

# 峨眉山不同海拔森林土壤微生物和酶活性特征\*

胡霞, 蔡霜, 廖金花, 黄娇, 尹鹏  
(乐山师范学院 生命科学学院, 四川 乐山 614004)

**摘要:**为了更全面地认识高山土壤生态过程,在四川省峨眉山4个典型植被带分布海拔(3 010, 2 433, 1 575, 775 m)上采集土样,测定了不同海拔土壤水温含量,微生物(细菌、真菌、放线菌)数量,微生物生物量(微生物生物量碳和氮)和土壤酶(蔗糖酶、蛋白酶、过氧化氢酶)活性。结果表明,土壤温度和含水量随海拔变化呈现有规律的变化趋势:随着海拔的升高,土壤中细菌数量呈降低的趋势,而土壤蔗糖酶和蛋白酶活性则呈增加的趋势;在1 575 m海拔处,土壤真菌数量和放线菌数量显著升高( $p < 0.05$ ),而微生物生物量含量和过氧化氢酶活性则显著低于其他海拔处( $p < 0.05$ );高海拔样地有机质含量即使处于较高水平,但受低温等环境影响仍然呈现较低的微生物数量水平,说明峨眉山高山土壤有机质含量对微生物数量的影响较小,相关性也不明显。该研究结果弥补了峨眉山土壤生态过程研究的不足,也为峨眉山土壤养分循环和植被分布格局提供了理论基础。

**关键词:**峨眉山;土壤微生物数量;微生物生物量;土壤酶活性;海拔

**中图分类号:**Q948.112<sup>+</sup>9;S154.38

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2016)01-0109-06

土壤微生物是构成土壤生态系统的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>,土壤中的碳氮转化主要是在微生物参与下进行的,微生物在自身生命活动过程中不断同化环境中的碳,同时通过代谢产物又向外界释放碳,在养分转化中起着重要作用<sup>[3-5]</sup>。因此,研究土壤微生物的数量和活性对于土壤碳氮循环和植物生长有重要的现实意义。尤其在全球气候变化背景下,高山地区成为气候变暖的敏感区,开展有关高山地区土壤微生物的研究对植物分布格局研究和有效应对气候变化有重要的理论价值和实际意义。

目前国内生态学、微生物学学者越来越重视高山土壤微生物数量和活性的相关研究,何容等人<sup>[6]</sup>在武夷山的研究发现,土壤微生物的海拔和季节差异与土壤有效碳含量、土壤湿度密切相关,而与土壤温度、土壤有机碳、土壤全氮等因子相关性不显著。张萍等人<sup>[7]</sup>研究了高黎贡山不同海拔梯度土壤微生物变化,结果表明在高山上半部,土壤微生物数量和活性随海拔降低而升高,而在高山下半部则相反,说明海拔高气温低不利于土壤微生物的生长繁殖活动。对青海玉树不同海拔样地微生物数量的研究表明微生物数量与海拔和土壤含水量呈显著相关( $p < 0.05$ ),受二者影响最大<sup>[8]</sup>。鉴于土壤微生物在陆地生态系统碳循环方面的重要作用,相关研究越来越深入,研究范围也更加广泛,在祁连山<sup>[9]</sup>、武夷山<sup>[6]</sup>、闽西梅花山<sup>[10]</sup>、高黎贡山<sup>[7]</sup>、青藏高原<sup>[11-13]</sup>、西双版纳<sup>[14]</sup>、横断山<sup>[15]</sup>等地区均有开展。然而作为典型高山地貌的峨眉山却未见此类研究。峨眉山(海拔3 099 m)地形复杂,植物种类繁多(共3 000多种),垂直带谱明显,形成了多种复杂的植物小环境,造就了土壤性质的极大差异。本研究以峨眉山高山土壤为研究对象,对不同海拔梯度下土壤微生物数量和活性进行研究,旨在为全球高山生态系统土壤养分循环和植被分布格局提供理论基础,弥补峨眉山一直没有相关方面报道的空缺。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

峨眉山海拔3 099 m,位于北纬29°36′、东经103.29′,地处四川盆地西缘,西藏高原的东麓,是四川盆地与西藏高原的过渡地带。位于中亚热带湿润季风气候区,气候潮湿温暖,雨量充沛,年平均降雨量约为1 480.5 mm,年相对湿度约80%<sup>[16]</sup>。峨眉山总体属于亚热带常绿阔叶林和川东偏湿性常绿阔叶林亚带,但随着海拔变化,从

\* 收稿日期:2015-01-23 修回日期:2015-09-09 网络出版时间:2015-12-02 13:29

资助项目:国家自然科学基金(No. 31500346);乐山市科技局资助科研项目(No. 14NZD007;No. 14NZD008);乐山师范学院科研项目(No. Z1263;No. Z1318);大学生创新创业训练计划项目(No. 201510649032;No. 201510649045)

作者简介:胡霞,女,副教授,博士,研究方向为生态学,E-mail: huxia1007@sohu.com;通信作者:尹鹏,助教,E-mail: yinpeng0512@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20151202.1329.048.html>

低山到高山又反映了亚热带、温带、寒温带等不同的植被景观。根据实际情况可将之划分为 4 个典型植被带:即常绿阔叶林带(海拔 0~1 500 m)、常绿与落叶阔叶混交林带(海拔 1 500~2 100 m)、针阔叶混交林带(海拔 2 100~2 800 m)和寒温性针叶林带(海拔 2 800~3 099 m)<sup>[17]</sup>。

## 1.2 试验设计

在峨眉山 4 个典型植被带分布海拔即 3 010, 2 433, 1 575, 775 m 处, 距离景区道路 10 m 外随机选取试验样地, 每个试验样地分为 5 个 3 m×3 m 的样方(样方间隔 5 m)。样地基本情况见表 1。采用土壤取样器(直径 2.5 cm, 深度 15 cm)在每个样方取土 8 管(采取对角线交叉取样方式), 除去表面凋落物和沙石, 混合为一个土样(重复 5 次), 混合均匀后装入无菌自封袋, 带回实验室测定土壤本底值(pH 值、含水量、有机质、碳、氮、磷)以及土壤微生物的数量、生物量和土壤酶活性。

表 1 样地基本情况

海拔/m	地理位置	经纬度	坡度	植被类型	土壤类型
3 010	金顶	北纬 29°31'44", 东经 103°21'39"	25°11'	亚高山常绿针叶林与灌丛草甸	棕色壤土
2 433	雷洞坪	北纬 29°43'34", 东经 103°20'18"	21°13'	针叶林与阔叶林混交	暗棕壤
1 575	息心所	北纬 29°44'30", 东经 103°26'39"	19°33'	常绿与落叶阔叶混交林	黄棕壤
775	清音阁	北纬 29°50'31", 东经 103°34'41"	14°44'	亚热带喜暖性低山常绿阔叶林和 亚热带耐寒性中山常绿阔叶林	棕壤土

## 1.3 测定方法

1.3.1 土壤温度 采用 sinomeasue 便携式土壤水分温度测量仪测定地下 5 cm 处土壤温度。

1.3.2 土壤含水量 采用烘干法测定土壤含水量<sup>[18]</sup>。

1.3.3 土壤 pH 值 采用电位法测定土壤 pH 值<sup>[18]</sup>。

1.3.4 土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量 根据文献<sup>[18]</sup>, 采用重铬酸钾氧化法测定土壤有机质含量, 开氏消煮法测定全氮含量, 碱熔-钼锑抗比色法测定全磷含量, 火焰光度法测定全钾含量。

1.3.5 土壤微生物数量和生物量 采用平板菌落计数法测定土壤细菌、真菌、放线菌的数量<sup>[12]</sup>。采用氯仿熏蒸法提取测定土壤微生物生物量碳和微生物生物量氮的含量, 两者含量分别是熏蒸前后可浸提的碳和氮差值除以 0.45 和 0.54<sup>[12, 18-19]</sup>。

1.3.6 土壤酶活性 根据文献<sup>[13]</sup>和<sup>[20]</sup>, 采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性, 高锰酸钾滴定法测定土壤过氧化氢酶活性, 茚三酮比色法测定土壤蛋白酶活性。

## 1.4 数据处理

研究中所有数据均采用“平均值±标准差”形式表示, 采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理, 用 SPSS 13.0 软件进行单因素方差分析, 用 Excel 2007 软件作图, 采用最小显著差异法(LSD 法)比较组间差异, 统计分析中的显著性水平标准为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔样地土壤基底值

不同海拔样地土壤基底值情况如表 2 所示, 土壤温度随海拔的降低呈逐渐增加的趋势, 含水量、全氮和全磷含量均呈降低趋势, pH 值、有机质和全钾含量对海拔变化没有表现出规律性变化趋势。

表 2 不同海拔样地土壤基底值情况

海拔/m	土壤温度/℃	pH 值	含水量/%	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )
3 010	13.90±0.89 <sup>a</sup>	5.95±0.35 <sup>a</sup>	54.11±6.89 <sup>a</sup>	96.05±7.24 <sup>a</sup>	4.34±0.47 <sup>a</sup>	1.24±0.08 <sup>a</sup>	16.57±1.20 <sup>a</sup>
2 433	17.50±1.32 <sup>a</sup>	5.12±0.02 <sup>ab</sup>	36.43±4.60 <sup>b</sup>	77.98±7.77 <sup>ab</sup>	3.93±0.77 <sup>ab</sup>	0.98±0.09 <sup>b</sup>	16.74±0.89 <sup>a</sup>
1 575	23.80±2.09 <sup>b</sup>	5.66±0.17 <sup>a</sup>	29.09±3.17 <sup>bc</sup>	51.16±3.43 <sup>bc</sup>	2.50±0.09 <sup>bc</sup>	0.69±0.03 <sup>c</sup>	13.64±0.31 <sup>b</sup>
775	28.00±2.16 <sup>c</sup>	4.69±0.42 <sup>b</sup>	24.82±3.08 <sup>c</sup>	59.24±5.48 <sup>b</sup>	2.13±0.35 <sup>c</sup>	0.43±0.04 <sup>d</sup>	6.92±0.21 <sup>c</sup>

注:不同小写字母表示不同海拔土壤各指标的差异达显著水平( $p<0.05$ ),下同。

### 2.2 不同海拔土壤微生物数量和微生物生物量

图 1 显示,随着海拔的升高,细菌数量逐渐降低,菌落数从 128 268 个下降到 38 766 个,达显著水平 ( $p < 0.05$ );而 1 575 m 处土壤的真菌数量和放线菌数量明显高于其他海拔处的土壤,菌落数分别达 12 791 和 81 368 个;不同海拔下,

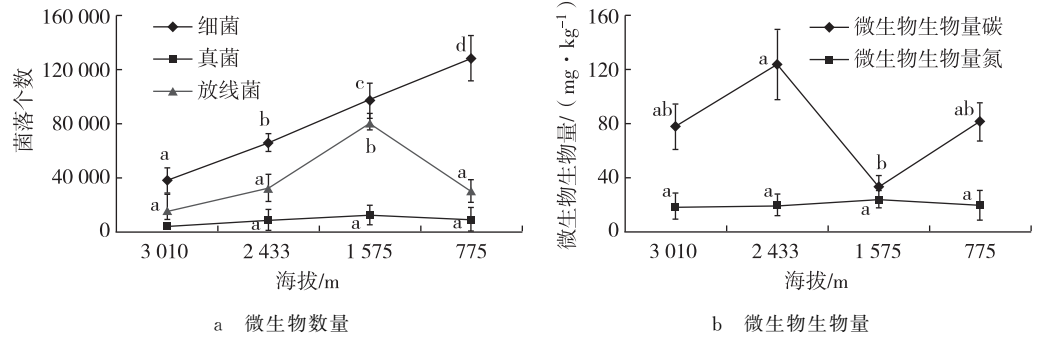


图 1 不同海拔样地土壤微生物数量和微生物生物量

微生物生物量氮含量相对稳定,呈现相似水平;微生物生物量碳与真菌数量和放线菌数量呈现相反的趋势,在海拔 1 575 m 处微生物生物量碳仅为 33.47 mg·kg<sup>-1</sup>,显著低于 2 433 m 处水平(123.80 mg·kg<sup>-1</sup>)。通过相关性分析可知:细菌数量与温度、全氮和全磷含量均显著相关( $p < 0.01$ ),相关系数在 0.99 以上;真菌数量与有机质含量显著相关( $p < 0.01$ ),相关系数在 0.90 以上;微生物生物量碳、微生物生物量氮和放线菌数量均与有机质相关性均未达到显著水平,相关系数都在 0.65 以下(表 3)。

### 2.3 不同海拔土壤酶活性

从图 2 中可以看出,不同海拔的土壤过氧化氢酶活性不呈规律的变化趋势。在海拔 2 433 m 处土壤过氧化氢酶的活性最高,达 17.03 mg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>;该酶活性最低点在海拔 1 575 m 处,仅为 5.55 mg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>。统计分析结果表明,不同海拔的土壤过氧化氢酶活性差异显著( $p < 0.05$ ),表现为 1 575 m 处土壤过氧化氢酶活性显著低于其他海拔区域( $p < 0.05$ )。随着海拔的降低,土壤蔗糖酶和蛋白酶都呈现明显下降趋势(图 2)。土壤蔗糖酶和蛋白酶活性在海拔 3 010 m 处均最高,分别达 80.33 和 134.05 mg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>;海拔 775 m 处均最低,仅为 51.35 和 30.52 mg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。由相关性分析可以看出,土壤蔗糖酶活性与全磷含量和土壤温度相关系数均在 0.95 以上,达极显著水平( $p < 0.01$ );土壤蛋白酶活性也与全磷含量的相关性达极显著水平( $p < 0.01$ );土壤过氧化氢酶与环境因子相关性不显著,相关系数均在 0.60 以下(表 3)。

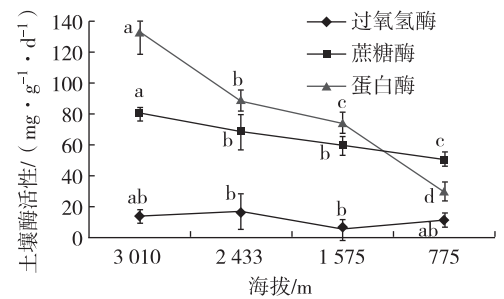


图 2 不同海拔样地土壤酶活性

表 3 不同海拔土壤微生物与土壤基底值相关性分析结果

	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	微生物生物量碳含量	微生物生物量氮含量	过氧化氢酶活性	蔗糖酶活性	蛋白酶活性
含水量	0.886 9*	0.722 2	0.308 9	0.040 2	0.297 9	0.219 1	0.943 2*	0.900 8*
pH 值	0.544 6	0.087 3	0.019 3	0.183 6	0.025 0	0.040 1	0.573 6	0.727 1
温度	0.992 9**	0.521 3	0.207 0	0.138 6	0.215 9	0.333 2	0.975 0**	0.923 0*
有机质含量	0.767 8	0.906 1**	0.628 8	0.272 1	0.629 1	0.557 6	0.806 8	0.669 5
全氮含量	0.942 7**	0.594 7	0.315 3	0.261 0	0.331 1	0.488 7	0.920 1*	0.823 1
全磷含量	0.999 2**	0.519 9	0.184 6	0.090 5	0.189 5	0.270 4	0.992 8**	0.959 2**
全钾含量	0.832 5	0.133 6	0.005 6	0.056 2	0.009 3	0.135 0	0.756 1	0.788 1

注:\*\*表示相关达到极显著水平( $p < 0.01$ ),\*表示相关达到显著水平( $p < 0.05$ )。

## 3 讨论

影响土壤微生物数量和活性的因素很多,如土壤温度、含水量、酸碱度、营养水平、重金属离子含量、凋落物种类和数量等,而土壤温、湿度和矿质元素水平是影响土壤微生物种群动态和生物量大小的关键所在<sup>[21]</sup>。

高山生态系统中土壤温度和含水量呈趋势的变化规律。海拔以及与之密切关联的土壤温湿度强烈影响着

土壤细菌数量<sup>[22]</sup>。在青海玉树的研究表明,海拔显著改变了土壤的水温状况( $p < 0.05$ ),使得土壤细菌数量与海拔呈显著相关( $p < 0.05$ )<sup>[8]</sup>。本研究也证实了之前的研究,即土壤含水量随海拔升高逐渐增加,与细菌数量呈负相关;而土壤温度则随海拔升高逐渐降低,与细菌数量呈显著正相关( $p < 0.05$ )。本研究结果显示,海拔 3 010 m 处,土壤肥力充足,有机质含量最高,土壤含水量、全氮和全磷的含量也达到最大,然而此处的微生物数量却最低,微生物总量反而在海拔 1 575 m 处达最高水平。这可能是因为在海拔 3 010 m 处,终年温度在  $-5 \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$  之间,远远低于土壤微生物最适温度(一般情况下,细菌最适温度为  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ ,放线菌为  $23 \sim 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ,真菌为  $28 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ),不利于微生物的大量生长和繁殖。而海拔 1 575 m 处,温度适中( $20 \sim 38 \text{ }^\circ\text{C}$ ),水分适宜,属于常绿阔叶林与落叶阔叶林混交处,土壤肥沃,养分充足,有利于微生物的繁衍。该结果与之前在农耕地上的研究结果不相符,这些研究表明土壤有机质含量与土壤微生物数量和活性呈正显著相关( $p < 0.05$ )<sup>[23-24]</sup>。也有部分研究支持本研究得出的结论,表明即使有机质含量处于高峰期,但由于受低温等不利环境因素的影响,仍然会导致微生物数量的下降。因而有机质对微生物数量的影响较小,相关性也不是很明显<sup>[25]</sup>。

土壤中的有机质影响整个土壤代谢过程中的营养物质转化和能量循环,为微生物群落提供稳定的营养和能量,是土壤微生物量形成的重要因素。然而,已有的研究中关于有机质水平对微生物生物量的影响,至今尚无明确的结论<sup>[22,26-29,30]</sup>。本研究表明微生物生物量碳和氮的含量与有机质含量相关性最大,但二者均未达到显著水平,这与部分研究结果相一致<sup>[27-28]</sup>。另外,本研究中出现了一个很有意思的结果,即海拔的变化导致了土壤微生物数量的显著改变( $p < 0.05$ ),然而微生物生物量碳和氮的含量并没有呈现出相同的趋势。随海拔的变化微生物生物量氮含量相对稳定,微生物生物量碳含量在 1 575 m 海拔处达最低,这正好与微生物数量的结果相反。这种微生物生物量和微生物数量的错配可能是由稀释板计数法和氯仿熏蒸法的缺陷造成<sup>[31-32]</sup>。

土壤蔗糖酶和蛋白酶是参与土壤有机碳循环和氮转化的关键酶<sup>[33]</sup>。从土壤本底值中可以看出,土壤全氮含量随着海拔的降低而逐渐降低。而土壤中全氮或可利用氮水平的减少在一定程度上就印证了参与土壤碳氮循环的酶活性的下降。此外,土壤含水量也与海拔呈显著正相关关系( $p < 0.05$ ),低海拔样地土壤含水量的降低,大大的限制了土壤生物的生长和繁殖,从而影响了与碳氮转化相关的土壤酶活性<sup>[18,26]</sup>。而在 1 575 m 海拔处,植被类型为常绿与落叶混交林,此处的地表凋落覆盖物较多,植物叶片较厚,不利于过氧化氢酶促进土壤中化合物的氧化作用<sup>[27]</sup>,因而过氧化氢酶活性在该海拔处显著低于其他海拔地区( $p < 0.05$ )。

## 4 结论

综上所述,得到结论如下:

- 1) 峨眉山地区土壤温度和含水量随海拔的变化呈规律化变化趋势。土壤温度随海拔增加而降低,土壤含水量则随海拔增加而增加。
- 2) 高海拔样地有机质含量即使处于较高水平,但受低温等环境影响,仍然呈现较低的微生物数量水平。
- 3) 随着海拔的降低,土壤蔗糖酶和蛋白酶活性逐渐降低。

## 参考文献:

- [1] Green J L, Holmes A J, Westoby M, et al. Spatial scaling of microbial eukaryote diversity[J]. *Nature*, 2004, 432(7018): 747-750.
- [2] Nachimuthu G, Kling K, Kristiansen P, et al. Comparison of methods for measuring soil microbial activity using cotton strips and a respirometer[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2007, 69(2): 322-329.
- [3] Powlson D S, Prookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(2): 159-164.
- [4] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(7): 969-975.
- [5] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 513-519.
- [6] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, et al. Active soil organic matter and its relationship with soil quality[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513-519.
- [7] 何容,王国兵,汪家社,等. 武夷山不同海拔植被土壤微生物量的季节动态及主要影响因子[J]. *生态学报*, 2009, 28(3): 394-399.
- [8] He R, Wang G B, Wang J S, et al. Seasonal variation and its main affecting factors of soil microbial biomass under different vegetations along an elevation gradient in Wuyi mountains of China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009,



- 28(3):394-399.
- [7] 张萍,郭辉军,杨世雄,等.高黎贡山土壤微生物生态分布及其生化特性的研究[J].应用生态学报,1999,10(1):74-78.  
Zhang P,Guo H J,Yang S X,et al. Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms in Gaoli-gong Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999,10(1):74-78.
- [8] 于健龙,石红霄.青海玉树不同海拔高度草毡土微生物数量及影响因子[J].中国草地学报,2011,33(6):46-50.  
Yu J L,Shi H X. Quantity of soil microbe in felty soil in different elevations in Yushu of Qinghai province and affecting factors[J]. Chinese Journal of Grassland, 2011, 33(6):46-50.
- [9] 丁玲玲,祁斌,尚占环,等.东祁连山不同高寒草地型土壤微生物数量分布特征研究[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2104-2111.  
Ding L L,Qi B,Shang Z H,et al. The characteristics of soil microorganism quantity under different alpine grasslands in eastern Qilian mountain[J]. Journal of Agro-Environment Science,2007,26(6):2104-2111.
- [10] 黄庆辉,杨淑专.闽西梅花山自然保护区森林土壤微生物数量分布与区系的研究[J].福建林学院学报,1991,11(1):90-97.  
Huang Q H,Yang S Z. Studies on quantitative distribution and flora of microorganisms in forest soil of the Meihuashan mountain in preserve in Fujian province[J]. Journal of Fujian College Forestry,1991,11(1):90-97.
- [11] 石红霄,于健龙.青藏高原不同植被类型土壤微生物数量及影响因子[J].土壤通报,2012,43(1):47-51.  
Shi H X,Yu J L. Quantity of microbes in the different vegetation types on the Qinghai-Tibetan plateau[J]. Chinese Journal of Soil Science,2012,43(1):47-51.
- [12] 胡霞,吴宁,尹鹏,等.川西高原季节性雪被覆盖下调落物输入对土壤微生物数量及生物量的影响[J].生态科学,2013,32(3):359-364.  
Hu X,Wu N,Yin P,et al. Effects of snowpack and litter input on soil microbial count and biomass in the Eastern Tibetan plateau[J]. Ecologic Science, 2013, 32(3):359-364.
- [13] 胡霞,尹鹏,宗桦,等.高山地区土壤微生物动态对雪况变化的响应[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):470-474.  
Hu X,Yin P,Zong H,et al. Response of soil microbial dynamics to changes in snow regime in alpine area[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2014,30(4):470-474.
- [14] 张萍.西双版纳次生林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究[J].生态学杂志,1995,14(1):21-26.  
Zhang P. Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms in secondary forests in Xishuang-
- banna[J]. Chinese Journal of Ecology,1995,14(1):21-26.
- [15] 邵宝林,龚国淑,张世熔,等.横断山北部高山区不同生态条件下土壤微生物数量及其与生态因子的相关性[J].生态学杂志,2006,25(8):885-890.  
Shao B L,Gong G S,Zhang S R,et al. Soil microbial quantity and its relations with ecological factors in northern alp region of Hengduan mountains[J]. Chinese Journal of Ecology,2006,25(8):885-890.
- [16] 任宏伟,王明福.四川省峨眉山地区有瓣蝇类物种多样性初探[J].中国媒介生物学及控制杂志,2011,22(4):322-324.  
Ren H W,Wang M F. Species diversity of Calyptratae in Emeishan area of Sichuan province[J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control,2011,22(4):322-324.
- [17] 谷海燕,李策宏.峨眉山常绿落叶阔叶混交林的生物多样性及植物区系初探[J].植物研究,2006,26(5):618-624.  
Gu H Y,Li C H. Biodiversity and flora of the mixed evergreen and deciduous broad leaved forest in Emei[J]. Bulletin of Botanical Research,2006,26(5):618-624.
- [18] 鲁如坤.土壤农业化学分析手册[M].北京:中国农业科技出版社,2000.  
Lu R K. 2000. Soil agricultural chemical analysis method [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press,2000.
- [19] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6):837-842.
- [20] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6):703-707.
- [21] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.  
Guan S Y. Soil enzyme and its research methods[M]. Beijing: Agriculture Press,1986.
- [22] Brooks P D, Williams M W. Snowpack controls on nitrogen cycling and export in seasonally snow-covered catchments[J]. Hydrological Processes, 1999, 13:2177-2190.
- [23] 隋跃宇,焦晓光,高崇生,等.土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J].土壤通报,2009,40(5):1036-1039.  
Sui Y Y,Jiao X G,Gao C S,et al. The relationship among organic matter content and soil microbial biomass and soil enzyme activities [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009,40(5):1036-1039.
- [24] 樊建琼,王延平,韩明玉,等.土壤管理方式对苹果园土壤有机质含量和酶活性及微生物数量的影响[J].北方园艺,2013(24):172-175.  
Fan J Q,Wang Y P,Han M Y,et al. Effects of soil management ways on soil organic matters content,enzyme activities and microbes number of the apple orchard [J].

- Northern Horticulture, 2013(24):172-175.
- [25] 龙海飞, 苏维词, 夏春. 石漠化地区土壤有机质与微生物数量关系研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(10):57-62.  
Long H F, Su W C, Xia C. Relationship between soil organic matter and number of microorganisms of different cropping patterns in desertification region[J]. Environmental Science and Technology, 2013, 36(10):57-62.
- [26] Hooker T D, Stark J M. Soil C and N cycling in three semiarid vegetation types: response to an in situ pulse of plant detritus[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(10):2678-2685.
- [27] Sayer E J, Powers J S, Tanner E V J. Increased litter fall in tropical forests boosts the transfer of soil CO<sub>2</sub> to the atmosphere[J]. Plosone, 2007, 2(12):1-6.
- [28] Brant J B, Sulzman E W, Myrold D D. Microbial community utilization of added carbon substrates in response to long term carbon input manipulation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38:2219-2232.
- [29] Jonasson S, Castro J, Michelsen A. Litter, warming and plants affect respiration and allocation of soil microbial and plant C, N and P in arctic mesocosms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(7):1129-1139.
- [30] 徐侠, 陈月琴, 汪家社, 等. 武夷山不同海拔高度土壤活性有机碳变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3):539-544.  
Xu X, Chen Y Q, Wang J S, et al. Variations of soil labile organic carbon along an altitude gradient in Wuyi mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(3):539-544.
- [31] Bloem J, Lebbink G, Zwart K B et al. Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralization in winter wheat fields under conventional and integrated management[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1994, 51(1/2):129-143.
- [32] Frey S D, Elliott E T, Paustian K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(4):573-585.
- [33] 周晓庆, 吴福忠, 杨万勤, 等. 高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态[J]. 生态学报, 2011, 31(14):4144-4152.  
Zhou X Q, Wu F Z, Yang W Q, et al. Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14):4144-4152.
- [34] 谭波, 吴福忠, 杨万勤, 等. 冻融末期川西亚高山/高山森林土壤水解酶活性特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5):1162-1168.  
Tan B, Wu F Z, Yang W Q, et al. Soil hydrolase characteristics in late soil-thawing period in subalpine/alpine forests of west Sichuan[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(5):1162-1168.
- [35] 杨玉莲, 吴福忠, 杨万勤, 等. 雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(22):7045-7052.  
Yang Y L, Wu F Z, Yang W Q, et al. Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine *Abies faxoniana* forest of western Sichuan[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22):7045-7052.

## Responses of Soil Microbial and Enzyme Activity Features of Different Altitudes of Mt. Emei

HU Xia, CAI Shuang, LIAO Jinhua, HUANG Jiao, YIN Peng

(School of Life Sciences, Leshan Normal University, Leshan Sichuan 614004, China)

**Abstract:** In order to understand the ecological process of alpine soil more comprehensively, soil samples of four typical vegetation zones distributed at different altitudes (3 100, 2 433, 1 575, and 775 m) in Mt. Emei, were collected. The soil temperature, soil water content, microbe quantity (bacteria, fungi, actinomycetes), soil microbial biomass (microbial biomass carbon and nitrogen) and soil enzyme activity (soil invertase, protease, catalase) of different altitudes were measured. The results showed that the soil temperature and the water content present a trend of regular change along with the altitude gradient. It was consequently found that as the altitudes increased, the proportion of bacteria in soil tend to decline, while soil invertase and protease activity increase. At 1 575 meters above sea level, the proportion of soil fungi and actinomycetes are remarkably higher ( $p < 0.05$ ), soil microbial biomass and catalase activity, however, are significantly lower than that of the other altitude plots ( $p < 0.05$ ). The result found that although organic matter content is relatively high, there are still a small number of microbes in the high altitude plots due to the impact of such an environmental factor as low temperature. It indicated that the organic matter content has little influence on microbe quantity of alpine soil of Mt. Emei, and there is no significant correlation between them either. The results not only make up for the deficiency of the soil ecological study process of Mt. Emei, but also provide a theoretical basis for soil nutrient cycling and vegetation distribution pattern.

**Key words:** Mt. Emei; soil microbe quantity; microbial biomass; soil enzyme activity; altitude

(责任编辑 方 兴)