

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19150

蚯蚓堆肥浸提液对幼苗生长的影响

吕秀敏, 刘潇予, 赵彩衣, 蒲瑶瑶, 焦加国*, 李辉信

(南京农业大学资源与环境科学学院 / 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 蚯蚓堆肥浸提液的育苗试验结果表明, 不同浓度蚯蚓堆肥浸提液理化性质呈梯度变化, 对幼苗生长发育的影响不同。与纯无机营养液体系相比, 蚯蚓堆肥浸提液对番茄、小白菜及水稻幼苗的地上部生长、根系生长和活力、壮苗指数、叶绿素含量、抗氧化酶活性等指标均有不同程度提高。其中, 添加浓度为 7.5% 蚯蚓堆肥浸提液的应用效果最佳; 随着浸提液浓度的增加, 盐分浓度相应增加, 则抑制了育苗生长。综上, 在无机营养液中添加浓度 7.5% 的蚯蚓堆肥浸提液能够不同程度促进幼苗的生长, 具有良好的壮苗效果, 为蚯蚓堆肥浸提液的应用奠定了一定的理论基础。

关键词: 蚯蚓堆肥; 浸提液; 幼苗生长

堆肥浸提液是用水或其他浸提剂通过不同的方式来将堆肥中的可溶性物质充分浸提而得到的液体。堆肥浸提液不仅含有丰富的植物生长所需的矿物质营养物质, 而且含有许多有益微生物及其代谢产物, 可以增加土壤肥力, 抑制植株的病虫害, 促进植物产生利于本身生长的激素, 利于植株的根系生长, 改善作物的生长环境, 对不同种类的作物有大致相似的促进作用^[1-4]。已有研究表明, 施用浓度为 1% 的堆肥浸提液较清水对小麦地上部生物量有促进作用, 且与化肥配施效果更佳^[5]。堆肥浸提液施用可促进黄瓜地上部生长^[6]; 施用堆肥浸提液可以改善黄瓜果实品质, 对黄瓜地上部生长及叶绿素含量有显著性促进效果, 有效提高黄瓜叶片中氮磷钾含量, 有利于果实中营养物质的积累^[7]; 叶面喷施浸提液有效促进番茄养分积累与分配, 提高作物产量^[8]。

蚯蚓堆肥是一种黑色、有自然泥土味的细碎类物质, 有良好的孔性和透气性, 还有较高腐殖酸和有机质, 以及大量的微生物。喷施蚯蚓堆肥浸提液能显著提高作物抗病能力, 促进作物生长, 提高作物干物质量及果实产量, 增加果实营养品质^[9-10]。

蚯蚓堆肥浸提液有利于黑麦草和高羊茅地上部生物量的积累, 但会抑制草坪植物的根系生长, 利于叶绿素含量的积累, 对植物的光合作用和生长有促进作用^[11]。

本研究利用蚯蚓堆肥作为浸提原材料, 以水为浸提剂, 研究有机浸提液对番茄、小白菜、水稻 3 种不同作物幼苗时期壮苗形成的影响。旨在利用蚯蚓堆肥浸提液替代传统的无机营养液, 这对提高农业废弃物利用率、促进作物幼苗生长发育等具有重要意义, 可为实现蔬菜优质高效有机栽培及农业可持续发展提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 蚯蚓堆肥浸提液的制备

将风干后的蚯蚓堆肥(牛粪堆制而成)与纯水按照 1:10(质量比)的比例浸泡 48 h, 间歇震荡, 过滤, 最后定容配制成质量浓度为 2.5%、5%、7.5%、10% 的水浸提液, 置 4℃ 冰箱待用。

1.2 试验设计

供试作物为番茄、小白菜和水稻, 均设置 5 个处理: 对照(CK, 无机营养液)、2.5%V(2.5% 蚯蚓堆肥浸提液 + 无机营养液)、5%V(5% 蚯蚓堆肥浸提液 + 无机营养液)、7.5%V(7.5% 蚯蚓堆肥浸提液 + 无机营养液)、10%V(10% 蚯蚓堆肥浸提液 + 无机营养液)。

将种子催芽至两叶一心(3~5 cm)时, 选取长势一致的幼苗移栽于培养杯(可容纳 1.1 L 液体), 置于温室内, 蚯蚓堆肥浸提液与改良霍格兰

收稿日期: 2019-04-04; 录用日期: 2019-05-05

基金项目: 国家级大学生创新训练计划项目(201710307027); 福建省烟草公司南平市公司科技项目(201735070024060)。

作者简介: 吕秀敏(1994-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事育苗基质开发。E-mail: 2016803176@njau.edu.cn。

通讯作者: 焦加国, E-mail: jiaguojiao@njau.edu.cn。

营养液按照 1:1 的比例进行混匀, 每 5 d 更换一次营养液, 每杯 5 株幼苗, 每个处理 4 次重复, 2018 年 1 月 8 日进行移植, 培育 20 d 后采样。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 蚯蚓堆肥浸提液理化性质

蚯蚓堆肥浸提液的养分含量、EC 等采用常规方法测定^[12]。

1.3.2 幼苗生长指标

待培养周期结束后, 每个培养杯随机选取 3 株幼苗, 进行生长指标测定。株高: 以营养液液面到生长点的高度为准; 茎粗(紧靠子叶节下部): 采用游标卡尺进行测定; 相对叶绿素含量(SPAD 值), 便携式叶绿素测定仪测定; 生物量(鲜重、干重), 样品经清水洗净并用吸水纸吸干水分, 1/10 000 天平称鲜重, 再在通风干燥箱 105℃ 下杀青 30 min, 然后在 75℃ 下烘至恒质量后称干重; 幼苗的总根长、根体积、根表面积、根尖数采用 WinRHIZ2003b 根系扫描仪分析; 壮苗指数 = (茎粗 / 株高 + 地下部干重 / 地上部干重) × 全株干重。

1.3.3 幼苗生理指标及测定方法

叶绿素含量, 95% 乙醇进行浸提, 比色法; 根系活力, 氯化三苯基四氮唑(TTC)法; 过氧化氢酶(CAT)活性, 紫外吸收法; 过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性, 比色法; 丙二醛(MDA)含量, 双组分分光光度法^[13]。

1.4 统计分析

采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析, Excel 2007 进行图形绘制。处理间差异显著性用单因素方差分析法 ($P < 0.05$), 平均值多重比较用最小显著极差法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓堆肥浸提液的理化性质

蚯蚓堆肥浸提液中的各营养成分含量对保证幼苗的健康成长有重要作用。从表 1 可以看出, 随着蚯蚓堆肥浸提液浓度的增加, 全氮、全磷、全钾及全碳各养分含量也呈现逐渐增加的趋势。

表 1 蚯蚓堆肥浸提液的理化性质

处理	pH 值	全氮 (mg/L)	全磷 (mg/L)	全钾 (g/L)	全碳 (g/L)
2.5%V	7.42	5.68	17.21	—	0.42
5%V	7.34	10.73	28.18	—	0.95
7.5%V	7.27	16.21	43.54	0.05	1.42
10%V	7.26	21.02	55.63	0.07	2.01

2.2 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗生长指标的影响

2.2.1 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗地上部生长的影响

表 2 可见, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著促进番茄幼苗株高和 SPAD 值的增加, 均以 7.5%V 处理效果最佳; 添加蚯蚓堆肥浸提液增加了番茄幼苗茎粗, 但未达到显著水平。不同浓度蚯蚓堆肥浸提液对小白菜和水稻幼苗地上部生长的影响和番茄一致, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著增加小白菜幼苗株高、茎粗和 SPAD, 均以 7.5%V 处理效果最佳。整体来看, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著促进 3 种幼苗地上部生长。

表 2 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗地上部生长指标的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	SPAD	
番茄	CK	17.48 ± 0.21b	2.93 ± 0.05a	39.30 ± 0.71b
	2.5%V	17.88 ± 0.31b	3.00 ± 0.09a	39.98 ± 1.00b
	5%V	18.60 ± 0.93ab	3.22 ± 0.22a	41.33 ± 1.07ab
	7.5%V	20.30 ± 0.43a	3.45 ± 0.10a	43.13 ± 0.89a
	10%V	18.70 ± 1.06ab	3.14 ± 0.23a	40.35 ± 0.59b
小白菜	CK	7.70 ± 0.49c	1.42 ± 0.07a	35.65 ± 0.68a
	2.5%V	9.58 ± 0.25b	1.71 ± 0.12a	33.80 ± 0.27ab
	5%V	11.10 ± 0.72a	1.78 ± 0.13a	32.73 ± 0.76bc
	7.5%V	10.05 ± 0.40ab	1.76 ± 0.11a	35.53 ± 0.77a
	10%V	9.25 ± 0.24b	1.50 ± 0.18a	30.90 ± 1.04c
水稻	CK	15.55 ± 0.80b	1.86 ± 0.03ab	22.63 ± 0.77a
	2.5%V	17.25 ± 0.95ab	1.91 ± 0.03ab	22.73 ± 0.41a
	5%V	17.60 ± 0.57ab	1.97 ± 0.05a	24.03 ± 0.67a
	7.5%V	18.30 ± 0.57a	1.99 ± 0.10a	24.15 ± 0.14a
	10%V	16.38 ± 0.52ab	1.73 ± 0.08b	17.28 ± 1.18b

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

2.2.2 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗生物量的影响

添加蚯蚓堆肥浸提液可促进番茄幼苗地上部鲜干重和地下部鲜干重的积累, 均以 7.5%V 处理效果最佳。不同浓度蚯蚓堆肥浸提液对小白菜幼苗的影响和番茄一致, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著促进小白菜幼苗地上部鲜干重和地下部鲜干重的积累, 均以 7.5%V 处理效果最佳; 而蚯蚓堆肥浸提液对水稻幼苗地上部鲜干重和地下部鲜干重基本无影响。

2.2.3 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗根系生长的影响

整体来看, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著促进番茄和小白菜幼苗根系生长, 而对水稻幼苗根系生长影响不大。对番茄幼苗, 添加蚯蚓堆肥浸提液可显著促进其根长、根表面积和根尖数增加, 番茄幼苗根体积虽有增加, 但未达到显著水平。不同浓度蚯蚓堆肥浸提液对小白菜幼苗根系生长情况影响与番茄一致, 所有处理中, 均以 7.5%V 处理效果最佳; 而对水稻而言, 蚯蚓堆肥浸提液对其幼苗根系生长基本无影响。

表3 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗生物量的影响

(g/株)

处理	地上部		地下部		
	鲜重	干重	鲜重	干重	
番茄	CK	1.708 ± 0.084b	0.093 ± 0.005ab	0.272 ± 0.019ab	0.015 ± 0.002ab
	2.5%V	1.573 ± 0.087b	0.078 ± 0.005b	0.213 ± 0.012b	0.010 ± 0.001b
	5%V	1.634 ± 0.164b	0.085 ± 0.010ab	0.261 ± 0.041ab	0.013 ± 0.002ab
	7.5%V	2.275 ± 0.230a	0.113 ± 0.013a	0.384 ± 0.051a	0.019 ± 0.002a
	10%V	1.892 ± 0.090ab	0.106 ± 0.010ab	0.372 ± 0.050a	0.017 ± 0.002a
小白菜	CK	0.548 ± 0.058c	0.026 ± 0.003b	0.030 ± 0.002c	0.002 ± 0.000c
	2.5%V	0.916 ± 0.065b	0.040 ± 0.003a	0.064 ± 0.004ab	0.004 ± 0.000b
	5%V	1.027 ± 0.091ab	0.046 ± 0.005a	0.065 ± 0.005ab	0.004 ± 0.000b
	7.5%V	1.181 ± 0.049a	0.048 ± 0.001a	0.072 ± 0.004a	0.005 ± 0.000a
	10%V	0.851 ± 0.073b	0.037 ± 0.008ab	0.055 ± 0.002b	0.004 ± 0.000b
水稻	CK	0.084 ± 0.008a	0.014 ± 0.002ab	0.052 ± 0.004a	0.005 ± 0.000a
	2.5%V	0.089 ± 0.010a	0.015 ± 0.002ab	0.054 ± 0.007a	0.005 ± 0.001a
	5%V	0.100 ± 0.006a	0.016 ± 0.001ab	0.054 ± 0.002a	0.005 ± 0.000a
	7.5%V	0.100 ± 0.009a	0.018 ± 0.001a	0.062 ± 0.010a	0.005 ± 0.000a
	10%V	0.087 ± 0.004a	0.012 ± 0.000b	0.043 ± 0.003a	0.004 ± 0.000a

表4 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗根系生长的影响

处理	根长 (cm)	根表面积 (cm ²)	根体积 (cm ³)	根尖数	
番茄	CK	200.35 ± 16.40c	23.28 ± 1.75b	0.192 3 ± 0.028a	257 ± 30.06ab
	2.5%V	214.72 ± 8.43bc	24.05 ± 3.46b	0.173 3 ± 0.042a	255 ± 20.14ab
	5%V	233.17 ± 11.89bc	24.24 ± 2.43b	0.182 5 ± 0.021a	263 ± 13.46ab
	7.5%V	291.60 ± 12.66a	33.23 ± 2.75a	0.303 0 ± 0.049a	285 ± 19.83a
	10%V	254.60 ± 22.28ab	29.85 ± 2.22ab	0.280 0 ± 0.049a	203 ± 22.99b
小白菜	CK	105.35 ± 4.53b	10.21 ± 0.56b	0.042 8 ± 0.003c	136 ± 16.72a
	2.5%V	130.72 ± 9.99a	11.75 ± 0.82ab	0.058 5 ± 0.006bc	163 ± 26.50a
	5%V	139.08 ± 9.77a	11.65 ± 0.94ab	0.063 8 ± 0.007ab	192 ± 39.73a
	7.5%V	153.89 ± 10.60a	14.83 ± 1.55a	0.074 8 ± 0.004a	193 ± 42.47a
	10%V	137.53 ± 4.16a	14.57 ± 0.90ab	0.076 8 ± 0.006a	183 ± 15.69a
水稻	CK	57.70 ± 4.02a	5.76 ± 0.34a	0.045 5 ± 0.003a	207 ± 14.73a
	2.5%V	56.07 ± 3.23a	5.58 ± 0.85a	0.044 5 ± 0.007a	220 ± 22.82a
	5%V	58.87 ± 1.53a	6.08 ± 0.22a	0.050 0 ± 0.003a	214 ± 13.29a
	7.5%V	56.10 ± 4.50a	6.01 ± 0.63a	0.051 5 ± 0.007a	232 ± 14.10a
	10%V	49.49 ± 3.48a	5.51 ± 0.44a	0.049 0 ± 0.005a	220 ± 19.75a

2.2.4 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗壮苗指数的影响

由图1可知,番茄幼苗壮苗指数以7.5%V处理最高,达到 44.32×10^{-3} ,最低为处理2.5%V值达 26.48×10^{-3} ,两者差异显著,但7.5%V处理与其余处理(2.5%V除外)无显著性差异。与对照组相比,蚯蚓堆肥浸提液更有利于小白菜幼苗壮苗的形成,且随着添加蚯蚓堆肥浸提液浓度的升高,呈先升高后降低的趋势,以7.5%V处理壮苗指数最高,达 14.93×10^{-3} ,与对照组形成显著性差异。水

稻幼苗壮苗指数各处理间差异不显著。

2.3 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗生理指标的影响

2.3.1 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗叶绿素含量的影响

整体来看,添加蚯蚓堆肥浸提液可以提高番茄、小白菜和水稻的叶绿素含量,尤其对叶绿素a含量的促进作用更为明显。添加蚯蚓堆肥浸提液可以显著增加番茄和水稻幼苗的叶绿素a含量,而对叶绿素b含量无影响。在所有处理中,以7.5%V处理的综合效果最佳。

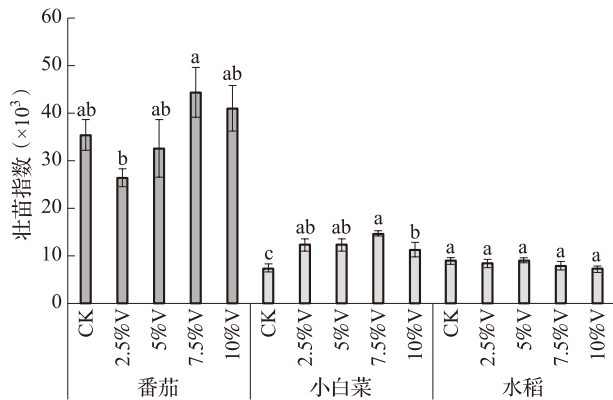


图 1 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗壮苗指数的影响

表 5 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗叶绿素含量的影响 (mg/g)

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b	
番茄	CK	6.63 ± 0.20c	4.09 ± 0.13a	10.72 ± 0.09b
	2.5%V	7.10 ± 0.29c	4.32 ± 0.22a	11.42 ± 0.17b
	5%V	8.16 ± 0.21ab	4.36 ± 0.10a	12.52 ± 0.29a
	7.5%V	8.39 ± 0.43a	4.40 ± 0.18a	12.79 ± 0.49a
	10%V	7.42 ± 0.28bc	4.05 ± 0.12a	11.47 ± 0.20b
小白菜	CK	3.63 ± 0.16ab	2.05 ± 0.13b	5.68 ± 0.15b
	2.5%V	3.77 ± 0.17ab	2.25 ± 0.06ab	6.03 ± 0.20ab
	5%V	3.70 ± 0.18ab	2.44 ± 0.07a	6.14 ± 0.15ab
	7.5%V	4.20 ± 0.19a	2.19 ± 0.09ab	6.39 ± 0.15a
	10%V	3.36 ± 0.19b	2.21 ± 0.12ab	5.57 ± 0.30b
水稻	CK	3.04 ± 0.11b	1.79 ± 0.09a	4.83 ± 0.19bc
	2.5%V	3.19 ± 0.10ab	2.00 ± 0.34a	5.19 ± 0.24ab
	5%V	3.48 ± 0.10a	2.11 ± 0.04a	5.59 ± 0.09a
	7.5%V	3.48 ± 0.03a	2.04 ± 0.04a	5.52 ± 0.03a
	10%V	2.93 ± 0.11b	1.64 ± 0.14a	4.56 ± 0.21b

2.3.2 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗根系活力的影响

由图 2 可知, 与对照 (纯霍格兰营养液) 相比, 蚯蚓堆肥浸提液可以不同程度提高 3 种幼苗的根系活力, 而随着蚯蚓堆肥浸提液浓度的不断增加, 呈现先升高后降低的趋势。3 种幼苗均以处理为 7.5% 蚯蚓堆肥浸提液的根系活力最大, 分别为 615.23、566.24、509.07 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。番茄幼苗的根系活力各处理之间无显著性差异; 小白菜幼苗处理 7.5%V 与其他处理有显著性差异; 水稻幼苗处理 7.5%V 的根系活力与对照和处理 10%V 具有显著性差异, 与其余处理差异不显著。由此可见, 添加 7.5%V 蚯蚓堆肥浸提液更有利于植株根系的生长。

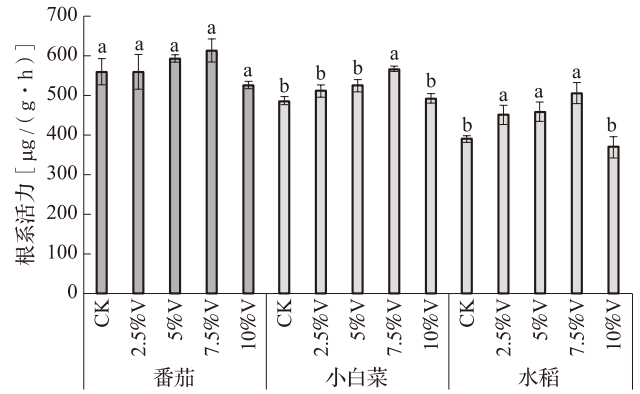


图 2 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗根系活力的影响

2.3.3 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗抗氧化酶活性及丙二醛的影响

从图 3 可见, 添加蚯蚓堆肥浸提液可提高番茄、小白菜和水稻幼苗的 POD 活性、SOD 活性和 CAT 活性, 并降低 MDA 含量。对番茄而言, 添加蚯蚓堆肥浸提液可提高 POD 活性, 但未达显著水平, 但显著提高了 SOD 和 CAT 活性, 均以 7.5%V 处理效果最佳; 添加蚯蚓堆肥浸提液显著降低了 MDA 含量, 而当浸提液浓度达到 10%V 时, MDA 含量增加。蚯蚓堆肥浸提液对小白菜和水稻幼苗抗氧化酶活性及丙二醛的影响趋势与番茄一致。添加蚯蚓堆肥浸提液提高番茄、小白菜和水稻幼苗 POD、SOD 和 CAT 活性, 且降低 MDA 含量, 均以处理 7.5%V 效果最佳。

3 讨论

本试验研究结果表明, 添加蚯蚓堆肥浸提液可促进番茄、小白菜和水稻幼苗的生长发育, 随着蚯蚓堆肥浸提液浓度的增加呈现先促进、后抑制的趋势, 其中以添加 7.5%V 处理的蚯蚓堆肥浸提液效果最佳。

良好形态的建成是保证作物高产的重要因素。徐大兵等研究发现猪粪堆肥浸提液能明显改善棉花植株的生长发育, 增加棉花产量^[14]; 戴国华研究发现施用新鲜蚯蚓堆肥浸提液能够促进植物生长, 改善黄瓜植株生长状况, 调节盆栽土壤微生物数量等, 从而一定程度上抑制了黄瓜炭疽病的发生^[15]; 雷思勤等研究发现蚯蚓提取物对草莓茎粗、近似叶片面积和产量的增加有显著地促进作用, 且与提取物的浓度成正相关性^[16]; 唐超等研究表明蚯蚓堆肥浸提液显著增加了黑麦草生物量以及促进了根系的生长^[17]; 武东波等发现功能性堆肥及其浸

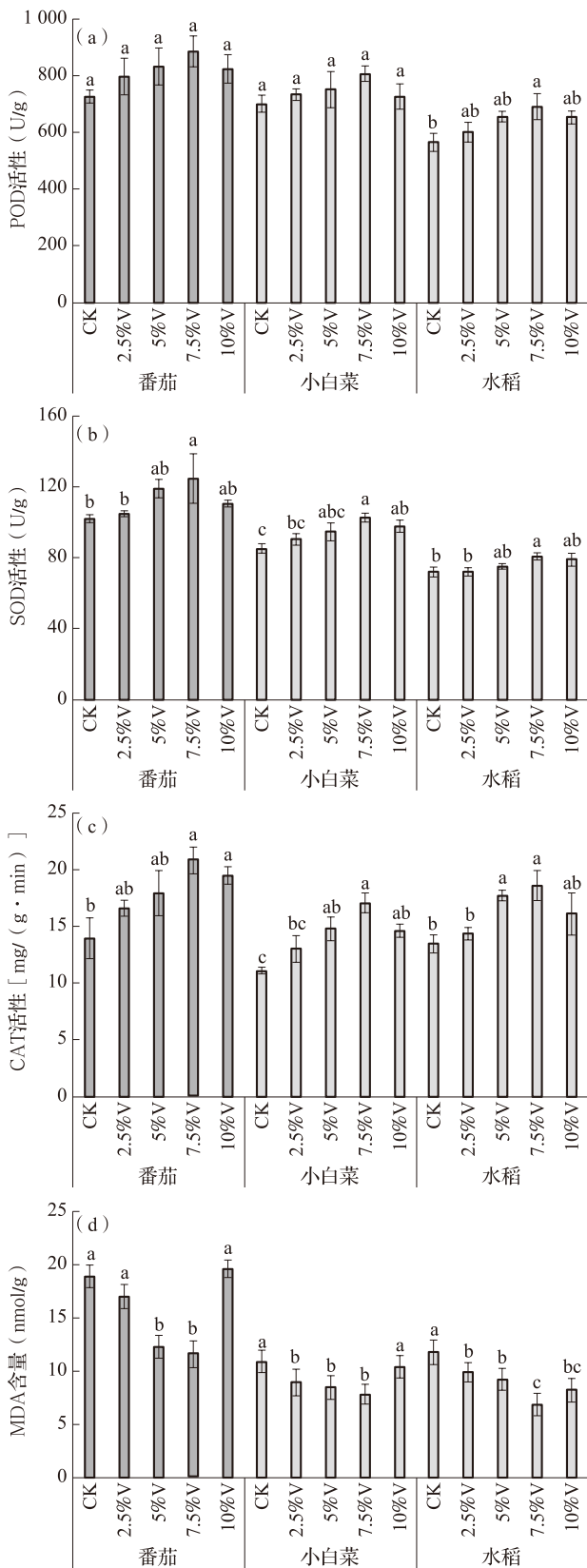


图3 蚯蚓堆肥浸提液对幼苗抗氧化酶活性及丙二醛的影响

提液促进根系发育,有利于甜瓜叶面积、茎粗和株高的增加及叶片叶绿素的积累等^[18];李旭试验结

果表明浇灌堆肥浸提液可以提高植株 POD、CAT 活性,说明堆肥与堆肥浸提液的施用会增强植株生命活动,增强植株自身的抗病性,有利于减少农药的施用^[19]。本试验蚯蚓堆肥浸提液可以提高 POD、CAT 活性,与前人研究结果一致。

随着培养液中蚯蚓堆肥浸提液浓度的升高,有机质和氮磷钾等元素的含量不断增加,为幼苗的前期生长提供良好的生长环境和充足的营养物质,可满足幼苗的生长需求。逆境条件通常先抑制膜保护酶系统的防御功能,其最终产物 MDA 会对生物膜造成严重的损伤^[20-21]。POD、SOD、CAT 是膜保护酶系统的重要组成部分,协同作用消除代谢过程中产生的活性氧,避免膜脂过氧化作用及其他伤害过程。本研究表明,随着堆肥浸提液浓度的升高,三种幼苗的 SOD、POD、CAT 活性呈上升趋势,MDA 含量呈先降低后升高。当浸提液浓度不断升高,浸提液中营养元素已经较为充足,不再是主要的限制因子,可能是较高的化感物质含量降低了根系生理活性,导致水分和养分吸收和运输能力降低,整体生物量降低。

4 小结

本研究结果表明,与纯霍格兰营养液相比,添加不同浓度蚯蚓堆肥浸提液对番茄、小白菜及水稻幼苗的地上部生长、物质积累分配、根系生长、壮苗指数、叶绿素含量、根系活力、抗氧化酶活性等指标均有不同程度提高,以添加浓度为 7.5% 的蚯蚓堆肥浸提液效果最好。

参考文献:

- [1] Diver S. Notes on compost teas: a supplement to the ATTRA publication: compost teas for plant disease control. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA), National Sustainable Agriculture Information Service, AR. (National Center for Appropriate Technology, Montana) [EB/OL]. 2002 [2019-04-04]. <https://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/summary.php?pub=125>.
- [2] Ingham E. The compost tea brewing manual; Latest methods and research [M]. Oregon: Soil Food Web Incorporated, 2005.
- [3] Hibar K, Daami-Remadi M, Jabnoun-Khiareddine H, et al. Effect of compost tea on mycelial growth and disease severity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* [J]. *Agronomy, Society and Environment*, 2006, 10 (2): 101-108.
- [4] Edris A E, Shalaby A, Fadel H M. Effect of organic agriculture practices on the volatile aroma components of some essential oil

- plants growing in Egypt II: sweet marjoram (*Origanum marjorana* L.) essential oil [J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 2010, 18 (4): 345-351.
- [5] Reeve J, Carpenter-Boggs L, Reganold J, et al. Influence of biodynamic preparations on compost development and resultant compost extracts on wheat seedling growth [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101 (14): 5658-5666.
- [6] 徐静, 梁林洲, 董晓英, 等. 4种有机肥源的堆肥茶生物化学性质及对番茄苗期生长的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2013, 41 (10): 289-292.
- [7] 杨晓珍, 郝丹东, 孟静, 等. 功能性堆肥及其浸提液对设施黄瓜生长发育的影响 [J]. *农业科学研究*, 2014, (4): 33-38.
- [8] Zaller J. Foliar spraying of vermicompost extracts: Effects on fruit quality and indications of late-blight suppression of field-grown tomatoes [J]. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2006, 24 (2): 165-180.
- [9] Pant A, Radovich T J K, Hue N V, et al. Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties [J]. *Compost Science & Utilization*, 2011, 19 (4): 279-292.
- [10] Singh R, Gupta R K, Patil R T, et al. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 124 (1): 34-39.
- [11] 张玥含, 赵树兰, 多立安. 垃圾堆肥与蚓粪浸提液对草坪植物种子萌发及初期生长的作用 [J]. *草业科学*, 2008, 25 (8): 113-117.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 (3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 邹琦. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [14] 徐大兵, 王秋君, 沈其荣, 等. 猪粪堆肥提取液对棉花生长和养分代谢的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29 (7): 1239-1246.
- [15] 戴国华. 有机抑菌液肥的制作及其对黄瓜炭疽病的防治效果 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [16] 雷思勤, 孙越鸿, 吴永胜, 等. 蚯蚓提取物对草莓生长性能的促进作用初探 [J]. *南方农业*, 2014, 8 (13): 7-9.
- [17] 唐超, 王斌, 刘满强, 等. 蚓粪水溶性有机物对黑麦草生长的影响 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25 (9): 161-164.
- [18] 武东波, 张学忠, 徐秉信, 等. 功能性堆肥及其浸提液在设施温室甜瓜栽培上的应用研究 [J]. *长江蔬菜*, 2014, (18): 65-70.
- [19] 李旭. 堆肥与堆肥浸提液协同作用研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [20] 张舒涵, 张俊莲, 王文, 等. 氯化钾对干旱胁迫下马铃薯根系生理及形态的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2018, (5): 77-84.
- [21] 赵天宏, 孙加伟, 付宇. 逆境胁迫下植物活性氧代谢及外源调控机理的研究进展 [J]. *作物杂志*, 2008, (3): 10-13.

Effect of vermicompost extract on seedling growth

LÜ Xiu-min, LIU Xiao-yu, ZHAO Cai-yi, PU Yao-yao, JIAO Jia-guo*, LI Hui-xin (College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Organic Solid Waste Recycling, Nanjing Jiangsu 210095)

Abstract: The results of seedling experiments of vermicompost extracts showed that the physicochemical properties of vermicompost extracts with different concentrations showed gradient changes, which had different effects on seedling growth and development. Compared with the pure inorganic nutrient solution system, the vermicompost extract increased the aboveground growth, root growth and vigor, seedling index, chlorophyll content and antioxidant enzyme activity of tomato, pakchoi and rice seedlings to different degrees. Among them, the application of the concentration of 7.5% vermicompost extract was the best; with the increase of the concentration of the leaching solution, the salt concentration increased correspondingly, which inhibited the growth of seedlings. In summary, the addition of 7.5% concentration of vermicompost extract in inorganic nutrient solution can promote the growth of seedlings differently, and has a good effect on seedling, which lays a theoretical foundation for the application of vermicompost extracts.

Key words: vermicompost; extract; seedling growth