

# 腾格里沙漠东缘沙障布设方式对土壤理化性质的影响

李晓佳<sup>1,2</sup>, 姜洪涛<sup>1,2</sup>, 周瑞平<sup>1,2</sup>, 武志博<sup>3</sup>, 海春兴<sup>1</sup>

(1.内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2.内蒙古自治区土地利用与整治工程技术研究中心, 呼和浩特 010022; 3.阿拉善盟林业治沙研究所, 内蒙古 阿拉善左旗 750306)

**摘 要:**为探索沙障布设方式对土壤性质的影响,通过野外调查与室内分析对比垂直和平铺方式布设的 4 种沙障材料(树枝、棉花秸秆、玉米秸秆和尼龙网)对土壤性质的影响,运用土壤质量指数评价了沙障对土壤质量的影响。结果表明:(1) 沙障区土壤有效氮、有效磷、有效钾、pH 值与对照具有极显著差异( $p < 0.01$ ),土壤容重与对照具有显著差异( $p < 0.05$ ),土壤容重和土壤有效氮是监测土壤质量改善的重要指标;(2) 沙障区(铺设了 44 个月)土壤表层 0—60 cm 的土壤质量平均提高了 17.990%,其中棉花杆平铺方格沙障对 0—60 cm 土壤质量的改善效果最好(提高了 30.752%);(3) 沙障的平铺布设对土壤质量的改善效果比垂直布设好,特别是在 0—40 cm 土层,沙障平铺布设区土壤质量提高了 18.437%,垂直布设区提高了 6.725%。因此沙区沙障的布设对土壤性质的改善与土壤质量的恢复具有重要影响。

**关键词:**沙障; 布设方式; 土壤质量指数; 土壤性质; 腾格里沙漠

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0050-09

## Effect of Layout Way of Sand Barrier on Sandy Soil Physicochemical Properties

LI Xiaojia<sup>1,2</sup>, JIANG Hongtao<sup>1,2</sup>, ZHOU Ruiping<sup>1,2</sup>, WU Zhibo<sup>3</sup>, HAI Chunxing<sup>1</sup>

(1.College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 2.Land Consolidation and Land Use Engineering Technology Research Center in Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010022, China; 3.Forestry Sand Control Research Institute of Alxa League, Alxa Left Banner, Inner Mongolia 750306, China)

**Abstract:** The field survey and indoor analysis were carried out to explore the effect of layout way of and barrier on sand soil properties. Four kinds of sand barrier materials (branch, cotton straw, corn straw and nylon net) were laid vertically and horizontally. The effects of sand barrier on soil properties were analyzed and soil quality were evaluated by soil quality index. The results show that: (1) there were highly significant differences between available nitrogen, available phosphorus, available potassium, pH in the sand barrier areas and those in the control area ( $p < 0.01$ ), significant difference between soil bulk density in the sand barrier areas and that in the control area ( $p < 0.05$ ); soil bulk density and soil available nitrogen are important indicators for monitoring soil quality improvement; (2) the soil quality in the 0—60 cm topsoil in the sand barrier area which has been laid for 44 months, increased by 17.990% on average, and the improvement effect of flat cotton straw checkerboard barriers on the soil quality is the best in the 0—60 cm topsoil which increased by 30.752%; (3) the improvement effect of soil quality in flat layout of sand barriers is more effective than that in vertical layout, especially in the 0—40 cm soil layer where the soil quality increased by 18.437% in the flat layout area of sand barriers, and increased by 6.725% in the vertical layout area. Therefore, the layout of sand barrier in the sand area has an important impact on the improvement of soil properties and the restoration of soil quality.

**Keywords:** sand barrier; layout way; soil quality index; soil properties; Tengger Desert

机械沙障是荒漠化防治的主要措施<sup>[1-2]</sup>,利用小麦、水稻、芦苇或其他植物的秸秆、树枝、石头、黏土、聚乙烯、拖网覆盖<sup>[3-4]</sup>、应用海藻酸钠诱导生物土壤

结皮的技术<sup>[5]</sup>等,改变下垫面性质,增加表面粗糙度,降低风速,减少风蚀,达到防风固沙的目的<sup>[6-7]</sup>。许多研究从阻沙效果出发,确定了不同区域草方格

收稿日期:2019-10-29

修回日期:2019-12-03

资助项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0501003);内蒙古自然科学基金(2018MS04009);内蒙古自治区科技重大专项课题子项目(zdxx2018058);内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY20019)

第一作者:李晓佳(1981—),女,吉林省扶余县人,博士,讲师,主要从事土地生态方面的研究。E-mail:550215021@qq.com

通信作者:姜洪涛(1983—),男(蒙古族),内蒙古通辽市人,博士,讲师,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:jianghongtao2003@126.com

沙障的适宜材料(如小麦、稻谷芦苇)、大小、高度、沙障间距等结构指标<sup>[8-11]</sup>。从经济角度出发,通过引入成本函数,设计了最佳沙障阵列<sup>[12]</sup>。此外,沙障对表层土壤性质产生影响,一旦沙子固定,土壤就开始形成<sup>[13]</sup>,为植物的生存创造条件,增加沙丘的稳定性。然而,目前针对沙障防护效果的研究主要集中在防风固沙效益方面<sup>[13-14]</sup>,关于沙障对土壤性质影响的研究尚缺乏。

腾格里沙漠位于蒙古高原西部,是中国北方年风蚀量较大的地区之一<sup>[15]</sup>,是研究沙障作用的理想场所。因此,为了更好地了解沙障在生态修复过程中的作用,本文选择腾格里沙漠东缘为研究区,旨在分析垂直和平铺布设方式下 4 种沙障材料(树枝、棉花、玉米和尼龙网)对土壤性质的影响;建立土壤质量指数,确定对土壤质量恢复效果最有效的沙障布设方式与

材料。研究提供沙障区土壤性质的基本信息,有助于开展沙障效益的综合评价。

### 1 研究区概况

本研究位于北纬 38°49′,东经 105°20′,海拔约 1 289 m,是中国沙漠化最严重的地区之一。该区地处中国内陆,具有典型的大陆性干旱气候。降水主要集中在 7—10 月,年平均降水量 71.44~116.60 mm,年平均蒸发量 2 900~3 300 mm,是年降水量的 28.30~40.59 倍。年平均气温 8.2℃,1 月平均最低气温 -25.2℃,7 月平均最高气温 23℃。年平均风速范围为 2.48~2.79 m/s<sup>[16]</sup>。土壤类型为风沙土,植被类型为沙漠植被。2013 年 10 月选择地形起伏相对一致、土壤性质相对均一的东北西南方向的条带上分别设置 8 种沙障类型,包括 4 种材料和两种布设方式(表 1)。

表 1 沙障类型与铺设参数

沙障类型	纬度 N	经度 E	海拔	沙障规格/m	障宽/cm	高度/cm	埋深/cm
树枝低立方格沙障	38°49′17.01″	105°20′28.27″	1292	1.5×1.5	1~2	15~20	10—15
树枝平铺方格沙障	38°49′42.03″	105°20′40.08″	1280	1.5×1.5	20	3~5	0
棉花杆低立方格沙障	38°49′40.23″	105°20′28.63″	1289	1.5×1.5	20	15~20	10—15
棉花杆平铺方格沙障	38°49′41.65″	105°20′28.82″	1286	1.5×1.5	20	3~5	0
玉米杆低立方格沙障	38°49′37.90″	105°20′28.52″	1290	1.5×1.5	10	15~20	10—15
玉米杆平铺方格沙障	38°49′36.33″	105°20′28.30″	1283	1.5×1.5	20	3~5	0
尼龙网方格沙障	38°49′23.85″	105°20′28.23″	1294	1.5×1.5	—	15	0
尼龙网平铺方格沙障	38°49′38.56″	105°20′28.33″	1288	1.5×1.5	20	0	0
对照区(未设置沙障 CK)	38°49′08.11″	105°20′29.53″	1291	—	—	—	—

### 2 材料和方法

目前沙障类型较多,根据沙障的布置方式,可将沙障分为垂直沙障和平铺沙障<sup>[17]</sup>。本论文研究了树枝、棉花杆、玉米杆、尼龙网 4 种材料构成的垂直和平铺沙障。2017 年 5 月 31 日,调查了这 8 种沙障。每种沙障类型取 3 个土壤剖面,分别在 0—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 深度各取 3 个土壤样品。加上对照区的 27 个土样,共获得 243 个土样。2017 年 6 月将采集的土壤样本在室内干燥,去除树根、砾石等杂质,测定了各土层的土壤性质。采用重铬酸钾氧化法<sup>[18]</sup>测定土壤有机碳(SOC)。土壤有效氮(AN)通过蒸馏法测定,有效磷(AP)通过碳酸氢钠提取—钼锑抗比色法测定<sup>[19]</sup>,有效钾(AK)通过乙酸铵萃取法测定<sup>[20]</sup>。土壤 pH 值是通过电导率获得的<sup>[20]</sup>。土壤水分(SM)由铝盒<sup>[21]</sup>在 105±2℃烘箱中干燥 6~8 h 来测定。土壤容重(SBD)用 50 cm<sup>3</sup>的环刀测定<sup>[22]</sup>。采用 spss 22.0 统计软件进行统计分析。通过配对样本 t 检验,比较两种布置方式下不同沙障材料的土壤性质差异。采用最小显著性差异法(LSD)对不同沙障的土壤性质进行了多重比较。

选取显著差异( $p<0.05$ )的土壤属性作为评价指标。土壤质量指数的计算依据见公式(1)。

$$SQI=\sum_{i=1}^nW_iS_i$$

(1)

式中:SQI 为土壤质量指数; $W$  为根据主成分分析计算出的指标的权重; $S$  为土壤指标的非线性分值<sup>[23-24]</sup>;  $n$  为选取的指标的数量<sup>[25]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 沙障对土壤有机碳的影响

采用单样本 t 检验,在不同土层深度下沙障区土壤有机碳含量与对照区无显著性差异( $p>0.05$ ),设置沙障对土壤有机碳没有明显的增加作用。除玉米杆低立方格沙障和尼龙网平铺方格沙障外各土层有机碳含量均大于对照(图 1)。在任何土层中土壤有机碳在玉米杆低立方格沙障中最小(平均 0.201 g/kg),在棉花杆平铺方格沙障(平均 0.566 g/kg)最大。沙障的材料和布置方式都是影响土壤有机碳的因素。平均而言,在任何土层中平铺布设的沙障对土壤有机碳的改善能力高于垂直布设的沙障。在沙稳系统中,为了提高系统的有机碳含量,平铺布设是一种较好的选择。

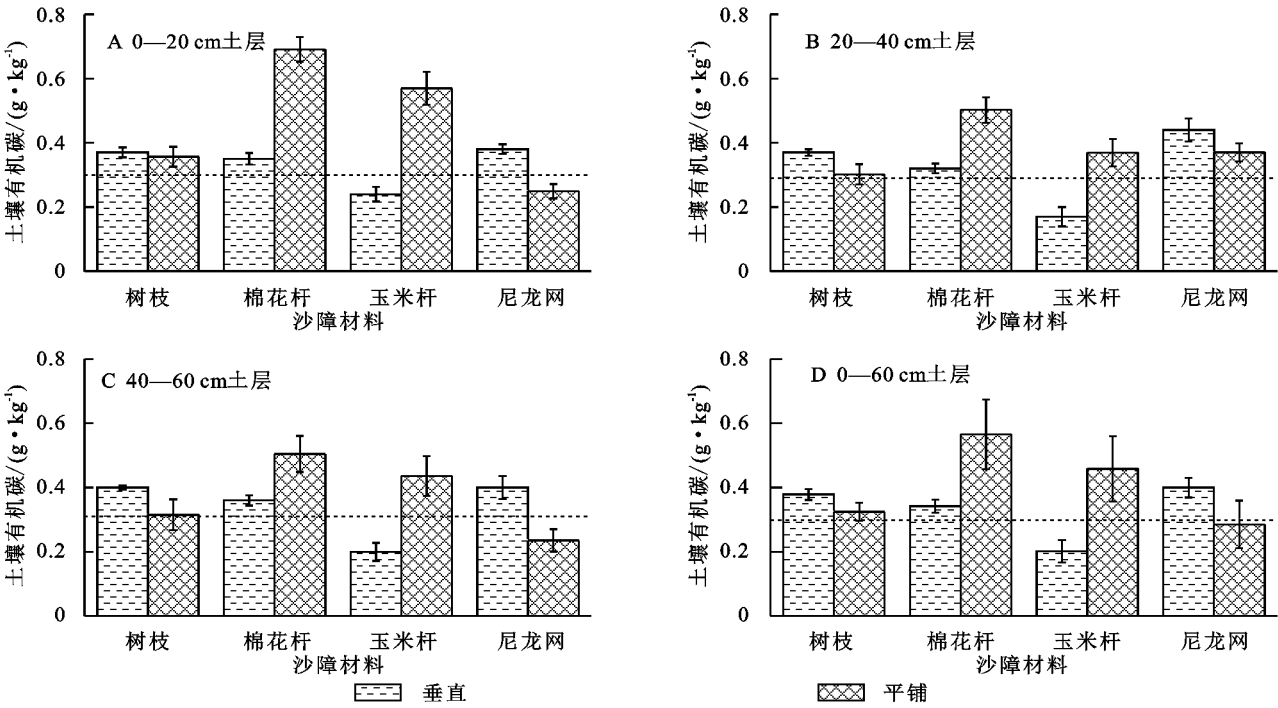


图 1 4 种沙障材料两种布设方式下土壤有机碳的变化

3.2 沙障对土壤有效氮的影响

沙障与对照区的土壤有效氮在所有土层均存在极显著差异( $p<0.01$ ),沙障的布置总体上显著增加了土壤的有效氮。

配对样本 t 检验,任何两个土层的有效氮均无显著性差异( $p>0.05$ )。棉花杆低立方格沙障的有效氮在 0—20 cm 土层(31.788 mg/kg),40—60 cm 土层

(24.288 mg/kg)和 0—60 cm 土层(22.425 mg/kg)中最大。在 20—40 cm 土层中有效氮最大的棉花杆平铺方格沙障(18.657 mg/kg)(图 2)。结果表明,对于土壤有效氮的保持,棉花可能是一种较好的沙障材料。在 0—60 cm 土层中,垂直布设方式下的土壤有效氮平均值比对照区高 14.936%,平铺布设方式下的土壤有效氮平均值比对照区高 15.087%。

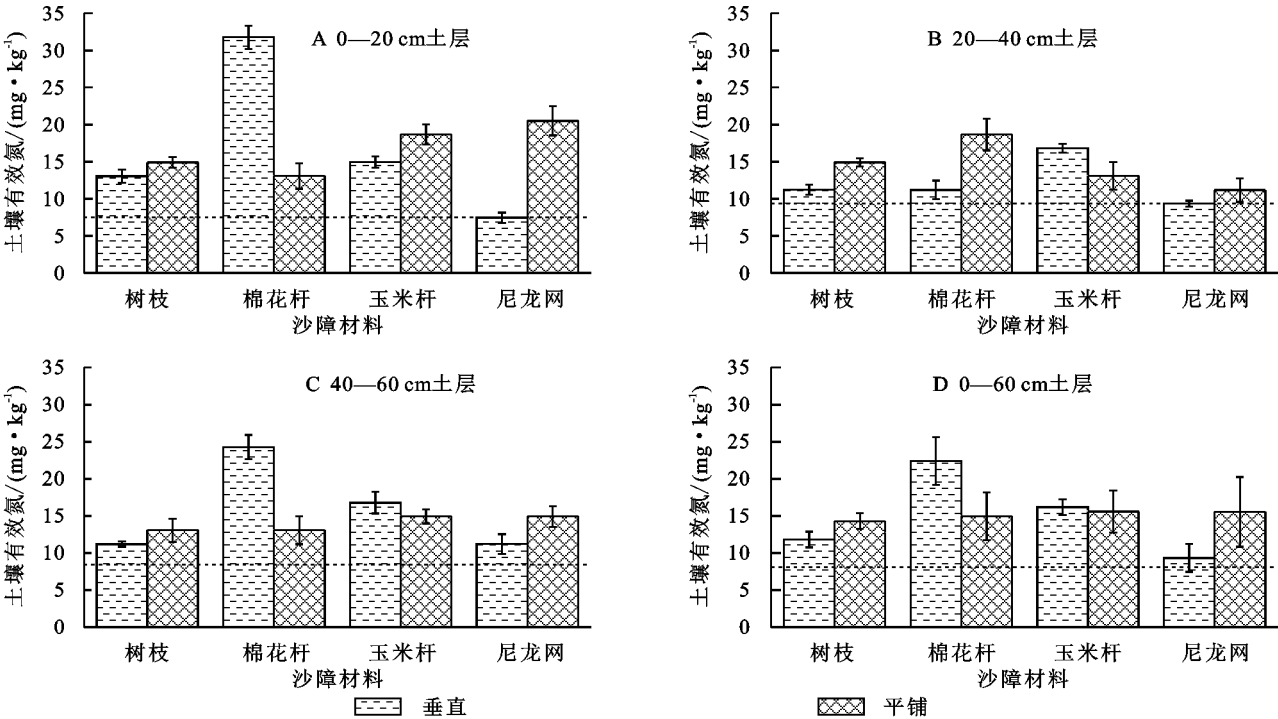


图 2 4 种沙障材料两种布设方式下土壤有效氮的变化

3.3 沙障对土壤有效磷的影响

除 20—40 cm 土层外( $p>0.05$ ),其余各土层的

有效磷均与对照区呈极显著差异( $p<0.01$ )。沙障的布置总体上降低了土壤有效磷含量,仅在树枝低立方

格沙障和棉花杆低立方格沙障的 20—40 cm 土层中土壤有效磷含量比对照区高。任何土层的有效磷在尼龙网方格沙障中最低。

除了 20—40 cm 土层中树枝低立方格沙障的土壤有效磷含量最高(3.682 mg/kg),其他土层对照区的土壤有效磷含量最高(图 3)。各土层平铺布设方

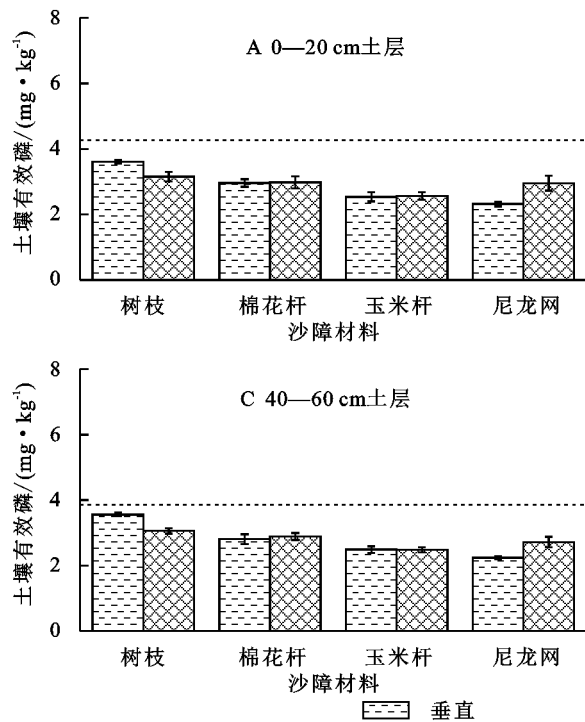


图 3 4 种沙障材料两种布设方式下土壤有效磷的变化

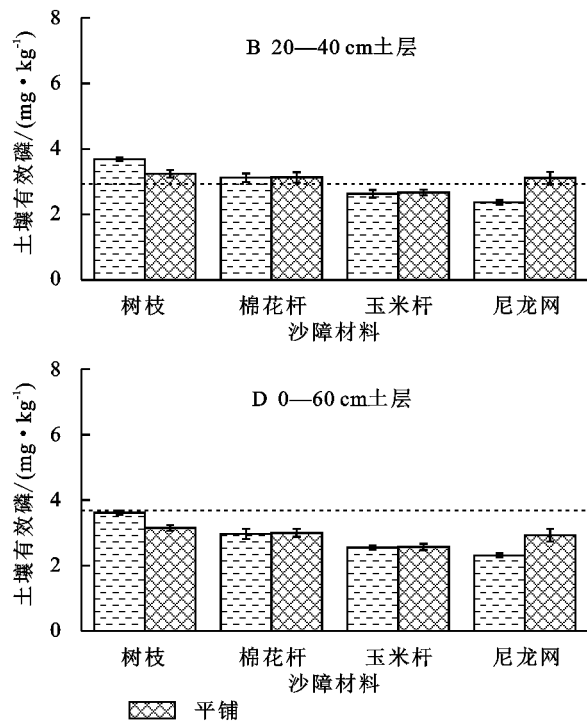
### 3.4 沙障对土壤有效钾的影响

单样本  $t$  检验表明,在不同土层深度上各沙障与 CK 的 AK 均具有极显著差异( $p < 0.01$ )。沙障的设置显著提高了土壤 AK,任一土层 8 种沙障土壤的 AK 均高于 CK。采用配对样本  $t$  检验,各土层间 AK 无显著差异( $p > 0.05$ )。0—60 cm 土层棉花杆平铺方格沙障(27.267 mg/kg)的 AK 最大(图 4)。0—60 cm 土层中垂直和水平布设的沙障有效钾平均值分别为 25.591 mg/kg 和 25.548 mg/kg,分别比对照增加 12.301%和 12.111%。

### 3.5 沙障对土壤 pH 的影响

在不同土层沙障区 and 对照区的土壤 pH 差异极显著( $p < 0.01$ )。在 0—60 cm 土层中,仅尼龙网平铺方格沙障的 pH 值(平均 7.995)高于对照区(平均 7.990)。布设沙障总体降低了土壤 pH,0—60 cm 土层内降低了 2.457%~9.771%。采用配对样本  $t$  检验,不同土层垂直和平铺布设方式的平均 pH 具有显著差异( $p < 0.05$ )。在任何土层中,垂直布置方式下的土壤 pH 都小于平铺布设方式下的土壤 pH(图 5)。在任何土层,玉米杆平铺方格沙障的土壤 pH 最小(平均 7.209),尼龙网平铺方格沙障的土壤 pH 值

式下土壤有效磷平均值均大于垂直布设方式下的土壤有效磷平均值。0—60 cm 土层深度下平铺布设方式下土壤有效磷的平均值比垂直布设方式下的大 1.805%。与对照相比,在 0—60 cm 土层垂直布设方式下土壤有效磷降低幅度为 22.436%,平铺布设方式下的降低幅度为 21.036%。



最大(平均 7.995)。

### 3.6 沙障对土壤含水量的影响

0—10 cm 土层为干沙,土壤含水量随深度呈增加趋势。0—20 cm 土层土壤含水量与其他土层的土壤含水量具有极显著差异( $p < 0.01$ ),分别为 20—40 cm,40—60 cm 和 0—60 cm 土层中土壤含水量的 19.713%,20.231%和 27.232%(图 6),沙障材料对土壤含水量的影响存在差异。土壤剖面含水量的排序为:玉米杆低立方格沙障>树枝平铺状沙障>尼龙网平铺方格沙障>对照>棉花杆平铺方格沙障>尼龙网方格沙障>树枝低立方格沙障>玉米杆平铺方格沙障>棉花杆低立方格沙障。树枝平铺状沙障有利于提高 0—20 cm 和 20—40 cm 土层的土壤含水量(分别比对照增加了 258.235%和 8.790%),玉米杆低立方格沙障有利于提高 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的土壤含水量(分别比对照增加了 43.455%和 19.345%),尼龙网平铺方格沙障有利于改善 20—40 cm 土层的土壤含水量(比对照增加了 38.585%)。在 0—20 cm,40—60 cm 和 0—60 cm 土层中棉花杆低立方格沙障的土壤含水量最小。在 20—40 cm 土层中树枝低立方格沙障的土壤含水量最小。



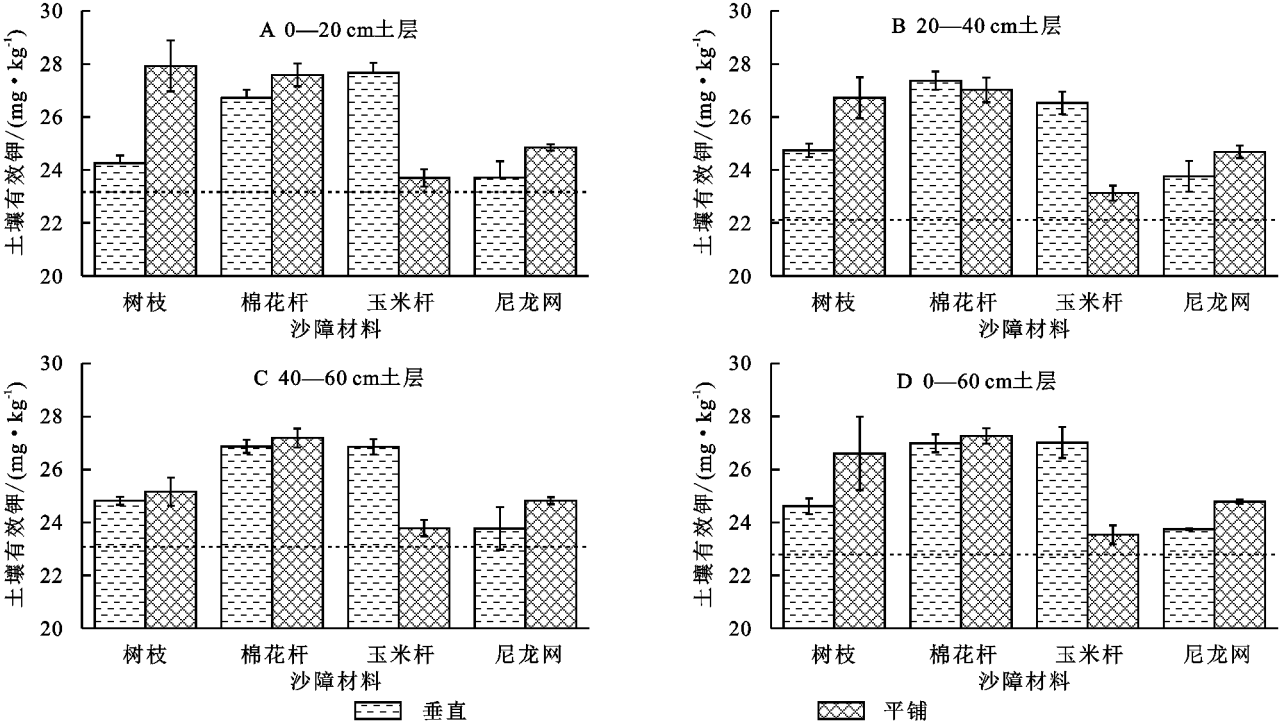


图 4 4 种沙障材料两种铺设方式下土壤有效钾的变化

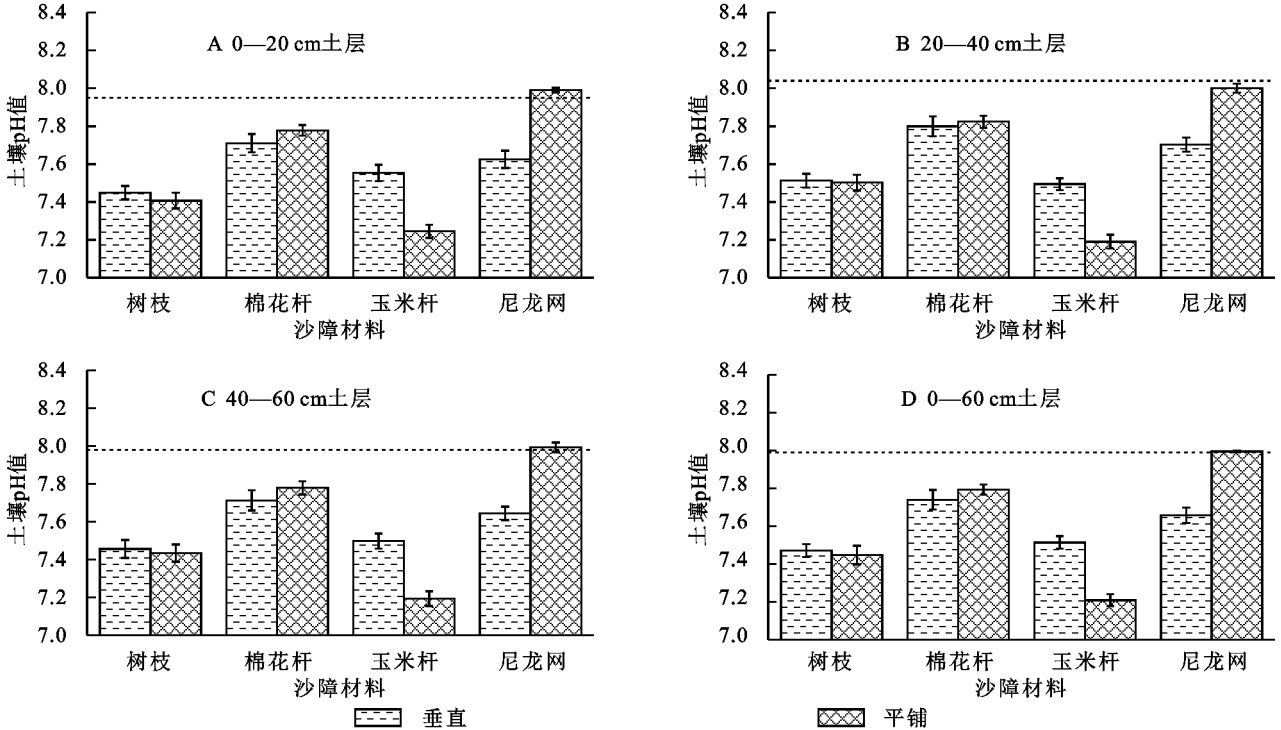


图 5 4 种沙障材料两种铺设方式下土壤 pH 值的变化

铺设方式对土壤水分的影响存在差异。垂直和平铺铺设方式下 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的平均土壤含水量均明显大于 0—20 cm 土层的平均土壤含水量。垂直铺设方式下 20—40 cm 和 40—60 cm 土层平均土壤含水量分别比 0—20 cm 土层高 600.192% 和 641.757%。平铺铺设方式下 20—40 cm 和 40—60 cm 土层平均土壤含水量分别比 0—20 cm 土层高 307.501% 和 266.314%。0—60 cm 土层垂直和平铺铺设方式的

土壤含水量平均值分别为 1.188% 和 1.300%。与对照相比,垂直铺设方式 0—60 cm 土层的土壤含水量下降了 10.038%,平铺铺设方式下 0—60 cm 土层中土壤含水量减少了 1.515%。

3.7 沙障对土壤容重的影响

0—20 cm, 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的土壤容重与对照有显著差异 ( $p < 0.05$ ), 0—60 cm 土层的土壤容重与对照呈极显著差异 ( $p < 0.01$ )。0—20

cm 土层中尼龙网平铺方格沙障的土壤容重最小( $1.710\text{ g/cm}^3$ ),2—40 cm 土层中玉米杆平铺方格沙障的土壤容重最小( $1.649\text{ g/cm}^3$ ),40—60 cm 和 0—60 cm 土层中棉花杆低立方格沙障的土壤容重最小( $1.525\text{ g/cm}^3$ , $1.672\text{ g/cm}^3$ )(图 7)。0—60 cm 土层垂直和平铺布设方式下土壤容重的平均值均为  $1.703\text{ g/cm}^3$ 。

与对照相比,垂直和水平布设方式下土壤容重的降低程度基本相同,0—60 cm 土层两种布设方式下的土壤容重分别为  $0.067\text{ g/cm}^3$ , $0.066\text{ g/cm}^3$ 。垂直布设方式下平均土壤容重随土层深度的增加明显减小,而平铺布设方式下的土壤容重随土层深度的变化不明显。

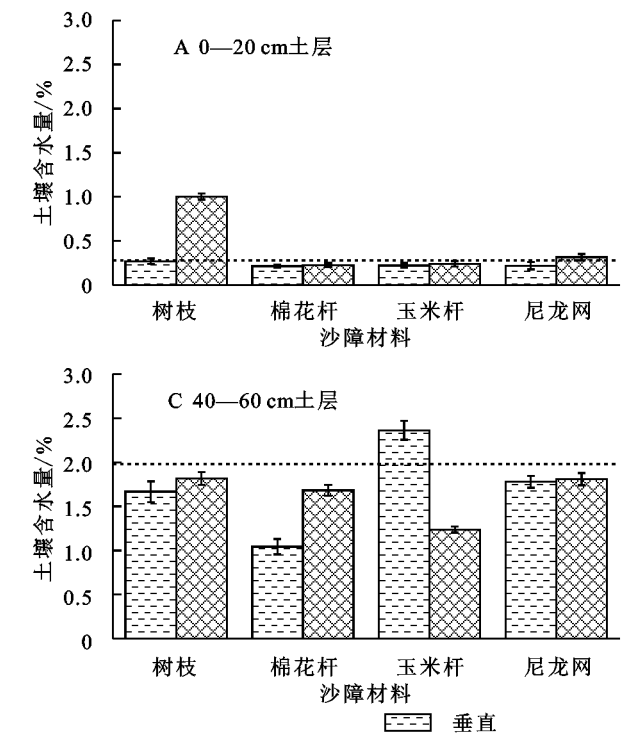


图 6 4 种沙障材料两种布设方式下土壤含水量的变化

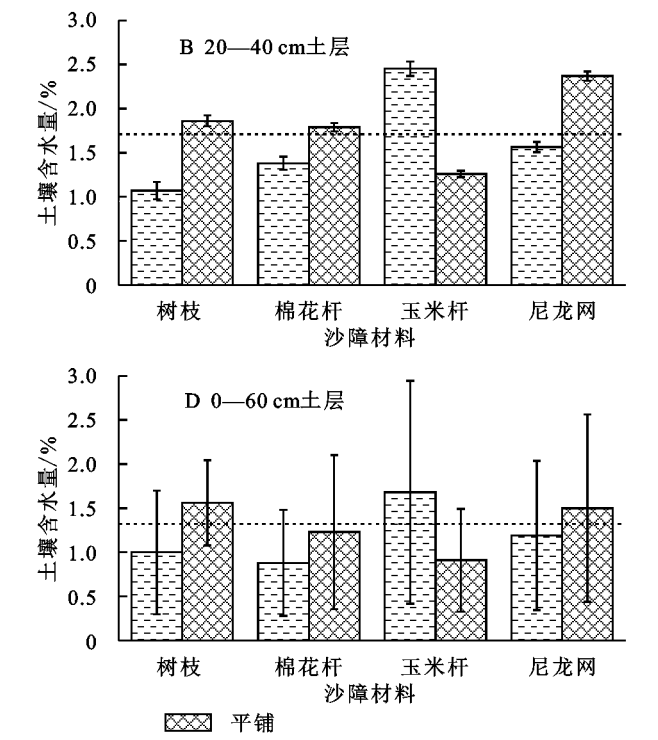


图 7 4 种沙障材料两种布设方式下土壤容重的变化

### 3.8 土壤质量指数(SQI)

0—20 cm 土层沙障区的土壤质量指数均高于对

照区,所有沙障对 0—20 cm 土层深度的土壤质量具有改善作用。20—40 cm 土层沙障区的土壤质量指

数与对照区(0.439)的土壤质量指数具有显著差异( $t=3.420, p<0.05$ )。20—40 cm 土层玉米杆低立方格沙障的土壤质量指数最高(0.561),而尼龙网方格沙障的土壤质量指数最低(0.426)。40—60 cm 土层沙障区的土壤质量指数与对照区(0.453)具有显著差异( $t=5.922, p<0.01$ ),棉花杆低立方格沙障的土壤质量指数最高(0.515),而尼龙网方格沙障的土壤质量指数最低(0.465),这些沙障均改善了 40—60 cm 土层的土壤质量。0—60 cm 土层沙障区的土壤质量指数与对照区的土壤质量指数(0.422)之间存在

极显著差异( $t=5.694, p<0.01$ ),棉花杆低立方格沙障的土壤质量指数最高(0.551),而尼龙网方格沙障的土壤质量指数最低(0.428)。经配对样本 T 检验,两种铺设方式下 4 种沙障材料的土壤质量指数没有显著差异( $p>0.05$ ),铺设方式对土壤质量的影响不显著。对于表层 0—20 cm, 20—40 cm 和 0—60 cm 土层平铺布设方式下的平均土壤质量指数高于垂直布设方式,分别高出 367.344%, 95.904% 和 63.872%;而对于 40—60 cm 土层垂直布设方式下的平均土壤质量指数比平铺布设方式高 39.498%(图 8)。

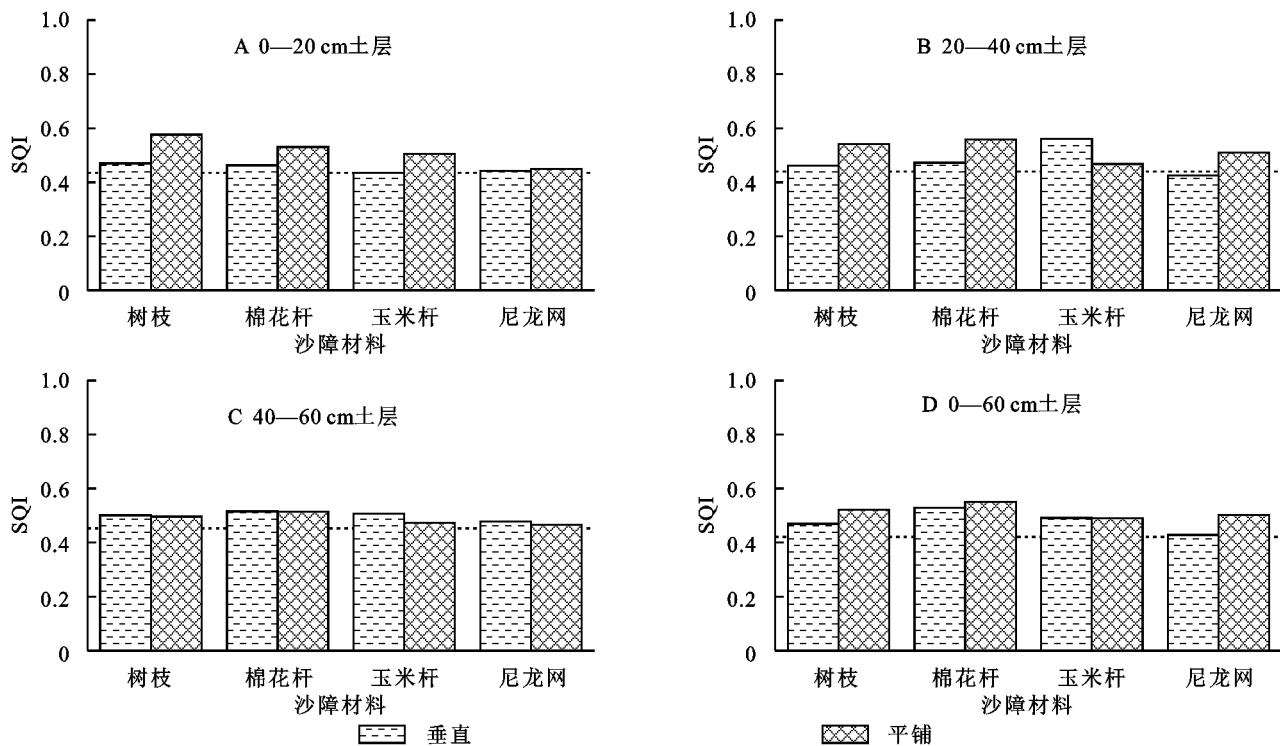


图 8 4 种沙障材料两种布设方式下 SQI 的变化

## 4 讨论

### 4.1 沙障对土壤性质的影响

本研究沙障区土壤有机碳含量与对照区无显著差异( $p>0.05$ ),沙障区土壤有效氮、有效钾含量极显著增加( $p<0.01$ )(在 0—40 cm 土层分别比对照区增加了 83.635%, 13.333%),而土壤有效磷含量极显著降低(除 20—40 cm 土层)( $p<0.01$ )。土壤有效磷在 0—20 cm 土层降低了 32.428%, 20—40 cm 土层增加了 1.988%, 0—40 cm 土层降低了 23.884%。在古尔班通古特沙漠铺设 2~3 a 的草方格沙障区土壤 0—40 cm 有效氮、有效磷、有效钾含量显著增加(分别比对照区增加了 222.93%, 23.61%, 73%)( $p<0.05$ )<sup>[26]</sup>。这可能与气候、沙障铺设的年限与所用材料、定居植物类型等有关,本研究沙障已经铺设了 44 个月,随着沙障的固沙作用,土壤发育,植物侵入,植物凋落物分解释放

出养分,土壤中有有效氮、有效钾显著增加。随着沙障的布设,土壤各土层深度的碱化程度在逐渐降低,这与植被的恢复,土壤动物、微生物与植物根系的分泌物及生物残体引起有机酸的积累有关。容重是土壤质量评价常用的物理指标,本研究沙障区 0—60 cm 土层的土壤容重显著降低,比对照降低了 2.05%~5.56%,说明布设沙障对土壤结构具有改善作用。

沙障对土壤含水量的影响程度不同<sup>[27]</sup>,土壤含水量受沙障铺设年限、沙障类型等的影响,土壤含水量的变化具有复杂性。本研究布设了 44 个月各沙障区土层的土壤含水量普遍低于对照沙地,个别沙障区表层土壤含水量高于对照区,如玉米杆低立方格沙障,其剖面土壤含水量比对照区增加了 27.273%,对土壤水分具有改善作用。

本研究 1.5 m×1.5 m、高 15 cm 尼龙网方格沙障内的土壤含水量比流动沙区降低了 9.848%,而巴

丹吉林沙漠布设了 12 a 的 1 m×1 m、高 20 cm 机械沙障土壤含水量下降,其中尼龙网方格沙障内的土壤含水量比流动沙区降低了 41.29%<sup>[27]</sup>,也有研究表明尼龙网方格沙障可促进沙面结皮的形成,对土壤含水率有一定的提高作用<sup>[28]</sup>。毛乌素沙地布设 2 a 的麦草方格沙障区土壤含水量比对照增加了 1.14 倍,5 a 的麦草方格沙障区土壤含水量比对照增加了 1.36 倍<sup>[29]</sup>。经腾格里沙漠东南缘连续三年的观测,1 m×1 m 高密度聚乙烯(HDPE)蜂巢式沙障和草方格沙障区 0—70 cm 土层中土壤含水量高于对照<sup>[30]</sup>。库布其沙漠铺设了 6 个月后的 HDPE 沙障和植物纤维网沙障对保持土壤含水量有增加作用<sup>[31]</sup>。垂直布设方式对土壤含水量影响不显著,与科尔沁沙地尼龙网沙障的布设结果一致<sup>[32]</sup>。

## 4.2 土壤质量指数

土壤表层 0—60 cm 深度的变异以有效氮和土壤容重为主要指标,占 36.028%。因此,土壤容重和有效氮是判别沙障类型和监测 4 种沙障材料下土壤质量改善的重要指标。0—60 cm 土层中沙障区的土壤质量指数比对照区的平均提高了 17.990%,说明所调查的沙障改善了 0—60 cm 土层的土壤质量。沙障材料影响土壤质量指数,0—20 cm 土层土壤质量的改善效果为树枝>棉花>玉米杆>尼龙网,分别比对照增加了 20.280%,14.284%,8.152%,2.511%。0—60 cm 土层土壤质量的改善效果为棉花>树枝>玉米杆>尼龙网,分别比对照增加了 28.088%,17.561%,16.481%,10.386%。两种布设方式相比,0—20 cm 土层平铺沙障的土壤质量指数的改善水平是垂直沙障的 3.673 倍,0—60 cm 土层平铺沙障的土壤质量指数的改善水平是垂直沙障的 0.639 倍。平铺布设方式主要改善土壤 0—40 cm 的土壤质量,比对照平均提高了 18.437%,垂直布设方式主要增加了 40—60 cm 的土壤质量,比对照平均提高了 10.516%,这可能与沙障的侵蚀堆积特征有关。平铺式沙障是固沙型沙障<sup>[18]</sup>,平铺式防沙网固定表层沙的能力和抗风蚀作用较强<sup>[28]</sup>,立式防沙网具有较好的阻沙效果。

## 5 结论

(1) 腾格里沙漠东缘沙障布设对土壤性质的影响存在差异,其中对土壤有效养分的影响最显著。沙障的布设极显著增加了土壤有效氮和有效钾含量,极显著降低了土壤有效磷、pH 值和土壤容重,对土壤有机碳和土壤含水量的影响不显著。

(2) 铺设了 44 个月的沙障对土壤质量具有改善作用,使 0—20 cm 土层的土壤质量平均提高了 11.183%,

0—60 cm 土层的土壤质量平均提高了 17.990%。

(3) 布置方式和沙障材料影响土壤质量。从土壤质量的改善来看,总体上平铺布设优于垂直布设,0—60 cm 土层平铺布设方式下的土壤质量指数的改善水平比垂直方式高 63.872%。在 0—20 cm 土层,树枝沙障区土壤质量的恢复效果最好,提高了 20.280%;0—60 cm 土层棉花沙障对土壤质量的恢复效果最好,提高了 28.088%。在 0—60 cm 土层,棉花杆平铺方格沙障对土壤质量的恢复效果最好,比对照的土壤质量指数高 25.424%。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所.中国寒区旱区环境与工程科学 50 年[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] 丁新辉,刘孝盈,刘广全.我国沙障固沙技术研究进展及展望[J].中国水土保持,2019,0(1):35-37.
- [3] Cheng J J, Xue C X. The sand-damage-prevention engineering system for the railway in the desert region of the Qinghai-Tibet plateau[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2014,125:30-37.
- [4] 常兆丰,仲生年,韩福桂,等.黏土沙障及麦草沙障合理间距的调查研究[J].中国沙漠,2000,20(4):111-113.
- [5] Peng C R, Zheng J L, Huang S, et al. Application of sodium alginate in induced biological soil crusts: enhancing the sand stabilization in the early stage[J]. Journal of Applied Phycology, 2017,29(3):1421-1428.
- [6] 孙保平.荒漠化防治工程学[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [7] 慈龙骏.中国的荒漠化及其防治[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [8] Li X R, Xiao H L, He M Z, et al. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions[J]. Ecological Engineering, 2006,28(2):149-157.
- [9] Tian L H, Wu W Y, Zhang D S, et al. Characteristics of erosion and deposition of straw checkerboard barriers in alpine sandy land[J]. Environmental Earth Sciences, 2015,74(1):573-584.
- [10] Buckley R. The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind[J]. Nature, 1987,325(6103):426-428.
- [11] Arens S M, Baas A C W, Van Boxel J H, et al. Influence of reed stem density on foredune development[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2010,26(11):1161-1176.
- [12] Lima I., Araújo A., Parteli E, et al. Optimal array of sand fences[R]. Sci Rep 7, 45148(2017), <https://doi.org/10.1038/srep45148>.
- [13] Guo Y Q, Lee I B, Shimizu H, et al. Principles of



- sand dune fixation with straw checkerboard technology and its effects on the environment[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56(3):449-464.
- [14] Qu J, Zu R, Zhang K, et al. Field observations on the protective effect of semi-buried checkerboard sand barriers[J]. *Geomorphology*, 2007, 88(1/2):193-200.
- [15] Yang D, Liu W, Wang J, et al. Wind erosion forces and wind direction distribution for assessing the efficiency of shelterbelts in northern China[J]. *Aeolian Research*, 2018, 33:44-52.
- [16] 陈超, 周广胜. 1961—2010 年阿拉善左旗气温和地温的变化特征分析[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(1):91-103.
- [17] 张奎壁, 邹受益. 治沙原理与技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [18] Walkley A, Black I A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method[J]. *Soil Science*, 1934, 37:29-38.
- [19] Olsen S R, Sommers L E. Methods of soil analysis, Part 2 Chemical and microbiological properties [M]. Madison, Wisconsin USA: Soil Science Society of America, 1982.
- [20] Jackson M I. Soil chemical analysis[M]. New Delhi: Prentice Hall of India, 1973.
- [21] Veihmeyer F, Hendrickson A. Irrigation: During a rainfall-deficient year[J]. *California Agriculture*, 1948, 2(3):3-16.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978.
- [23] Zhang C, Xue S, Liu, et al. A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China[J]. *Plant and Soil*, 2011, 347(1):163-178.
- [24] Askari M S, Holden N M. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 150:57-67.
- [25] Seker C, Ozyaytekin H H, Negis H, et al. Identification of regional soil quality factors and indicators: A case study on an alluvial plain (central Turkey) [J]. *Solid Earth*, 2017, 8(3):583-595.
- [26] 陈志超, 李宁, 刘昌华. 古尔班通古特沙漠草方格沙障对土壤养分的影响[J]. *草业科学*, 2013, 30(5):699-702.
- [27] 丁爱强, 谢怀慈, 徐先英, 等. 3 种不同机械沙障设置后期对沙丘植被和土壤粒度与水分的影响[J]. *中国水土保持*, 2018, 434(5):59-63.
- [28] 马全林, 王继和, 刘虎俊, 等. 机械沙障在退化人工梭梭林恢复中的应用[J]. *干旱区研究*, 2005, 22(4):526-531.
- [29] 张帅, 丁国栋, 高广磊, 等. 不同年限的草方格沙障对生态恢复的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(5):10-15.
- [30] 李敏岚, 屈建军, 唐希明, 等. 高密度聚乙烯 (HDPE) 蜂巢式沙障对土壤水分的影响[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(1):136-144.
- [31] 王睿, 周立华, 陈勇, 等. 库布齐沙漠机械防沙措施的防护效益[J]. *干旱区研究*, 2017, 34(2):330-336.
- [32] 牛存洋, 阿拉木萨, 宗芹, 等. 科尔沁沙地流动沙丘塑料防沙网防风固沙效果试验[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4):12-22.

~~~~~

(上接第 49 页)

- [4] Yang F S, Bi C F, Cao M M, et al. Simulation of sediment retention effects of the double seabuckthorn plant flexible dams in the Pisha Sandstone area of China[J]. *Ecological Engineering*, 2014, 71:21-31.
- [5] 许炯心. “十大孔兑”侵蚀产沙与风水两相作用及高含沙水流的关系[J]. *泥沙研究*, 2013(6):28-37.
- [6] 姚文艺, 李长明, 张攀, 等. 砒砂岩侵蚀机理研究与展望[J]. *人民黄河*, 2018, 40(6):1-7.
- [7] 任宗萍, 谢梦瑶, 马勇勇, 等. 乌兰木伦河 1960—2015 年水沙周期性分析[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(6):78-82, 97.
- [8] 慕星, 张晓明. 皇甫川流域水沙变化及驱动因素分析[J]. *干旱区研究*, 2013, 30(5):933-939.
- [9] 苏涛, 张兴昌, 王仁君, 等. 植被覆盖对砒砂岩地区边坡侵蚀的减流减沙效益[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(3):98-101.
- [10] 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.
- [11] 谢毅文, 李怀恩, 李越, 等. 砒砂岩区植物拦沙作用导致泥沙筛分效应研究[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(6):22-25.
- [12] 张传才, 秦奋, 汪永新, 等. 流域地貌形态多尺度三维形量化及尺度效应: 以砒砂岩区二老虎沟为例[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1):278-283.
- [13] 张传才, 秦奋, 张喜旺, 等. 水沙物理模型 CASC2D-SED 的 DEM 尺度效应发生机制[J]. *水文*, 2018, 38(2):15-24.
- [14] 谢悦波. 水信息技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [15] 巫尚蔚, 杨春和, 张超, 等. 基于 Weibull 模型的细粒尾矿粒径分布[J]. *重庆大学学报*, 2016, 39(3):1-12.