

王 岚, 张宇斌, 李建新. 不同栽培基质对七叶一枝花光合特性、生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 216–219.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.064

不同栽培基质对七叶一枝花光合特性、生理特性的影响

王 岚^{1,2}, 张宇斌³, 李建新¹

(1. 铜仁学院生物与农林工程学院, 贵州铜仁 554300; 2. 梵净山野生动植物资源保护与利用研究中心, 贵州铜仁 554300;
3. 贵州师范大学生命科学学院, 贵州贵阳 550001)

摘要:以长势一致的 3 年生七叶一枝花为材料, 在 5 种栽培基质处理下, 测定七叶一枝花的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蛋白质(Pro)含量、叶绿素(Chl)含量、丙二醛(MDA)含量、可溶性糖(Sug)含量, 以探讨不同栽培基质下七叶一枝花的光合特性、生理特性。结果表明: 在不同栽培基质处理下, 七叶一枝花的光合特性和生理指标均有差异; 处理 30 d 时, 栽培基质为壤土、牛粪(质量比 1:1)的处理明显提高了七叶一枝花的 P_n 、 T_r 、 G_s 、Pro 含量、Chl 含量; 腐殖土、沙土(质量比 1:1)的处理提高了 MDA 含量, 而栽培基质为沙土、牛粪(质量比 1:1)的处理下七叶一枝花可溶性糖含量呈先降后升的趋势。结果可知, 适宜种植七叶一枝花的栽培基质为壤土、牛粪(质量比 1:1)。

关键词:七叶一枝花; 栽培基质; 光合特性; 生理特性

中图分类号: S567.23⁺9.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0216-04

七叶一枝花(*Paris polyphylla*)为百合科重楼属多年生草本植物, 属珍稀濒危药用植物^[1], 在我国云南、四川、广西、贵州等地均有分布^[2]。七叶一枝花药用价值大, 在民间主要用于治疗各种疮毒、毒蛇咬伤等。随着科学和医药技术发展, 社会对七叶一枝花的需求量逐步增大, 以七叶一枝花为原料开发的一系列中药、中成药、美容产品及其他附属产品也越来越多。目前, 有关七叶一枝花的研究主要集中在薯蓣皂苷的分离及结构鉴定^[3]、皂苷含量^[4]、黄酮含量^[5]、黄酮提取工艺^[6]、种子萌发^[7]、组织培养^[8-9]、成分^[10]、微量元素^[11]等方面。刘艳辉等研究发现, 七叶一枝花内生真菌次级代谢产物具有较好体外抑制肝癌细胞的活性^[12-13]; 田启建等将人工栽培七叶一枝花的物候期划分成出苗期、伸长期、展叶期、开花期、结实期、枯死期、萌芽期、越冬期等 8 个时期^[14]; 孟繁蕴等对七叶一枝花同属植物重楼进行了引种驯化和繁殖研究^[15-16]; 杨永红等对滇重楼种子中氨基酸和元素进行了分析测定^[17]。有关栽培基质对七叶一枝花光合、生理特性影响的研究鲜见报道。植物生命活动受多种因子综合影响, 不同栽培基质有不同的透气性和持水、持肥能力, 是植物生长的重要影响因子之一^[18], 植物产能在很大程度上取决于栽培基质质量^[19]。本研究探讨了不同栽培基质处理对七叶一枝花光合、生理特性的影响, 旨在研究适宜七叶一枝花生长发育的栽培基质, 为其人工种植和引种驯化提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料 以生长一致的 3 年生七叶一枝花为试验材料。

1.1.2 仪器设备 LI-6400 型便携式光合仪(美国基因公司); T6 新世纪紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); 80-2 型离心机(江苏省金坛市中大仪器厂); DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); AR124CN 型电子天平[奥豪斯仪器(上海)有限公司]。

1.2 试验处理

将长势一致的 3 年生七叶一枝花移栽到 20 cm 口径的塑料盆中, 60 d 适应性培育后进行试验。试验设置 5 种栽培基质, 分别为壤土、沙土和牛粪(质量比 1:1)、壤土和牛粪(质量比 1:1)、腐殖土和沙土(质量比 1:1)、壤土和腐殖土(质量比 1:1), 分别记为处理 I、处理 II、处理 III、处理 IV、处理 V, 测定处理后 10、20、30 d 的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蛋白质(Pro)含量、叶绿素(Chl)含量、丙二醛(MDA)含量、可溶性糖(Sug)含量。每个处理 3 次重复, 每个重复选取 10~15 株七叶一枝花, 不同处理间栽培管理技术相同。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 光合特性测定 采用 LI-6400 型便携式光合作用测定系统测定七叶一枝花叶片的光合特性。测定指标有: 净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)。选择在晴天 9:00—11:00 进行测定, 测定时保持叶片自然着生角度和方向不变。

1.3.2 生理特性测定 蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 法; 叶绿素含量测定采用分光光度法; 丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[20]。

收稿日期: 2015-01-09

基金项目: 贵州省教育厅青年项目[编号: 黔教合 KY(2013)205]; 贵州省教育厅创新人才团队项目[编号: 黔教合 KY(2012)08]; 贵州省科技厅项目[编号: 黔教合 J 字 LKT(2012)06 号]; 贵州省铜仁市科技局项目[编号: 铜市科研(2013)9-5 号]。

作者简介: 王 岚(1983—), 女, 贵州思南人, 硕士, 副教授, 从事植物学、植物生理生态的教学及科研工作。E-mail: 407602077@qq.com。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件对试验数据进行 AVOVA 分析;采用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同栽培基质对七叶一枝花光合特性的影响

由图 1-a 可见,随着处理时间延长, P_n 呈上升趋势,处理Ⅲ七叶一枝花的 P_n 从处理 10 d 的 $2.00\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 增加到处理 30 d 的 $5.61\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (表 1),增加了 $3.61\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。处理Ⅰ、Ⅴ七叶一枝花的 P_n 略低于处理Ⅲ,处理 30 d 时 P_n 分别为 5.41 、 $4.39\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。试验表明,不同处理下七叶一枝花 P_n 增幅由高到低为处理Ⅲ>处理Ⅰ>处理Ⅴ>处理Ⅱ>处理Ⅳ。试验结果说明,壤土或腐殖土栽培七叶一枝花时能促进其生长,将适量牛粪掺入壤土能显著提高七叶一枝花的 P_n ,原因可能是牛粪属于有机

肥,含有促进七叶一枝花生长所需的元素,从而有利于其生长发育。将沙土掺入腐殖土或牛粪处理七叶一枝花,其 P_n 值均较低,原因可能是沙土保水、保肥效果较差,不利于七叶一枝花生长。从图 1-b、图 1-c 可以看出,不同处理七叶一枝花的 G_s 、 T_r 也不同。随着处理时间延长,各处理下 G_s 、 T_r 总体上不断增加,其变化趋势和 P_n 变化趋势呈正相关。处理Ⅲ下七叶一枝花的 T_r 最高,从处理 10 d 的 $0.81\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 增加到处理 30 d 的 $1.41\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,增加了 $0.60\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。处理Ⅰ下的 T_r 略低于处理Ⅲ,处理Ⅳ的 T_r 最低。用沙土掺入腐殖土或牛粪处理的 G_s 、 T_r 都较低,其中处理Ⅳ的 G_s 、 T_r 最低,原因可能是沙土保水效果较差,供应给植株的水分较少,从而导致 T_r 、 G_s 下降。由图 1-d 可见,各处理七叶一枝花的 C_i 情况与 P_n 不一致,其中腐殖土、沙土(质量比 1:1)处理的 C_i 最高。

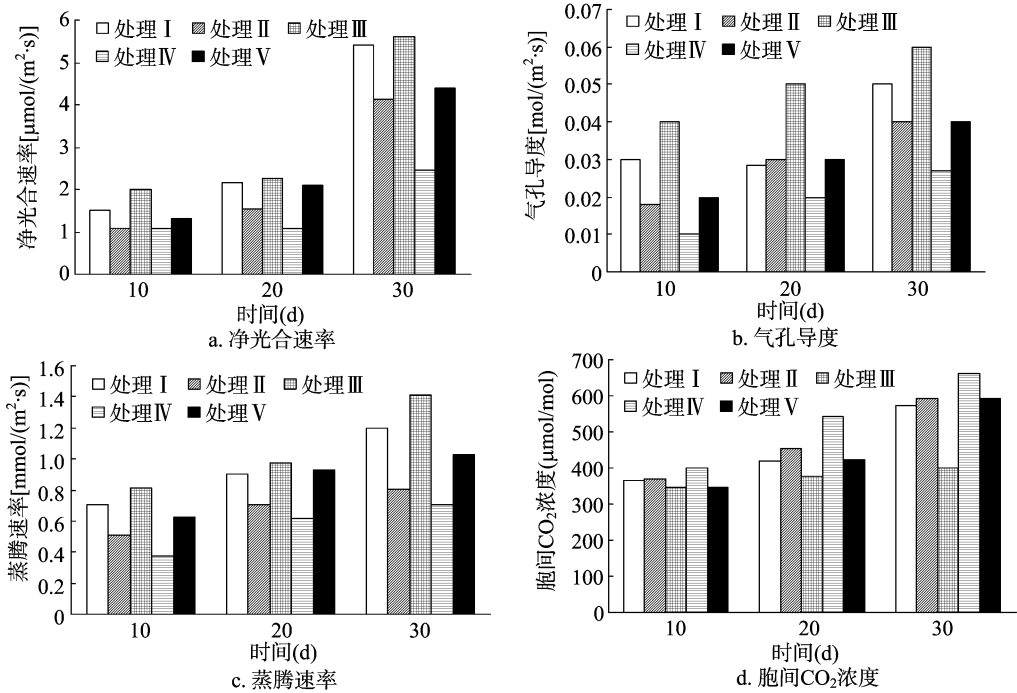


图1 不同栽培基质对七叶一枝花光合特性的影响

表 1 不同栽培基质对七叶一枝花光合特性的影响

处理	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]			T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]		
	10 d	20 d	30 d	10 d	20 d	30 d
Ⅰ	1.51 ± 0.09b	2.17 ± 0.08ab	5.41 ± 0.11a	0.70 ± 0.05b	0.90 ± 0.05b	1.19 ± 0.05b
Ⅱ	1.09 ± 0.09c	1.53 ± 0.08c	4.13 ± 0.12c	0.51 ± 0.07c	0.70 ± 0.08c	0.80 ± 0.06d
Ⅲ	2.00 ± 0.14a	2.27 ± 0.04a	5.61 ± 0.10a	0.81 ± 0.03a	1.00 ± 0.07a	1.41 ± 0.04a
Ⅳ	1.07 ± 0.06c	1.09 ± 0.07d	2.47 ± 0.13d	0.40 ± 0.06d	0.62 ± 0.005c	0.70 ± 0.03e
Ⅴ	1.30 ± 0.09c	2.10 ± 0.06b	4.39 ± 0.10b	0.63 ± 0.04b	0.93 ± 0.04ab	1.03 ± 0.04c

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 不同栽培基质对七叶一枝花生理特性的影响

2.2.1 不同栽培基质对七叶一枝花蛋白质含量的影响 蛋白质是植物生命代谢活动的重要物质,是植物代谢的重要指标之一^[21]。由表 2 可知,不同栽培基质处理下,七叶一枝花蛋白质含量不同。随着处理时间延长,各处理下七叶一枝花蛋白质含量均呈持续上升趋势,30 d 时处理Ⅲ的蛋白质含量

最高 (18.83 mg/g), 处理Ⅳ的蛋白质含量最低 (12.56 mg/g)。在处理时间内,蛋白质含量增幅由高到低为处理Ⅲ>处理Ⅰ>处理Ⅱ>处理Ⅴ>处理Ⅳ。含有沙土栽培基质处理的蛋白质含量明显低于其他处理,说明七叶一枝花不适合在沙土中种植。

2.2.2 不同栽培基质对七叶一枝花叶绿素含量的影响 叶

表 2 不同栽培基质对七叶一枝花生理特性的影响

处理	蛋白质含量(mg/g)			叶绿素含量(mg/g)		
	10 d	20 d	30 d	10 d	20 d	30 d
I	8.24 ± 0.09b	12.22 ± 0.11b	16.54 ± 0.11b	1.12 ± 0.03a	1.98 ± 0.12b	2.92 ± 0.11b
II	7.15 ± 0.13d	10.57 ± 0.12c	12.93 ± 0.10c	0.98 ± 0.08bc	1.67 ± 0.02d	2.23 ± 0.06d
III	8.97 ± 0.12a	14.15 ± 0.11a	18.83 ± 0.11a	1.14 ± 0.11a	2.32 ± 0.04a	3.36 ± 0.07a
IV	7.03 ± 0.10d	10.48 ± 0.10c	12.56 ± 0.09d	0.89 ± 0.07c	1.47 ± 0.05e	1.81 ± 0.03e
V	7.48 ± 0.10c	12.04 ± 0.04b	13.10 ± 0.07c	1.03 ± 0.01ab	1.82 ± 0.05c	2.52 ± 0.06c

处理	可溶性糖含量(mg/g)			丙二醛含量(μmol/g)		
	10 d	20 d	30 d	10 d	20 d	30 d
I	2.96 ± 0.03b	3.22 ± 0.10b	4.57 ± 0.11a	0.007 3 ± 0.000 3c	0.010 4 ± 0.000 3c	0.015 4 ± 0.000 4d
II	3.35 ± 0.11a	3.12 ± 0.12b	3.27 ± 0.08c	0.009 3 ± 0.000 3b	0.013 8 ± 0.000 8b	0.027 4 ± 0.000 5b
III	2.97 ± 0.09b	3.53 ± 0.12a	4.68 ± 0.11a	0.004 8 ± 0.000 6d	0.008 8 ± 0.000 6d	0.014 4 ± 0.000 3e
IV	2.22 ± 0.11d	2.86 ± 0.03c	2.99 ± 0.17d	0.011 1 ± 0.000 4a	0.017 9 ± 0.000 7a	0.032 6 ± 0.000 4a
V	2.76 ± 0.03c	3.24 ± 0.06b	4.31 ± 0.05b	0.007 6 ± 0.000 6c	0.010 8 ± 0.000 7c	0.019 4 ± 0.000 3c

叶绿素是植物进行光合作用的重要物质^[21]。由表 2 可见,不同处理间七叶一枝花叶绿素含量不同。随着处理时间延长,各处理叶绿素含量均呈上升趋势,30 d 时处理Ⅲ的叶绿素含量最高(3.36 mg/g),处理Ⅳ的叶绿素含量最低(1.81 mg/g)。试验结果表明,将牛粪掺入壤土处理后,显著提高了七叶一枝花叶绿素含量,添加适量有机肥能改善土壤营养,这与冯晓英等用适量无机肥配施烤烟能增加叶绿素含量的研究结果^[22]一致。

2.2.3 不同栽培基质对七叶一枝花可溶性糖含量的影响
可溶性糖是植物重要代谢产物之一。当植物处于不利环境时,机体可提高可溶性糖含量来响应环境^[21]。由表 2 可以看出,随着处理时间延长,处理Ⅱ的可溶性糖含量呈先降后升的趋势,其他处理的可溶性糖含量呈持续上升趋势,在 30 d 时处理Ⅲ、Ⅰ的可溶性糖含量分别是 4.68、4.57 mg/g,与其他处理差异显著($P < 0.05$),而处理Ⅳ的可溶性糖含量最低(2.99 mg/g),试验结果说明沙土不利于七叶一枝花的可溶性糖积累。

2.2.4 不同栽培基质对七叶一枝花丙二醛含量的影响
植物在不利条件下往往发生膜脂过氧化作用,产生丙二醛,其含量多少反映膜脂过氧化及膜伤害的程度^[20]。由表 2 可知,随着处理时间延长,各处理 MDA 含量均呈上升趋势,且各处理的 MDA 含量有差异,在 30 d 时差异显著($P < 0.05$),处理Ⅳ的 MDA 含量最高(0.032 6 μmol/g),处理Ⅲ的 MDA 含量最低(0.014 4 μmol/g)。

3 结论与讨论

3.1 不同栽培基质对七叶一枝花光合特性的影响

栽培基质是植物生长的介质,植物产能大小在很大程度上取决于栽培基质质量^[19]。本研究表明,随着处理时间延长,七叶一枝花的 P_n 呈上升趋势,在处理 30 d 时,各处理间的 P_n 有较大差异,处理Ⅲ、Ⅰ明显提高了七叶一枝花的 P_n ,处理Ⅲ的 P_n 最高,其次是处理Ⅰ,处理Ⅳ的 P_n 最低。试验表明,掺入适量牛粪的栽培基质能提高七叶一枝花叶片的 P_n ,这与牟林春等的研究结果^[23]一致。研究发现,不同栽培基质处理下七叶一枝花的 G_s 、 T_r 变化趋势与 P_n 且呈正相关,特别是掺入牛粪的栽培基质能明显提高七叶一枝花的 P_n 、 G_s 、 T_r ,与罗付香等的研究结果^[24]一致,而掺入沙土的栽培基质处理下七叶一枝花的 P_n 、 T_r 、 G_s 均较低,与刘力宁等的研究

结果^[25]相吻合,原因可能是除沙土持水性较差外,还受到非气孔导度的影响,有待进一步研究。综上,栽培基质为壤土、牛粪的处理能显著提高七叶一枝花的 P_n 、 G_s 、 T_r 。随着处理时间延长,各处理间 P_n 、 G_s 、 T_r 差异明显,说明七叶一枝花更适合在处理Ⅲ的土壤环境中生长。

3.2 不同栽培基质对七叶一枝花生理特性的影响

植物生命活动受多种因子综合影响,不同栽培基质有不同的透气性和持水、持肥能力,是植物生长的重要影响因素^[18]。徐守真等研究认为,适量施肥能有效增加怀地黄脱毒苗的叶绿素含量,促进光合速率^[26];李国英等研究表明,不同播期和土壤对红菜薹可溶性糖、可溶性蛋白质含量的影响不同^[27];曾黎明等研究认为,施用生物有机肥能提高土壤有机质含量,增强土壤转化酶活性,提高鲜薯、淀粉产量^[28]。本研究表明,在试验时期内,随着处理时间延长,七叶一枝花蛋白质、叶绿素、丙二醛含量均呈上升趋势,其中蛋白质、叶绿素含量最高的是处理Ⅲ,最低的是处理Ⅳ,说明将适量牛粪加入壤土的栽培基质适合七叶一枝花的生长。随着处理时间延长,丙二醛含量最高的是处理Ⅳ,最低的是处理Ⅲ,处理Ⅱ的可溶性糖含量呈先升后降趋势,其他处理的可溶性糖含量呈持续上升趋势,说明用沙土掺入腐殖土或壤土的栽培基质不利于七叶一枝花的蛋白质、叶绿素、丙二醛含量积累,这与张银丽等的研究结果^[29]一致,但与郭水良等的研究结果^[30]相反,具体原因有待深入研究。综上,适宜七叶一枝花生长的栽培基质是壤土和牛粪(质量比 1 : 1)。

本研究仅对影响七叶一枝花生长发育的栽培基质因子进行了初步探讨,对影响七叶一枝花生长发育的其他因子,如土壤 pH 值、内源激素以及各因子间的交互作用等还需进一步研究。

参考文献:

[1] 王诗云,赵子恩,彭辅松,等. 华中珍稀濒危植物及其保存:第一册[M]. 北京:科学出版社,1995:139.
[2] 周政贤. 梵净山研究[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1990.
[3] 崔 艳,张秀凤,刘 扬,等. 七叶一枝花中薯蓣皂苷的分离及结构鉴定研究[J]. 分析科学学报,2006,22(5):563-566.
[4] 梁玉勇,刘 振,高文远,等. HPLC 测定贵州不同产地的七叶一枝花中 9 种甾体皂苷的含量[J]. 中国中药杂志,2012(15):2309-2312.
[5] 王 岚,陈仕学,姚元勇. 梵净山七叶一枝花总黄酮含量测定

- [J]. 安徽农学通报, 2013, 19(20): 25-26.
- [6] 王 岚, 吴定军, 鲁道旺. 梵净山七叶一枝花总黄酮提取工艺的优化[J]. 南方农业学报, 2014, 45(4): 634-638.
- [7] 张旺凡, 沈素贞, 梁文斌, 等. 七叶一枝花种子萌发特性研究[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(5): 16-20.
- [8] 宋发军, 黄宗华. 七叶一枝花组织培养和种子萌发条件的研究[J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2013, 32(2): 51-54.
- [9] 蒙爱东, 闫志刚, 余丽莹, 等. 七叶一枝花种子无菌培养萌发观察[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(11): 258-260.
- [10] 袁 晓, 袁 萍, 严海燕, 等. 野生珍稀药用植物七叶一枝花的成分含量分析[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(6): 575-577.
- [11] 夏侯国论, 王恩军, 范小娜. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定七叶一枝花中的微量元素[J]. 光谱实验室, 2009, 26(5): 1227-1229.
- [12] 刘艳辉, 杨 旋, 李九玲, 等. 七叶一枝花内生真菌 *Penicillium* sp. (No. 4) 聚酮类次级代谢产物研究[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(4): 431-434, 493.
- [13] 刘艳辉, 冯紫薇, 罗 微, 等. 七叶一枝花内生真菌 *Penicillium* sp. (NO. 24) 次级代谢产物研究[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(5): 585-589.
- [14] 田启建, 陈功锡, 刘 冰, 等. 人工栽培七叶一枝花的生物学特征及物候期研究[J]. 湖南农业科学, 2010(13): 18-20.
- [15] 孟繁蕴, 汪丽娅, 冯成强, 等. 滇重楼引种驯化研究进展[J]. 中草药, 2005, 36(7): 147-149.
- [16] 张金渝, 虞 泓, 张时刚, 等. 滇重楼与华重楼的野生驯化和繁殖技术研究[J]. 西南农业学报, 2004, 17(3): 314-317.
- [17] 杨永红, 戴丽君, 严 君, 等. 滇重楼种子中氨基酸和元素的分析测定[J]. 中兽医医药杂志, 2009(2): 39-41.
- [18] 贾丽娟, 汪正祥, 雷 耘, 等. 不同基质对长柄水青冈种子出苗和幼苗生长的影响[J]. 生态科学, 2009, 28(6): 503-509.
- [19] 吴礼树. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [21] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1958.
- [22] 冯晓英, 黄建国, 袁 玲, 等. 有机无机肥配施对烤烟生理特性及经济性状的影响[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(11): 49-51.
- [23] 牟林春, 罗 勤, 蔡佩玲, 等. 重楼的栽培与利用[J]. 技术与市场, 2006(6): 34-35.
- [24] 罗付香, 杨世民, 袁继超, 等. 氮肥调控对川农麦1号灌浆期旗叶光合特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(8): 1639-1642.
- [25] 刘力宁, 满秀玲, 唐中华, 等. 不同沙土配比对约书亚树幼苗生理特征的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(7): 25-29.
- [26] 徐守真, 陈明霞, 李明军, 等. 肥力水平对怀地黄脱毒苗生长发育和生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(5): 136-140.
- [27] 李国英, 何 丹, 徐跃进. 影响红菜薹产量和品质因素的研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(2): 348-351.
- [28] 曾黎明, 李伏生, 陈 涛. 生物有机肥和石灰对木薯生理性状及生长的影响[J]. 广东农业科学, 2011(17): 1-3.
- [29] 张银丽, 李 杨, 李 东, 等. 不同栽培基质对榼藤幼苗期生长发育的影响[J]. 热带生物学报, 2012, 3(4): 365-368.
- [30] 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[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 47-52.

(上接第167页)

本研究方法是对此方面研究的一次尝试, 试验方法不同、相同菌株对不同试虫毒力的差异^[19]均会影响试验结论。本研究采用Folin-酚试剂法, 以黄粉虫作为标准试虫, 统一金龟子绿僵菌胞外蛋白酶活性与毒力相关性的研究方法, 避免因试验方法、试虫的不同而产生不同结论。

参考文献:

- [1] 田 甜, 李瑞军, 陆秀君, 等. 保定蝗区土壤绿僵菌对飞蝗高毒力菌株的筛选[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 65-69.
- [2] 李卓棣, 胡正嘉. 微生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 283-284.
- [3] 蒲蛰龙. 害虫生物防治[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 104-108.
- [4] McCoy C W, Burges H D. Pest control by the fungus *Hirsutella thompsonii* [M]//Microbial control of pests and plant diseases. New York: Academic Press, 1981: 499-512.
- [5] Kucera M. Protease from the fungus *Metarhizium ansopliae* toxic for *Galleria mellonella* larvae [J]. Invertebr Pathol, 1980, 35: 304-310.
- [6] St. Leger R J, Durrands P K, Charnley A K, et al. Role of extracellular chymo elas tase in the virulence of *Metarhizium anisopliae* for *Manduca sexta* [J]. Invertebr Pathol, 1988, 52(2): 285-293.
- [7] Michael J, Bidochka, Geogre G K, et al. Regulation of extraecellular protease in the enromopazhogenie fungus *B. bassiana* [J]. Experi Mycol, 1988, 12: 161-168.
- [8] 樊美珍, 胡锦涛, 李农昌, 等. 球孢白僵菌胞外蛋白酶及其与毒力关系的研究[J]. 微生物学通报, 1994, 21(4): 202-206.
- [9] 王 刚. 球孢白僵菌胞外蛋白酶及几丁质酶的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 175-178.
- [10] 冯明光. 胞外蛋白酶和脂酶活性作为球孢白僵菌毒力指标的可靠性分析[J]. 微生物学报, 1998, 38(6): 461-467.
- [11] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. 福林酚试剂法测定蛋白质[J]. 食品与药品, 2011, 13(03): 147-151.
- [12] 贾春生, 由士江, 高文韬. 利用黄粉虫分离土壤昆虫病原真菌[J]. 昆虫知识, 2006, 43(2): 260-261, 280.
- [13] Hepburn H R. Structure of the integument [C]//Kerkut G A, Gilbert L I. Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Oxford: Pergamon Press, 1985: 1-58.
- [14] 唐晓庆, 李增智. 球孢白僵菌胞外蛋白酶产生水平与毒力关系[J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(3): 293-296.
- [15] 林华峰, 李连德, 李增智, 等. 白僵菌胞外蛋白酶的测定及其与酯酶型的关系[J]. 中国生物防治, 1997, 13(1): 33-37.
- [16] Chamley A K. Physiological aspects of destructive pathogenesis in insects by fungi: A speculative review [C]//Anderson J M. Invertebrate - microbial interactions. London: Cambridge University Press, 1984: 229-270.
- [17] 石晓珍, 王 敏, 黄华平, 等. 绿僵菌几丁质酶活性及其对椰心叶甲毒力的相关性分析[J]. 广西农业科学, 2008, 39(3): 313-316.
- [18] 刘智辉, 陈守文, 郭志红, 等. 球孢白僵菌胞外蛋白酶和几丁质酶活性与对亚洲玉米螟毒力的相关性分析[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(4): 364-368.
- [19] 马丽娟. 优良绿僵菌菌株的筛选及应用性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.