

## 绿化废弃物好氧堆肥和蚯蚓堆肥作为蔬菜育苗基质研究

龚小强, 李素艳, 李 燕, 孙向阳

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

**摘要:** 为减少泥炭的开采和提高绿化废弃物的再利用率, 探讨绿化废弃物好氧堆肥和蚯蚓堆肥替代泥炭作为蔬菜育苗基质的可行性, 将好氧堆肥、蚯蚓堆肥、泥炭按不同体积混配制成 6 种基质: 对照(泥炭), T<sub>1</sub>(好氧堆肥), T<sub>2</sub>(蚯蚓堆肥), T<sub>3</sub>[V(好氧堆肥):V(泥炭)=1:1], T<sub>4</sub>[V(蚯蚓堆肥):V(泥炭)=1:1], T<sub>5</sub>[V(好氧堆肥):V(蚯蚓堆肥):V(泥炭)=1:1:1], 采用完全随机设计, 对 3 种不同耐盐性蔬菜甘蓝 *Brassica oleracea*(高耐盐性)、莴苣 *Lactuca sativa*(中耐盐性)、西葫芦 *Cucurbita pepo* var. *ovifera*(低耐盐性)进行育苗试验, 重复 10 次·处理<sup>-1</sup>, 研究不同基质的理化性质及其对蔬菜幼苗生长影响, 并采用隶属函数评价各基质配方的优劣。结果表明: T<sub>4</sub> 处理基质的理化性质的各项指标均在无土栽培基质的理想范围, 甘蓝、莴苣和西葫芦幼苗在其中的生长质量综合评价指数分别为 0.52, 0.52, 0.54 高于对照 0.33, 0.49, 0.49, 成本较对照降低了 41.56%, 可用作甘蓝、莴苣和西葫芦育苗代用基质。表 7 参 23

**关键词:** 园艺学; 绿化废弃物; 好氧堆肥; 蚯蚓堆肥; 栽培基质; 蔬菜育苗

**中图分类号:** S606; S317      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2016)02-0280-08

## Compost and vermicompost from green wastes as substrates for vegetable seedlings cultivation

GONG Xiaoqiang, LI Suyan, LI Yan, SUN Xiangyang

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To reduce the overuse of peat and to increase the recycling rate of green wastes for vegetable seedling cultivation, the feasibility of using green waste compost and vermicompost to replace peat as a growth media was evaluated. Six media were prepared by mixing green waste compost and vermicompost with peat at different rates by volume including ck (peat), T<sub>1</sub> (compost), T<sub>2</sub> (vermicompost), T<sub>3</sub> (compost + peat at 1:1 V/V), T<sub>4</sub> (vermicompost + peat at 1:1 V/V), T<sub>5</sub> (compost + vermicompost + peat at 1:1:1 V/V). Thereafter, three vegetable species with different salt tolerance: cabbage (most salt tolerance), lettuce (moderate salt tolerance), and zucchini (less salt tolerance) were germinated and grown in the six media. The physical and chemical properties of the different growing media were determined, and the growth of seedlings was also measured. The analysis method of subordinate function was used to evaluate the pros and cons of different growing media. All treatments were replicated ten times, in a completely randomized design. Results indicated that the physical and chemical properties of T<sub>4</sub> were all within adequate range for use as a containerized substrate in horticulture. The comprehensive evaluation index for seedlings of T<sub>4</sub> versus the control were higher with T<sub>4</sub>: cabbage (0.52 and 0.33), lettuce (0.52 and 0.49), and zucchini (0.54 and 0.49). Additionally, the cost with T<sub>4</sub> was 41.56% less. Therefore, this treatment could be used successfully as a medium replacing peat for production of cabbage, lettuce, and zucchini seedlings. [Ch, 7 tab. 23 ref.]

**Key words:** horticulture; green waste; compost; vermicompost; growing substrate; vegetable seedling cultivation

收稿日期: 2015-04-07; 修回日期: 2015-05-09

基金项目: 国家林业局林业科学技术推广项目([2012]39)

作者简介: 龚小强, 从事固体废弃物资源化再利用研究。E-mail: styyl@163.com。通信作者: 李素艳, 副教授, 博士, 从事农林废弃物再利用研究。E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn

随着世界各国设施农业的迅速发展,泥炭作为传统理想栽培基质,其用量也急剧增加<sup>[1]</sup>。然而,泥炭是一种不可再生资源,并且其开采会对湿地生态环境造成严重破坏。目前,许多国家已明令禁止对泥炭进行开采,并转而寻求其他可替代泥炭的资源<sup>[2-3]</sup>。有机固体废弃物因其来源广泛、产生量巨大,并且含有丰富的营养物质而备受关注。许多研究表明<sup>[4-8]</sup>,有机固体废弃物(例如城市污泥、牛粪、猪粪、蘑菇渣和厨余垃圾等)经过合理的好氧堆肥或蚯蚓堆肥处理后,可部分或完全替代泥炭作为栽培基质。近年来,中国城市绿化快速发展导致绿化废弃物产生量也急剧上升,进行好氧堆肥或蚯蚓堆肥处理后,产品用作栽培基质,不但可以实现绿化废弃物减量化、无害化、资源化处理,还可以减少栽培过程泥炭使用量,节约生产成本。张璐等<sup>[9]</sup>研究表明,绿化废弃物经堆肥处理后,其产品可替代 50% 泥炭用于青苹果竹芋 *Calathca rotundifolia* ‘Fasciata’ 栽培。张强等<sup>[10]</sup>研究表明,绿化废弃物经堆肥处理后,其产品以 30%~50% 比例混配于素土,对大花马齿苋 *Purslane herb*, 矮牵牛 *Petunia hybrida* 和彩叶草 *Coleus blumei* 等 3 种草花的生长具有显著促进作用。吴益锋<sup>[11]</sup>研究表明,绿化废弃物经堆肥处理后,其产品添加 80% 替代泥炭用于一串红 *Salvia splendens* 栽培,其效果优于纯泥炭基质。目前,以绿化废弃物为原料的栽培基质研究多集中于花卉栽培,而针对蔬菜栽培的研究相对较少,并且,原料处理多局限于好氧堆肥技术,鲜见应用蚯蚓堆肥技术。因此,本研究拟将绿化废弃物通过好氧堆肥和蚯蚓堆肥 2 种技术处理后,将所得产品用于替代泥炭进行甘蓝 *Brassica oleracea*, 莴苣 *Lactuca sativa* 和西葫芦 *Cucurbita pepo* 等 3 种不同耐盐性蔬菜育苗栽培,通过基质理化性质和幼苗生长发育指标分析,以期筛选出适合蔬菜育苗且价格低廉的基质类型与配比,为绿化废弃物资源化利用探索新的途径。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试好氧堆肥制备:当季绿化废弃物(枯枝落叶、树枝修剪物和草坪修剪物等)取自朝阳园林绿化废弃物消纳中心,原材料粉碎至粒径 1~2 cm,将 100 kg 材料采用条垛式(长 2.0 m,宽 1.5 m,高 0.6 m)方式进行好氧发酵处理,堆肥初始将堆体的含水量调节至 65% 左右,添加尿素将碳/氮比调至 25,7 d 翻堆 1 次,堆肥整个过程保持含水量 65% 左右,堆肥 60 d 后,至各项指标显示达到腐熟,备用。

供试蚯蚓堆肥制备:上述原材料进行好氧堆肥(消除堆肥材料中不利于蚯蚓生长物质)20 d 后好氧堆肥停止,将材料按 2 kg 分置于各个塑料反应容器(长 40.5 cm,宽 30.5 cm,高 14.5 cm)中,并加入 200 g 风干牛粪(蚯蚓初期生长食物),调节材料水分至 70%,之后每个反应容器加入 20 条太平 2 号蚯蚓(无生殖环)进行蚯蚓堆肥,整个处理过程定时补充水分,维持水分 70% 左右。蚯蚓堆肥时间至 60 d 后,筛选出蚯蚓和蚯蚓卵,所得蚯蚓堆肥备用。

供试泥炭:泥炭为荷兰丹麦进口的品氏泥炭,购于北林科技股份有限公司。

供试种子:试验以甘蓝、莴苣和西葫芦等 3 种不同耐盐性蔬菜种子为试验用种,其中甘蓝耐盐性最强,莴苣耐盐性中等,西葫芦耐盐性最弱,均由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。

### 1.2 试验方案

本试验于 2014 年 11 月至 2015 年 1 月在北京林业大学北林科技股份有限公司温室进行。试验共设 6 各处理:对照 ck(泥炭),T<sub>1</sub>(好氧堆肥),T<sub>2</sub>(蚯蚓堆肥),T<sub>3</sub> [V(好氧堆肥):V(泥炭)=1:1],T<sub>4</sub> [V(蚯蚓堆肥):V(泥炭)=1:1],T<sub>5</sub> [V(好氧堆肥):V(蚯蚓堆肥):V(泥炭)=1:1:1],各基质理化性质见表 1 和表 2。

基质混配之后分别装入 140 mm × 100 mm 的塑料花盆中,分别将甘蓝、莴苣和西葫芦等 3 种蔬菜种子播入基质,10 粒·盆<sup>-1</sup>,重复 10 次·处理<sup>-1</sup>。除栽培基质外,其他环境条件与栽培管理措施均保持一致,整个栽培过程无外加营养施入。播种 60 d 后,随机选出幼苗 10 株·处理<sup>-1</sup>,植株取出洗净,测定不同处理植株株高、冠幅、叶片数、根长和茎直径,记录各处理幼苗的鲜质量。

### 1.3 测定项目及方法

基质容重、总孔隙度、持水空隙、通气孔隙特性的测定参照龚小强<sup>[12]</sup>的方法:取风干基质加入 200 mL 环刀(W<sub>0</sub>)中,记录质量 W<sub>1</sub>,浸泡 24 h 后记录质量 W<sub>2</sub>,自然沥干 4 h 记录质量 W<sub>3</sub>,最后在 65 °C 下烘干至恒量,记录质量 W<sub>4</sub>,按下列公式计算:基质容重(g·cm<sup>-3</sup>)=(W<sub>4</sub>-W<sub>0</sub>)/200;总孔隙度(%)=[(W<sub>2</sub>-W<sub>4</sub>)×100%]/200;通气空隙(%)=[(W<sub>2</sub>-W<sub>3</sub>)×100%]/200;持水空隙=总孔隙度-通气空隙。

基质理化性质(电导率、pH值、全氮、全钾、全磷、阳离子交换量、腐殖酸、钠、钙、镁、铁、铜、锌、锰)参照鲍士旦<sup>[13]</sup>的方法测定。

幼苗植株形态指标和生物量测定:幼苗洗净后用直尺测量幼苗株高、根长和冠幅;用游标卡尺测定茎直径(子叶下部2/3处);计算幼苗展开叶数(除子叶外);用精度0.01g电子天平称量洗净后的幼苗鲜质量。

植株综合评价应用模糊数学中的隶属函数法<sup>[14]</sup>。采用以下公式求各个指标的隶属函数值: $R(x_i) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ 。式中 $x_i$ 为某一指标测定值, $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 为所该指标的最小值和最大值,将植株的不同指标的隶属函数值进行累加后求其平均值,即为植株综合评价指数,值越大,说明植株生长越好。

#### 1.4 数据处理方法

实验数据采用Microsoft Office Excel 2003和SPSS 18.0数据处理软件,进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同基质的理化性质分析

由表1可以看出:基质容重ck最小,T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>次之,T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>较大,其中T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>与ck差异不显著,T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>与ck差异显著,可见绿化废弃物好氧堆肥和蚯蚓堆肥容重较高,添加量的提高会增大基质容重。de BOODT等<sup>[15]</sup>认为理想栽培基质最大容重应小于0.40 g·cm<sup>-3</sup>,因此,T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>和ck基质容重均处于理想范围内。总孔隙度和通气孔隙变化趋势一致,均为T<sub>2</sub>最小,T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>次之,ck和T<sub>3</sub>较大,其中T<sub>2</sub>与ck,T<sub>3</sub>差异显著,与其余处理差异不显著,可见绿化废弃物蚯蚓堆肥总孔隙度和通气孔隙均较小,其添加会降低基质总孔隙和通气孔隙,这与MENDOZA-HERNÁNDEZ等<sup>[16]</sup>研究蚯蚓堆肥用作甜瓜*Cucumis melo*育苗基质结果一致。de BOODT等<sup>[15]</sup>认为理想基质总孔隙度应大于85%,而通气孔隙应为20%~30%。本试验中,6个处理总孔隙度均在理想栽培基质范围内,通气空隙T<sub>2</sub>低于理想栽培基质要求,T<sub>4</sub>与理想范围接近,其他处理均在理想范围内。T<sub>2</sub>总孔隙度和通气孔隙均较小的原因可能是纯蚯蚓堆肥含有较多细小团聚颗粒引起。基质持水孔隙变化趋势为T<sub>2</sub>最高,ck,T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>次之,T<sub>3</sub>最低,其中T<sub>2</sub>与T<sub>3</sub>间差异显著。连兆煌<sup>[17]</sup>提出理想基质持水孔隙应大于60%,可见6个处理持水孔隙均在理想范围内,并且纯蚯蚓堆肥基质T<sub>2</sub>保水性最好。蚯蚓堆肥保水性强的原因可能是其含有的大量腐殖质物质作用引起<sup>[18]</sup>。

表1 不同基质的物理化学性质

Table 1 Physical and chemical properties of different growing media

| 处理             | 容重/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 总孔隙度/%   | 通气孔隙/%   | 持水孔隙/%   | pH值     | 电导率/(mS·cm <sup>-1</sup> ) | 阳离子交换量/(cmol·kg <sup>-1</sup> ) | 腐殖酸/%    |
|----------------|--------------------------|----------|----------|----------|---------|----------------------------|---------------------------------|----------|
| ck             | 0.11 d                   | 90.04 a  | 22.60 a  | 67.44 ab | 6.21 d  | 0.26 d                     | 203.0 a                         | 41.01 a  |
| T <sub>1</sub> | 0.18 b                   | 88.37 ab | 20.79 ab | 67.58 ab | 8.44 a  | 1.65 b                     | 110.11 e                        | 18.09 d  |
| T <sub>2</sub> | 0.23 a                   | 85.52 b  | 11.52 b  | 73.99 a  | 8.28 b  | 2.25 a                     | 113.37 de                       | 22.74 cd |
| T <sub>3</sub> | 0.12 cd                  | 91.14 a  | 25.91 a  | 65.22 b  | 7.91 bc | 1.26 c                     | 128.04 cd                       | 28.13 bc |
| T <sub>4</sub> | 0.13 cd                  | 88.71 ab | 19.91 ab | 68.80 ab | 7.49 c  | 1.62 b                     | 147.27 b                        | 30.20 b  |
| T <sub>5</sub> | 0.14 c                   | 87.42 ab | 21.47 ab | 65.94 ab | 7.88 bc | 1.69 b                     | 138.75 bc                       | 24.08 c  |

说明:同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异达5%显著水平。

不同处理基质的pH值差异明显,其中T<sub>1</sub>最高,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>次之,ck最低,其中T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>与ck差异显著。栽培基质pH值主要有2方面影响:一方面不同习性植物对pH值要求不同,同时,植物不同生长时期对pH值要求也不尽相同;另一方面,pH值影响养分的有效含量和形态。大量元素在pH值为6时有效性最大,基质pH值过高,铁离子Fe<sup>2+</sup>,铜离子Cu<sup>2+</sup>,锌离子Zn<sup>2+</sup>,锰离子Mn<sup>2+</sup>等易发生沉淀变为无效养分,而pH值过低,一些微量元素不仅有效性降低而且还会产生毒害作用<sup>[19]</sup>。连兆煌<sup>[17]</sup>提出理想基质pH值应在pH 6.0~7.5范围内为宜。可见,除ck和T<sub>4</sub>符合理想栽培基质pH值要求范围,其余处理pH值均高于这一范围。好氧堆肥和蚯蚓堆肥基质pH值偏高原因可能是堆肥过程多余的有机氮未被微生物降解,而多以铵盐的形式释放,因而提高了堆肥产品的pH值<sup>[20]</sup>。基质的电导率以T<sub>2</sub>最高,T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>次之,再次为T<sub>3</sub>,ck最低,T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>与ck差异达显著。电导率是基质浸提液中可溶性盐

质量浓度指标, 可以反映基质当中可溶性养分总量, 电导率过高会构成渗透逆境, 导致植物盐害, 电导率过低则营养不足以维持植物正常生长。理想基质要求电导率应小于  $2.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ <sup>[21]</sup>, 可见, 各栽培基质处理均位于理想水平内。 $T_2$  纯蚯蚓堆肥基质的电导率最高的原因可能是, 相比好氧堆肥, 蚯蚓堆肥过程中有机物质在微生物作用下降解释放出大量的可溶性矿质营养的同时, 蚯蚓也会消化有机物质并排出大量可溶性营养元素, 因此具有更高营养元素含量<sup>[22]</sup>。

阳离子交换量(CEC)和腐殖酸含量反应了栽培基质的缓冲能力和保肥供肥能力, ck 的阳离子交换量和腐殖酸含量最高,  $T_3$ ,  $T_4$  和  $T_5$  其次, 再次为  $T_1$  和  $T_2$ , 其中 ck 与  $T_1 \sim T_5$  差异显著。ck 显著高于其他处理基质, 表明 ck 具有较大的缓冲能力和持续稳定的供肥能力;  $T_1$  和  $T_2$  的阳离子交换量和腐殖酸含量较低, 说明堆肥基质缓冲能力和保肥供肥能力较差, 但堆肥基质含有大量的营养元素可以弥补这一缺点。

## 2.2 不同基质营养元素质量分数分析

由表 2 可以看出: 各处理基质的营养元素质量分数有较大的差异。基质氮质量分数以  $T_2$  为最高, 其次为  $T_5$ ,  $T_1$  和  $T_3$ , 再次为  $T_4$ , ck 最低, ck 显著低于其他处理。磷和钾质量分数变化趋势相同, 均为  $T_1$ ,  $T_2$  和  $T_5$  的较高,  $T_3$  和  $T_4$  次之, ck 最低, 3 组处理间差异显著。钠、钙、镁质量分数趋势相同, 均呈现  $T_1$  和  $T_2$  较高,  $T_3$ ,  $T_4$  和  $T_5$  其次, ck 最低, 3 组处理间差异显著。基质中的铁质量分数为  $T_1$  和  $T_2$  较高, 其次为  $T_5$ , 再次为  $T_3$  和  $T_4$ , ck 最低,  $T_1 \sim T_5$  均与 ck 差异显著。铜质量分数以  $T_2$  最高, 其次为  $T_1$ , 再次为  $T_5$ ,  $T_3$  和  $T_4$ , ck 最低, ck 显著低于其他处理。锌质量分数以  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  和  $T_4$  较高, 均显著高于 ck,  $T_5$  较低, 与 ck 无显著差异。锰质量分数以  $T_1$  和  $T_2$  较高, 其次  $T_5$ , 再次为  $T_4$  和  $T_3$ , ck 最低, ck 显著低于其他处理。基质营养元素质量分数总体表现为  $T_1$ ,  $T_2$  和  $T_5$  较高,  $T_3$  和  $T_4$  居中, ck 最低。可能原因是, 与泥炭相比好氧堆肥和蚯蚓堆肥产品本身具有较高的营养元素质量分数, 因此基质营养元素质量分数随着好氧堆肥和蚯蚓堆肥的添加比例提高而增加。

表 2 不同基质的大量和微量营养元素质量分数

Table 2 Macro and micronutrient contents of different growing media

| 处理    | 全氮/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全磷/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全钾/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 钠/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 钙/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 镁/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 铁/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 铜/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 锌/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 锰/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |
|-------|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|
| ck    | 8.11 c                                     | 0.44 c                                     | 1.39 c                                     | 0.43 c                                    | 59.95 c                                   | 2.66 c                                    | 996.50 d                                   | 19.07 d                                    | 65.69 b                                    | 42.19 d                                    |
| $T_1$ | 14.72 ab                                   | 3.01 a                                     | 7.34 a                                     | 2.34 a                                    | 134.41 a                                  | 10.07 a                                   | 3 824.03 a                                 | 33.31 ab                                   | 236.61 a                                   | 244.82 a                                   |
| $T_2$ | 16.44 a                                    | 3.01 a                                     | 7.75 a                                     | 2.49 a                                    | 131.95 a                                  | 10.35 a                                   | 3 720.83 a                                 | 35.76 a                                    | 229.49 a                                   | 247.05 a                                   |
| $T_3$ | 14.64 ab                                   | 2.14 b                                     | 6.09 b                                     | 1.72 b                                    | 102.51 b                                  | 8.64 b                                    | 3 327.62 c                                 | 27.88 c                                    | 179.26 a                                   | 137.32 c                                   |
| $T_4$ | 13.64 b                                    | 1.57 b                                     | 5.82 b                                     | 1.89 b                                    | 95.83 b                                   | 8.68 b                                    | 3 174.01 c                                 | 27.55 c                                    | 277.59 a                                   | 184.53 bc                                  |
| $T_5$ | 15.47 ab                                   | 3.22 a                                     | 7.02 a                                     | 1.88 b                                    | 104.02 b                                  | 9.12 b                                    | 3 531.05 b                                 | 29.11 bc                                   | 172.62 ab                                  | 196.73 ab                                  |

说明: 同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异达 5% 显著水平。

## 2.3 不同基质蔬菜幼苗生长分析

2.3.1 不同基质对甘蓝幼苗生长影响 由表 3 可见: 甘蓝幼苗株高表现为蚯蚓堆肥基质  $T_2$ ,  $T_4$  和  $T_5$  显著大于 ck, 好氧堆肥基质  $T_1$  和  $T_3$  与 ck 差异不显著。可能原因是, 蚯蚓堆肥相比好氧堆肥富含能促进植物生长的激素, 以及营养元素, 因而促进植物生长<sup>[23]</sup>。甘蓝幼苗茎直径  $T_3$  和  $T_5$  显著高于  $T_2$  和 ck,  $T_1$ ,  $T_2$  和  $T_4$  与 ck 差异不显著。可能原因是  $T_3$  和  $T_5$  基质总孔隙度和通气孔隙度较大, 因此基质疏松透气, 更有利于植株茎生长(表 1)。甘蓝叶片数  $T_5$  最高, 显著高于其他处理;  $T_4$  次之, 显著高于  $T_3$ ;  $T_1$ ,  $T_2$  和  $T_3$  与 ck 差异不显著。甘蓝冠幅  $T_4$  和  $T_5$  显著高于  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  和 ck;  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  和 ck 之间差异不显著。 $T_4$  和  $T_5$  甘蓝叶片数和冠幅较对照提高, 可能因为基质含有较高的氮素等叶生长所需营养, 而且 pH 值相对其他处理较低(表 1), 营养元素有效性高, 从而更有利于幼苗叶片的生长。甘蓝根长  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_5$  和 ck 差异不显著,  $T_4$  显著低于其他处理。甘蓝鲜质量  $T_4$  和  $T_5$  显著高于  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  和 ck;  $T_1$ ,  $T_2$  和  $T_3$  与 ck 差异不显著。表明蚯蚓堆肥添加 30%~50% 的基质有利于植株生物量的积累。这一结果与郑金伟等<sup>[5]</sup>研究蚯蚓堆肥在添加 50% 时生菜 *Lactuca sativa* var. *ramosa* 生物量积累最大的结果相一致。可能原因是  $T_4$  和  $T_5$  处理中, 蚯蚓粪添加比例适中, 因而孔隙度和保水性等物理性质适宜, 后期营养供应充足, 有利于植株生物量的积累。

表3 不同基质对甘蓝幼苗生长影响

Table 3 Effect of different growing media on plant growth of cabbage seedlings

| 处理             | 株高/cm    | 茎直径/mm  | 叶片数/个   | 冠幅/cm <sup>2</sup> | 根长/cm   | 鲜质量/g  |
|----------------|----------|---------|---------|--------------------|---------|--------|
| ck             | 13.30 d  | 1.10 b  | 4.10 bc | 39.43 b            | 14.89 a | 1.11 b |
| T <sub>1</sub> | 13.44 d  | 1.20 ab | 4.30 bc | 39.23 b            | 15.33 a | 0.87 b |
| T <sub>2</sub> | 15.52 bc | 1.08 b  | 4.40 bc | 50.95 b            | 15.03 a | 0.91 b |
| T <sub>3</sub> | 14.57 cd | 1.34 a  | 4.00 c  | 55.39 b            | 13.99 a | 1.09 b |
| T <sub>4</sub> | 18.81 a  | 1.25 ab | 4.50 b  | 103.56 a           | 9.51 b  | 1.69 a |
| T <sub>5</sub> | 17.07 ab | 1.37 a  | 5.00 a  | 101.16 a           | 16.85 a | 1.90 a |

说明：同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异达5%显著水平。

2.3.2 不同基质对莴苣生长影响 由表4可以看出：莴苣株高T<sub>1</sub>最低，显著低于其他处理；其次是T<sub>2</sub>，显著低于T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>；T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>与ck无显著差异。莴苣茎直径、叶片数和冠幅均表现为T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>显著低于ck，T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>与ck差异不显著。各处理基质莴苣根长差异不显著。莴苣植株鲜质量T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>显著低于其他处理，T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>和ck之间差异不显著。T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>莴苣生长形态指标和生物量接近或高于ck，而T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>则低于ck。可能原因是，虽然T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>基质均提高了营养元素质量分数，但莴苣是一种中等耐盐植物，而T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>的电导率相对较高(表1)，进而影响莴苣的营养元素吸收，不利于作物生长，影响了植株生长发育和其生物量的积累。

表4 不同基质对莴苣幼苗生长影响

Table 4 Effect of different growing media on plant growth of lettuce seedlings

| 处理             | 株高/cm    | 茎直径/mm | 叶片数/个  | 冠幅/cm <sup>2</sup> | 根长/cm   | 鲜质量/g  |
|----------------|----------|--------|--------|--------------------|---------|--------|
| ck             | 16.13 ab | 2.32 a | 6.10 a | 54.90 a            | 19.86 a | 3.35 a |
| T <sub>1</sub> | 10.48 c  | 1.55 b | 5.10 b | 26.82 c            | 16.49 a | 1.45 b |
| T <sub>2</sub> | 13.68 b  | 1.15 c | 5.30 b | 29.47 bc           | 15.70 a | 1.27 b |
| T <sub>3</sub> | 18.26 a  | 2.09 a | 6.00 a | 58.85 a            | 16.60 a | 3.30 a |
| T <sub>4</sub> | 18.87 a  | 2.28 a | 6.30 a | 55.00 a            | 17.46 a | 4.09 a |
| T <sub>5</sub> | 17.30 a  | 2.20 a | 6.40 a | 44.36 ab           | 20.07 a | 3.42 a |

说明：同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异达5%显著水平。

2.3.3 不同基质对西葫芦生长影响 由表5可以看出：西葫芦株高T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>与ck差异不显著，T<sub>1</sub>和T<sub>3</sub>显著低于ck。西葫芦茎直径T<sub>4</sub>显著高于ck，其他处理与ck差异不显著。西葫芦叶片数T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>与ck差异不显著，其他处理均显著低于ck。西葫芦冠幅T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>与ck差异不显著，T<sub>1</sub>和T<sub>3</sub>显著低于ck。各处理基质西葫芦生根长和鲜质量与ck均差异不显著。西葫芦生长形态指标和生物量T<sub>4</sub>处理接近或高于ck，而T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>和T<sub>5</sub>处理基质均低于ck，可能原因是T<sub>4</sub>处理相对其他处理具有较低的pH值和电导率，而且蚯蚓堆肥中含有较多微量元素和植物生理活性物质促进效应高于基质盐分较高的不利效应，因此促进了其生长。

## 2.4 不同基质对甘蓝、莴苣和西葫芦的生长发育综合评价

在对苗株生长效果评价时，仅通过单一指标比较并不能准确地反应各处理苗株的综合性状差异。本

表5 不同基质对西葫芦幼苗生长影响

Table 5 Effect of different growing media on plant growth of zucchini seedlings

| 处理             | 株高/cm   | 茎直径/mm  | 叶片数/个   | 冠幅/cm <sup>2</sup> | 根长/cm   | 鲜质量/g   |
|----------------|---------|---------|---------|--------------------|---------|---------|
| ck             | 15.44 a | 3.19 bc | 3.80 ab | 109.17 a           | 16.52 a | 3.45 ab |
| T <sub>1</sub> | 9.61 b  | 2.76 c  | 2.30 e  | 47.02 c            | 14.82 a | 2.86 b  |
| T <sub>2</sub> | 14.11 a | 3.14 bc | 3.00 cd | 86.97 abc          | 12.68 a | 3.73 ab |
| T <sub>3</sub> | 9.24 b  | 3.63 ab | 3.50 bc | 65.97 bc           | 13.55 a | 3.14 b  |
| T <sub>4</sub> | 14.33 a | 3.80 a  | 4.10 a  | 106.82 ab          | 14.43 a | 4.35 a  |
| T <sub>5</sub> | 13.13 a | 3.17 bc | 2.90 d  | 91.55 ab           | 14.06 a | 4.07 a  |

说明：同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异达5%显著水平。

研究采用模糊数学中隶属函数的方法，求出 6 个主要指标(株高、茎直径、叶片数、冠幅、根长和生物量)的隶属函数值平均值，进行综合评价。结果表明(表 6)：甘蓝在 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理的综合评价指数分别为 0.34, 0.37, 0.39, 0.52 和 0.61, 均高于 ck(0.33)。莴苣在 T<sub>4</sub> 处理的综合评价指数为 0.52, 高于 ck(0.49)；T<sub>3</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理的综合评价指数分别为 0.47 和 0.48, 接近于 ck；T<sub>3</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理的综合评价指数分别为 0.24 和 0.25, 均低于 ck。西葫芦在 T<sub>4</sub> 处理的综合评价指数为 0.54, 高于 ck(0.49), 而其他处理的综合评价指数均低于 ck。综上可见，甘蓝、莴苣和西葫芦的幼苗均在 T<sub>4</sub> 处理中生长性状高于 ck。因此，T<sub>4</sub> 处理基质可以作为甘蓝、莴苣和西葫芦的代用基质。

表 6 不同基质对甘蓝、莴苣和西葫芦的生长发育综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation on growth and development of cabbage, lettuce and zucchini in different substrates

| 植物  | 处理             | 株高   | 茎直径  | 叶片数  | 冠幅   | 根长   | 生物量  | 综合评价指数 |
|-----|----------------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 甘蓝  | ck             | 0.31 | 0.33 | 0.37 | 0.15 | 0.50 | 0.31 | 0.33   |
|     | T <sub>1</sub> | 0.32 | 0.43 | 0.43 | 0.15 | 0.52 | 0.19 | 0.34   |
|     | T <sub>2</sub> | 0.50 | 0.31 | 0.47 | 0.21 | 0.51 | 0.22 | 0.37   |
|     | T <sub>3</sub> | 0.42 | 0.56 | 0.33 | 0.24 | 0.46 | 0.30 | 0.39   |
|     | T <sub>4</sub> | 0.79 | 0.47 | 0.50 | 0.51 | 0.24 | 0.60 | 0.52   |
|     | T <sub>5</sub> | 0.64 | 0.59 | 0.67 | 0.49 | 0.59 | 0.70 | 0.61   |
| 莴苣  | ck             | 0.42 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.52 | 0.39 | 0.49   |
|     | T <sub>1</sub> | 0.18 | 0.27 | 0.28 | 0.19 | 0.41 | 0.12 | 0.24   |
|     | T <sub>2</sub> | 0.32 | 0.14 | 0.33 | 0.22 | 0.38 | 0.09 | 0.25   |
|     | T <sub>3</sub> | 0.51 | 0.45 | 0.50 | 0.58 | 0.41 | 0.38 | 0.47   |
|     | T <sub>4</sub> | 0.54 | 0.52 | 0.58 | 0.53 | 0.44 | 0.50 | 0.52   |
|     | T <sub>5</sub> | 0.47 | 0.49 | 0.60 | 0.40 | 0.53 | 0.40 | 0.48   |
| 西葫芦 | ck             | 0.54 | 0.50 | 0.70 | 0.53 | 0.27 | 0.39 | 0.49   |
|     | T <sub>1</sub> | 0.19 | 0.38 | 0.33 | 0.19 | 0.20 | 0.25 | 0.26   |
|     | T <sub>2</sub> | 0.46 | 0.49 | 0.50 | 0.41 | 0.12 | 0.46 | 0.41   |
|     | T <sub>3</sub> | 0.17 | 0.62 | 0.63 | 0.30 | 0.15 | 0.32 | 0.37   |
|     | T <sub>4</sub> | 0.47 | 0.67 | 0.78 | 0.51 | 0.19 | 0.61 | 0.54   |
|     | T <sub>5</sub> | 0.40 | 0.50 | 0.48 | 0.43 | 0.17 | 0.54 | 0.42   |

## 2.5 筛选出的代用基质成本核算

基质成本按以下公式计算： $P=P_1 \times C_1 + P_2 \times C_2$ 。其中  $P$  为基质成本； $P_1$  和  $P_2$  为基质各组分的单价； $C_1$  和  $C_2$  为基质中各组分所占体积比例。基质成本具体核算如表 7 所示。可见，T<sub>4</sub> 处理基质成本比 ck 降低了 41.56%，表明 T<sub>4</sub> 代用基质能在提高甘蓝、莴苣和西葫芦幼苗质量的前提下，显著降低生产成本，因此，可以用作甘蓝、莴苣和西葫芦的育苗基质。

表 7 筛选出的甘蓝、莴苣和西葫芦代用基质成本核算

Table 7 Cost of the selected ideal growing medium for cabbage, lettuce and zucchini

| 处理             | 基质组分材料 | 原材料成本/(元·t <sup>-1</sup> ) | 蚯蚓堆肥处理成本/(元·t <sup>-1</sup> ) |       |        |          | 处理后价格/(元·t <sup>-1</sup> ) | 处理后价格/(元·m <sup>-3</sup> ) | 基质组分体积比例/% | 基质总成本/(元·m <sup>-3</sup> ) | 基质成本占对照成本比例/% |
|----------------|--------|----------------------------|-------------------------------|-------|--------|----------|----------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|---------------|
|                |        |                            | 粉碎电力费用                        | 尿素费用  | 蚯蚓费用   | 人工费用     |                            |                            |            |                            |               |
| ck             | 泥炭     | 3 600.00                   | 0                             | 0     | 0      | 3 600.00 | 396.00                     | 100.00                     | 396.00     | 100.00                     |               |
| T <sub>4</sub> | 泥炭     | 3 600.00                   | 0                             | 0     | 0      | 3 600.00 | 396.00                     | 50.00                      | 231.44     | 58.44                      |               |
|                | 绿化废弃物  | 120.00                     | 4.00                          | 20.00 | 120.00 | 50.00    | 314.00                     | 72.22                      | 50.00      |                            |               |

## 3 结论

好氧堆肥替代泥炭用作栽培基质具有良好的总孔隙和通气孔隙度，而蚯蚓堆肥由于细小颗粒含量较多，高比例添加对总孔隙和通气孔隙度有不利影响，但添加 50% 时达到理想基质要求。蚯蚓堆肥基质相

对于好氧堆肥基质具有更高的持水孔隙,保水性较好。好氧堆肥和蚯蚓堆肥均能提高基质的营养元素含量,但较高pH值和电导率是其应用的限制因子,生产中建议采用添加硫磺等弱酸性物质或天然有机酸物质来降低基质pH值,并采取淋洗措施降低基质电导率。

对耐盐性高的甘蓝, T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>处理均可以替代泥炭应用于栽培,中等耐盐的莴苣则 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>和 T<sub>5</sub>处理可以替代泥炭应用于栽培,对耐盐性低的西葫芦,仅 T<sub>4</sub>可以替代泥炭应用于栽培。5种替代基质中 T<sub>4</sub>处理即 V(蚯蚓堆肥):V(泥炭)=1:1,对3种不同耐盐性蔬菜育苗均能促进幼苗生长,综合效果最好,相比对照成本降低41.56%,建议在蔬菜育苗生产中应用。

#### 4 参考文献

- [1] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2005, **21**(增刊2): 1-4.  
GUO Shirong. Research progress, current exploitations and developing trends of solid cultivation medium [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2005, **21**(supp 2): 1-4.
- [2] CARMONA E, MORENO M T, AVILÉS M, *et al.* Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings [J]. *Sci Hort*, 2012, **137**: 69-74.
- [3] 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]. *Bioresour Technol*, 2009, **100**(18): 4227-4232.
- [4] AVRAMIDOU P, EVANGELOU A, KOMILIS D. Use of municipal solid waste compost as a growth media for an energy plant (rapeseed) [J]. *J Environ Manage*, 2013, **121**: 152-159.
- [5] 王旭艳, 林夏珍, 李琳, 等. 几种农林废弃物复合基质的理化特性及对浙江楠容器育苗的效果[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(5): 674-680.  
WANG Xuyan, LIN Xiazhen, LI Lin, *et al.* Physical and chemical properties of several kinds of agriculture and forestry waste composite matrix and their effect on container seedling of *Phoebe chekiangensis* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(5): 674-680.
- [6] NADDAF O A, LIVIERATOS I, STAMATAKIS A, *et al.* Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags [J]. *Sci Hort*, 2011, **129**(1): 135-141.
- [7] MARQUES E L S, MARTOS E T, SOUZA R J, *et al.* Spent mushroom compost as a substrate for the production of lettuce seedlings [J]. *J Agric Sci*, 2014, **6**(7): 138.
- [8] GUPTA R, YADAY A, GARG V K. Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop [J]. *Int J Recycl Org Waste Agric*, 2014, **3**(1): 1-7.
- [9] 张璐, 孙向阳, 田赟. 园林绿化废弃物堆肥用于青苹果竹芋栽培研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, **33**(5): 109-114.  
ZHANG Lu, SUN Xiangyang, TIAN Yun. Application of green waste compost for *Calathca rotundifolia* 'Fasciata' cultivation [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33**(5): 109-114.
- [10] 张强, 孙向阳, 任忠秀, 等. 园林绿化废弃物堆肥用作花卉栽培基质的效果评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, **31**(9): 7-13.  
ZHANG Qiang, SUN Xiangyang, REN Zhongxiu, *et al.* Effect evaluation of garden waste compost used as floriculture substrate [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2011, **31**(9): 7-13.
- [11] 吴益锋. 园林废弃物介质栽培一串红试验[J]. 安徽农业科学, 2013, **41**(33): 12920-12922.  
WU Yifeng. Test of using garden waste composting products to cultivate *Salvia splendens* Ker-Gawler [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2013, **41**(33): 12920-12922.
- [12] 龚小强. 园林绿化废弃物堆肥产品改良及用作花卉栽培代用基质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.  
GONG Xiaoliang. *Study on the Improvement of Green Waste Compost Products and the Products as the Peat Substitutes for the Planting of Flowers* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013: 11-12.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 34-441.
- [14] 孙向丽, 张启翔. 菇渣和锯末作为丽格海棠栽培基质的研究[J]. 土壤通报, 2010, **41**(1): 117-120.  
SUN Xiangli, ZHANG Qixiang. Studies on mushroom residue and the sawdust for growing media of *Begonia × elatior* [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **41**(1): 117-120.

- [15] de BOODT M, VERDONCK O. The physical properties of the substrates in horticulture [J]. *ISHS Acta Hort* 26 III *Symp Peat Hort*, 1972. doi: 10.17660/ActaHortic. 1972. 26. 5.
- [16] MENDOZA-HERNÁNDEZ D, FORNES F, BELDA R M. Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary [J]. *Sci Hortic*, 2014, **178**(1): 192 – 202.
- [17] 连兆煌. 无土栽培技术与原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 58 – 59.
- [18] 李扬, 乔玉辉, 莫晓辉, 等. 蚯蚓粪作为土壤重金属污染修复剂的潜力分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(z1): 250 – 255.  
LI Yang, QIAO Yuhui, MO Xiaohui, *et al.* Analysis for earthworm feces as one of potential repair agents of heavy metal contamination in soil [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2010, **29**(supp 1): 250 – 255.
- [19] 聂艳丽, 周跃华, 李娅, 等. 甘蔗渣堆肥化处理及用作团花育苗基质的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(2): 380 – 387.  
NIE Yanli, ZHOU Yuehua, LI Ya, *et al.* Sugar cane bagasse compost used as *Anthocephalus chinensis* nursing substrate [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2009, **28**(2): 380 – 387.
- [20] VIG A P, SINGH J, WANI S H, *et al.* Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny) [J]. *Bioresour Technol*, 2011, **102**(17): 7941 – 7945.
- [21] 钟润昕, 邓良基, 高雪松, 等. 膨润土-菌废料复合材料基质栽培对蔬菜生长及产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2014, **35**(4): 488 – 492.  
ZHONG Runxin, DENG Liangji, GAO Xuesong, *et al.* The influence of composite substrate cultivation with bentonite-mushroom waste to vegetable growth and yield [J]. *Res Agric Mod*, 2014, **35**(4): 488 – 492.
- [22] GARG V K, GUPTA R. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida* [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2011, **74**(1): 19 – 24.
- [23] MANH V H, WANG C H. Vermicompost as an important component in substrate: effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.) [J]. *APCBEE Procedia*, 2014, **8**: 32 – 40.