西北林学院学报 2020,35(2):15-23
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2020.02.03

石羊河下游天然胡杨林分布特征及土壤特性分析

马俊梅[1,2],马剑平[2],满多清[2],郭春秀[1,2],赵 鹏[2],王 飞[2],张裕年[1,2]

(1.甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地,甘肃 武威 733000;
2.甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730000)

摘 要:为了掌握石羊河下游天然胡杨资源及分布区土壤特性,采用询问、聘请向导等方式对石羊河下游天然胡杨进行了地毯式的调查,分析了天然胡杨分布特征及土壤养分、水分、地下水位等因子。结果表明:1)石羊河下游天然胡杨在原水系和河道周围呈零星、分散的点片状分布,以土地利用现状和立地条件为依据,将现存胡杨林地划分为渠路旁、耕地旁、沙丘地、老河滩地、弃耕地等5个类型,其中耕地旁胡杨林分布点(块)数最多且长势优于其他胡杨林类型。2)不同类型胡杨林0~20 cm土层中的速效P、全N、有机质含量最高,然后随土层深度增加而逐渐减少,且只有在0~20 cm土层中耕地旁胡杨林显著高于其他类型($P<0.05$),其余各土层差异性不显著($P>0.05$);不同类型胡杨林pH差异性不显著($P>0.05$);不同类型胡杨林土壤颗粒物体积百分比随土层不同而不同,粘粒和粉粒在土层40~60 cm中,沙丘地胡杨林与其他类型间差异性显著($P<0.05$),细沙粒和粗沙粒在同一土层不同类型间差异性显著($P<0.05$)。3)耕地旁胡杨林土壤水分高于其他类型,且在20~40、60~80、80~100 cm土层间均存在显著性差异($P<0.05$)。4)胡杨分布区地下水埋深在2.86~33.28 m,各灌区之间差别较大,对胡杨分布和生长没有造成直接影响。5)杜绝毁林垦种,合理分配水资源,适度补充胡杨分布区土壤水分是维护区域天然胡杨健康发展的有效途径;同时,可结合地方经济发展,适度开展胡杨林人工种植,以保护地方特色天然林种。

关键词:石羊河下游;天然胡杨;分布特征;土壤特性

中图分类号:S714.3　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1001-7461(2020)02-0015-09

Distribution and Soil Characteristics of Natural *Populus euphratica* Forests in the Lower Reaches of Shiyang River

MA Jun-mei[1,2], MA Jian-ping[2], MAN Duo-qing[2], GUO Chun-xiu[1,2], ZHAO Peng[2], WANG Fei[2], ZHANG Yu-nian[1,2]

(1. *State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating*, *Wuwei* 733000, *Gansu*, *China*;
2. *Gansu Desert Control Research Institute*, *Lanzhou* 730000, *Gansu*, *China*)

Abstract: In order to grasp the natural *Populus euphratica* resources and soil characteristics of the distribution area in the lower reaches of Shiyang river, a survey was carried out on the natural *P. euphratica* forests by means of enquiring and employing local guiders, and the distribution characteristics of natural *P. euphratica* forest and soil nutrients, water and groundwater levels were analyzed. The results showed that: 1) the natural *P. euphratica* in the research area was in scattered distribution around the original water system and the river channel, which was divided into five types, i.e., canal roadside, cultivated land, sand dunes, old river beach and abandoned farmland, respectively, according to the current land use status and site conditions. The amount of *P. euphratica* growing in cultivated land was the highest and its growth was

收稿日期:2019-05-13　**修回日期:**2019-08-02
基金项目:省重点研发计划(17YF1FA113);省基金(18JR3RA018);国家自然科学基金(31560128)。
作者简介:马俊梅,女,高级工程师,研究方向:植被修复及荒漠化防治。E-mail:gsmqyz@tom.com

better than the other forest land types. 2) The content of available P, total nitrogen, and organic matter in the 0－20 cm soil layer of different types were the highest, and then gradually decreased with the increase of soil depth. Moreover, only in the 0－20 cm soil layer of the cultivated land, the contents of above mentioned were significantly higher than other types ($P<0.05$), and the differences of other soil layers were not significant ($P>0.05$). There was no significant difference in pH between different types of poplar forests ($P>0.05$). The volume percentage of soil particles varied with the soil layer in different types of natural *P. euphratica*. In the soil layer of 40－60 cm, clay and silt particles showed significant difference between Euphrates dune forest and other types ($P<0.05$), and fine and coarse sand particles showed significant difference between different types in the same soil layer ($P<0.05$). 3) The soil moisture of *P. euphratica* forest growing in cultivated land was higher than the other corresponding types, and significant difference of the soil moisture were found in soil layers of 20－40 cm, 60－80 cm and 80－100 cm ($P<0.05$). 4) The groundwater depth in these areas ranged from 2.86 to 33.28 m, showing a considerable difference between the different irrigation districts, which had no direct impact on the distribution and growth of *P. euphratica*. 5) It was an effective way to maintain the healthy development of natural *P. euphratica* by eliminating deforestation for cultivation, allocating water resources reasonably and moderately replenishing soil moisture in the distribution area of natural *P. euphratica*. At the same time, combined with the development of local economy, the artificial planting of natural *P. euphratica* can be carried out moderately to protect the natural forest species.

Key words: lower reach of Shiyang river; natural *P. euphratica*; distribution; soil characteristics

胡杨(*Populus euphratica*)是典型的干旱大陆性气候环境条件下的乔木树种,喜光、喜温暖、耐寒抗旱、耐盐碱、抗风沙,是荒漠区河岸林主要建群树种。是中亚荒漠地区中分布最广的乔木树种之一,由它所形成的河岸林,是荒漠地区中独特的森林类型[1-2]。中国的胡杨林主要分布于新疆、内蒙、甘肃、宁夏、青海等5个省,其中新疆的胡杨分布面积占全国的91.1%,大多分布于塔里木盆地,是目前全世界最大的一片天然胡杨林,从新疆塔里木河谷形成的走廊状沿岸森林断续向东,经罗布低地和哈顺戈壁而至甘肃河西走廊西端的额济纳谷地均有胡杨分布[3-5]。地处甘肃河西走廊东端、石羊河流域下游的民勤县境内也有天然胡杨的分布。近年来,有学者对塔里木河流域、黑河流域等地的胡杨林,从群落多样性、种群结构、土壤水分空间特征、根际微生物等方面进行了研究[6-10],也有学者对胡杨的引种栽培及其生长规律进行研究[11]。但对石羊河流域内胡杨林研究较少,尤其是石羊河流域下游胡杨林分布、生存现状未见报道。

石羊河是甘肃省河西走廊三大内陆河之一,其下游流域行政区隶属甘肃省民勤县,地处腾格里沙漠西缘,东北部与巴吉林沙漠接壤,三面环沙,区内多为荒漠地带,生态环境十分脆弱,长期以来,生长在这片土地上的胡杨为维护该区域的生态平衡起着极其重要的作用。20世纪50年代末开始,为了节约和合理分配水资源,当地政府规划修建了红崖山水库、跃进渠等水利工程,有利地促进了当地社会经济尤其是绿洲农业的迅速发展[12]。随着经济的不断发展和人口的日益增长,人们对可耕地的渴求越来越大,县境内毁林垦荒和乱滥伐现象加剧,境内水资源逐年减少,使原有的胡杨林面积锐减,林分质量降低,生态环境日趋恶化,灾害性天气不断增多,严重影响了当地人民群众的生活和经济发展。为了拯救和保护对民勤脆弱的生态平衡起着重要作用的胡杨,以发挥其防风固沙,稳定绿洲,保障农牧生产等生态效益,甘肃省治沙研究所于2018年对民勤县境内现存的天然胡杨林进行了全面调查,对其分布特征及土壤因子特征进行了分析研究,探清了胡杨的生存条件、生长水平及发展趋势,为当地政府和相关部门实施胡杨林人工恢复、科学管护和合理开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于民勤绿洲及其周边,地理位置38°05′－39°06′N,102°03′－104°03′E,区内绿洲面积约1 000 km^2,只占全县国土面积1.6×10^4 km^2的9%[13],海拔1 306～1 500 m;年平均气温7.6℃,极端最高气温38.1℃,极端最低气温－28.8℃,年日照时数2 832.1 h;区域地势平坦,日照充足,热量丰富,但水资源十分短缺,石羊河为唯一的地表水资源,多年平均降水量为113 mm,平均蒸发量为2 637

mm,降水量主要集中在 7—9 月份;区内风大多沙,全年平均扬沙 59 d,沙尘暴日数27 d,气候环境十分恶劣,为典型的温带大陆性荒漠气候。地貌类型为平原、沙漠和低山丘陵,土壤类型以风沙土、灰棕漠土、草甸土、草甸沼泽土为主。

1.2　植被调查和土样采集

2018 年 6 月,项目组在前期查阅资料的基础上,通过询问、雇用向导和踏查的方式,对民勤县境内天然胡杨进行了全面调查,对每个胡杨分布点(区)进行了坐标定位。根据胡杨分布区土地利用现状及胡杨林所处立地生态条件将胡杨林类型划分为渠路旁、耕地旁、沙丘地、老河滩地、弃耕地等 5 个类型,将分布区按地理位置分成 3 个区,每一区内设置不同类型胡杨林调查样地各 1 个,3 个位置区 5 个胡杨林类型共设置样地 15 个;样地大小以该点胡杨分布面积为准,在每个样地内调查胡杨龄级组成、高度、长势及其他植被种类和覆盖度,其中胡杨龄级划分采用胸径替代法,即 5 cm$\leqslant D<$12 cm 为幼龄树,12 cm$\leqslant D<$25 cm 为中龄树,25 cm$\leqslant D<$50 cm 为成熟龄树,$D\geqslant$50 cm 为过熟龄木[6]。同时,在每个样地内采用 5 点法,用土钻提取每个样点土壤,提取深度 100 cm,分 5 层,即 0～20、20～40、40～60、60～80、80～100 cm;每样点每层提取约 200 g 土壤,然后平均分成 2 份:一份随即称重(土壤鲜土重),然后带回室内烘干再称干重,以测定土壤水分;另一份将 5 个样点同一深度土层土壤混合均匀,装袋后带回实验室,以测定土壤粒度、养分、有机质等因子。

1.3　地下水位调查

石羊河下游的民勤县属于灌溉农业区,当地政府在管理水资源的过程中,将全县划分为坝区、泉山区、湖区、环河区和昌宁区等 5 个灌区[14]。项目组在调查胡杨分布情况和土壤水分的同时,标定了距离每个胡杨分布点最近的灌溉用机井的地理坐标,然后从当地相关部门收集到对应机井非灌溉季节的地下水位数据(即机井水面到地面的距离),以此作为胡杨分布区地下水位分析依据。

1.4　土壤因子测定

土壤有机质采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤全氮采用凯氏蒸馏法;土壤速效磷采用氢氧化钠溶液-钼锑抗比色法;土壤 pH 值用蒸馏水(水土比 5∶1)浸提后 pH 计测定[15];土壤颗粒用马尔文激光粒度分析仪测定;土壤含水量采用烘干法测定,使用重量百分比表示:土壤重量含水率=((土壤鲜质量(g)土壤干质量(g)/土壤干质量(g))×100%。

1.5　数据统计与分析

利用 Excel 2016 对调查数据进行录入、整理和计算,SPSS20 对不同胡杨分布区土壤养分特征及水分指标进行单因素方差分析(one-way ANOVA),显著性水平 $P<0.05$。

2　结果与分析

2.1　石羊河下游天然胡杨分布范围及胡杨林类型

根据询问调查和实地踏查,20 世纪 50 年代前,石羊河下游两岸及其周围分布有成片的天然胡杨林。20 世纪 50 年代末起,随着石羊河流域水资源利用变化,水利工程的不断改造建设,上游来水锐减,下游地下水位下降,以及毁林垦植等因素,目前天然胡杨在民勤县的环河区、坝区、泉山区、湖区、昌宁区呈点片状零散分布(图 1),地理范围为 38°12′—39°02′ N,102°36′—103°47′ E,海拔1 307～1 444 m。为了便于分析,项目以胡杨林地所处的土地利用现状及立地生态条件,将胡杨林划分为渠路旁胡杨林、耕地旁胡杨林、沙丘地胡杨林、河滩地胡杨林、弃耕地胡杨等 5 种类型。

2.2　石羊河下游天然胡杨林分布特征、林分结构及植被构成

由表 1 可以看出,以天然胡杨林类型为统计单位,则耕地旁胡杨林分布点(块)数最多,占39.58%,其次是渠路旁胡杨林和沙丘地胡杨林,分别为27.08%,20.84%,河滩地胡杨分布最少,仅4.17%;从林分结构来看,不同类型胡杨林中均为中龄林和幼龄林居多,占比≥70%,且生长正常,过熟龄和成龄树木占比较小,且除了耕地旁生长正常外,其余各林地均呈衰败趋势,有明显的干梢枯枝现象;幼苗的萌发量是弃耕地胡杨林中最大,然后依次是沙丘地胡杨林、耕地旁胡杨林、渠路旁胡杨林,河滩地胡杨林中幼苗萌发量最小。从胡杨的整体长势来看,耕地旁胡杨林中各龄级胡杨长势均优于其他类型,然后依次为渠路旁、弃耕地、沙丘地,河滩地胡杨林长势最差。

调查可知(表 2),石羊河下游天然胡杨林分内其他天然植被共有 14 科 30 属 34 种,其中渠路旁胡杨林内有 8 科 13 属 15 种,耕地旁胡杨林内有 11 科 25 属 28 种,沙丘地胡杨林内有 10 科 18 属 19 种,河滩地胡杨林内有 5 科 8 属 8 种,弃耕地胡杨林内有 11 科 14 属 15 种;从植物种数上讲,耕地旁胡杨林内其他天然植物种数最多,然后依次为沙丘地、渠路旁、弃耕地、河滩地;耕地旁的林下植被覆盖度最大为 45%,其余依次为渠路旁 35%、弃耕地 30%、沙丘地 28%、河滩地 10%;各立地类型中林下植被生长正常。

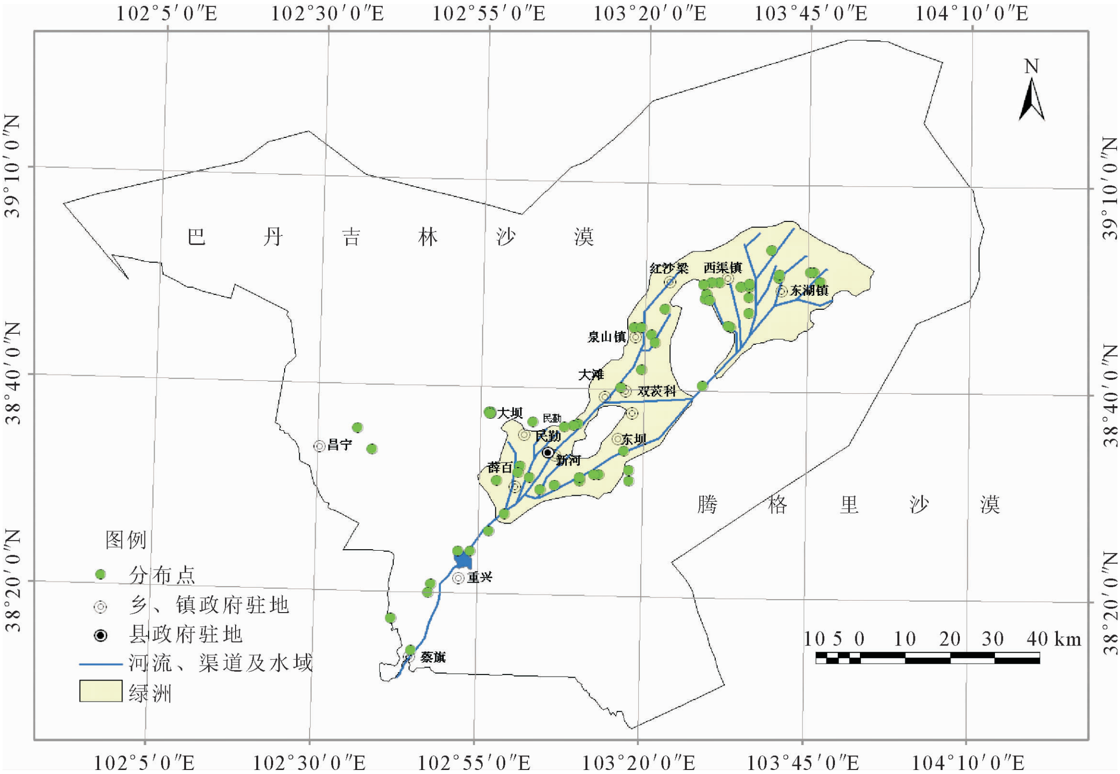

图1 石羊河下游天然胡杨分布区域

Fig.1 Diagram of the distribution area of natural *P. euphratica*

表1 不同类型天然胡杨林林分特征

Table 1 Characteristics of different types of natural *P. euphratica* forest

胡杨林类型	占分布点数比/%	胡杨龄级组成比例/%				胡杨长势	样地特点
		G	C	Z	Y		
渠路旁	27.08	4.58	14.92	39.25	41.25	部分过熟、成龄树木有枯枝干梢;中、幼龄树生长良好;幼苗萌发量较少	道路修建和水利工程改造过程中旁边存留下来的胡杨树木
耕地旁	39.58	4.83	21.61	42.78	30.78	过熟、成龄树生长正常;中、幼龄树生长良好;幼苗萌发量很少	毁林开垦的过程中,耕地旁边保留下来的胡杨树木
沙丘地	20.84	3.50	13.00	41.30	42.20	过熟、成龄树衰败,枯枝现象严重;中龄树生长一般,幼龄树生长正常;个别点幼苗萌发较多	原有的胡杨林地因地下水位下降,生态植被退化而形成的沙化胡杨林地
河滩地	4.17	7.50	22.50	42.50	27.50	过熟、成龄、中龄树衰败,枯梢现象严重;80%以上的幼树死亡	是20世纪50年代之前,石羊河自然河道遗留下来的胡杨林地
弃耕地	8.33	5.00	14.33	36.67	44.00	过熟、成龄树衰退,有枯枝现象;中龄、幼龄树生长正常;幼苗萌发较多	是已经过开垦耕种,后因政策而放弃耕种的胡杨林地

注:G表示过熟龄级树木,C表示成熟龄级树木,Z表示中龄级树木,Y表示幼龄级树木。

2.3 石羊河下游天然胡杨分布区土壤养分特征

对石羊河下游天然胡杨分布地土壤养分测定分析表明(表3),分布区土壤速效P、全N、有机质含量在各不同类型胡杨林中均为0~20 cm的土层内含量最高,分别为3.33 mg·100 g^{-1}、0.076%、1.39%,随土层深度增加各养分含量逐渐减少;从不同类型胡杨林分析,耕地旁林地的速效磷、全氮、有机质含量最高,渠路旁林地和沙丘地林地中相对较少,并且0~20 cm土层中,耕地旁林地土壤速效P、全N、有机质显著高于其他林地($P<0.05$),其余各土层则差异性不显著($P>0.05$)。

2.4 石羊河下游天然胡杨分布区土壤颗粒、水分及pH值特征

由表4可以看出,石羊河下游天然胡杨分布区土壤颗粒特征:1)分布区土壤中细沙粒体积占比最高,在28.67%~74.23%,其次是粗沙粒,体积占比在12.96%~67.13%,粘粒体积占比最小,在0.69%~6.82%;2)土壤颗粒在不同类型不同土层

深度下变化不同,粘粒和粉粒在沙丘地胡杨林中随土层深度的增加而增加,尤其在土层40～60 cm 上与其他类型胡杨林差异性显著($P<0.05$),而其他类型胡杨林则随土层深度的增加而减小,且同一土层不同类型之间差异性不显著($P>0.05$);细沙粒和粗沙粒体积占比在各类型中随土层深度的增加呈

表 2　不同类型天然胡杨林林下植被

Table 2　Different types associated species of natural *P. euphratica* forest

胡杨林类型	植被盖度/%	种数	天然植被种类	生长状况
渠路旁	35	16	唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)、小果白刺(*N. sibirica*)、枸杞(*Lycium barbarum*)、黑果枸杞(*L. ruthenicum*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、芦苇(*Phragmites australis*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、黄花矶松(*Limonium aureum*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、铁线莲(*Clematis intricata*)、顶羽菊(*Acroptilon repens*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)	正常
耕地旁	45	32	唐古特白刺、柽柳(*Tamarix chinensis*)、小果白刺、枸杞、黑果枸杞、红砂(*Reaumuria soongarica*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、甘草、盐生草、蓼子朴(*Inula salsoloides*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、骆驼蒿、芨芨草、芦苇、黄花矶松、独行菜(*Lepidium apetalum*)、苦豆子、猪毛菜(*Salsola collina*)、顶羽菊、蒙古鸦葱(*Scorzonera mongolica*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、铁线莲、花花柴、戈壁天门冬(*Asparagus gobicus*)、苣荬菜(*Sonchus arvensis*)、艾蒿(*Artemisia argyi*)、赖草(*Leymus secalinus*)	正常
沙丘地	28	22	唐古特白刺、柽柳、枸杞、黑果枸杞、红砂、盐爪爪、沙拐枣(*Calligonum arborescens*)、大花白麻(*Poacynum hendersonii*)、芨芨草、盐生草、苦豆子、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、猪毛菜、芦苇、赖草、黄花矶松、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、五星蒿(*Bassia dasyphylla*)、花花柴	正常
河滩地	10	15	唐古特白刺、柽柳、猪毛菜、盐生草、五星蒿、沙米、黄花矶松、沙蓝刺头	正常
弃耕地	30	18	唐古特白刺、柽柳、枸杞、沙拐枣、芨芨草、甘草、骆驼蓬、骆驼蒿、盐生草、苦豆子、铁线莲、黄花矶松、顶羽菊、冰草、独行菜	正常

表 3　不同类型胡杨林分布区土壤养分

Table 3　Soil nutrients in different types of *P. euphratica* forest

土层/cm	胡杨林类型	速效 P/(mg·100 g^{-1})	全 N/%	有机质/%
0～20	渠路旁	2.77±1.20a	0.026±0.013a	0.55±0.36a
	耕地旁	3.33±1.20b	0.076±0.031b	1.39±1.02b
	沙丘地	2.03±1.43a	0.031±0.024a	0.64±0.46a
	河滩地	2.12±2.10a	0.042±0.035a	0.80±0.58a
	弃耕地	2.56±0.98a	0.032±0.016a	0.58±0.31a
20～40	渠路旁	1.97±0.76a	0.022±0.012a	0.40±0.21a
	耕地旁	2.19±1.35a	0.040±0.030a	0.74±0.42a
	沙丘地	1.91±1.10a	0.028±0.025a	0.58±0.35a
	河滩地	1.90±2.04a	0.026±0.037a	0.54±0.63a
	弃耕地	2.06±0.85a	0.030±0.010a	0.63±0.20a
40～60	渠路旁	1.15±0.29a	0.017±0.007a	0.31±0.12a
	耕地旁	1.42±1.10a	0.025±0.012a	0.45±0.21a
	沙丘地	1.11±0.21a	0.027±0.016a	0.55±0.29a
	河滩地	1.30±1.77a	0.018±0.030a	0.41±0.55a
	弃耕地	1.31±0.50a	0.018±0.008a	0.36±0.17a
60～80	渠路旁	1.10±0.29a	0.016±0.004a	0.27±0.09a
	耕地旁	1.17±0.63a	0.021±0.013a	0.41±0.22a
	沙丘地	1.04±0.36a	0.028±0.027a	0.36±0.14a
	河滩地	1.10±1.04a	0.015±0.021a	0.35±0.36a
	弃耕地	0.96±0.48a	0.015±0.008a	0.33±0.16a
80～100	渠路旁	1.18±0.47a	0.011±0.005a	0.45±0.45a
	耕地旁	2.03±1.76a	0.022±0.010a	0.41±0.15a
	沙丘地	0.78±0.04a	0.02±0.021a	0.43±0.38a
	河滩地	1.33±1.42a	0.021±0.028a	0.44±0.52a
	弃耕地	0.9±0.25a	0.011±0.005a	0.25±0.07a

注:不同小写字母表示同一土层不同胡杨林类型差异显著($P<0.05$)。下同。

表 4 不同类型胡杨林分布区土壤颗粒体积百分比、水分及 pH 值

Table 4 Soil particle size and moisture in different types of *P. euphratica* forest

土层 /cm	胡杨林类型	粘粒 <0.002 mm	粉粒 0.002～0.02 mm	细沙粒 0.02～0.2 mm	粗沙粒 0.2～2 mm	含水率/%	pH 值
0～20	渠路旁	3.10±2.43a	10.95±8.32a	64.70±1.70c	21.24±12.43a	1.43±1.87a	8.17±0.58a
	耕地旁	4.81±1.74a	18.14±7.55a	61.29±8.35c	15.76±8.52a	3.14±2.60a	7.96±0.42a
	沙丘地	1.86±1.12a	6.17±4.09a	64.85±4.11c	27.13±8.74b	1.28±0.81a	8.27±0.20a
	河滩地	3.42±5.22a	9.04±10.67a	30.33±11.19a	57.22±26.93c	1.73±1.82a	8.11±0.48a
	弃耕地	1.82±1.16a	6.64±3.76a	46.59±13.63b	44.96±16.42bc	0.50±0.19a	8.15±0.18a
20～40	渠路旁	2.86±2.61a	9.88±8.98a	67.78±2.86c	19.47±8.92a	2.15±2.72a	8.20±0.58a
	耕地旁	4.45±3.22a	18.56±12.69a	57.11±7.79bc	19.88±20.29a	4.47±4.16b	8.02±0.42a
	沙丘地	3.81±2.75a	14.42±10.22a	55.4±11.18bc	26.37±9.05a	2.68±1.11a	8.18±0.20a
	河滩地	0.84±0.98a	3.36±3.12a	28.67±23.51a	67.13±27.06c	1.48±1.28a	8.20±0.48a
	弃耕地	1.90±1.04a	7.22±3.30a	43.20±14.54b	47.68±15.52b	0.94±0.40a	8.14±0.18a
40～60	渠路旁	1.98±0.63a	7.17±3.63a	73.32±7.34c	17.53±10.45a	2.37±1.65a	8.08±0.50a
	耕地旁	3.23±1.98b	11.39±6.61a	54.69±17.12b	30.70±24.67a	4.06±2.76a	8.03±0.32a
	沙丘地	6.82±5.18c	34.15±32.03b	41.65±20.48ab	17.37±19.99a	3.74±3.63a	8.04±0.27a
	河滩地	0.69±0.86a	2.70±2.85a	31.56±21.65a	65.04±24.06b	2.52±0.85a	8.21±0.38a
	弃耕地	1.64±1.26a	6.28±4.15a	33.74±11.32a	58.34±15.36b	1.50±0.65a	8.33±0.25a
60～80	渠路旁	2.40±1.23a	8.97±5.32a	74.23±4.07b	14.40±2.52a	2.23±0.83a	7.96±0.44a
	耕地旁	3.66±2.56a	15.31±11.31a	48.53±17.31a	32.50±29.05b	7.57±7.42b	8.04±0.28a
	沙丘地	3.83±2.94a	19.14±19.47a	61.68±14.11ab	15.35±16.31a	4.30±1.68a	8.00±0.26a
	河滩地	1.13±0.80a	4.92±2.72a	34.35±19.35a	59.6±20.28c	2.71±1.18a	8.30±0.48a
	弃耕地	1.31±1.11a	5.82±4.11a	33.03±7.75a	59.85±11.55c	1.33±0.60a	8.41±0.27a
80～100	渠路旁	2.10±1.81a	7.69±5.50a	70.71±3.91b	19.50±8.60a	4.24±2.98a	8.04±0.41a
	耕地旁	4.16±2.65a	16.55±10.88ab	53.05±14.24ab	26.23±22.08a	8.38±4.99b	8.03±0.21a
	沙丘地	6.03±4.62a	28.82±28.11b	52.19±19.92ab	12.96±16.28a	3.13±1.78a	8.08±0.14a
	河滩地	1.29±1.00a	5.82±4.32a	36.27±19.80a	56.62±21.41b	2.56±1.57a	8.20±0.48a
	弃耕地	1.18±1.74a	5.64±6.04a	29.72±7.47a	63.47±14.99b	1.50±1.07a	8.41±0.19a

波动状态，且同一土层不同类型之间差异性显著($P<0.05$)；3)整体分析，同一土层不同类型之间粘粒和粉粒的体积占比差异性不显著($P>0.05$)，细沙粒、粗沙粒的体积占比差异性显著($P<0.05$)，尤其是河滩地胡杨林中的粗沙粒占比在 0～60 cm 土层内明显高于其他类型胡杨林。

同样地，石羊河下游天然胡杨分布区土壤水分特征：分布区土壤重量含水率在 0.5%～8.38%，总体呈耕地旁胡杨林>沙丘地胡杨林>渠路旁胡杨林>河滩地胡杨林>弃耕地胡杨林，且除土层 20～40、60～80、80～100 cm 中耕地旁胡杨林的含水率较高，与其他类型差异性显著($P<0.05$)外，其余各土层各类型之间差异性不显著($P>0.05$)。此外，石羊河下游天然胡杨分布区 pH 值特征(表 4)：分布区土壤 pH 值在 7.96～8.41，各土层各类型之间差异性均不显著($P>0.05$)。

2.5 石羊河下游天然胡杨分布区(点)地下水位特征

根据当地水利资源管理区域划分，天然胡杨分布于环河区、坝区、泉山区、湖区、昌宁区等 5 个灌区，坝区的地下水位最深，然后依次为泉山区、昌宁区、湖区、环河区，胡杨分布区地下水位最深为 33.28 m，最浅为 2.86 m，各灌区中胡杨分布区(点)地下水位平均值如图 2 所示。每一灌区内渠路旁胡杨林、耕地旁胡杨林、沙丘地胡杨林、河滩地胡杨林、弃耕地胡杨林等 5 个类型均有分布。

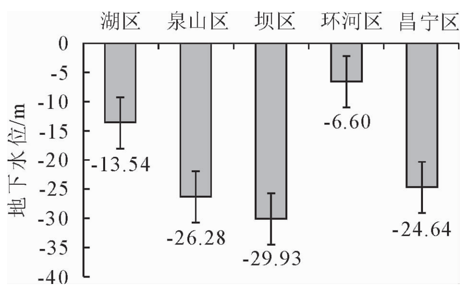

图 2 民勤县 5 个灌溉区内胡杨分布区(点)平均地下水位

Fig. 2 Average groundwater level of *P. euphratica* in 5 irrigation areas

3 讨论

研究区天然胡杨主要分布于石羊河下游原有水系和河道周围，呈零星的点片状。20 世纪 50 年代之前，石羊河下游的水经老河道汇入青土湖，老河道是石羊河的水在自然流淌的过程因地势而成，河道

较宽,再加上之前石羊河水资源比较丰富,区域地下水位较浅,河道两旁及周围水草丰盛,其中就有成片的天然胡杨林[16]。为了发展绿洲农业经济,改善当地水利条件[17],20 世纪 50 年代末开始,石羊河流域河道蓄水工程逐步实施,流入下游的水量逐年减少;为了合理分配有限的水资源,民勤县政府在石羊河下游也修建了红崖山水库、跃进渠等水利工程,再加上地方水利工程的配套实施,红崖山水库以下的老河道再无水经流,老河道长期干涸,尾闾青土湖失去了水源,湖泊消失,区域生态环境恶化[18]。天然胡杨的生长环境也发生了很大的改变,尤其是进入 90 年代,在民勤县境内掀起了一场种植黑瓜子的热潮,毁林开垦现象到处可见,地下水过度开采,水位持续下降,大片的沙枣林、胡杨林消毁或衰退[19-20],自此县境内的天然胡杨仅剩零散的点片状分布;并且从 20 世纪 80 年代起,自水库向外输水的主渠道和大部分支渠陆续用水泥砖铺砌而成,水在流淌的过程中下渗量锐减,渠系周围土壤水分逐年减少,致使幸存下来的胡杨林地土壤中的水分也在减少。

石羊河下游天然胡杨分布现状的形成,一方面与原来的水系密切相关,另一方面则是由于自然环境的变化、水利工程的修筑以及毁林开垦等因素的影响:毁林开垦的过程中成片的天然胡杨林被采伐了,只保留了耕地边缘的一部分,形成了现在分布类型中的"耕地旁胡杨林"分布类型。随着社会的发展,在建渠修路过程中又采伐一部分挡道的胡杨林,将路旁和渠旁胡杨林保留了下来,形成了"渠路旁胡杨林"分布类型;一部分老河滩地因土壤条件差,不适宜耕种,在毁林开垦潮中幸存了下来,从而形成了现存"老河滩胡杨林"分布类型。还有一种现象先是毁林开垦耕种,后来由于地方政策的限制而放弃耕种的土地上,因周边幸存胡杨根蘖繁殖,萌生出了大量的幼苗和幼林树,形成了"弃耕地胡杨林"分布类型。由于上游来水的锐减,区域地下水位下降,原有植被严重退化,胡杨林地沙化演变成沙丘地,形成了"沙丘地胡杨林"分布类型。

研究区耕地旁胡杨林类型所占的分布点(块)数最多,为 39.58%,说明毁林开垦对研究区天然胡杨林的减少具有一定的影响;河滩地胡杨林类型分布点(块)最少,仅为 4.17%,是因为老河道及两岸大部分林地被耕地和新的渠道所替代,只存留下一小部分立地条件较差的,这与调查结果中河滩地胡杨林地含水率低、粗沙粒占比大等是一致的;这说明人为活动是近年来石羊河下游胡杨林减少的原因之一。从胡杨林分结构分析,各类型胡杨林中均为中龄林和幼龄林居多,占比都在 70%以上,且各类型胡杨林中都有不同程度的幼苗萌发,说明如果没有人为破坏,石羊河下游天然胡杨就目前的生态条件下,具有一定的自然更新能力;而过熟龄林和成龄林占比较小,且大部分生长衰败、枯枝枯梢现象明显,这与不同龄级胡杨枯枝量不同有关[21],也可能是因为不同龄级胡杨对地下水位、浅层地下水的响应不同[22-23]。从胡杨林分整体的长势分析,耕地旁胡杨林各龄级长势均优于其他类型胡杨林,然后依次为渠路旁、弃耕地、沙丘地,河滩地胡杨林长势最差。

土壤是生态系统中许多生态过程的载体,是植物生长发育的基础[24],土壤养分综合反映了气候、地形、水分等特征,是土壤的重要组成部分[25]。而在干旱与半干旱区内,水分又是植物生长的重要限制因子[8]。石羊河下游天然胡杨分布区土壤养分特征:1)速效 P、全 N、有机质含量在各不同类型胡杨林中均为 0～20 cm 的土层内含量最高,且随着土层加深表现出逐渐减小的趋势,呈现出明显的表聚效应。这可能一方面是因为植物枯枝落叶首先进入土壤,被土壤中微生物分解,有利于土壤养分的积累[26];另一方面是因为胡杨根系较深,对深层土壤养分消耗较大,对浅层土壤消耗比较少,这一结果与许冬梅等[27]、郭春秀等[28]、赵栋等[29]对植被相似区域土壤理化性质研究结果相似。从不同类型胡杨林分析,耕地旁胡杨林的速效 P、全 N、有机质含量最高,并且 0～20 cm 土层中,耕地旁胡杨林土壤速效 P、全 N、有机质显著高于其他胡杨林($P<0.05$),其余各土层则差异性不显著($P>0.05$),这可能与种植过程中耕地内施入肥料及耕地周围植物残体相对较多有一定的关系。2)土壤颗粒物特征:细沙粒和粗沙粒的体积占比在同一土层不同类型胡杨林之间差异性显著($P<0.05$),粘粒和粉粒只有在土层 40～60 cm 上,沙丘地胡杨林与其他类型胡杨林差异性显著($P<0.05$),其余差异性不显著。3)土壤水分特征:重量含水率在 0.5%～8.38%,总体呈耕地旁胡杨林>沙丘地胡杨林>渠路旁胡杨林>河滩地胡杨林>弃耕地胡杨林的趋势,在绝大多数深土层中,耕地旁胡杨林的土壤含水率显著高于其他类型。这是因为与耕地相连,耕地内的一部分水分会渗到耕地旁胡杨林内,胡杨因长期以吸收耕地补给的浅土层水分为主,根系相对较浅,致使其林下土壤含水率随土层深度增加呈显著增加趋势。该结果与王文娟[10]和霍丽华等[8]对额济纳旗和瓜州绿洲胡杨林下土壤水分与胡杨生长特征的研究结果和是一致的。4)分布区土壤 pH 值在 7.96～8.41,各类型胡杨林各土层之间差异性均不显著($P>0.05$)。综合分析说明,就目前石羊河流域下游土壤条件,土壤颗

粒物和 pH 值对胡杨的分布和生长影响不大，土壤养分和水分对胡杨的生长产生一定的影响，尤其是土壤水分起着重要的作用。

目前，石羊河下游天然胡杨分布点（区）地下水位在 2.86～33.28 m，各分布区地下水位差别很大，因此从直观上来看，地下水位对胡杨的生长和分布没有造成直接影响，这是因为在农田耕种过程中通过耕地或渠道间接地补充了胡杨林地土壤水分，使土壤水分含量可以维持胡杨生长，且胡杨本就属于抗旱树种。但地下水位的变化直接制约着周围灌溉取水量和灌溉面积，影响着区域的水资源的平衡，因而会间接地影响胡杨及其他植被的分布生长。

4 结论

石羊河流域下游天然胡杨沿着原来老的水系、河道周围呈零星点片状分布，在民勤绿洲内的坝区、泉山区、湖区、环河区和昌宁区均有分布，分布点（区）的立地类型有渠路旁、耕地旁、沙丘地、河滩地、弃耕地等 5 种，分布点比较零散；人为活动和上游来水量的锐减是造成胡杨分布现状的主要原因，地方水利工程、道路工程的修建以及毁林开垦等使原来成片的胡杨被消毁、分割成零散的点片状；上游来水量的减少和渠道的铺砌导致胡杨林的生长和更新受阻。

石羊河流域下游胡杨林分布区中，耕地旁胡杨林土壤养分和水分条件明显优于其他类型，耕地旁胡杨林地中的胡杨长势和林龄分布也优于其他类型胡杨，土壤养分和水分对胡杨生长成林的重要作用。

石羊河流域下游民勤的坝区、泉山区、湖区、环河区及昌宁区等 5 个灌区内均有天然胡杨林分布，地下水位的变化会间接影响地方水资源的使用分配和平衡，进而间接影响天然胡杨林及其他植被的生存生长。

研究区胡杨林具有一定的自然更新能力，合理分配水资源，增加石羊河下游来水量，减缓地下水位下降及适度补充胡杨分布区土壤水分是维护区域天然胡杨健康发展的有效途径。

参考文献：

[1] 肖春生，肖洪浪，司建华，等. 胡杨（*Populus euphratica*）径向生长日变化特征分析[J]. 冰川冻土，2010，32(4)：816-822.
XIAO S C，XIAO H L，SI J H，*et al*. Study on the sub-diurnal radial growth of the *Populus euphratica*[J]. Jouenal of Glaciology and Geocryology，2010，32(4)：816-822. (in Chinese)

[2] 张宁，李宝富，徐彤彤，等. 1960－2012 年全球胡杨分布区干旱指数时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境，2017，31(7)：121-126.
ZHANG N，LI B F，XU T T，*et al*. Spatiotemporal variations of drought index in *Populus euphratica* global distribution area the past 50 years(1960－2012) [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment，2017，31(7)：121-126. (in Chinese)

[3] 王世绩. 全球胡杨林的现状及保护和恢复对策[J]. 世界林业研究，1996，9(6)：37-44.
WANG S J. The status，conservation and recovery of global resoures of *Populus euphratica*[J]. World Forestry Research，1996，9(6)：37-44. (in Chinese)

[4] 于军，王海珍，陈加利，等. 塔里木河流域荒漠河岸林胡杨群落的空间格局研究[J]. 中国沙漠，2011，31(4)：913-918.
YU J，WANG H Z，CHEN J L，*et al*. Spatial pattern of *Populus euphratica* community of desert riparian forest in Tarim River basin[J]. Journal of Desert Research，2011，31(4)：913-918. (in Chinese)

[5] 高润宏，董智，张昊，等. 额济纳绿洲胡杨林更新及群落生物多样性动态[J]. 生态学报，2005，25(5)：1019-1025.
GAO R H，DONG Z，ZHANG H，*et al*. Study on regeneration process and biodiversity characteristic of *Populus euphratica* community in the Ejina Natural Reserve，Inner Mongolia of China[J]. Acta Ecologica Sinica，2005，25(5)：1019-1025. (in Chinese)

[6] 王海蓉，郝鹏，仲家虎，等. 额济纳绿洲不同龄级胡杨林群落多样性分析[J]. 内蒙古林业调查设计，2012(3)：93-96.

[7] 王夏楠，王亮，吕瑞恒，等. 塔里木河中游不同生境胡杨种群的结构特征分析[J]. 西北林学院学报，2014，30(5)：1-6.
WANG X N，WANG L，LU R H，*et al*. Population structure characteristics of *Populus euphratica* in different habitats of the Tarim river middle reaches[J]. Journal of Northwest Forestry University. 2014，30(5)：1-6. (in Chinese)

[8] 霍华丽，刘普幸，张克新，等. 瓜州绿洲胡杨林下土壤水分空间特征研究[J]. 干旱区资源与环境，2011，25(2)：151-155.
HUO H L，LIU P X，ZHANG K X，*et al*. The spatial heterogeneity of soil water in the *Populus euphratica* forest in Guazhou oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment，2011，25(2)：151-155. (in Chinese)

[9] 袁秀英，石林，胡达古拉，等. 胡杨根际真菌与内生真菌多样性研究[J]. 西北林学院学报，2007，22(6)：85-88.
YUAN X Y，SHI L，HU D G L，*et al*. A diversity study of rhizosphere and endophytic fungi from *Populus euphratica* Oliver[J]. Journal of Northwest Forestry University，2007，22(6)：85-88. (in Chinese)

[10] 王文娟，李景文，王中斌，等. 胡杨根际土壤真菌群落代谢特征及其土壤影响因子研究[J]. 西北植物学报，2017，37(7)：1429-1437.
WANG W J，LI J W，WANG Z B，*et al*. The soil fungi community metabolic characteristics and influence factors in rhizosphere soils of *Populus euphratica*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2017，37(7)：1429-1437. (in Chinese)

[11] 厉静文，郭浩，吕永军，等. 磴口县引种胡杨的生长规律及其评价[J]. 西北林学院学报，2019，34(1)：97-104，136.
LI J W，GUO H，LÜ Y J，*et al*. Growth regularity and evaluation of *Populus euphratica* introduced in Dengkou county[J]. Journal of Northwest Forestry University. 2019，34(1)：97-104，136. (in Chinese)

[12] 魏轩,周立华,马永欢,等.民勤绿洲 50 余年水利建设的生态经济影响[J].干旱区地理,2015,38(5):1014-1021.
WEI X,ZHOU L H,MA Y H,*et al*.Ecological and economic impacts of water conservancy construction in Minqin oasis of more than 50 years[J].Arid Land Geography,2015,38(5):1014-1021.(in Chinese)

[13] 李晓洋,成自勇,张芮,等.河西走廊石羊河流域民勤县水资源优化配置研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):217-221.
LI X Y,CHENG Z Y,ZHANG R,*et al*.Study of optimal allocation of water resource in Minqin county of Shiyang river basin[J].Agricultural Research in the Arid Areas,2013,31(3):217-221.(in Chinese)

[14] 陈英,唐晶,邱晓娜.民勤水资源短缺的农户感知:现状、特征与影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(6):14-19.
CHEN Y,TANG J,QIU X N.Farmers' perception of water resources shortage in Minqin:reality,features and influences[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2017,31(6):14-19.(in Chinese)

[15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:23-107.

[16] 张凯,韩永翔,司建华,等.民勤绿洲生态需水与生态恢复对策[J].生态学杂志,2006,25(7):813-817.
ZHANG K,HAN Y X,SI J H,*et al*.Ecological water demand and ecological reconstruction in Minqin oasis[J].Chinese Journal of Ecology,2006,25(7):813-817.(in Chinese)

[17] 孙雪涛.民勤绿洲水资源利用的历史现状和未来[J].中国工程科学,2004,6(1):1-9.
SUN X T.Analysis of the development of water resources of the Minqin oasis[J].Engineering Science,2004,6(1):1-9.(in Chinese)

[18] 张波,王开录,李发明.石羊河流域水资源调度与青土湖生态恢复研究[J].甘肃水利水电技术,2017,53(10):9-12.

[19] 朱世明,杨自辉,赵明,等.民勤绿洲退耕地生态建设的技术措施[J].甘肃科技,2008,24(18):162-164.

[20] 赵翠莲,杨自辉,刘虎俊,等.民勤绿洲水资源利用与生态系统退化分析[J].中国沙漠,2006,26(1):90-095.
ZHAO C L,YANG Z H,LIU H J,*et al*.Relation between water resources utilization and eco-system degeneration in Minqin oasis[J].Journal of Desert Research,2006,26(1):90-095.(in Chinese)

[21] 史军辉,刘茂秀,王新英,等 不同林龄胡杨活立木枯枝生物量和化学计量特征[J].生态学报,2017,37(3):887-895.
SHI J H,LIU M X,WANG X Y,*et al*.Biomass and stoichiometry of dead branches of standing trees in *Populus euphratica* forests with different ages[J].Acta Ecologica Sinica,2017,37(3):887-895.(in Chinese)

[22] 赵敏丽.不同绿洲天然胡杨林种群结构与空间格局研究——以河西金塔、鼎新、民勤绿洲为例[D].西北师范大学,2013.

[23] 李毅,孙雪新,康向阳.甘肃胡杨林分结构的研究[J].干旱区资源与环境,1994,8(3):88-95.
LI Y,SUN X X,KANG X Y.Studies on stand structure of diversiform—leaved poplar in Gansu[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,1994,8(3):88-95.(in Chinese)

[24] 胡婵娟,郭雷.植被恢复的生态效应研究进展[J].生态环境学报,2012,21(9):1640-1646.
HU C J,GUO L.Advances in the research of ecological effects of vegetation restor ation[J].Ecology and Environmental Sciences,2012,21(9):1640-1646.(in Chinese)

[25] 王晶,吕昭智,钱翌,等.新疆准噶尔盆地典型荒漠区不同景观植被对土壤养分的影响[J].中国沙漠,2010,30(6):1367-1373.
WANG J,LU Z Z,QIAN Y,*et al*.Soil nutrients under vegetation cover of different desert landscapes in Junggar Basin,Xinjiang[J].Journal of Desert Research,2010,30(6):1367-1373.(in Chinese)

[26] 杨树晶,李涛,干友民,等.阿坝牧区草地不同利用方式与程度对植被碳含量的影响[J].草业学报,2014,23(3):325-332.
YANG S J,LI T,GAN Y M,*et al*.Impact of different use patterns and degrees of grassland use on vegetation carbon storage in the Aba grassland pastoral area[J].Acta Prataculturae Sinica,2014,23(3):325-332.(in Chinese)

[27] 许冬梅,李侠,王国会,等.宁夏荒漠草原自然恢复演替过程中土壤有机碳及其分布的变化[J].草业学报,2017,26(8):35-42.
XU D M,LI X,WANG G H,*et al*.Variations in soil organic carbon content and distribution during natural restoration succession on the desert steppe in Ningxia[J].Acta Prataculturae Sinica,2017,26(8):35-42.(in Chinese)

[28] 郭春秀,马俊梅,何芳兰,等.石羊河下游不同类型荒漠草地黑果枸杞群落结构特征及土壤特性研究[J].草业学报,2018,27(9):14-24.
GUO C X,MA J M,HE F L,*et al*.Structural features of *Ycium ruthenicum* communities and associated soil characteristics on different types of desert rangeland in the lower reaches of the Shiyang river[J].Acta Prataculturae Sinica,2018,27(9):14-24.(in Chinese)

[29] 赵栋,屠彩芸,李丹春.封育年限对干旱河谷灌丛土壤理化性质的影响[J].水土保持通报,2017,37(2):39-44,49.
ZHAO D,TU C Y,LI D C.Effects of fencing time on soil physicochemical properties of *Sophora viciifolia* in semi arid valley[J].Bulletin of Soil and Water Conservation,2017,37(2):39-44,49.(in Chinese)