

设施环境中红光与远红光比值调控的研究进展

刘再亮¹, 马承伟¹, 杨其长²

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要: 该文详述了近年来国内外设施园艺环境中 R/FR 比值对植物形态、生长发育的影响以及实验、生产中 R/FR 比值调控方法的研究进展。介绍了几种人工光源及光质调控薄膜的 R/FR 特性, 对进一步开展此项研究工作提出建议。

关键词: 设施环境; 红光; 远红光; R/FR 比值

中图分类号: S625.5⁺ 1; S624.4+3, Q813.1+2

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2004)01-0270-04

0 引 言

调节温室作物、组培植物的节间长度和植株高度是设施园艺生产的一项重要技术。例如: 切花生产中, 对鲜切花的植株高度、形态有较高的要求; 在组培苗驯化和移栽阶段, 矮小、粗壮的组培苗更能适应外部环境, 成活率高; 相反, 在人工或自动切割茎节点作外植体时, 具有较长茎节的组培苗更有利于快速繁殖。影响节间长度和植株高度的因素有光照度、温度、湿度、水肥、植物生长调节物质等^[25]。光照条件中光质的影响, 尤其是光谱中红光(600~700 nm, R)与远红光(700~800 nm, FR)光通量的比值(R/FR)的作用日益受到人们的重视。

研究发现: 光谱中红光与远红光光通量的比值(R/FR)对植物形态建成, 调节植株高度具有重要影响。R/FR 比值已成为控制植株形态的一个重要评价参数^[14]。在过去的十几年中, 国内外研究人员针对调节 R/FR 比值以控制植株形态的技术进行了大量的研究工作^[1, 3, 4, 7-10, 12, 13, 17-20, 24-26]。本文主要就设施园艺领域 R/FR 比值的作用及其调控方法做一个详细的回顾。

1 R/FR 比值与组培苗生长

1.1 R/FR 比值调节植株形态的原理

不同波长范围的光, 通过与植物体内相关的色素作用影响植物体内的激素平衡, 进而引发植物的生理或形态的变化。400~700 nm 波长范围的光是影响植物光合作用与生长发育的主要因素, 其中 600~700 nm 红光能降低植物体内赤霉素(GA)的含量, 从而减少节间长度和植株高度; 而远红光的作用恰好与红光相反, 能提高植物体内的赤霉素的含量, 从而增加节间长度和植株高度^[27]。根据这一原理, 可以通过人工控制植物生长环境中的红光(R)或远红光(FR)的量, 改变 R/FR 的比值, 来调节植株的形态。

1.2 R/FR 比值对组培苗生长发育的影响

植物界存在着两类光形态建成反应, 即红光/远红光和蓝光/近紫外光反应^[15, 23, 32]。其中, 以 660 nm 和

730 nm 两个波长为中心的波长带的光通量的比即红光与远红光的比(R/FR)对植物的光形态建成影响最大。

研究表明, 当 R/FR 比值变大时植物的茎节间距变小、矮化; 反之当 R/FR 比值变小时则植物有伸长的倾向^[1, 12, 17, 22, 25, 26]。日本村上克介(1994)对 R/FR 比值影响向日葵组培苗的生长进行了试验, 当采用三基色荧光灯加远红荧光灯照明, 经过 8 d 培养后, 向日葵组培苗的茎长随 R/FR 比值的减小而增加。Y. Miyashita^[26]发现 R/FR 比值明显影响马铃薯组培苗的形态和光合作用, 在 R/PPFD (PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density, 简称光合成有效光量子流密度)比值为 0.1~0.5 范围内, 增加远红光的含量, 明显促进马铃薯组培苗茎芽的伸长; 当 R/PPFD 的比值为 1.0 时, 芽最长、干物重和叶面积最小。Moe 等^[12]研究发现: 采用白炽灯或者远红荧光灯时, R/FR 比值小的光照促进了风铃草的茎伸长。Kirdmanee 等^[1]发现, 用远红(FR)灯补光, 降低 R/FR 比值时, 桉树(*Eucalyptus camaldulensis*)组培苗的节间距和芽长是没有 FR 补光时的 1.4~1.5 倍。John 等^[7]在暗期结束后将薯蓣属(*Dioscorea alata*)组培苗进行远红光补光, 促进了节间长度的发育。

与冷白色荧光灯光源(R/FR 约为 10~13)相比, 暖白色光源(R/FR 比值约为 4~8)有助于杜鹃花组培苗的生根^[19]。Fukuda^[3]证实 R/FR 比值增加时, 可促进胡萝卜组培苗芽的发育, 但抑制胡萝卜根诱导胚芽。

R/FR 比值不仅影响植株的高度、根部的发育, 而且对某些物种的腋芽分化^[20]、叶绿素含量^[5, 6, 8, 24]和气孔指数^[21]以及叶面积^[1, 13, 24]等均有不同程度的影响。

Schoch-PG 等^[21]研究了红光和远红光对豇豆离体培养时气孔指数(一定叶面积内气孔的数目与该气孔数相同面积内表皮细胞数之和的百分比)的影响: 远红光、红光先后照射 30 min, 气孔指数没有下降; 仅用远红光照射 30 min 后, 置于黑暗中, 则豇豆的气孔指数明显下降。Robin-C 等^[20]研究了 R/FR 比值对苜蓿腋芽的生长情况: 低 R/FR 比值处理腋芽, 抑制了分枝(侧芽)的产生和茎节数的增长。R/FR 比值还影响着植物叶面积及单位面积叶片中叶绿素的含量, 低 R/FR 比值使得叶面积增加, 叶绿素的含量降低。Suneetha Alokam^[22]研究了 0.7 和 1.9 两个水平的 R/FR 对高山和北美大草原两种生态型繁缕属(*Stellaria longipes*)植物花青素累

收稿日期: 2003-08-11 修订日期: 2003-10-15

作者简介: 刘再亮, 硕士研究生, 北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学东校区 195 信箱, 100083

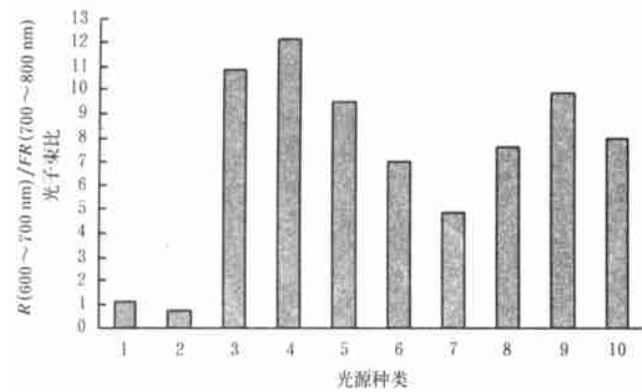
通讯作者: 马承伟, 教授, 北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083

积的影响,发现高的 R/FR 明显促进花青素累积。

2 不同人工光源的 R/FR 比值特性及其应用

白炽灯灯光中含有较多的远红光(FR),使得R/FR的比值变小,因而植株比正常光源下长的高。除白炽灯外所有的人工光源的 R/FR 比值都比自然光的 R/FR 要大^[29]。温室中常用的补光光源比荧光灯的 R/FR 比值要小,金属卤化物灯由于金属卤化物的不同,其 R/FR 比值在 1.2~ 3.5 之间,一般型高压钠灯和显色改进型高压钠灯分别为 4.4 和 3.6^[30]。

荧光灯与其他光源相比其光谱中远红光的比例很小,因而 R/FR 的比值普遍偏高。笔者采用 L I-COR 公司的 L I-1800 分光辐射度计对国内市场上常见的几种荧光灯进行了 R/FR 比值的测量(图 1)。采用荧光灯照射易发生组培苗矮化现象,但其光谱特性基本上满足了组培苗生长发育的需要^[16],在组培架表面能够获得比较均匀一致的光合成有效光量子流密度分布,因而成为组培领域中应用的主要人工光源。



1 自然光 2 白炽灯 3 阳光 YZ28 RR16/G 0104 4 阳光 YZ28 RL16/G 0207 5 飞利浦 TLD36W/33 6 飞利浦 TLD36W/54 7. 飞利浦 TLD36W/865 8 松下 YZ36RR 三基色(6500K) 9 松下 YZ36RN 三基色(4000K) 10 松下 YZ36RZ 标准型(5000K)

图 1 自然光、白炽灯和 8 种荧光灯的 R/FR 比值图
Fig.1 R/FR ratios of sun light, incandescent lamp and eight fluorescent lamps

LED 光源(Light-emitting Diode: 发光二极管)以其优良的性能逐渐受到人们的青睐。LED 光源的光谱性能好,可按照需要组合获得纯正单色光与复合光谱,其波谱宽度小于 ± 30 nm,波长正好与植物光合成和光形态建成的光谱范围吻合。Fujiwara and Kozai^[4]研究发现,LED 光源中,红色LED 和远红色LED 光源比荧光灯更易影响组培苗的光形态建成和生长发育。通过调节红色LED 和远红色LED 光源的数量,可根据需要灵活改变R/FR 的比值。此外LED 光源还具有以下优点:寿命长、发热量小、低电压驱动、调光容易等。目前,发达国家已开始将LED 光源应用于植物的组培生产。但由于LED 光源成本高,实现实用化还需要一定的时间。随着LED 光源技术的发展与成本的下降,将更多地应用于植物组织培养实际生产中。

3 调节 R/FR 比值的几种方法

3.1 人工光源调节

采用人工光源补光以增加红光或远红光比例的方法,在实际的温室、组培生产中已经得到广泛应用。例如适时的打开白炽灯,增加远红光(FR)的比例,促进植物茎、叶的伸长。应用过程中需要注意的是:1)R/FR 的比值不易准确控制;2)由于白炽灯为点光源且产生大量的热,需注意均匀布置光源和防止产生高温的环境。

鉴于LED 光源良好的单色性,易于按需要组合光谱,国外研究人员和光源生产厂家尝试把LED 光源应用于植物组培生产中。实际应用中,只需增加光源中红色LED 或者远红色LED 的数量,即可方便的实现 R/FR 比值的调节,从而达到控制植株形态的目的。

3.2 采用光质调控薄膜

光质调控薄膜的基本构成和普通薄膜一样,为聚乙烯或乙烯-醋酸乙烯聚合物,在其中添加能够吸收特定波长范围光的化学色素,从而改变透射光的光质。由于该薄膜与普通膜的价格相差不大,有利推广应用。目前,常用的光质调控薄膜有远红光吸收膜和红光吸收膜,其 R/FR 的特性如表 1 所示。

表 1 普通玻璃和光质调控薄膜的 R/FR 比值^[20]

Table 1 R/FR ratios of glass and photo selective plastic films

种 类	R/FR (红光/远红光)
普通玻璃(CK)	1.12
红光吸收膜	0.75
远红光吸收膜	1.62

近几年,光质调控薄膜的研究和生产得到较大发展,在育苗中得到广泛应用。各国研究人员对光质调控薄膜在控制植株高度方面做了大量的研究工作。

表 2 玻璃和光质调控薄膜对植株高度的影响^[20]

Table 2 Effects of glass and photo selective plastic films on plant heights

作物	品 种	薄 膜 种 类			cm
		对照(CK)	红光吸收膜	远红光吸收膜	
菊花	金安娜	32.6 b	34.6 a	28.4 c	
	伊蕾丹	22.6 b	25.8 a	19.8 c	
	黄雪球	50.8 a	50.4 a	40.7 c	
黄瓜		17.3 b	19.8 a	8.6 c	
番茄		6.0 b	6.8 a	4.7 c	
青椒		7.3 b	8.4 a	5.4 c	

注:处理时间为:黄瓜与番茄 10 d;青椒 15 d;菊花 28 d。

由表 2 可以看出,远红光吸收膜能够有效的控制植株的高度:黄瓜苗只有对照组高度的 50%,番茄和青椒苗比对照组的高度分别降低了 21% 和 26%,菊花株高降低了 12%~ 20%。

Katsusuke Murakami 和 Haixin Cui^[9,10]以远红光吸收薄膜(R/FR = 2.33)、红光吸收膜(R/FR = 0.58)及对照组(R/FR = 1.11)试验研究了温室薄膜覆盖材料改变光谱性能对调节番茄和黄瓜生长发育的影响:与对照组相比,远红光吸收膜下植株茎长与节间长度短

小, 采摘期延迟, 初期产量减少; 红光吸收膜下的状况与此相反。

R/FR 的比值随光质调控薄膜中特定化学色素含量的变化而改变, 化学色素含量越高, 则透光率越低。不同的薄膜号码(# 85, # 75, # 65, # 55)代表该薄膜在 400~ 700 nm 波段内的不同透过率, 例如远红光吸收膜 # 85 系指在该波长下光波的透过率为 85%。试验结果表明: 光环境中的 R/FR 比值越高, 植株越矮小、粗壮。

在光质调控薄膜应用过程中, 应注意的是其含有的化学元素降低了薄膜的透光率, 进而阻碍植物的生长发育, 导致植物干物重累积量的下降^[2, 13]。

3.3 玻璃纸和彩色玻璃滤光片

玻璃纸(Cellophane Paper)是用高级木纸浆经过化学处理制成的薄而透明的薄膜, 厚度在 19~ 42 μm 之间。目前, 已有国外研究人员将玻璃纸用于光质调节^[11]。M. Obaidul ISLAM^[11]采用红、蓝、黄、绿等色玻璃纸研究了不同光质对蝴蝶兰组培苗愈伤组织诱导和增殖的影响。但是玻璃纸受热后收缩性大, 质地软, 具有强烈的吸湿性, 遇热、吸湿后造成光质调节和透光率下降, 从而影响其使用效果。

获得不同光质的另一种方法是采用彩色玻璃滤光片(Dichroic Filter)。赵德修等^[31]以联邦德国产的 PG501/3 红色滤光片过滤红色荧光灯光线获得纯红光, 其最强波长在 658 nm, 半波宽为 25 nm; 经 PG501/3 和 PG627/3 两种滤光片过滤获得远红光, 最强波长在 730 nm, 半波宽 60 nm, 在调节光质对雪莲愈伤组织生长的研究中取得了较好的效果。Rajapakse, N. C. 等^[17, 18]采用硫酸铜(CuSO_4)光谱滤光片研究了菊花植株高度在光期结束后暴露于红光或远红光条件下的发育情况, 结果表明: 由于硫酸铜滤光片滤除部分远红光, 使得 R/FR 比值增大, 减少菊花茎节长度和植株的高度达 28%, 菊花叶片中的叶绿素含量增加。目前, 光学玻璃滤光片普遍存在价格高等缺点, 限制了它的推广应用, 多用于实验研究中。

4 结 语

光环境是植物生长发育不可缺少的重要物理环境因素之一, 通过光质调节, 尤其是 R/FR 比值的调节来控制植株形态和植株高度是设施栽培领域的一项重要技术。

1) R/FR 比值变大时植物的茎节间距变小, 植株矮化; 反之植物有伸长的倾向。

2) R/FR 比值的变化除了对植株形态产生影响外, 还对腋芽分化、叶绿素含量、气孔指数及叶面积等产生不同程度的影响。

3) 荧光灯发出的光中 R/FR 的比值普遍偏高, 采用荧光灯照射易发生组培苗矮化现象。LED 光源单色性好, 便于组合调节光质, 可较好地用于 R/FR 的调节。

4) 红光或者远红光补光及光质调控薄膜是方便实用、经济有效的 R/FR 调控手段。但前者不易获得光源的均匀分布和 R/FR 比值的准确控制; 后者应注意薄膜

的使用造成透光率降低问题。

R/FR 比值调控技术主要应用于植物育苗。随着国内外植物工厂化育苗技术的快速发展, 进行特定植物 R/FR 比值调控植株形态的理论研究, 开发相应的光质调控薄膜, 人工光源等应用技术, 对培育优质种苗, 提高生产率具有重要意义, 在设施园艺生产上具有广泛的应用前景。

【参 考 文 献】

- [1] Kirdmanee C, Kitaya Y, Kozai T. Effect of supplemental far-red lighting and photosynthetic photon flux density on stem elongation and dry weight increase of *Eucalyptus amaldulensis* plantlets in vitro [A]. In: Abstr XV Intl Botanic Congr[C], 1993, 28: 537.
- [2] Oyaert E, Volckaert E, Debergh P C. Growth of chrysanthemum under coloured plastic film with different light qualities and quantities[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 79: 195- 205.
- [3] Fukuda E, Kurata K. Production of transplants of carrot (*Daucus carota* L.) through adventitious shoots by using red light[J]. Acta Hort, 1992, 319: 303- 306.
- [4] Fujiwara K, Kozai T. Physical microenvironment and its effects[A]. In: "Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture" (ed By Aitken-Christie J, Kozai T, Smith M A L). The Netherlands Kluwer Academic Publishers, Dordrecht[C]. 1995, 319- 369.
- [5] Hoad S P, Leaker R R B. Effects of light quality on gas exchange and dry matter partitioning in *Eucalyptus grandis* [J]. W Marden for EcoImange, 1994, 70: 265- 273.
- [6] Inada K, Nishiyama F. Growth responses of sun and shade plants in simulated vegetation shade and neutral shade[J]. Jpn J Crop Sci, 1987, 56: 99- 108.
- [7] John J L, Courtney W H, Decoteau D R. Photocontrol of *dioscorea alata* plantlet growth [J]. Scientia Horticulturae, 1993, 54(4): 255- 265.
- [8] Kasperbauer M J, Peaslee D E. Morphology and photosynthetic efficiency of tobacco leaves that received end-of-day red or far red light during development [J]. Plant Physiol, 1973, 52: 440- 442.
- [9] Murakami K, Cui Haixin, Kiyota M, et al. The design of special covering materials for greenhouses to control plant elongation by changing special distribution of daylight[J]. Acta Horticulturae, 1995, 399: 135- 142.
- [10] Murakami K, Cui Haixin, Kiyota M, et al. Control of plant growth by covering materials for greenhouses which alter the special distribution of transmitted light [J]. Acta Horticulturae, 1997, 435: 123- 130.
- [11] Obaidul ISLAM, Shuichiro MATSU I, Kenzo WAO, et al. Effects of light intensity and quality on the growth of callus and callus derived plantlet in *Phalaenopsis* [C]. Proc of APOC7, 2001, 86- 88.
- [12] Moe, Roar, Royal D. Heins, et al. Stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Moretti in response to day and night temperature alternar-

- tions and light quality[J]. *Scientia Horticulturae*, 1991, 48: 141- 151.
- [13] Takaichi M, Shimaji H, Higashide T. Effect of red/far-red photo flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings[J]. *Acta Horticulturae*, 1998, 3: 147 - 156
- [14] Murakami K, Aiga I, Horaguchi I, et al. Red/far-red photon flux ratio used as an index number of morphological control of plant growth under artificial lighting conditions[J]. *Acta Horticulturae*, 1994, 2: 135- 140
- [15] Nguyen Q T, Kozai T. Environmental effects on the growth of plantlets in micropropagation[J]. *Environ Control Biol*, 1998, 36(2): 59- 75
- [16] Kozai T. Controlled environments in conventional and automated micropropagation[A]. In "Cell Culture Somatic Cell Genetics of Plants" (ed by Vasil, I), Vol 8 Academic Press, New York, NY[C], 213- 230
- [17] Rajapakse N C, Kelly J W. End of day exposure to far-red light reverses the height reduction of *Chrysanthemum* induced by copper sulfate spectral filters[J]. *Scientia Hort* 1993, 53: 249- 259
- [18] Rajapakse N C, Kelly J W. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters[J]. *J Am Soc Horti Sci*, 1992, 117(3): 481- 485
- [19] Read P E, Economou A. Supplemental lighting in the propagation of deciduous azaleas[C]. *Proc Int Plant Prop Soc*, 1982, 32: 639- 645
- [20] Robin-C, Hay-MJM, Newton-PCD, et al. Effect of light quality (red: far-red ratio) at the apical bud of the main stolon on morphogenesis of *Trifolium repens*[J]. *Annals of Botany*, 1994, 74: 2, 119- 123
- [21] Schoch-PG, Navarro-Mastache, Teisson-C, et al. The significance of microclimatic conditions for in vitro cultures[J]. *Fruits-Paris*, 1988, 43: 10, 579- 583
- [22] Suneetha A lokam, Chinnappa C C, David M Reid. Red/far-red light mediated stem elongation and anthocyanin accumulation in *Stellaria longipes*: Differential response of alpine and prairie ecotypes[J]. *Canadian Journal of Botany*, 2002, 80: 72- 81.
- [23] Smith H. Light quality, photoperception, and plant strategy[J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1982, 33: 481 - 518
- [24] Heraut-Bron V, Robin C, Varlet-Grancher C, et al. Light quality (red: far-red ratio): does it affect photosynthetic activity, net CO₂ assimilation, and morphology of young white clover leaves? [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1999, 77: 1425- 1431.
- [25] Iwanami Y, Kozai T, Kitaya T, et al. Effects of supplemental red and far-red lighting using light emitting diodes on stem elongation and growth of potato plantlets in vitro[C]. *Intl Symp Transplant Production Systems*, 1992, 21- 26: 183
- [26] Miyashita Y, Kitaya Y, Kozai T, et al. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets in vitro: using light emitting diode as a light source for micropropagation[J]. *Acta Horticulturae*, 1995, 393: 189- 194
- [27] 李书民. 光质调控薄膜在设施园艺生产中的应用[J]. *中国蔬菜*, 2000(增刊): 54- 57.
- [28] 贺冬仙, 杨其长, 马承伟, 等. 植物生产中的人工光环境调控[A]. 第五次全国高等学校农业工程类专业教学改革暨国际学术研讨会论文集[C]. 2002, 178- 183
- [29] 周启芳, 王尔镇. 高效园艺设施与园艺照明光源[J]. *长江蔬菜*, 1999, 1: 1- 4
- [30] 王尔镇, 周启芳. 园艺照明技术的应用和发展[J]. *照明工程学报*, 1996, 7(1): 28- 35
- [31] 赵德修, 李茂寅, 邢建民, 等. 光质、光强和光周期对水母雪莲愈伤组织生长和黄酮生物合成的影响[J]. *植物生理学报*, 1999, 25(2): 127- 132
- [32] 童哲, 连汉平. 隐花色素[J]. *植物学通报*, 1985, 3(2): 6

Review on controlling the ratio of red light to far-red light in protected environment

Liu Zailiang¹, Ma Chengwei¹, Yang Qichang²

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Agro-Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Researches on the effects of the ratio of red light to far-red light (R/FR) on the morphology, growth of plants in protected horticulture were reviewed to give an overview on the subject researched in recent years. Methods for controlling R/FR ratio were mentioned, and the R/FR characteristics of photoselective plastic film and several artificial lights were introduced too, and some suggestions were presented to conduct investigations in this area in the future.

Key words: protected environment; red light; far-red light; R/FR ratio