

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.

# LED 光质对上海青与樱桃萝卜早期生长的影响

王挺进,杨 洋,杨榭崧,向 珣  
(浙江大学 农业与生物技术学院,浙江 杭州 310058)

**摘要:**不同光质或波长的光,具有明显不同的生物学效应,包括植物的形态建成、光合作用、器官生长发育、品质形成等。为探索适宜种植不同食用器官蔬菜的最佳光谱,以上海青油菜和樱桃萝卜为试验材料,探索不同光质对叶菜类蔬菜和根菜类蔬菜地上部、地下部形态建成的影响。通过仿日光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ )为对照,设红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )、红/蓝(5:1)、蓝光 LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )处理,测量早期株幅、株高等生长变化。结果表明:不同光质处理对株幅、真叶的数量无显著影响。相对仿日光(对照),蓝光下植株显著矮化,但地上部鲜重无显著变化;红光促进株高,地上部鲜重显著增加。红/蓝光(5:1)显著提高了叶菜株高及鲜重,但对根菜株高、地上鲜重、肉质根鲜重及膨大直径均无显著作用。初步表明红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )和蓝光 LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )不利于肉质根正常膨大;较高红蓝光质比(5:1)和红光 LED 可有效促进叶菜植株生长,提高产量。

**关键词:**LED;光质;叶菜;根菜;生物量

不同光质或波长的光,具有明显不同的生物学效应,包括对植物的形态建成、光合作用、器官生长发育、品质形成的不同。与传统人工光源相比,LED(发光二极管,light emitting diode)具有光质纯、光效高、与植物光合作用和光形态建成的光谱范围吻合以及环保节能等优势,可实现高效能、低热负荷和紧凑空间的集约化植物生产。借助 LED 光源,研究光环境对园艺植物生长发育、品质形成影响,具有重要的科学和实践意义,以及广泛的应用前景<sup>[1-2]</sup>。叶菜类蔬菜生育周期短,供应周期长,市场占有率大,非常适宜植物工厂化生产。根菜蔬菜种类众多,营养丰富,其根、茎、叶均可食用。目前研究不同光质对蔬菜生长发育的影响,多以单一蔬菜品种为材料<sup>[3-7]</sup>,本试验同时以上海青油菜和樱桃萝卜为试验材料,旨在探索不同光质 LED 对叶菜和根菜地上部、地下部形态建成的影响,以期找出适宜种植不同食用器官蔬菜的最佳光谱,为 LED 光质的选择提供依据。

## 1 材料及方法

### 1.1 材料

从市场购置上海青油菜和樱桃萝卜种子。

### 1.2 方法

1.2.1 搭建 LED 人工光源 每层各安装两根 LED 灯管,分别为仿日光、红光、红/蓝光(R:B=5:1)和蓝光(表 1)。使用 Everfine 植物光照分析仪测定光照强度,每层的有效光合光子通量密度(Photosynthetic photon flux density, PPFD)均为  $180\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 1)。

表 1 LED 光质的主要技术参数

Table 1 Spectral parameters of LED light quality

处理 Treatments	光质 Light quality	峰值波长 $\lambda_p/\text{nm}$	波长半宽 $\Delta\lambda/\text{nm}$
CK	仿日光	640	132
R+B	红:蓝=5:1	640/460	10
R	100%红	640	10
B	100%蓝	460	10

1.2.2 育苗、定植 2018 年 5 月 29 在基质穴盘中点播上海青油菜、樱桃萝卜种子(泥炭土:蛭石:珍珠岩=3:1:1),置于半日照露台育苗,期间浇施德美大量元素水溶肥,两叶一心时定植。定植于规格一致、施足等量底肥的菜盆中。仿日光为 CK 组,将小白菜、樱桃萝卜置于 3 种不同光质处理下。光照时长为  $16\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ ,各组定期浇灌等量德美大量元素水溶肥。

收稿日期:2019-04-27  
基金项目:浙江省公益技术应用研究计划(LGN19C150012);浙江省高校实验室工作研究项目(YB201731)。  
第一作者简介:王挺进(1995-),男,在读硕士,从事园艺植物种质资源创新与分子育种研究。E-mail:3140100300@zju.edu.cn。  
通讯作者:向珣(1973-),女,博士,高级工程师,从事园艺植物种质资源创新与分子育种研究。E-mail:xxiang@zju.edu.cn。

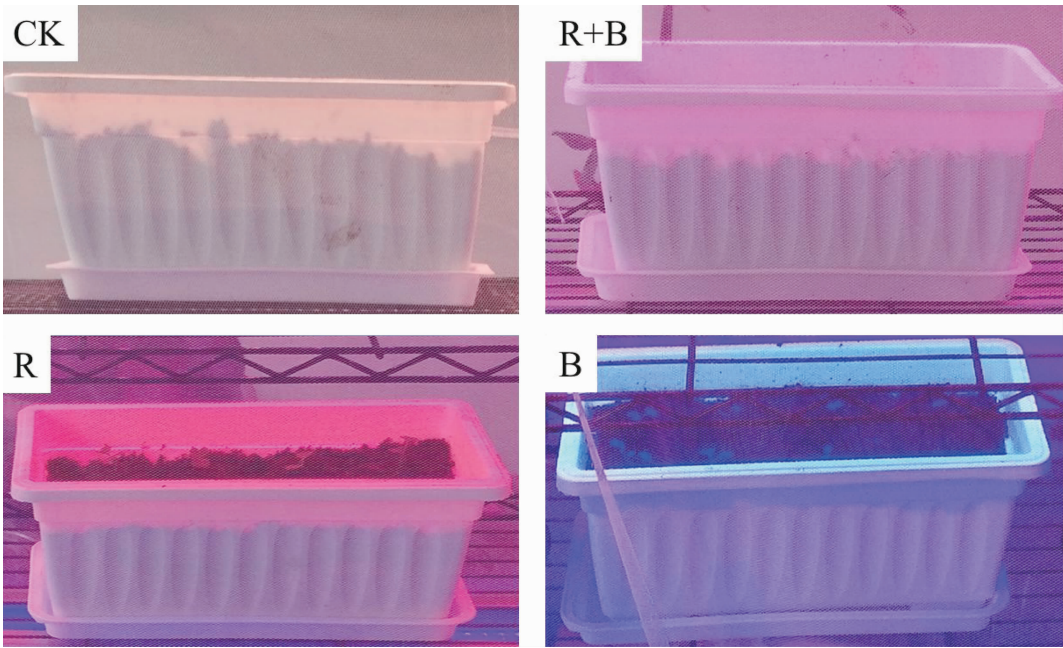


图1 LED光源

Fig.1 Light source of LED culture

1.2.3 测定项目及方法 7月12日采收,选取具代表性的5~6株植株进行生长指标及生长量测量,包括株高、株幅、真叶数量、小白菜地上部鲜重、樱桃萝卜地上部鲜重及肉质根鲜重,肉质根直径等,3次重复。

1.2.4 数据分析 试验数据采运用 Microsoft Excel 软件计算各组平均值和标准差,采用 SPSS 软件的方差分析(ANOVA)比较差异显著性。

2 结果及分析

2.1 不同光质对蔬菜植株早期生长指标及生长量的影响

由图2可知,不同光质LED处理对上海青株幅、真叶的数量影响不明显,但地上部鲜重、株高指标存在显著差异(表2)。红光LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,

$\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )处理上海青株高最高(146.65 cm),略高于红/蓝光(5:1),显著高于仿日光LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ )和蓝光LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ ),蓝光处理株高最低(114.06 cm),但红光LED处理上海青叶柄细弱,株形松散不紧凑,叶多卷曲(图2C)。红/蓝光处理上海青地上鲜重最高,分别为红光LED、仿日光LED、蓝光LED的1.20、1.56、1.58倍,株形较紧凑(图2B)。

由图3和表3可知,不同光质LED处理对樱桃萝卜株幅、真叶的数量影响同样不显著。红/蓝光(5:1)处理与对对比,各项指标均无显著差异。红光LED处理地上部鲜重最大,显著高于红/蓝光、仿日光LED和蓝光LED处理,分别为其1.20、

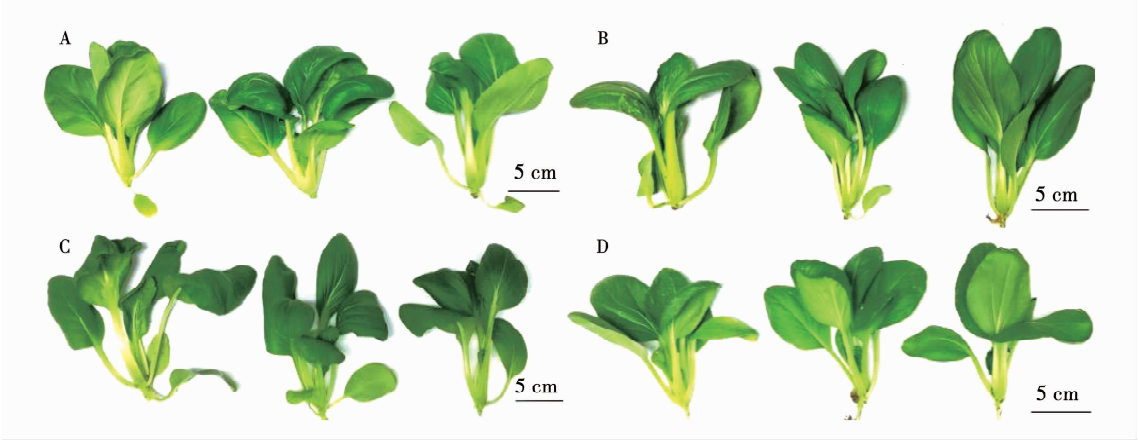
表2 不同光质LED处理上海青早期生长指标及生物量比较

Table 2 Comparison of growth indices and biomass of Shanghaiqing under different light qualities				
光质 Light quality	地上部鲜重 Fresh weight of aboveground/g	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	真叶数 Leaf number
CK	8.77 c	126.48 b	156.97 a	8.50 a
R+B(5:1)	13.67 a	139.23 a	148.58 a	8.50 a
R	11.43 b	146.65 a	145.58 a	8.63 a
B	8.67 c	114.06 c	142.97 a	8.88 a

同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著性( $P<0.05$ )。下同。  
Different lowercase lettersafter the same column indicate the significant difference at 0.05 level. The same below.

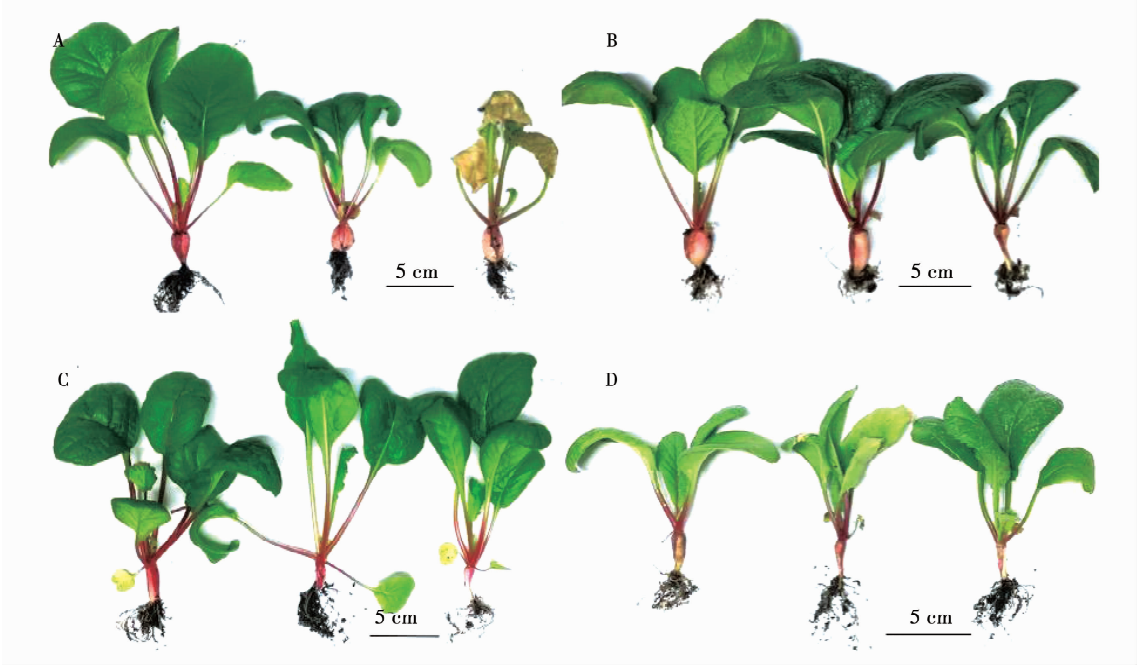
1.22、1.39 倍;同时株高也最高,显著高于红/蓝光(5:1)、仿日光 LED 和蓝光 LED 处理,分别为其 1.21、1.27、1.61 倍。因此红光 LED 显著增加了地上部鲜重,但其肉质根鲜重显著低于红/蓝光(5:1)、对照(仿日光 LED)处理,肉质根直径也

最小。相比之下,红/蓝光(5:1)处理樱桃萝卜肉质根鲜重最大,且肉质根长圆形,直径与对照无显著差异。红光处理肉质根直径最小,蓝光次之,分别为对照的 43.8%、57.4%,且与对照比差异显著。



A: 仿日光;B:红/蓝光(5:1);C:红光;D:蓝光。  
A: Sun-like light;B: Red/Blue(5:1);C:Red light;D:Blue light.

图 2 不同光质 LED 处理上海青早期植株形态  
Fig.2 Early plant morphologyof Shanghaiqingunder different light qualities



A: 仿日光;B:红/蓝光(5:1);C:红光;D:蓝光。  
A: Sun-like light;B: Red/Blue(5:1);C:Red light;D:Blue light.

图 3 不同光质 LED 处理樱桃萝卜早期植株形态  
Fig.3 Early plant morphology of Cherry radish under different light qualities

表 3 不同光质 LED 处理樱桃萝卜早期生长指标及生物量比较

Table 3 Comparison of growth indices and biomass of Cherry radish under different light qualities

光质	地上部鲜重	株高	株幅	真叶数	肉质根鲜重	肉质根直径
Light	Fresh weight of	Plant	Plant	Leaf	Root fresh	Root
quality	aboveground/g	height/cm	width/cm	number	weight/g	diameter/mm
CK	6.77 b	97.12 b	147.53 a	5.63 a	1.63 a	11.54 a
R+B(5:1)	6.87 b	102.15 b	167.19 a	6.00 a	1.69 a	9.55 a
R	8.24 a	123.26 a	164.76 a	5.63 a	0.75 b	5.06 c
B	5.94 b	76.68 c	133.27 a	5.00 a	0.49 b	6.62 b

对不同 LED 光质处理下,比较叶菜类蔬菜上海青与根菜类蔬菜樱桃萝卜早期生物量(表 2、表 3),发现蓝光 LED 对提高上海青和樱桃萝卜地上部生长没有显著作用。相对仿日光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ )而言,蓝光 LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )和红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )均表现出显著抑制肉质根累积,但红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )对上海青与樱桃萝卜的地上部生长均有显著提高作用。红/蓝光(5:1)显著提高了上海青地上部生长,但对樱桃萝卜无论是地上部生长,还是肉质根膨大及累积均无显著作用。

3 结论与讨论

光是植物生长发育的基本环境因素,它不仅是光合作用的基本能源,而且是植物生长发育的重要调节因子。植物的生长发育不仅受光强(光子通量密度,Photon flux density,PFD)的制约,而且受到光质即不同波长的光及其不同组合比例的影响。不同研究侧重点不同,导致所用光源种类、植物种类和试验条件不同,尤其是不同实验所用同一种单色光的波段范围并不完全一致<sup>[4,6,8-9]</sup>。本文用仿日光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ ),红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )、蓝光 LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )、红/蓝光(5:1),光子通量密度  $180\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,光照时长  $16\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ ,研究上海青和樱桃萝卜早期生长变化。对叶菜与根菜,红光 LED 处理株高达到最高值,显著高于对照,地上部鲜重与株高呈正相关;蓝光 LED 明显抑制株高,但地上部鲜重与对照无显著差异。这一结论与小白菜<sup>[3]</sup>、番茄<sup>[6]</sup>、

生菜<sup>[10]</sup>、青蒜苗<sup>[11]</sup>、萝卜芽菜<sup>[12]</sup>等研究结论相符,红光有利于光合速率,进而可有效促进幼苗生长,提高地上部产量。蓝光能提高吲哚乙酸氧化酶的活性,降低生长素的水平,进而抑制植物伸长。红/蓝光(5:1)处理地上鲜重最大,其原因可能是因为单色光之间具有互补和加性效应<sup>[13-14]</sup>。

肉质根膨大是一个复杂的生理生化过程,涉及到形态建成、营养物质积累和相关基因表达等一系列的问题。樱桃萝卜肉质根膨大是其特有的生长指标,其膨大能力强弱直接影响产量的高低,品质的好坏。本研究发现单独蓝光 LED 下,萝卜植株矮化且地上鲜重无显著差异(与叶菜类相似),但肉质根膨大直径和鲜重显著受到抑制;单独红光 LED 下,植株徒长,抑制肉质根的膨大变粗。表明植物能通过光受体感受光质与光强的微妙变化,这些光受体通过信号传递系统来改变萝卜肉质根发育中的形态建成<sup>[15]</sup>。红光 LED 补充 10%蓝色 LED(红:蓝光=5:1)能显著增加萝卜干重,植株徒长得到抑制,肉质根膨大正常,达到萝卜的最大生长效率。这可能是蓝光在维持地上部鲜重正常的情况下,保持输导系统通畅,促进非结构性碳水化合物在叶和根中的分配,促使光合产物由源向库运输,从而促进肉质根正常膨大<sup>[16]</sup>。可见,不同比例的红/蓝光质在控制植物光形态建成中发挥关键作用,对叶菜和根菜生长影响存在较大差异。适当比例的蓝光能促进萝卜肉质根的形态建成与发育,推测其可能通过源-库协同调节,影响植物体内激素的产生和分布,这两条途径进行调控,其作用机理有待进一步研究。

探究不同红蓝光配比对樱桃萝卜和小白菜生长与形态建成的影响,筛选出适合叶菜和根菜生

长发育的 LEDs 光环境条件,以更低能量投入实现植物工厂的优质高产。在植物工厂条件下生产叶菜和根菜,可按照食用部位进行光环境调控,增加生物量,延长货架期。对叶菜上海青而言,选用红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )或红/蓝光(5:1)处理可显著提高产量,经济效益显著;选用蓝光 LED( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )处理得到矮化植株,产量虽没显著提高,但适合中长距离运输,延长货架期;在根菜樱桃萝卜工业化生产中,适宜使用仿日光( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ )和红/蓝光(5:1);红光 LED( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ )能显著促进地上部生长,适用于叶用型樱桃萝卜工厂化生长。

#### 参考文献:

- [1] 许大全,高伟,阮军.光质对植物生长发育的影响[J].植物生理学报,2015,51(8):1217-1234.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 刘文科,姜偲倩.LED红蓝光质及其光周期对萝卜苗生长及生物量的影响[J].中国照明电器,2016(12):24-26.
- [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,2012,33(4):500-504.
- [6] 蒲高斌,刘世琦,刘磊,等.不同光质对番茄苗生长和生理特性的影响[J].园艺学报,2005,32(3):420-425.
- [7] 宁宇,邓惠惠,李清明,等.红蓝光质对芹菜碳氮代谢及其关键酶活性的影响[J].植物生理学报,2015,51(1):112-118.
- [8] 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.
- [9] 孙小玲,许岳飞,马鲁,等.植株叶片的光合色素构成对遮阴的响应[J].植物生态学报,2010,34(8):989-999.
- [10] 陈文昊,徐志刚,刘晓英,等.LED光源对不同品种生菜生长和品质的影响[J].西北植物学报,2011,31(7):1434-1440.
- [11] 杨晓建,刘世琦,张自坤,等.不同LED光源对青蒜苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J].中国蔬菜,2011(6):62-67.
- [12] 张欢,徐志刚,崔瑾,等.不同光质对萝卜芽菜生长和营养品质的影响[J].中国蔬菜,2009(10):28-32.
- [13] 许莉,刘世琦,齐连东,等.不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响[J].中国农学通报,2007,23(1):96-100.
- [14] 唐永康,郭双生,艾为党,等.不同比例红蓝LED光照对油菜菜生长发育的影响[J].航天医学与医学工程,2010,23(3):206-212.
- [15] 查凌雁,刘文科.不同光强下红蓝光配比对樱桃萝卜生长与产量的影响[J].中国农业气象,2018,39(3):162-167.
- [16] Giedre Samuoliene, Ramūnas Sirtautas, Aušra Brazaityte, et al. The impact of red and blue light-emitting diode illumination on radish physiological indices[J]. Central European Journal of Biology, 2011, 6(5): 821-828.

## Effects of LED Light Quality on the Early Growth of Shanghaiqing and Cherry Radish

WANG Ting-jin, YANG Yang, YANG Xie-song, XIANG Xun

(College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Different light qualities or wavelengths have distinct biological effects, including different effects on plant morphogenesis, photosynthesis, organ growth and development, and quality formation. In order to explore the optimum spectra for different vegetables growing, Shanghaiqing and cherry radish were the materials cultivated in half-day balcony with photosynthetic photon flux density  $180\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $16\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ , to analyze the effects of different light quality on morphogenesis of upper and underground parts of leaf vegetable and root vegetable. The early biomass changes were measured. The results showed that in contrast to sun-like light LED ( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=132\text{ nm}$ ), blue light LED ( $\lambda_p=460\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ ) inhibited plant height, and red light LED ( $\lambda_p=640\text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda=10\text{ nm}$ ) promoted plant height and increase fresh weight of aerial parts significantly. Red:blue (5:1) significantly increased the shoot growth of Shanghaiqing rape, but had no significant effect on cherry radish. The red light or blue light was not conducive to the growth and yield of root vegetable. Red:blue (5:1) could effectively promote the growth of leaf vegetable and the yields.

**Keywords:** LED; light quality; leaf vegetable; root vegetable; biomass