

# 矽藻的構造與運動之謎

高中組生物科第三名

台灣省立新竹高中

作者：林志立、薛良凱

指導教師：楊良平

## 一、研究動機

有海洋珠寶之稱的矽藻（Diatom），長久以來即以它那華麗的外殼吸引許多人的注意，但我們卻被它的另一種能力所迷惑，它們沒有偽足、纖毛、鞭毛等單細胞生物的運動器官，卻能在水中運動，到底是什麼緣故呢？

## 二、研究目的

- (一)探討矽藻的構造。
- (二)研究矽藻是以何種方式運動。

## 三、研究設備器材

(一)器材：

- 1. 複式顯微鏡 2. 相位差顯微鏡 3. 照相專用顯微鏡
- 4. 照相機 5. 顯微攝影機 6. 離心機 7. pH儀 8. 培養用缸
- 9. 電視及錄放影機 10. 剪輯影帶設備

(二)藥品：

- 1. 過錳酸鉀 2. 氨水 3. 蒸餾水 4. 墨汁 5. 蕨葉汁 6. 小蘇打
- 7. 醋酸 8. 蛋白酶 9. 凡士林

## 四、研究過程及方法

### (一)初步觀察

1. 由於矽藻的種類相當多，因此我們選擇體形較大且多的一種楔形矽藻，經查閱得知其分類地位為：

科：Surirellaceae

屬：Surirella

學名：Surirella robusta var. splendida

#### (1)大小：

矽藻主要以無性的分裂生殖為主要繁殖法；其母細胞在上殼之下產生下殼，下殼之下也產生下殼，長成之後兩子細胞分裂，經數次分裂後即逐漸變小。故矽藻大小常有差異，本品種長軸約為 $150\sim 250\mu$ ，寬為 $50\sim 100\mu$ 。

#### (2)形態：

々外殼：

(々)殼面觀：

左右對稱，上下殼皆呈卵形，最寬處約為 $50\mu$ ，中央及兩側有突起的中脊與側脊縱貫兩極，兩極間並有甲冑狀的肋壁相連，兩端各有一片較大的極結，側脊間有契狀的脊窗，此處無矽質之細胞壁。

(々)腰帶觀：

呈楔狀，最寬處約 $100\mu$ ，上下殼間的矽質細胞壁無花紋及分節，我們稱為腰帶，壁極薄。

々內部：

(々)殼面觀：

整個細胞為帶狀或聚集成塊狀的葉綠體充塞，呈黃褐色。

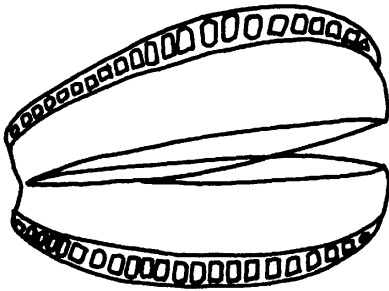
(々)腰帶觀：

環帶面與殼面的幅寬比為3：2，故絕大部分的矽藻

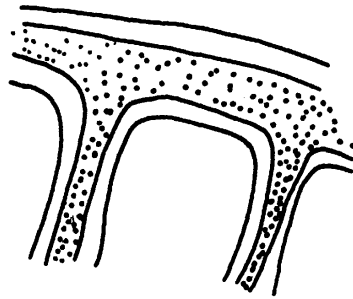
以環帶面示人，細胞核位於中央，上下殼的側脊下方各有一條呈帶狀的褐色葉綠體。核的兩側各有一圓形的大液泡，細胞質中有許多小液泡流動。

## 2. 細微構造：

ㄅ矽藻上下環帶如何相套？我們以氨水將矽藻殺死，再置其於蒸餾水中使它膨大，讓上下殼撐開，顯示環帶的相互關係：  
（如圖一所示）



圖一



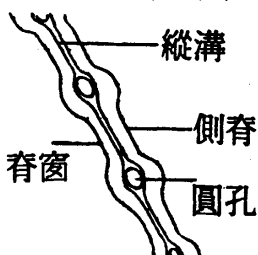
圖二

ㄅ側脊的觀察以過錳酸鉀染色發現側脊外緣與脊窗間染色後特別深，其中似有小管與外界溝通。（如圖二所示）

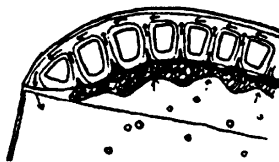
□我們用轉動細調輪來觀察不同深度的構造。結果發現：

（ㄅ）頂視側脊時，外緣有一排凹入的縱溝，其中有一排圓孔，請看圖三。

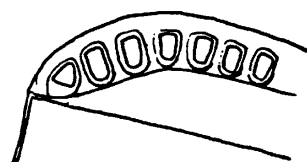
（ㄅ）當光綫與側脊成一角度時，偶爾可見原生質中的小液泡經窗間小管流至脊緣的縱管，再由一極流回內腔。死細胞無縱管，故知此處僅以細胞膜與外界接觸。  
（如圖四所示）



（圖三）



（圖四）



（左為活細胞，右為死細胞）

(口) 從一端看矽藻直立時，可以發現其中脊較側脊低，無窗、窗管、縱溝，兩側肋壁凹下，與中脊連成大括弧形，前後呈覆瓦狀排列，中脊前後呈波浪狀排列，如下圖五所示。

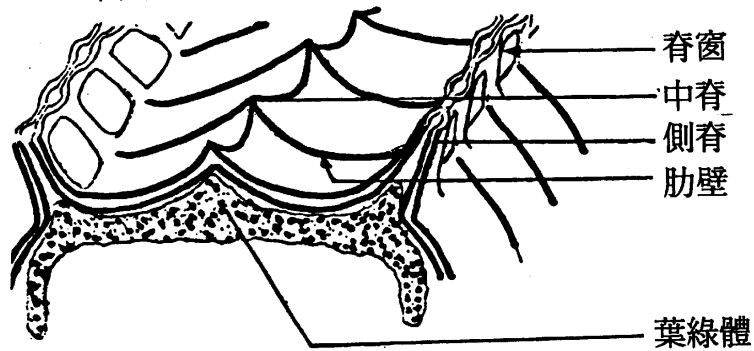
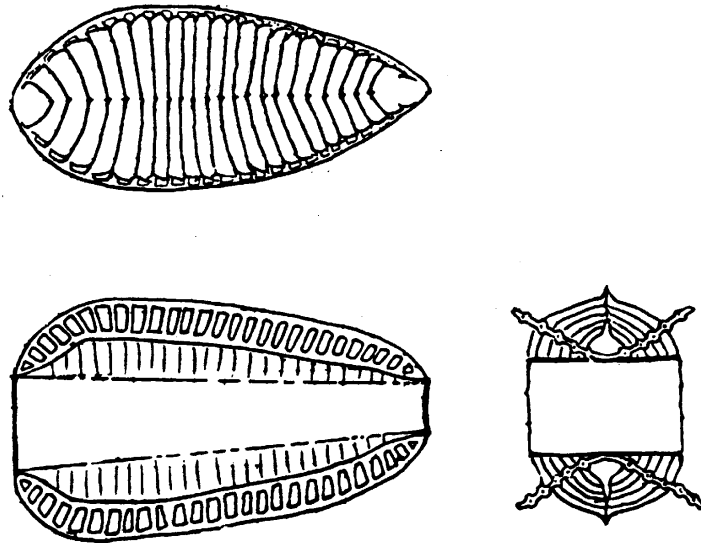


圖 五

此時可見矽藻內部有許多呈大括弧狀的葉綠體，但與殼間仍有空隙存在（可容納細胞質）。

综合以上，我們將*S. robusta*的定義如下：



△矽藻的三視圖

## (二)矽藻的運動：

### 1.運動狀態的觀察：

- (1)矽藻在水平狀態時，常以環帶面向上。
- (2)運動時只以長軸方向前後滑動，偶有急衝運動發生，轉向時則以一極為固定點畫弧，改變方向後繼續滑行。
- (3)若有石粒附於矽藻的游離面，只有與側脊脊頂接解的石粒才會移動。沿著縱貫的側脊向極端移動。方向則與細胞質的運動方向相反，至極節上小孔之位置為止。若矽藻改向，則小石子方向亦改。若矽藻長時間向同一方向運動，則在後端會附集多個石子，且石子間似有黏液將其連接，直至體積太大矽藻拖不動才脫離。

### 2.設計實驗：

- (1)矽藻表面其他構造是否與運動有關：取少量墨汁，離心5分後（3000RPM）取上部1/2，加入載玻片中，結果：  
當剛加入時，矽藻靜止不動，炭粒分佈於矽藻四周，但與細胞間仍有一段距離。矽藻兩端極結節的小管，似有液體噴出，炭粒在此呈渦流狀流動，一分鐘後停止。  
當矽藻再度運動時，只有側脊附近的炭粒作反向運動，最後集結於後端。
- (2)矽藻可能對墨中的某種物質過敏因此我們改用蕨的葉片，磨碎後以紗布過濾離心，此種生物性染料能讓矽藻的過敏度降至最低。加入上述液體後觀察，矽藻運動正常，無噴射現象，細胞外的物質也只有在側脊才會移動。
- (3)矽藻的黏液與側脊之間的關係：黏液的厚度不易測量，我們改以相位差顯微鏡觀察。又因*S. robusta*表面凹凸不平，且細胞厚度太大，黏液只在側脊上才有，側脊又呈弧狀，測量不易。所以我們改用較小且扁平的*Navicula cryptocephala*為材料。在相位差顯微鏡下，細胞周圍有一光暈，寬約4  $\mu$ ，在此情況下，*Navicula cryptocephala*的運動速率300  $\mu$ /min左右。

(4)pH對黏液厚度與運動速率的影響；以冰醋酸泡酸溶液， $\text{NaHCO}_3$ 泡鹼溶液，使pH值從4~10。將各種pH溶液滴入含矽藻的載玻片，分為兩組，一組5min後換為正常酸鹼值，另一組仍持續在該pH值中，觀察結果如下：

〈註〉速度單位為每秒行進 $10.8\mu$ 。

〈附表〉表示酸鹼度和速度、黏液厚度間的關係：

MIN pH 值	5	10	15	20	25
4	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
5	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0.5	0 / 0.4
6	0 / 1.1	0 / 1.1	0 / 1.0	0 / 1.0	0 / 1.0
7	9 / 1.5	10 / 1.5	10 / 1.6	9 / 1.5	12 / 1.3
8	0 / 1.0	0 / 1.0	0 / 0.9	0 / 1.0	0 / 1.1
9	0 / 0.8	0 / 1.0	0 / 1.0	0 / 1.0	0 / 1.1
10	0 / 0.3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0

〈註〉同一格中前者表速度，後者表黏液厚度。

由以上可知： $\text{pH}$ 值會影響速度和黏液厚度，根據其他試驗（表繁不及備載）發現矽藻的生存環境適於弱鹼，由於酸能分解黏液，因此我們推測可能為蛋白質，且能自我補充。

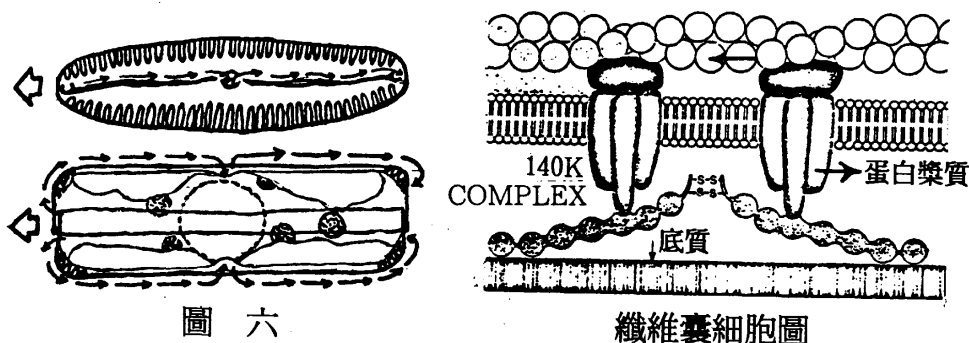
(5)我們以1~10%濃度的綜合性蛋白酶加入反應，明顯發現可降低其黏液厚度，尤其當厚度降至 $0.2\mu$ 以下時運動停止。

(6)將載玻片或蓋玻片或兩面均塗、不塗凡士林的方式觀察，結果矽藻在兩片均塗時軌跡紊亂，顯示矽藻和介質的重要性。當不塗時，軌跡較直；由於矽藻沒有鞭毛、纖毛、偽足等構造，只知黏液僅位於側脊的縱溝中，前後流動而已。

## 五、討論

參考資料中有關矽藻的構造與運動關係的描述中，最為大家接受的為穆勒（Muller）所提出的原生質流動說。他以船形矽藻*Navicula* SP. 為例，解釋矽藻如何運動，此種與*S. robusta*不同，說法如下：

1. 環帶面較窄，故常以殼面向上。
2. 殼面中央無中脊，左右肋壁不相接觸，留下一條縱走的縫合綫（Raphe）。
3. 縫合綫在中央為中央結節所斷，至兩端的極結節為止。
4. 原生質由一端的極結節湧升沿縫合綫流向中央結節後，下沈至細胞質中。在中央結節的另一側，原生質湧至縫合綫向另一端的極結節小孔後，流回細胞質，如下圖六所示。



5. *Navicula* SP. 即利用原生質的流動，與水發生作用力而運動。

對此學說，我們有數點疑問：

- (1) 原生質的流動只發生於細胞質內，與水隔了一層細胞膜，不可能與水直接接觸發生作用力。
- (2) 若矽藻的原生質流動帶動細胞膜滾動，則細胞膜如何在中央結節與結節間滾動而不下沈至細胞質內？更何況依我們的觀察，細胞膜根本不曾動過。

由我們的實驗可知，矽藻的黏液在運動中，擔任了相當重要的角色，若只剩 $0.2\mu$ 厚以下，其運動即完全停止，而酸和蛋白酶都

可降低其厚度，可見黏液必含蛋白質。除了蛋白質外，黏液也含 ethylglucuronic Acid，此酸分子中每一雙醣單元含有  $-\text{SO}_3^-$ ，故具有極強的負電荷，很容易吸在具有游離價的底質上。

根據最近對纖維囊細胞運動的研究，其細胞膜上有一種140 KD的蛋白質，作用似船槳，內與肌動蛋白連結，膜外則與一種黏液性的纖維連結素（Fibronectin）連結，而纖維連接素則與結締組織的膠質纖維結合。肌動蛋白滑動時，施力於槳蛋白，槳蛋白以細胞膜為支點，以纖維連結素為著力點，細胞即向肌動蛋白滑動的方向前進。

我們借有此理論，說明矽藻如何利用黏液在底質中運動。

## 六、結論

- (一) *S. robusta* var. *splendida* 的原生質由內腔經由脊管延伸至側脊上的縱溝，原生質以細胞膜與外界接觸，原生質可在膜內流動。
- (二) 矽藻縱溝會分泌蛋白醣質黏液，做為吸附底質的介質。
- (三) 在縱溝上的細胞膜可能具有槳蛋白質，內與細胞內肌動蛋白連結，外以黏液做介質，利用此一吸附力作反作用力移動。
- (四) 黏液沿側脊縱向後流至極結節的小孔部位時，可能有大部分的黏液被胞飲至細胞質中，以符經濟原則，故後端常有石粒聚集而在側脊上卻從未發現（底棲性的蝸蟲也以分泌黏液為介質，以腹部纖毛為驅動裝置）。
- (五) 縱溝內的原生質流動只供應能量給肌動蛋白滑動。

## 七、參考資料

- (一) Harold C Bold: Morphology of Plants 1973 3rd Ed.
- (二) 水野壽彥：日本淡水浮游生物圖鑑。
- (三) 柳田友道：微生物科學



(四)Hynes, R.O : Fironectin : Sientific American, 1986 Jun

(五)中山科學大辭典五、七、八冊

(六)高中生物教師手冊第一冊

(七)高橋甫等：微生物學

(八)Botony An Introduction to Plant Biology。

## 評語

對矽藻的構造作詳細的觀查和瞭解，並推論構造與運動的可能關係，有構想，但實驗印證不夠充足。