

# 蚯蚓堆肥用作苹果育苗基质的应用研究<sup>①</sup>

常大丽<sup>1</sup>, 余碧霞<sup>2,3</sup>, 陈运动<sup>3</sup>, 张旭辉<sup>1</sup>, 焦加国<sup>1</sup>, 王东升<sup>4</sup>,  
李辉信<sup>1</sup>, 高继明<sup>3</sup>, 徐莉<sup>1\*</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 安徽农业大学园艺学院, 合肥 230000;

3 安徽鲁班新农村开发股份有限公司, 安徽芜湖 241000; 4 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042)

**摘要:** 本研究采用穴盘栽培的方式, 以不同比例的蚯蚓堆肥替代草炭调配育苗基质配方, 用于苹果的育苗效果研究, 通过比较苹果苗生长状况, 以为蚯蚓堆肥在果树育苗上的应用提供参考。试验设置 4 个处理, 包括传统草炭基质处理(对照)、蚯蚓堆肥 25%、50%、100% 替代草炭基质处理, 对苹果苗的株高、茎粗、叶片光合色素含量、壮苗指数、根系形态和根系活力指标进行测定和分析。结果发现: 与对照相比, 蚯蚓堆肥不同比例替代草炭(25%、50%、100%)均能够增加苹果苗的地上生物量, 以全替代(100%)的效果最为显著, 全替代处理下苹果苗的存活率提高了 15%, 根系长度、根表面积、根体积、根尖数、根干重和根系活力分别增加了 23.40%、47.61%、5.88%、38.57%、20.17%、228.75%。因此, 蚯蚓堆肥可以全替代草炭用作苹果苗的育苗基质, 且不仅能够降低成本, 还可以促进农业废弃物的循环转化, 降低环境风险。

**关键词:** 育苗基质; 蚯蚓堆肥; 苹果苗; 根系形态

**中图分类号:** S317; S604+.3 **文献标识码:** A

随着工厂化苹果育苗的迫切需求, 基质穴盘育苗技术的广泛普及, 对于穴盘基质的需求越来越多, 同时现在多数工厂采用穴盘对苹果进行育苗, 其中所用育苗基质要求具有重量轻、根系缠绕性好、富含营养和调节植株根部的水气比等特点<sup>[1-2]</sup>。目前, 世界各地育苗所采用的育苗基质大多以草炭为主要成分。但草炭为主要基料的育苗基质养分缓冲性能差, 养分含量低, 在幼苗生长的中后期常常因缺肥而导致幼苗生长受到不利影响, 同时草炭属于短期内不可再生资源, 价格昂贵, 而且随着对草炭需求量的日益增加, 草炭消耗增加面临资源的枯竭。因此, 积极开发资源广阔、环境友好、绿色安全的育苗基质, 用以取代草炭/蛭石型育苗基质具有重要意义<sup>[3-5]</sup>。

蚯蚓堆肥是蚯蚓通过体腔消化道消解有机固体废弃物的产物, 来源广泛, 作为有机代用基质具备了产业化发展的前提条件。许多研究发现, 蚯蚓堆肥具有较好的通气性、排水性和持水能力, 富含腐殖质<sup>[6-10]</sup>及一些植物激素类物质, 表面积大, 可为许多有益微

生物提供良好的生存空间和营养物质, 这些特征均有利于植物的生长发育<sup>[11-12]</sup>。因此, 蚯蚓堆肥已开始被用来替代草炭用作作物的育苗基质。黄忠阳等<sup>[13]</sup>研究表明, 蚯蚓堆肥基质能够显著促进小白菜幼苗的生长和干物质积累; 张舒玄等<sup>[14]</sup>研究表明, 蚯蚓堆肥基质能够提高草莓育苗的存活率, 促进草莓幼苗的发育。此外, 随着现代农业逐渐转向科学化、集约化、规模化发展, 大量农业固体废弃物(菌渣、鸡粪等)的合理处置存在很大的环境压力, 通过蚯蚓堆肥转化农业固体废弃物用于园艺植物栽培, 其自身含有丰富营养元素, 在苗期可以不施肥, 是资源化利用农业固体废弃物的一种有效途径, 不仅能将其变废为宝, 而且可有效地减轻对生态环境的污染。

因此, 本研究采用穴盘栽培的方式, 以不同比例的蚯蚓堆肥替代草炭调配育苗基质配方, 用于苹果的育苗效果研究, 通过比较苹果苗生长状况, 以获得蚯蚓堆肥替代草炭的最佳施用量, 为蚯蚓堆肥在工厂果园育苗应用生产方面提供理论依据。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503121), 安徽省博士后研究人员科研活动经费项目(2015B057), 安徽省科技攻关项目(1604a0702006), 江苏省有机固体废物资源化协同创新中心和江苏省优势学科平台项目资助。

\* 通讯作者(xuli602@njau.edu.cn)

作者简介: 常大丽(1991—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事蚯蚓堆肥的应用研究。E-mail: changdali111@163.com

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验地概况

试验地点位于安徽省芜湖市芜湖东源新农村大浦试验研究中心温室大棚,海拔 7 m,地理位置为 118°42' E, 31°11' N,属北亚热带湿润型季风气候区,年均气温为 15.8℃,年均降水量为 1 400~1 600 mm。

### 1.2 供试材料

蚯蚓堆肥的制备:菌渣和鸡粪由安徽芜湖大浦试验研究中心提供,有机质含量分别为 755.87、661.69 g/kg,总氮含量分别为 12.27、32.74 g/kg,有效磷含量分别为 998.12、3 062.53 mg/kg,速效钾含量分别为 112.15、401.79 mg/kg,pH 分别为 7.1、9.0,EC(电导率)分别为 0.05、9 mS/cm。菌渣和鸡粪经过常规堆肥(2015 年 12 月 22 日至 2016 年 3 月 23 日,共 90 d),根据国家有机肥的标准,达到堆肥卫生指标合格和腐熟条件之后将其堆放于温室大棚的蚯蚓堆肥池(2 m×1 m×0.5 m),按照 5%比例添加蚯蚓(池内投放 2.5 kg 的蚯蚓,蚯蚓平均单重为 0.49 g,每个小区约 5 000 条),并铺盖一层 2~3 cm 的稻草秸秆,用于遮阴保湿。适时浇水,保证湿度 60%~70% 和温度 20~30℃。经过蚯蚓充分取食后(2016 年 3 月 23 日至 2016 年 7 月 21 日,共 120 d),分离蚯蚓,获得蚯蚓堆肥,过 6 mm 筛保存待用。

组织培养的苹果幼苗和草炭由大浦试验研究中心提供。

### 1.3 试验处理

试验以穴盘方式进行,穴盘穴数为 5×10,盘体长 54 cm、宽 28 cm、穴深 50 mm,口径 50 mm×50 mm,底部 22 mm×22 mm,容量 55 ml。基质材料有草炭、蚯蚓堆肥、沙子和蛭石。试验共设 4 个处理,即常规育苗基质处理(CK)和蚯蚓堆肥不同比例(25%、50%、100%)替代草炭处理(T1、T2、T3),具体为:CK,草炭 蛭石 沙子 =1 1 1;T1,草炭 蚯蚓堆肥 蛭石 沙子 =0.75 0.25 1 1;T2,草炭 蚯蚓堆肥 蛭石 沙子 =0.5 0.5 1 1;T3,蚯蚓堆肥 蛭石 沙子 =1 1 1。蚯蚓堆肥和草炭的理化性状见表 1。每个处理 4 次重复,每个重复 10 颗苹果幼苗,随机区组排列。按常规育苗方式管理,在苹果苗都长出新芽生长稳定后,进行取样测定,前后时间大约 30 d。

### 1.4 测定指标和方法

茎粗(紧靠子叶节下部)和株高(以植株基部到生长点之间的高度为准)用游标卡尺测量;光合色素含量(SPAD 值)采用便捷式叶绿素测定仪测定;植株干重

测定需将样品先在通风干燥箱 105℃下杀青 30 min,然后在 70℃下烘至恒质量后称重;根系形态指标(总根长、根体积、根表面积、根尖数)用根系扫描仪(型号为 LA1600+,Canada;分析软件为 Winrhizo2003b)测定;根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定。壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重。

蚯蚓堆肥和育苗基质风干,研磨过 20 目和 100 目筛。其养分含量、容重、pH、EC、孔隙状况等采用常规方法测定。称取 5 g 鲜样,按  $m_{\text{鲜样}}/V_{\text{去离子水}}=1/10$  混匀,振荡浸提 2 h 后静置 30 min,用 pH 计测定 pH,用电导率仪测定 EC;有机质用重铬酸钾-硫酸稀释加热氧化法测定;全氮采用硫酸-过氧化氢消煮蒸馏法测定;全磷采用硫酸-过氧化氢消煮钒钼黄比色法测定;全钾采用硫酸-过氧化氢消煮火焰光度计测定;速效氮用 1 mol/L 氯化钠提取,Zn-FeSO<sub>4</sub> 还原蒸馏法测定;速效磷用 2% 柠檬酸浸提,钒钼黄比色法测定;速效钾用 1 mol/L 硝酸浸提,用火焰光度计测定<sup>[15]</sup>。

### 1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2003、SPSS 11.5 和 Origin8.5 软件进行统计分析和制图,处理间的显著差异采用单因素方差分析,平均值多重比较采用最小显著极差法(LSD)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同配比蚯蚓堆肥育苗基质的基本理化性质

苹果苗适宜生存在有光,微酸性到微碱性的环境,最适于在富含有机质、通气排水良好的基质中生长<sup>[16]</sup>。由表 1 可知,菌渣和鸡粪经过蚯蚓堆制获得的蚯蚓堆肥,相比草炭,EC、容重、有机质和全量养分含量均有所上升。不同配比的蚯蚓堆肥育苗基质与 CK 处理相比,其大量元素氮、磷含量变高,容重和有机质也高于 CK,各处理的 EC 值在 0.17~0.31 mS/cm,符合 EC 值的安全要求(<2.6 mS/cm=<sup>[17]</sup>)。加入蚯蚓堆肥的各处理 pH 趋于中性,与 CK 的酸性条件相比,有蚯蚓堆肥的处理能为苹果苗的生长提供最适的 pH。因此蚯蚓堆肥相比草炭,它可为苹果苗的生长提供充足的养分和适宜的生长环境,就资源的可利用方面,蚯蚓堆肥的可再生和廉价易得为育苗的扩大化生产提供很大便利。

### 2.2 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗生长的影响

**2.2.1 存活率** 由表 2 可知,不同育苗基质中,

T3 处理下苹果苗存活数较多,存活率为 95%,CK 的存活率为 80%。这可能与 T3 处理的基质 pH 偏弱碱

性,有机质含量较高,全磷含量较高,适于苹果苗生长,可为其提供较高的养分有关<sup>[18]</sup>。

表 1 蚯蚓粪、草炭以及不同配方育苗基质的基本理化性质  
Table 1 Physiochemical properties of vermicompost, peat and different substrates

处理	容重(g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度(%)	EC(mS/cm)	pH
蚯蚓堆肥	0.44 ± 0.01 c	41.88 ± 1.09 c	0.89 ± 0.01 a	7.49 ± 0.02 b
草炭	0.39 ± 0.01 d	48.57 ± 1.48 a	0.64 ± 0.01 b	4.76 ± 0.01 f
CK	0.67 ± 0.01 b	48.59 ± 0.82 a	0.17 ± 0.02 e	5.67 ± 0.07 e
T1	0.74 ± 0.01 a	43.03 ± 1.14 bc	0.31 ± 0.03 c	6.35 ± 0.06 d
T2	0.69 ± 0.02 b	45.39 ± 0.80 ab	0.24 ± 0.01 d	6.77 ± 0.01 c
T3	0.73 ± 0.01 a	48.82 ± 0.68 a	0.30 ± 0.02 c	7.74 ± 0.01 a
处理	有机质(g/kg)	N(g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	K <sub>2</sub> O(g/kg)
蚯蚓堆肥	827.46 ± 15.65 a	40.42 ± 0.35 a	43.41 ± 0.62 a	5.95 ± 0.11 c
草炭	501.20 ± 15.98 b	13.28 ± 0.94 b	2.57 ± 0.31 d	6.56 ± 0.16 c
CK	85.15 ± 15.05 e	5.79 ± 0.18 c	1.40 ± 0.03 e	10.00 ± 0.74 a
T1	174.23 ± 9.30 c	6.05 ± 0.18 c	3.86 ± 0.19 c	8.80 ± 0.27 b
T2	132.40 ± 10.50 cd	6.08 ± 0.19 c	3.65 ± 0.04 c	9.25 ± 0.19 ab
T3	126.38 ± 14.20 de	5.80 ± 0.21 c	6.56 ± 0.14 b	9.31 ± 0.26 ab

注：同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )，下同。

表 2 不同配比基质下苹果苗存活率的变化  
Table 2 Survival rates of apple seedling under different substrates

处理	存活率(%)
CK	80.0 ± 5.8 a
T1	75.0 ± 5.0 a
T2	77.5 ± 26.3 a
T3	95.0 ± 10.0 a

**2.2.2 茎叶生长** 以基质表面到生长点的高度为准,分别在培养周期的前期和后期用刻度尺测定各处理苹果苗的株高。由表 3 可见,施用蚯蚓堆肥的苹果苗株高增加量高于对照 CK,其中 T1 处理效果相对较好。与 CK 相比,T1、T2、T3 处理的株高比对照分别增加 53.6%、37.3%、32.3%。整个生长周期,T1、T3 处理与 CK 相比能显著提高苹果苗的茎粗,分别增加了 40.68%、29.76%,统计分析表明 CK 和 T2 处理下苹果苗的茎粗显著小于 T1 和 T3 处理。测定苹果苗叶片的 SPAD 值,其中 T2 和 T3 处理与 CK 相比有一定的增加,分别为 4.55% 和 1.95%,SPAD 值的增加,可以提高光合作用强度,从而促进苹果苗的生长。因此,具有良好物理化学性质的蚯蚓堆肥加入基质中,可以相对改善基质特性,为苹果苗提供更适的生长环境,有效提高基质中微生物的活性,提高养分的转化速率,利于叶片中叶绿素的合成,提高苹果苗叶片的 SPAD 值,促进苹果苗茎叶的生长。

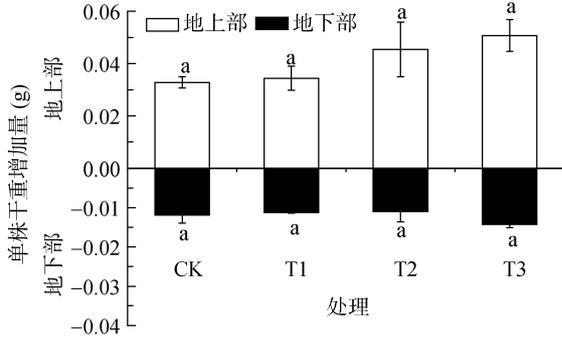
表 3 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗茎叶生长增加量的影响(平均值±标准误,  $n=4$ )

处理	株高(mm)	茎粗(mm)	SPAD 值
CK	1.74 ± 0.07 b	0.24 ± 0.01 b	14.33 ± 0.59 a
T1	2.67 ± 0.07 a	0.34 ± 0.01 a	14.05 ± 0.45 a
T2	2.38 ± 0.17 a	0.23 ± 0.02 b	14.98 ± 0.64 a
T3	2.29 ± 0.24 a	0.31 ± 0.02 a	14.61 ± 0.56 a

**2.2.3 地上部和地下部生物量** 植株的生长是干物质积累的过程,随着基质中蚯蚓堆肥含量的提高,苹果苗地上部和地下部干重基本呈现上升的趋势。其中 T3 处理的苹果苗地上部和地下部干重增加最大,每株的增加量分别为 17.9 mg 和 2.4 mg,与 CK 相比分别增加了 54.6% 和 20.2%,其余地上部干重增加量依次是 T2 > T1 > CK,地下部干重增加量是 CK > T1 > T2(图 1)。但是 T3 处理地上部和地下部的干重与 CK、T1、T2 处理的差异并没有达到统计学上的显著程度,这可能与本次试验育苗时间较短,单株植物干重增长总量较小有关。后期培养可以考虑进一步延长育苗时间来比较生物量变化。

**2.2.4 根系生长和根系活力** 根系连接了植株与土壤或基质,是物质与信息交换的重要场所,在植物生长发育和产量形成过程中起着非常重要的作用。由表 4 可以看出,T3 处理的苹果苗总根长、根表面积、根体积和根尖数均高于 CK,且差异显著。随着蚯蚓

堆肥施用量的增加,苹果苗的根系生长受到促进,其中以 T3 处理蚯蚓堆肥的施用量为最优,其原因可能是由于蚯蚓堆肥具有良好的团粒结构,有利于根系的生长,同时含有的调节植物生长的激素也能促进根系的生长。



(图中的不同小写字母表示同一指标不同处理间差异在  $P < 0.05$  水平显著,下同。)

图 1 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗干重增加量的影响  
Fig. 1 Apple dry weights under different vermicompost substrates

表 4 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗根系生长的影响 (平均值±标准误,  $n=4$ )

Table 4 Apple root morphology under different vermicompost substrates (mean±SE,  $n=4$ )

处理	总根长(cm)	根表面积(cm <sup>2</sup> )	根体积(cm <sup>3</sup> )	根尖数(个)
CK	49.41 ± 2.21 b	9.41 ± 1.19 b	0.17 ± 0.02 a	104.39 ± 10.65 b
T1	40.17 ± 0.97 c	8.14 ± 0.59 b	0.12 ± 0.01 b	101.19 ± 5.81 b
T2	27.40 ± 3.09 d	7.97 ± 1.29 b	0.13 ± 0.01 b	111.67 ± 8.87 a
T3	60.97 ± 3.29 a	13.89 ± 1.06 a	0.18 ± 0.01 a	144.65 ± 10.85 a

根系活力既可作为植物根系活力及其生命活动的重要指标,还可作为诊断植物生育和吸收养分障碍因素的指标<sup>[19]</sup>。从图 2 可以看出, T3 处理与 CK 相比,能够显著提高根系活力,根系活力增加了 228.75%。而 T1、T2 处理与 CK 处理下根系活力的

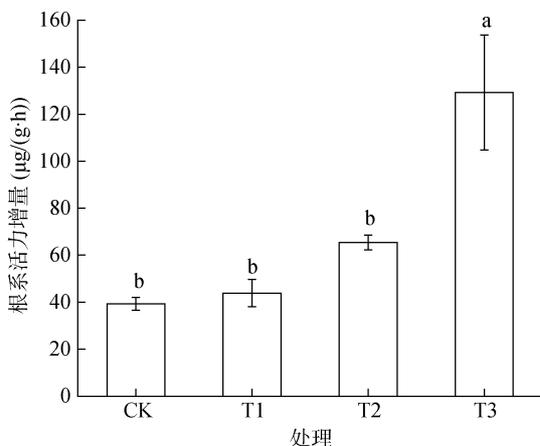


图 2 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗根系活力的影响  
Fig. 2 Apple root activities under different vermicompost substrates

差异并不显著,但 T1、T2 处理下的根系活力仍有增加趋势。随着施用蚯蚓堆肥含量的增加,根系活力值也随之增加,以 T3 处理效果最好。因此,蚯蚓堆肥作为苹果苗的育苗基质会显著增加苹果幼苗的根系活力。

2.2.5 壮苗指数 壮苗指数是评价幼苗质量的重要指标之一,通常以植物的株高、茎粗、地上地下部干重、全株干重的关系来表示。图 3 列出的各处理育苗基质对苹果幼苗壮苗指数的影响。由图 3 可知, T3 处理的壮苗指数最大,虽然与 CK、T1、T2 差异不显著,但有增加趋势,与 CK 相比增加了 21.41%,育苗质量最好。蚯蚓堆肥促进其壮苗的形成是综合因素作用下的结果,包括孔性、结构性、缓冲性的增加,较高的植物营养物质含量和较高的养分缓释性能,丰富的有益微生物,大量的活性氨基酸、有益酶、植物激素等,这些有机活性物质的存在是促进苹果苗壮苗形成的重要原因。

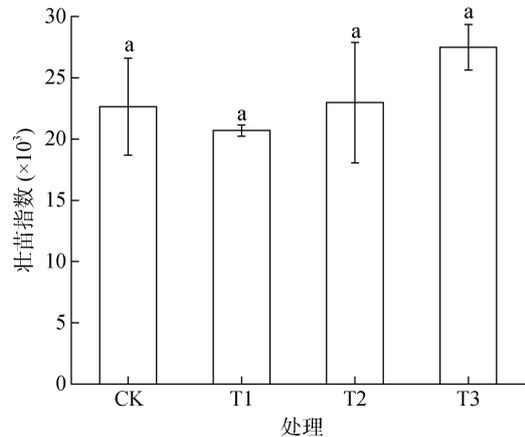


图 3 不同配比蚯蚓堆肥基质对苹果幼苗壮苗指数的影响  
Fig. 3 Apple seedling indexes under different vermicompost substrates

### 3 讨论

本研究获得的蚯蚓堆肥相比于草炭具有较高的 pH、有机质和氮磷养分含量,同时具有原料来源广泛,价廉易得的优势。此外,蚯蚓堆肥具有特殊的团粒结构,表面积大、吸附能力强,且保水保肥,同时富含大量的腐殖质、有益微生物、氨基酸以及微量元素,这些性质可以促进植物生长,为果树育苗提供了良好的物理基础<sup>[20-21]</sup>。

本研究苹果苗的生长结果表明,相比传统草炭基质(CK),不同配比蚯蚓堆肥的添加可以提高苹果苗的存活率。苹果苗存活率的提高是地上部和地下部双重作用的结果。本试验中,在添加蚯蚓堆肥的基质中生长的苹果苗地上部指标,如株高、茎粗和干物质质量均

显著增加,这与叶片 SPAD 值有关,叶片中叶绿素是影响光能吸收和转化的关键色素,它能影响光合作用,最终影响光合产物的积累<sup>[22-23]</sup>。本试验中育苗基质蚯蚓堆肥用量的添加可以提高叶片 SPAD 值,为苹果苗最大限度利用阳光进行光合作用提供便利,促进其对干物质的积累,进而促进苹果苗的生长,提高存活率<sup>[24]</sup>。Sangwan 等<sup>[25]</sup>、马莉和殷秀琴<sup>[26]</sup>的研究表明,蚯蚓堆肥的添加明显促进了园艺植物万寿菊株高、茎粗、花量和生物量的提高。赵洪涛等<sup>[27]</sup>也认为蚯蚓堆肥改良基质能提高高羊茅种子的发芽率,促进幼苗的初期生长,促进高羊茅植株地上部分生物量的积累和根系的生长,促进叶片叶绿素 a 的合成,提高叶片中可溶性蛋白质的含量。

此外,本试验中在添加蚯蚓堆肥的基质中生长的苹果苗地下部指标,如地下部的生物量、根系的生长状况和活力,均高于传统草炭基质(CK)培育的苹果苗,且随着蚯蚓堆肥含量的增加,这些指标相应增加。这可能与蚯蚓堆肥中含有促进植物合成的一系列有生物活性的物质比如激素类物质等有关<sup>[28]</sup>。Atiyeh 等<sup>[29]</sup>在法国万寿菊的育苗研究中发也现添加蚯蚓粪后,万寿菊的根系都多于对照。Canellas 等<sup>[30]</sup>研究也发现蚯蚓堆肥对拟南芥和玉米幼苗的根系发育都有促进作用。李继蕊等<sup>[31]</sup>研究表明,鸡粪和牛粪的蚯蚓堆肥明显提高黄瓜幼苗的根系活力。发育良好的根系以及高的根系活力,可以有效促进苹果苗对营养的吸收,刺激苹果苗的生长,从而提高苹果苗的存活率<sup>[32]</sup>。

比较不同比例蚯蚓堆肥的添加处理,发现 T3 处理即蚯蚓堆肥全替代草炭的基质处理下,苹果苗的生长总体高于 T1 和 T2 处理,这可能与 T3 处理含有更高的磷养分元素有关。育苗过程中植株对磷的需要要远远高于氮和钾,磷元素多分布于作物的生长点部位,具有促进细胞分裂、繁殖的作用,进而促进作物的快速生长,是培育优质壮苗的重要营养元素,也会显著影响植物的光合作用,以及碳水化合物在地上部与根系之间分配,并具有促进根系发育和植株壮苗以及提高光合速率的作用<sup>[33-36]</sup>。苏晓红等<sup>[37]</sup>也发现施用蚯蚓堆肥,可以增加土壤中各形态磷含量及有机质含量,增加土壤磷酸酶活性。

工厂化基质育苗过程中,苹果苗的生长更依赖于根系的生长状态。调节基质配比,影响根系的生长发育,会直接影响苹果苗的存活和地上部的生长。蚯蚓堆肥的添加明显促进苹果苗的生长存活,这与蚯蚓堆肥中含有大量能够维持良好微结构的胶状物质,能够保证育苗过程中基质的结构性稳定,以及含有的较高

pH、有机质、更易被植物利用的氮、磷、钾、钙和腐殖酸等营养元素,可以为苹果苗生长提供更适宜的环境有关<sup>[38-43]</sup>。

## 4 结论

菌渣和鸡粪的蚯蚓堆肥复配基质完全可以替代价格较高的市场传统草炭基质用于苹果苗的工厂化育苗。蚯蚓堆肥复配基质所育幼苗生物量、地上部分和地下部分的生长以及壮苗指数优于常规基质。其中,以蚯蚓堆肥全替代的基质效果最好,全替代的磷元素含量高,能为植物提供更多数量的磷养分,更有利于促进植物地上部的生长发育。蚯蚓堆肥替代草炭不仅能够对菌渣和鸡粪这类农业固体废弃物进行资源化利用,减少对环境的危害,而且降低了苹果穴盘育苗的成本,提高了育苗的产量和质量,为工厂的扩大化生产提供了基础。

致谢:感谢南京农业大学和安徽芜湖大浦试验所提供室外工作条件和数据支持。

## 参考文献:

- [1] 白银,潘凯,石林.穴盘基质育苗技术的应用及发展趋势[J].北方园艺,2008(9):60-62
- [2] 费素娥,王秀峰,谷端银,等.育苗基质中氮磷养分对番茄穴盘苗生长及营养状况的影响[C].中国园艺学会青年学术讨论会,2006
- [3] Oka M, Shimoda Y, Sato N, et al. Abscisic acid substantially inhibits senescence of cucumber plants (*Cucumis sativus*) grown under low nitrogen conditions[J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169(8): 789-796
- [4] Riviere L M, Caron J. Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years[J]. Acta Horticulturae, 2001, 548(548): 29-41
- [5] Buckland P C. Peatland archaeology: A conservation resource on the edge of extinction[J]. Biodiversity and Conservation, 1993, 2(5): 513-527
- [6] Ndegwa P M, Thompson S A, Das K C. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids[J]. Bioresource Technology, 2000, 71(1): 5-12
- [7] 龚小强,李素艳,李燕,等.绿化废弃物好氧堆肥和蚯蚓堆肥作为蔬菜育苗基质研究[J].浙江农林大学学报,2016,33(2):280-287
- [8] Elvira C, Goicoechea M, Sampredo L, et al. Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms[J]. Bioresource Technology, 1996, 57(2):173-177
- [9] Gong X, Wei L, Yu X, et al. Effects of rhamnolipid and microbial inoculants on the vermicomposting of green waste with *Eisenia fetida*[J]. Plos One, 2017, 12(1): e0170820
- [10] Rodrigues A S D L, Mesak C, Silva M L G, et al. Organic waste vermicomposting through the addition of rock dust

- inoculated with domestic sewage wastewater[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 196: 651–658
- [11] Zandonadi D B, Santos M P, Caixeta L S, et al. Plant proton pumps as markers of biostimulant action[J]. *Scientia Agricola*, 2016, 73(1): 24–28
- [12] 李燕, 孙向阳, 龚小强, 等. 蚯蚓堆肥替代草炭作为甘蓝和西葫芦育苗基质研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2015, 37(5): 549–554
- [13] 黄忠阳, 杨巍, 常义军, 等. 茶渣蚓粪基质对小白菜幼苗生长的影响[J]. *土壤*, 2015(5): 863–867
- [14] 张舒玄, 常江杰, 李辉信, 等. 奶牛粪蚯蚓堆肥的基质配方及对草莓育苗的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(1): 59–64
- [15] 鲍士旦. *土壤农化分析*[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30–165
- [16] 仝少伟, 时连辉, 刘登民, 等. 菇渣堆肥对苹果苗生长和土壤持水能力的影响[J]. *北方园艺*, 2014(3): 154–158
- [17] 杨巍, 王东升, 刘满强, 等. 不同有机物料的蚯蚓堆肥及可溶性有机物的三维荧光光谱特征[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10): 3181–3188
- [18] Sahni S, Sarma B K, Singh D P, et al. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum*, rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*[J]. *Crop Protection*, 2008, 27(3/4/5): 369–376
- [19] 胡娟, 邱慧珍, 张文明, 等. 微生物有机肥配施氮肥对烤烟 SPAD 值、烟叶酶活性及根系活力的影响[J]. *土壤学报*, 2012, 49(3): 620–623
- [20] Chaoui H I, Zibilske L M, Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(2): 295–302
- [21] Pathma J, Sakthivel N. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential[J]. *Springerplus*, 2012, 1(1): 26
- [22] 李静娟, 周波, 张池, 等. 中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2651–2657
- [23] 叶春升, 罗奇祥, 张福群, 等. 肥料不同施用方式对水稻早衰的影响[J]. *江西农业学报*, 2006, 18(4): 1–5
- [24] 吕振宇, 马永良. 蚯蚓粪有机肥对土壤肥力与甘蓝生长、品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(12): 236–240
- [25] Sangwan P, Garg V K, Kaushik C P. Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes[J]. *Environment Systems and Decisions*, 2010, 30(2): 123–130
- [26] 马莉, 殷秀琴. 污泥蚯蚓粪对万寿菊生长发育的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1346–1350
- [27] 赵洪涛, 丁国际, 邹联沛, 等. 蚯蚓及蚓粪改良基质对高羊茅发芽、生长的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(16): 6921–6923
- [28] 胡佩, 刘德辉, 胡锋, 等. 蚓粪中的植物激素及其对绿豆插条不定根发生的促进作用[J]. *生态学报*, 2002, 22(8): 1211–1214
- [29] Atiyeh R M, Arancon N Q, Edwards C A, et al. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 81(2): 103–108
- [30] Canellas L P, Piccolo A, Dobbbs L B, et al. Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid[J]. *Chemosphere*, 2010, 78(4): 457
- [31] 李继蕊, 史庆华, 王秀峰, 等. 鸡粪-牛粪蚯蚓堆肥对黄瓜幼苗生长及产量的影响[J]. *中国蔬菜*, 2013, 22(1): 52–58
- [32] 田给林, 张潞生. 蚯蚓粪缓解草莓连作土壤障碍的作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(3): 759–767
- [33] 张瑞清, 孙晓, 杨剑超, 等. 氮、磷、钾不同施肥水平对苹果容器苗生长的肥料效应研究[J]. *山东科学*, 2016, 29(1): 98–104
- [34] Wakelin S A, Gupta V V, Harvey P R, et al. The effect of *Penicillium* fungi on plant growth and phosphorus mobilization in neutral to alkaline soils from southern Australia[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2007, 53(1): 106–115
- [35] 章永松, 林咸永, 罗安程, 等. 有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究——有机肥(物)对土壤不同形态无机磷的活化作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(2): 151–155
- [36] 潘晓华, 石庆华, 郭进耀, 等. 无机磷对植物叶片光合作用的影响及其机理的研究进展[J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 13(3): 201–208
- [37] 苏晓红, 高志岭, 刘建玲, 等. 蚯蚓粪和磷肥配施对油菜生长和土壤性质的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2010, 33(3): 8–12
- [38] 李欢, 杜志勇, 刘庆, 等. 蚯蚓菌根互作对土壤酶活、甘薯根系生长及养分吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(1): 209–215
- [39] 李欢, 王冲, 汪顺义. 蚯蚓与菌根提高玉米生长和氮磷吸收的互补效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(4): 920–926
- [40] Zhang B G, Li G T, Shen T S, et al. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soils incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(14): 2055–2062
- [41] 徐轶群, 吴小飞, 许健, 等. 蚯蚓堆肥对城市生活污水氮、磷营养物质矿化的影响[J]. *家畜生态学报*, 2016, 37(4): 54–58
- [42] 仝少伟, 时连辉, 刘登民, 等. 不同有机堆肥对土壤性状及微生物生物量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(1): 110–117
- [43] Arancon N Q, Edwards C A, Lee S, et al. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(8): S65–S69

## Vermicompost Compost Replacing Peat in Apple Seedlings

CHANG Dali<sup>1</sup>, YU Bixia<sup>2,3</sup>, CHEN Yundong<sup>3</sup>, ZHANG Xuhui<sup>1</sup>, JIAO Jiaguo<sup>1</sup>,  
WANG Dongsheng<sup>4</sup>, LI Huixin<sup>1</sup>, GAO Jiming<sup>3</sup>, XU Li<sup>1\*</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 College of Horticulture, Anhui Agriculture University, Hefei 230000, China; 3 Anhui Luban New Rural Development Co., LTD., Wuhu, Anhui 241000, China; 4 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** In this study, a plug experiment was carried out to study the effects of different portions of vermicompost to substitute peat on apple seedling growth in order to provide a theoretical reference for the application of vermicompost in plug seedling production, especially in horticultural. The designed treatments include: traditional cultural substrate composed with peat (CK), a quarter of peat replaced by vermicompost (T1), a half of peat replaced by vermicompost (T2), and peat totally replaced by vermicompost (T3). Plant height, stem diameter, leaf photosynthetic pigment content, strong seedling index, root morphology and activity of apple seedlings were measured and compared. The results showed that compared with CK, different ratios of vermicompost could significantly promote above-ground biomass of apple seedlings; survival rate of apple seedlings was increased by 15% under T3, reached the maximum; root length, surface area, volume, number, dry weight and activity were increased by 23.40%, 47.61%, 5.88%, 38.57%, 20.17% and 228.75%, respectively. Thereby, vermicompost could fully replace peat and be used as nursery substrates of apple seedlings. The application of vermicompost can not only reduce the cost, but also promote the cycle and transformation of agricultural wastes and reduce the environmental risks.

**Key words:** Nursery substrate; Vermicompost; Apple seedlings; Root morphology