

黄河下游引黄灌区弃土区不同土地利用方式改良土壤功能评价

王贵霞¹, 夏江宝², 王景元³

(1. 滨州市水利局, 山东 滨州 256600; 2. 滨州学院 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603; 3. 滨州市小开河引黄灌溉管理局, 山东 滨州 256600)

摘要: [目的] 探讨黄河下游引黄灌区弃土区不同土地利用方式对土壤改良的影响, 为该区集中弃土区水土保持生态建设中植被恢复模式的构建提供科学依据和技术参考。[方法] 以山东省滨州市小开河引黄灌区的刺槐纯林、杨树+花生农林间作和大豆农田为研究对象, 测定分析不同土地利用方式下的土壤抗侵蚀能力、土壤蓄水性能及土壤养分含量等指标。采用模糊数学隶属函数法对 3 种土地利用方式的改良土壤功能进行综合评价。[结果] 3 种土地利用方式可显著增强土壤抗蚀性、改善土壤物理结构、增强土壤蓄水性能和土壤养分。土壤抗蚀能力依次表现为: 杨树+花生农林间作>大豆农田>刺槐纯林>裸地。大豆农田改善土壤物理性状能力优于刺槐纯林和农林间作; 土壤蓄水能力表现为: 大豆农田>刺槐纯林>农林间作>裸地; 在增强土壤渗透、减少地表径流方面, 农林间作最好, 刺槐纯林次之, 大豆农田最差。土壤有机质、速效氮和速效磷含量均表现为: 大豆农田>农林间作>刺槐纯林>裸地, 而土壤速效钾含量表现为: 刺槐纯林>大豆农田>农林间作>裸地。[结论] 引黄灌区弃土区改良土壤功能强弱综合评价为: 大豆农田>杨树+花生农林间作>刺槐纯林。建议在该区域水土流失治理的土地利用方式选择上优先采用大豆农田, 其次为农林间作。

关键词: 风蚀; 水蚀; 蓄水; 土壤入渗; 土壤养分; 土壤改良

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0264-06

中图分类号: S714.6

文献参数: 王贵霞, 夏江宝, 王景元. 黄河下游引黄灌区弃土区不同土地利用方式改良土壤功能评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 264-269. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.050

Evaluation of Soil Improvement Resulted from Land Use Type in Post-irrigation Spoil Area of Lower Reaches of Yellow River

WANG Guixia¹, XIA Jiangbao², WANG Jingyuan³

(1. Water Resources Bureau of Binzhou City, Binzhou, Shandong

256600, China; 2. Binzhou University, Shandong Provincial Key Laboratory of

Eco-environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou, Shandong 256603, China;

3. Xiaokaihe Bureau of Yellow River Diversion Irrigation Management, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: [Objective] Soil improvements resulted from different land use types were determined in a post-irrigation spoil area of the lower reaches of the Yellow River in order to provide scientific reference for soil & water conservation and vegetation restoration. [Methods] Three land use types as *Robinia* forest, poplar+peanut intercropped farmland and soybean farmland were selected in Xiaokaihe irrigation area of the Yellow River in Binzhou City. Anti-erosion ability, water storage capacity and nutrient content of the soils were measured. The functional soil improvements were comprehensively evaluated using membership function in fuzzy mathematics method. [Results] Obvious improvements of soil anti-erosion, physical structure, water

收稿日期: 2015-03-20

修回日期: 2015-05-14

资助项目: 山东省科技发展计划项目“黄河三角洲泥沙利用与土壤修复关键技术研究”(2013GSF11604); 山东省重点研发计划项目(2015GNC111022); 山东省省级水利科研及技术推广项目(SDSLKY201315)

第一作者: 王贵霞(1980—), 女(汉族), 山东省莘县人, 硕士, 工程师, 主要从事水土流失治理与水土保持生态建设方面的工作。E-mail: wgx66@163.com。

通信作者: 夏江宝(1978—), 男(汉族), 山东省安丘市人, 博士, 副教授, 主要从事植被恢复与生态重建方面的研究。E-mail: xiajb@163.com。

storage capacity and nutrients were observed. The rank of soil anti-erosion ability was: tree-crop intercropping of poplar+peanut>soybean farmland>*Robinia* pure forest>bare land. Soybean farmland performed better in improving soil physical structure than *Robinia* pure forest and tree-crop intercropping did. Soil water storage ability ranked as: soybean farmland>*Robinia* pure forest>tree-crop intercropping>bare land. For improving soil infiltration and reducing surface runoff, tree-crop intercropping performed the best, followed by *Robinia* pure forest, and soybean farmland behaved the worst. In respect of the improvements of soil organic matter, available nitrogen and available phosphorus content, they performed as soybean farmland>tree-crop intercropping>*Robinia* pure forest>bare land; In terms of soil available K improvement, they ranked as: *Robinia* pure forest>soybean farmland>tree-crop intercropping>bare land. [Conclusion] Comprehensive evaluation of the three land use types on improving soil function in post-irrigation spoil area of the lower reaches of the Yellow River showed as soybean farmland>tree-crop intercropping of poplar+peanut>*Robinia* pure forest. Therefore, soybean farmland is suggested as first choice for the control of soil and water loss in this area, tree-crop intercropping type is also in the list.

Keywords: wind erosion; water erosion; water storage; soil infiltration; soil nutrient; soil improvement

山东省位于黄河下游,沿黄 9 个地市现建有大面积引黄灌区 70 处,每年仅鲁北平原风沙区引黄渠网带来的泥沙大约在 $2.70 \times 10^7 \text{ m}^3 \sim 4.20 \times 10^7 \text{ m}^3$ 左右^[1-2],清淤出的弃土大量堆积形成了大面积的弃土区或沉沙高地。引黄泥沙沙粒粗,密实性差^[3],养分含量低,易板结,承载力和抗蚀能力弱,不易被利用,且在风力或水力作用下极易形成严重的水土流失。沙化治理及泥沙的综合利用是改善引黄灌区弃土区生态环境的主要技术措施。在治理过程中,不同的土地利用方式对土壤侵蚀过程、土壤水文物理参数^[4-5]、土壤养分特征以及土壤质地^[6]等影响较大。近年来,虽对黄河下游引黄灌区在水土流失综合防治,生态建设,泥沙处理与综合利用、入田泥沙对农田土壤物理性状的影响及输沙干渠两侧不同植被类型的降盐改土功能等方面^[7-10]进行了研究,但对集中弃土区或沉沙高地不同水土流失防治或生态建设技术的生态效益评价,特别是不同土地利用方式对黄河泥沙弃土的改良土壤功能研究尚未见报道。位于黄河下游的山东省滨州市小开河引黄灌区采取大比降远距离输沙技术,将泥沙输送到远离渠首 51.3 km 干渠的中游,在沉沙池集中沉沙、以挖待沉的方式减少灌区水沙含量,每年平均清淤积沙约 $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。由于每年清淤,弃土场逐年增高,缺乏工程措施和植被保护,土地沙化和水土流失现象特别严重。为此,本研究以小开河引黄灌区沉沙池弃土场治理后的刺槐纯林、杨树+花生农林间作和 3 种不同的土地利用方式为对象,并以裸地为对照,测定不同土地利用方式下的土壤抗蚀性、蓄水能力及养分指标,探讨各土地利用方式对土壤的综合改良功能,以期为该区域集中弃土区水土保持生态建设工作提供科学依据。

1 研究区概况

研究区为山东省滨州市小开河引黄灌区 ($117^{\circ}42' - 118^{\circ}04' \text{ E}$, $37^{\circ}17' - 38^{\circ}03' \text{ N}$) 沉沙池弃土场,位于小开河引黄灌区沉沙池西侧,距滨州市沾化区古城镇西北约 8 km,距无棣县城东 11 km。气候属半干旱半湿润季风气候区,有明显的季节变化,多年平均气温 12.3° C ,多年平均冻土深 35 cm,多年平均无霜期 205 d 左右,年平均日照时数为 2 736.1 h,年平均风速 3.6 m/s,年最大降雨量 1 226 mm,年最小降雨量 307 mm,多年平均降雨量 584 mm,年均蒸发量 1 282.4 mm。土壤质地为松沙土,侵蚀类型兼具雨季水力侵蚀和干旱季节风力侵蚀,侵蚀模数越为 $5\ 100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。主要树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杨(*Populus*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)及连翘(*Forsythia suspense*)等,农作物主要以花生(*Arachis hypogaea*)和大豆(*Glycine max*)为主。

2 研究方法

2.1 样地设置与样品采集

选取研究区内刺槐纯林、杨树+花生农林间作和 3 种不同的土地利用方式作为研究对象,并以该区裸地作为对照。纯林、农林间作和农田均常规管理,不进行施肥等农业措施,各土地利用方式概况详见表 1。2014 年 3 月在各土地利用方式样地内,分别选取 $200 \sim 300 \text{ m}^2$ 不等的标准样地 3 个,在各样地内按 S 形均匀布设 4 个试验样点,对 0—20 cm 土层进行采样,土壤样品风干、预处理后测定土壤理化性质。

表 1 研究区各土地利用方式概况

土地利用方式	植物名称	工程技术位置	林龄/a	胸径/cm	树高/m	枝下高/m	株行距/m
乔木纯林	刺槐	挡土坝上	3	6.69	3.11	1.45	2.5×3.0
农林间作	杨树+花生	弃土场内	3	4.08	3.82	1.65	2.0×2.5
农田	大豆	弃土场内	—	—	—	—	—
对照(CK)	—	弃土场内	—	—	—	—	—

2.2 土壤样品分析与指标测定

2.2.1 土壤抗蚀性指标的测定 在各标准样地地和对照地内,按 1 m × 2 m 的规格设置测钎,测钎顶端距地面高度为 1 cm,每月 30 日测定测钎顶端距地面的高度,测算土壤的风蚀深度(mm),重点监测风速较大的 3—6 月。同时,在各标准样地和对照地内,各插入 500 个标尺,于 2014 年 10 月测定经过雨季径流冲刷而使标尺裸露的高度,求平均值测算土壤的水蚀深度(mm),重点对降雨量较大 6—8 月进行测算分析。根据测出的土壤侵蚀深度,乘以各标准样地的土壤密度,测算土壤侵蚀量,进而根据每个月受风力或水力侵蚀历时长短测算土壤侵蚀模数。

2.2.2 土壤物理性状及蓄水指标测定 烘干法测定土壤含水量;环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度等,并计算蓄水量等各项水文物理指标。单环渗透筒法测定不同时段的土壤入渗率,应用 Horton 入渗模型拟合土壤入渗过程,求解初渗率、稳渗率等入渗特征参数。

2.2.3 土壤养分指标测定 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定,速效氮用碱解扩散法,速效钾用中性 $\text{NH}_4\text{-AC}$ 浸提火焰光度法,速效磷用 01 sen 法(恒温水浴震荡浸提)。

采用 Excel 和 SPSS 13.0 软件进行试验数据的统计分析与模拟。

2.3 土壤改良功能评价

不同土地利用方式土壤改良功能的综合评价采用模糊数学隶属函数法,计算公式为:

$$X_{(u)+} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$X_{(u)-} = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中: $X(u)$ ——隶属函数值; $X_{(u)+}$ ——与改良土壤功能呈正相关; $X_{(u)-}$ ——与改良土壤功能呈负相关; X_i ——各土地利用方式的某指标值; X_{\min} , X_{\max} ——不同土地利用方式中某指标内的最小值和最大值。

3 结果与讨论

3.1 不同土地利用方式的土壤抗侵蚀能力

由图 1—2 可知,不论是风蚀模数还是水蚀模数,各土地利用方式的大小顺序均为:杨树+花生农林间

作<大豆农田<刺槐纯林<裸地,与裸地相比,杨树+花生农林间作、大豆农田和刺槐纯林土壤风蚀模数均值分别降低了 73.5%,64.8%和 53.4%,土壤水蚀模数均值分别降低了 69.8%,67.9%和 63.7%,表明 3 种土地利用方式的土壤抗侵蚀能力较裸地明显增强,其中杨树+花生农林间作的土壤抗侵蚀能力最强,防止土壤侵蚀方面的效果最好,大豆农田次之,刺槐纯林最差,这与花生及大豆农作物都是 1 年生,郁闭较快有关,而乔木刺槐生长较慢,1~2 a 内很难达到完全郁闭,导致其林下土壤抗侵蚀能力改善较慢。不同土地利用方式土壤风蚀模数的月际动态表现一致:4 月>3 月>6 月>5 月,表明发生风蚀的月份以 4 和 3 月为主,5 和 6 月则有所降低。不同土地利用方式间土壤水蚀模数的月际动态随土地利用方式的不同表现出一定差异,杨树+花生农林间作和大豆农田土壤侵蚀模数大小的发生时间顺序为:8 月>7 月>6 月,而刺槐纯林和裸地表现为:7 月>8 月>6 月,表明水蚀主要发生在 7—8 月。

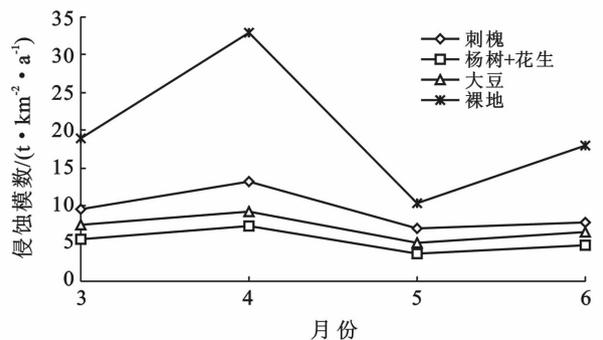


图 1 不同土地利用方式的土壤风蚀模数

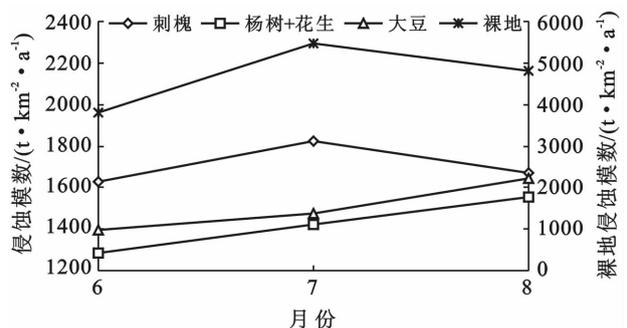


图 2 不同土地利用方式的土壤水蚀模数

3.2 不同土地利用方式的土壤蓄水功能

3.2.1 土壤物理性状 表 2 可知,各土地利用方式的土壤容重均低于裸地,孔隙度指标均高于裸地。与裸地相比,刺槐纯林、杨树+花生农林间作和大豆农田土壤容重分别降低了 26.4%,27.1%和 33.3%,总孔隙度分别增加了 82.7%,62.1%和 141.4%,毛管孔隙度分别增加了 81.6%,61.8%和 134.5%,孔隙比分别增加了 143.8%,100%和 331.3%。表明各类均具有明显改善土壤物理性状的功能,土壤容重的降低使土壤紧实度降低,通气、透水性能增强,土壤孔隙度增大有利于改善土壤结构,促其形成团粒结构,孔隙比的增加表明土壤中有效水的贮存容量较大,利于植物根系对水分的有效利用,有利于形成土壤微生物生存、土壤有机质分解、土壤养分形成与积累的物理环境。3 种土地利用方式的土壤物理性状各指标间大小顺序表现不一致,土壤容重表现为:刺槐纯林>杨树+花生>大豆农田,而孔隙度指标均表现为:大豆农田>刺槐纯林>杨树+花生。不同土地利用方式土壤物理性状存在差异,可能与不同土地利用方式内典型植物的枯落物组成、分解状况和地下根系的生长发育不同有一定关系^[11-12]。无论从土壤容重还是孔隙度指标来看,大豆农作物对土壤物理性状的改良性能均优于刺槐纯林和杨树+花生农林间作。

表 2 不同土地利用方式的土壤物理性状

土地利用方式	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔 隙度/%	毛管孔 隙度/%	孔隙比
刺槐纯林	1.28	43.92	43.45	0.78
杨树+花生农林间作	1.27	38.97	38.71	0.64
大豆农田	1.16	58.03	56.11	1.38
裸地	1.74	24.04	23.93	0.32

3.2.2 土壤蓄水性能 土壤蓄水能力的增强能提高有效渗蓄降水,防治水土流失发生^[11-12]。由表 3 可知,不同土地利用方式的各土壤蓄水指标大小顺序均表现为:大豆农田>刺槐纯林>杨树+花生农林间作>裸地。

刺槐纯林、杨树+花生农林间作和大豆农田的土壤饱和蓄水量分别是裸地的 1.8,1.6,2.4 倍,毛管最大蓄水量分别是裸地的 1.1,1.0,1.5 倍,非毛管最大蓄水量分别是裸地的 4.2,2.4,17.5 倍,土壤涵蓄降水量分别是裸地的 13.3,10.0,16.9 倍,有效蓄水量分别是裸地的 13.7,10.4,16.9 倍,表明不同土地利用方式均改善了土壤蓄水性能,在增强有效涵蓄降水、减少地表径流及防治水土流失等方面起到了显著作用,其中大豆农田最显著,刺槐纯林次之,杨树+花生农林间作最差。

表 3 不同土地利用方式的土壤蓄水指标

土地利用方式	土壤含水量/mm	饱和蓄水量/mm	毛管最大蓄水量/mm	非毛管最大蓄水量/mm	涵蓄降水量/mm	有效蓄水量/mm
刺槐纯林	23.43	87.85	86.91	0.94	64.42	63.48
杨树+花生农林间作	29.49	77.93	77.41	0.52	48.44	47.92
大豆农田	34.06	116.06	112.22	3.84	82.00	78.16
裸地	43.24	48.08	77.03	0.22	4.84	4.62

3.2.3 土壤渗透性能 土壤表层的入渗特征对地表径流量和流域产流量产生重要影响,是分析地表径流产生与否的前提和基础^[12-13]。经测算,土壤入渗 Horton 模型的模拟方程 R^2 均在 0.96 以上,拟合效果较好,因此采用 Horton 模型推算出的土壤初渗率和稳渗率作为该研究中土壤渗透性能的主要指标。由图 3 可知,各土地利用方式的土壤入渗性能明显好于裸地,大小顺序表现为:杨树+花生农林间作>刺槐纯林>大豆农田>裸地,杨树+花生农林间作、刺槐纯林和大豆农田土壤初渗率分别是裸地的 17.1,13.6 和 14.3 倍,稳渗率分别是裸地的 31.9,17.6 和 10.2 倍,3 种土地利用方式均具有提高土壤入渗性能的效应,其中杨树+花生农林间作最好,刺槐纯

林次之,大豆农田最差。土壤的渗透性能越大,越利于降雨的下渗,产生的地表径流越少,利于土壤水分的贮存。

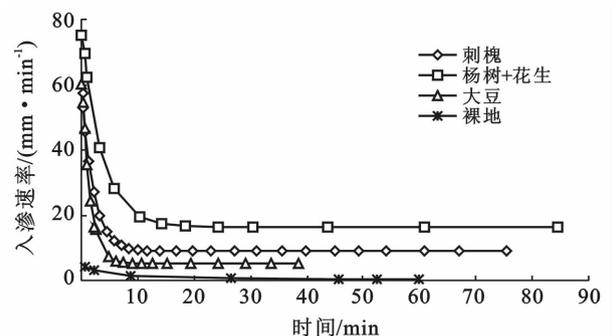


图 3 不同土地利用方式的土壤入渗曲线

3.3 不同土地利用方式改良土壤养分功能

土壤养分可以促进土壤团粒结构的形成,增强土壤的缓冲性能,并直接影响植被的生长和土地生产力^[14-15]。由图 4 可知,各土地利用方式的土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量均高于裸地,其中刺槐纯林、杨树+花生农林间作和大豆农田土壤有机质含量分别是裸地的 4.2,4.5,5.1 倍,土壤速效氮含量分别是裸地的 1.9,2.6,2.8 倍,土壤速效磷含量分别是裸地的 2.3,3.5,3.9 倍,土壤速效钾含量分别是裸地的 3.3,2.3 和 2.9 倍,表明 3 种土地利用方式均在一定程度上增加了土壤养分含量,对改良土壤团粒结构的形成,增强土地生产力方面有显著的增效。3 种土地利用方式土壤养分含量中,土壤有机质、速效氮和速效磷含量均表现为:大豆农田>杨树+花生农林间作>刺槐纯林,而土壤速效钾含量表现为:刺槐纯林>大豆农田>杨树+花生农林间作,这可能与立地条件、植被营建方式、地表凋落物厚度及分解速度和植物本身根系分布的深浅有一定的关系^[10]。土壤有机质不仅能为植物提供所需的各种营养元素,同时对土壤团粒结构的形成,土壤水分、养分的供应和保持土壤肥力的演变有重要影响^[10,16-17]。由于氮素的惰性及磷的难溶和难移动性,有效氮和有效磷成为土壤现状植物生长的重要元素^[10,15-17]。

由此可见,大豆农作物在增加土壤有机质和改善土壤肥力方面具有较大的潜力,较为适合作为弃土区短期内增加植被覆盖度,改良土壤养分的主要农作物。

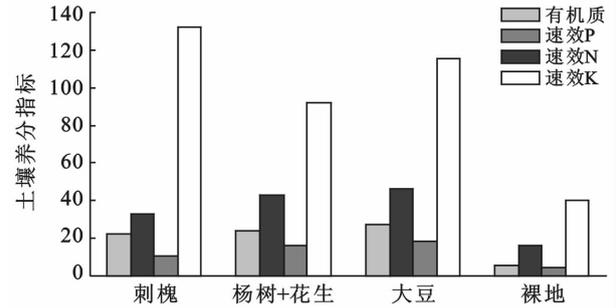


图 4 不同土地利用方式下的土壤养分指标

3.4 不同土地利用方式改良土壤功能评价

由表 4 可知,刺槐纯林改良土壤功能隶属函数值最高的为速效钾含量,其次为水蚀模数,最低的为毛管最大蓄水量,乔木纯林对土壤改良作用主要表现在增强土壤抗侵蚀能力方面。杨树+花生农林间作改良土壤功能隶属函数值较高的有风蚀模数、水蚀模数、初始入渗速率和稳定入渗速率,可见农林间作对土壤改良作用主要表现在增强土壤抗蚀性和土壤入渗方面。大豆农田改良土壤功能隶属函数值较高的为土壤容重、孔隙度等物理性状指标、各蓄水性能指标及土壤养分含量指标,可见大豆农作物对土壤的物理性状、蓄水性能和土壤养分改良作用较明显。由隶属函数总合计值可知,3 种土地利用方式的改良土壤功能为大豆农田最好,其次为杨树+花生农林间作,而刺槐纯林最差,这与农作物在短期内生长郁闭较快,枯落物分解较快且根系分布较浅有关,且由于土壤本身质量差,乔木短期内生长较慢,对改良土壤方面短期内很难见到显著效益。

表 4 不同土地利用方式改良土壤功能指标的隶属函数值

土壤功能	指标	土地利用方式		
		刺槐纯林	杨树+花生农林间作	大豆农田
土壤抗侵蚀能力	风蚀模度 ⁻	0.726	1.000	0.882
	水蚀模数 ⁻	0.912	1.000	0.974
土壤物理性状	容重 ⁻	0.793	0.810	1.000
	总孔隙度 ⁺	0.585	0.439	1.000
	毛管孔隙度 ⁺	0.607	0.459	1.000
	孔隙比 ⁺	0.434	0.302	1.000
土壤蓄水	饱和蓄水量 ⁺	0.585	0.439	1.000
	毛管最大蓄水量 ⁺	0.281	0.011	1.000
	涵蓄降水量 ⁺	0.772	0.565	1.000
	有效蓄水量 ⁺	0.800	0.589	1.000
土壤入渗	初始入渗速率 ⁺	0.779	1.000	0.826
	稳定渗透速率 ⁺	0.537	1.000	0.298
土壤养分	有机质含量 ⁺	0.778	0.858	1.000
	速效氮含量 ⁺	0.544	0.893	1.000
	速效磷含量 ⁺	0.437	0.853	1.000
	速效钾含量 ⁺	1.000	0.562	0.817
合计		10.569	10.781	14.798

注: + 表示正指标; - 表示负指标。

4 结论

(1) 不同土地利用方式下土壤风蚀模数和水蚀模数的大小顺序均表现为:杨树+花生农林间作<大豆农田<刺槐纯林<裸地。农林间作、大豆农田和刺槐纯林土壤风蚀模数均值分别比裸地降低了73.5%,64.8%和53.4%,土壤水蚀模数均值分别比裸地降低了69.8%,67.9%和63.7%。3种土地利用方式可明显改善土壤物理性状,使土壤容重降低,孔隙度增加,其中大豆农田表现最好。

(2) 3种土地利用方式均在提高有效渗蓄降水,减少地表径流,防治水土流失发生方面有显著作用。不同土地利用方式的各土壤蓄水指标大小顺序均为:大豆农田>刺槐纯林>杨树+花生农林间作>裸地。农林间作、刺槐纯林和大豆农田土壤初渗速率分别是裸地的17.1,13.6和14.3倍,稳渗速率分别是裸地的31.9,17.6,10.2倍。

(3) 3种土地利用方式均可增加土壤养分含量,刺槐纯林、农林间作和大豆农田土壤有机质含量分别是裸地的4.2,4.5和5.1倍,速效氮含量分别是裸地的1.9,2.6和2.8倍,速效磷含量分别是裸地的2.3,3.5和3.9倍,速效钾含量分别是裸地的3.3,2.3和2.9倍。

(4) 从各指标隶属函数综合评价来看,3种土地利用方式的改良土壤功能为大豆农田最好,其次为杨树+花生农林间作,刺槐纯林改良功能最差。

[参 考 文 献]

[1] 马至尊,张凤岫,邢仁良,等.海河流域鲁北平原风沙区水土流失现状与防治对策研究[J].海河水利,2006,6(2):19-22.

[2] 任宪韶.鲁北平原风沙区水土流失防治与生态安全探讨[J].中国水利,2011(6):83-85.

[3] 张巨磊,闫耕泉,王一秋.引黄灌区沉沙高地生态治理浅议[J].地下水,2013,35(3):74-75.

[4] 陈致富,魏天兴,赵健,等.陕北风蚀水蚀交错区不同植

被下土壤入渗性能差异性研究[J].水土保持学报,2009,23(3):232-235.

- [5] 马瞳宇,张晓萍,孙艳萍,等.水蚀风蚀交错区典型流域景观格局变化对土壤侵蚀过程的影响[J].水土保持学报,2012,26(4):43-48.
- [6] 张芳芳,张丽萍,王文艳,等.水蚀风蚀交错区土壤养分特征与土壤质地及水分关系[J].水土保持学报,2012,26(2):99-104.
- [7] 赵彤.引黄灌区泥沙处理研究[J].现代农业科技,2013(4):201-202.
- [8] 王娟,高飞,王一秋.引黄灌区沉沙池区水土保持生态建设探索[J].节水灌溉,2011(11):44-45.
- [9] 李秀芳.山东省小开河引黄灌区沉沙区综合治理研究[D].山东 济南:山东大学,2013.
- [10] 王晓芳,夏江宝.黄河三角洲引黄灌区不同植被类型的降盐改土功能[J].水土保持学报,2012,26(3):141-144.
- [11] 陈波,翦文灏,吕发,等.冀北山地蒙古栎天然林土壤物理性质及水源涵养功能研究[J].水土保持通报,2013,33(2):83-86.
- [12] 魏晓明,夏江宝,孔雪华,等.不同植被类型对黄河三角洲贝壳堤土壤水文功能的影响[J].水土保持通报,2014,34(4):28-32.
- [13] 夏江宝,许景伟,陆兆华,等.黄河三角洲滩地不同植被类型改良土壤效应研究[J].水土保持学报,2009,23(2):173-176.
- [14] Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003,37(2):1-16.
- [15] 陈军,张红霞,钟文,等.黄土丘陵区人工造林对不同土壤类型理化特性的影响[J].水土保持研究,2011,18(1):42-47.
- [16] 李君剑,赵溪,潘恬豪,等.不同植被类型对土壤活性有机质的影响[J].水土保持研究,2011,18(6):75-78.
- [17] 白麟,杨建英,韩雪梅,等.3种造林模式对北京北部人工水源涵养林地土壤肥力的影响研究[J].水土保持学报,2009,23(1):173-176.