

## 民勤不同林龄胡杨根区土壤理化性质及相关性分析

王 飞<sup>1,2</sup>, 马剑平<sup>1\*</sup>, 马俊梅<sup>1,2</sup>, 满多清<sup>1</sup>, 郭春秀<sup>1,2</sup>, 张裕年<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室(培育基地), 甘肃 武威 733000)

**摘 要:**以民勤不同林龄胡杨根区土壤为对象,采集 0~200 cm 土壤样品,并对土壤的物理性质、养分含量及其相关性进行了分析。结果表明:1)随着胡杨林龄增加,土壤含水量增加,土壤中黏粒含量逐渐增加,粗砂粒含量减少,粉粒、细砂粒差异不明显。2)土壤有机质、全 N、电导率变化均表现为成熟林>中龄林>幼龄林,且表层(0~20 cm)含量显著高于其他土层,表聚性明显。3)三个林龄胡杨根区土壤速效 P 含量、pH 差异不显著( $P>0.05$ )。3)土壤理化性质之间关系密切,土壤含水量与黏粒、粉粒、有机质、全 N、速效 P、电导率均呈极显著( $P<0.01$ )正相关,与粗砂粒呈极显著( $P<0.01$ )负相关。黏粒、粉粒含量与含水量、有机质、全 N、速效 P 均呈极显著( $P<0.01$ )正相关。研究结果表明,林龄的增加改善了胡杨根区土壤理化性质,为干旱区胡杨的抚育与发展提供理论依据。

**关键词:**不同林龄;胡杨;土壤理化性质;民勤

中图分类号:S718.51

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2020)03-0023-06

### Physicochemical Properties and Correlations of the Soils in the *Populus euphratica* Forests with Different Ages in Minqin

WANG Fei<sup>1,2</sup>, MA Jian-ping<sup>1\*</sup>, MA Jun-mei<sup>1,2</sup>, MAN Duo-qing<sup>1</sup>, GUO Chun-xiu<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu-nian<sup>1,2</sup>

(1. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, Gansu, China)

**Abstract:** Soils in the root areas of *Populus euphratica* forests with different ages in Minqin were taken as the research objects, soil samples were collected from the depth of 0–200 cm, and the soil physical properties, nutrient content and the correlations between them were analyzed. The results showed that 1) with the increase of forest age, the soil water content increased, the clay content increased gradually, the coarse sand content decreased, and the difference between silt particle and fine sand was not obvious. 2) The changes of soil organic matter, total nitrogen and conductivity were all manifested as mature forest > medium age forest > young forest, and the content of organic matter in surface layer (0–20 cm) was significantly higher than that of other soil layers, with obvious surface cohesion. There was no significant difference in soil pH and available phosphorus in the root area of *P. euphratica* forest with three ages ( $P>0.05$ ). 3) There was a close relationship between soil physical and chemical properties. Soil moisture content was positively correlated with clay, powder, organic matter, total nitrogen, rapidly available phosphorus and electrical conductivity ( $P<0.01$ ), and negatively correlated with coarse sand ( $P<0.01$ ). The contents of clay and powder were positively correlated with water content, organic matter, total nitrogen and available phosphorus ( $P<0.01$ ). The results showed that the increase of forest age improved the soil physical and chemical properties of *P. euphratica* root area, which would provide a theoretical basis for the cultivation and development of *P. euphratica* in arid area.

收稿日期:2019-03-16 修回日期:2019-04-22

基金项目:国家青年科学基金项目(31700339);甘肃省重点研发计划项目(A17YF1FA113)。

作者简介:王 飞。研究方向:荒漠化防治。E-mail:zmffei@126.com

\*通信作者:马剑平,副研究员。研究方向:荒漠化防治。E-mail:3000ping@163.com

**Key words:** different age; *Populus euphratica*; soil physicochemical property; Minqin

土壤是植物生长发育、繁衍生息的主要载体,是影响植物生长发育的重要环境因子,也是生态系统主要组成部分。土壤物理性质的变化直接影响土壤质地,对土壤蓄水保肥能力以及土壤养分的吸收和利用有重要影响。土壤养分是土壤肥力的重要物质基础,也是植物生长所需营养元素的基本来源。因此,土壤物理化学组成影响着生态系统植被的更新与演替,并维持着生态系统的平衡。然而,植被的群落组成、结构及多样性的变化也会影响土壤的形成、发育以及土壤养分的有效性<sup>[1-2]</sup>,因此,研究不同林龄植被群落的土壤理化性质及其相互关系,对植被更新与保护具有比较重要的理论与实践意义。

胡杨(*Populus euphratica*)是干旱区内陆河流域荒漠河岸林的主要建群种,有关胡杨的生态学研究一直是众多学者关注的热点<sup>[3-5]</sup>。胡杨在中国西北干旱区内陆河流域广泛分布,它抗逆性强,能够在极端干旱、盐碱严重、多风沙等环境下生存,在沙漠化防治和绿洲生态安全保护中有不可替代的作用<sup>[6]</sup>。近年来,对胡杨研究较多,主要有对胡杨光合<sup>[7-8]</sup>、荧光<sup>[9]</sup>、生态需水<sup>[10-11]</sup>、种群结构与动态<sup>[12-14]</sup>、与地下水<sup>[15-17]</sup>关系的研究等,但是对干旱荒漠区不同林龄胡杨相关研究较少,本研究以不同林龄胡杨根区土壤为对象,通过比对不同林龄胡杨根区土壤含水量、机械组成以及养分含量差异,分析其土壤理化性质特征及其相关性,揭示不同林龄胡杨对根区土壤的影响,为干旱荒漠区植被的恢复重建提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验研究区设在巴丹吉林沙漠东南缘的民勤治沙综合试验站周边,地理位置 103°05'E, 38°35'N, 海拔 1 378.5 m。属于典型的干旱荒漠气候,年均气温 7.7℃,年均相对湿度 50%,年均水汽压 0.59 kPa。光照强、热量资源丰富,日照时数年均 2 651.9 h,日照百分率平均为 60%;干旱少雨,降水稀少,年均降水量 115.56 mm,蒸发量 2 643 mm,蒸发量是降水量的 23 倍多,干燥度 5.85;多风,年均风速 2.4 m·s<sup>-1</sup>;植被稀疏,类型单一,天然植被和人工植物兼有。地带性土壤为灰棕漠土和风沙土,土壤有机质含量 0.15%~0.8%,pH 值 8.5。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 本研究选取了民勤治沙综合试验站附近不同林龄胡杨为对象,胡杨龄

级的划分参照王世绩等<sup>[18]</sup>对胡杨的研究结果,分为幼龄林、中龄林、成熟林。2018 年 5 月,分别选取生长正常,长势良好,树干通直,冠幅适中,无病虫害的胡杨,在根区 50~60 cm 处用土钻取土,土层深度分别为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140、140~160、160~180、180~200 cm,同一层土样混合,去除石块、根系等杂质,分成 2 份,一部分测定土壤含水量,另一部分测定土壤理化性质。每个龄级 3 个重复。

1.2.2 土壤理化指标测定 土壤含水量采用烘干法测定;土壤粒径用马尔文激光粒度仪(Malvern Mastersizer 2000)测定,依据国际制土壤机械组成分类标准将该区域土壤粒径分为:黏粒(<0.002 mm)、粉粒(0.002~0.02 mm)、细砂粒(0.02~0.2 mm)、粗砂粒(0.2~2 mm)<sup>[19]</sup>;有机质测定用重铬酸钾氧化-外加热法<sup>[20]</sup>,全 N 测定用半微量凯氏法<sup>[20]</sup>,速效磷测定用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法<sup>[20]</sup>,电导率用电导仪法<sup>[21]</sup>,pH 值的测定用电极法<sup>[21]</sup>。

1.2.3 数据分析 应用 Excel 2003 软件进行数据整理,用 SPSS 11.0 进行差异性和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄胡杨根区土壤含水量变化特征

不同林龄胡杨根区土壤含水量变化见图 1,3 个林龄胡杨根区土壤含水量随土层增加呈先增加后减少的趋势。经方差分析,3 个林龄胡杨根区土壤含水量差异极显著( $P < 0.01$ ),成熟林 > 中龄林 > 幼龄林,其中,成熟林显著大于其他 2 个龄组,幼龄与

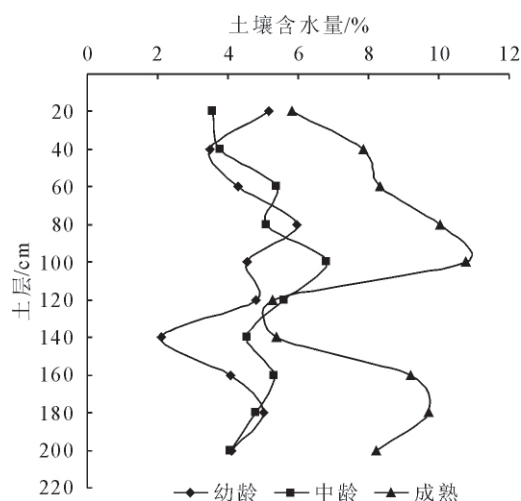


图 1 不同林龄胡杨根区土壤含水量变化特征  
Fig. 1 Changes of soil water content in the root area of *P. euphratica* at different forest ages

中龄差异不显著( $P>0.05$ )。3 个龄组胡杨根区不同土层土壤含水量差异不显著( $P>0.05$ )。

## 2.2 不同林龄胡杨根区土壤颗粒组成

由表 1 可知, 3 个林龄胡杨根区土壤中细砂粒含量最多, 其次为粉粒和粗砂粒, 黏粒含量最少, 细砂粒含量 26%~61%, 最多达到 60.84%, 黏粒均在 10% 左右, 为沙质土壤。经方差分析, 3 个林龄胡杨根区土壤黏粒含量差异显著( $P<0.05$ ), 成熟林>中龄林>幼龄林, 其中成熟林显著大于其他 2 个林龄, 幼龄林与中龄林差异不显著; 粉粒、细砂粒差异

不显著; 粗砂粒含量差异显著( $P<0.05$ ), 幼龄林>中龄林>成熟林, 其中, 幼龄林、中龄林显著大于成熟林, 幼龄林与中龄林差异不显著。由此可知, 随着胡杨林的增加, 成熟林使得土壤中黏粒含量逐渐增加, 粗砂粒含量减少, 粉粒、细砂粒差异不明显。

幼龄林、中龄林胡杨根际不同土层黏粒、粉粒、粗砂粒含量差异不显著, 细砂粒差异显著( $P<0.05$ ); 成熟胡杨根际不同土层黏粒含量差异显著( $P<0.05$ ), 粉粒差异不显著, 细砂粒、粗砂粒含量差异极显著( $P<0.01$ )。

表 1 不同林龄胡杨根区土壤颗粒组成

Table 1 Soil particle composition in the root area of *P. euphratica* with different ages

样地类型	土层/cm	不同粒径百分比/%			
		黏粒(0.01~2 μm)	粉粒(2~20 μm)	细砂粒(20~200 μm)	粗砂粒(200~2 000 μm)
幼龄林	0~20	5.30±0.96a	21.30±15.71a	59.35±8.29a	14.05±10.96a
	20~40	4.79±1.56a	19.92±15.09a	60.84±11.68a	14.45±6.71a
	40~60	6.21±0.09a	27.02±12.96a	58.84±6.41a	7.93±7.93a
	60~80	5.92±3.07a	32.31±23.40a	30.97±0.71b	30.81±27.67a
	80~100	4.87±2.63a	34.45±28.45a	28.29±1.44b	32.40±30.01a
	100~120	4.59±1.42a	15.84±6.58a	36.14±3.37b	43.42±5.26a
	120~140	1.61±0.16a	5.86±0.29a	40.48±6.50a	52.04±6.21a
	140~160	3.11±2.17a	14.84±9.92a	36.31±4.78b	45.75±16.39a
	160~180	5.15±3.52a	26.07±22.42a	33.20±6.05b	35.58±32.76a
中龄林	180~200	3.58±3.13a	15.00±12.41a	28.11±9.08b	53.31±24.62a
	0~20	4.44±2.55a	19.35±12.76a	58.57±6.99a	17.64±8.38a
	20~40	4.80±2.17a	17.58±9.42a	58.98±4.83a	18.64±7.59a
	40~60	5.23±0.37a	25.83±8.53a	46.37±9.82ab	22.56±12.01a
	60~80	5.33±2.89a	24.42±17.38a	27.16±3.38c	43.10±23.46a
	80~100	7.54±4.04a	31.95±17.10a	27.17±8.62c	33.33±27.06a
	100~120	4.82±3.05a	28.18±19.27a	34.59±5.41bc	32.41±21.89a
	120~140	3.79±1.17a	15.04±6.55a	43.84±6.57abc	37.34±7.33a
	140~160	4.60±1.71a	25.45±16.72a	46.27±4.84ab	23.67±13.60a
成熟林	160~180	4.61±3.66a	20.75±17.58a	35.01±2.89bc	39.63±19.52a
	180~200	3.28±2.09a	13.22±8.48a	46.26±6.97ab	37.24±13.77a
	0~20	7.08±1.08abcd	26.50±5.23ab	58.38±7.17a	8.04±1.20b
	20~40	6.62±0.26bcd	32.30±6.45ab	50.76±3.25ab	10.32±4.73b
	40~60	7.29±1.67abcd	34.50±9.73ab	45.06±4.99ab	13.15±16.07b
	60~80	8.85±2.19ab	44.52±10.89a	34.91±2.25bc	11.71±10.69b
	80~100	11.13±2.59a	46.74±16.34a	26.34±9.17c	15.78±9.85b
	100~120	4.17±2.03cd	17.01±7.56b	35.30±4.45bc	43.53±6.12a
	120~140	3.48±1.39d	14.92±5.39b	39.05±5.57bc	42.55±10.75a
140~160	6.65±0.86bcd	32.52±7.10ab	49.56±5.31ab	11.27±2.55b	
160~180	7.80±1.01abc	36.15±4.58ab	45.57±7.67ab	10.48±5.43b	
180~200	6.99±1.00abcd	34.75±8.83ab	47.95±6.85ab	10.32±9.99b	

注: 小写字母表示不同土层在  $\alpha=0.05$  水平上的显著性。下同。

## 2.3 不同林龄胡杨根区土壤有机质含量

从表 2 可知, 3 个林龄胡杨根区土壤有机质含量都呈现随土层深度增加而减少的规律。幼龄林、中龄林和成熟林各土层有机质含量变异系数依次为 57.34%, 47.56% 和 46.80%, 幼龄林最大。此外, 幼龄林、中龄林和成熟林在 0~100 cm 土层有机质含量占整个土层(0~200 cm)有机质含量的百分比依次为 72.61%, 67.63% 和 68.95%。说明土壤有

机质主要集中在 0~100 cm 土层内, 主要是因该土层是胡杨根系集中分布区, 其次, 大量的地表枯落物也是土壤有机质的重要来源。经方差分析, 3 个林龄胡杨根区土壤有机质含量变化规律为成熟林>中龄林>幼龄林, 差异不显著( $P>0.05$ ), 幼龄林不同土层有机质含量差异不显著; 中龄林、成熟林不同土层有机质含量差异极显著( $P<0.01$ ), 其中, 表层(0~20 cm)有机质含量显著高于其他土层。

3 个林龄胡杨根际土壤有机质含量在同一土层存在差异,其中,140~160 cm 的变异系数最大,为 53.91%,0~20 cm 土层变异程度最小,为 9.89%,

呈现出表层土变异程度小,中下层土变异程度大的特征。经方差分析,3 个龄组胡杨同一土层有机质含量差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 不同林龄胡杨根区土壤有机质含量

Table 2 Soil organic matter contents in the root area of *P. euphratica* with different ages

土层/cm	胡杨林龄			变异系数
	幼龄	中龄	成熟	
0~20	0.992±0.50Aa	1.111±0.15Aa	1.210±0.04Aa	9.89
20~40	0.698±0.43Aa	0.736±0.08Aab	0.888±0.07Ab	13.02
40~60	0.599±0.21Aa	0.655±0.06Abc	0.772±0.10Ab	13.12
60~80	0.697±0.43Aa	0.562±0.14Abc	0.766±0.09Ab	15.39
80~100	0.424±0.29Aa	0.538±0.13Abc	0.668±0.04Abc	22.52
100~120	0.309±0.12Aa	0.409±0.16Abc	0.294±0.01Ad	18.49
120~140	0.211±0.06Aa	0.370±0.16Abc	0.294±0.08Ad	27.20
140~160	0.134±0.02Aa	0.349±0.15Abc	0.475±0.13Acd	53.91
160~180	0.363±0.25Aa	0.294±0.14Ac	0.466±0.08Acd	23.20
180~200	0.269±0.16Aa	0.302±0.08Abc	0.410±0.03Ad	22.49
变异系数	57.34	47.56	46.80	

注:大写字母表示不同林龄在  $\alpha=0.05$  水平上的显著性。

#### 2.4 不同林龄胡杨根区土壤全 N、速效 P 与 pH、电导率

从表 3 可以看出,不同林龄胡杨根际土壤全 N、速效 P 含量都表现出随土层增加而降低的趋势,表层(0~20 cm)全 N、速效 P 含量最大,表聚性明显。经方差分析,3 个林龄胡杨根区土壤全氮含量变化规律为成熟林>中龄林>幼龄林,差异显著( $P<0.05$ ),且表层(0~20 cm)显著高于其他土层。3 个林龄胡杨根区土壤速效 P 含量差异不显著( $P>0.05$ )。电导率随着胡杨年龄的增加总体上呈升高趋势,成熟林>中龄林>幼龄林,成熟林显著( $P<0.05$ )大于中龄林、幼龄林,且表层(0~20 cm)显著高于其他土层。pH 值随着胡杨林龄的增加总体上呈降低趋势,中龄林>幼龄林>成熟林,差异不显著( $P>0.05$ ),中龄林略高于幼龄林,到成熟林阶段略有下降。3 个林龄胡杨根区土壤 pH 值不同土层差异不明显。

#### 2.5 土壤理化性质指标相关性分析

3 个林龄胡杨土壤理化性质相关性分析(表 4)表明,有机质与全 N、速效 P、电导率呈极显著( $P<0.01$ )正相关,全 N 与速效 P、电导率呈极显著( $P<0.01$ )正相关。

土壤含水量与黏粒、粉粒、有机质、全 N、速效 P、电导率均呈极显著( $P<0.01$ )正相关,与粗砂粒呈极显著( $P<0.01$ )负相关。黏粒、粉粒含量与含水量、有机质、全 N、速效 P 均呈极显著( $P<0.01$ )正相关,这就说明土壤的机械组成状况也显著影响了土壤的质量。总的来说,物理特性与土壤的化学性质息息相关。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 不同林龄胡杨根区土壤物理性质的变化

土壤水分作为最活跃的土壤肥力因素,影响土壤养分有效性,是研究土壤物理性质的重要指标。土壤的水分状况与气候、植被、地形、土壤性质等自然因素有关,土壤水分对植物生长起着重要的制约作用。本试验样地土壤水分动态变化主要取决于降水量、土壤的质地、结构情况和有机质含量,以及植物根系分布情况。本研究中,随着胡杨林龄增加,土壤含水量呈增加趋势,成熟林>中龄林>幼龄林,其中,成熟林显著( $P<0.05$ )大于其他 2 个龄林,幼龄与中龄差异不显著( $P>0.05$ )。这可能是幼龄林林分密度比较大,单位面积的水分蒸发量大,其次是成熟林凋落物比较多,起到一定的保水作用。3 个林龄胡杨根区土壤含水量随土层增加呈先增加后减少的趋势,差异不显著( $P>0.05$ ),这主要是在干旱荒漠区温度高,蒸发量大,致使土壤表层土壤含水量降低。

随着胡杨林龄的增加,土壤的质地也会发生变化,本研究中,3 个林龄胡杨根区土壤中细砂粒含量最多,黏粒含量最少,为沙质土壤。研究结果表明,成熟林使得土壤中黏粒含量逐渐增加,粗砂粒含量减少,粉粒、细砂粒差异不明显。这就说明随着林龄的增加,细小颗粒含量越来越多,土壤越紧实,保水保肥性增加。

#### 3.2 不同林龄胡杨根区土壤化学性质的变化

有机质是土壤肥力的重要物质基础,直接影响和改变土壤的物理、化学和生物学性质<sup>[22]</sup>。本研究

表 3 不同林龄胡杨根区土壤化学性质

Table 3 Soil chemical properties of *P. euphratica* with different ages

	土层/cm	全 N/%	速效 P/(mg · 100 g <sup>-1</sup> )	电导率	pH
幼龄	0~20	0.051±0.03	0.98±0.57	280.00±91.01	8.19±0.23
	20~40	0.030±0.02	0.36±0.11	452.50±208.53	8.07±0.30
	40~60	0.029±0.01	0.21±0.03	621.50±322.55	7.93±0.01
	60~80	0.032±0.02	0.40±0.06	538.00±225.03	7.93±0.01
	80~100	0.024±0.02	0.26±0.02	331.50±83.51	7.97±0.02
	100~120	0.017±0.00	0.21±0.06	350.00±160.02	7.94±0.08
	120~140	0.009±0.00	0.37±0.16	231.00±106.02	7.93±0.10
	140~160	0.017±0.01	0.18±0.06	280.50±10.50	7.93±0.01
	160~180	0.021±0.01	0.40±0.16	271.00±56.01	7.91±0.03
中龄	180~200	0.015±0.01	0.20±0.02	225.00±53.011	7.90±0.00
	0~20	0.056±0.01	0.80±0.23	606.67±118.88	7.84±0.11
	20~40	0.035±0.00	0.70±0.18	440.33±56.51	8.10±0.16
	40~60	0.034±0.00	0.37±0.03	484.33±235.65	8.07±0.09
	60~80	0.027±0.01	0.22±0.04	308.67±24.66	8.15±0.03
	80~100	0.029±0.01	1.13±0.90	378.33±159.60	8.16±0.08
	100~120	0.022±0.01	0.85±0.53	283.67±69.57	8.14±0.05
	120~140	0.019±0.01	0.34±0.13	271.00±48.63	8.08±0.01
	140~160	0.021±0.01	0.87±0.60	328.33±76.60	8.01±0.02
成熟	160~180	0.018±0.01	0.90±0.71	295.33±79.39	7.95±0.02
	180~200	0.014±0.01	0.75±0.51	285.67±64.05	7.95±0.03
	0~20	0.063±0.01	1.44±0.30	1319.33±270.66	7.63±0.10
	20~40	0.045±0.00	1.26±0.47	806.00±97.49	7.86±0.019
	40~60	0.037±0.00	0.89±0.59	536.00±16.54	8.07±0.31
	60~80	0.042±0.00	0.54±0.07	549.67±108.62	8.09±0.27
	80~100	0.039±0.00	0.45±0.14	523.00±199.79	8.06±0.026
	100~120	0.020±0.01	0.31±0.06	336.33±116.79	8.07±0.20
	120~140	0.017±0.00	0.74±0.50	376.00±151.38	7.98±0.18
140~160	0.028±0.01	0.67±0.39	616.00±172.54	7.79±0.15	
160~180	0.026±0.00	0.63±0.34	672.67±207.188	7.76±0.09	
180~200	0.023±0.00	0.37±0.15	549.33±181.65	7.78±0.08	

表 4 土壤理化性质的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of soil physical and chemical properties

	含水量	黏粒	粉粒	细砂粒	粗砂粒	有机质	全 N	速效 P	电导率	pH
含水量	1									
黏粒	0.817**	1								
粉粒	0.815**	0.924**	1							
细砂粒	-0.180	-0.142	-0.201	1						
粗砂粒	-0.662**	-0.797**	-0.812**	-0.406**	1					
有机质	0.439**	0.594**	0.563**	0.257*	-0.685**	1				
全氮	0.509**	0.660**	0.618**	0.215	-0.713**	0.966**	1			
速效磷	0.352**	0.364**	0.370**	0.146	-0.433**	0.440**	0.471**	1		
电导率	0.386**	0.348**	0.234*	0.238*	-0.376**	0.493**	0.525**	0.194	1	
pH	-0.227*	-0.037	-0.042	-0.107	0.101	-0.145	-0.178	-0.181	-0.535**	1

注：“+”表示正相关，“-”表示负相关；\* 和 \*\* 分别表示在 a=0.05 和 0.01 水平上的显著性。

中, 3 个林龄胡杨根区土壤有机质含量都呈现随土层深度增加而减少的规律, 表层(0~20 cm)有机质含量显著高于其他土层, 表聚性明显, 这与王琦等<sup>[23]</sup>的研究结果一致, 主要是因该土层是胡杨根系集中分布区, 其次, 大量的地表枯落物也是土壤有机质的重要来源。随着林龄的增加, 土壤有机质含量呈增加趋势, 这与王新英等<sup>[24]</sup>研究结果一致, 这主

要是由于随着林龄的增长, 凋落物逐渐增加, 土壤微生物的数量增加, 土壤养分加快分解, 促使土壤中有效养分质量分数增加, 使胡杨林土壤处于养分累积阶段。本研究中, 全 N 含量随林龄增加、土层加深而变化趋势与有机质一致。3 个林龄胡杨根区土壤速效 P 含量差异不显著( $P>0.05$ )。土壤 pH 值的测定也是不可缺少的指标之一<sup>[25]</sup>。由研究结果可

知,随着胡杨林龄的增加土壤 pH 值总体上呈降低趋势,土壤含水量与土壤 pH 呈负相关。电导率是反映土壤电化学性质的基础指标,可以作为评价非盐碱化土壤肥力的指标之一<sup>[26-27]</sup>。本研究中,电导率随着胡杨年龄的增加总体上呈升高趋势,成熟林>中龄林>幼龄林,成熟林显著( $P<0.05$ )大于中龄林、幼龄林。相关研究表明,土壤含水量与电导率存在显著相关性<sup>[26,28]</sup>,本研究中电导率与含水率呈极显著正相关,成熟林电导率高可能与水分含量较高有关。

土壤养分之间的相关关系对于分析土壤肥力有重要的意义,可作为土壤肥力观测和评价指标,同时对指导林木的合理经营具有重要作用。本研究中土壤含水量与土壤 pH 呈负相关,这主要是由于盐分水溶性较高,土壤水分对土壤盐分有淋溶作用,符合水盐的运移规律。3 个林龄胡杨土壤理化性质相关性分析表明,有机质与全 N、速效 P 呈极显著( $P<0.01$ )正相关,这与刘世全等<sup>[29]</sup>、张振国等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,这主要因为土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮的重要来源,表层凋落物以及动物残体的分解会在一定程度上增加 N 的水平,同时促进土壤 P 的释放。

综上所述,林龄对胡杨土壤含水量、黏粒含量、有机质、全 N、电导率影响显著,而对粉粒、细砂粒、速效 P、pH 的影响不明显;土壤养分状况在成熟林阶段最佳;土壤理化性质之间有极显著的相关性。需要指出的是今后可对不同林龄和不同深度胡杨林土壤微环境进行深入细致的研究,为干旱荒漠区胡杨林恢复与保护提供理论支持。

#### 参考文献:

[1] FIRN J, ERSKINE P D, LAMB D. Woody species diversity influences productivity and soil nutrient availability in tropical plantations [J]. *Oecologia*, 2007, 154(3): 521-533.

[2] BLOOR J M G, BARDGETT R D. Stability of above-ground and below-ground processes to extreme drought in model grass-land ecosystems: Interactions with plant species diversity and soil nitrogen availability [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2012, 14(3): 193-204.

[3] 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 新疆塔里木河下游断流河道输水与生态恢复[J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 538-545.

[4] 陈亚鹏, 陈亚宁, 徐长春, 等. 塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(2): 344-353.

[5] 司建华, 冯起, 李建林, 等. 荒漠河岸林胡杨吸水根系空间分布特征[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(1): 1-4.

[6] 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.

[7] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 等. 胡杨异形叶光合作用对光强与 CO<sub>2</sub> 浓度的响应[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(10): 1099-1109.

[8] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 等. 土壤水分梯度对灰胡杨光合作用与抗逆性的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 432-442.

[9] 朱成刚, 李卫红, 马晓东, 等. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨叶绿素荧光特性研究[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(4): 927-936.

[10] 刘树宝, 陈亚宁, 陈亚鹏, 等. 基于稳定同位素技术的黑河下游不同林龄胡杨的吸水深度研究[J]. *生态学报*, 2016, 36(3): 729-739.

[11] 周洪华, 李卫红, 李玉朋, 等. 基于树木年轮技术的塔里木河下游河岸胡杨林生态需水量研究[J]. *生态学报*, 2017, 37(22): 7576-7584.  
ZHOU H H, LI W H, LI Y P, *et al.* Estimation of ecological water demand of a desert riparian forest using tree rings of *Populus euphratica* in the lower Tarim River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(22): 7576-7584. (in Chinese)

[12] 周莹莹, 陈亚宁, 朱成刚, 等. 塔里木河下游胡杨 (*Populus euphratica*) 种群结构[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(2): 315-323.  
ZHOU Y Y, CHEN Y N, ZHU C G, *et al.* Population structure characteristics of *Populus euphratica* in the lower Reaches of Tarim River [J]. *Journal of Desert Research*, 2018, 38(2): 315-323. (in Chinese)

[13] 徐梦辰, 陈永金, 刘加珍, 等. 塔里木河中游水文影响下的胡杨种群格局动态[J]. *生态学报*, 2016, 36(9): 2646-2655.  
XU M C, CHEN Y J, LIU J Z, *et al.* The distribution pattern dynamics of *Populus euphratica* are influenced by hydrology in the middle reaches of Tarim River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(9): 2646-2655. (in Chinese)

[14] 刘普幸. 疏勒河中下游绿洲胡杨种群结构与动态研究[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(3): 429-439.

[15] 安红燕, 徐海量, 叶茂, 等. 塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系[J]. *生态学报*, 2011, 31(8): 2053-2059.

[16] 陈晓林, 陈亚鹏, 李卫红, 等. 干旱区不同地下水埋深下胡杨细根空间分布特征[J]. *植物科学学报*, 2018, 36(1): 45-53.  
CHEN X L, CHEN Y P, LI W H, *et al.* Spatial distribution characteristics of fine roots of *Populus euphratica* Oliv. under different groundwater depths in arid regions [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(1): 45-53. (in Chinese)

[17] 王海珍, 陈加利, 韩路, 等. 地下水位对胡杨 (*Populus euphratica*) 和灰胡杨 (*Populus pruinosa*) 叶绿素荧光光响应与光合色素含量的影响[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(4): 1054-1063.  
WANG H Z, CHEN J L, HAN L, *et al.* Effects of groundwater levels on photosynthetic pigments and light response of chlorophyll fluorescence parameters of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* [J]. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(4): 1054-1063. (in Chinese)

[18] 王世绩, 陈炳浩, 李护群. 胡杨林. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.

[19] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 69-77.

[20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-204.

[21] 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: 508-510.

[22] 游秀花, 蒋尔可. 不同森林类型土壤化学性质的比较研究[J]. *江西农业大学学报*, 2005, 27(3): 357-360.

(下转第 54 页)

- service values of the ecosystems in the lower reaches of the Urumqi River in recent 20 years based on RS/GIS[J]. *Arid Zone Research*, 2011, 28(2): 341-348. (in Chinese)
- [11] 王燕, 高吉喜, 王金生, 等. 新疆国家级自然保护区土地利用变化的生态系统服务价值响应[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(5): 1439-1446.  
WANG Y, GAO J X, WANG J S, *et al.* Responses of ecosystem services value to land use change in national nature reserves in Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5): 1439-1446. (in Chinese)
- [12] BREIMAN L. Random forest[J]. *Machine Learning*, 2001, 45(1): 5-32.
- [13] 王玉梅, 常学礼, 丁俊新, 等. 基于 RS/GIS 的呼和浩特市生态系统服务价值评估[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 9-13.
- [14] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [15] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [16] 白元, 徐海量, 凌红波, 等. 塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1912-1920.  
BAI Y, XU H L, LING H B, *et al.* Analysis on land use changes and ecosystem services value in the area along the Tarim River[J]. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(6): 1912-1920. (in Chinese)
- [17] 杨怀仁, 邱淑彰. 乌鲁木齐河上游第四纪冰川与冰后期气候波动[J]. *地理学报*, 1965, 31(3): 194-211.
- [18] 张宏元, 杨德刚, 石吉金, 等. 乌鲁木齐市土地利用变化及其驱动因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(8): 96-100.
- [19] 吴世新, 周可法, 刘朝霞, 等. 新疆地区近 10 年来土地利用变化时空特征与动因分析[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 52-58.
- [20] 牛潜, 周旭, 许幼霞, 等. 基于土地利用的贵州省乌江流域生态系统服务价值演变分析[J]. *生态科学*, 2018, 22(5): 165-173.  
NIU Q, ZHOU X, XU Y X, *et al.* Analysis of ecosystem service value evolution of Wujiang River basin of Guizhou Province based on land use[J]. *Ecological Science*, 2018, 22(5): 165-173. (in Chinese)
- [21] 白志强, 王文栋, 李缓, 等. 陕西省宁陕县天然林保护工程生态效益价值评估[J]. *西北林学院学报* 2018, 33(6): 292-296.  
BAI Z Q, WANG W D, LI H, *et al.* Evaluation of forest ecosystem service function of kanas national nature reserve[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(6): 292-296. (in Chinese)
- [22] 黄继红, 郭仲军, 刘永红, 等. 陕西省宁陕县天然林保护工程生态效益价值评估[J]. *西北林学院学报* 2016, 31(1): 298-303.  
HUANG J H, GUO Z J, LIU Y H, *et al.* Assessment on ecological benefits of natural forest protection project in ningshan county, Shaanxi[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(1): 298-303. (in Chinese)
- [23] 康艳, 刘康, 李团胜, 等. 陕西省森林生态系统服务功能价值评估[J]. *西北大学学报*, 2005, 35(3): 351-354.  
KANG Y, LIU K, LI T S, *et al.* The economic evaluation of forest ecosystem service in Shaanxi Province[J]. *Journal of Northwest University*, 2005, 35(3): 351-354. (in Chinese)
- [24] 丁振民, 姚顺波. 陕西省耕地转移对生态系统服务价值的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(6): 1070-1081.  
DING Z M, YAO S B. Effects of cultivated land transition on ecosystem service value in Shaanxi Province of China[J]. *Resources Science*, 2019, 41(6): 1070-1081. (in Chinese)

#### (上接第 28 页)

- [23] 王琦, 全占军, 韩煜, 等. 风沙区采煤塌陷不同恢复年限土壤理化性质变化[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(2): 118-126.
- [24] 王新英, 史军辉, 刘茂秀. 塔里木河流域不同龄组胡杨林土壤理化性质及相关性[J]. *东北林业大学学报*, 2016, 44(9): 63-68.  
WANG X Y, SHI J H, LIU M X. Physicochemical properties and correlations of the soils in the *Populus euphratica* forests of different ages in the Tarim River Basin [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2016, 44(9): 63-68. (in Chinese)
- [25] 赵伟红, 康峰峰, 韩海荣. 冀北辽河源地区不同林龄油松天然次生林土壤理化特征的研究[J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(3): 1-8.  
ZHAO W H, KANG F F, HAN H R. Physicochemical properties of the soils of *Pinus tabulaeformis* natural secondary stands with different ages in Liaoheyuan area of northern Hebei [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(3): 1-8. (in Chinese)
- [26] 袁巧霞, 朱端卫, 武雅娟. 温度、水分和施氮量对温室土壤 pH 及电导率的耦合作用[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1112-1117.  
YUAN Q X, ZHU R W, WU Y J. Coupling effects of temperature, moisture, and nitrogen application on greenhouse soil pH and EC [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(5): 1112-1117. (in Chinese)
- [27] 李兴民. 白龙江林区典型森林植被土壤养分特征[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [28] 孙宇瑞. 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2000, 5(4): 39-41.  
SUN Y R. Experimental survey for the effects of soil water content and soil salinity on soil electrical conductivity [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2000, 5(4): 39-41. (in Chinese)
- [29] 刘世全, 高丽丽, 蒲玉琳, 等. 西藏土壤磷素和钾素养分状况及影响因素[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 75-78.  
LIU S Q, GAO L L, PU Y L, *et al.* Status of soil P and K nutrient and their influencing factors in Tibet [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 75-78. (in Chinese)
- [30] 张振国, 黄建成, 焦菊英, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地人工柠条林土壤养分特征及其空间变异[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(5): 114-120.  
ZHANG Z G, HUANG J C, JIAO J Y, *et al.* Characteristics, spatial variability and evolution of soil nutrients on abandoned artificial forest (*Caragana korshinskii*) lands in the Loess Hilly Region [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(5): 114-120. (in Chinese)