

梭梭固沙林演替过程中土壤粒径与碳氮含量的变化规律

徐高兴, 付贵全, 张雯, 邱晓娜* (甘肃省治沙研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要 以民勤沙区0、15、35、55年的人工梭梭固沙林土壤为研究对象, 采用方差分析和线性拟合的方法探讨不同年限人工梭梭固沙林土壤粒径与碳氮含量的变化规律。结果表明, 随造林年限的增加, 土壤黏粒(0.01~2.00 μm)、粉粒(>2.00~20.00 μm)、细沙粒(>20.00~200.00 μm)、有机碳(SOC)和全氮(TN)含量均明显升高且表层(0~5 cm)增加幅度较大, 粗沙粒(>200.00~2 000.00 μm)含量降低。土壤SOC与土壤TN含量呈线性正相关; 土壤SOC、TN含量与土壤黏粒、粉粒、细沙粒含量呈线性正相关, 但与土壤粗沙粒含量呈线性负相关。说明在沙区种植固沙植被有利于加速成土过程和固定碳氮。

关键词 土壤有机碳; 土壤全氮; 土壤粒径; 梭梭固沙林

中图分类号 S714.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)20-0050-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Changes of Soil Particle Size and Carbon and Nitrogen Content during the Succession of *Haloxylon ammodendron* Sand-fixing Forest
XU Gao-xing, FU Gui-quan, ZHANG Wen et al (Gansu Desert Control Reserch Institiute, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract Taking 0, 15, 35, and 55 years of artificial *Haloxylon ammodendron* sand-fixing forest soil in Minqin sandy area as the research object, the variance analysis and linear fitting methods were used to explore the variation law of soil particle size and carbon and nitrogen content of artificial *Haloxylon ammodendron* sand-fixing forest in different years. The results showed that with the increase of afforestation years, the contents of soil clay (0.01-2.00 μm), silt (>2.00-20.00 μm), fine sand (>20.00-200.00 μm), organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) were significantly increased, and the surface layer (0-5 cm) increased greatly, the content of coarse sand (>200.00-2 000.00 μm) decreased. There was a linear positive correlation between soil SOC and soil TN content, and a linear positive correlation between soil SOC, TN content and soil clay, silt, fine sand content, but a linear negative correlation between soil SOC, TN and soil coarse sand content. It showed that planting sand-fixing vegetation in sandy area was beneficial to accelerate soil-forming process and fix carbon and nitrogen.

Key words Soil organic carbon; Soil total nitrogen; Soil particle size; *Haloxylon ammodendron* forest

选取本土优良固沙植被去恢复和建立植被是防治荒漠化最有效的首选措施, 也是植物治沙的物质条件和理论基础。梭梭是我国西北地区优良的治沙造林树种, 对干旱、高温、严寒、风蚀和沙埋等胁迫具有很强的适应性, 易于繁殖, 生长迅速, 根系发达^[1]; 可作饲料, 木材可作燃料, 被称为“沙漠活煤”, 是中药材肉苁蓉的主要寄主。土壤碳氮在改善土壤质量、生态系统物质循环等方面起着重要作用。土壤圈作为陆地生态系统最大碳库, 在影响大气CO₂浓度和全球C平衡方面起重要作用, 一直是国内外研究热点^[2-9]。近年来, 基于地统计学方法对土壤全氮(TN)空间异质性及其影响因子进行了大量报道^[9-14]。干旱区土壤有机碳(SOC)和TN成为近年来的研究热点^[15-19], 相关学者通过对不同植被类型、植被恢复下不同阶段土壤SOC和TN及其影响因子进行研究, 揭示了我国在沙区广泛开展荒漠化治理对全球大气CO₂汇的贡献。

甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠之间, 该站具有不同年代的人工梭梭林固定样地, 是开展长时间序列梭梭林研究的理想场所。笔者通过野外调查分析不同固沙年限梭梭林土壤特征, 旨在阐明梭梭固沙林演替过程中土壤粒径与碳氮含量的变化规律, 为评估荒漠化地区对全球碳平衡的影响和梭梭林

的生态效益提供理论支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 研究区位于石羊河下游的甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 属温带大陆性荒漠气候, 降水稀少(约113 mm), 蒸发强烈(约2 644 mm), 地下水水位深(约23 m), 土壤类型为风沙土。研究区固沙植被以梭梭(*Haloxylon ammodendron*)为主, 分布有少量柠条(*Caragana korshins*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)和沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)等固沙灌木。

1.2 研究方法 在0、15、35、55年梭梭林固定样地内随机布设5个样方(20 m×20 m), 在每个样方内用梅花形法取土样(0~5和5~10 cm)。为便于描述, 下文0、15、35、55年梭梭林固定样地分别简称为S₀、S₁₅、S₃₅和S₅₅。土壤粒径组成用马尔文激光粒度仪(Malvern 2000)测定, 黏粒0.01~2.00 μm, 粉粒>2.00~20.00 μm, 细沙粒>20.00~200.00 μm, 粗沙粒>200.00~2 000.00 μm; 土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)含量分别用重铬酸钾氧化-油浴加热法和凯氏定氮法测定。采用SPSS进行方差分析, 采用Sigmaplot进行方程拟合和作图。

2 结果与分析

2.1 梭梭林地土壤机械组成变化规律 由图1和图2可知, 随人工梭梭林固沙年限增加, 林地0~10 cm层土壤颗粒发生了明显的变化且土壤黏粒、粉粒、细沙粒、粗沙粒含量与固沙年限可用线性方程进行描述。在时间序列上, 随固沙年限增加, 林地0~5和5~10 cm土层中黏粒、粉粒和细沙粒含量呈增加趋势, 粗沙粒含量呈下降趋势。在0~5 cm土层, 与S₀相比, S₁₅、S₃₅和S₅₅的黏粒平均含量分别增加214.29%、

基金项目 甘肃省科技厅重大项目(21ZD4FA010, 19ZD2FH001); 国家自然科学基金项目(32060373, 32060246, 32060378, 41761051)。

作者简介 徐高兴(1993—), 女, 甘肃武威人, 助理研究员, 硕士, 从事荒漠生态治理研究。* 通信作者, 助理研究员, 硕士, 从事土壤生态方面的研究。

收稿日期 2021-11-18; 修回日期 2021-12-06

414.29%和2 000.00%，粉粒平均含量分别增加 54.35%、89.49%和 577.17%，细沙粒平均含量分别增加 1.82%、83.45%和 131.45%，粗沙粒平均含量分别减少 2.34%、43.20%和 91.75%。在 5~10 cm 土层，与 S_0 相比， S_{15} 、 S_{35} 和 S_{55} 的黏粒、粉粒和细沙粒平均含量整体增加的幅度比 0~5 cm 土层小很多，粗沙粒平均含量减小的幅度也不大。在垂直剖面上，随土层深度加深，黏粒和粉粒平均含量逐渐降低，细沙粒和粗沙粒平均含量逐渐升高，同比升高的幅度与黏粒和粉粒降低

的幅度大致趋势一致。

方差分析表明，在 0~5 cm 土层， S_{55} 的黏粒和粉粒平均含量与 S_0 、 S_{15} 和 S_{35} 相比差异显著； S_{35} 和 S_{55} 的细沙粒平均含量与 S_0 和 S_{15} 相比差异显著， S_{35} 和 S_{55} 的细沙粒平均含量相比差异显著； S_0 和 S_{15} 的粗沙粒平均含量与 S_{35} 、 S_{55} 相比差异显著， S_{35} 和 S_{55} 的粗沙粒平均含量相比差异显著。在 5~10 cm 土层， S_{55} 的黏粒、粉粒、细沙粒和粗沙粒平均含量与 S_0 、 S_{15} 和 S_{35} 相比差异显著。

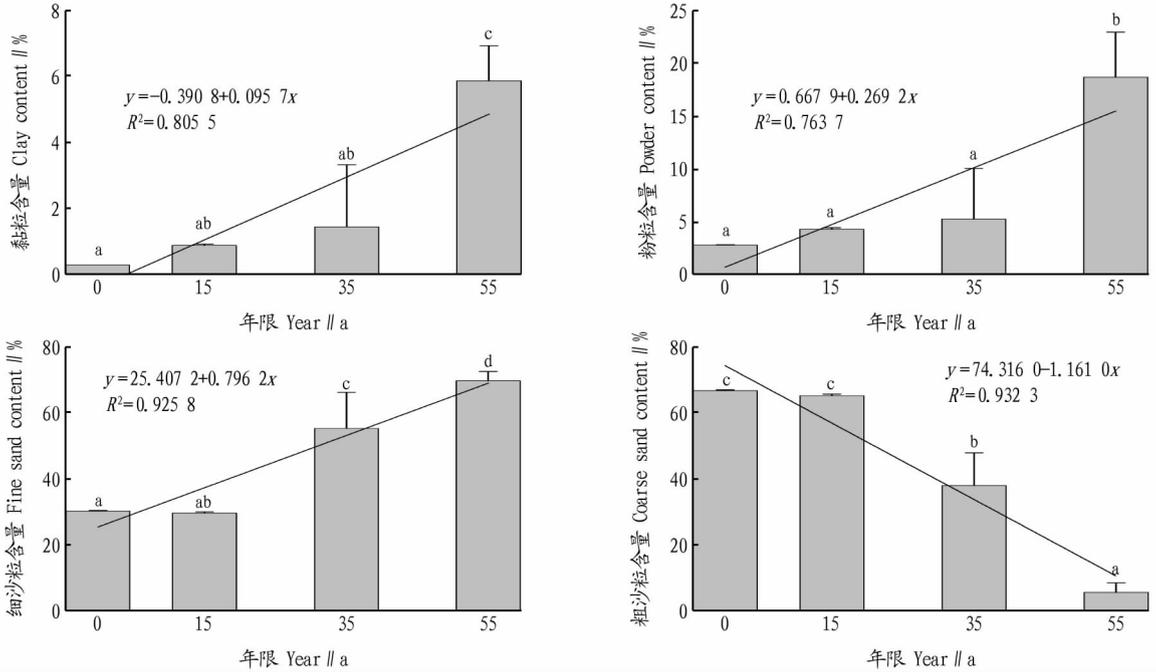


图 1 不同固沙年限 0~5 cm 土壤粒径变化规律

Fig.1 Variation rule of soil particle size in 0~5 cm soil with different sand-fixing years

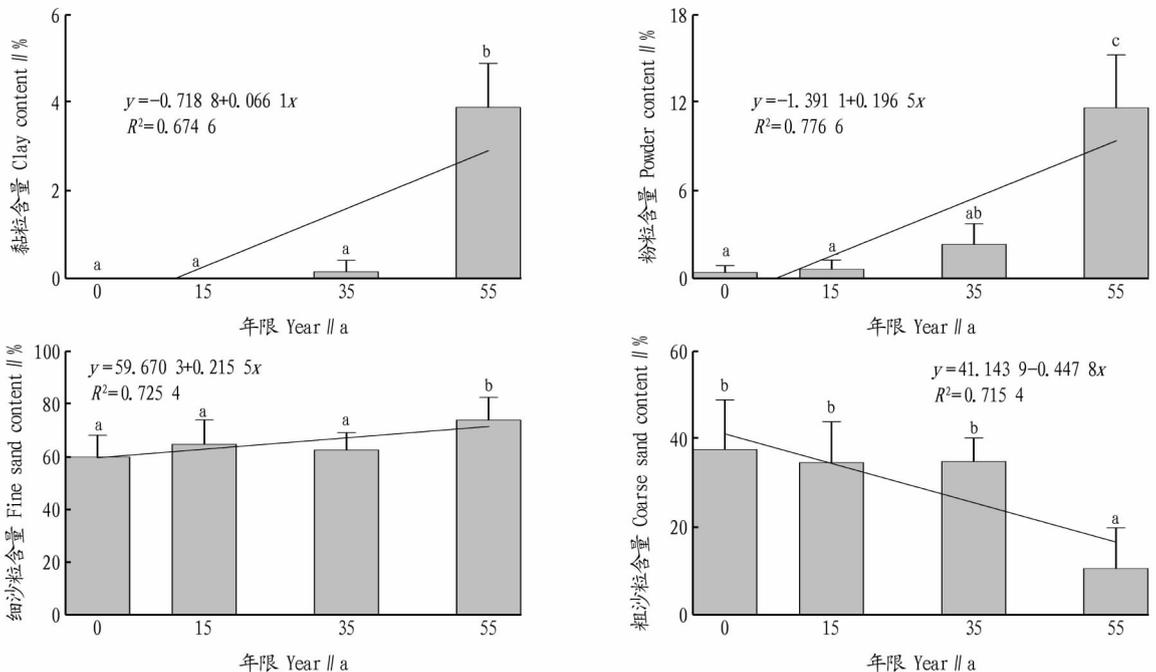


图 2 不同固沙年限 5~10 cm 土壤粒径变化规律

Fig.2 Variation rule of soil particle size in 5~10 cm soil with different sand-fixing years

2.2 梭梭林地土壤有机碳和全氮的变化规律 从图3和图4可以看出,随人工梭梭林固沙年限增加,林地0~10 cm层土壤SOC含量发生了明显的变化且与固沙年限可用线性方程进行描述。在时间序列上,随固沙年限增加,林地0~5和5~10 cm土层中SOC含量呈增加趋势。在0~5 cm土层,与 S_0 相比, S_{15} 、 S_{35} 和 S_{55} 的SOC含量分别增加71.43%、228.57%和542.86%,且两两相比差异显著。在5~10 cm土层, S_0 、 S_{15} 的SOC含量与 S_{35} 、 S_{55} 相比差异显著。通过线性拟合方程可知,0~5 cm土层的SOC含量随固沙年限增加的速率比5~10 cm土层的SOC含量快。

由图3和图4可知,随人工梭梭林固沙年限增加,林地

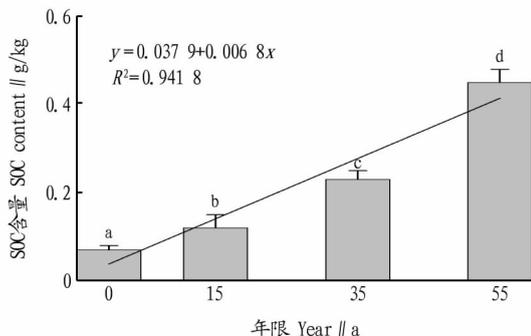


图3 不同固沙年限0~5 cm土壤碳氮含量变化规律

Fig.3 Variation rule of soil carbon and nitrogen content in 0-5 cm soil with different sand-fixing years

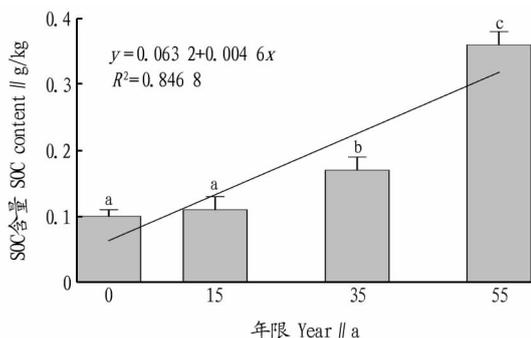
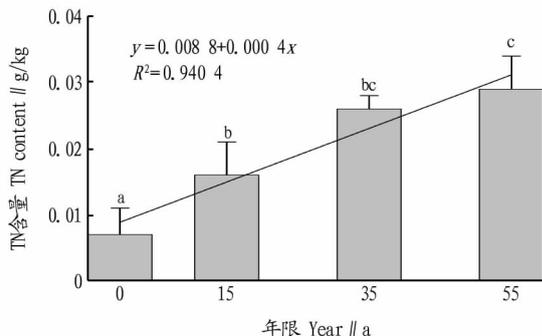


图4 不同固沙年限5~10 cm土壤碳氮含量变化规律

Fig.4 Variation rule of soil carbon and nitrogen content in 5-10 cm soil with different sand-fixing years

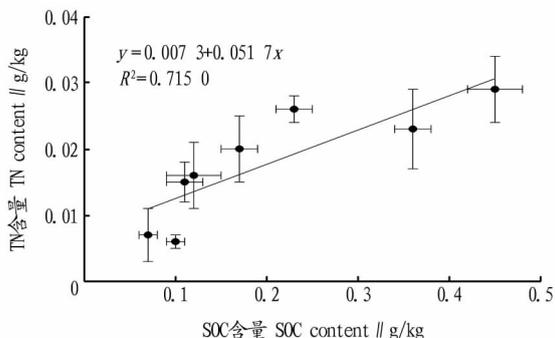
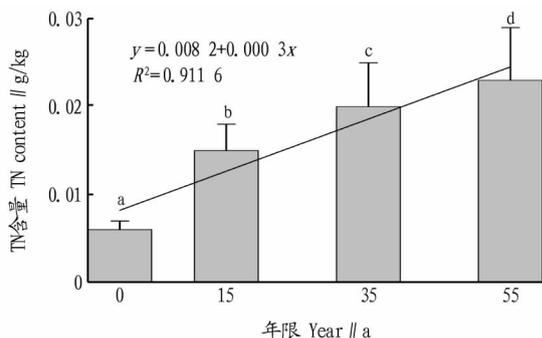


图5 土壤有机碳和全氮的数量关系

Fig.5 Quantitative relationship between soil organic carbon and total nitrogen

2.3 梭梭林地土壤有机碳和全氮的变化规律 由图6可知,土壤SOC含量与土壤黏粒、粉粒、细沙粒含量呈线性正相关,与土壤粗沙粒含量呈线性负相关。这说明随土壤粒径变小,

0~10 cm层土壤TN含量发生了明显的变化且与固沙年限可用线性方程进行描述。在时间序列上,随固沙年限增加,林地0~5、5~10 cm土层中TN含量呈增加趋势。在0~5 cm土层,与 S_0 相比, S_{15} 、 S_{35} 和 S_{55} 的TN含量分别增加128.57%、133.33%和166.67%;在5~10 cm土层,与 S_0 相比, S_{15} 、 S_{35} 和 S_{55} 的TN含量分别增加150.00%、271.43%和314.29%。通过线性拟合方程可知,0~5 cm土层的TN含量随固沙年限增加的速率比5~10 cm土层的SOC含量快。由图5可知,土壤SOC含量与TN含量符合线性函数($y = 0.0073 + 0.0517x$, $R^2 = 0.7150$)。

土壤SOC含量呈增加趋势,也就是说随人工梭梭林固沙年限增加,土壤颗粒逐渐变细,同时固定更多的碳。

由图7可知,土壤TN含量与土壤黏粒、粉粒、细沙粒含量呈线性正相关,与土壤粗沙粒含量呈线性负相关,但是与土壤SOC含量相比,拟合效果较差。这进一步证明随土壤粒径变细,土壤TN含量增加。

3 结论与讨论

梭梭在长期的进化中可以很好地适应干旱、风蚀和沙埋,其地上部分可以阻止气流对地面直接作用,降低近地层风速,庇护表层沙粒和捕获颗粒物质,加速土壤形成过程;其地下根系发达,固持土壤能力强,使土壤抗侵蚀能力提升,从而提高沙粒临界风速值,增强梭梭林对土壤的保护。梭梭林地土壤粒径随固沙年限的增加逐渐变细,这主要是由于梭梭地上部分不但可以拦截沙尘暴带来的沙物质,而且还能捕获大气降尘。伴随着沙漠地区短历时的强降雨,梭梭会产生树

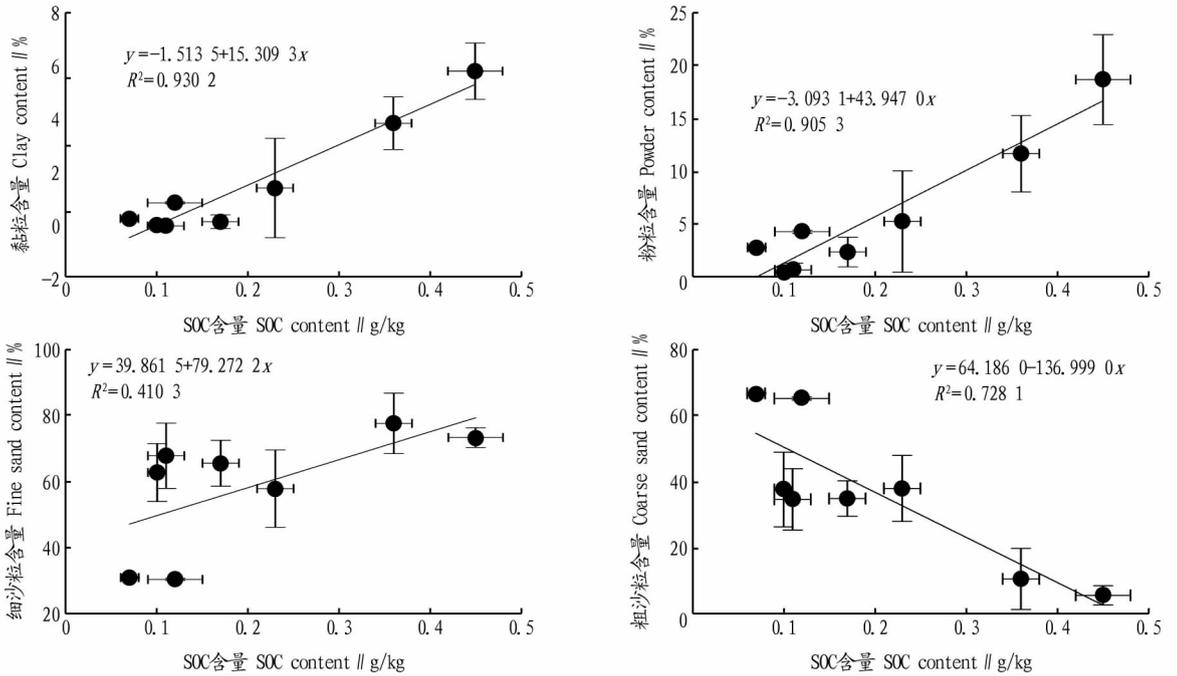


图6 土壤有机碳和土壤粒径的数量关系

Fig.6 Quantitative relationship between soil organic carbon and soil particle size

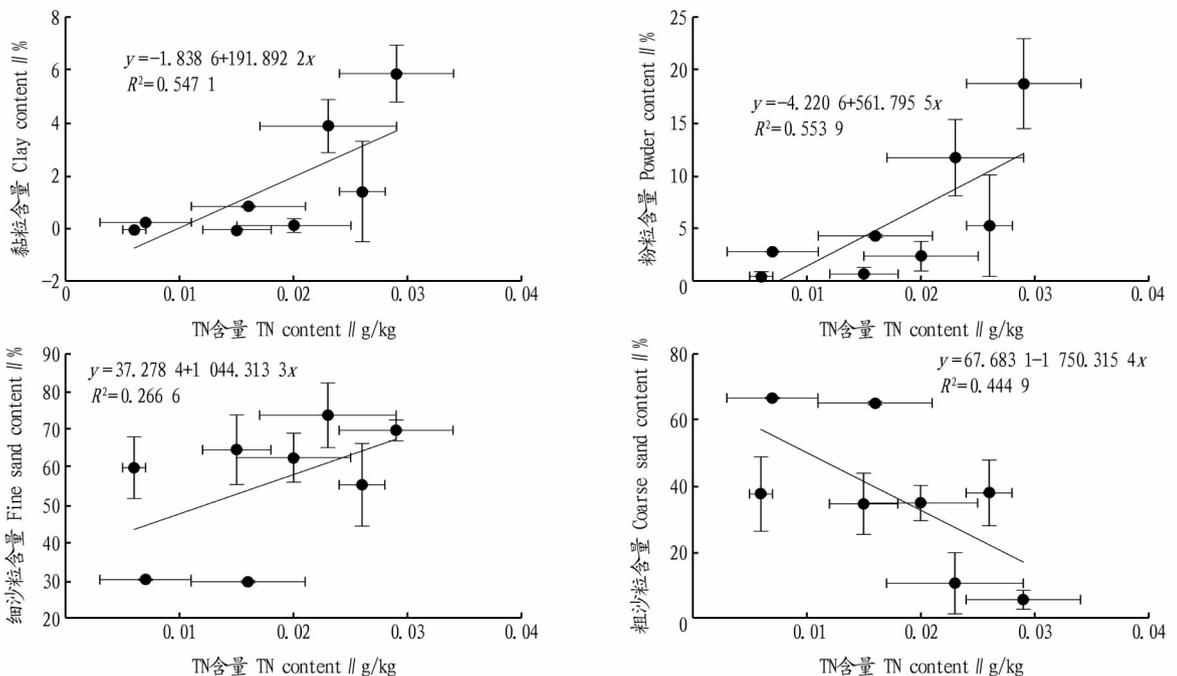


图7 土壤全氮和土壤粒径的数量关系

Fig.7 Quantitative relationship between soil total nitrogen and soil particle size

干径流,从而将地上部分所拦截的沙物质和大气降尘冲刷至土壤表面,这些沙物质和大气降尘包含有较高的碳氮元素,从而使得土壤的SOC和TN含量增加。梭梭林地在降低风速的同时,捕获了较多的沙漠植物种子,从而使得梭梭林地成为一个良好的庇护场所,随固沙年限的增加,梭梭林地逐渐出现了土壤物理结皮、生物结皮以及草本植物,这一方面反映了生境条件的改善,另一方面也为土壤SOC和TN提供了更多的物质来源,使得土壤SOC和TN含量逐年增加。由

于植物枯落物等多发生于地表,随土层深度的加深,土壤SOC和TN含量以及土壤中黏粒、粉粒呈降低的趋势。大量研究表明,土壤SOC含量与土壤黏粒呈正相关^[17,20-21],该试验的研究也证实了这一点。同时,该研究的结果与贾晓红等^[17]的研究结果一致,即土壤SOC、TN含量与土壤黏粒、粉粒、细沙粒含量呈线性正相关,但与土壤粗沙粒含量呈线性负相关。综上所述,在干旱沙区开展植被生态建设有利于

(下转第58页)

质的含量,达到改良水质的目的^[19-20]。

综上所述,由EPS泡沫滤珠作为生物滤料构建的水处理系统具有较好的废水处理能力,氨氮、亚硝酸盐、TOC的最终去除率分别可达98.0%、99.0%和95.0%以上。系统处理第5天后,水质情况趋于稳定。而在该试验条件运行中,发现水体中的微生物丰富度在第9天最高,群落多样性在第5天最高,整个周期中优势细菌在门分类上变化不大,变形菌门在水体中占主要优势,推测其在水处理过程中发挥重要作用。

参考文献

- [1] 马昊楠.现实与理性的选择——业内资深人士谈水产养殖业抗生素使用问题[J].首都食品与医药,2015,22(3):37-38.
- [2] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴 2015[M].北京:中国农业出版社,2015:28-29,56.
- [3] 张皓天,宋协法,刘兴震,等.斑石鲷循环水养殖系统生物滤池微生物群落对水质变化的动态响应[J].环境工程学报,2020,14(8):2176-2185.
- [4] 陈琛,闫茂仓,张翔,等.凡纳滨对虾不同养殖密度高位池水体细菌群落动态[J].中国水产科学,2016,23(4):985-993.
- [5] 程璐璐,于鲁冀,李廷梅,等.缓释碳源生态基质添加比例对河水脱氮效果及微生物影响[J].环境工程,2017,35(11):1-5,46.
- [6] 包鹏,王淑莹,高瑶远,等.利用高通量测序技术分析不同溶解氧条件下硝化活性污泥的菌群结构特性[J].北京工业大学学报,2017,43(5):801-808.
- [7] CIGGIN A S, ORHON D, CAPITANI D, et al. Aerobic metabolism of mixed carbon sources in sequencing batch reactor under pulse and continuous feeding[J]. Bioresource technology, 2013, 129: 118-126.
- [8] 张万友,张兰河,杨涛,等.不同有机碳源对SBR工艺同步硝化反硝化影响[J].化工进展,2010,29(12):2395-2399.

- [9] 张兰河,丘晓春,张宇,等.碳源投加方式对SBR工艺脱氮速率的影响[J].环境工程学报,2015,9(2):731-736.
- [10] 章霞,徐志进,柳敏海,等.循环水养殖系统中不同滤料生物挂膜水处理效果及微生物群落分析[J].大连海洋大学学报,2020,35(4):528-535.
- [11] LI L, KATO C, HORIKOSHI K. Microbial diversity in sediments collected from the deepest cold-seep area, the Japan trench[J]. Marine biotechnology, 1999, 1(4): 391-400.
- [12] STEVENS H, STÜBNER M, SIMON M, et al. Phylogeny of *Proteobacteria* and *Bacteroidetes* from oxic habitats of a tidal flat ecosystem[J]. FEMS microbiology ecology, 2005, 54(3): 351-365.
- [13] COTTRELL M T, KIRCHMAN D L. Natural assemblages of marine proteobacteria and members of the *Cytophaga-Flavobacter* cluster consuming low- and high-molecular-weight dissolved organic matter[J]. Applied and environmental microbiology, 2000, 66(4): 1692-1697.
- [14] ROSSELLÓ-MORA R, THAMDRUP B, SCHÄFER H, et al. The response of the microbial community of marine sediments to organic carbon input under anaerobic conditions[J]. Systematic and applied microbiology, 1999, 22(2): 237-248.
- [15] 王慧颖,徐明岗,周宝库,等.黑土细菌及真菌群落对长期施肥响应的差异及其驱动因素[J].中国农业科学,2018,51(5):914-925.
- [16] 姚延丹,李谷,陶玲,等.复合池塘循环水养殖系统微生物群落结构分析[J].中国水产科学,2011,18(2):407-415.
- [17] 王凤青,孙玉增,任利华,等.海水养殖中水产动物主要致病弧菌研究进展[J].中国渔业质量与标准,2018,8(2):49-56.
- [18] 倪蒙,高强,原居林,等.不同盐度罗氏沼虾育苗水体水质及微生物群落结构研究[J].江西农业大学学报,2019,41(5):976-985.
- [19] 陈康勇,钟为铭,高志鹏.蛭弧菌在水产养殖中应用研究进展[J].水产科学,2018,37(2):283-288.
- [20] 林茂,杨先乐,薛晖,等.蛭弧菌 BDH21-02 对鱼类细胞及病原菌的作用[J].微生物学通报,2006,33(1):7-11.

(上接第53页)

流动沙丘的成土过程和碳氮的固定,但需要加强管理过度干扰对表层土壤的破坏。

参考文献

- [1] LÜ X P, GAO H J, ZHANG L, et al. Dynamic responses of *Haloxylon ammodendron* to various degrees of simulated drought stress[J]. Plant physiology and biochemistry, 2019, 139: 121-131.
- [2] TRUMBORE S E. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change[J]. Proceedings of the national academy of science, 1997, 94(16): 8284-8291.
- [3] TRUMBORE S E, CHADWICK O A, AMUNDSON R. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change[J]. Science, 1996, 272(5260): 393-396.
- [4] JENKINSON D S, ADAMS D E, WILD A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming[J]. Nature, 1991, 351(6324): 304-306.
- [5] 张鹏,张涛,陈年来.祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素[J].应用生态学报,2009,20(3):518-524.
- [6] 李东,黄耀,吴琴,等.青藏高原高寒草甸生态系统土壤有机碳动态模拟研究[J].草业学报,2010,19(2):160-168.
- [7] 刘刚,沈守云,闫文德,等.洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征[J].生态学报,2011,31(24):7625-7631.
- [8] 张明园,魏燕华,孔凡磊,等.耕作方式对华北农田土壤有机碳储量及温室气体排放的影响[J].农业工程学报,2012,28(6):203-209.
- [9] 王丹丹,岳书平,林芬芳,等.东北地区旱地土壤全氮空间变异性对幅度拓展的响应[J].土壤学报,2012,49(4):625-635.

- [10] 张振明,余新晓,王友生,等.森林不同土壤层全氮空间变异特征[J].生态学报,2011,31(5):1213-1220.
- [11] 杨东,刘强.河西地区土壤全氮及有机质空间变异特征分析:以张掖市甘州区为例[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):183-187.
- [12] 雷能忠,蒋锦刚,黄大鹏.杭埠河流域土壤全氮和有机质的空间变异特征[J].厦门大学学报(自然科学版),2008,47(2):300-304.
- [13] 贺敬滢,张桐艳,李光录.丹江流域土壤全氮空间变异特征及其影响因素:以陕南张地沟小流域为例[J].中国水土保持科学,2012,10(3):81-86.
- [14] 张忠启,李保杰,于法展,等.基于地统计学的苏北县域土壤全氮空间变异研究[J].安徽农业科学,2012,40(26):12843-12844,12851.
- [15] 丁越岩,杨勤,宋炳煜,等.不同植被类型对毛乌素沙地土壤有机碳的影响[J].草业学报,2012,21(2):18-25.
- [16] 徐薇薇,乔木.干旱区土壤有机碳含量与土壤理化性质相关分析[J].中国沙漠,2014,34(6):1558-1561.
- [17] 贾晓红,李新荣,李元寿.干旱沙区植被恢复中土壤碳氮变化规律[J].植物生态学报,2007,31(1):66-74.
- [18] 崔永琴,马剑英,刘小宁,等.人类活动对土壤有机碳库的影响研究进展[J].中国沙漠,2011,31(2):407-414.
- [19] 房飞,胡玉昆,公延明,等.荒漠土壤微生物碳垂直分布规律对有机碳库的表征作用[J].中国沙漠,2013,33(3):777-781.
- [20] POEPLAU C, DON A, VESTERDAL L, et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone-carbon response functions as a model approach[J]. Global change biology, 2011, 17(7):2415-2427.
- [21] HONTORIA C, SAA A, RODRÍGUEZ-MURILLO J C. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in peninsular Spain[J]. Soil science society of America journal, 1999, 63(3):614-621.