

2025年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號	030023
參展科別	化學
作品名稱	藥命時刻---天然環境農藥降解與大範圍消除方法研究與討論 Time for No Pesticide on My Plate : Research and discussion on methods for degradation and large-scale elimination of pesticides in natural environment
就讀學校	彰化縣立二林高級中學
指導教師	郭琬玲 黃鈞期
作者姓名	傅子家 曾品心 黃以鄰
關鍵詞	<u>農藥、降解、親核取代反應</u>

作者簡介



我是傅子家，就讀於縣立二林高中。在高二時和同學們一起投入生物專題的研究。雖然過程中屢屢碰壁，但在老師的指導與同學們的互相支持下，我們一步步克服挑戰，最終在全國科展中脫穎而出，獲得佳績。

我是曾品心，就讀二林高中數理實驗班，在高二時和同學一起進行了與農藥分解有關的專題研究。身為農業家庭的小孩，我很高興能與志同道合的同學們一起為家鄉做出貢獻，同時也非常感謝家人、老師及同學們的協助與支持。

我叫黃以粼，是團隊中最後一位加入的成員，很慶幸自己當初沒有拒絕同學們的邀請，盡心盡力投入實驗，並透過科展出去見見世面，一路過關斬將獲得全國第一的殊榮，讓高中生活更加精彩。

2025 年臺灣國際科學展覽會
研究報告

區 別：

科 別：化學科

作品名稱：藥命時刻---天然環境農藥降解與大範圍消除方法研究與
討論

Time for No Pesticide on My Plate :

Research and discussion on methods for degradation and
large-scale elimination of pesticides in natural environment

關鍵詞：農藥、降解、親核取代反應

編號：

Abstract

This experiment investigates the degradation and testing of the commonly used herbicide “Glufosinate Ammonium.” It also explores various substances and methods to eliminate the pesticide and seeks to identify the most effective method for removing “Glufosinate Ammonium.”

This study found that generating "Nucleophilic substitution" results in a more effective pesticide removal. Additionally, the pesticide elimination is more efficient when the environmental substances contain higher amounts of amino acids and vitamins.

Based on the experimental results, we created a simple and inexpensive pesticide remover using readily available substances from the environment. This remover is intended to help farmers and the general public eliminate pesticide residues on crops, achieving over 99% removal in a very short time. We hope this can help people avoid the harmful effects of pesticides.

摘要

本實驗研究常見除草劑「固殺草」的降解與檢驗，同時利用各種物質與方法嘗試消除農藥，並尋找消除農藥「固殺草」的最佳方法。

本研究發現：藉由產生「親核取代反應」(Nucleophilic substitution)能有較佳的消除農藥效果，並且當環境物質含有越多量的胺基酸與維生素時，其消除農藥效果也越好。

根據實驗結果，我們利用環境中易取得的物質，自製簡單、便宜的農藥消除劑，用來協助農民與一般民眾消除農作物上殘存的農藥，並根據實驗結果可以在極短時間內去除 99%以上的農藥殘留，期望幫助民眾遠離農藥的毒害。

壹、研究動機

在現今社會，食安問題越來越被大家重視。學校旁有塊農地，每隔一段時間就會看到農民們在噴灑農藥；吃飯時，看著餐桌上的高麗菜，思考著：這盤菜噴了多少農藥呢？有多少農藥殘留呢？有什麼方法能使農藥殘留量降低呢？礙於成本問題，一般農民無法使用專業降解技術，於是我們想從生活出發，尋找能有效分解農藥的物質。

貳、研究目的

- 一、探討固殺草農藥的檢驗與降解
- 二、探討化學物質與固殺草農藥的反應
- 三、探討生活物質與固殺草農藥的反應
- 四、自製有效、便宜的農藥消除劑

參、研究器材與藥品

一、器材

分光光度計 (723PC：光譜帶 寬 4nm、波長範圍 325~1000nm)	手套	洗滌瓶	試管
	漏斗	鑷子	量瓶
	樣本瓶	秤量紙	滴管
燒杯	微量分注器	刮勺	比色管
電子天秤 (最小刻度 0.001g)	加熱攪拌器	磁攪拌子	365nmUV 燈
	離心管	鋁箔紙	計時器
高麗菜	量筒	竹籤	筆管
超音波震盪器	噴瓶	衛生紙	玻棒

二、藥品（農藥與檢測劑調配）

速斬根（固殺草） Glufosinate Ammonium	95%酒精	0.1M 維生素 C 水溶液
溴水（Bromine）	0.1M 鹽酸水溶液	0.1M 活性碳水溶液
乙醯膽鹼酯酶（AChE）	0.1M 氫氧化鈉水溶液	0.1M 二氧化氯水溶液
基質（ATCI）	0.1M 次氯酸鈉水溶液	0.1M 鹽酸水溶液
呈色劑（DTNB）	5% 丙酸	5% 丙胺
緩衝液（PBS buffer）	5% 丙胺酸	毛寶洗碗精
克寧奶粉	萬家香烏醋	蜂蜜

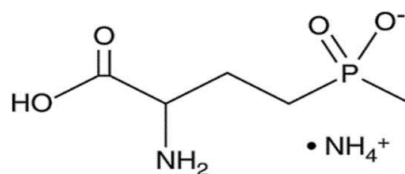
藥品	配製方法
速斬根（固殺草） Glufosinate Ammonium	除草劑：稀釋倍數 200 倍、20 倍 C A S：77182-82-2
乙醯膽鹼酯酶（AChE）	每瓶加入 10 ml 蒸餾水溶解 （分裝後並保存於 0°C 以下）廠牌：吾酶土
基質（ATCI）	每瓶加入 10 ml 蒸餾水溶解 （分裝後並保存於 0°C 以下）廠牌：吾酶土
呈色劑（DTNB）	每瓶加入 50 ml 蒸餾水溶解 （分裝後並保存於 0°C 以下）廠牌：吾酶土
緩衝液（PBS buffer）	每瓶以 500 ml 蒸餾水溶解 （分裝後並保存於 0°C 以下）廠牌：吾酶土

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

（一）固殺草（Glufosinate Ammonium）

1. 化學結構



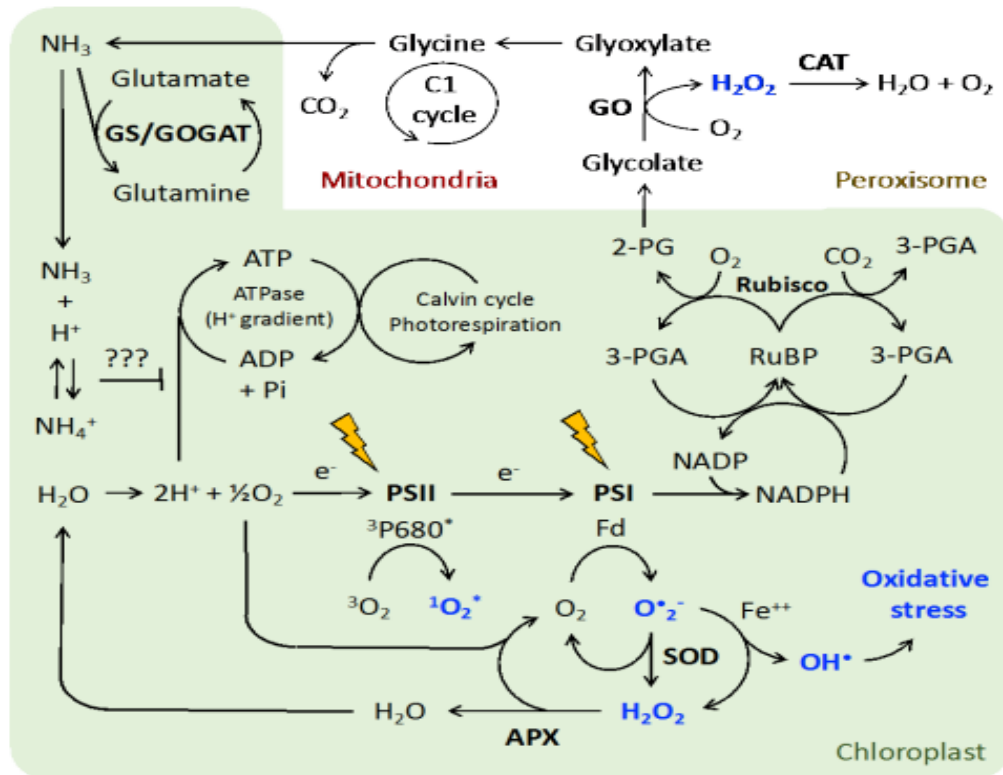
圖（一）固殺草分子式：C₅H₁₅N₂O₄P

【圖片來源：參考資料文獻五】

2. 毒性分析

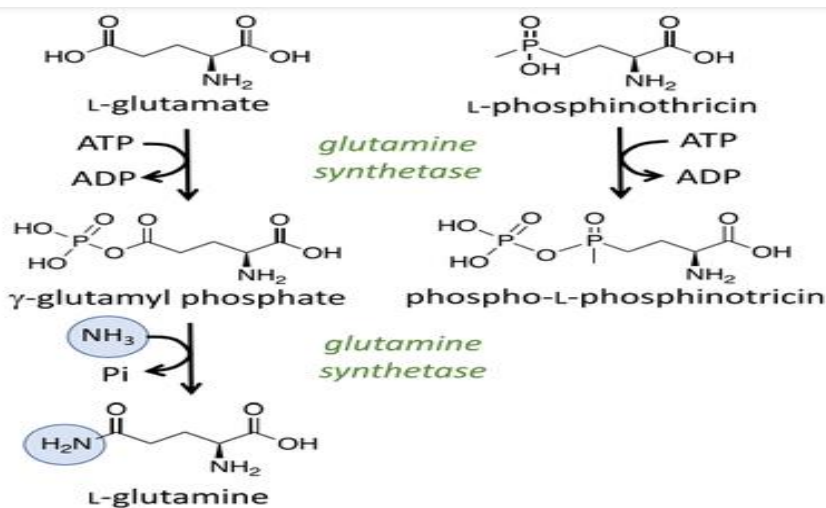
固殺草中的有機磷具有急性毒性，長期或反覆吸入及皮膚接觸可能會導致中樞神經系統和呼吸道毒性，容易造成呼吸道過敏/刺激或皮膚過敏/刺激/腐蝕，有機率會損害生育能力或未出生的孩子。

3. 作用機制



圖（二）【圖片來源：參考資料文獻八】

草銨磷透過抑制麩醯胺酸合成酶來消滅雜草，麩醯胺酸合成酶是一種參與將銨摻入胺基酸麩醯胺酸的酵素。抑制這種酵素會導致植物中累積植物毒性氨，從而破壞細胞膜，進而使雜草死亡。



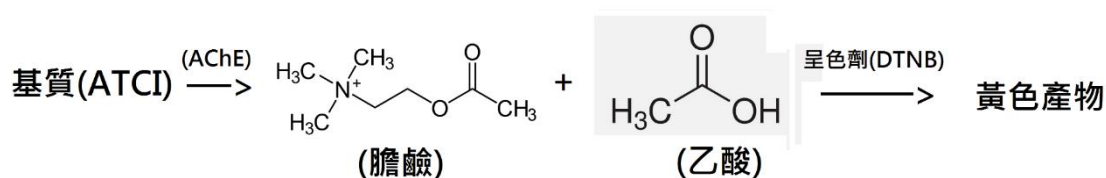
圖（三）草銨磷（L-膦絲菌素）抑制麩醯胺酸合成酶催化的反應

【圖片來源：參考資料文獻八】

草銨磷（L-膦絲菌素）抑制麩醯胺酸合成酶催化的兩步驟反應：在沒有抑制劑的情況下，合成酶（GS）將谷氨酸磷酸化為 γ -谷氨酰磷酸，並結合氨產生谷氨酰胺。而草銨磷會與谷氨酸競爭活性位點。合成酶會轉而將草銨磷磷酸化為磷酸-L-草銨磷，使氨不能被代謝分解，便形成一種酶抑制劑複合物（不可逆轉）。

（二）有機磷的檢驗方法

1. 檢測試劑結構反應式

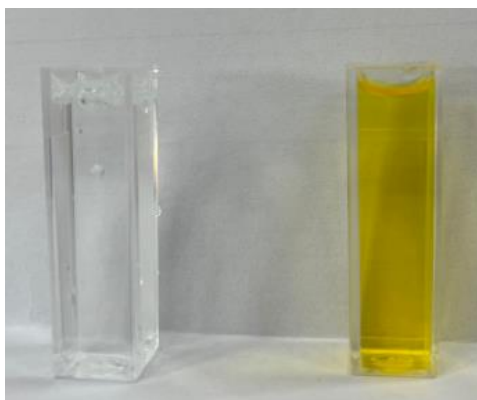


圖（四）檢測試劑結構反應式

【圖片來源：參考文獻六，再由作者繪製】

2. 檢測原理

有機磷除草劑會抑制乙醯膽鹼酯酶（AChE）之活性，其抑制率與農藥之濃度呈正相關。在正常情況下，乙醯膽鹼酯酶（AChE）可將基質（ATCI）分解為乙酸及硫代膽鹼，硫代膽鹼與呈色劑反應會產生黃色產物。利用在波長 412nm 下吸光值的變化量（da/min）計算出抑制率，可用來判斷樣品中是否有有機磷農藥殘留。



圖（五）左石英管為待測原液，右石英管為加入檢測試劑並反應完畢後的溶液

【圖片來源：本圖由作者拍攝】

3. 換算方法

$$\text{抑制率計算方式：} \frac{\text{對照組之吸光值} - \text{樣品之吸光值}}{\text{對照組之吸光值}} \times 100\%$$

(三) 研究過程

實驗一：農藥與酸鹼物質作用

1. 配製 0.1M 鹽酸水溶液、0.1M 氫氧化鈉水溶液
2. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝到兩瓶樣品瓶中，各 30ml
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 將配製好的溶液各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗二：農藥與氧化還原物質（次氯酸鈉、二氧化氯與維生素 C）作用

1. 配製 0.1M 次氯酸鈉水溶液、0.1M 二氧化氯水溶液、0.1M 維生素 C 水溶液
2. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝到三瓶樣品瓶中，各 30ml
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 將配製好的溶液各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗三：農藥與氧氣連續反應實驗

1. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝 30ml 到樣品瓶中
2. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
3. 將樣品瓶放置加熱攪拌器攪拌
4. 每隔 5 分鐘檢測一次農藥殘留
5. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗四：農藥與吸附劑（活性碳）作用

1. 配製 0.1M 活性碳水溶液
2. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝 30ml 到樣品瓶中
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 取 1ml 的 0.1M 活性碳水溶液加入樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗五：農藥與紫外光作用

1. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝 30ml 到樣品瓶中
2. 將樣品瓶放置於 365nm UV 燈下照紫外光
3. 每隔 5 分鐘檢測一次農藥殘留
4. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗六：農藥與各種生活環境物質作用

1. 配製溶液：
 - (1) 牛奶：秤 1 克奶粉加水至 100cc
 - (2) 蜂蜜水：秤 1 克蜂蜜加水至 100cc
 - (3) 洗碗精水：秤 1 克洗碗精加水至 100cc
 - (4) 烏醋水：秤 1 克烏醋加水至 100cc
 - (5) 茶葉（綠茶）水：秤 1 克綠茶葉浸泡 250ml 的水
2. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝到五瓶樣品瓶中，各 30ml
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 將配置好的溶液各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗七：農藥與自製消除劑作用

1. 配製溶液：
 - (1) 牛奶：秤 1 克奶粉加水至 100cc
 - (2) 烏醋水：秤 1 克烏醋加水至 100cc
 - (3) 1%維生素 C
2. 配製自製消除劑：
 - (1) 奶粉與維生素 C：取 0.5ml 的牛奶加上 0.5ml 的 1%維生素 C
 - (2) 烏醋與維生素 C：取 0.5ml 的烏醋水加上 0.5ml 的 1%維生素 C
 - (3) 烏醋與牛奶：取 0.5ml 的牛奶加上 0.5ml 的烏醋
3. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝到三瓶樣品瓶中，各 30ml
4. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
5. 將配製好的自製消除劑各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
6. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
7. 加入檢測試劑
8. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
9. 每個實驗重複三次，再取平均值

實驗八：自製農藥消除劑田野實驗（反應 10 分鐘）

1. 將高麗菜葉切成固定大小數片



圖（六）【圖片來源：本圖由作者拍攝】

2. 將高麗菜切片浸於稀釋 200 倍的固殺草農藥內



圖（七）【圖片來源：本圖由作者拍攝】

3. 高麗菜片取出瀝乾



圖（八）【圖片來源：本圖由作者拍攝】

4. 高麗菜片浸泡於實驗七的三種自製農藥消除劑中



圖（九）【圖片來源：本圖由作者拍攝】

5. 將高麗菜片放置在實驗室中 10 分鐘

6. 將高麗菜片浸於萃取液（2ml 酒精+100 μ l 溴水）中



圖（十） 【圖片來源：本圖由作者拍攝】

7. 放入超音波震盪器震盪 5 分鐘，並靜置 3 分鐘



圖（十一） 【圖片來源：本圖由作者拍攝】

8. 將萃取液（不含高麗菜片）倒入樣品瓶中，並靜置 20 分鐘待溴水揮發



圖（十二） 【圖片來源：本圖由作者拍攝】

9. 加入檢測試劑

10. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量

追加實驗 1：農藥與烏醋、醋酸的反應

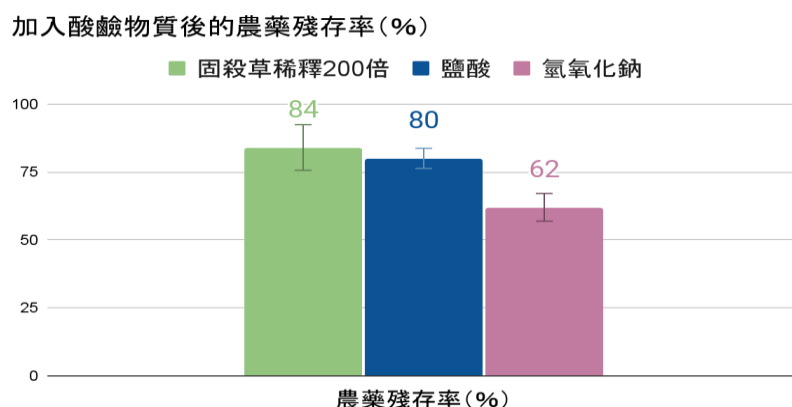
1. 配製 5%烏醋水溶液、5%醋酸水溶液
2. 將稀釋 200 倍後的農藥分裝到兩瓶樣品瓶中，各 30ml
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 將配製好的溶液各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

追加實驗 2：農藥與丙酸、丙胺、丙胺酸的反應

1. 配製 5 %丙酸水溶液、5 %丙胺水溶液、5 %丙胺酸水溶液
2. 將稀釋 20 倍後的農藥分裝到三瓶樣品瓶中，各 30ml
3. 將樣品瓶包鋁箔紙隔光
4. 將配製好的溶液各取 1ml，分別加入不同的樣品瓶中
5. 稍微搖晃，並靜置 10 分鐘
6. 加入檢測試劑
7. 放入分光光度計在波長 412nm 下量測每分鐘吸光值的變化量
8. 每個實驗重複三次，再取平均值

伍、研究結果

一、農藥與酸鹼物質作用

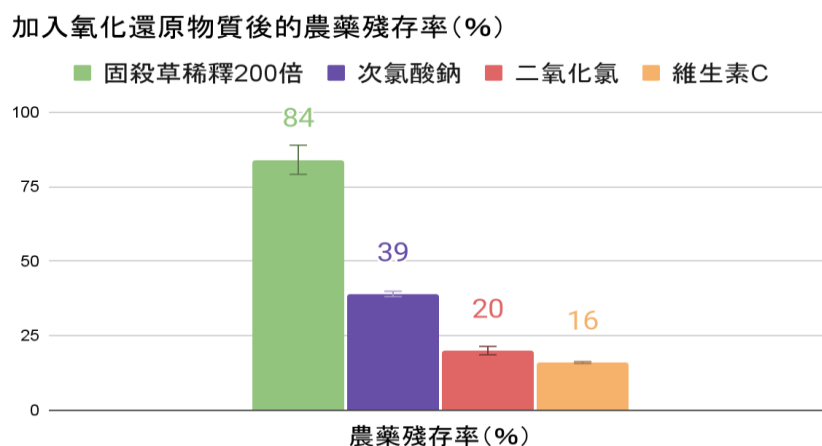


圖（十三）固殺草中加入酸鹼物質之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

此實驗為探討農藥加入酸鹼物質後的農藥殘存率。結果顯示，農藥加入鹽酸後的殘存率為 80%，而氫氧化鈉為 62%。由此可以看出鹼性物質的分解農藥能力較強，酸性則較弱，其分解完跟固殺草稀釋 200 倍後的數值差異不大。

二、農藥與氧化還原物質作用



圖（十四）固殺草中加入氧化還原物質反應 10 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

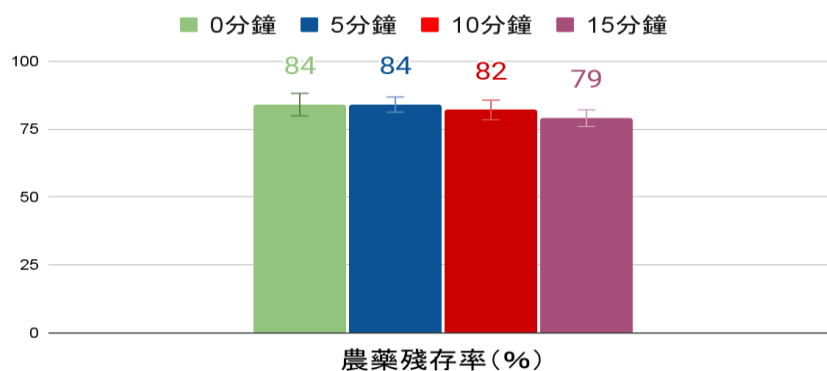
此實驗為探討農藥加入氧化還原物質後的農藥殘存率。結果顯示，農藥加入次氯酸鈉後的殘存率為 39%，二氧化氯為 20%。由此可以看出氧化還原物質的分解農藥能力皆不錯，其中最佳的為維生素 C，分解完後農藥僅剩 16%。

三、 農藥與氧氣連續反應實驗

表（一）固殺草與氧氣連續反應 15 分鐘後之農藥殘存率

反應時間	農藥殘存率（%）
0 分鐘	84
5 分鐘	84
10 分鐘	82
15 分鐘	79

氧氣追蹤實驗的農藥殘存率（%）



圖（十五）固殺草與氧氣連續反應 15 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

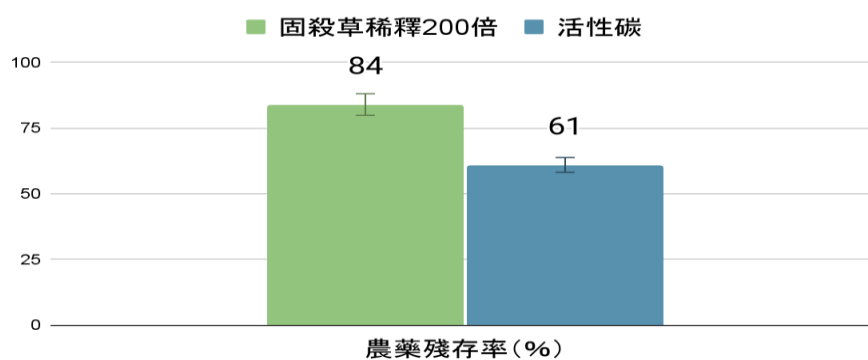
此實驗結果顯示氧氣隨著時間流動的農藥殘留率的變化。一開始氧氣的農藥殘留率為 84%，隨後在 5 分鐘的時間內幾乎沒有降，再過 10 分鐘降至 82%，最終在 15 分鐘時降至 79%。隨著實驗進行，氧氣的農藥殘留率呈現緩慢的下降趨勢，且數值幾乎沒有變動。

四、農藥與吸附劑（活性碳）作用

表（二）固殺草中加入活性碳之農藥殘存率

反應物質	農藥殘存率（%）
固殺草稀釋 200 倍	84
活性碳	61

加入吸附劑後的農藥殘存率（%）



圖（十六）固殺草中加入活性碳之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

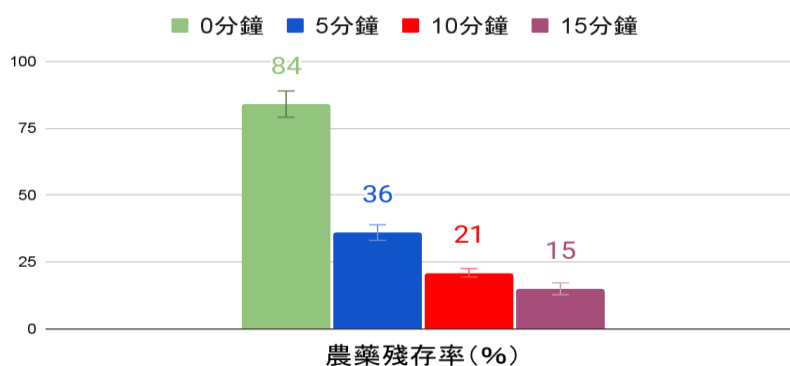
此實驗為探討農藥加入吸附劑後的農藥殘存率。結果顯示，農藥加入活性碳後的殘存率為 61%。由此可以看出吸附劑的分解農藥能力較差，分解完後農藥的殘留率還過半。

五、農藥與紫外光作用

表（三）固殺草照射紫外光連續反應 15 分鐘後之農藥殘存率

反應時間	農藥殘存率（%）
0 分鐘	84
5 分鐘	36
10 分鐘	21
15 分鐘	15

紫外光追蹤實驗的農藥殘存率（%）



圖（十七）固殺草照射紫外光連續反應 15 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

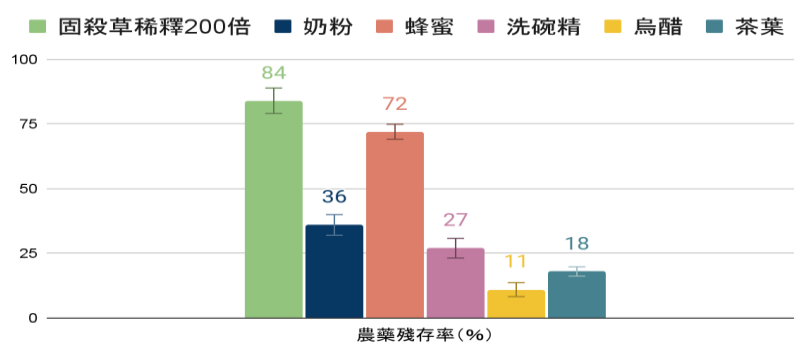
此實驗結果顯示紫外光隨著時間流動的農藥殘留率的變化。一開始紫外光的農藥殘留率為 84%，隨後在 5 分鐘內急遽下降至 36%，並在接下來的 10 分鐘內緩慢降低至 21%，最終在 15 分鐘時穩定在 15%。紫外光的抑制率在一開始迅速下降，但在後續時間內趨於穩定。

六、農藥與各種生活物質的反應

表（四）固殺草中加入各種物質之農藥殘存率

反應物質	農藥殘存率（%）
固殺草稀釋 200 倍	84
1%奶粉	36
1%蜂蜜	72
1%洗碗精	27
1%烏醋	11
1%茶葉	18

加入生活環境中物質的農藥殘存率（%）

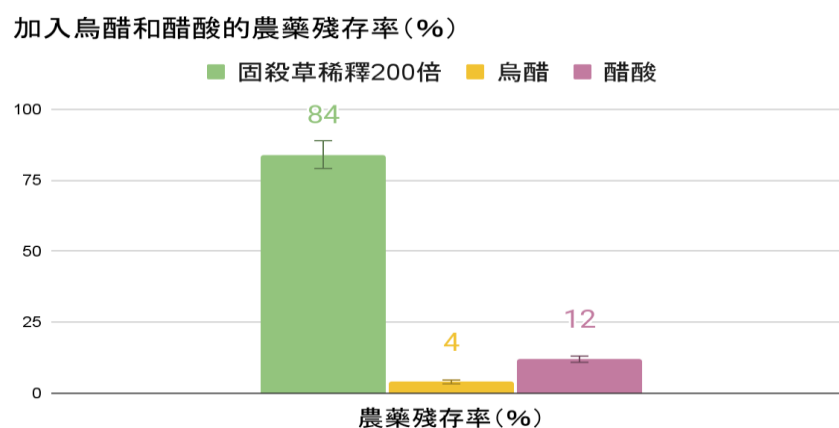


圖（十八）固殺草中加入各種物質反應 10 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

此實驗為探討農藥加入環境物質後的農藥殘存率。結果顯示，農藥加入奶粉後的殘存率為 36%，蜂蜜為 72%，洗碗精為 27%，烏醋為 11%，茶葉為 18%。由此可以看出環境物質的分解農藥能力差距較大，其中最佳的為烏醋，分解完後農藥僅剩 11%，而最差的是蜂蜜，分解完仍有 72%。

追加實驗 1：農藥與烏醋、醋酸的反應

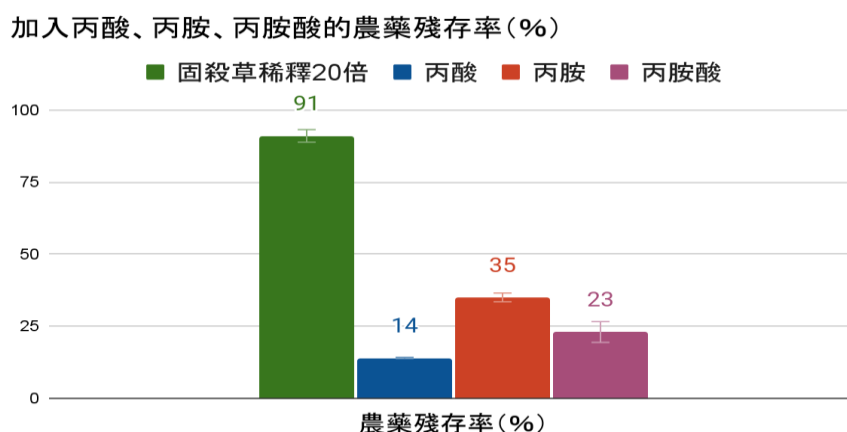


圖（十九）固殺草與烏醋、醋酸反應 10 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

此實驗是為探討烏醋和醋酸的農藥殘存率的差異而外加的實驗。結果顯示，農藥加入烏醋後的殘存率為 4%，醋酸為 12%。由此可以看出兩者皆具有很強的分解農藥能力，而其中最佳的為烏醋，分解完農藥僅剩 4%。

追加實驗 2：農藥與丙酸、丙胺、丙胺酸的反應



圖（二十）固殺草與丙酸、丙胺、丙胺酸反應 10 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

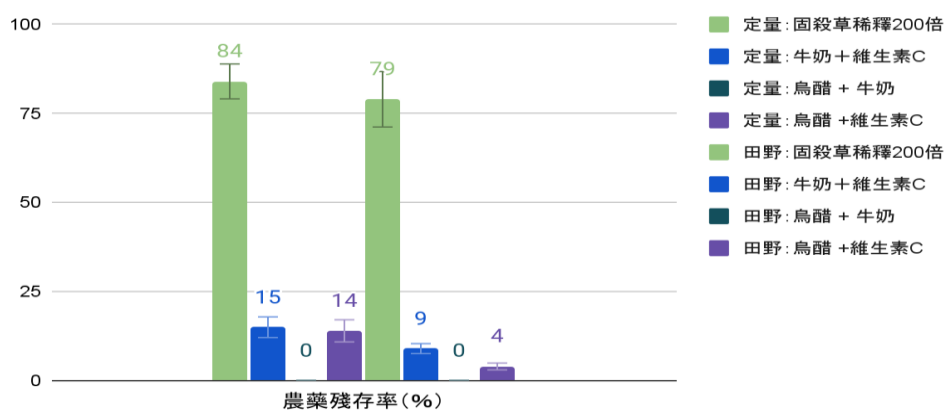
此實驗為探討農藥加入丙酸、丙胺、丙胺酸後的農藥殘存率。由此可以看出這五種物質的分解農藥能力都還不錯。其中效果最佳的為丙酸，分解完後農藥僅剩 14%。

七、農藥與自製消除劑

表（五）固殺草與自製消除劑反應 10 分鐘後之農藥殘存率

反應物質	定量實驗 農藥殘存率（%）	田野實驗 農藥殘存率（%）
固殺草稀釋 200 倍	84	79
1%牛奶+1%維生素 C	15	9
1%烏醋 +1%牛奶	0	0
1%烏醋 +1%維生素 C	14	4

加入自製消除劑後的農藥殘存率（%）



圖（二十一）固殺草與自製消除劑反應 10 分鐘後之農藥殘存率結果

【圖片來源：本圖由作者繪製】

此實驗為探討我們所製作的自製消除劑對農藥殘留率的影響，以及在田野環境中的效果。結果顯示，在定量實驗中，農藥加入牛奶+維生素 C 後的殘存率為 15%，烏醋+牛奶為 0%，烏醋+維生素 C 為 14%。這表明自製消除劑對農藥的分解能力都相當強，其中以烏醋與牛奶的組合效果最佳，能將農藥完全分解，殘留率為 0%。而在田野實驗中，三種自製消除劑的農藥殘留率均有所降低，牛奶+維生素 C 組合為 9%，烏醋+牛奶組合為 0%，烏醋+維生素 C 組合為 4%。因此，我們可以得出這三種自製消除劑在田野實驗中皆具有強大的功效。

陸、討論

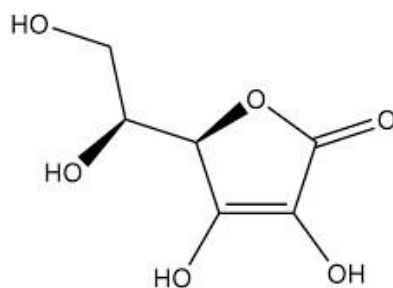
一、 實驗一：農藥與酸鹼物質作用

在實驗一中我們比較氫氧化鈉與鹽酸消除農藥的效果，得知氫氧化鈉消除農藥的效果較鹽酸好。根據圖(一)固殺草(Glufosinate Ammonium)的化學結構與特性可以知道，固殺草為弱酸性的化學物質，當在酸性的環境下，容易穩定本身的結構，而在鹼性的環境下，容易導致結構中的醋酸根(-COOH)產生解離，進而影響整體結構，導致化合物分解。

根據本實驗可以知道：固殺草(Glufosinate Ammonium)在酸性環境下穩定，並且在鹼性環境下容易產生分解。

二、 實驗二：農藥與氧化還原物質作用

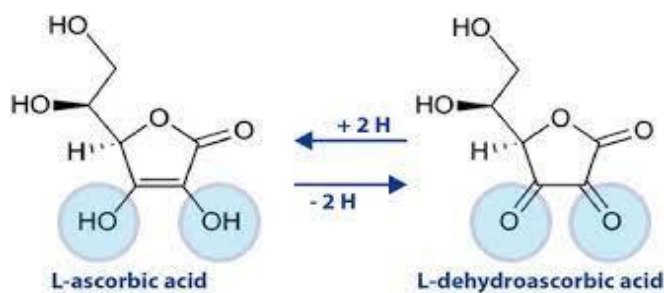
在實驗二中我們可看出氧化還原物質的分解農藥能力皆不錯，次氯酸(HClO)與二氧化氯(ClO₂)為常見的強氧化劑，同時可以產生自由基(Free radicals)分解化學物質，並且自由基的反應不具有選擇性，所以是非常廣效的消毒、除臭劑，因此根據數據也發現：次氯酸(HClO)與二氧化氯(ClO₂)對於分解固殺草的效果相當優良。然而出乎我們意料之外的是：維生素 C 竟然有如此優秀的抑制固殺草的能力。維生素 C 在生活中主要是作為還原劑使用(維生素 C 本身容易氧化)，其結構如下



圖（二十二）維生素 C 結構

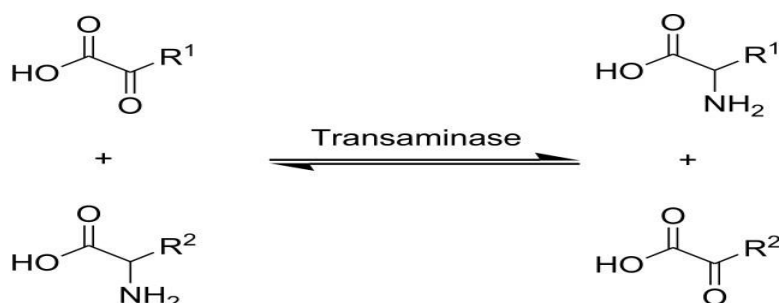
【圖片來源：百度百科】

而維生素 C 產生脫氫(Dehydrogenation)反應，將兩個-OH 官能基轉換為=O 官能基，就能產生氧化反應(使對方還原)，反應過程如下圖表示：



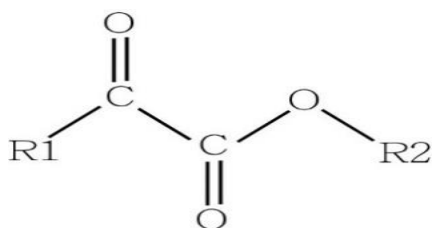
圖（二十三）【圖片來源：參考資料文獻十三】

由於固殺草本身具有胺基酸的化學結構(HOOC-R-NH_2)，而我們也發現胺基酸代謝產生轉氨反應(Transamination reaction)將胺基($-\text{NH}_2$ 官能基)轉變為酮基($=\text{O}$ 官能基)，如下圖表示



圖（二十四）【圖片來源：LibreTexts MEDICINE】

維生素 C 產生還原反應後，產生 $\text{R}(\text{CO})\text{COOR}$ 結構，如下圖



圖（二十五）【圖片來源：指導老師繪圖】

可以發現維生素 C 轉化的化合物與固殺草可以產生轉氨反應(Transamination reaction)，造成固殺草的化學結構改變，而化合物產生結構改變時，往往意味著化學性質的大幅轉變，因此造成固殺草的毒性消失。藉由這個實驗，給我們對於消除農藥的方法，提供一個全新方向，除了可以利用強氧化劑(例如次氯酸、二氧化氯、雙氧水等)直接氧化分解農藥以外，也可以藉由改變農藥的化學結構，改變農藥的性質，最終消除農藥的毒性。

三、 實驗三：農藥與氧氣連續反應實驗

根據本實驗發現：氧氣會破壞(氧化)固殺草的結構，隨著反應時間越久，其氧化的效果越明顯。固殺草與氧氣其反應 5 分鐘後，仍不見數據的變化，一直到反應 10 分鐘後才有些許的改變，反應 15 分鐘後，才由原本殘存率 84%變成了 79%。雖然氧氣可以分解固殺草，但是反應時間過長，不符合快速分解的目標。

四、實驗四：農藥與吸附劑作用

在實驗四中可以看出吸附劑（活性碳）的分解農藥能力較差，分解完後農藥的殘留率還過半。我們發現雖然使用吸附性材料也是經常被用來做為降低農藥危害的方式，然而根據我們的實驗發現效果沒有很好，我們猜想可能的原因有：

- （一）我們選用的材料(活性碳)本身的孔隙，不適合農藥分子(固殺草)大小，所以無法有效地降低毒性。
- （二）材料的孔隙已經被占滿，導致過多的農藥仍無法完整消除。

由於孔隙材料存在有大小關係，同時與農藥存在有當量關係，所以不適合我們希望找到便宜、有效農藥消除方式的目標。

五、 實驗五：農藥與紫外光作用

結果顯示紫外光隨著時間流動的農藥殘留率的變化。紫外光的抑制率在一開始就迅速下降，但在後續時間內趨於穩定。根據我們研究數據發現使用紫外光(365 nm)照射可以有效地消除農藥，這是由於紫外光可以產生多種自由基，例如氫氧自由基($\cdot\text{OH}$)、超氧自由基(O_2^-)等，而這些自由基都是強氧化劑，可以直接破壞農藥的化學結構，所以可以明顯發現毒性降低。

然而紫外光也同時產生幾個問題：

- （一）產生的強氧化劑造成無差別的氧化，造成植物不必要的傷害。
- （二）環境中的紫外光難以達到如同實驗室的效果。

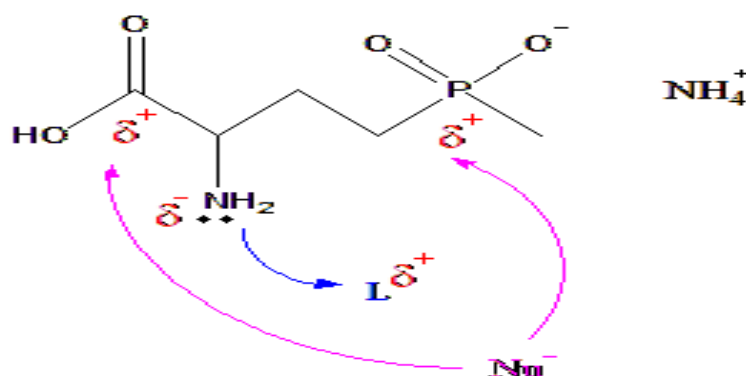
由於無法控制，以及環境中難以達到，所以紫外光的消除方式，也不是我們期望達到的目標。

根據以上的實驗，我們要達到簡易、便宜，同時可以大量使用也不會傷害農作物的目標，最好的方向應該往改變農藥的化學結構方向前進，藉由改變農藥的化學結構，改變農藥的性質，最終消除農藥的毒性。

六、 實驗六：農藥與各種生活環境物質作用

我們探討農藥加入環境物質後的農藥殘存率，效果最佳到最差的順序為烏醋>茶葉>洗碗精>奶粉>蜂蜜。根據實驗結果，我們意外的發現生活中的物質，多少都有消除農藥的性質。其中使用奶粉是期望藉由奶粉所含的蛋白質與胺基酸與農藥產生反應(螯合與親核取代反應)，藉此消除固殺草的毒性，而結果也是相當令人滿意。

所謂的「親核取代反應」(Nucleophilic substitution)就是在化合物結構中，負電性的或者電子雲密度較大的親核基團，向反應物中的帶正電的或者電子雲密度較低的部分進攻而使反應發生，例如固殺草化學結構中的胺基(-NH₂)就是電子密度較大的位置，容易攻擊羧基 (-COOH)、酯基 (-COOR)、醯胺基 (R₁C(=O)NR₂R₃) 與磺酸基 (-SO₃H) 等電子密度較低的位置，因而產生取代的化學反應。



圖（二十六）固殺草發生「親核取代反應」(Nucleophilic substitution)

【圖片來源：指導老師繪圖】

根據實驗發現：洗碗精有不錯的消除固殺草的效果。洗碗精主要成分可能包含十二烷基苯磺酸鈉、月桂醇聚氧乙烯醚硫酸鈉、十二烷基醚、椰子油酸單乙醇醯胺、椰子油脂肪酸甲脂硫酸鈉、乙二胺四乙酸四鈉等，根據「親核取代反應」(Nucleophilic substitution)的原理，可以知道固殺草的胺基(-NH₂)結構，可與洗碗精成分結構中的官能基產生反應，例如磺酸基 (Sulfonyl hydroxide，-SO₃H)、酯基(Ester，-COOR)與醯胺基(Amide，R₁C(=O)NR₂R₃)等，因此我們推測固殺草的胺基(-NH₂)極有可能與洗碗精的親電子官能基產生「親核取代反應」，最終導致化學結構改變，而影響固殺草的化學性質。

茶水也具有不錯的消除農藥毒性的效果，這除了是茶葉中的抗氧化劑(例如茶多酚)作用以外，同時茶水也包含多種蛋白質、胺基酸與維生素，都可與固殺草的胺基(-NH₂)產生親核取代反應，因而改變固殺草的化學性質，推測這可能也是茶水可以消除固殺草毒性的重要原因。

烏醋消除固殺草效果是這五種物質中效果最好的。這個結果也讓我們相當驚喜，傳統上消除農藥毒性大部分建議要使用牛奶，而沒想到烏醋卻有更好的消毒效果。根據這個結果我們推測，可能是由於烏醋釀造過程中，除了以糯米為基礎，會再加入洋蔥、芹菜、大蒜、紅蘿蔔等蔬果，因此造成烏醋具有大量的胺基酸與維生素。而根據「親核取代反應」可以發現烏醋所含的胺基酸與維生素正好可與固殺草產生取代反應，改變化學結構與性質，最終達到消除固殺草毒性的結果。

七、 實驗七：固殺草與烏醋、醋酸作用

相同濃度(5%)的烏醋與醋酸卻有不同的農藥的消除效果，除了證明烏醋本身所含的胺基酸與維生素可以幫助消除農藥的毒性，同時也發現醋酸有不亞於強氧化劑(次氯酸、二氧化氯等)的去除農藥效果。

雖然醋酸的弱酸性，相當程度上可以穩定固殺草的化學結構，但是由於醋酸結構具有羧基(-COOH)，水解後的產物具有酯基(Ester，-COOR)，都可以提供固殺草的胺基(-NH₂)進行親核取代反應，進而破壞固殺草的化學結構，消除其毒性。

根據以上實驗，消除農藥藉由酸鹼反應，或是氧化還原破壞，或是吸附方式，產生的效果都非常有限，而利用「親核取代反應」可以產生較佳的減毒效果，尤其像固殺草這類具有胺基酸結構(同時有胺基與羧基)的農藥，結構中的胺基(-NH₂)容易攻擊其他化合物(例如具有酯基、羧基、醯胺基與磺酸基等)，同時其結構也具有容易被攻擊的羧基(-COOH)，當化合物結構改變，往往意味著化學性質的大幅度變化，因此只要利用適合的化合物，藉由「親核取代反應」就能有效降低固殺草這類農藥的絕大部分毒性。

根據我們前面的推論：親核取代反應(Nucleophilic substitution)更有利於消除農藥，同時我們也發現含有烏醋具有較佳的消除農藥效果，而推論是由於烏醋本身所含的乙酸與多種的小分子胺基酸(牛奶可能小分子胺基酸較少，導致親核取代反應不明顯)。

根據本研究所使用的農藥「固殺草」(Glufosinate Ammonium)結構，可以發現固殺草本身具有電子密度高的親核基團 (Nucleophile)部分(例如：胺基(-NH₂))，也具有電子密度低的親電子基團 (Electrophile)(例如：羧基(-COOH))，也就是說按照化學結構，固殺草本身可以做為親核試劑 (Nucleophile)，同時也可以做為親電子試劑 (Electrophile)。

因此我們就想要知道，對於農藥「固殺草」究竟是使用親核試劑 (Nucleophile)的消除效果好，還是使用親電子試劑 (Electrophile)的消除效果好?所以我們設計了藉由丙酸 (Propanoic acid)、丙胺(Propylamine)與丙胺酸 (Alanine)來消除農藥「固殺草」的實驗。

根據實驗結果發現加入同濃度的丙酸、丙胺與丙胺酸後，農藥的殘存率分別剩下 14%、35%與 23%，可以作為親電子試劑 (Electrophile)的丙酸對於消除固殺草的效果，優於做為親核試劑 (Nucleophile)的丙胺。在這研究中，證明農藥「固殺草」同時具有親核特性(Nu)與親電子(E)特性，並且做為親核試劑 (Nucleophile)的性質較為明顯，因此與親電子試劑 (Electrophile)的丙酸有較佳的反應效果，所以農藥「固殺草」殘存率低。

農藥「固殺草」做為親核試劑 (Nucleophile) 的性質較為明顯的結果，同時也可以間接說明：為何牛奶與「固殺草」的反應沒有比烏醋與「固殺草」的反應好。這可能是由於牛奶中可與「固殺草」反應的小分子胺基酸較少，而所含大部分的成分為高分子量的多肽 (Polypeptide) 與蛋白質 (Protein)，具有較為複雜的立體結構，不利於親核試劑 (Nucleophile) 的攻擊，因此不論是對於雙分子親核取代反應 (SN2)，或是單分子親核取代反應 (SN1) 而言，牛奶中的多肽 (Polypeptide) 與蛋白質 (Protein) 結構都太過複雜，阻擋了做為親核試劑 (Nucleophile) 的「固殺草」的攻擊，因而具有較低的反應效果。

丙酸 (Propanoic acid)



圖 (二十七) 丙酸

1-丙胺 (Propylamine)

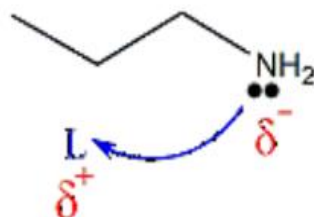


圖 (二十八) 丙胺

丙胺酸 (Alanine)

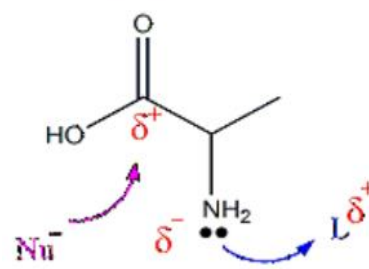


圖 (二十九) 丙胺酸

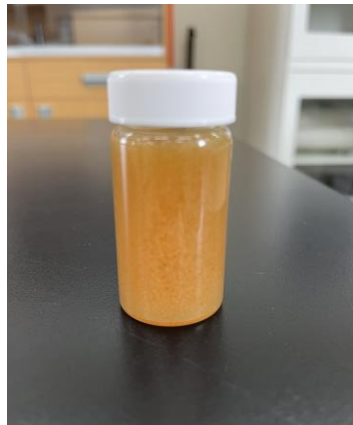
【圖片來源：指導老師繪圖】 【圖片來源：指導老師繪圖】 【圖片來源：指導老師繪圖】

而丙胺酸 (Alanine) 也同樣具有親核基團 (Nucleophile) 與親電子基團 (Electrophile)，在同濃度之下，農藥殘存率 (23%) 仍略高於丙酸 (14%)，說明丙胺酸 (Alanine) 雖然同時具有攻擊與被攻擊的官能基，與「固殺草」的反應性仍舊低於丙酸 (只具有被攻擊的官能基)，並且根據前面酸鹼反應可以得知，酸鹼性在這反應中影響有限 (固殺草在酸性中反而是穩定的)，因此農藥「固殺草」分解的重要反應機制就是親核取代反應 (Nucleophilic substitution)，單純具有親電子基團的丙酸，會比丙胺酸 (同時具有親核基團與親電子基團) 好，可能是因為丙酸解離較多的氫離子 (H^+)，而氫離子與羧基 ($-COOH$) 產生反應，因而使親電子基團的電子密度更低，更容易被「固殺草」結構中的親核結構攻擊，所以使的丙酸具有比丙胺酸更好的反應性。

藉由以上實驗結果，我們發現：只要本身包含多種胺基酸與維生素的物質，都可以有效的消除農藥的毒性。根據這個原則，我們將多種物質混和，設計以下的自製的農藥消除劑，期望達到更好的農藥消除效果。

八、實驗八：農藥與自製消除劑

在農藥中加入我們製作的自製消除劑後觀察農藥殘存率的變化。而根據實驗我們發現：相同濃度下，烏醋與奶粉各半的組合可以達到最佳的農藥消除效果。這個結果也與我們實驗結果符合，包含多量胺基酸與維生素的物質，可以有效的消除農藥的毒性，而其中烏醋與牛奶的組合具有最佳的農藥消除效果。



圖（三十）自製農藥消除劑

【圖片來源：本圖由作者拍攝】

柒、結論

- 一、固殺草農藥在酸性環境下穩定，在鹼性環境下容易產生分解。
- 二、氧化可以有效分解固殺草農藥，氧化力越強其分解效果越明顯。
- 三、藉由活性碳等吸附材料處理固殺草農藥的效果有限。
- 四、「親核取代反應」具有相當優良的消除農藥的效果。有別於強氧化劑、強酸鹼試劑與吸附材料，「親核取代反應」可以在不影響農作物的條件下，進行農藥的大規模消除。
- 五、生活中常見物質中，具有多量胺基酸與維生素的物質，具有較佳的「親核取代反應」現象，適合用來與固殺草農藥反應，消除固殺草農藥的毒性。
- 六、丙酸 (Propanoic acid)消除農藥的效果優於丙胺 (Propylamine)與丙胺酸 (Alanine)，這就說明對於消除農藥「固殺草」採用親電子試劑 (Electrophile) 的效果會優於採用親核試劑 (Nucleophile)。

這實驗也符合我們前面的研究結果：烏醋對於消除農藥的效果要優於其他生活中的物質。烏醋中所含的乙酸與小分子胺基酸，能有效的與農藥產生親核取代反應(Nucleophilic substitution)，達到較佳的去除農藥效果。

最後也解釋

為何牛奶對於農藥「固殺草」的效果不如烏醋，推測可能是由於牛奶中小分子胺基酸較少，而大部分以高分子的多肽 (Polypeptide) 與蛋白質(Protein)存在，多肽 (Polypeptide) 與蛋白質(Protein)具有複雜的立體結構，不利於親核試劑 (Nucleophile) 的攻擊，因此不利於與農藥固殺草反應，故消除農藥效果會比烏醋差。

捌、未來展望

- 一、製作更便宜、更方便、更有效，同時更天然的農藥消除劑。
- 二、製作「家庭用」的農藥解毒劑，消除農作物的農藥殘留。
- 三、與大學端合作，將親核取代機制完善化，規劃、尋找效果最佳的親核試劑。

玖、參考文獻

- 一、Dr. Dugald MacLachlan (2012)。GLUFOSINATE AMMONIUM (175)。JMPR，
P.02
https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation12/Glufosinate.pdf?fbclid=IwAR2amm_oYiyli9gzheHcdYkOkbtoKNgg9luxbaicOETVW2uAPjNLozK5f6o
- 二、裴亮、張體彬、趙楠、劉慧明(2011)。有機磷農藥降解法及應用研究新進展。《環境工程》，29 卷增刊，P.273。
https://sourcedb.igsnr.cas.cn/zw/lw/201203/P020120322406213134389.pdf?fbclid=IwAR1Otu9TJA_hAsMXVyBKBy2yaAClsOS-Pz0vrZEynnHOerBHvssTqcCMDaBs
- 三、農業部。固殺草介紹。取自田邊好幫手
<https://m.coa.gov.tw/Pesticide/Detail/5903?cropId=H135501&fbclid=IwAR2umcBugJfZzjNp3c1VYLHubeOsU4OVpFYEAi-WImmAxjKLWmTQ-koyYSs>
- 四、微杏基因生醫科技(2017)。農藥殘留(Pesticides)快速檢測試劑，2024/3/8 擷取，取自
https://vaccigen2014.pixnet.net/blog/post/42692505-pesticide-residues-r?fbclid=IwAR2jNbw6jguoL-T5ipMVDRZe8Vn8-6zxxzrlmYeXQraOF8aGCeC1x_gY-U
- 五、Rajinder Mann (2020)。GLUFOSINATE HERBICIDE，取自 Minnesota Department of Agriculture
<https://www.mda.state.mn.us/glufosinate-herbicide?fbclid=IwAR0Md0TzONQph7WbjX6Ek7eUAJvYUIlsW4pJdbqLNC-XAcS6UxNgCoEcuRY>

六、吾酶土生物科技。農藥殘留快速檢驗試劑使用說明書

https://www.nihon.com.tw/savage_new0.html?fbclid=IwAR3NdJ5Vq7WLnb2uBxrAd9Vq4w2yjsuiyZBNEFPWIBE_XMBNfb9sXWfkmU

七、陳俊宏（2021）。固殺草中毒個案：台灣急診醫學通訊，第四卷，第二期，2024/3/8 擷取，取自台灣急診醫學協會

<https://www.sem.org.tw/EJournal/Detail/309>

八、Franck E. Dayan, Hudson K. Takano（2020）。Glufosinate-ammonium: a review of the current state of knowledge，博士論文，Department of Agricultural Biology, Colorado State University

九、Charlotte M. Sevrain、Mathieu Berchel、Hélène Couthon、Paul-Alain、Jaffrès Paul-Alain Jaffrès（2017）。Phosphonic acid: preparation and applications，Beilstein J. Org. Chem，13，2186 – 2213，2024/3/8 擷取，取自 ResearchGate

https://www.researchgate.net/figure/Synthesis-of-phosphonic-acid-by-oxidation-of-phosphinic-acid-also-identified-as_fig10_320534385

十、Nucleophilic Substitution Reaction（2024）。2024/05/23，取自 Aakash byju's

<https://byjus.com/jee/nucleophilic-substitution-reaction/?fbclid=IwAR194GjojuG-c5i8tr7uRes6Ovs-eAIFDUQIJPMwMsZUalW4jNCLnkhjjBM>

十一、Electrophiles and Nucleophiles（2024）。2024/05/23，取自 Aakash byju's

<https://byjus.com/jee/electrophiles-and-nucleophiles/>

十二、生化學-氨基酸分類與代謝整理,基礎醫學教室（2018）。2024/05/23，取自高點醫護網

<https://doctor.get.com.tw/m/Journal/detail.aspx?no=412900>

十三、The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: Current state（2016）。2024/05/23，取自

https://www.researchgate.net/publication/306111617_The_importance_of_antioxidants_which_play_the_role_in_cellular_response_against_oxidativenitrosative_stress_Current_state

【評語】 030023

利用環境中易取得的物質(高麗菜、牛奶、烏醋等)，自製簡單、便宜的農藥消除劑，藉由產生「親核取代反應」(Nucleophilic substitution)可以在不影響農作物的條件下，有較佳的降解除草劑農藥「固殺草」的效果。實驗論述清楚，能提供環境生活相關議題的解決方案。雖然與生活相關，但對化學相關的議題可以做更深入的討論。