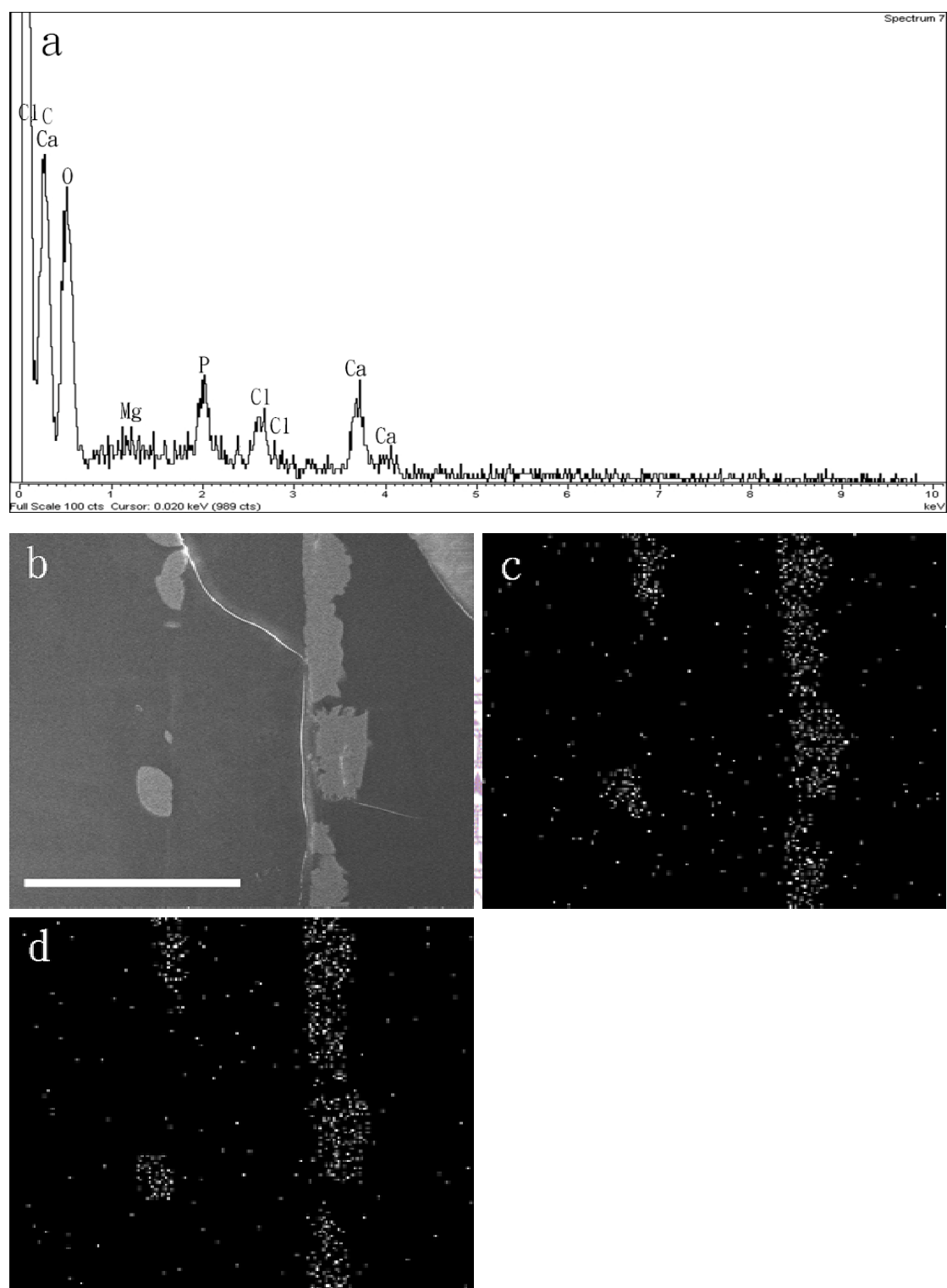


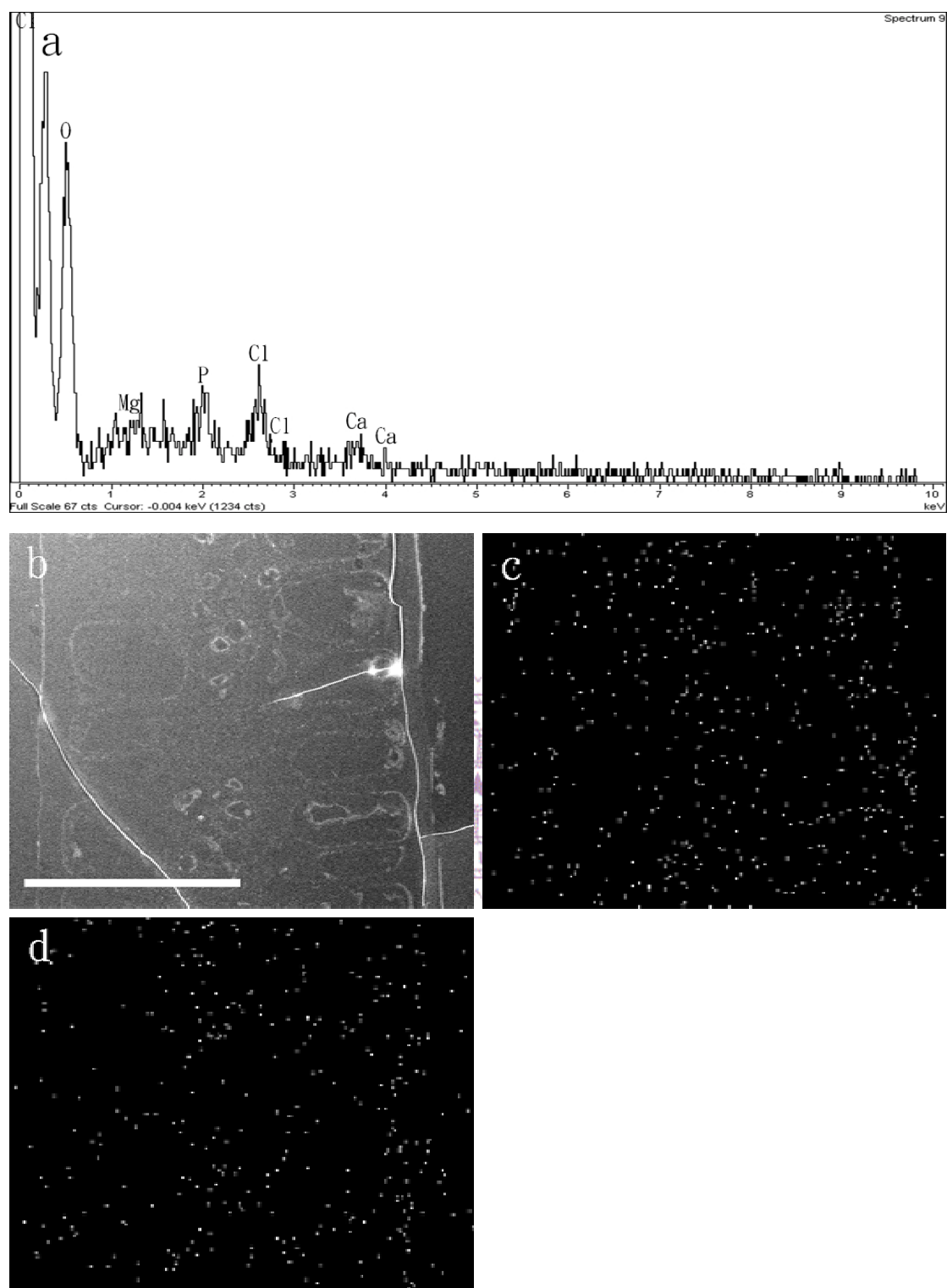
5. 圖片



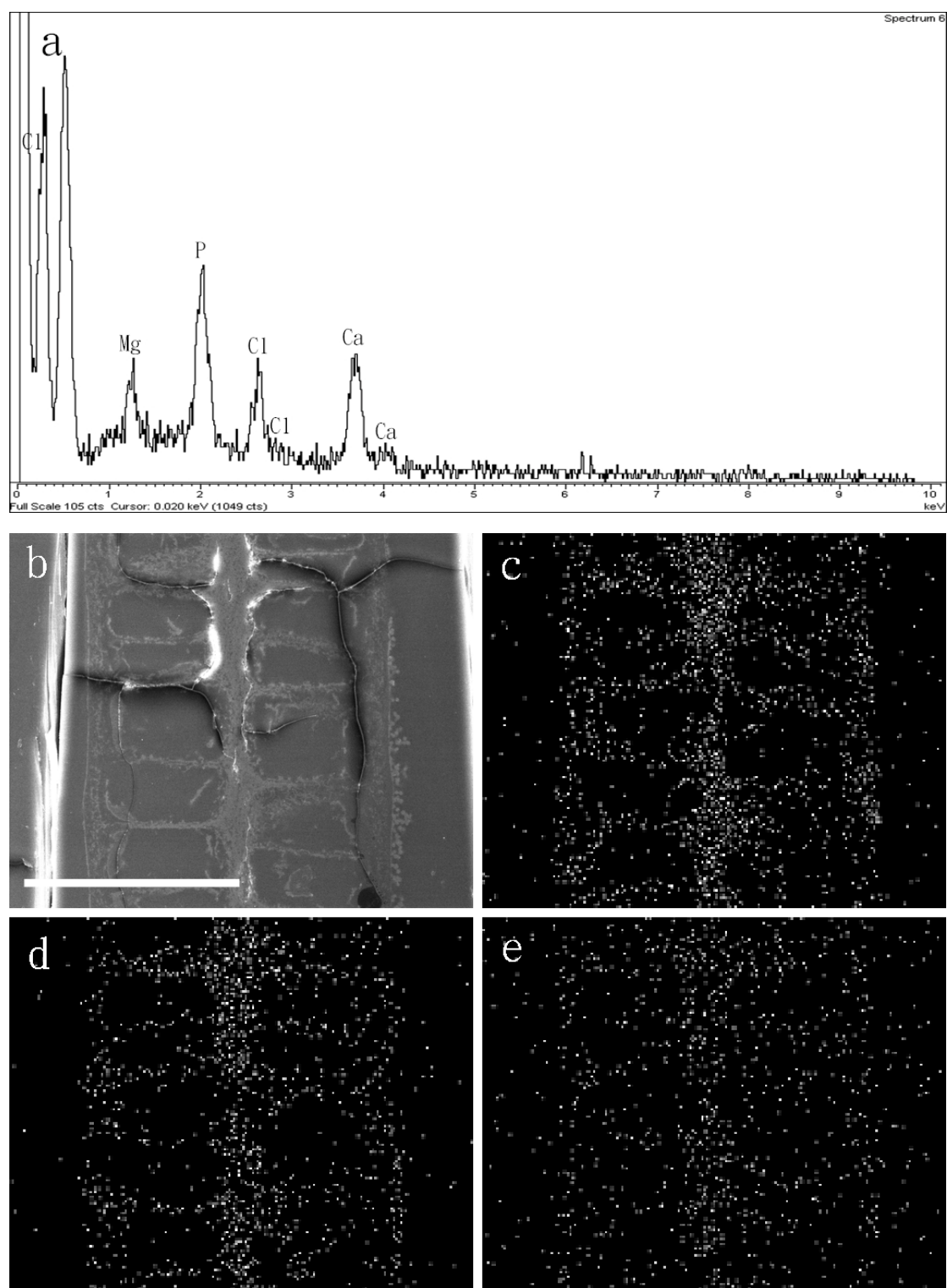
圖一、在光學顯微鏡底下觀察裂片石莖 (*Ulva fasciata*) 藻體葉部切面，可見藻體由兩層細胞構成。(比例尺為 50 μ m)



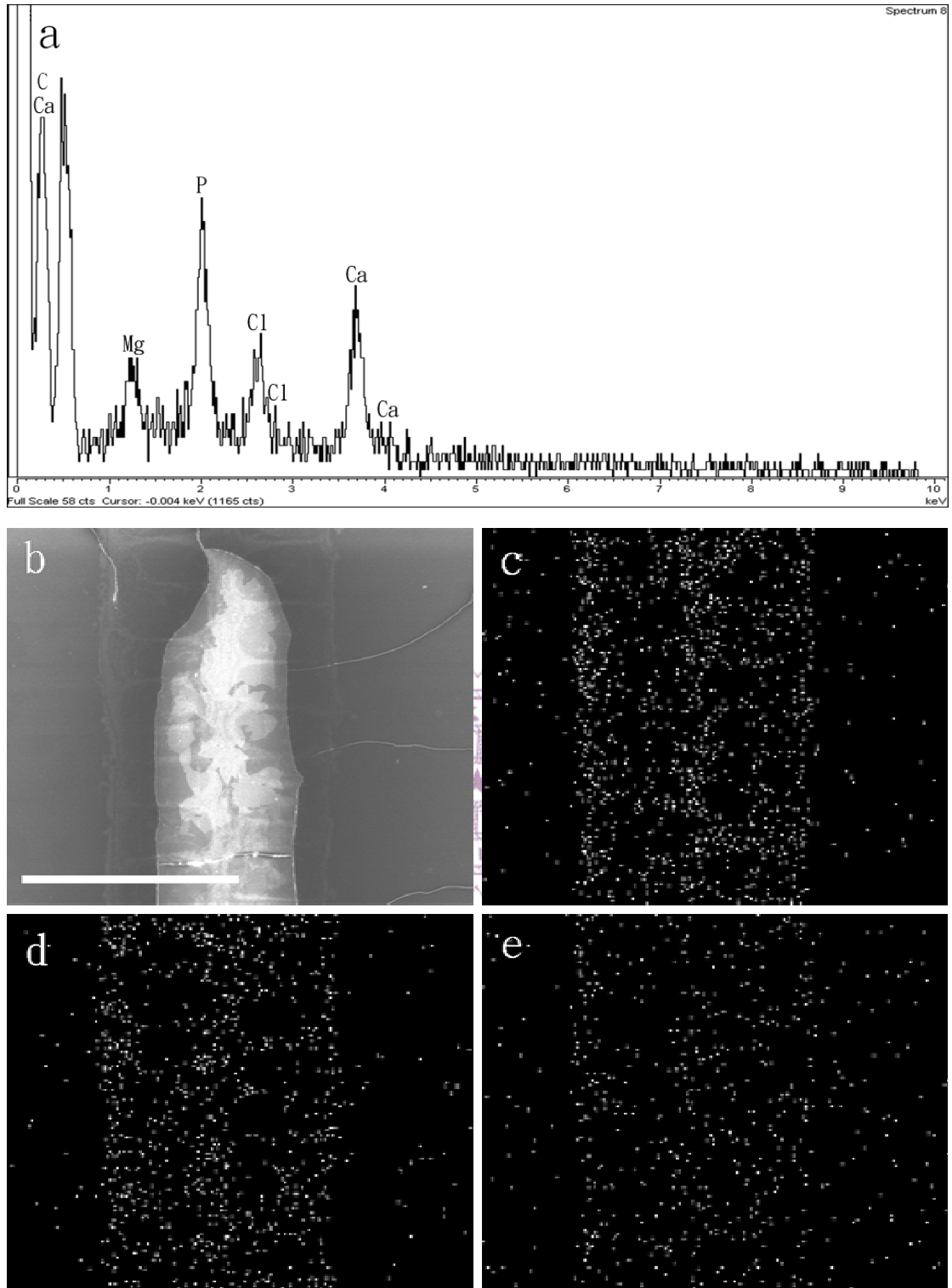
圖二、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.528M、0.0533M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，(b) 中有大量的沈積團塊附著於藻體表面，而藻體內部未有沈積發生，元素分佈顯示磷 (c) 及鈣 (d) 的訊號都未明確的出現於細胞內部。(比例尺為 60μm)



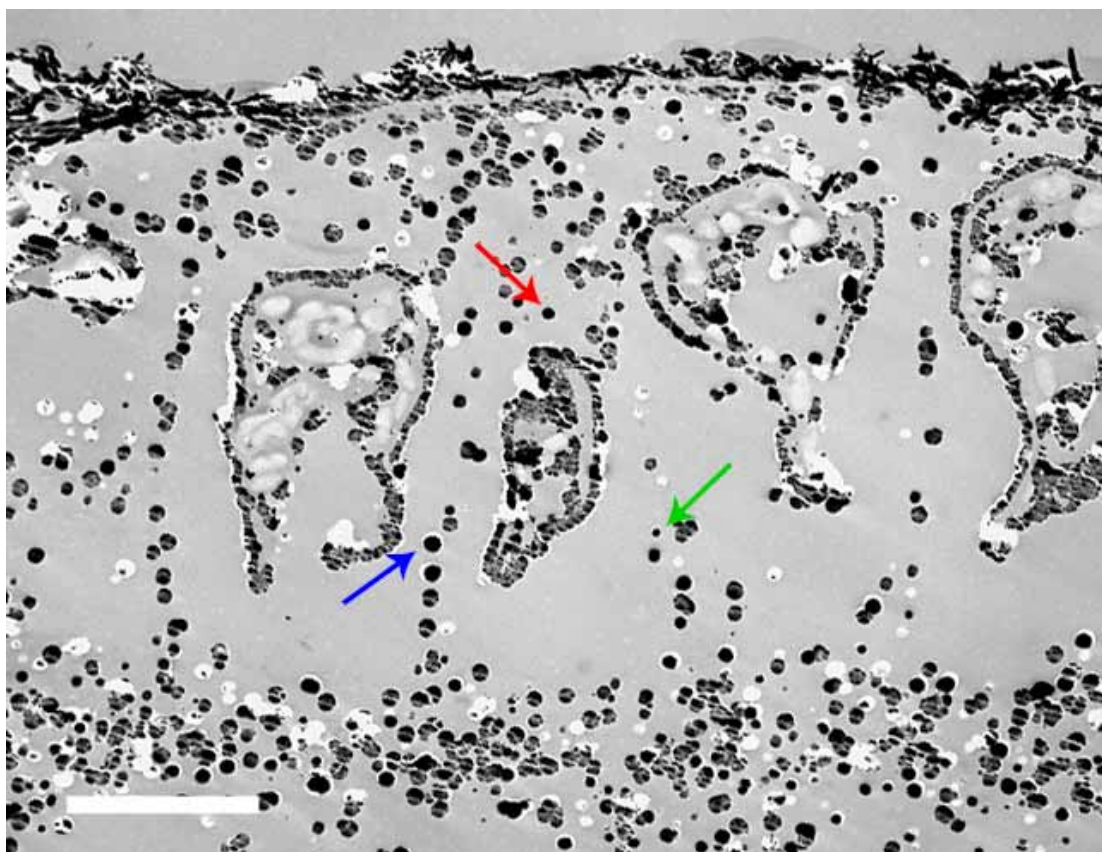
圖三、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.528M、0.0533M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石萼切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，(b) 中可以看見一層沈積沿著細胞內外結構出現，由於磷 (c) 及鈣 (d) 的訊號微弱，無法辨識磷鈣沈積的確切分佈情形。(比例尺為 60μm)



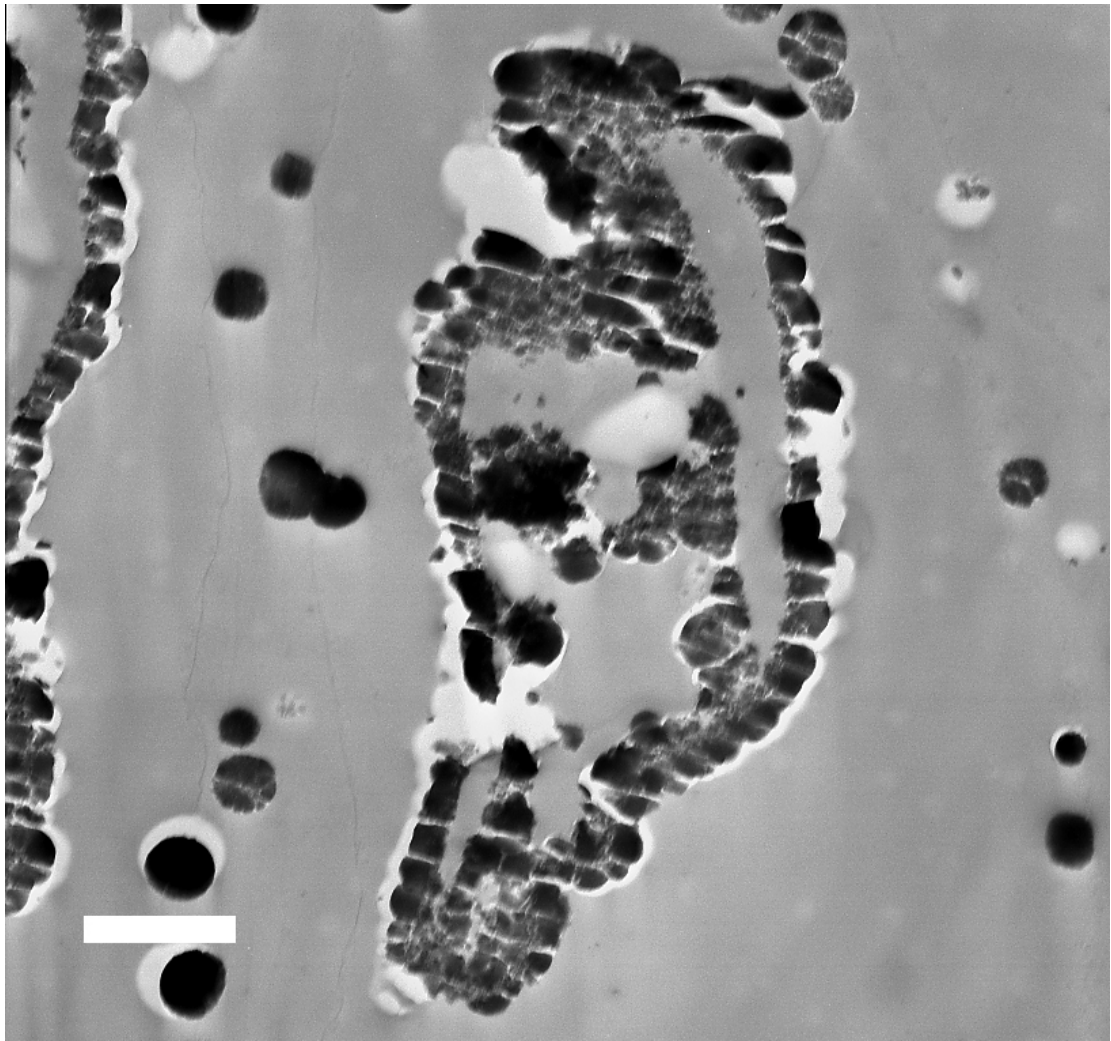
圖四、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.206M、0.0296M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，(b) 中可以看見沈積顆粒沿著兩層細胞結構大量出現，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 的訊號與 (b) 中的沈積礦物分佈一致。(比例尺為 60 μm)



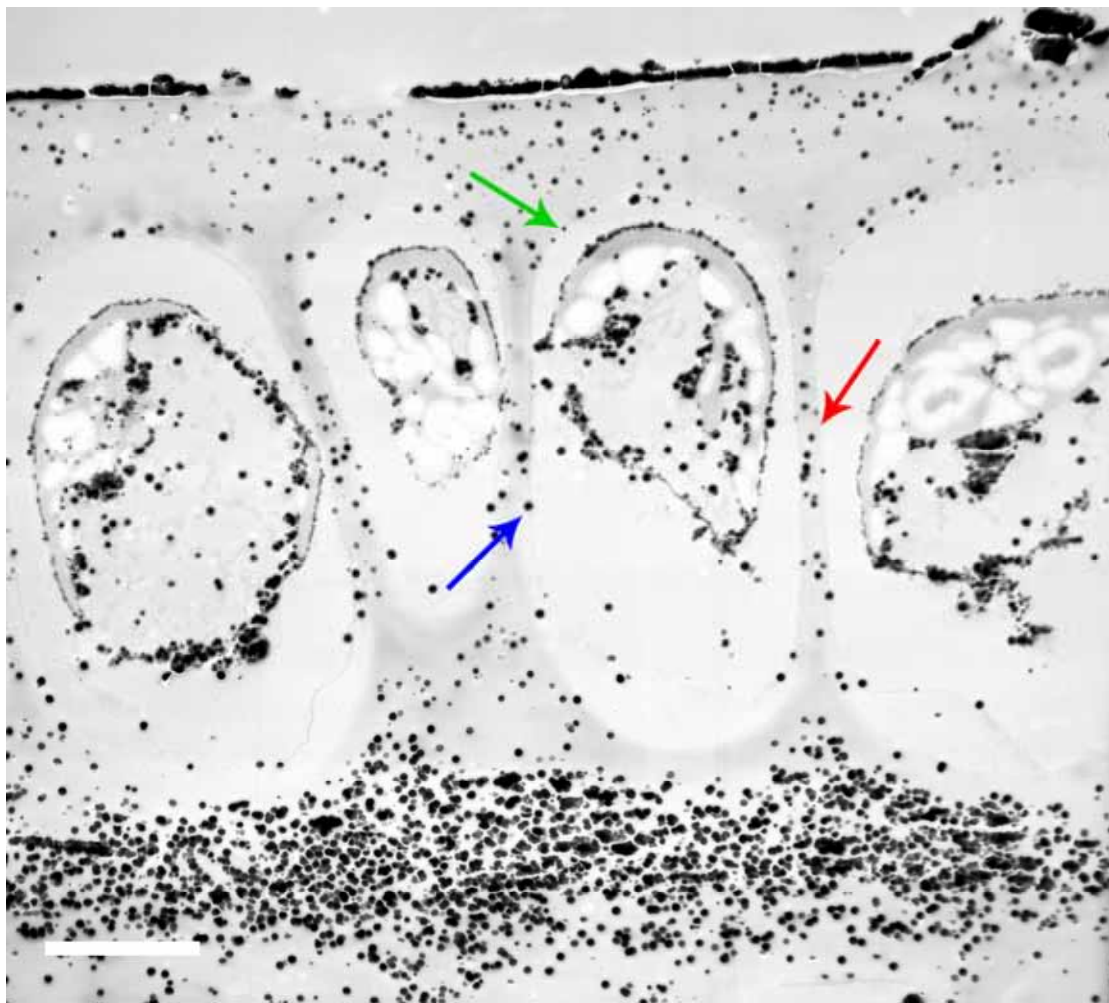
圖五、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.206M、0.0296M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石萼切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，(b) 中可以看見沈積顆粒沿著兩層細胞結構大量出現，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 的訊號與 (b) 中的分佈與 (b) 細胞結構位置一致。(比例尺為 $60\mu\text{m}$)



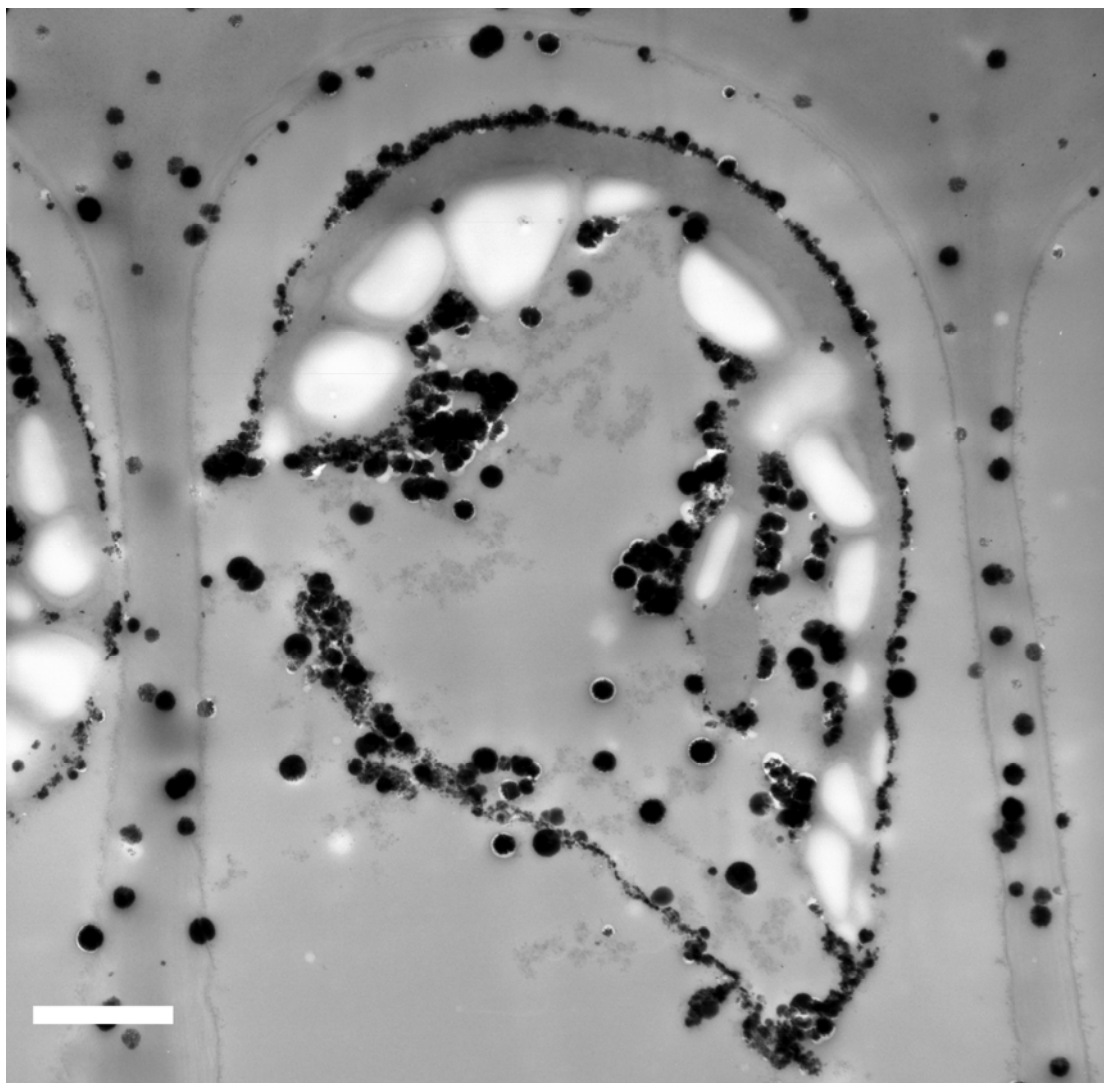
圖六、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.206M、0.0296M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，穿透式電子顯微鏡觀察結果。圖中有 5 個細胞及其皺縮的胞器構造，並有礦物顆粒沿著細胞壁及皺縮的細胞膜出現，礦物顆粒直徑一般在 550nm（紅色箭頭）到 950nm（藍色箭頭）之間，有些較小的顆粒直徑僅有 400nm（綠色箭頭）左右。圖中上方無礦物顆粒的部分為藻體外，下方礦物顆粒密集的部分為與另一層細胞間的細胞壁部分。（比例尺為 10 μm ）



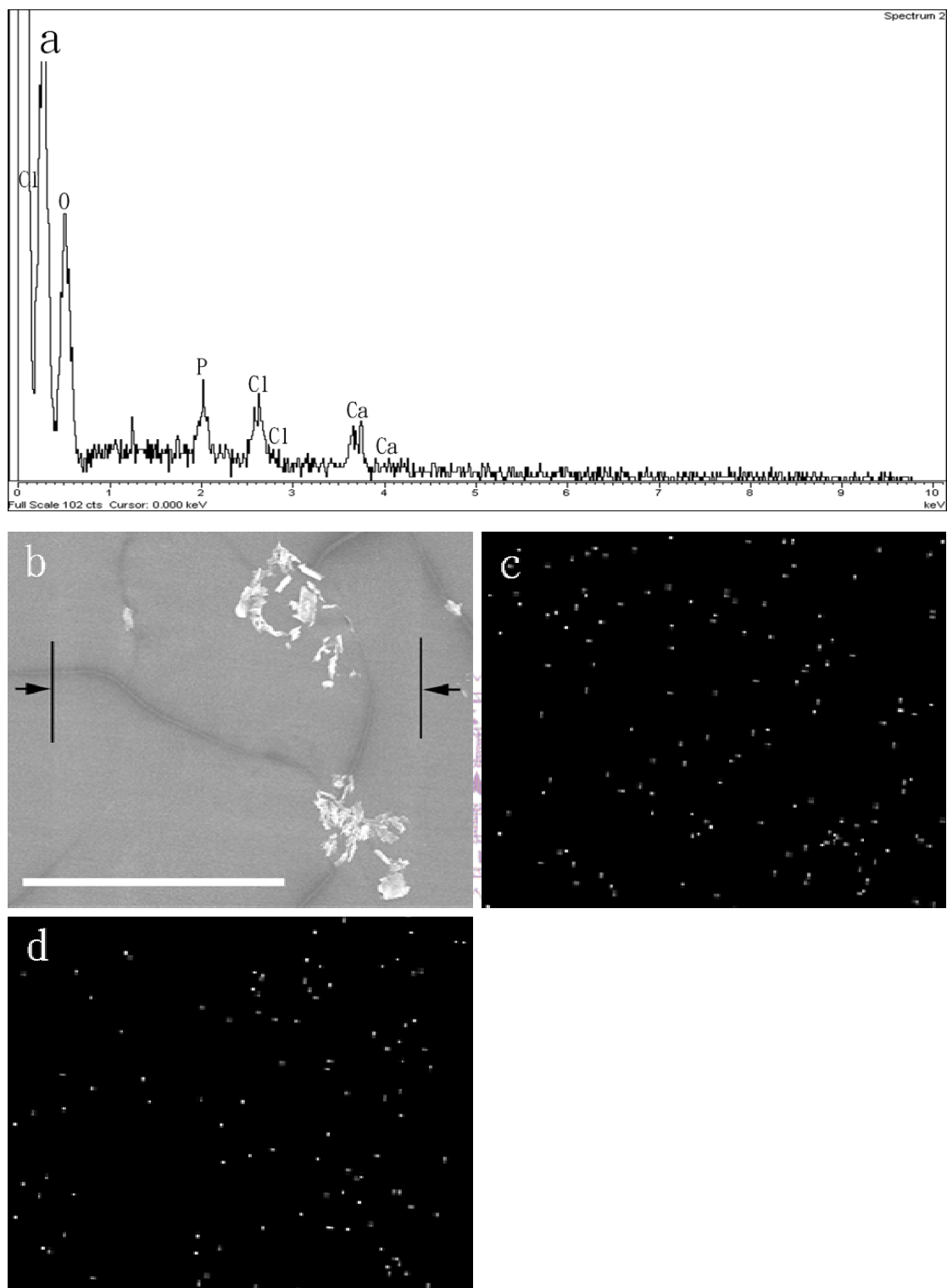
圖七、針對圖五中皺縮部分放大的結果，皺縮的細胞膜上附著一層約 500nm 厚的礦物沈積。(比例尺為 2 μ m)



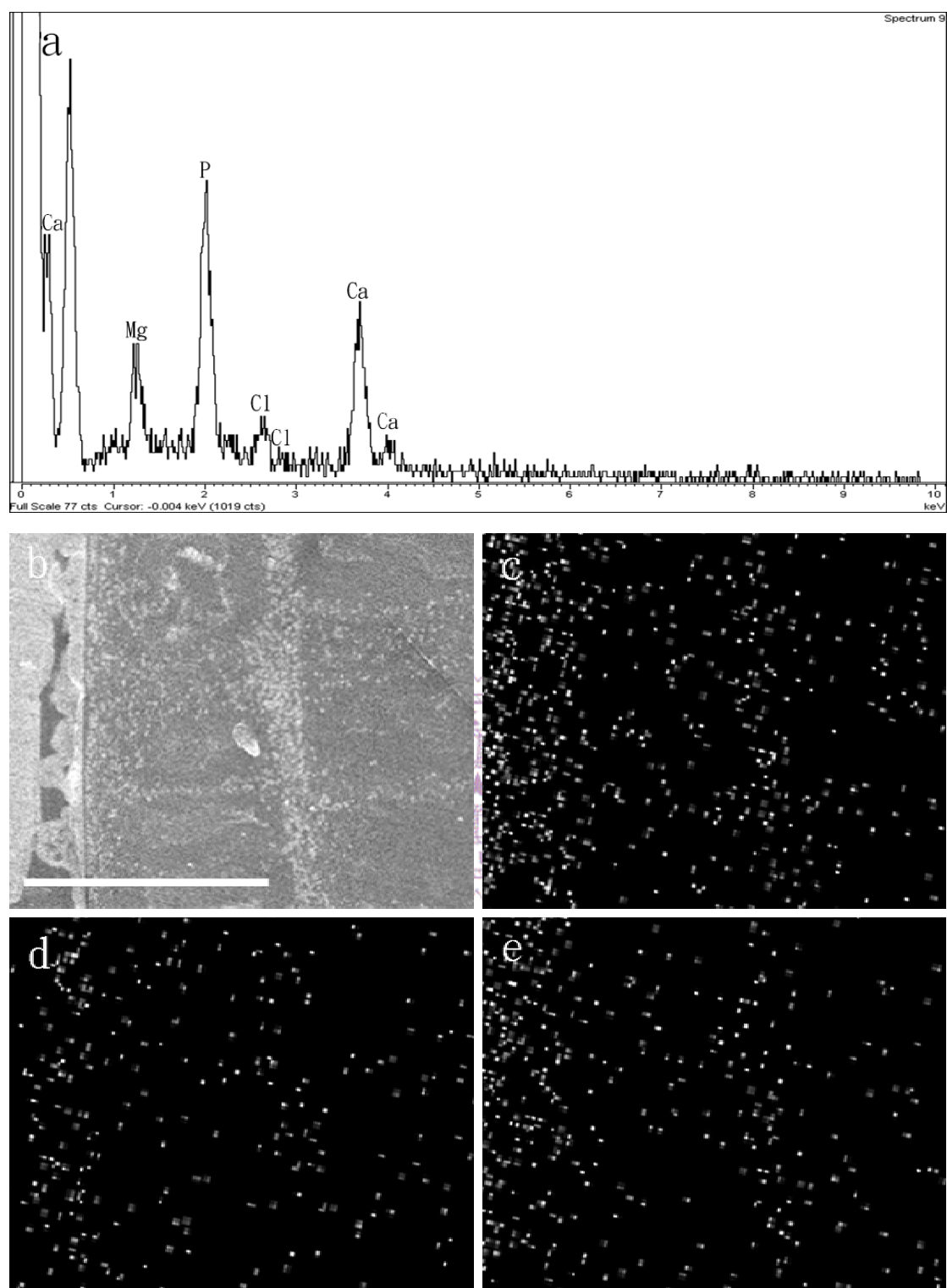
圖八、以尿素及溫度控制 pH 的磷酸鈣沈積的實驗中，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.206M、0.0296M，並在溶液中額外添加 0.15M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 提供鈣離子的條件下，穿透式電子顯微鏡觀察結果。圖中有 4 個細胞及其皺縮的胞器構造，並有礦物顆粒沿著細胞壁及皺縮的細胞膜出現，礦物顆粒直徑一般在 450nm（紅色箭頭）到 600nm（藍色箭頭）之間，有些較小的顆粒直徑僅有 250nm（綠色箭頭）左右。圖中上方無礦物顆粒的部分為藻體外，下方礦物顆粒密集的部分為與另一層細胞間的細胞壁部分。（比例尺為 10 μm ）



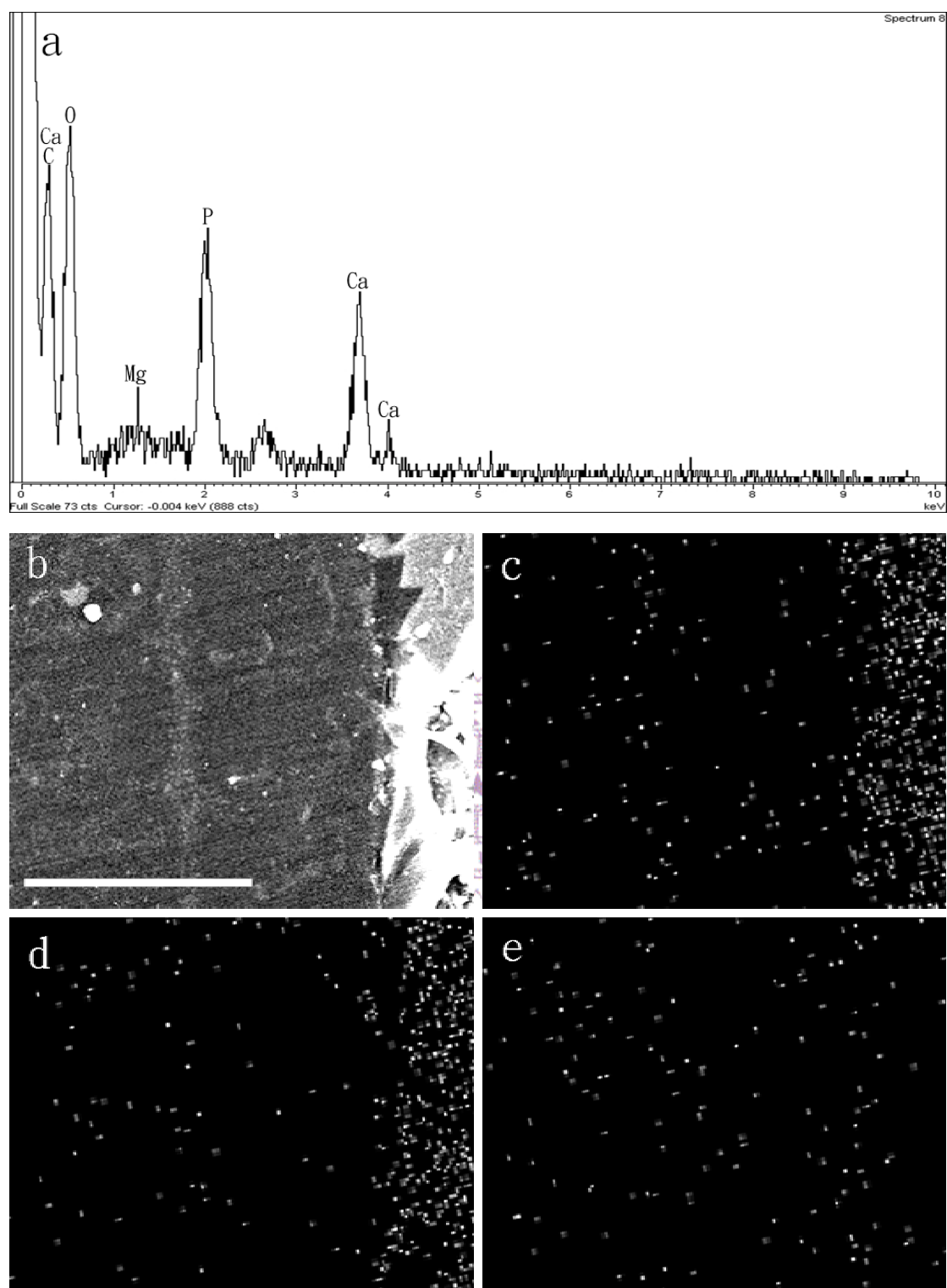
圖九、針對圖七中皺縮部分放大的結果，皺縮的細胞膜上附著的礦物顆粒尺寸跟細胞壁上的顆粒直徑同樣在約 250nm 到 600nm 之間。(比例尺為 3 μ m)



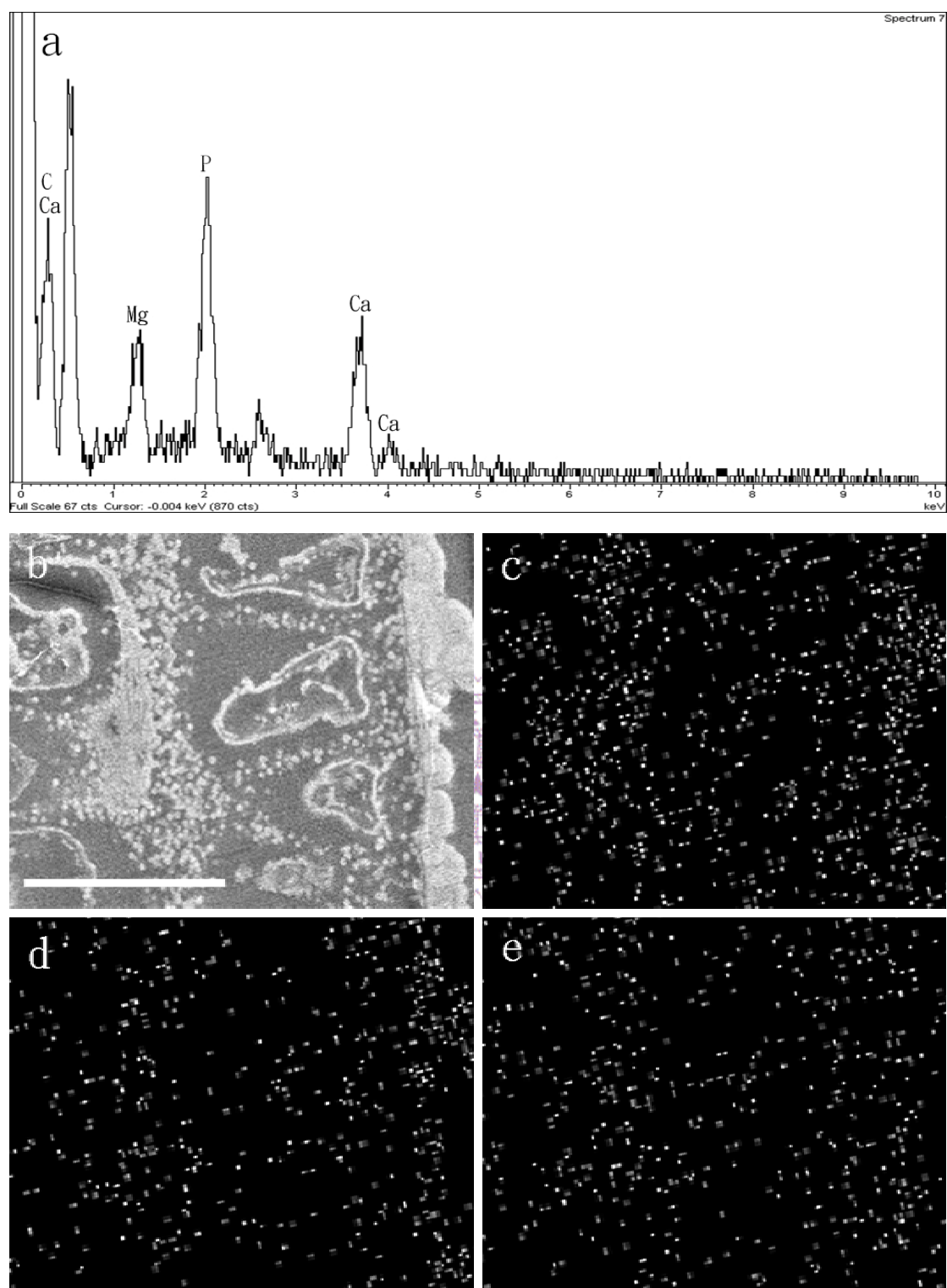
圖十、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中只含鈉離子，鈉離子的濃度為 0.5563M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，(b) 中黑色箭頭表示細胞邊界，元素分佈顯示磷 (c) 及鈣 (d) 的訊號都未明確的出現於細胞內部。(比例尺為 30 μ m)



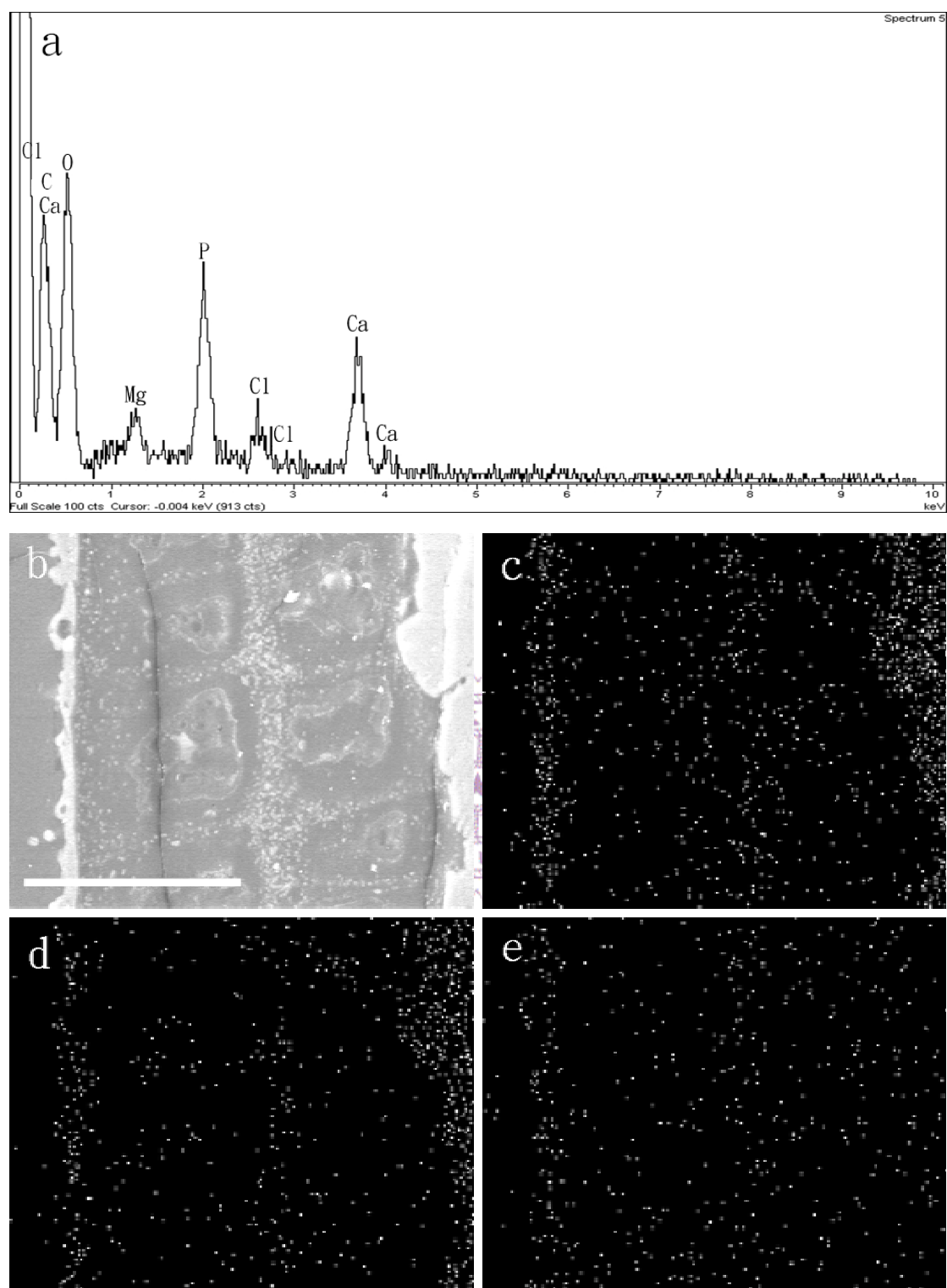
圖十一、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中鈉、鎂離子比例為離子為 16:1，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.4945M、0.0309M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。(a)為全能譜結果，(b)中可以看出沈積顆粒沿著兩層細胞結構大量出現，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 與 (b) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致，而圖 (b) 兩側附著於藻體表面的沈積以磷、鈣為主要成分。(比例尺為 30 μ m)



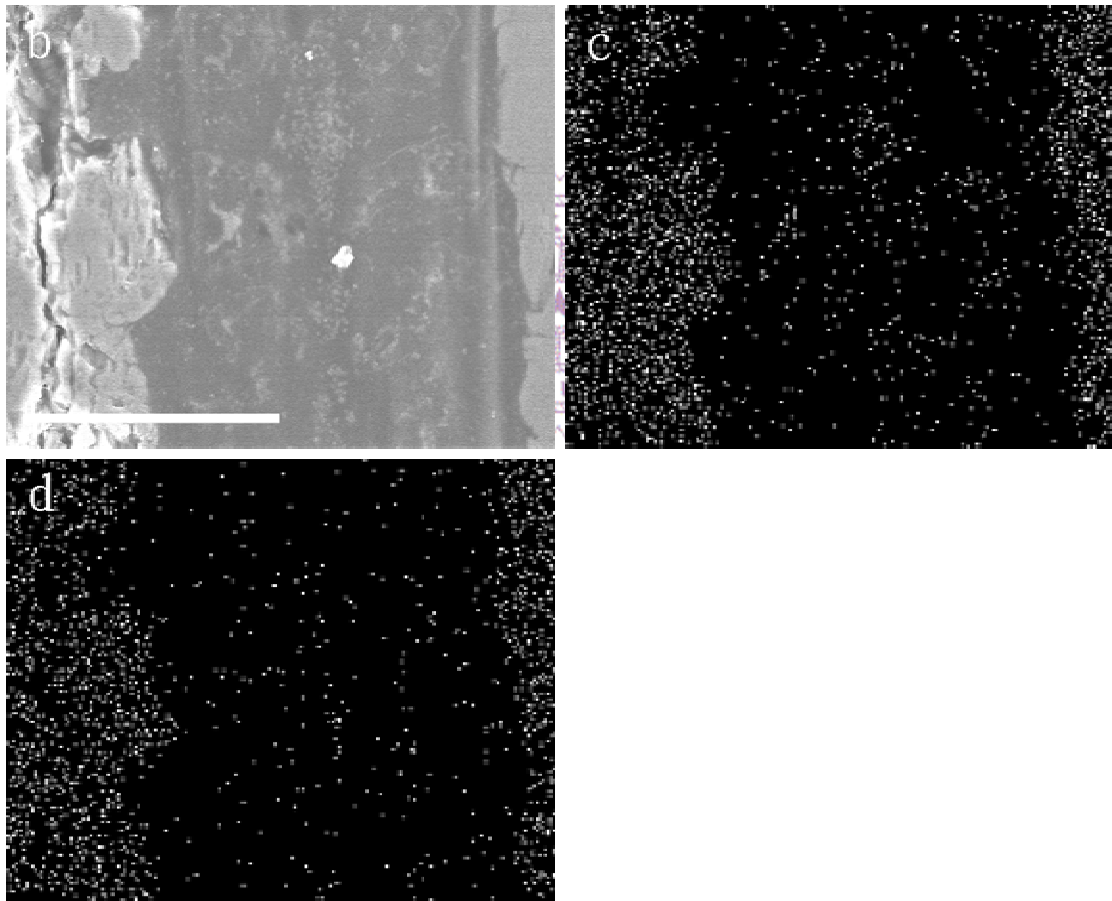
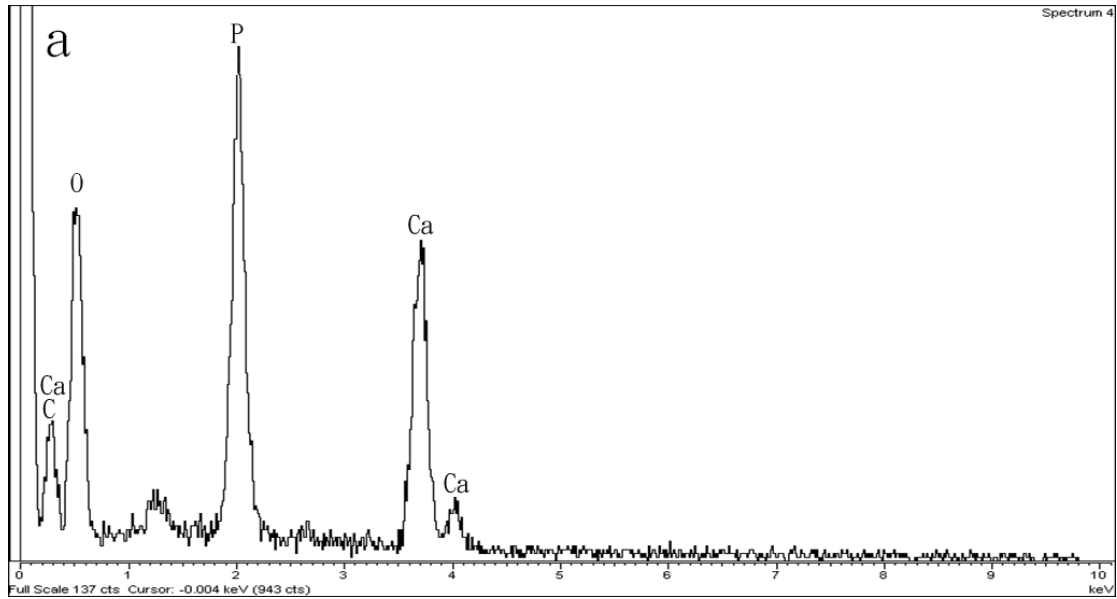
圖十二、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中鈉、鎂離子比例為離子為 8:1，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.4451M、0.0556M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布，(a) 為全能譜結果，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致，而圖 (b) 右側附著於藻體表面的沈積以磷、鈣為主要成分。(比例尺為 30 μ m)



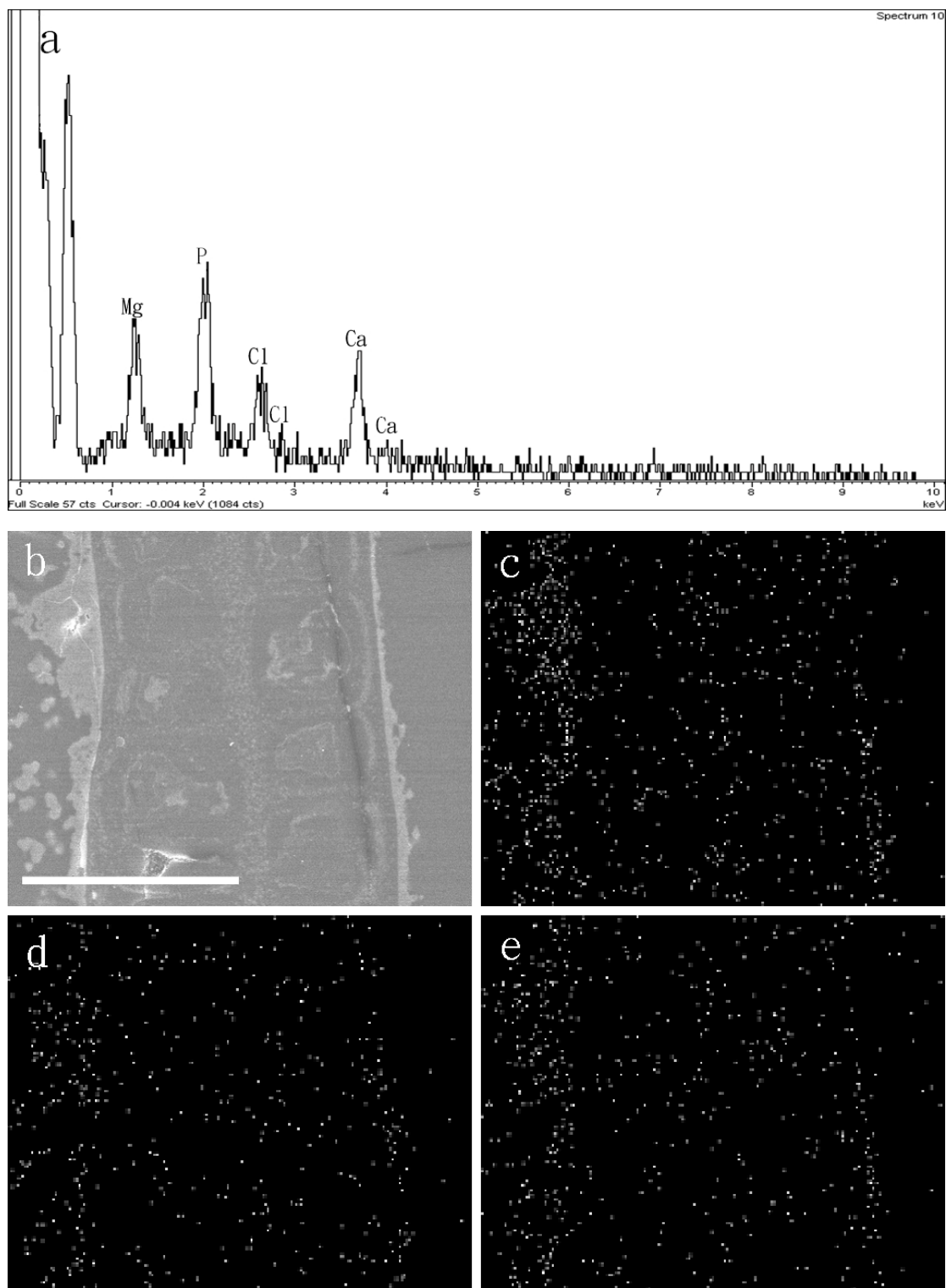
圖十三、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中鈉、鎂離子比例為離子為 4:1，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.3709M、0.0927M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。圖(a)為全能譜結果，元素分布顯示磷(c)、鈣(d)及鎂(e)的訊號沿著細胞結構出現且分佈一致。(比例尺為 20 μ m)



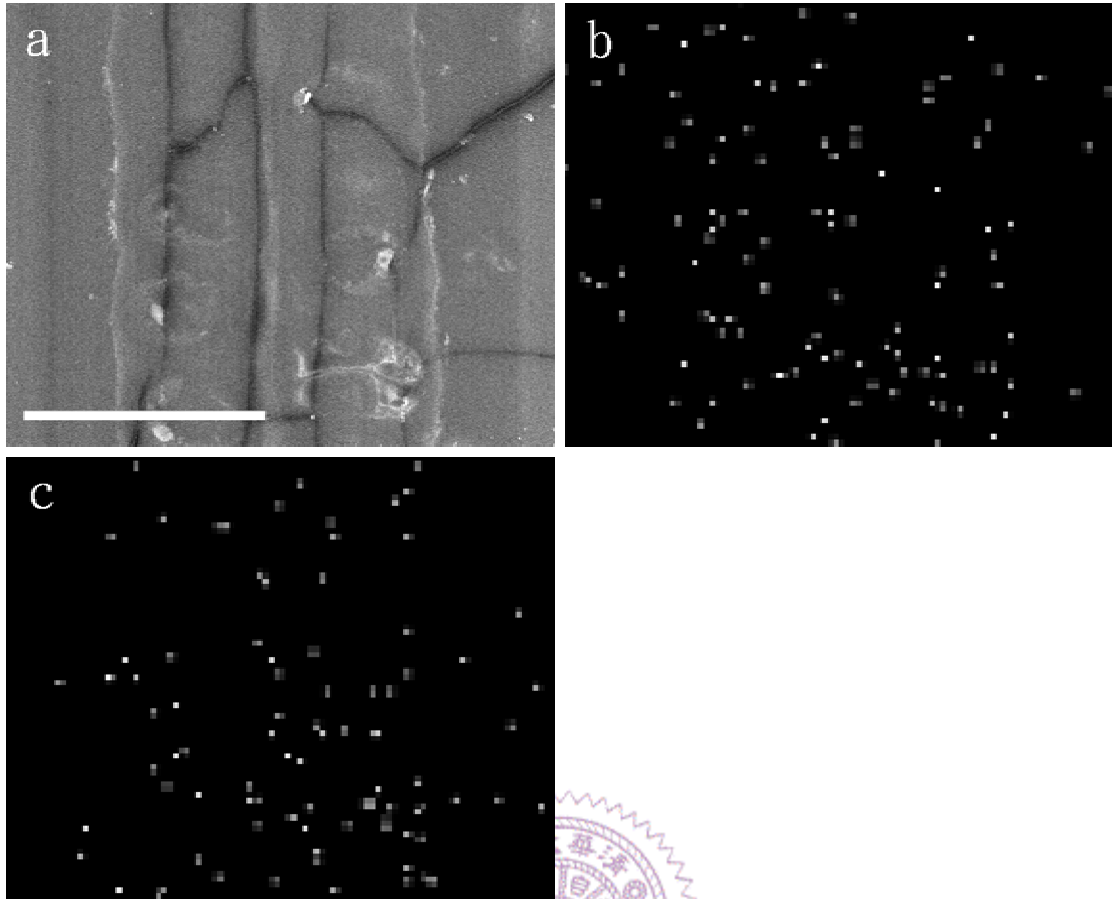
圖十四、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中鈉、鎂離子比例為離子為 2:1，鈉離子及鎂離子的濃度分別為 0.2782M、0.1391M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。圖 (a) 為全能譜結果，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 的訊號與 (b) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致，而圖 (b) 右側附著於藻體表面的沈積以磷、鈣為主要成分。(比例尺為 30 μ m)



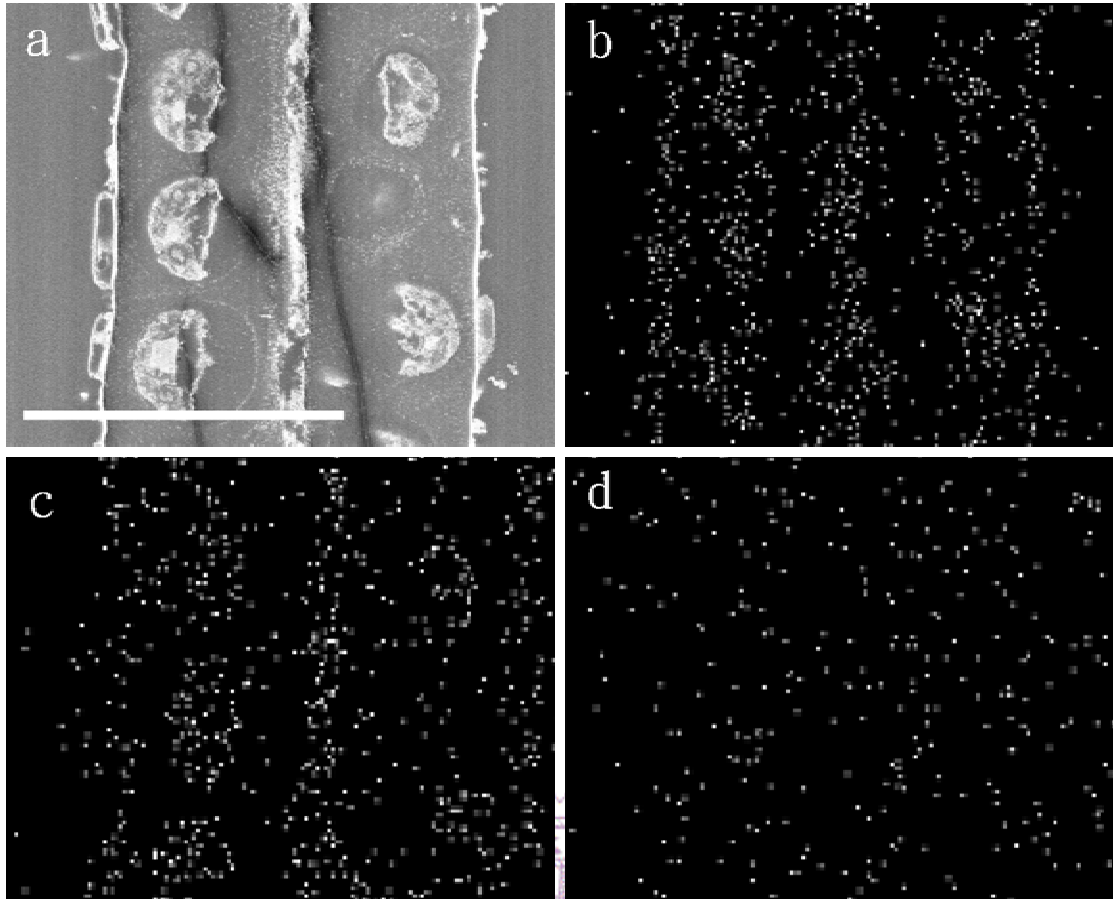
圖十五、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中鈉、鎂離子比例為離子為 1：1，鈉離子及鎂離子的濃度皆為 0.1855M 的條件下，以外加能量分散光譜儀觀察石蓴切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 的訊號與 (b) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致，而鎂的訊號在全能譜 (a) 中跟背景訊號過於接近而未表示。(比例尺為 30 μ m)



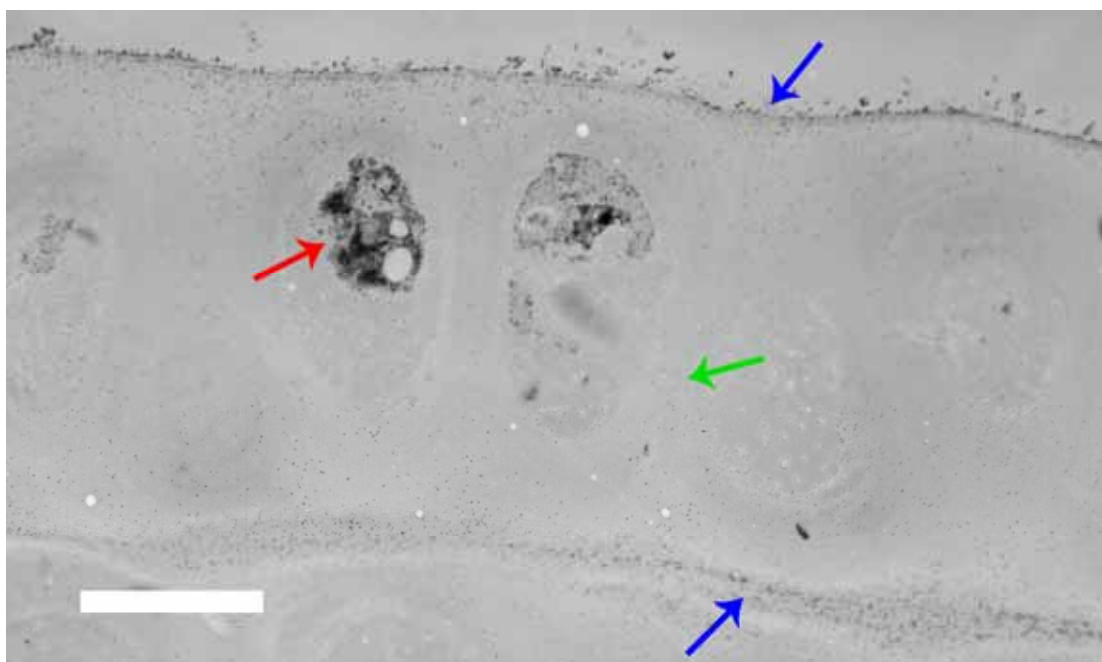
圖十六、鎂、鈉離子比例不同的磷酸鈣沈積實驗中，在溶液中只含鎂離子，鎂離子的濃度為 0.2783M 的條件下，外加能量分散光譜儀觀察石萼切面上的元素分布。(a) 為全能譜結果，元素分布顯示磷 (c)、鈣 (d) 及鎂 (e) 的訊號與 (b) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致。(比例尺為 40μm)



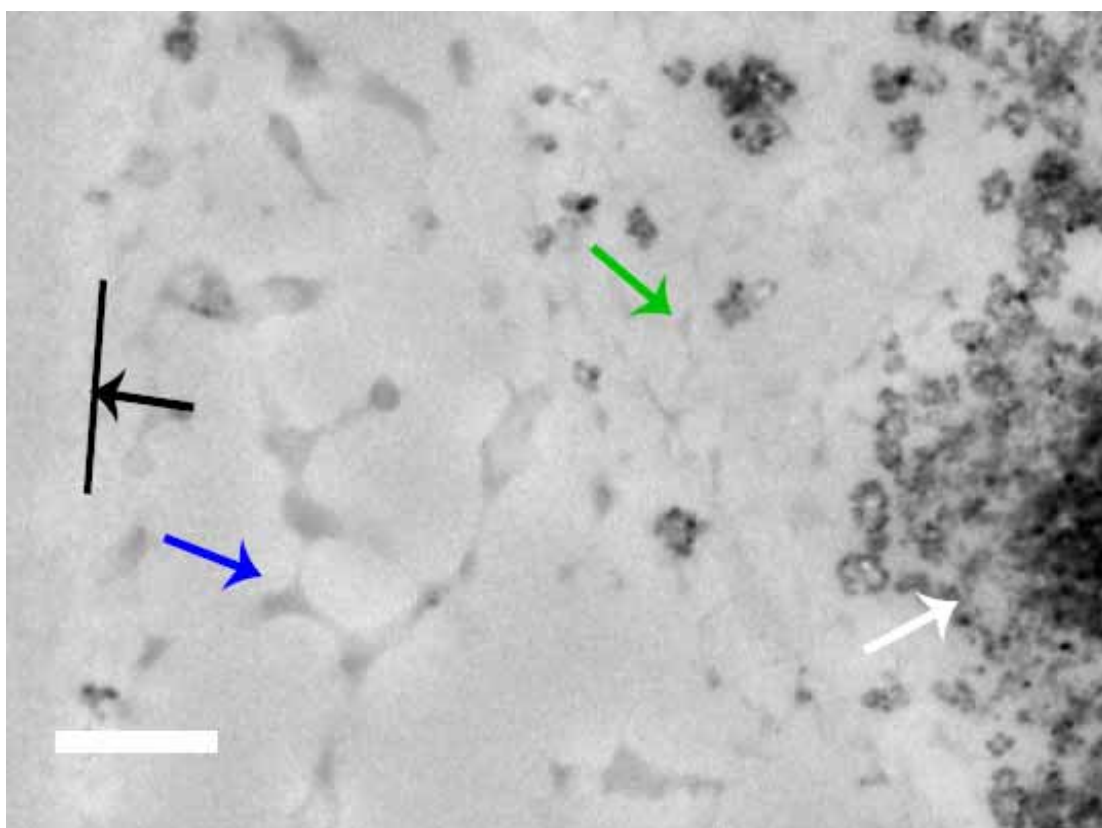
圖十七、將石蓴置於碳酸及溫度控制 pH 之磷酸鈣沈積系統中 3 天後，以外加能量分散光譜儀觀察藻體切面上的元素分布。元素分布顯示磷 (b)、鈣 (c) 的訊號與 (a) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致。(比例尺為 40 μ m)



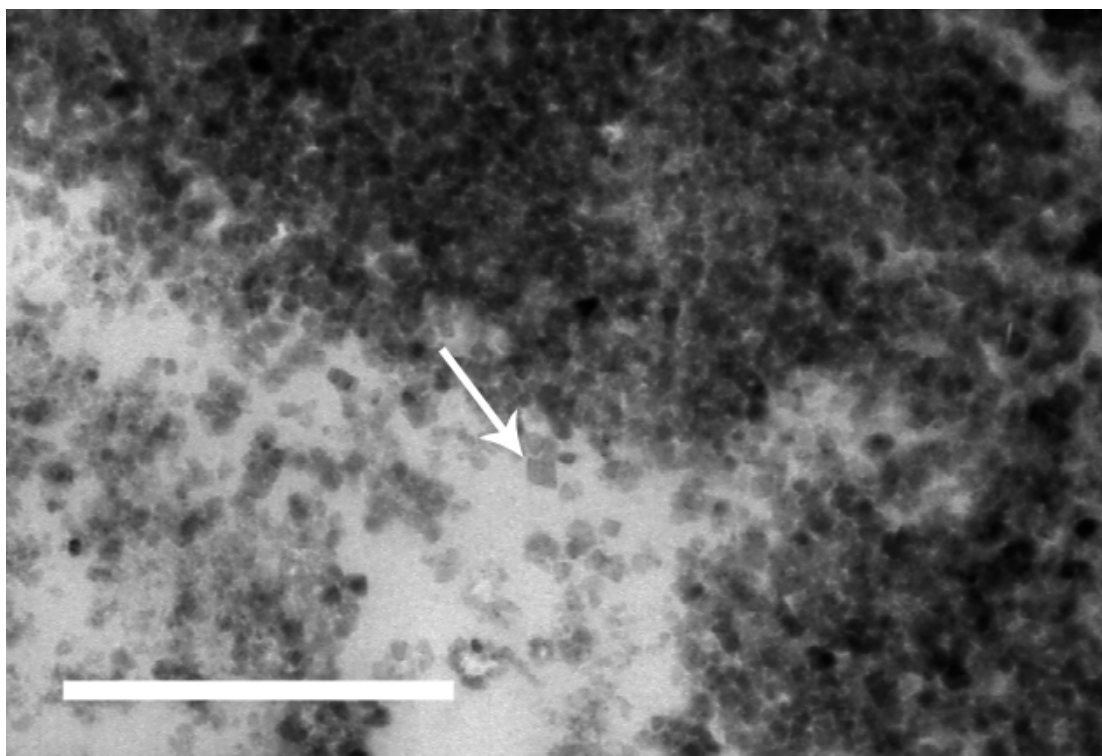
圖十八、將石蓴置於碳酸及溫度控制 pH 之磷酸鈣沈積系統中 7 天後，以外加能量分散光譜儀觀察藻體切面上的元素分布。元素分布顯示磷 (b)、鈣 (c) 的訊號與 (a) 中的細胞結構上沈積礦物分佈一致，鎂的訊號 (d) 則沒有明確的分佈於沈積礦物上。(比例尺為 40 μ m)



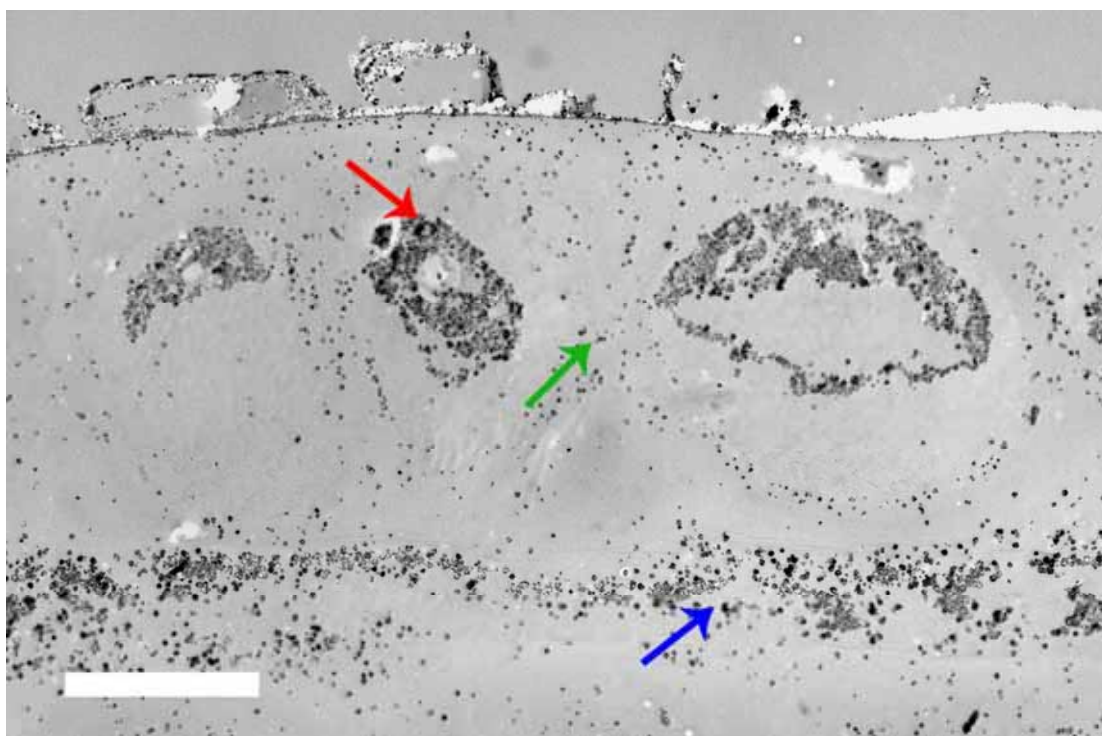
圖十九、將石莖置於碳酸及溫度控制 pH 之磷酸鈣沈積系統中 3 天後，穿透式電子顯微鏡觀察結果。圖上方無礦物顆粒的部分為藻體外，下方則為另一層細胞，可以看到有兩個細胞的胞器構造礦物顆粒最為密集（紅色箭頭），藻體外壁及兩層細胞間礦物顆粒次之（藍色箭頭），同層細胞之間的細胞壁構造礦物顆粒最為稀疏（綠色箭頭）。(比例尺為 10 μ m)



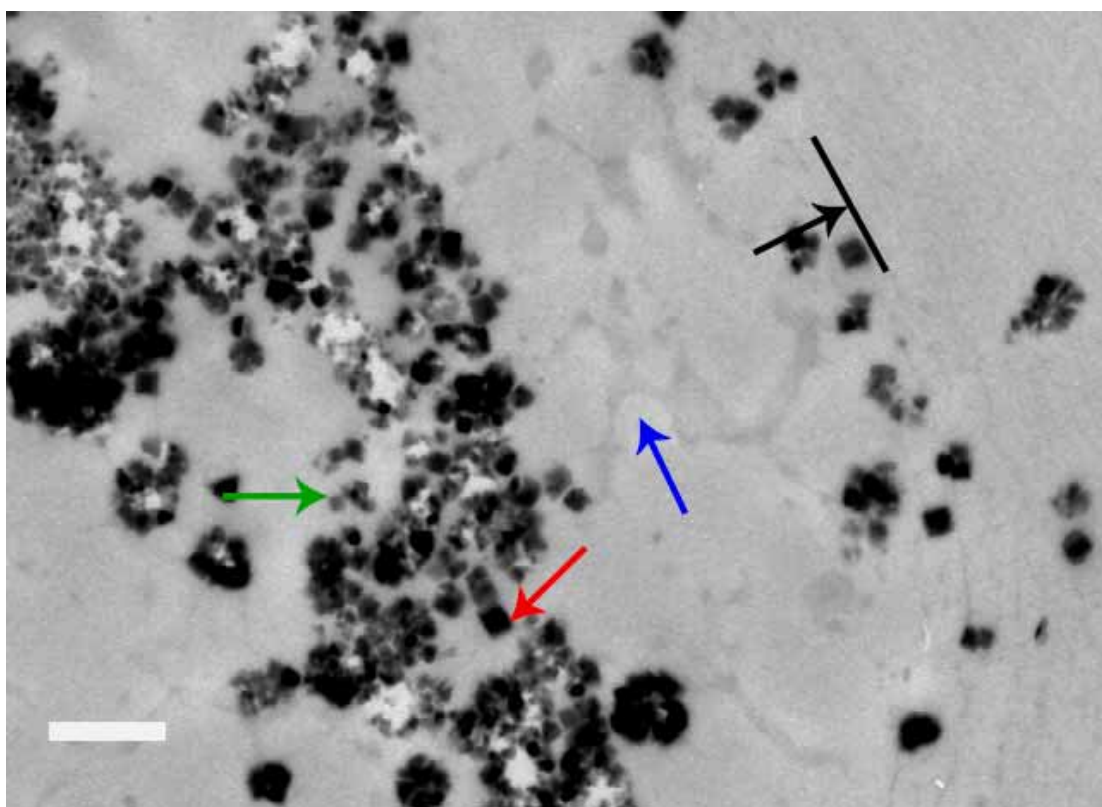
圖二十、針對圖十九中紅色箭頭位置放大觀察，黑色箭頭表示細胞壁內壁邊界，白色箭頭處為被礦物顆粒填充的胞器。將胞器構造填充礦物顆粒直徑只有約 50nm 左右，胞器與細胞壁間則出現長度 250nm~300nm 近以網狀排列的絲狀結晶（藍色箭頭），而未被礦物顆粒填充胞器部分則佈滿長度 100nm 左右的絲狀結晶（綠色箭頭）。（比例尺為 500nm）



圖二十一、將圖十九中填充胞器的礦物顆粒放大觀察，可發現這些直徑不到 50nm 的顆粒為方礫狀，圖中白色箭頭指出其中一形狀較為清楚完整的礦物顆粒。（比例尺為 500nm）



圖二十二、將石蓴置於碳酸及溫度控制 pH 之磷酸鈣沈積系統中 7 天後，穿透式電子顯微鏡觀察結果。圖上方無礦物顆粒的部分為藻體外，下方則為另一層細胞，可以看到有兩個細胞的胞器構造礦物顆粒最為密集（紅色箭頭），兩層細胞之間次之（藍色箭頭），同層細胞之間的細胞壁構造礦物顆粒最為稀疏（綠色箭頭）。(比例尺為 10 μ m)



圖二十三、針對圖二十二中胞器與細胞壁之間放大觀察，黑色箭頭表示細胞壁內壁邊界。將胞器構造填充礦物顆粒呈方礫狀，直徑約在 50nm（綠色箭頭）到 150nm（紅色箭頭）之間，胞器與細胞壁間則佈滿長度約 250nm~ 300nm 左右的絲狀結晶（藍色箭頭）。（比例尺為 500nm）