

# 青土湖人工输水区白刺群落结构及土壤特性研究

郭春秀<sup>1,2,3</sup>, 安富博<sup>2,3</sup>, 刘虎俊<sup>3</sup>, 袁宏波<sup>2,3</sup>, 刘淑娟<sup>3</sup>, 刘开琳<sup>3</sup>, 赵艳丽<sup>3</sup>, 杜娟<sup>3</sup>

(1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外观测研究站, 甘肃 民勤 733300; 3. 甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** [目的] 对青土湖人工输水区白刺群落物种组成及土壤特性进行研究, 以揭示研究区白刺灌丛生态系统的健康状况, 为科学保育研究区灌丛沙堆以及生态恢复和防沙治沙工作提供科学依据。[方法] 通过野外植被调查和对距水面不同距离白刺沙堆的土壤理化特性进行分析研究。[结果] ① 所调查群落中共有植物种 18 种, 隶属 6 科 17 属, 其中一年生草本 8 种, 多年生草本 6 种, 灌木植物 4 种, 群落结构简单, 物种相对单一。② 距水面不同距离白刺群落 0—60 cm 土层土壤含水量, 随着土层的加深呈现逐渐增加的趋势, 随着距水面边缘距离的增加, 白刺沙堆的土壤含水量逐渐降低, 在 200 m 后趋于平稳; 土壤机械组成主要以细砂粒为主, 粗砂粒次之, 黏粒含量相对较低; 距水面 0—100 m 土层深度 0—40 cm 粗砂粒含量降低, 黏粉粒含量较大。③ 青土湖人工输水区属于湖积沙区, 土壤养分均属于严重缺乏, 各养分含量均较低, 且含量不均, 土壤均处于偏碱性状态; 土壤有机碳、全氮、速效钾含量表聚现象明显; 距水面相同距离范围内土壤全磷、全钾、碱解氮和速效磷含量差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 且随土层变化规律不明显。④ 有机碳含量与土壤全氮、全磷、速效钾、电导率之间呈显著正相关 ( $p < 0.05$ ), 电导率和全氮、全磷、速效钾之间呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ ), 土壤有效养分含量与对应元素总含量相关性不显著 ( $p > 0.05$ )。[结论] 距青土湖水面不同距离植被群落结构简单, 很多种为单属单科; 水面形成区影响白刺沙堆土壤水分, 增强细砂粒在近水面区域的沉降, 土壤养分含量总体偏低, 且含量不均, “表聚”现象明显。

**关键词:** 青土湖; 人工输水区; 白刺群落; 物种组成; 土壤特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)06-0044-08

中图分类号: S152.3

**文献参数:** 郭春秀, 安富博, 刘虎俊, 等. 青土湖人工输水区白刺群落结构及土壤特性研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 44-51. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.007; Guo Chunxiu, An Fubo, Liu Hujun, et al. Community structure and soil characteristics of *Nitraria tangutorum* in artificial water transfer area of Qingtu Lake[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 44-51.

## Community Structure and Soil Characteristics of *Nitraria Tangutorum* in Artificial Water Transfer Area of Qingtu Lake

Guo Chunxiu<sup>1,2,3</sup>, An Fubo<sup>2,3</sup>, Liu Hujun<sup>3</sup>, Yuan Hongbo<sup>2,3</sup>, Liu Shujuan<sup>3</sup>, Liu Kailin<sup>3</sup>, Zhao Yanli<sup>3</sup>, Du Juan<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster

Combating, Wuwei, Gansu 733000, China; 2. Minqin National Studies Station for Desert Steppe

Ecosystem, Minqin, Gansu 733300, China; 3. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The species composition and soil characteristics of *Nitraria tangutorum* community in the artificial water transfer area of Qingtu Lake was studied, in order to reveal the health status of shrub ecosystem in the study area, and to provide scientific basis for scientific protection of shrub sand pile, ecological restoration and desertification control in the study area. [Methods] Based on field vegetation survey, the physical and chemical properties of soil at different distance from water surface were studied. [Results] ① There were 18 species of plants belonged to 6 families and 17 genera in the investigated community, including

收稿日期: 2019-04-08

修回日期: 2019-05-17

资助项目: 国家自然科学基金项目(31460134; 31560128; 31760709; 31860175); 甘肃省重点研发项目(17YF1FA113)

第一作者: 郭春秀(1979—), 女(汉族), 甘肃省民勤县人, 博士, 副研究员, 主要从事荒漠生态及草地微生物多样性方面的研究。E-mail: guochunxiu0414@163.com。

通讯作者: 安富博(1972—), 男(汉族), 甘肃省镇原县人, 学士, 副研究员, 主要从事荒漠生态及荒漠化防治研究。E-mail: anfb\_gs@126.com。

8 species of annual herbs, 6 species of perennial herbs and 4 species of shrub plants. The community structure was simple. ② The soil moisture content in 0—60 cm soil layer at different distances from the water surface showed a gradual increase trend with the increase of soil depth. As the distances were increased from the edge of the water surface, the soil moisture content of *Nitraria tangutorum* sand pile decreased gradually and became stable after 200 m. The mechanical composition of soil was mainly fine sand and coarse sand, and clay particle content was relatively low. From the water surface 0—100 m, the content of coarse sand was decreased in the 0—40 cm soil layer and the clay power particle content was great. ③ The artificial water transfer area of Qingtu Lake belonged to the area of fluvial sand, which was seriously deficient in the soil nutrients. The contents of all nutrients were low and uneven, and the soil was in a status of alkalinity. The accumulation of soil organic carbon, total nitrogen and rapidly available potassium was obvious. Within the same distance from the water surface, the content of total phosphorus, total potassium, alkali-hydrolyzed nitrogen and available phosphorus showed no significant difference ( $p > 0.05$ ), and the change was not obvious with the increase of soil depth. ④ There was a positive correlation between organic carbon content and soil total nitrogen, total phosphorus, available potassium and electrical conductivity ( $p < 0.05$ ), and there was a significant positive correlation between electrical conductivity and total nitrogen, total phosphorus and available potassium ( $p < 0.01$ ), while there was no significant correlation between soil available nutrient content and the total content of corresponding elements ( $p > 0.05$ ). [Conclusion] The vegetation community structure with different distance from water surface is simple, and many species belong to single genus and single family. Water surface formation area affects the soil water content of *Nitraria tangutorum* sand pile, and enhances the settlement of fine sand particles in the area near water surface. Soil nutrient content is generally low and uneven, and the phenomenon of “surface accumulation” is obvious.

**Keywords:** Qingtu Lake; the artificial water transfer area; *Nitraria tangutorum* community; species composition; soil characteristics

在干旱、半干旱环境下,风沙流受灌丛阻挡,在灌丛周围堆积,从而形成一种独特的地貌类型—灌丛沙丘<sup>[1]</sup>。其产生和衰亡与土地退化、土地荒漠化密切相关,成为土壤风蚀和土地退化的标志<sup>[2]</sup>。群落结构是一个群落功能复杂性的量度,是揭示植被组织水平的生态学基础<sup>[3]</sup>,对植物群落结构进行研究可反映群落及其环境保护的状态,可深入了解群落组成、功能、演替动态和群落的稳定性<sup>[4]</sup>。土壤作为地表植物生长的基质,有着极其重要的地理意义,它是植被生长中水、热、气、肥供给的重要媒介,是自然状态下植物生长和发育的重要保障<sup>[5]</sup>。土壤质地(土壤机械组成)是土壤的一个稳定的自然属性,土壤颗粒的粗细与土壤的物理、化学和生物性质密切相关<sup>[6]</sup>,土壤粒度的组成及其特征影响土壤的抗风蚀能力<sup>[7-10]</sup>、保蓄性<sup>[11]</sup>、紧实度和黏结性等诸多性质<sup>[12]</sup>等。而且对植物的环境条件和养分供给等<sup>[13]</sup>有重要的作用,与沙漠化的发生发展及植被恢复有着密切的联系<sup>[14-16]</sup>。

白刺(*Nitraria sibirica*)为蒺藜科(*Zygophyllaceae*)白刺属(*Nitraria*)的旱生或超旱生典型灌木,属白垩纪、老第三纪孑遗的特有植物<sup>[17]</sup>,具有耐干旱、耐盐碱、耐沙埋、抗风蚀等特点,茎秆根系化明显,特

别是其耐沙埋,沙埋后能迅速长出不定根,进而扩展枝叶、积沙成丘<sup>[18]</sup>,灌丛植物与风成沉积物共同构建了灌丛沙堆这类特殊的风成地貌<sup>[19]</sup>,这对防止流沙入侵绿洲、保持绿洲环境的稳定具有很大的作用。白刺灌丛沙堆的形成和发育是群落演替过程中植被与环境相互作用的结果<sup>[20-21]</sup>。天然白刺灌丛沙堆主要分布在原来的青土湖湖底,处于荒漠—绿洲过渡带,呈大面积的片状连续分布,具有地带性分布特征。湖水干涸后由于土壤为沙质的湖相沉积物,含盐量较高,在地形、地貌和气候等条件的控制下,天然植被仅有白刺适宜大量存活,在风力作用下,逐步形成了相对独立的灌丛沙堆,使该区景观表现为单个灌丛沙堆的斑块状分布。白刺群落在其维持该区生态环境良性循环中起着十分重要的作用。自2010年开始通过渠道持续向青土湖注水。随着人工输水量增多,最终形成了25.16 km<sup>2</sup>人工湖。随之,青土湖岸区土壤等生态因子发生逆转,促进了周边植被组成的变化。

前人针对石羊河下游白刺灌丛及人工输水对生态环境的影响进行了一些研究,马全林等<sup>[22]</sup>对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的分析;孙涛等<sup>[23]</sup>对民勤荒漠绿洲过渡带白刺

沙堆土壤呼吸空间异质特征进行了研究;石万里等<sup>[24]</sup>分析了人工输水对石羊河下游青土湖区域生态环境的影响;李银科等<sup>[25]</sup>对石羊河下游沙漠—河岸过渡带土壤特征进行了研究;刘淑娟等<sup>[26-27]</sup>研究了石羊河尾间(青土湖)水面形成区土壤养分及颗粒的分形特征。但青土湖人工输水区白刺群落结构及土壤特性系统性研究较少,准确掌握水淹干扰对白刺群落及土壤特性的影响,可以揭示石羊河下游白刺灌丛生态系统的健康状况,如何科学地保育灌丛沙堆以及为石羊河下游生态恢复及防沙治沙提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

青土湖是石羊河尾间,位于腾格里沙漠西北缘(38°05′—39°06′N,103°02′—104°02′E)。海拔高度1 292~1 310 m;年平均气温为7.8℃,>10℃的有效积温3 289.1℃;年平均降水量89.8 mm,降水多集中于7—9月,占全年降水总量的73%,蒸发量达2 600 mm以上;无霜期168 d,光照3 181 h,太阳辐射630 kJ/cm<sup>2</sup>,全年盛行西北、西北偏西风,年均风速4.1 m/s;属于典型温带大陆性干旱荒漠气候。研究区土壤以湖相沉积物为母质的沙土及壤质沙土为主;植被类型为典型的荒漠植被,自然植被整体稀疏、种类较少<sup>[21]</sup>;白刺群落大面积连续分布,偶见芦苇群落(*Phragmites communis*),一年生植物群落零星分布。伴生灌木有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、怪柳(*Tamarix hohenackeri*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)和盐爪爪(*Kalidium foliatum*);草本植物种丰富,主要有:驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、鹅绒藤(*Cynanchum sibiricum*)、虫实(*Corispermum patelliforme*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)等<sup>[28]</sup>。

### 1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 样地选择和样品采集 2015年5月根据研究区地貌特征、植被和水面状况,选取石羊河下游青土湖民左公路两侧为土样采集区,以典型性和代表性

为原则,分别取距水面边缘0~100 m(A区域),100~200 m(B区域),200~300 m(C区域)设置样地,A区域的土壤处于常年被水淹的状态,B区域的土壤处于间断性被水淹的状态,C区域处于基本常年不见水的状态(表1)。在每个样地选取3个具有代表性的白刺沙堆,用土钻从白刺沙包表层按照0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm共5个层次分层采样,每层取3个重复,混合均匀后装入自封袋,带回实验室自然风干、剔除了植物细根等杂质后过2 mm筛,用于土壤理化特性的测定。

1.2.2 样品分析测试 土壤粒度使用马尔文激光粒度仪(Master 2000)进行测定,土壤粒径分级以国际制为标准,即0~0.002 mm为黏粒,0.002~0.02 mm为粉粒,0.02~0.2 mm为细沙粒,0.2~2 mm为粗沙粒<sup>[29]</sup>;土壤含水量采用烘干法,土壤养分主要测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、pH值和电导率9个指标。土壤有机质采用重铬酸钾—外加热法测定;全氮采用半微量开氏法测定;全磷采用NaOH熔融—钼锑抗显色—紫外分光光度法测定;全钾、速效钾采用NaOH熔融—火焰光度计法测定;碱解氮采用碱解—扩散法测定;速效磷采用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提法测定<sup>[30]</sup>;土壤溶液电导率采用交流测量法;pH值采用电极电位法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 距水面不同距离白刺群落物种组成及结构特征

#### 2.1.1 距水面不同距离白刺群落植物科、属、种结构

青土湖距水面不同距离植被群落特征及样地情况详见表1。由表2可知,在距水面不同距离白刺群落中,调查样方共出现物种18种,隶属6科17属,其中藜科种类最多(9属10种),占属种总数的55.56%,其次为菊科(3属3种),占属种总数的16.67,禾本科为(2属2种),占属种总数的11.11%,蒺藜科、怪柳科、萝藦科均为单属种,符合西北荒漠区的植物区系特征<sup>[31]</sup>。说明,该区群落结构简单,科属组成分散。距水面不同距离白刺群落植物种类属于藜科的比例较高,占本群落的比率为91%,主要原因是藜科植物比较能适应干旱盐渍化的环境。

表1 青土湖距水面不同距离植被群落特征

样地编号	距水面距离/m	经纬度	海拔/m	优势种群
A(常年水淹区)	0~100	103°37′59.34″E,39°07′21.98″N	1 325	白刺+芦苇+鹅绒藤+沙地旋履花
B(间歇性水淹区)	100~200	103°38′01.72″E,39°07′19.91″N	1 326	白刺+鹅绒藤+驼蹄瓣+芦苇
C(非水淹区)	200~300	103°38′07.64″E,39°07′18.54″N	1 331	白刺+芦苇+驼蹄瓣+盐生草

注:物种拉丁学名:芦苇(*Phragmites communis*);沙地旋履花(*Inula japonica*)。

表 2 距水面不同距离白刺群落主要植物科、属、种的组成

立地条件	总科数/ 个	总属数/ 个	总种数/ 个	4 大科的种数分布/个					合计	占群落比例/%
				藜科	蒺藜科	禾本科	菊科			
常年水淹区(A)	5	11	11	6	1	1	2	10	91.00	
间歇性水淹区(B)	4	11	11	8	1	1	0	10	91.00	
非水淹区(C)	5	10	11	7	1	1	1	10	91.00	

2.1.2 不同类型荒漠草地黑果枸杞群落生活型结构特征 采用 Whittaker 的生长型系统来表示生活型<sup>[32]</sup>,将群落中的植物分为灌木、多年生草本、一年生草本 3 种类型。从生活型上看(表 3),一年生草本最多,为 8 种,隶属 8 科 7 属,多年生草本次之,为 6 种,隶属 6 科 6 属,灌木最少,为 4 种,隶属 4 科 4 属,分别占总种数的 44.44%,33.33%,22.22%。在距水面不同距离的白刺群落中多年生草本与灌木物种数相近。草本层与灌木层植物数量差距较大,草本物种相对丰富且数量较大,灌木层物种相对单一且数量较少。在距水面不同距离白刺群落中,多年生草本占比例最大,都超过 50%以上;其中在非水淹区,灌木层占的比例最大,达到 17.10%;在间歇性水淹区一年生草本占的比例最大,达到 39.80%;群落的系统功能、结构、稳定性等主要是由灌木层和多年生草本层决定,因此距水面不同距离白刺群落结构相对稳定。

2.2 距水面不同距离白刺沙堆土壤理化特征

2.2.1 距水面不同距离白刺沙堆土壤水分特征 由图 1 可以看出,距水面不同距离白刺沙堆 0—60 cm 土层含水率变化趋势为:常年水淹区(A) > 间歇性水淹区(B) > 非水淹区(C),随着距水面距离增加,白刺沙堆含水量逐渐减少,水面周边白刺沙堆含水量最高为 16.03%,最低为 3.37%;常年水淹区(A)的土壤含水率分别是间歇性水淹区(B)和非水淹区(C)的 1.96,3.35 倍;且常年水淹区(A)和间歇性水淹区(B)土壤含水率随着土层的加深呈现先增后减再增加的趋势,非水淹区(C)土壤含水率随着土层的加深呈现逐渐增加的趋势。

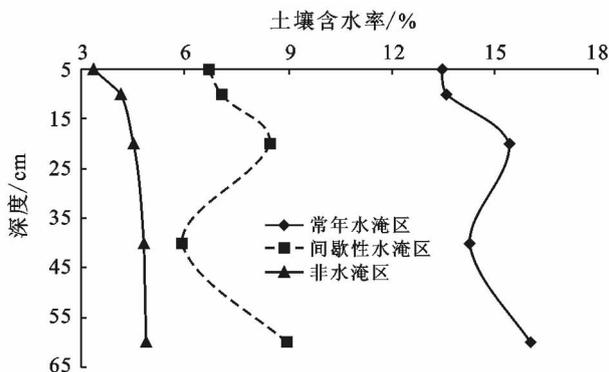


图 1 距水面不同距离白刺沙堆 0—60 cm 土层深度土壤含水率

表 3 距水面不同距离白刺群落植被种类组成及数量

生活型	物种	距水面不同距离		
		常年水淹区(A)	间歇性水淹区(B)	非水淹区(C)
灌木	白刺	69	63	79
	盐爪爪	123	1.87	0.4
	黑果枸杞	13	1.1	—
	怪柳	10	—	—
	小计(比例)	215 (16.20%)	65.97 (6.70%)	79.40 (17.10%)
多年生草本	沙蒿	57.5	267.5	18.2
	芦苇	1016	80.5	10.2
	鸦葱	4	—	—
	驼蹄瓣	6.7	137.9	234
	沙地旋覆花	—	—	—
	鹅绒藤	11.6	41.65	14.5
小计(比例)	1 095.80 (82.80%)	527.5 (53.50%)	276.90 (59.80%)	
一年生草本	虫实	5.3	90	—
	刺沙蓬砂蓝刺头	3.3	2.2	2.7
	盐生草	3.8	0.6	11.9
	猪毛菜	—	—	2.1
	沙米	—	0.6	82.7
	画眉草	—	294	3.2
	雾冰藜	—	5.5	4.3
	小计(比例)	12.4 (1.00%)	392.9 (39.80%)	106.9 (23.10%)
合计(比例)	1 323.20 (100%)	986.42 (100%)	463.20 (100%)	

注:黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*);怪柳(*Tamarix ramosissima*);沙蒿(*Artemisia desertorum*);鸦葱(*Scorzonera austriaca*);砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*);沙米(*Agriophyllum squarrosum*)。

2.2.2 距水面不同距离白刺群落土壤粒度特征 由图 2 可以看出,距水面不同距离白刺沙堆 0—60 cm 土层土壤颗粒主要以细砂粒为主(66.92%~75.026%),粗砂粒次之(13.87%~25.82%),黏粒体积百分含量较低(0.57%~2.02%)。距水面 0~100 m(常年水淹区)0—60 cm 土层深度土壤平均粒径体积百分比分别为:细砂粒 72.69%、粉粒 9.04%、黏粒 1.75%、粗砂粒 16.52%,随着距水面距离增加各土层黏粒、粉粒、细砂粒体积百分比逐渐降低,粗砂粒体积百分

比随着距水面距离增加呈逐渐增加的趋势,距水面 100—200 m(间歇性水淹区)和 200—300 m(非水淹

区)土壤平均粒径体积百分比与 0—100 m(常年水淹区)相比分别增加了 43.78%和 39.17%。

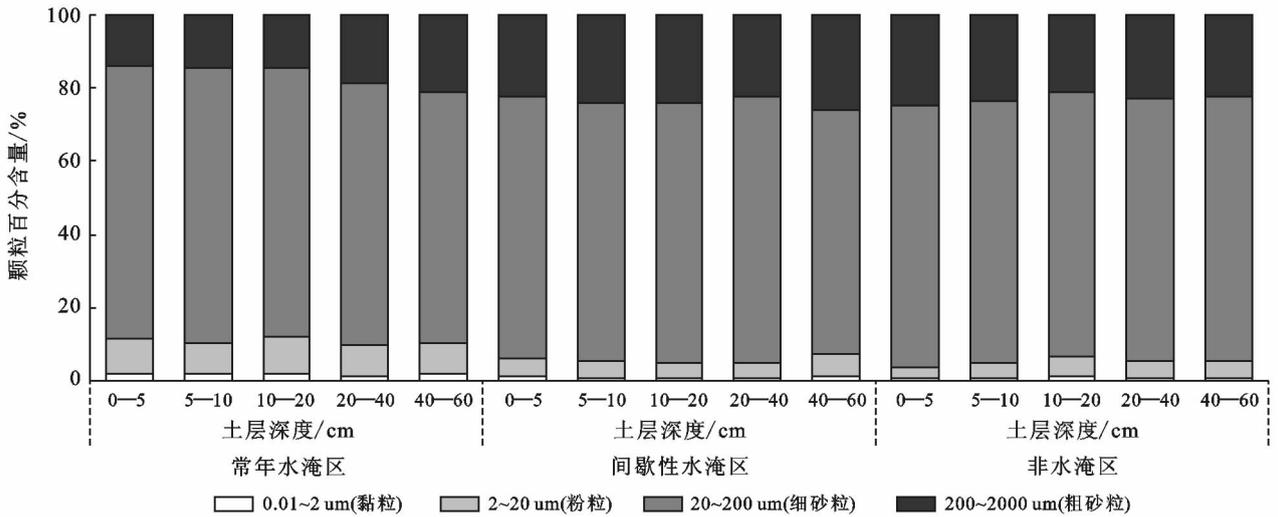


图 2 距水面不同距离白刺沙堆 0—60 cm 土层土壤粒径分布

2.2.3 土壤养分特征 通过对青土湖人工输水区距水面不同距离白刺群落土壤养分特征测定分析表明(表 4),距水面不同距离样地中土壤全钾含量相对较大,其值在 10.07~16.77 mg/kg 之间,常年水淹区(A)土壤速效钾含量显著低于间歇性水淹区(B)和非水淹区(C)( $p < 0.05$ ),且常年水淹区(A)各土层土壤速效钾含量均为最低,其值分别为 124.86, 158.13,

156.14, 164.77 和 148.89 mg/kg。间歇性水淹区(B)5—10 cm 土层土壤有机碳含量显著低于常年水淹区(A)和非水淹区(C)( $p < 0.05$ ),在常年水淹区(A)内,20—60 cm 土层土壤全氮显著低于 B 区域和 C 区域( $p < 0.05$ );距水面相同距离范围内土壤全磷、全钾、碱解氮和速效磷含量差异不显著( $p > 0.05$ ),且随土层变化规律不明显。

表 4 距水面不同距离白刺群落 0—60 cm 土层土壤化学性质

土层/cm	样地	有机碳/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	碱解氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
0—5	A	3.03±0.45 <sup>a</sup>	0.27±0.07 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>a</sup>	11.14±1.47 <sup>a</sup>	7.00±0.76 <sup>a</sup>	17.09±0.99 <sup>a</sup>	124.86±25.00 <sup>b</sup>
	B	3.23±0.59 <sup>a</sup>	0.29±0.1 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	13.68±1.39 <sup>a</sup>	8.00±1.85 <sup>a</sup>	19.99±2.67 <sup>a</sup>	229.97±35.85 <sup>a</sup>
	C	2.22±0.42 <sup>a</sup>	0.09±0.05 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	15.83±1.59 <sup>a</sup>	8.97±0.94 <sup>a</sup>	21.50±3.95 <sup>a</sup>	207.75±48.96 <sup>a</sup>
5—10	A	3.20±0.30 <sup>a</sup>	0.15±0.05 <sup>ab</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	10.07±1.08 <sup>a</sup>	7.02±0.65 <sup>a</sup>	18.35±6.31 <sup>a</sup>	158.13±24.57 <sup>ab</sup>
	B	1.96±0.29 <sup>b</sup>	0.08±0.08 <sup>a</sup>	0.18±0.04 <sup>a</sup>	15.06±1.71 <sup>a</sup>	8.58±2.16 <sup>a</sup>	20.24±5.47 <sup>a</sup>	185.45±19.12 <sup>a</sup>
	C	2.13±0.39 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.04 <sup>a</sup>	14.48±1.41 <sup>a</sup>	8.36±1.71 <sup>a</sup>	14.14±1.16 <sup>a</sup>	163.03±24.88 <sup>a</sup>
10—20	A	2.78±0.26 <sup>ab</sup>	0.13±0.05 <sup>ab</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	11.94±1.43 <sup>a</sup>	10.87±3.70 <sup>a</sup>	19.91±3.03 <sup>a</sup>	156.14±13.22 <sup>b</sup>
	B	2.13±0.34 <sup>ab</sup>	0.09±0.04 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>a</sup>	16.77±2.05 <sup>a</sup>	11.03±3.60 <sup>a</sup>	23.56±4.36 <sup>a</sup>	191.60±90.98 <sup>a</sup>
	C	2.20±0.41 <sup>a</sup>	0.07±0.04 <sup>a</sup>	0.19±0.03 <sup>a</sup>	15.75±1.10 <sup>a</sup>	9.67±2.23 <sup>a</sup>	17.41±2.61 <sup>a</sup>	162.96±22.26 <sup>a</sup>
20—40	A	2.52±0.28 <sup>ab</sup>	0.06±0.03 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	12.46±5.01 <sup>a</sup>	8.00±2.05 <sup>a</sup>	17.10±1.01 <sup>a</sup>	164.77±13.36 <sup>b</sup>
	B	2.35±0.40 <sup>ab</sup>	0.11±0.05 <sup>a</sup>	0.20±0.04 <sup>a</sup>	15.44±1.95 <sup>a</sup>	8.27±1.07 <sup>a</sup>	15.28±1.85 <sup>a</sup>	182.14±22.83 <sup>a</sup>
	C	2.13±0.64 <sup>a</sup>	0.10±0.03 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	16.73±1.40 <sup>a</sup>	10.06±1.74 <sup>a</sup>	16.88±2.42 <sup>a</sup>	184.96±18.58 <sup>a</sup>
40—60	A	2.05±0.20 <sup>b</sup>	0.05±0.03 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>	13.06±1.57 <sup>a</sup>	7.02±1.43 <sup>a</sup>	19.81±1.23 <sup>a</sup>	148.89±14.59 <sup>b</sup>
	B	2.02±0.28 <sup>ab</sup>	0.10±0.06 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>	15.11±2.09 <sup>a</sup>	6.61±0.46 <sup>a</sup>	19.65±2.90 <sup>a</sup>	152.81±9.20 <sup>a</sup>
	C	1.90±0.52 <sup>a</sup>	0.06±0.03 <sup>a</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>	15.50±1.32 <sup>a</sup>	8.40±1.05 <sup>a</sup>	18.15±2.49 <sup>a</sup>	163.70±10.00 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示同一土层不同类型荒漠草地差异显著( $p < 0.05$ )。

2.2.4 距水面不同距离白刺群落土壤养分间的相关性 青土湖人工输水区距水面不同距离白刺群落土

壤养分间的相关性分析结果表明(表 5),土壤电导率与全氮、全磷、速效钾和有机碳之间存在极显著的正相

关关系( $p < 0.01$ );土壤全氮与全钾、有机碳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( $p < 0.01$ ),与有机碳存在显著的正相关关系( $p < 0.05$ );

土壤速效钾与有机碳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 和 P 元素的有效成分含量与对应元素总量总体呈正相关,但相关性均未达到显著水平( $p > 0.05$ )。

表 5 距水面不同距离白刺沙堆土壤养分间的相关性分析

项目	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	-0.01	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	-0.03	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: \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

### 3 结论与讨论

(1) 植物群落科、属、种结构不仅能反应植物群落特征,在一定程度上也能反映了群落的外貌,是植物群落对生境各种因素综合反映的外部表现<sup>[33]</sup>。植物的生活型可以提供群落对特定环境因子的反应、空间利用和种间竞争关系等方面的信息<sup>[34]</sup>。本研究发现,在距水面 0~300 m 范围内白刺群落中共出现植物种 18 种,其中一年生草本最多为 8 种,多年生草本 6 种,灌木植物最少为 4 种,分属 6 科 17 属;距水面不同距离白刺群落一年生草本植物最多,灌木植物所占的比例最少,这是由于一年生植物受土壤表层水分影响较大,所以其分布及数量与地下水位和降雨量关系密切<sup>[35]</sup>,拥有丰富的年生植物本身是全球荒漠地区常见的一个特点<sup>[36]</sup>。灌木种少是因为白刺沙包几乎消耗了沙丘及丘间地绝大部分的水分,其它植物较难生存<sup>[37]</sup>。距水面不同距离白刺群落植物的种类主要有驼蹄瓣、白刺、沙地旋复花、芦苇等,多集中在藜科、蒺藜科、菊科及禾本科这 4 大科,其他科物种相对较少且分散,说明驼蹄瓣、白刺、沙地旋复花、芦苇等物种具有较强的生态适应性,能适应民勤地干旱盐渍化的环境生态环境。

(2) 通过在青土湖水面形成区定点观测,分析距水面不同距离、不同土层深度白刺沙堆的土壤水分及其粒度组成变化,表明不同区域内白刺沙堆 0—60 cm 土壤含水量较大。这可能是由于人工输水使得该区域地下水位上升,土壤含水量增加。20—40 cm 土层的土壤含水量对灌木的生存与生长起关键作用<sup>[39]</sup>,白

刺不定根在 20—40 cm 分布较多,消耗了大量水分,使得土壤水分达到最低值<sup>[40-41]</sup>。距水面 0~200 m 范围内,随土层深度的增加,土壤含水量自上而下呈现先增后减再增加的趋势;随着距水面边缘距离的增加,白刺沙堆的土壤含水量逐渐降低,在 200 m 后逐渐趋于平稳。说明随着距水面距离增加白刺沙堆土壤含水率受到人工输水的影响越来越小。

(3) 距水面不同距离白刺沙堆 0—60 cm 土层土壤颗粒主要以细砂粒为主,黏粉粒所占体积百分比相对较低,与以往的研究结果一致<sup>[21]</sup>。白刺沙堆土壤粒度组成的区别主要由于风力对于沙物质的搬运和堆积作用<sup>[42]</sup>。研究区气候干燥,受频繁而强烈风蚀作用影响,土壤细粒物质易在风沙流作用下被搬运,使得白刺沙堆中、上部表层土壤黏粉粒物质含量较高<sup>[43]</sup>。以往的研究中水面形成对地面表层土壤粒径的影响范围在 0~150 m,土壤粒径表现为砂粒含量减少,黏粉粒有增加趋势,土壤向黏质化、紧密化发展,随后因受水面形成影响较小,细砂粒和粗砂粒含量增多,土壤再次向砂质化、疏松化发展<sup>[44]</sup>。白刺沙堆也出现大致相同的趋势,在距水面 0~100 m 土层深度 0—40 cm 粗砂粒含量降低,黏粉粒含量较多。这是由于水面形成影响到表层的土壤含水量,从而影响到表层土壤沙物质的沉积,使得在距水面 0~100 m 内白刺灌丛沙堆土壤粒度朝细化方向发展。

(4) 土壤养分含量是反映土壤质量或土壤健康状况的一个重要指标,影响土壤养分空间变异的因素主要包括:成土素质、地形和人类干扰活动等,在青土湖人工输水区气候条件一致区域内,距水面不同距离

白刺群落土壤养分由成土母质引起的空间变异较小,而人类干扰活动和小生境对土壤养分含量的变化有较大影响。青土湖人工输水区土壤养分严重贫乏。本研究显示随着距水面距离的不同,土壤养分呈现波浪式变化,在距水面一定距离富集,这种变化与其湖泊沉积和区域气候环境变化一致。在距水面 100~200 m 范围内,土壤养分含量较高,这可能是由于受水的溶解推移作用<sup>[22,45]</sup>,土壤养分随着水流不断向后移动,在距水面一定距离处达到极值;在距水面 200 m 之后达到最低值,这与刘淑娟等的研究相似<sup>[22]</sup>。青土湖土壤养分各指标垂直指标也存在差异,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<sup>[22,45-47]</sup>。在这一区域可能是因为水面形成后土壤的养分的淋洗与沉降作用明显,影响了土壤养分在表层的聚集,植被的变化同样也影响着土壤养分的积累、分布与循环<sup>[48]</sup>。

(5) 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;比拉力·依明等<sup>[49]</sup>在研究博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征时发现在 20 cm 和 40 cm 土层有机质含量与全氮呈正相关。我们所观测结果与湿地土壤有机质与全氮的空间分布相似。

#### [参 考 文 献]

- [1] 唐艳,刘连友,杨志鹏,等.毛乌素沙地南缘灌丛沙丘土壤水分与粒度特征研究[J].水土保持研究,2009,16(2):6-10.
- [2] Tengberg A. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso[J]. Journal of Arid Environment, 1995,30(3):265-282.
- [3] 司建华,冯起,常宗强,等.阿拉善雅布赖风沙区荒漠植物群落结构和物种多样性研究[J].西北植物学报,2011,31(3):602-608.
- [4] 李保军.植物群落结构的稳定性与复杂性[J].中国草业科学,1988,4(3):16-18.
- [5] 张凯,冯起,吕永清,等,司建华.石羊河下游民勤湖区土壤特性和空间分异研究[J].土壤,2012,44(5):838-845.
- [6] 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室编.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996,407.
- [7] 董治宝,李振山.风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J].水土保持学报,1998,4(4):1-12.
- [8] 陈广庭.北京平原土壤机械组成和抗风蚀能力的分析[J].干旱区资源与环境,1991,5(1):103-113.
- [9] Orlovsky L, Orlovsky N, Durdyev A. Dust storms in Turkmenistan [J]. Journal of Arid Environment, 2005, 60(1):83-97.
- [10] Singer A, Zobeck T, Poberezsky L, et al. The PM10 and PM2.5 dust generation potential of soils/sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan [J]. Journal of Arid Environments, 2003,54(4):705-728.
- [11] 王军,傅伯杰,将小平.土壤水分异质性的研究综述[J].水土保持学报,2002,16(1):1-5.
- [12] 熊顺贵.基础土壤学[M].北京:中国农业大学出版社,2001.
- [13] 王洪杰,李宪文,史学正,等.不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J].水土保持学报,2003,17(2):44-50.
- [14] Li Xinrong. Influence of variation of soil spatial heterogeneity on vegetation restoration[J]. Science in China (D): Earth Sciences, 2005,48(11):2020-2031.
- [15] 张继义,王娟,赵哈林.沙地植物恢复过程土壤颗粒组成变化及其空间变异特征[J].水土保持学报,2009,23(3):153-157.
- [16] 石瑞香,杨小唤,王立新.伊犁新垦区土壤养分特征与土地开垦的方向探讨[J].资源科学,2009,31(12),2016-2023.
- [17] 潘晓玲,沈观冕,陈鹏.白刺属植物的分类学及系统学研究[J].云南植物研究,1999,21(3):287-295.
- [18] 张远东,潘晓玲,顾峰雪,等.阜康荒漠植被灌丛种群生态位的研究[J].植物生态学报,2001,25(6):741-745.
- [19] 张萍,哈斯,岳兴玲,等.白刺灌丛沙堆形态与沉积特征[J].干旱区地理,2008,31(6):926-932.
- [20] 贾宝全,蔡体久,高志海,等.白刺灌丛沙包生物量的预测模型[J].干旱区资源与环境,2002,16(1):96-99.
- [21] 熊小刚,韩兴国,白永飞,等.锡林河流域草原小叶锦鸡儿分布增加的趋势、原因和结局[J].草业学报,2003,12(3):57-62.
- [22] 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.
- [23] 孙涛,韩富贵,安富博,等.民勤绿洲过渡带白刺沙堆土壤呼吸空间异质特性[J].草业科学,2017,34(4):673-684.
- [24] 石万里,刘淑娟,刘世增,等.人工输水对石羊河下游青土湖区生态环境的影响分析[J].生态学报,2017,37(18):5951-5960.
- [25] 李银科,刘世增,刘虎俊,等.石羊河流域中下游沙漠—河岸过渡带土壤特征研究[J].水土保持研究,2012,19(6):29-35.
- [26] 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.
- [27] 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(6):1068-1075.

- [28] 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.
- [29] 中国科学院土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [30] 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.
- [31] 党荣理,潘晓玲. 西北干旱荒漠区种子植物科的区系分析[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 24-32.
- [32] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [33] 郝文芳,杜峰,陈小燕,等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系[J]. 草地学报, 2012, 20(4): 609-615.
- [34] 郭泉水,江洪,王兵,等. 中国主要森林群落植物生活型谱的数量分类及空间分布格局的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 573-577.
- [35] 杨自辉,俄有浩,方峨天,等. 民勤绿洲边缘物种多样性对水资源变化的响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 278-282.
- [36] 李雪华,李晓兰,蒋德明,等. 干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述[J]. 生态学杂志, 2006, 25(7): 851-856.
- [37] 徐宝国,贺访印,刘勤先. 民勤荒漠白刺群落的分布与结构特征研究[J]. 甘肃林业科技, 2013, 38(2): 1-6.
- [38] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [39] 王家强,韩路,柳维扬,等. 塔里木河中游荒漠绿洲过渡带土壤水分与植被空间格局变化关系研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1): 1-10.
- [40] 孙祥,于卓. 白刺根系的研究[J]. 中国沙漠, 1992, 12(4): 50-54.
- [41] 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.
- [42] 马成忠,邓继峰,丁国栋,等. 不同初植密度樟子松人工林对毛乌素沙地南缘土壤粒度特征的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 230-235.
- [43] 刘淑娟,袁宏波,李发明,等. 青土湖水面形成区土壤颗粒组成与化学特性变化[J]. 草业科学, 2015(12): 1953-1959.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] Su Yan, Qiu Quan, He Qian, et al. On spatial variability and distribution of soil nutrients in different *Nitraria tangutorum* bobs, populations in Tsaidam basin [J]. *Agriculture Science & Technology*, 2015, 16(2): 285-291.
- [47] 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]. 宁夏 银川: 宁夏大学, 2016.
- [48] 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.

(上接第 43 页)

- [25] Chen Yong . Sewage sludge aerobic composting technology research progress[J]. *AASRI Procedia*, 2012, 52(6): 339-343.
- [26] 王瑞莹. 园林废弃物资源化利用技术及机理的研究[D]. 广西南宁: 广西大学, 2018.
- [27] 陈浩天,张地方,张宝莉,等. 园林废弃物不同处理方式的环境影响及其产物还田效应[J]. 农业工程学报, 2018, 34(21): 239-244.
- [28] 党秋玲,李鸣晓,席北斗,等. 堆肥过程多阶段强化接种对细菌群落多样性的影响[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2689-2695.
- [29] 任连海,何亮,宁娜,等. 餐厨垃圾高效好氧堆肥过程参数的影响因素研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2010, 28(5): 40-44.
- [30] 冯冲凌. 黄孢原毛平革菌及其关键功能酶对木质纤维素降解转化特性的研究[D]. 湖南 长沙: 湖南大学, 2011.
- [31] 罗维,陈同斌,高定,等. 混合堆肥过程中挥发性固体含量的层次效应及动态变化[J]. 环境科学, 2004, 25(3): 155-159.
- [32] Gao Mengchun, LiBing, Yu An , et al. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(6): 1899-1903.
- [33] 袁京,何胜洲,李国学,等. 添加不同辅料对污泥堆肥腐熟度及气体排放的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S2): 241-246.
- [34] 孟国欣,查同刚,巩潇,等. 污泥添加园林废弃物堆肥过程参数变化及腐熟度综合评价[J]. 生态环境学报, 2018, 27(8): 1538-154.