

江河源区不同退化程度高寒草地土壤物理、化学及生物学特征研究

冯瑞章¹, 周万海³, 龙瑞军^{2*}, 马玉寿⁴

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 兰州大学草青藏高原生态系统管理国际中心, 兰州 730010;

3. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 青海省畜牧兽医科学院草原研究所, 青海 西宁 810003)

摘要:以不同退化梯度的高寒草地土壤为研究对象, 研究草地退化对不同层次(0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm)土壤物理、化学和生物学特征的影响。结果表明: 江河源区高寒生态条件下草地退化对土壤物理、化学和生物学性质具有相对一致的影响。随草地退化程度的加重, 各土层土壤含水量和水稳性团聚体百分数逐渐下降, 土壤容重则呈增加趋势。草地退化导致土壤各种营养物质含量(除全钾)、土壤微生物群落和土壤酶活性显著下降, 其中土壤有机质、速效氮、过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶、土壤细菌、真菌和微生物总量在 0~10 cm 土层表现为未退化 > 轻度退化 > 中度退化 > 重度退化, 而土壤全氮、全磷、速效钾和放线菌数量在 0~10 cm 土层表现为轻度退化 > 未退化 > 中度退化 > 重度退化, 在 10~30 cm 土层, 则表现为严重退化草地的有些指标有一定程度升高。相关性分析结果表明, 各种土壤酶和微生物群落之间呈显著或极显著正相关(除土壤脲酶和中性磷酸酶之间无显著相关性外); 土壤水分、容重、有机碳、全氮、速效氮、速效钾与各种土壤酶和各种微生物均具有显著相关性; 水稳性团聚体与各种微生物和中性磷酸酶具有显著相关性。

关键词:江河源区; 草地退化; 高寒草地; 土壤理化性状; 土壤生物学特征

中图分类号 S151.2 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2010)02-0263-07

草地退化对人类生存环境的影响已成为人类关注的焦点之一, 尤其江河源区高寒草地的大面积退化直接威胁到该地区人类和家畜的生存与发展, 威胁到社会秩序的安定, 也威胁到长江、黄河中下游地区的生态平衡^[1,2]。近年来许多学者从退化草地的治理 and 环境保护层面开展了研究, 但主要集中于退化现状及其驱动力、群落结构及其稳定性、生物量变化、土壤肥力水平^[3-5], 而有关草地退化对土壤物理、化学和生物学特征的变化及相互作用等研究相对较少。草地退化的核心问题是土壤退化, 主要包括土壤物理、化学和生物学性状的变化^[6]。土壤微生物和土壤酶是土壤生物学的主要组成部分, 其中土壤微生物通过分解动植物残体而参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环等过程, 而土壤酶是土壤中一切生物化学过程的主要参与者, 是生态系统物质循环和能量流动等过程中最活跃的生物活性物质^[7]。土壤酶主要来源于动植物的分泌及其残体以及微生物的分泌等, 其活性大小表征了土壤中物质代谢的旺盛程度, 可以客观地反映土壤肥力状况^[8]。本文以典型的处于不同退化程度的高寒草地为研究对象, 以空间代替时间的方法, 探讨不同退化演替阶段土壤物理、化学及微生物学变化特征及相互作用, 以期揭示高寒草甸退化过程

中的一些特点, 为其恢复治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

实验区位于青海省南部果洛州玛沁县境内的大武河流域, 地理位置为 34°17'~34°25' N、100°26'~100°43' E, 平均海拔 3760 m 左右。该地区气候具有典型的高原大陆性气候特点, 无四季之分, 仅有冷暖季之别, 冷季漫长、干燥而寒冷, 暖季短暂、湿润而凉爽。温度年差较小而日差较悬殊, 太阳辐射强烈, 年均温 -3.9 °C ≥ 5 °C 积温为 850.3 °C, 最冷月 1 月的平均气温为 -12.6 °C, 最热月 7 月的平均气温为 9.7 °C, 牧草生长季为 156 d, 无绝对无霜期。年平均降水量为 513.12 mm, 年蒸发量 1459 mm。土壤为高山草甸土。

1.2 样地设置

以高寒草地中最具代表性、典型高山嵩草草原化草甸为研究对象, 以空间上不同的退化程度的草地研究时间上的退化序列的方法^[9,10]将样地划分为未退化草地、轻度退化草地、中度退化草地、重度退化草地 4 个程度, 其中重度退化草地为典型的“黑土滩”, 各样地植被基本概况见表 1。

收稿日期 2008-09-11; 修订日期 2008-12-03

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30730069)资助

作者简介: 冯瑞章(1978-), 女, 甘肃古浪人, 在读博士, 主要从事微生物生态和微生物资源开发研究。E-mail: ruizhangfeng@126.com

* 通讯作者 E-mail: longrj@zu.edu.cn, Tel: 0931-8914107

表 1 供试样地植被概况

Table 1 The vegetation characteristics of different plots

样地 Sampling plots	样地编号 Plot number	样地植被概况 Vegetation characteristics
未退化草地	UD	以蒿草属、禾本科为绝对优势物种, 杂草较少, 物种分布均匀, 总盖度达 80%~95%以上, 基本无秃斑地。
轻度退化草地	LD	以禾草为优势种, 蒿草属植物较多, 呈密丛状, 物种分布不均匀, 总盖度达 60%~75%, 草场秃斑地占 15%~20%。
中度退化草地	MD	以禾草为优势种, 豆科、菊科植物较多, 蒿草属植物较少, 总盖度为 20%~30%, 裸露的秃斑地占 40%~60%。
重度退化草地	HD	植被构成以杂类草为主, 禾草和莎草科植物偶见, 毒草比例较大, 菊科 5~6 种, 玄参科 3 种, 总盖度为 40%~60%, 秃斑地面积占 30%~50%左右。

1.3 土样采集和分析方法

在各不同退化程度草地按 X 型设置 5 个采样点挖土壤剖面, 每个剖面分 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 不同的深度采集土样, 然后将同一层的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 深度用容积为 100 cm³ 的环刀取样带回室内烘干测定土壤容重, 分别代表 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层的容重。带回实验室的混合土样采用烘干法测定土壤含水量, 剩余样品分成两份, 一份鲜样去杂贮藏于 4 °C 的冰箱内, 供微生物数量的测定; 另一份风干、去杂、过筛后供土壤物理、化学和土壤酶活性的测定。

土壤水稳性团聚体采用 0.25 mm 筛按照湿筛法^[11]; 土壤总有机碳、全氮、全磷、全钾分别采用磷酸浴—重铬酸钾容量法、半微量开氏法、HClO₄-H₂SO₄ 法、NaOH 熔融—火焰光度法, 土壤有效氮(N)、有效钾(K₂O)分别采用碱解扩散法和 NH₄OAc 浸提—火焰光度法^[12]; 土壤微生物数量测定采用稀释倾注平板涂布法^[13], 其中细菌用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌用改良高氏一号培养基, 真菌用马丁氏培养基; 土壤过氧化氢酶、脲酶和中性磷酸酶分别采用高锰酸钾滴定法、靛酚兰比色法^[14]

和改进后的磷酸苯二钠比色法测定^[15]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS(13.0) 软件进行数据的统计、分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 草地退化对土壤物理性状的影响

土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标, 也是表征土壤质量的一个重要参数, 它与土壤的孔隙度和渗透率密切相关^[16]。草地退化首先引起土壤紧实度的改变, 继而引发土壤水分、容重等其它物理、化学和生物化学性质的变化^[17]。随草地退化程度的加剧, 各土层(0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm)土壤容重显著增加(表 2), 与未退化相比, 重度退化草地 3 土层土壤容重增加 0.21~0.38 g cm⁻³, 这可能与未退化草地或轻度退化草地植物繁茂密集, 根系多而致密, 而重度退化草地植被少、根系量锐减、鼠洞大量存在密切相关^[18]。土壤容重大通常表明土壤存在着退化趋势, 且容重值愈大, 土壤退化愈为严重^[17,19], 重度退化草地各土层较高的土壤容重表明该草地土壤退化亦最严重。土壤退化在很大程度上取决于土壤水分条件, 随着草地退化程

表 2 草地退化对土壤物理性状的影响

Table 2 The influences of meadow degradation on soil physical properties

采样深度(cm) Sampling depths	样地 Sampling plot	含水量(%) Moisture content	容重(g cm ⁻³) Bulk density	水稳性 > 0.25 mm 团聚体 Water-stable aggregate (%)
0~10	UD	0.63a	1.08c	45.82a
	LD	0.43b	1.25b	36.29b
	MD	0.23c	1.41 a	27.97c
	HD	0.21c	1.46 a	18.61d
10~20	UD	0.32a	1.31b	41.27a
	LD	0.27a	1.38b	35.52b
	MD	0.08b	1.56a	26.33c
	HD	0.13b	1.57a	14.83a
20~30	UD	0.20a	1.46b	33.99b
	LD	0.20a	1.52c	33.51b
	MD	0.11b	1.59b	25.05c
	HD	0.10b	1.67a	16.68a

注: 各处理间(列)字母相同表示差异不显著, 小写字母表示显著水平为 0.05, 下表同。

度的加剧,各土层的土壤含水量逐渐减小(表 2)。由于本研究中不同退化草地相距不太远,地形坡度基本一致,降水均等,所以植被覆盖度的差异引起的太阳对土壤的辐射不同造成土壤水分蒸发不同是导致土壤湿度分异的主要原因^[4]。

土壤团聚体是土壤养分的贮存库和各种土壤微生物生存的生境,对保持土壤结构的稳定性有重要的贡献^[20],其中 > 0.25 mm 水稳性团聚体的分布状况和数量反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀的能力,土壤中该粒径团聚体百分数含量越高,土壤结构越稳定,抗侵蚀能力也越好^[21]。草地退化对土壤水稳性团聚体影响的测定结果(表 2)表明,各土层中 > 0.25 mm 水稳性团聚体百分数均随草地退化程度加剧逐渐降低,与未退化草地相比,3 种退化草地水稳性团聚体百分数下降 0.48% ~ 27.21%。土壤团聚体主要由胶体凝聚、胶结而相互联结的土壤颗粒组成,土壤中的大团聚体,是植物良好生长的结构基础^[22]。随人为干扰强度的增加,大团聚体崩解破坏后转移到微团聚体部分,引起水稳性团聚体百分数下降,土壤结构性变差。

2.2 草地退化对土壤化学性状的影响

由表 3 可知,在 0 ~ 10 cm 土层中,随着草地退化程度的加剧,土壤有机碳表现逐渐降低的趋势,较之未退化草地,轻度、中度和重度退化草地土壤有机碳含量分别降低了 36.1%、66.7%和 73.5%($P < 0.05$);在

10 ~ 30 cm 土层,相对于未退化草地,轻度退化、中度退化草地土壤有机碳含量显著降低,然而,重度退化草地土壤有机碳含量在 20 ~ 30 cm 土层有一定程度的升高($P < 0.05$)。

不同退化梯度下土壤中的全氮、全磷、全钾含量的动态变化见表 3 所示。随着草地退化程度的加重,土壤全氮、全磷均呈下降趋势。较之未退化草地,中度和重度退化草地土壤全磷在 0 ~ 10 cm 土层下降 0.4% ~ 15.4%,这两种草地全氮含量在 0 ~ 30 cm 土层下降 10.8% ~ 48.6%;轻度退化草地在 20 ~ 30 cm 全氮含量下降 16.0%,这与草地退化导致土壤有机质、植物可利用营养物质含量下降的结论一致^[4,23]。然而,也有研究表明草地退化与土壤肥力之间没有显著相关^[24],尤其对于土壤全磷^[25]。本研究中轻度退化草地 0 ~ 20 cm 土层土壤全氮较未退化草地增加 4.1% ~ 18.9%,土壤全磷在 0 ~ 30 cm 土层增加 3.9% ~ 16.5%,另外,土壤全磷在 3 种退化草地 10 ~ 30 cm 土层较未退化草地增加 2.9% ~ 18.9%。这可能与未退化样地植物生长旺盛,只有矿化和分解大量的有机质和全氮、全磷,才能维持较高水平的速效养分有关^[6]。统计分析结果表明,不同退化程度草地间土壤全钾含量无显著差异($P > 0.05$),且土壤全钾含量在土层分布上没有明显变化,这可能就是土壤退化要滞后于植被退化的结果。

表 3 不同退化程度草地土壤有机碳及养分含量变化

Table 3 The influences of meadow degradation on soil organic C and chemical properties

采样深度 Sampling depth (cm)	样地 Sampling plot	有机碳 Soil organic C (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	速效氮 Available N (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)
0 ~ 10	UD	126.0a	7.03a	0.62b	19.02a	587a	193b
	LD	80.5b	7.32a	0.72a	19.73a	466b	248a
	MD	42.0c	4.50b	0.61b	18.56a	267c	173b
	HD	33.4c	3.61c	0.52c	19.34a	209d	132c
10 ~ 20	UD	38.9a	4.38b	0.54b	18.45a	270b	91b
	LD	36.9b	5.21a	0.61a	18.94a	347a	136a
	MD	23.4c	3.21c	0.56b	18.37a	168d	81b
	HD	33.5b	3.17c	0.58b	19.01a	213c	69c
20 ~ 30	UD	31.5b	3.49a	0.43b	19.07a	164b	68b
	LD	23.1c	2.93b	0.45b	19.28a	161b	119a
	MD	19.6c	2.36c	0.55a	18.86a	123c	72b
	HD	36.1a	3.11b	0.56a	19.59a	217a	74b

草地退化导致 0 ~ 20 cm 土层速效氮降低,由表 3 可知,随退化程度加重,轻度、中度到重度退化草地 0 ~ 10 cm 速效氮含量分别比,未退化草地降低了增加了 21%、54%和 64%,10 ~ 20 cm 土层中度和重度退化草地分别降低了 37% 和 21%,说明当草地完全退

化为毫无放牧利用价值的次生裸地黑土滩时,速效氮急剧下降,造成氮素的极大流失,所以在恢复治理过程中施肥是非常有必要的^[4]。而 20 ~ 30 cm 土层速效氮含量变化与表层(0 ~ 10 cm)和亚表层(10 ~ 20 cm)土壤不同,较之原始草地,严重退化的“黑土滩”草地

速效氮含量升高。这与“黑土滩”裸地植物盖度减小,土壤直接接受太阳辐射,温度变化剧烈,土壤中有机关态氮矿化速度加快。随草地退化程度加大,速效钾含量在各土层的变化趋势不同,但 3 土层的最大速效钾含量均出现在轻度退化草地。如表 3 所示,在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层,各样地速效钾含量大小顺序为轻度退化>未退化>中度退化>重度退化,但是在 20~30 cm 土层,最小速效钾含量出现在未退化草地,这可能与全 K 淋溶沉降,受成土母质影响,或与重度退化草地生物消耗速效钾较少有关^[6]。速效磷含量也是本研究测定指标之一,然而,经测定发现该研究区速效磷含量很低,用 Olsen 法几乎不能检测,所以对速效磷变化特征没有进行分析。

2.3 草地退化对土壤微生物群落的影响

土壤微生物是土壤有机无机复合体的重要组成部分,其数量直接影响土壤的生物化学活性及土壤养分的组成与转化,是土壤肥力的重要指标之一^[26]。由表 4 可知,不同退化程度高寒草地土壤微生物群落构成和总微生物数量均存在很大差异。随草地退化程度加剧,0~30 cm 土层土壤微生物总数、细菌和真菌逐渐降低,与未退化草地相比,各土层微生物总数下降 7.7%~88.5%,细菌和真菌数量分别下降 9.1%~90.4%和 25.0%~86.2%。放线菌数量则以轻度退化草地各土层数量最多,其次为未退化和中度退化,重度

退化草地最少。柳丽萍、廖仰南对内蒙古羊草和大针茅草原不同牧压下的土壤微生物特性研究表明,随草地退化加剧,好气性细菌、真菌、放线菌均呈不同程度减少^[27]。蔡晓布等^[6]对藏北高原不同退化程度高寒针茅草地研究表明,轻度退化草地土壤细菌、真菌和放线菌数量最高,且放线菌数量随草地退化成增加趋势;尚占环等对江河源区高寒草地土壤微生物与地上植被及土壤环境关系的研究表明,土壤细菌和真菌数量随草地退化程度加剧逐渐降低,而放线菌数量以轻度和中度退化草地较高^[28],与本研究结果相似。对细菌、真菌、放线菌在总微生物数量中所占比例分析,结果表明各类群所占比例不同,其中细菌数量最多,约占微生物总数的 83.2%~97.2%,放线菌次之,占 2.8%~15.9%,真菌最少。同一草地不同空间层次土壤三大类微生物数量变化较大,0~10 cm 土层的各类微生物数量最大,20~30 cm 土层的数量最小。随着草地退化的加剧,土壤含水量急剧下降,适于微生物生存的土壤环境严重恶化,加之土壤微生物赖以生存的能源物质严重不足,细菌、真菌数量显著降低,适于中性或微碱性土壤的放线菌数量在轻度退化草地有一定增加,微生物总数的降低导致土壤酶活性显著降低,强烈地影响着土壤有机残体的转化,并最终导致土壤生物学性质的显著下降^[6]。

表 4 退化程度对土壤酶活性和微生物种群的影响

Table 4 The influences of meadow degradation on soil enzyme activities and microorganism groups

采样深度 Sampling depth (cm)	样地 Sampling plot	过氧化氢酶 Catalase (0.1 mol L ⁻¹ KMnO ₄ , ml g ⁻¹)	脲酶 Urease (NH ₃ -N, μg g ⁻¹)	中性磷酸酶 Neutral phosphatase (Phenol, mg g ⁻¹)	细菌 Bacteria (10 ⁴ 个 g ⁻¹ 干土)	真菌 Fungi (10 ⁴ 个 g ⁻¹ 干土)	放线菌 Actinomyces (10 ⁴ 个 g ⁻¹ 干土)	微生物总数 Total Microorganism (10 ⁴ 个 g ⁻¹ 干土)
0~10	UD	5.737 a	7.41a	4.44a	805.4a	0.38a	32.6b	845.98a
	LD	5.630 a	7.03a	4.40a	720.3b	0.26b	40.2a	753.16b
	MD	5.632 a	6.40b	1.56b	508.6c	0.17c	22.7c	531.47c
	HD	5.212b	6.07b	0.97c	306.6d	0.13d	13.2d	319.93d
10~20	UD	5.262 a	5.72a	3.71a	495.3a	0.29a	15.7b	509.59a
	LD	4.457 b	4.40bc	1.81b	450.7b	0.17b	19.6a	470.47c
	MD	4.617 b	4.71b	0.46d	333.8c	0.08c	14.0b	349.58c
	HD	4.068 c	3.12c	0.83c	106.5d	0.04d	6.6c	113.16d
20~30	UD	4.750 a	6.54a	1.22a	236.8a	0.16a	7.9b	245.80a
	LD	4.192 b	5.87b	0.93b	179.0b	0.1b	8.8a	186.72b
	MD	3.487 d	2.47d	0.29d	96.4c	0.03c	7.6b	104.38c
	HD	3.880 c	3.66c	0.75c	23.6d	0.01c	4.5c	28.15d

2.4 草地退化对土壤酶活性的影响

土壤酶催化土壤中的一切生物化学反应,对土壤肥力有重要影响。江河源区高寒草地各种酶活性对土壤环境亦有高度敏感性。由表 4 可知,处于不同退化演替阶段的草地,土壤过氧化氢酶、脲酶和中性磷酸

酶在 0~20 cm 土层均随草地退化程度加剧而降低,这与土壤有机碳、土壤微生物总数、细菌和真菌数量的变化趋势相同。在 20~30 cm 土层,3 种土壤酶在不同草地中的活性大小顺序为:未退化>轻度退化>重度退化>中度退化,这可能与重度退化草地上的植物

种类有关,而未退化草地的各种土壤酶活性较高一方面是因为未退化草地土壤有机质、全氮含量丰富,结构疏松,孔隙比例适当,这种条件为土壤微生物提供了相对充足的碳源和能源物质,利于土壤动物、土壤微生物和植物根系的生命活动,另一方面,草地退化引起的植被结构和生物量变化,对土壤微生物的活动和数量产生影响,而土壤微生物活性与土壤酶活性密切相关,所以未退化草地各种土壤酶活性大于退化草地。

2.5 土壤微生物群落、酶活性与土壤理化特征的关系

土壤中的一切物质转化都有酶的参与,土壤酶大部分来源于土壤微生物、土壤动物和植物根系分泌物^[4]。由表 5 可知,土壤细菌、真菌、总微生物数量与 3 种土壤酶(过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶)呈显著或极显著相关,这在很大程度上反映了微生物量对土壤酶活性的重要影响和贡献。分析高寒草地土壤微生物的相互关系表明,土壤真菌(x)与细菌和放线菌间均呈极显著正相关($P < 0.01$),线性回归方程分别为 $y = 2032.3x + 47.025$ 和 $y = 81.488x + 3.7577$,土壤放线菌和细菌间亦呈极显著正相关($P < 0.01$),线性回归方程为 $y = 21.478x + 9.0921$ 。3 种微生物间的这种相关性,反映了在高寒环境下 3 种土壤微生物既相互协调又相互影响的复杂关系。高寒草地土壤生态系统中,过氧化氢酶(x)与脲酶呈极显著正相关($P < 0.01$),线性回归

方程为 $y = 0.4179x + 2.5379$,与磷酸酶呈显著正相关($P < 0.05$)。线性回归方程为 $y = 0.3718x + 4.0816$ 。脲酶和磷酸酶间成正相关,但相关性不显著。以上结果表明在各种土壤酶之间存在相互的促进作用,对外界干扰也有相似的适应性,另外,土壤脲酶和中性磷酸酶之间无显著相关性,说明它们在促进土壤有机质的转化和参与土壤物质转化和能量交换中,不仅具有共性关系,同时不同土壤酶也存在着各自专有特性。

许多研究表明,土壤肥力水平在很大程度上受制于土壤酶的影响,与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系。为此,我们对江河源区不同退化程度高寒草地土壤酶活性、微生物类群与土壤主要物理和化学性质进行相关分析。结果表明(表 6),土壤水分、容重与 3 种土壤酶和 3 种微生物均具有显著相关性,水稳性团聚体与 3 种微生物和中性磷酸酶具有显著相关性,说明土壤物理性状和微生物之间相互影响和相互促进。3 种土壤酶和 3 种微生物类群均与土壤有机碳、全氮、速效氮、速效钾间呈现极显著或显著的正相关关系($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$),与土壤全磷和全钾无显著相关性。高寒草地土壤物理、化学和生物学间较强的相关关系,反映了高寒草地土壤物理、化学性质的变化对土壤生物学性质具有重要的调控作用,而土壤生物学性质对土壤肥力演变则具有关键影响。

表 5 土壤微生物类群与酶活性相关关系

Table 5 The relationship between microbial groups and enzyme activities

	微生物总数 Total Microorganisms	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	细菌 Bacteria	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	脲酶 Urease
过氧化氢酶	0.774**	0.707**	0.628*	0.777**	0.562*	0.782**
脲酶	0.566*	0.624*	0.451	0.568*	0.441	
中性磷酸酶	0.774**	0.857**	0.657*	0.775**		
细菌	0.999**	0.853**	0.916**			
放线菌	0.922**	0.691*				
真菌	0.849**					

表 6 土壤微生物类群、酶活性与土壤理化性质的相关关系

Table 6 The relationships between microbial groups, enzyme activities and soil physicochemical properties

	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes
含水量	0.547*	0.515*	0.849**	0.788**	0.876**	0.781**
容重	-0.640**	-0.492*	-0.809**	-0.885**	-0.856**	-0.839**
稳定性	0.308	0.419	0.588*	0.575*	0.745**	0.434*
总有机碳	0.536*	0.565*	0.691**	0.647**	0.633**	0.786**
全氮	0.591*	0.445*	0.821**	0.862**	0.715**	0.869**
全磷	0.168	0.011	0.312	0.377	0.129	0.482
全钾	0.002	0.016	0.015	0.007	0.007	0.005
速效氮	0.463*	0.427*	0.772**	0.761**	0.672**	0.845**
速效钾	0.558*	0.471*	0.525*	0.699**	0.447*	0.756**

3 讨论

土壤是草地生态系统的基础环境,土壤退化与草地退化关系十分密切,都受到自然因素和生产活动的影响,由于家畜过度啃食与践踏,气候干暖化、严重鼠害使得江河源区植物群落发生了逆向演替,土壤肥力水平显著下降,土壤向退化方向发展。土壤结构、土壤水分、土壤容重等土壤物理因子的变化是高寒草原土壤退化发生、发展的重要前提,而土壤生物学因子的变化则对土壤肥力的演化起着主导作用,其相互作用机制对土壤有机物质的转化过程、转化效率和土壤肥力的演化方向等具有显著影响^[6]。本研究表明,草地退化不仅改变草地地上植被和地下根系,而且通过放牧对土壤造成压实,继而引起土壤容重明显增加,土壤含水量和水稳性团聚体数量下降,这将直接或间接影响土壤颗粒组成、土壤空隙的大小及分布、土壤持水性能,并导致土壤入渗能力降低,土壤抗冲蚀能力下降,最终导致土壤发生退化^[22]。

土壤有机质、氮素和磷素等是土壤主要的养分指标,同时有机质还是形成土壤结构的重要因素,直接影响土壤肥力、持水能力、土壤抗侵蚀能力和土壤容重等,是土壤特性的重要指标之一,其变化状况可以指示土壤退化与否^[29]。土壤生物是土壤中具有生命力的主要组成部分,因而在土壤形成和演化过程中起着主导作用,主要由土壤微生物生命活动和植物根系分泌产生的土壤酶则是土壤生物化学反应的实际参与者和主要推动者,其活性大小既反映着土壤营养物质的储量,亦体现着土壤中生物化学反应的方向和强度^[30]。同时,由于土壤酶反应灵敏、测定便捷,且具有专一性和综合性特点,一些研究者不仅将其视为一个具有潜力的土壤生物指标^[31],亦将其作为土壤生态胁迫或土壤生态恢复的敏感性指标^[32]。干友民等^[23]的研究表明随着草地退化程度的加剧,土壤有机质和全氮含量逐渐减少,全磷、速效氮、速效磷和速效钾含量逐渐上升,全钾含量基本无变化。周华坤等^[4]的研究表明随着草地退化程度的加大,有机质含量在表层土壤中流失严重,土壤速效氮含量在极度退化阶段不能满足植物生长的需要。蔡晓布等^[6]的研究则表明不同程度退化草地之间,尽管土壤物理、化学和生物学肥力随草地退化程度的加剧而呈明显的下降趋势,但草地轻度退化阶段的土壤肥力特征则在总体上高于正常草地。本研究对江河源区不同退化演替阶段高寒草原土壤学特征的研究表明草地退化导致土壤各种营养物质含量(除全钾)、土壤微生物群落和土壤酶活性显著下降,

其中土壤有机质、速效氮、过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶、土壤细菌、真菌和微生物总量在0~20 cm土层表现为未退化>轻度退化>中度退化>重度退化,而土壤全氮、全磷、速效钾和放线菌数量在0~20 cm土层表现为轻度退化>未退化>中度退化>重度退化,在20~30 cm土层,则表现为严重退化草地的有些指标有一定程度升高,这可能与严重退化草地上主要分布的菊科、玄参科植物有关,这些植物较深的根系分布,将会导致其周围微生境的变化。结合土壤物理性质的变化,说明在江河源区高寒生态条件下草地退化对土壤物理、化学和生物学肥力具有相对一致的影响。不同草地各测定指标间的相关性分析结果则表明土壤物理、化学和生物学特征间彼此联系、相互作用,共同影响并决定着高寒草原土壤肥力的演化方向。

参考文献

- [1] 尚占环, 龙瑞军, 马玉寿. 江河源区“黑土滩”退化草地特征、危害及治理思路探讨[J]. 中国草地学报, 2006, 28(1): 69 - 74.
- [2] 马玉寿, 郎百宁, 王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望[J]. 草业科学, 1999, 16(2): 5 - 8.
- [3] 史惠兰, 王启基, 景增春, 等. 江河源区人工草地及“黑土滩”退化草地群落演替与物种多样性动态[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 655 - 661.
- [4] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 31 - 40.
- [5] 王长庭, 龙瑞军, 王启兰, 等. 三江源区高寒草甸不同退化演替阶段土壤有机碳和微生物量碳的变化[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(2): 225 - 230.
- [6] 蔡晓布, 钱成, 张永清. 退化高寒草原土壤生物学性质的变化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1733 - 1738.
- [7] CAO C Y, JIANG D M, TENG X H, et al. Soil chemical and microbiological properties along a chronosequence of Caragana microphylla Lam. plantations in the Horqin sandy land of Northeast China [J]. Appl. Soil Ecol., 2008, 40(1): 78 - 85.
- [8] BADIANE N N Y, CHOTTE J L, PATE E, et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions [J]. Appl. Soil Ecol., 2001(18): 229 - 238.
- [9] 梁存柱, 祝延绒, 王德利, 等. 21世纪我国草地生态学展望[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 743 - 746.
- [10] 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 放牧干扰对高寒草甸的影响[J]. 中国草地, 2002, 5(24): 53 - 61.
- [11] 李小刚, 崔志军, 王玲英. 施用秸秆对土壤有机碳组成和结构稳定性的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 421 - 428.
- [12] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1998.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶测定方法探讨[J]. 土壤通报, 1986, (3): 138 - 141.

- [16] MARIA B V, NILDA M A, Norman P. Soil degradation related to overgrazing in the semi-arid southern Caldenal area of Argentina [J]. *Soil Science*, 2001, 166 (7): 441 - 452.
- [17] LOWERY B, SWAN J, SCHUMACHER T, et al. Physical properties of selected soils by erosion class [J]. *Journal of soil and water conservation*, 1995, 50: 306 - 311.
- [18] 周兴民. 中国嵩草草甸 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [19] HERANDEZ T, GARCIA C, REINHARDT I. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soil [J]. *Biol Forest Soils*, 1997, (25): 109 - 116.
- [20] Christensen, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates [J]. *Adv Soil Sci*, 1992, (20): 82 - 90.
- [21] 苏永中, 王芳, 张智慧, 等. 河西走廊中段边缘绿洲农田土壤性状与团聚体特征[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 741 - 748.
- [22] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子岭油松人工林土壤物理性质的影响 [J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3685 - 3695.
- [23] 干友民, 李志丹, 泽柏, 等. 川西北亚高山草地不同退化梯度草地土壤养分变化 [J]. *草业学报*, 2005, 14(4): 38 - 42.
- [24] OLIVEIRA O C, OLIVEIRA I P, ALVES B JR, et al. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pasture in the Brazilian Cerrado [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, (103): 289 - 300.
- [25] 曹广民, 张金霞. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 514 - 518.
- [26] 薛立, 陈红跃, 邱立刚. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 157 - 159.
- [27] 柳丽萍, 廖仰南. 羊草和大针茅草原不同牧压下的土壤微生物特性及其多样[A]// 中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站编. 草原生态系统研究(第五集)[C]. 北京: 1996.
- [28] 尚占环, 丁玲玲, 龙瑞军, 等. 江河源区退化高寒草地土壤微生物与地上植被及土壤环境的关系 [J]. *草业学报*, 2007, 16 (1): 34 - 40.
- [29] 鲁如坤. 土壤 - 植物营养学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [30] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红粘土红壤肥力的演化——化学和生物学肥力的演化 [J]. *土壤学报*, 1999, 36(2): 203 - 217.
- [31] 任天志, STEFANO GREGO. 持续农业中的土壤生物指标 [J]. *中国农业科学*, 2000, 33(1): 1 - 9.
- [32] GARCIA C, HEMANDER T. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, 29(2): 171 - 177.

Characteristics of Soil Physical, Chemical and Biological Properties on Degraded Alpine Meadows in the Headwater Areas of the Yangtze and Yellow Rivers, Qinghai-Tibetan Plateau

FENG Rui-zhang¹, ZHOU Wan-hai³, LONG Rui-jun^{2*}, Ma Yu-shou⁴

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management of Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. Institute of Grassland Science, Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Xining 810003, China)

Abstract: The series of physical, chemical, biological properties and their relationships of Alpine pasture soil of three layers (0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 cm) at four different degradation successional stages (undegraded, lightly degraded, moderately degraded and heavily degraded) in the headwater region of Yangtze and Yellow rivers were analyzed in this study. The results showed that under the ecological conditions of the Qing-hai Tibetan Plateau, Alpine meadow degradation had consistent effects on soil physical, chemical and biological properties. With increased meadow degradation grades, soil bulk density at all of the 0 - 30 cm layers showed a increasing trend, while soil moisture content and water stable aggregates (> 0.25 mm) content at three layers decreased significantly. Soil organic carbon contents as well as available N, the activities of soil enzymes (catalase, urease, neutral phosphatase), the quantities of soil microorganisms (Bacteria, Fungi and total Microorganisms) at 0 - 10 cm and 10 - 20 cm soil layers showed a decreasing trend with meadow degradation. Soil total N, P, available K, quantities of soil actinomycetes at 0 - 10 cm and 10 - 20 cm soil layers were increased in lightly degradation meadow but decreased in moderately and heavily degraded meadows compared with no degradation meadow. There were significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$) positive relationships between the quantities of soil microorganisms (Bacteria, Fungi and Actinomycetes), the activities of three mentioned soil enzymes (except for soil urease and neutral phosphatase related insignificant); three mentioned soil enzymes and three soil microorganisms groups were significantly related to the soil moisture content, bulk density, organic C, total N, available N and available K; soil water stable aggregates were also significantly related to soil microorganisms groups and neutral phosphatase.

Key words: The headwater area of the Yangtze and Yellow Rivers; Degraded alpine meadows; Soil physicochemical properties; Soil biological properties