

## LED 灯光照条件下营养液浓度对生菜生长的影响

齐敬伟<sup>1</sup>, 武占会<sup>2,3</sup>, 刘明池<sup>2,3</sup>, 季延海<sup>2,3</sup>, 李青云<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071000; 2. 北京市农林科学院 蔬菜研究中心, 北京 100097;

3. 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097)

**摘 要:**以奶油生菜为试材,在 LED 灯光照条件下水培生菜,研究了不同营养液浓度(日本山崎生菜配方的 EC 值 0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8 mS/cm)对生菜生长的影响。结果表明:1.0 mS/cm 和 1.2 mS/cm 营养液浓度处理下奶油生菜地上部鲜重和干重、根鲜重和干重、叶片长度及叶片数最大,而 1.8 mS/cm 处理上述指标最小。生菜体内的硝酸盐积累量随着营养液浓度的提高而增加。综合分析,EC 值在 1.0~1.2 mS/cm 水培生菜效果最佳。

**关键词:**LED;营养液浓度;生菜;生长**中图分类号:**S 636.906<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)18-0067-04

光环境是植物生长发育不可缺少的重要环境因素之一,当前国内外的封闭式植物工厂内蔬菜栽培多采用荧光灯作为光源,发热量大<sup>[1-3]</sup>,为防止烤苗,立体栽培层间间距大,空间利用率低。作为第四代新型照明光源,LED 区别于荧光灯和太阳辐射,具有更高的光能利用率<sup>[4]</sup>和光合速率<sup>[5]</sup>,更稳定的光谱组成<sup>[6]</sup>,系统发热少,占用空间小,可用于多层栽培、立体组合系统等特点<sup>[7]</sup>,逐渐成为封闭式植物工厂内节能环保光源的首选。植物工厂栽培中营养液浓度管理与光源条件、植株生长状态有很大关系<sup>[8]</sup>,为探明 LED 光源下生菜水培中营养液浓度控制指标,现以奶油生菜为试材,研究了深液流水培中营养液浓度对生菜生长的影响,以期为促进我国植

物工厂技术的普及提供技术支撑。

## 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

供试生菜品种为国家蔬菜工程技术研究中心育成的奶油结球生菜类型品种“奶生一号”;营养液配方选用日本山崎生菜配方(表 1)及通用微量元素配方(表 2)。

**表 1 山崎生菜营养液标准单位配方**

物质 Chemicals	Standard unit of Yamazaki nutrient solution formula on lettuce mg/L			
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	KNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O
浓度 Concentration	236	404	57	123

**表 2****标准单位微量元素配方**

物质 Chemicals	Standard unit of trace element formulation mg/L					
	NaFeEDTA	HBO <sub>3</sub>	MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O
浓度 Concentration	30	2.86	2.13	0.22	0.08	0.02

**第一作者简介:**齐敬伟(1989-),女,硕士研究生,研究方向为园艺学。E-mail:qqijingwei@163.com.

**责任作者:**李青云(1969-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事园艺设施与蔬菜栽培生理等研究工作。E-mail:yylqy@hebau.edu.cn.

**基金项目:**国家“863”计划资助项目(2013AA103005-03);国家科技支撑计划资助项目(2014BAD05B05-04);北京市农林科学院设施蔬菜无土栽培科技创新团队建设资助项目(2013-2015);北京市农林科学院科技创新基金资助项目(CXJJ201306);农业部公益性行业科研专项资助项目(201303014-03)。

**收稿日期:**2015-05-28

## 1.2 试验方法

试验于 2014 年 5 月 15 日至 7 月 4 日在北京市农林科学院蔬菜研究中心实验室内进行。栽培方式为深液流水培循环系统(DFT);光照环境为 LED 光源(飞利浦 Green Power LED 生产模组深红/白 120 cm),光照强度 150 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>,光周期为 16 h 连续光照;温度条件为光期(16 h)22℃,暗期(8 h)16℃。试验将原配方浓度作为 1 S,测定 EC 值为 0.924 mS/cm,根据原配方的 EC 值调节试验设计浓度,设置 6 个不同浓度处理,分别为 0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8 mS/cm。每个处理用一个栽培系统,营养液单株占有量为 2.5 L,流量 4.5 L/min,

按频率 15 min/h 间歇式循环供液,每个处理定植生菜 15 株,3 次重复。

生菜种子浸种催芽后,播于预先湿润好的海绵块中,子叶展开后,采用 1 S 日本山崎生菜配方营养液水培育苗,四叶一心时,定植于 DFT 栽培床,培养 28 d 后采收。试验过程中每天进行 EC、pH 的测定,并及时调整。用  $H_2SO_4$  或 NaOH 调节营养液 pH 为 6.0~6.9,用 Mettler Toledo FE30 电导率仪测量营养液 EC 值,并根据营养液浓度剂量 S 与 EC 值之间的回归方程进行调整<sup>[9]</sup>,使其稳定在处理浓度。利用定时器控制 LED 灯,光照时间为 16 h(7:00—23:00)。利用空调控制空气温度,在照明期间为 22℃,暗期温度 16℃。

### 1.3 项目测定

形态指标:采收后选取一片中位叶测量叶片长度(叶片基部至叶尖的长度)、叶片宽度(叶片最宽处的长度),记录叶片数(真叶长度>2 cm)。用去离子水将生菜冲洗干净,吸干表面水分,分别测定地上部和地下部鲜重,然后 105℃ 杀青 20 min,75℃ 烘干至恒重,测定地上部和地下部干重。

品质和生理生化指标:收获后测定生菜叶片中的维生素 C 含量、硝酸盐含量以及叶绿素含量。维生素 C 含量测定采用 2,6-二氯酚靛酚钠法<sup>[10]</sup>;硝酸盐含量测定采用 NY/1279-2007 标准;叶绿素含量测定采用 95% 乙醇浸提法。

植株无机氮成分:采收后的植株烘干后测定其无机全氮含量,采用 MACROCODER JM1000CN 分析仪,氮吸收量(g/株)=全氮含量(%)×植株干重(g/株)。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 软件进行处理,用 SPSS 17.0 软件进行统计方差分析,采用邓肯法进行显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同营养液浓度对生菜叶片生长的影响

从表 3 可以看出,采收时生菜的叶片长度随着营养液浓度的增加呈先增大后减小的趋势,1.0、1.2 mS/cm

处理的叶片长度分别为 21.92、21.34 cm,显著高于其它处理,其它处理间无显著差异。不同营养液浓度处理对生菜叶片宽度无显著影响。叶片数随营养液浓度的增加呈先增加后减小的变化规律,1.0、1.2 mS/cm 处理显著高于其它处理,其次为 0.8、1.4 mS/cm 处理,1.6、1.8 mS/cm 处理叶片数最少。

表 3 不同营养液浓度对生菜叶片生长的影响

Table 3 Effect of different levels of electrical conductivity(EC) of nutrient solution on growth of lettuce leaf

EC 值 EC value /(mS·cm <sup>-1</sup> )	叶片长度 Leaf length/cm	叶片宽度 Leaf width/cm	叶片数 Number of leaves
0.8	20.60±0.60 b	17.51±0.05 a	45.93±0.15 b
1.0	21.92±0.55 a	17.71±0.41 a	46.47±0.16 a
1.2	21.34±0.32 a	17.62±0.16 a	46.37±0.12 a
1.4	20.43±0.35 b	17.79±0.26 a	45.70±0.20 b
1.6	20.19±0.27 b	17.45±0.33 a	44.90±0.10 c
1.8	20.42±0.14 b	17.43±0.28 a	44.53±0.47 c

注:表中叶长和叶宽的数据为第 15 片叶的最大值。表中同列数据后不同小写字母表示差异显著(P=0.05),下同。

Note:The date of leaf length and width were maximum of the 15<sup>th</sup> leaf. Values followed by different letters in the same column show significant difference at P=0.05; the same follow.

### 2.2 不同营养液浓度对生菜生物量的影响

由表 4 可知,随着营养液浓度的升高,生菜生物量呈先升高后下降的变化规律,1.0 mS/cm 处理的生物量最大。地上部鲜重大小直接影响生菜的经济产量,是最重要的产量指标,在该试验中,1.0、1.2 mS/cm 处理的地上部鲜重最大,分别为 178.47、178.16 g/株,显著高于其它处理,其次是 1.4、0.8 mS/cm 处理,1.6、1.8 mS/cm 处理的地上部鲜重最小。地上部干重、根系鲜重和干重、全株鲜重和干重在不同营养液浓度处理中的表现与地上部鲜重基本相同,处理间大小顺序为 1.0 mS/cm>1.2 mS/cm>1.4 mS/cm、0.8 mS/cm>1.6 mS/cm>1.8 mS/cm,1.0、1.2 mS/cm 处理间差异不显著,0.8、1.4 mS/cm 处理间差异不显著,其它处理间均显著。

表 4 不同营养液浓度对生菜生物量的影响

Table 4 Effect of different levels of electrical conductivity(EC) of nutrient solution on biomass of lettuce

EC 值 EC value /(mS·cm <sup>-1</sup> )	鲜重 Fresh weight/(g·株 <sup>-1</sup> )			干重 Dry weight/(g·株 <sup>-1</sup> )		
	地上部 Shoot	根 Root	全株 Total	地上部 Shoot	根 Root	全株 Total
0.8	169.99±2.52 bc	18.15±0.33 b	188.14±2.85 b	8.72±0.04 b	0.82±0.01 b	9.54±0.05 b
1.0	178.47±1.49 a	19.56±0.23 a	198.04±1.72 a	9.15±0.02 a	0.92±0.05 a	10.07±0.07 a
1.2	178.16±2.45 a	19.35±0.16 a	197.52±2.61 a	9.14±0.01 a	0.91±0.03 a	10.05±0.04 a
1.4	171.43±1.85 b	18.05±0.72 b	189.48±2.52 b	8.76±0.14 b	0.84±0.01 b	9.60±0.15 b
1.6	166.05±1.70 c	16.67±0.06 c	182.72±1.76 c	8.35±0.09 c	0.74±0.01 c	9.09±0.10 c
1.8	161.23±3.68 d	15.53±0.52 d	176.76±4.15 d	8.16±0.05 d	0.71±0.01 c	8.87±0.06 d

### 2.3 不同营养液浓度对生菜品质的影响

从表 5 可以看出,不同营养液浓度对生菜硝酸盐含量的影响较大,叶片中的硝酸盐累积量随着营养液浓度的升高而增加,1.8 mS/cm 处理硝酸盐含量最高,为 4 451.20 mg/kg,显著高于 1.2、1.0 mS/cm 和 0.8 mS/cm 处理,与 1.6、1.4 mS/cm 处理间差异不显著;不同营养液浓度对生菜维生素 C 含量和叶绿素含量无显著影响。

表 5 不同营养液浓度对生菜品质的影响

Table 5 Effect of different levels of electrical conductivity(EC) of nutrient solution on quality of lettuce

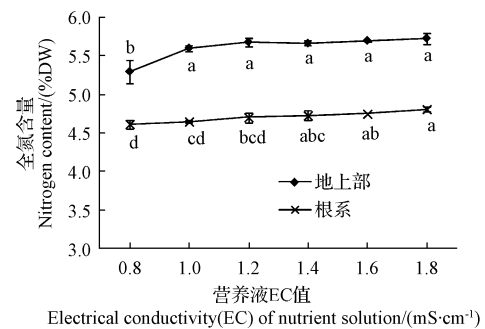
EC 值 EC value /(mS·cm <sup>-1</sup> )	维生素 C 含量 Vitamin C content /(mg·kg <sup>-1</sup> )	叶绿素含量 Chlorophyll content /(mg·株 <sup>-1</sup> )	硝酸盐含量 Nitrate content /(mg·kg <sup>-1</sup> )
0.8	101.02±12.07 a	92.05±2.09 a	4 047.40±12.35 b
1.0	114.95±0.00 a	87.58±4.84 a	4 086.14±304.36 b
1.2	114.95±0.00 a	89.84±6.74 a	4 159.98±21.07 b
1.4	107.98±12.07 a	84.43±4.66 a	4 249.17±55.34 ab
1.6	94.05±0.00 a	87.30±5.52 a	4 327.22±99.73 ab
1.8	94.05±20.90 a	81.21±7.90 a	4 451.20±158.52 a

### 2.4 不同营养液浓度对生菜全氮含量的影响

氮肥是植物生长过程中必不可少的一种肥料,一般植物特别是以叶(如生菜)和果实为产品器官的植物对氮肥的需求量很大<sup>[11]</sup>。从图 1 可以看出,营养液浓度对生菜全氮含量具有显著影响。随着营养液浓度的提高,地上部和根的全氮含量均有不同程度的增加,1.8 mS/cm 处理的全氮含量最高,0.8 mS/cm 处理的全氮含量最低,其它处理的含氮量居中。同处理地上部全氮含量均高于根系,这与范双喜等<sup>[12]</sup>研究结论一致。将不同营养液浓度处理的氮吸收量数据输入软件 SPSS,可以拟合出营养液 EC 值与氮吸收量的非线性回归关系(图 2),同时得到营养液浓度 EC 值( $x$ )与氮吸收量( $y$ )的回归方程为  $y = -0.201x^2 + 0.501x + 0.239$  ( $R = 0.834$ ,  $P < 0.01$ ),计算出回归方程的最高点是  $x, y(1.25, 0.55)$ ,即氮吸收量随着营养液浓度的升高呈现先增多后降低的变化规律,EC 值为 1.25 mS/cm 时,氮吸收量达到最大;营养液浓度继续升高,氮吸收量开始下降,这可能与高浓度营养液抑制了生菜的营养生长,继而阻碍生菜对矿质养分的吸收和积累有关。

### 3 讨论

该试验结果表明,随着营养液 EC 值的增大,生菜各生长指标均表现出先增大后减小的变化规律,当 EC 值为 1.0 mS/cm 和 1.2 mS/cm 时,达到最大,且差异不显著。所以,EC 值为 1.0 mS/cm 和 1.2 mS/cm 时,该试验的水培生菜可以获得较高的产量,而产量直接影响实际生产的最终收益。在生菜的品质方面,维生素 C 在



注:折线上不同小写字母表示差异显著( $P=0.05$ )。

Note: The different letters on line are significant difference at  $P=0.05$ .

图 1 不同营养液浓度对生菜全氮含量的影响

Fig. 1 Effect of different levels of EC of nutrient solution on nitrogen content of lettuce

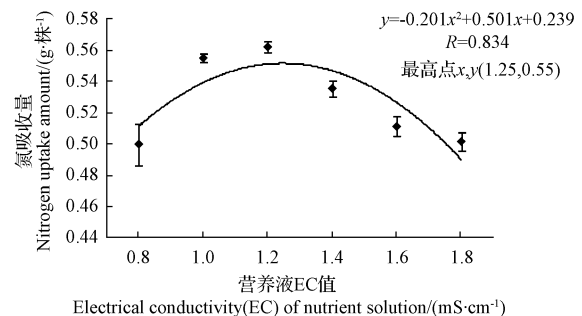


图 2 氮吸收量与营养液 EC 值的回归关系

Fig. 2 Nitrogen uptake amount as function of electrical conductivity (EC)

EC 值为 1.0 mS/cm 和 1.2 mS/cm 时含量最高,而硝酸盐含量较低。因此,综合考虑生菜产量和品质,EC 1.0~1.2 mS/cm 为水培生菜的最适宜浓度。目前,我国对水培生菜的最适浓度筛选均是在自然光下进行的<sup>[13-17]</sup>,别之龙等<sup>[18]</sup>同样以日本山崎为营养液配方,在 DFT 模式下水培生菜,结果显示,采收时 2 个生菜品种的地上部鲜干重均在 1/2 单位营养液浓度处理时最高,并得出 1/2 S 为最适浓度的结论;而该试验筛选出的最适宜浓度 EC 值(1.0~1.2 mS/cm)大于标准单位山崎营养液浓度(1 S),即该试验最适宜浓度高于别之龙等在自然光下选择出的最佳浓度。

在自然光谱中,只有 380~780 nm 的可见光可被植物吸收利用,吸收波峰为 660 nm 的红光和 450 nm 的蓝光。该试验所用人工光源 LED 灯是根据植物光合作用和形态建成的光谱需求进行的红光与蓝光的相应组合,光能利用率可达 80%~90%<sup>[4]</sup>,而太阳辐射光谱组成变化多端<sup>[6]</sup>,光能利用率低。刘水丽<sup>[5]</sup>通过 LED 光源和自然光对比试验发现,LED 光照条件下,散叶生菜的光合

速率是自然光下的 1.8 倍,奶油生菜为自然光的 1.3 倍,并可显著提高黄瓜幼苗生长速率,与此同时,光谱成分不同对生菜生长和矿质元素的吸收也有显著影响,紫光和绿光对生菜生长有抑制作用<sup>[19]</sup>,红蓝光组合可增强生菜对矿质元素含量的吸收能力<sup>[20]</sup>。由此可见,LED 灯相比太阳辐射更能促进生菜迅速生长,单位时间内生菜对养分需求量增加,该试验得出的最适浓度(EC 值为 1.0~1.2 mS/cm)高于自然光下最适浓度(1/2 S)的结果验证了这一结论。

### 参考文献

- [1] 谢景,刘厚诚,宋世威,等.光源及光质调控在温室蔬菜生产中的应用研究进展[J].中国蔬菜,2012(2):1-7.
- [2] Klapwijk D. Effects of season and artificial light on the growth and development of young tomato plants[J]. ISHS Acta Horticulture, 1981, 128: 61-67.
- [3] Crittenden D L. A review of the light transmission into greenhouse crops[J]. Acta Horticulture, 1993, 248: 101-108.
- [4] Yanagi T, Okamoto K, Takita S. Effects of blue and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants[J]. Acta Horticulture, 1996, 440: 117-122.
- [5] 刘水丽.人工光源在闭锁式植物工厂中的应用研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [6] Liu X D, Ma W M, Shen Y G. State transition of the photosynthetic apparatus in plant[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2006, 32: 127-132.
- [7] 魏灵玲,杨其长,刘水丽. LED 在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. 中国农学通报, 2007, 23(11): 408-411.
- [8] 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.
- [9] 武占会,周智军,杨海波,等.应用 Excel 进行无土栽培营养液浓度管理[J]. 农业网络信息, 2004(4): 38-39.
- [10] 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, 2000.
- [11] 吴龙生. 有机肥和化学氮肥混合施用对番茄产量的影响[J]. 河北农业科学, 2008, 12(7): 44-45.
- [12] 范双喜,伊东正. 培养液浓度对 NFT 栽培生菜生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2002, 17(2): 92-96.
- [13] 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.
- [14] 张建新. 不同浓度园试营养液配方对生菜生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(12): 2302-2303, 2317.
- [15] 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.
- [16] 梁勇,卜崇兴,郭世荣,等. 不同营养液浓度处理下 Hymec 膜栽培生菜的试验研究[J]. 上海农业学报, 2007, 23(2): 50-52.
- [17] 任尚杰,方伟,张国敏,等. 两种浓度营养液下水培生菜和小白菜生长特性及品质研究[J]. 作物杂志, 2011(3): 42-45.
- [18] 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(S): 109-112.
- [19] 袁慧丽. 不同 LED 光源夜间补光对叶用莴苣生长和营养品质及黄瓜根结线虫抗性的影响[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [20] 陈晓丽,郭文忠,薛绪掌,等. 不同光谱成分条件下叶用莴苣矿质元素吸收分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(8): 2207-2210.

## Effect of Different Nutrition Solution Concentrations on Growth of Lettuce Under LED Light Condition

QI Jingwei<sup>1</sup>, WU Zhanhui<sup>2,3</sup>, LIU Mingchi<sup>2,3</sup>, JI Yanhai<sup>2,3</sup>, LI Qingyun<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097; 3. Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Beijing 100097)

**Abstract:** Taking butter head lettuce as experimental material, effect of different nutrition solution (0.8 mS/cm, 1.0 mS/cm, 1.2 mS/cm, 1.4 mS/cm, 1.6 mS/cm, 1.8 mS/cm) Yamazaki formula on growth of lettuce were studied under the LED light conditions. The results showed that plants had maximal fresh and dry weight of shoots and roots, leaf length and the number of leaves under 1.0 mS/cm and 1.2 mS/cm concentration treatments; while those were the lowest under 1.8 mS/cm. It indicated that nitrate accumulation of lettuce increased with increasing of nutrient solution concentration. Based on the comprehensive analysis, EC value in 1.0—1.2 mS/cm was the optimal concentration for hydroponic lettuce.

**Keywords:** light emitting diode(LED); nutrition solution concentration; lettuce; growth