

远志根的形态发生及组织化学研究

高玲玲, 刘文哲*

(西北大学生命科学学院, 西安 710069)

摘要:应用植物解剖学方法对远志(*Polygala tenuifolia* Willd.)根的发生和发育过程, 以及1 a生与2 a生根的结构进行了比较观察, 还应用组织化学方法对远志根储藏物质及主要药用成分积累部位进行了研究。结果表明:远志的药用部位为其主根, 发育过程包括原分生组织、初生分生组织、初生结构和次生结构4个发育阶段。原分生组织来源于胚根, 由3群原始细胞组成, 具有典型分生组织的细胞学特征;初生分生组织包括根冠原、表皮原、皮层原和中柱原;初生结构由表皮、皮层和维管柱组成, 初生木质部为二原型;次生长主要是依靠维管形成层和木栓形成层的活动来完成。木栓形成层由中柱鞘细胞恢复分裂能力而形成, 并且产生多层栓内层薄壁细胞。2 a生远志根的基本结构与1 a生的基本相同, 只是栓内层增加至10层以上。远志根的储藏物质主要是脂类物质及少量的多糖。远志皂苷积累在远志根的薄壁细胞中, 而山酮类化合物主要分布在根的木栓形成层、栓内层薄壁细胞和次生韧皮部中。

关键词:远志; 根; 形态发生; 组织化学; 远志皂苷; 山酮

中图分类号:Q944.54

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2008)01-0001-09

Morphogenesis and Histochemistry of Root in *Polygala tenuifolia*

GAO Ling-ling, LIU Wen-zhe*

(College of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: The developmental process of root in *Polygala tenuifolia* Willd. was studied by anatomical methods, and the structures of the one-year-old and two-year-old main roots were compared. Meanwhile, the main medical composition and storage nutrition of the root was localized by histochemistry. *Polygala tenuifolia* is taproot system, which is medicinal portion. The development of the root underwent four stages: promeristem, primary meristem, primary structure and secondary growth. The apical promeristem was originated from radicle and consisted of three initial groups, and they possessed the typical cytological characteristics of meristem. The primary meristem consisted of calyptragen, primordial epidermis, periblem and plerome, while the primary structure consisted of epidermid, cortex and central cylinder. Primary xylem is diarch. The secondary growth mainly depended the activity of the vascular cambium and cork cambium. Secondary xylem composed of large vessels, wood fibres and little xylem rays. A lot of phloem parenchyma cells, a small amount of sieve tubes and companion cells built up secondary phloem. The vascular has one or three flats cells. The cork cambium originated from the pericyclic cells and created multi layer of phelloderm parenchyma cells. The infrastructures were identical between one-year-old main root and two-year-old main root, but phelloderm cells are more than ten layers in two-year-old main root. The reserve substance was mainly oils and little polysaccharides in *Polygala tenuifolia* root. The tenuifolic saponins existed in all parenchyma cells. Xanthones accumulated in the cork cambium, phelloderm parenchyma cells and secondary phloem.

Key words: *Polygala tenuifolia* Willd.; Root; Morphogenesis; Histochemistry; Tenuifolic saponin; Xanthone

远志 (*Polygala tenuifolia* Willd.) 为远志科 (Polygalaceae) 远志属 (*Polygala* L.) 多年生草本植物。远志属植物约有 500–600 种, 广布于全世界, 主产热带、亚热带地区。我国现知有 42 种 8 变种^[1]。远志为常见中药, 始载于《神农本草经》, 列为上品, 被视为养命之要药。《中国药典》(2005 版) 收录了 2 种基源植物: 远志和卵叶远志 (*P. sibirica*), 其药用部位为根。它味苦, 性辛、温, 归心、肾、脾经, 具有安神益智、祛痰、消肿功效, 用于心肾不交引起的失眠多梦、健忘惊悸、神志恍惚、咳痰不爽、疮疡肿毒、乳房肿痛等^[2]。其药用成分包括远志皂苷、山酮类化合物、生物碱和寡糖脂类等^[3]。以往对远志的研究主要集中在栽培技术、化学成分、药理和临床等方面^[3–6], 而关于其内部结构, 特别是药用部位的形态发生和药用成分在根中的分布规律尚未见报道。本文对远志根的发生和发育过程进行研究, 以揭示远志根的形成和发育规律。同时, 应用组织化学方法对远志储藏物 and 有效药用成分进行组织定位, 为进一步开展远志的开发及采收提供基础资料, 并为远志生药鉴定提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

远志 (*Polygala tenuifolia* Willd.) 1 a 生主根采自西北大学植物园的栽培植株, 种子来自陕西合阳; 2 a 生主根采自陕西省合阳县移栽的植株。样品经西北大学生命科学学院胡正海教授鉴定。

1.2 制片方法

选择生长健壮的植株, 在观察其形态发育的基础上, 取不同发育阶段的主根, 用 FAA 固定液分别固定, 经酒精系列脱水、透蜡、包埋、常规石蜡制片。其中, 对根尖分别进行了纵切和横切, 切片厚度均为 8 μm , 铁矾-苏木精染色, 以番红-固绿双重染色对照; 而对 1、2 a 生主根的中部主要进行了横切, 切片厚度为 8–10 μm , 番红-固绿染色, 中性树胶封片, Leica-DMLB 显微镜观察并照相。

1.3 贮藏物的组织化学

常规石蜡切片, 厚度为 8–10 μm , 用 PAS 反应染色, 鉴定淀粉及多糖, 中性树胶封片。新鲜材料徒手切片, 苏丹 III 染色, 鉴定脂类物质。Leica-DMLB 显微镜观察并照相。

1.4 主要药用成分的组织化学

新鲜材料进行徒手切片, 并放置于载玻片上滴加以等量的 5% 香草醛-冰醋酸和高氯酸混合试剂, 对远志皂苷显色。盐酸-镁粉对山酮类物质进行显色。用 70% 酒精浸泡远志根 72 h 以溶去远志皂苷和山酮类物质, 分别作为对照样品, 进行同样的组织化学显色, Leica-DMLB 显微镜观察并照相。

2 结果

2.1 根尖及其组织分化

远志的根尖可分为根冠、分生区(生长点)、伸长区和根毛区四个部分。从根尖纵切面中可以明显看出, 原分生组织分为三个细胞群: 根冠原-表皮原原始细胞群、皮层原原始细胞群和中柱原原始细胞群(图版 I : 1, 2)。从横切面看, 原分生组织的细胞表现出典型的分生组织的细胞学特点(图版 I : 3)。

由原分生组织所衍生的细胞发生一定程度的分化, 形成初生分生组织(图版 I : 2)。从横切面看, 根冠原、表皮原各由一层细胞构成; 皮层原由 3–5 层细胞构成, 其细胞较中柱原细胞大, 细胞质相对较稀薄, 细胞核大; 中央是由 6–7 层细胞组成的中柱原(图版 I : 4)。

2.2 根的初生生长和初生结构

远志根的初生生长是通过其初生分生组织细胞的分裂及其衍生细胞的体积增大来完成的。以后, 这些衍生细胞分化, 形成了根的初生结构。其中, 根冠原、表皮原、皮层原和中柱原的衍生细胞则分别分化为根冠、表皮、皮层和中柱(图版 I : 7)。

在根的初生结构分化中, 皮层细胞最早分化, 然后是中柱和表皮。在中柱分化过程中, 中柱鞘最先分化, 接着在其内侧相对的两处分化出原生韧皮部的筛管, 它们紧邻中柱鞘细胞, 分化后的筛管管腔透亮(图版 I : 5)。以后在 2 个原生韧皮部束间, 紧邻中柱鞘处分化出原生木质部的小导管(图版 I : 6, 7)。此时, 维管柱外围的表皮和皮层已分化。表皮为一层细胞, 排列紧密; 皮层由 5–7 层薄壁细胞组成, 其中内皮层细胞的体积较小, 排列紧密, 但细胞壁上凯氏带不明显(图版 I : 7)。其后, 在原生韧皮部的内侧分化出筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞, 组成后生韧皮部(图版 I : 8)。在原生木质部导管分化成熟后, 其内侧分化出多个大口径的

导管和木薄壁细胞组成的后生木质部(图版 I :8)。以后,2个初生木质部束的导管群在根中央连接(图版 I :8)。因此,远志根初生结构中,木质部为二原型,其发生过程为外始式。至此,由表皮、皮层和中柱构成的根的初生结构已分化完成。

2.3 根的次生生长和次生结构

当初生结构中的后生木质部导管即将分化成熟时,维管形成层开始活动。位于初生木质部和初生韧皮部之间保留的未分化的原形成层细胞开始恢复分生能力,进行平周分裂,产生的新细胞呈扁平状,在根横切面上排列呈弧形(图版 I :8),以后这种分裂活动逐渐向两侧扩展,接着2条形成层弧之间,即初生木质部脊对着的中柱鞘细胞也转变为形成层细胞,使2个形成层弧连接在一起,形成1个完整的形成层环(图版 I :9)。形成层环在横切面上最初呈梭形(图版 I :9)。由于位于初生木质部和初生韧皮部间的维管形成层先开始活动,向内产生次生木质部的数量多于向外产生的次生韧皮部,因此,使形成层环在横切面上逐渐成为近圆形(图版 I :10)。之后,圆形的维管形成层整体开始活动,向内产生次生木质部,向外产生次生韧皮部(图版 I :11)。在次生木质部中,有大量的导管、木纤维及少量的射线细胞。导管口径大,分散于其中。而位于导管两侧的为细胞壁加厚、木质化的木纤维束,它们在木质部中和导管相间排列,射线为1-3列细胞,多为单列。其次生韧皮部则由大量韧皮薄壁细胞和少量的筛管、伴胞组成(图版 I :11)。当维管形成层扩展成圆形时,中柱鞘细胞进行一次平周分裂而形成木栓形成层(图版 I :11)。木栓形成层先向外产生1层木栓细胞(图版 II :13),然后向内产生2层栓内层细胞(图版 II :14),之后又向外产生1层木栓层细胞,向内产生2层栓内层细胞(图版 II :15)。其木栓形成层向内产生的栓内层细胞多于向外产生的木栓层细胞,且随着根的增粗,栓内层逐渐增多(图版 II :16-20)。随着周皮的产生,其外方的表皮和皮层薄壁组织细胞逐渐死亡脱落。

因此,1a生远志的主根从外到内由周皮和次生维管组织组成(图版 II :21)。周皮最外面是木栓层,为2-3层排列整齐呈长方形的细胞,细胞壁栓质化;其内为木栓形成层和栓内层,栓内层由4-6层细胞组成,为生活的薄壁组织细胞,而且细胞从外向内体积逐渐增大。整个周皮约占根横切

面半径的1/4。次生维管组织包括次生韧皮部、维管形成层和次生木质部。其中,次生韧皮部约占根横切面半径的1/4,由筛管、伴胞及韧皮薄壁细胞组成。维管形成层呈环状,由2-4层细胞构成。其细胞呈砖形,排列整齐,细胞质浓厚(图版 II :21)。次生木质部约占主根横切面半径的2/4,在次生木质部中,有大量的导管、木纤维及少量的射线细胞,导管口径大,分散于其中。而位于导管两侧的为细胞壁加厚、木质化的长形木纤维,它们在木质部中和导管相间排列,射线多由1列细胞构成,少数为2-3列细胞。根中无髓部。

2.4 2a生根的结构

2a生的根中,其结构自外向内也是由周皮和次生维管组织组成(图版 II :22),与1a生主根的结构基本相同,但其各类组织细胞的数量增加。在2a生根中,周皮中木栓层为4-6,外侧的木栓层细胞呈长方形,排列整齐,径向壁较整齐,内侧细胞形状不规则,细胞壁呈微波状弯曲;木栓形成层仅为一层,细胞扁平,细胞质浓厚;栓内层细胞增加较多,达10层以上。细胞内含有丰富的内含物,大多为脂肪油滴,有的含草酸钙簇晶(图版 II :23)。次生维管组织各部分细胞数量也较1a生增加,次生木质部面积仍大于次生韧皮部。此时,次生韧皮部具有比较明显的韧皮部射线,其外围的韧皮薄壁细胞体积较大,筛管和伴胞被挤毁,而其内部的韧皮薄壁细胞较小,可见到少量的筛管和伴胞,次生韧皮部细胞中内含物较为丰富。次生木质部中在接近根的中央的部分,导管口径相对小,而在接近维管形成层的木质部中,则导管口径较大,导管周围存在着成群的木纤维,其数量较1a生根明显增加,木质化显著。木射线明显,数量较1a生根明显增加,多由1列细胞构成,少数为2-3列细胞(图版 II :22)。

2.5 根中储藏物

通过PAS反应,在1a生和2a生远志的根中没有发现淀粉粒。在栓内层薄壁细胞中,也没有淀粉粒存在,只是有些薄壁细胞中含有多糖(图版 III :24)。而经苏丹Ⅲ染色,则可以看出薄壁细胞中有大量的脂肪滴(图版 III :25)。而且,用蛋白质显色剂显色,也没有发现储藏蛋白,由此可以推断远志根中的储藏物主要为脂类物质及少量的多糖。

2.6 主要药用成分的组织化学定位

远志皂苷在根中的定位 远志根中的远志

皂苷能与皂苷显色剂(5% 香草醛-冰醋酸和高氯酸混合试剂)发生反应,呈现出淡红→红→紫红的颜色变化,颜色的深浅与皂甙的含量有正相关的关系^[7]。参照远志根的解剖结构,对其 1 a 生和 2 a 生根中的远志皂苷所做的组织化学定位研究表明,不同发育时期的根中远志皂苷的含量有所不同,在同一时期,根的不同组织中皂苷的含量也不同。在 1 a 生根中,木栓形成层、栓内层薄壁细胞及次生韧皮部均被染成红色,维管形成层为淡红色,木栓层和次生木质部不显色(图版Ⅲ:26);在 2 a 生根中,木栓形成层、栓内层薄壁细胞及次生韧皮部均被染成紫红色,次生韧皮部较浅,维管形成层为淡红色,次生木质部中的射线薄壁细胞被染成紫红色,而木栓层和次生木质部的其它细胞不显色(图版Ⅲ:27, 28)。同时,经 70% 酒精浸泡的远志根 72 h 的对照材料中,因溶去了皂苷类物质,与皂苷显色剂不产生显色反应(图版Ⅲ:29)。

山酮在根中的定位 山酮(xanthone)是结构与性质同黄酮相似的一类化合物。山酮能与盐酸-镁粉反应显橙黄色,置荧光显微镜下观察,显黄绿色荧光^[8]。参照远志根的解剖结构,对远志 1 a 生和 2 a 生根中山酮用盐酸-镁粉为显色剂所作的组织化学定位研究表明,不同时期的根中山酮的含量差别不明显,但在同一时期,根的不同组织中山酮的含量却不同。在 1 a 生根中,木栓形成层、栓内层及次生韧皮部都发黄绿色荧光,木栓层和木质部能产生微弱的自发荧光(图版Ⅲ:30, 31);2 a 生根和 1 a 生相同。同时,用经过 70% 酒精浸泡 72 h 溶去山酮后,徒手切片做对照,与盐酸-镁粉反应,置荧光显微镜下观察,只有木栓层和木质部自发荧光,其它组织荧光消失(图版Ⅲ:32)。

3 讨论

远志药用部分为具有次生结构的主根,主根来源于胚根,经过初生生长和次生生长,形成由多层栓内层薄壁细胞和有大量薄壁细胞的次生韧皮部所组成的皮部,以及由大量导管分子、木纤维和少量薄壁细胞构成的次生木质部。远志初生结构的分化和次生结构的发生过程,类似多年生双子叶草本植物的一般发育规律^[9]。从远志的初生结构来看,整个维管组织的半径仅占根横切面半径的 1/3,而且初生木质部仅有十几个导管组成,无髓存在。由此可见,在远志根的初生结构中皮层

薄壁组织占主导地位。远志初生结构分化后形成的初生木质部脊数为二原型,这于草本植物根所固有的二原型初生木质部的观点相符合^[10]。维管形成层形成以后,向内产生口径较大的导管和少量的木薄壁细胞,向外产生韧皮部,次生韧皮部的产生逐渐使初生韧皮部被挤变形。当形成层逐渐变圆以后,向内产生较多的导管、木纤维和少量的木射线;向外分裂产生韧皮部的筛管、伴胞和大量的韧皮薄壁细胞和韧皮射线。此时,中柱鞘细胞也恢复分生能力,产生木栓形成层,木栓形成层向外产生木栓层,向内产生大量的栓内层薄壁细胞,随着根的增粗其数量也在增加,最多可达 20 余层。因此,远志根整个发育过程中都有大量的薄壁细胞的存在,它们是远志药用成分积累的主要场所。

远志的木栓形成层起源于中柱鞘细胞,当木栓形成层开始活动后,表皮和皮层细胞逐渐脱落。因此作者认为远志次生韧皮部外方的薄壁细胞是来源于木栓形成层向内分裂的栓内层,但肖培根等认为是残存的皮层细胞^[11];而根据《中国药典》(2005)记载,远志栓内层由 20 余列薄壁细胞组成^[2]。这与我们观察的远志根中韧皮部外方的薄壁细胞柱来源于木栓形成层的观点一致。木栓形成层形成以后,先向外产生 1 层木栓细胞,然后向内产生 2 层栓内层细胞,之后又向外产生 1 层木栓层细胞,向内产生 2 层栓内层细胞。其木栓形成层向内产生的栓内层细胞多于向外产生的木栓层细胞,且随着根的增粗,栓内层逐渐增多,这种现象与某些葫芦科植物的根相似^[9],同时,任毅等发现在甘遂(*Euphorbia kansui* Lion)块根中存在大量的栓内层^[12]。栓内层薄壁细胞由外向里逐渐变大,液泡化程度逐渐增大,细胞核不明显,细胞中内含物明显增多。

远志根中的储藏物质以脂类物质为主,还有少量的多糖,但没有检测到淀粉粒。这与彭玮欣等报道的远志筒(由次生韧皮部和周皮组成的皮部)中含有大量的脂肪油滴^[13]相一致。远志药用成分包括远志皂苷、山酮类化合物、生物碱和寡糖脂类等^[3]。我们的组织化学研究表明,远志根中远志皂苷主要积累在薄壁细胞中,包括栓内层,韧皮薄壁细胞及木射线。而山酮类化合物主要分布在根的木栓形成层、栓内层薄壁细胞和次生韧皮部中。据报道,西洋参(*Panax quinquefolium*)根中人参皂

苷主要分布于周皮和韧皮部中,其中以分泌道内最多^[14],人参(*Panax ginseng*)根中人参皂苷存在于木质部导管附近的薄壁细胞和木射线细胞中。绞股蓝(*Gynostemma pentaphyllum*)中人参皂苷主要分布在营养器官的同化组织和韧皮部薄壁细胞中^[15]。因此,远志根中药用成分主要分布在皮部的薄壁组织细胞中,这与传统以远志筒入药相符^[2]。栓内层薄壁细胞的层数可以作为远志品质鉴定指标之一。

致谢 西北大学生命科学学院胡正海教授对远志进行鉴定,并对本文修改提出宝贵意见,谨此致谢!

参考文献

[1] Chen S K(陈书坤). A taxonomic study on the genus *Polygala* in China [J]. Acta Phytotax Sin(植物分类学报), 1991, 29(3):193–229. (in Chinese)

[2] The Committee of National Pharmacopoeia. Chinese Pharmacopoeia Vol. I [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 198. (in Chinese)

[3] Wang Y P(王玉萍), Yang J S(杨峻山), Zhang Y M(张聿梅), et al. Chemical constituents of *Polygala tenuifolia* [J]. Chin Trad Herb Drugs(中草药), 2005, 39(9):1291–1293. (in Chinese)

[4] Wang A R(王爱蓉). Cultivation technique of *Polygala tenuifolia* Willd. [J]. West Chin Sci Techn(中国西部科技), 2006, 11:47, 53–54. (in Chinese)

[5] Sakuma S, Shoji J. Studies on the constituents of the root of *Polygala tenuifolia* Willd. I. Isolation of saponins and the structures of onjisaponins G and F [J]. Chem Pharm Bull, 1981, 29(9):2431–2433.

[6] Wu P(吴平), Du Q Y(杜青云), Hu R Z(胡荣珠), et al. A summary of the chemical, pharmacologic and clinical study of *Polygala tenuifolia* Willd. [J]. Channel Med (海峡药理学), 1999, 11(2):108–109. (in Chinese)

[7] Kubo I. Histochemistry I: Ginsenosides in ginseng (*Panax ginseng*) root [J]. J Nat Prod, 1980, 43(2):278–284.

[8] Yang Y B(杨雁宾). Natural compound of xanthones [J]. Acta Bot Yunnan(云南植物研究), 1980, 2(3):345–369. (in Chinese)

[9] Esan K. Translated by Li Z L(李正理). Anatomy of Seed Plants [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1982:161–166. (in Chinese)

[10] Su H W(苏红文), Hu Z H(胡正海). Developmental and anatomical studies on the root of *Panax quinquefolium* L. [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 1994, 14(2):77–84. (in Chinese)

[11] Xiao P G(肖培根). New Chinese Traditional Medicines Records Vol. I [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 490. (in Chinese)

[12] Ren Y(任毅), Jin Y J(金玉姬), Hu Z H(胡正海). The developmental anatomy on the root of *Euphorbia kansai* [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 1995, 15(2): 104–109. (in

Chinese)

[13] Peng W X(彭玮欣), Wu Z M(吴志明), Xie X L(谢小亮). The advance of growing, differentiation and machining in *Polygala tenuifolia* [J]. Hebei Agri Sci(河北农业科学), 2005, 9(1):111–113. (in Chinese)

[14] Su H W(苏红文), Hu Z H(胡正海). Developmental anatomy and histochemistry of root in different age *Panax quinquefolium* [J]. Sakuma Seich Shihezi Univ(石河子大学学报), 1995, 31(3):1–8. (in Chinese)

[15] Lin R(林如), Cao Y F(曹玉芳), Hu Z H(胡正海). Anatomical structure of vegetative organs and histochemical localization of ginsenosides in *Gynostemma pentaphyllum* [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 2002, 22(4):796–800. (in Chinese)

图版说明

C:皮层 Cortex; Pe:中柱鞘 Pericycle; V:导管 Vessel; ST:筛管 Sieve tube; PX:初生木质部 Primary xylem; PP:初生韧皮部 Primary phloem; SP:次生韧皮部 Secondary phloem; SX:次生木质部 Secondary xylem; Cr:晶体 Crystal; WF:木纤维 Wood fiber; VC:维管形成层 Vascular cambium; CC:木栓形成层 Cork cambium; Ph:木栓层 Phellem; Pd:栓内层 Phelloderm.

图版 I

- 1. 根尖的纵切图;
- 2. 根尖的纵切图, 为图 1 的放大;
- 3. 根尖原分生组织横切图;
- 4. 根尖初生分生组织横切图;
- 5. 1 a 生主根横切面一部分, 示原生韧皮部筛管的分化;
- 6. 1 a 生主根横切面一部分, 示原生木质部导管的分化;
- 7. 1 a 生主根的横切面, 示初生结构;
- 8. 1 a 生主根横切面一部分, 示成熟的后生木质部导管, 维管形成层在初生木质部和初生韧皮部间产生;
- 9. 1 a 生主根横切面一部分, 示形成层的分化;
- 10. 1 a 生主根横切面一部分, 示形成层近圆形;
- 11. 1 a 生主根横切面一部分, 示木栓形成层的形成;
- 1、4、11, bar = 100 μm ; 其它, bar = 50 μm

图版 II

- 12. 1 a 生主根横切面一部分, 示木栓形成层的形成;
- 13. 1 a 生主根横切面一部分, 示木栓形成层的活动, 向外产生一层木栓细胞;
- 14. 1 a 生主根横切面, 示木栓形成层的活动, 向内产生两层栓内层细胞;
- 15. 1 a 生主根横切面一部分, 示木栓形成层的活动, 又向内产生两层栓内层细胞;
- 16–19. 根的横切, 示栓内层的进一步发育;
- 20. 2 a 生主根的横切面一部分, 示多层栓内层;
- 21. 1 a 生主根的横切面一部分, 示各部分结构;
- 22. 2 a 生主根横切面一部分, 示各部分结构;
- 23. 2 a 生主根的横切面一部分, 示栓内层薄壁细胞中的晶体;
- 16、17、19, bar = 100 μm ; 18、20–22, bar = 200 μm ; 其它, bar = 50 μm

图版 III

24. 根横切面一部分, 为 PAS 反应对根中多糖的组织定位显色, 示根次生结构中各部分的显色情况;

25. 根横切面一部分, 为苏丹 III 对根中脂肪类物质的组织化学显色图示, 示次生韧皮部及栓内层薄壁细胞的显色;

26-28. 为等量的 5% 香草醛-冰醋酸和高氯酸混合试剂对根中远志皂苷的组织化学显色图示;

26. 1 a 生主根的横切, 示木栓形成层、栓内层和次生韧皮部的显色;

27. 2 a 生主根的横切, 示木栓形成层、栓内层和次生韧皮部的显色;

28. 木质部的横切, 示木质部中射线细胞的显色;

29. 根横切面, 为除去皂苷的对照;

30. 1 a 生主根的横切, 盐酸-镁粉对根中山酮的显色图示, 示木栓形成层、栓内层和次生韧皮部发黄绿色荧光;

31. 2 a 生主根的横切, 盐酸-镁粉对根中山酮的显色图示, 示木栓形成层、栓内层和次生韧皮部发黄绿色荧光;

32. 根的横切, 示除去山酮的对照。

25、28, bar = 50 μm ; 29, bar = 500 μm ; 其它, bar = 200 μm

Explanation of plates

Plate I

1. Longitudinal section of the root tip;

2. Longitudinal section of the root tip, the amplification of Fig. 1;

3. Cross section of promeristem;

4. Cross section of primary meristem;

5. Cross section of one-year-old main root, showing the differentiation of protoxylem sieve tube;

6. Portion of cross section of one-year-old main root, showing the differentiation of protoxylem vessels;

7. Cross section of one-year-old root, showing primary structure;

8. Portion of cross section of one-year-old main root, showing themature metaxylem vessels, the origin of vascularcambium between primary xylem and primary phloem ;

9. Portion of cross section of one-year-old main root, showing the differentiation of cambium;

10. Portion of cross section of one-year-old main root, showing cambium becomes circular;

11. Portion of cross section of one-year-old main root, showing cork cambium differentiation;

1、4、11, bar = 100 μm ; others, bar = 50 μm

Plate II

12. Portion of cross section of one-year-old root, showing cork cambium differentiation;

13. Portion of cross section of one-year-old main root, showing the activity of cork cambium, one flat cork cells were generated outside;

14. Portion of cross section of one-year-old main root, showing the two flats cells of phelloderm's generated inside;

15. Portion of cross section of one-year-old main root, showing one flat cork cells were generated outside and two flats cells of phelloderm's generated inside again;

16-19. Portion of cross main root, showing the latter generation of phelloderm ;

20. Portion of cross main root, showing phelloderm;

21. Cross section of one-year-old main root, showing the different histological structures;

22. Portion of cross section of two-year-old main root, showing the different histological structures;

23. Portion of cross section of two-year-old root, showing the crystal in phelloderm;

16、17、19, bar = 100 μm ; 18、20-22, bar = 200 μm ; others, bar = 50 μm

Plate III

24. Cross-section of root with PAS reaction, showing the different histological structures' coloration;

25. Cross-section of root stained with Sudan III , which is special for secondary phloem and phelloderm parenchyma cells;

26-28. Cross-sections of root stained with 5% vanillin-acetic acid and perchloric acid (1:1), which is specific for ginsenosides-like substance;

26. Cross-section of one-year-old root, showing cork cambium, secondary phloem and phelloderm parenchyma cells were red and vascular cambium was light red;

27. Cross-section of two-year-old root, showing cork cambium, secondary phloem and phelloderm parenchyma cells were purple and xylem ray was light red;

28. Cross-section of xylem , showing xylem ray was light red;

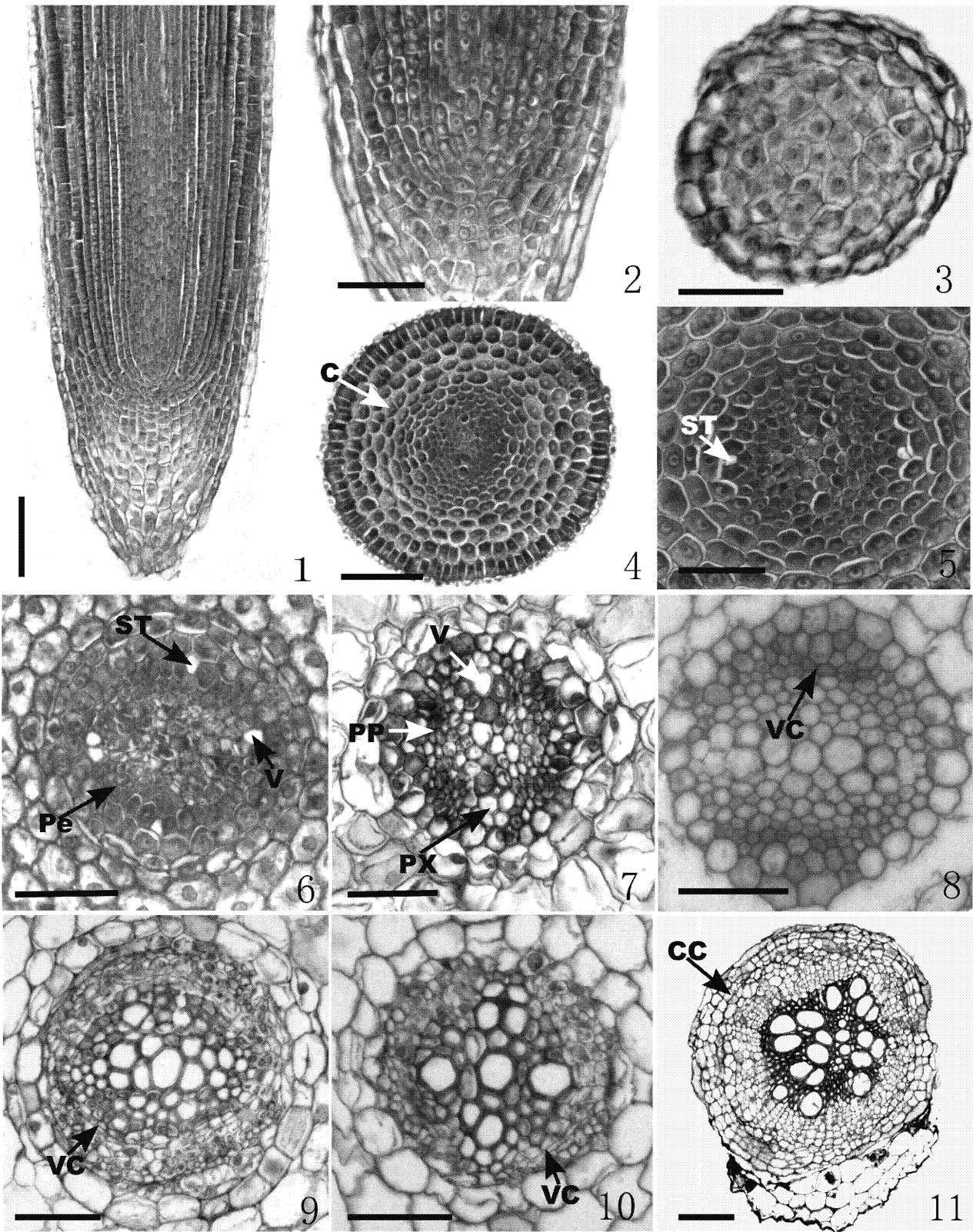
29. Cross-section of root, showing the control study of saponin;

30. Cross-section of one-year-old root stained with HCl-Mg, which is special for cork cambium, secondary phloem and phelloderm parenchyma cells;

31. Cross-section of two-year-old root stained with HCl-Mg, which is special for cork cambium, secondary phloem and phelloderm parenchyma cells;

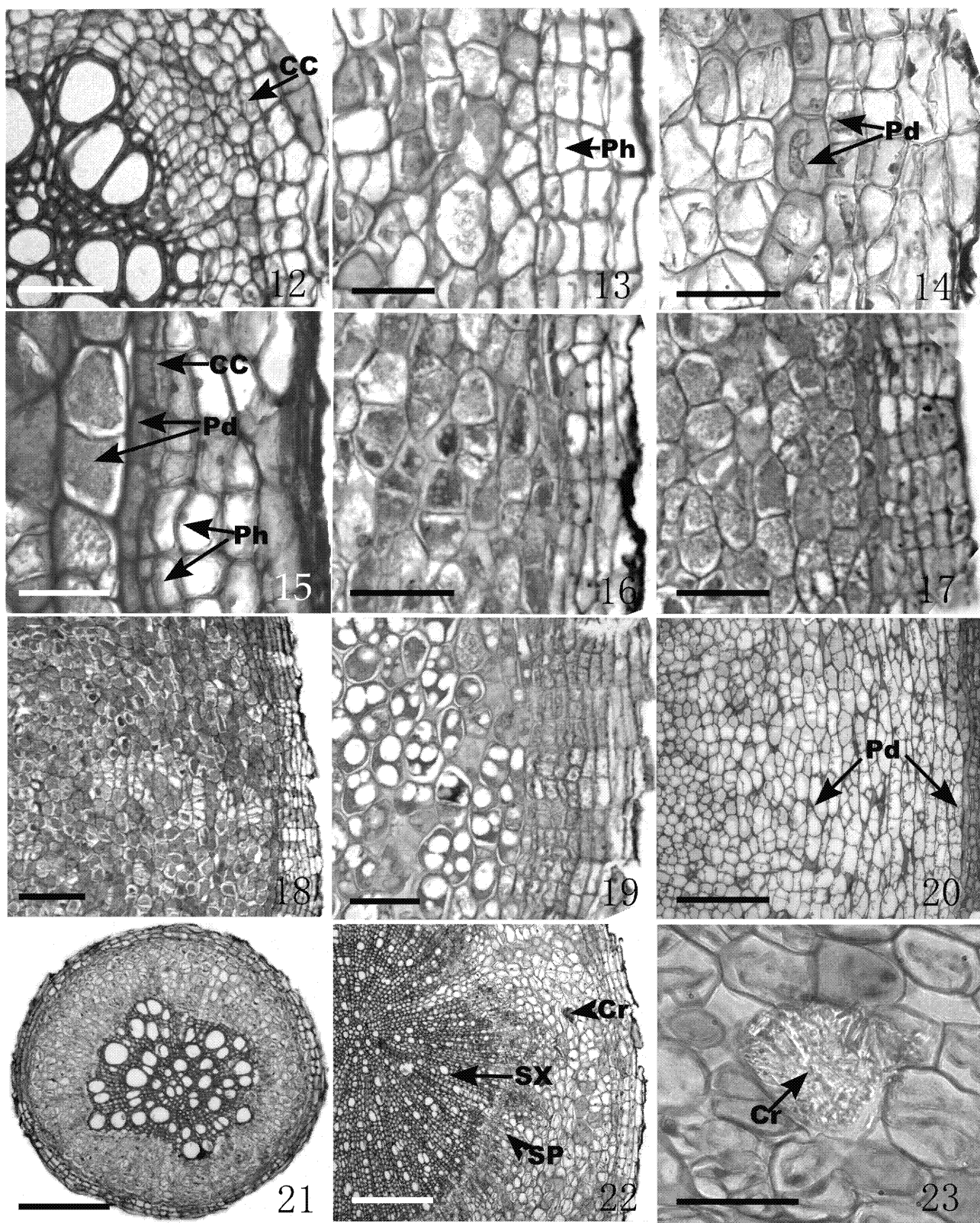
32. Cross-section of root, showing the control study of xanthone.

25、28, bar = 50 μm ; 29, bar = 500 μm ; others, bar = 200 μm



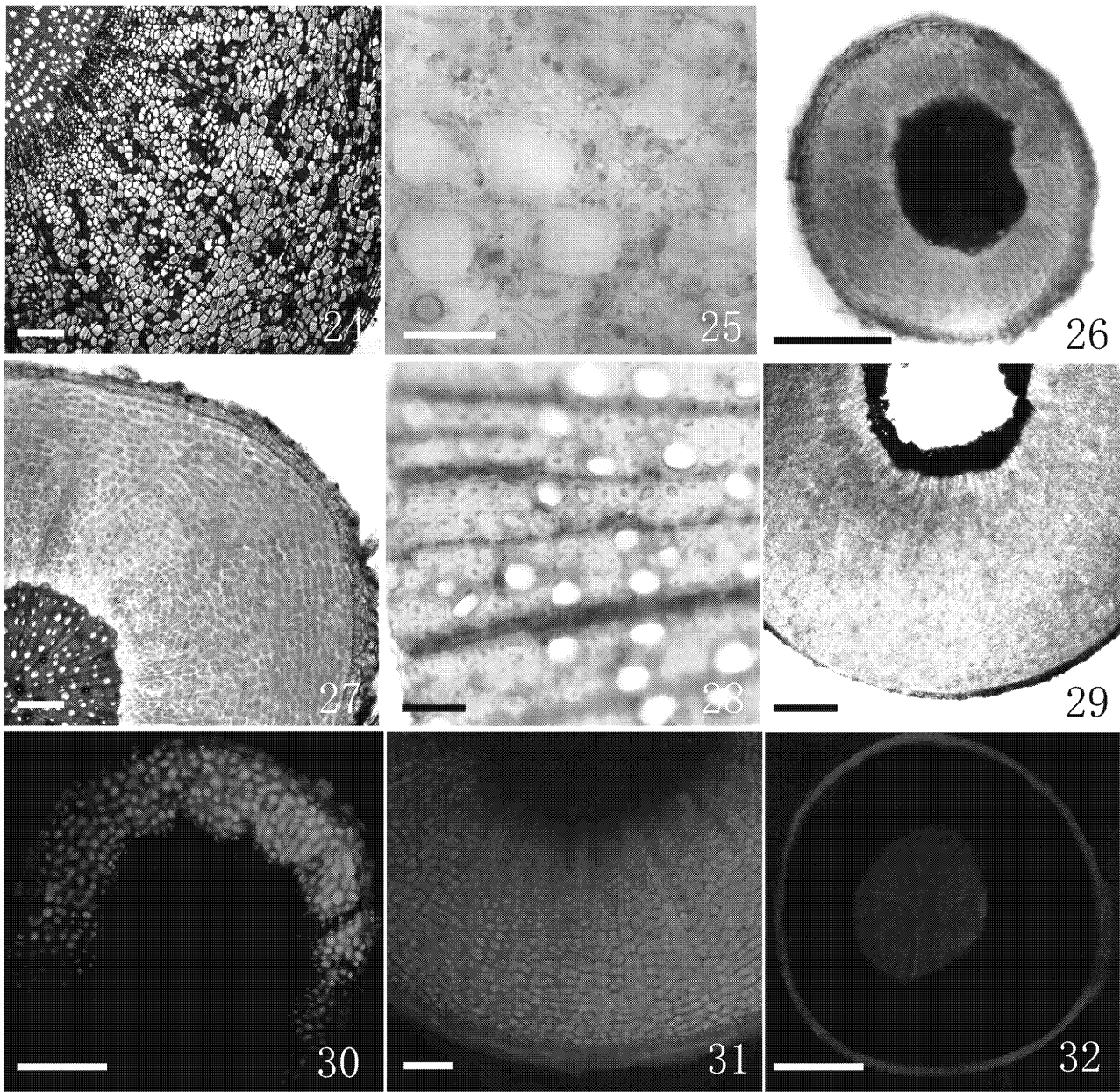
高玲玲等:图版 I

GAO Ling-ling et al. : Plate I



高玲玲等:图版 II

GAO Ling-ling et al. : Plate II



高玲玲等:图版Ⅲ

GAO Ling-ling et al. : PlateⅢ