

桔梗根的发育解剖学研究

谭玲玲¹, 胡正海^{2*}

(1 青岛农业大学生命科学学院/山东省高校植物生物技术重点实验室, 山东青岛 266109; 2 西北大学 生命科学学院, 西安 710069)

摘要:以桔梗(*Platycodon grandiflorum* A. DC)根为材料, 运用石蜡切片和半薄切片法对其根的发育过程及结构进行解剖学观察, 并对不同年限根的结构进行了比较。结果表明: 桔梗根的结构发育过程包括原生分生组织、初生分生组织、初生生长和次生生长 4 个阶段。其原生分生组织由 3 群原始细胞组成, 表现出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、皮层和中柱组成, 其中皮层薄壁细胞占主要地位, 初生木质部为二原型; 次生生长主要依靠维管形成层和木栓形成层的活动来完成, 其次生结构从外到内由周皮和次生维管组织组成, 次生维管组织占主导地位, 其中以薄壁细胞为主, 维管分子少量, 分散在薄壁组织中。不同年限的根的结构基本相同, 但它们在主根长度和直径、周皮厚度、木质部与韧皮部面积之比等方面存在差异。

关键词: 桔梗; 根; 发育解剖

中图分类号: Q944.54

文献标志码: A

Developmental and Anatomical Studies on the Root of *Platycodon grandiflorum* A. DC

TAN Lingling¹, HU Zhenghai^{2*}

(1 College of Life Science, Qingdao Agricultural University/Key Lab of Plant Biotechnology in Universities of Shandong Province, Qingdao, Shandong 266109, China; 2 College of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: The development and the structures of the annual and the perennial tap roots of *Platycodon grandiflorum* were studied with the paraffin section and the semi-thin section. The results showed that the development of *P. grandiflorum* root could be divided into four stages: promeristem, primary meristem, primary growth and secondary growth. The promeristem consists of three groups of initial cells; the primary meristem is composed of calyptrogens, primordial epidermis, periblen and plerome. The primary structure includes epidermis, cortex and stele. Parenchyma cells in cortex are dominant. The primary xylem is diarch. The secondary growth depends on activities of the vascular cambium and the cork cambium. The secondary structure includes periderm and secondary vascular tissue from the outside to the inside. Parenchyma cells are prominent in the secondary vascular tissue, and only small amount of vascular elements are scattered in them. The perennial roots have the similar structure to the annual one, but there are some differences in the length and the diameter of the tap root, the thickness of periderm and the area ratio between the xylem and the phloem.

Key words: *Platycodon grandiflorum* A. DC; root; developmental anatomy

收稿日期: 2014-01-08; 修改稿收到日期: 2014-04-16

基金项目: 山东省高等学校科技计划(J11LC06); 山东省自然科学基金(ZR2013CQ027); 青岛农业大学高层次人才启动基金(630909)

作者简介: 谭玲玲(1980—), 女, 博士, 副教授, 主要从事药用植物学研究。E-mail: tanlingling80@163.com

* 通信作者: 胡正海, 教授, 主要从事植物学教学和科研工作。E-mail: zhenghaihu@sina.com

桔梗(*Platycodon grandiflorum* A. DC)为桔梗科(Campanulaceae)桔梗属(*Platycodon*)多年生草本植物,在中国主要分布于东北、华北、华中、华南等地,南北皆适于种植。桔梗既是一种资源植物,又是一种药、食、观赏兼用的经济植物。其以根入药,为中国销量最大的 40 种传统中药材之一。

目前,关于桔梗的研究主要集中在化学成分^[1]、药理作用^[2]、临床应用^[3]及栽培方面^[4],对桔梗生殖器官的结构和发育也有一些报道^[5-8]。但对其主要药用器官根的结构和发育尚未见报道。本实验利用植物解剖学方法对桔梗营养器官的结构和发育进行观察,为深入研究桔梗中主要药用成分在各营养器官中的积累部位和动态变化提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材 料

本实验所用桔梗不同年限(1~4 年)的根于 2009 年 10 月采自安徽省阜阳市太和县李兴镇谢千庄村。具体情况见表 1。

1.2 方 法

1.2.1 石蜡切片法 选择生长健壮的植株,在观察桔梗根形态发育基础上,取不同发育阶段及不同年限的根,分别用 FAA 固定液固定,经系列酒精脱水、透蜡、包埋、常规石蜡制片,切片厚度为 8~12 μm ,番红-固绿或苏木精染色,中性树胶封片, NikonYS 显微镜下观察、照相。

1.2.2 半薄切片法 桔梗根尖以戊二醛固定,经清洗后锇酸后固定,系列酒精脱水,环氧丙烷过渡, Epon 812 薄层包埋。用 Reiche Jung 超薄切片机对根尖进行横切和纵切,切片厚度 1 μm ,甲苯胺兰染色, Epon812 封片, Zeiss Q500 IW 光学显微镜观察并摄影。

1.2.3 数据统计法 以表 1 中的实验材料为研究对象,分别测定其主根长度、主根直径、周皮层数及木质部与韧皮部面积的比值,最后求其平均值。

表 1 桔梗不同年限根的实验材料

Table 1 The experiment materials of

P. grandiflorum with different growth years

采集地点 Collection location	采集日期 Collection date	生长年限 Growth year	株数 No. of plants
安徽省阜阳市太和县李兴镇 Anhui Province, Fuyang City, Taihe District, Lixing Town	2009 年 10 月 October, 2009	1	13
		2	10
		3	8
		4	8

2 结果与分析

2.1 根尖的结构及其组织分化

通过对一年生主根根尖纵切面的观察,发现根尖包括根冠、分生区、伸长区和根毛区 4 个部分。根冠位于根的最前端,由多层排列不规则的薄壁细胞构成。在横切面和纵切面上均可以看到,根冠细胞内含有大量的淀粉体(图版 I, 1、2)。分生区是位于根冠内方的顶端分生组织,包括原生分生组织和初生分生组织。从根尖纵切面中可以看出,原生分生组织分为 3 个原始细胞群,即外面为表皮原和根冠原的原始细胞群,中间为皮层原原始细胞群,最内为中柱原原始细胞群(图版 I, 2)。在连续的横切面上观察,原生分生组织的细胞均呈多边形,细胞壁薄,细胞质浓厚,细胞核大,细胞排列紧密,表现出分生组织的细胞学特点(图版 I, 3)。

由原生分生组织所衍生的细胞发生一定程度的分化,由外向内分化为根冠原、表皮原、皮层原和中柱原,它们共同组成初生分生组织(图版 I, 4)。从横切面看,初生分生组织细胞排列层次明显,形态上有所不同。其中,最外 1 层细胞是根冠原,细胞排列整齐而紧密,且液泡化明显,其分化要早于其它部分。根冠原之内 1 层为表皮原。表皮原之内的 4~5 层为皮层原,细胞体积由外向内逐渐减小,细胞的细胞质相对较稀薄,细胞核大且明显。中央是由 4~5 层细胞组成的中柱原,其细胞体积小,排列紧密,细胞质相对最浓厚,细胞核大,细胞排列紧密(图版 I, 4)。

2.2 根的初生生长和初生结构

桔梗根的初生生长是通过其初生分生组织细胞分裂及其衍生细胞的分化来完成的。根通过初生生长形成根的初生结构。其中根冠原的衍生细胞分化为根冠,表皮原、皮层原和中柱原的衍生细胞则分别分化为表皮、皮层和中柱,共同构成根的初生结构。

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。在中柱分化前,皮层原始细胞的体积先增大,细胞开始液泡化,形成 4~5 层排列疏松的近圆形皮层薄壁细胞,其直径大,细胞间隙明显,无显著的外皮层;而皮层最内层的细胞体积较小,近为长椭圆形,排列紧密,为内皮层细胞,其部分细胞上凯氏带明显(图版 I, 5)。内皮层之内是中柱,中柱最外一层细胞是中柱鞘,这层细胞是体积较小,形状近圆形,排列紧密,没有细胞间隙的薄壁细胞,中柱鞘之内是初生木质部和初生韧皮部。在中

柱分化过程中,最外层的中柱鞘细胞最早分化成1圈小型薄壁细胞,接着在其内侧分化出2个(每侧1个)相对的多角形细胞,其细胞腔透亮,即为最早分化成熟的原生韧皮部筛管,以后形成2个原生韧皮部束。当原生韧皮部的筛管分子分化到3~4个时,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,5、6)。以后,在原生韧皮部内侧分化出筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞,组成后生韧皮部;原生木质部导管分化成熟后,其内侧分化出多个大口径、细胞壁加厚且木质化的导管及木薄壁细胞,共同组成后生木质部。为此,桔梗根的初生结构中,初生木质部类型为二原型,其发生过程为外始式(图版I,7)。上述分化过程中,其表皮原分化为一层排列紧密的表皮细胞。至此,桔梗根的初生结构已分化形成,由表皮、皮层和中柱组成(图版I,8)。

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分化成熟时,位于初生木质部和初生韧皮部之间没有分化的原形成层细胞最先开始进行平周分裂,产生的新细胞呈扁平状,最初为条状,后在根横切面上逐渐排列成弧形,这是最早的维管形成层;以后邻接形成层弧两端的薄壁组织细胞也恢复细胞分裂能力,转变为形成层细胞,新产生的形成层细胞与形成层弧连接起来,使形成层向两侧扩展。当形成层弧细胞延伸到与中柱鞘相连时,形成层弧之间的中柱鞘细胞也恢复细胞分裂能力,转变为形成层细胞的另一部分,最终形成一个完整的形成层环。形成层环在横切面上最初呈梭形。以后的分化中,由于初生木质部和初生韧皮部之间凹入的形成层环部分产生次生木质部较早、较快,细胞数量也多,从而将凹入部分的形成层向外推移,结果使形成层环在横切面上逐渐成为近圆形(图版I,9)。

维管形成层环形成过程中,即进行细胞分裂,完成次生生长。其细胞向内产生次生木质部,附加在初生木质部的外方;向外产生次生韧皮部,附加在初生韧皮部的内侧。次生木质部由导管、管胞、大量的

木薄壁细胞和木射线组成。其中导管口径大,多单列分布,呈放射状分散于木薄壁细胞中(图版I,9)。木射线明显,多为单列射线。次生韧皮部由筛管、伴胞、韧皮薄壁细胞、韧皮纤维和韧皮射线组成。次生韧皮部中韧皮薄壁细胞占了很大比重,韧皮射线明显,也多呈单列分布,而韧皮纤维多成群分布(图版I,10)。此时,初生韧皮部由于受到内部组织的压力,被挤向根的外侧。

在次生生长开始一段时间之后,中柱鞘的细胞逐渐恢复分裂能力,形成木栓形成层。木栓形成层进行平周分裂,向外产生木栓层细胞,向内产生栓内层细胞,共同组成周皮。随着次生维管组织的增多,存在于周皮外方的表皮和皮层薄壁细胞逐渐死亡脱落,周皮最终成为取代表皮的根的次生保护组织。

由上述发育过程可见,桔梗成熟根的横切面从外到内由周皮和次生维管组织组成(图版I,10)。周皮为数层排列整齐呈长方形的细胞,其中最外面为4~6层木栓层细胞,细胞壁栓质化;其内为木栓形成层和栓内层,栓内层细胞1~2层,细胞稍大,呈扁平状(图版I,11)。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,韧皮部与木质部的面积之比约为3:5,韧皮部由筛管、伴胞、韧皮薄壁细胞、韧皮射线及韧皮纤维等组成,韧皮纤维成群分布。由于维管形成层新形成的次生韧皮部的外推作用,使得外围较早生成的次生韧皮部由于受到挤压而常出现裂隙(图版I,10)。维管形成层在横切面呈环状,由4~5层细胞构成,细胞较小,方形,排列整齐(图版I,9)。维管形成层以内为次生木质部,主要由导管、管胞、木薄壁细胞和木射线等组成。导管放射状排列(图版I,9),单个存在或数个聚生,多单列。在导管之间分布有大量纵列排列整齐的木薄壁细胞,木射线散布于木薄壁细胞之间,也多呈单列分布。次生木质部其内仍保留着初生木质部。

2.4 不同年限根的结构比较

对不同年限桔梗根的横切面解剖结构进行比较得出,其内部结构基本上相同,都是由周皮和次生维

表2 不同年限桔梗根的比较

Table 2 The root comparison of *P. grandiflorum* with different years

项目 Item	一年 One-year-old	二年 Two-year-old	三年 Three-year-old	四年 Four-year-old
根长度 Length of root/cm	9.82	20.65	21.31	22.2
根直径 Diameter of root/mm	5.99	12.59	13.19	20.15
周皮层数 Cell layers of periderm	11	13	17	19
次生木质部/次生韧皮部 Area ratio between xylem and phloem	1.7:1	3:1	3.3:1	4:1

管组织组成(图版 I, 12)。但随生长年限的增加,其各类组织细胞的数量有所差异,结果如表 2 所示。对表 2 进行分析可以得出:随着桔梗植株生长年限的增加,其根的长度、直径、周皮层数及次生木质部与次生韧皮部的面积之比均呈逐年增加的趋势。

3 讨 论

桔梗根初生结构的分化与次生结构的形成过程,类似多年生草本双子叶植物根的一般发育规律^[9]。其发育过程包括 4 个阶段:即原生分生组织阶段、初生分生组织阶段、初生生长和次生生长阶段。从桔梗根的初生结构来看,整个中柱的直径仅占根直径的 1/5。因此,在次生结构发生之前,皮层薄壁细胞占主导地位。次生生长开始后,维管形成层向内分裂形成次生木质部,向外分裂形成次生韧皮部。在次生结构中,次生维管组织占主导地位,只在其外方产生多层细胞构成的周皮,在其中心仍然存在少量的初生木质部。而次生维管组织中,又以薄壁细胞为主,维管分子数量较少,分散在薄壁细

胞中。因此,在桔梗根的整体发育过程中,薄壁细胞占主导地位。这与曾报道的北沙参^[10]和西洋参^[11]根的发育特点相似。

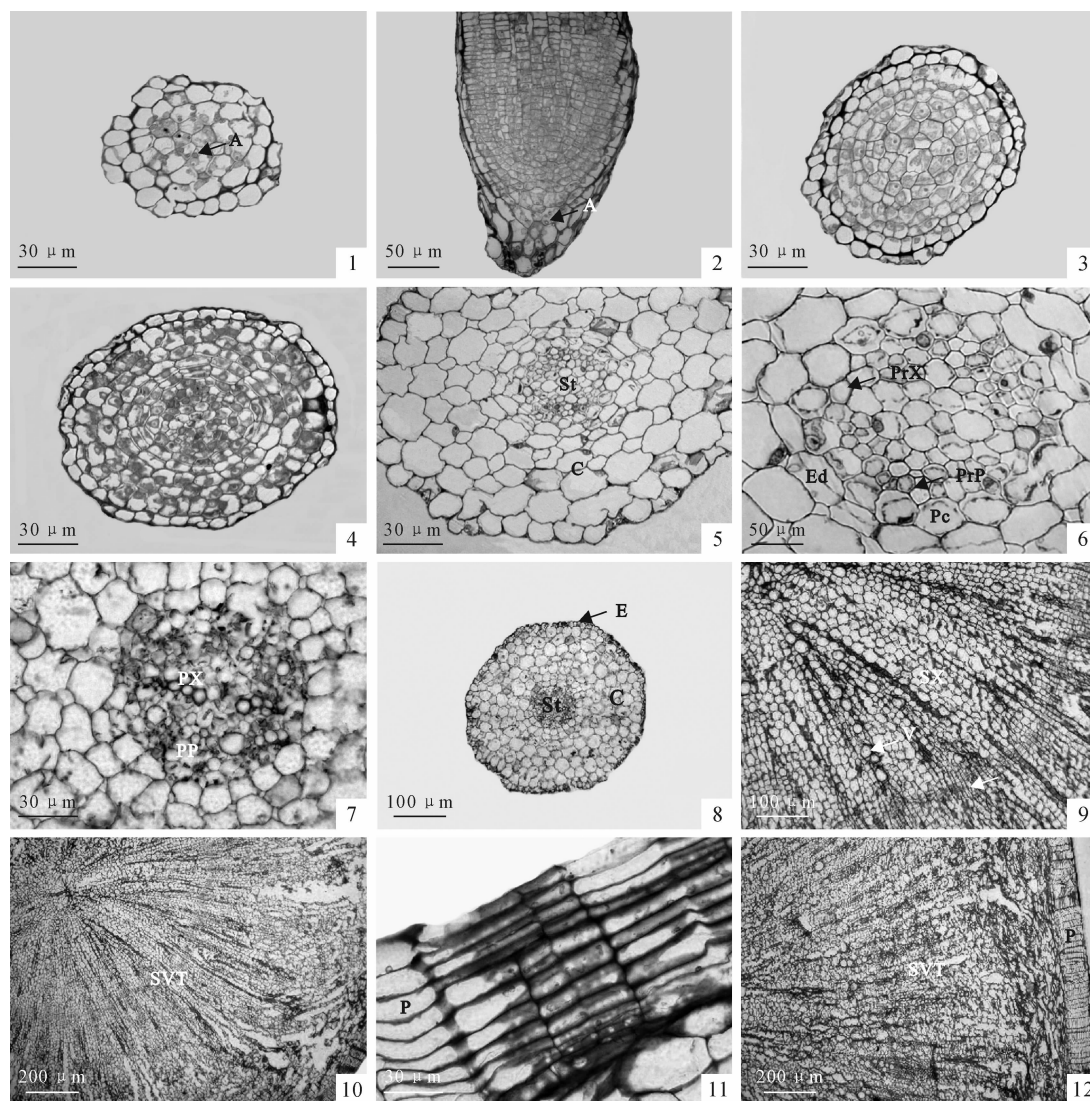
此外,本研究中观察到桔梗根中初生木质部为二原型,与其他学者认为的根初生木质部的二原型是草本植物所固有的,而四原型是乔木所特有的观点相符^[11]。但据报道,并不是所有草本植物中,初生木质部均为二原型。如魏博菲等^[12]报道泽漆根中和苏红文等^[11]报道的西洋参根中初生木质部为三原型;李金亭等^[13]报道牛膝根及郑丽等^[14]报道狭叶柴胡根中多数为二原型,少数为三原型。

通过比较桔梗一年生与多年生根的结构,发现基本结构一致,都由周皮和次生维管组织组成。两者主要区别体现在根的长度、根的直径、周皮层数及次生木质部与次生韧皮部的面积比上。随着植株年限的增加,上述数值均呈增加趋势。在多年生根中,次生木质部的数量远远大于次生韧皮部。为此,其根的直径增大主要依靠次生木质部的数量增加。

参考文献:

- [1] TAN L L(谭玲玲), PENG H SH(彭华胜), HU ZH H(胡正海). Research advances on biological characteristics and chemical constituents of *Platycodon grandiflorum* [J]. *Journal of Southern Agriculture* (南方农业学报), 2011, **42**(12): 1 523—1 527 (in Chinese).
- [2] TAI Y(泰 阳), HOU J P(侯建平), MENG J G(孟建国), et al. Research advances on pharmacology of *Platycodon grandiflorum* [J]. *Modern Traditional Chinese Medicine* (现代中医药), 2009, **29**(6): 74—75 (in Chinese).
- [3] JIN Z J(金在久). Research advances on chemical constituents, pharmacology and clinic application of *Platycodon grandiflorum* [J]. *Lishizhen Medicine and Material Medica Research* (时珍国医国药), 2007, **18**(2): 506—509 (in Chinese).
- [4] ZHANG H Y(张海英), ZHANG J(张 娟), WANG ZH X(王占新), et al. The technology points of artificial cultivation of *Platycodon grandiflorum* [J]. *Chinese Horticulture Abstracts* (中国园艺文摘), 2013, (6): 225—226 (in Chinese).
- [5] ZHANG M P(张美萍), SHEN J H(申家恒). Bryological studies on *Platycodon grandiflorum* A. DC microsporogenesis and the development of male gametophyte [J]. *Journal of Jilin Agriculture University* (吉林农业大学学报), 1991, **13**(4): 31—34, 101 (in Chinese).
- [6] ZHANG M P(张美萍), SHEN J H(申家恒), GUAN H Q(关贺群). Embryonic studies on *Platycodon grandiflorum* A. DC II —— megasporogenesis and female gametophyte, embryo and endosperm developments [J]. *Journal of Jilin Agriculture University* (吉林农业大学学报), 1992, **14**(2): 25—30, 103—104 (in Chinese).
- [7] YANG H J(杨焕杰), TIAN G W(田国伟), SHEN J H(申家恒). The cytochemical studies on microsporogenesis and development of male gametophyte in *Platycodon grandiflorum* A. DC [J]. *Journal of Harbin Normal University* (Nat. Sci. Ed.) (哈尔滨师范大学·自然科学学报), 1996, **12**(3): 84—90 (in Chinese).
- [8] HAN M(韩 森), TIAN G W(田国伟), SHEN J H(申家恒). Studies on the structure of endosperm haustoria in *Platycodon grandiflorum* A. DC [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 1997, **17**(2): 147—151 (in Chinese).
- [9] K. 伊稍. 种子植物解剖学 [M]. 李正理, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 161—166.
- [10] CHU Q G(初庆刚), CAO Y F(曹玉芳), ZHANG CH SH(张长胜), et al. Anatomy studies on the development of root of *Glehnia littoralis* [J]. *Journal of Laiyang Agricultural College* (莱阳农学院学报), 1997, **14**(3): 168—171 (in Chinese).
- [11] SU H W(苏红文), HU ZH H(胡正海). Developmental and anatomical studies on the root of *Panax quinquefolium* L. [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 1994, **14**(2): 77—83 (in Chinese).
- [12] WEI B F(魏博菲), CAI X(蔡 霞), HU ZH H(胡正海). Developmental anatomy study of vegetative organs in *Euphorbia helioscopia* L. [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(8): 1 582—1 589 (in Chinese).

- [13] LI J T(李金亭), TAN L L(谭玲玲), HU ZH H(胡正海). Development anatomy of *Achyranthes bidentata* roots[J]. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.* (西北植物学报), 2006, **26**(10): 1 973—1 978(in Chinese).
- [14] ZHENG L(郑 丽), CAI X(蔡 霞), HU ZH H(胡正海). Anatomical study on *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. roots[J]. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2009, **29**(6): 659—664(in Chinese).



A. 淀粉体; C. 皮层; E. 表皮; Ed. 内皮层; P. 周皮; Pc. 中柱鞘; PP. 初生韧皮部; PrP. 原生韧皮部; PrX. 原生木质部; PX. 初生木质部; SP. 次生韧皮部; St. 中柱; SVT. 次生维管组织; SX. 次生木质部; V. 导管; VC. 维管形成层

图版 I 1. 根冠横切面, 示其细胞内含有大量淀粉体; 2. 根尖纵切面; 3. 根尖原生分生组织横切面; 4. 根尖初生分生组织横切面; 5. 一年生主根横切面, 示皮层的分化; 6. 为图 5 的放大, 示原生韧皮部筛管和原生木质部导管的分化; 7. 一年生主根横切面一部分, 示初生木质部为二原型; 8. 一年生主根横切面, 示根初生结构; 9. 一年生主根横切面一部分, 示维管形成层; 10. 一年生主根横切面一部分, 示根的次生结构; 11. 一年生主根横切面一部分, 示周皮结构; 12. 多年生主根横切面一部分, 示多年生根的次生结构。

A. Amyloplast; C. Cortex; E. Epidermis; Ed. Endodermis; P. Periderm; Pc. Percycle; PP. Primary phloem; PrP. Protophloem; PrX. Protoxylem; PX. Primary xylem; SP. Secondary phloem; St. Style; SVT. Secondary vascular tissue; SX. Secondary xylem; V. Vessel; VC. Vascular cambium

Plate I Fig. 1. Cross section of root cap, showing that the cells contain massive amyloplasts; Fig. 2. Partial of longitudinal section of the root tip; Fig. 3. Cross section of the promeristem; Fig. 4. Cross section of the primary meristem; Fig. 5. Partial crosssection of the one-year-old tap roots, showing the differentiation of cortex; Fig. 6. The partial magnification of the Figure 5, showing the differentiation of protophloem sieve tubes and protoxylem vessels; Fig. 7. Cross section of the one-year-old root, showing that primary xylem is diarch; Fig. 8. Cross section of the one-year-old root, showing primary structure; Fig. 9. Cross section of the one-year-old root, showing vascular cambium; Fig. 10. Cross section of the one-year-old root, showing secondary structure; Fig. 11. Cross section of the one-year-old root, showing the structure of periderm; Fig. 12. Cross section of the three-year-old root, showing secondary structure.