

青土湖间断性水淹干扰对白刺沙丘土壤特性的影响

宋龙龙, 张芝萍 (甘肃省治沙研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要 以青土湖过渡带3个不同立地类型(常淹水中的白刺沙丘、固定白刺沙丘、半固定白刺沙丘)的白刺灌丛沙丘为研究对象, 采用空间代替时间的方法, 测定间断性水淹前后白刺群落土壤水分、土壤理化性质等参数。结果表明, 常淹水中的沙丘的土壤全氮含量总体在沙丘中部最大, 沙丘上部次之, 沙丘下部最小; 固定沙丘的土壤全氮含量在沙丘上部较大, 沙丘中部各土层的全氮含量均大于沙丘下部; 半固定沙丘的土壤全氮含量在表土层达到最大值。常淹水中的沙丘的土壤全钾含量在沙丘上部表土层较低, 沙丘中部表土层较高, 沙丘下部在土层较深处全钾含量较高; 固定沙丘的土壤全钾含量沙丘上部随着土层深度的增加, 全钾含量变化不明显, 沙丘中部在表土层最大; 半固定沙丘的土壤全钾含量5~10 cm达到最大值, 20~40 cm达到最小值。常淹水中的沙丘不同部位的土壤含水量均处于缓慢上升趋势; 固定沙丘的土壤含水量在沙丘上部处于上升, 沙丘中部先上升后下降, 沙丘下部先下降后上升; 半固定沙丘土壤含水量呈先上升后下降趋势。常淹水中的沙丘的土壤有机碳含量随着土壤深度的增加均呈不同程度降低趋势; 在固定沙丘上, 沙丘下部有机碳含量先上升后下降, 沙丘中部有机碳含量先下降后上升, 沙丘上部有机碳含量呈下降—上升—下降的趋势。在半固定沙丘上, 有机碳含量随着土壤深度的增加而增加。

关键词 白刺; 水淹; 土壤含水量; 土壤理化性质; 青土湖

中图分类号 S719 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)06-0041-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.06.012



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Intermittent Flooding Disturbance of Qingtu Lake on Soil Characteristics of *Nitraria spinosa* Sand Dune

SONG Long-long, ZHANG Zhi-ping (Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract Three different site types of *Nitraria spinosa* shrub sandbags in the transition zone of Qingtu Lake (normally flooded, fixed and semi-fixed) were taken as the research objects, and the parameters of soil moisture and soil physical and chemical properties of *Nitraria spinosa* community before and after intermittent flooding were measured by using the method of space instead of time. The results showed that the total nitrogen content of the soil normally flooded was the largest in the middle of the sand dune, the second in the upper part of the sand dune, and the smallest in the lower part of the sand dune; the total nitrogen content of the soil in the fixed dune was larger in the upper part of the dune, and the total nitrogen content of each soil layer in the middle part of the dune was greater than that in the lower part of the dune; the soil total nitrogen content of semi-fixed dunes reached the maximum in the topsoil layer. The total potassium content of the topsoil layer normally flooded was lower in the upper topsoil layer of the sand dune, higher in the middle topsoil layer of the sand dune, and higher in the lower part of the sand dune; the total potassium content of fixed dunes in the upper part of the dune did not change significantly with the increase of soil depth, and the total potassium content in the middle part of the dune was the largest in the topsoil; the total potassium content of semi-fixed dune soil reached the maximum value at 5-10 cm and the minimum value at 20-40 cm. The soil water content in different parts of sand dunes in normal flooding was in a slow upward trend. The soil water content of fixed dunes was rising in the upper part of the dune, first rising and then falling in the middle part of the dune, and first falling and then rising in the lower part of the dune. The soil water content of semi-fixed dunes showed a trend of first increasing and then decreasing. The content of soil organic carbon in sand dunes in normal flooding decreased to varying degrees with the increase of soil depth. On fixed dunes, the organic carbon content in the lower part of the dune first rise and then decreased, the organic carbon content in the middle part of the dune first decreased and then rise, the organic carbon content in the upper part of the dune presented a downward-upward-downward trend.

Key words *Nitraria spinosa*; Flooding; Soil water content; Soil physical and chemical properties; Qingtu Lake

青土湖区域处于极度干旱地区, 年降雨量在 100 mm 以下, 生态系统恢复具有其特殊性。在极端干旱、贫瘠环境条件下生长发育的白刺灌丛沙堆、灌丛沙堆作为绿洲和沙漠之间一道重要的生态屏障, 其最终的演化方向对绿洲地区的生态环境稳定有很大影响^[1-6]。2010—2013 年数次向石羊河尾闾青土湖注入生态用水, 该区域大片白刺灌丛沙堆被水淹。因此, 系统地调查研究青土湖区域间断性水淹前后不同演化阶段个体白刺沙堆的特征, 明确白刺群落的土壤分布特征, 探讨白刺沙堆在群落生态系统中结构和功能的基础性地位有其必要性和特殊意义, 同时为其他地区白刺资源的保护和利用提供参考, 也能为正确评估青土湖生态输水的生态效益及该地区植被保育和生态环境恢复提供科学依据^[7-10]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区域位于青海湖北岸, 该地区南濒青海湖, 北为大通山, 地势由北向南倾斜, 介于 36°15'~38°20' N, 97°50'~101°20' E, 海拔 3 200~3 800 m。该地区气候具有寒冷期长, 太阳辐射强, 气温日差较大, 干旱少雨, 降水比较集中, 雨热同季, 且无明显四季之分, 属高原大陆性气候。据刚察县气象观测资料分析, 年平均气温为 -0.6 °C, 极端最高温 25.0 °C, 极端最低温 -31.0 °C, ≥0 °C 的年活动积温为 1 299 °C·d, 年降水量 370.3 mm, 年蒸发量 607.4 mm, 干旱指数为 4.34, 平均风力大于 8 级, 最大冻土深度 2.88 m, 土壤为栗钙土。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置。 以空间代替时间序列的方法, 按照白刺灌丛沙丘形态、植被生长状况、沙丘土壤状况, 分别选择 3 种不同立地类型(常淹水中的白刺沙丘、固定白刺沙丘、半固定白刺沙丘)的白刺沙丘群落(表 1), 每个立地类型选 6 个样地, 在每个

基金项目 甘肃省林业和草原局自列项目(2019kj122); 国家自然科学基金基金项目(41761006, 41901253)。

作者简介 宋龙龙(1988—), 男, 甘肃天水人, 助理工程师, 从事荒漠化防治方面的研究。

收稿日期 2022-05-16

样地中设置 30 m×30 m 灌木样方,并在每个灌木样方内的中心和 4 个角处共设置 5 个 1 m×1 m 的草本植物调查样方,逐株调查样方内所有植物种类、株数(丛数)、盖度以及生物量。并在不同立地类型的白刺沙丘取土样 0~60 cm (0~5、5~10、10~20、20~40、40~60 cm),测其土壤理化性状、土壤含水率等土壤性质。使用全球定位系统(GPS)对调查地点定位,并记录各样地的海拔、地貌及土壤类型等环境因子^[11-16]。

1.2.2 测定方法。土壤含水量采用烘干法,pH 采用电位计

法(水土比为 5:1),有机质采用重铬酸钾-外加热法,有效氮采用碱解扩散法,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,有效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法;利用马尔文激光粒度仪进行土壤粒度的测定^[17-22]。粒度分析的粒级是 0.02~2 000.00 μm。土壤水分测定采用烘干法,容重采用环刀法。

1.3 数据处理与分析 对所得试验数据用 Excel 2013 记录,求取平均值,进行数据分类和绘图,并利用 SPSS 18.0 统计分析软件进行观测数据的显著性检验和相关分析。

表 1 采样地特征

Table 1 Sampling site characteristics

样地类型 Sample plot type	纬度 Latitude	经度 Longitude	样地地貌类型 Landform type of sample plot
常淹水中的沙丘 Normally flooded dunes	39°07'21.98"N	103°37'59.34"E	该样地处于滩地,表面有盐结晶、水螺壳,土壤类型为风沙土,成土母质属湖积物。棕青灰色,较湿,坚实度松散
固定沙丘 Fixed dunes	39°07'20.02" N	103°37'58.83"E	该样地处于白刺沙堆,其长宽高为 450 cm×360 cm×60 cm,下部水淹边缘和中部有盐结皮
半固定沙丘 Semi-fixed dunes	39°07'20.62"N	103°37'59.54"E	该样地处于滩地,土壤类型为风沙土,成土母质属湖积物

2 结果与分析

2.1 不同立地类型的白刺样地土壤全氮和全钾含量 从图 1 可以看出,常淹水中的沙丘的土壤全氮含量在沙丘中部 0~40 cm 大于沙丘下部和上部,并且随着土层的增加,全氮含量减少,而沙丘下部全氮含量呈“U”型;沙丘上部的全氮含量和沙丘中部在 0~40 cm 有相似的变化趋势,但是 40~60 cm

正好相反;总体来看,全氮含量在沙丘中部最大,沙丘上部次之,沙丘下部最小。固定沙丘的土壤全氮含量在沙丘上部较大,在 20~40 cm 达到最大,在 40~60 cm 最小;沙丘中部各土层的全氮含量均高于沙丘下部。半固定沙丘的土壤全氮含量,0~5 cm 达到最大值,5~10 cm 达到最小值。

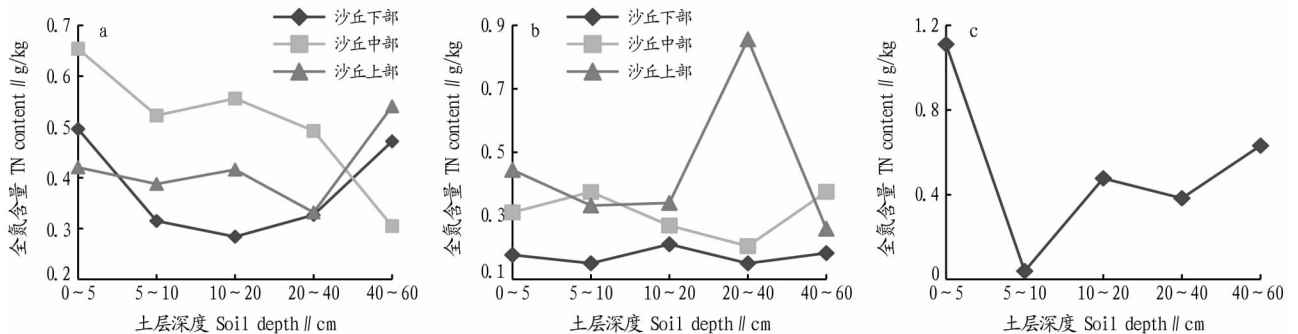


图 1 常淹水中(a)、固定样地(b)、半固定样地(c)的白刺样地全氮含量

Fig.1 Total nitrogen content of white thorn sample plots in the normally flooded (a), fixed sample plots (b) and semi-fixed sample plots (c)

从图 2 可以看出,常淹水中的沙丘的土壤全钾含量在沙丘下部 20~40 cm 最大,10~20 cm 最小;沙丘中部全钾含量 0~5 cm 最大,40~60 cm 最小;沙丘上部全钾含量 0~5 cm 最小,10~20 cm 最大。固定沙丘的土壤全钾含量在沙丘上部随着土层深度的增加变化不显著;沙丘中部全钾含量 0~5 cm 最大,40~60 cm 最小;沙丘下部全钾含量 20~40 cm 最大,5~10 cm 最小。半固定沙丘的土壤全钾含量,5~10 cm 达到最大值,20~40 cm 达到最小值。

2.2 不同立地类型的白刺样地土壤含水量 从图 3 可以看出,常淹水中的沙丘的土壤含水量沙丘上部和下部的变化不是很大,沙丘上部一直处于上升趋势,而沙丘下部在 40~60 cm 开始下降,但是沙丘中部一直处于缓慢上升趋势,在 40~60 cm 上升趋势比较明显且达到了最大值;由此可见,沙

丘上部和下部土壤含水量的变化不大,而沙丘中部土壤含水量的变化较为明显。在固定沙丘上,沙丘下部土壤含水量先下降后上升;沙丘中部土壤含水量 0~40 cm 是上升,而在 40~60 cm 处于下降趋势;沙丘上部土壤含水量一直处于上升趋势;而且在 40~60 cm 沙丘不同部位的值相近。在半固定沙丘上,土壤含水量在 10~20 cm 达到了最大值,20~60 cm 处于下降趋势,而在 0~5 cm 为最小值。

2.3 不同立地类型的白刺样地土壤有机碳含量 从图 4 可以看出,常淹水中的沙丘有机碳在沙丘下部 5~10 cm 达到最大值,之后随着土壤深度的增加有机碳含量一直在减少;沙丘中部和上部有机碳含量均在 10~20 cm 为最大,之后随着土壤深度的增加有机碳含量呈减小趋势。在固定沙丘上,沙丘下部有机碳含量先上升后下降,最小值在 40~60 cm,最大

值在 5~10 cm;沙丘中部有机碳含量先下降后上升,最小值在 10~20 cm,最大值在 40~60 cm;沙丘上部有机碳含量呈下降—上升—下降的趋势,最小值在 40~60 cm,最大值在 0~

5 cm。在半固定沙丘上,有机碳含量随着土壤深度的增加而增加;在 0~5 cm 土层有机碳含量较小,而随着土层的加深,有机碳含量是逐层增加,在 40~60 cm 达到最大。

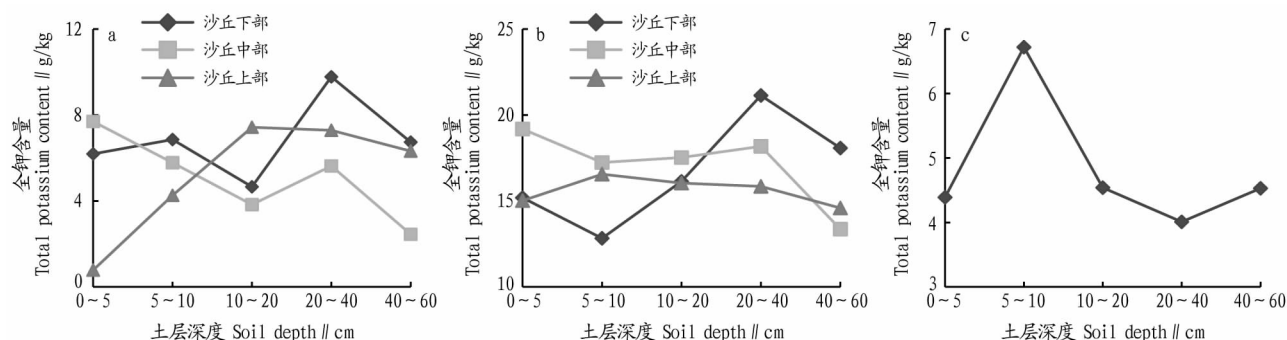


图2 常淹水中(a)、固定样地(b)、半固定样地(c)的白刺样地全钾含量

Fig.2 Total nitrogen content of white thorn sample plots in the normally flooded (a), fixed sample plots (b) and semi-fixed sample plots (c)

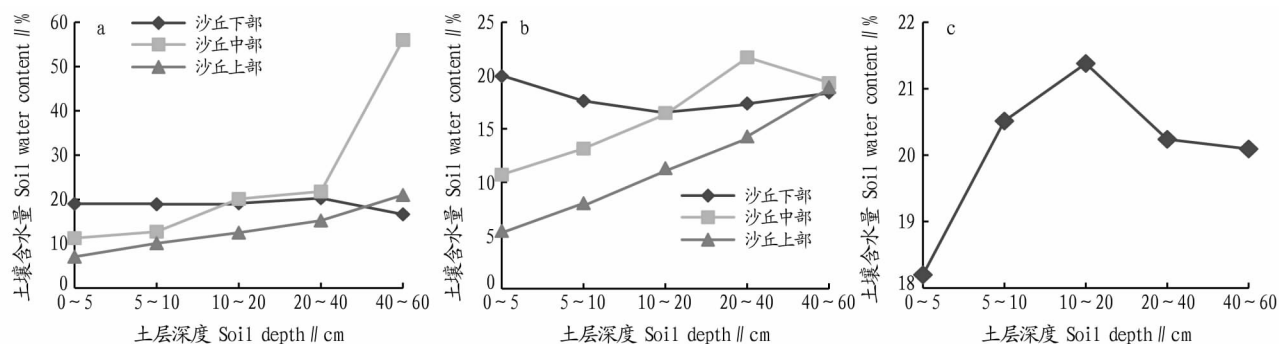


图3 常淹水中(a)、固定样地(b)、半固定样地(c)的白刺样地土壤含水量

Fig.3 Soil water content of white thorn sample plots in the normally flooded (a), fixed sample plots (b) and semi-fixed sample plots (c)

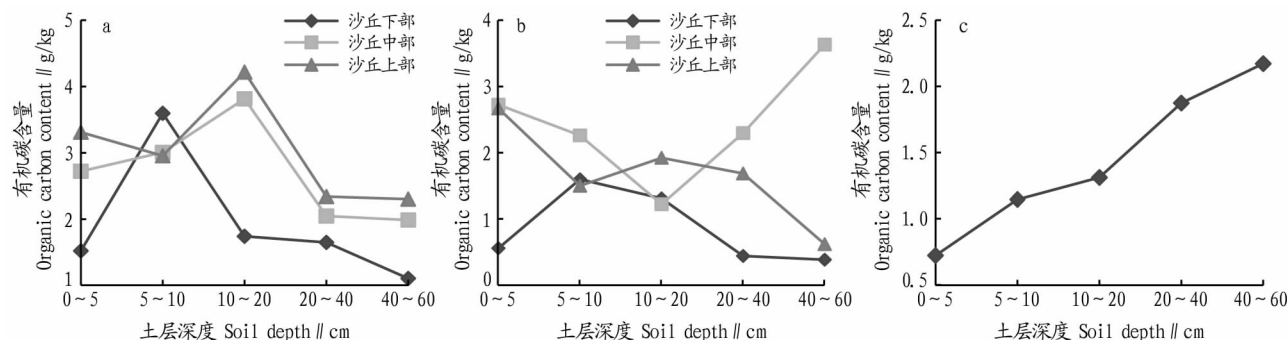


图4 常淹水中(a)、固定样地(b)、半固定样地(c)的白刺样地土壤有机碳含量

Fig.4 Soil organic carbon content of white thorn sample plots in the normally flooded (a), fixed sample plots (b) and semi-fixed sample plots (c)

3 结论

(1)常淹水中的沙丘的土壤全氮含量总体在沙丘中部最大,沙丘上部次之,沙丘下部最小;固定沙丘的土壤全氮含量在沙丘上部较大,沙丘中部各土层的全氮含量均大于沙丘下部;半固定沙丘的土壤全氮含量在表土层(0~5 cm)达到最大值。常淹水中的沙丘的土壤全钾含量在沙丘上部表土层较低,沙丘中部表土层较高,沙丘下部在土层较深处全钾含量较高;固定沙丘的土壤全钾含量沙丘上部随着土层深度的增加,全钾含量变化不明显,沙丘中部在表土层最大;半固定沙丘的土壤全钾含量 5~10 cm 达到最大值,20~40 cm 达到最小值。

上升趋势,变化不大,而在沙丘中部土壤含水量在 40~60 cm 的变化较为明显。固定沙丘的土壤含水量在沙丘上部处于上升,沙丘中部先上升后下降,沙丘下部先下降后上升,在 40~60 cm 沙丘不同部位的土壤含水量相近。在半固定沙丘上,土壤含水量在 0~20 cm 呈现一直上升趋势,而 20~60 cm 处于下降趋势。

(3)常淹水中的沙丘的土壤有机碳含量,沙丘下部在 5~10 cm 达到最大值,沙丘中部和上部有机碳含量在 10~20 cm 为最大,之后随着土壤深度的增加有机碳含量均呈减少趋势。在固定沙丘上,沙丘下部有机碳含量先上升后下降,沙丘中部有机碳含量先下降后上升,沙丘上部有机碳含量呈下

(2)常淹水中的沙丘不同部位的土壤含水量均处于缓慢

(下转第 48 页)

- 水体研究[J].湿地科学,2013,11(4):495-498.
- [12] SEHAR S, SUMERA, NAEEM S, et al. A comparative study of macrophytes influence on wastewater treatment through subsurface flow hybrid constructed wetland [J]. Ecological engineering, 2015, 81: 62-69.
- [13] 李峰平, 魏红阳, 马喆, 等. 人工湿地植物的选择及植物净化污水作用研究进展[J]. 湿地科学, 2017, 15(6): 849-854.
- [14] TANNER C C. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands [J]. Water science & technology, 2001, 44(11/12): 9-17.
- [15] 张瑞斌. 太湖流域河道水体污染负荷削减技术研究[J]. 污染防治技术, 2015, 28(4): 14-17.
- [16] 岑璐瑶, 陈滢, 张进, 等. 种植不同植物的人工湿地深度处理城镇污水处理尾水的中试研究[J]. 湖泊科学, 2019, 31(2): 365-374.
- [17] 陈双, 王国祥, 许晓光, 等. 水生植物类型及生物量对污水处理厂尾水净化效果的影响[J]. 环境工程学报, 2018, 12(5): 1424-1433.
- [18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [19] 罗虹. 沉水植物、挺水植物、滤食性动物对富营养化淡水生态系统的修复效果研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [20] 万志刚, 顾福根, 孙丙耀, 等. 6种水生维管束植物对氮和磷的耐受性分析[J]. 淡水渔业, 2006, 36(4): 37-40.
- [21] 戴小梅, 许林, 谢焰锋, 等. 水生植物对富营养化程度不同水体氮磷去除效果的研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(2): 809-814.
- [22] 刘建伟, 周晓, 吕臣, 等. 三种挺水植物对富营养化景观水体的净化效果[J]. 湿地科学, 2015, 13(1): 7-12.
- [23] 朱士江, 贵树彪, 徐文, 等. 4种挺水植物在高浓度氮磷污染条件下耐受性试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(2): 34-38.
- [24] 葛滢, 王晓月, 常杰. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6): 690-692.
- [25] 郑博颖, 郑云翔, 芦站根. 衡水湖沉水植物对水中氧含量及水质影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(8): 1551-1552.
- [26] 李菲菲, 褚淑祯, 崔灵周, 等. 沉水植物生长和腐解对富营养化水体氮磷的影响机制研究进展[J]. 生态科学, 2018, 37(4): 225-230.
- [27] 王佳, 顾永钢, 王昊, 等. 沉水植物组合对受污染河水的净化与维护效果[J]. 人民黄河, 2022, 44(1): 100-105.
- [28] 展巨宏, 李强, 邓莎, 等. 紫根水葫芦对富营养化水体中氮磷的净化效果研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 389-396.
- [29] CHAPMAN D. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring[M]. 2nd ed. London: E & FN Spon, 1996: 87.
- [30] 刘海琴, 邱园园, 闻学政, 等. 4种水生植物深度净化村镇生活污水厂尾水效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(4): 616-626.
- [31] 章宗涉. 水生高等植物-浮游植物关系和湖泊营养状态[J]. 湖泊科学, 1998, 10(4): 83-86.
- [32] VERHOEVEN J T A. The ecology of *Ruppia*-dominated communities in western Europe: III. Aspects of production, consumption and decomposition [J]. Aquat botany, 1980, 8: 209-253.
- [33] 王智, 张志勇, 张君倩, 等. 两种水生植物对滇池草海富营养化水水质体的影响[J]. 中国环境科学, 2013, 33(2): 328-335.
- [34] 窦艳艳, 陈垚, 李春龙. 不同水生植物组合对富营养化水体净化的模拟研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(8): 223-227, 272.
- [35] 田如男, 朱敏, 孙欣欣, 等. 不同水生植物组合对水体氮磷去除效果的模拟研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(6): 191-195.
- [36] GAO J Q, XIONG Z T, ZHANG J D, et al. Phosphorus removal from water of eutrophic Lake Donghu by five submerged macrophytes [J]. Desalination, 2009, 242(1/2/3): 193-204.
- [37] 曾小梅, 刘鹏, 张晓斌. 水生观赏植物对城市污水的修复研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(5): 349-353.
- [38] ZHANG X M, HUA X F, YUE X P. Comparison of bacterial community characteristics between complete and shortcut denitrification systems for quinoline degradation [J]. Applied microbiology and biotechnology, 2017, 101(4): 1697-1707.
- [39] YAO K K, SONG S M, ZHANG Z M, et al. Vegetation characteristics and water purification by artificial floating island [J]. African journal of biotechnology, 2011, 10(82): 19119-19125.
- [40] 张泽西, 刘佳凯, 张振明, 等. 种植不同植物及其组合的人工浮岛对水中氮、磷的去除效果比较[J]. 湿地科学, 2018, 16(2): 273-278.
- [41] 潘保原, 杨国亭, 穆立蕾, 等. 3种沉水植物去除水体中氮磷能力研究[J]. 植物研究, 2015, 35(1): 141-145.
- [42] 张家洋, 陈丽丽, 李慧. 水生植物对富营养化水体除磷去氮的研究概述[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(1): 115-120.
- [43] 苗金, 原海燕, 黄苏珍. 10种水生观赏植物对不同富营养化水体的净化效果研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 60-64, 75.
- [44] WANG N M, MITTSCH W J A. A detailed ecosystem model of phosphorus dynamics in created riparian wetlands [J]. Ecological modelling, 2000, 126(2/3): 101-130.
- [45] 陈志超. 富营养化水体凤眼莲生态修复过程中的磷去向和磷平衡研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [46] 王庆海, 段留生, 李瑞华, 等. 几种水生植物净化能力比较[J]. 华北农学报, 2008, 23(2): 217-222.
- [47] 张洪刚. 人工湿地及湿地植物对生活污水净化效果的研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.
- [48] MADSEN J D. Resource allocation at the individual plant level [J]. Aquatic botany, 1991, 41(1/2/3): 67-86.

(上接第43页)

降—上升—下降的趋势。在半固定沙丘上, 有机碳含量随着土壤深度的增加而增加。

参考文献

- [1] 侯本栋, 马风云, 宋玉民, 等. 不同树种对土壤养分、酶活性与微生物影响的研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(5): 734-738.
- [2] 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 等. 东祁连山高寒草甸土壤微生物量及其与土壤物理因子相关性特征[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 62-68.
- [3] 薛蕙, 刘国彬, 戴全厚, 等. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 517-523.
- [4] 张其水, 俞新妥. 杉木连栽林地营造混交林后土壤微生物的季节性动态研究[J]. 生态学报, 1990, 10(2): 121-126.
- [5] 邵玉琴, 敖晓兰, 宋国宝, 等. 皇甫川流域退化草地和恢复草地土壤微生物生物量的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 578-580, 584.
- [6] 赵吉, 郭婷, 邵玉琴. 内蒙古典型草原土壤微生物生物量及其周转与流通量的初步研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2004, 35(6): 673-676.
- [7] 刘艳梅, 李新荣, 何明珠, 等. 生物土壤结皮对土壤微生物量碳的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 669-673.
- [8] 靳正忠, 雷加强, 徐新文, 等. 流沙区不同立地条件下防护林土壤微生物多样性分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1430-1436.
- [9] 靳虎甲, 马全林, 张有佳, 等. 石羊河下游白刺灌丛演替发育过程的土壤呼吸及其影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 140-147.
- [10] 彭飞, 王涛, 刘立超, 等. 民勤荒漠绿洲过渡带白刺灌丛沙堆演化阶段及其空间格局[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 593-599.
- [11] 韩胜利, 叶冬梅, 秦佳琪, 等. 乌兰布和沙漠白刺灌丛土壤水分及物理特性的研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 506-510.
- [12] 赵长明, 魏小平, 尉秋实, 等. 民勤绿洲荒漠过渡带植物白刺和梭梭光合特性[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1908-1913.
- [13] 何志斌, 赵文智. 黑河流域荒漠绿洲过渡带两种优势植物种群空间格局特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 947-952.
- [14] 杨自辉, 高志海. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 923-926.
- [15] 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.
- [16] 杨贤均, 王业社, 段林东, 等. 湖南南山森林公园不同植被条件下土壤微生物量及酶活性研究[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 142-148.
- [17] 王素娟. 库布齐沙地东缘土壤微生物研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009: 45-46.
- [18] 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施Ⅲ. 典型地区红壤磷素积累及其环境意义[J]. 土壤, 2001, 33(5): 227-231, 238.
- [19] 王长庭, 龙瑞军, 王根绪, 等. 高寒草甸群落地表植被特征与土壤理化性状土壤微生物之间的相关性研究[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 25-34.
- [20] 赵萍, 代万安, 杜明新, 等. 青藏高原种植紫穗槐对土壤养分的响应[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 175-181.
- [21] 柳小妮, 孙九林, 张德罡, 等. 东祁连山不同退化阶段高寒草甸群落结构与植物多样性特征研究[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 1-11.