

牛粪蚯蚓堆肥基质对草莓生长的影响

张舒玄¹, 聂欣¹, 常江杰¹, 李辉信¹, 赵荷娟², 王琳², 王东升³, 胡锋¹, 焦加国^{1*}

(1. 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;
2. 南京市农业科学研究所, 江苏 南京 210046; 3. 南京市蔬菜科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 将奶牛粪蚯蚓堆肥与泥炭、珍珠岩和蛭石按不同体积比例复配成3种草莓生长基质, 体积比分别为0:4:1:1 (基质a), 2:2:1:1 (基质b), 4:0:1:1 (基质c), 通过分析草莓的生长情况、果实产量和品质, 筛选出适合草莓生长的最佳基质配比。结果表明, 复配后生长基质的理化性质优良, 适合草莓生长。3种基质中, 以基质b效果最佳, 综合来看, 基质b栽培的草莓果实可溶性糖、糖酸比、可溶性固形物、抗坏血酸、可溶性蛋白和花青素含量均不同程度高于其他两种基质。此外, 与基质a和基质c相比, 基质b的草莓果实收获期提前了5~15 d。该配方可推荐用于架式草莓工厂化栽培生产。

关键词: 奶牛粪; 蚯蚓堆肥; 基质; 草莓幼苗

中图分类号: S141; S668.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 03-0061-08

随着社会经济的发展, 我国畜牧业的集约化和规模化生产也得到迅速发展, 在提高城乡居民生活水平的同时, 畜禽废弃物的产生量也大大增加, 有机废弃物的环境污染问题日益突出^[1]。生物处理是当今解决废弃物资源化利用的重要途径, 近20多年发展起来的蚯蚓处理有机废弃物的技术已比较成熟, 利用蚯蚓的生命活动处理各种有机废弃物, 不仅能减少日益增多的畜禽废弃物对环境的污染, 而且产生的蚯蚓堆肥, 可以在资源化利用环节中增加循环链, 提高产品附加值^[2]。利用生物对有机废弃物进行资源化处理已经成为当今可持续发展的一个重要思路^[3]。

畜禽粪便通过蚯蚓的消化系统, 在蛋白酶、脂肪酶等多种酶的作用下, 能迅速分解、转化成为自身或其他生物易于利用的营养物质, 其中包含许多能够促进植物生长的生物活性物质, 不仅能够促进植物生长, 还可以提高农产品品质^[4]。Zaller^[5]研究表明, 蚯蚓堆肥作为育苗基质能够显著促进番茄植株的生长并有助于提高番茄产量。Wang等^[6]研究表明蚯蚓堆肥能够显著增加小白菜的产量, 提高

小白菜的营养代谢产物和小白菜抗氧化能力。蚯蚓堆肥复合基质育出的西瓜早期幼苗效果较好, 农艺性状指标均显著提高; 移栽后期, 蚯蚓堆肥复合基质育出的西瓜植株死亡率低、主蔓长, 而且西瓜糖度均较高^[7]。适当比例蚯蚓堆肥还能缓解果蔬的连作障碍问题^[8]。

目前, 草莓多为土壤栽培, 容易产生土传病害, 且过度施用农药导致的环境污染会严重威胁到草莓种植。在耕地资源减少和连作障碍日益严重的情况下, 大力推广设施草莓无土栽培技术将是未来草莓产业发展的主要方向^[9]。本研究结合农业有机废弃物的蚯蚓堆肥过程, 将蚯蚓堆肥与传统基质泥炭、珍珠岩、蛭石按不同比例复配, 进行草莓幼苗的生长试验, 通过分析草莓的生长情况、果实产量和品质, 筛选出适合草莓生长的最佳配比。拟解决泥炭资源短缺及成本高的问题, 构建基于蚯蚓作用的畜禽粪便等废弃物的高效资源化利用技术。

1 材料与方法

1.1 供试材料

奶牛粪蚯蚓堆肥: 奶牛粪蚯蚓堆肥由公司提供。

草莓: 供试品种为红颜, 试验采用架式栽培。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理

本试验在江苏丘陵地区南京农业科学研究所的

收稿日期: 2016-03-12; 最后修订日期: 2016-04-11

基金项目: 农业部引进国际先进农业科学技术计划 (2015-Z42); 江苏省博士后科研资助计划 (1301070C)。

作者简介: 张舒玄 (1990-), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要从事有机废弃物的生物处理及基质化利用研究。E-mail: 2013103021@njau.edu.cn。

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

温室大棚内进行, 采用架式栽培方式。以现有常用基质作为对照, 基质 a (对照)、基质 b、基质 c 的蚯蚓堆肥与泥炭、蛭石、珍珠岩的体积比分别为 0:4:1:1、2:2:1:1、4:0:1:1。不同物料的理化性状见表 1。育苗结束时, 将子苗从母株上切下, 移植到事先准备好的营养钵内进行 2 个月的集中培育, 使草莓子苗的苗体长大, 同时培养子苗新的根系, 为草莓的生长阶段做准备。本试验分别将基质 a、基质 b 和基质 c 育苗时母株匍匐茎上的子苗 (即幼苗 I、幼苗 II 和幼苗 III) 在基

质 b 中假植, 2014 年 9 月 10 日准备基质并定植, 从定植到最后一次收获共计 7 个月。定植前测定不同草莓幼苗的性状。试验采用 L9 (3²) 正交设计, 共 9 个处理, 即基质 a 幼苗 I、基质 b 幼苗 I、基质 c 幼苗 I、基质 a 幼苗 II、基质 b 幼苗 II、基质 c 幼苗 II、基质 a 幼苗 III、基质 b 幼苗 III 和基质 c 幼苗 III。每个处理 3 次重复, 共 27 个小区, 每个小区面积为 100 cm × 30 cm = 3 000 cm²。每个小区种植 14 株苗, 分成两排, 每排种植 7 株, 株距 30 cm, 行 (排) 距 15 cm。

表 1 栽培基质材料的理化性质

基质材料	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	pH 值	EC 值 (mS/cm)	有机质 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
蚯蚓堆肥	0.75	69.20	6.85	1.13	38.56	1.34	2.34	2.12
泥炭	0.26	63.08	5.39	0.11	44.89	0.70	0.27	0.90
蛭石	0.39	74.42	7.03	—	—	—	—	—
珍珠岩	0.11	76.17	8.44	—	—	—	—	—

田间管理: (1) 浇水: 假植时期, 每天浇水一到两次, 保持基质含水量在 15% ~ 30%; 栽培时期, 采用滴灌浇水, 定植时浇水直至基质表面湿润, 之后约每周浇水一次。(2) 施肥: 假植时期, 草莓幼苗采用营养钵假植。在假植前, 将水溶性缓释肥颗粒溶解成 2% 浓度的溶液, 通过滴管施入基质内, 每个营养钵施用量为 20 mL, 之后每一至两周追肥一次。8 月份之前采用氮磷钾复合肥 (20-20-20), 8 月份直到定植前采用氮磷钾复合肥 (10-30-20、15-10-30) 追肥; 栽培时期, 草莓采用架式栽培, 在定植前, 将氮磷钾复合肥 (20-20-20) 溶解后通过滴管施入基质中, 施肥量为 8~10 g/株; 在始花期前每周采用滴灌追肥一次; 进入盛果期后, 采用氮磷钾复合肥 (10-30-20、15-10-30) 追肥。10 月中旬, 在基质表面覆盖黑地膜; 始花期, 大棚内饲养蜜蜂传花授粉。(3) 病虫害防治: 苗期病虫害主要有炭疽病、蚜虫、粉虱, 根腐病等。用 20% 吡虫啉可溶性粉剂防治粉虱, 用 70% 甲基托布津可湿性粉剂防治炭疽病, 用 12.5% 烯唑醇可湿性粉剂防治白粉病, 用 10% 阿维菌·哒螨灵乳油防治红蜘蛛, 用普利登鱼蛋白 500 倍液 + 恶霉灵 800 倍液防治根腐病。

1.2.2 测定指标与方法

(1) 育苗基质基础理化性质: 养分含量、容重、pH 值、EC 值、孔隙状况等采用常规方法测定^[10]。

(2) 草莓幼苗样品采集时间和方法: 在假植结束时测定草莓幼苗的生物量、根系形态和叶面积, 幼苗干重 (先在通风干燥箱 105℃ 下杀青 30 min, 然后在 80℃ 下烘至恒重后称量^[10]), 幼苗根系总根长、根体积、根表面积、根尖数 (根系扫描仪型号为 LA1600+, Canada; 分析软件为 Winrhizo2003 b), 叶面积 (采用叶宽度与叶面积回归法)。

(3) 草莓产量和品质指标测定: 草莓果实产量分别从 12 月到翌年 4 月逐月统计。在盛果期测定草莓果实品质: 可溶性糖采用蒽酮比色法测定, 可滴定酸采用氢氧化钠中和滴定法测定, 可溶性固形物采用手持折光仪测定, 抗坏血酸采用紫外分光光度法测定, 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-25 染色法测定, 花青素采用 1% 盐酸甲醇萃取液吸光度测定, 总酚采用 Folin-Ciocalteu 比色法测定^[11]。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析和 Origin 8 进行制图。处理间的显著差异采用单因素方差分析评价, 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 不同栽培基质的配比及基本理化性质

复配后的草莓栽培基质理化性状见表 2, 可以看出, 基质的容重、pH 值、EC 值、全氮、全磷和

全钾含量均随蚯蚓堆肥含量的增加而增加, 孔隙度和有机质随着蚯蚓堆肥含量的增加而减小。经过复配的草莓栽培基质 pH 值为 6.37 ~ 7.00, 各处理 pH 值呈弱酸性, EC 值 0.16 ~ 1.52 mS/cm, 容重

0.24 ~ 0.69 g/cm³, 总孔隙度 71.18% ~ 86.03%, 有机质含量为 26.1% ~ 34.5%, N、P₂O₅ 和 K₂O 的总养分为 3.60% ~ 5.52%。且基质理化性质均符合草莓生长的要求。

表 2 不同比例复配的草莓栽培基质的理化性状

处理	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	EC 值 (mS/cm)	pH 值	有机质 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
基质 a	0.24	86.03	0.16	6.37	33.54	0.77	1.24	1.59
基质 b	0.49	77.78	0.67	6.64	27.65	1.03	1.99	1.91
基质 c	0.69	71.18	1.52	7.00	26.11	1.21	2.26	2.05

2.2 蚯蚓堆肥基质对草莓幼苗假植的影响

2.2.1 蚯蚓堆肥基质对草莓幼苗生物量的影响

试验结果表明, 幼苗 I 地上部生物量高于幼苗 II 和幼苗 III; 幼苗 II 地下部生物量高于幼苗 I 和幼苗 III, 但无显著差异。主要由于适量蚯蚓堆肥的加入, 提高了复合基质的通透性以及保肥保水能力, 为草莓根系提供了更加良好的生长环境, 从而提高了育出幼苗的质量, 在同一种基质中假植时, 能够更加有效地利用基质中养分, 促进根系生长。即基质 b 中的幼苗地下部生物量均高于基质 a 和基质 c 中的幼苗地下部生物量。

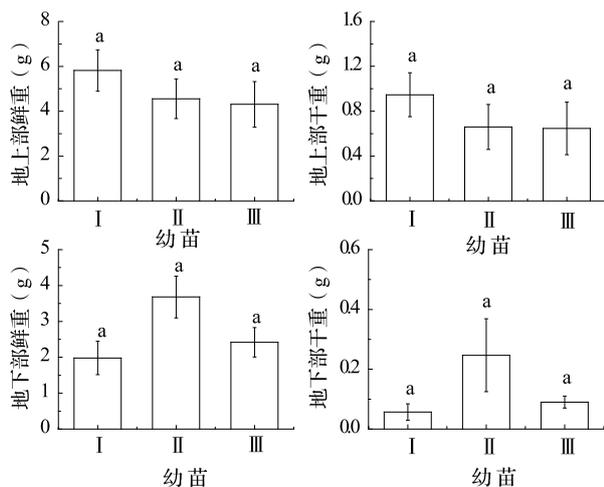


图 1 不同育苗基质的草莓幼苗假植阶段的生物量差异比较

注: 图中小写字母不同表示不同处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 下同。

2.2.2 蚯蚓堆肥基质对草莓幼苗根系形态的影响

由图 2 可知, 在根表面积、根体积、根尖数、总根长方面, 幼苗 II 较幼苗 I 和幼苗 III 根系生长更好, 其中, 根表面积增加幅度最为突出。由此可见, 育苗基质中添加适量的蚯蚓堆肥可促进草莓幼苗的根系生长, 其中基质 b 最优。

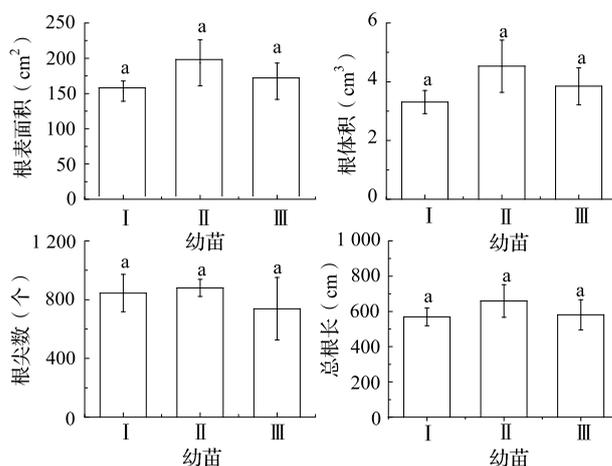


图 2 不同处理基质对草莓幼苗根系形态的影响

2.2.3 蚯蚓堆肥基质对草莓幼苗叶面积的影响

由图 3 可以看出, 幼苗 I 和幼苗 II 的叶面积较幼苗 III 大, 且有显著性差异, 幼苗 I 和幼苗 II 之间无显著性差异。

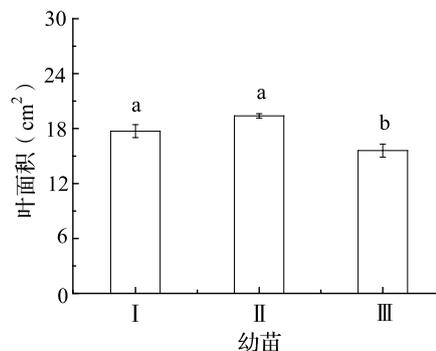


图 3 不同处理基质对草莓幼苗叶面积的影响

2.3 蚯蚓堆肥基质对草莓生长物候期的影响

采收期的早晚、持续时长是衡量经济收益的重要指标。采收始期最早的是处理 I b 和处理 II b

(2014年12月2日),最晚的是处理Ⅲa,较最早的处理Ⅰb和处理Ⅱb延迟了15 d。苗Ⅰ中,基质b采收始期较基质a和基质c分别提前了12和13 d,处理Ⅱb较处理Ⅱa和处理Ⅱc均提前了11 d。其次是处理Ⅲb和处理Ⅲc,分别较处理Ⅲa提前了10

和9 d。采收盛期,处理Ⅰb、Ⅱb和Ⅲb分别较同种幼苗中基质a和基质c提前了12和5 d、11和8 d及13和6 d。试验结果表明,在3种幼苗中,基质b均能有效使草莓的采收期提前,基质c效果次之。

表3 不同处理基质对草莓生长物候期的影响

处理	定植期 (2014年)	现蕾期 (2014年)	始花期 (2014年)	盛花期 (2014年)	采收始期 (2014年)	采收盛期 (2015年)
Ⅰa	9月13日	10月20日	10月28日	11月29日	12月14日	3月30日
Ⅰb	9月13日	10月11日	10月17日	11月19日	12月2日	3月18日
Ⅰc	9月13日	10月13日	10月20日	11月21日	12月15日	3月23日
Ⅱa	9月13日	10月14日	10月23日	11月26日	12月13日	3月28日
Ⅱb	9月13日	10月9日	10月18日	11月19日	12月2日	3月17日
Ⅱc	9月13日	10月12日	10月19日	11月16日	12月13日	3月25日
Ⅲa	9月13日	10月14日	10月21日	11月23日	12月17日	3月29日
Ⅲb	9月13日	10月6日	10月13日	11月18日	12月7日	3月16日
Ⅲc	9月13日	10月13日	10月20日	11月23日	12月8日	3月22日

2.4 蚯蚓堆肥基质对草莓产量的影响

红颊为浅休眠品种,总体上来看,草莓单株产量从12月到翌年4月呈现先增高再降低的趋势,在3月出现单株产量的最大值。从表4看

出,苗Ⅱ与苗Ⅲ中,基质a和基质b的草莓果实产量均相应高于基质c,但处理间无显著差异。所有处理中,以处理Ⅱa和处理Ⅲb产量最高。

表4 不同处理基质对草莓单株产量的影响(平均值±标准误)

处理	2014年12月	2015年1月	2015年2月	2015年3月	2015年4月	单株总产量
Ⅰa	4.32±1.20 a	6.52±1.05 b	49.41±12.04 a	146.87±10.99 a	53.24±14.20 a	260.36±12.50 a
Ⅰb	5.34±1.31 a	21.59±2.29 a	47.58±12.87 a	128.13±8.42 a	71.27±5.60 a	273.91±7.66 a
Ⅰc	7.29±1.61 a	25.54±4.02 a	41.24±1.57 a	156.06±45.33 a	53.57±8.50 a	283.69±45.88 a
Ⅱa	6.46±1.98 b	17.88±5.79 a	46.75±10.54 a	197.26±36.84 a	60.21±4.94 a	328.56±30.92 a
Ⅱb	15.76±1.71 a	21.59±5.09 a	49.66±4.01 a	131.78±1.54 a	58.42±6.95 a	277.21±8.40 a
Ⅱc	6.68±0.20 b	20.69±2.89 a	38.50±4.19 a	131.78±8.91 a	75.29±6.70 a	272.95±14.39 a
Ⅲa	6.85±1.89 a	8.68±1.83 b	69.71±4.58 a	142.02±15.65 a	66.19±8.93 a	293.44±7.40 a
Ⅲb	6.63±0.53 a	24.23±3.92 a	50.09±4.47 b	150.37±6.29 a	78.03±13.12 a	309.36±15.22 a
Ⅲc	9.25±1.05 a	21.22±2.05 a	49.56±5.17 b	133.94±13.41 a	59.98±5.47 a	273.95±13.84 a

注:同一列数据后小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平,下同。

2.5 蚯蚓堆肥基质对草莓果实品质的影响

2.5.1 蚯蚓堆肥基质对草莓果实风味的影响

由表5可以看出,初果期草莓果实的可溶性糖含量较盛果期和采收后期高。在初果期、盛果期和采收后期3个时期,基质b中不同幼苗的果实可溶性糖含量总体上均相应高于基质a和基质

c(除初果期的幼苗Ⅲ和采收后期的幼苗Ⅰ)。草莓的果实品质受基质、配方、浓度和品种等多种因素的影响,其中基质对果实品质各指标的影响最大^[12]。果实中可溶性糖含量是果实品质的一个重要指标,在很大程度上影响着果实的风味。

表5 不同处理基质对草莓果实可溶性糖的影响

(%)

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III
基质 a	5.67 ± 0.75 b	6.37 ± 0.07 b	9.38 ± 0.35 a	3.05 ± 0.16 b	2.93 ± 0.05 a	3.02 ± 0.28 b	5.16 ± 0.12 b	5.30 ± 0.16 a	2.78 ± 0.25 b
基质 b	8.94 ± 0.30 a	8.51 ± 0.22 a	8.23 ± 0.18 a	4.23 ± 0.31 a	3.51 ± 0.24 a	5.39 ± 0.34 a	4.88 ± 0.77 b	5.90 ± 0.62 a	5.90 ± 0.44 a
基质 c	5.38 ± 0.13 b	6.01 ± 0.36 b	6.15 ± 0.47 b	3.87 ± 0.01 a	3.36 ± 0.23 a	3.19 ± 0.25 b	7.49 ± 0.57 a	5.87 ± 0.51 a	4.33 ± 1.19 ab

由表6可以看出,不论是苗I、苗II还是苗III,添加蚯蚓堆肥(基质b和基质c)的草莓果实的糖酸比均高于对照处理(基质a),并且均以基质b处理最

高,均不同程度相应高于基质a和基质c的糖酸比。盛果期所有处理中,以基质b处理的苗III草莓果实糖酸比最高,为 12.21 ± 0.35 ,显著高于基质a。

表6 不同处理基质对草莓果实糖酸比的影响

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III
基质 a	5.25 ± 0.29 b	6.69 ± 0.51 b	10.73 ± 0.84 a	5.61 ± 1.11 b	6.50 ± 0.34 b	6.72 ± 0.02 b	11.52 ± 0.61 a	12.94 ± 1.03 b	7.82 ± 1.23 b
基质 b	9.13 ± 0.54 a	13.12 ± 1.70 a	10.58 ± 1.89 a	9.01 ± 0.94 a	8.45 ± 0.52 a	12.21 ± 0.35 a	11.50 ± 2.40 a	15.68 ± 1.96 a	13.06 ± 2.51 a
基质 c	6.06 ± 0.24 b	4.23 ± 0.31 b	9.10 ± 1.29 a	7.37 ± 0.64 ab	8.30 ± 0.66 a	10.79 ± 0.47 a	10.32 ± 1.28 a	12.65 ± 1.33 a	8.46 ± 1.13 a

可溶性固形物主要是指可溶性糖类,其含量一般介于5%~13%之间。由表7可以看出,从3个时期来看,同种基质中,初果期3种草莓幼苗的可溶性固形物高于盛果期和采收后期,盛果期和采收后期可溶性固形物的含量差异不明显。从3种基质来看,除初果期草莓幼苗II和采收后期草莓幼苗I外,以

基质b中果实可溶性固形物含量均相应高于基质a和基质c。其中,在盛果期,不论是苗I、苗II还是苗III,添加蚯蚓堆肥(基质b)的草莓果实可溶性固形物含量均高于对照处理(基质a),以基质b处理的苗I草莓果实可溶性固形物含量最高,为 $(8.27 \pm 0.03)\%$,显著高于基质a和基质c。

表7 不同处理基质对草莓果实可溶性固形物的影响

(%)

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III	苗I	苗II	苗III
基质 a	10.33 ± 0.17 a	11.03 ± 0.42 a	9.67 ± 0.30 b	6.73 ± 0.03 c	7.43 ± 0.42 a	7.43 ± 0.23 a	9.97 ± 0.09 a	9.20 ± 0.06 a	7.17 ± 0.07 b
基质 b	10.83 ± 0.55 a	10.43 ± 0.23 a	12.17 ± 0.17 a	8.27 ± 0.03 a	7.83 ± 0.24 a	7.73 ± 0.22 a	8.17 ± 0.03 b	9.23 ± 0.07 a	8.27 ± 0.12 a
基质 c	10.13 ± 0.03 a	10.47 ± 0.26 a	9.97 ± 0.09 b	7.33 ± 0.09 b	6.40 ± 0.06 b	5.40 ± 0.17 b	8.03 ± 0.07 b	7.43 ± 0.07 b	5.50 ± 0.15 c

2.5.2 蚯蚓堆肥基质对草莓果实营养的影响

果实内含物及营养价值是果实品质的一个重要指标,它们在很大程度上影响着果实的风味。抗坏血酸含量的高低代表着草莓特有的营养价值。由表8可以看出,抗坏血酸介于 $30.99 \sim 41.40 \text{ mg}/100 \text{ g}$ FW之间,从不同时期来看,草莓果实的抗坏血酸

含量呈现上升的趋势。其中,在初果期和盛果期,添加蚯蚓堆肥处理(基质b和基质c)的苗I和苗II的草莓果实抗坏血酸含量均相应高于对照处理(基质a)。并且在盛果期,苗I以基质b处理(蚯蚓堆肥替代50%泥炭)最高。苗III以基质b处理和基质c处理最高,显著高于基质a。

表 8 不同处理基质对草莓果实抗坏血酸的影响 (mg/100 g FW)

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III
基质 a	30.99 ± 0.38 b	34.56 ± 0.65 b	34.80 ± 1.19 ab	33.06 ± 0.64 a	37.24 ± 1.47 a	34.16 ± 1.02 b	37.43 ± 0.22 c	38.22 ± 0.61 b	40.26 ± 0.86 a
基质 b	35.65 ± 0.05 a	35.57 ± 0.86 b	37.77 ± 0.14 a	39.71 ± 1.02 a	38.15 ± 0.78 a	39.45 ± 0.38 a	39.75 ± 0.11 b	40.76 ± 0.36 a	40.18 ± 0.26 a
基质 c	35.90 ± 0.28 a	38.11 ± 0.59 a	32.49 ± 1.25 b	37.64 ± 3.54 a	38.16 ± 2.37 a	39.99 ± 0.97 a	41.40 ± 0.05 a	40.55 ± 0.14 a	40.25 ± 0.23 a

由表 9 可以看出, 草莓果实的可溶性蛋白含量在 0.10 ~ 0.56 mg/g 之间。从 3 种生长基质来看, 在盛果期和采收后期, 基质 b 中幼苗 II 的果实可溶性蛋白含量高于基质 a 和基质 c; 从 3 种草莓幼苗来看, 基质 a 中, 初果期和采收后期, 幼苗 I 果实的可溶性蛋白含量较苗 II 和苗 III 高; 基质 b 中, 果实采收的 3 个时期, 幼苗 III 果实的可溶性蛋白含量较苗 I 和苗 II 高; 基质 c 中, 在初果期和采收后期, 幼苗 III 果实的

可溶性蛋白含量较苗 I 和苗 II 高; 在果实采收的 3 个时期, 幼苗 III 在基质 b 中的可溶性蛋白含量较基质 a 和基质 c 高。在盛果期, 不论是苗 I、苗 II 还是苗 III, 基质 b (蚯蚓堆肥替代 50% 泥炭) 的草莓果实可溶性蛋白含量均高于对照处理 (基质 a)。盛果期所有处理中, 以基质 b 处理的苗 III 草莓果实可溶性蛋白含量最高, 为 (0.22 ± 0.01) mg/g, 显著高于基质 a 和基质 c。

表 9 不同处理基质对草莓果实可溶性蛋白的影响 (mg/g)

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III
基质 a	0.49 ± 0.01 a	0.33 ± 0.08 a	0.34 ± 0.03 b	0.10 ± 0.01 b	0.15 ± 0.06 a	0.16 ± 0.04 b	0.15 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 b	0.13 ± 0.01 b
基质 b	0.40 ± 0.01 b	0.24 ± 0.01 a	0.56 ± 0.08 a	0.21 ± 0.04 a	0.19 ± 0.04 a	0.22 ± 0.01 a	0.16 ± 0.02 a	0.23 ± 0.02 a	0.23 ± 0.01 a
基质 c	0.22 ± 0.01 c	0.29 ± 0.06 a	0.39 ± 0.01 b	0.19 ± 0.01 a	0.13 ± 0.05 a	0.15 ± 0.01 b	0.16 ± 0.01 a	0.15 ± 0.02 b	0.17 ± 0.02 b

2.5.3 蚯蚓堆肥基质对草莓果实抗氧化性的影响

花青素是构成花瓣和果实颜色的主要色素之一, 属于酚类化合物中的类黄酮类。花青素是纯天然的抗衰老的营养补充剂, 已经有研究表明, 花青素的抗氧化性能比维生素 E 高出 50 倍, 比维生素 C 高出 20 倍^[13]。由表 10 可以看出, 从不同时期来看, 草莓果实的花青素含量

表现为先上升后下降的趋势。从 3 种基质来看, 盛果期, 均表现为基质 b 中果实的花青素含量高于基质 a 和基质 c, 在初果期苗 II 和苗 III 中也有相似的结论。在盛果期, 不论是苗 I、苗 II 还是苗 III, 基质 b (蚯蚓堆肥替代 50% 泥炭) 的草莓果实花青素含量均高于对照处理 (基质 a)。

表 10 不同处理基质对草莓果实花青素的影响 (mg/g)

基质	初果期 (12月22日)			盛果期 (2月25日)			采收后期 (4月10日)		
	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III	苗 I	苗 II	苗 III
基质 a	119.83 ± 0.64 ab	118.75 ± 9.08 b	153.77 ± 1.54 a	167.57 ± 17.00 a	147.02 ± 5.08 b	194.92 ± 3.17 b	142.74 ± 13.94 a	114.02 ± 10.40 a	116.60 ± 3.56 a
基质 b	117.53 ± 3.41 b	150.92 ± 1.39 a	143.65 ± 2.19 a	188.70 ± 5.88 a	198.27 ± 1.45 a	226.26 ± 2.53 a	118.69 ± 15.03 a	129.09 ± 1.98 a	124.24 ± 1.23 a
基质 c	136.65 ± 7.90 a	134.93 ± 4.93 ab	114.02 ± 4.32 b	186.73 ± 3.30 a	197.07 ± 4.01 a	183.27 ± 6.18 b	154.41 ± 6.10 a	136.93 ± 5.46 a	85.55 ± 2.20 b

3 结论与讨论

蚯蚓堆肥的团聚体大多为 0.5 ~ 3.0 mm 粒径的椭圆形及长圆形的团聚体。有时也可再粘结成团块状; 蚯蚓堆肥团聚体的水稳性通常高于非蚯蚓堆肥^[14]。蚯蚓堆肥的表面积大, 具有良好的表面吸

附能力, 为许多有益微生物的生存提供了条件。同时, 蚯蚓堆肥还具有良好的孔性、通气性和保水性^[15-16]。蚯蚓消化道能产生大量有益微生物以及分解蛋白质、脂肪、碳水化合物和纤维素的各种酶类。畜禽粪便在有益微生物以及蛋白酶、脂肪酶等多种酶的作用下, 能迅速分解、转化成为自身或其

他生物易于利用的营养物质。农业部肥料质检中心对天津市宁河县蚯蚓购销养殖场生产的蚯蚓堆肥的测定结果表明, 蚯蚓堆肥有机质含量 42.2%、腐植酸 25.6%、氮 1.4%、磷 1.0%、钾 1.0%, 并含有多种微量元素和 17 种氨基酸^[17]。

草莓生长期长达 8~9 个月, 整个生长期持续进行营养和生殖生长。本试验研究发现, 在草莓生长基质中添加适量蚯蚓堆肥, 能够使得草莓果实的收获期提前, 基质 b 的草莓果实收获期较基质 a 和基质 c 提早了 5~15 d。蚯蚓堆肥中含有大量使蚯蚓堆肥保持良好微结构的胶状物质, 这类物质不会被水淋洗损失, 保证了草莓生长过程中浇水措施不会使基质的结构性变差, 为草莓的生长提供了良好的条件, 从而促进了草莓的生长, 使收获期提前^[18]。总体来看, 蚯蚓堆肥对草莓果实产量方面无明显效果。

用适量蚯蚓堆肥代替草莓生长基质中的泥炭, 可以提高草莓果实的品质。采用基质 b 栽培草莓, 不仅提高了果实的风味, 也增加了果实的营养。基质 b 的草莓果实的可溶性糖、可溶性固形物、抗坏血酸和花青素含量都高于基质 a 和基质 c 栽培的果实。这与于跃跃等^[19]的研究结果相一致。相关研究表明, 蚯蚓堆肥能够促进植物生长, 改善蔬菜品质和提高蔬菜产量, 包括提高种子发芽率、加快秧苗生长发育以及增加植物产量等^[20]。有研究表明, 在土壤中添加适量的蚯蚓堆肥, 可促进万寿菊生长, 并有利于万寿菊种子的萌发^[21]。崔玉珍等^[22]的研究显示, 在种植草莓的土壤中加入一定比例蚯蚓堆肥可显著提高草莓鲜果产量, 并能改善其品质, 提高了草莓鲜果中 Vc、可溶性糖和总糖含量。

蚯蚓堆肥之所以能够促进作物品质的改善, 是因为蚯蚓堆肥含有多种必需氨基酸, 如富含谷氨酸、天门冬氨酸和缬氨酸, 甘氨酸、丙氨酸、色氨酸和亮氨酸含量也较多^[23], 这些氨基酸通过植株根部进入植株体内参与可溶性糖的生理代谢, 从而促进了植株茎、叶组织可溶性糖含量的提高^[24]; 还有研究者推测是蚯蚓堆肥中的一些细菌、真菌、放线菌、藻类、酵母等微生物进行新陈代谢时能够分泌出细胞分裂素、乙烯酸、赤霉素等激素类的物质, 从而影响了植物的生长^[25]。也有研究认为, 在蚯蚓处理畜禽粪便的过程中, 某些微生物分泌出的有机活性物质是促进植物生长, 提高草莓果实品

质的重要原因^[26]。蚯蚓堆肥中含有的大量有益微生物, 可以固定转化空气中不能利用的分子态氮为化合态氮, 分解了一些不能被植物直接利用的化合态磷和钾等元素, 成为可利用态, 进而促进了植物对基质中养分的吸收, 提高了草莓的果实品质; 还有可能是由于蚯蚓堆肥中的有益微生物在草莓植株根际大量繁殖, 产生大量粘多糖, 与草莓植株分泌的粘液及矿物胶体、有机胶体相结合, 形成土壤团粒结构, 增进土壤蓄肥、保水能力, 促进了草莓的生长。

综上所述, 使用基质 b (蚯蚓堆肥替代 50% 泥炭) 栽培各种草莓幼苗, 虽然对草莓的产量无明显影响, 但可以使得草莓的上市时间提早, 更重要的是能够提高草莓的果实品质。但过高的蚯蚓堆肥比例, 其促生效果减缓, 草莓植株的长势会受到一定程度的抑制。因此, 基质 b 可作为草莓绿色生长的栽培基质进行推广。

参考文献:

- [1] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析 [J]. 环境科学, 2013, 34 (7): 2766-2774.
- [2] 孙文, 邢美燕, 杨健, 等. 污泥蚯蚓堆肥研究进展 [J]. 环境工程, 2015, (1): 90-94.
- [3] 张婷敏. 蚯蚓在有机固体废物处理中的应用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [4] Hemati A, Alikhani H A, Marandi G B, et al. Assessment of the possibility of humic acid extraction from vermicompost with urea [A]. Functions of natural organic matter in changing environment [M]. Netherlands: Springer, 2013. 225-228.
- [5] Zaller J G. Vermicompost in seedling potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties [J]. European Journal of Soil Biology, 2007, 43: 332-336.
- [6] Wang D, Shi Q, Wang X, et al. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) [J]. Biology and Fertility of Soils, 2010, 46 (7): 689-696.
- [7] 柏彦超, 周雄飞, 赵学辉, 等. 蚓粪基质克服西瓜连作障碍的应用效果研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (8): 212-216.
- [8] 毛晓梅. 设施西瓜连作障碍缓解技术研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [9] Meszka B, Malusa E. Effects of soil disinfection on health status, growth and yield of strawberry stock plants [J]. Crop Protection, 2014, (63): 113-119.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-165.

- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 张全军. 草莓基质栽培研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2002. 2-4.
- [13] 陈晓燕, 刘天成. 花青素瓜子的加工工艺 [J]. 农产品加工 (上), 2014, (12): 34-35.
- [14] 蒋剑敏. 蚯蚓与土壤肥力 [J]. 土壤, 1985, 17 (4): 169-176.
- [15] Atiyeh R M, Edwards C A, Subler S, et al. Pig manure vermicompost as a component of horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 78: 11-20.
- [16] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 112: 191-199.
- [17] 蒋卫杰, 余宏军, 李红. 不同有机肥种类对生菜硝酸盐含量的影响 [J]. 中国蔬菜, 2005, (8): 10-12.
- [18] 赵海涛. 蚓粪基质对辣椒幼苗生长的促进效应及作用机理研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2011.
- [19] 于跃跃, 王胜涛, 金强, 等. 施用蚯蚓粪对草莓生长和土壤肥力的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, (7): 219-223.
- [20] Atiyeh R M, Arancon N, Edwards C A, et al. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75 (3): 175-180.
- [21] 马莉. 污泥蚯蚓粪对万寿菊生长发育影响的试验研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [22] 崔玉珍, 牛明芬. 蚯蚓粪对土壤的培肥作用及草莓产量和品质的影响 [J]. 土壤通报, 1998, (4): 13-14.
- [23] Chaoui H T, Zibiske L M, Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35 (1/2): 295-302.
- [24] 李会合, 王正银, 张浩, 等. 养分比对基质栽培叶菜硝酸盐累积及其营养品质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2004, (3): 107-109.
- [25] Brown G. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity [J]. *Plant and Soil*, 1995, 170: 209-231.
- [26] Arancon N Q, Edwards C A. Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 93 (2): 145-153.

Substrate formula of cow manure vermicompost and its effects on strawberry growth

ZHANG Shu-xuan¹, NIE Xin¹, CHANG Jiang-jie¹, LI Hui-xin¹, ZHAO He-juan², WANG Lin², WANG Dong-sheng³, HU Feng¹, JIAO Jia-guo^{1*} (1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095; 2. Nanjing Institute of Agricultural Sciences, Nanjing 210046; 3. Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042)

Abstract: In this study, the cow manure vermicompost, peat, perlite, and vermiculite were mixed with different proportions (the volume ratio of vermicompost, peat, perlite, and vermiculite in substrate a, substrate b, substrate c were 0:4:1:1, 2:2:1:1, 4:0:1:1, separately), to select the best growth substrate for strawberry through the analysis of strawberry growth, yield and quality. The results showed that the substrates were general suitable for strawberry growth. Generally, the soluble sugar content, sugar-acid ratio, soluble solids content, ascorbic acid content, soluble protein content, anthocyanins content of strawberry fruits in substrate b were higher than that in substrate a and substrate c. In addition, the harvesting time of strawberry fruit in substrate b was 5 ~ 15 days earlier than that in substrate a and substrate c. So the substrate b can be recommended for the factory production of strawberry growth.

Key words: cow manure; vermicompost; substrate; strawberry growth