

微生物学报 *Acta Microbiologica Sinica*  
55 (3) :341 - 350; 4 March 2015  
ISSN 0001 - 6209; CN 11 - 1995/Q  
http://journals.im.ac.cn/actamicrocn  
doi: 10.13343/j.cnki.wsxb.20140391

## 乌鲁木齐 10 号泉泉水细菌群落对有感地震的响应

罗娇<sup>1,3</sup>, 杨红梅<sup>1,2</sup>, 高小其<sup>4</sup>, 尤陆花<sup>1,5</sup>, 娄恺<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>新疆特殊环境微生物实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091

<sup>2</sup>新疆农业科学院农产品质量安全重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091

<sup>3</sup>石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子 832003

<sup>4</sup>新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011

<sup>5</sup>新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046

**摘要:**【目的】为了从细胞水平上了解泉水细菌群落对有感地震的映震规律及敏感菌群的代谢特征。【方法】基于 2012 年 1 月 31 日至 12 月 31 日, 震中距乌鲁木齐 10 号泉 100 公里范围内的 5 次有感地震, 利用平板培养计数和 BIOLOG GEN III 细菌板监测地震前后泉水中细菌群落活性及代谢功能多样性变化。【结果】泉水细菌群落全年呈现随机动态变化, 震后可培养细菌菌落数目和细菌群落碳源利用的平均颜色 (Average well color development, AWCD) 变化高于震前, 且表现与震级具有一定相关性; 泉水中对有感地震有响应的灵敏细菌群以糖醇类碳源为主要代谢碳源。【结论】本研究初步证实了 GEN III 细菌板能用于泉水细菌群落代谢功能多样性的研究。细菌群落的碳源利用及可培养菌落数目具有一定映震规律。

**关键词:** 乌鲁木齐 10 号泉, 有感地震响应, 细菌群落, BIOLOG

**中图分类号:** X172      **文章编号:** 0001-6209 (2015) 03-0341-10

地震里氏震级  $M$  可分为: 微震 ( $M_s < 2.5$ ), 有感地震 ( $2.5 \leq M_s \leq 5.0$ ), 破坏性地震 ( $M_s > 5.0$ )<sup>[1]</sup>。有研究表明, 水文地球化学能对 5 级以上的破坏性地震进行短临预测<sup>[2-4]</sup>, 对有感地震无明显前兆异常指示<sup>[5]</sup>。而破坏性地震发生前的前震多为有感地震 (如玉树大地震)<sup>[6]</sup>, 有感地震能够为破坏性地震的预测做出较好的指示作用。目前对有感地震的预测和研究相对较少。为减少地震灾害, 研究有感地震显得更为迫切。

地下流体在地球深部是影响地震孕育与发生的主要因素之一<sup>[7]</sup>, 同时也充当地球地质构造发生改

变时的重要信息载体, 因而在浅部能灵敏地反映地震孕育与发生过程的前兆信息<sup>[8]</sup>。当地下流体流经断层时会受到阻截而向上涌出地面, 形成断裂泉, 因此断裂泉可作为地震监测的理想材料。微生物是泉水的重要组成部分之一, 能迅速感知然后适应环境的变化<sup>[9]</sup>, 为此是否可利用微生物来监测地震成为一个急需求证的科学问题。有研究证实, 实验室模拟条件下, 土壤微生物能响应地震震动造成的环境变化<sup>[10]</sup>; Miller 等<sup>[11]</sup>连续取样监测地表水中微生物的变化, 发现水体中各类微生物保持在各自的背景值内, 但是破坏性地震发生以后, 作为地表水中的指示

基金项目: 新疆维吾尔自治区高技术研究发展项目 (201216145)

\* 通信作者。E-mail: loukai02@mail.tsinghua.edu.cn

作者简介: 罗娇 (1988 -), 女, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向为环境微生物。E-mail: jiaoluochina@163.com

收稿日期: 2014-08-07; 修回日期: 2014-11-10

菌(病原体)的数量急剧增加;在部分野外取样实验中,从分子水平上研究表明了部分泉水细菌对有感地震映震灵敏<sup>[1]</sup>。但在现阶段,国内外研究泉水细菌群落对有感地震的响应还很少,部分观点亟需验证和阐释,从细胞水平上研究泉水细菌对地震扰动的响应规律也未见报道。

新疆是我国地震多发区,本研究的乌鲁木齐 10 号泉位于乌鲁木齐南部的柳树沟-红雁池断裂带上,泉水为沿断裂带上涌的深循环地下水与较浅层的基岩裂缝承压水的混合水,深浅两层地下水均有泉区东南部博格达山区的大气降水与高山积雪融水补给,循环于不同深度而到达泉区。泉口直径为 2 m,具有强烈的硫化物气味,PH 值为 7.7,常年水温保持在 11℃左右,水流量在 1.2 L/s 左右;该泉属于国家地震台网监测基本水化 I 类台,水地下径流处于一个相对封闭的环境,受外界干扰因素较少<sup>[12]</sup>,是探索地下水细菌群落响应有感地震的优质样地。前期研究表明泉水细菌在群落功能多样性变化上对地震扰动的响应比群落结构变化上更加灵敏<sup>[13]</sup>,但对外界扰动敏感的细菌种群、活性及代谢功能变化规律等尚不清楚。为了从细胞水平上了解泉水细菌群落对有感地震的映震规律及敏感种群的

代谢特征,通过平板培养计数和 BIOLOG 技术分析有感地震前后泉水细菌群落活性和功能多样性变化,以期验证泉水细菌对有感地震映震灵敏的观点,进而为培养映震敏感种群、构建地下水微生物映震模式提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集及处理

从 2012 年 1 月 31 日至 2012 年 12 月 31 日,于每一物候当天上午 8 时由新疆地震局专业采样人员从泉水水文地球化学指标监测点处采集(泉水深度约为 10 m 处)泉水样品,分装于 2 个 50 mL 无菌离心管中,低温带回实验室。将两离心管水样在无菌环境下混匀,分成 2 份,一份用于 BIOLOG 实验,另一份用于平板培养计数实验,并立即进行实验。选取有感地震前后各一次的样品进行后续数据分析,其中 10 月 18 日、8 月 28 日、5 月 10 日、4 月 25 日、2 月 29 日的 5 个泉水样品为地震前样品,10 月 23 日、9 月 2 日、5 月 15 日、4 月 30 日、3 月 5 日的 5 个泉水样品为地震后样品。地震时间及级别见表 1。

表 1. 地震时间及震级

Table 1. Time and magnitude of earthquakes

Times	Seismic centre	Earthquake magnitude	Latitude	Longitude	Depth/km	Epicentral distance/km
2012/10/21 11:24	Changji (昌吉市)	<i>M<sub>s</sub></i> 3.2	43.9°N	87°E	11	61
2012/8/29 18:27	Urumqi (乌市)	<i>M<sub>s</sub></i> 2.5	43.8°N	87.6°E	8	46
2012/5/13 7:05	The border of urumqi and changji (乌市昌吉交界)	<i>M<sub>s</sub></i> 4.2	43.8°N	88.5°E	8	100
2012/4/27 17:01	Urumqi (乌市)	<i>M<sub>s</sub></i> 3.7	43.5°N	87.5°E	4	14
2012/3/2 21:51	Changji (昌吉市)	<i>M<sub>s</sub></i> 3	43.5°N	86.7°E	13	55

### 1.2 泉水水文地球化学指标测定

每日由新疆地震局测定 10 项地球化学指标,分别为氡、氨、氮、硫化物、甲烷、二氧化碳、氢、氟、水汞及流量。

### 1.3 R2A 培养基涂布平板菌落计数

在超净工作台内用微量移液器吸取 100 μL 冷泉水样,涂布于 R2A 培养基上,共计 6 平行,室温下静置 5 min 后,倒置于 28℃ 生化培养箱中培养 48 h<sup>[14]</sup>,统计单位体积内泉水的细菌菌落数量(CFU/L)。

### 1.4 水体细菌功能多样性测定

采用美国 BIOLOG 公司生产的细菌微平板

(BIOLOG GEN III MicroPlate™) 分析不同时间尺度的水样中细菌群落活性及功能多样性。BIOLOG GEN III 板划分为 71 种碳源营养物质(板的 1-9 列,1 个阴性对照)以及 23 种生化试剂(板的 10-12 列,1 个阳性对照),碳源归为 8 类<sup>[15]</sup>,本研究首次将 GEN III 板用于冷泉水样细菌群落功能多样性研究。将 GEN III 微平板从 4℃ 冰箱中取出,室温下预热 30 min。在超净工作台内向 GEN III 板内各孔中加入 100 μL 的水样,3 次重复<sup>[16]</sup>。最后将接种好的板放至 12℃ 的恒温培养箱中培养。每隔 24 h 利用 BIOLOG 读数器在波长为 590 nm 处测读光密度

值, 试验持续 8 d。

### 1.5 数据分析

在对各水样的平均吸光度值随时间的 AWCD 曲线进行分析后, 再进行碳源类型分析、主成分分析 (PCA) 和多样性指计算: Shannon 指数 ( $H$ )、Simpson 指数 ( $D$ )、McIntosh 指数 ( $U$ )。相关公式如下:

$$AWCD_{590\text{ nm}} = \sum (C_i - R) / 71 \quad (23) \quad (1)$$

$$H = - \sum (p_i \times \ln p_i) \quad (2)$$

$$D = 1 - \sum (p_i)^2 \quad (3)$$

$$U = \sqrt{\sum n_i^2} \quad (4)$$

$$P_i = (C_{590\text{ nm}} - R) / \sum (C_{590\text{ nm}} - R) \quad (5)$$

$$n_i = C_i - R \quad (6)$$

式中:  $C_i$  为每孔的光密度值,  $R$  为对照孔的光密度值,  $p_i$  为单孔的相对光密度值,  $n_i$  为第  $i$  孔的相对吸光值<sup>[17]</sup>。

为进一步揭示影响细菌群落碳源利用的主要环

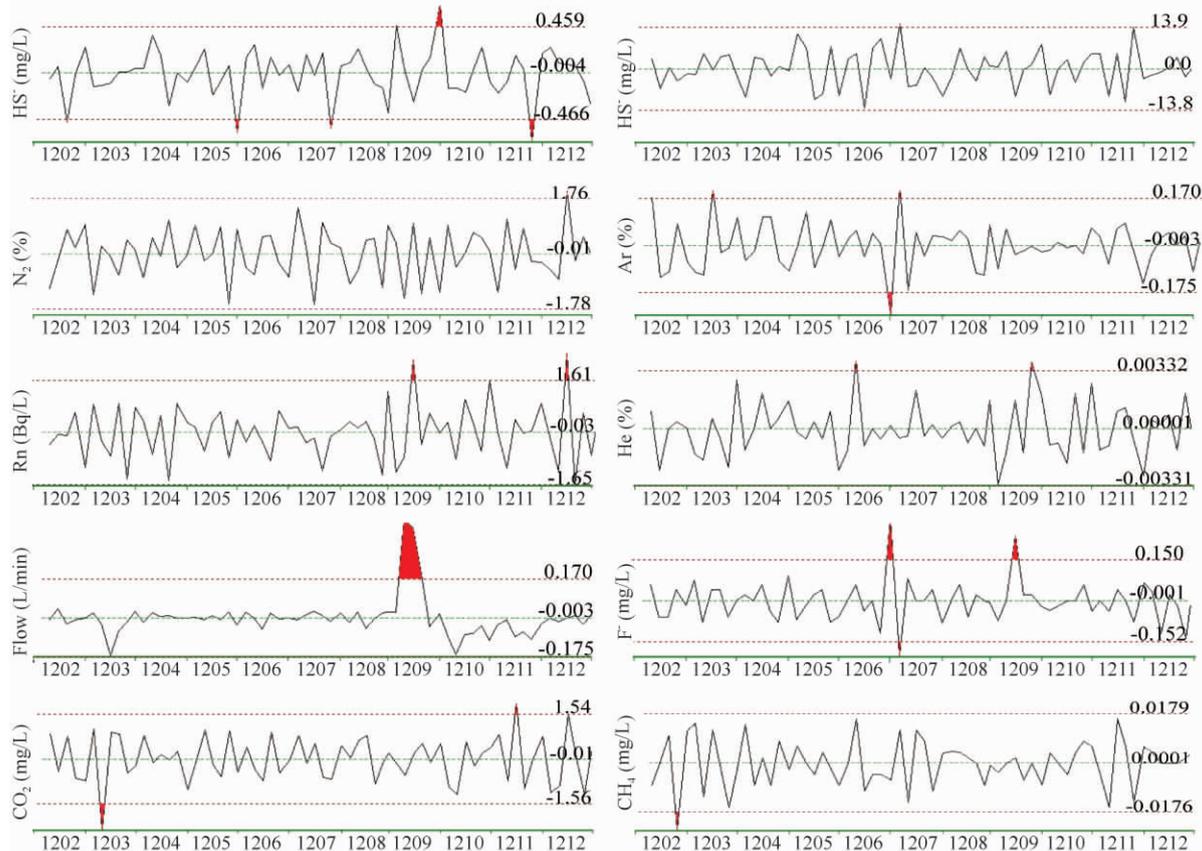


图 1. 监测期内乌鲁木齐 10 号泉水 10 项水文理化指标变化情况

Figure 1. 10 physical and chemical parameters changes of the No. 10 Spring in Urumqi during the monitoring period.

境因子及其效应, 对其碳源利用同环境因子作相关分析。利用 SPSS 18.0 和 origin8.0 软件进行数据处理及作图。

## 2 结果和分析

### 2.1 泉水水文理化指标监测结果

在监测期内, 10 项水文理化指标变化总体上围绕各自背景值呈不同程度的上下波动。其中, 氮、汞和氦, 在各自背景值内上下波动, 而氩、二氧化碳、甲烷等 7 项参数出现了低于或高于各自的背景值 (图 1), 但它们在出现异常时间时均未发生有感地震。

### 2.2 不同时期单位体积水体细菌菌落数统计

从图 2 可以看出全年可培养水体细菌菌落数目较少且呈无规律动态变化, 5 次有感地震中仅 8 月 29 日地震后的菌落数低于地震前, 其它 4 次有感地震中震后细菌菌落数目均显著 ( $P < 0.05$ ) 高于震前。表明可培养细菌能响应大于 2.5 级的有感地震, 并表现出一致规律。

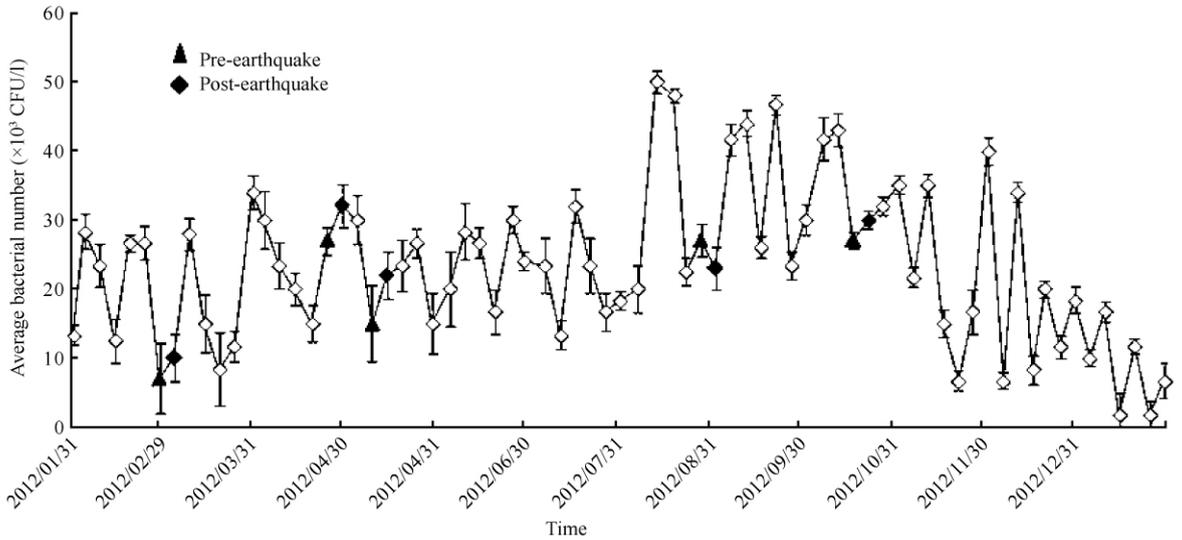


图 2. R2A 培养基上不同时期可培养细菌菌群数量比较

Figure 2. Comparison of the bacterial number during the different periods under R2A medium.

## 2.3 水体细菌群落碳源利用及化学敏感物质效应的 BIOLOG 分析

### 2.3.1 碳源利用及化学敏感性测试的平均颜色变化率 (AWCD) : AWCD 值的大小反应细菌群落对底物各碳源的平均利用能力和对各生化试剂的平均化

学敏感程度。从图 3 可以看出, 水体样品的 AWCD 值在前 2 d 较平稳, 表明在这段时间内细菌群落对各类碳源的利用程度、对各生化试剂的敏感程度均较低, 第 3 天开始升高, 细菌群落开始大幅度利用碳源并对生化试剂产生反应, 随后增长缓慢, 直至试验

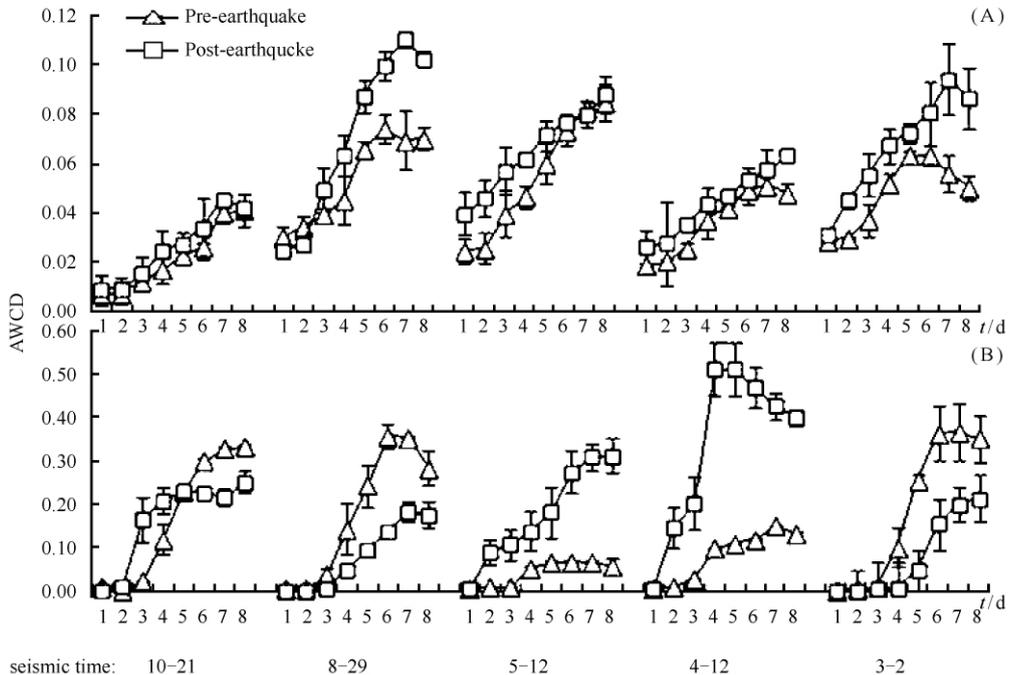


图 3. 地震前后水体细菌群落碳源利用的 AWCD 值变化 (A) 和化学敏感性测试的 AWCD 值变化 (B)

Figure 3. Average well color development (AWCD) changes of the carbon source utilization (A) and chemosensitivity testing (B) of the water bacterial under before and after the earthquake.

结束表现下降趋势,说明细菌群落停止生长代谢。图 3-A 可看出震后水体样品碳源利用的 AWCD 值均高于震前,表明震后细菌群落活性强于震前。从图 3-B 可以看出,在 8 月 29 日和 3 月 2 日两次较小的地震前后样品中,震前水体细菌群落的化学敏感程度高于震后,表明细菌群落对生化试剂的敏感性与震级大小相关(图中 10-21、8-29、5-12、4-27、3-2 分别代表地震发生时间)。在 8 d 培养期间,地震前后样品的碳源利用及化学敏感性测试的 AWCD 在 4 d 均处于对数生长期,因此,后续采用 4 d 的光密度值进行统计分析。

**2.3.2 水体细菌群落碳源利用及化学敏感性测试的主成分分析:**以 8 月 29 日,10 月 21 日发生的有感地震为例分别做第 1 次,第 2 次主成分分析,以 PC1、PC2 主成分得分对各样品作图,区分样品间的细菌群落特征。由图 4-A、4-B 可见,各样品分异明显,其中 8-28 与 9-2、10-18 与 10-23 的样品聚集独立分布于同一象限,表明地震前后各样品中细菌群落对碳源的利用特性具有相似性。由此将 10 月 2 日、10 月 8 日、10 月 13 日、10 月 18 日的 4 个样

品作为无地震参照,地震前后样品碳源利用的 AWCD 值均显著 ( $P < 0.05$ ) 高于无震时期,表明地震前后细菌群落活性强于无地震时期。

以地震前后和无地震时期碳源利用和化学敏感性测试的样品总和均值为例做第 3 次、第 4 次主成分分析,由图 4-C、4-D 可知,地震前后样品总体同样聚集在同一象限,表明地震前后各样品中细菌群落对碳源的利用、对生化试剂的敏感特性具有相似性。

由 PCA 分析得到的因子载荷可反映各样品细菌群落对碳源利用的差异性,绝对值越大,表明该基质在众多碳源中起主要分异作用。在前 3 主成分分析过程中:PC1 因子载荷系数  $r > 0.8$  以上的分别有 8 种、21 种、5 种,PC2 因子载荷系数  $r > 0.8$  以上的分别有 2 种、5 种、0 种。PC1、PC2 中最大的基质分别见表 2 表明氨基酸类和羧酸类是导致细菌群落代谢差异的敏感碳源。化学敏感性测试的 PCA 分析显示,PC1 因子载荷系数均大于 0.9,PC1、PC2 中权重最大的生化试剂是 D<sub>11</sub> 孔的利福霉素 SV (Rifamycin SV),表明水体细菌群落对所有生化试剂均敏感,其中对利福霉素最为敏感。

表 2. 3 次分析中因子载荷最大的基质

Table 2. Substrates with higher factor loadings

PCA	Principal component	Substrate	<i>r</i>
1	PC1	β-Hydroxy-D, LButyric Acid (carboxylic acids)	0.965
	PC2	D-Saccharic Acid (sugar acid)	0.864
2	PC1	D-Aspartic Acid (amino acid)	0.943
	PC2	D-Arabitol (alditol)	0.890
3	PC1	D-Serine (amino acid)	0.869
	PC2	α-Hydroxy-Butyric Acid (carboxylic acids)	0.781

**2.3.3 地震前后及无地震时期细菌群落碳源类型利用差异分析:**BIOLOG GEN III 板的 71 种碳源可归为糖类、糖类衍生物(氨基糖、糖醇、单糖磷酸酯、糖酸、氨基酸)、酯类、羧酸类 8 类。先将各样品中每类碳源的 OD 值平均,再将 3 个时间段的每类碳源分别进行平均,可比较不同时期细菌群落对同一类碳源的利用差异(图 5)。结果显示,无地震时期水体细菌群落以单糖磷酸酯、酯类、氨基酸为主要代谢碳源,地震前细菌群落以糖醇、糖酸、氨基酸、酯类为主要代谢碳源,而地震后细菌群落以单糖磷酸酯、氨基酸、糖酸、酯类为主要代谢碳源,表明地震扰动水体细菌群落的代谢特征发生改变,表明水体细菌群落比较偏好的碳源类型为酯类、氨基酸类、糖酸

类、单糖磷酸酯类。地震前后泉水细菌群落对糖醇的利用水平显著高于无地震时期 ( $P < 0.05$ ),表明泉水中对有感地震有响应的灵敏细菌群以糖醇类碳源为主要代谢碳源。

**2.3.4 细菌利用碳源的多样性:**细菌群落中物种多样性取决于物种数量及其分布的均匀度,多样性指数的差异反映了细菌群落多样性的不同侧面<sup>[18]</sup>。从表 3 可以看出,Shannon (*H*) 指数、Simpson (*D*) 和 McIntosh (*U*) 在无地震时期和地震前差异不显著,而与地震后存在差异。

**2.3.5 细菌群落碳源利用与泉水水文地球化学指标的相关性分析:**为揭示细菌群落碳源利用与水文理化因子的内在关系,将 3 种多样性指数、8 类碳源

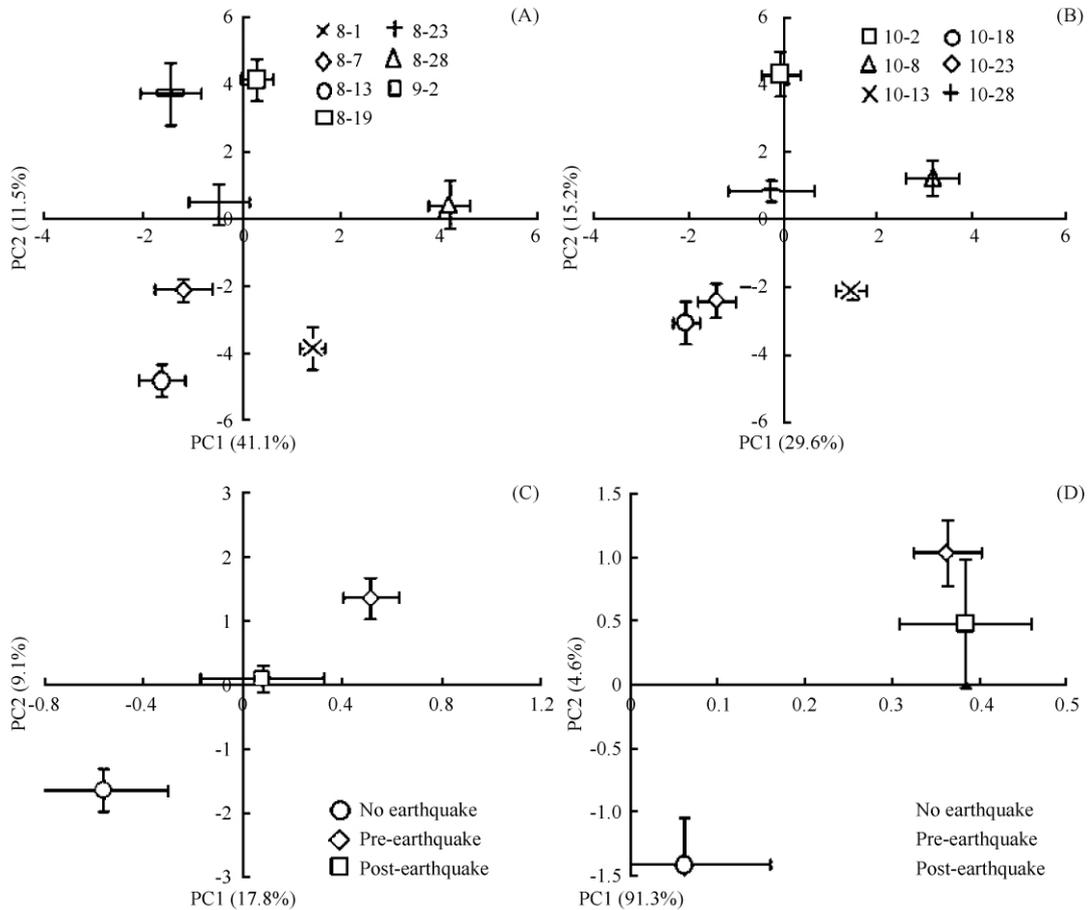


图 4. 不同时期水样细菌群落碳源利用类型及化学敏感性测试的主成分分析

Figure 4. Ordination of a principal component analysis (PCA) on the carbon utilization patterns and chemical sensitivity testing of the bacterial community under different periods. Samples of carbon utilization were taken on August 1 to September 2 (A), October (B), 2012, respectively. No earthquake, earthquake before and after the total sample of carbon utilization (C), of chemical sensitivity testing (D).

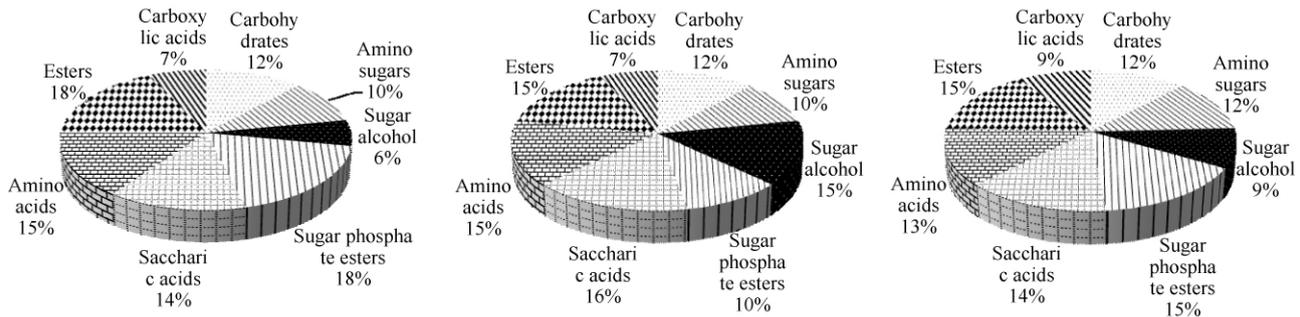


图 5. 不同时期细菌群落利用碳源类型

Figure 5. Carbon source types during different period bacterial communities utilized.

与所测水文理化性质进行相关分析。结果显示,多样性指数均与所测水文理化性质不相关 ( $P > 0.05$ )。8类碳源中氨基酸和羧酸类、氨基糖和氨基酸类呈极显著负相关 ( $r = -1$ ),氨基糖与羧酸类呈

极显著正相关 ( $r = 1$ ),糖醇和单糖磷酸酯呈负相关 ( $r = -0.999$ );He 的含量与酯类 ( $r = 1$ )、 $N_2$  与糖酸 ( $r = 0.998$ )、 $CO_2$  与酯类 ( $r = -1$ )呈极显著相关,Ar 与糖醇 ( $r = 1$ )呈正相关,Ar 与单糖磷酸

酯 ( $r = -1$ )、流量与酯类 ( $r = -1$ ) 呈负相关。可见, 不同碳源利用类型间存在制约性和促进性。此外, 水体的水理化性质与细菌群落碳源利用存在一定联系, 其中 He、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、Ar 和 flow 是影响细菌

群落碳源利用的主要因素, He、N<sub>2</sub>、Ar 含量增加会导致酯类、糖酸类和糖醇类碳源利用的增加, 而 Ar、CO<sub>2</sub>、flow 含量增加会导致单糖磷酸酯和酯类碳源利用的下降。

表 3. BIOLOG 微生态多样性分析差异性结果

Table 3. Different results of BIOLOG diversity analysis

Time range	Shannon index ( <i>H</i> )	Simpson index ( <i>D</i> )	McIntosh index ( <i>U</i> )
No earthquake	3.549 ± 0.117b	0.963 ± 0.005a	0.587 ± 0.971a
Pre-earthquake	3.590 ± 0.331b	0.959 ± 0.020a	0.635 ± 0.709a
Post-earthquake	3.501 ± 0.164a	0.956 ± 0.397b	0.753 ± 0.135b

Different lowercase letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ), Numerical for the mean value ± the standard deviation (mean + / - SD).

### 3 讨论

微生物在生态系统的物质循环和能量流动过程中起着重要作用, 并能够对各种环境扰动产生响应<sup>[19]</sup>。张强等<sup>[1]</sup>研究了泉水细菌群落对两次有感地震的响应, 发现部分细菌群落在地震后的丰富度均高于地震前, 且都高于无地震时期; 杨红梅等<sup>[20]</sup>对破坏性地震的研究发现地震前可培养细菌菌落数目显著高于地震后。本研究发现除了震级最小 ( $M_s = 2.5$ ) 的一次有感地震外, 其余四次有感地震的震后可培养细菌菌落数目均高于震前, 这可能是可培养细菌群落对此地震响应不明显; 而细菌群落对碳源利用的 AWCD 值均表现为地震后 > 地震前 > 无地震时期, 这个规律与张强等<sup>[1]</sup>的研究结果类似。综上所述, 这些研究结果均表明细菌群落对地震的扰动具有映震规律, 而这些规律的表现形式各不相同, 可能是由于研究技术、研究样地、采样时间及研究震级不同的缘故。

有研究证实, 利用 BIOLOG GN 板能研究土壤微生物群落碳源利用的多样性<sup>[21-23]</sup>。因此本研究尝试将 GEN III 微孔板用于泉水细菌群落代谢功能多样性研究, 研究发现水体细菌群落对 GEN III 中的碳源利用具有较灵敏的映震规律, 其中以酯类、氨基酸类、糖酸类、单糖磷酸酯类为主要代谢碳源, 而对有感地震有响应的灵敏细菌群落以糖醇类碳源为主要代谢碳源, 此结果初步证实了 GEN III 细菌板能用于泉水细菌群落代谢功能多样性的研究。

Gilber 等<sup>[24]</sup>的研究结果表明, 海水环境改变会

导致本来附着在海水固体表面的微生物急剧减少, 而适应环境的微生物大量繁殖。而本研究中 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、He 等水体理化性质显著影响细菌群落对某些碳源类型的利用, 这些碳源类型均为该生境下细菌群落的非敏感类型, 因此可推断 10 号泉水体敏感细菌群落代谢活性在有感地震发生前后与测试水体理化性质无直接相关性, 这与前期研究水体地球化学元素对有感地震响应不敏感的结果类似<sup>[1]</sup>。因此, 本研究中对有感地震响应灵敏的细菌群落可能是由于地震发生过程中, 震源及附近区域的地球应力逐渐聚集, 强力迫使岩层发生蠕动甚至断裂<sup>[25]</sup>, 使依附在地球深部岩石中的细菌群落被释放出来, 并伴随传播媒介进入浅层而被监测到。

本研究表明利用 BIOLOG GEN III 板, 水体细菌群落对 GEN III 板中的碳源利用率具有较灵敏的映震规律, 并解释其对碳源的偏嗜性, 但水体样品要培养 96 h 后才能得到地震发生前的异常信息, 所以用此方法进行地震监测时效性较差。平板培养计数法能较快速、直观的得到水体细菌群落数量变化及一定的映震规律, 但培养基成分 (如碳源种类、各类化学物质等) 和培养条件等的选择性对分离效果影响较大<sup>[26]</sup>。BIOLOG GEN III 细菌板监测结果显示, 10 号泉水中对有感地震有响应的灵敏细菌群落以糖醇类 (D-山梨醇、D-甘露醇、D-阿拉伯醇、肌醇、甘油) 为主要代谢碳源, 并且对利福霉素 SV (Rifamycin SV) 较敏感。后续研究将结合以上信息, 以 R2A 培养基为基础探索新的培养条件, 培养较多的敏感菌群, 初步建立细菌映震模型。

## 参考文献

- [1] Zhang Q, Zeng J, Lou K, Li S, Yang X, Wu Z, Gao X. Seismic response of bacterial community structures at No. 10 Spring in Urumqi. *Acta Seismologica Sinica*, 2012, 34 (5) : 706-715. (in Chinese)  
张强, 曾军, 娄恺, 李珊, 杨晓芳, 吴尊凤, 高小其. 乌鲁木齐 10 号泉水体细菌群落对地震的响应. 地震学报, 2012, 34 (5) : 706-715.
- [2] Gao X, Chen H, Gao G, Xu Q, Cui Y. Statistics and analysis on characteristics of focal precursors field precursors and remote precursors of ground fluid for great earthquakes in Xinjiang region. *Earthquake*, 2006, 26 (2) : 83-94. (in Chinese)  
高小其, 陈华静, 高国英, 许秋龙, 崔勇. 新疆地下流体源兆、场兆、大震远兆特征的统计与分析. 地震, 2006, 26 (2) : 83-94.
- [3] Perez NM, Hernández PA, Igarashi G, Trujillo I, Nakai S, Sumino H, Wakita H. Searching and detecting earthquake geochemical precursors in CO<sub>2</sub>-rich groundwaters from Galicia, Spain. *Geochemical Journal*, 2008, 42:75-83.
- [4] Skelton A, Claesson L, Chakrapani G, Mahanta C, Routh J, Mörth M, Khanna P. Coupling between seismic activity and hydrogeochemistry at the Shillong Plateau, Northeastern India. *Pure and Applied Geophysics*, 2008, 165 (1) : 45-61.
- [5] Zhao Y, Bai J, Li X, Jia K, Chen H. Correlation between hydrogen isotope in underground water near active fault and earthquakes. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (6) :1909-1915. (in Chinese)  
赵永红, 白竣天, 李小凡, 贾科, 陈辉. 活动断裂带附近地下水中的氢同位素变化与地震关系研究. 岩石学报, 2011, 27 (6) : 1909-1915.
- [6] 金羊网. 汶川与唐山地震均无前震玉树前震却未引起重视. <http://news.sohu.com/20100419/n271592773.shtml>. 2010-04-19.
- [7] Fu B, Wang P, Kong P, Zheng G, Wang G, Shi P. Preliminary study of coseismic fault gouge occurred in the slip zone of the Wenchuan Ms 8.0 earthquake and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (10) : 2237-2243. (in Chinese)  
付碧宏, 王萍, 孔屏, 郑国东, 王刚, 时丕龙. 四川汶川 5.12 大地震同震滑动断层泥的发现及构造意义. 岩石学报, 2008, 24 (10) : 2237-2243.
- [8] Freckman DW, Blackburn TH, Brussaard L, Hutchings P, Palmer MA, Snelgrove PV. Linking biodiversity and ecosystem functioning of soils and sediments. *Ambio*, 1997: 556-562.
- [9] Miller LD, Russell MH, Alexandre G. Diversity in bacterial chemotactic responses and niche adaptation. *Advances in Applied Microbiology*, 2009, 66, 53-75.
- [10] 胡江春, 边疆, 王书锦, 杜建国. 中强地震活动中汞的异常特征及土壤微生物敏感菌的相关性模拟试//沈德龙. 第十届全国土壤微生物学术讨论会暨第三届全国微生物肥料生产技术研讨会论文. 山东泰安: 泰山出版社, 2006:53.
- [11] Devane ML, Moriarty EM, Wood D, Webster-Brown J, Gilpin BJ. The impact of major earthquakes and subsequent sewage discharges on the microbial quality of water and sediments in an urban river. *Science of the Total Environment*, 2014, 485-486: 667-680.
- [12] Gao X, Xu Q, Zhang X, Li Y, Lu J, Cui Y. Preliminary analysis on synthetic fluid observation of Urumqi spring No. 10 and its earthquake-reflecting sensitivity. *Inland Earthquake*, 2000, 14 (3) :243-251. (in Chinese)  
高小其, 许秋龙, 张学敏, 李艳萍, 卢静芳, 崔勇. 乌鲁木齐 10 号泉水体综合观测及映震灵敏性初析. 内陆地震, 2000, 14 (3) : 243-251.
- [13] 李萍. 乌鲁木齐 10 号泉水体古菌多样性及细菌的映震特征. 新疆大学学位论文, 2013.
- [14] Wang X, Zhan Z, Zhao S, Dai Y, Wang J, Zhao S, Li Y. The bacterial diversity in different seasons of Miyun reservoir. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (7) :3920-3927. (in Chinese)  
王晓丹, 翟振华, 赵爽, 戴育华, 王景仕, 赵守彦, 李艳红. 密云水库不同季节细菌群落多样性. 生态学报, 2009, 29 (7) : 3920-3927.
- [15] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 11-50.
- [16] Zhao R, Wang H, Liu Q, Wang Z, Zeng C. Spatial and seasonal variations of microbial communities in dripping water from the Heshang Cave, Central China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35 (6) : 900-905. (in Chinese)  
赵锐, 王红梅, 刘倩瑛, 曾翠平. 湖北清江和尚洞滴水微生物群落随空间和季节的变化. 地球科学-中国地质大学学报, 2010, 35 (6) : 900-905.

- [17] Lin Q, Zeng J, Ma J, Wang Z, Zhang T, Li S, Lou K. Microbial carbon utilization in rhizosphere soils of secondary plants in earthquake fault zone of Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (9): 2297-2302. (in Chinese)  
林青, 曾军, 马晶, 王重, 张涛, 李珊, 娄恺. 新疆地震断裂带次生植物根际土壤微生物碳源利用. *应用生态学报*, 2011, 22 (9): 2297-2302.
- [18] Buyer JS, Kaufman DD. Microbial diversity in the rhizosphere of corn grown under conventional and low-input systems. *Applied Soil Ecology*, 1997, 5 (1): 21-27.
- [19] Li J, Liu Y, He J, Zhen Y. Insights into the responses of soil microbial community to the environmental Disturbances. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33 (4): 959-966. (in Chinese)  
李晶, 刘玉荣, 贺纪正, 郑袁明. 土壤微生物对环境胁迫的响应机制. *环境科学学报*, 2013, 33 (4): 959-966.
- [20] Yang H, Ou T, Zeng J, Lou K. Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre - and post -earthquake period. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (10): 2940-2946. (in Chinese)  
杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾军, 娄恺. 新疆乌恰泉华地震前后泉水细菌群落的变化. *生态学报*, 2011, 31 (10): 2940-2946.
- [21] Kong WD, Zhu YG, Fu BJ, Marschner P, He JZ. 2006. The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence functional diversity of the soil microbial community. *Environmental Pollution*, 143 (1): 129-137.
- [22] Zheng H, Chen F, Ou Y, Fang Z, Wang X, Miao H. Utilization of different carbon sources types in BIOLOG-GN microplates by soil microbial communities from four forest types. *Environmental Science*, 2007, 28 (5): 1126-1130. (in Chinese)  
郑华, 陈法霖, 欧阳志云, 方治国, 王效科, 苗鸿. 不同森林土壤微生物群落对 BIOLOG-GN 板碳源的利用. *环境科学*, 2007, 28 (5): 1126-1130.
- [23] Liao X, Zhang T, Zeng J, Sun J, Hu W, Lou K. A new method of microbial prospecting for oil and gas based on BIOLOG metabolic fingerprinting analysis. *Acta Microbiologica Sinica*, 2012, 53 (4): 505-511. (in Chinese)  
廖先燕, 张涛, 曾军, 孙建, 胡雯, 娄恺. 一种基于 BIOLOG 代谢指纹分析的油气微生物勘探新方法. *微生物学报*, 2012, 52 (4): 505-511.
- [24] Gilbert JA, Steele JA, Caporaso JG, Steinbrück L, Reeder J, Temperton B, Huse S, McHardy AC, Knight R, Joint I, Somerfield P, Fuhrman JA, Field D. Defining seasonal marine microbial community dynamics. *International Society for Microbial Ecology*, 2012, (6): 298-308.
- [25] 刘军, 刘刚, 刘曙光. 一种基于北斗卫星的地震监测系统 & 地震监测方法. 中国: CN 103267976 A. 2013-08-28.
- [26] Dong X, Yang H, Wang Y, Bai X, Lou K. Diversity of halophilic bacteria in Xinjiang Hami Nanhu using an integrated approach of BIOLOG carbon source screening and culture-dependent methods. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50 (8): 1418-1423. (in Chinese)  
董秀黄, 杨红梅, 王芸, 李萍, 白雪, 娄恺. BIOLOG 碳源筛选与分离技术结合研究新疆哈密南湖嗜盐菌多样性. *新疆农业科学*, 2013, 50 (8): 1418-1423.

# Response of bacterial community structures at No. 10 Spring in Urumqi to felt earthquakes

Jiao Luo<sup>1,3</sup>, Hongmei Yang<sup>1,2</sup>, Xiaoqi Gao<sup>4</sup>, Luhua You<sup>1,5</sup>, Kai Lou<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Xinjiang Laboratory of Special Environmental Microbiology, Urumqi 830091, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

<sup>2</sup> Key Laboratory for Agro-products Quality and Safety, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

<sup>3</sup> College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

<sup>4</sup> Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

<sup>5</sup> College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

**Abstract:** [Objective] Our aim was to know response of spring bacteria and metabolic characteristics of sensitive bacteria to felt earthquake. [Methods] Water samples were collected from January 31 to December 31, 2012, during which period 5 felt earthquakes occurred and the epicenter was 100 kilometers away from the No. 10 Spring in Urumqi. We monitored the spring bacterial activities and function diversity changes from No. 10 Spring in Urumqi during the pre- and post-earthquake stages by using plate culture counting methods and BIOLOG GEN III bacteria plate. [Results] The spring bacterial numbers presented stochastic dynamic changes through the year. The culturable bacteria numbers and average well color development (AWCD) of carbon source utilization of bacterial community were higher after the earthquake. Besides, there were some correlations with magnitude and epicenter distance of earthquake. The main carbon source utilization types of sensitive bacteria group for felt earthquake were sugar alcohol at the No. 10 Spring. [Conclusion] The results indicated that the BIOLOG GEN III plate can be used for spring bacterial metabolism diversity research. Culturable bacteria numbers and carbon source utilization of bacterial communities showed some reflecting earthquake law.

**Keywords:** No. 10 Spring in Urumqi, felt earthquake response, bacterial community, BIOLOG

(本文责编:王晋芳)

---

Supported by the Xinjiang Uygur Autonomous Region High Technology Research and Development Program of China (201216145)

\* Corresponding author. E-mail: loukai02@mail.tsinghua.edu.cn

Received: 7 August 2014/ Revised: 10 November 2014