

西藏不同退化高寒草地土壤酶的活性

彭岳林, 钱成, 蔡晓布*, 张永青, 薛会英

(西藏农牧学院资源与环境科学系, 西藏林芝 860000)

摘要: 对退化高寒草原土壤酶活性研究的结果表明: 1) 相对于正常草地, 轻度退化草地土壤纤维素酶、脲酶、碱性磷酸酶活性均呈不同程度的提高; 中度退化草地土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性亦呈同一趋势, 仅土壤脲酶活性显著降低; 严重退化草地中3种土壤酶活性则均呈显著降低。2) 不同土壤酶活性对土壤环境变化的敏感性总体呈碱性磷酸酶活性 > 脲酶活性 > 纤维素酶活性; 土壤酶活性大小则均呈脲酶活性 > 碱性磷酸酶活性 > 纤维素酶活性。3) 不同土壤酶活性与土壤有机碳均呈极显著正相关 (r 值为 $0.7288 \sim 0.9808$, $p \leq 0.01$), 与土壤全氮、有效氮、有效钾亦呈不同程度的正相关, 与土壤有效磷含量则均呈显著或极显著负相关; 土壤 pH 对土壤脲酶活性具有显著影响, 对纤维素酶、碱性磷酸酶活性的影响则不甚明显。4) 青藏高原高寒、干旱条件下, 中度, 特别是轻度退化草地一定程度的沙化所导致的土壤通透性能的显著改善对提高土壤酶活性, 进而促进土壤有机残体的分解和有机质的形成具有重要作用。5) 土壤酶活性不仅可以反映不同程度退化高寒草原土壤肥力水平的差异, 同时亦可作为评价草地土壤肥力的一个基本指标。

关键词: 土壤酶活性; 退化高寒草原; 土壤养分; 西藏高原

中图分类号: Q948.113 S154.2

文献标识码: A

地处青藏高原腹心地带的高寒草原是高寒、干旱条件下由耐寒的多年生典型旱生草本植物所构成的草地生态系统, 不仅是我国分布最广、面积最大的一个草地类型, 而且是亚洲中部高寒环境中最为典型的自然生态系统之一, 在世界高寒地区亦具有代表性, 具有极为重大的生态地位^[1]。然而, 在全球变化, 特别是在人类活动日益增强的背景下, 高寒草原生态系统已遭到不同程度的干扰和破坏^[1-3]。草地退化的核心问题是土壤退化 (涵盖土壤物理、化学和生物退化)^[4,5], 由于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^[6]。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^[6,7], 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^[8]。因而, 人们认为检测土壤酶活性比检测土壤微生物数量更能直接表达土壤的生物活性^[7]。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^[9], 亦将其作为土壤生态胁迫或土壤生态恢复的敏感性指标^[10,11]。近年, 国内外在土壤酶活性研究方面所开展的大量工作主要集中于土壤酶活性变化特征, 以及土壤酶活性间、土壤酶活性与土壤肥力的相互关系^[13-16], 各种污染物质对土壤酶活性的影响等方面^[17-19], 有关退化土壤, 特别是退化草地土壤酶活性的研究相对较少^[20], 高寒草原土壤酶活性研究则尚未见诸报道。已有的研究表明, 土壤酶活性的高低不仅与土壤生态系统的退化有关, 而且与土壤类型、植被特征、土壤微生物量以及酶类本身的性质等

收稿日期 (Received date): 2006-11-07; 改回日期 (Accepted): 2007-02-17。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (编号 40461005 和 40061004)。[National Natural Science Foundation of China (No. 40461005 No. 40061004)]

作者简介 (Biography): 彭岳林, 男, 汉族, 生于 1972 年, 四川岳池人, 讲师。主要从事土壤微生物研究和教学工作。[Peng Yuelin (1972-), male, the Han nationality, born in Yuechi, Sichuan. Lecturer. Researching fields: soil microorganism, grasslands, but also were basic indices of grassland soil fertility.]

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: caitw21@sohu.com

诸多因素有关^[20], 退化土壤恢复过程中土壤酶活性的增加对促进土壤肥力的提高具有显著效应^[11 21, 22]。本研究通过对藏北高寒草原土壤纤维素酶、脲酶、碱性磷酸酶活性的研究, 以期探明高寒草原不同退化阶段土壤酶活性的变化特征及其与主要土壤养分因子的关系, 为高寒草原恢复与重建提供土壤生物学方面的理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

藏北高寒草原 (海拔 4 300~ 5 200 m)地处青藏高原腹地, 具有典型的高原大陆性气候特征。暖季 (6~ 9月)短暂温凉, 冷季 (10~ 5月)严寒漫长, 年平均气温 0~ 3℃, 全年无绝对无霜期, 最冷月 (1月)、最热月 (7月)平均气温分别为 - 10~ - 12℃和 7~ 12℃, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 800~ 1 100℃; 年降水量 100~ 300 mm (80% ~ 90%集中在暖季), 年蒸发量 2 000 mm, 年大风 (瞬时风速 $\geq 17.0\text{ m/s}$)日数达 100.3~ 158.2 d^[23]。高寒草原土壤类型为高山草原土, 成土母质由洪积 - 冲积物、湖积物、坡积物和风积物等组成。在高原高寒、干旱环境的共同作用下, 高寒草原成土过程微弱, 土层浅薄, 土壤结构性差且质地轻粗, 有机质和有效养分含量低, 通体具

石灰反应^[23]。因此, 该草地类草地植物组成简单, 建群种主要由禾本科针茅属植物、莎草科苔草属及菊科蒿属的一些寒旱生植物构成。尽管这些植物在长期的进化过程中形成了各异的生物 - 形态特征, 但具有根系发达、地下生物量大、生育节律短等耐寒、抗旱的共同特征, 一般 5月下旬 ~ 6月上旬开始萌发抽芽, 9月中下旬地上部即大部分枯死进入冬季休眠期, 生育期一般仅为 90~ 100 d^[24]。近几十年来, 在超载过牧、气候旱化等各种不利因素的综合影响下, 草地退化过程正呈加速发展的态势, 严重影响并制约着区域社会、经济和生态的持续、协调发展。

1.2 采样方法

本研究轻度、中度和严重退化草地按张金屯 (2003)等的划分标准, 不包括极度退化草地。于 31°27' ~ 32°02'N、91°41' ~ 92°48'E 范围内, 以高寒草原中最具代表性、典型性的紫花针茅 (*S. purpurea*)草原为研究对象, 按网格采样法分别于正常草地 (对照)和轻度、中度、严重退化草地 (土壤质地均为砂壤质)等 4类紫花针茅草原 0~ 10 cm 深土层内, 用内径 4 cm的土钻分别钻取土样, 以每 10钻土样组成 1个混合土样, 各类高寒草原草地混合土样数均为 3个。于室温下风干后, 分别过 1.00 mm 和 2.00 mm 筛, 用于土壤酶活性测定和土壤理化分析。其土壤主要性状见表 1。

表 1 不同退化程度高寒草原地上生物量、地被物及土壤状况
Table 1 Aboveground biomass surface cover and soil nutrient and soil conditions in different degraded alpine grasslands

草地状态	地表状况	0~ 10 cm 土层状况	砂粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)	CEC	CaCO ₃ (g/kg)	pH
正常草地	植物生长正常, 植被盖度 > 95%	正常	73.0	19.4	7.6	15.47	0.068	8.73
轻度退化	下降 20% ~ 35%, 地被物明显减少	轻度沙化	77.5	15.1	7.4	15.07	0.054	8.33
中度退化	下降 35% ~ 60%, 地被物显著下降	中度沙化	80.6	12.8	6.6	6.06	0.055	7.43
重度退化	下降 60% ~ 85%, 地表呈裸露状态	严重沙化	87.1	6.6	6.3	7.45	0.079	7.75

1.3 分析与统计方法

土壤纤维素酶活性 ($\text{Glucose } \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$)、脲酶活性 ($\text{NH}_4^+ - \text{N } \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$)、碱性磷酸酶活性 ($\text{p-Nitrophenol } \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$)测定分别采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法、靛酚兰比色法和磷酸苯二钠比色法; 不同土壤酶活性测定均为 3次重复, 并设无底物和无土壤处理为对照。土壤有机碳、土壤全氮、土壤有效 P_2O_5 测定分别采用重铬酸钾容量法 - 外加热法、半

微量开氏法和 0.5 mol/L NaHCO_3 法, 土壤 pH 测定采用电位法, CEC 测定采用乙酸钠 - 火焰光度法。

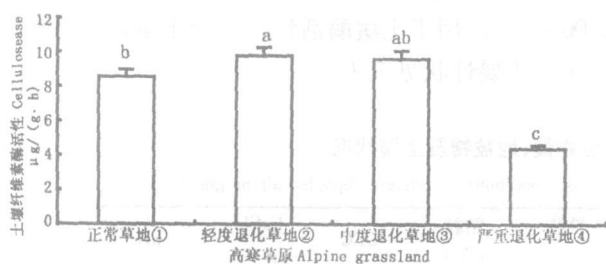
统计分析采用 DPS统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同退化程度高寒草原土壤酶活性

2.1.1 土壤纤维素酶活性

土壤纤维素酶活性表征着土壤碳循环速度和土壤腐殖质的再合成强度^[25]。一般而言,土壤退化对土壤微生物区系组成、微生物量及其代谢过程的不利影响是导致土壤酶数量和活性降低的主要原因之一^[6 7 15 25]。本研究中,轻度、中度退化草地土壤纤维素酶活性则呈相反趋势,均不同程度的高于正常草地;仅严重退化草地中土壤纤维素酶活性呈显著下降(图 1)。藏北高原高寒、干旱条件下,尽管正常草地植被覆盖度、植物生长量以及年进入土壤中的有机残体量相对较大,但由于寒冻低温条件下土壤冻结期长、通透性能差,对土壤微生物繁殖和活动强度的抑制作用较为强烈^[23],不利于土壤酶活性的提高。而在中度,特别是轻度退化草地中,一定程度的土壤沙化所导致的土壤湿度、土壤冻结程度的下降和土壤通透性能的提高,促进了好气性土壤微生物的繁殖和活动,土壤酶活性即呈不同程度的增加,并在很大程度上促进了土壤有机残体的分解和土壤腐殖质的形成(表 2)。但至严重退化阶段,随着土壤有机物质的严重不足和土壤环境的急剧恶化,土壤微生物的活动强度受到强烈抑制,纤维素酶活性即呈显著降低。



①Normal steppe ②Light degraded steppe ③Middle degraded steppe
④Serious degraded steppe

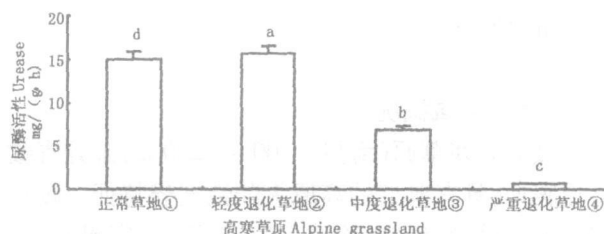
图 1 高寒草原土壤纤维素酶活性

Fig 1 Soil cellulase activity in the frigid steppe (0~10 cm soil layer)

2.1.2 土壤脲酶活性

脲酶是土壤中最活跃的水解酶类之一,因其对土壤有机物质中碳-氮键(CO-NH)的水解作用而在土壤氮素循环中具有重要作用,其活性的提高有利于稳定性较高的土壤有机氮向有效氮的转化^[15 16 19]。与正常草地相比,轻度退化草地土壤脲酶活性略呈增加,反映出与土壤纤维素酶活性相同的变化趋势。之后,随草地退化程度的加剧,土壤脲酶活性则均呈显著下降,表现出对土壤环境变化的高度敏感性。一般而言,脲酶在中性土壤中活性最

高^[6 7]。而藏北高寒草原石灰性土壤条件下(pH 7.43~8.75),土壤脲酶活性则在0.68~15.63 $\text{NH}_4^+ - \text{N mg} / (\text{g} \cdot \text{h})$ 之间,远高于纤维素酶和碱性磷酸酶活性(图 1、图 2、图 3)。这不仅在很大程度上反映了高寒、干旱环境中土壤脲酶的重要地位,而且体现了其在促进土壤氮循环,提高土壤氮素供应水平方面所具有的重要作用(表 3、表 4)。



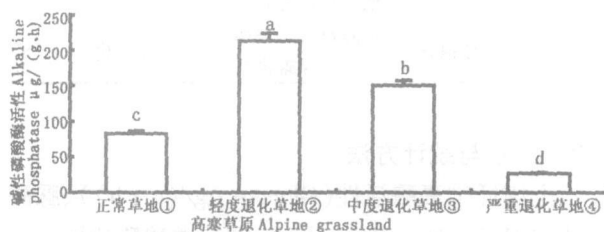
①Normal steppe ②Light degraded steppe ③Middle degraded steppe
④Serious degraded steppe

图 2 不同状态高寒草原土壤脲酶活性变化

Fig 2 Soil urease activity in the frigid steppe (0~10 cm soil layer)

2.1.3 土壤碱性磷酸酶活性

碱性磷酸酶活性是表征土壤磷素循环、土壤管理系统效果和土壤有机质含量的重要指标之一,其活性大小在一定程度上反映着土壤有机磷化合物的分解程度和土壤供应有效磷的潜在能力^[8 13 15 18 20]。藏北高原高寒、干旱条件下,土壤碱性磷酸酶活性对土壤环境亦具有高度的敏感性。图 3所示,不同程度退化草地中土壤碱性磷酸酶活性与土壤纤维素酶活性的变化特征基本一致,但变化更为显著,轻度、中度退化草地纤维素酶活性均显著高于正常草地,至严重退化阶段则呈显著下降。可见,中度,特别是轻度退化草地土壤通透性能的改善对促进碱性磷酸酶活性的提高更具有显著的作用。



①Normal steppe ②Light degraded steppe ③Middle degraded steppe
④Serious degraded steppe

图 3 不同状态高寒草原土壤碱性磷酸酶活性变化

Fig 3 Soil alkaline phosphatase activity in the frigid steppe (0~10 cm soil layer)

2.2 高寒草原土壤酶活性间的相互关系

高寒草原土壤生态系统中, 3种土壤酶活性间均呈不同程度的正相关(见表3)。其中, 土壤纤维素酶活性(x)与土壤脲酶、碱性磷酸酶活性均呈极显著正相关($p \leq 0.01$), 线性回归方程分别为 $y = -8\,1709 + 2\,1999x$, $y = -107\,3698 + 28\,0031x$, 脲酶(x_1)和碱性磷酸酶活性间则呈显著正相关($p \leq 0.05$), 线性回归方程为 $y = 49\,186\,6 + 7\,2296x_{10}$ 。这一结果在总体上反映了高寒草原环

境对3种土壤酶活性相对一致的影响, 以及土壤有机物质的降解、氮素循环与有机磷转化之间的密切关系。可见, 高寒、干旱环境中, 不同酶类在促进草地土壤的酶促反应时不仅具有自身的专一性, 体现了土壤中与不同酶类相关的有机物质的转化进程; 同时, 这些酶类在促进酶促反应的过程中亦具有一定的共性, 而这些具共性关系的土壤酶类的总体活性的消长则在某种程度上反映了土壤肥力水平的高低。

表 2 高寒草原土壤养分状况
Table 2 Chemical properties of the soil profile tested

高寒草原 Alpine grassland	有机碳 Organic C (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效氮 Avail. N (mg/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	有效钾 Avail. K (mg/kg)	pH
正常草地 Normal steppe	22.75 b*	2.06 a	274.84 b	2.15 bc	160.89 a	8.73
轻度退化草地 Light degraded steppe	28.05 a	2.34 a	312.59 a	2.23 b	157.36 ab	8.33
中度退化草地 Middle degraded steppe	13.59 c	1.36 c	184.95 c	1.29 c	136.93 b	7.43
严重退化草地 Serious degraded steppe	6.29 d	1.07 b	185.51 c	4.41 a	126.35 b	7.75

* 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, 下同。The LSR method is used to test the significance mean values followed the same letters in a column are not a significantly different at $p \leq 0.05$. The same below.

表 3 高寒草原土壤酶活性间的相关性 (r)

土壤酶类 Enzyme activity	纤维素分解酶 Cellulase	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
纤维素分解酶 Cellulase	1.000 0	0.772 9**	0.864 7**
脲酶 Urease		1.000 0	0.635 5*
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase			1.000 0

** : $p \leq 0.01$

2.3 土壤酶活性与相关土壤肥力(养分)因子的关系

土壤酶催化土壤中的一切生物化学反应, 直接参与了土壤营养元素的有效化过程, 在很大程度上反映了土壤营养物质的储量及其转化程度, 对维持土壤生态系统的养分平衡具有重要作用^[6,7]。因此, 土壤肥力(养分)水平在很大程度上受制于土壤酶的作用程度。表3可见, 土壤有机碳、全氮、有效氮、有效钾在正常草地和不同程度退化草地中的差

异及变化与3种土壤酶活性的差异及其变化基本一致; 正常草地和轻度、中度退化草地中土壤有效磷差异亦具同一特征, 仅严重退化草地呈显著提高。

藏北高原高寒、干旱环境下, 3种土壤酶活性与主要土壤肥力(养分)因子间具有密切的关系。统计分析表明, 3种土壤酶活性与土壤有机碳、全氮、有效氮、有效钾均呈不同程度的正相关, 与土壤有效磷则均呈不同程度的负相关(表4)。大量研究发现, 土壤微生物活性与土壤酶活性密切相关, 而土壤有机物质对土壤微生物增长的刺激作用则是土壤中各种酶活性提高的重要原因^[6,7], 土壤有机物质的含量和组成(主要是 C、N)决定着土壤酶的活性和稳定性^[7,26]。本研究中, 3种土壤酶活性与土壤有机碳含量的关系尤为密切, 均呈高度正相关($p \leq 0.01$)。可见, 高寒、干旱条件下土壤有机质含量与土壤酶活性间具有极为显著的相互刺激机制。一方面, 土壤有机碳含量的提高为土壤微生物提供了相对充足的能源物质, 促进了土壤微生物的代谢过程, 从而使主要由土壤微生物分泌的土壤酶的数量和活性不断增加; 另一方面, 土壤酶活性的提高则进一步

促进了土壤有机物质的分解、腐殖质的再合成和养分的释放。

但是, 3种土壤酶活性与土壤有效磷含量均呈不同程度的负相关(表 4)。其中, 土壤碱性磷酸酶与土壤可给态磷间的负相关性与陈文新等的研究结果一致^[7]。有关研究证实, 一定 pH 范围内, 土壤磷酸钙盐的 H_2PO_4^- 活度(溶解度)均随 pH 提高而下降; 但 $\text{pH} \geq 7.8$ 条件下, 由于土壤 CaCO_3 开始沉淀,

土壤磷酸钙盐 ($\text{Ca}_2 - \text{P}$, $\text{Ca}_3 - \text{P}$) 的溶解度反呈增大趋势^[27]。本研究中, 严重退化草地土壤 pH 则恰处于这一临界点, 这可能是导致严重退化草地土壤有效磷含量显著提高的一个重要原因。此外, 土壤 pH 对 3 种土壤酶活性的影响明显不同, 对土壤脲酶活性的影响较为显著, 对土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性的影响较小或基本无影响。

表 4 高寒草原土壤酶活性与主要土壤养分间的相关性 (r)

Table 4 Interrelation of soil enzyme activity and soil nutrient

土壤酶类 Enzyme activity	有机碳 Organic C	全氮 Total N	有效氮 Avail N	有效磷 Avail P	有效钾 Avail K	pH
纤维素分解酶 Cellulohase	0.767 1 [*]	0.685 2 [‡]	0.530 1	-0.946 5 [*]	0.684 4 [*]	0.222 5
脲酶 Urease	0.980 8 [*]	0.974 4 [*]	0.914 4 [*]	-0.606 8 [*]	0.988 0 [*]	0.783 2 [‡]
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.728 8 [*]	0.655 1 [‡]	0.564 2	-0.700 6 [*]	0.509 1	0.067 4

* : $p \leq 0.01$; * : $p \leq 0.05$.

3 结论与讨论

研究表明, 轻度退化草地中土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性较正常草地均呈显著提高, 土壤脲酶活性亦有所增加; 中度退化草地中土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性较正常草地亦呈不同程度的提高, 仅土壤脲酶活性显著低于正常草地; 严重退化草地中 3 种土壤酶活性较正常草地则均呈显著下降。这一结果充分体现了青藏高原高寒、干旱条件下土壤环境变化对土壤酶活性的特殊而复杂的影响。3 种土壤酶活性对土壤环境变化的敏感性具有较为明显的差异, 总体呈碱性磷酸酶活性 > 脲酶活性 > 纤维素酶活性; 无论正常草地, 还是不同程度退化草地中, 土壤酶活性大小则均呈脲酶活性 > 碱性磷酸酶活性 > 纤维素酶活性的趋势。

轻度、中度退化草地土壤纤维素酶、碱性磷酸酶活性, 以及轻度退化草地中土壤脲酶活性较正常草地均呈不同程度的提高, 这是研究过程中所发现的一个重要现象。我们认为, 青藏高原高寒、干旱条件下, 轻度、中度退化草地土壤酶活性不同程度的高于正常草地的总体趋势与草地退化所导致的进入土壤的有机残体(凋落物、死亡根系等)相应递减无关, 而可能主要与土壤结构受损、土壤沙化加重所引起

的土壤冻结程度和通透性能不同程度的下降和提高有着直接关系。其原因主要在于高原低温寒冻条件下土壤冻结期长, 土壤微生物向土壤分泌的酶数量和酶活性较低, 从而较为强烈地抑制了土壤有机残体的分解, 致使土壤有机质形成过程受阻, 大量有机残体累积于土体。而在中度, 特别是轻度退化草地中, 随着土壤通透性能的显著改善, 尚存的大量有机残体为土壤微生物提供了充足的能源物质, 显著改善并提高了土壤微生物区系组成、微生物量及其代谢过程, 从而使主要由土壤微生物分泌的土壤酶的数量和活性不断增加, 并进而导致土壤生物化学反应强度及养分循环速度上升, 促进了土壤有机物质的分解、腐殖质的再合成和养分的释放。这是试验条件下土壤有机碳、全氮、有效氮、有效钾含量随土壤酶活性提高而在总体上呈不同程度增加的一个重要原因。

所测 3 种土壤酶活性间均呈极显著正相关, 土壤酶活性与土壤有机碳、主要土壤养分间亦具有不同程度的相关性。可见, 不同酶活性间、不同酶活性与土壤因子间的相互作用机制共同影响并决定着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。这一结果不仅在总体上反映了高寒草原环境对各种土壤酶活性相对一致的影响和土壤有机物质的降解、氮素循环与有机磷转化之间的密切关系,

亦体现了这些具共性关系的土壤酶类的总体活性对土壤肥力的贡献, 表明藏北高原高寒、干旱条件下 3 种土壤酶活性不仅可以反映高寒草原土壤肥力水平的差异, 同时亦可作为评价土壤肥力的一个基本指标。

参考文献 (References)

- [1] Hu Z zhi The Pratacultural Developm entand Envirom entofQ inghai - Tib etA ltiplano[M]. Beijing China Tibetology Press 2000 1~ 22 [胡自治. 青藏高原的草业发展与生态环境 [M]. 北京: 中国藏学出版社, 2000. 1~ 22]
- [2] Zhong Cheng He X iorong LiHuixia Analys is on the retrogression of the pasture in Naquprefecture, Tibetan Autonomous Region[J]. *Volcanology & Mineral Resources* 2003 18(2): 99~ 102[钟诚, 何晓蓉, 李辉霞. 遥感技术在西藏那曲地区草地退化评价中的作用 [J]. 遥感技术与应用, 2003 18(2): 99~ 102]
- [3] Zhang Jianguo, Li Shuzhen LiHuixia *et al* Analys is on the retrogression of the pasture in Naquprefecture, Tibetan Autonomous Region[J]. *Volcanology & Mineral Resources* 2004 25(2): 116~ 121[张建国, 刘淑珍, 李辉霞, 等. 西藏那曲地区草地退化驱动力分析 [J]. 资源调查与环境, 2004 25(2): 116~ 121]
- [4] Cai X iaming E blogy of Ecobgical System [M]. Beijing Science Press 2000 255~ 268[蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 255~ 268]
- [5] Li Shaoliang Chen Youjun Guan Shiyi ng *et al* Relationships between soil degradation and rangeland degradation[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment* 2002 16(1): 92~ 95[李绍良, 陈有君, 关世英, 等. 土壤退化与草地退化关系的研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 92~ 95]
- [6] Huang Changyong Pedology[M]. Beijing China Agriculture Press 2000. 50~ 64 [黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 50~ 64]
- [7] Chen Wenxin Microbiology of Soil and Environment[M]. Beijing Beijing Agriculture University Press 1990. 86~ 91[陈文新. 土壤和环境微生物学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. 86~ 91]
- [8] Sun B q Zhang Taolin Zhao Q iguo Fertility evolution of red soil derived from quaternary red clay in low-hilly region in middle subtropics II: Evolution of soil chemical and biological fertilities [J]. *Acta Palologica Sinica*, 1999 36(2): 203~ 217 [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——II 化学和生物学肥力的演化 [J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 203~ 217]
- [9] Ren Tianzhi Stefano Grego Soil bioindicators in sustainable Agriculture[J]. *Scientia Agriculura Sinica*, 2000, 33(1): 1~ 9[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]
- [10] Dick W A, Tabatabai M A. Significance and potential uses of soil enzymes[A]. In Blaine Metting F. ed. Soil Microbial Ecology. Application in Agricultural and Environmental M anagement[C]. New York MarcelDekker 1993. 95~ 127
- [11] Garcia C, Hemander T. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion[J]. *Soil Biol Biochem.*, 1997, 29 (2): 171~ 177
- [12] Q iu L iping Liu Jun Wang Y iquan *et al* Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10(3): 277~ 280[邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277~ 280]
- [13] Q iu L iping Liu Jun Wang Y iquan, *et al* Profile distribution of enzyme activity of long-term fertilization soil and its dynamic characteristics[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005 11(6): 737~ 741[邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 长期施肥土壤中酶活性的剖面分布及其动力学特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005 11(6): 737~ 741]
- [14] Wang Jianwu Feng Yuanjiao Luo Shim ing Effects of Bt com straw decomposition on soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2005 16(3): 524~ 528[王建武, 冯远娇, 骆柿明. Bt 玉米秸秆分解对土壤酶活性和土壤肥力的影响 [J]. 应用生态学报, 2005 16(3): 524~ 528]
- [15] Xue Dong Yao Hua iying He Zhenli *et al* Relationships between red soil enzyme activity and fertility[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005 16(8): 1455~ 1458[薛冬, 姚槐应, 何振立, 等. 红壤酶活性与肥力的关系 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1455~ 1458]
- [16] Li Dongpa Wu Zhijie, Chen L ijun, *et al* Dynamics of urease activity in a long-term fertilized black soil and its affecting factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003 14(12): 2208~ 2212[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 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2208~ 2212]
- [17] Q in H ua, Lin X iangu i, Chen Ruim i, *et al* Effects of DEHP on dehydrogenase activity and microbial functional diversity in soil[J]. *Acta Palologica Sinica*, 2005, 42(5): 829~ 833[秦华, 林先贵, 陈瑞蕊, 等. DEHP 对土壤脱氢酶活性及微生物功能多样性的影响 [J]. 土壤学报, 2005 42(5): 829~ 833]
- [18] Sun Q ingy e, Ren Guan ju Yang Linzhang *et al* Effects of natural plant communities on soil enzyme activities in deserted copper mine tailings dumps[J]. *Acta Palologica Sinica*, 2005, 42(1): 37~ 42 [孙庆业, 任冠举, 杨林章, 等. 自然植物群落对铜尾矿废弃地土壤酶活性的影响 [J]. 土壤学报, 2005 42(1): 37~ 42]
- [19] He Wenxiang Chen Huim ing Zhu Ming-e Effects of Hg and Cd on free and immobilized urease activity[J]. *Acta Palologica Sinica*, 2003, 40(6): 946~ 951[何文祥, 孙会明, 朱明毅. 汞镉对游离和固定化脲酶活性的影响 [J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 946~ 951]
- [20] He Yuejun, Zhong Zhangcheng Liu Jim ing *et al* Soil enzyme activities of limestone degraded ecosystem at its different restoration phases[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005 16(6): 1077~ 1081[何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1077~ 1081]
- [21] Garcia Gil J C, Plaza C, Sot e Rovi ra *et al* Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities

- and microbial biomass[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 1907~ 1913
- [22] Ros M, Hernandez M T, Garcia C. Soil microbial activity after restoration of semiarid soil by organic amendments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 463~ 469
- [23] Tibet Land Administrative Bureau. Tibet's Soil Resources [M]. Beijing: Science Press, 1994. 151~ 158 [西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土壤资源 [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 151~ 158]
- [24] Tibet Land Administrative Bureau. Tibet's Grassland Resources [M]. Beijing: Science Press, 1994. 6~ 8, 64~ 112, 143~ 157 [西藏自治区土地管理局. 西藏自治区草地资源 [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 6~ 8, 64~ 112, 143~ 157]
- [25] Xue Li, Kuang Li gang, Chen Hongyue, *et al*. Soil nutrients, Microorganisms and enzyme activities of different stands[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2003, 40(2): 280~ 284 [薛立, 邝立刚, 陈红跃, 等. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究 [J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 280~ 284]
- [26] Hu YaLin, Wang SiLong, Huang Yu, *et al*. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662~ 2668 [胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 等. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2662~ 2668]
- [27] Lu Rukun. Soil-the Principle of Plant Nutrition and Fertilization [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998. 120~ 165 [鲁如坤. 土壤——植物营养学原理和施肥 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 120~ 165]

Soil Enzyme Activities in Different Degraded Alpine Grassland of Tibet

PENG Yuelin, QIAN Cheng, CAI Xiaobu, ZHANG Yongqing, XUE Huiying

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

Abstract Soil enzyme activities in degraded alpine grassland were discussed in this paper. The results showed that (1) compared with non-degraded grassland, the activities of soil cellulase, urease and alkaline phosphatase in slight degraded grassland were all increased, and the similar trend was found in moderate degraded grassland except urease activity which was decreased, while the three kinds of soil enzyme activities were all decreased in serious degraded grassland. (2) In different kinds of soils, the sensitivity of the soil enzyme activities to soil environment change were generally in the order of alkaline phosphatase > urease > cellulase, but all the soil enzyme activities ranked by the order of urease > alkaline phosphatase > cellulase. (3) In different soils, we found significant positive correlation between soil enzyme activities and soil organic C ($r = 0.7288 \sim 0.9808$, $p \leq 0.01$), and positive relationship between soil enzyme activities and soil total N, available N and available K, but negative correlation or significant negative correlation was found between soil enzyme activities and soil available P. The influence of soil pH on urease activity was obvious, but the influence on soil alkaline phosphatase and cellulase activities was not obvious. (4) Under alpine and drought conditions in the Tibet Plateau, improved soil permeability induced by moderate desertification in moderate or slight degraded grassland, played an important role in improving soil enzyme activities and further accelerating the decomposition of soil organic matter as well as the forming of soil organic matter. (5) Soil enzyme activities could not only reflect the difference of soil fertility in different alpine degraded

Key words soil enzyme activity; frigid grassland of degraded; soil nutrient; Tibet