

植物群落对铜尾矿废弃地土壤微生物量和酶活性的影响

陈政, 阳贵德, 孙庆业*

安徽大学生命科学学院, 安徽 合肥 230039

摘要: 以铜尾矿废弃地为对象, 研究了铜尾矿废弃地上植物群落发展与表层尾矿微生物量 C、N 和脱氢酶、过氧化氢碱性磷酸酶和脲酶活性的变化, 探讨了植物群落-微生物量 C、N-土壤酶活性之间的相互关系。结果表明, 随着植物群落的发展, 铜尾矿废弃地表层尾矿微生物量和酶活性在不断增加; 铜官山老尾矿废弃地白茅群落下表层尾矿 (TBM) 微生物量和酶活性与杨山冲尾矿废弃地及铜官山新尾矿废弃地表层尾矿微生物量和酶活性存在显著差异性 ($p < 0.05$)。相关分析表明铜尾矿废弃地表层尾矿微生物量 C、N 与土壤有机质、总氮之间呈显著正相关 ($P < 0.01$); 脱氢酶、碱性磷酸酶及脲酶与微生物量 C、微生物量 N、土壤有机质、总氮之间呈显著正相关 ($P < 0.01$), 但过氧化氢酶与微生物量 C、微生物量 N、土壤有机质、总氮之间呈显著负相关 ($P < 0.01$)。

关键词: 铜尾矿废弃地; 土壤微生物量; 土壤酶活性; 生态恢复

中图分类号: S143

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2189-05

铜尾矿 (copper mine tailings) 主要由采出的铜矿石经选出精矿后所产生, 通常堆放在尾矿库内, 弃置后形成铜尾矿废弃地 (copper mine tailings dumps)。重金属尾矿废弃地具有严重的重金属污染, 土壤理化性质和营养状况不良以及土壤生物缺乏等因素, 不仅制约着植被的定居, 还给周边环境和人类带来污染和危害^[1,2]。

土壤微生物量不仅可以敏感地指示土壤有机质数量和质量的改变^[3], 也是土壤酶活性的潜在来源之一^[4]。土壤微生物量的多少能够反映土壤同化和矿化能力的大小, 是土壤活性大小的标志^[5]; 土壤酶在土壤有机质分解和营养循环中扮演着重要角色^[6], 可以作为土壤质量的一个潜在指示指标^[7]。

近年来, 国内外学者对尾矿废弃地土壤微生物量和酶活性做了大量的研究工作^[8-10], 但对于尾矿废弃地植物群落与土壤微生物量 C、N 以及酶活性间的内在关系却少有报道。本文通过对铜陵市三个不同废弃时期、具有不同植物群落类型的铜尾矿废弃地 (铜官山新、老尾矿废弃地和杨山冲尾矿废弃地) 土壤微生物量和土壤酶活性的研究, 探讨了植物群落-土壤微生物量-酶活性之间的相互关系, 为铜尾矿废弃地生态修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

铜陵铜官山新、老尾矿废弃地 (30°54' N, 117°49' E) 和杨山冲尾矿废弃地 (30°54' N, 117°53' E) 位于安徽铜陵市郊, 属亚热带湿润季风

气候, 年平均气温 17.4 °C, 无霜期 230 d, 年降水量 1 370 mm, 年平均日照时数 2 050 h, 全年平均湿度为 75% ~ 81%, 常年主导风向为东北风。3 尾矿废弃地皆为山谷型尾矿废弃地, 周围山坡植被主要为人工马尾松林和灌木-高草群落。迄今铜官山新尾矿废弃地、杨山冲尾矿废弃地和铜官山老尾矿废弃地弃置时间 8 a、18 a 和 30 a。铜官山新尾矿废弃地地势较低, 表层尾矿较为潮湿。

铜官山新尾矿废弃地大部分是裸地, 仅局部区域有生物土壤结皮 (biological soil crusts) 分布; 杨山冲尾矿废弃地主要高等植物群落包括白茅群落 (*Imperata cylindrica* community)、木贼群落 (*Hippochaete ramosissimum* community) 和中华结缕草群落 (*Zoysia sinica* community), 局部区域仍为裸地 (Bare land); 铜官山老尾矿废弃地上生长的主要植物群落为白茅群落 (*Imperata cylindrica* community)、芒-白茅群落 (*Miscanthus sinensis-Imperata cylindrica* community) 和芦苇群落 (*Phragmites communis* community)。

1.2 样品的采集与预处理

2007年4月, 分别采集铜陵铜官山新、老尾矿废弃地和杨山冲尾矿废弃地 0 ~ 5 cm 表层尾矿样本。铜官山新尾矿废弃地采集的样本为裸露尾矿 (TLD); 铜官山老尾矿废弃地采集的样本为白茅群落下尾矿 (TBM); 杨山冲尾矿废弃地采集的样本包括: 白茅群落下尾矿 (YBM)、木贼群落下尾矿 (YMZ) 和中华结缕草群落 (YJLC)。

基金项目: 安徽省自然科学基金项目 (070415208); 国家高技术研究发展计划项目 (2006AA06Z359)

作者简介: 陈政 (1985 年生), 男, 硕士研究生, 主要从事矿业废弃地生态修复研究。E-mail: chenzheng1216@126.com

*通讯作者, E-mail: sunqingye@ahu.edu.cn

收稿日期: 2009-10-12

样本采集时, 齐地面铲除尾矿表面的活体植物, 轻轻刮去尾矿表面的枯枝落叶。每种类型8重复样本, 每重复由4个采样点混合而成。野外采集的样本除保留一部分新鲜样品用于微生物量分析外, 其余经室内自然风干后, 研磨、过筛, 装入密封袋备用。

1.3 研究方法

pH值用pH计测定 ($W_{\text{样品}}:V_{\text{蒸馏水}}=1:5$); 含水量用烘干法进行测定; 因尾矿中含有一定量的金属硫化物等还原性物质, 尾矿中有机质含量采用烧失量 (Loss of ignition, LOI) 测定 ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$, 6 h), 尾矿样本中总氮采用凯氏定氮法测定。

尾矿中土壤微生物量C、N采用氯仿熏蒸, $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ K}_2\text{SO}_4$ 浸提, 浸提液中的有机C采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法, 全N采用凯氏定氮法测定^[11]; 微生物量C、N的计算按照Turner等的方法^[12]。

尾矿中4种土壤酶 (脱氢酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶和脲酶) 活性测定^[13]: 脱氢酶活性以Triphenylformazan (TPF) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{尾矿}\cdot\text{d}^{-1}$ 表示; 过氧化氢酶活性以 $0.02\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KMnO}_4\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\text{尾矿}\cdot\text{h}^{-1}$ 表示; 碱性磷酸酶活性以 $p\text{-Nitrophenol}\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{尾矿}\cdot\text{h}^{-1}$ 表示; 脲酶活性以 $\text{NH}_4^+\text{-N}\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{尾矿}\cdot\text{h}^{-1}$ 表示。

1.4 数据处理

数据分析用SPSS 13.0进行, One-Way ANOVA (Duncan检验) 用于多重比较 ($P<0.05$); 双变量相关分析采用Pearson相关系数。

2 结果与讨论

2.1 不同弃置年限尾矿废弃地表层尾矿的理化性质

表1为3处尾矿废弃地表层尾矿pH、电导率、总氮和烧失量的变化情况。由表1可以看出所研究的尾矿废弃地表层尾矿pH偏碱性, 平均值在8.01~8.40之间。统计检验表明不同弃置时间的3处尾矿废弃地有机质和氮素含量存在显著差异 (表1), 弃置时间较短、尚无高等植物群落生长的铜官山新尾矿废弃地表层尾矿 (TLD) 总氮含量和烧失量最低, 杨山冲尾矿废弃地 (YBM、YJLC和YMZ) 次之, 弃置时间最长、植物群落生长较好的铜官山老尾矿废弃地 (TBM) 最高, 表明铜尾矿废弃地弃置时间

表1 尾矿废弃地表层尾矿的理化性质 ($M\pm S.D.$, $n=8$)

Table 1 Physical and chemical properties of the upper layer of copper mine tailings

类型	pH	w(总氮)/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	烧失量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
TLD	8.20±0.10	21.95±11.38a	8.79±1.52ab
YBM	8.25±0.12	165.72±82.34b	9.78±3.45ab
YJLC	8.29±0.15	160.88±70.79b	11.51±2.51b
YMZ	8.40±0.14	72.95±47.01a	9.06±2.17a
TBM	8.01±0.15	637.60±90.51c	42.66±3.10c

同列数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平

越长, 表层尾矿中积累的养分越多。但即使是弃置时间较长的铜官山老尾矿废弃地的表层尾矿中有机质和氮素的含量仍然是较低的。尾矿废弃地中较低的氮素和有机质含量对绝大部分高等植物、土壤微生物和土壤动物的定居和生长不利, 只有某些耐贫瘠生物类群才能够定居、生长。

2.2 不同弃置年限尾矿废弃地表层尾矿微生物量C、N的变化

表2为3处尾矿废弃地表层尾矿微生物量C、N的变化, 微生物量C、N均表现为铜官山老尾矿废弃地>杨山冲尾矿废弃地>铜官山新尾矿废弃地。统计检验表明3处尾矿废弃地微生物量C、N存在显著差异, 其中铜官山老尾矿废弃地白茅群落下的表层尾矿中微生物量C、N分别为铜官山新尾矿废弃地表层裸露尾矿的22.1倍和9.6倍。该结果表明了随弃置年限的增加和植物群落的形成、发展, 尾矿废弃地表层尾矿微生物量C、N不断的增加。

表2 尾矿废弃地土壤微生物量C、N ($M\pm S.D.$, $n=8$)

Table 2 Microbial biomass C and N in the upper layer of copper mine tailings

类型	w(微生物量C)/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(微生物量N)/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	微生物量w(C):w(N)
TLD	13.87±9.92a	3.05±1.31a	4.5:1
YBM	66.11±51.33b	4.68±2.27a	14.1:1
YJLC	72.42±34.97b	5.56±4.02a	13.0:1
YMZ	45.98±23.26a,b	5.02±3.19a	9.2:1
TBM	307.01±53.01c	29.14±2.46b	10.5:1

杨山冲尾矿废弃地3种不同植物群落下表层尾矿 (YBM、YJLC和YMZ) 微生物量C、N之间无显著差异性, 但铜官山老尾矿废弃地和杨山冲尾矿废弃地白茅群落下表层尾矿微生物量C、N存在显著差异性 (表2)。这进一步表明随着尾矿废弃地弃置时间和植物群落生长时间的增加, 尾矿废弃地微生物量增加, 这与长期的植物群落定居、生长导致表层尾矿中积累更多的养分、基质理化性质达到逐步改善有关 (表1)。

相关分析表明, 尾矿废弃地中有机质 (烧失量) 和总氮含量与微生物量C、N之间呈显著正相关 ($P<0.01$), 其中烧失量与微生物量C、N的相关系数分别为0.933和0.957, 总氮与微生物量C、N之间相关系数分别为0.953和0.924。随弃置年限的增加, 尾矿废弃地在从裸露尾矿发展到具有高等植物群落生长的过程中, 尾矿废弃地表面的植物凋落物在不断的增加, 在土壤微生物的作用下凋落物不断分解, 促进了表层尾矿中微生物的活性, 提高表层尾矿废弃地中土壤微生物量。Sun等认为, 在尾矿废弃地的自然生态修复中, 来自植物群落的凋落物和

土壤微生物活性是影响尾矿中有机质和氮素含量的主要因素^[14]。此外在其他类型的演替过程中也能出现类似的促进作用^[15]。

土壤微生物量C:N是一个重要的指标^[16]。弃置时间最短的铜官山新尾矿废弃地表层尾矿微生物量C:N(4.5:1)要明显小于杨山冲尾矿废弃地和铜官山老尾矿废弃地(9.2:1~14.1:1)。尽管铜官山新尾矿废弃地样本采集处并无高等维管植物生长,但这些裸露尾矿表面仍可能生长一些藻类植物^[17],尤其在降雨充沛的夏季。藻类植物含有较高的蛋白质,其C:N比值一般较小;而陆生高等维管植物富含木质素而少蛋白质,具有较高的C:N比值^[18]。TLD具有较低的微生物量C/N比值,可能与其所利用的C、N的藻类来源有关;维管植物群落下层尾矿(YBM、YJLC、YMZ和TBM)具有较高的C:N比值则可能反映出这些微生物所利用C、N主要来自于高等维管植物。已有的研究表明,铜陵铜尾矿废弃地植物群落的形成发展表现为:尾矿裸地→隐花植物结皮→草本植物群落→.....^[19],本研究中尾矿废弃地表层微生物量的C:N比值从低至高的变化趋势从另一侧面反映了尾矿废弃地植物群落演替过程。

2.3 不同植物群落下层尾矿的土壤酶活性

土壤酶是土壤的重要组成部分,催化了几乎所有的生物化学反应,这一过程也是土壤养分循环一个不可或缺的部分。表3为3处尾矿废弃地表层尾矿土壤酶活性的变化。与弃置时间最短、处于裸地状态的铜官山新尾矿废弃地相比,其他两尾矿废弃地不同植物群落下层尾矿中脱氢酶、碱性磷酸酶和脲酶的活性分别是前者的1.9~5.68倍、1.57~4.92倍、1.24~8.67倍。统计检验表明,铜官山老尾矿废弃地表层尾矿中脱氢酶、碱性磷酸酶和脲酶活性显著高于杨山冲尾矿废弃地和铜官山新尾矿废弃地表层尾矿,高等植物群落的发展提高了表层尾矿中土壤酶活性,这与王蔚等的研究结果基本一致^[20]。与脱氢酶、碱性磷酸酶和脲酶不同,表层尾矿中过氧化氢酶活性表现出相反的变化趋势,弃置时间最长、植物群落发展良好的铜官山老尾矿废弃地表层尾矿中过氧化氢酶活性最低。尽管植物群落的形成和发展提高了表层尾矿中脱氢酶、碱性磷酸酶和

表3 尾矿废弃地土壤酶的活性 (M±S.D., n=8)

类型	脱氢酶活性 /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	过氧化氢酶活性 /(ml·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	碱性磷酸酶活性 /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	脲酶活性 /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
TLD	1.76±0.61a	50.5±10.4b	55.4±29.9a	4.38±3.42a
YBM	4.01±2.57a	51.4±10.5b	166.0±100.2c	9.64±5.97a
YJLC	3.59±1.96a	55.1±10.0b	141.8±51.1bc	10.79±7.26a
YMZ	3.35±1.40a	59.3±9.9b	86.8±52.7ab	5.45±2.72a
TBM	9.99±3.57b	17.5±4.2a	272.6±63.7d	37.98±17.39b

脲酶的活性,但与农田和草原土壤相比^[21,22],表层尾矿中几种土壤酶活性仍然较低。

土壤酶是来自于土壤微生物、植物根系和土壤动物的活性物质,基质理化性质通过影响土壤微生物、植物根系和土壤动物活动而对土壤酶活性产生影响^[9,23,24]。本研究中,表层尾矿中总氮和烧失量与脱氢酶、碱性磷酸酶和脲酶活性呈极显著正相关,这与以往的研究结果相一致^[9,20,24];但表层尾矿中总氮和烧失量与过氧化氢酶活性之间极显著负相关与以往的研究结果存在显著不同^[9,20]。

土壤微生物和土壤酶密切相关,它们不仅推动土壤有机质的矿化分解和养分C、N、P、S等的循环与转化,还是表征土壤质量的重要生物学指标,能较敏感地反映出土壤环境的微小变化^[25]。相关分析表明(表4),表层尾矿微生物量C、N与脱氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性呈极显著正相关,随着微生物量增加表层尾矿中脱氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性提高,微生物量与几种酶活性之间的这种关系在其他研究中也证实^[26,27]。与脱氢酶、碱性磷酸酶和脲酶不同,过氧化氢酶活性与微生物量C、N之间存在着极显著的负相关。

表4 土壤微生物量、烧失量、总氮与酶活性之间的相关性

Table 4 Pearson correlation coefficients among soil microbial biomass, LOI, total nitrogen and enzyme activities

	脱氢酶	过氧化氢酶	碱性磷酸酶	脲酶
总氮	0.785**	-0.732**	0.785**	0.821**
烧失量	0.788**	-0.772**	0.678**	0.839**
微生物量 C	0.775**	-0.708**	0.776**	0.840**
微生物量 N	0.723**	-0.736**	0.669**	0.800**

注(Notes): ** P < 0.01.

3 结论

随弃置年限增加和维管植物群落的发展,铜尾矿废弃地表层尾矿中微生物量C、N和脱氢酶、碱性磷酸酶、脲酶活性增加;铜尾矿废弃地表层尾矿微生物量C、N与土壤有机质、总氮之间呈显著正相关;微生物量C、微生物量N、土壤有机质、总氮与脱氢酶、碱性磷酸酶及脲酶活性呈显著正相关,但与过氧化氢酶活性呈显著负相关。

参考文献:

- [1] 张东为,崔建国. 金属矿山尾矿废弃地植物修复措施探讨[J]. 中国水土保持, 2006(3): 40-42.
Zhang Dongwei, Cui Jianguo. The study of phytoremediation measures in metal mine tailing dumps[J]. Soil and Water Conservation in China, 2006(3): 40-42.
- [2] Romero E, Benítez E, Nogales R. Suitability of Wastes from Olive-Oil Industry for Initial Reclamation of a Pb/Zn Mine Tailing [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2005(13): 153-165.

- [3] Jagdish C T, Meena S C, Kathju S. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37: 157-160.
- [4] Sudipta T, Ashis C, Kalyan C, et al. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39: 2840-2848.
- [5] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. *土壤*, 1997(2): 61-69.
He Zhenli. Soil microbial biomass and its significance on nutrient cycling and environmental quality[J]. *Soil*, 1997(2): 61-69.
- [6] Jin K, Sleutel S, Buchan D, et al. Changes of soil enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104: 115-120.
- [7] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on enzyme activities[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31: 1471-1479.
- [8] Claassens S, Jansen Van Rensburg P J, Van Rensburg L. Soil microbial community structure of coal mine discard under rehabilitation [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2006, 174: 355-366.
- [9] 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): 37-43.
Sun Qingye, Ren Guanju, Yang Linzhang, et al. Effect of natural plant communities on soil enzyme activities in desert copper mine tailings dumps[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 37-43.
- [10] Giancarlo R, Loretta L, Judith A, et al. Long-term effects of aided phytostabilisation of trace elements on microbial biomass and activity, enzyme activities, and composition of microbial community in the Jales contaminated mine spoils[J]. *Environmental Pollution*, 2008, 152(3): 702-712.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao Shidan. *Soil Agricultural Chemistry Analysis*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [12] Turner B L, Bristow A W, Haygarth P M. Rapid estimation of microbial biomass in grassland soils by ultra-violet absorbance[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 913-919.
- [13] 关松荫, 等. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Gan Songyin, et al. *Soil Enzyme and Research Methods*[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [14] Sun Q Y, An S Q, Yang L Z, et al. Chemical properties of the upper tailings beneath biotic crusts[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 23: 47-53.
- [15] 余彬彬, 金则新, 李钧敏. 常绿阔叶林次生演替系列群落土壤微生物生物量及酶活性[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(5): 30-33.
Yu Binbin, Jin Zexin, Li Junmin. Soil microbial biomass and enzyme activity of soils in different secondary succession stages of evergreen broad-leaved forest[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(5): 30-33.
- [16] Yu Z Y, Chen F S, Zeng D H, et al. Soil inorganic nitrogen and microbial biomass carbon and nitrogen under pine plantations in Zhanggutai sandy soil[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(6): 775-784.
- [17] Néel C, Bril H, Courtin-Nomade A, et al. Factors affecting natural development of soil on 35-year-old sulphide-rich mine tailings[J]. *Geoderma*, 2003, 111: 1-20.
- [18] 潘成荣, 汪家权, 郑志侠, 等. 巢湖沉积物中氮与磷赋存形态研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(1): 43-47.
Pan Chengrong, Wang Jiaquan, Zheng Zhixia, et al. Forms of phosphorus and nitrogen existing in sediments in Chaohu lake[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(1): 43-47.
- [19] 孙庆业, 杨林章, 安树青, 等. 尾矿废弃地自然生态恢复——以铜陵铜尾矿废弃地为例[C]// 王如松. 循环整合和谐——第二届全国复合生态与循环经济学术研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2005: 251-257.
Sun Qingye, Yang Linzhang, An Shuqing, et al. Restoration of natural ecology on tailings wastelands — for example deserted copper mine tailing dumps in Tonglin[C]// Wang Rusong. *Loop integration of harmony — The Second National Symposium Proceeding of complex ecosystem and recycling economy*. Beijing: China Science and Technology Press, 2005: 251-257.
- [20] 王蔚, 孙庆业. 自然演替过程中铜尾矿土壤酶活性的变化[J]. *生物学报*, 2009, 26(2): 27-30, 47.
Wang Wei, Sun Qingye. Changes of soil enzyme activities in the copper mine tailings during natural succession[J]. *Journal of Biology*, 2009, 26(2): 27-30, 47.
- [21] Liu X M, Li Q, Liang W J, et al. Distribution of Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Along a Latitudinal Gradient in Farmlands of Songliao Plain, Northeast China[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(4): 431-440.
- [22] 彭岳林, 钱成, 蔡晓布, 等. 西藏不同退化高寒草地土壤酶的活性[J]. *山地学报*, 2007, 25(3): 344-350.
Peng Yuelin, Qian Cheng, Cai Xiaobu, et al. Soil enzyme activities in different degraded alpine grassland of Tibet[J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(3): 344-350.
- [23] Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzyme activities and physico-chemical properties in an agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18: 255-270.
- [24] Ros M, Hernandez M T, Garcia C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35: 463-469.
- [25] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 192-214.
Huang Changyong. *Pedology*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 192-214.
- [26] 高祥斌, 刘增文, 潘开文, 等. 岷江上游典型森林生态系统土壤酶活性初步研究[J]. *西北林学院学报*, 2005, 20(3): 1-5.
Gao Xiangbin, Liu Zengwen, Pan Kaiwen, et al. Preliminary studies on soil enzyme activities of typical forest ecosystem in Minjiang areas[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2005, 20(3): 1-5.
- [27] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31: 769-777.

Effects of plant communities on soil microbial biomass and enzyme activities in copper mine tailings dumps.

CHEN Zheng, YANG Guide, SUN Qingye

School of Life Science, Anhui University, Hefei 230039, China

Abstract: The microbial biomass C, N and dehydrogenase, catalase, alkaline phosphatase and urease activities in the upper layer of new Tongguanshan, Yangshanchong and old Tongguanshan copper mine tailings dumps with different plant communities were investigated in order to explore the relationships among plant community, microbial biomass C, N and soil enzyme activities. The results indicated that microbial biomass C, N and soil enzyme activities in the upper layer of copper mine tailings increased with development of vascular plant communities. A significant difference ($p < 0.01$) was observed in the microbial biomass C, N and soil enzyme activities from the upper layer of Yangshanchong and new Tongguanshan copper mine tailings dumps and from old Tongguanshan copper mine tailings dump (TBM). Data analysis showed that there was a significantly positive correlation between organic matter, total nitrogen and microbial biomass C, N ($p < 0.01$). Similarly, there was a significantly positive correlation between enzymes activities, including dehydrogenase, alkaline phosphatase and urease, and microbial biomass C, microbial biomass N, organic matter and total nitrogen ($p < 0.01$). However, a markedly negative correlation was presented between catalase activity, microbial biomass C, microbial biomass N, organic matter and total nitrogen ($p < 0.01$).

Key words: copper mine tailings; soil microbial biomass; soil enzyme activity; ecological restoration