

# 黄色灯防治害虫的研究与应用进展

蒋月丽<sup>1#</sup>, 张建周<sup>2#</sup>, 袁水霞<sup>3</sup>, 李彤<sup>1</sup>, 巩中军<sup>1</sup>,  
苗进<sup>1</sup>, 段云<sup>1</sup>, 吕春芳<sup>1</sup>, 武予清<sup>1\*</sup>

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室, 农业部华北南部有害生物治理重点实验室, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院小麦研究所, 郑州 450002; 3. 河南农业职业学院, 郑州 451450)

**摘要** 黄色灯防治害虫的原理是利用蛾类昆虫对绿黄波段(500~590 nm)光敏感的特性,通过干扰蛾类害虫的日节律达到降低其种群密度的目的。本文简述了黄色灯防治技术在国内外发展及应用状况、黄色灯防治效果的影响因素,以及黄色灯在防治蛾类害虫过程中对植物生理的影响,分析了黄色灯应用中存在的问题,并且对未来黄色灯的发展和进行了展望。

**关键词** 视觉色素; 黄色灯; 害虫; 物理防治

**中图分类号:** Q 968 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017238

## Progresses in the research and application of yellow light for pest control

JIANG Yueli<sup>1</sup>, ZHANG Jianzhou<sup>2</sup>, YUAN Shuixia<sup>3</sup>, LI Tong<sup>1</sup>, GONG Zhongjun<sup>1</sup>,  
MIAO Jin<sup>1</sup>, DUAN Yun<sup>1</sup>, LÜ Chunfang<sup>1</sup>, WU Yuqing<sup>1</sup>

(1. *Henan Key Laboratory for Control of Crop Pests, Key Laboratory for Integrated Pest Management of Crops in Southern Region of North China, Ministry of Agriculture; Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*; 2. *Institute of Wheat, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*; 3. *Henan Vocational College of Agriculture, Zhengzhou 451450, China*)

**Abstract** The sensitivity of nocturnal moths to green-yellow light(500—590 nm) can be used to disrupt the daily rhythm of these nocturnal pest moths, and therefore help lower their population density. The paper reviewed the development and application of yellow light, the factors influencing the control of nocturnal moth pests by yellow light, and effects of yellow light on plant physiology during pest control. The problems in the application of yellow light are also discussed, and the prospect for the future development and application of yellow light is predicted.

**Key words** visual pigment; yellow light; insect pest; physical control

利用昆虫对光波(自体发光)的反应即昆虫趋光性一直是农业害虫防治的一种手段,也是无公害防治技术的重要方法之一,已具有多年的历史。利用昆虫对灯光的趋性原理设计的灯具主要有黑光灯(紫外或近紫外波段)、频振杀虫灯、高压汞灯、双波灯等,这些灯具均是利用昆虫对紫黑光的趋性原理,进行诱杀。但是这类灯具对昆虫选择性差,在杀伤害虫的同时,会对天敌和非目标昆虫产生一定程度的杀伤,对生态环境造成不同程度的破坏<sup>[1-3]</sup>。黄色

灯是一种主要用于控制农田蛾类害虫,通过干扰鳞翅目蛾类昆虫的日节律,影响其交尾、产卵等生殖活动以及存活寿命等,起到控制其种群发展的目的,是一种良好的防治蛾类昆虫的物理防治器具,对天敌和非目标昆虫杀伤小<sup>[4]</sup>。由于紫外灯对生态环境的破坏,早在1949年起,日本就禁用紫外杀虫灯,1990年起在设施作物和园艺作物中大规模使用黄色灯<sup>[5]</sup>,截至目前,取得了很好的效果,中国自1995年起开始大规模使用紫外灯,2007年起开始报道黄色

收稿日期: 2017-06-23

修订日期: 2017-09-05

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0200907);国家小麦产业技术体系(CARS-03)

\* 通信作者 E-mail: yuqingwu36@hotmail.com

# 为并列第一作者

灯的研究成果并有相应的专利出现<sup>[6-8]</sup>,至今也取得了许多进展。本文简述黄色灯在国外和国内的研究和应用进展情况,并对黄色灯研究和应用中遇到的问题进行分析,对未来黄色灯的应用做了展望。

## 1 黄色灯防虫的原理

昆虫对光波的感知主要依靠复眼中的视觉色素,大多数昆虫拥有两种视觉色素,一种色素能够接受波长在 550 nm 左右的绿黄光,另一种色素接受波长在 480 nm 以下的紫外—蓝紫光。这类昆虫被称为两原色昆虫,它们对红色光不敏感,如同人类看不到紫外光一样,并且不能区分单色和混合光,如 500 nm 的黄绿光能够被紫外和黄色两种色素等量吸收,对 2 种色素受体有相同的刺激反应,但是对 450 nm 和 550 nm 的混合色也有相同的刺激反应,因此,昆虫不能区分出这种混合色与 500 nm 的单色。许多日出型昆虫如蜜蜂、熊蜂以及蝶类则拥有 3 种视觉色素,包括紫外(360 nm)、蓝紫(440 nm)和黄色光(588 nm),这类三原色昆虫可以感知敏感波谱内的所有光谱,并且能够区分单色和混合光<sup>[9]</sup>。

目前应用广泛的黑光灯或频振式杀虫灯均是利用了昆虫复眼紫外—蓝光感受器的生物学功能。黄色灯又称防蛾灯,波长范围主要在 500~590 nm,是利用了昆虫复眼对绿—黄光感受器敏感的生物学功能。夜出型蛾类的复眼在白天日光下处于“明适应”—也称“亮眼”状态(图 1a),在夜间处于“暗适应”—也称“暗眼”状态(图 1b),而一般的夜出型蛾类的取食交尾产卵活动都是在夜间的“暗适应”状态下进行,因此当夜间给予足够的黄色光照强度,一些蛾类将仍然处于“明适应”状态,如甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 复眼的屏蔽色素仍然像白天一样覆盖复眼(明适应状态)<sup>[10]</sup>,这样黄色灯就会干扰鳞翅目蛾类昆虫的日节律,影响其取食、交尾、产卵以及存活寿命等生物学习性,从而起到控制其种群发展的目的。通过对黑暗、白光、紫外光和黄光 4 种不同光照条件下黏虫头部转录组进行分析,经过组装后获得 46 327 条完整基因。经过进一步分析,发现了夜间黄色光照改变黏虫成虫的生物节律基因、光信号传导基因、嗅觉基因和味觉基因的转录表达。该项研究从分子机理上解释了灯光防治原理是光波干扰了蛾类昆虫生物节律<sup>[11]</sup>。

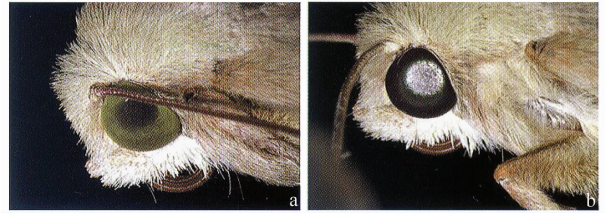


图 1 棉铃虫复眼的明适应(a)和暗适应(b)状态  
Fig. 1 The compound eye of the nocturnal moth, *Helicoverpa armigera*, in the light-adapted (a) and dark-adapted (b) states

## 2 黄色灯在国外的研究和应用

黄色灯又称防蛾灯,其发展初期主要是利用波长范围在 540~590 nm 的黄光,早在 20 世纪 60 年代日本开始用于吸果蛾类如枯落叶夜蛾 *Eudocima tyrannus* (Guenée) 和嘴壶夜蛾 *Oraesia emarginata* (Fabricius) 等害虫的防治<sup>[12-14]</sup>,研究表明,灯光处理区域比未处理区域蛾量下降 40%。这种防治原理如上所述则是利用夜出型蛾类昆虫遇到一定强度的黄光,其复眼会保持像在白天一样<sup>[15-16]</sup>。这种光适应会影响到蛾类昆虫的夜间行为,比如取食、交尾和产卵等。20 世纪 90 年代以来黄色灯开始在日本设施作物和园艺作物上大面积应用,如黄色荧光灯用于菊花 *Dendranthema morifolium* (Ramat.) Tzvel. 和康乃馨 *Dianthus caryophyllus* Linn. 上棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 的防治<sup>[17]</sup>,紫苏 *Perilla frutescens* (Linn.) Britton 花上斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 的防治<sup>[17]</sup>,取得了明显的效果。同时日本还有关于黄色灯防治其他夜出型蛾类害虫,比如:甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* (Linnaeus)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus)、草地螟 *Loxostege sticticalis* Linnaeus、黏虫 *Mythimna separata* (Walker) 和烟青虫 *Heliothis assulta* Guenée 等的报道<sup>[18-21]</sup>。另外,日本研究者利用复合型信息搅乱剂与黄色灯结合防治生菜上的棉铃虫,结果显示未设置黄色灯的区域其被害株率为 30%,设置黄色灯的区域被害株率减少到 15%,在距离设置黄色灯 20 m 以内棉铃虫的交尾阻碍率为 100%<sup>[22]</sup>。近年来,日本有报道称绿色荧光灯(波长范围主要在 500~540 nm)也可应用于防治夜蛾类害虫,与黄色荧光灯对蛾类的防治具有同样的效果,但是与黄色荧光灯相比,对植物的影响较小<sup>[17]</sup>。另外,由于 LED 灯价格便宜,黄色 LED 灯逐渐应用于蛾类害

虫的防治<sup>[17]</sup>。LED灯能从紫外到红光光谱里产生较精准的单色光,这种光学特性,对黄色灯应用于控制害虫行为是一个优势,在不久的将来可能会代替黄绿色荧光灯。

目前,黄色灯在日本设施农业和园艺农业生产中防治蛾类害虫的应用越来越普及,且已被众多农民接受,很多农田使用后都取得了明显的效果。日本福冈县农业综合试验场利用20 W黄色荧光灯防治芦笋上的蛾类害虫,取得了显著的效果,总体减少农药使用量50%~80%<sup>[23]</sup>。日本农业技术支援中心对黄色灯在蔬菜田间的防蛾效果开展了4年的试验调查,发现黄色灯对夜出型蛾类具有有效的抑制效果,并显著减少了农药在蔬菜栽培过程中的使用量<sup>[24]</sup>。目前,在日本黄色灯已得到了政府和农民的广泛认可,形成了一种规范的物理防治方法,黄色灯有数十家生产厂家如松下电工、岩崎电气等企业,像ZERO光束股份公司(株式会社ゼロビーム)(<http://zerobeam.jp/index.html>)不仅生产和销售黄色灯,而且还提供规范完善的黄色灯使用技术和方法。因此黄色灯在日本已经成为成熟、有效、安全的无公害防治方法之一。

### 3 黄色灯在我国的研究和应用

鉴于日本大面积推广的黄色灯防治效果显著,且对非目标昆虫的杀伤小,可以很好地保护生物多样性,维护生态和谐,我国研究者也开始对黄色灯在农业害虫防治中的应用进行了相关研究。近年来,湖南、湖北等地先后报道了用黄色荧光灯防治菜蛾和夜蛾等常见的农业害虫,并取得了一定的成效。如何钢等在梨园设置黄色灯防治吸果夜蛾对金秋梨的危害,其果实受害率平均降低27.6%,使梨园吸果夜蛾的虫口密度得到很好的控制<sup>[25]</sup>。

2006年以来,河南省农业科学院就黄色灯对蛾类生物学习性的影响及防治效果相继进行了大量的研究,并在2007年申请获得国家专利“新概念防蛾灯”<sup>[6]</sup>。段云等研究发现589 nm黄色光波段持续光照(光照强度大于20 lx)可以极其有效地保持棉铃虫成虫的明适应状态,505 nm和540 nm波段也具有类似的效果。另外,在棉铃虫初始产卵和产卵中期阶段,夜间给予505 nm和590 nm黄色光持续照射,无效卵比例显著高于正常黑暗处理<sup>[26]</sup>。蒋月丽等研究发现,夜间505、540 nm和589 nm三种波长

的光照射下,甜菜夜蛾卵的孵化率较黑暗状态下显著降低<sup>[27]</sup>。段云等研究发现在夜间给予小菜蛾黄色光照射,可使小菜蛾成虫产卵率由黑暗对照的70%下降到40%,产卵量减少23%,小菜蛾雌成虫的产卵历期和寿命均缩短了2 d<sup>[8]</sup>。同时研究了505 nm和590 nm 2种波长LED发光二极管光照对小菜蛾成虫生物学习性的影响,发现该两种波长LED灯光照射可使小菜蛾产卵量和孵化率显著下降<sup>[28]</sup>。黄色灯光照强度大于2 lx时对苹果园内金纹细蛾*Lithocolletis ringoniella* Matsumura的发生数量具有良好的控制作用,防效在50%以上<sup>[29]</sup>。另外,黄色灯也可以使黏虫的产卵前期延长,产卵量减少<sup>[30]</sup>。这些研究充分表明,550 nm左右波段的黄绿光对蛾类昆虫的生物学习性有明显的干扰作用,可以有效降低蛾类昆虫繁衍后代的能力,达到有效控制蛾类害虫种群发展的目的。

另外,绿-黄光虽可干扰棉铃虫的取食、交尾和产卵等生物学习性,但是对其飞行不会产生明显的影响,蒋月丽等发现在光照强度2~11 lx的范围内,室内吊飞测试条件下,505 nm绿光、589 nm黄光照射对棉铃虫的飞行时间、次数和距离与黑暗对照无明显差异,表明棉铃虫对这两个波段的光无趋性,黄色光对棉铃虫的影响仅限于生理行为;380~780 nm的白光照射极其显著地增加棉铃虫飞行活动,表明棉铃虫对白光具有强烈的趋光性<sup>[31]</sup>。

### 4 黄色灯防蛾效果的影响因素

黄色灯对鳞翅目蛾类害虫的防治效果,主要受黄色灯波长和光强度的影响。国外有研究表明,绿色波段的荧光灯防治夜蛾类昆虫,与黄色波段荧光灯对蛾类的防治具有同样的效果,但是与黄色荧光灯相比,对植物的影响较小<sup>[17]</sup>。蒋月丽等研究发现505 nm的绿色对甜菜夜蛾产卵影响最大,总产卵量和单雌产卵量均是最低,与540 nm和589 nm呈显著性差异,但是这3种波长的绿黄光与黑暗相比均使产卵量降低,且具有显著性差异,因此505 nm的绿色对甜菜夜蛾的产卵影响不仅达到与黄色具有同样的效果,且效果明显优于黄色<sup>[27]</sup>。段云等研究了果园内黄色灯不同光强度对金纹细蛾防治作用的影响,结果显示光强度20~100 lx比2~20 lx对金纹细蛾的防治效果略好,但是差异并不明显<sup>[29]</sup>。这些研究说明,在一定光强度范围内,黄色灯对蛾类害虫

的防治作用基本相同,但是更小或者更大光强度的防治效果还未见报道,有待于进一步研究,找到黄色灯防治蛾类害虫效果最佳的光强。

## 5 黄色灯对植物的影响

黄色灯主要是利用蛾类昆虫对 500~590 nm 的光敏感以及 Beggs 等根据光谱范围对植物生理影响的论述<sup>[32]</sup>(见表 1)而设计。因此,田间设置黄色灯对植物生理影响不大,但是也有少数研究报道称,黄色荧光灯光强度过强将影响一些植物(如菊科)的花芽分化,而 LED 灯由于光谱很窄,不存在对植物花芽分化的影响。但是根据 Beggs 等的研究<sup>[32]</sup>,波长为 505 nm 的绿光可能会对植物的生理产生一定的影响,而我国的一些研究报道却发现 505 nm 的绿光灯对蛾类的防治效果较好,因此在选择黄色灯波长时,如若选择低于 520 nm 波长的绿光时应该慎重,或者对植物生理的影响进行评估。

表 1 光谱范围对植物生理的影响

Table 1 Effects of spectral range on plant physiology

光谱范围/nm Spectral range	对植物生理的影响 Effect on plant physiology
280~315	对形态与生理过程的影响极小
315~400	叶绿素吸收少,影响光周期效应,阻止茎伸长
400~520	叶绿素与类胡萝卜素吸收比例最大,对光合作用影响最大
520~610	色素的吸收率不高
610~720	叶绿素吸收率低,对光合作用与光周期效应有显著影响
720~1 000	吸收率低,刺激细胞延长,影响开花与种子发芽
>1 000	转换为热量

## 6 问题与展望

目前,黄色灯的设计和使用技术已经基本成熟,但是仍存在以下几个问题,第一,黄色灯防治效果最佳的光强度范围的选择,需要进一步研究证实,另外,黄色灯最好设计成光强度可以调节的模式,根据实际应用过程中的情况进行调试。第二,仍然有部分人对夜间给予黄色光对植物没有影响持怀疑态度,根据 Beggs 等的研究<sup>[32]</sup>,在 520~610 nm 范围内对植物生理基本没有影响,但是由于植物种类的差异,是否会对部分植物的品质有影响,以及有正面还是负面影响,还有待进一步研究证实。第三,黄色灯主要是利用蛾类昆虫对黄光的敏感性,干扰其日节律,降低害虫种群密度的效果不像黑光灯直接将

昆虫诱集到灯下那么直观,所以在我国一些业务管理部门和种植者一般更看重杀虫灯灯下的昆虫数量,而不是评判降低作物受害程度的背景下,开展大面积的推广应用还存在一定的难度。因此,在黄色灯推广应用中需要改进技术推广策略、强化宣传和示范。另外,未发现黄色灯对菜粉蝶(菜青虫)有防治效果,因此在蛾类昆虫严重发生的十字花科田中如果同时有菜青虫发生,需要附加其他防治措施。黄色灯对夜出型的其他类害虫如金龟子成虫的正面或负面的效果没有证实,有待于进一步研究。对于大葱、茄子等容易遭受蓟马为害的作物,由于蓟马对黄色灯的趋性,若使用黄色灯防治蛾类害虫,需要同时附加诱捕蓟马的装置。再者,黄色灯作为一项实用技术,要大面积推广需要考虑成本问题,研究者在后续的研究中探索如何降低其生产和防治成本也至关重要。

黄色灯在防治蛾类害虫的同时,对生态多样性有一定的保护作用,这正是黄色灯比一般诱杀害虫的灯具优越之处。随着人民生活水平的提高,人们对农产品的质量要求越来越高,对无公害和绿色农产品迫切向往,因此对无公害防治技术的接受程度也会变得越来越高,加上研究和推广者对黄色灯推广策略的改进,相信黄色灯在我国的大面积推广和应用指日可待。

## 参考文献

- [1] FRICK T B, TALLAMY D W. Density and diversity of non-target insects killed by suburban electronic insect traps [J]. *Entomological News*, 1996, 102: 77-82.
- [2] 徐翔,尹勇,蒋凡,等. 频振式杀虫灯在蔬菜、果树园区应用效果 [J]. *四川农业科技*, 2005(4): 38.
- [3] 张广学,郑国,李学军,等. 从保护生物多样性角度谈频振式杀虫灯的应用 [J]. *昆虫知识*, 2004, 41(6): 532-535.
- [4] 武予清,段云,蒋月丽. 害虫的灯光防治研究与应用进展 [J]. *河南农业科学*, 2009(9): 127-130.
- [5] 向阪信一,板倉二郎,八瀬順也,等. 黄色蛍光灯によるバラのハスモンヨトウの防除 [C]. 平成 9 年度照明学会全国大会, 1997: 255-256.
- [6] 武予清,鲁传涛,刘焕民. 新概念防蛾灯: ZL200520143553. 9 [P]. 2007-05-02.
- [7] 蒋月丽,武予清,巩中军,等. 高效防蛾灯: ZL201720209543. 3 [P]. 2017-09-29.
- [8] 段云,武予清,杨淑斐,等. 黄色灯对小菜蛾成虫生物学的影响 [J]. *植物保护*, 2007, 33(6): 110-112.
- [9] BRISCOEL A D, CHITTKA L. The evolution of color vision in insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2001, 46: 471-510.

- [10] 高恩曾. 夜蛾复眼转化速度与光暗适应的时间关系[J]. 昆虫学报, 1989, 32(3): 306-310.
- [11] DUAN Y, GONG Z J, WU R H, et al. Transcriptome analysis of molecular mechanisms responsible for lightstress response in *Mythimna separata* (Walker)[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 45188 | DOI: 10.1038/srep45188.
- [12] 野村健一. 電燈照明による吸蛾類の防除(第3報): 照明による飛来防止について[J]. 応用動物昆虫学会, 1967, 11: 21-28.
- [13] 野村健一, 大矢慎吾, 渡部一郎, 等. 電燈照明による吸蛾類の防除(第1報): 照明の効果解析とそれに及ぼす各種光条件の影響について[J]. 応用動物昆虫学会, 1965, 9(3): 179-186.
- [14] 岡村雅広. “虫の眼”と“光の色”との関係[R]. 日本第9回農林害虫研究会報告. 高知三翠園, 2004: 26.
- [15] MEYER-ROCHOW V B, KASHIWAGI T, EGUCHI E. Selective photoreceptor damage in four species of insects induced by experimental exposures to UV irradiation [J]. Micron, 2002, 33: 23-31.
- [16] WALCOTT B. Movement of retinula cells in insect eyes on light adaptation [J]. Nature, 1969, 223: 971-972.
- [17] SHIMODA M, HONDA K I. Insect reactions to light and its applications to pest management [J]. Applied Entomology Zoology, 2013, 48: 413-421.
- [18] 向阪信一, 板倉二郎, 八瀬順也, 等. 黄色蛍光灯によるカーネーションのオオタバコガの防除[R]. 平成9年度照明学会全国大会, 1997: 314-315.
- [19] 田中寛, 塚本勝孝, 久保田豊, 等. 柴尾学太陽電池充電式LED黄色灯の間欠照明による夜行性害虫防除の試み[R]. 第48回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨, 2004.
- [20] 高橋秀明, 野村昌史, 天野洋. 異なる波長域のLEDを用いた夜間照明によるキンウワバ類の行動抑制実験[R]. 第48回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨, 2004.
- [21] 八瀬順也. 露地野菜害虫における防除対策の現状と課題[R]. 日本第9回農林害虫研究会報告. 高知三翠園, 2004: 6-9.
- [22] 栗原潤, 豊嶋悟郎, 萩原保身. 複合型交信攪乱剤・黄色光を利用したレタスのオオタバコガのIPM[C]. 第48回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨, 2004: 82.
- [23] ハスモンヨトウ防蛾灯、外に設置して効果5倍—福岡県農業総合試験場筑後分場[EB/OL]. <https://www.nca.or.jp/shinbun/backnumber/2006/20061013/idea061013.html>.
- [24] 平成23年度農業技術支援センター試験研究等実績概要[EB/OL]. <http://www.city.kawasaki.jp/280/cmsfiles/contents/0000036/36052/H23siken.pdf>.
- [25] 何钢, 唐成万, 刘君昂, 等. 金秋梨吸果夜蛾发生规律及无公害防治技术[J]. 中南林学院学报, 2003, 23(4): 46-49.
- [26] 段云, 武予清, 蒋月丽, 等. LED光照对棉铃虫成虫明适应状态和交尾的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4727-4731.
- [27] 蒋月丽, 段云, 武予清. 三种不同波长绿—黄光对甜菜夜蛾产卵生物学影响的初步研究[J]. 植物保护学报, 2008, 35(5): 473-474.
- [28] 段云, 吴仁海, 武予清, 等. LED光照对小菜蛾成虫生物学的影响[J]. 河南农业科学, 2010(1): 80-89.
- [29] 段云, 刘顺通, 段爱菊, 等. 黄色光对金纹细蛾的防治作用[J]. 河南农业科学, 2008(12): 73-74.
- [30] 段云, 苗进, 巩中军, 等. 黄色光对黏虫成虫产卵和寿命的影响[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 175-177.
- [31] 蒋月丽, 曹雅忠, 李克斌, 等. 不同波长光对棉铃虫飞翔活动影响的初步研究[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 36-39.
- [32] BEGGS C J, WELLMANN E, GRISEBACH H. Photocontrol of flavonoid biosynthesis[M]// KENDRICK R E, KRONENBERG G H M, eds. Photomorphogenesis in plants. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Boston Lancaster, 1986: 467-499.

(责任编辑: 田 喆)