

沙质土壤改良剂对科尔沁地区风沙土 物理性质及玉米产量的影响

周磊¹, 刘景辉¹, 郝国成², 赵宝平¹

(1. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古三岩矿业有限公司, 内蒙古 通辽 028300)

摘要: 一次性在沙地施加沙质土壤改良剂, 研究了其在不同年份对科尔沁沙地风沙土土壤团聚体含量、土壤贮水量以及玉米产量影响的长效机制。结果表明, 各处理均能显著提高 0—40 cm 土层间粒径大于 0.25 mm 的团聚体含量, 能促进粒径 0.1~0.25 mm 小团聚体逐渐向粒径为 0.25~0.5 mm 和粒径大于 2 mm 的大团粒结构转变, 其中以第 4 a 的 0—10 cm 土层处理表现最为明显, 粒径 0.1~0.25 mm 小团聚体较 CK 减少了 34.55%, 粒径 0.25~0.5 和大于 2 mm 的大团粒结构分别较 CK 增加了 1.63 和 12.31 倍; 在贮水量方面, 施入土壤改良剂第 3 a, 第 4 a, 第 2 a 以及第 1 a 分别较 CK 提高了 42.21%~48.48%, 32.48%~38.11%, 28.35%~34.3% 和 19.15%~29.47%; 在产量方面, 各处理间差异均显著, 各处理较 CK 增产幅度在 15.1%~59.62%。施加沙质土壤改良剂在前 3 a 可逐年改善土壤团粒结构、贮水能力和提高产量, 说明其具有显著的改土和增产效果。

关键词: 沙质土壤改良剂; 土壤团聚体; 土壤贮水量; 玉米产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0044-05

中图分类号: S152.4

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.016

Effects of Soil Amendment on Soil Physical Properties and Maize Yield in Aeolian Sandy Soil of Khorchin Region

ZHOU Lei¹, LIU Jing-hui¹, HAO Guo-cheng², ZHAO Bao-ping¹

(1. Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Inner Mongolia Trirock Co. Ltd., Tongliao, Inner Mongolia 028300, China)

Abstract: Soil amendment was applied by one-time in aeolian sandy soil to study its long-term effects on physical properties and the yield of maize planted in the following years. The results showed that the sandy soil amendment treatments significantly improved soil aggregate content which particle size were greater than 0.25 mm in 0—40 cm soil layer, promoted the small particle size between 0.1~0.25 mm and enhanced the transformation of particles of 0.1~0.25 mm into 0.25~0.5 mm and particles greater than 2 mm, especially in 0—10 cm soil layer at the fourth year. Compared with CK, the soil particle size between 0.1~0.25 mm in 0—10 cm soil layer of the fourth annual treatment decreased by 34.55%, and the soil particle size in 0.25~0.5 and greater than 2 mm were increased by 1.63 times and 12.31 times than CK. The soil water content, increased by 42.21%~48.48%, 32.48%~38.11%, 28.35%~34.3% and 19.15%~29.47% compared to CK in the third, fourth and first year treatment. There was a significant differences among the treatments in maize yield, the yield of treatments increased by 15.1%~59.62% compared to CK. After the first three years, sandy soil amendment treatments applied could significantly improve soil aggregate structure, water storage capacity and maize yield, which showed that sandy soil amendment has remarkable effects on soil improving and yield-increasing.

Keywords: sandy soil amendment; soil aggregate; soil water content; maize yield

收稿日期: 2014-05-23

修回日期: 2014-07-21

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项“东北地区黑土保育及有机质提升关键技术与示范”(201303126); 农业科技成果转化“沙质土壤改良剂及生产应用技术示范与推广”(sq2012eca400008)

作者简介: 周磊(1988—), 男(汉族), 山西省代县人, 硕士研究生, 研究方向为耕作制度与农业生态系统。E-mail: jolay789@163.com。

通信作者: 刘景辉(1965—), 男(汉族), 内蒙古自治区通辽市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统。E-mail: cauljh@163.com。

奈曼旗位于内蒙古东部,科尔沁沙地南缘,是中国北方农牧交错带沙漠化最严重的地区之一,土地退化普遍较为严重^[1],2012 年奈曼旗沙漠化土地占土地总面积的 46.82%^[2]。风沙土是这里发展农、林、牧业的重要土地资源,漏水漏肥、养分匮乏、易旱、易遭风蚀、低产是其主要特点^[3]。土壤作为作物根系生长发育的环境,它不仅要供给作物生长过程所需要的营养物质,而且还要供应作物正常生理机能所必需的水分和空气^[4]。土壤质量被视作是衡量环境质量、食品安全及经济生存能力的一项综合指标^[5]。它既能反映土壤管理的变化,也能反映土壤退化恢复的能力^[6]。而土壤团聚体是土壤结构的基本单位,对土壤许多物理—化学性质、植物生长、肥性等有着重要影响^[7]。

玉米是科尔沁沙地的主要粮食作物,其播种面积占当地总播种面积的 70% 以上^[8]。中国籽粒玉米产量中有 75% 作为能量饲料使用,其产量及饲用价值对农牧交错地区具有重要意义^[9],由此可见,改善风沙土团粒结构对提高风沙土土壤质量以及提高作物产量具有重要意义。土壤改良剂的出现为解决上述问题提供了一个可行有效的途径,土壤改良剂能够显著地提高土壤 >0.25 mm 团聚体含量^[10],提高土壤贮水量^[11],提高作物产量^[12]。目前对土壤改良剂的研究主要集中在比较改良地与未改良地在当年土壤理化性质和作物产量间的变化,而对施加改良剂多年后的土壤变化情况以及对作物产量间的变化研究较少。本文通过一次性在沙地上施加沙质土壤改良剂,连续观察其以后 4 a 间对土壤物理性质以及作物产量的影响,探讨其对土壤物理性质影响及长效性机制,以期当地改造沙地、变沙地为良田提供一条可行的途径,并为沙质土壤改良剂的应用、推广提供技术指导。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 5—10 月在内蒙古自治区奈曼旗境内的大沁他拉镇沙质土壤改良剂推广示范基地进行,地处中国北方半干旱农牧交错带东端的科尔沁沙地腹地,地理坐标为 42°—43°N,120°—121°E,海拔 360 m。属温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热,雨量集中在 6—8 月,年平均降雨量 364.6 mm,秋季凉爽短促,冬季漫长寒冷。年均气温 6.4 °C,全年 ≥10 °C 的有效积温为 3 151.2 °C,无霜期 151 d,年均蒸发量为 1 934.4 mm。试验地土壤属典型的风沙土,土壤机械组成:砂粒 96.35%,粉粒 1.86%,黏粒 1.79%,土壤肥力偏低。

1.2 供试材料

供试玉米品种为郑单 958,供试土壤改良剂为沙质土壤改良剂,内蒙古三岩矿业有限公司提供,所含成分组成比例为:钠化膨润土 91%,生物素 6%(腐殖酸为主),碳酸钠 2%,植物纤维素 1%。

1.3 试验设计

试验采用随机区组试验,5 个处理:CK(对照,不施);A(2013 年施入,施入后为第 1 a);B(2012 年施入,施入后为第 2 a);C(2011 年施入,施入后为第 3 a);D(2010 年施入,施入后为第 4 a)。沙质土壤改良剂施量为 30 t/hm²(该用量为内蒙古三岩矿业有限公司通过试验确定的最佳用量),均匀撒于地表后进行旋耕,旋耕深度为 25 cm。每个处理小区在其当年春季施用沙质土壤改良剂后,以后不再施加。共 5 个处理,重复 3 次,共 15 个小区,每个小区面积为 40 m²,播深 6 cm,行距 50 cm,株距 30 cm,小区播量 45 kg/hm²。

试验小区施用肥料为磷酸二铵(N:P:K=18:46:0),用量为 270 kg/hm²;分别在大喇叭口期和抽雄期追施尿素:300 和 150 kg/hm²。灌水按照当地种植习惯进行,全生育时期灌溉 7 次,每次灌水量 1 650 m³/hm²,各处理其他田间管理方法与当地生产相同。

1.4 测定项目及方法

(1) 土壤质量含水量。采用烘干法测定。用土钻钻取玉米播前、拔节期、大喇叭口期、抽雄期和收获期的土样,其中拔节期、大喇叭口期、抽雄期测定的土壤质量含水量是在灌溉后第 3 d 取样测定的。用铝盒装取,取样深度为 200 cm,其中 0—20 cm 每 10 cm 为 1 层,20—200 cm 每 20 cm 为 1 层。测定方法用烘干称重法,每个重复取 3 个样。其公式为:

$$W = (S_w - S_d) / S_d \times 100\% \quad (1)$$

式中:W——土壤质量含水量(%); S_w ——湿土质量(g); S_d ——干土质量(g)。

(2) 土壤贮水量。通过土壤容重和土壤质量含水量的测定计算得出,计算公式为:

$$h = H_s \times W \times d \times 10 \quad (2)$$

式中: h ——土壤贮水量(mm); H_s ——土层深度(cm); W ——土壤质量含水量(%); d ——土壤容重(g/cm³)。

(3) 土壤容重。采用环刀法测定^[13]。用环刀取收获期土壤容重,取样深度为 100 cm,其中 0—20 cm 每 10 cm 为 1 层,20—100 cm 每 20 cm 为 1 层。

(4) 土壤团粒结构。采用机械筛分法测定。在作物收获后,分别取 0—10,10—20,20—40 和 40—

60 cm 土层原状土样,重复 3 次,待土样自然风干后进行级配测定。

(5) 作物产量。于作物成熟后,每个处理取 2 m² 进行理论测产,重复取样 3 次,待风干后脱粒称籽粒重量,产量折成 14% 水含量。

(6) 产量构成。每个处理随机选取 10 穗有代表性的果穗,测定其穗长、突尖长、茎粗、行粒数、千粒重(折成 14% 水含量),测定 3 次求平均值。

1.5 数据分析

实验数据采用 Microsoft Excel 和 SAS 9.0 统计软件计算。

2 结果与分析

2.1 沙质土壤改良剂对 0—40 cm 土层土壤各粒径团聚体含量的影响

沙质土壤改良剂对不同处理间 0—40 cm 土层土壤各粒径团聚体含量的影响情况不同(图 1)。施

加沙质土壤改良剂后均能提高 0—40 cm 各土层 >0.25 mm 团聚体的含量,减少 <0.25 mm 团聚体的含量,其中各土层 >0.25 mm 的团聚体增加最多的是 >2 mm 部分,说明大团聚体在逐渐增加;各土层 <0.25 mm 的团聚体减少最多的是 0.1~0.25 mm 部分,说明在加入沙质土壤改良剂后小粒径团聚体逐渐在向大粒径团聚体转变,而各土层各处理 0.5~1 和 <0.1 mm 部分团聚体含量变化不大,基本维持一个稳定的状态。在 0—40 cm 土层中,0.1~0.25 mm 的团聚体含量最大,<0.1 mm 的团聚体含量最小;不同土层间 >0.25 mm 的团聚体增加幅度和 <0.25 mm 的团聚体减少幅度大小变化一致,幅度大小变化顺序依次均为:0—10>20—40>10—20 cm, >2 和 0.25~0.5 mm 的团聚体变化趋势基本一致,表现为随着施入沙质土壤改良剂年限的增加而增加,0.1~0.25 mm 团聚体变化趋势基本一致,随着施入沙质土壤改良剂年限的增加而减少。

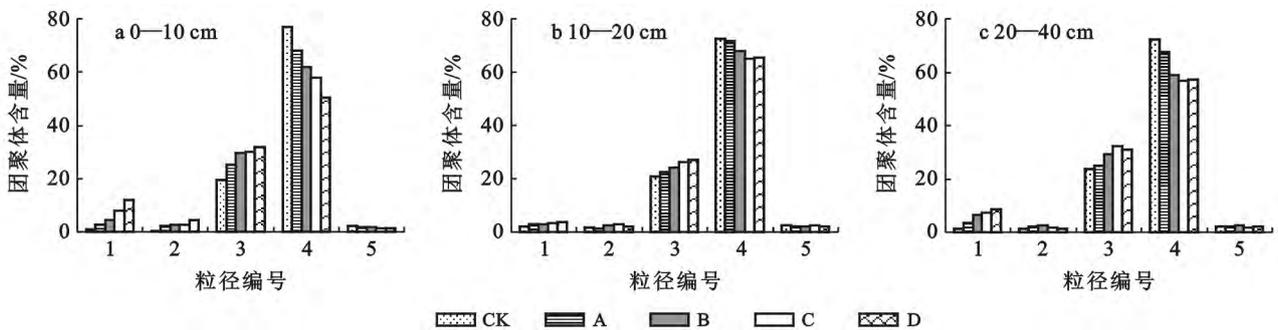


图 1 沙质土壤改良剂对 0—40 cm 土层土壤各粒径团聚体含量的影响

注:横坐标标值 1,2,3,4,5 分别代表粒径为 >2,0.5~1,0.25~0.5,0.1~0.25,<0.1 mm 的团聚体。

在 0—10 cm 土层中,>2 和 0.1~0.25 mm 团聚体变化最大,在 >2 mm 团聚体中,各处理团聚体含量较 CK 均高,且均与 CK 差异显著,各处理 >2 mm 团聚体含量大小随着施入年限的增加而增加,分别(第 1,2,3 和 4 a 依次和对照相比,以下均相同)为对照的 2.95,4.57,8.23 和 12.31 倍,随着施入年限的增加,后一年分别较前一年(4 较 3 a,3 较 2 a,2 较 1 a,以下均相同)依次提高了 48.69%,81.12% 和 54.69%;在粒径为 0.1~0.25 mm 团聚体中,各处理团聚体含量均较 CK 低,且均与 CK 差异显著,其他处理随着施入年限增加而降低,分别较对照减少 11.33%,19.61%,24.73% 和 34.55%,后一年依次比前一年依次减少 13.03%,6.37% 和 9.34%;在 0.1~0.25 mm 部分团聚体含量大幅减少的同时 0.25~0.5 mm 部分团聚体含量却在增加,施加沙质土壤改良剂的各处理较 CK 增加 1.29~1.63 倍,后一年分别较前一年

依次提高了 5.59%,1.35% 和 17.93%。

在 10—20 cm 土层中,>2 和 0.1~0.25 mm 团聚体变化最大,在 >2 mm 团聚体中,各处理团聚体含量较 CK 均高,且均与 CK 差异显著,处理 C,D 分别与处理 A,B 差异显著,但处理 C 与 D 差异不显著,处理 A 和 B 差异不显著,各处理 >2 mm 团聚体含量大小随着施入年限的增加而增加,施加沙质土壤改良剂的各处理较 CK 增加 1.20~1.61 倍,后一年分别较前一年依次提高了 3.11%,19.06% 和 9.32%;在 0.1~0.25 mm 团聚体中,各处理团聚体含量均较 CK 低,除处理 A 外,其他处理均与 CK 差异显著,处理 A,B,C 和 D 之间,除 C,D 之间差异不显著外,其他处理之间差异显著,各处理 0.1~0.25 mm 团聚体含量大小顺序为:不施(CK)>第 1 a>第 2 a>第 4 a>第 3 a,分别较对照减少了 1.25%,6.25%,10.74% 和 9.86%;施加沙质土壤改良剂的各处理在粒径为 0.25

~0.5 mm 的团聚体含量中较 CK 增加 1.07~1.28 倍,后一年分别较前一年依次提高了 2.75%,7.67% 和 8.38%。

20—40 cm 土层状况与 10—20 cm 土层相似,但各处理 >2 和 0.25~0.5 mm 团聚体含量均高于 10—20 cm,0.1~0.25 mm 团聚体含量低于 10—20 cm,各处理 0.1~0.25 mm 团聚体含量大小顺序变为:不施(CK)>第 1 a>第 2 a>第 3 a>第 4 a。

2.2 沙质土壤改良剂对 0—40 cm 土层 >0.25 mm 土壤团聚体含量的影响

土壤团聚体是土壤结构的基本单位,是土壤的重要组成部分,土壤团聚体的稳定性对土壤肥力、土壤养分循环和土壤的可持续利用有很大的影响^[14],同时也决定土壤通气透水性,粒径>0.25 mm 的团粒对土壤的农学价值评价起主要作用^[15]。由图 2 可以看出,各土层各处理 >0.25 mm 团聚体含量均高于 CK,CK 中 >0.25 mm 团聚体含量随着土层深度的增加而增加,其他各处理 >0.25 mm 团聚体含量在 0—40 cm 土层间的变化趋势基本表现为:0—10 >20—40 >10—20 cm。在 0—10 cm 土层间,随着施入年限的增加,>0.25 mm 团聚体在逐渐增加,各处理间差异均显著,后一年分别较前一年依次提高了 18.17%,11.38%和 22.1%,改良后的处理较 CK 增加幅度为 44.34%~131.9%。10—20 cm 土层间,除处理 A 外其他处理均与 CK 差异显著,处理 C,D 均与其他处理间差异显著,但二者差异不显著,分别较 CK 增加了 6.36%,20.02%,32.2%和 31.77%,其中处理 C 最好,其次为处理 D。在 20—40 cm 土层间,各处理与 CK 差异均显著,处理 B,C,D 与 A 差异均显著,但三者之间差异不显著,施加沙质土壤改良剂的各处理较 CK 增加了 17.06%~60.03%,其中处理 C 最好,其次为处理 D。

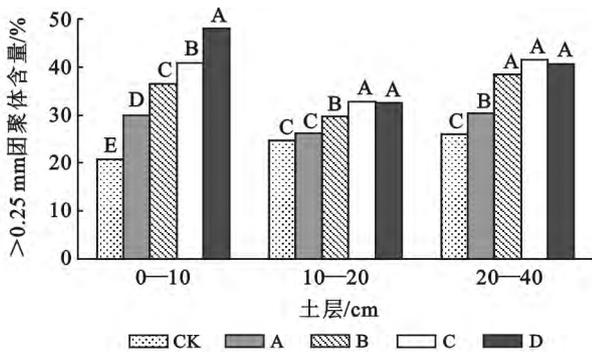


图 2 沙质土壤改良剂对 0—40 cm 土层 >0.25 mm 土壤团聚体含量的影响

注:不同大写字母表示处理间差异在 1% 显著水平。下同。

>0.25 mm 土壤团聚体在 0—10 cm 土层增量最多,其次是 20—40,在 10—20 cm 土层增量较少,0—10 cm 土层不同处理 >0.25 mm 团聚体含量表现为:随着施入沙质土壤改良剂年限的增加而增加,10—20 和 20—40 cm 土层不同处理 >0.25 mm 团聚体含量则均表现为:第 3 a>第 4 a>第 2 a>第 1 a>不施(CK),处理 C 和 D 之间在 0—10 cm 差异显著,在 10—20 和 20—40 cm 差异不显著。

2.3 沙质土壤改良剂对 0—20 cm 土壤贮水量的影响

土壤贮水量是土壤重要的物理性质之一,农田土壤贮水量及其变化的测定能够揭示农田土壤水分状态及其运动规律^[16]。由图 3 可知,施加沙质土壤改良剂后可显著提高耕层 0—20 cm 土壤贮水量,4 个生育时期各处理贮水量大小变化为:第 3 a>第 4 a>第 2 a>第 1 a>不施(CK),处理 C 较处理 D 提高了 6.6%~7.51%,处理 D 较处理 B 提高了 3.21%~5.51%,处理 B 较处理 A 提高了 1.01%~10.13%,处理 A 较对照提高了 19.15%~29.47%。施加改良剂的各处理均与 CK 差异显著,分别较 CK 提高了 42.21%~48.48%,32.48%~38.11%,28.35%~34.3%和 19.15%~29.47%,在沙地这样一个保水性差的环境下,耕层贮水量的提高,有利于玉米根系获取更多水分,从而为玉米的生长起到积极的作用,更利于玉米增产。

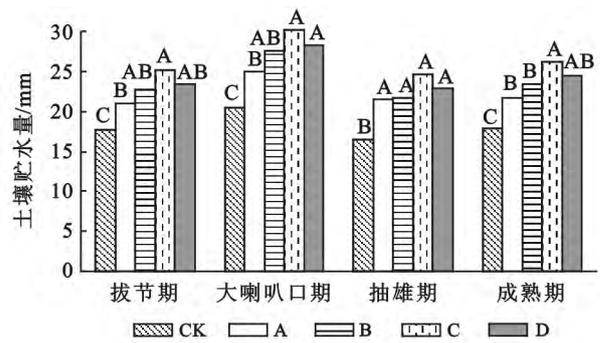


图 3 沙质土壤改良剂对 0—20 cm 土层土壤贮水量的影响

2.4 沙质土壤改良剂对玉米产量性状的影响

试验结果表明,施加改良剂对沙地玉米具有极显著的增产效果,施加沙质土壤改良剂的各处理与对照(CK)相比,产量相差 897.60~3 544.95 kg/hm²,较 CK 增产幅度在 15.1%~59.62%;而年间以第 3 a 处理最好,其次依次为第 4 a,第 2 a 和第 1 a,且处理间均呈极显著差异,其中第 3 a 比第 1 a 增产 24.8%。

对产量构成因素的分析可知,施加沙质土壤改良剂各处理的产量因素除穗粗外其他均与 CK 达到极显著差异。在穗长方面,各处理之间均达到极显著差异,具体表现为随着施入沙质土壤改良剂年限的增加

而增加,均好于对照;在突尖长的表现中,施加沙质土壤改良剂的各处理中除 A 与 B 之间差异不显著外,其他各处理之间差异显著,处理 A,B,C 和 D 的突尖长分别较 CK 减少了 0.69,0.74,1.09 和 0.88 cm,年际间以处理 C 的突尖长最短,处理 A 的突尖长最长,对于穗粗,各处理之间差异不显著,穗粗随着施入沙质土壤改良剂年限的增加而增加;在行粒数方面,施

加沙质土壤改良剂的各处理间除处理 A 与 C,D,B 和 C 差异显著外,其他处理间差异不显著;而在千粒重中,各处理间均达到了极显著差异,在施入沙质土壤改良剂后 3 a 中,随着施入年限的增加而增加,第 4 a 中千粒重低于第 3 a,但要好于第 2 a,处理 A,B,C 和 D 的千粒重分别较 CK 增加了 19.13%,28.98%,39.36%和 31.76%(表 1)。

表 1 沙质土壤改良剂对玉米产量性状的影响

处理	穗长/cm	突尖长/cm	穗粗/cm	行粒数	千粒重/g	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/%
CK	12.80De	2.20Aa	4.52Ab	28.53Cd	190.80Dd	5 945.55Ee	—
A	17.23Cd	1.51Bb	4.85ABab	36.43Bc	227.30Cc	6 843.15Dd	15.10
B	18.07Bc	1.46BCb	4.97Aab	37.67Abc	246.10Bb	8 041.95Cc	35.26
C	19.21Aa	1.11Dd	5.16Aa	39.31Aa	265.90Aa	9 490.50Aa	59.62
D	18.50Bb	1.32Cc	5.21Aa	38.08ABab	251.40Bb	8 541.45Bb	43.66

注:同列不同大、小写字母分别表示处理间差异在 1%和 5%显著水平,千粒重和产量含水量均为 14%。

对产量构成因素与产量进行回归分析结果表明,穗长($r=0.893^*$)、茎粗($r=0.933^*$)都与产量达到显著正相关,千粒重($r=0.967^{**}$)与产量达到极显著正相关,突尖长($r=-0.884^*$)与产量达到显著负正相关,行粒数($r=0.872$)与产量之间未达到显著水平,以上结果表明,产量各构成因素均具有较高的提升潜力。

3 结论

(1) 在 0—40 cm 土层 >0.25 mm 团聚体含量、耕层 0—20 cm 土层土壤贮水量和玉米产量这 3 个方面,各处理均基本表现为:在施入沙质土壤改良剂后 3 a 中,随着施入年限的增加而增加,第 4 a 低于第 3 a,但要好于第 2 a,对照表现最差。

(2) 沙质土壤改良剂能显著提高 0—10,10—20 和 20—40 cm 土层 >0.25 mm 团聚体含量,使粒径在 0.1~0.25 mm 之间的小团聚体逐渐向粒径为 0.25~0.5 和 >2 mm 的大团粒结构转变, >0.25 mm 团聚体含量在 0—40 cm 土层间的变化趋势基本表现为:0—10 $>$ 20—40 $>$ 10—20 cm。

(3) 在玉米 4 个生育时期中,施加沙质土壤改良剂能提高玉米耕层 0—20 cm 土层土壤贮水量,施加沙质土壤改良剂的处理较 CK 提高 42.21%~48.48%。

(4) 施加沙质土壤改良剂的各处理均可显著提高玉米产量,较对照增幅 15.1%~59.62%,年际间以第 3 a 最好,分别较第 4 a,第 2 a,第 1 a 提高了 11.11%,18.12%和 38.69%。

对于施加沙质土壤改良剂后第 3 a 和第 4 a 在 0—40 cm 土层 >0.25 mm 团聚体含量、耕层 0—20 cm 土层土壤贮水量和玉米产量中均表现为第 3 a 的效果要好于第 4 a,认为可能是在加入沙质土壤改良剂后,土壤物理性质、化学性状和生物学性状等都有了很大的变化,在第 3 a 表现最佳,第 4 a 出现了小幅下滑,而最后逐渐趋于稳定;也可能是由于其他原因致使第 4 a 表现不如第 3 a,而实际情况是表现最好的不是第 3 a,可能出现在往后的几年里,对于以上原因的推测还需要进行连续几年的跟踪试验才能做出一个合理的解释。

[参 考 文 献]

- [1] 刘新民,赵哈林,赵爱芬.科尔沁风沙环境与植被[M].北京:科学出版社,1996:1-8.
- [2] 段翰晨,王涛,薛娴,等.基于 RS 与 GIS 的科尔沁沙地沙漠化时空演变[J].中国沙漠,2013,33(2):470-477.
- [3] 张柏习,张学利,刘亚萍,等.不同改良利用模式对辽西北风沙土理化性质的影响[J].辽宁林业科技,2012(5):14-17.
- [4] 朱咏莉,刘军,王益权.国内外土壤结构改良剂的研究利用综述[J].水土保持学报,2011,15(6):140-144.
- [5] 赵哈林,黄学文,何宗颖.科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究[J].土壤学报,1996,33(3):242-248.
- [6] Herrick J E, Whitford W G. Assessing the quality of rangeland and soils: Challenges and opportunities [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995,50(3):237-242.
- [7] 孙荣国,韦武思,马明,等.秸秆—膨润土—PAM 改良材料对沙质土壤团粒结构的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):162-166.

(下转第 54 页)

4 结论

不同恢复年限的沙棘林土壤水溶性有机碳由表层至下层均呈降低趋势;腐殖质各组分有机碳含量为:HM>HA>FA。FA的形成速度大于HA。PQ值CK>7 a>10 a>15 a。各恢复阶段土壤由表层至下层松/稳比、松/紧比均呈下降趋势,且各层土壤紧密结合态均低于对照,但15 a明显低于7,10和15 a对土壤有效养分的供应也明显降低,松结态只有0—10 cm土层中各个恢复阶段无明显差异。 E_4/E_6 和 $\Delta\lg K$ 的值15 a>10 a>CK>7 a。

因此,在保持水土和恢复提高土壤综合肥力方面均以不超过15 a人工沙棘林为佳,超过15 a必须及时更新。

[参 考 文 献]

- [1] 肖彦春, 奚森. 土壤腐殖质各组分红外光谱研究[J]. 分析化学, 2007, 35(11): 1596-1600.
- [2] 张晋京, 奚森, 李翠兰, 等. 土壤腐殖质分组研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(6): 706-709.
- [3] 刘勇, 王凯博, 上官周平. 黄土高原子午岭退耕地土壤物理性质与群落特征[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(2): 42-46.
- [4] 庆阳地区土壤普查办公室. 甘肃庆阳土壤[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989: 1-30.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 21-33.
- [6] 傅积平. 土壤结合态腐殖质的分组测定[J]. 土壤通报, 1983, 14(2): 36-37.
- [7] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 263-280.
- [8] Kmada K, Sato O, Ohsumi Y, et al. Humus composition of mauntain soil in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1967, 13(5): 151-158.
- [9] 奚森, 徐冰, 孙宏德. 黑土有机培肥与腐殖质特性[J]. 吉林农业大学学报, 1995, 17(1): 46-51.
- [10] 牛灵安, 郝晋珉, 李吉进. 盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 114-121.
- [11] 王鑫, 刘建新, 雷蕊霞, 等. 不同种植年限苜蓿土壤熟化过程中腐殖质性质的研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 98-102.
- [12] 王鑫, 刘建新. 黄土高原沟壑区烟草连作对土壤腐殖质性质的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 126-129.
- [13] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力中的作用[J]. 土壤学报, 1994, 31(1): 18-28.
- [14] 杨玉盛, 邱仁辉, 俞新妥, 等. 不同栽植代数29年生杉木林土壤腐殖质及结合形态的研究[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 116-119.
- [15] 张福锁, 龚元石, 李晓林. 土壤与植物营养研究新动态: 第3卷[C]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 130-141.
- [8] 张铜会, 赵哈林, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地玉米耗水规律初探[J]. 中国沙漠, 1999, 19(S1): 137-139.
- [9] 唐霞, 崔建垣, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地玉米叶面蒸腾与棵间蒸发特性[J]. 草业科学, 2011, 28(5): 788-792.
- [10] 刘慧军, 刘景辉, 于健, 等. 土壤改良剂对燕麦土壤理化性状及微生物量碳的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 69-72.
- [11] 杜社妮, 赵世伟, 白岗栓. 沃特和PAM对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(1): 81-88.
- [12] 刘慧军, 刘景辉, 于健, 等. 土壤改良剂对土壤紧实度及燕麦生长状况的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 130-134.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理测定方法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 1-76.
- [14] 胡国成, 章明奎, 韩常灿. 红壤团聚体力学和酸碱稳定性的初步研究[J]. 浙江农业科学, 2000(3): 125-127.
- [15] 刘瑞凤, 张俊平, 郑欣, 等. PAM-atta复合保水剂对土壤物理性质的影响[J]. 土壤, 2006, 38(1): 86-91.
- [16] 郭晓霞, 刘景辉, 田露, 等. 免耕轮作对内蒙古地区农田贮水特性和作物产量的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1504-1512.

(上接第48页)