

赵 彤,韩霖昌,张 扬,等. 4 年作物种植对不同比例砒砂岩与沙复配土水稳性团聚体的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):443-447.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.128

4 年作物种植对不同比例砒砂岩与沙复配土水稳性团聚体的影响

赵 彤,韩霖昌,张 扬,王欢元,姬 先

(陕西省土地工程建设集团/国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室,陕西西安 710075)

摘要:为深入研究毛乌素沙地砒砂岩和沙复配成土过程,采用砒砂岩与沙 1:1、1:2、1:5 等 3 种不同体积比混合所得复配土种植作物,分析 4 年作物种植中不同复配土水稳性团聚体的变化规律。结果表明:作物种植前,3 种复配土中 >0.25 mm 与 $0.25 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体质量百分比大小顺序为 $1:1 > 1:2 > 1:5$,整体含量较低, >0.25 mm 水稳性团聚体百分比维持在 18.38%~28.22% 之间,每种复配土中 $0.25 \sim 0.50$ 、 $0.50 \sim 2.00$ 、 $2.00 \sim 5.00$ 、 >5.00 mm 等 4 种粒级水稳性团聚体比例相近;种植 4 年后,1:2 复配土的 >0.25 mm 水稳性团聚体百分比明显增加并超过其余 2 种,达到 32.34%,1:1、1:2、1:5 等 3 种复配土 >0.25 mm 团聚体的主要成分分别为 $0.25 \sim 0.50$ mm (53.54%)、 $0.25 \sim 0.50$ mm (59.43%)、 $0.05 \sim 2.00$ mm (52.16%),3 种复配土的 $0.25 \sim 2.00$ mm 团聚体均明显增加,且以 1:2 的增幅最高;1:2 复配土有机质与 $0.25 \sim 0.50$ 、 $0.25 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体呈极显著相关关系。表明作物种植 4 年后提高了 3 种复配土中 $0.25 \sim 2.00$ mm 团聚体的比例,并且 1:2 复配土最有利于该粒级团聚体的形成。

关键词:砒砂岩;沙;复配土;水稳性团聚体;胶结作用;作物种植

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0443-05

土壤团聚体是土壤的基本结构单元,在土壤中具有保证土壤水肥气热、影响土壤酶的种类和活性、维持土壤疏松熟化层 3 大功能。不同粒级的微团聚体在营养元素的保持、供应及转化能力等方面发挥着不同的作用^[1]。土壤团聚体结构是土壤肥力的物质基础和作物高产所必需的土壤条件之一。土壤团聚体的形成是一个非常复杂的过程,包括一系列的物理、化学及生物作用,主要依赖于土壤中各胶结物质的数量和性质^[2]。成土母质是土壤形成的物质基础,对土壤无机胶体的组成和作用有很大影响,而有机胶结物质的形成与微生物数量、活性及其代谢产物和植物根系分泌物、有机质的输入等有关^[3]。团聚体的稳定性是指团聚体抵抗外力作用或外部环境变化而保持其原有形态的能力,包括水稳性、力学稳定

性、化学稳定性、酸碱稳定性和生物稳定性等^[4],其中水稳性团聚体是评价土地质量的重要指标。土壤团聚体的数量和稳定性也是衡量土壤可蚀性的重要指标^[5-6]。

我国毛乌素沙地沙漠化严重,自然植被稀疏,极富砒砂岩与沙 2 种岩石矿物,前者干燥时胶结松散、遇水迅速膨胀,后者通体无结构、保水持水性差^[7],根据两者特点,按照一定比例混合后可以种植植物^[8-10],深入研究两者混合后的成土过程意义重大。本研究以砒砂岩与沙混合复配土为对象,研究了不同混合比例复配土随作物种植年限的增加,其水稳性团聚体的变化规律,试图揭示该复配土水稳性团聚体的形成过程,为其成土机理提供一定的理论基础,同时研究结果对进一步利用团聚体功能定向培育土壤肥力具有十分重要的意义,也能够为毛乌素沙地大规模推广砒砂岩与沙复配成土造田工程提供理论和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用砒砂岩和沙均采自陕西省榆林市榆阳区小纪汗乡。砒砂岩和沙各自的黏粒、粉粒、沙粒含量分别为 7.06%、

thaw cycles[J]. Soil Biology & Biochemistry,2006,38(7):1861-1871.

[80]谭 波,吴福忠,杨万勤,等. 川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应[J]. 生态学报,2012,32(21):6670-6678.

[81]殷 睿,蒋先敏,徐振峰,等. 季节性雪被对川西亚高山岷江冷杉林冬季土壤氮矿化和淋溶的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(5):138-143.

[82]Nielsen M N, Winding A, Binnerup S, et al. Microorganisms as indicators of soil health[R]. National Environmental Research Institute,

2002:15-16.

[83]冯瑞芳. 高寒森林土壤有机层酶活性动态及其对模拟气候变化的响应[D]. 雅安:四川农业大学,2007.

[84] Climate change 2007, the Scientific basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press,2007.

[85]Lipson D A, Schmidt S K, Monson R K. Carbon availability and temperature control the post-snowmelt decline in alpine soil microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry,2000,32(4):441-448.

58.09%、34.85%和0.24%、4.45%、95.31%,将所采集的砒砂岩和沙自然风干,研磨,过孔径2 mm筛备用。试验在陕西省土地工程建设集团富平试验基地进行。富平县境内海拔375.8~1 420.7 m,气候属于大陆性季风温带半干旱气候区,年总辐射量5 187.4 MJ/m²,年平均日照时数约2 389.6 h,年平均气温13.1℃,年平均降水量527.2 mm(1960—1995年)。

1.2 试验设计

试验小区为9个南北排列的人工田块,每个田块面积为4 m²(2 m×2 m)、深1 m,所有田块剖面中30~70 cm为沙土,0~30 cm耕作层为砒砂岩与沙混匀后不同体积比例的复配土,砒砂岩与沙的体积比例分别为1:1、1:2、1:5,每种比例设置3个重复田块。从2010年开始,每种混合复配土的3个田块每年依次种植冬小麦—玉米、冬小麦—大豆、冬小麦—马铃薯,采用当地传统方式进行灌溉和施肥。其中玉米品种为户单4号,冬小麦品种为小偃22,大豆品种为秦豆11号,马铃薯品种为夏波蒂。玉米、大豆、马铃薯作物种植前施加底肥(磷酸二铵300 kg/hm²、尿素150 kg/hm²),春季灌溉1次,追施尿素150 kg/hm²;小麦灌水分春灌、灌浆期灌水、冬灌,并在春灌、冬灌时追施尿素150 kg/hm²。

1.3 测定项目与方法

于2010年作物种植前、2010年作物收获后、2011年作物收获后和2014年作物收获后(即作物种植年限分别记为0、0.5、1、4年)采集每种复配土样品,测定其土壤水稳性团聚体、有机质含量。水稳性团聚体含量采用传统湿筛法^[11]测定,有机质采用重铬酸钾外加热法^[12]测定。

1.4 数据处理

数据采用Excel 2003绘图,采用SPSS 17.0中的ANOVA作单因素方差分析,选择最小数法(LSD)进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 复配土中水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

2.1.1 3种复配土中>0.25 mm水稳性团聚体的变化 如图1所示,种植作物前,砒砂岩与沙3种混合比例复配土中>0.25 mm水稳性团聚体质量百分比大小顺序为1:1>1:2>1:5,其数值分别为28.22%、21.55%、18.38%。种植1年后,3种复配土中>0.25 mm水稳性团聚体质量百分比均无明显变化,整体维持在20.82%~29.33%之间,每种复配土各自变化差异不显著($P>0.05$)。种植4年后,1:2复配土中>0.25 mm水稳性团聚体质量百分比明显上升,达32.34%,相对于种植前增加了50.07%,差异极显著($P<0.01$);而1:1、1:5复配土中>0.25 mm水稳性团聚体质量百分比相对于种植前无明显变化,前者减小了3.15%,后者减小了2.29%,且差异不显著($P>0.05$)。3种复配土中>0.25 mm水稳性团聚体质量百分比在种植4年后大小关系变为1:2>1:1>1:5。

2.1.2 3种复配土中0.25~2.00 mm水稳性团聚体的变化

如图2所示,作物种植前,砒砂岩与沙3种混合比例复配土中1:1复配土的0.25~2.00 mm水稳性团聚体质量百分比为13.24%,明显高于1:2和1:5的9.13%和8.44%,差异

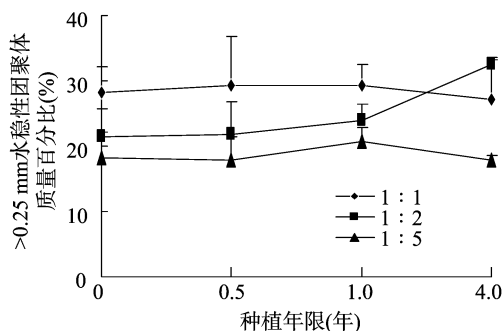


图1 3种复配土中>0.25 mm水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

显著($P<0.05$)。经过1年种植,3种复配土的0.25~2.00 mm水稳性团聚体质量百分比变化不明显。经过4年种植,3种复配土的0.25~2.00 mm水稳性团聚体质量百分比均明显增加,其中1:2的增加到26.63%,相比种植前增加了191.68%,涨幅最大,1:1的增加到21.16%,增加了59.82%,1:5的增加到13.87%,增加了64.34%,三者各自相对于种植前差异均极显著($P<0.01$)。此时0.25~2.00 mm水稳性团聚体质量百分比大小关系变为1:2>1:1>1:5,并且1:2的为1:1的1.26倍、1:5的1.92倍。结合图1可知,1:1、1:2、1:5这3种复配土中,0.25~2.00 mm水稳性团聚体占>0.25 mm水稳性团聚体百分比从种植前的46.92%、42.37%、45.92%,变为作物种植4年后的77.71%、82.34%、77.23%,此时0.25~2.00 mm水稳性团聚体成为>0.25 mm水稳性团聚体的主要组成部分。

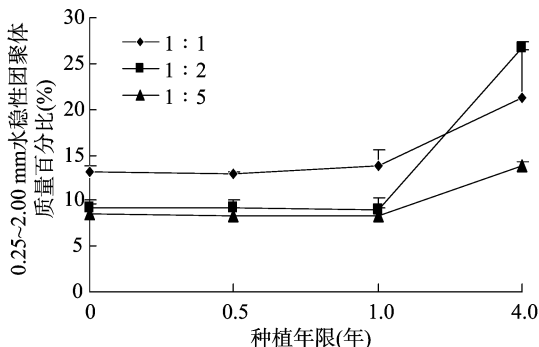


图2 3种复配土中0.25~2.00 mm水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

2.2 复配土4种粒级水稳性团聚体随作物种植年限的变化

2.2.1 1:1复配土中水稳性团聚体变化 如图3所示,砒砂岩与沙1:1复配土作物种植前,0.25~0.50、0.50~2.00、2.00~5.00、>5.00 mm水稳性团聚体质量百分比分别为6.01%、7.23%、6.86%、8.11%;在半年和1年种植过程中,各粒级质量百分比变化小,波动范围在5.80%~9.63%之间,无显著差异($P>0.05$);种植4年后,复配土中各粒级水稳性团聚体发生明显变化,与种植前相比,0.25~0.50 mm水稳性团聚体质量百分比增加到14.58%,涨幅为142.60%,0.50~2.00 mm水稳性团聚体质量百分比变化较小,2.00~5.00 mm水稳性团聚体质量百分比降低到3.12%,减小了54.52%,>5.00 mm水稳性团聚体质量百分比降低到2.95%,减小了6.63%,除0.50~2.00 mm水稳性团聚体外,其余3种粒级团聚体含量在4年种植前后差异均显著($P<0.05$)。

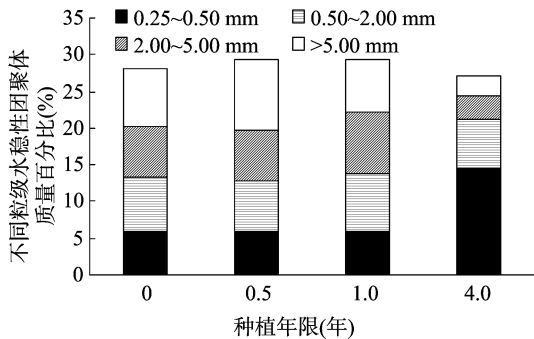


图3 1：1复配土中4种粒级水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

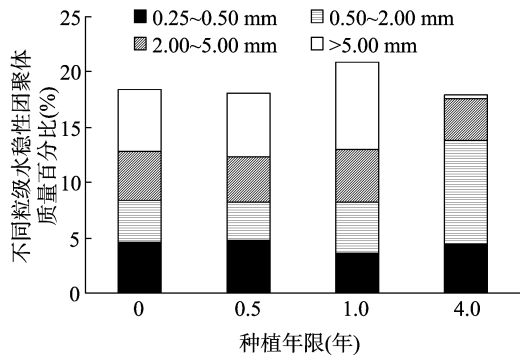


图5 1：5复配土中4种粒级水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

2.2.2 1：2 复配土中水稳性团聚体变化 如图 4 所示,砒砂岩与沙 1：2 复配土作物种植前,0.25 ~ 0.50、0.50 ~ 2.00、2.00 ~ 5.00、> 5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比分别为 4.06%、5.07%、3.94%、8.47%；种植半年和 1 年后,各粒级质量百分比变化相对较小；种植 1 年后 >0.25 mm 水稳性团聚体质量百分比比种植前增加了 11.00%，但差异不显著 ($P>0.05$)；种植 4 年后,各粒级水稳性团聚体发生明显变化,与种植前相比,0.25 ~ 0.50 mm 水稳性团聚体质量百分比增加到 19.22%，涨幅为 373.40%，0.50 ~ 2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比增加到 7.42%，增长了 46.35%，2.00 ~ 5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比波动较小，> 5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比降低到 2.30%，减小了 72.85%，除 2.00 ~ 5.00 mm 水稳性团聚体外,其余 3 种粒级团聚体在种植前后差异均显著 ($P<0.05$)。>0.25 mm 水稳性团聚体质量百分比比种植前增加了 33.36%，差异极显著 ($P<0.01$)。

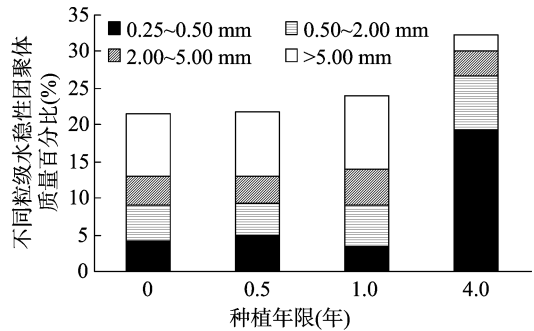


图4 1：2复配土中4种粒级水稳性团聚体含量随作物种植年限的变化

2.2.3 砒砂岩与沙 1：5 复配土中水稳性团聚体变化 如图 5 所示,砒砂岩与沙 1：5 复配土在种植前,0.25 ~ 0.50、0.50 ~ 2.00、2.00 ~ 5.00、> 5.00 mm 水稳性团聚体质量分数分别为 4.67%、3.77%、4.34%、5.60%；种植半年后,各粒级质量百分比变化很小,波动范围在 3.50% ~ 5.60% 之间；种植 1 年后,0.50 ~ 2.00、> 5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比分别比种植前增加 23.87%、38.93%，但差异不显著 ($P>0.05$)；种植 4 年后,0.50 ~ 2.00、> 5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比发生明显变化,与种植前相比,0.50 ~ 2.00 mm 增加为 9.36%，增长了 148.28%，> 5.00 mm 降低到 0.40%，减小了 92.86%，2 种粒级种植前后的差异均显著 ($P<0.05$)。

2.3 3 种复配土相关理化性质随作物种植年限的变化

2.3.1 3 种复配土有机质随作物种植年限的变化 由表 1

可见,3 种复配土中有机质含量随种植年限的增加明显上升,从种植前的 0.46 ~ 0.56 g/kg 上升到 4 年后的 2.67 ~ 4.41 g/kg,3 种比例复配土中有机质含量在作物种植前和种植 4 年后差异显著 ($P<0.05$),同时 1：2 复配土中有机质含量最高。

表 1 3 种复配土中有机质含量随作物种植年限的变化

作物种植 年限(年)	有机质含量(g/kg)		
	1：1 复配	1：2 复配	1：5 复配
0	0.56 ± 0.06a	0.50 ± 0.06a	0.46 ± 0.03a
0.5	0.64 ± 0.28a	0.54 ± 0.13a	0.78 ± 0.06ab
1	2.35 ± 0.15b	1.55 ± 0.15a	2.00 ± 0.23b
4	3.60 ± 0.20b	4.41 ± 2.72b	2.67 ± 0.53b

注:同列不同小写字母代表差异显著 ($P<0.05$)。

2.3.2 3 种复配土中有机质含量与不同粒级水稳性团聚体百分比的相关关系 如表 2 所示,砒砂岩与沙 1：1 复配土中有机质含量和 6 种粒级水稳性团聚体质量百分比均未表现出相关性；1：2 复配土中有机质含量与 >0.25 mm 水稳性团聚体质量百分比呈显著相关关系,与 0.25 ~ 0.50、0.25 ~ 2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比呈极显著相关关系；1：5 复配土中有机质含量与 0.25 ~ 2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比呈显著相关关系,与 0.50 ~ 2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比呈极显著相关关系。

表 2 种植 4 年后 3 种复配土中有机质含量和 6 种不同粒级水稳性团聚体质量百分比相关关系

不同粒级水稳性 团聚体(mm)	相关系数		
	1：1 复配	1：2 复配	1：5 复配
0.25 ~ 0.50	-0.130	0.796 **	-0.227
0.50 ~ 2.00	0.156	0.547	0.795 **
2.00 ~ 5.00	0.393	-0.512	-0.122
> 5.00	-0.024	-0.463	-0.451
0.25 ~ 2.00	-0.740	0.792 **	0.698 *
> 0.25	0.091	0.689 *	0.132

注：“*”和“**”分别代表相关性达到显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) 水平。

3 讨论

3.1 作物种植年限对 3 种复配土 >0.25、0.25 ~ 2.00 mm 水稳性团聚体含量的影响

土壤团聚体微结构是由土壤原生颗粒经胶体的胶结、黏

结彼此联接所组成^[13]。一般把 >0.25 mm 水稳性团聚体称为土壤团粒结构体,是由微团聚体聚合形成,具有较稳定的结构和形态^[14],它对土壤有机碳含量、肥力大小和质量、侵蚀程度等有重要影响^[15]。本研究中在作物种植前, >0.25 mm 水稳性团聚体在 3 种复配土中维持在 18.38%~28.22% 之间,含量较低,是由于复配土组分只包含砒砂岩和沙,属于成土母质。一般认为在土壤有机质含量较高、黏粒和氧化铁铝含量较低的土壤中,有机质对团聚体胶结作用占主导地位;而在有机质含量不高、黏粒和氧化铁铝含量较高的土壤中,团聚体的形成主要靠黏粒的内聚力及铁铝氧化物的胶结作用^[16-17]。作物种植前 3 种复配土中 1:1 的砒砂岩比例最高,砒砂岩富含碳酸盐矿物,能够促进砒砂岩与沙之间无机胶结形成团聚体^[9],证明此时 >0.25 mm 水稳性团聚体间以砒砂岩自身的无机胶结为主,1:5 的砒砂岩比例最低,因而其 >0.25 mm 水稳性团聚体质量百分比最低。已有研究表明,在砒砂岩与沙比例分别为 1:1、1:2、1:5 和全沙的几种条件下,以 1:2 复配土种植的小麦、玉米、大豆产量最高,说明该复配土最有利于作物生长^[9]。孙宇婷等研究表明,施用有机肥和随作物种植年限的增加,土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体含量显著提高^[18]。由于黏粒和碳酸钙胶结能力比腐殖质弱^[19],土壤有机质的增加将促使有机胶连作用成为团聚体形成的主要作用^[20]。适于植物生长的良好土壤结构主要依赖于 1~10 mm 水稳性团聚体,Oades 等提出有机胶结物质在团聚体形成过程中起到重要作用^[21]。本研究中种植 4 年后,1:2 复配土的团聚体含量明显增加,并且超过种植前 1:1 复配土,有可能是因为逐渐增加的有机胶结作用促进了 >0.25 mm 水稳性团聚体的形成,有机胶连团聚体能够为根系生长提供较好的水分和孔隙结构,有利于作物生长。种植 4 年后,3 种复配土 >0.25 mm 水稳性团聚体百分比总体维持在 17.96%~32.34% 之间,表明有效团聚体总量依然较低,更高团聚体含量的形成需要更多的种植年限。

由于 1:1 复配土中砒砂岩比例最高,相比于另外 2 种复配土,种植前更有利于无机物胶连作用下形成团聚体。3 种复配土中 0.25~2.00、 >0.25 mm 水稳性团聚体在种植前和种植 1 年后变化趋势一致,说明无机物胶连作用也很好地促进了 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体的形成。随着作物种植年限的增加,土壤中根系分泌物和微生物代谢产物不断增加,土壤中有机的增加促进了土壤颗粒间有机胶连团聚体的形成,并成为该类团聚体形成的主要原因^[22],Zhang 等对水稳性团聚体的研究也表明,红壤水稳性大团聚体的形成主要依靠有机质的胶结作用^[23]。种植 4 年后,0.25~2.00 mm 水稳性团聚体在 3 种复配土中均明显增加,涨幅达 59.82%~191.68%,很可能是有机胶连作用的结果,而 1:2 的 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体含量最高、涨幅最大,说明该比例复配土的土壤理化条件最有利于有机胶连形成 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体。

3.2 种植年限对 3 种复配土 4 种粒级水稳性团聚体比例关系的影响

土壤团聚体的形成是一个非常复杂的过程,包括一系列物理、化学、生物过程,小的微团聚体通过多种方式进一步集结形成不同粒级团聚体^[24]。复配土形成初期,团聚体形成主

要是砒砂岩与沙之间的无机胶连作用的结果,3 种复配土中 0.25~0.50、0.50~2.00、2.00~5.00、 >5.00 mm 水稳性团聚体含量相近,说明无机胶连作用对形成各个粒级团聚体作用相当。随着种植年限的增加,植物根系延伸生长,植物根系分泌物、微生物代谢产物随之增加,有机质促进 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体的形成^[25]。李婕等研究发现,长期施肥能降低 >1.00 mm 水稳性团聚体含量、增加 0.25~1.00 mm 水稳性团聚体含量^[20]。本研究中 3 种复配土在作物种植 4 年后,2.00~5.00、 >5.00 mm 团聚体的比例迅速降低,而 0.25~0.50、0.50~2.00 mm 水稳性团聚体明显增加,成为 >0.25 mm 水稳性团聚体的主要组成部分,其质量百分比之和维持在 77.23%~82.34% 之间,很有可能是根系延伸造成原有无机胶结大粒径团聚体的分散,同时有机胶体促使复配土中砒砂岩、沙 2 种组分颗粒形成 0.25~0.50、0.50~2.00 mm 水稳性团聚体。

进一步研究发现,1:2 复配土中 0.25~0.50 mm 水稳性团聚体占 >0.25 mm 水稳性团聚体的比例最高,则 >0.25 mm 水稳性团聚体的形成过程中首先形成 0.25~0.50 mm 类小团聚体,再随时间延长,由细根和菌丝逐渐黏结、聚合形成更大粒径的团聚体^[26]。冯固等研究发现,菌根菌丝直接促进土壤 2.00~5.00 mm 水稳性团聚体的形成^[27],大团聚体的稳定性在很大程度上取决于植物根系和菌丝^[28]。本研究中复配土仅种植 4 年,微生物含量很低,可能缺少菌根菌类的生长,因而 2.00~5.00 mm 水稳性团聚体很低,说明土壤熟化程度还不够,有必要继续研究复配土中水稳性团聚体的变化趋势,为复配土成土机理提供理论参考。

3.3 3 种复配土中有机质含量与不同粒级水稳性团聚体含量的相关关系

许多研究已表明,施加有机肥能促进土壤团聚体中有机碳的含量,团聚体和有机碳之间存在相互促进作用^[29-30],0.25~0.50 mm 水稳性团聚体中有机碳含量最高^[31]。1:2 复配土最有利于土壤团聚体的形成,0.25~0.50、0.25~2.00 mm 水稳性团聚体与其有机质含量呈极显著相关关系,同时 1:1、1:2 复配土有机质含量在 4 年种植过程中变化相似,而 1:1 复配土有机质含量与不同粒级团聚体相关关系不显著,说明土壤物理结构是除有机质含量之外影响土壤团聚体形成的又一个重要因素。姜学兵等进行了禹城试验站免耕定位试验,发现 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体有机碳与总有机碳含量达显著正相关关系,而 <0.25 mm 水稳性团聚体有机碳与总有机碳含量相关关系很弱,说明有机质主要存在于 0.25~2.00 mm 水稳性团聚体中^[32],本研究结果与之一致。而谢贤健的研究表明,4 种土壤种植模式下有机质集中分布在 0.25~0.50 mm、 <0.25 mm 水稳性团聚体中^[33]。

4 结论

在作物种植前,3 种复配土中 >0.25 、0.25~2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比大小顺序为 1:1 $>$ 1:2 $>$ 1:5,与各自组分比例有关;种植 4 年后, >0.25 mm 水稳性团聚体在 1:1、1:5 复配土中变化不明显,在 1:2 复配土中增加到 32.34%,并超过 1:1 复配土;0.25~2.00 mm 水稳性团聚体质量百分比在 3 种复配土中均明显增加,且以 1:2 复配土增

幅最高,最终高于另外 2 种。1:2 复配土促进 >0.25 mm 及其中 $0.25 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体的形成。

作物种植 4 年后,1:1 复配土中 $2.00 \sim 5.00$ 、 >5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比明显降低, $0.25 \sim 0.50$ mm 水稳性团聚体质量百分比明显增加;1:2 复配土中 >5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比明显降低, $0.25 \sim 0.50$ 、 $0.50 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体质量百分比明显增加;1:5 复配土中 >5.00 mm 水稳性团聚体质量百分比明显降低, $0.50 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体质量百分比明显增加。4 年后 1:1、1:2、1:5 这 3 种复配土中 >0.25 mm 水稳性团聚体的主要成分分别为 $0.25 \sim 0.50$ mm 水稳性团聚体 (53.54%)、 $0.25 \sim 0.50$ mm 水稳性团聚体 (59.43%)、 $0.50 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体 (52.16%),3 种复配土作物种植后团聚体以 $0.25 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体为主。

3 种复配土在种植前和种植 4 年后有机质含量分别维持在 $0.46 \sim 0.56$ g/kg、 $2.67 \sim 4.41$ g/kg 之间,4 年后有机质含量增加比例为 480.43%~782.00%,以 1:2 复配土涨幅最高,同时 1:2 复配土有机质含量与 $0.25 \sim 0.50$ 、 $0.25 \sim 2.00$ mm 水稳性团聚体呈极显著相关关系。

参考文献:

- [1] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报,1994,31(1): 18-25.
- [2] 章明奎,何振立. 成土母质对土壤团聚体形成的影响[J]. 热带亚热带土壤科学,1997,6(3):198-202.
- [3] Lehrs G A, Sojka R E, Carter D L, et al. Freezing effects on aggregate stability affected by texture, mineralogy, and organic matter[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(5): 1401-1406.
- [4] Dom  l H, Hodara J, S łowińska - Jurkiewicz A, et al. The effects of agricultural use on the structure and physical properties of three soil types[J]. Soil and Tillage Research, 1993, 27(1/2/3/4): 365-382.
- [5] Cosentino D, Chenu C, Le Bissonnais Y. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying - wetting cycles in a silt loam soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(8): 2053-2062.
- [6] 郭曼,郑粉莉,安韶山,等. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区土壤团聚体稳定性[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):68-73.
- [7] 王愿昌,吴永红,闵德安,等. 砒砂岩区水土流失治理措施调研[J]. 国际沙棘研究与开发,2007,5(1):39-44.
- [8] 王伟,张永波,叶浩,等. 内蒙古砒砂岩的模糊聚类分析[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2009,39(6):1168-1172.
- [9] 韩霁昌,刘彦随,罗林涛. 毛乌素沙地砒砂岩与沙快速复配成土核心技术研究[J]. 中国土地科学,2012,26(8):87-94.
- [10] 柴苗苗,韩霁昌,罗林涛,等. 砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对复配土壤性质和作物产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(10):179-184,192.
- [11] Cambardella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(4): 1071-1076.

- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:75-76.
- [13] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002,9(1):81-85.
- [14] 李侠. 封育对宁夏荒漠草原土壤有机碳及团聚体稳定性的影响[D]. 银川:宁夏大学,2014.
- [15] Neufeldt H, Ayarza M A, Resck D V S, et al. Distribution of water - stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols[J]. Geoderma, 1999, 93(1):85-99.
- [16] Arduino E, Barberis E, Boero V. Iron oxides and particle aggregation in B horizons of some Italian soils[J]. Geoderma, 1989, 45(3): 319-329.
- [17] Chaney K, Swift R S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils[J]. Journal of Soil Science, 1984, 35(2):223-230.
- [18] 孙宇婷,周连仁,孟庆峰,等. 长期施用有机肥对草甸碱土水稳性团聚体及其碳氮分配的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(1):6-10.
- [19] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review[J]. Geoderma, 2005, 124(1):3-22.
- [20] 李婕,杨学云,孙本华,等. 不同土壤管理措施下壤土团聚体的大小分布及其稳定性[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(2):346-354.
- [21] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils[J]. Soil Research, 1991, 29(6):815-828.
- [22] 吴彦,刘世全. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):45-49.
- [23] Zhang M K, He Z L, Chen G C, et al. Formation and water stability of aggregates in red soils as affected by organic matter[J]. Pedosphere, 1996, 6(1):39-45.
- [24] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [25] 单建平,陶大立. 国外对树木细根的研究动态[J]. 生态学杂志,1992,11(4):46-49.
- [26] 王洋,刘景双,王全英. 冻融作用对土壤团聚体及有机碳组分的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(7):1269-1274.
- [27] 冯固,张玉凤,李晓林. 丛枝菌根真菌的外生菌丝对土壤水稳性团聚体形成的影响[J]. 水土保持学报,2001,15(4):99-102.
- [28] 魏朝富,高明,谢德体,等. 有机肥对紫色水稻土水稳性团聚体的影响[J]. 土壤通报,1995,26(3):114-116.
- [29] 徐江兵,李成亮,何园球,等. 不同施肥处理对旱地红壤团聚体中有机碳含量及其组分的影响[J]. 土壤学报,2007,44(4):675-682.
- [30] 尹云锋,高人,马红亮,等. 稻草及其制备的生物炭对土壤团聚体有机碳的影响[J]. 土壤学报,2013(5):909-914.
- [31] 李娟,廖洪凯,龙健,等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报,2013,33(7):2147-2156.
- [32] 姜学兵,李运生,欧阳竹,等. 免耕对土壤团聚体特征以及有机碳储量的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(3):270-278.
- [33] 谢贤健. 不同巨桉人工林对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(6):211-215.