

# 不同退化程度高寒草原土壤微生物活性变化特征研究\*

蔡晓布 周进 钱成

(西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏林芝 860000)

**摘要** 以紫花针茅草原为研究对象, 选择成土母质、土壤质地一致的区域 4 个, 分别在冷季、暖季于每个区域的正常草地和轻度、中度、严重退化草地内按网格法采集土壤样品, 分析测定了土壤微生物 (细菌、真菌、放线菌) 数量、土壤微生物量 (C、N)、土壤酶 (纤维素酶、脲酶、碱性磷酸酶) 活性。结果表明, 高寒、干旱条件下, 草地退化程度、季节变化对高寒草原土壤生物活性均具有显著影响。暖季、冷季土壤细菌数量、微生物量 (C、N)、酶活性 (纤维素分解酶、脲酶、碱性磷酸酶) 间均存在着相似甚至高度相关的变化趋势, 暖季土壤生物活性基本呈轻度退化草地 > 正常草地 > 中度退化草地 > 严重退化草地; 暖季真菌、放线菌数量与微生物量、酶活性间分呈不同程度的正相关和负相关, 冷季则呈相反趋势。不同季节间, 冷季土壤生物活性较暖季总体呈显著下降趋势。其中, 正常草地和轻度、中度、严重退化草地土壤细菌暖季/冷季比分别为 206.0、251.7、18.4 和 87.4, 真菌、放线菌分别为 14.7、1132.0、6.0、9 和 0.1、10.5、10.0、14.9。微生物量 (C、N) 暖季/冷季比均呈轻度退化草地 > 正常草地 > 中度退化草地 > 严重退化草地, 但微生物量氮的季节差异较大; 暖季、冷季  $B_C/B_N$  比值亦基本呈同一趋势, 冷季各类草地  $B_C/B_N$  值均明显高于暖季; 各类草地  $B_C/T_C$ 、 $B_N/T_N$  除严重退化草地外均呈暖季 > 冷季的趋势。暖季土壤脲酶活性远高于其他酶类, 且暖季/冷季比 (31.5 ~ 781.5) 差异极大; 冷季土壤纤维素分解酶, 特别是碱性磷酸酶活性普遍高于暖季, 暖季/冷季比分别在 0.46 ~ 1.01 和 0.40 ~ 1.37 之间。

**关键词** 土壤微生物区系; 土壤微生物量; 土壤酶活性; 藏北高寒草原

**中图分类号** Q948.113; S154.2 **文献标识码** A

青藏高原高寒草地生态系统具有十分重大的生态地位, 因其所处环境严酷、生态脆弱, 在全球变化, 特别是在过度放牧等因素的综合影响下, 已呈现出严重的退化态势<sup>[1]</sup>。草地退化不仅是草地植被的退化, 更重要的是草地土壤环境的退化<sup>[2]</sup>。作为土壤的重要组成部分, 土壤微生物在土壤形成和演化过程中起着主导作用<sup>[3]</sup>, 并可用来较早地预测土壤有机质乃至土壤环境的变化过程, 是土壤质量和土壤恢复性能评价的一项重要指标<sup>[4~7]</sup>。近年来, 我国对青藏高原高寒草甸的研究主要集中于土壤微生物区系、特定生理种群等方面<sup>[8~11]</sup>。长期以来, 国际上对青藏高原土壤的特殊演化规律甚为关注。因此, 研究不同程度退化草地土壤微生物活性的季节变化及其相互关系, 可以进一步加深我们对高原土壤生态过程的认识。本研究以我国西藏面积最大的草地类型——高寒草原为研究对象, 通过土壤相对质量评价法<sup>[12]</sup>, 即以正常草地具代表性的各项测试指标为标准, 比较不同程度退化草地土壤肥力的相对变化, 分析高寒草原土壤微生物群落组

成、土壤微生物生物量、土壤酶活性等的季节变化及其相互关系, 为揭示高寒草原土壤肥力的变化特征及其过程提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域概况

藏北高原 (29°56' ~ 36°41' N, 83°52' ~ 95°01' E) 地处青藏高原腹地, 平均海拔 4 300 ~ 5 200 m, 是我国高寒草原 (高寒条件下由多年生旱生草本植物所构成的草地生态系统) 的主要分布区。该区域属高原大陆性气候, 年平均气温 0 ~ 3 °C, 全年无绝对无霜期, 0 °C 年积温 800 ~ 1 100 °C; 年降水量 100 ~ 300 mm (6 月至 9 月占 90% 以上), 年蒸发量 2 000 mm 左右; 年瞬时风速 17.0 m s<sup>-1</sup> 日数达 100.3 ~ 158.2 d, 是我国大风日数最多的地区之一<sup>[13]</sup>。全年分冷、暖两季, 暖季 (6 月至 9 月)、冷季 (10 月至 5 月) 月平均气温分别为 6.7 ~ 8.4 °C、14.2 ~ 15.6 °C, 10 cm 深平均地温分别为 - 5.1 ~ - 7.3 °C、- 0.1 ~

\* 国家自然科学基金项目 (40461005、40761015)、国家科技支撑计划重大项目 (2007BAC06B04) 和教育部重点研究项目 (206140) 资助

作者简介: 蔡晓布 (1962 ~), 男, 河南开封市人, 教授, 从事土壤生态与植物营养研究工作。E-mail: caitw21@sohu.com

收稿日期: 2007 - 06 - 30; 收到修改稿日期: 2007 - 10 - 23

- 0.7<sup>〔1〕</sup>。由于高寒、干旱,藏北高寒草原土壤的生物与化学作用相对较弱,成土过程极为缓慢,土壤质地轻粗、土层浅薄,土壤结构性及地表水状况普遍较差,土壤有机质和矿质养分匮乏<sup>〔13〕</sup>。近几十年来,由于畜牧业的快速发展,以草地沙漠化、植被稀疏化为主的草地退化过程不断加剧。

### 1.2 布点采样

本研究以高寒草原中最具代表性的紫花针茅 (*Stipa purpurea*) 草原为研究对象,于 31°27' ~ 32°02' N、91°41' ~ 92°48' E 范围内,选择成土母质(湖积物)、土壤类型(普通寒冻钙土)、土壤质地(砂砾土)一致的区域 4 个,每个区域间隔 40 ~ 50 km,分布海拔 4 550 ~ 4 740 m。按张金屯<sup>〔14〕</sup>退化草

地划分标准,于各区域分别选择正常草地(植物生长正常,植被盖度 > 95%)、轻度退化草地(植被盖度下降 20% ~ 35%,地被物明显减少)、中度退化草地(植被盖度下降 35% ~ 60%,地被物显著下降)、严重退化草地(植被盖度下降 60% ~ 85%,地表基本裸露),各等级草地面积不小于 1 hm<sup>2</sup>。分别在每个区域不同等级草地上随机确定 3 个采样点,于冷季(5月上旬)、暖季(8月下旬)按网格法采集土壤样品,即以每个采样点为中心,在半径 3 m 的范围内,用内径 4 cm 的土钻分别按 2 ~ 10 cm 土层各随机取 10 钻土样组成 1 个混合土样。首次(5月初)采样时,以 GPS 标注采样点位置并预留标志,以备再次(8月下旬)采样。各等级草地的基本性状见表 1。

表 1 不同退化程度高寒草原土壤状况及地下生物量

Table 1 The soil conditions and root biomass in alpine steppes different in degradation intensity

草地状态 State	土壤状况 Soil condition	草根 生物量 Root biomass (g m <sup>-2</sup> )	土层 Soil layer (0 ~ 10 cm)				pH
			有机质		含水量		
			Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )		Moisture content (g kg <sup>-1</sup> )		
			暖季	冷季	暖季	冷季	
			Warm-season	Cold-season	Warm-season	Cold-season	
正常草地 Normal steppe	正常 No desertification	1 988	39.22	39.22	141.2	128.8	8.73
轻度退化草地 Slightly degraded steppe	轻度沙化 Light desertification	2 493	48.36	48.31	115.1	72.4	8.33
中度退化草地 Moderately degraded steppe	中度沙化 Moderately desertification	1 356	23.43	23.32	59.3	31.5	7.43
严重退化草地 Severely degraded steppe	严重沙化 Severe desertification	217.3	10.85	10.64	19.5	10.3	7.75

### 1.3 样品分析与数据统计

土壤微生物数量测定采用稀释倾注平板涂布法<sup>〔15〕</sup>,土壤微生物量碳、氮测定采用氯仿熏蒸浸提法<sup>〔16〕</sup>,土壤纤维素酶 (Glucose μg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)、脲酶 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N μg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)、碱性磷酸酶 (*p*-Nitrophenol μg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) 活性测定分别采用 3,5-二硝基水杨酸比色法、靛酚蓝比色法和磷酸苯二钠比色法<sup>〔17〕</sup>。土壤有机质、pH 测定分别采用重铬酸钾容量法-外加热法、电位法<sup>〔18〕</sup>。相关分析、差异显著性测验分别采用 DPS 软件和 LSR 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤微生物群落的变化

不同季节,草地土壤微生物群落构成及变化由

表 2 可见,在暖季,轻度退化草地细菌、放线菌,特别是真菌数量较正常草地均呈显著增加,B/F 值(细菌/真菌数量比)较正常草地大幅度降低;随草地退化加剧,细菌、真菌数量均呈显著下降,放线菌则仍呈显著增加,中度、严重退化草地 B/F 值远高于正常草地。在冷季则明显不同,各类退化草地土壤细菌、真菌数量较正常草地均呈显著增加,且增幅随草地退化加剧而显著提高;土壤放线菌数量虽均低于正常草地,但亦呈随草地退化加剧而显著增加的趋势。同时,各类退化草地 B/F 值变化趋势仍与暖季一致。

同一退化程度草地的土壤细菌、真菌、放线菌数量的季节变化具有很大差异。正常草地和轻度、中度、严重退化草地中,土壤细菌暖季/冷季比分别为 206.0、251.7、18.4 和 87.4,冷季土壤细菌数量较暖季均呈大幅度下降,尤以轻度退化草地季节变化

(1) 西藏自治区气象局资料, 1996 年至 2000 年

最为剧烈;土壤真菌暖季/冷季比分别为 14.7、1.132、0.6和 0.9,轻度退化草地土壤真菌的季节变化极为悬殊,远高于轻度退化草地土壤细菌暖季/

冷季比,中度、严重退化草地真菌暖季/冷季比则均小于 1,说明其在冷季较暖季略呈增加;放线菌暖季/冷季比分别为 0.1、10.5、10.0和 14.9。

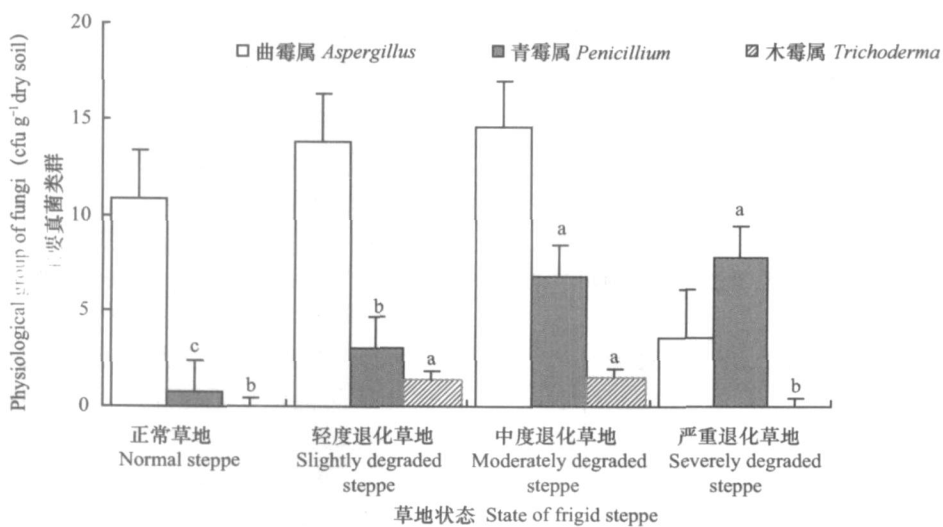
表 2 退化高寒草原土壤微生物区系构成 (cfu g<sup>-1</sup> dry soil)  
Table 2 Soil microflora in alpine steppes different in degradation intensity

草地状态 State	细菌 Bacteria( ×10 <sup>8</sup> )		真菌 Fungi( ×10 <sup>4</sup> )		放线菌 Actinomycetes ( ×10 <sup>6</sup> )		细菌/真菌比 Bacteria/Fungi	
	暖季 Warm -season	冷季 Cold -season	暖季 Warm -season	冷季 Cold -season	暖季 Warm -season	冷季 Cold -season	暖季 Warm -season	冷季 Cold -season
正常草地 Normal steppe	30.9 b	0.15 d	4.12 b	0.28 b	0.72 d	5.42 a	7.5 ×10 <sup>4</sup>	5.4 ×10 <sup>3</sup>
轻度退化草地 Slightly degraded steppe	45.3 a	0.18 c	453.0 a	0.40 ab	4.08 c	0.39 d	1.0 ×10 <sup>3</sup>	4.5 ×10 <sup>3</sup>
中度退化草地 Moderately degraded steppe	23.7 d	1.29 a	0.20 c	0.34 b	19.70 a	1.97 b	1.2 ×10 <sup>6</sup>	3.8 ×10 <sup>4</sup>
严重退化草地 Severely degraded steppe	29.7 c	0.34 b	0.40 c	0.46 a	13.70 b	0.92 c	7.4 ×10 <sup>5</sup>	7.4 ×10 <sup>3</sup>

注: 用 LSR 法计算处理间差异, 同列不同字母表示差异显著性达 5%水平 Note: Difference between treatments is calculated with the LSR method. Means followed by the same letter in a column are not significantly different at p = 0.05

本研究发现 (图 1), 轻度、中度退化草地土壤的曲霉、木霉数量均显著高于正常草地, 青霉数量则随草地退化加剧而呈显著增加。其中, 曲霉随土壤含水量提高 (即随土壤冻结程度增加) 而增加, 青霉随土壤有机质含量下降而增加。均与其一般生理特性不符<sup>[3,19]</sup>。

表 3 可见, 暖季土壤含水量、有机质含量、pH 与土壤细菌、真菌数量均呈不同程度的正相关, 与土壤放线菌均呈显著或极显著负相关; 冷季则呈相反趋势。可见, 藏北高原的季节变化对土壤微生物区系的影响不同。



注: 用 LSR 法计算处理间差异, 同列不同字母表示差异显著性达 5%水平 Note: Difference between treatments is calculated with the LSR method. Means followed by the same letter in a column are not significantly different at p ≤ 0.05

图 1 退化高寒草原冷季主要土壤真菌类群数量

Fig. 1 Physiological group of fungus in alpine steppes different in degradation intensity in cold season

表 3 土壤因子与土壤微生物学因子的相关性  $r$ 

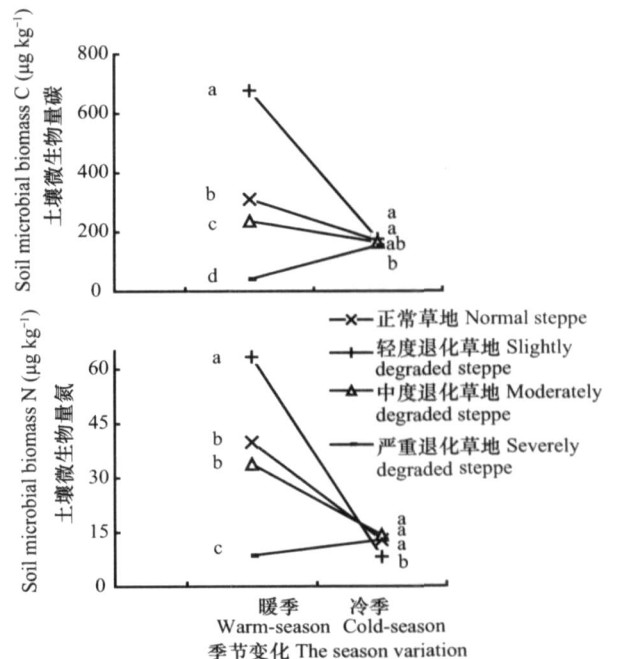
Table 3 Correlation of edaphic factor with soil microflora, microbial biomass, enzyme activity

	有机质 Organic matter		含水量 Moisture content		pH	
	暖季	冷季	暖季	冷季	暖季	冷季
	Warm-season	Cold-season	Warm-season	Cold-season	Warm-season	Cold-season
细菌 Bacteria	0.726 <sup>*</sup>	-0.412	0.468	-0.504 <sup>*</sup>	0.550 <sup>*</sup>	-0.817 <sup>**</sup>
真菌 Fungi	0.722 <sup>*</sup>	-0.436	0.388	-0.784 <sup>*</sup>	0.317	-0.453
放线菌 Actinomycetes	-0.753 <sup>*</sup>	0.202	-0.833 <sup>**</sup>	0.761 <sup>*</sup>	-0.991 <sup>**</sup>	0.560 <sup>*</sup>
微生物量碳 Microbial biomass C	0.931 <sup>**</sup>	0.978 <sup>**</sup>	0.701 <sup>**</sup>	0.688 <sup>*</sup>	0.494	0.216
微生物量氮 Microbial biomass N	0.958 <sup>**</sup>	-0.702 <sup>*</sup>	0.783 <sup>**</sup>	-0.221	0.506	-0.083
脲酶 Urease	0.981 <sup>**</sup>	0.139	0.972 <sup>**</sup>	0.728 <sup>*</sup>	0.783 <sup>**</sup>	-0.635 <sup>*</sup>
磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.729 <sup>*</sup>	0.188	0.449	0.474	0.067	0.130
纤维素酶 Cellulase	0.767 <sup>**</sup>	0.852 <sup>**</sup>	0.680 <sup>*</sup>	0.957 <sup>**</sup>	0.223	-0.489

## 2.2 土壤微生物生物量的变化

图 2 所示,暖季土壤微生物量碳与微生物量氮间呈极显著正相关 ( $r = 0.9781^{**}$ ,  $R^2 = 0.9566$ ,  $n = 4$ ),微生物量碳、微生物量氮含量均呈轻度退化草地 > 正常草地 > 中度退化草地 > 严重退化草地,且差异显著 ( $p = 0.05$ )。微生物量碳在不同程度退化草地中的增、减幅度均明显高于微生物量氮。冷季土壤微生物量碳与微生物量氮间则呈显著负相关 ( $r = -0.6418^*$ ,  $R^2 = 0.4119$ ,  $n = 4$ ),各类草地间微生物量碳、微生物量氮含量的差异不甚显著;正常草地和轻度、中度退化草地微生物量碳、微生物量氮较暖季均呈大幅度下降,而严重退化草地则呈明显上升。从表 4 可以看出,微生物量碳、微生物量氮暖季/冷季比值均呈轻度退化草地 > 正常草地 > 中度退化草地 > 严重退化草地 ( $< 1.0$ ),这反映了不同季节草地土壤环境的变化程度及其对土壤微生物活性的影响。

本研究表明,暖、冷季的  $B_C/B_N$  与  $T_C/T_N$  间关系均甚密切,相关系数分别为  $0.9085^{**}$ 、 $0.6307^*$ ,  $n = 4$ 。表 4 可见,暖、冷季的  $B_C/B_N$  变化基本一致,均呈轻度退化草地 > 正常草地 > 中度退化草地 > 严重退化草地的趋势,但暖季各类草地  $B_C/B_N$  均明显小于冷季,表明冷季对土壤微生物量氮的不利影响更为突出,尤以轻度退化草地为甚。暖季  $B_C/T_C$ 、



注:用 LSR 法计算处理间差异,同列不同字母表示差异显著性达 5% 水平  
Note: Difference between treatments is calculated with the LSR method.  
Means followed by the same letter in a column are not significantly different at  $p \leq 0.05$

图 2 退化高寒草原土壤微生物量碳、微生物量氮  
Fig. 2 Microbial biomass C and microbial biomass N in alpine steppes different in degradation intensity

$B_N/T_N$ 变化基本与微生物量变化趋势一致,冷季则与微生物量变化趋势相反。不同季节间,除严重退化草地,其他各类草地  $B_C/T_C$ 、 $B_N/T_N$ 均呈暖季大于冷季。统计分析表明(表3),暖季土壤微生物量碳、

微生物量氮与土壤有机质、含水量均呈极显著正相关;冷季,只有土壤微生物量碳与土壤有机质、含水量呈显著正相关。

表4 退化高寒草原土壤微生物量碳、微生物量氮比

Table 4 Microbial biomass C/N in alpine steppes different in degradation intensity

草地状态 State	微生物量碳 与微生物量氮比 Microbial biomass C/Microbial biomass N		土壤全碳 与全氮比 Total C/ Total N		微生物量碳 与土壤全碳比 Microbial biomass C/ Total C (%)		微生物量氮 与土壤全氮比 Microbial biomass N/ Total N (%)		暖季/冷季 The ratio of warm-season to cold-season	
	暖季 Wam -season	冷季 Cold -season	暖季 Wam -season	冷季 Cold -season	暖季 Wam -season	冷季 Cold -season	暖季 Wam -season	冷季 Cold -season	微生物 量碳 Microbial biomass C	微生物 量氮 Microbial biomass N
	正常草地 Normal steppe	7.8	13.2	11.0	10.9	1.37	0.75	1.94	0.62	1.8
轻度退化草地 Slightly degraded steppe	10.7	21.6	11.9	12.2	2.41	0.63	2.70	0.36	3.9	7.8
中度退化草地 Moderately degraded steppe	7.0	11.6	10.0	10.3	1.74	1.22	2.49	1.08	1.4	2.4
严重退化草地 Severely degraded steppe	4.8	12.0	5.9	6.2	0.65	2.48	0.80	1.28	0.3	0.7

### 2.3 土壤酶活性的变化

图3所示,与正常草地相比,暖季轻度退化草地3种土壤酶活性均呈显著提高;中度退化草地中纤维素酶、碱性磷酸酶活性亦呈同一趋势,仅脲酶活性显著降低;严重退化草地3种土壤酶活性则均呈显著下降。暖季各类草地中土壤脲酶活性均远高于其他酶类,分别为纤维素酶、碱性磷酸酶的155.3倍~1761倍和31.5倍~781.5倍。高寒草原土壤氮循环速率相对较高<sup>[20]</sup>,纤维素酶、碱性磷酸酶活性反映了高寒草地有机残体易累积、有效磷含量低的实际情况<sup>[13]</sup>。冷季,各类退化草地3种土壤酶活性较正常草地均呈不同程度的降低,但土壤脲酶活性在各类草地间无显著差异,土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性则随草地退化加剧而呈显著下降的趋势。

不同土壤酶活性对土壤环境季节变化的敏感程度具有很大差异。脲酶活性对土壤环境变化极为敏感,冷季不同草地均呈急剧下降,暖季/冷季比不仅远高于其他土壤酶类,且随草地退化加剧而呈大幅下降(轻度退化草地明显高于正常草地)。土

壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性的季节差异均不甚显著,除轻度退化草地碱性磷酸酶、中度退化草地纤维素酶活性外,其他各类草地暖季/冷季比均小于1.0,冷季酶活性反呈提高趋势(图3,表5)。此外,从表6可以看出,不同季节3种土壤酶活性间均呈极显著或显著正相关。

### 2.4 土壤微生物学因子的相关关系

据统计分析,季节变化对土壤微生物学因子间相关性的影响程度明显不同。暖季,土壤微生物学因子间的相互促进作用整体上明显高于冷季。由表6可以看出,暖季土壤微生物数量(细菌、真菌)、微生物量(碳、氮)、酶活性间存在着相似甚至高度相关的变化趋势,冷季土壤微生物(细菌、放线菌)数量、微生物量(碳、氮)、酶活性间亦以不同程度的正相关为主。但是,暖季土壤放线菌、冷季土壤真菌与微生物量(碳、氮)、酶活性间则均呈不同程度的负相关。土壤细菌、真菌与微生物量(碳、氮)的相关性明显较高,与土壤酶活性的相关性则相对较低。暖季3种土壤酶活性与微生物量碳、微生物量氮间均呈显著或极显著正相关。

表 5 高寒草原土壤酶活性暖季/冷季比

Table 5 Ratio of soil enzyme activity in warm-season to soil enzyme activity in cold-season in alpine steppes

草地状态 State	纤维素酶 Cellulase	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
正常草地 Normal steppe	0.59	529.8	0.40
轻度退化草地 Slightly degraded steppe	0.74	781.5	1.37
中度退化草地 Moderately degraded steppe	1.01	304.7	0.73
严重退化草地 Severely degraded steppe	0.46	31.54	0.19

表 6 不同季节土壤微生物区系、微生物量、土壤酶活性间的相互关系 r

Table 6 Correlation of soil microflora, with microbial biomass and enzyme activity

		细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	微生物 量碳 Microbial biomass C	微生物 量氮 Microbial biomass N	纤维素 酶 Cellulase	脲酶 Urease	磷酸酶 Alkaline phosphatase
细菌	暖季	1.000	0.941**	-0.655*	0.834**	0.711*	0.261	0.599*	0.560
Bacteria	冷季	1.000	-0.129	-0.144	-0.214	0.585*	0.682*	-0.178	0.496
真菌	暖季		1.000	-0.425	0.906**	0.801**	0.452	0.573*	0.781*
Fungi	冷季		1.000	-0.861**	-0.475	-0.335	-0.542	-0.812**	-0.936**
放线菌	暖季			1.000	-0.577*	-0.543	-0.206	-0.780*	-0.120
Actinomycetes	冷季			1.000	0.148	0.457	0.564*	0.996**	0.733*
微生物量碳	暖季				1.000	0.978**	0.750*	0.846**	0.882**
Microbial biomass C	冷季				1.000	-0.642*	0.745*	0.073	0.287
微生物量氮	暖季					1.000	0.861**	0.906**	0.894**
Microbial biomass N	冷季					1.000	-0.477	0.483	0.551
纤维素酶	暖季						1.000	0.773*	0.865**
Cellulase	冷季						1.000	0.535	0.215
脲酶	暖季							1.000	0.636*
Urease	冷季							1.000	0.683*
磷酸酶	暖季								1.000
Alkaline phosphatase	冷季								1.000

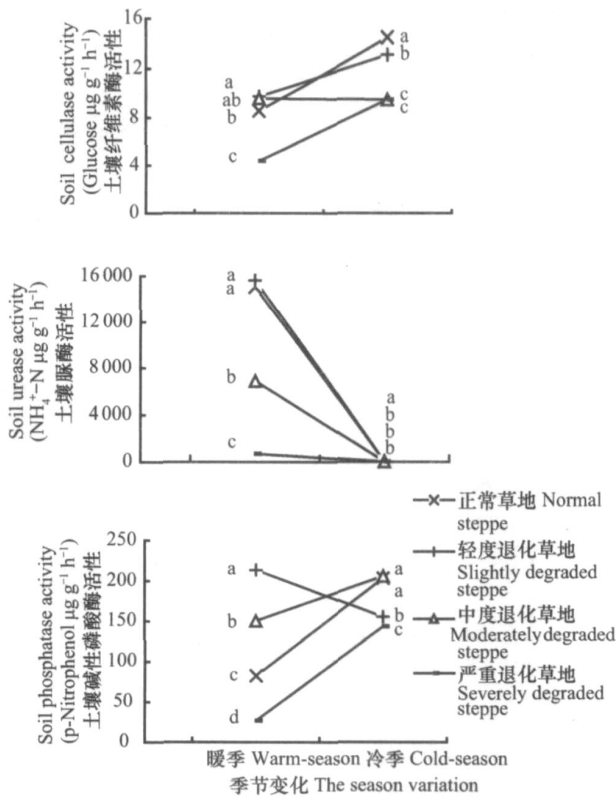
Warm-season, Cold-season

### 3 讨论

土壤生物活性与土壤水、热状况密切相关<sup>[3,19]</sup>。藏北高原低温、寒冻条件下,尽管正常草地光合产物量及年凋落物、分泌物量较大,但因植被盖度高,土壤保水性能较强,土壤冻结期相对较长,从而强烈地抑制着土壤微生物的生命活动,致使土壤有机

残体难以分解、转化而大量积累<sup>[13]</sup>。这不仅是正常高寒草原土壤的一个突出特征,同时也是探讨、阐明有关问题的一个基本前提。

一般而言,由于草地生态系统的复杂性、滞后性和弹性,草地退化对土壤性质的影响不尽相同<sup>[21]</sup>。本研究表明的暖季轻度退化草地土壤生物活性较正常草地总体提高的趋势是研究过程中发现的一个重要问题,似乎与一般生态演替规律相



注:用LSR法计算处理间差异,同列不同字母表示差异显著性达5%水平  
 Note: Difference between treatments is calculated with the LSR method. Means followed by the same letter in a column are not significantly different at  $p \leq 0.05$

图 3 退化高寒草原土壤酶活性

Fig. 3 Soil enzyme activity in alpine steppes different in degradation intensity

反,值得深入研究。推测可能与其一定程度的土壤沙化过程有关。此条件下,由于该类草地土壤通透性能有所提高,且土壤含水量明显低于正常草地(表 1),故土壤冻结程度较低、冻结期较短,加之暖季降水集中,促进了微生物对土壤中尚存的大量有机残体、新近产生的各类有机物质(主要由 C/N 比大的禾本科针茅属植物有机残体构成)中所含生物有效性氮,特别是碳源的利用,有利于微生物的繁殖和群落结构的改善,微生物量碳、微生物量氮得以显著提高,  $B_C/B_N$  亦较适宜,使主要由微生物分泌的土壤酶的数量和活性不断增加,促进表层土壤根系生物量亦呈增加(表 1)。这与高寒草原轻度退化阶段地下生物量、有机质均呈增加<sup>[21]</sup>,以及适度干旱可促进根系发育,增加地下/地上生物量比值的有关研究结果相吻合<sup>[22]</sup>。

应特别指出的是,藏北高寒草原轻度退化阶段植物地下生物量的增加,并不能弥补因地表植被盖度下降所产生的不利影响。同时,从全球碳循环的

角度看,轻度退化草地土壤生物活性和有机质的增加,即土壤生物分解过程的促进作用亦并非有利<sup>[23]</sup>。有关研究表明<sup>[24]</sup>,在藏北高原这种极为脆弱的极端环境中,草地土壤一旦沙化,原生植被的自然恢复将极为困难甚至不可逆转,其他植物亦难以自然定植,这与北方退化草地因植物入侵所导致的草地生物量增加明显不同<sup>[25]</sup>。在日趋严重的风蚀、过牧等因素的强烈影响下,草地沙漠化的进一步发生、发展将不可避免<sup>[1]</sup>。而随中度、严重退化草地土壤沙化程度的加大,以及土壤残存有机物质和有机质的逐步矿化、分解,土壤微生物所需能源物质渐趋匮乏和严重不足,加之土壤持水性能下降和土壤干旱程度不断加剧,微生物生存环境愈趋恶化,土壤生物活性即呈显著降低的趋势。

藏北高原生态条件下,由于多种土壤因子的综合影响,特别是关键土壤因子的主导作用,不同季节土壤环境对土壤微生物的影响机制亦存在着明显差异。从暖季看,可以认为一定土壤含水量和 pH 范围内,土壤有机质与土壤生物活性间的刺激机制更为明显。从冷季看,由于气温(地温)急剧下降、降水稀少,从而导致各类草地土壤生物活性在总体上较暖季均呈大幅度降低的趋势。但是,冷季不同等级退化草地土壤细菌、真菌数量不同程度地高于正常草地,以及轻度和中度退化草地微生物量碳、中度和严重退化草地微生物量氮与正常草地均无显著差异等现象则可能仍与正常草地土壤水分变化不甚显著,土壤冻结期较长、冻结程度较大有关。同时,从表 1 可以看出,草地退化程度愈大,则不同季节土壤含水量愈低、冷季土壤水分绝对减少量愈少。可见,冷季退化草地土壤生物活性的上述变化趋势与土壤沙化程度提高、土壤含水量下降所导致的土壤冻结程度的显著降低,以及土壤含水量季节差渐趋缩小等有着直接关系。

参考文献

[1] 钟祥浩. 国内外学术界一直关注的问题:青藏高原研究. 山地学报, 2005, 23(3): 257 ~ 259. Zhong X H. Pay close attention to an issue at home and abroad academic circles all along: research of the Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Journal of Mountain Science, 2005, 23(3): 257 ~ 259

[2] 李绍良, 陈有君, 关世英, 等. 土壤退化与草地退化关系的研究. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 92 ~ 95. Li S L, Chen Y J, Guan S Y, et al. Relationships between soil degradation and rangeland degradation (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2002, 16(1): 92 ~ 95

[3] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 50 ~ 64.

- Huang C Y. Soil Science (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000. 50 ~ 64
- [ 4 ] Garcia C, Hemander T. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29 (2): 171 ~ 177
- [ 5 ] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红粘土土壤肥力的演化. 化学和生物学肥力的演化. *土壤学报*, 1999, 36 (2): 203 ~ 217. Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Fertility evolution of red soil derived from quaternary red clay in low-hilly region in middle subtropic. Evolution of soil chemical and biological fertilities (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36 (2): 203 ~ 217
- [ 6 ] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境. 土壤质量评价的生物学指标. *土壤*, 1997, 29 (5): 225 ~ 234. Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, *et al*. Soil quality and sustainable environment. The biological indicators for assessing soil quality (In Chinese). *Soils*, 1997, 29 (5): 225 ~ 234
- [ 7 ] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨. *土壤学报*, 1999, 36 (3): 413 ~ 422. Yu S, Li Y, Wang J H, *et al*. Study on soil microbial biomass as a bio-indicator of soil quality in the red earth ecosystem (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36 (3): 413 ~ 422
- [ 8 ] 薛泉宏, 谭志远, 朱铭铭, 等. 西藏土壤放线菌初步研究. *西北农业大学学报*, 1999, 27 (1): 28 ~ 32. Xue Q H, Tan Z Y, Zhu M E, *et al*. A study on the soil actinomycetes in Tibet (In Chinese). *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*, 1999, 27 (1): 28 ~ 32
- [ 9 ] 姚拓, 龙瑞军, 师尚礼, 等. 高寒草地不同扰动生境土壤微生物氮素生理群数量特征研究. *土壤学报*, 2007, 44 (1): 122 ~ 129. Yao T, Long R J, Shi S L, *et al*. Populations of soil nitrogen bacteria groups in alpine steppe of different disturbed habitats in Tianzhu (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44 (1): 122 ~ 129
- [ 10 ] 刘世贵, 葛绍荣, 龙章富. 川西北退化草地土壤微生物数量与区系研究. *草业学报*, 1994, 3 (4): 70 ~ 76. Liu S G, Ge S R, Long Z F. Studies on soil microorganism numbers and microbiota of degenerated rangelands in northeast region of Sichuan, P. R. China (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 1994, 3 (4): 70 ~ 76
- [ 11 ] 马丽萍, 张德罡, 姚拓. 天祝高寒草地不同扰动生境纤维素分解菌数量动态研究. *草原与草坪*, 2005 (1): 29 ~ 33. Ma L P, Zhang D G, Yao T. Study on the dynamic of soil cellulose decomposer in alpine grassland under disturbance in Tianzhu (In Chinese). *Grassland and Turf*, 2005 (1): 29 ~ 33
- [ 12 ] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价. *应用生态学报*, 2003, 14 (1): 131 ~ 134. Zheng Z P, Liu Z X. Soil quality and its evaluation (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (1): 131 ~ 134
- [ 13 ] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区草地资源. 北京: 科学出版社, 1994. 143 ~ 157. Land Administrative Office of Tibet. Tibet Grassland Resource (In Chinese). Beijing: Science Press, 1994. 143 ~ 157
- [ 14 ] 张金屯. 应用生态学. 北京: 科学出版社, 2003. 173 ~ 174
- Zhang J T. *Applied Ecology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2003. 173 ~ 174
- [ 15 ] 李卓棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996. 121 ~ 340. Li F D, Yu Z N, He S J. Analytical Methods of Agromicrobiology (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1996. 121 ~ 340
- [ 16 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 231 ~ 260. Lu R K. Analytical Methods of Soil and Agro-Chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 231 ~ 260
- [ 17 ] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986. 106 ~ 364. Guan S Y. Soil Enzyme and Its Research Method (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986. 106 ~ 364
- [ 18 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 132 ~ 146. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analyse of Soil Physical and Chemical (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 132 ~ 146
- [ 19 ] 陈文新. 土壤和环境微生物学. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. 19 ~ 194. Chen W X. Soil and Environmental Microecology (In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1990. 19 ~ 194
- [ 20 ] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素. *应用生态学报*, 2003, 14 (12): 2 208 ~ 2 212. Li D P, Wu Z J, Chen L J, *et al*. Dynamics of urease activity in a long-term fertilized blank soil and its affecting factors (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (12): 2 208 ~ 2 212
- [ 21 ] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. *生态学报*, 2004, 24 (4): 790 ~ 797. Gao Z Y, Han X G, Wang S P. The effects of grazing on grassland soils (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (4): 790 ~ 797
- [ 22 ] 鄯燕, 张建国, 张锦华, 等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量. *生态学报*, 2005, 25 (11): 2 818 ~ 2 823. Yan Y, Zhang J G, Zhang J H, *et al*. The belowground biomass in alpine grassland in Nakchu prefecture of Tibet (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (11): 2 818 ~ 2 823
- [ 23 ] 刘满强, 陈小云, 郭菊花, 等. 土壤生物对土壤有机碳稳定性的影响. *地球科学进展*, 2007, 22 (2): 152 ~ 158. Liu M Q, Chen X Y, Guo J H, *et al*. Soil biota on soil organic carbon stabilization (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2007, 22 (2): 152 ~ 158
- [ 24 ] 展争艳, 李晓刚, 张德罡, 等. 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. *土壤学报*, 2005, 42 (5): 777 ~ 782. Zhan Z Y, Li X G, Zhang D G, *et al*. Effects of land use on organic C concentration and structural properties in alpine grassland soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (5): 777 ~ 782
- [ 25 ] 赵文智, 何志斌, 李志刚. 草原农垦区土地沙质荒漠化过程的生物学机制. *地球科学进展*, 2003, 18 (2): 257 ~ 262. Zhao W Z, He Z B, Li Z G. Biological mechanism of sandy desertification in grassland reclamation area in North China (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2003, 18 (2): 257 ~ 262



## VARIATION OF SOIL MICROBIAL ACTIVITIES IN ALPINE STEPPES DIFFERENT IN DEGRADATION INTENSITY IN THE NORTH TIBET PLATEAU

Cai Xiaobu Zhou Jin Qian Cheng

(Department of Resources and Environment, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China)

**Abstract** Dynamics of soil microorganisms in *stipa purpurea* alpine steppes different in degradation intensity in North Tibet Plateau were studied. Four plots were selected, coincident in parent rock and soil texture, but different in degradation intensity, i. e. non-degraded (ND), slightly degraded (SD), moderately degraded (MD) and severely degraded (VD). Soil samples were taken using the grid method from the four plots in both warm and cold seasons. Results indicate that under alpine arid conditions, both degradation intensity and seasonal variation have significant influences on soil microbial activities in alpine steppe. A similar trend of variation of soil bacteria population, microbial biomass (carbon (C) and nitrogen (N)) and soil enzyme (cellulase, urease and alkaline phosphatase) activities as a whole was found in both warm and cold seasons, and so was high correlation between the two. In the warm season, the steppes were in the order of SD > ND > MD > VD in soil microbial activity. The numbers of fungi and actinomycetes were positively correlated with soil microbial biomass, but negatively with soil enzyme activity to a varying extent in warm season, while an opposite trend was found in cold season. The soil microbial activities in cold season declined significantly, compared with those in warm season. The ratio of soil bacteria in warm season to that in cold season in the four grades of steppes was 206.0, 251.7, 18.4 and 87.4, respectively, of fungi, 14.7, 1132, 0.6 and 0.9 and of actinomycetes, 0.1, 10.5, 10.0 and 14.9. With respect to ratio of  $B_C$  (microbial biomass C) and  $B_N$  (microbial biomass N) in warm-season to those in cold-season, SD was the highest and followed by ND, MD, and then VD. and sharp variation of  $B_N$  was observed between seasons. The ratios of  $B_C/B_N$  in cold season and in warm season were more or less the same in variation, but the  $B_C/B_N$  ratio was much higher in cold season than in warm season. However, the values of  $B_C/T_C$  and  $B_N/T_N$  were higher in cold season than in warm season for all of the four grasslands, except VD, which showed a reverse trend. Soil urease was much higher than other soil enzymes in activity in warm season. The ratio of soil urea activity in warm season to that in cold season ranged from 31.5 to 781.5. The activity of soil cellulolytic enzyme, especially alkaline phosphatase, were higher in cold season than in warm season, and the ratio of the activity in warm season to that in cold season ranged from 0.46 to 1.01 for soil cellulolytic enzyme and 0.40 to 1.37 for alkaline phosphatase.

**Key words** Soil microflora; Soil microbial biomass; Soil enzyme activity; North Tibet plateau