

# 基质理化性状与番茄壮苗指标的通径分析

杨延杰 赵 康 林 多 陈 宁

(青岛农业大学 园艺学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**以草炭、珍珠岩及蛭石为基础材料,通过不同比例的复配,构建复合基质不同的理化性状。应用回归分析与通径分析方法,研究复合基质各种理化性状对秋季番茄穴盘苗壮苗指标的贡献度,为实现番茄工厂化育苗基质理化性状标准化,筛选番茄工厂化育苗基质配方提供参考。结果表明,番茄穴盘育苗,基质配比以草炭:珍珠岩:蛭石=6:4:1效果最好(理化性状为:容重 $0.133\text{ g/cm}^3$ ,总孔隙度64.65%,通气孔隙40.22%,持水孔隙24.44%,pH值6.19,EC值 $0.76\text{ mS/cm}$ ,速效氮 $386.9\text{ mg/kg}$ ,速效磷 $211.5\text{ mg/kg}$ ,速效钾 $826.5\text{ mg/kg}$ )。其培育出的番茄秧苗茎秆粗壮,番茄穴盘壮苗指标(G值、根冠比、壮苗指数)也显著高于其他基质处理。回归及通径分析发现,复合基质各种理化性状对番茄穴盘壮苗指标的影响存在差异性,容重是影响番茄穴盘壮苗指标的主要物理性状,在基质物理性状达到番茄穴盘苗生长要求前提下,番茄壮苗指标主要受到基质pH值、速效氮、速效磷及速效钾含量的影响。配制工厂化育苗基质,首先应该考虑容重等物理性状,在其适宜范围内,再进一步调配化学性状,其中要满足幼苗对pH值的要求,最后调配速效养分含量,才能获得最佳复合基质配方,培育番茄壮苗。

**关键词:**番茄;壮苗指标;复合基质;理化性状;多元回归;通径分析

中图分类号:S641.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2013)06-0104-07

## Path Analysis of Substrate Physicochemical Properties and Tomato Plug-seedlings Index

YANG Yan-jie ZHAO Kang LIN Duo CHEN Ning

(Horticultural College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** In this paper, taking peat, perlite and vermiculite as the basic experimental material, established different physicochemical properties of compound substrate through the way of different proportion of basic materials. Applied regression analysis and path analysis to study the indicator of substrate physicochemical properties on tomato plug-seedlings, in order to achieve the standardization of substrate physicochemical properties and screen substrate formula of tomato seedlings production. The result indicated that peat:perlite:vermiculite=6:4:1 (V/V) was best for tomato plug seedlings (Physicochemical properties as follows: Bulk density was  $0.113\text{ g/cm}^3$ , total porosity was 64.65%, air-filled porosity was 40.22%, container capacity was 24.44%, pH-value was 6.19, EC-value was  $0.76\text{ mS/cm}$ , available nitrogen content was  $386.9\text{ mg/kg}$ , available phosphorus content was  $211.5\text{ mg/kg}$ , available potassium content was  $826.5\text{ mg/kg}$ ). Through the comparison of seedling morphological index and quality index, we found that tomato seedling cultivated with peat:perlite:vermiculite=6:4:1 was significant higher than other substrate formula on stem diameter and strong plug-seedlings index (G-Value, root-shoot ratio, sound seedlings index). Regression and path analysis showed that direct path coefficient, positive and negative effects were different among substrate physicochemical properties and tomato strong plug-seedlings index. Bulk density was the main physical properties that influenced tomato strong plug-seedlings index in the production of tomato seedling. When the substrate physical property was in the optimum range, pH-value, available nitrogen, available phosphorus and available potassium content were the main factors which effect tomato strong plug-seedlings index. In order to got the best composite substrate formulation and cultivated strong and high-yield tomato seedlings, in the preparation of sub-

收稿日期:2013-08-09

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划项目(2011BAD12B03-05);山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队建设栽培与土壤肥料岗位专家资助项目;山东省农业重大应用技术创新项目

作者简介:杨延杰(1972-),男,博士,副教授,山东荣成人,主要从事设施园艺与蔬菜栽培生理研究。

通讯作者:陈 宁(1963-),男,博士,副教授,吉林桦甸人,主要从事设施园艺与蔬菜栽培生理研究。

strate bulk density was the first consideration ,within a suitable range ,then adjusted pH value and available nutrient content for the requirements of tomato plug-seedlings.

**Key words:** Tomato; Strong plug-seedlings index; Compound substrate; Physicochemical properties; Multiple regression; Path analysis

基质作为工厂化育苗的主要组成材料 ,决定着幼苗生长速度、幼苗质量和定植后的综合生产能力<sup>[1-3]</sup> ,适宜的基质理化性状是工厂化育苗成功的关键因素 ,也是幼苗健壮丰产的前提。目前 ,关于番茄( *Lycopersicon esculentum* Mill. ) 工厂化育苗基质理化性质的研究报道已有很多 ,Zhang 等<sup>[4]</sup> 认为秋季育苗 ,基质容重为 0. 303 g/cm<sup>3</sup>、总孔隙度为 86. 1%、通气孔隙为 29. 9%、EC 值为 1. 43 mS/cm、pH 值 6. 79 时 ,培育出的番茄幼苗长势及质量性状最好。杨红丽等<sup>[5]</sup> 认为 ,秋季番茄穴盘壮苗的适宜基质理化性状为: 容重 0. 48 g/cm<sup>3</sup>、总孔隙度 70. 16%、通气孔隙 16. 80%、持水孔隙 53. 36%、pH 值 6. 86、EC 值 2. 82 mS/cm; 陈世昌等<sup>[6]</sup> 研究表明 ,夏季培育番茄穴盘壮苗 ,基质理化性状以容重 0. 38 g/cm<sup>3</sup>、总孔隙度 62%、通气孔隙 18%、持水孔隙 44%、pH 值 6. 2、EC 值 2. 57 mS/cm 效果最好; 而王吉庆等<sup>[7]</sup> 认为 ,基质容重 0. 15 g/cm<sup>3</sup>、总孔隙度 73. 8%、通气孔隙 28. 3%、持水孔隙 45. 6%、pH 值 7. 45、EC 值 1. 74 mS/cm ,最适宜夏季培育番茄穴盘壮苗。可以看出 ,不同季节培育番茄穴盘壮苗的复合基质理化性质存在较大差异 ,同一季节 ,复合基质理化性状也

不尽相同。另外 ,现有穴盘育苗基质质量标准范围过大 ,对特定季节特定作物的针对性不强<sup>[8-11]</sup> ,限制了育苗基质精准化和标准化生产 ,因此也限制了育苗技术精准控制的标准化进程。本试验以草炭、珍珠岩及蛭石为基础材料 ,通过不同比例的复配 ,构建复合基质不同理化性状 ,进行复合基质理化性状与番茄壮苗指标的回归分析 ,研究基质各种理化性状对番茄壮苗指标的贡献度 ,筛选影响番茄壮苗指标的主要理化因素。对进入回归方程的因子进行了通径分析 ,进一步明确复合基质各种理化性状对番茄壮苗指标的相对重要性 ,旨在为筛选和鉴定培育番茄壮苗的育苗基质配方 ,建立以理化性状指标精准控制为手段的育苗基质标准化生产技术体系 ,提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为莱红一号 ,由青岛农业大学园艺学院番茄育种组提供。草炭品牌为丹麦品氏 ,珍珠岩与蛭石由寿光恒先育苗基质厂提供 ,其基本性质见表 1。

表 1 基础基质理化性状  
Tab.1 Physical and chemical properties of basic substrate

基质 Substrate	容重 /( g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density	总孔 隙度 / % Total porosity	通气 孔隙 / % Air-filled porosity	持水 孔隙 / % Water retention porosity	酸碱度 pH	电导率 / ( mS/cm) EC	速效氮 /( mg/kg) Available nitrogen	速效磷 /( mg/kg) Available phosphorus	速效钾 /( mg/kg) Available potassium
草炭 Peat	0. 183	67. 81	22. 17	45. 64	6. 09	0. 87	754. 8	447. 90	2 269. 5
珍珠岩 Perlite	0. 080	63. 15	34. 13	29. 02	8. 32	0. 61	27. 3	2. 02	115. 5
蛭石 Vermiculite	0. 181	65. 22	0. 35	64. 87	7. 59	0. 60	13. 6	3. 32	103. 9

表 2 不同基质配方  
Tab.2 Different substrate formula

处理 Treatment	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
草炭 Peat	4	4	4	6	6	6	8	8	8
珍珠岩 Perlite	2	3	4	2	3	4	2	3	4
蛭石 Vermiculite	1	2	3	2	3	1	3	1	2

1.2 试验设计

试验于 2011 年 9 - 10 月 ,在青岛农业大学育苗温室内进行 ,以草炭、珍珠岩、蛭石为基础材料 ,按照 3 因素 3 水平正交试验设计 ,配制不同复合基质( 表 2 表中基础材料比例均为体积比) ,由于 T1 与 T9 各基础基质体积比相同 ,因此将两者合并为一个处

理 T1。播种前测定各复合基质理化性状 9 月 12 日将番茄种子置温汤浸种 ,然后于人工气候培养箱中催芽 5 d 后挑选发芽一致的种子播种于 72 孔穴盘中 ,每穴 1 粒 ,每个处理 1 盘 3 次重复 ,完全随机排列 ,常规育苗管理。在番茄幼苗四叶一心时( 10 月 22 日) ,每处理选取生长势一致的 10 株幼苗进行各

项指标的测定。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 基质理化性状测定 不同复合基质理化性质主要包括容重( $X_1$ )、总孔隙度( $X_2$ )、通气孔隙( $X_3$ )、持水孔隙( $X_4$ )、pH 值( $X_5$ )、EC 值( $X_6$ )、速效氮( $X_7$ )、速效磷( $X_8$ )、速效钾( $X_9$ )。其中,容重及孔隙度参照郭世荣<sup>[12]</sup>的方法并加以改进进行测定:取一已知体积( $V$ )的玻璃容器,称重( $W_1$ ),加满(与烧杯口平)自然风干的待测基质,称重( $W_2$ ),然后将装有基质的玻璃容器用 2 层湿纱布封口,浸泡在水中一昼夜(水要没过容器顶部),即饱和水状态下取出称重( $W_3$ ),并将封口用的湿纱布称重( $W_4$ ),然后用湿纱布包住玻璃容器后倒置,让烧杯内的水自由沥干至没有水流出后,称重( $W_5$ ),然后按以下公式计算容重和孔隙度:容重  $BD(g/cm^3) = (W_2 - W_1)/V$ ;总孔隙度  $TP = (W_3 - W_2)/V \times 100$ ;通气孔隙  $AFP = (W_3 + W_4 - W_5)/V \times 100\%$ ;持水孔隙  $WRP(\%) = \text{总孔隙度} - \text{通气孔隙}$ 。pH 值与 EC 值采用 1:5 浸提法,用 METTLER TOLEDO SevenEasy 酸度计与 DDBJ-350 便携式电导率仪进行测定<sup>[13]</sup>;基质速效氮、磷、钾含量分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠法、醋酸铵-火焰光度计法测定<sup>[13]</sup>。

1.3.2 番茄幼苗形态指标测定 番茄幼苗株高(茎基部至生长点)用直尺测定,茎粗(子叶处)用游标卡尺测定,用直尺测量第二真叶最大叶长与叶宽,计算其叶面积,地上部鲜质量、地下部鲜质量、地

上部干质量、地下部干质量均用电子天平测定,并按照以下公式计算幼苗 G 值( $Y_1$ )、根冠比( $Y_2$ )、壮苗指数( $Y_3$ ):G 值 = 全株干质量/育苗天数;根冠比 = 植株地下部鲜质量/植株地上部鲜质量;壮苗指数 (Sound seedlings index,SSI) = ((茎粗/株高) + (地下部干质量/地上部干质量)) × 全株干质量。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 软件进行统计分析,不同处理间的多重比较采用 LSD 法,Microsoft Excel 作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同复合基质的基本理化性状

由表 3 可知,各复合基质容重存在一定差异,T4 处理的容重最大为  $0.189 g/m^3$ ,显著高于其他基质容重,T6 处理容重最小为  $0.133 g/m^3$ 。总孔隙度反映基质容纳空气和水分的能力,T8 基质总孔隙度最大为 66.42%,比最小的 T5 处理高出 7%。通气孔隙以 T6 最大,且与其他处理差异显著(T1 除外),但 T6 处理的持水孔隙最小,T1 处理的持水孔隙仅大于 T6 处理。各复配基质的 pH 值在 6.0 ~ 6.4,EC 值在 0.6 ~ 0.9 mS/cm 内。尚庆茂提出<sup>[14]</sup>,蔬菜穴盘育苗基质中水解性氮含量 50 ~ 500 mg/kg、速效磷含量 10 ~ 100 mg/kg、速效钾含量 50 ~ 600 mg/kg 为宜,试验中各复合基质中速效养分含量随着草炭体积的增加而增加,均达到推荐含量或超过上限,其中,以 T8 基质含量最高,T3 基质含量最低。

表 3 不同复合基质的基本理化性状

Tab.3 Physical and chemical properties of different compound substrate

处理 Treatment	容重 /( $g/cm^3$ ) Bulk density	总孔 隙度/% Total porosity	通气 孔隙/% Air-filled porosity	持水 孔隙/% Water retention porosity	酸碱度 pH	电导率 /(mS/cm) EC	速效氮 /(mg/kg) Available nitrogen	速效磷 /(mg/kg) Available phosphorus	速效钾 /(mg/kg) Available potassium
T1	0.170b	64.37abc	38.20ab	26.17bc	6.18bc	0.77bc	400.8ab	234.1ab	836.2c
T2	0.168b	64.81ab	29.33c	35.48a	6.35a	0.73b	292.4d	185.2cd	763.8e
T3	0.169b	62.92bc	29.85c	30.07ab	6.31ab	0.67d	274.8d	165.4d	754.4e
T4	0.189a	63.00bc	32.65bc	30.35abc	6.21abc	0.79bc	411.2ab	236.5ab	888.5b
T5	0.177b	62.09c	31.92c	30.18abc	6.30ab	0.74c	350.2c	205.9bc	799.4d
T6	0.133d	64.65abc	40.22a	24.44c	6.19bc	0.76bc	386.9bc	211.5bc	826.5c
T7	0.157c	62.94bc	28.11c	34.83a	6.14cd	0.81ab	431.5a	254.0a	894.9b
T8	0.140d	66.42a	32.17c	34.24ab	6.02d	0.85a	441.4a	266.1a	1 024.0a

注:各列不同小写字母分别表示  $P < 0.05$  的显著水平,图 1 同。

Note: Means in a column with different minuscule letters are significantly different at  $P < 0.05$ ; The same as Fig. 1.

### 2.2 不同复合基质对番茄穴盘苗生长状况的影响

由图 1 可以看出,不同复合基质对番茄穴盘苗生长状况的影响有很大差异。T4 处理的番茄株高最高,为 19.9 cm,比最低的 T2 处理高出 40.14%,T6、T3、T7 处理番茄株高分列其后,且与其他处理相

比差异显著;T5 处理的番茄幼苗茎粗最粗,为 3.8 mm,T6 处理其次,两者与其他基质处理差异显著,T1 处理的番茄茎粗最细,为 2.75 mm;番茄叶面积以 T3、T5 基质最大,为  $21.00 cm^2$ ,T1 处理最小,为  $16.96 cm^2$ ,T3、T4、T5 处理的番茄叶面积显著大于

T1、T6 处理。T6 处理的番茄 G 值最大,达到 0.012 4,且显著大于除 T4、T7 处理以外的其他处理,T3、T5 处理的番茄幼苗 G 值相同,均为最小,比 T6 小了 21.77%。番茄幼苗根冠比以 T6 处理最大,T2 处理

其次,T3 处理最小;壮苗指数均以 T6 处理最大,为 0.103 1,T7、T2 处理分列其后,T3 处理的番茄壮苗指数比 T6 小了 45.20%,且达到显著差异水平。

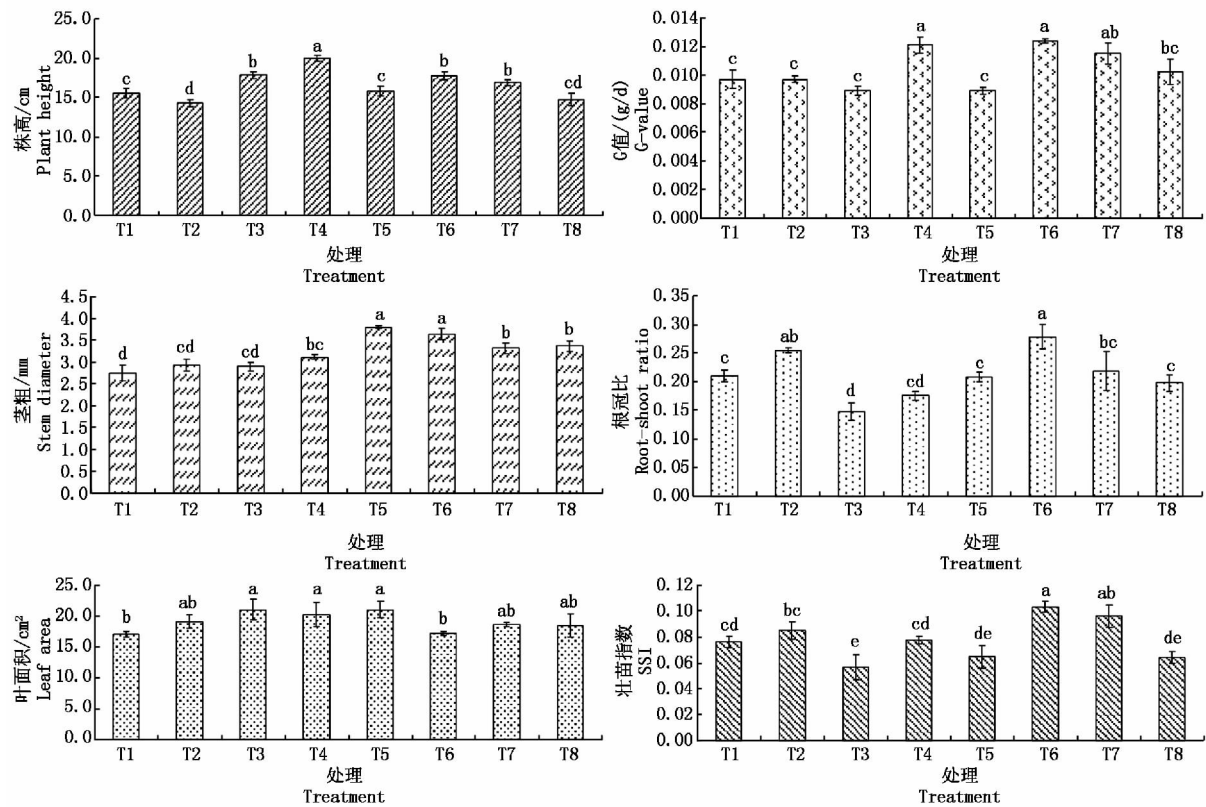


图 1 不同复合基质对番茄幼苗生长状况的影响

Fig. 1 Effects of different compound substrate on tomato plug-seedlings growth

2.3 基质理化性状对番茄穴盘苗质量指标的途径分析

2.3.1 G 值 以复合基质各理化性状为自变量,G 值( $Y_1$ )为应变量,进行多元逐步回归,得到最佳回归方程为 $Y_1 = -0.0618 + 0.00171X_1 + 0.000791X_2 + 0.000518X_4 + 0.00260X_5 - 0.0164X_6 + 0.000193X_7 - 0.000321X_8$ ( $R^2 = 1$   $F = 71428.46^{**}$ ) ,可以看出,影响 G 值的因素主要由容重( $X_1$ )、总孔隙度( $X_2$ )、持水孔隙( $X_4$ )、pH 值( $X_5$ )、EC 值( $X_6$ )、速效氮( $X_7$ )、速效磷( $X_8$ )构成,方程测验达到极显著水平,其中 pH 值

( $X_5$ )对 G 值( $Y_1$ )的贡献度为正向最大,EC 值( $X_6$ )则相反。

为进一步分析基质各理化性状的相互影响,并揭示它们对 G 值直接和间接效应大小,在建立回归方程的同时还做了途径分析。表 4 结果显示,速效氮对 G 值的直接途径系数最大,为 8.597 4,持水孔隙与总孔隙度对 G 值的直接作用且仅次于速效氮。速效磷对 G 值的负效应较高,但速效磷与速效氮在互作的条件下,其对 G 值的作用可以达到 8.365 9,说明速效磷与速效氮配施,利于番茄幼苗 G 值的增大。

表 4 复合基质理化性状对 G 值的途径分析

Tab. 4 Path analysis of physical and chemical properties of compound substrate on G-value

性状 Characters	直接作用 Direct effects	间接作用 Indirect effects						
		$X_1 \rightarrow Y_1$	$X_2 \rightarrow Y_1$	$X_4 \rightarrow Y_1$	$X_5 \rightarrow Y_1$	$X_6 \rightarrow Y_1$	$X_7 \rightarrow Y_1$	$X_8 \rightarrow Y_1$
容重 Bulk density ( $X_1$ )	0.021 8		-0.462 9	0.153 0	0.094 3	0.449 5	-2.104 0	1.504 0
总孔隙度 Total porosity ( $X_2$ )	0.792 4	-0.012 7		0.090 1	-0.108 2	-0.372 9	2.481 1	-2.775 6
持水孔隙 Container capacity ( $X_4$ )	1.580 7	0.002 1	0.045 2		-0.000 6	-0.221 9	-0.735 3	-0.781 8
酸碱度 pH ( $X_5$ )	0.196 9	0.010 4	-0.435 7	-0.004 9		0.449 7	-7.637 1	7.026 7
电导率 EC ( $X_6$ )	-0.646 8	-0.015 1	0.456 9	0.542 2	-0.136 9		4.518 9	-4.450 2
速效氮 Available nitrogen ( $X_7$ )	8.594 7	-0.005 3	0.228 7	-0.135 2	-0.174 9	-0.340 1		-7.618 2
速效磷 Available phosphorus ( $X_8$ )	-7.826 4	-0.004 2	0.281	0.157 9	-0.176 7	-0.367 8	8.365 9	

2.3.2 根冠比 对基质理化性状和根冠比( $Y_2$ ) 进行多元逐步回归,可得到最佳回归方程为  $Y_2 = -7.13 - 2.568X_1 + 0.0128X_2 + 0.00119X_3 + 1.0255X_5 + 0.000456X_7 + 0.00163X_8$  ( $R^2 = 1$ ,  $F = 59557.42^{**}$ ), 以上回归方程说明,总孔隙度( $X_2$ )、通气孔隙( $X_3$ )、pH( $X_5$ )、速效氮( $X_7$ )及速效磷( $X_8$ )对根冠比( $Y_2$ )的作用均为正,由其系数可将正效应排序为: pH 值( $X_5$ ) > 总孔隙度( $X_2$ ) > 速效磷( $X_8$ ) > 通气孔隙( $X_3$ ) > 速效氮( $X_7$ ); 容重( $X_1$ )对根冠比( $Y_2$ )的作用为负,且当本试验其他因素维持在平均水平时,容

重( $X_1$ )每增加一个标准单位,会导致根冠比降低 2.568 个标准单位。

从表 5 可以看出,容重、总孔隙度、通气孔隙、pH 值、速效氮及速效磷是影响根冠比的主要基质性状,符合回归方程分析结果,其中,pH 值、速效磷对根冠比的直接途径系数较大,说明这 2 个性状对根冠比的直接正影响力较高。容重对根冠比直接途径系数较小且为负,表明在育苗生产中要注意选配具有较小容重的基质,从而提高幼苗根冠比。

表 5 复合基质理化性状对根冠比的途径分析

Tab.5 Path analysis of physical and chemical properties of compound substrate on root-shoot ratio

性状 Characters	直接作用 Direct effects	间接作用 Indirect effects					
		$X_1 \rightarrow Y_2$	$X_2 \rightarrow Y_2$	$X_3 \rightarrow Y_2$	$X_5 \rightarrow Y_2$	$X_7 \rightarrow Y_2$	$X_8 \rightarrow Y_2$
容重 Bulk density( $X_1$ )	-1.120 1		-0.257 2	-0.039 2	1.276 8	-0.170 3	-0.262 4
总孔隙度 Total porosity( $X_2$ )	0.440 3	0.654 4		0.042 7	-1.464 9	0.200 8	0.484 2
通气孔隙 Air-filled porosity( $X_3$ )	0.135 2	0.325 2	0.139 1		-0.663 0	0.218 2	0.221 6
酸碱度 pH( $X_5$ )	2.664 1	-0.536 8	-0.242 1	-0.033 6		-0.618 1	-1.225 8
速效氮 Available nitrogen( $X_7$ )	0.695 6	0.274 2	0.127 1	0.042 4	-2.367 3		1.329 0
速效磷 Available phosphorus( $X_8$ )	1.365 3	0.215 3	0.156 1	0.021 9	-2.391 9	0.677 1	

2.3.3 SSI 以复合基质各理化性状为自变量,SSI( $Y_3$ )为应变量,进行多元逐步回归,可得到回归方程如下,  $Y_3 = -3.75 - 2.332X_1 + 0.644X_5 - 0.566X_6 + 0.000163X_7 + 0.000854X_8 + 0.000458X_9$  ( $R^2 = 0.9998$ ,  $F = 774.14^{**}$ )。从方程可以看出,容重( $X_1$ )和 EC 值( $X_6$ )对 SSI( $Y_3$ )的作用为负,每增加一个标准单位,SSI( $Y_3$ )分别降低 2.332 和 0.566 个标准单位;pH 值( $X_5$ )对 SSI( $Y_3$ )的正作用最大,速效磷( $X_8$ )、速效钾( $X_9$ )、速效氮( $X_7$ )分列其后,由其系数可将正效应排序为: pH 值( $X_5$ ) > 速效磷

( $X_8$ ) > 速效钾( $X_9$ ) > 速效氮( $X_7$ )。此外,回归方程的  $R^2 = 0.9998$ ,即这 6 个性状对 SSI( $Y_3$ )的决定系数已达 99.98%,可以认为,这 6 个性状是影响 SSI( $Y_3$ )的关键性状。

通过对复合基质各理化性状与 SSI 的途径分析发现(表 6),pH 值对 SSI 的直接途径系数最大,为 4.271,其次分别为速效钾( $P_{X_9} = 2.4827$ )、速效磷( $P_{X_8} = 1.8259$ )、速效氮( $P_{X_7} = 0.633$ ),可以看出,这些性状对 SSI 的正效应较高;容重和电导率对 SSI 的作用是负向的,与回归方程分析结果相似。

表 6 复合基质理化性状对壮苗指数(SSI)的途径分析

Tab.6 Path analysis of physical and chemical properties of compound substrate on SSI

性状 Characters	直接作用 Direct effects	间接作用 Indirect effects					
		$X_1 \rightarrow Y_3$	$X_5 \rightarrow Y_3$	$X_6 \rightarrow Y_3$	$X_7 \rightarrow Y_3$	$X_8 \rightarrow Y_3$	$X_9 \rightarrow Y_3$
容重 Bulk density( $X_1$ )	-2.596 8		2.046 9	1.360 7	-0.155 0	-0.350 9	-0.769 8
酸碱度 pH( $X_5$ )	4.271 0	-1.244 5		1.361 3	-0.562 5	-1.639 3	-2.299 9
电导率 EC( $X_6$ )	-1.958 0	1.804 6	-2.969 5		0.332 8	1.038 2	1.895 3
速效氮 Available nitrogen( $X_7$ )	0.633 0	0.635 7	-3.795 1	-1.029 5		1.777 3	2.082 9
速效磷 Available phosphorus( $X_8$ )	1.825 9	0.499 0	-3.834 5	-1.113 4	0.616 2		2.213 9
速效钾 Available potassium( $X_9$ )	2.482 7	0.805 1	-3.956 6	-1.494 8	0.531 1	1.628 3	

### 3 讨论与结论

无土栽培基质必须具有较好理化特性才能培育壮苗,目前认为,基质适宜的容重为  $0.1 \sim 0.8 \text{ g/m}^3$ ,总孔隙度为 54%~96%,通气孔隙度大于 15%,且基质能够提供 20%~30% 容易被利用的水分<sup>[10-11]</sup>,本试验结果表明,各复配基质的容重、总孔隙度、通

气孔隙度均处于理想范围,T2、T7、T8 基质的持水孔隙略高于适宜持水孔隙度。各复配基质的 pH 值均表现为微酸性,符合理想育苗基质要求<sup>[8]</sup>。EC 值是基质分析的一项重要指标,能够反映基质原有可溶性盐分的多少<sup>[15]</sup>,试验中各复配基质的均在作物生长安全 EC 值( $\leq 2.6 \text{ mS/cm}$ )范围内<sup>[16]</sup>,适合番茄幼苗生长。有研究指出,G 值和 SSI 具有较强的

产量预测性,而根冠比能够反映植株生长协调性,是衡量植株生长发育平衡的一项重要因素,三者可作为评价幼苗质量的指标<sup>[17-18]</sup>。本试验中,T6处理培育的番茄幼苗G值、根冠比、SSI均高于其他处理,同时,T6处理培育的番茄苗茎秆粗壮,而茎粗又与幼苗健壮程度和丰产潜力存在一定相关性<sup>[19]</sup>,因此,秋季番茄穴盘育苗,基质配比以草炭:珍珠岩:蛭石=6:4:1效果最好。

多元回归和途径分析结果表明,复合基质各理化性状对G值、根冠比及SSI的影响存在差异性,不仅表现在直接途径系数方面,而且表现在正负效应上。分析发现,影响G值的因素主要由容重、总孔隙度、持水孔隙、pH值、EC值、速效氮、速效磷构成,在这些因素中,速效氮的直接途径系数最大。速效磷和pH值对G值的直接途径系数较小且为负,说明这2个性状对G值的负效应较明显。已有报道指出,氮素作为植物体内叶绿素的组成部分,其丰缺状况与叶片中叶绿素含量有着密切的关系<sup>[20]</sup>,施用氮肥可以增加叶绿素含量并促进光合作用及光合产物的积累<sup>[21]</sup>,因而氮素含量与幼苗干物质含量密切相关。较高持水孔隙及总孔隙度有利于幼苗根系的生长发育<sup>[3]</sup>,幼苗依靠根系吸收水分以及通过光合作用积累光合产物的多少能够反映在幼苗干鲜质量等生长指标上<sup>[19]</sup>,符合表4分析结果。影响根冠比的主要因素为容重、总孔隙度、通气孔隙、pH值、速效氮及速效磷,其中,pH值对根冠比的正效应最大,速效磷、通气孔隙分列其后,只有容重对根冠比的效应为负。容重与孔隙度成反比,当基质通气孔隙过小时,不利于根系进行呼吸,进而影响根形态建成,从而降低根冠比<sup>[3]</sup>。在考虑速效氮、速效磷、速效钾互作条件下,其对SSI的间接途径系数接近甚至超过直接途径系数,这说明复合基质中适宜比例的速效养分对培育具有较大壮苗指数的番茄苗有着重要影响。然而基质EC值会随着氮磷钾比例的增加而增大,EC值过高会对幼苗正常生长产生抑制,从而导致幼苗质量下降<sup>[22]</sup>。

电导率和容重对SSI的直接途径系数为负,即电导率和容重过大是导致SSI降低的主要原因;pH值对SSI的直接作用最大,其次分别为速效钾、速效磷、速效氮。基质容重过大,有抑制根系形态建成及降低根冠比的趋势,幼苗生长过程中所需要的水分和营养主要依靠根系获取,根系生育状况在很大程度上影响着幼苗的生长<sup>[23]</sup>,因此认为,容重首先影响幼苗根系生育及吸收能力,进而影响幼苗SSI。在考虑互作条件时,速效氮、速效磷、速效钾其对G

值、根冠比及SSI的间接途径系数接近甚至超过直接途径系数,这说明适宜比例的速效养分含量对番茄苗G值、根冠比、SSI的影响要优于单一养分施用对番茄幼苗的影响。

基质物理性状对幼苗影响比养分含量更重要<sup>[3,24-27]</sup>,较低容重的复合基质能促进根系生长,幼苗根冠比大,这种特点的基质通透性好,有利于幼苗根系生长并增强根系吸收能力,进而促进幼苗整体生长,提高幼苗质量。在物理性质适于番茄幼苗生长时,基质的pH值、速效氮、速效磷、速效钾含量是影响壮苗的主要因素,其中,速效养分含量不仅直接影响番茄幼苗壮苗指标,而且间接的通过电导率值、pH值对壮苗指标产生影响。另外,本试验中草炭:珍珠岩:蛭石=6:4:1的复合基质培育番茄壮苗效果最好,但该基质中速效养分含量并不是最高,这说明基质内适宜的养分含量对培育穴盘壮苗非常重要,育苗过程中应注意控制施肥浓度和次数,否则,不但会增加育苗成本,还会导致基质电导率值过大而降低番茄穴盘苗质量。综上,配制工厂化育苗基质,首先应该考虑容重等物理性状,在其适宜范围内,再进一步调配化学性状,其中要满足幼苗对pH值的要求,最后调配速效养分含量,才能获得最佳复合基质配方,培育番茄壮苗。

#### 参考文献:

- [1] 黄丹枫. 创新应用信息技术 促进蔬菜种苗产业发展[J]. 长江蔬菜, 2012(4): 1-7.
- [2] 王洛彩. 穴盘规格、基质供水状况和生长调节剂对番茄穴盘苗生育的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006: 8.
- [3] 周跃华, 聂艳丽, 赵永红, 等. 国内外固体基质研究概况[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 40-43.
- [4] Zhang R H, Duan Z Q, Li Z G. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings [J]. *Pedosphere* 2012, 22(3): 333-342.
- [5] 杨红丽, 王子崇, 张慎璞, 等. 农业有机废弃物发酵基质番茄育苗的试验研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 304-307.
- [6] 陈世昌, 常介田, 张变莉. 菌糠复合基质在番茄育苗上的效果[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1): 73-75, 79.
- [7] 王吉庆, 赵月平, 刘超杰. 水浸泡玉米秸基质对番茄育苗效果的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 276-281.
- [8] Swanson B T. Critical physical properties of container media *American Nurseryman* [J]. *American Nurseryman*, 1989(11): 59-63.
- [9] Garcia-Gomez A, Bernal M P, Roig A. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial

- wastes [J]. *Bioresource Technology* 2002 ,83( 1) : 81 - 87.
- [10] 李谦盛. 芦苇末基质的应用基础研究及园艺基质质量标准的探讨 [D]. 南京: 南京农业大学 2003: 90 - 92.
- [11] 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( S) : 1 - 4.
- [12] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 423 - 425.
- [13] 江胜德. 现代园艺栽培介质: 选购与应用指南 [M]. 北京: 中国林业出版社 2006: 180 - 184.
- [14] 尚庆茂. 育苗基质的科学配制 [J]. *中国蔬菜* 2011 ( 7) : 42 - 45.
- [15] 杨越超, 张 民, 马 丽, 等. 包膜控释肥料养分释放率快速测定方法的研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2007 ,13( 4) : 730 - 738.
- [16] 程 斐, 孙朝晖, 赵玉国, 等. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析 [J]. *南京农业大学学报* 2001 24 ( 3) : 19 - 22.
- [17] 梁志卿, 赵 瑞, 孙吉娜, 等. 基质中不同比例珍珠岩的添加对番茄穴盘苗的矮化效应 [J]. *东北农业大学学报* 2011 42( 4) : 72 - 76.
- [18] 程 琳, 赵立群, 吴新新, 等. 不同苗龄期黄瓜根系生理生化及形态指标的研究 [J]. *中国农学通报* 2012 , 28( 01) : 181 - 186.
- [19] 杨 军, 邵玉翠, 仁顺荣, 等. 不同基质配方对番茄冬季育苗的影响 [J]. *中国农学通报* 2011 27( 04) : 223 - 226.
- [20] 李海燕, 李絮花, 王克安, 等. 蘑菇渣替代草炭的栽培基质对番茄幼苗氮素状况的影响 [J]. *中国农学通报* 2011 27( 31) : 244 - 247.
- [21] 吴礼树. 土壤肥科学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 199 - 204.
- [22] Zhang R H, Duan Z Q. Study on compound substrate properties with spent mushroom compost and cattle manure compost and effects on the growth of seedlings [J]. *Agricultural Science & Technology* 2012 ,13( 1) : 149 - 154.
- [23] 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2012 20( 5) : 536 - 541.
- [24] 杜 艳. 不同基质对矮斗菜幼苗质量的影响 [J]. *山西农业科学* 2012 40( 4) : 375 - 377.
- [25] 艾 国, 王明敏, 姜 艳, 等. 条带式无土栽培基质配比的研究 [J]. *天津农业科学* 2012 ,18( 3) : 133 - 135.
- [26] 赵肖斌, 王晋华, 王鹏民, 等. 麦秸复合基质对番茄生长发育的影响 [J]. *河南农业科学* 2007( 4) : 79 - 82 , 85.
- [27] 王红菊, 王幼珊, 张淑彬, 等. 丛枝菌根真菌在蔬菜基质育苗上的应用研究 [J]. *华北农学报* 2011 26( 2) : 152 - 156.