

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 ..... 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 ..... 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 ..... 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 ..... 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 ..... 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枧不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

### 专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 ..... 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

### 研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 ..... 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 330 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-06



封面图说:鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com



DOI: 10.5846/stxb201111231792

张显强, 曾建军, 谌金吾, 罗正伟, 孙敏. 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性. 生态学报, 2012, 32(12): 3902-3911.

Zhang X Q, Zeng J J, Chen J W, Luo Z W, Sun M. The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3902-3911.

## 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征 及其结构适应性

张显强<sup>1,2</sup>, 曾建军<sup>3</sup>, 谌金吾<sup>1</sup>, 罗正伟<sup>1</sup>, 孙 敏<sup>1,\*</sup>

(1. 西南大学三峡库区生态环境与生物资源省部共建国家重点实验室/生命科学学院, 重庆 400715;

2. 贵州警官职业学院, 贵阳 550005; 3. 井冈山大学生命科学学院, 吉安 343009)

**摘要:** 苔藓是荒漠植被演替过程中常见的先锋植物, 同时也是极端恶劣环境的开拓者。比较石漠化地区常见的穗枝赤齿藓 (*Erythrodontium julaceum* (Schwaegr.) Par.)、反叶扭口藓 (*Barbula fallax* Hedw.) 和真藓 (*Bryum argenteum* Hedw.) 对干旱环境的适应性, 为石漠化环境的恢复和治理提供理论依据。结果表明: 最大持水能力和保水率穗枝赤齿藓和反叶扭口藓均大于真藓。3 种苔藓的吸水过程包括外吸水和内吸水, 吸水动力学曲线均表现为 S 型饱和曲线, 但吸水特征存在较大差异; 穗枝赤齿藓和反叶扭口藓的饱和吸水量相差甚微, 但远大于真藓, 前两者约为后者的 2.5 倍; 最大总、内、外吸水速度穗枝赤齿藓分别为真藓的 3.41、2.52 倍和 3.02 倍, 反叶扭口藓分别是真藓的 2.79、2.52 倍和 3.55 倍。茎的解剖学结构显示真藓和反叶扭口藓有明显的中轴, 属内导水型藓类, 而穗枝赤齿藓无中轴, 属外导水型; 但严格的内导水型植物是不存在的, 不少植物属于混合导水型, 这与环境水分高低有关。因此, 中轴的有无并不是导致吸水能力强弱的决定性因素, 还与苔藓所处的环境状况、生长型、毛细管系统类型和茎叶结构密切相关。

**关键词:** 石漠化; 生境异质性; 岩溶苔藓; 吸水特征; 形态结构

## The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification

ZHANG Xianqiang<sup>1,2</sup>, ZENG Jianjun<sup>3</sup>, CHEN Jinwu<sup>1</sup>, LUO Zhengwei<sup>1</sup>, SUN Min<sup>1,\*</sup>

1 State Key Laboratory Breeding Base of Eco-Environments and Bio-Resources of the Three Gorges Reservoir Region, School of Life Science, Southwest University Chongqing 400715, China

2 Guizhou Police Officer Vocational College, Guiyang 550005, China

3 School of Life Science, Jingguangshan University, Ji'an 343009, China

**Abstract:** Bryophytes are a class of pioneer plants at desert vegetation succession and even in extremely dry environments. In this study, a theoretical foundation for the interest of recovering and administering the environments of rock-desertification ecology was provided by compared with the adaptability to habitat heterogeneity in rocky desertification environments among *Erythrodontium julaceum*, *Barbula fallax* and *Bryum argenteum*. The results show that, firstly, *E. julaceum* and *B. fallax* are more than *B. argenteum* in the capacity of holding maximal water and also in the rate of preserving natural water. Secondly, the water-uptaking processes of the three mosses are outer water uptake and inner water uptake. Although the three species had the same dynamic curve of the S type saturated water content, they had considerably different dynamic properties. Little difference was found in the amount of water saturated by *E. julaceum* and *B. fallax*.

**基金项目:** 三峡库区生态环境与生物资源省部共建国家重点实验室培育基地开放基金项目 (SKL-2010-03)

**收稿日期:** 2011-11-23; **修订日期:** 2012-04-06

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jwscm@swu.edu.cn

However, the amount of saturated water in *E. julaceum* and *B. fallax* were about 2.5 times of that in the silver *B. Argenteum*. The amount of saturated water and the maximal rates of water uptake, inner as well as outer water uptake in *E. julaceum* were 3.41, 2.52 and 3.02 times than those of *B. argenteum*, respectively. Similar results were also found in *B. fallax*. Furthermore, the stem cross-section structure of three mosses showed that *B. argenteum* and *B. fallax* had the obvious conducting strand and belonged to endohydric mosses. In contrast, *E. julaceum* owned no conducting strand and belonged to the part of the ectohydric. Strictly, the structure of endohydric and ectohydric in mosses is not the decisive factor of water absorption capability, which has close relationship with many aspects including growth form, type of capillary system and microstructure of stem and leaf positive correlations.

**Key Words:** rock desertification; habitat heterogeneity; bryokarst; absorbing water features; morphological structure

苔藓是一类形态结构相对简单,缺乏根和维管束的植物,然而它具有比其它高等植物更丰富的生境基质多样性。石生苔藓群落由于生于山坡或林地以外空隙多阳光的、比较干燥的石质基础上,完全依赖雨水或空中水湿而生存的一个重要苔藓生态类型,属于干燥群落类型<sup>[1]</sup>。石生苔藓在岩面的殖居、演替不仅改善了岩面持水性,而且其代谢过程直接影响岩面物理化学性质变化,尤其是一些酸性物质的分泌,降低岩面硬度,加速岩面溶蚀,进而形成生物微环境<sup>[2-3]</sup>,为其它生物类群拓展了新的生态位。苔藓的重要作用之一是将沙土颗粒等蓄积在群落之内,和自身的残体形成新生苔藓的生长基质<sup>[4]</sup>;而且能截留降雨带来的养分,有效改良贫养瘠薄的原生生境<sup>[5]</sup>。另外一个重要作用就是苔藓丛毛细管系统具有很强的吸水、持水能力,有利于改善岩面及周围环境的水湿条件<sup>[4,6]</sup>。

喀斯特山区由于人类的极度生产活动破坏而造成不同程度的石漠化灾害,造成大量基岩裸露,加之岩溶地貌所形成的地上岩石、地下溶洞的水相二元结构,保水能力极差,渗漏极强。因此,岩溶地区干旱与西北沙漠区域空气干燥、降水不足形成的干旱完全不同,其干旱不是由于缺水所引起的,属于季节性干旱。迄今为止,关于喀斯特石生藓类水分关系的研究仅见零星报道<sup>[7-8]</sup>,未见石生和非石生类型藓类对石漠化异质环境适应方面的系统研究。因此,本文对生长在喀斯特严重石漠化区域常见的穗枝赤齿藓(*Erythrodontium julaceum*)、反叶扭口藓(*Barbula fallax*)和真藓(*Bryum argenteum*)对干旱环境适应的水分生理和解剖构造进行了比较研究,试图揭示其与石漠化干旱环境的关系,为喀斯特石漠化环境的治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部,地理位置为26°11'—26°34'N,106°27'—106°52'E,地处黔中山原盆地,最高海拔1655.9 m,最低999 m,平均海拔1100 m,属亚热带季风湿润气候,年平均温度15.2℃,年平均降水量为1178 mm,年平均日照时数为1214.6 h,相对湿度为85%。具有冬无严寒、夏无酷暑、气候温和、雨量充沛、雨热同季的特点。成土母岩主要是白云质灰岩和钙质白云岩,土壤为石灰土,占全市面积的85%。森林覆盖率为5%—15%,植被覆被率为10%—90%,裸岩率为30%—90%,土地开垦率为10%—70%,石漠化特征表现明显,平均石漠化率为36.79%。地带性植被为中亚热带湿润常绿阔叶林,自然植被主要以壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)为主,次生植被有杨梅(*Myrica rubra*(Lour.) Siebold & Zucc.)、光皮桦(*Betula luminifera* H. Winkl.)、柏木(*Cupressus funebris* Endl.)、女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)、桃(*Prunus persica*(L.) Batsch.)、李(*Prunus salicina* Lindl.)、火棘(*Pyracantha fortuneana*(Maxim.) Li)、粗叶悬钩子(*Rubus alceaefolius* Poir)等。

无林地以五节芒(*Miscanthus floridulus*(Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.)、海金沙(*Lygodium japonicum*(Thunb.) Sw.)、过路黄(*Lysimachia christinae* Hance)、悬钩子(*Rubus palmatus* Thunb.)、野葛(*Pueraria lobata*(Willd.) Ohwi)、金樱子(*Rosa laevigata* Michx.)、荩草(*Arthraxon hispidus*(Thunb.) Makino)、白茅(*Imperata cylindrica*(Linn.) Beauv.)、野菊(*Dendranthema indicum*(L.) Des Moul)、一年蓬(*Erigeron annuus*(L.) Pers.)、

拔葵(*Smilax chinensis* L.)等草本植物为主,植被覆盖度在20%—30%之间。反叶扭口藓生长在完全光裸的石头顶部,穗枝赤齿藓生长在岩石的顶部和斜面处,极少延伸到石头底部的土壤上,2种藓类基部无土壤,属于典型石生藓类;真藓生长在石头底部的石灰质土壤上,属于干旱土生类型。3种藓类周围无任何乔灌木,只有零星草本。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样本的采集与处理

采集地点选择在贵阳市花溪区附近严重石漠化区域。在随机选取的5个25 m×25 m的样地内,在10 cm×10 cm的小样方内采集苔藓,迅速称重装入塑料袋,并详细记录生境和盖度,采集前3 d有小雨,平均气温20℃。随机选取生长较为整齐的苔藓,除去泥土和残渣,放在铺有两层湿滤纸的60 cm×80 cm的搪瓷盘中,放入光强为20 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,温度(25±1)℃,光暗周期12 h:12 h的光照培养箱中培养。

### 1.2.2 测定内容及方法

#### (1) 最大持水量测定

按照五点取样法在各样地上、下部各设2个、中部设1个1 m×1 m的样方采集苔藓,现场称量并换算成单位面积鲜重( $M_1$ , t/hm<sup>2</sup>),同时用密封袋取样带回<sup>[9]</sup>。

从各样方样品中选取部分2—3年生,生长状况和湿度基本一致的苔藓,称其鲜重( $m_1$ , g),带回室内浸水24 h后称湿重( $m_2$ , g),同时另取一部分( $m_3$ , g)在65℃条件下烘干24 h测定干重( $m_0$ , g)。鲜重减去干重为苔藓层的天然持水量,浸水24 h后的重量减去干重为苔藓最大持水量。计算样品最大持水率( $P$ )和单位林地面积苔藓最大持水量(t/hm<sup>2</sup>)。计算公式如下:

$$P = \left[ \frac{m_2}{m_1} \times \frac{m_3}{m_0} - 1 \right] \times 100\% \quad M = M_0 \times P = \left[ \frac{m_0}{m_3} \right] \times M_1 \times P \times r$$

式中, $M_0$ 表示单位林地面积苔藓干重(t/hm<sup>2</sup>)。 $r$ 为水分由质量转换到体积的单位换算因子(cm<sup>3</sup>/g)。取样重复5次。

#### (2) 吸水进程实验

参照B. Slavik方法<sup>[10]</sup>。称取5 g,平整放在盛有300 mL蒸馏水的23 cm×15 cm搪瓷盘中进行吸水实验。吸水时间分别为0.5、1.5、10、20、40 min和60 min,定时取出,称重,减去样品鲜重后得总吸水量。迅速用吸水纸将样品表面水分吸干,称重,减去样品鲜重后得内吸水量。以总吸水量减去内吸水量得外吸水量。在作水分吸收动力学实验时,通过控制水的加入量分别为10、15、20、25、50、100、150、200 mL,固定吸水时间为30 s。上述实验均重复3次。

#### (3) 离体植株保水率

将采回的苔藓放入铺有滤纸的培养皿内,喷洒蒸馏水,待其叶片充分展开后,分离一定数量苔藓单株,用锋利刀片切除植株体根部,用蒸馏水反复冲洗以去除夹杂的沙粒。在直径9 cm的圆形培养皿底部铺上同样大小滤纸,其上放入上述苔藓植株5 g,滤纸中间留有直径为2.5 cm的空白部分,从滤纸空白部分缓慢均匀加蒸馏水至叶片完全湿润。充分吸收水分后,用滤纸吸收其表面多余水分,将其均匀平铺在培养皿上,置于超净工作台中室温干燥(温度(25±2)℃,湿度65%—70%),定时称重,直至衡重,绘制自然脱水曲线。

#### (4) 茎的解剖结构特征

在Nikon E200解剖镜下观察,拍照并记录每种藓类的叶片形态和细胞特征,随机选10株完整植物体,洗净后取植株中上部(分枝型取主茎中部茎段),长度不超过1 cm,用FAA固定液固定24 h并抽气,换70%乙醇保存,按70%、80%、90%、95%、100%乙醇梯度脱水,番红整体染色,二甲苯透明,石蜡包埋,LEICA旋转式切片机横向切片(厚度8 μm),贴片,37℃恒温箱烤片;二甲苯脱蜡,100%至70%乙醇梯度复水,番红固绿对染,梯度乙醇脱水、二甲苯透明,中性树胶封片。Nikon 80i研究显微照相系统观察,目测微尺度量,选择具有代表性的材料拍照。

### (5) 数据处理

利用 SPSS13.0 进行数据处理, Microsoft Excel 2003 和 Origin 8.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种藓类蓄积量和最大持水量比较

由图 1 可知,不同藓类蓄积量差异明显,其中以穗枝赤齿藓为最大,达  $1.64 \text{ t/hm}^2$ ,其次为反叶扭口藓,为  $0.69 \text{ t/hm}^2$ ,真藓的蓄积量最小,仅为  $0.29 \text{ t/hm}^2$ ,穗枝赤齿藓蓄积量是真藓的 5.66 倍。最大持水率在不同苔藓差异不是特别明显,以反叶扭口藓的最高,为 797%,其次为穗枝赤齿藓的 747%,最小为真藓的 646%。由于最大持水量与蓄积量、最大持水率和盖度存在密切的关系,因此差异较大,以穗枝赤齿藓最大,为  $12.24 \text{ t/hm}^2$ ,其次是反叶扭口藓的  $8.75 \text{ t/hm}^2$ ,而真藓仅为  $1.89 \text{ t/hm}^2$ ,最大为最小的 6.89 倍。

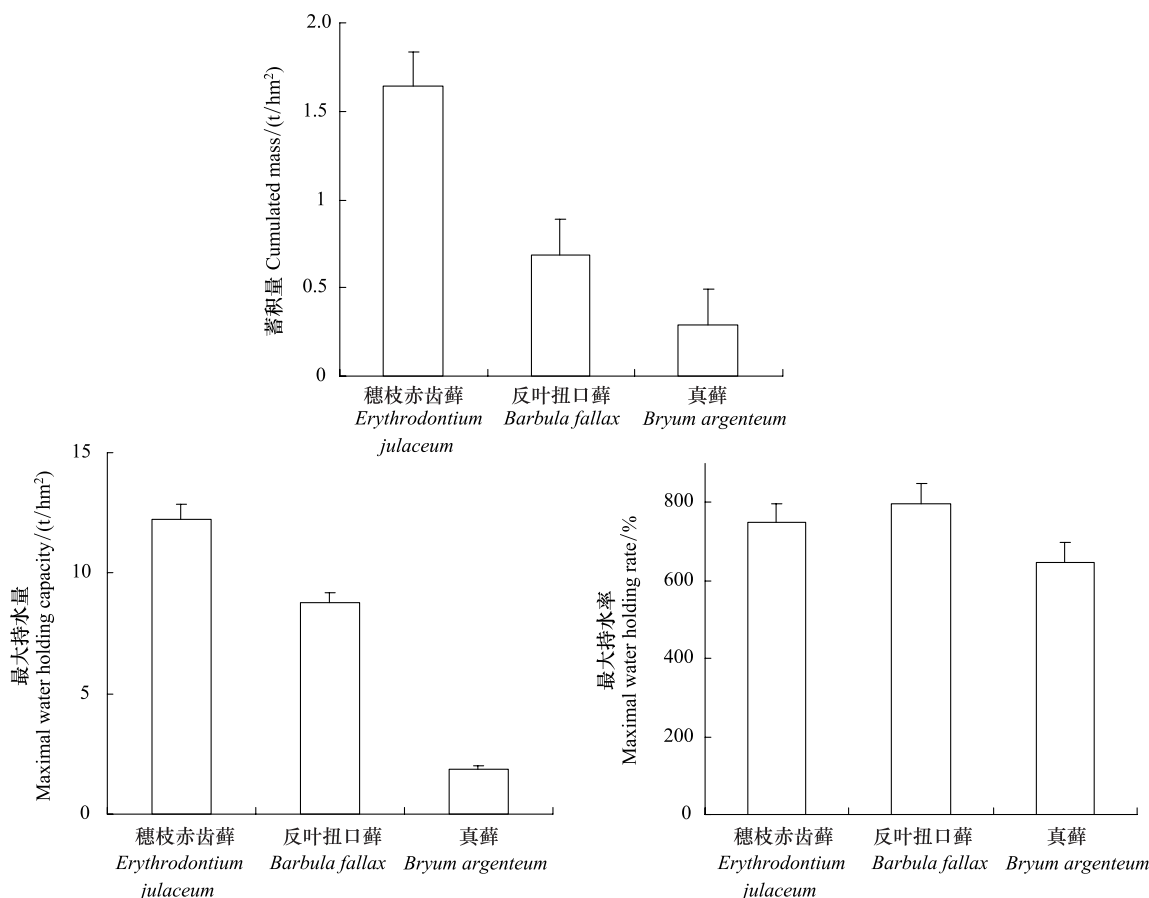


图 1 3 种藓类蓄积量和最大持水量

Fig. 1 The maximal water holding rate and maximal water holding capacity of three mosses

同一栏中不同小写字母表示差异达到  $P < 0.05$  显著水平

### 2.2 3 种藓类吸水的时间效应比较

用正常生长状态下的苔藓进行吸水试验,测定了不同吸水时间后其含水量的变化(图 2)。结果表明,3 种苔藓的吸水过程均由外吸水和内吸水组成。穗枝赤齿藓饱和吸水量为  $8.57 \text{ g/g DW}$ ,其中,饱和外、内吸水量的吸水量依次为  $5.86 \text{ g/g}$  干重和  $2.72 \text{ g/g}$  干重,分别占总吸水量的 68.3% 和 31.7%;反叶扭口藓饱和吸水量为  $8.48 \text{ g/g}$  干重,其中,饱和外、内吸水量为吸水量依次为  $5.68 \text{ g/g}$  干重和  $2.78 \text{ g/g}$  干重,分别占总吸水量的 67.0% 和 33.0%;而真藓饱和吸水量仅为  $3.38 \text{ g/g}$  干重,其中,饱和外、内吸水量的吸水量依次为  $2.52 \text{ g/g}$  干重和  $0.85 \text{ g/g}$  干重,分别占总吸水量的 74.6% 和 25.4%。此外,3 种苔藓的内、外吸水过程也存在差异。穗枝赤齿藓在吸水 20 min 后外吸水可达饱和,而内吸水过程需 10 min,外吸水量为内吸水量的 2.15 倍;

反叶扭口藓在吸水 10 min 后外吸水达到饱和,而内吸水仅需 5 min 就可以饱和,外吸水量为内吸水量的 2.03 倍;而真藓在吸水 40 min 后外吸水可达饱和,而内吸水过程需 10 min,外吸水量为内吸水量的 2.93 倍。总体而言,外吸水时间真藓>反叶扭口藓=穗枝赤齿藓,而内吸水时间表现出反叶扭口藓<穗枝赤齿藓=真藓的结果。

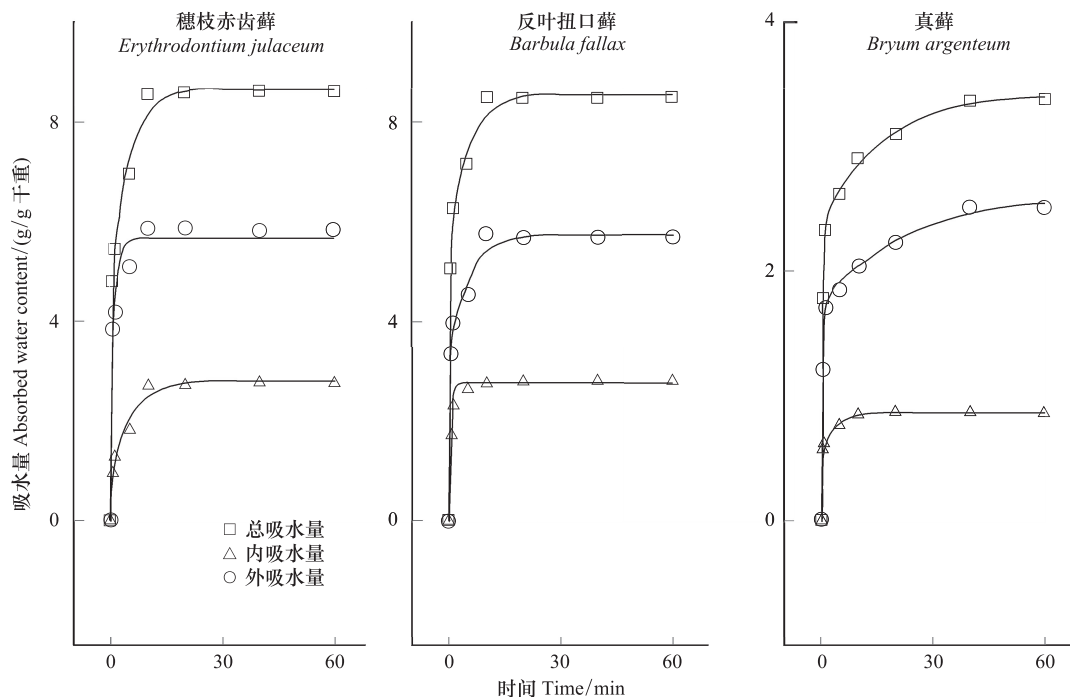


图2 3种藓类的水分吸收进程

Fig. 2 Process of water absorption of three mosses

### 2.3 3种藓类吸水动力学比较

通过固定吸水时间和控制水分加入量,对穗枝赤齿藓、反叶扭口藓和真藓进行瞬时水分吸收的研究(图3)。

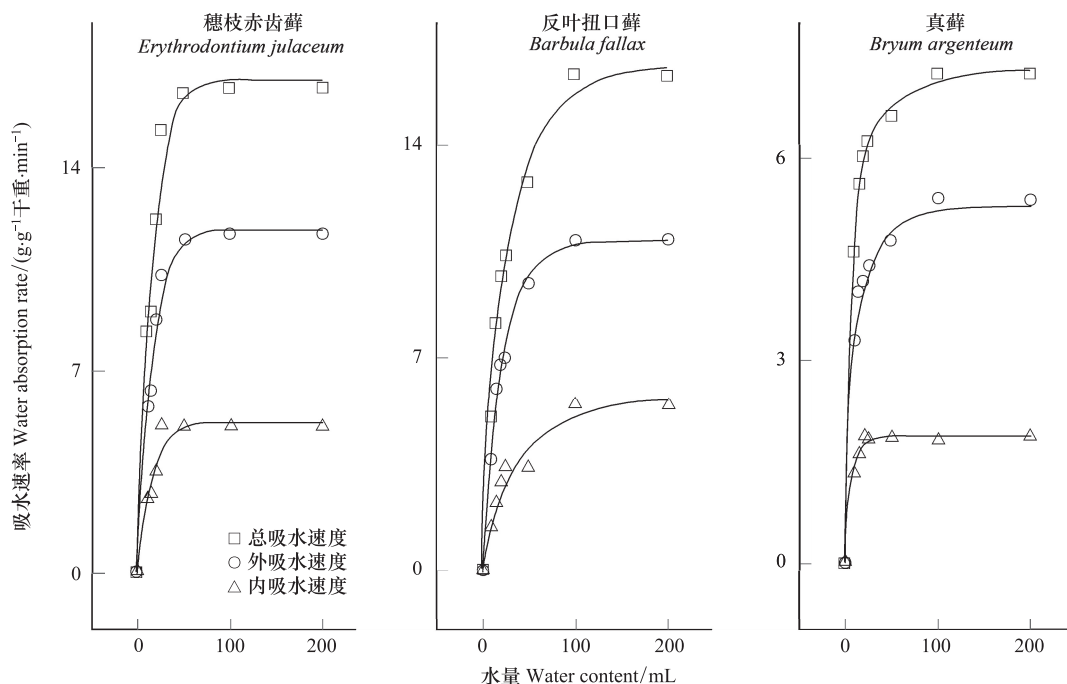


图3 3种藓类的水分吸收动力学曲线

Fig. 3 Water uptake kinetic curve of three mosses



结果表明,植物水分吸收动力学曲线是 S 型饱和曲线,它是由两个水分吸收系统完成的,外吸水(吸附水)过程和内吸水过程。当外界水分在 25 g 以下时,植物水分吸收速度与水分加入量成正比;当外界水分增加到 25 g 以上后,植物水分吸收速度逐渐趋于达到最大值。该动力学曲线完全符合 Michaelis-Menten 方程,该曲线可表达为  $V = V_{\max} \cdot S / (S + K_m)$  的形式,其中  $V$ 、 $S$ 、 $V_{\max}$ 、 $K_m$  分别代表吸水速度、外界水量、最大吸水速度、Michaelis-Menten 常数。根据 Lineweaver-Burk 双倒数作图法, X 轴截距为  $-1/K_m$ , Y 轴截距为  $1/V_{\max}$ , 斜率为  $K_m/V_{\max}$ , 计算得到各种吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值。穗枝赤齿藓总吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 39.23 g、36.36 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 外吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 26.44 g 和 19.65 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 内吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 51.65 g 和 8.52 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>; 反叶扭口藓总吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 45.82 g、29.76 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 外吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 41.54 g 和 19.72 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 内吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 56.62 g 和 10.01 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>; 真藓总吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 14.32 g、10.65 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 外吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 15.21 g 和 7.81 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup>, 内吸水过程的表现  $K_m$  值和表现  $V_{\max}$  值分别为 12.02 g 和 2.82 g·g<sup>-1</sup> 干重·min<sup>-1</sup> (图 4 和表 1)。

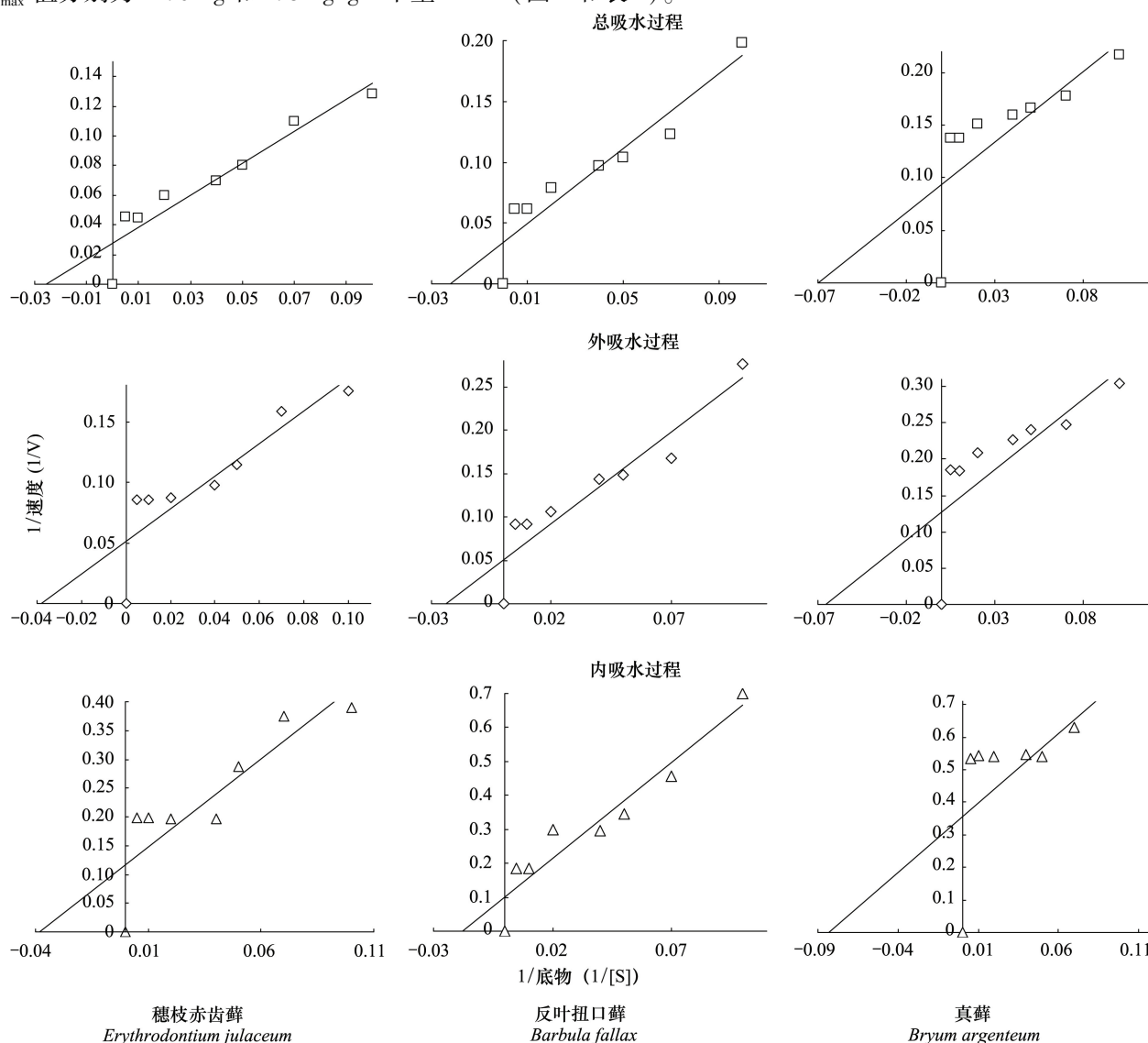


图 4 3 种藓类水分吸收动力学的 Lineweaver-Burk 图

Fig. 4 The diagram of Lineweaver-Burk of water uptake kinetic on three mosses



表 1 3 种藓类吸水动力学 Lineweaver-Burk 双倒数作图法参数

Table 1 The parameter of Lineweaver-Burk of water uptake kinetic on three mosses						
植物名称 Plant names	项目 Item	方程 Equation	截距 Intercept	最大反应速度 $V_{\max}$	斜率 Slope	米氏常数 $K_m$
真藓 <i>Bryum argenteum</i>	总吸水	$y = 1.345x + 0.0939$	0.0939	$10.65 \pm 1.02$	1.345	$14.32 \pm 0.89$
	外吸水	$y = 1.9465x + 0.128$	0.128	$7.81 \pm 0.45$	1.9465	$15.21 \pm 1.01$
	内吸水	$y = 4.2626x + 0.3546$	0.3546	$2.82 \pm 0.97$	4.2626	$12.02 \pm 0.68$
反叶扭口藓 <i>Barbula fallax</i>	总吸水	$y = 1.5396x + 0.0336$	0.0336	$29.76 \pm 0.20$	1.5396	$45.82 \pm 0.74$
	外吸水	$y = 2.1059x + 0.0507$	0.0507	$19.72 \pm 0.19$	2.1059	$41.54 \pm 0.45$
	内吸水	$y = 5.6563x + 0.0999$	0.0999	$10.01 \pm 0.05$	5.6563	$56.62 \pm 0.53$
穗枝赤齿藓 <i>Erythrodontium julaceum</i>	总吸水	$y = 1.0788x + 0.0275$	0.0275	$36.36 \pm 0.99$	1.0788	$39.23 \pm 0.72$
	外吸水	$y = 1.3456x + 0.0509$	0.0509	$19.65 \pm 0.56$	1.3456	$26.44 \pm 0.85$
	内吸水	$y = 6.0616x + 0.1174$	0.1174	$8.52 \pm 0.48$	3.0616	$51.65 \pm 0.33$

2.4 3 种藓类自然保水率比较

图 5 结果说明,3 种苔藓植株绿色部分在脱水后的最初 12 h 内即发生较大变化,12 h 后其鲜重基本保持不变,维持在约 1/5 的水平。但不同苔藓之间也存在一定的差别,穗枝赤齿藓和真藓在脱水 12 h 后失水率基本达到稳定,分别为 75.8% 和 84.8%,而反叶扭口藓在脱水 8 h 后失水率可达稳定,失水率为 75% 左右。此外,失水率和含水量之间呈极明显的负相关关系 ( $P<0.01$ ),穗枝赤齿藓稳定含水量为 24.2%,反叶扭口藓为 24.8%,而真藓仅为 15.2%,真藓耐脱水的能力最弱。

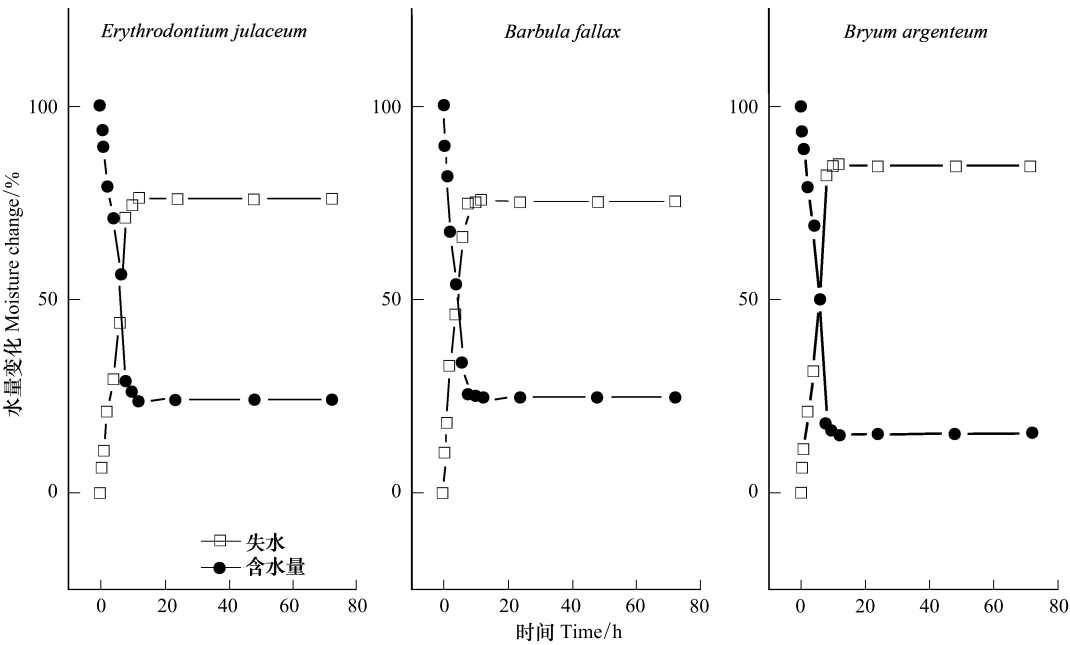


图 5 3 种苔藓的自然保水率

Fig. 5 Three mosses of natural water-preserving rate

2.5 3 种藓类对水分的吸收及导传的形态解剖学佐证

穗枝赤齿藓茎横切面椭圆形(图 6)。表皮 2 层细胞,细胞较大、形状极不规则,胞壁强烈增厚。皮部分化不明显,具 3—4 层细胞,胞壁薄,靠近表皮的细胞近圆形、较大,中部细胞扭曲、形状极不规则、大小差别较大。无中轴分化。反叶扭口藓横切面不规则多边形。表皮 1—3 层细胞,细胞较小,角偶处细胞层数明显增多,胞壁增厚明显。皮部 5—6 层薄壁细胞,大型细胞中间杂小型细胞,圆六边形或近圆形;皮部可见叶迹,中轴分化明显,不规则 4—5 边形,外部为小型养分传导细胞,胞壁较薄;内部为导质细胞,细胞稍大,壁稍增厚。中轴明

显。真藓茎横切面近圆形。表皮 1 层细胞,细胞较小、长方形或椭圆形,胞壁稍增厚。皮部具 3 层薄壁细胞,中部薄壁细胞硕大,细胞近椭圆形。中轴分化明显,形状近椭圆形,具小型薄壁细胞,细胞圆 5—6 边形(图 6)。

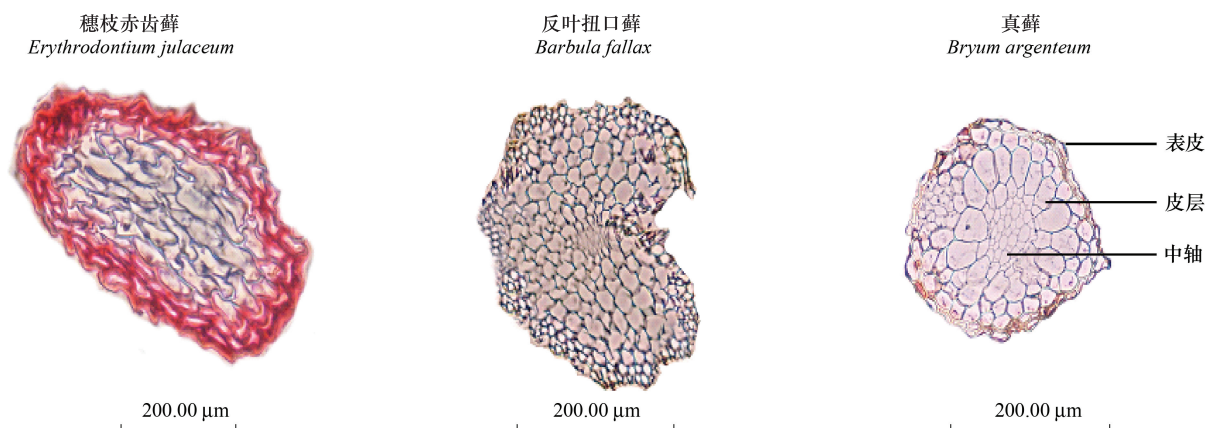


图 6 3 种藓类茎的横切面结构示意图

Fig. 6 Cross-section structure of three mosses of stem

### 3 讨论

植物的水分关系及其忍耐或抵御干旱的能力决定物种的分布范围以及其生存的能力。苔藓植物能以一种比较独特的方式适应陆生生境,长期生长在岩石表面的苔藓具有极强的耐旱力。由于其生长的基质中缺少土壤,水分易蒸发,为了适应干旱环境,它们形成了特有的吸水和保水机制。虽然其植物体几乎与土壤以相同的速度丧失水分,但当再度遇到潮湿环境时,仍可迅速恢复新陈代谢能力<sup>[11-13]</sup>。

在碳酸盐岩表面,苔藓常继藻类、地衣之后大量繁衍,继而覆盖整个岩石表面。苔藓植物的持水能力依种类不同,从低于植物体干重的 50% 到高至干重的 2000%<sup>[6]</sup>。本研究最大持水率以反叶扭口藓最高,其次为穗枝赤齿藓,最小为真藓,这与石生藓类形体和生长的微环境有关,反叶扭口藓和穗枝赤齿藓体形粗壮,排列紧密,毛细管系统较为发达,反之,真藓体型纤细、排列疏松,持水能力较低。一般而言,由于苔藓植物形体矮小,其含水量比起维管束植物要少。有研究发现暖湿环境中湿地甸灯藓 (*Plagiommium acutum* (Lindb.) T. Kop.) 在脱水 24 h 后,其含水量仍高达 18.26%<sup>[14]</sup>,荒漠生境中的刺叶赤藓 (*Syntrichia caninervis* Mitt.) 6 h 内迅速失水,14 h 后其含水量可稳定在 20% 的水平<sup>[15]</sup>。本研究不同藓类之间自然保水率存在一定的差别,穗枝赤齿藓和真藓在脱水 12 h 后失水率基本达到稳定,而反叶扭口藓在脱水 8 h 后失水率可达稳定。但总体上藓类植物抗失水的能力是十分有限的,反叶扭口藓和穗枝赤齿藓的含水量基本保持在 25% 水平,而真藓仅为 15% 左右。研究证实垫丛状或毯状的生长状态,有助于减小空气在叶片表面的运动,从而减少了植物体内水分的蒸腾<sup>[6]</sup>。这与本实验反叶扭口藓呈现出集群、紧密的垫状生长,穗枝赤齿藓呈现紧贴在岩石上毯状的交织生长,叶片在干燥时强烈卷缩,毛细管系统发达,保水率较强;真藓植株纤细,丛生生长但排列较为疏松,保水能力较弱的结果相一致。因此,石生藓类为了适应石漠化季节性干旱,演化出形式多样的生长状况和方式来应付干旱环境。

反叶扭口藓、穗枝赤齿藓均为喀斯特石头表面常见的藓类;真藓分布范围广,主要生长在土壤上,但在岩石上也能见到零星的分布。但它们在形态差异较大,反叶扭口藓垫状丛生,排列紧密;穗枝赤齿藓毯状交织丛生,具有很强的蓄水能力;而真藓植株矮小,稀疏丛生,不易形成贮水空间。因此,在水源充足的情况下,穗枝赤齿藓在 20 min 内便可吸水达到饱和,吸水能力可达到其干重的 8.57 倍,反叶扭口藓在 10 min 内吸水达到饱和,吸水能力达到其干重的 8.48 倍,经统计学分析吸水量之间差异不显著 ( $P>0.05$ );而真藓要在 40 min 后才可达到水分饱和,其吸水能力也只能达到干重的 3.38 倍。这些结果表明,苔藓的外部形态和生长型在很

大程度上决定了其吸水能力。3 种苔藓的吸水过程可分为内吸水和外吸水。内吸水是吸收进入植物体内的水分,存在于细胞内及植物体内空隙中,可被植物体代谢所直接利用;外吸水是靠毛细管系统吸入并固定于苔藓各器官表面、器官之间空隙的水分,主要作为运输的介质和蒸腾降温所需。3 种苔藓的外吸水量比内吸水量大得多,但吸水达到饱和状态所需的时间不同。穗枝赤齿藓外吸水饱和需 20 min,内吸水 10 min;反叶扭口藓内吸水时间仅为 5 min,而外吸水需 10 min;而真藓内吸水需 10 min,外吸水需 40 min 甚至更长的时间。可以推测,石漠化地区 3 种藓类以一种节约水的方式优先进行内吸水提供代谢所需,之后才逐步进行外吸水过程,仅存在吸水时间的差异。因此,石生藓类通过提高对环境水分的吸收速度,增加外吸水量,保证蒸腾降温 and 营养物质的输送;同时减少内吸水时间,保证旱季植物体内细胞代谢所需。从吸水动力学角度分析,穗枝赤齿藓和反叶扭口藓的  $K_{m_{外}} < K_{m_{内}}$ ,植物内吸水能力小于外吸水能力;相反,真藓的  $K_{m_{外}} > K_{m_{内}}$ ,说明外吸水对水分的亲和力小于内吸水。通过内吸水过程蓄积植物细胞代谢的生理所需用水,而外吸水过程大量积累于植物体表面的水分是植物度过干旱的保证。因此,石生藓类通过内外吸水过程的相互配合适应高度异质性的恶劣环境。

苔藓在长期的进化过程中它们也形成了一些特殊的形态结构以适应干旱的环境、减少水分丢失。很多藓类可以通过叶片的卷曲或改变叶片的方向面减少水分蒸发。目前,根据苔藓植物获取水分,严格地讲是水分传导的方式,可以将苔藓植物分为三类:内导水型(endohydric)、外导水型(ectohydric)以及混合导水型(mixohydric)<sup>[16]</sup>。内导水型苔藓具有发育良好的内部水分传导系统,它们的植物体内部具有特化的传水细胞所组成的传导组织或中部传导束,因而可以进行植物体内部的水分传导。但大部分苔藓植物属外导水型植物。外导水型植物缺乏内部传导系统,因而主要通过外部水分的毛细管作用获取水分。通过叶片间的空隙、叶茎之间的缝隙、假根之间的缝隙,以及叶片或茎表面疣状突起之间的空隙等毛细管系统是这类植物吸收、保持并传导水分的主要途径<sup>[17]</sup>。还有不少苔藓植物属于混合传导水型。这类植物依靠植物表面来吸收水分,同时又可以通过植物体内部而传导水分。严格的内导水型植物是不存在的,不少植物属于混合导水型,这与环境水分高低有关<sup>[18]</sup>。本实验中真藓和反叶扭口藓具有明显的中央传导束,属于内导水类型;而穗枝赤齿藓无中央传导束,属于外导水型植物。从 3 种苔藓的持水和保水能力、吸水过程和吸水的动力学可以印证属于内导水型的真藓对水分的吸收和传导弱于外导水型的穗枝赤齿藓,究其原因是穗枝赤齿藓具有强大的毛细管系统,而真藓的弱小的多;此外,反叶扭口藓叶片具有大量疣状突起,这些疣状突起同样可以反射太阳辐射,因此有助于维持植物体处于低温状态并减小蒸发;同时它们也有利于水分传导使水分尽快被植物的细胞吸收等因素有关<sup>[19]</sup>。从茎横切的微观结构分析,穗枝赤齿藓表皮细胞强烈增厚,形状不规则;反叶扭口藓表皮细胞层数差别较大,角隅处层数明显多于其它部位;真藓结构与杨武等报道的基本一致<sup>[20]</sup>,但本实验真藓表皮的角质增厚现象更为明显,这与生长环境的干旱程度密切相关。由此可以推测,穗枝赤齿藓主要靠强大的毛细管系统吸收水分;真藓以内导水为主,毛细管系统较弱;而反叶扭口藓两者皆具备,既有强大的毛细管系统,也有较强的内导水能力。

综上所述,反叶扭口藓、穗枝赤齿藓和真藓在水分吸收特征上存在较大差异,表明它们在适应喀斯特干旱环境时发育了不同的水分利用机制。反叶扭口藓毛细管系统和内导水系统在长期的进化过程中均得到较大的发育;而穗枝赤齿藓缺乏内部的中轴,主要靠毛细管系统吸收水分;真藓毛细管系统和内导水能力均较弱。因此,对于苔藓这类没有维管束系统的高等植物,外部的毛细管系统是吸水的主要途径。因此,对石漠化山区石生和非石生藓类吸水特征和适应干旱环境的结构进行系统研究,阐明不同藓类的水分利用差异,将有助于阐明苔藓植物的抗旱机制,为喀斯特石漠化治理提供理论依据。

## References:

- [1] Chen B J, Wan Z L, Gao Q, Li X J, Wu P C. Genera Muscorum Sinicorum (2 Volumes Set). Beijing: Science Press, 1963, 1978.
- [2] Cao J H, Yuan D X. Relationship between water holding of carbonate rock and saxicolous algae, lichen and moss and its ecological significance. Geochimica, 1999, 28(3): 248-257.

- [ 3 ] Zhang Z H, Wang Z H, Zhu A. A preliminary study on bryokarst of caves in Huangguoshu area. *Carsologica Sinica*, 1996, 15(3): 224-232.
- [ 4 ] Walton D W H. The effects of cryptogams on mineral substrates//Miles J, ed. *Primary Succession on Land*. London: Blackwell, 1993: 33-53.
- [ 5 ] Greenfield L G. Retention of precipitation nitrogen by antarctic mosses, lichens and fellfield soils. *Antarctica Science*, 1992, 4(2): 205-206.
- [ 6 ] Wu P C. *Bryological Biology*. Beijing: Science Press, 1998.
- [ 7 ] Wu H H, Yi Y, Xie A L, Long J. Study on water uptake of *Grythrodontium leptothallum*. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2003, 21(2): 46-48.
- [ 8 ] Zhang X Q, Zhang L, He Y J, Feng X Y, Sun M. Water uptake mechanism and desiccation-tolerant adaptation of *Taxiphyllum aomoriense* crust in karst rocky desertification. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3108-3116.
- [ 9 ] Zhang Y D, Liu S R, Luo C W, Zhang G B, Ma J M. Water holding capacity of ground covers and soils in different land uses and land covers in subalpine region of Western Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 627-635.
- [ 10 ] Slavík B. *Methods of Studying Plant Water Relations*. Berlin: Springer-Verlag, 1974.
- [ 11 ] Vitt D H, Koponen T, Norris D H. Bryophyte flora of the Huon Peninsula, Papua New Guinea. LV. *Desmotheca*, *Groutiella*, *Macrocoma* and *Macromitrium* (Orthotrichaceae, Musci). *Acta Botanica Fennica*, 1995, 154: 1-94.
- [ 12 ] Vitt D H. The genus *Calomnion* (Bryopsida): taxonomy, phylogeny, and biogeography. *The Bryologist*, 1995, 98(3): 338-358.
- [ 13 ] Montagnes R J S, Bayer R J, Vitt D H. Isozyme variation in the moss *Meesia triquetra* (Meesiaceae). *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 1993, 74: 155-170.
- [ 14 ] Li Z Y, Tian X R, Chen J, Li J. Physiological response of *Plagiomnium acutum* during desiccation and rehydration process. *Guihaia*, 2009, 29(1): 139-142.
- [ 15 ] Wu N, Wei M L, Zhang Y M. Response of membrane permeability of *Syntrichia caninervis* on the process of dehydration, rehydration in Biological soil crusts. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(9): 942-951.
- [ 16 ] Chopra R N, Kumra P K. *Biology of Bryophytes*. New York: John Wiley and Sons, 2005: 308-317.
- [ 17 ] Proctor M C F. *Physiological ecology of bryophytes*//Schultze-Motel W, ed. *Advances in Bryology*. Vol. 1. Vaduz: Gantner Verlag 1981: 79-166.
- [ 18 ] Proctor M C F. *Structure and ecological adaptation*//Smith A J E, ed. *Bryophyte ecology*. London: Chapman & Hall, 1984.
- [ 19 ] Schofield W B. *Introduction to Bryology*. New York: Macmillan Publishing Company, 1985: 157-182.
- [ 20 ] Yang W, Guo S L, Fang F. Comparison of stem structures of 30 mosses in different habitats. *Journal of Zhejiang Normal University (Nat. Sci.)*, 2007, 30(4): 440-446.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 陈邦杰, 万宗玲, 高谦, 黎兴江, 吴鹏程. 中国藓类植物属志(上、下册). 北京: 科学出版社, 1963, 1978.
- [ 2 ] 曹建华, 袁道先. 石生藻类、地衣、苔藓与碳酸盐岩持水性及生态意义. *地球化学*, 1999, 28(3): 248-257.
- [ 3 ] 张朝晖, 王智慧, 祝安. 黄果树喀斯特洞穴群苔藓植物岩溶的初步研究. *中国岩溶*, 1996, 15(3): 224-232.
- [ 6 ] 吴鹏程. 苔藓植物生物学. 北京: 科学出版社, 1998.
- [ 7 ] 吴海辉, 乙引, 谢爱林, 龙建. 细枝赤齿藓 (*Grythrodontium leptothallum*) 水分吸收特征. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2003, 21(2): 46-48.
- [ 8 ] 张显强, 张来, 何跃军, 冯晓英, 孙敏. 喀斯特石漠结皮细尖鳞叶藓的吸水机制及耐旱适应性. *生态学报*, 2010, 30(12): 3108-3116.
- [ 9 ] 张远东, 刘世荣, 罗传文, 张国斌, 马姜明. 川西亚高山林区不同土地利用与土地覆盖的地被物及土壤持水特征. *生态学报*, 2009, 29(2): 627-635.
- [ 14 ] 李朝阳, 田向荣, 陈军, 李菁. 脱水与复水过程中湿地甸灯藓的生理生化响应. *广西植物*, 2009, 29(1): 139-142.
- [ 15 ] 吴楠, 魏美丽, 张元明. 生物土壤结皮中刺叶赤藓质膜透性对脱水、复水过程的响应. *自然科学进展*, 2009, 19(9): 942-951.
- [ 20 ] 杨武, 郭水良, 方芳. 不同生境下 30 种藓类植物茎的比较解剖学研究. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 30(4): 440-446.



# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China .....	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland .....	ZHANG Qunjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City .....	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu .....	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs .....	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna .....	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship .....	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model .....	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker) .....	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system .....	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river .....	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed .....	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis .....	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City .....	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China .....	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China .....	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu .....	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains .....	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill .....	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China .....	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes .....	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles .....	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter .....	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathcartii</i> .....	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province .....	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter .....	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique .....	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification .....	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community .....	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i> .....	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China .....	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat .....	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
<b>Review and Monograph</b>	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China .....	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
<b>Scientific Note</b>	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years .....	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China .....	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元