

含金地质体表生带中主要微生物类群的研究^{*}

薛堂荣 陈昭蓉 刘爱华 彭世琼

(中国科学院成都生物研究所 成都 610041)

陆元法 王小龙

(地质矿产部成都地质矿产研究所 成都 610082)

摘要 通过对 16 个含金矿区主要微生物类群的分布、生态结构的研究,发现不同类型的金矿具有不同的微生物类群。金矿矿石与金矿酸水中的自养硫细菌和异养菌分布具有明显差异,酸性水中含自养硫细菌较多,含异养菌极少;金矿氧化带中的异氧菌一般多于自氧硫细菌,其优势菌以芽孢杆菌属中蜡状芽孢杆菌为主。研究结果揭示了金矿中存在的主要微生物类群,对阐明表生金的形成、成岩和蚀变作用具有一定的意义,对发掘生物湿法冶金菌种资源具有重要作用。

关键词 含金地质体,微生物类群,分布特征

为了研究表生金成因中微生物的地质成矿作用,开展了含金地质体表生带中微生物类群的分布调查与实验研究。本文所述的含金地质体表生带,包括川西、川西北高原到长江中下游地区 16 处含金矿体。岩性为褐铁矿型、铁帽型和红土型三类氧化带,呈稀疏浸染状的含金硫化物矿床氧化带,如松潘东北寨、桥桥上微细粒金矿,漳腊金山黑色页岩、白玉呷村和东山脊含金多金属银矿、江西德兴已褐铁矿化的含金硫化铜矿露头;呈致密块状和稠密浸染状硫化物矿床的氧化带,如铜陵新桥、桃园、包村、鸡冠山、鸡冠石、九江城门山铁门坎、瑞昌武山、大冶铜录山矿区(部分)露头已形成铁帽型金矿或含金氧化铁、铜矿;甘孜嘎拉金矿和湖南益阳蔡家坡等地则为红土化氧化带。由于各矿床矿体的矿石成份(尤其是含硫、碳及砷含量)不同,所处地质、地貌、水文条件不一,构成了微生物的特殊生态环境。对这一特殊生态环境中存在的主要微生物类群进行了研究,并初步分析了这些微生物类群与成矿作用的关系,现将结果报道如下。

1 材料和方法

1.1 样品来源

从 16 个含金矿区选择有代表性的表层土、氧化带、次生还原带、原生矿带矿石,共 34 个样品(其中水样 7 个),作为试料。

1.2 方法

1.2.1 矿物样品的制备:用灭菌的纸袋取回矿样,放入乳钵内磨成细粉,然后制备成不同

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

本文于 1992 年 12 月 25 日收到。

稀释度悬液,吸入平皿或试管中,供微生物计数用。

1.2.2 计数培养基和计数方法:

硫细菌培养基(g/L): $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 10.0, NH_4Cl 2.0, K_2HPO_4 3.0, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.5, CaCl_2 0.2, 蒸馏水 1L, pH6.0—6.2, 每支试管装 5ml, 121℃ 30 分钟高压灭菌, 各试管接入不同稀释度的样品悬液, 28℃ 培养一个月后, 用 1% BaCl_2 溶液检查, 产生白色沉淀者, 表明有 SO_4^{2-} 存在, 证明有硫化菌进行硫化作用。以产生白色沉淀者作为计数指标。用 MPN 法计数。

好氧细菌培养基(g/L): 牛肉膏 3.0, 蛋白胨 5.0, NaCl 5.0, 琼脂 15, 水 1L, pH7.0—7.2, 121℃ 30 分钟高压灭菌, 平板法计数。

芽孢杆菌培养基(g/L): 蛋白胨 1.0, 酵母膏 0.7, K_2HPO_4 1.0, 葡萄糖 1.0, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2, 琼脂 15, 水 1L, pH 7.2, 121℃ 20 分钟高压灭菌, 测定时将稀释液在 80℃ 加热 10 分钟, 再吸入平皿, 用平板法计数。

蛋白质分解细菌培养基(g/L): 胰蛋白胨 5.0, 葡萄糖 1.0, 酵母膏 2.5, 琼脂 15, 水 1L, pH7.0, 121℃ 20 分钟灭菌, 用时加入 10%(V/V) 单独灭菌的脱脂牛奶, 以平板中分解蛋白质产生透明圈的菌落进行计数。

放线菌培养基(g/L): KNO_3 1.0, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01, K_2HPO_4 0.5, 可溶性淀粉 20, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, NaCl 0.5, 琼脂 20, 水 1L, pH7.2—7.4, 121℃ 30 分钟灭菌。用时加入重铬酸钾溶液, 以抑制细菌和霉菌生长(每 300ml 培养基中加入 3% 重铬酸钾 1ml)。

霉菌培养基(马丁培养基)(g/L): 葡萄糖 10.0, 蛋白胨 5.0, KH_2PO_4 1.0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, 琼脂 20.0, 水 1L, 自然 pH, 每升加 1% 孟加拉红溶液 0.33 ml, 121℃ 30 分钟高压灭菌, 用时培养基温度降到 50℃, 加链霉素 30 $\mu\text{g/L}$, 以抑制细菌生长, 用平板法计数。

1.3 纯化、鉴定

细菌、真菌、放线菌均采用稀释法和平板划线法进行单菌落分离纯化, 细菌按照《伯杰细菌鉴定手册》鉴定到属、种; 真菌按照《真菌鉴定手册》, 放线菌按照《细菌和放线菌的鉴定(放线菌目)》鉴定到属。

2 结果

2.1 硫细菌数量分布特征

对四川松潘地区东北寨、桥桥上矿区、甘孜嘎村、白玉呷村东山脊矿区以及长江中下游的桃园、新桥、德兴、武山、铜录山等矿区分原生矿和氧化带岩样及矿水取不同矿样研究了硫细菌的分布规律。

从表 1、表 2 看出, 各类氧化矿石、原生矿带及矿山水中自养菌的分布特征为:

东北寨、桥桥上金矿原生带的雄黄型及黄铁矿型金矿石中含硫细菌数量有多于氧化带的趋势。而表层土中虽有硫细菌, 但数量不多。

白玉县呷村东山脊属于含金多金属银矿床, 也含有一定量的硫细菌。桃园和新桥金矿铁帽中含硫细菌较少, 而以富金红土含硫细菌量较多。

甘孜嘎拉金矿为红土化的氧化带, 存在的硫细菌数量较多。

表 1 不同类型矿石中硫细菌分布特征

Table 1 Distribution characteristics of sulfur bacteria in different type of ores

样品来源 Sample site	矿样类型 Sample type	矿样特征 Sample character	平均菌数(个/g) Average (num/g)
东北寨金矿	氧化带	表层土	2.80×10^2
东北寨金矿	氧化带	泥质灰岩、碎裂岩、褐铁矿	5.22×10^2
东北寨金矿	原生带	雄黄金矿石、黄铁矿金矿石	5.08×10^2
桥桥上 5 号矿	氧化带	表层土	0.62×10^2
桥桥上 5 号矿	氧化带	褐铁矿、硅化角砾岩、黑灰色糜棱岩	0
桥桥上 6 号矿	氧化带	表层土	0
桥桥上 6 号矿	氧化带	褐铁矿化千枚岩	5.10×10^2
嘎拉	氧化带	表层土	1.58×10^3
嘎拉	氧化带	中层的红土和下层的矿屑	4.60×10^3
呷村	氧化带	金矿孔口砂泥	1.30×10^2
东山脊	氧化带	泉口湿泥	4.36×10^3
桃园	氧化带	富金红土	7.30×10^4
桃园	氧化带	铁帽	7.08×10^2
新桥	氧化带	黄钾铁矾、高岭土胆矾、辉铜矿	2.14×10^3
新桥	氧化带	铁帽	2.22×10^2

表 2 不同矿山淋滤汇流水的化学组分及硫细菌测定

Table 2 Chemical components & sulfur bacteria of leaching water in different mines

样品号 Number of sample	采集地 Collective site	pH	Eh (mV)	Au ($\mu\text{g/L}$)	Ag ($\mu\text{g/L}$)	Cu (mg/L)	Fe ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	硫细菌数 (个/ml) Sulfur bacteria (num/ml)
29	德兴 125	2.40	-265	0.034	2.75	262.0	1398	15910	1.00×10^6
30	德兴 185	2.87	-239	0.020	2.42	71.8	38.5	210	2.60×10^2
31	新桥 9 线	2.48	-260	<0.02	7.85	79.1	153.5	180	1.80×10^7
32	桃园	2.38	-266	<0.02	27.60	67.9	386	480	5.00×10^3
33	武山	2.25	-273	<0.02	2.86	102.0	1088	680	5.00×10^3
34	铜录山	7.88	+029	0.032	1.78	0.45	0.00	41	4.00×10^7
16	东北寨 CM48	7.22	-018	0.507	25.5				3.20×10^4

金矿中的矿石与金矿的酸性水中硫细菌的分布具有明显差异。由表 1、表 2 比较可以看出,一般金矿酸性水和中性水中的硫细菌数量比矿石样硫细菌数量高 2—5 个数量级,表现出了硫细菌的分布特点和富集趋势。

2.2 不同金矿的矿石中主要异养菌微生物类群数量与组成

从表 3 看出,不同金矿矿石中存在的好氧细菌种类有芽孢杆菌属、纤维单胞菌属、黄单胞菌属、微球菌属、葡萄球菌属等,其中 5 个矿区 16 个样中均存在芽孢杆菌属。

不同金矿的芽孢杆菌属中的优势菌又以蜡状芽孢杆菌为主。从存在的细菌种类来说,除蜡状芽孢杆菌外,还有巨大芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌等。

不同金矿的放线菌中的优势菌全部是链霉菌属菌。霉菌中的优势菌以曲霉、青霉为主,其次为交链孢霉、短梗霉等。

表 3 不同矿样中主要异养微生物类群数量与组成

Table 3 The quantity & main groups of heterotrophic microbe constituents in different ore samples

微生物类群 Microbe groups	优势菌 Dominant bacteria	平均菌数(个/g) Average (num/g)	采样地 Collective site	样品数(个) Sample quantity (num)
好氧细菌 Aerobic bacteria	芽孢杆菌属	5.05×10^6	东北寨、桥桥上、嘎拉、呷村、东山脊	16
	纤维单胞菌属	2.56×10	东北寨	1
	微球菌属	1.75×10^2	桥桥上 5 号矿	1
	黄单胞菌属	2.09×10^1	桥桥上 5 号矿	1
	葡萄球菌属	2.79×10^2	东山脊	1
芽孢杆菌 <i>Bacillus</i>	蜡状芽孢杆菌	7.98×10^1	东北寨、桥桥上、嘎拉、东山脊	14
	枯草芽孢杆菌	1.50×10^6	东北寨	1
	巨大芽孢杆菌	2.10×10^2	桥桥上、嘎拉	2
	地衣芽孢杆菌	4.73×10^2	呷村	1
放线菌 Actinomycete	链霉菌属	1.52×10^5	东北寨、桥桥上、嘎拉、呷村、东山脊	5
霉菌 Molds	曲霉菌属	3.31×10^3	东北寨、桥桥上、嘎拉、东山脊	9
	青霉菌属	4.40×10^3	东北寨、桥桥上、嘎拉	5
	交链孢霉属	2.05×10^3	东北寨、桥桥上	2
	短梗霉属	3.24×10^3	呷村	1

2.3 不同类型的矿石中蛋白质分解菌数量及优势菌的组成

表 4 表明:不同地质剖面、不同类型矿石的蛋白质分解菌中优势菌属以芽孢杆菌为主,在测试的 18 个样中就有 13 个样的优势菌为此类菌。其次,在 5 个样品中测出的优势菌属分别为葡萄球菌、假单胞菌、纤维单胞菌、微球菌等。东北寨金矿的表层土和氧化带的矿石含蛋白质分解菌数量高于原生金矿石的菌数。嘎拉金矿红土中蛋白质分解菌的菌数高于表层土和矿石碎块。呷村和东山脊矿区存在较多的蛋白质分解菌。

表 4 不同类型矿石中蛋白质分解菌的组成

Table 4 Group of protein-decomposing bacteria in different types of ores

样品号 Number of sample	采样地 Collective site	细菌数(个/g) Bacteria (num/g)	优势菌属名 Dominant bacteria	优势菌占的 百分率(%) Percent
1	东北寨	1.62×10^4	芽孢杆菌	57.14
2	东北寨	1.02×10^4	芽孢杆菌	35.74
3	东北寨	2.04×10^4	芽孢杆菌	40.00
4	东北寨	5.20×10^3	芽孢杆菌	33.30
5	东北寨	3.10×10^3	芽孢杆菌	40.00
6	东北寨	3.00×10^3	芽孢杆菌	36.40
7	东北寨	3.10×10^3	芽孢杆菌	50.00
8	东北寨	3.20×10^3	纤维单胞菌	55.66
10	桥桥上 5 号矿	1.03×10^4	葡萄球菌	25.60
11	桥桥上 5 号矿	2.60×10^3	微球菌	33.30
12	桥桥上 5 号矿	1.54×10^4	芽孢杆菌	20.00
13	桥桥上 5 号矿	5.50×10^3	芽孢杆菌	50.00
17	嘎拉	9.50×10^5	葡萄球菌	76.50
18	嘎拉	1.13×10^6	芽孢杆菌	33.30
19	嘎拉	7.30×10^5	芽孢杆菌	50.00
20	呷村	2.60×10^7	芽孢杆菌	78.30
21	东山脊	6.71×10^8	假单胞菌	44.20
22	东山脊	7.90×10^5	芽孢杆菌	55.00

2.4 金矿石与酸性、中性水中的自养、异养菌分布特征

从表 5 看出:金矿矿石与金矿酸性水中的自养和异养两大微生物类群分布具有明显的差异,酸性水中含自养硫细菌较多,含异养菌极少;金矿矿石中含异养菌菌数一般多于自养硫细菌。但原生硫化物金矿石和弱氧化矿石含有较多的自养硫细菌,而在硫化物氧化殆尽的强氧化矿石中,硫细菌明显减少,甚至于全部消失(表 5 中 3、4 和 10—12 号样品)。东北寨坑道水中既有原生矿石又有碳酸盐岩石的淋滤水,故自养和异养菌均较多。

3 讨 论

通过对金矿主要微生物类群的研究,发现不同类型金矿具有不同微生物类群,主要包括自养菌和异养菌两大类。来自天然淋滤硫化矿石的酸性水中存在着一类重要的嗜酸无机化能自养硫杆菌,它以无机亚铁盐和金属硫化物为能源进行新陈代谢生命活动,通过直接与间接的作用使硫化矿物氧化。在这些硫化物氧化殆尽的强氧化矿石中,硫细菌又明显减少,甚至消失(表 5 中 3、4 和 10—12 号样品)。同时,还发现蜡状芽孢杆菌是含金矿体氧化带异养优势菌中数量最多、分布最广的一类细菌。证明了蜡状芽孢杆菌可作为金矿找矿的指示菌。

表 5 金矿石与酸性、中性水中自养菌和异养菌的分布特征
Table 5 Distribution Characteristics of autotrophic and heterotrophic bacteria in the gold-containing ores and acid-neutral water

样品号 Number of sample	样品类型 Sample type	自养菌菌数* Autotrophic bacteria	异养菌菌数 Heterotrophic bacteria
2	氧化矿石	2.66×10	1.27×10^6
3	氧化矿石	0	5.94×10^5
4	氧化矿石	0	1.66×10^4
5	原生矿石	1.22×10^3	2.56×10
6	原生矿石	1.82×10^2	6.59×10^2
7	原生矿石	1.22×10^2	3.57×10
8	氧化矿石	1.82×10^2	2.32×10^2
10	氧化矿石	0	1.56×10^4
11	氧化矿石	0	1.75×10^2
12	氧化矿石	0	1.81×10^4
29	酸性水	1.00×10^6	1.50×10
30	酸性水	2.60×10^2	1.50×10^2
31	酸性水	1.80×10^7	0
32	酸性水	5.00×10^9	0
33	酸性水	5.00×10^9	0
34	中性水	4.00×10^7	0
16	中性水	3.20×10^8	3.88×10^6

* 矿石的细菌计数:个/g;水的细菌计数:个/ml.

Count of bacteria in the ore; num/g; Count of bacteria in the water; num/ml.

这些自养菌和异养菌与金在表生氧化环境中的溶解迁移-还原沉淀的关系,与表生金形成和富集的关系正在研究中。仅就氧化带中微生物类群研究结果可见,芽孢杆菌和硫细菌的富集与富金氧化带和金矿山水有关。如嘎拉金矿和桃园金矿氧化带富金红土(18号、23号样品)和东北寨金矿富金矿水中,同样富含硫细菌和芽孢杆菌。以往的资料均未将硫细菌作为溶金菌,但从同一矿区如德兴含金铜矿(29、30号样品)硫细菌多的酸性水中溶解的金银铜均较高,有关硫细菌的溶金效果正在研究中。

参 考 文 献

- [1] 吴衍庸,薛莹莹,陈昭蓉,等.微生物学报,1991,31(4):299-307.
- [2] 袁荣庆.应用微生物,1985,(3):1-9.
- [3] 袁荣庆.应用微生物,1988,(1):1-6.
- [4] 田忠诚.采选冶技术,1991,(1):10-18.
- [5] 袁荣庆.微生物学报,1983,23(2):150-155.

- [6] 克伦宾 W E(杨承运等译). 微生物地球化学,北京:地质出版社,1990.
- [7] 中国科学院微生物研究所放线菌分类组. 链霉菌鉴定手册,北京:科学出版社,1975.
- [8] 克拉西里尼科夫 H A(闫逊初译). 细菌和放线菌的鉴定,北京:科学出版社,1957.
- [9] 瓦克斯曼 S A(闫逊初译). 放线菌(第二卷),北京:科学出版社,1974.
- [10] 魏景超. 真菌鉴定手册,上海:上海科学技术出版社,1979.
- [11] Buchanan R E, Gibbons N E. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 8th ed. Baltimore, Williams and Wilkins Co. 1974.

STUDY ON MAIN MICROBE GROUP IN SUPERGENE ZONES OF GOLD-CONTAINING GEOLOGIC BODIES

Xue Tangrong Chen Zhaorong Liu Aihua Peng Shiqiong

(Chengdu Institute of Biology, Academia Sinica, Chengdu 610041)

Lu Yuanfa Wang Xiaolong

(Chengdu Institute of Geology & Mineral Resources, MGMR/PR Chian, Chengdu 610082)

Abstract It was found that there are different microbe groups in different types of gold ore after the study of the distribution and microbial ecosystem of main microbe groups in 16 gold-containing mining districts. It is apparently different that the distribution of autotrophic sulphur bacteria and heterotrophic bacteria in the gold ore and in the acid mine water. There are more autotrophic bacteria in the acid mine water, but generally more heterotrophic bacteria in the oxidization zone of gold ore bodies. The dominant bacteria in the oxidization zone of gold ore bodies are mainly the *Bacillus cereus* of the genus *Bacillus*. The present paper reveals that main microbe groups in different gold ore bodies have particular significance to expound the formation and diagenesis and alteration of supergene gold ore, and have also the importance to find the bacterium resources for biological wet metallurgy.

Key words Gold-containing geologic body, Microbe group, Distribution characteristics