

DOI: 10.5846/stxb201405221057

王静娅, 张凤华. 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): - .

Wang J Y, Zhang F H. Distribution of soil aggregates and aggregate-associated organic carbon from typical halophyte community in arid region. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

干旱区典型盐生植物群落土壤团聚体组成及有机碳分布

王静娅, 张凤华*

石河子大学, 石河子 832003

摘要:以干旱区玛纳斯河流域扇缘带为研究区, 分析了花花柴 (*Karelinia caspia*)、雾滨藜 (*Bassia dasyphylla*)、梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 和怪柳 (*Tamarix ramosissima*) 4 个典型盐生植物群落土壤团聚体的组成及有机碳分布。研究表明: 不同植物群落土壤团聚体均以 0.25—0.053 mm 粒径为主, 占了 46.7—74.6%, 且与其他粒径差异显著 ($P < 0.05$), >0.25 mm 和 <0.053 mm 粒径土壤团聚体含量较少, 仅占 7.8%—43%。梭梭群落 >0.25 mm 团聚体平均含量较高, 达 32%。不同植被群落土壤总有机碳介于 2.01—8.73 g/kg 之间, 不同粒径团聚体有机碳介于 1.70—13.68 g/kg 之间。不同群落之间, 梭梭和怪柳群落总有机碳和团聚体有机碳含量均相对较高, 且随着土层深度下降而下降。不同粒径之间, 有机碳含量在 0.25—0.053 mm 粒径最低, 在 >0.25 mm 和 <0.053 mm 粒径中最高, 呈现“V”型分布且差异显著 ($P < 0.05$)。0.25—0.053 mm 团聚体中有机碳含量的贡献率最高, 达 43.43%, 而 <0.053 mm 粒级贡献率较低, 但有机碳含量较高, 说明了小粒径团聚体对有机碳保护能力较强。土壤有机碳含量与 0.25—0.053 mm 团聚体含量呈显著负相关 ($P < 0.05$)。而从整体来看, 梭梭群落 >0.25 mm 团聚体比例较高, 且土壤有机碳和团聚体有机碳含量也较高, 说明了在该研究区, 梭梭群落聚集土壤养分能力较强, 相对其他群落更有利于土壤有机碳的积累。

关键词: 干旱区; 盐生植被; 土壤团聚体; 土壤有机碳

Distribution of soil aggregates and aggregate-associated organic carbon from typical halophyte community in arid region

WANG Jingya, ZHANG Fenghua*

Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: Soil aggregates are organic-inorganic complexes and the basic unit of soil structure. Their formation and stability are closely related to soil organic carbon content. The distribution of aggregate-associated organic carbon determines the capacity for soil organic carbon storage and retention. Currently, research on soil aggregate-associated organic carbon mainly focuses on agricultural and artificial ecosystems; relatively few studies have focused on natural ecosystems. In particular, little is known about distribution of aggregate-associated organic carbon in halophyte communities in Xinjiang. In light of this, a field experiment was conducted on an alluvial fan in the Manasi River Basin to quantify changes in soil aggregation and aggregated-associated soil organic carbon associated with four halophytes (*Karelinia caspia*, *Bassia dasyphylla*, *Haloxylon ammodendron*, and *Tamarix ramosissima*). Our objective was to determine 1) the particle size that is most conducive to carbon retention and 2) which of the four halophytes is associated with the accumulation of the most soil organic carbon. The results showed: 1) 46.7% to 74.6% of the total soil mass comprised particles of intermediate diameter (0.25 mm—0.053 mm). This was significantly greater ($P < 0.05$) than the other two classes of particle size defined in this

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1203282, 31360320); 教育部科学技术研究项目 (213039A)

收稿日期: 2014-05-22; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zfh2000@126.com

study (>0.25 mm and <0.053 mm). The >0.25 mm or <0.053 mm classes only comprised 7.8% to 43% of soil mass. The >0.25 mm class was most abundant in the *Haloxylon ammodendron* community, accounting for 32% of soil mass. 2) Soil total organic carbon content was 2.01—8.73 g/kg, and aggregate-associated soil organic carbon content varied from 1.70 to 13.68 g/kg among communities. Total organic carbon and aggregate-associated organic carbon were greater in the *Haloxylon ammodendron* and *Tamarix ramosissima* communities than in the other communities studied. These measures decreased in all communities with depth. 3) The aggregate-associated organic carbon content was lowest in the 0.25—0.053 mm class, and significantly higher ($P<0.05$) in the >0.25 mm and <0.053 mm classes. 4) Because the 0.25 mm—0.053 mm class was the most abundant, aggregate-associated organic carbon in this fraction contributed more to soil total organic carbon contained 43.43%. There was more aggregate-associated organic carbon in the <0.053 mm class, but this contributed less to total soil organic carbon, indicating that these micro-aggregates have the greatest potential to retain soil organic carbon. There was a significant negative relationship between the abundance of 0.25—0.053 mm soil aggregate particles and soil organic carbon content. Total soil organic carbon, aggregate-associated soil organic carbon and abundance of >0.25 mm aggregate particles were highest in the *Haloxylon ammodendron* community, which implies that this community has the greatest potential to gather soil nutrients of the four communities studies, could be useful for accumulating soil organic carbon in arid areas.

Key Words: arid region; halophyte vegetation; soil aggregate; soil organic carbon

土壤碳库是大气碳库的 3 倍,生物碳库的 3.8 倍,是地球表层最大的有机碳库,在全球碳循环中起着关键作用^[1]。土壤团聚体是土壤结构最基本的单元,是有机碳存在的场所^[2],土壤团聚体的形成与稳定与土壤有机碳密切相关^[3],有机碳在团聚体中的分布形式决定了土壤储存和保留有机碳的能力^[4]。同时土壤团聚体的粒径分布不仅反映土壤结构状况,而且影响着土壤的通气、抗蚀、渗水性等。因此,土壤团聚体组成及有机碳分布对土壤结构和土壤肥力的形成具有重要作用。

土壤有机碳在团聚体中分布状况研究结果不一。有研究指出大团聚体里有机碳含量较高^[5-7],安韶山^[8]对黄土丘陵区的研究也都得出相同结论,即大量的有机碳存储在 2—0.25 mm 的团聚体中。而也有研究显示微团聚体有机碳含量比大团聚体高^[9-10],各粒径团聚体的有机碳库而言, <0.25 mm 团聚体是土壤有机碳的主要载体^[11]。Li 等和苑亚茹等指出植被覆盖的黑土 0.25—0.053 mm 微团聚体有机碳含量最高^[12-13]。而在干旱区的盐碱土,土壤有机碳在团聚体的分布有待进一步研究。目前关于土壤团聚体有机碳分布的研究多集中在土地利用和人工生态系统。如评价耕作栽培^[9,10]、施肥^[14-15]等措施对土壤性质的影响,而对自然生态系统的研究较少。因此在研究区对盐生植被群落下土壤有机碳的研究具有一定意义。

新疆是我国最干旱、盐碱化土壤分布面积最广、土壤积盐最重的地区,在特定的自然环境条件下发育着丰富的盐生植物^[16],不同盐生植被群落土壤团聚体组成及有机碳含量变化的研究相对较少,且随着人工绿洲的不断建立与扩大,加之水土资源不合理利用,使得绿洲外围盐生植被带日趋衰落,其生态效益成为人们关注的焦点。因此,对不同盐生植被群落覆盖下土壤团聚体有机碳的分布特征进行研究,旨在探明土壤团聚体中有机碳分布状况,对当地大面积盐碱地土壤结构以及碳固定评价具有一定参考意义,也为该区域盐生植被的保育与恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于玛河流域扇缘带,地理位置东经 $86^{\circ}03'$ — $86^{\circ}08'$,北纬 $44^{\circ}64'$ — $44^{\circ}71'$ 。该地区属于温带大陆性干旱半干旱气候,具有冬季严寒,夏季酷热,日照充足,干旱少雨等特点^[17]。年平均气温 6—7 °C 之间,最高气温在 7 月,最热月温度在 24—26 °C,最冷月温度在 -18—-19.5 °C;农业主要以灌溉为主,年降水量平均值

140—180 mm 之间,多集中在 4—5 月。多年平均蒸发量为 1521.43 mm,蒸发主要集中在 4—9 月,约占全年蒸发量的 88%。该区地下水位高,流动不畅,灰漠土是该区典型地带性土壤,土壤含盐量高,改良条件差,具有表聚现象^[18]。该地区植物群落结构通常表现为不连续的灌木层以及相对连续的草本层,形成典型的灌—草型二元结构群落^[17]。以旱生、超旱生、耐盐碱的荒漠植被占优势,植被的主要物种为白刺 *Nitraria tangutorum* Bobr.、绢蒿 *Seriphidium kaschgaricum*、花花柴 *Karelinia caspia*、雾滨藜 *Bassia dasphylla*、梭梭 *Haloxylon ammodendron*、怪柳 *Tamarix ramosissima*、骆驼刺 *Alhagi sparsifolia*、小叶碱蓬 *Suaeda microphylla*、盐节木 *Halocnemum strobilaceum*、小獐茅 *Aeluropus pungens*、叉毛蓬 *Petrosimonia sibirica*、盐爪爪 *Kalidium foliatum*、补血草 *Limonium sinense* 等。

1.2 研究方法

1.2.1 样品的采集与分析

选取玛河流域扇缘带弃耕 20 年以上的天然盐碱荒地,根据样地植物群落优势种的不同,综合物种组成和群落结构等因素,选择了坡向、坡度和海拔高度基本一致的花花柴、雾滨藜、梭梭和怪柳 4 种典型盐生植被群落。采用样方法(每个群落设置 3 个 20 m×20 m 的样方)对 4 个群落进行植被调查,调查包括植物种类、株高、盖度、植被多样性和丰富度指数,以及样地土壤基本理化性质。具体见表 1、2。

表 1 不同样地植物种类描述

Table 1 Description of plant species in the different sample

样地类型 Sample types	植物种分布 plant species distribution	平均株高 Average height/cm	平均冠幅 Average canopy/(cm×cm)	丰富度指数 Margalef index/(M)	多样性指数 Shannon index/(H)	优势度指数 Simpson index/(D)
K	花花柴、雾滨藜、小叶碱蓬、叉毛蓬、白刺	32	38×47	0.693b	0.679b	0.306b
B	雾滨藜、盐爪爪、花花柴	3	—	0.420c	0.569b	0.286b
S	梭梭、盐爪爪、补血草、小獐茅、盐节木	76	150×110	1.090a	0.949a	0.474a
T	怪柳、花花柴、小獐茅	57	110×80	0.857a	0.917a	0.469a

K: 花花柴; B: 雾滨藜; S: 梭梭; T: 怪柳。下同。不同小写字母表示植被群落间差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 样地土壤基本理化性质 (0—20 cm)

Table 2 Soil physicochemical properties of plots (0—20 cm)

样地类型 Plot type	含水量 Water content/(%)	pH	容重 Bulk density/(g/cm ³)	电导率 electrical conductivity/(s/m)	有机质 organic matter/(g/kg)	全氮 Total nitrogen/(g/kg)	全磷 Total phosphorus/(g/kg)	全钾 Total potassium/(g/kg)	碱解氮 Available nitrogen/(mg/kg)	速效磷 Available phosphorus/(mg/kg)	速效钾 Available Potassium/(mg/kg)
K	7.67c	8.96ab	1.30a	5.14a	7.30b	0.37b	0.50a	21.58b	17.18a	6.29a	311.44b
B	9.37b	8.76b	1.57a	3.53b	5.90c	0.36b	0.44a	23.62a	12.14c	6.61a	454.01a
S	11.97a	9.08 a	1.52a	4.53b	9.79a	0.46a	0.51a	23.13a	15.38b	5.63b	405.35a
T	4.40d	8.37c	1.44a	1.88c	9.21a	0.41a	0.55a	24.00a	15.92b	5.18b	285.96c

各个群落样地均采用梅花布点法,选择生长状况较一致的优势植被群落 5 丛,并在植被群落附近采样,均挖掘 60 cm 深的土壤剖面,分别取 0—10 cm、10—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 土层原状土带回实验室。于室温下风干后沿自然裂隙掰成约 1 cm 的小土块,剔除石块和根系后过 8 mm 筛后备用。

1.2.2 分析方法

采用干筛法分离出 >0.25 、 $0.25-0.053$ 和 <0.053 mm 共 3 级土壤团聚体;土壤 pH 采用电极电位法测定,有机质和有机碳采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定,全氮采用半微量开氏法测定,全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗显色-紫外分光光度法测定,全钾采用 NaOH 熔融-原子吸收法测定,碱解氮采用扩散吸收法测定,速效磷采用 NaHCO_3 提取-钼锑抗显色-紫外分光光度法测定,速效钾采用 NH_4Ac 浸提-原子吸收法测^[19]。植被多样性指标计算采用常规公式^[20],各粒径土壤团聚体对土壤碳的贡献率(%) 计算方法为^[21]:

团聚体对土壤有机碳的贡献率 = (该级团聚体中有机碳含量 × 该级团聚体的含量) / 土壤总有机碳含量 × 100%

某级团聚体含量 = 该级团聚体的重量 / 各粒级土壤团聚体重之和 × 100%

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同植物群落土壤团聚体的分布特征

由图 1 可见,不同盐生植被,0.25—0.053 mm 粒径团聚体含量均最高,占了 46.7—74.6%,且与其他粒径团聚体含量间存在显著差异 ($P < 0.05$), >0.25 mm 和 <0.053 mm 粒径土壤团聚体含量较少,占 7.8%—43%。同一土层,不同植被群落各粒径土壤团聚体含量存在一定差异。在 0—60 cm 土层,柽柳群落 <0.053 mm 的团聚体含量显著高于其它群落 ($P < 0.05$)。在 0—20 cm 土层,花花柴群落 0.25—0.053 mm 粒径团聚体显著高于其它群落 ($P < 0.05$),梭梭群落 >0.25 mm 粒径团聚体显著高于其它群落 ($P < 0.05$)。在 20—40 cm 土层,花花柴、雾冰藜和柽柳群落各粒径团聚体含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

从总体来看,花花柴群落 0.25—0.053 mm 粒径团聚体平均含量较高,为 68.9%,雾冰藜、梭梭和柽柳群落分别为 61.1%、55.7%和 60.3%。梭梭群落 >0.25 mm 粒径团聚体平均含量较高,占 32%,而柽柳群落则平均含量较少,为 15.6%,但是,柽柳群落 <0.053 mm 的团聚体平均含量较高,占 22%。

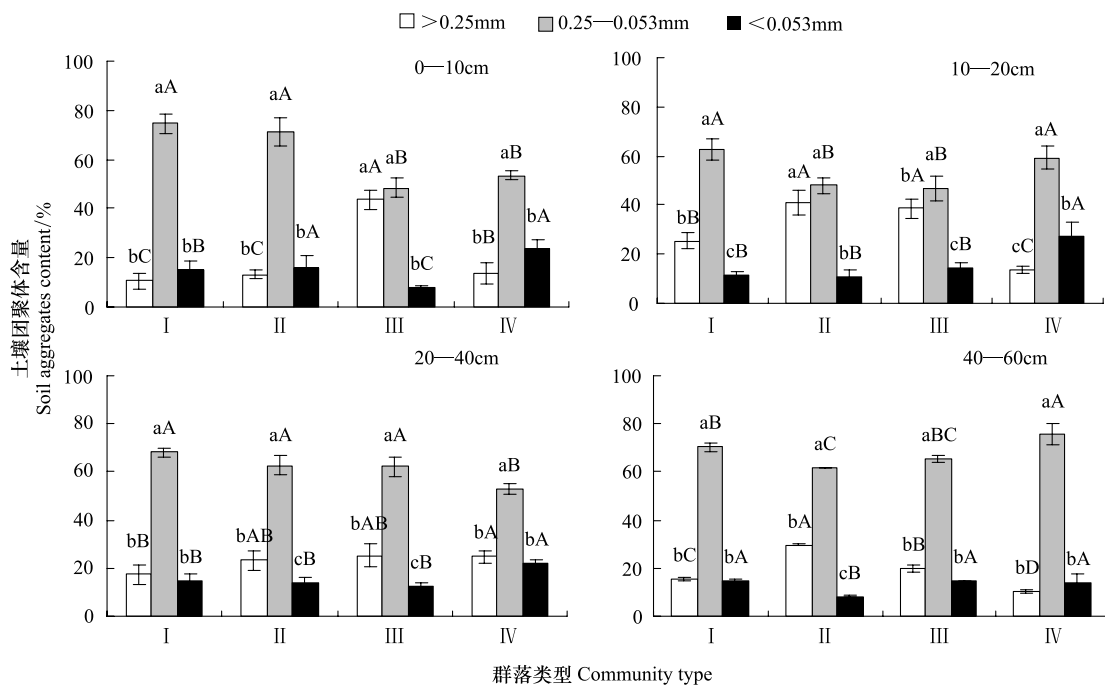


图 1 不同植物群落下土壤团聚体的分布

Fig. 1 Distribution of soil aggregates with different sizes under different plant communities

K: 花花柴; B: 雾冰藜; S: 梭梭; T: 柽柳。下同。不同小写字母表示不同粒径团聚体在同一群落间差异显著,不同大写字母表示不同群落间在同一粒径团聚体间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同植物群落下土壤总有机碳含量的变化

由图 2 可以看出,不同植被群落土壤有机碳含量介于 2.01—8.73 g/kg 之间,各个群落土壤有机碳含量均随着土层深度加深而逐层递减,且差异显著 ($P < 0.05$)。不同植被群落之间,在 0—40 cm 土层,梭梭和柽柳群落有机碳含量差异不显著,但显著高于其他群落 ($P < 0.05$),而在 40—60 cm 土层,各群落之间差异不显著 ($P >$

0.05)。从总体来看,4个群落土壤有机碳平均含量差异明显,其中梭梭和怪柳群落较高,为 5.68 g/kg, 5.464 g/kg, 分别是雾滨藜群落的 1.7 倍, 1.6 倍。

2.3 不同群落土壤团聚体中有机碳含量特征

由图 3 可以看出,不同粒径团聚体有机碳含量介于 1.70—13.68 g/kg 之间。不同植物群落土壤团聚体有机碳含量均差异显著 ($P<0.05$), 土壤团聚体有机碳含量在 0.25—0.053 mm 粒径最低,而在 >0.25 mm 和 <0.053 mm 粒径中最高,呈现“V”型分布。不同群落之间,在 0—10 cm 土层,怪柳群落各个粒径土壤团聚体有机碳含量均显著高于其它群落 ($P<0.05$)。在 10—20 cm 土层,梭梭群落土壤团聚体有机碳含量均显著高于其它群落 ($P<0.05$)。在 20—40 cm 土层,花花柴群落各个粒径土壤团聚体有机碳含量均显著高于其它群落 ($P<0.05$)。从土层剖面来看,与土壤总有机碳含量变化规律相似,各群落土壤团聚体中有机碳含量均随土层深度增加具有下降的趋势,而花花柴和梭梭群落在总体下降的趋势上,则分别在 20—40 cm 和 10—20 cm 土层出现一次峰值,然后再减少。不同植被群落团聚体有机碳经多元方差分析表明,花花柴、梭梭和怪柳群落之间差异不显著,但是均显著高于雾冰藜群落 ($P<0.05$)。由表 3 相关分析表明,土壤有机碳含量与 0.25—0.053 mm 团聚体含量呈显著负相关,但与 >0.25 mm 和 <0.053 mm 粒径团聚体含量相关性不显著。

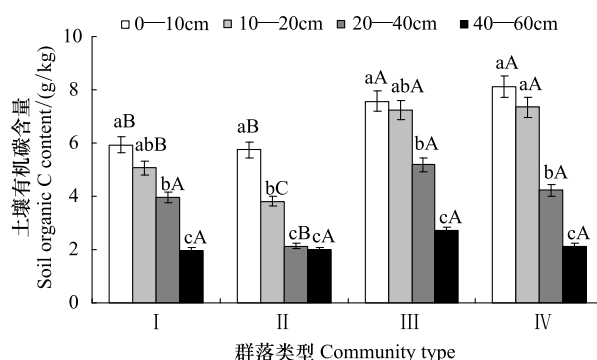


图 2 不同植物群落下土壤有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon content under different plant communities

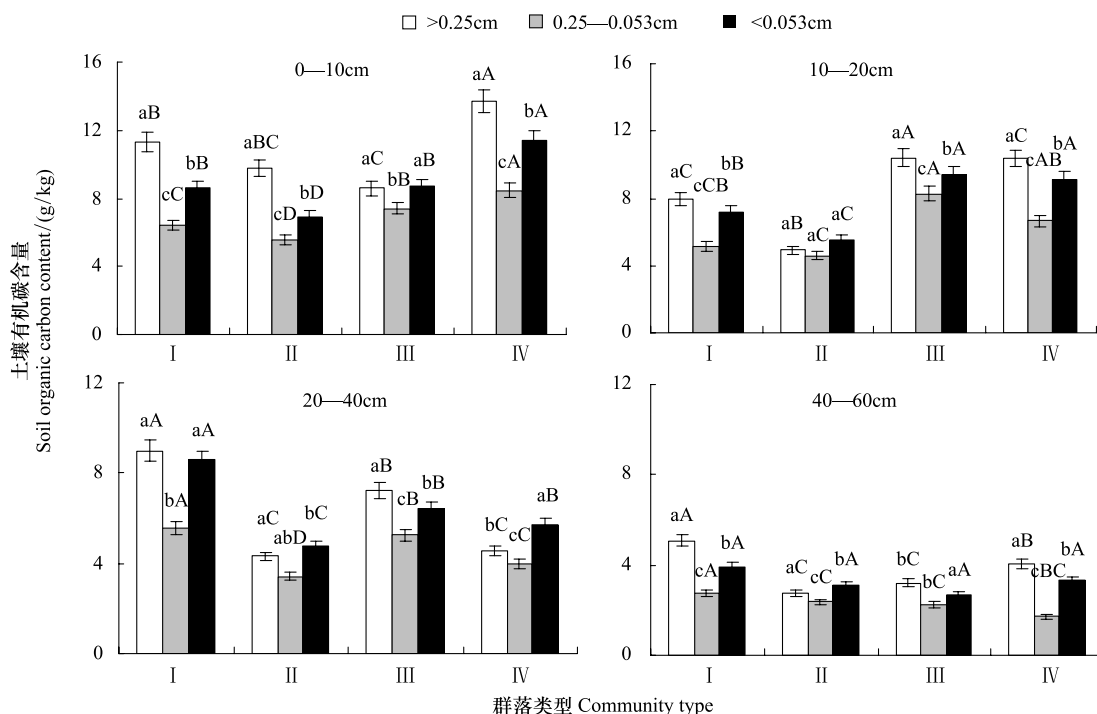


图 3 不同植物群落下各土层土壤团聚体有机碳含量

Fig. 3 Organic carbon content in soil aggregates with different layers under different plant communities

不同小写字母表示不同粒径团聚体在同一群落间差异显著,不同大写字母表示不同群落间在同一粒径团聚体间差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 不同群落土壤团聚体对土壤有机碳的贡献率

由表 4 可以看出,虽然 0.25—0.053 mm 团聚体中的有机碳含量比其它粒径的团聚体稍低,但其贡献率高

达 43.43%。经方差分析表明,花花柴、雾滨藜和怪柳群落,0.25—0.053 mm 团聚体对有机碳的贡献率均显著高于其他粒径团聚体 ($P<0.05$),梭梭群落,在 0—20 cm 土层,>0.25 mm 团聚体对有机碳的贡献率均显著高于其他粒径团聚体 ($P<0.05$)。4 个群落中,<0.053 mm 粒径团聚体有机碳含量虽然稍高,但是其对有机碳的贡献率较小。不同土层间,相同粒径土壤团聚体对土壤有机碳的贡献率总体随土层深度加深而降低。

3 讨论

在干旱和半干旱地区,干团聚体的分布和稳定性与水分利用和土壤风蚀有非常密切的联系^[22],干团聚体的分布也一定程度上反映该地区土壤质量状况。一般认为,土壤团聚体可分为大团聚体(粒径>0.25 mm)和微团聚体(粒径<0.25 mm),而大团聚体含量越高说明了土壤结构越稳定^[23]。本研究中,4 个植物群落土壤团聚体均以 0.25—0.053 mm 的粒径团聚体为主,而>0.25 mm 大粒径团聚体含量较少,平均含量仅占 22.8%,说明了研究区土壤结构较差。土壤基本理化性质表明,土壤有机质含量在 10g/kg 以下,而土壤 pH(8.8 左右)、电导率(3.5 s/m 左右)、容重(1.45 g/cm³ 左右)均较大,反映了土壤盐渍化严重、养分贫瘠、土壤质量严重退化的现状。这主要是因为流域内干旱少雨、植被稀疏、盐渍化严重而使土壤结构性变差,导致土壤大团聚体的结构崩解破坏,引起大团聚体比例减小,微团聚体比例上升。研究指出,有机碳作为胶结物质能够促进团聚体的形成并提高其稳定性^[24]。其中,梭梭群落>0.25 mm 的团聚体含量较高于其他群落,且土壤有机碳含量也相对较高,可见,梭梭群落相对于其他群落更有利于有机碳的储存,碳汇效应较强。

土壤有机碳含量主要受植物枯枝落叶、植物根系、动物及微生物遗体等的影响。研究表明,4 个群落中,梭梭和怪柳群落的总有机碳和团聚体有机碳含量均较高,雾滨藜群落团聚体有机碳显著低于其他群落 ($P<0.05$)。研究表明^[25]怪柳的半球型树冠更利于保护和捕获凋落物,而较多的凋落物输入与土壤结构和土壤养分间形成正反馈机制。同时梭梭与怪柳群落较其他群落物种多样性丰富,根系发达且冠幅较大,而雾滨藜群落物种单一,植被矮小且为一年生草本植物,因此梭梭和怪柳群落对土壤输入的碳源较高,有机碳储量较高。从土壤剖面来看,土壤有机碳和团聚体有机碳含量均随着

表 3 各粒径团聚体含量与土壤有机碳含量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of soil aggregates with different sizes and soil organic carbon content

	土壤团聚体粒径 Soil aggregates size (mm)		
	>0.25	0.25—0.053	<0.053
r	-0.190	-0.498 *	0.405

* $P<0.05$

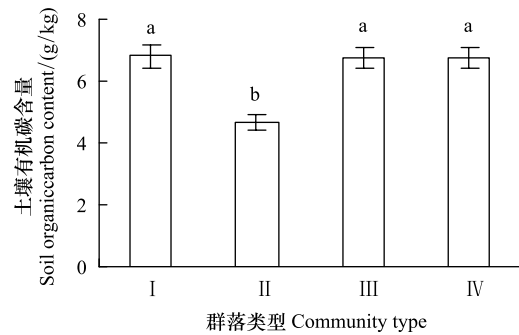


图 4 不同植物群落下土壤团聚体有机碳含量

Fig. 4 Organic carbon content in soil aggregates under different plant communities

不同小写字母表示植被群落间差异显著 ($P<0.05$)。Different subscript letters indicate significant difference among different vegetable community at $P<0.05$ level.

表 4 不同植物群落下土壤各粒径团聚体对土壤有机碳含量的贡献率 (%)

Table 4 Contribution of aggregates with different sizes to soil organic carbon content (%)

群落类型 Community type	粒径 Size/(mm)	土层深度 Soil depth/(cm)			
		0—10	10—20	20—40	40—60
I	>0.25	11.73b	25.21b	11.53b	15.71b
	0.25—0.053	46.89a	35.22a	38.69a	44.95a
	<0.053	12.46b	8.31c	9.68c	12.58b
II	>0.25	12.02b	30.74a	19.39b	24.31b
	0.25—0.053	41.92a	33.52a	41.57a	32.69a
	<0.053	12.78b	9.19b	10.69c	6.09c
III	>0.25	57.59a	45.42a	20.36b	12.39b
	0.25—0.053	39.51b	43.43a	36.61a	35.78a
	<0.053	9.88c	18.97b	8.87a	11.39b
IV	>0.25	20.36b	10.99c	16.94b	11.35b
	0.25—0.053	43.40a	40.53a	25.29a	35.09a
	<0.053	27.03c	24.60b	12.94b	12.75b

I: 花花柴; II: 雾滨藜; III: 梭梭; IV: 怪柳。不同小写字母表示不同粒径团聚体在同一群落间差异显著 ($P<0.05$)。

土层深度升高而降低,这是因为表层枯落物对土壤有机碳的影响会随着土层深度的加深而降低,因而表层土壤有机碳含量较高。这与前人^[26-27]的研究结果一致。但是在 20—40 cm 土层,花花柴群落土壤团聚体有机碳含量相对 10—20 cm 升高,可能是由于其根系主要分布在这个土层,根系缠绕和联结土壤颗粒并释放分泌物,导致了根际土壤物理、化学和生物学性质的变化从而影响土壤团聚化^[28],使得该群落团聚体有机碳在 20—40 cm 土层出现一个峰值。随着土层深度的加深,不同群落间的有机碳含量差异逐渐减小,主要是由于成土母质大致相同所致^[29]。

相关研究表明,有机碳含量在各粒径团聚体中分布规律不一。一些研究^[5-6]发现土壤中大团聚体的有机碳含量更高,如有研究表明^[6]子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量主要集中在大团聚,也有研究表明^[30]<0.053 mm 团聚体中有机碳含量最高,大约占土壤总碳量的 44%—88%。刘敏英等^[14]表明土壤团聚体中有机碳含量基本随团聚体直径的减小而增加,最大值均集中于<0.25 mm 微团聚体中。本研究表明,土壤团聚体有机碳含量在 0.25—0.053 mm 粒径最低,而在>0.25 mm 和<0.053 mm 粒径中最高,呈现“V”型分布且差异显著($P<0.05$)。其原因主要是有机质把微团聚体胶结成大团聚体,以及在大团聚体中处于分解状态的根系和菌丝极大地增加了其有机碳的浓度^[5,6],因而>0.25 mm 土壤团聚体有机碳含量较高。而<0.053 mm 粒径土壤团聚体有机碳含量较高,其原因因为较小团聚体中有机和无胶体能紧密结合固持碳,固持的碳不易为微生物分解释放^[9]。有研究结果表明^[31-32]大团聚体中的有机碳比微团聚体中的有机碳年轻,大团聚体中的有机碳更容易矿化,而微团聚体中的有机碳则大多是高度腐殖化的惰性组分。在干旱区荒漠带,土壤总有机碳含量比较低,且活性有机碳容易受环境的影响而转化,微团聚体中有机碳主要是以稳定的腐殖质碳占优势,不易被矿化,因此不断积累而使微团聚体有机碳含量升高。而在微团聚体中,0.25—0.053 mm 粒径土壤团聚体有机碳含量低于<0.053 mm 粒径可能是因为<0.053 mm 粒径高度腐殖质碳含量更高,固持了更多的稳定碳源。虽然 0.25—0.053 mm 粒径团聚体有机碳含量最低,但是其对土壤有机碳的贡献率最大,这是因为这个粒径的聚体含量占了绝对优势。4 个植物群落的 0.25—0.053 mm 粒径团聚体占 61% 以上,其含量远远大于其他粒径团聚体含量。有研究表明^[15]不同粒径土壤团聚体含量与土壤有机碳分布关系密切。相关分析表明,土壤有机碳含量与 0.25—0.053 mm 团聚体含量呈显著负相关,但与>0.25 mm 和<0.053 mm 粒径团聚体含量相关性不显著。相关研究^[33]指出,大粒径团聚体对土壤有机碳的保护能力较微团聚体对土壤有机碳的保护能力较差。<0.053 mm 粒级团聚体中有机碳含量较高,而贡献率最低。由此可见,在干旱盐碱荒漠地区,小粒径团聚体对土壤有机碳的保护能力较强。

4 结论

从整体来看,在干旱盐碱荒漠区,土壤盐渍化严重,养分贫瘠,土壤质量较差。不同盐生植被群落对土壤团聚体比例,有机碳分布及贡献率呈现较大差异。梭梭和怪柳群落土壤总有机碳和团聚体有机碳含量均较高,碳汇能力相对较强。其中,梭梭群落土壤有机碳含量及大团聚体比例均为最高,聚集土壤养分能力较强,相对其他群落更有利于土壤有机碳的积累。不同粒径之间土壤团聚体有机碳含量差异显著,随粒径呈现“V”型分布,说明了小团聚体固持了更多稳定碳源。由于 0.25—0.053 mm 粒径土壤团聚体占主导优势,因此其对土壤有机碳的贡献率远高于其他粒径。而<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量较高,但贡献率最低,说明了在该区域小粒径团聚体对土壤有机碳的保护能力较强。总之,在干旱盐碱荒漠区,梭梭群落土壤碳汇能力较强,可以改善土壤质量状况,提高土壤大团聚体比例和有机碳含量,具有较好的生态效益。

参考文献(References):

- [1] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子. 生态学杂志, 2007, 26(2): 278-285.
- [2] 刘中良, 宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 447-455.
- [3] Zinn Y L, Lal R, Bigham J M, Resck D V S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian cerrado: texture and mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(4): 1204-1214.

- [4] Mohammadi J, Motaghian M H. Spatial prediction of soil aggregate stability and aggregate-associated organic carbon content at the catchment scale using geostatistical techniques. *Pedosphere*, 2011, 21(3): 389-399.
- [5] 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.
- [6] 赵世伟, 苏静, 吴金水, 杨永辉, 刘娜娜. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 114-117.
- [7] 华娟, 赵世伟, 张扬, 马帅. 云雾山草原区不同植被恢复阶段土壤团聚体活性有机碳分布特征. *生态学报*, 2009, 29(9): 4613-4619.
- [8] 安韶山, 张玄, 张扬, 郑粉莉. 黄土丘陵区植被恢复中不同粒级土壤团聚体有机碳分布特征. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 109-113.
- [9] 毛艳玲, 杨玉盛, 邹双全, 陈光水, 王国强. 土地利用变化对亚热带山地红壤团聚体有机碳的影响. *山地学报*, 2007, 25(6): 706-713.
- [10] 罗友进, 魏朝富, 李渝, 任镇江, 廖和平. 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响. *生态学报*, 2011, 31(1): 257-266.
- [11] Lorenz K, Lal R, Shipitalo M J. Chemical stabilization of organic carbon pools in particle size fractions in no-till and meadow soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44(8): 1043-1051.
- [12] Li H B, Han X Z, Wang F, Qiao Y F, Xing B S. Impact of soil management on organic carbon content and aggregate stability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2007, 38(13/14): 1673-1690.
- [13] 苑亚茹, 韩晓增, 丁雪丽, 李禄军. 不同植物根际土壤团聚体稳定性及其结合碳分布特征. *土壤通报*, 2012, 43(2): 320-324.
- [14] 刘敏英, 郑子成, 李廷轩. 茶园土壤团聚体中微生物量碳、氮的分布特征. *中国农业科学*, 2011, 44(15): 3162-3168.
- [15] 邱莉萍, 张兴, 张晋爱. 黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布. *生态学报*, 2006, 26(2): 364-372.
- [16] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征. *生态学报*, 2007, 27(9): 3565-3571.
- [17] 曹国栋, 陈接华, 夏军, 朱宏伟, 蒋永超, 张霞, 王绍明. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质. *生态学报*, 2013, 33(1): 195-204.
- [18] 涂锦娜, 熊友才, 张霞, 杨岩, 朱丽洁, 陈接华, 李志华, 王绍明. 玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征. *生态学报*, 2011, 31(9): 2461-2470.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-30.
- [20] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄, 廖晓琳. 黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系. *生态学报*, 2009, 29(2): 676-687.
- [21] 卢凌霄, 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 徐云蕾, 俞孜, 刘艳. 喀斯特峰丛洼地原生林土壤团聚体有机碳的剖面分布. *应用生态学报*, 2012, 23(5): 1167-1174.
- [22] 文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 妥德宝, 林启美. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征. *中国农业科学*, 2004, 37(10): 1504-1509.
- [23] 王晶, 何忠俊, 王立东, 龙兴智, 和顺荣, 王建忠, 郭琳娜, 洪常青. 高黎贡山土壤腐殖质特性与团聚体数量特征研究. *土壤学报*, 2010, 47(4): 723-733.
- [24] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响. *生态学报*, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [25] 李君, 赵成义, 朱宏, 王锋. 怪柳 (*Tamarix spp.*) 和梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 的“肥岛”效应. *生态学报*, 2007, 27(12): 5138-5147.
- [26] Jiménez J J, Lorenz K, Lal R. Organic carbon and nitrogen in soil particle-size aggregates under dry tropical forests from Guanacaste, Costa Rica—Implications for within-site soil organic carbon stabilization. *Catena*, 2011, 86(3): 178-191.
- [27] 武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 田旭平. 芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量. *生态学报*, 2011, 31(11): 3009-3019.
- [28] Rillig M C, Wright S F, Eviner V T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, 2002, 238(2): 325-333.
- [29] 杨晓梅, 程积民, 孟蕾, 韩娟娟. 不同林地土壤有机碳储量及垂直分布特征. *中国农学通报*, 2010, 26(9): 132-135.
- [30] Brodowski S, John B, Flessa H, Amelung W. Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57(4): 539-546.
- [31] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregate. *European Journal of Soil Science*, 2000, 51(4): 595-605.
- [32] 马瑞萍, 刘雷, 安韶山, 党廷辉. 黄土丘陵区不同植被群落土壤团聚体有机碳及其组分的分布. *中国生态农业学报*, 2013, 21(3): 324-332.
- [33] Jastrow J D, Boutton T W, Miler R M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(3): 801-807.