新疆农业科学　2022,59(8):1871-1876
Xinjiang Agricultural Sciences

doi:10.6048/j.issn.1001-4330.2022.08.007

不同光质配比对水培牧草大麦生长的影响

杨金钰,孙九胜,乔小燕,槐国龙

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所,乌鲁木齐　830091)

摘　要:【目的】研究不同红蓝光配比对水培大麦生长的影响,分析合适的光质。**【方法】**以水培牧草大麦为研究对象,分别用LED白光、LED蓝光及LED红蓝光配合进行处理,测定一个生长周期下大麦的株高、根长、鲜草产量、干草产量。**【结果】**不同光照条件下,大麦的生长表现出显著差异。在白光照射条件下,大麦株高为8.92 cm,显著高于其他2个处理。蓝光处理的大麦株高最低,为6.62 cm,显著低于其他两个处理;蓝光照射下,大麦的根长最长,为10.42 cm,显著高于其他两个处理。蓝光和红蓝光配合处理间的鲜草、干草生物量差异不显著,显著高于白光处理的生物量。**【结论】**人工光水培条件下,LED白光促进大麦植株上部分茎的伸长,株高增大,而鲜重和干重及下部分的根系生长受抑制。LED蓝光可促进大麦下部分根的生长发育和生物量的累积,株高伸长受限。红蓝光LED组合处理可促进大麦生物量的增加,是水培方式下培育大麦牧草采用的光质。

关键词:大麦;水培;LED光源;光质;生物量

中图分类号: S512.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1001-4330(2022)08-1871-06

0　引　言

【研究意义】光质、光强、光周期是光环境的关键组成部分,三者均可对植物的生长发育产生显著影响。光质是对植物生长发育和产量品质形成有生理作用的光照波段,对植物的生长、形态建成、物质代谢及基因表达等均具有调控作用。不同波长的LED光源可以与植物光形态建成的光谱范围吻合,具有光谱性能好、光效高、发热少、体积较小和寿命长等诸多传统光源无可比拟的优势,适用于可控设施环境中的植物栽培。研究不同LED光质对植物生长发育的影响,实现对人工光源下植物的生长及形态建成的调控,对可控环境栽培作物的研究中具有重要意义。【前人研究进展】400~510 nm的蓝紫光区和610~720 nm的红橙光区,被认为是影响植物光合作用和形态建成的主要光谱范围;红蓝光谱是植物光合作用的主要作用光谱,光合作用相对量子效率较高。红光和蓝光作为植物叶片叶绿素吸收最多的光质,较其他波段光质对光合的作用更为有效[1]。植物吸收红蓝光占总吸收光的90%以上[2],红蓝光极大程度地影响着植物的生长和形态[3]。对于草莓苗、离体培养油菜籽(*Brassica napus* L.)和黄瓜苗最优的的红蓝配比分别为7/3[4-6]。不同光质LED对植株形态建成的影响不同。红光LED表现为促进植株的生长,而蓝光LED可使植株生长的较为矮壮。红蓝混合光较纯蓝或纯红光处理可以提高*Pn*和干重[7-11]。小麦虽然在单色红光下能够完成生命周期,但要获得较高的干物质、光合速率和气孔导度需补充蓝光。1%的蓝光补充可满足茎叶和旗叶生长,10%的蓝光补充可获得相同相同数量的分蘖[8]。蓝光能够提高小麦叶片的CAT活性,延缓叶片衰老[12]。生理特征变化(叶片光合作用)和形态特征(叶片发育)是红蓝光调节下提高生物量的重要机制,但不同作物间存在差异。【本研究切入点】目前,关于各种农作物谷物的最佳生长光质环境条件的研究较少,已有的研究表明LED是谷类作物栽培的有效光

收稿日期(Recevied):2021-10-22

基金项目:国家重点研发计划"全可控环境条件下水培牧草高效生产技术引进试验与示范"(2016YFE0109100)。

作者简介:杨金钰(1981—),女,山东人,副研究员,研究方向为农业资源利用,(E-mail)122359019@qq.com.

通信作者:孙九胜(1969—),男,新疆喀什人,研究员,研究方向为农业资源环境利用,(E-mail)2436405336@qq.com.

源，并且可以通过改变LED光源的光质和数量来优化生长条件、调控代谢、产量和品质。大麦幼苗蛋白质高、氨基酸组成丰富，且富含矿物质、维生素和代谢活性酶，茎叶柔嫩多汁，气味芬芳，适口性好，易消化，是优质的青饲料[13]。人工光水培大麦技术的开发和利用，为解决集约化养殖中青绿饲料供应不足，以及克服高寒高海拔地区光照资源利用不充分、冷季饲草短缺难题提供了新的途径。较高的光源耗电量以及由光源散发热量导致的降温耗电量增加了运行成本。LED 光源能够在一定程度上促进植物的生长，提高植物的产量、品质和有效成分含量，以及改变某些植物的性状。不同植物栽培生产中追求目的不同，其适合的光源条件也有所差异。现有研究尚未得出不同的光质处理下，水培大麦的生长性状变化，以及最为合适的光质参数。还需研究提高光能利用率和大麦草的生长速率，以实现节能高效生产。【拟解决的关键问题】以水培牧草大麦为研究对象，分别用LED白光、LED蓝光及LED红蓝光配合进行处理，测定一个生长周期下大麦的株高、根长、鲜草产量、干草产量。通过调节 LED 光源的光质配比，研究不同光质对大麦的生长变化的影响，为实现人工光源在水培牧草领域的高效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试大麦种子为春性二棱大麦（Hordeum distichum）。采用设计试制的新型牧草水培设备，箱体占地1.4m^2，内设温度、喷水、光照、通风、排水等智能控制系统。光源采用LED红蓝1∶1组合、蓝、白三种光质。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计

大麦种子的水培过程分两个阶段，萌发期为3 d，然后在可控条件下水培箱内培养6 d。称取大麦种0.4 kg，经清洗消毒后，置入长44 cm，宽34 cm的育芽苗盘中，将种子铺设均匀。萌发期温度设为28℃，无光照。培养期温度设为26℃，每4 h通过智能控制系统喷淋水60s，光照周期为4 h，光强为10 000 lx。每个处理6次重复。

1.2.2 测定指标

完成水培周期的第6 d测定。

株高：采用5点法抽取每个重复处理的10株大麦，从育苗盘中分离出来，剪下根部将植株固定拉直，用刻度尺测量从主茎基部到叶尖顶部长度。

根长：用镊子将根系摆放整齐并固定、拉直，用刻度尺测量主根茎基部到根尖的长度。

重量：在电子天平上秤取整个育苗盘内植株鲜草重量；装入大信封置入恒温干燥箱105℃杀青20 min，鼓风并75℃干燥24 h，恒重后秤干重。

1.3 数据处理

数据采用Excel软件进行处理和绘图，采用SPSS统计分析软件进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同光质下水培大麦的株高

研究表明，不同光照条件下，大麦的生长表现出显著差异。在白光照射条件下，大麦的株高为8.92 cm，显著高于其他2个处理。红蓝光配合处理的株高次之，为8.04 cm。蓝光处理的大麦株高最低，为6.62 cm，显著低于其他2个处理不同光质对大麦形态建成有显著影响，白光可促进株高增大，蓝光不利于植株茎的伸展伸长。图1

2.2 不同光质下水培大麦的根长

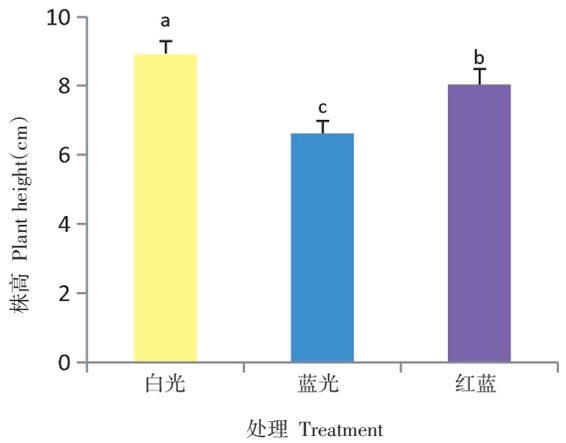
研究表明，蓝光照射下，大麦的根长最长，为10.42 cm，显著高于其他2个处理。白光处理的根长为9.75 cm，红蓝光配合处理的根长为9.19 cm，2个处理间的差异不显著。不同光质对大麦根部生长的影响差异显著，蓝光可促进根部的伸长。图2

2.3 不同光质下水培大麦的鲜草重

研究表明，在7 d水培生长周期内，蓝光照射处理的生物量最高，为2.82 kg，红蓝光配合处理次之，为2.81 kg，2个处理间的差异不显著，显著高于白光处理的生物量。不同光质处理下，蓝光、红蓝光组合均可提高大麦草的鲜草生物量，白光处理鲜草生物量累积比蓝光、红蓝光处理低16%。图3

2.4 不同光质下水培大麦的干草重

研究表明，红蓝组合、蓝光照射处理的干重最大，均为0.20kg，二者间相比差异不显著。白光处理的大麦草干重最低，为0.16kg，显著低于其他



注：不同小写字母表示不同处理间差异显著（$P<0.05$），下同。

Note: The significant differences were showed by different lower-case letters with various treatments at 5% level of probability. The same as below.

图 1　不同光质下水培大麦株高变化

Fig. 1　Plant height of barly under different light qualities

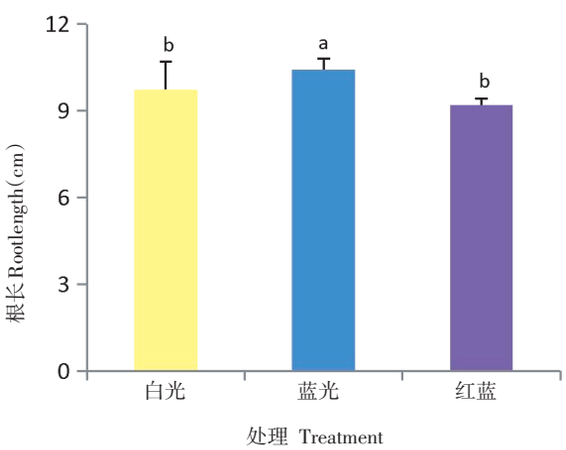


图 2　不同光质下水培大麦根长变化

Fig. 2　Root length of barly under different light qualities

处理。不同光质对大麦干重的影响差异显著，蓝光和红蓝光组合促进干物质的累积，白光处理显著降低大麦干物质的累积量。图4

3　讨　论

研究表明，不同光质处理对大麦生长的影响差异显著。LED白光处理下，大麦苗的株高显著高于蓝光和红蓝光组合处理，而生物量累积最少，鲜草重和干草重显著低于其他处理。LED蓝光处理下，大麦的株高显著最低，根系长显著高于其他两个处理，鲜重、干重显著高于白光处

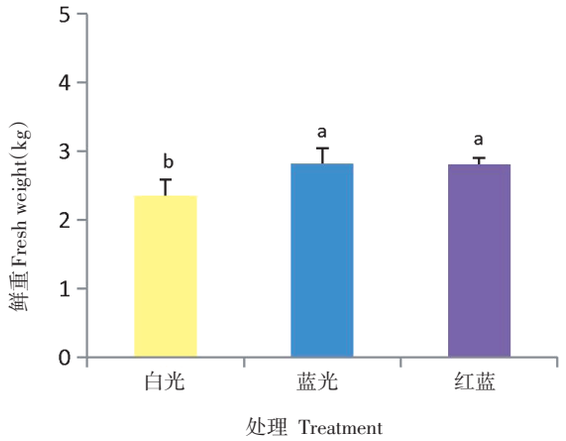


图 3　不同光质下水培大麦鲜重变化

Fig. 3　Fresh weight of barly under different light qualities

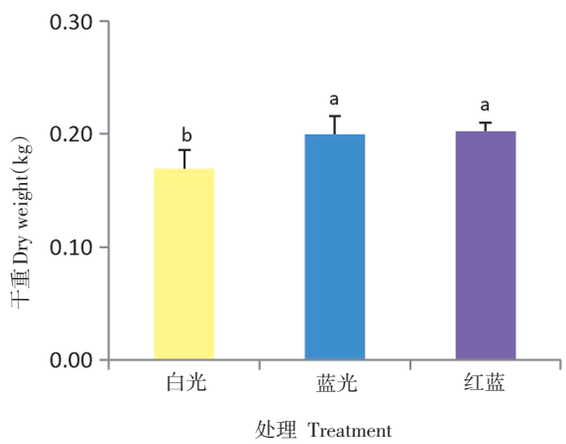


图 4　不同光质下水培大麦干重变化

Fig. 4　Dry weight of barly under different light qualities

理。用不同波长的光照射植物，植物发育对某些区域的光谱更敏感，尤其是红光（波长620~700 nm）、蓝光（波长350~380 nm）或UV-A（波长320~400 nm）、UV-B（波长280~320 nm）更敏感。植物主要通过光受体感受不同波长的光。目前的研究表明植物的光受体可分为四类，光敏色素主要感受红光和远红光；隐花色素和向光蛋白主要调控对UV-A和蓝光的应答；还有一个或者几个尚未鉴定的UV-B受体。光受体可以感受不同的光质，通过之间差异来调节及相互作用调控植物的生长发育[14]。不同光质处理下，植物生长发育过程中表现出了不同的生长形态及物质代谢特点。前人研究表明，LED蓝光能促进植株显著矮化，促进根系的生长发育[15]，蓝光对莴苣幼苗根系

的生长具有促进作用[16]。LED白光能促进枳壳苗茎的伸长[17]。与研究结果基本一致，在试验条件下，LED白光促进大麦植株上部分茎的伸长，株高增大，而鲜重和干重及下部分的根系生长受抑制，低于蓝光处理。

LED红光、蓝光是高等植物完成生活史的必需光质，红蓝组合光质可替代连续全光谱光源进行植物栽培。研究和生产中往往回避蓝光在LED光源中的直接视觉显现，而是应用由蓝光芯片加荧光粉衍生白光的LED光源装置。研究未涉及LED红光单色光质的研究，仅对LED白光、蓝光和红蓝组合光进行了研究。结果表明，红蓝复合光质下，大麦的鲜重和干重显著高于LED白光处理，与蓝光处理差异不显著；株高介于白光和蓝光处理之间，根长与白光处理差异不显著。已有的研究表明，红蓝组合光被认为是比较适合作物生长的光[18]。Goins等[8]的研究表明，红光LED处理下，补充蓝光的红蓝组合LED光可增加小麦的生物量和种子产量、干物质量，促进茎叶生长及分蘖。红蓝光组合可显著提高水稻五叶期幼苗的鲜、干质量[19]。以上结果与研究结果相似。Matsuda等[20]的研究指出，LED红蓝组合光可使水稻叶片的光合速率提高，并且归因于红光配以蓝光后，叶片中的氮含量、Rubisco酶含量和叶绿素含量的提高，叶片生物量变大、叶片变薄变宽有利于生物量累积。研究中，蓝光、红蓝光LED组合处理可促进大麦生物量的增加，白光LED有利于大麦上部分茎的生长，蓝光促进大麦下部分根的生长发育。植物生理特征变化（如叶片的光合作用）和形态特征（叶片发育状况）是红蓝光调节下提高生物量的重要机制[21]。今后的研究中，应结合叶片形态和光合作用来分析不同光质对植物生长发育的影响。

4 结 论

4.1 人工光水培条件下，不同光质对大麦形态建成有显著影响。LED白光促进大麦植株上部分茎的伸长，在6天的水培期内株高达到8.92 cm，分别显著比红蓝光配合及蓝光处理高11%和35%，而鲜重和干重及下部分的根系生长受抑制，根长为9.75 cm，显著比蓝光处理低7%，鲜草重和干草重分别为2.35 kg、0.17 kg，分别显著比蓝光处理低16%和18%。LED蓝光可促进大麦下部分根的生长发育和生物量的累积，根长可达10.42 cm，株高伸长受限，为6.62 cm。红蓝光LED组合处理可促进大麦生物量的增加，鲜重和干重分别达2.8和0.2 kg，且与蓝光处理无差异，下部分的根系生长受限，为9.19cm，显著低于蓝光处理。

4.2 红蓝光组合可得到相对较高的植株及生物量，是水培方式下培育大麦牧草推荐采用的光质。

参考文献（References）

[1] Pfündel E, Baake E. A quantitative description of fluorescence excitation spectra in intact bean leaves greened under intermittent light [J]. *Photosynthesis Research*, 1990, 26(1):19-28.

[2] Terashima I, Fujita T, Inoue T, et al. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green [J]. *Plant Cell Physiolgy*, 2009, 50(4):684-697.

[3] Hogewoning S. W, Trouwborst G, Maljaars H, et al. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of Cucumis sativus grown under different combinations of red and blue light [J]. *Journal Of Experimental Botany*, 2010, 61: 3107-3117.

[4] Nhut D T, Takamura T, Watanabe H, et al. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs) [J]. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 2003, 73(1): 43-52.

[5] Li H, Tang C, Xu Z. The effects of different light qualities on rapeseed (Brassica napus L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 150:117-124.

[6] Hernández R, Kubota C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs [J]..*Environmental and Experimental Botany*, 2016, 29 (1):66-74.

[7] Brown C S, Schuerger A C, Sager J C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, 120(5):808-813.

[8] Goins G D, Yorio N C, Sanwo M M, et al. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plant grown under red light-emitting diodes (LED) with and without supplemental blue lighting[J].*Journal of Experimental Botany*, 1997, 48(7): 1407-1413

[9] Hogewoning S W, Douwstra P, Trouwborst G, et al. An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61(5):1267-1276.

[10] Nanya K, Ishigami Y, Hikosaka S , et al. Effects of blue and

red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings [J]. *Acta Horticulturae*, 2012, 956,261-266.

[11] Ohashi-Kaneko K, Matsuda R, Goto E, et al. Growth of rice plants under red light with or without supplemental blue light[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2006, 52(04):444-452.

[12] Causin H F, Jauregui R N, Barneix A J. The effect of light spectral quality on leaf senescence and oxidative stress in wheat [J]. *Plant Science*, 2006, 171(1): 24-33.

[13] 黄万里,王建平,刘宁,等.不同水培时间下大麦苗的营养价值及CNCPS组分[J].草业科学, 2019,36(7):1811-1818.
HUANG Wanli, WANG Jianping, LIU Ning, et al. Determination of nutritive value and analysis of the CNCPS contents in barley grass cultivated using a hydroponic system [J]. *Pratacultural Science*,2019,36(7):1811-1818.

[14] 刘明,赵琦,王小菁,等.植物的光受体及其调控机制的研究[J].生物学通报,2005,40(5):10-12.
LIU Ming, ZHAO Qi, WANG Xiaojing, et al, Studies on photoreceptors and their regulatory mechanisms in plants [J]. *Biology Bulletin*, 2005, 40(5): 10-12.

[15] 王挺进,杨洋,杨榭崧,等.LED光质对上海青与樱桃萝卜早期生长的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019,(10):75-79.
WANG Tingjin, YANG Yang, YANG Shesong, et al, Effect of LED light quality on early growth of Shanghai green radish and Cherry Radish [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2019, (10): 75-79.

[16] 李雯琳, LED光源不同光质对叶用莴苣种子发芽及幼苗生理生化特性的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2009:29-30.
LI Wenlin. *Effect of different light qualities on seed germination and physiological and biochemical characteristics of lettuce (Lactuca sativa L.) seedlings by using the LED light* [D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University,2009:29-30.

[17] 李思静,易晓瞳,李有芳,等. 不同LED光质对枳壳幼苗生长发育的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2018,38(3):708-714.
LI Sijing, YI Xiaotong, LI Youfang, et al., Effects of different LED light quality on the growth and development of trifoliate orange seedlings [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2018, 38(3): 708-714.

[18] Nhut D T, Don N T, Tanaka M. Light-Emitting Diodes as an Effective Lighting Source for In Vitro Banana Culture [M]. *Springer Netherlands*,2007, 527-541.

[19] 郭银生,谷艾素,崔瑾.光质对水稻幼苗生长及生理特性的影响[J].应用生态学报,2011,22(6):1485-1492.
GUO Yinsheng, GU Aisu, CUI Jin. Effects of light quality on growth and physiological characteristics of rice seedlings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 22(6): 1485-1492.

[20] Matsuda R., Ohashi K. K., Fujiwara K., et al. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light[J]. *Plant Cell Physiology*, 2004, 45:1870-1874.

[21] 刘文科,查凌雁.植物工厂植物光质生理及其调控[M].北京:中国农业科学技术出版社.2019,215-220.
LIU Wenke, ZHA Lingyan. *Light quality physiology and its regulation in plant factory* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2019, 215-220.

Effects of Different Light Quality Ratios on the Growth of Hydroponic Forage Barley

YANG Jinyu, SUN Jiusheng, QIAO Xiaoyan, HUAI Guolong

(*Research Institute of Soil, Fertilizer and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi* 830091, *China*)

Abstract:【Objective】 To study the effects of different red and blue light ratios on the growth of hydroponic barley and determine the appropriate photoplasm.**【Methods】**Hydroponic forage barley was taken as the research object, the plant height, root length, fresh grass yield and dry grass yield of barley in one growth cycle were measured by LED white light, LED blue light and LED red blue light.**【Result】**The results showed that there were significant differences in the growth of barley under different light conditions. Under the condition of white light, the plant height of barley was 8.92 cm, which was significantly higher than those of the other two treatments. The plant height of blue light treatment was the lowest, 6.62 cm, which was significantly lower than those of the other two treatments; the root length of blue light treatment was the longest, 10.42cm, which was significantly higher than those of the other two treatments. There was no significant difference in the biomass of fresh grass and hay between blue light and red blue light, which was significantly higher than that of white light.**【Conclusion】**Under the condition of artificial light hydroponics, LED white light promotes the stem elongation and plant height of the upper part of barley plant, while the fresh weight, dry weight and root growth of the lower part are inhibited. Led blue light can promote the growth and biomass accumulation of barley roots, but plant height elongation is limited. The combination of red and blue LED can promote the increase of barley biomass, which is the recommended light quality for hydroponic cultivation of barley forage.

Key words: barley; hydroponics; LED light source; light quality; biomass

Fund project: National Key R & D Program Project of China "Introduction and Demonstration of High Efficiency Production Technology of Hydroponic Forage under Fully Controllable Environment"(2016YFE0109100)

Correspondence author: SUN Jiusheng(1969-), male, native place: Kashi, Xinjiang. Researcher, research field: agricultural resources and environment, achievement transformation, (E-mail)2436405336@qq.com