

不同管理模式对干旱区草原土壤团聚体稳定性及其理化性质的影响

蒋腊梅^{1,2}, 白桂芬⁴, 吕光辉^{2,3}, 杨建军^{1,2,3}, 何学敏^{2,3}, 刘志东^{1,2}, 蔡艳^{1,2}

(1.新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐830046; 2.新疆绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐830046;
3.新疆大学干旱生态环境研究所,新疆乌鲁木齐830046; 4.富蕴县草原站,新疆富蕴836109)

摘要:通过湿筛法,对阿勒泰地区人工草地、禁牧草场、季节草场、弃耕草地和天然草地5种管理模式土壤进行粒径分组及理化性质分析。结果表明:天然草地的有机质含量最高(16.337 g·kg⁻¹),人工草地最低(10.623 g·kg⁻¹),天然草地有机质含量显著高于其它草地($P<0.05$);土壤大团聚体含量顺序为禁牧草地(29.83%)>天然草地(25.33%)>季节草地(21.47%)>弃耕草地(19.28%)>人工草地(9.96%);在0~50 cm土壤深度的各土层上,不同管理模式下土壤水稳性团聚体平均质量直径(MWD)变化规律基本一致,禁牧草地团聚体和几何平均直径(MWD和GMD)值均明显高于其它4种管理模式,人工草地MWD和GMD值最低;大团聚体含量与土壤有机碳(SOC)、MWD和GMD呈显著正相关,相关系数分别为0.402、0.931和0.945,而微团聚体含量与SOC、MWD和GMD呈极显著负相关,相关系数分别为-0.383、-0.784和-0.779。土壤速效磷与MWD、GMD、SOC和各粒径团聚体相关性不显著。比较几种管理模式,相对于天然草地来说,禁牧草地大团聚体含量是天然草地的1.01倍,说明禁牧的方式更利于土壤团聚体的形成与稳定,而人工草地大团聚体含量则是天然草地的0.39,说明人为干扰对土壤团聚体稳定性的破坏较为严重。

关键词:草地;管理模式;土壤团聚体;有机质含量;理化性质

中图分类号:S153 **文献标志码:**A

Effects of different management modes on soil aggregate stability and physicochemical properties of grassland in arid area

JIANG La-mei^{1,2}, Bai Gui-fen⁴, LU Guang-hui^{2,3}, Yang Jian-jun^{1,2,3}, He Xue-min^{2,3}, Liu Zhi-dong^{1,2}, Cai Yan^{1,2}

(1. College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Key Laboratory of Oasis and Ecology, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 4. Fuyun Grassland Station, Fuyun, Xinjiang 836109)

Abstract: The soil aggregate has great influence on soil fertility, quality and its sustainable utilization, which is the basis for water and fertilizer's storage and release. Particle size grouping and physicochemical properties were investigated in five kinds of grassland soil in Altay Prefecture, including artificial grassland, banning grazing grassland, seasonal grassland, abandoned grassland and natural grassland, by wet sieve method. The results are: The organic matter content ranged from 10.623 g·kg⁻¹ in artificial grassland to 16.337 g·kg⁻¹ in natural grassland. The organic content of natural grassland is significantly higher than that of grasslands ($P<0.05$). The order from high to low of soil macro aggregates content was: ungrazed grassland (29.83%) > natural grassland (25.33%) > season grassland (21.47%) > abandoned grassland (19.28%) > artificial Grassland (9.96%). MWD (mean weight diameter) of soil water stable aggregates have similar variation trend in the 0-50cm soil layers for the five management modes of grasslands. GMD (geometric mean diameter) and MWD values of aggregates in banning grazing grassland were significantly higher than those of grassland under other management patterns, with the artificial

grassland having the lowest MWD and GMD. The content of macro aggregates is positively correlated with soil's SOC, MWD and GMD, correlation coefficient was 0.402, 0.931 and 0.945 respectively. In contrast, the micro aggregates content have a highly significant negative correlation with soil SOC, MWD and GMD, and correlation coefficient was -0.383 , -0.784 and -0.779 respectively. No significant correlation was detected between soil available phosphorus and MWD, GMD, SOC, different aggregate particle fractions. Comparison of several management modes, aggregate content of banning grazing grassland is 1.01 times of natural grassland, compared with the natural grassland. It indicated that the formation and stability of soil aggregates benefited by banning grazing management. The artificial grassland's aggregates content was only 0.39 times of that of natural grassland, indicating that human disturbance destroyed the stability of soil aggregate.

Key words: grassland; management modes; aggregate particle; organic matter content; physico chemical properties

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,也是微生物活动的主要场所,土壤物质和能量的循环也主要发生在团聚体内,而且团聚体的形成作用也被认为是土壤碳固定的最重要机制^[1-2]。稳定的土壤团聚体有利于种子发芽、根系发育和作物生长,有利于保护有机碳库免受矿化分解,降低土壤侵蚀风险,对土壤有机碳保护有着重要的影响^[3-5]。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^[6]。因而,真正认识土壤团聚体的形成和稳定机制以及人类活动的影响,对于利用团聚体的组成与作用来调控管理土壤有机碳库和控制土壤侵蚀具有十分重要的意义^[7]。

土壤团聚体受土地利用类型的影响显著,有研究认为灌丛地土壤团聚体稳定性是农地的 2.23 倍^[8]。Pinheiro 等^[9]认为在传统耕作系统下,草场转变为农地后土壤团聚体含量下降,土壤易受到侵蚀。Cerdà^[8]研究认为农业耕作是破坏土壤结构的主要因素,并认为土壤有机质对团聚体稳定性起决定性因素。Caravaca 等^[10]研究认为农地土壤团聚体稳定性显著小于林地。安婷婷等^[11]研究认为,施用有机肥显著增加了土壤的团聚化作用,一定程度上抵消耕作对团聚体的破坏作用,减缓团聚体的周转。唐光木等^[12]研究认为草地开垦种植水稻有利于新疆水稻田土壤总有机碳、水稳性团聚体及其有机碳的积累,有利于土壤结构的改善和提高。张风华等^[13]研究认为干旱地区不同轮作模式,大豆轮作和玉米轮作更有利于团聚体的形成和稳定。柴仲平等^[14]研究认为新疆典型小流域土壤水稳性团聚体平均含量均表现为农用坡耕地<林地<草地<草灌结合地。干旱区土壤团聚体研究主要集中于农田耕作、施肥研究方面,关于新疆干旱区不同草地管

理模式土壤团聚体稳定性研究比较少。

新疆阿勒泰地区天然草地面积广阔,随着管理模式的变化,导致天然草地土壤的物理化学性质发生了巨大的改变。本文应用湿筛法测定阿勒泰富蕴县不同管理模式草地土壤水稳性团聚体含量,并计算土壤水稳性团聚体质量平均直径和几何平均直径,进行水稳性团聚体参数与含水量、速效磷和有机碳的相关性分析,探讨不同管理模式对富蕴县天然草地土壤团聚体稳定性和有机碳的影响及其与含水量、速效磷的关系。探讨不同管理模式对草地土壤结构稳定性的影响机制,从而为草地的合理利用及防治水土流失,提高草地土壤质量提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

富蕴县位于新疆北部,阿尔泰山中段南麓,88°10'~91°31'E,45°00'~48°03'N,属大陆性寒温带干旱气候,冬季严寒而漫长,夏季炎热,春秋季节短暂,日照充足,年平均日照时数 2 900 h,平均气温 3.0℃,极端最高气温 42.2℃,极端最低气温 -51.5℃,平均无霜期 137d,年降水量 189.6 mm,年蒸发量 1 970 mm,气候干燥。土壤类型主要有草甸土、潮土、风沙土、沼泽土、栗钙土、棕钙土、灰棕漠土以及黑钙土等 8 个主要类型,棕钙土的面积最大,占全县耕地面积的 43.12%。可利用天然草场达 $4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。

1.2 样品采集与处理

于 2015 年 8 月,在富蕴县城东南 30 km 处,选取人工草地(Artificial grassland)进行土壤采样,沿对角线按照等距方法分 0~10、10~30、30~50 cm 进行取样。人工草地设置 1 m×1 m 的样方共 30 个,每个样方在中心挖取剖面,共挖取 30 个土壤剖面,

90个土壤样品。另外分别在富蕴县草原站选取禁牧草地(Ungrazed grassland)和季节草地(Season grassland);在富蕴县城西北部约30 km处的退化草地示范基地选取弃耕草地(Abandoned grassland)和天然草地(Natural grassland)共4种草地类型,利用GPS进行定位,利用样方绳进行1 m×1 m样方布设,每种类型草地分别设置5、5、5、4个样方,共19个样方,每个样方分3个土层取样,土层深度分别为0~10、10~30、30~50 cm,共取57个土样。总计49个样方,147个土样,研究区和样方分布示意图如图1所示。

利用铝盒采集土样并当场利用万分之一的天平称重,回实验室测定含水量,利用环刀取原位土现场测量容重并进行冷藏保存,土样带回室内进行土壤理化性质测量。采用收割法对5种样地进行生物量测定。采用样方法(每个群落设置5个0.1 m×0.1 m的样方)对样地进行植被调查,调查包括植物种类、株高和盖度,样地土壤基本特征见表1。

土样带回实验室后,将土壤剥成直径为1 cm左右的小土块,挑除可见的小石砾及动植物残体,室内风干,混匀后,一部分(保持原样)进行团聚体分级,另一部分研磨过100目尼龙筛,备用,于2015年9月进行室内实验。

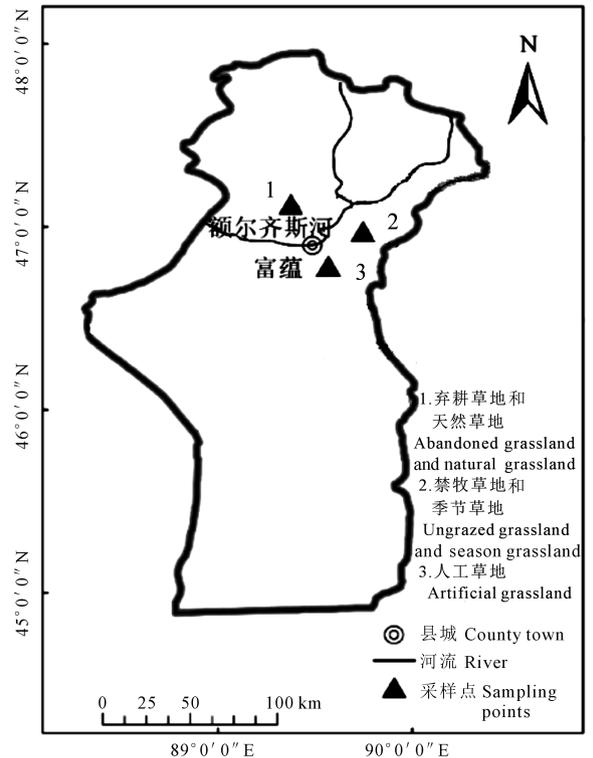


图1 研究区和样方分布示意图

Fig.1 The study area and location of the plots

表1 富蕴县不同管理模式下土壤基本特征

Table 1 The soil basic characteristics of different grazing management patterns in Fuyun Country

土地利用方式 Land use patterns	样地概况 Plot situation	植物种分布 Plant species distribution	面积/hm ² Area	平均盖度/% Average coverage
人工草地 Artificial grassland	荒漠草地,新近开垦,种植牧草 Desert grassland, newly reclaimed, cultivated herbage	阿魏、冷蒿、报春花、绣线菊 <i>Ferula teterrima</i> , <i>Artemisia frigida</i> Willd、 <i>Primula malacoides</i> , <i>Spiraea salicifolia</i>	2.67	20-25
禁牧草地 Ungrazed grassland	原为夏牧场,2010年封育,禁牧5a It was summer pasture, fenced in 2010, has ungrazed five years	针茅、沟叶羊茅、白茎绢蒿、狗娃花、羊茅、戈壁藜、羊草、绒藜、针裂叶绢蒿、胀萼黄芪 <i>Stipa capillata</i> Linn、 <i>Festuca rupicola</i> Heuff、 <i>Seriphidium terrae-albae</i> 、 <i>Heteropappus hispidus</i> 、 <i>Festuca ovina</i> 、 <i>Iljinia regelii</i> 、 <i>Leymus chinensis</i> 、 <i>Londesia eriantha</i> 、 <i>Seriphidium sublessingianum</i> 、 <i>Astragalus ellipsoideus</i> Ledeb	10	56
季节草地 Season grassland	春秋放牧 Grazed in spring and autumn	针茅、沟叶羊茅、白茎绢蒿、戈壁藜、羊草、针裂叶绢蒿 <i>Stipa capillata</i> Linn、 <i>Festuca rupicola</i> Heuff、 <i>Seriphidium terrae-albae</i> 、 <i>Iljinia regelii</i> 、 <i>Leymus chinensis</i> 、 <i>Seriphidium sublessingianum</i>	-	16.2
弃耕草地 Abandoned grassland	40a前种植玉米2a,弃耕成荒地后,作为季节草地 Corns have been planted two years ago, later abandoned into a wasteland, as seasonal grassland	针茅、白茎绢蒿、角果藜、羊草、田旋花、猪毛菜、苦马豆 <i>Stipa capillata</i> Linn、 <i>Seriphidium terrae-albae</i> 、 <i>Ceratocarpus arenarius</i> 、 <i>Leymus chinensis</i> 、 <i>Convolvulus arvensis</i> 、 <i>Salsolacollina</i> Pall、 <i>Sphaerophysa salsula</i>	-	28.6
天然草地 Natural grassland	夏牧场 Summer pasture	针茅、沟叶羊茅、白茎绢蒿、狗娃花 <i>Stipa capillata</i> Linn、 <i>Festuca rupicola</i> Heuff、 <i>Seriphidium terrae-albae</i> 、 <i>Heteropappus hispidus</i>	4	21.25

1.3 实验方法

土壤团聚体的测定采用湿筛法,土壤有机碳的测定采用重铬酸钾容量法—外加加热法,土壤含水量

测定采用105℃下烘干法,速效磷测定采用NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法,土壤pH值采用电极电位法测定。土壤理化性质见表2。

1.4 数据处理

各级团聚体的质量百分含量公式如下:

各级团聚体的质量百分含量 = 该级团聚体质量 / 土壤样品总质量 × 100%

平均质量直径 (Mean weight diameter, MWD) 和几何平均直径 (Geometric mean diameter, GMD) 计算公式如下:

平均质量直径:

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

几何平均直径:

$$GMD = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i) W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

式中, n 为粒径分组的组数; X_i 为这一粒径组分的平均直径; W_i 为这一粒径团聚体的质量分数。

利用 SPSS19.0 对土壤团聚体质量分数、MWD 和 GMD、SOC 含量及储量进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 当其通过方差齐性检验时 ($P > 0.05$), 则进行均值间最小差异显著性 (LSD) 检验; 若其不能通过方差齐性检验 ($P < 0.05$), 则采用 Dunnett's T3 进行差异显著性检验。对各粒径土壤团聚体质量分数、MWD 和 GMD 与土壤含水量、速效磷和有机碳进行 Pearson 相关分析。

表 2 样地土壤基本理化性质 (0~50 cm)

Table 2 Soil physicochemical properties of plots

样地类型 Plot type	含水量/% Water content	pH	容重/(g·cm ⁻³) Bulk density	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus
人工草地 Artificial grassland	5.260±0.001a	8.365±0.020a	/	10.623±0.267c	19.813±0.345a
禁牧草地 Ungrazed grassland	3.720±0.002b	7.749±0.132b	1.205±0.006a	15.664±0.926ab	19.667±1.217a
季节草地 Season grassland	3.470±0.002bc	7.745±0.112b	1.202±0.007a	13.920±0.463b	18.222±0.656a
弃耕草地 Abandoned grassland	2.470±0.003d	7.348±0.094c	1.201±0.004a	11.596±0.702c	20.549±1.237a
天然草地 Natural grassland	2.840±0.003cd	7.451±0.068c	1.214±0.007a	16.337±0.891a	17.910±0.640a

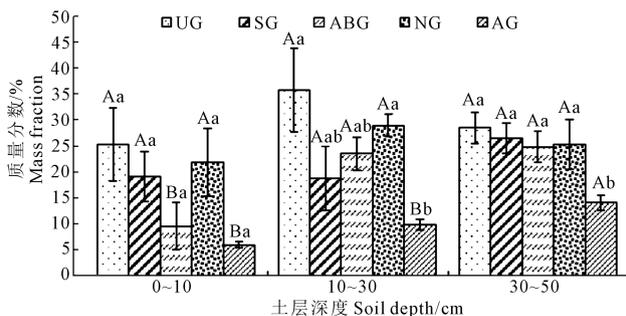
2 结果与分析

2.1 不同管理方式对土壤团聚体组成特征的影响

不同管理方式下土壤各团聚体组成的含量参见图 2~4。通过湿筛得到的 5 种草地管理模式的土壤大团聚体 (>2 mm) 含量之间存在一定的差异, 各土层深度之间人工草地大团聚体含量差异显著 ($P < 0.05$), 弃耕草地大团聚体含量差异显著 ($P < 0.05$)。在 0~50 cm 土壤深度内, 表现为禁牧草地 (29.83%) > 天然草地 (25.33%) > 季节草地 (21.47%) > 弃耕草地 (19.28%) > 人工草地 (9.96%), 与禁牧草地相比, 天然草地、季节草地、弃耕草地和人工草地分别降低了 13.48% ($P > 0.05$)、25.08% ($P > 0.05$)、31.65% ($P > 0.05$) 和 59.59% ($P < 0.05$)。从土壤剖面上看, 除人工草地大团聚体含量随土壤深度的增加而显著增加外, 其它 4 种管理模式并无明显变化。

在 0~50 cm 土壤深度内, 土壤中间团聚体质量分数表现为人工草地 (18.80%) > 天然草地 (15.81%) > 季节草地 (11.49%) > 弃耕草地 (10.58%) > 禁牧草地 (9.92%), 与人工草地相比, 天然草地、季节草地、弃耕草地和禁牧草地分别降低了 26.66% ($P < 0.05$)、24.66% ($P < 0.05$)、21.94% ($P <$

0.05) 和 8.97% ($P < 0.05$)。从土壤剖面上看, 在 0~50 cm 土层, 人工草地中间团聚体含量均高于其它草地。各土层深度之间人工草地中间团聚体含量差异显著 ($P < 0.05$), 弃耕草地中间团聚体含量差异显著 ($P < 0.05$)。



注: 图中不同小写字母表示同一土壤深度下不同管理模式在 5% 水平上的差异性; 不同大写字母表示同一管理模式下不同土壤深度在 5% 水平上的差异性。AG 为人工草地、UG 为禁牧草地、SG 为季节草地、ABG 为弃耕草地、NG 为天然草地。下同。

Note: The lower case letters indicate the differences of the different management patterns at the 5% level in the same soil depth; the capital letters indicate the differences of the different soil depths at the same level of management in the 5% level. AG: artificial grassland; UG: ungrazed grassland; SG: season grassland; ABG: abandoned grassland; NG: natural grassland. The same below.

图 2 不同管理模式下土壤大团聚体 (>2 mm) 质量分数

Fig. 2 Mass fraction of soil macro aggregates under different management patterns

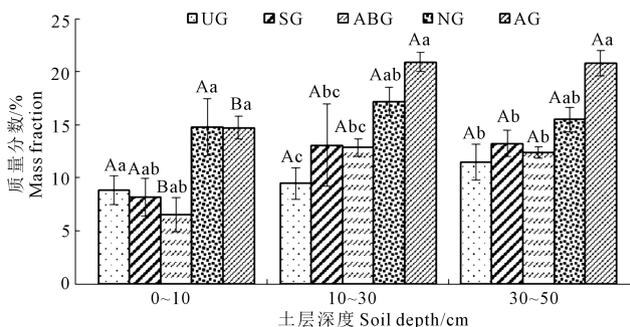


图3 不同管理模式下土壤中间团聚体质量分数

Fig.3 Mass fraction of soil middle aggregates under different management patterns

在0~50 cm土壤深度内,土壤微团聚体质量分数表现为人工草地(10.82%)>天然草地(6.37%)>弃耕草地(5.11%)>季节草地(5.07%)>禁牧草地(4.33%),与人工草地相比,天然草地、弃耕草地、季节草地和禁牧草地分别降低了19.46% ($P<0.05$)、17.23% ($P<0.05$)、17.13% ($P<0.05$)和13.35% ($P<0.05$)。各土层深度之间,季节草地微团聚体含量差异显著($P<0.05$),且呈现倒“V”型。

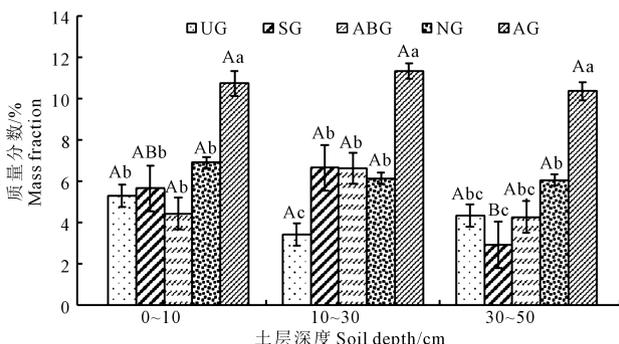


图4 不同管理模式下土壤微团聚体质量分数

Fig.4 Mass fraction of soil micro aggregates under different management patterns

试验表明,不同管理模式对土壤团聚体组成的影响较为显著。如图5所示,在0~50 cm的土壤深度内,在土壤的各粒径团聚体中,禁牧草地、季节草地、弃耕草地和天然草地以大团聚体为主,分别占粒径总组成的67.68%、56.45%、55.13%、53.32%。人工草地以中间团聚体为主,占粒径总组成的47%。研究发现季节草地、弃耕草地与天然草地土壤团聚体组成的百分比大致相同。人工草地>2 mm的大团聚体含量为25.17%,与人工草地相比,禁牧草地、季节草地、弃耕草地和天然草地下降幅度分别达到42.51% ($P<0.05$)、31.28% ($P<0.05$)、30.36% ($P<0.05$)和28.15% ($P<0.05$)。

2.2 不同管理模式对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体稳定性直接或间接影响土壤其它物理化学属性。团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)是反映土壤团聚体稳定性的重要指标,MWD和GMD值越大,土壤团聚体稳定性越强,土壤抗侵蚀能力越强^[15]。不同管理模式下的MWD和GMD如图6与图7所示,从中可以看出,随土壤深度的增加,弃耕草地和人工草地的土壤团聚体的稳定性逐渐增强,而禁牧草地和天然草地随土壤深度的增加土壤团聚体的稳定性先增强后减弱,季节草地在10~30 cm的土壤层土壤团聚体稳定性先有所减弱,而在30~50 cm土层则开始增强。在0~50 cm土壤深度的各土层上,不同管理模式对土壤水稳性团聚体MWD差异性规律基本一致,禁牧草地团聚体MWD和GMD值均明显高于其它4种管理模式,人工草地MWD和GMD值最低。

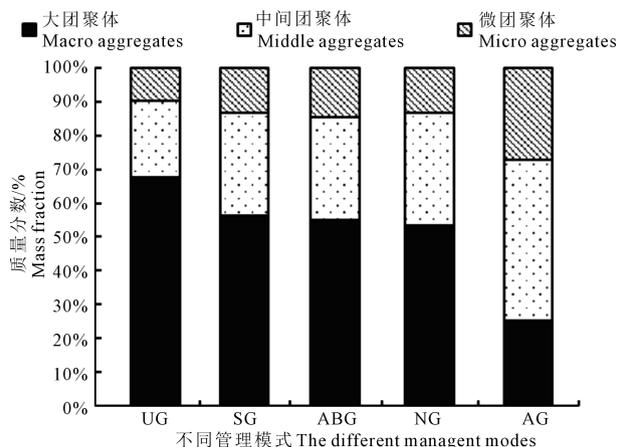


图5 不同管理模式下土壤0~50 cm土层各粒径团聚体质量分数平均值

Fig.5 Mean mass fraction of different soil aggregates in 0~50 cm soil layers under different management patterns

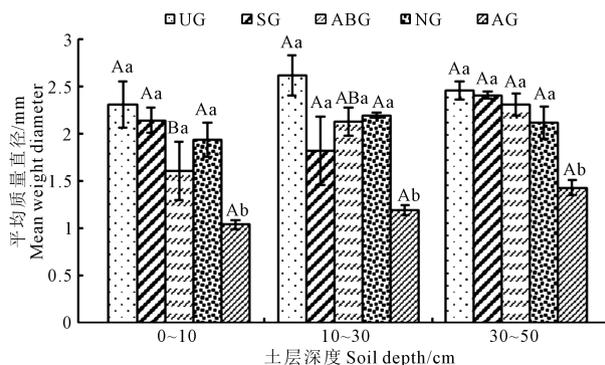


图6 不同管理模式下土壤团聚体平均质量直径(MWD)

Fig.6 Mean weight diameter of soil aggregates under different management patterns

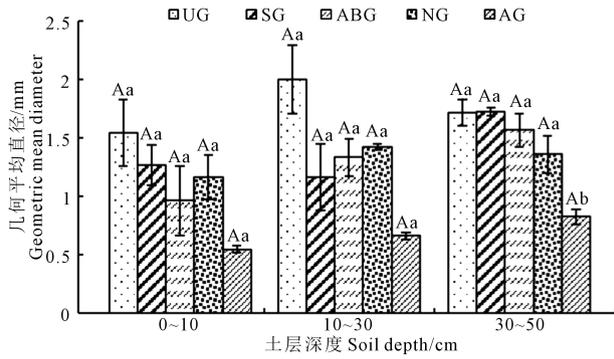


图 7 不同管理模式土壤团聚体几何平均直径 (GMD)

Fig.7 Geometric mean diameter of soil aggregates under different management patterns

表 3 土壤水稳性团聚体各参数与速效磷和有机碳的相关性

Table 3 Correlation between parameters of water stable aggregates and available phosphorus and organic carbon

指标 Items	大团聚体 Macro aggregates	中间团聚体 Middle aggregates	微团聚体 Micro aggregates	速效磷 Available phosphorus	有机碳 Organic carbon	平均质量直径 Mean weight diameter	几何平均直径 Geometric mean diameter
大团聚体 Macro aggregates	1						
中间团聚体 Middle aggregates	-0.176 *	1					
微团聚体 Micro aggregates	-0.620 **	0.598 **	1				
速效磷 Available phosphorus	-0.044	-0.048	0.013	1			
有机碳 Organic carbon	0.402 **	-0.172 *	-0.383 **	-0.07	1		
平均质量直径 Mean weight diameter	0.931 **	-0.364 **	-0.784 **	-0.17	0.338 **	1	
几何平均直径 Geometric mean diameter	0.945 **	-0.333 **	-0.779 **	-0.026	0.395 **	0.974 **	1

注: * 为相关关系显著 ($P < 0.05$), ** 为相关关系极显著 ($P < 0.01$)。

Note: * the correlation is significant ($P < 0.05$), ** the correlation is prominent ($P < 0.01$).

3 讨论

研究区土壤有机质含量均在 $17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,天然草地有机质含量显著高于其它草地,含量顺序为天然草地>禁牧草地>季节草地>弃耕草地>人工草地。一些研究认为,放牧增加了土壤有机质含量^[16],对富蕴县 5 种不同管理模式草地的研究表明,适度放牧的天然草地(夏季放牧)土壤有机碳含量显著高于放牧强度较强的季节草地(春秋放牧)与弃耕草地(弃耕后春秋放牧)。植物凋落物由于适度的牲畜践踏作用而破碎,并与土壤充分接触从而被土壤吸收;另外,放牧导致凋落物的积累量相对减少,有助于凋落物的暴露和充分分解,也有助于碳和养分元素更多地转移到土壤中^[17]。而本研究表明,随着放牧强度的增加,土壤有机碳含量有所减少,这与裴海昆^[18]对高寒草甸草原不同放牧强度对土壤有机碳影响的研究结果一致。就影响强

2.3 土壤水稳性团聚体各粒级参数与土壤速效磷和有机碳的相关性

由表 3 可以看出,MWD 与 GMD 呈极显著正相关。大团聚体与微团聚体呈极显著负相关,与 SOC、MWD 和 GMD 呈极显著正相关;中间水稳性团聚体与 MWD、GMD、SOC 呈负相关。微水稳性团聚体与 MWD、GMD、SOC 呈负相关。土壤速效磷与 MWD、GMD、SOC 和各粒级团聚体相关性不显著。

度而言,草地开垦是影响草原土壤碳贮量最为剧烈的人类活动因素,人工草地新近开垦,开垦后伴随的烧荒措施使原来固定在植被中的碳素全部释放到大气中。开垦使土壤中的有机质充分暴露在空气中,土壤温度和湿度条件得到改善,从而极大地促进了土壤呼吸作用,加速了土壤有机质的分解,故人工草地有机质含量最低。禁牧草地、季节草地、弃耕草地和天然草地土壤 pH 值在 7.3 左右,人工草地为 8.4,说明人为干预下草地的酸碱性在一定程度上发生了改变,禁牧草地、季节草地、弃耕草地的 pH 值和天然草地大致相同,本研究中人工草地植被覆盖较少(20%~25%),新近开垦导致枯枝落叶层较少;而其他草地植被覆盖较高,有机质含量较高,植物分解较快,凋落物较多,枯枝落叶层较多,故 pH 值较高。这与马琳^[9]等研究发现枯枝落叶层覆盖的各层土壤其 pH 值低于无枯枝落叶层或枯枝落叶层较少的各层土壤的研究结果一致。

土壤团聚体的形成是一个复杂的物理、化学、生物学及生物化学过程,其详细的机理目前还不清楚^[1],但现已明确管理模式对土壤团聚体组成具有重要影响。一般认为,大团聚体含量越高说明土壤结构越稳定^[20]。禁牧草地大团聚体含量高于其它草地,土壤植被覆盖度和有机质含量也较高(表1,表2)。有研究表明植物通过释放根系分泌物和生长活动对土壤物理性质和微生物产生影响,进而影响土壤团聚化作用^[21],并且植物根系分泌物产生的高分子黏质对土壤颗粒有很强的黏着力,高分子黏胶物质与土壤颗粒相互作用,促进团聚体的形成^[22]。禁牧草地土壤中有大量的枯枝落叶和植物根系,可以作为土壤微生物碳源,使土壤微生物含量增加,进而产生引起土壤团聚体形成的黏合剂,使团聚体数量和稳定性增加。人工草地中间团聚体与微团聚体的含量均较高,有机质含量最少(10.623 g · kg⁻¹),其植被种类较少,使得微团聚体不易团聚成大团聚体,减少了大团聚体的质量分数,这与邵继承等^[23]相关研究结果一致。各土层深度之间,季节草地微团聚体含量差异显著($P < 0.05$),且呈现倒“V”型,因为受季节性放牧的影响,植物根系受到牛羊啃食,土壤的微团聚体含量在10~30 cm土层出现一个峰值。可能由于土壤的植被覆盖、扰动程度等方面的差异,造成水稳定性团聚体分布的差异。在土壤的各粒径团聚体中,禁牧草地、季节草地、弃耕草地和天然草地以大团聚体为主(图5),分别占粒径总组成的67.68%,56.45%,55.13%,53.32%。人工草地以中间团聚体为主,占粒径总组成的47%。说明了研究区的禁牧草地、季节草地、弃耕草地和天然草地土壤结构较好。从图4可知,人工草地的微团聚体含量高于其它4种草地,人工草地人为干扰强烈,人为耕作或动物啃食作用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,这与Elliott等^[24]以及Sodhi等^[25]研究认为土壤耕作后大团聚体更容易破裂,耕作降低了大团聚体含量的研究结果一致。

同一母质发育的土壤因管理模式不同,团聚体的组成和数量都可能发生很大的变化,说明管理模式对土壤团聚体的形成具有较大的影响^[26]。MWD和GMD值越大表示土壤团聚体的团聚度越高,稳定性就越好。各土层禁牧草地团聚体MWD和GMD值均明显高于其它4种管理模式(图6,图7),说明禁牧后草地土壤稳定性增强。人工草地MWD和GMD值最小,可能由于翻耕,表层土壤松软,水

土流失严重,导致土壤稳定性较弱。

大团聚体质量分数与SOC含量、土壤MWD和GMD呈显著正相关,而微团聚体质量分数与MWD、GMD、SOC呈显著负相关,表明土壤有机质影响土壤团聚体的形成和稳定性。这与史奕等^[26]和董莉丽等^[28]的研究结果一致。

4 结 论

1) 不同管理方式下的5种草地土壤有机质含量差异较为明显。天然草地有机质含量最高,有机质含量为16.337 g · kg⁻¹,人工草地有机质含量最低,含量为10.623 g · kg⁻¹。季节性围封禁牧是草地利用与保护的有效手段。

2) 禁牧草地的大团聚体含量、MWD和GMD值均高于其它草地,人工草地最小,大团聚体含量、MWD和GMD值的平均值为25.17%,1.22,0.75。禁牧后草地稳定性提高,人工草地开垦后,机械作用使得土壤结构破坏,稳定性下降。

3) 大团聚体与土壤有机质含量、土壤MWD和GMD呈显著正相关,相关系数分别为0.402,0.931和0.945。

4) 放牧利用及连续多年割草利用是目前草地利用的主要方式,然而这两种利用方式都不利于土壤肥力的增加及草地资源的有效保护,而季节性放牧的管理方式能在合理利用草地的同时达到有效保护草地资源的目的,它不仅使土壤的有机质含量不断增加,而且使得土壤结构更加稳定。

参 考 文 献:

- [1] Wen Q, Zhao X R, Chen H W, et al. Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregates in semi-arid area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 7(10): 1504-1509.
- [2] Liu E K, Zhao B Q, Mei X R, et al. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [3] Ahmadi A, Neyshabouri MR, Rouhipour H, et al. Fractal dimension of soil aggregates as an index of soil rodibility[J]. Journal of Hydrology, 2011, 400(3): 305-311.
- [4] Spohn M, Giani L. Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43(5): 1081-1088.
- [5] 张曼夏, 季猛, 李伟, 等. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(4): 598-604.
- [6] 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[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 600-607.