

淋洗與不淋洗對殺草劑拉草在土壤中 之移動、殘留與其變化之影響¹

方 金 祥²

Abstract

FANG, CHIN-HSIANG. 1981. Effects of Leaching and Nonleaching on the Movement, Residue and Degradation of Herbicide Alachlor in Soil. Weed Science Bulletin 2:55-68.

In order to study the environmental degradation of Alachlor or Lasso®, [2-Chloro-2', 6'-diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide], after applied in the field, experiments have done on the degradation, residues and movement in soils. Some results are summarized as follows:

The degradation and movement of alachlor in different soil types was tested in the laboratory under leaching and nonleaching conditions, at different temperatures and various incubation periods. Different apparatus of soil column and circular container had been especially designed for testing the vertical and horizontal movement of the herbicide in soil with and without water. The movement with water through soils was, to a large extent, a function of the soil types. When no water was percolated the herbicide also degraded and moved into untreated soil, but to a lesser degree.

The herbicide alachlor was not degraded in the dark. Exposure of alachlor to sunlight for 8 hr resulted in the degradation of the herbicide. The degradation was more rapid with non-sterile soils but less with sterile soils. The residues of alachlor after irradiation under sunlight were 67.5% in the silty clay loam and 54.1% in the sandy loam, 59.4% in the silty loam soils. Higher the organic matters content resulted the higher amount of residues.

Alachlor decomposed under the sunlight irradiation in soils.

1. 接收日期1981年7月23日。本文之經費為行政院國科會補助，NSC-69B-0409-16(01)。並獲得國科會70年

度研究獎助，謹此誌謝。

2. 國立高雄師範學院化學系副教授。

Degradation products were detected and identified by GC, TLC, IR, NMR and Mass Spectra after the photodecomposition of alachlor. Except alachlor (I, 55.1%), the others were identified with authentic compounds as 2-Chloro-2', 6'-diethylacetanilide (II, 11.0%), 2,6-Diethylaniline (III, 8.0%), 2',6'-Diethyl acetanilide (IV, 4.6%), Monochloroacetic acid (V, 14.6%), 2',6-Diethyl-N-(methoxymethyl) aniline (VI, 5.2%) and one minor component was identified by mass spectra as 1-Chloroacetyl-2,3-dihydro-7-ethylindole (VII, 1.5%).

Additional index words: Lasso®, degradation and movement.

摘要：拉草 (Alachlor 或 Lasso® [2-chloro-2', 6 -diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide]) 是一種萌芽前處理且具有選擇性之殺草劑。

設計土壤管柱 (Soil column) 及圓型容器 (Circular container) 等裝置研究拉草在淋洗與不淋洗的條件下，於不同溫度及不同時間內在土壤中之垂直與水平移動及殘留情形，若不以水滲濾時拉草在土壤中也會移動至未處理相鄰之土壤中，唯其程度較以水滲濾時為小。拉草經水淋洗後在土壤中之移動與土壤質地有關，其垂直與水平移動在砂質壤土中皆比在壤質壤土中為明顯。

拉草在不同之土壤及殺菌，未經殺菌處理下之分解有所差別，其分解速率隨著土壤有機質含量增加而增加，而且在殺菌土壤中之分解較未經殺菌之土壤慢。其殘留量分別為壤質粘壤土有 67.5%，而在砂質壤土中有 54.9%，壤質壤土中有 59.4%。拉草在黑暗中不被分解，但在日光下照射，皆有分解現象發生，其分解產物經 GC、TLC、MS、IR 及 NMR 等儀器分析時，除了未變化之拉草 [Alachlor(I), 55.1%] 外，被確認出來的分解產物有 2-Chloro-2', 6'-diethylacetanilide (II) 11.0%; 2,6-Diethylaniline (III) 8.0%; 2',6'-Diethyl acetanilide (IV) 4.6%; Monochloroacetic acid (V) 14.6%; 2',6-Diethyl-N-(methoxymethyl) aniline (VI) 5.2% 和 1-Chloroacetyl-2,3-dihydro-7-ethyl-indole (VII) 1.5% 等六種。

緒 言

殺草劑拉草 (Alachlor 或 Lasso®) 像屬於醯胺系 (Acylanilide) 殺草劑，為一種具有優良選擇性萌芽前土壤處理之殺草劑，對單田雜草之控制相當有效，因此近年來在本省之落花生、大豆、甘藍、番茄及花椰菜等單田中應用已相當普遍 (3,4)。以往對於醯胺系殺草劑之研究報告並不多，除了 1973 年 Kaufman 和 Blake⁽¹²⁾ 等曾發表 *Fusarium oxysporum* 作用於拉草有脫氯作用，但沒有 Aniline 之代謝產物；而在

1975年 Tiedje 和 Hagedorn⁽¹⁴⁾ 等曾報告土壤真菌 *Chaetomium globosum* 作用於拉草會有 2-chloro-2',6'-diethylacetanilide; 2',6'-diethyl-N-(methoxymethyl) aniline; 2',6'-diethylaniline 及 1-chloroacetyl-2,3-dihydro-7-ethylindole 等之代謝產物。Chen and Chen⁽⁵⁾, Chen and Wu⁽⁶⁾ 曾報告過與拉草構造很相似之丁基拉草 (Butachlor) 之光分解與在土壤微生物之分解情形。除此之外，有關拉草之研究尚未有較完整之報告，著者有鑑於此，曾作過有關拉草之研究多年，包括拉草在光線下之分解⁽⁷⁾，拉草在土壤薄層之變化⁽⁸⁾，拉草在殺菌與未經殺菌土壤中之分解與拉草在不同水分含量之土壤中之變化⁽⁹⁾，以及拉草在水中之消失及變化情形⁽¹⁰⁾等。本篇乃對拉草在土壤中之移動、變化與殘留情形深加研究，俾能提供拉草在環境中之變化、污染、殘留及其使用法之重要參考，且有助於評估本藥劑之安全性，以提供安全及經濟之施用法。

材料與方法

拉草之純化及標準曲線之製作：

拉草之純化：本藥劑係由美國孟山都公司 (Monsanto Company) 出品之 43% 拉草乳劑，向市面農藥行所購買，其純品結晶之純化過程為將 100ml 之 43% 拉草乳劑加入 150ml 之甲醇—水 (1:1v/v) 混合液及 10ml 之飽和食鹽水，並搖動之直至溶液變為混濁後，再取其中甲醇溶液層以正己烷 100ml 萃取兩次，並收集正己烷層，濃縮後經活性炭脫色，再以無水硫酸鈉脫水，然後在水浴上加熱使其濃縮至約 100ml 左右，放入 0°C 之冰箱中過夜，便可得到無色之拉草晶體，此晶體再以冷的正己烷來洗滌，並以正己烷再結晶之，即得無色片狀之純品拉草結晶，測其熔點為 41.5°C，與由美國環境保護署 (EPA) 所提供之拉草純品 (mp. 41.5°C) 及文獻⁽¹¹⁾所載相同，並經 IR 吸收光譜對照二者完全一致，其 IR、MS、NMR 測定結果如下：

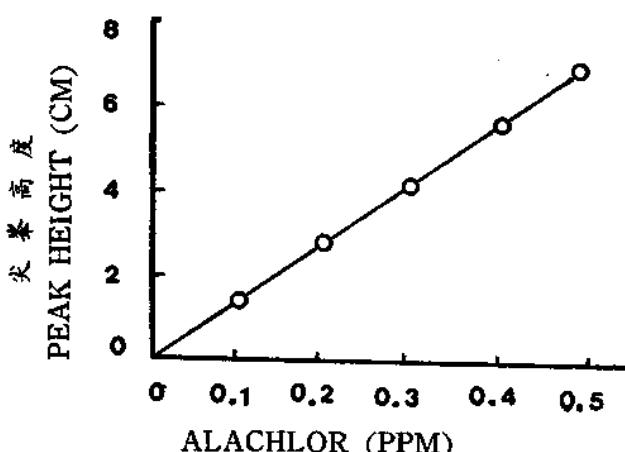
IR, $\nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$, 1694cm⁻¹ (三級胺)。

MS, m/e (% Base peak) M⁺, 269(28), 237(65), 224(67), 188(100), 160(97).

NMR, δ (CDCl₃), 1.27(t, 6H, J=7Hz), 2.62(q, 4H, J=7Hz), 3.50(s, 1H), 3.58(s, 1H), 4.29(s, 3H), 7.27(m, 3H).

標準曲線之製作：配拉草之標準液分別為 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 與 0.5μg/ml (ppm) 之正己烷溶液，用微量注射器 (Microsyringe) 各取 2μl 注入 GC 中分析之，測定各種不同濃度之遲滯時間 (Retention time)，並量其尖峯高度 (Peak height)⁽¹⁾，以濃度對尖峯高度作圖，可得一直線關係圖即為標準曲線，如圖一所示，以供拉草殘留量之定量。

拉草變化產物之合成或來源：2-Chloro-2', 6'-diethylacetanilide (II) 之製備乃取純品拉草 1.5 克，放入 1,000ml 之燒杯中以 100ml 之丙酮溶解之，然後加入 5N HCl 400ml，並以鋁箔覆蓋著，在 46°C 下放置四天後，去掉鋁箔使丙酮蒸發便有結晶析出，此結晶過濾後再以丙酮—水再結晶之⁽¹¹⁾，即可得純品，測其熔點為 134.5°C，與文獻⁽¹¹⁾所載完全相同，並以 IR、MS、NMR 測定之結果確認此化合物為 2-



圖一、標準曲線（拉草濃度與尖峯高度之關係）

Fig. 1. Standard curve (The relationship between alachlor concentration and chromatogram peak heights.)

Chloro-2',6'-diethylacetanilide (II)。

IR, $\nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$ 3246 cm⁻¹, 1689 cm⁻¹, 1639 cm⁻¹ (二級胺) 740 cm⁻¹ (C-Cl)。
 MS, m/e (%Base peak) M⁺ 225(17), 210(6, M-CH₂), 196(16, M-C₂H₅),
 176(100, M-CH₂Cl), 161(9, 176-CH₂), 148(32, 176-CO),
 132(30, 148-NH₂), 117(42), 103(18), 91(30) 和 77(62)。
 NMR, δ (CDCl₃), 1.16(t, 6H, J=8Hz), 2.50(q, 4H, J=8Hz),
 4.10(s, 2H), 7.10(m, 3H) 和 7.80(brs, 1H)。

2',6'-Diethylacetanilide (IV) 之製備。將 1ml 之醋酸酐 (Acetic anhydride) 加入含有 10m mole 2,6-Diethylaniline hydrochloride 之酒精溶液 20ml 中，搖動至與醋酸酐完全混均，然後再加入 1 克之醋酸鈉，封蓋靜置 30 分鐘，即有結晶析出，測其熔點為 130-131°C，與文獻⁽¹¹⁾所載完全相同，並經 IR、MS、NMR 測定結果確認此化合物為 2',6'-Diethylacetanilide (IV)。

IR, $\nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$ KBrmax, 3246 cm⁻¹, 1689 cm⁻¹, 1663 cm⁻¹。
 MS, m/e (%Base peak) M⁺, 191(40), 148(98), 134(100)。
 NMR, δ (CDCl₃), 1.14(t, 6H, J=3Hz), 1.92(s, 3H),
 2.46(q, 4H, J=3.5Hz), 7.08(m, 3H), 8.10(brs, 1H)。

2,6-Diethylaniline (III) 係購自日本和光化學株式會社，沸點為 125-129°C。若將 2,6-Diethylaniline 以丙酮溶解再加入濃鹽酸即得 2,6-Diethylaniline hydrochloride 之白色沈澱物，可提供 2',6'-Diethylacetanilide (IV) 之製備。

Monochloroacetic acid (V) 和 2',6'-diethyl-N-(methoxymethyl) aniline (VI) 等亦購自日本和光化學株式會社。

試驗用土壤：土壤分別採自屏東潮州、屏東萬丹、高雄大寮及臺南善化等地，依次為培質壤土，培質粘壤土，砂質壤土及培質壤土等四種土壤，讓其充分風乾後，磨細，通過2mm分析篩篩取後供試驗用，並採殺菌及未經殺菌二組分別實驗，另外由市面上購買石英砂(Quartz sand)，供作拉草在土柱中移動之試驗用，其若干物理化學性質如表一所列：

表一、試驗用土壤之理化性質

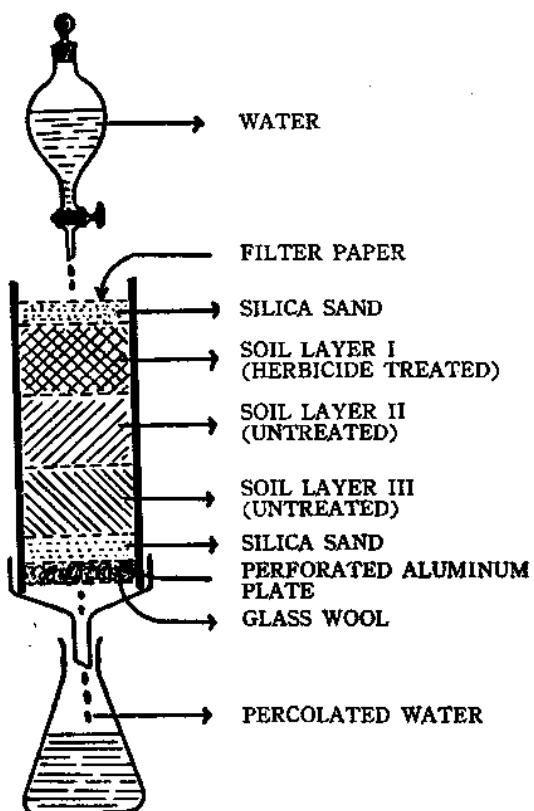
Table 1. Characteristics of soils used in the experiment.

土 Soil	壤 pH value	酸 鹼 度 ^a	有 機 質 含 量 ^b Organic matter (%)	機 械 成 分 ^c 沙 粒 Sand		
				粉 粒 坋 粒 Silt	粘 粒 Clay	機 械 成 分 ^c 沙 粒 Sand
No. 1 培質壤土 Silty loam		6.3	3.43	14.1	60.0	25.9
No. 2 培質粘壤土 Silty clay loam		5.5	2.60	10.4	52.6	37.0
No. 3 砂質壤土 Sandy loam		5.0	1.50	64.5	29.5	6.0
No. 4 培質壤土 Silty loam		6.4	1.80	19.4	56.6	24.0
No. 5 石英砂 Quartz sand		7.0	—	100.0	—	—

^a Soil : H₂O = 1 : 1.^b Chromic method.^c Hydrometric method.

使用儀器：使用之主要儀器有熔點測定器：Mel-Temp Laboratory Devices. 紫外光光譜儀：Shimadzu double beam UV-200. 紅外線吸收光譜儀：Shimadzu IR-400. 氣相色層分析儀：Varian Series 2800 Gas Chromatograph. 質譜分析儀：Hewlett-Packard Mass Spectrometer HP 5930 Combined with HP 5700 Gas Chromatograph. 核磁共振光譜儀：Hitachi Perkin-Elmer R-203 Instrument 及離酸度計：Corning-EEL Scientific Instruments Model 12 Research PH meter.

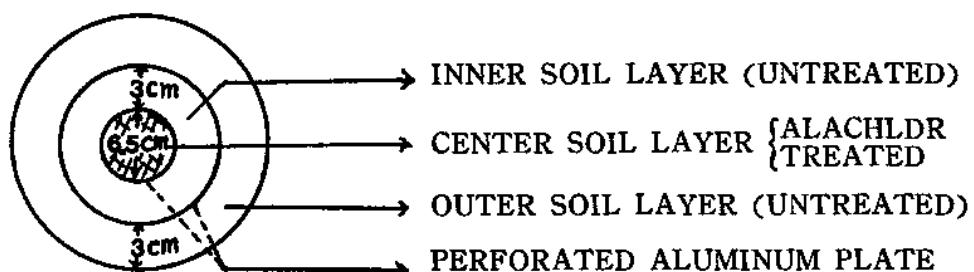
土壤管柱之製備及圓型玻璃容器：土壤管柱乃選取No. 1 培質壤土與No. 3 砂質壤土等二種性質差異較大之土壤及No. 5 石英砂充填在可分開之塑膠管柱（由兩半圓柱合成），長20公分，直徑10公分，如圖二所示，每層土壤各200克，高度約為3.8公分，並且土壤層間皆以多孔鋁箔隔開，以便於實驗後各層土壤之分開萃取，施用殺草劑拉草之土壤置於土壤層之最上層，其下分別為二層未處理殺草劑之土壤，土壤管柱之最頂層為石英砂及濾紙，以使水往下淋洗時能均勻分佈於土壤中，最下層為石英砂及玻璃棉等，用以試驗拉草在土壤中由於水之淋洗所引起之移動情形。



圖二、土壤管柱圖解

Fig. 2. Diagram depicting apparatus of soil column.

圓型容器乃是採用圓型玻璃之培養皿（直徑 18.5 公分，高 9.7 公分），其處理如圖三所示，拉草處理之土壤置於中央，周圍放二層未處理的土壤，土層間以多孔鋁箔隔開，然後以水濕潤之，用以試驗拉草在土壤中之水平移動。



圖三、測定拉草由中央處理土壤層向周圍水平移動之圓型容器

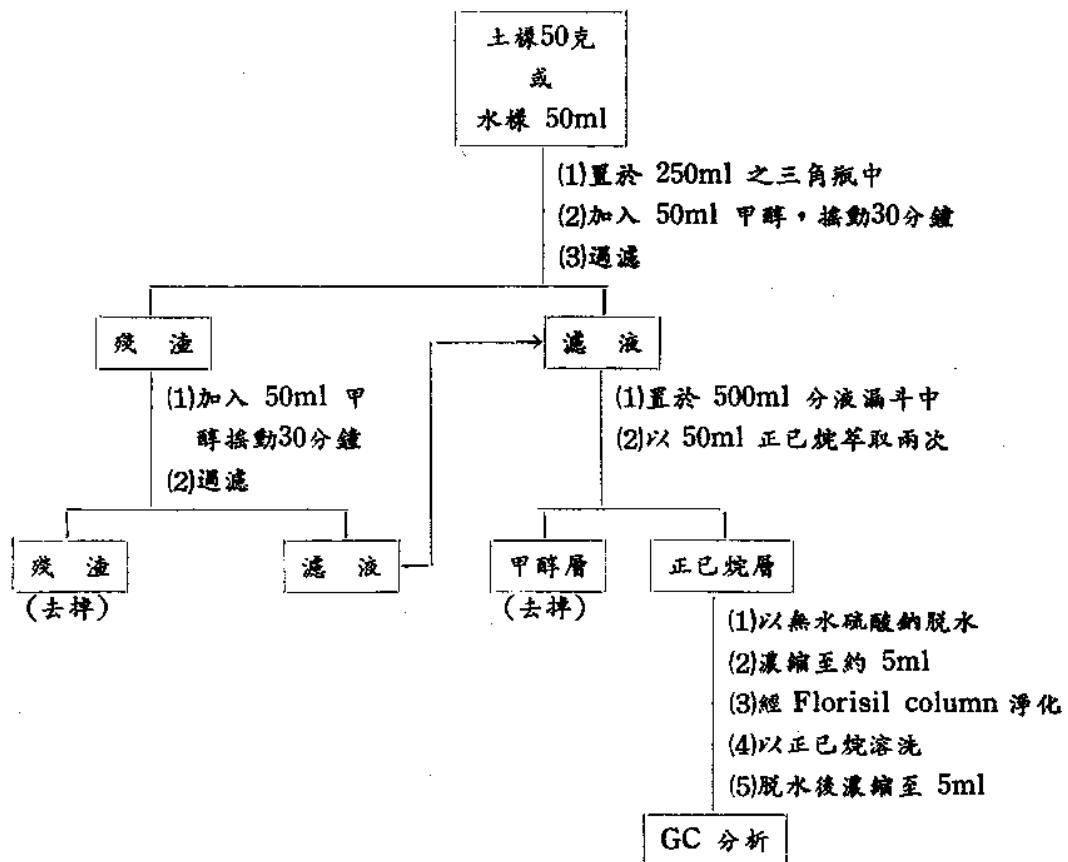
Fig. 3. Circular container used to measure the movement of alachlor from treated soil within the center into untreated soil in the surrounding circular soil layers.

土壤及水中拉草之萃取⁽⁹⁾及分析法：所有樣品先以甲醇萃取二次，抽氣過濾後經減壓真空濃縮或以 KD 濃縮器濃縮至約 10ml，再以正己烷或苯萃取二次，濃縮至 10ml，脫水後再經 Florisil 淨化 (Clean-up)，以供 GC、TLC 分析之，如圖四所示，依此法來萃取再以 GC 定量，其回收率高達 96-100%。

上述之正己烷或苯之萃取液以及其分解產物，經 TLC、GC 來分離，並配合 IR、MS 及 NMR 來監定其變化產物之構造與其殘留量，其分析法分氣相色層分析及薄層色層分析。

氣相色層分析 (Gas chromatography)：由於本試驗之殺草劑拉草分子上含有陰電性較強的 N、O、Cl 等原子，故最宜用電子捕獲式檢出器 (ECD)⁽¹⁾，其分析條件如表二。

薄層色層分析 (Thin layer chromatography, TLC)：像採用二次元展開法 (2-Dimension) 來分離其分解產物，薄層分析板為 Silica gel 60F₂₅₄, 0.20mm, 20×20cm (E. Merck)，其溶媒系統有二，一為 Benzene/MeOH (95:5v/v)⁽¹⁵⁾，另一



圖四、土壤及水中拉草之萃取過程

Fig. 4. Flow diagram for the extraction of alachlor from soils or water.

表二、氣相色層分析之條件

Table 2. Conditions for gas chromatographic analysis.

分離管 Column	Stainless steel 5ft×1/8 in. i.d.
靜相 Stationary phase	OV-17
充填物 Filling material	Silicone 1.5% OV-17 on 100-120mesh acid-washed Chromosorb W
溫度 (C) Temperature	
分離管 Column	200
注射部 Injection port	220
檢出器 Detector	220
載送氣體流速 Flow rate of carrier gas N ₂	30ml/min
Chart speed	1.0in/min
檢出器 Detector	³ H-ECD

為 n-Hexane/Isopropylether (2:3v/v)(7)，展開後點跡以紫外燈 (254nm) 來偵測，並將各個點跡以小刀片刮下，用丙酮溶解過濾，待丙酮揮發後，再以正己烷溶解後或使其析出結晶，以供 GC、IR、MS 及 NMR 測定。

拉草在不同土壤中之分解速率之比較試驗與分解產物之鑑定：選取 No. 2, No. 3 與 No. 4 等三種性質不同的土壤各 600 克，加入 150ml 的水，保持一星期使土壤微生物生長，再將土壤風乾磨細後，利用高壓殺菌 (110C, 15 壓力) 1 小時連續三天。殺菌與未經殺菌土壤各取 200 克，分別加入 20ml 1,000 μg/ml 的拉草丙酮溶液 (即 100ppm 或 18.53 μMole 之拉草含量)(9)，待丙酮揮發後，置於旋轉器上轉動一小時，使之混合均勻，再分別取 50 克土壤置於培養皿然後置於日光下照射和置於黑暗處 8 小時後，依前述方法來萃取、淨化，再以 GC 分析之。並利用 TLC 分離及 IR、NMR、MS 等儀器鑑定其分解產物。

拉草在不同土壤中之移動、變化與殘留：為明瞭拉草在土壤中受水滲濾之移動情形，乃將二種不同的土壤 No. 1, No. 3 及石英砂，各以拉草處理成 500ppm (100mg/200g Soil) 後，製成前述之土壤管柱 (圖二)，第一天以水由上滴下 (1 drop/5 sec)(13)，約 400ml 水先將土壤飽和後再收集約 300ml 之滲濾水 (Percolated water)，然後將土壤管柱分開，將各土層取出，依上述方法萃取拉草在各土層及滲濾水中之含量，另將第一次收集 300ml 之滲濾水後之土壤管柱置於室溫與 30C 下經二星期第十五天後再以水淋洗，收集 300ml 之滲濾水，並測出土壤管柱中各層土壤及滲濾水之拉草殘留量，另將此時之管柱再經四星期 (第廿九天)，再以水滲濾並收集 300ml 滲濾水，再測出土層中及滲濾水中拉草之含量。

拉草在土壤中不受水滲濾之垂直移動 (Vertical movement)，乃依圖二製成土壤管柱，唯不以水滲濾，只將土壤以水濕潤後垂直置放在室溫經 14 天後，再萃取各土層中之拉草，並以 GC 定量之，以確定拉草在不淋洗條件下之垂直移動的程度。

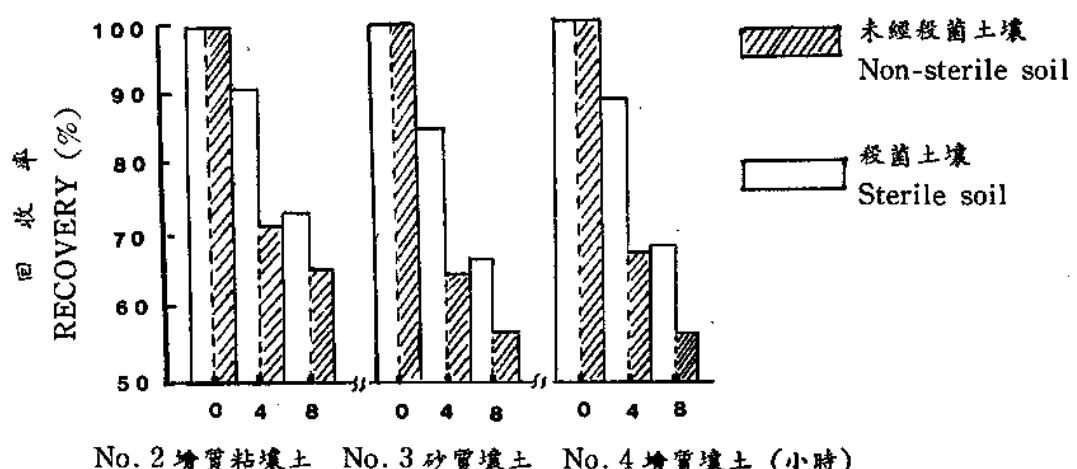
至於其水平移動 (Horizontal movement)，乃將拉草處理之土壤置於土壤管柱的

中央處，上下各放二層不處理之土壤，土壤經水濕潤後橫放於室溫及 30°C 下14天後，將各土層之拉草萃取出來，以 GC 定量之，藉以了解拉草在左右相鄰不處理之土層的水平移動情形。另以圓型玻璃容器，其處理如圖三所示，於室溫及 30°C 下放置14天後，將各層土壤中之拉草萃取出來，以 GC 定量之。以了解拉草在周圍不處理之土層之水平移動情形。

結果與討論

拉草在不同土壤中消失速率之比較及其分解產物之分離鑑定：農藥在土壤中之分解常受許多因子的影響，諸如土壤有機質(2)、質地、pH 值、溫度、濕度及微生物等(6)。本試驗利用三種理化性質各異的土壤進行拉草自土壤中的回收試驗，包括 No. 2 潤質粘壤土，No. 3 砂質壤土及 No. 4 潤質壤土等，各以拉草處理成 100ppm (10mg/100g Soil) 後，分別以照光與不照光（暗室）來對照，並比較殺菌與未經殺菌之處理對拉草在不同土壤中之消失速率有否差異，以判斷微生物是否為其分解的主要因素，其結果如圖五所示。知拉草在未經殺菌土壤中之分解比在殺菌土壤中之分解來得顯著，故拉草在未經殺菌土壤中殘留下來者較少，此乃因一部份進行光分解，另一部份又受到土壤微生物之作用而分解，唯在黑暗處拉草不被分解，回收率為99%以上。在土壤中被分解的程度隨著 No. 3 砂質壤土，No. 4 潤質壤土及 No. 2 潤質粘壤土而漸減，其回收率由54.1到67.5%，此減少因素乃是由於土壤中之有機含量不同所致，有機質含量高之土壤，分解少，回收率高。

為了鑑定其分解產物，將土壤萃取液以毛細管點放在矽膠平板 (Silica gel plate) 上，並以二種溶媒系統依二次元展開，同時與各個標準劑對照其 Rf 值如表三所列。由薄層分析結果發現有七個點跡 (Spots)，即表示有七種化合物存在，依次為 I、II、



圖五、拉草在不同土壤中消失率之比較

Fig. 5. The disappearance of alachlor in different soils.

表三、拉草及其分解產物之收量、Rf 值、遲滯時間及性質

Table 3. Properties, recovery, Rf values and retention times of alachlor and its decomposition products.

化 合 物 Compound	Rf 值 ^a Retention time (min)	遲滯時間 ^b time (min)	收 量 Yield (%)	狀 態 Appearance	熔 點 mp (C)	沸 點 bp (C)
I	0.58	2.10	55.1	無色結晶 Colorless crystal	41.5	—
II	0.38	0.96	11.0	白色結晶 White crystal	134.5	—
III	0.73	0.42	8.0	黃色液體 Yellow liquid	—	125-129
IV	0.04	0.70	4.6	白色結晶 White crystal	130-131	—
V	0.00	3.10	14.6	白色結晶 White crystal	63-64	—
VI	0.17	1.50	5.2	白色結晶 White crystal	121	—
VII	0.30	2.80	1.5	—	—	—

^a 展開溶媒 n-Hexane/Isopropylether (2 : 3 v/v).^b Retention time of gas chromatography.

III、IV、V、VI 及 VII 等。另以 GC 分析結果發現有七個尖峯 (Peak)，其遲滯時間 (Retention time) 與標準物質對照如表三所示，顯示有七種化合物存在。

為了進一步鑑定這七種化合物之構造，則將由 TLC 展開後每個點跡上之成份用小刀片刮下，再以丙酮溶解過濾後，以適當的溶媒使其析出結晶或純液體，便於 IR、MS、NMR 之光譜分析以及用 GC 測定各個成分收量百分率，其結果如表三所示。

拉草在不同土壤中之移動與殘留變化：淋洗條件下拉草在土壤中之移動情形，乃選取 No. 1 塘質壤土，No. 3 砂質壤土及一種石英砂，依前述圖二製備成土壤管柱後，各於第一天經水由上往下淋洗約收集 300ml 的滲濾水 (Percorated water)，然後以 GC 分析其中各土層及滲濾水中拉草之含量，另在室溫下經過 15 天及 29 天後各以水淋洗並收集 300ml 滲濾水，再同樣以 GC 測各土層及滲濾水中之拉草殘留量。其結果如表四所列。由此表指出，拉草在土壤中受水之淋洗後之移動情形與土壤質地有關。在 No. 1 塘質壤土之所有滲濾水中發現皆沒有拉草存在，15 天後約有原加於土壤上層的劑量之 50.7%，其中大部份仍存在於拉草處理之最上層土壤，約佔殘留量的 79% 左右，在第 29 天時只剩下 34.5% 殘留在各土層中，同樣大部份仍留在最上層拉草處理之土壤中，移到下面兩層未處理之土壤則較少，只佔殘留量的 27.5%。但是在 No. 3 砂質壤土時，其總回收量 (殘留量) 在 15 天時為 47.8%，29 天時為 36.4%，約與 No. 1 塘質壤土之殘留量相似，唯不同者為 No. 3 砂質壤土於第一天之滲濾水中含有微量的拉草，到了 15 天、29 天後的滲濾水中之拉草含量則漸漸增加，且拉草移到未處理之土壤層中也較明顯。

當以吸附能力很弱的石英砂做實驗時，發現拉草自土壤中與滲濾水中之總回收量約

為原施用量之63%，而且幾乎全部存在於滲濾水中。由於結果不難看出石英砂與土壤性質不大相同，因石英砂不含有機質，且不具吸附能力所致。因此拉草在土壤中經水淋洗而移動時，除了受到拉草在水中之溶解度(25°C 下 242ppm)外，大部份乃與土壤質地有關。

不淋洗條件下拉草在土壤中之垂直移動情形，乃按照前述土壤管柱(圖二)之製備，然後將其濕潤(約需400ml水)並垂直置於暗室，但不以水來淋洗，經過14天後，發現拉草也會向下移動至未處理的土壤中，其移動情形如表五所列，在No. 1 培育壤土中約有72.7%的拉草殘留在最上層處理的土壤，約有2.5%存於未處理之下層土壤，而且

表四、拉草在土壤中及石英砂中經水淋洗而移動之情形

Table 4. Movement of alachlor with water through two soil types and quartz sand at room temperature

土壤層次 Soil layers	拉草施用到上層土壤之回收率(%) ^b Recovery of alachlor applied ^a to upper soil layer (I)% ^b											
	No.1 培育壤土 (SIL)				No.3 砂質壤土 (SL)				No. 8 石英砂 (S)			
	0天	1天	15天	29天	0天	1天	15天	29天	0天	1天	15天	29天
處理 (I) Treated (I)	100	65.2	39.4	25.1	100	50.3	16.8	10.5	100	26.0	2.5	1.5
未處理 (II) Untreated (II)	—	14.8	10.1	6.3	—	18.1	20.4	10.6	—	1.0	0.8	0.5
未處理 (III) Untreated (III)	—	6.0	1.2	3.1	—	8.0	10.6	15.3	—	0.8	0.4	0.3
總量 Total soil	100	86.0	50.7	34.5	100	76.4	47.8	36.4	100	27.8	3.7	1.8

天數 Day	滲濾水中拉草之回收率 Recovery of alachlor in percolated water (%)		
	No.1 培育壤土 (SIL) No.3 砂質壤土 (SL) No. 8 石英砂 (S)		
	0	ND ^d	0
0	0	ND ^d	0
1	ND ^d	TR ^e	40.6
15	ND	2.7	13.2
29	ND	3.8	7.4
Total (water)	ND	6.5	61.2
Total (soil and water) ^f	34.5	42.9	63.0

^a 拉草施用量為 500ppm (100mg/200g 土壤)。

^b 利用 GC-ECD 測定二重覆之結果 (Average of two replicates)。

^c 於15、29天後分別以水淋洗收集約 300ml 之滲濾水。

^d ND：未檢出 (Not detectable)。

^e TR：微量 (Trace)。

^f 於第29天後拉草在土壤及滲濾水中之總回收量。

表五、不淋洗的條件下拉草在土壤中經14天於室溫下之垂直移動

Table 5. Vertical movement of alachlor through soils in the absence of percolating water (14 days incubation at room temperature).

土壤層次 Soil layers	拉草之回收率 ^a Recovery of alachlor	
	No.1 壤質壤土 (SiL)	No.3 砂質壤土 (SL)
處理 (Treated I)	72.7	64.5
未處理 (Untreated II)	2.5	4.8
未處理 (Untreated III)	0.1	0.2
總量 Total soil	75.3	69.5

* 拉草施用濃度為 500ppm，回收率以 GC 分析，其結果為二重覆之平均值。

有 0.1% 存在於最下層土壤。由本試驗結果可知部份拉草單位在最上層土壤者可在土壤——空氣相界中蒸發而漏失，另有一部份由於在土壤中發生分解，因此拉草之總回收量在 No. 1 壤質壤土中只有原施用量的 75.3%，在 No. 3 砂質壤土中則只有原施用量的 69.5%，此乃由於壤質壤土具有較大之吸附能力，其垂直移動較砂質壤土不明顯。

至於拉草在土壤中之水平移動，所使用之土壤管柱與前述略有不同，乃將拉草處理之土壤置於二層未處理土壤之上，然後其上方又加上二層未處理之土壤，共有五層土壤，中間各以多孔鋁箔隔開，經濕潤後將其橫放於室溫及 30C 下放置 14 天，以觀察其水平移動情形。其結果如表六所示，顯示拉草多少會進入相鄰之未處理的土壤中，在 No. 1 壤質壤土及 No. 3 砂質壤土中約有 51% 及 45% 之拉草仍然殘留在中間之處理土壤層中，另約有 23.5% 及 18.8% 之拉草依序存在於 No. 1 及 No. 3 土樣相鄰的未處理土壤中（處理層左右），而且約有 0.1-0.2% 存在於最外邊之土層中，一旦拉草移到最外邊之上土壤時，即可由於在土壤——空氣相界 (Interphase) 中蒸發而漏失，再加上於土壤中有一部份被分解，故其總回收率只有原施用量之 48~75%。同時由此試驗顯示溫度會影響其水平移動，溫度高者其移動也較明顯，故在中央處理層中拉草之殘留量較少。

至於拉草在圓型玻璃容器中之水平移動，乃以 No. 1 壤質壤土及 No. 3 砂質壤土如同前述圖三之處理，於室溫及 30C 下放置 14 天後，各層土壤經萃取、淨化後以 GC 分析各土壤中之拉草含量，其結果如表六所列。顯示在 30C 下拉草之總漏失量較多，殘留量較少，其中以土地較粗之 No. 3 砂質壤土之漏失量比質地較細的 No. 1 壤質壤土為多，殘留量 No. 3 反而較 No. 1 為少。No. 3 砂質壤土中有 73% 漏失而 No. 1 壤質壤土中只有 67% 漏失，但在室溫下其漏失量 No. 3 有 49%，而 No. 1 有 46%，另由結果顯示出也有側邊移動 (Sideward movement) 而進入相鄰未處理之土層中，而且溫度愈高者其水平移動也較顯著。本試驗中拉草之漏失量比前述土壤管柱中之水平移動的漏失量為高，蓋由於圓型容器中土壤與外界空氣及相鄰土壤之接觸面大，故由於拉草在土壤與空氣相界間之蒸發機會較多所致。

表六、拉草在土壤管柱及圓型容器中之水平移動
Table 6. Horizontal movement of alachlor in soil column and circular container.

土 壤 Soil	溫 度 Temper- ature (C)	拉草之回收率 ^a Recovery of alachlor (%)							
		土壤管柱 Soil column				圓型容器 Circular container			
		中央層 ^b Center	內 層 ^c Inner	外 層 ^d Outer	總 量 Total	中央層 ^b Center	內 層 ^c Inner	外 層 ^d Outer	總 量 Total
No. 1 紳質壤土 Silty loam	25	51.0	23.5	0.5	75.0	39.6	12.5	2.0	54.1
	30	42.3	24.2	1.8	68.3	24.2	5.4	3.1	32.7
No. 3 砂質壤土 Sandy loam	25	45.4	18.8	1.2	65.4	36.5	12.1	1.9	50.5
	30	33.6	13.1	2.0	48.7	19.3	4.2	3.4	26.9

^a 拉草濃度為 500ppm 經14天後之回收率，其結果為二重覆之平均值。

^b 拉草處理之土壤。

^c 拉草處理土壤的左右第一層之和。

^d 拉草處理土壤的左右第二層（最外層）之和。

^e 拉草處理土壤之外圍第一層。

^f 拉草處理土壤之外圍第二層（最外層）。

結 論

殺草劑拉草在不同土壤中之分解速率乃受土壤種類、水分含量及 pH、有機質含量之影響。另拉草在未經殺菌土壤中之分解也較在殺菌土壤中來得快，其差異乃是受到土壤微生物之影響。此外拉草在土壤中亦可作垂直和水平移動，其移動程度受水之淋洗和不淋洗而有很大的差別，有水淋洗者移動較明顯。其移動與土壤質地也有關係，質地粗且有機質含量少者，較細質地且有機質含量高者為快。在完全沒有吸附能力的石英砂中移動最快。而在水中之分解主要是受到 pH 值與溫度之影響。

總而言之，由本篇研究結果顯示各種不同之環境因子會影響到殺草劑拉草在土壤中之變化、殘留移動等，而影響其藥效，故在施用時對當時之環境因子先加以了解，以得最安全、最經濟且最正確之使用法，達到其預期效果而不致造成殘留毒害或污染環境等問題。

誌 謝

本研究承蒙恩師臺大陳玉麟博士及本院化學系主任蕭介夫博士等提供寶貴意見。美國環境保護署 (EPA) 提供拉草純品，以及許淑娟小姐及屏東農專廖秋榮先生之協助，使本文得以順利完成，謹在此一併致最高之謝意。

參 考 文 獻

1. 李國欽 1973. 農藥殘留之氣液層次分析法，臺灣植物保護中心教材第一號。
2. 李國欽 1974. 土壤有機成分對農藥在土壤中分解之影響。科學農業，22(3-4)：118-123。
3. 孫定國、廖龍威 1972. 實用農藥。農林廳出版第四版第362頁。
4. Chen, Y.L. 1980. Current status of herbicides in Taiwan. Weed Sci. Bull. 1 : 60-80. (In Chinese, English summary).
5. Chen, Y.L. and C.C. Chen. 1978. Photodecomposition of herbicide butachlor. J. Pesticide Sci. 3 : 143-148.
6. Chen, Y.L. and T.C. Wu. 1978. Degradation of herbicide butachlor by soil microbes. J. Pesticide Sci. 3 : 411-417.
7. Fang, C.H. 1977. Studies on the photodecomposition of herbicide alachlor. J. Chinese Agr. Chem. Soc. 15 : 14-22.
8. Fang, C.H. 1979. Studies on the dissipation and degradation of herbicide alachlor on soil thin layers. J. Chinese Agr. Chem. Soc. 17 : 47-53.
9. Fang, C.H. 1977. Effects of soils on the degradation of herbicide alachlor under the light. J. Chinese Agr. Chem. Soc. 15 : 53-59.
10. Fang, C.H. 1980. Dissipation and degradation of herbicide alachlor in water. Weed Sci. Bull. 1 : 97-106.
11. Hargrove, R.C. and M.G. Merkle. 1971. The loss of alachlor from soil. Weed Sci. 19 : 652-654.
12. Kaufman, D.D. and L. Blake. 1973. Microbial degradation of several acetamide, acylanilide, carbamate, toluidine and urea pesticides. Soil Biol. and Biochem. 5 : 297-308.
13. Lichtenstein, E.P., T.W. Fuhremann, and K.R. Schulz. 1972. Movement and fate of dyfonate in soil under leaching and nonleaching conditions. J. Agr. Food Chem. 20 : 831-838.
14. Tiedje, J.M. and M.L. Hagedorn. 1975. Degradation of alachlor by a soil fungus *Chaetomium globosum*. J. Agr. Food Chem. 23 : 77-80.
15. Yu, C.C., G.M. Booth, D.J. Hansen, and J.R. Larsen. 1975. Fate of alachlor and propachlor in a model ecosystem. J. Agr. Food Chem. 23 : 877-879.