

滤光膜对黄檗 (*Phellodendron amuranse*) 幼苗三种生物碱含量的影响

李 霞^{1,2}, 阎秀峰^{1,*}

(1. 东北林业大学林木遗传育种与生物技术教育部重点实验室, 东北林业大学生命科学学院, 哈尔滨 150040;

2. 吉林师范大学生命科学学院, 四平 136000)

摘要:以滤光膜遮光处理 1 年生黄檗 (*Phellodendron amuranse*) 幼苗, 测定了幼苗生物量及根、茎外皮中的小檗碱、药根碱和掌叶防己碱含量。红色、黄色、蓝色和绿色滤光膜对黄檗幼苗的根和茎生物量都有不同程度的抑制作用, 其中黄膜的抑制作用最小, 而蓝膜和绿膜的抑制作用最强。滤光膜处理也不同程度地抑制了小檗碱、药根碱和掌叶防己碱的合成和积累, 红膜的抑制作用最小, 蓝膜和绿膜的抑制作用最强。滤光膜处理后, 3 种生物碱的单株产量都低于对照, 红膜处理小檗碱的产量显著高于黄膜处理, 但红膜和黄膜处理下的药根碱和掌叶防己碱的产量差异不显著, 蓝膜和绿膜处理的 3 种生物碱的产量都始终最低。滤光膜处理不利于黄檗幼苗的生长和上述 3 种生物碱的积累。

关键词:滤光膜; 黄檗; 小檗碱; 药根碱; 掌叶防己碱

文章编号: 1000-0933(2009)03-1292-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Effects of color films on the contents of three main alkaloids in amur corktree seedlings

LI Xia^{1,2}, YAN Xiu-Feng^{1,*}

1 Key Laboratory of Forest Tree Genetic Improvement and Biotechnology, MOE; College of Life Sciences, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 School of Life Sciences, Jilin Normal University, Siping 136000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1292 ~ 1299.

Abstract: *Phellodendron amurense* is a rare species and medicinal plant in China. The present investigation determined the biomass and contents of berberine, jatrorrhizine, palmatine in the root and cortex of Amur corktree seedlings after one year's shading with red, yellow, blue and green films. The results showed that all the four treatments remarkably decreased the biomass and/or the contents of the three alkaloids. Color-film shading is not recommended in practice in terms of the Amur corktree seedlings growth and alkaloids accumulation.

Key Words: color films; Amur corktree (*Phellodendron amurense*); berberine; jatrorrhizine; palmatine

光是植物生长中重要的环境因子, 它除了作为一种能源控制光合作用, 还作为一种触发信号影响植物的生长^[1~4]。光强和光质的差异不仅影响植物的生长和初生代谢过程, 而且也影响许多植物的次生代谢过程^[5~18]。生物碱是植物次生代谢产物中较为重要的一类, 能响应多种环境胁迫, 并可能作为一种防御物质抵御草食动物的危害和病害侵袭^[19~24]。有关光强和光质对次生代谢影响的报道多以植物的组织培养材料为研究对象, 对于自然生长的植株, 尤其是关于生物碱含量与光强和光质关系的研究工作尚很有限。在光质处理上, 由于可控光源和纯光质荧光灯管或滤光片的成本较高, 在大规模育苗生产实践中, 普遍采用滤光膜遮光来

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30271045); 黑龙江省杰出青年基金资助项目(JC-02-11)

收稿日期:2007-10-18; **修订日期:**2008-03-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xfyf@mail.hl.cn

获得特殊的光照环境^[25~27]。

黄檗(*Phellodendron amurense*)为芸香科(Rutaceae)黄檗属的阔叶乔木,既是珍贵用材树种,也是我国名贵中药黄柏的药源植物,其内皮(韧皮部)入药,称为关黄柏,是临床应用比较广泛的药物。由于黄檗作为木材和中药原料都很著名,具有极大的需求量,但过度的利用已经造成野生资源的枯竭及生态环境的破坏。因此,探讨人工栽培幼树入药以代替成树,有可能解决原料的供应问题,缓解对现有森林资源的依赖。前期我们观测了水分、光强和氮素等环境因子对黄檗幼苗生长及主要药用生物碱含量的影响,期望能找到适宜的培育条件,以提高黄檗幼苗主要生物碱的产率,也为进一步阐明次生代谢与环境的关系提供基础资料^[28~31]。本文报告滤光膜对黄檗幼苗生长及小檗碱(berberine)、药根碱(jatrorrhizine)和掌叶防己碱(棕榈碱, palmatine)含量影响的实验结果。

1 实验方法

1.1 黄檗幼苗培育及滤光膜处理

实验在吉林师范大学温室内进行(北纬 43°9', 东经 124°20', 海拔 169 m),温室为自然采光。黄檗种子在 0~5℃ 冰箱内沙藏 3 个月后,播种于温室花盆(土:沙=3:1)中育苗。待长出两片子叶后移栽间苗一次。5 月中旬将黄檗幼苗移栽于温室苗床,株、行距均为 20 cm,按时浇水和除草,缓苗后进行环境因子处理。分别遮以红色、黄色、蓝色和绿色的滤光膜,其相对光强分别为全光照的 52%、61%、27% 和 25%,以不遮膜为对照,各种滤光膜的透射光谱见图 1。每处理重复 5 次(5 池),随机区组排列。并依照对照组的水分状况适时浇水,测定土壤含水量,保持各遮膜处理的土壤水分与对照基本一致。

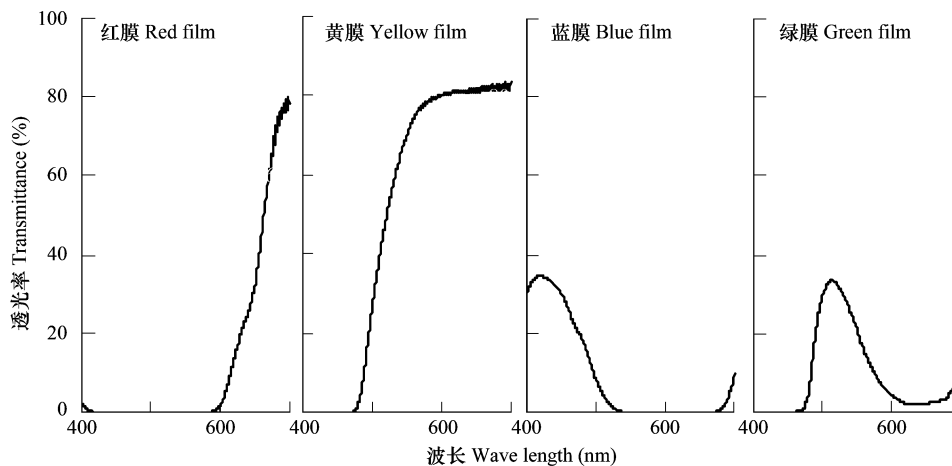


图 1 滤光膜的透射光谱

Fig. 1 The transmission spectrum of films

1.2 取样与生物碱含量测定

遮荫处理后每隔约 20 d 取样,取样日期分别为 6 月 28 日、7 月 18 日、8 月 7 日、8 月 27 日、9 月 16 日、10 月 6 日,共取样 6 次。8:00~9:00 在各处理的每个重复池内随机抽取 1 株生长正常的黄檗幼苗,测量幼苗的株高、茎径(基部),进一步分为根、茎木质部、茎外皮(指茎木质部以外的所有部分,因幼苗较小,只取韧皮部较困难)和叶,80℃ 烘干至恒重后粉碎、混匀,用于测定生物碱含量。

小檗碱、药根碱和掌叶防己碱含量按秦彦杰等^[32]方法,使用美国 Waters 高效液相色谱(2996 自动进样器、2487 紫外检测器)测定。样品以 60% 乙醇超声提取 60 min,色谱柱为日本 KYA HIQ sil C18 柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相为乙腈/水溶液(1:1, 1000 mL 溶液中含磷酸二氢钾 3.4 g 及十二烷基磺酸钠 1.7 g),流速 1.0 mL/min,进样量 10 μL,检测波长 345 nm。小檗碱和药根碱标准品购于中国药品生物制品检定所,掌叶防己碱标准品购于美国 Adrich 公司。

所得数据用 SAS Ver 8.1 for Windows 进行数学统计分析,多重比较采用 Duncan 法。

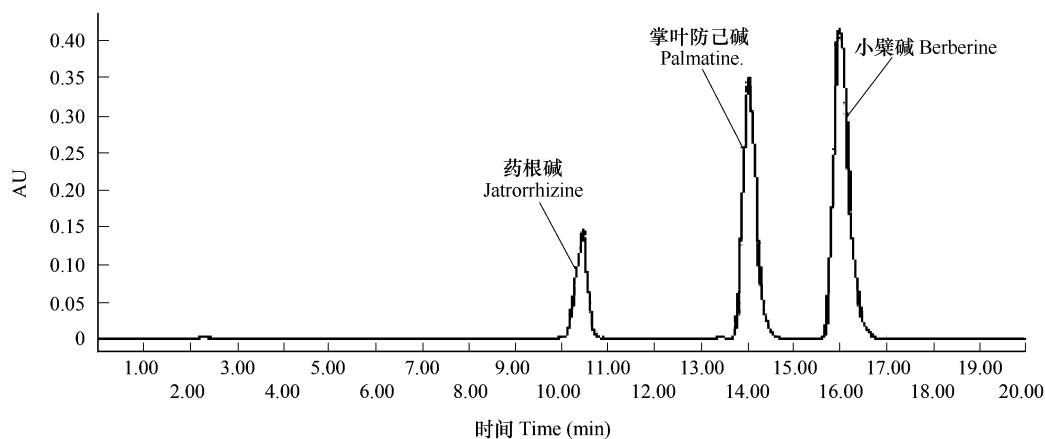


图2 标准品的色谱图

Fig. 2 Chromatograms of standard of Amur Corktree

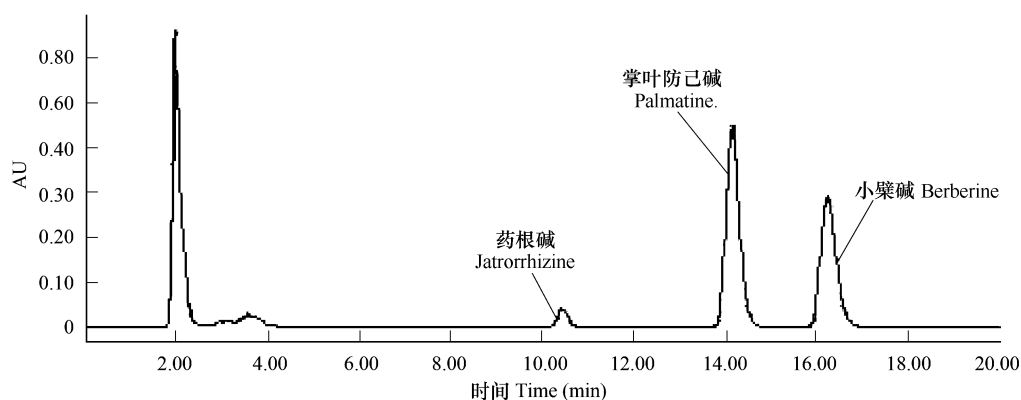


图3 黄檗样品的色谱图

Fig. 3 Chromatograms of sample of Amur Corktree

2 结果

2.1 滤光膜对黄檗幼苗生物量的影响

根和茎的韧皮部是黄檗幼苗 3 种生物碱含量较高的部位,不同颜色滤光膜对根和茎的生物量有明显的影 响。在遮滤光膜的前 60 d,红色和黄色滤光膜下根的干重并没有受到明显的影响,基本接近于对照的水平,60 d 以后都低于对照,但两者之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。蓝色和绿色滤光膜下根的干重从开始就低于对照,并伴随着遮膜时间的延长与对照的差异逐渐加大,但这两者之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。最后一次取样的结果为,红色和黄色滤光膜下根的干重分别为对照的 74.1% 和 73.8%。蓝色和绿色滤光膜下根的干重分别为对照的 55.9% 和 47.4% (图 4-a)。

4 种滤光膜对茎的生长都有不同程度的抑制作用,黄膜的抑制作用最小,其次是红膜,在遮膜处理 60 d 后,两者的干重都显著低于对照 ($P < 0.05$),而且两者之间的差异显著 ($P < 0.05$),这一点与对根的影响有所不同。蓝色和绿色滤光膜下,茎受到的抑制作用最强,在处理的初期阶段,两个处理的干重就低于对照、红色和黄色滤光膜的处理,且与对照的差异达到极显著水平 ($P < 0.01$),但两者之间的差异不显著 ($P > 0.05$),这与对根的影响比较相似。最后一次取样的结果为,红色和黄色滤光膜下茎的干重分别为对照的 34.3% 和 60.7%,蓝色和绿色滤光膜下茎的干重分别为对照的 19.8% 和 28.6% (图 4-b)。

2.2 滤光膜对黄檗幼苗小檗碱含量的影响

滤光膜对黄檗幼苗茎外皮中的小檗碱含量有明显的影 响。红膜和黄膜下的黄檗幼苗在处理 40 d 时小檗

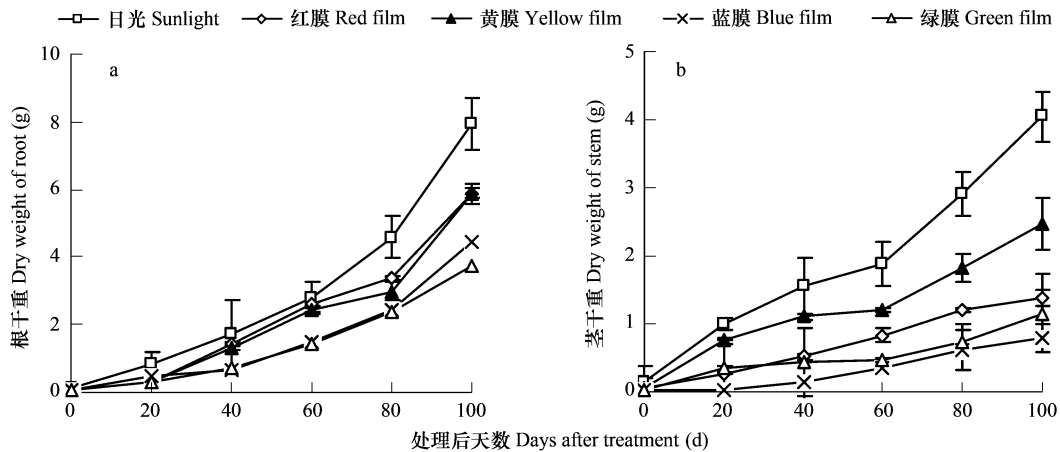


图4 不同滤光膜下黄檗幼苗根(a)和茎(b)的生物量

Fig.4 The biomass in the root (a) and stem (b) amur corktree seedlings under different color films

碱含量显著低于对照幼苗,其后与对照有相似的变化趋势。在遮膜 80 d 后,红膜和黄膜处理之间差异显著,并都显著低于对照($P < 0.05$)。蓝膜和绿膜下的黄檗幼苗,小檗碱含量始终处于一个很低的水平,直到最后都几乎没有明显的增加。最后一次取样时,对照幼苗的小檗碱含量是红膜的 1.33 倍、黄膜的 2.10 倍、绿膜的 16.25 倍、蓝膜的 19.5 倍(图 5-a)。

在处理 20d 后,红膜和黄膜下的黄檗幼苗根中的小檗碱含量都低于对照,其变化趋势与对照相似,与茎外皮不同的是在处理后期呈下降的趋势。在遮膜 60d 后,黄膜下的小檗碱含量显著低于红膜,两者之间差异逐渐明显,并都显著低于对照($P < 0.05$)。蓝膜和绿膜下小檗碱含量始终很低,波动也较小,最后一次取样时,对照幼苗的小檗碱含量是红膜的 1.29 倍、黄膜的 7.82 倍、绿膜的 17.3 倍,蓝膜处理没有检测出小檗碱(图 5-b)。

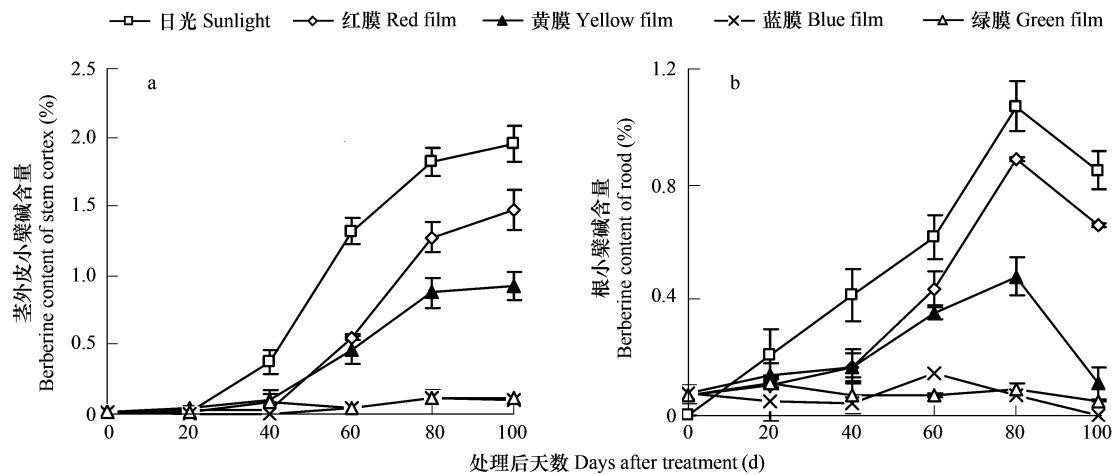


图5 不同滤光膜下黄檗幼苗茎皮(a)和根(b)小檗碱含量的变化

Fig.5 Variation of berberine content in the stem cortex (a) and root (b) amur corktree seedlings under different color films

2.3 滤光膜对黄檗幼苗药根碱含量的影响

在遮膜的前 40d,4 种滤光膜处理的黄檗幼苗茎外皮中药根碱的含量都很低,与对照之间的差异不明显($P > 0.05$)。处理 60d 后,不同处理间药根碱含量的差异逐渐明显,而且都低于对照。红膜和黄膜处理与对照相似,药根碱含量呈逐渐升高的趋势,在处理 60 ~ 80d 时都显著低于对照,后期与对照差异不明显($P > 0.05$)。蓝膜和绿膜下药根碱的含量都很低,波动不大,绿膜下的在后期略有升高。最后一次取样时,对照的

药根碱含量是红膜的 1.08 倍、黄膜的 1.21 倍、蓝膜的 23.4 倍、绿膜的 4.40 倍(图 6-a)。

黄檗幼苗根中的药根碱含量在处理的前 40d 都很低,与对照的差异也不显著,在处理 60d 后各处理之间的差异逐渐明显,与茎外皮相似也都低于对照。红膜和黄膜下的药根碱含量比较接近,都显著低于对照,并都呈先升高,在后期又呈回落的趋势。蓝膜和绿膜下的药根碱含量在整个处理期间都很低,只是绿膜下的在处理 60d 时略有升高。最后一次取样时,对照的药根碱含量是红膜的 2.13 倍、黄膜的 2.45 倍、蓝膜的 3 倍、绿膜的 2.78 倍(图 6-b)。

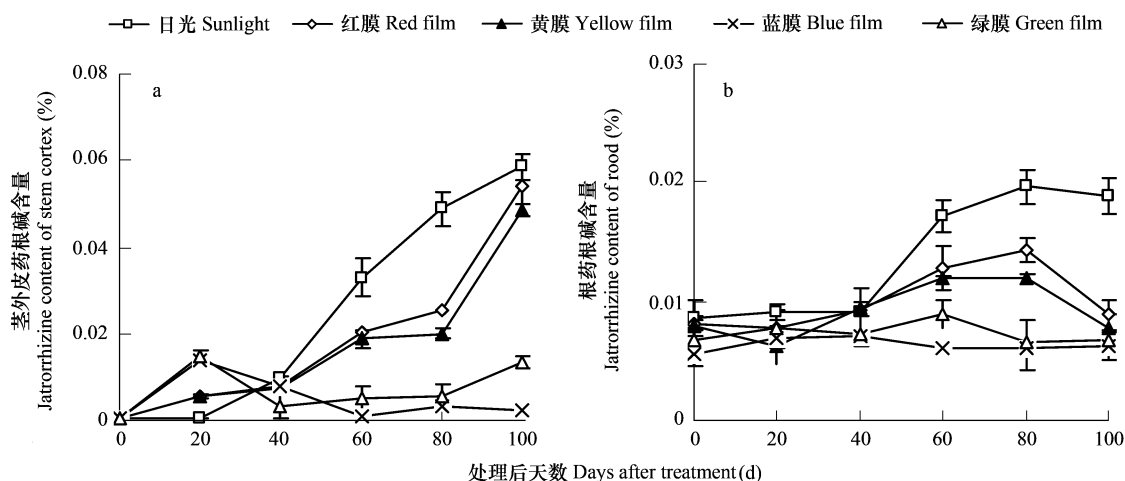


图 6 不同滤光膜下黄檗幼苗茎皮(a)和根(b)药根碱含量的变化

Fig. 6 Variation of jatrorrhizine content in the stem cortex (a) and root (b) amur corktree seedlings under different color films

2.4 滤光膜对黄檗幼苗掌叶防己碱含量的影响

在遮膜处理期间,黄檗幼苗茎外皮中掌叶防己碱的含量与茎外皮中的小檗碱有比较相似的变化趋势,在处理 40d 时,4 种滤光膜下的都低于对照。此后红膜和黄膜下掌叶防己碱含量逐渐升高,两者间差异显著,且都显著低于对照($P < 0.05$)。蓝膜和绿膜下的掌叶防己碱含量始终处于一个很低的水平,在整个遮膜期间都没有上升的趋势。最后一次取样时,对照的茎外皮中掌叶防己碱的含量是红膜的 1.82 倍、黄膜的 2.91 倍,蓝膜和绿膜处理几乎检测不到(图 7-a)。

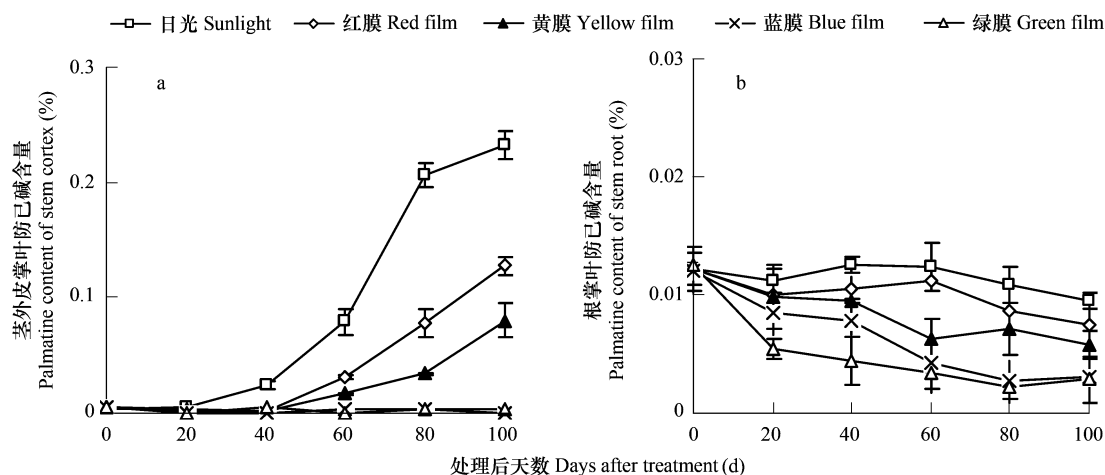


图 7 不同滤光膜下黄檗幼苗茎皮(a)和根(b)掌叶防己碱含量的变化

Fig. 7 Variation of palmatine content in the stem cortex (a) and root (b) amur corktree seedlings under different color films

黄檗幼苗根中掌叶防己碱的含量随生育期进程的变化趋势与根中的上述两种生物碱不同,基本上是呈缓

慢下降的趋势。对照的掌叶防己碱含量最高,其次是红膜处理,但两者之间差异不显著($P > 0.05$),黄膜下的掌叶防己碱含量低于红膜处理,但在处理后期,与红膜间的差异不显著($P > 0.05$)。蓝膜和绿膜下的含量始终最低,在处理后期,两者之间的差异也不显著($P > 0.05$)。最后一次取样时,对照的根中掌叶防己碱含量是红膜的 1.28 倍、黄膜的 1.63 倍、蓝膜的 3.17 倍、绿膜的 3.39 倍(图 7-b)。

2.5 滤光膜对黄檗幼苗生物量及 3 种生物碱单株产量的影响

4 种滤光膜对黄檗幼苗的生长都有显著的影响,根和茎的生长都受到了不同程度的抑制,因此,必然影响到生物碱的单株产量。结合生物量与生物碱含量可知,4 种颜色滤光膜处理都会降低 3 种生物碱的单株产量。最后一次取样时,对照小檗碱的单株产量是红膜的 1.72 倍、黄膜的 5.37 倍、蓝膜的 780.36 倍、绿膜的 32.52 倍;对照药根碱的单株产量是红膜的 18.23 倍、黄膜的 17.84 倍、蓝膜的 58.45 倍、绿膜的 49.85 倍;对照掌叶防己碱的单株产量是红膜的 5.06 倍、黄膜的 5.87 倍、蓝膜的 52.42 倍、绿膜的 56.46 倍(图 8)。

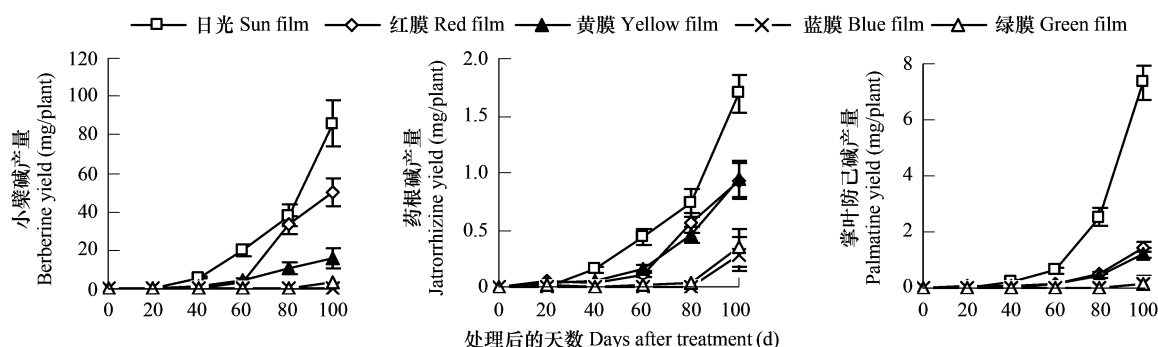


图 8 不同滤光膜下黄檗幼苗生物碱产量的变化

Fig. 8 Variation of alkaloids yield of amur corktree seedlings under different color films

3 讨论

不同颜色的滤光膜所透过的光谱不同,对植物的生长发育等初生代谢过程有明显的影 响。4 种颜色的滤光膜都不同程度地降低了黄檗幼苗根和茎的生物量,导致这种结果的原因,一方面可能是光质直接影响初生代谢。如有研究表明,红光会降低植物体内赤霉素的含量,从而减小节间长度和植株高度;而蓝光能提高吲哚乙酸氧化酶的活性,降低吲哚乙酸的水平,进而抑制植物的伸长生长^[33]。在银杏和茶树上的试验结果表明,辐射能相同时,光的波长越长,光合速率越高^[12,34]。另外,4 种滤光膜处理都显著地减弱了光强,可能是黄檗幼苗生长受抑的另一原因,红色、黄色、蓝色和绿色的滤光膜,其相对光强分别为全光照的 52%,61%,27% 和 25%,而光强对黄檗幼苗的生物量有明显的影 响。

光质对植物次生代谢产物的合成和积累会产生不同程度的影响,这已在一些植物中得以证实。滤光膜处理喜树幼苗,叶片中的喜树碱含量都高于日光下的,而且在蓝膜下最为显著^[35]。红光和蓝光对长春花激素自养型细胞生物碱释放的作用不明显,红光下生长的细胞较蓝光生物碱释放数量稍多^[24]。红膜和绿膜处理的高山红景天,红景天甙含量显著高于对照,而黄膜的抑制作用和蓝膜的促进作用均不明显^[27]。4 种颜色的滤光膜都不同程度地降低了黄檗幼苗中小檗碱、药根碱和掌叶防己碱的合成和积累的水平。这与滤光膜造成的光质环境促进喜树碱在幼苗叶片中积累的结果完全不同,可见光质对植物次生代谢的影响是相当复杂的,不同植物的次生代谢产物对光质的反应不同。哌啶生物碱代谢途径中的转氨酶被发现存在于叶绿体和线粒体中,pH 为 8、有光条件下,或者黄化苗变绿的过程中,生物碱代谢关键酶活性最高^[36];喹诺里嗪合成酶及它的前体赖氨酸就存在于叶绿体中^[37],这些都说明生物碱合成的关键酶可能位于叶绿体中,因此生物碱合成酶的形成及活性可能是光控的。目前,光质对生物碱合成和积累影响的机制还不清楚,是通过影响初生代谢过程而影响生物碱的合成?还是光质本身直接影响生物碱的合成和积累还有待进一步的试验证实。

References:

- [1] Arase S, Ueno M, Toko M, *et al.* Light-dependent accumulation of tryptamine in the rice Sekiguchi lesion mutant infected with *Magnaporthe grisea*. *Journal of Phytopathology*, 2001, 149 (5): 409—413.
- [2] Aphalo P J, Lehto T. Effects of light quality on growth and N accumulation in birch seedlings. *Tree Physiology*, 1997, 17: 125—132.
- [3] Baldwin I T, Ohnmeiss T E. Coordination of photosynthetic and alkaloidal responses to damage in uninducible and inducible *Nicotiana Sylvestris*. *Ecology*, 1994, 75(4): 1003—1014.
- [4] Deng J M, Bin J H, Pan R C. Effects of light quality on the primary nitrogen assimilation of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(3): 234—238.
- [5] Duan Y S, Li H S. Effect of different quality of light and calcium on nitrate reductase and glutamine synthetase activity of wheat seedlings. *Plant Physiology Communications*, 1999, 35(2): 122—125.
- [6] He S Q, Wang F Q. Relationship between the seedling growth of *Quercus liaotungensis* and light. *Forest Research*, 2001, 14: 697—700.
- [7] Hiroki S, Ichino K. Comparison of growth habits under various light conditions between two climax species, *Castanopsis sieboldii* and *Castanopsis cuspidata*, with special reference to their shade tolerance. *Ecological Research*, 1998, 13: 65—72.
- [8] Hoeft M, Verpoorte R, Beck E. Growth and alkaloid contents in leaves of *Tabernaemontana pachysiphon* Stapf (Apocynaceae) as influenced by light intensity, water and nutrient supply. *Oecologia*, 1996, 107: 160—169.
- [9] Kvaalen H, Appelgren M. Light quality influences germination, root growth and hypocotyl elongation in somatic embryos but not in seedlings of Norway spruce. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 1999, 35: 437—441.
- [10] Li B, Shibuya T, Yogo Y, *et al.* Effects of light quantity and quality on growth and reproduction of a clonal sedge, *Cyperus esculentus*. *Plant Species Biology*, 2001, 16: 69—81.
- [11] Lavola A, Julkunen-Tiitto R. The effect of elevated carbon dioxide and fertilization on primary and secondary metabolites in birch, *Betula pendula* (Roth). *Oecologia*, 1994, 99: 315—321.
- [12] Leng P S, Su S C, Wang T H, *et al.* Effect of light intensity and light quality on photosynthesis, flavonol glycoside and terpene lactone contents of *Ginkgo biloba* L. seedlings. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2002, 11: 1—4.
- [13] Lindel T, Hoffmann H, Hochgürtel M, *et al.* Structure-activity relationship of inhibition of fish feeding by sponge-derived and synthetic pyrrole-imidazole alkaloids. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26: 1477—1496.
- [14] Longstreth D J, Mason C B. The effect of light on growth and dry matter allocation patterns of *Alternanthera philoxeroides*. *Botanical Gazette*, 1984, 145: 105—109.
- [15] Magalhaes J R, Wilcox G E. Tomato growth and nutrient uptake patterns as influenced by nitrogen form and light intensity. *Journal of Plant Nutrition*, 1983, 6: 941—956.
- [16] Mulder K T, Verpoorte R, van Der K M, *et al.* Identification of alkaloids and anthraquinones in *Cinchona pubescens* callus cultures the effect of plant growth regulators and light on the alkaloid content. *Planta Medica*, 1984, 50: 17—20.
- [17] Pasteels J M, Theuring C, Witte L, *et al.* Sequestration and metabolism of protoxic pyrrolizidine alkaloids by larvae of the leaf beetle *Platyphora boucardi* and their transfer via pupae into defensive secretions of adults. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29: 337—355.
- [18] Schmeller T, Latz-Bruening B. Biochemical activities of berberine, palmatine and sanguinarine mediating chemical defense against microorganisms and herbivores. *Phytochem*, 1997, 44: 257—266.
- [19] Stuefer J F, Huber H. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. *Oecologia*, 1998, 117: 1—8.
- [20] Wang M, Wang M J. Photoreceptors of ultraviolet light and blue light and induction of CHS expression. *Chinese Bulletin of Botany*, 2002, 19 (3): 265—271.
- [21] Wang X M, Wang X J, Pan R C. Effects of blue light on protein metabolism during the formation and growth of mung bean hypocotyl calli. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1999, 25(4): 321—326.
- [22] Wei S L, Wang J B, Li C B. Effect of blue light and red light on *Dendranthem* growth and flowering. *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, 25: 203—204.
- [23] Zhao D X, Li M Y, Xing J M, *et al.* Effects of light on cell growth and flavonoids biosynthesis in callus cultures of *Saussurea medusa* Maxim. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1999, 25: 127—132.
- [24] Zheng Z G, Miao H, Yang W J, *et al.* Effects of nutritional and environmental factors on cell growth and ajmalicine production of full habituated *Catharanthus roseus* cells. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41: 184—189.
- [25] Yan X F, Wang Y, Shang X H, *et al.* Effects of field light intensity and quality on biomass and salidroside content in roots of *Rhodiola sachalinensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 674—679.
- [26] Yan X F, Wang Y, Shang X H. Effects of greenhouse light intensity and quality on biomass and salidroside content in roots of *Rhodiola sachalinensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 841—849.

- [27] Yan X F, Wang Y, Guo S L, *et al.* Seasonal variations in biomass and salidroside content in roots of *Rhodiola sachalinensis* as affected by gauze and red film shading. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 382—386.
- [28] Li X, Yan X F, Liu J F. Effects of nitrogen forms on berberine, jatrorrhizine and palmatine content in corktree seedlings. *Acta Ecoogica Sinica*, 2005, 25(9): 2159—2164.
- [29] Li X, Wang Y, Yan X F. Effects of water stress on berberine, jatrorrhizine and palmatine contents in amur corktree seedlings. *Acta Ecoogica Sinica*, 2007, 27(1): 58—64.
- [30] Li X, Yan X F, Yu Tao. Effects of water stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in corktree seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2352—2356.
- [31] Li X, Yan X F, Yu Tao. Effects of color films on biomass and activities of enzymes belonging to primary nitrogen assimilation of amur corktree seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2020—2023
- [32] Qin Y J, Zhang Y H, Wang Y, *et al.* Determination of alkaloids content in *Phellodendron amurense* Rupr. by HPLC. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2004, 24(Supp.): 115—118.
- [33] Li S S, Pan R C. Effect of blue light on metabolism of carbohydrate and protein in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1995, 21: 22—29.
- [34] Tao H Z, Wang X C. The relationship between photosynthesis and light quality in *Camelliasinens*. *Plant Physiology Communications*, 1989, (1): 19—23.
- [35] Dai S J, Wang Y, Yan X F, *et al.* Effects of color films on growth and camptothecin content in the leaves of *Camptotheca acuminata* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 869—875.
- [36] Blom T J M, Sierra M, Van Miet V, *et al.* Uptake and accumulation of ajamalicine into isolated vacuoles of cultured cells of *Catharanthus roseus* and its conversion into serpentine. *Planta*, 1991, 183: 170—177.
- [37] Wink M, Hartmann T, Witte L. Biotransformation of cadaverine and potential biogenetic intermediates of Lupanine biosynthesis by plant cell suspension cultures. *Planta Medica*, 1980, 40: 31—39.

参考文献:

- [4] 邓江明, 宾金华, 潘瑞炽. 光质对水稻幼苗初级氮同化的影响. *植物学报*, 2000, 42(3): 234—238.
- [5] 段远霖, 李合生. 不同光质和钙对小麦幼苗硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的影响. *植物生理学通讯*, 1999, 35(2): 122—125.
- [12] 冷平生, 苏淑钗, 王天华, 等. 光强与光质对银杏光合作用及黄酮普与萜类内酯含量的影响. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(1): 1—4.
- [20] 王曼, 王小菁. 蓝光、紫外光的受体及其对 CHS 表达诱导的研究. *植物学通报*, 2002, 19(3): 265—271.
- [21] 王晓明, 王小菁, 潘瑞炽. 蓝光对绿豆下胚轴愈伤组织形成和生长过程中蛋白质代谢的影响. *植物生理学报*, 1999, 25(4): 321—326.
- [22] 魏胜林, 王家保, 李春保, 等. 蓝光和红光对菊花生长和开花的影响. *园艺学报*, 1998, 25: 203—204.
- [23] 赵德修, 李茂寅, 邢建民, 等. 光质、光强和光期对水母雪莲愈伤组织生长和黄酮生物合成的影响. *植物生理学报*, 1999, 25: 127—132.
- [24] 郑珍贵, 缪红, 杨文杰, 等. 营养和环境因子对长春花激素自养型细胞生长和阿玛碱生成的影响. *植物学报*, 1999, 41(2): 184—189.
- [25] 阎秀峰, 王洋, 尚辛亥, 等. 光强和光质对野外栽培高山红景天生物量和红景天甙含量的影响. *生态学报*, 2004, 24(4): 674—679.
- [26] 阎秀峰, 王洋, 尚辛亥. 温室栽培光强和光质对高山红景天生物量和红景天甙含量的影响. *生态学报*, 2003, 23(5): 841—849.
- [27] 阎秀峰, 王洋, 郭盛磊, 等. 遮荫和红膜处理对高山红景天根生物量及红景天甙含量季节变化的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 382—386.
- [28] 李霞, 刘剑锋, 阎秀峰. 氮素形态对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响. *生态学报*, 2005, 25(9): 2159—2164.
- [29] 李霞, 王洋, 阎秀峰. 水分胁迫对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响. *生态学报*, 2007, 27(1): 58—64
- [30] 李霞, 阎秀峰, 于涛. 水分胁迫对黄檗幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. *应用生态学报*. 2005, 16(12): 2352—2356.
- [31] 李霞, 阎秀峰, 于涛. 滤光膜对黄檗幼苗生物量及初级氮同化酶活性的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2020—2023
- [32] 秦彦杰, 张玉红, 王洋, 等. 黄檗中生物碱含量的高效液相色谱分析. *林产化学与工业*, 2004, 24(增刊): 115—118.
- [33] 李韶山, 潘瑞炽. 蓝光对水稻幼苗碳水化合物和蛋白质代谢的调节. *植物生理学报*, 1995, 21: 22—29.
- [34] 陶汉之, 王新长. 茶树光合作用与光质的关系. *植物生理学通讯*, 1989, (1): 19—23.
- [35] 戴绍军, 王洋, 阎秀峰, 等. 滤光膜对喜树幼苗叶片生长和喜树碱含量的影响. *生态学报*, 2004, 24(5): 869—875.