

DOI: 10.16742/j.zgdx.2017-05-08

退化程度对三江源泽库高寒草甸土壤理化性质及持水能力的影响

杨永胜^{1,2}, 张莉³, 未亚西^{1,4}, 李红琴^{1,2}, 李英年^{1,2,*}

(1.中国科学院西北高原生物研究所生态中心,青海 西宁 810001;2.中国科学院高原生物适应与进化重点实验室,青海 西宁 810001;3.青海省生态环境遥感监测中心遥感室,青海 西宁 810000;4.中国科学院大学,北京 100049)

摘要:通过野外原位测定和室内分析相结合的方法,分析了不同退化程度对高寒草甸土壤理化特征及持水能力的影响。结果表明:(1)高寒草甸草毡层的退化消失显著降低了土壤抗蚀能力。从原生植被至中度退化阶段,高寒草甸土壤硬度和抗剪强度逐渐增加,至重度退化阶段二者急剧下降($P < 0.05$)。(2)随着退化程度的加剧,高寒草甸土壤呈现贫瘠化。同时,随着土壤深度的增加,退化程度对土壤有机碳和全氮的影响作用逐步减弱。(3)退化程度对高寒草甸土壤持水能力的影响作用随深度的增加而降低,其对表层土壤持水能力的影响最为显著。从原生植被至中度退化阶段,0~10 cm 土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量呈增加趋势,至重度退化阶段,三者均显著降低。地表草毡层是保持高寒草甸土壤肥力、抗侵蚀能力和水源涵养功能的关键。

关键词:退化程度;高寒草甸;土壤抗剪强度/硬度;土壤养分;土壤持水

中图分类号:S812 文献标识码:A 文章编号:1673-5021(2017)05-0054-08

“三江源”是长江、黄河、澜沧江的发源地区,素有“中华水塔”之美誉,是中国重要的生态安全和水源涵养功能区。三江源区高寒草甸面积约 $1.28 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占三江源区总面积的 78.72%^[1], 由于其分布区域广阔, 发育环境多样, 在水源涵养、生物多样性保护和碳固定等方面起着不可替代的生态屏障作用^[2]。然而, 在人口增加、草场牲畜超载过牧、鼠虫危害、土壤侵蚀及全球气候变化等人为和自然因素的共同影响下, 过去 30 年间三江源区高寒草甸发生了严重退化, 其中约 16% 严重退化为次生裸地“黑土滩”^[3]。这不仅给当地农牧民生产生活带来了巨大影响, 也导致该地区物种多样性减少, 水土流失日趋严重, 草地沙化面积不断扩大等一系列生态问题^[4]。鉴于此, 相关学者深入研究了退化过程对高寒草甸生态系统的影响。于健龙等^[5]发现随着高寒草甸退化程度的加剧, 植被地上地下生物量及土壤微生物数量明显下降, 尤其是真菌数量。张静等^[6]发现随着退化程度的加大, 小嵩草草甸中优良牧草的数量趋于下降, 而毒杂草的数量趋于上升, 植被群落丰富度及杂类草的数量无明显变化。可以看出, 以往的研究多集中在高寒草甸退化过程中植物群落特征^[7]、土壤水文特征^[8]、土壤酶活性^[4]及微生物^[5]方面, 而涉及三江源区, 尤其是泽库高寒草甸土壤理化特征及持水能力方面的报道较少。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海省黄南州泽库县, 境内绝大部分地区海拔在 3500m 以上, 平均海拔 3700m, 气候类型为高原大陆性季风气候, 全年日平均气温 $< 0^\circ\text{C}$ 的日数在 164d~207d, 年平均气温在 -2.4°C ~ 2.8°C 之间。年平均降水量为 437mm~511 mm, 主要集中在 5~9 月。年平均蒸发量为 1325.8mm, 年平均日照时数在 2509 h~2639 h, 全年无绝对无霜期, 牧草生长期仅 150 d 左右^[9]。年平均风速为 4.1 m/s, 大风日数平均 44d, 风沙严重, 特别是近几年来沙尘暴已成为主要自然灾害之一^[9]。土壤类型主要以高山草甸土、高山灌丛草甸土、山地草甸土和沼泽土为主。草地类型主要为山地草甸和高寒草甸, 二者分别占全县草地总面积的 46.65%、26.33%。优势植物种有紫花针茅 (*Stipa purpurea* Griseb.)、细叶苔草 (*Carex rigescens*)、高山嵩草 (*Kobresia humilis*)、矮嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、

* 通讯作者, E-mail: ynli@nwipb.cas.cn

收稿日期: 2017-01-12; 修回日期: 2017-04-21

基金项目: 青海省青年基金 (2016-ZJ-943Q); 中科院战略先导专项 (XDB03030502); 国家重点研发计划项目 (2016YFC0501802)

作者简介: 杨永胜 (1987-), 男, 甘肃兰州人, 助理研究员, 博士, 主要从事高寒草地土壤水分及水循环研究, E-mail: ysyang@nwipb.cas.cn.

线叶嵩草 (*Kobresia capillifolia*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、藏嵩草 (*Kobresia tibetica*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)等^[10],伴生种为矮火绒草 (*Leontopodium nanllm*)、披针叶黄华 (*Thermopsis lanceolata*)、雪白委陵菜 (*Potentilla nivea* Linn.)、甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*) 和兰石草 (*Lancea tibetica*)等。该地区草场退化严重,退化草地面积达 25.34 万 hm^2 , 占全县草地总面积的 38.84%。

1.2 研究方法

1.2.1 样地与样方

根据课题组前期野外考察结果,于 2016 年 8 月

中旬在青海省黄南州泽库县选取试验样地(N 35° 04'39.08"、E 101°29'03.58"、海拔 3687m),按高寒草甸退化的相关划分标准^[11],选定原生植被、轻度退化、中度退化和重度退化样地(表 1),每个处理 3 个重复,重复样地大小为 5m×5m,不同处理样地相互间隔 200m。每个样地原位测定土壤表面硬度、抗剪强度。同时,在每个样地的中央点和以中央点为中心的 4 个角各设置一个采样点(即每个处理有 5 个重复),分别采集 0~10、10~20、20~30cm 的土样和环刀样品。土壤样品分别标号装袋后带回实验室,供土壤有机碳和全氮的测定。环刀样品用于测定土壤容重及持水能力。

表 1 研究区不同退化程度样地植被状况

Table 1 Vegetation conditions of different degradation plots in research region

草地状态 Condition of apline meadow	总盖度(%) Total coverage of vegetation	平均高度(cm) Average height of vegetation	物种数(个) Species of vegetation	植被状况 Condition of vegetation
原生植被	95	2.5	14	存在明显的草毡层,地表生物结皮盖度为 17%,优势植物种为小嵩草、矮嵩草及火绒草为主。
轻度退化	65	1.4	5	存在明显的草毡层,地表生物结皮盖度为 20%,优势植物种为披针叶黄华。
中度退化	45	3.2	4	存在明显的草毡层,地表生物结皮盖度为 5%,优势植物种为兰石草,雪白委陵菜。
重度退化	20	1.1	4	无草毡层,地表无生物结皮,优势植物种为甘肃马先蒿和兰石草。

1.2.2 测定指标与方法

1.2.2.1 土壤硬度及抗剪强度

土壤硬度由土壤硬度计(型号:TYU-1)测定,每个样地均匀测定 40 次,求平均值。抗剪强度由 IC0202A 袖珍型剪力仪测定,每个样地均匀测定 40 次,求平均值。

1.2.2.2 土壤容重及持水能力

在每个采样点,用内径 5cm 环刀收集 0~10、10~20、20~40cm 分层环刀。将环刀密封在自封塑料袋中,带回实验室进行土壤持水特征及容重的测定,具体测定方法见参考文献^[12]。

1.2.2.3 土壤有机碳和全氮

不同层次土壤样品经自然风干后,除去根系及石砾等杂物,粉碎后过 0.25mm 土壤筛,土壤全氮采用凯氏定氮法测定,土壤有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法测定^[13]。

1.3 数据分析

方差分析由 SPSS 12.0 中 One-way ANOVA 模块实现。

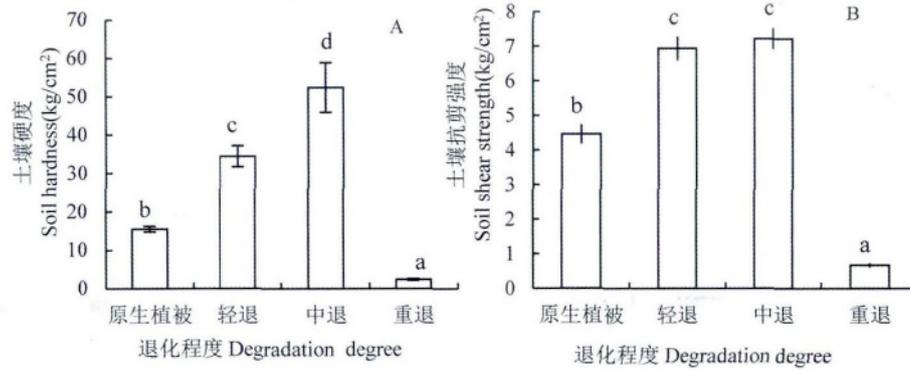
2 结果与分析

2.1 抗剪强度及硬度

由图 1 可知,随着退化程度的加深,土壤硬度(图 1-A)和抗剪强度(图 1-B)逐渐增加,之后急剧下降。与原生植被样地相比,中度退化样地土壤硬度和抗剪强度分别增加 238.17%、62.06%。至重度退化阶段,土壤硬度和抗剪强度快速下降,与中度退化样地相比,重度退化样地土壤硬度和抗剪强度分别下降 95.43%、90.66%,差异均达到显著($P < 0.05$)水平。

2.2 容重及土壤持水特征

由图 2 可知,随着高寒草甸退化程度的加剧,不同深度土壤容重变化趋势不同:从原生植被至重度退化阶段,0~10cm 土壤容重先缓慢增加,之后快速提高;10~20cm 土壤容重呈先增加后趋于稳定的变化趋势,而 20~30cm 土壤容重无显著变化。同时,也可以看出,不同退化阶段高寒草甸土壤容重随土壤深度的变化趋势差异明显:原生植被、轻度退化及



不同处理间字母不同代表二者差异显著 ($P < 0.05$), 下同
 Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments ($P < 0.05$), the same as below

图1 泽库高寒草甸不同退化程度样地土壤硬度和抗剪强度

Fig.1 Soil hardness and shear strength of different degradation plots in Zeku apline meadow

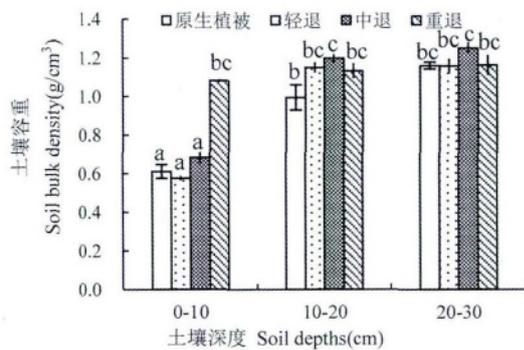


图2 泽库高寒草甸不同退化程度样地土壤容重
 Fig.2 Soil bulk density of different degradation plots in Zeku apline meadow

中度退化样地土壤容重随土壤深度的增加先快速提高,后趋于稳定,而重度退化样地土壤容重无显著变化,基本稳定在 1.13 g/cm^3 上下。

从原生植被至中度退化阶段,高寒草甸 $0 \sim 10\text{cm}$ 土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量均

呈增加趋势(表 2),三者分别提高 7.54% 、 9.82% 、 9.85% 。与中度退化相比,重度退化样地 $0 \sim 10\text{cm}$ 土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量分别降低 25.25% 、 19.95% 、 24.53% ,二者差异均达到显著水平($P < 0.05$)。随着退化程度的增加,高寒草甸 $10 \sim 20$ 、 $20 \sim 30\text{cm}$ 土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量均呈现先降低后增加的趋势。原生植被及三种退化样地土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量均随着土壤深度的增加而逐步降低。

2.3 土壤全氮及有机碳含量

随着土壤深度的增加,不同退化程度土壤全氮含量均呈下降趋势(图 3-A)。其中,原生植被样地下降程度最明显,与原生植被 $0 \sim 10\text{cm}$ 相比,其 $20 \sim 30\text{cm}$ 土壤全氮含量下降 60.54% ($P < 0.05$)。不同深度土壤全氮含量随退化程度的增加变化趋势差异明显:与原生植被相比,轻度退化样地 $0 \sim 10\text{cm}$ 土壤全氮含量显著下降 35.63% ($P < 0.05$),轻度退

表 2 泽库高寒草甸不同退化程度样地土壤持水特征

Table 2 Soil water-holding capacity characteristics of different degradation plots in Zeku apline meadow

土壤深度 Soil depths(cm)	退化程度 Degradation degree	饱和持水量 Soil saturated water content(mm)	毛管持水量 Soil capillary water content (mm)	田间持水量 Soil field water content(mm)
0~10	原生植被	33.34±0.86b	28.07±0.85bc	24.75±0.83ab
	轻退	35.11±0.59ab	30.79±0.83ab	27.18±0.36a
	中退	35.86±0.84a	30.82±0.42a	27.19±0.48a
	重退	26.80±0.66cde	24.67±0.40de	20.52±0.52cd
10~20	原生植被	28.75±1.65c	26.63±1.56cd	22.74±1.77bc
	轻退	25.80±0.24def	24.22±0.45de	20.71±0.32cd
	中退	24.38±0.26efg	21.32±1.28g	17.49±1.40e
	重退	27.61±0.83cd	24.53±0.21de	21.55±0.23cd
20~30	原生植被	25.64±0.68defg	23.80±0.73ef	20.21±0.63d
	轻退	25.30±1.26defg	23.98±1.02ef	20.41±0.84cd
	中退	23.20±0.38g	21.11±0.75g	17.27±0.61e
	重退	24.01±0.80fg	21.59±0.23fg	17.45±0.77e

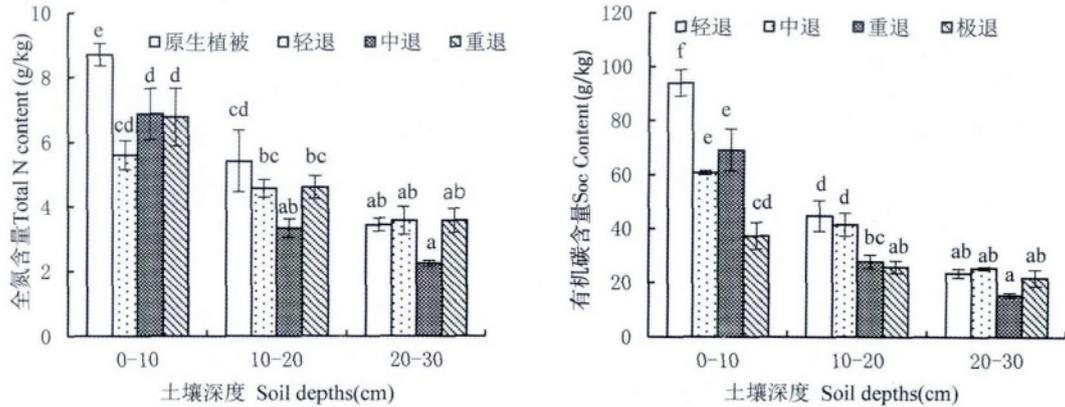


图3 泽库高寒草甸不同退化程度样地土壤全氮(A)及有机碳(B)含量

Fig.3 Soil total N (A) and SOC (B) content of different degradation plots in Zeku alpine meadow

化、中度退化及重度退化样地 0~10cm 土壤全氮含量无显著差异;10~20cm 土壤全氮含量随退化程度的增加逐渐下降,后趋于稳定;不同退化程度样地 20~30cm 土壤全氮含量无显著差异。

不同深度土壤有机碳含量随退化程度的增加变化趋势差异明显(图 3B):0~10cm 土壤有机碳含量随着退化程度的增加快速降低(与原生植被相比,重度退化样地土壤有机碳含量下降 60.27%);10~20cm 土壤有机碳含量随退化程度的增加逐渐降低,其降低程度低于 0~10cm;20~30cm 土壤有机碳含量随退化程度的增加无显著变化。同时,也可以看出,随着土壤深度的增加,不同退化程度土壤有机碳含量均不同程度的降低,且退化程度越重,降低程度越小。说明高寒草甸退化能够显著降低其土壤有机碳库,且降低作用主要集中在浅层土壤。

由图 4 可知,随着退化程度的增加,高寒草甸土壤碳氮比逐渐降低,降低程度随着土壤深度的增加逐步减小。其中,原生植被、轻度退化及中度退化高

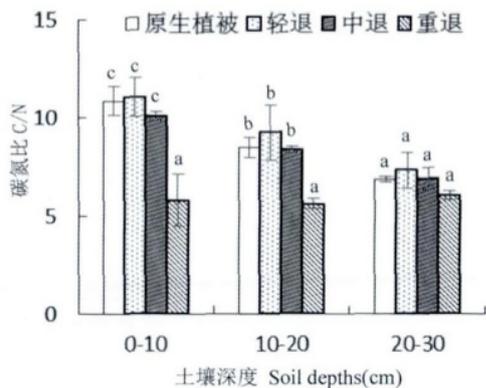


图4 泽库高寒草甸不同退化程度样地碳氮比特征

Fig.4 The C/N condition of different degradation plots in Zeku alpine meadow

寒草甸 0~20cm 层面土壤碳氮比显著高于重度退化样地($P < 0.05$)。四种退化程度样地 20~30cm 层面土壤碳氮比无显著差异。

3 讨论

3.1 退化程度对高寒草甸土壤抗剪强度及硬度的影响

土壤抗剪强度和硬度是土壤抗性的量度指标,其值越大,土壤抗水蚀风蚀能力越强,植被根系是影响二者大小的重要影响因素之一。本研究结果显示:原生植被至中度退化阶段,高寒草甸土壤抗剪强度和土壤硬度分别介于 4.4~7.2 kg/cm²、15.5~52.2 kg/cm²,高于沙漠结皮覆盖区域(抗剪强度介于 0.31~0.79 kg/cm²)^[14]和黑土传统耕作区(土壤硬度介于 7.5~17.4 kg/cm²)^[15]。这主要是因为高寒草甸区表层土壤中具有一层植物根系缠绕而成的草毡层,一方面根系穿插、缠绕过程中,与颗粒表面的摩擦力及根系与颗粒间的嵌入作用产生的咬合力直接提高了表层土壤抗剪强度,另一方面根系通过改善土壤环境,提高土壤微团聚体和粘粒含量,增加颗粒间粘结性和吸附力,从而间接显著提高了表层土壤抗剪强度和硬度,明显增强了土壤的抗水蚀风蚀能力。说明草毡层的存在是高寒草甸土壤具有较强抗蚀能力的关键因素。由于高寒草甸退化过程中以根茎繁殖为主的莎草类植被过度发育,导致土壤草毡层极度加厚^[16],进而造成土壤抗剪强度和硬度随着退化程度的加深呈快速增加的趋势。也正是由于土壤草毡层在重度退化阶段消亡(表 1),造成重度退化样地土壤抗剪强度和土壤硬度显著下降,增加了表层土壤被侵蚀的几率。因此,在高寒草甸生态管理过程中要十分注意土壤草毡层的保护,防治

其退化消失,使其尽可能的发挥保护土壤的功能。

3.2 退化程度对高寒草甸土壤养分的影响

由于高寒草甸地区温度较低,土壤冻结期相对较长,强烈地抑制着微生物的生命活动,导致大量土壤有机残体难以及时分解、转化而逐步积累,造成高寒草甸土壤有机碳和全氮含量高于黄土丘陵区^[17]。本研究发现表层土壤有机碳和全氮含量均随着退化程度的加剧而降低,这与在高寒矮嵩草草甸^[18]及沼泽湿地^[19]的研究结果一致。这首先是因为高寒草甸植被盖度、生物量、枯落物量^[20]及土壤微生物量^[21]均随着退化程度的增加快速降低,有机物来源降低,造成养分来源急剧减少;其次,植被盖度降低促使土壤温度显著升高^[22],高温状态下土壤呼吸加剧,加速了微生物对土壤有机质的分解,致使大量土壤有机碳流失^[23]。由于高寒草甸植物根系密集分布在0~10cm土层(约63.4%^[24]),退化加剧使0~10cm土层地下生物量减少量较10~30cm土层显著^[25],且植被盖度对浅层土壤温度的影响大于深层土壤,造成表层土壤有机碳和全氮含量下降速率高于深层土壤。原生高寒草甸退化至重度退化阶段,土壤表层草毡层消失,造成表层土壤<0.84mm颗粒易受风、水侵蚀而减少,土壤颗粒变粗,导致其土壤养分含量显著下降。

本研究结果显示高寒草甸原生植被至中度退化阶段表层土壤C/N均大于10.08,其分别高于热带雨林(9.46)、黄土高原农田(8.15)和内蒙古大针茅草原(9.35),低于当雄湿地(24.8)^[26]。造成这一现象的主要原因包括以下几点:(1)青藏高原较为寒冷的气候限制了有机质的分解速率和土壤微生物的繁殖速度。(2)青藏高原地质年代较轻,土壤粗骨性较强,氮的淋溶作用较为强烈^[27]。(3)草毡层的存在避免了表层富含有机质的土壤随土壤侵蚀的流失。至重度退化阶段,植被盖度明显下降,造成土壤有机碳来源减少,且草毡层的消失增加了土壤有机碳的流失^[27],造成重度退化样地表层土壤C/N明显低于原生植被、轻度退化和中度退化样地。林丽等在高寒矮嵩草草甸也得出了相似的结论^[28]。

3.3 退化程度对高寒草甸土壤持水能力的影响

容重是土壤的主要物理性质之一,其大小与土壤的紧实度、孔隙度及渗透率密切相关。本研究结果显示,高寒草甸0~20cm层面土壤容重随着退化程度加剧和深度的增加逐步增大,这与相关学者在三江源高寒草地^[29]的研究结果一致。这主要是因

为高寒草地植被根系含量随深度的增加而快速降低^[24]。同时,退化加剧促使高寒草甸地下根系减少^[29],降低了土壤紧实度。而重度退化样地由于地表植被稀少,土壤草粘层消失,造成其土壤容重随深度无显著变化。由于高寒草甸植被多为浅根系植物,其根系主要集中在0~20cm范围内^[24],造成高寒草甸退化对0~20cm层面土壤容重影响较大,尤其是根系密集的0~10cm层面,而对20~30cm层面无显著影响。说明高寒草甸退化会提高土壤紧实度,降低土壤孔隙度和水分渗透能力。

理论上土壤容重越大,其孔隙度越小,土壤持水能力会相应的降低^[30]。但本研究中,土壤饱和持水量、毛管持水量及田间持水量的结果并未支持这一观点。本研究发现,从原生植被至中度退化阶段,高寒草甸土壤容重逐渐增加,表层土壤(草毡层)持水能力呈增加趋势。出现差异的原因主要是本研究区高寒草甸存在较厚的草毡层(约7cm)。近年来,相关学者发现当土壤中大孔隙较多(土壤容重介于0.9~1.34 g/cm³之间),土壤水吸力小于0.1×10⁵ Pa时,土壤持水能力随着土壤容重的增大而增大,但当土壤中大孔隙较少(土壤容重大于1.34 g/cm³),土壤水吸力大于0.1×10⁵ Pa时,土壤持水能力随着土壤容重的增大而减小^[29]。本研究中高寒草甸草毡层由植被根系缠绕穿插而成,存在大量的大孔隙,土壤水分可通过优先流快速流失,造成原生植被土壤草毡层持水能力相对较低。随着退化的加剧,土壤中植被根系含量降低,造成土壤中大孔隙数量降低,表层土壤持水能力逐步增加。可以看出,土壤容重与土壤持水能力的关系并非简单的正相关或者负相关,要依据土壤容重具体所处的范围而定。由于不同地区土壤质地、类型及结构不同,其“范围”值大小也应不尽相同,具体到某一特定区域,还需进行针对性的研究。

随着退化程度的进一步加剧(由中度退化至重度退化阶段),高寒草甸草毡层消失,土壤持水能力显著降低,说明草毡层是保障高寒草甸水源涵养功能的关键因素,这与李婧等在高寒矮嵩草草甸的研究结论^[31]是一致的。研究区多大风天气,且降水较集中,在无草毡层保护的情况下,地表土壤细颗粒极易被风吹蚀或随降水进入深层土壤,使地表出现粗粒化现象^[27],从而加速土壤的流失和贫瘠化。因此,保持一定厚度的草毡层不仅有利于维持高寒草甸土壤较高的贮水功能,也有助于减少土壤流失状况。

4 结论

在土壤草毡层存在的条件下,随着退化程度的加剧(从原生植被至中度退化阶段),高寒草甸土壤硬度、抗剪强度、容重及持水能力逐步增加,土壤养分含量逐步降低,土壤碳氮无显著变化。随着退化程度加剧,地表草毡层消亡,高寒草甸土壤硬度、抗剪强度、土壤有机碳含量、碳氮比及持水能力均显著降低,土壤容重显著增加。可以看出,高寒草甸地表草毡层在保持土壤抗蚀能力、土壤养分及水源涵养功能方面起着至关重要的作用。因此,在高寒草甸的利用过程中,要十分注意地表草毡层的保护。

参考文献(References):

- [1] 王根绪,程国栋. 江河源区的草地资源特征与草地生态变化[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 101-107.
Wang Genxu, Cheng Guodong. Characteristics of grassland and ecological changes of vegetations in the source regions of Yangtze and Yellow rivers[J]. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(2): 101-107.
- [2] 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报, 2012, 67(1): 3-12.
Sun Honglie, Zheng Du, Yao Tandong, et al. Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibetan Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 3-12.
- [3] Xue Xian, Guo Jian, Han Bangshuai, et al. The effect of climate warming and permafrost thaw on desertification in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Geomorphology*, 2009, 108: 182-190.
- [4] 李以康,韩发,冉飞,等. 三江源区高寒草甸退化对土壤养分和土壤酶活性影响的研究[J]. 中国草地学报, 2008, 30(4): 51-58.
Li Yikang, Han Fa, Ran Fei, et al. Effect of typical alpine meadow degradation on soil enzyme and soil nutrient in source region of three rivers[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(4): 51-58.
- [5] 于健龙,石红霄. 高寒草甸不同退化程度土壤微生物数量变化及影响因子[J]. 西北农业学报, 2011, 20(11): 77-81.
Yu Jianlong, Shi Hongxiao. Changes of microbes population in the different degraded alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2011, 20(11): 77-81.
- [6] 张静,李希来,于海. 青藏高原不同退化程度小嵩草草甸群落结构特征与土壤理化特征分析[J]. 草原与草坪, 2008, 4: 5-9.
Zhang Jing, Li Xilai, Yu Hai. Influences of temperature and humidity conditions on flight capacity and main utilization of energy substances in *Oedaleus asiaticus* [J]. *Grassland and Turf*, 2008, 4: 5-9.
- [7] 林丽,李以康,张法伟,等. 青藏高原高寒矮嵩草草甸退化演替主成分分析[J]. 中国草地学报, 2012, 34(1): 24-30.
Lin Li, Li Yikang, Zhang Fawei, et al. Principal component analysis on alpine *Kobresia humilis* meadow degradation succession in Qinghai-tibetan plateau [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2012, 34(1): 24-30.
- [8] 陈玫妃,曾辉,王钧. 青藏高原高寒草地土壤水分生态特征研究现状[J]. 中国草地学报, 2015, 37(2): 94-101.
Chen Meifei, Zeng Hui, Wang Jun. Research progress in the ecological characteristics of soil water in alpine grassland on the Qinghai-tibetan plateau [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2015, 37(2): 94-101.
- [9] 马青山,马正炳,张芳,等. 青海省泽库县草地生态环境现状及保护建设措施[J]. 草原与草坪, 2009, 3: 95-97.
Ma Qingshan, Ma Zhengbing, Zhang Fang, et al. Ecological environment status and protection measurement of grassland in Zeku county in Qinghai [J]. *Grassland and Turf*, 2009, 3: 95-97.
- [10] 惠文森,陈怀顺,焕角. 青海省泽库县草地资源特征及其退化与恢复[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2007, 28(68): 43-47.
Hui Wensen, Chen Huaishun, Huan Jiao. The characteristic and degeneration and resumed of grassland resources in Zeku County Qinghai Province [J]. *Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science)*, 2007, 28(68): 43-47.
- [11] 王启基. DB63/T608-2006 高寒草甸中、轻度退化草地植被恢复技术规程[S]. 青海:青海省质量技术监督局, 2006.
Wang Qiji. DB63/T608-2006 Technology rules for restoration of light and middle degraded grassland in alpine meadow [S]. Qinghai: *Qinghai Municipal Administration of Quality and Technology Supervision*, 2006.
- [12] 李红琴,乔小龙,张德镗,等. 封育对黄河源头玛多高寒草原水源涵养的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 195-200.
Li Hongqin, Qiao Xiaolong, Zhang Yili, et al. Effects of fencing on the soil water conservation in maduo alpine grassland-source of Yellow river [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(1): 195-200.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao Shidan. *Soil Agrochemical Analysis* [M]. Beijing: *China Agriculture Press*, 2000.
- [14] 杜建会,严平,展秀丽,等. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 763-768.
Du Jianhui, Yan Ping, Zhan Xiuli, et al. Surface erosion-resistance of *Nitraria tangutorun nebk* has at different succession stages in Minqin oasis and related affecting factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4): 763-768.
- [15] 郑洪兵,郑金玉,罗洋,等. 长期不同耕作方式下的土壤硬度变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 63-70.
Zheng Hongbin, Zheng Jinyu, Luo Yang, et al. Change characteristic of soil compaction of long-term different tillage methods in cropland [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(9): 63-70.
- [16] 曹广民,杜岩功,梁东营,等. 高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 641-

648.
Cao Guangmin, Du Yangong, Liang Dongying, et al. Character of passive active degradation process and its mechanism in alpine *Kobresia* meadow[J]. *Mountain Research*, 2007, 25(6): 641-648.
- [17] 刘伟, 程积民, 高阳, 等. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 68-75.
Liu Wei, Cheng Jimin, Gao Yang, et al. Distribution of soil organic carbon in grassland on Loess Plateau and its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(1): 68-75.
- [18] 王文颖, 王启基, 鲁子豫. 高寒草甸土壤组分碳氮含量及草甸退化对组分碳氮的影响[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(5): 647-654.
Wang Wenyin, Wang Qiji, Lu Ziyu. Effect of component content of soil carbon and nitrogen and degradation on organic carbon and nitrogen in alpine meadow[J]. *China Science D: Earth Science*, 2009, 39(5): 647-654.
- [19] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5-8.
Liu Jingshuang, Yang Jisong, Yu Junbao, et al. Study on vertical distribution of soil organic carbon in wetlands Sanjiang plain[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 5-8.
- [20] 贺有龙. 不同退化程度高寒灌丛草甸植物量及土壤养分的变化[J]. 西北农业学报, 2014, 23(7): 184-190.
He Youlong. Changes of biomass and soil nutrients in the differently degraded alpine *Salix paraqlesia* shrub meadows[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2014, 23(7): 184-190.
- [21] 魏卫东, 刘育红. 不同退化程度高寒草地土壤微生物量碳特征分析[J]. 西北农业学报, 2014, 23(2): 205-210.
Wei Weidong, Liu Yuhong. Characteristics analysis of soil microbial biomass carbon on degraded alpine grasslands[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2014, 23(2): 205-210.
- [22] 胡宏昌, 王根绪, 王一博, 等. 江河源区典型多年冻土和季节冻土区水热过程对植被盖度的响应[J]. 科学通报, 2009, 54(2): 242-250.
Hu Hongchang, Wang Genxu, Wang Yibo, et al. Response of soil heat-water processes to vegetation cover on the typical permafrost and seasonally frozen soil in the headwaters of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(2): 242-250.
- [23] 魏茂宏, 林慧龙. 江河源区高寒草甸退化序列土壤粒径分布及其分形维数[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 679-686.
Wei Maohong, Lin Huilong. Soil particle size distribution and its fractal dimension among degradation sequences of the alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow River, Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(3): 679-686.
- [24] 岳广阳, 赵林, 王志伟, 等. 多年冻土区高寒草甸根系分布与活动层温度变化特征的关系[J]. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1381-1387.
Yue Guangyang, Zhao Lin, Wang Zhiwei, et al. Relationship between alpine meadow root distribution and active layer temperature variation in permafrost areas[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(5): 1381-1387.
- [25] 刘育红, 魏卫东, 仇生杰, 等. 不同退化程度高寒草地土壤有机碳分布特征[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2014, 32(6): 1-5.
Liu Yuhong, Wei Weidong, Qiu Shengjie, et al. Distribution characteristics of soil organic carbon on different degradation degree alpine grassland[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science Edition)*, 2014, 32(6): 1-5.
- [26] 王建林, 钟志明, 王忠红, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤碳氮比的分布特征[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6678-6691.
Wang Jianlin, Zhong Zhiming, Wang Zhonghong, et al. Soil C/N distribution characteristics of alpine steppe ecosystem in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(22): 6678-6691.
- [27] 尤全刚, 薛焱, 彭飞, 等. 高寒草甸草地退化对土壤水热性质的影响及其环境效应[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1183-1192.
You Quanguang, Xue Xian, Peng Fei, et al. Alpine meadow degradation effect on soil thermal and hydraulic properties and its environmental impacts[J]. *Journal of Desert Research*, 2015, 35(5): 1183-1192.
- [28] 林丽, 张法伟, 李以康, 等. 高寒矮嵩草草甸退化过程土壤碳氮储量及 C/N 化学计量学特征[J]. 中国草地学报, 2012, 34(3): 42-47.
Lin Li, Zhang Fawei, Li Yikang, et al. The soil carbon and nitrogen storage and C/N metrological characteristics of chemistry in *Kobresia humilis* meadow in degradation succession stages[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2012, 34(3): 42-47.
- [29] 伍星, 李辉霞, 傅伯杰, 等. 三江源地区高寒草地不同退化程度土壤特征研究[J]. 中国草地学报, 2013, 35(3): 77-84.
Wu Xing, Li Huixia, Fu Bojie, et al. Study on soil characteristics of alpine grassland in different degradation levels in headwater regions of three rivers in China[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2013, 35(3): 77-84.
- [30] 徐翠, 张林波, 杜加强, 等. 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2388-2399.
Xu Cui, Zhang Linbo, Du Jiaqing, et al. Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2388-2399.
- [31] 李婧, 杜岩功, 张法伟, 等. 草毡表层演化对高寒草甸水源涵养功能的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(5): 836-841.
Li Jing, Du Yangong, Zhang Fawei, et al. Mattic epipedon impact on water conservation in alpine meadow[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5): 836-841.

Effects of Degradation Degree on Soil Physicochemical Properties and Soil Water-Holding Capacity in Zeku Alpine Meadow in the Headwater Region of Three Rivers in China

YANG Yong-sheng^{1,2}, ZHANG Li³, WEI Ya-xi^{1,4}, LI Hong-qin^{1,2}, LI Ying-nian^{1,2}

(1.Ecology Center of Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2.Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 3.Remote Sensing Section, Qinghai Remote Sensing Monitoring Center of Eco-Environment, Xining 810000, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The effects of different degradation degree on soil physicochemical properties and soil water-holding capacity in Zeku alpine meadow in the headwater region of three rivers was analyzed by both of field monitoring and indoor experiment methods. The results showed that: (1) soil anti-erosion ability was significantly reduced by the degradation and disappearance of grass layer in alpine meadow. Soil hardness and soil shear strength was gradually increased from original vegetation to middle degradation period, while both of them were significantly decreased during severe degradation period ($P < 0.05$). (2) Soil in alpine meadow became depleted with the aggravation of degradation degree, and with the increasing of soil depth, the effects of degradation degree on SOC and TN was gradually decreased. (3) The effects of degradation degree on soil water-holding capacity in alpine meadow was decreased with the increasing of soil depth, and soil water-holding capacity of surface soil (0~10cm) was significantly affected by degradation degree. From original vegetation to middle degradation period, the saturated water content, capillary water content and field capacity in depth of 0 to 10 cm was gradually increased, while the three indexes were significantly decreased in the severe degradation period. Thus, the grass layer is the key factor affecting soil resistance to erosion, soil water and nutrient conservation in alpine meadow.

Key words: Degradation degree; Alpine meadow; Soil hardness/ shear strength; Soil nutrient; Soil water-holding capacity

【责任编辑 李 平】

欢迎订阅 2018 年《中国种业》

《中国种业》是由农业部主管,中国农业科学院作物科学研究所和中国种子协会共同主办的全国性、专业性、技术性种业科技期刊。为全国优秀农业期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊。刊物目标定位以行业导刊的面目出现,并做到权威性、真实性和及时性。覆盖行业范围:大田作物、蔬菜、花卉、林木、果树、草坪、牧草、特种种植、种子机械等,信息量大,技术实用。刊物读者对象包括各级种子管理、经营企业的领导和技术人员,各级农业科研、推广部门人员,大中专农业院校师生,农村专业户和广大农业生产经营者。

本刊为月刊,大 16 开,每期 20 元,全年 240 元。国内统一刊号:CN 11-4413/S,国际标准刊号:ISSN 1671-895X,全国各地邮局均可订阅,亦可直接汇款至编辑部订阅,挂号需每期另加 3 元。邮发代号:82-132。

地 址:(100081)北京市中关村南大街 12 号《中国种业》编辑部
电 话:010-82105796(编辑部),010-82105795(广告发行部)。
传 真:010-82105796; 网址:www.chinaseedqks.cn
E-mail: chinaseedqks@163.com; 读者群 QQ:289113905