

不同光照及赤霉素处理对菟丝子寄生关系建立的影响

李东霄^{1,2}, 张辉煌², 张国广², 陈亮^{2*}

(1. 河南科技学院, 河南 新乡 453003; 2. 厦门大学生命科学院, 福建 厦门 361005)

摘要:首次使用 LED 作为光源, 研究不同光照条件及 GA₃ 对菟丝子 (*Cuscuta* spp.) 弯钩打开、缠绕发生与吸器形成的影响。结果表明, 光照信号作为一个必要条件参与了菟丝子对寄主的识别及缠绕发生的调控, 而化学信号可能起到一定的促进作用; GA₃ 参与了对菟丝子缠绕发生的调控, 但对弯钩打开没有明显的作用。除了典型的光敏色素作用外, 还有另一类光反应 (HER) 参与了上述过程, 这类光反应可由 879 nm 远红光引发, 证明菟丝子存在 HER, 还有 Pfr 向 Pr 的暗转化过程, 在缠绕发生过程中光敏色素和隐花色素发生相互作用。

关键词: 南方菟丝子; 赤霉素; 吸器; 弯钩; 光照; 缠绕

中图分类号: Q948.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)05-0458-07

The Effects of Different Lights and Gibberellin on Establishment of Parasitism between Dodder and Its Hosts

LI Dong-xiao^{1,2}, ZHANG Hui-huang², ZHANG Guo-guang², CHEN Liang^{2*}

(1. Henan college of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 2. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The effects of different light treatments and GA₃ on hook opening, twining and parasitism of *Cuscuta australis* were studied using LED as light sources for the first time. The results showed that light was a necessary factor for dodders to parasitize the hosts successfully and chemical signals might facilitate host recognition and twining. GA₃ involved in controlling twining response, but no distinct effect on hook opening. Furthermore, besides typical (phytochrome reaction, another photoreaction called HER was involved in these processes, which could be caused by 879 nm far red light. So it demonstrated directly that there was not only HER in dodders, but also dark conversion from Pfr to Pr, and there were mutual interaction of phytochromes and cryptochromes in twining.

Key words: *Cuscuta australis*; Gibberellin; Haustorium; Hook; Light; Twining

菟丝子属 (*Cuscuta*) 隶属于旋花科 (Convolvulaceae), 为寄生草本植物。成熟菟丝子的根、叶已退化, 有些种类尽管含有叶绿素, 但不能维持其正常的自养生活, 而通过茎缠绕寄主, 并利用吸器从寄主体内吸取养分。菟丝子的寄主范围非常广泛, 具有高度适应的侵染机制, 但是, 目前还不清楚它们与寄主相互作用的机制。缠绕与形成吸

器作为与寄主建立寄生关系的标志, 成为目前研究的热点。

菟丝子幼苗的自养生长只能维持 2~3 周, 因而, 尽早与寄主建立寄生关系对其生存至关重要。有报道^[1-3]菟丝子种子萌发后, 依靠感受寄主植物释放的化学信号来识别和选择寄主。这常见于根寄生植物。Runyon 等^[4]证明菟丝子可以通过化学

收稿日期: 2008-12-18 接受日期: 2009-04-01

基金项目: 教育部重点项目 (101102) 资助

* 通讯作者 Corresponding author

信号发现和识别寄主。另有报道^[5-9]由不同性质的光照信号和光照时间影响着菟丝子对寄主的识别和寄生关系的建立。菟丝子通过感受周围水平方向的红光/远红光比例(R:FR)变化来识别寄主方位,与绿色植物趋向较高R:FR以避开邻近植物遮盖不同,菟丝子趋向较低的R:FR,以利于其发现寄主。此外,远红光或蓝光参与调控了缠绕的发生与吸器的形成^[5-9]。

赤霉素(GA)属于四环二萜类激素,参与调控植物生长发育的许多过程,如种子萌发、叶展、茎的伸长、开花以及繁殖等。最近的研究表明,光照和GA在植物生长发育过程中存在着相互作用^[10-13]。目前,尚不清楚在菟丝子弯钩打开与缠绕发生过程中是否存在GA与光照的相互作用。本文研究了不同光照条件以及GA对南方菟丝子(*Cuscuta australis*)弯钩打开、缠绕发生与吸器形成的影响,首次用发光二极管(LED)作实验光源,探讨菟丝子与寄主建立寄生关系的机制。

1 材料和方法

1.1 种子消毒、接种及培养基的制备

将南方菟丝子(*Cuscuta australis*)种子在浓硫酸中浸泡30 min;无菌水冲洗干净后,浸泡在3%次氯酸钠中10 min;无菌水冲洗干净,接种于盛有只含有MS无机盐成分或添加不同浓度GA₃及其抑制剂Paclbutrazol的固体培养基中。

所有培养基的pH值都在添加琼脂和高压灭菌前调至5.7。高压灭菌后,培养基预冷后加入GA₃和Paclbutrazol。在培养基中间隔插上小木棒,以观察菟丝子的缠绕和吸器发生。

苜蓿(*Medicago sativa*)种子播种在营养土中,实验时萌发植株已在室外生长了4个多月。

1.2 光源与光照实验装置

蓝光、红光及远红光均采用相应的LED作为光源。每种光源均有20×20个LED组成,均匀分

布在15 cm×20 cm范围内。LED的波长和光强参数见表1。光照实验装置由纸箱制作而成,规格为39 cm(长)×35 cm(宽)×53 cm(高),光源位于顶端中央。白色光源为2只普通日光灯(F36W T8 DAYLIGHT),光强约为4×10⁻⁴ μmol m⁻² s⁻¹。

1.3 光照处理

接种后,一部分种子置于暗培养。8 d后,选择长度为3~5 cm的菟丝子幼苗备用。另一部分置于培养室培养,光暗交替为14 h/10 h;6 d后,菟丝子幼苗弯钩完全打开,用于菟丝子与苜蓿寄生关系建立的研究。实验时,将菟丝子幼苗放入生长有苜蓿的花盆中(花盆中均匀插入小塑料棒),分别于黑暗、自然光、白光、蓝光和红光下培养。同时,在无苜蓿的花盆中放入菟丝子幼苗,作为对照组。缠绕发生后,立即转入暗处培养,2~3 d后观察统计形成吸器的幼苗个数。

在光照装置中用蓝光、红光和远红光进行照射处理;在培养间进行白光照射处理。除了光照处理,其它操作均在较弱的绿光下进行。数据于光照结束后统计。每组实验材料约为25个,每实验至少重复3次。

2 结果

2.1 光照对菟丝子弯钩打开的影响

本实验观察了红光、远红光、白光以及蓝光对菟丝子弯钩打开的影响。结果表明:白光、红光和蓝光均可诱导菟丝子幼苗弯钩打开,连续12 h照射后,菟丝子幼苗弯钩打开率分别为77.03%、89.34%和82.47%;连续照射16 h后,弯钩已完全打开。

暗培养的菟丝子幼苗弯钩不会打开。如果在白光、红光和蓝光下先照射一段时间后再转入黑暗中培养24 h,则弯钩可以打开。其中,幼苗在白光下照射30 min、4 h和12 h后再转入黑暗中的弯钩打开率分别为65.71%、78.95%和100%;如果为红

表1 不同LED的光电参数

Table 1 The optical and electric parameters of LED

	峰值 Peak (nm)	光通量 Light flux (Lumen)	辐射强度 Radiation intensity (μW cm ⁻²)
远红光 Far-red light	878.94	0.0000E+0	4.8834E+3
蓝光 Blue light	460.17	2.6511E-1	5.1953E+3
红光 Red light	631.82	4.5541E-1	2.4656E+2

光,则分别为 81.25%、82.14% 和 100%;蓝光照射效果最好,可达到 100%。

远红光照射 72 h 仍然无法诱导弯钩打开(图版 I:1)。在白光、红光和蓝光分别照射后,用远红光

短暂照射,可增强红光的效果,但明显抑制了蓝光的效果。如红光照射 4 h 后用远红光照射 30 min,弯钩打开率由 82.14% 升高到 100%;而蓝光下的弯钩打开率则由 100% 下降到 88%(表 2)。

表 2 后期使用远红光对菟丝子弯钩打开的影响

Table 2 Effects of terminal far-red light on hook opening of the seedlings of *Cuscuta australis*

蓝光 Blue light (h)	白光 White light (h)	红光 Red light (h)	远红光 Far-red light (h)	弯钩打开率 Rate of hook opening (%)
		0.5		81.25
		0.5	0.5	81.48
		4		82.14
		4	0.5	100
0.5				100
0.5			0.5	73.3
4				100
4			0.5	88
	0.5			65.71
	0.5		0.5	54.29
	4			78.95
	4		0.5	87.50

2.2 光照对菟丝子缠绕发生的影响

白光、红光或蓝光连续照射 16 h 后弯钩完全打开,继续用白光和红光照射,菟丝子不会发生缠绕;而蓝光照射则发生明显的缠绕(图版 I:2);无论使用何种光照使弯钩打开,最后只要有充分的蓝光照射,都可以导致缠绕的发生,而红光和白光照射则不会(表 3)。

后期使用远红光的情况较为复杂:如果前期用白光或蓝光诱导弯钩打开,尤其是蓝光,后期用远红光照射可以诱导缠绕发生;如果前期为红光,则几乎无法诱导缠绕发生;但是,如果菟丝子在暗培养 8 h 或蓝光照射 5 min 或 1 h 后再用远红光照射,缠绕可以发生。值得注意的是,蓝光照射使弯钩打开后,用红光照射 5 min 或 1 h,则远红光对缠绕的诱导作用明显受到抑制(表 3)。

2.3 不同光照处理对菟丝子吸器形成的影响

不同光照处理后的菟丝子幼苗在缠绕发生后,立即放入暗处培养,2~3 d 后观察统计吸器的形成情况。结果表明,发生缠绕的菟丝子幼苗,在缠绕处面向小木棒的部位均有吸器形成(图版 I:3~4);而没有发生缠绕的菟丝子幼苗,则没有吸器形成。

2.4 光照对寄生关系建立的影响

将弯钩打开的菟丝子幼苗放入生长有苜蓿的花盆后,菟丝子幼苗在自然光和蓝光照射下,逐渐发生缠绕并最终形成吸器;而白光、红光照射和暗培养的幼苗,则不会发生缠绕和形成吸器。值得注意的是,自然光照射后,不管有无苜蓿,菟丝子幼苗都会发生缠绕,且前者比后者发生缠绕的时间早,效果明显;此外,菟丝子幼苗在缠绕苜蓿的同时,也会缠绕塑料棒,并最终形成吸器(图版 I:5~6)。

2.5 GA₃ 及 Paclobutrazol 对弯钩打开的影响

培养基中含有 GA₃ 或 paclobatruzol, 连续 24 h 蓝光或红光照射后,菟丝子幼苗弯钩都已打开;而远红光照射或暗培养的弯钩都没有打开(表 4)。

2.6 GA₃ 及 Paclobutrazol 对菟丝子缠绕发生的影响

经蓝光诱导打开弯钩的菟丝子幼苗,分别置于蓝光或远红光中连续照射 48 h,结果表明,连续蓝光照射含 GA₃ 培养基中的菟丝子幼苗,均发生了缠绕,其中,缠绕效果以 10⁻⁵ mol/L 的 GA₃ 最好;而远红光照射,只有含 10⁻³~10⁻⁵ mol/L GA₃ 培养基中的菟丝子发生缠绕。蓝光照射含 10⁻² 和 10⁻³ μmol/L

表 3 光照对菟丝子缠绕发生的影响

Table 3 Effects of light on twining of the seedlings of *Cuscuta australis*

蓝光 Blue light (h)	白光 White light (h)	红光 Red light (h)	黑暗 Dark (h)	远红光 Far-red light (h)	缠绕率 Rate of twining (%)
64					98.77
	64				0
		64			0
	16	48			0
48	16				96.15
	16			48	33.33
1/12	16			48	91.67
1	16			48	96.30
	16		8	48	42.86
48		16			97.12
	48	16			0
		16		48	2.27
		16	8	48	43.33
1/12		16		48	43.75
1		16		48	48.21
16	48				0
16		48			0
16				48	84.62
16		1/12		48	57.58
16		1		48	50.75

表 4 不同光照下 GA_3 及 paclobutrazol 对菟丝子幼苗弯钩打开的影响Table 4 Effect of GA_3 or paclobutrazol on hook opening of the seedlings of *Cuscuta australis* under different lights

GA_3 (mol/L)	Paclobutrazol (μ mol/L)	蓝光 Blue light	红光 Red light	远红光 Far-red light	黑暗 Dark
0	0	+	+	-	-
10^{-7}	0	+	+	-	-
10^{-6}	0	+	+	-	-
10^{-5}	0	+	+	-	-
10^{-4}	0	+	+	-	-
10^{-3}	0	+	+	-	-
10^{-12}	0	+	+	-	-
0	10^{-5}	+	+	-	-
0	10^{-4}	+	+	-	-
0	10^{-3}	+	+	-	-
0	10^{-2}	+	+	-	-

paclobutrazol 培养基中的菟丝子幼苗没有发生缠绕;浓度为 10^{-4} μ mol/L 时,表现出由“不缠绕”向“缠绕”过渡的状态,即部分幼苗出现松散缠绕,部分发生紧密缠绕;浓度为 10^{-5} ~ 10^{-6} μ mol/L 时,发生明显的缠绕现象(图版 I:7~9)。远红光照射,只有 10^{-6} μ mol/L paclobutrazol 培养基中的菟丝子幼苗发生了缠绕(表 5)。

蓝光照射下, paclobutrazol (10^{-3} μ mol/L)对缠绕的抑制作用可以通过添加 GA_3 (10^{-3} ~ 10^{-6} mol/L)来加以消除。当添加 10^{-6} mol/L GA_3 时,菟丝子表现出“不缠绕”与“缠绕”之间过渡的状态;添加 10^{-5} mol/L GA_3 时,缠绕效果最好。而远红光照射下,只有添加 10^{-4} mol/L 和 10^{-5} mol/L GA_3 时,菟丝子才发生缠绕(图版 I:10~13,表 5)。此部分实验结果统计于光照处理后 24 h。

表 5 不同光照条件下 GA₃ 及 paclobutrazol 对菟丝子幼苗缠绕发生的影响Table 5 Effect of GA₃ or paclobutrazol on twining of the seedlings of *Cuscuta australis*

GA ₃ (mol/L)	Paclobutrazol (μmol/L)	蓝光 Blue light	远红光 Far-red light
0	0	+	+
10 ⁻⁷	0	+	-
10 ⁻⁶	0	+	-
10 ⁻⁵	0	+	+
10 ⁻⁴	0	+	+
10 ⁻³	0	+	+
0	10 ⁻⁶	+	+
0	10 ⁻⁵	+	-
0	10 ⁻⁴	+	-
0	10 ⁻³	-	-
0	10 ⁻²	-	-
10 ⁻⁷	10 ⁻³	-	-
10 ⁻⁶	10 ⁻³	+	-
10 ⁻⁵	10 ⁻³	+	+
10 ⁻⁴	10 ⁻³	+	+
10 ⁻³	10 ⁻³	+	-

3 讨论

3.1 光照对弯钩打开、缠绕发生与吸器形成的影响

本研究结果表明,除了远红光(879 nm)外,白光、红光和蓝光均可诱导菟丝子幼苗弯钩打开,延长光照时间可以提高弯钩打开的速度和数目。这与前人的研究结果相似^[5,14]。只有弯钩打开的幼苗才能在合适的光照(蓝光或远红光)下发生缠绕,持续缠绕需要连续光照^[5-7]。

菟丝子弯钩打开和缠绕发生过程中,存在红光/远红光逆转效应,这意味着光敏色素参与了上述过程的调控,即光敏色素 Pfr 调控了弯钩的打开,而 Pr 调控了缠绕的发生^[5,9]。同时还存在另一类光反应 HER(High energy reaction),表现为依赖能量,可以被蓝光、红光或远红光激发,无法逆转并在连续照射下持续进行,实验中表现为延长光照可以加快菟丝子幼苗弯钩打开数目和速度以及持续缠绕需要连续光照^[5,14]。目前,对 HER 的机制了解很少,这是因为在研究中未能使用只引发 HER 而不会引发光敏色素作用的光源。因此,我们选择波长 879 nm 的远红光作为实验光源,它不在光敏色素 Pfr 有效的吸收光谱范围内,推测其不会导致 Pfr 转变为 Pr,但可能会引发 HER,希望一方面证实是否存在 HER;另一方面研究光敏色素间的相互作用。

本实验没有观察到红光/远红光逆转效应,远红光(879 nm)甚至增强了红光对菟丝子弯钩打开的诱导作用,却抑制了蓝光的诱导作用。缠绕实验中黑暗处理对远红光诱导效果的影响显示,在菟丝子中存在有 Pfr 向 Pr 的暗转换过程。而短暂的蓝光或红光照射对远红光诱导效果的影响,则显示出在缠绕发生过程中存在光敏色素和隐花色素的相互作用。

白色荧光灯的光谱主要包括红光、蓝光和绿光部分,白光下菟丝子弯钩打开是红光和蓝光协同作用的结果;而缠绕的发生则主要取决于红光和蓝光相互作用的结果。同样道理,白光诱导弯钩打开的菟丝子幼苗如果在远红光照射前在暗处或使用蓝光处理一段时间,发生缠绕的效果也明显增强。

无论使用何种光源诱导菟丝子弯钩打开,只要后期使用蓝光照射都可以诱导菟丝子发生缠绕,显示蓝光对缠绕具有明显的诱导作用。有意思的是,在一个连续光照过程中,蓝光可以相继诱导菟丝子打开弯钩和发生缠绕,显示蓝光在上述过程中具有不同的作用机制,而且,可能存在内在的调节机制,以调节蓝光不同作用模式的转变。此外,远红光(879 nm)可以抑制蓝光对弯钩打开的诱导作用,但在缠绕发生过程中又表现出与其相似的作用;远红光无法抑制甚至增强了红光对弯钩打开的作用效果,但是红光抑制了远红光对缠绕发生的诱导。这

些进一步证明蓝光在上述过程中具有不同的作用机制,而且,远红光的作用可能受到不同形式的光敏色素或隐花色素的作用调控。

如果将缠绕木棒或塑料棒的菟丝子幼苗在缠绕发生后立即置于暗处培养2~3 d,在缠绕发生的部位均有吸器形成。因而,吸器形成很可能在缠绕发生后即被诱导,与随后的光照没有必然的联系。此外,菟丝子与塑料棒缠绕后依然可以形成吸器,显示没有化学信号诱导仍然可以形成吸器。

3.2 光照对菟丝子寄生关系建立的影响

只有在自然光、远红光和蓝光照射后,菟丝子才会缠绕苜蓿并建立寄生关系;而在白光、红光和暗处则不会发生。合适的光照下菟丝子可以缠绕塑料棒并形成吸器。可见光照信号是菟丝子寄生关系建立的必要条件,即使不存在化学信号,有合适的光照就可以诱导缠绕发生和吸器形成。如果没有合适的光照条件,即使能满足其它可能存在的条件,菟丝子幼苗也不会发生缠绕。Tada等^[7]认为光照信号诱导了菟丝子寄生关系的建立,完全没有化学信号的参与。Runyon等^[4]报道在寄主中存在可以诱导菟丝子发现和识别寄主的化学信号物质。然而,对其机制及光照的作用还不清楚。我们发现,如果花盆中只有塑料棒,菟丝子尽管也会逐渐发生缠绕并产生吸器;但与花盆有苜蓿的菟丝子相比,缠绕苜蓿所需时间更短,缠绕的幼苗数目更多(数据未列)。这些表明可能存在有可以促进寄主识别和缠绕发生的化学物质(由苜蓿分泌产生)。

3.3 GA₃或 paclobutrazol 的影响

一定浓度的 paclobutrazol 可以抑制蓝光诱导的缠绕发生,而在培养基中添加 GA₃,可以恢复或部分恢复蓝光对缠绕发生的诱导,证明 GA₃参与了对菟丝子缠绕发生的诱导调控。然而 GA₃对菟丝子弯钩打开则没有明显的作用效果。有研究报道光敏色素和隐花色素作为主要的光受体,调节、控制着 GA 的动态平衡^[13]。但在菟丝子中的相互作用机制还有待进一步研究。

综合本研究结果,我们确定光照信号作为一个必要条件参与诱导了菟丝子对寄主识别及缠绕发生的调控。而化学信号则可能在菟丝子缠绕发生与吸器形成中起到一定的促进作用。吸器的形成与缠绕发生后的光照很可能没有必然的联系,而且没有化学信号诱导仍然可以形成吸器。GA₃参与

了对菟丝子缠绕发生的诱导调控,对弯钩打开没有明显的作用效果。本研究通过 879 nm 的远红光,直接证明了除了典型的光敏色素作用外,另一光反应 HER 也参与了上述过程,确定了在菟丝子中存在有 Pfr 向 Pr 的暗转化过程,以及缠绕发生过程中存在光敏色素和隐花色素的相互作用。蓝光在弯钩打开和缠绕发生过程中具有不同的作用机制,可能存在相对应的内在的调节机制。我们认为,879 nm 波长或相近波长的远红光可用作一种特殊的光源,而在相关研究中得到广泛使用。

致谢 尚游为实验设计、制作了相关光源以及王晓春为实验测定了各种光源的光电参数,特此致谢!

参考文献

- [1] Hu F (胡飞), Kong C H (孔垂华). Parasite plants chemical recognition to host [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 2003, 23(5): 965-971. (in Chinese)
- [2] Kelly C K. Plant foraging: A marginal value model and coiling response in *Cuscuta subinclusa* [J]. Ecology, 1990, 71: 1916-1925.
- [3] Kelly C K. Resource choice in *Cuscuta europaea* [J]. Proc Natl Acad Sci, 1992, 89: 12194-12197.
- [4] Runyon J B, Mescher M C, De Moraes C M. Volatile chemical cues guide host location and host selection by parasitic plants [J]. Science, 2006, 313(5795): 1964-1967.
- [5] Lane H C, Kasperbauer M J. Photomorphogenic responses of dodder seedlings [J]. Plant Physiol, 1965, 40: 109-116.
- [6] Furuhashi K, Kanno M, Morita T. Photocontrol of parasitism in a parasitic flowering plant, *Cuscuta japonica* Choisy, cultured *in vitro* [J]. Plant Cell Physiol, 1995, 36(3): 533-536.
- [7] Tada Y, Sugai M, Furuhashi K. Haustoria of *Cuscuta japonica*, a holoparasitic flowering plant, are induced by the cooperative effects of far-red light and tactile stimuli [J]. Plant Cell Physiol, 1996, 37: 1049-1053.
- [8] Orr G L, Haidar M A, Orr D A. Smallseed dodder (*Cuscuta planiflora*) phototropism toward far-red when in white light [J]. Weed Sci, 1996, 44: 233-240.
- [9] Haidar M A. Characterisation of the interaction between cryptochromes and phytochromes in blue light-induced coiling and prehaustoria development of dodder (*Cuscuta campestris*) seedlings [J]. Ann Appl Biol, 2003, 143: 57-62.
- [10] Hedden P, Phillips A L. Gibberellin metabolism: New insights revealed by the genes [J]. Trends Plant Sci, 2000, 5: 523-530.
- [11] Olszewski N, Sun T P, Gubler F. Gibberellin signaling biosynthesis, catabolism, and response pathways [J]. Plant Cell, 2002, 14 (Suppl.): S61-80.
- [12] Sun T P, Gubler F. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants [J]. Annu Rev Plant Biol, 2004, 55: 197-223.
- [13] Zhao X Y, Yu X H, Liu X M, Lin C T. Light regulation of gibberellins metabolism in seedling development [J]. J Integr Plant

Biol, 2007, 49(1): 21-27.

[14] Kujawski R F, Truscott F H. Photocontrol of hook opening in *Cuscuta gronovii* Willd [J]. *Plant Physiol*, 1974, 53: 610-614.

图版说明

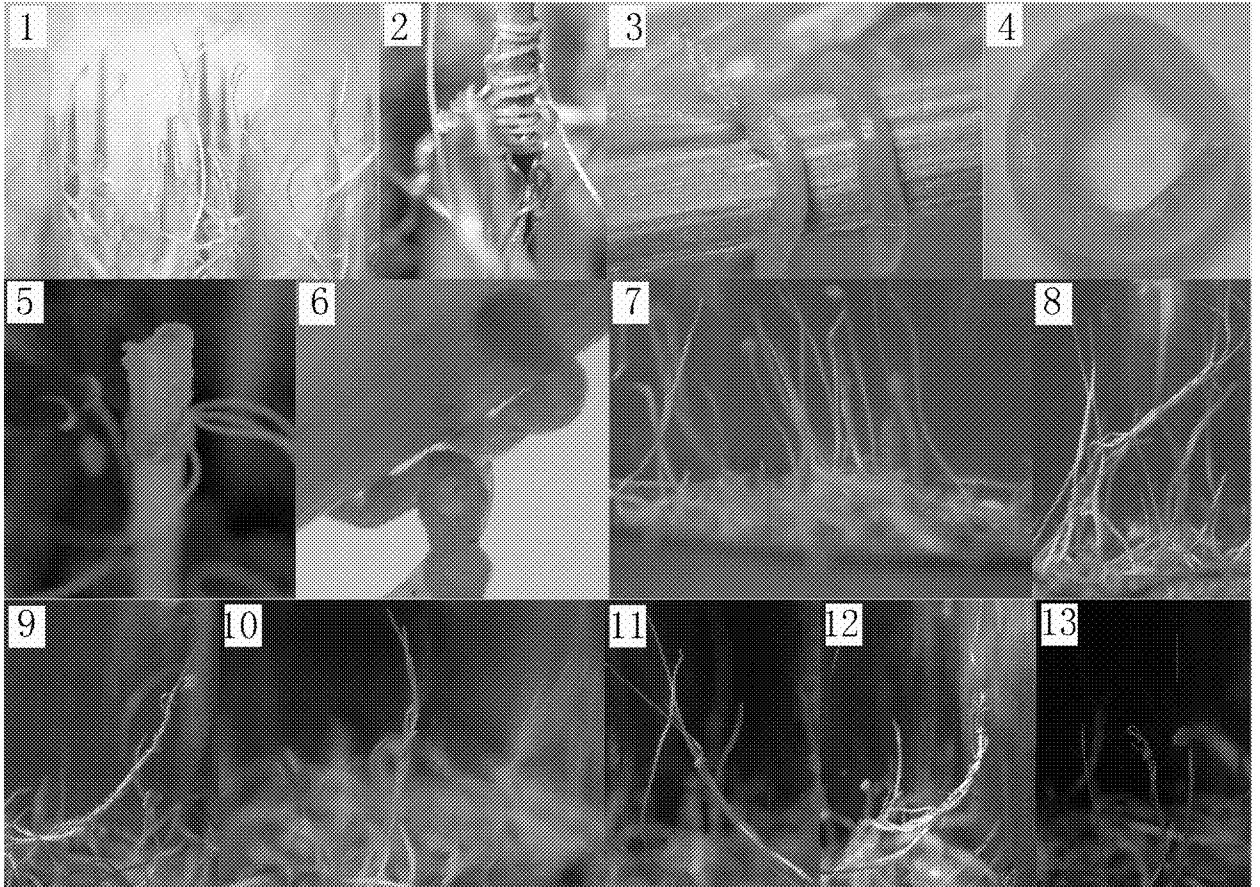
图版 I

1. 使用远红光连续照射 72 h 后的菟丝子幼苗; 2. 蓝光诱导弯钩打开后继续使用蓝光照射 48 h 后发生缠绕的菟丝子幼苗; 3~4. 缠绕发生 2 d 后菟丝子的吸器形成; 5. 在自然光下放置 48 h 后菟丝子同时缠绕塑胶棒和苜蓿; 6. 缠绕发生 2 d 后菟丝子吸器形成情况; 7~13. 蓝光诱导弯钩打开后, 蓝光连续照射 48 h, GA₃ 及 paclobutrazol 对菟丝子幼苗缠绕发生的影响; 7. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol; 8. 10⁻⁴ μmol/L paclobutrazol; 9. 10⁻⁵ μmol/L paclobutrazol; 10~11. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁶ mol/L GA₃; 12. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁵ mol/L GA₃; 13. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁴ mol/L GA₃。

Explanation of plate

Plate I

1. The seedlings of *Cuscuta australis* illuminated continuously with far-red light for 72 h; 2. The seedlings of *Cuscuta australis* illuminated continuously with blue light for 48 h after hook opening induced by blue light; 3~4. Haustorium development within 2 d after twining induced by blue light; 5. The seedlings entwined *Medicago sativa* and plastic rod simultaneously under daylight for 48 h; 6. Haustorium formed within 2 d after twining; 7~13. Effect of GA₃ or paclobutrazol on twining of seedlings of *Cuscuta australis* under blue light for 48 h after hook opening induced by blue lights. 7. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol; 8. 10⁻⁴ μmol/L paclobutrazol; 9. 10⁻⁵ μmol/L paclobutrazol; 10~11. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁶ mol/L GA₃; 12. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁵ mol/L GA₃; 13. 10⁻³ μmol/L paclobutrazol + 10⁻⁴ mol/L GA₃ .



李东霄等:图版 I

LI Dong-xiao, et al.: Plate I