

光照强度和营养液浓度对水培生菜 产量和品质的影响

方舒玲, 胡笑涛, 王文娥, 李兴杰, 杨鑫, 王瑞

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以生菜为试材,在人工光环境条件下进行水培试验,在不同营养液浓度(山崎营养液配方 0.8、1.0、1.2 倍)和不同光照强度(80、130、180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)处理组合下,测定了收获期生菜的产量和维生素 C、硝酸盐、可溶性蛋白质以及可溶性糖等品质指标,研究了营养液浓度与光照强度处理组合对水培生菜产量和品质的影响。结果表明:1.0 倍营养液与 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度处理下生菜地上鲜质量最大、硝酸盐含量最低;1.2 倍营养液与 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度处理下生菜的可溶性糖含量最高;1.0 倍营养液与 130 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度处理下生菜的可溶性蛋白质、维生素 C 含量最高。综合考虑,1.0 倍营养液与 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度处理为水培生菜最佳处理。

关键词:水培生菜;光照强度;营养液浓度;产量;品质

中图分类号:S 636.204⁺.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0097-06

水培法可以通过控制外界因素以及营养液环境使蔬菜处于生长发育所需的最佳环境,是实现农作物周年连续生产的高效农业方法之一,具有省水、省肥、省工,减少病虫害等优势^[1],已成为国内外园艺发展的一项重要技术^[2]。生菜(*Lactuca sativa* L. var. *ramosa* Hort.)属菊科莴苣属一年生植物,又名叶用莴苣,营养价值极高,含有丰富的膳食纤维和维生素 C,具有消除多余脂肪的功效,茎叶中含有莴苣素,具有镇痛催眠、降低胆固醇等功效。与土培相比,采用营养液调控措施能有效的提高和改进生菜产量和品质^[3]。李邵等^[4]

研究表明黄瓜地上干质量和产量与营养液的浓度呈显著正相关,通过提高前期及降低后期营养液浓度提高黄瓜的品质。陈永华等^[5]研究发现降低营养液浓度,水培植物的新生叶数先增加后降低,其中 1/2 园试标准营养液最适合其生长。有研究表明^[6-7],低浓度营养液导致蔬菜生长不良,品质也有所下降,高浓度营养液蔬菜硝酸盐含量过高,品质下降且增大生产成本,对营养液浓度的调控显得至关重要;且增大光照强度可降低生菜硝酸盐含量,增加可溶性糖及维生素 C 含量^[8],在一定范围内降低光照强度,生菜有机化合物浓度及产量均降低,硝酸盐含量上升^[9]。种培芳等^[10]研究表明在低光照强度下,光合速率随光照强度增加而增大,超过一定强度时则会发生光抑制,光合速率下降。但关于营养液浓度和光照强度对水培生菜产量和品质的影响研究较少。该试验以生菜为试材,研究水培条件下营养液浓度和光照强度组合对生菜产量和品质的影响,以筛选适合生菜生产的最佳组合,旨在为植物工厂生产节能降耗提供数据支撑。

第一作者简介:方舒玲(1992-),女,硕士研究生,研究方向为农业节水理论与技术。E-mail:fangsl19920820@163.com.

责任作者:胡笑涛(1972-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事节水灌溉理论与技术等研究工作。E-mail:huxiaotaol1@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:国家“863”计划课题资助项目(2013AA103004)。

收稿日期:2017-02-27

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试香港“玻璃脆”散叶生菜(*Lactuca sativa* L. var. *ramosa* Hort.)种子为市售。供试山崎营养液配方^[11]为基础营养液,其大量元素配方见表1,微量元素配方见表2。

表1 山崎配方大量元素配方

Table 1	Yamazaki formula				mg · L ⁻¹
盐类 Salt	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	KNO ₃	MgSO ₄ · 7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	
浓度	236	404	123	57	
Concentration					

表2 营养液微量元素通用配方

Table 2	General formula of trace element		mg · L ⁻¹
化合物	化合物含量	元素含量	
Compound	Compound content	Element content	
EDTA-NaFe(含铁 14%)	30.00	5.60	
H ₃ BO ₃	2.86	0.50	
MnSO ₄ · 4H ₂ O	2.13	0.50	
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.22	0.05	
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.08	0.02	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.02	0.01	

1.2 试验方法

试验于2016年3—5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人工光植物工厂中进行,光照时间为12 h · d⁻¹,昼夜温度为25℃/18℃。采用育苗移栽的方式,生菜长到三叶一心时,清水洗净根部后用海绵包裹定植于水培箱(28.5 cm × 23 cm × 15 cm)中,采用深液流栽培,每个水培箱中营养液为7 L,每箱种植3株,调节pH 5.5~6.5,生长中后期利用充气泵供氧。

设置0.8倍(A₁)、1.0倍(A₂)、1.2倍(A₃)3个营养液浓度,光照设置80(B₁)、130(B₂)、180 μmol · m⁻² · s⁻¹(B₃)3种光照强度,完全组合,共9个处理,每处理6次重复。40 d后收获。

表3 光照强度和营养液浓度及交互作用对水培生菜产量的方差分析

Table 3	Variance analysis of light intensity concentration and nutrient solution concentration and interaction on lettuce yield			
因素	地上鲜质量	根鲜质量	地上干质量	根干质量
Factor	Shoot fresh mass	Root fresh mass	Shoot dry mass	Root dry mass
光照强度 Light intensity	*	*	**	**
营养液浓度 Nutrition solution concentration	NS	NS	**	NS
光照强度×营养液浓度 Light intensity×Nutrition solution concentration	*	*	NS	NS

注:NS、*、**分别表示不同因素对产量差异影响不显著、达到0.05的显著性水平、0.01的极显著性水平。下同。

Note: NS, *, ** mean non-significant or significant at 0.05 or 0.01 level, respectively. The same below.

1.3 项目测定

生菜地上部和地下部鲜质量采用0.01 g精确度的电子天平称量,干质量采用0.001 g精确度的电子天平称量。pH采用FE20K pH计测定。硝酸盐含量采用比色法测定^[12];可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[12];可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝-G250染色法测定^[12];维生素C含量用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[13]。

1.4 数据分析

采用SPSS 20.0软件对试验数据进行分析,不同水平间差异采用LSD法比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对生菜产量的影响

由表3可以看出,营养液浓度对地上、下鲜质量影响均不显著,但对生菜干物质的积累有影响。由表4可知,相同营养液浓度下,光照强度越大的地上鲜质量越大。130 μmol · m⁻² · s⁻¹光照强度下A₁B₃、A₂B₃、A₃B₃处理地上鲜质量最大,分别为60.78、102.82、80.02 g。地上部干质量、根干鲜质量与地上部鲜质量变化趋势相同;营养液浓度对生菜地上部干质量影响显著,相同光照强度下,1.0倍营养液浓度下A₂B₁、A₂B₂、A₂B₃处理地上部干质量较大,分别为2.57、4.10、4.57 g。说明通过适当调控营养液浓度、光照强度可以有效提高生菜产量。同时发现随着光照的加强或营养液浓度的增加,生菜叶片宽阔、茎粗且挺直。

2.2 不同处理对生菜品质的影响

2.2.1 硝酸盐含量

过量的硝酸盐在人体中可诱发癌症^[14-15]。人体摄入的硝酸盐60%~80%来自于蔬菜^[16]。生菜又是一种喜硝作物^[17],容易累积硝酸盐。由表5可知,光照强度生菜硝酸盐含量影响显著,对但营

表 4 不同光照强度和营养液浓度组合对水培生菜产量的影响

Table 4 Effect of different light intensity and nutrient solution concentration on yield of hydroponic lettuce

处理 Treatments	地上鲜质量 Shoot fresh mass/g	根鲜质量 Root fresh mass/g	地上干质量 Shoot dry mass/g	根干质量 Root dry mass/g
A ₁ B ₁	46.53±5.52cde	4.43±0.48cd	1.85±0.25d	0.19±0.02cd
A ₁ B ₂	55.31±6.06cde	5.07±0.62cd	3.16±0.19bc	0.21±0.03bd
A ₁ B ₃	60.78±9.26bd	7.12±0.11b	3.35±0.34bc	0.42±0.04a
A ₂ B ₁	43.10±10.62de	3.44±0.87d	2.57±0.03cd	0.16±0.05d
A ₂ B ₂	65.53±9.05bc	4.81±0.66cd	4.10±0.71ab	0.31±0.04bc
A ₂ B ₃	102.82±1.13a	10.09±0.30a	4.57±0.04a	0.52±0.02a
A ₃ B ₁	37.97±2.69e	3.51±0.62d	1.82±0.21d	0.18±0.04cd
A ₃ B ₂	62.10±6.06bd	5.90±0.63bc	3.49±0.17bc	0.28±0.02bc
A ₃ B ₃	80.02±2.78b	9.15±0.09a	3.40±0.63bc	0.45±0.03a

注:不同字母表示处理间差异达到 0.05 的显著水平。下同。
Note; Different letters mean significant different at 0.05 level. The same below.

养液对硝酸盐含量的影响不显著。由表 6 可知,随着光照强度的增大,硝酸盐含量有显著降低的趋势。A₁B₁、A₂B₁、A₃B₁ 处理下生菜硝酸盐含量分别为 2 907.52、2 604.05、2 983.07 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。增大光照强度,硝酸盐含量大幅度降低,当营养液浓度为 0.8 倍时,增大光照强度硝酸盐含量分别降至 1 229.31、1 126.71 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;1.0 倍时,分别降至

1 813.31、602.52 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;1.2 倍时,分别降至 1 103.64、1 499.14 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。说明增大光照强度提高了硝酸还原酶的活性,促进了硝酸盐在生菜体内的转化,从而降低硝酸盐含量^[18]。由表 6、7 可知,A₂B₃ 处理下生菜的硝酸盐含量最低,为 602.52 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,而 A₁B₃ 处理下生菜硝酸盐含量最高,为 2 983.07 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

表 5 光照强度和营养液浓度及交互作用对水培生菜品质的方差分析

Table 5 Variance analysis of lettuce quality by light intensity and nutrient solution concentration and interaction

因素 Factor	硝酸盐含量 Nitrate content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	维生素 C 含量 Vitamin C content
光照强度 Light intensity	*	*	**	*
营养液浓度 Nutrition solution concentration	NS	**	NS	NS
光照强度×营养液浓度 Light intensity×Nutrition solution concentration	**	*	NS	**

表 6 不同光照强度和营养液浓度组合对水培生菜品质的影响

Table 6 Effect of different light intensity and nutrient solution concentration on quality of hydroponic lettuce

处理 Treatments	硝酸盐含量 Nitrate content/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性糖含量 Soluble sugar content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	维生素 C 含量 Vitamin C content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
A ₁ B ₁	2 907.52±4.18a	2.94±0.04e	0.94±0.57d	0.13±0.00cd
A ₁ B ₂	1 229.31±91.89c	6.17±0.22d	2.25±0.84d	0.14±0.03cd
A ₁ B ₃	1 126.71±153.23c	7.57±0.16d	2.52±0.55d	0.09±0.00d
A ₂ B ₁	2 604.05±215.61a	7.61±0.00d	10.42±0.18a	0.22±0.00b
A ₂ B ₂	1 813.31±38.32b	11.74±0.22c	10.88±0.64a	0.33±0.01a
A ₂ B ₃	602.52±98.73d	15.47±0.94b	10.24±0.22a	0.23±0.01b
A ₃ B ₁	2 983.07±35.63a	12.69±0.96c	5.88±0.15c	0.16±0.00c
A ₃ B ₂	1 103.64±224.89c	15.04±0.05b	6.44±0.92bc	0.27±0.01b
A ₃ B ₃	1 499.14±181.64bc	17.85±0.63a	7.96±0.54b	0.24±0.04b

2.2.2 可溶性糖含量

由表 5、6 可知,营养液浓度、光照强度与可溶性糖含量呈正相关,不同水平各处理对生菜可溶性糖含量影响均达到显著水平。同种营养液浓度

下,最大光照强度的可溶性糖含量最高,最大可溶性糖含量分别为 A₁B₃ (7.57 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、A₂B₃ (15.47 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、A₃B₃ (17.85 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。当光照强度一定时,最大营养液浓度的可溶性糖含量

最高,分别为 A_3B_1 ($12.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、 A_3B_2 ($15.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、 A_3B_3 ($17.85 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。表 6、7 可知, A_3B_3 处理的生菜可溶性糖含量最高,为 $17.85 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, A_1B_1 处理比 A_3B_3 处理明显低 $14.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。增大营养液浓度比增强光照强度更有助于生菜可溶性糖含量的上升,说明营养液浓度对可溶性糖含量高低占主导地位。

2.2.3 可溶性蛋白质含量

由表 5 可知,光照强度对生菜可溶性蛋白质浓度的影响达到极显著水平,其它处理间差异性均不显著。由表 6 可以看出,可溶性蛋白质浓度随光照强度的增加有上升的趋势但上升幅度很小;增大营养液浓度,生菜可溶性蛋白质浓度先大幅度增加而后下降,这说明适当增大营养液浓度比增大光照强度更有利于生菜可溶性蛋白质含量的增加。可能是由于增强了氨酰-tRNA 合成酶和

多肽合成酶的活性,从而能促进核酸和蛋白质合成^[19]。由表 6、7 可知, A_2B_2 处理下的生菜可溶性蛋白质含量最高,为 $10.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, A_1B_1 处理的生菜可溶性糖含量最低,二者相差 $9.94 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.2.4 维生素 C 含量

由表 5 可知,光照强度对生菜维生素 C 的影响达到显著水平,营养液对生菜维生素 C 的影响不显著。由表 6、7 可知,生菜维生素 C 含量随光照强度增加呈先增大后减小的趋势, A_1B_2 、 A_2B_2 、 A_3B_2 处理下维生素 C 含量较高,分别 0.14 、 0.33 、 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。 A_2B_2 处理下的生菜维生素 C 含量最高,为 $0.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, A_1B_3 处理最低,为 $0.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。说明低营养液浓度高光照强度处理下会抑制维生素 C 的合成,适当的光照强度和营养液浓度下可以提高维生素 C 含量。

表 7 光照强度和营养液浓度及交互作用对水生菜品质的极差分析

Table 7 Analysis of the extent of leaf quality by interaction of light intensity and nutrient solution concentration

处理 Treatments	硝酸盐含量 Nitrate content			可溶性糖含量 Soluble sugar content			可溶性蛋白质含量 Soluble protein content			维生素 C 含量 Vitamin C content		
	最大值	最小值	极差	最大值	最小值	极差	最大值	最小值	极差	最大值	最小值	极差
	Max	Min	Range	Max	Min	Range	Max	Min	Range	Max	Min	Range
光照强度 Light intensity	2 831.55	1 076.12	1 755.42	15.19	5.56	9.63	10.52	1.90	8.61	0.26	0.12	0.14
营养液浓度 Nutrition solution concentration	1 861.95	1 673.29	188.66	13.63	7.75	5.88	6.91	5.75	1.16	0.24	0.17	0.08
光照强度×营养液浓度 Light intensity×Nutrition solution concentration	2 983.07	602.52	2 380.55	17.85	2.94	14.91	10.88	0.94	9.94	0.33	0.09	0.24

3 讨论与结论

该试验研究表明,适宜的营养液浓度和光照强度下生菜产量和品质均较好。刘文科等^[20]研究结果表明,0.5 倍营养液浓度处理下生菜地上部的产量最高,但是生菜品质不优;0.25 倍营养液浓度处理下生菜的硝酸盐含量最低但产量受到了抑制。不同的光照条件对植物有很大的影响,生菜受到的光照强度不同,其生长发育和结构特征也有很大的不同^[21]。弱光影响植物的正常生长,且会对其形状产生一定的影响^[22]。该试验与许国芳等^[23]、KITAYA 等^[24]、梁磊等^[25]研究结果相一致。该试验结果还表明,光照强度对生菜地上部的积累有着积极的作用,而营养液对生菜

地上部积累的影响是先增大后降低的趋势。1.0 倍营养液浓度与 $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度组合处理下生菜可获得最大产量。光照强度对生菜硝酸盐含量的影响在一定范围上呈负相关,营养液浓度与生菜硝酸盐含量呈正相关,在 1.0 倍营养液浓度与 $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度组合处理下生菜硝酸盐含量最低。光照强度和营养液浓度对生菜可溶性糖含量均有积极的影响,这可能是因为营养液浓度和光照强度增强糖转化酶的活力,从而使难溶的多糖转化为易于吸收的单糖,又或者是因为促进了还原性磷酸酮酰腺嘌呤二核苷酸(NADPH)和三磷酸腺苷(ATP)的形成,提高了糖合成的速度。在 1.2 倍营养液浓度与 $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度组合处理下生

菜可溶性糖含量最高。光照强度和营养液浓度对生菜可溶性蛋白质含量和维生素C含量的影响有相同的规律,均是先增大后减小,在1.0倍营养液浓度与 $130\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光照强度组合处理下均获得最大值。综合考虑光照强度和营养液浓度对生菜产量和品质的影响,选择1.0倍营养液浓度与 $180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光照强度组合处理为9种组合中水培生菜最佳配方。

参考文献

- [1] 刘士哲. 现代使用无土栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 18-20.
- [2] 李登超. 硒对菠菜、小白菜生长、养分吸收及抗氧化酶活性的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [3] 徐加林, 别之龙, 张盛林. 不同氮素形态配比对生菜生长、品质和保护酶活性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2005(3): 290-294.
- [4] 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(6): 1409-1416.
- [5] 陈永华, 吴晓芙, 张冬林, 等. 不同营养液浓度与配方对水培观赏植物的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2007(6): 34-37.
- [6] 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.
- [7] 周秋月. 设施弱光对生菜生长和硝酸盐累积的影响[D]. 镇江: 江苏大学, 2008.
- [8] 周晚来. 采收前短期连续光照降低水培生菜硝酸盐含量的效果研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [9] BLOM-ZANDSTRA M, LAMPE L E M. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities[J]. Journal of Experimental Botany, 1985, 36: 1043-1052.
- [10] 种培芳, 陈年来. 光照强度对园艺植物光合作用影响的研究进展[J]. 甘肃农业大学学报, 2008(5): 104-109.
- [11] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [14] 赵建荣, 秦改花. 不同氮素形态比对菠菜营养品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 1067-1070.
- [15] 赵建荣, 秦改花. 不同氮素形态比对菠菜硝酸盐、草酸含量的影响[J]. 北方园艺, 2008(9): 16-18.
- [16] ARAEB B A. 植物累积硝酸盐的农业生态因素[J]. 土壤学进展, 1992, 20(2): 20-24.
- [17] 王健, 孙兴祥, 沈其荣, 等. 增铍对菠菜生长及品质的影响[J]. 土壤通报, 2006(2): 2326-2329.
- [18] 袁丽红. 不同施氮水平对几种水培叶菜硝酸盐累积影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [19] 杨小锋. 氮磷钾营养供应对生菜生长和品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [20] 刘文科, 杨其长, 魏灵玲. 设施无土栽培叶菜中硝酸盐和维生素C的累积调控[C]//2011第二届中国寿光国际设施园艺高层学术论坛, 2011: 7.
- [21] 胡阳, 江莎, 李洁, 等. 光照强度和光质对植物生长发育的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2009(4): 296-303.
- [22] 战吉成, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. 植物学通报, 2003(1): 43-50.
- [23] 许国芳, 辛建华, 赵俊. 弱光对园艺作物生长发育影响的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2008(6): 163-166.
- [24] KITAYA Y, NIU G, KOZAI T, et al. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants[J]. Crop Production, 1998, 33(6): 988-991.
- [25] 梁磊, 何勇, 朱祝军. 不同光照强度对叶菜类观赏蔬菜生长的影响[J]. 北方园艺, 2010(24): 14-17.

Effects of Light Intensity and Nutrient Solution Concentration on Yield and Quality of Hydroponic Lettuce

FANG Shuling, HU Xiaotao, WANG Wen'e, LI Xingjie, YANG Xin, WANG Rui

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Hydroponic lettuce was used as material, hydroponic plant factory test, three gradients of nutrient solution concentration (0.8 times (A_1), 1.0 times (A_2), 1.2 times (A_3)) and light intensity (80 (B_1), 130 (B_2), $180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (B_3)) were set. Yield and the contents of vitamin C, nitrate, soluble protein and soluble sugar of lettuce at harvest time were measured to study the effects of different nutrient solution concentrations and light intensities on the yield and quality of hydroponic

城市环境对不同形态大小油松苗木 生长和光合效能的影响

兰 欣¹, 刘 洋¹, 张 宇², 魏红旭³

(1. 北京市西山试验林场, 北京 100093; 2. 北京市十三陵林场, 北京 102200;
3. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘 要:城市化的快速发展需要大量苗木满足绿化需求,但是不同育苗处理后的绿化苗木在城市环境中的生长表现仍比较模糊。现以油松(*Pinus tabulaeformis*)实生苗为试材,采用不同光周期培育的方法,研究了光周期处理对苗木移栽城市环境后的生长和光合效能的影响,以期为适合城市环境的苗木培育方法提供参考。结果表明:与郊区环境相比,城市环境促进了苗木地上部分的生长却抑制了根系的伸长;移栽至城市环境中苗木的净光合速率为负值并显著低于郊区,但是气孔导度和蒸腾速率却较高;育苗期间的补光处理并未与苗木移栽位置之间产生任何交互作用,补光处理也未影响苗木的净光合速率和胞间 CO₂ 浓度,却提高了气孔导度和蒸腾速率。该研究表明,城市环境导致新栽苗木处于高消耗状态,育苗期间的补光处理并不能改变苗木在城市环境中的生长状况。

关键词:城乡差异;城市森林;光合产物;苗木质量;延长光周期

中图分类号:S 728 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0102-06

城市化是社会经济发展的必然要求,正在全球范围内快速推进。预计至 2030 年全球城市土地利用将增加 250%,占地面积将达到 110 万 km²[1]。我国是未来全球城市化扩张的热

点国家地区之一[2]。1978 年我国城市化率仅为 17.92%,而到 2011 年已达 51.27%,并且预计到 2020 年将增加至 65%左右。快速的城市化建设需要大量的移栽树木来满足绿化需求,但是目前有关移栽苗木的培育大多以适应自然移栽环境为目标[3-4],难以满足城市绿化的科学要求,许多地区甚至依靠“大树进城”等饮鸩止渴的方法来满足快速城市绿化发展。

快速的城市化导致温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)和空气污染物(O₃ 气体、NO_x 气体、NO₃⁻、NH₄⁺)排放量的增加以及热岛效应的增强,这些环境因子不仅驱动着全球气候的变化[5],也改变

第一作者简介:兰欣(1983-),男,本科,工程师,研究方向为城市园林绿化。E-mail:86292725@qq.com.

责任作者:魏红旭(1983-),男,博士,助理研究员,研究方向为城市森林与苗木生理生态学。E-mail:weihongxu@iga.ac.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31600496);“十三五”国家重点研发计划资助项目(2016YFC0500300)。

收稿日期:2017-02-07

lettuce. The results showed that the largest ground fresh weight was A₂B₃, the lowest nitrate content of lettuce was A₂B₃, the highest content of soluble sugar was A₃B₃, soluble protein and vitamin C content in A₂B₂ treatment were the highest. Comprehensive consideration, A₂B₃ treatment was the best combination of hydroponic lettuce.

Keywords: hydroponic lettuce; light intensity; nutrient solution concentration; yield; quality