

# 铁路边坡土壤微生物数量和酶活性研究

张志卿, 艾应伟, 杨雅云, 刘浩, 裴娟, 曾丽霞

(四川大学 生命科学学院 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 四川 成都 610064)

**摘要:** 采用野外调查与室内培养相结合的方法, 研究了四川境内典型铁路路堑边坡(夹江段、五凤段和白云段)土壤微生物数量以及酶活性。结果表明, 铁路边坡土壤微生物数量具有显著的季节变化, 以夏季最多, 春秋次之, 冬季最少; 各铁路边坡土壤年均微生物数量均高于对照自然边坡; 土壤酶活性也呈现出明显的季节波动, 各酶活性最高值普遍出现在夏、秋季节, 冬季酶活性最低, 土壤年均脲酶和过氧化氢酶活性均高于对照, 蔗糖酶活性低于对照。各铁路边坡土壤微生物数量和酶活性的季节动态规律与对照自然边坡相似。夹江段铁路边坡土壤细菌与藻类数量呈极显著相关( $r=0.999$ ), 真菌数量与过氧化氢酶活性呈显著相关( $r=0.969$ ); 五凤段铁路边坡脲酶与蔗糖酶活性呈显著相关( $r=0.978$ ); 白云段铁路边坡细菌数量与藻类数量、脲酶活性之间呈显著相关( $r=0.963$ ,  $r=0.962$ ), 各铁路边坡其它因子间相关性均不显著。温度是影响铁路边坡土壤微生物数量和酶活性的主要因子, 人为扰动影响了土壤微生物的生长, 进而引起了微生物产酶功能的变化。

**关键词:** 铁路边坡; 土壤微生物数量; 土壤酶活性; 季节动态

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0061-06

中图分类号: S154.36

## Soil Microbial Counts and Enzyme Activities on Railway Slope

ZHANG Zhi-qing, AI Ying-wei, YANG Ya-yun, LIU Hao, PEI Juan, ZENG Li-xia

(Key Laboratory of Bioresources and Ecenvironment of the Ministry of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China)

**Abstract:** By the methods of field survey and incubation experimentations, soil microbial counts and enzyme activities on three typical railway cutting slopes located in Jiajiang section, Wufeng section, and Baiyun section of Sichuan Province were investigated. Results showed that the soil microbial counts on railway cutting slopes displayed obvious seasonal fluctuation. The quantities reached their maxima in summer on the three slopes and followed by those in spring and autumn, while the quantities reached their minima in winter. The detailed maxima of bacteria, fungi, the average soil microbial quantity per year on the investigated railway slopes were all higher than those on natural slopes selected as controls. In addition, soil enzyme activities also presented apparent seasonal fluctuation. To be specific, the activities of all the enzymes reached their maxima in summer and autumn, as contrasted with their minima in winter. The average enzyme activities per year of the urease and the catalase on the railway slopes were all higher than those of the controls, however, the indicator of the saccharase on the railway slopes was lower than that of the controls. Seasonal fluctuations of soil microbial quantity and enzyme activities on railway slopes were similar to that of natural slopes. Some correlations were found, including very significant correlation ( $r=0.999$ ) between the bacteria and the algae in Jiajiang section; significant correlation ( $r=0.969$ ) between the fungi and the catalase in Jiajiang section; significant correlation ( $r=0.978$ ) between the urease and the saccharase in Wufeng section; significant correlation ( $r=0.963$ ) between the bacteria and the urease in Baiyun section; and significant correlation ( $r=0.962$ ) between the algae and the urease in Baiyun section. However, the correlation among all other factors on railway slopes was not significant. Temperature was the major influencing factor of soil microbial counts and enzyme. Soil microbes growth and function of micro-organism produce enzyme were disturbed by human activities.

**Keywords:** rail way slope; soil microbial quantity; soil enzyme activity; seasonal fluctuation

收稿日期: 2009-01-18

修回日期: 2009-03-25

资助项目: 国家自然科学基金项目(40771087); 四川省科技支撑计划项目(07FG001-018); 四川省公益性研究项目(2008FG0006)

作者简介: 张志卿(1980—), 女(汉族), 山西省吕梁市人, 硕士, 主要从事园林生态研究。E-mail: wawj2587@163.com。

20 世纪以来,交通运输业的迅速发展促进了铁路的大量建设,铁路修建极大地改变了所经区域的生态面貌。山体开挖,边坡原有植被覆盖层和土体结构破坏,大量裸露岩石边坡形成,且坡面高陡,表面稳定性差,自然条件恶劣,而之后的铁路运营更是长期扰动着本已脆弱的铁路区域环境。铁路边坡生态破坏和恢复的核心问题是土壤的退化和恢复,为实现土地资源持续利用和防止土壤质量退化,对土壤环境的评估和预测越来越重要,传统的土壤理化指标已难以满足土壤质量研究的需要。而土壤微生物和酶是土壤中具有生命力的主要组成部分,在土壤形成和演化过程中起着主导作用,是表征土壤生态系统中物质和能量流动的一个重要参数,也是土壤中物质转化和养分循环的驱动力<sup>[1]</sup>。同时,土壤微生物和酶可以较全面地反映土壤质量变化和作为判断环境胁迫以及人为扰动下土壤生态系统受损的预警指标<sup>[2]</sup>。已有的研究多集中于草地、森林、人工林以及农田土壤的微生物和酶活性的研究,而在铁路边坡这种脆弱生态环境下土壤微生物和酶的特性及影响因子等方面的报道还不多见。本研究通过对铁路路堑边坡土壤微生物数量和酶活性的季节动态规律进行研究,探讨了铁路

边坡土壤微生物数量和酶活性的主要影响因子,以及二者能否作为反映铁路边坡土壤质量恢复的指标和人为扰动对铁路边坡土壤生物学性质的影响,同时为铁路边坡生态恢复提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于成昆铁路沿线的夹江县吴场镇(103°37' E, 29°51' N),成渝铁路和达成铁路沿线的金堂县的五凤溪(104°29' E, 30°36' N)和白云庙(104°37' E, 30°44' N)。夹江县属于亚热带湿润季风气候,气候温和,无霜期长,雨热同季,雨量充沛,四季分明,年平均气温 17.2℃,年平均降雨量 1 357 mm。金堂县同属亚热带季风气候,日照年平均 1 295.5 h,年平均气温 16.6℃,平均年降水量 920.5 mm。本研究选择具有典型代表性的铁路路堑边坡为研究对象,此类边坡原为铁路建设时山体开挖后形成的裸露岩石高陡边坡,然后在长期的自然恢复下已有成土累积覆盖于其表面,土层厚度为 10—15 cm,植被以草本为主。此外,在临近各铁路边坡选择无人扰动自然边坡作为对照,用以代表铁路边坡恢复后的状态,边坡基本情况见表 1。

表 1 边坡基本情况

调查地点	边坡类型	修建时间	坡高/m	坡度/(°)	土壤类型	植被优势种	植被盖度/%
夹江段	铁路边坡	1958 年	10.0	40	黄壤	芒萁、白茅、地瓜	79.2
	自然边坡	—	10.0	40	黄壤	白茅、芒萁、芒	61.7
五凤段	铁路边坡	1952 年	8.0	85	紫色土	从毛羊胡子、金发草	90.0
	自然边坡	—	8.5	65	紫色土	金发草	85.0
白云段	铁路边坡	1992 年	5.0	35	紫色土	白茅、金发草、马唐	87.2
	自然边坡	—	5.7	40	紫色土	白茅、金发草	80.0

## 2 材料与方法

### 2.1 土壤样品的采集与分析

采样时间为 2006 年 1 月、4 月、7 月、10 月(分别代表冬、春、夏、秋四季),每个边坡每 100 m 为 1 个重复,共设 3 个重复,用 S 型取样法,每个重复随机确定 10~20 个取样点,挖掘采集表层 0—10 cm 土壤混合样约 1 kg。混合后 1 份装入无菌封口塑料袋,用于土壤微生物数量的测定;另一份用封口袋带回风干、研磨、过筛,供土壤酶活性及化学性质的测定之用。土壤基本化学性质按常规方法分析测定<sup>[3]</sup>,结果见表 2。土壤微生物数量分析采用稀释平板法,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、藻类采用直接镜检法<sup>[4]</sup>;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,以 24 h 后 100 g 干土中  $\text{NH}_3\text{—N}$  的毫克数表示,土壤蔗糖酶

活性采用硫代硫酸钠滴定法测定,以 24 h 后 100 g 干土消耗 0.50 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  的毫升数表示,土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法,以 20 min 后 100 g 干土消耗 0.02 M  $\text{KMnO}_4$  的毫升数表示<sup>[5]</sup>。

### 2.2 数据处理

数据经 Excel 整理后,利用 SPSS 13.0 进行平均值、标准差和单因素方差(one-way ANOVA)分析;此外,对两个均值进行差异显著性检验,同时对各项指标进行 Person 相关性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 铁路路堑边坡土壤微生物数量的季节动态

3.1.1 细菌数量 从图 1 可以看出,各铁路边坡与对照自然边坡细菌数量呈明显的季节波动,且变化趋势一致,五凤段除外,各边坡细菌数量均以夏季最高,

春秋季节次之,冬季最少。夹江段铁路边坡四季细菌数量无显著差异( $P>0.05$ )、五凤段铁路边坡秋季与其它三季有显著差异( $P<0.05$ )、白云段铁路边坡冬季细菌数量显著低于其它三季( $P<0.05$ )。

方差分析表明,各铁路边坡年均细菌数量显著高于对照( $P<0.05$ ),夹江段、五凤段和白云段铁路边坡年均细菌数量分别是自然边坡的 1.54 倍,2.19 倍和 2.29 倍。

表 2 供试土壤样品的基本化学性质

样地	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	有效氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	有效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	pH
夹江段	铁路边坡	1.97	9.535	88.86	0.56	4.286	4.15
	自然边坡	1.72	7.602	83.88	0.39	4.814	4.32
五凤段	铁路边坡	4.35	17.484	134.19	4.87	3.857	7.75
	自然边坡	1.63	9.911	101.51	0.63	2.460	7.85
白云段	铁路边坡	1.92	11.966	101.33	0.47	5.673	7.80
	自然边坡	1.79	11.597	105.15	0.50	6.687	7.13

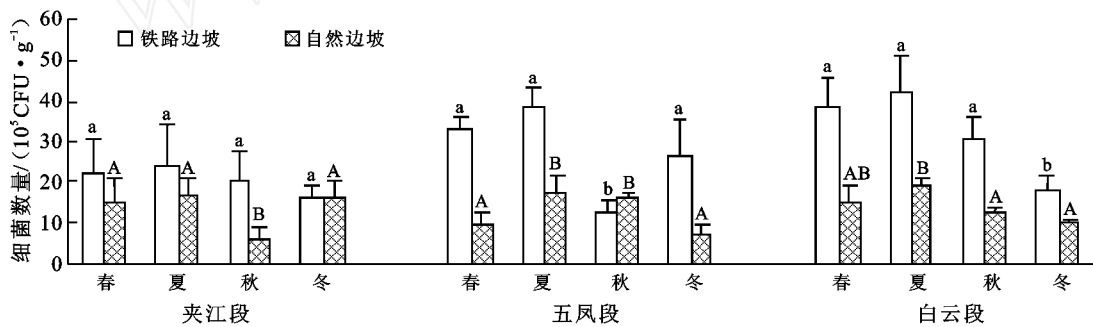


图 1 铁路路堑边坡土壤细菌数量

注:小写字母表示各段铁路边坡四季之间的差异显著性,大写字母表示各段自然边坡四季之间的差异显著性,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

3.1.2 真菌数量 从图 2 可以看出,铁路边坡土壤真菌数量有显著的季节变化,与细菌相似,最高和最低值分别出现在夏季和冬季。夹江段铁路边坡真菌数量夏季与秋、冬季节有显著差异;五凤段春、冬季节与夏、秋季节有显著差异,夏、秋季节间也有显著差

异;白云段冬季与夏、秋季节有显著差异。各铁路边坡与对照有相似的季节动态规律,铁路边坡年均真菌数量略高于对照。五凤段和白云段真菌数量明显少于夹江段,是因为真菌适合在酸性土壤中生存,而五凤和白云土壤偏碱性,不利于真菌的繁殖。

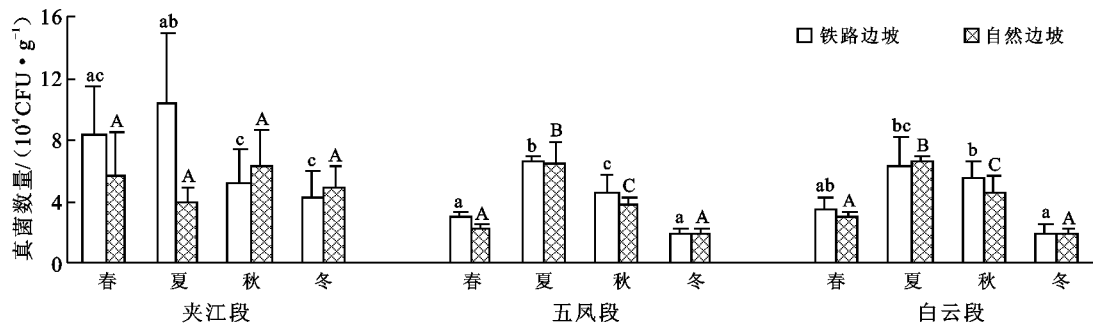


图 2 铁路路堑边坡土壤真菌数量

3.1.3 藻类数量 由图 3 可知,铁路边坡藻类数量四季动态变化规律与细菌和真菌数量变化规律相似,夏季数量最多,春秋季节次之,冬季最少。夹江段铁路边坡四季藻类数量无显著性差异;五凤段铁路边坡藻

类数量夏季与秋、冬季节有显著性差异;白云段藻类数量春、夏季节与秋、冬季节有显著性差异。铁路边坡藻类数量高于对照,夹江段、五凤段和白云段铁路边坡藻类数量分别是对照的 1.54 倍、1.04 倍和 1.65 倍。

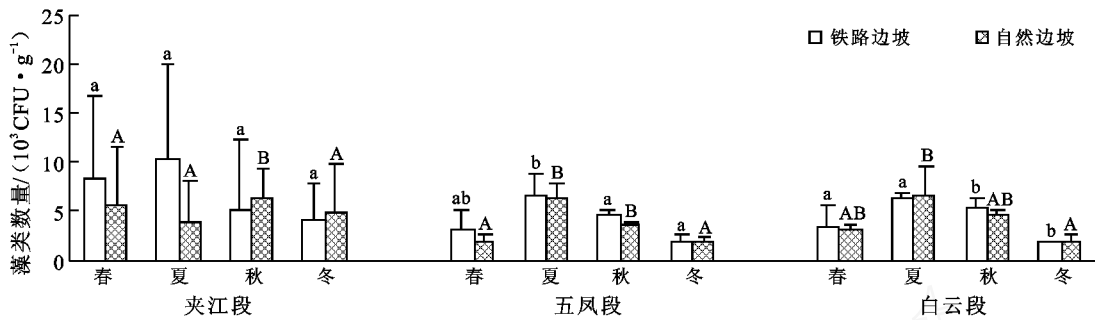


图 3 铁路路堑边坡土壤藻类数量

### 3.2 铁路路堑边坡土壤酶活性的季节动态

3.2.1 脲酶活性 图 4 为各铁路路堑边坡土壤脲酶活性状况。如图 4 所示,各铁路边坡脲酶活性的季节动态各异,但各边坡与对照有相似的季节动态规律。夹江段铁路边坡脲酶活性最高和最低值分别出现在

秋、冬季节,夏、秋季节脲酶活性显著高于春、冬季节;五凤段和白云段峰值均出现在春季,最小值出现在冬季,四季间脲酶活性差异性表现不一。夹江段、五凤段铁路边坡年均脲酶活性高于对照,白云段铁路边坡年均脲酶活性略低于对照。

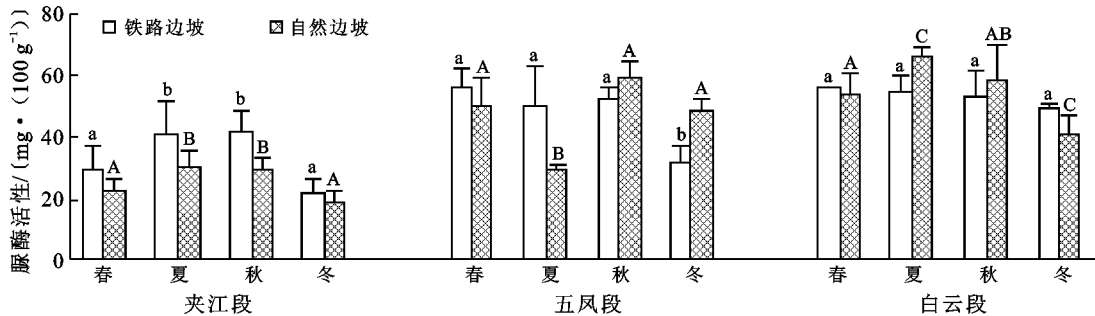


图 4 铁路路堑边坡土壤脲酶活性

3.2.2 蔗糖酶活性 同上述同样的方法可以得出,各铁路边坡蔗糖酶活性受季节变化影响大小不一,但峰值均出现在秋季。夹江段铁路边坡四季蔗糖酶活性差异显著,五凤段和白云段无显著差异。除白云段外,其它铁路边坡蔗糖酶活性与对照有相似的季节动态规律。各铁路边坡年均蔗糖酶活性均低于对照。

3.2.3 过氧化氢酶活性 同样可知,铁路边坡过氧化氢酶活性最大值出现在不同季节,夹江、白云段夏季过氧化氢酶活性最高,而五凤最高值出现在了秋季,各铁路边坡与对照季节动态规律一致,铁路边坡土壤过氧化氢酶活性均高于对照。

## 4 铁路路堑边坡土壤微生物数量与酶活性的相关性分析

对上述微生物数量和酶活性进行相关性分析知,夹江段只有细菌和藻类极显著相关,真菌与过氧化氢酶显著相关,蔗糖酶与除脲酶以外的其他因子成负相关,其它因子间无相关性;五凤段脲酶与蔗糖酶显著相关,细菌与蔗糖酶之间呈负相关,其它因子间均呈正相关,但不显著;白云段细菌与藻类和脲酶之间显

著相关,过氧化氢酶与脲酶和蔗糖酶之间呈负相关,其它因子间相关性均不显著(表 3)。

## 5 讨论

铁路路堑边坡土壤微生物数量有明显的季节波动,表现为在植物生长旺季维持在较高水平,在植物休眠季节维持在较低水平。因为夏季土壤温暖湿润,在水热条件充足的环境中,土壤微生物相互作用强烈,系统内有机质转化快,适合微生物的生长<sup>[7]</sup>,所以微生物数量的峰值普遍出现在了夏季。而冬季植物处于半休眠状态,对养分的需求最低,相应地引起了土壤微生物数量的减少<sup>[6,7]</sup>。

铁路边坡和自然边坡处于相同的自然气候条件下,而且铁路边坡在自然恢复过程中,流动风沙土在边坡成土,使得边坡土壤继承了原始本地土的性质,所以 3 种土壤微生物数量季节变化规律与对照相似,这说明铁路环境中温度是影响土壤微生物数量的主要因子。

土壤酶是土壤中具有生物活性的蛋白质,所有的土壤生物化学反应必须依赖酶来实现<sup>[8]</sup>。铁路边坡

土壤酶活性也呈现出了明显的季节波动性,各酶活性最高值普遍出现在了夏、秋季节,冬季酶活最低,这与

土壤微生物数量季节变化规律相似,说明温度也是影响铁路边坡土壤酶活性的主要因子。

表3 铁路路堑边坡土壤微生物数量与酶活性的相关系数  $r$

铁路边坡	因子	细菌	真菌	藻类	脲酶	蔗糖酶	过氧化氢酶
夹江段	细菌	1.000	0.932	0.999**	0.711	-0.125	0.864
	真菌		1.000	0.932	0.464	-0.405	0.969*
	藻类			1.000	0.711	-0.125	0.864
	脲酶				1.000	0.608	0.469
	蔗糖酶					1.000	-0.333
	过氧化氢酶						1.000
五凤段	细菌	1.000	0.239	0.863	0.500	-0.157	0.789
	真菌		1.000	0.570	0.509	0.477	0.780
	藻类			1.000	0.525	0.345	0.938
	脲酶				1.000	0.978*	0.423
	蔗糖酶					1.000	0.268
	过氧化氢酶						1.000
白云段	细菌	1.000	0.748	0.963*	0.962*	0.612	0.200
	真菌		1.000	0.580	0.606	0.620	0.312
	藻类			1.000	0.927	0.413	0.073
	脲酶				1.000	0.709	-0.249
	蔗糖酶					1.000	-0.551
	过氧化氢酶						1.000

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ;  $n = 4$ 。

本研究所测铁路边坡土壤营养元素(表2)和微生物数量高于自然边坡,从这两类参数的角度分析,铁路边坡在长期的自然恢复中土壤质量已经得到了改善,微生物数量可以作为反映铁路边坡土壤质量恢复的指标<sup>[1,6,9]</sup>。但蔡晓布等人<sup>[9]</sup>的研究得出,土壤微生物数量的提高,可以促进主要由土壤微生物分泌的土壤酶活性的增强,从而导致土壤养分循环速度上升。而本研究结果铁路边坡土壤微生物数量均高于对照,而蔗糖酶活性却低于对照,脲酶活性出现了无规律现象。五凤段和白云段铁路边坡土壤真菌和藻类数量少于夹江段,但二边坡酶活性均高于夹江段,这可能是由于胁迫诱导促使微生物的产酶功能发生了紊乱所引起的。土壤生态系统中微生物种群的数量、结构组成及其活性是一个随着环境条件不断变化的动态过程,其中微生物数量是环境变化最敏感的生物指标之一<sup>[10]</sup>。从铁路开始建设到火车运营,边坡长期遭受着不可避免的人为扰动(如山体开挖、植被铲除、重金属污染、火车尾气、高气压流、电磁辐射、生活垃圾等),环境受到了胁迫。Odum<sup>[11]</sup>认为环境胁迫条件下,微生物必须从维持生长和繁殖的能量中分流出一部分去补偿由于胁迫所需要付出的额外能量。Lovell等人<sup>[12]</sup>也认为,人

为扰动引起的土壤环境条件变化可以抵消,甚至颠倒基质引起的微生物变化趋势。铁路边坡植被恢复初期,虽然人为干扰减少,土壤肥力得到一定程度的恢复,但植被处于快速增长期,对养分需求量大,所以微生物必须加快对养分的固定来满足植被需求,从而导致微生物增长速度加快,而后微生物数量的持续增长,也是为了适应环境的选择压力<sup>[13]</sup>。所以铁路边坡微生物数量高于对照,并不能作为反映铁路边坡土壤质量得到恢复的指标。

不合理的施工措施如铲除地表植被等,不仅破坏脆弱的地表生态,割裂地上和地下生态区位的物质和能量的相互依存关系,对土壤中微生物产生不利的影响,还会引起微生物产酶功能的变化<sup>[14-16]</sup>,从而导致铁路边坡土壤酶活性出现了无规律性现象。所以,土壤微生物数量和酶活性能否作为反映铁路边坡土壤质量恢复的指标值得商榷。

铁路边坡土壤微生物数量与酶活性的相关分析结果表明,夹江段细菌和藻类极显著相关,真菌与过氧化氢酶显著相关,而其它因子没有显著相关性;五凤段各因子间均无显著相关性;白云段细菌与藻类和脲酶之间呈正显著相关,过氧化氢酶与脲酶和蔗糖酶

之间呈负相关,其它因子相关性均不显著。说明铁路边坡土壤微生物数量与酶活性之间有一定的相关关系,但相关关系并不十分密切,这与 Gallo<sup>[17]</sup>、胡海波<sup>[18]</sup>、王海英<sup>[19]</sup>等人的研究结果相类似。但一般情况下土壤微生物数量与各类酶活性间均有较好的相关性变化<sup>[20-21]</sup>,而本研究中微生物与酶之间无很好相关性,原因可能是铁路边坡生态环境的脆弱性、人为扰动的影响以及坡上成土的特殊性,使得土壤微生物与酶活性的关系变得较为复杂。所以今后的研究不能仅用微生物数量和酶活性来衡量铁路区域这种特殊环境土壤的恢复程度,而应辅以重金属、火车尾气、高压气流等影响因子综合分析,可能会更科学。同时建议对于铁路边坡生态恢复应施以一定人工修复措施,以期达到生态、经济与社会效益的可持续协调发展。

#### [参 考 文 献]

- [1] 薛蕙,刘国彬,戴全厚,等.不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响[J].自然资源学报,2007,22(1):20-27.
- [2] 曹慧,崔中利,李顺鹏.中国土壤生物学研究的回顾与展望[J].土壤学报,2008,45(5):830-836.
- [3] 孙波,施建平,杨林章.陆地生态系统土壤观测规范[M].北京:中国环境科学出版社,2007:160-180.
- [4] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:263-281.
- [5] 姚怀应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2006:129-148.
- [6] 刘满强,胡峰,何园球,等.退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及指示意义[J].土壤学报,2003,40(6):937-944.
- [7] 王锐萍,刘强,文艳,等.鼎湖山和尖峰岭土壤及凋落物中微生物数量季节变化[J].土壤通报,2005,36(6):933-936.
- [8] Carpenter B L, Stahl P D, Lindst M J, et al. Soil microbial properties under permanent grass, conventional tillage, and no-till management in South Dakota[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 71:15-23.
- [9] 蔡晓布,钱成,张永清.退化高寒草原土壤生物学性质的变化[J].应用生态学报,2007,18(8):1733-1738.
- [10] 贾建丽,李广贺,钟毅.石油污染土壤生物修复中试系统对微生物特性的影响[J].环境科学研究,2007,20(5):115-118.
- [11] Odum E P. Trends expected in stressed ecosystems[J]. Bioscience, 1985, 35(7):419-422.
- [12] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes[J]. Soil Biol. Biochem, 1995, 27(7):969-975.
- [13] 姜华,毕玉芬,朱栋斌,等.恢复措施对云南退化山地草甸土壤微生物和酶活性的影响[J].草地学报,2008,16(3):257-261.
- [14] 杨思忠,金会军,魏智,等.微生物对冻土生境的适应以及对全球变化和寒区工程扰动的响应:进展与展望[J].冰川冻土,2007,29(2):279-285.
- [15] 闫峰,吴雄平,梁东丽,等.外源重金属 Cr、Cu、Se 和 Zn 对土壤酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(7):91-98.
- [16] 张桂山,贾小明,马晓航,等.山东棕壤重金属污染土壤酶活性的预警研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):272-276.
- [17] Gallo M, Amonette R, Lauber C, et al. Microbial community structure and oxidative enzyme activity in nitrogen-amended north temperate forest soils[J]. Microbial Ecology, 2004, 48(2):218-229.
- [18] 胡海波,张金池,高智慧,等.岩质海岸防护林土壤微生物数量及其与酶活性和理化性质的关系[J].林业科学研究,2001,15(1):88-95.
- [19] 王海英,宫渊波,陈林武.不同植被恢复模式下土壤微生物及酶活性的比较:以嘉陵江上游地区为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):201-206.
- [20] 邱莉萍,刘军,王益权,等.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.
- [21] 徐秋芳,姜培坤.有机肥对毛竹林间及根区土壤生物化学性质的影响[J].浙江林学院学报,2000,17(4):364-368.