

# 巴拉刈影響水稻幼苗發育之研究

王月雲\* 陳東欽\*\* 薛如娟\*\*\* 童武夫\*

## 摘要

使用濃度高於0.05%巴拉刈處理種子，可完全抑制其萌芽。當使用濃度為0.012%時，種子雖可萌芽生長，但幼苗的生長，不論在光照或黑暗條件下，却會受到明顯的抑制。巴拉刈處理的第四天幼苗鮮重祇有正常幼苗的1/8，可溶性蛋白質含量也明顯地降低。

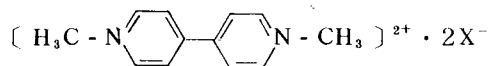
過氧化酶和吡啶乙酸氧化酶的活性隨着幼苗的生長而增高，而巴拉刈處理能急速地抑制酶活性的增高，此抑制作用特別以光照幼苗最為顯著。

巴拉刈也能抑制葉綠素、類胡蘿蔔素的產生，並降低布爾反應能力，顯然巴拉刈嚴重地阻礙幼苗光合機構的發育。

## 緒言

巴拉刈 (Paraquat) 很早就被發現，起初被用作氧化 - 還原作用的指示劑 (Weidel and Russo, 1882)；後經英國 ICI 公司開發為植物生長調節劑 (Homer et al, 1960)，現今廣泛應用於雜草的防治 (Jeater, 1968)，及棉花、馬鈴薯等作物之落葉劑 (Eastin, 1978)；為一種無選擇性、非賀爾蒙型、接觸性且無殘基 (residual) 之廣效殺草劑 (梁金灶, 1976)。一般商品名稱有“巴拉刈”、“克蕪踪”、“總免刈”等。

巴拉刈的化學構造為 1,1'-雙甲基-4,4'-雙聯吡啶鹽 (1,1'-dimethyl-4,4'-dipyridylum salts)，其性質與“大刈” (Diquat) 很類似，同屬於雙聯吡啶系化合物。其化學構造式如下：



其中 X<sup>-</sup> 可以為氯離子，或甲基硫酸根離子。

根據前人的研究，巴拉刈會使細胞迅速壞死 (Baur, 1969)，葉綠體膜 (tonoplast) 及原生質膜損壞，減低植物對二氧化碳的固定 (Cauch and Davis, 1966; Van Oorschot, 1964; Zweig, 1959; Dordge, 1972)，並抑制電子的傳遞 (

Kok, 1963; Zweig and Avon, 1965; Black, 1965; Black and Mayer, 1966)，其作用且受光和氧的影響 (Merkle M. G, Leinweber, L and Bovey R. W., 1965)，亦能加速氧的釋放，增加細胞膜的通透性，脂質也被分解 (Hanis and Dodge, 1972)，學者們對巴拉刈的作用機制，並沒有一致的看法。本實驗擬由另一個角度探討巴拉刈對水稻生長的影響，期能對其作用有更進一步的認識。

## 材料與方法

高雄 141 號水稻種子 (*Oryza sativa*)，取自臺南農業試驗所嘉義分所。巴拉刈除草劑 (24% 乳劑) 為彰化縣和美鎮和豐農化廠出品。

選取適量稻種，以 5% 次氯酸鈉水溶液消毒 10 分鐘，然後以蒸餾水清洗三次，再以蒸餾水浸潤 24 小時後，種植在鋪有棉花之錐形瓶中，並加入適量的蒸餾水；分光、暗兩組置於 25°C 植物生長箱 (incubator) 中培養。照光組光照 12 小時，光量 1000 Lux。實驗組分別以濃度 0.004, 0.008, 0.012, 0.024, 0.048, 0.05% 的巴拉刈水溶液處理；經過 24、48、72、96、120、144 小時的培養，分別記錄水稻植株之生長情形，及酵素活性，並以其抑制生長的百分比或種子萌芽率做為殺草效率 (herbicide rate)。

\*國立台灣師範大學生物系

\*\*台北市立士林國中教師

\*\*\*屏東師專助教

(一) 巴拉刈作用之最適當 pH 值：利用 0.5 M 磷酸緩衝溶液，配製其 pH 值為 4 至 10，另以檸檬酸鹽配製 pH = 2 及 pH = 3 之水溶液，將巴拉刈溶入其內，令其濃度為 0.012%，以同上述之方法培養水稻，連續培養、觀察其抑制植株生長的百分率記為殺草效率。

(二) 酵素的抽取：取植株鮮重，將之剪碎，加入兩倍體積的 0.5 M, pH 5.6 之磷酸緩衝溶液研磨；經 Beckman 冷凍高速離心機 15000Xg 離心 15 分鐘，取其上層澄清液做蛋白質含量測定 (Lowry, 1951) 及酵素活性分析。

(三) 過氧化酶與吲哚乙酸氧化酶活性的測定：

① 過氧化酶：利用光電比色計定量過氧化酶的活性。測定時，反應溶液包括：0.5ml 0.02 M 焦性沒食子酸，5ml 0.5 M pH 5.6 之磷酸緩衝溶液及 0.1ml 酵素抽取液；混合均勻後置於 30°C 水中作用 30 分鐘，再加入 0.5ml 0.1% 之過氧化氫溶液，並以 Bauch and Lomb Spectronic 20，波長 470nm 測其吸光度。每組各附以其煮沸過濾之酵素抽取液以為對照，其活性以每分鐘在 470nm 波長下之吸光度變化值為單位。其比活性則以單位 / 蛋白質含量之值表示之 (莊興陳, 1975)

$$\text{unit} = \Delta \text{O.D. } 470\text{nm} / \text{min}$$

$$\text{specific activity} = \text{unit} / \text{mg protein}$$

② 吲哚乙酸氧化酶：測定時，取 0.2ml 酵素抽取液，加入 3.8ml 0.5 M pH 5.6 之磷酸緩衝溶液及 1ml 200 ppm 之吲哚乙酸溶液；靜置 30 分鐘，各取出 2ml，加入 4ml Salkowski 試劑混合均勻，再靜置 30 分鐘後，以 Sp-20，波長 540nm 記錄其吸光度，並以一系列標準吲哚乙酸濃度做標準曲線圖，以計算吲哚乙酸破壞量，並求比活性。每組亦各附以其煮沸過濾之酵素抽取液以為對照 (莊興陳, 1975)。

specific activity

$$= \frac{[(\text{對照組 IAA 量}) - (\text{實驗組 IAA 量})] / 30\text{min}}{\text{蛋白質含量}}$$

(四) 葉綠素及類胡蘿蔔素含量的測定：以 80% 丙酮抽取色素；根據 Arnon (1949) 之方法，利用色素之特殊吸光，求出 663nm, 645nm 之吸光度，計算每單位組織(g)中，葉綠素 a 及葉綠素 b 的含量，並依 Allen's 之方法，求出類胡蘿蔔素。

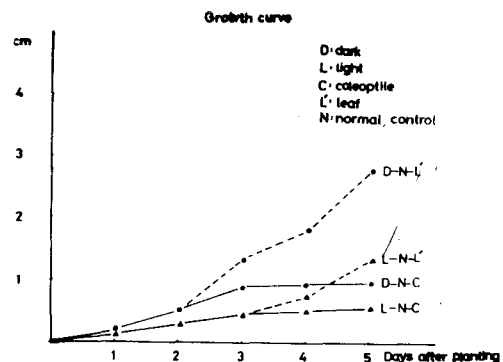
(五) 巴拉刈殺草劑對游離葉片 (isolated leaf) 的影響：光照培養 5 天的綠色水稻葉子，以剪刀剪下 2 公分長的葉片，漂浮在 0.012% 的巴拉刈培養液，其含 0.8% 蔗糖、20mM KNO<sub>3</sub>，1.2mM KHPO<sub>4</sub>，置于光照 25°C 培養箱，觀察葉片、葉綠素及類胡蘿蔔素之含量。

(六) 巴拉刈殺草劑對光合作用希爾反應影響：水稻培養 5 天後，剪下葉片稱取 10 克，以 30ml 0.4 M 蔗糖液研磨，過濾離心 1000Xg，去渣物，取澄清液再離心 7000Xg，以 0.4M 蔗糖液懸浮得出葉綠體溶液。利用 2、6 雙氯酚吲哚酚 (2,6-dichlorophenol indophenol 簡記 DCPIP) 作希爾反應的指標，以光電比色計記錄染料退色。反應溶液為 0.5ml 葉綠體溶液，2.5ml 0.1% DCPIP 5ml 緩衝溶液，實驗組另以 0.0015%，0.001% 處理巴拉刈，以 600nm 波長，每隔 30 秒記錄其透光率之變化，比較雙氯吲哚酚退色情形。

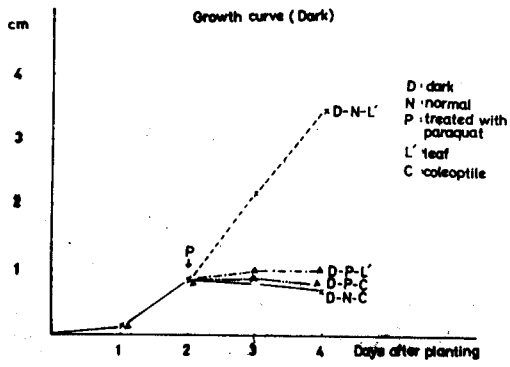
## 實驗結果

### 一、巴拉刈對水稻生長的影響

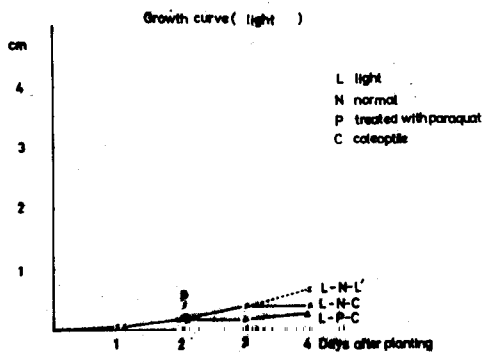
水稻生長的頭二天，植株生長較為緩慢，不論芽鞘 (coleoptile)，初生葉 (primary leaf) 如圖一，圖二，其伸長很少，鮮重量的增加也少。生長至第三、四天後，初生葉及鮮重顯著增加，而芽鞘幾乎停止生長。植株在光照生長不論芽鞘或初生葉均較黑暗生長者來得慢，在黑暗培養並處理 0.012% 的巴拉刈溶液，生長至第四天，正常植株的新生葉為處理巴拉刈的 4 倍長，不過芽鞘沒什麼影響 (



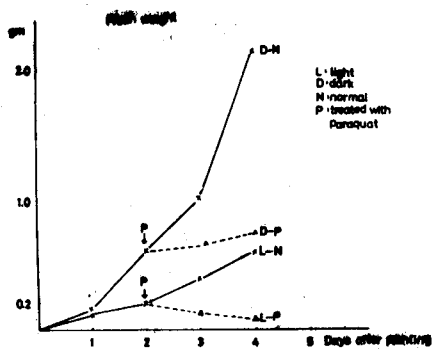
圖一：水稻置于光、暗生長，芽鞘及初生葉的變化。



圖二：黑暗培養處以 0.012 % 巴拉刈植物生長情形



圖三：處以 0.012% 巴拉刈，置于光照培養植株生長變化。(L'表：Primary leaf)



圖四：處以 0.012% 巴拉刈，光照、黑暗培養植株鮮重變化。

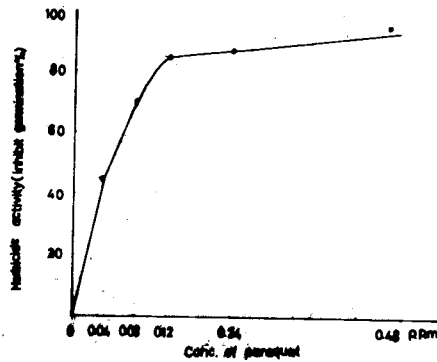
圖二)。由圖二、三、四的生長曲線顯示巴拉刈處理，其植株生長或鮮重都有顯著下降，尤其光照培養者連新生葉都無法生長，(圖三)，在鮮重方面

的比較，黑暗生長且處理巴拉刈者只有正常植株的三分之一，光照生長者正常植株為處理巴拉刈的六倍之多。

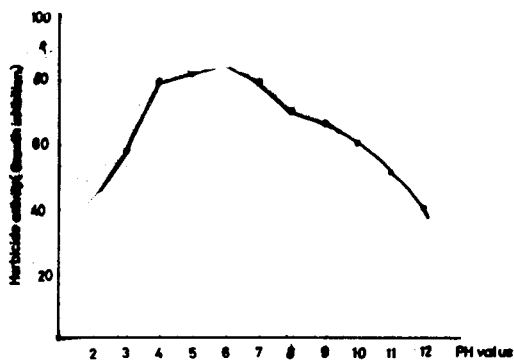
二、巴拉刈的劑量反應 (Dose response) 及最適 pH 值

巴拉刈溶液會抑制水稻種子萌芽，它對劑量多寡有不同反應，在濃度高於 0.048% 以上，其抑制率達百分之百，在 0.012% ~ 0.048% 之間，抑制率達八成左右。若濃度小於 0.008% 以下，種子的萌芽率也只有 70%，低於 0.004% 以下，抑制率減弱，只有 4 成左右，茲以其抑制水稻種子萌芽率記為殺草效率 (圖五)。

以不同酸鹼度緩衝液配置 0.012% 巴拉刈殺草劑培養水稻幼苗，於種子萌發後第二天開始處理記錄其抑制生長，以其抑制生長的多寡記為殺草效率。圖六顯示巴拉刈對 pH 值有較廣的適應範圍，只有在極酸溶液 pH < 3 以下或極鹼 pH > 10，可看出巴拉刈殺草劑急速轉弱，而在 pH 為 4 至 10 間的溶液，都有很好的殺草效率。



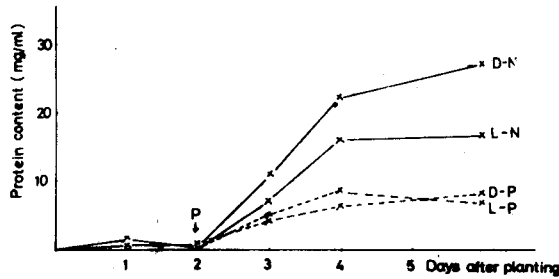
圖五：巴拉刈殺草劑對水稻種子萌芽反應



圖六：pH 值對巴拉刈殺草劑的效用

三、巴拉刈對水稻幼苗水溶性蛋白質含量的影響

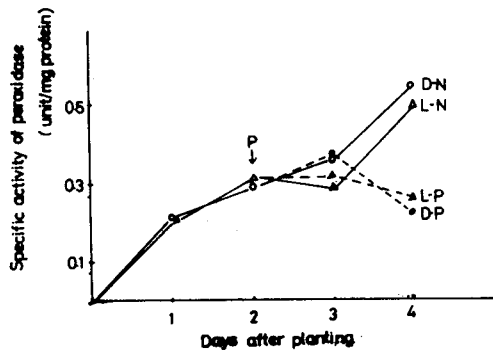
由水稻幼苗生長過程，植株萃取液中可溶性蛋白質含量（圖七），可明顯看出頭二天，植株蛋白質含量很少，而自第3天起正常生長植株蛋白質含量顯著增加。然處理0.012%巴拉刈者，植株蛋白質不再增加，生長至第6天，黑暗正常生長植株蛋白質為處理者的4倍，在光照培養下處理者蛋白質含量只有正常植株的三分之一。



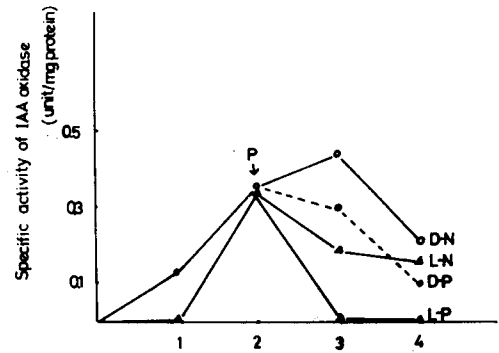
圖七：水稻幼苗生長過程可溶性蛋白質含量的變化

四、巴拉刈水稻幼苗過氧化酶、IAA 氧化酶活性的影響

由圖八(A)顯示水稻幼苗正常生長，自發芽起至生長的第四天，不論光、暗培養的幼苗其過氧化酶活性均隨芽鞘伸長而增高，但處以0.012%巴拉刈者，其活性有顯著下降，比活性的表示是跟植株蛋白質含量有關，由圖七可發現處理巴拉刈的植株，其



圖八(A)：水稻幼苗生長過程，植株過氧化酶活性變化



圖八(B)：水稻幼苗生長過程，植株 IAA 氧化酶活性變化。

蛋白質含量比正常植株低很多，所以若以芽鞘枝數表示，其活性受巴拉刈的抑制更為明顯（如圖九(A)）。在第四天植株生長，正常光照培養者，其活性為處理巴拉刈的2倍，黑暗生長也顯出巴拉刈能顯著地抑制過氧化酶活性。

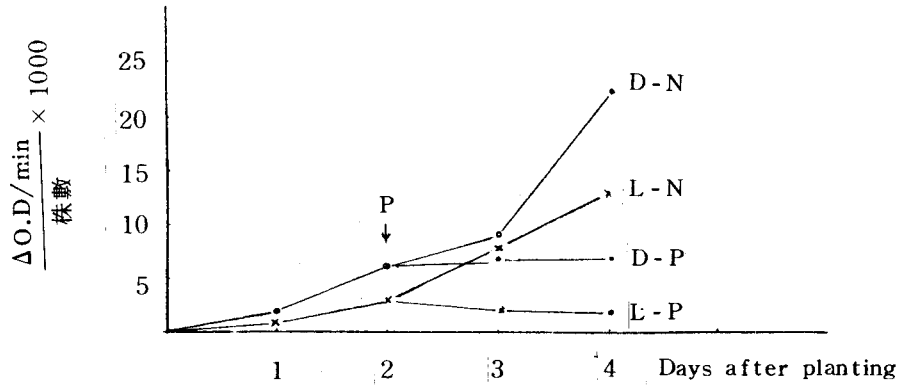
IAA 氧化酶的活性變化見圖八(B)；可看出未經處理的水稻幼苗，不論光、暗培養，生長初期，其 IAA 氧化酶活性顯著升高，尤其黑暗生長的植株其第3天的 IAA 氧化酶達最高峯，生長至第4天稍降。但是經巴拉刈處理者，IAA 氧化酶活性顯著下降、顯示巴拉刈抑制了 IAA 氧化酶的活性，尤其在第三天光照培養後，IAA 氧化酶完全失去活性，顯示了光照組巴拉刈對過氧化酶及 IAA 氧化酶活性的抑制特別顯著。（如圖九(B)）。

五、巴拉刈對葉綠素及類胡蘿蔔素含量的影響

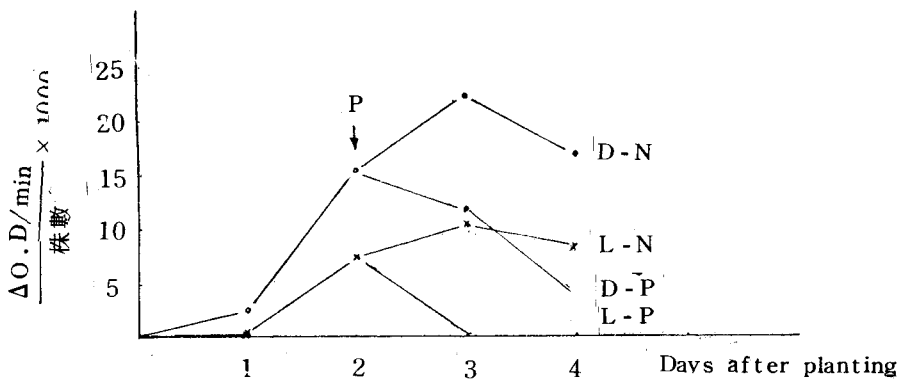
水稻幼苗生長期間，葉綠素 a 及葉綠素 b 的含量，均隨生長漸增，而類胡蘿蔔素含量自第二天起突然增加，繼之隨生長而逐日增多。然當處以0.012%巴拉刈者，不論葉綠素 a 或葉綠素 b 的含量都沒有增加（圖十）。由外表觀查，處理後二天，植株外形已顯現枯黃，繼而呈黃化。類胡蘿蔔素含量也顯著受到巴拉刈的影響，由圖十可看出培養第二天類胡蘿蔔素只是正常植株的三分之一，類胡蘿蔔素的含量也大大受巴拉刈所抑制。

六、巴拉刈對游離葉片色素的變化

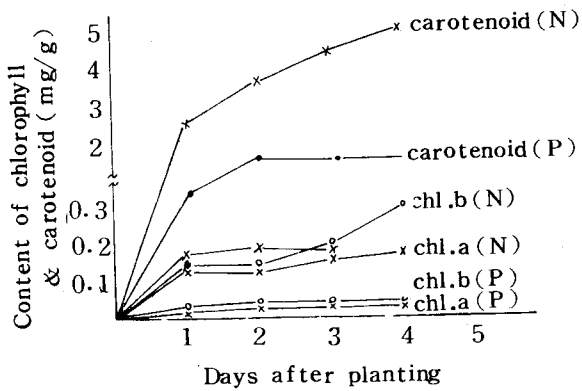
將第五天生長的水稻葉片，游離植株，培養在培養皿光照培養，外表發現綠色葉片漸變黃，直



圖九(A)：水稻幼苗生長過程植株過氧化酶活性變化

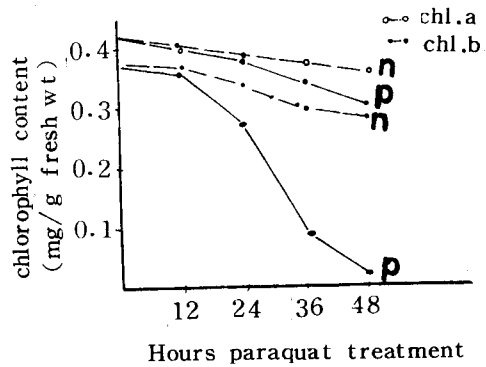


圖九(B)：水稻幼苗生長過程植株 IAA 氧化酶活性變化



圖十：水稻幼苗生長、葉綠素及類胡蘿蔔素含量變化。

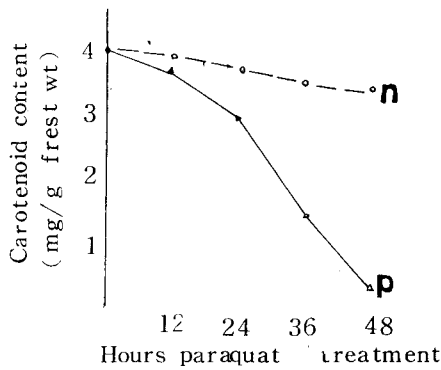
至枯黃白化。測定葉綠素 a，葉綠素 b 含量變化，



圖十一：游離葉片光照處以 0.012% 巴拉刈，葉綠素 a，葉綠素 b 含量變化 (n：正常，p：巴拉刈，○---○ 表正常植株葉綠素 a，-- 表正常植株葉綠素 b，○—○ 表處理植株葉綠素 a，○—○ 表處理植株葉綠素 b)

由圖十一顯示巴拉刈處理後，最初十二小時內葉綠素沒有顯著遭破壞，繼續培養至 48 小時，植株全白化，也測不出葉綠素了。葉綠素 b 被破壞得較葉綠素 a 為緩慢，至 48 小時尚可測得少量葉綠素 b。至於類胡蘿蔔素的遞減也非常迅速，在二天的培養，類胡蘿蔔素含量已微少了。

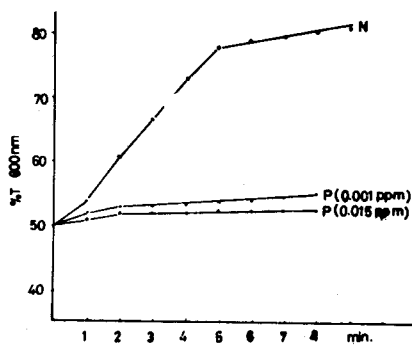
實驗組，雖然也逐日遞減，但非常有限，在二天的培養後，葉綠素 a 尚還有 0.35 mg/g，葉綠素 b 為 0.40 mg/g，而類胡蘿蔔素含量仍為 3.6 mg/g。由此可證明巴拉刈可顯著地損壞葉綠素 a，葉綠素 b 及類胡蘿蔔素。



圖十二：游離葉片光照處以 0.012% 巴拉刈，類胡蘿蔔素含量變化。(n：正常植株，p：巴拉刈者)

七、巴拉刈對光合作用的影響

正常生長的水稻綠葉，經葉綠體萃取加入 2,6 雙氯吡啶，在 5 分鐘內，由光電比色計讀數可看出已將 2,6 雙氯吡啶還原退色 (圖十三)。然處理 0.001% 及 0.0015% 的巴拉刈溶液於葉綠體



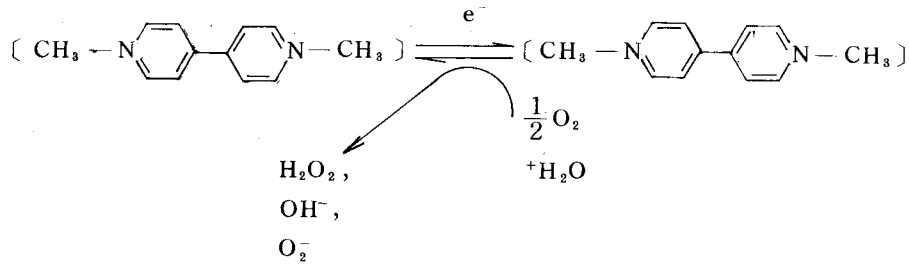
圖十三：巴拉刈對希爾反應的影響

溶液時，其還原作用不進行，反應八分鐘仍可看出吡啶酚藍色仍在，可能巴拉刈抑制光合作用的希爾反應 (Hill reaction)。

討 論

巴拉刈是一種有效水生殺草劑 (Brian 1969)，通常市售巴拉刈乳劑為 24%。農民用量為稀釋 400 倍左右即 0.06% 即可產生明顯殺草作用。通常用於禾本科作物如麥類及直播水稻、果園、山坡地及無作物地區為萌前或萌後殺草劑，也有人用於防除一年生雜草如麥娘、野稗、天蓬草、莎草等 (梁金灶, 1976)。本實驗以水稻作材料，施用量為民間用量的五分之一。以此劑量為探討生理生化的試驗劑量；因劑量太高 (> 0.05%) 種子不萌發。

由圖二、圖三、圖四水稻幼苗生長過程，植株伸長及鮮重變化，顯示巴拉刈之藥效跟光照有密切關係，這與 Merkle 結果相吻合。在光照培養，巴拉刈能迅速地造成植物體的焦黃、枯萎 (Mess, 1960)。光質的試驗 (Blackburn, 1965) 證實紅光 (660 nm) 對巴拉刈殺草最有效，綠光作用最小，這是否跟植物色原 (phytochrome) 有關，待進一步證明。至於光的強弱在光強為 0~1000fc 之間，巴拉刈殺草效率隨光度增加而增加。在黑暗條件，巴拉刈的殺害較弱與 Brian 所得相符合 (Brian, 1969)。Mess 推論巴拉刈的殺草效用跟氧氣有關，由氧化還原電位推論，巴拉刈在光照氧氣充足環境，其氧化-還原電位為 -446mv (Michaelis and Hill, 1933)，恰好可奪取光合作用系統 I (Photosynthetic System I) 用來作還原 NADP 的電子，使陽離子巴拉刈還原產生一穩定游離基 (free radicle)，當氧氣充足，此一游離基再度氧化為原來形式的巴拉刈，其作用過程產生過氧化物 (peroxide)，氫氧基 (OH<sup>-</sup>)，及 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 等，這些化合物對植物體造成嚴重毒害作用；(Baldwin 1968, Dasilva et al 1976)。其作用機制簡圖如下：



巴拉刈對酸鹼度相當穩定，它在 pH 為 5 至 10 都能表現良好殺草作用，這跟 Funderburk 從事水萍研究相同。在 pH 較高 ( pH ≥ 10 ) 及 pH 偏低 ( pH ≤ 3 )，殺草劑漸喪失活性，可能是巴拉刈跟土壤發生離子交換，結果不利於根部吸收 ( Damanakis 1970 )。一般土壤其酸鹼度均在 5 至 8 之間，因此酸鹼度對巴拉刈的實用該不會造成太大的困擾。

由生長過程中蛋白質含量變化圖 ( 圖七 )，可明顯看出巴拉刈影響蛋白質合成，這可能降低植物細胞同化作用的代謝率，而加速異化作用。由蓖麻子葉處理巴拉刈，發現它抑制了二氧化碳的吸收且產生大量氧氣。 ( Harris & Dodge 1972<sup>a</sup> ) 或許是致使細胞代謝異常導致蛋白質合成下降。並由電子顯微鏡觀察發現巴拉刈處理 12 小時後，其液泡膜失去完整性，更造成組織中蛋白質含量降低的原因 ( Harris & Dodge 1972<sup>b</sup> )。由於葉綠膜、粒腺體膜受損，不能有效進行光合作用及呼吸作用，就沒有蛋白質合成的原料。

在水稻幼苗的正常生長中，其過氧化酶活性隨生長而增加，但處理巴拉刈者其活性大減。至於活性降低的詳細機制不詳。由研究菠菜葉過氧化小體 ( peroxisome ) 時發現葉綠體內沒有觸酶 ( catalase ) 活性 ( Yamazaki 1968, 1970 )。因此推測巴拉刈造成過氧化氫的解毒可能須仰賴過氧化酶及相關酶如吡啶乙酸氧化酶的協助。因此也許是由於巴拉刈處理後過氧化酶活性降低及 IAA 氧化酶失去活性 ( 圖九 )，致使植物細胞不能作解毒作用。因此短時間堆積很多游離基，因而很快造成損傷。

水稻幼苗生長過程，處理巴拉刈者很快即可看出白化 ( chlorosis ) 或退色 ( bleaching )，葉綠素 a 及葉綠素 b 顯著降低，類胡蘿蔔素含量減少。這些現象跟用水萍所作實驗結果相類似 ( Funderburk 1963 )。而巴拉刈致使葉綠素 a、葉綠素 b、類胡蘿蔔素含量減少。可能原因是合成中止或色

素遭破壞。由圖十一、十二結果可明顯看出葉綠素受到巴拉刈的作用而分解。此和蓖麻的結果相同 ( Harris & Dodge 1972<sup>a</sup> )。本研究發現葉綠素 a 比 b 遭損壞得厲害，可能跟類胡蘿蔔素有關，因類胡蘿蔔素遞減後使葉綠素 a 失去保護終被氧化。詳細機制尚待進一步研究。

為了探討巴拉刈對光合作用影響，由希爾反應結果 ( 圖十三 )，可瞭解巴拉刈的處理造成氧化還原反應不能順利進行，阻止電子傳遞。這與 Mess 1960 研究相符。巴拉刈氧化還原電位為 -446 mV，恰是光合作用 PSI 的氧化還原電位，同時 Harris 也從事蓖麻研究發現巴拉刈處理一段時間，就完全失去光合作用水的光解能力。因此由水稻幼苗的研究仍支持下列假說：光照致使巴拉刈奪去 PSI 的電子，使巴拉刈游離基氧化產生過氧化物，OH<sup>-</sup>，O<sub>2</sub><sup>-</sup> 等都堆積在細胞內又沒有過氧化酶，IAA 氧化酶、觸酶等解毒，因此使植物枯黃終告死亡。

### 參考文獻

1. 楊蔚，1975，綠豆發芽期間過氧化酶的活性及異構酶型態變化，師大 64 級生物系畢業論文。p.28
2. 楊逸先、王月雲、陳是瑩，1977，綠豆下胚軸中過氧化酶及吡啶乙酸氧化酶活性分佈情形師大生物學報第 12 期，p.1-8
3. 莊小萍、陳是瑩，1975，綠豆幼苗中吡啶乙酸氧化酶的研究，師大生物學報，10:67-75
4. 梁金灶，1976，殺草劑概論，p.323
5. Arnon, D. I.; 1949 Copper enzymes in isolated chloroplasts. plant physiol. 24; 1975.
6. Allen, R. L.; 1965 Dependence of chloroplast pigment synthesis on protein synthesis Biochem. Biophys. Res. Commun 21:523-

- 530.
7. Baldwin. B. C; 1968 Paraquat in chloroplast Biochem Biophys Acta 162:614-617.
  8. Baur. J. R; Bovey R. W; et al 1969 Effects of paraquat on the ultrastructure of mesquite mesophyll cell Weed Res 9:81-85
  9. Black C. C; 1965 Reduction of trimethylene dipyridyl with illuminated chloroplasts Science 149:62-63
  10. Blackburn R. D. and Weldon, L. W. 1965 The sensitivity of duckweeds (*lemnaceae*) and *Azolla* to diquat and paraquat Weed Science 103:147-149
  11. Black C. C; 1965. Chloroplast reactions with dipyridyl Salts Biochem Biophys Acta. 120:332-342
  12. Black C. C. and Mayers L. 1966. Some biochemical aspects of the mechanisms of herbicidal activity Weeds 14:331-338.
  13. Brian, R. C; Homer R. F; Stubbs, J; and Jones. R. L. 1958. A new herbicide 1.1'-ethylene-2.2'-dipyridium dibromide Nature 181:446.
  14. Brian, R. C. 1969. The influence of darkness on the uptake and movement of diquat and paraquat in tomatoes, Sugar-beet, and potatoes. Ann. Appl. Biol. 63:117-126
  15. Brien O'; Mary. C. 1978. A rapid and sensitive bioassay for determination paraquat & diquat in water. Weed Res. 18(5):301-303
  16. Couch, R. W; and Davis D. E. 1966. Effects of atrazine, bromacil and diquat on <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>-fixation in corn, cotton and soybean. Weeds 14:251-255
  17. Damanakis M. D; et al 1970. The adsorption and mobility of paraquat on different soils and soil constituents Weed Res 10:264-277
  18. Damanakis M. D. et al 1970. Availability to plants of paraquat adsorbed on soil or sprayed on vegetation. Weed Res, 10:305-315.
  19. Dasilva J. F; Fadayomi R.O; Warren G. F; 1976. Cotyledon disc bioassay for certain herbicide, Weed Science Vol 24 Issue 3 May 250-252.
  20. Eastin, E. F; 1979. Decicant for rice Crop Science. 19:1069-1071.
  21. Funderbuck, H. H; and Lawrence J. M. 1964. Mode of action and metabolism of diquat and paraquat, Weeds 12:259-264
  22. Hanly H. Funderbuck H; Lawrence J. M. 1963. A sensitive method for determination of low concentration of diquat and paraquat. Nature vol. 199. Sep. 1011-1012.
  23. Harris. N and Dodge A.D. 1972. The effect of paraquat on flax cotyledon leaves changes in fine structure Planta (Berl) 104:201-209.
  24. Harris N. and Dodge A. D. 1972. The effect of paraquat on flax cotyledon leaves physical and biochemical changes planta (Berl) 104:210-219.
  25. Homer R. F. Mess. G. C. & Tomlinson T. E. 1960. Mode of action of dipyridyl quaternary salts as herbicides J. Sci. Food. Agr. 11:309-315.
  26. Jeater R.S.L. 1964. Weed Res. 4:133.
  27. Kok, B; 1963. Significance of P<sub>700</sub> as an intermediate in photosynthesis. Proc 5th Intern. Conger. Biochem. 6:73-81.
  28. Lowry 1961. "Protein Measurement with the folin-phenol reag. J. Biol. Chem. 193:265-275.
  29. Merkle M. G; Leinweber L and Bovey R. W. 1965. The influence of light, oxygen and temperature on the herbicidal



- properties of paraquat. *Plant physiol.* 40:832-835.
30. Mess G. C; 1960. Experiment on the herbicidal action of diquat. *Ann of Appl Biol.* 48:601-607.
31. Michaelis L and Hill E.S. 1933. The viologen indicators *J. Gen. Physiol.* 16: 859-873.
32. Tolbert et al 1968. Peroxisomes from spinach leaves containing enzymes related to glycolate metabolism. *J. Biol. Chem.* 243:5179-5184.
33. Van Dorscht J.L.D. 1964. Some effect of diquat and sometone on CO<sub>2</sub>-uptake and translocation of *Phaseolus vulgaris* *Proc. 7th Br. Weed Control Conf.* 321-324.
34. Vanstone D. E. and Stobbe E. H. 1977. Electrolytic conductivity a rapid measure of herbicide injury. *Weed Science* 25:issue 4 (July)
35. Weidel H and Russo. M. 1882. *Monatsh chem* 3. 863.
36. Yamazaki a Tolbert 1970. Enzymic characterization of leaf peroxisomes. *J. Biol. Chem.* 245:5137-5144.
37. Zweig G. N. Shavit and M. Avron 1965. Diquat (1,1'-ethylene-2,2'-dipyridylum dibromide) in photoreactions of isolated chloroplasts. *Biochem. Biophys. Acta.* 109:332-346.
38. Zweig G. and M. Avron 1965. On the oxidation-reduction of isolated chloroplast *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 19: 397-400.
39. Zweig G. 1969. Mode of action of photosynthesis inhibitor herbicides. *Res. Rev.* 25:69-79.

## Effect of Paraquat on the Growth and Development of Rice Seedlings

Yei-Yun Wang, Dong-Chin Chen, Ru-Juan Shiue Wu-Fu Tong

### ABSTRACT

The growth inhibition of rice seedlings by paraquat was investigated. Seeds could not germinate at all, if the concentration of paraquat was over 0.05%. At the concentration of 0.012% the growth of seedlings either in the light or in the dark was retarded. Fresh weight and soluble protein content of the seedlings decreased markedly after paraquat treatment.

The degree of inhibition was varied with pH value of paraquat solution, paraquat was much more effective in the range between pH 4 to pH 7.

The activity of peroxidase and IAA oxidase increased during the growth of seedlings, and paraquat inhibited drastically this increase, particularly to the light-grown seedlings.

Paraquat retarded also the synthesis of chlorophyll and carotenoid, and reduced the capacity of Hill reaction, indicated that paraquat inhibited effectively the development of photosynthetic apparatus of the seedlings.