有机物料组合肥还田对耕地质量 及甜菜品质和效益的影响

赵蕊¹,毛涛¹,秦嘉海²

(1.张掖市耕地质量建设管理站,甘肃 张掖 734000;2.河西学院农业与生态工程学院,甘肃 张掖 734000)

摘要:在甘肃省张掖市甘州区明永乡甜菜种植基地上,采用田间试验方法,连续3 a进行了有机物料组合肥还田对耕地质量及甜菜品质和效益影响的研究。结果表明:羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥有利于提高土壤的总孔隙度、>0.25 mm团聚体、持水量和CEC,降低容重、pH值和全盐含量,与传统化肥比较,土壤总孔隙度和>0.25 mm团聚体分别增加了5.28%和4.24%;总持水量和CEC分别增加了11.76%和23.53%;容重、pH值和全盐含量分别降低了9.59%、9.17%和7.86%。而鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥有利于提高土壤的有机质含量、酶活性、速效氮磷钾含量、甜菜鲜根产量、含糖率和施肥利润,与传统化肥比较,土壤的有机质含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、磷酸酶活性和多酚氧化酶活性分别增加了16.69%、16.78%、30.36%、27.14%和19.23%;碱解氮、速效磷和速效钾含量分别提高了10.78%、12.03%和7.77%;甜菜鲜根产量、含糖率和施肥利润分别增加了5.94%、2.07%和0.23万元·hm⁻²。

关键词:有机物料组合肥;甜菜;耕地质量;产量;施肥利润

中图分类号:S566.3;S365;S158 **文献标志码:**A

Effects of combined organic materials on quality and benefit of cultivated land and sugar beet

ZHAO Rui¹, MAO Tao¹, QIN Jiahai²

(1. Cultivated Land Quality Management Station of Zhangye City, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Hexi Institute for College of Agriculture and Biotechnology, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: In the beet planting base of Mingyong Township, Ganzhou District, Zhangye City, Gansu Province, the effect of different combined organic materials returning to the field on cultivated land quality and beet quality and benefit was studied by field experiment for 3 consecutive years. The results showed that sheep manure + modified furfural residue + sunflower seed cake group increased the soil total porosity, >0.25mm aggregate, water holding capacity and CEC, and decreased the bulk density, pH value and total salt content. This group increased the soil total porosity and >0.25mm aggregate by 5.28% and 4.24%, respectively, compared with traditional chemical fertilizers. Total water holding capacity and CEC increased by 11.76% and 23.53%, respectively. The bulk density, pH value and total salt content decreased by 9.59%, 9.17% and 7.86%, respectively. Compared with traditional chemical fertilizer, chicken manure + edible fungus residue + rapeseed cake group improved soil organic matter content, enzyme activity, available nitrogen, phosphorus and potassium content, beet fresh root yield, sugar content and fertilizer profit. Soil organic matter content, sucrase activity, urease activity, phosphatase activity and polyphenol oxidase activity were increased by 16.69%, 16.78%, 30.36%, 27.14% and 19.23%, respectively. The content of alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 10.78%, 12.03% and 7.77%, respectively. The yield of fresh root, sugar content and fertilization profit increased by 5.94%, 2.07% and 0.23 million Yuan · hm⁻², respectively.

Keywords: combined organic materials; beet; cultivated land quality; output; fertilization profit

甘肃省张掖黑河内陆灌区截止 2019 年甜菜种植面积达到 $1\ 500\ \text{hm}^2$ ^[1],经社会实践调查,农户种植的甜菜产量为 $102\sim 108\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮磷钾纯养分投入量为 $0.98\sim 1.08\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,而有机肥氮磷钾纯养分投入量为 $0.15\sim 0.16\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。长期施用化肥导致耕地质量下降,生产的甜菜产量低,品质差^[2-5]。

有关有机物料对土壤质量和作物品质影响的研究报道较多。玉米秸秆还田提高了土壤有机质含量,使土壤理化性质得到改善^[6];牛粪对玉米田土壤物理化学性质的改善表现出积极作用^[7];鸡粪与稻秆、生物炭混施提高了砖红壤团聚体的稳定性^[8];牛粪降低了土壤酸碱度、电导率和碱化度^[9];生物炭和有机物料配合施用提高了沙土的氮磷钾含量^[10];有机物料提高了土壤磷的有效性^[11]、改善了黄壤土壤团聚体的结构和稳定性^[12]、提高了土壤微团聚体的有机碳含量^[13]。玉米秸秆还田为土壤微生物的生长繁殖提供了充足的碳源^[14];蘑菇渣促进了土壤微生物的繁殖^[15];鸡粪和家畜粪配合施用提高了土壤微生物的数量^[16];牛粪提高了土壤细菌和放线菌数量,抑制了真菌的增长^[17]。有机物料与化肥配施能够提高土壤酶活性^[18];葡萄酒渣复混肥提高了蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性^[19]。鸡粪可以降低重金属离子的生物有效性^[20];猪粪对土壤重金属 Cu、Zn 累积具有一定的促进作用^[21];鸡粪对土壤中 Pb、Cd 具有较强的钝化作用^[22];猪粪、鸡粪和污泥促进了 Cu、Zn 在土壤中的累积,但对 Cd、Cr、Pb 和 Ni 没有显著影响^[23];有机物料降低了水稻根系对土壤 Cd 的吸收富集^[24]。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^[25];沼渣还田改善了番茄的品质^[26];有机物提升了黄瓜果实 Vc 含量^[27];糠醛渣生态肥提高了甜菜单株块根重和块鲜根产量^[28];糠醛渣有机碳生态肥提高了甜菜根体长度和产量^[29];有机物料还田能够显著提高作物产量^[30]。

综上所述,前人研究主要集中在有机物料单独施用对土壤理化性质、生物学性质、重金属和作物产量方面,而有机物料组合肥还田对耕地质量及甜菜品质和效益影响的研究尚少见文献报道。2016 年甘肃省张掖市分布着 $9.78\times 10^6\ \text{t}$ 的有机物料(畜禽粪便有机肥 $8.08\times 10^6\ \text{t}$,作物秸秆 $1.55\times 10^6\ \text{t}$,废渣 $9.83\times 10^4\ \text{t}$,饼肥 $5.54\times 10^4\ \text{t}$),用于沼气工程、直接还田的占 55%,剩余 $4.40\times 10^6\ \text{t}$ 有机物料堆放在农村居民点周围,对农村生态环境造成了污染^[31]。经分析这些有机物料含有机质 25.41%~42.27%,N 0.21%~1.03%, P_2O_5 0.17%~0.81%, K_2O 0.13%~

0.63%,而重金属 Hg、Cd、Cr、Pb 含量均小于国家规定的畜禽粪便含量标准(GB8172—87)^[32]。为了解决研究区域长期施用化肥、耕地质量下降、甜菜品质差和有机物料对乡村生态环境污染的问题,本文以研究区资源丰富的有机物料为试材,在室内合成系列有机物料组合肥并进行田间验证试验,旨在为研究区有机物料资源循环利用、改善耕地质量、提高甜菜品质和效益提供理论指导和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验在甘肃省张掖市甘州区明永镇燎原村甜菜种植基地($100^{\circ}21'45''\text{E}$, $39^{\circ}01'53''\text{N}$)进行,海拔 1 453 m,降水量 116 mm,蒸发量 1 850 mm,气温 7.50°C ,日照时数 3 053 h,无霜期 160 d。土壤类型是灌淤旱作人为土^[33],0~20 cm 土层碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 72.03、9.69、135.32 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;有机质、CEC(阳离子交换量)、全盐和 pH 值分别为 20.87 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、19.72 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、2.42 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 8.22;容重、总孔隙度和团聚体分别为 1.49 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、43.77%和 24.87%,前茬作物是葵花。

1.1.2 试验材料 甜菜品种(HIO-474,瑞士先正达公司选育);改性糠醛渣(在 1 000 kg 糠醛渣中加入 35 kg 碳酸氢铵把 pH 值由 4.20 调整到 6.50);鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥(鸡粪、食用菌渣、油菜籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥(羊粪、改性糠醛渣、葵花籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);猪粪+沼渣+棉籽饼组合肥(猪粪、沼渣、棉籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);牛粪+葡萄酒渣+胡麻籽饼组合肥(牛粪、葡萄酒渣、胡麻籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合),其他试验材料有效成分见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 有机物料组合肥发酵 2016 年 4 月 15 日将各种有机物料自然风干粉碎后过 20 mm 筛。按照试验处理配制 4 种有机物料组合肥,调整水分含量至 60%~65%,堆成高 2.00 m 的梯形,盖上废旧塑料薄膜,在塑料薄膜上开直径 3~5 cm 小洞若干个,堆在温室内(室温 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$),鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥发酵 70 d,间隔 35 d 搅拌 1 次,羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥发酵 140 d,间隔 46 d 搅拌 1 次,猪粪+沼渣+棉籽饼组合肥发酵 55 d,间隔 28 d 搅拌 1 次,牛粪+葡萄酒渣+胡麻籽饼组合肥发

表 1 参试材料有效成分

Table 1 Active ingredients of the material

参试材料 Material	有机质/% Organic matter	有机碳/% Organic carbon	N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%	粒径/mm Particle size
尿素 Urea	0.00	0.00	46.00	0.00	0.00	2~3
磷酸二铵 Diammonium phosphate	0.00	0.00	18.00	46.00	0.00	3~4
硫酸钾 Potassium sulfate	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	1~2
鸡粪 Chicken manure	42.77	24.81	1.03	0.41	0.72	1~20
羊粪 Sheep manure	38.30	22.22	0.11	0.22	0.53	1~20
猪粪 Pig manure	15.62	9.06	0.60	0.40	0.44	1~20
牛粪 Cow manure	14.50	8.41	0.32	0.25	0.16	1~20
食用菌渣 Edible fungi residue	56.43	32.73	1.22	0.73	1.46	1~20
改性糠醛渣 Modified furfural residue	52.21	30.28	0.66	0.34	1.18	1~20
沼渣 Biogas residue	36.51	21.18	0.61	0.25	0.76	1~20
葡萄酒渣 Wine residue	40.12	23.27	0.26	0.94	1.20	1~20
油菜籽饼 Rapeseed cake	73.80	42.81	3.25	0.80	1.04	1~20
葵花籽饼 Sunflower seed cake	92.40	53.60	2.76	0.43	1.32	1~20
棉籽饼 Cottonseed cake	83.60	48.49	2.29	0.54	0.76	1~20
胡麻籽饼 Sesame seed cake	92.50	53.65	2.60	0.56	0.57	1~20
鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼 Chicken manure, edible mushroom residue and rapeseed cake	45.25	26.20	1.11	0.46	0.82	1~20
羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼 Sheep manure, modified furfural residue and sunflower seed cake	41.39	24.00	0.52	0.24	0.63	1~20
猪粪+沼渣+棉籽饼 Pig manure, biogas residue and cottonseed cake	19.93	11.57	0.64	0.38	0.48	1~20
牛粪+葡萄酒渣+胡麻籽饼 Cow manure, wine dregs and sesame seed cake	19.66	11.40	0.37	0.33	0.30	1~20

酵 90 d, 间隔 30 d 搅拌 1 次。待堆内温度降到室温, 堆内出现灰白色菌丝时发酵结束^[34], 将上述发酵物料放置在阴凉干燥处自然风干至含水量小于 5% 后备用。

1.2.2 试验处理 试验设计 6 个处理, 处理 1 为对照 (不施肥); 处理 2 为传统化肥, 尿素+磷酸二铵+硫酸钾施用量为 $0.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} + 0.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} + 0.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 处理 3 为鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼, 施用量 $34.67 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 处理 4 为羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼, 施用量 $74.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 处理 5 为猪粪+沼渣+棉籽饼, 施用量 $76.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 处理 6 为牛粪+葡萄酒渣+胡麻籽饼, 施用量 $81.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2017—2019 年, 于每年的 4 月 20 日将磷酸二铵、硫酸钾、有机物料组合肥在播种前撒入小区, 浅耕翻入 20cm 土层; 在甜菜苗期结合灌水追施尿素 $0.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 在块根膨大期结合灌水追施尿素 $0.60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 追肥方法为穴施, 追肥深度 10 cm。为了使试验具有可比性, 将处理 2、3、4、5 和 6 施肥成本均设计为 $0.50 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每个处理 3 次重复, 随机区组排列。

1.2.3 种植方法 小区面积 36 m^2 ($8.00 \text{ m} \times 4.50 \text{ m}$), 每个小区四周筑埂。播种前起垄, 垄高、垄距和

垄宽为 $35 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, 在垄上铺上滴灌带和地膜。2017—2019 年, 每年 4 月 20 日播种, 深度、株距和行距为 $1.50 \text{ cm} \times 24 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, 每垄 2 行。在播种后、苗期、生长盛期、块根膨大期和收获前各灌水 1 次, 每小区灌水量 9 m^3 , 2017—2019 每年的 10 月 6 日收获。

1.2.4 样品采集方法 2017—2019 每年的 10 月 3 日甜菜收获时每个小区随机采集 15 株测定根体长度、根直径、单株鲜根质量和鲜根产量, 将小区鲜根产量换算成公顷产量进行统计分析。连续定点试验 3 a 后, 于 2019 年 10 月 6 日甜菜采收后, 分别在试验小区内按对角线布置 5 个采样点, 各采集 0~20 cm 耕作层土样 5 kg, 用四分法留 2 kg, 其中 1 kg 新鲜土样放入 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱避光保存用于测定土壤酶活性, 另外 1 kg 土样风干过 1 mm 筛供室内化验分析 (容重、团聚体用环刀采集原状土, 未进行风干)。

1.2.5 测定指标与方法 土壤容重、总孔隙度和 $>0.25 \text{ mm}$ 土壤团聚体测定分别采用环刀法、计算法和干筛法; pH 值、CEC、全盐和有机质测定分别采用酸度计法 (水土比 5:1)、乙酸铵-氯化铵法、电导法和重铬酸钾氧化-外加加热法; 碱解氮、速效磷和速效钾测定分别采用扩散法、 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色

法、 NH_4OAC_3 浸提-火焰光度法;总持水量按公式:总持水量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)=面积 $\times$ 总孔隙度($\%$) $\times$ 土层深度(m)求得^[35];土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶活性测定分别采用 3,5-二硝基水杨酸比色法、靛酚比色法、磷酸苯二钠比色法、碘量滴定法^[36];甜菜含糖率和根直径测定分别采用手持式测糖仪和游标卡尺。

1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析,采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 施用有机物料组合肥对土壤质量的影响

2.1.1 对理化性质的影响 连续定点试验 3 a 后于 2019 年 10 月 3 日测定数据可知(表 2),不同处理土壤容重为:处理 4<处理 3<处理 5<处理 6<处理 2<处理 1;总孔隙度、 >0.25 mm 团聚体和总持水量为:处理 4>处理 3>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1。处理 4、处理 3 与处理 2 比较,容重降低 9.59%和 8.22%,总孔隙度增加 5.28%和 4.52%, >0.25 mm 团聚体增加 4.24%和 3.37%,总持水量增加 11.76%和 10.06%($P<0.01$);处理 5、处理 6 与处理 2 比较,容重降低 6.16%和 5.84%,总孔隙度增加 3.69%和 2.82%, >0.25 mm 团聚体增加 2.48%和 1.89%,总持水量增加 8.22%和 6.28%($P<0.05$)。不同处理土壤 pH 值为:处理 4<处理 3<处理 5<处理 6<处理 2<处理 1;CEC 为:处理 4>处理 3>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1;全盐为:处理 4<处理 3<处理 5<处理 6<处理 1<处理 2。处理 4 与处理 2 比较,pH 值降低 9.17%,CEC 增加 23.53%($P<0.01$),全盐降低 7.79%,($P<0.05$);处理 3 与处理 2 比较,pH 值和全盐降低 6.97%和 5.74%($P<0.05$),CEC 增加 13.41%($P<0.01$);处理 5 与处理 2 比较,pH 值和全盐降低 3.92%和 4.10%($P>0.05$),CEC 增加 12.56%($P<0.01$);处理 6 与处理 2 比较,pH 值和全盐分别降低 3.30%和 3.28%($P>0.05$),CEC 增加 12.01%($P<0.01$)。

2.1.2 对有机质和速效氮磷钾的影响 由表 3 可知,不同处理土壤有机质为:处理 3>处理 4>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1。处理 3、处理 4 与处理 2 比较,有机质分别增加 16.69%和 15.77%($P<0.01$),处理 5、处理 6 与处理 2 比较,有机质分别增加 7.37%和 6.87%。不同处理碱解氮为:处理 3>处理 5>处理 4>处理 6>处理 2>处理 1;速效磷为:处理 3>处理 5>处理 6>处理 4>处理 2>处理 1;速效钾为:处理 3>处理 4>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1。处理 3 与处理

2 比较,碱解氮增加 10.78%($P<0.01$);处理 5、处理 4、处理 6 与处理 2 比较,碱解氮分别增加 4.12%、2.04%和 1.01%($P>0.05$)。处理 3 与处理 2 比较,速效磷增加 12.03%($P<0.01$);处理 5 与处理 2 比较,速效磷增加 5.89%($P<0.05$);处理 6、处理 4 与处理 2 比较,速效磷分别增加 3.12%和 2.08%($P>0.05$)。处理 3、处理 4 与处理 2 比较,速效钾分别增加 7.77%和 5.33%($P<0.05$);处理 5、处理 6 与处理 2 比较,速效钾分别增加 2.28%和 0.62%($P>0.05$)。

2.1.3 对酶活性的影响 由表 3 可知,不同处理土壤酶活性为:处理 3>处理 4>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1。处理 3 与处理 2 比较,蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶活性分别增加 16.78%、30.36%、27.14%和 19.23%($P<0.01$);处理 4 与处理 2 比较,脲酶和磷酸酶活性分别增加 27.74%和 15.02%($P<0.01$),蔗糖酶和多酚氧化酶活性分别增加 8.72%和 7.69%($P<0.05$);处理 5 与处理 2 比较,脲酶活性增加 16.21%($P<0.01$),蔗糖酶、磷酸酶和多酚氧化酶活性分别增加 7.61%、8.51%和 5.13%($P<0.05$);处理 6 与处理 2 比较,蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性分别增加 6.27%、6.39%和 5.27%($P<0.05$),多酚氧化酶活性增加 2.56%($P>0.05$)。

2.2 施用有机物料组合肥对甜菜经济性状及品质和效益的影响

从 2017—2019 年测定的平均数据可以看出(表 4),不同处理甜菜根体长度、根直径和单株鲜根质量为:处理 3>处理 5>处理 4>处理 6>处理 2>处理 1。处理 3 与处理 2 比较,根体长度和根直径分别增加 13.04%和 11.94%($P<0.01$),单株鲜根质量和鲜根产量分别增加 7.01%和 5.94%($P<0.05$);处理 5 与处理 2 比较,根体长度、根直径、单株鲜根质量和鲜根产量分别增加 6.27%、5.19%、5.14%、5.09%($P<0.05$);处理 4 与处理 2 比较,根体长度、根直径和鲜根产量分别增加 3.08%、3.15%、4.25%($P>0.05$),单株鲜根质量增加 5.26%($P<0.05$);处理 6 与处理 2 比较,根体长度、根直径、单株鲜根质量和鲜根产量分别增加 1.02%、2.13%、4.39%、3.80%($P>0.05$)。不同处理含糖率为:处理 3>处理 4>处理 5>处理 6>处理 2>处理 1。处理 3、处理 4 与处理 2 比较,含糖率分别增加 16.63%和 15.34%($P<0.01$),处理 5、处理 6 与处理 2 比较,含糖率分别增加 5.62%和 5.38%($P<0.05$)。不同处理施肥利润为:处理 3>处理 5>处理 4>处理 6>处理 2。处理处理 3、处理 5、处理 4、处理 6 与处理 2 比较,施肥利润分别增加 0.23、0.20、0.17、0.15 万元 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表2 施用有机物料组合肥对土壤理化性质的影响
Table 2 Effects of organic materials on soil physical and chemical properties

处理 Treatment	容重 Bulk density /(g·cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity/%	>0.25 mm 团聚体 >0.25 mm aggregate/%	总持水量 Total capacity /(t·hm ⁻²)	pH	CEC /(cmol·kg ⁻¹)	全盐 Soluble salt /(g·kg ⁻¹)
1	1.49aA	43.77cB	24.87cB	875.40cB	8.22aA	19.72bB	2.42aA
2	1.46aA	44.91cB	25.12cB	898.20cB	8.18aA	20.67bB	2.44aA
3	1.34bB	49.43aA	28.49aA	988.60aA	7.61cB	23.87aA	2.30bA
4	1.32bB	50.19aA	29.36aA	1003.80aA	7.43cB	24.36aA	2.25bA
5	1.37cA	48.60aA	27.60bA	972.00bA	7.86bB	23.64aA	2.34bA
6	1.38cA	47.73bA	27.01bA	954.60bA	7.91bB	23.49aA	2.36bA

注:同列数据不同大写字母表示 LSR_{0.01} 差异显著,不同小写字母表示 LSR_{0.05} 差异显著。下同。

Note: Different uppercase letters in the same column indicate significant LSR_{0.01}, and different lowercase letters indicate significant difference level of LSR_{0.05}. The same as below.

表3 施用有机物料组合肥对土壤有机质、氮磷钾及土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of application of organic material group on soil organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and soil enzyme activities

处理 Treatment	有机质含量 Organic matter content /(g·kg ⁻¹)	碱解氮含量 Alkaline nitrogen content /(mg·kg ⁻¹)	速效磷含量 Available phosphorus content /(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量 Available potassium content /(mg·kg ⁻¹)	蔗糖酶活性 Sucrose activity /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性 Urease activity /(mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	磷酸酶活性 Phosphatase activity /(g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	多酚氧化 酶活性 Polyphenol oxidase activity /(mL·g ⁻¹)
1	20.87cC	72.03cC	9.69dC	135.32dB	52.47cC	38.52bB	23.62cB	0.76cC
2	21.69cB	89.24bB	11.55cB	148.76cA	53.46cC	39.30bB	24.10cB	0.78cC
3	25.31aA	98.86aA	12.94aA	160.32aA	62.43aA	51.23aA	30.64aA	0.93aA
4	25.11aA	91.06bB	11.79cB	156.70bA	58.12bA	50.20aA	27.72aA	0.84bA
5	23.29bB	92.92bB	12.23bB	152.15cA	57.53bB	45.67bB	26.15bB	0.82bB
6	23.18bB	90.14bB	11.91cB	149.68cA	56.81bB	41.81bB	25.37bB	0.80bB

表4 施用有机物料组合肥对甜菜经济性状及品质和效益的影响

Table 4 Effects of application of organic materials on economic characters, quality and benefit of sugar beet

处理 Treatment	根体长度/cm Length of the root	根直径/cm Root diameter	单株鲜根质量 /(kg·株 ⁻¹) Quality of fresh root per plant	含糖率/% Sugar content	鲜根产量 /(t·hm ⁻²) Fresh root yield	增产值 /(万元·hm ⁻²) Unit yield increment /(10 ⁴ Yuan·hm ⁻²)	施肥成本 /(万元·hm ⁻²) Fertilization costs /(10 ⁴ Yuan·hm ⁻²)	施肥利润 /(万元·hm ⁻²) Fertilization profits /(10 ⁴ Yuan·hm ⁻²)
1	21.45dC	8.97cC	1.01cB	10.99dC	83.54cB			
2	25.53cB	10.80cB	1.14bA	12.45cB	98.25bA	0.59	0.50	0.09
3	28.86aA	12.09aA	1.22aA	14.52aA	104.09aA	0.82	0.50	0.32
4	26.32cb	11.14cB	1.20aA	14.36aA	102.43bA	0.76	0.50	0.26
5	27.13bB	11.36bB	1.21aA	13.15bB	103.25aA	0.79	0.50	0.29
6	25.79cB	11.03cB	1.19bA	13.12bB	101.98bA	0.74	0.50	0.24

注:尿素 1 800.00 元·t⁻¹;磷酸二铵 3 800.00 元·t⁻¹;硫酸钾 3 000.00 元·t⁻¹;腐熟鸡粪 130.00 元·t⁻¹;腐熟羊粪 52.00 元·t⁻¹;腐熟猪粪 56.00 元·t⁻¹;腐熟牛粪 44.00 元·t⁻¹;腐熟食用菌渣 205.00 元·t⁻¹;改性糠醛渣 130.00 元·t⁻¹;沼渣 98.00 元·t⁻¹;腐熟葡萄酒渣 145.00 元·t⁻¹;腐熟油菜籽饼 305.00 元·t⁻¹;腐熟葵花籽饼 270.00 元·t⁻¹;腐熟棉籽饼 215.00 元·t⁻¹;腐熟胡麻籽饼 224.00 元·t⁻¹;鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥 143.76 元·t⁻¹(鸡粪、食用菌渣、油菜籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥 67.20 元·t⁻¹(羊粪、改性糠醛渣、葵花籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);猪粪+沼渣+棉籽饼组合肥 65.23 元·t⁻¹(猪粪、沼渣、棉籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);牛粪+葡萄酒渣+胡麻籽饼组合肥 61.13 元·t⁻¹(牛粪、葡萄酒渣、胡麻籽饼风干重量比按 0.8500 : 0.1250 : 0.025 混合);2017—2019 年甜菜块根市场平均售价 400 元·t⁻¹。

Note: Urea 1 800.00 Yuan·t⁻¹; Diammonium phosphate 3 800.00 Yuan·t⁻¹; Potassium sulfate 3 000.00 Yuan·t⁻¹; Rotten chicken manure 130.00 Yuan·t⁻¹; Rotten sheep manure 52.00 Yuan·t⁻¹; Rotten pig manure 56.00 Yuan·t⁻¹; Rotten cow manure 44.00 Yuan·t⁻¹; Preserved edible fungus residue 205.00 Yuan·t⁻¹; Modified furfural residue 130.00 Yuan·t⁻¹; Renewal 98.00 Yuan·t⁻¹; Preserved wine lees 145.00 Yuan·t⁻¹; Rancid rapeseed cake 305.00 Yuan·t⁻¹; Rancid sunflower seed cake 270.00 Yuan·t⁻¹; Rancid cottonseed cake 215.00 Yuan·t⁻¹; Rancid sesame seed cake 224.00 Yuan·t⁻¹; Chicken manure + edible mushroom residue + rapeseed cake group 143.76 Yuan·t⁻¹(Chicken manure, edible mushroom residue and rapeseed cake air-dried weight ratio were mixed at 0.8500 : 0.1250 : 0.025); Sheep manure + modified furfural residue + sunflower seed cake group 67.20 Yuan·t⁻¹(The air-dried weight ratio of sheep manure, modified furfural residue and sunflower seed cake was mixed at 0.8500 : 0.1250 : 0.025); Pig manure + biogas residue + cottonseed cake group 65.23 Yuan·t⁻¹(The air drying weight ratio of pig manure, biogas residue and cottonseed cake was mixed at 0.8500 : 0.1250 : 0.025); Cow manure + wine residue + flax seed cake group 61.13 Yuan·t⁻¹(The air-dried weight ratio of cow manure, wine residue and sesame seed cake was 0.8500 : 0.1250 : 0.025). The average price of beet root market from 2017 to 2019 is 400 Yuan·t⁻¹.

3 讨 论

施用羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥的甜菜种植田物理性质和持水量表现为:容重降低、孔隙度、团聚体和总持水量增大;化学性质表现为:阳离子交换量增大、pH 值和全盐降低。上述变化规律究其原因羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥比较疏松、容重小,因而增大土壤孔隙度,降低了容重;糠醛渣在土壤中合成的腐殖质促进了团聚体的形成^[37];腐殖质的吸水率为 500%,因而提高了持水量^[38];腐殖质提高了土壤的保肥性,因而增大了 CEC^[39];糠醛渣是一种酸性有机废弃物,因而降低了土壤 pH 值^[40];羊粪、糠醛渣和葵花籽饼盐基离子含量比其他处理低,因而降低了土壤全盐含量。

鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥比其他处理更有利于提高土壤有机质、酶活性、速效氮磷钾、甜菜含糖率、根体长度、根直径、单株鲜根质量和鲜根产量。究其原因是鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥有机质含量比其他处理高,因而提升了肥料的有机质含量;有机质为土壤酶创造了良好的生态环境条件,因而提高了酶的活性;鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥速效氮磷钾含量比其他处理高,因而提高了土壤氮磷钾含量;鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥提高了甜菜含糖率,这种变化规律与有机质和速效钾含量高有关,鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥土壤耕作层有机质分别是处理 4、5、6 的 1.01、1.08、1.09 倍,速效钾分别是处理 4、5、6 的 1.02、1.05、1.07 倍;鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥有机质和速效氮磷钾含量高,肥效较长,源源不断供给甜菜营养,因而提高了产量。

4 结 论

羊粪+改性糠醛渣+葵花籽饼组合肥比其他处理更有利于提高土壤孔隙度、团聚体、总持水量和阳离子交换量,降低容重、pH 值和全盐含量;鸡粪+食用菌渣+油菜籽饼组合肥比其他处理有利于提高土壤有机质含量、酶活性、速效氮磷钾含量,使甜菜根体长度、根直径、单株鲜根质量、鲜根产量、含糖率 and 经济效益提升。而传统化肥有利于提高土壤全盐、CEC、碱解氮、速效磷和速效钾,对容重、总孔隙度、团聚体、总持水量、有机质和土壤酶活性无显著影响。在甜菜种植田上施用有机物料组合肥,改善了土壤理化性质和甜菜品质,提高了土壤有机质及酶活性和甜菜经济效益,促进了有机物料资源循环利用和增值,为保障国家甜菜安全生产提供了技术支撑。

参 考 文 献:

- [1] 李成春,张掖黑河流域绿洲灌区甜菜发展探讨[J].中国糖料,2018,40(2):78-80.
LI C C. Development of sugar beet in oasis irrigated area of Heihe river basin, Zhangye[J]. Sugar Crops of China, 2018, 40(2): 78-80.
- [2] 苏文斌,樊福义,郭晓霞,等.华北区甜菜生产布局、存在的问题、发展趋势及对策建议[J].中国糖料,2016,38(6):66-70.
SU W B, FAN F Y, GUO X X, et al. The production distribution, problems, developmental trend and countermeasure of sugarbeet production in the north China region[J]. Sugar Crops of China, 2016, 38(6): 66-70.
- [3] 蔺多钰.提高河西走廊甜菜产量和品质的对策探讨[J].中国糖料,2018,40(2):75-77.
LIN D Y. Countermeasures to improve the yield and quality of sugar beet in Hexi corridor[J]. Sugar Crops of China, 2018, 40(2): 75-77.
- [4] 郑毅,李庆会,范富,等.糖用甜菜氮磷钾配方施肥效益分析[J].中国土壤与肥料,2016,(1):77-82.
ZHENG Y, LI Q H, FAN F, et al. Effect of N, P, K formula fertilization on the sugar beet[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2016, (1): 77-82.
- [5] 李文晶,张福顺.甜菜氮肥的合理施用[J].中国糖料,2020,42(1):50-56.
LI W J, ZHANG F S. Discussion on rational application of nitrogen fertilizer in sugar beet[J]. Sugar Crops of China, 2020, 42(1): 50-56.
- [6] 丛艳静,韩萍.连续 3 年玉米秸秆还田对土壤理化性状及作物产量的影响[J].中国农学通报,2018,34(17):95-98.
CONG Y J, HAN P. Maize straw returning for three consecutive years: effects on soil physical and chemical properties and crop yield [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(17): 95-98.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(8): 1290-1299.
- [10] 侯建伟,邢存芳,严学佳,等.不同物料和时间对沙土全量氮磷钾含量的影响[J].南方农业,2020,14(14):128-129,132.
HOU J W, XING C F, YAN X J, et al. Effects of different materials and time on total nitrogen, phosphorus and potassium content in sandy soil [J]. South China Agriculture, 2020, 14(14): 128-129, 132.
- [11] 陈利军,蒋瑞莹,王浩田,等.长期施用有机物料对旱地红壤磷组分及磷素有效性的影响[J].土壤,2020,52(3):451-457.

- CHEN L J, JIANG Y J, WANG H T, et al. Effects of long-term application of organic materials on phosphorus fractions and availability in red soil[J]. *Soils*, 2020, 52(3): 451-457.
- [12] 金亚波,寇智瑞,韦建玉,等.有机物料对黄壤烟田土壤团聚体组成及土壤肥力的影响[J].*西南大学学报(自然科学版)*,2020,42(8): 9-16.
- JIN Y B, KOU Z R, WEI J Y, et al. Effects of organic materials on soil available nutrients and aggregate composition in continuous cropping tobacco fields[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science)*, 2020, 42(8): 9-16.
- [13] 陈晓东,吴景贵,范围,等.有机物料对原生盐碱土微团聚体特征及稳定性的影响[J].*水土保持学报*,2020,34(2):201-207.
- CHEN X D, WU J G, FAN W, et al. Effect of organic materials on the characteristics and stability of micro-aggregates in the native saline-alkali soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(2): 201-207.
- [14] 董珊珊,窦森.玉米秸秆不同还田方式对黑土有机碳组成和结构特征的影响[J].*农业环境科学学报*,2017,36(2):322-328.
- DONG S S, DOU S. Effect of different ways of corn stover application to soil on composition and structural characteristics of organic carbon in black soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(2): 322-328.
- [15] 许灵杰,王廷清,袁黔华,等.增施蘑菇渣与稻壳粉对土壤微生物及烤烟生长发育的影响[J].*贵州农业科学*,2017,45(6):87-90.
- XU L J, WANG T Q, YUAN Q H, et al. Effects of applying mushroom residue and rice hull powder on soil microorganism and flue-cured tobacco growth[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2017, 45(6): 87-90.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 张启明,陈仁霄,管成伟,等.不同有机物料对土壤改良和烤烟产量的影响[J].*土壤*,2018,50(5):929-933.
- ZHANG Q M, CHEN R X, GUAN C W, et al. Effects of different organic materials on soil improvement and tobacco yield and quality[J]. *Soils*, 2018, 50(5): 929-933.
- [19] 马宗海,闫治斌,王学,等.葡萄酒渣复混肥对制种玉米田改土培肥效应研究[J].*中国种业*,2015,(10):54-57.
- MA Z H, YAN Z B, WANG X, et al. Effect of wine residue compound fertilizer on soil improvement and fertilizer cultivation in seed maize field[J]. *China Seed Industry*, 2015, (10): 54-57.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 刘高云,柏宏成,叶碧莹,等.三种有机物料组成性质及其对土壤Cd形态与水稻Cd含量的影响[J].*农业环境科学学报*,2019,38(8):1844-1854.
- LIU G Y, BAI H C, YE B Y, et al. Composition and properties of three organic materials and their effects on soil Cd speciation and Cd content in rice[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(8): 1844-1854.
- [25] 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]. *Soils and Crops*, 2018, 7(4): 412-418.
- [26] 贾亮亮,赵京奇,杨晨璐,等.追施沼肥对番茄生长、产量和品质的影响[J].*西北农业学报*,2017,26(6):897-905.
- JIA L L, ZHAO J Q, YANG C L, et al. Effect of topdressing biogas fertilizer on growth, yield and quality of tomato[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2017, 26(6): 897-905.
- [27] 刘传云,管西林,邹春琴,等.不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响[J].*农业环境科学学报*,2020,39(2):360-368.
- LIU C Y, GUAN X L, ZOU C Q, et al. Effects of different organic materials on the growth of greenhouse cucumber and soil properties [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(2): 360-368.
- [28] 程富荣,陈修斌.糠醛渣生态肥配方筛选及对甜菜经济效益影响的研究[J].*中国糖料*,2017,39(4):18-20.
- CHENG F R, CHEN X B. Formulation screening and effects of furfural slag ecological fertilizer on economic benefits of sugarbeet[J]. *Sugar Crops of China*, 2017, 39(4): 18-20.
- [29] 魏腾飞,陈修斌.糠醛渣有机碳生态肥配方筛选及对甜菜经济效益的影响[J].*中国糖料*,2017,39(2):11-14.
- WEI T F, CHEN X B. Formula screening of ecological fertilizer from furfural residue organic carbon and impact on economic benefits of sugar beet[J]. *Sugar Crops of China*, 2017, 39(2): 11-14.
- [30] 李春喜,刘晴,邵云,等.有机物料还田和减施氮肥对麦-玉周年农