

姜宇,陶猛,张雪,等. 外源 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长及根系形态的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(22):131-138.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.22.019

外源 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长及根系形态的影响

姜宇,陶猛,张雪,吴凤芝

(东北农业大学园艺园林学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: *L*-苯丙氨酸作为植物必须的一种芳香族氨基酸,参与植物的多种生理生化过程。近年来的研究表明, *L*-苯丙氨酸可以促进植物生长,但对番茄幼苗生长的影响仍缺乏系统研究。为探明 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长指标及根系形态的调控作用,培育番茄壮苗,提高育苗效率,以东农 708 番茄为试材,采用盆栽土培和体外平板试验,设置 6 个不同浓度的 *L*-苯丙氨酸溶液(0.5、2.0、10.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{mol/L}$),以清水作为对照组(0 $\mu\text{mol/L}$),对番茄幼苗生长指标及根系形态进行分析。结果表明,盆栽土培条件下,灭菌与不灭菌土壤外源添加 0.5、2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 的 *L*-苯丙氨酸处理与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比均显著增加了番茄幼苗的地上部干质量、地下部干质量、全株干质量、根表面积及壮苗指数($P < 0.05$);随着 *L*-苯丙氨酸浓度的增加,各指标总体呈增加趋势,100 $\mu\text{mol/L}$ 处理与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比,在 0.00 ~ 0.50 mm 直径范围内的根长、根表面积、根体积均显著增加;在平板试验中,10.0、50.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理在 3、5、7 d 的番茄幼苗的全株鲜质量、株高、根长均显著高于 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理。综上所述,*L*-苯丙氨酸对番茄幼苗的生长具有直接的促进作用,为番茄壮苗的培育提供了新思路,其中以添加 *L*-苯丙氨酸 50 $\mu\text{mol/L}$ 和 100 $\mu\text{mol/L}$ 处理效果最优。

关键词: *L*-苯丙氨酸;番茄;幼苗生长;根系形态;壮苗指数

中图分类号: S641.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)22-0131-08

苯丙氨酸(Phe)是植物必需的一种芳香族氨基酸^[1],也称 *D,L*- α -氨基- β -苯基丙酸,其中具有生物活性的光学异构体为 *L*-苯丙氨酸(*L*-Phe)^[2]。它最开始在 1879 年从羽扇豆幼苗中被发现并从中分离出来,接着于 20 世纪初从动物性蛋白

质中被成功分离得到。*L*-苯丙氨酸在各种生物合成途径中发挥着重要作用,是合成木质素、香豆素、生物碱、黄酮、异黄酮等次生物质的前体^[3-6]。植物次生代谢产物合成的重要途径之一就是苯丙烷类代谢途径,主要包括苯丙氨酸代谢及下游分支的其他次生代谢产物的合成。植物体内含苯丙烷骨架的物质都是以 *L*-苯丙氨酸为合成前体,通过苯丙烷类代谢途径的直接或间接产物^[7]。Rahmani Samani 等研究发现,将 *L*-苯丙氨酸喷施在鼠尾草叶面上,增加了鼠尾草的鲜质量及干质量,提高了鼠尾草叶片的叶绿素含量及含氧单萜含量,促进了

收稿日期:2022-01-01

作者简介:姜宇(1996—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜栽培与生理生态研究。E-mail:jiangyu960605@163.com。

通信作者:吴凤芝,博士,教授,博士生导师,研究方向为设施蔬菜栽培生理与生态。E-mail:fzwwu2006@aliyun.com。

[26]李秉华,刘小民,许贤,等. 氟噻草胺在大豆田的除草效果和安全性[J]. 杂草学报,2020,38(3):68-72.

[27]苏旺苍,孙兰兰,吴仁海,等. 不同助剂和喷头对烟嘧·莠去津的防效及安全性的影响[J]. 杂草学报,2021,39(1):43-49.

[28]李子璐,张晨辉,郭勇飞,等. 喷雾助剂对茎叶处理除草剂的增效机制及应用研究进展[J]. 农药学报,2021,23(2):245-258.

[29]蒋欣东,康晓慧,陈万权,等. 除草剂减量与激健混施对麦田杂草防效及产量特征影响[J]. 江西农业大学学报,2021,43(1):33-41.

[30]王正贵,封超年,郭文善,等. 麦田常用除草剂对弱筋小麦生理

生化特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(6):1027-1032.

[31]丁超,张建华,白文斌,等. 高粱田常用除草剂对高粱生理生化及产量品质的影响[J]. 作物杂志,2017(5):149-155.

[32]黄玉梅,邓楚璇,李建平,等. 除草剂对高羊茅和马蹄金种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草业科学,2020,37(5):872-881.

[33]史莹华,张伟毅,于晓丹,等. 光周期对紫花苜蓿 SOD、POD 活性的影响[J]. 草原与草坪,2009,29(1):74-77.

[34]陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J]. 植物学通报,1989,24(4):211-217.

鼠尾草的生长^[8]。此外, *L*-苯丙氨酸对植株的发育和生长、信号传递、代谢能的产生以及植物对胁迫的抵抗力均能产生影响^[9]。陈明昌等采用盆栽试验发现, 土施 0.2 mg/kg 的 *L*-苯丙氨酸可以增加玉米的株高及地上和地下部干质量、根系长度, 提高玉米根系活力及玉米体内硝酸还原酶和过氧化氢酶活性, 促进玉米对氮、磷、钾、锌养分的吸收^[10]。叶面施用 100 μmol/mol 的 *L*-苯丙氨酸显著提高了罗勒植物和牛膝草的生长指数^[11-12]。

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 是我国设施栽培面积较大的果菜之一, 其风味独特、果实营养丰富, 在蔬菜生产中处于非常重要的位置。健壮的幼苗定植后缓苗快、花芽分化良好、开花早、抗逆性强, 秧苗的健壮程度也是后期蔬菜生长、产量和品质的保证, 因此培育健壮的幼苗是蔬菜生产中的一项重要内容^[13-14]。番茄幼苗健壮的标准是株高适中、根系发达、侧根数量多、花芽肥大、花芽数量多, 且植株无病虫害、无机械损伤。根系是植物地下部分可以起固定、支持植物体作用的营养器官, 它可以吸收水分和营养并进行转化和储藏, 在植物中占有重要的地位。根系形态是指由复杂的空间结构和各种形态的根系所组成的植物根群, 即各级根轴之间精细的空间扩展方式^[15], 包括根长、根表面积、根体积、根平均直径等, 它决定着植物对水分和营养的吸收, 进而影响植物的生长。

鉴于以上 *L*-苯丙氨酸对作物生长的研究进展, *L*-苯丙氨酸对于蔬菜作物的研究报道还较少, 因此本研究以番茄为试材, 研究其对幼苗生长的影响, 旨在为培育壮苗及提高育苗效率提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为东农 708, 购于东北农业大学番茄研究所。供试 *L*-苯丙氨酸 ($C_9H_{11}NO_2$), 生化试剂 BR 级, 试剂购买于北京博奥拓达科技有限公司。

供试土壤为连作 2 年的番茄土, 土壤的基本化学性状为速效磷含量 20.16 mg/kg, 硝态氮含量 14.65 mg/kg, 铵态氮含量 5.23 mg/kg, 速效钾含量 271.00 mg/kg, 有机质含量 28.63 g/kg, pH 值 7.16 (土水体积比为 1:2.5), 电导率 1.32 mS/cm (土水体积比为 1:2.5)。pH 值采用酸度计测定; 电导率采用电导率仪测定; 土壤铵态氮、硝态氮、有效磷的

含量均按照 LY/T1232—2015《森林土壤磷的测定》采用连续流动分析仪 (San++) 测定; 速效钾含量按照 LY/T 1236—1999《森林土壤速效钾的测定》采用电感耦合等离子体发射光谱 (ICPS-7500) ICP-AES 法测定; 有机质含量按照 LY/T 1237—1999《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算》采用外加热-重铬酸钾滴定法测定。上述数据除 pH 值和电导率外均由中国科学院东北地理与农业生态研究所测定。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 番茄育苗 试验于 2021 年 2—6 月在东北农业大学设施园艺工程中心和园艺园林学院设施蔬菜生理生态研究室进行。于 55~60℃ 的温水中浸泡番茄种子 15~20 min, 用清水冲洗番茄种子 2~3 次, 在容器中加入少量的常温蒸馏水, 使其没过种子, 浸泡 6~8 h。在容器中铺 2 层纱布, 将种子一粒粒均匀地摆在纱布上, 然后盖上一层纱布, 置于 32℃ 条件下催芽。种子露白后, 选择发芽一致的种子进行播种, 在育苗盘 (60 cm × 35 cm) 中铺满 2/3 育苗基质 [蛭石: 草炭 (质量比) = 1:1], 浇透水后进行均匀播种, 再撒 0.5 cm 厚的基质, 然后覆盖蓝色无纺布保温保湿。

1.2.2 *L*-苯丙氨酸溶液配制 *L*-苯丙氨酸溶液的配制: 参照 Demirci 等的试验^[16], 将 *L*-苯丙氨酸溶液的浓度设置为 0、0.5、2、10、50、100、200 μmol/L。计算配制 1 L 200 μmol/L 的苯丙氨酸溶液需要 0.033 g *L*-苯丙氨酸固体。然后取 500 mL 浓度为 200 μmol/L 的溶液, 稀释至 100 μmol/L。取 500 mL 浓度为 100 μmol/L 的溶液, 稀释至 50 μmol/L。依次稀释至浓度为 10、2、0.5 μmol/L。

1.2.3 土壤灭菌 参照 Zhou 等的方法^[17], 采用高温蒸汽灭菌法 (上海申安立式高压蒸汽灭菌器 LDFZ-75L-II) 将要灭菌的土壤于 121℃、103 kPa 每隔 24 h 连续灭菌 3 次, 每次 30 min。

1.2.4 土培条件下 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长的影响 番茄幼苗于 2 叶 1 心时分苗, 装入 250 g 的灭菌和不灭菌番茄连作土营养钵 (9 cm × 9 cm) 中。缓苗后进行 *L*-苯丙氨酸处理, 在番茄缓苗后 0.5、10 d 将 *L*-苯丙氨酸溶液浇灌到番茄根部, 每个营养钵中添加 5 mL 的 *L*-苯丙氨酸溶液, 对照 (0 μmol/L) 加等量的蒸馏水, *L*-苯丙氨酸设置 6 个浓度 (0.5、2.0、10.0、50.0、100.0、200.0 μmol/L), 共 7 个处理, 每个处理 3 次重复, 每个重复 9 株, 采

取随机区组设计,对幼苗进行常规管理,不施加任何药物,在处理后的 15 d 取番茄幼苗植株,每个重复随机选取 3 株幼苗作为一个重复,测量各指标。

1.2.5 平板条件下 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长的影响 番茄种子的处理同上,番茄种子出苗后,选取 2 张子叶展开且株高均为 2 cm 长势一致的幼苗进行试验,从土中取出番茄幼苗时用蒸馏水缓慢冲洗掉根上的土,注意不要伤根。在平板中铺 2 层定性滤纸,每个平板中添加 5 mL 蒸馏水或 *L*-苯丙氨酸溶液,用大小合适的铝箔纸盖住幼苗根部,防止见光,然后用封口膜封住培养皿,置于光照 16 h 的光照培养箱中。*L*-苯丙氨酸设 6 个浓度:0.5、2.0、10.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{mol/L}$,对照(0 $\mu\text{mol/L}$)加等量蒸馏水,共 7 个处理,每个处理 4 次重复,每个培养皿中放置 5 株番茄幼苗,为 1 个重复,于处理的 3、5、7 d 取样测量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标 用直尺测量幼苗株高;番茄幼苗于 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱内杀青 30 min,65 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,用电子天平称质量。

壮苗指数 = (地下部干质量/地上部干质量 + 株高) \times 全株干质量^[18]。

1.3.2 根系形态指标 每个处理的每个重复随机选取 3 株番茄幼苗,即每个处理 9 株幼苗,去钵后放在装满水的水盆中,小心涮洗番茄幼苗根系,再在

一盆清澈的水中涮洗 1 次,用剪刀把根系完整剪下置于玻璃片上,用牙签挑根,使根系不重叠地平铺在玻璃片上,用 ScanMaker i800plus 根系扫描仪进行扫根,对根长、根表面积、根体积、平均直径、根尖数及不同径级的根系形态指标进行测定。

1.4 数据分析

试验中原始数据均采用 Microsoft Excel (Office 2019) 软件进行整理,采用 SPSS 20.0 软件中的 Tukey's HSD 检验进行差异性分析,检验水平为 $\alpha = 0.05$,采用 Origin 2017 进行作图。

2 结果与分析

2.1 土培条件下 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长的影响

2.1.1 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生物量和壮苗指数的影响 在不灭菌与灭菌条件下,添加 0.5、2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 的 *L*-苯丙氨酸处理的番茄地上部干质量、地下部干质量、全株干质量及壮苗指数均显著高于 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理($P < 0.05$)。在不灭菌和灭菌条件下,100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理地上部干质量、地下部干质量、全株干质量及壮苗指数均 \geq 其他处理(表 1)。

2.1.2 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗株高的影响 在不灭菌试验中,相比于 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理,0.5、2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理均显著提高了番茄幼苗的

表 1 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生物量和壮苗指数的影响

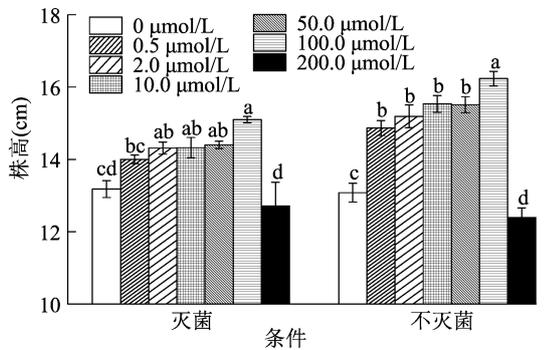
是否灭菌	处理浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	地上部干质量 (g/株)	地下部干质量 (g/株)	全株干质量 (g/株)	壮苗指数
不灭菌	0.0	0.11 \pm 0.01d	0.03 \pm 0.00c	0.14 \pm 0.00c	1.89 \pm 0.04d
	0.5	0.17 \pm 0.01c	0.04 \pm 0.00b	0.21 \pm 0.01b	3.22 \pm 0.17c
	2.0	0.19 \pm 0.01bc	0.04 \pm 0.00b	0.23 \pm 0.00b	3.51 \pm 0.14c
	10.0	0.21 \pm 0.01ab	0.05 \pm 0.00a	0.26 \pm 0.01a	4.06 \pm 0.13b
	50.0	0.20 \pm 0.02ab	0.05 \pm 0.00a	0.26 \pm 0.01a	4.02 \pm 0.16b
	100.0	0.22 \pm 0.00a	0.05 \pm 0.00a	0.27 \pm 0.01a	4.51 \pm 0.05a
	200.0	0.13 \pm 0.00d	0.03 \pm 0.00c	0.16 \pm 0.01c	2.00 \pm 0.07d
灭菌	0.0	0.14 \pm 0.01b	0.02 \pm 0.00d	0.16 \pm 0.01c	2.15 \pm 0.07d
	0.5	0.18 \pm 0.01a	0.03 \pm 0.00bc	0.21 \pm 0.01b	2.94 \pm 0.07c
	2.0	0.18 \pm 0.01a	0.04 \pm 0.00b	0.22 \pm 0.00ab	3.12 \pm 0.09bc
	10.0	0.18 \pm 0.00a	0.04 \pm 0.00a	0.21 \pm 0.00ab	3.12 \pm 0.03bc
	50.0	0.18 \pm 0.00a	0.04 \pm 0.00a	0.22 \pm 0.00ab	3.18 \pm 0.03b
	100.0	0.18 \pm 0.00a	0.04 \pm 0.00a	0.23 \pm 0.00a	3.50 \pm 0.05a
	200.0	0.13 \pm 0.01b	0.03 \pm 0.00cd	0.16 \pm 0.01c	2.07 \pm 0.15d

注:同列数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

株高,分别比 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理高出 13.68%、16.14%、18.78%、18.61%、24.13%。在灭菌试验中,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理均显著提高了番茄幼苗的株高,分别比 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理高出 8.50%、8.65%、9.26%、14.57% (图 1)。

2.2 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗根系形态的影响

在灭菌条件下,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比,根长、根表面积、根体积、根尖数均显著增加,10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比,平均直径显著降低。在不灭菌条件下,0.5、2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比,根长、根表面积、根体积、



柱上标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同
图1 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗株高的影响

根尖数均显著增加,100 $\mu\text{mol/L}$ 处理的平均直径与 0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比显著降低 (图 2)。

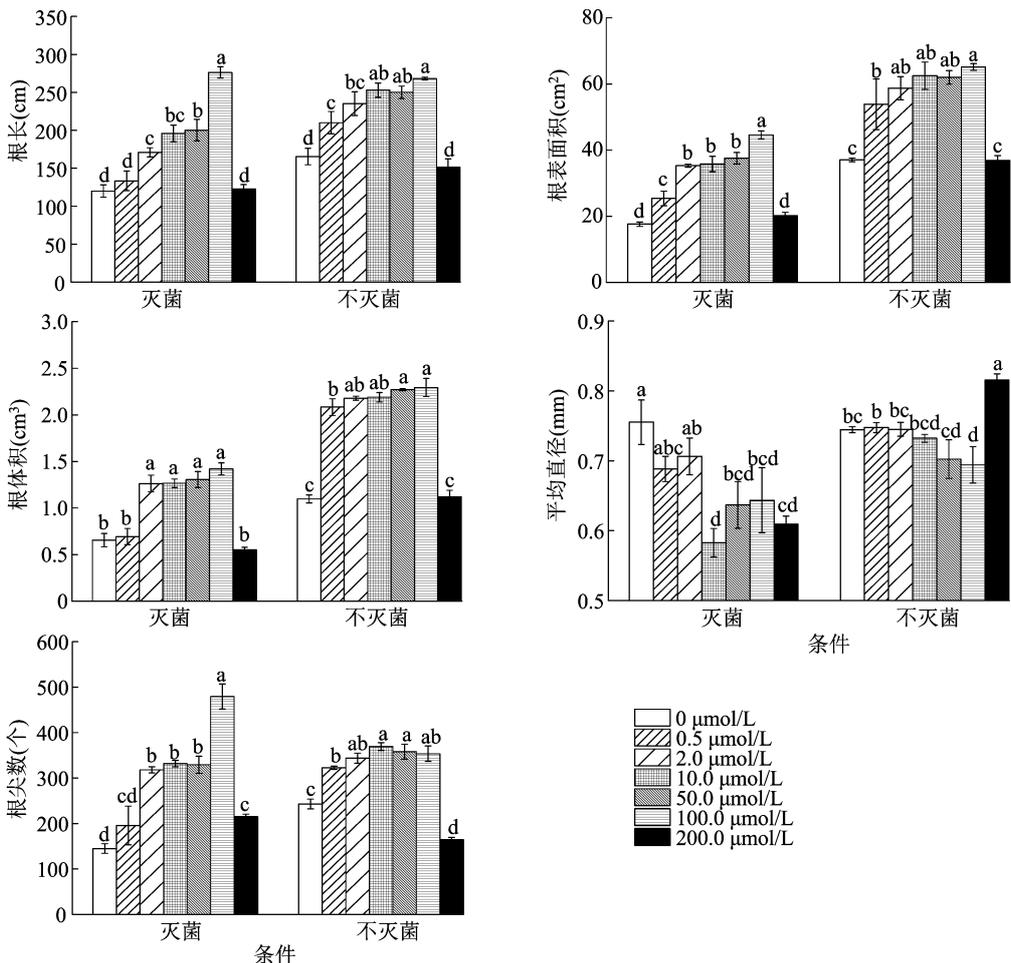


图2 不同浓度 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗根系形态的影响

2.3 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗不同径级根系形态的影响

2.3.1 *L*-苯丙氨酸对不同径级根长的影响 不同处理对根系径级的影响变化能反映根系在不同环境条件下的适应性,通过根系直径大小,对不同处理间番茄幼苗根系的径级组成进行分析。不同浓

度的 *L*-苯丙氨酸处理对番茄根系根长、根表面积、根体积的影响,主要是通过影响不同径级的变化来起作用的。在 0.00 ~ 0.50 mm 和 0.50 ~ 2.00 mm 径级范围的根系对番茄根系长度的贡献率最大,随着直径的增大,对根系总长度的贡献率逐渐减少。在不灭菌条件下,10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理显

著增加了细根(0.00~0.50 mm)根长,分别比0 $\mu\text{mol/L}$ 处理增加了40.60%、60.37%、73.52%。在灭菌条件下,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 显著

增加了细根根长,分别比0 $\mu\text{mol/L}$ 增加了39.41%、59.93%、48.92%、127.80%(表2)。

表2 L-苯丙氨酸对幼苗不同径级根长的影响

是否灭菌	处理浓度($\mu\text{mol/L}$)	根长(cm)				
		0.00 mm \leq 直径<0.50 mm	0.50 mm \leq 直径<2.00 mm	2.00 mm \leq 直径<3.00 mm	3.00 mm \leq 直径<5.00 mm	直径 \geq 5.00 mm
不灭菌	0.0	70.10 \pm 4.13cd	87.88 \pm 6.77c	5.52 \pm 0.23bc	1.87 \pm 0.04c	0.05 \pm 0.01f
	0.5	86.04 \pm 5.26bc	108.84 \pm 14.10bc	7.41 \pm 0.82a	4.06 \pm 0.40a	1.05 \pm 0.03a
	2.0	87.45 \pm 11.77bc	137.36 \pm 0.22ab	6.33 \pm 0.79abc	3.64 \pm 0.12a	0.65 \pm 0.12b
	10.0	98.56 \pm 7.16b	142.62 \pm 2.09a	6.99 \pm 0.79ab	3.74 \pm 0.24a	0.53 \pm 0.10bc
	50.0	112.42 \pm 6.61a	130.19 \pm 16.26ab	4.59 \pm 0.54bc	2.42 \pm 0.18bc	0.44 \pm 0.04cd
	100.0	121.64 \pm 5.32a	137.57 \pm 14.44ab	5.83 \pm 0.26abc	2.81 \pm 0.19b	0.29 \pm 0.03d
	200.0	54.09 \pm 4.35d	90.05 \pm 10.28c	5.16 \pm 0.86bc	2.09 \pm 0.14c	0.02 \pm 0.00f
灭菌	0.0	65.64 \pm 3.58f	49.55 \pm 5.76df	3.87 \pm 0.20c	1.28 \pm 0.14bc	0.00 \pm 0.00c
	0.5	75.73 \pm 5.72df	53.13 \pm 3.56d	3.47 \pm 0.03cd	1.03 \pm 0.12c	0.01 \pm 0.00c
	2.0	91.51 \pm 5.61bcd	70.27 \pm 5.75bc	5.43 \pm 0.09a	3.23 \pm 0.25a	0.51 \pm 0.28a
	10.0	104.98 \pm 12.58b	60.75 \pm 4.48cd	4.62 \pm 0.42b	3.07 \pm 0.32a	0.26 \pm 0.08abc
	50.0	97.75 \pm 3.49bc	81.51 \pm 9.92ab	4.93 \pm 0.19ab	1.80 \pm 0.14b	0.46 \pm 0.04ab
	100.0	149.53 \pm 7.15a	89.81 \pm 4.70a	5.43 \pm 0.26a	3.25 \pm 0.43a	0.48 \pm 0.17a
	200.0	82.16 \pm 6.74edf	36.36 \pm 4.19f	3.06 \pm 0.20d	1.01 \pm 0.11c	0.09 \pm 0.08bc

2.3.2 L-苯丙氨酸对不同径级根表面积的影响
随着径级的增大,各处理根表面积呈先增加后降低的趋势。不灭菌条件下,与0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理在0.00~0.50 mm直径范围内的根表面积显著增加,分别增

加了35.49%、40.77%、116.09%、144.46%。灭菌条件下,相比于0 $\mu\text{mol/L}$,2.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理在0.00~0.50 mm直径范围内的根表面积显著增加,分别增加了101.58%、77.32%、141.42%(表3)。

表3 L-苯丙氨酸对幼苗不同径级根表面积的影响

是否灭菌	处理浓度($\mu\text{mol/L}$)	根表面积(cm^2)				
		0.00 mm \leq 直径<0.50 mm	0.50 mm \leq 直径<2.00 mm	2.00 mm \leq 直径<3.00 mm	3.00 mm \leq 直径<5.00 mm	直径 \geq 5.00 mm
不灭菌	0.0	7.58 \pm 0.33cd	22.98 \pm 1.83c	4.18 \pm 0.38abc	2.22 \pm 0.15c	0.08 \pm 0.01d
	0.5	9.83 \pm 0.83bc	32.74 \pm 1.92b	4.48 \pm 0.44abc	4.78 \pm 0.50a	1.78 \pm 0.13a
	2.0	10.27 \pm 0.63b	37.76 \pm 1.34ab	4.77 \pm 0.57ab	4.33 \pm 0.21a	1.23 \pm 0.28b
	10.0	10.67 \pm 0.20b	41.20 \pm 1.90a	5.31 \pm 0.59a	4.28 \pm 0.47a	1.01 \pm 0.16b
	50.0	16.38 \pm 1.32a	38.51 \pm 2.47ab	3.48 \pm 0.33c	2.75 \pm 0.12bc	0.85 \pm 0.16bc
	100.0	18.53 \pm 1.36a	38.40 \pm 2.49ab	4.38 \pm 0.35abc	3.30 \pm 0.14b	0.52 \pm 0.05c
	200.0	5.90 \pm 0.37d	24.62 \pm 2.88c	4.00 \pm 0.29bc	2.30 \pm 0.16c	0.04 \pm 0.01d
灭菌	0.0	5.07 \pm 0.92d	11.80 \pm 2.27cd	1.99 \pm 0.09d	1.41 \pm 0.25b	0.00 \pm 0.00c
	0.5	7.81 \pm 0.73bcd	13.15 \pm 0.86cd	2.69 \pm 0.05bed	1.16 \pm 0.18b	0.01 \pm 0.00bc
	2.0	10.22 \pm 1.32ab	18.94 \pm 2.57ab	4.13 \pm 1.00a	3.76 \pm 0.35a	0.90 \pm 0.51a
	10.0	7.53 \pm 0.59bcd	16.73 \pm 1.67bc	3.53 \pm 0.45abc	3.57 \pm 0.60a	0.41 \pm 0.35abc
	50.0	8.99 \pm 0.44bc	22.32 \pm 1.92a	3.71 \pm 0.21ab	2.00 \pm 0.49b	0.83 \pm 0.17ab
	100.0	12.24 \pm 1.76a	23.41 \pm 1.30a	4.19 \pm 0.25a	3.82 \pm 0.66a	0.88 \pm 0.43a
	200.0	7.02 \pm 0.86cd	9.53 \pm 1.13d	2.32 \pm 0.24cd	1.12 \pm 0.64b	0.15 \pm 0.13abc

2.3.3 *L*-苯丙氨酸对不同径级根体积的影响 各处理根体积在不同径级内的分布亦不同,随着浓度的增加,不灭菌与灭菌条件下,在0.00~0.50 mm直径范围内的根体积均呈上升-下降-上升-下降趋势。不灭菌条件下,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理在0.00~0.50 mm直径范围内的根体积分别比0 $\mu\text{mol/L}$ 处理显著增加了

57.14%、42.86%、85.71%、100.00%。灭菌条件下,相比于0 $\mu\text{mol/L}$ 处理,只有100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理在0.00~0.50 mm直径范围内的根体积显著增加,增加了100.00%(表4)。总之,添加*L*-苯丙氨酸不仅可以调控番茄幼苗根系的生长,同时还能影响根系在不同径级的分布比例。

表4 不同浓度*L*-苯丙氨酸对幼苗不同径级根体积的影响

是否灭菌	处理浓度($\mu\text{mol/L}$)	根体积(cm^3)				
		0.00 mm \leq 直径<0.50 mm	0.50 mm \leq 直径<2.00 mm	2.00 mm \leq 直径<3.00 mm	3.00 mm \leq 直径<5.00 mm	直径 \geq 5.00 mm
不灭菌	0.0	0.07 \pm 0.00df	0.55 \pm 0.07c	0.26 \pm 0.01c	0.21 \pm 0.00b	0.01 \pm 0.00d
	0.5	0.09 \pm 0.01cd	0.91 \pm 0.15b	0.31 \pm 0.03bc	0.47 \pm 0.04a	0.30 \pm 0.05a
	2.0	0.11 \pm 0.01bc	1.18 \pm 0.09ab	0.29 \pm 0.04bc	0.42 \pm 0.04a	0.19 \pm 0.02b
	10.0	0.10 \pm 0.01c	1.11 \pm 0.07ab	0.33 \pm 0.01b	0.40 \pm 0.07a	0.16 \pm 0.03b
	50.0	0.13 \pm 0.01ab	1.11 \pm 0.08ab	0.41 \pm 0.02a	0.45 \pm 0.02a	0.13 \pm 0.01bc
	100.0	0.14 \pm 0.01a	1.22 \pm 0.15a	0.47 \pm 0.02a	0.42 \pm 0.04a	0.08 \pm 0.00c
	200.0	0.06 \pm 0.00f	0.61 \pm 0.02c	0.25 \pm 0.02c	0.20 \pm 0.03b	0.01 \pm 0.00d
灭菌	0.0	0.05 \pm 0.01b	0.30 \pm 0.08bc	0.19 \pm 0.01bcd	0.13 \pm 0.03b	0.00 \pm 0.00a
	0.5	0.07 \pm 0.00ab	0.30 \pm 0.03bc	0.17 \pm 0.01cd	0.11 \pm 0.02b	0.00 \pm 0.00a
	2.0	0.06 \pm 0.01b	0.47 \pm 0.10ab	0.25 \pm 0.01a	0.35 \pm 0.07a	0.13 \pm 0.09a
	10.0	0.08 \pm 0.02ab	0.43 \pm 0.05abc	0.22 \pm 0.04abc	0.34 \pm 0.14a	0.05 \pm 0.05a
	50.0	0.08 \pm 0.01ab	0.55 \pm 0.02a	0.22 \pm 0.02ab	0.19 \pm 0.02ab	0.12 \pm 0.04a
	100.0	0.10 \pm 0.01a	0.56 \pm 0.12a	0.26 \pm 0.02a	0.37 \pm 0.09a	0.13 \pm 0.09a
	200.0	0.06 \pm 0.01b	0.23 \pm 0.03c	0.14 \pm 0.02d	0.1 \pm 0.01b	0.02 \pm 0.02a

2.4 平板条件下*L*-苯丙氨酸对番茄幼苗的影响

2.4.1 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗鲜质量的影响 处理后3、5、7 d,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ *L*-苯丙氨酸处理番茄全株鲜质量均显著高于0 $\mu\text{mol/L}$ 处理。处理后3、5、7 d,50 $\mu\text{mol/L}$ 处理的全株鲜质量均最高(图3)。

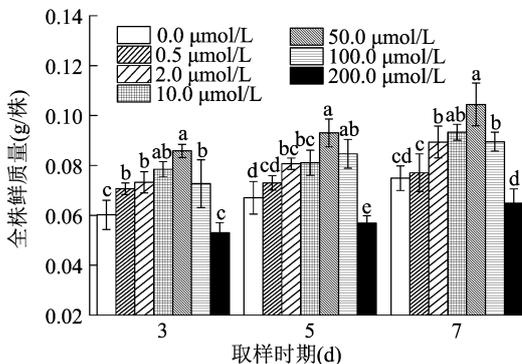


图3 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗全株鲜质量的影响

2.4.2 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗株高的影响 处理后3、5、7 d,相比于0 $\mu\text{mol/L}$ 处理,10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理均显著提高了番茄幼苗的株高。

处理后3、5、7 d,50 $\mu\text{mol/L}$ 处理的株高均最高(图4)。

2.4.3 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗根长及根尖数的影响 处理后3、5、7 d,10.0、50.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理的番茄幼苗的根长与0 $\mu\text{mol/L}$ 处理相比均显著增加,*L*-苯丙氨酸促进了番茄幼苗根系的伸长。5 d时,50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理的根尖数显著高于0 $\mu\text{mol/L}$ 处理;7 d时,10.0、50.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理的根尖数显著高于0 $\mu\text{mol/L}$ 处理。说明*L*-苯丙氨酸可以促进番茄幼苗根系的生长(图5)。

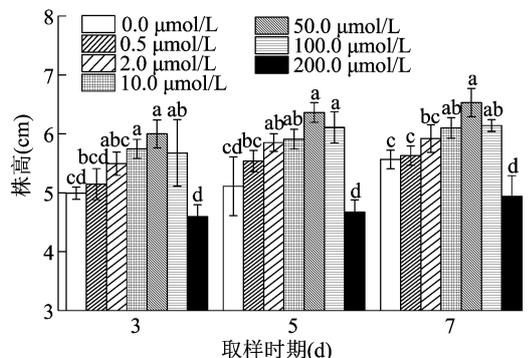


图4 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗株高的影响

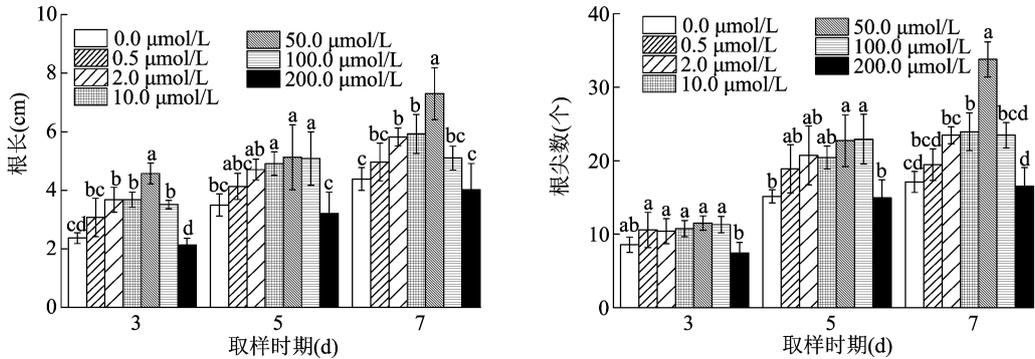


图5 不同浓度 *L*-苯丙氨酸对番茄幼苗根长及根尖数的影响

3 讨论与结论

氨基酸是含有氮、碳、氢和氧的有机分子,有机侧链结构可以作为指标,用来区分不同的氨基酸^[19],这些分子可以直接或间接地影响与植物生长发育相关的生理活动。苯丙氨酸是具有生理活性的芳香族氨基酸。雷雨婷等研究发现,添加 0.1、0.5 mmol/L 苯丙氨酸可以促进拟南芥幼苗地上部分的生长^[20]。Demirci 等添加 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 *L*-苯丙氨酸促进了茜草根系的生长^[16]。本试验在前人研究基础上,设置 0.5、2.0、10.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{mol/L}$ 6 个浓度,结果表明,在灭菌与不灭菌条件下,2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理均能显著提高番茄幼苗地上部干质量、地下部干质量、全株干质量以及株高,这些生长指标可以最直观地反映植株的生长状态,外源添加 *L*-苯丙氨酸可以促进植株的生长,这与前人的研究结果一致。植物对氨基酸是主动吸收,氨基酸对植物是反馈抑制,当植物生长在含有高浓度外源氨基酸的环境下时,自身内的氨基酸浓度也会升高,当体内氨基酸浓度升高后,会产生抑制有关合成途径调节酶活性的现象,长期抑制会导致代谢失调,使植物生长延缓、停滞。雷雨婷等研究发现,0.5、1.0、2.0 mmol/L 的苯丙氨酸处理能够抑制拟南芥种子的萌发和根的生长,1.0、2.0 mmol/L 的苯丙氨酸能抑制地上部生长^[20]。本研究发现,在 0~50.0 $\mu\text{mol/L}$ 浓度范围内,随着浓度的升高,*L*-苯丙氨酸对番茄幼苗生长的促进效果只有小幅增加,100 $\mu\text{mol/L}$ 处理的促进效果不再增强,200 $\mu\text{mol/L}$ 处理与对照相比无显著差异,但浓度再升高是否会抑制还不清楚,有待进一步研究。

植物根系的生长发育及形态特征是它们与环

境相互作用的结果。植物根系的许多指标(如根长、根表面积、根系体积等)表明了根系在土壤中的扩张程度,也可作为植物吸收水分、养分的重要指标,也在一定程度上反映出根系与土壤接触的面积大小。与土壤介质接触的越多,吸收养分的能力就越强,根系的生长状况就越好^[15]。番茄幼苗根系主要是通过增加细根的数量来促进根系的伸长,细根与土壤接触较多,可以增加对水分和养分的吸收利用^[21-22]。本研究发现,在不灭菌条件下,0.5、2.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{mol/L}$ 处理能明显促进番茄幼苗根长的伸长,增大根表面积、根体积,增加根尖数及细根数量(0.00~0.50 mm)。这与 Demirci 等的研究结果^[16]一致,添加 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 *L*-苯丙氨酸对茜草的根系生长有促进作用^[16]。在灭菌条件下,外源添加 2、10、50、100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的 *L*-苯丙氨酸均能显著促进番茄幼苗根系的伸长,增大根表面积、根体积,增加根尖数及细根数量(0.00~0.50 mm)。无论灭菌与否,*L*-苯丙氨酸均可以促进番茄幼苗根系的生长。

从盆栽试验中灭菌与不灭菌试验的结果可以看出,当土壤灭菌后,消除了土壤微生物活性,添加 *L*-苯丙氨酸依旧可以促进番茄幼苗及根系的生长,说明 *L*-苯丙氨酸未通过土壤微生物的介导,对番茄幼苗可以产生直接的促进作用,通过后续平板条件下的试验也可以进一步证实这点。这与于洪杰的 *L*-苯丙氨酸会削弱番茄根系向重力性,抑制番茄根系生长的结果^[23]不同,可能是药品的纯度、植株的生长时期、外源添加方式不同导致的。Jiao 等研究发现,与其他氨基酸相比,杨树在苯丙氨酸中表现出最好的生长性能,杨树能吸收苯丙氨酸并将其部分转化为甘氨酸和天冬氨酸以及其他代谢物来支持生长,并且通过¹⁵N 标记试验发现,杨树根

可以吸收完整的苯丙氨酸,一小部分¹⁵N标记的苯丙氨酸可以进一步运输到地上部组织中^[24],这与本试验的研究结果一致。*L*-苯丙氨酸可以被植物直接吸收,或者转化为其他物质,*L*-苯丙氨酸是苯乙酸的前体物质,苯乙酸作为植物生长调节剂可以提高作物的地上部和地下部干质量,在土壤中外源添加*L*-苯丙氨酸后,土壤中存在*L*-苯丙氨酸脱氨基过程,存在苯乙酸合成途径^[25],进而促进了植株生长,然而其机制尚不明确,*L*-苯丙氨酸是通过何种途径促进番茄幼苗的生长还需要进一步的研究。

综上所述,添加适宜浓度的*L*-苯丙氨酸溶液可以提高番茄幼苗的株高和干质量,使根系变长,根表面积、根体积增大,根尖数增加,根平均直径变小,促进了番茄幼苗的生长和根系形态的发育,其中50、100 μmol/L处理效果较好,该试验可为培育壮苗及提高育苗效率提供参考依据。

参考文献:

[1] 李冰. *L*-苯丙氨酸的合成技术研究进展[J]. 食品工程, 2009(3):9-12.

[2] 周海岩. *L*-苯丙氨酸生产菌株的构建、代谢调控和发酵条件优化[D]. 无锡:江南大学, 2011.

[3] 王星, 罗双霞, 于萍, 等. 茄科蔬菜苯丙烷类代谢及相关酶基因研究进展[J]. 园艺学报, 2017, 44(9):1738-1748.

[4] Gonda I, Davidovich - Rikanati R, Bar E, et al. Differential metabolism of *L*-phenylalanine in the formation of aromatic volatiles in melon (*Cucumis melo* L.) fruit[J]. Phytochemistry, 2018, 148:122-131.

[5] 欧阳光察, 薛应龙. 植物苯丙烷类代谢的生理意义及其调控[J]. 植物生理学通讯, 1988, 24(3):9-16.

[6] Chen Q B, Man C, Li D N, et al. Arogenate dehydratase isoforms differentially regulate anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana* [J]. Molecular Plant, 2016, 9(12):1609-1619.

[7] Koca N, Karaman Ş. The effects of plant growth regulators and *l*-phenylalanine on phenolic compounds of sweet basil[J]. Food Chemistry, 2015, 166:515-521.

[8] Rahmani Samani M, Ghasemi Pirbalouti A, Moattar F, et al. *L*-Phenylalanine and bio-fertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential oil from the sage (*Salvia officinalis* L.) leaves [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 137:1-8.

[9] Teixeira W F, Fagan E B, Soares L H, et al. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8:327.

[10] 陈明昌, 程滨, 张强, 等. 土施*L*-蛋氨酸、*L*-苯基丙氨酸、

L-色氨酸对玉米生长和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6):1033-1037.

[11] Reham M S, Khattab M E, Ahmed S S, et al. Influence of foliar spray with phenylalanine and nickel on growth, yield quality and chemical composition of genoveser basil plant [J]. African Journal of Agricultural Research, 2016, 11(16):1398-1410.

[12] Aghaei K, Ghasemi Pirbalouti A, Mousavi A, et al. Effects of foliar spraying of *l*-phenylalanine and application of bio-fertilizers on growth, yield, and essential oil of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *Angustifolius* (Bieb.) [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019, 21:101318.

[13] 陈潇, 钟昆恒, 曹健, 等. 纸钵育苗对番茄、辣椒幼苗生长和壮苗指数的影响[J]. 长江蔬菜, 2021(10):14-17.

[14] 宫彬彬, 王宁, 章铁军, 等. 综合形态与叶片叶绿素含量的番茄壮苗指数筛选[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8):237-244.

[15] Jonathan L. Root architecture and plant productivity [J]. Plant Physiology, 1995, 109(1):7-13.

[16] Demirci T, Çelikkol Akçay U, Göktürk Baydar N. Effects of 24-epibrassinolide and *l*-phenylalanine on growth and caffeic acid derivative production in hairy root culture of *Echinacea purpurea* L. Moench [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2020, 42(4):1-11.

[17] Zhou X G, Liu J, Wu F Z. Soil microbial communities in cucumber monoculture and rotation systems and their feedback effects on cucumber seedling growth [J]. Plant and Soil, 2017, 415(1/2):507-520.

[18] 毛明明, 刘鸿雁, 邢丹, 等. 丛枝菌根真菌对不同辣椒品种幼苗吸收累积镉的影响[J]. 北方园艺, 2021(22):1-7.

[19] Wu G Y. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition [J]. Amino Acids, 2009, 37(1):1-17.

[20] 雷雨婷, 汤睿, 任春梅. 苯丙氨酸处理对拟南芥酪氨酸降解途径的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(4):365-368.

[21] 曹秀, 夏仁学, 杨环宇, 等. 沙培条件下磷、钾、钙亏缺对枳 (*Poncirus trifoliata*) 幼苗根系形态及营养吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4):981-988.

[22] 孙三杰, 李建明, 宗建伟, 等. 亚低温与干旱胁迫对番茄幼苗根系形态及叶片结构的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11):3027-3032.

[23] 于洪杰. 分蘖洋葱根系分泌物改变番茄根系分布的机理[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2020.

[24] Jiao Y, Chen Y H, Ma C F, et al. Phenylalanine as a nitrogen source induces root growth and nitrogen-use efficiency in *Populus × canescens* [J]. Tree Physiology, 2017, 38(1):66-82.

[25] Jorrín J, López - Valbuena R, Tena M. Kinetic properties of phenylalanine ammonia-lyase from sunflower (*Helianthus annuus* L.) hypocotyls [J]. Biochemistry International, 1991, 24(1):1-11.