

# LED 光源对植物生理生化及品质影响研究进展

王婷婷, 俞少娟, 李鑫磊, 刘夏荣, 金心怡

(福建农林大学 园艺学院, 福建 福州 350002)

**摘 要:**LED 作为一种节能环保人工光源广泛运用于植物生产中,但目前的试验研究对 LED 光条件参数的设置没有一定的规律,对植物的功能作用也比较模糊。该研究总结了设施园艺试验研究中常用的 LED 波长、光强、光质及组合光比例对园艺植物生理生化的影响,为未来 LED 光源在植物生产上的运用提供一定的理论参考,同时就 LED 未来在园艺植物上的应用领域和未来发展方向提出相关建议。

**关键词:**LED;光强;波长;光质;植物

**中图分类号:**S 625;Q 947.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)02-0189-05

光作为植物生长发育的重要环境因素之一,光环境一直是设施园艺研究的重点。生产上常用人工补光来弥补温室栽培出现的光照不足,进而调控植物生长的光环境,以期实现植物增产、优质、抗病等目的。光试验研究应综合考虑 3 个要素:光强、光质和光周期,同时光对植物生理生化的影响首先应研究光对植物光合作用的影响,因为光合作用是植物生化成分积累的基础。由于不同试验中研究对象、处理方法、光质波长和环境条件等因素的不同,导致得到的试验结果不尽相同,甚至相反,所以目前大多数试验还是以探讨某一光质或不同组合光对某一特定植物生长发育的影响。现总结近几年的文献资料,找出试验处理过程中 LED 光源参数设置的大致方向和一定规律,同时总结不同 LED 光质、光强和组合比例等对植物生理生化的固有影响,以期以后试验的顺利进行提供一定的理论参考。

## 1 LED 光源

随着半导体技术的发展,植物人工补光的研究有了新的发展,从传统常用的荧光植物灯、碘钨植物灯等转为 LED 植物灯。LED 又称发光二极管,是一种将电能转化为可见光的固态半导体,作为冷光源它可以避免近距离照射给植物带来的灼伤。同时 LED 的电源电压较低,供电电压仅为 6~24 V,耗电量也只是白炽灯的 1/8、荧光灯

的 1/2。寿命可长达 50 000 h,是普通照明灯具的几十倍。

世界上最早用 LED 进行植物补光的是日本三菱集团,用 LED 红光进行番茄温室补光。接着国内外陆续开始进行相关研究,而国内 LED 对植物生理生化影响的研究热潮出现在 2000 年以后。在 20 世纪末,中国农业科学院等科研机构开始了 LED 在农业应用相关领域的研究,“十一五”期间科技部启动了我国首个 LED 农业应用的课题,“十二五”期间科技部启动了“LED 非视觉照明技术研究”和科技支撑计划项目“现代农业与养殖专用 LED 光源开发与示范”2 个项目,有力的推动了 LED 在设施农业上的发展<sup>[1]</sup>。因 LED 灯具有节能、高效、环保、稳定性强、响应时间快、按需补光、按需组合等优点,在育苗、花卉、中药材、蔬菜栽培上,以及家禽养殖方面都得到了较好应用<sup>[2-9]</sup>。目前 LED 光源在设施农业上的发展应用成为研究热点,领域涉及广泛,前景明朗。

## 2 LED 光源对园艺植物生理生化及品质的影响

### 2.1 LED 波长对园艺植物生理生化及品质的影响

波长是人工光源的一个指标因素,要形成一个完整的植物补光系统,研究波长具有重要意义。植物用于光合作用的辐射能被称做生理辐射能,其中波长 610~720 nm 的红、橙光占 85%左右,对植物光合作用与生长有重要影响,可促使植物体内干物质的积累,促使鳞茎、块根、叶球以及其它植物器官的形成;波长 400~510 nm 的蓝、紫光占 12%左右,它能促进植物根、茎生长,提高植物根冠比,对叶绿素 b 与类胡萝卜素最大的吸收比例,对光合作用影响最大;同时植物对波长为 510~610 nm 的黄、绿光则吸收很少,绿光更是被认为植物生理无效光<sup>[10-11]</sup>。因此,人们在设施园艺的人工补光上的更多选择红蓝光,或是在此基础上增加其它光质,红蓝光波段

**第一作者简介:**王婷婷(1989-),女,硕士研究生,研究方向为茶叶加工工程。E-mail:1217061483@qq.com.

**责任作者:**金心怡(1957-),女,教授,研究方向为茶叶加工工程。E-mail:jxy427@tom.com.

**基金项目:**国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2014BAD06B00)。

**收稿日期:**2015-10-08

的光能利用率也成为评价人工光源效益的指标之一。

每种光质都有一段固有的波长,目前的多数试验研究集中在光质和光强对植物生长发育的影响,并不太注重 LED 波长方面的选择,导致 LED 植物灯常用光质的波长选择比较混乱。目前试验研究中 LED 红光峰值波长的选择相对比较集中,大部分为  $(660 \pm 5) \text{ nm}$ <sup>[12-20]</sup>,还有一部分约为  $625 \text{ nm}$ <sup>[21-23]</sup>;蓝光峰值波长的选择上变化比较大,范围为  $440 \sim 475 \text{ nm}$ <sup>[12-23]</sup>;绿光和黄光波长选择上也具有较大差异,研究对象的不同使绿光波长选择常在  $525 \sim 550 \text{ nm}$ <sup>[21-23]</sup>,黄光波长在  $580 \sim 596 \text{ nm}$ <sup>[20-21]</sup>。LED 同一光质的不同波长是否对植物生长有差异影响?闻婧等<sup>[18]</sup>用波长  $660 \text{ nm}$  的红光 +  $450 \text{ nm}$  的蓝光和  $630 \text{ nm}$  的红光 +  $460 \text{ nm}$  的蓝光分别处理黄瓜幼苗,发现 2 种处理的黄瓜幼苗整体长势虽无显著差异,但第 1 种处理的黄光幼苗叶绿素 a、b 的量显著高于第 2 种,而且第 2 种处理的光源电能转化率明显高于第 1 种,能效比第 1 种处理提高了 55%。说明波长对植物生长发育有一定影响,这方面应该做更多研究。

查阅文献可知,试验研究时 LED 植物灯的波长选择上并没有特定的规律,也不存在必须的中间波长的选择。其中 LED 红光的波长选择上一般表现为该波段的前半部分,LED 蓝光和绿光的中心波长被选择次数比较多,LED 黄光波长选择则比较分散。这除了因为研究对象不同还和为方便 LED 植物灯批量生产而固定产品波长有关。

## 2.2 LED 光强对园艺植物生理生化及品质的影响

受技术、成本和价格等因素的影响,高光强的 LED 植物灯在实际生产应用上比较困难。目前的相关研究,光强的试验参数设置通常只是大于被研究对象的光补偿点,在光补偿点之上设置若干数值,同该植物的光饱和点还是有较大差异。同时研究还发现,在该研究对象的光饱和点内并不是光强越高越有利于植物生长,光强对植物生长发育的促进作用一般表现为先快后慢最后下降的趋势,同时高光强的 LED 植物灯生产成本低,进行温室大规模植物补光时还要考虑综合效益。

光强的高低对植物物质积累的影响不尽相同,研究目的不同导致对光强要求也有所不同。谢素珍等<sup>[19]</sup>研究发现上海青对总氮、钾含量的吸收与光强呈正相关,但不利于总磷的积累;张喜娟等<sup>[24]</sup>发现 LED 补光强度对水稻产量的影响为  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} > 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} > 100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。目前常认为超过一定数值后较高光强有利于植物品质的提升,低光强可显著促进植物生长。同时单色光或是几色组合光不同于全光谱的日光,所以传统意义上的光补偿点和光饱和点不适用于单色或几色组合光。刘晓英等<sup>[25]</sup>研

究 LED 光质对樱桃番茄光响应的影响,发现光强从  $0 \sim 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时植株净光合速率快速增加,相比日光照射,复合光照射下樱桃番茄光饱和点下降了  $400 \sim 500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,对弱光利用率增加。这说明高光强有时反而不利于植物生长,可能在促进植物生根的同时降低了植物光合作用,或是促进植物某些初级代谢产物积累的同时降低了次级代谢产物的积累,这在樱桃番茄<sup>[25]</sup>、生菜<sup>[26-27]</sup>、小麦<sup>[28]</sup>、拟南芥<sup>[29]</sup>和烟草<sup>[30]</sup>等植物上都得到了很好验证。不同试验处理对光强单位的选择也存在一定差异。近几年大部分研究光对植物影响时用的光强单位是  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,但也有不少试验研究使用 lx 做光强单位,由于 2 种单位之间并没有简单有效的换算公式,这导致对文献进行参考时造成一定的应用损失,认为这方面需要进行一定规范。

## 2.3 LED 光质对园艺植物生理生化及品质的影响

### 2.3.1 LED 红、蓝光对园艺植物生理生化及品质的影响

植物对光谱的吸收具有特异性,红、蓝光能形成和植物光合作用的形态建成基本相同的光谱,对植物生长发育具有最显著的影响。另外波长  $640 \sim 660 \text{ nm}$  为红光区,叶绿素 a 有一个吸收峰值;波长  $430 \sim 450 \text{ nm}$  为蓝光区,叶绿素 b 有一个吸收峰值。国内研究 LED 光质对园艺植物研究的试验多数情况下选择是以红、蓝光或是红蓝组合光为主,目前比较一致的研究结果是:红光可以促进植物糖类物质的积累,蓝光有利于植物氨基酸、蛋白质、维生素 C 和黄酮的积累。WU 等<sup>[31]</sup>研究 LED R 和 B 对豌豆苗生长的影响,结果表明 B 能显著提高植株鲜重和叶绿素含量,R 显著提高  $\beta$ -胡萝卜素含量和抗氧化酶活性,这与张欢等<sup>[32]</sup>和 JOHNSON 等<sup>[33]</sup>发现 B 可以提高叶绿素 a 和类胡萝卜素含量的研究结果一致。YORIO 等<sup>[34]</sup>、OKAMOTO 等<sup>[35]</sup>、陈炯<sup>[36]</sup>、王丹等<sup>[23]</sup>、崔慧茹<sup>[37]</sup>和陈晓丽等<sup>[38]</sup>都认为红蓝组合光相比单色红、蓝光总体上更有效促进植物生长发育,唐永康等<sup>[39]</sup>甚至发现油麦菜在纯 R 处理下不能正常生长。研究对象不同结果也存在差异,陈祥伟等<sup>[17]</sup>研究认为光强设定为  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,乌塌菜的光合速率大小为  $B < W < 2R1B3W < 3R1B < 7R1B < R$ ,R 处理下植物可以正常生长,其中 R 处理的光合速率是 B 处理的 2.3 倍,比 W 处理提高了 43.8%。除组合光比单色光有优势外,光的组合比例对植物的影响也存在显著差异,目前的试验研究多以 LED R 为主光源,在该基础上增加 B,但 B 占的比例没有一定的要求,一般认为 B 占  $1/5 \sim 1/9$  时对植物生长有较好的促进作用。OHASHI-KANEKO 等<sup>[40]</sup>、吴根良等<sup>[41]</sup>、朱靛等<sup>[42]</sup>的研究发现,一定范围内,组合光中 R 比例越大越有利于提高果实的产量、品质及商品率。唐永康等<sup>[39]</sup>发现 LED 9R1B 处理的油麦菜的

综合品质最佳,产量最大;陈炯<sup>[36]</sup>研究得出 LED 7R1B 处理下的韭菜茎粗、株高、产量、类黄酮及过氧化物酶(POD)皆大于 3R1B 处理,同时 R 处理的韭菜叶片超氧化物歧化酶(SOD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)含量均大于其它处理,刘晓英等<sup>[43]</sup>研究了不同比例的 LED 红蓝对水稻苗的影响,发现 7R4B 处理的秧苗鲜重、叶片数、茎粗、根冠比及壮苗数都大于 1R1B 和 4R7B 处理。(R 表示红光,B 表示蓝光,G 表示绿光,W 表示白光,O 表示橙光,P 表示紫光,aRcB 表示 R : B=a : c。)

### 2.3.2 其它光质对园艺植物生理生化及品质的影响

LED 红蓝光虽然对植物生长有明显优势,但植物的正常生长发育通常需要多个光质共同作用。园艺作物栽培试验和生产过程中常见的试验处理是在 LED R、B 上加上其它光质进行试验研究。当光强固定时不同光质对植株生产发育的影响存在差异。杨利云<sup>[44]</sup>研究发现光强固定在  $350 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,在 LED B 基础上增加 R 有利于植物净光合速率的增加,同时 W 处理下的荧光强度和光化学量子效率均显著大于 R、B、Y、G 处理,这与光强一定时对绞股蓝净光合速率影响大小为  $G < B < R < W$ <sup>[45]</sup> 和 QIAN 等<sup>[46]</sup> 发现 LED W 相比,B、R、G 更有利于提高莴笋营养价值,促进生菜营养生长的结果相似。由于研究对象不同导致试验结果有一定差异,HIRAI 等<sup>[47]</sup> 发现 LED B 比 W 和 G 更有利于茄子和向日葵幼苗茎的生长;刘敏玲<sup>[48]</sup> 研究发现 LED B、G 比 R、Y 和 W 可促进金线莲总黄酮、多糖和氨基酸等物质的合成。相当一部分研究认为红蓝组合光上增加其它光质有利于植物生长。KIM 等<sup>[49]</sup>、郑胤建等<sup>[50]</sup>、LIU 等<sup>[51]</sup> 和鹿莹<sup>[52]</sup> 都得到相似的试验结果。组合光中哪几种颜色组合更有利于植物生长,目前没有定论。试验研究和实际生产上常用光质有 R、B、Y、G 和 W,W 常作为对照处理,一般是 2 种或 3 种光质组合,同时并非组合光质种类越多越有利于植物生长。石镇源等<sup>[53]</sup> 以虎雪兰组培苗为研究对象,4R2B1G 处理下植株叶绿素含量显著高于其它处理,组培苗的生长状况最好,但是 6R1B1W 处理的植株长势一般,较单色 W 和 1R1B 处理差;刘晓英等<sup>[25]</sup> 发现,RBYGP 组合光处理的番茄单株产量小于 BR 处理,光合色素含量、株高、鲜重等都小于 RBP 处理。

## 3 展望

### 3.1 加强对 LED 植物灯波长的选择及研究

波长 400~700 nm 的光谱产生的能量是自养植物光合作用所必需的。由于企业为了方便大批量生产一般 LED 植物灯会有固有的波长和组合配比,但据调查其中的波长和组合配比只合适某一种特定植物。其实不同植物对波长的敏感程度一定不同,因此可以认为某一种植物应该也会对某一段波长中的某一点有较敏感

的反应。查看文献资料可以发现这方面的研究相对光的其它特性并不受重视。那么对在生产 LED 植物灯时进行半波纯化,减少半波宽度的意义及研究同一光质不同波长对园艺植物的理化品质影响的必要性等方面,目前还没有较有力的数据及理论依据。

### 3.2 加大 LED 未来的运用领域

近年来,LED 光在植物补光方面的运用普遍在于植物栽培、组织培养方面,对离体叶片和果实蔬菜储存保鲜方面的影响研究鲜有报告。如多种茶类加工过程中的光萎凋工序通常依靠阳光,但茶季从每年 4 月持续到 11 月,期间常见阴雨天气,那么如何在阴雨天气利用 LED 光源代替日光进行茶叶萎凋?光是影响普洱茶和白茶陈化的重要因素之一,在目前茶叶市场老白茶和陈年普洱茶大热的情况下如何在这些茶类储存过程中加入一定量的 LED 光加速茶叶陈化?同时植物对光的响应是一个连续化的反应,光的诱导作用可以影响植株代谢产物含量的变化,那么 LED 光被认为是一种新型高效的人工光源,应该可以作为一个新的诱导光源进行光调控基因方面的研究。此外,LED 作为冷光源可以近距离照射植物,为提高空间利用率和 LED 植物灯的效益,未来的 LED 植物工厂可以朝垂直农业发展。通过模拟创造植物生长环境,充分运用立体空间,合理的密植、套种,进行全年的连续生产。

### 3.3 LED 未来发展存在的问题

LED 光源要在设施园艺上大面积推广,需要解决成本及效益问题。除了能对植物随时、及时、按需、按周期的补光外,还要防止补光过度造成浪费。同时加大智能型 LED 植物灯的研发,可以根据植物、环境、生长阶段的不同通过调节获得所需的光强和光质配比,在这些功能基础上进一步控制 LED 植物灯的体积和质量,尽量做到轻便好安装。同时加大高光强 LED 植物灯的研究开发,因为未来市场对较高光强植物灯的需求可能会成为 LED 植物灯的产品趋势。

### 参考文献

- [1] 刘文科,杨其长,魏灵玲. LED 光源及其设施园艺应用[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2012:145-147.
- [2] 王志敏,宋非非,徐志刚,等. 不同红蓝 LED 光照强度对叶用莴苣生长和品质的影响[J]. 中国蔬菜,2011(16):44-49.
- [3] 谢淑琴,马彦霞,曹力强,等. 日光温室栽培杏 LED 灯补光效果研究[J]. 中国果树,2015(1):36-38.
- [4] 王永志. 君子兰栽培光环境机理与调控的研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [5] 刘文科,杨其长,邱志平,等. LED 光质对豌豆苗生长、光合色素和营养品质的影响[J]. 中国农业气象,2012(4):500-504.
- [6] 刘敏玲,苏明华,潘东明,等. 不同 LED 光质对金线莲生长的影响[J]. 亚热带植物科学,2013(1):46-48.
- [7] 陈祥伟,刘世琦,刘庆,等. 不同 LED 光源对小白菜生长及光合特性的影响[J]. 北方园艺,2013(22):1-4.



- [8] 陈寿松. LED对乌龙萎凋光响应及其理化品质的影响研究[D]. 福州:福建农林大学, 2014.
- [9] 王小双. 不同LED光色下繁育的二代种用与肉用三黄鸡生产性能比较[D]. 杭州:浙江大学, 2014.
- [10] 高鸿磊, 诸定昌. 植物生长与光照的关系[J]. 灯与照明, 2005, 29(4): 1-4.
- [11] 宋亚英, 陆生海. 温室人工补光技术及光源特性与应用研究[J]. 农村实用工程技术: 温室园艺, 2005(1): 28-29.
- [12] MIYASHITA Y, KIMURA T, KITAYA Y, et al. Effects of red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*; using light emitting diodes(LEDs) as a light source for micropropagation[J]. Acta Horticulturae, 1997, 418: 169-173.
- [13] 郑晓蕾, 丸尾達, 朱月林. 植物工厂条件下光质对散叶莴苣生长和烧边发生的影响[J]. 江苏农业科学, 2011(6): 270-272.
- [14] MATSUDA R, OHASHI K K, FUJIWARA K, et al. P M. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light[J]. Plant Cell Physiology, 2004, 45: 1870-1874.
- [15] 常涛涛, 刘晓英, 徐志刚, 等. 不同光谱能量分布对番茄幼苗生长发育的影响[J]. 中国农业科学, 2010(8): 1748-1756.
- [16] 赵启蒙. 用于植物生长补光的LED照明系统研究[D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [17] 陈祥伟, 刘世琦, 王越, 等. 不同LED光源对乌塌菜生长、光合特性及营养品质的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 1955-1962.
- [18] 闻婧, 杨其长, 魏灵玲, 等. 不同红蓝LED组合光源对叶用莴苣光合特性和品质的影响及节能评价[J]. 园艺学报, 2011(4): 761-769.
- [19] 谢素珍, 刘士哲, 陈建胜, 等. 不同光强的LED光源对水培上海青生长和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2013(14): 41-43, 47, 2.
- [20] 崔瑾, 马志虎, 徐志刚, 等. 不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2009(5): 663-670.
- [21] 徐志刚, 崔瑾, 邸秀茹. 不同光谱能量分布对文心兰组织培养的影响[J]. 北京林业大学学报, 2009(4): 45-50.
- [22] 陈强, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同LED光源对番茄果实转色期品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009(5): 156-161.
- [23] 王丹, 杨爱宽, 李光宏, 等. LED光质对碧玉兰×独占春组培苗生理生化影响[J]. 北方园艺, 2014(16): 61-66.
- [24] 张喜娟, 来永才, 孟英, 等. 红蓝光LED在水稻立体化育秧模式中的应用研究[J]. 作物杂志, 2014(5): 122-128.
- [25] 刘晓英, 徐志刚, 常涛涛, 等. 不同光质LED弱光对樱桃番茄植株形态和光合性能的影响[J]. 西北植物学报, 2010(4): 725-732.
- [26] 周晚来, 刘科文, 闻婧. 短期连续光照下水培生菜品质指标变化及其关联性分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1319-1323.
- [27] TRIPATHY B C, BROWN C S. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light[J]. Plant Physiology, 1995, 107: 407-411.
- [28] 郭双生, 艾为党, 赵成坚, 等. 受控生态生保系统中植物生长光源的选择[J]. 航天医学与医学工程, 2003(S1): 490-493.
- [29] 刘颖, 林娟, 周小丽, 等. LED光照对拟南芥叶绿素含量和根生长发育的影响[J]. 复旦学报(自然科学版), 2013(6): 762-767.
- [30] 周宏. 不同光强光质对烤烟生长发育和烟碱合成代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [31] WU M C, HOU C Y, JIANG C M, et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings[J]. Food Chemistry, 2007, 101(4): 1753-1758.
- [32] 张欢, 徐志刚, 崔瑾, 等. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2009(10): 28-32.
- [33] JOHKAN M, SHOJI K, GOTO F, et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce[J]. Hort Science, 2010, 45: 1809-1814.
- [34] YORIO N C, COINS G D, KAGIE H R, et al. Improving spinach, radish and lettuce growth under red light emitting diodes(LEDs) with blue light supplementation[J]. Hort Science, 2001, 36: 380-383.
- [35] OKAMOTO K, YANAGI T, KONDO S. Growth and morphogenesis of lettuce seedlings raised under different combinations of red and blue light[J]. Acta Horticulturae, 1997, 435: 149-157.
- [36] 陈娟. 不同LED光源对韭菜生理特性及品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [37] 崔慧茹. 光质对彩色甜椒生理特性及品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [38] 陈晓丽, 郭文忠, 薛绪掌, 等. LED组合光谱对水培生菜矿物质吸收的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2014(5): 1394-1397.
- [39] 唐永康, 郭双生, 艾为党, 等. 不同比例红蓝LED光照对油麦菜生长发育的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2010(3): 206-212.
- [40] OHASHI-KANEKO K, GOJI K, MATSUDA R, et al. Effects of blue light supplementation to red light on nitrate reductase activity in leaves of rice seedlings[J]. Acta Horticulturae, 2006, 711: 351-356.
- [41] 吴根良, 郑积荣, 李许可. 不同LED光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014(2): 246-253.
- [42] 朱靛, 吴仕强, 杨博文, 等. 适应于芥菜生长的LED植物生长灯光物理参数探究[J]. 大学物理, 2013(5): 57-60.
- [43] 刘晓英, 焦学磊, 徐志刚, 等. 红蓝LED光对水稻秧苗形态建成的影响[J]. 照明工程学报, 2013(S1): 162-167.
- [44] 杨利云. 不同光质对烟草生长发育、光合特性及多酚代谢的影响[D]. 昆明: 云南师范大学, 2014.
- [45] 李馨芸. 光质对绞股蓝生长、光合作用及次生代谢产物积累的影响[D]. 吉首: 吉首大学, 2012.
- [46] QIAN L, CHIERI K. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67: 59-64.
- [47] HIRAI T, AMAKI W, WATANABE H. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the internodal stem elongation of seedling in eggplant, leaf lettuce and sunflower[J]. Journal of society of High Technology in Agriculture, 2006, 18(2): 160-166.
- [48] 刘敏玲. LED不同光质对金线莲生理特征及品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [49] KIM H H, WHEELER R M, SAGER J C, et al. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment: A review of research at Kennedy Space Center[J]. Acta Horticulturae, 2006, 711: 111-119.
- [50] 郑胤建, 汪玉洁, 苏蔚, 等. 不同光质LED灯对红豆芽苗菜生长和品质的影响[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2013(9): 38, 40.
- [51] LIU W K, YANG Q C. Effect of day-night supplemental UV-A on growth, photosynthetic pigments and antioxidant system of pea seedlings in glasshouse[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 21: 14786-14791.
- [52] 鹿莹. 光质对烤烟光合特性和相关化学成分的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [53] 石镇源, 唐敏, 杨红飞, 等. LED不同光质对虎雪兰组培苗生理生化特性影响的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2012(6): 863-869.

# 葡萄酒共发酵体系中不同酵母菌种的相互影响

关雅静<sup>1</sup>, 程永芳<sup>1,2</sup>, 张岩<sup>1</sup>, 石磊<sup>1</sup>

(1. 宁夏农业生物技术重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**葡萄酒自然发酵是一个由众多微生物共同驱动的复杂反应过程。目前,葡萄酒产业中多采用纯化的酿酒酵母菌株,使发酵过程中的微生物菌种单一化。然而,采用多个酵母菌株进行可控混合发酵逐渐受到葡萄酒产业的重视。在共发酵情况下,酵母间的相互作用会影响各菌种的生长和发酵产物的产生,对目标性状的产生起着重要的作用。可控混合发酵能够改善酿成酒的某些特性,或是增强酿成酒的某一特定品质。控制和优化混合发酵的条件,实现共发酵体系的优化,以期葡萄酒产业发展提供新的思路。

**关键词:**葡萄酒酵母;共发酵;相互作用

**中图分类号:**TS 262.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)02-0193-05

当前,葡萄酒酿造工业生产已经逐步实现了由有孢汉逊酵母(*Hanseniaspora*)介导的葡萄酒自然发酵到酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)主导发酵的演替。然而,发酵过程中有时也会检测到其它酵母菌种如梅奇酵母(*Metschnikowia*)、念珠菌(*Candida*)、有孢圆酵母(*Torulaspora*)、克鲁维酵母(*Kluyveromyces*)和接合酵母(*Zygosaccharomyces*)等<sup>[1-3]</sup>。葡萄酒发酵是一个复杂的微生物反应过程,其中理化条件和菌种间的相互作用对微生物生长和代谢都会有所影响,进而影响酿成酒的品质。

**第一作者简介:**关雅静(1982-),女,硕士,研究方向为植物生物技术。E-mail:gyj8912@163.com

**责任作者:**石磊(1984-),男,硕士,助理研究员,研究方向为植物生物技术与基因工程。E-mail:s5266@126.com

**基金项目:**宁夏自然科学基金资助项目(NZ13115)。

**收稿日期:**2015-09-30

## 1 共发酵体系与酵母间的相互作用

为了改善发酵率和控制发酵过程,人们采用接种特定酿酒酵母菌株的发酵方式,在产酒的同时获得特殊的酿成酒品质。目前采用的方式有对菌种进行遗传改良或同时接种其它菌种来改变酿成酒的品质<sup>[4]</sup>。一般认为,发酵过程中接种特定酿酒酵母菌株会抑制其它酵母菌群的生长。然而,在酒类发酵过程中,非酿酒酵母菌群大量增长的案例曾见报道,在酒类成分和香型方面产生好的或坏的影响<sup>[2,5-6]</sup>。

在对酒类生产中非酿酒酵母的影响进行了大量研究以后,人们开始对这些菌群的作用进行重新审视。事实上,一些非酿酒酵母可以增强酒类中的成分物质和香气轮廓。在这种情况下,过去的20年间应用酿酒酵母菌株和特定非酿酒酵母菌株进行共发酵逐渐受到重

## Research Progress of Effect of LED Light on Plant Physiological Characteristics and Quality

WANG Tingting, YU Shaojuan, LI Xinlei, LIU Xiarong, JIN Xinyi

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

**Abstract:** LED as an artificial light source is widely used in plants for its function of energy conservation and environmental protection, but at present, the study on the LED light of parameter is set without certain regularity, and under the influence of research object, the LED light have different specific role of epicuticular plants. So this paper summarized the researches about LED wavelength and light intensity, light quality, combination light proportion in facilities horticulture and its physiological and biochemical effects of horticultural plants. This paper provided certain reference value about the LED light source applied in the plant production, also we put forward related suggestions in the LED application of horticultural plants and future development direction.

**Keywords:** light-emitting diodes; light intensity; wavelength; light quality; plant