

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201711048

引文格式: 陈秋艳, 王虹, 逯永满, 等. 高寒区 10 种青藓科植物茎结构的生态适应性 [J]. 广西植物, 2018, 38(5): 646–654  
CHEN QY, WANG H, LU YM, et al. Ecological adaptability of stem structure of ten species of Brachytheciaceae in alpine region [J].  
*Guihaia*, 2018, 38(5): 646–654

## 高寒区 10 种青藓科植物茎结构的生态适应性

陈秋艳<sup>1</sup>, 王虹<sup>1\*</sup>, 逯永满<sup>1</sup>, 吴玉环<sup>2</sup>

( 1. 新疆大学 生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 杭州师范大学 生命与环境科学学院, 杭州 310036 )

**摘 要:** 该研究对新疆天山一号冰川地区的 10 种青藓科植物茎的解剖结构进行了光镜和扫描电镜观察。结果表明: 它们的茎横切面形状不同, 表皮细胞均为 1 层, 内、外皮部分化明显, 细胞壁由外向内逐渐变薄, 中轴分化明显, 所占茎面积的比例、细胞厚度以及大小都不尽相同, 大多数种类的细胞壁具有角隅加厚的现象。当茎干时, 细胞壁表面的凹陷程度不同, 其上具有不同形状的纹饰及附属物, 大多数种类的表面有深浅和大小不一的小窝点分布。这些特征在不同属及不同种之间均有差异, 反应出对环境的适应性, 可作为青藓科植物潜在的分类依据。

**关键词:** 高寒区, 青藓科, 石蜡切片, 电镜扫描

中图分类号: Q944.55 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)05-0646-09

## Ecological adaptability of stem structure of ten species of Brachytheciaceae in alpine region

CHEN Qiuyan<sup>1</sup>, WANG Hong<sup>1\*</sup>, LU Yongman<sup>1</sup>, WU Yuhuan<sup>2</sup>

( 1. *College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China*; 2. *College of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China* )

**Abstract:** The anatomical structures of the stems of ten species of Brachytheciaceae in glacier area of Xinjiang Tianshan Glacier were observed under light microscope and scanning electron microscope (SEM). The results showed that the stems had different cross-sectional shapes with one layer of epidermal cells; clearly, the cell wall became thinner gradually from the outside to the inside; the central axis was well differentiated; the proportion of stem area, the cell thickness and the size of stem are different, and most cell walls of species had corner thickening. When the stems, the cell wall surface of the degree of depression, which had different shapes of ornamentation and appendages, most types of surface depth and size of small dens distribution. These characteristics in different genera and different species were different, and reflected the adaptability to environment, can be used as a potential classification of Brachytheciaceae plants.

**Key words:** alpine region, Brachytheciaceae, paraffin section, SEM

收稿日期: 2017-12-17

基金项目: 国家自然科学基金 (41461010, 41571049) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (41461010, 41571049)].

作者简介: 陈秋艳 (1994-), 女, 新疆阿克苏人, 硕士研究生, 主要从事生物学研究, (E-mail) m15276567620\_1@163.com。

\* 通信作者: 王虹, 正高级实验师, 主要从事植物形态、分类学及细胞发育解剖学研究, (E-mail) wanghong211@163.com。

青藓科 (*Brachytheciaceae*) 被认为是分类上问题最多的科之一 (陈邦杰, 1963; 魏倩倩等, 2013)。可生于各种不同的基质上, 一般植物茎匍匐或斜生, 甚少直立, 不规则或羽状分枝, 适应性很强, 分布广 (白学良, 2010; 胡人亮, 1987; 吴鹏程, 2004; 胡人亮, 2005; 熊源新, 2014)。青藓科有 43 属, 我国有记录报道的约 12 属 120 种 (Crosby et al, 1999; 何红燕等, 2011; 王幼芳等, 2000)。

20 世纪初, 苔藓植物学家们进行了世界范围内标本的采集及研究, 如 McFarland (1988) 对拉丁美洲的青藓科植物进行了区系研究; Huttunen et al (2004) 利用分子生物学手段并结合形态学特征, 为青藓科分类提供了依据。国内学者对中国境内的青藓科植物的分类进行了分子、结构等研究, 刘丽 (2007) 通过分子系统学研究, 对中国青藓科植物进行了全面系统的分析, 利用 *tmL-F*、*psbT-H* 基因片段及核 ITS2、结合形态学数据, 将 *Tomentypnum* 排除在外, 在现有记录的基础上增加了 4 个属, 即 *Sciurohypnum*、*Oxyrrhynchium*、*Okamuarea*、*Kindbergia*, 为青藓科的系统研究提供了分子资料。李敏等 (2016) 对原分布于中国的 5 种燕尾藓属植物进行了分类学修订, 将短尖燕尾藓、燕尾藓、毛尖燕尾藓移入青藓属, 短枝燕尾藓移入鼠尾藓属, 密枝燕尾藓移入拟异叶藓属。詹琪芳 (2006) 对青藓属 32 个种的茎解剖结构进行了比较, 以中轴、内皮部等形态特征将 32 种青藓属植物归为四大类, 为青藓属种之间的分类增加了茎结构的鉴别形状。魏倩倩等 (2014) 对中国新疆青藓科等植物区系进行了研究, 发现中国新疆与内蒙古在藓类植物区系成分上呈现出较高的一致性, 新疆与俄罗斯的属的相似性高达 95.77%, 种的相似性也仅次于内蒙古。王虹等 (2014, 2015, 2017) 做过一些新疆天山一号冰川地区其它藓类植物解剖结构方面的研究, 揭示了生长在一号冰川极端环境中的藓类, 其植物具有较强的耐寒、耐旱的典型形态特征, 如细胞壁均加厚、茎及叶片表面均有一些纹饰等, 这些差异表现出不同藓类对于环境的适应性, 也可作为属及种间的分类依据之一, 对探讨种间亲缘关系具有潜在的分类学价值。本研究将通过对比天山一号冰川地区青藓科植

物茎的微结构的解剖学观察, 探讨其属间及种间的差异以及藓类植物如何应对一号冰川这种干旱、寒冷、太阳辐射强的极端不良环境的生存机制, 以期为新疆一号冰川地区青藓科植物的分类及生态学提供一些参考依据。

## 1 材料与方法

所用的 10 种材料均采自于新疆天山一号冰川附近, 海拔在 2 283 ~ 3 670 m 之间, 相关的标本信息请见表 1, 凭证标本存放在新疆大学标本馆 XJU 及杭州师范大学标本馆 HTC。分别将干标本放入盛水的培养皿中, 用滤纸吸去植物体表面的水分, 将其中的一部分材料放入 FAA 固定液中, 经抽气后固定。经酒精系列脱水、二甲苯透明、石蜡包埋、横切 (厚度为 6  $\mu\text{m}$ ), 再经二甲苯脱蜡透明、番红染色、中性树胶封片, 在 Olympus 显微镜下观察并照相。每个种至少选取 10 个横切面, 测量茎细胞壁厚度、皮部面积、中轴面积, 记录最小到最大的数值范围。然后将剩余一部分材料用 POLARON CA7615 超声波清洗仪再洗 30 min, 用 CARBONACCESSORY 喷镀仪对材料进行镀金, 最后使用德国产 LEO1430VP 型扫描电镜进行观察并拍照。

## 2 观察结果

### 2.1 尖叶青藓 (*Brachythecium coreanum*)

茎横切面呈椭圆形, 表皮细胞 1 层, 细胞小, 排列紧密, 细胞壁厚; 皮部有内、外皮部的分化, 外皮部细胞 2~3 层, 细胞壁厚, 细胞排列整齐; 内皮部细胞 3~4 层, 细胞很大, 不规则镶嵌排列, 细胞壁由外向内逐渐变薄; 中轴分化明显, 由 10~15 个不规则小型薄壁细胞组成, 排列紧密, 细胞腔小, 角隅加厚明显, 在茎中所占比例小; 茎干燥时细胞呈条状规则排列, 表面稍粗糙, 具一些不规则纹饰及细纵纹, 细胞壁表面呈不同程度凹陷, 凹陷的细胞壁表面具细长纵纹 (图版 I : 1; 图版 II : 1)。

### 2.2 多枝青藓 (*Brachythecium fasciculirameum*)

茎横切面呈圆形, 表皮细胞 1 层, 细胞大, 排

表 1 实验材料及来源  
Table 1 Materials and origins

序号 Number	种名 Species name	经纬度 Longitude and latitude	生境 Habitat	海拔 Altitude (m)	凭证标本 Voucher specimen
1	尖叶青藓 <i>Brachythecium coreanum</i>	86°49'27.02" E 43°06'41.05" N	腐木 Rotting wood	2 283	吴玉环 (WYH. HTC. 20140808-13-2)
2	多枝青藓 <i>B. fasciculirameum</i>	87°50'48.37" E 43°08'43.56" N	腐木 Rotting wood	3 140	吴玉环 (WYH. HTC. 2014080810)
3	圆枝青藓 <i>B. garovaglioides</i>	87°06'56.44" E 43°12'09.64" N	阴湿的岩面土 Moist raw stone soils	3 570	王虹 (WH. XJU 20150812009-1)
4	石地青藓 <i>B. glareosum</i>	86°50'05.82" E 43°06'66.00" N	沼泽水 Marsh aquatic	3 586	王虹 (WH. XJU 20160823002)
5	羽枝青藓 <i>B. plumosum</i>	87°07'51.89" E 43°12'51.72" N	砾石山石面 Gravel rock surface	3 670	王虹 (WH. XJU. 2014072314)
6	长肋青藓 <i>B. populeum</i>	87°07'56.50" E 43°12'51.25" N	沟谷中土 Middle-earth in valleys	2 292	吴玉环 (WYH. HTC. 2014081321)
7	青藓 <i>B. pulchellum</i>	86°50'08.03" E 43°06'39.47" N	石头下土 Lapidicolos soils	3 140	吴玉环 (WYH. HTC. 2014081012)
8	卵叶青藓 <i>B. rutabulum</i>	87°07'40.26" E 43°13'05.19" N	沟谷石壁 Rochin valleys	2 303	吴玉环 (WYH. HTC. 2014081303)
9	匙叶毛尖藓 <i>Cirriphyllum cirrosum</i>	86°50'06.27" E 43°06'57.67" N	沼泽水 Marsh aquatic	3 554	王虹 (WH. XJU 20160821-1)
10	斜枝长喙藓 <i>Rhynchostegium inclinatum</i>	87°07'51.89" E 43°12'51.70" N	沟谷中土 Middle-earth in valleys	2 323	吴玉环 (WYH. HTC. 2014081306)

列紧密,细胞壁厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞 2~3 层,细胞壁厚角隅加厚,细胞排列不整齐;内皮部细胞 3~4 层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 20~25 个不规则小型薄壁细胞组成,排列疏松,细胞腔大,在茎中所占比例大;茎干燥时细胞呈锁链状不规则排列,表面稍粗糙,具一些鳞片状纹饰、细纵纹及颗粒物,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具细长纵纹(图版 I :2;图版 II :2)。

### 2.3 圆枝青藓 (*Brachythecium garovaglioides*)

茎横切面呈长椭圆形,表皮细胞 1 层,细胞腔很小,排列紧密,细胞壁明显很厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞 2~3 层,细胞壁厚,细胞排列整齐;内皮部细胞 3~4 层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 10~15 个不规则小型薄壁细胞组成,排列紧密,细胞腔小,在茎中所占比例较大;茎干燥时细胞呈条状规则排列,表面很粗糙,具大量鳞片状纹饰、

纵纹及块状物,表面有蜡质,有少量小窝点分布,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具细长纵纹(图版 I :3;图版 II :3)。

### 2.4 石地青藓 (*Brachythecium glareosum*)

茎横切面呈椭圆形,表皮细胞 1 层,细胞很小,排列紧密,细胞壁明显很厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞 4~5 层,细胞壁明显很厚,细胞排列不整齐;内皮部细胞 5~6 层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 10~15 个不规则小型薄壁细胞组成,排列紧密,细胞腔小,角隅加厚明显,在茎中所占比例大;茎干燥时细胞呈条状不规则排列,表面粗糙,具一些不规则纹饰、鳞片状纹饰、细纵纹,有少数小窝点分布,细胞壁表面略向内凹陷,凹陷的细胞壁表面具细长纵纹(图版 I :4-5;图版 II :4-5)。

### 2.5 羽枝青藓 (*Brachythecium plumosum*)

茎横切面呈不规则多边形,表皮细胞 1 层,细胞很小,排列较紧密,细胞壁厚;皮部有内、外皮部

表 2 10 种青藓科植物茎测量数据

Table 2 Measured data for ten species of Brachytheciaceae plant stems

序号 Serial No.	茎表皮细胞壁 Cell walls of stem epidermis				茎皮部 Stem cortex				茎中轴 Stem axis			
	厚度 Thickness ( $\mu\text{m}$ )	平均值 Mean	标准差 Standard devia- tion	变异 系数 Coeffi- cient of variation	面积 Area ( $\mu\text{m}^2$ )	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	面积 Area ( $\mu\text{m}^2$ )	平均值 Mean	标准差 Standard devia- tion	变异系数 Coefficient of variation
1	2.01~ 5.94	4.12	0.84	0.20	119 888.84~ 216 876.96	173 892.75	28 189.73	0.16	437.95~ 4 517.47	1 978.74	938.66	0.45
2	2.58~ 4.45	3.57	0.41	0.11	38 229.9 3~89 904.56	78 144.81	12 229.13	0.16	2 907.59~ 16 838.67	8 992.99	3 967.13	0.44
3	3.10~ 4.90	4.21	0.75	0.18	48 866.45~ 109 873.13	88 990.64	22 222.97	0.25	2 412.77~ 9 203.78	6 632.79	1 906.99	0.29
4	3.36~ 3.80	3.74	0.51	0.14	101 431.02~ 180 788.65	129 103.97	22 561.31	0.17	3 326.84~ 10 533.84	5 918.38	1 765.49	0.30
5	2.31~ 2.75	2.77	0.29	0.10	76 415.04~ 77 770.77	92 747.00	13 036.75	0.14	6 927.41~ 15 851.04	10 924.83	2 908.55	0.27
6	2.58~ 4.65	3.66	0.66	0.18	105 281.91~ 135 992.68	123 657.45	10 232.23	0.08	5 557.44~ 11 799.15	8 848.16	1 844.73	0.21
7	2.85~ 4.64	3.86	0.62	0.16	5 318.77~ 60 537.07	57 515.33	11 635.20	0.20	4 579.61~ 5 439.18	4 784.46	925.07	0.19
8	3.55~ 5.95	4.95	0.81	0.16	30 471.25~ 42 412.26	34 934.94	6 799.33	0.19	2 500.60~ 2 402.34	2 560.42	759.56	0.30
9	2.84~ 4.13	3.71	0.63	0.17	52 050.41~ 70 810.23	59 893.52	7 955.83	0.13	1 090.99~ 3 903.86	2 241.79	839.68	0.37
10	2.06~ 3.57	2.70	0.52	0.20	35 015.27~ 44 502.91	41 378.40	5 168.71	0.13	1 278.71~ 7 560.70	4 624.83	2 018.42	0.44

的分化,外皮部细胞 2~3 层,细胞壁厚,细胞排列不整齐;内皮部细胞 5~6 层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 20~25 个不规则小型薄壁细胞组成,排列略紧密,细胞腔大,在茎中所占比例大;茎干燥时细胞呈条状不规则排列,表面略粗糙,具一些纵纹、鳞片状纹饰、块状物及颗粒物,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具细长纵纹(图版 I:6;图版 II:6)。

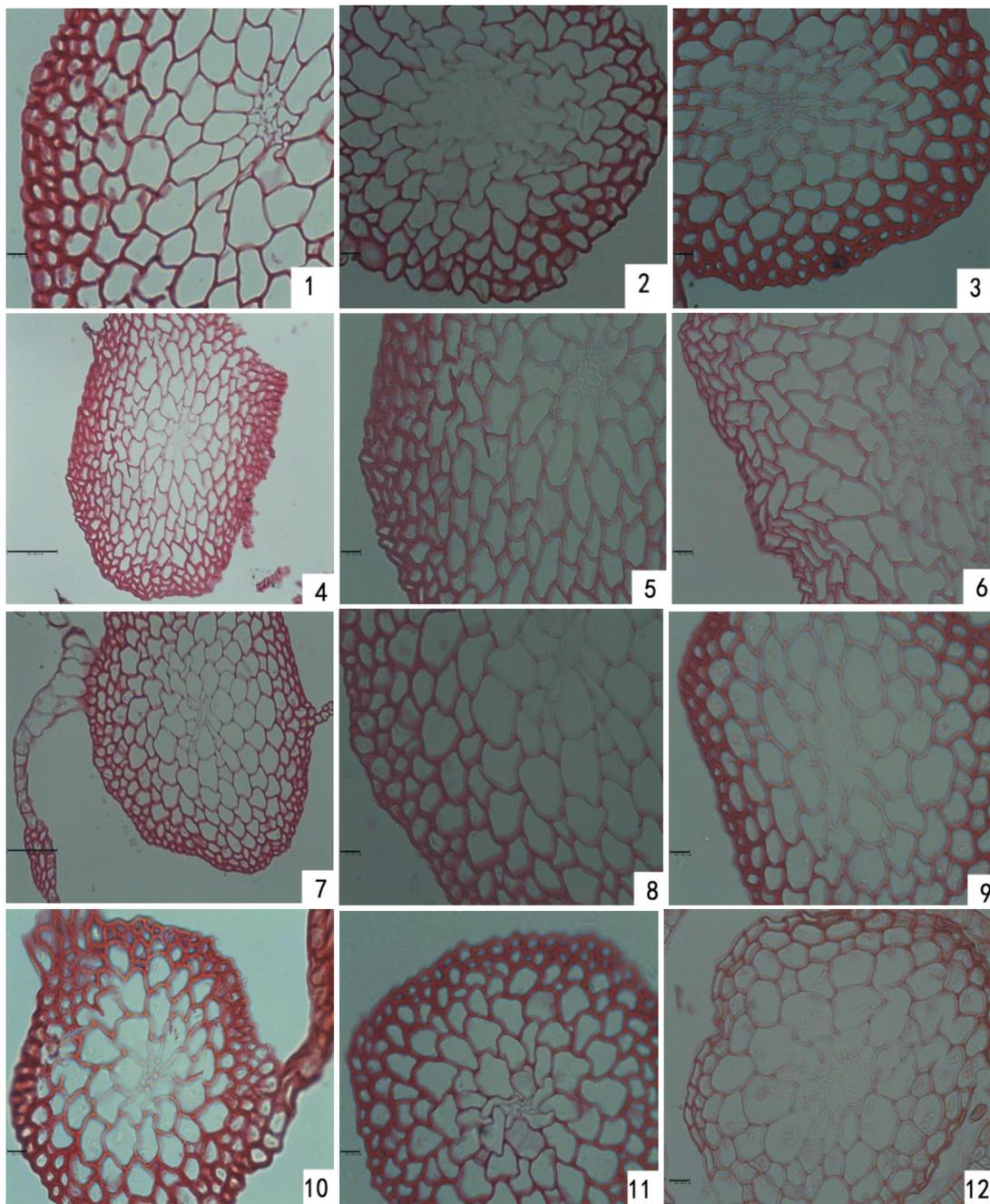
### 2.6 长肋青藓 (*Brachythecium populeum*)

茎横切面呈不规则多边形,表皮细胞 1 层,细胞很小,排列紧密,细胞壁厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞 3~4 层,细胞壁厚,细胞排列整齐;内皮部细胞 4~5 层,细胞很大,不规则镶嵌排

列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 10~15 个不规则小型薄壁细胞组成,排列紧密,细胞腔小,在茎中所占比例大;茎干燥时细胞呈条状不规则排列,表面较粗糙,具细长纵纹、鳞片状纹饰、颗粒物,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具不规则纹饰(图版 II:7;图版 I:7-8)。

### 2.7 青藓 (*Brachythecium pulchellum*)

茎横切面呈五边形,表皮细胞 1 层,细胞很小,排列紧密,细胞壁明显很厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞 2~3 层,细胞壁厚,细胞排列不整齐;内皮部细胞 3~4 层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由 5~10 个不规则小型薄壁细胞组成,排列紧密,细胞腔小,在茎中所占的比例大;茎干燥时细胞呈



注: 1. 尖叶青藓; 2. 多枝青藓; 3. 圆枝青藓; 4-5. 石地青藓; 6. 羽枝青藓; 7-8. 长肋青藓; 9. 青藓; 10. 卵叶青藓; 11. 匙叶毛尖藓; 12. 斜枝长喙藓。除图片 4、7 的放大倍数为 $\times 200$ , 比例尺 =  $50\ \mu\text{m}$  外; 其余的放大倍数均为 $\times 400$ , 比例尺 =  $20\ \mu\text{m}$ 。

Note: 1. *Brachythecium coreanum*; 2. *B. fasciculirameum*; 3. *B. garovaglioides*; 4-5. *B. glareosum*; 6. *B. plumosum*; 7-8. *B. populeum*; 9. *B. pulchellum*; 10. *B. rutabulum*; 11. *Cirriphyllum cirrosium*; 12. *Rhynchostegium inclinatum*.

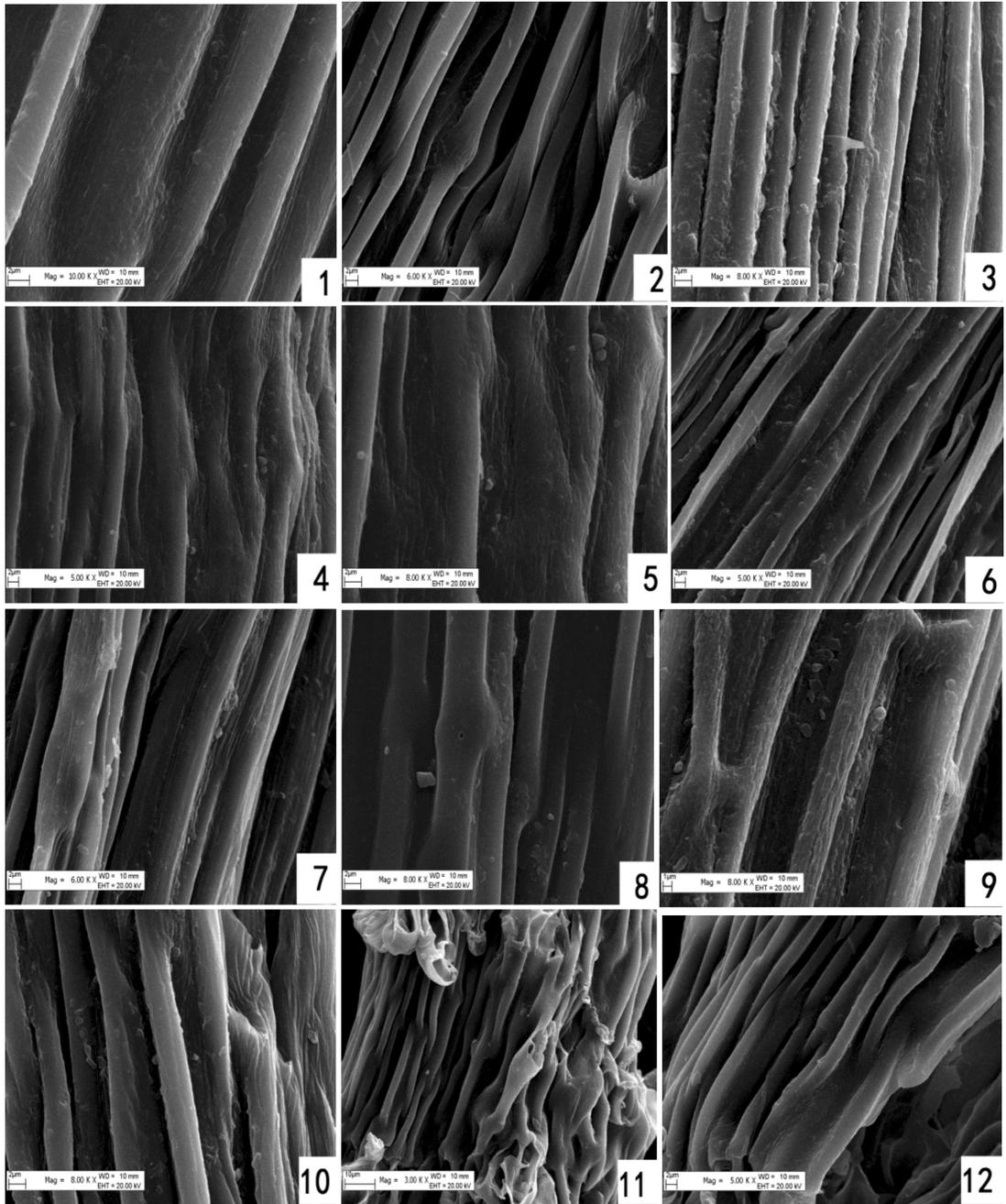
4, 7:  $\times 200$ , bars =  $50\ \mu\text{m}$ ; Else:  $\times 400$ , bars =  $20\ \mu\text{m}$ .

图版 I 光镜下 10 种青藓科植物茎横切面石蜡切片

Plate I Stem cross sections of ten species of Brachytheciaceae by sparaffin section with light microscope

条状规则排列, 表面稍粗糙, 具少量鳞片状纹饰及颗粒, 有少数小窝点分布, 细胞壁表面呈不同程

度凹陷, 凹陷的细胞壁表面具细长纵纹(图版 I: 9; 图版 II: 8)。



注：1. 尖叶青藓，×8 000；2. 多枝青藓，×6 000；3. 圆枝青藓，×8 000；4-5. 石地青藓，×5 000，×8 000；6. 羽枝青藓，×5 000；7. 长肋青藓，×6 000；8. 青藓，×8 000；9. 卵叶青藓，×8 000；10. 匙叶毛尖藓，×8 000；11-12. 斜枝长喙藓，×3 000，×5 000。

Note: 1. *Brachythecium coreanum*, ×8 000; 2. *B. fasciculirameum*, ×6 000; 3. *B. garovaglioides*, ×8 000; 4-5. *B. glareosum*, ×5 000, ×8 000; 6. *B. plumosum*, ×5 000; 7. *B. populeum*, ×6 000; 8. *B. pulchellum*, ×8 000; 9. *B. rutabulum*, ×8 000; 10. *Cirriphyllum cirrosun*, ×8 000; 11-12. *Rhynchostegium inclinatum*, ×3 000, ×5 000.

图版 II 扫描电镜下 10 种青藓科植物叶片背、腹面形态

Plate II SEM photographs of dorsal and ventral sides of stems from ten species of Brachytheciaceae

## 2.8 卵叶青藓 (*Brachythecium rutabulum*)

茎横切面呈椭圆形，表皮细胞 1 层，细胞大，

排列紧密，细胞壁厚；皮部有内、外皮部的分化，外皮部细胞 2~3 层，细胞壁厚，细胞排列整齐；内皮

部细胞3~4层,细胞大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由5~10个不规则小型薄壁细胞组成,排列紧密,细胞腔小,角隅加厚明显,在茎中所占的比例小;茎干燥时细胞呈竹节状规则排列,表面粗糙,不规则纹饰及块状物,有少数小窝点分布,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具不规则纹饰(图版I:10;图版II:9)。

### 2.9 匙叶毛尖藓(*Cirriphyllum cirrosum*)

茎横切面呈长椭圆形,表皮细胞1层,细胞大,排列紧密,细胞壁厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞有2~3层,细胞壁厚,细胞排列不整齐;内皮部细胞3~4层,细胞大,角隅加厚明显,在茎中所占的比例小;茎干燥时细胞呈条状较规则排列,表面粗糙,具波浪状、鳞片状纹饰及块状物,细胞壁表面呈不同程度凹陷,凹陷的细胞壁表面具长纵纹(图版I:11;图版II:10)。

### 2.10 斜枝长喙藓(*Rhynchostegium inclinatum*)

茎横切面呈椭圆形,表皮细胞1层,细胞大,排列整齐,细胞壁厚;皮部有内、外皮部的分化,外皮部细胞2~3层,细胞壁厚,细胞排列整齐;内皮部细胞3~4层,细胞很大,不规则镶嵌排列,细胞壁由外向内逐渐变薄;中轴分化明显,由20~25个不规则小型薄壁细胞组成,排列较疏松,细胞腔大,角隅加厚明显,在茎中所占比例大;茎干燥时细胞排列不规则,表面稍粗糙,具纵纹、不规则纹饰、块状物、颗粒物,有少数小窝点分布,细胞壁表面呈不同程度凹陷(图版I:12;图版II:11-12)。

## 3 讨论

### 3.1 10种青藓科植物茎微结构特征与环境的关系

藓类植物茎的解剖结构随着生境不同会有一些差异(韩留福等,2003)。10种青藓科植物中,圆枝青藓、石地青藓、羽枝青藓等六种植物茎表皮细胞腔小,排列紧密,细胞壁加厚或强烈加厚,这样可以降低水份蒸腾,保持细胞水份,还能防止病菌侵入,增强茎干的坚固性,抵御寒冷多风的气候,有助于支撑植物体;而尖叶青藓、多枝青藓等四种青藓茎表皮细胞腔大,排列相对疏松,这样的

结构可以增加质膜的面积,利于水分吸收(韩留福等,2003;詹琪芳等,2006;胡云等,2006)。10种青藓科植物茎均有内、外皮部及中轴分化明显,外皮部细胞壁厚,内皮部细胞壁薄,具有水分输导作用(吴鹏程,1998),它们分别的功能是维持细胞形态、减少水分流失,增大了膜的表面积、保存水分、利于气体吸收和物质能量的运输(沙伟等,2008)。相比之下,尖叶青藓、长肋青藓、青藓、斜枝长喙藓等内皮部细胞腔大,细胞壁相对较薄,说明它们的内皮部保水性更强。多枝青藓、斜枝长喙藓等中轴具多数的小型薄壁细胞。在茎的横切中,可以看到角隅明显加厚,角隅加厚使细胞维持一定形态,细胞壁之间留有很小的空隙,有利于植物体内水分渗透,使它们即使在干旱环境下也不会造成水分迅速流失(沙伟等,2008)。茎干燥时,10种青藓科植物中,圆枝青藓细胞壁表面最粗糙,具多种形状的纹饰及附属物,这样可以反射强光、抵御寒冷、快速吸收空气中的水分子。

匙叶毛尖藓和斜枝长喙藓生境较为湿润,前者生活在水中,有一部分是长期暴露在强光、多风、寒冷环境下,茎表皮细胞强烈加厚,可以加强植物的机械作用及耐寒能力。后者生长在沟谷中,茎内皮部细胞、中轴细胞大,中轴面积为 $1\ 278.71\sim 7\ 560.70\ \mu\text{m}^2$ ,明显大于前者,这样有利于水分运输,能够减少太阳辐射对植物体的伤害。羽枝青藓和长肋青藓虽然均为青藓属,但它们生长在不同的生境下,植物所呈现出的形态特征有所不同,前者茎表皮细胞扁平,茎皮部面积为 $76\ 415.04\sim 77\ 770.77\ \mu\text{m}^2$ ,中轴细胞数量多,后者茎表皮细胞相对较厚,为 $2.58\sim 4.65\ \mu\text{m}$ ,皮部细胞较大,茎皮部面积大于前者,为 $105\ 281.91\sim 135\ 992.68\ \mu\text{m}^2$ 。这是藓类植物能在天山一号冰川这样干旱寒冷以及高海拔、强紫外线照射等极端环境下生存的长期适应环境的结果。

### 3.2 10种青藓科植物茎微结构的分类学意义

胡人亮(1987)将藓类植物茎分为7种类型,而在《中国苔藓志》中也将茎的横切结构作为重要的分类依据(吴鹏程等,2004;胡人亮和王幼芳,2005)。本研究中的10种青藓科植物茎的差异表现如下:(1)茎横切面的形状不同分为椭圆形(如

尖叶青藓等), 圆形(如多枝青藓等), 不规则多边形(如羽枝青藓等), 五边形(如青藓)。(2) 茎表皮细胞大小、排列不同(如圆枝青藓等茎表皮细胞很小, 而尖叶、圆枝、石地青藓等的表皮细胞排列很紧密)。(3) 茎内、外皮部的层数不同(如石地青藓的层数最多, 外皮部为 4~5 层, 内皮部为 5~6 层; 而羽枝青藓的内皮部层数多)。(4) 茎中轴细胞数量不同(如青藓等的个数少, 为 5~10 个而多枝青藓等的个数多, 为 20~25 个)。(5) 茎干燥时, 表皮细胞形状、长短、排列不同。如尖叶青藓、羽枝青藓等为长条状; 多枝青藓为锁链状; 卵叶青藓为竹节状; 斜枝长喙藓为不规则。(6) 细胞壁表面的粗糙度及纹饰也不同。如尖叶青藓、多枝青藓表面稍粗糙, 多枝青藓表面很粗糙; 每个物种的细胞壁表面至少具两种纹饰, 而且其各自的形状、大小、数量均有差异, 如圆枝青藓、石地青藓等表面具有一些浅浅的小窝点分布。(7) 同属之间不同种的青藓科植物茎的表皮细胞大小, 皮部大小、中轴面积与数量等也存在着差异, 如尖叶青藓与石地青藓, 它们的茎皮部面积明显大于其它 5 种青藓属植物, 而中轴面积却并不相同, 分别为  $437.95 \sim 4\ 517.47\ \mu\text{m}^2$ 、 $3\ 326.84 \sim 10\ 533.84\ \mu\text{m}^2$ 。(8) 卵叶青藓的茎表皮细胞厚度为  $3.55 \sim 5.95\ \mu\text{m}$ , 而斜枝长喙藓的茎表皮细胞壁较薄, 为  $2.06 \sim 3.57\ \mu\text{m}$ 。因此, 依据 10 种青藓科植物茎表皮厚度、皮部面积、中轴面积的差异程度、变异系数等相关数据的不同, 以及扫描电镜下的微结构等, 均可作为青藓科植物潜在的分类依据(曾健等, 2015; 艾菲热·阿布都艾尼和王虹, 2016; 陈秋艳和王虹, 2016; 王虹等, 2017; 杨武等, 2007)。

本研究中的石地青藓、长肋青藓、青藓与詹琪芳(2006)所研究的相比, 其茎细胞壁薄且平滑, 茎中轴细胞多, 本研究中的这几种青藓的茎细胞壁较厚, 皮部层数较多, 细胞壁褶皱, 说明相同的种其茎在不同生境下的解剖形态结构是有差异的。因此, 在分类上应该注意环境对植物所产生的生态适应性, 需要同时从生理、生态、分子等其他方面的生物学数据进行综合分析。

## 参考文献:

- AIFEIRE ABUDUAINI, WANG W, 2016. Anatomic features of the stems of 10 species in *Bryum* from the headwaters of the Urumqi River [J]. *Arid Zone Res*, 33(5):1081-1087. [艾菲热·阿布都艾尼, 王虹, 2016. 乌鲁木齐河源区 10 种真藓属植物茎的解剖学分析 [J]. *干旱区研究*, 33(5):1081-1087.]
- BAL XL, 2010. *Bryoflora of Helan Mountain* [M]. Yinchuan: Ningxia People's Press:229-237. [白学良, 2010. 贺兰山苔藓植物 [M]. 银川:宁夏人民出版社:229-237.]
- CHEN BJ, 1963. *Bryophyte flora of China(II)* [M]. Beijing: Science Press. [陈邦杰, 1963. 中国藓类植物属志(下册) [M]. 北京:科学出版社.]
- CHEN QY, WANG H, 2016. Leaf structure of ten species of *Bryum Dill* from No. 1 Glacier of Tianshan Mountains [J]. *Bull Bot Res*, 36(6):818-826. [陈秋艳, 王虹, 2016. 新疆天山一号冰川 10 种真藓属植物叶片结构的研究 [J]. *植物研究*, 36(6):818-826.]
- CROSBY MR, MAGILL RE, ALLEN B, et al, 1999. A checklist of the mosses [J]. St. Louis: Missouri Botanical Garden.
- HAN LF, LIU W, ZHAO JC, et al, 2003. Comparison of anatomy of the stems among ten species of mosses [J]. *Arid Zone Res*, 20(1):20-24. [韩留福, 刘伟, 赵建成, 等, 2003. 十种藓类植物茎的比较解剖学观察 [J]. *干旱区研究*, 20(1):20-24.]
- HE HY, XIONG YX, SHI L, et al, 2011. Morphological studies on the spores and peristomal teeth of eight moss species in Brachytheciaceae [J]. *Guihaia*, 31(2):188-193. [何红燕, 熊源新, 石磊, 2011. 八种青藓科植物蒴齿及孢子的超微形态研究 [J]. *广西植物*, 31(2):188-193.]
- HU RL, 1987. *Bryology* [M]. Beijing: Higher Education Press:160-164. [胡人亮, 1987. 苔藓植物学 [M]. 北京:高等教育出版社:160-164.]
- HU RL, WANG YF, 2005. *Bryoflora of China* [M]. Beijing: Science Press, 7: 82-179. [胡人亮, 王幼芳, 2005. 中国苔藓志 [M]. 北京:科学出版社, 7: 82-179.]
- HUTTUNEN S, IGNATOV MS, 2004. Phylogeny of the Brachytheciaceae (Bryophyta) based on morphology and sequence level data [J]. *Cladistics Inter J Willi Henn Soc*, 20(2): 151-183.
- HU Y, YAN L, LI H, 2006. Studies on the anatomical characteristics of the stems of 14 desert plants [J]. *J Arid Land Resource Environ*, 20(1): 202-208. [胡云, 燕玲, 李红, 2006. 14 种荒漠植物茎的解剖结构特征分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 20(1): 202-208.]
- LI M, WEI QQ, WANG XR, et al, 2016. A revision of Chinese Brachytheciaceae (Bryophyta) (II): *Bryhnia Kaurin* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 36(6): 1257-1265. [李敏, 魏倩倩, 王晓蕊, 2016. 中国青藓科植物分类学修订(II): 燕尾藓属 [J]. *西北植物学报*, 36(6): 1257-1265.]
- LIU L, 2007. Study on plant molecular systematics of Brachytheciaceae in China [D]. Shanghai: East China

- Normal University. [刘丽, 2007. 中国青藓科(Brachytheciaceae)植物分子系统学研究 [D]. 上海: 华东师范大学.]
- MCFARLAND KD, 1988. Revision of *Brachythecium* (*Musci*) for Mexico, Central America, South America, Antarctica and circum-subantarctic islands [D]. Knoxville: University of Tennessee.
- SHA W, ZHENG YM, LI CX, et al, 2008. The observation of morphology and anatomy of *Lyellia* from China [J]. Bull Bot Res, 28(3): 269–272. [沙伟, 郑云梅, 李传香, 等, 2008. 中国产异蒴藓属(*Lyellia*)植物形态解剖比较观察 [J]. 植物研究, 28(3): 269–272.]
- WANG H, AIFEIRE A, ATENGGULI, 2017. Morphological studies on stem of fifteen species of Bryophytes from alpine periglacial region [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 37(10):1962–1971. [王虹, 艾菲热·阿布都艾尼, 阿腾古丽, 2017. 高寒冰缘区 15 种藓类植物茎的形态结构研究 [J]. 西北植物学报, 37(10):1962–1971.]
- WANG H, LU X, CHEN QY, 2015. Leaf micromorphological structure of twelve moss species from the No. 1 glacier of the Tianshan Mountains [J]. Bull Bot Res, 35(1): 21–29. [王虹, 路雄, 陈秋艳, 2015. 新疆天山一号冰川地区 12 种藓类植物叶形态结构研究 [J]. 植物研究, 35(1): 21–29.]
- WANG H, LU YM, WANG JH, et al, 2014. Anatomy studies of five species of Pottiaceae from Xinjiang [J]. Plant Sci J, 32(1): 8–13. [王虹, 逯永满, 王剑虹, 等, 2014. 新疆 5 种丛藓科植物的解剖学研究 [J]. 植物科学学报, 32(1): 8–13.]
- WANG YF, ZHU J, HU RL, 2000. Notes on Chinese Brachytheciaceae (II) [J]. J Syst Evol, 36(3): 271–281. [王幼芳, 朱俊, 胡人亮, 2000. 中国青藓科研究资料 (II) [J]. 植物分类学报, 36(3): 271–281.]
- WEI QQ, LI M, LI XQ, et al, 2013. Notes on Brachytheciaceae (Bryophyta) of China [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 33(7): 1481–1486. [魏倩倩, 李敏, 李晓芹, 等, 2013. 中国青藓科新资料 [J]. 西北植物学报, 33(7): 1481–1486.]
- WEI QQ, MAMTIMIN SULAMAN, LI M, et al, 2014. Study on the moss flora of Amblystegiaceae, Brachytheciaceae and Hypnaceae of Xinjiang Uygur Autonomous Region, China [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 34(2): 379–386. [魏倩倩, 买买提明·苏来曼, 李敏, 等, 2014. 中国新疆柳叶藓科、青藓科和灰藓科植物区系研究 [J]. 西北植物学报, 34(2): 379–386.]
- WU PC, 1998. Bryophyte biology [M]. Beijing: Science Press. [吴鹏程, 1998. 苔藓植物生物学 [M]. 北京: 科学出版社.]
- WU PC, JIA Y, 2004. Bryoflora of China [M]. Beijing: Science Press, 8: 126–174. [吴鹏程, 贾渝, 2004. 中国苔藓志 [M]. 北京: 科学出版社, 8: 126–174.]
- XIONG YX, 2014. Bryoflora of Sanskrit Mountain (II) [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press: 316–358. [熊源新, 2014. 梵净山苔藓 (下卷) [M]. 贵阳市: 贵州科技出版社: 316–358.]
- YANG W, GUO SL, FANG F, 2007. Comparison of leaf structures among seventeen moss species collected from different habitats [J]. J Zhejiang Norm Univ (Nat Sci Ed), 30(4): 441–446. [杨武, 郭水良, 方芳, 2007. 不同生境下 30 种藓类植物茎的比较解剖学研究 [J]. 浙江师范大学学报 (自然科学版), 30(4): 441–446.]
- ZENG J, WU YH, WANG H, et al, 2015. Micromorphological structure of leaf apex of ten species of bryophytes from No. 1 Glacier Tianshan Mountains [J]. Bull Bot Res, 35(5): 672–678. [曾健, 吴玉环, 王虹, 等, 2015. 新疆天山一号冰川地区十种藓类植物叶尖的微形态观察 [J]. 植物研究, 35(5): 672–678.]
- ZHAN QF, 2006. The stem structure of the mosses and their application in the classification of *Bryum* [D]. Shanghai: East China Normal University. [詹琪芳, 2006. 藓类茎结构及其在青藓属分类中的应用 [D]. 上海: 华东师范大学.]
- ZHAN QF, WANG YF, LI FX, et al, 2006. Comparison of stem structures of eight mosses in two habitats [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 26(2): 217–225. [詹琪芳, 王幼芳, 李粉霞, 等, 2006. 两种生境下的 8 种藓类植物茎结构的比较解剖学研究 [J]. 西北植物学报, 26(2): 217–225.]