

PHÂN LOẠI VI KHUẨN TỪ THEO ĐẶC ĐIỂM CỦA CÁC HẠT SẮT TỪ MAGNETIT (Fe_3O_4)

VŨ HỒNG NAM, N. PETERSEN

Vi khuẩn từ chứa các chuỗi hạt magnetit/greigite [3, 8, 23...] là một đối tượng nghiên cứu quan trọng nhằm tìm hiểu tác động của từ trường đối với các cơ thể sống. Do cấu trúc tế bào của vi khuẩn tương đối đơn giản nên cho tới nay chúng là vi sinh vật được nghiên cứu kỹ nhất trong số các sinh vật chứa các hạt sắt từ như cá [13], ong [10], chim [11] và con người [1, 7]. Các tinh thể sắt từ (Fe_3O_4 hoặc Fe_3S_4) trong vi khuẩn từ có hình dạng, kích thước và cách sắp xếp rất đặc trưng trong mỗi loại vi khuẩn [5, 8, 23...]. Tính chất đặc trưng của các hạt sắt từ cho phép chúng ta đặt vấn đề về vai trò của gen đối với quá trình tổng hợp các hạt đó trong tế bào. Bằng việc nghiên cứu vi khuẩn từ chứa các loại hạt khác nhau chúng ta có thể tìm hiểu sự kiểm soát của gen đối với hình dạng cũng như cách sắp xếp của các hạt sắt từ. Trong khi vi khuẩn từ tồn tại ở rất nhiều nơi, trong nhiều môi trường khác nhau thì các thí nghiệm nuôi cấy lại gặp rất nhiều khó khăn; chỉ có khoảng 4-5 loại được nuôi cấy thành công. Vì vậy việc sử dụng phương pháp phân tích gen trong sinh học để phân loại vi khuẩn từ chưa cho kết quả mong muốn. Mặt khác số lượng các loại vi khuẩn từ được phát hiện ngày càng tăng, việc so sánh các vi khuẩn tìm thấy ở các điểm khác nhau càng khó thực hiện do chưa có một hệ thống tổng kết và phân loại đầy đủ. Bài báo này tập hợp các kết quả nghiên cứu vi khuẩn từ được các nhà nghiên cứu tìm thấy ở châu Mỹ [2-6, 13], châu Âu [13, 18, 20], châu Á [17, 24] cùng với các kết quả nghiên cứu gần đây của chúng tôi ở Việt Nam và CHLB Đức nhằm phân loại các vi khuẩn từ theo hình dạng các hạt magnetit và hình dạng các tế bào.

I. VỊ TRÍ, PHƯƠNG PHÁP LẤY MẪU VÀ THIẾT BỊ

Trong các công trình nghiên cứu trước đây [2, 3, 13, 18]... một lớp bùn 10-15 cm được lấy vào bể kính với 15-20 cm nước phía trên. Nước ao hồ hoặc

nước cất được cho thêm vào bể kính trong quá trình giữ mẫu ở phòng thí nghiệm. Trong thí nghiệm của chúng tôi, các mẫu được lấy bằng phương pháp tương tự từ các ao hồ ở Việt Nam như Hồ Tây (Hà Nội, nước ngọt), đầm Cầu Hai (Huế, nước biển), các ao hồ ở Bạc Liêu - Cà Mau (nước ngọt và nước lợ) và tại CHLB Đức (Chiemsee, Ammersee, các ao trong khu thí nghiệm Niederlappach gần Munich - nước ngọt). Mật độ vi khuẩn trong các mẫu thường khoảng $10^5 - 10^6$ tế bào/ml. Một giọt mẫu bùn được đặt lên lam kính cùng với nước cất và sau đó mẫu được quan sát dưới kính hiển vi phản pha [17]. Trong trường tự nhiên (trường địa từ) hoặc từ trường nhân tạo có hướng H được tạo ra trong một dụng cụ gọi là "Bacteriodrom" [22], các vi khuẩn từ sẽ di chuyển theo hướng của trường ra đến rìa của giọt mẫu. Tại đó các vi khuẩn từ được bắt ra bằng micropipet và chuyển lên lưới đồng hoặc niken có phủ formvar và carbon. Sau khi để khô trong không khí các mẫu được quan sát dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM) hoặc kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) có hiệu điện thế cực đại 100 kV Zeiss EM 10 hoặc Philip CM10 có bệ đặt mẫu có thể nghiêng $\pm 45^\circ$ tại Viện Vật lý, Đại học Bách khoa Munich-Weihenstephan. Để tránh làm hỏng mẫu, tất cả các mẫu đều không được nhuộm hay chịu bất kỳ xử lý hoá học nào khác. Cường độ của chùm điện tử được giữ ở mức độ thấp nhất có thể được để tránh tăng nhiệt độ mẫu quá cao dẫn đến bị cháy. Thành phần hoá học của mẫu được xác định bằng phân tích phổ nhiễu xạ điện tử SAED hoặc phân tích phổ thành phần EDX trên SEM.

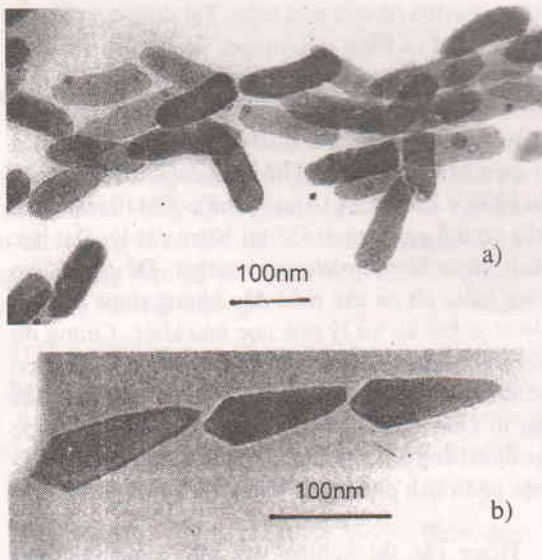
Trong các thí nghiệm với các mẫu nói trên, chúng tôi kiểm nghiệm thấy sự có mặt của hầu hết các loài vi khuẩn từ được các tác giả khác thông báo; ngoài ra còn phát hiện thêm một số loài mới. Để tiện so sánh, trong bài này chỉ sử dụng các hình ảnh do chúng tôi thu được và có trích dẫn các nguồn tài liệu về các loài tương tự. Một vài loài

khác tuy chúng tôi không có ảnh chụp nhưng các thông tin đã được thông báo đầy đủ trong các tài liệu khác thì vẫn được trích dẫn.

II. KẾT QUẢ PHÂN LOẠI VI KHUẨN TỪ THEO HÌNH DẠNG CÁC HẠT SẮT TỪ

Các ảnh chụp TEM cho thấy các chuỗi hạt trong vi khuẩn từ có vị trí tương đối khác nhau rất nhiều giữa các tế bào cùng loại: các chuỗi có thể nằm song song, cắt nhau hoặc trùng lẫn lên nhau. Nguyên nhân của hiện tượng này là do khi chụp ảnh trên TEM, cấu trúc 3 chiều của mẫu đã được chiếu lên mặt phẳng quan sát 2 chiều và chúng ta không có được hình ảnh 3 chiều của cấu trúc bên trong vi khuẩn [12]. Do vậy, hình dạng, cách sắp xếp thực sự của các hạt sắt từ trong chuỗi và của các chuỗi trong tế bào chỉ có thể thu được khi so sánh các ảnh chụp của rất nhiều vi khuẩn cùng loại ở các góc nghiêng khác nhau hay ảnh chụp cắt lớp các tế bào trên TEM, kết hợp cùng các thông tin từ ảnh chụp tế bào trên SEM và ảnh TEM phân giải cao (HRTEM).

Theo hình dáng các hạt sắt từ, các vi khuẩn từ thường có hai loại chính chứa các hạt hình viên đạn và hình hộp (hộp chữ nhật hoặc hộp lập phương).



Hình 1. Hình dạng của các hạt magnetit trong vi khuẩn từ

a. hạt hình viên đạn, b. hạt hình mũi giáo, c. hạt hình hộp chữ nhật, d. hạt tinh thể kép (mũi tên), e. hạt bát diện

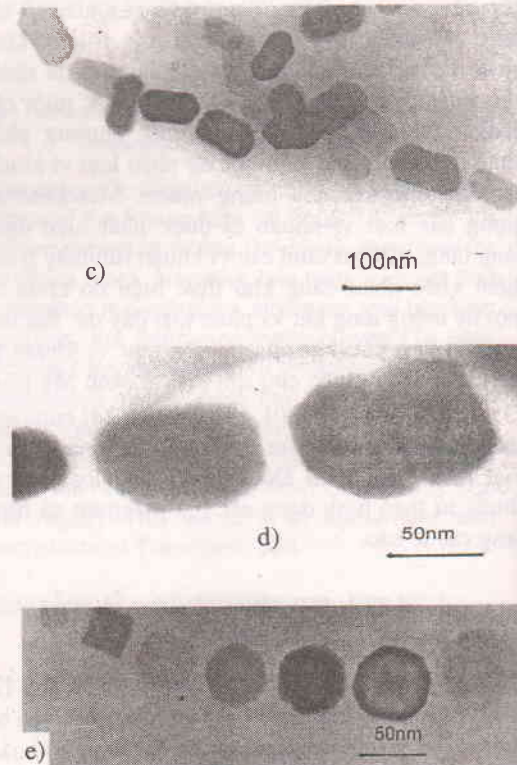
Ngoài ra có một số vi khuẩn chứa các hạt hình mũi giáo, hình lục lăng hoặc các hạt không có hình dạng rõ ràng (hình 1).

a. Các vi khuẩn từ chứa các hạt hình viên đạn và các hạt hình mũi giáo

Bảng 1 là đặc điểm chính của các vi khuẩn từ chứa các hạt magnetit hình viên đạn và hình mũi giáo. Các hạt hình viên đạn thường có kích thước khoảng 35×150 nm, có thể thẳng hoặc hơi bị cong. Một đầu hạt hình tròn, đầu còn lại phẳng, trùng với mặt tinh thể {111} (hình 1a). Các hạt hình mũi giáo có kích thước khoảng 40×150 nm (hình 1b).

1. NMB-1 (hình 2a) gần giống hình elip, kích thước tế bào khoảng $(1.4-2) \times (2.5-4.2)$ μm . NMB-1 chứa tới vài trăm hạt xếp trong một cấu trúc có dạng dải, nằm dọc theo chiều dài của tế bào và có chiều ngang bằng khoảng 50% chiều rộng tế bào. Chúng có nhiều roi cuộn thành bó ở một phía. Các hạt hình viên đạn là chủ yếu, một số ít có hình dáng bất định. Về hình dạng bên ngoài và cách sắp xếp các hạt bên trong tế bào chúng tương tự như BS-1 [24] nhưng kích thước tế bào nhỏ hơn rất nhiều.

2. NMO-1 (hình 2b) gần như dạng trứng, kích thước khoảng $(2-3) \times (2,4-4)$ μm ; chứa 100-400 hạt



Bảng 1. Vi khuẩn từ chứa các hạt magnetit (Fe_3O_4) hình viên đạn và mũi giáo

Phân loại	Tế bào		Hạt Fe_3O_4				Tài liệu
	Hình dạng	Kích thước (μm)	Chuỗi hạt	Tổng số hạt	Hình dạng	Kích thước (nm)	
NMB-1	Hình elip	$(1,4-2) \times (2,5-4,2)$	Dải dọc	200-450	B, I	3×175	VHN
BS-1	Hình que	$(2-4) \times (7-15)$	Dải dọc	Vài nghìn	B, I		[24]
NMO-1	Hình trứng	$(2-3) \times (2,5 \times 4)$	2-7 chuỗi bện thừng	100-400	B	30×220	VHN, [4, 24]
<i>M. bavaricum</i>	Hình que	$(1,5-2) \times (8-10)$	3-5 chuỗi bện thừng	150-1000	B	35×170	[21, 22, 24, 25], VHN
NMV-1	Hình que	$(1-2) \times (3-6,5)$	2 chuỗi đơn-kép	80-300	B	35×140	VHN, [18]
NMV-2	Hình que	$(0,3-0,8) \times (1,6-4,5)$	1 chuỗi bện thừng	30-50	B	35×160	VHN, [2]
NMV-2a	Hình que	$0,6 \times 3,1$	1 chuỗi bện thừng	50-100	B	35×141	VHN
NMV-3	Hình que	$0,3 \times 1,78$	1 chuỗi đơn	10-15	B	42×110	VHN, [4]
NMS-1	Xoắn khuẩn	$1 \times 4,5$	1 chuỗi bện thừng	50	B	35×104	VHN, [2, 18]
NMV-4	Hình que	$(0,7-1) \times (2,5-5)$	1 chuỗi đơn	10-20	A	35×175	VHN, [25]
VA-1	Hình que	4			B, R	30×300	[25]
BS-2	Cầu	$(1,8-2,8) \times (2,2-3,4)$	Dải dọc hoặc các chuỗi toả ngang	Vài trăm	B, I		[24]

Ghi chú (bảng 1 và 2) : C - hình hộp vuông, R - hình hộp chữ nhật, B - hình viên đạn, H - hình lục lăng, I - hình không xác định, VHN - công trình này

xếp thành 2-7 chuỗi dạng bện thừng dọc theo chiều dài tế bào, mặt cắt ngang mỗi chuỗi khoảng 2-4 hạt. NMO-1 chuyển động với vận tốc 40-100 μm /giây.

3. *Magnetotacticum bavaricum* (hình 2c), dạng que, kích thước khoảng $(1,5-2) \times (4-10)$ μm , chứa 300-1000 hạt xếp thành 3-5 chuỗi dạng bện thừng dọc theo chiều dài tế bào. Mặt cắt ngang của các chuỗi khoảng 3-4 hạt. Các vi khuẩn này chuyển động trong nước với vận tốc khoảng 35 μm /giây. Trong tế bào có thể chứa các hạt lưu huỳnh.

4. NMV-1 (hình 2d) hình que, có 2-3 chuỗi đơn hoặc kép gồm khoảng 80-300 hạt, mặt cắt ngang của chuỗi từ 1 đến 2 hạt, đơn giản hơn nhiều so với chuỗi dạng bện thừng của *M. bavaricum*.

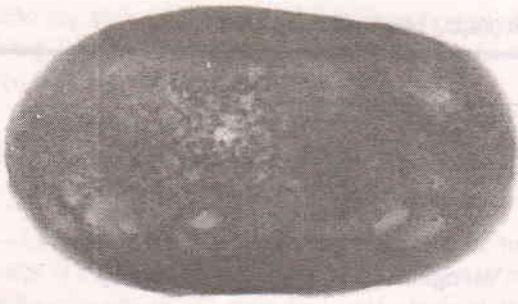
5. NMV-2 (hình 2e) hình que, hơi cong, có roi ở cả hai đầu, kích thước tế bào khoảng $(0,3-0,8) \times (3-6,5)$ μm . NMV-2 chứa 30-50 hạt xếp thành 1 chuỗi dạng bện thừng với mặt cắt ngang khoảng 3-

4 hạt. Trong tế bào có thể có các hạt lưu huỳnh. Có nhiều vi khuẩn dạng que NMV-2a có cấu trúc và kích thước tương tự NMV-2 nhưng số lượng hạt magnetit có thể lên tới 100 hoặc hơn (hình 2f).

6. NMV-3 (hình 2g) dạng que hơi cong, hai đầu tương đối phẳng kích thước khoảng $(0,2 \times 1,5)$ μm , chứa khoảng 15 hạt xếp thành một chuỗi đơn dọc theo chiều dài tế bào.

7. NMS-1 (hình 2h) dạng xoắn, kích thước $(0,4 \times 3)$ μm , chứa khoảng 50 hạt xếp thành 1 chuỗi dạng bện thừng dọc theo tế bào, có một roi đơn ở một đầu.

8. VA-1, hình que [25], kích thước (1×4) μm chứa hạt dài tới 300 nm. Cho tới nay đây là loại vi khuẩn từ có các hạt sắt từ dài nhất được tìm thấy. Tỷ lệ dài/rộng của các hạt này là 10/1, moment từ của mỗi hạt khoảng $1,3 \times 10^{-13}$ e μ , lực kháng từ của hạt khoảng gần 300 mT.



a) NMB-1 0.5μm



b) NMO-1 0.5μm



c) *M. bavaricum* 1μm



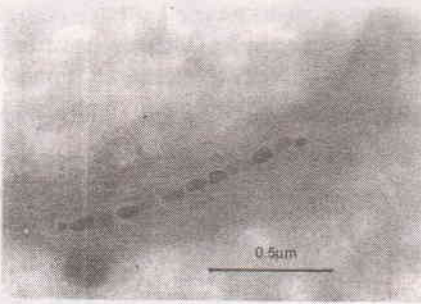
d) NMV-1 1μm



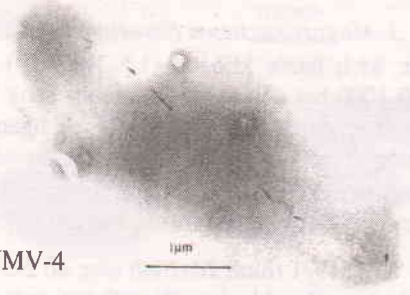
e) NMV-2 0.5μm



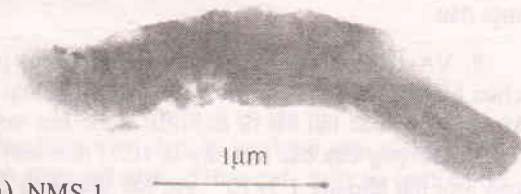
f) NMV-2a 1μm



g) NMV-3 0.5μm



i) NMV-4 1μm



h) NMS-1 1μm

Hình 2. Các vi khuẩn từ chứa các hạt hình viên đạn và mũi giáo

9. NMV-4 (hình 2i) dạng que, kích thước (0,7-1) × (2,5-5) μm chứa 15-20 hạt hình mũi giáo xếp thành một chuỗi đơn dọc theo chiều dài tế bào.

10. BS-2 [24] có hình cầu kích thước (1,8-2,8) × (2,2-3,4) μm chứa vài trăm hạt xếp thành một dải theo chiều dài ở giữa tế bào, đôi khi thành các chuỗi toả tia như nan quạt.

Phần lớn các vi khuẩn trong bảng 1 đã được thông báo tìm thấy ở nhiều nơi trừ 2 loại NMB-1, NMV-2a mới được thông báo lần đầu.

b. Các vi khuẩn chứa các hạt sắt từ hình hộp

Các vi khuẩn từ chứa các hạt sắt từ hình hộp (chữ nhật hoặc lập phương) được trình bày trong bảng 2. Các hạt loại này thường có kích thước thay đổi trong khoảng 35×130 nm và có các góc bị cắt hớt, đôi khi phân ở giữa bị thu hẹp lại (hình 1c, 1d). Các hạt hình hộp thường sắp xếp trong các chuỗi đơn hoặc kép, có cấu trúc đơn giản.

1. NMC-1 (hình 3a) hình cầu, kích thước đôi lúc tới (1,3-1,5) μm. Mỗi tế bào chứa khoảng 8-16

hạt, xếp thành 1 chuỗi đơn.

2. NMC-2 (hình 3b) hình cầu có kích thước khoảng (1-3,3) μm. Chúng chứa tới 8-45 hạt, xếp thành 2 chuỗi đơn, thẳng hàng, đối xứng qua tâm.

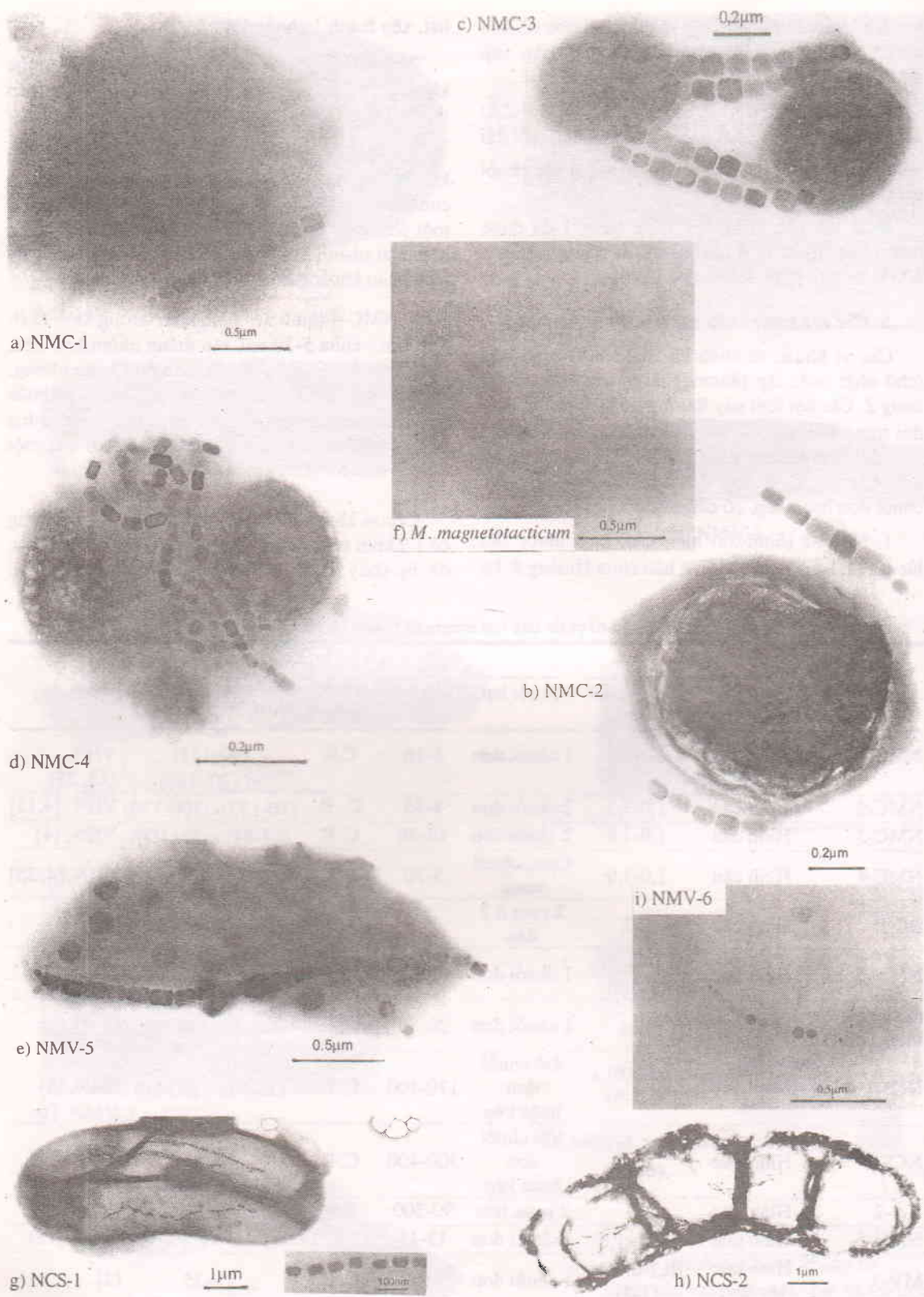
3. NMC-3 (hình 3c) hình cầu, đường kính khoảng (1-1,8) μm, chứa 18-36 hạt xếp thành 2 chuỗi kép, thẳng hàng và đối xứng. Có 2 bó roi ở một phía của tế bào, gắn vào phía đầu của 2 chuỗi kép. Hai nhánh trong chuỗi kép của các khuẩn cầu lệch nhau khoảng nửa độ dài của hạt.

4. NMC-4 (hình 3d) hình cầu, đường kính (1,0-1,9) μm; chứa 5-70 hạt xếp thành nhóm hỗn độn, thành chuỗi rất dài cuộn thành vòng hoặc không. Blakemore (1982) còn mô tả một loại vi khuẩn hình cầu kích thước ~2,2 μm có 2 nhóm hạt ở hai đầu đối diện của tế bào; phía bên ngoài của một đầu có một roi (tạm gọi là BC-1).

Các vi khuẩn NMC-2, NMC-3, NMC-4 thường có 1-2 khối tròn sẫm màu chứa phospho và kali [4], dễ bị cháy hoặc biến dạng dưới nhiệt độ cao

Bảng 2. Vi khuẩn từ chứa các hạt magnetit (Fe₃O₄) hình hộp và lục lăng

Phân loại	Tế bào		Hạt Fe ₃ O ₄				Tài liệu
	Hình dạng	Kích thước (μm)	Chuỗi hạt	Tổng số hạt	Hình dạng	Kích thước (nm)	
NMC-1	Hình cầu	1,3-1,5	1 chuỗi đơn	8-16	C,R	(90-111) × (120×160)	VHN, [18, 25]
NMC-2	Hình cầu	1,0-3,3	2 chuỗi đơn	8-45	C, R	(70-133) × (100-170)	VHN, [4,13]
NMC-3	Hình cầu	1,0-1,8	2 chuỗi kép	18-36	C, R	(67-84) × (83×100)	VHN, [4]
NMC-4	Hình cầu	1,0-1,9	Cụm, chuỗi vòng	5-70	C, R	(39-83) × (70-105)	VHN, [4, 25]
BC-1	Hình cầu	2,2	2 cụm ở 2 đầu		C,R		[4]
NMV-5	Hình que	(0,16-1,2) × (1-4,5)	1 chuỗi đơn	5-45	C, R	(44-96) × (67×140)	VHN, [4,19, 20, 23]
<i>M. magnetotacticum</i>	Xoắn khuẩn	1×4	1 chuỗi đơn	20-50	C, R	50×130	[3, 4]
NCS-1	Hình que	(2,5-3,6) × (6,5-9)	4-6 chuỗi đơn hoặc kép	170-400	C, R	(35-40) × (50-60)	VHN, [5]
NCS-2	Hình que	(3,5-4) × (6-20)	Vài chuỗi đơn hoặc kép	300-400	C, R	30×50	VHN
VA-2	Hình que	15	2 hoặc hơn	90-300	C,R	120×180	[25]
NMV-6	Hình que	0,27×1,8	1 chuỗi đơn	12-15	C, H, I	61	VHN, [18]
MV-1	Hình que (ty khí)	(0,2-0,4) × (1-3)	1 chuỗi đơn	10	C, R	53×35	[2]
VA-3	Hình que				C, B, R, I		[25]



Hình 3. Các vi khuẩn từ chứa các hạt hình hộp và lục lăng

trong TEM. Các vi khuẩn này chuyển động rất nhanh nhờ các roi tập hợp thành 2 nhóm ở một đầu, vận tốc có thể tới trên 100 $\mu\text{m}/\text{giây}$. Các vi khuẩn hình cầu này rất phổ biến, thường chiếm trên 50% số lượng các vi khuẩn từ trong tự nhiên.

5. NMV-5 (hình 3e) hình que có kích thước $(0,6-1,2) \times (1-4,5) \mu\text{m}$. NMV-5 chứa tới 30 hạt xếp thành một chuỗi dọc theo tế bào. Ngoài ra các vi khuẩn này còn chứa một số khối tròn xẫm màu chứa lưu huỳnh hoặc phospho, dễ bị cháy dưới nhiệt độ cao trong TEM. Bazylinski et al (1990) tìm thấy một loại vi khuẩn hình que có cấu trúc tương tự như NMV-5 nhưng lại là loài kỵ khí và tạm gọi là MV-1

6. *Magnetospirillum magnetotacticum* (hình 3f) kích thước $0,4 \times 2,1 \mu\text{m}$, chứa khoảng 15-20 hạt xếp thành một chuỗi đơn dọc theo tế bào.

7. NCS-1 (hình 3g) hình que, kích thước $(2,5-3,6) \times (6,5-9) \mu\text{m}$ chứa khoảng 170-400 hạt xếp thành 4-6 chuỗi đơn hoặc kép dọc theo chiều dài tế bào. Các vi khuẩn này chuyển động chậm nhờ một roi ở một đầu, vận tốc khoảng 10 $\mu\text{m}/\text{giây}$. Trong tế bào có thể chứa nhiều khối tròn chứa lưu huỳnh thường có màu vàng dưới kính hiển vi phản pha.

8. NCS-2 (hình 3h) là một vi sinh vật gồm từ 2 đến 6 khoang hình ovan nối liền tạo thành một ống dài, kích thước khoảng $(3,5-4) \times (10-20) \mu\text{m}$. Dưới kính hiển vi phản pha một số NCS-2 thấy có chứa 1 khoang rỗng. Trên ảnh TEM có thể thấy chúng có 2 lớp màng riêng biệt, trong đó lớp phía ngoài bao bọc toàn bộ cơ thể còn lớp phía trong gắn liền với từng khoang nhỏ. Các tế bào này chứa vài trăm hạt xếp thành các chuỗi dọc theo tế bào, xuyên qua tất cả các khoang. Các chuỗi này có mặt cắt ngang từ 1-2 hạt. Theo chúng tôi NCS-2 là vi sinh vật từ đa bào, khác hẳn các vi sinh vật từ đơn bào và các tập hợp các vi sinh vật từ đơn bào (many-celled prokaryote) tìm thấy trước [19]. NCS-2 chuyển động rất chậm, vận tốc khoảng 4-6 $\mu\text{m}/\text{giây}$. Do vách tế bào dày, kính TEM 100 kV không đủ mạnh để quan sát nên chúng tôi phải phá vách tế bào và cấu trúc thực bên trong có thể đã không còn nguyên vẹn.

9. VA-2 - hình que [25], dài tới 15 μm , chứa tới 300 hạt hình hộp, kích thước $120 \times 180 \text{ nm}$ xếp thành 2 chuỗi hoặc hơn.

Ngoài vi khuẩn từ chứa các hạt hình viên đạn, hình hộp còn có các vi khuẩn chứa các hạt lục lăng

(hình 1e) như NMV-6, kích thước $0,3 \times 1,8 \mu\text{m}$ chứa khoảng 10-15 hạt xếp thành một chuỗi đơn (hình 3i) hay các vi khuẩn từ hình que (tạm gọi VA-3) chứa đồng thời tất cả các loại hạt có hình dạng khác nhau như hạt hình viên đạn, hình hộp lẫn hạt không có hình dạng nhất định [25].

Trong các vi khuẩn kể trên, hai loại NCS-1 và NCS-2 có kích thước lớn hơn nhiều so với các vi khuẩn từ khác. Hai loại này mặc dù chứa một lượng hạt magnetit rất lớn nhưng có lẽ moment từ của các chuỗi hạt không đủ lớn để thực hiện chức năng định hướng từ cho vi khuẩn, biểu hiện bởi sự phản ứng rất kém trong từ trường xoay chiều có cường độ cao tới 7-10 lần so với từ trường Trái Đất.

Nhìn chung tất cả các hạt sắt từ đều có kích thước nằm trong khoảng đơn domain của magnetit ($35 \times 150 \text{ nm}$). Các hạt hình viên đạn, mũi giáo và phần lớn các hạt hình hộp đều là đơn tinh thể. Một số rất ít ($< 0,01\%$) các hạt hình hộp có thể là tinh thể kép với ranh giới mặt giữa hai tinh thể là mặt $\{111\}$ (hình. 1d) [15]. Các ảnh chụp có độ phân giải cao trong kính hiển vi điện tử truyền qua (HRTEM) [16] cho thấy các hạt magnetit hình viên đạn và hình hộp sắp xếp trong chuỗi có trục dài song song với hướng trục tinh thể $[111]$. Giả định về quá trình chọn lọc tự nhiên [10, 25] dẫn đến hệ quả là các vi khuẩn từ sẽ có các hạt sắp xếp sao cho tế bào định hướng theo từ trường tốt nhất. Như vậy có thể cho rằng moment từ của toàn bộ các hạt song song với trục dài (nghĩa là song song với trục $[111]$) và đạt giá trị cực đại trên một đơn vị thể tích. Kết quả là trên ảnh TEM chúng ta có thể xác định phương chứ không phải chiều (định hướng bắc hay định hướng nam) của moment từ trong các hạt. H. Vali và đồng nghiệp thông báo rằng các hạt magnetit hình mũi giáo sắp xếp trong chuỗi có trục dài của hạt song song với hướng trục $[100]$ của tinh thể dẫn đến hệ quả là moment từ tổng của tất cả các hạt trong chuỗi không đạt giá trị cực đại [25]. Điều này buộc chúng ta phải xem xét lại giả định về áp lực của quá trình chọn lọc tự nhiên đối với khả năng định hướng từ trong vi khuẩn.

Sự giống nhau về hình dáng, kích thước và sự sắp xếp của các hạt magnetit trong từng loại vi khuẩn cho thấy quá trình tổng hợp các hạt chịu sự kiểm soát bởi một số gen xác định. Tuy vậy mức độ kiểm soát này ở các loại vi khuẩn khác nhau là không chặt chẽ như nhau. Các hạt hình viên đạn có hình dáng không hoàn toàn đồng nhất, có sự thay

đôi kích thước rất lớn giữa các hạt kề nhau. Chúng sắp xếp không theo trật tự kích thước lớn hay bé trong chuỗi, có thể có đầu đuôi ngược nhau và khoảng cách giữa các hạt không đều. Cấu tạo chuỗi của các hạt loại này cũng không đồng nhất, có sự khác nhau rất nhiều giữa các chuỗi đơn, chuỗi đơn-kép và chuỗi dạng bện thừng. Trong khi đó các hạt hình hộp sắp xếp trong chuỗi với trật tự ổn định, các hạt lớn ở giữa, các hạt bé ở 2 đầu, khoảng cách giữa các hạt tương đối đều, thường khoảng 8-10 nm. Vi khuẩn từ chứa các hạt hình mũi giáo tương đối hiếm gặp, hình dạng các hạt có sự đồng nhất cao nhưng khoảng cách giữa các hạt lại không đều, chúng thường xếp thành từng nhóm vài hạt. So sánh các đặc điểm hình dạng, kích thước và sự sắp xếp các hạt đều cho thấy dường như ở các vi khuẩn chứa các hạt hình viên đạn cơ chế kiểm soát các quá trình phát triển và sắp xếp tinh thể không được phát triển như các vi khuẩn chứa các hạt hình hộp hay hình mũi giáo. Một số kết quả phân tích gen dựa trên việc phân tích *ribosome* (16S rRNA) [7, 21] cho thấy có khả năng các vi khuẩn chứa các hạt hình viên đạn có nguồn gốc sớm hơn nhiều so với các vi khuẩn từ chứa magnetit khác, gần với *protobacteria* và thậm chí có thể thuộc loài khác. Các vi khuẩn chứa các hạt hình hộp và hình mũi giáo có thể có các cơ chế đã được quá trình tiến hoá làm cho phát triển hơn trong việc kiểm soát sự tổng hợp và sắp xếp các hạt nhưng đôi khi có thể thấy các cơ chế kiểm soát này vẫn có các khiếm khuyết biểu hiện ở việc hình thành các tinh thể kép của các hạt hình hộp hay cách bố trí các hạt không liên tục trong chuỗi hạt mũi giáo.

KẾT LUẬN

Chúng tôi đã tổng hợp lại và mô tả trên 20 loại vi khuẩn - vi sinh vật từ chứa các hạt magnetit trong đó có 3 loại (NMV-1, NMV-2a, NCS-2) được thông báo lần đầu. Cần lưu ý rằng việc xếp các vi khuẩn từ vào bảng 1 hay bảng 2 chưa có nghĩa là một sự phân chia về loài theo khái niệm di truyền trong sinh học mà như đã nêu ở trên, chỉ là sự phân loại theo hình dạng, cách sắp xếp và đôi lúc theo số lượng các hạt sắt từ.

Cách sắp xếp các hạt theo trục [111] đã làm tăng giá trị moment từ của chuỗi hạt đến cực đại, nâng cao khả năng định hướng trong từ trường Trái Đất của vi khuẩn. Tuy vậy, một số trường hợp có các hạt sắp xếp theo trục [100], các hạt xếp thành

cụm (NMC-4) hay các chuỗi không hướng theo chiều chuyển động của tế bào (BS-2) cho thấy khả năng các chuỗi hạt sắt từ còn có các chức năng khác bên cạnh chức năng định hướng từ. Sự phân loại theo hình dạng các hạt sắt từ magnetit còn chứng tỏ hình thái bên ngoài của vi khuẩn từ không liên quan đến đặc điểm của các hạt sắt từ bên trong tế bào. Các đặc trưng của hạt sắt từ như kích thước, hình dáng, cách sắp xếp trong chuỗi, thành phần hoá học có lẽ được kiểm soát bởi nhiều gen ở các mức độ khác nhau, cho thấy khả năng tổng hợp các hạt sắt từ có nguồn gốc tiến hoá đa dạng, có thể tồn tại nhiều nhánh khác nhau. Cần có thêm các phân tích gen để làm rõ phân loại của các vi khuẩn từ và tạo điều kiện nghiên cứu khả năng tổng hợp các khoáng sắt từ của sinh vật.

Công trình do đề án 02-13/96 thuộc "Gottlieb Daimler und Karl Benz Stiftung" tài trợ. Các tác giả xin cảm ơn Ts S. Spring (Viện Vi sinh vật, Đại học Bách khoa Munich), Ts Bartscherer, bà Knapp (Viện Vật lý, Đại học Bách khoa Munich), Ts Hanzlik (Viện Vật lý Địa cầu Munich), GsTs Nguyễn Thị Kim Thoa, Ts Hà Duyên Châu, Ts Lê Huy Minh (Viện Vật lý Địa cầu Hà Nội), Pgs Ts Nguyễn Đình Quyến, Gvc Vũ Thị Minh Đức (Khoa Sinh học, Đại học Khoa học Tự nhiên) về sự giúp đỡ và thảo luận trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.R. BAKER et al, 1983 : Magnetic bones in human tissues. *Nature*, **301**, 78-80
- [2] D.A. BAZYLINSKI, 1990 : Anaerobic production of single-domain magnetite by the marine, magnetotactic bacterium, strain MV-1. In : *Iron biominerals* (Frankel R.B. & Blakemore R.P., Eds.), 69-78, Plenum Press, New York.
- [3] R.P. BLAKEMORE, 1975 : Magnetotactic bacteria. *Science*, **190**, 377-379.
- [4] R.P. BLAKEMORE, 1982 : Magnetotactic bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.*, **36**, 217-238.
- [5] R.P. BLAKEMORE et al, 1989 : E. magnetotactic bacteria. *Bergey's manual of systematic bacteriology*, 3, eds. Stanley J.T. et al., Williams & Wilkings, 1882-1889.
- [6] R.P. BLAKEMORE. & N.A. BLAKEMORE, 1990 : Magnetotactic magnetogens. In : *Iron*

Biominerals. Eds. Frankel R.B. & Blakemore R.P., Plenum Press, New York, 51-67.

[7] DE LONG et al, 1993 : Multiple evolutionary origins of magnetotaxis in bacteria. *Science*, **259**, 803-806.

[8] J. DOBSON, P. GRASSI, 1996 : Magnetic properties of human hippocampal tissue - Evaluation of artefact and contamination sources. *Brain Research Bulletin*, Vol. 39, 4, 255-259.

[9] R.B. FRANKEL & G.G. PAPAETHYMIU, 1984 : Biomineralization of Fe_3O_4 in bacteria. In : *Chemical Moessbauer Spectroscopy*. Ed. Herber R.H., 113-131, Plenum Press, pp. 378.

[10] R.B. FRANKEL & D.A. BAZYLINSKI, 1994 : Magnetotaxis and magnetic particles in bacteria. *Hyp. Int.*, **90**, 135-142.

[11] J.L. GOULD et al, 1978 : Bees have magnetic. *Science*, **201**, 1026.

[12] J.L. GOULD, 1982 : The map sense of pigeons. *Nature*, **296**, 205-211.

[13] M. HANZLIK et al, 1996 : Spatial arrangement of chains of magnetosomes in magnetotactic bacteria. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **145**, 125 - 134.

[14] S. MANN et al, 1988 : Ultrastructure, morphology and organization of biogenic magnetite from sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*: implication for magnetoreception. *J.Expl.Biol.*, **140**, 35-49.

[15] S. MANN, R.B. FRANKEL, 1989 : Magnetite biomineralization in unicellular organisms. In : "Biomineralization: Chemical and Biochemical Perspectives", S. Mann, J. Webb and R.J.P. Williams, eds., VCH, Weinheim, 389-426.

[16] S. MANN et al, 1990 : Crystallochemical control of iron oxide biomineralization. In : *Iron biominerals* (Frankel R.B., Blakemore R.P., Eds.), 21-49. Plenum Press, New York.

[17] VŨ HỒNG NAM, 1996 : Một số kết quả nghiên cứu vi khuẩn từ (Magnetotactic bacteria) ở Việt nam. *Tc CKHVTĐ*, T18, 4, 334-338.

[18] N. PETERSEN et al, 1989 : Magnetic bacteria in lake sediments. In: *Geomagnetism and paleomagnetism*. Eds. Lowes F.J. et al., Kluwer Academic Publisher, 231-241.

[19] F.G. RODGERS et al, 1990 : Inter-cellular structure in a many-celled magnetotactic prokaryote. *Arch.Microbiol.* **154**, 18-22.

[20] N.H.C. SPARKS et al, 1986 : Magnetotactic bacteria are widely distributed in sediments in U.K.. *FEMS Microbiol. Lett.*, **37**, 305-308.

[21] S. SPRING et al, 1993 : Dominating role of an unusual magnetotactic bacterium in the microaerobic zone of a freshwater sediment. *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, 2397-2403.

[22] B. STEIBERGER et al, 1994 : Movement of magnetic bacteria in time-varying magnetic field. *J.Fluid Mec.*, **273**, 189-211.

[23] J.F. STOLZ et al, 1986 : Magnetotactic bacteria and single-domain magnetite in Hemiplagic sediments. *Nature*, **321**, 849-851.

[24] R.H. THORNHILL et al, 1994 : A morphological classification of bacteria containing bullet-shaped magnetic particles. *EMS Microbiol. Lett.*, **115**, 169-176.

[25] H. VALI, J.L. KIRSCHVINK, 1990 : Observations of magnetosomes organization, surface structure, and iron biomineralization of undescribed magnetic bacteria. In: *Iron biominerals* (Frankel R.B., Blakemore R.P., Eds.), 97-119. Plenum Press, New York.

SUMMARY

Classification magnetic bacteria containing Fe_3O_4 by magnetosome morphology

More than 20 magnetotactic strains are classified based on the morphological characteristics of magnetosomes, in which 3 strains (NMV-1, NMV-2a, NCS-2) are reported first time, one of them (NCS-2) can be multicellular magnetic organism. Our results once again show that cell's morphology has no relation to magnetosomes shape, size or arrangement. Arrangement of magnetosomes suggests that magnetotaxis is not a main function of the magnetosomes chains. The characteristics of magnetosomes and their structure should be biologically controlled at different levels.

Ngày nhận bài : 16-12-1999

Viện Vật lý Địa cầu, NCST, Việt Nam và
Viện Vật lý Địa cầu, LMU, Munich, CHLB Đức