

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2017.10021

王虹, 路雄, 陈秋艳. 新疆天山一号冰川地区 12 种藓类植物叶形态结构研究[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 21-29

Wang H, Lu X, Chen QY. Leaf morphological structure of twelve moss species from the No.1 glacier of the Tianshan Mountains[J]. Plant Science Journal, 2017, 35(1): 21-29

# 新疆天山一号冰川地区 12 种藓类植物叶形态结构研究

王虹\*, 路雄, 陈秋艳

(新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 8300462)

**摘要:** 采用石蜡切片和扫描电镜的方法, 对新疆天山一号冰川地区的 12 种藓类植物叶片结构及叶表面微形态进行了观察。结果显示, 不同苔藓植物叶细胞、中肋、细胞壁、细胞表面等各项指标在类型、大小、分布、干燥时细胞壁的凹陷程度以及表面角质层纹饰和小孔形态、分布等都明显不同, 这些微形态特点不仅在藓类植物属下种间的区分上具有分类学意义, 同时也反映出藓类植物叶片为保水抗旱, 抵御长期寒冷、多风和强光照射等恶劣环境对其的伤害而形成的生存策略。本研究结果为苔藓植物在极端环境地区的生态学功能研究提供了重要的科学依据。

**关键词:** 藓类植物; 叶; 形态结构; 新疆天山一号冰川

中图分类号: Q944.5; Q949.35

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)01-0021-09

## Leaf morphological structure of twelve moss species from the No. 1 glacier of the Tianshan Mountains

Wang Hong\*, Lu Xiong, Chen Qiu-Yan

(College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** The micromorphological structures of twelve species of moss plants were observed from the No. 1 glacier of the Tianshan Mountains by paraffin section and scanning electron microscopy (SEM). Results indicated that the type, size, distribution, degree of dry cell wall depression, and morphology and distribution of surface cuticles and pores of the leaf cells, middle ribs, cell walls and cell surfaces were significantly different in different bryophyte species. These micromorphological characteristics not only have great significance in the species classification of moss plants, but also reflect the survival strategy of plant leaves for retaining water and resisting cold, wind and strong light irradiation in severe environments. This study can provide an important scientific basis for studies on the ecological functions of bryophytes in extreme environments.

**Key words:** Moss plants; Leaf; Morphological structure; No.1 glacier of Tianshan Mountains

新疆天山一号冰川地区属于乌鲁木齐县境内, 是乌鲁木齐河的水源地。这里的很多藓类植物, 如对叶藓 (*Distichium capillaceum* (Hedw.) B. S. G.)、灰藓 (*Hypnum cupressiforme* Hedw.)、土生对齿藓 (*Didymodon vinealis* (Brid.) Zand.)

等<sup>[1,2]</sup>, 是组成高山冻原植被的主要植物类群。藓类植物虽然个体微小, 是以孢子繁殖、没有维管组织的一类比较原始的高等植物<sup>[3]</sup>, 但其具有特殊的生理适应机制, 能在高寒、高温、干旱和弱光等其它陆生植物难以生存的环境中生长繁衍, 其植物

收稿日期: 2016-05-24, 退修日期: 2016-06-13。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41461010, 41571049)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (41461010, 41571049)。

作者简介: 王虹 (1962-), 女, 高级实验师, 主要从事植物形态、分类学及细胞发育解剖学的研究 (E-mail: wanghong211@163.com)。

\* 通讯作者 (Author for correspondence)。

类群对这些地区的水土保持、改善环境和生态平衡等起到了非常重要的作用<sup>[4,5]</sup>。

植物叶片结构以其稳定的遗传性，一直以来都是植物生物学研究的重要组织器官和切入点。采用扫描电镜方法对植物叶片表面进行微形态结构的研究多见于被子植物<sup>[6-9]</sup>，研究者们对叶表皮角质层或蜡被及表皮毛、细胞壁加厚现象等进行了比较分析，指出角质层或蜡被的形成、表皮毛形态、细胞壁加厚等特征都具有一定的耐旱性和分类学意义。近年来国内外学者对裸子植物、蕨类植物和苔藓植物的叶结构及其表面进行了微观形态结构研究<sup>[10-12]</sup>，结果表明这些植物类群的叶表面角质层发达、气孔下陷，这都是植物对低温和干旱环境适应的具体体现。国内学者 Wu 等<sup>[12]</sup>首次运用扫描电镜方法对几种苔藓植物叶表面微结构进行了详细观察和研究，发现叶片上孔的形态、分布、排列以及叶表面的角质层纹理、皱褶等特征在低倍镜下不明显，但在扫描电镜下放大到 1200 倍时，苔藓植物微结构能清晰地观察到，并且不同种的特征也各有不同，并指出苔藓植物叶表面的微结构特征可以作为种间的潜在分类学依据。之后陆续有研究者对

一些藓类植物叶形态结构及叶表面进行了扫描电镜观察<sup>[13-16]</sup>，指出不同科、属的藓类植物叶横切面结构差别较大，而不同种藓类植物的叶片可以表现出多种多样的、适应干旱的形态结构，如细胞壁的厚度、叶片的毛尖、叶表面的乳头状凸起、疣、纵纹等一些角质层纹饰等，这些均能反映藓类植物在恶劣环境下的适应性并具有一定的分类学意义。也有研究发现，荒漠藓类植物通过调整叶在植株上的形态以及细胞超微结构，可以有效维持植株持水力和光能捕获量的平衡<sup>[17-21]</sup>，因此，该研究的后续工作及与环境的关系可进行定量分析。在此，我们采用石蜡切片和扫描电镜观察方法对高山冻原带上的主要植被藓类植物叶片进行微形态结构研究，以期为今后开展极端环境下藓类植物的超微结构、功能生态学等研究提供有价值的基本数据。

1 材料与方法

本研究来自新疆天山一号冰川地区的 12 种藓类植物标本相关信息详见表 1，所有标本均存放于杭州师范大学植物标本馆 (HTC) 及新疆大学植物标本馆 (XJU)。

表 1 实验材料及来源  
Table 1 Material and origin

序号 Number	种名 Species name	生境 Habitat	海拔 (m) Altitude	凭证标本 Voucher
1	细牛毛藓 <i>Districhum flexicaule</i> (Schwaegr.) Hampe.	岩石缝土生 Soil between rocks	3660	王虹 (W H XJU20140727007)
2	对叶藓 <i>Districhum capillaceum</i> (Hedw.) B.S.G.	湿土生 Wet soil	3670	王虹 (W H XJU20140727009C)
3	斜蒴对叶藓 <i>Districhum inclinatum</i> (Hedw.) Bruch & W. P. Schimper.	裸露岩石上土生 Soil on bare rocks	3670	王虹 (W H XJU20150812011)
4	变形小曲尾藓 <i>Dicranella varia</i> (Hedw.) Scimp.	土生 Soil	3731	吴玉环 (W YH. HTC20140807461)
5	辛氏曲柄藓 <i>Campylopus schimperi</i> Mild.	高山草甸 Alpine meadow	3570	王虹 (W H XJU20150812005A)
6	葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i> Heclw.	岩石下湿土生 Wet soil under rocks	3675	王虹 (W H XJU201407236020)
7	平肋提灯藓 <i>Mnium laevinerve</i> Card.	沼泽上土生 Soil in marsh	3575	王虹 (W H XJU2014072361)
8	全缘匐灯藓 <i>Plagiomnium integrum</i> (Bosch et Sonck Lac.) T. Kop.	岩石缝土生 Soil between rocks	3600	王虹 (W H XJU20150812057)
9	沼泽皱蒴藓 <i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	高山草甸 Alpine meadow	3559	吴玉环 (W YH. HTC20140810-24-5)
10	柔叶 (细枝) 小鼠尾藓 <i>Myurella tenerima</i> (Brid.) Lindb.	石缝间土生 Soil between rocks	3692	吴玉环 (W YH. HTC2014080942)
11	刺叶小鼠尾藓 <i>Myurella julacea</i> (Schnaegr.) W. P. Schimper.	湿土生 Wet soil	3670	王虹 (W H XJU20140727009)
12	中华细枝藓 <i>Lindbergia sinensis</i> (C. Muell.) Broth.	岩石缝土生 Soil between rocks	3760	王虹 (W H XJU20150812028)

分别将实验材料洗净，再用 Polaron CA7615 型超声波清洗仪清洗 2 次，每种藓类植物取不少于 8 株分别进行酒精梯度脱水、包埋、切片、染色、封片。将处理好的切片置于 Olympus 显微镜下观察，并在 Nikon 光学显微镜下拍照。每种藓类植物另取 6 株，将茎、叶分开，分别经酒精梯度脱水、干燥，然后每物种分背、腹两面粘于样品台上，在 IB-5 离子溅射仪中真空镀膜 15 min，并用 LEO 1430VP 型扫描电镜进行观察和拍照。

## 2 观察结果

### 2.1 细牛毛藓 *Districhum flexicaule* (Schwaegr.) Hampe.

叶细胞壁厚，不透明；中肋宽大扁平，背面小型厚壁细胞 1~2 层、腹面 1 层，背、腹面之间的导水主细胞靠近腹面，较疏松地排列，细胞壁厚；叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，在叶片的中下部粗疣逐渐消失；叶细胞壁很厚，背面细胞表皮较光滑，细胞壁凹陷较浅并有较多小孔、不规则纵纹及蜡质；叶腹面细胞表皮较光滑，细胞壁凹陷较浅并有不规则纵纹，小孔少(图版 I：1，图版 II：1、2)。

### 2.2 对叶藓 *Districhum capillaceum* (Hedw.) B. S. G.

叶片细胞透明；中肋横切面呈背凸状，其背面与腹面的细胞大小差别不大，小型厚壁细胞 3~7 层，背面小型厚壁细胞层数多于腹面的层数，导水主细胞基本上在中肋的中部；叶细胞壁厚，叶背、腹面细胞表面均粗糙，细胞壁凹陷浅，背面细胞壁上有较多小孔、不规则纵纹、小颗粒及蜡质；叶腹面靠近叶尖部的细胞表面有密集的粗疣，小孔多(图版 I：2，图版 II：3、4)。

### 2.3 斜蒴对叶藓 *Districhum inclinatum* (Hedw.) Bruch & W. P. Schimper.

叶中肋横切面背凸较高，小型厚壁细胞 2~10 层，背面稍少于腹面，导水主细胞在其中部呈一系列疏松排列，细胞壁厚；叶细胞壁厚，叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，叶片中下部的粗疣逐渐消失；叶背面细胞表皮较光滑，细胞壁凹陷面较大，其上有较多短纵纹；孔小，不明显；叶腹面细胞表皮较光滑，细胞壁凹陷面较大，其上有较多细纵纹；孔小，不明显(图版 I：3，图版

II：5、6)。

### 2.4 变形小曲尾藓 *Dicranella varia* (Hedw.) Scimp.

叶中肋横切面呈背凸状，背面小型厚壁细胞 1~2 层，分布于整个中肋背面，腹面 1~2 层小型厚壁细胞集中在中部，背、腹面之间的导水主细胞靠近腹面，排列较紧密，细胞大且壁厚；叶细胞壁较厚，叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，在叶片中下部粗疣逐渐消失；叶背面细胞表皮粗糙，有较多小孔、颗粒及蜡质；细胞壁凹陷面较深；叶腹面细胞表皮粗糙，中上部有密集的粗疣，小孔多；细胞壁凹陷面较深(图版 I：4，图版 II：7、8)。

### 2.5 辛氏曲柄藓 *Campylopus schimperi* Mild.

叶中肋突出至叶尖，中肋横切面呈背凸状，小型厚壁细胞 1~2 层基本上均分布在背面，导水主细胞基本上在腹面呈一系列排列，细胞壁非常厚；叶细胞壁很厚，叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，叶片中下部粗疣逐渐消失；叶背面细胞表皮较粗糙，有细小颗粒及不规则纹饰；细胞壁凹陷面较浅，其上有长裂纹状小孔、小颗粒及蜡质；叶腹面细胞表皮较粗糙，有较多不规则纹饰及小孔，细胞壁凹陷面不大，有纵纹(图版 I：5，图版 II：9、10)。

### 2.6 葫芦藓 *Funaria hygrometrica* Hedw.

叶中肋横切面背、腹面均呈凸状，小型厚壁细胞 1~4 层均分布在背面，导水主细胞靠近腹面，细胞小，细胞角隅加厚，腹面细胞远远大于其它细胞；叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，叶片中下部粗疣逐渐消失；叶细胞壁薄并内凹，叶背、腹面细胞表皮均粗糙，细胞壁凹陷面大，其上有较多细短纵纹、颗粒及鳞片状纹饰和小孔，但腹面上的小孔不明显(图版 I：6，图版 II：11、12)。

### 2.7 平肋提灯藓 *Mnium laevinerve* Card.

叶中肋横切面背、腹面均呈凸状，小型厚壁细胞 1~6 层均分布在背面，导水主细胞壁厚，细胞大，靠近腹面呈 2 列整齐排列，腹面细胞小，壁厚，外凸；叶细胞壁较厚，叶上部靠近叶尖的背、腹面表面均密被不规则粗疣，叶片中下部粗疣逐渐消失；叶背面细胞表皮粗糙，细胞壁凹陷较深，表面布满瘤状及鳞片状纹饰；小孔较多；叶腹面细胞表皮粗糙，细胞壁凹陷较深，表面布满瘤状及鳞片状纹饰；小孔多分布在凸起的细胞壁上(图版 I：

7, 图版Ⅲ: 1、2)。

## 2.8 全缘匍灯藓 *Plagiomnium integrum* (Bosch et Sonck Lac.) T. Kop.

叶中肋横切面背、腹面均呈凸状, 小型厚壁细胞 1~3 层均分布在背面, 导水主细胞靠近腹面, 细胞大, 细胞壁加厚, 靠近腹面呈 2 列整齐排列, 腹面细胞稍小于导水主细胞, 细胞壁外凸; 叶细胞壁薄并内凹, 叶背、腹面细胞表皮均较粗糙, 凹陷面大, 细胞壁有明显的瘤状凸起, 孔不明显, 但叶背面有较多细短纵纹, 而叶腹面有少量细纵纹(图版 I: 8, 图版Ⅲ: 3、4)。

## 2.9 沼泽皱蒴藓 *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.

叶中肋横切面背、腹面均呈凸状, 小型厚壁细胞 1~2 层分布在背腹面, 导水主细胞大, 呈 1 列整齐排列, 细胞壁厚, 腹面细胞稍小于导水主细胞, 壁厚, 外凸; 叶细胞壁厚, 叶背、腹面细胞表皮较粗糙, 粗疣在凹陷较深的细胞壁上, 孔不明显; 叶背面有放射状及颗粒和鳞片状纹饰; 叶腹面有细纵纹、放射状及不规则纹饰(图版 I: 9, 图版Ⅲ: 5、6)。

## 2.10 柔叶(细枝)小鼠尾藓 *Myurella tenerima* (Brid.) Lindb.

叶中肋横切面呈背凸状, 小型厚壁细胞 1~4 层分布在背面, 腹面 1~2 层, 背、腹面导水主细胞靠近腹面, 呈 1 列疏松排列, 细胞壁厚; 叶细胞壁厚, 叶背面细胞表皮粗糙, 细胞壁表面密布不规则纹饰; 小孔较多; 相邻细胞壁呈较高的乳突状凸起, 与疣混在一起; 叶腹面细胞表皮较光滑, 上部细胞壁凹陷较深, 叶边细胞纵纹增多; 孔不明显(图版 I: 10, 图版Ⅲ: 7、8)。

## 2.11 刺叶小鼠尾藓 *Myurella julacea* (Schnaegr.) W. P. Schimper.

叶中肋横切面呈背凸状, 小型厚壁细胞均分布在背面, 导水主细胞靠近腹面, 细胞小于腹面表皮细胞, 细胞壁加厚, 腹面表皮细胞大, 细胞壁表面凹陷, 壁薄; 叶细胞壁薄并内凹, 叶背面细胞表皮较光滑, 相邻的细胞壁呈较高的乳突状凸起, 与疣混在一起; 细胞壁表面具疣, 纹饰呈纵纹、瘤状; 小孔较多; 叶腹面细胞表皮较光滑, 细胞壁凹陷面大; 有不规则纵纹; 小孔分布在叶边(图版 I: 11, 图版Ⅲ: 9、10)。

## 2.12 中华细枝藓 *Lindbergia sinensis* (C. Muell.) Broth.

叶中肋横切面呈背凸状, 细胞排列整齐, 壁厚, 小型厚壁细胞稀疏分布在背腹面, 导水主细胞分化不明显; 叶细胞壁厚, 叶背面细胞表皮较光滑, 细胞壁凹陷面小, 纵纹及小孔多分布在细胞壁凹面; 叶腹面细胞表皮粗糙, 细胞壁凹陷浅, 有较多细纵纹; 孔相对较大(图版 I: 12, 图版Ⅲ: 11、12)。

## 3 讨论

### 3.1 叶片微形态结构的分类学意义

本研究的 12 种藓类植物分属于 9 科 10 属, 生长在方圆 100 m<sup>2</sup> 左右寒冷、多风的区域内。生长环境很接近, 其叶片具有一些相似的形态结构特征, 如绝大多数种类的叶先端具叶尖(毛尖), 顶端细胞透明<sup>[15,16]</sup>; 叶片细胞 1 层; 具中肋; 叶片细胞之间的细胞壁厚; 叶表面具 2 种以上角质层纹饰等, 这些特征具有稳定的遗传性。但是, 不同的藓类植物叶细胞、中肋、细胞壁、细胞表面等多项微形态指标, 在形态、大小、分布、干燥时细胞壁的凹陷程度以及表面角质层纹饰的形态、分布等都有明显的不同, 在属下种间的区分上具有重要的分类学意义<sup>[12-14]</sup>。例如细牛毛藓、对叶藓、斜蒴对叶藓均属于牛毛藓科, 外形上比较相似, 在光学显微镜下较容易区分科、属; 而对叶藓和斜蒴对叶藓为同属植物, 亲缘关系也比较近, 它们在光学显微镜下不易区分, 但结合扫描电镜下的微结构特征可较容易、准确地地区分到种, 并且对叶藓的中肋细胞层数和小型厚壁细胞少, 细胞表面粗糙, 纹饰多样, 小孔多; 斜蒴对叶藓的中肋细胞层数和小型厚壁细胞多、细胞表面较光滑, 纹饰多为纵纹, 小孔不明显, 这些微结构特征也较容易将它们区分开。同样, 属于同科同属的柔叶(细枝)小鼠尾藓与刺叶小鼠尾藓, 它们的微结构特征也存在明显差别, 可以较容易区分到种。

### 3.2 叶片微形态特征对生境的适应性

本实验所采用的 12 种藓类植物均是高山冻原植被的主要组成部分, 极端的生长环境使植物体非常矮小, 并且几种植物常密集交织丛生在一起。这些藓类植物的叶片在干燥时紧紧包裹在茎上, 叶尖、叶片甚至整个植株均呈不同程度的弯曲, 叶片表面的细胞壁分别呈不同程度的凹陷或凸起, 还有



多种角质层纹饰或蜡质等附属物, 不仅在叶表面形成保护层, 以减少植物体内水分的蒸腾, 而且使叶表皮具有一定的吸水能力, 还能防止病菌的侵入<sup>[8,10]</sup>。另外, 叶片中肋导水细胞相对较多, 有的物种(如中华细枝藓等)全部中肋细胞均为导水细胞, 这些特征进一步表明这些藓类植物不仅可以抵御寒冷、多风、干旱等恶劣环境的伤害<sup>[5,22,23]</sup>, 而且叶片细胞还可以与边缘细胞和叶尖顶端细胞一起, 尽可能快地吸收空气中的水分, 并将水分子及时传送到叶片细胞进行光合作用, 使植物迅速恢复有效的生理机能。近年来, 国内外学者通过对荒漠藓类植物叶片形态及叶细胞超微结构与环境因素的关系进行定量分析, 探讨这类植物的耐旱机制, 使其成为评价生态系统稳定与恢复退化生态系统的重要指标, 同时也成为研究极端环境下苔藓植物生态学功能的重要科学依据之一<sup>[17-21,24,25]</sup>。

本研究中 12 种藓类植物叶片细胞表面的角质层纹饰均有 2 种以上, 而同种植物叶片的背、腹面纹饰也有不同, 有的相差较大, 如柔叶(细枝)小鼠尾藓。有学者指出, 细胞表面的角质层纹饰是由简单向复杂的方向演化的<sup>[26]</sup>, 因此, 我们推测: 细羊毛藓叶片表面较光滑, 干燥时凹陷相对较浅, 只有不规则纵纹及蜡质, 属于较原始的状态; 而刺叶小鼠尾藓的叶片表面具疣, 角质层纹饰呈纵纹、瘤状, 属于相对较进化的种类。这一结果与王虹和曾健等<sup>[15,16]</sup>对新疆藓类植物叶尖微形态结构的研究结果相近, 但也有不同的地方, 说明植物的进化是一个相当复杂的过程, 需要对多方面因素进行综合分析。这些结构特征也是植物为了更好地吸收水分、反射强光、抵御寒冷而形成的适应环境的生存策略。

### 3.3 关于叶片表面上的小孔

植物叶片上的气孔器是植物进行水分和气体交换的通道, 气孔调节是植物抵御逆境胁迫、适应环境的有效机制<sup>[9]</sup>。苔藓植物叶片表面分布着大小、形态、数量均不同的小孔, 这些小孔的形态结构虽然与其它高等植物叶片上的气孔不完全一样, 但其基本功能可能是一致的<sup>[12]</sup>, 因此, 我们推测叶片上这些小孔的作用如下: (1) 是植物体进行气体交换及吸收空气中水分子的一条传输途径; (2) 苔藓植物为适应长期生长在寒冷、多风、干旱的环境中, 叶片上的小孔多分布于凹陷的细胞壁和纹饰之下, 这样可以避免阳光直射而减少水分蒸腾, 降低或抵

御恶劣气候环境对叶片造成的伤害; (3) 小孔的形状、大小不一, 有的呈圆形, 有的呈长椭圆形, 还有的呈裂纹形等, 它们的分布和数量也不尽相同, 这些差异对鉴别藓类植物种类、探讨种间亲缘关系都具有潜在的分类学价值。目前针对苔藓植物叶片上小孔进行研究的报道并不多见, 也不够全面细致, 还有待今后进一步对叶片小孔的密度、指数以及超微结构、生理机制等进行测定和研究, 这些指标将有助于我们深入了解藓类植物对环境的适应性并为研究藓类植物的分类和演化趋势提供科学依据。

**致谢:** 本研究中的藓类植物, 部分种类由中国科学院植物研究所吴鹏程研究员和杭州师范大学吴玉环教授鉴定并提供, 在此表示感谢!

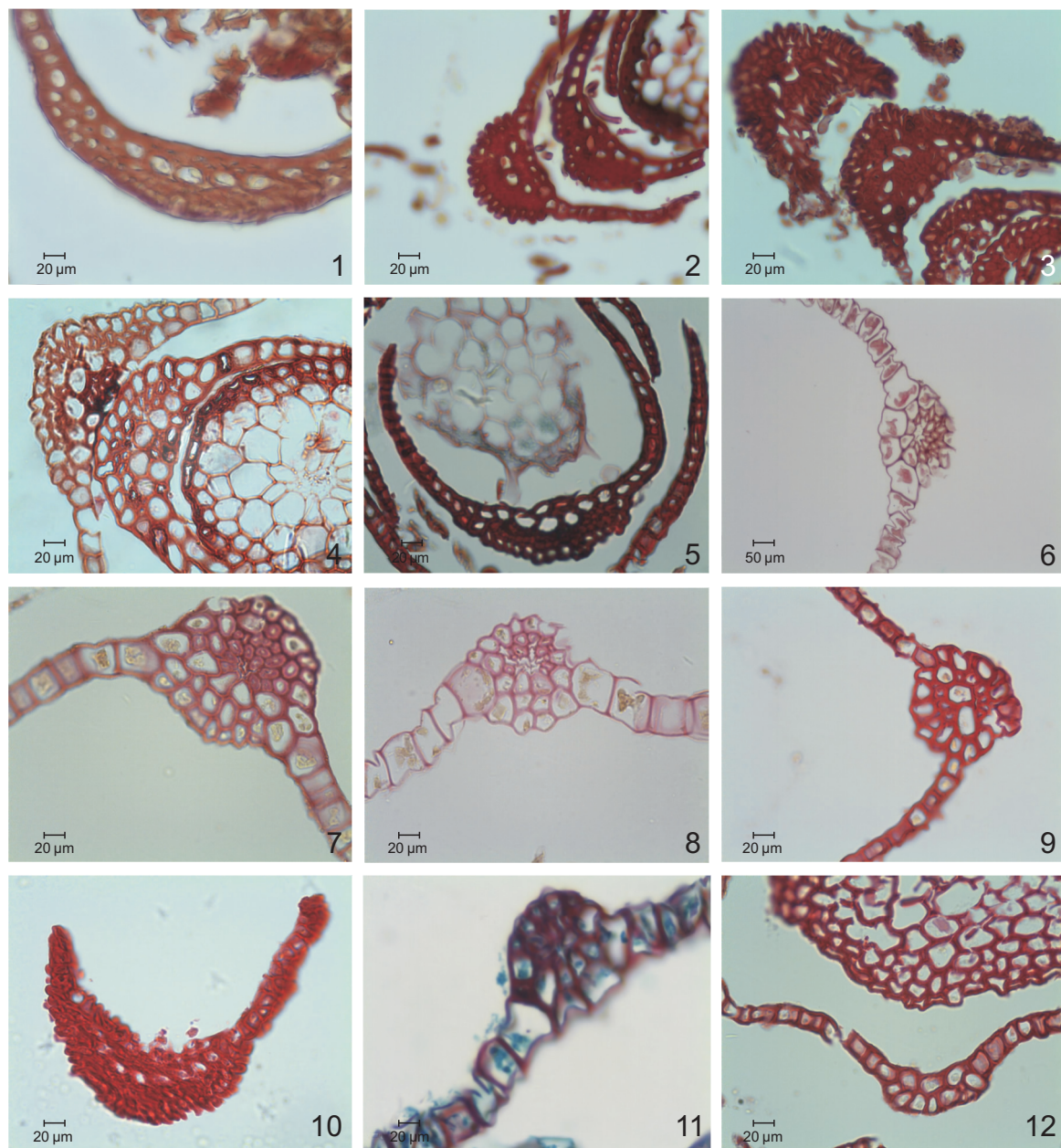
### 参考文献:

- [1] 黎兴江, 臧穆, 曾淑英. 西藏苔藓植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 11-370.  
Li XJ, Zang M, Zeng SY. Bryoflora of Xizang[M]. Beijing: Science Press, 1985: 11-370.
- [2] 白学良. 内蒙古苔藓植物志[M]. 呼和浩特市: 内蒙古大学出版社, 1997: 115-437.  
Bai XL. Flora Bryophytarum Intramongolicarum[M]. Huhehaote: Typis Universitatis Intramongolicae, 1997: 115-437.
- [3] 胡人亮. 苔藓植物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 1-188.  
Hu RL. Bryology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1987: 1-188.
- [4] 吴玉环, 程国栋, 高谦. 苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 215-220.  
Wu YH, Cheng GD, Gao Q. Bryophyte's ecology functions and its significances in revegetation[J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(3): 215-220.
- [5] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 干旱与半干旱地区苔藓植物生态学研究综述[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1129-1134.  
Zhang YM, Cao T, Pan BR. A review on the studies of bryophyte ecology in arid and sem arid areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1129-1134.
- [6] Metcalf CR, Chalk L. Anatomy of the Dicotyledons: Vol. 2[M]. Oxford: Clarendon Press, 1950.
- [7] 周桂玲, 迪利夏提, 安争夕, 庄重. 新疆滨藜属植物叶表皮微形态学及叶的比较解剖学研究[J]. 干旱区研究, 1995, 12(3): 34-37.  
Zhou GL, Dilxat, An ZX, Zhuang Z. Study on the micro-morphology of leaf epidermis and the comparative anatomy of leaf of *Atriplex* in Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 1995, 12(3): 34-37.
- [8] 蔡敏, 朱华, 王红. 亚洲粗叶木属及相关属植物叶表皮微形

- 态特征[J]. 云南植物研究, 2007, 29(5): 497–512.
- Cai M, Zhu H, Wang H. Leaf epiderma morphiology of *Lasionthus*(Rubiaceae) and its related genera in Asia[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2007, 29(5): 497–512.
- [9] 王虹, 张曼曼, 张卫红, 董秀黄, 徐晶, 杨洁. 新疆委陵菜属不同花柱组植物叶表皮微形态结构的研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(11): 2243–2254.
- Wang H, Zhang MM, Zhang WH, Dong XH, Xu J, Yang J. The leaf epidermal micro-morphology structures of different groups of *Potentilla* L. from Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica*, 2012, 32(11): 2243–2254.
- [10] 邵邻相, 张凤娟. 6 种松科植物叶表皮的扫描电镜观察[J]. 植物研究, 2005, 25(3): 281–285.
- Shao LX, Zhang FJ. SEM observation on leaf epidermis of 6 species in Pinaceae[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2005, 25(3): 281–285.
- [11] 张滋第, 和兆荣. 云南莲座蕨科植物叶表皮形态特征研究[J]. 云南大学学报, 2009, 31(3): 302–303.
- Zhang ZD, He ZR. Epidemic morphology characters of Angiopteridaceae from Yunnan[J]. *Journal of Yunnan University*, 2009, 31(3): 302–303.
- [12] Wu PC, Shi DJ, Wang MZ. SEM studies on leaves leaf cells of some mosses[J]. *Cathaya*, 1990, 2: 165–170.
- [13] 杨武, 郭水良, 方芳. 不同生境下十七种藓类植物叶的比较解剖学[J]. 云南植物研究, 2007, 29(4): 409–417.
- Yang W, Guo SL, Fang F. Comparison of leaf structures among seventeen moss species collected from diferent habitat[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2007, 29(4): 409–417.
- [14] 王虹, 姜彦成, 苏俊. 一号冰川地区 4 种藓类植物的解剖学研究[J]. 植物研究, 2008, 28(1): 25–29.
- Wang H, Jiang YC, Su J. Anatomy studies of four mosses in glacier No.1 of Xinjiang[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(1): 25–29.
- [15] 王虹, 艾菲热·阿布都艾尼. 乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖的微形态结构[J]. 西北植物学报, 2016, 36(2): 323–331.
- Wang H, Aifeire A. Micromorphological structure of leaf apex of twelve species of bryophytes from the source area of Urumqi river[J]. *Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(2): 323–331.
- [16] 曾健, 吴玉环, 王虹, 艾菲热·阿布都艾尼, 陈秋艳. 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, 2015, 35(5): 672–678.
- Zeng J, Wu YH, Wang H, Aifeire A, Chen QY. Micromorphological structure of leaf apex of ten species of bryophytes from No. 1 glacier of Tianshan Mountains[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2015, 35(5): 672–678.
- [17] 吴玉环, 黄国宏, 高谦. 苔藓植物对环境变化的影响及适应性研究进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 943–946.
- Wu YH, Huang GH, Gao Q. Research advance in response and adaptation of bryophytes to environmental change[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 943–946.
- [18] 张萍, 白学良. 耐旱苔藓植物生理学及分子生物学研究进展[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2004, 35(2): 227–233.
- Zhang P, Bai XL. The development of the physiology and molecular biology of the desiccation—tolerant mosses[J]. *Journal of Inner Mongolia University: Natural Science Edition*, 2004, 35(2): 227–233.
- [19] Chabot BF, Mooney HA. Physiological Ecology of North American Plant Communities[M]. New York: Chapman and Hall, 1985: 66–94.
- [20] Ye T, Zhang YM. Effects of leaf hair points of a desert moss on water retention and dew formation: implications for desiccation tolerance[J]. *Journal of Plant Research*, 2012, 125(3): 351–360.
- [21] 柯勒. 高山植物功能生态学[M]. 吴宁, 罗鹏 译. 北京: 科学出版社, 2009, 1–306.
- Körner C. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems[M]. Wu N, Luo P, translated. Beijing: Science Press, 2009: 1–306.
- [22] 郑云普, 赵建成, 张丙昌, 李琳, 张元明. 荒漠生物结皮中藻类和苔藓植物研究进展[J]. 植物学报, 2009, 44(3): 371–378.
- Zheng YP, Zhao JC, Zhang BC, Li L, Zhang YM. Advances on ecological studies of algae and mosses in biological soil crust[J]. *Chinese Buletin of Botany*, 2009, 44(3): 371–378.
- [23] Zander RH. Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments[J]. *Bull Buffalo Soc Nat Sci*, 1993, 32: 1–378.
- [24] Lloyd RS, David NM. Gender-specific heat-shock tolerance of hydrated leaves in the desert moss *Syntrichia caninervis*[J]. *Physiol Plantarum*, 2006, 126: 187–195.
- [25] 王虹, 逯永满, 王剑虹, 阿依努尔·达吾提, 何杰, 张卫红, 买买提明·苏来曼. 新疆 5 种丛藓科植物的解剖学研究[J]. 植物科学学报, 2014, 32(1): 8–13.
- Wang H, Lu YM, Wang JH, Ayinuer·Dawuti, He J, Zhang WH, Mamtimin·Sulaiman. Anatomy studies of five species of Pottiaceae from Xinjiang[J]. *Plant Science Journal*, 2014, 32(1): 8–13.
- [26] 沙伟, 郑云梅. 24 种国产金发藓科植物叶中肋细胞离析后形态学比较观察[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(2): 124–128.
- Sha W, Zheng YM. The Observation of morphology on costa of 24 species of Polytrichaceae after separating in China[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2008, 26(2): 124–128.

王虹等：图版 I

Wang Hong et al.: Plate I



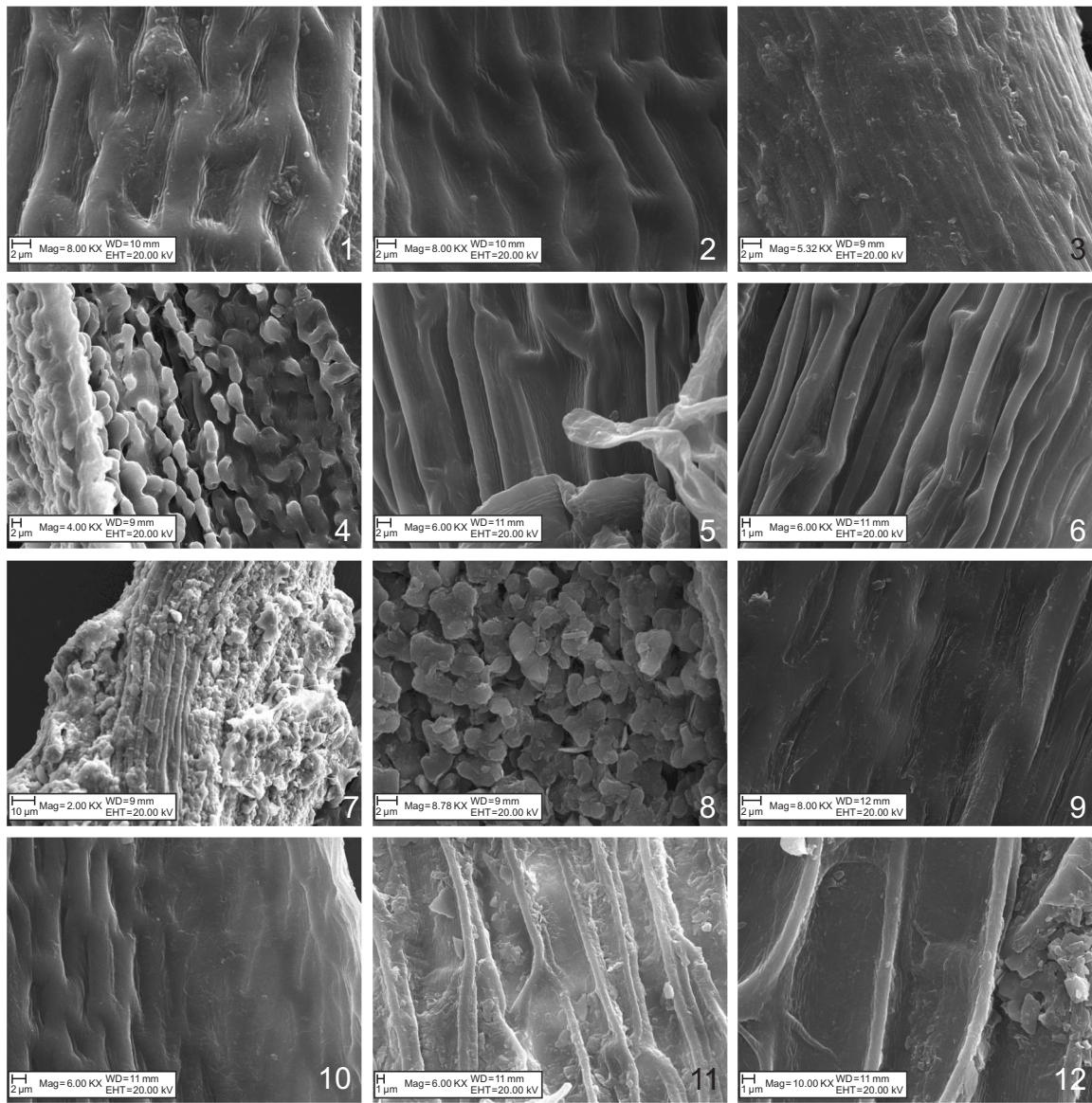
光镜下 12 种藓类植物叶片横切面石蜡切片 (图 3 为叶片中下部, 其余图为叶片中部)。1. 细牛毛藓; 2. 对叶藓; 3. 斜蒴对叶藓; 4. 变形小曲尾藓; 5. 辛氏曲柄藓; 6. 葫芦藓; 7. 平肋提灯藓; 8. 全缘匐灯藓; 9. 沼泽皱蒴藓; 10. 柔叶 (细枝) 小鼠尾藓; 11. 刺叶小鼠尾藓; 12. 中华细枝藓。

LM photographs of cross sections of leaves of 12 moss species by paraffin section (Fig. 3 show lower part of leaf, other figures show middle part of leaf). 1. *Districhum flexicaule* (Schwaegr.) Hampe.; 2. *D. capillaceum* (Hedw.) B. S. G.; 3. *D. inclinatum* (Hedw.) Bruch & W. P. Schimper.; 4. *Dicranella varia* (Hedw) Scimp.; 5. *Campylopus schimperi* Mild.; 6. *Funaria hygrometrica* Heclw.; 7. *Mnium laevinerve* Card.; 8. *Plagiomnium integrum* (Bosch et Sonck Lac.) T. Kop.; 9. *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.; 10. *Myurella tenerrima* (Brid.) Lindb.; 11. *Myurella julacea* (Schnaegr.) W. P. Schimper.; 12. *Lindbergia sinensis* (C. Muell.) Broth.



王虹等：图版 II

Wang Hong *et al.*: Plate II



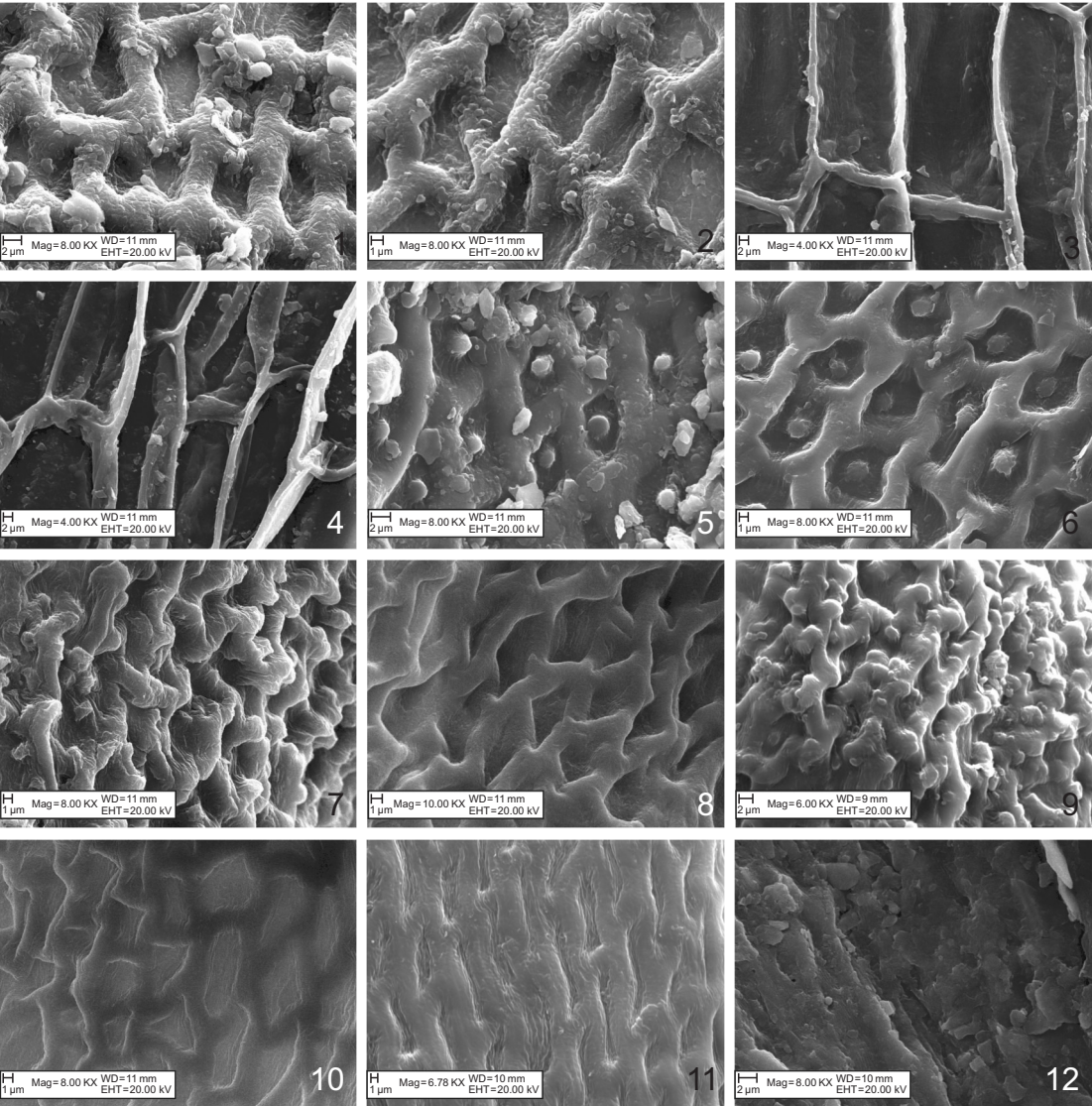
扫描电镜下 12 种藓类植物叶片背、腹面形态(图 3、4、7、8 为叶片中上部, 图 11、12 为叶片中下部; 其余图片为叶片中部)。1, 2. 细牛毛藓背、腹面; 3, 4. 对叶藓背、腹面; 5, 6. 斜蒴对叶藓背、腹面; 7, 8. 变形小曲尾藓背、腹面; 9, 10. 辛氏曲柄藓背、腹面; 11, 12. 葫芦藓背、腹面。

SEM photographs of dorsal and ventral sides of leaves of 12 moss species (Fig. 3, 4, 7, 8 show upper part of leaf, Fig. 11, 12 show lower part of leaf. Other figures show middle part of leaf). 1, 2. *Districhum flexicaule* (Schwaegr.) Hampe; 3, 4. *D. capillaceum* B. S. G.; 5, 6. *D. inclinatum* (Hedw.) Bruch & W. P. Schimper.; 7, 8. *Dicranella varia* (Hedw.) Scimp.; 9, 10. *Campylopus schimperi* Mild.; 11, 12. *Funaria hygrometrica* Heclw.



王虹等：图版Ⅲ

Wang Hong *et al.*: Plate III



扫描电镜下 12 种藓类植物叶片背、腹面的形态(图 1、2 为叶片中上部, 图 3、4 为叶片中下部; 其余图为叶片中部)。1, 2. 平肋提灯藓背、腹面; 3, 4. 全缘匐灯藓背面、腹面; 5, 6. 沼泽皱蒴藓背、腹面; 7, 8. 柔叶(细枝)小鼠尾藓背、腹面; 9, 10. 刺叶小鼠尾藓背、腹面; 11, 12. 中华细枝藓背、腹面。

SEM photographs of dorsal and ventral sides of leaves of 12 moss species (Fig. 1, 2 show upper part of leaf, Fig. 3, 4 show lower part of leaf, other figures show middle part of leaf). 1, 2. *Mnium laevinerve* Card.; 3, 4. *Plagiomnium integrum* (Bosch et Sonck Lac.) T. Kop.; 5, 6. *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.; 7, 8. *Myurella tenerima* (Brid.) Lindb.; 9, 10. *Myurella julacea* (Schnaegr.) W. P. Schimper.; 11, 12. *Lindbergia sinensis* (C. Muell.) Broth.

(责任编辑: 张 平)