

日本菟丝子 (*Cuscuta japonica*) 寄生对加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 生理生态特性的影响

蒋华伟¹, 方 芳¹, 郭水良^{1,2,*}

(1. 浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江金华 321004; 2. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要:调查发现,野外有日本菟丝子(*Cuscuta japonica*)寄生于加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)植株的现象,被寄生的加拿大一枝黄花植株矮小,叶片枯黄,生长严重受阻。在实验控制条件下,观测了日本菟丝子寄生后加拿大一枝黄花生理生态特性的相关指标,并对寄主进行了解剖观察,探讨了应用日本菟丝子防除加拿大一枝黄花的可行性。结果表明:(1)日本菟丝子可以寄生于加拿大一枝黄花的茎及叶片,寄生根能够穿过加拿大一枝黄花表皮、皮层直至髓部,从寄主植株吸收水分和养分,使自身生物量得到增加,并严重影响了寄主的生长;(2)寄生 50~60d 后,被寄生植株最大光合速率只有对照的 58.81%,而光合补偿点则为对照的 153.39%;脯氨酸和丙二醛含量分别为对照的 2.88 和 1.29 倍,可溶性蛋白、可溶性总糖含量则分别下降了 43.45%、44.47%;(3)金华地区,自然条件下生长的加拿大一枝黄花一般在 9 月中旬现蕾,10 月中旬进入盛花期,而被寄生植株直到 10 月下旬才开始现蕾,花序长度不到正常植株的 10%,当菟丝子生物量(干重)超过加拿大一枝黄花植株的 13.14% 时该植株不能开花结实。从实验结果看,日本菟丝子寄生可以严重影响加拿大一枝黄花的营养生长和开花结实。因此,利用日本菟丝子有望成为防治加拿大一枝黄花危害的一种辅助手段。

关键词:加拿大一枝黄花;日本菟丝子;寄生现象;生长

文章编号:1000-0933(2008)01-0399-08 中图分类号:Q945, Q948.9 文献标识码:A

Influences of parasitism by *Cuscuta japonica* plants on eco-physiological characteristics of *Solidago canadensis*

JIANG Hua-Wei¹, FANG Fang¹, GUO Shui-Liang^{1,2,*}

1 College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

2 College of Life and Environmental Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0399 ~ 0406.

Abstract: Our investigations showed that plants of *Cuscuta japonica* Choisy could parasitize those of *Solidago canadensis* L. in wild field. The individuals of *S. canadensis* parasitized by *C. japonica* were dwarfish, with scorch leaves, and their growth was restrained severely. The eco-physiological indices of *S. canadensis* after being parasitized by *C. japonica* were measured under the experimental conditions, and the anatomical features of the parasitism were also observed. The main results were as follows: (1) the parasitic roots of *Cuscuta japonica* were able to parasitize the stems and leaves of *S. canadensis* by penetrating the stem and leaf epidermis to the pith of *S. canadensis*, and therefore, absorb a large amount of water and nutrition from the host, which enhanced its biomass and stunt the host; (2) after 50—60 days being parasitized,

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y505018, Y506007)

收稿日期:2007-04-01; 修订日期:2007-11-07

作者简介:蒋华伟(1981~),男,江苏沐阳人,硕士,从事入侵植物控制研究. E-mail: jhw0128@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guoshuilang@163.com

致谢:美国密苏里植物园何思博士对文章写作给予帮助,谨表谢意。

Foundation item: The project was financially supported by Nature Science Foundation of Zhejiang Province (No. Y505018, Y506007)

Received date: 2007-04-01; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: JIANG Hua-Wei, Master candidate, mainly engaged in the control of invasive plants. E-mail: jhw0128@126.com

the maximal net photosynthesis rate of *S. canadensis* was down to 58.81%, the light compensation point up to 153.39%, the proline up to 287.57%, and MDA content up to 128.64% in comparison with the controls; but the content of dissoluble protein and sugar declined 43.45% and 44.47% respectively; (3) the normal individuals of *S. canadensis* entered into flower bud stage in the middle of September, and full flowering stage in the middle of October; in contrast, those parasitized by *C. japonica* produced flower buds at the end of October, and its inflorescence length was only one-tenth of the controls. Plants of *S. canadensis* could not produce flower buds if the biomass (dry weight) of its parasitic plant (namely, *C. japonica*) exceeded 13.14% of its dry weight. The results above showed that *C. japonica* could restrain the growth and sexual reproduction of *S. canadensis* effectively. Therefore, *C. japonica* might be a promising species for controlling the invasiveness of *S. canadensis*.

Key Words: *Solidago canadensis*; *Cuscuta japonica*; parasitism; growth

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)原产北美,菊科一枝黄花属植物,1935年作为观赏植物引种到我国上海、南京等地,20世纪80年代起开始蔓延成为我国东部地区危害严重的杂草^[1~3]。加拿大一枝黄花既能进行有性繁殖又能进行无性繁殖,在入侵过程中,加拿大一枝黄花可以通过种子繁殖先形成多个“卫星式”种群,后通过地下茎克隆繁殖填充空隙,最终形成单优势种群排挤本地植物^[4~8]。我国境内的加拿大一枝黄花主要分布在东部地区,其扩张速度十分惊人^[9],成为一种典型的外来入侵种^[10],已经被列入中国重要外来有害植物名录^[11]。

加拿大一枝黄花在我国传播迅速,且侵染农田、果园、疏林,扩散到铁路、公路沿线以及住宅、厂房周围,对农林业生产及自然生态景观造成极大的破坏^[12],引起了国内学者的广泛关注^[13~18],对其入侵扩散特性及防治做了大量的研究工作。目前对其防治方法主要为化学防除^[19,20]和机械防除,但防治效果都不甚理想,因此,急需寻找其他的防治方法。

咎启杰^[21],韩诗畴^[22],廖文波^[23]等分别调查报道了田野菟丝子(*Cuscuta campestris*)寄生后能将大面积的薇甘菊(*Mikania micrantha*)致死;而邓雄^[24]等人报道田野菟丝子寄生薇甘菊60 d时,薇甘菊的光合速率下降了90%,生物量不到对照的1/2,严重影响薇甘菊的开花结实,可望成为控制外来入侵植物薇甘菊的一种生物控制技术。生物防治目前已经成为防治有害入侵生物的重要方法,全世界已有70多个国家开展了杂草生防工作,我国主要针对紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)和水葫芦(*Eichhornia crassipes*)等外来有害杂草开展了传统生防工作^[25]。野外调查发现日本菟丝子(*Cuscuta japonica*)可以寄生于加拿大一枝黄花植株上,且被寄生植株叶色发黄,植株矮小,生长受到严重抑制。目前国内对加拿大一枝黄花的入侵还没有有效的控制方法,对加拿大一枝黄花的生物防治研究亦未见报道。本文通过试验测定了日本菟丝子寄生对加拿大一枝黄花的生理生态特性的影响,探讨应用日本菟丝子防治加拿大一枝黄花的可行性,希望为防治入侵植物加拿大一枝黄花提供新的途径。

1 材料和方法:

将野外自然生长的加拿大一枝黄花移栽于浙江师范大学生物园内,园内环境一致,水肥充足,植株生长良好;日本菟丝子采自浙江师范大学校园内,寄生于葛藤(*Pueraria lobata*)上,生长旺盛。

1.1 寄生方法

2006年7月下旬,从校园内采集日本菟丝子,剪为10~20段,缠绕于加拿大一枝黄花的顶端幼嫩部分,此时加拿大一枝黄花植株高度在100~120cm,由于气温较高,离体日本菟丝子容易失水死亡,因此早晚用喷壶洒水,中午前后遮阴处理。

1.2 测量方法

光合-光响应曲线:九月下旬即寄生后50~60 d,测定时间为晴天的9:00~11:30时,用LCA-4光合作用仪(英国ADC公司制造)测量被日本菟丝子寄生加拿大一枝黄花植株和对照植株叶面的光合有效辐射强度

(PAR)和对应的净光合速率(P_n),通过增减毛玻璃的数目改变叶室光合有效辐射强度,以约 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的梯度递增,直到净光合速率开始下降为止,测量位置为顶端下第 6~10 片叶,每个光强下测定 3~4 个数据,重复 3 个植株。

生理指标测定:测完光合作用后,采集相同位置的叶片,用于测量丙二醛、脯氨酸、蛋白质、可溶性糖,叶绿素含量等生理指标,测定方法参考现代植物生理学实验指南^[26]。

菟丝子寄生成功后定期观测植株,记录测量植株的高度变化,花序的产生时间,直到植株停止生长,将未开花的寄生植株带回实验室,分离日本菟丝子,分别烘干称重,计算生物量比值。

1.3 石蜡切片

采用常规石蜡切片^[27],将加拿大一枝黄花及寄生于其茎、叶上的日本菟丝子一同采回,将寄生部位切为适当大小,FAA 溶液固定,梯度酒精脱水,石蜡包埋,番红-固绿染色,切片厚度为 $8\sim 12\mu\text{m}$,在 Motic digital microscope 显微镜下拍照、观察日本菟丝子寄生根寄生部位,各器官均为横切面。

1.4 数据处理

应用直角双曲线模型拟合得到光合-光响应曲线: $P_n = a \cdot b \cdot I / (a \cdot I + b) - c$ 式中, P_n 为净光合速率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); I 为入射光强 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); a 、 b 、 c 均为参数。应用 Curvexpert 1.3 软件对所获数据进行拟合,参数 b 初始值为实测最大净光合速率,以 0.1 为步长依次改变 b 值,以相关系数最高的方程为光合-光响应曲线的拟合方程。

2 结果与分析

2.1 日本菟丝子寄生后对加拿大一枝黄花光合-光响应的影响

日本菟丝子寄生后的加拿大一枝黄花植株和对照植株的光合-光响应曲线见图 1,拟合方程、相关系数、光补偿点及实测最大光合速率的 95% 时相应的光合有效辐射强度见表 1。日本菟丝子寄生对加拿大一枝黄花植株的净光合速率有较大的影响,寄生后的植株和对照植株的实测最大净光合速率分别为 $7.1\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $12.15\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,前者只有后者的 58.44%;寄生后植株的光合补偿点有较大的上升,达到 $92.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,为对照的 153.39%,但是日本菟丝子寄生对光饱和点几乎没有影响,寄生和对照植株分别为 $1437.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1418.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

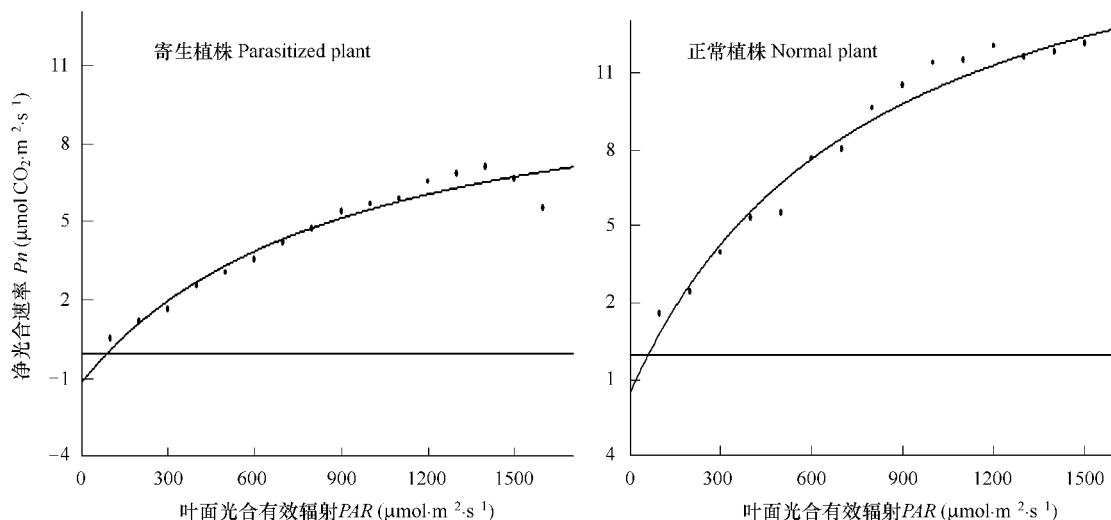


图 1 寄生和对照植株的光合-光响应曲线图

Fig. 1 Photosynthesis-light response curve of the parasitized and normal plant

2.2 日本菟丝子寄生根生长部位及寄生对寄主生理的影响

日本菟丝子可以寄生于加拿大一枝黄花的茎及叶片,能够很好的生长(图版 I :1),寄生根能够通过加拿

接彩图(I , II)

大一枝黄花表皮、皮层直至髓部(图版 II:1,2),从寄主植株夺取水分和养分供自身的生长,两个月后,菟丝子从寄生时的 10~20cm 增长到 200 cm 左右,并伸展到其它寄主植株,生长季节结束后长度可达 300 cm 以上,并且能够开花结实。加拿大一枝黄花失去大量水分和养分,必然使自身的生长受到影响。植物在受到胁迫时,体内的脯氨酸和丙二醛含量会增加,且含量随着胁迫的加重而升高^[28,29]。从表 2 中可以看出,日本菟丝子寄生以后,寄主植株的脯氨酸含量和丙二醛含量有较大的增加,分别为对照的 2.88、1.29 倍,而营养指标可溶性蛋白含量、可溶性总糖含量分别下降了 43.45%、44.47%,叶绿素含量为对照植株的 83.70%。从这些生理指标也可以看出,日本菟丝子寄生后,使寄主处于一种胁迫状态,严重影响了加拿大一枝黄花的生长。

表 1 寄生和正常植株的光合-光响应曲线方程比较

Table 1 Comparison of photosynthesis-light response curve equation between the parasitized and normal plants

	拟合方程 Equation	相关系数 Correlation coefficient	光补偿点 Light compensation point ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点 Light saturated point ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	95% 最大净光 合速率 95% Maximal net photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
寄生植株 Parasitized plant	$y = 0.2137x / (0.0138x + 12.6755) - 1.1378$	0.9749	92.5	1437.3	6.75
正常植株 Normal plant	$y = 0.5692x / (0.02667x + 21.3454) - 1.4942$	0.9849	60.3	1418.6	11.54

表 2 菟丝子寄生后加拿大一枝黄花植株几种生理指标的变化

Table 2 The variation of physical traits of *S. canadensis* after being parasitized by *Cuscuta japonica*

生理指标 physical traits	寄生植株 Parasitic plant	正常植株 Normal plant	差异显著性 Significance
叶绿素 Chlorophyll (mg/g FW)	1.8121 $\pm$ 0.1152	2.1649 $\pm$ 0.0300	$F = 25.5918$ $p < 0.01$
脯氨酸 Proline ($\mu\text{g/g}$ FW)	15.5354 $\pm$ 0.5950	5.4023 $\pm$ 0.5834	$F = 443.5787$ $p < 0.01$
丙二醛 MDA ($\mu\text{mol/g}$ FW)	22.0669 $\pm$ 0.2653	17.1075 $\pm$ 1.2023	$F = 618.9516$ $p < 0.01$
可溶性蛋白质 Dissoluble Protein (mg/g FW)	12.2708 $\pm$ 0.8018	21.6979 $\pm$ 0.9418	$F = 174.2606$ $p < 0.01$
可溶性糖 Dissoluble sugar (%)	1.3498 $\pm$ 0.1399	2.6580 $\pm$ 0.7365	$F = 8.5174$ $p < 0.05$

注: $\pm$ 后的数据为标准差, $p < 0.05$, $p < 0.01$ 表示在 0.05、0.01 水平有显著差异 The data behind $\pm$ are standard deviation, and $p < 0.05$, $p < 0.01$ indicate significant differences at 0.05, 0.01 levels respectively

2.3 日本菟丝子寄生对加拿大一枝黄花形态及有性繁殖的影响

日本菟丝子寄生后,加拿大一枝黄花植株生长缓慢,叶色变黄甚至枯死(图版 I:2),被日本菟丝子缠绕茎段产生畸形变粗(图版 I:3),植株高度的变化趋势见图 3,日本菟丝子寄生后加拿大一枝黄花植株高度只有少量的增加,从 106.6 cm 增高到 148.4 cm,而对照植株几乎增高了一倍,从 113.0 cm 到 223.2 cm,最终日本菟丝子寄生植株高度只有对照植株高度的 66.49%,说明日本菟丝子寄生严重抑制了加拿大一枝黄花的生长。日本菟丝子寄生后,寄主植株的花期严重滞后,加拿大一枝黄花正常植株九月中旬开始现蕾,十月初始花,十月中旬进入盛花期,而寄生植株直到 10 月中旬才现蕾,其中只有 1/3 可以产生花序,且花序总长度普遍较小,只有 10~15 cm,不到正常植株的 1/10(对照为 150~300 cm)。后期观察发现,即使是这 1/3 产生花序的植株也不是都可以正常结实。经测量,当日本菟丝子生物量(干重)超过加拿大一枝黄花植株生物量的 13.14% 时,加拿大一枝黄花花序在后期停止发育生长,不能产生种子。

3 讨论

胥启杰^[30]等人的调查发现:菟丝子控制薇甘菊的过程要经过薇甘菊被侵染寄生,枯死,再生,再侵染寄生,再枯死的反复较量,韩诗畴^[22]等人的室内实验得到类似的结果。在野外,菟丝子致死薇甘菊后,其留下的空地会被一些先锋植物占据,使薇甘菊的再生受到竞争抑制而难于生长,从而最终达到田野菟丝子控制薇甘菊危害的效果^[21]。

本次实验结果和笔者野外调查的结果相似,日本菟丝子寄生后对加拿大一枝黄花的生长具有很好的抑制作用。日本菟丝子寄生成功后,在寄主植株上能很好的生长,生长季结束后生物量增长了 30 倍,并能正常开花,产生大量果实。加拿大一枝黄花被寄生后,营养物质和水分大量流失,使其自身处于一种胁迫状态。丙二醛是植物在环境胁迫下膜脂过氧化而产生的一种具有细胞毒性的物质,其含量高低常用作膜脂过氧化强弱和质膜破坏程度的重要指标,而脯氨酸的积累与丙二醛的含量有一定的相关性,脯氨酸可作为一种伤害指标^[31]。日本菟丝子寄生后加拿大一枝黄花植株体内脯氨酸和丙二醛含量明显上升,说明日本菟丝子寄生对加拿大一枝黄花产生了明显的伤害。外来植物能够成功入侵的一个重要因素就是具有对环境因子中光的较强的适应性和耐性^[32~34],有些物种具有比本地种更强的光能利用力和光合响应机制,从而使它们具有很强的人侵潜力^[35,36]。日本菟丝子寄生后,加拿大一枝黄花植株光合速率有很大的下降,最大光合速率只有对照的 58.81%;而光补偿点达 $92.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,远高于对照加拿大一枝黄花植株 $60.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和其他一些外来种^[32] 如裂叶牵牛 (*Pharbitis hederacea*) $39.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、五爪金龙 (*Ipomoea cairica*) $44.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光补偿点,从而导致其对光能的利用效率降低。光能利用效率的降低必然导致营养物质积累减少,加上日本菟丝子对水分和养分的攫取,从而植株矮小,生长缓慢甚至死亡,没有足够的能量来产生花序,不能完成有性繁殖,达到控制其有性繁殖的目的。

虽然日本菟丝子本身也是一种杂草,但国内外对其防治的措施已经比较成熟,其不足以对农林业及生态环境构成大的威胁,且日本菟丝子还是常用的药材之一,入药有补肝肾,益精明目的功能^[24,37],而且药用日本菟丝子资源日渐短缺,很多地方通过大量人工种植加以补充^[38]。通过以上研究,认为利用以日本菟丝子防治加拿大一枝黄花是一种新的途径,达到以草治草的目的,既可以有效防治加拿大一枝黄花的蔓延又能解决日本菟丝子药用来源匮乏的问题。

日本菟丝子寄生能够很好的控制加拿大一枝黄花的地上部分,减少了其有性繁殖,有效的控制了其远距离传播,但是加拿大一枝黄花仍可以通过地下茎产生克隆苗。这需要进一步在大范围的加拿大一枝黄花迹地上研究日本菟丝子和加拿大一枝黄花的消长关系,使其达到一种动态平衡。同时,日本菟丝子的生态安全性及防治仍值得关注,能否大面积地推广用日本菟丝子控制加拿大一枝黄花,仍需要作进一步的生态风险评估。

References:

- [1] Jiangsu Institute of Botany, Flora of Jiangsu (2), Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1982. 829—830.
- [2] Zheng C Z. Flora of Zhejiang (Vol. 6). Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1993. 225—226.
- [3] Guo S L, Li Y H. Study on the alien weeds in southeast of China. Weed Science, 1995, (2): 4—8.
- [4] Huang H, Guo S L. Review on ecological studies on three invasive species of European genus *Solidago*. Guangxi Sciences, 2004, 11 (1): 69—74.
- [5] Crawleg M J. What makes a community invasible? Colonization, succession and stability. Gray A J, et al. eds. Oxford: Black well Scientific Publications, 1986. 429—453.
- [6] Curnutt J I. Host-area specific climatic matching: similarity breeds exotic. Biological Conservation, 2000, 94, 341—351.
- [7] Macisaac H J, Ketelaars H A M, Grigorovich I A, et al. Modeling Bythotrephes longimanus invasions in the Great Lakes basin based on its

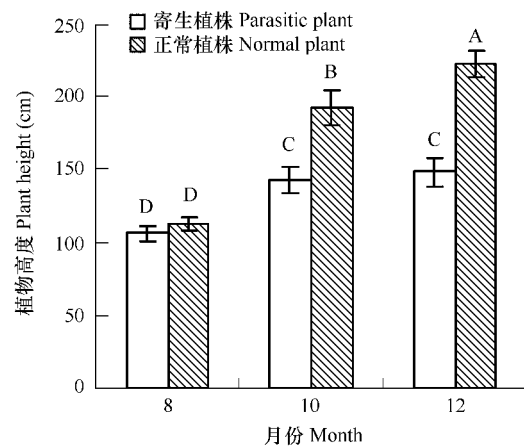


图3 日本菟丝子寄生加拿大一枝黄花植株和对照的高度变化

Fig. 3 The height variation of parasitized and normal plants

图中相同的字母表示在 0.01 水平上差异不显著 The same superscript letter in the figure indicated no significant differences at 0.01 level

- European distribution. *Hydrobiologie*, 2000, 149, 1—21.
- [8] Weber E. The Dynamics of plant invasions: a case study of three exotic goldenrod species (*Solidago* L.) in Europe. *Journal of Biogeography*. 1998, 25, 147—154.
- [9] Dong M, Lu J Z, Zhang W J. *et al.* Canada goldenrod (*Solidago canadensis*): An invasive alien weed rapidly spreading in China. *Acta phytotaxonomica Sinica*, 2006, 44(1): 72—85.
- [10] Guo S L, Fang F. Physiological adaptation of the invasive plant *Solidago canadensis* to environment. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 17(1): 47—52.
- [11] Li Z Y, Xie Y. Invasive alien species in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 43.
- [12] Huang H, Guo S L. Study on reproductive biology of the invasive plant *Solidago canadensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2795—2803.
- [13] Lu J Z, Qiu W, Chen J K, *et al.* Impact of invasive species on soil properties: Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) as a case study. *Biodiversity Science*, 2005, 13(4): 347—356.
- [14] Fang F, Guo S L, Huang L B. Allelopathic effects of the invasive plant *Solidago canadensis*. *Ecological Science*, 2004, 23(4): 331—334.
- [15] Huang H, Guo S L. Analysis of population genetic differences of the invasive plant *Solidago canadensis*. *Bull. Bot. Res*, 2005, 25(2): 197—204.
- [16] Zhou K, Guo W M. Allelopathic effects of aquatic extracts from *Solidago canadensis*'s roots and rhizospheric soil on the seed germination and early seedling growth of Chinese cabbage and radish. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin*, 2005, 25(1): 0174—0178.
- [17] Mei L X, Chen X, Tang J J, *et al.* Allelopathic effects of invasive weed *Solidago canadensis* on native plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2379—2382.
- [18] Wu J L, Li Y F, Wang Y Z, *et al.* Plant community in growth areas of *Solidago canadensis* in southern Jiangsu Province. *Jiangsu J. of Agr. Sci*, 2005, 21(3): 176—179.
- [19] Sheng G H, Yao H M, Guan L Q, *et al.* Distribution and infestation of *Solidago canadensis* L. in Shanghai suburbs and its chemical control, *Acta Agriculturae Shanghai*, 2005, 21(2): 1—4.
- [20] Lu Y, Sun G C, Zh J Y, *et al.* Effects comparison of Glyphosate on controlling *Solidago canadensis* at different time. *Weed Science*, 2006, (1): 51—52.
- [21] Zan Q J, Wang B S, Wang J Y, *et al.* The ecological evaluation on the controlling *Mikania micrantha* by *Cuscuta campestris*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsent*, 2002, 41(6): 60—63.
- [22] Han S C, Li K H, Luo L F, *et al.* *Mikania myriantha* was destroyed by parasitic weed dodder, *Cuscuta chinensis*, in Guangdong. *Natural Enemies of Insects*, 2002, 24(1): 7—14.
- [23] Liao W B, Wang Q, Wang B S. Discovery of three species of *Cuscuta* harming *Mikania micrantha* in south China and their taxonomical identification. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsent*, 2002, 41(6): 54—56.
- [24] Deng X, Feng H L, Ye W H, *et al.* A study on the control of exotic weed *Mikania micrantha* by using parasitic *Cuscuta campestris*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(2): 117—122.
- [25] Ma R Y, Wang R, Ding J Q. Classical biological control of exotic weeds. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2677—2688.
- [26] Institute of Plant Physiology of Shanghai, the Chinese Academy of Science. Guide to modern plant physiological experiment. Beijing: Science Press, 1999.
- [27] Li Z L. Production methods of plant tissue. Beijing: Publishing House of Peking University, 1996.
- [28] Wang Y X, Sun G R, Wang J B, *et al.* Relationships among MDA content, plasma membrane permeability and the chlorophyll fluorescence parameters of *Puccinellia tenuiflora* seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 122—129.
- [29] Tang Z C. The cumulation of Proline of plant under stress and its possible significance. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1984(3): 51—54.
- [30] Zan Q J, Wang B S, Wang J Y, *et al.* The harm caused by *Mikania micrantha* and its control by *Cuscuta campestris*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 822—828.
- [31] Zong H, Liu E E, Guo Z F, *et al.* Effects of LaCl_3 and CPZ on proline accumulation of rice seedling under drought and salt stresses. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(2): 173—177.
- [32] Wu Y Q, Hu Y J. Researches on photosynthetic characteristics of exotic plants *Wedelia trilobata*, *Pharbitis nil* and *Ipomoea cairica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2334—2339.
- [33] Wang J F, Feng Y L. The effect of light intensity on biomass allocation, leaf morphology and relative growth rate of two invasive plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6): 781—786.
- [34] Wang J F, Feng Y L, Liang H Z. Adaptation of *Eupatorium adenophorum* photosynthetic characteristics to light intensity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1373—1377.

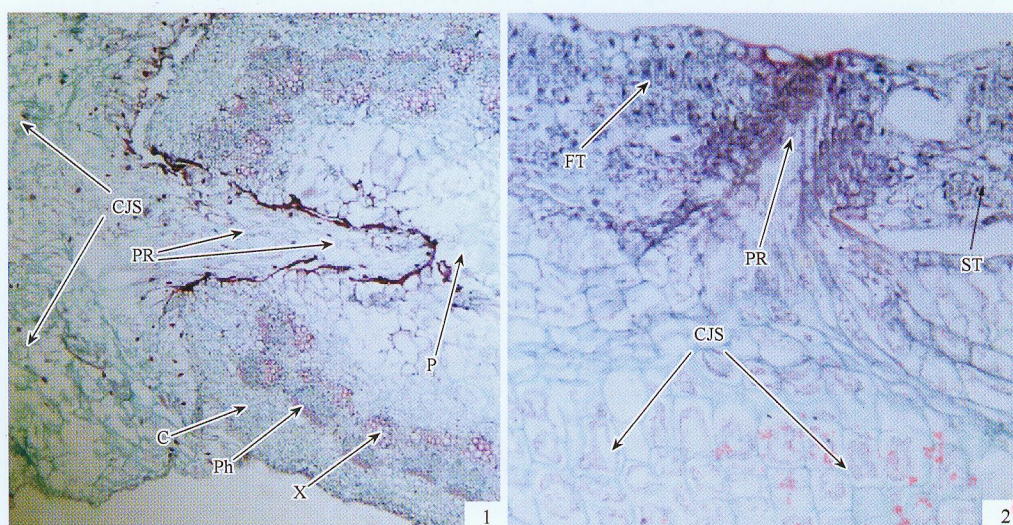
- [35] Poorter L. Light dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest trees species. *Functional Ecology*, 2001, 15: 113—123.
- [36] Sun S C, Zhu X B, Lv C Q. Function assessment and ecological controls on alien species cordgrass. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23 (3): 93—98.
- [37] Malik C P, Singh M B. Physiological and biochemical aspects of parasitism in *Cuscuta*: a review. *Annual Review Plant Science*, 1979, 1: 67—72.
- [38] Dawson J H, Musselman L J, Wolswinkel P, et al. Biology and control of *Cuscuta*. *Review Weed Science*, 1994, 6: 265—317.

参考文献:

- [1] 江苏植物研究所. 江苏植物志(2), 南京: 江苏科学技术出版社, 1982. 829~830.
- [2] 郑朝宗. 浙江植物志(vol. 6), 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993. 225~226.
- [3] 郭水良, 李扬汉. 我国东南地区外来杂草研究初报. *杂草科学*, 1995, (2): 4~8.
- [4] 黄华, 郭水良. 一枝黄花属三种欧洲入侵种的生态学研究概况. *广西科学*, 2004, 11 (1): 69~74.
- [9] 董梅, 陆建忠, 张文驹, 等. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物. *植物分类报*, 2006, 44 (1): 72~85.
- [10] 郭水良, 方芳. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究. *植物生态学报*, 2003, 27 (1): 47~52.
- [11] 李振宇, 解焱. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社, 2002. 43.
- [12] 黄华, 郭水良. 外来入侵植物加拿大一枝黄花的繁殖生物学研究. *生态学报*, 2005, 25(11): 2795~2803.
- [13] 陆建忠, 裴伟, 陈家宽, 等. 入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响. *生物多样性*, 2005, 13 (4): 347~356.
- [14] 方芳, 郭水良, 黄林兵, 等. 入侵杂草加拿大一枝黄花的化感作用. *生态科学*, 2004, 23(4): 331~334.
- [15] 黄华, 郭水良. 外来入侵植物加拿大一枝黄花居群间遗传差异分析. *植物研究*, 2005, 25 (2): 197~204.
- [16] 周凯, 郭维明. 加拿大一枝黄花根系和根际土壤水浸液对萝卜和白菜种子萌发及幼苗生长的影响. *西北植物学报*, 2005, 25(1): 174~178.
- [17] 梅玲笑, 陈欣, 唐建军, 等. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2379~2382.
- [18] 吴竞仑, 李永丰, 王一专, 等. 苏南地区加拿大一枝黄花繁殖地的植物群落. *江苏农业学报*, 2005, 21(3): 176~179.
- [19] 沈国辉, 姚红梅, 管丽琴, 等. 上海郊区加拿大一枝黄花的发生危害与化学防除研究. *上海农业学报*, 2005, 21(2): 1~4.
- [20] 陆彦, 孙国才, 朱建亚, 等. 草甘膦防除加拿大一枝黄花不同时间用药效果比较. *杂草科学*, 2006, (1): 51~52.
- [21] 曾启杰, 王伯荪, 王军勇, 等. 田野菟丝子控制薇甘菊的生态评价. *中山大学学报(自然科学版)*, 2002, 41(6): 60~63.
- [22] 韩诗畴, 李开煌, 罗莉芬. 菟丝子致死薇甘菊. *昆虫天敌*, 2002, 24(1): 7~14.
- [23] 廖文波, 王强, 王伯荪. 侵染薇甘菊的菟丝子属植物及其分类学鉴定. *中山大学学报(自然科学版)*, 2002, 41(6): 54~56.
- [24] 邓雄, 冯惠玲, 叶万辉, 等. 寄生植物菟丝子防治外来种薇甘菊研究初探. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(2): 117~122.
- [25] 马瑞燕, 王韧, 丁建清. 利用传统生物防治控制外来杂草的入侵. *生态学报*, 2003, 23(12): 2677~2688.
- [26] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999.
- [27] 李正理. 植物组织制片学. 北京: 北京大学出版社, 1996.
- [28] 汪月霞, 孙国荣, 王建波, 等. NaCl 胁迫下星星草幼苗 MDA 含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系. *生态学报*, 2006, 26(1): 122~129.
- [29] 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义. *植物生理学通讯*, 1984(3): 51~54.
- [30] 曾启杰, 王伯荪, 王军勇. 薇甘菊的危害与田野菟丝子的防除作用. *植物生态学报*, 2003, 27(6): 822~828.
- [31] 宗会, 刘娥娥, 郭振飞, 等. 干旱、盐胁迫下 LaCl_3 和 CPZ 对稻苗脯氨酸积累的影响. *作物学报*, 2001, 27(2): 173~177.
- [32] 吴彦琼, 胡玉佳. 外来植物南美蟛蜞菊、裂叶牵牛和五爪金龙的光合特性. *生态学报*, 2004, 24(10): 2334~2339.
- [33] 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响. *植物生态学报*, 2004, 28 (6): 781~786.
- [34] 王俊峰, 冯玉龙, 梁红柱. 紫茎泽兰光合特性对生长环境光强的适应. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1373~1377.
- [36] 孙书存, 朱旭斌, 吕超群. 外来种米草的生态功能评价与控制. *生态学杂志*, 2004, 23 (3): 93~98.



图版 I 1. 日本菟丝子; 2. 叶色枯黄; 3. 茎畸形变粗; 4. 寄生植株和正常植株
Plate I 1. *Cuscuta japonica*; 2. leaves become scorch; 3. parasitized stem become abnormality; 4. parasitized and normal plants



PR. 寄生根 Parasitic root; CJS. 日本菟丝子茎 *Cuscuta japonica* stem; P. 髓 Pith; C. 皮层 Cortex; Ph. 韧皮部 Phloem; X. 木质部 Xylem; FT. 栅栏组织 Fence tissue; ST. 海绵组织 Sponge tissue
图版 II 1. 日本菟丝子寄生加拿大一枝黄花茎, $\times 40$; 2. 日本菟丝子寄生加拿大一枝黄花叶, $\times 100$
Plate II 1. *Cuscuta japonica* parasitized in the stem of *S. canadensis*, $\times 40$; 2. *Cuscuta japonica* parasitized in the leaf of *S. canadensis*, $\times 100$