

高寒草甸不同利用方式对土壤理化性质的影响

张苗苗¹,张德罡¹,陈伟²

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070; 2. 兰州城市学院地理与环境工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:为了深入了解高寒草甸土壤理化性质对利用方式的响应,以放牧地、退耕还林地、次生沙棘林地和耕地等4种利用方式的土壤为对象,研究其0~10、10~20 cm 土层土壤颗粒组成、pH值、有机碳、全氮、全磷和全钾等理化性质特征。结果表明:放牧地土壤含有的粉粒、粘粒多,粗砂粒少,耕地土壤含有的粗砂粒多,粉粒和粘粒少。土壤pH值由高到低的顺序为:耕地>次生沙棘林地>退耕还林地>放牧地。土壤有机质、全氮含量遵循放牧地>退耕还林地>次生沙棘林地>耕地的变化趋势。有机质和全氮含量之间以及与粘粒比例之间呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关关系,和pH值之间呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)负相关关系。利用方式对有机质、全氮、粗砂粒和全钾含量的影响较大。

关键词:高寒草甸;土壤理化性质;利用方式

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)01-0041-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.01.006

土地利用方式改变是影响土壤理化性质最直接的因素^[1-2],是人类利用土地的综合反映。放牧、开垦、退耕还林还草等均会对草地土壤理化性质产生显著影

响^[3-5]。研究表明,轻度放牧有利于土壤有机碳的短期积累,但过度放牧会导致表层养分流失^[6],由于放牧造成的土壤退化会促使土壤中砂粒含量逐渐增加,粘粒含量逐渐减少^[7],而封育有助于土壤细粒物质的积累^[8]。随着放牧强度的增加,土壤pH值呈现先升高后降低的趋势^[9]。草地开垦为耕地后土壤有机碳和其他土壤养分含量均有不同程度的减少^[10-12],且开垦年限越长,砂粒含量越高,粘粒含量越低^[13-14],土壤pH值也有随着开垦年限的延长而升高的趋势。退耕后土壤有机质、全氮含量要高于耕地^[15],退耕还林还草土壤中的颗粒组成更接近于草地,粘粒、粉粒含量要高于耕地,砂粒和砾石含量要低于耕地^[16]。研究显示,退耕还林还草工程显著改善了土壤肥力状况和环境状况,对微生物群落组成产生影响,进而改善土壤理化性质^[17]。高寒草甸作为青海省面积最大、分布最广的草地类型,开垦较为普遍^[18-19]。研究表明^[20],高寒草甸被开垦后,不同组分的土壤有机碳含量均会下降。被开垦后的高寒草甸经过长期的粗放经营,会导致其生态系统退化,生产力下降,不仅会阻碍草地畜牧业的发展,还影响草地生态系统功能的发挥^[21-22]。为进一步

收稿日期:2019-05-20; **修回日期:**2019-09-20

基金项目:国家重点研发计划“三江源区退化高寒生态系统恢复技术及示范”(2016YFC0501900)课题2“退化高寒草原恢复及生态功能提升技术与示范”(2016YFC0501902);自然科学基金青年基金项目“高寒矮嵩草草甸对放牧干扰的响应与自适应:基于生态化学计量学的系统稳定性评价”(31500368);甘肃省高等学校科研项目“草坪植物对兰州工业厂区重金属污染土壤修复效应研究”(2015A-124);兰州城市学院博士科研启动基金项目“草坪植物对兰州工业厂区Pb、Cd污染土壤修复效应研究”(LZCU-BS2015-08)资助

作者简介:张苗苗(1985-),女,山东嘉祥人,博士研究生。

E-mail:187342041@qq.com

张德罡为通讯作者。

E-mail:zhangdg@gsau.edu.cn

探究利用方式对高寒草甸土壤理化性质的影响,以4种不同利用方式下的高寒草甸土壤为研究对象,分析草地土壤理化性质对不同利用方式的响应,为合理利用和维持草地资源,以及退化草地恢复提供基础数据和可能采取的措施。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

采样点位于青海省东北部海北藏族自治州门源县境内,地处青藏高原东北,属于明显的高原大陆性气候,四季区分不明显,只有冷暖两季,年均气温 $-0.4\sim$

$-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $425\sim 850\text{ mm}$,年均蒸发量 100 mm ,形成了独特的高寒草甸生态系统^[23]。原生植被为高寒草甸草地,选取次生沙棘林地、退耕还林地、耕地和放牧地等4种典型的利用方式(表1)。

1.2 研究方法

1.2.1 土样采集 采样时间为2017年7~8月,在次生沙棘林地、退耕还林地、耕地和放牧地等4种利用方式样地中随机设置3个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的重复样方,每个样方用土钻(土钻规格)按 $0\sim 10$ 、 $10\sim 20\text{ cm}$ 土层重复采集10个土样,同一方采集的土样混合成一个样品。

表1 不同利用方式样地概况

Table 1 Description of sampling sites with different utilization patterns

利用方式	经纬度	海拔/m	原生植被改变年限/a	成土母质	植被概况	盖度/%
次生沙棘林地	E 100°05.043', N 37°38.164'	3 179	8	亚高山草甸土	次生沙棘林地,优势种为沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i>)、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)等。	80
退耕还林地	E 101°24.840', N 37°34.0093'	3 112	10	亚高山草甸土	次生林地,优势种为云杉(<i>Picea asperata</i>)、冷地早熟禾(<i>Poa crymophila</i>)、赖草(<i>Leymus secalinus</i>)、芨芨草(<i>Achnatherum splendens</i>)等	100
耕地	E 101°23.489', N 37°35.36'	3 168	30	亚高山草甸土	青稞(<i>Hordeum vulgare</i>)	100
放牧地	E 100°03.124', N 37°36.814'	3 200	未改变	亚高山草甸土	藏嵩草草地,优势种为藏嵩草(<i>Kobresia tibetica</i>)、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	95

1.2.2 指标测定 土壤颗粒组成采用 Master Size 2000 马尔文激光粒度仪测定^[24-25],测定的粒径范围为 $0.02\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 。称取土样 0.5 g ,加入30%的过氧化氢,在 $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下去除有机质,加盐酸去除碳酸盐,加超纯水稀释,静置后,除上清液以除酸,反复静置除酸直至pH为 $6.5\sim 7.0$,然后加入NaHMP,超声30 s后用激光粒度仪测定土壤粒径的质量百分比^[26],土壤颗粒级划分标准依据国际制(1951)分类标准^[27](表2)。

土壤pH值采用PHS-3S型酸度计测定土壤pH值,水土比为 $5:1$;土壤有机质中土壤全碳采用元素分析仪Perkin Elmer 2400 II进行测定,土壤无机碳采用土壤碳酸盐测定仪Eijkelkamp Calcimeter进行测定。有机质含量(Soil organic carbon, SOM) = (全碳含量 - 无机碳含量) $\times 1.724$ ^[28];土壤全量养分中土壤全氮采用元素分析仪Perkin Elmer 2400 II进行测定,全磷

采用钼锑抗比色法进行测定,全钾采用火焰光度法进行测定。

表2 国际制土壤颗粒级划分标准

Table 2 International standards for classification of soil particles

粒径/mm	粒级
0.2~2.00	粗砂粒
0.02~0.20	细砂粒
0.002~0.02	粉粒
<0.002	粘粒

1.3 数据分析处理

运用Excel 2010、SPSS 19.0软件分析处理文中数据并制图。采用单因素方差分析法比较不同利用类型土壤理化性质之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同利用方式对高寒草甸土壤颗粒组成的影响

放牧地土壤中含有的粉粒、粘粒等小颗粒物较多,退耕还林地和次生沙棘林地次之,耕地最少。不同利用方式下草地土壤含有的粗砂粒含量变化规律与此相反,细砂粒含量之间差异较小。

0~10 cm 土层的土壤粗砂粒含量从高到低的顺序为:耕地>次生沙棘林地>退耕还林地>放牧地($P<0.05$);土壤细砂粒含量从高到低的顺序为:退耕还林地>次生沙棘林地>耕地>放牧地,退耕还林地和次生沙棘林地之间差异不显著($P>0.05$),但这两种利用方式下土壤细砂粒含量显著高于耕地和放牧地($P<0.05$);土壤粉粒含量从高到低的顺序为:放牧地>次生沙棘林地>退耕还林地>耕地,除次生沙棘林

地和退耕还林地之间差异不显著外($P>0.05$),其他各利用方式下草地土壤粉粒含量间均差异显著($P<0.05$);土壤粘粒含量从高到低的顺序为:放牧地>退耕还林地>次生沙棘林地>耕地,且互相之间差异显著($P<0.05$)(表 3)。

10~20 cm 土层的土壤粗砂粒含量从高到低的顺序为:耕地>次生沙棘林地>退耕还林地>放牧地($P<0.05$);土壤细砂粒含量从高到低的顺序为:退耕还林地>耕地>次生沙棘林地>放牧地,退耕还林地、次生沙棘林地和耕地之间差异不显著($P>0.05$),放牧地土壤细砂粒含量显著降低($P<0.05$);土壤粉粒含量从高到低的顺序为:放牧地>次生沙棘林地>退耕还林地>耕地($P<0.05$);土壤粘粒含量从高到低的顺序为:放牧地>退耕还林地>次生沙棘林地>耕地($P<0.05$)(表 4)。

表 3 不同利用方式草地 0~10 cm 土层土壤颗粒组成

Table 3 Soil particle composition in 0~10 cm layer of grassland under different utilization modes

利用方式	%			
	粗砂粒 0.2~2.0 mm	细砂粒 0.02~0.2 mm	粉粒 0.002~0.02 mm	粘粒 <0.002 mm
次生沙棘林地	14.71±0.07 ^b	36.01±0.15 ^a	36.60±0.56 ^b	12.68±0.10 ^c
退耕还林地	12.44±0.26 ^c	36.77±0.22 ^a	35.36±0.64 ^b	15.43±0.10 ^b
耕地	25.56±0.04 ^a	32.89±0.13 ^b	30.11±0.47 ^c	11.44±0.07 ^d
放牧地	2.45±0.09 ^d	31.63±1.03 ^b	44.61±0.12 ^a	21.31±0.48 ^a

注:同列不同字母表示不同利用方式草地土壤间差异显著($P<0.05$)。下同

表 4 不同利用方式草地 10~20 cm 土层土壤颗粒组成

Table 4 Soil particle composition in 10~20 cm layer of grassland under different utilization patterns

利用方式	%			
	粗砂粒 0.2~2.0 mm	细砂粒 0.02~0.2 mm	粉粒 0.002~0.02 mm	粘粒 <0.002 mm
次生沙棘林地	11.27±0.04 ^b	38.59±0.54 ^a	34.55±0.43 ^b	15.59±0.13 ^c
退耕还林地	8.79±0.12 ^c	40.13±0.88 ^a	32.66±0.84 ^c	18.42±0.50 ^b
耕地	21.68±0.31 ^a	39.85±0.71 ^a	24.54±0.48 ^d	13.93±0.80 ^d
放牧地	2.54±0.05 ^d	33.48±0.51 ^b	38.61±0.23 ^a	25.37±0.08 ^a

2.2 不同利用方式对高寒草甸土壤 pH 值的影响

随着土层的加深,土壤 pH 值有升高的趋势(图 1)。在 0~10 cm 土层,耕地,次生沙棘林地和退耕还林地土壤 pH 之间差异不显著($P>0.05$),放牧地土壤 pH 值显著降低($P<0.05$)。在 10~20 cm 土层,耕地土壤 pH 值显著高于退耕还林地和放牧地($P<0.05$),次生沙棘林地和耕地土壤间差异不显著($P>0.05$)。

2.3 利用方式对高寒草甸土壤有机质的影响

不同利用方式高寒草甸 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤有机质含量变化趋势一致,从高到低的顺序

均为:放牧地>退耕还林地>次生沙棘林地>耕地,且互相之间差异显著($P<0.05$)。除了耕地外,其他各利用方式下高寒草甸土壤有机质含量均有随着土层的加深而降低的趋势(图 2)。

2.4 不同利用方式对高寒草甸土壤全氮,全磷和全钾的影响

不同利用方式对高寒草甸土壤全氮,全磷和全钾含量的影响不同。0~10 cm 土层土壤全氮含量由高到低的顺序为:放牧地>次生沙棘林地>退耕还林地>耕地。放牧地土壤全氮含量最高,显著高于其他利

用方式土壤($P < 0.05$)。次生沙棘林地和退耕还林地之间差异不显著($P > 0.05$),耕地含量最低。10~20 cm 土层土壤全氮含量由高到低的顺序为:放牧地>退耕还林地>次生沙棘林地>耕地。放牧地土壤全氮含量最高,显著高于其他利用方式土壤($P < 0.05$),其次是退耕还林地,次生沙棘林地和耕地土壤含量较低。除了退耕还林地外,其他利用方式下土壤全氮含量随着土层的增加降低(图 3)。

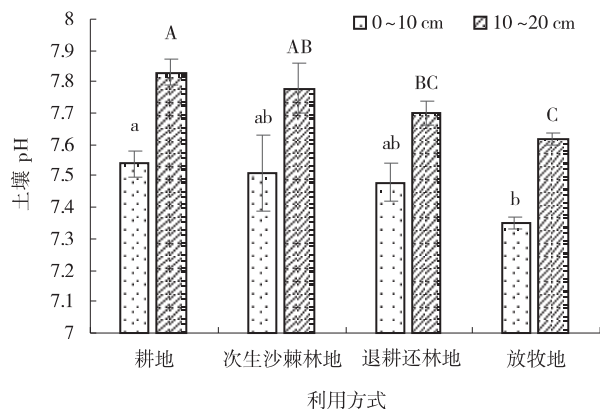


图 1 不同利用方式下草地土壤的 pH 值

Fig. 1 Characteristics of soil pH variation in different land use types of grassland

注:误差线为标准差。不同小写字母表示 0~10 cm 土层差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示 10~20 cm 土层差异显著($P < 0.05$)。下同

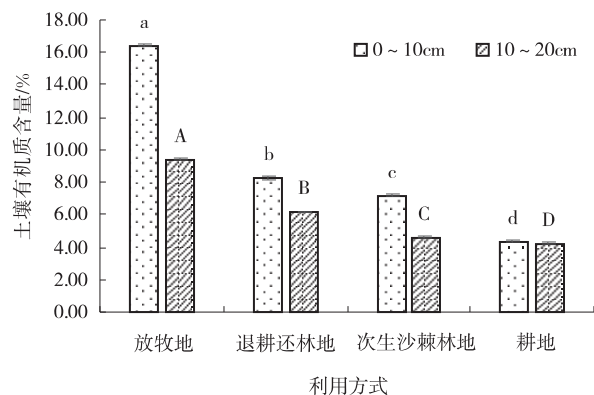


图 2 不同利用方式下草地土壤有机质含量

Fig. 2 Content of soil organic matter in different land use types of grassland

0~10 cm 土层土壤全磷含量由高到低的顺序为:放牧地>退耕还林地>耕地>次生沙棘林地,除次生沙棘林地土壤全磷含量显著低于其他利用方式外($P < 0.05$),放牧地、退耕还林地和耕地土壤全磷含量之间差异不显著($P > 0.05$)。不同利用方式高寒草甸 10~20 cm 土层土壤全磷含量之间无显著性差异($P >$

0.05)。除了次生沙棘林地,其他利用方式土壤全磷含量有随着土层的加深而降低的趋势(图 4)。

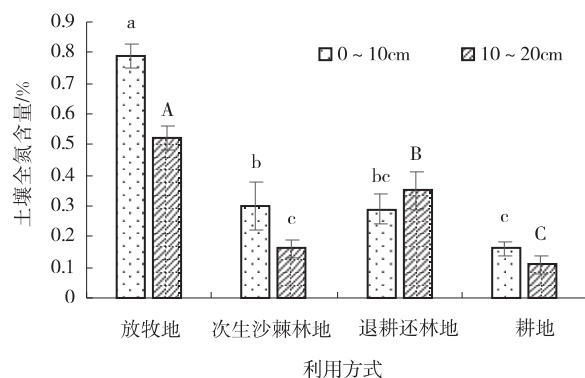


图 3 不同利用方式下草地土壤全氮含量

Fig. 3 Content of soil total nitrogen in different land use types of grassland

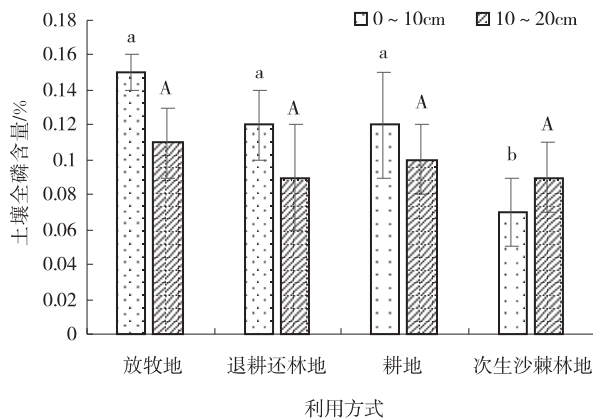


图 4 不同利用方式下草地土壤全磷含量

Fig. 4 Content of soil total phosphorus in different land use types of grassland

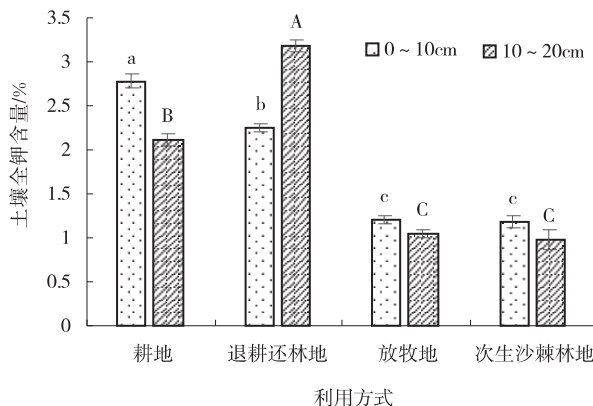


图 5 不同利用方式下草地土壤全钾含量

Fig. 5 Content of soil total potassium under different land use types of grassland

0~10、10~20 cm 土层土壤全钾含量由高到低的顺序均为:耕地>退耕还林地>放牧地>次生沙棘林

地。耕地土壤全钾含量最高,显著高于其他利用方式土壤($P < 0.05$),其次是退耕还林地,放牧地和次生沙棘林地较低。除了退耕还林地,其他利用方式高寒草甸土壤全钾含量随着土层的加深而降低(图 5)。

放牧地土壤全氮含量较高,且有随着土层的加深而降低的趋势,次生沙棘林地和退耕还林地之间差异不显著($P > 0.05$),耕地最低。不同利用方式下草地土壤全磷含量的差异程度较低,耕地、退耕还林地土壤全钾含量较高,放牧地和次生沙棘林地土壤全钾含量

较低。

2.5 土壤理化性质之间的关系

不同利用方式高寒草甸 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤有机质和全氮含量之间以及土壤粘粒含量之间呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关关系,和土壤 pH 值之间呈显著($P < 0.05$)或极显著负相关关系($P < 0.01$),土壤 pH 值和粘粒含量之间呈显著($P < 0.05$)或极显著负相关关系($P < 0.01$),粗砂粒和粉粒含量之间呈显著负相关关系($P < 0.05$)(表 5,6)。

表 5 不同利用方式草地 0~10 cm 土层土壤理化性质相关性分析

Table 5 Correlation analysis of soil physical and chemical properties in 0~10 cm layer of different land use types of grassland

项目	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	pH	粗砂粒/%	细砂粒/%	粉粒/%	粘粒/%
有机质/%	1	0.99**	0.61	-0.66	-0.99**	-0.95*	-0.48	0.97*	0.98*
全氮/%		1	0.59	-0.68	-0.99*	-0.91*	-0.56	0.97*	0.96*
全磷/%			1	0.18	-0.67	-0.41	-0.68	0.41	0.71
全钾/%				1	0.60	0.76	0.04	-0.82	-0.54
pH					1	0.93	0.51	-0.95	-0.99**
粗砂粒/%						1	0.17	-0.97*	-0.93
细砂粒/%							1	-0.35	-0.46
粉粒/%								1	0.93
粘粒/%									1

注: * 表示相关性显著($P < 0.05$), **表示相关性极显著($P < 0.01$)。下同

表 6 不同利用方式草地 10~20 cm 土层土壤理化性质相关性分析

Table 6 Correlation analysis of soil physicochemical properties in 10~20 cm layer of different land use types of grassland

项目	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	pH	粗砂粒/%	细砂粒/%	粉粒/%	粘粒/%
有机质/%	1	0.98*	0.70	-0.24	-0.96*	-0.86	-0.87	0.76	0.99**
全氮/%		1	0.55	-0.07	-0.99**	-0.90	-0.76	0.78	0.98*
全磷/%			1	-0.43	-0.48	-0.28	-0.81	0.24	0.67
全钾/%				1	0.11	0.26	0.67	-0.47	-0.28
pH					1	0.94	0.76	-0.84	-0.97*
粗砂粒/%						1	0.72	-0.97*	-0.89
细砂粒/%							1	-0.74	-0.88
粉粒/%								1	0.81
粘粒/%									1

2.6 土壤理化性质分异特征

利用方式对草地土壤有机质、全氮、粗砂粒、土壤全钾含量的影响较大,其变异系数达到 30%~80%,对土壤全磷、pH 值、细砂粒、粉粒和粘粒的影响较小,其变异系数不足 30%(表 7)。

3 讨论

土地的利用方式会影响自然和生态过程以及土壤养分状况,从而引起草地植被类型和物种多样性的改变^[19]。同时,草地植被群落结构和功能的不同,也会

对有机质的积累、分解、土壤结构和养分含量产生影响^[19]。放牧地属于季节性牧场,放牧强度适中,植被盖度较高,土壤养分来源比较稳定,有利于土壤有机质的积累和土壤理化性质的改善。研究结果表明,0~10、10~20 cm 土层放牧地土壤有机质和全氮含量均显著高于其他 3 种利用方式草地,其土壤中所含有的粉粒和粘粒等小颗粒物较多。粉粒中次生矿物相对

表 7 不同利用方式草地土壤理化性质分异特征

Table 7 Differential characteristics of soil physicochemical properties in different land use types of grassland

土壤理化性质	土层/cm	变异系数/%
土壤有机质	0~10	57.41
	10~20	38.77
土壤全氮 TN	0~10	72.06
	10~20	65.86
土壤全磷 TP	0~10	28.84
	10~20	9.82
土壤全钾 TK	0~10	42.71
	10~20	56.93
土壤 pH	0~10	1.12
	10~20	1.19
土壤粗砂粒	0~10	68.77
	10~20	72.00
土壤细砂粒	0~10	7.16
	10~20	8.14
土壤粉粒	0~10	16.35
	10~20	18.24
土壤粘粒	0~10	28.87
	10~20	27.54

增加,比表面比砂粒大,吸持能力增强,养分含量较高,具有一定的黏结性,粘粒则是化学风化的产物,属于土壤胶体范畴,具有很强的吸附能力,养分含量丰富,对于土壤团粒结构的形成和保水保肥能力的提升都有重要作用,因此,相对于其他 3 种利用方式,放牧地土壤颗粒组成更有利于土壤养分的积累和可持续利用。李凌浩等^[30]报道,开垦是影响草地土壤理化性质最为剧烈的人为干扰因素。草地开垦为耕地后会造成土壤有机质的过度暴露,从而加速有机质的分解,造成养分损失^[31]。Evrendilek 等^[32]报道,耕作破坏了土壤聚合物的结构和土壤孔隙结构,加速有机质的分解。吴建国等^[33]研究发现,天然林变成耕地后土壤有机碳的稳定性降低。李亚娟^[10]也发现,草地开垦为耕地后会导致土壤有机碳、全氮含量的显著减少。试验得出一致结论,高寒草甸开垦为耕地后,其土壤有机质、全氮含量

均显著低于放牧地、退耕还林地和次生沙棘林地,土壤中粘粒和粉粒含量较低,粗砂粒含量较高。但是耕地土壤中全钾含量显著高于其他 3 种利用方式,原因可能与人为施肥有关。退耕还林地和次生沙棘林地在土壤有机质、全氮含量方面均处于放牧地和耕地之间。研究表明,退耕还林工程是退化草地治理的重要措施之一,退耕地土壤的有机质和全氮含量要高于耕地^[15],并且退耕还林工程能够显著改善土壤的肥力和环境状况,对微生物群落组成和活性产生影响,从而改善土壤的理化性质^[17]。研究得出,退耕还林地和次生沙棘林地土壤颗粒组成上比较合理,粉粒和粘粒较多,又有一定数量的粗砂粒和细砂粒。

4 种利用方式下,高寒草甸土壤全磷含量差异程度不高,除了 0~10cm 土层次生沙棘林地土壤全磷含量显著低于其他 3 种利用方式外($P < 0.05$),其他各利用方式土壤全磷含量差异不显著($P > 0.05$)。利用方式对土壤有机质、全氮、粗砂粒和全钾含量表现出较强的影响作用,由此推测,利用方式对原始草地的扰动可能首先体现在粗砂粒的增加和有机质、全氮含量的减少上,全钾含量更多地受到人为施肥等因素地干扰和影响。从土壤 pH 值分析,放牧地土壤 pH 值在不同土层均显著低于耕地,可能与耕地频繁翻耕造成土壤含水量下降有关。

相关性分析表明,土壤有机质和全氮、粘粒含量之间呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关关系,它们同时又与 pH 值、粗砂粒含量之间呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)负相关关系,因此,土壤表层土壤颗粒粗大化有可能是导致土壤养分流失、土壤碱性的原因之一^[14]。

4 结论

4 种不同土地利用方式高寒草甸的土壤,以放牧地土壤含有的粉粒、粘粒较多,土壤有机质、全氮、全磷含量也较高,退耕还林地和次生沙棘林地次之,耕地最低。耕地土壤中全钾含量最高,放牧地土壤 pH 值最低。高寒草甸开垦为耕地后有可能会加速土壤表层颗粒粗骨化,造成土壤养分流失和土壤碱化,而退耕还林地和次生沙棘林地作为退化草地的改良工程,可以显著改善这种状况。

参考文献:

[1] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* The relationships be-

- tween land use and soil conditions in the hilly area of Loess Plateau in northern Shaanxi, China[J]. *Catena*, 2000, 39(1):69-78.
- [2] 马琨,何宪平,马斌,等. 宁南黄土高原不同土地利用模式对土壤的影响研究[J]. *生态环境*, 2006, 15(6):1231-1236.
- [3] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(4):53-56.
- [4] 李月梅,王跃思,曹广民,等. 开垦对高寒草甸土壤有机碳影响的初步研究[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(6):59-65, 131.
- [5] 董全民,蒋卫平,赵新全,等. 放牧强度对高寒混播人工草地土壤氮、磷、钾含量的影响[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2007, 37(5):4-6.
- [6] Xie, Y Z, Wittig R. The impact of grazing intensity on soil characteristics of *Stipagrandis* and *Stipabungeana* steppe in northern China (autonomous region of Ningxia)[J]. *Acta Oecologica*, 2004, 25(3):197-204.
- [7] 王振群. 土地利用方式和植被退化对青海湖北岸高寒草原土壤碳氮含量的影响[D]. 西宁:青海大学, 2009.
- [8] 曾宪勤,刘和平,路炳军,等. 北京山区土壤粒径分布分形维数特征[J]. *山地学报*, 2008, 26(1):65-70.
- [9] 干友民,李志丹,王钦,等. 川西北亚高山草甸放牧退化演替研究[J]. *草地学报*, 2005, 13(S1):48-52.
- [10] 李亚娟. 青藏高原高寒草地土地利用格局变化的响应[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2013.
- [11] Qi Y C, Dong Y S, Liu J Y, *et al.* Effect of the conversion of grassland to spring wheat field on the CO₂ emission characteristics in Inner Mongolia, China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 94(2):310-320.
- [12] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 开垦对草甸土有机碳的影响[J]. *土壤通报*, 2004, 35(4):413-419.
- [13] 焦燕,赵江红,徐柱. 农牧交错带开垦年限对土壤理化特性的影响[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(5):1965-1970.
- [14] 杨泽鹏,胡玉福,何剑锋,等. 垦殖对川西北高寒草地土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(2):227-232.
- [15] 张静,李鹏展. 延河流域退耕还林还草工程后土地质量评估[J]. *绿色科技*, 2018(20):28-31.
- [16] 张志栋. 河北坝上不同土地利用类型土壤可蚀性研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2018.
- [17] 陈孟立,曾全超,黄懿梅,等. 黄土丘陵区退耕还林还草对土壤细菌群落结构的影响[J]. *环境科学*, 2018, 39(4):1824-1832.
- [18] 卫亚星,王莉雯,石迎春,等. 青海省草地资源净初级生产力遥感监测[J]. *地理科学*, 2012, 32(5):621-627.
- [19] 王长庭,王根绪,刘伟,等. 高寒草甸不同类型草地土壤机械组成及肥力比较[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(9):160-165.
- [20] 李月梅,曹广民,王跃思. 开垦对海北高寒草甸土壤有机碳的影响[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(8):911-915.
- [21] 王振群. 土地利用方式和植被退化对青海湖北岸高寒草原土壤碳氮含量的影响[D]. 西宁:青海大学, 2009.
- [22] Rapport D J, Whitford W G. How ecosystem respond to stress[J]. *Bio Science*, 1999, 49(3):193-202.
- [23] 张苗苗,陈伟,赵军,等. 利用方式对青海省高寒草甸土壤可溶性有机质光谱学特性的影响[J]. *草地学报*, 2019, 27(1):71-79.
- [24] 冯腾,陈洪松,张伟,等. 激光粒度仪与沉降吸管法测定喀斯特地区土壤机械组成的对比研究[J]. *农业现代化研究*, 2013, 34(1):100-103.
- [25] 马静利,马红彬,沈艳,等. 不同轮牧方式对荒漠草原土壤理化性质及草地健康的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5):151-156.
- [26] 谢贤健,韦方强. 泥石流频发区不同盖度草地土壤颗粒的分形特征[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4):202-206.
- [27] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社, 2013.
- [28] 林丽,张德罡,曹广民,等. 放牧强度对高寒嵩草草甸土壤养分特性的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(15):4664-4671.
- [29] 罗红. 西藏“一江两河”中部流域造林对土壤有机碳和主要养分的影响研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2018.
- [30] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. *植物生态学报*, 1998(4):13-15.
- [31] Anderson D W, Coleman D C. The dynamics of organic matter in grassland soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985, 40(2):211-216.
- [32] Evrendilek F, Celik I, Kilic S. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(4):743-752.
- [33] 吴建国,张小全,王彦辉,等. 土地利用变化对土壤物理组分中有机碳分配的影响[J]. *林业科学*, 2002, 38(4):19-29.

Effects of different utilization patterns on soil physicochemical properties in alpine meadow

ZHANG Miao-miao¹, ZHANG De-gang¹, CHEN Wei²

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Geography and Environmental Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to explore the effects of utilization patterns on the soil physicochemical properties of alpine meadow in Qinghai province, the soil particle composition, pH value, organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium in 0~10 cm and 10~20 cm layers were studied under 4 utilization patterns, including grazing land, returning farmland to forest, secondary seabuckthorn forest land and farming land, were measured. The results showed that the grazing land soil contained more silt and clay, less coarse sand, and farming land soil contained more coarse sand and less silt and clay. The order of soil pH value from high to low was farming land > secondary seabuckthorn forest land > returning farmland to forest land > grazing land. Soil organic carbon and total nitrogen contents basically follow the trend of grazing land > returning farmland to forest land > secondary seabuckthorn forest land > farming land. There was a significant positive correlation ($P < 0.05$ or $P < 0.01$) between organic carbon, total nitrogen and the amounts of clay, and they were also negatively correlated with pH values ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). The effects of different utilization patterns on the contents of organic carbon, total nitrogen, coarse sand and total potassium were remarkable.

Key words: alpine meadow; soil physical and chemical properties; utilization pattern

(上接 40 页)

Optimization of solid fermentation conditions of *Aspergillus terreus* for wheat cyst nematode biocontrol

LU Zhi-qin, LI Hui-xia, LUO Ning, LI Rui, LI Jia-jia, CHEN Xiu-ju

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University/Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract: *Aspergillus terreus* AT9 is a fungus with biological control effect against cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*). The solid fermentation substrate, nutrients and fermentation conditions of AT9 was optimized to provide a foundation for its production and application. Orthogonal design was used to screen different substrates for solid fermentation. Single factor and orthogonal design were used to analyze the optimal proportion of different carbon and nitrogen sources. One-way analysis of variance was used to screen the optimal fermentation conditions. The results showed that 1) The optimal fermentation substrate was mixture of wheat bran, corn flour and corn straw powder (2:1:3); 2) The optimal carbon source, nitrogen source and inorganic salt ratio were 4% glucose, 6% potassium nitrate and 2% calcium carbonate; 3) The best fermentation conditions were solid material/water ratio 1:1.2, 20% inoculum at 32 °C in dark for 8 days.

Key words: wheat cyst nematode; biological; solid fermentation; fermentation condition