

文章编号: 1000- 6524 (2001) 04- 0428- 05

中国黄土剖面趋磁细菌的组成特征 与生态意义

贾蓉芬¹, 彭先芝¹, 高梅影², 戴顺英²

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国科学院 武汉病毒研究所, 武汉 4300071)

摘要: 选择中国的黄土- 古土壤序列的趋磁细菌作为研究对象, 以透射电镜、扫描电镜、生化实验和有机地球化学方法先后研究了从黄土地区陕西段家坡、甘肃西峰以及陕西洛川富集的趋磁细菌, 结果表明, 虽然趋磁细菌在黄土和古土壤层的形态有所差异, 但它们均由细胞膜、细胞质和沿长轴排列的磁小体与气泡组成, 在适宜的条件下它能生长出较多的磁小体。磁小体由氧化铁组成, 并可从体内排出, 使环境中部分 Fe^{2+} 转变为 Fe^{3+} , 促使地层磁化率增高, 尤其在古土壤层段。中国黄土剖面中趋磁细菌的产量是地表温度、湿度、pH、铁含量的函数。与湖沼中的趋磁菌相比, 它在菌体形态、磁小体的数量与排列方式上有很大差异, 因而中国西北黄土地区的趋磁细菌是典型的生态物种。

关键词: 黄土- 古土壤序列; 趋磁细菌; 磁小体; 生态物种

中图分类号: P642. 13⁺ 1; S154. 3 **文献标识码:** A

自20世纪50年代以来, 中国的黄土研究大致经历了3个阶段: ①从地层对比入手, 一方面以马兰黄土及其夹有的两层埋藏土为标志层, 以三趾马红粘土为底界, 进行广泛的宏观横向对比, 另一方面以洛川黄土为重点, 并与山西省的午城砂质黄土进行对比, 建立了黄土的纵向标准剖面, 为后来的研究奠定了基础^[1]; ②20世纪70~80年代进行了可见(包括肉眼和显微镜)物质组成与结构的研究, 如粒度分析、矿物结构分析、孢粉分析以及常量化学成分的分析, 将黄土研究与黄土地区的水土保持与工程性质紧密联系, 并发现黄土层的湿陷性比古土壤层大得多^[2]; ③20世纪90年代后期以来, 引用了多种新技术, 对黄土物质特性与显微组成进行多种测试与观察, 如磁化率、类脂物、植物硅酸体以及 Be^{10} 分析等, 发现黄土地层可与由 $\delta^{18}O$ 划分的海洋沉积物对比, 从而将黄土的研究与全球气候演变联系起来, 使中国的黄土- 古土壤序列成为全球气候变化的重要信息库。然而前人对黄土中的微生物研究显得比较薄弱, 而它们却是层间物质平衡的重要协调者。我们选择黄土中的趋磁细菌作为研究对象, 将它作为生物与无机矿物交叉研究的结合点, 从微生物、有机地球化学和矿物学方面进行综合研究, 试图阐明黄土- 古土壤序列中趋磁细菌的生长对地层中铁元素的富集作用与生态意义。

1 黄土剖面中趋磁细菌的生长习性与组成

1.1 形态特征

陕西段家坡(D)及甘肃西峰(X)黄土剖面中的趋磁细菌形态物征已有专门文章报导^[7-9], 作者对陕西

收稿日期: 2001- 05- 07; 修订日期: 2001- 10- 10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40073029)

作者简介: 贾蓉芬(1941-), 女, 研究员, 第四纪地质与有机地球化学专业。

洛川黄土剖面的第5层古土壤(LS_{5-1})样品用同样方法富集培养了趋磁细菌, 它们的形态与 DS_1 的类似, 更接近 XS_{5-1} 中的。一般该菌菌体长 $1\sim 2\ \mu\text{m}$, 横切面直径 $1\ \mu\text{m}$ 左右, 菌体内未见明显的细胞核, 属原核细胞。黄土中的趋磁细菌以弧形或似长方形为主, 细胞膜的外缘有一层厚壁包裹着端生鞭毛, 菌体常呈休眠状。古土壤层的菌体除以杆形为主外, 还有椭球形和球形, 细胞壁较薄(图1), 除黄土中见到的端生鞭毛外, 还见有丛生鞭毛^[7]。趋磁细菌最大的特点是具有趋磁性, 体内存在磁小体, 其大小为 $30\sim 50\ \text{nm}$, 在透射电镜下呈不透光的黑色浑圆状, 沿纵轴方向单行或双行松散地排列。在黄土层中的菌体生长有 $2\sim 4$ 粒磁小

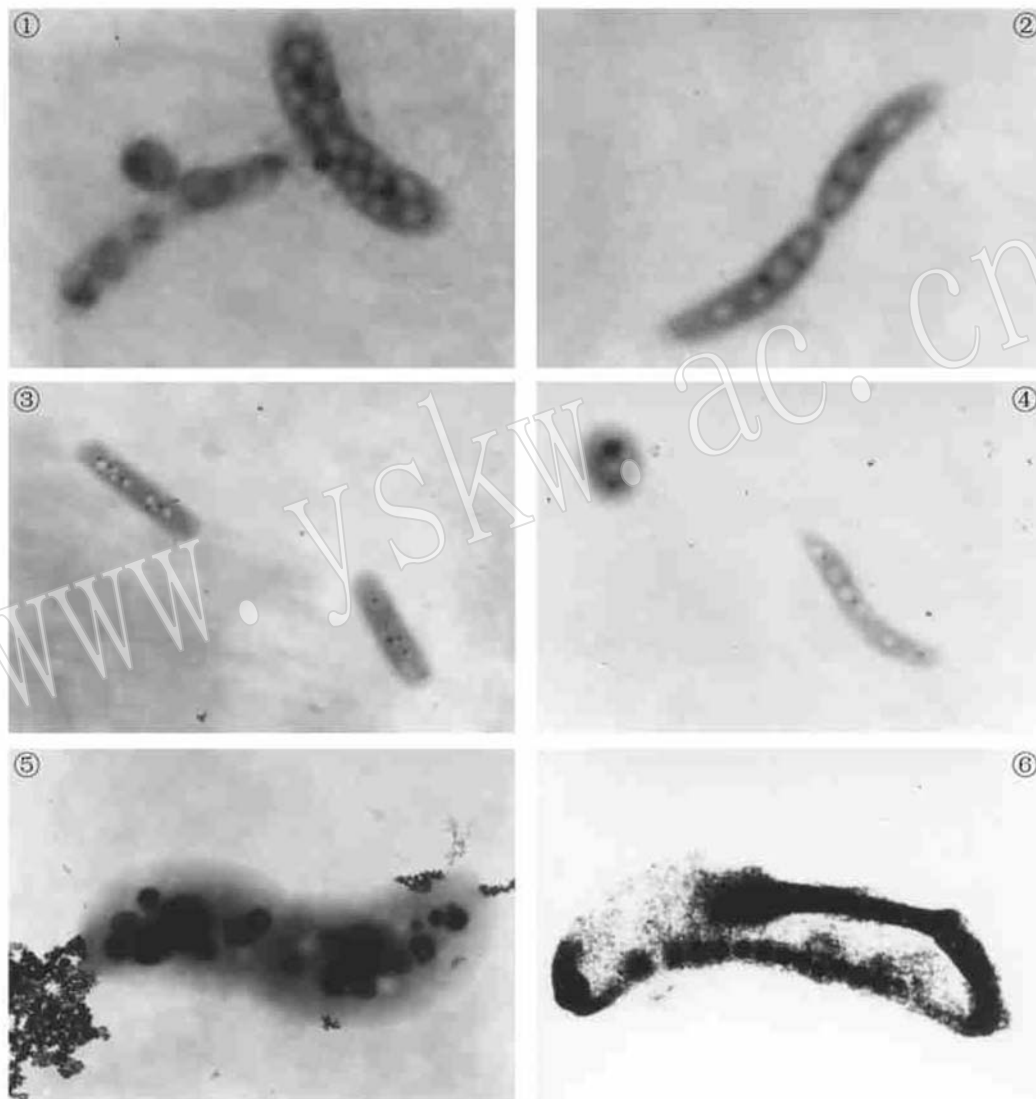


图1 洛川黄土剖面 S_{5-1} 中的趋磁细菌与湖沼中的趋磁细菌形态对比

Fig. 1 Comparison in shapes between MB in S_{5-1} layer of Luochuan loess section and MB in the lake and swamp

1—杆状或似球状趋磁细菌(观察号5297), 磁小体呈不规则的单行分布, 放大10 000倍; 2—杆状趋磁细菌正在分裂(观察号5294), 放大12 000倍; 3—细小的杆状趋磁细菌(观察号5299), 放大8 000倍; 4—球形和杆状趋磁细菌, 气泡破裂呈空洞(观察号5289), 放大8000倍; 5—椭圆形趋磁细菌, 磁小体呈不规则的双行排列(观察号5291), 放大12 000倍; 6—湖沼中的趋磁细菌^[10], 方形或圆形磁小体呈连续的链状排列

体,而在古土壤的菌体通常具有4~8个磁小体,有时可达到15~26个。相同培养液的生化实验表明,较温暖的条件(25~28℃)磁小体生成较快、较大,结构较松;在较低的温度且有一定温差的(8~18℃)条件下,形成的磁小体较小,结构较紧密。

趋磁细菌的组成结构除外缘的细胞壁和鞭毛、内部的细胞质和磁小体以外,在细胞内还有一种沿长轴方向排列的气泡状组织,易破裂,磁小体常沿它们的边缘形成,它们在体内的作用尚需进一步认识。

1.2 细胞膜与磁小体的特征

1.2.1 脂肪酸

脂肪酸是细胞膜的重要成分,XS₅₋₁(甘肃西峰剖面)富集的趋磁细菌,经有机溶剂(CH₂CL₂+CH₃OH,体积比3:1)萃取、分离和色谱-质谱鉴定,脂肪酸以正构为主,分布范围在C₁₂~C₂₄,呈偶奇优势,以C₁₆和C₁₈为主峰,C₁₆大于C₁₈。这与DS₅₋₁(陕西段家坡剖面)趋磁细菌中脂肪酸的分布基本一致。

1.2.2 菌体的元素组成

取洛川剖面S₅₋₁样品,富集培养趋磁细菌,经无菌水充分淋洗和3次无菌水-离心清洗后,先经冷冻干燥除去大部分水后,再加入少许无水酒精,用氮气吹使它在无氧状态下完全干燥,再将粉末状干样放入环氧树脂中制成光薄片,在配有能谱ISIS 300的扫描电镜S3500N下观察与测试。由图2看出C(H测不出)、P、Ca、O和Fe为该菌菌体中的主要元素。

1.2.3 磁小体可排出体外

将DS₁层段的趋磁细菌倒入装有培养液的广口瓶中放置在培养箱里,一个多月后,从培养箱取出广口瓶时,趋磁细菌呈竖一字排在

瓶的北壁,将磁铁放在广口瓶的两侧,趋磁细菌随即由北向南缓缓沿着瓶壁移动,菌体的表面贴有锈斑状。上述现象表明,菌体中的磁小体不仅在体内生长并可排出体外,随同菌体沿磁力线运动。

2 趋磁细菌的生态意义

众所周知,水是细菌生存的必要条件。我国西北地区地表通常是间歇性有水,黄土层时期更是缺水。趋磁细菌在不适应生存条件时,菌体外部形成钙质保护层^[11,12],以休眠方式自我保护。而从古土壤中富集培养出的趋磁细菌则细胞壁比较薄,显出其活动性较强,这在DS₁中尤其明显。不同层位趋磁细菌电镜观察结果与碳酸盐在黄土层中的含量明显高于古土壤层的化学分析结果相一致。

趋磁细菌属化能营养原核生物门,它们的生存主要依靠无机矿物化学反应产生的能量,铁的氧化还原反应生成的能量可能是它活动的主要能源。然而,铁氧化放出的能量有限,但可产生一定量的水^[13]。因此,这类菌必须氧化大量的铁而生长。在黄土堆积时期,由于气候干旱缺水,碳源和氮源都很少,该菌的活动能量可能主要依赖于铁氧化还原产生的能量;而在古土壤时期气候温湿,生物量较大,碳源和氮源较多,趋磁细菌在土层中的活动性较强,产量较高。趋磁细菌活动性越强,与外界交换越多,生长的磁小体越多。

将黄土剖面中的趋磁细菌与湖沼中的趋磁细菌对比(表1),后者为螺旋型,磁小体小而多,几乎呈线状连续排列(图1~6),显然它们不属同一种属。湖沼充满着水,其中的趋磁细菌可充分运动,呈螺旋型。湖沼

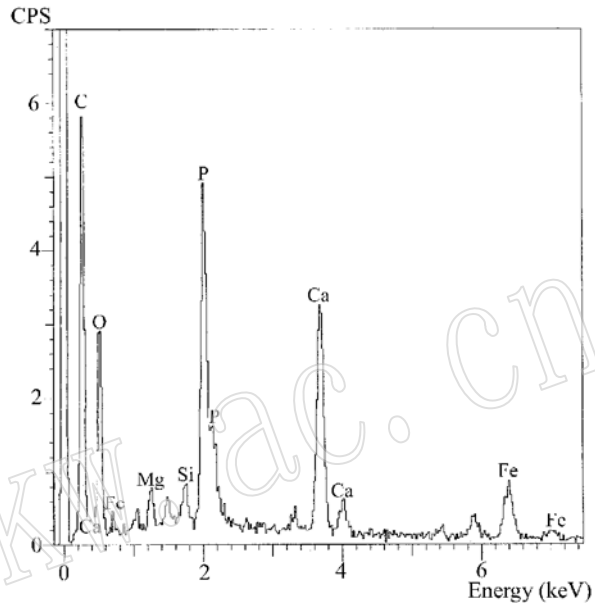


图2 洛川黄土剖面S₅₋₁层段趋磁细菌中菌体的元素组成

Fig. 2 Element composition of bacterial bodies of MB in S₅₋₁ layer of Luochuan loess section

中游离铁含量高,尤其是有机铁含量高,水下环境较为稳定,温度较低,含氧量变化较小,运动与静止时的能量差可能有利于磁小体的大量生长。

表 1 黄土剖面与湖沼中的趋磁细菌形态及其生态环境对比

Table 1 Comparison in shapes and ecological environment between MB in Chinese loess and MB in the lake and swamp

	黄土剖面中的趋磁细菌	湖沼水中的趋磁细菌
形态	以杆菌形为主,具有变异的形状	螺旋状
磁小体	非晶质,不连续的链状排列	晶体状连续排列
自身运动	受阻	自由运动
水体	暂时性	较稳定
温度	易变	较稳定
铁源	不稳定,可溶铁含量低	较稳定,可溶铁含量高
pH	不稳定	较稳定
氧气	原始充氧度高,不稳定,相对于空气氧含量的3%~10%	较稳定

中国黄土中无机元素分布的丰度相当于地壳平均成分(克拉克值)^[4],这就决定了黄土层中的趋磁细菌的产量低,菌体中的磁小体少,碳酸钙含量较高。而古土壤时期趋磁细菌的产量较高,菌体中的磁小体较多,趋磁细菌的生长能引起 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 转化,有利于地层磁化率的增高,这与黄土剖面古土壤层中 Fe^{3+} 增高、碳酸钙减低是一致的。由此看来中国黄土剖面的趋磁细菌是温度、湿度、铁含量的函数,与湖沼中的趋磁细菌无论从形态上和磁小体的排列方式上均有很大差异,它是典型的中国西北黄土地区生态物种。

3 小结

(1) 陕西、甘肃等地黄土剖面中的趋磁细菌均由细胞膜、细胞质和沿长轴排列的磁小体与气泡组成。

(2) 趋磁细菌在适宜的条件下生长出较多的磁小体,并可从体内排出磁小体。它使环境中部分 Fe^{2+} 转变为 Fe^{3+} ,促进地层磁化率的增高,尤其表现在古土壤层段。在黄土期不适宜的条件下,菌体周围形成碳酸盐保护壁,这一生物效应与岩层的化学分析结果一致。

(3) 中国黄土剖面的趋磁细菌产率是地表温度、湿度、pH、铁含量的函数,与湖沼中的趋磁细菌相比,无论从形态或磁小体的排列方式上均有很大差异,因而它是中国西北黄土地区典型的生态物种。

参考文献:

- [1] 刘东生. 第四纪地质问题[M]. 北京: 科学出版社, 1964, 45~ 64.
- [2] 刘东生. 黄土的物质成份和结构[M]. 北京: 科学出版社, 1966, 23~ 45.
- [3] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985, 191~ 302.
- [4] 文启忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 12~ 63.
- [5] Liu Jiaqi, Nie Gaozhong, Chen Tiemei, *et al.* A preliminary high resolution time scale for the last 130 000 years at weinan loess section, China[J]. Scientia geologica, 1995: supplementary issue(1): 9~ 22.
- [6] Jia Rongfen, Zhao lin and Wen Qizhong. The trend of humidity evolution of the last 0.14Ma in Yangguo loess in Weinan profile in south Shanxi province[J]. Scientia geologica, 1995: supplementary issue(1): 53~ 62.
- [7] 范国昌, 李荣森, 贾蓉芬, 等. 中国沉积物中趋磁细菌及磁小体研究[J]. 科学通报, 1996, 4(4): 349~ 352.
- [8] 贾蓉芬, 颜备战, 李荣森, 等. 陕西段家坡黄土剖面中趋磁细菌特征与环境意义[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(5): 411~ 416.
- [9] 彭先芝, 贾蓉芬, 李荣森, 等. 黄土古土壤序列中趋磁细菌的分布和磁小体形成的古环境研究[J]. 科学通报, 2000 (增刊): 2 710~ 2 715.

- [10] Blakemore R P, Blakemore N A and Bazylnski D A, *et al.* Magnetotactic bacteria[A]. James T S. Bergey's manual of systematic bacteriology volume 3 [C]. Baltimore: Williams & Wilkins Press, 1989, 1882~1887.
- [11] 休斯 M. N. 生物无机化学[M]. 陈自在, 竺伟民, 程扶玖, 等译. 北京: 农业出版社, 1986, 350~356.
- [12] 郑昌学. 生物化学原理[M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 1987, 45~83.
- [13] 武汉大学、复旦大学生物系微生物学教研室. 微生物学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979, 112~120.

Compositional Features of Magnetotactic Bacteria in Loess of China and Their Ecological Significance

JIA Rong_fen¹, PENG Xian_zhi¹, GAO Mei_ying² and DAI Shun_ying²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640, China; 2. Wuhan Institute of Virus, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430071, China)

Abstract: The authors chose magnetotactic bacteria of the loess-paleosol sequences of China as a target and made successive studies on magnetotactic bacteria in layers of Duanjiapo section, layers of Xifeng section as well as S₅₋₁ layer in Luochuan section by such means as TEM, SEM, biochemical experiments, and organic geochemistry. The results show that they consist of membrane and cytoplasm as well as magnetosomes and gas balls arranged along long axes. Under the suitable conditions, a lot of magnetosomes grow in the magnetotactic bacteria. Magnetosomes consist of Fe₂O₃·H₂O, and can be discharged from the bacterial bodies to surrounding environment. This can change Fe²⁺ to Fe³⁺ and increase magnetic susceptibility in the layers, especially in the paleosol layers. The product of magnetotactic bacteria in the loess section of China is a function of temperature, humidity, pH value and content of iron at the surface. They are obviously different from magnetotactic bacteria in the lake and swamp in shape, quantity and arrangement of magnetosomes, and hence the magnetotactic bacteria in loessial region of Northwest China constitute a typical ecological species.

Key words: loess-paleosol sequences; magnetotactic bacteria; magnetosomes; ecological species