

黄思杰,丸尾達,高垣美智子,等. 植物工厂条件下不同基质对番茄产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):129-132.

植物工厂条件下不同基质对番茄产量和品质的影响

黄思杰¹, 丸尾達², 高垣美智子², 朱月林¹, 杨立飞¹

(1. 南京农业大学园艺学院/农业部华东地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 江苏南京 210095;

2. 日本千叶大学园艺学部, 日本松户 271-8510)

摘要:分别以岩棉、番茄残渣堆肥(简称堆肥)、稻壳、体积比 1:2 的堆肥+稻壳、体积比 2:1 的堆肥+稻壳为基质,研究在植物工厂条件下不同基质对番茄产量和品质的影响。结果表明,体积比 1:2 的堆肥+稻壳复合基质的理化性质较好,该基质栽培的番茄单株产量显著高于其他 4 种基质,且品质最优,表现在可溶性固形物、有机酸和干物质含量最高,因此综合表现最佳。在供试的 5 种基质中,最终选择体积比 1:2 的堆肥+稻壳作为植物工厂条件下番茄的栽培基质。

关键词:植物工厂;基质;番茄产量;D 形穴盘栽培

中图分类号: S641.204⁺.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0129-03

植物工厂(plant factory)的概念最早是由日本园艺研究者提出的,作为设施园艺的最高级发展阶段,植物工厂被认为是 21 世纪农业取得革命性突破的重要技术手段之一。目前,番茄是植物工厂内生产的主要蔬菜作物之一^[1]。岩棉是植物工厂内番茄无土栽培中大量使用的基质,是一种化学惰性基质,其质轻、多孔,对化学肥料不产生任何反应,并且在作物根部的气相比例高,疏水性强,是水培系统中一种良好的基质。但是岩棉栽培存在着 2 个问题:一是用后不能自行分解、处理成本高;二是岩棉中游离的酚在栽培过程中可直接进入果菜中而对人体造成一定的危害^[2-3]。目前,如何降低生产成本、实现资源循环再利用是植物工厂面临的严峻问题之一。

堆肥是农业废弃物无害化、减量化、资源化利用的有效途径之一^[4],近年来,一些农用废弃物作为栽培基质已在生产中得到应用,如咖啡豆荚^[5]、葡萄压榨残渣^[6]、猪粪^[7]、蚯蚓粪^[8-9]等,但是尚未有使用番茄残渣堆肥及其与稻壳的不同配比作为栽培基质对番茄产量和品质影响的报道。本试验采用日本大仙公司的“D”形穴盘滴灌栽培系统,研究植物工厂条件下不同基质对番茄产量和品质的影响,以期为植物工厂条件下采用新基质进行番茄生产提供理论依据。“D”形穴盘是指形状像字母 D、体积为 250 mL 的 10 个孔穴(2 列,5 个/列)连接在一起的、栽培基质用量极少的穴盘。D 形穴盘系统属于低段密植栽培,通过环境控制和少量频繁滴灌,可以使番茄植株正常生长结果,具备省力、高产、高效益等特点。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为桃太郎 8,种子购自日本 Takii 种苗公

司。堆肥取自日本千叶大学植物工厂的番茄残渣循环温室。

1.2 试验方法

将植物工厂内收获的番茄植株残体投入发酵装置(BAL-XP500, Star Engineering Co., 日本)中进行高温有氧发酵,24 h 后第 1 次发酵完成,调整堆肥含水量,进行第 2 次发酵,充分腐熟后得到堆肥,再用筛子筛选出直径小于 2 mm 的均匀颗粒,用于进一步试验。

试验中的基质种类分为:岩棉、稻壳、番茄残渣堆肥(简称堆肥)、体积比 1:2 的堆肥+稻壳、体积比 2:1 的堆肥+稻壳。

试验于 2011 年 11 月至 2012 年 5 月在日本千叶大学的番茄专用植物工厂内进行。先将番茄种子播于 144 穴的穴盘中,在番茄专用催芽室(MKV Dream, 日本)中黑暗培养 3 d(28℃),然后转移至番茄工厂化育苗专用设施(Seedling Terrace, MKV Dream, 日本)内,在温度 24℃、湿度 69%、CO₂ 浓度 1 800 mL/L 的条件下培育 3 周,选取长势一致的幼苗用于定植。试验采用随机区组设计,每处理 20 株,4 次重复。当番茄植株第 1 串果实上部的第 3 片叶完全展开时,打顶、剪掉第 3 片叶以上部分;采用 1 串式栽培方式,每株番茄保留 4 果。

营养液采用日本大塚营养液(EC 值 1.8 dS/m, pH 值 6.0),储存在 1 000 L 的植物工厂营养液专用储存罐内,用时间控制系统进行精量滴灌,根据植株的生长及棚内温度的变化进行相应的调整,以确保番茄植株得到设定的营养液。

采用郭世荣的方法^[10]测定基质容重和孔隙度。基质保水性能的测定参考张德威等的方法^[11]进行。基质提取液:将烘干基质与蒸馏水以体积比 1:1.5 的比例混合 24 h 后,在 3 000 r/min (CF16RX II, Hitachi, 日本)条件下离心 10 min,上清液用滤纸过滤,滤液用 pH/电导率测量仪(D-54, Horiba, 日本)测量 pH 值和电导率,可溶性离子含量用离子色谱系统(ICS1100, Daionekusu, 日本)进行测定,总氮、总碳量用常量元素分析仪(Vario MAX CNS, Elementar, 德国)进行测定。

从定植开始每周测量 1 次番茄植株的生长指标,每个处理选 8 株。茎粗、叶长、花柄长、叶绿素含量的测定均于定植后第 7 周进行。茎粗用游标卡尺测量,以第 1 片真叶到第 2

收稿日期:2013-01-18

基金项目:江苏高校优势学科建设项目(编号:2011PAPD)。

作者简介:黄思杰(1989—),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理与生物技术。E-mail: sij. huang@gmail. com。

通信作者:朱月林,教授,博士生导师,主要从事蔬菜栽培生理与生物技术方面的研究。E-mail: ylzhu@njau. edu. cn。

片真叶节间为基准;株高、叶长、花柄长用钢卷尺测量,其中株高的测定以从根颈部到生长点为基准,叶长测量第 1 串果实下第 1 片叶;叶绿素含量用叶绿素计 (SPAD-502 PLUS, Konica Minolta, 日本) 进行测量。番茄收获后,将地上部置于 80℃ 烘箱中烘干至恒重,称地上部干重;将地下部用清水冲洗干净,洗去基质,然后置于 80℃ 烘箱中烘干至恒重,称地下部干重。产量即单株收获量。

维生素 C 含量用 Reflectoquant 反射仪 (RQ flex10, Merk, 德国) 测定;可溶性固形物含量用 Refractometer (PAL-1, Atago, 日本) 测定;有机酸含量采用酸碱滴定法^[12]测定;糖酸比 = 可溶性固形物/有机酸含量;果实干物质含量 = 果实干重/果实鲜重 × 100%;果实鲜重采用电子天平测定,然后放入 105℃ 烘箱内杀青,80℃ 烘干至恒重后再称干重^[13]。

1.3 统计分析

试验数据利用 SPSS 统计软件 (PASW Statistics 18.0, SPSS, 美国) 的 ANOVA 程序进行方差分析。用 Duncan's 新复极差法进行多重比较,检测显著水平 $\alpha = 0.05$ 。图表使用 Excel 软件绘制,结果用平均值表示。

2 结果与分析

2.1 基质的物理性状

由表 1 可见,在容重方面,以堆肥基质处理的最大,稻壳基质处理的最低,这是因为堆肥结构紧实、颗粒小,而稻壳结构较为疏松。在总孔隙方面,岩棉基质处理的最高,稻壳基质处理的最低,堆肥、体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。在通气孔隙方面,稻壳、体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理显著高于其他 3 种基质处理,堆肥基质处理的通气孔隙最低。从持水孔隙看,堆肥基质处理的最高,达 74.67%,稻壳基质处理的最低,只有 12.12%。大小孔隙比可以较好地反映基质中气、水状况,可以看出稻壳基质处理的大小孔隙比最大,堆肥基质处理的最小,说明稻壳基质处理的通透性较好,保水性较差,而堆肥基质处理的保水性很强,通透性很差。

表 1 不同基质的物理性状

基质	容重 (g/cm ³)	总孔隙 (%)	通气孔隙 (%)	持水孔隙 (%)	大小 孔隙比
岩棉	0.15d	87.49a	28.03b	59.46b	0.47b
稻壳	0.09e	62.72c	50.60a	12.12d	4.61a
堆肥	0.32a	76.78b	2.10d	74.67a	0.03b
体积比 1:2 的 堆肥 + 稻壳	0.18c	73.93b	44.00a	29.93c	1.48b
体积比 2:1 的 堆肥 + 稻壳	0.26b	74.89b	17.10c	57.78b	0.47b

注:同列数字后不同小写字母者表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 2、表 3、表 4 同。

2.2 基质的保水性能

图 1 是基质不同堆积高度排水 24 h 后残留水量的变化。可以看出,随着基质堆积高度增加,不同基质的残留水量均有不同程度下降,其中堆肥和岩棉基质处理的下降速度较慢,并且维持较高的残留水量,表明堆肥和岩棉基质的保水性能较好;稻壳基质处理的残留水量很低,表明其保水性能较差;体积比 1:2、2:1 的堆肥 + 稻壳混合基质处理的保水性能居中。

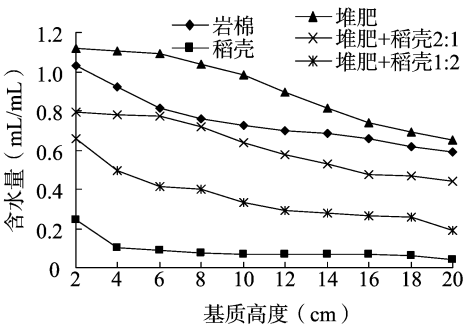


图 1 排水 24 h 后基质不同高度的残存水量 ($V_{\text{水}}/V_{\text{干基质}}$)

2.3 基质的化学性状

由表 2 可见,总碳含量以岩棉基质处理的最低,稻壳、堆肥、体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。总氮含量以堆肥、体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳基质处理的最高,岩棉基质处理的最低。对总硫含量的比较发现,堆肥、体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳基质处理的显著高于岩棉、稻壳基质的。有关资料^[14]表明,在选择基质时,碳氮比 (C/N) 比应低于 50:1 或者更少,否则有机体分解过程会与植物生长互相竞争氮源,往往导致植株因缺氧而叶色变淡,进而生长失调。在供试基质中,以稻壳基质处理的碳氮比最高,达到 95.54;岩棉基质处理的最低,只有 5.00;堆肥、体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2:1 堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。

表 2 不同基质的化学性状

基质	总碳含量 (%)	总氮含量 (%)	总硫含量 (%)	碳氮比
岩棉	0.21b	0.04d	0.03b	5.00c
稻壳	33.17a	0.35c	0.06b	95.54a
堆肥	35.24a	3.21a	0.83a	10.97b
体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳	34.56a	1.81b	0.47a	19.14b
体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳	35.52a	2.90ab	0.75a	12.24b

2.4 不同基质处理对番茄植株生长的影响

由表 3 可见,体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理的茎粗最大,岩棉基质处理的次之,堆肥基质处理的最小。叶长方面,体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳与岩棉基质处理的叶长值最大,堆肥基质处理的最小。相对叶绿素含量越高则越有利于植物光合作用和物质积累,可以看出,体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理的相对叶绿素含量显著高于其他 4 种基质,而堆肥基质处理的最小。从花柄长的比较看出,岩棉基质处理显著大于堆肥和体积比 2:1 的堆肥 + 稻壳基质处理,但与稻壳和体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。从植株地上部干重的比较看出,体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理的地上部干重最大,岩棉基质处理的次之,堆肥基质处理的最小。从地下部干重的比较看出,稻壳基质处理的最大,与堆肥基质处理间达到显著性差异水平。从以上结果可知,体积比 1:2 的堆肥 + 稻壳基质处理番茄植株的地上部干重最大,且地下部干重较大,所以长势最好,堆肥基质处理最差。

2.5 不同基质处理对番茄株高的影响

由图 2 可见,各处理番茄株高均随生育期的延长而增加,但不同处理的增加幅度有所不同。定植后 1 周内,各处理植

表 3 不同基质处理对番茄植株生长的影响

基质	茎粗 (mm)	叶长 (cm)	相对叶绿素含量 (SPAD 值)	花柄长 (cm)	结果数 (个)	地上部干重 (g)	地下部干重 (g)
岩棉	11.08b	48.94a	50.16b	3.84a	5.63a	56.79b	6.52ab
稻壳	9.11c	44.44b	49.26b	3.53ab	5.50a	41.93c	8.52a
堆肥	7.89d	33.81c	48.53c	2.70c	4.50b	25.99d	4.45b
体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳	12.56a	49.44a	52.79a	3.29abc	5.67a	63.60a	7.20ab
体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳	9.31c	43.44b	51.03b	3.09bc	5.00ab	45.31c	6.53ab

株均生长缓慢,且不同基质处理间差异不显著;定植 2 周后,番茄株高增长迅速,岩棉、稻壳和体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理的株高显著高于堆肥和体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质,堆肥和体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著;定植后 3 周、4 周时,岩棉、稻壳和体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理间的差异不显著,但都显著高于堆肥和体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理,而体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理显著高于堆肥基质处理。

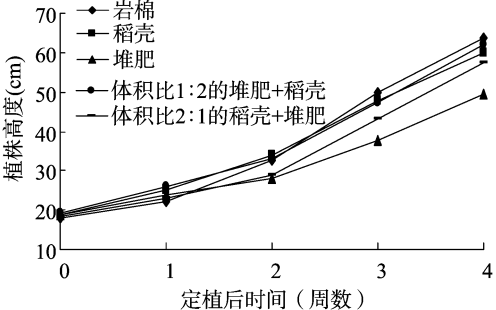


图2 不同基质处理对番茄株高的影响

表 4 不同基质处理对番茄产量和品质的影响

基质	产量 (g/株)	单果重 (g)	维生素 C 含量 (mg/g 鲜重)	可溶性固形物 含量(%)	有机酸含量 (%)	糖酸比	干物质含量 (%)
岩棉	657.30b	182.58a	0.190 8a	6.29b	0.38b	16.35a	5.35b
稻壳	661.41b	181.21a	0.178 1a	5.97b	0.40b	14.93b	4.76c
堆肥	478.89c	154.48b	0.180 9a	6.68a	0.42ab	15.90a	5.62a
体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳	706.96a	183.63a	0.192 1a	6.87a	0.45a	15.27ab	5.73a
体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳	656.97b	185.06a	0.191 0a	6.59a	0.43ab	15.34ab	5.71a

3 讨论

以堆肥作为蔬菜栽培基质,最频繁存在的问题包括不稳定或未完熟的堆肥中含盐量高、持水能力差等^[6]。基质的保水性能和大小孔隙比是高产量、高品质植株生产的重要因素,这主要是由基质颗粒大小、形状、容器的高度决定的^[15],对于小体积容器(如“D”形穴盘),基质的通气能力比保水性对植株的影响更大^[6]。堆肥基质虽然保水性能较好,但通气性太差,导致栽培的番茄植株在茎粗、叶长、相对叶绿素含量和地上部干重方面均表现最差,结果数也显著小于岩棉、稻壳及体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理;此外,堆肥基质处理的植株长势最差,产量最低,单果重最小;但堆肥基质处理的品质指标相对较好,可溶性固形物和干物质含量显著高于岩棉和稻壳基质处理,可能是由于堆肥基质中的碳氮肥促进了番茄植株营养物质的积累^[16]。

本研究中以体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质的物理性质较符合条件,基质容重 0.18 g/cm³,通气孔隙 44.00%,大小

2.6 不同基质处理对番茄产量和品质的影响

由表 4 可见,在产量方面,体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理的最高,堆肥基质处理的最低,岩棉、稻壳、体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。在单果重方面,堆肥基质处理的最低,岩棉、稻壳、体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。

不同基质处理的番茄果实中维生素 C 含量差异不显著。在可溶性固形物含量方面,堆肥、体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳、体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理显著高于岩棉和稻壳基质处理。在有机酸含量方面,体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理显著高于岩棉和稻壳基质处理,岩棉、稻壳、堆肥、体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理间差异不显著。在糖酸比方面,岩棉和堆肥基质处理的显著高于稻壳基质。在干物质含量方面,堆肥、体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳和体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理最高,稻壳基质处理的最低。从以上结果可以得出,栽培于体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳混合基质中的番茄在产量、品质综合性状方面的表现最佳。

孔隙比 1.48,保水性能适中。体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳复合基质栽培的番茄植株茎粗、相对叶绿素含量和地上部干重均显著优于其他 4 种基质处理的,叶长也显著高于稻壳、堆肥和体积比 2 : 1 的堆肥 + 稻壳基质处理。由于此基质培育的植株长势最好,从而更好地促进了植株生殖生长,使单株产量显著高于其他 4 种基质处理,且果实品质最优,可溶性固形物、有机酸和干物质含量均最大,综合表现最佳。

体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理优于其他处理可能是由于其基质中总碳、总氮量较高,碳氮比适中,在番茄植株生长过程中可以通过微生物的生命活动分解有机质和矿物质而释放养分,从而不断地满足植株生长需要,有利于促进番茄的生殖生长,并且可以提高产量,显著提高番茄果实的可溶性固形物和有机酸含量,改善果实的品质和口感^[16]。此外,体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质处理植株的相对叶绿素含量较高,有利于植物光合作用和物质积累,也提高了番茄产量和品质。

作为植物工厂的栽培基质,使用体积比 1 : 2 的堆肥 + 稻壳基质,不但可以降低生产成本,而且还可以缓解过量的番茄

秦文斌,戴忠良,张振超,等. 应用轮回选择改良青花菜侧花茎长度[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):132-134.

应用轮回选择改良青花菜侧花茎长度

秦文斌,戴忠良,张振超,潘跃平

(江苏丘陵地区镇江农业科学研究所,江苏句容 212400)

摘要:由 10 个杂交品种 F_1 合成 C_0 群体,以改良青花菜侧花茎性状兼顾单球重为目标,进行 2 轮轮回选择。结果表明:青花菜侧花茎长度以及侧花茎长度/球高得到了极显著提高,平均每轮选择分别较基础群体提高 0.72 cm (10.52%) 和 0.04 (9.3%),第 1 轮的选择效果优于第 2 轮,且单球重没有明显降低。经过 2 轮选择,群体中目标改良性状遗传基础变窄的趋势并不明显,而优良个体出现的频率明显增多。在青花菜育种中采用轮回选择对侧花茎长度和单球重等性状进行群体改良是经济、有效的。

关键词:轮回选择;青花菜;侧花茎长度;改良

中图分类号: S635.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0132-03

青花菜 (*Brassica oleracea* var. *italica*) 是我国重要的蔬菜作物,属十字花科芸薹属甘蓝种的一个变种,原产于地中海沿岸的意大利,在欧美、日本、大洋洲等地普遍栽培。我国在 20 世纪二三十年开始引进青花菜,但只是在改革开放以后,随着创汇农业的发展,青花菜生产才得到相应发展。目前我国青花菜杂种优势利用取得了很大进步,育成一代杂种的应用面积已占青花菜栽培总面积的 40% 以上,但配制一代杂种的

骨干亲本大部分来自日本的东京绿和里绿等品种,这些材料遗传基础相对比较狭窄,缺少耐寒、抗多种病害等特异种质资源^[1],导致目前我国育成的多是高产兼抗病品种,缺少优质和适于不同用途的专用品种。

青花菜花球是由短缩、肉质的主花茎与一定数目的分球构成的,每个分球则是由短缩、肉质的第一级侧花茎及其各级侧花茎和花蕾组成。随着人们生活水平的提高,青花菜育种目标将从偏重丰产转向注重品质^[2]。青花菜的侧花茎长度是重要品质性状之一,侧花茎的长短直接决定花球的松紧度,影响青花菜的商品价值。美国、荷兰等国一直将长侧花茎作为青花菜的重要育种目标,所以对长侧花茎的优异种质资源创新研究也将成为我国青花菜育种的重要目标之一。

一般认为,青花菜花茎长度和单球重等性状同属多基因

收稿日期:2013-01-18

基金项目:江苏省农业三项工程项目[编号: SX(2011)246]。

作者简介:秦文斌(1971—),男,江苏句容人,副研究员,从事蔬菜栽培育种研究。E-mail: qinwenbinbin@126.com。

通信作者:潘跃平,研究员,从事蔬菜花卉遗传育种及栽培技术研究。

E-mail: pyp1962@163.com。

残体对环境造成的压力,可为资源的循环利用提供一种新途径。因此在本试验中,植物工厂条件下以体积比 1:2 的堆肥+稻壳基质作为“D”形穴盘的番茄栽培基质较为适宜。

参考文献:

- [1] 刘士哲. 现代实用无土栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2001:397-402.
- [2] 赵玉萍,常月帆,夏荣基,等. 蔬菜无土栽培中锌形态的研究[J]. 北京农业大学学报,1990,16(1):59-63.
- [3] 山崎肯哉. 营养液栽培大全[M]//刘步洲,刘宜生,安志信,等译. 北京:北京农业大学出版社,1989:95-122.
- [4] 高新昊,刘兆辉,张志斌,等. 不同腐熟程度麦秸堆肥在温室番茄栽培中应用效果研究[J]. 土壤,2009,41(2):253-257.
- [5] Traversa A, Loffredo E, Gattullo C E, et al. Water-extractable organic matter of different composts: A comparative study of properties and allelochemical effects on horticultural plants[J]. Geoderma, 2010, 156(3/4):287-292.
- [6] Carmona E, Moreno M T, Avilés M, et al. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 137(1):69-74.
- [7] 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]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(1):135-141.

- [8] Ali M, Griffiths A J, Williams K P, et al. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost[J]. European Journal of Soil Biology, 2007, 43(S1):316-319.
- [9] Atiyeh R M, Subler S, Edwards C A, et al. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil[J]. Pedobiologia, 2000, 44(5):579-590.
- [10] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:134-167.
- [11] 张德威,牟咏花,徐志豪,等. 几种无土栽培基质的理化性质[J]. 浙江农业学报,1993,5(3):166-171.
- [12] 侯曼玲. 食品分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:39-41.
- [13] 杜庆平,李伶俐,徐强,等. 加工黄瓜部分品质性状遗传效应的初步研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6):260-262.
- [14] 马斯塔莱兹 J W. 花卉蔬菜工厂化育苗[M]//龙雅宜,徐民生,费砚良,译. 北京:中国林业出版社, 1986:99.
- [15] Casadesus J, Caceres R, Marfa O. Dynamics of CO₂ efflux from the substrate root system of container-grown plants associated with irrigation cycles[J]. Plant Soil, 2007, 300(1/2):71-82.
- [16] 王允圃,刘玉环,阮榕生,等. 有机肥改良农产品品质的科学探索[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9):51-56.