祁连山浅山区退耕地土壤团聚体及其有机碳和全氮的分布特征

董彦丽[1]，李泽霞[1]，高金芳[1]，张 峰[1]，王亚竹[2]，王彦武[1]

（1. 甘肃省水土保持科学研究所，甘肃 兰州 730020；2. 甘肃省水利科学研究院，甘肃 兰州 730000）

摘 要：[目的] 分析祁连山浅山区退耕地土壤团聚体及其有机碳和全氮分布特征，为该区退耕地植被恢复及水土流失防治提供理论依据。[方法] 以祁连山大黄山林区三种类型退耕地为研究对象，通过干筛法测定团聚体粒径，分析不同粒级团聚体组成及其有机碳和全氮分布规律。[结果] 3 种类型退耕地≥0.25 mm 的大团聚体含量高于<0.25 mm 的微团聚体，其中以>5 mm 和 0.25～2 mm 粒级团聚体为主；封育草地团聚体稳定性最强，平均重量直径(MWD)高于沙棘林地 9.31%，高于未封育草地 31.95%；未封育草地土壤有机碳含量低于沙棘林地和封育草地，且差异显著，三种类型退耕地土壤全氮含量没有明显变化趋势；0.25～2 mm 团聚体有机碳含量最高，<0.25 mm 微团聚体全氮含量最高，沙棘林地和封育草地土壤团聚体养分优于未封育草地；与团聚体分布特征相同，>5 mm 和 0.25～2 mm 粒级团聚体依然是退耕地有机碳和全氮储存的主体。[结论] 祁连山浅山区退耕地以≥0.25 mm 的大团聚体为主，沙棘林地和封育草地团聚体稳定性及其有机碳和全氮含量高于未封育草地。

关键词：祁连山浅山区；退耕地；土壤团聚体；有机碳；全氮

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2020)04-0060-07 **中图分类号**：S152.4

文献参数：董彦丽，李泽霞，高金芳，等. 祁连山浅山区退耕地土壤团聚体及其有机碳和全氮的分布特征[J]. 水土保持通报，2020，40(4)：60-66. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.009；Dong Yanli，Li Zexia，Gao Jinfang，et al. Distribution characteristics of soil aggregate，organic carbon and total nitrogen in returned farmland in shallow Qilian Mountains [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(4)：60-66.

Distribution Characteristics of Soil Aggregate，Organic Carbon and Total Nitrogen in Returned Farmland in Shallow Qilian Mountains

Dong Yanli[1]，Li Zexia[1]，Gao Jinfang[1]，Zhang Feng[1]，Wang Yazhu[2]，Wang Yanwu[1]

（1. *Institute of Soil and Water Conservation of Gansu Province*，*Lanzhou*，*Gansu* 730020，*China*；2. *Gansu Research Institute for Water Conservancy*，*Lanzhou*，*Gansu* 730000，*China*）

Abstract：[Objective] Distribution characteristics of soil aggregate，organic carbon and total nitrogen in returned farmland in shallow Qilian Mountains were analyzed in order to provide theoretical basis for vegetation restoration and soil erosion control in this area. [Methods] Three types of returned farmland in forest region of Dahuang Mountain were taken as the research object，soil aggregate composition were measured by dry sieving method，and the distribute of aggregates，organic carbon and total nitrogen in different level were analyzed. [Results] The content of ≥0.25 mm macro-aggregates were higher than aggregates with diameter <0.25 mm，among which，aggregates with dimeter >5 mm and 0.25～2 mm were the main part of aggregates. The stability of the aggregate in closed grassland was the strongest，and its MWD was 9.31% higher than that of seabuckthorn forest and 31.95 % higher than that of unclosed grassland. The soil organic carbon content of unclosed grassland was lower than that of seabuckthorn forest and closed grassland，and the

收稿日期：2020-03-18 **修回日期**：2020-05-14

资助项目：国家重点研发计划项目“西北内陆区保水节水技术集成与应用”(2017YFC0404304)；甘肃省科技计划项目(18YF1FA032)；甘肃省水利科学试验研究及技术推广计划项目(甘水科外发 2017-76-2)

第一作者：董彦丽(1986—)，女(汉族)，甘肃省景泰县人，硕士，工程师，主要从事区域水土保持研究。Email：546774540@qq.com。

difference was significant. There was no significant change of total nitrogen content among the three types of returned farmland. The content of organic carbon was the highest in 0.25～2 mm aggregate, and the content of total nitrogen was the highest in ＜0.25 mm macro-aggregates. The nutrients of soil aggregates in seabuckthorn forest and enclosed grassland were better than that in unenclosed grassland, ＞5 mm and 0.25～2 mm aggregates were still the main storage parts of organic carbon and total nitrogen in the returned farmland. [Conclusion] In shallow Qilian Mountains, ≥0.25 mm macro-aggregates were the main part. Aggregates stability, organic carbon and total nitrogen of the seabuckthorn forest and closed grassland were higher than that in the unclosed grassland.

Keywords: shallow Qilian Mountains; returned farmland; soil aggregate; organic carbon; total nitrogen

土壤团聚体是由分散的单粒经过多次(多级)复合、团聚而形成的团粒结构体[1],其组成状况和稳定性不仅直接影响着土壤的孔隙度、持水性、通透性和抗冲性[2-3],而且是抵抗外力作用或外部环境变化而保持其原有形态的能力[4]。土壤团聚体含量、平均重量直径(MWD)及几何平均直径(GWD)是表征土壤结构稳定性的重要指标[5]团聚体是有机碳分解转化与腐殖质形成的重要场所[6],有机碳对团聚体的形成与稳定性有着重要的影响,表层土壤中近 90%的有机碳位于团聚体内[7],因此团聚体在维持土壤养分及其有效性、土壤结构及孔隙系统的稳定性方面起着非常重要的作用[8]。

祁连山浅山区属祁连山地与河西绿洲之间的过渡地带,是连接山地森林生态系统和绿洲生态系统的关键纽带,气候类型属于浅山荒漠草原气候和浅山干草原气候,生态系统较为脆弱,也是水土流失最易发生的区域。近年,退耕还林草措施的实施推进着植被恢复进程,祁连山浅山区林草植被的恢复逐渐过渡至山地森林,巩固着祁连山的生态系统。随着生态环境的逐渐恢复,退耕地土壤也在发生着一系列变化。李秋嘉等[9]研究植被恢复可以有效促进土壤团粒形成,汇集养分和有机碳,而土壤有机质影响团聚体数量和稳定性,保证土壤缓冲能力。李柏桥等[10]研究显示退耕还林还草可显著提高 0—20 cm 土层土壤团聚体及其有机碳含量,退耕还草 15 a 草地具有更好的土壤团聚体结构和土壤肥力,土壤抗侵蚀能力更强,水土保持效应更好。王国会等[11]研究了围栏封育有利于荒漠草原土壤团聚体的形成,随年限增加,土壤微团聚体(＜0.25 mm)含量总体呈下降趋势。张蕊等[12]对祁连山北坡亚高山草地区域的放牧天然草地、耕地、退耕还林草地土壤的研究表明,退耕还林草地混合植被对土壤碳、氮、磷等养分具有重要的恢复和改善作用。目前祁连山浅山区的研究主要集中在退耕地造林封育后植被的恢复效果[13],造林成活率[14],林地水源涵养功能[15-16]等方面的研究,在退耕地植被恢复对土壤抗侵蚀具有重要影响的土壤团聚体分布和养分方面的研究较少。基于此,本研究选取祁连山浅山区大黄山林区退耕沙棘林地、退耕封育草地、退耕未封育草地为研究对象,分析不同类型退耕地土壤团聚体组成及稳定性,阐述不同粒级团聚体有机碳、全氮分布特征,以期为祁连山浅山区脆弱生态系统植被恢复与重建及水土流失的防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于祁连山国家自然保护区中部,甘肃省山丹县大黄山林区(东经 101°00′—101°30′,北纬 38°20′—38°30′),海拔 2 800 m 左右。该区处于高寒半干旱气候带,年均降雨量 428.6 mm,主要集中在 6—8 月份,随海拔高度上升降雨量逐渐增加,气温逐渐降低,生长期变短。＞10 ℃的积温在 1 700 ℃,植物生长期在 120 d 左右[15]。土壤类型有山地褐色土、灰褐土、轻壤土等,成土母质以坡积、残积母质为主。

大黄山林区自 2000 年开始实施退耕还林还草政策,至今已有 2.00×10^4 hm^2 退耕林草地,退耕还林以人工植苗造林为主,退耕还草以封育自然恢复草地为主,经多年的退耕还林还草措施的实施,植物种类丰富多样,主要有青海云杉(*Picea crassifolia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、祁连圆柏(*Juniperus przewalskii*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、山丹柳(*Salix shandanensis*)、柠条锦鸡儿(*Caragan korshinakii*)等乔灌木树种,珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、早熟禾(*Poa annua*)、针茅(*Stipa capillata*)等草本植物。

1.2　样品采集

于 2019 年 4 月 26 日进行野外采样,为避免坡度、坡位的影响,选择退耕年限、坡向、坡度基本相同的沙棘林地、封育草地、未封育草地 3 种典型退耕样地(见表 1)。在研究区每个样地内随机布设 3 个采

样点，除去地表枯落物和植被后，在不破坏土壤结构的条件下，按 0—10，10—20，20—40，40—60 cm 共 4 层分别采集原状土样，每份样品重量约1 kg，采集后立刻装入采样袋，所有样品共计 36 份。

表 1 研究样地概况

样地类型	地理位置	海拔/m	坡向	坡度	退耕年限/a	封育年限/a	株高/m	盖度/%
沙棘林	101°13′58″E，38°26′46″N	2 806	半阴坡	10°	15	15	3	70～85
封育草地	101°14′17″E，38°26′54″N	2 750	半阴坡	10°	15	3	0.3	75～80
未封育草地	101°14′34″E，38°27′29″N	2 698	半阴坡	10°	15	0	0.1	40～50

1.3 测定方法与数据处理

样品带回实验室风干后，采用旋转振筛仪，测定土壤机械稳定性团聚体(>5，2～5，0.25～2，<0.25 mm)百分比含量。每份土样分 5 次筛完，每次取 200 g 左右筛分 5 min，筛分结束后利用静电吸附剔除植物残渣。

本研究利用重铬酸钾—外加热法和半微量凯氏定氮法[17]分别测定全土和各粒径团聚体中有机碳和全氮含量。

土壤团聚体稳定性利用平均重量直径(MWD，mm)表征，计算公式为：

$$\mathrm{MWD}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(\overline{R_i}w_i)}{\sum_{i=1}^{n}w_i} \tag{1}$$

式中：R_i 为某级别团聚体平均直径；w_i 为该级别团聚体干重。

各粒径土壤团聚体有机碳、全氮在土壤中的贡献率根据公式(2)计算：

$$\text{团聚体贡献率}=\frac{\text{该级团聚体养分含量(g/kg)}\times\text{该级团聚体含量(\%)}}{\text{土壤养分含量}}\times 100\% \tag{2}$$

采用 Excel 2010 处理数据、图表，利用 SPSS 21.0 软件进行统计分析，采用 One-way ANOVA 分析显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同类型退耕地土壤团聚体分布和稳定性

2.1.1 土壤团聚体分布特征 3 种类型退耕地土壤团聚体组成如图 1 所示。由图 1 可知，3 种类型退耕地土壤团聚体均表现为≥0.25 mm 大团聚体含量远高于<0.25 mm 的微团聚体的分布特征，其中>5 mm，0.25～2 mm 的大团聚体占总团聚体 70%以上。0—10 cm 土层，沙棘林地>5 mm 团聚体含量高于封育草地 5.56%，0.25～2 mm 团聚体低于封育草地 15.07%，两地类差异不显著；沙棘林地>5 mm 团聚体高于未封育草地 25.25%，0.25～2 mm 团聚体低于未封育草地 19.38%，差异显著；2～5 mm 团聚体和<0.25 mm 团聚体含量较低。10—20 cm 土层，封育草地>5 mm 团聚体含量高于沙棘林地 16.54%，高于未封育草地 22.49%；0.25～2 mm 团聚体含量最高的是未封育草地，两种退耕草地差异显著；其他粒径团聚体含量较低，3 种类型退耕地差异不显著。20—40，40—60 cm 土层中>5 mm 团聚体在封育草地中依然最高，但不同类型退耕地两两之间差异不显著，说明随着土壤深度的增加，不同类型退耕地各级团聚体含量变化不大。

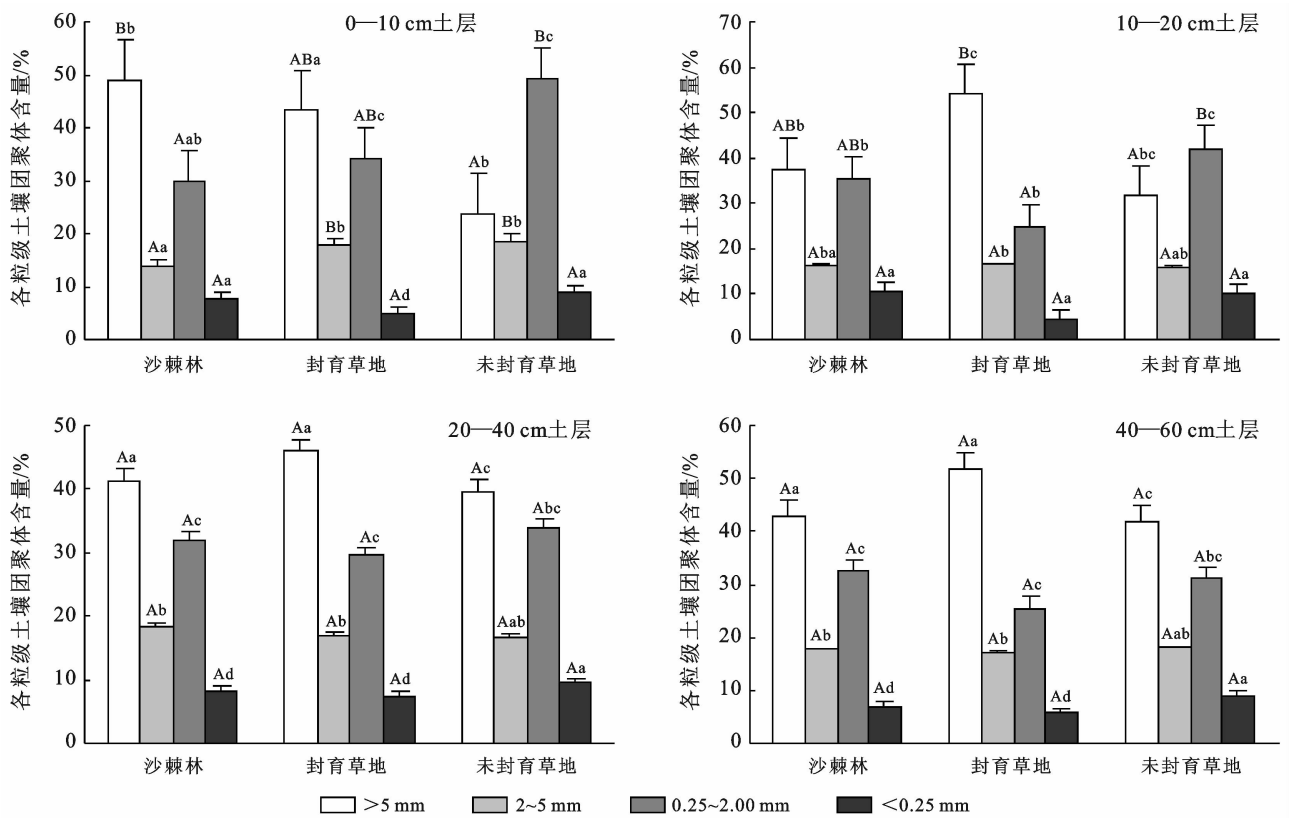
2.1.2 土壤团聚体稳定性 由表 2 可知，退耕地土壤团聚体 MWD 在 0—60 cm 土层表现为：封育草地(4.46 mm)>沙棘林地(4.08 mm)>未封育草地(3.38 mm)，封育草地高于沙棘林地 9.31%，高于未封育草地 31.95%，封育草地土壤团聚体稳定性最强。

经方差分析，不同类型退耕地土壤团聚体 MWD 差异性显著，但经多重比较分析，在 0—10，10—20，20—40 cm 土层，沙棘林地与封育草地差异不显著，但二者与未封育草地差异显著，表明退耕后，林地和封育草地土壤团聚体稳定性高于未封育草地。

表 2 不同类型退耕地土壤团聚体平均重量直径 mm

样地类型	土壤团聚体平均重量直径				
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	均值
沙棘林	4.20±0.76^{a}	3.80±0.37^{a}	4.12±0.22^{a}	4.21±0.28^{a}	4.08
封育草地	4.25±0.14^{a}	4.42±0.01^{a}	4.38±0.20^{a}	4.77±0.13^{b}	4.46
未封育草地	2.98±0.39^{b}	3.11±0.47^{b}	3.28±0.54^{b}	4.14±0.15^{a}	3.38

注：表中同列不同小写字母表示统计检验不同处理间 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。



注:不同大写字母表示相同土层不同类型退耕地相同粒级间 $p<0.05$ 水平差异显著;不同小写字母表示相同土层相同类型退耕地不同粒级间 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。

图 1　不同类型退耕地不同深度土壤团聚体组成

2.2　不同类型退耕地土壤团聚体有机碳和全氮分布特征

2.2.1　土壤有机碳和全氮分布　由表 3 可知,0—10 cm 土层,封育草地土壤有机碳含量为 32.59 g/kg,比沙棘林地和未封育草分别高 32.80%,63.85%,方差分析表明 3 种退耕地差异显著;10—20,20—40,40—60 cm 土层,沙棘林地有机碳含量分别高于封育草地 10.78%,11.41%和 4.28%,高于未封育草地38.70%,96.51%和 108.57%,这可能与沙棘林地根系分布较深、草地植物根系分布较浅有关,方差分析,沙棘林地与未封育草地差异显著。0—10 cm 土层,沙棘林地土壤全氮为 1.57 g/kg,高于封育草地 10.56%,高于未封育草地 27.64%,但 3 种退耕地土壤全氮含量差异不显著;10—20,20—40,40—60 cm 土层,3 种退耕地全氮含量变化不规律,沙棘林地和封育草地全氮含量有高有低。

表 3　不同类型退耕地不同深度土壤有机碳和全氮分布

样地类型	有机碳/(g·kg^{-1})				全氮/(g·kg^{-1})			
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	40—60 cm
沙棘林	24.54±0.62^{a}	32.58±0.26^{a}	33.19±0.66^{a}	31.16±1.73^{a}	1.57±0.34^{a}	1.21±0.12^{a}	1.69±0.15^{a}	1.35±0.23^{a}
封育草地	32.59±3.02^{b}	29.41±1.44^{a}	29.79±0.32^{b}	29.88±1.76^{a}	1.42±0.19^{a}	1.61±0.22^{b}	1.05±0.02^{b}	2.16±0.17^{b}
未封育草地	19.89±1.06^{c}	23.49±2.59^{b}	16.89±2.47^{c}	14.94±0.55^{b}	1.23±0.21^{a}	1.26±0.74^{a}	1.22±0.06^{b}	1.22±0.16^{a}

2.2.2　不同粒径团聚体有机碳和全氮分布　由表 4 可知,相比沙棘林地,封育草地中>5 mm 团聚体有机碳含量高 1.19%;2~5 mm 和<0.25 mm 团聚体有机碳含量分别低 5.44%和 3.72%,两种退耕地差异不显著。封育草地 0.25~2 mm 团聚体有机碳含量低于沙棘林地14.78%,差异显著。未封育草地各级团聚体有机碳含量在退耕地中最低,与沙棘林地和封育草地差异显著。与有机碳相反,土壤团聚体全氮含量则为封育草地>5 mm团聚体低于沙棘林地,2~5 mm,0.25~2 mm,<0.25 mm 团聚体高于沙棘林地和未封育草地;3 种类型退耕地>5 mm 团聚体全氮含量差异不显著,封育草地与未封育草地 2~5,0.25~2,<0.25 mm 团

聚体差异显著。通过对比分析,沙棘林地和封育草地土壤团聚体养分优于未封育草地;0.25～2 mm 团聚体中有机碳平均含量最高为 26.20 g/kg,全氮平均含量在<0.25 mm 的微团聚体中最高为 1.46 g/kg。

表 4 不同类型退耕地不同粒级团聚体有机碳和全氮分布

样地类型	有机碳/(g·kg^{-1})				全氮/(g·kg^{-1})			
	>5 mm	2～5 mm	0.25～2 mm	<0.25 mm	>5 mm	2～5 mm	0.25～2 mm	<0.25 mm
沙棘林	27.84±3.32^{b}	27.31±3.77^{b}	30.60±6.76^{c}	27.08±2.94^{b}	1.42±0.37^{a}	1.32±0.17^{ab}	1.31±0.22^{a}	1.30±0.17^{a}
封育草地	28.14±3.62^{b}	25.90±2.66^{b}	26.66±1.70^{b}	26.11±2.09^{b}	1.26±0.26^{a}	1.56±0.49^{b}	1.79±0.67^{b}	1.78±0.48^{b}
未封育草地	19.47±3.50^{a}	20.15±3.73^{a}	21.33±1.34^{a}	20.92±2.63^{a}	1.21±1.80^{a}	1.13±0.16^{a}	1.16±0.15^{a}	1.31±0.24^{a}
均值	25.15±5.30	24.45±4.58	26.20±5.54	24.70±3.71	1.29±0.29	1.34±0.35	1.42±0.49	1.46±0.39

2.3 不同类型退耕地土壤团聚体有机碳、全氮贡献率

由图 2 可看出,退耕沙棘林地、封育草地各粒级团聚体有机碳和全氮贡献率由大到小表现为:(>5 mm)>(0.25～2 mm)>(2～5 mm)>(<0.25 mm),未封育草地团聚体有机碳贡献率表现为(0.25～2 mm)>(>5 mm)>(2～5 mm)>(<0.25 mm),说明退耕地有机碳和全氮储存的主体是 0.25～2 mm 和>5 mm 团聚体;沙棘林地和封育草地>5 mm 团聚体有机碳和全氮贡献率高于 0.25～2 mm 团聚体,未封育草地则反之。经方差分析,3 种类型退耕地>5 mm团聚体中有机碳贡献率差异不显著,0.25～2 团聚体差异显著;在有机碳贡献率较低的 2～5 mm,<0.25 mm 团聚体中,沙棘林地与封育草地差异不显著,封育草地与未封育草地差异显著;3 种类型退耕地各粒级团聚体全氮贡献率差异不显著。

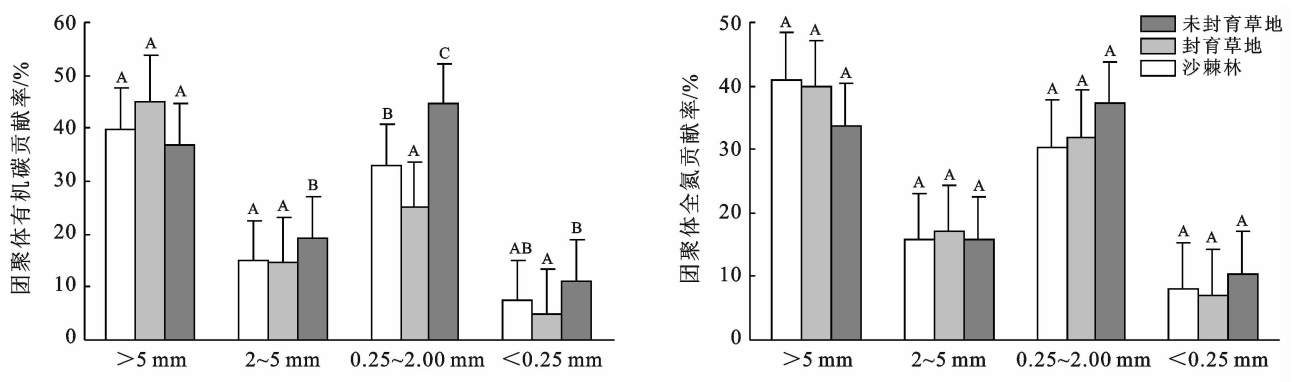


图 2 不同类型退耕地土壤团聚体有机碳和全氮贡献率

3 讨 论

土壤机械稳定性团聚含量高低及组成是评价团聚体质量的重要指标[18]。大团聚体含量的多少在一定程度上反映土壤结构的好坏,是决定土壤肥力、土壤抗侵蚀能力和土壤稳定性的关键因素[19]。本研究中,祁连山浅山区 3 种类型退耕地 0—60 cm 土层,≥0.25 mm大团聚体平均含量高于 90%,在土壤团聚体结构中占据主导地位,且大团聚体含量越高,土壤结构越稳定,其中>5 mm 和 0.25～2 mm 团聚体含量超过总团聚体 70%以上,说明>5 mm 和 0.25～2 mm团聚体是优势粒级。未封育草地≥0.25 mm 大团聚体平均含量低于沙棘林地和封育草地,这可能与团聚体形成受动物活动影响有关。封育草地>5 mm 团聚体平均含量高于沙棘林地和未封育草地,这与陆琪[20]等研究的围封禁牧草地土壤团聚体以>5 mm 粒级居多(41.7%～55.0%)相一致。土壤团聚体平均重量直径(MWD)表征的是团聚体稳定性,MWD 越大,表明团聚体平均粒径越高,其稳定性越强。土壤团聚体的稳定性是土壤抵抗各种外力作用或外部环境变化而保持原有形态及协调功能的能力[21]。本研究封育草地 MWD 最高,平均达到 4.46 mm,说明退耕封育草地相比其他退耕地土壤团聚体稳定性更强。封育年限越长,植物根系越发达,从而改善土壤结构,提高土壤稳定性,对增加土壤抗蚀性起到重要作用[22]。

祁连山浅山区农地退耕前多以坡地种植农作物为主,退耕后降低了土壤养分的输出,随退耕年限的增加,植被枯落物及其根系在自然和土壤微生物环境的作用下养分返还至土壤中,使退耕后的林草地团聚体结构更加稳定,土壤养分也会逐渐增多,张蕊等[12]在对祁连山退耕 8 a 的还林草地研究显示土壤有机

碳和全氮储量显著升高。然而,退耕林草地如果不封育,依然放牧受牲畜啃食,植被覆盖度降低,地上部分生物量和枯落物蓄积量就会降低[23],影响土壤养分积累。本研究中,退耕后封育草地和沙棘林地土壤有机碳含量都高于未封育草地,且差异显著,这可能与不同退耕方式凋落物在土壤中形成的腐殖质层有关,不同植被凋落物的数量,质量以及所处的环境条件,都会影响到土壤有机碳的含量[24]。沙棘林地和封育草地表层土壤全氮含量高于未封育草地,但差异不显著,不同类型退耕地深层土壤全氮含量有高有低,可能与退耕地封育年限有关,段亚锋等[25]研究了退耕 10 a 的林草地,土壤有机碳含量增加了,但土壤全氮的累积增量不明显,他认为是由于退耕后凋落物归回量增加而植被恢复初期需氮量较大造成的。这 3 种类型退耕地>5 mm 和 0.25～2 mm 的大团聚体有机碳平均含量高于<0.25 mm 的微团聚体有机碳含量,这与宋莉群等[26]对红壤区长期退耕恢复下土壤大团聚体中有机碳含量均高于微团聚体一致,而王进等[19]对喀斯特石漠化区人工林草地的研究结果表明<0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量最高,>5 mm 粒级团聚体的有机碳含量最低,这可能与不同研究区土壤类型及地类有关。魏朝富[27]等研究全氮存在于土壤最细粒部分(细黏粒或黏粒级),本研究中全氮含量在<0.25 mm 的微团聚体中最高,因此全氮含量较高的微团聚体影响着大团聚体的形成过程。团聚体含量是引起团聚体养分贡献率变化的主导因素[25],本研究中,3 种类型退耕地>5 mm 和 2～5 mm 团聚体有机碳和全氮贡献率最高,占到 70.15%～81.52%,是有机碳和全氮储存的主体,而且 0.25～2 mm 团聚体和>5 mm 团聚体,占总团聚体组成的 70%以上,这与史薪钰[28]等研究土壤团聚体中的养分约 90%来自>0.25 mm 粒级的团聚体研究结果相一致。

4　结 论

祁连山浅山区 3 种类型退耕地≥0.25 mm 大团聚体含量高于<0.25 mm 微团聚体,且以>5 mm,0.25～2 mm 粒级团聚体为主;沙棘林地 0—10 cm 表层土壤>5 mm 团聚体含量高于封育草地和未封育草地,而 2～5 mm,0.25～2 mm 和<0.25 mm 团聚体含量则是未封育草地最高;随土壤深度增加,退耕地间各粒级团聚体含量差异不显著。封育草地土壤团聚体稳定性最强,MWD 高于沙棘林地 9.31%,差异不显著,高于未封育草地 31.95%,差异显著,结果表明对退耕地进行适度封育有利于提高土壤团聚体稳定性。

未封育草地不同土层土壤有机碳和不同粒级团聚体有机碳含量都低于沙棘林地和封育草地,且差异显著;3 种类型退耕地不同土层土壤全氮含量有高有低,而在不同粒级团聚体中,全氮含量变化则与有机碳表现相反趋势。沙棘林地和封育草地土壤团聚体养分含量优于未封育草地,在各级团聚体中,0.25～2 mm 团聚体有机碳平均含量最高为 26.20 g/kg,全氮平均含量在<0.25 mm 的微团聚体中最高为 1.46 g/kg。

与团聚体分布特征相同,退耕地有机碳和全氮储存主体为>5 mm 和 0.25～2 mm 粒级团聚体,其中沙棘林地和封育草地>5 mm 团聚体有机碳和全氮贡献率高于 0.25～2 mm 团聚体,未封育草地则反之。

[参 考 文 献]

[1] 黄昌勇,徐建明. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2010.

[2] 李玮,郑子成,李廷轩,等. 不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 生态学报,2014,34(21):6326-6336.

[3] Gelaw Aweke M, Singh B R, Lal R. Organic carbon and nitrogen associated with soil aggregates and particle sizes under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia [J]. Land Degradation and Development, 2015,26(7):690-700.

[4] 李越,李航. 土壤团聚体稳定性的研究概述[J]. 安徽农业科学,2014,42(11):3245-3247.

[5] 郭明明,王文龙,康宏亮,等. 黄土高塬沟壑区植被自然恢复年限对坡面土壤抗冲性的影响[J]. 农业工程学报,2018,34(22):138-146.

[6] 赵世伟,苏静,吴金水,等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化[J]. 水土保持学报,2006,20(3):114-117.

[7] 江仁涛,李富程,沈淞涛. 不同年限红柳恢复川西北高寒沙地对土壤团聚体和有机碳的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(1):197-203.

[8] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报,2000,55(5):533-544.

[9] 李秋嘉,薛志婧,周正朝. 宁南山区植被恢复对土壤团聚体养分特征及微生物特性的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(1):137-145.

[10] 李柏桥,付玉,李光录,等. 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[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(3):238-244.

[11] 王国会,王建军,陶利波,等. 围封对宁夏荒漠草原土壤团聚体组成及其稳定性的影响[J]. 草地学报,2017,25(1):76-81.

[12] 张蕊,曹静娟,郭瑞英,等. 祁连山北坡亚高山草地退耕还林草混合植被对土壤碳氮磷的影响[J]. 生态环境学

报,2014,23(6):938-944.

[13] 孟好军,张宏斌,徐柏林,等.祁连山区造林地封育效果的研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(12):22-26.

[14] 索学民,温源,呼海林.祁连山浅山区不同立地因子对造林成活率和林木生长量的影响[J].防护林科技,2016(5):46-48.

[15] 孟好军,刘贤德,张宏斌,等.祁连山人工林凋落物和土壤水分特性的研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(2):11-15.

[16] 王红义.祁连山浅山区沙棘人工林调节水分作用研究[J].防护林科技,2013(6):10-12.

[17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005.

[18] 王英俊.生草对渭北苹果园土壤团聚体及其有机 C∶N 的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2013.

[19] 王进,刘子琦,鲍恩俣,等.喀斯特石漠化区林草恢复对土壤团聚体及其有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2019,33(6):249-256.

[20] 陆琪,马红彬,俞鸿千,等.轮牧方式对荒漠草原土壤团聚体及有机碳特征的影响[J].应用生态学报,2019,30(9):3028-3038.

[21] 徐爽.化学物质对土壤团聚体稳定性及其它物理性状的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015.

[22] 赵富王,王宁,苏雪萌,等.黄土丘陵区主要植物根系对土壤有机质和团聚体的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):105-113.

[23] 高英志,韩兴国,汪诗平.放牧对草原土壤的影响[J].生态学报,2004,24(4):790-797.

[24] 郑子成,王永东,李廷轩,等.退耕对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J].自然资源学报,2011,26(1):119-127.

[25] 段亚锋,王克林,冯达,等.典型喀斯特小流域土壤有机碳和全氮空间格局变化及其对退耕还林还草的响应[J].生态学报,2018,38(5):1560-1568.

[26] 宋莉群,王义东,李冬初,等.长期退耕对红壤团聚体碳氮磷生态化学计量特征的影响[J].生态学杂志,2019,38(6):1707-1715.

[27] 魏朝富,谢德体,李保国.土壤有机无机复合体的研究进展[J].地球科学进展,2003,18(2):221-227.

[28] 史薪钰,陈梦华,齐国辉,等.片麻岩山地土壤团聚体分布及养分特征[J].水土保持学报,2015,29(5):172-175.

(上接第 59 页)

[15] 李陇堂,薛晨浩,张至楠.沙漠型景区游步道沿线生态环境对踩踏干扰的响应[J].中国沙漠,2015,35(4):1048-1056.

[16] 李陇堂,薛晨浩,魏红磊.基于模拟试验沙漠景区沙丘植被对游客踩踏干扰的响应研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(9):113-118.

[17] 史坤博,王文瑞,杨永春,等.旅游活动对甘南草原植被的影响:以桑科草原旅游点为例[J].干旱区研究,2015,32(6):1220-1228.

[18] 金亚征,郑志新,常美花,等.旅游活动对草原植被、土壤环境的影响及控制对策[J].草业科学,2017,34(2):310-320.

[19] 刘海,黄跃飞,朱运海.旅游活动对庐山景区植被变化的影响:基于空间信息技术方法[J].华中师范大学学报(自然科学版),2019,53(3):425-432.

[20] 丁翊羽.旅游活动对额济纳胡杨林保护区植物群落的影响[D].北京:北京林业大学,2019.

[21] 范宝祥,周忠发,薛冰清,等.短时间高强度旅游活动下洞穴空气环境变化特征及其影响因素分析:以绥阳大风洞为例[J].地球与环境,2020,48(1):46-57.

[22] Cole D N. Ecological Impacts of Wilderness Recreation and Their Management [M]// Hendee J C, Stankey G H, Lucas R C. Wilderness Management, 1990.