

DOI: 10.5846/stxb202005061120

季波, 时龙, 徐金鹏, 何建龙, 王占军, 吴旭东, 蒋齐. 宁夏典型天然草地土壤团聚体稳定性及其有机碳分布特征. 生态学报, 2021, 41(19): 7669-7678.

Ji B, Shi L, Xu J P, He J L, Wang Z J, Wu X D, Jiang Q. Distribution characteristics of soil aggregates and its organic carbon in typical natural grassland of Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7669-7678.

宁夏典型天然草地土壤团聚体稳定性及其有机碳分布特征

季 波^{1,2}, 时 龙³, 徐金鹏³, 何建龙^{1,2}, 王占军^{1,2}, 吴旭东^{1,2}, 蒋 齐^{1,2,*}

1 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 银川 750002

2 宁夏防沙治沙与水土保持重点实验室, 银川 750002

3 北京林业大学草业与草原学院, 北京 100083

摘要: 土壤团聚体作为土壤结构的基本单元和土壤有机碳存在的重要场所, 对维系土壤质量和生态环境可持续发展具有重要作用。为探究宁夏天然草地土壤团聚体稳定性及其有机碳分布特征, 以宁夏 4 种典型的天然草地(草甸草原、温性草原、草原化荒漠和荒漠草原)为研究对象, 系统开展研究。结果表明: 草甸草原、温性草原和草原化荒漠各粒级机械团聚体和水稳性团聚体含量均呈现随粒径减小而先减小后增大趋势, 荒漠草原机械团聚体含量呈现随粒径减小而先减小后增大的趋势, 水稳性团聚体含量呈现随粒径减小逐渐增大的趋势; 且草甸草原和温性草原机械稳定性和水稳性团聚体在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层均以 >0.25 mm 大团聚体为主, 草原化荒漠和荒漠草原水稳性团聚体均以 <0.25 mm 的微团聚体为主。4 种草地类型机械团聚体和水稳性团聚体 MWD 和 GMD, 以及各粒级土壤团聚体有机碳含量均表现为草甸草原和温性草原显著高于草原化荒漠和荒漠草原。草甸草原和温性草原在 3 个土层深度均以 >0.25 mm 的大团聚体对有机碳的贡献率最高, 分别达到 43.86%、59.26%、58.89% 和 58.02%、54.03%、57.15%; 草原化荒漠和荒漠草原在 3 个土层深度, 均以 <0.25 mm 的微团聚体贡献率高, 分别达到了 60.37%、55.86%、54.33% 和 75.61%、78.34%、78.74%。结果表明: 草甸草原和温性草原较草原化荒漠和荒漠草原土壤团聚体稳定性更高, 更有利于土壤有机碳累积。

关键词: 宁夏; 天然草地; 团聚体稳定性; 有机碳含量

Distribution characteristics of soil aggregates and its organic carbon in typical natural grassland of Ningxia

Ji Bo^{1,2}, Shi Long³, Xu Jinpeng³, He Jianlong^{1,2}, Wang Zhanjun^{1,2}, Wu Xudong^{1,2}, Jiang Qi^{1,2,*}

1 Institute of Desert Manage, Ningxia Agriculture and Forestry Science Academy, Yinchuan 750002, China

2 Key Laboratory of Desertification Control and Soil & Water Conservation of Ningxia, Yinchuan 750002, China

3 College of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: As a basic unit of soil structure and an important site for the soil organic carbon, soil aggregate plays an important role in maintaining the soil quality and sustainable development of ecological environment. In order to understand the soil aggregate stability and organic carbon distribution, 4 typical natural grasslands including meadow steppe, warm steppe, steppe desert and desert steppe in Ningxia were studied. The results showed that the content of mechanical-stable

基金项目: 宁夏农林科学院科技平台建设提升项目(NKYP-19-06); 自治区农业科技自主创新资金农业高质量发展和生态保护科技创新示范课题(NGSB-2021-14-06); 自治区农业科技自主创新专项全产业链创新示范项目(YES-2016-10); 自治区人才项目(KJT2017004)

收稿日期: 2020-05-06; 网络出版日期: 2021-06-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ycjqux@163.com

aggregates and water-stable aggregates of meadow steppe, warm steppe and steppe desert indicated a decreased first and then increased trend with reduction of grain size. And the content of mechanical-stable aggregates took on the decreased first and then increased trend, while the water-stable aggregates took on increasing trend with reduction of grain size in desert steppe. The mechanical-stable and water-stable aggregates of meadow steppe and warm steppe were dominated by macroaggregates (>0.25 mm) in 0—10 cm, 10—20 cm and 20—40 cm soil layers, while the water-stable aggregates of steppe desert and desert steppe were dominated by micro-aggregates (<0.25 mm). The mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GWD) of mechanical-stable aggregates and water-stable aggregates and the soil aggregate organic carbon content showed that the meadow steppe and warm steppe were significantly larger than steppe desert and desert steppe. Aggregates of >0.25 mm made the largest contributions to soil organic carbon reaching 43.86%, 59.26%, 58.89% and 58.02%, 54.03%, 57.15% in meadow steppe and warm steppe, respectively. Aggregates of <0.25 mm made the largest contributions to soil organic carbon reaching 60.37%, 55.86%, 54.33% and 75.61%, 78.34%, 78.74% in steppe desert and desert steppe, respectively. The results showed that the meadow steppe and warm steppe were more stable in soil aggregates than steppe desert and desert steppe, and they were more beneficial to soil organic carbon accumulation.

Key Words: Ningxia; natural grassland; soil aggregate stability; organic carbon content

土壤团聚体作为土壤结构的基本单元和土壤有机碳存在的重要场所,其稳定性和有机碳含量是土壤质量和生态环境可持续发展的关键指标,也直接影响土壤有机碳的储备^[1-2],对维护土壤碳库的稳定具有重要作用。同时,土壤有机碳作为团聚体形成必不可少的胶结物质,它对土壤团聚体结构产生重要影响^[2,3-4],稳定的土壤团聚体和良好的土壤结构对于保持土壤肥力,提高土壤孔隙度、持水性以及降低土壤侵蚀具有非常重要的作用^[5-6]。不同的生态系统其土壤有机碳存在差异,势必影响土壤团聚体的组成,进而影响土壤有机碳在不同粒径团聚体中的分配^[7]。可见,土壤团聚体的形成与稳定与土壤有机碳,二者紧密相关^[8]。

草地生态系统作为陆地生态系统重要的组成部分,其碳储能力和动态变化在全球碳循环中扮演着非常重要的作用,碳汇潜力巨大。宁夏地处我国西北内陆农牧交错地带,是我国“两屏三带”生态安全体系建设的关键区域,全区天然草地面积分布范围广且大,是自治区的半壁河山和绿色生态屏障。尤其在国家实施“退耕还林(草)”及封山禁牧政策以来,宁夏退化天然草地得以恢复,植被覆盖度大幅提升,生态环境大为改善,势必会对碳储量及土壤团聚体的形成和稳定性产生影响。有研究表明,植被覆盖度越高,土壤团聚体稳定性也越高^[9-10]。另据研究显示,宁夏天然草地 0—40 cm 土层深度土壤有机碳含量呈现草甸草原>温性草原>草原化荒漠>荒漠草原^[11],土壤团聚体及其有机碳分布是否也呈现相同的趋势,且不同草地类型对土壤团聚体的稳定性是否产生影响,均需进一步探寻。因此本研究以宁夏广泛分布且具有代表性的 4 种天然草地——温性草甸草原、温性草原、温性荒漠草原和温性草原化荒漠为研究对象,系统研究不同草地类型土壤团聚体及其有机碳分布特征,探明不同草地类型对土壤团聚体稳定性及团聚体有机碳分布的影响,为正确认识和评估温性天然草地土壤结构稳定性以及对陆地生态系统碳储量的贡献均具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏位于我国中部偏北,黄河中上游地区,东经 $104^{\circ}17'$ — $107^{\circ}39'$,北纬 $35^{\circ}14'$ — $39^{\circ}23'$,素有“塞上江南”的美称^[12]。全区地势南高北低,南部为黄土高原的一部分,地势较高,海拔在 1500—2300 m 之间,中部为鄂尔多斯台地及丘陵,海拔大约 1250 m,北部地势相对较低,海拔在 1100—1300 m 间^[12]。区内属于典型的大陆性半湿润半干旱气候,气温低、温差大、冬季漫长、蒸发量大,降水稀少且分布不均,主要集中于 7—9 月份。气温呈现由南向北升高,降雨量呈现由南向北减少的现象。宁夏植被属于我国温带草原区,由于典型的大陆性半湿润半干旱、干旱气候特点,植被分布自南向北呈现从草原向荒漠过渡的特点。其中,温性草甸草原主要

分布于宁夏泾源县的东部和北部、隆德县的北部与南部,以及固原地区的半阴湿地区和南华山西部等低山及黄土丘陵阴坡区域。植被种类非常丰富,主要以菊科植物为主,其次是禾本科、豆科和蔷薇科等科植物。年降雨量大约在 500—650 mm 间。土壤主要以山地棕壤、山地灰褐土和黑垆土为主^[12]。温性草原主要分布于宁南黄土丘陵区,降雨量在 350—450 mm,土壤以黑垆土和黄绵土为主,植被主要以禾本科、菊科、唇形科和蔷薇科植物为主。温性草原化荒漠主要分布于石嘴山北部,中宁、中卫、青铜峡黄河以北及灵武、陶乐县的鄂尔多斯台地边缘,降雨量在 200 mm 左右,土壤以淡灰钙土为主,植被主要以藜科、柽柳科、禾本科和麻黄科等科植物为主。荒漠草原主要分布在同心县、盐池县以北、灵武县、青铜峡市、吴忠市等县山区以及贺兰山东麓洪积倾斜平原区域,是宁夏地带性植被面积最大的类型,土壤以灰钙土为主,年平均降雨量在 200—250 mm 间,植被主要以菊科、禾本科、豆科、萝藦科和藜科植物为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和样品采集

2017 年 7 月,根据宁夏天然草地分布情况,自南向北,分别在宁夏隆德、彭阳、固原、海原、西吉、同心、吴忠、红寺堡、灵武、盐池、中宁、中卫、贺兰山、青铜峡和平罗等市县,选取未受人为影响的 4 种天然草原类型共计 57 个样点(图 1):草甸草原(7 个样点,21 个样方)、温性草原(16 个样点,48 个样方)、温性草原化荒漠(8 个样点,24 个样方)和温性荒漠草原(26 个样点,78 个样方),依据每个样点的情况,选择能够代表整个样点植被情况的区域设置固定调查监测样地约 100 m×100 m,采用随机设定样方的方法,在固定监测样地内设置 1 m×1 m 的样方,采取“四度一量”的方法进行地上植被调查,在取完植被地上生物量的样方内挖取 40 cm 深土壤剖面,按照 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 分层取土壤样品,同一样坑的土样进行同层混合,带回室内用于土壤养分和土壤总有机碳含量的测试,同时用 10 cm×10 cm×10 cm 的铁盒,分层取原状土用于土壤团聚体测定。植被调查和所有土壤样品采集均设定 3 次重复。4 种草地类型植物群落基本特征和土壤养分情况如表 1 所示。

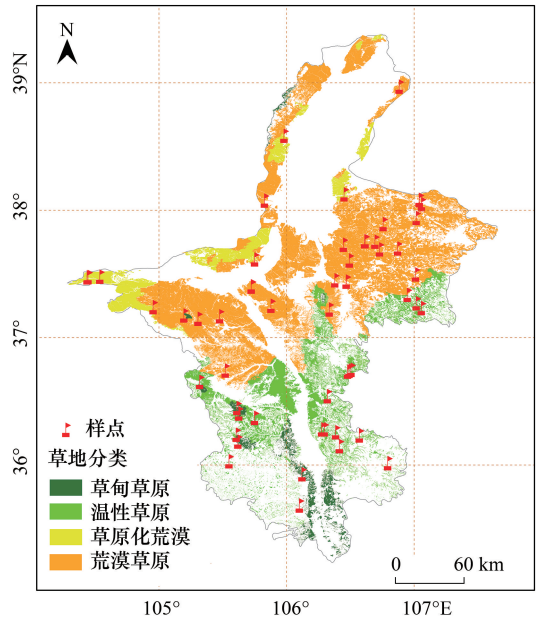


图 1 宁夏典型天然草地分布及固定样点分布图
Fig.1 Distribution of typical natural grassland and fixed sampling plots in Ningxia
MS: 草甸草原 Meadow steppe; WS: 温性草原 Warm steppe; SD: 草原化荒漠 Steppe desert; DS: 荒漠草原 Desert steppe

表 1 各草地类型群落及土壤养分基本特征
Table1 Basic community characteristics of different grasslands

草地类型 Grassland type	物种数 Numbers	群落盖度 Community coverage/%	丰富度指数 Richness index	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Predominant index	pH	STN/ (g/kg)	STP/ (g/kg)	STK/ (g/kg)	SOCC/ (g/kg)
MS	27	94.42±1.62a	14.96±3.38a	1.92±0.19a	0.72±0.04a	0.78±0.04a	7.98±0.29c	3.43±0.52a	0.76±0.07a	19.90±0.95a	34.23±1.85a
WS	22	83.94±9.90b	13.67±3.26a	1.79±0.22a	0.70±0.05a	0.75±0.05a	8.29±0.20b	1.46±0.48b	0.62±0.09b	18.58±0.88b	12.84±1.23b
SD	10	57.10±9.70c	6.84±1.63b	1.11±0.29b	0.74±0.13a	0.55±0.11b	8.80±0.31a	0.6±0.15c	0.61±0.12b	19.41±1.3a	5.76±0.41c
DS	12	56.85±11.64c	8.19±2.35b	1.27±0.27b	0.61±0.10a	0.59±0.12b	8.72±0.27a	0.45±0.32c	0.38±0.11c	17.39±1.26c	3.82±0.20c

同列不同小写字母表示植物群落各指标和土壤养分在不同草地类型间存在显著差异($P<0.05$);图中土壤养分为 0—40 cm 土层数据;STN:土壤全氮含量 Soil total nitrogen;STP:土壤全磷含量 Soil total phosphorus;STK:土壤全钾含量 Soil total potassium;SOCC:土壤有机碳含量 Soil organic carbon content. MS:草甸草原 Meadow steppe; WS:温性草原 Warm steppe; SD:草原化荒漠 Steppe desert; DS:荒漠草原 Desert steppe

1.2.2 样品指标测定

土壤 pH 值采用酸度计法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼锑抗比色法测定,全钾含量采用火焰法测定^[13]

土壤机械稳定性团聚的测定采用干筛法^[13]。将土样通过孔径依次为 5、2、1、0.5、0.25 mm 的套筛,筛分成不同粒级的团聚体,并称重计算每一粒级的重量比例,最后取平均值。土壤水稳性团聚体的分离测定依据约得尔法,并略作修改。从干筛各级土壤团聚体中,按比例配成 50 g 风干土样,将配好的土样置于团聚体分析仪套筛上部筛网上,套筛孔径从上到下依次 5、2、1、0.5 mm 和 0.25 mm,蒸馏水浸泡 10 min,开动马达,使套筛在水中上下振动 15 min,振速为 30 次/min,振幅为 3 cm。振荡结束,将套筛从水中缓慢取出,静置,稍干,将各级团聚体洗入 100 mL 烧杯中,50℃烘干至恒重,分别获取>5 mm、2—5 mm、1—2 mm、0.5—1 mm、0.25—0.5 mm 和<0.25 mm 6 个级别的水稳性土壤团聚体,称取各粒级的质量,并通过计算获得各粒级的质量分数^[14-16]。将湿筛分离的各粒级土壤团聚体放入 60℃烘箱烘干称重。

土壤团聚体稳定性采用平均重量直径(MWD)和几何直径 GWD 来衡量。

土壤中总有机碳含量和每一粒级土壤样品中有机碳含量的测定,采用 Elementar TOC 总有机碳分析仪进行测定。

1.3 数据处理

所有基础数据采用 Microsoft Excel 2010 进行基础计算和分析。采用 IBM SPSS statistics 软件进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析。绘图用 ArcGIS10.4 和 origin 2020 软件完成。

各粒级团聚体含量、平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GWD)、团聚体有机碳贡献率以及团聚体有机碳储量采用如下公式进行计算^[14,16]:

各级团聚体含量% = 各级团聚体烘干重(g)/土样的烘干重(g) × 100

平均重量直径(MWD):

$$MWD = \sum_{i=1}^n (\bar{R}_i \times w_i)$$

几何平均直径(GMD):

$$GMD = \exp \sum_{i=1} w_i \ln \bar{R}_i$$

团聚体对有机碳贡献率^[17]: 团聚体对土壤有机碳贡献率(%) = (该粒级团聚体中有机碳含量 × 该级团聚体含量) / 土壤总有机碳含量 × 100

2 结果与分析

2.1 土壤机械稳定性团聚体组成特征

由图 2 可知,4 种草地类型在 3 个土层深度各粒径团聚体含量均呈现出随粒径减小而先减小后增大的趋势,且不同粒级土壤团聚体含量在不同草地类型间存在差异。其中,>0.25 mm 土壤团聚体含量在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层深度均表现为草甸草原>温性草原>草原化荒漠>荒漠草原,且均表现为草甸草原和温性草原显著高于草原化荒漠和荒漠草原($P < 0.05$),草甸草原和温性草原二者差异不显著($P > 0.05$),在 0—10 cm、10—20 cm 土层草原化荒漠显著高于荒漠草原($P < 0.05$),在 20—40 cm 土层二者差异不显著($P > 0.05$)。且草甸草原、温性草原和草原化荒漠这 3 种草地类型在 3 个土层深度,土壤机械稳定性团聚体均以>0.25 mm 土壤大团聚体为主,占整个团聚体含量的 55.98%—85.57%。荒漠草原在 0—10 cm 和 10—20 cm 土层机械稳定性团聚体以<0.25 mm 的微团聚体为主,占整个团聚体含量的 52.54%—61.89%,20—40 cm 土壤机械稳定性团聚体以>0.25 mm 的大团聚体为主,但含量仅较<0.25 mm 的微团聚体含量高 3.21%。其中,大团聚体含量,在 3 个土层深度草甸草原、温性草原和草原化荒漠均以>5 mm 团聚体含量最高,含量在 29.95%—62.33%,且均表现为草甸草原和温性草原显著高于草原化荒漠($P < 0.05$),荒漠草原大团聚含量,在

0—10 cm 土层以 0.25—0.5 mm 粒径含量最高,为 17.27%,显著高于其他 3 种草地类型 ($P<0.05$),在 10—20 cm 和 20—40 cm 土层以 >5 mm 粒径含量最高,分别为 17.97% 和 23.49%,但均显著小于草甸草原和温性草原 ($P<0.05$)。4 种草地类型在 3 个土层深度,均以 1—2 mm 粒径团聚体含量最少,含量在 0.86%—4.00% 间,且均为草甸草原、温性草原和草原化荒漠显著高于荒漠草原 ($P<0.05$)。

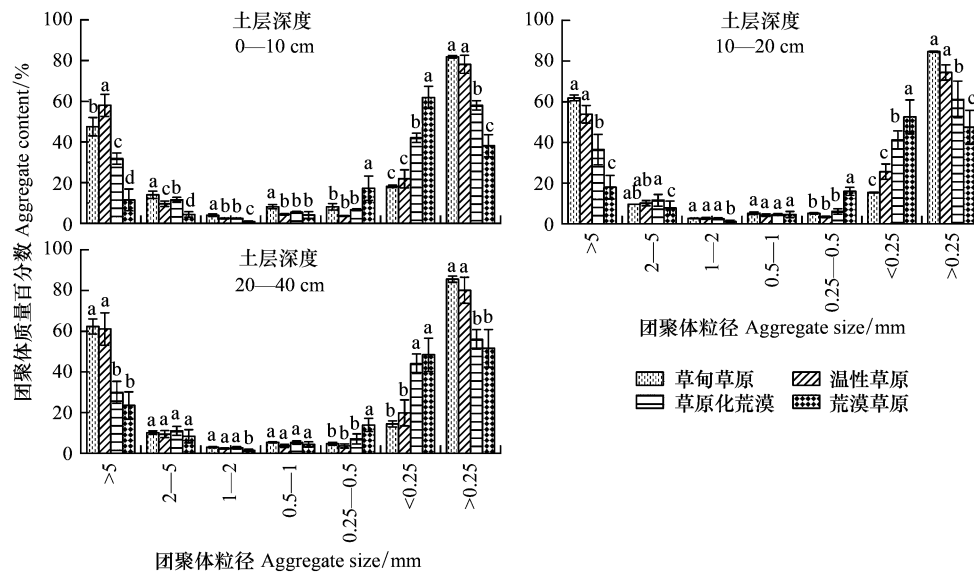


图 2 机械稳定性团聚体组成特征

Fig.2 Characteristics of mechanical-stable aggregates

图中小写字母表示同一粒径不同草地类型土壤机械稳定性团聚体质量百分数在 0.05 水平上的差异性

2.2 土壤水稳性团聚体组成特征

由图 3 可以看出,在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 土层,草甸草原、温性草原和草原化荒漠土壤各粒径水稳性团聚体含量均呈现出随粒径减小而先减小后增大的趋势,而荒漠草原呈现出随粒径减小逐渐增大的趋势,且 >0.25 mm 的团聚体含量较机械团聚体百分比明显减少。

在 3 个土层深度,草甸草原和温性草原以 >0.25 mm 为主,含量在 67.87%—78.04% 间,且显著高于草原化荒漠和荒漠草原 ($P<0.05$),但草甸草原和温性草原二者差异不显著 ($P>0.05$);草原化荒漠和荒漠草原水稳性团聚体以 <0.25 mm 的微团聚体为主,含量在 55.36%—77.23% 间,且在 3 个土层,4 种草地类型 <0.25 mm 的团聚体含量均为荒漠草原显著高于其他 3 种草地类型 ($P<0.05$),但草甸草原和温性草原差异不显著 ($P>0.05$)。

其中,大团聚体含量,草甸草原、温性草原和草原化荒漠在 3 个土层深度,均以 >5 mm 团聚体含量最高,变化区间在 17.57%—59.41%,且均为草甸草原和温性草原显著高于草原化荒漠 ($P<0.05$),但草甸草原和温性草原二者差异不显著 ($P>0.05$);荒漠草原大团聚含量,3 个土层均以 0.25—0.5 mm 粒径含量最高,在 11.51%—13.15%,且均为荒漠草原显著高于其他 3 种草地类型 ($P<0.05$)。

2.3 土壤团聚体稳定性特征

从图 4 看出,4 种草地类型土壤机械团聚体 MWD 和 GMD 明显高于水稳性团聚体的 MWD 和 GMD,且不同草地类型间存在差异。其中,0—10 cm 土层深度,4 种草地类型机械团聚体和水稳性团聚体 MWD 和 GMD 均表现为:温性草原 $>$ 草甸草原 $>$ 草原化荒漠 $>$ 荒漠草原,且均表现为温性草原和草甸草原显著大于草原化荒漠和荒漠草原 ($P<0.05$)。在 10—20 cm 和 20—40 cm 土层深度,4 种草地类型机械团聚体和水稳性团聚体 MWD 和 GMD 值均表现为:草甸草原 $>$ 温性草原 $>$ 草原化荒漠 $>$ 荒漠草原,且均表现为草甸草原和温性草原显著大于草原化荒漠和荒漠草原 ($P<0.05$)。

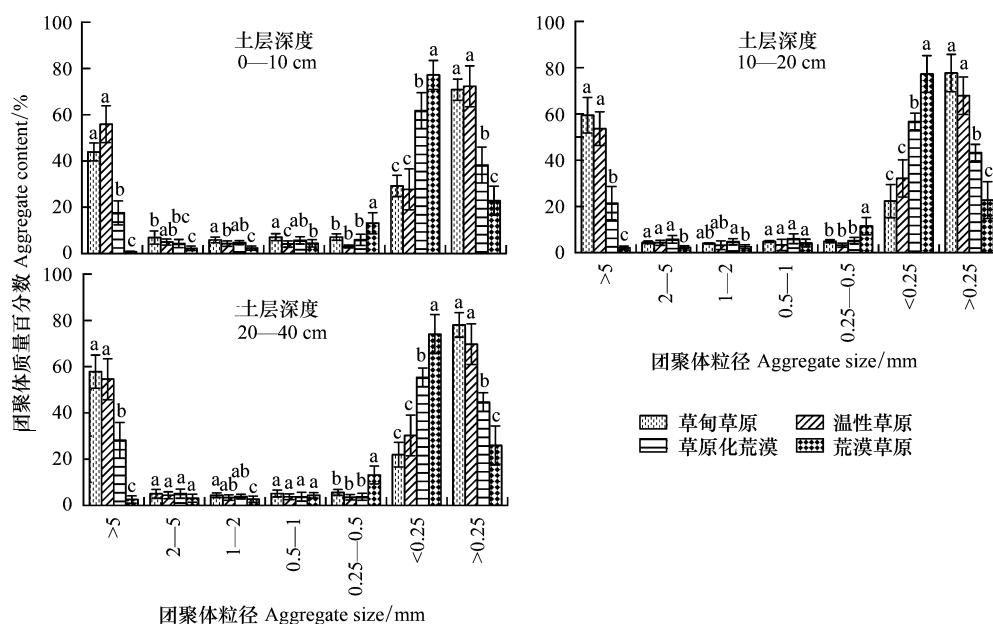


图3 土壤水稳性团聚体组成特征

Fig.3 Characteristics of water-stable aggregates

2.4 土壤团聚体有机碳含量特征

4 种草地类型 >5 mm、2—5 mm、1—2 mm、0.5—1 mm、0.25—0.5 mm 和 <0.25 mm 6 个粒级土壤团聚体有机碳含量在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层深度均表现为:草甸草原>温性草原>草原化荒漠>荒漠草原,且均表现为草甸草原显著大于温性草原、草原化荒漠和荒漠草原,温性草原显著大于草原化荒漠和荒漠草原,草原化荒漠显著大于荒漠草原($P<0.05$) (图 5)。

2.5 不同粒级团聚体有机碳对土壤有机碳的贡献率

从图 6 看出,草甸草原和温性草原在 0—10 cm、10—20 cm 和 2—40 cm 3 个土层,均以 >0.25 mm 的大团聚体对有机碳的贡献率高,分别达到 43.86%、59.26%、58.89% 和 58.02%、54.03%、57.15%,分别较 <0.25 mm 的微团聚体的贡献率高 40.73%、54.76%、57.40% 和 46.74%、34.89%、42.41%。其中,大团聚体贡献率中均以 >5 mm 粒级团聚体的贡献率为最高,3 个土层贡献率分别达到 43.86%、59.26%、58.89% 和 58.02%、54.03%、57.15%。2—5 mm、1—2 mm、0.5—1 mm 和 0.25—0.5 mm 4 个粒级的贡献率分别在 4.06%—7.07% 和 2.93%—4.56 间。

草原化荒漠和荒漠草原趋势与草甸草原和温性草原正好相反,二者在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层深度,均以 <0.25 mm 的微团聚体贡献率高,分别达到了 60.37%、55.86%、54.33% 和 75.61%、78.34%、78.74%,分别较 >0.25 mm 的大团聚体的贡献率高 20.74%、11.73%、8.67% 和 51.21%、56.68%、57.49%。大团聚体的贡献率中,草原化荒漠以 >5 mm 粒级团聚体的贡献率为最高,分别达到了 18.38%、23.35% 和 31.28%,荒漠草原以 0.25—0.5 mm 粒级的贡献率最高,分别达到了 15.34%、10.18% 和 10.63%。两个草地类型 2—5 mm、1—2 mm、0.5—1 mm 和 0.25—0.5 mm 4 个粒级的贡献率分别在 2.99%—6.46% 和 0.73%—4.42 间。

3 讨论

3.1 不同草地类型土壤团聚体组成及稳定性差异

土壤团聚体作为土壤结构稳定的基本单位和重要指标,其大小和数量影响着土壤质量^[1]及土壤有机碳稳定性,探寻其稳定性对于分析区域土壤健康及有机碳库稳定性意义重大^[10]。本文研究了宁夏 4 种天然草

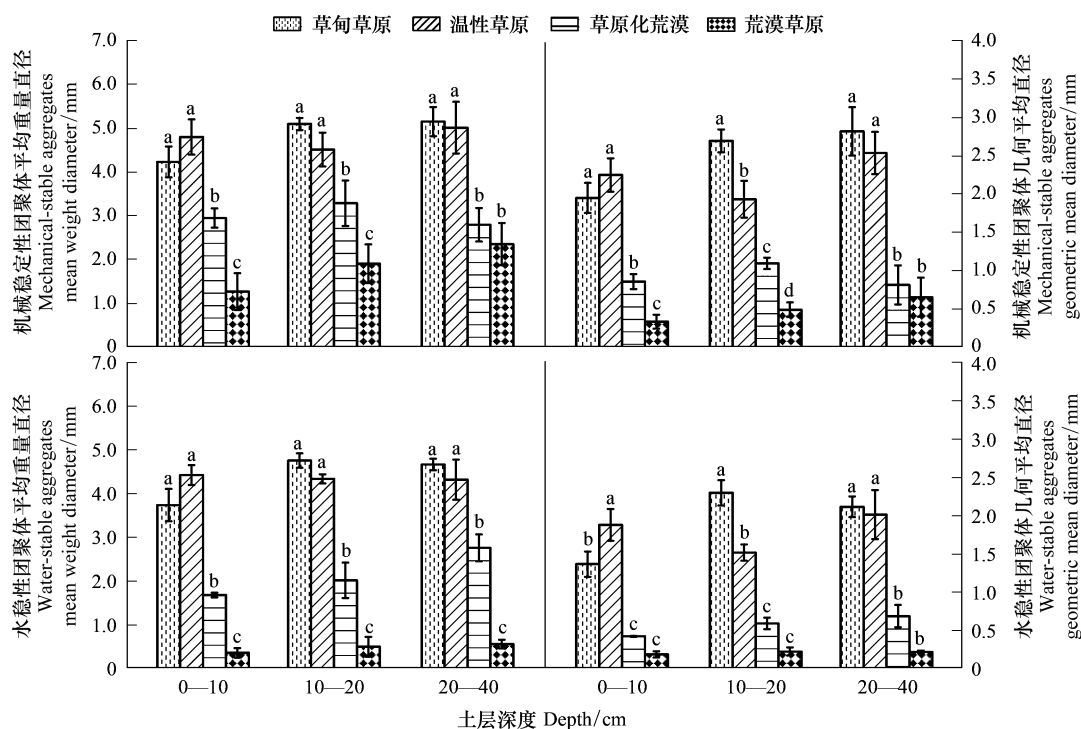


图 4 不同草地类型土壤团聚体稳定性特征

Fig.4 Characteristics of soil aggregate stability in different grassland

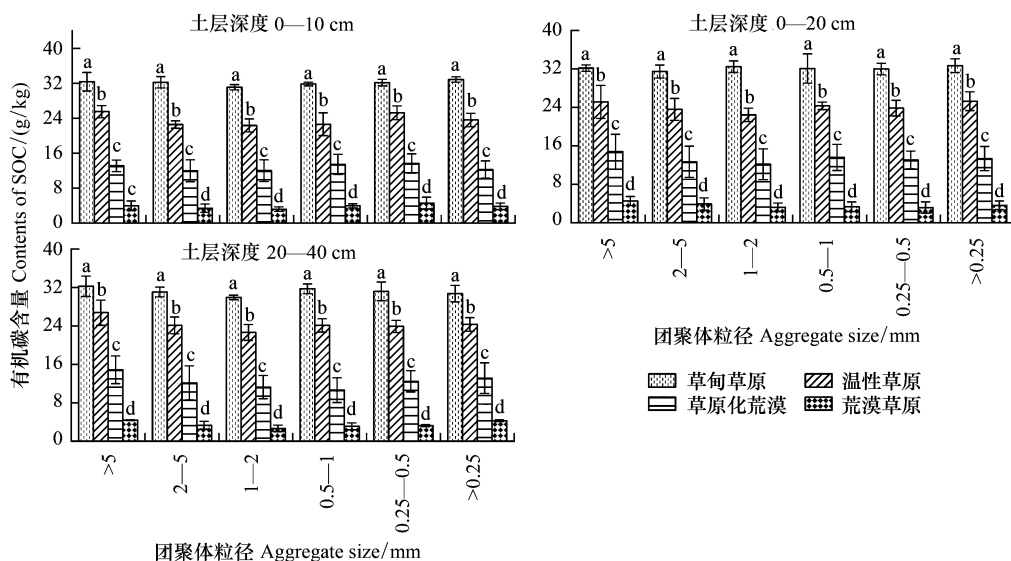


图 5 不同草地类型不同土层深度土壤团聚体有机碳含量

Fig.5 Soil aggregate organic carbon content in different grassland

地——草甸草原、温性草原、荒漠草原和草原化荒漠,在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层深度土壤团聚体分布特征,发现土壤团聚体分布特征在不同草地类型间存在差异,说明草地类型对土壤团聚体的形成及稳定性具有影响。不同草地类型其地上植被构成、地表枯落物的输入数量和质量不同,不同的降水条件、温度及土壤环境差异使有机质的分解速率也均不同,影响着土壤有机碳的含量及储量,进而使形成大团聚体的胶结物质存在差异,最终表现出土壤团聚体组成特征在不同草地类型间存在差异^[7]。

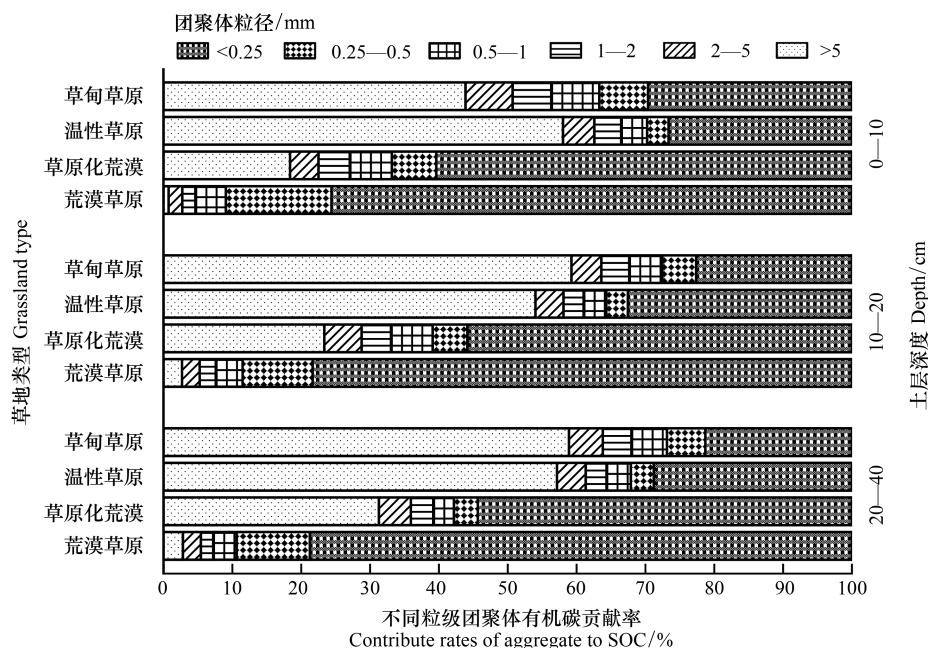


图6 不同草地类型不同粒级土壤团聚体对有机碳的贡献率

Fig.6 Contribution of soil aggregates of different grassland to soil organic carbon

土壤 >0.25 mm的大团聚体数量与土壤状况呈正相关,其含量越高,土壤稳定性越好,土壤结构和质量越佳^[7,18]。本研究发现,草甸草原和温性草原机械稳定性团聚体和水稳性团聚体均以 >0.25 mm的大团聚体为主,说明这两类草地土壤结构较为稳定;荒漠草原和草原化荒漠水稳性团聚体均以 <0.25 mm的微团聚体为主,表明这两类草地类型土壤团聚体朝小粒径方向转变^[7]。一方面反映了草地类型对土壤团聚体分布特征具有影响,另一方面也可反映出不同草地类型所分布区域的降雨、气温、植被盖度及土壤状况等对土壤团聚体也具有影响。宁夏天然草地分布呈现显著的地带性分布特点,即草甸草原和温性草原分布的区域较荒漠草原和草原化荒漠分布的区域降雨量高,气温低,且根据实地调查分析草甸草原和温性草原植物群落盖度和土壤全氮含量均显著高于草原化荒漠和荒漠草原(表1),可以说明降雨量高,气温低的条件更利于土壤团聚体的形成。分析原因,可能是由于草甸草原和温性草原分布的区域降雨量高,土壤地质条件良好,地上植被较丰富且产量高,并且在封山禁牧等措施的影响下,人为干扰减弱,大量植物残体滞留在地表,为微生物维系生命供应了大量丰富的养料,使得输入土壤的有机碳也高,有利于在大团聚体内部结合形成微粒有机质,降低了对大团聚体的破坏,增加了其结构稳定性,促进了土壤团聚体的形成。荒漠草原分布区域土壤以灰钙土和风沙土为主,土壤结构本身松散,特别是表层土壤由于风蚀作用强烈,结构更为疏松,不利于土壤团聚体形成^[5]。

经湿筛后,土壤不稳定团聚体崩解为 <0.25 mm的团聚体, >0.25 mm的团聚体含量较机械团聚体百分比明显减少。分析原因主要是由于原状土经干筛后主要反映了土壤中非水稳性团聚体和水稳性团聚体的状况,湿筛后土壤在水浸泡作用下大量的非水稳性团聚体遭到破坏,此时主要反映了土壤水稳性团聚体的特征。Elliott和Sodhia等研究也认为水稳定性大团聚体的稳定性低于水稳定性微团聚体^[19-21]。

土壤团聚体MWD和GMD反映土壤团聚体大小分布状况,其值越大表明土壤团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强,土壤结构越好^[6,22-23]。本研究表明4种天然草地土壤机械团聚体和水稳性团聚体MWD和GMD,均表现为草甸草原和温性草原显著大于草原化荒漠和荒漠草原($P<0.05$)。说明草甸草原和温性草原较草原化荒漠和荒漠草原土壤团聚度高,土壤稳定性更强。

3.2 不同草地类型土壤各级团聚体有机碳含量及对碳储量贡献率

有机碳作为土壤的一个重要组成部分,其在维持土壤的物理、化学和生物学特征中起着关键性的作用,在

土壤团聚体的形成和稳定性中也占有重要作用^[19,24-25]。从本质上讲,土壤团聚体稳定性取决于土壤特性,特别是土壤有机碳的含量^[25-27]。本研究表明,宁夏典型天然草地草甸草原、温性草原、草原化荒漠和荒漠草原,在 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 3 个土层,不同粒级土壤团聚体有机碳含量均表现为:草甸草原>温性草原>草原化荒漠>荒漠草原,与土壤团聚体稳定性规律基本一致。其中,草甸草原和温性草原均以>0.25 mm 的大团聚体对有机碳的贡献率高,且大团聚体贡献率中均以>5 mm 粒级团聚体的贡献率为最高。草原化荒漠和荒漠草原在 3 个土层,均以<0.25 mm 的微团聚体对有机碳的贡献率高。Elliott^[20]研究认为大团聚体中碳的含量高是由于有机质把微团聚体胶结成大团聚体所致。此外,Tisdall 和 Oades 研究发现大团聚体中有机碳含量高,是由于处于分解状态的地下根系和土壤菌丝的作用,其不仅可以增加大团聚体中有机碳的浓度,还可以增加其大团聚体的稳定性^[28-29]。本研究 4 种草地类型,不同粒级均以草甸草原有机碳含量最高,分析可能主要与草地类型及其分布地带气候等自然条件有关,草甸草原分布区降水充沛,其地上生物量相较于其他草地类型也高,这在一定程度上增加了地表碳的输入,当外源有机碳的输入增加后,释放出大量的活性有机碳供微生物利用,极大促进了土壤生物的活性,对大团聚体内部结合形成有机物具有促进作用,同时有机物的增加又促进了团聚体的形成,土壤大团聚体内部的保护环境,又减小了微生物与其内部包被的有机质的接触,使有机质含量增加,进一步使有机碳产生富集,从而改变了土壤团聚体的有机碳含量和分配比例^[1,30-31]。

4 结论

草甸草原和温性草原机械稳定性和水稳性团聚体均以>0.25 mm 土壤大团聚体为主,草原化荒漠和荒漠草原水稳性团聚体以<0.25 mm 的微团聚体为主。说明宁夏典型天然草地不同草地类型间土壤团聚体分布和稳定性差异较大,草甸草原和温性草原较草原化荒漠和荒漠草原土壤团聚体稳定性更高。

6 个粒级土壤团聚体有机碳含量均表现为:草甸草原>温性草原>草原化荒漠>荒漠草原,且在 0—10 cm、10—20 cm 和 2—40 cm 3 个土层,草甸草原和温性草原均以>0.25 mm 的大团聚体对有机碳的贡献率高,草原化荒漠和荒漠草原均以<0.25 mm 的微团聚体贡献率高。

参考文献 (References):

- [1] 刘秀,司鹏飞,张哲,陈保青,董雯怡,严昌荣,刘恩科.地膜覆盖对北方旱地土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响.生态学报,2018,38(21):7870-7877.
- [2] Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research, 2004, 79(1): 7-31.
- [3] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. European Journal of Soil Science, 1982, 33(2): 141-163.
- [4] Oades J M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant and Soil, 1984, 76(1/3): 319-337.
- [5] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review. Geoderma, 2005, 124(1/2): 3-22.
- [6] 时龙,郭艳菊,于双,陶利波,许冬梅.不同补播模式对荒漠草原土壤团聚体稳定性的影响.中国草地学报,2019,41(3):83-89.
- [7] 王冰,张鹏杰,张秋良.不同林型兴安落叶松林土壤团聚体及其有机碳特征.南京林业大学学报:自然科学版,15-24.
- [8] 王静娅,张风华.干旱区典型盐生植物群落土壤团聚体组成及有机碳分布.生态学报,2016,36(3):600-607.
- [9] Bird S B, Herrick J E, Wander M M, Murray L. Multi-scale variability in soil aggregate stability: implications for understanding and predicting semi-arid grassland degradation. Geoderma, 2007, 140(1/2): 106-118.
- [10] 王甜,徐姗,赵梦颖,李贺,寇丹,方精云,胡会峰.内蒙古不同类型草原土壤团聚体含量的分配及其稳定性.植物生态学报,2017,41(11):1168-1176.
- [11] 季波,何建龙,吴旭东,王占军,谢应忠,蒋齐.宁夏典型天然草地土壤有机碳及其活性组分变化特征.草业学报,2021,30(1):24-35.
- [12] 高正中,戴法和.宁夏植被.银川:宁夏人民出版社,1988:8-8.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析.上海:上海科学技术出版社,1978.
- [14] 劳家桢.土壤农化分析手册.北京:农业出版社,1988.
- [15] 付鑫,王俊,刘全全,李蓉蓉.不同覆盖材料及旱作方式土壤团聚体和有机碳含量的变化.植物营养与肥料学报,2015,21(6):1423-1430.

- [16] 李柏桥, 付玉, 李光录, 张腾, 郑腾辉. 退耕年限与方式对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 238-244.
- [17] 许冬梅, 许新忠, 王国会, 陶利波. 宁夏荒漠草原自然恢复演替过程中土壤有机碳及其分布的变化. 草业学报, 2017, 26(8): 35-42.
- [18] 陆琪, 马红彬, 俞鸿千, 王丽, 沈艳, 许冬梅, 谢应忠. 轮牧方式对荒漠草原土壤团聚体及有机碳特征的影响. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3028-3038.
- [19] 刘恩科, 赵秉强, 梅旭荣, Hwat B S, 李秀英, 李娟. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [20] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(3): 627-633.
- [21] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. Soil and Tillage Research, 2009, 103(2): 412-418.
- [22] Salako F K, Hauser S. Influence of different fallow management systems on stability of soil aggregates in southern Nigeria. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(9-10): 1483-1498.
- [23] 郑子成, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 杨玉梅, 汪曦微. 不同土地利用方式下土壤团聚体的组成及稳定性研究. 水土保持学报, 2009, 23(5): 228-231, 236-236.
- [24] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping system. Soil and Tillage Research, 1997, 43(1/2): 131-167.
- [25] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 董玉红. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2006, 26(12): 4148-4155.
- [26] Zhang B, Horn R. Mechanisms of aggregate stabilization in Ultisols from subtropical China. Geoderma, 2001, 99(1/2): 123-145.
- [27] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2003, 23(10): 2176-2183.
- [28] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报, 2005, 36(3): 415-421.
- [29] Tisdall J M, Oades J M. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. Australian Journal of Soil Research, 1980, 18(4): 423-433.
- [30] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 朱锦懋, 曾宏达, 杨智杰. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响. 生态学报, 2008, 28(2): 702-709.
- [31] 任荣秀, 杜章留, 孙义亨, 宋学姝, 陆森. 华北低丘山地不同土地利用方式下土壤团聚体及其有机碳分布特征. 生态学报, 2020, 40(19): 6991-6999.