased by 5.45%, 9.09%, 7.55% and 10.05%, fertilizer profit and fertilizer investment efficiency increased by 30.31% and 33.52%, nitrate decreased by 7.78%. The application of livestock and poultry manure ecological fertilizer improved the quality of soil and ginseng fruit and the economic benefits of soil organic matter and ginseng fruit.

Keywords: livestock manure ecological fertilizer; irrigation desert soil; fertility; ginseng fruit; quality; production

人参果(*Solanm muricatum aiton*)又名长寿果、香瓜梨、凤果,果实富含 Vc 和多种微量元素^[1]。经调查甘肃省张掖市菜农种植的人参果化肥氮磷钾纯养分投入量为 1 930 kg · hm⁻² (N 投入量 870 kg · hm⁻², P₂O₅ 投入量 460 kg · hm⁻², K₂O 投入量 600 kg · hm⁻²), 而有机肥氮磷钾纯养分投入量为 285 kg · hm⁻², 人参果产量提高主要依赖施用化肥, 长期施用化肥, 导致土壤质量和人参果品质下降。因此, 研究畜禽粪便生态肥替代传统化肥是本文的关键所在。

有关畜禽粪便对土壤质量和作物产量的影响, 前人做了大量的研究工作。其中, 畜禽粪便对土壤理化性质及酶活性和生物学性质的影响; 成钢等^[2]研究发现, 羊粪与化学肥料配制的复混肥提高了土壤有机质含量; 羊粪和马粪混合施用提高了土壤腐殖质含量^[3]; 猪粪施用量与土壤有机碳含量呈显著的正相关关系^[4]; 施用牛粪有效地改善了土壤理化性质^[5]; 鸡粪与稻秆和生物炭混合施用提高了砖红壤团聚体稳定性^[6]; 鸡粪与磷肥配施提高了磷的有效性^[7]; 施用牛粪降低了土壤酸碱度、电导率和碱化度^[8]; 施用羊粪有效地改善了土壤化学性质^[9]; 施用鸡粪提高了土壤 pH 值和缓冲性能^[10]。崔虎等^[11]研究发现施用牛粪提高了土壤脲酶和磷酸酶的活性; 施用鸡粪和家畜粪便提高了土壤微生物数量^[12]; 施入牛粪显著增加了土壤细菌和放线菌数量^[13]。畜禽粪便对土壤重金属及作物产量和品质的影响: 卜贵军等^[14]研究发现鸡粪堆肥处理可以降低重金属离子的生物有效性; 猪粪对土壤重金属离子 Cu、Zn 累积具有一定的促进作用^[15]; 鸡粪对土壤中 Pb、Cd 具有较强的钝化作用^[16]; 施用猪粪和鸡粪对 Cd、Cr、Pb 和 Ni 没有显著影响^[17]; 牛粪与秸秆配合施用降低了玉米籽粒中 Cd 含量^[18]; 鸡粪、秸秆和生物炭配合施用降低了 Pb 的有效性, 减少了玉米对 Pb 离子的吸收^[19]; 鸡粪和生物炭混合施用减少了玉米对 Cd 吸收和积累^[20]; 在鸡粪中掺入粉煤灰能减少大白菜对重金属的累积^[21]; 羊粪和马粪混合施用可以降低铜锌的生物有效性^[3]; 鸡粪、猪粪和牛粪显著提高土壤有效锌含量^[22]。谢志煌等^[23]研究发现施用牛粪可以明显提高大豆的脂肪、游离氨基酸和可溶性糖含量; 羊粪可以提高火龙果总糖和维 Vc 含量, 降低果实中总酸含量^[24]; 羊粪和蚯蚓粪配合施用, 可以提高番茄产量, 改善其品质^[25]; 风沙土施用羊粪可以提高甘蓝的产量^[9]。

综上所述, 前人对畜禽粪便多采取单独施用或者与化肥、稻秆、生物炭、秸秆配合施用; 主要研究

了畜禽粪便生态肥对土壤理化性质、生物学性质和重金属离子的影响; 研究了其对大豆、火龙果、番茄和甘蓝等品质的改善。而畜禽粪便生态肥对灌漠土肥力质量及人参果品质和效益的影响尚少见文献报道。甘肃省张掖市分布着 8.08×10⁶ t 的畜禽粪便有机肥(牛粪 5.05×10⁶ t, 猪粪 2.44×10⁵ t, 羊粪 2.62×10⁶ t, 鸡粪 1.68×10⁵ t)^[26], 用于沼气工程、生产有机肥、直接还田的占资源总量的 54%, 还有 3.72×10⁶ t 的畜禽粪便随意堆放在居民点周围, 经风吹日晒雨淋后污染了乡村环境。据室内分析, 这些畜禽粪便含有机质 22.12%~24.34%, N 0.32%~0.83%, P₂O₅ 0.15%~0.40%, K₂O 0.44%~0.60%, 重金属离子 Hg、Cd、Cr 和 Pb 含量均小于国家规定的畜禽粪便含量标准(GB8172—87)^[27-28]。

为了解决研究区域长期施用化肥导致温室土壤质量下降、有机质含量低、人参果品质和产量低而不稳以及畜禽粪便对乡村生态环境污染的问题, 本文根据人参果需肥规律和研究区域温室土壤供肥水平, 采用平衡施肥原理和改土培肥理论, 将畜禽有机肥、人参果专用肥和土壤结构改良剂(聚丙烯酰胺)^[29]按比例混合, 合成畜禽粪便生态肥, 将畜禽有机肥的长效、人参果专用肥的速效、聚丙烯酰胺的改土作用融为一体, 旨在为减少化肥施用量、改善温室土壤质量、提高人参果品质和效益、改善农村生态环境和畜禽粪便资源化循环利用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验于 2019—2020 年在甘肃省张掖市甘州区沙井镇沙井村温室内进行(100°15′56″E, 39°05′01″N), 海拔 1 451 m, 年降水量 116 mm, 蒸发量 1 850 mm, 平均气温 7.50℃, 日照时数 3 053 h, 无霜期 160 d。土壤类型为灌漠土^[30], 试验地 0~20 cm 土层有机质含量 18.14 g · kg⁻¹, 碱解氮 95.19 mg · kg⁻¹, 速效磷 10.81 mg · kg⁻¹, 速效钾 134.53 mg · kg⁻¹, CEC (阳离子交换量) 17.75 cmol · kg⁻¹, pH 值 8.19。土壤质地为壤质土, 前茬作物是番茄。

1.1.2 试验材料 尿素, N46%; 聚磷酸钾, P₂O₅ 57%, K₂O 37%; 硫酸锌, Zn 23%; 钼酸铵, Mo 54%; 发酵羊粪, 含有机质 46.30%、N 1.32%、P₂O₅ 1.29%、K₂O 0.61%, 粒径 1~20 mm; 发酵牛粪, 含有机质 35.41%、N 0.43%、P₂O₅ 0.32%、K₂O 0.56%, 粒径 1~20 mm; 发酵鸡粪, 含有机质 46.77%、N 1.31%、P₂O₅

0.61%、K₂O 0.92%，粒径 1~5 mm；聚丙烯酰胺，吸水倍率 200 g·g⁻¹、pH 值 6.9，粒径 1~3 mm；生物菌肥为耐滴奈乐菌肥，含枯草芽孢杆菌有效活菌 2.50×10⁹·g⁻¹，粒径 0.2~2 mm；自制畜禽有机肥，羊粪、鸡粪、牛粪和生物菌肥风干重量比按 0.4000：0.3500：0.2498：0.0002 混合，含有机质 42.77%、N 1.03%、P₂O₅ 0.41%、K₂O 0.72%；自制人参果专用肥，尿素、聚磷酸钾、硫酸锌和钼酸铵风干重量比按 0.6349：0.3175：0.0423：0.0005 混合，含 N 29.21%、P₂O₅ 18.09%、K₂O 11.75%、Zn 0.97%、Mo 0.03%；畜禽粪便生态肥，依据试验 1 筛选的配方，将畜禽有机肥、人参果专用肥和聚丙烯酰胺风干重量比按 0.9659：0.0322：0.0019 混合，有机质 41.53%、N 1.87%、P₂O₅ 0.98%、K₂O 1.28%、Zn 0.03%、Mo 0.01%；人参果品种为‘长丽’。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 试验 1：畜禽粪便生态肥配方筛选。2019 年 3 月 10 日选择畜禽有机肥、人参果专用肥和聚丙烯酰胺 3 种原料，每种原料设计 3 个梯度施用量，选择正交表 L₉(3⁴) 设计 9 个试验处理^[31]（表 1），按表中用量制成 9 种畜禽粪便生态肥。

试验 2：畜禽粪便生态肥对土壤质量及人参果品质和效益影响的研究。2020 年 3 月 12 日设计 3 个处理。处理 1，对照（不施肥）；处理 2，传统化肥（尿素 2 070 kg·hm⁻²+ 磷酸二铵 1 000 kg·hm⁻²+硫酸钾 1 200 kg·hm⁻²+硫酸锌 60.78 kg·hm⁻²+钼酸铵 8.63 kg·hm⁻²）；处理 3，畜禽粪便生态肥（施用量 46 590.00 kg·hm⁻²）。处理 2 和 3 氮、磷、钾、锌和钼纯养分投入量相等（N 870 kg·hm⁻²+P₂O₅ 460 kg·hm⁻²+K₂O 600 kg·hm⁻²+Zn 13.98 kg·hm⁻²+Mo 4.66 kg·hm⁻²）。每个处理重复 3 次，随机区组排列。

1.2.2 种植方法 小区面积 26.25 m²（7.5 m×3.5 m），每个小区四周筑埂。将磷酸二铵、硫酸钾、畜禽粪便生态肥分别计量后，浅耕翻入 20 cm 土层作底肥后起垄，垄高、垄距和垄宽为 30 cm×70 cm×70 cm。在垄上铺滴灌带和地膜，定植前 10 d 覆盖棚膜密闭大棚，室内温度保持 28℃~30℃，10 cm 土层温度稳定在 12℃~15℃，选择苗龄 45 d 的人参果扦插苗定植，深度、株距和行距为 10 cm×35 cm×70 cm，定植后白天室温控制在 24℃~28℃，夜间室温控制在 10℃~15℃。1/3 尿素在人参果第 1 果穗膨大期时结合灌水追施，2/3 尿素在人参果第 3 果穗膨大期时结合灌水追施。每个小区为 1 个支管单元，在支管单元入口安装闸阀、压力表和水表，在人参果定植后、开花期、第 1、2、3 果穗膨大期时各灌水 1

次，每个小区灌水量为 7.35 m³。

1.2.3 样品采集方法 人参果采收时每个小区选择 3 行，每行采集 5 株，测定株高、单株果数、单果重、单株果重及可溶性糖、Vc、可溶性蛋白质和硝酸盐含量。每个小区每次采收分别计产，将小区产量换算成公顷产量进行统计分析。试验 2 人参果采收后，分别在试验小区内按对角线布置 5 个采样点，采集 0~20 cm 耕作层土样 5 kg，用四分法留 2 kg，1 kg 新鲜土样放入 4℃ 冰箱避光保存测定微生物数量和酶活性，另外 1 kg 土样风干过 1 mm 筛供室内测定有机质含量。

1.2.4 测定指标与方法 土壤容重、孔隙度、>0.25 mm 团聚体和田间持水量测定采用环刀法、计算法、干筛法和威尔科可斯法；pH 值、CEC 和有机质测定采用酸度计法（水土比 5：1）、交换剂浸提—NH₄OAc—NH₄Cl 法和重铬酸钾氧化—外加加热法；碱解氮、速效磷和速效钾测定采用扩散法、NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法、NH₄OAc₃ 浸提—火焰光度法；饱和持水量=面积×总孔隙度×土层深度^[32-33]；微生物数量、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶测定采用稀释平板法、3,5-二硝基水杨酸比色法、靛酚比色法、磷酸苯二钠比色法和碘量滴定法^[34]；硝酸盐、Vc、可溶性糖和可溶性蛋白测定采用水杨酸硝化法、2,6-二氯靛酚滴定法、蒽酮-硫酸法、考马斯亮蓝 C-250 染色法^[35]。

1.3 数据分析

差异显著性采用 DPSS 10.0 统计软件分析，多重比较，LSR 检验法。

2 结果与分析

2.1 畜禽粪便生态肥配方确定

由 2019 年 12 月 30 日人参果采收后测定数据可以看出（表 1），畜禽粪便生态肥因素间的主次效应（R）是：B 人参果专用肥（R=47.43）> A 畜禽有机肥（R=42.72）> C 聚丙烯酰胺（R=22.13）。从各水平平均产量看出，K_{A1}>K_{A3}>K_{A2}，K_{B3}>K_{B2}>K_{B1}，K_{C3}>K_{C1} 和 K_{C2}。说明畜禽粪便生态肥最优组合为：A₁ 畜禽有机肥 45.00 t·hm⁻²：B₃ 人参果专用肥 1.50 t·hm⁻²：C₃ 聚丙烯酰胺 0.09 t·hm⁻²，即畜禽粪便生态肥配方组合比例为：畜禽有机肥 0.9659：人参果专用肥 0.0322：聚丙烯酰胺 0.0019。

2.2 畜禽粪便生态肥对灌漠土肥力质量的影响

2.2.1 对土壤理化性质的影响 由 2020 年 12 月 26 日人参果采收后测定数据可以看出（表 2），施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较，显著地降低了土

壤容重,增大了总孔隙度,极显著地降低了 pH 值,增大了团聚体和 CEC。不同处理容重和 pH 值为对照>传统化肥>畜禽粪便生态肥,孔隙度、团聚体和 CEC 为:畜禽粪便生态肥>传统化肥>对照。畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,容重降低 5.39% ($P<0.05$),pH 值降低 9.11% ($P<0.01$),总孔隙度增加 5.18% ($P<0.05$),团聚体增加 21.03% ($P<0.01$),CEC 增加 22.40% ($P<0.01$);与对照比较,容重降低 6.11% ($P<0.05$),pH 值降低 9.89% ($P<0.01$),总孔隙度增加 5.95% ($P<0.05$),团聚体增加 25.20% ($P<0.01$),CEC 增加 28.06% ($P<0.01$)。传统化肥与对照比较,容重和 pH 值降低 0.76%和 0.86% ($P>0.05$),总孔隙度、团聚体和 CEC 增加 0.73%、3.45%和 4.62% ($P>0.05$)。

2.2.2 对土壤持水量及有机质和氮磷钾的影响
由表 3 可知,施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,显著地增大了土壤饱和持水量,极显著地提高了有机质含量,而碱解氮、速效磷和速效钾变化不大。不同处理饱和持水量、有机质、碱解氮、速效磷和速效钾为畜禽粪便生态肥>传统化肥>对照。畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,饱和持水量增加 5.18%

($P<0.05$),有机质增加 20.36% ($P<0.01$),碱解氮、速效磷和速效钾增加 2.04%、2.01%和 2.04% ($P>0.05$);与对照比较,饱和持水量增加 5.97% ($P<0.05$),有机质、碱解氮、速效磷和速效钾增加 26.13%、18.68%、50.32%和 23.75% ($P<0.01$)。传统化肥与对照比较,饱和持水量和有机质增加 0.73%和 4.80% ($P>0.05$),碱解氮、速效磷和速效钾增加 16.30%、47.36%和 21.28% ($P<0.01$)。

2.2.3 对土壤微生物和酶活性的影响 由表 4 可知,施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,极显著地提高了土壤细菌、放线菌和蔗糖酶的活性,显著地提高了磷酸酶和多酚氧化酶活性,对脲酶活性影响较小。不同处理微生物和酶活性为畜禽粪便生态肥>传统化肥>对照。畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,细菌、放线菌和蔗糖酶活性增加 10.53%、13.39%和 13.74% ($P<0.01$),磷酸酶活性和多酚氧化酶活性增加 5.41%和 5.96% ($P<0.05$),脲酶活性增加 1.46% ($P>0.05$);与对照比较,细菌、放线菌和蔗糖酶活性增加 13.174%、15.20%和 15.64% ($P<0.01$),脲酶活性、磷酸酶活性和多酚氧化酶活性增加 6.09%、8.33%和 7.38% ($P<0.05$)。传统化肥

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验分析结果

Table 1 $L_9(3^4)$ orthogonal test analysis results

试验处理 Treatment	A(畜禽有机肥) (Organic manure for livestock and poultry)		B(人参果专用肥) (Ginseng fruit fertilizer)		C(聚丙烯酰胺) (Polyacrylamide)		产量 Yield /(t·hm ⁻²)
	施用量	编码值	施用量	编码值	施用量	编码值	
	Application rate /(t·hm ⁻²)	Code value	Application rate /(t·hm ⁻²)	Code value	Application rate /(t·hm ⁻²)	Code value	
1	45.00	1	0.50	1	0.03	1	107.42±1.34bB
2	45.00	1	1.00	2	0.06	2	101.25±2.04cB
3	45.00	1	1.50	3	0.09	3	147.78±1.11aA
4	90.00	2	0.50	1	0.06	2	35.51±0.64gE
5	90.00	2	1.00	2	0.09	3	84.71±2.16dD
6	90.00	2	1.50	3	0.03	1	108.08±0.98bB
7	135.00	3	0.50	1	0.09	3	79.62±0.64eD
8	135.00	3	1.00	2	0.03	1	74.99±0.47fD
9	135.00	3	1.50	3	0.06	2	108.96±0.83bB
1 水平平均产量(K ₁)	118.82		74.18		96.83		
1 level average yield							
2 水平平均产量(K ₂)	76.10		86.98		81.91		
2 level average yield							
3 水平平均产量(K ₃)	87.86		121.61		104.04		
3 level average yield							
极差 Range (R)	42.72		47.43		22.13		
主次顺序			B>A>C				
Primary and secondary order							
最优水平 Optimal level	A ₁		B ₃		C ₃		
最优组合 Optimal combination			A ₁ B ₃ C ₃				

注:同列数据不同大写字母表示 LSR_{0.01} 水平差异显著,不同小写字母表示 LSR_{0.05} 水平差异显著,下同。
Note: Different uppercase letters in the same column mean significant difference in LSR_{0.01} level, and different lowercase letters mean significant difference in LSR_{0.05} level, the same as below.

表 2 畜禽粪便生态肥与传统化肥对土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of livestock manure ecological fertilizer and traditional chemical fertilizer on physical and chemical properties of soil

试验处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer	容重 Bulk density /(g·cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity/%	>0.25 mm 团聚体 Aggregate/%	pH	CEC /(cmol·kg ⁻¹)
1	对照(不施肥) Control (no fertilization)	1.31±0.44aA	50.57±0.32bA	26.98±0.32bB	8.19±0.44aA	17.75±1.46cC
2	传统化肥 Traditional chemical fertilizers	1.30±0.96aA	50.94±0.48bA	27.91±0.46bB	8.12±0.83aA	18.57±1.98b B
3	畜禽粪便生态肥 Livestock manure ecological fertilizer	1.23±1.24bA	53.58±0.67aA	33.78±0.51aA	7.38±1.01bB	22.73±2.11aA

表 3 畜禽粪便生态肥与传统化肥对土壤持水量及有机质和氮磷钾的影响

Table 3 Effects of livestock manure ecological fertilizer and conventional chemical fertilizer on soil water holding capacity, organic matter and NPK

试验处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer	饱和持水量 Saturated water holding capacity /(t·hm ⁻²)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
1	对照(不施肥) Control (no fertilization)	1011.40±0.46bA	18.14±0.21cB	95.19±1.03bB	10.80±0.23bB	134.53±0.34bB
2	传统化肥 Traditional chemical fertilizers	1018.80±0.51bA	19.01±0.54bB	110.71±2.04aA	15.93±0.54aA	163.15±0.67a A
3	畜禽粪便生态肥 Livestock manure ecological fertilizer	1071.60±0.69aA	22.88±0.73aA	112.97±1.61aA	16.25±0.67aA	166.48±0.88aA

表 4 畜禽粪便生态肥与传统化肥对土壤微生物和酶活性的影响

Table 4 Effects of livestock manure ecological fertilizer and conventional chemical fertilizers on soil microbial and enzyme activities

试验处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer	细菌 Bacteria /(×10 ⁷ ·g ⁻¹)	放线菌 Actinomycetes /(×10 ⁷ ·g ⁻¹)	蔗糖酶 Sucrase /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶 Urease /(mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	磷酸酶 Phosphatase /(g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase /(mL·g ⁻¹)
1	对照(不施肥) Control (no fertilization)	1.67±0.33bB	1.25±0.33bB	1.79±0.42bB	1.97±0.08bA	0.36±0.13bA	1.49±0.21bA
2	传统化肥 Traditional chemical fertilizers	1.71±0.94bB	1.27±0.86bB	1.82±0.65bB	2.06±0.21aA	0.37±1.01aA	1.51±0.36bA
3	畜禽粪便生态肥 Livestock manure ecological fertilizer	1.89±1.08aA	1.44±0.91aA	2.07±0.75aA	2.09±0.34aA	0.399±2.14aA	1.60±0.44aA

与对照比较,细菌、放线菌、蔗糖酶活性、脲酶活性、磷酸酶活性和多酚氧化酶活性增加 2.40%、1.60%、1.68%、4.57%、2.78%和 1.34%($P>0.05$)。

2.3 畜禽粪便生态肥对人参果品质及产量和效益的影响

2.3.1 对人参果品质的影响 由表 5 可知,施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,显著地提高了人参果 Vc 含量,极显著地提高了可溶性糖和可溶性蛋白质含量,显著降低了硝酸盐含量。不同处理人参果可溶性糖、Vc 和可溶性蛋白质为畜禽粪便生态肥>传统化肥>对照;硝酸盐为传统化肥>畜禽粪便生态肥>对照。畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,可溶性糖和可溶性蛋白质增加 9.09%和 10.05% ($P<0.01$),Vc 增加 7.55% ($P<0.05$),硝酸盐降低 7.78%

($P<0.05$);与对照比较,可溶性糖、Vc 和可溶性蛋白质增加 24.14%、19.04%和 21.00% ($P<0.01$),硝酸盐增加 3.09% ($P>0.05$)。传统化肥与对照比较,可溶性糖、Vc、可溶性蛋白质和硝酸盐增加 13.79%、10.69%、9.95%和 11.78% ($P<0.01$)。

2.3.2 对人参果农艺性状及产量和效益的影响 由表 6 可知,施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,有效地提高了人参果单株果数、单株果重、产量、增产值、施肥利润和肥料投资效率。不同处理农艺性状、经济性状和产量为畜禽粪便生态肥>传统化肥>对照,畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,株高和单果重增加 1.96%和 3.17% ($P>0.05$),单株果数、单株果重和产量增加 5.64%、6.45%和 5.45% ($P<0.05$);与对照比较,株高、单株果数、单果重、单株果重和产

表 5 畜禽粪便生态肥与传统化肥对人参果品质的影响

Table 5 Effect of livestock manure ecological fertilizer and traditional chemical fertilizer on ginseng fruit quality

试验处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer	可溶性糖 Soluble sugar /%	Vc /(mg·100g ⁻¹)	可溶性蛋白质 Soluble protein /%	硝酸盐 Nitrate /(mg·100g ⁻¹)
1	对照(不施肥) Control (no fertilization)	0.29±2.11cC	14.60±0.62cB	1.81±0.98cC	142.45±0.34bA
2	传统化肥 Traditional chemical fertilizers	0.33±1.86bB	16.16±0.78bA	1.99±1.20bB	159.23±0.28aA
3	畜禽粪便生态肥 Livestock manure manure ecological fertilizer	0.36±3.02aA	17.38±1.04aA	2.19±1.86a A	146.85±0.46bA

表 6 畜禽粪便生态肥与传统化肥对人参果性状及产量和效益的影响

Table 6 Effects of livestock manure ecological fertilizer and traditional chemical fertilizer on ginseng fruit characters yield and benefit

试验处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer	株高 Plant height /m	单株果数/个 Fruit number per plant	单果重 Weight of single fruit/g	单株果重	产量 Yield /(t·hm ⁻²)	增产值	施肥成本	施肥利润	肥料投
					/(kg·株 ⁻¹) /(kg·plant ⁻¹)		/(万元· hm ⁻²) /(10 ⁴ yuan· hm ⁻²)	/(万元· hm ⁻²) /(10 ⁴ yuan· hm ⁻²)	/(万元· hm ⁻²) /(10 ⁴ yuan· hm ⁻²)	资效率 /(元·元 ⁻¹) investment /(yuan·yuan ⁻¹)
1	对照(不施肥) Control (no fertilization)	1.29±0.13bB	11.24±1.27cB	147.59±0.43bB	2.74±0.24cB	110.89±0.38cB				
2	传统化肥 Traditional chemical fertilizers	1.53±0.18aA	13.12±1.43bA	192.96±0.65aA	3.41±0.73bA	138.96±0.42bA	12.63	1.28	11.35	8.86
3	畜禽粪便生态肥 Livestock manure ecological fertilizer	1.56±0.27aA	13.86±2.10aA	199.08±1.34aA	3.63±2.19aA	146.54±1.04aA	16.04	1.25	14.79	11.83

注:价格(元·吨⁻¹)尿素 2000;磷酸二铵 3800;硫酸钾 3600;硫酸锌 4000;钼酸铵 36000;畜禽粪便生态肥 266.67;2019 年人参果市场平均售价 4500。

Note: Price (yuan·t⁻¹) UREA 2000; diammonium phosphate 3800; potassium sulfate 3600; zinc sulfate 4000; ammonium molybdate 36000; ecological manure of livestock and poultry manure. The average selling price of ginseng fruit market in 2019 is 4500.

量增加 20.93%、23.31%、34.89%、32.48%和 32.15% ($P<0.01$)。传统化肥与对照比较,株高、单株果数、单果重、单株果重和产量增加 18.61%、16.731%、30.74%、24.45%和 25.31% ($P<0.01$)。畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,增产值、施肥利润和肥料投资效率增加 27.00%、30.31%和 33.52%。

3 讨论与结论

施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,显著地降低了土壤容重,增大了总孔隙度和饱和持水量,极显著地增大了团聚体。这种变化特征与张健男等^[36]和曲成闯等^[37]结论一致。究其原因,一是畜禽粪便生态肥含有丰富的有机质,使土壤疏松,容重降低,孔隙度增大;二是畜禽粪便生态肥中的聚丙烯酰胺是一种高聚合物,具有较好的粘结性,把土壤黏在一起促进了团聚体的形成^[38];三是畜禽粪便生态肥中的有机质在土壤微生物的作用下合成了土壤腐殖质,腐殖质的吸水率为 500%,因而提高了持水量。土壤化学性质表现为:极显著地降低了

pH 值,增大了 CEC,这种变化规律与庄钟娟等^[39]和刘国群等^[40]研究结果一致。究其原因,一是畜禽粪便生态肥中的有机质提高了土壤的供肥性,增大了 CEC;二是畜禽粪便生态肥中的有机质在分解过程中产生的有机酸,降低了 pH 值。施用畜禽粪便生态肥极显著地提高了有机质含量,研究结果与张霞等^[41]研究结论一致。究其原因是畜禽粪便生态肥将大量的有机质带入土壤,增加了土壤有机质含量。碱解氮、速效磷和速效钾增加不显著,究其原因是畜禽粪便生态肥与传统化肥比较试验中投入的 N、P₂O₅和 K₂O 数量相等。土壤生物学性质表现为极显著地提高了细菌和放线菌数量,究其原因,一是畜禽粪便生态肥中的有机质和大量元素为微生物提供了碳源和营养物质,促进了细菌和放线菌的繁殖;二是畜禽粪便生态肥中的生物菌肥将活性微生物带到土壤中,促进了细菌和放线菌的繁殖^[42-43]。土壤酶活性表现为极显著地提高了蔗糖酶的活性,显著地提高了磷酸酶活性和多酚氧化酶活性,对脲酶活性影响较小,这与关天霞等^[44]研究

结论相一致。究其原因,一是畜禽粪便生态肥把大量的酶带入土壤;二是畜禽粪便生态肥提高了土壤有机碳含量,土壤酶吸附在土壤有机碳上,为土壤酶创造了良好的土壤生态环境条件,提高了酶的活性;三是畜禽粪便生态肥增加了土壤有益微生物的数量,提高了土壤酶活性^[45]。人参果品质表现为可溶性糖、可溶性蛋白质和 Vc 含量增加,硝酸盐含量降低。究其原因是畜禽粪便生态肥含有丰富的有机质及大量元素和微量元素,促进了人参果的生长发育,提高了人参果产量,改善了品质。而李会合等^[46]研究则发现有机肥处理降低了生菜 Vc 和可溶性糖含量,而提高硝酸盐含量,马国泰等^[47]研究发现畜禽粪便肥施用量增加后,辣椒 Vc 含量和硝酸盐含量显著下降,与本研究结论不尽相同,有待今后进一步研究。

研究表明,畜禽粪便生态肥原料间的主次效应是人参果专用肥> 畜禽有机肥> 聚丙烯酰胺。适宜施肥量比例为:畜禽有机肥 45.00 t·hm⁻²: 人参果专用肥 1.50 t·hm⁻²: 聚丙烯酰胺 0.09 t·hm⁻²。施用畜禽粪便生态肥与传统化肥比较,显著地降低了土壤容重和人参果硝酸盐含量;增大了土壤总孔隙度和饱和持水量;提高了土壤磷酸酶活性、多酚氧化酶活性、人参果可溶性糖、Vc、可溶性蛋白质和施肥利润。极显著地降低了土壤 pH 值,增大了土壤团聚体和 CEC;提高了土壤有机质、细菌、放线菌和蔗糖酶的活性,而土壤碱解氮、速效磷、速效钾和脲酶活性变化不大。而常规化肥则提高了人参果硝酸盐含量,对土壤有机质、容重、孔隙度和团聚体无显著影响。在甘肃省张掖市甘州区沙井镇的温室内采用畜禽粪便生态肥替代传统化肥,改善了土壤理化性质和人参果品质,提高了土壤有机质和人参果经济效益,促进了畜禽粪便资源的循环利用,为保障人参果安全生产提供了技术支撑。

参 考 文 献:

[1] 杜越,文连奎.日光温室人参果栽培技术研究[J].农业开发与装备, 2016,(11):158.
DU Y, WEN L K. Study on cultivation technology of ginseng fruit in solar greenhouse [J]. Agricultural Development and Equipments, 2016,(11): 158.

[2] 成钢,夏莹,安玉玲,等.洞庭湖区羊粪资源利用现状与技术探讨[J].黑龙江畜牧兽医,2019,(6):44-46.
CHENG G, XIA Y, AN Y L, et al. Present situation and technical discussion on resource utilization of sheep manure in Dongting Lake area[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019, (6): 44-46.

[3] 芦伟,高月锋,简路洋,等.羊粪作为有机肥对植物和土壤的影响[J].家畜生态学报,2019,40(9):86-90.
LU W, GAO Y F, JIAN L Y, et al. Application effect of sheep manure on plant and soil[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2019, 40 (9): 86-90.

[4] 石纹喧,刘世亮,赵颖,等.猪粪有机肥施用对潮土速效养分含量及团聚体分布的影响[J].农业资源与环境学报,2017,34(5):431-438.
SHI W X, LIU S L, ZHAO Y, et al. Effects of pig manure organic fertilizer application on available nutrient content and soil aggregate distribution in fluvo-aquic soil[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2017, 34(5): 431-438.

[5] 徐大兵,邓建强,彭五星,等.施用牛粪和绿肥对土地整治区玉米产量和土壤理化性质的影响[J].应用生态学报,2017,28(3):856-862.
XU D B, DENG J Q, PENG W X, et al. Effect of application of cow manure and green manure on corn yield and soil physical-chemical properties in land restoration area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(3): 856-862.

[6] 王超,姜坤,卢瑛,等.不同有机物料施用对砖红壤团聚体组成和稳定性的影响[J].土壤通报,2019,50(6):1328-1334.
WANG C, JIANG K, LU Y, et al. Effects of different organic material application on aggregate composition and stability of latosol [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(6): 1328-1334.

[7] 刘志平,武雪萍,李若楠,等.温室滴灌条件下施用鸡粪和磷肥对土壤磷素的影响[J].中国农业科学,2019,52(20):3637-3647.
LIU Z P, WU X P, LI R N, et al. Effect of applying chicken manure and phosphate fertilizer on soil phosphorus under drip irrigation in greenhouse[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(20): 3637-3647.

[8] 郭军玲,金辉,郭彩霞,等.不同有机物料对苏打盐化土有机碳和活性碳组分的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(8):1290-1299.
GUO J L, JIN H, GUO C X, et al. Effects of organic materials on soil organic carbon and fractions of active carbon in soda saline soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2019, 25(8): 1290-1299.

[9] 李娟,韩慧,常少刚,等.羊粪有机肥施用量对沙地甘蓝生长和产量及土壤化学性质的影响[J].上海农业学报,2019,35(6):97-101.
LI J, HAN H, CHANG S G, et al. Effects of sheep manure organic fertilizer application rate on growth, yield of *Brassica oleracea* and soil chemical properties in sandy land [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2019, 35(6): 97-101.

[10] 张敬夫,刘金鑫,张忠兰,等.粉煤灰、磷矿粉与鸡粪配施对果园酸性土壤修复效应及苹果产量品质的影响[J].山东农业科学,2017, 49(8):82-85.
ZHANG J F, LIU J X, ZHANG Z L, et al. Effects of combined application of flyash, phosphate rock and chicken manure on acidic soil restoration in apple orchard and apple yield and quality[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(8): 82-85.

[11] 崔虎,王莉霞,欧洋,等.牛粪—化肥配施对水稻田氮磷迁移转化的影响[J].中国环境科学,2018,38(6):2233-2242.
CUI H, WANG L X, OU Y, et al. Effect of combined application of manure and chemical fertilizer on transportation and transformation of nitrogen and phosphorus in paddy field water [J]. China Environmental Science, 2018, 38(6): 2233-2242.

[12] 王笃超,吴景贵,李建明.不同有机物料对连作大豆土壤养分含量及生物性状的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):258-262,270.

- WANG D C, WU J G, LI J M. Effects of different organic materials on soil nutrient contents and biological properties of continuous cropping of soybean[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(3): 258-262, 270.
- [12] 王亚奇,杜桂英,崔晓文,等.一次性施入牛粪对土壤肥力和土壤微生物及酶活性的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(2):181-186.
- WANG Y Q, DU G Y, CUI X W, et al. Effects of one-time cattle manure application on soil fertility, microorganism and enzyme activity[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition), 2018, 49(2): 181-186.
- [14] 卜贵军,于静,邸慧慧,等.鸡粪堆肥有机物演化对重金属生物有效性影响研究[J].环境科学,2014,35(11):4352-4358.
- BU G J, YU J, DI H H, et al. Influence of organic matter evolution during composting on the bioavailability of heavy metals[J]. Environmental Science, 2014, 35(11): 4352-4358.
- [15] 赵睿,吴智书,罗阳,等.猪粪与农田土壤中重金属累积污染的相关分析[J].土壤,2017,49(4):753-759.
- ZHAO R, WU Z S, LUO Y, et al. Correlation analysis of heavy metals accumulation pollution in pig manure and farmland Soil[J]. Soils, 2017, 49(4): 753-759.
- [16] 闫翠侠,贾宏涛,孙涛,等.鸡粪生物炭表征及其对水和土壤镉铅的修复效果[J].农业工程学报,2019,35(13):225-233.
- YAN C X, JIA H T, SUN T, et al. Characteristics of chicken manure biochars and its effect on Cd and Pb remediation in water and soil [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(13): 225-233.
- [17] 宋姿蓉,俄胜哲,袁金华,等.不同有机物料对灌漠土重金属累积特征及作物效应的影响[J].中国农业科学,2019,52(19):3367-3379.
- SONG Z R, E S Z, YUAN J H, et al. Heavy metal accumulation in irrigated desert soils and their crop effect after applying different organic materials [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(19): 3367-3379.
- [18] 丛源欣,吴起汉,陈璐,等.牛粪与秸秆配施对玉米体内镉积累及亚细胞分布的影响[J].土壤通报,2019,50(3):725-731.
- CONG Y X, WU Q H, CHEN L, et al. Effects of combined application of cow manure and straw on cadmium uptake and subcellular distribution in maize[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(3): 725-731.
- [19] 刘领,悦飞雪,李继伟,等.秸秆生物炭和鸡粪对铅胁迫下玉米生长和生理特性的影响[J].水土保持学报,2018,32(4):262-267.
- LIU L, YUE F X, LI J W, et al. Effects of stalk-derived biochar and chicken manure on the growth and physiological characters of maize under lead stress[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(4): 262-267.
- [20] 悦飞雪,李继伟,王艳芳,等.施用秸秆生物炭和鸡粪对镉胁迫下玉米生长及镉吸收的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(10):2118-2126.
- YUE F X, LI J W, WANG Y F, et al. Effects of soil amendments with stalk-derived biochar and chicken manure on the growth and Cd uptake of maize under Cd stress[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(10): 2118-2126.
- [21] 李敏.鸡粪不同利用方式对大白菜品质及重金属含量的影响[J].作物杂志,2013,(2):65-69.
- LI M. Effects of different utilization methods of chicken manure on quality and heavy metal content of Chinese cabbage[J]. Crops, 2013, (2): 65-69.
- [22] 郝佳丽,卜玉山,贾峥嵘,等.不同有机物料与外源锌对土壤锌形态及生物有效性的影响[J].农业资源与环境学报,2015,32(3):263-268.
- HAO J L, BU Y S, JIA Z R, et al. Effects of different organic materials and exogenous Zn on Zn distribution in soil[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2015, 32(3): 263-268.
- [23] 谢志煌,李彦生,金剑,等.增施牛粪有机肥对黑土农田大豆营养品质的影响[J].土壤与作物,2018,7(4):412-418.
- XIE Z H, LI Y S, JIN J, et al. The effects of cattle manure amendment on nutritional quality of soybean in mollisols farmland[J]. Soil and Crop, 2018, 7(4): 412-418.
- [24] 刘红明,张晓梅,李进学,等.化肥羊粪配施对火龙果果实品质动态及矿质营养元素的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32(6):1079-1084.
- LIU H M, ZHANG X M, LI J X, et al. Effects of sheep excrement application with chemical fertilizers on dynamic quality and mineral nutrition of pitaya[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2017, 32(6): 1079-1084.
- [25] 王艳芳,王聪聪,武喆.羊粪和蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响[J].北方园艺,2020,(10):51-55.
- WANG Y F, WANG C C, WU Z. Effects of sheep and earthworm manure on the agronomic traits and quality of tomato[J]. Northern Horticulture, 2020,(10): 51-55.
- [26] 王磊,张永东,马斌,等.张掖市畜禽粪便污染物估算及农田承载力风险评价[J].中国草食动物科学,2019,39(3):58-61.
- WANG L, ZHANG Y D, MA B, et al. Estimation of livestock and poultry manure pollutants and risk assessment of farmland carrying capacity in Zhangye city[J]. China Herbivore Science, 2019, 39(3): 58-61.
- [27] 陆欣.土壤肥料学[M].北京:中国农业大学出版社,2002:480-481.
- LIU X. Soil fertilizer science[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 480-481.
- [28] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000:98-162.
- LI G X, ZHANG F S. Solid waste composting and organic compound fertilizer production[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 98-162.
- [29] 王久志,巫东堂.土壤结构改良剂覆盖改土作用的研究[J].干旱地区农业研究,1991,9(2):48-55.
- WANG J Z, WU D T. Studies on the effect of covering and improving soil by soil conditioner[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1991,9(2): 48-55.
- [30] 秦嘉海,吕彪.河西土壤与合理施肥[M].北京:兰州大学出版社,2001:150-155.
- QIN J H, LV B. Soil and rational fertilization in Hexi[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2001: 150-155.
- [31] 明道绪.田间试验与统计分析[M].北京:科学出版社,2013:185-188.
- MING D X. Field experiment and statistical analysis[M]. Beijing:

- Science Press, 2013; 185-188.
- [32] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978; 110-218.
- Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis of soil [M]. Shanghai: Shanghai Scientific And Technical Publishers, 1978; 110-218.
- [33] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983; 106-208.
- Agricultural Chemistry Professional Committee of Chinese Soil Society. Conventional analysis methods of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: Science Press, 1983; 106-208.
- [34] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986; 89-120.
- GUAN S Y. Soil enzymes and their research methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986; 89-120.
- [35] 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; 123-137.
- LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000; 123-137.
- [36] 张健男, 谢洪宝, 孙闯. 有机肥料的合理增施对土壤性质影响研究综述[J]. 中国农学通报, 2018, 34(27): 124-129.
- ZHANG J N, XIE H B, SUN Y. Effect of rational application of organic fertilizer on soil properties: a review [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(27): 124-129.
- [37] 曲成闯, 陈效民, 韩召强, 等. 生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 70-76.
- QU C C, CHEN X M, HAN Z Q, et al. Effects of bioorganic fertilizer application on soil physical properties and microbial biomass carbon and nitrogen in fluvoaquic soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 70-76.
- [38] 龙明杰, 张宏伟, 曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究I. 淀粉接枝共聚物改良赤红壤的研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 584-589.
- LONG M J, ZHANG H W, ZENG F S. Studies on polymeric soil structure amendments I. Study of amelioration to lateritic red soil by starch-grafted copolymer [J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(4): 584-589.
- [39] 庄钟娟, 高俊, 揣俊峰, 等. 海藻生物有机肥对番茄生长、土壤有机质及 pH 值的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(4): 104-106.
- ZHUANG Z J, GAO J, CHUAI J F, et al. Effects of algae bio-organic fertilizer on tomato growth, soil organic matter and pH [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 104-106.
- [40] 刘国群, 李玲玲, 王宏航, 等. 施用商品有机肥对橘园土壤的影响[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(7): 1171-1173.
- LIU G Q, LI L L, WANG H H, et al. Effect of application of commercial organic manure on soil in citrus orchard [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(7): 1171-1173.
- [41] 张霞, 葛新伟, 孙权, 等. 有机培肥对设施黄瓜产量及土壤化学性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 154-157.
- ZHANG X, GE X W, SUN Q, et al. Impacts of organic fertilization on cucumber yield and soil chemical properties in greenhouse [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(23): 154-157.
- [42] 王靖渊, 屠乃美, 何康, 等. 有机肥料对土壤微生物多样性影响研究进展[J]. 天津农业科学, 2016, 22(6): 51-55.
- WANG J Y, TU N M, HE K, et al. Effect of organic fertilizer on soil microbial diversity progress [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2016, 22(6): 51-55.
- [43] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360.
- SONG Y L, YU J, CHEN S G, et al. Effects of reduced chemical fertilizer with application of bio-organic fertilizer on rape growth, micro-organism and enzymes activities in soil [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(1): 352-360.
- [44] 关天霞, 马国泰, 张昊, 等. 不同类型畜禽粪便有机肥对辣椒产量及根际土壤酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(11): 53-59.
- GUAN T X, MA G T, ZHANG H, et al. Effects of different types of livestock manure on pepper yield and enzyme activities in rhizosphere soils [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2018, 45(11): 53-59.
- [45] 石慧, 白翠华, 周昌敏, 等. 施用猪粪土壤中抗生素的降解、植物有效性及土壤酶活性变化[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2039-2047.
- SHI H, BAI C H, ZHOU C M, et al. Degradation and phytoavailability of antibiotics in soils amended with pig manure and changes of soil enzyme activity [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(10): 2039-2047.
- [46] 李会合, 王正银. 不同有机肥料对生菜产量及品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(1): 29-32.
- LI H H, WANG Z Y. Effects of manures on yield and quality of romaine lettuce [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007, 41(1): 29-32.
- [47] 马国泰, 杨继刚, 关天霞, 等. 畜禽粪便来源的有机肥对辣椒品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2018, (4): 34-38.
- MA G T, YANG J G, GUAN T X, et al. Effect of organic fertilizer derived from livestock manure on the quality of hot pepper [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2018, (4): 34-38.