基于灰色关联分析的砒砂岩区不同林龄沙棘的改土效应

刘 静[1]，李 禾[2]，郭建英[1]，吴永胜[1]

(1.水利部牧区水利科学研究所，内蒙古 呼和浩特 010020；2.内蒙古自治区水利厅水土保持处，内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要：[目的] 探究不同林龄沙棘对其下土壤的改良效果，为砒砂岩区人工沙棘林生态建设、恢复和重建提供理论依据。[方法] 以内蒙古达拉特旗典型砒砂岩区不同林龄沙棘林为研究对象，利用灰色度关联分析法，对沟坡阳坡 1～7 a 沙棘林 0—40 cm 土层土壤物理性质(土壤含水量、土壤容重、土壤总孔隙度、土壤比重、土壤毛管孔隙度、土壤非毛管孔隙度、土壤饱和持水量、土壤最大毛管持水量)进行测定，并以周边荒坡作为对照(CK)，对不同林龄沙棘林对砒砂岩土壤的改土效应进行分析。[结果] 土壤含水量、土壤总孔隙度随沙棘林龄增加而增大，随土壤深度增加而减少，土壤容重与之相反；不同林龄沙棘能增强土壤持水能力，并且 4～7 a 沙棘持水能力大于 1～3 a 沙棘持水能力。[结论] 在砒砂岩区营建人工沙棘林有利于土壤改良，不同林龄沙棘对土壤改良作用主要作用于 0—10 cm 和 10—20 cm 土层。

关键词：沙棘；林龄；土壤物理性质；灰色关联分析；砒砂岩区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)04-0127-07 **中图分类号**：Q945.11，S688

文献参数：刘静，李禾，郭建英，等.基于灰色关联分析的砒砂岩区不同林龄沙棘的改土效应[J].水土保持通报，2019，39(4)：127-133. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.020；Liu Jing，Li He，Guo Jianying，et al. Soil improvement of *Hippophae rhamnoides* under different forest ages in sandstone area based on gray correlation analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(4)：127-133.

Soil Improvement of *Hippophae Rhamnoides* Under Different Forest Ages in Sandstone Area Based on Gray Correlation Analysis

Liu Jing[1]，Li He[2]，Guo Jianying[1]，Wu Yongsheng[1]

(1. *Institute of Water Resources for Pastoral Area of the Ministry of Water Resources of China，Hohhot，Inner Mongolia* 010020，*China*；2. *Water Conservation Department of the Inner Mongolia Autonomous Region Water Resources Department，Hohhot，Inner Mongolia* 010020，*China*)

Abstract：[Objective] The effects of artificial *Hippophae rhamnoides* forests on soil quality improvement under different ages were studied in order to provide a basis for scientific evaluating ecological construction，restoration and reconstruction of Artificial *Hippophae rhamnoides* forest in sandstone area. [Methods] Taking the *Hippophae rhamnoides* forests of different ages in typical sandstone area of Dalat Banner of Inner Mongolia as the research object，and using the gray correlation analysis，the soil physical properties(soil water content，soil bulk density，total soil porosity，specific gravity of soil，soil capillary porosity，soil non-capillary porosity，soil saturated water holding capacity and soil maximum capillary water holding capacity) of 0—40 cm soil layer of *Hippophae rhamnoides* forest from 1 a to 7 a on the sunny slope of the slope were measured. The soil improvement effect of *Hippophae rhamnoides* forests on sandstone soil under different forest ages was analyzed with surrounding barren slope as control(CK). [Results] Soil water content and total soil porosity increased with the age of *Hippophae rhamnoides* forests，decreased with soil depth，but soil bulk density was opposite；*Hippophaer hamnoides* of different forestages could enhance soil water holding capacity，and the water holding capacity of *Hippophae rhamnoides* of 4～7 a was greater than that of *Hippophae rhamnoides* of

收稿日期：2018-12-30 **修回日期**：2019-03-18

资助项目：内蒙古自治区科技计划项目“重点水土流失区生态系统综合整治技术集成”(201601062)；内蒙古自治区水利科研专项“典型小流域综合治理工程水土保持生态效应评价研究”(NSK2019-03)

第一作者：刘静(1983—)，女(汉族)，内蒙古自治区丰镇市人，硕士，工程师，主要从事水土保持研究工作。E-mail：mksliujing@163.com。

通讯作者：郭建英(1979—)，男(汉族)，内蒙古自治区清水河县人，博士，高级工程师，主要从事水土保持研究工作。E-mail：guojianying1980@163.com。

1～3 a. [Conclusion] The construction of artificial seabuckthorn forest in sandstone area is beneficial to soil improvement. *Hippophaer hamnoides* of different forestages mainly affected soil improvement in layers of 0—10 cm and 10—20 cm.

Keywords: ***Hippophae rhamnoides***; **forest age**; **soil physical properties**; **gray correlation analysis**; **sandstone area**

鄂尔多斯达拉特旗地处陕晋蒙三省交界处，区内广泛分布着砒砂岩，是黄土高原水土流失最严重的地区之一。由于砒砂岩结构松散、厚度小、胶结能力差，导致该区域沟壑纵横、植被稀疏，极易发生水土流失，其水土流失面积占全区土地总面积的 92.5%。砒砂岩透水性差，层状结构显著，导致植物扎根困难，成活率低[1]。沙棘(*Hippophae rhamnoides*)作为砒砂岩区典型的水土保持乡土植物种之一，具有抗旱御寒、耐盐碱、成林后枝叶生长茂密、根系发达密集等特点，被人们誉为“神奇植物”[2-3]。因此 20 世纪末期，在砒砂岩区通过大力种植沙棘，使沟道、坡面等区域水土流失问题得到遏制，区域生态环境得到了有效改善[4]。杨方社[5]等人研究表明，沙棘能显著提高砒砂岩区沟道土壤含水量，并使土壤含水量呈显著的空间异质性；党晓宏[6]等人对 1～4 a 生沙棘进行研究表明，沙棘能增加土壤孔隙度，并提高土壤中速效 N，P，K 及有机质含量；殷立强[7]等人对 8 a 生沙棘研究表明，沙棘能改变土壤的机械组成，使土壤粉粒、黏粒含量增加。土壤持水能力增强。上述研究说明沙棘具有改土效应。但植被林龄不同对土壤改良效果不同。基于此，本研究以达拉特旗典型砒砂岩区沟道坡面 1～7 a生沙棘为研究对象，利用灰色度关联分析法对 1～7 a生沙棘林下土壤性质(土壤含水量、土壤容重、毛管总孔隙度、土壤比重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、饱和持水量、毛管最大持水量)进行系统性分析，探究不同林龄沙棘对其下土壤的改良效果，从而为砒砂岩区人工沙棘林生态建设、恢复和重建提供理论依据。

1 材料与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗东柳沟沙棘生态建设区(109°15′—110°20′E，39°56′—40°12′N)，海拔在 1 370 m 左右。该区域属中温带干旱、半干旱气候，具有明显的大陆性季风气候特征。年均降雨量在 297.8 mm，年降雨量分配不均，主要集中在 7—9 月。年均气温 6.7 ℃。有效积温 3 400 ℃，太阳总辐射量 599 kJ/(cm^2 · a)，年潜在蒸发量 2 011～3 700 mm，平均风速 2.7 m/s，无霜期 140 d。区内主要植物种为沙棘，零星分布有针茅(*Stipa capillata*)、碱蒿(*Artemisia anethifolia*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)等，天然植被盖度低于 5%。土壤主要以黄绵土和栗钙土为主，局部会出现黑垆土。

1.2 样地设置

2015 年 7 月，在研究区内按照不同林龄人工沙棘林进行样地布设，样方布设于砒砂岩沟阳坡坡中位置，坡度为 20°～30°，共布设 7 个 10 m×10 m 样方。以坡向一致的荒坡为对照(CK)。样地内，不同林龄沙棘生长状况良好。样地基本情况详见表 1。在样方内进行每木调查，包括坡度、植被盖度、生物量、枯落物量。根据当地水土保持局相关资料记载当年造林均为 1 a 生实生苗，沙棘栽植前立地条件、植被类型等生态特征基本一致，采用以空间代替时间的方法调查栽植不同年限的沙棘人工林地土壤物理特性。

表 1 样地基本情况调查

样地号	林龄	造林时间	调查时间	坡度/(°)	植被盖度/%	生物量/g	枯落物量/g
CK	—	—	201407	23	—	—	—
01	1 a	2013 年	201407	25	25	133.04	29.84
02	2 a	2012 年	201408	25	25	128.80	76.23
03	3 a	2011 年	201408	21	40	235.52	97.43
04	4 a	2010 年	201408	30	40	274.72	77.44
05	5 a	2009 年	201407	27	65	326.96	110.2
06	6 a	2009 年	201508	21	70	413.36	199.53
07	7 a	2009 年	201607	30	75	424.80	258.40

1.3 土壤样品的采集与测定

在 1～7 a 沙棘林地内，以对角线等间距布置 5 个取样点，以相应等高线位置的周边荒坡裸地为对照，采用环刀对 0—40 cm 土层进行取土，每 10 cm 取一层土样，取样后分层均匀混合后装入塑封袋内并进行标记。同时将采集的原状土样带回实验室，进行相关

指标测定。土壤含水率采用烘干法：土壤容重采用环刀法(环刀体积 100 cm^2)；土壤总孔隙度采用比重和容重计算：土壤总孔隙度(%)=(1－容重/比重)×100(比重：比重瓶法)；土壤毛管孔隙度采用浸水法计算：土壤毛管孔隙度(%)=土壤毛管最大持水量×容重×100%；土壤非毛管孔隙度(%)=总孔隙度－土壤毛管孔隙度；土壤饱和持水量采用称重法：土壤饱和持水量(%)=(饱和土壤重－干土重)/(干土重－环刀重)×100；土壤毛管最大持水量采用浸水法测定。

1.4　数据分析方法

用 Excel 2010 对试验数据进行整理，运用 SPSS 20.0 软件对不同林龄沙棘土壤物理指标进行差异显著性分析(one-way ANOVA)和主成分分析确定重权，采用灰色关联法对土壤物理指标进行灰色关联分析评价，采用 Origin 2017 软件图形绘制。灰色关联分析法对不同林龄人工沙棘林进行改土效应评价。选择以不同林龄 0—40 cm 土层深度土壤作为评价样本，土壤物理特征指标作为评价因子，在 SPSS 20.0 软件中计算各指标权重 。最终求出多个关联度和关联序。运用灰色系统理论的原理与方法[8-9]，对不同林龄 0—40 cm 土层土壤物理性质进行灰色关联分析及关联排序。设比较数列为 $A(i,j)(i=1,2,\cdots,7)$，表示第 i 年沙棘林不同土层下土壤物理指标中的第 j 个指标；其中 $A(0,j)$是由各物理性质指标中最大值所组成的理想数列。采用直线型标准化法进行无量纲化处理：$A(i,j)/A(0,j)$，关联系数的计算公式为：

对于 $\xi\in(0,1)$，令

$$r(i,j)=\frac{\min_i \min_j |A(0,j)-A(i,j)|+\xi\times\max_i \max_j |A(0,j)-A(i,j)|}{|A(0,j)-A(i,j)|+\xi\times\max_i \max_j |A(0,j)-A(i,j)|}$$

关联度的计算公式为：

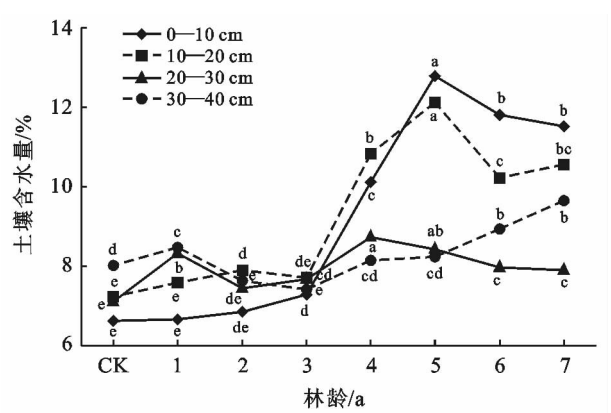
$$r(i,j)=\sum_{j=1}^{n} r(i,j)\omega_{ij}$$

式中：ξ——分辨系数，取值为 0.5；$N=7$；ω_{ij}——第 i 年林龄不同土层土壤物理指标中第 j 个指标的权重。

2　结果与分析

2.1　不同林龄沙棘对土壤物理性质的影响

2.1.1　不同林龄沙棘对 0—40 cm 土壤含水量的影响　由图 1 可知，随沙棘林龄增加，各土层土壤含水量空间异质性逐渐增大。4～7 a 沙棘 0—20 cm 土层土壤含水量较 1～3 a 波动大($p<0.05$)。当沙棘林龄为 5 a 时，0—20 cm 土层深度土壤含水量达到最大。不同林龄平均土壤含水量由大到小依次为：5 a(10.40%)＞7 a(9.91%)＞6 a(9.74%)＞4 a(9.46%)＞1 a(7.76%)＞3 a(7.52%)＞2 a(7.46%)＞CK(7.25%)。



注：不同小写字母表示同一土壤深度，不同林龄人工梭梭差异显著性变化($p<0.05$)。下同。

图 1　不同林龄沙棘土壤含水量的变化情况

2.1.2　不同林龄沙棘对 0—40 cm 土壤容重的影响　土壤容重是土壤最基本的物理性质之一，影响着土壤通气性、透气性、持水性、植被生长、溶质迁移特征和土壤侵蚀能力[10-11]。由图 2 可知，异龄同层，土壤容重随沙棘林龄增大而减小，且 4 a 后，土壤容重降低趋势减缓；同龄异层，土壤容重随土层深度增加而增大，且沙棘林土壤容重均低于 CK。在 0—30 cm，各林龄同一土层深度与 CK 之间差异不显著($p>0.05$)；在 30—40 cm，仅 7 a 与 CK 之间差异显著($p<0.05$)。整体而言，同龄异层沙棘林地容重变化范围在 1.3～1.62 g/cm^3 之间，不同林龄平均土壤容重由大到小依次为：CK(1.58 g/cm^3)＞1 a(1.54 g/cm^3)＞2 a(1.51 g/cm^3)＞3 a(1.48 g/cm^3)＞4 a(1.44 g/cm^3)＞5 a(1.43 g/cm^3)＞6 a(1.42 g/cm^3)＞7 a(1.39 g/cm^3)。由此可见，沙棘对土壤容重有一定改善作用，但改善效果较小。

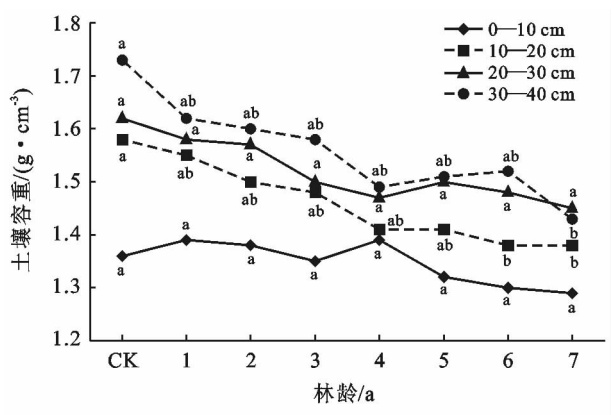


图 2　不同林龄人工沙棘土壤容重的变化情况

2.1.3　不同林龄沙棘对 0—40 cm 土壤总孔隙度的影响　土壤总孔隙度反映土壤潜在蓄水和调节降水

的能力，影响土壤通气、水分垂直运移、植物根系穿插等[12-13]。由图 3 可知，沙棘林地土壤孔隙度的变化趋势与土壤容重的变化趋势相反。在 10—40 cm，不同林龄沙棘土壤孔隙度 4～7 a 与 CK 之间差异显著（$p<0.05$）；在 0—10 cm，不同林龄沙棘与 CK 之间差异不显著（$p>0.05$）。各林龄人工沙棘林平均土壤孔隙度大小依次为：7 a(48.45%)＞6 a(47.52%)＞5 a(47.15%)＞4 a(45.32%)＞3 a(45.00%)＞2 a(43.32%)＞1 a(41.93%)＞CK(41.30%)。在栽植沙棘林 7 a 后 0—10 cm，10—20 cm，20—30 cm，30—40 cm 各土层土壤孔隙度较 CK 分别增加 9.16%，20.50%，18.92%，22.60%。由此可见，沙棘能改善土壤孔隙度。

2.1.4 不同林龄沙棘对 0—40 cm 平均土壤孔隙度的影响 土壤结构与肥力在一定程度上取决于土壤孔隙特性。裸地营建植被后，使地表径流减少，增加土壤孔隙，改善土壤的透水性和保水性。而且死亡根系形成非毛管孔隙及土壤微生物活动增加土壤非毛管孔隙。由表 2 知，各林龄土壤比重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度差异不显著（$p>0.05$）。土壤总孔隙度、毛管孔隙度在 7 a 时达到最大，且均高于 CK（$p>0.05$）。其最大值较 CK 分别增加 17.30%，20.35%。这表明砒砂岩沟坡通过营建人工沙棘林，在短期内可以达到一定的固土作用，但人工沙棘对土壤结构的改良不是随林龄而增大。

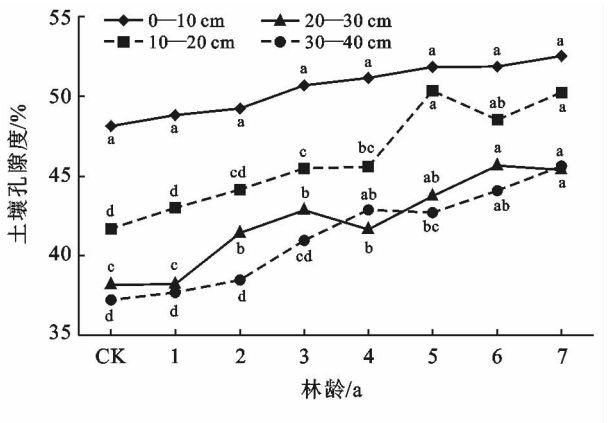


图 3 不同林龄人工沙棘土壤孔隙度的变化情况

表 2 不同林龄人工沙棘 0—40 cm 平均土壤孔隙度的变化

林龄	比重	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
CK	2.66±0.04[a]	41.31±2.37[a]	37.86±1.43[a]	3.45±0.31[a]
1 a	2.65±0.07[a]	41.93±3.69[a]	38.59±3.31[a]	3.34±0.68[a]
2 a	2.68±0.03[a]	43.32±1.14[a]	40.06±1.51[a]	3.28±0.39[a]
3 a	2.69±0.05[a]	45.00±3.52[a]	40.89±2.01[a]	4.11±1.78[a]
4 a	2.64±0.12[a]	45.32±1.56[a]	41.77±2.94[a]	3.54±1.39[a]
5 a	2.72±0.08[a]	47.16±0.54[a]	43.66±0.82[a]	3.49±0.38[a]
6 a	2.71±0.02[a]	47.53±1.81[a]	43.78±2.85[a]	3.75±1.17[a]
7 a	2.70±0.05[a]	48.45±3.64[a]	45.56±4.41[a]	2.89±1.27[a]

注：不同小写字母表示同一林龄 0—40 cm 人工沙棘各指标平均值差异显著性变化（$p<0.05$）。

2.2 不同林龄沙棘对土壤持水能力的影响

土壤土壤饱和持水量代表土壤的最大蓄水能力。由图 4 知，沙棘林的土壤饱和持水量、毛管最大持水量随林龄增加而逐渐增加。6 a 和 7 a 沙棘林的饱和持水量与 CK 成显著差异（$p<0.05$），5～7 a 沙棘林毛管最大持水量与 CK 成显著差异（$p<0.05$）。其饱和持水量大小依次为：6 a(31.45%)＞7 a(31.26%)＞5 a(28.44%)＞3 a(27.93%)＞4 a(26.83%)＞2 a(26.35%)＞1 a(25.78%)＞CK(24.06%)；而土壤毛管最大持水量大小依次为 7 a(28.03%)＞6 a(26.59%)＞5 a(26.19%)＞4 a(24.11%)＞2 a(23.71%)＞3 a(23.69%)＞1 a(22.83%)＞CK(22.31%)。其土壤饱和持水量、毛管最大持水量最大值（7 a）较最小值（CK）增加 29.93%，25.64%。该试验结果表明，砒砂岩区栽植沙棘后，增加了该区域土壤的蓄水能力。说明沙棘有涵养水源的作用。

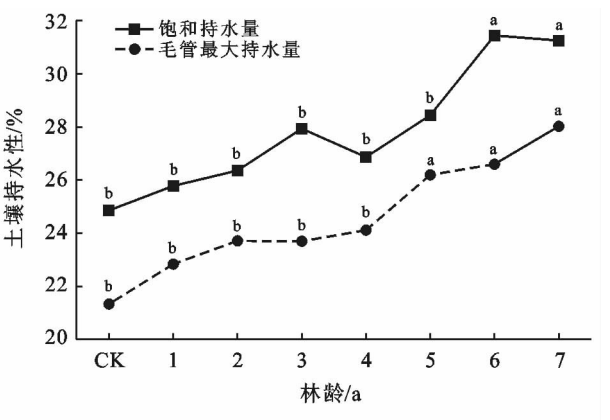


图 4 不同林龄人工沙棘土壤持水能力的变化情况

2.3 不同林龄沙棘土壤物理性质加权灰色关联分析

以不同林龄（1～7 a）、不同土层深度（0—10 cm，10—20 cm，20—30 cm，30—40 cm）土壤作为评价样本，选择土壤含水量、土壤容重、毛管总孔隙度、毛管孔隙度、饱和持水量、毛管最大持水量、比重 7 项指标

作为评价因子。选取土壤含水量、土壤容重、毛管总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、饱和持水量、毛管最大持水量、比重 7 项指标中的最大值作为参考数列,以不同土层深度的土壤含水量、土壤容重、毛管总孔隙度、毛管孔隙度等指标测定值作为比较数列,进行无量纲化处理,分辨系数选择 $\xi=0.5$,求出各对应点的关联系数、关联度和权重详见表 3。关联度越大,该项指标对评价对象的影响就越大,即改善土壤物理状况水平越好。

由分析数据可以得出各指标权重由大到小排序依次为:土壤总隙度>毛管孔隙度>土壤容重>土壤含水量>比重>毛管最大持水量>饱和持水量。其中土壤总隙度的权重系数最大,对砒砂岩土壤物理特性的影响大。1～7 a 沙棘林地中各土壤改良状况排序详见表 4。由表 4 可知,改良土壤的最优土层是出现在 0—20 cm 层。由于沙棘林随林龄的增加地表枯落物量增多,枯落物覆盖地表具有拦截降雨,减少蒸发的作用,同时沙棘根系的浅根性和横生辐射性也是主要原因,因此土壤在表层 0—10 cm 和 10—20 cm 改良效果最明显。

表 3　不同林龄沙棘林下不同土层土壤物理指标的关联系数、权重及关联度

林龄	土层/cm	含水量	容重	毛管总孔隙度	毛管孔隙度	毛管最大持水量	饱和持水量	比重	关联度
1 a	0—10	0.654 7	1.000 0	0.902 4	0.518 9	0.377 9	0.473 0	0.979 2	0.785 0
	10—20	0.745 1	1.000 0	0.467 9	0.361 6	0.674 7	0.947 4	0.955 2	0.521 0
	20—30	0.858 6	1.000 0	0.399 9	0.352 9	0.546 0	0.627 1	0.981 9	0.492 4
	30—40	0.875 4	1.000 0	0.401 7	0.349 9	0.544 7	0.643 4	0.973 3	0.493 9
2 a	0—10	0.646 2	1.000 0	0.972 6	0.508 3	0.568 3	0.385 0	0.978 8	0.819 2
	10—20	0.758 1	1.000 0	0.483 4	0.370 2	0.561 5	0.568 9	0.963 5	0.532 4
	20—30	0.754 1	1.000 0	0.444 0	0.356 9	0.430 9	0.537 2	0.963 0	0.507 1
	30—40	0.775 1	1.000 0	0.413 0	0.353 1	0.497 2	0.503 7	0.967 5	0.491 8
3 a	0—10	0.673 5	1.000 0	0.990 2	0.565 2	0.397 2	0.690 8	0.978 2	0.845 8
	10—20	0.744 9	1.000 0	0.534 7	0.376 0	0.628 8	0.948 3	0.958 2	0.560 1
	20—30	0.750 4	1.000 0	0.513 0	0.359 0	0.682 0	0.818 5	0.983 2	0.544 9
	30—40	0.755 4	1.000 0	0.436 2	0.355 7	0.689 0	0.921 3	0.962 5	0.503 6
4 a	0—10	1.000 0	0.923 2	0.848 7	0.640 2	0.340 3	0.421 2	0.889 7	0.811 1
	10—20	0.956 2	1.000 0	0.578 6	0.450 8	0.375 6	0.430 8	1.000 0	0.621 8
	20—30	0.876 5	0.998 1	0.404 5	0.369 4	0.754 8	0.988 2	1.000 0	0.501 6
	30—40	0.809 7	0.990 6	0.470 6	0.360 9	1.000 0	0.733 1	0.974 3	0.528 2
5 a	0—10	0.524 1	1.000 0	0.663 2	0.718 6	0.471 3	0.966 7	0.974 8	0.701 5
	10—20	0.733 0	0.951 6	1.000 0	0.518 2	0.358 1	0.494 2	0.907 7	0.837 8
	20—30	0.856 3	1.000 0	0.524 9	0.434 4	0.361 7	0.396 7	0.974 0	0.579 8
	30—40	0.812 8	1.000 0	0.447 1	0.365 8	0.391 8	0.449 7	0.975 2	0.516 3
6 a	0—10	0.853 8	1.000 0	0.847 1	0.756 1	0.373 7	0.467 6	1.000 0	0.837 9
	10—20	1.000 0	0.895 3	0.727 4	0.358 0	0.361 6	0.583 6	0.881 1	0.667 6
	20—30	0.743 4	1.000 0	0.533 2	0.378 3	0.499 7	0.666 8	0.956 3	0.559 4
	30—40	0.900 8	1.000 0	0.491 4	0.410 5	0.366 8	0.757 4	0.956 4	0.559 3
7 a	0—10	0.740 9	1.000 0	0.558 7	0.931 6	0.480 6	0.970 7	0.995 7	0.723 4
	10—20	0.908 8	0.849 8	1.000 0	0.471 1	0.378 5	0.606 8	0.801 0	0.829 3
	20—30	0.810 6	1.000 0	0.620 3	0.484 4	0.363 5	0.405 1	0.983 7	0.640 0
	30—40	0.923 0	1.000 0	0.545 2	0.381 0	0.608 6	0.952 6	0.987 0	0.582 9
指标权重	—	0.087 44	0.096 04	0.529 2	0.271 7	0.003 22	0.000 1	0.012 2	—

表 4　不同林龄沙棘林下不同土层的关联序

沙棘林龄	关联序	最优土层
1 a	1>2>4>3	1(0—10 cm)
2 a	1>2>3>4	1(0—10 cm)
3 a	1>2>3>4	1(0—10 cm)
4 a	1>2>4>3	1(0—10 cm)
5 a	2>1>3>4	2(10—20 cm)
6 a	1>2>3>4	1(0—10 cm)
7 a	2>1>3>4	2(10—20 cm)

3　讨论与结论

3.1　讨 论

人工植被在建立之日起,在防风固沙和改变局部小气候的同时,也改变着土壤结构和持水能力。但是植物种类不同对土壤作用效果不同。袁勤[14]等人通过对 10 a 柠条林、沙棘林、山杏林等 5 种人工林的研究结果表明,沙棘对土壤水分和土壤结构的改良效果

最佳。因此,本研究以1～7 a林龄人工沙棘为研究对象,研究其对砒砂岩区土壤的改土效果。

3.1.1 沙棘林龄对土壤含水量的影响 土壤含水量是影响沙棘生长发育的重要因子。本研究发现,随沙棘林龄增加,其土壤含水量逐渐增加,尤其对表层土壤含水量的影响最大,且土壤水分空间异质性逐渐增大。该试验结果与魏晓婷[15]等人对不同林龄樟子松的研究结果相似。其原因可能是1～3 a沙棘冠幅较小,未形成一定郁闭度,土壤水分蒸发量相对较大,导致0—40 cm土壤含水量与深度成反比。而4～7 a随沙棘林龄增加,土壤含水量与深度成正比。一方面,林冠层对大气降水在时间和数量起着重新分配作用。林冠对降雨的截流作用随沙棘林龄增加,使降雨对表层土壤的补给增加[16]。同时也能减少降水对地面的冲刷和林地地表径流的产生。另一方面,郁闭度随林龄增大有利于减少降水的蒸散,增加林间大气湿度和枯落物分解速度。同时枯落物的持水率和持水量随沙棘林龄增大,所以枯落物有利于增大土壤的土壤含水量。

3.1.2 沙棘林龄对土壤容重和孔隙度的影响 土壤容重反映了土壤的熟化程度,而植被可加快土壤发育[17]。本研究发现,随着沙棘林龄增加,0—40 cm土层土壤容重逐渐减小。说明土壤的改土效果随沙棘林龄逐渐增加。随土层深度土壤容重逐渐增大。说明沙棘对表层土壤的改良效果最佳。其原因如下:①本试验样地均设在阳坡坡中位置(坡度:21°～30°),由于砒砂岩抗蚀能力差,风蚀和水蚀双重作用容易对坡顶地表细颗粒物质进行冲刷,沙棘根系“柔性坝”作用能拦截细颗粒物质,增加土壤中粉粒和黏粒含量,改变土壤机械组成,提高土壤蓄水能力。另外,沙棘虽属非豆科植物,但能进行共生固氮作用,改善土壤养分状况。②沙棘枯落物随沙棘林龄逐渐增加(表1),枯枝落叶分解使土壤中的腐殖质增加,有助于土壤微团聚体的形成,降低了土壤容重[18]。③随林龄的增加,沙棘冠幅增加,植被盖度增大,固沙降尘作用增强,使粉粒和黏粒在表层沉积[19],导致表层土壤容重远小于其他土层。土壤孔隙包括土壤孔隙度、土壤毛管孔隙度和土壤非毛管孔隙度。本研究表明,土壤孔隙度随沙棘林龄增加而增加,随土壤深度增加而减少,且均高于CK。该研究结果与李红[20]等人的研究结果一致。首先,沙棘属于浅根性植物,根系主要分布于0～40 cm之间[6]。随沙棘林龄增加,根系密度增加,从而使土壤容重降低,增加土壤孔隙度。沙棘林地表层因为覆盖一层枯落物,枯落物分解在增加土壤有机质的同时,使土壤微生物活动和繁殖加速,再加之沙棘根系的作用,使土壤孔隙度随林龄增加,但沙棘对土壤表层改土作用最显著[21]。

3.1.3 沙棘林龄对土壤持水能力的影响 植被—土壤是一个有机整体,其物质与能量相互循环与转化,二者之间相互影响、相互作用。本研究表明,土壤饱和持水量和毛管最大持水量随沙棘林龄增加而增大,说明沙棘能增加土壤的持水能力。由于沙棘林龄增加,使土壤孔隙度增加,当降雨时可以使雨水迅速下渗,不致形成地表径流。土壤孔隙度是决定土壤持水能力的关键指标[22]。随沙棘林龄增加,林分郁闭度逐渐增大。使林内水汽光热环境得到改善,减少土壤水分蒸发。同时还为土壤中的微生物和土壤酶创造了有利条件,再加之枯落物和沙棘根系的多重作用,使土壤的持水能力随沙棘林龄增加。研究中还发现,1～3 a土壤持水能力增加缓慢,4～7 a土壤持水能力增加迅速。可能原因是1～3 a沙棘郁闭度较小,地表蒸发相对强烈,加之沙棘枯落物相对较少,未能形成一定保护层减少土壤水分蒸发。但是该结论有待于进一步论证。由此可知,沙棘对土壤的影响是一种正反馈效应,并且改土效果随时间增长而增加。

3.2 结 论

在砒砂岩区营建人工沙棘林有利于土壤改良。本研究中,不同林龄沙棘可以有效改善土壤土壤含水量、容重和土壤孔隙,对土壤是一种持续正向调节作用。同时,沙棘还能增强土壤持水能力,有利于沙棘岩区水土保持,增强土壤抗侵蚀能力,有利于改善当地生态环境。由加权灰色关联分析法可知,各林龄沙棘林地对土壤的改良作用主要在0—10 cm和10—20 cm。

[参 考 文 献]

[1] 杨振奇,秦富仓,张晓娜,等.砒砂岩区不同立地类型人工沙棘林下草本物种多样性环境解释[J].生态学报,2018,38(14):5132-5139.

[2] 吴汪洋,张登山,田丽慧,等.青海湖克土沙地沙棘林的防风固沙机制与效益[J].干旱区地理:汉文版,2014,37(4):777-785.

[3] 陆增祥,孟好军,阎春鸣.沙棘生长规律及对土壤性质改良的研究[J].甘肃科技,2006,22(10):220-222.

[4] 王举位,张征,安宝利,等.砒砂岩区沙棘林生态服务功能价值评估[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):198-203.

[5] 杨方社,曹明明,李怀恩,等.沙棘柔性坝影响下砒砂岩沟道土壤水分空间变异分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(7):161-167.

[6] 党晓宏,高永,汪季,等.砒砂岩沟坡沙棘根系分布特征

及其对林下土壤的改良作用[J]. 中国水土保持科学,2012,10(4):45-50.

[7] 殷丽强,梁月. 沙棘人工林对砒砂岩地区土壤物理性质变化的影响[J]. 国际沙棘研究与开发,2009,4(5):1-5.

[8] 温仲明,焦峰,李静. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被自然演替阶段的识别与量化分析[J]. 水土保持研究,2009,16(5):40-44.

[9] 张瑞,白凤林. 晋陕蒙砒砂岩区十大孔兑沙棘种植抗旱措施[J]. 中国水土保持,2015(4):31-33.

[10] 柴华,何念鹏. 中国土壤容重特征及其对区域碳贮量估算的意义[J]. 生态学报,2016,36(13):3903-3910.

[11] 张淑娟,王道杰,梅永丽,等. 泥石流多发区小流域土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(1):257-262.

[12] 李宗超,胡霞. 小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响[J]. 土壤学报,2015,52(1):242-248.

[13] 张磊,王嘉学,刘保强,等. 喀斯特山原红壤退化过程中土壤表层团聚体变化规律[J]. 山地学报,2015,33(1):8-15.

[14] 袁勤,崔向新,乔荣. 砒砂岩区不同人工林对土壤理化性质的影响[J]. 北方园艺,2013(18):52-55.

[15] 魏晓婷,雷泽勇,韩辉. 章古台沙地不同林龄樟子松人工林土壤水分研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(6):115-121.

[16] 阿拉木萨,蒋德明,骆永明. 半干旱区人工固沙灌丛发育过程土壤水分及水量平衡研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):107-110.

[17] 卢立娜,赵雨兴,胡莉芳,等. 沙棘(*Hippophae rhamnoides*)种植对鄂尔多斯砒砂岩地区土壤容重、孔隙度与贮水能力的影响[J]中国沙漠,2015,35(5):1171-1176.

[18] 景贯阳,邸利,王安民,等. 甘肃泾川不同林龄人工刺槐林的土壤水分—物理特性及渗透性研究[J]. 四川农业大学学报,2017,35(2):193-198.

[19] 周米京,高城雄,郝文功,等. 灌木固沙林改良土壤效益分析[J]. 水土保持通报,2009,29(1):138-141.

[20] 李红,范素芳,张光灿,等. 黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性[J]. 水土保持通报,2010,30(1):27-30.

[21] 邱新彩,彭道黎,李伟丽,等. 北京延庆区不同林龄油松人工林土壤理化性质[J]. 应用与环境生物学报,2018,24(2):221-229.

[22] 孙培峰. 不同林龄刺槐人工林林分结构和土壤特性研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015.

(上接第 126 页)

[14] 刘杨,顾丹丹,许俊旭,等. 细胞分裂素对水稻分蘖芽生长及分蘖相关基因表达的调控[J]. 中国农业科学,2012,45(1):44-51.

[15] 孙从军,高阳俊,曹勇,等. 淀山湖河口生态浮床试验工程设计与效果研究[J]. 中国给水排水,2010,26(18):64-68.

[16] 邢春玉,吴运刚,乔镜澄,等. 水生植物群落对水华藻类的化感抑制研究[J]. 环境科学与技术,2018,41(3):35-41.

[17] Mark T B, Treavor B, Sindelar R J, et al. A floating island treatment system for the removal of phosphorus from surface waters[M]. Engineering, 2018,4(5):597-609.

[18] 范洁群,邹国燕,宋祥甫,等. 不同类型生态浮床对富营养河水脱氮效果及微生物菌群的影响[J]. 环境科学研究,2011,24(8):850-856.

[19] Naichia Y, Pulin Y, Chang Yuanhsiou. Artificial floating islands for environmental improvement[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015,47(7):616-622.

[20] Wu Qing, Hu Yue, Li Shuqun, et al. Microbial mechanisms of using enhanced ecological floating beds for eutrophic water improvement[J]. Bioresource Technology, 2016,211(7):451-456.

[21] 张择瑞,张学,郭婧,等. 3 种新型浮床植物净化富营养化水体的试验研究[J]. 中国科学技术大学学报,2018,48(3):221-228.

[22] Di Luca G A, Mufarrege M M, Hadad H R, et al. Nitrogen and phosphorus removal and Typha domingensis tolerance in a floating treatment wetland[M]. Science of the Total Environment, 2009,90(1):74-77.

[23] Zhao Fengliang, Xi Shu, Yang Xiao, et al. Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems[M]. Ecological Engineering, 2012,40(3):53-60.

[24] 罗固源,郑剑锋,许晓毅,等. 4 种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. 环境科学学报,2009,29(2):285-290.