

丛枝菌根真菌对滨梅扦插苗生根、生长和抗病相关酶活性的影响

宰学明¹, 夏连全², 闫道良³, 钦佩³

(1. 金陵科技学院园艺学院, 南京 210038; 2. 仪征市大仪镇农业技术推广和服务中心, 江苏仪征 210042; 3. 南京大学生命科学学院, 南京 210093)

摘要: 研究 *Glomus mosseae*, *G. diaphanum* 和 *G. etunicatum* 对滨梅插条生根、生长和抗病相关酶活性的影响。结果表明:*G. mosseae* 侵染导致最高生根百分率(47.6%), 最多次生细根(20.4条), 最高的根干重(0.26g), 最高的地上部分干重(3.55g), 最高的幼苗高度(51.3cm)及最大的总叶面积(1 012.9 cm²); 接种 *G. etunicatum* 导致最长根(19.3cm), 所有 AMF 接种处理形成的初生根条数与对照的水平差不多; 4种处理中, 接种 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 后每一指标的效果均优于对照, 而接种 *G. diaphanum* 的指标效果与对照相当接近。*G. mosseae* 对大量元素吸收增加的效果最好, *G. etunicatum* 其次, 而 *G. diaphanum* 的效果与对照很接近。接种3个 *Glomus* 种的滨梅插条对于微量元素 Mn, Cu 和 Zn 都显著高于对照, 而接种 *G. diaphanum* 后对微量元素 Fe 的吸收量与对照相当接近; 与对照相比, 接种的3个 *Glomus* 种都增加了滨梅苗中过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性, 其中接种 *G. mosseae* 对酶活的增加效果最好, *G. etunicatum* 其次, 而接种 *G. diaphanum* 的指标效果与对照接近。丛枝菌根真菌接种, 特别是 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 接种能显著促进滨梅插条的生根和生长, 并显著增强抗病相关酶的活性。

关键词: 滨梅插条; 丛枝菌根真菌; 生根; 生长; 酶活性

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)03-0393-05

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the rooting, growth and enzymatic activity relating to disease resistance of beach plum (*Prunus maritima*) cuttings

ZAI Xue-Ming¹, XIA Lian-Quan², YAN Dao-Liang³, QIN Pei³

(1. Department of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing 21003, China; 2. The Agro-Tech Extension and Service Center in Dayi Town, Yizheng 210042, China; 3. Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The effect of inoculation with *Glomus mosseae*, *G. diaphanum* or *G. etunicatum* on the rooting, growth and enzymatic activity relating to disease resistance of beach plum cuttings were studied. The results showed that the largest percentage rooting(47.6%), the maximum number of lateral fine roots(20.4), the largest dry weights(DWs) of roots(0.26 g), the largest DWs of shoots(3.55 g), greatest heights of cuttings(51.3 cm), and the largest total leaf areas of cuttings (1 012.9 cm²) were observed following inoculation with *G. mosseae*. The greatest root lengths were observed alter *G. etunicatum* inoculation(19.3 cm). Except for the numbers of primary root generated, *G. mosseae* and

收稿日期: 2010-09-17 修回日期: 2010-12-24

基金项目: 江苏省高校自然科学基金研究项目(08KJD210003); 林业公益性行业科研专项(200904001)[Supported by Basic University Scientific Research Project of Jiangsu Province(08KJD210003); the Special for Forestry Scientific Research in the Public Interest of China(200904001)]

作者简介: 宰学明(1968-), 男, 江苏仪征人, 博士, 副教授, 主要从事生理生态学等教学和研究, (E-mail) zaixueming680825@yahoo.com.cn.

G. etunicatum inoculations were significantly better than the controls in all the parameters studied. As for the numbers of primary roots, inoculation with AM fungi gave values close to the control. Greater uptake of macronutrients (P, K, Mg, and Ca) and micronutrients (Mn, Cu, Zn and B) uptake was observed in beach plum for all three *Glomus* species 80 d after inoculation. Among the three *Glomus* species, *G. mosseae* was most effective, *G. etunicatum* next and *G. diaphanum* gave macronutrient uptake values close to controls. Compared with controls, the activity of POD, polyphenolase and PAL were increased after inoculation with all three *Glomus* species. Among the three *Glomus* species, *G. mosseae* was most effective, *G. etunicatum* next and *G. diaphanum* was close to controls. This study showed the beneficial effects of inoculation with each of three *Glomus* fungi, especially *G. mosseae* and *G. etunicatum*, on inducing the rooting, growth and enzymatic activity relating to disease resistance of beach plum cuttings.

Key words: Beach plum cuttings; AMF; rooting; growth; enzymatic activity

滨梅 (*Prunus maritima*) 又名海滨李、沙李, 隶属蔷薇科 (Rosaceae) 李属 (*Prunus*), 产于美国东北部北大西洋沿岸。滨梅具有耐旱、耐贫瘠、耐盐碱等特性, 可用于海岸沙滩的修复和沙丘的固定; 其果实酸甜可口, 可加工成果冻、果汁系列产品; 滨梅先叶开花, 花大而密, 适用于园林观赏绿化。其低矮的灌木状和多分枝等特性可制作盆景。因此, 南京大学盐生植物实验室于 2001 年从美国特拉华大学引进, 进行了繁殖、抗性生理等方面的研究, 以期用于我国海岸、干旱地区、盐碱地的生态修复, 并为发展适合该地区的果树业提供科学上的支持。但是繁殖体的短缺限制了滨梅在我国的栽培推广。课题组尝试通过扦插在短时间内获得大量滨梅苗, 但预试验表明传统扦插方法使滨梅插条生根率较低、不定根短少量少、易染病及移栽时死亡率高。

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 能够与陆地上大多数植物建立共生关系, 形成丛枝菌根 (Smith & Read, 1997)。大量研究表明, 接种 AMF 能够增加植物对矿质营养和水分的吸收, 或者产生植物激素, 进而促进植株生长 (Scagel, 2004; Zai 等, 2007)。生长素、赤霉素和细胞分裂素等植物激素参与植物的生长发育各过程。这些内源激素的水平能够被 AMF 改变 (Allen 等, 1980; Grange 等, 1997; Niemi 等, 2002); AMF 真菌侵染植物以后, 能显著增强植物抗逆性, 提高植物对土传病害的免疫能力 (Niemira 等, 1996; Newsham 等, 1995)。AMF 通过增加植物体内生长激素的产生促进植物生根, 侵染 AMF 的植物对病害的抗性增强, 这些提示我们可尝试用 AMF 提高滨梅插条的生根、生长和抗病性。在以前的研究中, 我们观察到滨梅根系能与多种 AMF 形成共生体, 本文是用所选择的 AMF 探讨其对滨梅插条生根、生长和与抗病性相关几种酶活性的影响。

1 材料和方法

1.1 菌根接种物

根据野外不同生境滨梅根际 AMF 种类的调查, 选择 3 种多个不同地点都有的丛枝菌根真菌进行实验。使用的 AMF 菌剂是: 摩西球囊霉 *Glomus mosseae*, 1 285 个孢子/20 mL (菌剂编号 BGC JX01), 从江西桂花树根际分离, 用沸石加河沙扩繁, 宿主高粱; 透光球囊霉 *Glomus diaphanum*, 584 个孢子/20 mL (菌剂编号 BGC GZ01C), 从贵州毕节槐树根际分离, 用沸石加河沙扩繁, 宿主高粱; 幼套球囊霉 *Glomus etunicatum*, 8 318 个孢子/20 mL (菌剂编号 BGC SC01C), 从四川奉节丝瓜根际分离, 用沸石加河沙扩繁, 宿主高粱。菌剂购自北京市农林科学院植物营养与资源研究所。

1.2 插条

选长为 10 cm 带两幼叶的滨梅嫩枝插条 (南京溧水傅家边农业观光园提供), 用 1% 的杀菌丹 (购自南京红太阳集团) 浸泡 10 min, 以杀死切口上的霉菌等微生物, 备用。选用插条尽可能一致。

1.3 实验方法

试验用盆栽进行。盆中 (30 cm × 25 cm × 20 cm) 填充物为 5 kg 草炭: 河沙 = 2: 1, (v/v)。先于填充物深约 10 cm 处, 分别均匀撒播一薄层 *G. mosseae*, *G. diaphanum*, 和 *G. etunicatum* 菌剂 (每盆 25 g), 然后在菌剂上覆盖 10 cm 填充物。对照为加入相同量的经灭菌处理的菌剂 (121 °C, 30 min; 2 次)。共 4 种处理为一组, 每种处理 3 个重复, 四组共计 48 盆。插条插入, 深度为使每一插条切口与菌剂接触。每盆 25 个插条。实验于温室内进行, 温度 (28 ± 3) °C / (15 ± 2) °C (day/night), 相对湿度是 70% ~ 80%, 遮阳网覆盖调节使光强为周围光强的 70%;

实验头 30 d 内,每天喷洒 0.5 倍的 Hoagland 营养液 20 L 以后每天喷洒完全的 Hoagland 营养液 20 L,至实验结束(计 90 d)。

1.4 分析测定

1.4.1 植株生长 插条栽插 90 d 后,计算生根百分率。每盆随机选取 3 棵苗,记录初生根和次生根的数目,计算生根百分率,测量最长初生根的长度,植物高度和总叶面积,称量根和地上部枝条干重。

1.4.2 菌根依赖率(%) 菌根依赖率(%)=(接种丛枝菌插条的根干重/对照插条根干重)×100。

1.4.3 大量元素和微量元素 采用 Jones 等(1991)方法进行。试样放入烘箱内于 85 °C 时烘 2 h,取出后粉碎,干燥至恒质量,分别准确称取 0.5~0.6 g 样品,按 Jones 等(1991)方法进行消解并进行测定。P 含量测定选用的波长是 470 nm,K,Mg,Ca,Fe,Mn,Cu 和 Zn 含量的测定采用 ICP 法(Jones 等,1991)。

1.4.4 过氧化物酶和多酚氧化酶的提取与活性测定 插条栽插 90 d 后,称取试样 1 g,置于预冷的研钵中,加入少许石英砂和预冷的蒸馏水进行匀浆研磨,

最终定容为 10 mL,离心取上清,摇匀,于-20 °C 冰箱保存。过氧化物酶和多酚氧化酶的测定参照魏益宁等(1984)的方法,苯丙氨酸解氨酶的提取和活性测定参照叶建仁等(1994)的方法。

1.4.5 数据分析 试验数据用 SAS 6.08(SAS Institute,1990)软件进行方差分析,用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果

2.1 AMF 对滨梅插条生根和植株生长的影响

接种 AMF 后明显促进插条生根和植株生长(表 1)。其中 *G. mosseae* 的作用最明显。*G. mosseae* 使滨梅插条生根率达 47.6%,次生根达 20.4 条,根干重 0.26 g/株,地上部干重 3.55 g/株,株高 51.3 cm,以及大的总叶面积达 1 012.9 cm²/株。3 种 AMF 菌剂使滨梅插条形成的初生根数与对照差不多。接种 *G. etunicatum* 获得最长的初生根,为 19.3 cm。3 种菌剂中,接种 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 后各种指标均优于对照,而 *G. diaphanum* 与

表 1 AMF 对滨梅插条生根和生长的影响

Table 1 Effect of AMF on rooting and plant growth of beach plum cuttings

处理 Treatment	生根率 Rooting percentage (%)	初生根数 No. of primary roots	最长初生根 Length of the longest primary root(cm)	次生根数 No. of lateral roots	根干重 Root dry weight (g/plant)	地上部分干重 Shoot dry weight (g/plant)	株高 Plant height (cm)	叶面积 Total leaf area (cm ² /plant)	菌根依赖率 Mycorrhizal dependency (%)
<i>G. mosseae</i>	47.6aA	3.0aA	16.4bB	20.4aA	0.260aA	3.55aA	51.3bB	1012.9aA	30.21aA
<i>G. diaphanum</i>	33.2cC	2.7bB	12.5cC	7.9cC	0.130cC	2.13cC	44.2cC	748.3cC	0.49cC
<i>G. etunicatum</i>	44.5bB	2.7bB	19.3aA	19.6bB	0.243bB	3.41bB	62.7aA	998.4bB	28.74bB
Control	32.4cC	2.6bB	11.2dD	6.3dD	0.124dD	2.12cC	43.5dC	741.8dD	0cC

注: 同列中每一指标的平均值采用 Duncan 法进行多重比较($P=0.05$ 或 0.01), 同列中不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 大写字母表示差异达 1% 极显著水平。下同。

Note: Mean separation with each column was by Duncan's New Multiple Range Test ($P=0.05$ or 0.01). Values in each column followed by the same lower-case ($P=0.05$) or capital ($P=0.01$) letter are not significantly different. The same below.

表 2 AMF 对滨梅插条中大量和微量元素含量的影响

Table 2 Effect of AMF on content of macronutrient and micronutrient in the beach plum cuttings

处理 Treatment	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Fe (%)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
<i>G. mosseae</i>	0.28aA	1.85aA	0.63aA	3.07aA	0.20aA	234aA	37.7aA	61.3aA
<i>G. diaphanum</i>	0.19bB	1.47cC	0.55bB	2.33bB	0.14bB	192cC	23.9cC	55.2cC
<i>G. etunicatum</i>	0.27aA	1.56bB	0.61aA	3.01aA	0.21aA	221bB	32.3bB	61.1bB
Control	0.14cC	1.20dD	0.44cC	2.27bcB	0.13bcB	156dD	22.6dD	51.5dD

对照相当接近。

2.2 AMF 对滨梅插条营养吸收的影响

表 2 是栽插 80 d 后滨梅插条中大量和微量元素的含量,从表 2 看出,与对照相比,接种 3 种 *Glo-*

mus 种菌剂的滨梅插条 P、K、Mg 和 Ca 的含量都显著增加。其中,*G. mosseae* 对插条大量元素含量增加的效果最好,*G. etunicatum* 其次,而 *G. diaphanum* 的效果与对照很接近;3 种 *Glomus* 种菌剂对滨

梅插条微量元素 Mn、Cu 和 Zn 的含量都显著高于对照,只有接种 *G. diaphanum* 的插条微量元素 Fe 的含量与对照相当接近。

2.3 AMF 对滨梅插条抗病性相关酶活性的影响

表 3 是滨梅插条中与抗性相关的过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性的影响,各处理均提高苗木体中 3 种酶的活性。其中 *G. mosseae* 作用最明显,分别比对照增加 17.28%,250.65%和 390.48%;其次为 *G. etunicatum*,分别比对照增加 13.62%,168.87%和 191.67%;而 *G. diaphanum* 与对照无显著差异。

表 3 接种 AMF 后滨梅插条中与苗木抗病性相关酶活性的影响

Table 3 Effect of inoculation with each of three different *Glomus* spp. on the percentage root colonisation and spore count of AM fungi in beach plum cuttings

处理 Treatment	过氧化物酶 ($U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)	多酚氧化酶 ($U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)	苯丙氨酸解氨酶 ($\mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)
<i>G. mosseae</i>	0.353aA	2.174aA	0.00412aA
<i>G. diaphanum</i>	0.304cC	0.631cC	0.00097cC
<i>G. etunicatum</i>	0.342bB	1.667bB	0.00245bB
Control	0.301cC	0.620cC	0.00084cC

3 讨论

AMF 能够通过植物体内内源激素来改变根部形态 (Scagel, 2004; Niemi 等, 2002)。Kaldorf 和 Ludwig-Mueller (2000) 用 *G. intraradices* 接种玉米后发现,在侵染的不同阶段植物体内的自由和束缚态的 IBA 都在增加,次生细根含量也随之增加。有报道外部菌根真菌能不依赖于宿主植物合成 IAA, 而且产生 IAA 的外生菌根真菌被成功地分离出来 (Tranvan 等, 2000)。本实验结果显示,接种 3 种 *Glomus* 属真菌,特别是 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum*,能够提高滨梅插条发根和植株生长。这可能是由于侵染 AMF 后,滨梅插条体内产生了较高的内源激素,刺激插条发根、形成了更多的次生细根,促进根系生长发达,使插条增加营养和水分吸收,从而促进了滨梅插条的生长。表 2 中插条大量和微量元素含量的明显提高和表 1 中各项指标的明显改善提供了有力的结果和证据支持。AMF 增加营养吸收, Barea & Azcon-Aguilar (1982) 也有同样见解。

过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶与植物抗性密切相关,尤其与树木抗病性有关,有报告

表明,其活性越高,树木抗病性越强 (朱琳等, 2010)。本实验中,与对照相比,接种的 3 种 *Glomus* 都增加了滨梅苗中过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性。其中 *G. mosseae* 最明显, *G. etunicatum* 其次,提示 AMF 在一定程度上提高滨梅对外来病害的抵御能力。

不同种的 AMF,在侵染同一种宿主后,效应明显差异,提示筛选更有效的 AMF 还有潜力。从土壤中施入丛枝菌根真菌,明显促进滨梅插条发根、根系和植株生长,植株生根百分率、次生细根数量、根重、地上部分干重、株高、叶面积等均明显提高。这可能是由于侵染丛枝菌根真菌后,滨梅插条体内产生了较高的内源激素,刺激插条发根、和根系生长,增加了插条营养和水分吸收,从而促进了滨梅插条的生长。丛枝菌根真菌的感染也大大提高滨梅植株中过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性,暗示丛枝菌根真菌能一定程度上提高滨梅的抗性,尤其是抗病害能力。

参考文献:

- Allen MF, Moore TS, Christenson M. 1980. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular arbuscular mycorrhizae. I. Cytokinin increases in the host plant [J]. *Can J Bot*, **58**:371-374
- Barea JM, Azcon-Aguilar C. 1982. Production of plant growth regulating substances by the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *G. mosseae* [J]. *Appl Environ Micro*, **43**:810-813
- Gerdemann JW, Nicolson TH. 1963. Spores of mycorrhizae *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting [J]. *Trans Br Mycol Soc*, **46**:235-244
- Graves. 1944. The beach plum, its written record [J]. *National Hort Magazine*, **4**:73-79
- Grange O, Bdrtschi H, Gay G. 1997. Effect of the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum* on *in vitro* rooting of micropropagated cuttings of arbuscular mycorrhiza-forming *Prunus avium* and *P. cerasus* [J]. *Trees-Structure and Function*, **12**(1):49-56
- Hoagland DR, Arnon DL. 1938. The water culture method for growing plants without soil [M]. College of Agriculture, University of California, Berkely, Agr Expt Stat Circ:347
- Jones JR, Wolf B, Mills HA. 1991. Plant Analysis Handbook [M]. Micro-Macro Publishing:195-203
- Kaldorf M, Ludwig-Mueller J. 2000. AM fungi might affect the root morphology of maize by increasing indole-3-butyric acid biosynthesis [J]. *Physiol Plantarum*, **109**:58-64
- Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR. 1995. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field [J]. *J Ecol*, **83**:991-1000
- Niemi K, Hdgman H, Sarjala T. 2002. Effects of exogenous diamines on the interaction between ectomycorrhizal fungi and ad-

- ventitious root formation in Scots pine *in vitro*[J]. *Tree Physiology*, **22**(6):373-381
- Niemira BA, Hammerschmidt R, Safir GR. 1996. Postharvest suppression of potato dry rot (*Fusarium sambucinum*) in pre-nuclear minitubers by arbuscular mycorrhizal fungal inoculum[J]. *Am Potato J*, **73**:509-515
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. *Trans Br Mycol Soc*, **55**:158-161
- Scagel CF. 2004. Changes in cutting composition during early stages of adventitious rooting of miniature rose altered by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *J Am Soc Hort Sci*, **129**(5):624-634
- Smith SE, Read DJ. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*[M]. London: Academic Press:453-469
- Tranvan H, Habricot Y, Jeannette E, et al. 2000. Dynamics of symbiosis establishment between an IAA-overproducing mutant of the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum* and *Pinus pinaster*[J]. *Tree Physiol*, **20**:123-129
- Uva. 2003. Growth and yield of beach plum (*Prunus maritima*) in horticultural, land restoration, and ecological systems[D]. Ph. D. dissertation, Cornell University
- Wei YN(魏益宁). 1984. study on activities of polyphenol oxidase and peroxidase, and tendency in changes of isozyme spectra in chinese white poplar (*Populus tomentosa*) leaves after infected with *melompsora magnusiana wagner*(毛白杨叶片受马格栅锈菌侵染以后多酚氧化酶和过氧化物酶活性及同工酶谱带变化趋势的研究)[J]. *J Beijing Fore Coll*(北京林学院学报), **3**:73-92
- Ye JR(叶建仁), Huang SH(黄素红), Li CD(李传道), et al. 1994. Studies on the relation of glucose-6-phosphate dehydrogenase and phenylalanine ammonialyase in slash needles with resistance to brown spot needle blight(磷酸葡萄糖脱氢酶和苯丙氨酸解氨酶与抗松针褐斑病的关系)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **30**(5):430-436
- Zai XM, Qin P, Wan SW, et al. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the rooting and growth of beach plum (*Prunus maritima*) cuttings[J]. *J Hort Sci Biotech*, **82**(6):863-866
- Zhu L(朱琳), Jiang JZ(蒋继志), Wang HX(王会仙), et al. 2010. Effects of antagonistic microorganisms on growth and resistance enzymes activities of *Phytophthora infestans*(拮抗菌对致病疫霉生长及抗性酶活性的影响)[J]. *J Agric Univ Hebei*(河北农业大学学报), **33**(2):70-73

(上接第 322 页 Continue from page 322)

- cate the blepharoplast during spermatogenesis in the fern *Platyzom amicrophyllum* R. BR.: a correlated immunofluorescence and electron microscopic study[J]. *J Cell Sci*, **81**:243-256
- Helper PK. 1976. The blepharoplast of *Marsilea*: its de novo formation and spindle association[J]. *J Cell Sci*, **21**:361-390
- Kotenko JL. 1990. Spermatogenesis in a homosporous fern, *Onoclea sensibilis*[J]. *Amer J Bot*, **77**(6):809-825
- Luo SY(罗顺元), Wang RX(王任翔). 2008. Gametophyte development of *Leptorumhira quadri-pinnata*(四回毛枝蕨配子体发育的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(3):332-335
- Nayar BK, Kaur S. 1971. Gametophytes of homosporous ferns[J]. *Bota Rev*, **37**:295-396
- Qin RC(秦仁昌). 1963. A reclassification of the family Thelypteridaceae from the mainland of Asia(亚洲大陆的金星蕨科的新分类系统)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), **8**(4):269-335
- Schedlbauer MD, Cave CF, Bell PR. 1973. The incorporation of DL-(3-14C) cysteine during spermatogenesis in *Ceratopteris thalictroides*[J]. *J Cell Sci*, **12**:765-779
- Tan LY(檀龙颜), Liu BD(刘保东). 2009. Gametophyte development of *Taenitis blechnoides*(竹叶蕨配子体发育的培养观察)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(4):446-449
- Wang QX(王全喜), Shao CW(邵成文), Cao JG(曹建国). 1995. Studies on the development of gametophytes of ferns from north-eastern China XI. Dyopteridaceae(东北蕨类植物配子体发育的研究 XI. 鳞毛蕨科)[J]. *J Harbin Normal Univ: Nat Sci Edi*(哈尔滨师范大学学报·自然科学版), **11**:83-89
- Xie GQ(谢桂琴), Wang Y(王玥), Zhao JB(赵金博), et al. 2008. Comparative observation of the development of gametophytes of three species in *Cyclosorus* Link(毛蕨属三种植物配子体发育的比较观察)[J]. *J Harbin Normal Univ: Nat Sci Edi*(哈尔滨师范大学学报·自然科学版), **24**(2):91-96
- Zeng HY(曾汉元), Ding BY(丁炳炆). 2004. Studies on the development of gametophytes of *Osmunda vachellii* and *O. banksii folia*(华南紫萁和粗齿紫萁的配子体发育研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **24**(4):342-344
- Zhang KM(张开梅), Shi L(石雷). 2005. Gametophyte development of *Pteris fauriei*(傅氏凤尾蕨配子体发育的研究)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学通报), **22**:50-56
- Zhang KM(张开梅), Shi L(石雷), Li D(李东). 2006. Observation on the gametophyte development of *Macrothelypteris torresiana*(普通针毛蕨配子体发育的研究)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **26**(1):70-73
- Zhang KM(张开梅), Shi L(石雷), Zhang XC(张宪春). 2005. Observation on the gametophyte development of *Dryopteris subtriangularis*(三角鳞毛蕨配子体发育的研究)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), **23**(3):276-279
- Zhang KM(张开梅), Fang YM(方炎明), Wan J(万劲). 2010. Gametophyte development of *Athyrium niponicum*(日本蹄盖蕨配子体发育的研究)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **30**(5):513-516