

文章编号:1673-5021(2008)04-0051-08

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

李以康¹, 韩发^{1,*}, 冉飞^{1,2}, 包苏科^{1,2}, 周华坤¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 研究了三江源区高寒草甸退化对土壤养分和土壤酶活性造成的影响, 结果表明: 在极端环境下高寒草甸退化对土壤有机质和全氮含量的影响一致, 随着退化程度的加重出现先升高而后降低的现象, 重度退化阶段土壤表层含量降低, 中下层土壤含量升高; 全磷的含量先随着退化加剧降低, 在重度退化阶段升高; 退化导致土壤全钾含量降低。速效养分含量的变化也不相同: 速效氮的含量在轻度和中度退化阶段降低, 在重度退化阶段升高; 速效磷的含量呈升高趋势; 速效钾的含量先升高后降低。草甸退化使土壤脲酶和蔗糖酶活性出现了显著变化 ($P < 0.05$), 脲酶活性在不同土层间差异显著 ($P < 0.05$), 蔗糖酶没有表现出土体层次性差异; 相关分析表明, 高寒草甸的土壤酶活性与营养成分含量之间相关不显著。

关键词: 三江源区; 草甸退化; 土壤酶; 土壤养分

中图分类号: S812.2 **文献标识码:** A

三江源区位于青海省青南高原, 包括昆仑山和青海南山以南、唐古拉山以北广阔的青藏高原面, 约占青海省总面积的 1/2 左右^[1]。由于全球气候变暖和人类活动的影响, 近年来整个三江源区中度以上的草甸退化面积占可利用草甸面积 50% ~ 60%, 已沦为次生裸地或几乎无利用价值的典型“黑土滩”退化草甸约占退化草甸总面积的 40% 以上^[2-4], 并且呈现出加速退化的趋势。高寒草甸生态系统的严重退化不仅影响到当地牧民的生产生活和畜牧业的发展, 而且也导致了该地区物种多样性减少, 自然灾害频繁发生, 水土流失日趋严重, 草地沙化面积不断扩大。退化草地生态功能的丧失, 对中下游地区生态环境和社会经济的可持续发展也产生了严重的影响。研究高寒草甸退化机理, 治理和恢复退化高寒草甸刻不容缓。三江源区高寒草甸的大面积退化已引起各方面的重视, 对三江源区高寒草甸的退化进行了很多研究, 其中, 李海英等^[5]对不同退化演替阶段植物群落地上生物量进行了分析; 王文颖和王启基^[6]对高寒草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性进行了分析; 刘伟^[3]、严作良等^[4]对三江源区退化草地的成因作了研究和评述; 周华坤等^[7]对青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化的特征作了研究。

土壤是陆地生态系统的重要组成部分, 植被的退化必然影响到土壤。土壤酶作为土壤中的生物活

性因子, 其活性反映了土壤中生物代谢和物质转化状况, 可以作为评价土壤肥力水平的指标^[8]。目前, 在几乎所有生态系统的监测和研究中, 土壤酶活性检测是必不可少的指标^[9]。三江源区高寒草甸是一类特殊的生态系统, 在高寒草甸退化的研究中, 对土壤酶活性的研究少见报道, 高寒草甸退化对土壤酶活性和土壤养分影响的研究也是一个空白。本文通过对高寒草甸不同退化阶段的土壤营养成分和土壤酶活性的对比分析研究, 试图揭示高寒草甸退化对土壤营养成分和土壤酶活性所产生的影响, 为高寒草甸的合理利用、退化草甸的科学治理和人工恢复提供理论依据。

1 样地自然概况与研究方法

1.1 样地自然概况

研究的中心地点位于三江源区的青海省果洛藏族自治州玛沁县境内。地处东经 98°48' ~ 100°55'、北纬 33°43' ~ 35°16', 地势高亢, 平均海拔 4000m 左右。气候属高寒半湿润气候, 没有四季之分, 只有冷

* 通讯作者, E-mail: hanfa@mail.nwipb.ac.cn

收稿日期: 2008-01-15; 修回日期: 2008-03-12

基金项目: 国家科技攻关计划项目 (2005BA901A20); 中科院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-YW-N-040-01 和 KZCX2-XB2-06-02)

作者简介: 李以康 (1973-), 男, 山东临沂人, 硕士。

暖两季,日照充足,历年日照平均值在 2500h 以上,年总辐射量在 $623.8 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2} \sim 629.9 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。平均气温在 0 以下,全年无绝对无霜期。年降水量 420 ~ 560mm 之间,多集中在 5 ~ 10 月份^[7]。草地类型主要有高寒草甸和高寒草原,土壤类型以高山草甸土为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

样地选在位于三江源区的青海省果洛藏族自治州玛沁县境内大武乡藏族牧民的放牧区内。当地牧民过度放牧且不重视对草甸合理利用,导致高寒草甸的载畜量不断增加,部分草甸出现退化。同时,草甸的退化使高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 侵入并大量繁殖,进一步加剧了退化。三江源区高寒草甸随着退化程度的加重,生态系统的植被也发生了明显的演替,群落的组成和优势种等发生了很大的变化,植物群落从以禾本科为主向以杂类草为主的群落演替^[5]。本研究根据草甸退化特点,将不同退化程度的草甸划分为 4 级,利用空间代替时间的方法研究土壤的动态变化。不同退化程度高寒草甸植物群落特征表现为:(1)未退化草甸(ND):主要群落优势种是小嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 和矮嵩草 (*K. humilis*) 等。以短根茎莎草科植物为绝对优势种,伴有丛生禾草和少量杂类草,总盖度达 80% ~ 95% 以上,优良牧草的比例在 80% 以上。(2)轻度退化草甸(LD):主要群落优势种是小嵩草、矮嵩草和垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 等。总盖度达 70% ~ 85%,优良牧草比例在 50% ~ 75%。(3)中度退化草甸(MD):主要群落优势种是矮火绒草 (*Leontopodium nanum*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserine*) 和矮嵩草等。杂类草的盖度和优势度加大,优良牧草的比例在 30% ~ 50%,该阶段为高寒草甸退化的量变过程。(4)重度退化草甸(HD):植物群落优势种是细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*)、甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*) 和西伯利亚蓼 (*Polygonum sibiricum*) 等,以匍匐茎杂类草为优势种,这些杂类草无性繁殖能力强,整个群落的优良牧草比例明显下降,失去放牧利用价值,草场退化已发生质的变化^[7,10]。在研究地点周围选取 4 种典型的样地,每个样地面积为 30m × 30m,土壤都是高山草甸土。

1.2.2 样品采集

2005 年 9 月中旬,在各样地选取地势平坦、植

被及土壤基本一致的地段,采用常规的随机步程法,每 3m 设一取样点,每个样地设 6 个取样点,去除土壤表面的杂草等,用土柱法分三层取土样,每层 10cm。用透气的布袋带回实验室,于避光处自然风干,仔细剔除根、植物残体和石头等杂物,将风干的土粉碎,分别过 0.15mm 和 1mm 筛以备土壤理化性质测定和其它生理生化项目分析用。

1.2.3 土壤营养元素的分析测定

全氮和速效氮含量的测定采用凯氏定氮法和康维皿法,全磷含量的测定采用钼锑抗比色法,速效磷含量的测定采用碳酸氢钠法,全钾含量的测定采用氢氧化钠熔融法,速效钾含量的测定采用火焰光度法,有机质含量的测定采用重铬酸钾硫酸溶液氧化法^[11]。

1.2.4 土壤酶活性的测定

土壤脲酶活性的测定采用 Hoffmann 与 Teicher(1961)的方法^[12];土壤蔗糖酶的测定采用 G. Hoffmann 与 J. Pallauf 法(1965)^[13]。

用 Microsoft Excel 和 SPSS11.0 软件对数据进行图形处理和分析。

2 结果与分析

2.1 高寒草甸退化对土壤养分的影响

2.1.1 高寒草甸退化对土壤有机质含量的影响

土壤有机质是土壤肥力的基础。高寒草甸土壤有机质的含量有着明显的垂直分布规律,随着土层的加深,有机质的含量下降,但是在重度退化阶段 0 ~ 10cm 和 10 ~ 20cm 土层的含量接近,差别不明显(图 1)。土壤中的有机质主要为植物的凋落物、根系、微生物等所形成,而高寒草甸植物根系分布的特点是绝大部分分布在表层^[14,31],所以,土壤下层的有机质含量低并且在不同退化阶段变化不大。在重度退化阶段,表层有机质的含量并没有表现出降低,并且 10 ~ 20cm 和 20 ~ 30cm 土层的含量都升高,这可能与重度退化草甸上主要生长的毒杂草等有关,由于毒杂草不为牲畜食用,地上部分枯萎后进入土壤增加了土壤中有机质含量。另外,随着退化程度的加剧,地下根系的浅层化分布^[15]和地下生物量向 0 ~ 20cm 集中分布也是导致上述结果的一部分原因。

2.1.2 高寒草甸退化对土壤全价养分含量的影响

试验结果表明,高寒草甸土壤中全价养分的含量变化趋势不一致(图 2)。全氮随着土层的加深含

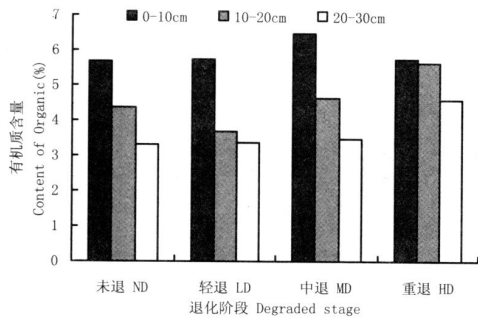


图1 高寒草甸不同退化阶段土壤有机质含量的变化
Fig. 1 Changes of organic matter in different degraded stages of alpine meadow

量下降,变化趋势与有机质含量的变化基本一致:在中度退化阶段表层土壤中全氮含量升高,到重度退化阶段下降。中层和下层土壤在前三个退化阶段没变化,到重度退化阶段含量升高,并且和上层土壤全氮的含量相近。土壤中全氮含量与有机质的含量表现出比较大的正相关,二者的相关系数 $r = 0.9840$ 。全氮的含量并没有随着退化的加重出现明显的降低,可能与高寒草甸土壤中丰富的有机质含量有关。

土壤中的全磷含量差别不明显。随着退化加重,三层土壤全磷含量呈中间向下凹的单曲线变化,表现出先降低后升高的变化趋势;在重度退化阶段含量最高,并且重度退化阶段三层土壤全磷的含量在同一层中都是最高;轻度退化的草甸三层土壤全磷的含量在同层中都是最低。方差分析显示,重度退化草甸的全磷含量显著高于其他三个不同退化阶段 ($P < 0.05$),而未退化草甸的全磷含量也显著高于轻度退化草甸的含量 ($P < 0.05$)。表明全磷的含量受外界的干扰变化很大。自然界土壤中的磷多是来自母岩矿物,但它的含量也与有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定有关^[16]。由于采样时是9月份,处于植物的枯黄期,植物经过一年的生长,从土壤中吸收利用了大量的磷素用于生命活动,导致土壤中的磷素含量降低。周华坤等^[7]对高寒草甸不同退化阶段植被生物量的研究表明:高寒草甸的地上总生物量在轻度退化阶段最高,在极度退化阶段最低,轻度退化阶段植物的旺盛生长可能是导致土壤全磷含量低的原因。

不同退化阶段的全钾含量没有表现出明显的规律性。全钾的含量在上层和中层土壤中变化一致:退化后含量下降,三个退化阶段含量相近;下层土壤

全钾的含量先升高后降低,到重度退化时又升高。方差分析显示,不同退化阶段高寒草甸的全钾含量未出现显著变化 ($P > 0.05$)。全价养分的含量总体上表现为重度退化导致土壤中下层土壤全氮和全磷含量升高,全钾含量降低,高寒草甸的退化对土壤中全磷的影响最大。

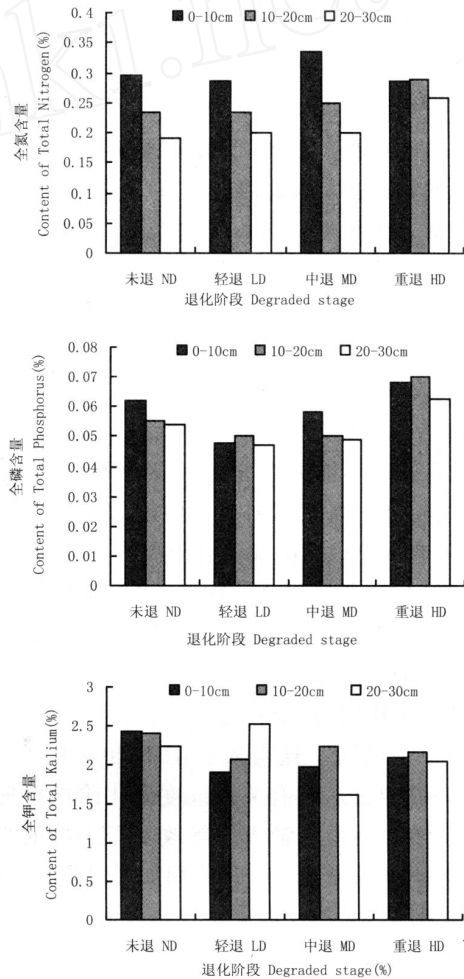


图2 高寒草甸不同退化阶段全价养分含量变化
Fig. 2 Changes of total nitrogen, phosphorus and potassium in different degraded stages of alpine meadow

2.1.3 高寒草甸退化对土壤速效养分含量的影响

土壤中的速效养分能够直接被植物利用,对植物的生长具有迅速而直接的影响。以前的研究发现,在高寒草甸的植物生长过程中,速效养分往往成为植物生长的限制因子^[17-19]。高寒草甸的退化导致土壤表层和中层速效氮的含量降低,下层速效氮的

含量稍微升高,轻度退化阶段土壤中速效氮的含量最低,而重度退化阶段的速效氮含量达到最高值,高于未退化草甸的含量(图3)。在重度退化阶段速效氮含量的升高一方面可能与这一阶段植被的覆盖度低,风蚀、冻融现象严重有关(土壤中的有机物质分解,导致速效氮含量升高);另一方面也可能是在生长季末进入土壤的植物组织的N矿化作用所致^[20](因为重度退化阶段的植物多为毒杂草类,不为牲畜食用,植物组织凋落进入土壤的多)。王在模等^[21]对高山草甸土壤氮挥发的研究表明:高寒草甸生态系统土壤速效氮组分以氨态氮为主,牲畜排泄物是土壤养分补给的重要来源,由于氮挥发的损失,使其中相当数量的氮素被大大地浪费掉,载畜量越大,氮的损失愈甚。而在植物生长旺盛季节,氮挥发损失也出现高峰。在轻度和中度退化阶段,超载过牧的现象严重,一方面牲畜对牧草的需要量大,植物不断进行补偿性生长^[22],需要大量氮素;另一方面,草场载畜多,氮素通过牲畜排泄物挥发的损失也大,导致这两个阶段土壤速效氮的含量偏低。而重度退化阶段生长的毒杂草不能为牲畜利用,氮素相对损失少。

本试验表明,高寒草甸土壤中速效磷的含量变化不大,随着退化程度的加深有升高的趋势,在重度退化阶段的草甸含量最高。同时,表层土壤的速效磷含量明显高于中下层土壤速效磷的含量,这与鲍新奎等^[23]的研究结果一致。高山土壤中的有机磷可发生净矿化作用,其净矿化量随土壤类型而异,且表层大于下层的量。这与表层土壤的微生物活性高,水热条件相对适宜有关。重度退化阶段草甸植被盖度低,啮齿动物大量入侵等改变了土壤的水热条件,导致土壤的侵蚀与矿化作用加强,提高了有机磷的矿化速度。

随着退化程度的加剧,速效钾的含量表现出先升高后降低的变化趋势:在中度退化阶段最高,重度退化阶段最低。各阶段速效钾的分布都明显呈现出随着土层的加深其含量降低。于友民等^[24]对川西北亚高山草甸放牧退化演替研究发现,放牧增加导致土壤表层的速效钾含量升高,重牧区的速效钾含量远高于其他区,认为是由于重牧草地土壤受到严重的家畜粪便污染,进而导致土壤化学性质异常。本研究也发现,在放牧最多的中度退化阶段速效钾的含量最高,并且表层远高于其它样地土层,过度放牧的污染可能是一个重要的因素。

2.2 高寒草甸退化对土壤酶活性的影响

— 54 —

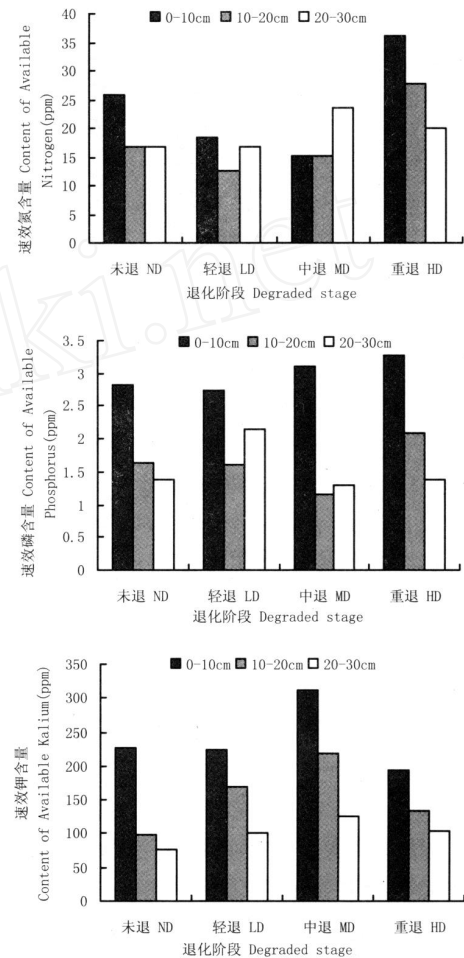


图3 高寒草甸不同退化阶段速效养分含量变化
Fig. 3 Changes of available nitrogen, phosphorus and kalium in different degrade stages of alpine meadow

土壤酶的来源主要有3种:土壤中的微生物、土壤动物、植物根系和植物残体。脲酶为土壤中重要的氧化还原酶,能够酶促有机物质分子中碳氮键(CO-NH)的水解^[12],在土壤的氮素循环中具有重要的作用。不同退化程度高寒草甸的脲酶活性相比较(表1),未退化和轻度退化阶段的脲酶活性高,差异不显著($P > 0.05$);中度退化和重度退化阶段活性降低;方差分析显示,未退化和轻度退化草甸的脲酶活性极显著高于中度退化和重度退化草甸($P < 0.01$)。轻度退化阶段,虽然受到放牧等外界干扰,但是并没有对高寒草甸的植被组成及土壤理化性状等造成太大的影响,土壤脲酶受到土壤腐殖物质或粘粒的保护^[12],所以其活性和未退化阶段相差不大;

表 1 同一样地不同土层间土壤酶活性比较

Table 1 The difference of soil enzyme activities in the same plot of different layers

酶活性 Enzyme activity	土层厚度 Soil depth (cm)	未退 ND	轻退 LD	中退 MD	重退 HD
脲酶活性		1.77 ± 0.75A	1.91 ± 0.13A	1.02 ± 0.12C	1.26 ± 0.51B
	0 ~ 10	2.49 ± 0.34a	3.04 ± 0.26a	1.65 ± 0.25a	1.32 ± 0.68a
	10 ~ 20	1.58 ± 0.09b	1.59 ± 0.09b	0.84 ± 0.06b	1.35 ± 0.12a
	20 ~ 30	1.24 ± 0.07c	1.09 ± 0.08c	0.56 ± 0.63c	1.10 ± 0.13a
蔗糖酶活性		2.25 ± 0.25A	1.77 ± 0.15B	2.09 ± 0.14C	2.22 ± 0.02A
	0 ~ 10	2.25 ± 0.03a	1.77 ± 0.02a	2.10 ± 0.01a	2.24 ± 0.05a
	10 ~ 20	2.23 ± 0.03a	1.79 ± 0.01a	2.08 ± 0.03a	2.20 ± 0.03a
	20 ~ 30	2.28 ± 0.03a	1.77 ± 0.02a	2.10 ± 0.06a	2.22 ± 0.04a

注:同一列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 同一行不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: different lower - case letters in the same row mean significant difference at $P < 0.05$, different capital letters in the same line mean significant difference at $P < 0.05$.

而在中度和重度退化阶段,物种发生变化,植被盖度降低,土壤的含水量、酸碱度、土壤团聚体的结构、微生物类群等都相应的发生变化,最终都导致土壤中脲酶活性显著降低。各退化阶段的脲酶活性都表现出明显的分层现象,随着土层的加深脲酶的活性下降,依次为:上层 > 中层 > 下层(表 1),这与其他学者对酶活性在土层中垂直分布的研究结果相一致^[12,23]。各退化阶段的不同土层脲酶活性的差异显著性分析表明:在退化的前三个阶段(即 ND、SD 和 LD)表层土壤的脲酶活性都极显著高于中层和下层土壤脲酶的活性 ($P < 0.01$),中层土壤脲酶的活性显著高于下层土壤脲酶的活性 ($P < 0.05$);重度退化阶段土壤脲酶的活性没有随土层加深表现出显著差异 ($P > 0.05$)。土壤酶主要来自微生物和植物根系的分泌作用,高寒草甸的植物根系主要分布在土壤 0 ~ 20cm 左右^[25],土壤微生物也主要分布在表层^[26],随土层加深而数量减少,可见脲酶在土壤中的垂直分布与植物根系的分布和微生物的活动密切相关。

蔗糖酶属于土壤酶中的水解酶,可以参与高分子有机化合物的水解反应,使其分解成能被植物和微生物利用的可溶性营养物质,对于土壤中有机物质的转化具有重要的作用。表 1 表明,同一退化样地的三个土层之间蔗糖酶的活性都没有表现出显著差异 ($P > 0.05$),没有表现出随土层加深活性降低的趋势。三江源区由于长期的高寒低温胁迫影响,植物根系和微生物生长期短,活动弱,高寒草甸植物残体及死亡根系得不到充分分解,在土壤中以半分解和未分解有机质的形式形成了根系盘结的草皮层,其下面发育有腐殖质层,地表有明显的立枯积累^[27],这可能是高寒草甸土壤蔗糖酶的活性在土层

中相差不大的原因。不同退化程度高寒草甸之间相比较(表 1),未退化和重度退化草甸之间蔗糖酶的活性没有显著差异 ($P > 0.05$),但是轻度退化草甸和中度退化草甸蔗糖酶的活性低,未退化和轻度退化草甸的蔗糖酶活性差异极显著 ($P < 0.01$),轻度退化草甸和重度退化草甸之间的蔗糖酶活性也出现了极显著差异 ($P < 0.01$)。说明草甸退化对于土壤中蔗糖酶的活性影响比较大。

2.3 土壤酶活性与土壤养分的相关关系

由表 2 可以看出,高寒草甸退化生态系统中,脲酶活性与速效磷的含量相关性最大,与多数其它营养成分呈现出负相关。蔗糖酶的活性与土壤养分的相关性,分别是有机质 > 全磷 > 速效氮 > 全氮,与全钾和速效钾的相关性不大,与速效磷的含量成大的负相关。蔗糖酶和脲酶的活性呈现出负的相关,相关性不显著。土壤脲酶的活性和蔗糖酶的活性与土壤营养成分之间没有表现出明显的相关性,可能与采样所在的高寒草甸生态系统的特殊环境条件和其本身的特殊性有关。土壤酶主要来自植物根系和土壤中的微生物,采样时是 9 月中下旬,在海拔 4000m 左右的高寒草甸,低温霜冻已出现,植物根系和土壤中的微生物生命活动弱,同时低温使土壤中的酶活性降低。张蕴薇等^[28]的研究表明,随着放牧时间的延长和环境条件的恶化,放牧压力对土壤微生物的抑制作用越来越突出的显现出来,导致土壤中微生物减少;龙章富等^[23]的研究结果也表明,随退化程度的加剧,土壤微生物种类减少。高寒草甸在放牧压力下表现出的退化可能对微生物的数量及生命活动也产生了很大的影响。和文祥等^[29]指出,有的研究表明土壤脲酶与土壤有机质、全氮、全磷等性质均呈显著或极显著相关,可作为土壤肥力指标之一;而

有的研究表明脲酶活性与土壤任意理化性质均不显著相关。周瑞莲等^[30]的研究指出,就高寒草甸土而言,无论土壤有机质含量还是土壤酶活性均不能反映土壤肥力。在本研究中所表现出的高寒草甸土壤

蔗糖酶和脲酶与土壤理化性质相关不显著的现象,是采样时的低温气候所致,还是高寒草甸本身所固有的特点,有待在以后的研究中做进一步的分析。

表2 土壤酶活性与土壤养分的相关关系

Table 2 Relationship of soil enzyme activity and soil nutrient

	速效氮 AN	全氮 TN	速效磷 AP	全磷 TP	速效钾 AK	全钾 TK	有机质 OM	脲酶 Ura	蔗糖酶 Suc
速效氮	1.000	0.648	-0.728	0.999 *	-0.666	0.579	0.773	-0.468	0.911
全氮		1.000	-0.994	0.674	0.137	-0.246	0.984	-0.976	0.904
速效磷			1.000	-0.752	-0.026	0.136	-0.998 *	0.946	-0.946
全磷				1.000	-0.639	0.551	0.798	-0.499	0.925
速效钾					1.000	-0.994	-0.042	-0.347	-0.299
全钾						1.000	-0.069	0.449	0.193
有机质							1.000	-0.923	0.966
脲酶								1.000	-0.791
蔗糖酶									1.000

注: *为 $P < 0.05$ 。

Note: * mean $P < 0.05$.

3 结论

3.1 三江源区典型高寒草甸土壤中有机质和全氮的含量变化趋势一致,呈现出比较强的正相关,都是在中度退化阶段含量最高。高寒草甸退化对全磷含量影响最大,随着退化的加剧其含量先降低,在重度退化阶段含量升高;退化导致全钾含量降低。

3.2 高寒草甸退化导致的土壤速效养分含量的变化不一致。在轻度和中度退化阶段速效氮的含量降低,而在重度退化阶段速效氮的含量增加到最高;随着退化程度的加重,速效磷的含量有升高的趋势,其含量也是在重度退化阶段最高;速效钾的含量随着退化程度的加剧,表现出先升高后降低的变化,即到中度退化阶段最高,重度退化阶段降至最低。

3.3 土壤脲酶和蔗糖酶的活性在高寒草甸中随退化程度的不同表现出显著变化。脲酶活性表现出显著的土体层次性差异,随着土层加深活性显著降低;蔗糖酶的活性在不同土层之间差异不明显。草甸退化导致土壤脲酶的活性先升高后降低,在轻度退化阶段最高,在中度和重度退化阶段活性显著降低;土壤蔗糖酶的活性先降低后升高,在轻度退化阶段最低,重度退化阶段稍低于未退化阶段的活性,相差不明显。

3.4 土壤酶活性与土壤养分之间相关不显著。由于采样时已经出现低温霜冻,相关性不显著是低温所致,还是高寒草甸土壤所固有的特点,有待在以后

的工作中作进一步的研究。

参考文献(References):

- [1] 汪诗平. 青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J]. 草业学报, 2003, 12(6): 1-9.
Wang Shiping. Vegetation degradation and protection strategy in the “Three rivers fountainhead” area in the Qinghai province [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(6): 1-9.
- [2] 王根绪, 沈永平, 程国栋. 黄河源区生态环境变化与成因分析[J]. 冰川冻土, 2001, 22(3): 200-205.
Wang Genxu, Shen Yongping, Cheng Guodong. Eco-environmental changes and causal analysis in the source regions of the Yellow River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, 22(3): 200-205.
- [3] 刘伟, 王启基, 王溪, 周立, 李有福, 李发吉. 高寒草甸“黑土型”退化草地的成因及生态过程[J]. 草地学报, 1999, 7(4): 300-307.
Liu Wei, Wang Qiji, Wang Xi, Zhou Li, Li Youfu, Li Fajji. Ecological process of forming “Black-Soil-Type” degraded grassland [J]. *Acta Arestia Sinica*, 1999, 7(4): 300-307.
- [4] 严作良, 周华坤, 刘伟, 周立. 江河源区草地退化状况及成因[J]. 中国草地, 2003, 25(1): 73-78.
Yan Zuoliang, Zhou Huakun, Liu Wei, Zhou Li. Preliminary discuss on grassland degradation in the source region of Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Grassland of China*, 2003, 25(1): 73-78.
- [5] 李海英, 彭红春, 王启基. 高寒矮蒿草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 26-32.
Li Haiying, Peng Hongchun, Wang Qiji. Study on the aboveground biomass of plant communities among the stages of regressive succession in alpine *Kobresia humilis* meadow [J].

- Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13 (5) :26-32.
- [6] 王文颖,王启基. 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析[J]. 草业学报, 2001, 10(3) :8-14.
Wang Wenying, Wang Qiji. The structure and plant species diversity of the degraded ecosystems in alpine *Kobresia* meadow [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2001, 10(3) :8-14.
- [7] 周华坤, 赵新全, 周立, 刘伟, 李英年, 唐艳鸿. 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.
Zhou Huakun, Zhao Xinquan, Zhou Li, Liu Wei, Li Yingnian, Tang Yanhong. A study on correlations between vegetation degradation and soil degradation in the alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14 (3) :31-40.
- [8] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986: 131-133.
Guan Songyin. Soil enzymes and its methodology [M]. Beijing: *Agricultural Press*, 1986:131-133.
- [9] 杨万勤,王开运. 土壤酶研究动态与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5) :564-570.
Yang Wanqin, Wang Kaiyun. Advances on soil enzymology [J]. *Chin J. Appl. Environ. Biol.*, 2002, 8(5) :564-570.
- [10] 周华坤,周立,赵新全,刘伟,严作良,师燕. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5) :51-55.
Zhou Huakun, Zhou Li, Zhao Xinquan, Liu Wei, Yan Zuoliang, Shi Yan. Degradation process and integrated treatment of “black soil beach” grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22 (5) :51-55.
- [11] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.
Soil Science Society of China. Soil agricultural chemical analysis method [M]. Beijing: *China Agricultural Science and Technology Press*, 1999.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社, 1987:275-276.
Zhou Likai. Soil enzymology [M]. Beijing: *Science Press*, 1987:275-276.
- [13] [苏]哈兹耶夫 (郑洪元,周礼恺,张德生译). 土壤酶活性[M]. 北京:科学出版社, 1980:58-60.
(Translated by Zheng Hongyuan, Zhou Likai, Zhang Desheng). Soil enzyme activity [M]. Beijing: *Science Press*, 1980:58-60.
- [14] 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京:科学出版社, 2001:158-159.
Zhou Xingmin. *Kobresia* meadow of China [M]. Beijing: *Science Press*, 2001:158-159.
- [15] 王炜,梁存柱,刘钟龄,郝敦元. 羊草+大针茅草原群落退化演替机理的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4) :468-472.
Wang Wei, Liang Cunzhu, Liu Zhongling, Hao Dunyuan. Mechanism of degradation succession in *Leymus chinensis* + *Stipa grandis* steppe community [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (4) :468-472.
- [16] 董全民,赵新全,李青云,马玉寿,李有福,李发吉. 小嵩草高寒草甸的土壤养分因子及水分含量对牦牛放牧率的响应. 冬季草场土壤营养因子及水分含量的变化[J]. 土壤通报, 2005, 36(4) :493-500.
Dong Quanmin, Zhao Xinquan, Li Qingyun, Ma Yushou, Li Youfu, Li Faji. Responses of soil nutrient contents and water to stocking rates for yaks in *Kobresia parva* alpine meadow. Changes of soil nutrient contents and water on winter pasture [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4) :493-500.
- [17] 曹广民,张金霞,鲍新奎,周党卫. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. 生态学报, 1999, 14(9) :514-518.
Cao Guangmin, Zhang Jinxia, Bao Xinkui, Zhou Dangwei. The phosphorus cycling in an alpine meadow ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 14 (9) :514-518.
- [18] 鲍新奎,赵宝莲,曹广民. 高山土壤有机磷的净矿化作用[C]//高寒草甸生态系统. 北京:科学出版社, 1991:227-236.
Bao Xinkui, Zhao Baolian, Cao Guangmin. Net mineralization of organic phosphorus in alpine soil [C]// *Alpine meadow ecosystem*. Beijing: *Science Press*, 1991:227-236.
- [19] 张金霞,曹广民. 高寒草甸生态系统氮素循环[J]. 生态学报, 1999, 14(9) :509-512.
Zhang Jinxia, Cao Guangmin. The nitrogen cycle in an alpine meadow ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 14 (9) :509-512.
- [20] H A Ajwa, C J Dell, C W Rice. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31 :769-777.
- [21] 王在模,乐炎舟,陈伟民. 高山草甸土氮挥发的研究[C]//高寒草甸生态系统. 1991:219-225.
Wang Zaimo, Le Yanzhou, Chen Weimin. Studies on ammonia volatilization in alpine meadow soil [C]// *Alpine meadow ecosystem*. Beijing: *Science Press*, 1991:219-225.
- [22] 汪诗平,王艳芬. 不同放牧率下糙隐子草种群补偿性生长的研究[J]. 植物学报, 2001, 43(4) :413-418.
Wang Shiping, Wang Yanfen. Study on over-compensation growth of *Cleistogenes squarrosa* population in Inner Mongolia steppe [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43 (4) :413-418.
- [23] 朱丽,郭继勋,鲁萍,朱湘宁. 松嫩羊草草甸羊草、碱茅群落土壤酶活性比较研究[J]. 草业学报, 2002, 11(4) :28-34.
Zhu Li, Guo Jixun, Lu Ping, Zhu Xiangning. Comparative studies on the seasonal dynamics of the soil enzymic activities of *Leymus chinensis* and *Puccinellia tenuiflora* communities in Songnen *Leymus chinensis* meadow [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(4) :28-34.
- [24] 于友民,李志丹,王钦,泽柏,罗光荣,任永宽,陈愉. 川西北亚高山草甸放牧退化演替研究[J]. 草地学报, 2005, 13(增刊) :48-52.
Yu Youmin, Li Zhidan, Wang Qin, Ze Bai, Luo Guangrong, Ren Yongkuan, Chen Yu. Study on grazing degeneration succession of subalpine meadow in northwestern of Sichuan prov-

- ince[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13:48-52.
- [25] 蒲继延,李英年,赵亮,杨时海. 矮嵩草草甸生物量季节动态及其与气候因子的关系[J]. 草地学报, 2005, 13(3):239-241.
Pu Jiyan, Li Yingnian, Zhao Liang, Yang Shihai. The relationship between seasonal changes of *Kobresia humilis* meadow biomass and the meteorological factors [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(3):239-241.
- [26] 龙章富,刘世贵. 退化草地土壤农化性状与微生物区系研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2):192-200.
Long Zhangfu, Liu Shigui. Soil agrochemical properties and microbiota of degraded grasslands[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(2):192-200.
- [27] 王启兰,曹广民,姜文波,宋磊. 高寒湿地植物残体降解的动态分析[J]. 草业学报, 2004, 13(4):39-44.
Wang Qilan, Cao Guangmin, Jiang Wenbo, Song Lei. Analysis of plant residue decomposition dynamics in alpine swamp meadow[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(4):39-44.
- [28] 张蕴薇,韩建国,韩永伟,牛忠联. 不同放牧强度下人工草地土壤微生物量碳、氮的含量[J]. 草地学报, 2003, 11(4):343-345.
Zhang Yunwei, Han Jianguo, Han Yongwei, Niu Zhonglian. The content of soil micro-biomass carbon and nitrogen of different grazing intensities on pasture[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(4):343-345.
- [29] 和文祥,朱铭莪. 陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析[J]. 土壤学报, 1997, 34(4):392-398.
He Wenxiang, Zhu Ming'e. Relationship between Urase activity and fertility of soils in Shanxi province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4):392-398.
- [30] 周瑞莲,张普金,徐长林. 高寒山区火烧土壤对其养分含量和酶活性的影响及灰色关联分析[J]. 土壤学报, 1997, 34(1):89-96.
Zhou Ruilian, Zhang Pujin, Xu Changlin. Effect of burning turf on nutrient contents and enzymatic activities of alpine meadow soil and its grey relationship analysis[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(1):89-96.
- [31] 杨成德,龙瑞军,陈秀蓉,徐长林,王进明. 东祁连山不同高寒草地类型土壤表层碳、氮、磷密度特征[J]. 中国草地学报, 2008, 30(1):1-5.
Yang Chengde, Long Ruijun, Chen Xiurong, Xu Changlin, Wang Jinming. Characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus density in top soil under different alpine grasslands on the Eastern Qilian Mountains[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 34(1):89-96.

Effect of Typical Alpine Meadow Degradation on Soil Enzyme and Soil Nutrient in Source Region of Three Rivers

LI Yi-kang¹, HAN Fa¹, RAN Fei^{1,2}, BAO Su-ke^{1,2}, ZHOU Hua-kun¹

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract : The effect of alpine meadow degradation on soil enzyme and soil nutrient in source region of three rivers were studied. The results showed that the effect of degradation on the soil organic matter and total N were almost the same: the contents ascended first then descended, in heavily degradation stage the contents descended in the upper layer but ascended in middle layer and lowest layer; the contents of total P descended first with the degradation and ascended high in heavily degradation stage; the contents of total K descended with the soil degradation. The variance of available nutrient were different: the contents of available N descended in lightly degradation stage and moderately degradation stage, and ascended in heavily degradation stage; the contents of available P was in a tendency of ascending; the contents of available K ascended first then descended. The activity of Urase and Sucrase in different degradation stages showed significant variance ($P < 0.05$); the activity of Urase in different soil layers were significant ($P < 0.05$); Sucrase activity showed no significant variance in different soil layers. The activities of soil Urease and Sucrase had no significant correlation with soil nutrient.

Key words : Source region of three rivers; Alpine meadow degradation; Soil enzyme; Soil nutrient