固定沙丘结皮层藓类植物多样性及固沙作用研究

徐 杰 白学良* 杨 持 张 萍

(内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021)

摘 要 根据对沙坡头固定沙丘生物结皮的物种调查、鉴定及盖度和生物量的研究, 藓类植物共 2 科, 7 属, 16 种, 以真藓 (*Bryum argenteum*) 为优势种。随着固沙时间的延长, 生物结皮中藓类和藻类总盖度呈上升趋势; 沿不同年代固定沙丘坡面向上等距离梯度, 藓类盖度显著下降, 而藻类盖度则平稳上升。对不同年代固定沙丘生物结皮优势种真藓的生物量和固沙量的测定表明, 随沙丘固定年代的增加, 真藓的生物量和固沙量增加, 50 年代固沙区结皮层真藓生物量是 $944.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 固沙量是 $3.925 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 但固沙率随时间的增加而减少。真藓的饱和吸水量与生物量呈正相关, 50 年代固定沙丘藓类结皮层可吸水 $7.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 说明藓类结皮层具有很强的吸水 and 保水能力, 对于干燥少雨的沙漠地区具有十分重要的生态学意义。

关键词 固定沙丘 生物结皮 藓类 生物量 固沙量

STUDY ON DIVERSITY AND BINDING-SAND EFFECT OF MOSS ON BIOTIC CRUSTS OF FIXED DUNES

XU Jie BAI Xue-Liang* YANG Chi and ZHANG Ping

(College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China)

Abstract The study area, Shapotou district ($37^{\circ}27' \text{ N}$, $104^{\circ}57' \text{ E}$) of Ningxia Hui Autonomous Region is situated in the southeastern fringe of the Tengger Desert of China. A study of species identification, coverage and biomass in the soil microbiotic crusts of fixed sand dunes was conducted in Shapotou district, from which we found two families, seven genera and sixteen species of mosses. *Didymodon constrictus* (Mitt.) Saito and *D. tectorum* (C. Muell.) Saito were reduced to synonymy of *D. vinealis* (Brid.) Zand. by Zander and Redfearn. *Crossidium chloronotos* (Brid.) Limpr., *Crossidium aberrans* Holz. & Bartr. *Aloina obliquifolia* (C. Muell.) Broth. and *Tortula atrovirens* (Sm.) Lindb. are new to Shapotou district. *Bryum argenteum* is an eurytopic species that survives on all kinds of habitat, and is the dominant component that forms moss synusia. The community of *Didymodon vinealis*, *D. rigidulus* Hedw. var. *ditrichoides* and *Syntrichia bidentata* are found on hillocks and are randomly distributed in crusts. Diversity of species is the highest in this area in the natural fixed dunes, with sixteen species, followed by five species of mosses (31.3%) in the fixed dunes of 1956, four species of mosses (25.0%) in the fixed dunes of 1964, and only two species of mosses (12.5%) in the fixed dunes of 1981. The total coverage of mosses and algae increased with the fixed-sand time. In different ages, the coverage of mosses and algae exist in an equal distance gradient, while in the fixed dunes they exist along the slope with the coverage of mosses decreasing as that of algae increased. A determination of biomass and binding-sand quantity of the dominant species—*Bryum argenteum* showed that its biomass ($944.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and binding-sand ($3.925 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) quantity increased when the fixed sand time prolonged in moss crusts of the fixed dunes of 1950s. While the rate of binding-sand of *Bryum argenteum* decreased, its saturated water absorption had a positive correlation with biomass of $7.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Therefore the results indicate that the moss crusts had a strong ability to absorb and reserve water, which is of ecological significance in arid desert region.

Key words Fixed dune, Biotic crust, Moss, Biomass, Binding-sand quantity

生物结皮是干旱、半干旱地区生态系统的重要组成部分, 在维管植物稀疏的地区, 成为地上部分占主导地位的生物覆盖层 (Harper & Marble, 1998; Eldridge, 1993; Eldridge & Greene, 1994)。生物结皮层

是由各种苔藓、地衣、藻类、真菌及细菌等共同形成的一个复合生物土壤层。其中, 藻类和藓类是其主要成分, 它们的存在增加了干旱区生态系统的生物多样性, 对土壤的稳定性、固氮、生物量、土壤肥力、

微地貌及水分循环等方面起着重要作用(Isichei, 1990; West, 1990; Williams *et al.*, 1999)。生物结皮层的固沙作用主要体现在增加土壤的抗风蚀和水蚀及干扰的能力,蓝藻、苔藓等微小生物分泌的有机凝胶体和多聚糖将松散的土粒与自身粘结在一起形成团粒,组成一个致密的抗蚀层,各种生物丝状物在结皮层中形成一个密集的多层网络,有效地增加了结皮层的抗性强度(Kidron, 2000; Leys & Eldridge, 1998; Williams *et al.*, 1999)。Belnap(1995; 1998)研究了结皮层抗风蚀能力,认为发育良好的结皮含有地衣和苔藓,其防风蚀能力比单一的蓝藻结皮更好。Anderson等(1982)的研究表明:放牧造成地衣、苔藓及藻类的盖度明显减少,采取保护措施 14~18 年后,生物结皮的盖度从 4% 增加到 15%,在保护期间藓类植物盖度和种类增加明显。在生物结皮层与维管植物之间相互关系方面的研究,Eldridge(1993)、Eldridge 和 Koen(1998)认为在维管植物稀疏的地方生物结皮的盖度低,并且以藻类占优势,随着盖度的增加,苔藓植物成为结皮层的优势成分,生物结皮对景观提供了非常有益的作用,大的结皮盖度将使景观更稳定、更健康。Harper 和 Pandleton(1993)及 Harper(2001)认为生物结皮的存在可以促进维管植物对一些所需营养元素的吸收,从而有利于植物生长。St. Clair等(1984)认为生物结皮创造复合微地貌及良好的微环境为幼苗的萌发和存活提供了有利条件,特别是在自然条件比较恶劣的生长季节。

国内有关生物结皮的研究,杨晓晖等(2001)从生物结皮对生态系统和景观变化的影响、对干扰的反应及其恢复机理等 4 个方面进行了分析,指出这一领域将很快成为国内荒漠化研究的热点之一;凌裕泉等(1993)研究了沙面结皮形成与微环境变化,认为沙面结皮一旦形成将对微环境产生重要影响,在一定程度上抑制了固沙植物的生长条件;李新荣等(2000a; 2000b; 2001)对土壤微生物结皮及其对固沙植被的影响和生态学意义进行了研究和综述,指出微生物结皮的发育和演变可作为荒漠化发生、发展和逆转的景观特征之一和指示;冯金朝等(1994)研究了生物结皮由薄到厚,由无机结皮发育为生长低等植物和苔藓植物的生物结皮,其持水量依次增加,截留水分增多,降水在沙地中的入渗深度受到影响呈线性递增,使降水入渗浅层化,对浅根系植物较有利;雍世鹏等(1995)在研究沙坡头地区的细菌和线状微生物时发现随着固定沙丘时间延长其生物量和数量随着增加;胡春香等(2000)报道了沙

坡头地区分布有 22 种藻类,从 8 个层次研究了藻类在结皮中的分布;王世冬等(2001)研究了沙坡头地区 13 种藓类植物的区系特征和分布。上述研究对本项目在理论上和方法上都具有重要启示。本文在以前研究的基础上,对沙坡头地区不同龄级的人工和自然固定沙丘生物结皮层的藓类物种组成、盖度、生物量、固沙量和吸水量进行了深入研究,目的是揭示藓类植物在生物结皮层中的固沙作用和生态学机理,为人工促进生物结皮的形成探索理论和实验依据。

1 研究区域概况

研究地区位于腾格里沙漠东南缘,宁夏回族自治区中卫县,地理坐标北纬 37°27',东经 104°57'。黄河流经本区形成 U 形缓流,水面海拔 1 200 m,沙丘高处海拔 1 500 m,最高峰位于香山等祁连山余脉,约 1 900 m。本区具有寒冷、干燥、多风的气候特征。年平均气温 9.6 °C,绝对最高气温 38.1 °C,夏季最高地表温度可达 74 °C,最低气温 -25.1 °C。年平均降水量 186.2 mm,多集中于 7~9 月。年蒸发量约 3 000 mm,干燥度 2.5,年平均相对湿度仅 43%,无霜期 150~180 d,环境条件十分恶劣,在无水分供应下,不利于植物生长。本区天然植被以花棒(*Hedysarum scoparium*)和沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等为主,盖度约 1%。人工固沙区各年代植被变化在 25%~36% 之间,主要以柠条(*Caragana korshinskii*)、花棒、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)等为主(李新荣等,1998)。

2 研究内容和测定方法

分别对沙坡头地区 1956、1964、1981 年人工固定沙丘和红卫自然固定沙丘生物结皮层中藓类植物种、群落组成及分布进行调查、取样、实验室观察、鉴定。

2.1 藓类植物和藻类植物占优势的结皮层盖度测定

分别在 1956、1964 和 1981 年固定沙丘北坡随机选取 50 m×50 m 坡面,沿坡面每隔 5 m 设置 1 条样线,每条样线上每隔 5 m 设置一个 1 m×1 m 样方,如图 1 所示,测定藓类和藻类盖度。

沙坡头地区的自然固定沙丘主要分布在干塘附近,由于受到人为和放牧破坏,结皮层虽然较厚,物种多样性也较高,但盖度很低,与未受破坏的人工固

定沙丘不能作同一层次比较。只选不同年代未受破坏的固定沙丘结皮层作盖度比较。藓类植物为优势成分的结皮层厚度为 8~16 mm, 表面观绿色, 常以单种组成密集丛生的群落, 测定样方中群落大小就是其盖度。藻类为优势成分的结皮层厚度为 3~5 mm, 表面观深色, 根据 Anderson 等(1982)的研究, 选取深色表层的结皮层在实验室培养 3 d, 光学显微镜下观察大多数是蓝藻(伪枝藻 *Scytonema* sp., 念珠藻 *Nostoc* sp.) 及少数绿藻、硅藻等。野外测定的每个样方再取 10 cm × 10 cm 小样方 3~5 个, 在实验室测定藻类所占比例, 再减去少数地衣, 最后计算藻类盖度。

图 1 样方设置模式图
Fig. 1 Sampling illustration

2.2 真藓生物量和固沙量测定

真藓(*Bryum argenteum*)形成的结皮层在沙坡头地区大面积生长, 因为是纯真藓, 不需要分离。分别在 1956、1964 和 1981 年固定沙丘结皮层选取的 50 m × 50 m 样方中随机取 10 个长势良好的 10 cm × 10 cm 小样方, 去掉枯枝落叶等杂物, 取样时轻轻揭起结皮层, 其厚度在 1956 年是 11~16 mm, 1964 年是 10~15 mm, 1981 年是 8~13 mm, 装入塑料袋, 阴干、封袋, 在实验室 30 °C 恒温箱内干燥 7 d, 用 METTLER-TOLEO 公司(USA)BD202 型百分之一电子天平分别称重: 结皮层总重 = 沙土 + 真藓。然后把结皮层浸入水中, 充分吸水后, 用 3、1、0.5、0.25、0.1 mm 土壤筛分级过滤, 真藓叶片和茎直径均大于 0.1 mm, 过滤中不会丢失, 收集真藓, 漂洗分层, 去掉杂质, 小样方内的真藓在 30 °C 恒温箱内干燥 48 h, 同一天平称重(干重, g·dm⁻²)。

真藓生物量(kg·hm⁻²) = 真藓干重(kg·m⁻²) × 盖度(%) × 10⁴。

真藓固沙率(%) = [(结皮层总重(g·dm⁻²) - 真藓干重(g·dm⁻²)]/真藓干重(g·dm⁻²) × 100%。

真藓固沙量(kg·hm⁻²) = 真藓生物量(kg·hm⁻²) × 真藓固沙率(%)。

2.3 真藓饱和吸水率的测定

让称完干重的真藓充分吸水后, 放置于细网上不滴水时称重, 利用公式计算:

饱和吸水率(%) = [(真藓饱和吸水重(g·dm⁻²) - 真藓干重(g·dm⁻²)]/真藓干重 × 100%

饱和吸水量(kg·hm⁻²) = 真藓生物量(kg·hm⁻²) × 饱和吸水率(%)。

3 结果分析与结论

3.1 藓类植物多样性组成分析

王世冬等(2001)对沙坡头地区 13 种藓类植物的形态特征和分布做了研究。根据新的研究成果(Zander, 1993; Redfearn *et al.*, 1996), 尖叶对齿藓(*Didymodon constrictus*)和短叶对齿藓(*D. tectorum*)已并入土生对齿藓(*D. vinealis*), 原记录的 13 种实际是 12 种藓类, 近两年的野外考察又发现了 4 个新记录种: 绿色流苏藓(*Crossidium chloronotos*)、短丝流苏藓(*C. aberrans*)、斜叶芦荟藓(*Aloina obliquifolia*)和卷叶墙藓(*Tortula atrovirens*)。至此, 沙坡头地区藓类植物共 2 科 7 属 16 种。藓类植物能忍耐极度干旱, 生长在完全光裸的岩石或沙土层上, 对干旱环境的忍受能力仅次于地衣, 常被生态学家誉为大自然的拓荒者(胡人亮, 1987; 吴鹏程, 1998)。沙坡头固定沙丘主要分布着广幅性、耐贫瘠、耐盐和耐干旱的物种, 适应本地区干燥和土壤 pH 值高的生境。真藓是一种广幅性藓类, 适应生长于各种生境, 是组成藓类层片、大面积生长的优势成分; 土生对齿藓、硬叶对齿藓长尖变种(*D. rigidulus* var. *ditrichoides*)和双齿赤藓(*Syntrichia bidentata*)常组成纯群落呈小丘状随机分布在结皮层中, 以上 4 种可组成群落, 定为优势种; 有些种, 如黑对齿藓(*D. nigrescens*)、细叶对齿藓(*Didymodon perobtusius*)、盐土藓(*Pterygoneurum subsessile*)、钝叶芦荟藓(*Aloina rigida*)和刺叶赤藓(*Syntrichia caninervis*)出现的频率虽然较高, 但不组成纯群落而是常混生在上述 4 种群落中, 这些种被认为是伴生种; 还有一些小型藓类, 在野外很难看见它们, 很少出现在群落调查的样方中, 只是在作区系调查时偶然发现的, 如: 斜叶芦荟藓、短喙芦荟藓

(*Aloina brevirostris*) 和绿色流苏藓等 7 种是偶见种。研究中发现物种多样性与沙丘固定年代密切相关, 16 种藓类在自然固定沙丘都有分布, 50 年代固定沙丘有 5 种, 占总数的 31.3%, 60 年代固定沙丘 4 种, 占总数的 25%, 80 年代仅 2 种, 占总数的 0.13%。物种多样性在自然固定沙丘显著高于人工固定沙丘, 年代长的明显高于年代短的(表 1)。

3.2 藓类和藻类为优势成分的结皮层盖度的动态变化

腾格里沙漠植被稀疏, 初级生产量小, 自然植被盖度仅 1% 左右, 但在人工固沙区内, 1956、1964 和 1981 年固定沙丘维管植物总盖度分别为 25.19%、27.67%、36.37%, 随固沙时间的延长总盖度呈下降趋势, 这种现象的主要原因是随着固沙时间延长, 深根系灌木和半灌木由于长期水分亏缺而逐渐衰退死亡(李新荣等, 1998)。

1956、1964 和 1981 年固定沙丘结皮中真藓的平均盖度分别为 19.15%、12.12%、5.63%, 土生对齿藓的平均盖度分别为 0.035%、0.026%、0.004 7%, 双齿赤藓的盖度分别为 0.01%、0.001 3%、0%, 以藻类为优势成分的结皮层盖度分别为 13.47%、

11.80%、6.79%。以上结果可以看出不管是藓类或藻类, 其盖度随固沙时间而增加, 与维管植物成相反的趋势。这种结果的主要原因是由于藻类和苔藓植物的体形微小, 繁殖力较强, 水分亏缺细胞失水时其渗透压极度降低而进入休眠状态, 此时可以利用空气中水分维持生命, 在少量降雨后即可获得繁殖的机会, 因此, 其盖度随固沙时间的延长而增加。在 80 年代固定沙丘藻类的盖度高于真藓, 但在 50 年代固定沙丘真藓明显高于藻类(图 2)。此种现象说明在演替的初期, 藻类作为先锋植物优先占据流沙裸地生态位, 随着时间的推移, 由于真藓的侵入并快速繁殖逐渐排挤了藻类。进一步研究发现, 沿坡面向上等距离梯度, 生物结皮中的真藓盖度曲线显著下降, 而藻类则平稳上升(图 3, 图 4, 图 5)。这种现象可以证明由于高度梯度的增加, 太阳辐射和风速相应增加; 由于水分减少限制了藓类的生长发育, 致使真藓衰退, 其生态位逐渐为藻类取代。以上现象可以说明两个事实, 一是原生演替由低级向高级的方向演化; 二是越低级的植物对环境条件的要求越低, 生存能力越强。

表 1 固定沙丘生物结皮层藓类物种、群落组成和分布
Table 1 Statistic table of the composition of moss community and the distribution in the biotic crusts of fixed dunes

种 Species	分布和群落组成 Distribution and community composition			
	人工固定沙丘 Artificial fixed dunes			自然固定沙丘 Natural fixed dunes
	1956	1964	1981	
真藓科 Bryaceae				
真藓 <i>Bryum argenteum</i>	+++	+++	+++	+++
从藓科 Pottiaceae				
黑对齿藓 <i>Didymodon nigrescens</i>	++	++		++
细叶对齿藓 <i>D. perobtusius</i>				+
硬叶对齿藓长尖变种 <i>D. rigidulus</i> Headw. var. <i>ditrichoides</i> (Hedw.) Zand.				+
芽胞对齿藓 <i>D. reedii</i>				+
土生对齿藓 <i>D. vinealis</i> (Syn. <i>D. constrictus</i>), <i>D. tectorum</i> (C. Muell.) Saito	+++	+++	+++	+++
盐土藓 <i>Pterygoneurum subsessile</i>				++
短丝流苏藓 <i>Crossidium aberrans</i>				+
绿色流苏藓 <i>C. chloronotos</i>				+
钝叶芦荟藓 <i>Aloina rigida</i>				+
短喙芦荟藓 <i>A. brevirostris</i>				+
刺叶芦荟藓 <i>A. cornifolia</i>				+
斜叶芦荟藓 <i>A. obliquifolia</i>				+
卷叶墙藓 <i>Tortula atrovirens</i>				+
刺叶赤藓 <i>Syntrichia caninervis</i>	++			++
双齿赤藓 <i>S. bidentata</i>	+++	+++		+++

+++ 优势种 Dominant species   ++ 伴生种 Companion species   + 偶见种 Accidental species

图2 不同年代固定沙丘 50 m × 50 m 样地生物结皮平均盖度变化

Fig.2 The biotic average coverage change in 50 m × 50 m simple with different ages in the fixed dunes

图5 1981 年固定沙丘 50 m × 50 m 样地沿坡距离梯度结皮平均盖度变化

Fig.5 The biotic crusts average coverage in 50 m × 50 m simple slopes along equal distance gradient in 1981's fixed dunes

图3 1956 年固定沙丘 50 m × 50 m 样地沿坡距离梯度结皮平均盖度变化

Fig.3 The biotic crusts average coverage in 50 m × 50 m simple slopes along equal distance gradient in 1956's fixed dunes

图4 1964 年固定沙丘 50 m × 50 m 样地沿坡距离梯度结皮平均盖度变化

Fig.4 The biotic crusts average coverage in 50 m × 50 m simple slopes along equal distance gradient in 1964's fixed dunes

3.3 生物结皮藓类植物的固沙作用

本实验通过测定单位面积内藓类植物的生物量与固沙量,研究藓类植物在生物结皮层中的固沙作用,对深入揭示生物结皮层的固沙机理具有重要意义。根据野外调查,含有藓类植物的生物结皮层厚度是 8~16 mm,无藓类生长的结皮层仅 3~5 mm。生物结皮层中起主要生态学作用的是真藓,其盖度占藓类植物总盖度的 99.77%,因此,我们选取真藓作为测定生物量和固沙量的代表种,结果见表 2。

随着沙丘固定年代的增长,真藓生物量也随着增加,1956 年固定沙丘生物量最大,每公顷可固定沙土 3.925×10^4 kg。各年代真藓干重差异并不大,1956 年约是 1964 年的 1.09 倍,是 1981 年的 1.70 倍,但由于各年代真藓盖度差异较大,致使 1956 年的总生物量是 1964 年的 1.72 倍,是 1981 年的 5.77 倍;固沙量 1956 年是 1964 年的 1.69 倍,是 1981 年的 4.09 倍。可以看出生物量和固沙量的增加并不相关,其原因是固沙率随沙丘固定年代的增加而减少,1981 年的固沙率是 5 851.89%,1956 年是 4 147.57%,这种现象的主要原因是藓类植物逐年生长的分枝、假根与大气降尘的沙土共同组成结皮层,固沙初期生长较快,固沙率较高,但生长到一定高度后藓类植物就不再生长或生长缓慢,这是植物自身的生长特性决定的,因此,随着固沙时间的延长,固沙率减小。

根据石庆辉(1993)对沙坡头地区维管植物生物量的研究,1956 年固定沙丘维管植物的平均生物量为 $301 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,而 1956 年固定沙丘真藓的平均生物量为 $494 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,两种实验结果表明真藓明显高于维管植物的生物量,这种现象是由于藓类植物体含有类似木质素的酚类化合物较多,具有耐腐蚀、抗捕食的作用,藓类一旦形成地被层,不易被微生物分解或食草动物取食而使藓类植物具有比维管植物地上部分周转慢且具有较高现存量的生态学特性,致使真藓的生物量在固定沙丘生物结皮层中逐年增加。结皮层中的其它藓类,如对齿藓属(*Didymodon*)和赤藓属(*Syntrichia*)的一些种类常形成小丘状群落随机分布,由于群落的不连续性,盖度不足 0.04%,随机取样不可能取到,失去随机性,比较就没有意义。但对自然固定沙丘和 1956 年固定沙丘特意取到的几个其它藓类结皮层样方的生物量的测定,土生对齿藓的平均生物量可达到 $5.92 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-2}$,双齿赤藓可达到

表 2 固定沙丘真藓结皮层的生物量、固沙量
Table 2 The biomass and sand-binding quantity in the *Bryum argenteum* crust of fixed dunes

沙丘固定年代 Time of fixed dunes	结皮总重量 Total weight of biotic crust (g·dm ⁻²)	真藓干重 Dry weight of <i>B. argenteum</i> (g·dm ⁻²)	结皮含沙量 Sand weight of biotic crust (g·dm ⁻²)	盖度 Coverage (%)	生物量 Biomass (kg·hm ⁻²)	固沙率 Sand-binding rate (%)	固沙量 Sand-binding quantity (kg·hm ⁻²)
1956	209.83	4.94	204.89	19.15	946.01	4 147.57	3.925 × 10 ⁴
1964	201.93	4.55	197.38	12.12	551.46	4 338.20	2.329 × 10 ⁴
1981	173.20	2.91	170.29	5.63	163.83	5 851.89	9.59 × 10 ³

表 3 固定沙丘真藓结皮层的生物量和饱和吸水量
Table 3 The biomass and quantity of saturated water absorption in the *Bryum argenteum* crust of fixed dunes

沙丘固定年代 Time of fixed dunes	真藓干重 Dry weight of <i>B. argenteum</i> (g·dm ⁻²)	生物量 Biomass (kg·hm ⁻²)	平均饱和吸水率 Averaged rate of saturated water absorption (%)	饱和吸水量 Quantity of saturated water absorption (kg·hm ⁻²)
1956	4.94	944.03	747.88	7.06 × 10 ³
1964	4.55	551.01	747.88	4.12 × 10 ³
1981	2.91	163.83	747.88	1.23 × 10 ³

4.19 g·dm⁻²,在生物结皮中也具有不容忽视的固沙作用。

3.4 藓类结皮层的蓄水作用

沙坡头地区地下水埋藏很深,不易被植物利用,降水是植物生长发育可利用水的主要来源,也是植物生长的主要限制因子,而土壤的保水能力对植物种子萌发和生长发育无疑起着重要的作用。石庆辉等(1995)在研究沙坡头地区土壤保水能力时发现,在一次降雨 17.8 mm 后,生物结皮层含水量最高达 27.58%,是流沙的 3.4 倍,是结皮层下层土壤的 2.7 倍,说明生物结皮层具有很强的蓄水能力,而决定生物结皮层保水作用的主要是藓类植物。苔藓植物具有极强的吸水能力,不同的种类饱和吸水率不同。根据对沙坡头地区不同种藓类吸水率的测定,土生对齿藓平均饱和吸水率 811.96%,双齿赤藓是 817.48%,真藓是 747.88%。饱和吸水量与生物量相关,生物量越大,吸水量越大,真藓在饱和吸水条件下,1956 年固定沙丘结皮层的吸水量最大,约 7.06 × 10³ kg·hm⁻²(表 3)。

沙坡头地区年平均降雨量仅为 186.2 mm,且分布极不均匀,多集中于夏秋之交,≥5 mm 的降水年平均为 11.2 d,≥10 mm 的年平均降水日仅 5.1 d,具有降雨次数少和雨量小的特点,在一次性少量降雨后,相当一部分水被结皮层吸收,从这一点讲结皮层似乎影响了水分的渗漏,但由于藓类结皮层的分布很不均匀,多数见于沙丘间凹地和背阴面,在沙丘上部和阳面结皮层分布很少或没有,影响水分渗漏

的仅是局部凹地和背阴面,对固定沙丘的总体渗水并不影响。藓类植物的生长发育和维持生命的水分来源除降雨外,在干旱少雨的沙漠地区还可以利用约占全年降水量 10% 的凝结水(冯金朝等,1996)。在沙漠中 10~15 d 不下雨的早期较为常见,有时早期可长达 2~3 个月,在此种条件下耐旱的藓类植物失水,其细胞的渗透压极度降低而进入休眠状态,此时藓类植物可吸收空气中的水分维持生命而长年不死,遇到降雨它将很快复苏生长、繁殖,藓类植物的这种对水湿条件敏感的反应能力及独特的繁殖生长特性是其形成结皮层并逐年加厚的主要原因,这一特性对适应长期干燥的沙漠气候和固定沙丘结皮层的维持具有十分重要的生态学意义。

参 考 文 献

Anderson, D. C., K. T. Haper & S. R. Rushforth. 1982. Recovery of cryptogamic soil crusts from grazing on Utah winter ranges. *Journal of Range Management*, **35**: 355 ~ 359.
Belnap, J. 1995. Surface disturbances: their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment*, **37**: 39 ~ 57.
Belnap, J. 1998. Vulnerability of desert biological soil crust to wind erosion. *Journal of Arid Environment*, **39**: 133 ~ 142.
Eldridge, D. J. 1993. Cryptogams, vascular plants, and soil hydrological relations: some preliminary results from the semiarid woodlands of eastern Australia. *Great Basin Naturalist*, **53**: 48 ~ 58.
Eldridge, D. J. & R. S. B. Greene. 1994. Microbiotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research*, **32**: 389 ~ 415.
Eldridge, D. J. & T. B. Koen. 1998. Cover and floristics of microphytic soil crusts in relation to indices of landscape health. *Plant Ecology*, **137**: 101 ~ 114.

- Feng, J. C. (冯金朝) & H. S. Chen (陈荷生). 1994. Preliminary study on the plant interspecific competition for water in the artificial sand-binder vegetation in Shapotou area, Ningxia. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **14**: 260 ~ 265. (in Chinese with English abstract)
- Feng, J. C. (冯金朝), L. C. Liu (刘立超), H. L. Xiao (肖洪浪), W. B. Zeng (曾文炳) & C. M. Liu (刘成敏). 1996. Formation characteristics of condensation water of sandy soil in southeastern fringe of Tengger desert and its ecological environmental significance. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **16**(Suppl.1): 70 ~ 75. (in Chinese with English abstract)
- Harper, K. T. & R. L. Pandleton. 1993. Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants? *Great Basin Naturalist*, **53**: 59 ~ 72.
- Harper, K. T. & J. R. Marble. 1998. A role for non-vascular plants in management of arid and semi-arid rangelands. In: Tueller, P. T. ed. *Application of plant sciences to rangeland management and inventory*. Amsterdam: Martinus Nijhoff/W. Junk. 135 ~ 169.
- Harper, K. T. 2001. The influence of biological soil crusts on mineral uptake by associated vascular plants. *Journal of Arid Environment*, **47**: 347 ~ 357.
- Hu, C. X. (胡春香), Y. D. Liu (刘永定), L. R. Song (宋立荣) & Z. B. Huang (黄泽波). 2000. Species composition and distribution of algae in semi-desert algal crusts. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**: 61 ~ 65. (in Chinese with English abstract)
- Hu, R. L. (胡人亮). 1987. *Bryology*. Beijing: China Higher Education Press. 1 ~ 19. (in Chinese)
- Isichei, A. O. 1990. The role of algae and cyanobacteria in arid lands: a review. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **4**: 1 ~ 17.
- Kidron, G. J. 2000. Microclimate control upon sand microbiotic crusts, Western Negev Desert, Israel. *Geomorph*, **36**(1 ~ 2): 1 ~ 15.
- Leys, J. F. & D. J. Eldridge. 1998. Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soil. *Earth Surface Processes and Landforms*, **23**: 963 ~ 974.
- Li, X. R. (李新荣), Q. H. Shi (石庆辉), J. G. Zhang (张景光), L. C. Liu (刘立超) & H. S. Chen (陈怀顺). 1998. A study on biodiversity in the succession process of artificial vegetation in Shapotou region. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **18**(Suppl.4): 23 ~ 29. (in Chinese with English abstract)
- Li, X. R. (李新荣), J. G. Zhang (张景光), L. C. Liu (刘立超), H. S. Chen (陈怀顺) & Q. H. Shi (石庆辉). 2000a. Plant diversity in the process of succession of artificial vegetation types and environment in an arid desert region of China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 257 ~ 261. (in Chinese with English abstract)
- Li, X. R. (李新荣), J. G. Zhang (张景光), X. P. Wang (王新平), L. C. Liu (刘立超) & H. L. Xiao (肖洪浪). 2000b. Study on soil microbiotic crust and its influences on sand-fixing vegetation in arid desert region. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **42**: 965 ~ 970. (in Chinese with English abstract)
- Li, X. R. (李新荣), Y. K. Jia (贾玉奎), L. Q. Long (龙利群), X. P. Wang (王新平) & J. G. Zhang (张景光). 2001. Advances in microbiotic soil crust research and its ecological significance in arid and semiarid regions. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **21**: 4 ~ 11. (in Chinese with English abstract)
- Ling, Y. Q. (凌裕泉), J. J. Qu (屈建军) & M. Hu (胡玫). 1993. Crust formation on sand surface and microenvironmental change. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **4**: 393 ~ 398. (in Chinese with English abstract)
- Redfeam, P. L. Jr., B. C. Tan & S. He. 1996. A newly updated and annotated checklist of Chinese mosses. *Journal of Hattori Botanical Laboratory*, **79**: 163 ~ 357.
- Shi, Q. H. (石庆辉). 1993. Succession of artificial vegetation on northern side of Baolan railway in the Shapotou area at the South-eastern fringe of the Tengger desert. In: Shapotou Desert Experimental Research Station, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院兰州沙漠研究所沙波头沙漠试验研究站) ed. *Annual reports of Shapotou Desert Experimental Research Station, CAS, 1991-1992*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 89 ~ 107. (in Chinese)
- Shi, Q. H. (石庆辉) & J. Q. Liu (刘家琼). 1995. Dynamical variations of natural plants in artificial vegetation area along both sides of railway in Shapotou. In: Shapotou Desert Experimental Research Station, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院兰州沙漠研究所沙波头沙漠试验研究站) ed. *Study on desert ecosystem*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 105 ~ 115. (in Chinese)
- St. Clair, L. L., B. L. Webb, J. R. Johansen & G. T. Nebeker. 1984. Cryptogamic soil crusts: enhancement of seedling establishment in disturbed and undisturbed areas. *Reclamation and Revegetation Research*, **3**: 129 ~ 136.
- Wang, S. D. (王世冬), X. L. Bai (白学良) & S. P. Yong (雍世鹏). 2001. Preliminary research on Bryoflora in Shapotou area. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **21**: 244 ~ 249. (in Chinese with English abstract)
- West, N. E. 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid and semi-arid regions. *Advances in Ecological Research*, **20**: 179 ~ 223.
- Williams, J. D., J. P. Dobrowski & N. E. West. 1999. Microbiotic crust influence on unsaturated hydraulic conductivity. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **13**: 145 ~ 154.
- Wu, P. C. (吴鹏程). 1998. *Bryological biology*. Beijing: Science Press. 131 ~ 147. (in Chinese)
- Yang, X. H. (杨晓晖), K. B. Zhang (张克斌) & Y. J. Zhao (赵云杰). 2001. Microbiotic soil crust—a research forefront in desertification-prone areas. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**: 474 ~ 480. (in Chinese with English abstract)
- Yong, S. P. (雍世鹏), Y. N. Liao (廖仰南), Y. Q. Shao (邵玉琴) & J. Zhao (赵吉). 1995. Comparative study on microbial number and biomass in sand dunes of Shapotou area. In: Shapotou Desert Experimental Research Station, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院兰州沙漠研究所沙波头沙漠试验研究站) ed. *Study on desert ecosystem*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 89 ~ 94. (in Chinese)
- Zander, R. H. 1993. Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments. *Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences*, **32**: 295 ~ 300.