

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：高頻電磁波對基本生命單元的影響及探討

關 鍵 詞：電磁輻射、單元細胞生命體、屏蔽效應

編 號：030111

學校名稱：

臺南市立復興國民中學

作者姓名：

傅冠豪

指導老師：

吳家增



摘要

本研究探討高頻電磁場作用對單元細胞生命體作用的影響與電磁屏蔽環境的保護效能。實驗研究使用酵母菌和雄雞精子，施加 20KHz 至 1MHz 電磁場，並系統化在不同選定頻率下，以不同時間施加電磁作用，觀察電磁輻射對動物精子和菌類生命活動各有何影響。本實驗比較乾酵母菌粉與潮濕活化酵母菌受電磁作用狀態，以瞭解休眠狀態中的生物體對電磁波有沒有保護作用。進一步使用鐵磁性金屬與非鐵磁性非金屬物質，作成完全密閉及部分遮蔽容器，探討電磁屏蔽環境的保護效能。

歸納實驗觀察結果得到：(一)受電磁場作用的潮濕活化酵母菌比沒有受電磁場作用的酵母菌，對葡萄糖溶液的發酵能力明顯減弱。(二)電磁場作用在乾酵母菌粉，對葡萄糖溶液的發酵能力有點變弱，但是並沒有明顯衰竭。(三)施加電磁場的雞精子生命活動力明顯地比沒有施加電磁場者還要弱。(四)施加較高頻率電磁場的雞精子生命活動力比施加較低頻率電磁場者易提早衰竭。於電磁屏蔽環境實驗結果歸納得到：(一)使用鐵磁性金屬完全密閉容器，能有部分電磁防護效能。(二)鐵磁性金屬之部分遮蔽容器，會有些許電磁保護功能，但是並未十分有效。(三)非鐵磁非金屬之紙黏土物質作成完全密閉及部分遮蔽容器，則幾乎不具有電磁保護作用。

上述結果進一步結論：(一)電磁波輻射對動物精子和菌類的生命活動力都有負面影響。(二)休眠狀態中的菌類生物對電磁輻射具有明顯的保護作用。(三)較高頻率的電磁場會對動物精子活動力造成較高的衰竭影響。(四)使用鐵磁性金屬作成完全密閉容器，才能有良好電磁作用防護效能，而作成部分遮蔽容器，則未具有完全保護作用。另外，本實驗還發現，電磁場作用對動物細胞造成生理機能的破壞，是隨著電磁場作用的時間漸漸累積而衰微，並不是突變式的破壞。這告訴我們在使用方便的無線通訊和高速電子運算的時候，除需避免長時間曝受高頻電磁場作用外，應該留意如何有效屏蔽或減少電磁場的作用。

一、研究動機

人和各類生物不能避免活在電磁場作用的環境裡！尤其因為現在是無線通訊的時代，大哥大被許多人普遍的使用，為了使無線通訊更有效率、方便，到處都密集建設各式各樣的基地台。而且在電腦資訊處理也講究速度快，目前也已經達到每秒十億訊息量的頻率，因此高速電訊在運作處理時會產生的高頻率電磁輻射。另外，像微波爐等許多的生活電器用品，也會發出高頻率的電磁波。這些高頻率的電磁場，就像空氣和地球靜磁場一般的在我們周遭存在，所以不容易被知覺。

那麼電磁波對生物有沒有產生任何影響呢？閱讀生物進化的相關研究報導就可以知道，生命體的演化，其中有一部份是和電磁波和粒子輻射的影響有關。許多與電磁波輻射相關的研究，都報導電磁波會使生物發生病變、基因突變；電磁波不只影響細菌等微生物，甚至到哺乳類的大型動物，都有可能受到電磁波影響到他們的生理或生命活動。但是也有少部份的報導，大哥大的電磁波並沒有發現會對人產生負面的影響！請教相關的專家來得知，最近有份研究，整理了許多已發表的報導，綜合結論就是：還沒有確定電磁波會不會對人體和生物產生負面的作用！

電磁波到底對生物有沒有負面影響呢？到底電磁波對生物體有沒有關聯，是什麼關聯呢？另外，在生物科也學習到，菌類在惡劣的環境中會行成孢子囊，變成休眠狀態保持生存延續。那麼，電磁波對休眠狀態中的生物體有沒有作用呢？電磁波對動物生存延續又有什麼影響呢？因為好奇心使我想要獲得答案，想嘗試用比較容易控制的微生物，例如：酵母菌…等，來著手進行研究；至於動物部份，又想到許多動物的精子細胞，在離開生物體後的生命很短，可能會對電磁波很敏感，所以可以考慮作為實驗研究的樣品。

另一方面，由過去閱讀的科學小百科等書籍得知，完全密閉的金屬容器，可以屏蔽電磁場，即在密閉的金屬容器內的物體以避免電磁波作用；

法拉第曾有著名的實驗，人坐於金屬導體殼層內，施以高電壓而人絲毫未受損傷，因此用以屏蔽電磁場的密閉金屬容器，也被稱為法拉第容器。查閱相關電磁波防護資料，知道目前多數市售所謂大哥大電磁波保護器件，大都是使用具有鐵磁性質的材料，將電磁波的輻射由鐵磁材料侷限著，但是對於其實際電磁屏蔽的功能，多數未被嚴謹驗證。我好奇的想瞭解怎樣的結構才能有效的防護電磁波作用，是否一定需要密閉金屬容器才能完全屏蔽電磁波作用，或是部分遮蔽和其他非金屬物質也可以有相同效能。而本研究中，單元細胞生命體受高頻電磁場作用的現象，正可檢驗材料與結構性質對電磁波屏蔽作用的效果。



電磁輻射對細胞作用的卡通示意圖

在電磁輻射對細胞作用的卡通示意圖中，擬呈現電磁輻射對細胞的影響情形，以此做為我研究的方向，應是可行的。

「心動不如馬上行動」，我要藉由這次科展的機會，親自實驗探討高頻電磁波對基本生命單元的作用影響和探討幾種電磁屏蔽環境的保護效能！

二、研究目的

在無線通訊與高速電子資訊的時代，人和各類生物體不能避免活在高頻電磁場作用的環境裡。雖然有許多電磁波輻射相關研究報導，電磁波會對生物產生負面影響，但是仍然也有少部份報導不會明確對生物產生負面作用，因此我想親自動手實驗來觀察瞭解，電磁波對生物體生命作用的影響。而電磁波防護是近來越被重視，怎樣的材料和結構會有怎樣地效屏絕電磁波輻射作用，也是我想配合本實驗研究探討的目的。

本研究因此針對電磁波對於單元細胞生命體作用影響從事實驗觀察。採用單元細胞體，如原生細胞類生物和動物的精子細胞，是因其為生物體繁殖和生存延續的基本單元，又可能對電磁波作用較敏感，適合作為電磁波作用影響研究的題材；而且菌類具有休眠狀態，又可以選採適當種類樣品，觀察電磁輻射對它休眠狀態的生命力是否有影響。為了方便進行實驗觀察安排，我嘗試使用比較容易獲得和控制的微生物，例如：酵母菌和動物精子等，來著手進行研究。實驗上將對乾燥的酵母菌、經活化的酵母菌和動物精子，各施加不同頻率電磁波，並且系統化施以不同電磁作用時間，以達成(一)觀察比較電磁波輻射對動物精子和菌類單元生命體生命活動各有什麼影響。(二)瞭解休眠狀態中的菌類生物對電磁輻射是不是仍然能具有保護作用。(三)不同頻率電磁場對動物精子生命活動的影響。

為了解屏蔽電磁輻射的作用，因此進一步使用鐵磁性金屬與非鐵磁性非金屬物質，作成完全密閉及部分遮蔽容器，探討電磁屏蔽環境的保護效能。以明白是否一定需要密閉金屬容器才能完全屏蔽電磁波作用，或是部分遮蔽和其他非金屬物質也可以有相同效能。而本研究中，單元細胞生命體受高頻電磁場作用的現象，正可檢驗幾種材料與結構性質對電磁波屏蔽作用的效果。而本部分實驗又可模擬種子藏置於高金屬成分岩礦中，能否有效保護成長因子以免受到電磁作用而變異，另一方面並可探討對人類在大量使用高頻器件時，應如何如何有效屏蔽或減少電磁場的作用。

三、實驗樣品和器材

(一)實驗樣品

為了探討電磁波對於單元細胞生命體作用影響；瞭解休眠狀態中的生命體對電磁波輻射是不是仍然能具有保護作用、比較電磁波輻射對動物和非動物單元生命體生命活動的影響、比較不同電磁波輻射頻率對生命活動的作用…等實驗目的，本實驗使用比較容易獲得和對電磁波輻射反應比較敏感的生物樣品，就是發酵麵粉使用的酵母菌和健康公雞的精液來著手進行研究。發酵麵粉使用的酵母，又分成乾燥的酵母粉和經活化過的酵母團，這次實驗兩者皆採用以作觀察比較。

所以實驗樣品使用三類，就是：

1. 乾燥的酵母粉實驗樣品：

這次實驗在一般超級市場購買到酵母菌粉，是一種冷凍乾燥發酵菌粉，有白色粉粒狀（如下圖），是高活化性發酵乳酸菌粉，含雙叉發酵桿菌，又可以作成自製發酵乳飲料。



乾燥發酵菌粉具白色粉粒狀

2. 活化溼酵母團實驗樣品：

活化酵母菌樣品來源有兩類：第一類是將乾酵母菌粉加入麵粉和溫水攪拌均勻活化，有淡黃色類似麵粉團狀（如左下圖）。第二類是從製作麵包商店購買的潮濕酵母菌團。這是一種潮濕的酵母菌團、高活化性發酵乳酸菌，是麵包及糕餅店專門使用的、用來高效率發酵麵粉使用。麵包店在製作麵包時，將這個活化溼酵母團加適量溫水稀釋後，混入高筋麵粉，再用機器均勻混合。這次研究中的第二類潮濕酵母菌團，效能會比第一類的潮濕酵母菌團好，能提供實驗參考使用。

3. 公雞精子實驗樣品：

則由臺南縣新化鎮台南畜產試驗所提供。公雞精子離開本體後的生命存活時間只有 12 小時，畜產試驗所一般在早晨採集，樣品取得之後，必須馬上進行實驗觀察，不能放置很久。在顯微鏡底下可以看到每一單位的精蟲，都有橢圓形的主體，而並帶有捲長的尾巴，剛採集新鮮的公雞精子，生命活動力很強，捲長的尾巴彎曲擺動得十分活躍，但是隔了大約半天後，公雞精子的生命活動力變弱，捲長的尾巴仍然會彎曲擺動，但是比較緩慢而且不活躍。



活化溼酵母團



公 雞 精 子

為了比較高頻電磁場對實驗樣品生命活動現象的影響，上面各實驗樣品都分成：(1)受高頻電磁場作用組、(2)沒有受高頻電磁場作用組。

(二)實驗器材

為了對實驗樣品施以高頻電磁場作用，所以需要使用能改變電磁波輻射頻率和作用時間…等實驗目的的高頻電磁儀器。要觀察酵母菌實驗樣品生命活動現象，如對醣類發酵作用，就是將醣類分解為酒精與二氧化碳的過程，所以需要使用到化學實驗觀察量測反應生成物的器材，如燒杯、錐形瓶、石灰水等。另一方面，這次實驗也觀察雞精子，受高頻電磁場作用時的生命活動現象，所以需要顯微鏡從事觀察，並且製作細胞試片來進一步觀察分析。

將本實驗所使用到器材整理如下：

1. 蒸餾水……………700 克
2. 麵粉……………1 台斤
3. 酵母菌粉……………100 克
4. 活化酵母菌團……………600 克
5. 葡萄糖……………100 克
6. 石灰……………50 克
7. 燒杯……………2 杯
8. 保麗龍……………40 立方公分
9. 橡皮管……………4 條
- 10.錐形瓶……………4 瓶
- 11.玻璃棒……………4 枝
- 12.酒精溫度計……………4 枝
- 13.光學顯微鏡……………1 組
- 14.阻抗量測儀……………1 組

註：阻抗量測儀：本實驗中作為施加高頻電磁場的儀器，向高雄師範大學固

態物理實驗室傅昭銘教授借來使用，由此實驗室研究生教導與協助操作使用。



水、燒杯



麵粉



酵母粉



葡萄糖



石灰



橡皮管



保麗龍、溫度計



乾酵母 A 組



乾酵母 B 組



活化酵母 C 組



活化酵母 D 組



各組發酵裝置



各組顯微鏡觀查試片



顯微鏡



阻抗量測儀

為了解屏蔽電磁輻射的作用，因此進一步使用鐵磁性金屬與非鐵磁性非金屬物質(紙黏土)，製作成完全密閉及部分遮蔽容器，以探討電磁屏蔽環境的保護效能。為能定量分析討論此部分研究，電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之重量變化。

將本部分實驗所使用到器材整理如下：

1. 電子微量天平……………1 座
2. 電腦介面讀取軟體……………1 組
3. 鐵盒和鐵罐……………數個
4. 紙黏土團……………數塊



電子微量天平



電腦介面讀取軟體



酵母團



密閉鐵盒(開啟)



密閉鐵盒



紙黏土製成容器



含碎鐵片紙黏土容器



鐵罐



碎鐵片

註：電子微量天平和電腦介面讀取軟體，向高雄縣路竹高中借得使用。

四、實驗步驟及結果討論

(一)研究步驟與方法

這次實驗目的是探討高頻電磁場對於單元細胞生命現象作用的影響。在實驗時使用酵母菌和雞的精液著手進行電磁場作用和觀察生命活動現象，來比較電磁波輻射對菌類微生物和動物單元細胞生命活動的影響。為了更進一步使用乾燥的酵母粉和經活化過的酵母團兩類，來比較休眠狀態的乾燥酵母對電磁波輻射是不是比活化酵母更有保護作用。本實驗將使用阻抗量測儀對樣品施加高頻電磁場，實驗進行的步驟，可以歸類成以下幾點：

1. 首先從事改變電磁波的頻率實驗：

也就是系統化由小變大改變施加樣品電磁波的頻率。阻抗量測儀本身除了能對樣品施加高頻電磁場以外，還可以同時量測樣品吸收多少電磁場能量。從這個實驗結果可以提供選擇適合的頻率，使不同樣品吸收電磁場能量能夠相近；避免電磁場能量被樣品吸收不同而影響到實驗的正確性。然後，從事電磁波輻射對乾燥酵母菌、活化酵母菌、雞精子的生命活動影響實驗。

2. 電磁場對乾燥酵母菌作用實驗：

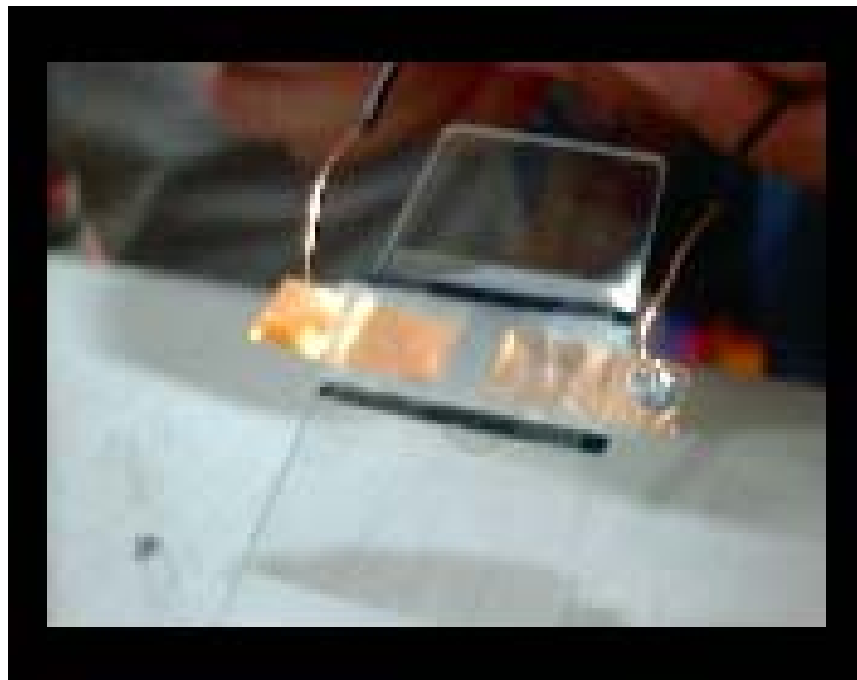
將乾酵母菌實驗樣品都分成兩個部份：(1)是受高頻電磁場作用組、(2)沒有受高頻電磁場作用組。以被樣品吸收電磁場能量最大的頻率對(1)組施以電磁場能量，然後，(1)組和(2)組樣品，加入葡萄糖溶液活化，攪拌均勻並且製成活化樣品，(1)組和(2)組樣品的觀察生命活動現象。

3. 電磁場對活化酵母菌作用實驗：

活化酵母菌樣品是將乾酵母菌粉加麵粉及溫水攪拌均勻活化。這個部份實驗樣品也分成兩部份：(1)受高頻電磁場作用組、(2)沒有受高頻電磁場作用組。以被樣品吸收電磁場能量最大的頻率對(1)組施以電磁場能量，然後，(1)組和(2)組樣品，加葡萄糖溶液活化，攪拌均勻並且製成活化樣品，觀察(1)組和(2)組樣品生命活動現象。(另外，從製作麵包商店購買的潮濕酵母菌團也做同樣的實驗，供作參考。)

4. 電磁場對雞精子作用實驗：

首先以一般顯微鏡觀察生物樣品的玻璃片，加上自製的兩導電極片，並且以環氧樹脂膠塗玻璃片上，形成封閉環狀，雞精子樣品用吸管滴入玻璃片封閉環狀區，並且涵蓋到自製兩導電極片。以高頻率電磁場對雞精子作用，直接在顯微鏡下觀察，觀察不同時間電磁場作用對於雞精生命活動的影響。



雞精子實驗樣品，用吸管滴入玻璃並且涵蓋兩導電極片

所以將實驗以底下結構表示才方便明白。

1. 改變電磁場頻率實驗

電磁場(輻射)作用於乾燥酵母菌、活化酵母菌

=>選擇被各個樣品吸收電磁場能量的最大頻率，再使用在實驗上。

2. 電磁場對乾燥酵母菌作用實驗

乾酵母菌粉分成：

(1)受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動的現象。

(2)沒有受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

3. 電磁場對活化酵母菌作用實驗

活化酵母菌(乾酵母菌粉加麵粉及溫水攪拌均勻活化)。

(1)受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

(2)沒有受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

4. 電磁場對雞精子作用實驗

(1)高頻率電磁場對雞精子作用。

(2)直接在顯微鏡下觀察不同時間電磁作用下雞精的生命活動現象。

➤ 定量分析

以上第 2 與第 3 項之實驗，也同時使用電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之重量變化以作定量分析，並與屏蔽材料與結構對電磁輻射的屏蔽作用之實驗結果比較。

5. 屏蔽材料與結構對電磁輻射的屏蔽作用：

為了解幾種屏蔽材料與結構對電磁輻射的屏蔽作用，因此準備(1)完全密閉鐵盒、(2)製作的完全密閉紙黏土罐、(3)製作的兩端開啟的紙黏土罐、(4)將鐵罐減成碎鐵片，混以紙黏土製成完全密閉罐、(5)將鐵罐剪成碎鐵片，混以紙黏土製成兩端開啟的罐子、(6)將鐵罐戳剪成孔洞，但仍保持罐子結構、(7)將兩端開啟孔洞鐵罐。

再將活化酵母團懸置其中。個別進行電磁場對活化酵母菌作用實驗，再為能定量分析此部分研究結果，使用電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之重量變化。

實驗步驟與內容如下：

1. 幾種屏蔽材料與結構準備

- | | |
|-------------------|------------------|
| (1)完全密閉鐵盒 | (鐵磁性材料和密閉結構) |
| (2)完全密閉紙黏土罐子 | (非鐵磁性材料和密閉結構) |
| (3)兩端開啟的紙黏土罐子 | (非鐵磁性材料和不完全遮蔽結構) |
| (4)含鐵碎片混紙黏土完全密閉罐子 | (混合鐵磁性材料和完全遮蔽結構) |
| (5)含鐵碎片混紙黏土兩端開啟罐子 | (混鐵磁性材料和不完全遮蔽結構) |
| (6)將鐵罐戳剪成孔洞罐子 | (鐵磁性材料和不完全遮蔽結構) |
| (7)將兩端開啟孔洞鐵罐 | (鐵磁性材料和不完全遮蔽結構) |

2. 電磁場對活化酵母菌作用實驗

活化酵母菌(乾酵母菌粉加麵粉及溫水攪拌均勻活化)，再懸置容器中。

(1)受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

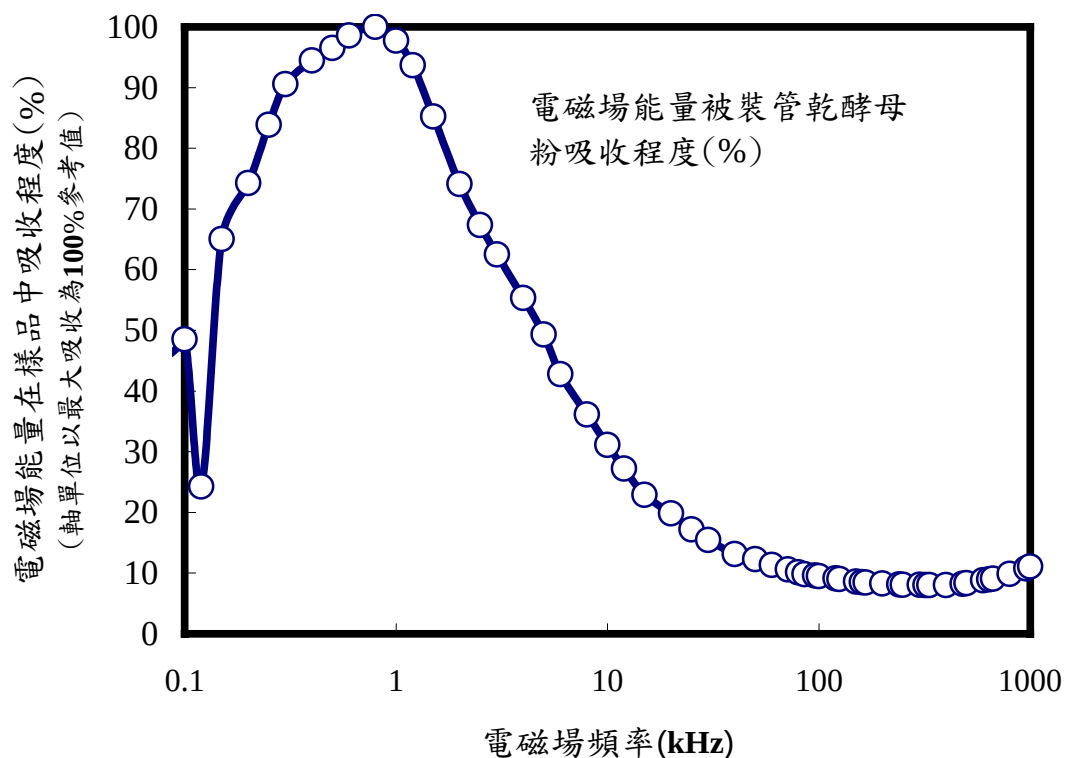
(2)沒有受電磁場作用組：葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

為能定量分析討論此部分研究，電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之重量變化。

(二)實驗結果與討論

1. 改變電磁波的頻率實驗結果：

系統化的由小變大改變施加樣品電磁波的頻率。阻抗量測儀本身除了能對樣品施加高頻電磁場以外，還可以同時量測樣品吸收多少電磁場能量。為了從事電磁場對乾燥酵母菌粉作用實驗，必須先將乾燥酵母菌粉裝入小徑口的玻璃管內，用做好一端有電極、並且中間穿孔的橡皮塞，將酵母菌粉末的樣本緊壓在玻璃管中。橡皮塞有電極的一端壓住樣品，並且由電極從橡皮塞的中孔，接線到阻抗量測儀。下圖為，由較低頻率(100Hz)系統化增加到較高頻率(100kHz)，阻抗量測儀測量得到的電磁場能量被樣品吸收的程度。



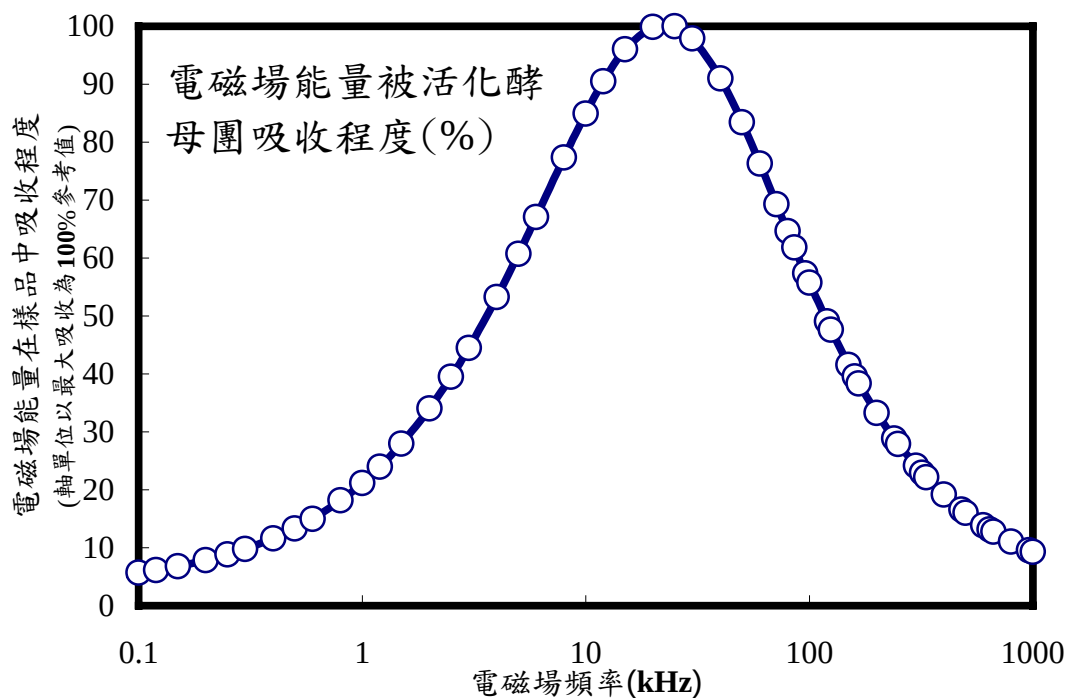
電磁場能量被裝管乾燥酵母粉吸收程度和頻率的關係圖

從電磁場能量被裝管乾燥酵母粉吸收程度和頻率的關係圖，可以發現：(1)當電磁場頻率由最低頻率(100Hz)增加時，電磁場能量被樣品吸收程度也漸漸增高。(2)到達電磁場頻率約 1kHz 時，電磁場能量被樣品吸收程度最高。(3)當電磁場頻率再繼續增加時，電磁場能量被樣品吸收程度反而逐漸減少。

針對解釋當電磁場頻率約 1kHz 時，電磁場能量被樣品吸收程度最高的這個現象，經過與專業研究的經驗者討論，可能是酵母粉粒樣品的吸收為主要，樣品本身是不良導電的顆粒，然而最有可能的解釋是所謂的介電吸收。當然研究樣品顆粒大小和獲得真正酵母細胞共振吸收頻率關係是很值得以後繼續研究時弄明白的。

下圖則是相同實驗方法，但是樣品改成從麵包製作商店購買的的潮濕活化酵母菌團。從圖中可以明顯觀察到，由較低頻率(100Hz)系統化增加到較高頻率(1000kHz)時，阻抗量測儀測量得到的電磁場能量被樣品吸收多少的程度為，(1)由當電磁場頻率由最低頻率(100Hz)增加時，電磁場能量被樣品吸收程度也漸增高。(2)到達電磁場頻率約 35kHz 時，電磁場能量被樣品吸收程度最高。(3)由當電磁場頻率再繼續增加時，電磁場能量被樣品吸收程度反而逐漸減少。

電磁場能量被潮濕活化酵母菌團吸收程度最高頻率約為 35kHz，和乾燥酵母粉不同，在電磁場頻率約 1kHz 時，電磁場能量被乾燥酵母粉吸收程度最高。這點提示，吸收程度的最高頻率值與酵母菌細胞吸收比較沒有直接相關，而是和酵母樣品的粉狀粒或潮濕麵粉混入物質分子鏈結等比較相關。兩類樣品在頻率為 1000kHz 時，對電磁場能量的吸收的程度相近，因此選擇這個頻率作為後續實驗參考使用。



電磁場能量被潮濕活化酵母粉吸收程度和頻率的關係圖

2. 電磁場對酵母菌作用實驗結果：

這個部份的敘述內容，是綜合整理電磁場對乾酵母菌和活化酵母菌作用兩部份實驗的結果。乾酵母菌和活化酵母菌實驗樣品都分成兩部份：(1)受高頻電磁場作用組、(2)沒有受高頻電磁場作用組。(1)組用被樣品吸收電磁場能量最大的頻率對乾燥酵母菌粉和濕活化酵母團作用。然後，受高頻電磁場作用的(1)組和沒有受高頻電磁場作用的(2)組樣品，加入葡萄糖溶液活化，攪拌均勻並且製成活化樣品，觀察生命活動現象。

(1)實驗作法詳細的敘述：

酵母菌粉樣品取 **80 克**，等分成 **4 等份**，每組 **20 克**，各標示為：

A：乾酵母菌粉 **20 克**，並且將乾燥酵母菌粉裝入大徑口燒杯中，將做好電極用雙面膠帶貼在燒杯底端，酵母菌粉末緊實壓在電極上。並且使用高頻電磁場(**1000kHz**)對乾酵母菌粉作用一小時。

B：乾酵母菌粉 **20 克**，不受到高頻電磁波作用，作為對照組。

C：乾酵母菌粉 **20 克**，加麵粉及溫水攪拌均勻活化。使用高頻電磁場(**1000kHz**)對濕酵母菌團作用一小時。

D：乾酵母菌粉 **20 克**，加麵粉及和溫水攪拌均勻活化。不受高頻電磁波作用，作為對照組。

A、B、C、D 各組如下圖：



A



B



C



D

然後，對上面四組樣品酵母菌發酵作用進行觀察。觀察酵母菌發酵作用，先用 250 克的水加上 50 克的葡萄糖，製作出 1：6 重量比的葡萄糖溶液。再取 50 克的葡萄糖溶液，各放入四支錐形瓶中。並且拿 A、B、C、D 四組樣品放入錐形瓶中。每支錐形瓶都有連接橡皮管，橡皮管連接到裝有 50 克石灰水的容器中。石灰水是用 5 克石灰加上 200 克水製造而成。



葡萄糖溶液：250 克的水+50 克的葡萄糖=>4 杯各取 50 克的葡萄糖溶液



四組樣品酵母菌實驗裝置的照片

(2) 酵母菌發酵作用觀察記錄：

A 組

時間(時:分)	觀 察 現 象	註：室溫 24℃
0:00	乳黃，石灰水無色，無氣泡，溫度 27℃。	
0:36	乳黃，石灰水無色，開始有少許氣泡，溫度 28℃。	
0:49	乳黃，石灰水無色，有很多氣泡，溫度 29℃。	
0:50	乳黃，石灰水開始混濁，有很多氣泡，溫度 29℃。	
0:56	乳黃，石灰水非常混濁，有很多氣泡，溫度 29℃。	
0:56	乳黃，石灰水非常混濁，有很多氣泡，有酒精味，溫度 29℃。	
1:13	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色，有很多氣泡，有酒精味，溫度 28℃。	
1:34	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色並有一點稠稠的，有很多氣泡，有酒精味，溫度 28℃。	
2:50	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色並有一點稠稠的，氣體開始消去，有酒精味，溫度 28℃。	

B 組

時間(時:分)	觀 察 現 象
0:00	乳黃，石灰水無色，無氣泡，溫度 27℃。
0:06	乳黃，石灰水無色，開始有少許氣泡，溫度 28℃。
0:47	乳黃，石灰水無色，有很多氣泡，溫度 29℃。
0:53	乳黃，石灰水開始混濁，有很多氣泡，溫度 29℃。
1:07	乳黃，石灰水非常混濁，有很多氣泡，溫度 29℃。
1:07	乳黃，石灰水非常混濁，有很多氣泡，有酒味，溫度 29℃。
1:16	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色，有很多氣泡，有酒精味，溫度 28℃。
1:45	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色並有一點稠稠的，有很多氣泡，有酒精味，溫度 28℃。

	氣泡，有酒精味，溫度 28℃。
3:00	乳黃，石灰水非常混濁呈乳白色並有一點稠綢的，氣體開始消去，有酒精味，溫度 28℃。

C 組

時間(時:分)	觀 察 現 象
0:00	乳黃，石灰水無色，無氣泡，溫度 27℃。
0:30~3:45	完全沒有明顯變化。
4:00	還是沒有明顯變化。

D 組

時間(時:分)	觀 察 現 象
0:00	乳黃，石灰水無色，無氣泡，溫度 27℃。
0:03	乳黃，石灰水無色，開始有少許氣泡，溫度 27℃。
0:15~1:30	乳黃，石灰水開始混濁，有少許氣泡，溫度 28℃。
1:45~4:00	乳黃，石灰水呈混濁乳白色，有多些氣泡，有微似酒精味，溫度 28℃。

☞ 以上內容為實驗結果之定性敘述，為能**定量分析**以作分析討論，因此本實驗也**使用電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之重量變化**。該結果將呈現於後，並與**屏蔽材料與結構對電磁輻射的屏蔽作用**之實驗結果比較。

(3)從這個實驗現象的觀察結果可以歸納得到：

- ① 從比較 A 與 C 的實驗結果，電磁場作用在潮濕活化酵母菌比乾酵母菌粉受電磁場作用，對葡萄糖溶液的發酵能力明顯變弱，石灰水混濁程度和酒精氣味產生量皆減少。
- ② 從比較 C 與 D 的實驗結果，有受電磁場作用的潮濕活化酵母菌比沒有受電磁場作用的，對葡萄糖溶液的發酵能力有所變弱，前者石灰水混濁和酒精氣味產生時間相對需要較久。

上面敘述的結果所得到的理解是，C 組潮濕活化酵母菌因為受到電磁場的作用，生理機能大量被破壞，所以發酵反應最不明顯。雖然 A 組的酵母菌也有受到電磁場作用，但是 A 組是休眠狀態中的乾酵母菌，在形成孢子囊的休眠狀態會使生理機能比較有保護作用，才沒有被嚴重破壞，所以經過活化後，仍然有明顯的發酵反應。

但是這部份的實驗，我們又注意到，D 組(乾酵母菌粉先加少量麵粉及溫水叫辦均勻活化)進行發酵作用發酵的程度會比 A 組和 B 組還要來得差，而且釋放出氣體更多。為了確定實驗結果，也另外使用製作麵包商用的潮濕活化酵母團，重覆驗證。樣品同樣也分成受高頻電磁場作用組和沒有受高頻電磁場作用組，然後，加入葡萄糖溶液活化後觀察生命活動現象。結果仍然得到：受電磁場作用的潮濕活化酵母菌比沒有受電磁場作用的，對葡萄糖溶液的發酵能力還要弱。

(4)從顯微鏡下觀察：

為了觀察酵母菌發酵過程中繁殖情況，因此將上面四組樣品用吸管拿到畫有紅墨水字的載玻片上，用顯微鏡每 1 小時觀察。結果整理如下：

組別 時間(時)	A	B	C	D
0	觀察面有酵母菌。	觀察面有酵母菌。	觀察面有酵母菌。	觀察面有酵母菌。
1	有少許氣泡產生，酵母菌數量逐漸減少。	少許氣泡產生，酵母菌數量減少，而且紅墨水有被溶解現象。	看到的酵母菌數沒有太大改變。	沒氣泡產生，反而可以明顯看到酵母菌數增加。
2	氣泡越來越多，酵母菌數量卻逐漸減少。	氣泡越來越多，可以看到酵母菌數明顯減少。	酵母菌並沒有太大改變。	酵母菌有明顯增加。
3	氣泡越來越多，可以看到酵母菌數明顯減少。	可以看到酵母菌數明顯減少，紅墨水被溶解的現象越來越明顯。	酵母菌並沒有太大改變。	酵母菌數同前未再太大改變。
4	許多小氣泡聚成一個大氣泡。	可以看到的酵母菌數只剩不多。	酵母菌並沒有太大改變。	酵母菌數同前未再太大改變。

根據上面顯微鏡觀察結果來推理，C 組受到電磁場作用的潮濕活化酵母菌發酵反應最不明顯，是因為活化酵母菌細胞的生理機能被破壞，並不是活化酵母菌被完全破壞死亡，剩餘的數量比較少而且反應比較慢。雖然 D 組的酵母菌沒有受到電磁場作用，發酵反應產生的氣體產量不明顯，但是沒有觀察到氣體遮蔽到酵母菌，反而可以明顯觀看到酵母菌數增加。推測可能這組的發酵反應不明顯是因為，樣品在第一次活化時沒有完整，導致第二次活化時的能力減弱，但是還需要進一步的實驗確證。

3. 電磁場對雞精子作用實驗結果：

這部份的實驗，首先用一般顯微鏡觀察生物樣品的玻璃片，加上自製的兩導電極片，並且以環氧樹脂膠塗玻璃片上，形成封閉環狀，雞精子樣品用吸管滴入玻璃片封閉環狀區，並且涵蓋到自製的兩導電極片。用高頻率電磁場對雞精子作用，直接在顯微鏡下觀察，並且觀察不同時間電磁場作用對於雞精的生命活動現象。

在顯微鏡底下可以觀看到每一單位的精蟲，都具有橢圓形的主體，並且帶有捲長的尾巴，剛採集的新鮮公雞精子，生命活動力很強，捲長的尾巴屈卷擺動十分活躍。而生命活動力變弱的公雞精子，捲長的尾巴有屈卷的現象，但是擺動得比較緩慢不活躍。分別使用 **1kHz**、**100kHz**、**1000kHz** 的高頻電磁場頻率對雞精子作用，在顯微鏡下觀察，歸納的結果是：

- ① 雞精的活動力，隨著施加電磁場的時間增加，生命活動力明顯得比較沒有施加電磁場者還弱，就是尾巴屈卷程度變得比較直，而且尾巴擺動比較緩慢不活躍。
- ② 雞精的活動力，隨著施加電磁場頻率增加，比施加較低電磁場頻率得還弱；比較施加相同電磁場時間，施加比較高的電磁場頻率它的尾巴屈卷比較直，尾巴擺動也提早緩慢不活躍，(見下圖)。



100KHz 電磁場施以 6min



1000KHz 電磁場施以 6min

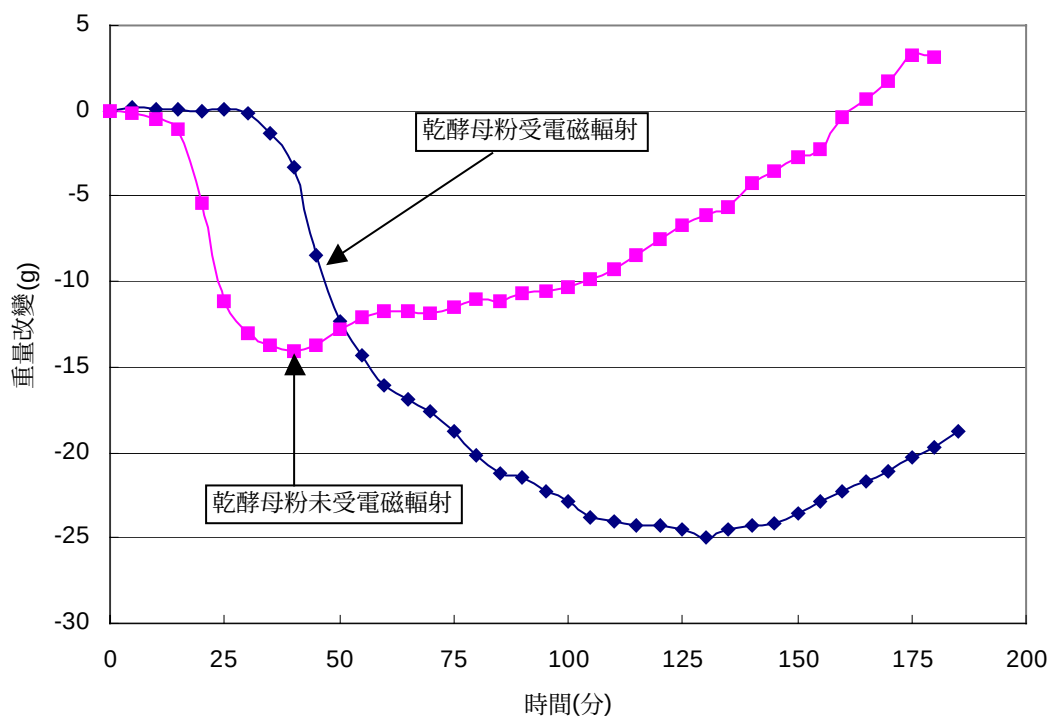
4. 酵母發酵定量分析結果與電磁輻射屏蔽作用實驗分析：

電磁場對乾燥酵母菌作用定量分析結果

前述本研究為探討電磁場對乾燥酵母菌作用，將乾酵母菌粉分成：

- (1)受電磁場作用組=>葡萄糖溶液活化，觀察生命活動的現象。
- (2)沒有受電磁場作用組=>葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

為定量分析結果，乃使用電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水發酵作用之溶液重量變化。實驗結果表示如下圖：



乾燥酵母菌未受或受電磁場作用後進行發酵作用之溶液重量隨時間變化圖

由此圖可以觀查到，乾燥酵母菌未受或受電磁場作用後與葡萄糖水進行發酵作用之重量隨時間變化之結果：

(1)其中未受電磁場作用之乾燥酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之重量，隨時間先減少，至某重量最少變化後又漸增加。

乾燥酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之重量剛開始隨時間減少，係因為發酵作用使葡萄糖之碳與空氣中氧氣作用，產生二氧化碳之氣體發散到空氣中，使得酵母菌與葡萄糖溶液重量減輕。但因為酵母菌進行發酵作用獲得養分而增生，起初酵母菌增生之重量較葡萄糖之碳減輕之重量較少，某時間後則酵母菌增生之重量較葡萄糖之碳減輕之重量為多，因此溶液重量則回升。

(2)受電磁場作用之乾燥酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之重量，也是先隨時間減少，至某重量最少變化後又漸增加。

①但開始減少的時間比未受電磁場作用之乾燥酵母菌發生較慢。

②與葡萄糖水進行發酵作用之重量，隨時間先減少之變化率則與未受電磁場作用者相近。

③溶液重量回升部分則較未受電磁場作用者慢。

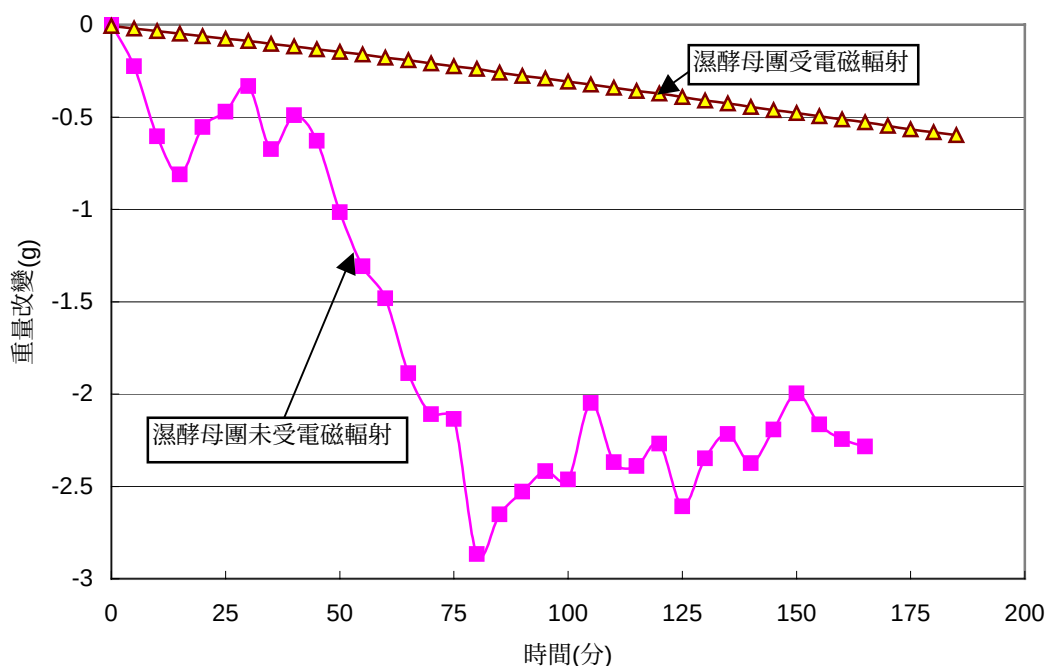
比較乾燥酵母菌未受或受電磁場作用後進行發酵作用之溶液重量隨時間變化實驗結果，說明乾燥酵母菌受電磁場雖未有明顯負面作用，但仍由定量實驗觀察得到部分差異。

電磁場對活化酵母菌作用定量分析結果

另一方面，本研究也從事將電磁場對活化酵母菌作用，酵母菌團分成：

- (1)受電磁場作用組=>葡萄糖溶液活化，觀察生命活動的現象。
- (2)沒有受電磁場作用組=>葡萄糖溶液活化，觀察生命活動現象。

電子微量天平讀取酵母與葡萄糖水作用之溶液重量變化表示如下圖：



活化酵母菌未受或受電磁場作用後進行發酵作用之溶液重量隨時間變化圖

由此圖可以觀查到，活化酵母菌未受或受電磁場作用後與葡萄糖水進行發酵作用之重量隨時間變化之結果：

- (1)其中未受電磁場作用之活化酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之重量，隨時間先減少，至某重量最少變化後又漸增加。

此與乾燥酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之重量隨時間變化之結果相似，係因為發酵作用使葡萄糖之碳與空氣中氧氣作用，產生二氧化碳之

氣體發散到空氣中，使得酵母菌與葡萄糖溶液重量減輕。但因為酵母菌進行發酵作用獲得養分而增生，起初酵母菌增生之重量較葡萄糖之碳減輕之重量較少，某時間後則酵母菌增生之重量較葡萄糖之碳減輕之重量為多，因此溶液重量則回升。

(2)受電磁場作用之活化酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之溶液重量，隨時間減少，直至量測將近三小時後溶液重量未見回升。

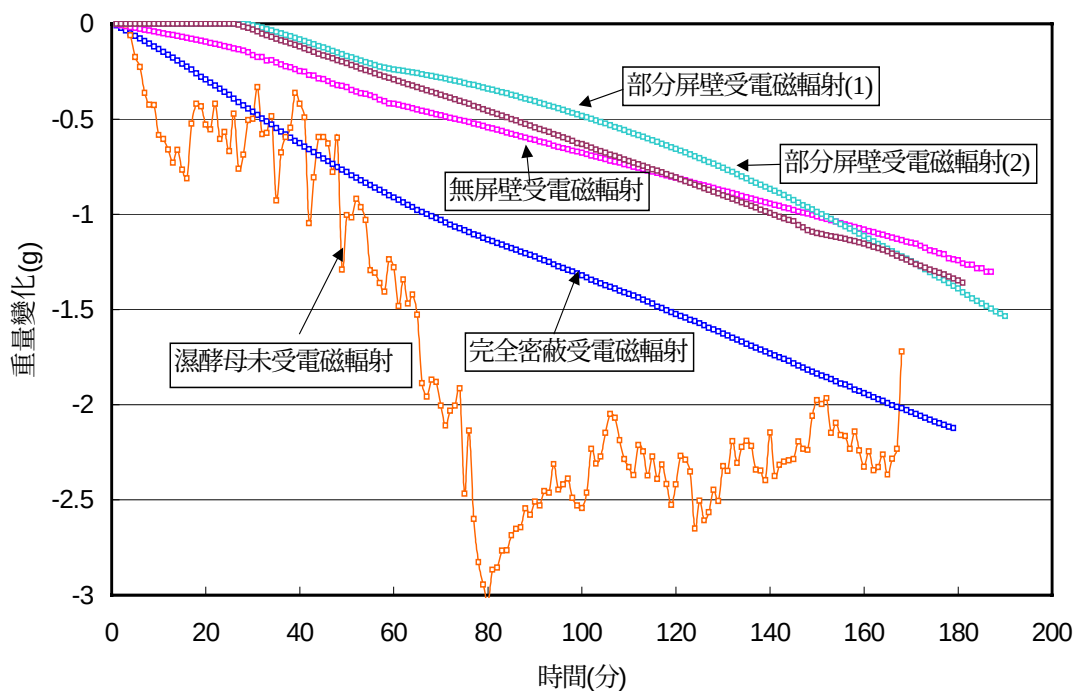
且活化酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之溶液重量，隨時間減少之變化率則與未受電磁場作用者相比緩慢甚多。說明活化酵母菌受電磁場而有明顯負面作用，整體上大大減低執行發酵之能力。

各類電磁射屏蔽對活化酵母菌受電磁輻射作用定量分析結果

本研究在進行屏蔽材料與結構對電磁輻射的屏蔽作用之實驗，使用下列幾種屏蔽材料與結構：

- (1) 完全密閉鐵盒 (鐵磁性材料和密閉結構)
- (2) 完全密閉紙黏土罐子 (非鐵磁性材料和密閉結構)
- (3) 兩端開啟的紙黏土罐子 (非鐵磁性材料和不完全遮蔽結構)
- (4) 含鐵碎片混紙黏土完全密閉罐子 (混合鐵磁性材料和完全遮蔽結構)
- (5) 含鐵碎片混紙黏土兩端開啟罐子 (混鐵磁性材料和不完全遮蔽結構)
- (6) 將鐵罐戳剪成孔洞罐子 (鐵磁性材料和不完全遮蔽結構)
- (7) 將兩端開啟孔洞鐵罐 (鐵磁性材料和不完全遮蔽結構)

這部分實驗僅使用對電磁輻射較有明顯作用的活化酵母團。將活化酵母團懸置容器中，繼而於容器兩端或表面外接電極，進行電磁場對活化酵母菌作用。相等作用時間(1hr)後，取出活化酵母菌團，在葡萄糖液進行發酵作用，再使用電子微量天平配合電腦介面讀取酵母與葡萄糖水作用之溶液重量變化。實驗結果整理如下圖：



上圖整理使用各種容器中從事電磁屏蔽目的實驗之結果，發現：

- (1) 使用完全密閉鐵盒作為電磁屏蔽容器，進行置於其內之活化酵母菌團施加電磁場，再與葡萄糖液進行發酵作用之重量變化，觀察到電磁場作用之活化酵母菌與葡萄糖水進行發酵作用之溶液重量，隨時間減少，直至量測將近三小時後溶液重量未見回升；溶液重量隨時間減少之變化率，則介於未受電磁場作用者和無屏蔽受電磁場作用者之間，（見上圖之「完全密蔽受電磁輻射」之實驗數據）。說明著，完全密閉鐵盒呈現部分屏蔽電磁場作用，而非完全將電磁場屏蔽。這點與理想的密閉金屬盒完全將電磁場屏蔽有差距，可能是本實驗使用之裝用菓糖容器材質未能完全屏蔽電磁場。
- (2) 含鐵碎片混紙黏土完全密閉罐子、含鐵碎片混紙黏土兩端開啟罐子、將鐵罐戳剪成孔洞罐子、將兩端開啟孔洞鐵罐，作為電磁屏蔽容器，進行置於其內之活化酵母菌團施加電磁場，再與葡萄糖液進行發酵作用之重量變化觀察，發現與電磁場直接作用於無屏蔽活化酵母團結果相近，但溶液重量隨時間減少之起始時間和變化率，則較無屏蔽受電磁場作用者為慢且些緩，（見上圖之「部分屏蔽受輻射」之實驗數據）。說明著，部分屏蔽含鐵金屬之容器無法有效將電磁場屏蔽。
- (3) 使用完全密閉紙黏土罐子和兩端開啟的紙黏土罐子作為電磁屏蔽容器，進行置於其內之活化酵母菌團施加電磁場，再與葡萄糖液進行發酵作用之重量變化觀察，發現與電磁場直接作用於無屏蔽活化酵母團結果相近。說明著該類容器完全無法將電磁場屏蔽。

五、結論

1. 從電磁場對酵母菌作用實驗，觀察酵母發酵作用現象可以歸納出：

- (1)電磁場作用對於潮濕活化酵母菌，比沒有受電磁場作用的，對葡萄糖溶液的發酵能力會變弱，前者石灰水混濁和酒精氣味產生相對需要較長久的時間。
- (2)電磁場作用對於乾酵母菌粉，比沒有受電磁場作用的，對葡萄糖溶液的發酵能力有一些變弱，但是沒有明顯衰竭，石灰水混濁程度和酒精氣味產生量都比受電磁場作用於潮的活化酵母菌還要多。
- (3)從顯微鏡觀察發酵反應結果推理，活化酵母菌受到電磁場作用發酵反應效率變得不明顯，（在這次實驗的電磁儀器可施加頻率範圍內），是因為活化酵母菌細胞生理機能被破壞，而不是酵母菌破壞死亡，剩餘數量較少，不過還是需要進一步實驗確證。

2. 從電磁場對雞精子作用實驗結果歸納：

- (1)隨著施加電磁場時間的增加，雞精生命活動力明顯的比沒有施加電磁場者還弱，尾巴屈卷程度變得比較直，而且活動較不活躍。
- (2)隨著施加電磁場頻率的增加，施加較高電磁場頻率的雞精生命活動力比施加較低電磁場頻率者更弱；施加高頻率電磁場的雞精，尾巴屈卷變直的時間提早，尾巴擺動也較早變得緩慢不活躍。

根據上面實驗結果歸納的結果，我們可以結論：

- (1)電磁波輻射對動物精子和菌類的生命活動力都有負面的影響。
- (2)休眠狀態中的菌類生物對電磁輻射比較有明顯的保護作用。
- (3)較高頻率電磁場對動物精子活動力會造成較明顯的衰竭影響。

另外值得提出的一點，在量測酵母菌與葡萄糖水發酵作用之溶液重量變化之定量實驗結果，仔細觀察比較乾燥酵母菌未受電磁場作用和受電磁場作用後，進行發酵作用之溶液重量隨時間變化之實驗結果，仍可觀察得到些許差異，亦顯示使用電子微量天平配合電腦介面定量分析之長處，可作為更深入探討之運用。此外，在顯微鏡實驗觀察中，雞精隨著施加電磁場時間的增加而逐漸不活躍，在這次實驗的電磁儀器可施加頻率範圍內，並沒有觀察到雞精有被破壞死亡的現象。因此，電磁場作用對動物細胞造成生理機能的破壞，也可能是由於較長電磁場作用時間而累積衰微，並不

是突變式的破壞。這次實驗提示我們在使用便捷的無線通訊和高速電子運算時，似乎也應該留意高頻率電磁場的屏蔽減少外，也應該盡量避免長時間的受高頻電磁場作用。

3. 各類電磁射屏蔽對活化酵母菌受電磁輻射作用定量分析結果歸納：

- (1)使用完全密閉鐵盒作為電磁屏蔽容器，呈現部分屏蔽電磁場作用，而非完全將電磁場屏蔽。
- (2)部分屏蔽之含鐵金屬容器，如戳剪成孔洞鐵罐子等作為電磁屏蔽容器，僅有些許的電磁場屏蔽效能。
- (3)而非金屬類，如使用完全密閉紙黏土罐子和兩端開啟的紙黏土罐子作為電磁屏蔽容器，無法有效將電磁場屏蔽。

上述使用完全密閉鐵盒作為電磁屏蔽容器，呈現部分屏蔽電磁場作用，而非完全將電磁場屏蔽。且使用部分屏蔽之含鐵金屬容器，如戳剪成孔洞鐵罐子等作為電磁屏蔽容器，僅有些許電磁場屏蔽效能。這點與理想的密閉金屬盒或封閉金屬網能完全將電磁場屏蔽有差距，而如何實際作成有效之屏蔽電磁屏蔽，需由使用之容器材質、容器形狀結構及電磁強度等方面著手。

六、參考資料

1. 歷屆科展集
2. 牛頓月刊雜誌
3. 網際網路資源
4. 國中、高中生物課本
5. 科學小百科

四組樣品酵母發酵實驗從開始發酵經過 30 分鐘後拍攝記錄



A



B



C



D

四組樣品酵母發酵實驗從開始發酵經過 60 分鐘後拍攝記錄



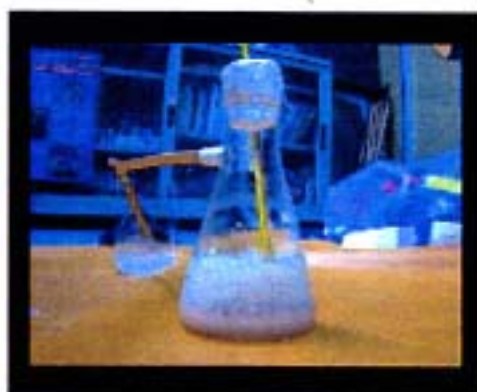
A



B



C



D

四組樣品酵母發酵實驗從開始發酵經過 120 分鐘後拍攝記錄



A



B



C



D

四組樣品酵母發酵實驗從開始發酵經過 240 分鐘後拍攝記錄



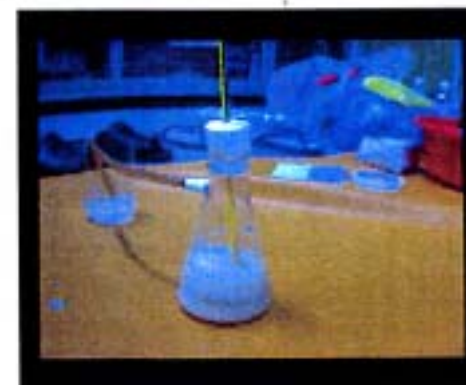
A



B

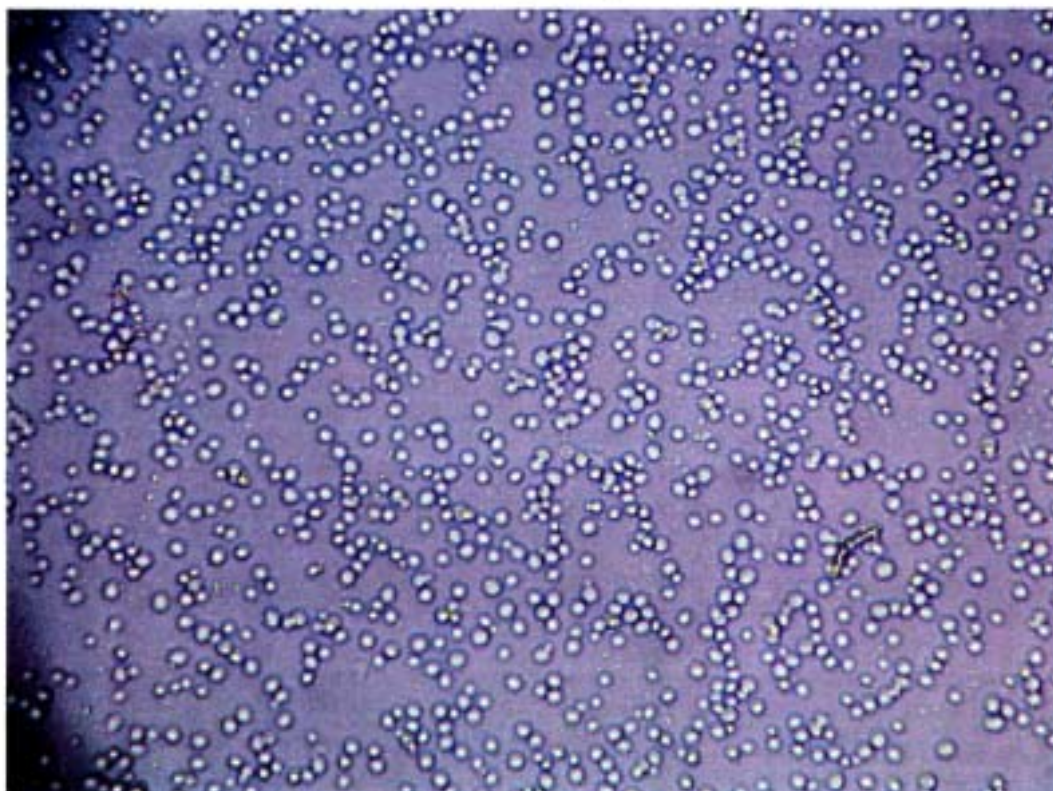


C

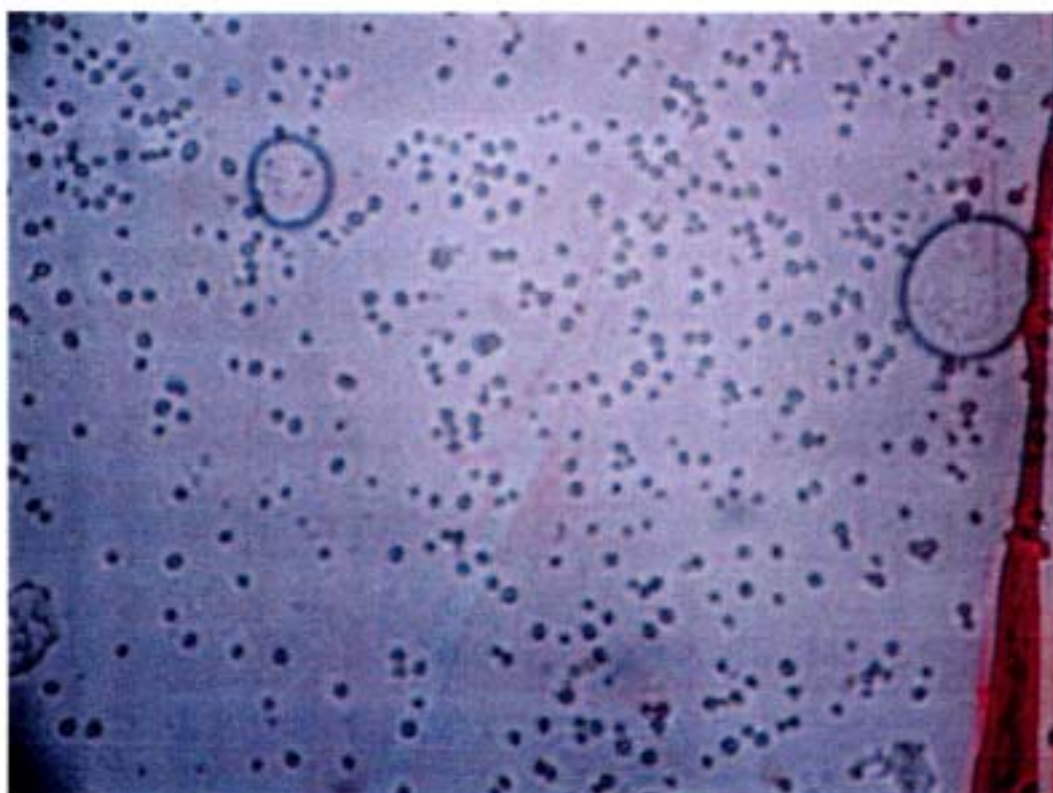


D

A 組 (0 小時)



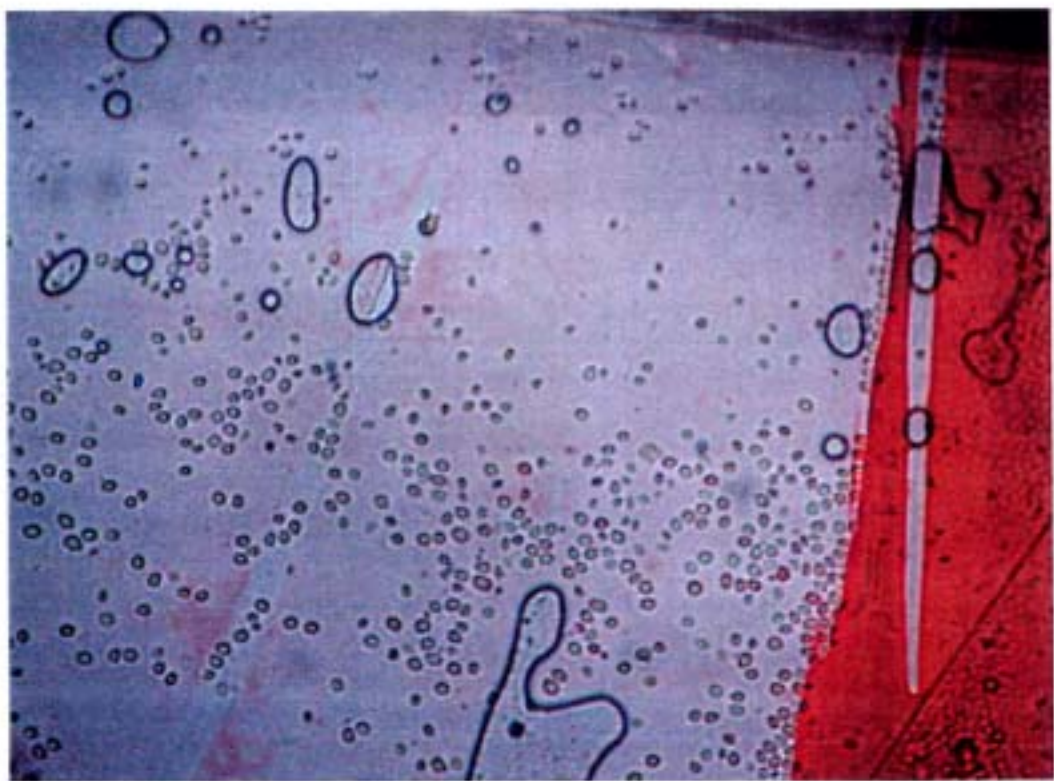
A 組 (1 小時)



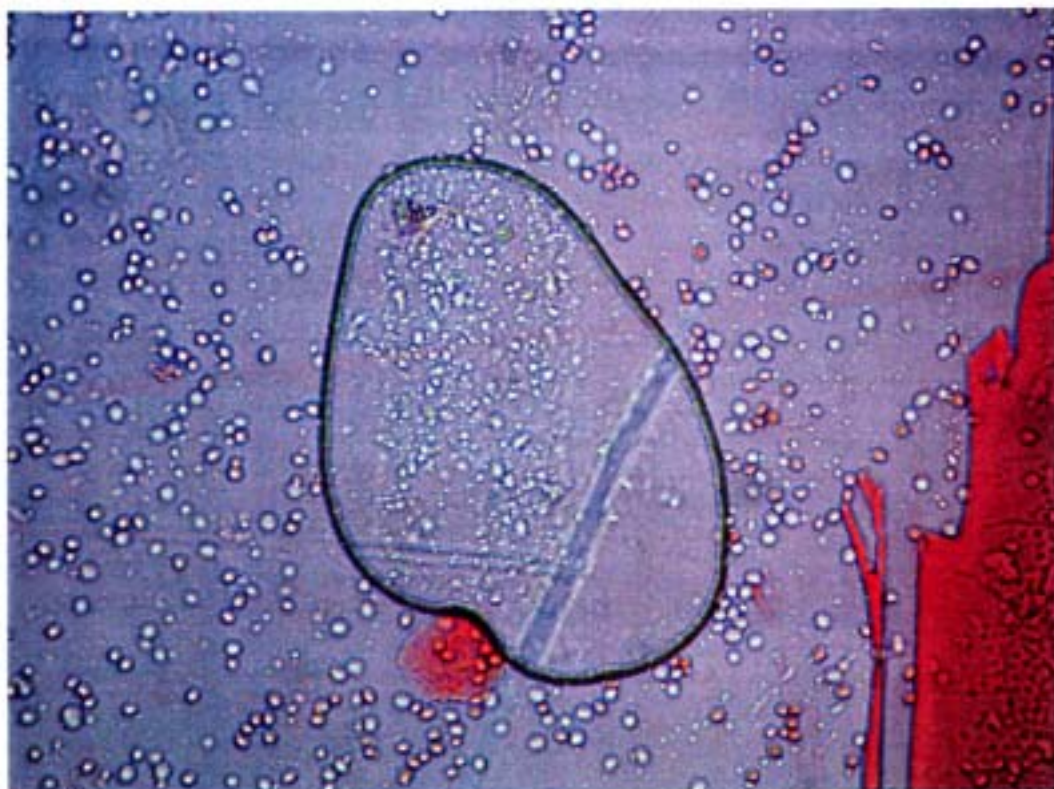
A 組 (2 小時)



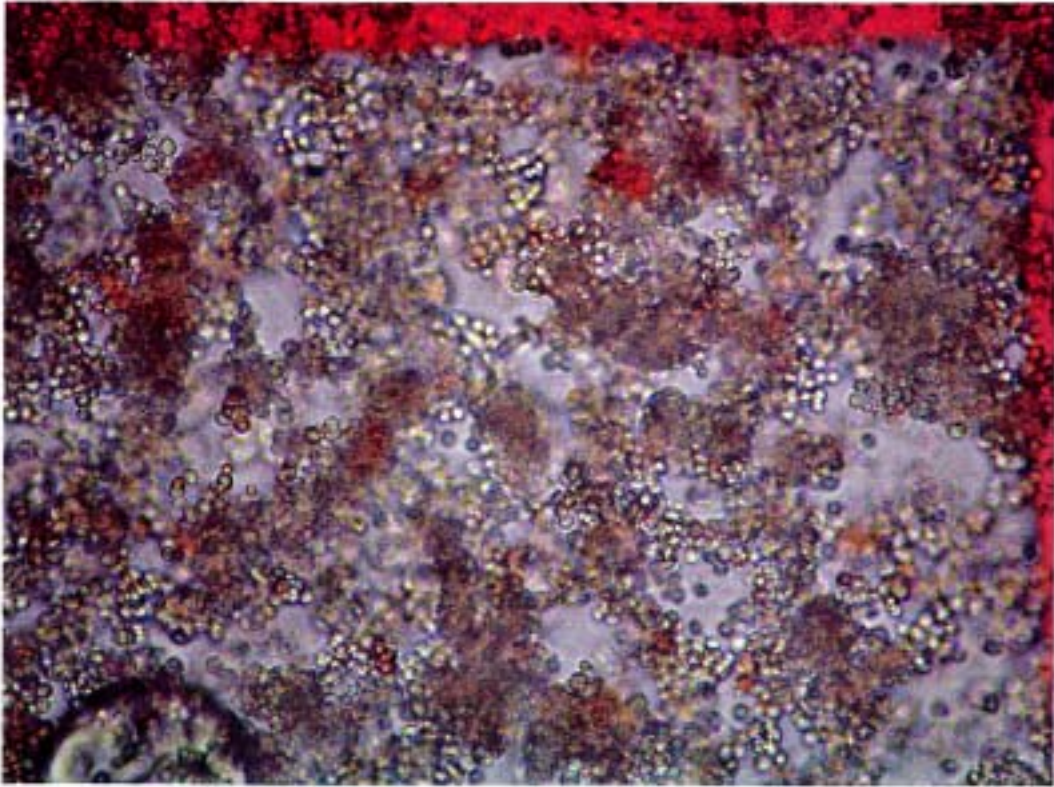
A 組 (3 小時)



A 組 (4 小時)



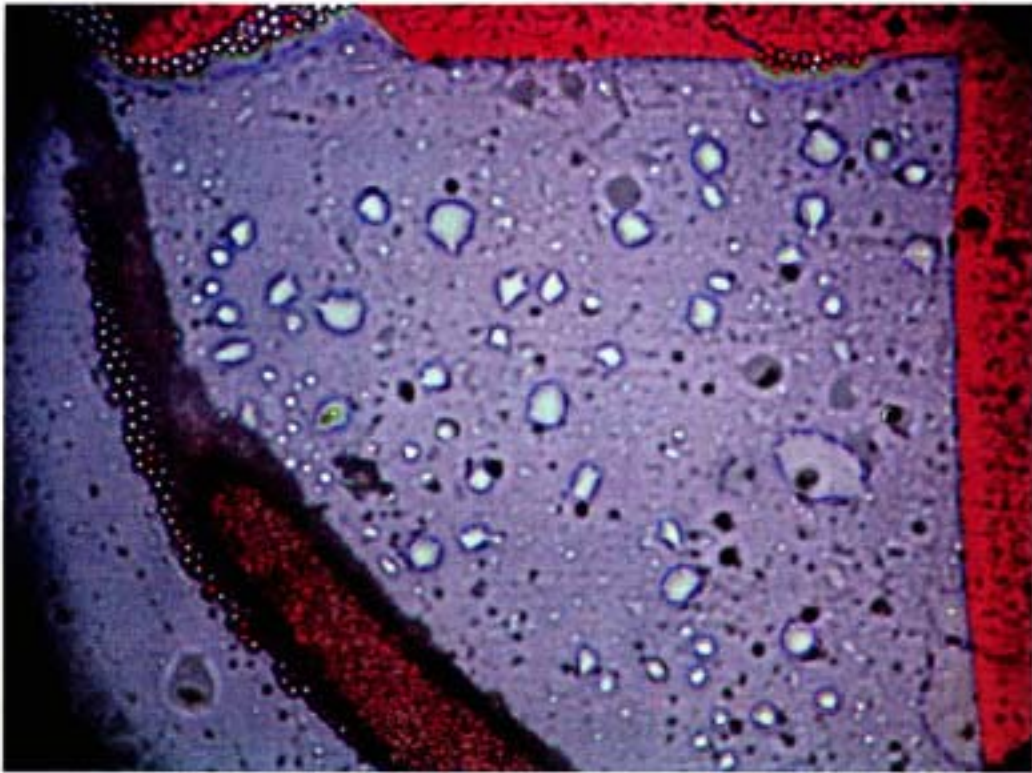
B 組 (0 小時)



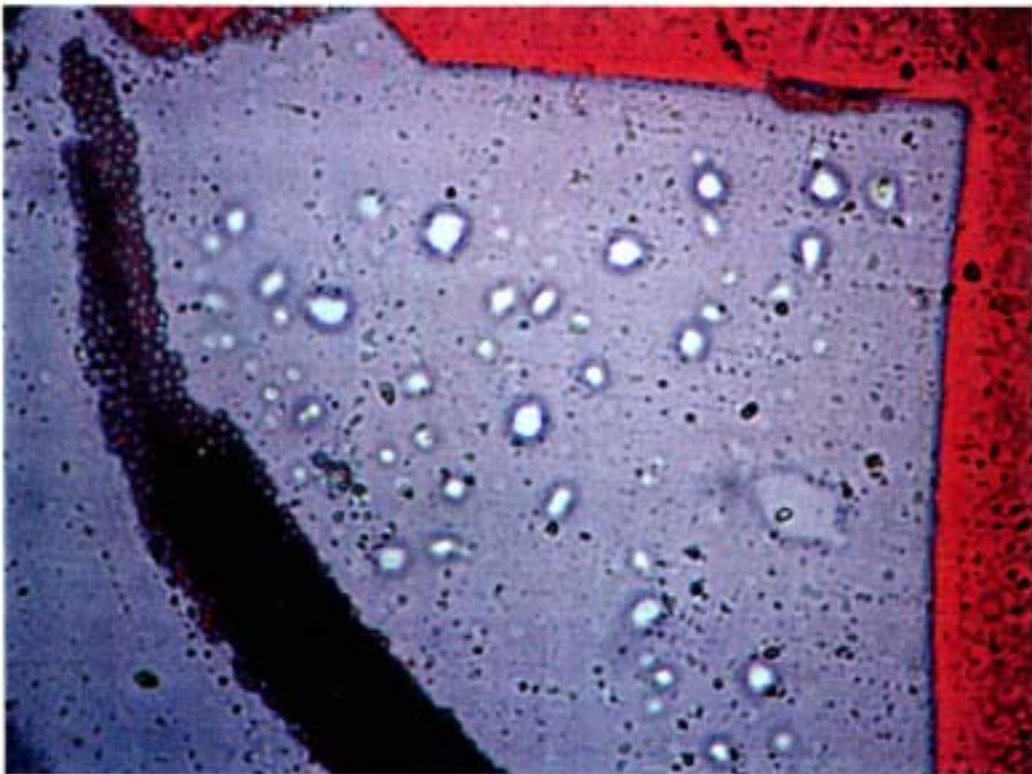
B 組 (1 小時)



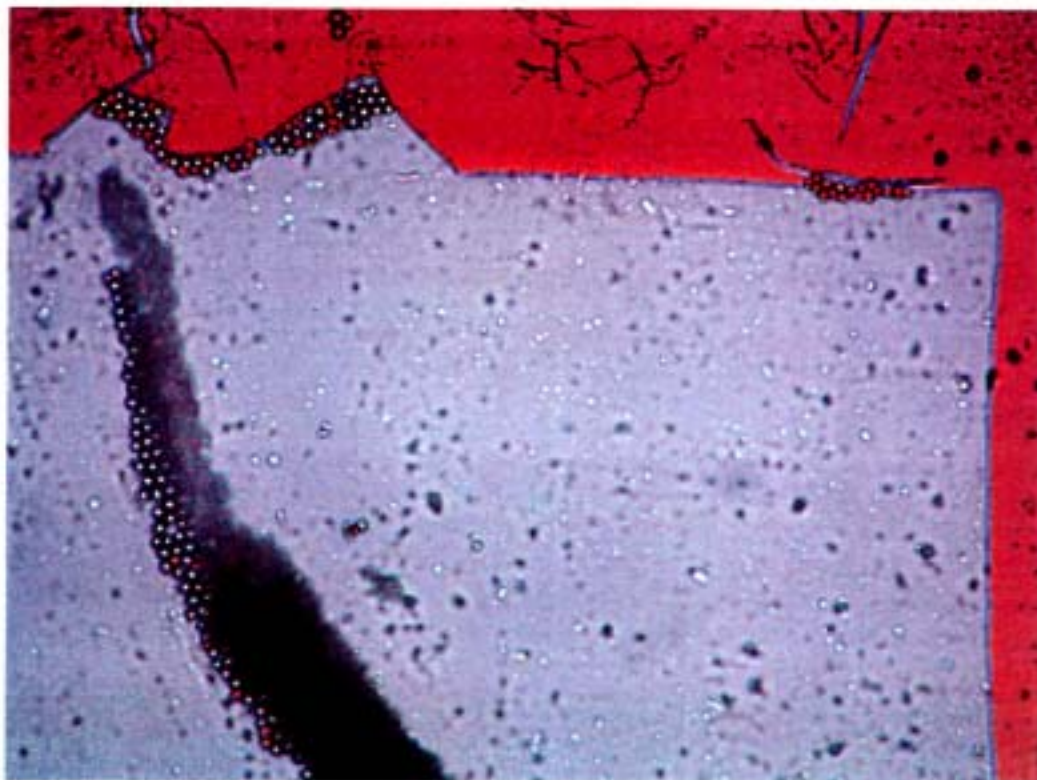
B 組 (2 小時)



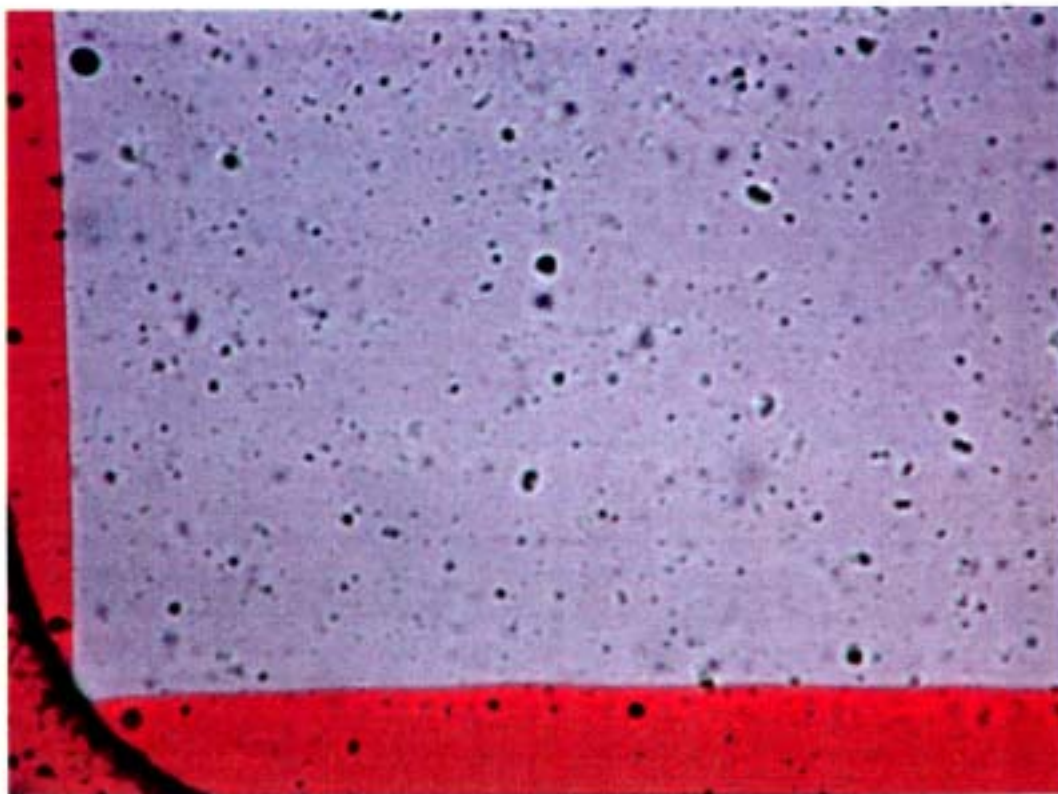
B 組 (3 小時)



B 組 (4 小時)



C 組 (0 小時)



C 組 (1 小時)



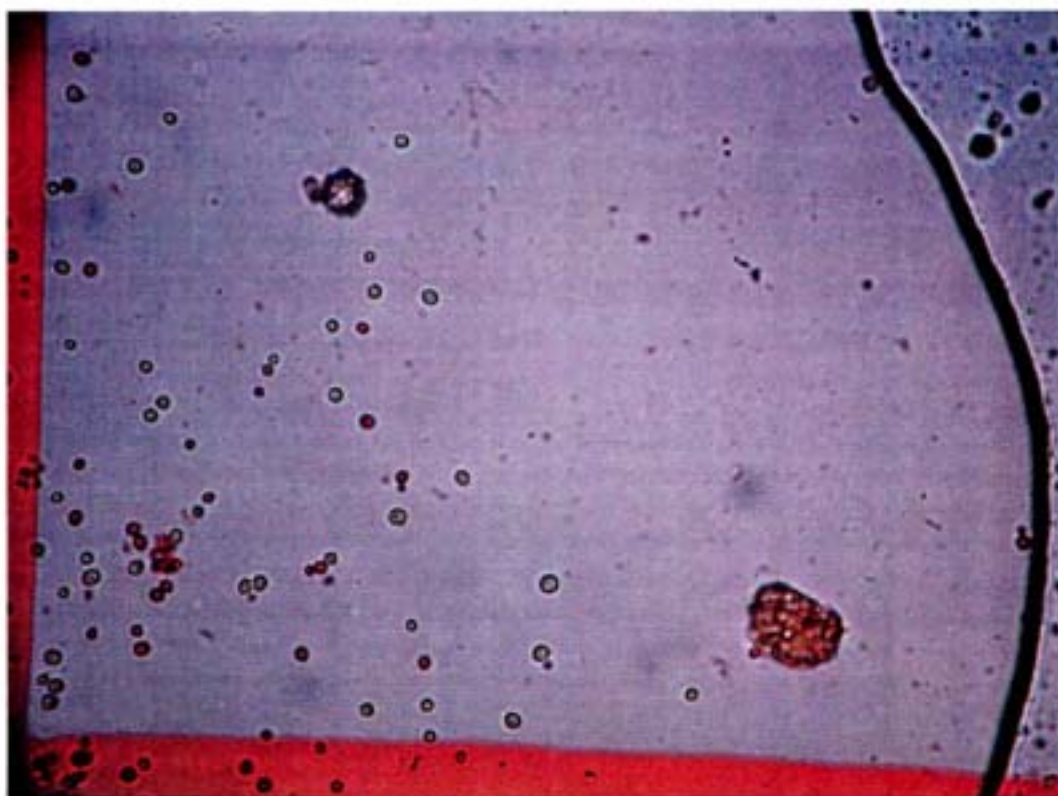
C 組 (2 小時)



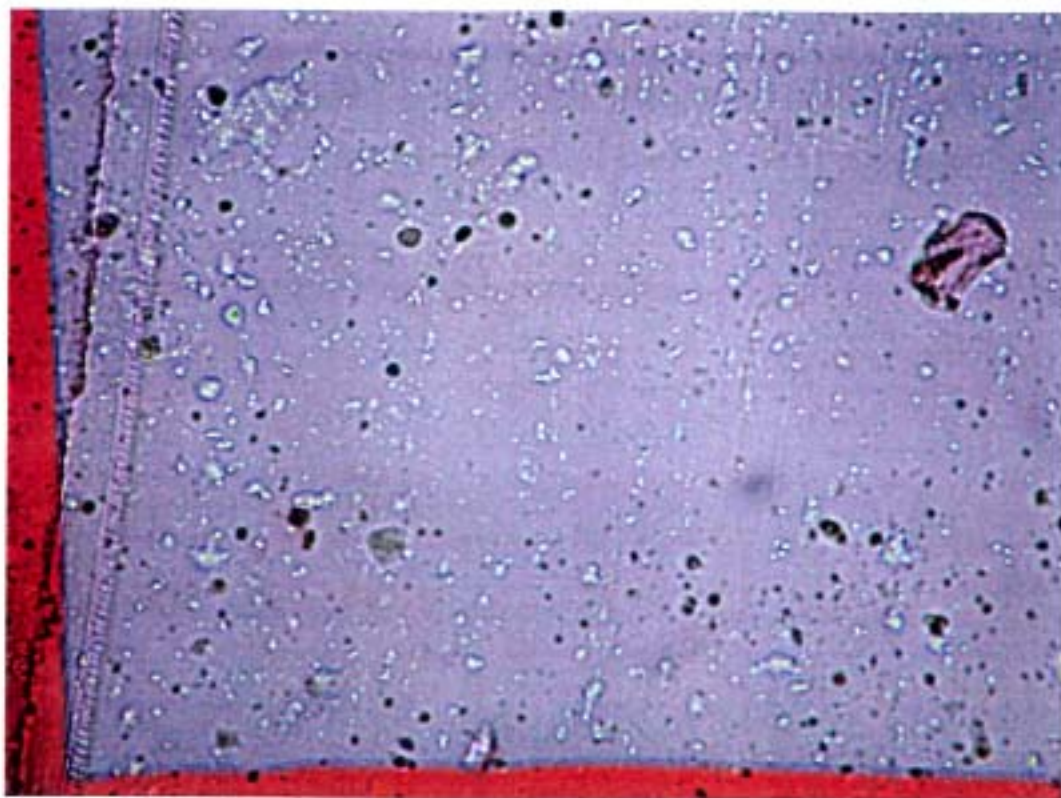
C 組 (3 小時)



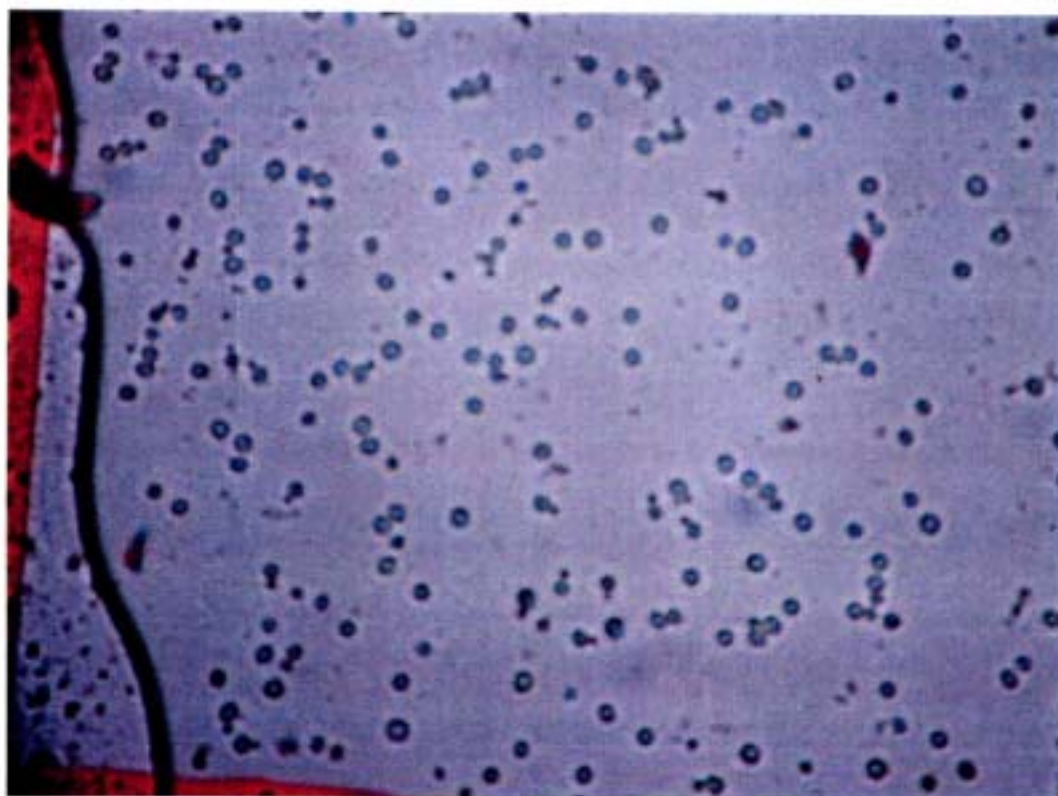
C 組 (4 小時)



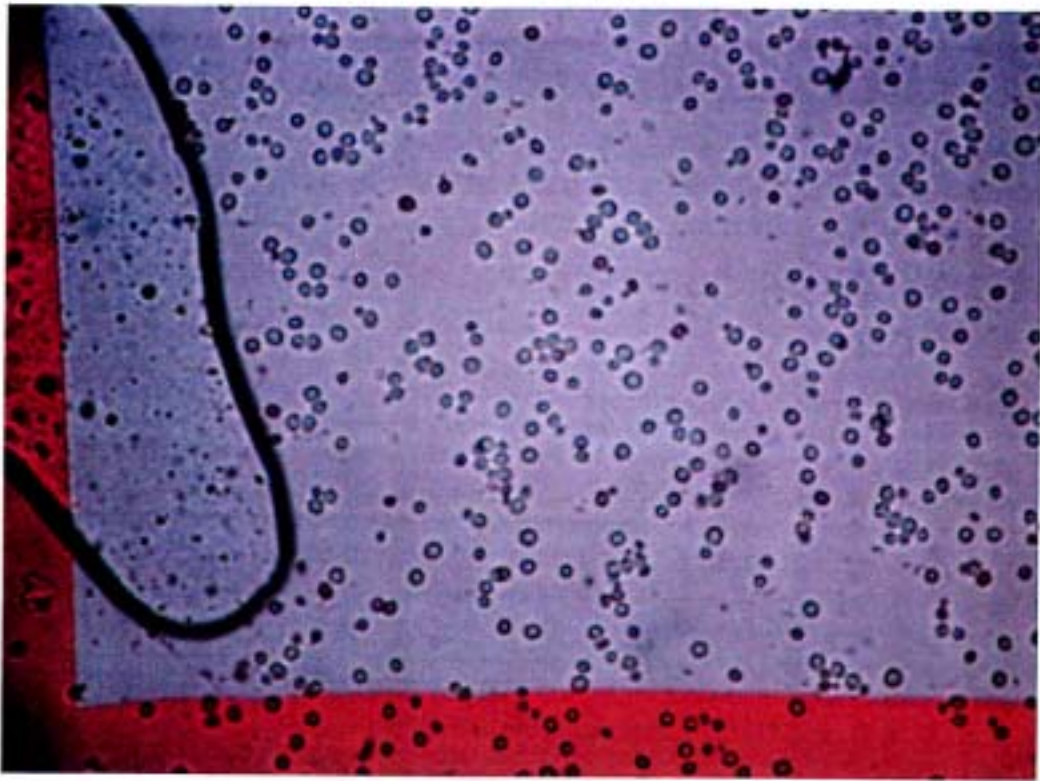
D 組 (0 小時)



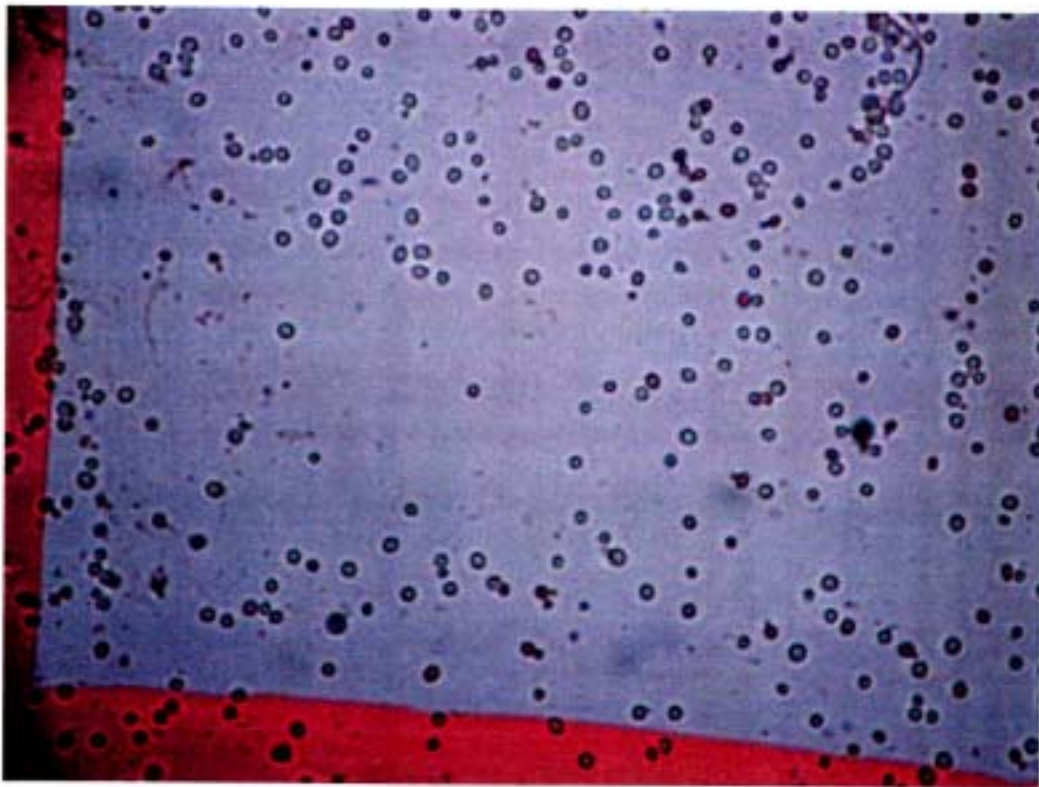
D 組 (1 小時)



D 組 (2 小時)



D 組 (3 小時)



D 組 (4 小時)

