

朱凤君,张春燕,乔印虎,等. 3 种秸秆生物炭对土壤理化性质和樱桃萝卜生长的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(21):190-196.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.21.024

3 种秸秆生物炭对土壤理化性质 和樱桃萝卜生长的影响

朱凤君¹, 张春燕^{1,2}, 乔印虎¹, 张 刚¹, 何春霞³, 王 宁¹

(1. 安徽科技学院,安徽凤阳 233100; 2. 安徽云龙粮机有限公司,安徽阜阳 236500; 3. 南京农业大学,江苏南京 210031)

摘要:为了研究不同种类秸秆生物炭对土壤及樱桃萝卜生长的影响,以水稻、小麦及油菜秸秆为原料,分别在 550 ℃ 限氧 60 min 的条件下制备稻秆生物炭、麦秆生物炭及菜秆生物炭并对其进行比较研究,设置 CK(不施生物炭)、4SDC(添加 4% 稻秆生物炭)、8SDC(添加 8% 稻秆生物炭)、4XMC(添加 4% 麦秆生物炭)、8XMC(添加 8% 麦秆生物炭)、4YCC(添加 4% 菜秆生物炭)及 8YCC(添加 8% 菜秆生物炭)处理组。结果表明,在土壤特性方面,与 CK 相比,不同添加量、不同种秸秆生物炭处理不同程度地降低了土壤容重,提高了土壤 pH 值、田间持水量及养分含量,其中有机质含量提高了 18.6%~37.36%,对土壤中全氮、全磷、全钾含量的作用不显著,土壤中有效磷、有效钾、硝态氮含量分别为 43.48~57.74、572.63~825.31、29.03~34.76 mg/kg。与其他处理组相比,8SDC 处理对土壤有效态含量的作用较强。在作物特性方面,与 CK 相比,不同处理组均不同程度地提高了樱桃萝卜的株高,地上部生物量、地下部生物量的增长率分别为 2.55%~9.55%、4.42%~12.15%,以 8SDC 处理的提高幅度相对最高。综上所述,稻秆生物炭更适宜用于土壤改良。

关键词:生物炭;樱桃萝卜;土壤理化性质;秸秆

中图分类号:S156;S631.104;S631.106. *1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)21-0190-07

安徽省凤阳县位于淮河中游南岸,该地气候温和,四季分明,光照充足,主产水稻、小麦、油菜、大豆、玉米等农产品,复种指数高。当地农民为了追求产量,频繁施用化肥及农药,使得土壤沙化严重,保肥、保水能力较差,土壤黏重板结,通气性一般。因此,改善凤阳地区土壤的理化性质、提高土壤的持水能力、增加土壤的肥力以防止土壤结构持续恶化迫在眉睫。

生物炭是以农林作物秸秆或动物粪便等为原料,在限氧或无氧环境下、300~1 000 ℃ 热解有机物质而产生的富碳产物^[1]。生物炭具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积,富含有机碳,pH 值一般呈弱碱性等^[2-3],被广泛应用于农业领域。马光恕等

通过设置生物炭的不同添加量,研究其对土壤、甜瓜幼苗质量的影响发现,生物炭的施入提高了土壤的 pH 值和含水量,降低了土壤的容重,提高了幼苗的质量^[4]。也有研究发现,在相对较低的温度(≤ 400 ℃)处理下,秸秆类热解生物炭能很好地改善土壤 pH 值(提高 10% 左右)^[5]。于玲玲等通过分析生物炭在不同施用水平下对水分利用效率的影响发现,施用生物炭能提高 0~100 cm 土层土壤的含水率、提高土壤的呼吸速率、增强土壤的蓄水保墒能力,同时增加土壤有机碳、有效磷等养分含量,改善土壤肥力,促进玉米产量及水分利用率的提高^[6]。魏永霞等也研究发现,生物炭的施入能提高黑土区的田间持水率,增加土壤的饱和含水率,提高 0~60 cm 土层土壤的储水量,提高大豆各生育阶段的株高及叶面积^[7]。樊洪等的研究也证实,生物炭能够显著改善土壤结构,增加土壤有机质、全氮等养分含量及有效性,显著提升白菜的产量及品质^[8]。

综上,关于生物炭在土壤中的应用研究,目前研究者主要偏向研究不同浓度梯度的同种生物炭对土壤理化性质及作物产量的影响,针对不同种类生物炭对土壤理化性质影响的对比分析较少。本

收稿日期:2023-10-18

基金项目:滁州市重点研究开发科技计划(编号:2022ZN014、2022ZN016);安徽省高校自然科学研究项目(编号:2022AH040238);安徽省粮食机械乡村振兴协同技术服务中心项目(编号:GXXT-2022-077);安徽省自然科学基金面上项目(编号:2308085ME178)。

作者简介:朱凤君(1991—),女,安徽凤阳人,硕士研究生,主要研究农作物秸秆的资源化利用。E-mail:1271893128@qq.com。

通信作者:张春燕,博士,副教授,主要从事农业废弃物制备工艺及应用方面的研究。E-mail:464958178@qq.com。

研究针对凤阳地区土壤沙化度高、通气性一般、黏重板结等问题,选用稻秆、麦秆及菜秆生物炭为研究对象,分析不同种类秸秆生物炭对土壤理化特性影响的差异,以期找到适合改良土壤的农作物秸秆,为农作物秸秆的高效科学利用提供数据支撑,从而促进农业的绿色发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验于 2023 年 7—8 月在安徽科技学院(32°37'N,117°19'E)校内进行。凤阳县气候呈由北亚热带向南温带渐变的过渡特征,气候温和,四季分明,阳光充足,年平均气温 14.9℃,年均降水量 904.4 mm。取回土壤后将其风干,剔除可见动植物残骸后过 2 mm 筛备用。试验供试土壤 0~20 cm 土层的理化性质:pH 值为 7.27,有机质含量为 31.63 g/kg,全氮含量为 1.97 g/kg,全钾含量为 18.02 g/kg,全磷含量为 1.13 g/kg,有效磷含量为 46.44 mg/kg,有效钾含量为 593.07 mg/kg。试验期间的温度变化见图 1。

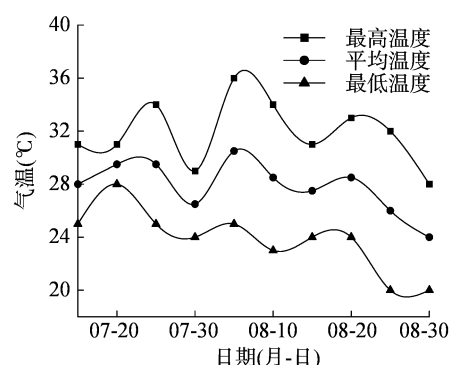


图1 试验期间的温度变化

1.2 生物炭的制备及表征

供试生物炭由取自安徽科技学院农学院种植基地的水稻秸秆、小麦秸秆及油菜秸秆制作而成。将收获来的水稻秸秆、小麦秸秆及油菜秸秆晾晒风干、擦拭干净后剪成 1~2 cm 长的小段,置于马弗炉中,于 550℃限氧条件下热解 60 min,炭化结束后冷却至室温,取出生物炭,研磨粉碎后装入密封袋中备用。稻秆生物炭、麦秆生物炭、菜秆生物炭分别记为 SDC、XMC、YCC。秸秆生物炭的理化特性见表 1。

表 1 不同种类秸秆生物炭的理化性质

秸秆生物炭	pH 值	碳含量 (%)	H/C	O/C	(O+N)/C	比表面积 (m ² /g)	平均孔径 (nm)
SDC	9.47	49.00	0.052	0.26	0.27	56.98	3.27
XMC	8.86	52.01	0.049	0.24	0.25	37.88	2.76
YCC	8.65	70.71	0.039	0.21	0.22	85.82	2.58

1.3 樱桃萝卜的种植

供试樱桃萝卜品种为蟋蟀开拓者樱桃萝卜,购自凤阳县蔬菜种子市场。利用盆栽进行樱桃萝卜的种植试验,每盆(21 cm×14 cm×21 cm)装土 3.5 kg,每盆施入氮磷钾复合肥 1.51 g。将稻秆生物炭、麦秆生物炭及菜秆生物炭以 4% (炭土干重比)的添加量分别施入盆栽盆中。试验以不添加任何秸秆生物炭的处理作为对照(CK)。每组设置 3 个重复,其中添加秸秆生物炭中的 1 组重复以 8% 生物炭用量替代,以观察不同生物炭施入水平对土壤的影响,共计 6 个试验处理组和 1 个对照,分别为 CK(不添加生物炭)、4SDC(稻秆生物炭添加量为 4%)、8SDC(稻秆生物炭添加量为 8%)、4XMC(麦秆生物炭添加量为 4%)、8XMC(麦秆生物炭添加量为 8%)、4YCC(菜秆生物炭添加量为 4%)、8YCC(菜秆生物炭添加量为 8%),共计 12 盆。

樱桃萝卜每盆播种 9 粒,出苗后每盆留苗 5 棵。当生长出 3~4 张叶片时进行间苗,每盆留 3 株观察其生长状况。每盆植株在生长过程中采用相同的管理方式,人工及时除草,定期用去离子水浇灌,保持田间持水量为 50%~60%,其间不使用农药。

1.4 植株及土壤样品的取样

分别在樱桃萝卜苗期、莲座期及肉质根膨大期(收获期)对土壤样品进行取样并分开装袋密封,做好标记。收集盆栽土壤样品并分为 2 份,1 份测量其容重、土壤含水量及土壤储水量,1 份自然风干后过筛(1.000、0.149 mm)并测定其 pH 值与有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效钾及硝态氮含量。植株样品于收获期采样,取 3 株植株样品,测定总重量。植株分地上部、地下部,整株称量后,用剪刀将其分开,分别记录地上部、地下部重量,之后将样品于 120℃杀青 2 h,然后放于烘箱中,于 60℃烘干,

并称重量。

1.5 样品的测定方法

土壤 pH 值采用 pH 计(FE22 梅特勒-托利多仪器公司)进行测定,水土质量比为 2.5 : 1.0;土壤容重采用环刀法测量;田间持水量采用沙箱法测定^[9]。土壤的基础指标参照《土壤农化分析》中的方法测定^[10]。土壤含水量用烘干法测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,土壤全氮含量用半微量凯氏法测定,土壤全磷含量用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定,土壤全钾含量采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定,土壤速效磷含量用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提法测定,土壤有效钾含量用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定,土壤硝态氮含量采用紫外分光光度法测定。

1.6 数据的处理

数据处理用 Excel 2019,用 SPSS 22 进行线性回归分析,用 Origin 2021 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 施用不同种类秸秆生物炭对土壤理化性质的影响

从表 2 可以看出,施入不同种秸秆生物炭均提高了土壤的 pH 值,增幅为 0.67% ~ 3.20%,其中 SDC 处理土壤 pH 值的增幅与 XMC、YCC 处理相比更为突出,较 CK 提高了 1.20% ~ 3.20%,而且随着生物炭施用量的增加,土壤的 pH 值提高,8SDC 处理的土壤 pH 值最高。

土壤容重是反映土壤物理性质的重要指标,它影响着土壤的渗透性、吸附性、养分转移等动态变化。秸秆生物炭的施用降低了土壤容重,降低了 0.02 ~ 0.15 g/cm³,其中 YCC 处理的土壤容重相对 SDC、XMC 处理而言降低得稍多,而且随生物炭施用量的增加,土壤容重的降幅相应提高,8YCC 处理的土壤容重相对最小(表 2)。

由表 2 还可以看出,添加秸秆生物炭提高了土壤田间持水量。与 CK 相比,4SDC、8SDC、4XMC、8XMC、4YCC、8YCC 处理分别使土壤田间持水量增加了 2.47、4.11、1.95、3.40、1.50、2.25 百分点,而且随生物炭施用量的增加,土壤田间持水量的增幅变得明显。

2.2 施用不同种类秸秆生物炭对土壤有机质、全量养分含量的影响

土壤有机质是指土壤中以各种形态存在的含

表 2 不同种秸秆生物炭施用对土壤物理性质的影响

处理组	pH 值	容重 (g/cm ³)	田间持水量 (%)
CK	7.49 ± 0.01	1.29 ± 0.05	32.56 ± 2.13
4SDC	7.58 ± 0.02	1.26 ± 0.01	35.03 ± 2.32
8SDC	7.73 ± 0.02	1.18 ± 0.04	36.67 ± 1.81
4XMC	7.56 ± 0.04	1.27 ± 0.02	34.51 ± 2.60
8XMC	7.68 ± 0.01	1.23 ± 0.03	35.96 ± 1.93
4YCC	7.54 ± 0.05	1.24 ± 0.03	34.06 ± 2.54
8YCC	7.65 ± 0.02	1.14 ± 0.02	34.81 ± 2.13

碳有机化合物,是衡量土壤肥力的一项重要指标。由图 2 可知,施用不同种类的秸秆生物炭均能增加樱桃萝卜在收获期的土壤有机质含量,具体表现为 8YCC 处理 > 8XMC 处理 > 8SDC 处理 > 4YCC 处理 > 4XMC 处理 > 4SDC 处理,与 CK 相比,分别提高了 37.36%、36.59%、35.70%、24.41%、19.53%、18.60%,而且土壤有机质含量随生物炭施用量的增加而增加。与添加 4% 秸秆生物炭的处理相比,添加 8% 秸秆生物炭处理对土壤有机质含量的提升效果更佳,但是不同种类秸秆生物炭之间的差异不明显。

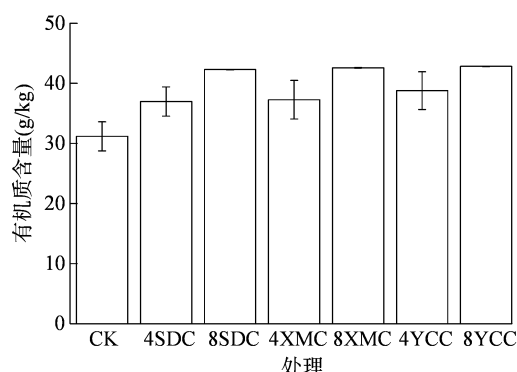


图2 不同处理对土壤有机质含量的影响

由图 3 至图 5 可以看出,与 CK 相比,在樱桃萝卜生长的苗期、莲座期及肉质根膨大期(收获期),施入不同种类秸秆生物炭均增加了土壤全氮、全磷、全钾含量,但整体的差异水平不大。在樱桃萝卜的整个生长阶段,土壤全量养分含量的变化趋势不显著;在樱桃萝卜肉质根膨大期(收获期),不同生物炭处理的全钾含量介于 19.09 ~ 19.89 g/kg 之间,土壤全氮含量介于 1.96 ~ 2.10 g/kg 之间,全磷含量介于 1.14 ~ 1.19 g/kg 之间,随着秸秆生物炭施用量的增加,上述物质含量呈上升趋势。

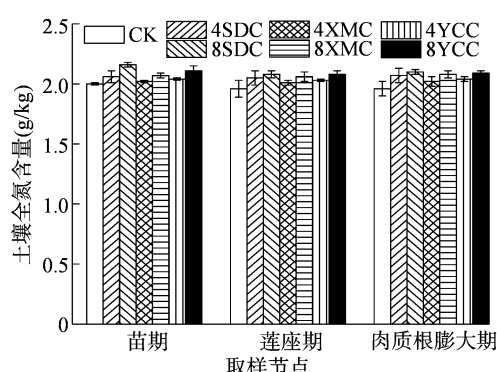


图3 不同处理对土壤全氮含量的影响

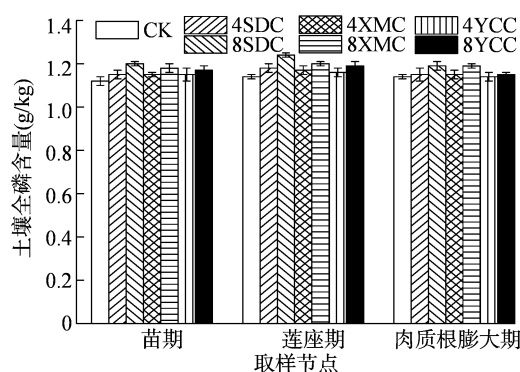


图4 不同处理对土壤全磷含量的影响

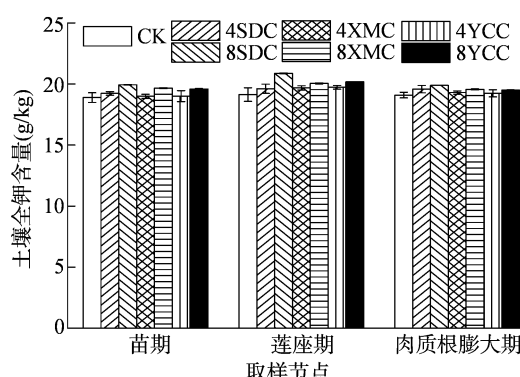


图5 不同处理对土壤全钾含量的影响

2.3 施用不同种类秸秆生物炭对土壤有效态养分含量的影响

如图6至图8所示,在樱桃萝卜的各个生育阶段,与CK相比,施入不同种类秸秆生物炭后,同一生育期的土壤有效磷、有效钾及硝态氮含量均呈现出先增加后降低的趋势。在樱桃萝卜的整个生长阶段,不同秸秆生物炭处理下,土壤有效磷含量介于43.48~57.74 mg/kg之间,有效钾含量介于572.63~825.31 mg/kg之间,硝态氮含量介于29.03~34.76 mg/kg之间。

由图6可知,土壤中的有效钾含量随着秸秆生物炭施用量的增加而增加,与低水平添加量相比,高水平添加量不同种秸秆生物炭对土壤有效钾含

量的影响较大。在樱桃萝卜苗期,4SDC、8SDC、4XMC、8XMC、4YCC、8YCC处理的土壤有效钾含量分别比CK提高了15.98%、25.08%、15.50%、19.64%、9.79%、20.36%;在樱桃萝卜莲座期,各秸秆生物炭处理组的土壤有效钾含量比CK增加了9.69%~27.88%;在肉质根膨大期(收获期),不同种秸秆生物炭处理组的土壤有效钾含量均明显高于CK。从樱桃萝卜的整个生育阶段来看,添加秸秆生物炭有利于提高土壤中有效钾含量,其中SDC处理土壤有效钾含量的增幅高于XMC、YCC处理。各处理土壤有效钾含量的排序为8SDC处理>8YCC处理>8XMC处理>4SDC处理>4YCC处理>4XMC处理。

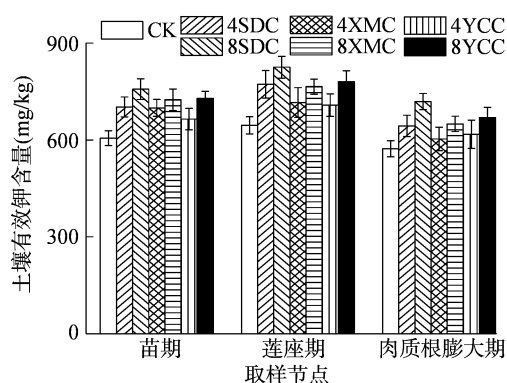


图6 不同处理组对土壤有效钾含量的影响

由图7可知,土壤中有有效磷含量随秸秆生物炭施用量的增加而增加。在樱桃萝卜苗期,各处理组对土壤中有有效磷含量的影响差异不大;在莲座期,4SDC、8SDC、4XMC、8XMC、4YCC、8YCC处理土壤的有效磷含量分别比CK提高了9.59%、14.27%、5.59%、11.50%、5.29%、10.72%;在肉质根膨大期(收获期),各处理组土壤的有效磷含量相较于CK提高了6.23%~13.96%。从樱桃萝卜整个生育阶段分析可知,施入秸秆生物炭能在一定程度上增加土壤的有效磷含量,其含量变化排序为8SDC处理>8XMC处理>8YCC处理>4SDC处理>4XMC处理>4YCC处理。

从图8可以看出,随秸秆生物炭施用量的增加,土壤中硝态氮含量增加得较为明显。在苗期及莲座期,各秸秆生物炭处理的土壤硝态氮含量分别比CK增加了3.38%~11.91%、3.60%~12.64%。在肉质根膨大期(收获期),4SDC、8SDC、4XMC、8XMC、4YCC、8YCC处理的土壤硝态氮含量分别比CK提高了8.43%、14.26%、4.45%、9.44%、7.52%、

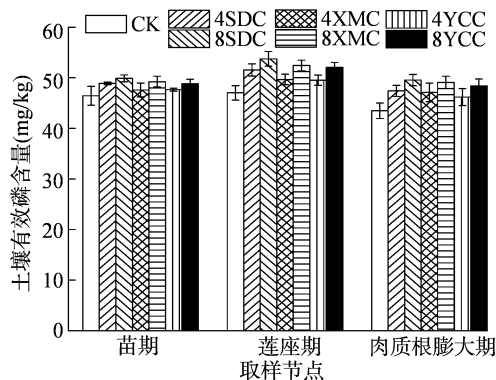


图7 不同处理组对土壤有效磷含量的影响

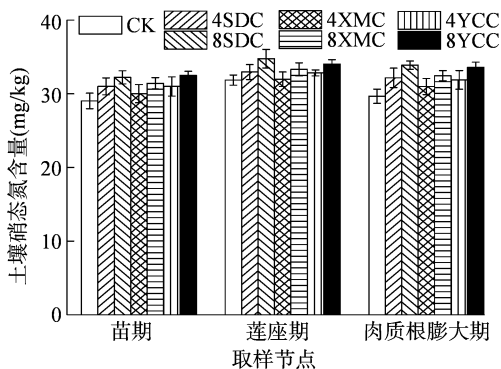


图8 不同处理组对土壤硝态氮含量的影响

13.22%。从整个生育期来看,4%的秸秆生物炭添加量对土壤硝态氮含量的影响不明显。各秸秆生

物炭处理组土壤中硝态氮含量的变化表现为 8SDC 处理 > 8YCC 处理 > 8XMC 处理 > 4SDC 处理 > 4YCC 处理 > 4XMC 处理。

2.4 不同处理组对樱桃萝卜性状及生物量积累的影响

由表 3 可知,施用秸秆生物炭对樱桃萝卜的株高及重量均有积极影响。株高是指植株的根茎部到顶部间的距离。在不同处理下,收获期樱桃萝卜的株高均表现为不同程度的增长趋势,同 CK 相比增加了 6.55% ~ 11.83%。

由表 3 可以看出,施入不同种秸秆生物炭增加了收获期樱桃萝卜的整体产量,与 CK 相比,鲜重量提高了 4.31% ~ 19.82%,其中 8SDC 处理的提高幅度相对最高。从樱桃萝卜干重角度看,与 CK 相比,在添加不同种秸秆生物炭的处理下,樱桃萝卜地上部、地下部生物量的增长幅度分别为 2.55% ~ 9.55%、4.42% ~ 12.15%,同时地上部、地下部生物量随着生物炭添加量的增加均表现为增加的趋势。同时亦可看出,添加秸秆生物炭对樱桃萝卜地下部分(根部)的促进作用相对于地上部分更为明显。这可能是因为秸秆生物炭能够改善土壤结构,增加土壤养分,降低土壤容重,提高土壤的通气性及保水能力,有利于植株从土壤中汲取养分、水分,从而促进樱桃萝卜根系的生长^[11]。

表 3 不同处理组对收获期樱桃萝卜性状及生物量积累的影响

处理	株高 (cm)	重量(g/盆)			
		鲜重	干重	地下部干重	地上部干重
CK	19.69 ± 0.52	44.56 ± 0.99	3.38 ± 0.06	1.81 ± 0.02	1.57 ± 0.05
4SDC	21.05 ± 0.24	48.09 ± 0.75	3.59 ± 0.09	1.95 ± 0.01	1.64 ± 0.02
8SDC	21.86 ± 0.24	53.39 ± 0.00	3.75 ± 0.00	2.03 ± 0.00	1.72 ± 0.00
4XMC	21.20 ± 0.07	47.35 ± 0.62	3.51 ± 0.11	1.90 ± 0.03	1.61 ± 0.04
8XMC	22.02 ± 0.32	48.22 ± 0.00	3.60 ± 0.00	1.96 ± 0.00	1.64 ± 0.00
4YCC	20.98 ± 0.53	46.48 ± 0.63	3.50 ± 0.08	1.89 ± 0.06	1.61 ± 0.03
8YCC	21.02 ± 0.26	47.92 ± 0.00	3.62 ± 0.00	1.97 ± 0.00	1.65 ± 0.00

2.5 施用秸秆生物炭对樱桃萝卜鲜重、土壤有效态养分含量间相关关系的影响

由图 9 可以看出,樱桃萝卜鲜重与土壤有效钾含量呈线性正相关关系,拟合方程为 $y = 0.0525x + 14.4320$, $r^2 = 0.8597$,相关系数(r)为 0.9272,呈高度相关关系。樱桃萝卜鲜重与有效磷含量呈线性正相关关系,拟合方程为 $y = 1.0827x - 3.2291$, $r^2 = 0.6791$, $r = 0.8241$,呈较强的相关关系。樱桃萝卜鲜重与土壤硝态氮含量呈线性正相关关系,拟

合方程为 $y = 1.4911x + 0.1526$, $r^2 = 0.6505$, $r = 0.8065$,呈相对较弱的相关关系。

3 讨论

凤阳县地处淮河以南,气候温和,复种指数较高。近年来,人们对高产量的追寻、农药和肥料的频繁使用,使得土壤沙化程度较深,保肥保水能力较差,透气性一般,黏重难耕。生物炭因其特殊的理化特性而被当作土壤改良剂使用,施入土壤后能

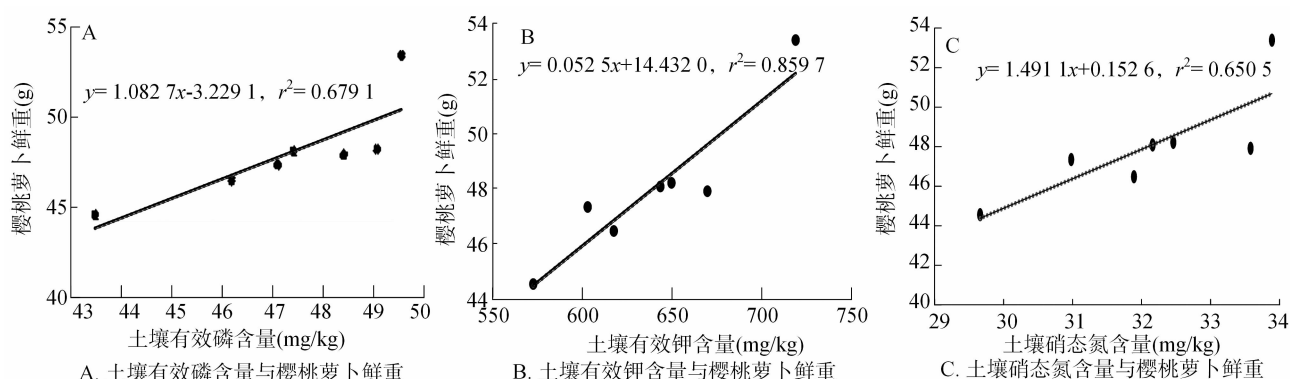


图9 施用秸秆生物炭对土壤有效态养分含量与樱桃萝卜鲜重相关关系的影响

够改善土壤的理化结构,提高土壤的养分,增加土壤肥力,促进作物生长^[12-14]。本研究发现,秸秆生物炭施入土壤后,能够增加土壤 pH 值,降低土壤容重,增加土壤的田间持水量,提高土壤的有机质含量,增加土壤的全量养分含量及有效态养分含量,从而促进樱桃萝卜植株生物量的增加。

土壤 pH 值对土壤的肥力有重要影响。施入秸秆生物炭提高了土壤的 pH 值,其中相较于麦秆和菜秆生物炭,稻秆生物炭的 pH 值提高幅度较大,可能是因为稻秆生物炭本身的 pH 值大于麦秆、菜秆生物炭。土壤容重是土壤耕作质量的重要指标,直接影响着土壤的孔隙度、田间持水量,间接影响着作物对土壤养分的吸收利用。有相关研究发现,施入生物炭能够调节土壤容重,改善田间持水量,在一定程度上提高了植烟土壤的物理性质,促进了烟株的生长发育^[15]。本研究也发现,施入秸秆生物炭降低了土壤容重,相对于稻秆生物炭、麦秆生物炭,菜秆生物炭对土壤的容重改良作用更为明显,而且在一定程度上随着生物炭用量的增加,土壤容重减小。这可能是因为秸秆生物炭具有一定的孔隙度、较大的比表面积,施入生物炭后能够改善土壤的孔隙结构,缓解土壤透气性及黏重感,而菜秆生物炭相较于稻秆、麦秆生物炭的表面积较大,对土壤容重的改良作用相对较强。秸秆生物炭丰富的孔径结构使其具有较强的吸附能力,能影响土壤的保水能力,使田间持水量增加^[16]。

施用生物炭增加了土壤有机质含量,这与姚奇等的研究结果^[17]一致。随着秸秆生物炭施入量的增加,土壤有机质含量呈递增趋势,可能是因为秸秆生物炭的施入使得土壤碳源数量增加,而且菜秆生物炭对土壤有机质含量的影响略大于麦秆和稻秆生物炭的施用效果,可能主要跟菜秆生物炭本身

含碳量偏高有关^[18]。秸秆生物炭的施入增加了土壤全氮、全磷和全钾含量,并随着秸秆生物炭施用量的增加,土壤全量养分含量有上升趋势,但是秸秆生物炭对土壤全磷含量的影响不明显,可能是因为随着土壤有机质含量的增加,固磷作用减弱^[17],使得全磷含量维持在 1.15 g/kg 附近。

在本研究中,施用秸秆生物炭处理组(4SDC、4XMC、4YCC、8SDC、8XMC、8YCC)土壤有效态养分含量均高于未施用秸秆生物炭处理(CK),说明施用秸秆生物炭能够提高土壤中有效态养分含量,一方面可能因为秸秆生物炭本身含有一定量的氮、磷、钾等养分^[19],另一方面可能由于秸秆生物炭具有较丰富的孔径结构,能够吸附土壤中的营养元素,从而降低了养分的淋失^[7,20]。而施入不同种类秸秆生物炭对土壤有效态养分含量的影响存有差异,主要可能是因为不同种类秸秆生物炭本身的性质存在差异,相对于麦秆生物炭、菜秆生物炭,稻秆生物炭的 H/C、O/C、(O+N)/C 相对偏高,其炭化程度相对较低^[21]。也有相关研究发现,较低炭化程度的生物炭相较于高炭化程度的生物炭更接近土壤有机碳的性质^[22],对土壤的改良效果相对更优,与本研究稻秆生物炭对土壤的改良效果相对优于麦秆生物炭、菜秆生物炭的结果一致。

张金磊等研究生物炭用量对设施水果萝卜产量的影响发现,施用生物炭增加了萝卜的肉质根根粗,使其增产 25% ~ 29%^[23]。杨婧等研究发现,在富磷型猪粪基生物炭处理下,樱桃萝卜根部生物量增加了 20.63% ~ 83.31%^[11]。生物炭对玉米幼苗^[24]、生菜^[25]、甜瓜幼苗^[4]等作物的产量也有积极作用。本研究发现,施入秸秆生物炭增加了樱桃萝卜的鲜重,并且随着秸秆生物炭施用量的增加呈上升趋势。与 CK 相比,不同处理组能够使樱桃萝卜

鲜重提高 4.31% ~ 19.82%, 其中 8SDC 处理的提高幅度相对最高。

4 结论

施用不同种类秸秆生物炭均能提高土壤 pH 值及土壤田间持水量, 其中以稻秆生物炭的提高幅度较大。此外, 施用不同种类秸秆生物炭能够降低土壤容重, 以菜秆生物炭处理的降幅较大。

施入秸秆生物炭可以提高土壤有机质含量, 在一定程度上提高土壤全氮、全磷、全钾含量, 各处理组之间差异不明显; 相对于 CK, 其他不同处理组均提高了土壤有效态养分含量, 并且土壤有效态养分含量随着秸秆生物炭施用量的增加呈上升趋势, 土壤有效磷含量介于 43.48 ~ 57.74 mg/kg 之间, 有效钾含量介于 572.63 ~ 825.31 mg/kg 之间, 硝态氮含量介于 29.03 ~ 34.76 mg/kg 之间。相对于麦秆及菜秆生物炭, 添加量 8% 稻秆生物炭对土壤的改良作用更明显。

不同处理秸秆生物炭的施入均提高了樱桃萝卜的株高、鲜重及地上部和地下部生物量, 且土壤的有效磷、有效钾和硝态氮含量与樱桃萝卜的鲜重呈正相关关系, 其中以樱桃萝卜的鲜重与有效钾含量之间的相关性最明显。随着秸秆生物炭施入量的增加, 樱桃萝卜中的生物积累量呈上升趋势。

不同种类秸秆生物炭特性间的差异, 使得生物炭施入土壤后对土壤及作物的作用效果存在差异, 相对于麦秆、菜秆生物炭, 稻秆生物炭对土壤的作用效果相对较佳, 更适合用于土壤的改良。

参考文献:

- [1] Wu W Z, Yan B B, Zhong L, et al. Combustion ash addition promotes the production of K-enriched biochar and K release characteristics [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 311: 127557.
- [2] Park J H, Ok Y S, Kim S H, et al. Characteristics of biochars derived from fruit tree pruning wastes and their effects on lead adsorption [J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2015, 58(5): 751-760.
- [3] Rajapaksha A U, Ahmad M, Vithanage M, et al. The role of biochar, natural iron oxides, and nanomaterials as soil amendments for immobilizing metals in shooting range soil [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015, 37(6): 931-942.
- [4] 马光恕, 梁 泉, 张 淳, 等. 生物炭对甜瓜幼苗质量与根系生理特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2022, 40(5): 212-221.
- [5] 高 静, 徐明岗, 李 然, 等. 整合分析生物炭施用对土壤 pH 值的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(9): 186-196.
- [6] 于玲玲, 赵贵元, 崔婧婧, 等. 施用生物炭对玉米田土壤呼吸及水分利用效率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(3): 209-213.
- [7] 魏永霞, 石国新, 冯 超, 等. 黑土区施加生物炭对土壤综合肥力与大豆生长的影响[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(5): 285-294.
- [8] 樊 洪, 谢 珊, 龙天雨, 等. 刺梨果渣生物炭对白菜产量及品质和土壤性质的影响[J]. *环境科学*, 2024, 45(6): 3543-3552.
- [9] 张百川. 沙箱法测定土壤田间持水量实验研究[J]. *江淮水利科技*, 2012(2): 27-30.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114.
- [11] 杨 婧, 钟 慧, 潘 欢, 等. 富磷型猪粪基生物炭肥对土壤-萝卜系统的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(9): 1169-1176.
- [12] 邓 晓, 武春媛, 杨桂生, 等. 椰壳生物炭对海南滨海土壤的改良效果[J]. *生态环境学报*, 2022, 31(4): 723-731.
- [13] 任晓雪, 曹彦辉, 曹桂芳, 等. 施用低温生物炭对甘蓝生长、品质和土壤理化性质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(15): 140-144.
- [14] 李 毅, 冯 浩, 梁嘉平, 等. 土壤属性和作物生长对生物炭施用的响应和反馈研究进展[J]. *水土保持学报*, 2022, 36(5): 9-16.
- [15] 刘 卉, 周清明, 黎 娟, 等. 生物炭施用量对土壤改良及烤烟生长的影响[J]. *核农学报*, 2016, 30(7): 1411-1419.
- [16] 高 凤, 杨凤军, 吴 瑕, 等. 施用生物炭对白菜根际土壤有机质含量及酶活性的影响[J]. *土壤通报*, 2019, 50(1): 103-108.
- [17] 姚 奇, 俞若涵, 张洪宇, 等. 生物炭施用对冬小麦农田土壤养分及作物产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(3): 68-74.
- [18] 桂意云, 李海碧, 韦金菊, 等. 生物炭对旱坡地宿根甘蔗土壤养分、酶活性及微生物多样性的影响[J]. *南方农业学报*, 2022, 53(3): 776-784.
- [19] Hou J B, Pugazhendhi A, Sindhu R, et al. An assessment of biochar as a potential amendment to enhance plant nutrient uptake [J]. *Environmental Research*, 2022, 214: 113909.
- [20] 郭碧林, 陈效民, 景 峰, 等. 施用生物炭对红壤性水稻土重金属钝化与土壤肥力的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(3): 298-304.
- [21] 简敏非, 高凯芳, 余厚平. 不同裂解温度对水稻秸秆制备生物炭及其特性的影响[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(5): 1757-1765.
- [22] 胡京钰, 杨红军, 刘大军, 等. 酒糟生物炭与化肥配施对土壤理化特性及作物产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(9): 1664-1672.
- [23] 张金磊, 冯 棣, 张 宇, 等. 生物炭用量对设施水果萝卜产量与土壤性质的影响[J]. *湖南农业科学*, 2023(5): 58-63.
- [24] 谭 焱, 文玉姣, 高叶敏, 等. 不同生物炭用量对玉米苗期生长特性的影响[J/OL]. *分子植物育种*, 2023: 1-10 (2023-06-26) [2024-08-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230626.2023.016.html>.
- [25] 余海燕, 叶培茜, 贾永霞, 等. 生物炭替代草炭对生菜生长和营养品质的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2024, 41(1): 147-154.