



梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群发育格局的影响

李昌龙^{1,2,3}, 姜生秀^{2,3}, 吴昊³, 李得禄^{2,3}, 王多泽^{1,3}

(1 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 民勤 733300; 2 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室, 武威 733000; 3 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘要:通过梭梭林下黄花补血草种群调查, 研究土壤结皮发育过程中的无结皮沙地(前期 NSC1、后期 NSC2)、物理结皮沙地(前期 PSC1、后期 PSC2)和生物结皮沙地(前期 BSC1、后期 BSC2)的黄花补血草种群发育格局特征, 以揭示梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群发育的影响以及植被恢复技术。结果表明: (1) 梭梭林下土壤结皮的发育对黄花补血草的种群密度具有显著的促进作用, 在 BSC1 样地达到最大, 而对个体冠幅具有前期促进后期抑制的作用, 在 NSC2 样地达到最大, 故导致种群总盖度变化不稳定。(2) 种群个体发育值呈先增加后减小的趋势, 在 NSC2 样地达到最大; 在 NSC1-NSC2 过程中, 土壤结皮发育对种群个体发育具有促进作用, 其值逐渐增大, 而在 NSC2-BSC2 发育过程中, 土壤结皮发育对种群个体发育的抑制作用逐渐增强, 其值逐渐减小。(3) 黄花补血草种群优势级层位于较低级层, 随着土壤结皮的发育, 呈先增加后减小的趋势, 其峰值在 BSC1 样地, 而种群级层越高, 该级层的峰值则逐渐向土壤结皮发育前期移动, 其峰值在 NSC2 或 PSC1 样地。研究认为, 梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群密度具有促进作用, 但对种群内植株个体发育具有前期促进后期抑制的作用, 该结论对梭梭林下黄花补血草植被恢复具有积极的指导意义。

关键词:种群发育格局; 黄花补血草; 土壤结皮; 梭梭林

中图分类号: Q948.112⁺.3 **文献标志码:** A

Effect of Soil Crust Development on Populations Development Pattern of *Limonium aureum* under *Haloxylon ammodendron* Plantations

LI Changlong^{1,2,3}, JIANG Shengxiu^{2,3}, WU Hao³, LI Delu^{2,3}, WANG Duoze^{1,3}

(1 Gansu Minqin National Field Observation and Research Station on Ecosystem of Desertification Rangeland, Minqin, Gansu 733300, China; 2 State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei, Gansu 733000, China; 3 Gansu Desert Control and Research Institute, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the investigation of *Limonium aureum* populations under *Haloxylon ammodendron* plantations, we studied the development pattern characteristics of the populations in non-crust sand (early stage NSC1, late stage NSC2), physical crusted sand (early stage PSC1, late stage PSC2) and biological crusted sand (early stage BSC1, late stage BSC2) during the soil crusts development in order to master the influence of soil crust development on population development and the planting technology of the vegetation under *H. ammodendron* plantations. The results showed that: (1) the soil crust development had a significant promoting effect on the population density. The value reached the maximum in BSC1 plot, while it had a promoting effect on the individual crown width in the early stage and a inhibiting effect in the late stage. It reached the maximum in NSC2 plot, thus leading to the instable change of the total

population coverage. (2) The development value of population individual increased firstly and then decreased, and reached the maximum in NSC2 plot. In the development process of NSC1-NSC2 promoted the population individual development and the value gradually increased, while in the development process, NSC2-BSC2 can inhibited the population individual development and the value gradually decreased. (3) The dominant layer of the population is located in the lower layer, with the soil crust development. The value increased firstly and then decreased. The peak value is in BSC1 plot, while the higher the population layer is, the peak value gradually moved to the earlier stage, and the peak value is in NSC2 or PSC1 plot. The above analysis showed that the soil crust development promoted the population density, but it promoted the population individual development in the early stage and inhibited in the later stage. The conclusion had positive guiding significance for the establishment of the *L. aureum* vegetations under *H. ammodendron* plantations.

Key words: population development pattern; *Limonium aureum*; soil crust; *Haloxylon ammodendron* plantations

甘肃省民勤治沙综合试验站早在 20 世纪 60 到 70 年代,大面积营造人工梭梭(*Haloxylon ammodendron*)防风固沙林^[1]。经过 60 年的演变,梭梭人工林的结构和功能趋于合理,并为土壤结皮发育提供了稳定的发育环境^[2-4]。土壤结皮的发育使土壤表层的稳定性增加,并深刻影响着土壤养分、土壤水文循环以及林下植被演化,是荒漠地区植被恢复和演替的重要基础^[5-7]。在梭梭林下土壤结皮促进了黄花补血草(*Limonium aureum*)种群发育并已形成植被景观,表现出了较高的生态价值和观赏价值。目前,对黄花补血草已有大量研究^[8-11],但关于梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群发育格局影响的研究未见报道。本研究通过野外种群调查,分析土壤结皮发育对黄花补血草种群格局的影响,探讨其对种群格局的影响机理,为干旱荒漠地区梭梭林下植被恢复与防沙治沙提供理论依据。

1 研究区概况

试验地位于巴丹吉林沙漠东南缘的民勤治沙综合试验站(103°51'E,38°38'N,海拔 1 378 m),属于典型的温带大陆性荒漠气候,风大沙多,光照充足,昼夜温差大,热量丰富,年平均日照时间 2 832.1 h,年平均气温 7.6 ℃,极端低温-30.8 ℃,极端高温 40.0 ℃,无霜期 175 d;年均降雨量 113.2 mm,且大多集中在 7~9 月,占全年降水量的 73%,年均蒸发量 2 604.3 mm,干燥度 5.1,空气相对湿度年平均 47%;≥10 ℃的活动积温 3 036.4 ℃;冬季盛行西北风,全年扬沙天 59 d,其中沙尘暴 27 d,多集中在 2~5 月,年平均风速 2.5 m·s⁻¹,最大风速为 23.0 m·s⁻¹;土壤为沙土,pH 8.3,潜水埋深 16 m 以下。

2 研究方法

甘肃省民勤治沙综合试验站保护区梭梭林地,

采用空间代替时间的方法,选择土壤结皮发育过程中的典型样地无土壤结皮覆盖的沙地(前期 NSC1 和后期 NSC2)、土壤物理结皮覆盖的沙地(前期 PSC1 和后期 PSC2)、土壤生物结皮覆盖的沙地(前期 BSC1 和后期 BSC2),每个样地随机设置 3 个 10 m×10 m 的样方,调查样方内所有黄花补血草种群的株高、冠幅以及统计种群数量。

花序冠幅: $C=3.14 \times (D_1 \times D_2)/4$,其中 C 为冠幅(m²), D_1 、 D_2 为冠幅测定的长、短径(m)。种群盖度: $Cd=100 \times \sum Cn/A$,其中 Cd 为种群盖度(%), Cn 为植株冠幅(m²), A 为样方面积(m²), n 为种群数量。根据花序冠幅/花序高比值大小,判定种群个体发育程度,比值越大说明生殖分配的投入越大。以株高(0~0.1、0.1~0.2、0.2~0.3、0.3~0.4、0.4~0.5 及>0.5 m)和冠幅(0.00~0.05、0.05~0.10、0.10~0.15、0.15~0.20 m、0.20~0.25、0.25~0.30、0.30~0.35 m、0.35~0.40、0.40~0.45 及>0.45 m²)为分级标准,统计每个级别的种群数量,分析种群的内部结构。

3 结果与分析

3.1 土壤结皮发育对黄花补血草种群发育的影响

对梭梭林下土壤结皮发育过程中不同阶段发育样地的黄花补血草种群调查(表 1)发现,在土壤结皮发育对黄花补血草种群发育具有显著影响。其中对种群密度的影响显著($P<0.05$),种群密度随土壤结皮发育呈先缓慢增加后急剧减少的趋势,在 BSC1 样地达到最大,NSC2 和 PSC1、PSC2 样地次之,而 NSC1 和 BSC2 样地最小。而土壤结皮发育对平均株高的影响不显著,但对平均冠幅的影响显著($P<0.05$),呈先急剧增加后缓慢减小的趋势,其中 NSC2 样地最大,PSC2 样地次之,而 NSC1、

PSC1、BSC1 和 BSC2 样地最小。土壤结皮发育对种群覆盖度的影响显著($P<0.05$),呈先急剧增加后缓慢减小,NSC2 样地最大,PSC1、PSC2、BSC1 样地次之,NSC1 和 BSC2 样地最小。结果分析表明随着梭梭林下土壤结皮的发育,对黄花补血草的种群密度具有显著的促进作用,而对个体冠幅具有显著的抑制作用,因此导致种群总盖度变化的不稳定性。

3.2 土壤结皮发育对黄花补血草种群植株发育的影响

黄花补血草是一种多年生草本,其花序冠幅/花序高的比值越大,植株生殖发育程度越高,其生殖的资源配置越大。由图 1 可以看出,梭梭林下土壤结皮的发育对黄花补血草种群个体发育具有显著的影响,即随着土壤结皮发育,其花序冠幅/株高的比值呈现先急剧增大后缓慢减小,在 NSC2 样地达到最

大。土壤结皮发育前期 NSC1-NSC2 阶段,其比值逐渐增大,是因为种群样地土壤水分条件比较优越,从而保障了种群个体的发育程度较高。而从物理结皮的形成以及向生物结皮的演化过程中,土壤结皮发育深刻改变了土壤水分的循环过程和降水入渗的再分配,对种群个体发育的抑制作用逐渐增大,其比值逐渐减小。

3.3 土壤结皮发育对黄花补血草种群结构的影响

以株高为分级标准对梭梭林下土壤结皮发育样地黄花补血草种群的组成结构进行分析(图 2),表明 0.1~0.2、0.2~0.3 和 0.3~0.4 m 三个级层种群约占总种群的 93%~97%。随着土壤结皮的发育,各级层种群变化均呈现先增加后减小的趋势,其中 0.1~0.2 m 级层种群在 PSC1 样地最高,达 40.95%,0.2~0.3 m 级层种群为优势级层,和 0.3~0.4 m 级

表 1 梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群的影响

样地 Sample plot	种群密度 Population density/(株/m ²)	平均株高 Average height/m	平均冠幅 Average crown width/m ²	种群覆盖度 Population coverage/%
NSC1	1.3667c	0.2323a	0.1095c	14.9704d
NSC2	1.9967b	0.2373a	0.1387a	27.6923a
PSC1	2.0433b	0.2109a	0.1004c	24.3900b
PSC2	1.8500b	0.2498a	0.1197a	22.1445c
BSC1	2.3800a	0.2459a	0.1090b	25.9420b
BSC2	1.3633c	0.2122a	0.0968c	13.2032d

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。NSC1 和 NSC2 为无土壤结皮发育的前期沙地和后期沙地, PSC1 和 PSC2 为土壤物理结皮发育的前期沙地和后期沙地, BSC1 和 BSC2 为土壤生物结皮发育的前期沙地和后期沙地

Note: The different normal letters in the same column mean the significant difference at 0.05 level. NSC1 and NSC2 were early stage and late stage of non soil crust developing sands, PSC1 and PSC2 were early stage and late stage of physical soil crust developing sands, BSC1 and BSC2 were early stage and late stage of biological soil crust developing sands

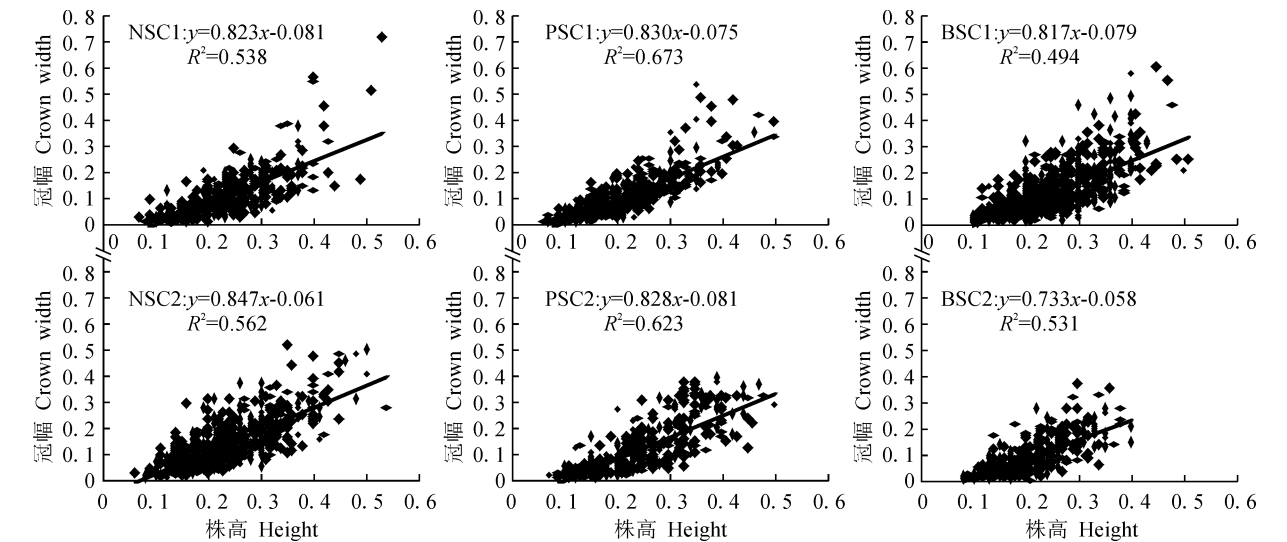


图 1 梭梭林下土壤结皮发育对黄花补血草种群冠幅与株高比值的影响

Fig. 1 Effect of soil crust development on ratio of crown to height of *L. aureum* under *H. ammodendron* plantations

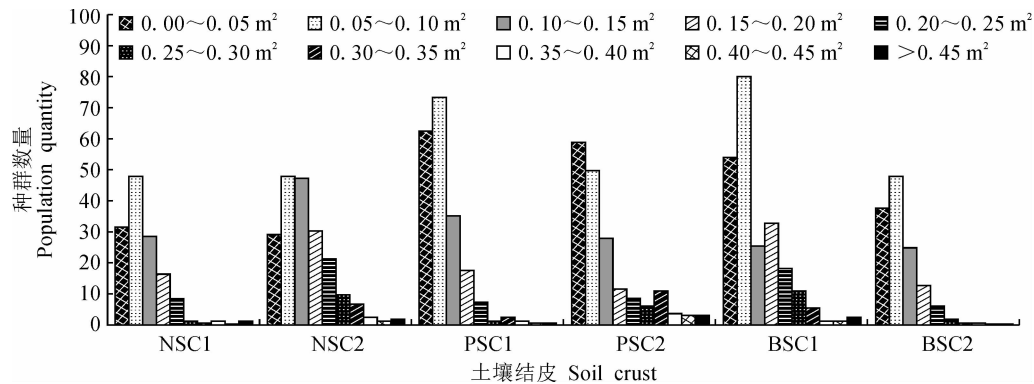


图 3 土壤结皮发育对不同冠幅梭梭林下黄花补血草种群分布的影响

Fig. 3 Effect of soil crust development on population pattern of *L. aureum* under different crown of *H. ammodendron* plantations

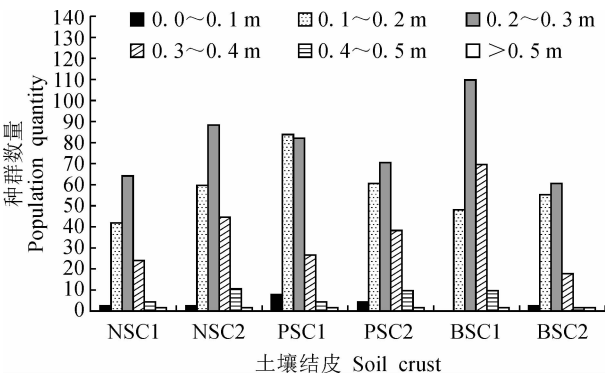


图 2 土壤结皮发育对不同株高梭梭林下黄花补血草种群分布的影响

Fig. 2 Effect of soil crust development on population pattern of *L. aureum* under different height of *H. ammodendron* plantations

~层种群一样在 BSC1 样地最高, 分别占种群的 46.44%和 29.29%。而以冠幅为分级标准进行分析表明(图 3), 0.00~0.25 m²之间 5 个级层的种群占据主导地位, 占全部种群数量的 84%~98%, 而且随土壤结皮发育均呈现先增加后减小的变化规律。其中 0.00~0.05 m²级层种群在 PSC1 样地达到最大, 占种群的 30.78%, 而 0.05~0.10 m²级层种群为优势级层, 种群在 BSC1 样地达到最大, 占 34.04%, 而 0.10~0.15、0.15~0.20 和 0.20~0.25 m²级层在 NSC2 样地达到最大。以上分析表明, 黄花补血草种群优势级层位于较低级层, 随着土壤结皮的发育, 呈先增加后减小的趋势, 其峰值在 BSC1 样地, 而种群级层越高, 该级层的峰值则逐渐向土壤结皮发育前

期移动, 其峰值在 NSC2 或 PSC1 样地。

4 讨 论

在干旱荒漠地区, 土壤水分是影响植物种群发育的限制因子^[12-14], 而土壤结皮发育对沙地土壤水分循环和降水再分配有着显著的影响^[15-20], 因此土壤结皮发育对土壤种子萌发和植物种群发育具有至关重要的作用^[21-24]。土壤结皮发育导致土壤表层的稳定性逐渐增加, 对增加土壤种子具有积极的促进作用, 以及土壤结皮层对降水具有拦截和蓄积作用, 促进了土壤种子的萌发和种群密度的增大。但土壤结皮发育对降水的深层入渗具有抑制作用, 土壤结皮发育程度越高, 降水的深层入渗量越少, 从而导致种群个体发育程度逐渐降低。

梭梭林下土壤结皮的发育对黄花补血草种群密度具有显著的促进作用, 在生物结皮发育前期 BSC1 达到最大, 对平均株高没有显著影响, 而对平均冠幅有显著的抑制作用, 在无结皮沙地后期 NSC2 植株发育程度较高, 之后逐渐降低。由于受种群密度的逐渐增大和植株冠幅的逐渐减小的双重影响, 导致种群总盖度在 NSC1 前期和 BSC2 后期较低, 而中间呈高位的波动性变化趋势。黄花补血草个体发育程度呈先增加后逐渐减小, 在 NSC2 后期发育程度最高。而对黄花补血草种群发育具有前期促进和后期抑制的作用, 种群优势级层的峰值在 BSC1 样地, 而种群级层越高, 其峰值则逐渐向土壤结皮发育前期移动, 其峰值在 NSC2 或 PSC1 样地。

参考文献:

[1] 马全林, 王继和, 朱淑娟. 降水、土壤水分和结皮对人工梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 林的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5 057-5 067.
MA Q L, WANG J H, ZHU S J. Effects of precipitation, soil water content and soil crust on artificial *Haloxylon ammodendron* forest[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5 057-5 067.

[2] 乔 宇, 徐先英, 付贵全, 等. 民勤绿洲边缘不同年代土壤结皮特性及对水文过程的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 1-6.
QIAO Y, XU X Y, FU G Q, et al. Characteristics of soil

crusts of different development years and their impact on soil hydrological processes in Minqin oasis fringe[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, **29**(4): 1-6.

[3] 乔宇,徐先英. 干旱荒漠区物理结皮的土壤水文效应[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(7): 206-211.

QIAO Y, XU X Y. Soil-hydrological effects of physical crusts in arid desert region[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, **31**(7): 206-211.

[4] 杨利云. 甘肃民勤半荒漠地区人工藻结皮的固沙效果研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2017.

[5] 杨东东,赵伟,陈林,等. 人工柠条林生物土壤结皮地表水文效应的季节转换[J]. 西北植物学报, 2018,**38**(7): 1 349-1 356.

YANG D D, ZHAO W, CHEN L, *et al.* Seasonal conversion of the effects of biological soil crusts on surface hydrology in the artificial *Caragana intermedia* shrub lands[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(7): 1 349-1 356.

[6] 王莉,秦树高,张宇清,等. 生物土壤结皮对毛乌素沙地油蒿群落土壤水分的影响[J]. 北京林业大学学报, 2017,**39**(3): 48-56.

WANG L, QIN S G, ZHANG Y Q, *et al.* Influence of biological soil crusts on soil moisture in *Artemisia ordosica* community in Mu Us Desert, northwestern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, **39**(3): 48-56.

[7] 余海龙,赖荣生,黄菊莹,等. 生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育过程中的作用述评[J]. 江苏农业科学, 2015,**42**(9): 350-353.

YU H L, LAI R S, HUANG J Y, *et al.* Review on the role of biological soil crust in the occurrence and development of shrub sand pile[J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2015, **42**(9): 350-353.

[8] 尤佳,王文瑞,卢金,等. 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[J]. 生态学报, 2012,**32**(12): 3 825-3 833.

YOU J, WANG W R, LU J, *et al.* Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte *Limonium aureum* L. Hill[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2012, **32**(12): 3 825-3 833.

[9] 姜生秀,李昌龙,李得禄,等. 不同灌溉量对黄花补血草生物量的影响[J]. 北方园艺, 2018,(3): 150-153.

JIANG S X, LI C L, LI D L, *et al.* Studies on chloroplast functional genome of common *Limonium* plants in China[J]. *Northern Horticulture*, 2018,(3): 150-153.

[10] 李得禄,李昌龙,张芝萍,等. 补血草属3种植物种子萌发对盐胁迫的响应[J]. 种子, 2014,**33**(9): 79-83.

LI D L, LI C L, ZHANG Z P, *et al.* Response of seed germination of three *Limonium* to salt stress[J]. *Seeds*, 2014, **33**(9): 79-83.

[11] 张芝萍,李昌龙,李得禄,等. 不同立地条件下黄花补血草种群生长、繁殖与土壤水分的差异[J]. 水土保持通报, 2015, **35**(4): 268-270.

ZHANG Z P, LI C L, LI D L, *et al.* Differences of population growth, reproduction of *Limonium* and soil moisture under different site condition[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, **35**(4): 268-270.

[12] 王夏楠. 植物群落对土壤水分变化的响应机理研究[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2015.

[13] 牛纪苹. 典型荒漠植物生长对沙漠表层人工固结层的响应研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.

[14] 宋光,李新荣,回嵘,等. 沙区生物土壤结皮对外来植物种子萌发的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2017, **53**(4): 521-525, 533.

SONG G, LI X R, HUI R, *et al.* Physical effect of biological soil crusts on germination of exotic species in the desert[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2017, **53**(4): 521-525, 533.

[15] 曲娜,闫德仁,郭城峰,等. 库布齐沙漠藻类结皮层表面裂隙对水分蒸发的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2018, **44**(1): 29-32.

QU N, YAN D R, GUO C F, *et al.* Effects of surface cracks of algae crust on water evaporation in Kubuqi Desert[J]. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science Technology*, 2018, **44**(1): 29-32.

[16] 石薇,王新平,张亚峰. 腾格里沙漠人工固沙植被区浅层土壤水分对降水和生物结皮的响应[J]. 中国沙漠, 2018, **38**(3): 600-609.

SHI W, WANG X P, ZHANG Y F. Response of shallow soil moisture to precipitation and biological crust in artificial sand-fixing vegetation area of Tengger desert[J]. *Journal of Desert Research*, 2018, **38**(3): 600-609.

[17] 何明珠,李新荣,张景光,等. 土壤生物结皮蒸散特征研究[J]. 中国沙漠, 2006, **26**(2): 159-164.

HE M Z, LI X R, ZHANG J G, *et al.* Evapotranspiration characteristics of soil microbiotic crusts[J]. *Journal of Desert Research*, 2006, **26**(2): 159-164.

[18] 庄伟伟,张元明. 生物结皮对荒漠草本植物群落结构的影响[J]. 干旱区研究, 2017, **34**(6): 1 338-1 344.

ZHUANG W W, ZHANG Y M. Effects of soil microbiotic crust on plant community in the Gurbantunggut Desert[J]. *Arid Zone Research*, 2017, **34**(6): 1 388-1 344.

[19] 张立恒,李昌龙,姜生秀,等. 梭梭林下土壤结皮对土壤水分空间分布格局的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, **34**(5): 17-22.

ZHANG L H, LI C L, JIANG S X, *et al.* Effects of soil crusts on the spatial distribution pattern of soil moisture under *Haloxylon ammodendron* populations[J]. *Journal of Northwest Forestry University* 2019, **34**(5): 17-22.

[20] 陈孟晨,张景光,冯丽,滕嘉玲,等. 沙坡头地区生物结皮覆盖区土壤种子库组成及垂直分布特征[J]. 生态学报, 2017, **37**(22): 7 614-7 623.

CHEN M C, ZHANG J G, FENG L, *et al.* The composition and vertical distribution characteristics of soil seed banks in soil coverage with biocrusts in the Shapotou region[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2017, **37**(22): 7 614-7 623.

[21] 邢旭明,马晓东,张元明. 古尔班通古特沙漠生物土壤结皮对土壤种子库多样性与分布特征的影响[J]. 生态学杂志, 2016, **35**(3): 612-620.

XING X M, MA X D, ZHANG Y M. Effects of biological soil crusts on soil seed bank diversity and distribution characteristics in Gurbantunggut Desert[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, **35**(3): 612-620.

[22] 苏延桂,李新荣,陈应武,等. 生物土壤结皮对荒漠土壤种子库和种子萌发的影响[J]. 生态学报, 2007, **27**(3): 938-946.

SU Y G, LI X R, CHEN Y W, *et al.* Effects of biological soil crusts on soil seed bank and seed germination of desert plants in North China[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2007, **27**(3): 938-946.

[23] 陈孟晨,张景光,刘立超,等. 生物土壤结皮对一年生植物影响研究进展[J]. 中国沙漠, 2017, **37**(3): 483-490.

CHEN M C, ZHANG J G, LIU L C, *et al.* Advances and prospects for the effects of biological soil crusts on annual plants[J]. *Journal of Desert Research*, 2017, **37**(3): 483-490.

[24] 周志彬. 生物土壤结皮对旱雀麦种子萌发与植株生长的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.