

准噶尔盆地南缘人工梭梭林土壤理化特性时空动态研究

罗青红^{1,2}, 宁虎森¹, 陈启民^{1,3}

(1. 新疆林科院造林治沙研究所, 乌鲁木齐 830063; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘 要:人工梭梭林(*Haloxylon ammodendron*)在防风固沙和土壤改良方面具有重要的生态作用。人工梭梭林土壤理化性质在时间序列和垂直空间上的动态变化规律研究结果表明:(1) 在 1973—2008 年的时间序列上,林地土壤含水量和有效钾呈双峰曲线形式,峰值分别出现在 1986 年和 2003 年,最低值则在 2008 年;随种植年限的延长,土壤 pH 值在 0—40 cm 各土层呈先增加后减小的趋势,在 40—100 cm 各土层则表现为双峰曲线,峰值同样在 1986 年和 2003 年;土壤电导率呈波浪形变化;土壤有机碳和有效磷含量呈先增大后减小的趋势;有效氮则呈增加的趋势。(2) 0—100 cm 的垂直空间上,林地土壤含水量、电导率随深度增加而增大,土壤 pH 值和土壤养分随深度增加而减小。综上,人工梭梭林土壤理化性质随种植年限的增加而逐渐改善,在种植年限为 28 年时效果最明显,以后趋于稳定。

关键词:人工梭梭林;造林时间;土壤理化性质

中图分类号:S714.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0309-07

Spatiotemporal Characteristic of Soil Physical and Chemical Properties in *Haloxylon ammodendron* Stand at the Southern Margin of Junggar Basin

LUO Qinghong^{1,2}, NING Husen¹, CHEN Qimin^{1,3}

(1. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Science, Urumqi 830063, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 3. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Planted *Haloxylon ammodendron* (*H. ammodendron*) stand has an important ecological effect on sand fixation and soil improvement. The changes of soil physicochemical properties were discussed under the time series and the vertical space in *H. ammodendron* plantation. The results showed that: (1) in the time series of 1973—2008, the changes of soil water content (SWC) and soil available potassium followed the bimodal curve, and the peak values were observed in 1986 and 2003, respectively, the soil pH value of 0—40 cm layer increased at first and then decreased, while in 40—100 cm, the change followed the bimodal curve and the peak was observed in 1986 and 2003, respectively, the electrical conductivity (EC) showed in a wave type and the contents of soil organic carbon and available phosphorus increased at first and then decreased gradually, while the available nitrogen content increased; (2) In the vertical direction, the SWC and EC increased with the increase of depth, while the pH value and soil nutrient decreased. In summary, soil physical and chemical properties improved gradually overtime of plantation, and the effect was most obvious in 29-year stands, and then tended to be stable.

Keywords: *Haloxylon ammodendron* plantation; afforestation time; soil physical and chemical properties

梭梭(*Haloxylon ammodendron*)是在干旱荒漠环境里,经过长期自然选择的优胜植物^[1]。其具有耐干旱、耐盐碱,生态幅宽、材质坚硬等特性,发挥着抵御沙漠入侵、减少风沙的作用,是维护生态环境的重

要屏障^[2]。新疆准噶尔盆地梭梭林分布面积约 7.95 万 km²,是我国梭梭林集中分布区,约占新疆梭梭林总面积的 94%,我国梭梭林总面积的 68%^[3]。梭梭是维持和保护准噶尔盆地周边绿洲的重要植被。但

收稿日期:2016-01-12

修回日期:2016-02-22

资助项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD16B03);公益性科研院所基本科研业务费专项(XMBM000002014;KY201516)

第一作者:罗青红(1980—),女,新疆拜城人,硕士,副研究员,研究方向:植物逆境生理和荒漠化防治。E-mail:lqh482325@sina.com

通信作者:宁虎森(1966—),男,新疆焉耆人,教授级高级工程师,研究方向:生态恢复和荒漠化防治。E-mail:ninghusen@sina.com

随着盆地周边地下水的大量开发、盐碱等因素影响,准噶尔盆地的人工梭梭林生长状况恶化并且出现因缺水大量死亡及成年梭梭林退化等问题^[4-5]。为了维护准噶尔盆地的生态稳定,保护绿洲,有必要研究梭梭林与环境因子的耦合关系^[6]。

在干旱区盐碱环境下,土壤水分和理化性质是影响植物生长的关键因素^[7-8],但同时又受到植被存在的影响^[9-10]。因此,研究干旱荒漠区梭梭林土壤含水量、pH 值、电导率和土壤养分的动态变化规律,了解梭梭林土壤理化性质与植被生长的关系,对加强梭梭林管理和人工调控与促进植被恢复和演化具有重要意义。前人对梭梭林地土壤理化性质时空分布规律方面进行了较多的研究,关于土壤水分的研究主要集中在黑河流域^[11-13]、塔里木沙漠公路防护林^[14]、库布齐沙漠^[15]、乌兰布和^[16-18]等区域,而对不同种植年限梭梭林土壤水分状况的比较研究较少^[7,15,19-20];关于土壤养分的研究,多集中于对“盐岛”、“肥岛”效应研究,而对不同种植年限梭梭林的土壤养分含量的研究却较少^[21-23]。因此,本文针对准噶尔盆地南缘不同种植年限人工梭梭林进行研究,拟回答以下问题:(1) 了解人工梭梭林土壤含水量、pH 值、电导率和土壤养分等理化性质动态特征,(2) 探讨人工梭梭林对干旱地区土壤改善作用,以期对干旱区植被保护和重建提供一定的理论依据。

表 1 不同种植年限梭梭人工林及天然梭梭林基本生长状况

造林时间	地理位置		海拔/ m	株行距/ m	株高/ m	基径/ cm	东西 冠幅/cm	南北 冠幅/cm	地上生物量/ (kg·株 ⁻¹)
1973	44°01′56.8″	86°08′22.3″	319.7	1×5	2.55±0.16	8.7±0.9	239.0±24.6	289.3±22.7	8.52±1.57
1982	45°10′33.5″	85°55′35.1″	309	1×5	2.37±0.09	5.5±0.4	185.9±9.9	190.8±13.0	3.59±0.73
1986	45°08′6.4″	85°59′24.6″	316	2×2	3.68±0.09	9.6±0.4	331.5±18.9	335.4±18.6	11.00±0.87
1995	45°02′48.8″	86°08′48.7″	328	3×3	4.29±0.11	10.7±0.5	361.7±19.7	368.0±19.4	16.17±1.82
1998	45°08′5.4″	85°59′26.0″	319	1×6	2.64±0.10	7.2±0.4	190.2±12.4	181.0±10.5	5.57±0.60
2003	45°01′56.8″	86°08′22.2″	332	2×3	2.81±0.07	5.7±0.3	225.4±10.0	229.5±11.0	3.82±0.36
2008	45°05′4.4″	85°59′26.9″	330	1×2	0.60±0.03	0.9±0.0	35.6±1.6	34.3±1.5	0.05±0.00
天然梭梭林*	45°04′57.2″	85°59′27.7″	327	/	1.70±0.08	4.1±0.3	139.0±9.7	140.6±10.1	1.91±0.29

注: * 表中林木调查数据为 3 个样方(重复)中主林层梭梭测值的平均值。

样地内梭梭的株高、冠幅、基径和生物量均随着种植年限的延长,呈现先升高后降低的趋势。1995 年种植的梭梭(19 龄)各项生长状况最佳,2008 年种植的梭梭各项生长指标最小,仍处于快速生长阶段;与天然梭梭林相比,2003 年之前种植梭梭的株高、冠幅和生物量均较大。

1.3 土壤采样和测定分析

2013 年 7—9 月间,在所设样方内按照“S’型选择 3 个土壤样品采集点,在深度 100 cm 的标准土壤剖面取土,分为 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 共 5 个层次。同时,在每一层次取 3 个环刀

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于准噶尔盆地(西)南缘(85°55′—86°08′E, 44°01′—45°10′N,海拔 309~332 m)。该区为典型的大陆性荒漠气候,年平均气温 6.6℃,最低气温-42.8℃(1 月份),七月最高气温 43.1℃。年降水量 114.89 mm,约 31.6%降雨集中在 3—5 月期间。一般年积雪厚度为 13 cm,融雪期集中在三月。年平均潜在蒸发量 1 979.5 mm,西北风盛行,5 月和 6 月大风(风速>20 m/s)频繁发生。

80 年代初,梭梭作为沙漠化防治的首选植物材料,利用春季融雪和季节性降雨^[24-26],逐年 在准噶尔盆地南缘开始种植,至今,已在时间序列上形成了较完整的梭梭人工林生态系统。

1.2 样方设置和林木调查

本文以不同种植时间的梭梭人工林为研究对象,所有调查样方都是同一个生态系统中的人工植被,具有相同气候背景和地形特征。在不同种植时间梭梭人工林内分别设置 3 个 20×30 m 的样方作为重复,彼此相距大于 100 m。对样地内梭梭群落调查,逐株测定样方内主林层梭梭的高度、冠幅、基径,得出不同种植年限梭梭林生长状况,见表 1。

土,用于测定土壤含水量。将采集样品带回实验室,挑除袋装土内植物根系和石砾等杂物,于阴凉处自然风干后用四分法过筛,编号待测。

土壤水分含量(SWC)采用烘干法测定。将原土样自然风干、压碎,并分成 2 份,分别过 18 目(1 mm)和 60 目(0.25 mm)筛备用。其中过 18 目筛的样品用于土壤有效 N、有效 P、速效 K 质量分数的测定,过 60 目筛的样品用于有机碳质量分数的测定。采用重铬酸钾—硫酸氧化法测定有机碳(SOC)质量分数;采用碱解蒸馏法测定有效 N(SHN)质量分数;采用碳酸钠浸提钼锑抗比色法测定有效 P(SEP)质量分数;采用 NH₄OAc 浸提—火

焰光度法测定有效 K(SAP)质量分数;pH 值采用电位法测定;土壤电导率(EC)采用电导法测定^[27]。

1.4 数据处理

根据梭梭林内群落调查数据,按照宋于洋^[28]的公式 $W_{\text{sand}}=0.065421(D^2H)^{0.874842}$ 计算梭梭生物量,式中 D 和 H 分别代表基径和树高。采用 SPSS 20.0 数理统计软件对数据进行显著性检验(one-way ANOVA)和 Pearson 相关分析,显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 人工梭梭林地土壤含水量动态变化

在人工梭梭林 0—100 cm 的土壤剖面上,5 个土

层的土壤含水量随年份的变化均为双峰曲线,0—80 cm 各层土壤含水量峰值年份分别为 2003 年和 1986 年,80—100 cm 土层峰值年份则为 1998 年和 1986 年,见表 2。方差分析表明,0—80 cm 各土层土壤含水量在两峰值年份之间差异不显著,但均显著高于 2008 年、1973 年和天然梭梭林($p<0.05$)。80—100 cm 土层土壤含水量在峰值年份之间差异不显著,但 1998 年梭梭林显著高于其他梭梭林($p<0.05$)。

垂直空间上,土壤含水量随深度的增加逐渐增大,40—80 cm 附近达到最大。土壤含水量在垂直空间上的波动在 2003—1986 年所植梭梭林内较大,随种植时间的延长,波动逐渐减小。

表 2 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤含水量								%
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	0.35±0.32b	0.70±0.21ab	1.31±0.62ab	2.14±1.54a	1.01±0.55ab	1.77±1.75ab	1.74±1.21ab	0.12±0.12b
20—40	0.72±0.79b	1.02±0.31b	2.36±1.20b	3.86±1.95ab	1.60±0.63b	2.58±2.03ab	4.58±1.57a	0.77±0.32b
40—60	1.17±1.08b	1.85±0.30b	2.09±1.70b	5.04±2.03a	1.68±0.76b	3.84±2.75a	5.10±1.40a	1.22±0.52b
60—80	1.58±1.51b	2.32±1.07b	2.42±1.26b	3.85±1.15ab	1.73±1.38b	3.63±2.04ab	5.35±2.06a	0.96±0.14b
80—100	1.41±1.21b	1.52±0.16b	1.82±1.20b	4.58±1.73a	2.29±0.60b	5.07±2.73a	2.95±1.47ab	1.03±0.15b
平均	1.04±0.51	1.48±0.64	2.00±0.45	3.90±1.10	1.66±0.45	3.38±1.26	3.95±1.55	0.82±0.42

注:表中每一列数字后不同字母表示在 0.05 水平上同一土层不同种植年限之间差异显著,下同。

2.2 人工梭梭林地土壤 pH 值动态变化特征

从 pH 值总体情况来看:整体表现为碱性,见表 3。在时间序列比较,随种植时间的延长,0—40 cm 土壤 pH 值呈先增加后减小的趋势,最高值出现在 1995 年;40—100 cm 土壤 pH 值为双峰曲线,峰值年份分别为 2003 年和 1986 年。其中,1973 年梭梭林各深度土壤 pH 值均最小,且显著低于 1995 年和

2003 年。天然梭梭林与人工梭梭林土壤 pH 值差异不显著,但与 1973 年梭梭林最为接近。

垂直空间上,随土层深度增加,pH 值逐渐减小。其中仅 1973 年梭梭林 20—40 cm 土壤 pH 值显著高于 60—100 cm 土层;1995 年梭梭林 0—20 cm 和 20—40 cm 土层 pH 值之间差异不显著,但均显著高于 60—80 cm 和 80—100 cm ($p<0.05$)。

表 3 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤 pH 值								
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	8.12±0.40b	7.90±0.22b	8.37±0.14ab	8.50±0.32ab	8.87±0.42a	8.56±0.54ab	8.13±0.27b	8.14±0.11b
20—40	8.17±0.58ab	8.03±0.01b	8.35±0.29ab	8.27±0.21ab	8.66±0.47a	8.34±0.56ab	8.11±0.29ab	8.25±0.17ab
40—60	8.10±0.63ab	7.82±0.05b	8.38±0.18ab	8.21±0.36ab	8.23±0.54ab	8.16±0.47ab	8.66±0.33a	8.24±0.06ab
60—80	8.06±0.57b	7.66±0.23b	8.37±0.16ab	8.40±0.63ab	7.85±0.31b	8.35±0.41ab	8.72±0.29a	8.33±0.08ab
80—100	8.07±0.46b	7.70±0.06b	8.25±0.16ab	8.55±0.32ab	7.96±0.34b	8.53±0.30ab	8.77±0.61a	8.25±0.16ab
平均	8.10±0.10	7.82±0.10	8.34±0.06	8.39±0.16	8.31±0.09	8.38±0.11	8.48±0.14	8.24±0.05

2.3 人工梭梭林地土壤电导率动态变化特征

梭梭林土壤电导率时空变化规律见表 4。随种植时间的延长,0—100 cm 各土层土壤电导率呈波浪形变化,波峰年份为 2003 年、1986 年和 1973 年,波谷年份则为 1998 年和 1982 年。0—20 cm 土壤电导率,1986 年和 1973 年梭梭林显著高于其他梭梭林;20—40 cm 土壤电导率,2003 年梭梭林显著高于波谷年份;40—100 cm 土壤电导率,2008 年梭梭林显著低于 1973 年和 2003 年梭梭林($p<0.05$)。

垂直空间上,随土层深度增加,土壤电导率呈增大的趋势。经方差分析,1982 年梭梭林 80—100 cm

土壤电导率显著高于 0—60 cm 各土层;1995 年梭梭林 60—80 cm 和 80—100 cm 土壤电导率显著高于 0—20 cm 和 20—40 cm 土层($p<0.05$)。

2.4 人工梭梭林地土壤养分动态变化特征

2.4.1 土壤有机碳变化规律 梭梭林土壤有机碳含量随种植时间的延长,总体呈先增加后减小的趋势,见表 5。0—40 cm 土层有机碳在不同年份间差异较大,变异系数达到 65.48%;1982 年和 1986 年梭梭林土壤有机碳含量显著高于 1995 年、2008 年和天然梭梭林。40—100 cm 土层有机碳则较为稳定,变异系数为 38.24%~42.87%;1982 年和 1995 年梭梭林土壤有机

碳含量显著高于 2008 年和天然梭梭林($p<0.05$)。林地,0—20 cm 土层有机碳含量显著高于 40—100 cm 土层($p<0.05$)。此外,随种植时间的增加,土壤有机碳在垂直空间的差异先增加后减小。

垂直空间上,随土层深度增加,有机碳含量逐渐减少。经方差分析,1973 年、1982 年和 1986 年梭梭

表 4 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤电导率								mS/cm
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	0.77±0.46b	1.33±0.16a	0.24±0.12c	1.39±0.28a	0.18±0.07c	0.29±0.22c	0.81±0.63b	0.10±0.02c
20—40	0.52±0.50b	1.14±0.21ab	0.17±0.06b	1.22±0.15ab	0.34±0.18b	0.30±0.19b	1.77±1.49a	0.09±0.00b
40—60	0.69±0.41b	1.19±0.02ab	0.16±0.04b	1.47±0.37a	0.94±0.69b	0.50±0.41b	1.19±1.04ab	0.08±0.00b
60—80	0.91±0.41ab	1.28±0.33a	0.35±0.14ab	0.85±0.42ab	1.25±0.51a	0.46±0.40ab	1.14±0.92ab	0.09±0.01b
80—100	0.93±0.48ab	1.25±0.01a	0.51±0.25b	0.92±0.42ab	1.03±0.21a	0.50±0.38b	0.75±0.53ab	0.10±0.02b
平均	0.76±0.17	1.24±0.08	0.29±0.15	1.17±0.28	0.75±0.46	0.41±0.11	1.13±0.41	0.09±0.01

表 5 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤有机碳质量分数								mg/kg
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	0.60±0.13 ^c	1.07±0.05bc	3.02±0.49a	2.96±0.64a	0.73±0.15c	1.88±1.43b	1.57±0.66b	0.50±0.09c
20—40	0.67±0.11 ^b	0.82±0.17ab	2.18±1.24a	1.74±0.71ab	0.67±0.11b	1.36±1.01ab	1.36±0.65ab	0.53±0.11b
40—60	0.66±0.18 ^b	0.91±0.08ab	1.56±0.77a	1.27±0.17ab	1.09±0.63ab	1.32±1.02ab	1.19±0.54ab	0.45±0.14b
60—80	0.60±0.03 ^b	0.83±0.10ab	1.58±0.59a	1.36±0.86ab	1.58±1.01a	1.23±0.93ab	1.45±0.79ab	0.50±0.11b
80—100	0.61±0.12 ^b	0.60±0.06b	1.22±0.38ab	1.36±0.65ab	1.65±1.02a	1.40±1.03ab	1.41±0.77ab	0.46±0.02b
平均	0.63±0.05	0.85±0.05	1.91±0.33	1.74±0.26	1.15±0.44	1.44±0.20	1.40±0.10	0.49±0.05

2.4.2 土壤有效氮变化规律 梭梭林各土层有效氮含量均随种植时间的延长而增加,见表 6。0—20 cm 土层有效氮含量,1973 年梭梭林显著高于其他林地,1982 年梭梭林显著高于天然梭梭林和 2008 年梭梭林;20 cm 以下各土层有效氮含量,仅 1973 年显著高于其他年份($p<0.05$)。

垂直空间上,随土层深度增加,土壤有效氮含量呈减小趋势。其中,1973 年梭梭林,80—100 cm 土壤有效氮含量显著低于 0—60 cm 各土层;1982 年梭梭林,20—100 cm 土壤有效氮显著低于 0—20 cm;2008 年梭梭林,80—100 cm 土壤有效氮含量显著低于 0—20 cm 和 40—60 cm ($p<0.05$)。

表 6 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤有效氮质量分数								mg/kg
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	3.26±2.02c	52.94±18.65a	18.24±5.38b	11.11±1.47bc	9.25±6.56bc	13.83±8.62bc	6.56±2.39bc	4.02±0.45c
20—40	3.18±1.19b	50.31±19.57a	5.75±3.20b	7.97±1.45b	9.03±3.52b	8.5±7.47b	2.43±1.75b	2.81±1.72b
40—60	3.91±1.86b	55.72±1.26a	5.71±0.85b	4.28±1.87b	6.74±4.13b	5.35±3.2b	5.12±3.93b	4.03±1.94b
60—80	2.73±0.86b	40.42±3.33a	4.21±3.40b	4.71±0.44b	6.50±2.09b	6.25±2.76b	6.35±4.99b	2.42±1.34b
80—100	2.92±0.79b	27.21±4.86a	3.37±1.46b	4.82±1.35b	8.14±5.39b	4.02±1.96b	4.69±2.49b	1.55±0.50b
平均	3.20±0.57	45.32±8.84	7.46±1.79	6.58±0.53	7.93±1.72	7.59±3.02	5.03±1.32	2.97±0.69

2.4.3 土壤有效磷变化规律 随种植时间延长,梭梭林地 0—40 cm 各土层有效磷含量变化较大,40—60 cm 各土层则变化较小,见表 7。其中,0—20 cm 土层,1986 年与 1982 年之间差异不显著,但显著高于其他年份;20—40 cm 土层,1986 年显著高于其他年份;60—80 cm 土层,1995 年显著高于 1982 年、2003 年、2008 年和天然梭梭林,80—100 cm 土层,仅 1995 年显著高于其他年份($p<0.05$)。

垂直空间上,1995 年梭梭林内土壤有效磷含量随土层深度增加而增加,其 80—100 cm 土层有效磷含量显著高于表层土壤;其余梭梭林土壤有效磷含量随土层深度增加而减小,各土层土壤有效氮差异不显著($p<0.05$)。

表 7 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤有效磷质量分数								mg/kg
深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	1.97±0.61b	4.14±0.05b	10.16±4.78a	9.10±3.48a	2.55±0.96b	5.13±3.10b	3.05±1.00b	1.90±0.18b
20—40	1.76±0.19b	3.37±0.92b	2.95±0.57b	5.68±2.64a	2.21±1.09b	2.34±0.79b	1.82±0.09b	2.14±0.39b
40—60	1.64±0.51a	2.19±0.15a	1.89±0.38a	2.24±0.76a	2.81±1.80a	2.08±0.39a	1.96±0.40a	1.76±0.32a
60—80	1.48±0.56b	2.4±0.25ab	1.87±0.23b	2.26±0.35ab	3.22±1.54a	2.29±0.39ab	1.85±0.20b	1.55±0.16b
80—100	1.69±0.62b	1.63±0.11b	1.74±0.23b	2.23±0.31b	3.76±1.89a	2.26±0.62b	1.75±0.56b	1.66±0.22b
平均	1.71±0.18	2.74±0.36	3.72±1.99	4.30±1.46	2.91±0.42	2.82±1.15	2.09±0.36	1.80±0.10

2.4.4 土壤有效钾变化规律 随种植时间的延长,0—60 cm 各土层有效钾含量变化为双峰曲线,峰值年份为 2003 年和 1986 年;60—100 cm 各土层有效钾含量则呈减小的趋势,见表 8。0—60 cm 各土层,1986 年与 2003 年梭梭林土壤有效钾差异不显著,但均显著高于 2008 年和天然梭梭林($p<0.05$)。60—

80 cm 土层,2003 年显著高于 1998 年、2008 年和天然梭梭林;80—100 cm 土层,1995 年显著高于 1973 年、2008 年和天然梭梭林($p<0.05$)。

垂直空间上,土壤有效钾含量呈随土层的加深而减少的趋势,表层土壤显著高于 40—100 cm 各土层($p<0.05$)。

表 8 不同种植年份梭梭人工林与天然林土壤有效钾质量分数 mg/kg

深度/cm	天然梭梭林	1973 年	1982 年	1986 年	1995 年	1998 年	2003 年	2008 年
0—20	106.3±39.1b	184.5±41.5b	282.5±71.5ab	402.5±228.2a	210.0±144.2b	205.5±99.1b	306.3±15.0ab	78.7±5.5b
20—40	72.8±32.3b	147.0±35.0a	141.3±48.8ab	214.3±167.5a	140.3±55.4ab	99.0±46.8b	219.3±69.5ab	71.7±18.9b
40—60	80.5±34.5b	114.5±13.5a	82.0±5.9b	177.8±112.6a	145.8±89.1a	90.3±40.9b	194.7±74.7a	44.7±7.6b
60—80	81.5±25.2b	103.5±7.5a	102.5±11.5a	140.5±55.9a	183.5±130.7a	88.0±33.7b	187.7±83.8a	46.3±3.1b
80—100	89.0±34.1b	70.5±3.5ab	96.5±21.6ab	137.3±43.6ab	168.3±99.9a	106.5±56.6ab	153.0±107.9ab	53.3±5.1b
平均	86.0±5.1	124.0±17.0	141.0±27.6	214.5±77.4	169.6±35.1	117.9±25.8	212.2±34.1	58.9±6.3

2.5 人工梭梭林生长状况与土壤理化性质的关系分析

土壤理化指标取 1 m 剖面内平均值,梭梭林生长指标取样地内平均值,对两者进行相关性分析(df=7),结果见表 9。

梭梭林土壤水分含量、pH 值、电导率以及土壤养分均与梭梭的生长呈正相关关系,其中电导率与冠

幅呈显著的正相关关系,有效钾与株高、冠幅均呈显著正相关关系($p<0.05$)。其原因可能是,土壤含水量、土壤 pH 值和有效氮受梭梭生长的影响较小,电导率、有机碳、有效磷和有效钾受梭梭生长影响较大。梭梭林土壤的理化性质受植物生长状况的影响,其中地上部分影响作用显著。

表 9 梭梭林林木生长因子与土壤理化指标相关系数

指标	土壤含水量	pH 值	电导率	有机碳	有效氮	有效磷	有效钾
株高	0.499	0.279	0.583	0.576	0.236	0.603	0.806*
东西冠幅(E—W)	0.433	0.162	0.669	0.519	0.348	0.630	0.803*
南北冠幅(S—N)	0.361	0.021	0.729*	0.458	0.478	0.605	0.767*
基径	0.331	0.984	0.083	0.248	0.189	0.105	0.074
生物量	0.198	0.014	0.503	0.294	0.385	0.533	0.571

注:*.在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

3 讨论

水分是植物赖以生存的基本条件,制约着土壤中养分的溶解、转移和微生物的活动,了解土壤水分动态变化规律和空间立体分布具有重要意义。Ma 等^[29]研究认为土壤含水量随梭梭林龄的增大呈现先降低后上升的趋势,种植 30 a 后林地土壤含水量达到相对稳定状态。本研究中梭梭林土壤水分则是先上升后下降的双峰曲线规律,达到 30 a 后(1982 年、1973 年)林地土壤含水量同样保持相对稳定,且与天然梭梭林相近。土壤水分下降限制梭梭生长,而梭梭的生长又会进一步加剧土壤水分下降^[29],已有的研究认为,栽植后 8 a 为土壤水分下降最快的阶段^[20]。在本研究中栽种 6 a 后(2008 年),土壤含水量最低,其原因可能是梭梭的快速生长消耗大量土壤水,而且地表蒸发剧烈,使得其土壤含水量较低。随着植株的生长,植被地表覆盖度逐渐增大,由于遮蔽作用地表蒸发减小,但蒸腾作用加剧,两者共同作用,使得土壤

水分含量不断变化。在 1995 年梭梭生长最为旺盛,强烈的蒸散发作用使得土壤含水量大幅下降。此后随着时间的延长,整个群落由于自疏作用^[30-31],植株量减少,蒸散量减小,且梭梭根系逐渐发达,根系纵向发展增强对深层土壤水分的吸收能力,最终使得梭梭对土壤水分的消耗恢复到平衡状态。在垂直空间上,表层土土壤含水量低于其他土层。该结果与朱雅娟等^[7]、格日乐等^[15]的研究结果基本一致。表层土壤主要受自然降水控制,在 7 月份自然降水量很低,但蒸发强烈,因此表层土含水量较低。

梭梭林土壤 pH 值随种植年限增加,逐渐接近于天然梭梭林,反映出梭梭作为耐盐碱植物可调节林内土壤酸碱性的特性。不同深度土壤 pH 值随种植年限的变化规律不同,0—40 cm 土层土壤 pH 值呈先增加后减小的趋势,最高值出现在 1995 年;40—100 cm 土层土壤 pH 值为双峰曲线,峰值年份分别为 2003 年和 1986 年,可见梭梭林对不同深度土壤酸碱度调节作用不一致。而垂直空间上,仅 1973 年和 1995 年表

层土壤 pH 值显著高于其他深度土壤,其余种植年份各土层之间差异不显著($p < 0.05$),该结果与齐黎黎^[32]对甘家湖梭梭林研究基本一致,反映出 20 龄和 41 龄阶段梭梭林对土壤酸碱性影响最明显。

土壤电导率反映出土壤中总盐量大小,它可能与植被覆盖度、土壤和地下水埋深等因素差异有关^[33]。本研究中随种植时间的增加,梭梭林土壤电导率呈波浪形变化,且土壤电导率的变化与梭梭冠幅呈显著正相关关系(见表 4),说明梭梭生长状况对改善土壤盐渍化有重要影响。在垂直方向上,土壤盐分含量基本均由表层向下逐渐增多,电导率值均小于 2 mS/cm,表层聚盐现象不明显,与司朗明等^[34]的研究结果相反,但与郝建秀^[35]对绿洲荒漠过渡带的研究结果相同。造成这一结果的原因可能是植物根系吸收土壤深层水,水分向根部运移,携带部分盐离子向根部聚集,使得深层土壤中电导率较高^[33]。

土壤养分为植物生长提供必需的营养元素,同时也受植物的影响。席军强等^[36]对生长 20 a 的人工梭梭林研究认为,营造梭梭林可改善林内土壤,土壤养分含量增加;刘乃君^[21]发现,种植 5~30 a 梭梭林内土壤有效钾、有机质含量随林龄增长而增高,全氮、全磷无明显规律。本研究中,土壤有机碳、有效氮和有效磷随种植年限增加呈增加趋势,有效钾则呈略减小趋势;且垂直空间上,随着种植年限的减小,各土层之间差异减小。说明梭梭林对土壤养分确有重要影响。吉小敏等^[37]对天然梭梭林土壤研究发现,林下土壤养分受控于梭梭的分布与生长状况,本研究中,土壤养分含量与梭梭生长状况呈正相关关系(见表 4)。梭梭冠幅的增大使得地表植被覆盖度逐渐增大,同时大量枯落物进入土壤,在水热条件和土壤微生物的作用下,植被枯落物和植物根系分泌物、残留物发生一系列的化学反应,地表逐渐形成生物结皮,结皮的形成使土壤理化性质发生很大变化,加快土壤的形成,而林冠下层及林间空地天然植被逐渐发育,地上现存生物量进一步增加,使得植被对土壤的改造作用增强。

不同种植年限梭梭林与天然梭梭林相比,峰值年份(1986 年和 2003 年)人工梭梭林不同深度土壤含水量、电导率和土壤养分均超过天然梭梭林;土壤 pH 值虽差异不显著,但仍可看出随种植年限增加,土壤 pH 值减小,且逐渐小于天然梭梭林。说明梭梭林对环境改善作用随梭梭林的生长状况而变化,随种植年限的增加,人工梭梭林逐渐转变为天然梭梭林,其改善环境能力也随之增强,逐渐接近天然梭梭林并趋于稳定。

4 结 论

准噶尔盆地南缘人工梭梭林,林地土壤理化性质随种植年限的延长而逐渐改善,在种植年限为 28 a 时效果最明显,以后趋于稳定。土壤含水量呈现双峰曲线的形式,在 1986 年和 2003 年达到峰值;土壤 pH 值随种植年限增加逐渐减小;电导率呈波浪形变化;土壤养分含量则随种植年限增加逐渐增大。人工梭梭林随种植年限增加,不断向天然梭梭态转化,适应并改善其生境,可见人工种植梭梭对沙漠植被的保护和恢复有积极作用。

参考文献:

- [1] 李东风,王立雄,黄丕振,等.对准噶尔盆地梭梭资源利用的思考[J].新疆财经,2001(6):20-21.
- [2] 杨海梅,李明思.梭梭生长对水分胁迫的相应规律研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):205-209.
- [3] 郭泉水,王春玲,郭志华,等.我国现存梭梭荒漠植被地理分布及其斑块特征[J].林业科学,2005,41(5):2-7.
- [4] 刘斌,刘彤,李磊,赵新俊,等.古尔班通古特沙漠西部梭梭大面积退化原因[J].生态学杂志,2010,29(4):637-642.
- [5] 王泽,阿不都克玉木·吉米提,吐尔逊娜·依热依木,等.北疆荒漠区梭梭水分、盐分和养分状况研究[J].新疆农业大学学报,2014,37(4):339-344.
- [6] 贾志清,卢琦,郭保贵,等.沙生植物:梭梭研究进展[J].林业科学研究,2004,17(1):125-132.
- [7] 朱雅娟,贾志清,刘丽颖,等.民勤绿洲外围不同林龄人工梭梭林的土壤水分特征[J].中国沙漠,2011,31(2):442-446.
- [8] 戴岳,郑新军,唐立松,等.古尔班通古特沙漠南缘梭梭水分利用动态[J].植物生态学报,2014,38(11):1214-1225.
- [9] 宁虎森,罗青红,吉小敏,等.新疆甘家湖梭梭林林地土壤养分、盐分的积累特征[J].东北林业大学学报,2014,42(9):83-87.
- [10] Buras A, Wucherer W, Zerbe S, et al. Allometric variability of Haloxylon species in Central Asia[J]. Forest Ecology and Management, 2012,274:1-9.
- [11] 刘发民,张应华,仵彦卿,等.黑河流域荒漠地区梭梭人工林地土壤水分动态研究[J].干旱区研究,2002,19(1):27-31.
- [12] 常学向,赵爱芬,赵文智,等.黑河中游荒漠绿洲区免灌植被土壤水分状况[J].水土保持学报,2003,17(2):126-129.
- [13] 何志斌,赵文智.荒漠绿洲区人工梭梭林土壤水分空间异质性的定量研究[J].冰川冻土,2004,26(2):207-211.
- [14] 王永东,徐新文,雷加强,等.塔里木沙漠公路防护林带土壤水分动态研究[J].科学通报,2008,53(S2):89-95.
- [15] 格日乐,张力,刘军,等.库布齐沙漠人工梭梭林地土壤水分动态规律的研究[J].干旱区资源与环境,2006,20

- (6):173-177.
- [16] 贾玉奎,李钢铁,董锦兰. 乌兰布和沙漠固沙林土壤水分变化规律的初步研究[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(6):169-172.
- [17] Yang W B, Feng W, Jia Z Q, et al. Soil water threshold for the growth of *Haloxylon ammodendron* in the Ulan Buh desert in arid northwest China[J]. South African Journal of Botany, 2014,92:53-58.
- [18] Zhu Y, Jia Z. Soil water utilization characteristics of *Haloxylon ammodendron* plantation with different age during summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(6):341-346.
- [19] 杨艳凤,周宏飞,徐利岗. 古尔班通古特沙漠原生梭梭根区土壤水分变化特征[J]. 应用生态学报,2011,22(7):1711-1716.
- [20] 李爱德,赵明,王耀林. 民勤地区不同林龄梭梭林地水分平衡研究[C]//王继和. 甘肃治沙理论与实践. 兰州:兰州大学出版社,1999,77-83.
- [21] 刘乃君. 人工梭梭林对沙地土壤理化性质的影响[J]. 土壤通报,2008. 39(6):1480-1482.
- [22] 王勇辉,郭双双,海米提·依米提. 精河河下游河岸带土壤养分与盐分特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):133-138.
- [23] Jiménez J J, Lal R, Russo R O, et al. The soil organic carbon in particle-size separates under different re-growth forest stands of north eastern Costa Rica[J]. Ecological Engineering, 2008,34(4):300-310.
- [24] 黄丕振,刘志俊,崔望诚. 梭梭集水造林初步研究[J]. 新疆农业科学,1985(6):23-25.
- [25] 李银芳. 利用龟裂地径流的两种集水方式进行梭梭造林[J]. 林业实用技术,1986(10):17-20.
- [26] 张培林. 沙地梭梭林的营造[J]. 新疆林业,1990(3):16-17.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [28] 宋于洋,胡晓静. 古尔班通古特沙漠不同生态类型梭梭地上生物量估算模型[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):31-37.
- [29] Ma Q L, Wang J H, Zhu S J. Effects of precipitation, soil water content and soil crust on artificial *Haloxylon ammodendron* forest [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007,27(12):5057-5067.
- [30] 常兆丰,韩福贵,仲生年,等. 民勤沙区人工梭梭林自然稀疏过程研究. 西北植物学报,2008,28(1):147-154.
- [31] Zheng CL, Wang Q. Water-use response to climate factors at whole tree and bran scale for a dominant desert species in central Asia: *Haloxylon amodendron* [J]. Ecohydrology, 2014,7(1):56-63.
- [32] 齐黎黎. 新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区边缘地带土壤特征研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学. 2010.
- [33] 李丹,张勃,戴声佩,等. 民勤绿洲耕地荒漠退耕还林地土壤肥力及物理特性比较研究[J]. 土壤,2011,43(3):398-405.
- [34] 司朗明,刘彤,刘斌,等. 古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析[J]. 生态学报,2011,31(21):6460-6468.
- [35] 郝建秀. 张掖绿洲及绿洲荒漠过渡带土壤水盐空间异质性研究[D]. 兰州:西北师范大学. 2005.
- [36] 席军强,杨自辉,郭树江,等. 人工梭梭林对沙地土壤理化性质和微生物的影响[J]. 草业学报,2015,24(5):44-52.
- [37] 吉小敏,孙慧瑛,宁虎森,等. 准噶尔盆地西缘天然梭梭林土壤有机碳及养分的分布特征[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(12):148-153.



(上接第 308 页)

- [20] 叶春,李春华,王秋光,等. 大堤型湖滨带生态系统健康状况驱动因素:以太湖为例[J]. 生态学报,2012(12):3681-3690.
- [21] 陈忠升. 塔里木河干流年径流量变化及其人为驱动因素关联分析[J]. 地理科学,2011,12(31):1506-1512.
- [22] Li Z, He Y, Yang X, et al. Changes of the Hailuogou glacier, Mt. Gongga, China, against the background of climate change during the Holocene[J]. Quaternary International, 2010,218(1):166-175.
- [23] 王宁练,张祥松. 近百年来山地冰川波动与气候变化[J]. 冰川冻土,1992,14(3):242-250.
- [24] 张强,韩永翔,宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展,2005,20(9):990-998.