

# 生物土壤结皮对荒漠土壤种子库和种子萌发的影响

苏延桂<sup>1,2</sup>, 李新荣<sup>1</sup>, 陈应武<sup>1</sup>, 谭会娟<sup>1</sup>, 贾荣亮<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠研究试验站, 兰州 730000 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 研究了腾格里沙漠东南缘在不同自然条件(风、温度、水分)下,人工固沙植被区(24龄、41龄、50龄)和相邻天然植被区的两种生物土壤结皮对荒漠土壤种子库和种子萌发的影响。结果表明,荒漠土壤种子库在苔藓结皮上的储量显著高于藻类结皮。随着生物土壤结皮的发育,种子萌发量在苔藓结皮上增加,在藻类结皮上减少。生物土壤结皮层的含水量对种子萌发有显著的影响( $p < 0.05$ )。植物种子在湿润处理的生物土壤结皮上的萌发量高于干燥处理的生物土壤结皮上的种子萌发量。生物土壤结皮表层温度和亚表层温度对荒漠植物种子萌发无显著影响( $p > 0.05$ ),但总体而言,对于苔藓结皮,植物种子在较高温度下的萌发量略高于在较低温度下的萌发量,而对于藻类结皮,植物种子在较低温度下的萌发量略高。

**关键词** 生物土壤结皮 藻类结皮 苔藓结皮 土壤种子库 种子萌发

文章编号:1000-0933(2007)03-0938-09 中图分类号:Q14,Q948 文献标识码:A

## Effects of biological soil crusts on soil seed bank and seed germination of desert plants in North China

SU Yan-Gui<sup>1,2</sup>, LI Xin-Rong<sup>1</sup>, CHEN Ying-Wu<sup>1</sup>, TAN Hui-Juan<sup>1</sup>, JIA Rong-Liang<sup>1</sup>

1 Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions and Environmental & Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 Graduate school of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China. *Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (3) 938 ~ 946.

**Abstract**: We investigated the influences of algae crust and moss crust universally spreading in southeast of the Tengger Desert with four developing phrases (24-, 41-, 50-year-old crusts in the sand-binding vegetation areas and crusts in natural vegetation) on desert plants. Variable treatments (natural field condition, greenhouse and shadow) were assigned, and two soil moisture regimes were designed to investigate how desert plants responded under different moisture regimes of crusts. Our results showed that seed bank storage was significantly higher in moss crust than in algae crust. With the development of crusts, seed bank storage increased in moss crust while decreased in algae crust. With regard to the moisture, significant differences in crust moisture were found among four developing phases for both algae and moss crust ( $p < 0.05$ ). The higher moisture kept in crusts, the more seedlings occurred. However, crust surface temperature and subsurface temperature did not have significant effects on seed germination for both crusts ( $p > 0.05$ ). For moss crust, more seed germination occurred under higher surface temperature, contrarily, more seed germination occurred under lower temperature on algae crust.

**Key Words**: biological soil crust; moss crust; algae crust; soil seed bank; seed germination

生物土壤结皮由土壤颗粒和蓝细菌、藻类、微小细菌、地衣以及苔藓类植物以不同的比例结合而形成,占

基金项目 国家自然科学基金资助项目(40471006)

收稿日期 2006-01-21;修订日期 2006-08-05

作者简介 苏延桂(1980~),女,甘肃兰州人,博士生,主要从事干旱区恢复生态学研究。E-mail: guiruian@163.com

**Foundation item**: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40471006)

**Received date** 2006-01-21; **Accepted date** 2006-08-05

**Biography** SU Yan-Gui, Ph. D. candidate, mainly engaged in restoration ecology in arid region. E-mail: guiruian@163.com

据了土壤表层几毫米处的位置<sup>[1]</sup>。它们普遍存在于世界范围内的干旱、半干旱区,盖度达到了40%~70%<sup>[2]</sup>。在干旱、半干旱区,生物土壤结皮的出现深刻地改变了土表性质,对荒漠植物产生了重大影响<sup>[3]</sup>。

生物土壤结皮与荒漠植物之间的关系已经引起了科学家的广泛关注,虽然有了初步的研究成果<sup>[4]</sup>,但所得结论相互矛盾<sup>[5]</sup>。绝大多数学者认为它们之间存在正相关关系<sup>[6,7]</sup>,而一些学者认为它们之间存在负相关关系<sup>[8,9]</sup>,即生物土壤结皮的存在不利于荒漠土壤种子库和荒漠植物的萌发、定居,此外,尚有很少一部分研究表明它们之间不存在相关关系<sup>[10]</sup>。在所有这些研究中,很多是在实验室条件下进行的,这可能会改变种子的散布特性<sup>[3]</sup>。由于相关研究有限且存在争议,West<sup>[1]</sup>和Johansen<sup>[11]</sup>分别指出人们还没有充分了解荒漠植物与生物土壤结皮之间的关系,尤其在降水少于200 mm的中亚和中国的荒漠地区<sup>[3]</sup>。Eldridge和Greene<sup>[12]</sup>在总结前人研究的基础上指出,生物土壤结皮与荒漠植物的关系可能与生物土壤结皮的年龄、类型以及外界环境条件(温度、水分等自然因子)有关。

对沙坡头人工固沙植被区的长期研究表明,荒漠植物幼苗密度与植被的年龄、沙丘位置(迎风坡、丘间低地、背风坡)有关,此外,幼苗密度对年降水量存在着一定响应。因此,假设生物土壤结皮、自然因子以及它们的交互效应对荒漠土壤种子库和种子萌发存在着影响:(1)荒漠土壤种子库储量与生物土壤结皮种类和年龄有关;(2)荒漠植物萌发量在不同的自然环境因子作用下存在着显著差异(较高的湿度有利于种子萌发;风可能对种子库储量有负面效应;温度对种子萌发的影响因生物土壤结皮的类型而不同)。

如果以上假设正确,本研究所得出的结论将有益于干旱、半干旱地区的生态系统管理。

## 1 研究区概况

研究区位于中国科学院沙坡头沙漠研究试验站包兰铁路以北的人工固沙植被区和相邻的天然植被区(37°32'N,105°02'E),该区海拔为1330m,7月平均温度为24.3℃,1月份为-6.9℃;多年平均降水量为186.5mm,主要集中在5~9月份(沙坡头1956~2002年气象资料);年蒸发量为2300~2500mm,平均风速为2.6m/s,年内降尘天数为59d。土壤基质为松散贫瘠的流沙,土壤稳定含水量介于2%~3%之间。人工植被区的主要固沙灌木、半灌木为柠条(*Caragana korshinskii*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)和油蒿(*Artemisia ordosica*)。草本植物主要有小画眉草(*Eragrostis poaeoides*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)等<sup>[13]</sup>。天然植被区主要以沙生针茅(*Stipa glareosa*)、细叶苔草(*Carex capilliformis*)、胡枝子(*Lespedeza durica*)为优势种<sup>[8]</sup>。

该区普遍存在的两种生物土壤结皮是苔藓结皮和藻类结皮,苔藓结皮主要由黑对齿藓(*Didymodon nigrescens*)、硬叶对齿藓长尖变种(*Didymodon rigidulus* var. *ditrichoides*)、双齿墙藓(*Tortulabidentata*)、真藓(*Bryumargen teum*)、芦荟藓属(*Aloina*)和盐土藓属(*Pterygoneurum*)组成<sup>[14]</sup>;藻类结皮主要由蓝藻类门、绿藻类门、硅藻类门、裸藻类门组成<sup>[15]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集

定义生物土壤结皮的年龄为自固沙植被区建立起到实验开展的时间为结皮的年龄。在本区内,所研究生物土壤结皮的年龄有24龄(1981年固沙区)、41龄(1964年固沙区)、50龄(1956年固沙区)人工固沙植被区和N龄(天然植被区年龄超过50),在每个年龄植被区有苔藓结皮覆盖的土壤上设置5个采样点,每个采样点之间的距离为10m,对于藻类结皮覆盖的土壤,亦采用相同的方法设置。2005年4月18~21日在每个采样点均采集完整的生物土壤结皮,并将之置于铺有沙子的花盆中,花盆口径为11cm,高为15cm。

### 2.2 试验设计

为了研究生物土壤结皮年龄、种类、风、土壤湿度以及生物土壤结皮表层和亚表层温度对荒漠土壤种子库和种子萌发的影响,在种子自然散布的条件下,特设以下3组实验:

实验一 研究生物土壤结皮年龄、种类、风以及它们之间的二因素、三因素交互效应对荒漠土壤种子库的影响。经测定,在沙坡头地区高蒸发的影响下,为了使生物土壤结皮表层24h保持湿润,在植物生长的季节,需要每天向生物土壤结皮表面提供300ml的水。将样品分别置于温室和室外有风的空地上,每天向花盆表

面洒入 300 ml 自来水,使生物土壤结皮表面保持湿润。

**实验二** 研究生物土壤结皮湿度对荒漠植物种子萌发的影响。将样品置于温室中,设置两个土壤湿度:湿润处理(每天向花盆表面洒入 300 ml 自来水)和干燥处理(每周向花盆表面洒入 300 ml 自来水),用 TDR 测定土壤 0~5 cm 含水量日变化。

**实验三** 研究生物土壤结皮表层、亚表层温度对荒漠植物种子萌发的影响,将生物土壤结皮置于温室和遮荫网下面以模拟在不同温度下荒漠植物在生物结皮上的萌发量。每天向花盆洒 300 ml 自来水保持生物土壤结皮表面湿润,用地温计测定生物土壤结皮表层以及 5 cm 深处温度日变化。

每天记录出现在生物土壤结皮表层的幼苗数量并将幼苗移出花盆,每个实验 12 个重复,共 384 盆生物土壤结皮供试。

### 3 统计分析

在进行统计分析之前将种子萌发量进行对数转换使数据服从正态分布。采用 SPSS10.0 统计分析软件中的多因素方差分析 (UNIANOVA) 研究生物土壤结皮种类、年龄、风以及它们之间的二因素、三因素交互作用对荒漠土壤种子库的影响。采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 研究风、温度、湿度对荒漠植物种子萌发的影响。

## 4 结果

### 4.1 研究区风速和生物土壤结皮的温度以及含水量日变化

试验期间,沙坡头地区平均风速为 2.5 m/s,较多年平均风速 2.6 m/s 略低,最大风速出现在 5 月 4 日,为 5.8 m/s,最小风速出现在 6 月 24 日,为 0.5 m/s (图 1)。对结皮含水量的日变化测定表明,生物结皮年龄越大,对水分的保持效果越好(图 2,图 3),对于生物结皮地表温度的测定表明:藻类结皮较苔藓结皮具有较高的地表温度(图 4),而对于地下 5 cm 深度的温度,苔藓结皮和藻类结皮的温度一致(图 5)。

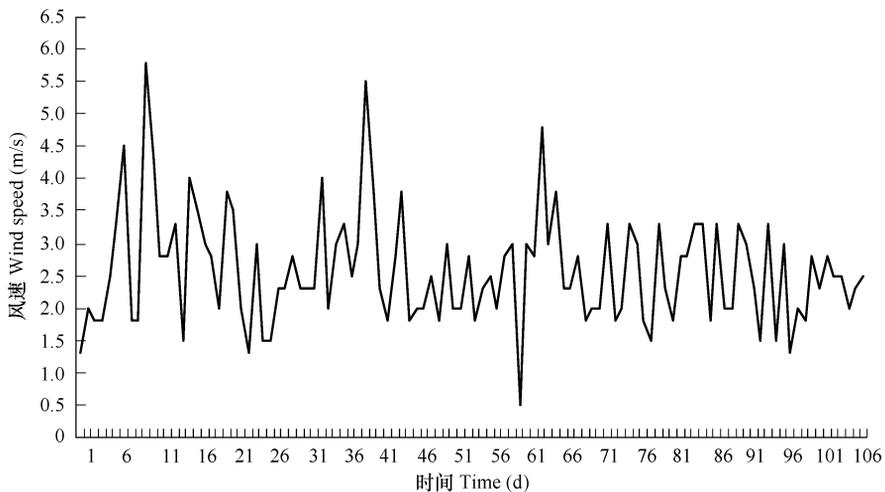


图 1 沙坡头地区 4 月 25 日到 8 月 10 日每日平均风速

Fig. 1 The daily mean wind speed in the study site from 25th in April to 10th in August

### 4.2 生物土壤结皮对荒漠土壤种子库的影响

生物土壤结皮种类、年龄以及风对土壤种子库存在显著影响(表 1,  $p < 0.05$ )。生物土壤结皮种类和年龄的二维交互效应对土壤种子库有显著的影响(表 1,  $p < 0.05$ )。然而,结皮种类与风的二维交互效应对土壤种子库无显著影响(表 1,  $p > 0.05$ ),结皮年龄和风的交互效应对土壤种子库无显著影响(表 1,  $p = 0.339$ )。结皮种类、年龄以及风的三维交互效应对土壤种子库无显著影响(表 1,  $p = 0.267$ )。对于两类生物土壤结皮,年龄对土壤种子库储量有显著影响(图 6,苔藓结皮:  $F = 4.753$ ,  $p = 0.012$ ;藻类结皮:  $F = 3.609$ ,  $p = 0.031$ )随着结皮年龄的增长,土壤种子库储量在苔藓结皮上增加而在藻类结皮上减少(图 6)。对于苔

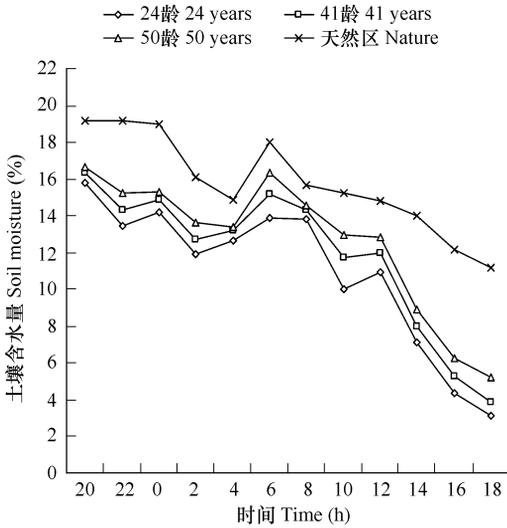


图2 苔藓结皮 0~5cm 处的土壤含水量 (体积分数)

Fig. 2 Soil moisture of moss crust under dry condition at 5cm depth

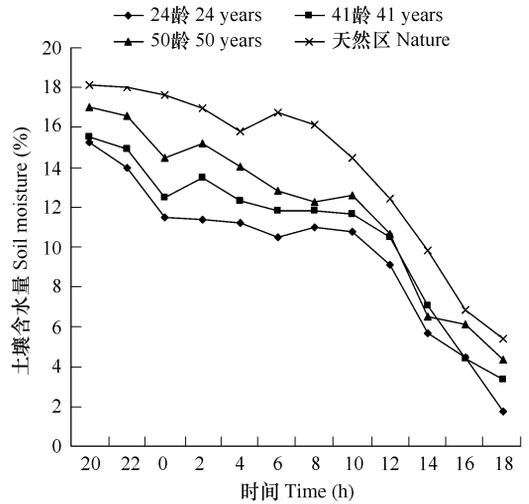


图3 藻类结皮 0~5cm 处的土壤含水量 (体积分数)

Fig. 3 Soil moisture of algae crust under dry condition at 5cm depth

藓结皮 46 龄和 50 龄结皮上的种子库储量有显著差异 (图 6  $F = 5.2, p = 0.046$ ) 而 50 龄和天然植被区的种子库储量无显著差异 (图 6  $p > 0.05$ )。对于两类生物土壤结皮 随着年龄的同步增长,土壤种子库储量的差异也逐渐显现出来 (24 龄 :  $F = 0.016, p = 0.901$ ; 41 龄 :  $F = 0.590, p = 0.460$ ; 50 龄 :  $F = 8.899, p = 0.014$ ; 天然植被区 :  $F = 16.606, p = 0.002$ )。除 24 龄的生物土壤结皮外,苔藓结皮上的种子库储量均高于藻类结皮上的种子库储量 (图 6)。

风对荒漠土壤种子库有显著影响 (表 1,  $p = 0.001$ ) ,但风对土壤种子库的影响因结皮种类而异,藻类结皮上种子库差异显著 ( $F = 5.793, p = 0.020$ ) ,苔藓结皮上差异不显著 ( $F = 2.19, p = 0.146$ )。由图 7 中可知,在无风的条件下种子库储量大,在有风的条件下,种子库储量与苔藓结皮的演替正相关,在不同年龄的苔藓结皮上,种子库储量无显著差异 ( $F = 0.473, p = 0.705$ ) 种子库储量与藻类结皮的演替负相关,并且在不同年龄的藻类结皮上,种子库储量差异显著 ( $F = 13.562, p = 0$ )。

#### 4.2 生物土壤结皮湿度对荒漠植物种子萌发的影响

对于两类生物土壤结皮,荒漠植物萌发量在不同土壤湿度下均有显著差异 (苔藓结皮 :  $F = 18.445, p = 0$ ; 藻类结皮 :  $F = 12.557, p = 0.001$ )。生物土壤结皮层在湿润时有利于荒漠植物萌发 (图 8)。在干处理的情况下,荒漠植物萌发量在苔藓结皮上有显著差异 ( $F = 3.664, p = 0.03$ ) ,在人工植被区,随着苔藓结皮的发育,植物萌发量增加,在天然植被区的苔藓结皮上,植物萌发量下降 (图 8)。在藻类结皮上,植物萌发量无显著差异,但是植物萌发量的变化趋势与植物在苔藓结皮上的萌发量变化趋势一致。

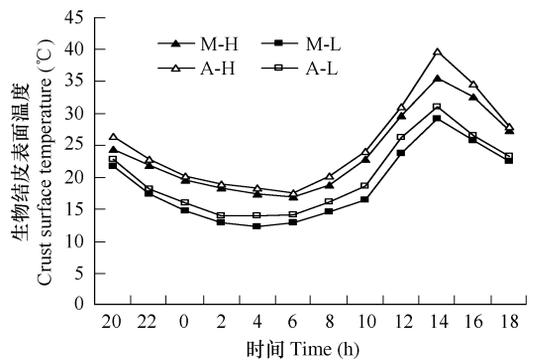


图4 天然植被区生物结皮表面温度日变化

Fig. 4 Soil surface temperature of crusts at natural vegetation area M-H 表示苔藓结皮在高温下的温度 indicates moss crust at greenhouse, M-L 表示苔藓结皮在低温下的温度 indicates moss crust under canopy, A-H 表示藻类结皮在高温下的温度 indicates algae crust in greenhouse, A-L 表示藻类结皮在低温下的温度 indicates algae crust under canopy,下同 the same below

表 1 结皮种类、年龄和自然因子风对荒漠土壤种子库影响的多因素方差分析

Table 1 Split-split-plot ANOVA on seed bank (individuals per m<sup>2</sup>) of two crust types (moss crust and algae crust) with four developing phrases (Q4, 41, 50, N years old) at two different windy conditions (windy and windless conditions)

变异来源 Source of variance	平方和 Type III SS	自由度 Df	均方 Mean squares	F (值) F	P
修正模型 Corrected Model	6.235 <sup>a</sup>	15	0.416	4.945	0
截距 Intercept	156.623	1	156.623	1863.491	0
结皮种类 Crust type	1.256	1	1.256	14.949	0
结皮年龄 Crust age	1.151	3	0.384	4.564	0.005
风 Wind	0.910	1	0.910	10.83	0.001
结皮种类 × 结皮年龄 Type × Age	2.327	3	0.776	9.228	0.000
结皮种类 × 风 Type × Wind	0.001	1	0.001	0.009	0.927
结皮年龄 × 风 Age × Wind	0.251	3	0.084	0.997	0.339
结皮年龄 × 结皮种类 × 风 Age × Type × Wind	0.338	3	0.113	1.341	0.267
误差 Error	6.724	80	0.084		
总变异 Total	169.582	96			
修正总变异 Corrected Total	12.959	95			

a R = 0.481 Adjusted = 0.384

### 4.3 生物土壤结皮层温度对荒漠植物种子萌发的影响

在两种生物土壤结皮上, 温度对荒漠植物萌发量无显著影响 (图 4, 苔藓结皮:  $F = 0.244, p = 0.0623$ ; 藻类结皮:  $F = 0.099, p = 0.755$ )。较高的温度促进了荒漠植物在苔藓结皮上的萌发, 而较低的温度促进了荒漠植物在藻类结皮上的萌发。在较低温度的情况下, 荒漠植物萌发量随着苔藓结皮的演替而增加, 但增加的程度并不显著 ( $F = 1.298, p = 0.303$ )。荒漠植物萌发量随着藻类结皮的演替而下降, 且荒漠植物不同年龄藻类结皮上的萌发量差异显著 ( $F = 3.819, p = 0.026$ )。

### 5 讨论

生物土壤结皮的出现对土壤理化性质、土壤养分、pH 值、土壤水文特征产生了影响, 尤其是对土表性质的改变影响着荒漠植物种子的散布、萌发、定居和土壤种子库储量<sup>[3, 16, 17]</sup>。两类生物土壤结皮的出现改变了沙坡头地区的土壤性质并形成了完全不同的景观<sup>[8]</sup>。荒漠土壤种子库在两种结皮上差异显著, 这可能是结皮对种子捕获能力不同而引起的。研究表明: 苔藓结皮上的种子萌发量高于藻类结皮, 表明苔藓结皮具有较高的种子捕获能力。荒漠植物种子在自然因子风的作用下的萌发量可以说明这一点: 在有风与无风的情况下, 种子库储量在苔藓结皮上差异不显著, 在藻类结皮上差异显著。在沙坡头地区, 风季始于 9 月份, 这正是种子开始散落的时间, 结束于翌年 4 月份, 此期间降水是全年降水量的 12%, 在这段时间内, 几乎没有植物种子萌发, 在风的作用下, 荒漠植物种子散布在表面相对粗糙的苔藓结皮上。这项试验结果也在其它的试验中得到了证实: 藻类结皮含有 cyanobacterial, 使藻类结皮表层趋于平滑<sup>[18]</sup>, 降低了藻类结皮对植物种子的捕获能力。野外调查实验表明: 在降水充沛的年份, 植物幼苗密度在迎风坡和丘间低地明显高于背风坡, 这一点也被其它学者所证实<sup>[19]</sup>。

生物土壤结皮对土表性质的改变不仅表现在结皮年龄上, 也表现在结皮种类上<sup>[8, 19]</sup>。研究表明, 在苔藓结皮上, 种子库储量随着结皮年龄的增长而增加, 这可能是结皮演替阶段影响着土壤性质<sup>[8]</sup>, 进而影响着荒漠植物在生物土壤结皮上的萌发、定居和繁衍<sup>[20]</sup>。以上表明, 随着苔藓结皮年龄的增长, 结皮粗糙度逐渐增大, 对种子的捕获量也随之增加; 在藻类结皮上, 种子库储量随着结皮年龄的增长而下降, 一方面, 随着藻类结

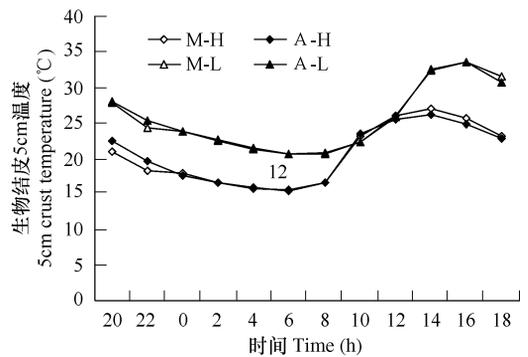


图 5 天然植被区生物结皮在 5cm 处的温度日变化

Fig. 5 Soil temperature at 5 cm depth of crusts at natural vegetation area

皮的演替 ,cyanobacteria 在藻类结皮中增加 ,使得土表层更加光滑 降低了藻类结皮对植物种子的捕获 ,另一方面 随着藻类结皮的演替 结皮层厚度增加 植物种子的根不易穿过坚硬的藻类结皮层而阻碍了种子的萌发<sup>[19]</sup>。

水分对荒漠植物种子萌发影响的实验结果表明 :水分与种子萌发量正相关 ,这与大多数学者的研究相符<sup>[21-22]</sup>。在干处理的情况下 ,随着人工植被区苔藓结皮的发育 种子萌发量增加 ,这不仅是由于物种多样性和数量的增加<sup>[19]</sup> ,也可能是由于结皮含水量随着结皮的演替也增加 (图 2 图 3)。虽然天然植被区上物种多样性和数量以及结皮含水量均高于人工区 (图 2 ,图 3) ,但是其上种子萌发量却急剧下降 ,这可能是天然植被区苔藓的花梗高于人工植被区苔藓的花梗 种子不能与土壤接触而被夹在花梗之间 ,这一点也得到了其它学者的证实<sup>[23]</sup>。对人工植被区藻类结皮干燥处理下的种子萌发实验表明 种子萌发量与结皮演替正相关 ,这可能是在干燥条件下 ,藻类结皮有机体不分泌或者很少分泌抑制幼苗萌发的化学物质<sup>[24]</sup>。在人工植被区 ,藻类结皮的厚度从 24 龄的 0.11cm 增加到 50 龄的 0.21cm ,天然植被区藻类结皮厚度为 0.57cm ,天然植被区藻类结皮厚度高于人工植被区 ,这可能是天然植被区藻类结皮抑制种子萌发的原因。

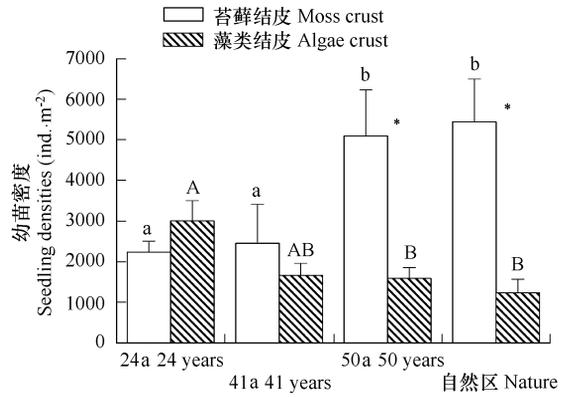


图 6 荒漠植物在单位面积生物土壤结皮上的萌发量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 6 Mean seedling density (mean ± S. E.) (individuals m<sup>-2</sup>) appeared on two crust types (moss crust and algae crust) among four developing phrases

\* 表示萌发量在结皮种类间差异显著 ( $p < 0.05$ ) ,不同大写字母表示萌发量在藻类结皮的不同年龄差异显著 ( $p < 0.05$ ) ,不同小写字母表示萌发量在苔藓结皮的不同年龄差异显著 ( $p < 0.05$ ) Indicates a significant difference in seedling densities between different crust types at  $p < 0.05$  ; Different capitalization superscripts indicate a significant difference in seedling densities among algae crust at  $p < 0.05$  and different lowercases indicate a significant difference in seedling densities among moss crust at  $p < 0.05$

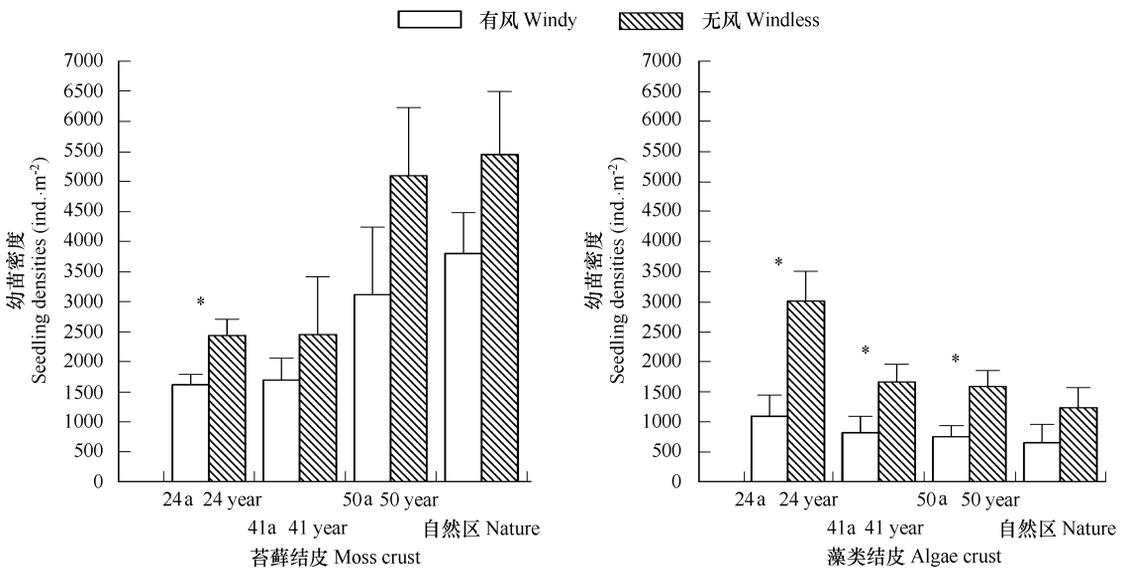


图 7 在有风与无风的情况下 ,荒漠植物在单位面积生物土壤结皮上的萌发量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 7 Mean seedling density (mean ± S. E.) of two crust types with four developing phrases under windy condition and windless condition.

\* 表示荒漠植物萌发量在有风与无风情况下差异显著 ( $p < 0.05$ ) Indicates a significant difference in seedling densities under two windy regimes at  $p < 0.05$

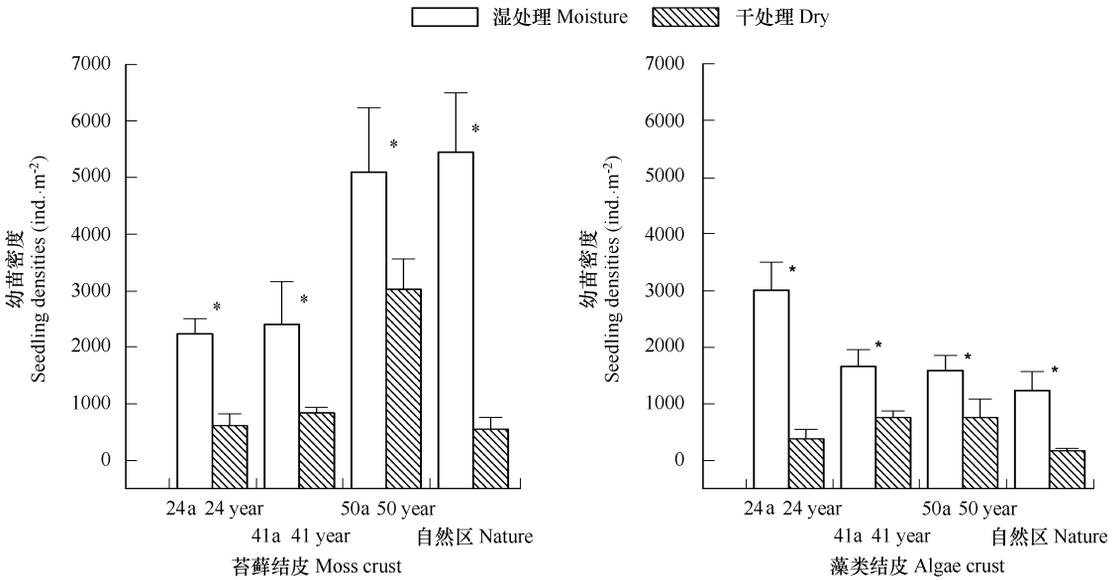


图 8 不同土壤湿度下, 荒漠植物在单位面积生物土壤结皮上的萌发量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 8 Mean seedling density (mean ± S. E.) of two crust types with four developing phrases under two soil moisture regimes (moist condition and dry condition)

\* 表示荒漠植物萌发量在不同结皮层湿度下差异显著 ( $p < 0.05$ ) indicates a significant difference in seedling density under two moisture regimes at  $p < 0.05$

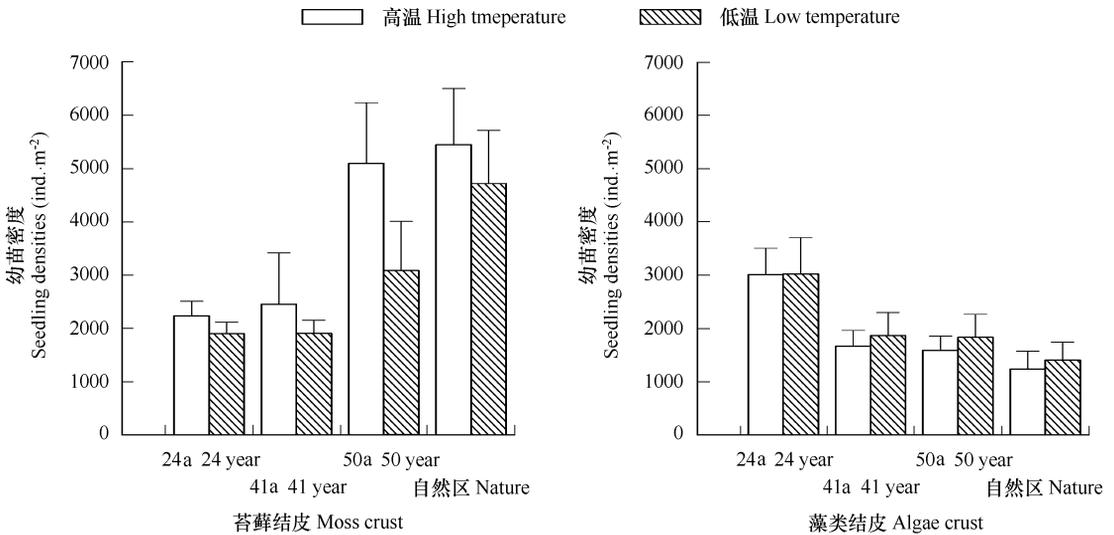


图 9 不同温度下, 荒漠植物在单位面积生物土壤结皮上的萌发量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 9 Mean seedling density (mean ± S. E.) of two crust types with four developing phrases under two temperature regimes (high temperature and low temperature)

长期的野外调查实验表明, 在降水充沛的年份, 沙坡头人工植被区的植被盖度达到了 40% ,而在干旱的年份, 植被的盖度仅为 20% 左右 [25]。2005 年降水量是 73.5 mm, 是 50a 来最干旱的年份, 野外调查表明, 荒漠植物在人工植被区的两种生物土壤结皮上均没有出现。

对温带和极地沙漠中生物土壤结皮温度的研究表明, 结皮表面温度较邻近无结皮覆盖区域的表面温度高出 14℃ ,一些学者预测, 结皮表面温度的增加可能会对荒漠植物萌发和定居产生影响 [25-27]。Gold and Bliss [28] 认为结皮对植物萌发和定居的正效应可能是由于结皮表面温度的增加所致, 但是这种猜想并没有通

过实验得到证实。研究表明,在两种生物土壤结皮上,荒漠植物在结皮上的萌发对温度存在不同的响应。较高的温度有利于荒漠植物在苔藓结皮上萌发,而抑制了荒漠植物在藻类结皮上萌发(图7,图8)。Manuela<sup>[23]</sup>的研究表明,花梗1.7cm高的苔藓结皮底层的光照强度是表层的17%,植物种子位于结皮下层而非表面,种子萌发所需要的温度和光照应是穿过结皮层的光照。荒漠植物种子位于藻类结皮表层,强辐射降低了种子活力,表现为高温和强光照抑制植物在藻类结皮上的萌发率。本研究与Büdel<sup>[29]</sup>的研究结果不同,Büdel的研究表明,藻类结皮有利于荒漠植物种子萌发,这是由于藻类结皮中的有机物能够吸收紫外辐射,增加了植物萌发量。所以,还需要进一步的试验来研究温度对荒漠植物在生物土壤结皮上萌发的影响。

## 6 结论

从本研究中得出以下结论,由于生物土壤结皮对荒漠植物种子捕获能力的不同,造成了在不同的生物土壤结皮上荒漠土壤种子库的显著差异。随着生物土壤结皮的发育,苔藓结皮的粗糙度不断的增大,进而提高了结皮对种子的捕获量,表现为随着苔藓结皮年龄的增长,种子库储量也随着增加;而藻类结皮由于含有cyanobacteria使得结皮表层趋于光滑,减少了对植物种子的捕获,表现为随着藻类结皮年龄的增长,种子库储量减少。生物结皮通过改变一系列自然环境因子对荒漠植物萌发产生影响。土壤湿度有利于荒漠植物萌发,温度对荒漠植物萌发的影响因结皮种类而不同,在苔藓结皮上,较高的温度有利于植物的萌发,而对于藻类结皮,较高的温度却抑制了植物在结皮上的萌发。

## References :

- [1] West N E. Structure and function of soil microphytic crusts in wildland ecosystems of arid and semi-arid regions. *Adv. Ecol. Res.*, 1990, 20 :179 - 223.
- [2] Belnap J. Potential role of cryptobiotic soil crust in semiarid rangelands. In : Mosen S. B. , and S. G. Kitchen , eds. *Proceedings-Ecology and Management of Annual Rangelands. General Technical Report INT-GTR-313. USDA Forest Service , Intermountain Research Station , Ogden , UT.* , 1994 : 179 - 185.
- [3] Belnap J , Lange O L. *Biological Soil Crusts : Structure , Function , and Management.* Berlin : Springer , 2003. 281 - 286.
- [4] Harper K T , Marble J R. A role for non-desert plants in management of arid and semi-arid rangelands. In : Tueller , P. T. ed. , *Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management.* Marinus Nijhoff/Dr. W. Junk , Amsterdam , The Netherlands , 1988 : 135 - 169.
- [5] Prasse R , Bornkamm R. Effects of microbiotic soil surface crusts on emergence of desert plants. *Plant Ecol.* , 2000 , 150 : 65 - 75.
- [6] Beymer R J , Klopatek J M. Effects of grazing on cryptogamic crusts in pinyonjuniper woodlands in Grand Canyon National Park. *Am. Midl. Nat.* , 1992 , 127 : 139 - 148.
- [7] Belnap J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah , USA. *Biol. Fert. Soils* , 2002 , 35 : 128 - 135.
- [8] Li X R , Zhang Z S , Zhang J G , *et al.* Association between vegetation patterns and soil properties in the Southeastern Tengger Desert , China. *Arid Land Research and Management* , 2004 , 18 : 269 - 383.
- [9] McIlvanie S K. Grass seedling establishment and productivity overgrazed vs. protected range soils. *Ecology* , 1942 , 23 : 228 - 231.
- [10] Kleiner E F , Harper K T. Soil properties in relation to cryptogamic groundcover in Canyonlands National Park. *J. Range Manage* , 1977 , 30 : 202 - 205.
- [11] Johansen J R , Ashley J , Rayburn W R. Effects of range fire on soil algal crusts in semiarid shrub-steppe of the lower Columbia Basin and their subsequent recovery. *Great Basin Nat* , 1993 , 53 : 73 - 88.
- [12] Eldridge D J , Greene R S B. Microbiotic soil crusts : A review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Aust. J. Soil Res.* , 1994 , 32 : 389 - 415.
- [13] Li X R , Zhang J G , Shi Q H. Plant diversity in the process of succession of artificial vegetation types and environment in an arid desert region of China. *Acta Phytocologica Sin.* , 2000 , 24 ( 3 ) : 257 - 261.
- [14] Wang S D , Bai X L , Yong S P. Preliminary research on bryoflora in Shapotou area. *J. Desert Res.* , 2001 , 21 ( 3 ) : 244 - 249.
- [15] Hu C X , Liu Y D , Song L R. Species composition and distribution of algae in Shapotou area , Ningxia hui autonomous region , China *Acta Hydrobiologica Sinica* , 1999 , 23 ( 5 ) : 443 - 448.
- [16] Eldridge D J. Cryptogams , desert plants , and soil hydrological relations : some preliminary results from the semiarid woodlands of eastern Australia. *Great Basin Nat.* , 1993 , 53 : 48 - 58.
- [17] Belnap J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah , USA. *Biol. Fert. Soils* , 2002 , 35 : 128 - 135.

- [18] Belnap J, Budel B, Lange O L. Biological soil crusts : Characteristics and distribution. In *Biological Soil Crusts : Structure , Function , and Management*. Ed. J O L Belnap Lange. Berlin : Springer ,2003. 3 — 30.
- [19] Li X R ,Zhang J G ,Wang X P ,Liu L C ,Xiao H L. Study on soil microbiotic crusts and its influences on sand-fixing vegetation in arid desert region. *Acta Bot. Sin.* ,2000 ,42 :965 — 970.
- [20] Li X R ,Jia X H ,Long Q ,Stefan Zerbe. Effects of biological soil crusts on seed bank ,germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China ). *Plant Soil* ,2005 ,277 :375 — 385.
- [21] Fowler N L. Microsite requirements for germination and establishment of three grass species. *Am. Midl. Nat.* ,1986 ,115 :131 — 145.
- [22] O'Connor T G. Hierarchical control over seedling recruitment of the bunch-grass *Themeda triandra* in a semi-arid savanna. *J. Appl. Ecol.* ,1996 ,33 :1094 — 1106.
- [23] Manuela Z. Effects of bryophytes and lichens on seedling emergence of alvar plants : evidence from greenhouse experiments. ,*OIKOS* ,2000 ,88 :603 — 611.
- [24] Mclean R J C ,Beveridge T J. Metal-binding capacity of bacterial surfaces and their ability to form mineralized aggregates. In :Ehrlich HL ,Brierley CL eds. *Microbial mineral recovery*. McGraw-Hill ,New York ,1990. 185 — 231.
- [25] Zhang J G ,Li X R ,Wang X P ,*et al.* Population dynamics of annual plant *Eragrostis poades* fixed sand dune in Shapotou area. *Journal of Desert Research* ,2001 ,21 (3) :232 — 235.
- [26] Harper K T ,Pendleton R L. Cyanobacteria and cyanolichens : can they enhance availability of essential minerals for higher plants ?*Great Basin Nat.* ,1993 ,53 :59 — 72.
- [27] Belnap J ,Harper K T. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. *Arid Soil Res Rehabil.* ,1995 ,9 :107 — 115.
- [28] Gold W G ,Bliss L C. Water limitations and plant community development in a polar desert. *Ecology* ,1995 ,76 :1558 — 1568.
- [29] B del B ,Karsten U ,Garcia-Pichel F. Ultraviolet-absorbing scytenemin and mycosporine-like amino acid derivatives in exposed rock-inhabiting cyanobacterial lichens. *Oecologia* ,1997 ,112 :165 — 172.

#### 参考文献 :

- [13] 李新荣 张景光 刘立超 ,等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究. *植物生态学报* ,2000 ,24 (3) :257 ~ 261.
- [14] 王世冬 白学良 雍世鹏. 沙坡头地区苔藓植物区系初步研究. *中国沙漠* ,2001 ,21 (3) :244 ~ 249.
- [15] 胡春香 刘永定 宋立荣. 宁夏沙坡头地区藻类类及其分布. *水生植物学报* ,1999 ,23 (5) :443 ~ 448.
- [19] 李新荣 张景光 王新平 ,等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究. *植物学报* ,2000 ,42 (9) :965 ~ 970.
- [25] 张景光 李新荣 王新平 ,等. 沙坡头地区固定沙丘一年生植物小画眉草种群动态研究. *中国沙漠* ,2001 ,21 (3) :232 ~ 235.