

光照对龙芽楸木茎段水培芽生长与品质的影响

申健¹, 刘德江¹, 杨志², 丛慧颖¹, 田立娟¹

(1. 佳木斯大学生命科学学院, 黑龙江佳木斯 154007; 2. 辽宁农业职业技术学院, 辽宁营口 115009)

摘要 为了研究光照条件对龙芽楸木茎段水培中嫩芽生长及品质的影响, 先采用单因素试验进行光照时间、光照强度及光质对嫩芽生长的研究, 通过对萌芽时间、芽长、鲜重和叶绿素含量的比较, 筛选出较适宜光照条件。然后在单因素试验结果的基础上采用正交试验, 通过比较嫩芽鲜重、可溶性蛋白质、可溶性总糖和维生素 C 含量优化水培光照条件。结果表明, 采用补光措施可以使嫩芽的萌发时间提前 3 d, 但光照时间、光照强度及光质的不同对嫩芽萌发时间无显著影响。光照强度是鲜重的主要影响因素, 当光照时间 10 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 时, 鲜重最大, 为 46.07 g。光质是可溶性蛋白质和可溶性总糖的主要影响因素, 光照时间 6 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 1:2 时, 可溶性蛋白质含量最大, 为 8.5 g/kg。光照时间 10 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 时, 可溶性总糖含量最大, 为 23.55 g/kg。光照时间是维生素 C 的主要影响因素, 光照时间 8 h、光照强度 180 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 1:2 时, 维生素 C 含量最大, 为 187.6 mg/kg。综合考虑影响各指标关键因素, 可将龙芽楸木茎段水培光照条件设为光照时间 8 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 或红蓝 1:2, 培养 30 d 后采收。

关键词 光照; 龙芽楸木; 水培; 鲜重; 品质

中图分类号 S647 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)13-0044-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.13.012



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Light on the Growth and Quality of Hydroponics Buds in Stem of *Aralia elata* (Miq) SeemSHEN Jian¹, LIU De-jiang¹, YANG Zhi² et al (1. Life Sciences College, Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007; 2. Liaoning Agricultural Technical College, Yingkou, Liaoning 115009)

Abstract In order to study the effects of light on the growth and quality of buds in stem of *Aralia elata* (Miq) Seem, the effects of light time, light intensity and light quality on the growth of buds were studied by single factor test. Through the comparison of germination time, bud length, fresh weight and chlorophyll content, more suitable light conditions were selected. Then, based on the results of single factor test, orthogonal test was used to optimize the light condition of hydroponics by comparing the fresh weight, soluble protein, soluble total sugar and vitamin C content. The results showed that light supplementation could advance the germination time by 3 days, but the light time, light intensity and light quality had no significant effect on the germination time. Light intensity was the main influencing factor of fresh weight. When the light time was 10 h, the light intensity was 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and the red and blue intensity was 2:1, the fresh weight was the largest, which was 46.07 g. Light quality was the main factor affecting soluble protein and soluble total sugar. When the light time was 6 h, the light intensity was 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and red and blue 1:2, the soluble protein content was the largest, which was 8.5 g/kg. When the light time was 10 h, the light intensity was 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and red and blue were 2:1, the soluble total sugar content was the highest, which was 23.55 g/kg. Light time was the main factor affecting vitamin C. When the light time was 8 h, the light intensity was 180 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and red and blue 1:2, the content of vitamin C was the largest, which was 187.6 mg/kg. After comprehensive consideration of the key factors affecting each indicator, the light conditions of hydroponics in the stem of *Aralia elata* (Miq) Seem could be set as light time 8h, light intensity 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, red and blue 2:1 or red and blue 1:2, and it could be harvested after 30 days of culture.

Key words Light; *Aralia elata* (Miq) Seem; Hydroponics; Fresh weight; Quality

龙芽楸木(*Aralia elata* (Miq) Seem), 又名辽东楸木、刺老芽、刺嫩芽等, 是五加科楸木属多年生落叶小乔木或灌木植物^[1]。龙芽楸木耐寒性强, 适应范围广, 在我国多分布于黑龙江、吉林、辽宁、北京、河北等地, 朝鲜、俄罗斯和日本也有少量分布^[2]。龙芽楸木是一种药食两用植物。龙芽楸木的嫩芽营养丰富, 含蛋白质、粗纤维、脂肪、糖类、维生素、微量元素等多种营养物质^[3], 属于山野菜中的珍品。龙芽楸木药用保健价值极高, 具有抗癌、活血化痰、补气安神、利尿消肿等功效, 可以用来治疗风湿性关节炎、糖尿病、慢性胃炎、肝炎及心肌缺血等疾病^[4]。

龙芽楸木的嫩芽可以通过春季采摘和冬季茎段反季节生产 2 种途径获得。由于近年来野生资源逐渐减少, 已经无法满足人们的需求, 因此, 越来越多的农户开始进行人工栽培。在东北地区, 人工栽培一般在 4—5 月采摘自然生长的

嫩芽, 11—12 月采用茎段水培技术, 实行反季节生产^[5]。这种人工栽培, 两季生产的模式, 具有成本投入少、操作过程简单、易于推广、见效快且经济效益显著等优点, 具有十分广阔的发展前景。

光是调节植物生命活动重要的环境因子之一, 不仅是植物生长发育的能量来源, 而且作为信号因子调控植物生长发育。光周期、光照强度和光质对植物生长及营养物质的合成和积累均具有重要作用^[6]。笔者采用普通荧光灯和 LED 组合灯作为光源, 研究光照时间、光照强度和红蓝光质的变化对龙芽楸木茎段水培芽的生长和营养成分的影响, 来探讨适合其水培的光照条件, 以期龙芽楸木茎段反季节水培生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为黑龙江省佳木斯大学实验田种植 3 年的龙芽楸木植株。

1.2 试验方法

1.2.1 茎段采集与处理。 11 月中旬, 截取健壮、外皮完好、顶芽饱满的枝条。挑选茎段粗细约 1.2 cm 的枝条剪成

基金项目 黑龙江省教育厅基础科研项目(2016-KYYWF-0576)。**作者简介** 申健(1979—), 女, 吉林辉南人, 副教授, 博士, 从事经济植物栽培生理研究。**收稿日期** 2020-12-03

40 cm 长,保湿备用。试验前放入 90 mg/kg 赤霉素中浸泡 24 h,然后 10 根捆绑成一捆,放入清水中以待萌发新芽^[7]。

1.2.2 光照条件

1.2.2.1 光照时间。以普通荧光灯作为光源,光照强度设定为 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。分别设置光照时间为 0、4、8、12、16 h 5 个处理,每个处理 10 根茎段,3 次重复。

1.2.2.2 光照强度。以普通荧光灯作为光源,光照时间设定为 8 h。分别设置光照强度为 50、100、150、200、250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 5 个处理,每个处理 10 根茎段,3 次重复。

1.2.2.3 光质。以 LED 组合灯和普通荧光灯作为光源,光照强度设定为 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光照时间为 8 h。分别设置光质为红蓝 1:1、红蓝 2:1、红蓝 1:2、普通荧光灯 4 个处理,每个处理 10 根茎段,3 次重复。

1.2.2.4 正交试验。在单因素试验结果的基础上,利用正交试验法,以光照时间、光照强度和光质作为 3 个因素,选取 3 个水平进行试验。采用 $L_9(3^3)$ 正交试验设计,具体因素与水平见表 1。

1.3 测定指标与方法 控制室内温度(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,每隔 3 d 换 1 次水。观察嫩芽萌发时间,以 50%枝条发芽记为发芽时间。水培 30 d 后,每个处理随机取 5 根枝条,用直尺测量嫩芽长度,用电子天平测量嫩芽鲜重,用研磨法测定叶绿素含量,用考马斯亮蓝 G250 法测定可溶性蛋白含量,用蒽酮-硫酸比色法测定可溶性总糖含量,用紫外分光光度快速测定法

测定维生素 C 含量^[8-11]。

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平 Level	因素 Factor		
	光照时间 Light time (A)/h	光照强度(B) Light intensity $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	光质(C) Light quality
1	6	120	红蓝 1:1
2	8	150	红蓝 2:1
3	10	180	红蓝 1:2

1.4 数据处理与分析 用 Excel 2007 对试验数据进行计算,用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 光照时间对龙芽楸木茎段水培芽生长的影响 对水培龙芽楸木茎段进行不同光照时间处理,观察及测量嫩芽生长情况,结果见表 2。由表 2 可知,龙芽楸木室内冬季水培时,采用普通荧光灯进行补光,能够缩短萌芽时间,促进芽长、鲜重和叶绿素含量的增加。额外补光可以使嫩芽萌发提前 3 d,但光照时间延长对萌芽时间无显著影响。随着光照时间的延长,芽长和鲜重呈先升后降的变化趋势。光照时间 8 h 时,芽长最长,为 16.8 cm,显著高于其他处理。光照时间 8 和 12 h 2 个处理鲜重最大,显著高于其他处理。叶绿素含量随着光照时间的延长逐渐上升,但 8、12 和 16 h 3 个处理间无显著差异。综合考虑,每天 8 h 为适宜的光照时间。

表 2 光照时间对龙芽楸木芽生长的影响

Table 2 Effect of light time on bud growth of *Aralia elata* (Miq) Seem

光照时间 Light time h	萌芽时间 Germination time//d	芽长 Bud length cm	鲜重 Fresh weight g	叶绿素含量 Chlorophyll content//mg/g
0	9 a	7.60 \pm 0.23 d	7.35 \pm 0.58 d	0.257 \pm 0.021 c
4	6 b	10.20 \pm 0.47 c	12.43 \pm 0.96 c	0.367 \pm 0.028 b
8	6 b	16.80 \pm 0.52 a	28.52 \pm 1.23 a	0.452 \pm 0.034 a
12	6 b	13.90 \pm 0.33 b	27.66 \pm 1.35 a	0.457 \pm 0.030 a
16	6 b	13.10 \pm 0.31 b	20.43 \pm 1.09 b	0.463 \pm 0.022 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

2.2 光照强度对龙芽楸木茎段水培芽生长的影响 对水培龙芽楸木茎段进行不同光照强度处理,观察及测量嫩芽生长

情况,结果见表 3。

表 3 光照强度对龙芽楸木芽生长的影响

Table 3 Effect of light intensity on bud growth of *Aralia elata* (Miq) Seem

光照强度 Light intensity $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	萌芽时间 Germination time//d	芽长 Bud length cm	鲜重 Fresh weight g	叶绿素含量 Chlorophyll content//mg/g
50	6	16.20 \pm 0.45 a	22.71 \pm 1.17 c	0.382 \pm 0.028 c
100	6	16.60 \pm 0.51 a	28.67 \pm 1.56 b	0.456 \pm 0.031 b
150	6	15.10 \pm 0.34 b	33.22 \pm 1.67 a	0.551 \pm 0.029 a
200	6	13.80 \pm 0.36 c	32.47 \pm 1.88 a	0.557 \pm 0.035 a
250	6	13.10 \pm 0.29 c	32.54 \pm 1.73 a	0.559 \pm 0.031 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

由表 3 可知,不同光照强度对龙芽楸木茎段嫩芽萌发时间未产生不同影响,各处理萌芽时间均为 6 d。芽长随着光

照强度的增加逐渐降低,50 和 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 2 个处理芽长最长,显著高于其他处理。鲜重和叶绿素含量均随着光照

强度的增加逐渐升高,但 150、200 和 250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 3 个处理间差异不显著。考虑到嫩芽过长会提前放叶,生产中在嫩芽长 10~15 cm 时采摘比较适宜。综合考虑,150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 为适宜的光照强度。

2.3 光质对龙芽楸木茎段水培芽生长的影响 对水培龙芽楸木茎段进行不同光质处理,观察及测量嫩芽生长情况,结果见表 4。由表 4 可知,不同红蓝光质比处理萌芽时间无显

著差异。不同红蓝光质比处理对芽长和叶绿素含量的影响相同,均表现为红蓝 2:1 处理最好,显著高于其他处理。红蓝 1:2 处理结果最低,红蓝 1:1 和普通荧光灯 2 个处理间无显著差异。不同红蓝光质比处理能显著提高嫩芽的鲜重,各处理均显著高于普通荧光灯处理。鲜重最大的处理是红蓝 2:1,为 45.72 g。综合考虑,在龙芽楸木茎段水培中红蓝 2:1 为适宜的光质处理。

表 4 光质对龙芽楸木芽生长的影响

Table 4 Effect of light quality on bud growth of *Aralia elata* (Miq) Seem

光质 Light quality	萌芽时间 Germination time//d	芽长 Bud length cm	鲜重 Fresh weight g	叶绿素含量 Chlorophyll content mg/g
红蓝 1:1	6 a	16.50±0.37 b	42.13±1.83 b	0.438±0.025 b
红蓝 2:1	6 a	18.80±0.58 a	45.72±1.98 a	0.586±0.034 a
红蓝 1:2	6 a	12.10±0.33 c	38.51±1.83 c	0.385±0.020 c
普通荧光灯	7 a	16.20±0.46 b	30.26±1.71 d	0.447±0.022 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

2.4 正交试验优化水培光照条件 采用正交试验,水培 30 d 后,在芽基部剪取嫩芽测量鲜重、可溶性蛋白质、可溶性总糖、维生素 C 含量等,结果见表 5~8。

由表 5 可知, $R_B>R_A>R_C$,说明试验所设 3 个因素中,对于嫩芽鲜重的影响顺序为光照强度(B)>光照时间(A)>红蓝光质比(C)。最佳组合为 $A_3B_2C_2$,即光照时间 10 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、红蓝 2:1 时,鲜重最大,为 46.07 g。

表 5 不同处理对龙芽楸木嫩芽鲜重的影响

Table 5 Effects of different treatments on fresh weight of *Aralia elata* (Miq) Seem buds

序号 No.	因素 Factor			鲜重 Fresh weight//g
	A	B	C	
1	1	1	1	39.37
2	1	2	3	45.25
3	1	3	2	42.36
4	2	1	2	40.88
5	2	2	1	42.05
6	2	3	3	40.72
7	3	1	3	38.96
8	3	2	2	46.07
9	3	3	1	43.46
k_1	42.33	39.74	41.63	
k_2	41.22	44.46	43.10	
k_3	42.83	42.18	41.64	
R	1.61	4.72	1.47	

由表 6 可知, $R_C>R_B>R_A$,说明试验所设 3 个因素中,对于嫩芽可溶性蛋白质含量的影响顺序为红蓝光质比(C)>光照强度(B)>光照时间(A)。最佳组合为 $A_1B_2C_3$,即光照时间 6 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、红蓝 1:2 时,可溶性蛋白质含量最大,为 8.5 g/kg。

由表 7 可知, $R_C>R_A>R_B$,说明试验所设 3 个因素中,对于嫩芽可溶性总糖含量的影响顺序为红蓝光质比(C)>光照时间(A)>光照强度(B)。最佳组合为 $A_3B_2C_2$,即光照时间 10 h、光照强度 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、红蓝 2:1 时,可溶性总糖含

量最大,为 23.55 g/kg。

表 6 不同处理对龙芽楸木可溶性蛋白质含量的影响

Table 6 Effects of different treatments on soluble protein content of *Aralia elata* (Miq) Seem

序号 No.	因素 Factor			可溶性蛋白质含量 Soluble protein content//g/kg
	A	B	C	
1	1	1	1	5.2
2	1	2	3	8.5
3	1	3	2	4.7
4	2	1	2	4.4
5	2	2	1	5.8
6	2	3	3	7.6
7	3	1	3	6.6
8	3	2	2	4.8
9	3	3	1	5.5
k_1	6.1	5.4	5.5	
k_2	5.9	6.4	4.6	
k_3	5.6	5.9	7.6	
R	0.5	1.0	3.0	

表 7 不同处理对龙芽楸木可溶性总糖含量的影响

Table 7 Effects of different treatments on soluble total sugar content of *Aralia elata* (Miq) Seem

序号 No.	因素 Factor			可溶性总糖含量 Total soluble sugar content//g/kg
	A	B	C	
1	1	1	1	16.87
2	1	2	3	14.49
3	1	3	2	22.13
4	2	1	2	21.76
5	2	2	1	17.54
6	2	3	3	15.26
7	3	1	3	15.47
8	3	2	2	23.55
9	3	3	1	16.62
k_1	17.89	18.03	17.01	
k_2	18.19	18.53	22.48	
k_3	18.55	18.00	15.07	
R	0.66	0.53	7.41	

由表 8 可知, $R_A > R_B > R_C$, 说明试验所设 3 个因素中, 对于嫩芽维生素 C 含量的影响顺序为光照时间(A)>光照强度(B)>红蓝光质比(C)。最佳组合为 $A_2B_3C_3$, 即光照时间 8 h、光照强度 $180 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 1:2 时, 维生素 C 含量最大, 为 $187.6 \text{ mg}/\text{kg}$ 。

表 8 不同处理对龙芽楸木维生素 C 含量的影响

Table 8 Effects of different treatments on vitamin C content *Aralia elata* (Mig) seem

序号 No.	因素 Factor			维生素 C 含量 Vitamin C content//mg/kg
	A	B	C	
1	1	1	1	175.6
2	1	2	3	172.1
3	1	3	2	174.4
4	2	1	2	181.1
5	2	2	1	184.3
6	2	3	3	187.6
7	3	1	3	180.7
8	3	2	2	186.7
9	3	3	1	182.5
k_1	174.0	179.1	180.8	
k_2	184.3	181.0	180.7	
k_3	183.3	181.5	180.1	
R	10.3	2.4	0.6	

3 结论与讨论

植物照明技术作为现代农业建设中重要组成部分, 对植物的生长发育产生重要影响。LED 作为新型光源, 解决了传统光源发光波长单一、能耗大等缺点。可以根据植物生长需求对光照时间、光照强度、光质等进行调控, 形成适宜植物生长的最优环境。且 LED 属于冷光源, 发热量小, 可以有效保护植物不被灼伤^[12]。LED 作为补光光源, 在植物室内培养中应用越来越广泛。

该试验结果表明, 龙芽楸木茎段冬季水培时, 光照时间、光照强度及光质 3 个因素对嫩芽的生长和营养成分均会产生一定的影响。单因素试验结果表明, 采用补光措施可以使嫩芽的萌发时间提前 3 d, 但光照时间长短、光照强度大小及光质的不同对嫩芽萌发时间早晚无显著影响。赵佳明等^[7]研究表明, 对嫩芽萌发时间影响较大的因素是赤霉素浸泡时间和赤霉素浓度。说明采用赤霉素打破枝条休眠后即可萌发, 光照条件对萌芽时间影响不大。光照时间、光照强度和光质对芽长、鲜重和叶绿素含量产生显著影响。

正交试验结果表明, 光照强度是鲜重的主要影响因素, 当光照时间 10 h、光照强度 $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 时, 鲜重最大, 为 46.07 g 。Fu 等^[13]研究发现, 生菜的地上部分鲜重随着光强的增加先上升再下降, $400 \sim 600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 是较优区间。李思静^[14]研究发现 LED 红蓝复合光的 $100 \sim 150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光强是先锋橙和红桔的适宜光强范围。孟淑娥等^[15]研究表明在龙芽楸木整个水培期间给予弱光照, 效果较好。不同植物适宜光照强度不同, 差异较大。相比较而言, 龙芽楸木茎段水培中需要的光照强度相对较低。

研究表明, 红色 LED 能够通过促进植物可溶性糖、淀粉

等碳水化合物的代谢和积累进而提高作物的生长量。而蓝光多被认为参与植物叶绿体光合色素合成以及光形态建成等方面, 有利于提高蛋白质和维生素 C 含量^[16]。Lin 等^[17]研究表明, 红、蓝、白光组合显著提高了生菜的生长、发育、营养物质、外观和食用品质等。该试验结果表明光质是可溶性蛋白质和可溶性总糖的主要影响因素, 光照时间 6 h、光照强度 $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 1:2 时, 可溶性蛋白质含量最大, 为 $8.5 \text{ g}/\text{kg}$ 。光照时间 10 h、光照强度 $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 时, 可溶性总糖含量最大, 为 $23.55 \text{ g}/\text{kg}$ 。由此可知, 红光比例高有利于可溶性总糖的形成, 而蓝光比例高有利于可溶性蛋白质的形成。这与前人研究结果一致。

研究表明, 采用蓝光、红光以及红蓝组合光源均能不同程度上提高植物维生素 C 含量及其抗氧化活性^[18-19]。然而该试验结果表明, 光照时间是维生素 C 的主要影响因素, 作用大于光质。光照时间 8 h、光照强度 $180 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 1:2 时, 维生素 C 含量最大, 为 $187.6 \text{ mg}/\text{kg}$ 。

生产实践中可以根据实际需要选择适宜光照条件。综合考虑各指标影响关键因素, 可将龙芽楸木茎段水培光照条件设为光照时间 8 h、光照强度 $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、红蓝 2:1 或红蓝 1:2, 培养 30 d 后采收。

参考文献

- [1] 郑彦杰. 龙芽楸木皂苷对羊毛囊干细胞增殖及肝损伤作用的研究[D]. 佳木斯: 佳木斯大学, 2018:5.
- [2] 满源. 辽东地区林下刺五加与辽东楸木可持续利用技术研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019:5.
- [3] 张桂娟. 辽东楸木化学成分及其生物活性研究进展[J]. 黑龙江医药, 2014, 27(4): 798-801.
- [4] 齐明明, 李紫薇, 阎秀峰, 等. 龙芽楸木繁育技术与药理活性成分的研究进展[J]. 林业科学, 2015, 51(12): 96-102.
- [5] 谢永刚. 刺嫩芽(辽东楸木)温室反季节生产新技术[J]. 北方园艺, 2017(13): 204-205.
- [6] 余翠翠, 魏建和. 环境因子对植物萜类化合物生物合成的影响研究进展[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1701-1710.
- [7] 赵佳明, 徐彪, 刘炎, 等. 龙芽楸木反季节水培技术研究[J]. 现代农业科技, 2018(8): 77-78, 83.
- [8] 史树德, 孙亚卿, 魏磊. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [9] 魏苑, 张盛贵. 萹酮-硫酸法测定枸杞多糖含量的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 399-401.
- [10] 彭鑫. 不同光照条件对草莓光合性能与果实品质的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018:5-8.
- [11] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定——紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. 光谱实验室, 2006, 23(4): 731-735.
- [12] 张莉, 喻晓鹏, 黄依婷, 等. LED 人工补光在植物照明中的应用及发展趋势[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2019, 37(1): 50-55.
- [13] FU W G, LI P P, WU Y Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce[J]. Scientia horticulturae, 2012, 135: 45-51.
- [14] 李思静. 不同 LED 光对先锋橙和红桔幼苗生长发育及生理特性的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [15] 孟淑娥, 王宏宇, 蒋桂春, 等. 龙芽楸木日光温室水培技术[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2007, 27(6): 50-51.
- [16] 张涛. 不同 LED 光质和组配叶用莴苣生理基础及营养品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
- [17] LIN K H, HUANG M Y, HUANG W D, et al. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata)[J]. Scientia horticulturae, 2013, 150: 86-91.
- [18] 王婷, 李雯琳, 巩芳娥, 等. LED 光源不同光质对不结球白菜生长及生理特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(4): 69-73, 79.
- [19] 张立伟, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同光质对豌豆苗品质的动态影响[J]. 北方园艺, 2010(8): 4-7.