

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, 43(9): 350–353.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.113

生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育过程中的作用述评

余海龙¹, 赖荣生, 黄菊莹², 展秀丽¹

(1. 宁夏大学资源环境学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 宁夏银川 750021)

摘要:生物土壤结皮和灌丛沙堆是荒漠生态系统的重要组成部分。目前关于生物土壤结皮与灌丛沙堆相互作用机理的研究相对较少, 且相互影响机制目前尚无定论。就生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育过程中的作用进行述评, 认为生物土壤结皮可以显著提高土壤抗蚀性、促进土壤形成以及改善微环境等, 但对荒漠种子库储量、种子萌发和存活率, 降水入渗和截留以及灌丛植物生长等方面的影响机制存在较大争议。由于荒漠地区生物土壤结皮与灌丛沙堆存在彼此依存性, 因此阐明生物土壤结皮演替对灌丛沙堆演化过程的影响。

关键词:生物土壤结皮; 灌丛沙堆; 荒漠生态系统

中图分类号:P931.3; S157 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)09-0350-03

灌丛沙堆是指流动碎屑在灌丛阻力的影响下, 在灌丛周围沉积形成的微地形, 主要分布于干旱半干旱沙漠、半干旱半湿润沙地、沙质海岸带等地区^[1]。根据沙堆形态特征、表层土壤特性以及植被差异, 沙堆可分为锥形、发育、稳定、活化 4 个演化阶段^[2]。生物土壤结皮指微生物、藻类、苔藓、地衣等生物与其下土壤层共同组成的复合生物土壤层。从生物学角度看, 生物土壤结皮具有耐旱、耐盐碱、固碳氮能力、繁殖能力强等特点, 可广泛生存繁衍于环境恶劣的旱区环境中, 并通过其生理代谢作用影响周围的微环境^[3]。根据演替过程生物组成的差异, 生物土壤结皮可分为早期结皮、藻类结皮、地衣、苔藓结皮几个阶段^[4]。生物土壤结皮、灌丛沙堆作为荒漠生态系统的重要组成部分, 许多学者对生物土壤结皮和灌丛沙堆生物组成、演化机制、生态环境效应等进行了大量研究, 但关于两者之间的相互影响机制研究相对较少^[5-7]。本研究对生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育过程中的作用进行述评, 并提出该研究领域目前存在的一些不足, 以期对荒漠化防治、荒漠生态系统恢复与重建等提供科学指导。

1 生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育中的作用

灌丛沙堆的发生发育过程是气候、植被、风力、生物土壤结皮等自然因素和人类活动共同作用的结果, 生物土壤结皮的出现是流动沙丘向半固定、固定沙丘转化的重要标志^[8]。生物土壤结皮在灌丛沙堆发生发育过程中的影响机制主要体现在通过提高土壤团聚体稳定性、促进荒漠土壤形成、影响土壤水文过程、增加凝结水和吸附水等作用间接影响灌丛沙堆的演化过程^[9]。

1.1 生物土壤结皮对沙丘固定、退化的影响

灌丛沙堆是不稳定的地貌过程, 土壤侵蚀、结皮演替、植被覆盖变化等均会对其演化过程产生影响。生物土壤结皮对

灌丛沙堆的影响主要体现在影响土壤团聚体、抗蚀性、灌丛植物生长等方面。卜楠研究结果表明, 生物土壤结皮的抗蚀能力是物理结皮的 3~5 倍, 随着结皮的不断演替, 生物土壤结皮抗蚀能力不断增强^[10]。地衣、苔藓植物等可分泌以多糖为主的网状物质, 可以有效提高土壤团聚性、稳定性^[11-12]。风洞试验证实, 静风条件下, 结皮覆盖可显著增加防风效益^[13]。风沙流是灌丛沙堆发生发育过程的物质条件^[14]。研究表明, 结皮中的微生物、藻类在结皮无破损情况下, 25~30 m/s 以下风速均无法启动结皮层沙粒, 随藻类向地衣和苔藓结皮演替, 起沙风速逐渐增大^[15]。

1.2 生物土壤结皮对荒漠土壤形成的影响

生物土壤结皮对荒漠土壤形成的影响主要体现在其可以促进土壤颗粒细化、增加土壤养分聚集、减少养分因侵蚀而流失等方面, 进而对灌丛植物生长、沙丘演化乃至整个荒漠生态系统产生显著影响。生物土壤结皮在土壤颗粒细化方面具有显著作用。研究显示, 固定沙丘结皮层土壤黏粒含量是流动沙丘的 2.5~5.0 倍, 结皮厚度与沙丘表层土壤细粒含量正相关, 随着结皮进展演替, 结皮层滞尘能力逐步增强, 细粒含量明显增加^[16-18]。生物土壤结皮对土壤黏粒含量分布的影响主要受沙丘位置的影响, 当次降水量大于 5 mm 时, 结皮层表面容易形成径流, 将细土颗粒携带至低洼处, 增加了丘间土壤的黏粒含量^[19]。生物土壤结皮发育演替过程直接影响荒漠土壤形成过程。演替过程中, 生物土壤结皮可以捕获风沙流中粉沙或降尘, 减少降水溅蚀、径流侵蚀, 有效控制径流形成发生^[20-23], 在增加土壤系统养分输入的同时减少养分流失, 促进土壤成土。灌丛植被下结皮发育致使径流向灌丛周围汇集, 导致灌丛植物根部缺水。植物一旦死亡, 反过来会加快结皮破坏, 使得沙堆抗蚀性减弱导致逐渐解体, 使固定、半固定沙丘向流动沙丘转变^[24]。生物土壤结皮的存在使表层土壤温度变幅减小, 有利于植物种子萌发、生长以及植物对养分的吸收, 生物土壤结皮对矿物风化的促进作用是荒漠土壤形成的主要原因, 它对土壤矿物的生物侵蚀为土壤原生矿物质风化创造了有利条件, 在降低土壤粒径的同时增加了土壤养分。此外, Bowker 等认为, 植物生长反过来又促进土壤的形成^[25]。

收稿日期: 2014-09-21

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41261068, 41201087)。

作者简介: 余海龙(1979—), 男, 甘肃酒泉人, 博士, 副教授, 主要从事干旱半干旱区生态恢复与治理工作。E-mail: yhl@nxu.edu.cn。

1.3 生物土壤结皮对植物种子萌发和存活率的影响

生物土壤结皮对植物土壤种子库以及种子萌发、存活率和定居等影响巨大。关于生物土壤结皮对植物种子捕获、截留研究很多。藻类结皮导致沙丘表面趋于光滑,降低了种子的捕获、截留能力,减少种子被风、径流、动物等携带至附近有障碍物地区而损失,地衣和藓类结皮导致沙丘表层土壤的粗糙度明显增大,增加了种子的捕获量^[26]。苏延桂等研究结果亦证实,随着结皮不断演替,沙丘表层粗糙度不断增大,提高了种子的捕获能力,增加了土壤种子库储量^[27]。关于生物土壤结皮对荒漠植物种子萌发、存活率的影响,现有研究存在不同观点。一些学者认为,植物种子萌发需要一定的凋落物或土壤覆盖,生物土壤结皮在植物种子与土壤之间形成了致密的物理屏障,占据了种子的生存空间,导致种子及根系无法接触土壤^[28]。在相同水分条件下,小颗粒种子可以在结皮层缝隙中萌发,大颗粒种子萌发率、存活率明显较低^[29]。也有学者认为,生物土壤结皮具有固碳氮能力、阻挡紫外线、增加表土水分含量、提高土壤表面温度以及减少种子因风、径流等造成损失等功能,有利于种子对养分的吸收,提高了种子的萌发率和存活率。

1.4 生物土壤结皮对灌丛植物的影响

生物土壤结皮的发育演替过程深刻影响灌丛沙堆的分布、形态特征、生物量组成及演化过程。目前,关于生物土壤结皮与灌丛植物关系主要分为以下 3 种:互惠共生、竞争与排斥、中性^[30]。王新平等认为,生物土壤结皮通过光合作用、固碳氮作用、吸附降尘、凝结水等作用,显著改善了植物生存环境,提高了植物对 Mg、K、Cu、Zn 元素的吸收,减少了对 Fe 元素的吸收,特别是对土壤表层草本植物、浅根系灌木植物与隐花植物生长更有利^[31]。生物土壤结皮可显著提高土壤稳定性,增加水分在结皮土壤层的停留时间,改变沙堆土壤水分空间分布。Harper 等研究结果表明,生物土壤结皮对土壤表面化学性质的改变作用与灌丛植物组织体中主要营养元素的含量密切相关^[32]。伴随着结皮的演替,结皮层土壤有机质、N、P、K 等含量明显高于无结皮覆盖区^[33]。生物土壤结皮的发育对灌丛植物的生长存在负面影响。陈荣毅等野外调查显示,随着生物土壤结皮的厚度不断增加,灌木、草本植物覆盖度不断降低^[34]。卫伟等研究表明,结皮层土壤的持水能力为裸地的 1.4~1.6 倍,且伴随结皮演替,其拦截能力逐渐增强,导致土壤水分分布浅层化^[35]。生物土壤结皮与灌丛植物之间在光照、水肥、生境等方面存在竞争与排斥关系^[36]。生物结皮一旦形成将对微环境产生重要影响,在一定程度上抑制了植物生长。最常见的是灌丛植物因表层结皮滞留过多降水,使其无法补给地下水,根系又无法触及深层地下水而死亡^[37]。一些深根系灌丛植被如柠条、沙柳、沙枣等皆因土层干燥化而逐渐死亡^[24]。生物土壤结皮的演替与灌丛植物分布与生长没有直接关系,属于中性关系。例如,在一些土壤贫瘠、水分限制、高寒低温的严峻环境中,维管束植物无法定居繁衍,生物土壤结皮却能很好地适宜这种生境^[30]。就温带荒漠草原生态系统而言,常见的类型是生物土壤结皮发育与灌丛植物生长存在先促进后抑制关系:在结皮演替早期,藻类改善土壤微环境,对植物定居生存起到促进作用,在演替后期,藻类与植物之间存在热量、水肥、生存空间等竞争关系,导致

植物逐渐死亡,使得沙堆解体、沙丘活化。

1.5 生物土壤结皮对土壤水文过程的影响

生物土壤结皮独特的土壤水文物理特点决定了它对荒漠地区土壤微生境具有改善与促进作用。它在土壤表面发育形成一层壳状体,由于其独特的水文物理特性改变了降水入渗、地表径流、蒸发、土壤水的深层渗漏等土壤水文过程。结皮层和下伏土壤在土壤密度、孔隙度、持水性等要素上存在显著差异,这些差异导致土壤水文物理性质在土壤剖面上的不连续性,成为控制土壤水分进出的重要因素^[38]。研究证明,生物土壤结皮可以显著改变沙丘土壤水分空间分布,增加凝结水捕获,减少土壤蒸发^[39-40]。关于降水入渗和截留影响研究存在很大争议,主要包括以下几个方面:增加降水入渗、减少入渗、无影响。一些学者认为,生物土壤结皮的存在降低了水分入渗。吕昭忠等认为,生物土壤结皮具有粗糙不平的微形态,形成土壤水稳性团聚体,增加水分在地表停留时间,降低降雨入渗速度和深度^[41]。结皮移除后土壤降水入渗能力比移除前提高 3 倍^[42]。当次降水量大于 5 mm 时,随着结皮的不断演替,它对降水入渗、截留影响作用越发显著,截留能力从大到小依次为藓类结皮、地衣结皮、绿藻结皮、蓝藻结皮、流沙^[43]。国外许多学者认为,生物土壤结皮可以增加降水入渗,生物土壤结皮覆盖地表提高了表层土壤粗糙度,有效控制了地表径流形成,增加雨水在地表的停留时间,产生有利于降水入渗的因素,从而提高了降水入渗^[44]。Greene 等^[45]、Eldridge 等^[46]认为,生物土壤结皮可改善土壤物理结构,增加土壤微孔隙通道,提高降水入渗能力,并随结皮演替其促进作用越明显。有学者认为,荒漠地区影响降水入渗的主要因素是土壤物理性质、水分入渗通道以及地表侵蚀状况等,生物土壤结皮对降雨入渗的作用极为有限^[47-48]。

1.6 生物土壤结皮对灌丛“沃岛效应”的影响

在荒漠生态系统中,灌丛沙堆土壤在生物和非生物共同作用下富集于灌丛周围,使土壤养分由灌丛向外逐步递减,从而形成灌丛“沃岛”^[49]。国内外许多学者在灌丛“沃岛”效应、养分转移、演替机制及其对灌丛植物、沙丘演化的影响等方面进行了大量研究,认为生物土壤结皮作为灌丛“沃岛”效应形成的重要因素之一,它通过吸附降尘、促进土壤形成、增加土壤养分输入等作用,使得结皮层土壤肥力远高于周围及其他层次土壤^[50-51]。固沙区结皮层土壤因凋落物、微生物以及动物等作用,土壤肥力明显高于原始流沙层^[17]。生物土壤结皮显著影响土壤表层(0~5 cm)的土壤养分含量,但对较深层次土壤的影响较小^[7]。随着结皮的不断演替,土壤有机质、N、P、K 等含量与其下土壤层差异更明显^[52-53]。

2 存在问题及展望

综上所述,生物土壤结皮直接影响降雨入渗、土壤侵蚀、养分循环、种子萌发、生物多样性等生态过程,在土壤-水分-植被系统演变过程中发挥着重要功能。生物土壤结皮的形成具有发育过程复杂性、空间分布差异性,在发挥抗蚀积极作用的同时,也可能促进水分消耗、造成土壤物理干旱并导致植被过早衰败。笔者认为,目前关于生物土壤结皮、灌丛沙堆研究仍处于对其功能作用的认识阶段,生物土壤结皮对灌丛沙堆发生发育作用的研究存在以下问题:对生物土壤结皮的

空间分布特征及其与植被类型、地形地貌之间关系了解较少,缺乏对生物土壤结皮发育过程、演替特征及其与灌丛沙堆形成过程相互作用的认知。尚不清楚生物土壤结皮对降雨入渗、蒸发等土壤水文过程的影响程度,不了解土壤水文过程的改变反过来又对植物生长、植被演替以及地表景观空间异质性有什么影响。在生物土壤结皮的不同演替阶段,土壤微观结构特征变化(如孔隙数量、分布及形态等内在“真实”状况)对土壤水文过程影响的研究非常缺乏。这将很大程度上限制对生物土壤结皮生态水文功能的理解。这些问题的存在,不利于寻找恰当的措施手段来保护与利用生物土壤结皮资源,限制了侵蚀预报模型精度的提高。因此,未来研究应结合研究区域特征和技术条件,尝试通过引入显微设备、计算机、观测仪、3S等新技术,以期更直观、形象地分析生物土壤结皮在灌丛沙堆演化过程中的作用机制,掌握该区生物土壤结皮的时空发育特征。定量分析生物演替过程中土壤微观结构演变过程和机制及其对土壤水文过程的影响,有助于从形态结构方面科学明晰生物土壤结皮的生态水文功能以及荒漠植被的分布成因。定量分析生物土壤结皮在坡面水蚀、风蚀过程以及生态系统中的作用,从而为利用生物治理土壤侵蚀提供指导。

参考文献:

- [1] Nickling W G, Wolfe S A. The morphology and origin of nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa[J]. Journal of Arid Environments, 1994, 28: 13–30.
- [2] 杜建会, 严平, 俄有浩. 甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1165–1170.
- [3] Belnap J, Lange O L. Biological soil crust: structure, function and management[M]. Berlin: Springer, 2001.
- [4] 张元明, 王雪芹. 荒漠地表生物土壤结皮形成与演替特征概述[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4484–4492.
- [5] 吴玉环, 高谦, 程国栋. 生物土壤结皮的生态功能[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 41–45.
- [6] 苏永中, 赵哈林, 张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 802–806.
- [7] 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.
- [8] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 24–27.
- [9] 杨晓晖, 张克斌, 赵云杰. 生物土壤结皮——荒漠化地区研究的热点问题[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 474–480.
- [10] 卜楠. 陕北黄土区生物土壤结皮水土保持功能研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [11] 陈兰周, 刘永定, 宋立荣. 微鞘藻胞外多糖在沙漠土壤成土中的作用[J]. 水生生物学报, 2002, 26(2): 155–159.
- [12] 张元明. 荒漠地表生物土壤结皮的微结构及其早期发育特征[J]. 科学通报, 2005, 50(1): 42–47.
- [13] 王雪芹, 张元明, 张伟民, 等. 古尔班通古特沙漠生物结皮对地表风蚀作用影响的风洞实验[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 632–638.
- [14] 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.
- [15] 王雪芹, 张元明, 张伟民, 等. 生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 4153–4160.
- [16] 贾宝全, 张红旗, 张志强, 等. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1442–1448.
- [17] 肖洪浪, 李新荣, 段争虎, 等. 流沙固定过程中土壤—植被系统演变[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 605–611.
- [18] 郭铁瑞, 赵哈林, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地结皮发育对土壤理化性质影响的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 135–139.
- [19] 闫德仁, 季蒙, 薛英英. 沙漠生物结皮土壤发育特征的研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 990–993.
- [20] 胡春香, 张德禄, 刘永定. 干旱区微小生物结皮中藻类研究的新进展[J]. 自然科学进展, 2003, 13(8): 9–13.
- [21] 赵允格, 许明祥, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化性状的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 441–448.
- [22] 秦宁强, 赵允格. 生物土壤结皮对雨滴动能的响应及削减作用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2259–2264.
- [23] 倪含斌, 张丽萍, 蔡甫款. 生物土壤结皮对土壤水蚀影响的模拟试验研究[J]. 科技通报, 2012, 28(11): 216–219.
- [24] 刘冰, 赵文智. 荒漠绿洲过渡带泡泡刺灌丛沙堆形态特征及其空间异质性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2814–2820.
- [25] Bowker M A, Belnap J, Davidson D W, et al. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-lands restoration[J]. Ecological Applications, 2005, 15(6): 1941–1951.
- [26] Prasse R, Bornkamm R. Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants[J]. Plant Ecology, 2000, 150(1/2): 65–75.
- [27] 苏廷柱, 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.
- [28] 李新荣, 贾玉奎, 龙利群, 等. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 7–14.
- [29] Gutterman Y. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts[J]. The Botanical Review, 1994, 60(4): 373–425.
- [30] 李新荣. 荒漠生物土壤结皮生态与水文学研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 381–389.
- [31] 王新平, 李新荣, 潘颜霞, 等. 我国温带荒漠生物土壤结皮孔隙结构分布特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 58–62.
- [32] Harper K T, Belnap J. The influence of soil biological crusts on mineral uptake by associated vascular plants[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 47: 347–357.
- [33] 尹瑞平, 吴永胜, 张欣, 等. 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮及下层沉积物理化性质的研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 120–124.
- [34] 陈荣毅, 张元明, 潘伯荣, 等. 古尔班通古特沙漠土壤养分空间分异与干扰的关系[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 257–265.
- [35] 卫伟, 温智, 陈利顶, 等. 半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应[J]. 环境科学, 2012, 33(11): 3901–3904.
- [36] 张克斌, 卢晓杰, 李瑞. 北方农牧交错带沙地生物结皮研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 147–151.
- [37] 贾宝全, 慈龙骏, 蔡体久, 等. 绿洲—荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 203–208.
- [38] 李守中, 肖洪浪, 宋耀选, 等. 腾格里沙漠人工固沙植被区生物土壤结皮对降水的拦截作用[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 612–616.
- [39] 张静, 张元明, 周晓兵, 等. 生物结皮影响下沙漠土壤表面凝结水的形成与变化特征[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6600–6608.

杭 琼,孙凯文,时佩佩,等. 蚯蚓粪与果园底土混合培养对部分水溶性物质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):353-356.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.114

蚯蚓粪与果园底土混合培养对部分水溶性物质含量的影响

杭 琼¹, 孙凯文¹, 时佩佩¹, 承 杰², 曹雪林², 戴红卫³, 盛海君¹, 姚粉霞¹, 钱晓晴¹

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 江苏科力农业资源科技有限公司, 江苏常州 213115;

3. 南京绿航生态农业有限公司, 江苏南京 211516)

摘要:为了评估果园底层土壤与蚯蚓粪等材料合成的技术新成土(Technosol)用于园林、道路绿化、污染退化土壤修复改良的安全性,对该混合物中水溶性物质的含量变化开展研究。以猕猴桃果园底层土壤(30~60 cm)为材料,分别添加0%(CK)、5%、10%、15%、20%的蚯蚓粪,充分混合,探讨蚯蚓粪-底土混合物在培养过程中部分水溶性物质含量变化情况。结果表明:添加适量蚯蚓粪能增加该混合物中水溶性养分含量,满足作物生长对氮、磷、钾等养分的需求;过量加入蚯蚓粪会导致土壤水溶性物质含量过高,可能对作物造成一定程度的胁迫,并引起水环境污染;本试验条件下,加入5%~20%的蚯蚓粪能在一定程度上降低混合物中水溶性有机碳含量。

关键词:蚯蚓粪;底土;水溶性物质

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)09-0353-04

当前我国非农用地面积不断增加,耕地资源越来越少,生态环境、地球气候变化以及人为活动都在一定程度上给我国土地资源造成更多压力,对现有耕地进行合理利用与保护显得十分重要^[1-5]。改良果园土壤的方法很多,如传统猕猴桃

果园土壤一般采用一年生作物的管理方式,以清耕、裸露、中耕为主要手段,还包括果园生草,施用无机、有机肥料等手段^[6-10]。以往对土壤改良的研究多集中于土壤表层,关于果园底层土壤改良的研究很少。底层土壤是土表30 cm以下的土壤,也称为底土,它的特点是通气性差、氧扩散率低,不同地区、不同土壤的底土化学性质不同^[11-13]。一般而言,底土养分的有效性远低于耕层土壤,这是由于植物根从底土吸收养分,通过养分循环进入耕层土壤,且耕层大量施用化肥。底土中较高的pH值和大量的活性胶体物质能将养分固定,导致养分很难被植物根利用^[12]。当耕层的资源潜力无法利用或开发达到极限时,改良底土将成为提高农业生产力、增加粮食

收稿日期:2014-08-31

基金项目:江苏省产学研合作前瞻性联合研究项目(编号:BY2013063-09)。

作者简介:杭 琼(1990—),女,江苏张家港人,硕士,主要从事农业资源利用研究。E-mail:574171821@qq.com。

通信作者:钱晓晴,教授,主要从事环境科学研究。E-mail:xiaqingqian@163.com。

[40]王 丽,闫德仁. 生物结皮层覆盖对风沙土水分蒸发特征的影响[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2009,30(1):59-64.

[41]吕貽忠,杨佩国. 荒漠结皮对土壤水分状况的影响[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(2):76-79.

[42]Graetz R D, Tongway D J. Influence of grazing management on vegetation, soil structure and nutrient distribution and the infiltration of applied rainfall in a semi-arid chenopod shrubland[J]. Australian Journal of Ecology, 1986, 11: 347-360.

[43]李新荣,张志山,王新平,等. 干旱区土壤-植被系统恢复的生态水文学研究进展[J]. 中国沙漠,2009,29(5):845-852.

[44]West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wild land ecosystems of arid to semiarid regions[J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.

[45]Greene R S B, Chartres C J, Hodgkinson K C. The effects of fire on the soil in degraded semiarid wood land cryptogam cover and physical and micro-morphological properties[J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, 28: 755-777.

[46]Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology in a semi-arid woodland[J]. Arid Soil Research and

Rehabilitation, 1993, 7: 203-217.

[47]陈荷生. 沙坡头地区生物结皮的水文物理特点及其环境意义[J]. 干旱区研究, 1992, 9(1): 31-38.

[48]Williams J D, Dobrowski J P, West N E. Microbiotic crust influence on unsaturated hydraulic conductivity[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1999, 13(2): 145-154.

[49]刘发民,金 燕,张小军. 梭梭林“肥岛”效应的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(3): 86-88.

[50]Vinton M A, Burke I C. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in short grass steppe[J]. Ecology, 1995, 6(4): 1116-1133.

[51]白永飞,许志信,李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1215-1223.

[52]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(英文)[J]. 植物学报, 2000, 42(9): 965-970.

[53]宋 阳,严 平,张 宏,等. 荒漠生物结皮研究中的几个问题[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 439-443.