

## 牛膝茎的发育解剖学研究

李金亭<sup>1,2</sup>, 胡正海<sup>2\*</sup>, 高鹏<sup>3</sup>

(1. 河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007; 2. 西北大学 生命科学学院, 西安 710069; 3. 中国医科大学 生命科学与技术学院, 南京 210009)

**摘要:** 应用植物解剖学方法研究了牛膝茎的发育过程。研究表明,牛膝茎的发育包括原分生组织、初生分生组织、初生结构、次生结构和三生生长 5 个发育阶段。原分生组织具有典型分生组织的细胞特征;初生分生组织包括原表皮、基本分生组织和原形成层。在茎的发育过程中,初生生长和早期的次生生长是正常的,但在次生生长过程中,次生维管组织仅有束中形成层产生,而没有束间形成层的分化和活动。茎的三生生长是由维管柱外侧保留的原形成层细胞发生的额外形成层的活动产生的。额外形成层开始只向内交替产生三生木质部和其间的结合组织,后来向外产生三生韧皮部,形成一轮三生维管束。牛膝茎内的韧皮纤维来源于原形成层,应属于原生韧皮部性质。牛膝茎中的 2 个外韧型髓维管束也来源于原形成层,与正常维管束在位置上没有相关性。但其结构类型具有多样性,有时可形成不完全的周木型髓维管束。

**关键词:** 牛膝; 茎; 发育解剖; 三生维管束; 髓维管束

中图分类号: Q944.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2008)02-0173-06

## Developmental anatomy of the stem in *Achyranthes bidentata*

LI Jin-Ting<sup>1,2</sup>, HU Zheng-Hai<sup>2\*</sup>, GAO Peng<sup>3</sup>

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. College of Life Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. School of Life Science & Technology, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** Developmental process of *Achyranthes bidentata* stem was examined by anatomical methods. It was shown that the development of *A. bidentata* stem included five stages: promeristem, primary meristem, primary structure, secondary structure and tertiary growth stages. The promeristem possessed the cytological characters of typical meristem, the primary meristem included dermatogen, ground meristem and procambium. In the course of stem development, primary and initial secondary growth was similar ordinary dicotyledons. Then as the fascicular cambium was initiated, the interfascicular cambium was not formed in the secondary growth of stem. The tertiary growth of stem was replaced by the activities of supernumerary cambium arising from procambium cells remaining the lateral vascular cylinder. Initially the supernumerary cambium formed tertiary xylem and conjunctive tissues alternately engender only on its inner side, and the differentiation of tertiary phloem strand which was produced in external to supernumerary cambium was later than that of xylem. The phloem fibers of *A. bidentata* stem originated from procambium belonged to characters of protophloem. In addition, there was no correlation between the two collateral vascular bundles which also originated from procambium and normal vascular bundles in the position. But there were multiformity on the structure of medullary bundle, and sometimes incomplete amphivasal bundles were formed.

**Key words:** *Achyranthes bidentata*; stem; development anatomy; tertiary bundle; medullary bundle

收稿日期: 2007-08-06 修回日期: 2007-12-25

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金(2007180031); 陕西省教育厅专项科研基金(2006, JK177) [Supported by the Natural Science Foundation of Education Department of Henan Province(2007180031); Special Fund of the Education Department of Shaanxi Province(2006, JK177)]

作者简介: 李金亭(1962-), 女, 高级实验师, 在读博士, 主要从事结构植物学研究, (E-mail) Ljt66882004@126.com.

\* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: zhenghaihu@sina.com)

牛膝(*Achyranthes bidentata*)为苋科多年生草本植物,以干燥根入药,是我国重要的大宗药材之一,早在汉代就被收载入我国最早的药学专著《神农本草经》,被列为上品。《中国药典》中记载,牛膝味苦、酸、平,具有补肝肾、强筋骨,逐瘀通经,引血下行的功效(中华人民共和国卫生部药典委员会,2005)。近年来国内外对该植物的研究主要集中在根的化学成分分离、提取、鉴定及其药理作用等方面(陈晓明等,2005;孟大利等,2002),对其根的发育解剖学研究也有报道(张泓等,1988;卫云等,1997;李金亭等,2006),而有关牛膝茎的发育解剖学研究尚未见报道。本文应用解剖学方法研究了牛膝茎的动态发育过程,以期为该植物的综合开发利用积累资料。

## 1 材料与方 法

实验材料采自西北大学生物园的栽培植株,将茎尖及以下各节位的茎,分割后于 FAA 中固定,用常规石蜡切片法连续横切与纵切,厚度 7~10  $\mu\text{m}$ ,番红一固绿染色或铁矾苏木精染色,中性树胶封片,Leica-DMLB 显微镜观察并照相。

## 2 结 果

### 2.1 茎尖及其组织分化

从茎尖纵切面观察,茎的生长点呈圆锥形,由原套和原体两部分组成原分生组织,原套位于生长点的外围,由两层细胞组成,原体位于原套所包围的中央部分(图版 I:1)。原套细胞形状规则,排列整齐,大小均一,主要进行垂周分裂;原体细胞形状和大小的变化都比较大,没有明显的排列规律。从横切面看,原分生组织的细胞呈等径的多边形,体积较小,细胞壁薄,细胞质浓厚,液泡化程度低,细胞核大,细胞排列整齐而紧密,表现出典型的分生组织的细胞学特点(图版 I:2)。

原分生组织下面的衍生细胞在一定距离处分化出初生分生组织—原表皮、原形成层和基本分生组织。原表皮为最外面的一层细胞,细胞排列紧密,液泡化程度较低;基本分生组织包括位于原表皮内的皮层基本分生组织和位于中央的髓基本分生组织,其中皮层基本分生组织细胞排列也较紧密,细胞核大而液泡化程度较低;而中央的髓基本分生组织其细胞较大而液泡化程度高。在两类基本分生组织之

间有由细胞质浓厚的长形细胞组成的细胞束,这些细胞在茎的横切面上排列成环状,由体积较小、原生质非常浓厚且排列紧密的细胞组成,即为原形成层环,在 4 个棱角处及其中间的部位,在环状原形成层中分化出一些染色更深的束状区域,即为原形成层束(图版 I:3)。在髓基本分生组织中也有由小型细胞组成的 2 个原形成层束(图版 I:3),我们称之为髓形成层束,将来发育为髓维管束。

### 2.2 茎的初生生长和初生结构的形成

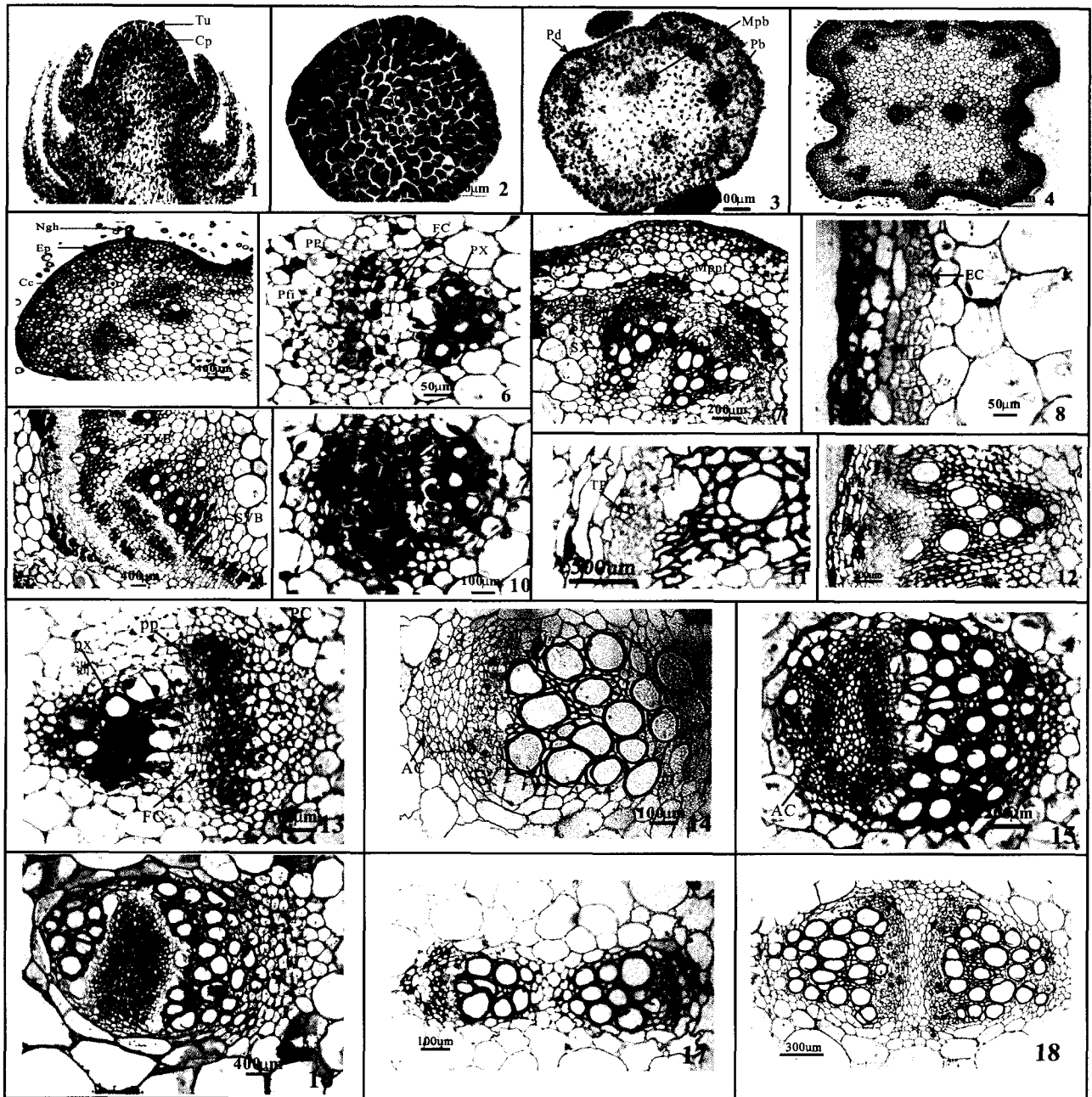
牛膝茎的初生生长表现为顶端分生组织下面体轴的伸长和加粗。在顶端,节间非常短,所以叶原基和幼叶簇集在一起。随后,在叶着生的区域(节)之间迅速伸长,形成节间,其初生结构由表皮、皮层和维管柱组成(图版 I:4、)。

在牛膝茎的初生分生组织的发育过程中,原表皮的衍生细胞分化为表皮,表皮由一层近方形的细胞组成,排列整齐而紧密,外壁被有较厚的角质层,表面密被非腺毛(图版 I:4,5);皮层基本分生组织的衍生细胞分化为皮层,其中紧邻表皮的 3~5 层细胞分化为厚角组织,其内的 4~6 层分化为薄壁组织,其细胞内分布有大量的叶绿体,在 4 个棱角处厚角组织尤其发达(图版 I:5)。而位于皮层基本分生组织与髓基本分生组织间的原形成层束分化最为复杂。根据茎尖连续纵横切片观察,在原形成层外侧的原生韧皮部筛管最早分化出来,其后原生木质部导管分子才在原形成层束的内缘出现,以后分别向外、向内分化出后生韧皮部和后生木质部分子,而原形成层束的中央部分的细胞不再分化,保持分生组织状态。当原生木质部分子已经成熟而后生木质部仍在分化时,这些细胞沿切向方向伸长,转化为束中形成层(图版 I:6)。所形成的维管束主要分布在茎的四个棱角处及两棱中部,在茎内排列成一圈(图版 I:4)。

### 2.3 茎的次生生长和次生结构的形成

次生生长是维管形成层的活动在茎中增加了维管组织数量的结果,开始于茎体轴已停止伸长的部分。这种生长使体轴加粗,但不增长。

当正常维管束中后生木质部分子正在成熟时,原排列不整齐的束中形成层切向伸长,且细胞进行平周分裂,向内产生次生木质部,向外产生次生韧皮部,次生木质部产生的数量和速度远大于次生韧皮部的,因此韧皮部较狭窄。次生韧皮部由筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞组成;次生木质部由导管、木纤维和少量木薄壁细胞组成(图版 I:7)。此时,初生韧皮



**图版 I** Tu:原套; Cp:原体; Pd:原表皮; Pb:原形成层束; Mpb:髓形成层束; Ep:表皮; Ngh:非腺毛; Cc:厚角组织; PP:初生韧皮部; PX:初生木质部; FC:束中形成层; Pfi:纤维原始细胞; Mppf:成熟的初生韧皮纤维; SP:次生韧皮部; SX:次生木质部; TP:三生韧皮部; EC:额外形成层; SVB:次生维管束; TVB:三生维管束; PC:薄壁细胞群; AC:异常形成层。1. 牛膝茎尖纵切; 2. 示茎端原生分生组织; 3. 示茎的初生分生组织; 4. 牛膝茎的初生结构; 5. 茎横切面的一部分, 示初生结构; 6. 示茎正常维管束的初生结构; 7. 茎横切面的一部分, 示次生结构; 8. 茎横切面的一部分, 示额外形成层; 9. 茎横切面的一部分, 示三生维管束; 10-12. 示三生韧皮部的分化; 10, 13-16. 示髓维管束的发育; 17. 示 2 个髓维管束的木质部相连; 18. 示 2 个髓维管束的韧皮部相连。

**Plate I** Tu: Tunica; Cp: Corpus; Pd: Protoderm; Pb: Procambium; Mpb: Medullary procambium; Ep: Epidermis; Ngh: Non-glandular hair; PP: Primary phloem; PX: Primary xylem; FC: Fascicular cambium; Pfi: Phloem fiber initials; Mppf: Matured primary phloem fiber; SP: Secondary phloem; SX: Secondary xylem; TP: Tertiary phloem; EC: Extra-cambium; SVB: Secondary Vascular bundle; TVB: Tertiary Vascular bundle; PC: Parenchymatous cells; AC: Anomalous cambium. 1. Longitudinal section of a stem apex; 2. Promeristem of a stem apex; 3. Primary meristem of a stem apex; 4. Primary structure of stem; 5. Partial cross section of stem showing primary structure; 6. Primary structure of secondary vascular bundle of stem; 7. Partial cross section of stem showing secondary structure; 8. Partial cross section of stem showing extra-cambium; 9. Partial cross section of stem showing tertiary vascular bundle; 10-12. Showing differentiation of tertiary phloem; 10, 13-16. Showing development of medullary bundle in stem; 17. Connected two xylem of medullary bundle; 18. Connected two phloem of medullary bundle.

部由于维管形成层的活动而破毁。在维管束之间未观察到束中形成层的产生。

#### 2.4 初生韧皮纤维的发育

牛膝茎中,在原生韧皮部的外方仍保留1~2层原形成层细胞,它们排列不规则。当原生木质部导管分子出现后,这些原形成层细胞经纵分裂增至3~4层,成帽状位于维管束的最外侧,这些细胞即为纤维原始细胞(图版 I:6)。由于纤维原始细胞的体积较小,因此与皮层细胞之间区别明显。以后,随着后生韧皮部的分化,纤维原始细胞仍继续纵分裂,结果形成新月形的束状结构。当次生维管组织普遍成熟,额外形成层开始产生时,纤维原始细胞的壁开始加厚,并逐渐发育成熟(图版 I:7)。由于额外形成层的产生和活动,成熟的初生韧皮纤维被推向皮层,从而与茎中次生韧皮部分隔开来(图版 I:9)。

#### 2.5 茎内三生结构的发生和发育

根据对牛膝茎连续纵、横切片的观察,我们发现牛膝在茎尖下1~2节间茎中初生和早期次生结构正常,类似于一般草本双子叶植物,以后茎的加粗主要依靠额外形成层活动产生三生结构。

在茎端下第三节间,当次生维管组织分化将近完成时,维管形成层活动减弱,在纤维原始细胞内侧紧靠次生韧皮部及髓射线外侧仍保留的一些原形成层细胞经过多次不定向分裂形成一轮环状的额外形成层。额外形成层细胞首先进行切向分裂,形成由3~5层扁平细胞组成的额外形成层区。由于其细胞在形状、大小上与皮层薄壁细胞和髓射线细胞差别比较大,所以较易区分出来(图版 I:8)。当额外形成层开始活动时首先向内侧进行单向分裂产生数层细胞,其中某些部位的细胞分化为导管和其间的纤维细胞及切向结合组织。导管的分化较快,紧邻额外形成层内侧的导管母细胞迅速生长扩大,常由2~4个导管成群排列成整齐或不整齐的径向系列,导管束之间及其两侧为大量连续排列的木纤维,它们共同组成三生木质部。维管束间的额外形成层则产生木质部间的径向结合组织,其细胞壁后期增厚并木质化,与木纤维不易区分(图版 I:9)。三生韧皮部的分化较晚,在对应三生木质部外方的额外形成层区的外缘,少数几个细胞转化为韧皮母细胞,经多次不定向分裂形成三生韧皮部束。以后三生韧皮部外侧的薄壁细胞反分化形成的片段与额外形成层连接起来,将三生韧皮部束包围在分生组织中间,形成“岛状”的三生韧皮部(图版 I:11,12)。三生结构中的木质部穿插于次生维管

束之间的髓射线中,在茎内形成一圈三生结构。由于额外形成层开始分化的时间不一致,所以三生维管束形成的时间不是同步的,通常在正常维管束束间(髓射线)部位处的三生维管束最先分化完成,而对着正常维管束外侧的三生维管束后分化完成。

#### 2.6 髓维管束的发育

在牛膝茎的初生结构分化中,髓基本分生组织分化为髓薄壁组织的同时,其中两个髓形成层束则分化为髓维管束。据茎端连续纵横切片观察,髓维管束的分化与正常维管束是同步的,其原生韧皮部筛管在髓形成层束外缘最早分化出来,其后原生木质部导管分子才在形成层束的内缘出现,以后分别向内分化出后生韧皮部和后生木质部分子,而形成层束的中央部分的细胞不再分化,保持分生组织状态。当原生木质部分子已经成熟而后生木质部仍在分化时,这些细胞沿切向方向伸长,转化为束中形成层(图版 I:10)。此时,位于髓维管束初生韧皮部外侧的薄壁细胞脱分化,进行不定向分裂,形成不规则排列的薄壁细胞群,成帽状覆盖在初生韧皮部的外面(图版 I:13)。随后束中形成层的细胞进行平周分裂,向内产生次生木质部,向外产生次生韧皮部。其韧皮部由筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞组成,木质部由导管、木纤维和少量木薄壁组织细胞组成(图版 I:14)。至此,茎髓部形成了2个相对的外韧型髓维管束。

牛膝茎中的2个髓维管束为一般外韧型,位于髓的中央,呈游离状态,与正常维管束在位置上没有相关性。但随着茎的不继增粗,髓维管束还会出现一些其它类型:有时在髓维管束韧皮部外面的薄壁细胞群中,某些薄壁组织细胞首先恢复分生能力,形成弧形的异常形成层片段(图版 I:14),并逐渐向两侧扩展,把薄壁细胞群中包围起来。异常形成层首先向内产生韧皮部,并与原来的髓维管束的韧皮部连接起来,形成环状的韧皮部,薄壁细胞被包围在中央(图版 I:15),随后向外产生新的木质部,但木质部始终不连成环状,从而形成不完全的周木型维管束(图版 I:16);另外,在茎的发育中,有时2个外韧型的髓维管束的木质部或韧皮部还会连在一起(图版 I:17,18)。

### 3 讨论

#### 3.1 牛膝茎的初生结构和次生结构

牛膝茎的初生结构和次生结构的分化,类似于一般草本双子叶植物茎的发育规律(伊稍,1982)。其发

育过程包括 4 个阶段:即原分生组织阶段、初生分生组织阶段、初生结构和次生长阶段。但是,牛膝茎的维管形成层的产生和活动不同于一般草本双子叶植物的茎。通过我们的观察发现,牛膝茎的初生维管组织由外韧维管束组成,彼此被宽的髓射线分开,它在次生长过程中,次生维管组织仅由束中形成层产生,而与束中形成层相邻的薄壁细胞并未分化形成束间形成层,因此,维管束仍保留分离状态,它们径向伸展成楔形。

被子植物茎内初生韧皮部外缘的纤维,由于在不同植物中存在着不同的起源,历来存在着一些争论。据我们观察,牛膝茎内的韧皮纤维来源于原形成层,应属于原生韧皮部性质。与其它植物不同的是,在牛膝茎的发育过程中,随着额外形成层的产生,其纤维原始细胞群被推向外侧,与正常维管束分开,以后在额外形成层开始产生三生结构时才逐渐发育成熟。

### 3.2 牛膝茎中额外形成层的发生和活动方式

牛膝茎的轴器官中存在由额外形成层分化产生的三生结构(李金亭等,2006)。据报道此类异常结构普遍存在于 20 余个科的植物中,包括苋科,但大多仅出现在根中,而在根和茎中同时出现的仅有莲子草属(*Alternanthera*)和苋属(*Amaranthus*)等少数种类(Metcalf & Chalk, 1950)。

植物的三生生长是由额外形成层的活动完成的,但在不同的植物中,额外形成层发生的位置有很大变化,可以起源于皮层(Studlome & Philipson, 1966)、中柱鞘(张泓等,1984)、韧皮薄壁细胞(李金亭等,2006)、原形成层细胞(Metcalf & Chalk, 1950)和韧皮射线细胞(张泓等,1987)。牛膝根中的第一圈额外形成层产生于次生韧皮部外侧的薄壁组织细胞和射线细胞,以后的每一圈由前一圈向外衍生的薄壁组织细胞产生。而在牛膝茎中,当次生维管束分化将完成时,其维管柱外侧尚存在 1~2 层薄壁细胞,它们的液泡化程度低,细胞核明显,因此,这些细胞属于保留的原形成层细胞,从观察结果看出牛膝茎中的一圈额外形成层就是由这些细胞恢复分裂能力分化产生的,所以,我们认为牛膝茎中额外形成层产生于原形成层保留的细胞。

具异常结构的植物中,其额外形成层的活动方式主要有 3 种类型(胡正海等,1993),目前在发现三生结构的大多数植物中,其三生生长是由额外形成层双向活动的结果(张泓等,1993)。牛膝茎中的额外形成层在三生生长早期只进行单向活动,即向内交替分化

三生木质部和结合组织。三生韧皮部分化的较晚,由三生木质部外方的额外形成层中少数几个细胞转化为韧皮母细胞,经多次不定向分裂形成三生韧皮部束,并被额外形成层围绕进来形成韧皮部“岛”。这与 Balfour 对一些植物茎的异常结构研究结果基本一致(Balfour, 1965, 1958)。据我们对牛膝茎不同茎节的切片观察,其茎中只形成一圈额外形成层,且从茎端下第三节间开始一直持续地向内产生三生结构,其三生结构主要起增加机械支持力和水份运输的功能。

### 3.3 髓维管束的起源和发育

髓维管束存在于双子叶植物的 48 个科的植物中,其中苋科有 5 个属的植物具髓维管束,它们是牛膝属(*Achyranthes*)、莲子草属(*Alternanthera*)、青葙属(*Celosia*)、杯苋属(*Cyathula*)和 *Pupalia* 属(Metcalf & Chalk, 1950)。关于髓维管束的来源,存在不同的看法。大多数学者认为,髓维管束与内生韧皮部一样,也来源于原形成层。在牛膝茎中,髓基本分生组织的衍生细胞分化为髓薄壁组织的同时,其中两个髓形成层束则分化为髓维管束。因此,我们认为牛膝茎中的髓维管束也来源于原形成层。

髓维管束的木质部通常是由形成层产生的次生木质部(胡正海等,1993)。但据我们观察,牛膝茎中在髓维管束的形成层产生和活动之前,在髓形成层束的内侧已分化出初生木质部,所以其木质部由初生木质部和次生木质部共同组成,髓维管束的发育与茎中正常维管束的发育是同步的。许多植物茎中的髓维管束与正常维管束在位置上存在一定的相关性,例如蓼科(*Rumex orientalis*)植物茎中的髓维管束常常位于较大的正常维管束的内侧(Joshi, 1936)。而牛膝茎中的 2 个髓维管束一般为外韧型,位于髓的中央,呈游离状态,与正常维管束在位置上没有相关性。

髓维管束的结构类型较复杂,即使在同一种植物中也可能存在有多种类型。牛膝茎中的髓维管束多为外韧型,但在发育过程,有时由于在其韧皮部外侧产生的异常形成层的活动或者是 2 个髓维管束的相互合并也会形成不完全的周木型。我们在实验中观察到,牛膝的髓维管束在经过节部时会发生分裂,形成 4 个髓维管束后进入叶柄。因此,不完全的周木型髓维管束的形成可能与其以后的分裂有关。

### 3.4 牛膝茎的结构特征与生理功能的适应

牛膝为草本植物,根长可达 50~80 cm,是次生代谢产物的主要贮存场所;其茎高可达 60~80 cm,

而直径只有 0.5~0.7 cm。因此需要形成一种能很好适应其生理功能的内部结构。牛膝茎中存在有两种不同类型的异常结构,即正常维管系统外围的三生维管组织和髓中的髓维管束。其茎中的三生结构主要由导管、木纤维和径向厚壁结合组织组成,髓维管束的木质部和韧皮部都较发达,这些结构特征增强了机械支持和物质输导的功能,是适应其生理功能的结果。

### 参考文献:

- 中华人民共和国卫生部药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典[M]. 北京:人民卫生出版社
- 胡正海,张泓. 1993. 植物异常结构解剖学[M]. 北京:高等教育出版社
- K 伊稍著,李正理译. 1982. 种子植物解剖学[M]. 上海:上海科学技术出版社
- Balfour E. 1958. Development of the vascular system *Macropiper excelsum* Forst. II. The mature stem[J]. *Phytomorphology*, **8**: 224-233
- Balfour E. 1965. Anomalous secondary thickening in chenopodiaceae, Nyctaginaceae and Amaranthaceae[J]. *Phytomorphology*, **15**(2):111-122
- Chen XM(陈晓明), Xu YJ(徐愿坚), Tian GY(田庚元). 2005. Physical-chemical properties and structure elucidation of AbPS isolated from the root of *Achyranthes bidentata* (牛膝多糖的理化性质研究及结构确证)[J]. *Acta Pharm Sin* (药学报), **40**(1):32-35
- Joshi A C. 1936. The anatomy of *Rumex* with species reference to the morphology of the internal bundles and the origin of the internal phloem in the Polygonaceae[J]. *Amer J Bot*, **23**(5):362-369
- Li JT(李金亭), Tan LL(谭玲玲), Hu ZH(胡正海). 2006. Anatomical study of *Achyranthes bidentata* roots(牛膝根的发育解剖学研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **26**(10):1973-1978
- Meng DL(孟大利), Li X(李铣), Xiong YH(熊印华), et al. 2002. Study on the chemical constituents of constituents of *Achyranthes bidentata* (中药牛膝化学成分研究)[J]. *J Shenyang Pharm Univ* (沈阳药科大学学报), **19**(1):27
- Metcalf CR, Chalk L. 1950. Anatomy of the dicotyledons[M]. Oxford:Clarendon Press
- Studlome WP, Philipson WR. 1966. A comparison of the cambium in two woods with included phloem; *Heimeriodendron brunoneanum* and *Aricennia resinifera* N. Z[J]. *J Bot*, **4**(4):355-365
- Wei Y(卫云), Guo QM(郭庆梅), Ma ST(马书太), et al. 1997. An anatomical study of the root of *Achyranthus bidentata* (怀牛膝根内部结构的研究)[J]. *J Shandong Univ TCM* (山东中医药大学学报), **21**(6):452-455
- Zhang H(张泓), He ZH(胡正海). 1984. Anomalous secondary structures in the roots of medicinal plants(药用植物根中的异常次生结构)[J]. *J Northwest Univ* (西北大学学报), (4):59-66
- Zhang H(张泓), Hu ZH(胡正海). 1987. Developmental studied on the anomalous secondary thickening in the root of medicinal species of *Phytolacca acinosa* (药用植物商陆根中异常次生结构的发育解剖学研究)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **7**(4):121-132
- Zhang H(张泓), He ZH(胡正海). 1988. A developmental anatomical study on in root of medicinal plants of *Achyranthes bidentata* (药用植物牛膝根中异常次生结构的发育解剖学研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **8**(2):85-91
- Zhang H(张泓), Zheng p(郑平), Hu ZH(胡正海). 1993. Histological differentiation of anomalous structure in the stem of *Cyathula officinalis* (川牛膝茎中异常结构的解剖学研究)[J]. *J Northwest Univ* (西北大学学报), **23**(4):360-365

(上接第 166 页 Continue from page 166)

- in plant root tips embedded in butyl-methyl methacrylate[J]. *Cell Bio Int Rep*, **13**(1):137-145
- He Q, You R L, Mwange K N K. 2003. Changes of the microtubule arrays during mitosis in prothallus cells of *Dryopteris crassirhizoma*[J]. *Acta Bot Sin*, **45**(2):193-199
- Liu XD, Lu YG. 2000. Effect of 2,4-D on microtubule reorientation in rice root tips[J]. *Acta Bot Sin*, **42**(4):367-372
- Liu XD, Lu YG, Zhu HL, et al. 2004. Abnormal behavior of nuclei and microtubule(MT) organizational changes during embryo Sac development in the Poly-Egg Mutant, AHIV of Rice[J]. *Acta Bot Sin*, **46**(7):829-838
- Lloyd C W, Slabas A R, Powell A J, et al. 1979. Cytoplasmic microtubules of higher plant cells visualized with anti-tubulin antibodies[J]. *Nature*, **279**:239-241
- Wick S M, Seagull R W, Oshorn M, et al. 1981. Immunofluorescence microscopy of organized microtubule arrays in structurally stabilized meristematic plant cells[J]. *J Cell Biol*, **89**:685-69