

文章编号:1673-5021(2010)03-0051-05

# 高寒矮嵩草草甸土壤酶活性与土壤性质关系的研究

王启兰<sup>1</sup>, 王 溪<sup>1</sup>, 王长庭<sup>1</sup>, 曹广民<sup>1</sup>, 龙瑞军<sup>2</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 兰州大学青藏高原生态系统管理国际中心, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**对高寒矮嵩草草甸土壤性质及酶活性进行研究, 分析了土壤性质与酶活性之间的关系。结果表明: 在 0~20cm 土层随土壤深度的增加, 土壤容重、pH 值和全钾升高, 有机质、全氮、有效氮、全磷、有效磷、有效钾、阳离子交换量均明显下降; 所测的 7 种土壤酶中, 除多酚氧化酶活性呈现随土壤层次加深而升高外, 过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、纤维素酶、转化酶、碱性磷酸酶均明显降低。相关分析表明: 土壤有机质和有效钾除与多酚氧化酶呈显著负相关外, 与其余 6 种酶呈显著正相关; 全氮、有效磷、阳离子交换量除与转化酶相关性不显著外, 与其它 6 种酶呈显著相关; 有效氮、全钾只与纤维素酶、碱性磷酸酶存在显著的相关关系; pH 值、全磷与所测的 7 种酶均无明显的相关性。多酚氧化酶和转化酶与部分酶存在显著的相关关系, 其余土壤酶之间均存在显著的相关关系。通径分析表明: 各种土壤因子不仅直接影响土壤酶活性的大小, 还通过相互之间的作用间接调控土壤酶活性。

**关键词:**矮嵩草草甸; 土壤酶活性; 土壤性质; 通径分析

**中图分类号:** S812.2 **文献标识码:** A

土壤酶作为土壤系统的组分之一, 是生态系统的生物催化剂, 在土壤物质循环和能量转化过程中起着重要作用。它们参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环, 既是土壤有机物转化的执行者, 又是植物营养元素的活性库<sup>[1-2]</sup>。土壤有机物质的转化及腐殖质的形成都是在酶的作用下进行的。土壤酶活性反映了土壤营养循环过程的速率<sup>[3-4]</sup>, 可作为土壤生物功能多样性的指标<sup>[5]</sup>、土壤生产力<sup>[6]</sup>和微生物活性潜力的指标<sup>[7]</sup>, 土壤酶活性能够及时反映土地利用和生物的改变<sup>[8]</sup>。因此, 研究土壤酶活性对于探讨环境变化对土壤生态系统的影响有重要的意义。

高寒矮嵩草草甸是青藏高原的主要草地类型, 生态环境极其脆弱, 其土壤质量的优劣关系到整个生态系统的稳定性。目前高寒草甸生态系统的研究主要集中在植物群落及土壤理化性质方面, 对土壤酶活性的研究甚少。本文应用通径分析法, 分析高寒矮嵩草草甸土壤酶活性与主要土壤性质(土壤容重、pH、有机质、全氮、有效氮、全磷、有效磷、全钾、有效钾、阳离子交换量)之间的相互关系, 探讨诸多土壤环境因素对土壤不同酶活性的相对重要性<sup>[2]</sup>, 为揭示高寒草甸生态系统稳定性的维持机制提供理论依据, 同时丰富我国高寒草甸土壤酶活性研究的基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统开放试验站(简称海北站)进行。地处 37°29'~37°45' N、101°12'~101°33' E, 站区地形开阔, 海拔 3200~3250m, 属明显的高原大陆性气候, 年平均气温 -1.7℃, 年平均降水量 600mm, 主要集中在 5~9 月, 约占年降水量的 80%, 蒸发量 1160.3mm, 年内无绝对无霜期。主要植被类型有高寒草甸、高寒灌丛和沼泽化草甸。牧草生长低矮, 初级生产力低。土壤为高山草甸土(即草毡寒冻锥形土)、高山灌丛草甸土(暗沃寒冻锥形土)和沼泽土(有机寒冻潜育土), 土壤发育年轻, 土层浅薄, 有机质含量丰富。

### 1.2 取样及测定方法

于 2006 年 8 月中旬植物生长旺季(草盛期), 在海北站选择 5 块典型的矮嵩草草甸作为试验样地。各样地内以“S”型取样方法用土钻随机分层采集 0~10cm、10~20cm 的土样, 相同土层 10~15 份土样组成 1 个混合样, 挑取草根, 过 2mm 土壤筛。用比色法测定鲜土的过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶、蛋白酶、纤维素酶、转化酶及碱性磷酸酶的活性<sup>[3]</sup>, 土壤全氮用半微量凯氏定氮法, 速效氮用碱解扩散法, 全磷和速效磷用钼锑钒比色法, 全钾和速效钾用

收稿日期: 2009-12-08; 修回日期: 2010-03-02

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30730069); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-Z-1020)

作者简介: 王启兰(1964-), 女, 青海人, 副研究员, 从事微生物生态学, 发表论文 40 余篇。

火焰光度法,阳离子交换量采用乙酸铵交换法<sup>[9]</sup>,有机质采用 TOC - 5000A 型有机质分析仪测定,容重用环刀法,土壤 pH 用电极法。

### 1.3 数据分析

采用 DPS9.5 和 SPSS13.0 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 矮嵩草草甸土壤理化性质及酶活性

由表 1 可见,矮嵩草草甸土壤 pH、容重和全钾均随着土层的加深而增大,但只有容重显示出明显的层次差异( $P < 0.05$ )。土壤有机质、全氮、有效氮、全磷、有效磷、有效钾、阳离子交换量均随土壤深度的增加而降低,且两层之间存在显著的差异性( $P < 0.05$ )。

由图 1 可见,除多酚氧化酶活性呈现出随土层加深而增大的变化趋势外,其余 6 种酶的活性均随着土壤深度的增加而降低,所测的 7 种酶活性在不同土层之间均存在显著的差异性( $P < 0.05$ )。

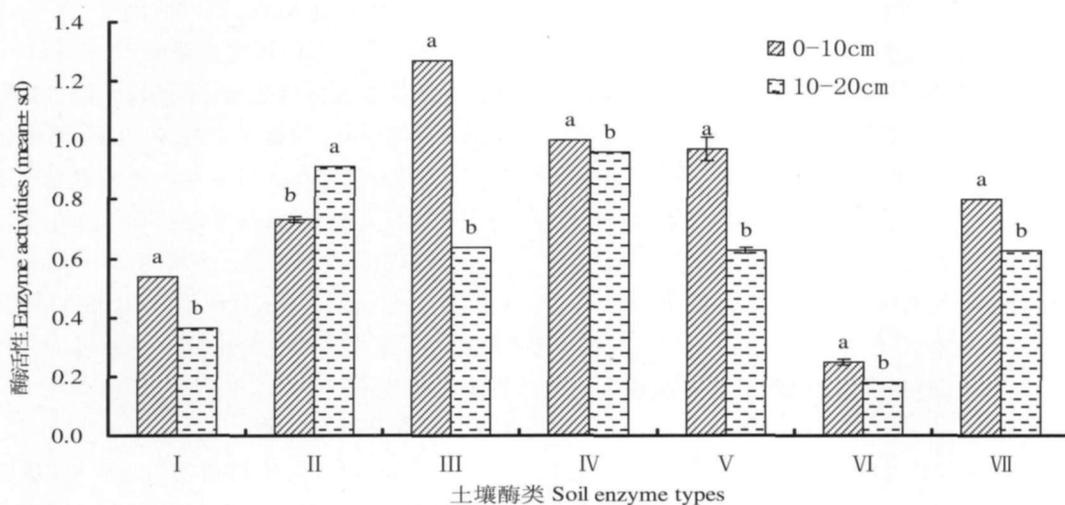
表 1 矮嵩草草甸土壤不同层次理化性状差异

Table 1 The physical - chemical properties of *Kobresia humilis* meadow soil

项目 Item	土壤深度 Soil depth (cm)	
	0~10cm	10~20cm
pH	7.50 ±0.10a	7.55 ±0.17a
有机质(g/kg)	137.90 ±5.51a	78.12 ±2.17b
全氮(N g/kg)	6.51 ±0.24a	4.20 ±0.16b
全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g/kg)	1.95 ±0.03a	1.90 ±0.04a
全钾(K <sub>2</sub> O g/kg)	20.12 ±0.51a	21.36 ±0.24a
容重(g/cm <sup>3</sup> )	0.75 ±0.03b	1.11 ±0.04a
阳离子交换量(mol/kg)	0.27 ±0.00a	0.23 ±0.01b
有效氮(N mg/kg)	21.07 ±1.59a	16.39 ±1.06b
有效磷(P mg/kg)	9.56 ±0.43a	6.44 ±0.59b
有效钾(K mg/kg)	390.88 ±20.07a	292.66 ±11.58b

注:同一行不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values marked with different letter in same row indicate significant differences at  $P < 0.05$ .



I: 过氧化氢酶( $\mu\text{g H}_2\text{O}_2/\text{g} \cdot \text{min}$ ); II: 多酚氧化酶(mg 红紫培精/g); III: 脲酶(mg  $\text{NH}_4\text{-N/g}$ ); IV: 蛋白酶(mg 酪氨酸/g);  
 V: 纤维素酶(mg 葡萄糖/g); VI: 蔗糖酶(mg 葡萄糖/g); VII: 碱性磷酸酶(mg 酚/g);  
 I: Catalase ( $\mu\text{g H}_2\text{O}_2/\text{g} \cdot \text{min}$ ); II: Polyphenol oxidase (Purpurogallin mg/g); III: Urease ( $\text{NH}_4\text{-N mg/g}$ );  
 IV: Protease (Tyr mg/g); V: Cellulase (Glucose mg/g); VI: Invertase (Glucose mg/g); VII: Alkali phosphatase (Phenol mg/g).

图 1 矮嵩草草甸土壤酶活性

Fig. 1 Enzyme activities in *Kobresia humilis* meadow soil

### 2.2 土壤酶活性与土壤理化性质之间的关系

由表 2 可见,土壤容重除与多酚氧化酶表现出显著的正相关外,与其它 6 种酶表现出显著的负相关性。阳离子交换量与多酚氧化酶呈现出显著的负相关,与转化酶相关性不显著,与其他酶均呈极显著的正相关。pH 和全磷与所测的所有酶类均相关性

不明显。有机质、全氮、有效磷和有效钾均与多酚氧化酶呈显著的负相关,而与过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、纤维素酶、碱性磷酸酶呈显著的正相关,仅有有机质、有效钾与转化酶显示出显著的相关性。全钾与过氧化氢酶、纤维素酶、碱性磷酸酶存在显著的负相关关系。

表 2 土壤酶活性与土壤因子之间的相关关系

Table 2 Correlations between enzyme activity and soil environmental factors

	过氧化氢酶 Catalase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	纤维素酶 Cellulase	转化酶 Invertase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
有机质	0.9914 **	- 0.9504 **	0.9843 **	0.8486 **	0.7888 **	0.6899 *	0.9975 **
pH	- 0.4616	0.5002	- 0.6097	- 0.0152	0.1893	0.0052	- 0.014
全氮	0.9092 **	- 0.9811 **	0.9377 **	0.8351 **	0.8269 **	0.5713	0.9256 **
有效氮	0.5974	- 0.5407	0.7807 **	0.4402	0.6989 *	0.3171	0.7536 *
全磷	0.4628	- 0.1529	0.4458	0.5631	0.4408	0.4268	0.3896
有效磷	0.8705 **	- 0.9304 **	0.7834 **	0.8654 **	0.7144 *	0.4658	0.7627 *
全钾	- 0.7251 *	0.6013	- 0.5433	- 0.4881	- 0.6557 *	- 0.4407	- 0.7052 *
有效钾	0.8888 **	- 0.6504 *	0.8563 **	0.7857 **	0.7981 **	0.6679 *	0.7815 **
容重	- 0.9787 **	0.8018 **	- 0.9275 **	- 0.8563 **	- 0.8543 **	- 0.8274 **	- 0.9617 **
阳离子交换量	0.9062 **	- 0.8475 **	0.7911 **	0.8263 **	0.7983 **	0.3631	0.8661 **

注: \*\*表示  $P < 0.01$ , \*表示  $P < 0.05$ ;下同。

Note: \*\* mean  $P < 0.01$ , \* mean  $P < 0.05$ . The same as follow.

以土壤因子为自变量  $X_i = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}\} = \{\text{有机质, pH, 全氮, 速效氮, 全磷, 有效磷, 全钾, 有效钾, 容重, 阳离子交换量}\}$ , 土壤酶活性为因变量  $Y_i = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} = \{\text{过氧化氢酶, 多酚氧化酶, 脲酶, 蛋白酶, 纤维素酶, 转化酶, 碱性磷酸酶}\}$ , 进行逐步回归分析, 使各变量在无量纲的基础上计算途径系数, 用途径系数的大小和正负来表示自变量对因变量作用的大小和方向, 并对途径系数之间进行相互比较<sup>[21]</sup>。

直接途径系数反映各理化性质对酶活性直接作用的大小。对  $Y_1$  作用的土壤因素顺序为:  $X_9 (-0.6322) > X_8 (0.3523) > X_3 (0.2139) > X_{10} (-0.1501) > X_2 (-0.1047) > X_4 (-0.0923) > X_6 (0.0797) > X_5 (0.0603)$ 。虽然  $X_4, X_5, X_6$  对  $Y_1$  的直接途径系数较小, 但  $X_4$  和  $X_5$  通过  $X_9$  对  $Y_1$  影响的间接途径系数则分别达 0.3889 和 0.437,  $X_6$  通过  $X_8$  和  $X_9$  对  $Y_1$  影响的间接途径系数依次高达 0.2803、0.4357。另外,  $X_4, X_{10}$  的直接途径系数为负效应, 而其通过  $X_3, X_8, X_9$  对  $Y_1$  影响的间接途径系数依次分别为 0.1497、0.1688、0.3889 和 0.1751、0.2487、0.4322, 说明间接作用是正效应。

对  $Y_2$  直接作用的土壤因素顺序为:  $X_1 (-2.0245) > X_6 (0.8764) > X_3 (-0.6329) > X_5 (0.4606) > X_4 (0.4232) > X_7 (-0.3536) > X_2 (0.3333) > X_{10} (0.1534)$ 。虽  $X_1$  和  $X_3$  直接途径系数为较强的负效应, 但它们通过  $X_4, X_6, X_7$  对  $Y_2$  影响的间接途径系数依次分别为 0.3298、0.8043、0.2481 和 0.3248、0.7716、0.2002, 表现为间接正效应。而  $X_4, X_5, X_6, X_{10}$  虽其直接途径系数为正效应, 但它们

通过  $X_1$  和  $X_3$  对  $Y_2$  影响的间接途径系数依次分别为 - 1.3704、- 0.4696、- 0.7524、- 0.241、- 1.712、- 0.5418 和 - 1.8418、- 0.5889, 说明间接作用是较强的负效应。 $X_7$  的直接途径系数虽然为负效应, 而其通过  $X_1$  对  $Y_2$  影响的间接途径系数为 1.2716, 表现为强的间接正效应。

对  $Y_3$  直接作用的土壤因素顺序为:  $X_8 (0.3947) > X_9 (-0.3853) > X_4 (0.2923) > X_6 (0.1512) > X_2 (-0.1477) > X_5 (0.0795) > X_{10} (-0.0788) > X_7 (0.0344)$ 。虽  $X_7$  的直接途径系数为弱的正效应, 但其通过  $X_4, X_8$  和  $X_9$  对  $Y_3$  影响的间接途径系数分别为 - 0.1377、- 0.2581、- 0.1256, 表现为间接负效应。而  $X_{10}$  的直接途径系数为弱的负效应, 其通过  $X_4, X_8$  和  $X_9$  对  $Y_3$  影响的间接途径系数分别为 0.1639、0.2898、0.2853, 显示出间接的正效应。

对  $Y_4$  直接作用的土壤因素顺序为:  $X_9 (-2.88) > X_1 (-2.5306) > X_{10} (-2.5203) > X_3 (2.1981) > X_8 (1.107) > X_2 (-0.3461) > X_5 (-0.1901) > X_6 (-0.107)$ 。虽  $X_1$  和  $X_{10}$  的直接途径系数为强的负效应, 但它们通过  $X_3, X_8$  和  $X_9$  对  $Y_4$  影响的间接途径系数依次分别为 2.1898、0.9178、2.4664 和 1.8826、0.8483、2.6925, 说明间接作用是强的正效应。同样  $X_9$  也显示出强的间接正效应, 其通过  $X_1, X_5$  和  $X_{10}$  对  $Y_4$  影响的间接途径系数依次为 2.0151、0.1139 和 2.4326。虽  $X_2, X_5$  和  $X_6$  的直接途径系数为较弱的负效应, 但其间接途径系数在不同程度上也表现为间接正效应, 如  $X_5$  通过  $X_3, X_8$  和  $X_9$  对  $Y_4$  的间接途径系数依次为 1.0765、0.4084 和 1.6823,  $X_6$  通过  $X_2, X_3, X_8$  和  $X_9$  对  $Y_4$  的间接途径

系数依次为 0.1253、2.0158、0.8974 和 2.1138。 $X_3$  和  $X_8$  的直接途径系数为强的正效应,而它们通过  $X_1$  和  $X_{10}$  对  $Y_4$  影响的间接途径系数依次分别为 - 2.3097、- 2.1009 和 - 1.8719、- 1.941,说明其间接作用为强的负效应。

对  $Y_5$  直接作用的土壤因素顺序为: $X_1$  (- 4.3282) >  $X_{10}$  (2.0919) >  $X_6$  (1.5608) >  $X_7$  (- 0.8832) >  $X_4$  (0.8073) >  $X_2$  (0.4494) >  $X_3$  (0.3075) >  $X_5$  (0.277)。虽  $X_1$  和  $X_7$  的直接途径系数为不同程度的负效应,但其间接作用为较强的正效应,如  $X_1$  通过  $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  和  $X_{10}$  对  $Y_5$  影响的间接途径系数依次为 0.301、0.6291、1.4323、0.6198 和 2.089, $X_7$  通过  $X_1$  和  $X_2$  对  $Y_5$  影响的间接途径系数为 2.7185、0.1564。而  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_{10}$  的直接作用虽为正效应,但其间接作用显示出的负效应,如  $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$  和  $X_{10}$  通过  $X_1$  对  $Y_5$  影响的间接途径系数依次为 - 4.1676、- 2.9297、- 1.6086、- 3.66 和 - 3.9375。

对  $Y_6$  直接作用的土壤因素顺序为: $X_1$  (5.2805) >  $X_6$  (- 2.5749) >  $X_9$  (1.9176) >  $X_4$  (- 1.8886) >  $X_7$  (- 1.0782) >  $X_5$  (0.936) >  $X_8$  (- 0.166) >  $X_2$  (- 0.1174)。其中  $X_1$ 、 $X_5$ 、 $X_9$  的直接途径系数虽为正效应,但其间接作用为较强的负效应,如  $X_1$  和  $X_5$  通过  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_9$  对  $Y_6$  影响的间接途径系数依次分别为 - 1.2296、- 2.2625、- 1.6642 和 - 0.5111、- 0.3351、- 1.288, $X_9$  通过  $X_1$ 、 $X_5$  和  $X_7$  对  $Y_6$  影响的间接途径系数依次为 - 4.7351、- 0.6163、- 0.2847。而  $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  的直接作用虽为负效应,但其间接作用也表现出不同程度的正效应,如  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_8$  通过  $X_1$ 、 $X_7$  对  $Y_6$  影响的间接途径系数依次分别为

3.1768、0.6081、4.4581、0.4603 和 4.0455、0.7194, $X_7$  通过  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_9$  对  $Y_6$  的间接途径系数依次为 0.9629、1.088、0.4996。

对  $Y_7$  直接作用的土壤因素顺序为: $X_9$  (- 1.1661) >  $X_{10}$  (- 0.6794) >  $X_4$  (0.4105) >  $X_5$  (0.216) >  $X_8$  (0.2064) >  $X_2$  (- 0.2024) >  $X_7$  (- 0.1618) >  $X_6$  (- 0.059)。其中  $X_2$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$  的直接作用为较弱的负效应,其间接作用也表现出正效应,如  $X_7$  和  $X_9$  通过  $X_{10}$  对  $Y_7$  的间接途径系数分别为 0.2628、0.6312, $X_{10}$  通过  $X_4$  和  $X_9$  对  $Y_7$  影响的间接途径系数为 0.2323、1.0834。 $X_4$ 、 $X_5$  和  $X_8$  的直接途径系数为正效应,而其通过  $X_{10}$  对  $Y_7$  影响的间接途径系数分别为 - 0.4037、- 0.3244、- 0.5435,说明其间接作用为负效应。

### 2.3 土壤酶之间的相关性分析

由表 3 可见,矮嵩草草甸土壤酶之间存在紧密的互作关系。其中多酚氧化酶与所测的其它 6 种酶均显示负相关性,其它 6 种酶之间均显示不同程度的正相关关系。说明水解酶类与多酚氧化酶对土壤营养物质的作用过程不一致,前者促进土壤有机物质的降解,以利于植物根系的吸收利用,后者促进土壤芳香族化合物的循环,利于土壤腐殖质化进程。过氧化氢酶、蛋白酶、碱性磷酸酶与所测的其他酶均存在显著的相关关系。而多酚氧化酶只与纤维素酶和转化酶的负相关性不显著,脲酶与转化酶相关性不显著,纤维素酶、转化酶和多酚氧化酶三者相互之间均无显著的相关关系,除此之外的不同酶间呈显著或极显著的相关关系。

表 3 高寒草甸土壤酶活性之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient among enzymatic activities in alpine meadow soil

	过氧化氢酶 Catalase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	纤维素酶 Cellulase	转化酶 Invertase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
过氧化氢酶	1.0000	- 0.8614 **	0.9892 **	0.9413 **	0.8579 **	0.7619 *	0.9812 **
多酚氧化酶		1.0000	- 0.8668 **	- 0.7317 *	- 0.4459	- 0.5404	- 0.7375 *
脲酶			1.0000	0.8848 **	0.8576 **	0.6012	0.8825 **
蛋白酶				1.0000	0.8813 **	0.8814 **	0.9362 **
纤维素酶					1.0000	0.4734	0.7126 *
转化酶						1.0000	0.9193 **
碱性磷酸酶							1.0000

## 3 讨论

随着生态环境不断恶化,土壤质量受到人们的普遍重视。土壤是由生物和非生物组成的复杂综合体,

肥力是土壤的本质和属性。土壤酶作为表征土壤肥力的一个重要指标,参与土壤的发生、发育及土壤肥力形成和演变的全过程,几乎所有的土壤生态环境的变化都伴随着土壤酶活性的改变<sup>[3,10]</sup>。土壤酶活性已

成为反映土壤变化必不可少的早期预警生物指标<sup>[11]</sup>。

在高寒草甸生态系统,随土壤深度的增加,只有pH值、容重和多酚氧化酶活性呈增大变化,其余的土壤环境因素及酶活性均呈降低趋势,这一结果与相关文献<sup>[12]</sup>报道一致。土壤酶的生化活性受温度、湿度、土壤质地、结构、pH值和通气状况等各种非生物因子和生物因子的制约<sup>[10,13]</sup>。高寒草甸生态系统由于其低温环境,土壤水解酶类的活性显著低于农田<sup>[4]</sup>、森林<sup>[14]</sup>等生态系统,其物质循环缓慢,土壤养分总量高而有效养分低下,加之高pH值的碱性土壤环境,大多酶的活性受到不同程度的抑制。另外,植物的根系在生长发育过程中的分泌物和死亡根茬<sup>[15]</sup>的矿化分解及不同的耕作<sup>[16]</sup>和管理方式<sup>[17]</sup>等都会影响土壤酶活性。高寒草甸植物根系主要分布在0~10cm土层,根系分泌物和细胞的脱落促使酶进入土壤。随着土层深度的增加,通气状况越来越差,微生物种类和数量及土壤养分含量递减,导致土壤酶活性减弱。

许多研究表明,土壤肥力水平在很大程度上受制于土壤酶,与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系<sup>[1,7]</sup>。本实验结果表明,土壤有机质、全氮、有效磷、有效钾、容重、阳离子交换量与大多数土壤酶活性有密切的相关关系。容重对多数酶活性表现出强烈的抑制作用。土壤酶通常与土壤粘粒和有机质结合,其中许多土壤酶与土壤腐殖质结合,形成酶-腐殖质复合体,所以土壤有机质是土壤酶的来源和贮藏基地;土壤全氮、有效磷、有效钾是酶作用的底物/产物,阳离子交换量是土壤缓冲性能表征,保证了土壤溶液成分的多样性和土壤溶液的“生理平衡”,而容重的大小直接影响土壤的孔隙度及通气状况,所以上述因素是影响土壤酶活性的重要因素。

两个变量之间的简单相关系数往往不能正确地说明这两个变量之间的真正关系,因为在多个变量的反应系统中,任意两个变量的线性相关关系,都会受到其它变量的影响<sup>[2,4]</sup>。直接通径系数反应了各主要肥力因子对土壤酶活性的直接影响,而间接通径系数却是一种间接影响力,这种影响力更具有客观性和真实表现力。本实验中pH值、有效氮、全磷、全钾与大多数酶的相关性不显著,但它们通过调控其它土壤因子对酶活性的间接作用相当显著。有研究表明,pH直接影响土壤酶与底物的结合能力,土壤酶活性随pH降低呈现升高的趋势<sup>[13]</sup>,有效氮、全磷和全钾影响土壤植被状况,间接影响土壤酶

数量及活性。转化酶是参与土壤有机碳循环的酶,其活性与土壤有机质的C/N比相关,它与大多土壤肥力因子相关性不显著<sup>[4]</sup>,这可能与转化酶活性主要集聚在土壤粒级粉砂部分有关<sup>[18]</sup>。

土壤酶活性之间的相关分析表明,土壤酶不但在土壤物质转化和能量转化过程中起主要作用,而且它们之间关系紧密,通过对进入土壤的多种有机物质和有机残体产生的生命化学转化,使生态系统的各组间有了功能上的联系,从而保持了土壤生物化学的相对稳定状态<sup>[19]</sup>。

#### 参考文献(References):

- [1] Badiane N N Y, Chotte J L, Pate E, Masse D, Rouland C. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semiarid tropical regions[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(3): 229-238.
- [2] 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 urease activity and fertility of soils in Shaanxi province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 392-398.
- [3] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1987.  
Guan Songyin. Soil enzyme and the research methods[M]. Beijing: *Chinese Agricultural Press*, 1987.
- [4] 邱莉萍,刘军,王益权,孙慧敏,和文祥. 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.  
Qiu Liping, Liu Jun, Wang Yiquan, Sun Huimin, He Wenxiang. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3): 277-280.
- [5] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 1073-1082.
- [6] Margarita S, Fernando G P, Lillian F. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* plantations in Uruguay[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, (3): 1-9.
- [7] Gary D B, Mary K T, Francis R, et al. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 1785-1792.
- [8] Abdul K S, Katayama A, Kimura. Activities of some soil enzymes in different land use system after deforestation in hilly areas of west Lampung, south Sumatra, Indonesia[J]. *Soil Science*, 2000, 80: 91-97.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.  
Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analysis of soil physical chemical feature[M]. Shanghai: 1983.

- hai: *Shanghai Science and Technology Press*, 1983.
- [10] Acosta-Martínez V, Cruz L, Sotomayor-Ramírez D, Pérez-Alegría L. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35:35-45.
- [11] 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]. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 2002, 8(5):564-570.
- [12] Niemi R M, Vepsäläinen M, Wallenius K, Simpanen S, Alakukku L, Pietola L. Temporal and soil depth-related variation in soil enzyme activities and in root growth of red clover (*Trifolium pratense*) and timothy (*Phleum pratense*) in the field[J]. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30:113-125.
- [13] Wang A S, Scott Angle J, Chaney R L, Delorme T A, McIntosh M. Changes in soil biological activities under reduced soil pH during *Thlaspi caerulescens* phytoextraction[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38:1451-1461.
- [14] 薛立,邝立刚,陈红跃,谭绍满.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):280-285.  
Xue Li, Kuang Ligang, Chen Hongyue, Tan Shaoman. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of different stands[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2):280-285.
- [15] Elfstrand S, Bath B, Martensson A. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek [J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36:70-82.
- [16] Green V S, Stott D E, Cruz J C, Curi N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 92:114-121.
- [17] Ganfreda Liliana, Rao M A, Piotrowska A, Palumbo G, Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: Intensive agricultural practices and organic pollution[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, 341:265-279.
- [18] Srivastava S C, Singh J S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-use and nutrient flux [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1991, 23(2):117-124.
- [19] 姚胜蕊,束怀瑞.有机物料对苹果根际营养元素动态及土壤酶活性的影响[J].土壤学报,1999,36(3):428-432.  
Yao Shengrui, Shu Huairui. Study on the effect of organic material on mineral nutrients and enzymes of in the rhizosphere of apple seedlings[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3):428-432.

## The Relationships between Soil Enzyme Activities in *Kobresia humilis* Alpine Meadow and Soil Properties

WANG Qi-lan<sup>1</sup>, WANG Xi<sup>1</sup>, WANG Chang-ting<sup>1</sup>, CAO Guang-min<sup>1</sup>, LONG Rui-jun<sup>2</sup>

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;

2. International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The soil enzyme activities in *Kobresia humilis* alpine meadow was studied, and the relationships between soil properties and enzymes were analyzed. The results showed that from surface layer to 20cm in depth, organic matter, total N, available N, total P, available P, available K and CEC decreased significantly while bulk density, pH, and total K increased. The activity of catalase, urease, protease, cellulase, invertase, and alkaline phosphatase decreased obviously along deepening of soil depth while polyphenol oxidase increased. The correlation analysis indicated that organic matter and available K were significantly negative with polyphenol oxidase, and significantly positive with the other enzymes measured in the study. Total N, available P, CEC showed obvious correlations with six enzymes except invertase. Available N, total K were significantly correlated with cellulase, alkaline phosphatase, etc. However, pH and total P did not show close relation with any enzymes. Polyphenol oxidase and invertase showed correlations with some of enzymes, while there were significant correlations between the other enzymes. Path analysis indicated that enzyme activities were controlled by interaction of soil enzymes and soil environmental factors through direct or indirect way.

**Key words:** *Kobresia humilis* meadow; Soil enzyme activity; Soil properties; Path analysis