

# 塔里木河中游荒漠河岸林土壤理化性质 分布特征与植被关系

张海涛<sup>1</sup>, 梁继业<sup>1,2</sup>, 周正立<sup>1,2</sup>, 吕瑞恒<sup>1,2</sup>

(1. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室,

新疆阿拉尔843300; 2. 新疆塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔843300)

**摘要:**为揭示土壤理化性质的空间变异特征及其与植物数量特征、物种多样性的关系,运用相关性分析和回归分析等方法对塔里木河中游荒漠河岸林不同生境土壤理化性质的空间变异规律及其与植物数量特征和物种多样性进行了分析。结果表明:(1)不同生境土壤理化性质有明显的差异,表现为:土壤含水量、容重在河岸地带大于过渡地带和荒漠地带,持水量、孔隙度、全盐、pH值则随着垂直于河岸距离的增加而增加,有机质、全磷、全钾的最大值则出现在水热资源组合较好的过渡地带,生境内部不同土层理化因子变化呈现不同的规律;(2)随着距离河岸增加,乔木、灌木、草本的频度、盖度、密度存在不同程度退化,物种多样性指数也明显降低;(3)植物数量特征、物种多样性指数与土壤理化因子存在一定的相关性,全盐量、容重、土壤含水量、pH、全氮、全磷与植物的数量特征指标和物种多样性指数的关系最为密切;(4)经回归分析,表明土壤含水量是影响干旱地区植物生长的首要因子,而土壤养分也是影响植物生长的主要因素,且有机质、全磷、全钾与植物生长状况呈负相关。土壤理化性质的空间变异不仅促使区域植物数量特征发生明显变化,而且也影响群落的演替,同时,植物的空间分布特征对土壤理化性质有明显改良作用,通过二者关系的研究为塔里木河中游荒漠河岸林的恢复和土地沙化的治理提供理论支撑。

**关键词:**荒漠河岸林;土壤理化性质;植被生长状况;相关分析;塔里木河中游

中图分类号:Q948.113

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)02-0006-07

## Relationship Between Distribution Characteristics of Soil Physicochemical Properties and Vegetation in Desert Riparian Forest in the Middle Reaches of the Tarim River

ZHANG Haitao<sup>1</sup>, LIANG Jiye<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhengli<sup>1,2</sup>, LÜ Ruiheng<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in

Tarim Basin, Xinjiang Production and Construction Corps, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

**Abstract:** In order to understand the spatial variability of soil physical and chemical properties and the relationship between soil physicochemical properties and plant quantitative, species diversity. We used the methods of correlation and regression analysis to examine the relationship between soil physicochemical properties and plant quantitative, species diversity. The results showed that: (1) the physical and chemical properties of soil had significant variations in different habitats, soil water content and bulk density in riparian area were higher than transition and desert area, the levels of water-holding capacity, porosity, total salt, pH were become higher as the distance increased from the river bank, and the maximum levels of organic matter, total phosphorus, total potassium were observed in transition place where the water and sunshine had the good combination, the physical and chemical properties had different patterns in the layers of soil in interior habitat; (2) the frequency, coverage, densiteis of tree, shrub, herbal had degraded to various extents, and the species diversity indexes presented the decrease trend; (3) with the analysis of these two factors, the quantitative characteristics indicators of plant and the species in this area had a certain correlation with soil physical and chemical proterties, total salt, bulk density, water content, pH, total nitrogen, total phosphorus were most close to quantitative characteristics and species diversity index; (4) through regression analysis, it showed

that the soil water content was the first factor affecting plant growth in this region, the soil nutrient was the main factor, at the same time, organic matter, total phosphorus and total potassium were negatively correlated with plant growth condition. These results suggested that soil physicochemical property changes not only led to the plant change, but also affected plant succession processes, meanwhile, the plants had the significant function for improvement of soil physicochemical properties. Studying the relationship between soil physicochemical properties and vegetation, will provide the theoretical references for the environment recovery and controlling the process of land desertification in the middle reaches of Tarim River.

**Keywords:** desert riparian forest; soil physicochemical properties; the growth condition of vegetation; correlation analysis; middle reaches of Tarim River

土壤作为森林生态系统内物质交换和能量守恒的载体,为植物的生长发育提供了必不可少的营养物质,这些营养物质对植物的分布格局和群落演替起着关键性的作用<sup>[1-2]</sup>。土壤中营养元素的缺失会对植物的生长产生一定的消极作用,具体表现为对植物种子萌发、根系分布和微量元素的摄取有一定的抑制作用,进而成为森林群落更新与植被演替的限制条件<sup>[3-4]</sup>。同时,植物群落的分布格局、密度、种类又会对土壤的肥力、发育结构、空间变异有很大的影响<sup>[5-6]</sup>。因此,土壤理化性质的空间分布特征与植被的演替一直是生态学研究的重点领域之一<sup>[7]</sup>。

近半个世纪以来,由于人类对塔里木河流域自然资源的不合理利用,使得该区水土流失加剧、地下水位下降、沙漠蔓延、土地盐碱化加重、植被衰退、物种多样性下降等生态环境问题更加突出,以塔里木河为屏障的绿洲—荒漠生态系统遭到了严重的破坏。干旱地区植被恢复和重建一直是生态学研究的重点领域<sup>[8-10]</sup>。塔里木河流域位于我国西北干旱地区,其生态问题越来越受到有关专家学者的重视,许多学者就塔里木河生态需水状况、地下水位变化与生物多样性之间的关系、河流水流量变化、土地利用时空动态变化与生态环境关系等方面展开了研究<sup>[11-14]</sup>,但是对塔里木河中游土壤理化性质与植被关系的研究大部分集中在单因子或双因子层面<sup>[15-16]</sup>,多重因子土壤理化性质与植物数量特征和物种多样性研究较少,难以系统地揭示该区土壤理化性质与植物数量特征和物种多样性之间的关系。因此,本文通过塔里木河中游不同生境荒漠河岸林土壤理化因子与植物数量特征、物种多样性指数进行研究,揭示影响该区植物数量特征和物种多样性指数的主要理化因子,为塔里木河中游荒漠河岸林的生态修复提供理论依据。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于塔里木河中游(轮台县的英巴扎至尉犁县恰拉),该区夏季高温多雨、冬季寒冷干燥,昼夜温差

大、光照资源充足、日照时间长,属于典型的暖温带干旱气候<sup>[17]</sup>。地势地平,河道错综复杂,地表水资源主要来源于季节性冰雪融水。年日照时数为 2 442~2 925 h,年平均气温为 10.9℃,极端最低气温为-25.5℃,年平均日较差为 14.6℃,≥10℃积温 4 125.3℃,无霜期 180~224 d,年平均降水量为 65.5 mm,年平均蒸发量为 2 024 mm。土壤以胡杨林土、荒漠土、盐碱土和沙土为主。植物组成以杨柳科、柽柳科、豆科、菊科、禾本科为主,主要的乔木有胡杨(*Populus euphratica*)、灰叶胡杨(*Populus prunison*)等,灌木有柽柳(*Tamarix spp.*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)等,草本植物是该区植物群落的主要组成部分,主要有芦苇(*Phragmites communis*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和样品采集 2014年8月初在新疆轮台县胡杨林自然保护区内进行野外调查,并依据地下水位的梯度和植被发育状况,把荒漠河岸林分为河岸地带、过渡地带、荒漠地带3个生境:河岸地带地下水位<3 m,主要群丛为胡杨—柽柳—芦苇+甘草;过渡地带地下水位3~6 m,主要群丛为胡杨—柽柳—骆驼刺;荒漠地带地下水位≥6 m,主要群丛为胡杨—柽柳—盐生草。在不同生境内分别设置3个30 m×30 m的样地,并在样方内按照相邻格子法对乔木的种类、胸径、树高、株数、冠幅等指标进行调查,同时在每个样地内根据对角线法选取6个5 m×5 m的样方调查灌木层,10个1 m×1 m的小样方调查草本层,灌木、草本的调查指标包括:种名、株数/丛数、高度、冠幅等,同时用GPS记录每个样方的地理位置和海拔高度。随后,在每个30 m×30 m的样方内随机选取3个点,每个点分5层采集土样,每层厚度为20 cm,分别用环刀和铝盒取土,并尽量保持所取土样的土壤结构不被破坏,以便于对土壤的水文物理指标进行测定,每层土壤另取1 kg左右带回实验室风干剔除杂物用于土壤化学性质的测定。

表 1 不同生境条件下植物群落概况

生境	海拔/m	地下水位/m	郁闭度/%	树高/m	胸径/cm	植被生长特征
河岸地带	919	2~3	0.89	3.4	8.46	乔灌草分布合理且新生幼苗较多,灌草的长势较好,植被颜色呈现深绿色
过渡地带	922	3~6	0.75	5.6	16.84	乔木分布比较稀疏且幼苗稀少,灌木、草本分布较均匀,植被颜色呈淡绿色
荒漠地带	928	>6	0.15	7.1	35.46	乔灌草稀疏分布且枯枝较多,叶片较小、叶片呈现浅绿色

注:树高、胸径是指乔木更新苗、成熟木、枯死木的平均值。

1.2.2 土壤理化指标的测定 采用铝盒烘干法测定土壤含水量,容重、持水量和孔隙度则用环刀法测得<sup>[18]</sup>。土壤化学指标的测定:有机质采用重铬酸钾—稀释放热法,全氮用半微量—开氏法,全磷用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法,全钾用氢氟酸—高氯酸—火焰光度计法,pH、电导率分别用酸度计和电导率仪测定(水土比例为 5:1)<sup>[19]</sup>。

### 1.3 数据分析与处理

1.3.1 植物数量特征指标 植物群落的数量是表示一个地区植物分布格局的主要形式,其计算公式如下<sup>[20]</sup>:

(1) 频度( $F$ ):表示群落中某种植物出现样方的百分率,它是反映某种植物分布均匀程度的一个指标,其计算公式为:

$$F = \frac{n_i}{N} \times 100\%$$

(2) 盖度( $C$ ):指植物地上部分垂直投影的面积所占样地面的比率,可以用目测估计,也可以用样点(测针)或格网法测得;

(3) 密度( $D$ ):指单位面积,严格说应指空间的株数或生物个体数,其计算公式为:

$$D = \frac{n}{S}$$

式中: $n_i$ ——某种植物出现的样方数; $N$ ——总样方数; $n$ ——样方内某种植物的个体数; $S$ ——研究区总面积。

1.3.2 物种多样性指数 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )、Simpson 优势度指数( $S$ )、Pielou 均匀度指数( $E$ )作为物种多样性指数的表示方法<sup>[21-22]</sup>,计算公式如下:

(1) Shannon-Wiener 指数( $H$ ):

$$H = -\sum_{i=1}^s \left( \frac{N_i}{N} \right) \ln \left( \frac{N_i}{N} \right)$$

(2) Simpson 指数( $S$ ):

$$S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^s N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

(3) Pielou 均匀度指数( $E$ ):

$$E = H / \ln(S)$$

式中: $S$ ——每一样方的物种总数; $N$ —— $S$ 个种的全部重要值之和; $N_i$ ——第  $i$  个种的重要值。

图表的制作采用 Excel 2007 软件,单因素多重比较、相关性分析、回归分析等借助 SPSS 18.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤理化性质的空间特征

随着植物生长状况的变化和群落演替的差异,不同生境土壤理化性质发生明显的变化(表 2,表 3)。土壤含水量、容重、全氮的含量由河岸地带至荒漠地带逐渐降低,分别降低 84.30%,9.52%,65.67%,毛管持水量、最小持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、全盐、pH 明显增加,分别增加了 18.62%,32.85%,5.57%,18.62%,30.58%,322.70%,2.56%,有机质、全磷、全钾的最高值出现在过渡地带,分别为:11.86%,0.68%,6.01%,这是由于过渡地带水热组合合理,凋落物养分分解速度高于植物所吸收的养分。同时,随着土层深度的增加,河岸地带土壤含水量、容重和最小持水量呈“V”形变化,40—60 cm 均呈现最低,毛管持水量、毛管孔隙度和非毛管孔隙度则呈现相反的变化趋势,土壤养分和盐分随着深度的增加而降低,表现为 0—20 cm > 20—40 cm > 40—60 cm > 60—80 cm > 80—100 cm,过渡地带和荒漠地带随着土壤质地的均一化,土壤含水量、容重随土层深度的增加而增加,持水量、孔隙度、盐分、pH、养分等理化因子则随土层的增加而降低,但受河水漫溢和植物根系影响,这种规律不太明显,不同生境土壤理化因子的变异系数为 0%~100%,均属于中低等变异,且不同生境同一土层之间存在不同程度的差异。

### 2.2 植被数量特征及多样性指数

生态环境的异质性是引起植物空间分布格局变化的主要因素。如图 1 所示,乔木频度在河岸地带和过渡地带均达 95%以上,在荒漠地带则在 10%左右,盖度在河岸地带和过渡地带均在 80%以上,在荒漠地带其盖度在 10%左右,密度表现为随着距离河岸的增加,密度呈现明显的下降;灌木的频度表现为河

岸地带>过渡地带>荒漠地带,盖度在三个生境下较低,均在 20%以下,密度与频度呈现相同的变化趋势;草本的频度在三个生境条件下差异不十分明显,均在 95%以上,这与草本植物自身的适应有很大关

系,盖度和密度则表现为河岸地带至荒漠地带呈现明显的下降趋势,辛普森(Simpson)指数、香农维纳(Shannon-Weiner)指数、皮埃罗(Pielou)指数随着垂直于河岸距离的增加而明显下降。

表 2 不同生境土壤物理性质统计特征

生境	土层/cm	土壤含水量/%	容重/( $g \cdot cm^{-3}$ )	毛管持水量/%	最小持水量/%	非毛管孔隙/%	毛管孔隙度/%
河岸地带	0—20	15.41±0.27c	1.47±0.00b	26.56±1.31a	22.18±1.19a	5.32±0.11a	36.43±0.58a
	20—40	15.05±0.36c	1.48±0.01b	26.01±0.74a	23.03±0.19a	4.24±0.05a	36.31±0.77a
	40—60	14.72±0.12c	1.37±0.06a	28.23±0.56a	19.24±0.10a	5.35±0.78a	37.73±0.87a
	60—80	16.12±0.88c	1.51±0.34b	25.26±1.20a	22.89±0.81a	3.93±0.23a	27.65±1.21a
	80—100	17.07±0.13c	1.53±0.01b	24.76±0.56a	24.08±0.28a	3.34±0.25a	26.18±1.02a
	均值	15.67(5.98%)	1.47(4.20%)	26.16(5.14%)	22.28(8.22%)	4.44(19.89%)	32.86(16.68%)
过渡地带	0—20	4.15±0.05b	1.42±0.05b	33.95±0.75b	28.58±0.24b	6.46±0.10b	43.27±0.47b
	20—40	5.22±0.06b	1.39±0.07b	31.81±0.62b	26.43±0.43b	6.28±0.22b	41.91±0.66b
	40—60	5.38±0.47b	1.33±0.03a	32.26±0.95b	25.98±1.23b	5.74±0.10a	41.08±0.71b
	60—80	5.96±0.39b	1.39±0.05a	29.75±0.49b	22.77±0.70a	5.48±0.41b	40.73±0.15b
	80—100	6.30±0.10b	1.49±0.03b	31.85±0.74b	23.48±0.36a	6.14±0.07b	40.73±0.16b
	均值	5.40(15.26%)	1.40(4.14%)	31.92(4.69%)	25.45(9.24%)	6.02(6.67%)	41.54(2.60%)
荒漠地带	0—20	1.81±0.16a	1.29±0.01a	32.26±0.69b	32.78±0.35c	9.79±0.64c	45.26±0.54c
	20—40	2.11±0.09a	1.29±0.01a	31.87±0.61b	30.40±0.62c	7.28±0.22c	44.01±0.16c
	40—60	2.15±0.05a	1.33±0.01a	31.69±0.33b	28.88±0.67c	6.41±0.48b	42.57±0.52c
	60—80	2.99±0.10a	1.35±0.02a	30.26±0.26b	28.19±0.84b	5.48±0.44c	42.18±0.41b
	80—100	3.22±0.08a	1.39±0.01a	29.08±0.82c	27.75±1.50b	5.14±0.07c	40.54±0.33b
	均值	2.46(24.93%)	1.33(3.19%)	31.03(4.28%)	29.60(6.90%)	6.82(27.25%)	42.91(4.20%)

注:a,b,c表示不同生境同一土层进行单因素多重比较, $p < 0.05$ ,均值栏括号内为变异系数。下表同。

表 3 不同生境土壤化学性质统计特征

生境	土层/cm	全盐/( $g \cdot kg^{-1}$ )	pH/( $g \cdot kg^{-1}$ )	有机质/( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/( $g \cdot kg^{-1}$ )
河岸地带	0—20	4.52±0.52a	8.3±0.02a	13.64±0.57b	0.79±0.15c	0.45±0.02a	5.93±0.26a
	20—40	2.34±0.34a	8.25±0.08a	11.40±0.56b	0.74±0.23c	0.43±0.05a	5.84±0.50a
	40—60	0.99±0.09a	8.20±0.08a	8.98±0.43b	0.69±0.02c	0.34±0.04a	5.37±0.34a
	60—80	0.82±0.16a	8.2±0.00a	7.55±0.47b	0.59±0.04c	0.33±0.03a	4.95±0.21b
	80—100	0.59±0.15a	8.12±0.32a	7.32±1.16b	0.56±0.04c	0.33±0.04a	4.51±0.53a
	均值	1.85(88.55%)	8.21(0.81%)	9.78(27.63%)	0.67(14.48%)	0.38(15.69%)	5.32(11.27%)
过渡地带	0—20	10.09±0.15b	8.39±0.04a	17.23±1.33c	0.52±0.06b	0.75±0.03b	7.09±0.23c
	20—40	7.26±0.30b	8.33±0.06a	14.23±1.86c	0.47±0.03b	0.71±0.04b	6.68±0.30b
	40—60	6.76±0.26b	8.28±0.03ab	10.83±0.89c	0.40±0.07b	0.70±0.01b	6.48±0.50b
	60—80	2.73±0.65a	8.26±0.02a	9.17±1.32c	0.35±0.02b	0.68±0.05c	5.33±0.12c
	80—100	1.93±0.61b	8.26±0.04b	7.82±0.36b	0.34±0.02b	0.57±0.05b	4.46±0.28a
	均值	5.75(58.84%)	8.30(0.67%)	11.86(32.41%)	0.42(18.67%)	0.68(9.91%)	6.01(18.04%)
荒漠地带	0—20	12.72±0.87c	8.57±0.09b	6.26±0.40a	0.34±0.03a	0.72±0.01b	6.35±0.03b
	20—40	10.19±1.58c	8.46±0.04b	5.76±0.60a	0.25±0.03a	0.71±0.03b	5.43±0.38a
	40—60	6.87±0.54b	8.42±0.08b	4.81±0.55a	0.20±0.03a	0.68±0.03b	4.97±0.14a
	60—80	5.42±1.11c	8.35±0.07b	4.17±0.09a	0.20±0.03a	0.56±0.02b	4.27±0.21a
	80—100	3.88±0.02c	8.31±0.06b	3.87±0.35a	0.15±0.02a	0.56±0.05b	4.06±0.21a
	均值	7.82(46.05%)	8.42(1.20%)	4.97(20.51%)	0.23(31.54%)	0.65(12.36%)	5.02(18.44%)

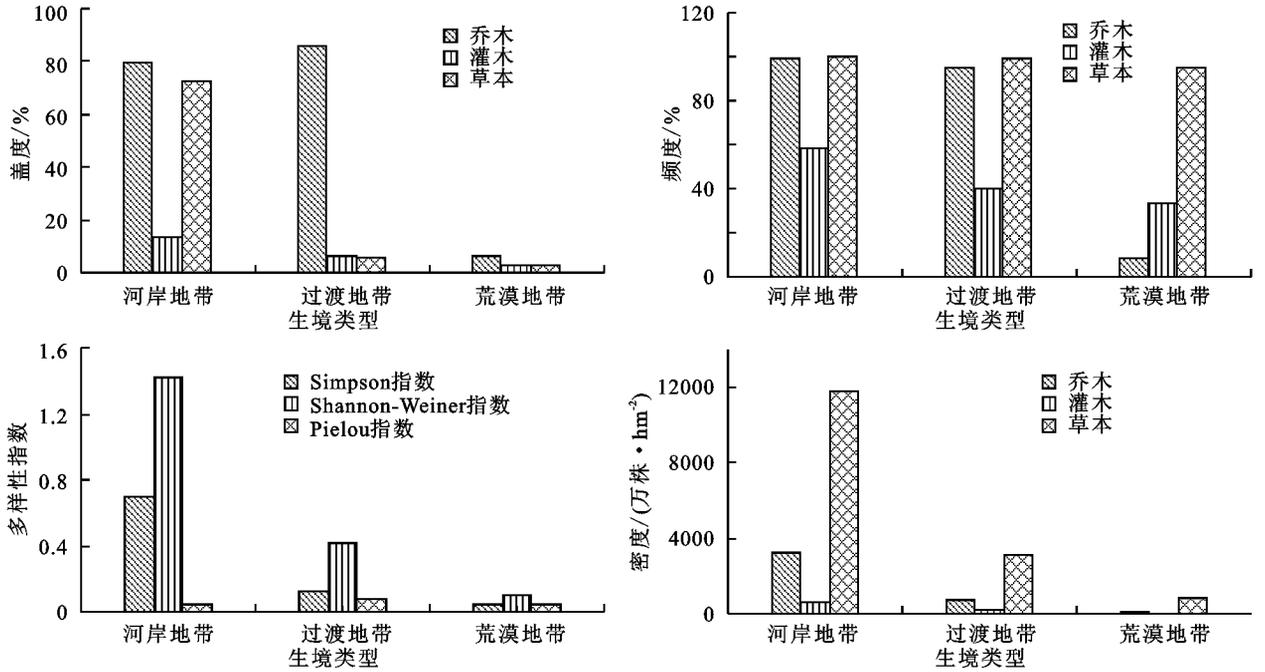


图 1 不同生境条件下植物的分布状况

2.3 植物生长特征与土壤理化性质的相关性分析

由表 4 可知:全盐与  $d_1, d_2, d_3$  呈极显著负相关 ( $p < 0.01$ ), 与  $f_1, c_1, f_2, c_3, H, S, E$  呈不同程度的负相关; pH 与  $f_1, f_2, H, E$  呈极显著负相关 ( $p < 0.01$ ), 与  $d_2, d_3$  呈显著性负相关 ( $p < 0.05$ ); 有机质与  $f_1, f_3$  呈显著性相关 ( $p < 0.05$ ), 说明有机质不是制约该区植物生长状况的主要因子; 全氮与  $d_1, d_2, c_3, d_3, H, E$  呈极显著相关 ( $p < 0.01$ ), 与  $c_1$  呈显著

性相关 ( $p < 0.05$ ); 全磷与  $d_1, f_2, d_2, c_3, d_3, H, S, E$  呈显著性相关 ( $p < 0.05$ ); 全钾与  $f_1, c_1, c_2, f_3$  呈显著性相关 ( $p < 0.05$ ), 土壤含水量与  $d_1, f_2, d_2, c_3, d_3, H, E$  均呈极显著相关 ( $p < 0.01$ ), 与  $f_1, S$  呈显著性相关 ( $p < 0.05$ ); 容重除了与  $c_2, f_3, S$  无相关外, 与其他指标呈不同程度的相关, 综上所述, 土壤理化因子与植物数量特征、物种多样性均呈现不同程度的相关。

表 4 土壤理化因子与植物数量指标的相关性分析

指标	$f_1$	$c_1$	$d_1$	$f_2$	$c_2$	$d_2$	$f_3$	$c_3$	$d_3$	$H$	$S$	$E$
全盐	-0.782*	-0.702*	-0.985**	-0.982**	-0.344	-0.908**	-0.218	-0.925**	-0.989**	-0.966**	-0.710*	-0.964**
pH	-0.835**	-0.492	-0.561	-0.865**	-0.217	-0.698*	-0.021	-0.461*	-0.768*	-0.827**	-0.510	-0.829**
有机质	0.743*	0.461*	0.418	0.452	-0.494	0.150	-0.702*	0.189	0.437	0.321	-0.200	0.321
全氮	0.435	0.372*	0.969**	0.258	0.275	0.862**	0.125	0.888**	0.974**	0.941**	0.644	0.939**
全磷	-0.428	-0.326	-0.547	-0.718*	-0.675*	-0.778*	-0.624	-0.694*	-0.839*	-0.774*	-0.744*	-0.775*
全钾	0.689*	0.770*	-0.008	0.007	-0.751*	-0.259	-0.797*	-0.233	0.013	-0.107	-0.587	-0.105
土壤含水量	0.698*	0.611	1.000**	0.985**	0.460	0.944**	0.341	0.968**	1.000**	0.993**	0.798*	0.992**
容重	0.888**	0.821**	0.911**	0.922**	0.155	0.754*	-0.021	0.795*	0.917**	0.865**	0.514	0.868**

注:  $f_1, c_1, d_1, f_2, c_2, d_2, f_3, c_3, d_3, H, S, E$  分别代表乔木的频度、盖度、密度, 灌木的频度、盖度、密度, 草本的频度、盖度、密度, Shannon-Weiner 指数、Simpson 指数、Pielou 指数。\* 表示在 0.05 水平下显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平下极显著相关,  $n=8$ 。

2.4 植物生长特征与土壤理化性质的回归分析

采用逐步回归法对乔木频度 ( $Y_1$ )、乔木盖度 ( $Y_2$ )、乔木密度 ( $Y_3$ )、灌木频度 ( $Y_4$ )、灌木盖度 ( $Y_5$ )、灌木密度 ( $Y_6$ )、草本频度 ( $Y_7$ )、草本盖度 ( $Y_8$ )、草本密度 ( $Y_9$ )、Simpson 指数 ( $Y_{10}$ )、Shannon-Weiner 指数 ( $Y_{11}$ )、Pielou 指数 ( $Y_{12}$ ) 指数与土壤全盐 ( $x_1$ )、pH ( $x_2$ )、有机质 ( $x_3$ )、全氮 ( $x_4$ )、全磷 ( $x_5$ )、全钾 ( $x_6$ )、含水量 ( $x_7$ )、容重 ( $x_8$ ) 进行分析 (表 5), 结果表明植物数量特征指标、物种多样性指数均与土壤理化因子呈

极显著相关 ( $p < 0.01$ , 双尾检验), 其中, 土壤含水量 ( $x_7$ ) 与乔木频度 ( $Y_1$ )、密度 ( $Y_3$ ), 灌木频度 ( $Y_6$ ), Simpson 指数 ( $Y_{10}$ ), Shannon-Weiner 指数 ( $Y_{11}$ ) 均有较强的相关性, 说明水分是干旱地区制约植物生长发育的主要瓶颈。此外, 全氮 ( $x_4$ )、全磷 ( $x_5$ )、全钾 ( $x_6$ )、pH ( $x_2$ )、有机质 ( $x_3$ ) 与植物生长状况也存在不同程度的相关性, 表明植物数量特征和物种多样性的增加有利于土壤养分的循环和土壤的改良, 而良好的土壤环境也有利于群落演替和植被恢复。

表 5 植物生长状况和土壤理化性质的多元回归分析

回归方程	F 值	p 值	R <sup>2</sup>
$Y_1 = 8.257E-7 + 0.743x_3 + 0.386x_7$	1779.076	$p < 0.01$	0.998
$Y_2 = 1.651E-6 + 0.781x_3 + 0.295x_4$	136.552	$p < 0.01$	0.979
$Y_3 = -1.111E-6 - 0.058x_2 - 0.245x_5 + 0.825x_7$	6559.104	$p < 0.01$	1.000
$Y_4 = -7.319E-17 + 0.983x_7$	205.367	$p < 0.01$	0.967
$Y_5 = 2.449E-6 - 0.493x_5 - 0.602x_6$	10.979	$p = 0.01$	0.785
$Y_6 = -5.515E-19 - 0.978x_6$	151.345	$p < 0.01$	0.956
$Y_7 = -1.976E-6 - 0.707x_3 - 0.707x_5$	233.806	$p < 0.01$	0.987
$Y_8 = -1.299E-6 + 0.169x_4 - 0.852x_5$	1026.384	$p < 0.01$	0.997
$Y_9 = 1.004E-6 - 0.052x_2 - 0.097x_3 + 1.094x_7$	12316.338	$p < 0.01$	1.000
$Y_{10} = -2.801E-7 - 0.169x_3 + 1.106x_7$	1166.883	$p < 0.01$	0.997
$Y_{11} = 0.021 - 0.798x_5 - 0.351x_6$	192.322	$p < 0.01$	0.985
$Y_{12} = 3.675E-17 - 0.512x_5 + 0.511x_7$	1170.082	$p < 0.01$	0.997

### 3 结论与讨论

(1) 土壤是在气候、植被、母质、地形、人类活动等综合影响下形成的,并随着植被演替而发生明显变化<sup>[23]</sup>。在一定程度上,植被正向演替会促使土壤理化性质有明显改善,同时,植被负向演替也会导致土壤退化。荒漠河岸林退化是以人类干扰为驱动力、以植被减少为表现、以土地退化为本质、以景观破碎化为标志的复合过程<sup>[24]</sup>。本研究表明植被覆盖度高的河岸地带土壤含水量、容重较高,持水、蓄水能力较好,而在植被发育较差的荒漠地带土壤孔隙度较大,持水、蓄水能力严重不足,土壤容重下降,盐分含量增加,值得注意的是土壤有机质、全磷、全钾的最高值出现在水热组合合理的过渡地带,主要是由于植被凋落物分解所产生的有机质、全磷和全钾的含量大于植被吸收的值,从而导致过渡地带土壤养分富集。同时,植被的演替会随地形、水分、土壤、光照的变化而呈现一定的规律。塔里木中游地处我国西北干旱地区,水分是制约该区社会稳定和经济发展的瓶颈。研究表明在水分充足的河岸地带乔木、灌木、草本的频度、盖度、密度和辛普森(Simpson)指数、香农维纳(Shannon-Weiner)指数、皮埃罗(Pielou)指数均处于优势地位,究其原因主要是因为该区地下水位为 2~5 m,是植物生长的合理水位<sup>[25]</sup>,而在生境退化的荒漠地带,乔木、灌木比例逐渐减少,物种组成渐趋简单,生活型更加单一化,草本植物成为该区主要的优势种。同时,该区植物多样性指数与环境退化呈现明显的耦合关系,伴随着环境退化,植物多样性指数也明显降低,因此,植物多样性指数可以作为评价该区生态环境的重要依据。

(2) 土壤与植物是相互统一的有机体,土壤水分、养分为植物生长提供了营养物质,其合理组合有利于植被生长和群落演替,同时植物群落演替所产生的凋落物对土壤结构、土壤养分和土壤蓄水能力有很好的改良作用,为植物的生长和物种多样性的稳定提供了有利条件<sup>[26-27]</sup>。然而,植物和土壤的关系较为复杂,不同学者对不同区域的研究结果也不尽一致,杨丽霞等通过对黄土高原丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系的研究表明物种多样性指数与有机质、全氮呈显著性正相关<sup>[28-30]</sup>,也有研究表明小流域内土壤化学性质与植物多样性呈负相关<sup>[31]</sup>。而本研究结果表明:土壤全盐、pH、土壤容重、土壤含水量与植物的数量特征和物种多样性的相关性较好,说明土壤结构和全盐、pH 是影响荒漠河岸林群落演替的主要因子。而有机质、全磷与物种多样性和植物数量特征的关系一般,这与王顺忠在青海湖鸟岛的研究相一致<sup>[32]</sup>,说明该胡杨林区有机质和全钾的含量较低,能够满足植被的基本需求,但并未成为影响群落演替的主要因子,通过回归分析进一步表明土壤水分是限制该区群落演替的主要因子,而土壤有机质、全磷、全钾则与植物生长状况呈现负相关,这可能与不同地区环境条件,如气候、土壤类型有直接关系。尽管土壤理化因子与植物生长状况呈现不同的规律,但是植被恢复是土壤改良的前提条件不容置疑,至于不同土层土壤理化性质与植被的关系有待进一步研究。对于该区植被恢复和生态治理应以坚持发展理念,限制过度开垦、灌溉,节约用水以保持合理的地下水位,并注意引进适宜干旱地区生长(耐旱、耐盐)物种,通过植物和土壤的相互作用逐步提高该区的生态环境,确保荒漠河岸林资源的可持续开发。

## 参考文献:

- [1] 徐亮,陈功锡,刘慧娟,等. 吉首蒲儿根种群土壤养分特征与分布格局[J]. 西北植物学报,2012,32(8):1664-1670.
- [2] 李昌龙,肖斌,王多泽,等. 石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替与土壤养分相关性分析[J]. 生态学杂志,2011,30(2):241-247.
- [3] Liu W, Zhang Q, Liu G. Seed banks of a river-reservoir wetland system and their implications for vegetation development[J]. Aquatic Botany,2009,90(1):7-12.
- [4] Holmes P M. Shrubland restoration following woody alien invasion and mining: effects of topsoil depth, seed source, and fertilizer addition[J]. Restoration Ecology, 2001,9(1):71-84.
- [5] 王凯博,陈美玲,秦娟,等. 子午岭植被自然演替中植物多样性变化及其与土壤理化性质的关系[J]. 西北植物学报,2007,27(10):2089-2096.
- [6] 刘丽丹,谢应忠,邱开阳,等. 宁夏盐池沙地3种植物群落土壤表层养分的空间异质性[J]. 中国沙漠,2013,33(3):782-787.
- [7] 郑田,李建贵,李卫红,等. 塔里木河下游绿洲荒漠过渡带土壤异质性及对植物群落的影响[J]. 中国沙漠,2010,30(1):128-134.
- [8] Si J, Feng Q, Cao S, et al. Water use sources of desert riparian *Populus euphratica* forests[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2014,186(9):5469-5477.
- [9] 鲍超,方创琳. 干旱区水资源开发利用对生态环境影响研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2008,27(3):38-46.
- [10] de Graaff M A, Throop H L, Verburg P S J, et al. A synthesis of climate and vegetation cover effects on biogeochemical cycling in shrub-dominated drylands[J]. Ecosystems,2014,17(5):931-945.
- [11] 白元,徐海量,张青青,等. 基于地下水恢复的塔里木河下游生态需水量估算[J]. 生态学报,2015,35(3):630-640.
- [12] 陈亚宁,李卫红,徐海量,等. 塔里木河下游地下水位对植被的影响[J]. 地理学报,2003,58(4):542-549.
- [13] 陈忠升,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化[J]. 地理学报,2011,66(1):89-98.
- [14] 孙美琴,赵成义,施枫芝,等. 近20 a塔里木河干流区土地利用变化特征[J]. 干旱区研究,2013,30(1):16-21.
- [15] 朱海勇,陈永金,刘加珍. 塔里木河中下游盐梯度下的物种多样性研究[J]. 生态环境学报,2011,20(8/9):1226-1234.
- [16] 杨红梅,徐海量,樊自立,等. 塔里木河下游表层土壤盐分空间变异和格局分析[J]. 中国沙漠,2010,30(3):564-570.
- [17] 刘晏良. 塔里木河中下游实地踏勘报告[M]. 北京:中国统计出版社,2000.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [20] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [21] 陈文业,张继强,赵明,等. 甘肃敦煌西湖荒漠—湿地植物群落物种多样性特征研究[J]. 中国沙漠,2012,32(6):1639-1646.
- [22] 袁王俊,卢训令,张维瑞,等. 不同植被类型植物物种多样性研究[J]. 生态学报,2015,35(14):1-8.
- [23] 康冰,刘世荣,蔡道雄,等. 南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2479-2486.
- [24] 魏强,凌雷柴,春山,等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质[J]. 生态学报,2012,32(15):4700-4713.
- [25] Ma X, Chen Y, Zhu C, et al. The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the Lower Tarim River[J]. Journal of Geographical Sciences,2011,21(1):150-162.
- [26] 叶绍明,温光远,杨梅,等. 连栽桉树人工林植物多样性与土壤理化性质的关联分析[J]. 水土保持学报,2010,24(4):246-250.
- [27] 徐磊,廖帆,严成,等. 梭梭群落物种多样性与土壤理化性质的相关性研究[J]. 干旱区研究,2015,32(5):875-881.
- [28] 杨丽霞,陈少锋,安娟娟,等. 陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J]. 草地学报,2014,22(2):291-298.
- [29] 盛茂银,熊康宁,崔高仰,等. 贵州喀斯特石漠化地区植物多样性与土壤理化性质研究[J]. 生态学报,2015,35(2):1-23.
- [30] 陈孙华. 衡阳紫色土丘陵坡地不同植被恢复阶段植物群落特征及其与土壤理化性质的耦合关系[J]. 水土保持研究,2014,21(5):7-12.
- [31] 肖德荣,田坤,张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,2008,28(7):3116-3124.
- [32] 王顺忠,陈桂琛,柏玉平,等. 青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系[J]. 应用生态学报,2005,16(1):186-188.