

# 淡水趋磁球菌的研究

吴小玲<sup>1)2)</sup> 都有为<sup>1)</sup>

1)(南京大学物理系, 固体微结构物理国家重点实验室, 南京 210093)

2)(南京医科大学物理教研室, 南京 210029)

(1999 年 6 月 10 日收到)

报道了淡水趋磁球菌 NMC-1 的获得及其形貌与组成的研究. 该菌细胞内有 10 个以上的磁小体, 能谱分析表明, 该菌磁小体的主要金属元素为 Fe, 电子衍射花样表明磁小体为晶体.

PACC: 8740; 7560J

## 1 引 言

趋磁细菌是一类能沿着磁力线运动的特殊细菌<sup>[1]</sup>. 该类细菌能在体内合成纳米级磁性颗粒——磁小体(magnetosome)<sup>[2]</sup>, 具有单畴特性. 磁小体在细菌体内的组态有单链、双链、簇状, 且每颗磁小体都被一层生物膜包裹, 研究表明不同种类的趋磁细菌其合成的磁小体的线度范围不同, 磁小体晶体特性也各不相同<sup>[3-5]</sup>, 趋磁细菌的生长条件和胞内结构以及磁小体的外膜对磁小体的成型和大小均起着重要的作用, 同一种趋磁细菌其磁小体的晶型和磁小体的外形具有严格的特异性. 因此研究不同的趋磁细菌对用生物方法制备某一均匀尺度的纳米磁性颗粒有着重要的意义. 趋磁细菌的适生环境有海洋沉积物表面、淡水池塘、河流及土壤. 在北半球趋磁细菌向地理北极游动; 在南半球趋磁细菌向地理南极游动; 在赤道附近, 则既有游向北极也有游向南极. 趋磁细菌的形态有螺旋形、弧形、球形、杆状和多细胞聚集体, 生长条件也不尽相同<sup>[6]</sup>. 南京城郊一淡水池塘水底污泥中存活着一一种革兰氏阴性( $G^-$ )趋磁细菌, 我们对其进行了光学显微镜观察、电子显微镜研究、磁小体能谱测试及晶体衍射分析. 该菌株在国内外均未见报道.

## 2 实 验

### 2.1 样品来源

取自南京城郊池塘水深 1 m 左右的水与泥交界处的水样和泥样 2 L, pH 值为 6.7.

### 2.2 样品富集

将样品移入玻璃容器, 使水层与泥层的比例为 1:4, 盖上容器盖, 使其稍透空气, 室温下(约 28 ℃)避光静置一个月, 让其自然富集.

### 2.3 形态特征观察

1) 光学显微镜观察 从富集样品中取一小滴泥浆,置于载玻片上,在泥浆边缘滴一小滴蒸馏水,按泥浆端朝南蒸馏水端朝北方向将载玻片放置光学显微镜下观察。

2) 电子显微镜观察 按光学显微镜观察的方法,将细菌体从污泥中分离出来,使之聚集于蒸馏水的北端边缘,在此进行收集.将收集到的细菌经 4% 戊二醛固定后滴加在铜网上,用透射电子显微镜(TEM)观察菌体形态。

3) 磁小体元素分析和晶体衍射 按光学显微镜观察的方法,将收集到的菌体直接滴加在铜网上,用 TEM 能谱分析仪进行测试磁小体元素,用 TEM 附件进行晶体衍射。

4) 革兰氏染色 按光学显微镜观察的方法,将细菌从污泥中分离出来,使之聚集于载玻片的北端,让其自然干燥.经初染、媒染、脱色、复染后,用光学显微镜观察菌体颜色。

## 3 结 果

### 3.1 光学显微镜观察结果

在样品富集一个月后,水下黑色污泥表面有一层棕色沉积物,搅动泥样有气泡冒出,此时在水与泥的交界处取样,光学显微镜下观察,可见大量细菌持续不断地游向北方,聚集在边缘(图 1).用小磁铁作用在载玻片附近时,这类细菌都一致游向磁铁的南极,甚至当菌体死亡停止运动后,其取向也随磁铁的转向而改变.这与国外研究的趋磁细菌的表现相同,由此可认为该菌为趋磁细菌,标名为 NMC-1.



图 1 地磁场作用下 NMC-1 球菌在载玻片北端的聚集(上北下南)

### 3.2 电子显微镜下趋磁细菌及磁小体的形态

趋磁细菌 NMC-1 为球菌,线度约为  $1\ \mu\text{m}$ ,生有单极鞭毛,每个菌体内有 10 个以上的电子致密区域.电子显微镜下呈黑色颗粒状,其组态为簇状(图 2(a)),晶体衍射图样(图 2

(c)表明这些电子致密颗粒为晶体,可以确定这些颗粒就是磁小体.磁小体呈长方体,其尺寸长为 70 nm,宽为 40 nm.图 2(b)是正在分裂中的细胞,该细菌分裂的同时将母细胞中的部分磁小体也一起分离出去,因而子细胞中合成的磁小体极性便继承了母体的极性.

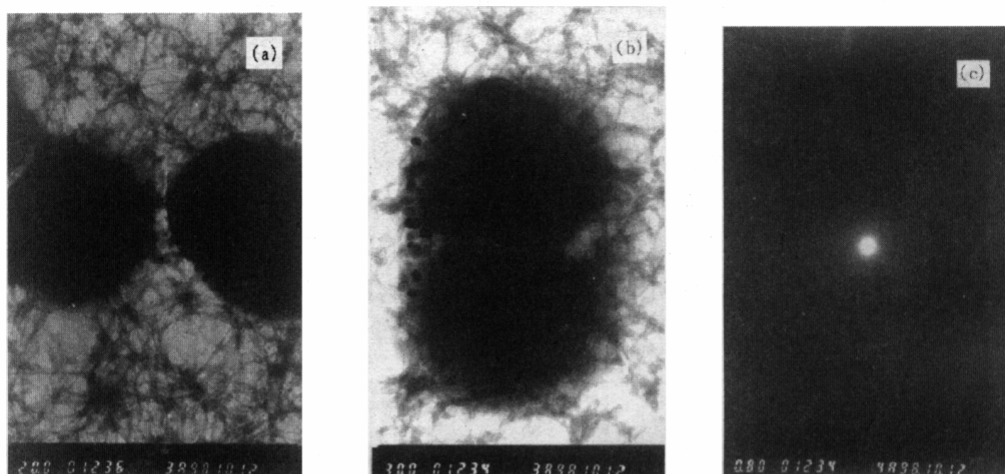


图 2 趋磁细菌的形态 (a)为 TEM 照片;(b)为正在分裂中的细胞;(c)为晶体衍射图样

### 3.3 磁小体的成分

图 3 为图 2 细胞内磁小体的能谱分析图.从图中可以看出磁小体具有铁元素的特征谱线,而铁是构成磁性材料的成分,可见 NMC-1 体内合成的磁小体是某种铁的化合物.图 3 中铜的特征峰来自铜网的贡献.经初步计算该磁小体为  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  晶体.

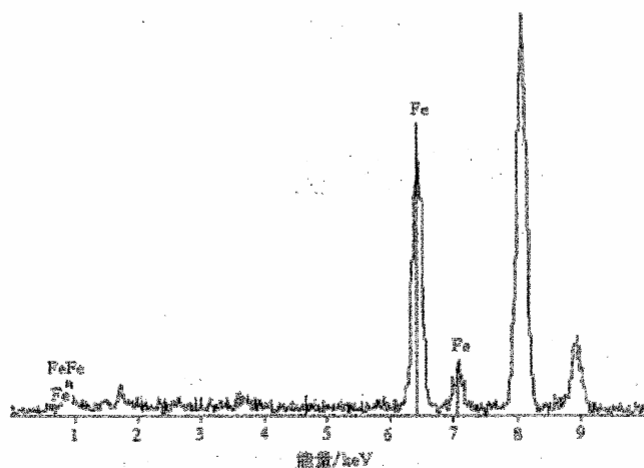


图 3 NMC-1 趋磁球藻能谱图

### 3.4 革兰氏染色结果

革兰氏染色后,光学显微镜下观察菌体为红色,示 NMC-1 球菌为革兰氏阴性菌( $G^-$ ).

## 4 讨 论

由上述结果可以看出,从淡水环境中分离出来的 NMC-1 趋磁球菌,光学显微镜下观察到其对外界磁场变化能做出相应的反应,趋磁细菌之所以对磁场反应敏感,正是由于其细胞内含有趋磁细菌特有的物质——磁小体.它的作用如同一生物磁罗盘,一个正在游动的细菌正是被地磁场施加于其生物磁罗盘上的转动矩而被动地指向.趋磁细菌具有极性,其指向有两种可能,即磁小体北指磁极向细菌的前方定向和磁小体南指磁极向细菌的前方定向.在外磁场作用下,趋磁细菌因而有两种相反方向的指向运动——向磁南极运动和向磁北极运动.我国位于地球的北半球,分离到的趋磁细菌 NMC-1 向磁南极泳动,这表明其磁小体的北指磁极向菌体的前方定向.有研究表明趋磁细菌合成磁小体的能力是遗传编码的,但其极性是不能遗传编码的<sup>[2]</sup>.细菌在开始合成磁小体时,指向磁南极和指向磁北极的概率相等.已有磁小体的细菌在分裂时将母细胞的部分磁小体也一起分离出去,子细胞合成的新磁小体就会与分裂出来的磁小体相互作用而在同一方向磁化,子细胞的极性便继承了母细胞的极性.在自然环境中何种极性的趋磁细菌能生存下去,这取决于其生存地磁场垂直分量的方向.因为趋磁细菌是适宜在水底的污泥中生活,在其自身的极性与其生存地的地磁场共同作用下,使它们游向有利于生存的底层地带.在北半球,地磁场的磁力线向北向下,趋磁细菌是向北向下泳动;在南半球,地磁场的磁力线向北向上,在那里发现的趋磁细菌是向南向下泳动的<sup>[7]</sup>.

NMC-1 趋磁球菌体内富含铁的磁小体,大小均匀,外形一致呈长方形,其线度正好处在稳定的单畴畴晶体范围.目前在实验室中还很难做到这一点,尤其无法制备长方形的纳米磁性颗粒,而磁小体能在生物因子的控制下由趋磁细菌在体内简单地合成.如同种趋磁细菌的磁小体作磁性记录材料的介质则可提高记录容量,并达到高保真的水平.此外,来自活体细胞的磁小体不会产生细胞毒素,可用作酶、药物、抗体和基因的载体.因此研究趋磁细菌有着重要的意义.

- [1] R. P. Blackmore, *Science*, **19**(1975), 377.
- [2] R. P. Blackmore, R. B. Frankel, *Scientific American*, **245**(1981).
- [3] D. A. Bezylnski, R. B. Frankel, H. W. Jarnasch, *Nature*, **334**(1988), 518.
- [4] R. B. Frankel, *Science*, **23**(1979), 1355.
- [5] M. Faria, D. M. S. Esquivel, *Nature*, **343**(1990), 256.
- [6] 潘继承、李如亮等, *微生物学通报*, **24**(1997), 47 [Pan Jin-cheng, Li Ru-liang *et al.*, *Microbiology Bulletin*, **24**(1997), 47(in Chinese)].
- [7] T. L. Kirschvink, *J. Exp. Biol.*, **866**(1980), 345.

## STUDIES ON A FRESHWATER MAGNETOTACTIC COCCUS

WU XIAO-LING<sup>a)b)</sup> DU YOU-WEI<sup>a)</sup>

a) (*Department of Physics and State Key Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210093*)

b) (*Department of Physics, Nanjing Medical University, Nanjing 210029*)

(Received 10 June 1999)

### ABSTRACT

We report a previously undescribed magnetic coccus, designated NMC-1, that was present in surface sediments collected from the pool in Nanjing suburbs. They orientated and navigated along geomagnetic field lines. Transmission electron microscope photographs showed that the NMC-1 contained over ten magnetosomes. The individual mature crystal was 70 nm in length and 40 nm in width, which were within the calculated stability field for single-domain magnetite. The energy profile of X-rays was collected after electron excitation of the magnetosomes within a single cell. Iron was the predominant detectable element in the particles. Electron diffraction pattern indicated the magnetosomes are single crystals.

**PACC:** 8740; 7560J