

韓國 耕地土壤特性에 關聯된 除草劑 藥害

梁 桓 承·全 載 哲*

Herbicidal Phytotoxicity in Relation to the Korean Soil Properties

Ryang, Hwan Seung and Jae Chul Chun*

ABSTRACT

This paper deals with herbicidal phytotoxicity which may occur because of unique properties of the Korean soils. Analysis of the Korean lowland and upland soils reveals that about 50% of the total area belongs to sandy loam and sandy gravel soils and most of both lowland and upland soils consists of kaolinite clay mineral. The chemical properties such as organic matter, pH, and cation exchange capacity show very low values by which there have been several instances of the herbicidal phytotoxicity occurred throughout the country. In addition, the paper emphasizes the need for selection and use of herbicides in the Korean soils.

Key words: Korean soil property, herbicide phytotoxicity.

緒 言

近來 世界 各國마다 急激한 經濟成長의 結果, 農村 勞動力의 不足이 原因으로 되어 農業에 있어서도 省力栽培 및 農業近代化에 대한 對策이 強하게 要求되고 있다. 그 때문에 農業機械, 化學肥料 및 除草劑 등의 開發에 顯著한 發展을 보이고 있다. 그 가운데 特히 除草劑는 農業機械化에 比하여 一時的인 投資가 적고 또 除草의 苦痛을 크게 經減할 수 있기 때문에 가장 널리 利用되게 되었다.

우리나라에 있어서도 1968年 以後부터 除草劑의 需要가 增加하기 始作하여 每年 倍增一路를 걸어 1980年 現在 水稻作에 있어서는 全畝面積(127萬ha)의 113%, 밭에 있어서는 全面積(86萬ha)의 33%까지 普及되고 있다.²⁷⁾ 이와 같은 現象은 今後에 있어서도 繼續되어 그 需要가 더욱 더 增大되리라는 것은 疑心할 바 없다.

그러나 現在까지 開發된 除草劑中 作物에 本質의 으로 選擇性을 가진 除草劑는 매우 적어, 옥수수에 대

한 atrazine (2-chloro-4(ethylamino)-6-(isopropyl amino)-s-triazine)^{21,40)} 벼에 대한 propanil (3',4'-dichloropropion anilide)²²⁾ 참깨에 대한 siduron [1-(2-methyl-cyclohexyl)-3-phenyl urea]²⁸⁾,²⁹⁾ 고추直播(茄子科 포함)에 대한 napropamide [2-(α -naphthoxy)N,N-diethyl propion amide]²⁹⁾ 장미과, 茄子科 등에 대한 phenoxy pyridazine (3-(2-methyl phenoxy) pyridazine)系 化合物 등³⁷⁾ 數種에 지나지 않는다.

그 以外 대부분의 除草劑는 作物과 雜草 사이의 選擇作用性이 적기 때문에 土壤處理에 의하여 物理的 選擇性을 利用하거나, 生育中의 作物에 대한 接觸을 避해서 雜草에만 撒布하는 方法 등을 써서 利用되고 있는 現狀이다. 이와 같은 事實에서 土壤處理劑의 경우는 土性, 氣象, 栽培樣式, 植生, 기타의 條件에 따라서는 藥害를 일으키고 또는 除草效果의 甚한 變動을 일으킬 念慮가 많다. 따라서 비록 氣候, 栽培樣式이 서로 비슷하더라도 適用現場에 있어서의 土壤의 性質에 差異가 있는 경우에는 各各의 立地條件에 適合한 除草劑의 選拔이 이루어지지 않으면 아니된다.

* 全北大學校 農科大學.

*College of Agriculture, Jeonbug National University, Jeonju 520, Korea.

그 때문에 土壤中에 있어서 除草劑의 行動特性, 卽生理活性的 差異, 移動 및 分解~消失 등은 除草劑使用技術의 根幹을 이루고 있다고도 할 수 있는 重要事項이기도 하기 때문에 諸外國에서는 일찍부터 數 많은 研究가 이루어져 왔다.^{2, 3, 9, 10, 12-22, 27, 34-37, 41-47, 49-57)} 또 最近에는 農藥의 環境汚染 및 他 生物系에 미치는 影響 등이 社會的으로 問題化 되면서 관심은 더욱 높아지게 되어 世界 各國마다 藥劑들의 土壤中 舉動에 대하여 더욱 더 활발한 研究가 進行中이다.^{4-8, 11, 22, 24, 46, 56)}

이와 같이 農藥의 安全施用 또는 公害에 대한 關聯性 등의 見地에서 除草劑의 土壤中 行動에 관한 研究는 普及에 앞서 반드시 명백히 하지 않으면 아니 될 必須課題임에도 不拘하고 우리나라에 있어서는 이 면에 대한 充分한 檢討도 加해지지 않은 狀態에서 實用化를 서두른 結果 外國에서 널리 사용되고 있는 除草劑中에서도 種類에 따라서는 甚한 藥害를 일으켜서 問題化된 事例가 적지 않았다.^{30, 31, 33)}

韓國에 있어서 이와 같이 藥害를 일으키는 原因은 여러가지 면에서 分析檢討할 수 있으나, 土壤特性의 差異에 의한 것이 主因이라고 생각된다. 全般的으로 韓國의 土壤은 有機物含量, CEC 등이 특히 낮고 또

粘土含量도 적은 壤土 및 砂土의 比率이 높을 뿐 아니라 그 粘土鑛物의 大部分은 Kaoline系로 形成되어 있기 때문에 吸着力이 매우 낮은 特徵을 갖고 있다.^{32, 33)} 平均 有機物含量, CEC 및 粘土含量 등에 있어서 韓國보다 比較的 높은 값을 나타내고 있는 日本, 美國 등에서 널리 適用되고 있는 除草劑라 하더라도 藥劑特性에 따라서는 韓國의 土壤 條件에는 適合치 않는 것이 당연할 수도 있다고 생각한다. 따라서 韓國의 土壤條件에 適合한 特種한 除草劑의 選拔을 行하지 않는 한 藥害問題는 계속 일어나게 될 것으로 생각된다.

I. 韓國 耕地土壤의 特徵

1. 논 土壤

우리나라의 전체 논 면적은 總耕地面積 213만ha 중 約 60%를 차지하는 127만ha로서 가장 重要한 比重을 이루고 있다. 이들은 面積을 土壤粒子의 精粗에 따른 土性別로 分類하여 보면, 粘土의 含量이 27.5~40% 함유된 壤壤土가 47.4%로 가장 큰 比率을 차지하며, 40% 以上의 粘土를 함유한 壤土는 단지 8.8%에 不過하다(Fig. 1a). 나머지 43.8%인

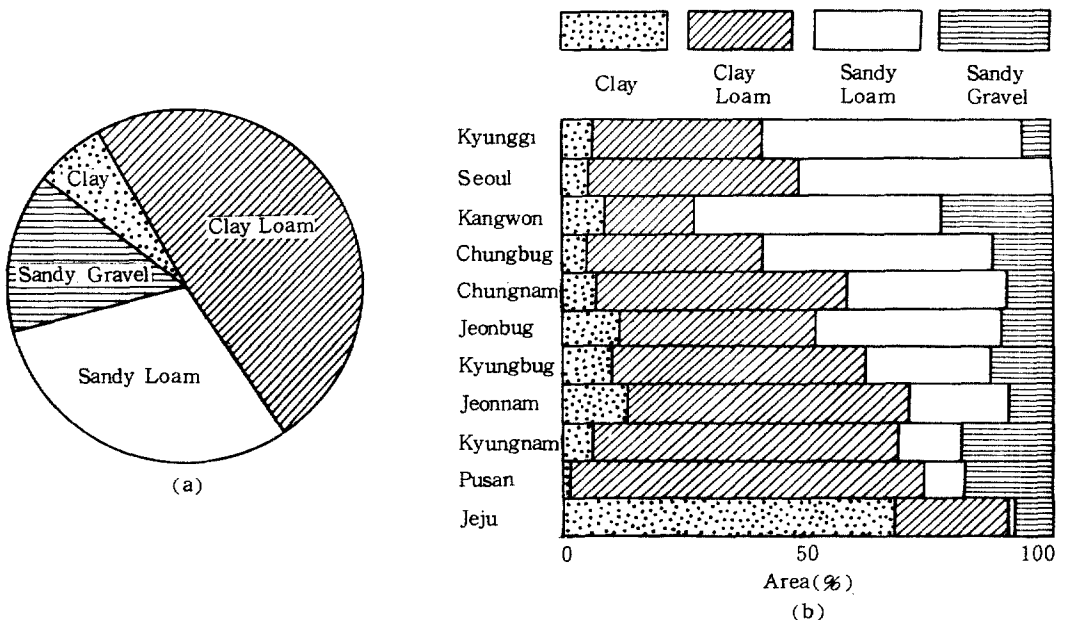


Fig. 1. Percent distribution of different soil textures in (a) total lowland area and (b) lowland areas at different provinces (Adapted from ORD, Korea, 1981).

Table 1. Chemical property of lowland soil in Korea averaged from 1964 through 1981
(Adapted from Inst. Agr. Sci., ORD, Korea, 1982).

pH (H ₂ O 1:5)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (me/100g)			SiO ₂ (ppm)	Total -N (%)	Available Zn (ppm)	Cation exchange capacity (me/100g)
			K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺				
5.5	2.6	60	0.23	4.5	1.8	78	0.18	16.3	11.0

는面積이 砂質土壤인 砂壤土와 砂礫土로 構成되어 있다.

이들 土性에 의한 構成比는 地域적으로도 特性을 보이고 있어, 中部에서 南部에 걸쳐 埴壤土의 面積比가 커지는 反面, 砂壤土의 경우는 적어지고 있다(Fig. 1b). 또한 江原地域에는 약 74%가 砂質土壤인 것과는 對照的으로, 濟州地域는 面積의 약 68%가 埴壤土로 이루어져 있다. 한편, 는 土壤의 化學的 特性 (Table 1)을 보면 전반적으로 瘠薄土壤임을 알 수 있다. 우리나라 는 土壤은 대체로 酸性이 강한 pH 5.5이며, 有機物含量도 2.6%로 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 더우기 이 밖의 다른 化學的 特性도 農村振興廳 農業技術研究所에서 設定²⁶⁾한 目標水準에 전부 未達되고 있는 實情이다.

以上과 같은 우리나라 는 土壤의 特徵은 土壤의 鑛

物質 成分에 의한 것이라고도 할 수 있다. 우리나라 土壤은 花崗岩 및 片麻岩이 母岩으로, 粘土鑛物의 80~90%가 吸着力이 매우 낮은 Kaolinite로 構成되어 있다. 또한 이들은 土壤 중에는 全面積의 18.5%가 低位生産畝으로 이중 약 70%는 砂礫土 혹은 退化鹽土로 되어 있다.

2. 밭 土壤

밭 總面積은 약 86만ha로, 우리나라 精密土壤調查 結果²⁵⁾에 따르면 既存 밭은 地形分布上 平坦地에 分布되어 있는 面積이 全體의 약 16%에 불과한데 그 大部分은 河川, 敷地 등에 位置하고 있으며 나머지는 低丘陵地, 山麓傾斜地 및 谷間地 등 立地條件이 不良한 地域에 分布되어 있다. 그 밖에 장래 開墾可能地로 약 52만ha이 推定되고 있으나 이들은 주로

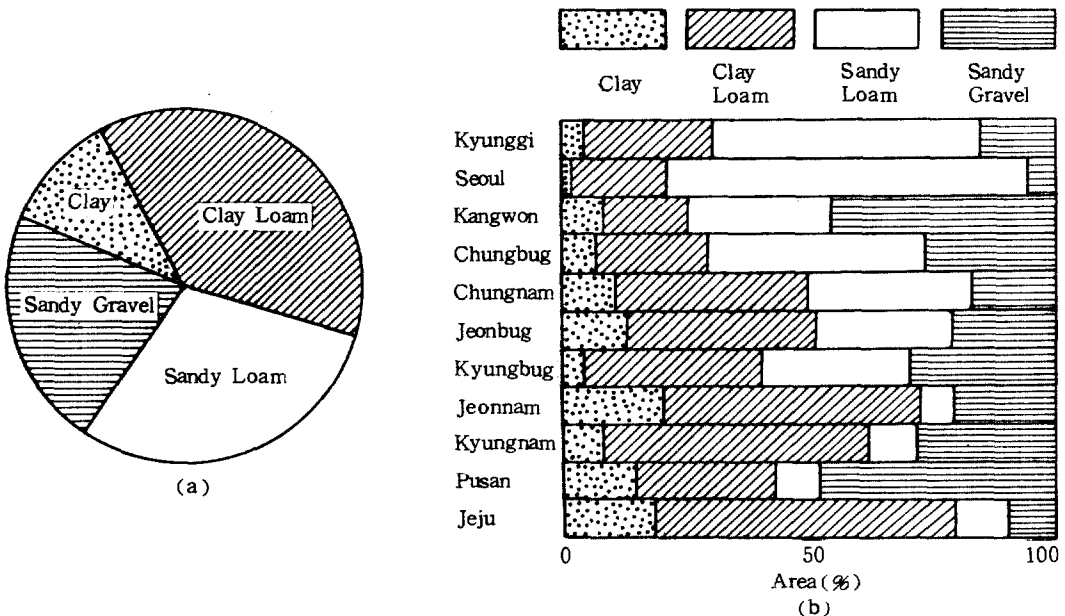


Fig. 2. Percent distribution of different soil textures in (a) total upland area and (b) upland areas at different provinces (Adapted from ORD, Korea, 1981).

Table 2. Chemical property of upland soil in Korea averaged from 1964 through 1981
(Adapted from Inst. Agr. Sci., ORD, Korea, 1982).

pH (H ₂ O1:5)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (me/100g)			Availabe Zn (ppm)	Cation exchange capacity (me/100g)
			K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
5.7	2.0	114	0.32	4.2	1.2	8.5	10.3

低丘陵地에 分布되고 있음이 報告되었다.

土性에 따라 이들 밭 面積을 分類하여 보면 埴壤土가 37.9%로 가장 큰 比率을 차지하며, 砂壤土 및 砂礫土가 각각 27.7%, 24.1%, 그리고 埴土가 10.3%(Fig. 2a)로서, 밭 土壤에서는 砂質系의 土壤인 土壤에 比하여 그 比率이 훨씬 کم을 볼 수 있다.

특히 砂礫土의 分布가 많음은 注目할만한 것으로 江原과 釜山地域에서는 약 50%까지 그리고 서울과 濟州地域을 除外한 그 밖의 地域에서는 20~30%까지 分布되어 있다(Fig. 2b). 또한 밭 土壤中 壤土의 경우는 논 土壤과는 달리 微砂質이 적고 砂質壤土가 대부분인 것이 特徵이라 할 수 있다.

논 土壤의 경우와 마찬가지로 밭 土壤도 母岩이 花崗岩系이므로 粘土鑛物은 Kaolinite가 主鑛物이며, 赤黃色土壤의 分布가 가장 많다.

化學的 特性으로 밭 土壤을 살펴 보면, 논 土壤과 마찬가지로 酸性이 강한 pH 5.7이며, 有機物 含量도 2.0% 水準으로 매우 낮은 값을 보이고 있다(Table 2). 반면, 磷酸含量은 논 土壤에 비해 높은 값을 나타내고 있으며, 鹽基置換容量(Cation Exchange Capacity, C. E. C.)은 10.3me/100g으로 논 土壤의 11me/100g과 비슷한데 이는 主粘土 鑛物이 Kaolinite(平均CEC 3~15me/100g)인 관계이기 때문임을 斷할 수 있다.

II. 韓國耕地 土壤에 關聯된 除草劑 藥害

土壤處理型 除草劑의 土壤 중 行動特性 즉 生理活性, 吸着, 移動 및 分解~不活性化는 土壤의 種類 혹은 性質과 密接한 關係가 있음이 밝혀져 왔다. 荒川・野田¹⁾, Burnside *et al.*,⁶⁾ 茨木・野田¹⁹⁾, 梁・李³⁰⁾ 등은 土壤類型에 따른 除草劑의 藥害樣相을 檢討한 바 있으며, 이와 같은 自然耕地 土壤에서의 除草劑의 藥害變動에 미치는 影響을 土壤의 單一 因子에 대해서 解析을 加하여 Burschel,⁷⁾ Upchurch・Pierce,⁴⁴⁾ Upchurch・Mason⁴⁵⁾은 有機物含量이, Corbin・Upchurch⁴⁹⁾와 Weber *et al.*⁵⁰⁾은 pH가, 그리고 Upchurch・

Coble⁵¹⁾, Upchurch^{52,54)} 등은 土壤 중 粘土鑛物의 種類가 除草劑의 藥害變動에 重要 因子로서 作用함을 報告하였다. 以上과 같은 研究結果로 볼 때 除草劑의 研究(특히 土壤處理型)에 즈음하여 제일 먼저 考慮되지 않으면 안될 事項의 하나는 對象 土壤의 特性이라 생각된다.

前項에서 밝힌 바와 같이 우리나라 耕地土壤의 가장 큰 特徵은 논, 밭 다같이 平均 有機物含量이 2% 정도로 낮고, 壤土 및 砂土의 合計比率이 약 50% 이상을 차지하고 있으며 粘土鑛物의 대부분은 花崗岩 分解產物에서 由來한 Kaolinite系로 構成되어 있기 때문에 吸着力이 낮다는 結論을 얻을 수가 있다. 各國의 土壤組成은 각각의 나라에 따라서 그 特性이 매우 다르기 때문에 除草劑의 導入過程에 있어서는 各國마다 總合的 雜草防除遂行上 重要한 다른 關聯因子³⁸⁻⁴⁰⁾와 함께 土壤中의 行動特性에 대하여서도 綿密한 檢討을 가함이 必須의 要件이다. 그리하여 전국적 立地條件에 對應한 安全使用의 基準表를 作成하여 實用化에 들어가는 것이 當연한 順序라 할 수 있다.

그러나 우리나라에서는 이 면에 대하여서 거의 檢討이 되지 않은채 實用化를 서두른 結果 그 需要가 急增하기 시작한 1970年 以後에서 一部 除草劑에 의한 藥害問題가 發生하였다.^{30,33)} 卽 農家圃場에서 일어난 가장 代表的인 藥害는 1971年度에 全南 羅州 老安面에서 장마 뒤의 異常高溫期에 주로 砂壤土에 있어서 benthiocarb + simetryne의 過量撒布의 原因에 의하여 大面積에 藥害發生이 있었다. 이어서 1972年度에는 慶北 金陵 一帶, 忠北 槐山 및 淸原 一帶, 慶南 昌原 等地의 統一系品種의 集團栽培地에서 大面積에 藥害가 發生했다. 同年에 있어서 著者가 上記 藥害地域에 대한 藥害發生 要因究明 結果³⁰⁾, 有機物含量이 2.0~3.4% 範圍의 輕埴土 내지 埴壤土 條件의 경우는 標準施用量 範圍內에서 거의 藥害가 없었으나 有機物 含量이 1.0% 內外의 砂壤土條件에서는 溫度의 高低에 관계없이 藥害가 發現되었다.

水稻作 다음으로 韓國에서는 主要한 位置를 차지하고 있는 麥作에 있어서의 代表的인 藥害는 1972年

작의 麥播種期에 120mm 以上の 降雨가 있었던 때이다. 當年 著者는 嶺南 및 湖南地域의 藥害發生 現地調査를 하였는데 그 結果³¹⁾에 따르면 ① 보리의 發芽를 前後하여 圃場容水量 以上の 過濕이 保持되었던 것 ② 藥劑特性과 土性의 關係를 무시한 除草劑의 選擇 및 不均一 撒布 등이 藥害發生의 最大 原因임이 判明되었다. 특히 特記할 일은 同一地域의 同一土壤條件에 있어서도 藥害의 程度에는 藥劑의 種類에 따라 큰 差異가 있었고 CNP, nitrofen, butachlor, benthocarb 등은 土性, 施用藥害, 降雨量, 覆土深 등의 變動에 대하여도 比較的 藥害變動이 가벼운 傾向을 나타내며 反하여 日本에서 가장 많이 쓰여지고 있는 simazine, chloroprotham, diuron, linuron 및 alachlor 등의 處理에 있어서는 土性, 撒布方法, 降雨, 其他 要因에 의하여 藥害變動이 顯著하고 특히 有機物 含量이 적은 砂壤土에 있어서는 甚害~全面 枯死의 藥害症狀를 나타내는 일이었다.

結 言

以上の 結果에서 韓國에서는 土壤特性에 의한 藥害가 가장 큰 要因이라고 생각된다. 따라서 除草劑 種類別로 土壤中에 있어서의 行動特性을 究明함이 重要な 課題였는데도 不拘하고 과거 10여년간 이 方面의 研究는 거의 疎外된 채 圃場에 있어서의 藥劑間의 效果比較試驗이 相互連絡없이 散發的으로 또는 非組織的으로 遂行되었을 뿐이었다는 것은 큰 問題點이었다고 할 수 있다.

따라서 아무리 수많은 實驗이 있었더라도 그것을 綜合해서 土壤을 둘러싼 問題點 發生時의 이것에 대한 適切な 解析 나아가서는 土性別 適正施用基準의 策定도 이루어지지 못하였다. 이와같은 狀態에서 바로 實用化에 들어간 關係로 뜻하지 않은 不幸한 結果를 招來한 것이라 생각된다.

引 用 文 獻

1. 荒川一光·野田健兒(1973) 含シメトリン除草劑のイネへの 温度による 變化とその 土壤による 差, 雜草研究 15: 48~53.
2. 荒井正雄·宮原益次·片岡孝義(1966) 水田用 低魚毒 除草劑의 土壤中의 殘效期間と 移動程度について, 雜草研究 5: 90~94.
3. Bailey, G.W. and J.L. White(1964) Review of

adsorption and desorption of organic pesticides by soil colloids, with implications concerning pesticide bioactivity. Agr. and Food Chem.12(4): 324-332.

4. Beestman, G.B. and J.M. Deaming(1974) Dissipation of acetanilide herbicides from soils. Agronomy Journal 66: 308-311.
5. Bozarth, G.A. and H.H. Funderburk, Jr.(1971) Degradation of fluometron in sandy loam soil. Weed Sci. 19: 691-695.
6. Burnside, O.C., G.A. Wicks, and C.R. Fenster (1963) The effect of rainfall and soil type on the disappearance of 2,3,5-TBA. Weeds 11:45-47.
7. Burschel, P.(1961) Degradation simazine in soils with various humus contents and at various temperature. Weed Res. 1:131-133.
8. Coats, G.F., H.H. Funderburk, Jr., J.M. Lawrence and D.E. Davis(1966) Factors affecting persistence and inactivation of diquat and paraquat. Weed Res. 6:58-66.
9. Corbin, F.T. and R.P. Upchurch(1967) Influence of pH on detoxication of herbicides in soil. Weeds 15: 370-377.
10. Eshel, Y.(1969) Phytotoxicity, leachability, and site of uptake of 2-chloro-2',6'-diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide. Weed Sci. 17: 441-444.
11. Fink, R.J.(1971) Phytotoxicity of herbicide residues in soils. Agronomy Journal 64: 804-806.
12. Grover, R.(1971) Adsorption of picloram by soil colloids and various other adsorbents. Weed Sci. 19: 417-418.
13. _____ (1973) The absorption behaviour of acid and ester from of 2,4-D on soils. Weed Res. 13: 51-58.
14. Hance, R.J.(1961) The adsorption of linuron, atrazine and EPTC by model aliphatic adsorbent and soil organic preparation. Weeds 9:108-113.
15. _____ (1965) The adsorption of urea and some its derivatives by a variety of soil. Weed Res. 5:98-100.

16. Harris, G.I. and G.F. Warren(1964) Adsorption and desorption of herbicides by soil. *Weeds* 12:120-126.
17. _____ and _____ (1966) Adsorption, movement, and phytotoxicity of monuron and striazine herbicides in soil. *Weeds* 14:6010.
18. _____ (1967) Movement of herbicides in soil. *Weeds* 15: 214-216.
19. 茨木和典・野田健児(1969) 除草劑の土壤における行動, 第一輯 土壤の種類と除草劑の作用力, 雜草研究 8: 20~24.
20. _____ (1970) _____
_____ 第二輯 土壤中の行動と吸着. 日本雜草研究 第九回 講演要旨: 58~61.
21. Klingman, G.C.(1966) *Weed Control as a Science*. John Wiley & Sons Inc. New York.
22. 近内誠登(1972)DCPA(Propanil)の除草作用特性および各種共力劑檢索に関する基礎的研究, 宇大農學部 學術報告特輯 第28號: 1~68.
23. 飯塚昭三(1972) 湛水土壤中における除草劑の分解, 近大農業における土壤肥料の研究 3: 107~112.
24. _____ (1973) 除草劑の土壤における吸着, 移動, 分解と除草作用, 植物の化學調節 8(2): 72~83.
25. 農村振興廳(1981) 韓國의 土壤類型, 土壤調査研究報告.
26. _____ 農業技術研究所(1982) 耕作地土壤の無機成分含量, 土壤肥沃度 事業報告.
27. 農藥工業協會(1980) 農藥年報.
28. 梁桓承・權泰英外 2名(1971) 除草劑에 의한 省力多收栽培에 관한 研究. 科學技術處研究開發事業報告書: 1~80.
29. _____ (1972) 除草劑에 의한 省力多數栽培에 관한 研究. 農村振興廳研究報告: 1~120.
30. _____, 李碩榮(1972) Saturn-S 藥害發生要因究明에 관한 研究, 第一報 土性の差異에 다른 藥害要因. 全北大 農大 論文集 3: 28~34.
31. _____ (1973) 番裏作麥 藥害發生要因究明에 관한 研究. 韓國作物學會誌 14: 147~157.
32. _____ (1974) 韓國에 있어서 除草劑研究體制的 現況과 改善方向. 韓國植物保護學會誌 13(3): 151~165.
33. _____ (1974) 韓國에 있어서 雜草防除의 現況과 問題點. 日本 雜草防除研究會 第四回 雜草防除夏期研究會 テキスト: 53~87.
34. Savage, K.E.(1973) Adsorption and degradation of chlorbromuron in soil. *Weed Sci.* 21: 416-420.
35. Scott, D.C. and J.B. Weber(1967) Herbicide phytotoxicity as influenced by adsorption. *Soil Sci.* 104(3): 151-157.
36. 竹松哲夫・近内誠登・竹内安智(1971) chloroacetamide系 化合物の除草作用 特性に関する研究. 雜草研究 11: 44~49.
37. 竹内安智・近内誠登・竹内哲夫(1972) 3-(2-methyl phenoxy) pyridazineの土壤における作用發現條件の解析. 雜草研究 14: 29~35.
38. 植木邦和(1968) 雜草防除學體系化の-考察. 雜草研究 6: 1~7.
39. _____, 中村安夫・小野誠一(1969) 多年生雜草 フログイの防除に関する基礎的研究, 第一報 繁殖の生理生態的 特性について. 雜草研究 8: 50~56.
40. _____・松中昭一(1972) 雜草防除大要. 養賢堂
41. Upchurch, R.P., G.D. Ledbetter, and F.L. Selman(1963) The interaction of phosphorus with the phytotoxicity of soil applied herbicides. *Weeds* 1:36-41.
42. _____ and W.C. Pierce(1957) The leaching of monuron from lakeland sand soil. Part I. The effect of amount, intensity, and frequency of stimulated rainfall. *Weeds* 5:321-330.
43. _____ (1958) The influence of soil factors on the phytotoxicity and plant selectivity of diuron. *Weeds* 6:161-171.
44. _____ and W.C. Pierce(1958) The leaching of monuron from lakeland sand soil. Part II. The effect of soil temperature organic matter, soil moisture and amount of herbicide. *Weeds* 6:24-33.
45. _____ and D.D. Mason(1962) The influence of soil organic matter on the phytotoxicity of herbicides. *Weeds* 10:9-14.
46. _____, F.L. Selman, D.D. Mason, and E.J. Kamprath(1966) The correlation of her-

- bicidal activity with soil and climatic factors. Weeds 14:42-48.
47. _____, F.T. Corbin, and F.L. Selman(1969) Persistence pattern for diuron and linuron on Norfolk and Duplin sandy loam soils. Weed Sci. 17:69-77.
 48. 漆原久幸(1967)ジフェニルエーテル系 除草剤の 化学構造と 作用機作. 雑草研究 6: 21~25.
 49. Weber, J.B., P.W. Perry, and R.P. Upchurch (1965) The influence of temperature and time on the adsorption of paraquat, diguat, 2,4-D and prometon by clays, charcoal, and an anion-exchange resin. Soil Sci. Soc. of America Proceedings 29: 678-688.
 50. _____, _____, and K. Ibaraki (1968) Effect of pH on the phytotoxicity of prometryne applied to synthetic soil media, Weed Sci. 16: 134-136.
 51. _____ and H.D. Coble (1968) Microbia decomposition of diquat adsorbed on montmorillonite and kaolinite clay. Agri. and Food Chem. 16: 475-478.
 52. _____ (1968) Adsorption and desorption of diquat, paraquat, and prometon by montmorillonitic and kaolinitic clay minerals. Soil Sci. Soc. of America Proceedings 32: 485-487.
 53. _____ (1970) Mechanism of adsorption of s-triazine by clay colloids and factors affecting plant availability. Residue Reviews 32:93-130.
 54. _____ (1970) Adsorption of s-triazines by montmorillonite as a function of pH and molecular structures. Soil Sci. Soc. of America Proceedings 34: 401-404.
 55. _____ (1972) Model Soil systems, herbicide leaching, and sorption: Research method in weed science/R.F. Wilkinson(ed.) Chapter 9. 25th anniversary commemorative issue, Southern Weed Sci. Soc.: 145-160.
 56. _____ and J.A. Best(1972) Activity and movement of 13 soil-applied herbicides as influenced by soil reaction. Proc. Southern Weed Sci. Soc. 25: 403-413.
 57. _____, _____, and T.W. Waldrep (1974) Effect of soil constituents on herbicide activity in modified-soil field plots. Weed Sci. 22: 454-459.
 58. Yuh-Lin Chen, Lao-Jer Chen, Chin-hsiang Fang and Yei-Shung Yang(1975) Photodecomposition and some behavior of herbicides saturn and dacthal in soils. The 5th Asian-Pacific Weed Sci. Soc., Abstracts:112.