

松嫩草甸 3 种主要植物群落土壤脲酶的初步研究

朱 丽¹ 郭继勋^{1*} 鲁 萍² 周晓梅¹

(1 东北师范大学草地研究所, 长春 130024) (2 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

摘 要 松嫩草甸羊草 (*Leymus chinensis*) 群落、碱茅 (*Puccinellia tenuiflora*) 群落和虎尾草 (*Chloris virgata*) 群落土壤脲酶活性的季节动态呈单峰曲线变化, 在土体中随土层的加深, 其活性逐渐递减。各群落 0~10 cm 土层中的土壤脲酶活性与月平均降雨量呈幂函数关系, 与土壤温度呈指数函数关系。土壤脲酶活性受多种土壤理化因子的共同影响, 对于羊草群落, 各因子的影响程度依次为: pH 值 > 有机质 > 速效氮 > C/N > 容重 > 全氮 > 速效磷; 碱茅群落为: 有机质 > C/N > 全氮 > 容重 > 速效磷 > 速效氮 > pH 值; 虎尾草群落为: 全氮 > 有机质 > 速效氮 > pH 值 > C/N > 速效磷 > 容重。对该地区土壤肥力影响因子的主成分分析表明: 有机质、全氮、速效氮、C/N 和土壤容重对土壤肥力的贡献率占主导地位, 土壤脲酶活性所占的比重较小, 它不能完全反映土壤肥力状况。

关键词 松嫩草甸 土壤脲酶活性 多元统计分析 土壤肥力

PRIMARY STUDY ON THE SOIL UREASE ACTIVITY IN THREE MAIN PLANT COMMUNITIES IN THE SONGNEN MEADOW

ZHU Li¹ GUO Ji-Xun^{1*} LU Ping² and ZHOU Xiao-Mei¹

(1 Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(2 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract The seasonal changes of soil urease activity appeared to produce single-peaked curves in *Leymus chinensis*, *Puccinellia tenuiflora* and *Chloris virgata* communities in the Songnen meadow. The activity became gradually lower with increasing depth of soil layers. Soil urease activity of the 0–10 cm layer had a power-function correlation to rainfall (monthly mean value) and an exponential correlation to soil temperature, which showed that urease activity was deeply influenced by water and heat factors. Path analysis between urease activity and soil physical-chemical factors showed that urease activity was the result of interactions among soil physical-chemical factors, and each factor acted differently in the three communities. In the *L. chinensis* community, soil physical-chemical factors affecting urease activity decreased in the order of pH > organic matter > available N > C/N ratio > soil bulk density > total N > available P. In the *P. tenuiflora* community, the order was organic matter > C/N ratio > total N > soil bulk density > available P > available N > pH. In the *C. virgata* community, the order was total N > organic matter > available N > pH > C/N ratio > available P > soil bulk density. The dominant influencing factors were also found in the three communities through stepping multi-regression. They were organic matter and pH in *L. chinensis* community, organic matter and soil bulk density in *P. tenuiflora* community and total N in *C. virgata* community, which showed that organic matter was the base of soil urease activity. Principal component analysis of the soil fertility indicated that the contribution of organic matter, total N, available N, C/N ratio and soil bulk density accounted for the most part, while the contribution of urease activity was low. That is why the soil urease activity of the *C. virgata* community, which grew in the barren region, was higher than that of the *L. chinensis* community, which grew in the fertile region in the Songnen meadow. Although the soil urease activity was remarkably correlated with most of the soil physical-chemical factors, it only dealt with the nitrogen transformation among many soil nutritional element transformations. Therefore, soil urease activity does not completely reflect the conditions of soil fertility but is only an assistant index for evaluation.

Key words The Songnen meadow, Soil urease activity, Multivariate analysis, Soil fertility

土壤脲酶将土壤中的有机化合物尿素水解为氨态氮, 使植物所需的养分转化为有效态, 对提高氮素的利用率和促进土壤氮素循环具有重要意义。国内

外对土壤脲酶研究主要向两个领域拓展, 一是对土壤脲酶的热动力学特性及稳定机理等方面的基础研究 (Marzadori *et al.*, 2000; 和文祥等, 2001); 二是与

土壤脲酶有关的环境污染监测(van Beelen & Doelman, 1997; Bertrand *et al.*, 2001)、污染物净化(García-Gil *et al.*, 2000; Pascual *et al.*, 2002)以及土壤生化活性评价(沈宏等, 1999; Pattnaik *et al.*, 1999; Ajwa *et al.*, 1999)等方面的应用研究。在土壤生化活性评价中,关于土壤脲酶活性与土壤肥力的关系,国内外学者持有两种观点:一是土壤脲酶与有机质、全氮、全磷等性质均显著或极显著相关,可作为评价土壤肥力指标之一(Zantua & Bremner, 1975; 周礼恺等, 1983);二是脲酶活性与土壤任一理化性质均不显著相关(Beri *et al.*, 1978; Ross & Speir, 1979; Sakom, 1987)。为进一步探讨土壤脲酶活性与土壤肥力的复杂关系,作者对松嫩草甸 3 种植物群落土壤脲酶活性的季节动态、分布规律及其与环境因素的关系进行了研究,旨在揭示不同生境下影响土壤脲酶活性的主导因素,为科学地评价与提高松嫩草甸土壤肥力提供理论依据。

1 样地自然概况与研究方法

1.1 样地自然概况

试验样地位于松嫩草甸西部,吉林省长岭县种马场境内,地理坐标为 44°40′~44°45′ N、123°44′~123°47′ E,属于温带半干旱季风气候。年降雨量在 350~450 mm 之间,月份间降雨分布不均,多集中在 6~8 月,占全年降雨量的 70% 多。年蒸发量 1 688 mm,约为年降水量的 3.5 倍。年平均温度为 4.9 ℃,最暖月平均气温为 23.2 ℃,出现在 7 月,最冷月平均气温为 -16.4 ℃,出现在 1 月。≥10 ℃积温为 2 546~3 374 ℃,年日照平均值为 2 882 h。主要土壤类型有黑钙土、草甸土和盐碱土等。该地区以羊

草(*Leymus chinensis*)群落占绝对优势,分布广泛,盖度在 80% 左右。在 pH 值较大的盐碱土上分布的碱茅(*Puccinellia tenuiflora*)群落、虎尾草(*Chloris virgata*)群落及其它耐盐碱植物群落与羊草群落镶嵌分布,形成植被复合体。

1.2 研究方法

样品采集于 2000 年 6 月至 10 月。在地势平坦,植被及土壤基本一致的地段,选择具有代表性的羊草群落、碱茅群落和虎尾草群落 3 种生境作为样地,其地上生物量和土壤理化性质的调查详见表 1。在每个样地上定点取土样,3 次重复,深度为 0~30 cm,每隔 10 cm 为一层,共分 3 层,每月中旬取样,带回实验室。其中一部分置于 -20 ℃下保存备用;另一部分自然风干后,过 1 mm 筛以备测定土壤理化性质。

土壤脲酶活性的测定采用萘氏比色法,活性单位为 NH₃-N mg·g⁻¹ soil(许光辉等, 1986)。土壤理化因子的测定中,土壤有机质采用重铬酸钾法,土壤全氮采用凯氏定氮法,速效氮采用碱解蒸馏法,速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,土壤 pH 值采用水浸电位法,土壤容重采用环刀法。

2 结果与分析

2.1 土壤脲酶活性的季节动态与在土体中的垂直分布

图 1 表明,3 种植物群落中 3 个土层的土壤脲酶活性季节动态基本呈单峰曲线变化。除了 20~30 cm 土层中虎尾草群落的 7、8 月土壤脲酶活性降至微量和羊草群落 6 月脲酶活性达到最高值以外,3 种群落其余各个土层的土壤脲酶活性最高值均集中

表 1 3 种植物群落地上生物量与土壤理化性质(6~10 月平均值±SD n=5)

Table 1 The mean value (±SD) from June to October of above ground biomass and soil physical-chemical properties in three plant communities									
群落类型 Community type	地上生物量 Above ground biomass (g·m ⁻²)	土壤特性 Soil properties							
		深度 Depth (cm)	有机质 O.M. (%)	全 N Total N (%)	速效 N Available N (mg·kg ⁻¹)	速效 P Available P (mg·kg ⁻¹)	C/N	pH	容重 Bulk density (g·cm ⁻³)
羊草群落 <i>Leymus chinensis</i> community	362.39±33.12	0~10	1.89±0.35	0.17±0.03	116.92±31.27	5.84±1.66	6.32±0.65	8.49±0.95	1.34±0.01
		10~20	1.11±0.27	0.12±0.03	73.42±13.19	4.37±1.25	5.25±0.24	8.89±0.60	1.66±0.05
		20~30	0.57±0.18	0.08±0.01	37.46±12.50	4.16±1.36	4.00±0.84	8.95±0.42	1.71±0.03
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	261.25±60.80	0~10	1.02±0.12	0.12±0.02	51.64±10.14	11.88±3.81	4.83±0.39	9.68±0.28	1.47±0.02
		10~20	0.65±0.16	0.09±0.02	29.18±10.74	9.73±3.02	4.20±0.62	9.92±0.18	1.68±0.06
		20~30	0.41±0.10	0.07±0.02	17.52±4.14	6.16±2.79	3.59±0.66	10.08±0.10	1.71±0.05
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	112.32±121.30	0~10	1.10±0.17	0.13±0.01	53.94±13.77	8.44±2.04	5.03±0.56	9.77±0.51	1.45±0.03
		10~20	0.81±0.13	0.10±0.01	37.46±7.94	8.32±3.15	4.65±0.42	10.04±0.19	1.70±0.12
		20~30	0.47±0.11	0.07±0.01	20.46±6.90	5.93±1.98	4.10±0.32	10.11±0.17	1.76±0.05

O.M.: Organic matter

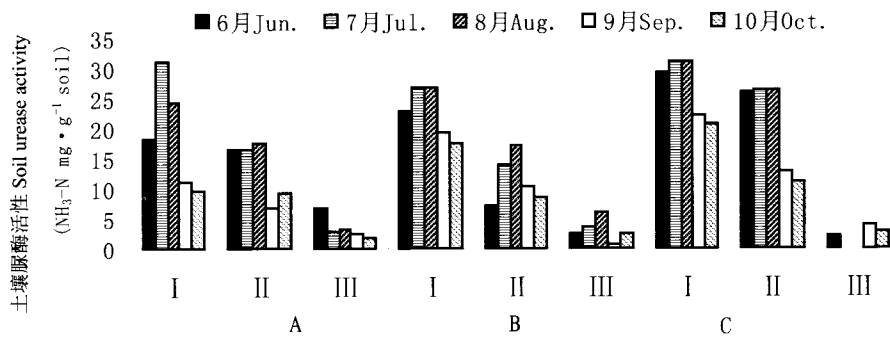


图1 羊草群落(A)、碱茅群落(B)和虎尾草群落(C)土壤脲酶活性的季节变化动态
Fig.1 Seasonal changes of soil urease activity in *Leymus chinensis* community (A), *Puccinellia tenuiflora* community (B) and *Chloris virgata* community (C)
I: 0 ~ 10 cm II: 10 ~ 20 cm III: 20 ~ 30 cm

于7、8月。这是因为土壤酶主要来自于微生物、植物和动物的活体或残体,是生物过程的产物。从6月开始,温度升高,降雨量增多,既有利于土壤微生物、土壤动物的生长繁殖,也利于植物群落的生物量增加。7、8月水热因子配合协调,土壤生物和植物群落的产量达到最大值,脲酶活性也达到最大值。9、10月,随着大气温度降低,降雨量减少,土壤生物的代谢能力开始下降,植物逐渐枯萎,导致脲酶活性也随之下落。因此土壤脲酶活性变化与植物的生长发育节律基本一致,这充分说明了生物要素和水热因素是促成脲酶活性季节变化的主要因子。

3种植物群落中,土壤脲酶活性均具有显著的土体层次性差异,表现出随着土壤深度的加深而递减的规律。0~10 cm土层的脲酶活性较大,分别是其余两层的1.3~2.0倍和5.6~14.8倍,主要是由于土壤表层积累了较多的枯落物和腐殖质,有充足的营养源和良好的水热条件及通气状况,土壤生物代谢活跃,使表层积聚了较高的脲酶活性。随着土层的加深,有机质含量下降、土壤容重增加、pH值变大、土壤温度降低及土壤水分减少,这些因素的综合作用限制了土壤生物的代谢产酶能力,使土壤脲酶活性随着土层的加深而逐渐降低。土壤脲酶这种层次性的分布,与黄世伟(1981)对土壤酶活性与土壤肥力的研究,胡海波等(1998)对海岸防护林土壤酶活性的研究,庄铁诚等(1999)对武夷山森林土壤生化特性的研究中获得的结果基本一致,表明草原土壤脲酶活性与其它生态系统中的情况一样服从土壤

生物总活性的土层垂直分布规律。

2.2 土壤脲酶活性与水热因子的关系

0~10 cm土层中的土壤脲酶活性与月平均降雨量和土壤温度的回归分析表明:尽管3种群落的土壤脲酶活性有一定的差异,但它们对降雨量和土壤温度的响应基本一致(表2)。各群落土壤脲酶活性与月平均降雨量呈显著或极显著的幂函数关系,设 $R_{10} = Y_{(10R)} / Y_{(R)}$,则羊草群落为 $R_{10} = 10^{0.4069} = 2.552$,说明月平均降雨量在5~120 mm范围内,降雨量每提高10倍,土壤脲酶活性可增加155.2%;同理碱茅群落($R_{10} = 10^{0.1659} = 1.465$)和虎尾草群落($R_{10} = 10^{0.1549} = 1.429$)的土壤脲酶活性可分别增加46.5%、42.9%。土壤脲酶活性与土壤温度间呈显著或极显著的指数函数关系,设 $T_{10} = Y_{(T+10)} / Y_{(T)}$,则羊草群落为 $T_{10} = e^{0.621} = 1.826$,说明在10~35℃范围内,土壤温度每升高10℃,土壤脲酶活性可增加82.6%;同理碱茅群落($T_{10} = 1.245$)和虎尾草群落($T_{10} = 1.218$)的土壤脲酶活性可分别增加24.5%、21.8%。可见在温带半干旱季风气候的松嫩草甸地区,春季干旱以及秋季低温成为限制土壤脲酶活性的主要环境因子。

2.3 土壤脲酶活性与土壤理化因子的通径分析

在3种植物群落0~30 cm土层中,反映营养状况的有机质含量(X_1)、全氮(X_2)、速效氮(X_3)、速效磷(X_4)、C/N(X_5)及反映碱化度和土壤紧实度的土壤pH值(X_6)、土壤容重(X_7)与土壤脲酶(U)间的通径分析见表3。

表2 3种群落植物土壤脲酶活性与水热因子间的回归分析(n=5)				
Table 2 Regression analysis between soil urease activity and main environmental factors in three plant communities				
群落类型 Community type	降雨量 Rainfall (mm)		土壤温度 Soil temperature (℃)	
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	$Y_R = 3.786 2x^{0.4069}$	$R^2 = 0.847 1^{**}$	$Y_T = 4.918 7e^{0.0602x}$	$R^2 = 0.797 7^*$
碱茅 <i>Puccinellia tenuiflora</i>	$Y_R = 12.08 x^{0.1659}$	$R^2 = 0.921 5^{**}$	$Y_T = 13.735e^{0.0219x}$	$R^2 = 0.846 1^{**}$
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	$Y_R = 14.879 x^{0.1549}$	$R^2 = 0.788 3^*$	$Y_T = 16.677e^{0.0197x}$	$R^2 = 0.843 3^{**}$

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

表 3 3 种植物群落中土壤脲酶与理化因子的通径分析

Table 3 Path analysis between soil urease and physical-chemical factors in three plant communities

群落类型 Community type	理化因子 Phy-chemical factors	间接效应 Indirect effect								直接效应 Direct effect	相关系数 R
		$X_1 \rightarrow U$	$X_2 \rightarrow U$	$X_3 \rightarrow U$	$X_4 \rightarrow U$	$X_5 \rightarrow U$	$X_6 \rightarrow U$	$X_7 \rightarrow U$	总和 $\sum i$		
羊草群落 <i>Leymus chinensis</i> community	X_1		0.066 1	-0.417 2	-0.026 9	0.284 4	0.231 0	0.071 1	0.208 5	0.540 0	0.748 5**
	X_2	0.489 2		-0.414 5	-0.027 8	0.258 5	0.246 0	0.069 0	0.620 4	0.073 0	0.693 4**
	X_3	0.496 3	0.066 6		-0.021 8	0.281 4	0.311 6	0.069 0	1.203 1	-0.454 0	0.749 1**
	X_4	0.353 7	0.049 6	-0.241 5		0.144 3	0.260 4	0.042 2	0.608 6	-0.041 0	0.567 6*
	X_5	0.468 2	0.057 5	-0.389 5	-0.018 0		0.130 2	0.063 9	0.312 2	0.328 0	0.640 2**
	X_6	-0.216 5	-0.031 2	0.245 6	0.018 5	-0.074 1		-0.035 3	-0.093 0	-0.576 0	-0.669 0**
	X_7	-0.456 8	-0.060 0	0.372 7	0.020 6	-0.249 6	-0.241 9		-0.615 1	-0.084 0	-0.699 1**
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	X_1		-0.500 6	-0.098 5	0.050 7	-0.426 7	0.007 6	0.190 5	-0.777 0	1.731 0	0.954 0**
	X_2	1.628 9		-0.097 4	0.033 7	-0.296 5	0.006 5	0.190 7	1.465 9	-0.532 0	0.933 9**
	X_3	1.672 1	-0.508 1		0.032 7	-0.352 8	0.006 5	0.189 0	1.039 4	-0.102 0	0.937 4**
	X_4	0.737 4	-0.150 6	-0.028 1		-0.369 2	0.004 8	0.099 4	0.293 8	0.119 0	0.412 8
	X_5	1.350 2	-0.288 3	-0.065 8	0.080 3		0.006 7	0.126 9	1.210 0	-0.547 0	0.663 0**
	X_6	-1.310 4	0.347 9	0.065 9	-0.056 8	0.367 6		-0.156 6	-0.742 4	-0.010 0	-0.752 4**
	X_7	-1.499 0	0.461 2	0.087 6	-0.053 8	0.315 6	-0.007 1		-0.695 5	-0.220 0	-0.915 5**
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	X_1		1.859 5	-0.422 0	-0.043 8	0.197 3	0.156 4	0.059 4	1.806 8	-1.035 0	0.771 8**
	X_2	-0.993 6		-0.394 7	-0.057 8	0.161 6	0.115 0	0.060 7	-1.108 8	1.937 0	0.828 2**
	X_3	-0.990 5	1.733 6		-0.008 8	0.193 5	0.197 0	0.062 4	1.187 1	-0.441 0	0.746 1**
	X_4	-0.338 4	0.834 8	-0.029 1		0.038 2	-0.111 9	0.005 5	0.399 0	-0.134 0	0.265 0
	X_5	-0.903 6	1.385 0	-0.377 5	-0.022 6		0.177 5	0.043 1	0.301 8	0.226 0	0.527 8*
	X_6	0.644 8	-0.887 1	0.346 2	-0.059 8	-0.159 8		-0.041 5	-0.157 2	-0.251 0	-0.408 2
	X_7	0.799 0	-1.526 4	0.357 2	0.009 5	-0.126 6	-0.135 3		-0.622 5	-0.077 0	-0.699 5**

$n = 15$ $R_{0.05} = 0.514$ $R_{0.01} = 0.641$ * : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

土壤脲酶与各土壤理化因子间多数达到显著或极显著相关。在羊草群落中,各因子的直接效应依次为:pH 值>有机质>速效氮>C/N>容重>全氮>速效磷,碱茅群落为:有机质>C/N>全氮>容重>速效磷>速效氮>pH 值,虎尾草群落为:全氮>有机质>速效氮>pH 值>C/N>速效磷>容重。土壤理化因子间相互作用,相互依赖,共同影响着土壤脲酶活性的大小。为简化这种复杂关系,我们以土壤脲酶为因变量 U ,土壤理化因子为自变量 X ,进行逐步多元回归($a = 0.10, n = 15$),结果如下:

羊草群落 $U_1 = 0.805\ 1X_1 - 5.607\ 4X_6 + 51.480\ 7$ $R = 0.850$

碱茅群落 $U_2 = 1.960\ 8X_1 - 27.368\ 1X_7 + 43.212\ 9$ $R = 0.971$

虎尾草群落 $U_3 = 36.501\ 4X_2 - 19.269$
 $R = 0.828$

经筛选,方程中仅保留了影响土壤脲酶活性的最关键因子。其中,羊草群落为有机质和 pH 值,碱茅群落为有机质和容重,虎尾草群落为全氮。土壤脲酶虽与全氮和速效氮均达到极显著相关,但有机质是土壤肥力的基础,脲酶依赖于有机质而存在。在羊草群落中 pH 值直接限制着土壤脲酶活性,但土壤容重的影响不大,说明羊草群落的土壤通气状

况良好,质地疏松。在虎尾草群落中土壤容重间接效应较大,为 -0.622 5,土壤紧实、通气状况差,并通过影响其它理化因子间接地制约着脲酶活性。氮素是该群落的限制元素,脲酶靠分解有限的有机质来利用土壤氮素,所以有机质的直接效应表现为强负效应 -1.035 0,而通过全氮的间接效应则高达 1.859 5。碱茅群落受 pH 值和容重的双重限制,两者间接效应都很大。

2.4 土壤肥力的主成分分析

将土壤脲酶作为影响土壤肥力的因素之一进行主成分分析(表 4)。按方差最大正交旋转法(Varimax rotation)得到两个主成分的累积方差贡献率为 82.26%,可代表土壤肥力系统内绝大部分变异信息,其因子载荷量说明主成分 Y_k 与变量 X_i 关系的紧密程度。土壤肥力系统的第一主成分占较大分量,其贡献率达 64.119%,包括有机质、全氮、速效氮、C/N 比和土壤容重,主要反映的是土壤中碳、氮两大营养元素的影响,是认识该地区土壤肥力的最重要方面。第二主成分的贡献率为 18.147%,其中速效磷、脲酶活性和 pH 值起主要作用,可归纳为土壤速效养分和碱化状况的影响,可见土壤脲酶活性在土壤肥力构成中并不占主导地位。根据特征根与因子载荷量,可得到反映土壤肥力水平的第一、二主

成分方程:

$$Y_1 = 0.012\ 35U + 0.040\ 1X_1 + 0.501\ 3X_2 + 0.005\ 833X_3 - 0.002\ 113X_4 + 0.181\ 2X_5 - 0.196\ 3X_6 - 1.096\ 5X_7 + 1.470\ 5$$
$$Y_2 = 0.035\ 47U - 0.001\ 41X_1 + 0.135\ 1X_2 - 0.005\ 12X_3 + 0.185\ 9X_4 - 0.002\ 33X_5 + 0.501\ 7X_6 - 1.019\ 1X_7 - 4.842\ 4$$

分别将 3 种植物群落的土壤脲酶活性和土壤理化性质代入上述方程,应用主成分分析方法对样本进行分类(李双霖,1990;胡海波等,1998)。聚类分析结果表明:在松嫩草甸占绝对优势的羊草群落单独为一类,在土壤退化并出现轻度盐碱化地段生长的虎尾草群落和碱茅群落为一类,属于土壤肥力较低的类群。

表 4 土壤主成分的贡献率和因子载荷量
Table 4 Cumulative proportion and factor loading of the soil principal components

	第一主成分 Factor 1	第二主成分 Factor 2
特征根 Eigenvalue	5.130	1.452
贡献率 Proportion (%)	0.641 19	0.181 47
累积贡献率 Cumulative (%)	0.641 19	0.822 6
X_1	0.968 1	
X_3	0.955 4	-0.227 2
X_2	0.945 1	
X_5	0.864 3	
X_7	-0.851 4	-0.232 3
X_6	-0.693 4	0.509 4
U	0.658 5	0.524 3
X_4		0.897 1

3 讨 论

土壤脲酶活性与土壤各理化因子之间多数达到极显著相关,但它只涉及土壤众多营养元素中氮素的转化过程,其活性的大小尚不足以完全代表土壤肥力和生产力的高低。一年生虎尾草生长于土壤营养状况较贫瘠的地段,具有较强的自肥能力。当处于生长旺季时,由于土壤中绝大部分养分匮乏,限制其正常生长,土壤脲酶通过分解凋落物来满足植物生长所需大量的氮素,此时脲酶活性迅速提高,促进肥力的形成;而多年生的羊草,生长于土壤养分相对充足的地段,土壤中腐殖质越多、土壤越肥沃,积累的脲酶数量便越多,使脲酶与腐殖质结合成酶-腐殖质复合体稳定地存在于土壤中,这使得土壤脲酶在土壤养分较差的虎尾草群落中有较高的酶活性,而在各项理化指标均要优于虎尾草的羊草群落中并没

表现出优势。在松嫩草甸地区,土壤脲酶活性并不在土壤肥力构成中起主导作用,它只是衡量土壤肥力的一种辅助指标。而和文祥等(1997)的研究则表明,土壤脲酶活性在土壤肥力系统中占有较大的权重,可作为评价土壤肥力水平的重要指标。由于土壤脲酶活性受生物要素、水热因子、土壤母质及土壤发生发育(陈恩凤等,1985)等多方面因素影响,在探讨土壤脲酶活性与土壤肥力间复杂关系时,研究的对象、时间和空间的差异必然会产生不同的结论。因而研究不同土壤类型的土壤脲酶活性与其肥力水平的关系,确定不同类型土壤肥力评价分级时可参考的指标是一个亟待解决的问题。

此外,凋落物的积累为土壤脲酶提供了源源不断的底物,有效地归还了植物生长所必需的养分。所以在草原生态系统中,特别是土壤较贫瘠的地段,应该保护好凋落物,这是增加土壤有机质,增强土壤脲酶活性,促进土壤中营养物质的循环、代谢和提高土壤中速效养分的一个重要策略。

参 考 文 献

Ajwa, H. A., C. J. Dell & C. W. Rice. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**:769 ~ 777.

Beri, V., K. P. Goswami & S. S. Brar. 1978. Urease activity and its Michaelis constant for soil systems. *Plant and Soil*, **49**:105 ~ 115.

Bertrand, B., C. Delolme & R. Gourdon. 2001. Complementarity of bioassays and microbial activity measurements for the evaluation of hydrocarbon-contaminated soils quality. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**:883 ~ 891.

Chen, E. F. (陈恩凤), L. K. Zhou (周礼恺), F. Q. Qiu (邱凤琼) & C. S. Yan (严昶升). 1985. Study on the essence of soil fertility. II. Brown earth. *Acta Pedologica Sinica*(土壤学报), **22**:113 ~ 119. (in Chinese with English abstract)

García-Gil, J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovira & A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**:1907 ~ 1913.

He, W. X. (和文祥) & M. E. Zhu (朱铭莪). 1997. Relationship between urease activity and fertility of soils in Shanxi province. *Acta Pedologica Sinica*(土壤学报), **34**:391 ~ 398. (in Chinese with English abstract)

He, W. X. (和文祥), M. E. Zhu (朱铭莪) & Y. P. Zhang (张一平). 2001. Study on soil urease thermodynamic characteristics of major soils in Shanxi. *Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forestry* (Natural Science Edition) (西北农林科技大学学报(自然科学版)), **29**(1):51 ~ 54. (in Chinese with English abstract)

Hu, H. B. (胡海波), L. X. Kang (康立新), Z. H. Liang (梁珍海) & C. L. Qiu (仇才楼). 1998. Study on characteristics of enzyme activities in afforested soils of silting coastal areas. *Acta Pedologica Sinica*(土壤学报), **35**:112 ~ 118. (in Chinese with English abstract)

Huang, S. W. (黄世伟). 1981. Soil enzymatic activity and soil fertility. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), **4**:37 ~

40. (in Chinese)
 Li, S. L. (李双霖). 1990. Testing the feasibility of soil enzymatic activities qua the index of soil fertility by clustering-principal component analysis. Chinese Journal of Soil Science (土壤通报), **21**: 272 ~ 274. (in Chinese)
- Marzadori, C., O. Francioso, C. Ciavatta & C. Gessa. 2000. The influence of the content of heavy metals and molecular weight of humic acids fractions on the activity and stability of urease. Soil Biology and Biochemistry, **32**: 1893 ~ 1898.
- Pascual, J. A., J. L. Moreno, T. Hernández & C. García. 2002. Persistence of immobilised and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes. Bioresource Technology, **82**: 73 ~ 78.
- Pattanaik, P., B. Ramakrishnan, T. K. Adhya, N. Sethunathan & K. Mallick. 1999. Urease activity and urea hydrolysis in tropical flooded soil unplanted or planted to rice. Journal of the Science of Food and Agriculture, **79**: 227 ~ 231.
- Ross, D. J. & T. W. Speir. 1979. Biochemical activities of organic soils from subantarctic tussock grasslands on campbell island. 2. Enzyme activities. New Zealand Journal of Science, **22**: 173 ~ 182.
- Sakorn, P. P. 1987. Urease activity and fertility status of some low-land rice soils in the central plain. Journal of Agriculture Science, **20**: 173 ~ 186.
- Shen, H. (沈宏), Z. H. Cao (曹志洪) & B. S. Xu (徐本生). 1999. Dynamics of soil microbial biomass and soil enzyme activity and their relationships during maize growth. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), **10**: 471 ~ 474. (in Chinese with English abstract)
- van Beelen, P. & P. Doelman. 1997. Significance and application of microbial toxicity tests in assessing ecotoxicological risks of contaminants in soil and sediment. Chemosphere, **34**: 455 ~ 499.
- Xu, G. H. (许光辉) & H. Y. Zheng (郑洪元). 1986. Handbook of analytical method of soil microbiology. Beijing: China Agriculture Press. 287 ~ 289. (in Chinese)
- Zantua, M. I. & J. M. Bremner. 1975. Preservation of soil samples for assay of urease activity. Soil Biology and Biochemistry, **7**: 297 ~ 299.
- Zhuang, T. C. (庄铁诚), Y. B. Zhang (张瑜斌), P. Lin (林鹏) & R. H. Chen (陈仁华). 1999. Biochemical characters of forest soils at Wuyishan Mountain. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), **10**: 283 ~ 285. (in Chinese with English abstract)
- Zhou, L. K. (周礼恺), Z. M. Zhang (张志明) & C. M. Cao (曹承绵). 1983. On the role of the totality of soil enzyme activities in the evaluation of the level of soil fertility. Acta Pedologica Sinica (土壤学报), **20**: 413 ~ 418. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李凌浩 责任编辑: 周玉荣

欢迎订阅 2004 年《生态环境》

《生态环境》是经国家科技部批准的正式学术期刊, 向国内外公开发行人。刊号: ISSN 1672-2175; CN 44-1565/X。1992 年创刊。入选中国核心期刊(遴选)数据库、中国科学引文数据库; 被评为广东省优秀期刊、广东省优秀科技期刊、全国优秀农业期刊(一等奖)、中国学术期刊(光盘版)规范优秀期刊。主要刊登国内外生态学、环境科学及其相关的许多领域具有创新性的重要研究论文, 以及对热点问题和前沿问题富有启发性的水平高的综述。刊登内容广泛, 是一种多学科互相渗透和互相综合的刊物。适合从事生态学、环境学、环境保护、土壤学、大气科学、水科学、地理学、地质学、地球科学、农业科学、林学、医学、社会科学、经济科学等广大领域的科技人员、学者、教师、学生、各级管理者和环境爱好者阅读。

全铜版纸精美印刷, 季刊, 大容量, 大 16 开, 正文 150 页/册, 定价 12.50 元/册, 全年定价 50 元(含邮资)。邮发代号 46-272, 欢迎订阅。如错过邮局订阅期限, 可直接向编辑部订阅。

邮局汇款: 广州市天河区天源路 808 号 广东省生态环境与土壤研究所《生态环境》编辑部, 邮编 510650。

银行汇款: 开户银行: 中国工商银行广州市沙河办事处, 帐号: 3602002709002419786, 收款单位: 广东省生态环境与土壤研究所。

本刊网址: <http://www.eco-environment.com>

电子信箱: editor@eco-environment.com

电 话: (020)87024961