

# 松嫩平原盐碱草地主要植物群落土壤酶活性研究<sup>①</sup>

刘淑慧<sup>1,2</sup>, 康跃虎<sup>1\*</sup>, 万书勤<sup>1</sup>, 张体彬<sup>1</sup>

(1 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2 太原理工大学水利科学与工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 采用现场采样及室内测试方法, 研究了松嫩平原盐碱草地主要植物群落羊草 (*Leymus chinensis*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、虎尾草 (*Chloris virgata*)、碱茅 (*Puccinellia tenuiflora*)、碱蓬 (*Suaeda glauca*) 以及盐碱荒地上土壤磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的酶活性值以及垂直分布规律, 并对 3 种酶活性与各理化因子之间进行了相关分析。结果表明: 羊草群落的磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性值均为最高, 芦苇、虎尾草群落土壤的酶活性值也较高, 碱茅群落的土壤酶活性较低, 而碱蓬群落土壤酶活性值最低, 接近于盐碱荒地上土壤酶活性值。各植物群落的土壤酶活性垂直分布多表现为随着土壤深度的加深而呈现依次递减的规律, 且表层 (0~10 cm) 土壤酶活性在所有根层总酶活性中所占的比例最大, 占根层 (0~40 cm) 土壤酶活性的 50% 以上。土壤酶与土壤理化因子相关分析表明, 土壤的土壤酶活性大多与 EC、pH 值显著负相关, 对土壤酶活性影响较大; 土壤酶活性与土壤养分正相关, 脲酶与其相关性较大, 蔗糖酶与养分的相关关系不是很明显。

**关键词:** 土壤酶活性; 盐碱草地; 土壤环境; 松嫩平原

**中图分类号:** S154.2

松嫩平原草地是我国著名的天然草场, 也是我国重要的畜牧业基地之一, 具有较高的经济价值和重要的生态意义。长期以来, 由于盲目开荒、过度放牧、滥挖草皮及药材等破坏活动, 致使该区草地出现退化、沙化和盐碱化, 尤其草地盐碱化加重, 碱斑面积逐年扩大<sup>[1-4]</sup>。随着环保意识的提高以及我国可持续发展战略的实施, 人们逐渐认识到草原退化的危害及其严重性, 并采取了一系列措施来恢复草原土壤肥力<sup>[5-8]</sup>。因此, 找到一种合理的指标来指示草原土壤退化与恢复的程度就显得极为重要。

土壤酶是土壤中生物活动的产物, 土壤酶活性反映土壤中生物代谢和物质转化状况, 它可以表征土壤中正在进行着的各种生物化学过程的方向和程度<sup>[9]</sup>。土壤酶活性作为土壤环境指标之一越来越受到关注, 土壤酶参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环, 素有生物催化剂之称, 是土壤生物学活性的总体现之一<sup>[10-13]</sup>。德国学者 Herbert 早在 1963 年就把土壤酶活性作为土壤活性和土壤生产力的指标<sup>[14]</sup>。土壤酶是构成土壤肥力的重要因素, 在土壤物质循环和转

化过程中起着积极的作用, 是构成土壤生物活性的重要组成部分<sup>[15-16]</sup>。它们参与了许多重要的生物化学过程, 腐殖质的合成和分解、有机化合物、高等植物和微生物残体的分解及其转化为可利用的形态, 以及氧化还原反应等。因此, 用土壤酶活性可客观地评价土壤生物活性和土壤肥力<sup>[17]</sup>。

本文拟通过对松嫩平原不同植被群落土壤酶活性的研究, 来探讨土壤酶活性在不同植被群落中的差异以及盐碱化草场影响土壤酶活性的主要因素, 以期能为盐碱化草场的恢复提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

调查样地设在中国大安碱地生态试验站, 该试验站位于松嫩平原中南部, 霍林河与洮儿河的下游河间地区 (地理坐标: 45°35'58"~45°35'58"N, 123°50'27"~123°51'31"E)。试区为重度苏打盐碱地, 地处中温带大陆性季风区, 属于半湿润向半干旱气候过渡地带, 年平均气温 4.3℃, ≥10℃的有效积温为 2 935℃, 年

①基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2009BAC55B07) 和中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-13) 资助。

\* 通讯作者 (kangyh@igsrr.ac.cn)

作者简介: 刘淑慧 (1981—), 女, 河北涞水人, 博士研究生, 研究方向为农业水土资源高效利用。E-mail: shuhuiiu66@gmail.com

日照时数达3 014 h, 无霜期137天。多年平均降雨量413.7 mm, 年平均蒸发量1 756.9 mm。

## 1.2 野外采样

供试土壤采自中国大安碱地生态试验站站区内, 选取松嫩平原上典型植物群落(羊草、碱茅、虎尾草、碱蓬、芦苇)和寸草不生的盐碱荒地共6块样地分别进行取样。每个样区随机抽取1个样方, 样方的面积1 m×1 m, 取样点在样方内部随机布置。每块样地上取3次重复, 深度为40 cm, 土层深度分别为0~5、5~10、10~20、20~30、30~40 cm。

## 1.3 分析项目及方法

**1.3.1 土壤理化性质测定** pH值: pHS-3C 酸度计测定, 土水比为1:5; 电导率 EC: DDS-11A 电导率仪测定, 土水比为1:5; 硝态氮: 1 mol/L KCl 浸提, 紫外分光光度计测定; 铵态氮: 1 mol/L KCl 浸提, 靛酚蓝比色法测定; 速效钾: NH<sub>4</sub>OAc 浸提, 火焰光度计测定; 速效磷: 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提, 钼锑抗比色法测定。具体分析见文献[18]。

**1.3.2 酶活性测定方法** 碱性磷酸酶活性的测定采用磷酸苯二钠比色法, 脲酶活性的测定采用靛酚蓝比色法, 蔗糖酶活性的测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[10]</sup>。

**1.3.3 数据分析方法** 常规数据整理由 Excel2003 完成, 相关分析由 SPSS16.0 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物群落土壤酶活性的差异

由表1可以看出, 不同植物群落土壤酶活性值有一定的差异。羊草群落的磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性值均为最高, 芦苇、虎尾草群落土壤的酶活性值也较高, 碱茅群落的土壤酶活性较低, 而碱蓬群落土壤酶活性值最低, 接近于盐碱荒地上土壤酶活性值。由于羊草和芦苇和虎尾草的根系比较发达, 可为土壤生物栖息提供较好的场所并分泌更丰富的营养物被土壤生物利用, 土壤生物代谢活跃, 因此土壤中酶活性都比较强。与此相反, 在草原碱化过程中形成的碱茅和碱蓬群落, 伴随着土壤碱化程度的提高, 有机质含量下降, 土壤结构变得紧实, 不利于植物的生长, 群落的产量和质量下降, 在这种情况下土壤酶活性的值相应地较低。在碱化程度最高的碱蓬群落, 土壤环境更差, 土壤酶活性值极低, 接近于盐碱荒地上土壤酶活性的值。

表1 不同植物群落土壤酶活性(μg/(g·h))

Table 1 Soil enzyme activities under different plant communities

植物群落	磷酸酶	脲酶	蔗糖酶
羊草	206.66	47.62	4 591.33
芦苇	172.92	34.16	3 330.20
虎尾草	152.67	26.42	2 780.18
碱茅	131.80	23.14	2 194.93
碱蓬	116.19	20.43	965.99
盐碱荒地	109.02	13.63	693.49

### 2.2 不同植物群落酶活性垂直变化特点

由图1可以看出, 几种植物群落的土壤酶活性多表现为随着土壤深度的加深而呈现依次递减的规律, 而且表层(0~10 cm)土壤酶活性在所有根层总酶活性中占有较大比例, 大多在50%以上。对于羊草群落来说, 表层土壤酶活性所占比例依次为磷酸酶63%、脲酶55%、蔗糖酶64%; 芦苇群落表层土壤酶活性所占比例依次为磷酸酶70%、脲酶59%、蔗糖酶63%; 虎尾草群落依次为磷酸酶66%、脲酶57%、蔗糖酶63%; 碱茅群落依次为磷酸酶72%、脲酶57%、蔗糖酶55%; 碱蓬群落依次为磷酸酶72%、脲酶59%、蔗糖酶45%; 盐碱荒地上则为磷酸酶74%、脲酶49%、蔗糖酶55%。这主要是由于土壤表层积累了较多的枯枝落叶和腐殖质, 有机质含量高, 有充分的营养源以利于微生物的生长, 再加之水热条件和通气状况好, 使微生物生长旺盛, 代谢活跃, 呼吸强度加大而使表层的土壤酶活性较高。随着土壤剖面的加深, 土壤体积质量(容重)变大, 孔隙度变小, 限制土壤生物的正常活动; 同时有机质也随土层的加深而急剧下降, pH值变大, 土壤地下生物量也随之下降; 再加之土壤温度的降低及土壤水分的减少, 限制了土壤生物的代谢产酶能力。正是由于这些因素的综合作用, 使得土壤酶活性随着土层的加深而逐渐降低。这种变化趋势在磷酸酶的表现上尤为明显, 各群落表层酶活性值均占根层总酶活性值的60%以上。

### 2.3 酶活性与土壤理化因子之间的关系

土壤酶是一种生物催化剂, 它参与许多重要土壤生物化学过程, 驱动着土壤的代谢过程, 促进土壤圈中养分元素的循环。因此, 土壤酶与土壤理化因子有密切的关系。

**2.3.1 不同植物群落盐分和养分状况** 土壤 EC、pH 值是反映土壤盐碱性的重要指标, 土壤的速效钾、速效磷、硝态氮、铵态氮则反映土壤对当季植被养分的有效供应状况。对不同植物群落土壤的 EC、pH 值

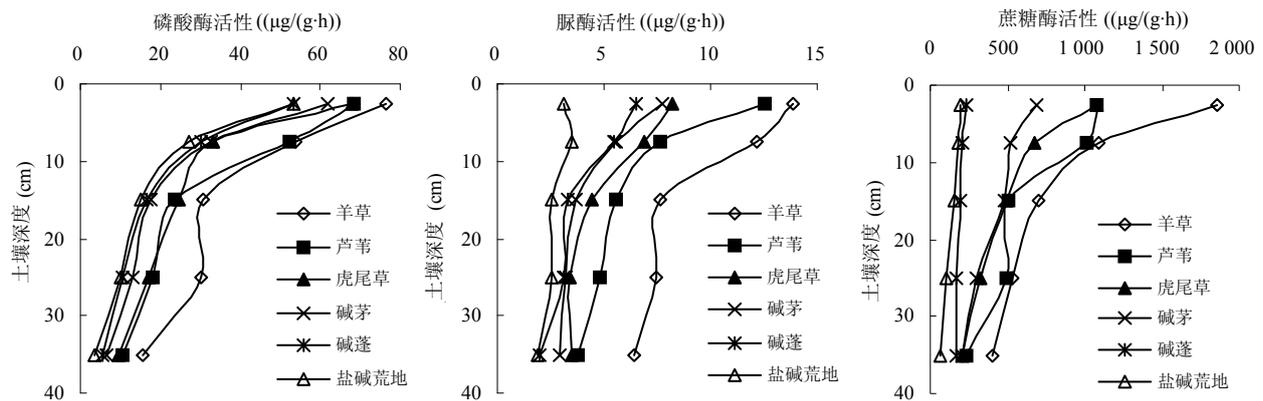


图 1 不同植物群落土壤酶活性的垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of enzyme activities under different plant communities

及速效养分（速效钾、速效磷、硝态氮、铵态氮）进行了测定，其结果见表 2。

从不同群落土壤理化性质比较来看，羊草和芦苇群落的 EC 和 pH 值明显低于其他群落，碱蓬群落有着较高的 EC 和 pH 值，其盐分和碱度接近于盐碱荒地。

随着 EC 和 pH 值的升高，土壤生物生存条件变劣，土壤酶的转化能力也逐渐下降。不同植物群落速效钾和速效磷的含量差别不是很大，硝态氮含量羊草群落明显高于芦苇、虎尾草、碱茅和碱蓬群落，铵态氮的含量则表现为羊草、芦苇、虎尾草群落高于碱茅和碱蓬群落。

表 2 不同植物群落的盐分和养分状况

Table 2 Soil salinity and nutrients under different plant communities

植物群落	EC (dS/m)	pH	速效钾 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)
羊草	1.23	9.79	183.25	22.38	18.99	6.47
芦苇	1.27	10.04	177.52	18.89	13.26	7.81
虎尾草	1.55	10.41	163.76	23.32	12.28	6.75
碱茅	1.46	10.39	165.59	19.20	12.51	4.56
碱蓬	1.73	10.40	142.70	23.32	12.63	5.26
盐碱荒地	3.03	10.40	148.94	20.02	10.01	3.06

不同土壤生境土壤盐碱度和土壤养分的差异，导致了群落间土壤酶活性的差异。主要表现为：在土壤盐碱性较低且土壤养分状况较好的土壤上，生长着羊草、芦苇群落，其土壤酶活性也较高。而在盐碱化较重且土壤养分条件差的土壤上生长着碱茅和碱蓬群落，碱茅和碱蓬群落的生境是比较严酷的，这也导致了土壤酶活性较低。

2.3.2 土壤酶活性与土壤理化因子之间的相关关系

从以上分析可以看出，土壤酶活性和土壤理化性质之间有着一定的联系，为了进一步说明土壤酶活性与土壤理化因子的关系，对它们之间的相关性进行了分析（表 3）。

几种不同植物群落的磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性与土壤的 EC、pH 值均呈负相关，其相关系数多数达显著和极显著关系水平，土壤盐碱化程度对土壤酶活

性的影响比较明显。土壤速效钾、速效磷和铵态氮也不同程度地影响土壤酶活性，其中铵态氮与土壤酶活性相关性较强，与磷酸酶的相关系数达显著水平，土壤含氮量对脲酶活性影响很大，铵态氮与脲酶活性达显著和极显著水平，与蔗糖酶的相关关系不是很明显。

3 结论和讨论

松嫩平原不同植被群落的土壤酶活性有一定的差异。羊草群落的磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性值均为最高，芦苇、虎尾草群落土壤的酶活性值也较高，碱茅群落的土壤酶活性较低，而碱蓬群落土壤酶活性值最低，接近于盐碱荒地上土壤酶活性值。

从土壤酶活性的垂直分布来看，羊草、碱茅、虎尾草、碱蓬、芦苇几种植物群落的土壤酶活性多表现为随着土壤深度的加深而呈现依次递减的规律，且表

表 3 土壤酶活性与理化因子间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil enzyme activities and physical-chemical factors

土壤酶	植物群落	pH	EC	速效钾	速效磷	硝态氮	铵态氮
磷酸酶	羊草	-0.893*	-0.993**	0.881*	0.183	0.800	0.905*
	芦苇	-0.785	-0.870	0.799	0.082	0.606	0.832
	虎尾草	-0.983**	-0.973**	0.638	0.904*	0.930	0.945*
	碱茅	-0.086	-0.944*	0.122	0.764	0.040	0.778
	碱蓬	-0.095*	-0.913*	0.965**	0.848	0.143	0.958*
脲酶	盐碱荒地	-0.363	-0.730	0.184	0.921*	0.955	0.609
	羊草	-0.986**	-0.958*	0.837	0.186	0.743	0.989**
	芦苇	-0.501	-0.651	0.571	0.105	0.626	0.529
	虎尾草	-0.961**	-0.972**	0.830	0.963**	0.941	0.931*
	碱茅	-0.277	-0.947*	0.278	0.758	0.451	0.693
蔗糖酶	碱蓬	-0.784	-0.889*	0.982**	0.757	0.004	0.994**
	盐碱荒地	-0.273	-0.935*	0.164	0.777	0.881	0.125
	羊草	-0.937*	-0.997**	0.823	0.091	0.762	0.945*
	芦苇	-0.983**	-0.979**	0.753	0.519	0.709	0.812
	虎尾草	-0.969**	-0.922*	0.814	0.950*	0.980	0.955*
蔗糖酶	碱茅	-0.313	-0.828	0.524	0.493	0.256	0.696
	碱蓬	-0.550	-0.589	0.552	0.232	0.855	0.515
	盐碱荒地	-0.545	-0.022	0.198	0.347	0.624	0.851

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平显著相关, \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平显著相关。

层 (0 ~ 10 cm) 土壤酶活性在所有根层总酶活性中所占的比例最大。

不同土壤生境土壤盐碱度和土壤养分的差异, 影响了土壤酶活性。在土壤盐分、pH 值较低且养分条件较好的羊草和虎尾草群落, 土壤酶活性值较高。与此相反, 在草原碱化过程中出现的碱茅和碱蓬群落, 伴随着土壤碱化程度的提高, 有机质含量下降, 土壤结构变得紧实, 该生境下土壤酶活性值较低。因此, 土壤酶活性的变化可以作为草原退化程度的一个指标。这与朱丽等<sup>[19]</sup>对松嫩平原草甸羊草、碱茅群落酶活性的研究结果一致。土壤酶与土壤理化因子相关分析表明, 土壤酶活性是各理化因子综合作用的结果, 不同环境下土壤理化性质发生改变, 会影响土壤酶活性。不同群落土壤的 EC、pH 值大多与土壤酶活性值呈显著负相关, 对土壤酶活性影响较大。土壤酶活性与土壤养分正相关, 其中脲酶与其相关性较大, 蔗糖酶与养分的相关关系不是很明显。

#### 参考文献:

- [1] 李建东, 郑慧莹. 松嫩平原盐碱化草地治理及其生物生态机理. 北京: 科学出版社, 1997
- [2] 张宝田, 王德利. 移栽羊草改良松嫩平原碱斑的方法研究. 东
- [3] 曹勇宏. 东北盐碱化草地发展草业与牧业结合型绿色生态经济的基本构想. 东北师大学报(自然科学版), 2008, 40(4): 136-141
- [4] 李建东, 杨允菲. 松嫩平原盐生群落植物的组合结构. 草业学报, 2004, 13(1): 32-38
- [5] 王娟, 谷雪景, 赵吉. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 934-938
- [6] 尚占环, 丁玲玲, 龙瑞军, 马玉寿. 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. 草业学报, 2007, 16(1): 36-40
- [7] 王辉, 任继州, 袁宏波. 黄河源区高寒草地沙化进程中土壤物理性质的变化. 草业学报, 2007, 16(1): 30-33
- [8] 杜岩功, 梁东营, 曹广民, 王启兰, 王长庭. 放牧强度对蒿草草甸草毡表层及草地营养和水分利用的影响. 草业学报, 2008, 17(3): 146-150
- [9] 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. 草业学报, 2002, 11(4): 28-34
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986
- [11] 窦超银, 康跃虎, 万书勤, 吕国华. 覆膜滴灌对地下水浅埋区重度盐碱地土壤酶活性的影响. 农业工程学报, 2010, 26(3): 44-50

北师大学报(自然科学版), 2009, 41(3): 97-100

- [12] Alkorta I, Aizpurua A, Riga P, Albizu I, Amézaga I, Garbisu C. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. *Reviews on Environmental Health*, 2003, 18(1): 65-73
- [13] Paul EA, Clack F E. *Soil microbiology and biochemistry*. New York, Academic Press, 1989
- [14] Herbert RA. Heterotrophic nitrogen fixation in shallow estuarine sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1975, 18: 215-225
- [15] 岳中辉, 王博文, 王洪峰, 阎秀峰. 松嫩平原西部盐碱草地土壤多酚氧化酶活性及其与主要肥力因子的关系. *草业学报*, 2009, 18(4): 251-255
- [16] 张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学的研究进展. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(1): 83-90
- [17] 鲁萍, 郭继勋, 朱丽. 东北羊草草原主要植物群落土壤过氧化氢酶活性的研究. *应用生态学报*, 2002, 13(6): 675-679
- [18] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [19] 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. *草业学报*, 2002, 11(4): 28-34

## Soil Enzyme Activities Under Plant Communities in Saline-sodic Grassland in Songnen Plain

LIU Shu-hui<sup>1,2</sup>, KANG Yao-hu<sup>1</sup>, WAN Shu-qin<sup>1</sup>, ZHANG Ti-bin<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2 College of Water Resources Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Field sampling and lab testing method were used to study the alkaline phosphatase, urease, sucrase activities and the vertical distribution of these soil enzyme activities in *Leymus chinensis*, *Phragmite communis*, *Chloris virgat*, *Puccinellia tenuiflor*, *Suaeda glauca* plant communities and the saline-sodic wasteland and to analyze the correlation of the three soil enzyme activities and the soil physical and chemical properties. The results showed that the alkaline phosphatase, urease and sucrase activities in the *Leymus chinensis* community were the highest, which were higher in the *Phragmite communis* and *Chloris virgata* communities, soil enzyme activities in the *Suaeda glauca* community were the lowest, which was close to these in the saline-sodic wasteland. The soil enzyme activities were decreased with the soil depth increased, soil enzyme activities in the surface layer was the largest in all root layers, which accounted for about 50% of the total soil enzyme in the root layers. Soil enzyme activities had negative correlation with electrical conductivity (EC) and pH value but had positive correlation with soil nutrients. The EC and pH values had great influences of the soil enzyme activities, the correlation of urease activity and soil nutrients were significant, but was not obvious between sucrase activity and soil nutrients.

**Key words:** Soil enzyme activities, Saline-sodic grassland, Soil environment, Songnen Plain