

# Effects of Different LED Light Qualities on Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters in Planting Virus-Free Potato by Hydroponics System

Yuqiao Tang<sup>1</sup>, Daobin Tang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>High School Affiliated to Southwest University, Chongqing

<sup>2</sup>College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing

Email: 313086910@qq.com, \*tdbin741023@163.com

Received: Dec. 4<sup>th</sup>, 2018; accepted: Dec. 14<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 21<sup>st</sup>, 2018

## Abstract

The differences of virus-free potato seedling growth, as well as variances of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters were studied. Red light, blue light, Red + Blue (R + B) light generated by light-emitting-diode, white light as control, were applied to study the influences of different LED light qualities such as W, R, B, 7R1B, 3R1B, 1R1B, 1R3B, 1R7B, on virus-free potato seedling leaves with Favorite and Eshu No. 5 as materials. The results showed that the different lighting quality treatments affected the growth and photosynthetic characteristics of potato seedlings significantly in different ways. Obvious increase was observed about plant height and contents of chlorophyll in the red light treatment. It was showed that blue light treatment was beneficial to the growth of leaf area index, height, leaf area, chlorophyll a/b and dry plant weight, as well as  $\Phi_{PSII}$ , ETR. Moreover, it was also beneficial to the increase of tubers production and the acceleration of ripening time. Furthermore, it was concluded that 1R7B treatment showed its superiority with significant increase of plant height, stem diameter, seedling index, dry plant weight as well as ETR,  $\Phi_{PSII}$  and qP, but it cannot increase the number of tubers. In addition, blue light can promote the enlargement of tubers. So pre-treatment increase in red light can lead to the formation of a large number of stolons, post-treatment increase in blue light can promote the enlargement of tubers and stolons tuber, meantime, thus increasing the yield of tubers.

## Keywords

Virus-Free Potato, Hydroponic, LED, Light Quality, Chlorophyll Fluorescence

## 光质对马铃薯生长及叶绿素荧光参数的影响

唐宇桥<sup>1</sup>, 唐道彬<sup>2\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>西南大学附属中学, 重庆

<sup>2</sup>西南大学农学与生物科技学院, 重庆

Email: 313086910@qq.com, tdbin741023@163.com

收稿日期: 2018年12月4日; 录用日期: 2018年12月14日; 发布日期: 2018年12月21日

## 摘要

研究不同光质LED的光源对水培脱毒马铃薯生长、光合色素含量及叶绿素荧光参数的影响。采用发光二极管(light emitting diode, LED)精量调制光质, 以单色光(红光R、蓝光B)和红蓝组合光(7R1B, 3R1B, 1R1B, 1R3B, 1R7B)为光源, 以白光作为对照, 脱毒马铃薯费乌瑞它和鄂薯5号作为试验材料, 研究不同光质LED光源对脱毒马铃薯植株生长发育、叶绿素荧光特性和结薯特性的影响。结果表明: 在不同光质的作用下, 脱毒马铃薯的生长发育存在差异。红光R能够明显提高植株株高和叶绿素含量; 蓝光B处理可提高植株的株高、鲜重及干重、叶形指数、叶面积和叶绿素a/b值, 以及 $\Phi_{PSII}$ 和ETR, 且蓝光促进植株衰老, 可通过缩短植株生产周期, 提高工业产量。红蓝组合光R1B7处理下的植株具有较高的株高、茎粗、干重及壮苗指数, 且提高了 $\Phi_{PSII}$ 、ETR和qP, 产量也较高, 但结薯数相对较少, 蓝光有利于块茎的膨大, 而不利于匍匐茎的大量产生, 所以可通过前期提高红光比例增加匍匐茎的形成, 而后期降低红/蓝光比值促进块茎的形成, 从而提高产量。

## 关键词

脱毒马铃薯, 水培, LED, 光质, 叶绿素荧光

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

光是植物生长最重要的环境因子, 是能量的主要来源, 而且光质对植物生长、形态、光合作用、物质代谢、内源激素水平以及基因表达等方面均具有调控作用; 已有研究证明, 红蓝组合光可满足多种蔬菜植物的正常生长发育, 植物对红蓝光的吸收率能达到90%, 因此红蓝光是植物生理活动的主要光源[1]。光形态建成传感信息的三个主要光感受器: 光敏色素(phytochrome), 蓝色光感受器, 和UV-B光感受器。光敏色素吸收红光及远红光区域的光[2]; 感受蓝光的受体有趋光素(phototropin)和隐花素(cryptochrome) [3], 隐花素介导蓝光诱导的细胞核和质体基因的转录及转录后水平的表达调控, 在叶绿体脱黄化发育中起重要作用。在蓝光诱导下植物子叶中位于细胞质中的CRY1介导使子叶扩张, 胚轴中定位于细胞核中的CRY1使胚轴生长抑制; 而CRY2仅仅位于细胞核中, 具有促进开花和抑制胚轴延长的作用[4]。大多数马铃薯栽培种的开花和块茎形成受光周期调控[5], 而感受光周期变化的光受体就是Phy和Cry [6]。前人已在番茄[7]、萝卜[8]、菠菜[9]、生姜[10]、草莓[11]、彩色甜椒[12]、莴苣[13]、青蒜苗[14]、黄瓜[15]、烟草[16]等作物研究中显示红光能够促进作物伸长生长, 提高叶绿素含量、净光合速率, 还可以通过调控光合器官的正常发育来增加光合产物的积累; 蓝光抑制作物的伸长生长, 提高叶片中Chl a/Chl b比值, 还可使植物花期、结实收获提前, 从而缩短生产周期, 提高产量。光质还通过影响叶绿素蛋白质的合成[17]、光合产物运输和光合酶系活性[18]、调节PSII光化学中心开放程度和PSI和PSII间的电子传递[19]

等来影响光合作用。

马铃薯受病毒侵染并逐代积累减产严重[20], 因此世界科学家主要采用脱毒马铃薯生产, 其主要的四种离体结薯途径(大田土壤基质生产、无土基质生产、试管直接诱导微型薯和水培栽培生产)生产无病毒种薯过程中, 水培栽培是新型的栽培方式, 受到众多国内外的马铃薯专家所推崇。但迄今为止, 对其他三种繁育方式的块茎发育机理的研究已有诸多报道, 对水培栽培结薯的生理机理研究主要集中在营养液配方的选择[21][22]、理化措施处理[23]与供液措施[24]、与其他生产方式增产效果比较[25]、激素调控[26]等方面。本文旨在通过 LED 精量调制光质和水培栽培设施, 研究其对水培脱毒马铃薯生长和叶绿素荧光特性的影响, 为不同光质的 LED 光源在水培脱毒马铃薯栽培的应用上提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料

试验于 2016 年 9 月~2017 年 2 月在西南大学薯类作物研究所马铃薯水培温室进行。供试脱毒马铃薯品种为费乌瑞它(Favorite, 简写 FN)和鄂薯 5 号(Eshu 5, 简写 ES5)。

费乌瑞它马铃薯由荷兰引进, 早熟马铃薯品种, 生育期 65 天。植株生长势强, 株型直立, 分枝少, 株高 65 cm 左右, 茎带紫褐色网状花纹; 叶绿色, 复叶大、下垂, 叶缘有轻微波状; 花冠蓝紫色、较大, 有浆果; 块茎长椭圆形, 皮淡黄色, 肉鲜黄色, 表皮光滑, 块茎大而整齐, 芽眼少而浅, 结薯集中; 植株抗 Y 病毒和卷叶病毒, 对 A 病毒和癌肿病免疫; 鲜薯干物质含量 17.7%, 淀粉含量 12.4%, 还原糖含量 3%, 粗蛋白含量 1.55%, 维生素 C 含量 13.6 mg/100g。鄂薯 5 号由湖北恩施中国南方马铃薯研究中心选育(国审薯 2008001), 中晚熟鲜食马铃薯品种, 生育期 94 天。株型半扩散, 生长势较强, 株高 62 cm, 植株整齐, 茎叶绿色, 叶片较小; 花冠白色, 开花繁茂; 匍匐茎短, 结薯集中, 块茎长扁形, 表皮光滑, 黄皮、白肉, 芽眼浅; 植株高抗马铃薯 X 病毒病、抗马铃薯 Y 病毒病, 抗晚疫病; 干物质含量 22.7%, 淀粉含量 14.5%, 还原糖含量 0.22%, 粗蛋白含量 1.88%, 维生素 C 含量 16.6 毫克/100 克。其脱毒试管苗由西南大学薯类作物研究所提供。

### 2.2. 试验方法

#### 2.2.1. 试验设计及 LED 光源设计

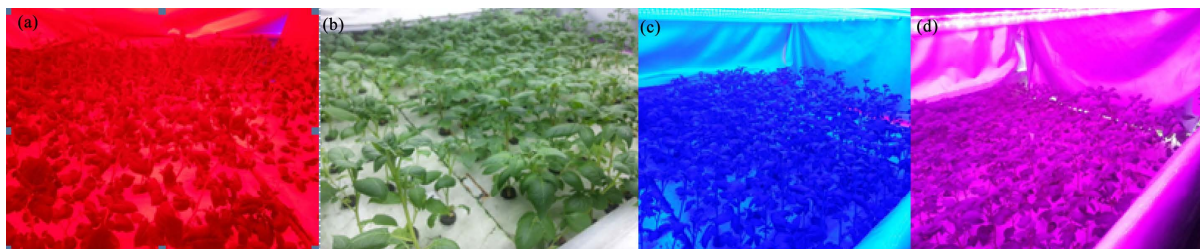
本试验设有 8 个 LED 光源, 分别设置为白光(W)、红光(R)、红蓝光 7:1 (7R1B)、红蓝光 3:1 (3R1B)、红蓝光 1:1 (1R1B)、红蓝光 1:3 (1R3B)、红蓝光 1:7 (1R7B)、蓝光(B), 并以白光(W)作为对照。采用裂区试验设计, 光质为主区, 品种为副区。

试验光源选用上海鼎铎照明电器有限公司生产的 KD-LED-T5 灯管, 每只灯管长 120 cm, 包含 92 颗蓝色(主要波长范围 400~500 nm, 波峰 460 nm)或红色(主要波长范围 610~710 nm, 波峰 660 nm)或白色(主要波长范围 400~800 nm, 波峰 450 nm 和 560 nm)的贴片, 灯珠按照试验要求的不同比例均匀交叉拼贴组成。

#### 2.2.2. 试验条件控制

试验光源仅采用 LED 灯, 每小区设置 10 根长为 120 cm 的 LED 灯管, 各小区间的灯架上方和四周悬挂银灰色挡光帘幕, 以阻挡外界自然光。处理前利用 Li-1400 数据采集器链接辐射传感器(美国 Li-COR)检测各个小区内的光合有效辐射值(PAR), 调节灯架高度, 使距栽培槽底部 20 cm 高度处的光合有效辐射 PAR 为  $150 \pm 20 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。水培苗定植后合上遮光帘幕, 全生育期间每天 8:00~19:00 补光, 其他时间保持小区内黑暗。整个生育期环境温度自动控制在白天  $18^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ , 夜晚  $18^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ; 营养液温度  $18^{\circ}\text{C} \pm$

2℃, 湿度保持在 70%~90%。水培采用营养液膜技术(NFT), 营养液为改进的霍格兰营养液, pH 值为  $5.8 \pm 0.2$ 。水和营养液通过喷头装置自动控制。待植株生长 20 天根系发达后, 在栽培板下架设特制支架, 将栽培板撑起 5 cm, 保证有充足结薯空间。栽培槽底前期保持 2~3 cm 营养液膜, 中后期降至 1 cm 左右, 保证根与空气充分接触; 营养液每 10 分钟交替循环一次, 每次 3 分钟; 贮液池为箱式, 以利营养液回流, 营养液 15~20 d 完全更换(图 1)。



**Figure 1.** Sketch map of plots with different light quality: (a) Red, (b) White, (c) Blue, (d) Red/Blue (7:1)

**图 1.** 不同光质的实验小区示意图(部分): (a) 红光, (b) 白光, (c) 蓝光, (d) 红蓝光 7:1

### 2.3. 取样及指标测定

本试验分别在水培定植 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d、60 d 取样进行指标测定。

#### 2.3.1. 植物生理指标测定

在光质处理 20 d 时各小区随机选取三株植株进行拍照记录, 并测定根长, 采用剪纸称重法测量叶面积, 用精确度为 0.001 g 的天平测定叶、茎、根鲜重及干重(在烘干箱内用 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 烘至恒重); 小区内连续 10 株对叶片数计数; 用游标卡尺测量茎粗(量近基部最粗处的茎的直径的平均值)和倒四叶的叶片纵、横径; 用直尺测量株高(地上茎基部到生长点的距离)。

壮苗指数  $\text{Healthy index} = \text{茎粗}/\text{茎高} \times \text{全株干质量}$ [27]

叶片含水量(%) =  $[(\text{叶鲜重} - \text{叶干重})/\text{叶鲜重}] \times 100\%$

比叶面积  $\text{SLA} (\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}) = \text{总叶面积}/\text{总叶干重}$

叶形指数 =  $\text{叶片纵径}/\text{叶片横径}$

#### 2.3.2. 叶片色素含量测定[28]

叶绿素含量采用乙醇:丙酮 = 2:1 的混合提取液浸泡法进行比色测定。

每小区随机取 10 株植物的倒四叶, 去叶茎后剪成 0.1~0.2 cm 的小碎片混匀, 称取 0.1 g 放入 10 ml 乙醇:丙酮 = 2:1 的混合提取液中, 密封黑暗放置 48 h 后, 645 nm、663 nm、470 nm 三波段下测吸光值。

叶绿素 a 的浓度(mg/L):  $\text{Ca} = 12.21A_{663} - 2.81A_{645}$

叶绿素 b 的浓度(mg/L):  $\text{Cb} = 20.13A_{645} - 5.03A_{663}$

类胡萝卜素(mg/L):  $\text{Cx} = (1000A_{470} - 3.27\text{Ca} - 104\text{Cb}) \div 229$

$$\text{叶绿素色素含量} (\text{mg/g}) = \frac{\text{色素浓度} \times \text{提取液体积} \times \text{稀释倍数}}{\text{样品鲜重}}$$

#### 2.3.3. 叶绿素荧光参数动态测定

每个小区内随机选取 3 株的倒四叶, 采用 MINI PAM 便携式叶绿素荧光仪(德国 Walz)测定叶片 PSII 初始荧光  $F_0$ 、最大荧光  $F_m$ 、最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、光化学猝灭系数(qP)、非光化学猝灭系数(qN)、PSII 量子子效率( $\Phi_{\text{PSII}}$ )和光合电子传递速率(ETR)等。

## 2.4. 数据处理

试验数据采用 DPS v 14.10 与 Excel 2013 软件进行统计分析与作图, 通过 LSD 多重比较法进行方差分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同光质下马铃薯叶片叶绿素和类胡萝卜素含量

叶绿素是植物进行光合作用重要的物质基础。如表 1 所示, 不同光质处理的两个马铃薯品种叶绿素含量均表现为:  $R > 7R1B > 3R1B > 1R1B > 1R3B > 1R7B > B$ , 且 R 和 7R1B 处理下的叶绿素含量显著高于对照 W; 叶绿素 a/b 值:  $B > 1R7B > 1R3B > 1R1B > 3R1B \geq 7R1B \geq R$ , 且 R 和 7R1B 处理下的叶绿素 a/b 值显著低于对照 W; 费乌瑞它和鄂薯 5 号在不同光质下类胡萝卜素含量存在差异, 费乌瑞它在红光 R 处理下的叶片类胡萝卜素含量显著高于对照 W, 除 3R1B 处理下的类胡萝卜素含量与对照无差异外, 其余光质处理下的类胡萝卜素含量均显著低于对照 W; 红光 R 和 3R1B 处理的鄂薯 5 号叶片类胡萝卜素含量显著高于对照 W, 其余光质处理下的类胡萝卜素含量均显著低于对照 W。说明其与大多数作物研究一致[29], 红光/蓝光值与叶绿素含量高低呈正比; 红光可降低叶片 Chl a/b 值, 蓝光可提高叶片 Chl a/b 值, 而蓝光增加到一定比例时 Chl a/b 无显著变化, 说明蓝光只能在一定范围内提高 Chl a/b。

**Table 1.** Effect of different light qualities on chlorophyll and carotenoid content in potato leaves at stolon development stage  
**表 1.** 不同光质对马铃薯植株叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响(20 d)

品种 Cultivar	光质 Light quality	叶绿素 a 含量 Chl a (mg·g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 b 含量 Chl b (mg·g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素总含量 Chl a + b (mg·g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 a/b Chl a/b	类胡萝卜素 Carotenoid (mg·g <sup>-1</sup> FW)
费乌 瑞它 FN	W	2.10 deCDE	0.57 efDEF	2.67 efDEF	3.65 bcABC	0.42 deCDE
	R	2.89 aA	0.94 aA	3.83 aA	3.07 hF	0.56 aA
	7R1B	2.19 cdCD	0.64 cdCD	2.84 dCD	3.41 fE	0.40 efgDEFG
	3R1B	2.01 efDE	0.56 efgEFG	2.57 fghEFG	3.59 cdBCDE	0.42 dCD
	1R1B	1.91 fgEF	0.53 fghEFGH	2.59 fgEFG	3.62 cdABCD	0.39 fgDEFG
	1R3B	1.78 ghFG	0.47 ijHI	2.25 jH	3.79 aA	0.33 iH
	1R7B	1.64 hG	0.44 jI	2.26 jH	3.75 abAB	0.36 hGH
	B	1.91 fgEF	0.50 hiFGHI	2.41 iGH	3.79 aA	0.38 fghDEFG
鄂薯 5 号 ES5	W	2.15 deCD	0.58 efDEF	2.77deDE	3.54 cdeCDE	0.42 deCD
	R	2.64 bB	0.82 bB	3.46 bB	3.20 gF	0.51 bB
	7R1B	2.32 cC	0.67 cC	2.99 cC	3.46 efDE	0.37 ghFG
	3R1B	2.08 deDE	0.59 deCDE	2.67 efDEF	3.52 defCDE	0.44 cC
	1R1B	1.92 fgEF	0.54 efgEFGH	2.47 ghiFGH	3.55 cdeCDE	0.40 defDEF
	1R3B	1.90 fgEF	0.52 ghiEFGH	2.42 iGH	3.66 bcABC	0.38 fghEFG
	1R7B	1.91 fgEF	0.49 hijGHI	2.42 iGH	3.77 abAB	0.38 ghFG
	B	1.93 fgEF	0.51 ghiFGHI	2.44 hiGH	3.77 abAB	0.37 hFG

注: 对照白光(W)、红光(R)、红蓝光 7:1 (7R1B)、红蓝光 3:1 (3R1B)、红蓝光 1:1 (1R1B)、红蓝光 1:3 (1R3B)、红蓝光 1:7 (1R7B)和蓝光(B)8 种。同一列内不同小写和大写字母分别表示 5%和 1%差异显著水平。下同。

### 3.2. 不同光质下马铃薯植株幼苗形态

由图 2 和表 2 分析可知, 不同光质对马铃薯幼苗形态的影响存在显著差异。3R1B、1R3B、1R7B, B 光质处理的费乌瑞它的壮苗指数与 W 无显著差异, 依次为  $3R1B > B > W > 1R7B > 1R3B$ ; 红光与蓝光处

理的植株的株高显著高于对照, 且蓝光处理下的株高显著高于红光, 其余光质处理下的幼苗株高依次是 7R1B > 1R7B > 3R1B > 1R3B > 1R1B; 3R1B 和蓝光处理下幼苗的茎粗与对照无显著差异, 依次是 B > W > 3R1B; 蓝光处理的幼苗的鲜样质量和干样质量均显著高于对照, 所有处理下植株鲜样质量或干样质量排序依次是 B > 1R7B > W > 3R1B > 1R3B > 7R1B > 1R1B > R; 所有光质处理的植株根长与对照均无显著差异, 但蓝光处理下植株的根最长, 且显著长于 1R1B 和 R。



Figure 2. Morphology of potato seedlings under different light qualities

图 2. 不同光质下的马铃薯植株幼苗形态(20 d)

Table 2. Effects of different light qualities on the morphology of potato seedlings

表 2. 不同光质对马铃薯植株幼苗生长的影响(20 d)

品种	光质 Light quality	茎粗(mm) Stem diameter	株高(cm) Plant height	根长(cm) Root length	植株鲜重(g) Fresh mass	植株干重(g) Dry mass	壮苗指数 Healthy index
费 乌 瑞 它 FN	W	3.70 abAB	37.00 cB	26.90 abA	12.24 bABC	0.746 bB	82.19 abAB
	R	2.65 cdD	43.63 bA	25.76 bA	7.12 dC	0.393 cD	22.69 eD
	7R1B	2.53 dD	30.63 dC	30.33 abA	10.81 bcBC	0.612 bBCD	40.60 deCD
	3R1B	3.47 bBC	25.73 eD	31.57 abA	11.94 bBC	0.738 bB	96.51 aA
	1R1B	2.98 cD	21.80 fD	26.07 bA	8.13 cdC	0.412 cCD	58.22 cdBC
	1R3B	2.87 cdD	23.00 efD	31.26 abA	10.83 bcBC	0.662 bBC	68.04 bcB
	1R7B	2.99 cCD	26.13 eCD	30.90 abA	12.92 bAB	0.773 bB	77.51 abcAB
	B	4.05 aA	47.77 aA	33.80 aA	16.61 aA	1.128 aA	95.47 aA
鄂 薯 5 号 ES5	W	3.34 aA	37.40 cB	33.97 abcAB	8.88 bcdBC	0.533 bcBCD	48.19 aA
	R	1.95 dD	47.13 bA	29.07 cdAB	5.41 deCD	0.284 deDE	46.61 abA
	7R1B	2.26 cdD	36.67 cdB	32.07 bcdAB	7.51 cdeBCD	0.383 cdeCDE	24.48 bcAB
	3R1B	3.12 aAB	33.63 dB	35.83 abcA	8.14 cdBCD	0.492 cdBCD	47.14 abA
	1R1B	2.23 cdD	35.43 cdB	26.07 dB	4.36 eD	0.227 eE	14.36 cB
	1R3B	2.47 bcCD	27.63 eC	38.94 abA	10.65 bcABC	0.617 bcABC	56.32 aA
	1R7B	2.39 cCD	32.93 dB	37.97 abA	11.93 abAB	0.712 abAB	51.49 aA
	B	2.76 bBC	51.40 aA	39.93 aA	14.17 aA	0.862 aA	46.61 abA

不同光质对鄂薯 5 号的影响略有不同, 除 7R1B、1R1B 外, 其余光质处理的马铃薯幼苗的壮苗指数均与对照无显著差异, 依次为 1R3B > 1R7B > W > 3R1B > R > B; 红光与蓝光处理的植株的株高显著高于对照, 且蓝光处理下的株高显著高于红光, 其余光质处理下的幼苗株高依次是 7R1B > 1R1B > 3R1B > 1R7B > 1R3B; ES5 在 3R1B 光质下生长的幼苗茎粗与其在白光下生长无显著差异, 其余光质处理下, 蓝光下的幼苗茎粗更粗, 显著高于其它光质处理; 蓝光处理的幼苗的鲜样质量和干样质量均显著高于对照, 所有处理下植株鲜样质量或干样质量排序依次是 B > 1R7B > 1R3B > W > 3R1B > 7R1B > R > 1R1B; 除 1R1B 和 R 处理的马铃薯幼苗根长显著低于对照外, 其余光质依次是 B > 1R3B > 1R7B > 3R1B > W > 7R1B。

整体而言, 蓝光生长下的 FN 的株高、植株鲜重及干重均显著高于对照, 根长、茎粗及壮苗指数均高于对照但无显著差异; 蓝光生长下的 ES5 的株高、植物鲜重及干重也均显著高于对照。红光处理下的 FN 和 ES5 株高显著高于白光, 根长、茎粗、植株鲜重及干重均显著低于对照。

### 3.3. 不同光质下马铃薯植株叶片的生长情况

由表 3 可知: 在不同光质处理 20 天时, 不同光质对马铃薯叶片的生长发育存在不同的影响, 红光处理下叶片的横、纵径及总叶面积最小, 显著低于其余光质处理, 红光和蓝光的叶片含水量最少; 蓝光处理的植株叶片横、纵径较大, 叶片数较少, 但总叶面积最大; 组合光 R3B1 处理下的 FN 叶片横纵径、叶片数和总叶面积均较大, 叶形指数较小, ES5 的结果类似; 两品种下不同光质下比叶面积的大小排序完全一致: 1R1B > R > 7R1B > 3R1B > B > 1R3B > W > 1R7B; 两品种叶片数排序一致的是: 3R1B > 1R1B > 1R3B > 1R7B > 7R1B; 两品种的叶片含水量一致的表现是: 1R1B > 7R1B > 3R1B > 1R7B > R、B, 1R3B 处理下 FN、ES5 的叶片含水量分别低于和高于对照, 但均未达到显著水平。

**Table 3.** Effects of different light qualities on the leaf morphology of potato seedlings

**表 3.** 不同光质对马铃薯叶片生长的影响(20 d)

品 种	光质 Light quality	叶片纵径 Lengthwise diameter of leaves (mm)	叶片横径 Transverse diameter of leaves (mm)	叶形指数	叶片含水量(%) leaf water content	叶片数(片)	总叶面积 (cm <sup>2</sup> ) Leaf area	比叶面积 SLA (cm <sup>-2</sup> /g)
费乌 瑞它 FN	W	65.35 aA	45.76 abAB	1.43 bBC	92.84 bcABC	13.8 aAB	182.3 bBC	445.8 dCD
	R	31.89 fF	23.87 eE	1.34 cCD	92.49 cCD	15.0 aA	116.0 cC	644.0 abAB
	7R1B	51.01 dD	36.04 cC	1.42 bBC	93.77 aAB	10.6 cC	195.5 bB	570.1 bcBC
	3R1B	61.88 bB	47.27 aA	1.31 cdD	93.24 abABC	15.0 aA	2134 bB	493.3 cdCD
	1R1B	41.10 eE	32.40 dD	1.27 dD	93.90 aA	15.0 aA	177.7 bBC	685.7 aA
	1R3B	51.71 dD	35.70 cC	1.45 bB	92.81 bcBC	14.2 aA	187.3 bB	465.8 dCD
	1R7B	55.29 cC	35.69 cC	1.55 aA	93.02 bcABC	12.0 bBC	180.1bBC	418.4 dD
	B	63.51 abAB	45.02 bB	1.41 bBC	91.60 dD	11.6 bcC	279.0 aA	484.0 dCD
	W	62.12 aA	46.72 aA	1.33 eD	93.05 abcAB	13.8 aA	130.6 bB	486.2 cdCD
鄂薯 5 号 ES5	R	27.74 fF	22.97 eE	1.21 fE	92.18 cB	10.6 cdBC	68.5 cB	641.0 abAB
	7R1B	45.60 eE	33.95 dDE	1.35 deCD	93.29 abAB	10.6 cdBC	124.0 bcB	647.0 aA
	3R1B	49.60 dD	44.61 bAB	1.11 gE	92.98 abcAB	14.0 aA	126.7 bcB	547.8 bcABC
	1R1B	46.76 eE	32.88 dE	1.42 cC	93.40 abAB	12.6 abAB	78.8 cB	650.4 aA
	1R3B	58.10 bB	35.66 cCD	1.63 aA	93.42 aA	12.0 bcBC	195.6 aA	529.0 cBC
	1R7B	55.26 cC	36.22 cC	1.53 bB	92.66 bcAB	11.8 bcBC	129.8 bB	386.4 dD
	B	60.31 aAB	43.10 bB	1.40 cdCD	92.36 cB	10.4 dC	224.8 aA	545.3 bcABC
	W	62.12 aA	46.72 aA	1.33 eD	93.05 abcAB	13.8 aA	130.6 bB	486.2 cdCD

### 3.4. 不同光质处理下马铃薯的产量

蓝光处理下植株提前衰老, 75 d 时到达收获期, 其余光质处理下马铃薯在 100 d 时收获。从表 4 可以得出: 3R1B 处理下费乌瑞它的单株结薯数与白光相比无显著差异, 蓝光处理下 FN 的单株结薯数显著低于白光处理, 但未达到极显著水平, 其余光质处理下的单株结薯数极显著低于对照白光; 白光下费乌瑞它的中大型薯结薯数最多, 其次是 3R1B 和 B; 鄂薯 5 号在各种光质处理下的差异不比费乌瑞它品种的明显, 可能是因为鄂薯 5 号为晚熟品种, 薯块仍处于膨大盛期, 如表 4 所示, B 和 3R1B 处理下 ES5 的单株结薯数高于对照白光, 但未达到显著水平, 而 1R7B、7R1B 和 1R1B 处理下的单株结薯数显著低于蓝光处理下的最大值; 两品种在 1R7B、7R1B 和 1R1B 处理下的单株结薯数及中大型薯结薯数均处于较低位置, 说明这 3 种光质处理降低了水培马铃薯块茎膨大的数量。R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下 FN 的单株结薯质量分别比对照白光降低了 50.44%、59.21%、32.16%及 45.32%; R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下 ES5 的单株结薯质量分别比对照白光降低了 39.78%、45.99%、33.76%和 78.65%; R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下 FN 的单株中大型薯结薯质量分别比对照白光降低了 55.17%、61.62%、35.42%和 48.74%; R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下 ES5 的单株中大型薯结薯质量分别比对照白光降低了 44.44%、47.28%、38.28%和 87.54%; 而一定范围内提高蓝光比例有利于促进马铃薯块茎的膨大。蓝光 B 处理下的 FN 和 ES5 产量分别比对照降低了 36.80%和 15.22%, 但比对照提前 25 d 收获。

Table 4. Effects of different light qualities on the production of potato

表 4. 不同光质对马铃薯结薯产量的影响

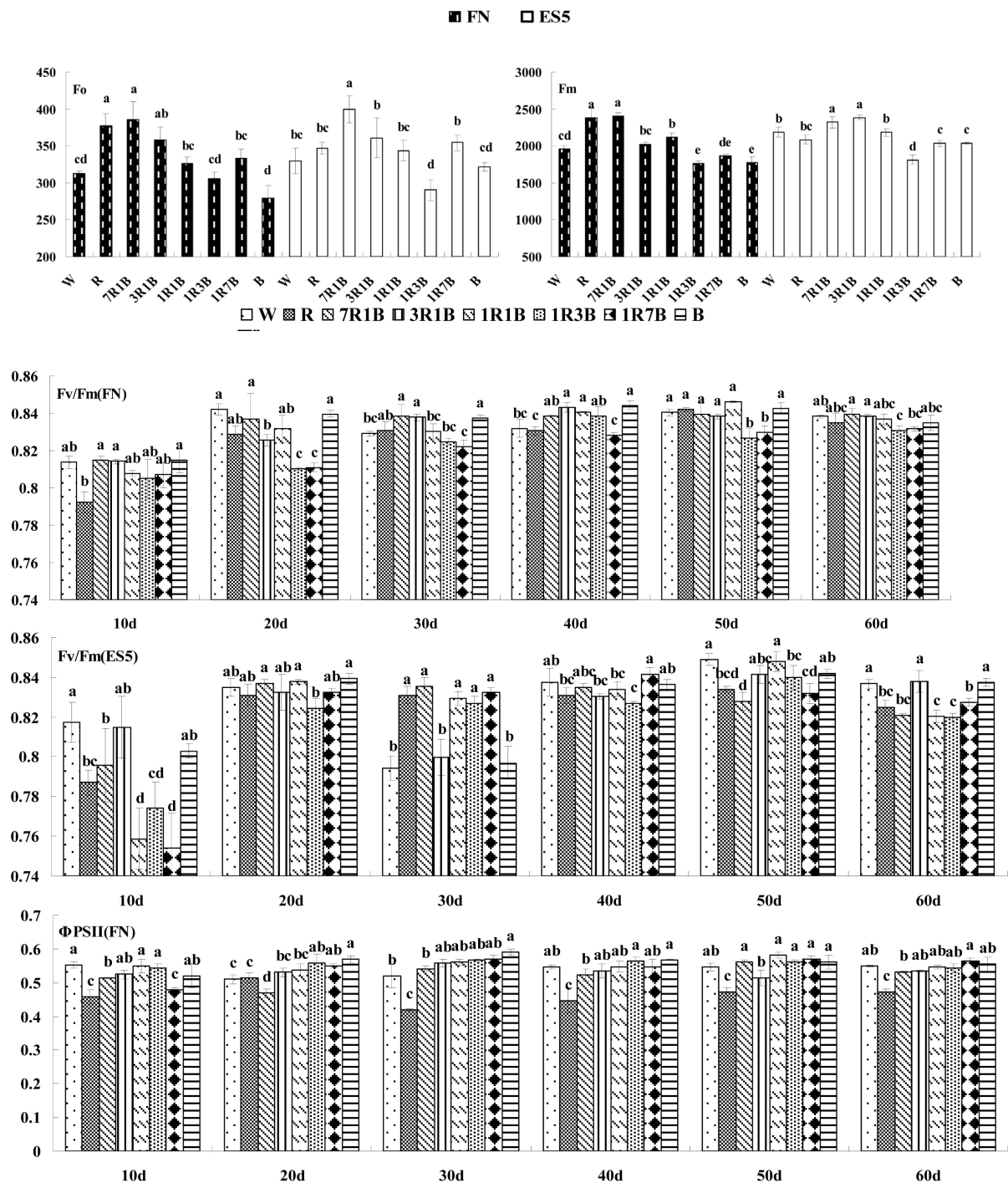
品种 Cultivar	光质 Light quality	单株结薯数 (个)	单株结薯质量 (g plant <sup>-1</sup> )	单株中大型薯(≥2 g) 结薯数(个)	中大型薯单株结薯质量(g plant <sup>-1</sup> )	中大型薯平均单薯重(g tuber <sup>-1</sup> )
费乌瑞它 FN	W	8.89 aA	39.09 aA	5.57 aA	36.14 aA	8.75 bcBC
	R	6.00 cdBCDE	19.37 cdD	3.03 bcBC	16.20 eDE	5.40 eE
	7R1B	4.63 eDE	15.94 dD	2.17 dC	13.87 eE	6.51 deDE
	3R1B	7.67 abAB	26.52 bBC	3.17 bcBC	23.34 cdBC	7.41 cdBCD
	1R1B	6.27 cdBCD	21.37 cCD	2.67 cdC	18.52 deCDE	7.27 dCD
	1R3B	5.53 deCDE	27.05 bBC	2.93 cdBC	24.91 bcBC	8.79 bB
	1R7B	4.53 eE	30.85 bB	2.53 cdC	29.05 bAB	11.44 aA
	B	7.13 bcABC	26.29 bBC	3.71 bB	22.52 cdBCD	5.71 eE
鄂薯 5 号 ES5	W	10.19 abAB	17.04 aAB	2.27 abAB	11.69 abA	5.08 abAB
	R	9.86 abAB	10.26 abAB	1.07 abAB	6.49 abA	3.34 cB
	7R1B	6.57 cdBC	9.20 abAB	1.00 bAB	6.16 abA	3.23 cB
	3R1B	10.38 aA	11.29 abAB	1.20 abAB	7.21 abA	4.59 bcAB
	1R1B	4.60 dC	3.64 bB	0.47 bB	1.46 bA	3.66 cB
	1R3B	8.99 abcAB	17.23 aA	2.65 aA	13.19 aA	4.37 bcB
	1R7B	7.58 bcABC	14.63 aAB	1.73 abAB	11.15 abA	5.96 aA
	B	10.40 aA	15.27 aAB	1.67 abAB	11.04 abA	4.79 bAB

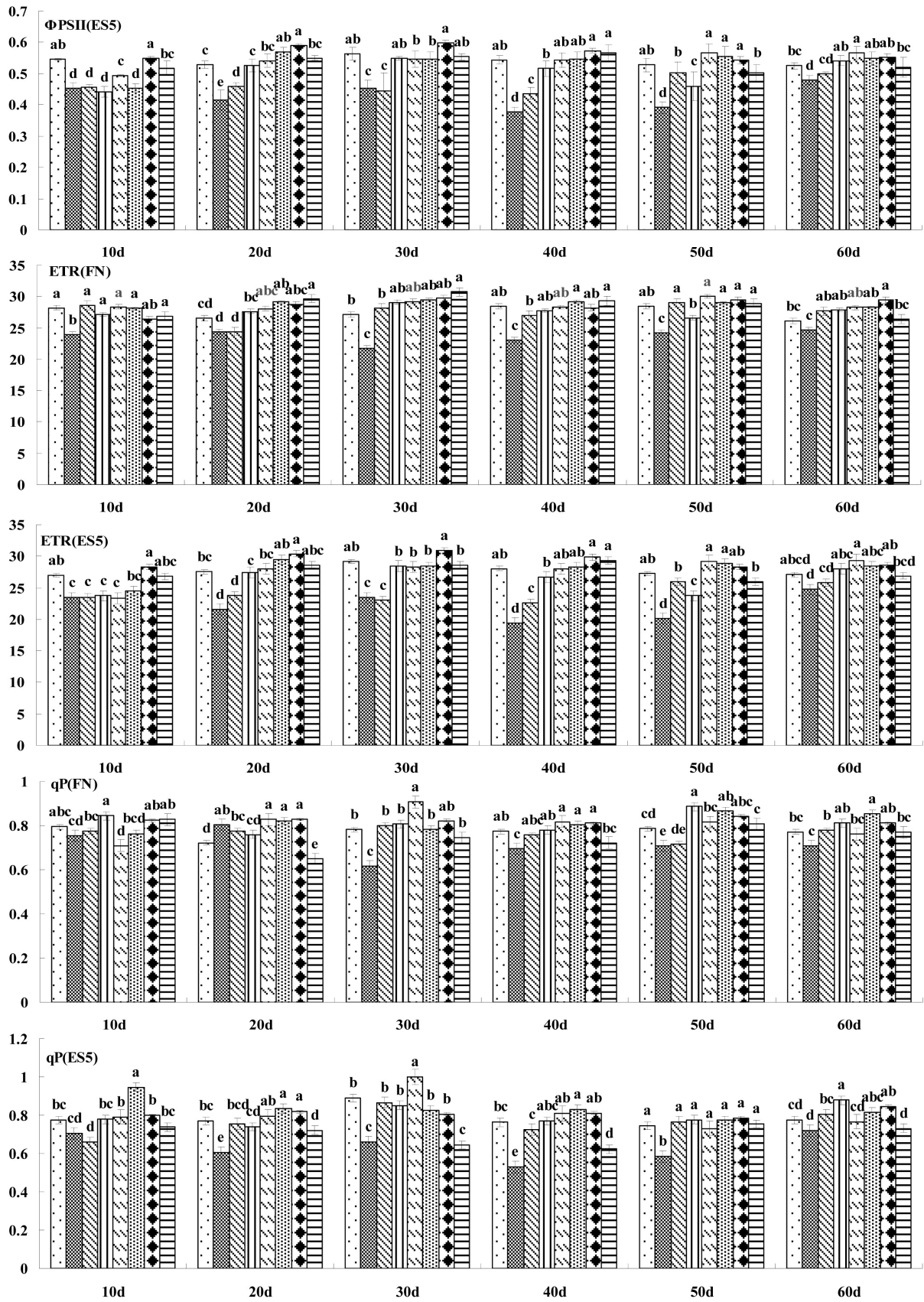
### 3.5. 不同光质对马铃薯叶片叶绿素荧光参数的影响

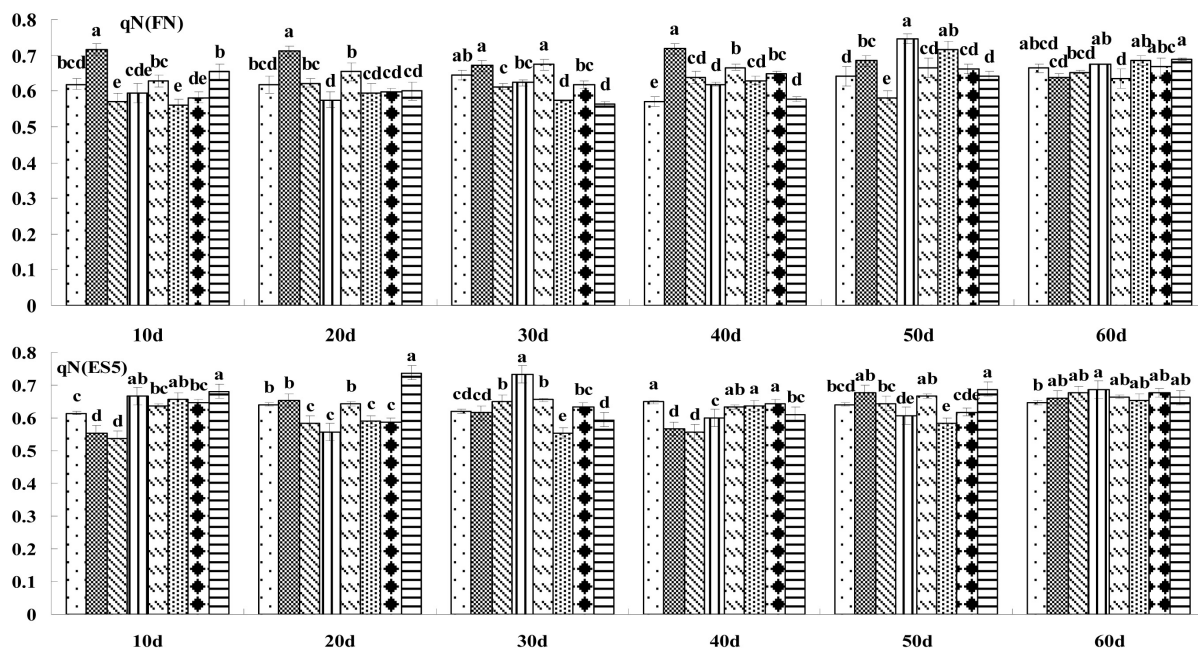
结合图 3 来看, 图中的初始荧光  $F_0$  和最大荧光  $F_m$  均是 20 天时测得的结果, R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下的 FN 植株的初始荧光分别高出对照 20.60%、23.69%、14.55%、4.59%; R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下的 ES5 植株的初始荧光分别高出对照 5.05%、21.11%、9.29%、4.19%; R、7R1B、3R1B 和 1R1B 处理下植株的最大荧光也有不同程度的提高; R 和 7R1B 处理下的  $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  和 ETR 显著低于对



照白光; 除 1R3B 和 1R7B 处理下 PSII 最大光量子效率(Fv/Fm)略有下降外, 各处理间植株的差异不大均在正常范围内, 说明 PSII 反应中心都运转正常; 就费乌瑞它而言, 处理 20 d 时, B、1R7B 和 1R3B 均显著( $p > 0.05$ )提高了  $\Phi_{PSII}$ , 分别比白光高出 9.40%、7.50%和 11.47%; B 和 1R3B 处理下的 ETR 比 CK 显著高出 11.67%和 9.67%; 1R7B、1R3B 和 1R1B 处理下的光化学猝灭系数 qP 分别比对照高出 15.00%、13.88%和 14.75%, 而 B 处理低于对照 9.97%, 均达到显著( $p > 0.05$ )差异。非光化学猝灭系数 qN 在 0~40 d 内均以红光 R 高于其它处理, 而 B、1R7B、1R3B 和 3R1B 均呈现下降趋势。







注: 大小写字母分别表示 1% 和 5% 的差异显著水平。

Figure 3. Effects of different light qualities on chlorophyll fluorescence of potato seedling leaves

图 3. 不同光质对马铃薯叶片叶绿素荧光参数的影响

## 4. 讨论

### 4.1. 不同光质对马铃薯植株形态的影响

光是植物生长能量的主要来源, 植物通过感受不同波长的特定光受体传递信号, 从而引起各种生理反应导致形态变化[3]。不同光质处理对马铃薯生长发育有显著影响。本试验研究发现, 蓝光和 R3B1 下的植株茎粗较大, 红光以及 R7B1 下的幼苗植株茎粗较小, 说明蓝光和适宜比例的红蓝组合光能对植株的茎粗有促进作用, 与蒲高斌[7]、曹刚[29]、苏娜娜[30]、刘媛[31]、Poudel [32]、Barre [33]等的报道一致; 红光下植株高而细, 壮苗指数低, 不利于植株的正常发育; 蓝光下植株的株高、茎粗、根长、生物量和壮苗指数均较高, 说明蓝光利于水培马铃薯生物量的积累以及根系的生长, 这与常涛涛等[34]在樱桃番茄上的研究一致, 蓝光下叶面积最大, 红蓝组合光的叶面积大于红光下植株的叶面积, 这与前人在烟草[35]、黄瓜[15]、叶用莴苣[13]、青蒜苗[14]等研究一致, 说明蓝光和组合光有利于马铃薯叶片的扩展, 植株的叶面积和叶形指数能反映叶片的大小和形状, 与叶片吸收、聚集和耗散光能有关。从试验结果看, B 处理下的植株株高、鲜重及干重、叶形指数和叶面积均显著高于对照, 其茎粗、根长、叶片横纵径、比叶面积 SLA 和壮苗指数与 CK 无显著差异, 但其叶片含水量及叶片数显著低于白光; 白光、蓝光和红蓝组合光(R1B7、R3B1 和 R1B3)处理下的植株干重及壮苗指数较大, 且叶片含水量相对较低, 植株能健壮生长。

### 4.2. 不同光质对马铃薯叶片叶绿素和胡萝卜素的影响

叶绿素和类胡萝卜素是高等植物重要的光合色素, 是植物进行光合作用的物质基础, 叶绿素具有吸收、传递和转换光能的作用, 类胡萝卜素除了吸收和传递光能, 还能在高温或强光下通过叶黄素循环, 以非辐射的方式耗散光系统 II (PSII) 的过剩能量来保护叶绿素免受破坏[36]。本试验中植株叶片叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量变化趋势一致, 均与红光和蓝光的比值呈正比; 红光下植株叶片 Chl a/b 值最低,

且 Chl a/b 值随蓝光比例的提高而增加,但在 R1B3、R1B7 和纯蓝光条件下,叶片的 Chl a/b 值无显著差异,说明红光有利于提高叶片叶绿素含量,而蓝光处理降低其叶片叶绿素含量;红光可降低叶片 Chl a/b 值,而蓝光能在一定范围内提高 Chl a/b 值,这与大多数研究发现一致[11] [37] [38]。红光下的类胡萝卜素含量最高,其次是 R1B3,蓝光下的类胡萝卜素含量较低,说明类胡萝卜素含量不是简单的随红/蓝光值变化。红光及 R7B1 光质下的叶片叶绿素含量显著高于对照,但 Chl a/b 值显著低于对照白光;R3B1 处理下的叶绿素、类胡萝卜素含量和 Chl a/b 值均与对照白光无显著差异。

### 4.3. 不同光质对马铃薯叶片 PSII 的影响

不同光质处理对  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$ 、 $qN$  和 ETR 具有显著影响。本试验中, FN 在 R、R7B1 和 R3B1 处理下的  $F_o$  显著高于对照, R7B1 和 R 处理间的  $F_m$  差异不显著,均显著高于其余光质; ES5 在 R7B1 和 R3B1 处理间的  $F_m$  差异不显著,都显著高于其余光质;除此以外, R7B1 处理下的  $F_o$ 、 $F_m$  均显著高于其余光质;说明红光能够增加马铃薯 PSII 反应中心的荧光产量以及有利于 PSII 的电子传递,且 R7B1 光质处理的效果最佳, R3B1 次之,与刘庆[38]在草莓上的研究结果一致。

本研究中,各处理的  $F_v/F_m$  较为稳定,除 10 d 外均在 0.8~0.85 之间, R7B1、R3B1 和纯蓝光下各个时期 FN 的  $F_v/F_m$  均处于较高水平, R1B3 和 R1B7 处理的  $F_v/F_m$  处于较低状态,  $F_v/F_m$  未大幅度降低,说明马铃薯受光抑制程度不显著, PSII 反应中心都没有受损。R、R7B1 和白光处理下 FN 的  $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  和 ETR 大多显著低于其余光质,说明这三种处理下植株叶片 PSII 反应中心的开放程度较小,且由 PSII 吸收转换为暗反应碳同化积累的能量较少;蓝光处理下的  $\Phi_{PSII}$  和 ETR 较高,  $qP$  处于较低状态,红蓝组合光(R1B3 和 R1B7)处理下的  $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  和 ETR 显著高于 CK 和红光,而  $qN$  显著低于红光处理,说明蓝光及这 2 种红蓝组合光处理下马铃薯植株 PSII 反应中心的开放程度较大,吸收和传递光能的速度较强,但其用于光化学电子传递的光能比例较少。因此, B、R1B3 和 R1B7 处理下叶片的 PSII 功能良好。各个时期,红光处理下的  $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  和 ETR 一直处于较低水平,而非光化学淬灭系数  $qN$  保持在较高水平,说明红光下植株吸收的光能大多以热的形式散掉,这与曹刚[29]研究的红光处理下黄瓜的 NPQ 比蓝光处理高,认为红光处理下叶片吸收的光能大多以热的形式耗散掉结果一致。

## 5. 结论

不同 LED 光质对水培马铃薯的生长发育、光合色素含量及叶绿素荧光参数的影响具有一定差异。本试验结果表明,红光 R 处理下马铃薯植株的叶片含有最高的叶绿素含量,但叶片缩小,  $\Phi_{PSII}$ 、ETR 和  $qP$  下降,  $qN$  升高,块茎的形成和膨大缓慢,最终产量最低。蓝光 B 处理可提高植株的株高、鲜重及干重、叶形指数和叶面积,以及  $\Phi_{PSII}$  和 ETR,由于蓝光促进植株衰老,使其产量低于白光,但可以通过缩短植株生产周期,提高工业产量。红蓝组合光 R1B7 处理下的植株具有较高的株高、茎粗、干重及壮苗指数,且提高了  $\Phi_{PSII}$ 、ETR 和  $qP$ ,产量也较高,但结薯数相对较少,蓝光有利于块茎的膨大,而不利于匍匐茎的大量产生,所以可通过前期提高红光比例增加匍匐茎的形成,而后期降低红/蓝光比值促进块茎的形成,从而提高产量。

## 基金项目

重庆市应用开发重点项目,马铃薯脱毒种苗种薯“水培一体化”高倍繁育新技术研发, cstc2014yykfB80002。

## 参考文献

- [1] Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., *et al.* (2013) Effects of Light Intensity on the Growth and Leaf Development of Young

Tomato Plants Grown under a Combination of Red and Blue Light. *Scientia Horticulturae*, **153**, 50-55.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>

- [2] 王三根. 植物抗性生理与分子生物学[M]. 北京: 现代教育出版社, 2009.
- [3] 严海燕. 植物发育分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4] Yu, X., Liu, H., Klejnot, *et al.* (2010) The Cryptochrome Blue Light Receptors. *The Arabidopsis Book*, American Society of Plant Biologists, Rockville, MD.
- [5] Jackson, S., Heyer, A., Dietze, J. and Prat, S. (1996) Phytochrome B Mediates the Photoperiodic Control of Tuber Formation in Potato. *The Plant Journal*, **9**, 159-166. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1996.09020159.x>
- [6] Mockler, T.C., Guo, H., Yang, H., Duong, H. and Lin, C. (1999) Antagonistic Actions of Arabidopsis Cryptochromes and Phytochrome b in the Regulation of Floral Induction. *Development*, **126**, 2073-2082.
- [7] 蒲高斌, 刘世琦, 刘磊, 任丽华. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(3): 420-425.
- [8] 张欢, 徐志刚, 崔瑾, 郭银生, 谷艾素. 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.
- [9] Matsuda, R., Kaneko, K., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2008) Effects of Blue Light Deficiency on Acclimation of Light Energy Partitioning in PSII and CO<sub>2</sub> Assimilation Capacity to High Irradiance in Spinach Leaves. *Plant Cell Physiology*, **49**, 664-670. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
- [10] 张瑞华, 徐坤, 董灿兴. 光质对生姜叶片光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3722-3727.
- [11] 徐凯, 郭彦平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369-375.
- [12] 杜洪涛, 刘世琦, 蒲高斌. 光质对彩色甜椒幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 41-45.
- [13] 许莉, 刘世琦, 齐连东, 梁庆玲, 于文艳. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 植物生理科学, 2007, 23(1): 96-100.
- [14] 杨晓健, 刘世琦, 张自坤, 刘忠良, 马琳, 张宇. 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.
- [15] 倪纪恒, 陈学好, 陈春宏, 徐强. 补充不同光质对温室黄瓜生长发育、光合和前期产量的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2615-2623.
- [16] 龚婷, 查宏波, 黄韡, 魏世强, 王海珠, 何文高, 王凯, 宗学风, 王三根. 不同光质处理对云烟 87 生长及品质的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013(1): 29-34.
- [17] Kobayashi, K., Amore, T. and Lazaro, M. (2013) Light-Emitting Diodes(leds) for Miniature Hydroponic Lettuce. *Optics and Photonics Journal*, **3**, 74-77. <https://doi.org/10.4236/opj.2013.31012>
- [18] Hong, W. and Min, G. (2009) Effects of Light Quality on CO<sub>2</sub> Assimilation, Chlorophyll-Fluorescence Quenching, Expression of Calvin Cycle Genes and Carbohydrate Accumulation in Cucumis Sativus. *Journal of photochemistry and photobiology B: Biology*, **96**, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
- [19] Patil, G., Gissinger, A. and Moe, R. (2001) Plant Morphology Is Affected by Light Quality Selective Plastic Films and Alternating Day and Night Temperature. *Garten Bauwissen Schafft*, **66**, 53-60.
- [20] 唐道彬, 高旭, 吕长文, 等. 雾培马铃薯结薯的光响应机理研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012(2): 23-28.
- [21] 陈家吉, 戴清堂, 田恒林, 等. 马铃薯脱毒水培苗生长营养液配方筛选试验研究[J]. 现代农业科技, 2013(7).
- [22] 罗林会, 邱宁宏. 脱毒甘薯组培苗水培营养液配方筛选[J]. 长江蔬菜, 2009(10).
- [23] Darvishi, B., Pustini, K., Ahmadi, A., *et al.* (2015) Effect of Nutritional Treatments on Physiological Characteristics and Tuberization of Potato Plants under Hydroponic Sand Culture. *Journal of Plant Nutrition*, **38**, 2096-2111. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1009101>
- [24] 杨国才, 陈香颖, 王季春, 唐道彬, 赵勇. 马铃薯水培生产技术及研究现状[C]//2013 年中国马铃薯大会论文集. 中国作物学会, 2013.
- [25] 刘尚武, 宿飞飞, 魏琪, 胡林双, 吕典秋. 几种马铃薯原原种水耕栽培技术的比较[J]. 黑龙江农业科学, 2012(5).
- [26] 申丽琼, 吕长文, 王季春, 唐道彬, 李标, 罗小敏. 蔗糖和外源激素对马铃薯脱毒试管苗的影响[J]. 中国马铃薯, 2009(2).
- [27] 韩素芹, 王秀峰. 氮磷对甜椒穴盘苗壮苗指数的影响[J]. 西北农业学报, 2004, 13(2): 128-132.

- [28] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 74-76.
- [29] 曹刚, 张国斌, 郁继华, 马彦霞. 不同光质 LED 光源对黄瓜苗期生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1297-1304.
- [30] 苏娜娜, 邬奇, 崔瑾. LED 光质补光对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(24): 48-54.
- [31] 刘媛, 李胜, 马绍英, 张真, 张青松, 罗丽媛, 薛冲, 裴晓利. 不同光质对葡萄试管苗离体培养生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(1): 1105-1112.
- [32] Poudel, R., Kataoka, I. and Mochioka, R. (2008) Effect of Red- and Blue-Light-Emitting Diodes on Growth and Morphogenesis of Grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **92**, 147-153.  
<https://doi.org/10.1007/s11240-007-9317-1>
- [33] Barre, P., Gueye, B. and Gastal, F. (2010) Effect of Light Quality and Quantity on Leaf Growth in *Lolium perenne* L. Christian Huyghe. *Sustainable Use of Genetic in Forage and Turf Breeding*. Springer, Berlin, 61-65.
- [34] 常涛涛, 刘晓英, 徐志刚. 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, 43(8): 1748-1756.
- [35] 柯学, 李军营, 李向阳, 邬春芳, 徐超华, 晋艳, 龚明. 不同光质对烟草叶片生长及光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 2011, 47(5): 512-520.
- [36] 王三根. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [37] 陈祥伟, 刘世琦, 王越, 刘景凯, 冯磊. 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.
- [38] 刘庆, 连海峰, 刘世琦, 孙亚丽, 于新会, 郭会平. 不同光质 LED 光源对草莓光合特性、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1743-1750.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)