

和田河上游不同植物群落土壤理化性质及酶活性分析

吕瑞恒^{1,2}, 周正立^{1,2*}, 于军^{1,2}, 梁继业^{1,2}, 葛留威^{1,2}, 王夏楠^{1,2}

(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: [目的] 通过调查分析不同植物群落土壤理化性质、土壤酶活性的空间分布, 了解生境变化过程中植物群落与土壤变化特征, 为塔里木盆地西南地区荒漠生态脆弱区植被的恢复和管护提供理论参考。[方法] 以和田河上游垂直河岸带 4 种植物群落类型 (I - 灰叶胡杨 + 多枝柽柳 + 芦苇 + 胀果甘草; II - 灰叶胡杨 + 胡杨 + 多枝柽柳 + 芦苇 + 胀果甘草; III - 黑果枸杞 + 盐穗木 + 芦苇 + 胀果甘草; IV - 花柴 + 芦苇 + 胀果甘草) 土壤为研究对象, 采用分层取样方法, 分析比较不同植物群落土壤理化性质、土壤酶活性空间分布特征, 揭示制约荒漠河岸植物群落生存发展的关键因子。[结果] 表明: 4 种植物群落类型土壤含水率、全盐量、碱解氮垂直分布异质性较为明显。同一土层之间含水率、全盐量差异性显著 ($P < 0.05$), 群落 IV 各层土壤含水率均为最低, 而全盐量在群落 I 中最低, 群落 III 最高。4 种植物群落土壤均呈碱性, pH 值介于 8.40 ~ 8.89, 而全磷波动范围在 0.53 ~ 0.86 g · kg⁻¹ 之间, 两种指标在各植物群落之间均没有显著性差异 ($P < 0.05$)。有机质、全氮、脲酶在群落 I 各土层均为最高, 而过氧化氢酶、碱性磷酸酶活性在群落 III 最高。[结论] 土壤含水率、土壤密度权重系数较大, 对外界环境变化比较敏感, 可以作为评价该地区荒漠植被土壤肥力的首要指标。

关键词: 和田河; 植物群落; 土壤; 土壤理化性质; 土壤酶

中图分类号: S714

文献标识码: A

Physicochemical Properties and Enzymatic Activities of Different Plant Communities in the Up Reaches of Hotan River

LU Rui-heng^{1,2}, ZHOU Zheng-li^{1,2}, YU Jun^{1,2}, LIANG Ji-ye^{1,2}, GE Liu-wei^{1,2}, WANG Xia-nan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Xinjiang Production & Construction Corps, Alar 843300, Xinjiang, China; 2. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: In order to reveal the key factors restricting the existence and development of desert riparian vegetation, the soil physicochemical properties, soil enzyme activities and their spatial distribution characteristics of four kinds of plant communities in the vertical riparian zone of upstream of Hotan River were studied with stratified sampling. The types of plant communities are: (I). *Populus pruinosa* Schrenk + *Tamarix ramosissima* Ledeb. + *Phragmites communis* Trin. Fund. Agrost. + *Glycyrrhiza inflata* Batalin; (II). *Populus pruinosa* Schrenk + *Populus euphratica* Oliv. + *T. ramosissima* Ledeb. + *Phragmites communis* Trin. Fund. Agrost. + *G. inflata* Batalin; (III). *Lycium barbarum* Murray + *Halostachys caspica* C. A. Mey. ex Schrenk + *Phragmites communis* Trin. Fund. Agrost. + *G. inflata* Batalin; (IV). *Karelinia caspia* (Pall.) Less + *Phragmites communis* Trin. Fund. Agrost. + *G. inflata* Batalin. The results showed that the vertical spatial heterogeneity of the soil moisture content, total salt

收稿日期: 2015-06-25

基金项目: “十二·五”科技支撑计划专题(2014BAC14B05-1), 国家自然科学基金(31360109), 兵团博士点基金(2011BB021)

作者简介: 吕瑞恒, 博士, 副教授, 研究方向: 森林生态学, E-mail: lvrh514723@126.com.

* 通讯作者。

content and available nitrogen were more obvious than the other determined indexes in the four plant communities. The differences of soil moisture content and total salt content were obviously significant in the same soil layer of the four plant communities ($P < 0.05$). The soil moisture content was the lowest in every soil layer of community IV, the total salt content was the lowest in every soil layer of community I, but the highest in community III. The pH values ranged from 8.15 to 9.17 in the four plant communities, the total phosphorus content fluctuated from $0.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, both the pH values and total phosphorus had not significant difference in the same soil layers of the four plant communities ($P < 0.05$). The soil organic matter, total nitrogen and the activities of invertase were the highest in five soil layers of community I. The activities of catalase and phosphatase were the highest in every soil layers of community III. The bulk density and soil moisture content had a strong correlation with other measured indexes, they were sensitive to the change of external environment, and could be used to evaluate the soil quality as the preferred indicators in the upstream areas of Hotan River.

Key words: Hotan River; plant communities; soil; physicochemical properties of soil; soil enzyme

荒漠河岸植被是荒漠环境条件下的重要森林资源,作为西北干旱地区的主要天然生态屏障,对于维持和保存物种多样性、抑制荒漠化进程起着非常积极的作用^[1-2]。新疆南疆区域独特的生态地理环境,形成以胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)、灰胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk)、怪柳(*Tamarix* Spp.)等植物为主的荒漠植被景观。近年来,由于自然水资源和生态平衡受到严重人为干扰,导致植被退化、荒漠化、盐渍化成为塔里木盆地面临的主要生态问题^[3-5]。针对荒漠河岸植被,诸多学者主要集中于塔里木河流域进行研究,包括自然植被状况^[6],生态输水过程中植被群落、土壤水文特征的响应^[7],以及主要荒漠植物种的适应机制等^[8-10],缺乏对植物群落与土壤之间相互作用关系的研究。

和田河是塔里木河主要源流之一,位于新疆维吾尔自治区塔里木盆地南部,发源于昆仑山和喀喇昆仑山,横穿塔克拉玛干大沙漠,汇入塔里木河。本研究以和田河上游垂直河岸带不同植物群落为研究对象,通过调查分析不同植物群落土壤理化性质、土壤酶活性空间分布特征,明确生境变化过程中植物群落与土壤的变化特征,为塔里木盆地西南地区荒漠生态脆弱区植被的恢复和管护提供理论参考。

1 研究区概况

研究区位于塔里木盆地西南缘,南接昆仑山,北连塔克拉玛干大沙漠,属暖温带极端干旱荒漠气候,具有光热资源丰富、昼夜温差大、降水稀少、蒸发强烈、无霜期长等特点。年平均温度 11.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\ 200^{\circ}\text{C}$,无霜期 170 ~ 201 天;年降水量 13.1 ~ 48.2 mm,年蒸发量 2 450 ~ 3 137 mm,干燥度大

于 20;四季多风沙,每年浮尘天气 220 天以上,其中浓浮尘(沙尘暴)天气在 60 天左右。土壤类型为风沙土,森林群落结构简单,植物种类较为单一,主要有灰胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk)、胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、芦苇(*Phragmites communis* Trin. Fund. Agrost.)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata* Batalin)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss)、黑果枸杞(*Lycium barbarum* Murray)、盐穗木(*Halostachys caspica* C. A. Mey. ex Schrenk)、花花柴(*Karelinia caspia* (Pall.) Less)等。

2013 年 7 月,在和田河上游,垂直于河岸方向设置样方,跨度 2 km,具体位置见图 1-A,样方大小 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,共设置样方 23 个。同时测定各样方地下水位埋深,见图 1-B。通过野外调查分析,结合植物群落优势种组成变化和地下水位变化确定主要植物群落类型,具体优势种组成变化见表 1。

2 研究方法

2.1 土样采集与处理

2013 年 7 月初,按照上述所确定的 4 种植被群落,对同种植物群落进行土壤取样。在每个样方中心地带设置剖面,土壤层次设置为 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm,每个剖面进行环刀、铝盒取样,分别测定土壤密度和含水量。同时,对土壤剖面 5 个层次进行鲜土取样,去除土样中的石块、根系和土壤动物,将 3 个样带中同一植被类型同一层次土壤进行混合。取回的土壤样品经风干后,碾碎过 1 mm、0.25 mm 土筛,标记贮存于广口瓶中,于 4°C 储藏备用。

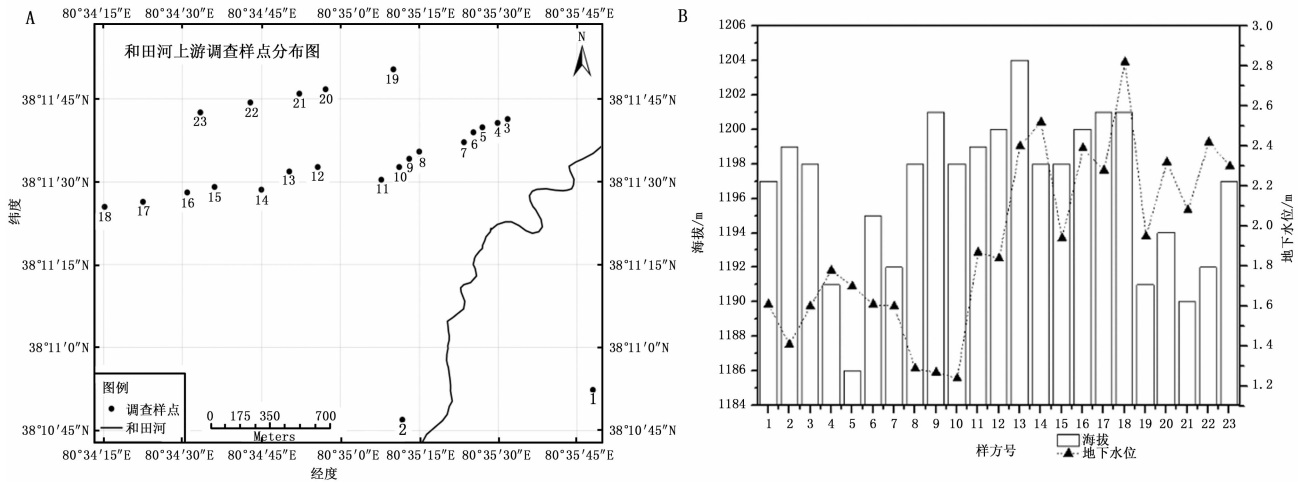


图1 研究区位置及概况

表1 不同植物群落优势种组成

植物群落类型	主要优势种组成
I (1~7号样方)	灰叶胡杨(44.21) + 多枝桤柳(3.05) + 芦苇(34.10) + 胀果甘草(14.08)
II (8~12号样方)	灰叶胡杨(15.53) + 胡杨(9.96) + 多枝桤柳(4.95) + 芦苇(50.63) + 胀果甘草(10.56)
III (13~16, 19~21号样方)	黑果枸杞(19.93) + 盐穗木(13.65) + 芦苇(42.96) + 胀果甘草(12.26)
IV (17, 18, 22, 23号样方)	花花柴(29.07) + 芦苇(48.08) + 胀果甘草(16.27)

注:“主要优势种组成”部分植物种名后括号中为植物种重要值。

2.2 土壤样品分析方法

土壤理化性质采用鲍士旦^[11]测定方法:土壤密度采用环刀法,含水率采用烘干法,全盐量采用电导率法测定,pH采用电位法,有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法,全氮采用硒粉-硫酸铜-硫酸消化法,全磷采用高氯酸-硫酸法,碱解氮采用扩散吸收法。土壤酶活性测定方法^[12]:过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;脲酶采用靛酚比色法,土样在38℃下培养24h;蔗糖酶采用硫代硫酸钠滴定法,土样在38℃下培养24h;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,土样在37℃下培养24h。

2.3 数据处理方法

对每个土壤样品所测指标进行3次平行测定,结果取其平均值。应用SPSS20.0软件,对不同植物群落同一土层理化性质、土壤酶指标采用S-N-K法进行单因素多重比较,明确不同植物群落同一土层之间各指标的差异性;对不同植物群落土壤酶与土壤理化性质指标采用Pearson相关系数进行相关性分析,之后进行主成分分析^[12],明确各测定指标之间相关性,寻求制约荒漠河岸植被生长发育的主要因子。

3 结果与分析

3.1 不同植物群落类型土壤理化性质

4种植物群落土壤理化性质空间变化特征见表

2,土壤含水率、全盐量、碱解氮垂直空间变异系数较大,异质性较强。不同植物群落土壤剖面含水率、有机质均值变化规律一致,均表现出I > II > III > IV的变化趋势,而全盐量、碱解氮均值则以植物群落III最大,其他指标均值规律并不明显。

土壤密度随着土层加深在不同植物群落中表现出不同的变化规律,群落I表现出先升后降再升的趋势,群落II逐渐增大,群落III则先下降后上升再下降,群落IV先增加后降低。在4种植物群落中,40~60、80~100cm土层之间土壤密度无差异,其它土层均有不同程度的差异。

土壤含水率随着土层加深,群落I、III则表现出先增加后降低再增加的变化趋势,群落II先增加后降低,群落IV则逐渐增大。群落I、II土壤全盐量随土层加深逐渐降低,群落III则先增加后降低,而群落IV表现出先降低后增加再降低的变化趋势。全盐含量表现出表层“聚集”效应,同一土层之间含水率、全盐量4种植物群落类型中差异性较为显著,群落IV各层土壤含水率均为最低,而全盐量在群落I各层中最低,群落III最高。

4种植物群落土壤均呈碱性,pH值波动范围为8.40~8.89,全磷波动范围在0.53~0.86g·kg⁻¹之间。pH值在各植物群落同一土壤层之间均没有显著性差异,磷元素也表现出相同的特点。

表2 不同植物群落土壤理化性质

植物群落	土层/ cm	土壤密度/ (g·cm ⁻³)	含水率/ %	全盐量/ (g·kg ⁻¹)	pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)
I	0~20	1.36±0.02b	14.42±0.77c	4.11±0.01a	8.89±0.12	15.10±0.35	0.94±0.09b	19.95±1.60	0.59±0.02
	20~40	1.37±0.03b	19.07±0.91c	1.64±0.004a	8.76±0.07	19.32±0.13b	0.83±0.08b	9.80±1.21a	0.67±0.05
	40~60	1.42±0.03	21.19±0.02b	1.31±0.10a	8.54±0.16	39.14±0.35b	0.99±0.09b	2.10±1.21a	0.63±0.03
	60~80	1.27±0.03a	7.98±0.61a	1.00±0.06a	8.55±0.02	70.49±0.58b	1.15±0.12b	6.77±1.62	0.65±0.11
	80~100	1.37±0.05	15.31±1.18b	0.29±0.003a	8.46±0.05	20.57±0.34b	0.79±0.08c	8.63±0.83	0.66±0.04
均值	1.36 (3.93%)	15.59 (32.51%)	1.67 (86.89%)	8.64 (2.08%)	32.92 (69.68%)	0.94 (15.02%)	9.45 (69.44%)	0.64 (4.63%)	
II	0~20	1.23±0.03a	5.14±0.44b	30.59±1.90b	8.70±0.07	11.50±0.13	0.31±0.04a	14.47±0.66	0.81±0.08
	20~40	1.33±0.04ab	11.91±2.69b	10.96±3.20b	8.62±0.20	17.99±0.27b	0.33±0.06a	12.37±0.81a	0.82±0.10
	40~60	1.39±0.06	11.25±2.60a	7.41±2.06a	8.57±0.04	13.62±0.40a	0.33±0.09a	7.00±0.37ab	0.83±0.11
	60~80	1.39±0.05b	9.92±1.80a	2.67±0.27a	8.62±0.10	10.84±0.93a	0.41±0.01a	7.47±0.42	0.84±0.15
	80~100	1.40±0.05	8.69±1.40a	2.40±0.40b	8.56±0.22	7.18±0.13a	0.23±0.02a	3.97±0.76	0.86±0.15
均值	1.35 (5.20%)	9.38 (28.52%)	10.81 (107.49%)	8.61 (0.63%)	13.12 (51.40%)	0.32 (19.75%)	9.05 (47.15%)	0.82 (2.33%)	
III	0~20	1.32±0.11b	2.81±0.79ab	50.39±3.86c	8.57±0.10	13.28±0.35	0.40±0.02a	23.68±1.84	0.65±0.04
	20~40	1.26±0.17a	6.47±0.81ab	54.11±5.54d	8.61±0.25	8.33±0.27a	0.33±0.02a	17.50±1.02a	0.57±0.07
	40~60	1.38±0.03	6.41±2.34a	31.57±3.32b	8.69±0.15	12.70±0.23a	0.28±0.02a	20.77±0.52c	0.60±0.04
	60~80	1.38±0.03b	13.03±2.12a	23.18±2.68c	8.60±0.31	17.43±0.35a	0.36±0.01a	9.17±0.72	0.59±0.06
	80~100	1.34±0.06	14.44±1.75ab	7.76±0.70c	8.59±0.20	14.13±0.53ab	0.37±0.04b	9.01±0.17	0.53±0.10
均值	1.33 (3.89%)	8.63 (56.93%)	33.40 (57.65%)	8.61 (0.51%)	11.55 (20.27%)	0.36 (8.55%)	16.03 (41.81%)	0.59 (7.49%)	
IV	0~20	1.37±0.03b	0.37±0.14a	29.26±2.68b	8.55±0.35	11.27±1.33	0.34±0.06a	19.02±1.42	0.74±0.13
	20~40	1.40±0.05b	4.50±0.21a	17.88±2.25c	8.40±0.43	9.09±1.30a	0.52±0.01a	28.89±0.94b	0.79±0.22
	40~60	1.39±0.06	5.55±0.34a	26.62±3.60b	8.65±0.29	9.28±2.30a	0.42±0.04a	13.77±0.40bc	0.53±0.12
	60~80	1.39±0.03b	5.74±1.42a	8.30±0.45b	8.68±0.36	12.80±3.98a	0.44±0.05a	4.50±0.63	0.66±0.14
	80~100	1.37±0.03	7.29±1.32a	7.88±0.45c	8.62±0.33	9.89±2.30a	0.40±0.04b	2.57±0.25	0.70±0.30
均值	1.38 (1.10%)	4.69 (55.66%)	17.99 (55.41%)	8.58 (1.30%)	10.47 (14.93%)	0.42 (15.34%)	13.73 (78.52%)	0.68 (14.81%)	

注: a、b、c、d 表示不同植物群落同一土壤层进行单因素多重比较, 无字母标注表示不同植物群落同一土层无显著性差异, $P < 0.05$, 下同; 均值一行括号内表示同一植物群落不同土层各指标变异系数。

群落I土壤有机质含量随着土层加深先升高后降低, 群落III则表现出相反的变化趋势, 群落II逐渐降低, 群落IV表现出先降低后升高再降低的趋势。4种植物群落类型土壤垂直空间全氮、碱解氮含量分布变化各不相同, 群落I土壤全氮, 群落II、III碱解氮含量随着土层加深表现出先降后升再降的趋势。群落II全氮、群落IV碱解氮先升后降, 群落III全氮、群落I碱解氮则表现出相反的变化趋势。与其它群落类型相比, 群落I各土层有机质、全氮含量均为最高。

3.2 不同植物群落类型土壤酶活性

4种植物群落类型土壤蔗糖酶活性垂直空间分布并不一致, 由图2可知: 群落I随着土层加深表现出先降后升再降的趋势, 在60~80 cm土层达到最大。群落II则表现出先升后降的趋势, 而群落III变化趋势与群落II相反。群落IV随着土层加深蔗糖酶活性逐渐增大。不同群落类型同一土层蔗糖酶变化特点: 除20~40 cm土层以外, 群落I蔗糖酶活性在其它各土层均为最大, 随着土层深度的变化, 各群

落类型同一土层蔗糖酶活性呈现出不同的差异性。

不同植物群落类型脲酶表现出不同的变化趋势: 群落I、IV土壤脲酶活性随着土层加深表现出先增加后减少的趋势, 在40~60 cm土层均达到最大。群落II表现出增大-减小-增大-减小的变化方式, 而群落III土壤脲酶活性则表现出逐渐增大的趋势。4种群落类型土壤脲酶活性以群落I最大, 与其它群落类型差异性显著, 群落IV最小。

过氧化氢酶活性越高, 越有利于土壤养分的积累, 4种群落类型过氧化氢酶变化趋势, 群落I、III土壤过氧化氢酶活性随着土层加深先增加后减少, 分别在60~80、20~40 cm活性达到最大。群落II土壤过氧化氢酶活性变化特征为减小-增加-减小, 而群落IV表现出相反的变化趋势。不同植物群落同一土层之间过氧化氢酶活性呈不同差异, 群落III各土层过氧化氢酶活性最高, 群落I最低。

碱性磷酸酶活性在群落II、IV随着土层加深表现出先增后减再增的趋势, 群落III则表现出相反的

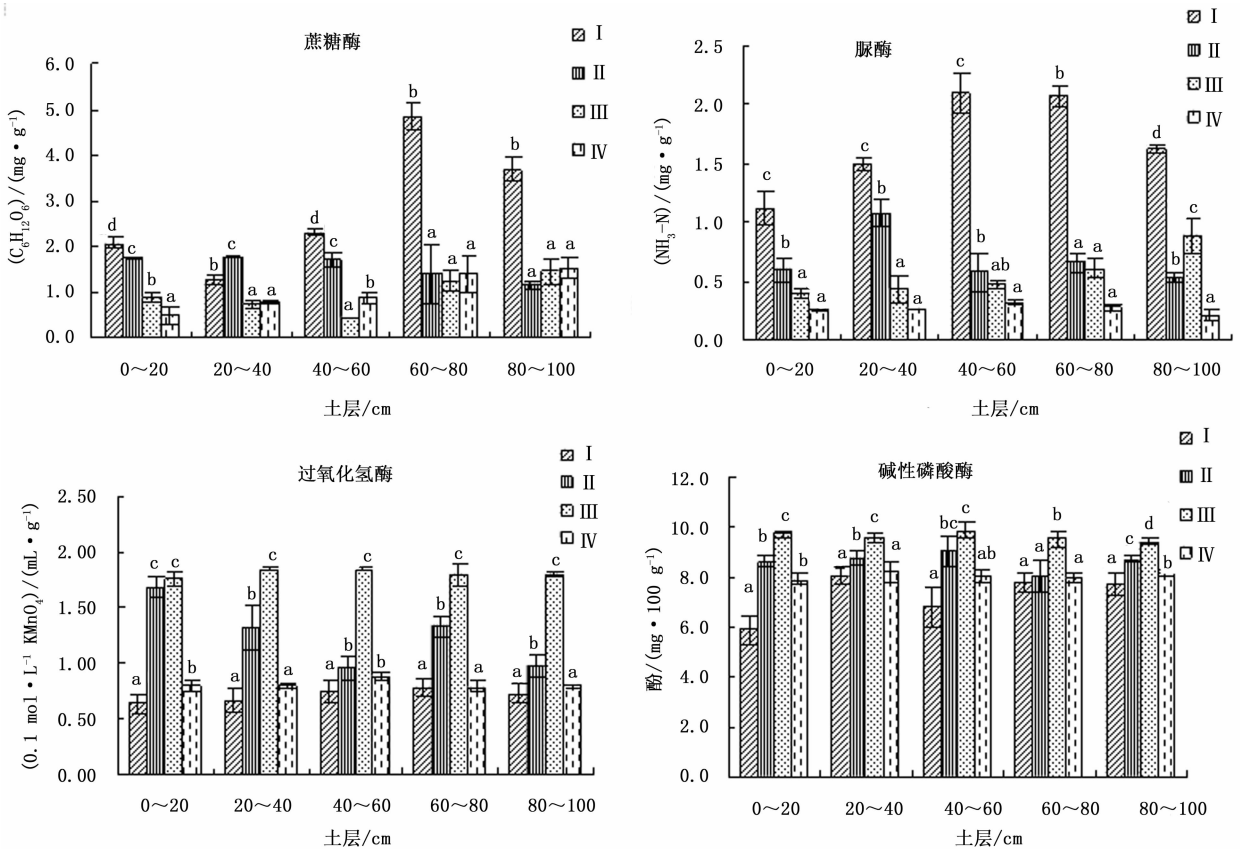


图2 不同植物群落土壤酶活性分析

变化特征,群落 I 则表现出先增后减波动变化。群落 III 各土层碱性磷酸酶活性均为最大,群落 I 最小,与过氧化氢酶变化一致。

3.3 不同植物群落土壤测定指标相关性分析

针对不同植物群落类型土壤理化性质、土壤酶测定指标进行相关性分析可知(表3),土壤密度与全盐量、过氧化氢酶呈显著负相关,含水率与全盐量、脲酶呈极显著相关,与全氮、碱解氮呈显著相关

性。全盐量与土壤密度、全氮、蔗糖酶、脲酶呈显著相关,与含水率、碱解氮过氧化氢酶、碱性磷酸酶极显著相关。除土壤密度、pH 值、碱解氮、全磷以外,全氮与其它指标呈不同程度显著相关,尤其与有机质、蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶呈极显著相关性。蔗糖酶与脲酶、过氧化氢酶与碱性磷酸酶呈极显著负相关,脲酶与碱性磷酸酶呈显著相关。pH 值、全磷与其他指标均没有显著相关性。

表3 不同植物群落土壤理化性质与土壤酶活性相关性分析

项目	土壤密度	含水率	pH 值	全盐量	全氮	碱解氮	有机质	全磷	蔗糖酶	脲酶	过氧化氢酶	碱性磷酸酶
土壤密度	1											
含水率	0.290	1										
PH 值	-0.148	0.193	1									
全盐量	-0.462 *	-0.621 **	-0.025	1								
全氮	0.026	0.522 *	0.108	-0.481 *	1							
碱解氮	-0.209	0.486 *	-0.008	0.639 **	-0.140	1						
有机质	-0.316	0.256	-0.111	-0.331	0.760 **	-0.286	1					
全磷	0.069	-0.198	-0.261	-0.252	-0.309	-0.088	-0.118	1				
蔗糖酶	-0.243	0.380	-0.145	-0.555 *	0.721 **	-0.430	0.825 **	-0.019	1			
脲酶	-0.063	0.730 **	-0.005	-0.545 *	0.846 **	-0.370	0.796 **	-0.157	0.788 **	1		
过氧化氢酶	-0.445 *	-0.202	0.035	0.650 **	-0.550 *	0.267	-0.260	-0.173	-0.377	-0.327	1	
碱性磷酸酶	-0.260	-0.337	-0.236	0.587 **	-0.685 **	0.178	-0.334	-0.010	-0.436	-0.469 *	0.816 **	1

注: ** 表示相关系数在 $P < 0.01$ 时达显著水平, * 表示相关系数在 $P < 0.05$ 时达显著水平。

3.4 荒漠河岸植被土壤肥力指标的筛选

通过对和田河上游不同植物群落土壤理化性质、土壤酶 12 个指标进行主成分分析(表 4、5),主成分 1 贡献率为 53.57%,主成分 2 的贡献率为 29.23%,基本上保留了土壤肥力特征的绝大部分信息。第一主成分中含水率权重系数较大,第二主成分中土壤密度权重系数较大,可以作为表征该地区

土壤肥力的首选指标。

表 4 和田河上游不同植物群落土壤信息
系统主成分分析

项目	第一主成分	第二主成分
特征根	7.50	2.86
方差贡献率/%	53.57	29.23
累计贡献率/%	53.57	82.79

表 5 和田河上游不同植物群落土壤各因子主成分分析系数

项目	土壤密度	土壤含水率	pH 值	全盐量	全氮	碱解氮	有机质	全磷	蔗糖酶	脲酶	过氧化氢酶	碱性磷酸酶
1	-0.306	0.996	0.958	-0.585	0.857	-0.529	0.943	-0.234	0.918	0.986	-0.252	-0.493
2	-0.952	0.046	0.262	0.595	-0.473	0.289	-0.331	-0.042	-0.335	-0.155	0.947	0.851

4 结论与讨论

新疆干旱区荒漠河岸植被生态环境脆弱,异质性强,受到局部地形地貌、水分状况、盐分条件的影响而形成不同的植物群落类型^[4,13]。本研究中,结合图 1(A、B)、表 1 可知,随着远离河岸的过程中植物群落类型发生变化,土壤环境条件也相应发生变化,整体表现出土壤含水量、有机质在远离河岸的过程中逐渐降低,地下水位先升高后降低,而全盐量则表现出先增大后减小的趋势。4 种植物群落土壤含水率、全盐量、碱解氮垂直空间变异性表现尤为突出,变异系数在 28.52%~107.49% 范围内波动。荒漠河岸土壤成土母质多为冲积物^[14],不同深度土壤层质地类型多变,导致土壤水分、盐分、养分具有很大的空间变异性,从而影响植物群落分布格局。

水分条件是新疆干旱区域制约荒漠河岸植被生存和发展的首要因子,地下水位深度与土壤湿度则是干旱区荒漠河岸植被存活、分布的关键因素^[15-16]。刘加珍等^[17]对塔里木河下游植物群落研究表明地下水位变化影响植物群落的结构与组成。郝新民等^[18]认为,水分的有效性和持续性对维持和发展荒漠植被至关重要。地下水位埋深与植被状况之间的关系较为复杂,而群落结构外貌是地下水位、土壤、植被之间动态平衡的体现,三者之间的关系正是当前干旱区荒漠植被恢复与保护研究的核心问题^[19-20]。土壤作为联系植被-水分之间的媒介,其基本属性必然影响两者之间的关系,土壤水分有效性决定于质地、孔隙度等土壤结构属性,有机质与养分含量等都是通过土壤水分的携带与迁移被植物吸收利用,进而影响土壤生物化学特性^[21]。受水分条件与土壤质地的影响,土壤盐分变化也是影响植物

群落分布和演替的重要影响因素^[22-23],杨红梅等^[24]对塔里木河下游土壤研究表明离河道越远,盐分越低,地下水埋深逐渐加深,物种组成和植被盖度分别表现出与之相应的递减趋势。经相关分析、主成分分析表明土壤含水率、土壤密度对环境变化较为敏感,可作为该地区荒漠植被土壤肥力评价主要指标,土壤结构特征对荒漠河岸植物群落分布格局有较大影响,这与其它学者研究较为一致^[25]。

参考文献:

- [1] 王让会, 王晓伟, 游先祥, 等. 荒漠河岸林生态系统的结构分析[J]. 干旱区研究, 2002, 19(2): 7-11.
- [2] 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.
- [3] Stromberg J C, McCluney K E, Dixon M D, et al. Dryland Riparian Ecosystems in the American Southwest: Sensitivity and Resilience to Climatic Extremes[J]. Ecosystems, 2013, 16: 411-415.
- [4] Jianhua Si, Qi Feng, Shengkui Cao, et al. Water use sources of desert riparian *Populus euphratica* forests[J]. Environ Monit Assess, 2014, 186: 5469-5477.
- [5] Xu H L, Ye M, Li J M. The ecological characteristics of the riparian vegetation affected by river overflowing disturbance in the lower Tarim River[J]. Environ Geol, 2009, 58: 749-1755.
- [6] 韩路, 王海珍, 彭杰, 等. 塔里木河上游灰胡杨种群生存分析[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 131-135.
- [7] Hao X M, Li W H, Huang X, et al. Assessment of the groundwater threshold of desert riparian forest vegetation along the middle and lower reaches of the Tarim River, China[J]. Hydrological Processes, 2010, 24: 178-186.
- [8] 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等. 极端干旱区多枝桧柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6081-6087.
- [9] 王海珍, 韩路, 李志军, 等. 塔里木河上游胡杨与灰杨光和水分生理特性[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5843-5850.
- [10] 刘建平, 李志军, 何良荣, 等. 胡杨、灰叶胡杨种子萌发期抗盐

- 性的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(2): 165-169.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 34-110.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [13] Huang T M, Pang Z H, Chen Y N, *et al.* Groundwater circulation relative to water quality and vegetation in an arid transitional zone linking oasis, desert and river[J]. *Chin Sci Bull*, 2013, 58(25): 3088-3097.
- [14] 钱亦兵, 周华荣, 杨青, 等. 和田河中下游生态环境特征及公路工程保护[J]. 干旱区研究, 2004, 21(3): 204-209.
- [15] 王新平, 张志山, 张景光, 等. 荒漠植被影响土壤水文过程研究述评[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2): 197-201.
- [16] 潘颜霞, 王新平. 荒漠人工植被区浅层土壤水分空间变化特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 205-255.
- [17] 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 379-383.
- [18] Hao X M, Li W H. Impacts of ecological water conveyance on groundwater dynamics and vegetation recovery in the lower reaches of the Tarim River in northwest China[J]. *Environ Monit Assess*, 2014, 186: 7605-7616.
- [19] Brittany G J, Paul S J V, John A Arnone III. Effects of climate and vegetation on soil nutrients and chemistry in the Great Basin studied along a latitudinal-elevational climate gradient[J]. *Plant Soil*, 2014, 382: 151-163.
- [20] 韩路, 王海珍, 彭杰, 等. 塔里木荒漠河岸林植物群落演替下的土壤理化性质研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2808-2814.
- [21] Ma X D, Chen Y N, Zhu C G, *et al.* The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the Lower Tarim River[J]. *J Geogr Sci*, 2011, 21(1): 150-162.
- [22] 汤爱坤, 刘汝海, 许廖奇, 等. 昌邑海洋生态特别保护区土壤养分的空间异质性与植物群落的分布[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 88-93.
- [23] 鱼腾飞, 冯起, 刘蔚, 等. 黑河下游土壤盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7009-7017.
- [24] 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.
- [25] Wu Y P, Shen Y P, Li B L. Possible physical mechanism of water vapor transport over Tarim River Basin[J]. *Ecological Complexity*, 2012, 9: 63-70.

(责任编辑: 彭南轩)