不同改良剂对沙化土壤理化性质及沙米干物质量的影响

吕 涛[1,2], 魏 特[1,2], 张立欣[1,2], 袁 勤[1,2], 叶丽娜[1,2], 刘 江[1,2]
(1. 亿利资源集团有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017418; 2. 内蒙古库布其沙漠技术研究院, 内蒙古 鄂尔多斯 017418)

摘 要: [目的] 研究施加不同改良剂的沙化土壤理化性质及沙米生长状况,为沙化土地治理及生态环境修复提供科学指导。[方法] 以有机肥、亚麻籽粕、保水材料(聚丙烯酸钾)、腐殖酸等材料在库布齐沙漠西北缘典型沙化土地开展改良试验,测定施用不同改良剂的沙化土壤理化性质、微生物数量及酶活性、沙米干物质量。[结果] ①改良剂对降低沙化土壤容重和入渗速率,提高土壤总孔隙度和田间持水量效果表现为:保水剂(BSJ)>保水保肥剂(BSBFJ)>粘合剂(NHJ),并且在 0—30 cm 土层内,随着土层深度增加,3 者调节土壤物理性质的作用减弱; ②各种改良剂对降低土壤 pH 值,提高土壤速效氮和有机质的效果不明显。BSJ 对降低土壤 pH 值,提高土壤速效氮、速效磷含量效果最好,BSBFJ 对提高土壤速效钾和有机质含量效果最明显; ③3 种改良剂可以显著提高沙米的总干物质量,提高的程度表现为:BSBFJ>BSJ>NHJ; ④施用各改良剂极大程度地提高了沙化土壤中微生物数量及酶活性,NHJ 对提高土壤细菌、放线菌数量、脲酶活性效果最佳,BSBFJ 对提高土壤真菌数量、蔗糖酶活性、磷酸酶活性最佳。[结论] 不同改良材料的配合施用对沙化土壤理化性质及沙米的生长有着不同程度的改善作用。综合考虑各改良材料的改良效果,在该地区的沙化土地改良工作中 BSBFJ 为首选材料。

关键词: 土壤改良剂; 沙米; 土壤理化性状; 土壤微生物
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)02-0016-08 **中图分类号**: 156.99, 157.3

文献参数: 吕涛, 魏特, 张立欣, 等. 不同改良剂对沙化土壤理化性质及沙米干物质量的影响[J]. 水土保持通报,2020,40(2):16-23. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.003; Lü Tao, Wei Te, Zhang Lixin, et al. Effects of different soil amendments on soil physical and chemical properties and dry matter of *Agriophyllum squarrosum* in desertification land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(2):16-23.

Effects of Different Soil Amendments on Soil Physical and Chemical Properties and Dry Matter of *Agriophyllum Squarrosum* in Desertification Land

Lü Tao[1,2], Wei Te[1,2], Zhang Lixin[1,2], Yuan Qin[1,2], Ye Lina[1,2], Liu Jiang[1,2]
(1. *Elion Resources Group*, *Ordos*, *Inner Mongolia* 017418, *China*;
2. *Inner Mongolia Kubuqi Desert Technology Research Institute*, *Ordos*, *Inner Mongolia* 017418, *China*)

Abstract: [Objective] The physical and chemical properties of sandy soil the growth status of *Agriophyllum squarrosum* with different amendments were studied, in order to provide scientific guidance for the follow-up work of desertification land management and the restoration of ecological environment. [Methods] Organic fertilizer, flaxseed meal, water-retaining material (potassium polyacrylate), humic acid and other materials were used to improve sandy soils in Northwest Margin of Kubuqi Desert. The effects of different soil amendments on the soil physicochemical properties, microorganism quantity, enzyme activities and dry matter weight of *Agriophyllum squarrosum* were analyzed. [Results] ① The sequence of the effect of amendments on reducing bulk density and infiltration rate of desertified soils, and increasing total soil porosity and soil field capacity were: water retaining agent (BSJ) > water and fertilizer retaining agent (BSBFJ) > adhesive

收稿日期:2019-09-03 **修回日期**:2019-11-11
资助项目:国家重点研发计划项目"砒砂岩资源利用及生态产业技术与试验示范"(2017YFC0504506)
第一作者:吕涛(1986—),男(汉族),陕西省渭南市人,工程师,主要从事森林培育方面的工作。Email:ttm7788990@126.com。
通讯作者:魏特(1993—),男(汉族),陕西省咸阳市人,农艺师,主要从事防沙治沙方面的工作。Email:zihuanwt@163.com。

(NHJ). As the soil layer depth increases within the layer of 0—30 cm, effects of the three treatments on regulating soil physical properties weakened gradually. ② The effects of amendments on reducing soil pH value and increasing soil available nitrogen and organic matter were not obvious. BSJ had the best effect on reducing soil pH value, increasing soil available nitrogen and available phosphorus, and BSBFJ was the most effective in improving soil available potassium and organic matter content. ③ Three amendments improved the dry matter weight of *Agriophyllum squarrosum* significantly, and the specific performance was BSBFJ>BSJ>NHJ. ④ The microorganism quantity and enzyme activity in desertified soil were greatly improved by the application of amendments. NHJ had the best effect on increasing the number of soil bacteria, actinomycetes and urease activity, while BSBFJ had the best effect on increasing the number of soil fungi, invertase activity and phosphatase activity. [Conclusion] Different types of soil amelioration materials can improve the physiochemical properties of desertified land and the growth of *Agriophyllum squarrosum* at vary degrees. Considering the improving effect of three soil amelioration materials, BSBFJ could be as preferred materials for improving desertification soil in the area.

Keywords: soil amendment; *Agriophyllum squarrosum*; soil physicochemical properties; soil microorganism

土地沙化是土壤质量退化的表现之一,其发生发展将导致土壤水热条件变化、生物多样性降低、生态环境的进一步恶化。我国是全球土地沙化最为严重的国家之一,在西北地区土地荒漠化是制约区域经济发展和生态建设的重要问题之一。截至 2014 年,我国荒漠化土地面积 2.61×10^6 km^2,沙化土地面积 1.72×10^6 km^2,与 2009 年相比荒漠化土地面积与沙化土地面积均有所减少。在库布齐沙漠中段区域土地沙化的发展势头也得到有效遏制,近 10 a 来沙化土地面积年均减少 126 hm^2,总体表现为"整体遏制、持续缩减"的态势,区域沙漠化程度指数从 2003 年的 0.568 下降到 2014 年的 0.504[1]。尽管如此,防沙治沙任务仍然艰巨,已初步治理的区域生态系统尚不稳定,一些地区沙化土地仍在扩展状态。此外,荒漠化治理市场机制不健全,公众参与度也比较低。因此,加强沙化土地治理,改良沙化土壤,防止土地退化,仍是沙区农业生产和生态治理与恢复中亟待解决的重要问题。目前,库布齐沙漠的治理已取得较好成绩,植物固沙模式、工程治沙模式、分区治沙模式、治沙—生态—经济并行的多位一体综合模式,都呈现出显著效益,在国内外具有良好的典型示范效应。以往的研究在改良土壤多集中在荒漠土、盐碱土壤、重金属污染土壤、酸性土壤和强还原性土壤[2,10],改良材料以化学改良剂居多,成本较高且对土壤有潜在的污染危害。对于沙漠区域立地条件较差的沙化土地,利用新型改良材料亚麻籽粕结合其他保水材料的相关研究应用较少。本研究采用了以亚麻籽粕、农林保水材料、腐殖酸、有机肥不同组合作为低成本改良材料的改良措施,通过研究施用不同改良剂对沙化土地的治沙改土功效及对植物生长的影响,为沙化土地治理工作及生态环境的修复提供科学指导。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于杭锦旗独贵塔拉镇陈红湾(40°36′29″N,108°33′43″E),地处鄂尔多斯高原西北部库布齐沙漠西北缘亿利集团农业示范基地,平均海拔在 1 100 m。季节变化显著,冬季寒冷干燥,夏季较为温和,属温带大陆性季风气候[11]。该区多年平均气温 9.38 ℃,极端最高气温 38.10 ℃,极端最低温 −30.50 ℃,年均日照时数 3 087.4 h,≥10 ℃积温年均值为 3 196.40 ℃,无霜期 135～150 d。多年平均降雨量为 277 mm,雨热同期,降水多集中在 7—9 月,占全年降雨量的 69.77 %,年均蒸发量在 2 000～2 700 mm[12]。年平均风速在 3～4 m/s,大风日数 27～77 d。研究区土壤类型均为风沙土,沙土平均含水量为 0.64 %,平均容重达 1.50 g/cm^3。土壤颗粒组成主要为沙粒,其中黏粒含量 1.30 %,粉粒含量 3.30 %,沙粒含量 95.40 %。剖面结构不明显,主要由淋溶层和母质层构成,风蚀严重。土壤 pH 值达 8.70,速效氮含量为 16.33 mg/kg,速效磷含量为 11.39 mg/kg,速效钾含量为 28.77 mg/kg,有机质含量为 0.91 g/kg。研究区植被主要由花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙柳(*Salix cheilophila*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、沙蒿(*Artemisia salsoides*)、沙米(*Agriophyllum arenarium*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、杨柴(*Hedysarum mongolicum*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等植物为主的沙生灌丛及多年生草本植物所组成。

1.2 试验材料

①有机肥。本研究所施有机肥是以家禽粪便为原料,进行资源化开发利用采用堆肥方式生产的有机肥。②沙漠抗旱保水保肥改良剂。亚麻籽粕、保水材料(聚丙烯酸钾)、腐殖酸。③沙漠保水改良剂。保水材料(聚丙烯酸钾)、腐殖酸。④植物纤维粘合剂。亚麻籽粕(亚麻籽榨油后的副产物)、腐殖酸。⑤试验植物。以沙米为试验植物种。沙米为藜科一年生草本,茎直立具有不明显的条棱,叶无柄,披针形至条形,先端渐尖有小尖刺,是一种较为耐寒耐旱的沙生植物,主要生长于干旱半干旱地区的流动沙丘和半流动沙丘,是干旱区治沙先锋植物,也是当地常见植物种。

1.3 试验设计

试验示范田区组划分:将面积为 4 669 m^2 试验示范田分为 4 个区组,对照组(CK)、保水保肥剂组(BSBFJ)、保水剂组(BSJ)和粘合剂组(NHJ),每个区组设置 3 个重复,4 个试验区组面积分别为 667,1 334,1 334 和1 334 m^2,示范田四周种植保护行。

1.4 沙米种植方法

沙米的种植时间为 2018 年 4 月中旬。按照当地的施肥习惯 90 t/hm^2 在试验田内施入有机肥作为底肥,各改良剂按照 375 kg/hm^2 的标准施在对应的区组内,深翻 25～30 cm,每个区组内按照 45 kg/hm^2 的种植密度进行沙米的种植。

1.5 样品的采集

①土壤样品的采集。于 2018 年 8 月 17 日在各试验区组内按照对角线布置五个采样点,分别采集 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 的土壤,每层土壤样品分别取 3 个重复,将 5 个采样点对应的各土层的土样进行混合,利用四分法取混合土样,一部分挑去细根过 2 mm 筛后放入 4 ℃冰箱中保存,用于土壤微生物数量及酶活性的测定;一部分混合土样风干后过 1 mm 筛供室内化验分析测定其化学性质指标;利用环刀采集原状土测定土壤物理指标,环刀样品的采集在各试验区组内随机选 3 个点挖土壤剖面,分别采集剖面内 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 的原状土。②植物样品的采集。在各试验区组内选取有代表性的 3 个规格 1 m×1 m 的样方,采集样方内所有沙米的地上和地下部分,装入塑封袋中带回室内 105 ℃杀青,65 ℃烘干恒重测定其干物质量。

1.6 测定指标与方法

土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定;土壤碱解氮采用扩散法测定;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度计法测定;pH 值采用 5∶1 水土比浸提,用 pH-2F 数字 pH 值计测定;分析方法均按照《土壤农业化学分析方法》进行[13]。土壤容重、孔隙度、田间持水量、入渗速率采用环刀法测定,土壤质量含水量采用烘干法进行测定。土壤微生物数量和酶活性外送到内蒙古博测质检科技有限责任公司进行检测,其中细菌、真菌、放线菌的测定依据《土壤微生物生物量测定方法及应用》中的方法测定[14];脲酶、蔗糖酶、磷酸酶的测定依据《土壤酶及其研究法》中方法测定[15]。

1.7 数据处理方法

采用 Excel 软件对数据进行统计分析及作图,利用 SPSS 18.0 软件对施加不同改良剂的土壤养分、土壤物理性状、沙米干物质量等进行单因素方差分析(one-way ANOVA),利用新复极差检验法(Duncan)进行多重比较($p=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对沙化土壤物理性状的影响

与裸沙地和 CK 相比较,施用不同改良剂对 0—30 cm 沙化土壤的各物理性状有着不同程度的调节作用(表 1)。BSJ 和 BSBFJ 处理的土壤容重下降的较为明显,与 CK 相比两种改良剂的施用使土壤容重分别下降了 5.00%和 4.38%,二者分别与裸沙地组之间差异达到显著性水平($p<0.05$);裸沙地、CK,BSJ,BSBFJ 和 NHJ 各组土壤总孔隙度分别为 35.56%,35.87%,38.18%,36.85% 和 36.51%,施用 BSJ,BSBFJ,NHJ 均使土壤总孔隙度有所增加,与 CK 相比 3 者分别使总孔隙度增加了 2.31%,0.98%和0.64%,3 种改良剂只有 BSJ 与 CK 之间差异达到显著性水平($p<0.05$);裸沙地、CK,BSJ,BSBFJ 和 NHJ 各组田间持水量分别为 22.03%,22.22%,23.88%,23.62%和 22.83%,与裸沙地和 CK 相比,施用 3 种改良剂不同程度的增加了田间持水量,相比 CK,3 种改良剂施用后田间持水量分别增加了 1.66%,1.40%和 0.61%,各处理间除了 BSJ 组和裸沙地之间差异显著($p<0.05$),其余各处理之间无显著差异($p>0.05$);裸沙地、CK,BSJ,BSBFJ 和 NHJ 各组土壤入渗速率分别为 10.53,9.07,7.54,7.56 和 8.31 mm/min,与 CK 相比 3 种改良剂明显降低土壤入渗速率,降低的幅度分别为 16.87%,16.65%和 8.38 %,3 种改良剂分别与裸沙地和 CK 之间差异性达到显著性水平($p<0.05$)。

表 1　不同处理对土壤物理性状影响

处理	土壤容重/(g·cm^{-3})	土壤总孔隙度/%	田间持水量/%	入渗速率/(mm·min^{-1})
裸沙地	1.62±0.02^{a}	35.56±0.82^{b}	22.03±0.8^{b}	10.53±0.92^{a}
CK	1.60±0.03^{ab}	35.87±1.10^{b}	22.22±1.6^{ab}	9.07±0.94^{b}
BSJ	1.52±0.05^{c}	38.18±0.30^{a}	23.88±1.12^{a}	7.54±0.41^{c}
BSBFJ	1.53±0.04^{c}	36.85±1.27^{b}	23.62±1.24^{ab}	7.56±0.62^{c}
NHJ	1.55±0.06^{bc}	36.51±1.25^{b}	22.83±1.19^{ab}	8.31±0.97^{bc}

注:不同小写字母表示不同处理之间差异显著(p=0.05)。下同。

为了进一步了解各改良剂对 0—30 cm 土层范围内土壤物理性状的影响,将 0—30 cm 范围的土层划分为 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,并对个各土层物理性状变化进行方差分析(表 2)。根据表 2 的分析结果可知,相同处理下,裸沙地和 CK 各土层容重差异不显著(p>0.05),各土层的容重基本都在 1.60 g/cm^3。BSJ,BSBFJ,NHJ 这 3 种处理下 0—30 cm 各土层容重存在差异性,3 种改良剂处理在 20—30 cm 分别与其他两层之间容重差异显著(p<0.05),且 3 者都表现出随着土层的增加容重增大的趋势,表明 3 种改良剂在调节土壤容重时主要作用在 0—20 cm 范围;对比同一土层下不同处理之间差异可以发现,在 0—10 cm 和 10—20 cm,3 种改良剂均与裸沙地和 CK 之间差异显著(p<0.05),BSJ 处理的土壤容重最小,达到 1.47 g/cm^3。在 20—30 cm,各处理之间差异不显著(p>0.05),基本都维持在 1.60 g/cm^3。

表 2　不同处理下各土层土壤物理性状变化

处理	土层/cm	土壤容重/(g·cm^{-3})	土壤总孔隙度/%	田间持水量/%	入渗速率/(mm·min^{-1})
裸沙地	0—10	1.63±0.01^{Aa}	35.07±0.04^{Ab}	22.11±0.6^{Aab}	10.59±1.08^{Aa}
	10—20	1.61±0.01^{Aa}	36.32±0.27^{Ab}	22.16±0.9^{Ac}	10.82±0.57^{Aa}
	20—30	1.60±0.02^{Aa}	36.28±0.08^{Ac}	21.82±0.27^{Ab}	10.17±0.25^{Aa}
CK	0—10	1.62±0.01^{Aa}	35.53±0.44^{Bb}	20.89±1.35^{Bb}	9.12±0.4^{Aa}
	10—20	1.57±0.01^{Aa}	37.12±0.49^{Aab}	23.95±0.03^{Ab}	9.46±1.15^{Ab}
	20—30	1.60±0.001^{Aa}	36.23±0.24^{ABc}	21.82±0.12^{Bb}	8.62±0.23^{Ab}
BSJ	0—10	1.47±0.02^{Bc}	37.98±0.1^{Ba}	23.75±0.32^{Ba}	7.06±0.15^{Ba}
	10—20	1.50±0.004^{Bb}	37.97±0.04^{Ba}	25.28±0.11^{Aa}	7.72±0.29^{Ac}
	20—30	1.59±0.01^{Aa}	38.59±0.07^{Aa}	22.62±0.07^{Ca}	7.83±0.09^{Ab}
BSBFJ	0—10	1.54±0.004^{Bb}	36.04±1.37^{Bab}	22.71±0.26^{Ba}	7.77±0.32^{Aa}
	10—20	1.48±0.02^{Cb}	37.96±0.02^{Aa}	25.31±0.28^{Aa}	7.05±0.09^{Ac}
	20—30	1.58±0.01^{Aa}	37.05±1^{ABb}	22.84±0.27^{Ba}	7.86±0.64^{Ab}
NHJ	0—10	1.52±0.004^{Bb}	36.34±1.35^{Bab}	22.74±0.005^{Ba}	7.76±0.37^{Aa}
	10—20	1.51±0.02^{Bb}	38.15±0.29^{Aa}	24.14±0.54^{Ab}	8.34±0.26^{Abc}
	20—30	1.60±0.01^{Aa}	36.21±0.06^{Bc}	21.61±0.65^{Bb}	8.81±1.14^{Ab}

注:不同小写字母表示相同土层下,不同处理之间差异显著;不同大写字母表示同一处理下,不同土层之间差异显著(p=0.05)。下同。

对土壤总孔隙度分析可知,裸沙地各土层之间无显著差异(p>0.05),CK 组土壤总孔隙度表现为 0—10 cm 与 10—20 cm 之间差异显著(p<0.05)。BSJ 组土壤总孔隙度在 20—30 cm 最大,且与其他两层之间差异显著(p<0.05)。BSBFJ 和 NHJ 组的土壤总孔隙度均在 10—20 cm 最大,且与其他两层之间差异显著(p<0.05);在 0—10 cm,CK,BSJ,BSBFJ 和 NHJ 的土壤总孔隙度分别为 35.53%,37.98%,36.04% 和 36.34%,各处理组相对 CK 不同程度的提高了土壤总孔隙度,其中 BSJ 组与 CK 之间差异显著(p<0.05)。在 10—20 cm,裸沙地与其他处理之间差异显著(p<0.05),其他处理之间差异不显著(p>0.05),3 种改良剂中 NHJ 处理的土壤孔隙度最大达到 38.15%。在 20—30 cm,BSJ 和 BSBFJ 处理的总孔隙度与 CK

之间差异显著($p<0.05$),其中BSJ处理的土壤孔隙度最大达到38.59%,NHJ与CK差异不显著($p>0.05$)。

对比相同处理不同土层的田间持水量可以发现,裸沙地各土层之间无显著差异($p>0.05$)。CK,BSBFJ,NHJ各土层之间差异性表现出10—20 cm与其他两层之间差异显著($p<0.05$),BSJ各土层之间差异均达到显著性水平($p<0.05$),并且CK,BSJ,BSBFJ,NHJ的田间持水量在0—30 cm范围内均表现出先增大后减小的趋势;在0—10 cm,裸沙地和CK与各处理之间差异显著($p<0.05$),BSJ,BSBFJ,NHJ之间差异不显著,BSJ处理的田间持水量最大为23.75%,BSBFJ和NHJ的田间持水量相差不大。在10—20 cm和20—30 cm表现出相同的规律,BSJ,BSBFJ与其他处理之间差异显著($p<0.05$),在10—20 cm土层,BSJ和BSBFJ的田间持水量处于较高的水平,分别为25.28%和25.31%,20—30 cm土层范围内BSJ和BSBFJ的田间持水量分别为22.62%和22.84%。

通过分析土壤入渗速率可知,裸沙地和CK的土壤入渗速率处于较高的水平,且0—30 cm内各土层之间无显著差异($p>0.05$)。BSJ中0—10 cm的土壤入渗速率与其他两层之间差异显著($p<0.05$),BSBFJ和NHJ在0—30 cm内各土层之间差异不显著($p>0.05$),BSJ和BSBFJ处理的土壤入渗速率处于相对较小的水平,基本都维持在8 mm/min以下;在0—10 cm各处理之间无显著差异($p>0.05$),BSJ,BSBFJ,NHJ处理相比较CK有所下降,3者之间入渗速率相差不大。在10—20 cm范围内BSJ和BSBFJ分别与裸沙地和CK之间差异显著($p<0.05$),NHJ与CK之间差异不显著($p>0.05$)。在20—30 cm,3种改良剂处理后的土壤入渗速率与CK之间无显著差异($p>0.05$)。

2.2 不同改良剂对沙化土壤pH值和养分的影响

表3为不同处理下沙化土壤化学指标的变化情况。由表3可知,BSJ处理的土壤pH值与其他处理之间差异显著($p<0.05$),对调节沙化土壤酸碱度效果相对明显,其他各处理之间差异不显著($p>0.05$);各处理之间土壤速效氮变化较大,裸沙地速效氮含量最低为14.51 mg/kg,BSJ处理的土壤速效氮含量最高为21.00 mg/kg,BSJ处理分别与裸沙地和NHJ处理的土壤速效氮差异显著($p<0.05$);各处理之间速效磷变化较大,裸沙地速效磷含量最低为14.69 mg/kg,BSJ处理的土壤速效磷含量最高为24.85 mg/kg,BSJ处理与裸沙地、CK、BSBFJ的土壤速效磷之间差异显著,3种改良剂中BSJ和NHJ处理的土壤速效磷含量较高,而BSBFJ处理的土壤速效磷相对较低与CK组相近;各处理之间速效钾含量差异较大,各处理的速效钾含量分别为28.89,69,74.24,103.36和99.64 mg/kg,BSBFJ和NHJ的施用对提高土壤速效钾效果相对明显,BSBFJ和NHJ与CK之间差异显著($p<0.05$),BSJ与CK之间差异不显著($p>0.05$);各处理之间有机质含量相差不大,裸沙地有机质含量最低为1.03 g/kg,BSBFJ处理的土壤有机质含量最高为2.91 g/kg,除了裸沙地组与BSBFJ组之间差异显著($p<0.05$),其他各处理之间差异不显著($p>0.05$)。

表3 不同处理对土壤化学性质影响

处理	pH值	速效氮/(mg·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	有机质/(g·kg^{-1})
裸沙地	8.53±0.12^{a}	14.51±1.27^{b}	14.69±1.05^{c}	28.89±11.3^{c}	1.03±0.16^{b}
CK	8.51±0.09^{a}	18.58±3.20^{ab}	18.49±1.76^{bc}	69.00±1.53^{b}	2.00±1.01^{ab}
BSJ	7.82±0.19^{b}	21.00±3.96^{a}	24.85±3.72^{a}	74.24±1.10^{b}	1.68±1.00^{ab}
BSBFJ	8.38±0.13^{a}	16.62±3.84^{ab}	18.78±1.37^{bc}	103.36±8.95^{a}	2.91±1.15^{a}
NHJ	8.44±0.13^{a}	15.75±2.58^{b}	22.53±6.55^{ab}	99.64±4.05^{a}	2.09±1.24^{ab}

由于不同改良剂作用于沙化土壤上对养分的保留及肥料的累积效应,导致各处理下土壤速效养分存在差异(表3)。结合全国第二次土壤普查分级标准(表4)可以发现[16],各个处理对调节土壤速效氮作用不太明显,各处理的土壤速效氮均处于极缺的水平;未施用改良剂的土壤速效磷处于中等水平,3种改良剂中BSJ的施用对提高土壤速效磷相对较好,BSJ处理的土壤速效磷达到较丰富的水平;裸沙地的土壤速效钾处于极缺的状态,CK,BSJ,NHJ组土壤速效钾处于较缺的水平,施用保水剂对土壤速效钾调节作用不明显,施用BSBFJ对调节土壤速效钾的效果相对较好,土壤速效钾含量处于中等水平;裸沙地和CK组的土壤有机质含量均处于极缺的水平,通过添加3种改良剂后土壤有机质含量变化较小,BSBFJ处理的土壤有机质含量最高,各处理有机质含量依然处于极缺的水平。

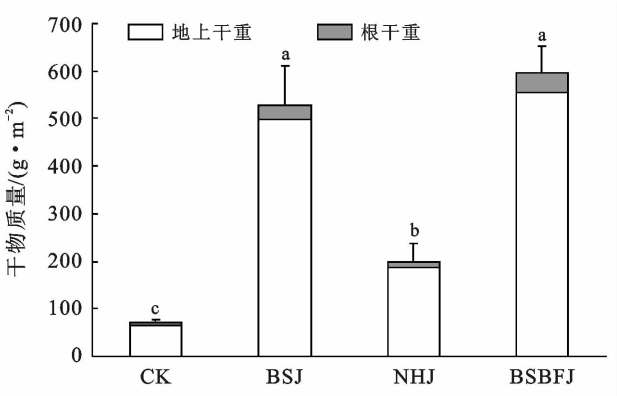
表 4　全国第二次土壤普查分级标准

分级标准	速效氮/(mg·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	有机质/(g·kg^{-1})
丰富	>150	>40	>200	>40
较丰富	120—150	20—40	150—200	30—40
中等	90—120	10—20	100—150	20—30
较缺	60—90	5—10	50—100	10—20
缺	30—60	3—5	30—50	6—10
极缺	<30	<3	<30	<6

2.3　不同改良剂对沙米干物质量和土壤微生物数量及酶活性的影响

通过分析不同处理下沙米的干物质量(图 1),可知 CK,BSJ,NHJ,BSBFJ 处理的沙米干物质总量分别为 72.10,526.74,199.35 和 595.68 g/m^2,地上部分干重分别为 65.97,497.94,187.12 和 553.46 g/m^2,3 种改良剂的施用显著提高沙米的干物质量。BSJ,NHJ,BSBFJ 处理的沙米干物质量均与 CK 之间差异显著($p<0.05$),BSJ 与 BSBFJ 处理的沙米干物质量之间差异不显著($p>0.05$)。由此可以看出 3 种改良剂 BSBFJ 处理对提高沙米干物质量效果最佳,其次是 BSJ,最后为 NHJ。

不同处理下土壤细菌、真菌、放线菌的数量不同并且相差较大(表 5)。土壤细菌含量的高低表现为:裸沙地<CK<BSJ<BSBFJ<NHJ;BSJ,BSBFJ,NHJ 处理的土壤细菌数量分别为 CK 的 10.2,45 和 60 倍,施用 NHJ 对提高沙化土壤细菌数量效果最佳,细菌数量达到 7.80×10^6 CFU/g;各处理土壤真菌含量高低表现为:裸沙地<CK<NHJ<BSJ<BSBFJ;NHJ,BSJ,BSBFJ 处理的土壤真菌数量分别为 CK 的 7,11.2 和 21.6 倍,施用 BSBFJ 对提高土壤真菌数量效果最明显,真菌数量达到 7.80×10^6 CFU/g;各处理土壤放线菌含量高低为:裸沙地<CK<BSBFJ<BSJ<NHJ;BSBFJ,BSJ,NHJ 处理的土壤放线菌数量分别为 CK 的 1.8,2.6 和 5.2 倍,施用 NHJ 对提高土壤放线菌数量效果最佳,土壤放线菌数量为 1.07×10^7 CFU/g。



注:不同小写字母表示不同处理下沙米总干物质之间差异显著($p=0.05$)

图 1　不同处理下沙米干物质量

表 5　不同处理土壤微生物数量及酶活性

处理	细菌/(cfu·g^{-1})	真菌/(cfu·g^{-1})	放线菌/(cfu·g^{-1})	脲酶/(μg·g^{-1})	蔗糖酶/(mg·g^{-1})	磷酸酶/(μg·g^{-1})
裸沙地	1.10×10^4	6.70×10^4	5.60×10^5	7.80	0.12	5.40
CK	1.30×10^5	1.69×10^5	2.04×10^6	11.00	0.36	7.20
BSJ	1.32×10^6	1.90×10^6	5.25×10^6	13.00	0.61	12.80
BSBFJ	5.85×10^6	3.65×10^6	3.75×10^6	14.40	1.50	29.30
NHJ	7.80×10^6	1.19×10^6	1.07×10^7	15.90	0.95	22.50

裸沙地和 CK 组中的土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶酶活性相比 3 种改良剂处理的土壤酶活性相对较低。其中各处理土壤脲酶活性高低为:裸沙地<CK<BSJ<BSBFJ<NHJ;NHJ 处理的土壤脲酶活性最高为 15.90 μg/g,相对 CK 土壤脲酶提高了 44.50 %;各处理的土壤蔗糖酶活性高低顺序表现为:裸沙地<CK<BSJ<NHJ<BSBFJ;BSBFJ 处理的土壤蔗糖酶活性最高为 1.50 mg/g,相对 CK 土壤蔗糖酶提高了 316.60%;各处理的土壤磷酸酶活性高低为裸沙地<CK<BSJ<NHJ<BSBFJ;BSBFJ 处理的土壤磷酸酶活性最高为 29.30 μg/g,相对 CK 组土壤磷酸酶提高了 306.90%。

3　讨论

土壤的物理性质是影响植物生长的重要因素之一,土壤物理性质的差异直接影响着其矿质养分的供应,进而影响作物的生长[17]。沙化土壤中施入不同的改良剂可以有效调节土壤的物理性状,研究结果表明,BSJ 和 BSBFJ 对降低沙化土壤容重和土壤入渗速率、提高土壤总孔隙度和田间持水量优于 NHJ。分析原因主要是因为 BSJ 和 BSBFJ 的成分中含有农林保水剂材料聚丙烯酸钾,这些保水材料吸水后膨胀,由颗粒状变成多枝纤维状填充原有的土壤孔隙[18],使得土体膨胀从而降低了土壤容重,增加其土壤总孔

隙度和田间持水量，当保水材料溶于水后使水的粘滞度增加，水分在土壤中流动摩擦力增大渗透速率就会下降。而 NHJ 则是通过其包含的亚麻籽胶具有较强的黏合力，促进土壤中的微团聚体结构的形成，增加沙化土壤中的小孔隙数量，来实现降低容重和渗透速率，提高孔隙度和田间持水量。类似的员学峰[19]的研究也发现，土壤中施入 PAM 可以有效降低土壤容重，增加土壤的孔隙度。此外，PAM 易于将周围分散的土粒和矿质物质胶结在一起形成微团聚体，增强土壤的保水性能。3 种改良剂在 0—30 cm 范围处理的土壤容重和田间持水量表现为在 0—20 cm 土壤容重显著降低，田间持水量明显增加，而 20—30 cm 土壤容重和田间持水量基本没有改变。BSBFJ 和 NHJ 对土壤总孔隙度的调节作用不强，而 BSJ 对 0—30 cm 各层土壤总孔隙度的调节作用相对明显，在 0—10 cm 土壤总孔隙度增大的幅度最大。3 种改良剂在 0—30 cm 范围对土壤入渗速率降低的程度表现为：BSJ＞BSBFJ＞NHJ，并且随着土层增加降低土壤入渗速率效果减弱。根据以上分析可知，3 种改良剂在降低沙化土壤容重和入渗速率，提高土壤总孔隙度和田间持水量效果表现为：BSJ＞BSBFJ＞NHJ，并且随着土层增加 3 者调节土壤物理性质作用减弱，这可能受改良剂和沙米根系活动共同作用影响。植物在适应水分胁迫条件根系主要有两种表现，一方面其根系表层化，趋向于浅层土壤区域，以充分利用降雨，从而占据更强的竞争优势；另一方面根系会向下延伸至深层土壤，以保证其获取充足的水分。沙米的根系表现出深根性的特点，黄刚[20]等在科尔沁沙地的研究发现沙米的主根通常可以伸入土层达 60 cm，其侧根主要集中 20—30 cm。植物的根系生长旺盛时会对其周围土壤有一定的挤压作用，使其周围土壤变得紧实。宋自影等[21]研究发现，植物的根系会对土壤产生不同大小的机械压力，并随土层呈现出一定变化。因此，在本研究中 3 种改良剂调节土壤物理性质的作用会随着土层增加而减弱。

3 种改良剂的施用不同程度的降低了土壤中的 pH 值，BSJ 对降低土壤 pH 值效果最好，分析原因是保水材料吸水膨胀，切断土壤上下部的毛管孔隙，降低其土壤水分蒸发，进而实现降低土壤 pH 值。3 种改良剂对提高土壤速效氮和有机质的效果不明显，3 者处理的土壤速效氮和有机质含量依然处于极缺的水平。这主要是因为沙米在种植过程中仅仅施入有机肥作为底肥，在生长过程中未进行追肥，沙化土地自身有机质含量与速效氮含量处于极缺的水平。各处理的土壤速效磷和速效钾含量相比 CK 均有所增加，其中 BSJ 和 NHJ 处理的土壤速效磷由中等水平提高至较丰富水平，BSBFJ 处理的土壤速效钾含量由较缺提高至中等水平。毛思帅[22]的研究也发现，沙地中种植燕麦时加入保水剂等材料，在收获期土壤速效磷和速效钾含量明显提高。这主要是因为改良材料中的聚丙烯酸钾与土壤中小颗粒结合形成团聚体结构，增加了对水分和养分的吸附能力，当植物生长需要时释放出来[23]。而亚麻籽胶可以使沙子相互之间形成约束力，提高沙化土壤颗粒之间的粘合力，进而改变沙化土壤结构，促进沙化土壤内团聚体结构形成，增加土壤保肥效果。

4 结 论

(1) 3 种改良剂对降低沙化土壤容重和入渗速率、提高土壤总孔隙度和田间持水量效果表现为：保水剂(BSJ)＞保水保肥剂(BSBFJ)＞粘合剂(NHJ)，且随着土层深度增加，3 者调节土壤物理性质的作用减弱。

(2) BSJ 对降低土壤 pH 值、提高土壤速效氮、速效磷含量效果最好，BSBFJ 对提高土壤速效钾和有机质含量效果最明显，NHJ 对调节土壤养分作用不明显。3 种改良剂对提高沙米的总干物质量程度表现为：BSBFJ＞BSJ＞NHJ。

(3)各改良剂可以有效地提高沙化土壤中微生物数量及酶活性，NHJ 对提高土壤细菌、放线菌数量、脲酶活性效果最佳，BSBFJ 对提高土壤真菌数量、蔗糖酶活性、磷酸酶活性最佳，BSJ 在提高土壤细菌、脲酶活性、蔗糖酶活性和磷酸酶活性作用不明显，对提高土壤放线菌和真菌数量的效果是介于 BSBFJ 和 NHJ 之间。

(4) 综合考虑改良剂对调节土壤理化性质、微生物数量、酶活性及沙米干物质量的作用，3 种改良剂效果表现为：BSBFJ＞BSJ＞NHJ，建议在库布齐地区沙化土地改良工作中应优先选择 BSBFJ。

[参 考 文 献]

[1] 王翠萍. 库布齐沙漠中段沙化土地动态变化及驱动力分析[J]. 林业资源管理，2018(1)：63-71，154.

[2] 刘玉环，闫治斌，王学，等. 功能型土壤改良剂对灰棕荒漠土的改良效果[J]. 土壤通报，2018，49(1)：150-158.

[3] 邵华伟，崔磊，许咏梅，等. 滴施改良剂对新疆盐碱土改良及甜菜产量的影响[J]. 中国土壤与肥料，2018(2)：49-53.

[4] 田冬，桂丕，李化山，等. 不同改良措施对滨海重度盐碱地的改良效果分析[J]. 西南农业学报，2018，31(11)：2366-2372.

[5] Motojima H, Yamada P, Irie M, et al. Amelioration effect of humic acid extracted from solubilized excess sludge on saline-alkali soil [J]. Journal of Material Cycles & Waste Management, 2012, 14(3):169-180.
[6] 李旭霖,刘庆花,柳新伟,等.不同改良剂对滨海盐碱地的改良效果[J].水土保持通报,2015,35(2):219-224.
[7] 郑普山,冯悦晨,郝保平,等.盐碱地改良剂对紫花苜蓿生长的影响[J].山西农业科学,2012,40(5):466-469.
[8] 杜志敏,郝建设,周静,等.四种改良剂对铜和镉复合污染土壤的田间原位修复研究[J].土壤学报,2012,49(3):508-517.
[9] 易琼,杨少海,黄巧义,等.改良剂对反酸田土壤性质与水稻产量的影响[J].土壤学报,2014,51(1):176-183.
[10] 侯红乾,冀建华,刘秀梅,等.土壤改良剂对鄱阳湖区潜育性稻田的改良作用研究[J].土壤通报,2016,47(6):1448-1454.
[11] 王文彪,党晓宏,张吉树,等.库布齐沙漠北缘不同作物秸秆平铺式沙障的防风效能[J].中国沙漠,2013,33(1):65-71.
[12] 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.
[13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
[14] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006.
[15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
[16] 全国土壤普查办公室.第二次全国土壤普查暂行技术规程[M].北京:中国农业出版社,1979.
[17] Letey J,袁剑舫.土壤物理性质和作物生产的关系[J].土壤学进展,1987,15(1):40-44,39.
[18] 刘东,任树梅,杨培岭.聚丙烯酰胺(PAM)对土壤水分蓄渗能力的影响[J].灌溉排水学报,2006,25(4):56-58,63.
[19] 员学锋,吴普特,汪有科,等.施加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究[J].水土保持通报,2003,23(2):26-28.
[20] 黄刚,赵学勇,苏延桂.科尔沁沙地 3 种草本植物根系生长动态[J].植物生态学报,2007,31(6):1161-1167.
[21] 宋自影,王飞,胡林,等.根系对土壤 机械压力影响的模拟试验[J].农业工程学报,2011,27(11):101-106.
[22] 毛思帅,Islam M R,贾鹏飞,等.保水剂和施肥量对沙地燕麦生产的影响[J].麦类作物学报,2011,31(2):308-313.
[23] 谢国雄,季淑枫,孔樟良,等.改良剂对粉砂质涂地土壤水稳定性团聚体形成和养分供应能力的影响[J].农学学报,2015,5(1):46-50.

(上接第 15 页)

[9] 王志成,方功焕,张辉,等.基于高空与地面观测的阿克苏河流域气候水文要素变化分析[J].气候变化研究进展,2018,14(1):1-10.
[10] 付必谦,张峰,高瑞如.生态学实验原理与方法[M].北京:科学出版社,2006.
[11] 杨冰,张旭贤.四川福宝地区苔藓植物物种多样性研究[J].绿色科技,2016(13):10-13.
[12] 曹娓,胡永歌,陈冰,等.扶项高速公路边坡植被特征与稳定性比较[J].水土保持通报,2017,37(6):129-135.
[13] 鲁延芳,占玉芳,钱万建,等.河西走廊中部人工沙漠植被典型群落物种的多样性[J].水土保持通报,2018,38(4):14-18.
[14] 吕光辉,杜昕,杨建军,等.阜康绿洲—荒漠交错带荒漠植被群落稳定性[J].干旱区地理,2007,30(5):660-665.
[15] 张景慧,黄永梅.生物多样性与稳定性机制研究进展[J].生态学报,2016,36(13):3859-3870.
[16] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems [J]. Science, 2007,317(5834):58-62.
[17] 高东,何霞红.生物多样性与生态系统稳定性研究进展[J].生态学杂志,2010,29(12):2507-2513.
[18] Hector A, Hautier Y, Saner P, et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding [J]. Ecology, 2010,91(8):2213-2220.
[19] 张景慧,黄永梅.生物多样性与稳定性机制研究进展[J].生态学报,2016,36(13):3859-3870.
[20] 张雪妮,吕光辉,王庭权,等.荒漠区垂直河岸带植物多样性格局及其成因[J].生态学报,2015,35(18):5966-5974.
[21] 张晓龙,周继华,蔡文涛,等.水分梯度下黑河流域荒漠植物群落多样性特征[J].生态学报,2017,37(14):4627-4635.
[22] 赵永全,何彤慧,夏贵菊,等.不同控水条件下芦苇生长与光合特征研究[J].西北林学院学报,2015,30(1):69-74.
[23] 赵新风,徐海量,张鹏,等.养分与水分添加对荒漠草地植物群落结构和物种多样性的影响[J].植物生态学报,2014,38(2):167-177.