

营养液浓度对番茄营养生长期生长发育的影响

柳美玉¹, 曹红霞¹, 杜贞其², 杨慧¹, 杜娅丹¹

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨陵 712100;

2. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要:以珍珠岩栽培番茄为试验材料, 分别浇施 1/3、2/3、1、4/3 倍标准浓度的营养液, 结合常规测定方法, 分析营养液浓度对番茄生长指标、干物质累积和根系特征参数的影响, 为基质栽培中养分的管理提供参考依据。结果表明: 随着营养液浓度的升高, 番茄株高、茎粗、叶面积均呈抛物线增长趋势, 1 倍营养液浓度处理株高最高, 4/3 倍浓度处理茎粗和叶面积最大; 番茄植株的干物质量随营养液浓度提高而增大, 根冠比随营养液浓度的提高而减小, 且二者均与营养液浓度有很好的二次曲线关系, 相关性均达到极显著水平; 根系特征参数均随营养液浓度升高呈先增大后减小的趋势, 且拟合关系较好, 其中以 1/3 倍浓度处理最小, 其它处理间均未达到差异显著性水平; 试验表明, 1 倍和 4/3 倍营养液浓度处理番茄植株的生长状况相比其它 2 个低浓度处理更好, 更有利于番茄植株营养生长期的生长发育。

关键词:珍珠岩; 番茄; 营养液浓度; 营养生长期

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)08-0010-05

营养液是指根据植物生长对养分的需求, 将肥料按一定的数量和适宜的比例溶解于水中配制而成的水溶液, 无土栽培主要通过营养液为植物提供养分^[1]。营养液的浓度调节是无土栽培的重要环节^[2]。植物在适宜的营养液浓度下, 能够正常生长发育。如果营养液的浓度不符合植物的养分需求特性, 不仅不能使养分有效发挥, 相反会造成营养浪费, 导致植物发生一些生理性障碍, 严重影响其产量和品质^[3-4]。有研究表明, 适宜浓度的营养液配方能促进作物的正常生长发育, 果实的产量和品质也较高, 而过高或过低的浓度均会对作物的生长发育不利^[5-6]。

番茄作为一种分布最广、消费最多的蔬菜, 是设施栽培的主要蔬菜种类之一。但其生育期较长, 且在不同生长时期对养分的需求差异较大^[7], 所以探索其在各生育阶段适宜的营养液浓度对实际生产有重要的意义。

珍珠岩是一种重要的基质, 已经广泛应用于无土栽培^[8]。由于其稳定性好, 具有能抗各种理化因子的作用, 故不易分解, 所含矿物成分不会对营养液产生

干扰^[9]。

因此, 该试验以番茄为试材, 采用珍珠岩基质进行栽培试验, 研究不同营养液浓度对番茄营养生长期(指苗期和开花坐果期)生长发育影响, 探索其生长规律, 以期番茄营养液基质栽培提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为“天硕 308”, 供试基质为珍珠岩, 栽培方式为桶栽。试验用桶底部直径 25 cm, 顶部直径 30 cm, 高 30 cm, 每桶装珍珠岩 15 L。7 月 24 日育苗, 8 月 28 日移栽, 此时幼苗具 5~6 片叶, 每桶定植 1 株, 于定植后 42 d 采收。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 7—10 月在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室日光温室内进行, 该地区多年平均气温 12.5℃, 年均降水量 632 mm, 年均蒸发量 1 500 mm。该试验以山东农业大学番茄专用配方为基础, 设 4 个营养液浓度处理, 分别为标准配方浓度的 1/3、2/3、1、4/3 倍, 每处理 10 次重复。山东农业大学番茄专用配方标准营养液配方中大量元素的质量浓度为: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 910 mg/L、 KNO_3 238 mg/L、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 500 mg/L、 KH_2PO_4 185 mg/L。各处理下的微量元素浓度均采用通用配方: $\text{EDTA} \cdot \text{Na}_2\text{Fe}$ 20 mg/L、 H_3BO_3 2.86 mg/L、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2.13 mg/L、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

第一作者简介:柳美玉(1986-), 女, 硕士, 现主要从事农业节水理论等研究工作。E-mail: donggangmeiyu@163.com.

责任作者:曹红霞(1971-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事节水灌溉理论与技术等研究工作。E-mail: chx662002@163.com.

基金项目:国家“863”资助项目(2013AA103004)。

收稿日期:2015-01-22

0.22 mg/L、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.08 mg/L、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.02 mg/L。

以浇灌的方式供液,从定植开始处理,第一次浇施时用相应浓度营养液 2.68 L(约为测定珍珠岩田间持水率的 50%),此后营养液浇灌频率约为 2 d 浇 1 次,每株每次约 200 mL,并在温度较高时及时补充水分。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标 主要包括株高、茎粗、叶面积。用钢直尺或卷尺测量番茄株高(根基到生长点);用游标卡尺量取番茄第 2~3 片叶间茎粗,用十字交叉法分别测量后取平均值;采用打孔测定法测定番茄植株的单株叶面积;重复 3 次。

1.3.2 干物质量 营养生长期结束时随机取样 3 株,取样后将根、茎、叶在 105℃ 下杀青 30 min,然后在 85℃ 干燥箱中烘干至恒重,最后用电子天平测量(精确度为 0.01 g)各部分的干物质量。

1.3.3 根系特征参数 营养生长期结束时随机取样 3 株,取根后,清水冲洗,去除杂物。采用 EPSON Perfection V700 进行根系扫描,并利用 WinRHIZO Pro 软件进行分析,得到相应的根长度、根表面积、根总体积等各项特

征参数。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 和 DPS 数据处理软件进行统计分析,方差分析采用最小显著差异法(LSD)进行,采用 Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 营养液浓度对番茄生长指标的影响

生长指标是反映植株生长状况的重要指标,适宜的株高、茎粗、叶面积有利于植株形态的改善,可以促使冠层更合理的分布。由表 1 可知,不同营养液浓度对番茄株高、茎粗、叶面积的影响不同。番茄植株在定植初期,长势基本一致,随着生育进程的发展,各处理的株高、茎粗、叶面积均呈增大的趋势,至营养生长期末,株高以 1 倍浓度处理最高,达到 58.62 cm,与 4/3 倍的浓度处理差异不显著,但分别显著高于 1/3 倍和 2/3 倍的浓度处理 35.60%和 12.90%。不同处理间番茄株高的日增长量差异明显,大小顺序为:1 倍>4/3 倍>2/3 倍>1/3 倍。营养生长期番茄株高平均日增长量由低浓度到高浓度分别为 0.71、0.93、1.09、1.05 cm/d。

表 1

营养液浓度对番茄植株生长指标的影响

Table 1 Effect of nutrient concentrations on the morphological growth indexes of tomato

处理 Treatment	株高 Plant height		茎粗 Stem diameter		叶面积 Leaf area	
	实测值	日增长量	实测值	日增长量	实测值	日增长量
	Measured value/cm	Increment per day/(cm · d ⁻¹)	Measured value/mm	Increment per day/(mm · d ⁻¹)	Measured value/cm ²	Increment per day/(cm ² · d ⁻¹)
1/3 倍	43.23c	0.71c	6.08c	0.06b	883.52d	21.04d
2/3 倍	51.92b	0.93b	6.57b	0.08b	1 457.68c	34.71c
1 倍	58.62a	1.09a	7.23a	0.09a	2 328.83b	55.45b
4/3 倍	56.83a	1.05a	7.37a	0.10a	2 598.84a	61.88a

注:同列小写英文字母表示处理间在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著。下同。

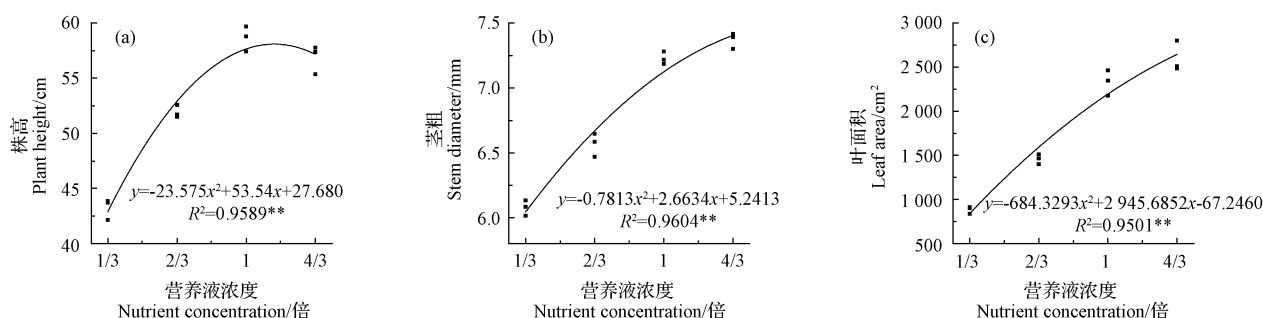
Note: The different lowercase letters in the same row show significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below.

番茄植株茎粗随营养液浓度增大呈增大的趋势,4/3 倍浓度处理茎粗最粗,与 1 倍浓度处理无显著差异,但显著大于其它处理。营养生长期末,4/3 倍浓度处理茎粗为 7.37 mm,分别比 1/3 倍和 2/3 倍处理显著粗 21.22%、12.18%。不同处理间番茄茎粗的日增长量也有差异,大小顺序为:4/3 倍>1 倍>2/3 倍>1/3 倍,平均日增长量由低浓度到高浓度分别为 0.06、0.08、0.09、0.10 mm/d。

不同的营养液浓度处理对番茄植株叶面积也有显著影响。由表 1 可以看出,随着营养液浓度的升高,番茄植株的叶面积呈不断增大的趋势,4/3 倍浓度处理叶面积最大,为 2 598.84 cm²,是最小的 1/3 倍浓度处理的 2.94 倍,分别比 2/3 倍和 1 倍浓度处理高 78.29%、11.59%。不同处理间番茄植株叶面积的日增长量差异显著,大小顺序为:4/3 倍>1 倍>2/3 倍>1/3 倍,平均日增长量由低浓度到高浓度分别为 21.04、34.71、55.45、

61.88 cm²/d。

由图 1 营养液浓度与番茄各生长指标的回归关系可以看出,番茄植株的株高、茎粗、叶面积与营养液浓度均呈较好的二次曲线关系,且相关性均达到极显著水平,可用一元二次方程 $Y = Ax^2 + Bx + C$ 来描述,对方程求一阶导数可得相应指标随营养液浓度的升高而增加的生长量,进一步可求得理论最大株高、茎粗、叶面积出现时的营养液浓度。营养生长期番茄植株理论最大株高、茎粗、叶面积出现时对应的营养液浓度分别为标准营养液浓度的 1.14、1.70、2.15 倍。以上结果说明,适当提高营养液的浓度,有利于植株的生长发育和光合面积的增加,低浓度营养液处理的植株生长缓慢,长势较弱、植株矮小、叶片数少,且随着营养液浓度的提高,植株增长量逐渐增大,当营养液浓度达到一定程度后,单位浓度营养液所能提高的增长量则越来越小,甚至会产生抑制作用,这与王瑞^[10]和姚发展等^[11]的研究结果一致。



注: ** 表示相关性在 $\alpha=0.01$ 水平差异显著;下同。

Note: ** means significant difference at the 0.01 level. The same as below.

图 1 营养液浓度与番茄生长指标的二次曲线关系

Fig. 1 Regression equations between nutrient concentrations and morphological growth indexes of tomato

2.2 营养液浓度对番茄干物质积累及根冠比的影响

营养生长期干物质的累积是产量形成的基础。由表 2 可知,随着营养液浓度的增大,番茄植株各器官的干物质质量均呈增大的趋势。4/3 倍浓度处理的叶和茎干物质质量均最大,且与 1 倍浓度处理差异不显著,但与其它处理之间达到了差异显著性水平。1/3 倍和 2/3 倍浓度处理下的叶、茎干物质质量分别占 4/3 倍浓度处理的 34.07%、55.31%和 44.98%、63.44%。根系干质量除 1/3 倍浓度处理较低,其它处理间差异不明显。番茄植株叶的干物质分配系数随营养液浓度的增大而增大,茎所占比例各处理间无显著差异,根系所占比例则随营养液浓度的增大而减小。由此可知,植株向地上部分的累积量随营养液浓度的升高越来越大,主要是向叶片的分配比例逐渐增大,这与番茄植株叶面积和叶干物质随营养液浓度变化的规律一致。由图 2(a)可知,番茄植株的干物质累积总量与营养液浓度有很好的二次拟合关系, R^2 为 0.9348,且达到极显著水平,进一步可以求出理论干物质累积量的最大值为 26.92 g,所对应的营养液浓度为标准浓度的 1.89 倍。

从表 2 可以看出,番茄植株的根冠比随营养液浓度的增大是逐渐减小的,以 1/3 倍浓度处理最大,1 倍和 4/3 倍营养液处理的根冠比均较小。在较低的营养液浓度

处理下,由于养分亏缺,不能满足番茄植株正常的生长需要,进而促进了根系的生长发育,增强其吸收养分和水分的能力,并抑制了地上部分的生长,所以根冠比较大,而茎、叶的发育不良又抑制了根系的生长,所以根系干物质累积较少;适宜的营养液浓度不仅满足了根系对养分的吸收,且有利于植株叶、茎、根的协调发展,促进番茄植株干物质质量的合理分配,所以根冠比较小。从图 2(b)可以看出,番茄植株营养生长期末的根冠比与营养液浓度呈二次曲线关系, R^2 为 0.8634,达到极显著水平。由二次方程求导可知理论根冠比最大值为 0.12,所对应的营养液浓度为标准浓度的 1.49 倍。

表 2 营养液浓度对番茄植株干物质质量和根冠比的影响

Table 2 Effect of nutrient concentrations on the dry weights and root shoot ratio of tomato

处理 Treatment	器官干物质 Dry matter weight of organs/g			分配系数 Dry matter partitioning index			根冠比 Root/shoot ratio
	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root	
1/3 倍	3.56c	5.02c	2.00b	0.34c	0.47a	0.19a	0.23a
2/3 倍	5.78b	7.08b	2.38ab	0.38b	0.46a	0.16b	0.19b
1 倍	9.50a	10.60a	2.66a	0.42a	0.46a	0.12c	0.13c
4/3 倍	10.45a	11.16a	2.72a	0.43a	0.46a	0.11c	0.13c

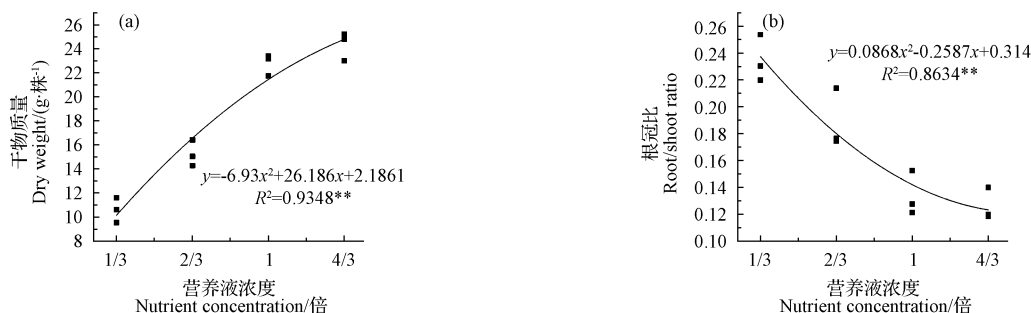


图 2 营养液浓度与番茄干物质质量和根冠比的回归关系

Fig. 2 Regression equations between nutrient concentrations and dry weights, root shoot ratios of tomato

2.3 营养液浓度对番茄根系特征参数的影响

根系是植物吸收水分和养分的重要器官。从表 3 可以看出,不同营养液浓度处理对番茄根系特征参数也有一定的影响,随着营养液浓度的增大,根系长度、根表面积、根总体积均呈先增大后减小的趋势,1/3 倍浓度处理最小,其它处理间差异较小,未达到显著性水平,但均

以 1 倍浓度处理最大,4/3 倍浓度处理有所降低。营养生长期不同处理间番茄植株根系特征参数的日增长量也有差异,根长度和根表面积の日增长量随营养液浓度变化规律一致,大小顺序为:1 倍>2/3 倍>4/3 倍>1/3 倍,而根体积の日增长量的大小顺序为:1 倍>4/3 倍>2/3 倍>1/3 倍。

表 3 营养液浓度对番茄根系特征参数的影响
Table 3 Effect of nutrient concentrations on the root characteristic parameters of tomato

处理 Treatment	根系长度 Root length		根表面积 Root surface area		根总体积 Root volume	
	实测值	日增长量	实测值	日增长量	实测值	日增长量
	Measured value/cm	Increment per day/(cm · d ⁻¹)	Measured value/cm ²	Increment per day/(cm ² · d ⁻¹)	Measured value/cm ³	Increment per day/(cm ³ · d ⁻¹)
1/3 倍	10 911.45b	259.80b	1 513.17b	36.03b	16.85b	0.40b
2/3 倍	14 381.44a	342.42a	1 945.42a	46.32a	21.12ab	0.50ab
1 倍	14 497.42a	345.18a	2 029.00a	48.31a	22.80a	0.54a
4/3 倍	13 322.11ab	317.19ab	1 916.03a	45.62a	22.08a	0.53a

番茄根系特征参数与营养液浓度的关系可由回归方程 $Y = Ax^2 + Bx + C$ 来描述,由表 4 可以看出,其相关性均达到极显著水平。对方程进一步求导可以得到理论最大根系特征参数出现所对应的浓度。根长度、根表

面积和根总体积出现的最大值分别为 14 856.42 cm²、2 051.91 cm² 和 22.88 cm³,与 1 倍浓度处理结果最接近,所对应的营养液浓度分别为标准浓度的 0.94、0.99 和 1.07 倍。

表 4 营养液浓度与番茄植株根系指标的回归关系
Table 4 Regression equations of nutrient concentrations on the root characteristic parameters of tomato

根系特征参数 Root characteristic parameters	回归方程 Regression equation	R ²	理论最大值 Maximum theoretical value	营养液浓度 Nutrient concentration/倍
根长度 Root length/cm	$Y = -10\,451.92x^2 + 19\,722.129x + 5\,552.9345$	0.7807 * *	14 856.42	0.94
根表面积 Root surface area/cm ²	$Y = -1\,226.728x^2 + 2\,432.1941x + 846.3516$	0.8317 * *	2 051.91	0.99
根总体积 Root volume/cm ³	$Y = -11.23x^2 + 23.927x + 10.134$	0.8134 * *	22.88	1.07

3 讨论与结论

该试验研究结果表明,在珍珠岩基质栽培条件下,不同营养液浓度处理对番茄营养生长期的生长发育有显著影响。

植物的株高、茎粗和叶面积均是反映植物生长状况的重要指标。相关研究报道^[12-14],适当提高营养液浓度有利于植株的生长发育,茎秆粗壮、生物量累积较多,而低浓度营养液处理的植株由于养分供应不足,长势较弱,植株矮小,生物量累积较少。试验表明,番茄植株株高随营养液浓度的增大先增大后减小,而茎粗和叶面积均随营养液浓度增大而增大,三者与营养液浓度均呈抛物线增长的关系,且相关性达到极显著水平。

范双喜^[15]通过研究不同营养液浓度对水培莴苣生长特性的影响表明,植株的根冠比是随营养液浓度的升高而减小的。在该试验中,番茄植株的干物质量和地上部分分配比例均随营养液浓度增大呈增大的趋势,而根系分配系数和根冠比均呈减小的趋势,且番茄植株的干物质量、根冠比与营养液浓度有较好二次曲线关系,相关性达到极显著水平,R² 分别为 0.9348 和 0.8634,与 Rouphael 等^[16]研究结果相似。由以上可知,在番茄的营养生长期适当增大营养液浓度,不仅促进了根系的生长,也有利于干物质的累积,且促进了干物质在植株各

组织器官的合理分配和协调发展。

根系特征参数随着营养液浓度的增大呈先增大后减小的趋势,且经优化回归分析,根长度、根表面积、根总体积与营养液浓度均呈抛物线增长的关系。这说明适当增大营养液浓度促进了根系的生长,增加了根系吸收表面积,有利于养分和水分的吸收,而较高的营养液浓度在提供了充足养分的同时,也可能对根系的生长产生了轻微的胁迫作用,这与孙丽等^[17]研究结果一致。

植物的营养生长是生殖生长的基础,营养生长旺盛,叶面积大,果实才能发育得好、产量高^[18]。在该研究中,营养生长期番茄植株理论最大株高、茎粗、叶面积对应的营养液浓度分别为标准营养液浓度的 1.14、1.70、2.15 倍;理论干物质累积量的最大值所对应的营养液浓度为标准浓度的 1.89 倍;根长度、根表面积和根总体积出现的最大值所对应的营养液浓度分别为标准浓度的 0.94、0.99、1.07 倍。由以上可知,番茄植株不同生长指标达到最优时所需要的营养液浓度不同,所以在选择营养液浓度时应综合考虑。从该试验的研究结果可知,1 倍和 4/3 倍营养液浓度处理的番茄植株生长状况比其它 2 个低浓度处理更好,各生长指标更接近于理论最大值,有利于番茄营养生长期的生长发育,但二者对番茄生殖生长及产量的影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王振龙. 无土栽培教程[M]. 北京:中国农业大学出版社,2008:18.
- [2] 张莉. 日光温室生菜 NFT 栽培设施改进和营养液配方研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.
- [3] 别之龙,徐加林,杨小峰. 营养液浓度对水培生菜生长和硝酸盐积累的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(2):109-112.
- [4] 樊怀福,杜长霞,朱祝军. 调节营养液电导率对卡罗番茄果实品质和产量的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(4):102-105,193.
- [5] 李邵,薛绪掌,齐飞,等. 不同营养液浓度对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(6):1409-1416.
- [6] 牛佳,程智慧. 现蕾期营养液浓度对基质栽培非洲菊生长和养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2013,41(1):130-136.
- [7] 杨旭,邹志荣,贺忠群,等. 蔬菜无土栽培营养液中的氮素及其调控[J]. 西北植物学报,2003,23(9):1644-1649.
- [8] Son J E, Cho Y Y. Adequate moisture content of perlite substrate based on growth and irrigation efficiency in recycled soilless culture of tomato plants [J]. Journal of the Korea Journal Society for Horticultural Science, 2005(2): 93-97.
- [9] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:152.
- [10] 王瑞. 不同浓度营养液对水培莴苣的影响[J]. 黑龙江农业科学,2012(5):83-84.
- [11] 姚发展,马万敏,圣冬冬,等. 不同浓度营养液对温室黄瓜生长发育的影响[J]. 安徽农业科学,2014,42(19):6181-6183.
- [12] 吕炯璋,桑鹏图,李灵芝,等. 不同营养液配方与浓度对番茄幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报,2010,30(2):112-116.
- [13] 张钰,郭世荣,孙锦. 营养液浓度和用量对醋糟基质栽培番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2013(3):87-91.
- [14] 任瑞珍,武占会,陈海丽,等. 无基质营养液育苗的营养液浓度对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 中国蔬菜,2012(20):49-55.
- [15] 范双喜. 不同营养液浓度对莴苣生长特性的影响[J]. 园艺学报,2003,30(2):152-156.
- [16] Roupheal Y, Cardarelli M, Lucini L, et al. Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of *Artichoke* and *Cardoon* [J]. Hort Science, 2012, 47(10):1424-1429.
- [17] 孙丽,刘振威,赵润洲,等. NAA、IBA 处理及不同营养液配方对水培常春藤的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(4):359-362.
- [18] 章镇,王秀峰. 园艺学总论[M]. 北京:中国农业出版社,2003:81.

Effect of Different Nutrient Concentrations on Vegetative Growth of Tomato Growing in Perlite Substrate

LIU Mei-yu¹, CAO Hong-xia¹, DU Zhen-q², YANG Hui¹, DU Ya-dan¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agricultural and Forestry University, Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Area of Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Hydropower Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048)

Abstract: Taking tomato seedlings that were planted in perlite substrate as material. Nutrient solutions with concentrations of 1/3, 2/3, 1 and 4/3 folds were supplied to tomato plants. The effect of nutrient concentrations on growth index, dry matter accumulation and root system characteristics parameter were analyzed at the laboratory, combined with normal determination. To provide a reasonable nutrient concentration for vegetative growth stage of tomato. The results showed that the plant height, stem diameter, leaf area increased in a parabola trend with the concentration of nutrient solution enhanced. Plant heights was the highest in the treatment with 1 fold nutrient concentration. Those watered with 4/3 folds showed the highest stem diameters and leaf areas; dry matter weights increased in response to an increase in the nutrient concentration, whereas an opposite trend was observed for root shoot ratios. They were significantly affected by nutrient concentrations. The relationships between nutrient concentrations and dry matter weights, root shoot ratios were quadratic curves, respectively; root length, surface area and volume increased first and then decreased. They showed the lowest values in 1/3 fold treatment. There were no significant differences between the other three treatments. In conclusion, 1 and 4/3 folds were better for the vegetative growth of tomato plants.

Keywords: perlite substrate; tomato; nutrient concentration; vegetative growth stage