

中药渣有机肥施用对土壤理化性质及枳壳产质量的影响

高 鹏¹, 崔新卫¹, 聂新星², 朱校奇¹, 鲁耀雄^{1*}, 彭福元^{1*}

(1. 湖南省农业科学院农业环境生态研究所, 湖南 长沙 410125;

2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北 武汉 430064)

摘 要:为促进中药渣循环利用,提升枳壳产量与品质,减少化肥施用,研究中药渣有机肥配施化肥对枳壳产量、土壤理化性质和药理有效成分含量的影响。结果表明,相比全施化肥,中药渣有机肥替代部分化肥增加了土壤有机质含量和pH值,缓解了土壤酸化,改良了土壤结构,提高了土壤微生物和蚯蚓数量,活化了土壤有效养分,有助于枳壳柚皮苷、新橙皮苷、芸香柚皮素、柚皮素等7种有效成分和总含量的积累,促进了酸橙树的生长和枳壳增产提质。中药渣有机肥替代部分化肥并适当减施50%磷肥(F2, N:P₂O₅:K₂O=1:0.5:1)的枳壳产量最高,为935.2 kg/hm²,相比全施化肥(CK, N:P₂O₅:K₂O=1:1:1),产量提高17.5%,枳壳有效成分总含量提高39.6%。因此,在酸橙栽培过程中,推荐种植户采用有机肥替代部分化肥作基肥施用,促进土壤养分循环利用,节约养分投入量,实现枳壳的增产提质。

关键词: 中药渣; 有机肥; 枳壳; 土壤理化性质; 产量

枳壳(*Aurantii fructus*)为芸香科柑橘属植物酸橙(*Citrus aurantium* L.)及其栽培变种的干燥未成熟果实^[1],始记载于《雷公炮炙论》,是常用的大宗药材,味苦、辛、酸,具有宽中理气,行滞消胀之功效,主治胸胁气滞、胀满疼痛、食积不化等病症^[2]。枳壳主要栽培于江西、四川和湖南^[3],分别称为江枳壳、川枳壳和湘枳壳^[4]。三省枳壳年产量占全国的70%以上,以湘枳壳产量最大,占全国产量的40%以上^[5]。湖南沅江市是全国著名的枳壳药材生产基地,枳壳为湖南道地药材,是四磨汤口服液的主要原料之一。药渣为枳壳、槟榔、乌药和木香等混合水提取后的有机废弃物,其肥料化利用是实现药渣无害化、减量化和资源化处理的主要手段^[6]。因此,将药渣废弃物肥料化利用后,再用于中药材栽培,可以促进药渣的循环利用,对中药企业创收和环境保护意义重大^[7]。

枳壳主要含有黄酮类、挥发油类、香豆素类和少量生物碱等活性成分^[8],其中黄酮类化合物芸香柚皮苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷等成分具有抗氧化、抗炎、抗癌抑菌等多种功效^[9-10]。随着人们对枳壳药用价值认知的不断深入,枳壳的市场需求量急剧增加,栽培面积逐年扩大,种植户为追求高产过量单施化肥,导致土壤肥力下降、板结严重、局部出现酸化等现象,氮、磷流失导致所在地区面源污染加剧以及枳壳产量和品质的下降。目前,枳壳的研究主要集中在其有效成分的提取、成分功能、药理作用等方面^[11],有关施肥及养分管理对土壤生物特性和枳壳产量及品质影响缺乏研究,从而限制了枳壳产量、品质提升和产业发展。已有大量研究表明有机无机配施显著提高药用植物的产量和品质^[12-13],同时还可以缓解连作障碍^[14-15],提高土壤微生物数量,改善土壤质量^[16-17]。因此,在枳壳栽培过程中开展药渣有机与无机肥配施,对提高土壤肥力、促进枳壳高产稳产和提升枳壳品质具有重要意义。

本研究通过探索药渣有机无机肥配施对土壤理化性质、酸橙树的生长、枳壳产量和质量的影响,以期使用有机肥替代部分化肥,减少化肥施用,从而减轻氮、磷流失对环境造成的不利影响,维持土壤可持续生产能力,为合理的枳壳优化施肥模式提供技术参考。

收稿日期: 2021-08-31; 录用日期: 2021-10-09

基金项目: 湖南省科技重大专项(S2015S01P010); 农业农村部废弃物肥料化利用重点实验开放基金(KLFAW202004); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21)。

作者简介: 高鹏(1990-), 助理研究员, 在读博士研究生, 从事土壤肥料与农业环境研究。E-mail: 308227134@qq.com。

通讯作者: 鲁耀雄, E-mail: luyaoxiong09@163.com; 彭福元, E-mail: pengfuyuan888@163.com。

1 材料与方法

1.1 供试材料

药渣有机肥是由枳壳、槟榔、乌药和木香等混合水提取四磨汤后的药渣废弃物,混合芦苇渣和酱油渣经过高温好氧堆肥后,再添加适量中微量元素制成,其pH值为8.23,有机质 $\geq 45\%$,总养分为3.82%,其中N 9.45 g/kg、 P_2O_5 22.35 g/kg、 K_2O 6.42 g/kg。

试验于2017年10月~2018年7月在沅江市湖南益森沅江枳壳中药研究所进行,试验选择的酸橙树于2017年开始挂果,树平均茎粗9.73 cm、平均树幅153 cm。试验前0~20 cm耕层土壤理化性质为:pH值6.23,有机质17.46 g/kg,全氮0.78 g/kg,全磷0.65 g/kg,全钾14.71 g/kg,碱解氮52.64 mg/kg,有效磷26.33 mg/kg,速效钾65.84 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设4个处理,3次重复。CK,100%化肥(习惯施肥),总养分(N、 P_2O_5 和 K_2O 之和,下同)612 kg/hm²,N: P_2O_5 : K_2O 为1:1:1;F1,施用3000 kg/hm²的药渣有机肥代替部分化肥,总养分612 kg/hm²,N: P_2O_5 : K_2O 为1:1:1;F2,施用3000 kg/hm²的药渣有机肥代替部分化肥,总养分510 kg/hm²,N: P_2O_5 : K_2O 为1:0.5:1;F3,施用3000 kg/hm²的药渣有机肥代替部分化肥,总养分475.2 kg/hm²,N: P_2O_5 : K_2O 为1:0.5:0.8。底肥采用穴施,在酸橙树冠滴水位挖取长、宽、深度分别为50、30、20 cm的槽穴,将底肥混合均匀撒施在槽穴底部,然后覆盖土壤,追肥均采用树冠下撒施。每个小区设10株酸橙树,大小基本一致,种植密度为600株/hm²,行株距为5 m×4 m。小区随机排列,常规管理。枳壳于2018年7月17日采收。具体施肥方法见表1。

表1 试验处理设置与肥料用量 (kg/hm²)

处理	底肥					春季追肥		夏季追肥		养分			总计
	药渣有机肥	尿素	过磷酸钙	硫酸钾	复合肥	复合肥	尿素	复合肥	硫酸钾	N	P_2O_5	K_2O	
CK	0	0	0	0	0	600	0	600	0	204	204	204	612
F1	3000	0	838	141	64	0	300	150	150	204	204	204	612
F2	3000	3.3	0	144	56	0	300	150	150	204	102	204	510
F3	3000	3.3	0	64	56	0	300	150	150	204	102	163	475

注:1)每1000 kg药渣有机肥配有5 kg硫酸锌、5 kg硼砂、20 kg硫酸镁、0.5 kg硫酸铁、0.2 kg硫酸铜、0.1 kg硫酸钼;2)复合肥为硫酸钾型,养分比例为17-17-17,尿素N 46.4%,过磷酸钙 P_2O_5 12%,硫酸钾 K_2O 51%。

1.3 取样与测定方法

在收获期(2018年7月17日),每小区随机选取5株酸橙树进行枳壳采收测产,用皮尺测定酸橙树的茎周和树幅,随机选取11个枳壳用游标卡尺测定果实直径,随机选取19片春梢新叶,用叶绿素仪(日本柯尼卡美能达SPAD-502Plus)测定SPAD值。选取底肥施肥区域范围内,长、宽、深分别为20、10、20 cm的区域采集全部土壤,仔细挑选蚯蚓并记录数量。随机选取5个位点在树冠内侧水平距离底肥施肥区域最边缘2 cm、深5~20 cm处的土壤,分成2份,1份经稀释涂布平板法测定土壤的细菌(营养琼脂培养基)、真菌(孟加拉红培养基)和放线菌(高氏一号培养基)数量^[18];1份经自然烘干测定土壤的理化性质^[19],土壤pH

值按照土水比1:5,利用PHS-3C型pH计(上海仪电科学仪器股份有限公司)测定,有机质采用硫酸-重铬酸钾氧化法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定。

1.4 数据处理

采用WPS 2020进行试验数据整理和作图,利用SPSS 18.0进行统计分析,采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 有机无机肥配施对酸橙树生长和产量的影响

由表2可知,酸橙树茎粗、树幅和SPAD值以F1处理为最大,其次是F2处理,最小是CK处理,

其中 F1、F2、F3 处理的茎粗和 SPAD 值都显著高于 CK 处理，不同处理的树幅之间相差不显著。果实直径以 F3 处理最大，其次是 F2 处理，最小的是 CK 处理，F3 处理的果实直径显著高于其他处理。枳壳产量以 F2 处理最高，其次是 F3 处理，最低是 CK

处理，F2 与 F3 处理的枳壳产量相差不显著，但是都显著高于 CK 处理，其中 F2 处理的产量较 CK 处理提高了 17.49%，F3 处理的产量较 CK 处理提高了 12.53%。试验结果表明，相比全施化肥，药渣有机无机肥配施更有利于促进酸橙的生长和产量提高。

表 2 不同处理对酸橙树生长及产量的影响

处理	茎粗 (cm)	树幅 (cm)	SPAD 值	果实直径 (cm)	产量 (kg/hm ²)
CK	10.92 ± 0.08b	222.78 ± 4.59a	63.83 ± 0.61c	5.16 ± 0.01d	796.04 ± 22.1c
F1	11.16 ± 0.05a	238.61 ± 18.75a	67.16 ± 0.4a	5.28 ± 0.01c	861.77 ± 17.64b
F2	11.13 ± 0.13a	233.06 ± 7.74a	66.43 ± 0.65ab	5.36 ± 0.05b	935.23 ± 27.37a
F3	11.10 ± 0.04a	232.78 ± 8.55a	65.7 ± 0.59b	5.45 ± 0.03a	895.78 ± 5.37ab

注：每组试验数据为重复 3 次的平均数；不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

2.2 有机无机肥配施对土壤理化性质的影响

由表 3 可以看出，土壤的 pH 值以 F1 处理最高，其次是 F2 处理，最小是 CK 处理。土壤的有机质含量以 F3 处理最高，其次是 F2 处理，最小是 CK 处理，其中 F1、F2、F3 处理的有机质相差不显著，但是都显著高于 CK 处理。F1、F2、F3、CK 处理的土壤全氮、全磷和全钾相差不显著。土壤中的碱解氮含量以 F2 处理最高，其次是 F3 处理，最小的是 CK 处理，其中 F2 与 F3 处理的碱解氮相差不显著，

但是都显著高于 CK 处理。土壤中的有效磷含量以 F2 处理最高，其次是 F3 处理，最小是 CK 处理，其中 F2 与 F3 处理的有效磷含量相差不显著，但都显著高于 F1 和 CK 处理。土壤中的速效钾含量以 F1 处理最高，其次是 F3 处理，最小是 CK 处理，其中 F1、F2、F3 处理的有效磷含量相差不显著，但是都显著高于 CK 处理。试验结果说明，相比全施化肥，药渣有机无机配施提高了土壤的 pH 值，增加了土壤有机质，提高了土壤有效养分。

表 3 不同处理对土壤理化性质的影响

处理	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	6.04 ± 0.14 b	18.21 ± 0.49b	0.84 ± 0.03a	0.69 ± 0.03a	15.79 ± 0.36a	68.12 ± 2.53c	48.23 ± 3.12c	74.07 ± 3.93b
F1	6.41 ± 0.18a	19.65 ± 0.61a	0.85 ± 0.02a	0.71 ± 0.04a	15.84 ± 0.56a	82.51 ± 3.90b	58.76 ± 2.69b	90.21 ± 3.22a
F2	6.38 ± 0.19ab	19.68 ± 0.44a	0.85 ± 0.03a	0.69 ± 0.05a	15.69 ± 0.35a	90.41 ± 2.21a	72.15 ± 3.92a	86.82 ± 4.17a
F3	6.37 ± 0.10ab	19.84 ± 0.94a	0.86 ± 0.04a	0.70 ± 0.03a	15.66 ± 0.31a	85.01 ± 4.93ab	68.35 ± 2.57a	88.27 ± 4.83a

2.3 不同处理对枳壳土壤微生物和蚯蚓数量的影响

由图 1 结果可看出，土壤细菌数以 F3 处理最多，其次是 F2 处理，最小是 CK 处理，其中 F2 与 F3 处理的细菌数相差不显著，但是都显著高于 F1 和 CK 处理。土壤真菌数以 F1 处理最多，其次是 F2 处理，最小是 CK 处理。土壤放线菌数以 F3 处理最多，其次是 F2 处理，最小是 CK 处理，其中 F1、F2、F3 处理的放线菌数相差不显著，但都显著高于 CK 处理。土壤蚯蚓数以 F3 处理最多，为

63.33 条 /m²，其次是 F2 处理，为 46.67 条 /m²，最小是 CK 处理，为 10 条 /m²，其中 F3 处理的蚯蚓数显著高于 F1、F2 和 CK 处理，相比 CK 处理，F3 处理的土壤蚯蚓数增加了 5.33 倍，F2 处理的土壤蚯蚓数量增加了 3.67 倍。试验结果表明，相比全施化肥，药渣有机无机配施可以增加土壤细菌、真菌、放线菌和蚯蚓的数量。

2.4 不同处理对枳壳有效成分的影响

由表 4 可知，枳壳的柚皮苷和新橙皮苷含量都以 F1 处理最高，其次是 F2 处理，最小是 CK 处

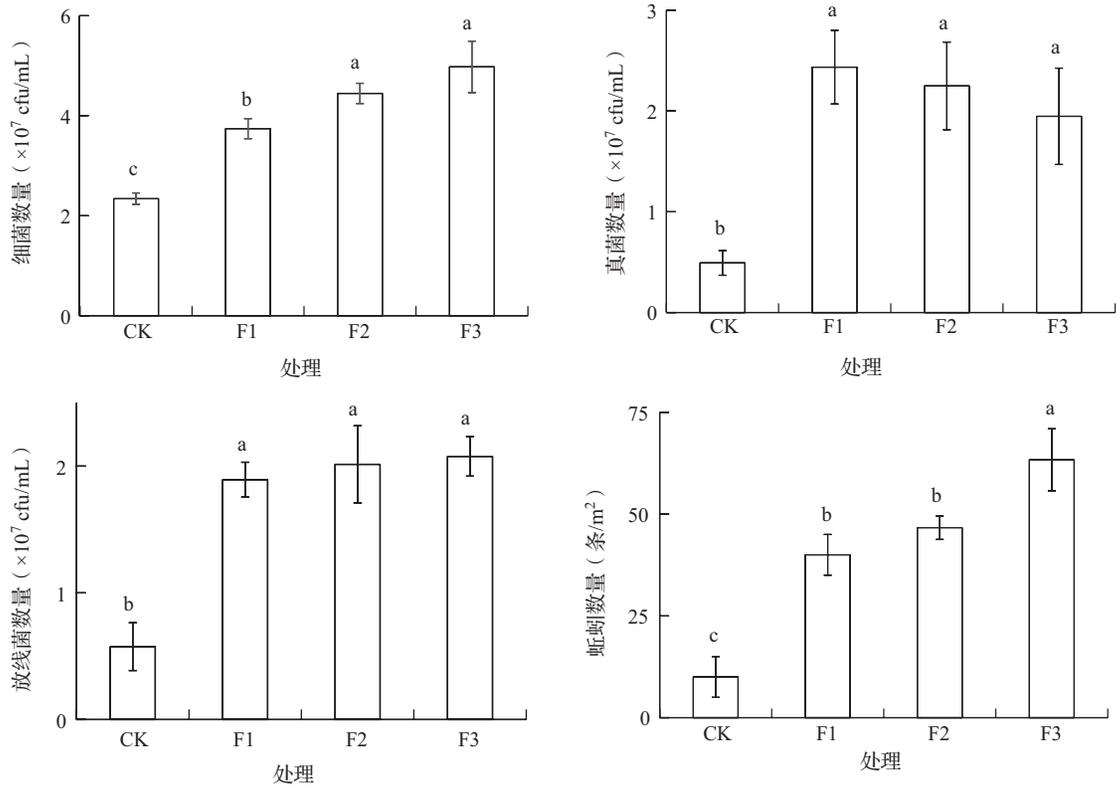


图1 不同处理对酸橙树对土壤微生物和蚯蚓的影响

表4 不同处理对枳壳有效成分的影响

(g/kg)

项目	CK	F1	F2	F3
柚皮苷	59.45 ± 1.64d	102.19 ± 2.79a	84.75 ± 1.15b	74.82 ± 1.56c
新橙皮苷	22.98 ± 1.06d	39.36 ± 1.15a	33.26 ± 0.26b	27.37 ± 0.02c
芸香柚皮素	6.22 ± 0.03c	7.81 ± 0.02a	6.94 ± 0.04b	7.40 ± 0.02a
桔皮素	1.53 ± 4.39a	1.28 ± 1.72b	1.40 ± 2.42ab	1.30 ± 1.76b
川陈皮素	1.29 ± 0.11a	1.05 ± 0.05b	1.32 ± 0.09a	1.13 ± 0.12b
圣草次苷	0.52 ± 0.03c	0.54 ± 0.02c	0.74 ± 0.04a	0.68 ± 0.02b
柚皮素	0.13 ± 0.01b	0.23 ± 0.01a	0.23 ± 0.01a	0.23 ± 0.01a
总含量	92.12 ± 1.82d	152.47 ± 4.34a	128.64 ± 2.42b	112.94 ± 1.84c

理, 其中 F1 处理的柚皮苷和新橙皮苷含量都显著高于其他处理。芸香柚皮素含量以 F1 处理最高, 其次是 F3 处理, 最小是 CK 处理, 其中 F1 与 F3 处理的芸香柚皮素含量相差不显著, 但都显著高于 F2 和 CK 处理。桔皮素含量以 CK 处理最高, 其次是 F2 处理, 最小是 F1 处理, 其中 CK 与 F2 处理的桔皮素含量相差不显著, 但 CK 处理显著高于 F1 和 F3 处理。川陈皮素含量以 F2 处理最大, 其次是 CK 处理, 最小是 F1 处理, 其中 CK 与 F2 处理的川陈皮素含量相差不显著, 但都显著高于 F1 和 F3 处理。圣草次苷含量以 F2 处理最高, 其次

是 F3 处理, 最小是 CK 处理, 其中 F2 处理的圣草次苷含量显著高于其他处理。柚皮素含量以 F1、F2 和 F3 处理最高, 最小是 CK 处理, 其中 F1、F2 和 F3 处理的柚皮素含量显著高于 CK 处理。枳壳的有效成分总量以 F1 处理最大, 其次是 F2 处理, 最小是 CK 处理, 其中 F1 处理的有效成分总量显著高于其他处理, 相比 CK 处理, F1、F2、F3 处理的枳壳有效成分总含量分别显著提高 65.51%、39.64%、22.60%。试验结果说明, 相比全施化肥, 药渣有机无机配施有利于增加枳壳的有效成分总含量。

2.5 土壤理化性质与枳壳产质量的相关性分析

由表5可知,土壤有机质与细菌、真菌、放线菌和蚯蚓数呈极显著正相关($P<0.01$),与碱解氮、有效磷、有效钾含量呈显著正相关($P<0.05$)。有机质、碱解氮和有效磷都与细菌、真菌和放线菌数呈极显著正相关($P<0.01$)。速效钾与真菌、放线菌数呈极显著正相关($P<0.01$),与有机质、细菌和蚯蚓数呈显著正相关($P<0.05$)。细菌数与有机质、碱解氮、有效磷呈极显著正相关($P<0.01$),与速效钾呈显著正相关($P<0.05$)。真菌和放线菌数

都与有机质、碱解氮、有效磷和速效钾呈极显著正相关($P<0.01$)。蚯蚓数与有机质、碱解氮、有效磷、细菌、放线菌数呈极显著正相关($P<0.01$),与速效钾呈显著正相关($P<0.05$)。枳壳产量与碱解氮、有效磷、细菌、放线菌和蚯蚓数呈极显著正相关($P<0.01$),与有机质、速效钾和真菌数呈显著正相关($P<0.05$)。试验结果说明,药渣有机无机肥配施可增加土壤有机质含量,有利于提高土壤微生物和蚯蚓数,促进土壤物质循环,活化土壤有效养分,从而增加酸橙树的枳壳产量。

表5 土壤理化性质与枳壳产质量的相关性分析

项目	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	细菌数	真菌数	放线菌数	蚯蚓数	有效成分总含量
碱解氮	0.621*	—	—	—	—	—	—	—	—
有效磷	0.659*	-0.950**	—	—	—	—	—	—	—
速效钾	0.599*	0.757**	0.646*	—	—	—	—	—	—
细菌数	0.809**	0.781**	0.861**	0.674*	—	—	—	—	—
真菌数	0.824**	0.844**	0.747**	0.803**	0.717**	—	—	—	—
放线菌数	0.807**	0.866**	0.846**	0.846**	0.889**	0.898**	—	—	—
蚯蚓数	0.768**	0.753**	0.822**	0.685*	0.967**	0.715**	0.891**	—	—
有效成分总含量	-0.211	-0.462	-0.653*	0.011	-0.461	-0.070	-0.248	-0.343	—
产量	0.634*	0.832**	0.855**	0.645*	0.860**	0.646*	0.795**	0.759**	-0.611*

注: * 表示相关性显著, ** 表示相关性极显著, 总含量为枳壳总有效成分含量。

3 讨论

有机无机肥合理配施,可取有机肥之长补无机肥之短^[18],有机肥料中除含有氮、磷、钾三要素外,还含有钙、镁、硫、锌等中微量元素,相对单施化肥而言养分更全面,配施有机肥能改善因单施化肥而导致的养分失调、肥效前后不平衡等问题^[20-21]。另外,长期施用有机肥可以提高土壤有机质含量,并且有效缓解土壤酸化^[22]。本研究中,有机无机配施相比单施化肥显著提高了土壤的pH值。大量的研究表明,长期实行有机无机肥配施有利于土壤有机碳的积累,改善土壤结构,增加土壤的孔隙度和保水保肥能力,增强土壤酶活性,缓解土壤酸化,降低氮素损失,提高土壤肥力和肥料利用率,实现土壤培肥,促进作物增产^[23-24],这与本研究的结果一致。

有机无机肥配施能够供应土壤微生物生长所需的能量和养分,为微生物活动提供有利条件,从而

影响微生物群落结构多样性和功能^[25]。另外,pH值又是影响土壤微生物种群数量的重要因素^[26],有机肥的施入提高了酸性土壤的pH值,为微生物生长提供了有利的生存环境,而微生物的活动又可以促进土壤有机质的矿化分解和土壤中碳、氮、磷、硫等元素的循环与转化^[27]。土壤中的养分元素大部分是以不溶解态形式存在^[28],不能被作物直接吸收利用,而微生物代谢产物中含有大量的有机酸类物质,这些物质可以加速微量元素的溶解,增加作物对微量元素的吸收,从而促进作物增产^[29]。蚯蚓被称为“土壤生态系统工程师”,蚯蚓的生存需要大量的有机质和良好的通气环境,有机肥的施入可以有效改善土壤物理环境,增加土壤疏松程度,提高土壤通透性。本研究中,有机无机肥配施较单施化肥显著增加了土壤中的蚯蚓数量。在F1和F2处理中施用过多的化学肥料对蚯蚓产生刺激,从而减少了蚯蚓数量。此外,土壤真菌的大量

繁殖也为蚯蚓提供了食物,而蚯蚓活动又能够促进土壤有机质的矿化和腐殖质的形成^[30],进一步改善土壤通透性,增加土壤有效养分含量,为土壤微生物和作物生长创造良好环境。同时,蚯蚓活动分泌各种活性酶,增强土壤酶活,改良土壤质量^[31-32]。因此,有机无机配施有利于增加土壤的微生物和蚯蚓数,改良土壤结构,促进物质循环利用,提高枳壳产量和质量。

枳壳的有效成分是其药理的基础,也是其作为药用植物的价值所在,研究表明中药材的有效药用成分与土壤中的微量元素密切相关^[33],而土壤微生物和蚯蚓活动可以加速土壤微量元素的溶解^[34-35],从而促进作物的吸收,提高枳壳的有效成分。有机肥配施提高了土壤 pH 值,缓解了土壤酸化,显著提高了土壤微生物数量和蚯蚓数量,蚯蚓和微生物活动又加速了土壤微量元素的溶解,促进了有机肥配施枳壳柚皮苷、新橙皮苷、芸香柚皮素等 7 种有效成分的积累,对于提升枳壳品质有重要意义。此外,氮、磷、钾大量元素对作物的有效成分产生影响,适当的高钾肥施用有利于作物有效成分含量的积累^[36],氮、磷、钾合理配施会增加次生代谢产物的积累^[37],导致 F1 处理的总有效成分最高。本研究中,相比其他处理,F3 处理减少 50% 化学磷肥和 20% 化学钾肥的用量,其细菌、放线菌和蚯蚓数量最多。有机无机配施能提高土壤有效养分,增加土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量,从而促进枳壳生长和药用成分积累。因蚯蚓较多采食真菌,导致土壤真菌数量少于其他有机肥配施处理。但是由于本身减施部分磷、钾肥,导致土壤中可吸收的磷、钾养分相对较少,其产量也低于 F2 (仅减施化学磷肥的 50% 用量) 处理。过度施用化肥会引起氮、磷流失,导致接纳水体的富营养化,造成农业面源污染问题。因此,综合考虑养分投入、枳壳产质量和预防农业面源污染,推荐种植户使用 F2 (即施用 3000 kg/hm² 的有机肥代替部分化肥,总养分 510 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O 为 1:0.5:1) 处理的施肥方案,在枳壳生产中可以获得较好的经济和生态效益。

4 结论

药渣有机肥替代部分化肥并减施 50% 磷肥 (F2, N:P₂O₅:K₂O=1:0.5:1) 的枳壳产量最高,为 935.2 kg/hm², 相比全施化肥 (CK, N:P₂O₅:K₂O=

1:1:1), 产量提高了 17.5%, 枳壳有效成分总含量提高了 39.6%, 还能较好地改良土壤结构, 提高土壤微生物和蚯蚓数量, 活化土壤有效养分, 促进酸橙树的生长和增产提质。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [2] 赵维良, 郭增喜, 张文婷, 等. 药材枳壳基原植物种类及地理分布研究 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43 (21): 4361-4364.
- [3] 赵奎君, 郑玉忠, 董婷霞, 等. 不同产地枳壳药材 HPLC 指纹图谱及其柚皮苷、新橙皮苷和辛弗林含量分析 [J]. 中国药理学杂志, 2011, 46 (12): 955-959.
- [4] 赵佳琛, 王艺涵, 翁倩倩, 等. 经典名方中枳实与枳壳的本草考证 [J]. 中国现代中药, 2020, 22 (8): 1175-1184.
- [5] 刘姗姗, 蒋波, 石雨荷, 等. HPLC 法同时测定湘产枳壳中 5 种成分含量的研究 [J]. 湖南中医杂志, 2019, 35 (5): 143-146.
- [6] 李森, 罗雪梅, 涂卫国, 等. 保氮剂对水葫芦堆肥进程及氮素损失的影响 [J]. 应用生态学报, 2017, 28 (4): 1197-1203.
- [7] 鲁耀雄, 高鹏, 崔新卫, 等. 中药渣堆肥过程中氮素转化及相关微生物菌群变化的研究 [J]. 农业现代化研究, 2018, 39 (3): 527-534.
- [8] Li Z H, Chen H F, Luo L P, et al. Determination of the active constituents in aurantii fructus from Jiangxi province at different harvest time by HPLC [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2013, 36 (1): 28-31.
- [9] Ling T, Zhou D, Gao J, et al. Simultaneous determination of naringin, hesperidin, neohesperidin, naringenin and hesperetin of *Fructus aurantii* extract in rat plasma by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis, 2012, 58: 58-64.
- [10] 卢焱焱, 王雪莲, 穆成林, 等. 一测多评法结合指纹图谱在枳壳质量评价中的应用 [J]. 中草药, 2021, 52 (2): 558-566.
- [11] 刘欣媛, 嵇长久, 彭文文. 中药枳壳的化学成分研究 [J]. 中国药理学杂志, 2018, 53 (19): 1627-1631.
- [12] 梁琴, 陈兴福, 李瑶, 等. 化肥与有机肥配施对川芎产量的影响 [J]. 中药材, 2015, 38 (10): 2015-2020.
- [13] 马超男, 蔡传涛, 刘贵周, 等. 有机肥对半夏生长及产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2016, 25 (9): 1399-1405.
- [14] 曲成闯, 陈效民, 张志龙, 等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (5): 814-823.
- [15] 王文丽, 李娟, 赵旭. 生物有机肥对连作当归根际土壤细菌群落结构和根腐病的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30

- (8): 2813–2821.
- [16] 柳玲玲, 王文华, 杨再刚, 等. 不同生物有机肥对钩藤产量、品质及土壤生物性状的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (3): 116–121.
- [17] 崔新卫, 张杨珠, 高菊生, 等. 长期不同施肥处理对红壤稻田土壤性质及晚稻产量与品质的影响 [J]. 华北农学报, 2019, 34 (6): 190–197.
- [18] 鲁耀雄, 崔新卫, 范海珊, 等. 有机无机肥配施对湖南省晚稻生长、产量及土壤生物学特性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (5): 50–55.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 魏文良, 刘路, 仇恒浩. 有机无机肥配施对我国主要粮食作物产量和氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (8): 1384–1394.
- [21] Yang Q L, Zheng F X, Jia X C, et al. The combined application of organic and inorganic fertilizers increases soil organic matter and improves soil microenvironment in wheat–maize field [J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20 (5): 2395–2404.
- [22] Wang H X, Xu J L, Liu X J, et al. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China [J]. Soil and Tillage Research, 2019, 195: 104382.
- [23] 王宁, 南宏宇, 冯克云. 化肥减量配施有机肥对棉田土壤微生物生物量、酶活性和棉花产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (1): 173–181.
- [24] 张玥琦, 程奇, 关之昊, 等. 稻草与生石灰对设施土壤微量元素含量和番茄产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2019, 33 (4): 228–233, 348.
- [25] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34 (8): 1073–1082.
- [26] 张强, 魏钦平, 齐鸿雁, 等. 北京果园土壤养分和 pH 与微生物数量的相关分析及优化方案 [J]. 果树学报, 2011, 28 (1): 15–19.
- [27] Mohamed H I, Basit A, Sofy M R, et al. Role of Microorganisms in Managing Soil Fertility and Plant Nutrition in Sustainable Agriculture [M]//Plant growth-promoting microbes for sustainable biotic and abiotic stress management. Cham: Springer, 2021. 91–114.
- [28] Eisenhauer N, Schläpghammers J, Reich P B, et al. The wave towards a new steady state: effects of earthworm invasion on soil microbial functions [J]. Biological Invasions, 2011, 13 (10): 2191–2196.
- [29] Michaud A M, Cambier P, Sappin-Didier V, et al. Mass balance and long-term soil accumulation of trace elements in arable crop systems amended with urban composts or cattle manure during 17 years [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27: 5367–5368.
- [30] Steven J F, Cesar B, Carolina Q, et al. Earthworms regulate plant productivity and the efficacy of soil fertility amendments in acid soils of the Colombian Llanos [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2019, 129: 136–143.
- [31] Cheng Q, Lu C, Shen H, et al. The dual beneficial effects of vermiremediation: reducing soil bioavailability of cadmium (Cd) and improving soil fertility by earthworm (*Eisenia fetida*) modified by seasonality [J]. Science of the Total Environment, 2021, 755: 142631.
- [32] Xu Z, Yang Z, Zhu T, et al. Ecological improvement of antimony and cadmium contaminated soil by earthworm *Eisenia fetida*: soil enzyme and microorganism diversity [J]. Chemosphere, 2021, 273: 129496.
- [33] Soliman M A, Abdou F S, Mohamed N M. Novel neutron activation analysis scheme for determination of trace elements in medicinal plants infusion [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2020, 325 (3): 841–846.
- [34] Zharkova N N, Sukhotskaya V V, Ermokhin Y I. Formation of a crop of medicinal crops (*Tanacetum vulgare* L., *Echinacea purpurea* L.) under influence of essential microelements [J]. Vegetable Crops of Russia, 2019 (5): 72–76.
- [35] 杨格格, 邢美燕, 马小杰, 等. 蚯蚓-微生物协同作用过程中的微生物特性 [J]. 环境工程, 2017, 35 (1): 124–128.
- [36] 韩琳娜, 张荣超, 周凤琴. 氮磷钾配施对紫锥菊有效成分含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (2): 57–61.
- [37] 程萌萌. 氮磷钾对蒙古黄芪生长发育及次生代谢产物积累的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

Effects of Chinese medicinal residue organic fertilizer application on soil physicochemical properties and *Aurantii fructus* yield and quality

GAO Peng¹, CUI Xin-wei¹, NIE Xin-xing², ZHU Xiao-qi¹, LU Yao-xiong^{1*}, PENG Fu-yuan^{1*} (1. Institute of Agro-Environment and Ecology, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha Hunan 410125; 2. Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei 430064)

Abstract: In order to promote the recycling of Chinese medicinal residue, improve the yield and quality of *Aurantii fructus* and reduce the application of chemical fertilizer, the effects of Chinese medicinal residue organic fertilizer combined with chemical fertilizer on *Aurantii fructus* yield, soil physicochemical properties and pharmacological active components content were studied. Results showed that compared with the chemical fertilizer, the Chinese medicinal residue organic fertilizer instead of part of the fertilizer could effectively increase soil organic matter content and pH, alleviate soil acidification, improve soil structure, increase the soil microbial number and earthworms, activate soil available nutrients, it was advantageous to the seven kinds of effective components such as aurantii naringin, neohesperidin, rutaceae naringenin, naringenin and their accumulation, and it promoted the growth of lime trees and *Aurantii fructus* yield and quality. The yield of *Aurantii fructus* (93512 kg/hm²) was the highest when the organic fertilizer of traditional Chinese medicinal residues replaced some part of chemical fertilizers and appropriately reduced 50% phosphate fertilizer (F2, N:P₂O₅:K₂O=1:0.5:1); Compared with that of CK (N:P₂O₅:K₂O=1:1:1), the yield increased by 17.5%, and the total effective components content of *Aurantii fructus* increased by 39.6%. Therefore, in the process of lime cultivation, it is recommended that farmers apply organic fertilizer instead of part of chemical fertilizer as the base fertilizer, which can increase the number of soil microorganisms and earthworms, promote the recycling and utilization of soil nutrients, and save the nutrient input, so as to achieve fruit yield and quality improvement.

Key words: Chinese medicinal residue; organic fertilizer; *Aurantii fructus*; physicochemical properties of soil; yield