

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2019. 05. 001

生态输水对青土湖白刺灌丛沙堆土壤养分的影响*

袁宏波, 刘淑娟, 安富博, 胥宝一, 郭春秀, 杜娟
(甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了探讨人工输水影响下青土湖白刺灌丛沙堆土壤养分的空间分布特征, 对距水面不同距离、不同土层的白刺灌丛沙堆土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、pH 和电导率进行了观测研究。结果表明, 由于水面形成干扰, 土壤溶液电导率、全氮、速效钾、全钾、速效磷、全磷、有机质在距水面 50m 和 250m 处达到最大值, 较平地距水面距离的各养分最大值向水缘推进了 50m; 白刺灌丛沙堆不同土层的土壤养分含量变化明显, 总体上是表层的养分最高, 并呈现随土层深度增加而减小趋势, 但差异不显著 ($P>0.05$); 青土湖水面的形成, 使白刺灌丛沙堆土壤养分上移在土壤表层聚集; 土壤有机质与全氮、全磷、速效钾、电导率间呈显著正相关; 电导率和全氮、全磷、速效钾间呈极显著正相关。

关键词: 人工输水; 青土湖; 白刺灌丛沙堆; 土壤养分

中图分类号: S 714.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2019) 05-0001-07

Effects of Environmental Friendly Water Transfer on Soil Nutrients of *Nitraria tangutorum* nebkhas in Qingtu Lake

YUAN Hong-bo, LIU Shu-juan, AN Fu-bo, XU Bao-yi, GUO Chun-xiu, DU Juan
(Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou Gansu 730070, P. R. China)

Abstract: In order to study the spatial distribution characteristics of soil nutrients under the influence of artificial water transfer, the soil organic matter, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), available N, available P, available K, pH and electrical conductivity (EC) were observed and studied at different distances from the water surface and different soil layers in Qingtu Lake. The results showed that the electrical conductivity (EC), total nitrogen (TN), available K, total potassium (TK), available phosphorus (TP), total phosphorus (TP) and organic matter of soil solution reached their maximum values at 50m and 250m from the water surface, and the maximum values of soil nutrients were pushed closer to the water edge than those of flat land (50m forward). As a whole, the nutrients in the surface layer were the highest, and decreased with the increase of soil depth, but the difference was not significant ($P>0.05$); the formation of Qingtu Lake water surface made the soil nutrients of *Nitraria tangutorum* nebkhas move up and accumulate in the surface layer of the soil. The soil organic matter was positively correlated with total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), available potassium (TK) and electrical conductivity (EC); electrical conductivity (EC) was positively correlated with total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and available potassium (K).

Key words: artificial water transfer; Qingtu Lake; *Nitraria tangutorum* nebkhas; soil nutrient

* 收稿日期: 2019-04-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460134, 31460223, 41671528, 31160116) 共同资助。

第一作者简介: 袁宏波 (1978-), 男, 副研究员, 主要从事荒漠防治研究。E-mail: picrayhb@163.com

通讯作者简介: 刘淑娟 (1979-), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事荒漠生态研究。E-mail: crisbe1210@163.com

灌丛植被阻拦了风沙流的移动,风沙在灌丛周围被阻截堆积,形成了一种特殊地貌类型——灌丛沙堆。它主要分布于干旱、半干旱绿洲荒漠交错带^[1-4],其堆积和发育演变过程主要受风沙流变化、灌丛植被、当地沉积物的颗粒大小、水文地质条件和人类活动等因素影响^[5-6]。白刺(*Nitraria tangutorum*)灌丛沙堆固定了绿洲和荒漠交错带的大量流沙,阻止了流沙对绿洲的危害,对保护绿洲具有极其重要作用^[1]。青土湖是石羊河尾间,位于腾格里沙漠西缘。巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠在此交汇,湖水干涸后由于土壤为沙质的湖相沉积物,含盐量较高,天然植被仅有白刺群落大面积分布。在频繁的风沙活动下,且白刺沙埋后萌生大量枝条和不定根,可拦蓄和固定大量流沙^[7-8],白刺灌丛沙堆形成呈斑块状分布的状态,这对阻隔流沙入侵绿洲及维持该区域生态系统稳定具有重要意义。自2010年以来每年通过渠道向青土湖输水,随着多年水面的形成,该区域的生态因子发生逆转^[9],促使区域植被组成发生了变化^[10]。土壤养分状况因土壤类型、气候、成土母质、水文、植被等因素的不同而出现极大差异^[11],养分含量低是干旱、半干旱地区土壤的一个重要特征,与贫瘠的灌丛间土壤相比,由于一系列的物理过程和生物过程的影响,灌木下土壤具有更高的土壤养分含量,形成了“沃岛效应”。它对干旱、半干旱区灌丛植被的土壤养分有影响,是灌丛植物利用养分从而适应贫瘠环境的有效对策。灌丛通过发达的根系以根际沉积的形式向土壤输入大量的养分,由于植物生长,植被周边的风沙土逐步固定,其理化性质逐渐得到改善^[12],从而使周围土壤肥力状况得到有效改善^[13-14]。目前,关于白刺灌丛沙堆研究,国内学者们对其形态特征及空间分布格局^[15]、土壤呼吸特征及其影响因素^[16-18]、土壤颗粒及性状特征^[19-20]、土壤水分空间分布及入渗特征^[21]、土壤理化性状和微生物^[22-23]、白刺沙埋表型可塑性^[24]等进行了观测分析。人为水分干扰后白刺灌丛沙堆土壤养分空间分布特征未见报道,该试验以白刺灌丛沙堆为研究对象,探讨人工输水后白刺灌丛沙堆的土壤养分的利用对策和变化机制,旨在揭示水分影响下白刺灌丛土壤养分的空间分布,为干旱荒漠区灌丛沙堆植被可持续发展以及生态恢复重建和干旱区绿洲保护提供有益参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

青土湖位于腾格里沙漠西北缘,是石羊河的尾间湖。海拔1 292-1 310m,年平均气温7.8℃;年平均降水量89.8mm,降水多集中于7-9月,占全年降水总量的73%,蒸发量在2 600mm以上。土壤以沙土及壤质沙土为主。白刺群落(Form. *Nitraria tangutorum*)和芦苇群落(Form. *Phragmites communis*)大面积连续分布。伴生灌木有苏枸杞(*Lycium ruthenicum*)、沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、蓼子朴(*Inulasa isoloides*)和盐爪爪(*Kalidium foliatum*);草本植物零星分布,在距水源200m后种类增多,在250m处最多,主要有刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、戟叶鹅绒藤(*Cynanchum sibiricum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelini*)等。

1.2 样品采集与分析方法

根据试验区地貌特征、植被和湖水面状况,2015年5月在研究区设观测样线(图1),在距水面边缘(水源)0m、50m、100m、200m、250m、300m设置样地,每个样地选取稳定阶段大小形状相似的白刺沙堆各3个,每个白刺沙堆分上、中、下3部分,在每个部分采集0-5cm、5-10cm、10-20cm、20-40cm、40-60cm 5个土层深度和0-60cm土层的土样,每层重复3次,带回实验室,风干、研磨后测定土壤养分。

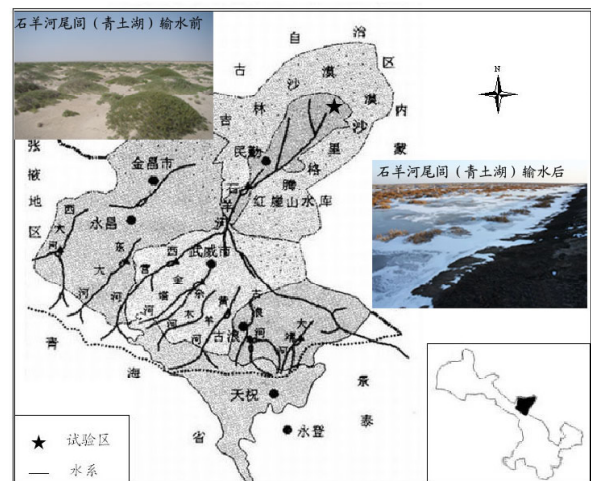


图1 研究区地理位置及试验区示意图

Fig. 1 Location of studied area

土壤养分主要测定 9 个指标：有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、pH 和电导率。采用重铬酸钾-外加热法测定土壤有机质；采用半微量开氏法测定土壤全氮；采用 NaOH 熔融-铝锑抗显色-紫外分光光度法测定土壤全磷；采用 NaOH 熔融-火焰光度计法测定土壤全钾、速效钾；采用碱解-扩散法测定土壤速效氮；采用 0.5mol/LNaHCO₃ 浸提法测定土壤速效磷^[23]；采用交流测量法测定土壤溶液电导率；采用电极电位法测定 pH。

1.3 数据处理与分析

采用 SPSS 18.0 进行数据处理和统计对比分

析，采用单因素方差分析（One-Way ANOVA）法分析水面形成对白刺沙堆土壤养分影响的显著性；采用最小显著差异法（LSD）进行多重比较，显著性水平设定为 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 距水面不同距离的土壤养分特征

距水面不同距离（水平）白刺灌丛沙堆土层土壤养分特征分析见图 2。

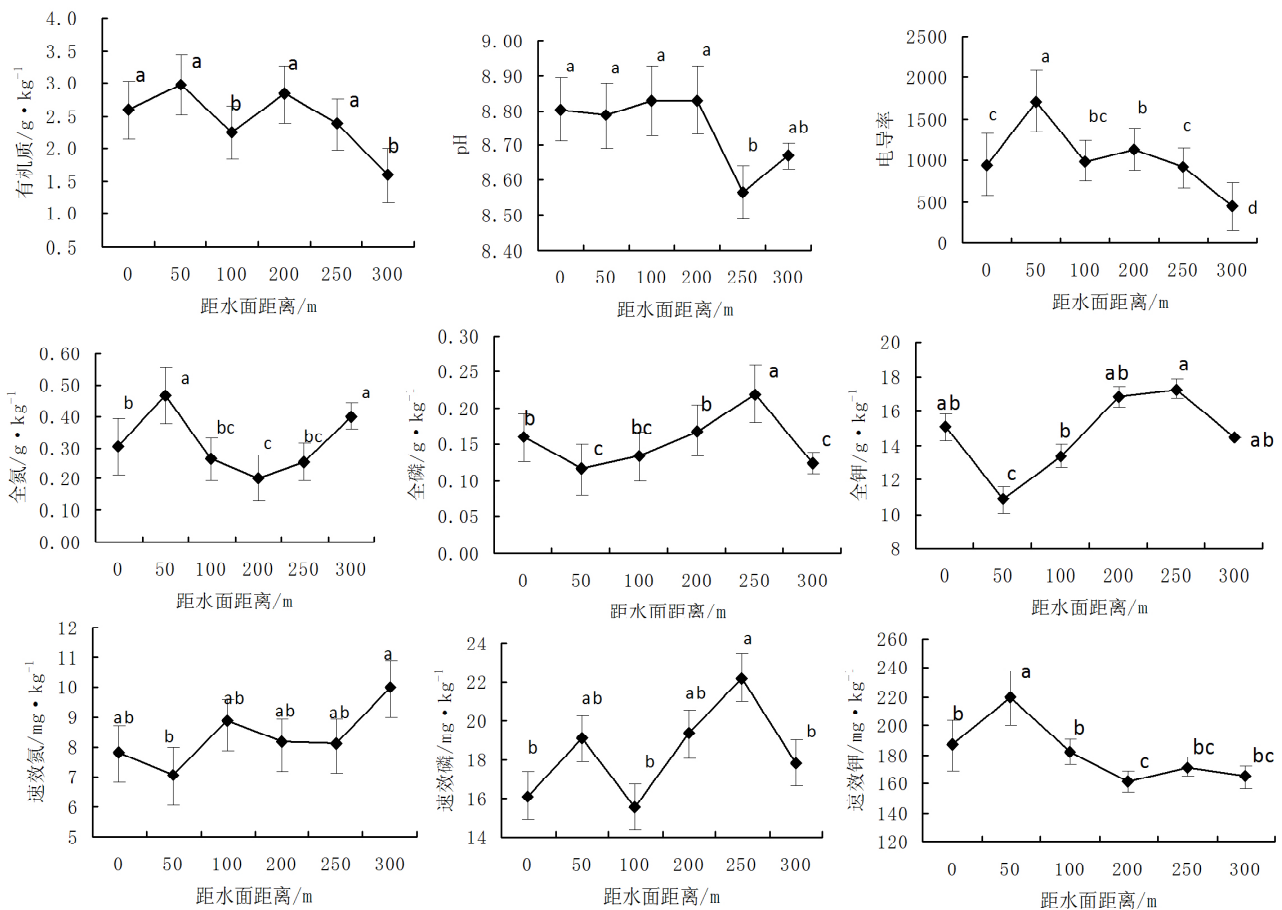


图 2 距水面距离不同白刺灌丛沙堆土壤养分变化

注：小写英文字母代表差异显著性 ($P < 0.05$)

Fig. 2 Variation of soil nutrients from different water surface distance in the *Nitaria tangutorum nebkhas*

距水面不同距离的白刺灌丛沙堆 0-60cm 土层土壤养分特征分析显示，土壤 pH 值偏碱性，范围在 8.57-8.83 之间，距水面边缘 250m 处最低，且与距水面边缘 0-200m 的土壤 pH 值存在显著性差异 ($P < 0.05$)，而与 300m 处的 pH 值差异不显著；土壤电导率呈现先升高后降低的趋势，在距水面

50m 处电导率最大，与其他距离之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)；随后逐渐降低，300m 处降到最低，且与其他距离土壤电导率存在显著性差异 ($P < 0.05$)；土壤速效氮含量在 7.09-10.03mg/kg 之间，在距水面 50m 处和 300m 处分别达到最低和最高值，且两者间存在显著性差异 ($P < 0.05$)，与

其他距离之间差异不显著; 土壤全氮含量 0.20-0.46g/kg 之间, 距水面 50m 处含量最高, 与距水面 0m、100m、200m、250m 分布存在显著性差异; 距水面 200m 处全氮含量最低, 与距水面 0m、50m、300m 间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 土壤速效钾含量在 161.29-219.23mg/kg 之间, 在距水面 0-50m 范围含量先升高达到极值随后降低, 到 200m 处降到最低值, 而后略微增加。在距水面 50m 处土壤速效钾含量与其他距离的土壤速效钾含量存在显著性差异 ($P < 0.05$); 距水面 200m 处土壤速效钾含量与 0m、50m、100m 之间差异显著 ($P < 0.05$); 土壤全钾含量较低, 在 10.83-17.27g/kg, 在距水面 0-50m 逐渐降低, 距水面 50m 处达到最低, 随后逐渐升高, 250m 处达到最大值后又降低; 距水面 50m 土壤全钾含量与距水面 100m、250m 之间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 土壤速效磷含量在 16.12-22.22mg/kg 之间, 在距水面 0-50m 范围含量先升高随后到 100m 处降到最低, 而后升高, 在 250m 处达到最高值后降低; 在距水面 250m 处白刺灌丛沙堆土壤速效磷含量与 0m、100m、300m 的土壤速效磷含量存在显著性差异 ($P < 0.05$); 土壤全磷含量在 0.14-0.17g/kg 之间, 在距水面 0-50m 土壤全磷含量先下降, 随后升高到 250m 处达到最大值而后降低; 在距水面 250m 处土壤全磷含量与其他距离的全磷含量存在显著性差异 ($P < 0.05$); 距水面 50m 和 300m 处土壤全磷含量与 0m、200m、250m 之间差异显著 ($P < 0.05$); 有机质含量在 1.60-3.00g/kg 之间, 距水面 50m 处土壤有机质含量最高, 与距水面 100m、300m 之间差异显著 ($P < 0.05$); 距水面 300m 处有机质含量最低, 与距水面 100m 的土壤有机质含量不存在显著性差异, 与其他距离的土壤有机质含量均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

距水面 250m 处白刺灌丛沙堆土层土壤 pH 值最低, 与其他距离差异显著, 这一位置草本植物种类较其他距离多, 可能某些植被吸收土壤中的矿物质, 使得 pH 下降。距水面 50m 处电导率最大, 土壤中的盐分受水的推移作用在此聚集, 使得土壤含盐量在这一位置最高; 距水面 250m 和 300m 处土壤电导率较低, 可能与该位置一年生植被增多吸收了矿物质有关。另外, 所测土壤电导率在 0-60cm, 此范围大气蒸发驱使盐分随水向表层大量聚集, 土壤盐分有表聚现象; 速效氮在 50m 处最低, 可能

由于水的溶解推移作用, 使得盐分过高, 一年生草本无法存活, 产生的凋落物较少有关; 距水面 50m 处速效钾含量最高, 速效钾更易受水分干扰, 因此受水的溶解后逐渐推移至 50m 处, 而后趋于平稳。速效磷和全磷在 250m 处最高, 在这一区域草本植被较多, 受土壤的固磷作用的影响含量增加。有机质含量在 300m 处最低, 由于此区域草本和灌木都较多, 生长过程中大量吸收了土壤中的有机机, 使得有机质含量较低。

2.2 白刺灌丛沙堆不同土层养分变化

白刺灌丛沙堆不同土层深度的土壤 pH 值在 8.64-8.86 之间, 20-40cm 土层 pH 值最大, 仅 0-5cm 土层与 20-40cm 土层之间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 由图 3 可以看出, 随着沙堆土层深度增加, 电导率不断减小, 0-5cm 土层电导率最大 (1589.08), 与 10-20cm、20-40cm、40-60cm 土层之间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 土壤速效氮含量在 8.03-8.99mg/kg 之间, 各土层之间差异不显著; 土壤全氮含量随着土层深度的增加而逐渐减少, 在 0-5cm 土层土壤全氮含量为 0.42g/kg, 与 10-20cm、20-40cm、40-60cm 土层间差异显著 ($P < 0.05$); 土壤速效钾含量在 161.52-198.79 mg/kg 之间, 各土层之间含量差异不显著 ($P > 0.05$); 土壤全钾含量在 13.80-15.11g/kg 之间, 各土层土壤全钾含量之间差异不显著 ($P > 0.05$); 土壤全磷含量在 0.14-0.17g/kg 之间, 同样各土层之间含量差异也不显著 ($P > 0.05$); 土壤速效磷含量在 16.57-19.46mg/kg 之间, 各土层之间含量差异不显著 ($P > 0.05$); 土壤有机质含量随着土层深度增加而逐渐减少, 在 0-5cm 土层土壤有机质含量最高为 3.08g/kg, 与 10-20cm、40-60cm 土层间差异显著 ($P < 0.05$); 40-60cm 土层土壤有机质含量最低。

白刺灌丛沙堆不同土层深度的土壤全氮含量在 0-5cm 土层含量最高, 随后逐渐降低; 速效钾、速效磷、全钾和全磷含量在各土层变化不显著 ($P > 0.05$), 有机质在 0-5cm 土层含量最高, 随后逐渐降低; 0-5cm 土层 pH 值最低, 由于表层土壤容易受到水和风蚀的影响; 电导率在 0-5cm 土层最大, 速效氮含量在各土层变化并不显著 ($P > 0.05$), 由于土壤表层易受外界环境因素的影响, 而植被的凋落物被分解后聚集在表层, 而后随着水分的下渗向土壤更深的土层迁移。

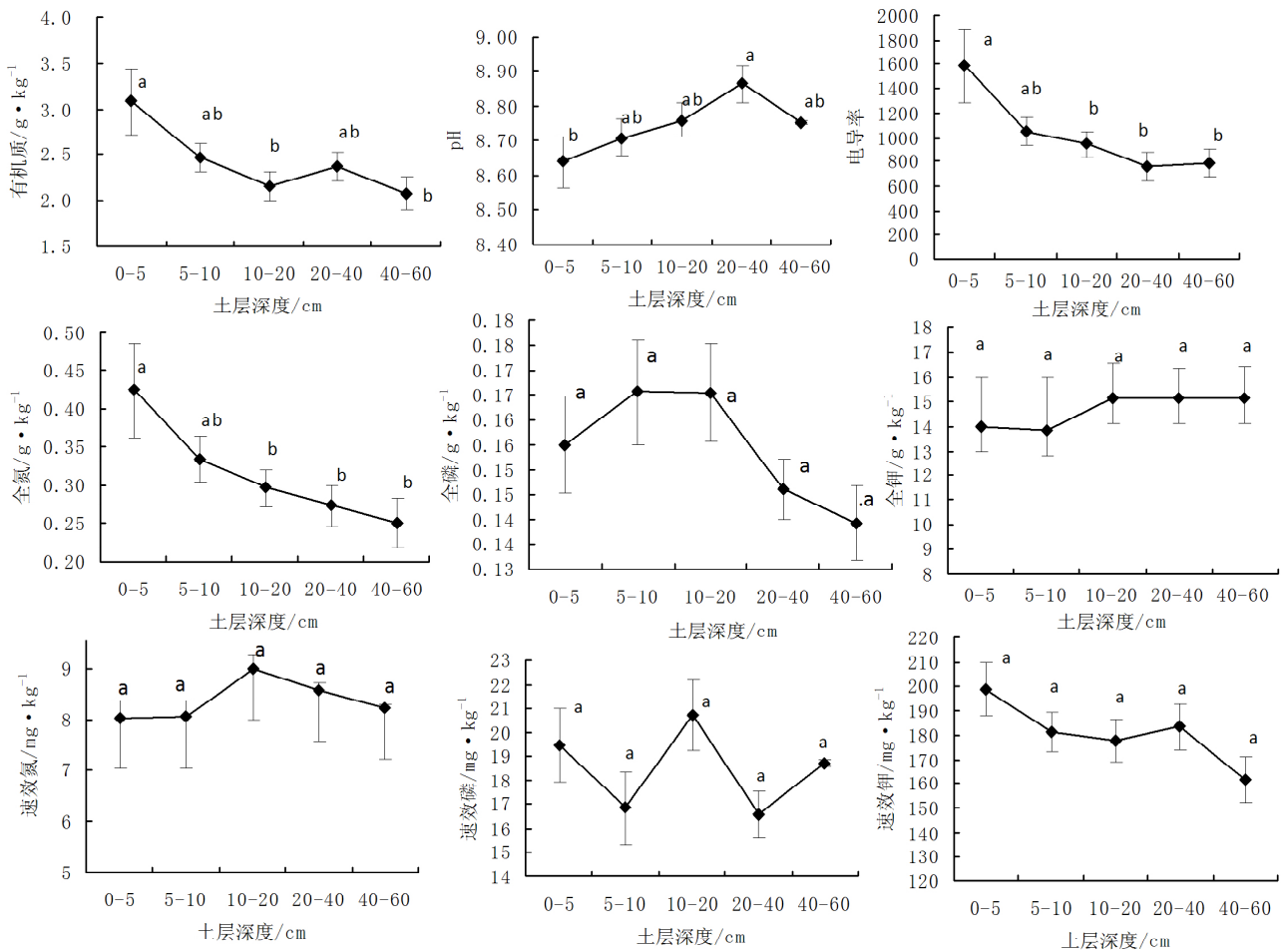


图 3 白刺灌丛沙堆不同土层的养分变化

Fig. 3 Changes of nutrients in different soil layers of *Nitaria tangutorum nebkhas*

2.3 青土湖白刺灌丛沙堆土壤养分间的相关性

青土湖白刺灌丛沙堆土壤养分间的相关性分析 (表 1) 结果表明: 土壤电导率与全氮、全磷、速效钾和有机质之间存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$); 土壤全氮与速效钾、有机质之间均存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$); 土壤全钾与全磷、速效钾之间存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$);

土壤全磷与速效钾之间存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$), 与有机质存在显著的正相关关系 ($P < 0.05$); 土壤速效钾与有机质之间存在显著的正相关关系 ($P < 0.05$); 除全钾与速效钾之间均存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), N、P 元素的有效成分含量与对应元素总量总体呈正相关, 但相关性不显著 ($P > 0.05$)。

表 1 青土湖白刺灌丛沙堆土壤养分间的相关性

Tab. 1 Correlation among soil nutrients in *Nitaria tangutorum nebkhas* in Qingtu lake

	电导率	速效氮	全氮	全钾	全磷	速效钾	速效磷	有机质	pH
电导率	1								
速效氮	-0.010	1							
全氮	0.392**	-0.058	1						
全钾	-0.151	0.151	-0.584**	1					
全磷	0.328**	0.114	0.013	0.237**	1				
速效钾	0.436**	-0.111	0.548**	-0.264**	0.211**	1			
速效磷	-0.084	-0.005	0.035	0.089	0.016	-0.030	1		
有机质	0.539**	0.029	0.279**	-0.121	0.226*	0.226*	0.009	1	
pH 值	0.087	-0.024	-0.042	-0.052	-0.103	0.056	0.001	0.097	1

注: * 代表 $P < 0.05$, ** 代表 $P < 0.01$

3 讨论与结论

3.1 讨论

青土湖岸属于湖积沙区,土壤养分均严重缺乏,水面形成对土壤的理化性质产生影响,本研究显示距水面 50m 处是白刺沙堆土壤养分显著性变化的位点;以往的研究该区域 0-60cm 土层深度的有机质、全氮、速效氮、全磷、全钾和土壤溶液电导率分别在距水面 100-150m 和 300m 处达到最大值^[25],而在白刺灌丛沙堆上,土壤溶液电导率、全氮、速效钾、全钾、速效磷、全磷、有机质在 50m 和 250m 处达到最大值,较平地向前推移了 50m,这可能与沙堆高于地面形成微地形的变化有关;青土湖原湖相沉积的纹层变化,形成了土壤养分波浪式变化;水对土壤养分的溶解推移^[25-26],使得土壤中养分随着水流不断向外漫延,移动至一定距离处聚集;而距水面 250m 处土壤养分出现峰值,首先可能湖相沉积的纹层变化导致土壤养分恰在此处是波峰,还可能与这一位点一年生草本种类和数量聚增,植物凋落物的分解使得土壤养分含量增加。

白刺灌丛沙堆不同土层深度土壤养分含量有显著变化,总体上呈现出表层的养分最高,且随土壤深度增加而减小的趋势,但差异不显著,这与以往的研究结果一致^[25-28]。在这一区域因为水面形成后土壤养分受到淋溶与沉降作用,对土壤养分在表层的聚集有一定影响,植被的变化同样也影响着土壤养分的积累、分布与循环^[29]。

土壤有机质与全氮、全磷、速效钾、电导率呈显著正相关;电导率和全氮、全磷、速效钾呈极显著正相关;以往的研究者在研究河岸带土壤养分的特征时发现 20cm、40cm 土层有机质含量与全氮呈正相关^[30]。我们所观测结果与湿地土壤有机质与全氮的空间分布类同。

3.2 结论

(1) 青土湖岸属于湖积沙区,土壤养分均严重缺乏,各养分含量均较低,且土壤均处于偏碱性状态,0-50m 内土壤盐分集中在距水面 50m 处,且土壤盐分有表层聚集的现象;(2) 土壤溶液电导率、全氮、速效钾、全钾、速效磷、全磷、有机质在距水面 50m 和 250m 处达到最大值,较平地向前推移了 50m;速效钾、速效磷、全钾和全磷含量在各土层变化不显著 ($P>0.05$),受水面形成的影

响有机质、全氮、速效钾、电导率在 0-5cm 土层含量最高,pH 值、全钾最低。(3) 有机质含量与土壤全 N、全 P 和速效 K 含量以及电导率均呈显著性正相关;而土壤有效养分含量与对应元素总含量相关性不显著。

参考文献:

- [1] Tengberg A. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso [J]. *Journal of Arid Environments*, 1995, 30: 265-282.
- [2] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 中国北方沙漠化土地时空演变分析 [J]. *中国沙漠*, 2003, 23(3): 230-235.
- [3] 刘金伟, 李志忠, 武胜利, 等. 新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究 [J]. *中国沙漠*, 2009, 29(4): 628-635.
- [4] 岳兴玲, 哈斯, 庄燕美, 等. 沙质草原灌丛沙堆研究综述 [J]. *中国沙漠*, 2005, 25(5): 738-743.
- [5] El-Bana M I, Nijs I, Kockelbergh F. Micro environmental and vegetational heterogeneity induced by phytogenic nebkhas in an arid coastal ecosystem [J]. *Plant and Soil*, 2002, 247: 283-293.
- [6] Cabrera V L L, Cruz-Avero N, Hernandez Calvento L, et al. Morphological changes in dunes as an indicator of anthropogenic interferences in arid dune fields [J]. *Journal of Coastal Research*, 2013, 65: 1271-1276.
- [7] 杜建会, 严平, 董玉祥. 干旱地区灌丛沙堆研究现状与展望 [J]. *地理学报*, 2010, 65(3): 339-350.
- [8] 王月, 李程, 李爱德, 等. 白刺沙堆退化与土壤水分的关系 [J]. *生态学报*, 2015, 35(5): 1407-1421.
- [9] 刘淑娟, 袁宏波, 刘世增, 等. 石羊河尾间水面形成区土壤颗粒的分形特征 [J]. *水土保持通报*, 2013, 33(6): 285-289.
- [10] 黄雅茹, 郝玉光, 董礼隆, 等. 乌兰布和沙漠东北缘典型固沙林土壤养分特征研究 [J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(2): 1-9.
- [11] 董志玲, 徐先英, 金红喜, 等. 生态输水对石羊河尾间湖区植被的影响 [J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(7): 101-106.
- [12] 朱雅娟, 李清雪, 贾志清, 等. 内蒙古敖汉旗不同类型防护林的土壤养分特征 [J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(4): 15-20.
- [13] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2295-2300.

[下转第 14 页]

[29]李子英 丛日春 杨庆山,等.盐碱胁迫对柳树幼苗生长和渗透调节物质含量的影响[J].生态学报,2017,37(24):8511-8517.

[30]郭立泉 陈建欣 崔景军,等.盐、碱胁迫下星星草有机酸代谢调节的比较研究[J].东北师范大学学报(自然科学版) 2009,41(4):123-128.

[31]赵颖 魏小红 赫亚龙,等.混合盐碱胁迫对藜麦种子萌发和幼苗抗氧化特性的影响[J].草业学报,2019,28(2):156-167.

[32]刘强 王占武 周晓梅.苍耳对盐碱胁迫的生理响应[J].东北林业大学学报 2017,45(4):23-27.

[33]Yang C W ,Chong J N ,Li C Y ,*et al.*Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte

Kochia sieversiana during adapation to salt and alkali conditions [J].Plant Soil 2007,294:263-276.

[34]张强 刘宁芳 向佐湘,等.盐碱胁迫对草地早熟禾生长和生理代谢的影响[J].草业学报,2017,26(12):67-76.

[35]孙凯 张胜利 朱弘博,等.利用隶属函数法对不同基因型甘薯耐盐碱能力的分析与评价[J].东北师大学报(自然科学版) 2015,47(2):115-119.

[36]郑巨云 曾辉 王俊铎,等.陆地棉品种资源萌发期耐盐性的隶属函数法评价[J].新疆农业科学,2018,55(9):1579-1592.

[37]许艳超 韦洋洋 李振庆,等.复合盐碱胁迫下半野生棉苗期耐盐性综合评价及其关键生理指标的变化[J].棉花学报,2018,30(3):231-241.

(编辑: 胡光辉)



[上接第 6 页]

[14]瞿王龙 杨小鹏 张存涛,等.干旱、半干旱地区天然草原灌木及其肥岛效应研究进展[J].草业学报,2015,24(4):201-207.

[15]张进虎 唐进年 李得禄,等.民勤荒漠绿洲过渡带灌丛沙堆形态特征及分布格局[J].中国沙漠,2015,35(5):1141-1149.

[16]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.

[17]孙涛 韩福贵 郭树江,等.干旱区不同生育期白刺灌丛沙堆土壤呼吸空间异质性[J].水土保持通报,2016,36(6):102-109.

[18]韩福贵 孙涛 郭树江,等.干旱荒漠区不同演替阶段白刺灌丛沙堆土壤呼吸特征及其影响因素分析[J].西北林学院学报,2017,32(5):1-7.

[19]王淮亮 高君亮 原伟杰,等.戈壁灌丛堆周边地表土壤颗粒的空间异质特征[J].植物生态学报,2013,37(5):464-473.

[20]贾晓红 李新荣 陈应武.腾格里沙漠东南缘白刺灌丛地土壤性状的特征[J].干旱区地理,2007,30(4):557-564.

[21]席军强 赵翠莲 杨自辉,等.荒漠绿洲过渡带白刺灌丛沙堆土壤水分空间分布及入渗特征[J].草业学报,2016,25(11):15-24.

[22]刘学东 陈林 杨新国,等.白刺沙堆周围土壤理化性状的空间分布特征[J].北方园艺,2016(10):158-163.

[23]席军强 杨自辉 郭树江,等.不同类型白刺沙丘土壤理化性状与微生物相关性研究[J].草业学报,2015,24(6):64-74.

[24]王林龙 李清河 徐军,等.沙埋对白刺表型可塑性的影响[J].林业科学研究,2016,29(3):442-447.

[25]刘淑娟 袁宏波 刘世增,等.石羊河尾间(青土湖)水面形成后土壤养分的空间特征[J].土壤,2015,47(5):1068-1075.

[26]施祺 王建民 陈发虎.石羊河古终端湖泊沉积物粒度特征与沉积环境初探[J].兰州大学学报(自然科学版),1999,35(1):194-198.

[27]刘强 游海涛 刘嘉麒.湖泊沉积物年纹层的研究方法及其意义[J].第四纪研究,2004,24(6):684-694.

[28]Yan S U ,Quan Q ,Qian H E ,*et al.*On spatial variability and distribution of soil nutrients in different *Nitraria tangutorum* Bobr. populations in Tsaidam Basin [J].Agriculture Science & Technology,2015,16(2):285-291.(in Chinese)

[29]樊瑞霞.白刺灌丛堆土壤_植被空间变化特征及相关关系研究[D].宁川:宁夏大学,2016.

[30]比拉力·依明 王勇辉 海米提·依米提.博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征及其相关性分析[J].干旱区研究,2014,31(2):216-221.

(编辑: 成伶俐)