

# 利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量 及土壤结构性质的影响\*

展争艳<sup>1</sup> 李小刚<sup>1†</sup> 张德罡<sup>2</sup> 王哲锋<sup>1</sup>

(1 甘肃农业大学资源环境学院, 兰州 730070)

(2 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

**摘要** 在高山草原带选择了围栏草地、一年生人工草地(先围栏草地后开垦种植燕麦草)和多年生人工草地(先围栏草地后开垦种植多年生垂穗披碱草和无芒雀麦)三种利用方式,就人工草地利用方式对土壤有机碳含量和结构性质的影响进行了研究。研究表明,在高寒牧区,开垦自然植被分别种植一年生燕麦草20多年和种植多年生禾草7年以后与围栏草地相比较,0~30cm深度土壤有机碳密度分别平均降低了27.7%和8.5%,土壤结构的稳定性(MWD)分别平均降低了46.9%和42.6%。同时土壤容重和土壤密度显著增加,土壤孔隙度显著降低。在高寒牧区开垦自然植被建植人工草地情况下,土壤结构性质的恶化与有机碳(质)含量的降低密切相关。

**关键词** 人工草地;高山草原土壤;有机碳;土壤结构性质

**中图分类号** S152.4 **文献标识码** A

土壤有机碳不但是土壤养分循环转化的核心,而且对土壤结构的形成及其稳定性具有重要影响,所以土壤有机碳含量和土壤结构性状的变化,一直是国内外土地利用/覆盖变化下土壤肥力、土壤质量变化研究与评价的核心内容<sup>[1-3]</sup>。人工草地一般被推荐为中国牧区缓解天然草地的载畜压力防止草地退化、提高草地生产力的措施(利用方式)之一<sup>[4-9]</sup>,目前已经成为牧区尤其是高寒牧区土地利用/覆盖变化的主要形式之一。与天然草地相比,天然草地转化为人工草地之后,植被种群、生物量、耕作扰动、施肥、收获等发生了很大变化,使草地土壤生态系统的物质和能量的输入和输出发生了根本性的转变,从而可能导致土壤有机质含量以及与其相联系的土壤结构性质的变化。但是目前尤其是在高海拔地区人工草地对土壤环境影响的研究还比较少见。

土壤有机碳含量的变化是不同利用方式下土壤质量演变的主要标志。天然草地开垦后一般导致土壤有机碳含量的降低<sup>[10,11]</sup>,意味着土壤质量的退化。Wu等<sup>[12]</sup>和吴荣贵等<sup>[13]</sup>通过表层(0~15 cm)土壤的取样分析就土地利用对甘肃高山草原土壤退化的影响进行了研究,结果表明耕种加速了土壤侵蚀

和土壤有机碳、氮和磷的损失。土壤退化也包括土壤物理性质的退化<sup>[14]</sup>,李绍良等<sup>[15]</sup>将土壤结构性状作为草原土壤退化评价的重要指标。为进一步研究人工草地对高山草原土壤质量的影响,本研究选择围栏草地、一年生人工草地和多年生人工草地三种草地利用方式,调查测定0~30 cm土层中有机碳含量和土壤结构性状,以围栏草地为对照,研究人工草地对土壤性质的影响,以评价人工草地在高山地区的环境效应。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地区概况

研究地点选择在甘肃农业大学草原试验站,位于甘肃省天祝藏族自治县。地理方位为N37°40', E102°32',海拔高度2 960 m,年平均温度-0.1℃,≥0℃年积温1380℃,年平均降水量为416 mm(多集中在7~9月),年蒸发量1596 mm,无绝对无霜期,植物生长期为120~140 d。本研究所涉及的试验地位于一个宽阔的河谷地带的中段,自然植被中株芽蓼+蒿草为优势种群,土壤类型按照全国第二次土

\* 教育部科学技术研究重点项目(204140)资助

† 通讯作者

作者简介:展争艳(1976~),女,甘肃靖远县人。在读土壤学硕士研究生,研究方向为土壤管理

收稿日期:2004-09-27;收到修改稿日期:2004-12-22

壤普查办公室《中国土壤分类暂行草案》<sup>[16]</sup>为冷钙土(亚高山草原土),相当于《中国土壤系统分类(修订方案)》<sup>[17]</sup>中的钙积干润均腐土。土壤质地均为粉壤(美国制 USDA)。以碳酸钙含量表示的碳酸盐含量为 7.8~45.6 g kg<sup>-1</sup>,其含量在剖面上随土层深度的增加而递增。土壤 pH 值为 7.97~8.50,随土层深度的增加而有所增加。

试验区在河谷地区的草地利用方式目前主要为两种类型,即围栏草地和一年生人工草地。20 世纪 60 年代末期将原来的天然草地进行围栏管理,株芽蓼(*Polygonum viviparum*)和蒿草(*Kobresia*)为优势种群,供冬春季放牧,此即为围栏草地利用方式(FP)。20 世纪 70 年代末期将一部分围栏草地开垦种植一年生燕麦草(*Arrhenatherum elatius*),秋季刈割以供冬季补充干饲,至今已 20 多年,此即为一年生人工草地利用方式(FP+SO)。燕麦草春季播种时一般基施尿素 75 kg hm<sup>-2</sup>左右。另外试验站在 1996~1997 年又将一块面积约为 1500 m<sup>2</sup>的围栏草地开垦为多年生人工草地试验地,草种组成以垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和无芒雀麦(*Bromus inermis*)为主,至今已有 7 年时间,此即为多年生人工草地利用方式(FP+SPG)。这三部分草地的地形条件完全相同。

### 1.2 土样采集和制备

2003 年 10 月在上述围栏草地和相邻的一年生人工草地各选取 3 个代表性地块(样地面积 > 1500 m<sup>2</sup>),同时将多年生人工草地人为划分成 3 个面积相等的小区。在每一样地和小区选取多个代表性样点,按照 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 分层用铲子采取一个 10 cm × 10 cm × 10 cm 的土壤柱体,然后将同一层土样混合使成为一个混合样。同时分层在 2.5~7.5 cm、12.5~17.5 cm 和 22.5~27.5 cm 深度用环刀法<sup>[18]</sup>测定土壤容重,分别代表 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层的容重。

土样在室内风干后,根据测定项目将土样分为两个亚样本:其中一个亚样本过 2 mm 筛,用于土壤理化分析;另一个亚样本首先使其全部通过 5 mm 筛,然后再用 0.25 mm 筛进行筛分,将筛子上的团聚体即粒径为 0.25~5 mm 的团聚体收集,以供测定土壤结构稳定性。

### 1.3 有机碳含量和基本理化性质的测定

土壤 pH 的测定用电极法<sup>[19]</sup>,土水比为 1:2.5。碳酸钙含量用气量法<sup>[20]</sup>。土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法<sup>[21]</sup>。土壤颗粒组成(比重计法)、土壤密度的测定和孔隙度的计算均根据文献<sup>[18]</sup>进行。

0~30 cm 土层深度中有机碳密度的计算为每一土层的厚度 × 容重 × 有机碳含量,然后将乘积相加。

### 1.4 土壤团聚体水稳性分析

团聚体水稳性的测定及平均重量直径(Mean weight diameter, MWD)的计算参考 Haynes<sup>[22]</sup>的方法进行。称取 50 g 0.25~5 mm 风干团聚体置于由孔径分别为 2、1、0.5 和 0.25 mm 筛组成的套筛的最上一层。调整桶内水面的高度,使筛移动到最高位置时最上一层筛中的团聚体刚好淹没在水面以下。待团聚体在水面下浸泡 5 min 时开动仪器,以每分钟 30 次的速度筛分 30 min。湿筛结束后,将每一层筛上的团聚体分别洗入铝盒烘干称重。称重后的干团聚体用水浸泡后用手指研磨使其全部破碎,然后筛分出相应粒级中的石砾或砂粒,并将其中的有机残体倾洗弃去后烘干称重。用每一粒级团聚体中分布的石砾或砂粒的重量对该级团聚体的重量进行校正。团聚体的水稳性以水稳性团聚体的 MWD 表示,其计算方法为每一粒级水稳性团聚体的质量份数(某一粒级的重量与 0.25~5 mm 团聚体烘干重的比值)乘以该粒级的平均直径,然后将其相加。MWD 的上限为 3.5 mm,下限为 0.125 mm。最小一个粒级的水稳性团聚体(0~0.25 mm)的质量份数为 1 减去其他校正后的水稳性团聚体质量份数之和。

### 1.5 数据分析

同一利用类型的 3 个样地(区)在利用上具有同质性,所以可以作为同一草地利用类型的三次重复。用 SPSS 10.0 分析软件,按照利用类型和土层深度两个变异来源分别对有机碳含量、团聚体稳定性、容重、密度和孔隙度的影响进行二因素方差分析,同时按照利用类型对 0~30 cm 深度有机碳密度的影响进行单因素方差分析。用 LSD 法进行差异显著性比较,以检验利用方式影响的显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤有机碳含量

利用方式对土壤有机碳的影响随土层深度的不同而有差异(表 1 和表 3,利用方式 × 土层深度互作极显著,  $p < 0.001$ )。在 0~10 cm 土层,三种草地利用类型下有机碳含量以围栏草地 > 多年生人工草地 > 一年生人工草地变化,互相之间差异均极显著( $p < 0.01$ )。在 10~20 cm 和 20~30 cm 两个土层有机碳含量以多年生人工草地 > 围栏草地 > 一年生人工草地而变化,在 10~20 cm 土层一年生人工草地

与围栏草地之间差异极显著( $p < 0.01$ ),而多年生人工草地与围栏草地之间差异不显著;遮 20~30 cm 深度互相之间差异均极显著( $p < 0.01$ )。与围栏相比较,0~10 cm 土层一年生人工草地和多年生人工草地有机碳含量分别降低了 35.9% 和 18.0%。在 10~20 cm 和 20~30 cm 土层,一年生人工草地与围栏草地相比较分别降低了 28.6% 和 40.6%,而多年生人工草地与围栏草地相比则基本没有变化。三种草地利用类型下 0~30 cm 深度土壤有机碳密度变化次序为围栏草地 > 多年生人工草地 > 一年生人工草地(表 1)。在围栏情况下 0~30 cm 土层有机碳密度平均为  $17.7 \text{ kg m}^{-2}$ ,而一年生人工草地仅为  $12.8 \text{ kg m}^{-2}$ ,经过 20 多年的开垦种植有机碳密度降低了

27.7%。种植多年生人工草地的情况下有机碳密度平均为  $16.2 \text{ kg m}^{-2}$ ,降低了 8.5%。这说明较长时间高山草原土壤的人工开垦显著降低了土壤有机碳含量。

土壤有机碳含量是气候、植被覆盖、管理等因素影响下土壤有机碳输入与输出之间平衡的结果。草地开垦后种植一年生牧草,地上部分由于刈割而移出土壤系统,地下部分生物量进入土壤的量和深度也与自然植被下可能有所不同,耕作、施肥等措施对土壤的扰动强度也增大。这些因素的综合作用不但有可能减少土壤有机碳的归还量,而且还可能加速土壤有机碳的分解,最终导致土壤有机碳含量迅速降低。

表 1 草地利用方式对土壤有机碳含量及密度(0~30 cm)的影响  
Table 1 Effect of land use on soil organic C content and organic C density (0~30 cm)

利用方式 Land use	有机碳含量 Soil organic C content( $\text{g kg}^{-1}$ )			0~30cm 有机碳密度 Organic C density (0~30cm) ( $\text{kg m}^{-2}$ )
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	
FP <sup>1)</sup>	$80.4 \pm 7.0$	$63.7 \pm 8.3$	$59.1 \pm 2.5$	$17.7 \pm 0.8$
FP + SPG <sup>2)</sup>	$65.9 \pm 1.4$	$65.9 \pm 0.8$	$67.9 \pm 1.6$	$16.2 \pm 0.2$
FP + SO <sup>3)</sup>	$51.5 \pm 2.4$	$45.5 \pm 6.4$	$35.1 \pm 7.4$	$12.8 \pm 0.8$

1) 围栏草地 Fencing pasture; 2) 多年生人工草地 Fencing pasture + subsequent perennial grass cultivation; 3) 一年生人工草地 Fencing pasture + subsequent oat cultivation

## 2.2 土壤结构性质

**2.2.1 团聚体稳定性** 方差分析说明利用方式对团聚体稳定性的影响极显著( $p < 0.001$ )(表 3)。在 0~10 cm 和 20~30 cm 两个土层 MWD 均为围栏草地 > 多年生人工草地 > 一年生人工草地。而在 10~20 cm 土层则为围栏草地 > 一年生人工草地 > 多年生人工草地,这很可能是在一年生人工草地利用情况下频繁耕作对土壤挤压所致。三个土层的 MWD 平均值一年生人工草地和多年生人工草地都极显著小于围栏草地( $p < 0.01$ ),而一年生人工草地和多年生人工草地之间差异不显著。这说明人工草地利用方式显著降低了高山草原土壤结构的稳定性。

有机质是土壤团聚体形成的最重要胶结物质<sup>[23]</sup>,但是本研究团聚体 MWD 与有机碳含量之间

的相关性并不显著(图 1),说明土壤团聚体的稳定性除了与有机碳含量有关外,还可能与土壤有机碳组成、耕作扰动等其他因素有关<sup>[24~28]</sup>。

**2.2.2 土壤容重** 草地利用方式对土壤容重的影响极显著(表 3,  $p < 0.001$ )。在三个土层深度,土壤容重均是一年生人工草地 > 围栏草地 > 多年生人工草地(表 2)。不同土层的平均值之间的多重比较说明一年生人工草地容重极显著( $p < 0.01$ )地大于多年生人工草地,又显著( $p < 0.05$ )地大于围栏草地,而多年生人工草地与围栏草地之间差异不显著。这说明较长时间的开垦和人工干预显著增加了土壤容重。相关分析说明土壤容重与有机碳含量之间直线相关极显著(图 2),说明不同利用方式下土壤容重的增大主要是由于有机碳(质)含量的降低所致。

表 2 土地利用方式对团聚体水稳性、土壤容重、土壤密度和土壤孔隙度的影响

Table 2 Effects of land use on soil mean weight diameter (MWD) of water stable aggregate, bulk density (BD), particle density (PD), and porosity

利用方式 Land use	平均重量直径 MWD (mm)			容重 BD (Mg m <sup>-3</sup> )			密度 PD (Mg m <sup>-3</sup> )			孔隙度 Porosity		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
FP <sup>1)</sup>	0.76 ± 0.22	1.21 ± 0.23	1.06 ± 0.14	0.83 ± 0.10	0.84 ± 0.04	0.96 ± 0.01	2.46 ± 0.03	2.54 ± 0.03	2.56 ± 0.02	0.66 ± 0.04	0.67 ± 0.01	0.62 ± 0.01
FP + SPG <sup>2)</sup>	0.44 ± 0.06	0.57 ± 0.15	0.69 ± 0.14	0.81 ± 0.05	0.77 ± 0.02	0.85 ± 0.04	2.53 ± 0.03	2.56 ± 0.02	2.57 ± 0.02	0.68 ± 0.02	0.70 ± 0.01	0.67 ± 0.02
FP + SO <sup>3)</sup>	0.35 ± 0.17	0.72 ± 0.21	0.57 ± 0.05	0.91 ± 0.01	0.99 ± 0.07	1.08 ± 0.21	2.59 ± 0.02	2.59 ± 0.01	2.63 ± 0.01	0.65 ± 0.00	0.62 ± 0.03	0.59 ± 0.08

1) 围栏草地 Fencing pasture; 2) 多年生人工草地 Fencing pasture + subsequent 7-years perennial grass cultivation; 3) 一年生人工草地 Fencing pasture + subsequent oat cultivation

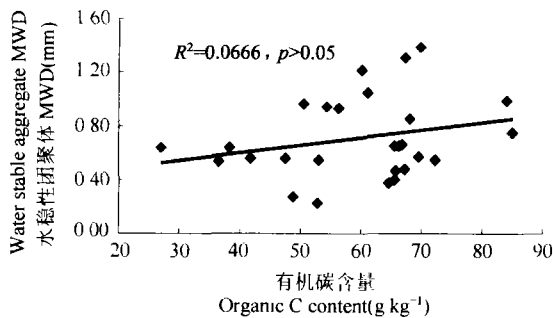


图 1 土壤团聚体稳定性与有机碳含量的关系

Fig. 1 Relationship between aggregate water stability and organic C content in soil

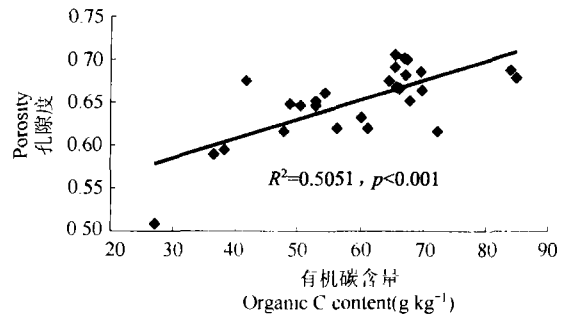


图 4 土壤孔隙度与有机碳含量之间的关系

Fig. 4 Relationship between porosity and organic C content in soil

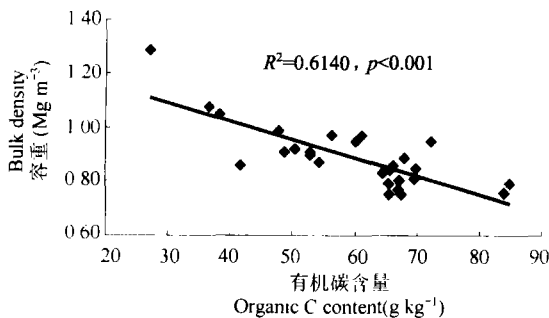


图 2 土壤容重与有机碳含量之间的关系

Fig. 2 Relationship between bulk density and organic C content in soil

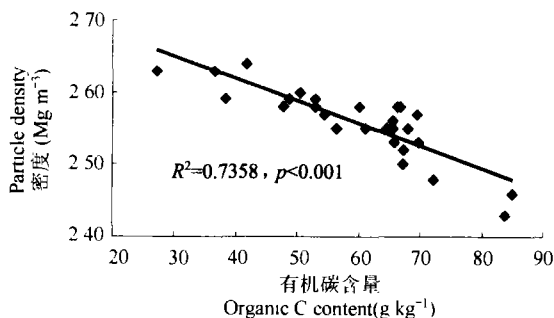


图 3 土壤密度与有机碳含量之间的关系

Fig. 3 Relationship between particle density and organic C content in soil

**2.2.3 土壤密度** 方差分析结果(表3)说明利用方式对土壤密度的影响随土层深度的变化而有所不同(利用方式×土层深度互作极显著,  $p < 0.01$ )。在三个不同深度的土层中土壤密度均以一年生人工草地 > 多年生人工草地 > 围栏草地。在0~10 cm 深度土壤密度互相之间差异均极显著( $p < 0.01$ ), 在10~20 cm 深度差异均显著( $p < 0.05$ ); 在20~30 cm 深度围栏草地和多年生人工草地之间差异极显著( $p < 0.01$ ), 而围栏草地和多年生人工草地之间差异不显著。土壤密度的大小取决于土壤固相部分的物质组成。Skopp 认为包括有机质在内所测定的土壤密度可以反映管理措施对土壤组成的影响<sup>[29]</sup>。土壤密度与有机碳含量呈显著负相关(图 3), 这说明土壤密度的增加是由土壤有机质含量降低所致。

**2.2.4 土壤孔隙度** 利用方式对草地土壤孔隙度影响极显著(表 3,  $p < 0.01$ )。在三个不同深度土层中, 土壤孔隙度均按照多年生人工草地 > 围栏草地 > 一年生人工草地而变化(表 2)。但是平均数多重比较结果显示孔隙度只在一年生人工草地和多年生人工草地之间差异极显著( $p < 0.01$ ), 这说明随开垦年限的增加土壤孔隙度逐渐降低。土壤孔隙

表 3 利用方式与土层深度对土壤有机碳含量、土壤团聚体水稳性、土壤容重、土壤密度以及 0~30 cm 土壤有机碳密度影响的显著性

Table 3 Significance of the effects of land use type and soil depth on soil organic C content (SOC), soil mean weight diameter (MWD) of water stable aggregate, bulk density (BD), and particle density (PD), and land use type on soil organic C density (SOCD, in 30-cm depth)

变异来源 Variance source	土壤有机碳 SOC	平均重量直径 MWD	容重 BD	密度 PD	孔隙度 Porosity	有机碳密度 SOCD
利用方式 Land use	***	***	***	***	**	***
土壤深度 Soil depth	***	**	*	***	*	
利用方式 × 土壤深度 Land use × soil depth	* ** *	N	N	**	N	

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ; N: not significant

度与土壤有机碳含量之间显著正相关(图 4),这说明人工草地利用下土壤孔隙度的降低主要是土壤有机质含量降低的结果。

### 3 结 论

在高寒牧区与围栏草地相比较,开垦自然植被分别种植一年生燕麦草 20 多年和种植多年生禾草 7 年以后,0~30cm 深度土壤有机碳密度分别降低了 27.7% 和 8.5%,土壤结构的稳定性(MWD)分别降低了 46.9% 和 42.6%。同时土壤容重和土壤密度显著增加,土壤孔隙度显著降低。在高寒牧区开垦自然植被建植人工草地情况下,土壤结构性质的恶化与有机碳(质)含量的降低密切相关。

### 参 考 文 献

- [1] Tiessen H, Cuevas E, Chacon P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 1994, 371: 783 ~ 785
- [2] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, 64: 681 ~ 689
- [3] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系. *土壤学报*, 2004, 41(4): 544 ~ 552. Li Z P, Zhang T L, Chen B Y. Dynamics of soluble organic carbon and its relation to mineralization of soil organic carbon (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 544 ~ 552
- [4] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. *中国农业科学*, 1997, 30(6): 1 ~ 9. Li B. The rangeland degradation in North China and its preventive strategy (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(6): 1 ~ 9
- [5] 张自和, 郭正刚, 吴素琴. 西部高寒地区草业面临的问题与可持续发展. *草业学报*, 2002, 19(2): 19 ~ 22. Zhang Z H, Guo Z G, Wu S Q. Problems facing to prairie culture in western alpine region and its sustainable development, China (In Chinese). *Partacultural Science*, 2002, 19(2): 19 ~ 22
- [6] 王树青, 张起荣, 马苍. 天祝县天然草原退化原因及治理对策. *草业科学*, 2003, 20(6): 7 ~ 9. Wang S Q, Zhang Q R, Ma C. The causes of natural grassland degradation and control strategy in Tianzhu County (In Chinese). *Partacultural Science*, 2003, 20(6): 7 ~ 9
- [7] 马玉寿, 朗百宁, 李青云, 等. 江河源区高寒草甸退化草地恢复与重建技术研究. *草业科学*, 2002, 19(9): 1 ~ 5. Ma Y S, Lang B N, Li Q Y, et al. Study on rehabilitating and rebuilding technologies for degraded alpine meadow in the Changjiang and Yellow River source region (In Chinese). *Partacultural Science*, 2002, 19(9): 1 ~ 5
- [8] 赛胜宝. 内蒙古北部荒漠草原带的严重荒漠化及其治理. *干旱区资源与环境*, 2001, 15(4): 34 ~ 39. Sai S B. Serious desertification of desert steppe zone and its control in northern Inner Mongolia (In Chinese). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2001, 15(4): 34 ~ 39
- [9] 赵万羽. 新疆草地资源的劣化、原因及治理对策. *草业科学*, 2002, 19(2): 19 ~ 22. Zhao W Y. Deterioration, causes and control strategies of grassland resources in Xinjiang, China (In Chinese). *Partacultural Science*, 2002, 19(2): 19 ~ 22
- [10] Davidson E A, Ackennan I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161 ~ 193
- [11] Richard T C, Six J, Paustian K. Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. I. Management-intensive versus extensive grazing. *Biol. Fertil. Soils*, 2003, 38: 386 ~ 392
- [12] Wu R G, Tiessen H. Effect of land use on soil degradation in alpine grassland soil, China. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 1648 ~ 1655
- [13] 吴荣贵, 林葆, Tiessen H. 农牧交错带土壤磷素动态研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2): 131 ~ 138. Wu R G, Lin B, Tiessen H. Study of the dynamic of soil phosphorus in the transitional areas of the grasslands and crop fields (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(2): 131 ~ 138
- [14] 赵其国. 我国红壤的退化问题. *土壤*, 1995, 27(6): 280 ~ 285. Zhao Q G. Degradation problems of red soil in China (In Chinese). *Soils*, 1995, 27(6): 280 ~ 285
- [15] 李绍良, 贾树海, 陈有君, 等. 内蒙古草原土壤退化进程及评

- 价指标的研究. 土壤通报, 1997, 28(6): 241 ~ 243. Li S L, Jia S H, Chen Y J, *et al.* A study on steppe soil degradation process in Inner Mongolia and its evaluation index (In Chinese) Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(6): 241 ~ 243
- [16] 黄昌勇主编. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 221 ~ 241 Huang C Y, ed. Soil Science (In Chinese) Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000. 221 ~ 241
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类(修订方案) 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 21 ~ 99. Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese Soil Taxonomy (Revised Proposal) (In Chinese) Beijing: China Agricultural Sci-technique Press, 1995. 21 ~ 99
- [18] 汪仁真. 土壤比重、容重和孔隙度的测定. 土壤颗粒分析. 见: 李酉开主编, 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 15 ~ 54. Wang R Z. Soil particle density, bulk density and porosity determination; soil particle analyses. In: Li U K ed. Routine Methods of Agro-chemistry and Soil (In Chinese) Beijing: Science Press, 1989. 15 ~ 54
- [19] 刘志光. 土壤 pH 值的测定. 见: 李酉开主编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 166 ~ 169. Liu Z G. Determination of Soil pH. In: Li U K, ed. Routine Methods of Agro-chemistry and Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1989. 166 ~ 169
- [20] 张连第. 土壤碳酸钙和石膏的分析. 见: 李酉开主编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 221 ~ 228 Zhang L D. Analyses on content of carbonate and gypsum in soil. In: Li U K, ed. Routine Methods of Agro-chemistry and Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1989. 221 ~ 228
- [21] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A L, Miller R H, Keeney D R *et al.* eds. Methods of Soil Analysis, Part 2. ASA Publication No 9, 2nd Ed. Madison, WI, 1982. 539 ~ 577
- [22] Haynes R J. Effect of sample pretreatment on aggregate stability measured by wet sieving or turbidimetry on soils of different cropping histories. J. Soil Sci., 1993, 44: 261 ~ 270
- [23] Tisdall J M, Oades J M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, 1982, 33: 141 ~ 163
- [24] 李小刚, 崔志军, 王玲英. 施用秸秆对土壤有机碳组成和土壤结构稳定性的影响. 土壤学报, 2002, 39(3): 421 ~ 428. Li X G, Cui Z J, Wang L Y. Effect of straw on soil organic carbon constitution and structural stability (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3): 421 ~ 428
- [25] Haynes R J, Swift R S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. Journal of Soil Science, 1991, 41: 73 ~ 83
- [26] Milne R M, Haynes R J. Soil organic matter, microbial properties, and aggregates stability under annual and perennial pastures. Soil Fertil. Soils, 2004, 39: 172 ~ 178
- [27] Haynes R J. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term grass-based leys. Soil Biol. Biochem., 1999, 31: 1821 ~ 1830
- [28] Haynes R J. Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. Soil Fertil. Soils, 1999, 30: 210 ~ 216
- [29] Skopp J M. Physical properties of primary particles. In: Sumner M E, ed. Hand Book of Soil Science. Boca Raton London, New York, Washington D C.: CRC Press, 2000. A3 ~ A15

## EFFECTS OF LAND USE ON ORGANIC C CONCENTRATION AND STRUCTURAL PROPERTIES IN ALPINE GRASSLAND SOIL

Zhan Zhengyan<sup>1</sup> Li Xiaogang<sup>1†</sup> Zhang Degang<sup>2</sup> Wang Zhifeng<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

(2 College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** Cultivating native pasture to plant oat or some other species of grasses is generally recommended as a way to alleviate grazing pressure on native grassland and to improve winter forage levels in high altitude regions, however, its effects on soil quality have not been well understood. This study selected three types of land use, fencing pasture (FP), fencing pasture plus subsequent 25-year oat (*Arrhenatherum elatius*) cultivating (FP + SO), and fencing pasture plus subsequent 7-year perennial grasses (*Elymus nutans* and *Bromus inermis*) cultivating (FP + SPG), to investigate changes in soil organic C concentration and some soil physical properties caused by land use transition. The results show that compared with FP, FP + SO and FP + SPG significantly decreased soil organic C density in 0 ~ 30 cm depth by 27.7% and 8.5%, and mean weight diameter (MWD) by 46.9% and 42.6%, respectively. Meanwhile, FP + SO and FP + SPG significantly increased soil bulk density and particle density, and significantly decreased soil porosity. We concluded that decrease in aggregate stability and porosity, and increase in bulk density and particle density, were all related to reduction in soil organic C concentration by cultivation.

**Key words** Cultivation; Alpine grassland soil; Organic carbon concentration; Soil structural properties