

范如芹, 罗 佳, 高 岩, 等. 凹凸土对无土栽培基质性能及番茄育苗的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 792-797.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.013

凹凸土对无土栽培基质性能及番茄育苗的影响

范如芹, 罗 佳, 高 岩, 严少华, 张振华

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为改善凹凸土吸附性能和应用效果及拓宽其应用领域, 本试验尝试了对凹凸土进行改性, 比较以不同比例添加3种类型凹凸土(天然、纯化及改性凹凸土)对基于养猪发酵床垫料的无土栽培基质性能的改善作用, 并观测该基质对番茄育苗的影响。结果显示, 改性后凹凸土表面变得疏松、孔隙增加、吸附性能明显增强。随着天然和纯化凹凸土添加比例的增加, 基质容重和持水量明显增大, 而总孔隙度和通气孔隙度迅速降低。0~20%添加量, 天然凹凸土添加对基质电导率(EC)的影响不明显, 纯化凹凸土添加使得EC略有降低, 改性凹凸土效果最为明显, 添加量分别为3%和5%时, EC由2.36 mS/cm分别显著降低到2.01 mS/cm和1.89 mS/cm。番茄出苗率与基质EC之间存在显著负相关关系。番茄苗株高、茎粗、茎叶鲜质量和干质量及根部鲜质量和干质量受天然凹凸土影响不明显, 但随纯化及改性凹凸土添加有所改善, 尤其在10%纯化凹凸土和5%改性凹凸土添加基质中长势最佳。综上可知, 经过纯化尤其是改性后天然凹凸土性能得到大幅提升, 将其以合适比例添加入基质后可有效改善基质性能及育苗效果。

关键词: 凹凸土; 无土栽培; 基质; 电导率; 改性

中图分类号: S157.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)04-0792-06

Effects of attapulgite on the properties of soilless substrate and performance of tomato seedling

FAN Ru-qin, LUO Jia, GAO Yan, YAN Shao-hua, ZHANG Zhen-hua

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To improve the absorption property of attapulgite, as well as to enlarge the scope of its applications, an attapulgite was modified, and the properties of a soilless substrate based on pig bedding litter amended with different proportions of three types of attapuligites (natural, purified and modified) were studied. The performance of tomato seedling raised in the substrates was also determined. The surface of attapulgite was loosened after modification, with increased pores and elevated absorption property. The bulk density and water holding capacity of the substrate were increased with additions of

natural and purified attapuligites, while the total porosity and air porosity were significantly reduced. The electrical conductivity (EC) of substrates was not affected by addition of 0~20% natural attapulgite, while it was slightly reduced by addition of purified attapulgite. The 3% and 5% modified attapulgite applications were the most effective in reducing EC of the substrate, which was reduced from 2.36 mS/cm to 2.01 mS/cm and 1.89 mS/cm, respectively. There was a significant negative correlation relationship between emergence rates of tomato seedlings and

收稿日期: 2015-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401259); 中国博士后科学基金项目(2014M551528); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)1001-07]; 江苏省六大人才高峰项目(NY-033); 江苏省留学人员科技资助项目(苏人社2014-323)

作者简介: 范如芹(1984-), 女, 山东临沂人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为无土栽培基质调控。(Tel)025-84390787; (E-mail) fanruqin2007@126.com。罗佳为共同第一作者。

通讯作者: 张振华, (E-mail) zhenhuaz70@hotmail.com

EC of the substrate. The plant height, stem diameter, fresh and dry weights of the shoot and root exhibited no apparent changes with the addition of natural attapulgite, but were generally improved by the additions of purified and modified attapulgites. The seedlings gave the best performance in the substrates modified with 10% purified and 5% modified attapulgites. Accordingly, the properties of attapulgites were substantially promoted after purification, especially modification. Proper addition of purified and modified attapulgites could effectively improve the properties of substrates and the performance of seedling nursery.

Key words: attapulgite; soilless culture; substrate; electrical conductivity; modify

凹凸棒土简称凹凸土或凹土(Attapulgite),是一种层链状过渡结构的以含水富镁硅酸盐为主的黏土矿。Bradley 于 1940 年提出凹凸土的理论化学式为: $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}^{[1]}$, 其晶体呈棒状、纤维状, 层内贯穿孔道, 表面凹凸相间布满沟槽, 具有较大的比表面积^[2], 大部分的阳离子、水分子和一定大小的有机分子均可直接被吸附进孔道中^[3], 具有纳米棒状晶体形态, 因而表现出优异的物理化学性质。尤其是凹凸土具有较强吸附性, 因而在石油化工、日用化工、食品加工、新型建材、环保、饲料、农药等领域有着广阔的应用^[4]。然而, 天然凹凸土杂质含量较多, 削弱了其原有的性能, 使用具有一定的局限性。提纯是对凹凸土深加工、开发高档次产品的首要条件, 纯化凹凸土的吸附性能大幅提高, 使用效果也得到提升。改性可对凹凸土性能进一步提升, 是目前该领域研究热点^[4,6]。中国有丰富的凹凸土资源, 且价格低廉, 但中国对凹凸土的研究起步较晚, 远远落后于发达国家, 且资源利用率底, 因此提高凹凸土的吸附性能、扩大其应用范围具有非常重要的现实意义^[5-6]。

由于土壤栽培存在连作障碍和土壤次生盐渍化等缺点, 基质栽培将是设施农业的主要方向之一^[7]。以废弃物为原料的基质是目前市场开发及科学研究的重点和热点, 而以废弃物为原料的基质普遍存在电导率偏高、保水持水性差等问题^[8], 如何提高基质保水性能、降低电导率及对作物的盐分胁迫是该领域的首要任务和难题之一。目前, 农业领域对凹凸土的报道多集中在其对重金属和有机物的吸附效果方面, 凹凸土在无土栽培基质盐分控制方面的应用尚处在初步探索阶段。因此, 本试验尝试了对凹凸土进行改性, 通过研究添加不同类型(天然、纯化及改性凹凸土)和不同比例的凹凸土对基质理化性质的影响, 观测其对番茄基质育苗的影响, 旨在为扩大凹凸土应用范围和提升基质品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

所用基质为基于养猪发酵床废弃垫料堆肥原料的废弃物基质, 其配方为: 发酵床垫料: 蛭石: 珍珠岩: 泥炭 = 3: 2: 3: 2 (体积比), 其总氮、总磷、总钾及速效氮、速效磷、速效钾养分含量分别为 24.20 g/kg、8.62 g/kg、10.10 g/kg、1.94 g/kg、2.41 g/kg 和 5.99 g/kg。发酵床垫料堆肥来自江苏省农业科学院六合有机肥厂, 由基于作物秸秆的猪圈发酵床垫料圈内腐解(两年)及出圈后经过再次堆肥(一个月)制成。天然凹凸土和纯化凹凸土购自江苏玖川纳米材料科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 凹凸土的改性及观察 采用酸化改性方法对凹凸土进行改性^[6], 具体为: 纯化凹凸土 420 ℃ 焙烧 2 h 后, 加入 1 mol/L H_2SO_4 , 土: 酸 = 1: 10, 放入水浴锅中加热沸腾 2 h, 水洗至中性后放入烘箱内于 105 ℃ 烘至恒质量, 置于干燥密闭的容器中保存。用电子扫描显微镜(JSM-5410, JEOL Ltd, Japan)观察凹凸土的表面微观结构。

1.2.2 添加不同比例凹凸土基质的理化性质测定

上述栽培基质添加不同种类的凹凸土, 添加量分别为: 天然凹凸土 10%、20%、30%、40%、50%, 纯化凹凸土 5%、10%、20%、30%、40%, 改性凹凸土 1%、3%、5%。以无凹凸土的基质为对照。实验室内测定不同凹凸土添加比例基质的基本理化性质, 每个处理 3 个重复。添加不同比例的凹凸土基质与去离子水 1: 5 比例混合搅拌, 静置 8 d 后用 pH 计和电导率仪测定 pH 值和电导率^[9]; 容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度测定均参照澳大利亚基质测定标准^[9-10], 具体为: 取已知体积和质量的基质浸入去离子水中充分吸水后重力排水, 此过程重复 3 次以确保基质吸水饱和, 重力排水 30 min, 再次测

定其体积及质量,然后放入烘箱 105 ℃ 烘干 7 d,再次称质量。用上述质量和体积计算容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度值^[11],阳离子交换量的测定参照王黎明^[12]的方法。

1.2.3 番茄生长指标观测 根据凹凸土基质理化性质测定结果,选取性能接近理想基质的处理进行番茄育苗实验。天然凹凸土、纯化凹凸土和改性凹凸土各选取了 3 个添加比例的基质进行番茄育苗试验。番茄种植于穴盘中,每穴两粒种子,长至两叶时,保留长势一致的幼苗,每穴一株。每个处理 3 个重复,每个重复 10 株苗。置于塑料大棚内随机区组摆放,每 3 天用吸管补水 1 次,每个处理补水量一致。番茄种植 7 d 后测定出苗率。番茄育苗 40 d 后收获,测定番茄幼苗株高、茎粗、叶绿素含量,番茄苗样品分地上部和根系两部分采集,清洗干净后,用吸水纸吸干表面水

分,测定鲜质量,于 105 ℃ 烘箱中杀青 30 min 后,降温至 75 ℃ 烘至恒质量,测定干质量。叶绿素含量用 SPAD 叶绿素仪 (Spad-502 c, Japan) 测定。

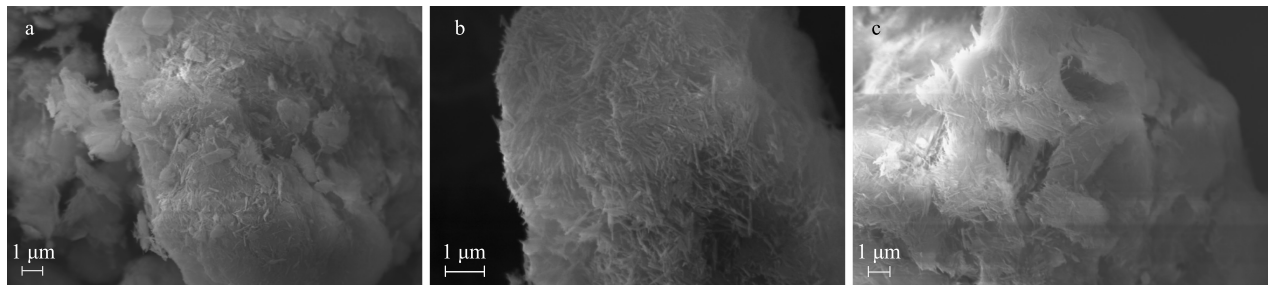
1.3 统计分析

采用 SPSS 11.5 软件进行 LSD 显著性差异检验,用皮尔森 (Pearson) 相关系数进行相关关系分析,采用 SigmaPlot 12.0 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 改性后凹凸土结构及性质

通过扫描电镜观察 (图 1) 可知,天然凹凸土表面杂质较多,纯化凹凸土则杂质较少,表面有疏松毛刺状鳞片,改性后的凹凸土颗粒外观更为疏松,而且表面分布有大小不一的孔隙,与天然及纯化凹凸土相比,呈现明显的疏松多孔的特点。



a、b、c 分别为天然、纯化及改性凹凸土。

图 1 天然、纯化及改性凹凸土扫描电镜下的微观结构

Fig. 1 The microstructure of natural, purified and modified attapulgites observed by SEM

改性后凹凸土化学性质发生了明显变化,与纯化凹凸土相比,1 mol/L H_2SO_4 改性后凹凸土 pH 值降低了 19.33%,由碱性降至中性;电导率 (EC) 变化不明显 (表 1)。

表 1 3 种凹凸土 pH 值和电导率

Table 1 The pH value and electrical conductivity of three attapulgites

凹凸土类型	pH 值	电导率 (mS/cm)
天然凹凸土	8.53±0.06a	0.47±0.02a
纯化凹凸土	8.33±0.06a	0.05±0.01b
改性凹凸土	6.92±0.03b	0.09±0.01b

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.2 不同凹凸土添加比例对基质基本性状的影响

由表 2 可知,与对照相比,随着天然和纯化凹凸土添加比例的增加,基质容重明显增大,当二者添加比例

增至 30% 时,基质容重均由 0.33 g/cm³ 增至 0.40 g/cm³。1%~5% 改性凹凸土添加对基质容重影响不显著。基质总孔隙度及通气孔隙度随凹凸土添加量的增加而迅速降低,尤其通气孔隙度降低更为明显,3 种 (天然、纯化及改性) 凹凸土添加比例仅为 5% 时,基质通气孔隙度便已分别下降至 15.7%、16.1% 和 14.9%,分别下降了 40.1 个百分点、38.5 个百分点和 43.1 个百分点。改性凹凸土添加对基质总孔隙度没有明显影响。基质持水量受凹凸土添加的影响亦十分明显。添加 5% 天然、纯化及改性凹凸土的基质持水量由对照的 52.8% 分别升高至 57.1%、58.8% 和 60.1%,且随凹凸土添加量的增加而持续升高。相同添加比例下,3 种类型凹凸土基质间没有显著差异。

基质 pH 值随天然及纯化凹凸土添加比例增加而升高,由对照的 7.27 分别升高至 7.57 和 7.47,添

加改性凹凸土基质间 pH 值无显著差异(表 3)。天然及纯化凹凸土添加比例在 0 ~ 20% 均对基质电导率 (EC) 影响不显著。随天然、纯化凹凸土添加量的继续增加, EC 开始下降, 添加天然凹凸土基质降低幅度

小于纯化凹凸土基质, 当添加量增至 30% 时显著低于对照(表 3)。改性凹凸土对基质 EC 的降低效果最明显, 添加量分别为 3% 和 5% 时, EC 由对照的 2.36 mS/cm 分别显著降低到 2.01 mS/cm 和 1.89 mS/cm。

表 2 不同凹凸土添加比例下基质物理性质

Table 2 Physical properties of substrates amended with different proportions of attapulgit

凹凸土比例	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙度 (%)	持水量 (%)
天然 0 (对照)	0.33±0.01c	66.4±1.4a	26.2±1.2a	52.8±3.8d
天然 5%	0.34±0.01c	64.2±3.9a	15.7±0.3b	57.1±2.8cd
天然 10%	0.37±0.03bc	62.2±2.5ab	10.4±0.9c	60.3±3.9bc
天然 20%	0.38±0.01b	60.0±4.2bc	10.0±0.6c	64.6±1.7b
天然 30%	0.40±0.01ab	58.2±2.9c	8.6±0.5c	66.6±2.1a
天然 40%	0.43±0.01a	55.9±2.5d	6.2±1.2d	69.8±1.7a
纯化 0 (对照)	0.33±0.01c	66.4±1.4a	26.2±1.2a	52.8±3.8d
纯化 5%	0.34±0.01c	63.6±2.0ab	16.1±1.0b	58.8±1.6cd
纯化 10%	0.36±0.02bc	62.0±1.2b	12.2±0.8bc	60.3±1.5bc
纯化 20%	0.39±0.01ab	62.9±3.4b	11.4±0.4c	59.9±0.8bc
纯化 30%	0.40±0.01ab	60.2±4.6bc	10.6±1.2c	62.7±1.8b
纯化 40%	0.42±0.01a	58.1±3.5c	9.4±1.1c	68.8±1.5a
改性 0 (对照)	0.33±0.01a	66.4±1.4a	26.2±1.2a	52.8±3.8c
改性 1%	0.33±0.01a	64.2±2.5a	20.0±0.8b	53.5±1.8bc
改性 3%	0.33±0.02a	63.6±1.9a	16.2±1.1b	57.9±1.5ab
改性 5%	0.33±0.04a	64.5±3.4a	14.9±0.5b	60.1±3.2a

同列同种凹凸土数值后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

表 3 不同凹凸土添加比例下基质 pH 值和电导率

Table 3 The pH value and electrical conductivity of substrates amended with different proportions of attapulgit

凹凸土比例	pH 值	电导率 (mS/cm)
天然 0 (对照)	7.27±0.06b	2.36±0.03a
天然 5%	7.37±0.06ab	2.33±0.05a
天然 10%	7.40±0.10a	2.26±0.07ab
天然 20%	7.47±0.12a	2.21±0.08ab
天然 30%	7.50±0.10a	2.17±0.06bc
天然 40%	7.57±0.06a	2.04±0.03c
纯化 0 (对照)	7.27±0.06b	2.36±0.03a
纯化 5%	7.27±0.12b	2.30±0.04ab
纯化 10%	7.33±0.06ab	2.23±0.02ab
纯化 20%	7.40±0.10a	2.19±0.05b
纯化 30%	7.40±0.01a	2.08±0.03c
纯化 40%	7.47±0.06a	2.02±0.06c
改性 0 (对照)	7.27±0.06a	2.36±0.03a
改性 1%	7.25±0.05a	2.28±0.09ab
改性 3%	7.18±0.08a	2.01±0.08bc
改性 5%	7.20±0.04a	1.89±0.05c

同列同种凹凸土数值后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.3 不同凹凸土添加比例对番茄基质育苗效果的影响

根据上述基质理化性质变化情况, 选择理化性质符合或接近基质标准的部分处理进行番茄育苗试验, 即分别选择添加 0 ~ 20% 天然凹凸土、0 ~ 20% 纯化凹凸土及 0 ~ 5% 改性凹凸土的基质进行试验。结果(表 4)显示, 添加天然凹凸土的各基质中番茄出苗率与对照相当, 均为 75.0% ~ 76.0%, 处理间无显著差异, 3 种纯化凹凸土添加比例对出苗率影响亦不显著, 而添加改性凹凸土处理中出苗率显著升高, 且随添加比例的增加而升高。出苗率与基质电导率间存在负相关关系: $Y = 253.7 - 153.3x - 33.1x^2$ ($r = 0.962$)。番茄苗株高受凹凸土的影响规律与出苗率一致。与对照相比, 天然凹凸土添加对番茄苗茎粗、茎叶及根部的鲜质量与干质量等生长指标的影响不显著, 但添加纯化凹凸土及改性凹凸土的效果较为明显。纯化凹凸土添加 10% 处理下茎粗、茎叶鲜质量和干质量分别比对照高 18.7%、36.6% 和 102.0%, 添加 5% 改性凹凸土处理下也达

到相同水平,纯化凹凸土添加量为 20% 的番茄幼苗各指标均有所下降。根部生长指标所受到的影响类似,以 10% 纯化凹凸土和 5% 改性凹凸土添加处理

中番茄根系生长较为发达。叶绿素含量受各类型凹凸土添加的影响不显著(表 4)。

表 4 添加不同比例凹凸土基质中番茄苗生长状况

Table 4 Growth status of tomato seedlings in substrates amended with different proportions of attapulgite

凹凸土比例	出苗率 (%)	株高 (cm)	茎粗 (mm)	茎叶鲜质量 (g)	茎叶干质量 (g)	叶绿素 (SPAD 值)	最大根长 (cm)	根鲜质量 (g)	根干质量 (g)
对照	75.4c	13.0c	2.51c	2.60d	1.05c	33.5a	16.9c	0.97c	0.03c
天然 5%	75.7c	12.3c	2.48c	2.51d	1.06c	32.8a	17.2bc	1.10c	0.03c
天然 10%	75.0c	12.8c	2.57bc	2.96c	1.10c	31.8a	17.4bc	1.31bc	0.04bc
天然 20%	76.0c	12.8c	2.59bc	2.91c	1.09c	34.8a	17.4bc	1.31bc	0.04bc
纯化 5%	76.3b	14.5bc	2.52bc	3.20bc	1.69a	32.4a	18.3ab	1.55b	0.06ab
纯化 10%	76.7bc	17.6a	2.98ab	4.10a	2.13a	32.0a	17.9b	1.75a	0.06ab
纯化 20%	76.9bc	16.4ab	2.71b	3.50b	2.00ab	32.0a	17.0bc	1.64ab	0.05b
改性 1%	76.0c	15.4b	2.73b	3.01bc	1.36bc	31.9a	17.7b	1.57b	0.06ab
改性 3%	78.1b	16.9ab	3.14a	3.83ab	2.01ab	34.0a	19.1a	1.68a	0.08a
改性 5%	82.3a	17.9a	3.17a	3.99a	2.12a	33.7a	18.7a	1.79a	0.08a

同列数值后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

3 讨论

本研究所采用的改性凹凸土先后经历了高温焙烧和酸化过程。适度的高温可增大其比表面积,提高吸附性能。高华等^[6]指出,天然凹凸棒土的比表面积约为 140~210 m²/g,经高温焙烧后可达到 300 m²/g 以上。酸化过程不仅可除去凹凸土孔隙中的杂质,使孔道疏通,还可通过离子交换增大孔隙容积,从而使其吸附性进一步提高。

随凹凸土添加比例的增大,基质容重也逐渐增大,根据 De Boodt 等^[13]和 Abad 等^[14]关于理想基质的标准,基质容重低于 0.4 g/cm³ 时适宜作物生长,可知凹凸土添加至 30% 时可能会对作物造成不利影响。随凹凸土添加比例的增大,总孔隙度及通气孔隙度迅速降低,这与容重的增大相吻合。无论添加何种类型的凹凸土(天然、纯化及改性凹凸土),基质通气孔隙均下降,仅 5% 的添加量即造成 40% 以上的下降幅度,且数值均降到了 20% 以下(14.9%~16.1%),低于理想基质的通气孔隙范围(20%~30%)^[14]。添加凹凸土后基质持水能力明显上升,这与凹凸土本身的物理结构有关。较大的比表面积及多孔结构均使其具有一定的吸收和保持水分的特性,这对基质持水性能的改善具有重要意义,但过高的添加比例对提高持水性能无益。基

质 pH 值的变化是由凹凸土本身 pH 值引起的,天然及纯化凹凸土 pH 值分别高达 7.53 与 7.33,高比例的添加使得基质呈现碱性,这将对栽培作物具有一定潜在危害。理想基质 pH 值以 5.3~6.5 为宜^[14]。Jayasinghe 等^[15]也发现,大部分温室栽培作物更适宜微酸性基质环境,因为这种微酸性基质可增加多种养分的有效性。改性凹凸土呈中性,添加后对基质 pH 值几乎没有影响。以养殖废弃物为原料的基质中普遍存在电导率较高的弊端,本研究所用的基于发酵床垫料的基质电导率(EC)高达 2.36 mS/cm,对栽培作物尤其是育苗不利。天然凹凸土添加比例为 0~20% 时对基质 EC 影响不大,可能与天然凹凸土杂质含量较高有关,目前该领域尚无天然凹凸土降低基质 EC 的报道。当大量天然凹凸土添加后(30%、40%),因凹凸土本身 EC 较低,故基质 EC 因凹凸土的物理稀释作用而降低。纯化凹凸土添加对 EC 的降低作用较天然凹凸土有所改善,但仍在高添加量下有明显作用,而改性凹凸土添加量仅为 3% 和 5% 时,EC 即分别降至 2.01 mS/cm 和 1.89 mS/cm,这对提高基质适用性具有重要意义,同时说明了凹凸土改性后吸附性能大大提升,对吸附基质中过高的盐基离子较为有效。

根据以上基质性能分析,过高比例的天然及纯化凹凸土(30%~40%)添加使基质容重偏大,孔隙

度过低,不利于作物生长,故选择了 0~20% 的添加比例进行番茄育苗试验,以验证不同类型及添加比例的凹凸土对基质容重、孔隙度、持水量、pH 值、EC 等影响的综合效果。出苗率受基质 EC 影响最为明显,与 EC 呈显著负相关关系。这种高 EC 引起作物出苗率低的现象与 Bustamante 等^[16]和 Medina 等^[17]的结果一致。番茄苗茎粗、茎叶及根部的鲜质量与干质量等生长指标受天然凹凸土添加影响不明显,而番茄苗在 10% 纯化凹凸土和 5% 改性凹凸土添加基质中长势最佳。这可能是因为这 2 个处理中基质容重在理想范围内,持水量和孔隙度相对较高,而 EC 值相对较低等原因引起的。综上所述,10% 纯化凹凸土和 5% 改性凹凸土添加下,基于发酵床垫料的基质理化性能较佳,适宜用作番茄育苗基质。然而值得提醒的是,所采用的凹凸土改性过程较为繁琐费时,为获得大量改性凹凸土用于大规模基质生产,简易的凹凸土改性方法还有待探索。

参考文献:

- [1] BRADLEY W F. The structural scheme of attapulgite [J]. *American Mineralogist*, 1940, 25(6): 405-410.
- [2] 钱运华,费泽才. 凹凸棒石粘土填充橡胶研究[J]. *非金属矿*, 2000, 23(6): 25-26.
- [3] 胡涛,钱运华,金叶玲,等. 凹凸棒土的应用研究[J]. *中国矿业*, 2006, 14(10): 73-76.
- [4] 王红艳,张艳,周守勇,等. 硫酸改性凹凸棒粘土的性能表征及吸附 Pb II 工艺研究[J]. *淮阴师范学院学报:自然科学版*, 2005, 4(1): 47-50.
- [5] 黄健花,王兴国,金青哲,等. 超声波有机改性凹凸棒土的苯酚吸附性能研究[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2005, 6(9): 25-28.
- [6] 高华,方兴. 凹凸棒土改性方法研究进展[J]. *资源开发与市场*, 2008, 24(12): 1090-1093.
- [7] 柴喜荣,程智慧,孟焕文,等. 追肥对农业废弃物有机基质栽培番茄生长发育和养分吸收的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(2): 20-24.
- [8] 张建华. 典型有机废弃物堆肥化产品的基质利用和对土传细菌病害抑制作用的研究[M]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [9] FARRELL M, JONES D L. Food waste composting: Its use as a peat replacement [J]. *Waste Management*, 2010, 30: 1495-1501.
- [10] AS 3743-2003 Australian standards for potting mixes[S].
- [11] FARRELL C, ANG X Q, RAYNER J P. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 52: 112-118.
- [12] 王黎明. 土壤中阳离子交换量的快速测定——蒸馏法[J]. *宁夏农林科技*, 2012, 53(9): 156-156.
- [13] DE BOODT M, VERDONCK O. The physical properties of substrates in horticulture [J]. *Acta Hort*, 1972, 26:37-44.
- [14] ABAD M, NOGUERA P, BURÉS S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 77: 197-200.
- [15] JAYASINGHE G Y, ARACHCHI I D L, TOKASHIKI Y. Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative [J]. *Resources, Conservation, and Recycling*, 2010, 54:1412-1418.
- [16] BUSTAMANTE M A, PAREDES C, MORAL R, et al. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production [J]. *Resources, Conservation, and Recycling*, 2008, 52:792-799.
- [17] MEDINA E, PAREDES C, PÉREZ-MURCIA M D, et al. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100:4227-4232.

(责任编辑:袁伟)