

doi:10.13866/j.azr.2017.06.16

生物结皮对荒漠草本植物群落结构的影响^①

庄伟伟¹, 张元明²

(1. 新疆师范大学生命科学学院,新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室,
干旱区植物逆境生物学实验室,新疆 乌鲁木齐 830054;
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所干旱区生物地理与生物资源重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过人工去除生物结皮试验,分析古尔班通古特沙漠生物结皮对常见荒漠草本植物群落结构的影响。根据人为去除生物结皮的试验结果,结合生物结皮对种子萌发、幼苗存活以及土壤养分和水分等影响,综合分析生物结皮对草本植物多样性的影响。结果表明:尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum*)、条叶庭荠(*Alyssum linifolium*)、琉苞菊(*Hyalea pulchella*)、荒漠庭荠(*Alyssum desertorum*)及旱麦草(*Eremopyrum triticeum*)的生物量总和占总生物量的90%以上,是该沙漠的优势草本植物。去除生物结皮后,草本植物的植被高度、物种丰富度和多样性指数都显著提高;但是,植被盖度、密度和群落生物量却显著降低。说明生物结皮的存在改变了古尔班通古特沙漠南缘荒漠草本植物的群落结构,植被盖度和群落生物量提高,这对于防风固沙、稳定沙面具有重要的生态意义。

关键词:生物结皮;草本植物;植物多样性;群落结构;生物量;古尔班通古特沙漠

准噶尔盆地分布着我国第二大沙漠——古尔班通古特沙漠,在这一生态系统中,分布有数量较大的草本植物,这些植物对维持古尔班通古特沙漠的稳定具有重要作用^[1-2]。在这些草本植物之间覆盖着发育良好的由藻类、地衣和苔藓植物等形成的厚2~5 cm的生物结皮,其覆盖度可达70~80%^[3-4]。它们是古尔班通古特沙漠中除种子植物以外,稳定沙丘表面的重要生物因子^[2,5]。由于生物结皮可对土壤、植物种子萌发、生存和繁殖特性产生重要影响,从而影响种子植物多样性^[6-7]。生物结皮是判断干旱、半干旱地区土壤表面状况的指示物和生态系统评价的重要指标^[5],是荒漠地区植被演替的重要基础^[7]。然而,由于研究区域不同、生物结皮物种构成的复杂性和生物结皮对植物种子萌发、生存等的结论差异^[8-9],不利于我们全面理解生物结皮对种子植物多样性的影响。此外,在区域植物水平尺度上,生物结皮的存在对植被的稳定性和可持续发展有何影响却鲜有报道^[10]。

在荒漠生态系统中,水分和养分是决定植物物种组成、多样性和生产力最主要的因素^[11-12]。荒漠生态系统是一个氮素极度匮乏的系统,生物结皮对

荒漠生态系统的养分和能量循环具有重要贡献,使得土壤基质中养分的可利用性大大提高^[12]。在过去的半个世纪,生物结皮在土壤水文和径流过程中作用也受到广泛关注。但是,由于生物结皮盖度、发育程度、区域气候状况、地表的粗糙度、土壤质地与结构的不同,生物结皮对土壤水分入渗的影响仍然处于不清晰的状态,存在争议,有待深入研究^[13-14]。目前,关于生物结皮和维管植物之间关系的研究还有待于进一步的开展,尤其是在不同的植被背景、不同的气候条件下^[15-16]。那么,在古尔班通古特沙漠,生物结皮是如何影响草本植物群落特征的呢?本文结合土壤养分和水分以及植物种子萌发、幼苗存活等情况,分析古尔班通古特沙漠生物结皮与草本植物多样性的关系,为揭示古尔班通古特沙漠潜在的植被演替方向提供科学依据。

1 试验区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于古尔班通古特沙漠南缘(44°11'~

① 收稿日期:2016-11-02; 修订日期:2017-05-05

基金项目:新疆师范大学干旱区植物逆境生物学重点实验室开放课题(XJNUSYS112017A02);国家自然科学基金(41763009);新疆维吾尔自治区自然科学基金(2016D01B049);新疆师范大学博士启动基金(XJNUBS1607);新疆联合基金项目(U1503101)和新疆维吾尔自治区百名博士引进计划(BS2016008)资助

作者简介:庄伟伟(1986-),女,博士研究生,主要从事干旱区植物生理生态方面的研究工作. E-mail: zww8611@sina.com
通讯作者:张元明. E-mail: zhangym@ms.xjb.ac.cn

46°20'N, 84°31' ~ 90°00'E)。该区域的年降水量为70 ~ 150 mm, 主要集中在春季。年平均蒸发量2 000 mm以上。干旱气候和水热配置条件, 为草本植物生长发育提供了良好的条件。在草本植物之间镶嵌着发育良好的生物结皮。生物结皮的分布对地貌部位具有较强的选择性。沙垄顶部主要是流沙或微生物占优势的结皮; 沙垄上部出现脆而易损的藻结皮, 偶见地衣结皮; 在沙垄的中下部逐渐出现发育良好、镶嵌分布的地衣、苔藓结皮, 对沙面起着明显的稳定作用^[17]。

1.2 研究方法

2011年10月(样地布设前6个月), 在古尔班通古特沙漠南缘丘间低地选择一处生物结皮发育良好的典型样地(60 m × 100 m), 样地生境较均质, 地表以地衣结皮为主。将样地四周用围栏围住, 以避免人为或者动物的干扰。2012年4月(植物落种前), 将样地随机划分为40块2 m × 2 m的样方。随机选取其中的20个样方, 用小铲子仔细地将样方中的生物结皮去除(厚度为5 ~ 8 cm)。剩余的20个样方不做任何处理, 作为完整生物结皮覆盖的样方。去除生物结皮的20个样方与完整生物结皮覆盖的20个样方随机交错分布。因此, 实验中共有20个2 m × 2 m的完整生物结皮覆盖(biocrust-intact)的样方, 20个2 m × 2 m的去除生物结皮(biocrust-removed)的样方。2014年5月底, 在40个2 m × 2 m的样方中, 随机选取10个1 m × 1 m的完整生物结皮覆盖的样方和10个1 m × 1 m的去除生物结皮的样方用作群落结构调查的样方。调查样方内草本植物的物种数、株数、高度及地上现存生物量(60 °C下烘干48 h)。

1.3 土壤水分和养分含量的测定

采集生物结皮样地和去除生物结皮样地不同土层(0 ~ 5 cm, 5 ~ 10 cm 和 10 ~ 15 cm)的土壤, 用于分析土壤水分、养分含量。采集土壤时间是依据古尔班通古特沙漠各草本植物生长期特征, 即从2014年4月7日(植物出土后约10 d, 第2对真叶出现时)开始, 2014年5月25日(植物生长达到其最大生物量并开始落种时)结束。实验期间, 每隔10 d或15 d采集1次, 共采集5次。

土壤水分含量的测定: 烘干称重法测定重量含水量。

土壤养分含量的测定: 将采集的土壤样品于85 °C烘干, 粉碎待用。测定前, 于105 °C烘干3 h, 精确

称重, 采用硫酸-高氯酸消煮法分解植物样品, 吸取适量待测液, 用凯氏定氮仪(VAP45s, C. Gerhardt Laboratory Instruments Incorporation, Bonn, Germany)测定N含量, 紫外分光光度计(752N型, 上海光学仪器厂)结合钼锑抗比色法^[18]测定P含量; 原子吸收法测定K含量^[18]。

1.4 数据处理

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD), 比较不同处理(完整生物结皮与去除生物结皮)样方之间植物多样性的差异。根据样方中物种及其植物数量, 分别计算Margalef丰富度指数(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)^[19]。公式分别为:

Margalef丰富度指数:

$$R = (S - 1) / \ln N$$

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H = 1 - \sum P_i \log_2 P_i$$

式中: S 为调查样方中种子植物总数; N 为样方中所有植物的种类总数; P_i 为第*i*种植物的株数占样方中总株数的比例。

物种多样性指标用物种丰富度(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)表示。

2 结果与分析

2.1 试验区草本植物群落的组成及密度

研究区总计有草本植物9种, 其中7种为一年生短命植物, 分属于5个科(表1)。生物结皮的存在使荒漠植物的群落结构发生了很大的改变。生物结皮样地植被总密度是81株·m⁻², 去除生物结皮后, 植被总密度明显下降, 仅为48.7株·m⁻²。生物结皮的存在没有显著影响植物种数, 生物结皮样地植物种数为7, 去除生物结皮后, 植物种数仅增加了1。生物结皮样地的优势植物是尖喙牻牛儿苗, 去除生物结皮后, 尖喙牻牛儿苗密度大大降低, 条叶庭荠代替其在群落组成中占据优势。

2.2 生物结皮对群落总生物量和常见草本植物生物量的影响

由表2可以看出, 生物结皮覆盖样方中地上部的生物量(55.98 g·m⁻²)显著高于去除生物结皮样方的产量(19.83 g·m⁻²)($P < 0.01$)。在调查样方内, 尖喙牻牛儿苗、条叶庭荠、琉璃苣、荒漠庭荠和

表 1 生物结皮覆盖与去除生物结皮样地中的植物种类及密度

Tab. 1 The plant species and densities in microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots

植物名称	科	生物结皮 覆盖样地	去除生物 结皮样地
植物种数/种		7	8
植被总密度/(株·m ⁻²)		81	48.7
尖喙牻牛儿苗	牻牛儿苗科	59.3	9.4
<i>Erodium oxyrrhynchum</i>			
条叶庭荠 <i>Alyssum linifolium</i>	十字花科	8.4	18.6
琉苞菊 <i>Hyalea pulchella</i>	菊科	2.5	2.7
荒漠庭荠 <i>Alyssum desertorum</i>	十字花科	3.3	1
旱麦草 <i>Eremopyrum triticeum</i>	禾本科	3	8.5
卷果涩芥 <i>Malcolmia africana</i>	十字花科	0	4.5
石果鹤虱 <i>Lappula spinocarpos</i>	紫草科	0	2
播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i> *	十字花科	3.5	0
白茎绢蒿 <i>Seriphidium terraalbae</i> *	菊科	1	2

注: * 表示不是短命植物。

表 2 生物结皮覆盖与去除生物结皮样方中总生物量及常见植物的地上部生物量

Tab. 2 Total biomass and the aboveground biomass of common plant species in microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots / (g·m⁻²)

植物种类	生物结皮覆盖	去除生物结皮
尖喙牻牛儿苗	39.92 **	5.37
条叶庭荠	4.57 *	6.02
琉苞菊	7.26 *	4.11
荒漠庭荠	0.84 **	0.31
旱麦草	0.84 **	2.25
地上部干物质重	55.98 **	19.83
5 种植物所占比例/%	95.44	91.07

注: * 和 ** 分别表示有生物结皮和去除生物结皮样地在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上有显著差异。下同。

旱麦草 5 种短命植物是群落地上部生物量的主要贡献者,分别占到生物结皮覆盖样方和去除生物结皮样方总生物量的 95.44% 和 91.07%。其中,尖喙牻牛儿苗生物量占到生物结皮覆盖样方生物量的 71.31%,是生物结皮样方内的优势植物。条叶庭荠生物量占到去除生物结皮样方生物量的 30.36%,是去除生物结皮样方内的优势植物。对 5 种优势植物的地上部生物量进行分析,结果表明:有生物结皮与去除生物结皮样方中 5 种植物的地上部生物量均存在显著差异 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),这反映出生物结皮的存在显著影响了短命植物的地上部生物量积累。

2.3 生物结皮对不同草本植物在群落中生物量组成的影响

生物结皮的存在改变了不同物种在样方总生物量中的比例(图 1)。与覆盖生物结皮的样方相比,去除生物结皮后,一些植物对群落总生物量的贡献表现为增加,如条叶庭荠、琉苞菊和旱麦草,分别增加了 22.19%、7.74% 和 9.85%。而尖喙牻牛儿苗对去除生物结皮样方中群落总生物量的贡献却大大降低,减少了 44.27%。但是,生物结皮的存在对荒漠庭荠在样方群落生物量中所占的比例并无显著影响。

2.4 生物结皮对草本植物多样性的影响

方差分析表明,生物结皮的存在显著影响了草本植物的覆盖度以及多样性特征(表 3)。生物结皮样方中草本植物的覆盖度显著高于去除生物结皮样地的植被覆盖度($P < 0.01$)。但是,生物结皮样方中草本植物的高度和物种丰富度指数均显著低于去

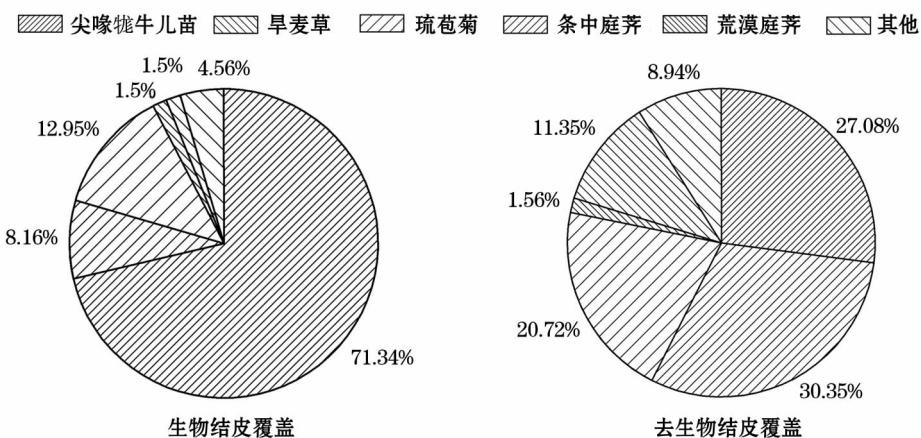


图 1 生物结皮对样地中常见植物地上部生物量在群落总生物量中的比例

Fig. 1 Proportions of the aboveground biomass and total community biomass of common plant species in microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots

表3 有生物结皮与去除生物结皮样方中草本植物多样性差异

Tab.3 Difference of herbaceous plant diversity between microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots

样地	覆盖度/%	高度/cm	丰富度(<i>R</i>)	重要值(<i>H</i>)
生物结皮覆盖	30.78 ± 2.57 **	7.75 ± 1.09 *	3.28 ± 0.95 *	0.71 ± 0.12 **
去除生物结皮	22.89 ± 3.61	11.82 ± 3.59	5.28 ± 1.49	1.44 ± 0.08

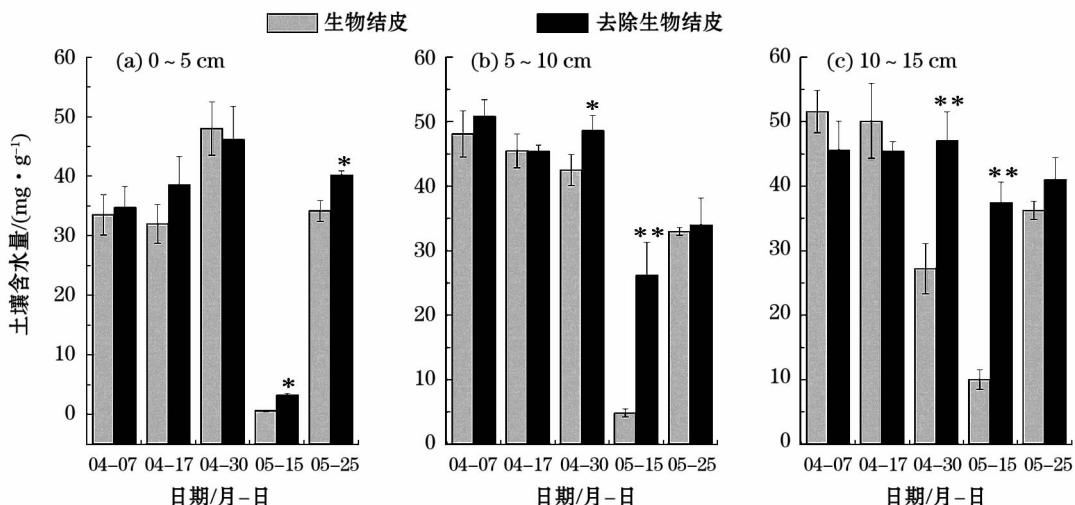
除生物结皮样方($P < 0.05$)。生物结皮样方中草本植物多样性指数*H*也低于去除生物结皮样方,且有生物结皮与去除生物结皮样方中的差异达到了极其显著水平($P < 0.01$)。

2.5 生物结皮对土壤水分和养分的影响

生物结皮区与去除生物结皮区的土壤含水量在不同土层变化一致(图2)。土壤含水量的整体趋势是在植物生长前期(4月7—30日)较高,在5月15日降到最低,随后又增高。与去除生物结皮区相比,在0~5 cm 和 5~10 cm 土层中,生物结皮区的土壤含水量在整个实验期始终较低。在10~15 cm 土层

中,生物结皮区的土壤含水量在植物生长前期(4月7—17日)高于去除生物结皮区,但是在植物生长后期(4月30日至5月25日),却是生物结皮区的土壤含水量较低。

生物结皮的存在显著影响了土壤表层的养分含量(表4)。在0~5 cm 土层中,生物结皮样方土壤中的有机物、总氮(N)、速效N和速效磷(P)均显著高于去结皮样方。在5~10 cm 土层中,生物结皮样方土壤中的总N、速效N和速效P的含量也显著高于去结皮样方。但是,在10~15 cm 土层中,生物结皮的存在并没有显著影响土壤养分含量。



注: * 和 ** 分别表示有生物结皮区与去除生物结皮区差异显著($P < 0.05$, $P < 0.01$)。

图2 生物结皮影响下不同土层的土壤质量含水量

Fig.2 Variation of soil moisture content in soil layers of 0–5, 5–10 cm and 10–15 cm in depth under the effects of soil microbiotic crust

表4 有生物结皮与去除生物结皮样方的土壤养分状况

Tab.4 Soil nutrient contents in microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots

	0~5 cm		5~10 cm		10~15 cm	
	生物结皮覆盖	去除生物结皮	生物结皮覆盖	去除生物结皮	生物结皮覆盖	去除生物结皮
有机物/(g·kg⁻¹)	3.69 ± 0.14 *	2.68 ± 0.42	1.64 ± 0.22	1.37 ± 0.18	1.39 ± 0.11	1.12 ± 0.16
全氮/(g·kg⁻¹)	0.23 ± 0.04 *	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.01 *	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.07 ± 0.01
全磷/(mg·kg⁻¹)	0.45 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.40 ± 0.03	0.38 ± 0.001	0.41 ± 0.02	0.39 ± 0.006
全钾/(mg·kg⁻¹)	12.47 ± 0.08	11.86 ± 0.82	12.29 ± 0.64	11.63 ± 0.06	12.18 ± 0.54	11.39 ± 0.44
速效氮/(mg·kg⁻¹)	9.56 ± 0.97 *	6.96 ± 1.11	8.67 ± 0.78 *	6.01 ± 0.83	6.15 ± 1.06	4.14 ± 1.05
速效磷/(mg·kg⁻¹)	6.17 ± 0.58 *	4.51 ± 0.51	4.88 ± 0.24 **	3.69 ± 0.36	3.66 ± 0.32 *	2.89 ± 0.06
速效钾/(mg·kg⁻¹)	158.6 ± 7.1	145.6 ± 20.0	149.0 ± 6.5	139.3 ± 13.6	142.6 ± 10.4	127.6 ± 16.8

3 讨论

生物结皮对种子植物多样性的影响,是由于生物结皮的存在对土壤种子库、种子萌发以及种子植物存活、营养和繁殖等特性综合影响的结果。目前研究中所用的种子类型的差别,生物结皮类型的复杂性、研究方法的差异性以及环境条件的不可比性,常常使结论产生争议^[5,20]。

研究结果发现,生物结皮的存在没有显著影响植物种数,却使草本植物的群落结构发生了很大的改变。生物结皮样地的优势植物是尖喙牻牛儿苗,去除生物结皮后,尖喙牻牛儿苗的密度大大降低,条叶庭荠代替其在群落组成中占据优势。究其原因,可能是生物结皮对种子的“筛选”作用。由于发育良好的生物结皮在表层形成坚实的“外壳”,尤其是在一些丘间低地的区域,再加上沙漠地区频繁而强大的风力作用,导致生物结皮的存在不利于种子萌发,尤其是大型种子的进入。具有大型种子的植物,其种子落在生物结皮上,因为隔离最终死亡。我们之前的研究也表明,无论在干燥还是湿润状态下,生物结皮对角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)种子的萌发都具有显著的抑制作用,说明生物结皮层特殊的坚硬紧实结构造成了种子和土壤接触的障碍^[21]。体积小或具有特殊结构的种子,则不会因为受到生物结皮的阻隔而受到影响,反而会在生物结皮提供的相对稳定的微环境中很好的生长。研究发现,温室条件下,生物结皮对具有不同附属物的荒漠植物种子萌发具有不同的影响,进而造成维管植物种子萌发的空间异质性,影响维管植物分布和多样性^[22]。Johansen^[23]的研究表明,如果种子没有特殊的穿透结构时,生物结皮的存在就会阻碍种子向深层土壤穿透,从而降低了种子在生物结皮上的萌发。只有一些具有特殊种子构造的植物,如尖喙牻牛儿苗,不会受到生物结皮阻隔的影响,它的种子具有很强的钻地功能,地衣生物结皮出现的各种裂缝有利于其种子进入土壤。

一旦这些植物进入生物结皮覆盖的土壤,生物结皮的养分便成为其生长的有利条件。因此,在古尔班通古特沙漠,尖喙牻牛儿苗成为有生物结皮样地的优势种,其植被密度高,使得生物结皮样地总植被盖度和群落生物量均显著高于去除生物结皮样地。多数研究表明,生物结皮会增加土壤表层的N、铜(Cu)、钾(K)等元素含量^[18,24],提高生物量和改

善生存条件。笔者对土壤养分含量的测定也发现生物结皮的存在显著增加了0~5 cm和5~10 cm土层的养分。对于古尔班通古特沙漠来说,沙漠腹地降水主要集中在春季,加之冬季有稳定的降雪,春季降水和积雪融水使得这期间水分相对充足,生物结皮的存在也没有显著影响土壤中的水分含量。因此,生物结皮的存在无异于养分带,可能为这些植物的种子萌发与植物体的生长提供了较丰富的有机质源,从而有利于这些植物种群的繁衍与更新^[24]。本研究结果表明,生物结皮的存在增加了草本植物总生物量的积累,这与已有的关于冷沙漠和热沙漠的研究结果相似。有研究者认为,生物结皮对植物生物量有显著的影响,藻类结皮上生长的植物,其干重是无结皮的4倍^[25]。在北极,生物结皮的存在使植被生物量增大,这些区域的土壤养分含量和温度也较高,是因为生物结皮出现而引起的^[26]。热沙漠中,在亚利桑那南部区域,McIvianie^[27]将4种植物分别种在生物结皮覆盖和去除生物结皮的土壤中,结果发现生物结皮区域植物的生物量增加了45%~300%。也有学者研究发现,生物结皮的存在不利于植物生长。Aguilar等^[28]对种子萌发30 d后的植物生物量测定认为,结皮的有无对种子植物生物量并未产生显著影响,其试验时间短可能是生物量差异不显著的原因。

生物结皮影响种子植物多样性的机理较复杂,可能是土壤有机质、养分、水分和生物活性等多种因素共同作用的结果。笔者研究发现,与去除生物结皮样地的植物相比,生物结皮样地的植被密度显著增高。此时,植物又会面临另一种危机。在一定的空间内,植物对光照、养分、水分和温度等环境因素的竞争较大,这种竞争限制了有限空间内植物的生长和发育。除了植物种间和种内的竞争,一些研究报道认为,由于养分和湿度的限制^[29],生物结皮的存在占据了维管植物生存的生境,彼此产生了竞争。在干旱区,土壤营养元素都是较为缺乏的^[30]。这更加剧了维管植物和生物结皮微生物对这些营养元素的竞争,这种竞争在一些短命植物中尤为激烈^[18]。所以,在本研究中生物结皮样地植被密度较大,但是高度却较矮,很可能就是由于上述原因造成的。也有学者发现生物结皮会导致雾冰藜(*Bassia dasypylla*)株高降低^[31]。生物结皮对植被高度的研究较为缺乏,有待于进一步研究。

4 结 论

在古尔班通古特荒漠生态系统中,生物结皮的存在显著增加了植被覆盖度、密度和群落生物量,这对于防风固沙、稳定沙面具有重要的生态意义。

参 考 文 献 (References) :

- [1] Wang X,Jiang J,Lei J, et al. Distribution of ephemeral plants and their significance in dune stabilization in Gurbantunggut Desert [J]. Journal of Geographical Sciences,2003,13(3):323 – 330.
- [2] Zhang Y M,Chen J,Wang L, et al. The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert,Northern Xinjiang,China[J]. Journal of Arid Environments,2007,68(4):599 – 610.
- [3] 吴楠,张元明,潘惠霞.古尔班通古特沙漠地衣结皮对放牧踩踏干扰的小尺度响应[J].干旱区研究,2012,29(6):1 032 – 1 038. [Wu Nan,Zhang Yuanming,Pan Huixia. Response of fungi-algae symbiotic lichen crusts to grazed livestock disturbance in the Gurbantunggut Desert [J]. Arid Zone Research, 2012, 29 (6) : 1 032 – 1 038.]
- [4] 王雪芹,王涛,蒋进,等.古尔班古特沙漠南部沙面稳定性研究[J].中国科学:D辑,2004,34(8):763 – 768. [Wang Xueqin, Wang Tao,Jiang Jin, et al. Research on dune stability in the southern Gurbantunggut Desert [J]. Science in China Series D,2004,34 (8) : 763 – 768.]
- [5] 李新荣,贾玉奎,龙立群,等.干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干进展[J].中国沙漠,2001,21(1):4 – 10. [Li Xinrong,Jia Yukui,Long Liqun, et al. Advances in microbiotic soil crust research and its ecological significance in arid and semi-arid regions [J]. Journal of Desert Research, 2001, 21 (1) : 4 – 10.]
- [6] Li X R,Jia X H,Long L Q, et al. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China) [J]. Plant and Soil,2005,277(1/2):375 – 385.
- [7] Bowker M A. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity [J]. Restoration Ecology, 2007,15(1):13 – 23.
- [8] 张元明,聂华丽.生物土壤结皮对准噶尔盆地5种荒漠植物幼苗生长与元素吸收的影响 [J].植物生态学报,2011,35(4):380 – 388. [Zhang Yuanming,Nie Huali. Effects of biological soil crusts on seedling growth and element uptake in five desert plants in Junggar Basin, Western China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2011,35(4):380 – 388.]
- [9] Kidron G J. The negative effect of biocrusts upon annual-plant growth on sand dunes during extreme droughts[J]. Journal of Hydrology,2014,508(1):128 – 136.
- [10] 李新荣,张元明,赵允格.生物土壤结皮研究:进展、前沿与展望[J].地球科学进展,2009,24(1):11 – 24. [Li Xinrong, Zhang Yuanming, Zhao Yunge. A study of biological soil crusts: Recent development, trend and prospect [J]. Advances in Earth Sciences,2009,24(1):11 – 24.]
- [11] Belén M, Ana Q, Francisco L, et al. Nitrogen-use efficiency of young citrus trees as influenced by the timing of fertilizer application [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science,2012,175 (2) :282 – 292.
- [12] Zhuang W W,Downing A,Zhang Y M. The influence of biological soil crusts on 15N translocation in soil and vascular plant in a temperate desert of Northwestern China [J]. Journal of Plant Ecology, 2015,8(4):420 – 428.
- [13] Coppola A,Basile A,Wang X, et al. Hydrological behaviour of microbiotic crusts on sand dunes: Example from NW China comparing infiltration in crusted and crust-removed soil [J]. Soil and Tillage Research,2011,117(2):34 – 43.
- [14] Chamizo S,Cantón Y,Domingo F, et al. Evaporative losses from soils covered by physical and different types of biological soil crusts [J]. Hydrological Processes ,2013,27(3):324 – 332.
- [15] Godínez-Alvarez H,Morín C,Rivera-Aguilar V. Germination, survival and growth of three vascular plants on biological soil crusts from a Mexican tropical desert [J]. Plant Biology,2012,14:157 – 162.
- [16] Belnap J,Harper K T. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation,1995,9:107 – 115.
- [17] 张元明,潘惠霞,潘伯荣.古尔班通古特沙漠不同地貌部位生物结皮的选择性分布[J].水土保持学报,2004,18(4):61 – 64. [Zhang Yuanming,Pan Huixia,Pan Borong. Distribution characteristics of biological crust on sand dune surface in Gurbantunggut Desert, Xinjiang [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18 (4) : 61 – 64.]
- [18] Harper K T, Belnap J. The influence of biological soil crusts on mineral uptake by associated vascular plants [J]. Journal of Arid Environments,2001,47(3):347 – 357.
- [19] 孙儒泳,李博,诸葛阳,等.普通生态学[M].北京:高等教育出版社,1993:135 – 138. [Sun Ruyong,Li Bo,Zhu Geyang, et al. General Ecology [M]. Beijing: China Higher Education Press, 1993:135 – 138.]
- [20] Prasse R,Bornkamm R. Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants [J]. Plant Ecology,2000,150:65 – 75.
- [21] 聂华丽,张元明,吴楠,等.生物结皮对5种不同形态的荒漠植物种子萌发的影响 [J].植物生态学报,2009,33(1):161 – 170. [Nie Huali,Zhang Yuanming,Wu Nan, et al. Effects of biological crusts on the germination of five desert vascular plants with different seed morphologies [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009,33(1):161 – 170.]
- [22] 李国栋,张元明.生物土壤结皮与种子附属物对4种荒漠植物种子萌发的交互影响[J].中国沙漠,2014,34(3):725 – 731. [Li Guodong,Zhang Yuanming. Interactive effects of biological soil crusts and seed appendages on seed germination of four desert species [J]. Journal of Desert Research,2014,34(3):725 – 731.]
- [23] Johansen J R. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America [J]. Journal of Phycology,1993,29(2):110 – 147.
- [24] 张元明,杨维康,王雪芹,等.生物结皮影响下的土壤有机质分

- 异特征[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3 420 – 3 425. [Zhang Yuanming, Yang Weikang, Wang Xueqin, et al. Influence of cryptogamic soil crusts on accumulation of soil organic matter in Gurbantunggut Desert, northern Xinjiang, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3 420 – 3 425.]
- [25] Harper K T, Pendleton R L. Cyanobacteria and cyanolichens: Can they enhance availability of essential minerals for higher plants? [J]. Great Basin Naturalist, 1993, 53(1): 59 – 72.
- [26] Gold W G, Bliss L C. Water limitations and plant community development in a polar desert [J]. Ecology, 1995, 76(5): 1 558 – 1 568.
- [27] McIvanie S K. Grass seedling establishment and productivity overgrazed vs. protected range soils[J]. Ecology, 1942, 23(2): 228 – 231.
- [28] Rivera-Aguilar V, Godínez-Alvarez H, Manuell-Cacheux I, et al. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 63(1): 344 – 352.
- [29] Beymer R J, Klopatka J M. Effects of grazing on cryptogamic crusts in pinyon-juniper woodlands in Grand Canyon National Park[J]. American Midland Naturalist, 1992, 127(1): 139 – 148.
- [30] Blackburn W H. Factors influencing infiltration rate and sediment production of semiarid rangelands in Nevada[J]. Water Resource Research, 1975, 11(6): 929 – 937.
- [31] Li X R, Wang X P, Li T, et al. Microbiotic crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(3): 147 – 154.

Effect of Soil Microbiotic Crust on Plant Community in the Gurbantunggut Desert

ZHUANG Wei-wei¹, ZHANG Yuan-ming²

- (1. Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, Laboratory of Plant Stress Biology in Arid Land, College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, Xinjiang, China;
 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Biogeography and Bioresources in Arid Land, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The plant communities in the microbiotic crust-intact and microbiotic crust-removed plots in the Gurbantunggut Desert were investigated. The desert is mosaics-patched by vascular plants and soil microbiotic crust. The influence of soil microbiotic crust on seed germination, seedling survival, soil nutrient content and water distribution was firstly discussed, and then the influence of soil microbiotic crust on plant diversity was studied. The results showed that the sum of the biomass of five dominant herb species including *Erodium oxyrrhynchum*, *Alyssum linifolium*, *Hyalea pulchella*, *Alyssum desertorum* and *Eremopyrum triticeum* contributed more than 90% of the total aboveground biomass of the synusia. Compared with the microbiotic crust-intact plot, the plant height, Shannon Wiener diversity index (*H*) and species richness (*R*) were significantly increased after the microbiotic crust was removed. However, the plant density, productivity and coverage were lower than those in microbiotic crust-intact plot. These results indicated that the diversity and coverage of herbaceous plants were significantly affected by microbiotic crust. It is concluded that microbiotic crust could promote the restoration of desert ecosystem.

Key words: microbiotic crust; herbaceous plant; plant diversity; community structure; biomass; the Gurbantunggut Desert