

DOI:10.11937/bfyy.201622014

营养液温度调控对设施越夏水培生菜产量与品质的影响

李 锋^{1,2}, 余礼根^{2,3}, 李银坤^{2,3}, 徐 凡^{2,3}, 王利春^{2,3,4}

(1. 宁夏农林科学院 农业经济与信息技术研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 3. 北京市农林科学院 北京市工程技术研究中心, 北京 100097; 4. 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097)

摘 要:以生菜“罗生3号”为试材,利用冷水机降温技术对越夏水耕栽培营养液进行降温处理,研究了该技术对生菜产量和品质的影响。结果表明:利用冷水机降温技术将营养液温度控制在(20±1)℃,对生菜生长和干物质累积具有明显的促进作用,且不会影响生菜的品质。说明该技术应用于越夏水耕栽培营养液温度调控是完全可行的。

关键词:水培;营养液温度调控;生菜;越夏栽培

中图分类号:S 636.204⁺.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)22-0056-04

水培技术是近年来新兴的一种栽培方式,用营养液代替了土壤作为栽培介质,克服了设施土壤栽培面临的连作障碍、土壤盐分累积等瓶颈问题^[1]。在水耕栽培条件下,作物生长需要的水分和养分均由营养液提供,由

于营养液的缓冲能力较低,当其组分(氮、磷、钾等养分含量)、特性(温度、电导率、酸碱度)发生变化时,种植作物的产量与品质极易受到影响。如何对营养液组分与特性进行合理有效调控,使水耕蔬菜取得优质高产,一直是该领域研究的热点问题^[2]。目前,国内外专家学者围绕营养液的养分组成、pH 和 EC 值调控技术开展了大量的研究工作,已经基本形成了成熟的调控技术,并开发出配套的设备^[1,3-7]。营养液温度作为另一个重要的特性参数,影响营养液溶氧含量、作物根系发育、养分吸收等生理特性^[7]。适宜作物生长的根际温度为 18~22℃^[7],对于越夏水耕栽培蔬菜而言,夏季气温升高极易导致营养液温度升高,最高可达 30℃以上。过高的温度会降低营养液溶氧含量、加大根系呼吸作用,加速

第一作者简介:李锋(1981-),男,本科,助理研究员,现主要从事农业信息化与装备化技术等研究工作。E-mail:nxfeng@163.com

责任作者:王利春(1982-),男,博士,副研究员,现主要从事设施农业高效栽培技术装备等研究工作。E-mail:wanglc@nercita.org.cn

基金项目:北京市农林科学院青年基金资助项目(QNJ201421);北京市优秀人才资助项目(2015000057592G267);北京市农林科学院创新能力专项资助项目(KJCX20140415)。

收稿日期:2016-07-25

Characteristics Comparison for Three Excellent Varieties of *Hippophae rhamnoides* subsp *sinensis*

ZHANG Haiwang, WANG Hongjiang, HONG Xin

(The Afforestation Research Institute in Arid Zones of Liaoning Province, Chaoyang, Liaoning 122000)

Abstract: In the present study, three types of *Hippophae rhamnoides* subsp *sinensis*, Zhonghongguo, Zhonghuangguo, Zhongwuci were used as research objects, depth study of their morphological and biological characteristics, physiological indicators of fruit were studied. The results showed that Zhonghongguo, Zhonghuangguo, 100 berry weight reached 37.1 g, 27.0 g, and their fruits were large, high yield, strong adaptability. The branches of Zhongwuci had no thorns, lush foliage. By the survey of Zhonghuangguo, Zhonghongguo with seven-year-old, the results showed that the average fruit yield was 13.36 kg per plant, the maximum output of *Hippophae rhamnoides* subsp *sinensis* plantation reached 16 t · hm⁻².

Keywords: *Hippophae rhamnoides* subsp *sinensis*; Zhonghongguo; Zhonghuangguo; Zhongwuci; physiological indexes

根系衰老,抑制根系对水分、养分的吸收^[8-12],进而对作物的光合作用产生不良影响^[13]。目前通常采用降低环境温度、利用地下水降温、修建地下储液池利用地温降温等方法来降低营养液温度^[7,14]。上述方法因能耗成本过高或水资源浪费严重,均在实际生产中少有应用。虽然一些新技术已在水耕栽培营养液温控方面得到了尝试,取得了不错的效果,由于种种原因尚没有成熟的产品应用推广^[14]。因此,简单实用的营养液温度调节技术对于越夏水耕栽培蔬菜优质高效产出有着重要的意义。

冷水机制冷技术具有温度可控、使用方便、电能利用率高等特点,适用于食品、建筑、生物制药等各领域^[15-17]。基于此,该研究以生菜为试材,从生菜生长、产量、品质形成的角度,检验该技术用于水耕栽培营养液温度调控的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试生菜品种为“罗生3号”(Lactuca sativa var. *crispa* ‘Luosheng No. 3’),由北京市农林科学院蔬菜研究中心培育,购自北京京研益农科技发展中心。

1.2 试验方法

试验于2015年6月1日至7月21日在小汤山国家精准农业研究实验基地实验区温室进行,温室配备遮阳网和湿帘降温系统。

生菜播种前用0.1%的高锰酸钾溶液对种子表面进行消毒,用去离子水清洗种子表面残留的高锰酸钾,再用饱和CaSO₄溶液浸泡4 h,然后将种子放置到湿润的纱布上,并将其置于温度为20℃的黑暗培养箱中培养2 d。2015年6月3日将种子从培养箱中取出,种植在2 cm×2 cm的湿润海绵块中,27 d后将2片真叶展开的生菜幼苗移栽至不同试验处理的水耕栽培系统中进行水培。

水耕栽培系统由栽培槽、回液管、营养液储液桶组成,其中营养液储液桶埋置在地面以下深度80 cm处。栽培槽的尺寸为长500 cm、宽50 cm、高12 cm,每个栽培槽盛放80 L营养液,种植100株生菜,用海绵将生菜的根基部包裹后插入小孔中,同时保证生菜的根系全部浸没在营养液中。

试验以利用冷水机(HS-28A,广东海利集团有限公司)对营养液进行降温为处理(T),以不对营养液进行降温为对照(CK);营养液最高温度设为20℃,当温度高于20℃时降温设备自动开启。该试验营养液配方均采用半浓度的霍格兰营养液配方^[18],配制营养液所选试剂均为分析纯试剂。营养液pH范围为5.5~6.5,每2 d用质量浓度5%的磷酸调节1次。

1.3 项目测定

营养液温度测定:在7月14日09:00至7月18日24:00,采用8通道无纸记录仪(ST3300,天津森思特科技有限公司)测定空气温度及处理的营养液温度,测定间隔为30 min。

移栽后,每隔5 d随机选取4株生菜测定生菜的叶片数、冠部与根部鲜质量。测定后,在75℃条件下烘干48 h后测定根冠部干质量;另随机选取5株生菜鲜样,分别用榨汁机打碎研磨后测定维生素C(滴定法)、可溶性糖(蒽酮比色法)、硝酸盐含量(水杨酸法)^[19]。

1.4 数据分析

采用Excel 2010软件对试验数据进行分析并作图。

2 结果与分析

2.1 营养液温度调控处理后营养液及空气温度的变化

从图1可以看出,对于设施越夏茬口而言,将营养液储液桶放置在地面以下具有一定的降温效果。以7月18日为例,12:00对照的营养液温度为23.0℃,比空气温度降低约11.0℃。从日平均温度来看,对照营养液日平均温度为23.9℃,比空气平均温度降低约0.9℃,仍高于适宜水耕栽培作物生长的营养液温度。而利用冷水机降温技术进行营养液温度调控的处理,营养液温度基本稳定在(20±1)℃范围内,其平均温度20.5℃,为作物根系生长发育提供了比较稳定、适宜的环境。

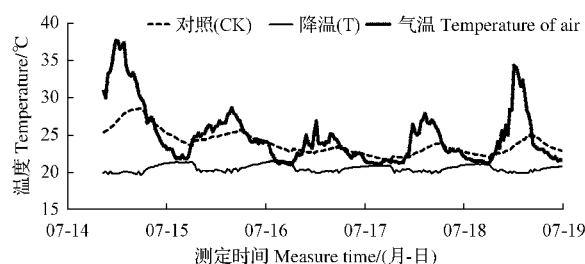


图1 营养液温度调控处理后营养液及空气温度的影响

Fig. 1 Effect of nutrient solution temperature control treatment on temperature of nutrient solution and air

2.2 营养液温度调控处理对生菜生长指标的影响

2.2.1 营养液温度调控处理对生菜冠部鲜质量影响

从图2可以看出,2个处理冠部鲜质量随着植株生长而增大。第6天后,营养液降温处理生菜的鲜质量值均高于对照。相比对照,第6、11、15、19天处理的鲜质量分别增加了7.47%、30.40%、26.48%和39.64%。说明通过营养液降温处理可以显著促进生菜地上部生长,随着试验的进行,这一现象更加明显。

2.2.2 营养液温度调控处理对生菜根冠比的影响 对于叶菜而言,较小的根冠比有助于有效产量的增加,从

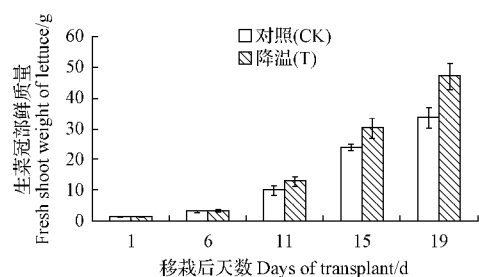


图2 营养液温度调控处理对生菜冠部鲜质量的影响

Fig. 2 Effect of nutrient solution temperature control treatment on fresh shoot weight of lettuce

而提高营养液的利用效率和经济效益。从图3可以看出,2个处理生菜的根冠比均表现出先增大后减小的趋势,在第6天时,对照和处理生菜的根冠比最大,分别为0.47和0.45。随着生菜的进一步生长,各处理的根冠比开始减小。第6、11、15、19天处理的根冠比分别比对照低了3.9%、5.3%、3.5%和8.1%。说明在越夏季节,通过营养液降温处理可以显著降低生菜根冠比,从而促进光合产物向冠部转移,从而增加了生菜的有效产量,进而提高了生菜的产出率。

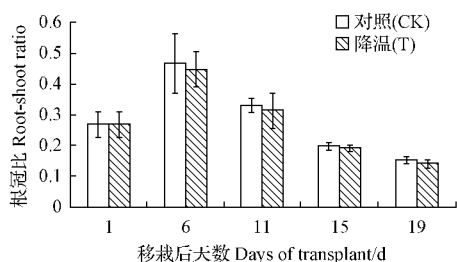


图3 营养液温度调控处理对生菜根冠比的影响

Fig. 3 Effect of nutrient solution temperature control treatment on root-shoot ratio of lettuce

2.2.3 营养液温度调控处理对生菜干物质的累积量的影响 从图4可以看出,2个处理生菜的干物质累积量变化与生菜的冠部鲜质量变化规律基本一致,随着生菜的生长逐渐增加。第6、11、15、19天营养液降温处理生菜的干物质累积量分别为0.34、0.89、1.44、1.94 g,比对照分别提高了29.24%、37.76%、24.57%和27.36%。说明通过对越夏季节水耕栽培生菜的营养液温度进行调控可以促进生菜物质的累积。

2.2.4 营养液温度调控处理对生菜叶片数的影响 由图5可知,随着生菜的生长,2个处理生菜的叶片数逐步增加。营养液温度调控处理生菜的叶片数在第6天后均略高于对照,2个处理叶片数的差异随着生菜的生长进一步增大。说明通过营养液温度调控可以促进生菜的叶片分化,进而促进了生菜的生长。

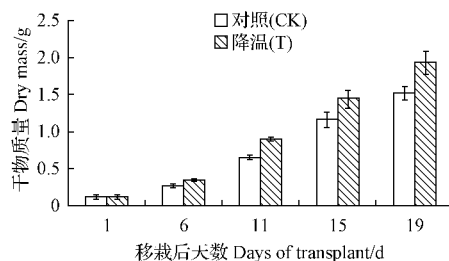


图4 营养液温度调控处理对生菜干物质质量的影响

Fig. 4 Effect of nutrient solution temperature control treatment on dry mass of lettuce

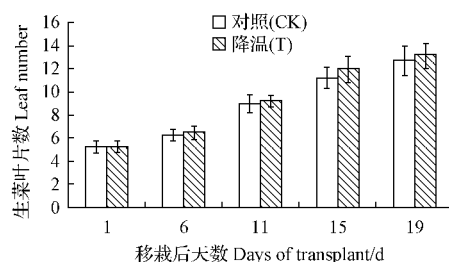


图5 营养液温度调控处理对生菜叶片数的影响

Fig. 5 Effect of nutrient solution temperature control treatment on leaf number of lettuce

2.3 营养液温度调控处理对生菜品质指标的影响

由表1可知,营养液温度调控处理生菜的硝酸盐、可溶性糖、维生素C含量分别为 $3\ 629\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.114%和 $3.67\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于对照的 $3\ 539\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.099%和 $3.41\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。就硝酸盐含量而言,虽然营养液温度调控在一定程度上促进了生菜体内硝酸盐的累积,对生菜的品质有一定的影响,但总体而言,二者并无显著差异。营养液温度调控显著促进了生菜可溶性糖和维生素C的合成,在一定程度上改善了生菜的品质。

表1 营养液温度调控处理对生菜的品质指标的影响

Table 1 Effect of nutrient solution temperature control treatment on quality of lettuce

处理 Treatment	硝酸盐含量 Nitrate content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)	维生素C含量 Vitamin C content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CK	$3\ 539 \pm 128.69$	0.099 ± 0.009	3.41 ± 0.10
T	$3\ 629 \pm 106.44$	0.114 ± 0.017	3.67 ± 0.39

3 结论

营养液温度作为水耕栽培营养液的一个特性指标,与作物根系生长状况密切相关^[9-13]。对于水耕蔬菜叶菜设施越夏栽培尤为重要,由于夏季温室内温度较高,营

养液温度也会随之升高,超出适宜作物生长的适宜温度范围,对蔬菜生长产生不良影响^[11-13]。利用冷水机降温技术可以显著降低营养液温度,将其精确控制在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的范围内,显著促进设施越夏栽培生菜的鲜质量、叶片数、干物质累积量的增加,使其根冠比降低,有效产量显著增加。且营养液温度调控可以促进生菜可溶性糖和维生素C的合成,使生菜的品质得到改善。

综合上述研究结果,将冷水机降温技术应用于水耕设施越夏蔬菜栽培是完全可行的。适宜营养液温度调控上限优化的研究有待进一步开展,在保证该项技术应用效果的前提下,进一步降低运行成本,提高电能的利用率。

参考文献

- [1] DOMINGUES D S, TAKAHASHI H W, CAMARA C A P, et al. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 84: 53-61.
- [2] SCHROEDER F G, LIETH J H. Gas composition and oxygen supply in the root environment of substrates in closed hydroponic systems[J]. Acta Horticulturae, 2004, 644: 299-305.
- [3] 杜永臣. 无土栽培营养液中的氮素及其调控[J]. 中国蔬菜, 1991(2): 52-55.
- [4] WEBB M J. A multichannel pH controller for solution culture systems[J]. Plant and Soil, 1993, 155(1): 501-504.
- [5] SONG W, ZHOU L, YANG C, et al. Tomato *Fusarium* wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system[J]. Crop Protection, 2004, 23(3): 243-247.
- [6] SAVVAS D, MANOS G. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 73(1): 29-33.
- [7] 杨其长, 魏玲灵, 刘文科, 等. 植物工厂系统与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 71-72.
- [8] KLEIER C, FARNSWORTH B, WINNER W. Photosynthesis and biomass allocation of radish cv. 'Cherry Belle' in response to root temperature and ozone[J]. Environmental Pollution, 2001, 111(1): 127-133.
- [9] 冯玉龙, 刘恩举. 根系温度对番茄的影响(D: 根温对番茄生长的影响[J]. 植物研究, 1996(1): 133-139.
- [10] 任志雨, 王秀峰. 根区温度对作物生长和生理代谢的影响综述[J]. 天津农学院学报, 2003, 10(2): 32-36.
- [11] MASARU S, UENISHI M, MIYAMOTO K, et al. Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants[J]. Journal of Agricultural Science, 2016, 8(5): 122.
- [12] HAGHIGHI M, MOZAFARIYAN M, ABDOLAHIPOUR B. Effect of cucumber mycorrhiza inoculation under low and high root temperature grown on hydroponic conditions[J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2015, 18(2): 89-96.
- [13] 冯玉龙, 刘恩举, 孙国斌. 根系温度对植物的影响(D: 根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995(3): 63-69.
- [14] 祝保英, 滕光辉, 王平智. 基于热电制冷技术的营养液温控系统的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(2): 23-26.
- [15] 尹应德, 朱冬生, 汪南, 等. 集中空调冷水机组配置及水系统能耗分析[J]. 暖通空调, 2009, 39(12): 94-97.
- [16] 李林林, 罗辉, 罗燕萍. 蒸发式冷凝冷水机组在地铁车站的应用[J]. 都市轨道交通, 2014, 27(5): 108-110.
- [17] 陈敏, 朱雅轩, 张卫东. 医用回旋加速器外围冷水机组的安装与研究[J]. 中国医学装备, 2004, 1(1): 53.
- [18] RUBIO J S, PEREIRA W E, GARCIASANCHEZ F, et al. Sweet pepper production in substrate in response to salinity, nutrient solution management and training system[J]. Horticultura Brasileira, 2011, 29(3): 275-281.
- [19] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 122-123, 267-268.

Effect of Nutrient Solution Temperature Control on Yield and Quality of Hydroponic Lettuce Over Summer in Greenhouse

LI Feng^{1,2}, YU Ligen^{2,3}, LI Yinkun^{2,3}, XU Fan^{2,3}, WANG Lichun^{2,3,4}

(1. Institute of Agricultural Economy and Information Technology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002; 2. Beijing Research Center of Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 3. Beijing Agricultural Engineering Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097; 4. Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Beijing 100097)

Abstract: Lettuce 'Luosheng No. 3' was used as material, in order to explore the feasibility of nutrient solution cooling using a water cooler machine for hydroponic lettuce, the effect of nutrient solution temperature control on the growth and quality of hydroponic lettuce over summer in greenhouse was studied. The results showed that the nutrient solution temperature could be maintained at a suitable range $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ for lettuce growth. The growth and dry matter commutation of lettuce was promoted. There was no negative impact on the quality of lettuce. In summary, it was feasible for the water-cool technology applied to the hydroponic solution temperature management.

Keywords: hydroponics; nutrient solution temperature control; lettuce; over summer