

葉子捲曲的比較與研究

高中組生物科第一名

北一女中

作者：蔡幸真、曾加蕙
陳俞邁

指導教師：林英子、孫譽真

一、研究動機

有一回，我們在學校的涼亭邊，發現榕樹叢中，有一些葉子捲了起來；把這些葉子打開之後，還發現裏面有蟲卵。同時，我們也發現水稻的葉子，缺水時，葉子也有捲曲的現象。這些現象勾起了我們的好奇心，於是展開了下列的實驗與觀察，希望能找出葉子捲曲的原因及對葉病理的影響。

二、研究目的

1. 找出病蟲害之榕樹葉子捲曲之原因。
2. 生病後又展開之榕樹葉是否能恢復至與健康葉一樣。
3. 找出有蟲害的稻葉捲曲之原因。
4. 找出因缺水而使稻葉捲曲的原因。
5. 藉實驗培養出研究科學的精神及方法。

三、原理

1. 利用切片技術把因蟲害而捲曲，捲曲後又展開及健康的榕樹葉子和因缺水而捲曲及正常的水稻葉做成玻片標本。
2. 利用顯微照像技術將這些玻片標本拍照，然後加以比較、分析，藉以找出榕樹及水稻葉子捲曲之原因。

四、實驗步驟

(一)製作石蠟切片

1. 固定：將清洗過之材料放入固定液(F.A.A.)並以真空抽氣機除去組織內的氣泡。
2. 洗滌：以 40% 之酒精沖洗每十分鐘換新液一次，共換三次。
3. 脫水：依照表 1 之步驟（在固定瓶中進行）。

表 1

	成 份			時間 (小時)
	t-butanol (ml)	95%酒精 (ml)	dist H ₂ O (ml)	
第一步	10	40	50	2
第二步	20	50	30	2
第三步	35	50	15	2
第四步	55	45	0	2
第五步	75	25(100%)	0	2
第六步	100	0	0	2
第七步	預染劑+100	0	0	2
第八步	100	0	0	2

4. 滲蠟：

(1)先將蠟塊溶化，以濾紙過濾後，置於溫箱(58℃)

(2)逐步滲蠟

第一次：倒掉瓶內正丁醇的 $\frac{1}{3}$ 液體，加蠟液至原液面高。

第二次：倒掉瓶內的 $\frac{1}{2}$ 液體，加蠟液至原液面高。

第三次：倒掉瓶內所有液體，加蠟液至原液面高

第四次：倒掉瓶內所有液體，加蠟液至原液面高。

△每一次時間間隔 2 小時，在溫箱及固定瓶中進行，換液後不須加蓋。

5. 埋蠟：將固定瓶中的材料和蠟液倒入鑄模，置於冰浴中，使其快速凝固。

6. 修蠟：蠟塊凝固後，將多餘的蠟剔除，並固定於小木塊上。

7. 切片：以切片機切片。依不同的組織切不同的厚度，多為 7 μ 。

8. 張貼切片：將蠟帶張貼於載玻片上

(1)將貼片膠均勻塗抹於乾淨載玻片上，於預熱板(Hot Plate)上烘乾。

(2)滴 4% 福馬林數滴於載玻片上，切下適當長度的蠟帶貼於載玻片上。

(3)在 Hot plate 上利用福馬林的表面張力將蠟片展平。

(4)取下載玻片，用濾紙將多餘的張片溶液拭去。

(5)置於 35℃ 烘箱中，將切片烘乾（亦可自然乾燥）

9. 染色：一切步驟均連同載玻片一併放入染色瓶中操作。

(1)二甲苯溶蠟 10 min

(2)二甲苯溶液 3 min

(3)無水酒精	3 min
(4)無水酒精	3 min
(5)無水酒精	3 min
(6)95%酒精	3 min
(7)75%酒精	3 min
(8)40%酒精	3 min
(9)20%酒精	3 min
(10)Safranin O 染色	5 hours
(11)蒸餾水 (清除多餘染劑)	
(12)50%酒精	3 min
(13)70%酒精	3 min
(14)95%酒精	3 min
(15)95%酒精	3 min
(16)Fast Green 染色	2 min
(17)95%酒精除去多餘染劑(Destain)	
(18)無水酒精	3 min
(19)無水酒精	3 min
(20)無水酒精	3 min
(21)二甲苯	3 min
(22)二甲苯	3 min
(23)二甲苯	5 min

10. 蓋片：(1)取出載玻片，將底面二甲苯拭去。

(2)滴上 Permount

(3)將蓋玻片在酒精燈上過火一下！以未碰火的那一面慢慢蓋於材料上，不要有氣泡產生。

(4)蓋好後於酒精燈上過火一下，使 Permount 均勻散布。

11. 於顯微鏡下觀察並照像。

(二)〈病蟲的觀察〉

取各發育期的榕樹及水稻病葉，打開觀察病蟲的生態並照像之。

(三)〈榕樹正常及捲曲葉片汁液對種子萌發的影響〉

1. 取榕樹正常及捲曲葉子各 10 g，加水 10ml 研磨，並過濾取其汁液。

2. 將步驟(一)取得之汁液定時等量澆灌種子，以不同濃度，如下表。

培養皿 A	培養皿 B	培養皿 C	培養皿 D	培養皿 E
水	正常葉汁	正常葉汁以等 量水稀釋	捲曲葉片汁液	捲曲葉片汁液 以等量水稀釋

3. 每天記錄發芽個數及生長高度並作比較。

五、結果

(一)葉片病蟲生態觀察

1. 榕樹葉子方面

- (1) 一片榕葉約有數十顆長形如子彈、略帶透明的小卵，蟲還未破卵而出。
- (2) 幼蟲已破卵而出。
- (3) 榕葉上的幼蟲置於解剖顯微鏡下的放大圖，可看出身體略透明，頭部有二隻觸角，長有三對足，尾部呈黑色。
- (4) 成蟲在解剖顯微鏡下放大圖（圖 1）可看出頭具二根觸角，背上有羽狀翅一對，足末端略透明，可飛動。



圖 1 薊馬的成蟲有一對羽狀翅，足末端略透明。

2. 水稻葉子方面：

- (1) 將捲曲稻葉翻開後發現的幼蟲（圖 2），在幼蟲的旁邊有一堆堆的排泄物。

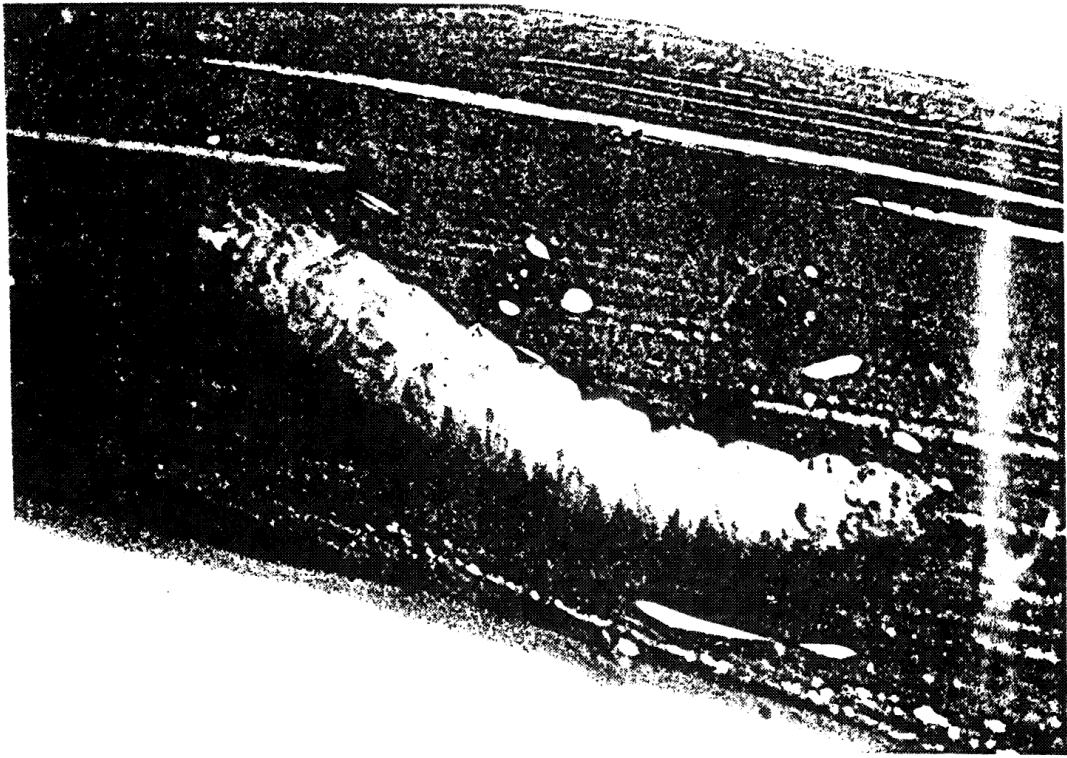


圖 2 水稻縱捲葉蟲的幼蟲，旁邊有一堆堆的排泄物。

- (2)幼蟲的側面觀，可看出幼蟲的身體分節，體側長有毛及呼吸孔。
- (3)成蟲破繭而出後所餘的繭，可看出頂端有一個小圓蓋，斷口光滑。
- (4)從捲曲的稻葉中可看出每隔一段間隔，有白色絲狀物將二邊葉緣縫合起來，使水稻葉子捲成管狀的構造。
- (5)水稻葉受損的情形：可看出刮痕，為幼蟲以口器刮取葉肉的痕跡，已無綠色，且葉片變成很薄的一層膜而已。

(二)切片觀察

我們把因蟲害而捲曲，捲曲後又展開及健康的榕樹葉子和因缺水而捲曲及正常的水稻葉，經固定、切片、染色(Safranin O 和 Fast Green)後，用顯微鏡觀察發現下列現象：

1. 榕樹葉子部分的顯微切片

(1)健康的榕葉：

- ㄅ、健康的葉子，在幼葉時期尚未發育完全，表皮細胞二層，上表皮的第二層較大，上層柵狀組織排列緊密，有極大的簇狀結晶。
- ㄆ、較大的榕樹葉子切片，顯示組織已發育完全，靠近下表皮的的海綿組織排列較疏鬆，具有很大的氣室。柵狀組織很整齊，且排列緊密（如圖 3）。

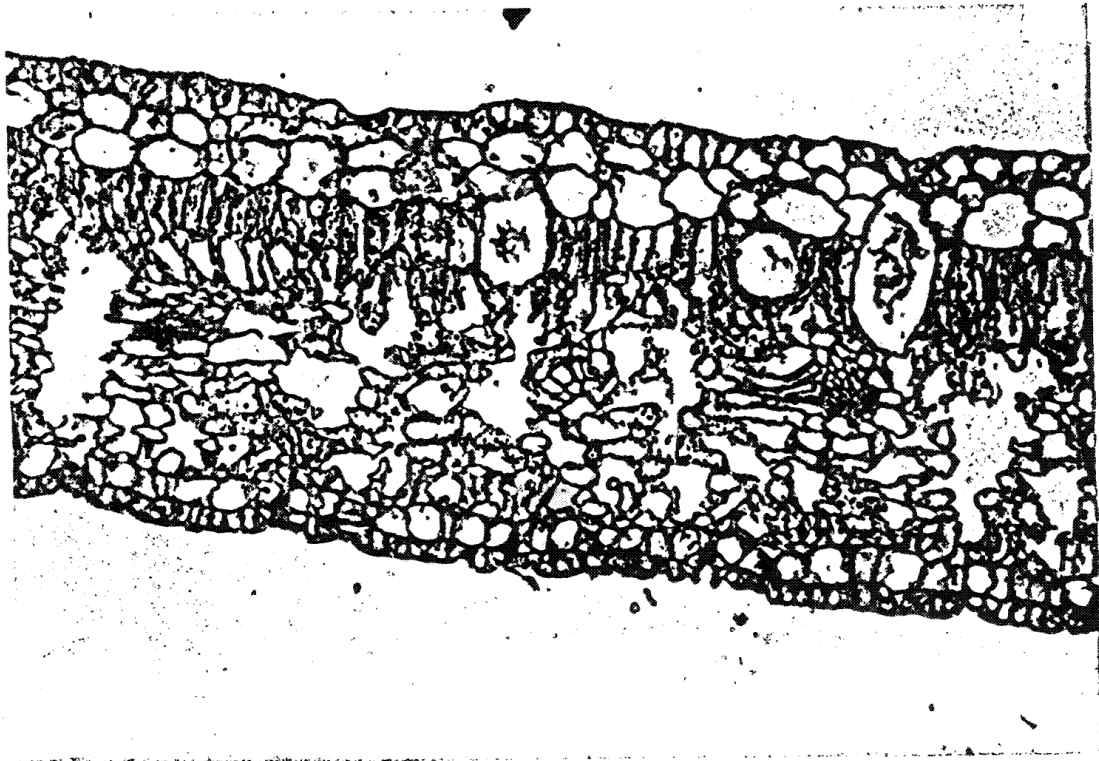


圖 3 較成熟的健康葉：靠近下表皮的海綿組織排列較疏鬆，具有很大的氣室。柵狀組織很整齊，且排列緊密。(175X)

□、圖 4 為榕葉之放大圖，可看出其氣孔下陷。從維管束的切片放大圖，可看到木質部在上，韌皮部在下，染成紅色的是木質部的導管。上下表皮的角質層均很厚。



圖 4 榕葉切片之放大圖可看見氣孔下陷。(350X)

(2) 遭蟲害的病葉：

- ㄎ、遭病蟲害的榕葉切片，可看出海綿組織的細胞異常增大，細胞排列很緊密，氣室也不見了，上下表皮內亦有簇狀結晶。
- ㄏ、當我們切片觀察彎曲部位的榕葉（圖 5-8），發現靠近下表皮的葉肉細胞染成紫色，細胞異常膨大，大小約為健康葉的 2 倍。
- ㄏ、圖 7、8 為病蟲害情況嚴重的葉子切片，可發現其葉肉細胞中紫色細胞較多，紫色細胞有的呈長形。



圖 5 病葉：彎曲部位的榕葉，靠近下表皮已有病變。(175X)

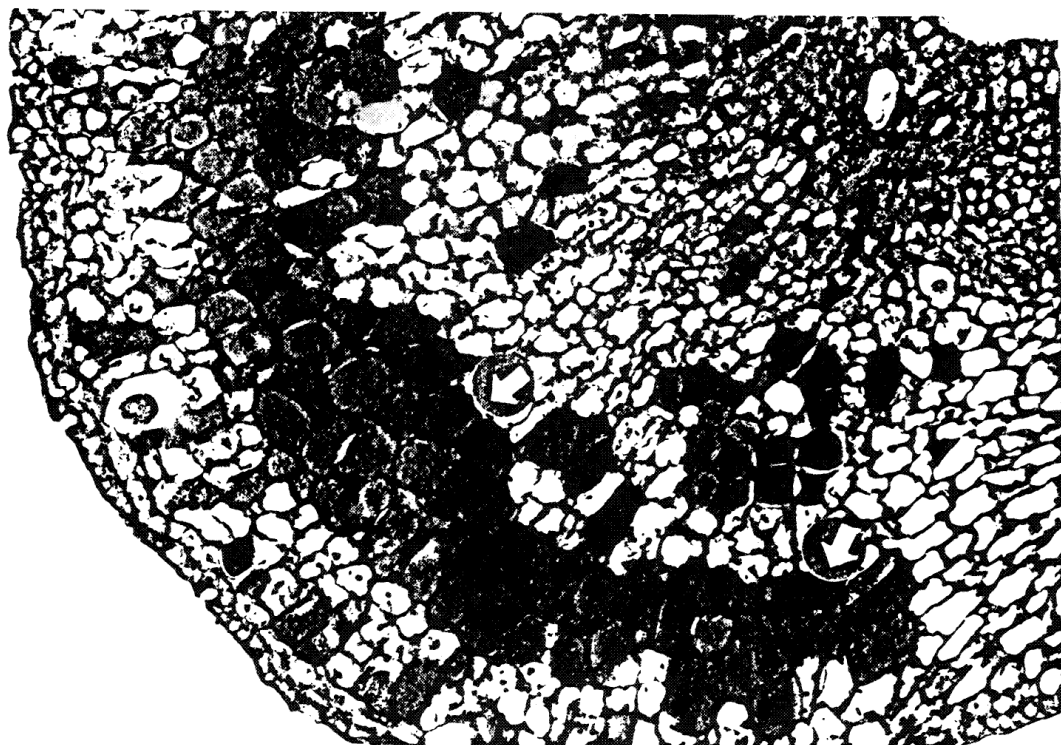


圖 6 榕樹病葉之放大圖。(350X)



圖 7 病害最嚴重的榕樹病葉。(175X)

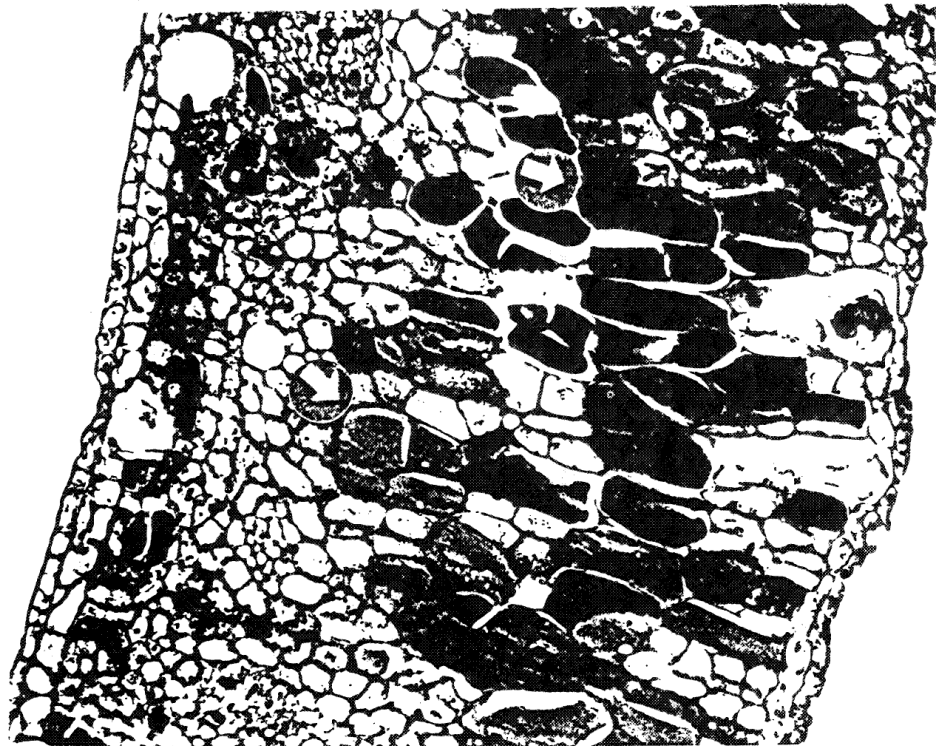


圖 8 圖 7 之放大圖，可看見海綿組織異常膨大（染成紫色），大小約為健康葉的 2 倍。(350X)

ㄱ、當切片厚度約 15μ 時，可發現上下表皮中均有發育完整的簇狀結晶。

(3)生病後又展開的葉子：

ㄅ、剛展開的葉片，靠近下表皮的海綿組織仍十分緊密。

ㄆ、展開較久的葉片，已可見到氣室，海綿組織細胞由排列緊密變成排列疏鬆。

ㄏ、可看到薊馬吸食的痕跡，薊馬吸食的孔洞，其周圍的細胞較密而小，可能是表皮細胞增生的結果。

2. 榕樹葉子之徒手切片

(1)帶有暗紅斑的展葉：

帶有暗紅斑的病葉徒手切片可看出柵狀組織及海綿組織多呈紅色，葉綠體含量比旁邊細胞少了很多。

(2)帶有淡紅色斑點的展葉：

修復中的葉片呈紅色的細胞明顯減少，而且葉綠體含量已稍有增加了。

(3)有孔洞的綠葉

病葉已恢復至外形似健康葉，且對光看有透明淡綠色之孔洞，可看出其柵狀組織較海綿組織恢復為慢。

3. 水稻葉子部分

(1)正常的水稻葉子：

ㄅ、當我們切片觀察未捲曲的水稻葉子時，在顯微鏡下可發現其平行葉脈中有一個較大的主脈，由 12 個維管束組成。（如圖 9）。



圖 9 正常的水稻葉子，平行葉脈中有一個較大的主脈，由 12 個維管束組成。(87.5X)

又、當我們仔細觀察各葉脈，發現上表皮具有泡狀細胞羣，各葉脈和泡狀細胞羣相間排列，泡狀細胞很大，大小約為表皮細胞的 20 倍。（如圖 10）。

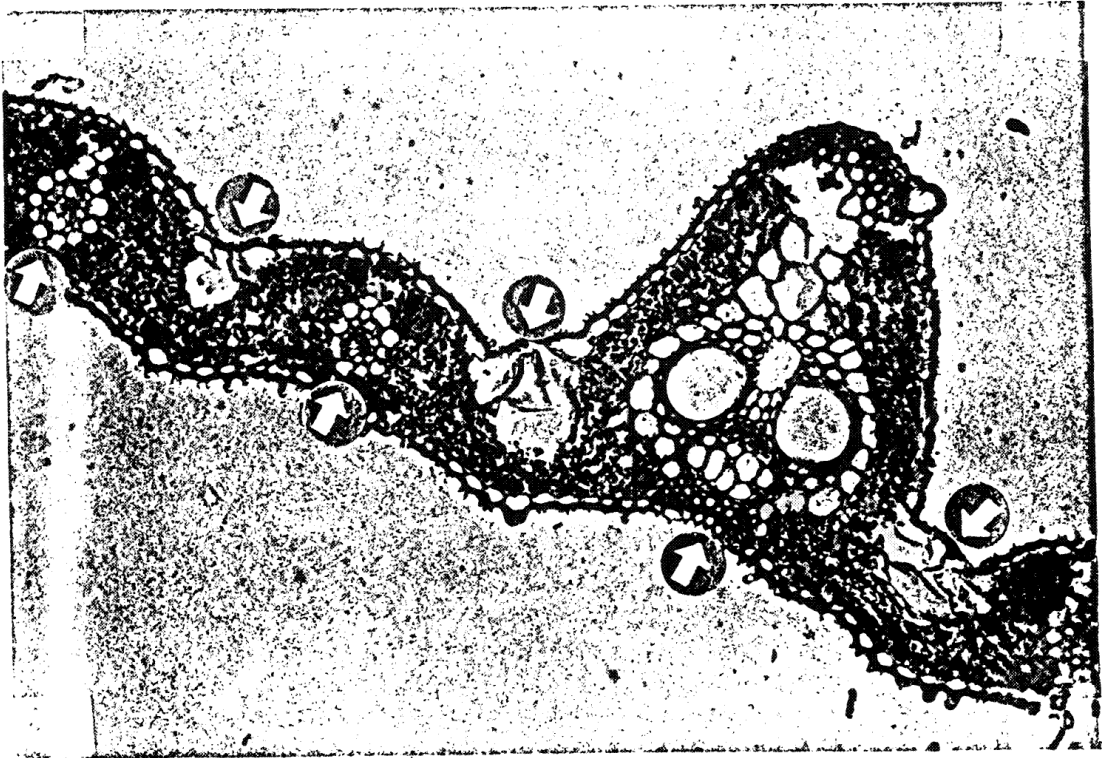


圖 10 各葉脈之上表皮具泡狀細胞羣，和葉脈相間排列，泡狀細胞大小約為表皮細胞的 20 倍。(175X)

(三)種子萌發實驗

1. 以水、健康葉汁液、病葉汁液澆灌種子發芽及生長情形如下（表一、二）可看出澆灌水的萌發率最好，胚芽及胚根長度最長，其次為病葉，最差的是澆灌健康汁液的種子。

表一 萌發率（3/3 播種，3/4 測量）

所澆汁液	水	健康葉汁液	病葉汁液
種子			
蘿蔔發芽個數	20 30	15 30	18 30

表二 芽及根之長度（平均值）

時間	汁液		水	健康葉汁液	病葉汁液
	植物				
第七天	蘿蔔	芽	8.90	0.62	1.41
		根	6.21	1.53	1.62
	空心菜	芽	0	0	0
		根	1.91	1.40	1.90
第十二天	蘿蔔	芽	12.20	4.08	4.18
		根	6.23	1.46	3.77
	空心菜	芽	6.04	4.67	5.58
		根	6.14	3.58	4.25

2. 缺水的水稻葉子：

(1)圖 11 為稻葉因缺水而捲起的橫切面圖，在顯微鏡下可看到捲曲葉橫切面的全貌。

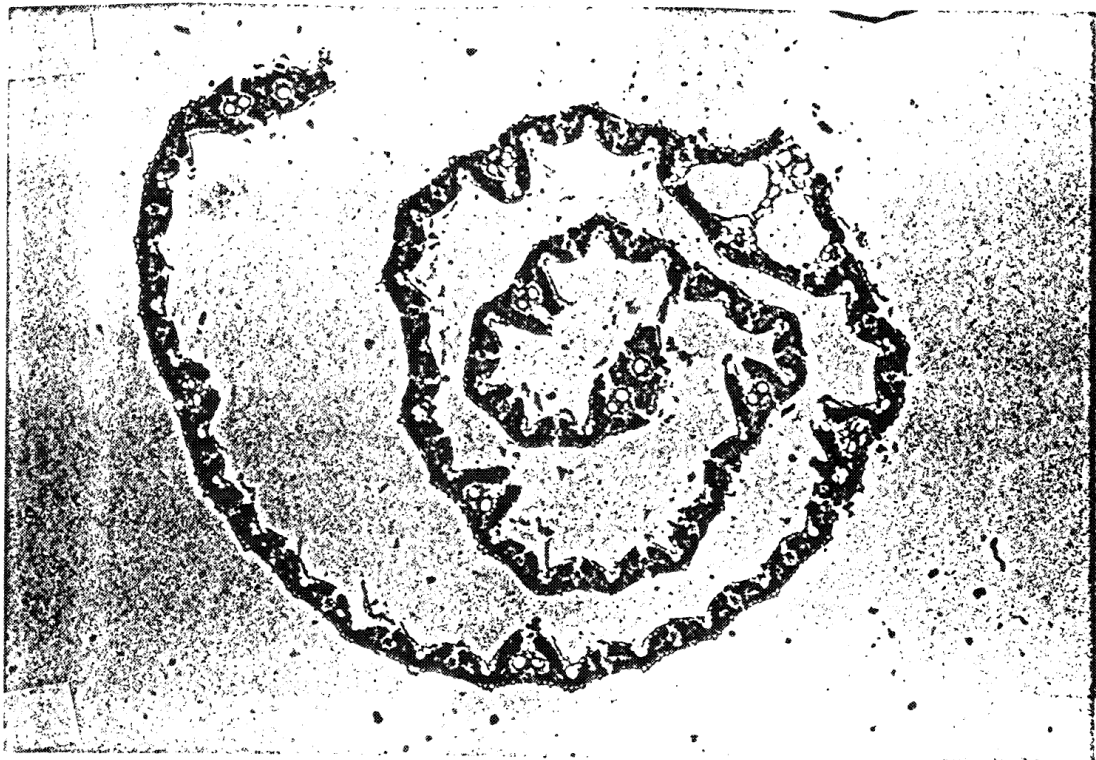


圖 11 稻葉因缺水而捲起的橫切面全貌。(44X)

(2)在高倍鏡下捲曲葉的放大圖，可見到已經萎縮的泡狀細胞。

(3)圖 12 可看到維管束上下的表皮細胞中各有一對氣孔，但在泡狀細胞羣處則沒有氣孔，其外覆有一層厚的角質。

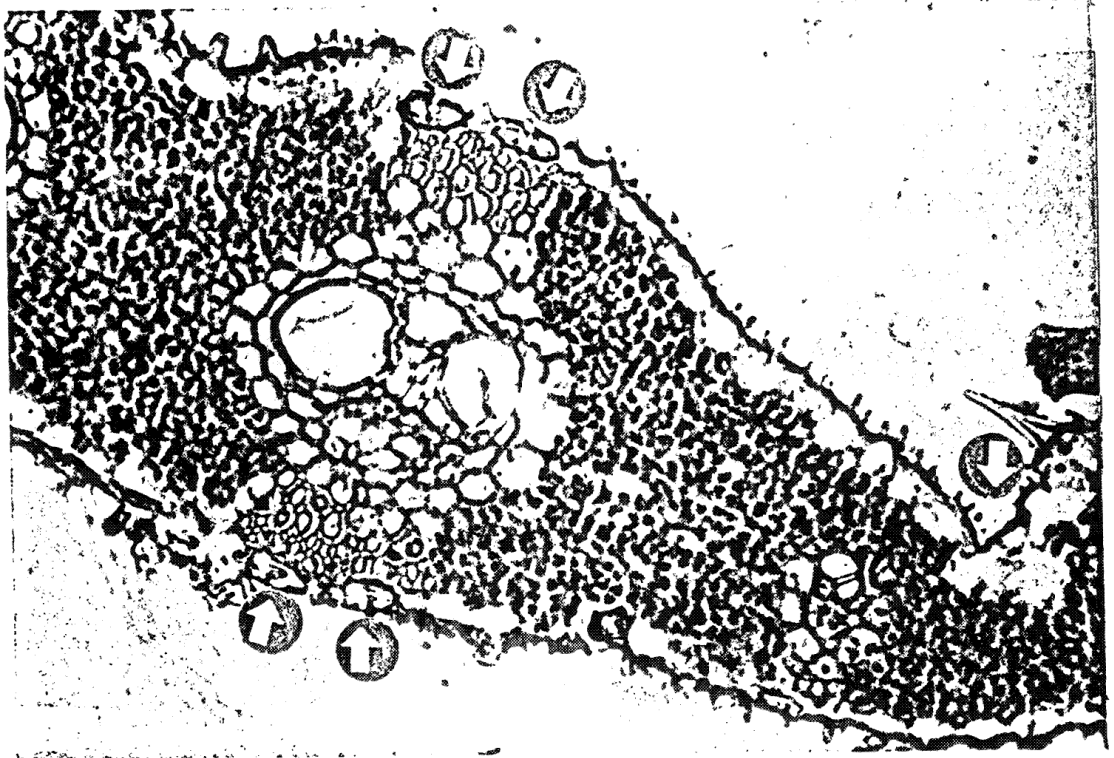


圖 12 維管束上下的表皮細胞中各有一對氣孔，泡狀細胞羣處
 (右下角)則無氣孔，其外蓋有一層厚的角質。(350X)

- (4)圖 13 為植物在缺水的情況下，泡狀細胞萎縮成原本的 $\frac{1}{3}$ 大(圖 10)。
- (5)由圖 11 可看出水稻葉之葉脈鞘細胞(bundle sheath)含的葉綠體較葉肉細胞少。



圖 13 為萎縮的泡狀細胞，大小約為原本的 $\frac{1}{3}$ 。(175X)

六、討論

(一)榕樹葉子部分

1. 薊馬(*Gynaikothrips uzdi*)為寄生在榕樹葉上的昆蟲，當成蟲產卵於榕樹的葉面後，為了保護幼蟲的生長安全，可能對葉子分泌了某種物質，促使榕樹分泌 IAA，致使葉片的下表皮及海綿組織的細胞異常增大、變密，因而葉片向上捲起。
2. 當卵期過後，透明的幼蟲以吸取榕樹葉片的汁液獲得養分；故此時榕樹葉子外型可看到一點點的褐色斑點。隨著幼蟲的成長，葉片受害情形越來越嚴重，褐色斑點愈來愈大。當成蟲長成後，又可產卵於新的葉片上。此時的母葉，由觀察可看出被蟲吸取汁液處，已漸漸由於葉子的自我修補，而使其逐漸恢復到原先健康綠色的樣子。葉肉細胞又逐漸恢復正常的排列情形及正常的大小比例。若將葉片對光看，可看到被薊馬吸取汁液的洞孔影子。
3. 我們把病後又展開的三種葉子：帶紅色斑點，帶淡紅色斑點，及有孔洞的綠葉，作徒手切片及顯微切片。

(1)帶紅色斑點的葉子：

- ㄅ、徒手切片可看到，在薊馬口器插入處的葉肉細胞，由綠色轉變成紅色，而且葉綠體的含量比旁邊的細胞少了很多。
- ㄆ、由顯微切片的觀察可看到，凡被薊馬口器所刺部位，細胞排列較散亂。而在徒手切片方面，原來為紅色的細胞經染色後即為異常膨大的紫色細胞。
- ㄇ、在上表皮的下陷處，即為被薊馬吸食的地方，這些被薊馬密集吸吮處，即為海綿細胞異常膨大處，致使葉片向上捲起。

(2)帶淡紅色斑點的葉子：

- ㄅ、由徒手切片可看到，其柵狀組織及海綿組織的紅色細胞不只是數量變少，而且其顏色也變淡。
- ㄆ、顯微切片則看到被薊馬口器吸刺處的紫色細胞的數目也減少許多。

(3)有孔洞的綠葉：

- ㄅ、用徒手切片可看到，已見不到紅色細胞，而且海綿組織部分的細胞，葉綠體已多半和原來一樣，但是在柵狀組織部份的細胞，葉綠體却没有海綿組織的細胞恢復得快，所以在薊馬口器吸取之處的柵狀組織細胞葉綠體很明顯的比二旁的柵狀組織的細胞少。同時顏色也

較淺。

々、顯微切片中，可以看到在被口器刺進的部位，其表皮細胞有增生的現象，可能是榕樹葉子本身對葉面表皮細胞的修補作用。（圖 14、15）

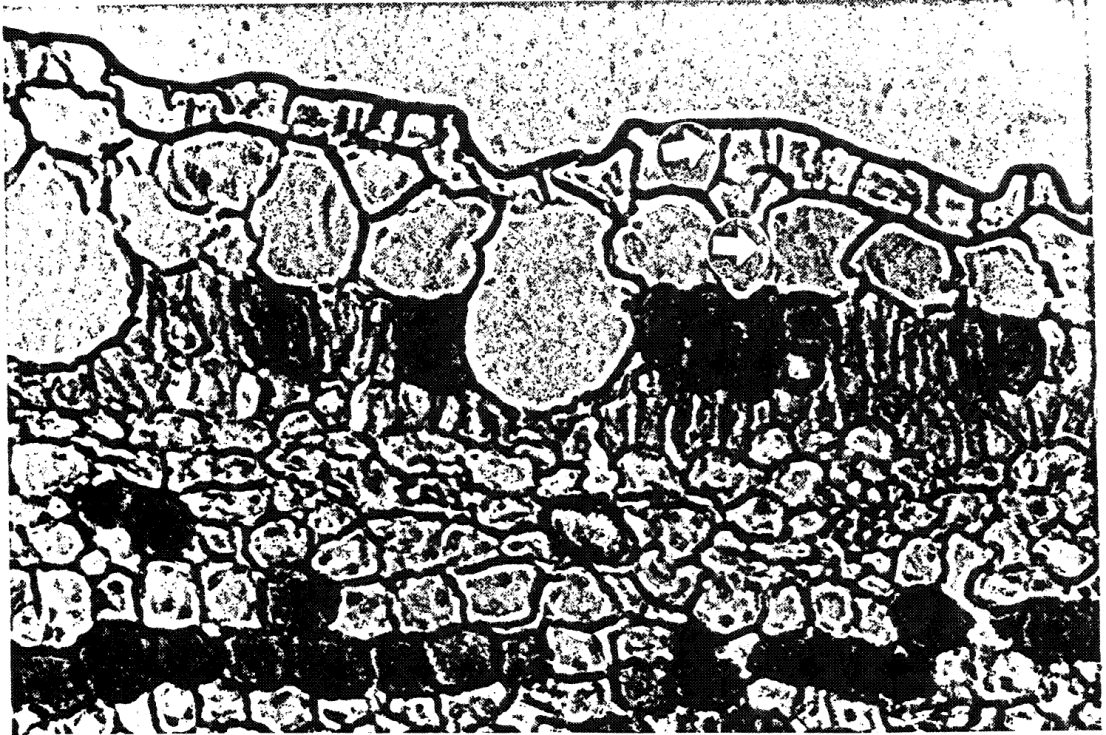


圖 14 沒有孔洞的部位切片圖，表皮細胞兩層，上面細胞較小，下面較大。(350X)

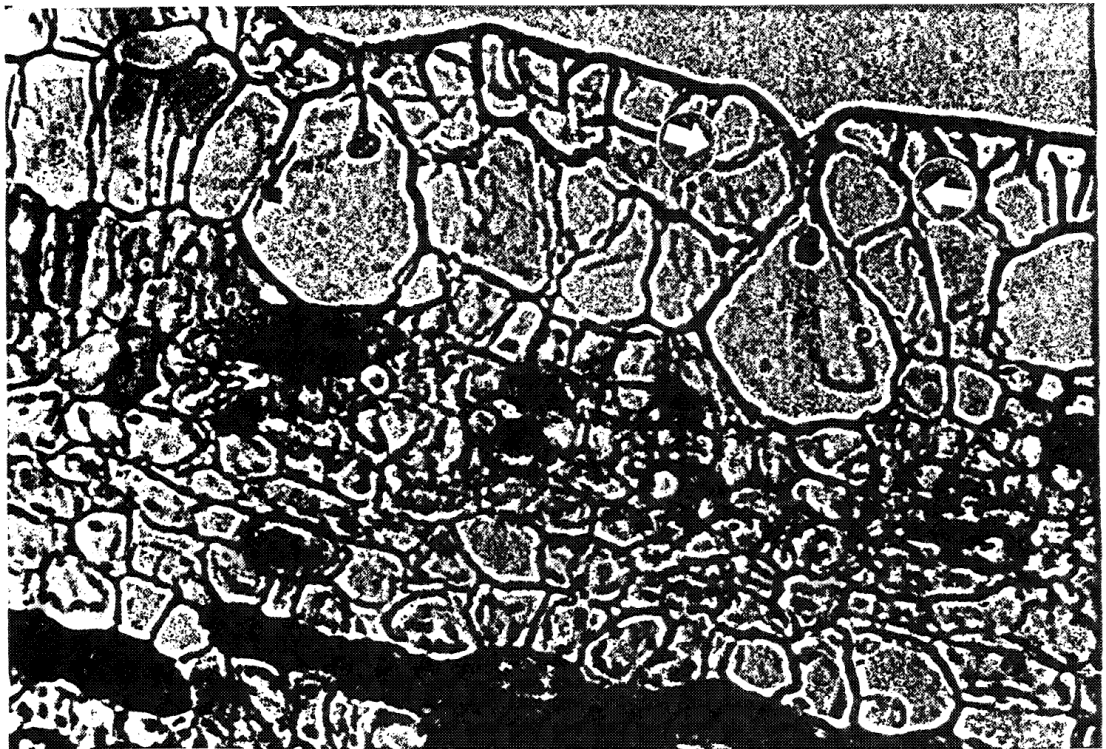


圖 15 有孔洞的葉子切片圖，指針處可看見表皮細胞有增生現象。(350X)

4. 比較澆灌水、病葉汁液、健康汁液的種子萌發率和生長情形，可以看出生長最佳的是澆水，其次是澆病葉汁液，最差的是健康汁液。其原因可能是榕樹含有白色乳汁，會抑制種子的生長發育。而病葉中可能含有某種化學物質，能抵消白色乳汁的抑制作用，致使澆病葉汁液的一組較澆健康汁液的一組生長情形較好。

(二) 水稻葉子部分

1. 由蟲害造成的捲葉：

水稻縱捲葉蟲(Rice leaf folder)為寄生在水稻葉上的蟲。當成蟲產卵於葉子時，可看出葉緣兩邊被白色絲狀物縫住。而由卵期到幼蟲，可以在一片葉子上發現有很多數目的卵或幼蟲，但是到了快接近蛹期時的水稻縱捲葉蟲，一片葉子上卻只能發現一隻三齡幼蟲或一隻蛹。若將另一葉上的幼蟲放入，卻發現兩隻蟲無法和平共存，而發生打架的現象。

2. 由於缺水而造成的捲葉：

我們也在偶然的機會下，發現有些水稻葉子雖然沒有蟲害，卻也有捲曲的現象。經過切片觀察後，發現其與平常水稻葉子不同處，在於其儲水的泡狀細胞明顯的萎縮，而使葉片捲了起來。我們推想可能是因為在缺水時期，泡狀細胞可能會將水分輸往至其他細胞供應其利用，致使稻葉捲曲。

3. 水稻葉片的泡狀組織僅位於上表皮，且和維管束相間排列。一張葉片上約有 48 處具泡狀組織，所以在植物缺水時，可能會將水分輸往其他細胞而呈萎縮狀態，致使水稻葉片向上捲曲，而且可以捲成好幾圈，藉以減少水分蒸散的表面積（圖 11）。

4. 由泡狀細胞的切片觀察，可推知這些泡狀細胞平時時具有貯藏水分之功能，但當植物在缺水的情況下，又可將水分送往他處細胞利用（絕不是把水分蒸散出去，因泡狀組織外面被有角質層，且其上面並無發現有氣孔之存在）而呈萎縮狀態，致使水稻葉子發生捲曲的現象，藉以保存植物體內的水分。

5. 水稻葉之葉脈鞘細胞含的葉綠體較葉肉細胞少，故知其為一種 C_3 植物。

七、結論

1. 榕葉的捲曲是一種常見的病理現象，翻開捲曲的榕葉可以發現其葉片上有一小點一小點由綠色轉變成褐色的斑點。而正常的榕樹葉子則無此現象，還有一種葉子雖然不捲曲，卻也有褐點，為曾捲曲而後又展開的葉子。
2. 捲曲的榕葉裏有時可發現白色略透明的薊馬蟲卵，一片葉子中有三十~四

- 十顆，卵期不知為多長，有待日後研究。而薊馬孵化後，幼蟲便在榕葉上生活，以銼吸式口器吸取葉汁，造成被害葉面呈現褐色斑點，其成蟲黑色，有翅，可飛動，具三對腳可爬動。當其以口器吸取汁液時，可能同時注入某種成分使葉子發生病變而捲曲，但成份為何，則有待日後研究。
3. 而在對榕樹葉子造成的影響方面，我們在實驗中安排了三種葉子，健康無蟲害的、有蟲害而捲曲的，捲曲後又展開的，經過固定、切片、染色，在過程中我們發現使用 Safranin O 染劑的時間以五小時最佳，因此本實驗均採用五小時的染色標本片。
 4. 各種葉子的切片結果顯示，捲曲的葉子是因為海綿組織的異小增大，使下表皮表面積增大而使整個葉片向上捲起，其原因可能是薊馬在吸取汁液時，分泌某種物質，促使海綿組織細胞異常增大，葉片因而捲起。捲起的目的，可能是為了保護葉內的幼蟲及卵。
 5. 徒手切片可看出葉面上受薊馬吸食處的紅褐色斑點，在切片下為一些紅色的細胞。而這些紅色細胞的葉綠體則明顯的比周圍未受薊馬吸食的細胞少了很多。將葉片完全展開，但葉面上仍有孔洞的葉子做徒手切片，可看到這些紅細胞已經消失，海綿組織的葉綠體也恢復和原來一樣，但柵狀組織細胞的葉綠體却没有海綿組織細胞恢復的快，使得孔洞下方的柵狀組織比其他部位的柵狀組織的葉綠體少，故對光看孔洞處才會變為較其周圍的細胞透明且為淡綠色。
 6. 薊馬吸食是以任意的方式啞取，有時吸的地方是有簇狀結晶處（圖 15），有的是沒有結晶處。吸啞的凹陷處恰較多，故此處為葉片捲曲之處。
 7. 在薊馬吸食汁液處（被薊馬的口器破壞），其兩側表皮細胞較密，形狀也較小，表示表皮細胞有增生現象，此亦為植物之一種保護本能，其目的可能是使傷口癒合（圖 15）。
 8. 種子的萌發實驗可以看出病葉汁液可能含有某種可促進生長的物質，更由顯微切片的觀察，海綿組織的細胞異常膨大的原因，可能是這種成分所造成的，更有可能是薊馬在吸食榕樹葉時，會分泌某種物質使榕樹製造 IAA 之基因打開 (turn on)，於是榕樹就開始製造 IAA，IAA 又因有極性（上→下移動）致使海綿組織的細胞異常增大。
 9. 在切片時我們也發現了榕樹葉子的橫切面有許多有趣的地方。榕葉具有二層表皮細胞，而且上下表皮均具簇狀結晶，結晶只能在切片較厚的時候，才能看到全貌，上層柵狀組織內可看到一點一點染成紅色的小點，是為澱粉。但有病蟲害的捲曲葉子的海綿組織為何染成紫色，可留待日後研究。

10. 有蟲害的水稻葉子捲成管狀，上面有絲狀物縫起的部分為一種叫水稻縱捲葉蟲的幼蟲所縫，翻開葉子可發現水稻縱捲葉蟲的幼蟲，幼蟲會刮取水稻葉子的葉肉做為食物致使稻葉損傷。縱捲葉蟲會結繭，蛹期過後的成蟲至今未見，有待仔細觀察。
11. 有蟲害的水稻葉捲曲是幼蟲吐絲，把水稻葉緣兩側黏成管狀之物理變化，因此我們不做切片觀察。
12. 因缺水而捲起的水稻葉子，在經過切片之後，發現了一些異常現象。正常健康的稻葉，泡狀組織十分肥大，可積存許多水分，但在植物缺水的情況下，泡狀細胞萎縮成原本的 $\frac{1}{3}$ 大小，根據我們的推測，可能是泡狀細胞將水經由滲透作用輸往葉肉細胞，故泡狀細胞呈萎縮狀態。
13. 泡狀組織和各維管束呈相間排列，一張葉片有很多泡狀組織（約有 48 處），而且泡狀組織僅位於上表皮，故在泡狀組織失水萎縮的情況下，葉子就可向上捲的很捲，以減少葉片的表面積，藉以減少水分的蒸散。
14. 由上所述，可知葉子的捲曲，其實有著不同的目的。榕葉的捲曲，是因為欲保護病蟲的幼蟲，而方法則是利用分泌的一些物質。水稻葉則是縱捲葉蟲以絲狀物縫起，乃是屬物理方法，至於水稻葉因缺水而捲曲，則是屬於植物保護自己的本能，由葉片內泡狀細胞來控制。
15. 捲曲的榕葉在薊馬成蟲離開後會再展開並自行修復，原本的褐色小點逐漸轉變為綠色組織，而水稻葉在縱捲葉蟲離開後，則似乎永久受損。缺水而捲曲的稻葉，當獲取水份後會重新展開。這些應為植物的求生本能吧！
16. 水稻的葉片其葉脈鞘(bunder sheath)的鞘細胞，其顏色比葉肉細胞淡，故知水稻一種 C_3 植物。

八、參考文獻

1. 陳秋男、蘇文瀛、楊惠琴、陳麗芳 1982 台灣水稻害蟲生態圖譜 台灣植物保護中心印行。
2. 蔡淑華 1988 植物組織切片技術綱要 茂昌圖書有限公司。
3. 蔡淑華 1988 植物解剖學 國立編譯館出版。P234~245。
4. Jane W. N. & Tsai. S. W. 1991 Morphology and Development of Bulliform Cell in *Arundo Formosana* Hack. (承指導老師說明)

評語

- ①作者們的學校有很多榕樹，常發現有捲曲異常的葉子，由日常小事情引起

的興趣發現其亦是蟲害引起者。此後，進而探討我們重要的農產物稻米葉子之捲曲現象，這真是科學精神帶到民生為用的好例子，令人欣喜。

- ②切片的觀察是常套的手法，但作者却做得如專家般仔細，而展現清晰。同時，在蟲害性捲曲之外，亦探討了無蟲害性的捲曲之生理原因，解釋為植物葉子在缺水期的防止水份蒸發之植物防禦性生理之機轉，這讓我們相信作者們應是一羣聰明的科學家之卵。
- ③在其觀察的細胞組織像上，分析思路細密。發現了幾種有葉細胞之異常腫大後，加作此遭蟲害之異常葉汁與正常葉汁對種子萌發之影響。進而以其想不到的結果，很慧黠的推理說腫大細胞可能因由某刺激素引起（最近不是很流行 growth factors 嗎？），才會使病葉汁反而有促進發芽的想不到的效果。
- ④可惜的是，若把葉汁中一般相信有抑制作用的膠汁部分（應不溶於水）與還不知是否有其存在的刺激素部分（通常是可溶性的）分開，再作實驗的話，必成為完美的具有高水準的研究報告了。