

乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖的微形态结构

王 虹, 艾菲热·阿布都艾尼

(新疆大学 生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:对乌鲁木齐河源区生长的 12 种藓类植物叶尖的顶端细胞, 以及与其相邻的其他叶尖细胞表面的小孔、乳突、角质层纹饰等微结构, 进行光学显微镜和扫描电镜观察, 为高山冻原区苔藓植物的结构、分类及生理生态学研究提供理论依据。结果表明: 大多数藓类植物叶尖的顶端细胞透明, 但形态各异, 细胞比叶片细胞长, 干时细胞壁有的收缩凹陷, 有的并不收缩, 细胞壁表面有不规则细纹及细小的颗粒; 叶尖在干时边缘内卷或拧卷、细胞壁厚、表面有较多的小孔, 这些特征有利于水分的吸收及抵御长期寒冷、反射太阳辐射对其伤害而适应环境所形成的生存策略。叶尖的类型对苔藓植物科、属级的分类意义不大, 但其微形态如叶尖顶端细胞及其他细胞的形状、数目、细胞壁的凹陷程度以及其上角质层纹饰、乳突、粗疣及小孔等微形态结构特征, 在同属的不同种之间存在明显差异, 具有一定的分类学价值。

关键词:乌鲁木齐河源区; 藓类植物; 扫描电镜; 叶尖; 微形态结构

中图分类号: Q246; Q248; Q949.35

文献标志码: A

Micromorphological Structure of Leaf Apex of Twelve Species of Bryophytes from the Source Area of Urumqi River

WANG Hong, AIFEIRE Abuduaini

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

Abstract: The micromorphological structure of bristle, wart and cuticle ornamentation of cells of leaf apex and their neighbor cells of twelve mosses from the source area of Urumqi river were observed by LM and SEM. The results indicated that cells on the top of the leaf apex of most species of the species were transparent, longer and thinner than leaf cell, but with various shape; cell wall was sunken with irregular micro-groove and fine particles when it was dry, but not always contracted. Margin of the leaf apex was involuted or twisted, and cell wall was thick with many small pores when it was dry. These characteristics are benefit to absorption of water and adaptive survival strategy for resisting hurt from long period cold and solar radiation. Types of leaf apex have little significance to the classification of family and genus of bryophytes, but the micromorphological structure of cells on the top of the leaf apex and shape, cell number and sunken degree of cell wall and micromorphological structure of wart, mastoid, cuticle ornamentation and small pore of other cells are obviously different among different species in same genus, with certain meaning for classification of species under genus level.

Key words: the source area of Urumqi river; bryophytes; SEM; leaf apex; micromorphology

乌鲁木齐河源区, 在有“冰川活化石”之誉的新疆天山一号冰川地区, 该地区海拔高, 气温低, 降水

收稿日期: 2015-11-23; 修改稿收到日期: 2016-01-20

基金项目: 国家自然科学基金(41461010, 41571049); 新疆大学大学生创新训练计划(XJU-SRT-128)

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

分配不均,年降水量 431.2 mm,年平均气温 -5.5℃,气候寒冷、光照强,生长着耐寒、耐旱、低矮、垫状的高山草甸植物,具典型高山冻原植被带特征^[1]。

高山冻原植被——主要是苔藓植物^[2-5],其矮小、垫状、密集丛生等特性,具有很强的涵养水源的功能,也成为这一地区的优势类群,对维护高山冻原带的生态平衡起到了不可替代的作用,许多苔藓植物具有很强的耐寒、耐旱等抗逆性状,也使得多种苔藓植物在恶劣的环境中成为先锋植物^[6-7]。对新疆天山的苔藓植物的研究工作,有赵建成、买买提明等对新疆东部、博格达地区以及新疆天山的苔藓植物进行区系分类的研究^[8-10];张元明等对新疆博格达山地面生苔藓植物及三工河流域的苔藓植物物种多样性及其分布做了详细的调查^[11-12];王虹、姜彦成等分别对一号冰川地区 4 种藓类植物及紫萼藓科的 5 种植物做了解剖学研究,讨论了它们茎及叶的结构与环境的适应性^[13-14];曾健等也对新疆天山一号冰川 10 种藓类植物的叶尖(毛尖)微形态做了专门的研究,指出其对于苔藓植物属下种间的鉴定具有一定的分类学意义^[15]。本实验对长期生长在高寒、干旱等极端环境下的苔藓植物叶尖的微形态结构的研究,以便为以后的学者研究高山冻原区苔藓植物的结构、分类及生理生态学等方面提供一些理论依据。

1 材料和方法

本实验的 12 种藓类植物标本均采自乌鲁木齐河源区的新疆天山一号冰川附近,海拔高度在 3 522~3 835 m 的岩面、土面或水边(表 1),所有的标本均存放于 HTC 及 XJU。

分别将干标本放入盛水的培养皿中,用尖头镊子把植物体基部的泥土进行初步的清理,然后再用毛笔刷洗,最后用 Polaron CA7615 型超声波清洗仪洗 2 次,每次 30 min。将每种不少于 10 个植株的标本,在解剖镜下取中部叶片置于载玻片上,再在 Olympus 显微镜下详细观察至少 20 个样,并在 Nikon 光学显微镜下照相。取相同部位的叶片不少于 6 片,分别经酒精梯度脱水,干燥后每种分背、腹面粘于样品台上,在 IB-5 离子溅射仪中真空喷镀膜 15 min,并用 LEO 1430VP 型扫描电镜进行观察并拍照。

2 观察结果

2.1 光学显微镜下叶尖的形态特征

依据胡人亮将藓类植物叶先端形态划分成 12 种类型^[2],本实验将乌鲁木齐河源区的 12 种藓类植物的叶尖形态特征(表 2)分为以下 5 种类型:(1)先端渐尖,如斜蒴对叶藓、辛氏曲柄藓、东亚泽藓、中华

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

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
1	斜蒴对叶藓 <i>Districhum inclinatum</i> (Hedw.) B. S. G.	86°49'10.18"E; 43°06'54.23"N	裸露石上土生 In soil on bare rock	3 714	吴玉环(W Y H. HTC2014080752)
2	辛氏曲柄藓 <i>Campylopus schimperi</i> Mild.	86°49'54.88"E; 43°06'47.24"N	高山草甸 Alpine meadow	3 652	吴玉环(W Y H. HTC20140810-23-1)
3	葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i> Heclw.	86°48'43.45"E; 43°07'07.53"N	大石下湿土生 In wet soil under big rock	3 835	吴玉环(W Y H. HTC2014080709)
4	平肋提灯藓 <i>Mnium laecinerve</i> Card.	86°49'26"E; 43°06'54"N	石缝间土生 In soil between swallet	3 524	吴玉环(W Y H. HTC2014080952-2)
5	全缘匍灯藓 <i>Plagiomnium integrum</i> (Bosch et Sonck Lac.) T. Kop.	86°49'14.29"E; 43°07'00.96"N	裸露石上土生 In soil on bare rock	3 760	吴玉环(W Y H. HTC2014080915)
6	东亚泽藓 <i>Philonotis turneriana</i> (Schwaegr.) Mitt.	86°50'06.18"E; 43°06'40.38"N	高山草甸 Alpine meadow	3559	吴玉环(W Y H. HTC20140810-24-5)
7	(钝叶)小鼠尾藓 <i>Myurella julacea</i> (Schnaegr.) B. S. G.	86°49'28"E; 43°6'54"N	石缝间土生 In soil between swallet	3 522.5	吴玉环(W Y H. HTC2014080953)
8	柔叶(细枝)小鼠尾藓 <i>Myurella tenerrima</i> (Brid.) Lindb.	86°49'20.12"E; 43°06'53.92"N	石缝间土生 In soil between swallet	3 692	吴玉环(W Y H. HTC2014080942)
9	中华细枝藓 <i>Lindbergia sinensis</i> (C. Muell.) Broth.	86°50'02.03"E; 43°06'45.91"N	石上生 On rock	3 640	吴玉环(W Y H. HTC2014081007)
10	牛角藓原变种 <i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce var. <i>filicinum</i>	86°47'29.78"E; 43°06'48.56"N	河滩旁石缝间土生 In soil between swallet by river beach	3 644	吴玉环(W Y H. HTC2014080958-3)
11	仰叶拟细湿藓 <i>Campyliadelphus stellatus</i> (Hechsw.) Kanda.	86°50'06.18"E; 43°06'40.38"N	高山草甸 Alpine meadow	3 559	吴玉环(W Y H. HTC20140810-24-5)
12	漆光镰刀藓 <i>Drepanocladus vernicosus</i> (Mitt.) Warnst.	86°47'29.31"E; 43°06'47.01"N	河漫滩旁草甸水生 In grass in water by river beach	3 651	吴玉环(W Y H. HTC2014080958-2)

表 2 12 种藓类植物叶尖形态特征观察
Table 2 Leaf apex morphology of 12 species of bryophytes

种 名 Species name	叶尖形态 Form of leaf apex	中肋 Keel	干时叶尖上部形态 Shape of dry upper part of leaf apex	顶端细胞大小/宽 Size of cells length/width/ μm	顶端细胞壁表面角质层纹饰 At the top of the cell surface cuticle grain	其他细胞壁表面角质层纹饰 Cuticle ornamentation out of cell wall of other cells	图版 Plate
斜蒴叶藓 <i>Dutrichum inclinatum</i> (Hedw.) B. S. G.	锥状渐尖, 边缘细胞凸起呈小刺状 Cone-shaped, gradually acuminate, margin cell extruding as small spin	突出叶尖但不达顶部 Ex- truding out of leaf apex, but not up to top	具多个刺状小尖头, 不收缩 With multiple spine-shaped mas- toid, not shrunk	48, 60~64, 29/ 9, 32~12, 33	较光滑, 具少量不规则纵纹及乳突 Rel- atively smooth, with a small amount of ir- regular longitudinal lines and mastoid	具较多细纵纹, 小孔 With more fine longitudinal lines and small holes	I, 1, 13~15; II, 1
辛氏曲柄藓 <i>Campylopus filiformis</i> Mitt.	宽刺状渐尖, 边缘稍有凸起 Wide spiny-shaped, gradually acuminate, margin slightly raised	突出叶尖几乎达到叶尖顶 部 Extruding out of leaf a- pex, almost reaching the top	三棱形, 细胞短, 壁凹陷 Triangular prism, cells short, cell wall sunken	25, 28~32, 76/ 13, 15~16, 46	较光滑, 具少量粗纹及细小颗粒 Rela- tively smooth, with a small amount of ir- regular longitudinal lines and tiny grain	具细小颗粒, 小孔, 不规则 粗疣 With fine particles, ir- regularly small scaly tumor and densely coarse warts	I, 2; II, 2~4
葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	针状渐尖, 边缘较平滑 Needle- shaped gradually acuminate, margin smooth	长达叶尖顶部 Up to the top	三棱形, 细胞长, 两侧收缩 Triangular prism, cells long, contracted on both sides	135, 89~152, 04/ 9, 12~22, 28	具短纵纹及细小颗粒 With short longi- tudinal lines and tiny particles	密被细小颗粒 Densely cov- ered with tiny particles	I, 3; II, 5~7
平肋提灯藓 <i>Mitula laetevirens</i> Card.	宽刺状急尖, 边缘较平滑 Wide spiny-shaped sudden acuminate, margin smooth	窝顶突出成尖 Penetration highlight into sharp	锥形急尖, 不收缩 Conical-shaped sudden acuminate, not shrunk	165, 59~183, 95/ 9, 46~50, 46	密被细纹及鳞片状纹饰 Densely covered with fine lines and scaly ornamentation	密被不规则纹饰在凹陷的 细胞壁上 Densely covered with irregular grain on the sunken cell wall	I, 4; II, 8~10
全缘蒴灯藓 <i>Platogonum integrum</i> (Bosch et Sack Lac.) T. Kop.	刺状急尖, 边缘较平滑 Spiny-shaped sudden acuminate, margin is smooth	不达顶端 Not up to the top	针状急尖, 不收缩, 细胞长, 稍拧 Spiny-shaped sudden acuminate, not shrunk, cells long, slightly tweaked	339, 54~360, 48/ 13, 78~22, 32	具较长的纵纹 With longer longitudinal lines	多为颗粒状及鳞片状 Granular and scaly for most	I, 5; II, 11, 12
东亚泽藓 <i>Philonotis turneriana</i> (Schwaegr.) Mitt.	梯状渐尖, 边缘有小凸起 Trapezium-shaped gradually acuminate, margin with small bumps	不达叶上部 Not up to the top	针刺状, 上下压扁 Thorri-shaped, squashed up and down	77, 26~98, 36/ 6, 60~21, 36	具细纵纹 With fine longitudinal lines	具细纵纹及密集的小颗粒 With fine longitudinal lines and intensive tiny particles	I, 6; II, 13, 14
(鞘叶)小扁尾藓 <i>Mnuzella idacaea</i> (Schwaegr.) B. S. G.	圆钝, 边缘小齿状 (Obtuse, margin dentate	无 No	圆钝或小刺状, 细胞壁上下凹陷 Obtuse or small thorns, cell wall sunken up and down	19, 32~37, 52/ 4, 16~13, 27	具少量纹饰及细小颗粒 With small a- mount of lines and tiny particles	具不规则纹饰及细小颗粒 With irregular lines and tiny particles	I, 7; II, 15; III, 1
柔叶(细枝)小扁尾藓 <i>Myurella tenerima</i> (Brd.) Lindb.	针刺状, 边缘小齿状 Needle-shaped, margin dentate-shaped	无 Absent	针刺状, 稍弯曲, 不收缩 Needle-shaped, slightly curved, not shrunk	21, 01~37, 61/ 5, 31~20, 68	具较多细纵纹及细小颗粒 With more fine longitudinal lines and tiny particles	具较多细纵纹及细小颗粒 With more fine longitudinal lines and tiny particles	I, 8; II, 2, 3
中华细枝藓 <i>Lindbergia sinensis</i> (C. Muell.) Broth.	宽刺状渐尖, 边缘较平滑 Wide spiny-shaped gradually acuminate, margin smooth	不达叶尖 Not up to the top	宽刺状, 上下强烈压扁 Wide spiny-shaped, strongly squashed up and down	51, 81~69, 63/ 11, 26~26, 48	具不规则纵纹及细小颗粒 With irregu- lar longitudinal lines and tiny particles	具不规则纹饰及细小颗粒 With irregular longitudinal lines and tiny particles	I, 9, III, 4, 5
牛角藓原变种 <i>Cyatoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce var. <i>filicinum</i>	针刺状, 边缘平滑 Needle-shaped, margin smooth	不达顶端 Not up to the top	三棱形针刺状, 两侧压扁 Triangular prism, needle-shaped, squashed on both sides	51, 00~58, 70/ 9, 87~26, 48	具密集细长的纵纹及细小颗粒 With dense thin longitudinal lines and tiny par- ticles	具密集细长的纵纹, 鳞片 Scales and fine longitudinal lines	I, 10; III, 6, 7
仰叶拟细源藓 <i>Camptodes plus stellatus</i> (Hedw.) Kanda.	针刺状, 边缘较平滑 Needle-shaped, margin smooth	不达叶尖 Not up to the top	针刺状, 稍拧, 上下压扁 Needle-shaped, slightly tweaked, squashed up and down	66, 20~77, 63/ 12, 45~22, 37	具密集不规则短纵纹 With dense irreg- ular short longitudinal lines	具不规则纹饰及颗粒 With irregular fine lines and grain and particles	I, 11; III, 8~10
(漆光)傅刀藓 <i>Drepanolobium caricinum</i> (Mitt.) Warnst.	梯状渐尖, 边缘细胞壁在尾部凸起 呈小齿状 Trapezium-shaped gradu- ally acuminate, end of margin cell wall raised like little dentate	不达叶尖 Not up to the top	具几个小尖头, 上下压扁 With a few small point, squashed up and down	55, 12~65, 72/ 6, 72~16, 78	具密集不规则纵纹及颗粒 With dense irregular fine lines and particles	具密集不规则纵纹及颗粒 With dense irregular longi- tudinal lines and particles	I, 12; III, 11, 12

细枝藓、牛角藓原变种、仰叶拟细湿藓、(漆光)镰刀藓(图版 I, 1、2、6、9~12);(2)先端锥形,如葫芦藓、平肋提灯藓(图版 I, 3、4);(3)先端锐,急尖,如全缘匍灯藓(图版 I, 5);(4)先端圆钝,如(钝叶)小鼠尾藓(图版 I, 7);(5)先端具芒,如柔叶(细枝)小鼠尾藓(图版 I, 8)。观察发现,有的(钝叶)小鼠尾藓的叶片也有小芒尖。

2.2 扫描电镜下叶尖的顶端细胞形态特征

扫描电镜下叶尖干时:(1)先端圆锥形,具多个小尖头,细胞不收缩。如斜蒴对叶藓(图版 I, 14、15;图版 II, 1);(2)先端呈三棱形渐尖,细胞收缩不明显。如辛氏曲柄藓、葫芦藓(图版 II, 2~7);(3)先端急尖,细胞不收缩。如平肋提灯藓、全缘匍灯藓(图版 II, 8~12);(4)先端扁平,细胞上下收缩,边缘具的细胞壁在尾部凸起。如东亚泽藓、(漆光)镰刀藓(图版 II, 13、14;图版 III, 11~12);(5)中华细枝藓、牛角藓原变、仰叶拟细湿藓种(图版 III, 4~10);(6)钝圆,如(钝叶)小鼠尾藓(图版 II, 15;图版 III, 1);(7)呈芒尖:如柔叶(细枝)小鼠尾藓(图版 III, 2、3)。

2.3 扫描电镜下叶尖顶端细胞表面的角质层纹饰

这 12 种藓类植物叶尖的顶端细胞表面的角质层纹饰,在组成、形态和分布的疏密程度分为以下 7 种:(1)具乳突的只有斜蒴对叶藓(图版 I, 14、15);(2)具不规则纹饰(纵纹或细纵纹),如斜蒴对叶藓、全缘匍灯藓、东亚泽藓、中华细枝藓(图版 I, 13~15;图版 II, 11、13;图版 III, 4);(3)具细小颗粒的,如辛氏曲柄藓、葫芦藓、(钝叶)小鼠尾藓、柔叶(细枝)小鼠尾藓、中华细枝藓、牛角藓原变种、(漆光)镰刀藓(图版 II, 2、5、15;图版 III, 2、4、6、11);(4)具少量纹饰(或粗纹)的,如辛氏曲柄藓、(钝叶)小鼠尾藓(图版 II, 2;图版 III, 15);(5)具密集的纵纹(或细纹)的,如葫芦藓、平肋提灯藓、牛角藓原变种、仰叶拟细湿藓、(漆光)镰刀藓(图版 II, 5、8;图版 III, 6、8、11);(6)具鳞片状纹饰的,如平肋提灯藓(图版 II, 8);(7)具较多不规则纹饰(或细纵纹)的,如柔叶(细枝)小鼠尾藓(图版 III, 2)。可以看出,有的种其植物叶尖的顶端细胞表面的角质层纹饰同时具有 2 种。

2.4 扫描电镜下叶尖其他细胞的角质层纹饰

与叶尖顶端细胞相邻的其他细胞表面角质层纹饰:(1)具小孔,如斜蒴对叶藓、辛氏曲柄藓(图版 I, 14、15;图版 II, 2~4);(2)具细纵纹(或不规则纹饰),如斜蒴对叶藓、平肋提灯藓、东亚泽藓、(钝叶)小鼠尾藓、柔叶(细枝)小鼠尾藓、中华细枝藓、牛角藓原变种、仰叶拟细湿藓、(漆光)镰刀藓、(匙叶)毛

尖藓(图版 I, 14、15;图版 II, 8~10、13~15;图版 III, 1~15);(3)具细小颗粒的,如辛氏曲柄藓、葫芦藓、全缘匍灯藓、东亚泽藓、(钝叶)小鼠尾藓、柔叶(细枝)小鼠尾藓、中华细枝藓、牛角藓原变种、仰叶拟细湿藓、(漆光)镰刀藓(图版 II, 2~7、11~15;图版 III, 1~12);(4)瘤状,如辛氏曲柄藓(图版 II, 2~4);(5)粗疣,如辛氏曲柄藓(图版 II, 2~4);(6)鳞片状,如辛氏曲柄藓、全缘匍灯藓、牛角藓原变种(图版 II, 2~4、11、12;图版 III, 6、7)。大多数种类与叶尖顶端细胞相邻的其他细胞表面角质层纹饰均为不规则纵纹及颗粒,有的具有 3、4 种纹饰。

3 讨 论

3.1 叶尖微形态特征与生态的关系

由于苔藓植物体型小,结构简单,以往对于高山地区植物功能生态学研究基本上忽略了苔藓植物的作用^[16],实际上苔藓植物在植被类型的演替和水土保持中却起着非常大的作用^[6,12],因此现在也越来越引起国内外学者的注意,他们通过对荒漠藓类植物的耐旱机制的研究发现,调整藓类植物叶片在植株上的形态以及叶细胞的超微结构,就能够有效地维持其持水力和光能捕获量的平衡,使苔藓植物从失水中恢复生机,在干旱的环境下存活下来,进而成为生态系统稳定和退化生态系统恢复评价的重要指标之一^[17-24],因此,对植物叶尖的微形态特征的研究,是可以与环境因素进行定量分析的。本实验所用的 12 种藓类植物均密集丛生在海拔较高的寒冷、风多并且空气干燥地区,不仅大多数植物的叶片会强烈卷缩并紧紧裹在茎上,毛尖上部及顶端细胞也呈不同程度的弯曲和拧状,这些方式均可以延缓植物体内水分蒸发速度,降低叶片水分的蒸发量,并抵御长期寒冷、干旱和太阳辐射^[7],同时,当水分条件好时,植株可以依靠毛细管传导系统,迅速有效地吸收水分并进行光合作用^[23],而苔藓植物的叶尖及顶端细胞也是毛细管系统的一部分,因此,这些藓类植物透明的叶尖及厚壁的顶端细胞,在干时细胞壁有不同程度的凹陷、细胞表面有细小的颗粒、具不规则纵纹等,这些都是苔藓植物为适应长期生长在寒冷、多风、干旱的环境中能反射强光照以减少水分蒸发,降低强光对叶片所造成的危害^[7,25-27],同时还可以在第一时间吸收空气中的水分,传给相邻的其他细胞。叶尖其他的细胞表面比顶端细胞表面粗糙,角质层纹饰密集而多样,这样的结构一方面能抵御恶劣气候环境的伤害,另一方面也有利于吸收水分,

使植物迅速恢复有效的生理机能。

3.2 叶尖微形态特征对于藓类植物的分类学意义

乌鲁木齐河源区生长的 12 种藓类植物具有一些相似的结构特征,绝大多数种类的叶先端具叶尖,有的叶尖渐尖,如斜蒴对叶藓、辛氏曲柄藓、东亚泽藓、中华细枝藓、牛角藓原变种、(漆光)镰刀藓;有的叶尖毛状,有的叶尖锥形,如平肋提灯藓和全缘匍灯藓,等等,可以看出,在光镜下这些叶尖先端的特征在分类学上的意义不大,但在扫描电镜下,由于照片的放大倍数远远大于光镜的,因此可以较清楚地看到,不同的藓类植物的叶尖特别是顶端细胞及叶尖的其他细胞表面的多项微形态指标,如在其形态、大小、干时细胞壁的凹陷程度以及表面角质层纹饰的形态、分布等等都有明显的差别,具有一定的分类学价值,特别是在属下种间的区分上^[14-17]。依据胡人亮将藓类植物叶先端形态划分成 12 种类型^[3],结合扫描电镜方法,将这 12 种藓类植物的叶尖形态又分成:(1)渐尖组。A. 顶端细胞较短,且叶尖先端具几个小尖头:a. 锥形渐尖,如斜蒴对叶藓;b. 呈三棱形渐尖,如辛氏曲柄藓;c. 扁平状渐尖,如东亚泽藓、(漆光)镰刀藓;B. 叶尖先端扁平,只有 1 个小尖头:如中华细枝藓;C. 叶尖先端三棱形,只有 1 个小尖头:如牛角藓原变种。(2)毛状组。A. 叶尖先端三棱形,顶端细胞较长,如葫芦藓;B. 叶尖先端针刺状,稍拧,如仰叶拟细湿藓。(3)锥形组。如平肋提

灯藓、全缘匍灯藓;(4)圆钝形组,如(钝叶)小鼠尾藓;(5)芒状组,如柔叶(细枝)小鼠尾藓。

3.3 叶尖顶端细胞微形态特征对于藓类植物进化趋势的关系

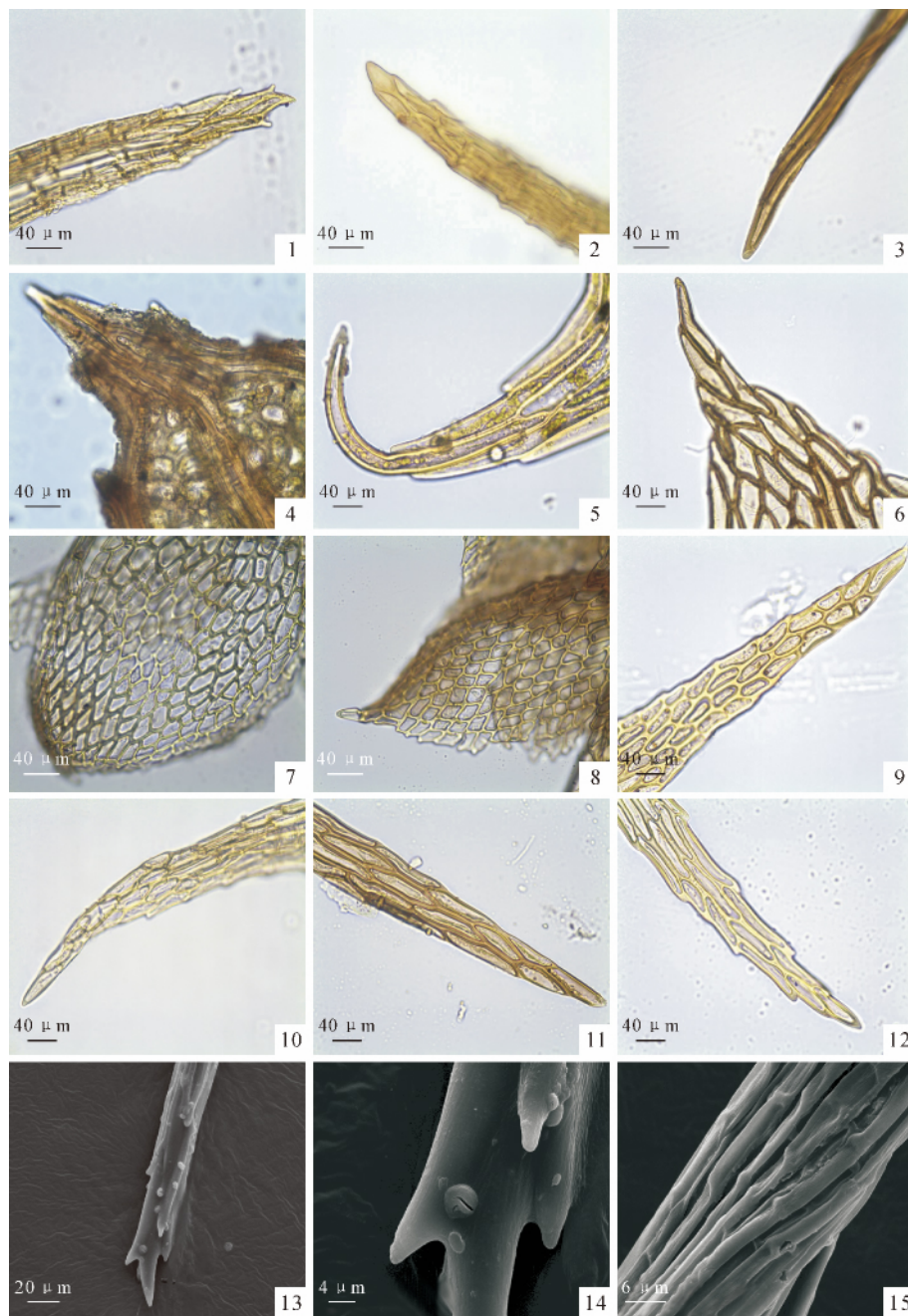
有学者指出导管长的较原始,导管短的较进化^[28],而叶尖细胞与导管的功能相近似,我们推测,全缘匍灯藓的细胞最长,则属于较原始的种类,而柔叶(细枝)小鼠尾藓的叶尖顶端细胞最短,则较属于进化的种类。另外,有研究表明,细胞表面的角质层纹饰是由简单向复杂的方向演化的^[29],因此,顶端细胞较光滑的斜蒴对叶藓、辛氏曲柄藓属于较原始的,而(漆光)镰刀藓属于较进化的种类。这两种结果并不一致,说明植物进化是一个漫长而复杂的变化过程,需要多方面综合的分析研究,如与叶尖顶端细胞相邻的其他叶尖细胞表面角质层纹饰,不仅种与种之间不同,而且与同种的叶尖顶端细胞也有所不同,角质层纹饰在叶尖的分布及形态特征也是不同的,而辛氏曲柄藓的角质层纹饰在叶尖顶端细胞表面较光滑,但随着细胞越来越向叶片靠近,出现了小孔、鳞片、小瘤,直到出现大量密集的粗疣,角质层纹饰由简单到复杂又到简单,难以确定它属于进化种类还是原始种类,这可能是它为了更好的吸收水分,反射强光、抵御寒冷等适应环境而形成的生存策略,有待今后进行全面的形态、生理、生态等方面的深入研究。

致谢:实验材料由杭州师范大学吴玉环教授鉴定并提供,特此感谢!

参考文献:

- [1] 安黎哲,刘艳红,冯国宁,等. 乌鲁木齐河源区高寒冰缘植被的生态特征研究[J]. 西北植物学报, 2000, 20(1): 98-105.
AN L Z, LIU Y H, FENG G N, et al. Studies on ecological properties of alpine subnival vegetation at the source area of Urumqi river[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sinica*, 2000, 20(1): 98-105.
- [2] 胡人亮. 苔藓植物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 1-188.
- [3] 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.
- [4] 白学良. 内蒙古苔藓植物志[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1997: 115-437.
- [5] 熊源新. 贵州苔藓植物志[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2014: 334-400.
- [6] 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 Y H, CHENG G D, GAO Q. Bryophyte's ecology functions and its significances in revegetation[J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(3): 215-220.
- [7] 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): 1 129-1 134.
ZHANG Y M, CAO T, PAN B R. A review on the studies of bryophyte ecology in arid and semiarid areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1 129-1 134.
- [8] 赵建成. 新疆博格达山苔藓植物的研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 1993, 10(1): 73-91.
ZHAO J C. Study on the bryophytes on Mt. Bogda, Xinjiang[J]. *Journal of Xinjiang University (Nat. Sci. Ed.)*, 1993, 10(1): 73-91.
- [9] 赵建成. 新疆东部天山苔藓植物区系[J]. *Chenia*, 1993, (1):

- 99-114.
- ZHAO J C. Bryophyte flora of East Mount Tianshan in Xinjiang[J]. *Chenia*, 1993, (1): 99-114.
- [10] 买买提明·苏莱曼, 赵建成. 新疆天山苔藓植物新记录及其地理分布[J]. 干旱区研究, 1996, 13(1): 32-35.
- SULAYMAN M, ZHAO J C. Some new records of bryophytes in Tianshan Mts and their geographical distributions[J]. *Arid Zone Research*, 1996, 13(1): 32-35.
- [11] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆博格达山地面生苔藓植物物种多样性研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 887-897.
- ZHANG Y M, CAO T, PAN B R. Species diversity of floor Bryophyte communities in Bogda Mountains, Xinjiang[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 887-897.
- [12] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆三工河流域的苔藓植物及其分布特征[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 39-43.
- ZHANG Y M, CAO T, PAN B R. Study on bryophytes and their distribution patterns in Sangong River Watershed, Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 2002, 19(1): 39-43.
- [13] 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 Y C, SU J. Anatomy studies of four mosses in glacier No. 1 of Xinjiang[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(1): 25-29.
- [14] 姜彦成, 王虹, 王永波, 等. 紫萁藓科植物茎及叶的解剖学研究(续)[J]. 植物研究, 2007, 27(5): 534-537.
- JIANG Y C, WANG H, WANG Y B, *et al.* Anatomical structure of stems and leaves of grimmaceae (continue)[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2007, 27(5): 534-537.
- [15] 曾健, 吴玉环, 王虹, 等. 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 Y H, WANG H, *et al.* 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.
- [16] 柯勒著, 吴宁, 等译. 高山植物功能生态学[M]. 科学出版社, 2009: 1-306.
- [17] 吴玉环, 陈佳强, 冯虎元, 等. 耐旱藓类的抗旱生理及其机理研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 23-28.
- WU Y H, CHEN J Q, FEN H Y, *et al.* Advances of research on desiccation-tolerant moss[J]. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(1): 23-28.
- [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 X L. The development of the physiology and molecular biology of the desiccation-tolerant mosses[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol* (Nat. Sci. Edi.), 2004, 35(2): 227-233.
- [19] 张萍, 白学良, 钟秀丽. 苔藓植物耐旱机制研究进展[J]. 植物学通报, 2005, 22(1): 107-114.
- ZHANG P, BAI X L, ZHONG X L. Advances in the desiccation tolerance of mosses[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, 22(1): 107-114.
- [20] WU N, ZHANG Y M, DOWNING A, *et al.* Rapid adjustment of leaf angle explains how the desert moss, *Syntrichia caninervis*, copes with multiple resource limitations during rehydration[J]. *Functional Plant Biology*, 2014, 41: 168-177.
- [21] OEEHEL W C, LAWRENCE W T. Physiological Ecology of North American Plant Communities[M]//Chabot B F and Mooney H A. Taiga. New York: Chapman and Hall, 1985: 6-94.
- [22] YE T, ZHANG Y M. 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.
- [23] 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 Y H, HUANG G H, GAO Q. Research advance in response and adaptation of bryophytes to environmental change[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 943-946.
- [24] 吴玉环, 高谦, 陈国栋, 等. 苔藓植物对全球变化的响应及其生物指标意义[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 895-900.
- WU Y H, GAO Q, CHEN G D, *et al.* Response of bryophytes to global change and its bioindicator function[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 895-900.
- [25] 吴鹏程. 苔藓植物生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-338.
- [26] 郑云普, 赵建成, 张丙昌, 等. 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 Y P, ZHAO J C, ZHANG B C, *et al.* Advances on ecological studies of algae and mosses in biological soil crust[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2009, 44(3): 371-378.
- [27] ZANDER R H. Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments[J]. *Bull. Buffalo Soc. Nat. Sci.*, 1993, 32: 1-378.
- [28] 詹琪芳, 王幼芳, 李粉霞, 等. 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, 2006, 26(2): 217-225.
- ZHAN Q F, WANG Y F, LI F X, *et al.* Comparison of stem structures of eight mosses in two habitats[J]. *Acta Bot. Boreo-Occident. Sin.*, 2006, 26(2): 217-225.
- [29] 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 Y M. 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.

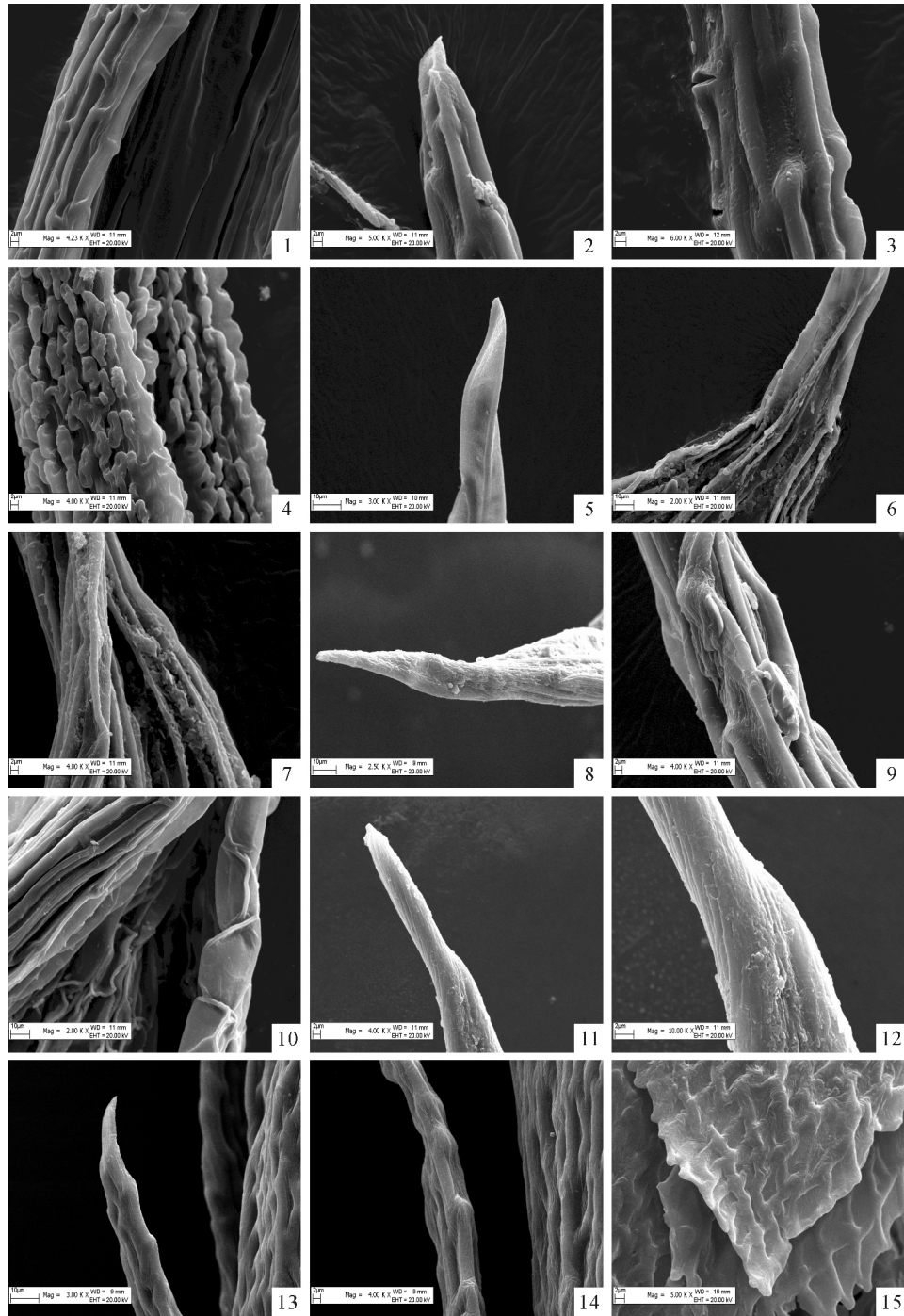


图版 I 光学显微镜下乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖形态, $\times 400$

1. 斜蒴对叶藓; 2. 辛氏曲柄藓; 3. 葫芦藓; 4. 平肋提灯藓; 5. 全缘匍灯藓; 6. 东亚泽藓; 7. (钝叶) 小鼠尾藓; 8. 柔叶(细枝) 小鼠尾藓; 9. 中华细枝藓; 10. (漆光) 镰刀藓; 11. 仰叶拟细湿藓; 12. 牛角藓原变种; 13~15. 扫描电镜下斜蒴对叶藓, $\times 8\,000$, $\times 4\,000$ 。

Plate I Light microscope photographs of leaf apex structure of 12 species of bryophytes from source area of Urumqi river, $\times 400$

Fig. 1. *Districhium inclinatum*; Fig. 2. *Campylopus schimperi*; Fig. 3. *Funaria hygrometrica*; Fig. 4. *Mnium laecinerve*; Fig. 5. *Plagiomnium integrum*; Fig. 6. *Philonotis turneriana*; Fig. 7. *Myurella julacea*; Fig. 8. *Myurella tenerrima*; Fig. 9. *Lindbergia sinensis*; Fig. 10. *Drepanocladus vernicosus*; Fig. 11. *Campyliadelphus stellatus*; Fig. 12. *Cratoneuron filicinum*; Fig. 13—15. SEM photographs *Districhium inclinatum*, $\times 8\,000$, $\times 4\,000$.

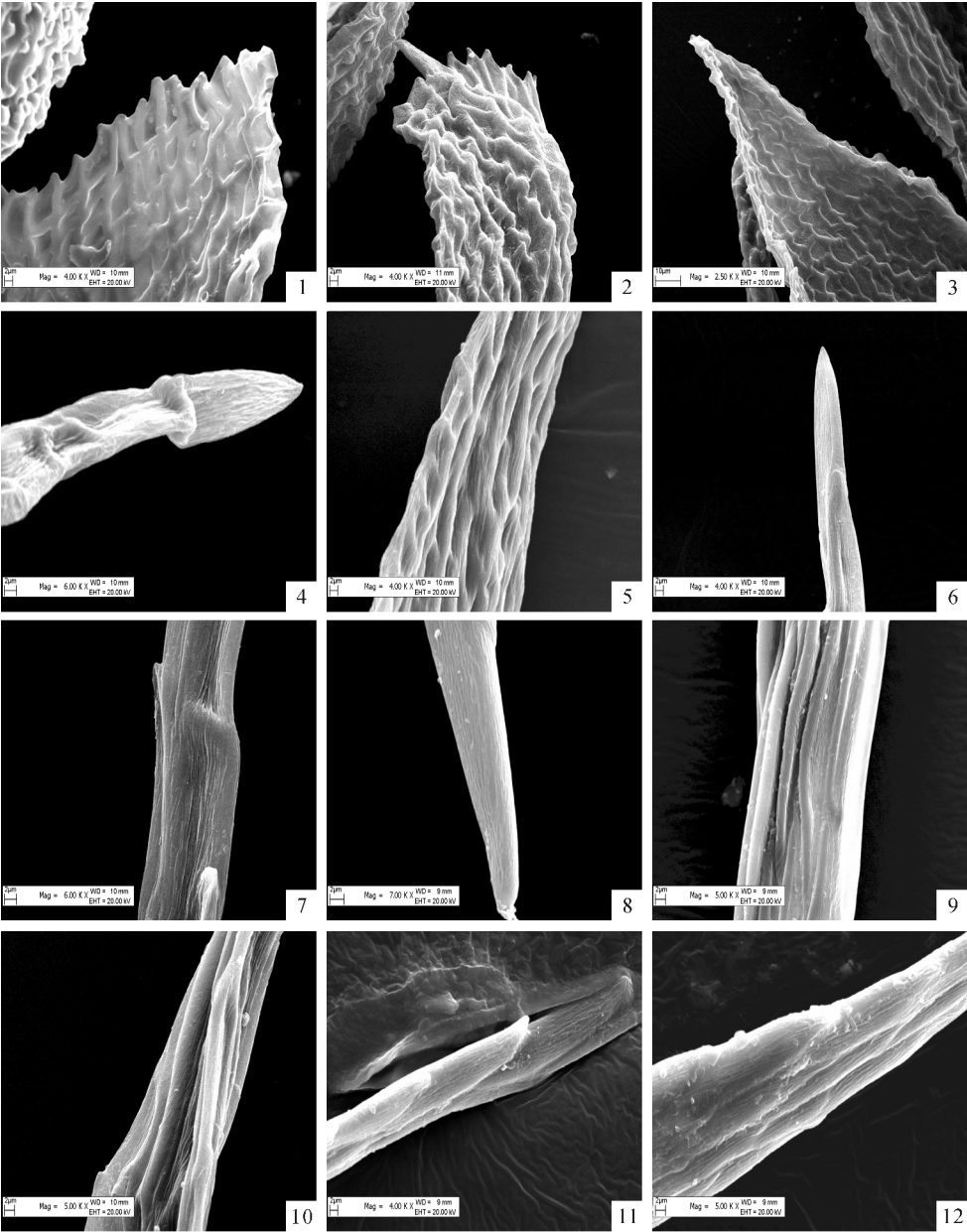


图版 II 扫描电镜下乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖形态

1. 斜蒴对叶藓, $\times 2\,000$, $\times 1\,500$, $\times 3\,000$; 2~4. 辛氏曲柄藓, $\times 6\,000$, $\times 6\,000$, $\times 4\,000$; 5~7. 葫芦藓, $\times 3\,000$, $\times 4\,000$, $\times 2\,000$; 8, 9. 平肋提灯藓, $\times 4\,000$, $\times 10\,000$; 10~12. 全缘匍灯藓, $\times 2\,500$, $\times 4\,000$, $\times 2\,000$; 13, 14. 东亚泽藓, $\times 3\,000$, $\times 4\,000$; 15. (钝叶)小鼠尾藓, $\times 6\,000$ 。

Plate II SEM photographs of leaf apex structure of 12 species of bryophytes from source area of Urumqi river

Fig. 1. *Districhum inclinatum*, $\times 2\,000$, $\times 1\,500$, $\times 3\,000$; Fig. 2~4. *Campylopus schimperi*, $\times 6\,000$, $\times 6\,000$, $\times 4\,000$; Fig. 5~7. *Funaria hygrometrica*, $\times 3\,000$, $\times 4\,000$, $\times 2\,000$; Fig. 8, 9. *Mnium laeclinerve*, $\times 4\,000$, $\times 10\,000$; Fig. 10~12. *Plagiommium integrum*, $\times 2\,500$, $\times 4\,000$, $\times 2\,000$; Fig. 13, 14. *Philonotis turneriana*, $\times 3\,000$, $\times 4\,000$; Fig. 15. *Myurella julacea*, $\times 6\,000$ 。



图版 III 扫描电镜下乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖形态

1. (钝叶)小鼠尾藓, $\times 8\,000$; 2, 3. 柔叶(细枝)小鼠尾藓, $\times 3\,000$, $\times 2\,500$; 4, 5. 中华细枝藓, $\times 6\,000$, $\times 4\,000$; 6, 7. (漆光)镰刀藓, $\times 4\,000$, $\times 6\,000$; 8~10. 仰叶拟细湿藓, $\times 7\,000$, $\times 5\,000$, $\times 5\,000$; 11, 12. 牛角藓原变种, $\times 4\,000$, $\times 6\,000$ 。

Plate III SEM photographs of leaf apex structure of 12 species of bryophytes from source area of Urumqi river

Fig. 1. *Myurella julacea*, $\times 8\,000$; Fig. 2, 3. *Myurella tenerrima*, $\times 3\,000$, $\times 2\,500$; Fig. 4, 5. *Lindbergia sinensis*, $\times 6\,000$, $\times 4\,000$; Fig. 6, 7. *Drepanocladus vernicosus*, $\times 4\,000$, $\times 6\,000$; Fig. 8~10. *Campyliadelphus stellatus*, $\times 7\,000$, $\times 5\,000$, $\times 5\,000$; Fig. 11, 12. *Cratoneuron filicinum*, $\times 4\,000$, $\times 6\,000$ 。

(编辑:潘新社)