

厚壁毛竹与毛竹叶片的光学解剖结构比较分析

龙春玲, 刘腾飞, 于芬, 杨清培, 施建敏, 杨光耀*

(江西农业大学 江西省竹子种质资源研究与利用重点实验室, 南昌 330045)

摘要: 采用常规石蜡切片技术, 对厚壁毛竹 *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen' 和毛竹 *Phyllostachys edulis* 的叶片进行比较解剖研究, 分析厚壁毛竹和毛竹叶表皮、叶肉细胞和梭形细胞等性状的解剖特征。结果表明, 厚壁毛竹与毛竹叶的解剖结构组成基本相似; 同一竹种不同年龄竹叶间各解剖因子存在明显差异, 1年生新竹叶片的梭形细胞最为发达, 导管截面积, 输水截面积和韧皮部截面积也均高于其他年龄竹; 而3至5年生竹的叶角质层厚度、维管束鞘细胞截面积大于1年生和2年生竹。

关键词: 厚壁毛竹; 毛竹; 营养叶; 解剖结构

中图分类号: S781.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)01-0039-06

Comparative anatomy of leaves between *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen' and *Phyllostachys edulis*

LONG Chunling, LIU Tengfei, YU Fen, YANG Qinpei, SHI Jianmin, YANG Guangyao

(Jiangxi Provincial Key Laboratory for Bamboo Germplasm Resources and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: The comparative anatomical structures of leaves between *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen' and *Ph. edulis* were conducted by paraffin section method. Anatomical characteristics of epidermis, mesophyll cell and fusoid cells in *Ph. edulis* 'pachyloen' and *Ph. edulis* were analyzed. The results indicated that the anatomical structure of *Ph. edulis* 'Pachyloen' and *Ph. edulis* are extremely similar, but there are obvious differences in each anatomical factor between different ages of the same species. One-year old new bamboo has the most developed fusoid cells; the vessel section area, conveyance water section area and phloem section area of one-year old bamboo leaves are also higher than the others. The cuticle thickness of 3 years to 5 years old bamboo is much bigger than that of one year old and two years old bamboo.

Key words: *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen'; *Phyllostachys edulis*; foliage leaf; comparative anatomy

厚壁毛竹 (*Phyllostachys edulis* 'Pachyloen') 是毛竹 (*Ph. edulis*) 新品种, 是我国首个获得植物新品种保护权的竹类新品种, 江西特有。与毛竹相比, 其主要变异特点为: 竹秆壁厚, 基部近实心。因其野生种群数量少, 处于濒危状态, 已被列为江西省重点保护植^[1-3]。引种试验结果表明厚壁毛竹秆壁特厚、生物量大的特异性状具有高度的稳定性^[3]。

叶是进行光合作用、蒸腾作用和合成有机物质的主要器官, 其结构特点对于功能具有重要的影响。叶肉细胞是叶片进行光合作用的主要部位, 其形态和排列与叶片叶绿素含量、光合速率密切相关。已有研究表明, 植物叶结构特征与系统分类^[4-7]、光合

速率和抗逆性等密切相关^[8-12]。厚壁毛竹特殊性状的形成可能有相应的结构为基础。通过对比研究厚壁毛竹和毛竹叶解剖结构特征, 试图进一步了解厚壁毛竹与毛竹叶的内部结构及生长差异。

1 材料与方法

实验材料取自江西农业大学竹类植物种质园, 采样时间为2010年7月。厚壁毛竹是1993年从江西万载县原产地引入园内栽培, 毛竹为2004年从江西农业大学校园内栽培了20多年的毛竹林中引入园内。分别取自秆龄1至5年的厚壁毛竹与毛竹, 两竹种每一竹龄各选取3株, 每株从中部冠层取不

收稿日期: 2014-05-19

基金项目: 国家自然科学基金 (31000298, 30760204) 和江西省自然科学基金 (2009GQN0011) 共同资助。

作者简介: 龙春玲, 硕士研究生。E-mail: yiyemuer@163.com

* 通信作者: 杨光耀, 博士, 教授。E-mail: yanggy2004@126.com

同枝条上长势良好、无病虫害的成熟叶片，每枝至少3片。将取好的叶片立即放入70%的FAA固定液固定，切片前用15%的HF去硅38h，流水冲洗1d，常规石蜡制片，切片厚度8~10 μm，番红—固绿对染，Leica 2500光学显微镜下观察拍照，QwinV3测量细胞厚度、大小，每类细胞至少测量100个，SPSS分析处理数据。

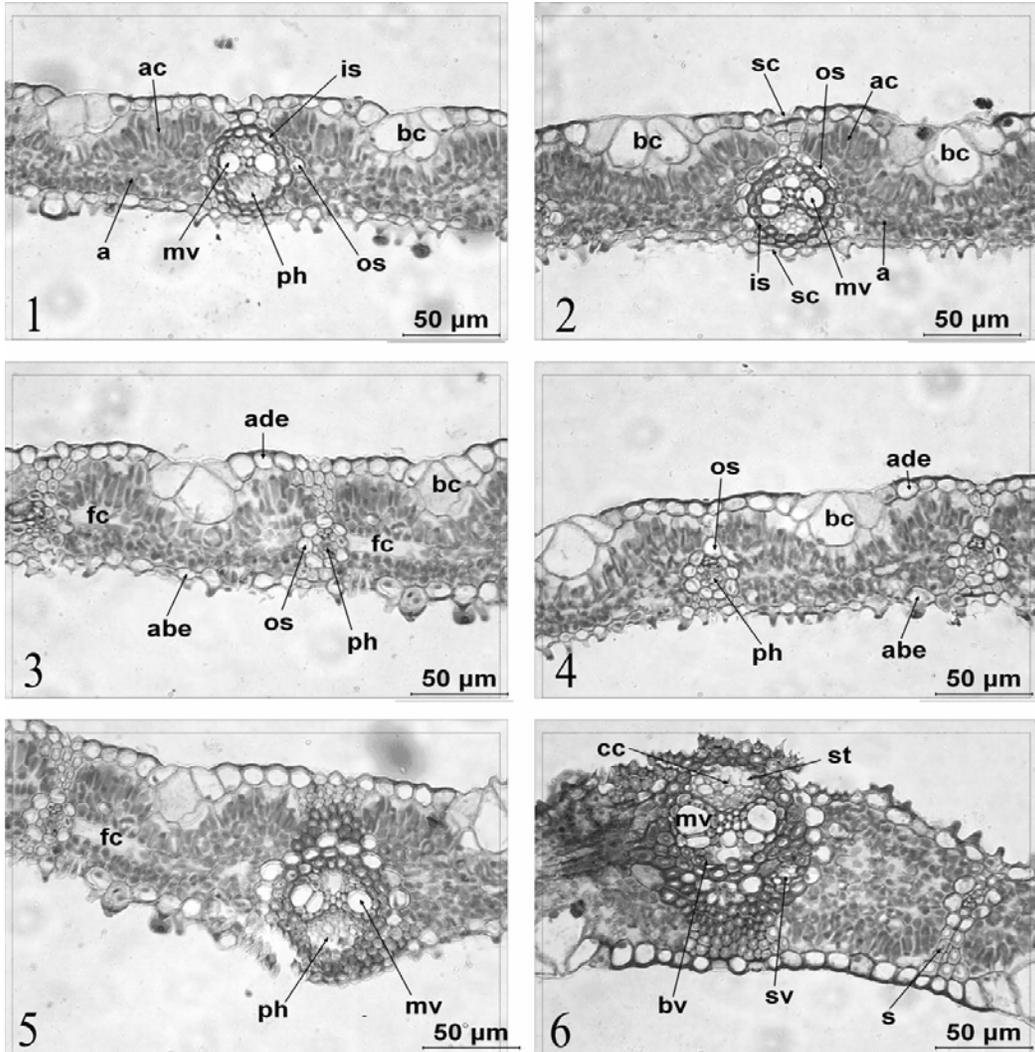
2 结果与分析

2.1 表皮组织的比较解剖特征

毛竹与厚壁毛竹的叶表皮结构基本相似，均由一层扁平的、形状不规则的细胞嵌合而成。纵切面上，表皮由长、短细胞组成，长细胞壁厚而波曲，短细胞硅质化或木栓化，单一或成对出现。上表皮

的脉间区域分布有泡状细胞，无色透明，成组出现，一般3~7个联合呈扇形向内伸入叶肉细胞。下表皮分布有乳突、气孔器、微毛和刺毛(图1-1)。气孔器主要分布在下表皮，由副卫细胞和保卫细胞共同组成。保卫细胞呈肾形、壁薄、含有叶绿体，半圆形结构。硅细胞无色透明，常出现在维管束垂直方向的表皮内陷处(图1-2)。

两竹种的叶表皮结构各组成因子间的差异也不显著。不同秆龄的厚壁毛竹和毛竹叶表皮各结构(除了角质层)未表现出明显的变化规律。秆龄不同的竹，其叶角质层厚度变化较明显，一般秆龄3~5年的竹叶角质层较厚。除秆龄2年的竹外，其余各秆龄的竹叶泡状细胞无明显差异。



1. 厚壁毛竹叶一级维管束横切面; 2. 毛竹一级维管束横切面; 3. 厚壁毛竹叶小维管束横切面; 4. 毛竹小维管束横切面; 5. 厚壁毛竹叶主脉横切面; 6. 毛竹主脉横切面

1. Transverse section of first-order bundle in *Phyllostachys edulis* 'pachyloen'; 2. Transverse section of first-order bundle in *Ph. edulis*; 3. Transverse section of small bundle in *Ph. edulis* 'pachyloen'; 4. Transverse section of small bundle in *Ph. edulis*; 5. Transverse section of midrib in *Ph. edulis* 'pachyloen'; 6. Transverse section of midrib in *Ph. edulis*

图1 解剖特征

Figure 1 Anatomical feature

表 1 厚壁毛竹与毛竹叶表皮的形态解剖特征比较

Table 1 Comparison of the morphological and anatomical feature in epidermis of *Ph. edulis* 'pachyloen' and *Ph. edulis*

竹种 Bamboo species	秆龄/年 Stalk age	上表皮 厚度/ μm Upper epidermal thickness	下表皮 厚度/ μm Lower epidermal thickness	角质层 厚度/ μm Stratum corneum thickness	乳突厚度/ μm Mastoid process thickness	泡状细胞 截面积/ μm^2 Sectional area of bulliform cell
厚壁毛竹 <i>Ph.edulis</i> 'Pachyloen'	1	9.48±1.92 ^a	7.39±1.78 ^{ab}	2.73±0.86 ^a	7.96±1.59 ^a	482.95±224.14 ^{ac}
	2	8.30±1.50 ^{bef}	7.53±1.51 ^a	2.27±0.52 ^{bef}	6.85±1.40 ^b	366.57±153.14 ^b
	3	8.42±1.60 ^{bc}	7.11±1.28 ^{bc}	3.27±0.70 ^{ce}	9.47±1.76 ^c	478.62±179.03 ^{cd}
	4	7.39±1.15 ^c	7.30±1.29 ^{ab}	3.69±0.83 ^{dh}	9.39±1.76 ^c	467.11±179.52 ^{cd}
	5	8.75±1.73 ^{dg}	7.34±1.43 ^{ab}	3.19±0.82 ^e	8.47±1.32 ^d	502.79±213.59 ^d
	平均值 Average		8.76±1.85	7.35±1.56	2.94±0.90	8.43±1.85
毛竹 <i>Ph.edulis</i>	1	8.96±1.87 ^{bs}	7.21±1.64 ^{ab}	2.13±0.64 ^f	8.25±1.82 ^{ad}	441.57±207.85 ^c
	2	8.32±1.71 ^e	7.22±1.46 ^{ab}	2.35±0.56 ^g	8.95±1.58 ^e	388.15±172.87 ^b
	3	8.14±1.51 ^{ef}	6.83±1.21 ^c	3.51±0.75 ^h	8.61±1.73 ^{de}	474.01±182.95 ^{adc}
	4	7.89±1.32 ^f	7.32±1.16 ^{ab}	3.58±0.79 ^h	8.25±1.63 ^{ad}	431.78±162.61 ^{ac}
	5	9.12±2.31 ^{ag}	7.46±1.68 ^{ab}	2.92±0.68 ⁱ	8.39±1.41 ^d	579.79±223.81 ^e
	平均值 Average		8.55±1.83	7.21±1.49	2.61±0.83	8.48±1.66

注: 表中数据为平均数据±标准差, 同列拥有相同字母即表示细胞间差异不显著, 不同字母即表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: The values in the table are Mean ± SD. The data followed by the same letters in the same column indicate no significant difference, and by different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 2 厚壁毛竹与毛竹叶肉细胞解剖特征比较

Table 2 Comparison of the anatomical feature in mesophyll cells between *Ph. edulis* 'pachyloen' and *Ph. edulis*

竹种 Bamboo species	秆龄/年 Stalk age	指状臂细胞 厚度/ μm Arm cell thickness	不规则臂 细胞厚度/ μm Arm of arm-cell thickness	叶片厚度/ μm Blade thickness	Ac : A	维管束鞘细胞 截面积/ μm^2 Sectional area of outer bundle sheath
厚壁毛竹 <i>Ph.edulis</i> 'Pachyloen'	1	22.87±6.66 ^a	26.29±8.38 ^a	86.86±8.14 ^a	0.87 ^a	55.42±18.54 ^{ac}
	2	16.97±5.62 ^b	19.73±4.45 ^b	75.27±6.08 ^b	0.86 ^a	53.47±20.08 ^a
	3	23.92±6.11 ^a	26.87±7.19 ^{ae}	90.61±6.73 ^c	0.89 ^a	61.79±16.74 ^b
	4	21.19±4.31 ^{ce}	24.00±7.28 ^c	87.71±7.04 ^a	0.88 ^a	61.26±17.60 ^b
	5	22.25±8.68 ^{acf}	27.10±9.13 ^{ae}	92.11±8.04 ^c	0.82 ^a	59.38±18.26 ^{bc}
	平均值 Average		21.17±7.14	24.64±8.15	85.00±11.44	0.85
毛竹 <i>Ph.edulis</i>	1	19.23±5.62 ^d	20.45±8.45 ^b	79.50±11.31 ^d	0.94 ^b	53.51±18.31 ^a
	2	18.45±5.00 ^d	22.02±6.88 ^d	75.27±10.65 ^e	0.84 ^a	52.65±19.75 ^a
	3	20.75±5.02 ^e	22.81±6.98 ^{cd}	78.82±6.43 ^d	0.91 ^a	55.19±16.87 ^{ac}
	4	20.89±4.16 ^{ef}	23.92±6.15 ^c	76.29±7.16 ^e	0.87 ^a	59.51±14.98 ^{bc}
	5	23.04±6.22 ^{ace}	27.95±8.57 ^e	95.80±7.75 ^f	0.83 ^a	63.39±20.00 ^b
	平均值 Average		20.39±5.67	23.33±8.43	81.14±11.21	0.87

2.2 基本组织的比较解剖特征

基本组织包括叶肉细胞、梭形细胞和维管束鞘细胞, 其中叶肉细胞是基本组织的主要组成部分。横切面上指状臂细胞一般是从叶片近轴面往远轴面方向发生内褶, 但泡状细胞附近的臂细胞会向近轴面方向发生外褶; 不规则臂细胞内褶皱方向不固定, 细胞间排列紧密。维管束附近的指状臂细胞一般有 2 层, 主脉附近有 3 层, 最外层的臂细胞较发达, 往内逐渐变小; 叶片其他部位指状臂细胞均只

有 1 层(图 1-5, 1-6)。同秆龄的厚壁毛竹叶片厚度、指状臂细胞厚度和不规则臂细胞厚度略微高于毛竹, 差异不显著。但同一竹种不同秆龄间存在差异, 一般秆龄 3 年~5 年的竹其指状臂细胞厚度、不规则臂细胞厚度和叶片厚度高于秆龄 1、2 和 4 年的竹。

对两竹种不同秆龄竹其指状臂细胞(arm cell)厚度与不规则臂细胞(arm of arm cell)厚度(Ac : A) 比进行比较发现, 不同秆龄的厚壁毛竹的 Ac : A 比基本相似, 变化差异不显著; 毛竹的 Ac : A 比略高

于厚壁毛竹,不同秆龄竹之间的差异较明显,秆龄1年的竹其Ac:A比高于其他秆龄的竹(表2)。

维管束鞘细胞有2层,紧密的包围在维管束的外侧。其外鞘为薄壁细胞,内鞘为厚壁细胞(图1-1,

1-2)。厚壁毛竹的维管束鞘细胞截面积略大于毛竹,对于同一竹种,一般秆龄3~5年的竹其维管束鞘细胞截面积大于秆龄1、2年竹(表2)。

表3 厚壁毛竹和毛竹梭形细胞解剖特性

Table 3 Anatomical character of fusoid cells in *Ph. edulis* 'pachyloen' and *Ph. edulis*

竹种 Bamboo species	秆龄/年 Stalk age	叶截面数/片 No. of blade section	梭形细胞 Fusoid cell		梭形细胞截面积/ μm^2 Sectional area of fusoid cell
			数目 No.	密度/片叶截面 $^{-1}$ Density	
厚壁毛竹 <i>Ph. edulis</i> 'Pachyloen'	1	30	143	4.77	457.35±191.36 ^a
	2	30	113	3.77	340.96±79.15 ^{bc}
	3	30	12	0.40	426.98±79.88 ^{ab}
	4	30	63	2.10	376.65±54.98 ^{ab}
	5	30	37	1.23	295.99±59.62 ^b
	平均值 Average	/	/	/	2.45
毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	1	30	601	20.03	478.32±185.93 ^a
	2	30	176	5.86	455.08±141.99 ^{ac}
	3	30	35	1.16	424.20±95.64 ^{abc}
	4	30	367	12.33	430.04±123.16 ^{abc}
	5	30	11	0.37	318.67±28.46 ^{bc}
	平均值 Average	/	/	/	7.93

表4 厚壁毛竹和毛竹叶中部维管束的比较解剖特征

Table 4 Comparison of the anatomical feature in vascular bundles of middle leaves in *Ph. edulis* 'pachyloen' and *Ph. edulis*

竹种 Bamboo species	秆龄/年 Stalk age	一级维管束数目 No. of first vascular	次生木质部导管 Large metaxylem vessel		输水截 面积/ μm^2 C=NA	韧皮部 Phloem	
			数量 N	截面积/ μm^2 A		截面积/ μm^2 Sectional area	比率/% Ratio
厚壁毛竹 <i>Ph. edulis</i> 'Pachyloen'	1	30	77	153.73 ^a	11837.21	475.08 ^{ad}	155.09
	2	30	73	112.73 ^{bc}	8229.29	403.54 ^b	131.73
	3	30	82	124.58 ^b	10215.56	393.25 ^b	128.37
	4	30	66	115.86 ^{bc}	7646.76	306.33 ^c	100.00
	5	30	67	132.04 ^b	8864.68	411.47 ^b	134.32
	平均值 Average	/	/	/	128.11	46760.15	397.94
毛竹 <i>Ph. edulis</i>	1	30	73	121.44 ^{bc}	8865.12	437.37 ^{ab}	142.78
	2	30	77	130.59 ^b	10055.43	394.40 ^b	128.75
	3	30	72	104.99 ^c	7559.28	327.95 ^c	107.06
	4	30	80	129.85 ^b	10388.00	337.12 ^c	110.05
	5	30	69	162.29 ^a	11198.01	512.83 ^d	167.42
	平均值 Average	/	/	/	129.49	48040.79	401.93

从各秆龄竹中随机抽取30个叶中部横截面,对梭形细胞的截面积、密度进行统计分析,毛竹梭形细胞较厚壁毛竹发达,但毛竹梭形细胞截面积在不同秆龄竹间变化规律不明显,而厚壁毛竹的梭形细胞截面积在不同秆龄竹间差异明显,秆龄1、3年的竹其梭形细胞截面积显著大于秆龄2、4、5年的竹(表3)。梭形细胞的密度在不同秆龄竹间表现出较

为明显的变化规律,秆龄1年的竹梭形细胞密度最高,其次为秆龄4、2年竹;秆龄3、5年的竹其梭形细胞截面积与其它秆龄竹梭形细胞截面积基本相当,但密度明显减少。这一规律在毛竹叶片上体现得较为明显。同一叶片上,梭形细胞在叶中部出现的频率最高,叶基部没有发现梭形细胞。

2.3 维管组织的比较解剖特征

叶脉分为主脉和平行侧脉。主脉是由多个维管束组成的复合维管系统, 周围的厚壁组织非常发达。主脉维管束鞘有 2~4 层, 外鞘为薄壁细胞, 内侧几层均为厚壁细胞, 内鞘厚壁细胞与表皮层附近的厚壁组织相连, 将基本组织隔成若干个区室。主脉结构随着叶片部位变化而不同, 在叶基部主脉被基本组织分为两部分, 远轴面侧的维管束后生木质部发达, 近轴面侧的维管束后生木质部不发达, 维管束周围存在大量厚壁组织; 至叶片中部基本组织逐渐分化, 两部分维管束合并为拥有 3 个维管束的复合维管系统, 厚壁组织紧密的包围在主脉外侧, 并延伸至表皮层; 至叶梢部主脉维管系统中后生木质部不发达的两个小维管束逐渐消失, 维管系统变为单维管束结构, 周围厚壁组织依然较发达(图 1-5, 1-6)。

平行侧脉有两种类型, 一级平行侧脉(一级维管束)和二级平行侧脉(小维管束)。维管束一般靠近远轴面, 一级维管束有韧皮部、原生木质部、次生木质部导管和气腔等结构, 韧皮部靠近远轴面。维管束外被两层鞘细胞包围, 外层为薄壁细胞, 内层为厚壁细胞(图 1-1, 1-3)。一级维管束的外层薄壁鞘细胞分布不连续, 在靠近表皮处被内层厚壁细胞分开; 内层厚壁鞘细胞分布连续且紧密包围在维管束外侧。远轴面侧内鞘厚壁细胞与表皮细胞相联, 近轴面侧与皮层附近的厚壁组织连接, 将基本组织分隔成若干不相连的区室。小维管束的木质部没有大型的导管, 韧皮部也较小。外层薄壁鞘细胞比内层厚壁鞘细胞发达, 束外两层维管束鞘细胞均分布连续, 外层鞘细胞与表皮和维管束之间的厚壁组织相连。

随机抽取 30 个不同秆龄的竹叶片中部的一级维管束(二级管束的木质部和韧皮部较小, 不易测量), 对其次生木质部导管的数量、截面积和韧皮部截面积进行测量, 并计算其输水截面积(数量×截面积)和韧皮部相对比率(表 4)。分析发现毛竹的导管截面积和韧皮部截面积与厚壁毛竹相近, 输水截面积略大于厚壁毛竹, 不同秆龄的竹之间未表现出明显的规律性变化。

3 小结与讨论

植物叶片的组织结构是植物对环境长期适应而表现的特征, 从植物组织结构的研究中可以了解植物对特定环境的适应性。通过石蜡切片观察发现, 毛竹和厚壁毛竹叶表皮结构组成基本相似, 但少数解剖因子间存在一定的差异。厚的角质层可以有效

防止蒸腾失水, 是反映植物耐旱能力的一个重要指标, 角质层的加厚可以减少叶表面空气的流动, 提高热稳定性, 对植物的光合作用和呼吸作用有重要的影响。角质层的存在保护植物不受细菌与真菌的侵害, 并具有较强的折光率, 可以减少病害和防止过度日晒引起的损害^[12]。李建^[13]对 1 年生厚壁毛竹和毛竹光合及抗性生理的研究发现厚壁毛竹的光合作用和抗逆性比毛竹高。在叶表皮组织中, 厚壁毛竹叶片结构具有比毛竹更厚的角质层和表皮细胞, 叶表皮结构研究结果也从另一方面反映了厚壁毛竹在光合能力与抗逆性方面的不同。秆龄不同的竹其叶角质层厚度变化较明显, 一般秆龄 3~5 年的竹其角质层厚于秆龄 1、2 年竹, 表明随着秆龄增加, 竹子抗逆性可能增强。

竹类植物叶肉细胞存在未分化和已分化 2 种类型, 已分化类型的叶肉细胞分化为上表皮的指状臂细胞和下表皮的不规则臂细胞。叶肉细胞不分化的竹种均原始, 叶肉的不规则臂细胞成为放射状的竹种则最为进化, 其他竹种叶肉不规则臂细胞无定形的则为中间过渡类型。在单轴型竹类, 如刚竹属, 其不规则臂细胞均分化为放射状^[14]。厚壁毛竹为毛竹种内变异类型, 同属刚竹属(*Phyllostachys*)其叶肉细胞有指状臂细胞和不规则臂细胞的分化, 体现了两者的亲缘。

厚壁毛竹和毛竹不同秆龄叶肉细胞各解剖特征值进行分析比较后发现, 两者的指状臂细胞与不规则臂细胞的厚度比(Ac:A)基本相当, 秆龄 1 年的毛竹 Ac:A 比明显高于同秆龄厚壁毛竹, 其他秆龄厚壁毛竹与毛竹的 Ac:A 比均很接近, 且年变化规律一致。对厚壁毛竹和毛竹光合特性进行比较研究, 发现两者的最大光合效率、光补偿点、光饱和点和光量子效率都比较相似^[15]。这些都说明厚壁毛竹与毛竹具有相似生物学特性。

梭形细胞是禾本科植物特有的一类细胞, 常出现在叶肉细胞之间, 通常位于维管束两侧。关于梭形细胞的功能, 目前还不十分清楚, 有学者根据梭形细胞的位置特点, 推测其可能与叶肉细胞的水分贮存和运输有关^[16]; 也有学者根据其无色透明的特点, 认为梭形细胞有利于光线更好的透进叶肉细胞^[17]。梭形细胞主要出现在叶肉细胞之间, 有梭形细胞出现的区域, 不规则臂细胞的厚度就会减少, 指状臂细胞和不规则细胞的比值就会上升, 秆龄 1 年的毛竹的梭形细胞最为发达, 其 Ac:A 比值也最高, 其他秆龄竹的梭形细胞密度显著低于秆龄 1 年竹, 因此不会对叶片 Ac:A 比造成明显影响。有学

者发现秆龄1年毛竹新叶比2年老叶具有更高的光合能力^[1],竹笋大小年的变化取决于1年生新叶数的比例^[18]。1年生新叶与2年生老叶的梭形细胞密度存在显著差别,发达的梭形细胞能使叶肉细胞获得更充分的光照,从而提高其光合能力^[17]。因此推测,毛竹1年生新叶的光合能力较强,可能与其发达的梭形细胞有关。

水分供应与木质部导管的结构因子密切相关(数量和截面积),光合产物的转运则主要依赖于韧皮部筛管和伴胞。厚壁毛竹与毛竹叶的维管组织结构基本一致,总体来看,厚壁毛竹的导管截面积和韧皮部截面积与毛竹基本相当,输水截面积略低于毛竹,说明两竹种的水分输导能力和同化物转运能力基本相当。

厚壁毛竹和毛竹的新竹的高生长一般在2个月内即可完成,毛竹在高生长高峰期24h的总生长量可达43.64cm,平均生长速率为 $1.88\text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ^[19]。在完成高生长之前,新竹的养分主要来自母竹,完成高生长后则开始通过光合作用来为自身的生长提供养分。新竹完成高生长后,竹秆的高度、胸径都不再发生明显的改变,但竹秆内部仍会发生一系列的复杂的变化,如纤维次生壁的增厚,这一过程会持续数十年^[20]。新竹要在如此短的时间内完成高生长,必然需要充足的水分和养分的供应。秆龄1年的厚壁毛竹的导管截面积、输水截面积和韧皮部截面积均明显高于其它秆龄的厚壁毛竹,意味着秆龄1年的厚壁毛竹可能具有更高营养物质和水分输导能力。

参考文献:

- [1] 杜天真,杨光耀,郭起荣,等.厚皮毛竹春笋营养成分研究[J].江西林业科技,1997(6):2-3.
- [2] 杨光耀,黎祖尧,杜天真,等.毛竹新栽培变种—厚皮毛竹[J].江西农业大学学报,1997(4):99-100.
- [3] 郭起荣,杨光耀,杜天真,等.厚皮毛竹厚壁性状的表型遗传分析[J].江西农业大学学报,2003(6):811-814.
- [4] 蔡联炳,郭延平.禾本科植物叶片表皮结构细胞主要类型的演化与系统分类和发育途径的探讨[J].西北植物学报,1995(4):323-335.
- [5] 蔡联炳,郭延平.禾本科植物叶片表皮结构细胞主要类型的演化与系统分类和发育途径的探讨(续)[J].西北植物学报,1996(1):65-72.
- [6] 曲波,朱明星,陈旭辉,等.22种禾本科植物叶片泡状细胞形态特征的初步研究[J].西北植物学报,2010,30(8):1595-1601.
- [7] 常雪刚,徐柱孙,易津,等.6种鹅观草属植物叶片形态解剖特征比较[J].草地学报,2011,19(3):443-450.
- [8] 郑志勇,石进朝,王德芳.长绿期金银木耐寒性与叶片组织结构的关系[J].华北农学报,2009,24(增刊):331-333.
- [9] 何士敏,汪建华,秦家顺.几种沙棘叶片组织结构特点和抗旱性比较[J].林业科技开发,2009,23(1):16-19.
- [10] 刘永康,郑和平,徐艳霞,等.冬小麦品种更替过程中旗叶结构与光合作用的关系研究[J].河北农业科学,2013,42(3):10-14.
- [11] 邹雪娟,李润唐,吴钿,等.3个菠萝品种叶片组织结构及其与抗寒性的关系研究[J].广东农业科学,2012(5):38-41.
- [12] 许发喜,刘翠芳,邹杰,等.植物角质层对非生物逆境胁迫响应研究进展[J].中国生物工程杂志,2010,30(8):126-130.
- [13] 李建.厚壁毛竹光合及抗性生理的研究[D].南昌:江西农业大学,2010.
- [14] 丁雨龙,赵奇僧,陈志银,等.竹叶结构的比较解剖及其对系统分类意义的评价[J].南京林业大学学报,1994,18(3):1-6.
- [15] 施建敏,杨光耀,杨清培,等.厚壁毛竹光合作用对环境因子响应的季节变化[J].林业科学研究,2009(6):872-877.
- [16] Vieira R C, Gomes D M S, Sarahyba L S, et al. Leaf anatomy of three herbaceous bamboo species[J]. Brazilian Journal of Biology, 2002, 62(4B): 907-922.
- [17] Clayton W D, Renvoize S A. Genera graminum : grasses of the world:[M]. London: HMSO, 1986.
- [18] 黄启民,杨迪蝶,高爱新.毛竹光合作用的研究[J].林业科学,1989,25(4):366-369.
- [19] 郑进烜,董文渊,陈冲,等.海子坪天然毛竹林种群生长规律研究[J].竹子研究汇刊,2008,27(2):32-27.
- [20] Liese W, Weiner G. Ageing of bamboo culms. A review[J]. Wood Science and Technology, 1996, 30(2): 77-89.