第 24 卷 第 3 期 草 地 学 报 2016 年 5 月
Vol. 24 No. 3 ACTA AGRESTIA SINICA May. 2016

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2016.03.008

河北坝上农牧交错带草地不同方式持续利用对土壤颗粒空间分布的影响

白雅芳[1]，商建英[2]，唐士明[1]，王立萍[1]，张玉娟[1]，王 堃[1,3]，刘克思[1,3]*

(1. 中国农业大学动物科技学院 草业科学系，北京 100193；2. 中国农业大学资源与环境学院，北京 100193；
3. 河北沽源草地生态系统国家野外科学观测研究站，河北 沽源 076550)

摘要：为探究河北坝上农牧交错带典型草原不同方式持续利用对土壤颗粒空间分布状况的影响，本研究通过对河北坝上封育 10 年，中度放牧，重度放牧草地以及不同开垦年限的垦殖草地(持续利用 5 年，10 年，15 年)土壤进行分层(0～10 cm，10～20 cm，20～40 cm，40～60 cm)研究其土壤颗粒分布及变化。结果表明：随放牧强度的增加，土壤中 2000～250 μm，250～150 μm，150～53 μm 颗粒含量均显著减少，而 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 颗粒含量均显著增加，即增加了重度放牧草地土壤风蚀退化的潜在危险性；对于垦殖草地，随着持续利用年限的增加，土壤中 2000～250 μm，250～150 μm，150～53 μm 颗粒含量均显著增加，而 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 颗粒含量均显著减少，这表明随着垦殖年限的增加，土壤逐渐趋向沙化。因此，为保证草地的可持续性，放牧草地需要避免重度放牧而垦殖草地需要改变现有的耕作方式。

关键词：放牧草地；放牧强度；垦殖草地；垦殖年限；土壤粒径

中图分类号：S152.32 **文献标识码**：A **文章编号**：1007-0435(2016)03-0530-07

The Effect of Different Uses of Grassland on Spatial Distribution of Soil Particle Size in Hebei Ectone

BAI Ya-fang[1], SHANG Jian-ying[2], TANG Shi-ming[1], WANG Li-ping[1], ZHANG Yu-juan[1], WANG Kun[1,3], LIU ke-si[1,3]*

(1. Grassland Science Department, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
3. National Field Station of Grassland Ecosystem in Guyuan, Guyuan, Hebei Province 076550, China)

Abstract: In order to investigate the effect of different uses of grassland on spatial distribution of soil particle size at the agro-pastoral ectone of Bashang region, Hebei Province, three different grazing grassland (enclosed 10-year grassland, moderate grazing grassland, and heavy grazing grassland) and three different reclamation ages of converted grassland (5year, 10years and 15years) were selected to study the dynamics of soil particle size distribution in different soil layers (0～10 cm, 10～20 cm, 20～40 cm, 40～60 cm). The results showed: the contents of 2000～250 μm, 250～150 μm and 150～53 μm soil particle significantly decreased with increasing grazing intensities, however, the contents of 53～20 μm, 20～2 μm, and <2 μm soil particle significantly increased. This change increases the potential risk of soil erosion under heavy grazing intensity; As for reclamation grassland, the content of 2000～250 μm, 250～150 μm, and 150～53 μm soil particle significantly increased as the reclamation ages increased, but the content of 53～20 μm, 20～2 μm, and <2 μm soil particle significantly decreased. It indicates that reclamation grassland is gradual desertification with increasing cultivated years. Therefore, to keep the sustainability of different uses of grassland, grazing grassland need to avoid heavy grazing and reclamation grassland need to change current cultivated method.

Key words: Grazing grassland; Grazing intensity; Reclamation grassland; Reclamation age; Soil particle size

收稿日期：2015-04-20；**修回日期**：2016-03-23

基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金(2012RC025；2014JD024)；国家科技支撑计划(2012BAD45B03；2012BAD13B07)资助

作者简介：白雅芳(1988-)，女，内蒙古呼和浩特人，硕士研究生，主要从事退化草地生态恢复研究，E-mail：yfbai1224@163.com；*通信作者 Author for correspondence, E-mail: kliu@cau.edu.cn

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

土壤粒径分布(particle size distribution，PSD)即土壤中矿物质颗粒的大小及其组成比例。粒径在土壤中的分布与土壤的肥力状况[1]、持水能力[2]、以及抗风蚀能力[3]等密切相关，在反映土壤侵蚀方面，更被作为一项重要的指示指标[4-6]。土地利用变化是影响土壤理化性质最普遍、最直接的因素之一，土地利用的方式和程度影响着土壤质量变化的程度和方向[7-8]。已有研究表明合理的土地利用方式，在一定程度上可以改善土壤结构，增加土壤的通透性，改变土壤水肥气热状况，增强土壤对外界环境变化的抵抗能力，而不合理的土地利用方式则会加快土壤养分的流失，导致土壤退化或者沙漠化[9-10]。草地利用强度的变化或草地垦殖的持续农田化通常会影响土壤不同粒径的再分布，这种影响可能促进或抑制土壤的健康状况，因此对土壤粒径的分布进行定量化描述能直观地反映草地的现实状况以及草地开垦为农田后的健康程度[11-12]。

河北省坝上高原区属于季风气候向大陆气候以及湿润森林向荒漠草原过渡的中间地带，是中国北方农牧交错带生态环境最为脆弱的地段之一[13]。长期以来，该地区大面积的草地被不合理的放牧或盲目开垦种植农作物，其生态环境遭到严重的破坏，土地退化现象比较严重[14]。为了解本地区土壤的健康状况，本研究选取坝上封育 10 年，中度放牧，重度放牧以及不同开垦年限草地作为研究对象，研究了原草地在不同方式持续利用下对不同土层土壤粒径分布特征的影响。旨在通过分析土壤粒径分布的变化，来反映土地利用方式发生变化时对草原土壤质量的影响，为合理利用与管理农牧交错带土地提供理论依据和科技支撑。

1　材料与方法

1.1　研究区自然状况

研究地点位于以河北省沽源县国家草地生态系统野外科学观测站为中心的农牧交错区域，地处河北省沽源县北部，内蒙古锡林郭勒草原南缘。该区域具有北方农牧交错带典型的生态特点，是农业生态系统与草地生态系统空间交错分布的典型地段。在部分转变为农业利用以前，该区域是以羊草(*Leymus Chinensis*)为优势种的天然草地。地理位置为 N 41°46′，E 115°41′，海拔 1380 m，属半干旱大陆性季风气候，年均气温 1.4℃，≥10℃ 积温 1513℃，年均降雨量 450 mm(主要集中在 7－9 月份)，无霜期 80～100 d，年蒸发量 1735 mm，年均风速 4.3 m·s^{-1}，年均大风日数 49 d，沙尘日数 13 d，年日照时数 2930.9 h。土壤类型为栗钙土。

1.2　样地选择

整个试验选取的 3 种草地利用方式所在土地的原始利用方式均为放牧羊草草地。3 种草地利用方式分别为垦殖草地、放牧草地和封育草地。这 3 种方式基本反映了该农牧交错区草地的利用现状。

(1)垦殖草地：草地开垦为农田，主要轮作种植莜麦(*Avena chinensis*)和胡麻(*Linum usitatissimum*)。取样当年(2013)样地均种植莜麦。种植方式是常规翻耕播种种植，翻耕深度为 40 cm。每年 4 月底播种，8 月底收割，在植物生长初期施肥一次，为 75 Kg·ha^{-1}磷酸二铵。本研究进一步选取了 3 种不同持续利用年限的垦殖草地，分别为 5 年，10 年和 15 年。

(2)放牧草地：放牧草地为天然羊草草地，草地在 2009 年休牧一年，2010 年开始采用两种放牧梯度进行放牧管理：中度放牧(MG，10 羊·公顷$^{-1}$)和重度放牧(HG，14 羊·公顷$^{-1}$)。在春季、夏季、秋季各放牧 1 个月，放牧牲畜为羊。

(3)封育草地(G10)：草地在封育之前为中度退化的羊草草地，2003 年起采用围栏封育，到采样时(2013 年)已经封育 10 年。7 月份草层平均高度达到 70 cm。

1.3　土壤样品的采集

本研究于 2013 年 7 月中旬进行，对中度退化放牧草地(MG)、重度退化放牧草地(HG)和封育 10 年的草地(G10)以及不同持续利用年限的垦殖草地(5 年－C5，10 年－C10，15 年－C15)进行随机取样。每种样地随机选取 3 个 500 cm×500 cm 的样方，在每个样方内随机选取 10 个具有代表性的样点用直径为 3.5 cm 的不锈钢土钻按照深度为 0～10 cm，10～20 cm，20～40 cm，40～60 cm 分层取样，将同一样方框中 10 个样点同一土层所取土样混匀后装入牛皮纸袋，带回实验室，65℃ 烘干至恒重，过 2 mm 筛，去除枯落物和植物根系待用。

1.4　粒径分析

称取 0.4 g 土样，加足量的 30% 过氧化氢(H_2O_2)，除去样品中的有机质，加足量的盐酸(HCl)去除碳酸盐；加超纯水稀释后，静置除去上清液以除酸，此过程需反复进行直至 pH 为 6.5～7.0 为止；然后加入六偏磷酸钠$(Na_2PO_3)_6$作为分散剂，

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

置于电沙浴中使样品持续沸腾 1 h，后用激光粒度仪 Mastersizer2000 测量土壤粒径的体积百分比[15-16]。其粒度测定范围为 0.2～2000 μm。本研究将土壤颗粒划分为 6 种：2000～250 μm；250～150 μm；150～53 μm；53～20 μm；20～2 μm；<2 μm，并得到不同粒径的体积百分含量。

1.5 数据分析

利用 SAS 9.3 就草地不同利用方式对土壤粒径空间分布的影响进行分析。应用单因素方差分析(One－way ANOVA)分别对不同放牧强度草地和不同垦殖年限农田中的土壤粒度进行显著性分析。应用最小显著差异法对均值分离。当 $P \leqslant 0.05$ 时，处理间被认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 草地不同方式利用对不同土壤颗粒的影响

草地在不同方式利用下不同粒径尺寸的土壤颗粒百分含量在 60 cm 土壤中存在显著差异(图 1)。从封育到重牧，土壤中较大粒径(>53 μm)的含量降低，而较小粒径的含量(<53 μm)显著增加($P<0.05$)。在封育和中度放牧状态下，150～53 μm 土壤颗粒含量最多，分别为 37.39%和 31.31%，但重度放牧导致草地中 20～2 μm 土壤颗粒含量增加至 32.42%，并达到最大。在草地开垦为农田后，随着农田使用年限的增加，60 cm 土壤中较大粒径(>53 μm)的颗粒增多，而较小粒径的含量(<53 μm)显著降低(图 2)。在持续利用 5 年的农田土壤中，20～2 μm 土壤颗粒含量最多，达到 33.15%，但随着利用年限增加到 10 和 15 年时，此粒径的土壤含量分别降到 22.58%和 17.18%，而 150～53 μm 土壤颗粒含量达到最大，分别为 32.42%和 37.01%。<2 μm 的土壤颗粒在这些利用方式下变化相对较小，含量维持在 2.40%～5.41%之间，在重牧草地和开垦使用 5 年的农田其含量最高，分别是 5.10%和 5.41%。

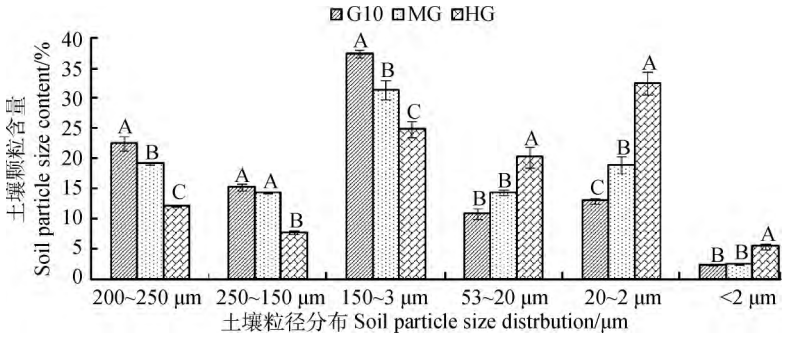

图 1 不同放牧强度下草地土壤颗粒组分分布

Fig. 1 Soil particle size distributions under different grazing intensities

注：不同大写字母表示不同放牧强度下某一土壤颗粒间差异显著($P<0.05$)

Note: Different uppercase letters indicate significant difference among different grazing intensities at the 0.05 level

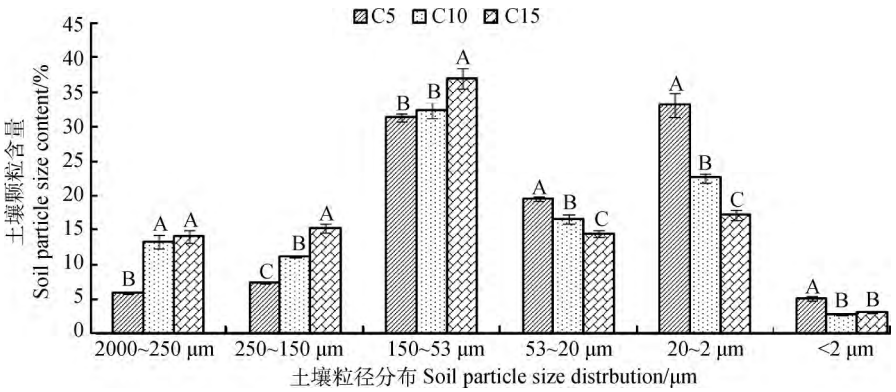

图 2 不同开垦年限下农田土壤颗粒组分分布

Fig. 2 Soil particle size distributions under different reclamation ages

注：不同大写字母表示不同开垦年限下某一土壤颗粒间差异显著($P<0.05$)

Note: Different uppercase letters indicate significant difference among different reclamation ages at the 0.05 level

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2　不同放牧强度对草地土壤粒径空间分布的影响

随放牧强度增加，在 0～10 cm 土层中 2000～250 μm 土壤颗粒百分含量显著下降，从封育草地的 17.12%降至重牧草地的 5.56%（表 1）。在 10～60 cm 土层中，2000～250 μm 土壤颗粒百分含量在封育草地和中度放牧草地之间无显著差异，但重度放牧导致其含量显著下降（$P<0.05$）。在封育草地，表层 0～10 cm 土壤中 2000～250 μm 土壤颗粒高于 10～60 cm，但中度放牧导致表层 0～10 cm 土壤中此颗粒含量较深层土壤低。在重度放牧下，0～40 cm 土层中 2000～250 μm 土壤颗粒含量显著高于 40～60 cm 土层。

250～150 μm 土壤颗粒百分含量也随着放牧强度的增加而降低（表 1）。在 0～20 cm 土层中，封育草地 250～150 μm 土壤颗粒百分含量显著高于中度放牧和重度放牧草地。在 20～60 cm 的各土层中，封育草地和中度放牧草地 250～150 μm 土壤颗粒含量无显著差异，且均显著高于重牧草地。在封育草地和重牧草地 0～60 cm 各土层中，250～150 μm 土壤颗粒百分含量无显著差异，但中度放牧导致 0～20 cm 土层中 250～150 μm 土壤颗粒百分含量低于 20～60 cm 土层中含量。

150～53 μm 土壤颗粒百分含量基本不受放牧强度的影响。在不同放牧强度或同一放牧强度的不同土层中含量保持在 28.52%～35.39%之间（表 1）。然而，放牧强度的增加在一定程度上增加了 53～20 μm 土壤颗粒的百分含量（表 1）。封育草地和重牧草地 0～60 cm 各土层中 53～20 μm 土壤颗粒保持微小的变化，但在中度放牧情况下，0～20 cm 土层较 20～60 cm 土层含有更多的 53～20 μm 的土壤颗粒。

20～2 μm 土壤颗粒百分含量在各土层中随放牧强度增加显著增加（表 1）。在 0～10 cm 土层中，从封育草地到重度放牧草地粒径含量增加近 1 倍，从 16.78% 增加到 31.29%。在 20～40 cm，40～60 cm 土层中，封育和中度放牧无显著差异，但均显著低于重度放牧草地（表 1）。在同一放牧强度的各土层间，20～2 μm 土壤颗粒百分含量差异不显著。对于<2 μm 土壤颗粒，放牧强度对其百分含量的影响主要体现在 0～10 cm 土层中，封育和中度放牧使<2 μm 土壤颗粒百分含量在此土层无显著变化，但重度放牧增加了其在此土层的百分含量。在 10～60 cm 的各土层中，放牧强度对<2 μm 土壤颗粒百分含量影响不显著（表 1）。

表 1　不同放牧强度下草地各土层土壤颗粒分布

Table1　Soil particle size distribution within soil layers under different grazing intensities

放牧强度 Grazing intensity	土壤深度 Soil depth			
	0～10 cm	10～20 cm	20～40 cm	40～60 cm
		2000～250 μm		
G10	17.12^{aA}	13.89^{aB}	13.25^{aB}	12.66^{aB}
MG	11.68^{bB}	12.99^{aAB}	14.61^{aA}	14.14^{aA}
HG	5.56^{cAB}	7.80^{bA}	6.36^{bA}	3.32^{bB}
		250～150 μm		
G10	15.83^{aA}	14.00^{aA}	13.30^{aA}	15.41^{aA}
MG	10.28^{bB}	9.15^{bB}	11.30^{abAB}	13.64^{aA}
HG	7.59^{bA}	7.87^{bA}	6.87^{bA}	4.54^{bA}
		150～53 μm		
G10	34.73^{aA}	35.39^{aA}	35.17^{aA}	36.47^{aA}
MG	33.62^{aA}	28.80^{aB}	32.64^{aA}	34.60^{aA}
HG	30.26^{aA}	27.43^{aA}	29.14^{aA}	28.52^{aA}
		53～20 μm		
G10	13.09^{bA}	14.17^{bA}	15.22^{aA}	11.44^{bA}
MG	19.94^{aA}	19.77^{aA}	15.75^{aB}	12.57^{bB}
HG	20.97^{aAB}	18.22^{abAB}	17.66^{aB}	21.41^{aA}
		20～2 μm		
G10	16.78^{cA}	19.65^{bA}	19.74^{bA}	20.39^{bA}
MG	22.27^{bB}	26.05^{aA}	22.23^{bB}	21.83^{bB}
HG	31.29^{aA}	34.84^{aA}	33.67^{aA}	37.26^{aA}
		<2 μm		
G10	2.44^{bA}	2.91^{aA}	3.32^{bA}	3.63^{aA}
MG	2.22^{bA}	3.24^{aA}	3.47^{bA}	3.22^{aA}
HG	4.32^{aA}	3.86^{aA}	6.29^{aA}	4.93^{aA}

注：同一土壤粒径下，同列不同小写字母表示处理间差异显著（$P<0.05$），同行不同大写字母表示土层间差异显著（$P<0.05$）

Note: For a given particle size distribution, different lowercase letters within the same column indicate significant difference among different treatments at the 0.05 level; different uppercase letters in the same row indicate significant difference among different soil layers at the 0.05 level

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.3 垦殖草地持续利用对土壤粒径空间分布的影响

随着持续利用年限的增加，垦殖草地 2000～250 μm 土壤颗粒百分含量在 0～60 cm 各土层中显著增加(表 2)。在 0～10 cm 和 10～20 cm 土层中，垦殖 10 年和 15 年间无显著差异，但均显著高于垦殖 5 年；在 40～60 cm 土层中，2000～250 μm 垦殖利用 15 年土壤颗粒百分含量是垦殖利用 5 年的 2 倍以上(23.52% Vs 11.49%)(表 2)。在同一垦殖利用年限下，垦殖 5 年和 10 年都没有显著改变 2000～250 μm 土壤颗粒在 0～60 cm 各土层中的分布，但在持续垦殖利用 15 年的情况下，深层(20～60 cm)土壤比浅层(0～20 cm)土壤含有更多的 2000～250 μm 土壤颗粒。

250～150 μm 土壤颗粒含量也随着垦殖利用年限的增加而显著增加(表 2)。尤其在表层土壤(0～10 cm)中，垦殖利用 10 年和 15 年的土地比垦殖利用 5 年的土地中的 250～150 μm 土壤颗粒分别高出 81%和 134%。在 20～60 cm 各土层中，垦殖 10 年和 15 年土地间 250～150 μm 土壤颗粒含量无显著差异，但均显著高于垦殖 5 年的土地。在同一利用年限的各土层间，250～150 μm 土壤颗粒含量差异不显著。延长垦殖利用年限增加了 150～53 μm 土壤颗粒在各土层的含量(表 2)。在 0～10 cm 土层中，垦殖 5 年和 10 年的土地间 150～53 μm 土壤颗粒含量差异不显著，但均显著低于垦殖 15 年的土地；在 20～60 cm 各土层中，垦殖 10 年和 15 年无显著差异，但均显著高于开垦 5 年的草地。

随着垦殖年限的增加，土壤颗粒 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 百分含量逐渐减少(表 2)。在 0～10 cm，20～40 cm 土层中，垦殖 5 年，10 年，15 年间 53～20 μm 土壤颗粒含量存在显著差异，含量趋势如下：5 年>10 年>15 年；而在 10～20 cm 和 40～60 cm 土层中，开垦 10 年和 15 年间差异不显著，但均显著低于开垦 5 年的草地(表 2)。在 0～60 cm 各土层中，垦殖年限间 20～2 μm 土壤颗粒含量存在显著差异，含量趋势为 5 年>10 年>15 年。对于<2 μm 土壤颗粒，其含量在垦殖 10 年和 15 年草地各土层土壤中无显著差异，但均显著低于垦殖 5 年的草地(表 2)。<2 μm 土壤颗粒在 5 年的垦殖草地表层(0～10 cm)土壤中的含量低于其在深层的含量，但在垦殖 10 年和 15 年的草地这种差异在各土层间不显著。

表 2 不同开垦年限下各土层土壤颗粒组分的变化

Table 2 Soil particle size distribution within soil layers under different reclamation ages

开垦年限 Reclamation age	土壤深度 Soil depth			
	0～10 cm	10～20 cm	20～40 cm	40～60 cm
		2000～250 μm		
C5	11.42^{bA}	8.51^{bA}	12.00^{bA}	11.49^{cA}
C10	17.65^{aA}	20.15^{aA}	18.90^{abA}	18.82^{bA}
C15	15.25^{abC}	17.84^{aBC}	26.77^{aA}	23.52^{aAB}
		250～150 μm		
C5	7.25^{cAB}	5.15^{bB}	7.10^{bAB}	8.43^{bA}
C10	13.14^{bA}	14.54^{aA}	14.51^{aA}	13.64^{aA}
C15	16.96^{aA}	16.19^{aAB}	14.52^{aAB}	13.38^{aB}
		150～53 μm		
C5	28.77^{bA}	22.58^{cB}	22.43^{bB}	25.62^{bAB}
C10	31.44^{bA}	30.36^{bA}	30.99^{aA}	32.45^{abA}
C15	39.78^{aA}	38.74^{aA}	35.66^{aA}	35.40^{aA}
		53～20 μm		
C5	21.44^{aAB}	23.13^{aA}	18.66^{aB}	17.70^{aB}
C10	16.10^{bA}	14.23^{bAB}	14.27^{bAB}	12.83^{bB}
C15	11.99^{cA}	11.19^{bAB}	9.33^{cC}	10.78^{bB}
		20～2 μm		
C5	26.86^{aB}	34.78^{aA}	33.60^{aAB}	31.43^{aAB}
C10	19.06^{bA}	18.25^{bA}	18.92^{bA}	19.50^{bA}
C15	13.65^{cA}	13.52^{cAB}	11.70^{cB}	14.27^{bA}
		<2 μm		
C5	4.26^{aB}	5.85^{aA}	6.20^{aA}	5.33^{aA}
C10	2.60^{bA}	2.47^{bA}	2.41^{bA}	2.77^{bA}
C15	2.38^{bA}	2.53^{bA}	2.03^{bA}	2.65^{bA}

注：同一土壤粒径下，同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)，同行不同大写字母表示土层间差异显著($P<0.05$)

Note: For a given particle size distribution, different lowercase letters within the same column indicate significant difference among different treatments at the 0.05 level ; different uppercase letters in the same row indicate significant difference among different soil layers at the 0.05 level

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 讨论

3.1 放牧强度对草地土壤颗粒的影响

草地土壤在不同放牧强度下会呈现出不同程度的沙化现象，且随着放牧强度的增加，土壤颗粒组成极粗砂、粗砂和中砂含量增加，细砂、极细砂、粉砂和粘粒含量减少，过度放牧加快土壤风蚀沙化[2]。卫智军、付华等研究表明，随放牧强度的增加，土壤黏粒含量趋于减少，砂粒增多[3, 17]。但本研究发现随着放牧强度的增加，较大颗粒的土壤（>150 μm）含量显著下降，而较小颗粒（<53 μm）的土壤含量显著增加。这表明放牧强度对土壤影响具有一定的地域性差异。在荒漠性草地，由于植被覆盖度不高，并且气候干旱，增加放牧强度易导致土壤裸露从而引起风蚀降低表面的微小土壤颗粒的量而相对提高了较大土壤颗粒的含量比例[17]。但在降水较高的草地区域，风蚀对土壤的影响就相对较小，使得土壤细粒物质流失较少，放牧强度的增加对土壤的扰动就主要来自于动物的践踏，随着放牧强度的增加，动物对土壤的践踏程度也随之增加，这种增加的践踏扰动可能是导致土壤小粒径含量增多的一个主要原因。林慧龙和任继周（2009）在践踏和降水模拟试验中发现在具有一定量的降水（>192 mm）情况下，高强度践踏会减缓表土粗化且在丰水（266 mm）的条件下具有较高的粘砂比例[18]。本试验点年降雨达到 450 mm，远高于一般干旱草原，在这种降水条件下，放牧强度的增加反而增加了土壤中粘粒含量。杨爱霞等也观察到牛羊的践踏能加速土壤颗粒的分解增加土壤中粘粒的含量[19]。这在一定程度上与本研究结果一致。这种在重度放牧下草地土壤表面微小颗粒的持续积累，将增加草地遭风蚀退化的潜在危险性。如果持续重牧，这些微小土壤颗粒将流失，最终导致草地表层沙化和粗化。

3.2 垦殖草地持续利用对土壤颗粒的影响

土壤粒径分布影响土壤水力特性、土壤肥力状况以及土壤侵蚀等，是重要的土壤物理特性之一[20-21]。改变土地利用方式将在一定程度上影响土壤中不同颗粒百分含量的变化[22]。本研究发现，随着垦殖年限的增加，土壤颗粒 2000～250 μm，250～150 μm，150～53 μm 百分含量均显著增加，而土壤颗粒 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 百分含量均显著减少。形成这种变化趋势的原因可能主要是风力侵蚀以及人类耕作对土壤的物理扰动和破碎[23]。胡云峰等研究表明，在我国农牧交错带上，耕地的风力侵蚀通常要高于草地的风力侵蚀[24]。随开垦年限的增加，风蚀年限也随之增加，20～2 μm 土壤颗粒作为风蚀的主体损失的越多，土壤颗粒粗化就越严重。此外，人类耕作对土壤的物理扰动和破碎，以及开垦后地上生物量的减少，更加剧了土壤风蚀程度[25]。在不同土层中，草地开垦 5 年与 10 年和 15 年相比，不同土壤颗粒含量发生显著变化，而 10 年和 15 年不同土壤颗粒百分含量无显著差异。说明草地转换为农田的前几年，由于地上生物量的明显减少，土地缺乏地表覆盖的保护，土壤风蚀沙化的表征逐渐突出，导致农田土壤颗粒 2000～53 μm 百分含量显著增加，土壤颗粒<53 μm 百分含量显著减少，而开垦 10 年到 15 年后，土壤整体结构状况趋于稳定，所以土壤颗粒含量无显著变化。

4 结论

随放牧强度的增加，草地土壤颗粒 2000～250 μm，250～150 μm，150～53 μm 百分含量均显著减少，而土壤颗粒 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 百分含量均显著增加。这种微小土壤颗粒的增加，增加了重度放牧草地遭风蚀退化的潜在危险性。在草地垦殖后，随着持续利用年限的增加，土壤颗粒 2000～250 μm，250～150 μm，150～53 μm 百分含量均显著增加，而土壤颗粒 53～20 μm，20～2 μm，<2 μm 百分含量均显著减少。表明随着垦殖年限的增加，土壤逐渐趋向沙化，土壤健康状况恶化。因此，放牧草地需要避免重度放牧而垦殖草地需要改变现有的耕作方式以保证草地在不同方式利用下的可持续性。

参考文献

[1] 戎郁萍，韩建国，王培，等. 放牧强度对草地土壤理化性质的影响[J]. 中国草地，2001(04)：42-48

[2] 张保刚，梁慧春. 草地土壤机械组成研究综述[J]. 辽宁农业科学，2009(06)：38-41

[3] 卫智军，乌日图，达布希拉图，等. 荒漠草原不同放牧制度对土壤理化性质的影响[J]. 中国草地，2005(05)：6-10

[4] Wang X, Li M, Liu S, *et al*. Fractal characteristics of soils under different land-use patterns in the arid and semiarid regions of the Tibetan Plateau, China[J]. Geoderma, 2006, 134(1-2): 56-61

[5] 常美蓉，庞奖励，张彩云，等. 关中东部不同土地利用方式对土

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

壤质地影响探讨[J]. 农业系统科学与综合研究,2009(01):50-53

[6] 钱亦兵,周华荣,张立运,等. 塔里木河中下游湿地及其周边土壤粒度的空间分布[J]. 干旱区地理,2005(05):609-613

[7] 李晓东,魏龙,张永超,等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J]. 草业学报,2009(04):103-110

[8] 吴美榕,李志忠,靳建辉,等. 新疆伊犁河谷新垦荒地土壤粒度特征[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),2011(02):211-216

[9] 李振永,杨文平. 半干旱退化山区不同土地利用方式土壤入渗特性研究[J]. 现代农业科技,2009(24):260-266

[10] 苏永中,赵哈林. 科尔沁沙地不同土地利用和管理方式对土壤质量性状的影响[J]. 应用生态学报,2003(10):1681-1686

[11] Lian J, Zhao X, Zuo X, *et al*. Land cover changes and the effects of cultivation on soil properties in Shelihu wetland, Horqin Sandy Land, Northern China[J]. Journal of Arid Land,2013,5(1):71-79

[12] Filgueira R R, Fournier L L, Sarli G O, *et al*. Sensitivity of fractal parameters of soil aggregates to different management practices in a Phaeozem in central Argentina[J]. Soil and Tillage Research,1999,52(3-4):217-222

[13] 王涛,李孝泽,哈斯,等. 河北坝上高原现代土地沙漠化的初步研究[J]. 中国沙漠,1991(02):42-48

[14] 袁金国,王卫,龙丽民. 河北坝上生态脆弱区的土地退化及生态重建[J]. 干旱区资源与环境,2006(02):139-143

[15] 王德,傅伯杰,陈利顶,等. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例[J]. 生态学报,2007(07):3081-3089

[16] 张俊华,李国栋,南忠仁. 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系[J]. 生态学报,2012(12):3745-3753

[17] 付华,王彦荣,吴彩霞,等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J]. 中国沙漠,2002(04):32-36

[18] 林慧龙,任继周. 践踏和降水对环县典型草原土壤颗粒分维特征的影响[J]. 草业学报,2009(04):202-209

[19] 杨爱霞,李艳红,雷荣. 甘家湖湿地边缘带土地荒漠化演变中土壤颗粒分形特征[J]. 干旱环境监测,2011(04):218-223

[20] Montero E. Rényi dimensions analysis of soil particle-size distributions[J]. Ecological Modelling,2005,182(3-4):305-315

[21] 方晰,洪瑜,金文芬,等. 城乡交错带土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. 长江流域资源与环境,2011(10):1217-1221

[22] Bayramin I, Basaran M, Erpul G, *et al*. Comparison of soil organic carbon content, hydraulic conductivity, and particle size fractions between a grassland and a nearby black pine plantation of 40 years in two surface depths[J]. ENVIRONMENTAL GEOLOGY,2009,56(8):1563-1575

[23] 张源润,董立国,蔡进军,等. 半干旱退化山区不同土地利用方式土壤理化性质的特征研究[J]. 水土保持通报,2009(05):65-68

[24] 胡云锋,刘纪远,庄大方,等. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征[J]. 土壤学报,2005(02):336-339

[25] 任婷婷,王瑄,孙雪彤,等. 不同土地利用方式土壤物理性质特征分析[J]. 水土保持学报,2014(02):123-126

(责任编辑 位晓婷)

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net