

腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤理化性状及苹果产量和品质的影响^①

陈士更¹, 张民^{1*}, 丁方军^{1,2*}, 郭新送², 孟庆羽², 王焕喜²

(1 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018;

2 山东省腐植酸高效利用示范工程技术研究中心, 山东农大肥业科技有限公司, 山东泰安 271000)

摘要: 为研究不同类型土壤调理剂对酸化果园土壤的改良效果, 本试验采用普通土壤调理剂和腐植酸土壤调理剂, 设置普通土壤调理剂+常规施肥、腐植酸土壤调理剂+常规施肥、腐植酸土壤调理剂减量 15%+常规施肥和等养分肥料+常规施肥 4 个处理, 在胶东酸化果园进行了为期两年的试验。结果表明: 施用 2 种土壤调理剂均能改善酸化土壤的理化性状。在土壤物理性状方面, 与普通土壤调理剂相比, 施用腐植酸土壤调理剂的土壤容重降低 2.72% ~ 4.76%, 粉粒含量增加 3.12% ~ 5.28%, 孔隙度提高 1.74% ~ 3.54%; 在土壤化学性状方面, 施用腐植酸土壤调理剂的土壤速效钾含量增加 3.74% ~ 10.57%, pH 提高 0.07 ~ 0.45 个单位。施用 2 种土壤调理剂均能提高苹果产量, 相比于普通土壤调理剂, 施用全量腐植酸土壤调理剂可增产 4.84%, 减量 15% 施用仍增产 2.87%, 而二者间差异未达显著性水平。此外, 连续两年施用腐植酸土壤调理剂可以改善苹果的品质, 其中总糖含量提高 9.35% ~ 15.46%, 糖酸比提高 21.84% ~ 46.58%。综上, 胶东酸化果园(pH<4.5)在常规施肥下配施腐植酸土壤调理剂 1 275 kg/hm² 可作为短期内改良酸化土壤、提高苹果产量和品质的有效途径。

关键词: 腐植酸土壤调理剂; 酸化土壤; 苹果; 产量; 品质

中图分类号: S153.6+1; S156.2 文献标识码: A

果树是我国农业的支柱产业, 以山东为例, 果树种植面积达 80 万 hm²。然而, 目前山东果园土壤 75% 以上出现酸化现象, 以棕壤为主的胶东地区果园土壤酸化最为严重, 土壤 pH(土水比 1:5) 平均达到 4.25, 按土壤酸化等级划分, 呈极强酸性^[1]。土壤酸化对果树生产具有诸多不利因素, 主要是影响肥料的有效性, 加剧土壤矿物质营养元素的流失, 导致土壤肥力下降; 同时土壤酸化可促进有毒有害金属元素的活化和溶出, 加剧土壤退化; 再者土壤酸化影响土壤微生物的生命活动, 导致土壤板结, 影响果树对水分和养分的吸收^[2]。造成土壤酸化的原因有许多, 一是氮、磷肥施用过量, 而有机肥和微量元素使用不足; 二是淋溶作用致使钙、镁、钾等盐基离子淋失; 三是酸雨及大量酸性气体的排放^[3]。

当前酸化土壤的改良主要是从控制酸雨、施用土壤改良剂以及生物改良 3 个方面来进行。其中施用土壤改良剂是最常用的方法。土壤改良剂主要包括石灰

类改良剂、矿物及工业废弃物、微生物肥料、有机物料以及生物质炭等^[4]。石灰是传统公认的酸化土壤改良剂, 可以短时间内迅速提高土壤 pH 并取得一定的增产效果, 但如果长期施用有可能导致土壤“复酸化”^[5]。生物质炭是近些年兴起的新型土壤改良剂, 但生物炭作为改良剂一方面价格昂贵, 另一方面生物质炭如果长期施用, 可能导致这部分物质在土壤中积累造成土壤的次生污染^[6]。

新型腐植酸土壤调理剂一方面因为含有石灰等传统土壤调理剂的成分, 可以有效地改善土壤的酸化程度; 另一方面, 因为添加了腐植酸物质, 相比传统的土壤调理剂, 施入土壤可以形成弱酸缓冲体系, 维持土壤酸碱平衡^[7]。同时, 作为一种营养物质, 腐植酸的施入可以提高土壤有机质含量, 活化土壤中固定的钾、磷等营养元素, 供给作物吸收利用。本研究通过对比腐植酸土壤调理剂与普通土壤调理剂对酸化土壤的改良效果, 以期腐植酸土壤调理剂的应用推

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200402-10)和泰安市科技发展计划项目(2015HZ1149)资助。

* 通讯作者(minzhang-2002@163.com; dfj401@163.com)

作者简介: 陈士更(1979—), 男, 山东宁阳人, 硕士, 主要从事土壤生态学方面研究。E-mail: chen-shigeng@163.com

广提供理论依据和实践支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验地设在威海市环翠区桥头镇碑鲁村, 该区属温带季风性气候, 近 3 年年均气温 11.8℃, 年均降水量 890.1 mm。供试土壤按土壤系统命名为普通筒育

湿润淋溶土, 其基本理化性状见表 1。

按全国第二次土壤普查土壤酸度分级标准: pH<4.5 为强酸性土壤, 4.5<pH<5.5 为酸性土壤, 5.5<pH<6.5 为微酸性土壤, 6.5<pH<7.5 为中性土壤, pH>7.5 为碱性土壤, 试验区土壤试验前 pH 为 4.08, 达强酸性, 严重制约果树产量和品质, 亟需进行土壤改良。

表 1 供试土壤基本理化性状
Table 1 Basic physicochemical properties of tested soil

有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	交换性酸 (cmol/kg)	容重 (g/cm ³)	机械组成(g/kg)		
							黏粒	粉粒	砂粒
10.42	112.5	37.13	115.49	4.08	1.14	1.52	255	406	339

1.2 供试作物与肥料

试验作物为苹果, 品种为红富士, 11 a 生, 种植密度为每亩 48 棵, 树龄相同、树势整齐。

供试肥料为有机无机复混肥(有机质质量分数 20%, N-P₂O₅-K₂O 为 15-5-10); 复混肥(N-P₂O₅-K₂O 为 15-15-15); 腐植酸土壤调理剂(内容物质量分数分别为: CaO 20%、K₂O 4%、SiO₂ 10%、MgO 5%、HA 6%); 普通土壤调理剂(内容物质量分数分别为: CaO 20%、K₂O 4%、SiO₂ 10%、MgO 5%)。以上肥料均由山东农大肥业科技有限公司提供。

1.3 试验设计

试验共设 4 个处理, 分别为普通土壤调理剂+常规施肥(普通土壤调理剂施用量为 1 500 kg/hm², CF)、腐植酸土壤调理剂+常规施肥(腐植酸土壤调理剂施用量 1 500 kg/hm², HF)、腐植酸土壤调理剂减量 15%+常规施肥(腐植酸土壤调理剂用量 1 275 kg/hm², 85%HF)、等养分肥料+常规施肥(CK)。试验连续进行两年, 土壤调理剂每年一次性基施, 施肥时间与常规施肥的第一次施用时间一致。常规施肥分两次进行, 第 1 年第一次施肥时间为 2013 年 3 月 20 日, 第 2 年第一次施肥时间为 2014 年 2 月 18 日, 施用有机无机复混肥 2 250 kg/hm²; 第二次施肥时间为 2013 年 6 月 22 日和 2014 年 6 月 17 日, 施用复混肥 3 000 kg/hm²。每个处理重复 4 次, 3 棵树为 1 次重复, 共 4 个处理 48 棵树。施肥方式为在树冠下距离果树主干 1 m 左右处挖穴, 穴深约为 20 cm, 直径约为 25 cm, 每株果树挖穴 8 个, 穴施。各处理除了试验肥料不同, 其他农艺措施和田间管理均一致。

1.4 样品采集与测定

样品采集于果树成熟期(2013 年 10 月 25 日, 2014 年 10 月 18 日)。土样采集方法为在距离树干 0.8 ~ 1.2 m

范围内, 距离施肥位置水平距离 0.2 ~ 0.3 m 处, 随机选取 4 个点采集 0 ~ 40 cm 土层土样, 将土样充分混匀, 带回实验室, 风干, 分别过 40 目筛和 100 目筛, 贮存备用。

土壤容重采用环刀法测定; 土壤机械组成采用湿筛法测定; 土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定; 土壤速效钾含量利用 1 mol/L 乙酸铵浸提, 火焰光度法测定; 土壤交换性钙采用乙酸铵浸提, 原子吸收分光光度法测定; 交换性酸采用氯化钾浸提, 中和滴定法测定; 土壤 pH 按土水比 1 : 5, 采用 Sartorius PB-10 酸度计测定。

果实硬度测定采用硬度计法; 还原糖含量测定利用 3, 5-二硝基水杨酸比色法; 可溶性固形物测定采用折光仪法; 总糖量测定利用酸水解铜还原-直接滴定法; 可滴定酸测定采用滴定法。

产量测定按照每个处理在果树的 不同方位随机采集 28 个苹果, 称重, 取平均以此计算单果重, 根据每棵树的苹果数量计算出单株产量, 再根据每公顷种植 720 株果树计算出每公顷产量。

试验数据采用 Excel 2007 与 SAS 8.1 软件进行处理和统计分析, 采用 Duncan 差异显著性检验, 分析不同处理间的差异显著性。

2 结果分析

2.1 腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤物理性质的影响

试验第 1 年, 施用土壤调理剂对土壤容重无显著影响(表 2); 试验第 2 年, 施用腐植酸土壤调理剂处理显著降低了土壤容重, 较未施土壤调理剂和施用普通土壤调理剂处理降低 6.54% ~ 8.50% 和 2.72% ~ 4.76%, 而腐植酸土壤调理剂减量 15% 处理较其全量施用处理无显著变化。施用土壤调理剂会影响土壤

孔隙度,两年试验结果显示,施用土壤调理剂后土壤孔隙度有一定程度提高,并以腐植酸土壤调理剂处理

对土壤孔隙度的影响大,较其他处理提高 1.21% ~ 2.04%(2013 年)和 1.74% ~ 3.54%(2014 年)。

表 2 不同处理的土壤物理指标
Table 2 Soil physical indicators under different treatments

年份	处理	容重(g/cm ³)	毛管孔隙度(%)	机械组成(g/kg)		
				黏粒	粉粒	砂粒
2013	CK	1.51 a	42.67 b	255 a	406 a	339 a
	CF	1.47 a	42.88 b	253 a	401 a	346 a
	HF	1.44 a	43.54 a	257 a	409 a	334 a
	85%HF	1.44 a	43.02 ab	257 a	411 a	332 a
2014	CK	1.53 a	42.32 c	252 a	405 c	343 a
	CF	1.47 a	42.97 b	245 a	417 b	338 a
	HF	1.40 b	43.82 a	242 a	439 a	319 a
	85%HF	1.43 b	43.07 b	249 a	430 a	321 a

注:表中数据采用 LSD 法多重比较,同列数据小写字母不同表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著,下同。

土壤调理剂施用后,土壤粉粒含量呈增加趋势(表 2)。在土壤调理剂施用第 1 年,土壤的机械组成与未施土壤调理剂无显著差异。而第 2 年结果显示,施用土壤调理剂处理土壤粉粒含量显著高于未施土壤调理剂处理,其中以施用腐植酸土壤调理剂全量处理的粉粒含量较高,分别高出未施土壤调理剂和施用普通土壤调理剂处理 6.17% ~ 8.40% 和 3.12% ~ 5.28%;腐植酸土壤调理剂减量 15% 处理土壤粉粒含量与全量施用处理相比,无显著变化。

2.2 腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤化学性状的影响

土壤调理剂使用后对酸化果园土壤的化学性状产生一定影响。由于普通土壤调理剂为纯无机产品,施入土壤后对土壤的有机质含量基本无影响,而腐植酸土壤调理剂作为一种有机-无机复合土壤调理剂,其含有腐植酸,能增加土壤有机质,在腐植酸土壤调理剂施用两年后,土壤有机质含量提高 3.86% ~ 5.26%(表 3)。

施用普通土壤调理剂处理较未施土壤调理剂处理土壤速效钾含量稍有升高,但差异未达到显著性水平;施用腐植酸土壤调理剂处理土壤速效钾含量较普通土壤调理剂处理提高 3.74% ~ 10.57%,差异显著;而腐植酸土壤调理剂全量施用处理与其减量 15% 处理间的土壤速效钾含量无显著差异(表 3)。施用土壤调理剂第 1 年对土壤有效磷含量影响不大,各处理间的有效磷含量差异未达到显著性水平;连续施用土壤调理剂第 2 年,较常规施肥处理,施用土壤调理剂处理土壤有效磷含量提高 5.31% ~ 14.35%,其中腐植酸土壤调理剂处理与常规施肥及普通土壤调理剂处理间差异显著。施用土壤调理剂与未使用土壤调理剂处理间土壤交换性钙含量在试验第 1 年无显著差异,连续施用第 2 年,腐植酸土壤调理剂处理土壤交换性钙含量较未施土壤调理剂处理和普通土壤调理剂处理高出 0.18 ~ 0.27 g/kg 和 0.14 ~ 2.23g/kg,差异显著,而腐植酸土壤调理剂全量施用处理与减量 15% 处理无显著差异。

表 3 不同处理的土壤化学指标
Table 3 Soil chemical indicators under different treatments

年份	处理	有机质(g/kg)	速效钾(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	交换钙(g/kg)	交换酸(cmol/kg)	pH
2013	CK	10.24 b	113.75 b	32.35 a	1.29 b	1.13 a	4.06 c
	CF	10.39 ab	114.98 b	32.80 a	1.32 ab	1.12 a	4.12 c
	HF	10.69 a	125.62 a	34.32 a	1.41 a	0.94 b	4.33 a
	85%HF	10.57 ab	119.28 a	34.43 a	1.39 a	0.98 b	4.19 ab
2014	CK	10.27 b	114.57 b	32.40 b	1.30 b	1.12 a	4.05 d
	CF	10.37 b	115.19 b	34.12 b	1.34 b	1.07 a	4.19 c
	HF	10.81 a	127.36 a	37.05 a	1.57 a	0.76 b	4.64 a
	85%HF	10.77 a	121.82 ab	36.30 a	1.48 a	0.84 b	4.53ab

土壤调理剂使用后,酸化果园土壤 pH 均呈升高趋势(表 3)。其中,腐植酸土壤调理剂处理酸化改良效果显著,土壤 pH 较未施土壤调理剂处理提高 0.13~0.27 个单位(2013 年)和 0.48~0.59 个单位(2014 年),较普通土壤调理剂处理提高 0.07~0.21 个单位(2013 年)和 0.34~0.45 个单位(2014 年)。在连续施用腐植酸土壤调理剂两年后,无论是全量还是减量 15% 处理,其土壤酸化程度均由强酸性等级改善为酸性等级,且两处理间差异不显著;而普通土壤调理剂处理虽能提高土壤 pH,但未改变土壤酸化等级。腐植酸土壤调理剂改变了土壤胶体吸附的 H^+ 及 Al^{3+} 含量,表现为土壤交换性酸含量产生较大变化,较未施土壤调理剂和施用普通土壤调理剂处理在 2013 年和 2014

年分别降低 12.41%~31.79% 和 11.47%~28.46%,且降幅均到达显著性水平。

2.3 腐植酸土壤调理剂对酸化果园苹果产量的影响

施用土壤调理剂后,苹果各产量因子产生一定变化。结果显示,施用腐植酸土壤调理剂处理苹果单重显著高于普通土壤调理剂处理,且腐植酸土壤调理剂减量 15% 处理苹果单重与其全量施用处理差异不显著,而普通土壤调理剂与未使用土壤调理剂处理苹果单重无显著差异。施用土壤调理剂处理能显著增加苹果单株个数,较未施土壤调理剂处理增加 7~13 个(2013 年)和 6~11 个(2014 年),而腐植酸土壤调理剂与普通土壤调理剂处理间苹果单株个数无显著差异。

表 4 不同处理苹果产量因子
Table 4 Apple yield components under different treatments

年份	处理	单果重(g)	单株个数(个)	单株产量(kg)	产量(kg/hm ²)	增产率(%)
2013	CK	156 b	266 b	41 c	27 839b	-
	CF	157 b	279 a	44 b	29 539 ab	6.11
	HF	170 a	278 a	46 a	30 728 a	10.38
	85%HF	164 ab	273 a	45 ab	30 179 ab	8.41
2014	CK	156 b	264 b	40 b	27 316 c	-
	CF	158 b	270 a	44 ab	29 822 b	9.17
	HF	168 a	275 a	46 a	31 266 a	14.46
	85%HF	165 a	271 a	45 a	30 678 a	12.31

两年试验结果显示,较未施土壤调理剂处理,施用土壤调理剂后苹果产量提高 6.11%~10.38(2013 年)和 9.17~14.46%(2014 年),其中以腐植酸土壤调理剂全量施用处理产量最高,并与普通土壤调理剂处理差异显著。腐植酸土壤调理剂连续施用两年后,较未施土壤调理剂处理增产率达到 14.46%,较施用普通土壤调理剂处理增产率达到 4.84%,增产效果显著;同时,两年内的试验,腐植酸土壤调理剂减量 15% 处理与其全量施用处理对苹果产量影响无显著差异。

2.4 腐植酸土壤调理剂对酸化果园苹果品质的影响

苹果果实的硬度、可溶性固形物、总糖含量、可滴定酸含量均是衡量果实品质的重要指标。施用土壤调理剂处理苹果硬度均低于未施土壤调理剂处理,在腐植酸土壤调理剂施用两年后苹果硬度低于其他处理 7.41%~14.77%,差异显著。施用土壤调理剂处理苹果可溶性固形物含量小于未施土壤调理剂处理,且较普通土壤调理剂处理,腐植酸土壤调理剂处理苹果可溶性固形物含量相对较低,但差异不显著。

表 5 不同处理苹果品质因子
Table 5 Apple quality components under different treatments

年份	处理	硬度(kg/cm ²)	可溶性固形物(g/kg)	总糖含量(mg/g)	可滴定酸含量(g/kg)	糖酸比
2013	CK	8.7 a	164 a	8.5 a	3.2 a	26.4 b
	CF	8.4 a	162 a	8.8 a	3.1 a	28.4 b
	HF	7.7 a	153 a	9.6 a	2.8 a	34.1 a
	85%HF	8.3 a	154 a	9.0 a	3.3 a	27.2 b
2014	CK	8.8 a	162 a	8.3 b	3.3 a	25.3 b
	CF	8.3 a	158 a	8.6 b	3.0 a	28.8 b
	HF	7.5 b	154 a	9.6 a	2.6 a	37.0 a
	85%HF	8.1 ab	154 a	9.1 a	3.0 a	30.4 b

不同处理的苹果含糖量在第 1 年试验中无显著差异,而连续施用腐植酸土壤调理剂两年后,其苹果总糖含量分别显著高于未施土壤调理剂处理 9.35%~15.46% 和普通土壤调理剂处理 5.68%~11.59%。施用普通土壤调理剂与未施土壤调理剂处理间以及腐植酸土壤调理剂全量与减量 15% 处理间的苹果总糖含量无显著差异。各处理中以腐植酸土壤调理剂全量施用处理苹果可滴定酸含量最低,但各处理间差异不显著。两年试验结果显示,腐植酸土壤调理剂全量施用处理苹果糖酸比较其他处理提高 20.42%~29.12%(2013 年)和 21.84%~46.58%(2014 年),差异

显著。

2.5 土壤理化性状与苹果产量及品质的相关性分析

土壤的理化性状是影响作物产量及品质的重要因素之一。对苹果产量及总糖、可滴定酸品质指标与土壤理化性状的相关性分析结果显示,土壤 pH、容重、孔隙度、有机质含量、速效钾含量在一定程度上影响了苹果的产量。苹果品质方面,总糖含量主要与土壤 pH、孔隙度、速效钾含量呈现出显著相关性,容重和有机质对其也有一定的影响;其他物理化学测定指标与总糖含量之间没有明显的相关性;可滴定酸含量与土壤各物理化学指标间没有显著相关性。

表 6 苹果产量及品质与土壤理化性状的相关性
Table 6 Correlations between apple yield, quality and soil physicochemical properties

	容重	孔隙度	有机质	速效钾	交换钙	交换酸	pH
产量	-0.98**	0.90*	0.90*	0.82	0.83	-0.82	0.86
总糖	-0.91*	0.96**	0.93*	0.97**	0.86	-0.86	0.84
可滴定酸	0.73	-0.89	-0.72	-0.81	-0.78	0.75	-0.81

注: *表示在 $P<0.05$ 水平显著相关, **表示在 $P<0.01$ 水平显著相关。

3 讨论

3.1 腐植酸土壤调理剂对酸化土壤理化性状的影响

张敬敏等^[9]研究表明腐植酸能有效改善土壤结构,增加土壤团聚体数量,提高土壤保水保肥能力。本研究中在酸化果园土壤连续两年施用腐植酸土壤调理剂能显著降低土壤容重,较未施土壤调理剂处理土壤容重平均降低 7.52%,较施用普通土壤调理剂处理平均降低 3.74%。同时,长期施用腐植酸会增加土壤毛管孔隙度,增加土壤饱和导水率,本研究结论与之一致,连续施用两年腐植酸土壤调理剂处理土壤毛管孔隙度增加 1.74%~3.54%。Ijaz 等^[10]研究指出腐植酸作为土壤改良剂,可增加土壤水稳性团聚体,减小土壤紧实度,本研究中施用腐植酸土壤调理剂后,土壤粉粒含量提高 3.12%~5.28%,这可能是由于腐植酸施入土壤后形成有机-无机复合胶体,在降雨或灌水情况下,携带土壤小粒径的土壤粉粒移动。

一定范围内,土壤总有机碳含量和土壤容重与团聚体稳定性呈显著负相关关系^[12],这是改良土壤物理性状的关键因素。腐植酸作为土壤有机碳源,可补充土壤有机质,相比普通土壤调理剂,在施用两年后,腐植酸土壤调理剂处理土壤有机质含量提高 3.86%~5.26%,这可能是由于腐植酸自身含有酚羟基、醇羟基、羧基等多种官能团的大分子芳香化合物,其作为土壤调理剂施入土壤后引入了外源大分子有机物质的含量,进而增加了土壤有机质的含量,这与前人的

研究结果相一致^[10]。

腐植酸可以提高土壤中微生物的数量,特别是细菌和真菌的数量,而真菌数量与土壤中速效氮磷钾含量呈极显著正相关^[13-14]。本研究中,经过两年试验,腐植酸土壤调理剂处理较普通土壤调理剂处理土壤有效磷和速效钾含量均有一定程度的提高,其中土壤速效钾含量增加 3.74%~10.57%。这可能是由于普通土壤调理剂只能补充外源的磷素和钾素,而腐植酸土壤调理剂中腐植酸施到土壤中减少了磷的固定,同时可使无效钾转换为可溶性钾,从而提高土壤磷、钾的含量,这与刘秀梅等^[15]的研究结果基本一致。

石灰类传统的土壤改良剂,可以短时间内迅速提高土壤 pH,但如果长期施用石灰有可能导致土壤“复酸化”^[4-5]。腐植酸具有多种活性官能团,是一种两性有机大分子化合物,具有提高阳离子交换能力的作用^[13]。腐植酸土壤调理剂在生产过程中进行一定活化工艺,提高了腐植酸的活性和增加了钙的有效性。两年试验结束后,较施用普通土壤调理剂处理,施用腐植酸土壤调理剂处理土壤交换性钙含量增加 0.14~2.23 g/kg,交换性酸降低 11.47%~28.46%,土壤 pH 提高 0.07~0.45 个单位,改良酸化土壤效果显著。

3.2 腐植酸土壤调理剂对苹果产量及品质的影响

腐植酸能够提高作物的产量以及肥料利用率^[16]。张务帅等^[11]在研究腐植酸对苹果产量与品质影响中指出,活化腐植酸能大幅提高苹果产量,同时改善苹果品质。本研究中,与未施用调理剂处理相比,施用

2 种类型土壤调理剂两年后苹果产量显著增加,而且施用两年后,腐植酸土壤调理剂处理在相同用量甚至减量 15% 的情况下,苹果的增产效应要显著优于普通土壤调理剂处理,增产幅度为 3.14%~5.29%,而苹果总糖含量提高 5.68%~11.59%。这可能与土壤物理性质得到有效改善有较大关系。通过相关性分析发现,苹果的产量、总糖含量与土壤的容重、孔隙度以及有机质含量呈正相关,而施用腐植酸土壤调理剂处理土壤容重、孔隙度以及有机质含量均优于普通土壤调理剂处理。

4 结论

1)两种土壤调理剂均对酸化土壤的理化性状有改善作用,与普通土壤调理剂相比,施用腐植酸土壤调理剂土壤容重降低 2.72%~4.76%,粉粒含量增加 3.12%~5.28%,孔隙度提高 1.74%~3.54%;同时,土壤速效钾含量增加 3.74%~10.57%,pH 提高 0.07~0.45 个单位,而腐植酸土壤调理剂全量施用和减量 15%处理之间没有显著性差异。

2)施用土壤调理剂即能提高苹果产量,相比于普通土壤调理剂,腐植酸土壤调理剂全量施用处理可增产 4.84%,减量 15% 处理仍增产 2.87%,而腐植酸土壤调理剂全量施用和减量 15% 处理间苹果产量无显著差异。

3)施用腐植酸土壤调理剂可以改善苹果的品质,在施用两年后,苹果的总糖含量提高 9.35%~15.46%,糖酸比提高 21.84%~46.58%,而腐植酸土壤调理剂全量施用和减量 15% 处理间苹果总糖含量无显著差异。

4)在本试验条件下,酸化果园土壤在常规施肥下施用腐植酸土壤调理剂 1 275 kg/hm² 为改良土壤、提质增产的较佳使用量。

参考文献:

- [1] 王见月,刘庆花,李俊良,等. 胶东果园土壤酸度特征及酸化原因分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 164-169
- [2] 倡国涵,王毅,徐大兵,等. 不同施肥结构对酸性黄棕壤修复效果研究[J]. 土壤, 2016, 48(4): 714-719
- [3] 赵凯丽,蔡泽江,王伯仁,等. 不同母质和植被类型下红壤 pH 和交换性酸的剖面特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4818-4826
- [4] 姬钢,徐明岗,文石林,等. 不同植被类型下红壤 pH 和交换性酸的剖面特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2639-2645
- [5] 孟赐福,水建国,傅庆林,等. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136
- [6] Nair R, Mohamed M S, Gao W, et al. Effect of carbon nanomaterials on the germination and growth of rice plants[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2012, 12(3): 2212-2220
- [7] 杜振宇,王清华,刘方春,等. 腐植酸对钾在褐土中迁移和转化的影响[J]. 土壤, 2012, 44(5): 822-826
- [8] 张宏伟,陈港,唐爱民,等. 腐植酸共聚物对土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(10): 30-32
- [9] 张敬敏,邢尚军,桑茂鹏,等. 不同水分下腐植酸对杨树生理生化特性和生长的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 200-03
- [10] Ijaz A L, Safdar A, Khalid S K, et al. Use of coal derived humic acid as soil conditioner to improve soil physical properties and wheat yield[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2015, 5(5): 268-275
- [11] 张务帅,张建青,谷端银,等. 腐植酸复合肥对苹果生长及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 177-181
- [12] 袁天佑,冀建华,王俊忠,等. 腐植酸与氮肥配施对冬小麦氮素吸收利用及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(3): 365-372
- [13] 段佳丽,薛泉宏,舒志明,等. 放线菌 Act12 与腐植酸钾配施对丹参生长及其根域微生态的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1807-1819
- [14] 刘兰兰,史春余,梁太波,等. 腐植酸肥料对生姜土壤微生物量和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6136-6141
- [15] 刘秀梅,张夫道,冯兆滨,等. 风化煤腐殖酸对氮、磷、钾的吸附和解吸特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 641-646
- [16] 庄振东,李絮花. 腐植酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1232-1239

Humic Acid Soil Conditioner Improved Soil Physicochemical Properties, Apple Yield and Quality in Acidified Orchard Soil

CHEN Shigeng¹, ZHANG Min^{1*}, DING Fangjun^{1,2*}, GUO Xinsong², MENG Qingyu², WANG Huanxi²

(1 National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 2 Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Efficient Utilization of Humic Acid, Shandong Agricultural University Fertilizer Science Tech. Co. Ltd., Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: In order to study the improvement effects of soil conditioner on soil physicochemical properties, apple yield and quality of acidified orchard soil, four treatments were designed which included common soil conditioner + conventional fertilization, humic acid soil conditioner + conventional fertilization, humic acid soil conditioner 85% application + conventional fertilization, and equal nutrient fertilizer + conventional fertilization. The results showed that the humic acid soil conditioners improved the physicochemical properties of acidified soil and increased apple yield and quality in acidified orchard. Compared with common soil conditioner, humic acid soil conditioner reduced soil bulk density by 2.72%–4.76%, and increased silt content, porosity, rapid potassium and pH by 3.12%–5.28%, 1.74%–3.54%, 3.74%–10.57% and 0.07–0.45 units, respectively. Meanwhile, humic acid soil conditioner increased apple yield by 4.84%, even 85% of humic acid soil conditioner application still increased apple yield by 2.87%. In addition, humic acid soil conditioner increased total sugar content by 9.35%–15.46% and reduced sugar acid by 21.84%–46.58%. In conclusion, humic acid soil conditioner of 1 275 kg/hm² under conventional fertilization is regarded as the effective way in improving soil quality and apple yield and quality in short term for acidified orchard in Jiaodong area (pH<4.5).

Key words: Humic acid soil conditioner; Acidified orchard soil; Apple; Yield; Quality