

实验室条件下两种生物土壤结皮对 荒漠植物种子萌发的影响

苏延桂 李新荣 黄 刚 李小军 郑敬刚

(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 ,甘肃 兰州 730000)

摘要 生物土壤结皮广泛分布在干旱、半干旱区 ,深刻影响着土壤表层特性 ,进而对植物种子散布、萌发和定居产生极大的影响。到目前为止 ,生物土壤结皮与植物关系的研究很少见到 ,并且这些有限的研究所得出的结论存在着争议。研究了不同年龄的两种生物土壤结皮 (苔藓结皮和藻类结皮)对油蒿 (*Artemisia ordosica*)和雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*)种子萌发的影响 ,同时也研究了这两种结皮在失去活性前后对油蒿、雾冰藜和小画眉草 (*Eragrostis poaeoides*)种子萌发的影响。苔藓和藻类结皮的出现对油蒿和雾冰藜种子的萌发均有显著的促进作用 ,而结皮年龄对植物种子的萌发没有显著的差异。对于不同的植物种 ,结皮类型和活性对种子的萌发具有不同的作用。雾冰藜在两种结皮上的萌发有显著的差异而油蒿和小画眉草在两种结皮上的萌发没有显著差异。活藻类显著地增加了三种植物的种子萌发 ,活苔藓仅增加了油蒿和雾冰藜种子萌发量而对小画眉草种子的萌发没有作用。研究表明 ,生物土壤结皮对一些植物种子萌发具有明显的促进作用。

关键词 藻类结皮 ;苔藓结皮 种子萌发 油蒿 ;雾冰藜 小画眉草

文章编号 :1000-0933 (2007)05-1845-07 中图分类号 :Q948 S154.1 文献标识码 :A

Effects of two types of biological soil crusts on the germination of desert vascular plants under laboratory conditions

SU Yan-Gui , LI Xin-Rong , HUANG Gang , LI Xiao-Jun , ZHENG Jing-Gang

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

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1845 ~ 1851.

Abstract : Biological soil crusts are a universal and common feature of arid and semi-arid regions worldwide , and they greatly affect soil surface properties which may alter seed dispersal , germination and establishment of vascular plants. Few studies have examined the effects of biological soil crusts on vascular plants , and conclusions from these have been variable. In this study , we investigated the effects of two types of biological soil crusts (moss crust and algae crust) of five different ages on seed germination of two vascular plants , and the effects of crust condition (living crust and dead crust) on seed germination of three vascular plants. Biological soil crusts 18 , 24 , 41 and 49 years old from areas where the vegetation had been replanted were compared with 100 years old crusts from an area of natural vegetation. The presence of both algae and moss crusts significantly enhanced the germination of *Bassia dasyphylla* and *Artemisia ordosica* compared with surfaces from which the crusts had been removed. For both *Bassia dasyphylla* and *Artemisia ordosica* , there was no significant effect of

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40671011) ;中国科学院知识创新工程资助项目 (0650442001)

收稿日期 2006-03-04 ;修订日期 2007-01-30

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

Foundation item The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671011) ; the Innovation Project of CAREERI (0650442001)

Received date 2006-03-04 ; **Accepted date** 2007-01-30

Biography SU Yan-Gui , Ph. D , Candidate , majored in restoration ecology. E-mail : guiruian@163.com

crust age on germination on either moss crust or algae crust. The effects of crust type and crust condition on seed germination were variable and species-specific. Crust type significantly influenced germination of *Bassia dasyphylla* but not *Artemisia ordosica* and *Eragrostis poaeoides*. Living algae crust significantly increased germination of *Artemisia ordosica*, *Eragrostis poaeoides* and *Bassia dasyphylla* compared with dead crusts and uncrusted soil, while living moss crust enhanced the germination of both *Artemisia ordosica* and *Bassia dasyphylla* but not *Eragrostis poaeoides*. Our study indicates that biological soil crusts can have marked effects on the germination of some plant species.

Key Words : algae crust ; moss crust ; seed germination ; *Artemisia ordosica* ; *Bassia dasyphylla* ; *Eragrostis poaeoides*

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,占据了土壤表层几毫米处的位置^[1]。它们普遍存在于干旱、半干旱区,盖度达到了40%~70%^[2],生物土壤结皮深刻地改变了土表性质,并对定居于其上的植物产生了影响^[3]。生物土壤结皮与植物之间的相互作用及机理已经引起了广泛关注^[4],但所得结论相互矛盾,对作用机理的解释也各不相同^[5]。生物土壤结皮与植物的关系存在3种观点,绝大多数学者认为它们之间存在正相关性,因为生物土壤结皮为植物的定居、生长和繁殖提供了有利的地表环境^[6,7];一些学者认为它们之间存在负相关性,因为生物土壤结皮使地表变得更加光滑,因此降低了对植物种子的捕获,减少了种子萌发以及定居^[8,9];此外,还有一部分学者的研究表明,它们之间不存在相关性,因为生物土壤结皮经常占据着植物所不能定居的极端环境^[10]。以往研究都是在北美、澳大利亚、以色列的热带、寒带沙漠中开展的^[11],关于温带沙漠中的研究很少见,尤其在降雨少于200 mm的中亚以及我国的干旱、半干旱地区^[12]。

本文研究了腾格里沙漠东南缘沙坡头人工植被区内自然更新较好的半灌木油蒿和广泛存在的两种一年生草本小画眉草和雾冰藜在生物土壤结皮上的萌发,旨在揭示温带沙漠地区生物土壤结皮对不同生活型植物种子萌发的影响。

1 研究区概况

研究区位于宁夏中卫市境内的中国科学院沙坡头沙漠研究实验站铁路以北的人工固沙植被区和相邻的自然植被区(37°32'N, 105°02'E)。本研究区属于草原化荒漠地带,天然植被以花棒(*Hedysarum scoparium*)和沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等为主,盖度1%左右。海拔1330 m,7月份均温为24.3℃,1月份为-6.9℃,年均降雨量为186.5 mm,且主要集中在5~9月份。植物生长季节潜在蒸腾量为2300~2500 mm,平均风速为2.6 m/s,年内降尘天数为59 d,土壤基质为松散贫瘠的流沙,土壤稳定含水量为2%~3%。

为了保证包兰铁路的畅通无阻,中国科学院和相关单位在流沙上扎设1 m × 1 m的麦草方格将沙面固定,之后栽植耐旱植物油蒿、柠条(*Caragana korshinskii*)、花棒,这项工作在1964、1981、1987年得到了进一步的开展。流沙固定后,沙面逐渐形成了生物土壤结皮。生物土壤结皮的出现极大地改善了地表环境,为大量物种在本区的定居创造了条件。到目前为止,人工植被区的主要固沙灌木、半灌木除了人工栽植的油蒿、柠条、花棒,还有外来种小画眉草和雾冰藜等^[13]。自然植被区的物种多样性远远高于人工植被区,其上主要植被为沙生针茅(*Stipa glareosa*)、细叶苔草(*Carex capilliformis*)、胡枝子(*Lespedeza durica*)^[8]。王世冬^[14]和胡春香^[15]对本区生物土壤结皮鉴定后认为,本区主要有两种结皮:苔藓结皮和藻类结皮。苔藓结皮的主要成分是黑对齿藓(*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*);藻类结皮共由22种藻类植物组成:蓝藻门(10种)、绿藻门(4种)、硅藻门(6种)、裸藻门(2种)。

2 材料与方法

2.1 样品采集

2004年8月15~18日采集沙坡头人工植被区(1956、1964、1981、1987年)和天然植被区的两种生物土壤结皮(苔藓结皮和藻类结皮),要求所采集结皮完整,分别将结皮放在铺有沙粒的花盆中,花盆口径为255

mm ,高为 180 mm。此外 ,将 1964 年植被区的两种结皮置于培养皿中 ,培养皿直径为 140 mm。

2.2 样品预处理

在结皮表面喷洒适量自来水消耗土壤种子库 ,直到连续 7d 结皮表面无幼苗出现。然后 ,将置于培养皿中的部分苔藓和藻类结皮置于 105 ℃烘箱之中 48 h^[16] ,使结皮有机体失去活性 ,将失去活性的结皮称之为死结皮 ,而将未经过烘箱处理的结皮称之为活结皮。

2.3 试验设计

实验一 为了研究在实验室盆栽条件下 ,生物土壤结皮对种子萌发的影响 ,将半灌木油蒿和 1 年生草本雾冰藜的种子各 50 粒分别放在置于花盆中的苔藓、藻类结皮表面 ,每个处理 8 个重复 ,同时 ,将两种植物的种子各 40 粒放在铺有滤纸的培养皿中 ,每个处理 8 个重复 ,每天 19 00 在生物结皮表面喷洒 300 ml 自来水 ,在滤纸表面喷洒适量自来水 ,使结皮保持湿润 ,每天早晨记录出苗数 ,由于撒有油蒿种子的自然植被区结皮被破坏 ,所以共 160 个样品供试。

实验二 为了研究在实验室条件下 ,生物土壤结皮有机体对种子萌发的影响。将半灌木油蒿、1 年生草本小画眉草和雾冰藜各 40 粒分别置于有活性和失去活性的 41 龄 (1964 年)苔藓和藻类结皮表面和覆有滤纸的培养皿中 ,每个处理 10 个重复 ,共 150 个培养皿供试 ,每天在结皮表面喷洒适量水 ,使结皮表面保持湿润。

3 统计分析

在统计分析进行之前将种子萌发量转化为萌发率 ,使数据服从正态分布。采用 SPSS 10.0 统计分析软件 ,采用方差分析中的混合模型 (mixed-model ANOVA)研究生物土壤结皮种类、年龄和物种对种子萌发的影响。同样的 ,采用此模型研究结皮类型和结皮有机体活性对种子萌发的影响。

4 试验结果

4.1 生物土壤结皮类型及年龄对种子萌发的影响

与滤纸上萌发相比 ,1 年生草本雾冰藜和半灌木油蒿在生物土壤结皮上的萌发量显著的增加 ($P < 0.05$,图 1 ,图 2)。两种生物结皮年龄对雾冰藜和油蒿种子萌发无显著影响 ($P > 0.05$,图 1 ,图 2) ,从幼龄结皮到老龄结皮 ,两种植物种子萌发没有明显的变化趋势 ($p = 0.115$,图 2)。

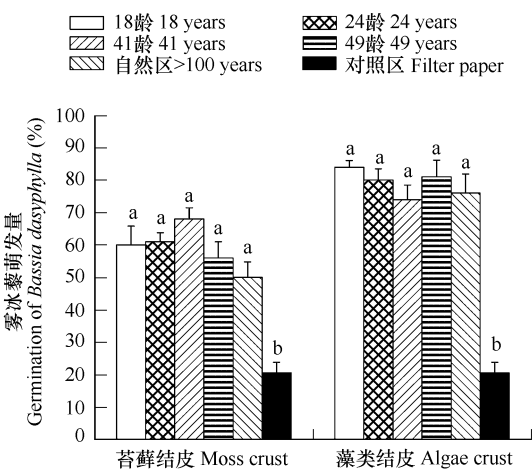


图 1 雾冰藜在不同演替阶段的生物土壤结皮和滤纸上的萌发率
Fig.1 Seed germination of *Bassia dasyphylla* on two crusts with different chronosequences and filter paper

不同字母表示种子萌发率差异显著 difference small letters
indicated significant difference at $P < 0.05$

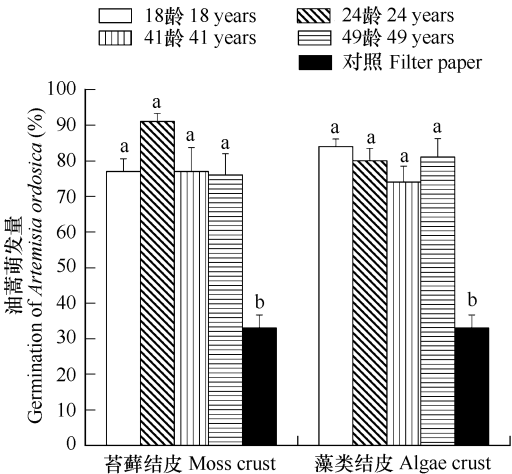


图 2 油蒿在不同演替阶段的生物土壤结皮和滤纸上的萌发率
Fig. 2 Seed germination of *Artemisia ordosica* on two crusts with different chronosequences and filter paper

不同字母表示种子萌发率差异显著 difference small letters
indicated significant difference at $P < 0.05$

雾冰藜、油蒿和小画眉草在苔藓结皮上的萌发量没有显著差异 ($P=0.59$, 图 3), 在藻类结皮上, 雾冰藜的萌发量显著的低于小画眉草和油蒿的萌发量 ($P<0.001$, 图 3), 而小画眉草和油蒿的萌发量没有显著差异 ($P>0.05$, 图 3)。雾冰藜在苔藓和藻结皮上的萌发量存在显著的差异, 而其余两种植物的萌发量无差异 ($P>0.05$, 图 3)。

4.2 生物土壤结皮活性对种子萌发的影响

对于苔藓结皮 3 种植物的萌发量在死苔藓和活苔藓上的萌发量均显著的高于滤纸上的萌发量 ($P<0.008$, 图 4)。

雾冰藜 ($P=0.045$) 和油蒿 ($P=0.008$) 在活苔藓上的萌发量显著高于死苔藓, 但是小画眉草没有差异 ($P=0.185$, 图 4)。在藻类结皮上 3 种植物的最高萌发量均出现在活藻类上 ($P<0.05$), 与滤纸相比较, 油蒿和小画眉草的萌发量在死藻上高, 而雾冰藜的萌发量没有差异 (图 5)。

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植物种子的散布、萌发和定居^[3, 17, 18]。生物土壤结皮与植物种子萌发的关系的不确定性, 可能是结皮演替、结皮类型及所研究的植物不同而引起^[18]。

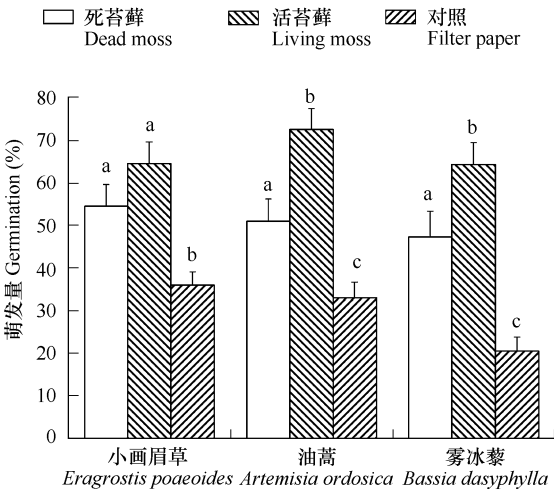


图 4 小画眉草、油蒿和雾冰藜在苔藓结皮上的萌发率

Fig. 4 Seed germination of three species on moss crusts
不同字母表示苔藓结皮有机体对植物种子萌发有显著的影响 ($P<0.05$)

A and a indicated significant differences between active and inactive moss crusts at $P<0.05$

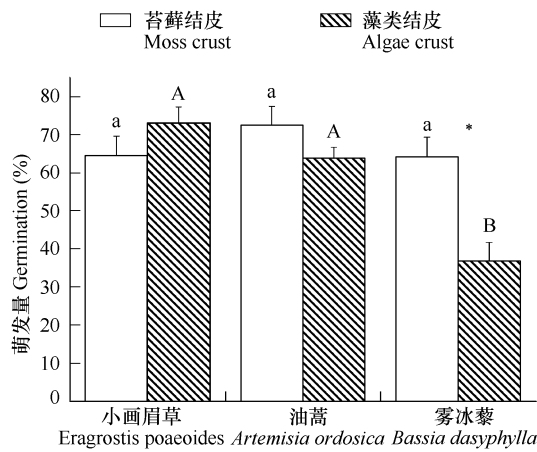


图 3 不同植物种在苔藓和藻类结皮上的萌发量

Fig. 3 Germination (%) of *Eragrostis poaeoides*, *Artemisia ordosica* and *Bassia dasyphylla* on living moss crust and living algae crusts
不同小写字母表示 3 种植物在苔藓结皮上的萌发量显著差异, 不同大写字母表示 3 种植物在藻类结皮上萌发量差异显著, * 表示在两类结皮上萌发量差异显著
Different small letters indicated significant difference on moss crust at $P<0.05$, different capital letters indicated significant difference on algae crust at $P<0.05$ and * indicated significant difference on moss crust and algae crust $P<0.05$

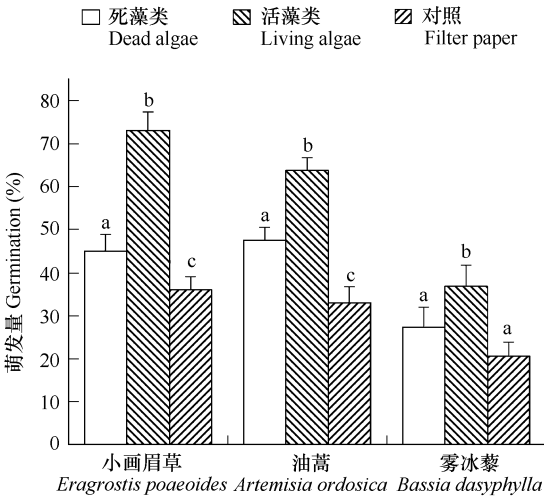


图 5 小画眉草、油蒿和雾冰藜在藻类结皮上的萌发率

Fig. 5 Seed germination of three species on algae crusts
A and a 表示藻类结皮有机体对植物种子萌发有显著的影响 ($P<0.05$)

A and a indicated significant differences between active and inactive algae crusts at $P<0.05$

5.1 结皮年龄与类型对种子萌发的影响

本研究表明,不同年龄的结皮对种子萌发的影响相同。苔藓结皮和藻类结皮的出现均有利于维管束植物种子的萌发。一些研究表明,生物结皮与维管束植物种子萌发的关系取决于种子的大小和形态特征^[19-20],本研究中,油蒿(16.8 ± 0.37) mg/1000 seeds)和雾冰藜(17.2 ± 0.051) mg/1000 seeds)都是小种子植物,与大种子植物相比,它们与土壤具有较大的接触面积,并且,小种子植物更容易散落在苔藓花梗或是低洼的微生境,这种生境为种子的萌发提供湿润的环境,促进了种子的萌发。

Serpe^[21]研究了不同长度苔藓花梗对4种植物(*Festuca idahoensis*, *Elymus. wawawaiensis*, *Bromus. tectorum*, *Festuca. ovina*)种子萌发的影响,其结果表明,4种植物在长花梗结皮上的萌发量均最高,可能是由于水分的原因——长花梗苔藓有较高的含水量。在研究中,不同年龄苔藓结皮的花梗长度也存在显著地差异($P < 0.05$),24、41、49龄和自然区苔藓花梗长分别是(3.2 ± 0.75) mm, (9.1 ± 1.04) mm, (10.5 ± 4.08) mm, (21 ± 5) mm,由于不断的在苔藓表面洒水,原先位于苔藓表面的部分种子逐渐的掉入花梗中,这些种子可能位于更加湿润的微环境,吸收更多的水分,促进了它们的萌发。

虽然有一些研究强调藻类结皮对维管束植物种子萌发的影响,但是关于影响机理的研究却很少有报道。Sylla^[22]的实验室研究表明,在干旱区,植物的根不能穿过结皮层到达土壤层,因此,他认为在干旱区,藻类结皮的存在抑制了维管束植物种子萌发。相同的机理也被 McIlvanie^[9]发现。

胡春香等^[23]对沙坡头人工植被区藻类结皮垂直分布的研究表明,沙坡头藻类结皮分为3层,最上层是无机矿物层,主要由直径小于0.02 mm的矿物颗粒组成,中间是富藻层,最下层是疏藻层。研究表明,与滤纸相比,植物种子在藻类结皮上的萌发量显著的高,说明矿物成分和藻类的存在没有抑制维管束植物种子萌发,至少对于所研究的植物种是这样的。

5.2 结皮活性对种子萌发的影响

本研究表明,除了小画眉草在活苔藓和死苔藓上的萌发量没有差异外,其余植物种在活苔藓上的萌发量均显著高于死苔藓。与本研究不同的是,以往的研究表明,结皮活性抑制了维管束植物种子的萌发^[16-20]。小画眉草的种子与其余两种植物种子相比显著的小,所以它们更加容易掉入苔藓层,光的改变可能会对种子的萌发产生影响,另一方面,死苔藓的表面更加平滑、湿润,这也可能是两者之间没有差异的一个原因。

本研究不能确切的说明它感作用的存在。研究中的藻类结皮主要由蓝细菌组成^[23],许多研究表明,蓝细菌的代谢物可以产生它感作用^[5,15,24],一些研究者发现这些代谢物对种子的萌发有抑制作用,本文作者的研究表明这些物质的存在促进了3种植物的种子萌发。苔藓对种子萌发也可能存在它感作用,并且对这方面的研究结果存在争议。Van Tooren^[25]对两种植物种子萌发的研究表明,两种植物的萌发受它感化合物的调节。然而,Equihua and Usher^[26]认为苔藓的分泌物对*Calluna*种子的萌发没有影响。本研究表明苔藓的代谢物显著提高了油蒿和雾冰藜种子的萌发,对于小画眉草种子的萌发不能做出确切的判断,主要是由于以上所提到的不确定因素。

5.3 野外观测与实验室研究的比较

长期的野外观测表明,沙坡头3种固沙植物种油蒿、花棒和柠条在经过近50a的演变后,油蒿得到了很好地更新而花棒和柠条却逐渐衰退^[27]。其中一个原因是,结皮的出现将有限的水分拦截在结皮表面,深根系植物得不到水分补给而死亡^[13];另外一个原因可能是柠条(3575 ± 336) mg/1000 seeds)和花棒(3586 ± 139) mg/1000 seeds)是大种子植物,并且它们没有特殊的渗透结构,在平均年降雨量仅有186.5 mm的沙坡头地区,它们不能得到很好地更新。这一点在野外的观测中亦得到了证实,降雨不久,在生物土壤结皮存在的地表,柠条和花棒的幼苗在结皮表面不萌发而油蒿的幼苗却出现在结皮表面。

在极端干旱的沙漠地区,小种子植物可能会被苔藓所覆盖,降低了水分的蒸发,种子获得足够的湿度刺激了萌发。除此之外,结皮间的小缝隙有利于小种子植物的捕获,为它们提供了安全点^[28-29]。

对于大种子植物,凋落物可能对它们来说更加重要,凋落物的覆盖使得它们获得更多水分而促进种子

萌发^[30] ,在沙坡头地区 ,由于植物盖度不足 1% ,有限的地面凋落物使得大种子植物的萌发更加困难。

总之 ,本研究表明 ,在实验室条件下 ,生物结皮的出现促进了油蒿、小画眉草和雾冰藜种子的萌发。然而 ,更多的野外与室内实验需要调查生物结皮促进种子萌发的机理。

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 :Monsen S. B. , and S. G. Kitchen , eds. *Proceedings-Ecology and Management of AnnualRangelands*. General Technical Report INT-GTR-313. USDA Forest Service ,Intermountain Research Station ,Ogden ,UT. , 1994. 179 —185.

[3] Belnap J and Lange O L. *Biological Soil Crusts :Structure ,Function ,and Management*. Berlin :Springer ,2003. 281 —286.

[4] Harper K T and Marble J R. A role for non-vascular 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 and Bornkamm R. Effects of microbiotic soil surface crusts on germination of vascular plants. *Plant Ecol.* ,2000 ,150 :65 —75.

[6] Beymer R J and 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. Influence of variation of soil spatial heterogeneity on vegetation restoration. *Science in China Ser. D Earth Sciences* ,2005 ,48 (11) :2020 —2031.

[9] McIlvanie S K. Grass seedling establishment and productivity overgrazed vs. protected range soils. *Ecology* ,1942 ,23 :228 —231.

[10] Kleiner E F and Harper K T. Soil properties in relation to cryptogamic groundcover in Canyonlands National Park. *J. Range Manage* ,1977 ,30 :202 —205.

[11] Belnap J ,Büdel B and Lange O L. Biological soil crusts :Characteristics and distribution. In :*Biological Soil Crusts :Structure ,Function and Management*. Berlin :Springer ,2003. 3 —30.

[12] Li X R ,Jia X H ,Long L 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 and Soil* ,2005 ,277 :375 —385.

[13] Li X R ,Zhang J G and 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 Sinica* ,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] Manuela Z . Effects of bryophytes and lichens on seedling emergence of alvar plants :evidence from greenhouse experiments. *Oikos* ,2000 ,88 :603 —611.

[17] Eldridge D J. Cryptogams ,vascular plants ,and soil hydrological relations :some preliminary results from the semiarid woodlands of eastern Australia. *Great Basin Nat.* ,1993 ,53 :48 —58.

[18] Belnap J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah ,USA. *Biol. Fert. Soils* ,2002 ,35 :128 —135.

[19] Christine V H. Effects of biological soil crusts on seed germination of four endangered herbs in a xeric Florida shrubland during drought. *Plant Ecology* ,2004 ,170 :121 —134.

[20] Zaddy E ,Gutterman Y ,Boeken B. The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus* ,*Reboudia pinnata* ,and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crust from the Negev Desert. *Plant Soil* ,1997 ,190 :247 —252.

[21] Serpe M ,Orm J ,Barkes T ,Rosentreter R. Germination and seed water status of four grasses on moss-dominated biological soil crusts from arid lands. *Plant Ecol.* ,2006 ,185 :163 —178.

[22] Sylla D. Effect of microphytic crust on emergence of range grasses. MSc Thesis ,School of renewable natural resources. The University of Arizona.

1987.

[23] Hu C X , Zhang D L , Huang Z B , Liu Y D. The vertical microdistribution of cyanobacteria and green algae within desert crusts and the development of the algal crusts. Plant Soil ,2003 ,257 :97 — 111.

[24] Geesey G , Jang L. Extracellular polymers for metal binding. In : Ehrlich , H. L. , Brierley , C. L. eds. Microbial mineral recovery. McGraw-Hill , New York , 1990. 223 — 247.

[25] Van Tooren B F. Effects of a bryophyte layer on the emergence of seedlings of chalk grassland species. Acta Oecol. , 1990 , 11 : 155 — 163.

[26] Equihua M , Usher M B. Impact of carpets of the invasive moss *Campylopus introflexus* on *Calluna vulgaris* regeneration. J. Ecol. , 1993 , 81 : 359 — 365.

[27] Zhang J G , Zhou H Y , Wang X P , Li X R , Wang G. Physio-ecological Characteristics of Annual Plants in Shapotou Region. J. Desert Research , 2002 , 22 (4) : 350 — 353.

[28] Chartres C J , M cher H J. The effects of fire on the surface properties and seed germination in two shallow monoliths from a rangeland soil subjected to stimulated raindrop impart and water erosion. Earth Surf Proc Landforms , 1989 , 14 : 339 — 417.

[29] Gutterman Y. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. Bot Rev. , 1994 , 60 : 373 — 249.

[30] Evans R A , Young J A. Microsite requirements for downy brome (*Bromus tectorum*) infestation and control on sagebrush rangelands. Weed Sci. , 1984 , 32 : 13 — 17.

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

[27] 张景光 , 周海燕 , 王新平 , 李新荣 , 王刚. 沙坡头地区一年生植物的生理生态特性研究. 中国沙漠 , 2002 , 22 (4) : 350 ~ 353.