

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201311026

唐文菊, 赵庆芳, 李巧峡, 等. 当归根显微结构及其根腐病真菌分布研究[J]. 广西植物, 2015, 35(4): 487—492

Tang WJ, Zhao QF, Li QX, et al. Microstructure and distribution of pathogenic fungi of root rot in the root of *Angelica sinensis* [J]. *Guihaia*, 2015, 35(4): 487—492

当归根显微结构及其根腐病真菌分布研究

唐文菊, 赵庆芳*, 李巧峡, 霍庆迪, 马 艳, 张玉芳

(西北师范大学 生命科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 利用徒手切片、石蜡切片和超薄切片及显微摄像的方法, 对当归根的显微结构及根腐病致病真菌的分布进行了研究。结果表明: 当归的根由周皮和次生维管组织两部分组成, 周皮由外向内依次分为木栓层、木栓形成层、栓内层; 次生韧皮部占根径的比例在 60% 以上, 主要成分包括筛胞、韧皮薄壁细胞、韧皮纤维和分泌道, 薄壁细胞富含淀粉粒等营养物质; 次生木质部由导管、木薄壁细胞和木射线组成, 木质部呈多元形, 木射线和韧皮射线明显。在根的周皮细胞和中柱中均有真菌分布, 说明真菌由木栓层、木栓形成层、栓内层依次向里侵入到韧皮薄壁细胞, 在薄壁细胞内定殖并形成菌丝结或团块状结构, 进而扩展成一定的侵染区域; 真菌不仅侵染周皮和韧皮部, 而且还进一步侵染木质部并破坏导管。此外, 研究还发现, 淀粉粒是真菌定殖的主要场所, 真菌穿透或缠绕在淀粉粒上, 并利用其营养不断地生长与繁殖。

关键词: 当归; 根腐病; 致病菌; 切片

中图分类号: Q945.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)04-0487-06

Microstructure and distribution of pathogenic fungi of root rot in the root of *Angelica sinensis*

TANG Wen-Ju, ZHAO Qing-Fang*, LI Qiao-Xia,
HUO Qing-Di, MA Yan, ZHANG Yu-Fang

(School of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Microstructure and distribution of pathogenic fungi of root rot in the roots of *Angelica sinensis* were studied through freehand section, paraffin technology, ultramicrotomy technology and photomicrography technology. The results indicated that the secondary structure of the roots of *A. sinensis* consisted of the periderm and cylinders, and the periderm was composed of cork, cork cambium, arld phelloderm. The secondary phloem consisted of sieve cells, phloem parenchymas, phloem fibers and secretory canal, which occupied more than 60% of the diameter of root and the parenchymas cells were abundant in starch grain and other inclusions. Vessels, xylary radials and parenchyma cells formed the secondary xylem, which had several ridges of pmtoxylem, xylary radial and the phloem ray were conspicuous. The pathogenic fungi were colonized in the periderm and stele, they infected the phloem parenchymas through cork, cork cambium, and arld phelloderm, and then formed pelotons, and expanded their occupying area of phloem. They even invaded the xylem and destroyed vessels. Further study also found that starch grains was the main place for fungal colonization, pathogenic fungi penetrated or wrapped around them, utilizing their nutrition to grow and reproduce.

Key words: *Angelica sinensis*; root rot; pathogenic fungi; tissue slice

收稿日期: 2014-10-27 修回日期: 2015-02-19

基金项目: 国家自然科学基金(31160088, 31360094)

作者简介: 唐文菊(1989-), 女, 甘肃成县人, 硕士研究生, 从事植物生理生态研究, (E-mail)wenju_tang@163.com。

*通讯作者: 赵庆芳, 博士, 教授, 主要从事植物生理生态和细胞学研究, (E-mail)zhaqingfang2001@163.com。

当归(*Angelica sinensis*)是伞形科当归属多年生草本植物,为常用大宗中药。以根入药,性温,味甘、辛,有补血活血,调经止痛,润肠通便的功能,被广泛应用于临床各科,尤善于妇科血瘀血虚等症的治疗和调养。甘肃是我国当归最重要的道地产区,主产甘肃的岷县、宕昌、漳县、渭源等地,尤以岷县出产的当归骨重、气香浓、油性足、质量好,习称“岷归”(严辉等,2009)。近年来,随着我国中医药现代化的实施,国内市场对当归需求量加大,使当归种植面积迅速扩大,而轮作周期的缩短导致当归根腐病大大增加,这是影响当归产量的重要因素(张新慧,2009)。根腐病植株组织的初根部呈褐色,严重时腐烂成水浸状,剩下纤维状空壳。发病过程由根茎向下,主根先变褐腐烂,继而向侧根蔓延。王淑芳(1981)的研究表明,当归根腐病主要致病菌有茄腐镰刀菌(*Fusarium solani*)、尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)、芬芳镰刀菌(*F. redolens*)(黄亚萍,2011)、燕麦镰刀菌(*F. avenacean*)(李静莉,1977)和立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)。

目前对当归根腐病研究主要集中在症状肉眼观察(王淑芳,1981)、病原菌分离鉴定(黄亚萍,2011;赵文考,2012;刘华等,2011)和致病菌的抑制(赵庆芳等,2012a)等方面,而对病根解剖结构的研究尚未见有报道。本文利用徒手切片、石蜡切片和电镜切片技术,以自然状态下生长的健康和感病植株为材料,研究了当归根的显微结构和感病植株根解剖结构的变化,为今后进一步从细胞水平上研究当归根腐病致病的机理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

当归植株采自于甘肃省定西市渭源县会川镇当归大田。

1.2 方 法

1.2.1 徒手切片 将新鲜当归根用流水冲洗干净后进行常规徒手切片;每切一片后,用毛笔将切片轻轻刷到培养皿的清水中;挑选较薄的切片直接在显微镜下观察拍照,或用番红、碘液染色后观察拍照。

1.2.2 石蜡切片 分别选取正常和染病的根,先在流水下冲洗干净,切成 0.2~0.5 cm 长的小段 FAA 液固定,常规石蜡切片,厚度为 7~10 μm ,采用番红固绿对染、中性树胶封片。OLYMPUSx 显微拍照。

1.2.3 电镜切片 分别选取正常和不同染病程度的根,切成 0.2~0.5 cm 长的小段,放入预冷的 2.5% 戊二醛溶液中,在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下预固定 4~12 h,换新鲜固定液后再固定 1 d,用 0.1 mol \cdot L⁻¹ 磷酸缓冲液清洗材料 4 次,每次 30 min;再放入 1% 锇酸中 4 $^{\circ}\text{C}$ 下固定过夜,用 mol \cdot L⁻¹ 磷酸缓冲液洗 6 次,每次 20 min,经系列乙醇脱水,每次 30 min,Epon 812 包埋,在 35 $^{\circ}\text{C}$ ~45 $^{\circ}\text{C}$ ~60 $^{\circ}\text{C}$ 聚合 72 h。超薄切片,醋酸铀和柠檬酸铅双重染色,电子显微镜观察并照相。

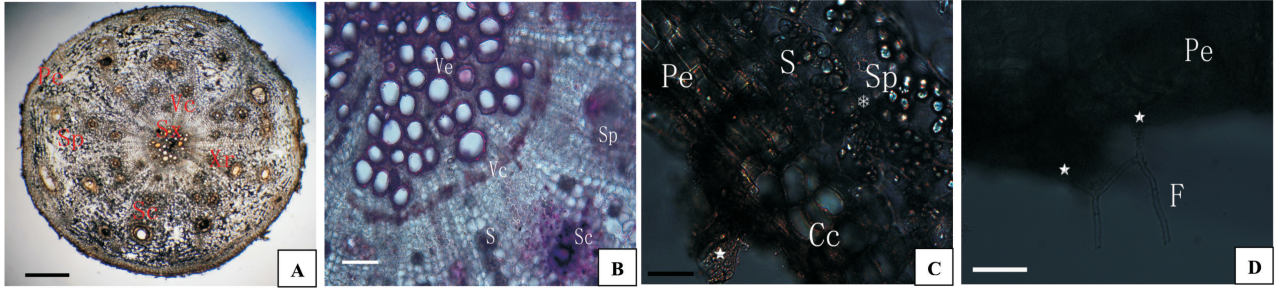
2 结果与分析

2.1 当归根的解剖结构特征

2.1.1 当归根次生结构 当归为多年生植物,其初生结构已被次生结构取代。从当归根横切面上可以看到,根的次生结构由周皮和次生维管组织两部分组成(图版 I:A;图版 II:A)。周皮由 6~10 层扁圆形或扁长方形的细胞构成,由外向里依次为木栓层,木栓形成层和栓内层(图版 I:C)。初生结构形成后,在初生韧皮部内侧与初生木质部内凹,由原形成层保留下来未分化的薄壁细胞分裂形成维管形成层片段,并逐渐向两侧扩展,直到与中柱鞘相接;中柱鞘细胞也恢复分生能力,成为维管形成层的一部分。靠近初生韧皮部内侧的维管形成层发生较早,分裂活动快,向内产生的细胞多,不断把该处的形成层向外推移,使形成层发展为一个圆形的环(图版 I:B)。

在其后的生长中,维管形成层主要进行切向分裂,向内形成次生木质部,向外形成次生韧皮部。次生韧皮部比较发达,占根横切面的 60%,而次生木质部所占面积比例的 10%~20%。靠近栓内层的是次生韧皮部(被挤到边缘),次生韧皮部较明显,其主要成分包括筛胞、韧皮薄壁细胞、韧皮纤维和分泌道。次生韧皮薄壁细胞发达、呈圆形、排列疏松,细胞内有众多的颗粒状或块状储藏物质(图版 I:C),分泌道由几个分泌细胞包围分泌腔而成,口径大小不一,散布在韧皮薄壁细胞之间(图版 I:A,图版 II:A)。另外,由薄壁细胞组成的韧皮射线比较明显,在射线附近还会看到一些自内向外辐射状排列的裂隙(图版 II:A)。

次生韧皮部以内是维管形成层,维管形成层呈环状,由体积较小的细胞紧密排列而成(图版 I:B)。次生木质部为多元型,由导管、木薄壁细胞和木射线组成。导管呈径向排列,口径较大;细胞壁厚



图版 I 当归根显微结构 A. 一个完整当归根的横切, 示周皮和次生微观组织(bar=100 μm); B. 根横切面的一部分, 示木质导管、形成层、分泌道和淀粉粒(bar=100 μm); C. 示周皮, 韧皮薄壁细胞及内含物, 星标示内含物(bar=25 μm); D. 示菌丝正向周皮侵入, 星标示侵入位点(bar=50 μm)。Cc: 木栓形成层; Pe: 周皮; Sp: 次生韧皮部; Sx: 次生木质部; Vc: 形成层; Ve: 导管; Sc: 分泌道; Xr: 木射线; S: 淀粉粒。

Plate I Root microstructure of *Angelica sinensis* A. An intact transverse section of root of *Angelica sinensis*, composed of the periderm and cylinders; B. Transverse section of root, showing xylem vessels, vascular cambium, secretory canal and starch grain. C. Transverse section of root, showing periderm, parenchymas cells and inclusions, star showing distribution of inclusions; D. Pathogenic fungi infected the cork, cork cambium, and arld phelloderm, star showing the infection sites of them. Cc: Cork cambium; Pe: Phloem parenchymas cell; Sp: Secondary phloem; Sx: Secondary xylem; Vc: Tracheid; Ve: Vessel; Sc: Sieve cell; Xr: Xylem ray; S: Starch grain. A, B. bar=100 μm ; C. bar=25 μm ; D. bar=50 μm .

且木质化, 染成红色, 大多单个散生, 少数 2 个或几个聚生。导管间分布有少量木薄壁细胞; 木射线经维管形成层和韧皮射线相连接, 多列且呈辐射状排列直达周皮, 根中间无髓部(图版 I :B)。

当归根中含有丰富的内含物, 韧皮薄壁细胞内分布着众多颗粒状或块状的储藏物质, 其中淀粉粒经碘液染色后尤其明显(图版 I :C), 淀粉粒不仅分布在韧皮薄壁细胞内, 且沿着韧皮射线, 呈辐射状分布(图版 I :B)。

2.1.2 当归侧根的产生 当归侧根由中柱鞘细胞产生, 对着初生韧皮部的细胞恢复分生能力, 进行平周分裂, 使这部分的细胞层数增加, 随后进行平周和垂周多方向分裂, 逐渐形成侧根的根原基(图版 II :A), 侧根原基细胞分裂、生长, 逐渐分化出根冠和生长点。在侧根形成过程中, 与主根的维管组织连接在一起, 分化出维管组织(图版 II :H)。

2.2 当归根中内生真菌的分布

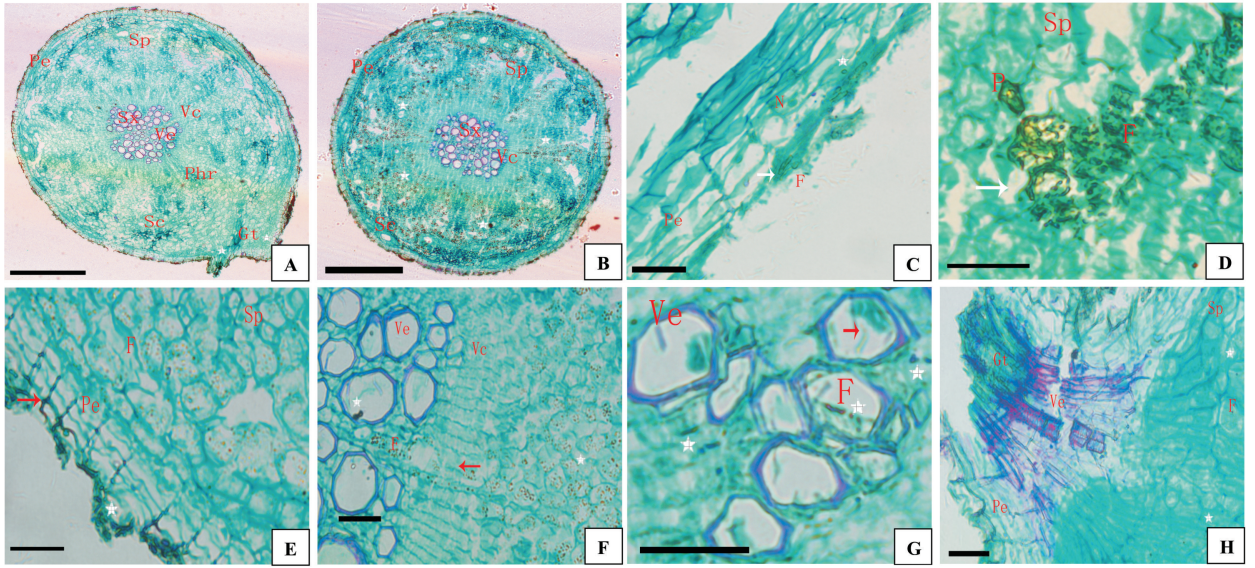
当归根腐病真菌通过破坏周皮组织侵染内层细胞。受到真菌侵染的部位着色相对较深, 木栓层表面分布有真菌菌丝(图版 III :A), 还附着一些碎屑, 碎屑中的菌丝正向内侵入(图版 III :B), 菌丝有分枝和明显的隔(图版 I :D), 碎屑附近的细胞已不完整, 相邻的木栓层细胞出现不同程度的异常和解体(图版 II :C; 图版 II :E)。侵入后菌丝在木栓层细胞内定殖并形成菌丝圈、菌丝结(图版 II :D)(图版 III :C), 产生圆形或椭圆形孢子(图版 III :D), 菌丝穿过细胞壁切向延伸并逐渐朝韧皮部侵染, 孢子沿细胞

间隙径向侵入(图版 II :E)。木栓层细胞已被破坏, 菌丝和孢子依次侵染木栓形成层和栓内层, 在破坏栓内层后向韧皮薄壁细胞侵入(图版 II :E)。

次生韧皮部真菌增殖生长的主要区域, 在根径中占比例最大, 此处细胞内含丰富的营养物质。被侵染的薄壁细胞除了细胞壁加厚外, 细胞形状也发生变化, 侵染严重的细胞其结构已破损。真菌菌丝在薄壁细胞内不断生长并产生孢子, 菌丝和孢子不断向邻近细胞侵染。在侵染过程中, 菌丝经常形成大量菌丝结或形状不规则的团状或结状结构, 经番红固绿双重染色后呈明显深绿色(图版 II :D)。此外, 在透射电镜下可看到, 真菌菌丝往往穿透在淀粉粒中(图版 III :G), 或围绕着淀粉粒分布(图版 III :H), 分解其中的营养物质进行生长繁殖, 导致淀粉粒碎裂(图版 III :I), 最后消解(图版 III :J)。

菌丝体充满定殖的细胞后会穿透细胞壁向周围相邻细胞侵染, 形成连续的侵染区域, 但菌丝并不是均匀分布在整个横切面上, 而是集中于某一区域(图版 II :B)。新旧菌丝由于其活性不同, 分别被染为绿色和红色(图版 II :E)。在分泌腔周围真菌菌丝的分布要比周围邻近部位多, 这可能与分泌道周围营养物质较丰富有关。

真菌菌丝不仅破坏了韧皮部, 还会向里继续侵染, 破坏形成层细胞后, 直接侵染木质部(图版 II :F; 图版 III :E), 菌丝沿导管内壁缠绕, 孢子也向导管侵入, 部分导管已碎裂。侧根中也充满了菌丝(图版 II :H)。



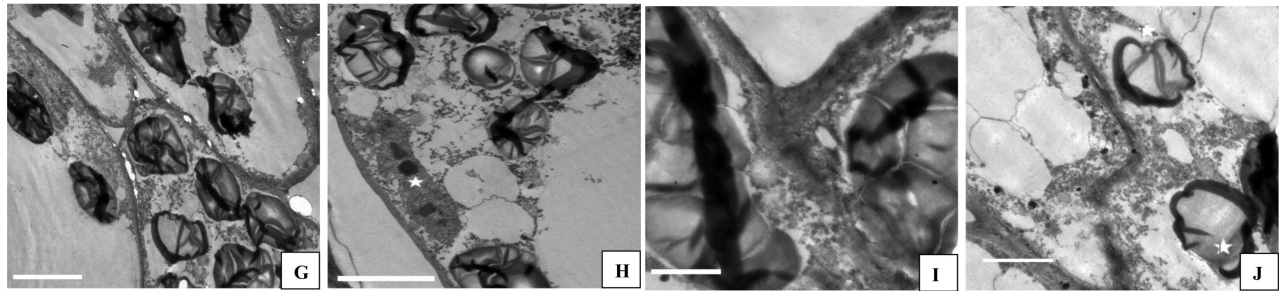
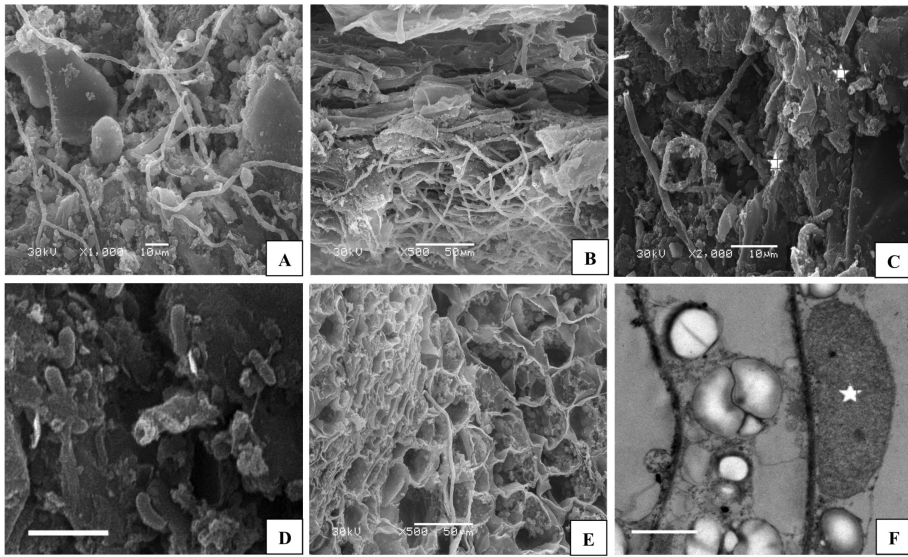
图版 II 当归根中根腐病病原菌的分布 **A.** 一个完整的健康当归根的横切, 示周皮和次生微观组织, 侧根原基(bar=200 μm); **B.** 一个完整的感病当归根的横切, 示细胞内充满了大量的菌丝, 菌丝在横切面上不均匀分布。星标示菌丝, 黑色箭头示裂隙(bar=200 μm); **C.** 菌丝侵入周皮, 箭头示被染成绿色的新鲜菌丝, 星标示分生孢子, 部分周皮层细胞结构被破坏, 细胞核被染成绿色(bar=50 μm); **D.** 箭头所示为菌丝在薄壁细胞内缠绕成菌丝圈或菌丝结, 细胞形态发生变化(bar=50 μm); **E.** 箭头示孢子正沿周皮细胞间隙向韧皮部侵入, 星标示木栓层碎屑中的孢子, 定殖在韧皮部的老化菌丝被染成红色(bar=50 μm); **F.** 箭头示菌丝从韧皮部向形成层和木质部侵袭, 星标示韧皮部的菌丝和附着在导管壁上的菌丝(bar=50 μm); **G.** 真菌侵染木质部, 部分导管开始碎裂, 星标示菌丝(bar=50 μm); **H.** 示侧根及生长锥, 侧根维管组织被染成红色(bar=50 μm)。Pe: 周皮; Sp: 次生韧皮部; Sx: 次生木质部; Vc: 形成层; Ve: 导管; Sc: 分泌道; Xr: 木射线; Phr: 韧皮射线; Gt: 生长锥; N: 细胞核; F: 菌丝; P: 菌丝结。

Plate II Distribution of pathogenic fungi of root rot in the root of *Angelica sinensis* **A.** An intact transverse section of healthy root, showing the periderm, cylinders and lateral root primordium. **B.** An intact transverse section of infected root, and star showing areas were infected by fungi. **C.** Pathogenic fungi infected periderm and the active fungus mycelium was dyed green. Part of cells in periderm were destroyed, nuclei were dyed green. **D.** Fungus mycelium were formed pelotons and joined in the parenchymas; **E.** Spores invaded the secondary phloem through inter cellular space of periderm cells. Star shows spores in debris cork. Aging mycelium was stained red. **F.** Pathogenic fungi infected the xylem through the phloem and vascular cambium. Star shows fungus mycelium colonized in the phloem and attached to the wall of xylem vessels. **G.** Pathogenic fungi infected the xylem and part of the xylem vessels has been destroyed. Star shows fungus mycelium of the pathogenic fungi. **H.** Vertebral lateral roots, lateral vascular tissue was stained red, fungus mycelium was also distributed in the lateral roots. Pe: Periderm; Sp: Secondary phloem; Sx: Secondary xylem; Vc: Tracheid; Ve: Vessel; Sc: Sieve cell; Xr: Xylem ray; Phr: Phloem ray; Gt: Vegetative; N: Nucleus; F: Fungal hyphae; P: Pellet. **A, B.** bar=200 μm ; **C, D, E, F, G, H.** bar=50 μm .

3 讨论

本文通过光镜和电镜切片, 研究当归根的显微结构, 并分析根腐病病菌侵染对其解剖结构的影响, 结果发现当归根的次生结构由周皮和维管组织两部分组成, 这与刘穆(2004)研究的双子叶植物根的次生结构特征是一致的。韧皮部所占比例最大, 主要由筛胞、韧皮薄壁细胞、韧皮纤维和分泌道构成, 分泌道散布在韧皮薄壁细胞之间, 大量的薄壁细胞为积累储藏丰富的苯酚类、萜类、芳香族化合物等成分创造了条件, 同时, 也可作为判断当归药材质量的一个指标。韧皮纤维增加了根的柔韧性。木质部为多元型, 由导管、木薄壁细胞和木射线构成。健康根徒

手切片表面呈黄白色, 细胞内含大量淀粉粒, 而感病根表面呈黄褐色, 分泌道周围褐色比较深, 薄壁细胞内含少量淀粉粒或没有。真菌侵入当归根部有两条途径, 一是菌丝通过周皮细胞侵入; 二是分生孢子沿周皮细胞间隙侵入, 谭小明等(2006b)在真菌入侵美登木根的研究中也发现在侵染过程中有分生孢子的产生。菌丝侵入周皮细胞后, 切向延伸并朝韧皮部侵袭, 被侵染细胞细胞壁往往加厚, 被染成深绿色。赵小锋等(2007)在真菌侵染桃儿七的研究中也发现了同样的现象, 这可能与韧皮部细胞中的营养物质比较丰富有利于菌丝的生长有关。真菌在部分薄壁细胞内定殖形成菌丝结或团块结构, 并扩展成一个连续的侵染区域, 这与对真菌入侵盘龙参、密花石斛、野生五层兰的研究结果一致(周秀玲等, 2011;



图版 III 电镜下真菌的侵染过程 A. 病根外表面, 示碎屑和附着其中的菌丝; B. 病根横切面一部分, 示大量菌丝已侵入周皮, 部分细胞结构已被破坏; C. 示韧皮部断裂及变形的菌丝, 星标示分生孢子; D. 分生孢子的放大; E. 菌丝侵染木质部; F. 健康细胞中, 淀粉粒光滑、完整, 星标示被挤压到壁边缘的细胞核 (bar=2 μm); G. 感病细胞, 示淀粉粒中充满真菌, 淀粉粒出现裂痕 (bar=4 μm); H. 示一个细胞内, 真菌穿透在淀粉粒中或缠绕其上, 星标示细胞核 (bar=4 μm); I. 示相邻的两个细胞中淀粉粒上缠绕的真菌 (bar=1 μm); J. 淀粉粒已被分解, 细胞内充满了碎屑 (bar=2 μm); A-E. 扫描电镜图片, F-J. 透射电镜电镜图片。

Plate III Infection process observed in the electron microscope A. Outer surface of the infected root, showing scrap and mycelium attached to them; B. Transverse section of infected root, showing the pathogenic fungi infected periderm, part of the cell structure has been destroyed; C. Broken and deformation mycelium in periderm. Star shows spore; D. Part-amplificatory of spore; E. Pathogenic fungi infected the xylem; F. Starch grains are smooth without cracks in healthy cells. Star shows the nucleus has been extruded to the edge of the cell (bar=2 μm); G. Starch grains filled with fungus with cracks (bar=4 μm); H. Fungi penetrated the starch granules or wounded on it. Star showing the nucleus (bar=4 μm); I. Two adjacent cells, fungal wound on starch grains (bar=1 μm); J. Starch granules has been broken, the cell is filled with debris (bar=2 μm); A-E are SEM Photos, F-J are TEM images.

范黎等, 2000; 陈金花等, 2010)。定殖的菌丝还会产生新的菌丝或孢子继续向里侵染木质部, 新生菌丝和老化菌丝由于其活性强弱不同, 分别被染成绿色和红色。邢晓科等 (2005) 对铁皮石斛、谭小明等 (2006a) 对七叶一枝花的研究发现, 真菌只侵染皮层部分而不侵染中柱, 但赵庆芳等 (2012b) 对黄芪病根的研究却发现, 真菌不仅侵染韧皮部, 还进一步向里侵染木质部。本研究发现, 真菌的分布与淀粉粒有一定的相关性, 在光镜下感病根切片中淀粉粒含量明显少于健康根, 且体积减小, 这与前人 (江绮晴等 2012; 伍建榕等 2009; Burgeff, 1936; Beyfie *et al.*, 1995) 的研究结果一致。本研究在透射电镜下

还发现, 淀粉粒是真菌定殖的主要区域, 真菌穿透在淀粉粒中或绕淀粉粒外壁缠绕, 利用其中的营养物质不断生长繁殖, 致使淀粉粒碎裂消解, 因此推测淀粉粒可能是其在细胞内活动时依赖的主要营养物质, 这一现象目前尚未见有报道。本研究结果表明, 菌丝在整个横切面上并不是均匀分布的, 而是集中在一定的区域, 这与谭小明等 (2006c) 的研究结果一致; Hadley *et al.* (1972) 在地生兰根的研究中也发现了同样的现象, 认为根中真菌菌丝被限制并定位在某些区域的薄壁组织细胞中, 但菌丝对薄壁细胞的侵染是否存在一定的选择性, 这还有待于进一步研究。

参考文献:

- Beyfie HF, Smith SE, Peterson RL. 1995. Colonization of orchis morio protocorms by a mycorrhizal fungus: effects of nitrogen nutrition and glyphosate of nitrogen nutrition and glyphosatein modifying the responses[J]. *Can J Bot*, (73):1-128
- Burgeff H. 1936. Samenkeimung der Orchideen und Entwicklung ihrer Keimpflanzen[J]. *Verlag von Gustav Fischer Jena*, (312): 300-304
- Cheng JH(陈金花), Hu MJ(胡美姣), Song XQ(宋希强), et al. 2010. Microscopic observation on mycorrhiza of *Doritis pulcherrima* (野生五唇兰菌根显微结构观察)[J]. *Mycosystema* (菌物学报), **29**(1):26-30
- Fan L(范黎), Guo SX(郭顺星), Xiao PG(肖培根). 2000. A study on the mycorrhizal microstructure of *Six Orchids* (密花石斛等六种兰科植物菌根的显微结构研究)[J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **17**(1):73-79
- Hadley G, Williamson B. 1972. Features of mycorrhizal infection in some Malayan orchids[J]. *New Phytol*, **71**:1 111-1 118
- Huang WH(黄伟晖), Song CQ(宋纯清). 2001. The research progress of chemistry and pharmacology of *Angelica sinensis* (当归的化学和药理学研究进展)[J]. *Chin Mat Med* (中国中药杂志), **26**(3):147-151
- Huang YP(黄亚萍). 2011. The research of pathogen of root rot in the root of *Angelica sinensis* (当归根腐病病原物研究)[D]. Lanzhou(兰州):Gansu Agricultural University(甘肃农业大学)
- Jiang QQ(江绮晴), Fang X(方祥), Zheng GC(郑贵朝). 2012. Study on optical and electronic microscope observation of *Anoectochilus roxburghii* mycorrhiza(金线莲菌根结构显微观察及超微结构研究)[J]. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), (23):183-185
- Liu H(刘华), Li ZK(李正科), Yang J(杨静), et al. 2011. Preliminary study on *Angelica* root-rot disease complex(当归根腐病的病原初步研究)[J]. *J Yuannan Agric Univ* (云南农业大学学报), **26**(4):458-464
- Liu M(刘穆). 2004. The Anatomy Introduction of Seed Plant(种子植物形态解剖学导论)[M]. Beijing(北京):Science Press(科学出版社)
- Tan XM(谭小明), Guo XX(郭顺星), Zhou YQ(周雅琴), et al. 2006a. Microstructure and endophytic fungus distribution of the root of *Paris polyphylla* (七叶一枝花根的显微结构及其内生真菌分布研究)[J]. *Mycosystema* (菌物学报), **25**(2):227-233
- Tan XM(谭小明), Guo XX(郭顺星), Zhou YQ(周雅琴), et al. 2006b. Microstructure and endophytic fungus distribution of *Maytenus confertiflorus* root(美登木根显微结构及其内生真菌的分布)[J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **23**(4):368-373
- Tan XM(谭小明), Guo XX(郭顺星). 2006c. Root microstructure and distribution of the endophytic fungi in *Taxus chinensis* var. *mairii* (红豆杉根的显微结构及其内生真菌分布)[J]. *Acta Acad Med Sin* (中国医学科学院学报), **28**(3):372-374
- Wang SF(王淑芳), Chen Y(陈瑛). 1981. Study and research of root rot in the root of *Angelica sinensis* (当归根腐病的调查研究)[EB/OL]. <http://www.cnki.net>
- Wu JR(伍建榕), Lü M(吕梅), Liu TT(刘婷婷), et al. 2009. Study on observation of the mycorrhiza under optical and electronic microscope of six orchids(6种兰科植物菌根的显微及超微结构研究)[J]. *J Northwest Sci-technol Univ Agric For: Nat Sci Ed* (西北农林科技大学学报·自然科学版), **37**(7):199-207
- Xing XK(邢晓科), Guo XX(郭顺星), Chen XM(陈晓梅), et al. 2005. Mycorrhizal microstructure of *dendrobium pfficinale* cultivated under artificial conditions(人工栽培铁皮石斛菌根的细胞学研究)[J]. *Mycosystema* (菌物学报), **24**(4):558-563
- Yan H(严辉), Yan JA(严金彪), Song BS(宋秉生), et al. 2009. Production situation and analysis of *Angelica sinensis* in Chinese (我国当归药材生产现状与分析)[J]. *Mod Chin Med* (中国现代中药), **11**(4):12-17
- Zhang XH(张新慧). 2009. The study on cropping obstacle mechanism and bioremediation measures of *Angelica sinensis* (当归连作障碍机制及其生物修复措施研究)[D]. Lanzhou(兰州):Gansu Agricultural University(甘肃农业大学)
- Zhao QF(赵庆芳), Liu L(刘靓), Li QX(李巧峡), et al. 2012a. Study on the inhibition effects of 15 plant aqueous extracts to the growth of *Angelica sinensis* root rot fungi(15种植物水提液对当归根腐病抑制活性的初步筛选)[J]. *J Northwest Norm Univ: Nat Sci Ed* (西北师范大学学报·自然科学版), **48**(2):66-69
- Zhao QF(赵庆芳), Zhang YF(张艳芳), Li QX(李巧峡). 2012b. Study on the structure of *Astragalus membranaceus* roots infected by the root rot disease(黄芪根腐病病根的显微及超微结构研究)[J]. *J Northwest Norm Univ: Nat Sci Ed* (西北师范大学学报·自然科学版), **48**(5):84-88
- Zhao WK(赵文考). 2012. The isolation and identification of pathogenic bacteria of root rot in the root of *Angelica sinensis* (当归根腐病致病菌的分离鉴定)[D]. Lanzhou(兰州):Northwest Normal University(西北师范大学)
- Zhao XF(赵小锋), Yang H(杨晖), Chen XX(陈欣欣), et al. 2007. Microstructure of the underground stems of *Sinopodophyllum Hexandrum* and the distribution of endophytic fungi (桃儿七地下茎的显微结构及内生真菌分布)[J]. *J Gansu Sci* (甘肃科学学报), **19**(3):86-87
- Zhou XL(周秀玲), Liu ZY(刘紫英). 2011. Microstructure and endophytic fungus distribution of the root of endangered and officinal plant *Spiranthes sinensis* (濒危药用植物盘龙参根的显微结构及其内生真菌分布研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), **31**(2):194-197