

文章编号: 1674-7054(2019)01-0060-06

海南冬季诱导火龙果开花的补光条件

熊睿, 徐敏, 刘成立, 林家年, 程玉, 韦双双, 汤华

(海南大学热带农林学院/海南热带生物资源可持续利用国家重点实验室培育基地, 海口 570228)

摘要: 以红肉火龙果(*Hylocereus undulatus* Brit) ‘金都1号’为材料, 通过不同的光谱及光照时间处理, 研究不同的补光条件对诱导海南冬季火龙果开花的影响。结果表明: 1) 组合黄光和红光能够诱导火龙果成花, 蓝光不能诱导火龙果成花。2) 补光时间的长短和光谱的交互作用对火龙果成花有显著影响。3) 不同月份, 诱导火龙果成花所需的补光时间不同。采用15W组合黄光, 在2月初至2月下旬, 需补光5 h诱导成花; 在2月下旬至3月上旬, 补光4 h可诱导成花; 在3月上旬到3月底, 补光3 h就可诱导火龙果成花。

关键词: 火龙果; 冬季诱导成花; 补光时间; 补光光谱;

中图分类号: S 667.9 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2019.01.010

火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt) 属于仙人掌科(*Cactaceae*) 植物, 是热带亚热带果树^[1], 果实外形亮丽, 口感清甜, 营养丰富, 具有抗氧化等保健功效, 经济价值较高^[2-4]。目前国内主要种植三种类型的火龙果, 即红皮红肉、紫红皮白肉以及黄皮白肉。比较不同果肉火龙果可溶性固形物和可滴定酸含量比值, 发现红肉火龙果的口感比白肉火龙果的口感更好^[5]。近年来, 在我国的广东、广西、海南等省大力发展种植, 经济效益好, 倍受果农青睐^[6]。在海南, 5~11月为火龙果正常产果期, 12月至翌年3月为反季节果生产期。火龙果的花芽分化主要受光照和温度的影响, 海南全年平均气温22~26℃^[7], 在温度上满足了火龙果诱导开花的条件。但火龙果是长日照植物, 而冬季由于日照时间不足, 不能正常开花, 需要补光诱导开花。人工补光不仅应用在火龙果上, 在其他水果上也有应用, 如对西瓜需要补光8 h才满足幼苗的生长条件, 有利于提高西瓜品质^[8]。通过人工补光来调节葡萄生长周期, 延迟栽培进而增加葡萄品质^[9]。目前, 通过人工补光诱导火龙果冬季开花虽然在广西、福建、台湾等地也有应用, 但是由于海南优越的气候条件, 其补光效果最好。在海南冬季补光诱导火龙果开花, 应该采用的光源颜色、补光时长、最佳组合等方面的研究, 目前, 国内外尚未见报道。笔者设置不同的补光时间和不同光源组合, 对火龙果进行开花诱导实验, 研究海南火龙果的冬季补光条件, 为生产实践提供理论指导。

1 材料与方

1.1 试验材料 供试材料为‘金都1号’红肉火龙果, 地点在海南省东方市板桥镇的海南恩红农业科技有限公司火龙果基地, 该基地总面积10 hm², 火龙果种植时间2a, 采用排式种植模式, 宽窄行相间排列, 宽行间距3 m, 窄行间距2.4 m, 株距40 cm, 密度约9 000株·hm⁻²。实验所用的不同光谱的灯泡均购自广东中山丁臣照明有限公司。

收稿日期: 2018-11-06

修回日期: 2018-12-25

基金项目: 海南省重点研发项目(ZDYF2018080); 海南省农业厅农技示范推广项目(2018-4596-4); 国家火龙果良种联合攻关项目

作者简介: 熊睿(1993-), 男, 海南大学热带农林学院2016级硕士研究生, E-mail: xruibear@163.com

通信作者: 汤华(1974-), 男, 教授, 研究方向: 作物遗传育种与分子生物学, E-mail: thtiger@163.com

1.2 试验设计 选取生长状况大致相同的1年生火龙果植株进行夜间补光。补光期:2018-01-01—2018-01-31,在此期间处理组除补光条件不同外,浇水量、施肥量等田间管理措施均相同。试验采用2因素完全随机试验设计,第1个因素为补光时间长短,第2个因素为光谱组合。补光时间设置0~8 h共9个梯度(其中0 h为不补光的空白对照),光谱有3种类型[组合黄光15 W($\lambda = 580$ nm)、红光15 W($\lambda = 646$ nm)、蓝光15 W($\lambda = 450$ nm)],其中组合黄光中的红光:蓝光=7:1,共27个处理,每个处理4个生物学重复,每个重复有10株火龙果大苗。补光期间统计前3批各个处理的成花数目并记录分析。

1.3 补光期间的自然条件及开花统计 补光实验期间1月8~12日遭遇第1次低温寒潮,气温低于15℃,枝条少量冻伤;1月28日至2月8日遭遇第2次低温寒潮,低于15℃的气温持续10 d,枝条大量冻伤。因寒潮低温影响,预期2月上旬诱导出花的没有成功,至2月28日,第1批花才现蕾,3月13日统计第1批花蕾数量,3月21日左右开花;第2批3月15日现蕾,3月23日统计第2批花蕾数量,4月5日开花;第3批3月25日现蕾,4月12日统计第3批花蕾数量,4月15日开花;第4批4月5日现蕾,4月25日开花。

1.4 数据处理 试验数据用Excel 2007进行整理计算和图表绘制,并用SPSS 20.0软件进行2因素方差分析^[8]及差异显著性检验,计算结果用平均值 $\pm sd$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同的补光条件对第1批火龙果成花的影响 将第1次统计的花蕾数目进行平方根转换^[9],统计结果见表1。由表1可知,第1批花数量很少,组合黄光15 W补光3 h后才开始冒花,红光15 W和蓝光15 W基本没有花。对表1数据进行2因素方差分析(SPSS)的结果表明,光谱对火龙果成花有极显著($P < 0.01$)影响,补光时间对于火龙果成花也有极显著($P < 0.01$)的影响,这2个因素的交互作用也极显著($P < 0.01$)影响火龙果的成花。

表1 不同的光源和补光时间对第1批火龙果成花数目的影响

Tab.1 The number of the first batch of pitaya flowers under different light sources and supplementary illumination time

补光时数/h Supplementary illumination time	组合黄光 15 W Mixed yellow light 15 W	红光 15 W Red light 15 W	蓝光 15 W Blue light 15 W
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0.25 \pm 0.43	0	0
4	0.50 \pm 0.50	0.25 \pm 0.43	0
5	0.85 \pm 0.52	0	0
6	1.00 \pm 0.00	0.50 \pm 0.50	0
7	1.10 \pm 0.18	1.47 \pm 0.30	0
8	1.10 \pm 0.18	0	0

2.1.1 光源简单效应 从图1可知,在相同的补光时间下,整体上组合黄光15 W下的成花数都是多于其他光源的。补光1 h和2 h,所有光下都没有成花。补光3 h后,组合黄光15 W开始成花。补光7 h或8 h,组合黄光15 W下的成花数达到最大值。值得注意的是,在补光5 h后,组合黄光的成花数显著大于红光和蓝光下的成花数。组合黄光下的成花数是随着补光时间的延长而增多的。结果说明,此阶段组合黄光15 W需要补光至少5 h才能较好地诱导火龙果成花。

2.1.2 补光时间简单效应分析 从图2可知,在组合黄光15 W下,随着补光时间的延长,成花数呈现逐步上升的趋势。在该光谱下,补光5 h的成花数显著高于补光0 h的空白对照和 ≤ 2 h的;高于补光3 h和4 h的,但不显著;在补光7 h或8 h的时候达到最大值。建议此阶段用组合黄光15 W进行补光,且补光时间

要 ≥ 5 h 才能显著诱导火龙果成花。

2.2 不同的补光条件对第 2 批火龙果成花的影响 将第 2 批统计的成花数进行平方根转换^[9], 统计结果见表 2。由表 2 可见, 除了组合黄光 15 W 有花外, 红光 15 W 在补光 2 h 后也开始诱导火龙果成花, 而蓝光条件下火龙果依旧没有成花。SPSS 的分析结果表明, 光谱和补光时间都能极显著 ($P < 0.01$) 影响火龙果的成花, 同时, 这 2 个因素的交互作用也极显著 ($P < 0.01$) 影响火龙果的成花。

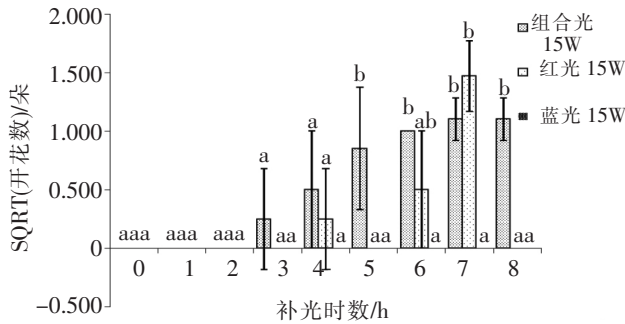


图 1 相同的补光时间下光谱对第 1 批火龙果成花数目的影响
Fig.1 The effect of spectrum on the first batch of pitaya flowers under the same supplementary illumination time

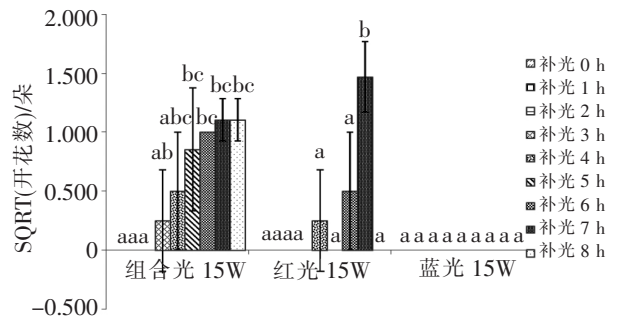


图 2 相同光谱下补光时间对第 1 批火龙果成花数目的影响
Fig.2 The effect of supplementary illumination time on the first batch of pitaya flowers under the same spectrum

表 2 不同光谱和补光时间对第 2 批火龙果成花数的影响

Tab.2 The number of the second batch of pitaya flowers under different spectra and supplementary illumination time

补光时数 / h	组合黄光 15 W	红光 15 W	蓝光 15 W
Supplementary illumination time	Mixed yellow light 15 W	Red light 15 W	Blue light 15 W
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0.75 ± 0.43	0.75 ± 0.43	0
3	1.80 ± 0.12	0.75 ± 0.43	0
4	2.49 ± 0.17	1.93 ± 0.21	0
5	2.16 ± 0.26	1.99 ± 0.18	0
6	2.73 ± 0.21	1.72 ± 0.21	0
7	2.16 ± 0.26	3.20 ± 0.17	0
8	2.23 ± 0.16	0.96 ± 0.58	0

2.2.1 光谱简单效应 从图 3 可知, 虽然红光 15 W 在 7 h 时的成花数目最多, 但是在其他时间点上, 组合黄光 15 W 的成花数显著多于其他光源的, 组合黄光 15 W 的成花数在补光 6 h 时达到最多。

2.2.2 补光时间简单效应分析 从图 4 可知, 在组合黄光 15 W 下, ≥ 4 h 补光的成花数目明显比 ≤ 3 h 补光的多, 但是补光超过 4 h 的不同时长之间的差异不显著。从平均数来看, 组合黄光 15 W 的成花数目随着补光时间的延长而增大, 补光 6 h 的成花数目最多。在红光下, 补光 7 h 显著高于其他处理的成花数目。蓝光光源下无论补光多长时间都没有成花。从第 2 批花的统计结果来看, 此时采用组合黄光 15 W 和补光至少 4 h (夜间补光), 这样对火龙果成花有明显的诱导效果。

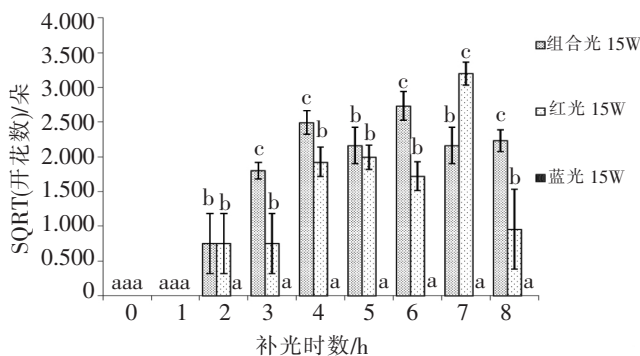


图 3 相同的补光时间下光谱对第 2 批火龙果成花的影响
Fig.3 The effect of spectrum on the second batch of pitaya flowers under the same supplementary illumination time

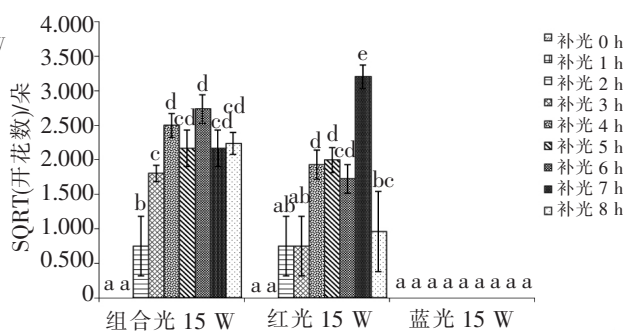


图 4 相同光谱下补光时间对第 2 批火龙果成花的影响
Fig.4 The effect of supplementary illumination time on the second batch of pitaya flowers under the same spectrum

2.3 不同补光条件对第 3 批火龙果成花的影响 将第 3 批统计的成花数进行平方根转换^[9],整理后的统计结果见表 3。从表 3 可知,此时组合黄光 15 W 只需补光 1 h 就能诱导成花,而且总体来说,组合黄光 15 W 下的成花数目的平均值在相同补光时间下都大于红光 15 W 下的成花数目。以此统计数据为依据进行 2 因素方差分析,结果表明,光谱和补光时间对火龙果成花的影响极大,而且两者的交互作用也极显著 ($P < 0.01$) 影响火龙果成花。

表 3 不同的光源和补光时间下的第 3 批火龙果成花数

Tab.3 The number of the third batch of pitaya flowers under different spectra and supplementary illumination time

补光时数 / h	组合黄光 15 W	红光 15 W	蓝光 15 W
Supplementary illumination time	Mixed yellow light 15 W	Red light 15 W	Blue light 15 W
0	0	0	0
1	1.47 ± 1.20	0	0
2	1.70 ± 1.22	1.47 ± 0.35	0
3	3.88 ± 0.78	4.11 ± 0.36	0
4	4.06 ± 0.63	3.95 ± 0.70	0
5	4.53 ± 0.55	3.49 ± 0.30	0
6	4.92 ± 0.84	3.06 ± 1.23	0
7	4.43 ± 0.46	4.77 ± 0.54	0.85 ± 1.01
8	3.78 ± 0.96	3.44 ± 0.94	0.68 ± 0.84

2.3.1 光谱简单效应分析 用 SPSS 软件对 4 种不同的光谱进行简单效应分析,通过成对比较分析出在相同的补光时间下不同的光谱水平对火龙果成花的影响(图 5)。从图 5 可见,在组合黄光 15 W 下补光 1~8 h 火龙果都能成花,红光条件下需补光 2 h 后才能促进火龙果成花,而蓝光则需要补光 7 h 后才有成花的现象。有趣的是,蓝光在补光期间基本上是不诱导火龙果成花的,即使成花其成花数目与空白对照相比也没有显著增多。补光 < 4 h,组合黄光 15 W 条件下的成花数目显著高于空白对照,但和红光相比没有显著差异,补光 5、6 h 后才显著多于红光下的成花数目。总体来说,组合黄光 15 W 的成花的平均数大于其他光谱条件下的(表 3),而且该光谱在市场上容易获得,制作成本相对于其他光源较低,因此,建议选用组合黄光 15 W 作为冬季促进火龙果成花的补光源。

2.3.2 补光时间简单效应分析 从总体趋势来看(图 6),随着补光时间的延长,火龙果成花数也随之增多。在组合黄光 15 W 条件下,补光 > 3 h 的成花数目显著高于补光 < 3 h 的,而且补光 > 3 h 后成花数目就没有显著差异了,补光 6 h 达到最大值。红光也有这种现象。所以,补光 3 h 很可能是补光关键点

(即补光 3 h 就能显著促进火龙果成花)。由于光谱和补光时间交互作用显著,因此,建议采用组合黄光 15 W 且补光 3 h 的补光策略。

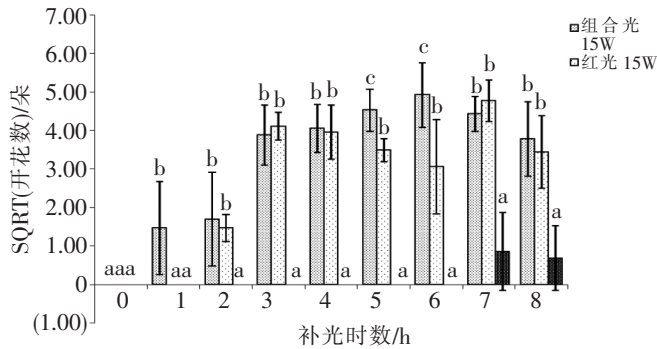


图5 相同的补光时间下光谱对第3批火龙果成花的影响
Fig.5 The effect of spectrum on the third batch of pitaya flowers under the same supplementary illumination time

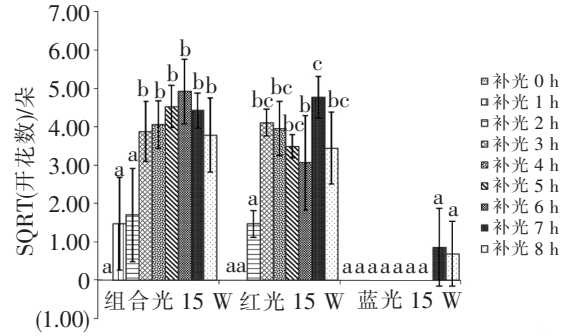


图6 相同光谱下补光时间对第3批火龙果成花的影响
Fig.6 The effect of supplementary illumination time on the third batch of pitaya flowers under the same spectrum

3 讨论

结果表明,在海南冬季,通过补光诱导火龙果开花是完全可行的,但诱导火龙果成花需要温度与光照条件同时满足,二者缺一不可。温度低于 15 °C,光照少于 12 h 很难成花。植物从营养生长到生殖生长的转变受到光周期、光源波长、光强度等的影响^[10]。海南冬季的火龙果夜间补光显然能促进其花芽分化。本试验结果表明,火龙果补光一定时间后即可成花,而不补光的空白对照没有成花。若补光时间短会导致成花数量少,补光时间太长则耗电量大、投入成本高。调研发现,海南的很多生产基地为了确保成花,整个冬季都补光 5 ~6 h。根据观察,补光后约 1 个月才有可见的花蕾。由于 2 月初海南的日照只有 11.5 h,而 3 月 15 日后,海南的日照平均时长才能达到 12 h,所以从 2 月初至 2 月下旬,在夜间至少要补光 5 h 才能有效诱导火龙果成花,在 2 月下旬至 3 月上旬在夜间至少要补光 4 h,而在 3 月中旬至补光结束,只需补光 3 h 就能显著诱导成花。

植物感受光照主要是通过光受体来完成的,光受体分为光敏色素和隐花色素,光敏色素主要吸收红光和远红光,隐花色素吸收蓝光和紫外光,这 2 种光受体在控制成花上有着重要作用^[11]。在长日照植物矮牵牛中,用蓝色 LED 光源照射会促进成花,而用红色 LED 光照射会延迟成花^[12],这种情况同样出现在长日照植物拟南芥中^[13]。红色 LED 光源也能促进一些植物比如美国蔓越莓的提早成花^[14]。仙客来在红光和蓝光的混合光下成花数目比单独处理蓝光和红光的成花数目多^[13]。在郁金香中,除白光外,UVB、UVA、蓝光和红光补光处理均能提早成花并提高成花整齐度,红光和蓝光明显促进郁金香植株干物质向花朵分配的比例^[15]。本研究结果表明,不同光源对火龙果的诱导成花情况存在明显差异,在相同补光时间下,组合黄光的成花数 > 单独红光处理的成花数 > 单独蓝光处理的成花数。

本实验结果表明: 1) 冬季对火龙果进行夜间补光,组合黄光和红光都有助于诱导火龙果成花。2) 补光时间和光谱对诱导火龙果成花不仅主效应明显而且有显著的交互作用。3) 采用组合黄光 15 W 2 月初至 2 月下旬,建议补光时长至少 5 h; 2 月下旬至 3 月上旬,建议补光 4 h; 3 月上旬到 3 月底,建议补光 3 h。

参考文献:

[1] 申世辉, 马玉华, 蔡永强. 火龙果研究进展 [J]. 中国热带农业, 2015, 12(1): 48-52.

[2] 王彬, 郑伟, 韦茜, 等. 火龙果的保健价值及发展前景 [J]. 农业研究与应用, 2004, 92(3): 19-21.

[3] WU L C, HSU H W, CHEN Y C, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya [J]. Food Chemistry, 2006,

- 95(2): 319 – 327.
- [4] 邓仁菊, 范建新, 蔡永强. 国内外火龙果研究进展及产业发展现状 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39(6): 188 – 192.
- [5] 李涛, 王明月, 杜海群, 等. 红肉火龙果与白肉火龙果的品质分析 [J]. 保鲜与加工, 2015, 15(4): 59 – 61.
- [6] 刘友接, 熊月明, 黄雄峰, 等. ‘金都一号’火龙果引种研究初报 [J]. 东南园艺, 2017, 5(3): 11 – 12.
- [7] 韩冰, 韩剑. 海南省火龙果产业发展形势及其建议 [J]. 中国南方果树, 2015, 44(5): 156 – 158.
- [8] 戴金辉, 韩存. 双因素方差分析方法的比较 [J]. 统计与决策, 2018, 34(4): 30 – 33.
- [9] 辛娜娜, 张蕊, 徐肇友, 等. 不同产地木荷优树无性系生长和开花性状的分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(4): 33 – 39.
- [10] RUNKLE E S, HEINS R D. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants [J]. Acta Horticulturae, 2006, 711: 51 – 60.
- [11] VALVERDE F, MOURADOV A, SOPPE W, et al. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering [J]. Science, 2004, 303(5660): 1003 – 1006.
- [12] FUKUDA N, ISHII Y, EZURA H, et al. Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia [J]. Acta Horticulturae, 2011, 907: 361 – 366.
- [13] HEO J W, LEE C W, MURTHY H N, et al. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. ‘Dixie White’ [J]. Plant Growth Regulation, 2003, 40(1): 7 – 10.
- [14] YU Z, SINGH B R. Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry [J]. Plant Growth Regulation, 2002, 38(2): 165 – 171.
- [15] 沈红香, 沈漫, 程继鸿, 等. 不同光质补光处理对郁金香生长和开花的影响 [J]. 北京农学院学报, 2007, 22(1): 16 – 18.

Supplementary Illumination for Pitaya Flower Induction in Winter in Hainan

XIONG Rui, XU Min, LIU Chengli, LIN Jianian, CHENG Yu, WEI Shuangshuang, TANG Hua

(Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University; Hainan Key Laboratory of Sustainable

Utilization of Tropical Biological Resources, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Red flesh pitaya ‘Jindu No. 1’ (*Hylocereus undulatus* Britt) were treated with different spectra and illumination time to observe the effects of different supplementary illumination time on flower formation of pitaya in winter in Hainan. The results were given as follows. 1) The mixed yellow light and red light both could induce flower formation of pitaya, while the blue light could not induce formation of flower. 2) The spectrum and the supplementary illumination time had a significant interaction effect on flower formation of pitaya. 3) Different seasons required different supplementary illumination time. From early February to late February pitaya were induced to produce flowers when treated with the mixed yellow light at 15 W for 5 h for supplementary illumination. From late February to early March, 4 h supplementary illumination could induce flower formation. From early to the end of March, 3 h supplementary illumination was enough to induce flower formation of pitaya.

Keywords: *Hylocereus undulatus* Britt; flower induction in winter; supplementary illumination time; light spectrum

(责任编辑: 潘学峰)