

郭晓娟, 陈凌娜, 杨汉奇. 巨龙竹笋-幼竹期秆形发育的组织解剖学研究[J]. 植物科学学报, 2019, 37(3): 280~289  
 Guo XJ, Chen LN, Yang HQ. Tissue development of culm in *Dendrocalamus sinicus* from shoot to young culm stage[J]. Plant Science Journal, 2019, 37(3): 280~289

# 巨龙竹笋-幼竹期秆形发育的组织解剖学研究

郭晓娟, 陈凌娜, 杨汉奇\*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650233)

**摘要:** 巨龙竹(*Dendrocalamus sinicus* Chia et J. L. Sun)是云南特有的珍稀木本丛生竹, 其秆形分为通直型和弯曲型两种变型。为了揭示巨龙竹不同秆形的组织结构特征, 本文通过定点观测0~49 d的巨龙竹笋和幼竹生长发育状况, 并采用石蜡切片技术对笋期0~45 d内样品的组织结构进行比较解剖学研究。结果显示:(1)巨龙竹在笋-幼竹(0~49 d)发育期, 秆高生长呈“慢-快”的趋势, 21~35 d时弯曲型茎秆开始显现, 易于辨别;(2)5~30 d时, 弯曲型茎秆中维管束的发育早于通直型; 对比弯曲型茎秆内外两侧维管束, 内侧维管束导管内径较小, 但纤维鞘中的纤维细胞层数更多;(3)弯曲型茎秆中薄壁细胞的分化早于通直型, 20 d后弯曲型茎秆中的薄壁细胞出现明显的可被番红-固绿染色的细胞核, 并呈有规律的排列; 弯曲型茎秆内侧薄壁细胞稍小于外侧薄壁细胞, 但内侧被染色细胞核的薄壁细胞多于外侧。研究结果表明巨龙竹弯曲型茎秆性状在笋期第21~35 d内即可通过茎秆形态判别, 弯曲型茎秆中维管束的发育以及薄壁细胞分化均早于通直型茎秆, 同一时期弯曲型茎秆内侧细胞分裂较外侧旺盛、维管束木质化程度更高。

**关键词:** 巨龙竹; 秆形; 石蜡切片; 维管束; 薄壁细胞

中图分类号: Q944.55; Q949.71<sup>+4.2</sup>

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2019)03-0280-10

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2019.30280

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Tissue development of culm in *Dendrocalamus sinicus* from shoot to young culm stage

Guo Xiao-Juan, Chen Ling-Na, Yang Han-Qi\*

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650233, China)

**Abstract:** *Dendrocalamus sinicus* Chia et J. L. Sun, a rare bamboo species endemic to Yunnan Province in China, is one of the strongest woody bamboo species in the world. It occurs as two variants, i.e., straight-culmed variant (SC) and bent-culmed variant (BC). To reveal the anatomical basis of SC and BC, we collected data on culm height and morphological characteristics of shoots and young culms (emerged from ground for 0~49 d) from six clumps of *D. sinicus*. In addition, shoot and young culm development (0~45 d) were observed using comparative anatomy based on paraffin sectioning. Results showed that culm-height growth exhibited a “slow-fast” pattern, and the BC morphological character clearly appeared at 21~35 d, which was distinct from that of SC. The development of vascular bundles occurred earlier in BC (5~30 d) than in SC. Within BC, compared with the outer

收稿日期: 2018-11-01, 退修日期: 2018-12-14。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2017ZX001-8, CAFYBB2017QA014); 国家自然科学基金项目(31800503, 3187030574); 云南省科学技术厅项目(2014HB041)。

This work was supported by grants from the Fundamental Research Funds of the Chinese Academy of Forestry (CAF-YBB2017ZX001-8, CAFYBB2017QA014), National Natural Science Foundation of China (31800503, 3187030574), and Department of Sciences and Technology of Yunnan Province (2014HB041).

作者简介: 郭晓娟(1991-), 女, 硕士, 研究方向为竹藤种质资源(E-mail: lkygxj\_417@163.com)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: yanghanqikm@aliyun.com)

vascular bundles, the inner vascular bundles possessed smaller diameters and more fibrocytes in the fibrous sheath. Parenchyma cell differentiation occurred earlier in BC than in SC. Nuclei dyed with Safranine and Fast Green appeared in the parenchyma cells, which became regularly arranged from 20 d in BC. The parenchyma cells in the inner culm of BC were slightly smaller than those in the outer culm, whereas there was a greater number of parenchyma cells with dyed nuclei in the inner culm than in the outer culm. These results showed that the bent culm shape in BC can be identified by culm morphology during 21–35 d. The development of vascular bundles and differentiation of parenchyma cells occurred earlier in BC than in SC. Furthermore, compared with the outer culm in BC at the corresponding period, cell divisions in the inner culm were more vigorous and the degree of vascular bundle lignification was also higher.

**Key words:** *Dendrocalamus sinicus*; Culm shape; Paraffin section; Vascular bundle; Parenchyma cells

## 巨龙竹(*Dendrocalamus sinicus* Chia et J. L.

Sun)为禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambusoideae)牡竹属(*Dendrocalamus*)典型的大型热带丛生竹种,特产于云南南部和西南部,其秆径可达30 cm以上,是优良的大径级竹材和珍稀种质资源,具有重要的栽培和应用价值<sup>[1-4]</sup>。巨龙竹种质资源主要分为弯曲型和通直型两种茎秆变异类型,其不同秆形的产生机理目前尚不清楚,这给良种选育和遗传改良带来不便<sup>[1, 2, 5-8]</sup>。比较解剖学为了解植物性状发育提供了直接证据<sup>[9-11]</sup>,但目前用于巨龙竹茎秆组织结构研究还较少。已有研究表明,巨龙竹成年茎秆的维管束以断腰型和双断腰型为主,弯曲型节间和节隔中的导管、纤维等呈现缩短趋势<sup>[12, 13]</sup>。目前,有关巨龙竹在笋-幼竹发育过程中其茎秆组织结构时空变化的研究尚未见报道。本研究以巨龙竹为材料,通过对其竹笋及幼竹生长进行野外观测,对笋期内的竹笋和幼竹组织结构进行比较解剖学观察,研究巨龙竹茎秆发育特征和秆形分化机理,以期为巨龙竹良种选育和遗传改良提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

研究地点位于云南省西盟县中课镇窝笼村(22°43'48"N、99°32'06"E, 海拔1254 m)和孟连县景信乡东村(22°26'36"N、99°36'31"E, 海拔1007 m)<sup>[3, 8]</sup>。分别从西盟县中课种群中选择通直型(SC)、从孟连县景信种群中选择弯曲型(BC)巨龙竹0~45 d内的竹笋和幼竹,作为秆形发育

和组织解剖观察的实验材料。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 巨龙竹笋-幼竹发育过程观测

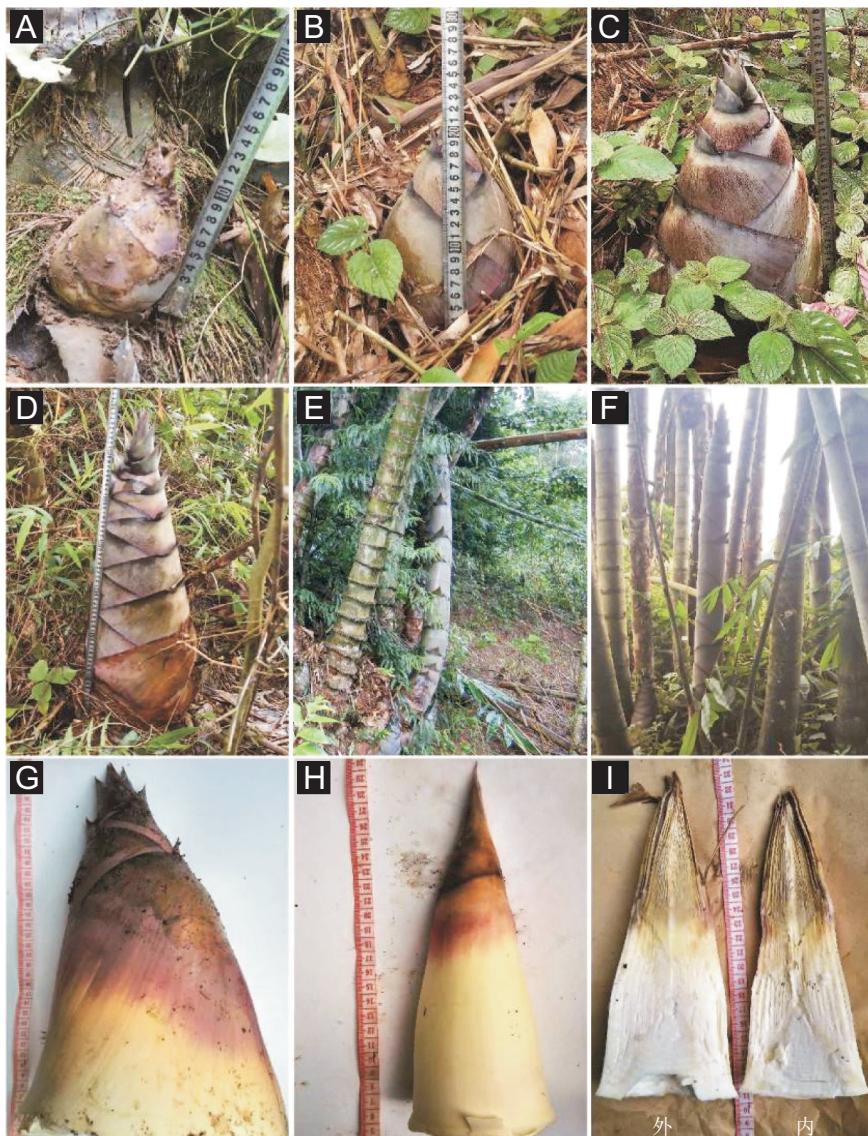
在巨龙竹通直型和弯曲型两种类型中,分别选择长势良好、每丛含10~15秆的3个竹丛,在每丛中挑选地径相似的刚出土竹笋各3头,即每类型挑选9头竹笋进行观测。用油漆做好标记,在巨龙竹笋-幼竹期(5月下旬至8月下旬)进行定点观察,记录竹笋及幼竹生长高度。本实验仅对0~49 d内的笋-幼竹生长发育状况进行观测,研究巨龙竹的秆形发育和分化。

#### 1.2.2 笋-幼竹期茎秆的组织结构观察

根据前期对巨龙竹两种秆型发笋的物候观察结果,秆形弯曲与否能够在竹笋出土约30 d后判别出来,因此,本实验选取竹笋出土后5、10、15、20、30、45 d(图1: A~F),共6个时间点的竹笋或幼竹样品进行解剖观察。由于巨龙竹秆形变异一般发生在成年茎秆基部离地面0~3 m处<sup>[1]</sup>,所以我们从竹笋或幼竹基部距离地面15~20 cm处取样。切取1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm的幼嫩组织,置于FAA固定液中保存,用于植物组织切片观察。

对巨龙竹弯曲型取样时,选取弯曲部位内外两侧的组织样品(图1: G~I)。本文将其弯曲部位向外拱起的一侧称为形态学外侧(以下简称“BC-O”);将向内凹陷的一侧称为形态学内侧(以下简称“BC-I”),并分别在靠近秆壁的组织中取样。

采用石蜡切片方法<sup>[14, 15]</sup>对巨龙竹不同秆形竹笋和幼竹的组织结构进行比较解剖学观察。取处理好的材料,切片,经1%番红-固绿染色、晾干、封



A: 出笋 5 d; B: 出笋 10 d; C: 出笋 15 d; D: 出笋 20 d; E: 出笋 30 d; F: 出笋 45 d。G、H、I 示取样方法。Photos A, B, C, D, E, and F show shoot emergence from ground at 5 d, 10 d, 15 d, 20 d, 30 d, and 45 d, respectively. Photos G, H and I show samples for tissue dissection.

图 1 巨龙竹笋、幼竹及组织解剖取样部位

Fig. 1 Sampling locations of shoots and young culms of *D. sinicus* for tissue dissection

片。将切片置于德国 Leitz ORTHOLUX-II 显微镜下进行观察、拍照和测量。测量指标为：维管束径向宽度、维管束中导管径向宽度、纤维鞘细胞层数、薄壁细胞径向宽度、出现细胞核的薄壁细胞数目。每个显微观察视野随机选取 20 个研究对象(纤维束、导管、薄壁细胞等)测量，3 次重复(即 3 个视野)，然后取算术平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 巨龙竹的笋-幼竹发育过程

0 ~ 49 d 内的巨龙竹竹笋至幼竹的生长发

育大致可分为 3 个阶段(表 1, 图 2)：0 ~ 20 d 内，两种秆型的竹笋生长都较慢，但弯曲型(BC)生长速度稍快于通直型(SC)，此时茎秆形状不易区分。21 ~ 35 d 内，两种秆型竹笋的高增长倍数较前一阶段增长 2.4 ~ 4.9 倍，此阶段 BC 生长速度仍快于 SC，而且弯曲型的茎秆显现，肉眼即可判断茎秆形状。36 ~ 49 d 内，两种秆型竹笋的生长速度都明显加快，高增长倍数较前一阶段增长 3.4 ~ 4.0 倍，此阶段 SC 生长速度显著快于 BC，弯曲型的茎秆较明显，易于判别。

表 1 巨龙竹笋-幼竹期的秆形发育  
Table 1 Culm development in *D. sinicus* from shoot to young culm

出土时间 (d) Days since shoot emergence from ground	通直型/弯曲型竹笋 (幼竹)秆高 (cm) SC/BC culm height	通直型/弯曲型秆高日均增量 (cm/d) SC/BC daily culm height increment	秆形形态变化 Morphological change in culm shape
0 ~ 20	62.3 ± 4.5/101.4 ± 6.8	3.1 ± 0.2/5.1 ± 0.3	竹笋刚出土, 茎秆形状不易判断
21 ~ 35	282.6 ± 15.3/288.5 ± 16.8	12.1 ± 1.01/5.1 ± 1.1	弯曲型的茎秆显现, 易于判断
36 ~ 49	1203.2 ± 31.1/905.1 ± 27.4	61.0 ± 2.1/41.5 ± 1.9	弯曲型的茎秆明显

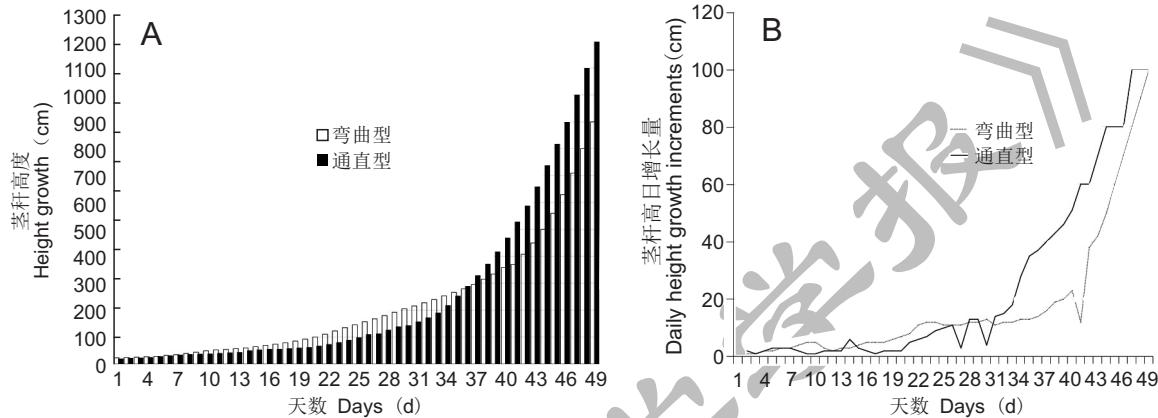


图 2 巨龙竹两种秆型竹笋秆高 (A) 及秆高日增长量 (B)  
Fig. 2 Culm height (A) and daily increment of culm height (B) of shoots of *D. sinicus*

## 2.2 竹-幼竹发育过程中茎秆维管束的变化

巨龙竹两种秆型 0 ~ 45 d 茎秆基部组织横切面观察结果显示(图版 I), 在笋-幼竹发育过程中, 基本组织中维管束随茎秆的生长而逐步发育完善。5 d 时维管束初步显现(图版 I : 1 ~ 3); 10 d 时维管束清晰且导管明显(图版 I : 4 ~ 6); 30 d 时维管束基本发育成熟, 木质部清晰且导管内径增大(图版 I : 13 ~ 15); 45 d 时维管束大而密集, 呈现出典型的双断腰型(图版 I : 16 ~ 18)。

两种秆型相比, BC 中维管束的发育要早于 SC(表 2)。5 d 和 10 d 时, BC 维管束中的原生韧皮部和原生木质部分化明显, 导管明显且内径大于 SC(图版 I : 1 ~ 6)。15 ~ 30 d 时, BC 维管束中的原生韧皮部和原生木质部的分化也早于 SC(图版 I : 7 ~ 15)。SC 维管束的发育 45 d 时可基本完成(图版 I : 18)。

巨龙竹弯曲型茎秆内外两侧维管束相比: BC-O 的维管束(图版 I : 2、5、8、11、14、17)比同期 BC-I 维管束(图版 I : 1、4、7、10、13、16)具有更大的径向宽度及内径更大的导管; 但 BC-I

维管束外围纤维鞘中的纤维细胞层数多于 BC-O 的纤维鞘(表 2)。

## 2.3 竹-幼竹发育过程中茎秆薄壁细胞的发育差异

巨龙竹笋-幼竹发育过程中, 两种秆型茎秆基本组织中薄壁细胞的发育存在一定的差异, BC 中薄壁细胞的分化早于 SC 薄壁细胞(图版 II : 19 ~ 36)。0 ~ 15 d 时两种秆型中的薄壁细胞均呈现出无规律的排列, 形态和数量没有明显差异, 无被番红-固绿染色的细胞核(图版 II : 19 ~ 27)。第 20 d 起 BC 中薄壁细胞出现明显的染色细胞核(表 2, 图版 II : 28 ~ 29), 而 SC 直到 45 d 才出现明显的染色细胞核结构(图版 II : 36)。另外, BC 薄壁细胞从 20 d 起排列密集, 表现出一定的分化趋势(图版 II : 28 ~ 29、31 ~ 32、34 ~ 35); SC 薄壁细胞在 45 d 才呈现有规律的密集排列(图版 II : 36)。巨龙竹弯曲型茎秆内外两侧薄壁细胞形态结构相比可见, 自出土 20 d 起 BC-I 的薄壁细胞(表 2, 图版 II : 28、31、34)稍小于 BC-O 的薄壁细胞(图版 II : 29、32、35), 而且同一时期 BC-I 中出现细胞核的薄壁细胞数目多于 BC-O。

Table 2 Characteristics of vascular bundles and parenchyma cells in base culm of *D. sinicus* during shoot-young culm phase

测量指标	出土 5 d			出土 10 d			出土 15 d		
	BC-I	BC-O	SC	BC-I	BC-O	SC	BC-I	BC-O	SC
维管束径向宽度(μm) Radial width of vascular bundle	152.45 ± 4.84	125.55 ± 3.80	125.67 ± 5.25	200.08 ± 4.99	200.45 ± 5.51	188.28 ± 4.55	312.88 ± 3.01	375.75 ± 7.52	300.21 ± 4.02
维管束中导管径向宽度(μm) Radial width of vessel in vascular bundle	50.00 ± 2.25	63.35 ± 3.01	25.79 ± 3.58	63.61 ± 2.59	73.56 ± 3.52	38.96 ± 4.00	65.52 ± 3.58	78.87 ± 2.98	63.52 ± 2.55
纤维鞘细胞层数 Cell layer of fibrous sheath	2~3	1~2	1~2	2~4	2~3	2~3	5~6	3~4	2~4
薄壁细胞径向宽度(μm) Radial width of parenchyma cell	63.25 ± 3.34	56.05 ± 1.88	65.91 ± 3.46	83.56 ± 3.69	75.11 ± 4.02	73.92 ± 3.89	100.39 ± 4.08	98.52 ± 5.05	78.57 ± 2.47
每 20 个薄壁细胞中出现染色的细胞核的薄壁 细胞数目 Number of parenchyma cells in stained nuclei	0	0	0	0	0	0	0	0	0
测量指标	出土 20 d			出土 30 d			出土 45 d		
	BC-I	BC-O	SC	BC-I	BC-O	SC	BC-I	BC-O	SC
维管束径向宽度(μm) Radial width of vascular bundle	375.89 ± 5.01	475.62 ± 5.21	375.91 ± 6.01	438.25 ± 4.82	525.23 ± 3.52	475.53 ± 6.11	600.91 ± 7.59	650.39 ± 5.90	563.25 ± 6.34
维管束中导管径向宽度(μm) Radial width of vessel in vascular bundle	88.64 ± 6.09	106.65 ± 5.11	85.53 ± 4.88	113.32 ± 3.50	138.29 ± 5.59	90.05 ± 4.02	135.25 ± 3.61	163.52 ± 4.15	138.78 ± 5.44
纤维鞘细胞层数 Cell layer of fibrous sheath	5~8	4~6	3~6	10~16	8~15	8~12	12~16	10~16	8~14
薄壁细胞径向宽度(μm) Radial width of parenchyma cell	56.91 ± 3.66	63.34 ± 4.00	63.52 ± 2.58	50.01 ± 3.48	69.91 ± 3.08	69.05 ± 2.91	63.35 ± 3.61	65.55 ± 5.25	69.21 ± 2.88
每 20 个薄壁细胞中出现染色的细胞核的薄壁 细胞数目 Number of parenchyma cells in stained nuclei	3.4	2.7	0	8.2	6.7	0	14.3	11.8	5.6

注: BC-I 表示弯曲型内侧; BC-O 表示弯曲型外侧; SC 表示通直型。

Note: BC-I and BC-O represent inner and outer culms of bending-cultmed *D. sinicus*, respectively. SC represents straight-cultmed *D. sinicus*.

### 3 讨论

#### 3.1 巨龙竹笋-幼竹期不同秆型茎秆发育过程

竹类植物的秆高主要以节间的伸长生长为主, 秆高生长呈“慢-快-慢”的生长规律<sup>[16, 17]</sup>。巨龙竹完整的笋期生长发育阶段约持续3个月的时间<sup>[1]</sup>, 本实验只对巨龙竹笋期的初始和中期阶段的秆高生长进行了观测, 在笋期0~49 d内, 巨龙竹秆高生长的观测结果表明其总体呈现出“慢-快”的趋势, 其秆高生长的前半程完全符合竹类秆高生长“慢-快-慢”的生长规律。

秆形是巨龙竹良种选育和推广栽培工作中重点关注的性状<sup>[1, 2, 5-7]</sup>, 但关于巨龙竹笋-幼竹发育期何时出现秆形变异目前还未见报道。本研究结果表明, 巨龙竹在竹笋出土后21~35 d内, 其茎秆的秆形即出现明显的形态差异, 可以区分弯曲型和通直型两种茎秆类型, 这也验证了前人关于巨龙竹茎秆性状在竹笋出土约1个月已经定型的观点<sup>[18]</sup>。该研究结果对于了解巨龙竹秆形发育规律, 进而明确其两种秆型分化的具体时间具有重要意义, 可为今后对其进行深入研究的取样时间提供科学依据。

#### 3.2 巨龙竹笋-幼竹发育过程中不同秆型茎秆维管束的差异

组织解剖学观察结果显示, 巨龙竹茎秆的基本结构与其他禾本科植物相似, 均由维管束分布在基本组织中构成<sup>[19-22]</sup>。维管束是竹子疏导组织与纤维组织的综合体, 其中心由薄壁细胞围绕着导管和筛管, 外围由纤维细胞形成纤维鞘。维管束的径向宽度随着茎秆发育成熟而增加<sup>[9, 19]</sup>。巨龙竹不同秆形的茎秆中, 弯曲型茎秆中的维管束发育早于通直型。这可能与巨龙竹两种秆型的生理习性和分布区生境相关。本实验中弯曲型茎秆的取样地点纬度更低, 水热条件更好<sup>[1]</sup>, 有利于竹子茎秆的快速生长发育, 从而促进了弯曲型茎秆基本组织中维管束的分化和发育。

结果显示, 巨龙竹中后生木质部的木质化程度随着其生长发育逐渐增强, 这与前人对毛竹<sup>[16]</sup>的研究结果一致。但是, 与通直型巨龙竹茎秆相比, 弯曲型茎秆内外两侧维管束的发育并不同步, 外侧维管束比同期内侧维管束大, 但内侧维管束维管鞘

中嵌套的纤维细胞更多, 显示出内侧维管束中的原生韧皮部和原生木质部木质化程度更高。植物茎秆中的细胞壁和纤维束含量决定了植物茎秆的物理机械性能<sup>[23-25]</sup>。由于巨龙竹弯曲型茎秆不能像通直型的茎秆那样与地面呈直立生长, 因而导致其基部茎秆弯曲一侧的受力更大, 使得维管束中内侧维管束中具有更多的纤维细胞, 表现出更强的木质化程度。巨龙竹不同类型茎秆内部的组织结构不同, 可能直接造成了表型上的差异。

#### 3.3 巨龙竹笋-幼竹发育过程中不同秆型茎秆薄壁细胞的差异

巨龙竹茎秆在笋-幼竹发育过程中, 两种秆型基本组织中的薄壁细胞发育表现出较明显的差异。弯曲型茎秆中薄壁细胞从出土20 d起就呈现有规律的排列, 显示出一定的分化趋势, 这表明弯曲型茎秆中薄壁细胞的分化早于通直型茎秆。这可能与两种秆型巨龙竹的生理习性和分布区生境的差异相关<sup>[1]</sup>。另外, 植物细胞核的核内物质多少(本文中以可被番红-固绿染色的细胞核为参考)也在一定程度上反映了细胞分裂速度的快慢<sup>[9, 14]</sup>。弯曲型巨龙竹同期茎秆内侧出现可被染色的细胞核薄壁细胞多于外侧, 表明内侧细胞分裂较外侧旺盛。这可能是因为基部茎秆内侧由于弯曲而受力更大, 从而使内侧茎秆需要分化产生更多的维管束和纤维细胞, 以增强茎秆的木质化, 支撑茎秆生长。

### 4 结论

巨龙竹笋期0~49 d内的秆高生长呈现出“慢-快”的趋势, 在出土21~35 d内茎秆弯曲型的性状明显。巨龙竹弯曲型茎秆中维管束的发育以及薄壁细胞的分化均早于通直型茎秆。同一发育时期, 弯曲型茎秆内侧细胞分裂较外侧旺盛, 而且内侧维管束比外侧维管束木质化程度更高。巨龙竹不同秆形的生理性状可能是由茎秆维管束和薄壁细胞发育和分化的差异引起的。

### 参考文献:

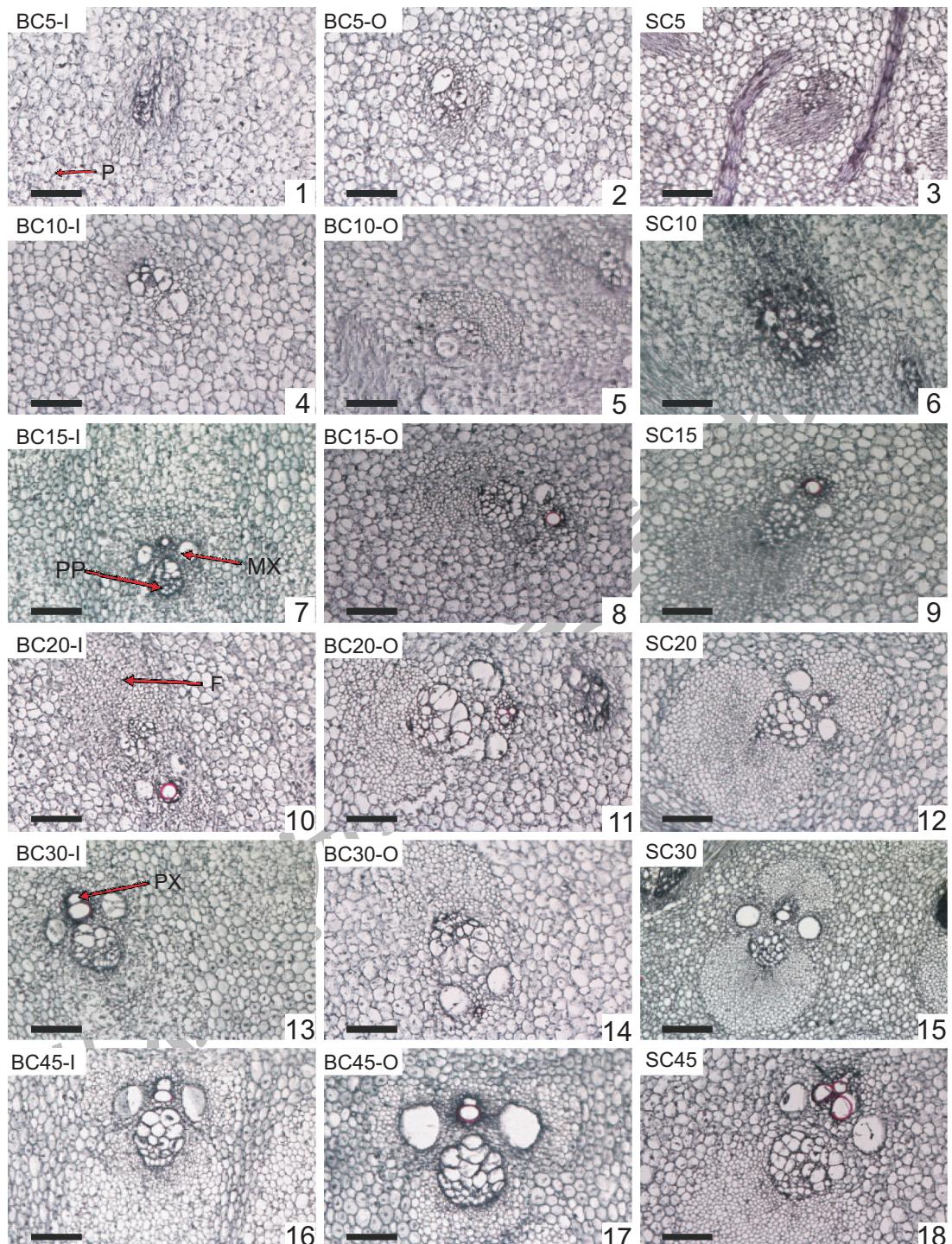
- [1] 辉朝茂, 杨宇明, 杜凡. 珍稀竹种巨龙竹生态生物学特性及开发利用基础性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006.
- [2] 刘世男, 辉朝茂. 珍稀竹种巨龙竹的研究现状和展望[J]. 世界竹藤通讯, 2011, 9(5): 26-30.

- Liu SN, Hui ZM. Research status and outlook of rare bamboo species of *Dendrocalamus sinicus* [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2011, 9(5): 26–30.
- [3] 谷志佳, 杨汉奇, 孙茂盛, 杨宇明. 巨龙竹资源分布特点及其开花结实现象[J]. 林业科学, 2012, 25(1): 1–5.
- Gu ZJ, Yang HQ, Sun MS, Yang YM. Distribution characteristics, flowering and seeding of *Dendrocalamus sinicus* in Yunnan, China [J]. *Forest Research*, 2012, 25(1): 1–5.
- [4] Chen LN, Cui YZ, Wong KM, Li DZ, Yang HQ. Breeding system and pollination of two closely related bamboo species [J]. *AoB Plants*, 2017, 9(3): 1–11.
- [5] 杨汉奇, 孙茂盛, 阮桢媛, 董禹然, 梁宁. 云南4种典型热带丛生竹的种源分化[J]. 林业科学, 2014, 27(2): 168–173.
- Yang HQ, Sun MS, Ruan ZY, Dong YR, Liang N. Study on provenance differentiation of four typical tropical clump bamboos in Yunnan, China [J]. *Forest Research*, 2014, 27(2): 168–173.
- [6] 杨汉奇, 阮桢媛, 田波, 杨宇明, 孙茂盛. 通直型巨龙竹不同地理种源遗传分化的ISSR分析[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(1): 81–86.
- Yang HQ, Ruan ZY, Tian B, Yang YM, Sun MS. Genetic differentiation of four straight-culmed provenances of *Dendrocalamus sinicus* based on ISSRs [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2010, 27(1): 81–86.
- [7] Dong YR, Zhang ZR, Yang HQ. Sixteen novel microsatellite markers developed for *Dendrocalamus sinicus* (Poaceae), the strongest woody bamboo in the world [J]. *Am J Bot*, 2012, 99(9): e347–e349.
- [8] Yang JB, Dong YR, Wong KM, Gu ZJ, Yang HQ, Li DZ. Genetic structure and differentiation in *Dendrocalamus sinicus* (Poaceae; Bambusoideae) populations provide insight into evolutionary history and speciation of woody bamboos [J]. *Sci Rep*, 2018, 8: 16933.
- [9] Li L, Cheng ZC, Ma YJ, Bai QS, Li XY, Cao ZH, et al. The association of hormone signalling genes, transcription and changes in shoot anatomy during moso bamboo growth [J]. *Plant Biotechnol J*, 2018, 16: 72–85.
- [10] 龙海艳, 顾小平, 袁娜, 岳晋军, 楼崇. 开花红哺鸡竹叶片的显微结构与光响应参数研究[J]. 植物科学学报, 2014, 32(3): 273–278.
- Long HY, Gu XP, Yuan N, Yue JJ, Lou C. Microstructure and light-response parameters of flowering bamboo (*Phyllostachys iridescent*) blades [J]. *Plant Science Journal*, 2014, 32(3): 273–278.
- [11] 黄慧敏, 董蓉, 向运蓉, 何丹妮, 陈娟, 张小晶, 陶建平. 不同群落冠层环境下紫耳箭竹笋期生长发育研究 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(5): 696–704.
- Huang HM, Dong R, Xiang YR, He DN, Chen J, Zhang XJ, Tao JP. Study on shooting rhythm of *Fargesia decurvata* under different canopy conditions [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(5): 696–704.
- [12] 普晓兰, 杜凡. 巨龙竹纤维形态及变异规律的研究 [J]. 云南林业科技, 2003, 23(1): 1–4.
- Pu XL, Du F. Study of fiber morphology and its variation law of *Dendrocalamus sinicus* [J]. *Yunnan Forestry Science and Technology*, 2003, 23(1): 1–4.
- [13] 普晓兰, 杜凡. 巨龙竹竹材结构及其变异的解剖学研究 [J]. 西南林学院学报, 2003, 24(1): 1–5.
- Pu XL, Du F. Anatomical Studies on the culm and variation of *Dendrocalamus sinicus* [J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2003, 24(1): 1–5.
- [14] 崔凯. 毛竹茎秆快速生长的机理研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [15] 叶祖云, 阮少江. 绿竹笋的石蜡切片制作 [J]. 宁德师专学报(自然科学版), 2005, 17(2): 140–141.
- Ye ZY, Ruan SJ. Manufacture of paraffin section on green bamboo shoot [J]. *Journal of Ningde Teachers College (Natural Science)*, 2005, 17(2): 140–141.
- [16] 李龙. 毛竹笋生长空间变化规律和生长素相关基因分析 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [17] 李霞, 郭振华. 麻竹节间伸长过程的初步研究 [J]. 植物分类与资源学报, 2014, 36(1): 22–28.
- Li X, Guo ZH. A pilot study on internode elongation in a paleotropical bamboo, *Dendrocalamus latiflorus* (Poaceae: Bambusoideae) [J]. *Plant Diversity and Resources*, 2014, 36(1): 22–28.
- [18] 辉朝茂, 张国学, 李在留, 谷中明, 杨宇明. 珍稀竹种巨龙竹种群特性及其保护研究 [J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(4): 4–9.
- Hui ZM, Zhang GX, Li ZL, Gu ZM, Yang YM. A study on the population characteristics of the valuable and rare bamboo species of *Dendrocalamus sinicus* and its conservation in Yunnan, China [J]. *Journal of Bamboo Research*, 2004, 23(4): 4–9.
- [19] 徐有明, 郝培应, 费本华. 竹笋形态发育构建过程中解剖结构及化学成分的动态变化 [J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(4): 8–11.
- Xu YM, Hao PY, Fei BH. Dynamic change of anatomical structure and chemical constituents of bamboo shoots for *Phyllostachys pubescens* at development stage [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(4): 8–12.

- [20] 金亮, 薛庆中, 肖建富, 张宪银. 不同倍性水稻植株茎解剖结构比较研究 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(5): 489-496.
- Jin L, Xue QZ, Xiao JF, Zhang XY. Comparative studies on stem anatomical structure of rice plants with various ploidy level [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science)*, 2009, 35(5): 489-496.
- [21] 李素坤, 张秋芝, 郝玉兰, 南张杰, 朱瑾, 陈丽, 潘金豹. 玉米成熟期茎秆石蜡切片方法的研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 3935-3937.
- Li SK, Zhang QZ, Hao YL, Nan ZJ, Zhu J, Chen L, Pan JB. Research on the method of paraffin section of the corn stalk in its maturity stage [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(8): 3935-3937.
- [22] 李兴会, 罗蓓, 何蕊. 青皮竹和慈竹不同发育期竹材解剖特征研究 [J]. 世界竹藤通讯, 2017, 15(4): 9-12.
- Li XH, Luo B, He R. Anatomical characteristics of *Bambusa texilis* McClure and *Bambusa emeiensis* in different growth periods [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2017, 15(4): 9-12.
- [23] Gritsch CS, Murphy RJ. Ultrastructure of fibre and parenchyma cell walls during early stages of culm development in *Dendrodalamus asper* [J]. *Ann Bot*, 2005, 95(4): 619-629.
- [24] 杨艳华, 朱镇, 张亚东, 赵庆勇, 周丽慧, 王才林. 水稻茎秆解剖结构与抗倒伏能力关系的研究 [J]. 广西植物, 2012, 32(6): 834-839.
- Yang YH, Zhu Z, Zhang YD, Zhao QY, Zhou LH, Wang CL. Relationship between anatomic structure of the stem and lodging resistance of rice [J]. *Guizhou Botany*, 2012, 32(6): 834-839.
- [25] Cui L, Peng WX, Sun ZJ, Shang LL, Chen GN. Weibull statistical analysis of tensile strength of vascular bundle in inner layer of Moso bamboo culm in molecular parasitology and vector biology [J]. *Pak J Pharm Sci*, 2014, 27(S4): 1083-1087.

郭晓娟等: 图版 I

Guo Xiao-Juan et al.: Plate I

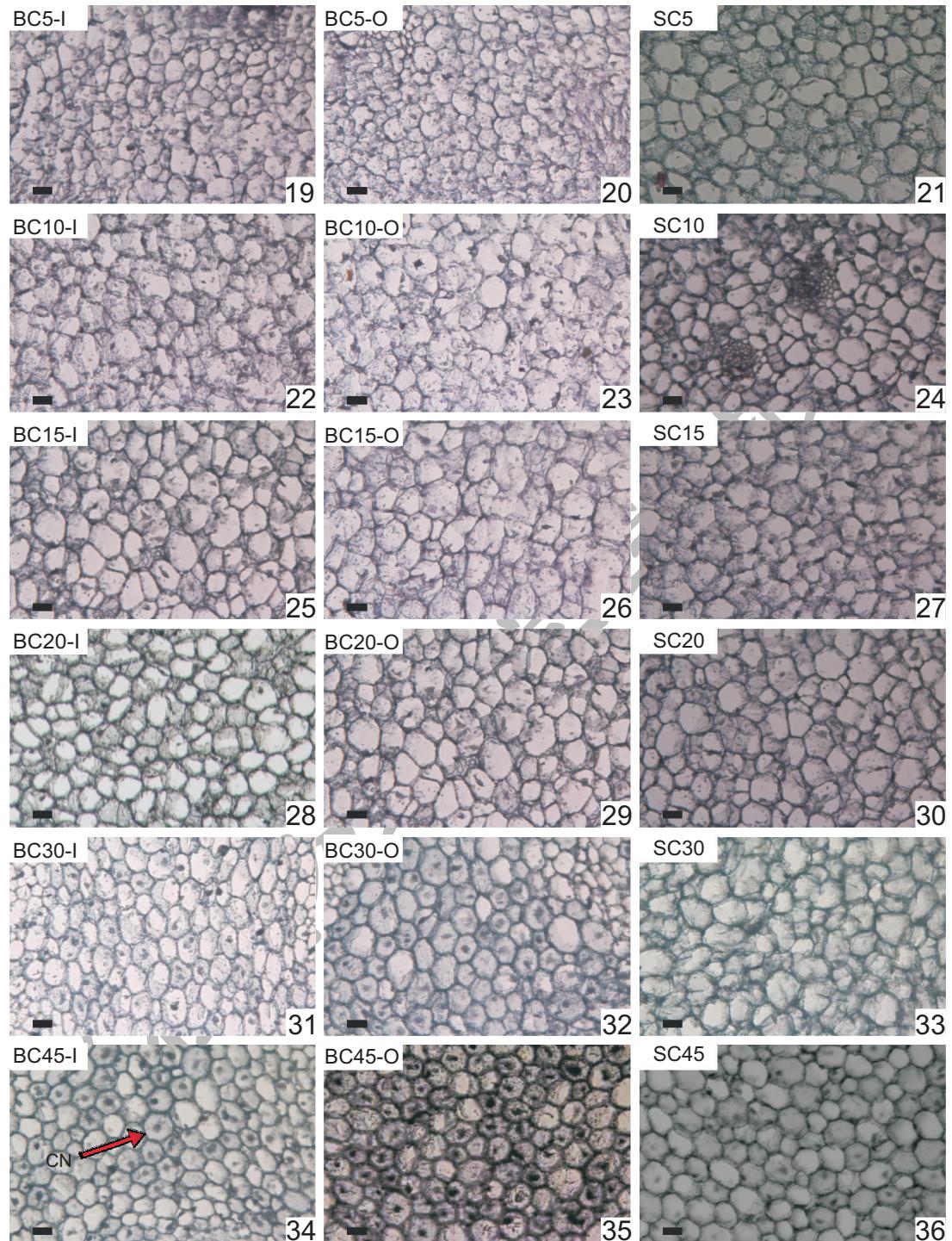


巨龙竹笋-幼竹期不同秆型茎秆基部组织维管束。BC-I 表示弯曲型内侧; BC-O 表示弯曲型外侧; SC 表示通直型; 数字 5、10、15、20、30、45 分别表示竹笋出土天数。F: 纤维细胞; P: 薄壁细胞; PP: 原生韧皮部; MX: 后生木质部; PX: 原生木质部。标尺 = 100 μm。

Vascular bundles in base culm of *D. sinicus* during shoot-young culm phase. BC-I and BC-O represent inner and outer culms of bending-culmed *D. sinicus*, respectively. SC represents straight-culmed *D. sinicus*. Numbers 5, 10, 15, 20, 30, and 45 indicate number of days since emergence of bamboo shoots, respectively. F: Fiber cells; P: Parenchymal cells; PP: Protophloem; MX: Metaxylem; PX: Protoxylem. Scale bar = 100 μm.

## 郭晓娟等: 图版 II

## Guo Xiao-Juan et al.: Plate II



巨龙竹笋-幼竹期不同秆型茎秆基部组织薄壁细胞。BC-I 表示弯曲型内侧; BC-O 表示弯曲型外侧; SC 表示通直型; 数字 5、10、15、20、30、45 分别表示竹笋出土天数。CN: 细胞核; 标尺 = 50 μm。

Parenchyma cells in base culm of *D. sinicus* during shoot-young culm phase. BC-I and BC-O represent inner and outer culms of bending-culmed *D. sinicus*, respectively. SC represents straight-culmed *D. sinicus*. Numbers 5, 10, 15, 20, 30, and 45 indicate number of days since emergence of bamboo shoots, respectively. CN: Cell nucleus; Scale bar = 50 μm.