

毛乌素沙地植被类型对生物结皮及其 下伏土壤养分的影响

董金伟^{1,2}, 李宜坪⁵, 李新凯^{2,3}, 李炳垠⁴, 郭琦⁴, 卜崇峰^{2,4}

(1. 北京中邦文旅科技发展有限公司, 北京 100083; 2. 中国科学院 水利部

水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 西北农林科技大学

水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 5. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解旱区荒漠生物结皮的养分效应及其同植被灌丛间的关系, 研究以毛乌素沙地广泛分布的苔藓、藻结皮为对象, 选取4类典型植被样地, 深入探讨了植被对生物结皮及其下伏土壤的养分分布的影响。结果表明: (1) 沙蒿植被冠层下的藻结皮及其下伏土壤的全氮、全磷、有机质含量显著高于植被冠层间, 沙柳、柠条群落则为植被冠层下的相应值显著低于植被冠层间 ($p < 0.05$)。 (2) 沙蒿、沙柳、柠条3种群落的生物结皮及下伏土壤养分含量均随土层加深逐渐降低, 而草地则表现为5—10 cm土层的土壤养分显著高于上层土壤; 苔藓结皮的全氮、有机质表现为: 柠条 > 草地 > 沙柳 > 沙蒿, 苔藓结皮的全磷以及藻结皮的养分含量均表现为: 草地 > 柠条 > 沙蒿 > 沙柳。 (3) 总体上, 各类型植被下的苔藓及藻结皮均能够显著增加表层0—10 cm土壤的养分含量, 且苔藓结皮的养分富集作用优于藻结皮。

关键词: 毛乌素沙地; 生物结皮; 植被类型; 养分特征

中图分类号: S154

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)02-0112-06

Effects of Vegetation Types on Biocrusts and the Underlying Soil Nutrients in Mu Us Sandland

DONG Jinwei^{1,2}, LI Yiping⁵, LI Xinkai^{2,3}, LI Bingyin⁴, GUO Qi⁴, BU Chongfeng^{2,4}

(1. Beijing Zhongbang Wenlv Technology Development Co., Ltd., Beijing 100083, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, China Academy of Science, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Institute of Soil and Water

Conservation, Chinese Academy Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

5. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to understand the nutrient effect of desert soil biocrusts and its relationship with shrub vegetation, this study focused on moss and algal crusts widely distributing in the Mu Us Sandland. Typical plots of four types of vegetation were selected and the effects of vegetation types on the distribution of nutrients of biocrusts and underlying soil were discussed in detail. The results showed that: (1) nutrients in algae crusts and underlying soil under the canopy of *Artemisia ordosica* were higher than those between the canopy, the corresponding values under the canopy of the *Salix* and *Caragana* communities were significantly lower than those between the canopies of the vegetation types ($p < 0.05$); (2) soil nutrients in biocrusts of *Salix psammophila*, *Artemisia ordosica* and *Caragana* gradually decreased as soil depth increased, it indicated that soil nutrients in 5—10 cm soil were significantly higher than that in upper soil in grassland; the distribution of total nitrogen and organic matter in moss crust decreased in the order: *Caragana korshinskii* > grassland > *Salix* > *Artemisia*, the total phosphorus content of mossy crust and the nutrient content of algae crust decreased in the order: grassland > *Caragana* > *Artemisia annua* > *Salix*; (3) moss and algae crusts of each

收稿日期: 2018-07-02

修回日期: 2018-07-23

资助项目: 国家重点研发国际合作项目“人工促进生物土壤结皮快速固沙技术”(2016YFE0203400-05)

第一作者: 董金伟(1980—)男, 山东寿光人, 硕士研究生, 主要从事生态修复、景观设计方面的研发推广工作。E-mail: 37664147@qq.com

通信作者: 李宜坪(1994—)男, 甘肃会宁人, 硕士学位, 主要从事生物结皮方面的研究。E-mail: liyiping150@126.com

vegetation could significantly increase the nutrient contents in the 0—10 cm soil layer, and the nutrient enrichment of moss crusts was better than those of algae crusts.

Keywords: Mu Us Sandland; biocrusts; vegetation type; soil nutrients

生物结皮对极度干旱、营养物质匮乏的环境条件有很强的适应能力,能通过光合作用、生物固氮增加土壤养分^[1-3],并通过减少土壤侵蚀而减轻土壤中的养分流失。生物结皮的养分积累作用主要表现在结皮层及其下伏 0—5 cm 土层,对深层土壤的有机质、全氮及速效养分作用并不大^[4-5]。生物结皮的覆盖对植物的生长发育以及生态系统的演变具有重要的影响,能够为维管束植物的生长和定居提供有利的生存条件^[6-8,10]。反过来,维管植物能够沉积足够的黏粒和粉粒,并为结皮的生长提供适宜的水分环境^[9]。同时,植物可以减少干扰并提供遮荫条件,促进生物结皮的生长^[3]。已有研究多为植被与生物结皮的共生关系探讨^[9-10],而有关植被类型及其空间分布对生物结皮土壤养分的影响认识还十分缺乏,针对毛乌素沙地这一独特的地理单元的相关研究也鲜有报道^[5,11-12]。为此,本文选择毛乌素沙地苔藓及藻结皮发育较好的 4 种典型植被样地,探讨植被冠层对生物结皮及其下伏土壤养分特征的影响,为沙漠地区生态建设及荒漠化防治提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选择毛乌素沙地样地 12 个,散布在内蒙古自治区乌审旗南部及鄂托克前旗东北部(图 1)。毛乌素沙地(37°20′—39°23′N,107°20′—111°30′E)处于鄂尔多斯高原南部向陕北黄土高原的过渡地区。地势自西北向东南倾低,平均海拔 1 300~1 600 m。地形以丘陵、梁地、洪积—冲积台地、谷地和滩地为主。沙区大部分属于温带大陆性半干旱气候,年均温 6.0~8.5℃。年均降水量东南部为 440 mm,向西递减至 250 mm,降雨主要集中在 7—9 月,占全年总降水量的 60%~75%。年蒸发量为 1 800~2 500 mm。年均日照时数西北部为 3 000~3 100 h,东南部降至 2 800~2 900 h,太阳辐射总量从西北部的 627.6 kJ/(cm²·a)逐渐降至东南部的 577.6 kJ/(cm²·a)。≥10℃积温 2 700~3 000℃。沙区盛行风向为西北风,年平均风速 4.8 m/s,年平均大风日数 10~40 d。气候干燥、冷热剧变、大风频繁、日照强烈是该地区的主要气候特征。

毛乌素沙地沙生植被类型主要有白沙蒿(*Artemisia*

sphaerocephala)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、杨柴(*Hedysarum laeve*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙地柏(*Sabina vulgaris*)、沙柳(*Salix psammophila*)、乌柳(*Salix microstachya*),除以上集中沙生植物外在沙区东南隅还有连片的灌木丛,如小叶鼠李(*Rhamnus parvifolius*)、丝绵木(*Euonymus bungeanus*)等。

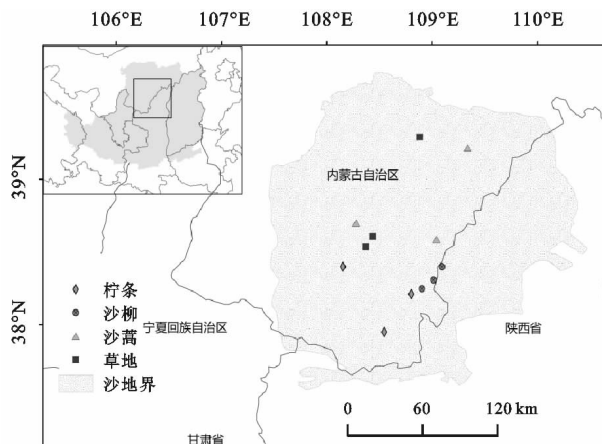


图 1 典型植被群落土壤及生物结皮采集地

1.2 研究方法

基于全面野外调查,选取沙蒿、沙柳、柠条、草地 4 类典型植被群落。每种类型植被设 3 个重复,样地大小为 30 m×30 m,样地实景如图 2 所示,样地基本情况见表 1。

试验设计见表 2,根据生物结皮类型,在每个样地内设置:主导植被冠层下方苔藓及藻结皮,植被冠层间苔藓及藻结皮,并设置裸地对照。苔藓结皮用环刀获取结皮层,并用微型土钻分层取结皮层下伏 0—5 cm,5—10 cm 土壤;藻结皮自地表以下分层取 0—5 cm,5—10 cm 土壤。均为 3 个重复,采用五点采样法取混合样,装入自封袋带回室内,土样均过 0.01 mm 筛。土壤有机质、全氮、全磷含量均采用全自动间断化学分析仪测定(CleverChem 200),每个样品均测定 3 个重复值。

1.3 数据处理与分析

试验数据采用样本均值加减 3 倍标准差识别特异值,在此区间外的数据均定为特异值,分别用正常的最大值和最小值代替,后续计算均采用处理后的原始数据。用 Microsoft Excel 2010 做整理后,采用 SPSS 19.0 统计软件及 SigmaPlot 12.5 绘图软件对试验数据进行方差分析和绘图。



图 2 研究区各群落样地实景图

表 1 4 类样地立地环境和群落特征

植被类型	海拔高程/m	坡度/(°)	优势建群种	植被盖度/%	藻结皮盖度/%	藓结皮盖度/%
沙蒿	1318	4	黑沙蒿、沙柳、花棒	69	23	12
沙柳	1190	6	沙柳、黑沙蒿、骆驼蓬	15	4	7
柠条	1264	1	黄蒿、柠条	35	3	2
草地	1280	0	草木樨、针茅草	55	8	5

表 2 试验设计

处理	立地环境	生物结皮类型	取样深度/cm
1	植被冠层间	藻类	0—5,5—10
2		苔藓	0—5,5—10
3	植被冠层下	藻类	0—5,5—10
4		苔藓	0—5,5—10
5	裸沙	—	0—5,5—10

2 结果与分析

2.1 不同植被群落生物结皮及其下伏土层的有机质分布

生物结皮可以显著增加土壤表层有机质等土壤养分的含量,且不同的植被群落中发育的生物结皮,其下伏土壤有机质等含量差异也很大^[13-14]。通过对沙柳、沙蒿、柠条群落苔藓及藻结皮的有机质含量分布分析(图 3),可知研究区典型植被群落对生物结皮及其下伏土壤的养分累积有显著影响。其中,3 类植被群落下的苔藓结皮层有机质含量显著高于下伏土层,包括草地在内的各植被群落藻结皮下伏土壤亦表现出随土层加深有机质含量下降的趋势。生物结皮的发育位置对土壤养分的累积效应也不同。沙柳冠层间苔藓结皮及藻结皮下伏土层有机质含量均显著高于冠层下($p<0.05$);沙蒿冠层下苔藓结皮层及下伏土层有机质含量也低于冠层间($p<0.05$),藻结皮则相反;柠条冠层下苔藓结皮层有机质含量显著高于冠层间($p<0.05$),而 5—10 cm 土层苔藓及藻结皮均为冠层下低于冠层间;较其他 3 种植被群落,草地苔藓结皮层有机质最低,且随着土层的加深,其有机质含量总体呈现增加的趋势,5—10 cm 土层平均为 (17.35 ± 0.31) g/kg 远高于苔藓结皮层有机质

(3.97 ± 0.10) g/kg,较之 0—5 cm 土层有机质增加了 3.97 倍,且藻结皮 0—5 cm,5—10 cm 土层有机质含量均显著高于苔藓结皮($p<0.05$)。

总体上,有机质含量表现为:苔藓结皮>藻结皮>裸土,这与生物结皮的演替规律相一致。4 种植被样地苔藓结皮有机质含量分别为:柠条(27.67 g/kg)>草地(24.81 g/kg)>沙柳(22.43 g/kg)>沙蒿(21.22 g/kg);藻结皮有机质含量则为:草地(13.61 g/kg)>柠条(12.37 g/kg)>沙蒿(9.60 g/kg)>沙柳(5.95 g/kg)。

2.2 不同植被群落生物结皮及其下伏土层的全氮分布

图 4 表明,沙柳、沙蒿、柠条 3 种植被群落下伏土壤的全氮含量均表现为随土层的加深而下降。从生物结皮发育位置来看,沙柳群落藻结皮和苔藓结皮下伏土壤全氮均为冠层间高于冠层下,冠层间苔藓结皮层全氮为 1.02 g/kg,冠层下仅为 0.45 g/kg;冠层下苔藓和藻结皮的同层下伏土壤全氮也有显著差异,0—5 cm 土壤层苔藓结皮全氮平均为 0.15 g/kg,显著高于藻结皮同土层全氮(0.13 g/kg),而 5—10 cm 土壤层苔藓和藻结皮全氮含量相当。沙蒿群落苔藓结皮表现为冠层间全氮高于冠层下,藻结皮与之相反;垂直方向上,冠层间苔藓结皮层及下伏土壤全氮均显著高于冠层下同层土壤($p<0.05$),藻结皮 0—5 cm,5—10 cm 土层全氮则表现为冠层下高于冠层间;对比冠层下苔藓及藻同层土壤全氮发现:藻结皮下伏土壤全氮均显著高于苔藓结皮($p<0.05$),冠层间 0—5 cm 土壤亦表现如此,而 5—10 cm 土壤藻结皮远低于苔藓结皮。柠条灌丛苔藓与藻土壤全氮变化表现不一:苔藓结皮层全氮为冠层下高于冠层间,0—5 cm 土层全氮冠层下(0.34 g/kg)略高于冠层间(0.32 g/kg),而 5—10 cm 土层全氮冠层下(0.22 g/kg)低于冠层间(0.35

g/kg);藻结皮下伏 0—5 cm,5—10 cm 全氮变化特征与苔藓结皮一致。草地苔藓结皮表现出不同的特征,随土层加深,苔藓结皮下伏 5—10 cm 层土壤全氮

(0.93 g/kg) 远高于结皮层(0.20 g/kg)及 0—5 cm 层土壤(0.18 g/kg),而藻结皮下伏土壤随土层加深全氮逐渐降低。

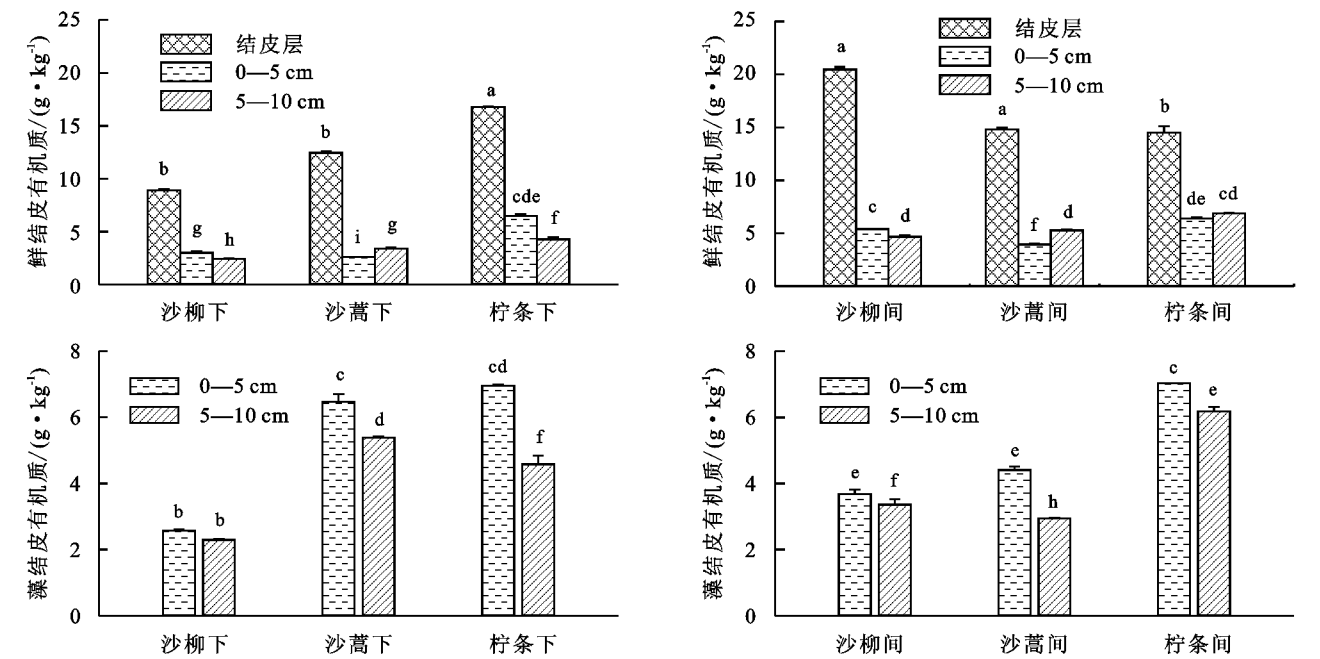


图 3 各植被样地生物结皮及下伏土壤有机质分布

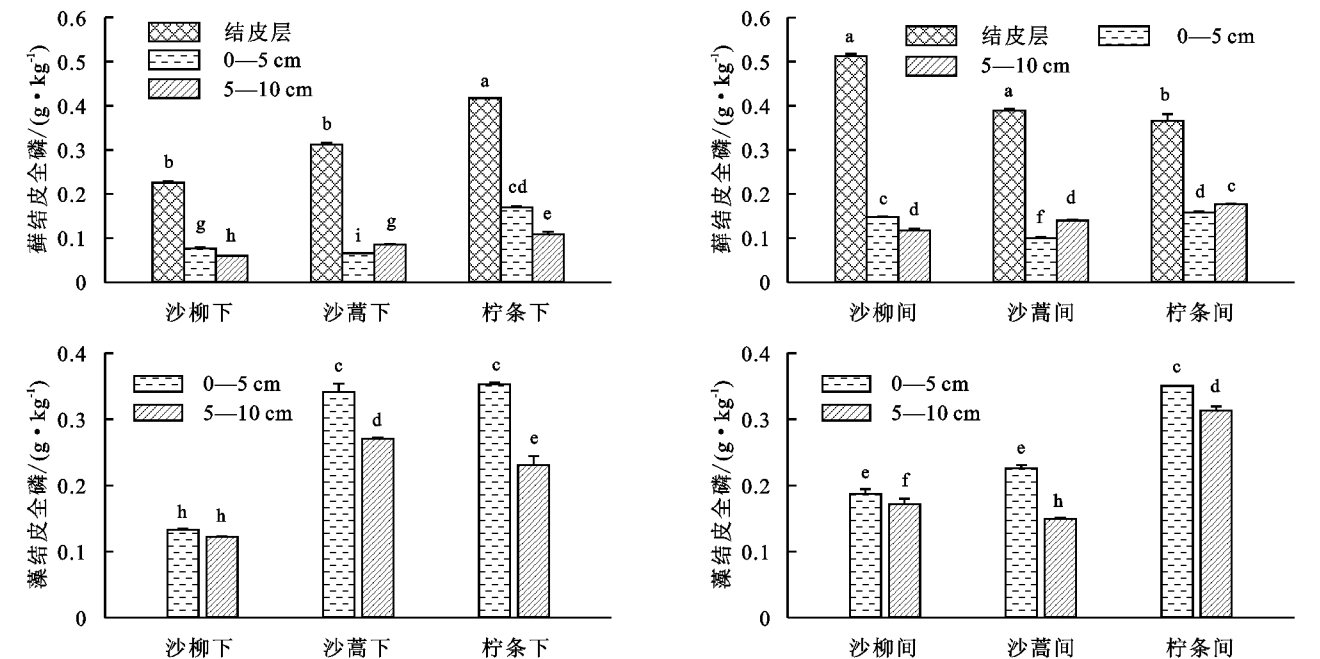


图 4 各植被样地生物结皮及下伏土壤全氮分布

总体上,全氮含量表现为:苔藓结皮>藻结皮>裸地,4种植被群落苔藓结皮土壤全氮为:柠条(1.40 g/kg)>草地(1.31 g/kg)>沙柳(1.14 g/kg)>沙蒿(1.09 g/kg);藻结皮土壤全氮为:草地(0.72 g/kg)>柠条(0.62 g/kg)>沙蒿(0.49 g/kg)>沙柳(0.31 g/kg);裸地对照全氮为:草地(0.59 g/kg)>柠条(0.41 g/kg)>沙蒿(0.30 g/kg)>沙柳(0.13 g/kg),与藻结皮表现出同样的特征。

2.3 不同植被群落生物结皮及其下伏土壤的全磷分布

杨永胜等^[15]通过研究发现,沙柳及沙蒿植被苔藓结皮均能够显著提高土壤全磷含量,且主要集中在表层土壤,改善程度同植被类型具有密切的关系。由本次研究中各植被群落苔藓及藻结皮全磷分布(图 5)可知,沙柳群落生物结皮发育位置不同其全磷变化表现不一。冠层间苔藓、藻结皮及下伏土层全磷均显著高于冠层下,冠层下苔藓结皮随土层加深,其全磷含量逐渐增加,

而冠层间表现出相反趋势。沙蒿群落苔藓和藻结皮均表现出随土层加深,其全磷含量逐渐降低;冠层间苔藓结皮层及下伏土层全磷高于冠层下,藻结皮各土层全磷含量与冠层下相当。柠条群落冠层下与冠层间藻结皮各土层全磷含量差异不显著;苔藓结皮全磷表现出冠

层下高于冠层间,冠层下随土层加深土壤全磷呈现降低的态势,而冠层间则表现为逐渐增加。草地苔藓、藻结皮土壤全磷均表现为上层土壤高于下层土壤,其中苔藓 5—10 cm 土层全磷累积量平均为 (0.90 ± 0.01) g/kg,高出 0—5 cm 土层磷素含量 3.1 倍。

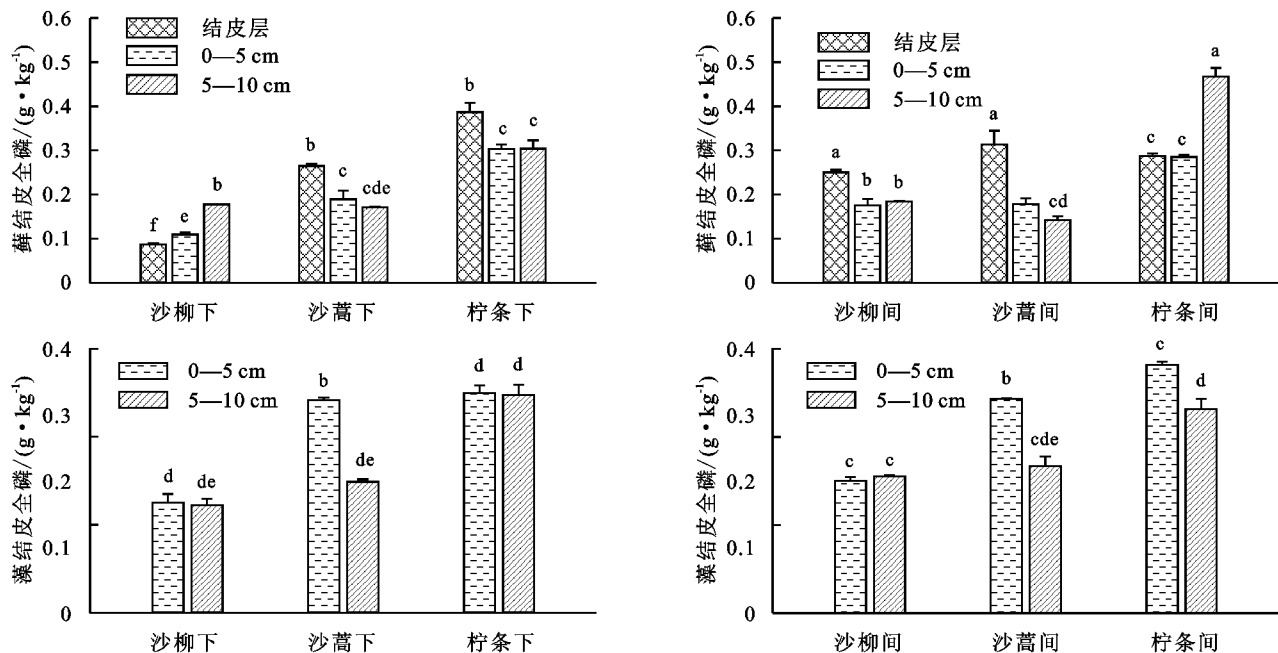


图 5 各植被样地生物结皮及下伏土层全磷分布

总体上,全磷含量表现为苔藓结皮>藻结皮>裸地对照。就苔藓结皮来说,其土壤全磷为草地(1.35 g/kg)>柠条(1.02 g/kg)>沙蒿(0.63 g/kg)>沙柳(0.49 g/kg),藻结皮土壤全磷为草地(0.55 g/kg)>柠条(0.51 g/kg)>沙蒿(0.40 g/kg)>沙柳(0.28 g/kg),裸地对照则为草地(0.54 g/kg)>柠条(0.37 g/kg)>沙蒿(0.29 g/kg)>沙柳(0.22 g/kg)。

2.4 讨论

上述结果分析显示,就生物结皮相对于植被灌丛的发育部位来说,冠层间生物结皮积累的土壤养分明显高于冠层下方,表明植被灌丛虽可为生物结皮提供较好的水分及遮荫条件,但生物结皮中苔藓等植物的存在势必与植被灌丛形成竞争关系,且植被灌丛的生长必然会消耗生物结皮积淀的碳、氮、磷等元素,而冠层间空地均在植被灌丛的根系半径之外,结皮下方的土壤养分不会被植灌根部所汲取,再者沙地结皮首先在冠层下方或冠层附近形成,然后才扩展至植物行间或空地^[6],故冠层下大多为发育初期或中期的生物结皮,而冠层间则以发育稳定期的结皮居多,其结皮层及下伏土壤的土壤养分积累更多。

已有研究表明,不同植被群落中土壤养分的垂直分布规律差异较大^[16]。本研究,除苔藓结皮的全氮、有机质外,各植被群落中生物结皮及下伏土壤养

分总体上表现为草地最高,柠条、沙蒿次之,沙柳林最低。原因是草地土壤通常容重较大,沙土含量较少,且雨季多有积水,水分条件较好,生物结皮虽覆盖度不高,但在草地土壤发育较为稳定,草本植物的生长不会消耗过多表层土壤养分,且不易受到破坏,结皮下土壤养分可以较好地累积^[17];柠条样地土壤容重同样较大,土壤中砂粒含量较少,使生物结皮可以较稳定的发育,且柠条的根系较发达,其固氮能力较强,能够对土壤起到一定的改良效果^[18];沙蒿群落土壤容重较小,砂粒含量居多,植被间受干扰踩踏较严重,导致生物结皮养分不易累积^[19];沙柳林样地植被盖度均较低,冠层间少有生物结皮发育,且土壤砂粒较多,不利于结皮层的稳定发育^[20],故土壤养分含量均较少。

3 结论

本研究表明,植被类型与冠层覆盖对生物结皮及其下伏土壤层的养分含量及剖面分布特征有着显著的影响。表现在沙柳及柠条群落冠层间苔藓、藻结皮层及其下伏土壤的全氮、全磷、有机质均高于冠层下,沙蒿群落冠层间的相应养分亦高于冠层下,而藻结皮则为冠层间低于冠层下。沿土层剖面方向,除草地表现出 5—10 cm 层土壤养分显著高于上层,其余群落生物结皮下伏土壤养分均随土层加深逐渐降低。苔

藓结皮及藻结皮的养分富集作用主要集中在表层0—10 cm层土壤,且苔藓结皮的养分富集作用优于藻结皮。据此认为,开展旱区荒漠的生态建设时,需充分考虑植被类型同生物结皮之间的互作效应,尽量实现生物结皮、植被类型之间的最优土壤养分耦合效应。

参考文献:

- [1] Bamforth S S. Water film fauna of microbiotic crusts of a warm desert[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56(3):413-423.
- [2] Belnap J, Prasse R, Harper K T. Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants[M]//Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, And Management*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2001:281-300.
- [3] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*[M]//*Ecological Studies Series 150*. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [4] 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):3420-3425.
- [5] 郭轶瑞,赵哈林,左小安,等.科尔沁沙地沙丘恢复过程中典型灌丛下结皮发育特征及表层土壤特性[J].*环境科学*,2008,29(4):1027-1034.
- [6] 赵哈林,郭轶瑞,周瑞莲,等.植被覆盖对科尔沁沙地土壤生物结皮及其下层土壤理化特性的影响[J].*应用生态学报*,2009,20(7):1657-1663.
- [7] 徐晓腾.宁夏盐池沙地土壤结皮理化性质对环境的影响及反射光谱的分析[D].北京:北京林业大学,2015.
- [8] 周小泉,刘政鸿,杨永胜,等.毛乌素沙地3种植被下苔藓结皮的土壤理化效应[J].*水土保持研究*,2014,21(6):340-344.
- [9] 薛英英.鄂尔多斯沙区沙漠生物结皮特征的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [10] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions[J]. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20:179-223.
- [11] 肖波,赵允格,许明祥,等.陕北黄土区生物结皮条件下土壤养分的积累及流失风险[J].*应用生态学报*,2008,19(5):1019-1026.
- [12] 高丽倩,赵允格,秦宁强,等.黄土丘陵区生物结皮对土壤物理属性的影响[J].*自然资源学报*,2012,27(8):1316-1326.
- [13] 潘臻.不同植被下沙地生物结皮对土壤养分的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [14] 杨晓娟,廖超英,刘莉丽,等.毛乌素沙地不同植被对土壤有机质和生物学特性的影响[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*,2012,40(3):77-83.
- [15] 杨永胜,邱永利,周小泉,等.毛乌素沙地人为干扰苔藓结皮的土壤水分和风蚀效应[J].*水土保持通报*,2015,35(1):20-24.
- [16] 史作民,刘世荣,程瑞梅.内蒙古鄂尔多斯地区4个植物群落类型的土壤碳氮特征[J].*林业科学*,2004,40(2):21-27.
- [17] 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):1338-1344.
- [18] 王莉,张强,牛西午,等.黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J].*中国生态农业学报*,2007,15(4):53-56.
- [19] 王闪闪.黄土丘陵区干扰对生物结皮土壤氮素循环的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [20] 蔡文涛,李贺祎,来利明,等.鄂尔多斯高原弃耕农田恢复过程中土壤物理性质和生物结皮的变化[J].*应用生态学报*,2017,28(3):829-837.