

三峡库区消落带土壤酶活性特征

贾国梅^{1,2}, 席颖¹, 许文年², 陈芳清¹

(1. 三峡大学 生物与制药学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘要:土壤酶驱动土壤生态系统养分的循环和控制生态系统的功能。选取三峡库区消落带三个海拔梯度的土壤, 以从未淹没的样地作为对照, 研究消落带土壤酶活性特征。结果表明, 消落带区域土壤有机碳(OC)、微生物生物量碳(MBC)和所测定的四种酶[磷酸酶(PNP)、芳基硫酸酯酶(PNS)、N-乙酰- β -D-氨基葡萄糖苷酶(NAG)和 β 糖苷酶(PAG)]的绝对活性(单位土壤干重的酶活性)和四种酶的几何平均数(GME)显著低于从未淹没的对照样地。在消落带区域, 只有磷酸酶的绝对活性随着淹没持续时间的延长而降低, 其他土壤三种酶的绝对活性在三个样地之间并无显著性的差异。土壤四种酶的几何平均数与有机碳、微生物生物量碳的变化相似, 在海拔梯度较低的样地最低, 其他两个较高海拔梯度的样地之间无显著性的差异。然而单位有机碳或微生物生物量碳的四种酶的具体活性的变化趋势与酶的绝对活性的变化并不一致。PNP的具体活性在所有测定的样地之间都无显著性的差异, 而其他三个酶的具体活性是海拔最低的样地显著高于其他样地, 其他样地之间并无显著性的差异。因而, 这些结果意味着四种酶的几何平均数能够敏感指示三峡库区消落带水位消涨及其不同淹没持续时间对土壤质量的影响, 是一个能够综合反映所有土壤酶活性对消落带水位消涨的响应的敏感指标。

关键词:土壤质量; 土壤酶; 有机碳; 微生物生物量碳; 消落带

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)04-0024-05

Characteristics of the Activities of Soil Enzymes in Riparian Zone of Three Gorges Reservoir Area

JIA Guomei^{1,2}, XI Ying¹, XU Wennian², CHEN Fangqing¹

(1. College of Biological and Pharmaceutical Sciences, Three Gorges University,

Yichang, Hubei 443002, China; 2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three

Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: Soil enzyme catalyzes soil nutrient cycles and controls the function of ecosystem. The results showed that soil organic carbon(SOC), microbial biomass carbon(MBC), absolute activities of soil four enzymes: phosphatase (PNP), arylsulfatase (PNS), N-acetyl- β -glucosaminidase (NAG) and β -glucosidase (PAG)) (i. e. activity per dry soil mass) and the geometric mean of enzyme activities (GME) were lower in riparian zone than those of the never inundation of uplands(NI). In riparian zone, although the absolute activity of PNP increased with the elevation, there was no significant difference for the absolute activities of other soil three enzymes. The change in GME which was similar to the change in SOC and MBC, was lower in LI than MI and SI which had no significant difference in riparian zone. However, the change in the soil specific enzyme activities expressed either per unit of SOC or MBC was different from absolute activities of soil enzymes. There was no significant for PNP specific activity among sites measured, whereas PNS, NAG and PAG specific activities were higher in LI than other sites which were no significant difference. Therefore, the results suggested that GME was a suitable index to condense the whole set of soil enzyme values in a single numerical value, which was sensitive to the extent of soil quality degradation resulted from elevation gradient in riparian zone of Three Gorges Reservoir Area.

Keywords: soil quality; soil enzymes; organic carbon; microbial biomass carbon; riparian zone

消落带是流域景观内生物地球化学过程最为活跃的区域^[1],其水文是限制消落带生物活性和生物地球化学过程的关键因素^[2],控制和维持消落带生态系统的结构和功能。土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一,参与土壤生境中的一切生物化学过程,综合反映土壤生物化学过程的方向和程度^[3],能够敏感指示和预警土壤生境的变化^[4],可作为评价土壤质量和养分供养能力的重要表征^[5-6]。因而在消落带水位消涨过程中土壤酶的生态作用就显得尤为重要^[7-8]。

目前针对消落带的研究主要集中在土壤理化特性和植被的动态的研究^[9],但是很少有研究报道消落带不同海拔梯度土壤酶活性的特征。因而,本研究以三峡库区消落带不同海拔梯度的消落带土壤为研究对象,对参与有机质分解和营养循环的几种酶进行了研究,揭示三峡库区消落带土壤酶特征及其对海拔梯度变化的响应,以期为消落带生态系统土壤质量的管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域选择紧邻三峡大坝的秭归县的童庄河

消落带和香溪河消落带。该地区气候属亚热带大陆性季风气候,气候温暖湿润,四季分明,雨热同季,热量充沛。年平均气温为 17.9℃,年平均降水量为 1 006.8 mm,年日照时间 1 631.5 h,无霜期年平均为 260 d 左右。土壤类型为紫色土。

1.2 土样采集

在两个样地分别选择典型消落带回水区,划分不同高程段如表 1 所示,在每个固定的样带首先调查消落带土壤质地情况,选择质地相同的样地随机取样。在 2011 年 5 月(库区水位是 155 m 左右,即 155 m 以下处于淹没状态)取样,分别沿海拔高程按照从未淹没区(NI)(175~185 m)、淹没时间较短区(HL)(165~175 m)、淹没时间中等区(ML)(155~165 m)和淹没较长区(LL)(145~155 m)选取 4 个代表样地,以从未淹没区域作为对照(表 1)。在每个梯度按照蛇形法在 0~20 cm 各采取 5 个点的土壤,然后每 5 个样点的土壤分别混合为一个土样。采取的土样立即放入塑料袋中密封,带入实验室,快速拣去枯枝落叶和石砾,过 2 mm 的筛子后,一部分很快贮藏到-20℃的冰箱里进行土壤微生物生物量碳和酶活性的分析,另一部分风干,用于土壤 pH 和有机碳等的分析。

表 1 不同高程段样地特征

海拔梯度	年淹没时间/d	年干燥时间/d	土壤含水量/%	植物物种种类
LL	225	140	淹没	无
ML	165	200	13.34	狗尾草(<i>Setaria viridis</i> L.)、 狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i> L.)等
HL	60	305	13.44	玉米等
NI	0	365	15.65	柑橘等

1.3 土样分析

土壤含水量采用烘干法测定;土壤 pH 的测定采用酸度计法;土壤有机碳(OC)采用重铬酸钾外加热法测定;土壤微生物生物量碳(MBC)采用熏蒸浸提法测定;N-乙酰-β-D-氨基葡萄糖苷酶(NAG)、β-糖苷酶(PAG)、(磷酸酶)(PNP)、芳基硫酸酯酶(PNS)采用 Tabatabai and Bremner^[10]的方法测定。以以单位重量的烘干土壤表示的就是土壤酶的绝对活性^[11]。而具体酶活性是每一种酶活性除以土壤有机碳^[12]或者微生物碳^[13]的结果。

1.4 土壤质量的综合酶活性指标

测定的土壤酶活性的几何平均数计算如下:

$$GME=(PNP \cdot NPS \cdot PNAG \cdot PAG)^{1/4}$$

式中:GME——土壤酶活性的几何平均数;PNP, PNS,NAG,PAG——磷酸酶、芳基硫酸酯酶、N-乙酰-β-D-氨基葡萄糖苷酶、β-糖苷酶。

1.5 数据处理

2 个消落带各海拔梯度的土样室内分析时,各取

3 个重复进行分析。每个海拔梯度的试验结果是分别取 2 个消落带 6 个重复的平均值。试验数据的处理比较用 Duncan 单因素方差分析,相关性分析用 Pearson's test 分析,数据在 SPSS 17.0 软件上分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH、有机碳和微生物生物量碳的变化

由表 2 可知,所测定土壤的 pH 值均为中性,介于 6.96~7.55。与从未淹没的对照相比,只有消落带海拔最低样地的土壤 pH 值较大,其他的样地之间并无显著性的差异,这说明淹没时间较长且正处于水位波动期的区域显著提高土壤 pH 值。与 pH 值相反,消落带区域各样地土壤有机碳含量(2.43~5.29 g/kg)显著低于从未淹没的对照样地(8.86 g/kg)(表 2),且随着海拔的降低分别降低 40.29%,46.84%和 72.57%。在消落带区域中,土壤有机碳是 LI 样地显著小于 MI 和 SI 样地,而 MI 和 SI 样地之间无显著性差异。

表 2 不同海拔梯度土壤 pH,有机碳和微生物生物量碳

海拔 梯度	pH	OC/ (g · kg ⁻¹)	MBC/ (mg · kg ⁻¹)
LI	7.55±0.67a	2.43±0.47c	124.46±5.48c
MI	7.06±0.07b	4.71±0.39b	217.331±0.82b
SI	6.98±0.05b	5.29±0.77b	220.99±20.21b
NI	6.96±0.07b	8.86±1.00a	310.3±38.93a

土壤微生物生物量碳也是从未淹没的对照样地(310.3 mg/kg)显著大于消落带各海拔梯度的样地(124.46~220.99 mg/kg),且随着海拔梯度的降低,分别高 28.78%,29.96%和 59.89%。在消落带区域,土壤微生物生物量碳也是 LI 样地显著小于 MI 和 SI 样地,而 MI 和 SI 样地之间无显著性差异。这是由于消落带区域水位上升过程中,生长的植被被淹没死亡,凋落物随着水的上升而流失,坡面受到上升水的浸泡,土壤抗侵蚀能力降低,部分土壤被冲刷;而水位降低过程中裸露的土壤再次受到雨水的浸泡冲刷而造成土壤侵蚀和养分的淋溶,结果造成土壤有机碳^[9]和微生物生物量碳含量的降低。

2.2 土壤酶的绝对活性

磷酸酶(PNP)和β-糖苷酶(PAG)经常被作为土壤有机质的数量和质量变化的指标^[14]。N-乙酰-β-D-氨基葡萄糖苷酶(NAG)是一种能水解残留于非还原性壳寡糖末端的一种酶,对于碳氮循环是非常重要的^[15]。芳基硫酸酯酶(PNS)是间接地指示真菌的数量的重要酶类,与土壤有机质的循环紧密联系。本研究中,与从未淹没的对照相比,消落带土壤 PNP,NAG,PNS 和 PAG 的绝对活性都显著地降低(图 1)。然而在消落带区域,PNP 随着海拔的降低逐渐降低,但其他三种酶的绝对活性在消落带的三个海拔梯度之间并无显著性的差异,这说明虽然土壤 4 种酶的绝对活性对水位升降响应敏感,但是 NAG,PNS 和 PAG 的绝对活性对消落带淹没持续时间长短的响应并不敏感,只有 PNP 的绝对活性对淹没持续时间长短的响应敏感。相关性分析的结果表明,四种酶的绝对活性都与土壤有机碳及其微生物生物量碳之间具有显著的正相关性(表 3)。这说明消落带区域土壤四种酶的绝对活性也随着土壤有机碳和微生物生物量的降低而降低,但是三个海拔梯度之间降低的程度有差异。

表 3 土壤有机碳、微生物生物量碳与土壤酶绝对活性的相关性

项目	PNP	PNS	NAG	PAG	GME
OC	0.85**	0.90**	0.76**	0.54**	0.95**
MBC	0.86**	0.89**	0.72**	0.61**	0.92**

注: ** 极显著水平 $p<0.01$ 。

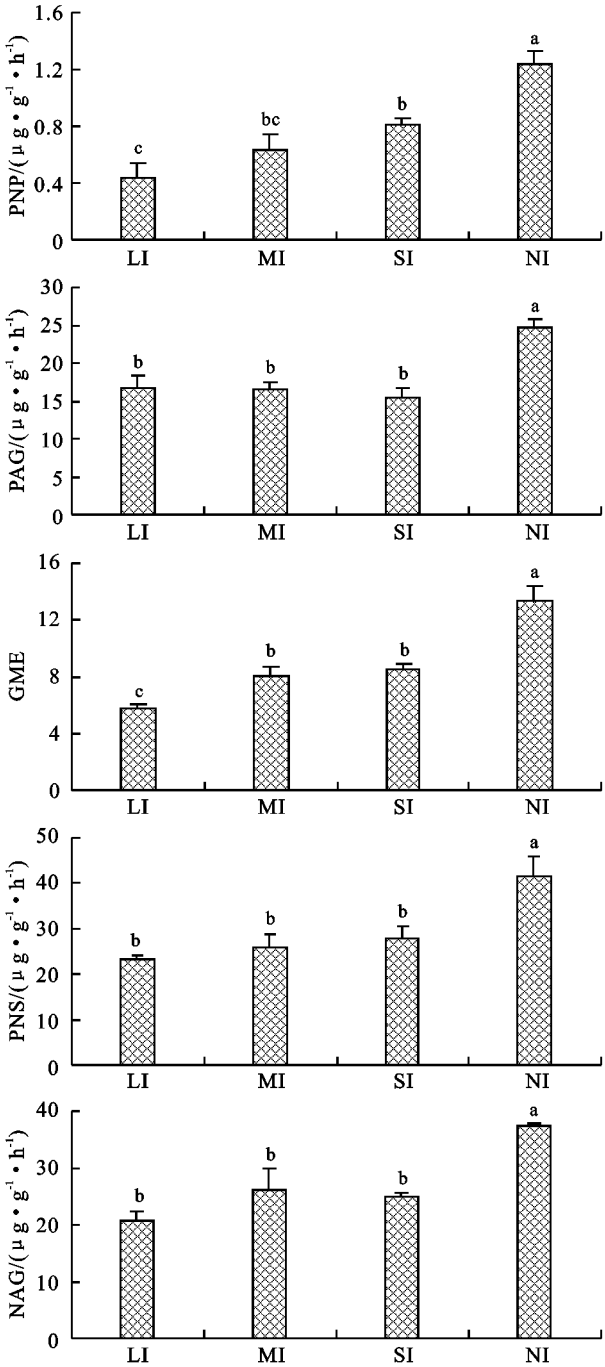


图 1 不同海拔梯度土壤绝对酶活性

2.3 土壤酶的几何平均数

研究表明,土壤酶的几何平均数能够综合反映所测定的土壤酶活性的信息,已经证明是一个能综合所有测定酶的信息作为评价土壤质量变化的早期的敏感指标^[16]。本研究中,土壤四种酶的几何平均数的变化范围在 5.80~13.33 之间,其变化规律与土壤有机碳及其微生物生物量碳的变化相似,也是消落带区域的酶的几何平均数小于从未淹没的样地(图 1)。在消落带区域,土壤酶的几何平均数的大小顺序是:SI>MI>LI,但是方差分析的结果表明,SI 和 MI 两个样地之间无显著性的差异。土壤酶的几何平均数

与有机碳及其微生物生物量碳之间具有显著的正相关性($p<0.01$)(表 3)。

这说明土壤四种酶的几何平均数不仅对消落带水位消涨响应敏感,而且对消落带不同淹没持续时间的响应也敏感,酶的几何平均数能够综合反映消落带土壤质量的变化,水位消涨导致消落带土壤质量降低,且淹没持续时间较长且正处于水位波动期的土壤质量退化更显著。

2.4 土壤酶的具体活性(单位有机碳或者单位微生物生物量的酶活性)

土壤有机碳和微生物生物量碳影响土壤酶活性^[17]。本研究中,不同海拔梯度土壤单位有机碳或微生物生物量碳的土壤酶活性(土壤酶的具体活性)与土壤酶的绝对活性的变化不同(表 4,5)。单位有机碳或微生物生物量碳的 PNP 具体活性在所测定的所有样地之间都没有显著性的差异(表 4,5),且土壤有机碳或微生物生物量碳都与 PNP 具体活性之间无显著的相关性,这说明土壤有机碳的有效性显著影响土壤 PNP 的具体活性^[18]。单位有机碳或微生物生物量碳的 NAG,PNS 和 PAG 具体酶活性都是消落带海拔最低

的样地显著的大于其他的样地,其他样地之间并无显著性的差异。相关性分析的结果表明,土壤有机碳、微生物生物量碳与单位有机碳的 PNS,NAG 和 PAG 之间具有显著的负相关性(表 6),与单位微生物碳的 NAG 和 PAG 之间具有显著的负相关性(表 6)。我们的研究结果与 Wang 等^[19]的研究结果一致。他们的研究也表明,土壤有机碳与单位有机碳的酶活性之间具有显著的负相关性^[19]。这一方面说明在土壤有机碳含量低的区域其土壤酶对有机碳的利用效率反而被增强,从而保持了其土壤的代谢活性^[19]。此研究结果与常规的假设相反,一般认为土壤有机碳含量低的将伴随着土壤酶活性的降低。而本研究的结果可能是由于淹没时间较长,对土壤微生物产生了一定的胁迫,微生物通过提高 NAG,PNS 和 PAG 活性来响应其胁迫,结果引起了土壤 NAG,PNS 和 PAG 活性的富集^[20]。这另一方面也意味着淹没持续时间较长导致有机碳的损失比 NAG,PNS 和 PAG 活性的降低更大。这些结果进一步说明淹没持续时间较长的样地通过提高单位有机碳的酶活性来维持土壤的代谢活性是水位波动显著降低有机碳的一种生态机制^[21]。

表 4 不同海拔梯度土壤单位有机碳的酶活性 mg/(g·h)

海拔梯度	PNP	PNS	NAG	PAG
LI	0.24±0.10a	10.43±1.58a	9.56±2.45a	8.25±2.47a
MI	0.13±0.02a	5.40±0.52b	5.44±0.66b	3.55±0.27b
SI	0.16±0.01a	5.32±0.20b	5.01±0.54b	3.40±0.77b
NI	0.14±0.01a	4.74±0.21b	4.38±0.49b	2.87±0.20b

表 5 不同海拔梯度土壤单位微生物生物量碳的酶活性 mg/(kg·h)

海拔梯度	PNP	PNS	NAG	PAG
LI	3.66±1.17a	187.01±10.55a	161.56±18.52a	136.44±22.91a
MI	2.83±0.53a	116.62±12.65b	117.88±15.82b	75.93±3.76b
SI	3.68±0.25a	125.52±7.69b	116.98±10.33b	77.05±13.50b
NI	4.04±0.20a	135.62±2.48b	126.62±16.66b	82.76±7.00b

表 6 土壤有机碳、微生物生物量碳与具体酶活性之间的相关性

	PNP/OC	PNS/OC	NAG/OC	PAG/OC	PNP/MBC	PNS/MBC	NAG/MBC	PAG/MBC
OC	-0.36	-0.65**	-0.66**	-0.67**	0.10	-0.30	-0.46*	-0.63**
MBC	0.28	-0.60**	-0.61**	-0.59**	0.09	-0.42*	-0.542**	-0.62**

注: ** 极显著水平 $p<0.01$; * 显著水平 $p<0.05$ 。

3 结论

虽然四种酶的绝对活性能够敏感指示消落带土壤质量退化,但是并不都能一致的敏感指示消落带区域淹没持续时间长短对土壤质量的影响,且单位有机碳或微生物生物量碳的四种酶具体活性的变化趋势并不趋于一致,而四种酶的几何平均数不但能敏感指

示从未淹没样地与消落带区域的差异,还能敏感指示消落带不同海拔梯度受淹没持续时间长短的土壤质量的变化,因而酶的几何平均数比土壤酶的绝对或具体活性更能反映土壤质量随着水位消涨的变化。

三峡库区消落带由于受每年水位的消涨,植被生长和死亡交替发生,植被凋落物随水流失,造成地表裸露,经过雨水不断的浸泡和冲刷,土壤有机碳、微生

物生物量碳、土壤酶的绝对活性及其几何平均数都显著低于从未淹没的样地,土壤质量退化,且淹没持续时间较长、正处于水位波动期的样地,土壤质量退化更严重。因而,应该采取一定的措施防止三峡库区消落带土壤质量的进一步退化。

参考文献:

- [1] 袁兴中,刘红,王建修,等. 三峡水库消落带湿地碳排放生态调控的科学思考[J]. 重庆师范大学学报,2010,27(2):23-25.
- [2] Valett H M, Baker M A, Morrice J A, et al. Biogeochemical and metabolic responses to the flood pulse in a semiarid floodplain[J]. Ecology, 2005,86:220-234.
- [3] Dick R P, Pankhurst C, Doube B M, et al. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[M]. Biological Indicators of Soil Health, 1997.
- [4] 万忠梅,宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J]. 土壤通报,2009,40(4):951-956.
- [5] Dick R P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality [M] //Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. American Society of Agronomy. Madison, WI, 1994.
- [6] 刘艳,马风云,宋玉民,等. 黄河三角洲冲积平原湿地土壤酶活性与养分相关性研究[J]. 水土保持研究,2008,15(1):59-61.
- [7] Popova I E, Deng S. A high-throughput microplate assay for simultaneous colorimetric quantification of multiple enzyme activities in soil[J]. Applied Soil Ecology, 2010,45(3):315-318.
- [8] 余娜,刘济明,张超,等. 不同沙生植被土壤酶活性分异特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):78-82.
- [9] 郭泉水,康义,赵玉娟,等. 三峡库区消落带土壤氮磷钾, pH 值和有机质变化[J]. 林业科学,2012,48(3):7-10.
- [10] Tabatabai M A, Bremner J M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1969,1(4):301-307.
- [11] Raiesi F, Beheshti A. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute activity in primary forests of north-west Iran[J]. Applied Soil Ecology, 2014,75:63-70.
- [12] Trasar-Cepeda C, Leiros M C, Gil-Sotres F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 940:2146-2155.
- [13] Waldrop M P, Balser T C, Firestone M K. Linking microbial community composition to function in a tropical soil[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32(13):1837-1846.
- [14] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005,37(5):877-887.
- [15] Ekenler M, Tabatabai M A. Effects of trace elements on β -glucosaminidase activity in soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002,34(11):1829-1832.
- [16] Hinojosa M B, Carreira J A, García-Ruiz R, et al. Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal-contaminated and reclaimed soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004,36:1559-1568.
- [17] Tabatabai M A. Soil Enzymes[M] // Weaver R W, Angle J S, Bottomley P S. Encyclopedia of Environmental Microbiology. John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [18] Lagomarsino A, Benedetti A, Marinari S, et al. Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem[J]. Soil Biology and Fertility, 2011,47:283-291.
- [19] Wang B, Xue S, Liu G B, et al. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, northwest China[J]. Catena, 2012,92:186-195.
- [20] Doran J W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980,44:765-771.
- [21] Burns R G. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1982,14:423-427.