

红光与远红光比值对切花菊‘神马’发育和外观品质的影响*

张继波¹ 杨再强^{1,2**} 张 静¹ 彭晓丹¹ 张婷华¹

(¹南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 南京 210044; ²南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

摘 要 为了探讨不同 R/FR 值对温室切花菊发育进程和品质的影响, 以切花菊品种‘神马’(*Chrysanthemum morifolium* cv. ‘Jingba’)为试材, 设计不同红光(R: 660 nm ±10 nm)与远红光(FR: 730 nm ±10 nm)比值(R/FR)为 0.5、2.5、4.5、6.5 的 LED 灯照射处理试验, 以自然光为对照(CK), 观测不同处理的菊花发育阶段和品质指标。结果表明: 与 CK 相比, R/FR=2.5 处理显著加快菊花的发育进程($P<0.05$), R/FR=2.5 处理下短日照处理到现蕾、现蕾到破蕾及破蕾到收获 3 个发育阶段分别比 CK 提前 4 d、8 d 和 5 d, R/FR=0.5 处理发育速度最慢, 3 个阶段分别比 CK 晚 4 d、2 d 和 2 d; 不同 R/FR 值处理下菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度均随温光效应的增加呈增加的趋势, 并在 R/FR=2.5 时取得最大值; 收获时切花菊达到 A 级和 B 级产品等级的比例分别以 R/FR=2.5 和 4.5 处理最高。本研究发现, R/FR 为 2.5 能够显著促进菊花发育进程和提高菊花的外观品质和 A 级切花的比例。

关键词 菊花; R/FR 比; 发育; 花期; 切花品质

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)4-0816-07

Effects of red/far red light ratio on the development and appearance quality of cut chrysanthemum cultivar ‘Jingba’ in greenhouse. ZHANG Ji-bo¹, YANG Zai-qiang^{1,2**}, ZHANG Jing¹, PENG Xiao-dan¹, ZHANG Ting-hua¹ (¹Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; ²College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(4): 816–822.

Abstract: In order to understand the effects of red/far red light ratio on the development and cut flower quality of *Chrysanthemum* in greenhouse, *Chrysanthemum morifolium* cv. ‘Jingba’ was taken as test material, and a LED light source irradiation experiment with 4 ratios (0.5, 2.5, 4.5, and 6.50) of red light (R: 660 nm ±10 nm) to far-red light (FR: 730 nm ±10 nm) was conducted, with the development stages and cut flower quality index measured. At R/FR=2.5, the development process of chrysanthemum plant accelerated significantly ($P<0.05$), with the development stages from short day treatment to budding, from budding to broken budding, and from broken budding to harvest advanced by 4, 8 and 5 days, respectively, as compared with those under natural light (CK). At R/FR=0.5, the development speed of chrysanthemum plant was the slowest, and the three development stages were 4, 2 and 2 days later than the CK, respectively. In all R/FR treatments, the plant height, leaf number per plant, leaf area per plant, stem diameter, flower diameter, and flower stalk length of chrysanthemum all increased with the increasing effects of temperature and light, and the maximum values were obtained at R/FR=2.5. The proportions of grade A and grade B cut flowers at harvest were the largest at R/FR=2.5 and 4.5, respectively. It was suggested R/FR=2.5 could promote the development process of chrysanthemum significantly, and improve the appearance quality of cut chrysanthemum and

* 国家自然科学基金项目(41075087)、公益(气象)行业科研专项(GYHY(QX)200906023)、公益(气象)行业科研专项(GYHY(QX)201006028)和江苏省科技支撑项目(社会发展)(BE2010734)资助。

** 通讯作者 E-mail: yzq@nuist.edu.cn

收稿日期: 2011-11-08 接受日期: 2012-01-18

the proportion of grade A cut flower.

Key words: *Chrysanthemum morifolium* Ramat. ; R/FR ratio; development; cut flower quality.

植物吸收光谱具选择性,不同光质对植物形态建成、光合作用和物质代谢的调节作用各不相同(Runkle & Heins,2002;Cabral *et al.*,2008;Poudel *et al.*,2008)。近年来,利用光质调节设施作物生长发育的研究倍受国内外学者关注(Cober & Voldeng,2001;陈静等,2004;Cemek & Demir,2005;Larsen & Nothnagl,2008)。有研究表明,红光与远红光对作物基因表达(Li & Chinnappa,2004;Azari *et al.*,2010)、细胞遗传(Anna & Alicja,2001)、光敏色素(Batschauer,1998)、叶片光合特性(Collins & Wein,2000)、花卉品质(Khattak *et al.*,2004)和叶片衰老(Causin *et al.*,2006)等均有调控作用。

Hertel等(2011)证实R/FR值增加可促进茎秆生长、叶片伸展及提前开花。补充红光可促进一品红生长、推迟花期并提高花的观赏品质(江明艳和潘远智,2006)。Rosa等(1998)用远红光照射(低R/FR值)的松树幼苗,茎干高度增加、总干重减少。Li等(2000)发现,高R/FR值处理可抑制菊花节间生长和叶面积增大。Robin等(1994)研究表明,低R/FR值抑制苜蓿分枝(侧芽)产生和茎节数增长,增加植株叶面积。前人研究证实,红光能降低植物体内源赤霉素(GA)的含量,从而减少节间长度和植株高度,而远红光(FR)能提高赤霉素的含量,增加节间长度(李书民,2000)。此外,植物生长发育对R/FR值大小的敏感性也存在较大差异,Kurepin等(2007)认为,植物对R/FR值的反应为0.2~1.5最为敏感,R/FR值高于5.0以后对植物的调节作用不明显,R/FR值为0~4.6,非洲菊节间长度随R/FR值增加而缩短。

花芽分化是菊花成花的前提,光质中的R/FR值对植物花芽分化具有重要调节作用(刘再亮等,2004;Blom & Zheng,2009)。Muleo等(2006)研究发现,高R/FR值处理可抑制花芽分化,而Yamada等(2009)研究发现,低R/FR值夜间补光(22:00—3:00)处理可以促进洋梗桔的花芽分化,而高R/FR值处理会延迟洋梗桔的花芽分化,促进或延迟花芽分化的临界R/FR比值为5.3;且不同R/FR值补光处理与对照处理现蕾时间相差天数与R/FR值呈对数函数。由此可见,光环境中不同R/FR值对不同植物的花芽分化起着完全不同的作用。据魏胜林等

(1998)报道,增加红光比例可促进叶片的氨基酸和能源物质合成,可为花芽分化和花朵发育提供细胞结构成分和能量,从而促使菊花花期提前。

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)是世界四大切花之一,也是中国重要的出口花卉,目前关于不同R/FR值对菊花发育进程及外观品质的影响机理及定量关系仍不清楚。本研究设计了不同R/FR值的LED光源照射试验,系统研究R/FR值对温室切花菊发育进程和品质的影响,研究结果为利用光质调控设施切花菊生长发育和品质提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验时间为2010年10月—2011年2月,试验地点为南京信息工程大学农业气象试验站,试验温室顶高5.0 m,肩高4.5 m,宽9.6 m,长30.0 m。供试菊花品种为‘神马’(‘Jingba’),于2010年10月6日定植,株行距为20 cm×20 cm,定植时苗高约20 cm,叶片数6~10片;采用基质栽培,基质为蛭石和珍珠岩,体积比为2:1。在营养生长阶段用日光灯(PAR为200)补光5 h(18:00—23:00)以延长光周期,当株高达60 cm,近50 d,离地面1.5 m高处搭架,设计不同红光(R:660 nm±10 nm)与远红光(FR:730 nm±10 nm)比值(R/FR)的LED光源短日处理,以无光质处理即自然光条件下(R/FR=1.02)为对照(CK),短日处理光照时间为10 h(8:00—17:00)。利用红光和远红光LED灯组合得到不同R/FR比值,R与FR的能量比设计0.5、2.5、4.5、6.5共4个处理,每个处理由360只LED灯组成,红光和远红光的LED灯按比例均匀排列,光源面积为50 cm×50 cm,根据植株生长状况,保持灯与冠层的距离为15 cm,调节光强,保证植株顶端的光强为1000 μmol·m⁻²·s⁻¹,每处理菊花植株30株。为了避免外界光源影响,在灯架四周利用黑色塑料薄膜遮光,保持温室昼夜温度在28/18℃。所有植株用营养液灌溉,营养液采用自来水配制,营养液的电导度为1.5 ms·cm⁻¹,营养生长期以N:P:K=14.3:2.0:8.0的摩尔浓度配比,生殖生长期以N:P:K=7.1:4.0:12.0的摩尔浓度配比(姜贝贝等,2008a);微量元素采用日本园试配

方(郭世荣,2003)。菊花植物经常抹侧芽,保留一个顶芽开花。

1.2 气象要素的获取

日光温室的小气象数据由数据采集器(Watch-Dog 2000, USA)自动采集,采集内容为温室内 1.5 m 高处空气温度、空气相对湿度和冠层上方 1.5 m 的太阳光合有效辐射。采集频率为每 10 s 1 次,存储每 30 min 的平均值。室外气象数据取自距该日光温室 100 m 的大气物理观测站的观测资料。

1.3 菊花生育期的划分

根据切花菊生长发育特性及出口日本的切花菊质量标准(杨再强等,2007a),将菊花的整个生育期分为 3 个阶段:1)短日照处理到现蕾,50% 花蕾直径达到 4 mm(显微镜下观察为花冠分化初期)时记为现蕾;2)现蕾到破蕾,50% 的花蕾显色;3)破蕾到收获,当花蕾直径达 2 cm,舌状花瓣长(小花的花瓣长)1.5 cm,最外层花瓣长度达整个花蕾高度的 2/3 时即达到收获标准。

1.4 菊花数据的测定

定植后每隔 15 d 测定各处理 3 株定株的株高(由植株基部至最高一枝枝顶作株高)、茎粗(距植株基部 20 叶位处)、叶龄(植株全部完全叶片数)、叶面积(利用描叶法(杨再强等,2007b)计算得到单株叶面积);现蕾后每隔 3d 测定花径(完全开放时花朵的直径)及花梗长度。

1.5 菊花品质(比例)的划分

收获时对每处理抽取 20 枝花枝,参考切花菊出口日本的质量标准统计,分别达到 A、B、C 级产品的指数(杨再强等,2008),达到不同级别的比例按公式计算得到: $R_i = F_p \times N_i / 100\%$ 。 R_i 为达到某级别的菊花比例(%); F_p 为成花率,成花率根据本试验菊花收获时的统计结果取值为 75%; N_i 为 100 枝花中达到 i 级的菊花枝数。

1.6 温光效应的计算

温度对菊花发育的影响可以用热效应来表示,每日热效应 $F(T)$ 指作物在实际温度条件下生长一天相当于在最适宜温度条件下生长一天的比例;辐射对菊花发育的影响可以用辐射效应来表示,每日辐射效应 $F(R)$ 指作物在实际辐射条件下生长一天相当于在最适宜辐射条件下生长一天的比例;菊花的生长发育主要受自身遗传特性及温度、光照等环境条件的影响,因此,对于特定的菊花品种,其完成某一特定发育阶段所需的累计温光效应是恒定的,

以累计温光效应为尺度(Larsen *et al.*, 1998; Marcelis *et al.*, 1998; Nothnagl *et al.*, 2004; 徐国彬等, 2006)。温光效应计算方法如下:

$$R = \sum_{i=1}^{24} PAR(i) \quad (1)$$

$$F(R) = 1 - \exp^{-aR} (R > 0) \quad (2)$$

$$F(T) = \begin{cases} 0 & \text{①} \\ (1 - \exp^{-\beta(T-T_b)}) (1 - \exp^{-\gamma(T_m-T)}) & \text{②} \\ 0 & \text{③} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{①}(T < T_b)$$

$$\text{②}(T_b < T \leq T_m) \quad (3)$$

$$\text{③}(T \geq T_m)$$

$$PTE = F(T) \times F(R) \quad (4)$$

式中, $PAR(i)$ 为 1 d 中第 i 小时内的光合有效辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), R 为每日日出到日落期间的太阳光合有效辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)。每日辐射效应的值界于 0 ~ 1,每日辐射效应与光强呈负指数关系。 a 、 β 、 γ 为模型待定参数, a 的生物学意义代表光合有效辐射增加 $1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,相对光效应增加 e^{-a} ,当光强接近 0 时,(2)式中, $F(R)$ 为 0,当 R 接近饱和点时, $F(R)$ 接近 1; β 和 γ 的生物学意义分别表示日均温度(T)与最低温度(T_b)之间、最高温度(T_m)与日均温度(T)之间相差 1°C ,每日热效应分别增加 $e^{-\beta}$ 和 $e^{-\gamma}$ 。根据(3)式,当日平均气温小于 T_b 或大于 T_m 时,每日热效应 $F(T)$ 为 0;当日平均气温介于 T_b 与 T_m 之间时,每日热效应界于 0 和 1 之间,每日热效应与日平均温度关系呈负指数函数; T 为日平均气温($^\circ\text{C}$); T_b 、 T_m 分别为菊花发育的下限温度和上限温度($^\circ\text{C}$),参考相关文献, $T_b = 10^\circ\text{C}$, $T_m = 28^\circ\text{C}$ (菊花短日照处理到现蕾)、 $T_m = 35^\circ\text{C}$ (菊花现蕾到收获)(杨再强等,2007a)。该公式中的 a 、 β 、 γ 参数利用试验数据拟合,分别为 0.001、0.058、0.168。PTE 为温光效应,为每日热效应与每日辐射效应的乘积。

则累计温光效应的计算公式为:

$$APTE = \sum PTE_n \quad (5)$$

累计温光效应($APTE$)为菊花在某一生育期内每日温光效应 PTE 的总和。式中 $APTE$ 为某一生育期内的累计温光效应, PTE_n 为某一生育期内第 n 天的温光效应。

1.7 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 进行整理, SAS 9.0 进行方差分析,采用邓肯新复极级差法分析不同处

理间显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同 R/FR 值处理对切花菊发育的影响

由图 1 可知,不同 R/FR 值处理下菊花的发育进程差异显著,R/FR=2.5 和 R/FR=4.5 处理下短日照处理到现蕾(S-B)阶段均快于 CK,并达到显著水平,现蕾期分别比 CK 提前 4 d 和 3 d;R/FR=0.5 处理显著迟于 CK,R/FR=6.5 处理迟于 CK,但差异不显著,现蕾期分别比 CK 推迟 4 d 和 1 d;S-B 阶段由快到慢的 R/FR 顺序为 2.5、4.5、6.5、0.5。

现蕾到破蕾(B-B)和破蕾到收获(B-H)阶段,R/FR=2.5 处理菊花的发育进程均快于 CK,破蕾期及收获期分别比 CK 提前 8 d 和 5 d,R/FR=6.5 处理也快于 CK,但差异不显著,R/FR=0.5 处理则显著迟于 CK,破蕾期及收获期均比 CK 推迟 2 d。R/FR=4.5 处理下,在 B-B 阶段菊花发育进程显著快于 CK,破蕾期比 CK 提前 4 d,但在 B-H 阶段则与

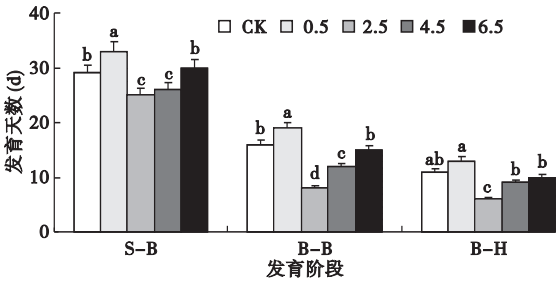


图 1 不同 R/FR 值处理对菊花发育进程的影响
Fig.1 Effect of different R/FR values on the development progress of chrysanthemum
S-B,短日照处理-现蕾 S;B-B,现蕾-破蕾;B-H,破蕾-收获。不同小写字母表示采用邓肯新复极差法检验在 0.05 水平上差异显著。

CK 无差异。B-B 以及 B-H 阶段由快到慢的 R/FR 顺序均为 2.5、4.5、6.5、0.5。表明 R/FR=2.5 可显著加快菊花的发育进程,而 R/FR=0.5 则可推迟菊花的发育进程。

2.2 不同 R/FR 值处理对切花菊外观品质的影响
由图2可知,不同R/FR值处理下菊花的株高

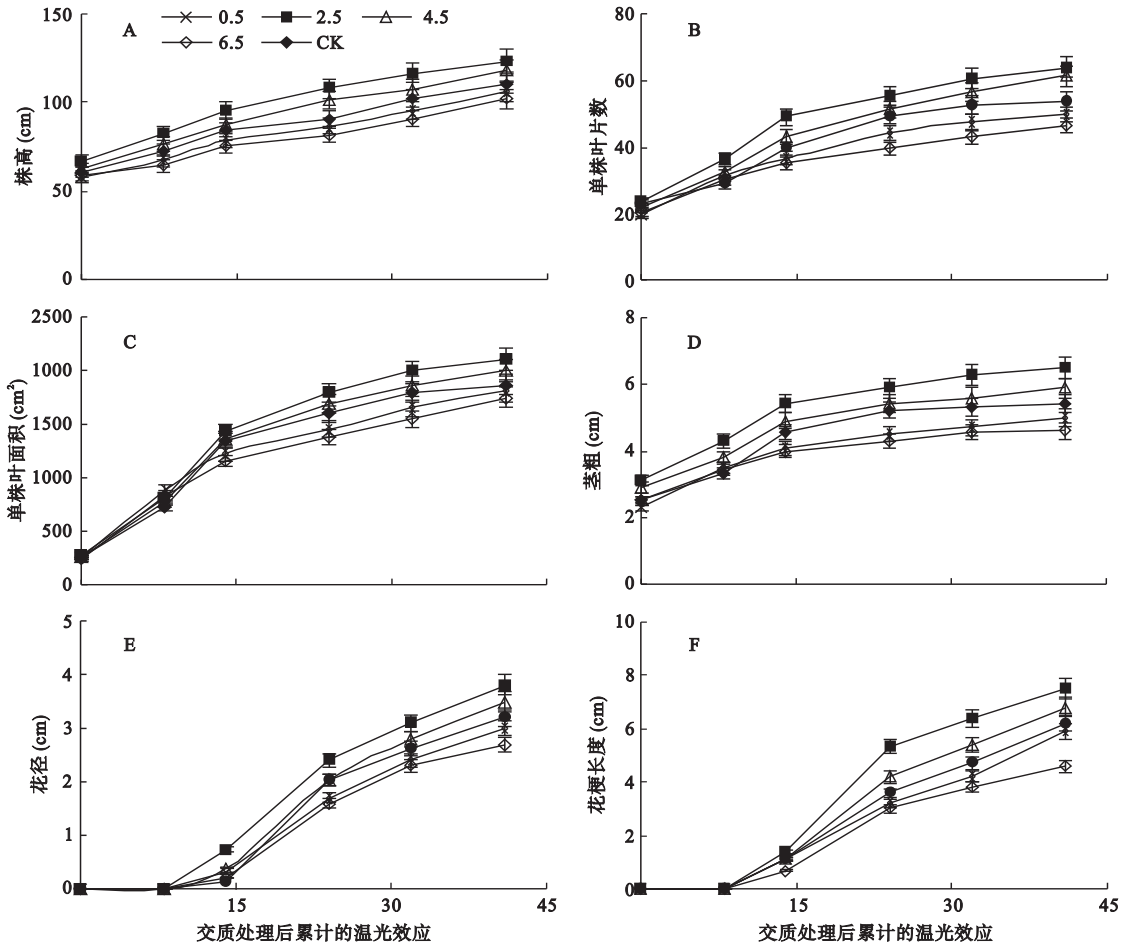


图 2 不同 R/FR 值处理对菊花株高、叶龄、叶面积、茎粗、花径和花梗长度的影响
Fig.2 Effect of different R/FR values on the plant height, leaf age, leaf area per plant, stem diameter, flower diameter and flower stalk length of cut flower of chrysanthemum

(图 2A)、叶龄(图 2B)、叶面积(图 2C)、茎粗(图 2D)、花径(图 2E)和花梗长度(图 2F)均随温光效应(APTE)的增加呈增加的趋势。 $R/FR=2.5$ 和 $R/FR=4.5$ 处理下菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度均大于 CK,说明 $R/FR=2.5$ 和 $R/FR=4.5$ 处理可以促进菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度的增加,APTE =40 时, $R/FR=2.5$ 处理下菊花株高、单株叶龄、单株叶面积和茎粗分别比 CK 高 11.86%、21.64%、20.37%、9.71%、18.75%、31.58%,达到显著水平;而 $R/FR=6.5$ 和 $R/FR=0.5$ 处理则抑制菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度的增加,APTE =40 时, $R/FR=6.5$ 处理下菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度分别比 CK 低 7.78%、7.46%、12.96%、7.76%、15.63%、19.30%,差异显著。菊花株高、单株叶龄、单株叶面积、茎粗、花径和花梗长度由大到小的 R/FR 顺序基本一致,均为 2.5、4.5、0.5、6.5。

2.3 不同 R/FR 值处理对切花菊产品质量等级的影响

由图 3 可知,收获时达到 A 级产品等级的比例以 $R/FR=2.5$ 处理为最高,达 35%;达到 B 级产品等级的比例以 $R/FR=4.5$ 处理为最高, $R/FR=2.5$ 处理次之,分别为 45% 和 40%; $R/FR=0.5$ 处理下达到 C 级产品等级的比例最高, $R/FR=2.5$ 处理最低。收获时达到 A 级产品等级的比例按 2.5、4.5、6.5、0.5 的 R/FR 值顺序降低,达到 B 级产品等级的比例按 4.5、2.5、0.5、6.5 的 R/FR 值顺序降低,而达到 C 级产品等级的比例按 2.5、4.5、6.5、0.5 的 R/FR 值顺序增加。说明 $R/FR=2.5$ 和 $R/FR=4.5$ 处理可以提高切花菊收获时的产品等级,提高花期

品质;而 $R/FR=6.5$ 和 $R/FR=0.5$ 处理则降低切花菊收获时的产品等级,降低花期品质。

3 讨论

本研究发现, $R/FR=2.5$ 、 $R/FR=4.5$ 和 $R/FR=6.5$ 处理均加快菊花的发育进程,并以 $R/FR=2.5$ 处理的促进效果更为显著,而 $R/FR=0.5$ 处理则减缓菊花的发育进程,与研究发现低 R/FR 值促进洋梗桔的花芽分化,而高 R/FR 值处理会延迟洋梗桔(Yamada *et al.*, 2009)、一品红(江明艳和潘远智, 2006)的结果一致。本试验表明,由短日处理到收获,菊花株高、单株叶片数、单株叶面积和茎粗均以 $R/FR=2.5$ 处理最高, $R/FR=6.5$ 处理最低,这与 Li 和 Kubota(2009)研究认为的补充远红光可以显著增加作物的鲜重、干重、茎长、叶长和叶宽的结论基本一致;并且蒲高斌等(2005)认为红光对茎的伸长均有明显抑制作用;而 Li 等(2000)研究认为 $R/FR=2.2$ 的透处理 4 周后菊花株高降低,这与本试验的研究结论相悖;这可能是由于研究材料和处理时期不同引起的,本研究品种是单头切花菊品种‘神马’,而 Li 等(2000)研究的多头小菊‘Bright Golden Anne’表明,不同品种的菊花对光质的反应差异较大。前人研究表明,红光下植物体内源赤霉素(GA)的含量降低,节间长度和植株高度降低,而远红光(FR)使得赤霉素的含量升高,从而增加节间长度(John *et al.*, 1993)。张长芹等(1993)发现,在蓝光照射下露珠杜鹃有较高的株高和茎粗,叶片数和花芽个数多,并且有较大的冠幅。Kurepin 等(2007)研究表明, R/FR 比值降低可以促进向日葵茎伸长,这主要是由于向日葵下胚轴和节间的生长素含量降低造成的。因此,今后需要进一步研究不同光质处理下作物内源激素含量的变化及其对菊花形态指标的影响。

本研究表明, $R/FR=2.5$ 处理下菊花花径及花梗长度也为最大,补充红光可以促进植株生长健壮、提高切花菊的观赏品质,并推迟花期,而不同光质补光均可以使郁金香提早开花并提高花整齐度(沈红香,2007)。然而,菊花品质与光周期、种植密度(杨再强等,2009)、苗期营养生长时间(姜贝贝等,2008b)密切相关,因此,今后需要进一步研究 R/FR 值与光周期、密度及苗期生长时间的耦合对菊花发育和品质的影响。

本研究利用控制试验系统探讨了温室切花菊的

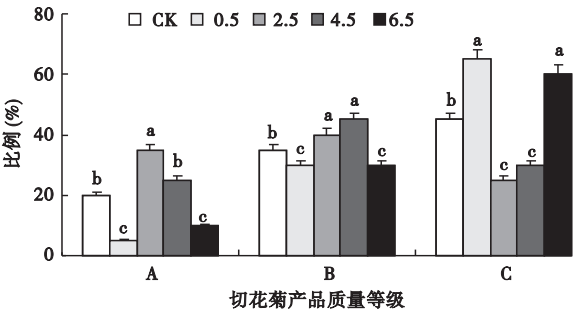


图 3 不同 R/FR 值处理对切花菊收获时达到产品质量等级的影响

Fig.3 Effect of different R/FR values on the eligible rate of cut flower of chrysanthemum at harvest

发育进程及品质对 R/FR 值的响应,结果表明,菊花株高、叶龄、茎粗、叶面积、花径及花梗长度均以 R/FR=2.5 处理最高,收获时,R/FR=2.5 处理下切花菊达到 A 级产品等级的比例最高,且达到 B 级产品等级的比例仅次于 R/FR=4.5 处理。研究证实,R/FR 为 2.5 时,菊花发育进程最快,外观品质等级最高。然而,不同品种对 R/FR 的反应不同,本研究结论仅适用于温室单头切花菊‘神马’,对其他菊花品种需要进一步研究。

参考文献

陈 静,陈启林,翁 俊,等. 2004. 不同红光/远红光比例 (R/FR) 的光照影响番茄幼苗叶片中花青素合成的研究. 西北植物学报, **24**(10): 1773–1778.

郭世荣. 2003. 无土栽培学. 北京: 中国农业出版社.

江明艳,潘远智. 2006. 不同光质对盆栽一品红光合特性及生长的影响. 园艺学报, **33**(2): 338–343.

姜贝贝,房伟民,陈发棣,等. 2008a. 氮磷钾配比对切花菊‘神马’生长发育的影响. 浙江林学院学报, **25**(6): 692–697.

姜贝贝,房伟民,陈发棣,等. 2008b. 植株营养生长天数对切花菊花芽分化与品质的影响. 中国农业科学, **41**(6): 1755–1760.

李书民. 2000. 光质调控薄膜在设施园艺生产中的应用. 中国蔬菜, (增刊): 54–57.

刘再亮,马承伟,杨其长. 2004. 设施环境中红光与远红光比值调控的研究进展. 农业工程学报, **20**(1): 270–273.

蒲高斌,刘世琦,刘 磊,等. 2005. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响. 园艺学报, **32**(3): 420–425.

沈红香,沈 漫,程继鸿,等. 2007. 不同光质补光处理对郁金香生长和开花的影响. 北京农学院学报, **22**(1): 16–18.

魏胜林,王家保,李春保. 1998. 蓝光和红光对菊花生长和开花的影响. 园艺学报, **25**(2): 203–204.

徐国彬,罗卫红,陈发棣,等. 2006. 温度和辐射对一品红发育及主要品质指标的影响. 园艺学报, **33**(1): 168–171.

杨再强,戴剑锋,罗卫红,等. 2008. 单位面积杆数对温室标准切花菊品质影响的预测模型. 应用生态学报, **19**(3): 575–582.

杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 2007a. 基于光温的温室标准切花菊品质预测模型. 应用生态学报, **18**(4): 877–882.

杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 2007b. 温室标准切花菊发育模拟与收获期预测模型研究. 中国农业科学, **40**(6): 1229–1235.

杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 2009. 基于光温的温室多杆切花菊干物质生产与分配的预测模型. 生态学报, **29**(3): 1478–1485.

张长芹,张 禾,张能义,等. 1993. 不同光质对露珠杜鹃

生长发育和光合作用的影响. 云南植物研究, **15**(4): 392–394.

Anna B, Alicja K. 2001. Effect of light quality on somatic embryo genesis in *Hyacinthus orientalis* L. ‘Delft’s blue’. *Biological Bulletin of Poznan*, **38**: 103–107.

Azari R, Tadmor Y, Meir A, et al. 2010. Light signaling genes and their manipulation towards modulation of phytonutrient content in tomato fruits. *Biotechnology Advances*, **28**: 108–118.

Batschauer A. 1998. Photoreceptors of higher plants. *Planta*, **206**: 479–492.

Blom TJ, Zheng Y. 2009. The response of plant growth and leaf gas exchange to the speed of lamp movement in a greenhouse. *Scientia Horticulturae*, **119**: 188–192.

Cabral AA, Pulido HG, Garay BR, et al. 2008. Plant regeneration of *Carica papaya* L. through somatic embryogenesis in response to light quality, gelling agent and phloridzin. *Scientia Horticulturae*, **118**: 155–160.

Causin HF, Jauregui RN, Barneix AJ. 2006. The effect of light spectral quality on leaf senescence and oxidative stress in wheat. *Plant Science*, **171**: 24–33.

Cemek B, Demir Y. 2005. Testing of the condensation characteristics and light transmissions of different plastic film covering materials. *Polymer Testing*, **24**: 284–289.

Cober ER, Voldeng HD. 2001. Low R:FR light quality delays flowering of E7E7 soybean lines. *Crop Science*, **41**: 1823–1826.

Collins B, Wein G. 2000. Stem elongation response to neighbour shade in sprawling and upright *Polygonum* species. *Annals of Botany*, **86**: 739–744.

Hertel C, Leuchner M, Menzel A. 2011. Vertical variability of spectral ratios in a mature mixed forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**: 1096–1105.

John JL, Courtney WH, Decoteau DR. 1993. Photocontrol of dioscoreaalata plantlet growth. *Scientia Horticulturae*, **54**: 255–265.

Khattak AM, Pearson S, Johnson CB. 2004. The effects of far red spectral filters and plant density on the growth and development of chrysanthemums. *Scientia Horticulturae*, **102**: 335–341.

Kurepin LV, Walton LJ, Reid DM. 2007. Interaction of red to far red light ratio and ethylene in regulating stem elongation of *Helianthus annuus*. *Plant Growth Regulation*, **51**: 53–61.

Larsen RU, Nothnagl M. 2008. Re-constructing data of leaf area increment in the greenhouse pot chrysanthemum cultivar ‘Lompoc’. *Scientia Horticulturae*, **117**: 63–68.

Larsen RU, Persson L. 1998. Modeling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Scientia Horticulturae*, **80**: 73–89.

Li Q, Kubota C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, **67**: 59–64.

- Li S, Rajapakse NC, Young RE, *et al.* 2000. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photoselective plastic films. *Scientia Horticulturae*, **84**: 215–225.
- Li WZ, Chinnappa CC. 2004. Isolation and characterization of PHYC gene from *Stellaria longipes*: Differential expression regulated by different red/far-red light ratios and photoperiods. *Planta*, **220**: 318–330.
- Marcelis LFM, Heuvelink E, Goudriaan J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Scientia Horticulturae*, **74**: 83–111.
- Muleo R, Morini S. 2006. Light quality regulates shoot cluster growth and development of MM106 apple genotype in in vitro culture. *Scientia Horticulturae*, **108**: 364–370.
- Nothnagl M, Kosiba A, Larsen RU. 2004. Predicting the effect of irradiance and temperature on the flower diameter of greenhouse grown *Chrysanthemum*. *Scientia Horticulturae*, **99**: 319–329.
- Poudel PR, Kataoka I, 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.
- Robin C, Hay MJM, Newton PCD. 1994. Effect of light quality (red:far-red ratio) and defoliation treatments applied at a single phytomer on axillary bud outgrowth in *Trifolium repens* L. *Oecologia*, **100**: 236–242.
- Rosa TM, Aphalo PJ, Lehto T. 1998. Effects of far-red light on the growth, mycorrhizas and mineral nutrition of Scots pine seedlings. *Plant and Soil*, **201**: 17–25.
- Runkle ES, Heins RD. 2002. Stem extension and subsequent flowering of seedlings grown under a film creating a far-red deficient environment. *Scientia Horticulturae*, **96**: 257–265.
- Yamada A, Tanigawa T, Suyama T, *et al.* 2009. Red:far-red light ratio and far-red light integral promote or retard growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Scientia Horticulturae*, **120**: 101–106.

作者简介 张继波,男,1987年生,硕士,主要从事设施作物环境调控研究。E-mail: Zhangjb.196267@163.com

责任编辑 李凤芹
