韓國作物學會誌 第23卷 第3號(1978. 12)
J. Korean Soc. Crop Sci. Vol. 23 No.3:31~46

土壤 중에 있어서 除草劑의 藥害變動, 移動 및 殘效持續性

梁 桓 承·李 碩 榮
全北大學校 農科大學

Variation in Phytotoxicity, Movement and Residual Activity of Herbicides in Soil

Hwan Seung Ryang and Suk Young Lee
College of Agriculture, Jeonbug National University

ABSTRACT

In order to secure the proper use of herbicides that are frequently used in Korea, the behavior of herbicides in various type of soil were studied. This study includes the variation of phytotoxicity, leaching and movement, and residual activity period of herbicides depending upon the type of soil etc. Experiments were also conducted to establish a guideline for the selection of herbicides according to the type of soil and the proper use of each herbicide in various type of soil in Korea. Experimental results showed that the behavior of herbicides could be characterized based on the series or kind of herbicides and devided into two major groups. One group (nitrofen, CNP, benthiocarb and butachlor) of herbicides showed relatively little crop injury and was very dependable. The action of this group was not remarkably influenced by soil components, rainfall and the quantity of herbicide used with the type of soil that had small adsorption capacity such as most of soil in Korea. The other group(simazine, 2,4-D, linuron, alachlor and simetryne) showed a wide variation in it's action and retained potentially injurious effect. This group was very susceptable to using condition as well as the type of soil itself.

Based on the results of various experiments the disappearance of the residual activity period of major herbicides used in upland and paddy field and the related factors were explained. It is believed that the results of this study can be used as a base for the establishment of a guideline for the proper use of each herbicide and can suggest a direction of developing new herbicides.

緖 言

著者는 우리나라의 氣候, 土性, 植生, 栽培樣式에 適合한 合理的인 雜草防除 方法을 確立할 目的으로 1967年 以來 雜草防除 全般에 關한 硏究를 繼續하여 왔다[17~54].

이들 一連의 硏究 중 특히 化學的인 除草에 關心을 갖고 世界的으로 알려진 논, 밭 主要 除草劑 70여 종을 모아서 田畓別로 適用性 試驗을 遂行한 結果, 特記할 것은 雜草處理劑인 paraquart, CMPT, propanil, glyphosate 등의 作用性은 諸外國에서 얻어진 結果와 大差가 없었다[9,17,20~23,25~26,38,40,41,46,51,55]. 그러나 이에 反하여 土壤處理型 除草劑는 田畓을 莫論하고 外國에 있어서의 結果와 一致하지 않는 點이 수많이 發見되었다. 即 諸外國에서 폭넓게 使用되고 있는 選擇的 除草劑인 triazine系, urea系, carbamate系, nitrile系, amide系, phenoxy系 등 除草劑 중에는 土壤, 降雨(漏水), 其他 條件 如何에 따라서는 除草效果 良否 以前에 作物에 대하여 심한 藥害를 일으키는 事例가 많았다[18,28,29,31,32,37,38]. 그러나 diphenyl ether系의 nitrofen, CNP, TOPE, thiocarbamate系의 benthiocarb, acetanilide系의 butach-

lor, alachlor(選擇性 除草劑) 등은 一部의 雜草에 抵抗性을 나타내지만 土性, 降雨, 地域 등에 關係없이 比較的 作物에 安全한 結果를[22,23,24,27~29,32,34,42] 나타내었다. 本 結果들은 氣候, 栽培樣式, 發生雜草 등이 우리나라와는 가장 가까운 日本과 比較할 경우에도 田畓에 適用되는 除草劑의 面貌는 크게 다른 바가 있었다.

外國에 있어서 폭넓게 適用되는 除草劑가 우리나라에서는 특히 藥害를 일으키기 쉬운 原因은 여러가지 面에서 分析 檢討할 수 있으나 그동안 著者가 행한 藥害發生要因 究明 結果의[24,28~34,37] 判定에서는 土壤의 特性에 基因한 藥劑 吸着力의 差異에[3,10,38,57] 의한 要因이 가장 큰 것으로 생각된다. 따라서 우리나라의 土壤條件下에서 이에 適合한 獨特한 藥劑의 開發이 없는 限 또 藥害를 일으키기 쉬운 問題除草劑에 대한 原因 究明이 되어지지 않는 限 除草劑의 安全施用은 不可能하다고 判斷되었다.

이러한 現況 및 見地에 立脚하여 著者는 主要 除草劑의 安全使用을 前提로 하여 우리나라의 代表 耕地土壤 중에 있어서 除草劑의 土壤 중 行動 特性을 各種 要因別로 檢討를 加하여 全國의 各地 土壤類型에 適合한 適正藥劑의 選拔 및 安全使用 方法의 確立을 目的으로 過去 10餘年에 걸쳐 硏究를 實施한 바 있어 그 結果의 大要를 項目別로 槪說코자 한다. 讀者諸賢에게 諒解를 求하고자 하는 것은 投稿枚數에 制限을 받었던 關係로 얻어진 結果의 槪要만을 記述하였기 때문에 理解하기 어려운 點과 疑問視되는 點이 많으리라 본다. 그러나 보다 詳細한 內容은 大部分이 別途 著者에 의해서 發表되어 있으므로 關聯文獻(引用文獻[17~54] 參照)을 參考하길 바란다.

1. 土壤組成의 差異와 除草劑의 藥害變動과의 關係

가. 主要 農耕地 土壤組成의 差異와 藥害와의 關係

嶺湖南에 散在하는 土性이 다른 代表 土壤 10點(表1)을 供試하여 우리나라에서 現在 市販되고 있는 10種의 除草劑가 土壤別로 나타내는 藥害差異를 比較檢討한 바 그 結果[33,45]는 表2와 같다.

Table 1. The Characteristics of Soills

No.	Soil name	Soil series	Clay mineral[1] Main	Clay mineral[1] Sub.	Soil texture	Particle size distribution: Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	Water holding carpacity	Chemical property: pH (1 : 1 H_2O)	OM	CEC (me/100g)	PAC[2] (me/100g)
1	Pohang Mont.	Daegu	Mont	—	Lic	11.14	20.13	36.62	32.04	35.4	4.7	3.4	15.68	890.3
2	Kimje	Kimje	KaO	Vt.It.	HC	2.35	8.39	41.18	47.44	37.0	5.5	2.9	15.0	916.8
3	Bongnam	Bongnam	KaO	—	LiC	7.8	15.15	44.55	32.49	36.6	5.0	2.8	14.91	760.1
4	Paddy[3]	Tongcheon	KaO	Vt.It.	SiC	2.26	18.82	52.15	26.77	35.0	5.4	2.4	14.11	870.7
5	Geugrag	Geugrag	KaO	Vt.	SiC	1.63	24.2	47.83	26.33	31.5	5.5	2.3	12.89	999.2
6	Suam	Suam	KaO	Vt.It.	L	1.03	55.87	29.68	13.42	31.4	5.1	1.6	12.24	57.58
7	Jonbug P.O.R.D.	Jeonbug	—	—	LiC	4.26	29.16	42.97	23.62	23.0	5.4	2.2	11.61	559.2
8	Upland I[3]	Songjeong/ Wongog	KaO	Vt.It.	SCL	15.88	36.31	28.91	19.1	28.1	4.9	1.1	10.26	597.1
9	Upland II[3]	Yesan	KaO	Vt.It.	SL	36.68	41.18	12.13	7.96	27.0	4.7	1.7	8.98	544.4
10	Sindab	Sindab	KaO	Vt.It.	LS	63.14	25.92	7.71	3.23	26.6	5.3	1.1	6.89	438.7

1) Mont: Montmorillonite Kao: Kaolinite Vt.: Vermiculite It.: Illite
2) PAC: Phosphorous adsorption coeffeicient
3) At Jeonbug National Univ.

表 2는 土性이 다른 10種類의 土壤에서 生育시킨 檢定植物 벼의 生育量을 50% 抑制시키는데 必要한 各藥劑의 GR_{50}値로서, 土壤의 配列은 有機物含量 및 粘土含量과 그 種類에 가장 깊은 關係를 가지고 있는 C.E.C. (Cation Exchange Capacity)의 大小 順位로 되어있다. 이 表를 槪括的으로 보면 一部의 土壤과 藥劑에 있어서는 例外도 있기는 하지만 各藥劑의 GR_{50}値는 C.E.C.가 높은 土壤일수록 數値가 크고, 反對로 C.E.C.가 낮은 土壤일수록 數値가 적은 傾向을 表示하고 있는데 土性間 GR_{50}値의 變動幅은 藥劑의 種類에 따라서 큰 差異가 있다. 即 alachlor의 경우 가장 GR_{50}價가 큰 金堤統 重埴土와 最低 GR_{50}價

Table 2. Concentration of herbicides required to inhibit plant growth by 50 percent

Soil	GR_{50} of herbicides(ppmw)									
	Buta-chlor	Alachlor	Benthio-carb	PCP	2,4-D	Nitrofen	CNP	Simazine	Sime-tryne	Linuron
Pohang Mont.	30.0	5.0	40.0	114.0	7.0	45.0	50.0	5.0	10.0	8.0
Kimje	30.0	10.0	30.0	125.0	9.5	60.0	60.0	0.7	10.0	13.9
Bongnam	30.0	7.4	34.5	121.0	9.0	60.0	60.0	1.6	6.4	14.0
Paddy*	30.0	10.0	21.5	125.0	2.2				3.4	3.8
Geugrag	30.0	10.0	40.0	125.0	3.8	60.0		2.5	4.7	3.8
Suam	14.5	3.8	26.5	125.0	4.6	58.0	60.0	1.5	10.0	4.7
Jeonbug P.O.R.D.	24.0	2.4	19.5	101.0	7.5	50.0		1.8	3.6	4.2
Upland I*	20.0	0.5	8.0	106.5	2.1	38.0	31.5	1.4	4.2	0.6
Upland II*	17.5	4.3	14.5	45.0	4.0	17.5	52.0	0.4	5.2	0.7
Sindab	8.0	3.7	16.0	119.0	0.8	40.0	45.5	1.1	2.0	1.9
Recommended rate(g/10a ai)	180	150	200	1,000	40	210	210	50	50	75

* At Jeonbug National University

를 나타낸 全北農大 밭(I) 土壤과의 사이에는 20倍의 活性差를 나타내고 있다. 그밖의 藥劑에 있어서도 土性間 變動이 가장 적은 CNP의 경우가 1.9倍의 差異, butachlor, benthiocarb, PCP, nitrofen, simetryne 등의 藥劑에서는 각각 3.75倍, 5倍, 2.78倍, 4倍, 5倍의 差異를 나타내었고, simazine은 12.5倍, linuron 및 2,4-D 등은 각각 23倍, 11.9倍의 差異를 나타내고 있다. 이와 같이 土壤의 種類에 따라 各 藥劑의 活性에 差異가 생긴 것은 土壤 중에 存在하는 各種 吸着因子의 吸着能에 따라 有效成分의 不活性化 程度에 差異가 생겼던 것으로 생각된다[2,4,8,10,55,65]. 물론 藥劑의 土壤 중에서의 行動에 關與하는 過程을 長期的으로 보면 土壤吸着, 揮散, 化學的分解, 溶脫, 微生物分解, 光分解, 植物에 의한 吸收 등 여러가지 面에서 생각할 수 있으나[8,10,11,14] 本實驗에 供試한 10種類의 藥劑는 어느 것이나 比較的 蒸氣壓이 낮은 藥劑이기 때문[45]에 揮散量이 적은 것으로 생각되며 또 供試藥劑의 거의 大部分이 光分解性도 比較的 적은 것이 밝혀져 있다[49]. 또 下方에의 溶脫이 전혀 없는 條件下의 試驗이며 同時에 短期間에 있어서의 實驗이기도 하므로 가장 重要한 要因의 하나는 土壤吸着이라 생각된다.

따라서 以上의 結果가 나타낸 GR_{50}價는 重要한 吸着因子인 有機物, 粘土含量 및 C.E.C.가 높은 土壤에서는 有效成分이 多量으로 吸着되고 不活性化되어 지기 때문에 藥害의 發現이 적게되고, 反對로 C.E.C.가 낮고 吸着因子가 적은 土壤에서는 自由로이 存在하는 藥液이 많아서 물 溶媒를 通해서 植物의 뿌리로부터 吸收量이 增大되어 藥害가 增大된 것으로 생각된다.

以上의 結果는 同一藥劑라도 土性에 따라서 施用藥量의 幅을 크게 調節하여야 됨을 示唆해주고 있다. 特히 土性間의 藥害變動이 심한 2,4-D, simazine, linuron, alachlor 등은 吸着力이 적은 砂壤土 등에서의 實用은 注意를 해야함을 나타낸 것이라 볼 수 있다.

또한 本實驗 結果 特記할 일은 CNP, nitrofen, butachlor, benthiocarb 등은 10種의 土壤에 대한 平均 GR_{50}價가 標準施用量보다 높은 施用藥量幅이 넓은 藥劑이며 土性間變動도 적기 때문에 우리나라 어느 土壤條件에서도 比較的 安全性이 높은 藥劑群이라 할 수 있으나 이것과는 反對로 2,4-D, simazine, alachlor, linuron 등은 그 平均 GR_{50}價가 標準施用量의 1/3~1/2量과 같이 낮은 施用藥量幅이며, 또한 藥害發現의 藥量幅이 좁은 藥劑이기 때문에 砂壤土는 물론 比較的 吸着力이 있는 土壤條件 등에 있어서도 施用藥量을 嚴守하지 않는 以上 藥害를 免할 길이 없다는 結論이 얻어진 것으로 생각된다. 이러한 結果는 그동안까지 著者 및 國內 主要 機關에서 행한 圃場試驗 結果와도 잘 合致되는 結果라 할 수 있다.

나. 有機物, 鹽基置換容量, 容水量, 粘土 및 燐酸吸收係數 등과 GR_{50}價와의 相關關係

前項에 있어서는 土壤組成이 다른 10種의 自然耕地土壤에 대한 藥害差異를 究明하였다. 그 結果 GR_{50}價는 土壤의 組成과 密接한 關係가 있음을 알게 되었다. 即 一般的인 傾向으로서는 有機物含量, 粘土含量, C.E.C., 容水量, 燐酸吸收係數의 값이 높을수록 藥害는 적은 結果를 나타내었다. 따라서 本項에서는 이들 各種의 土壤因子와 GR_{50}價와의 相關性을 究明할 目的으로 前項의 實驗에서 供試한 10種 藥劑 중 各系統別로 1種씩을 選拔한 6種의 藥劑에 대한 相關係數를 구한 結果[45] 表 3과 같았다.

Table 3. Correlation coefficient(r) between GR_{50} and soil factors

Soil factor	Butachlor	Benthiocarb	Nitrofen	Simazine	Linuron	2,4-D
Organic matter	0.85	0.80	0.46	0.58	0.76	0.75
Cation exchange capacity	0.88	0.74	0.68	0.53	0.75	0.69
Phosphorus absorption coefficient	0.86	0.74	0.57	0.44	0.51	0.37
Holding capacity	0.82	0.67	0.68	0.40	0.85	0.77
Clay	0.86	0.60	0.62	0.29	0.81	0.75

表 3에서 보는 바와 같이 藥劑의 種類에 따라서는 多少의 差異가 있지만 一般的으로 有機物, C.E.C., 容水量, 燐酸吸收係數, 粘土含量 등과 GR_{50}價와의 사이에는 높은 正의 相關關係를 表示하고 있다.

또한 表 4에서 表示한 바와 같이 有機物, C.E.C., 燐酸吸收係數, 容水量 및 粘土含量 相互間에 있어서도 各各 높은 相關關係를 나타내고 있다. 그러므로 土壤組成에 應해서 適正藥劑의 選拔 및 適正 施用藥量을 決定하는 경우에는 이들 要因마다 하나하나를 分離해서까지 考慮할 必要는 없고 藥害輕減에 큰 相關을 表示하고 또 分析法도 比較的 간단한 有機物含量만을 指標로 한 處方을 決定하여도 大差는 없는 것으로 著者의 實驗結果는 表示하였다.

Table 4. Correlation coefficient (r) between soil factors

Soil factor	Organic matter	Cation exchange capacity	Coefficient	Holding capacity	Clay
Organic matter	—	0.89	0.82	0.95	0.88
Cation exchange capacity	—	—	0.77	0.88	0.82
Phosphorus absorption coefficient	—	—	—	0.71	0.80
Holding capacity	—	—	—	—	0.89
Clay	—	—	—	—	—

다. 石英砂培地 중의 有機物 및 粘土鑛物含量의 差異와의 關係

前項에서는 우리나라 代表 耕地土壤10點에 대하여 除草劑의 藥害變動에 關하여 究明하였다. 그 結果 有機物 및 粘土含量이 높은 土壤일수록 藥害輕減에 크게 影響을 미친다는 것이 明白히 되었다. 從來 除草劑의 藥害變動에 關與하는 有機物, 粘土, 기타의 要素가 多面的으로 共存하는 自然耕地土壤에 대하여서의 藥害樣相에 關해서는 많은 報告[2,4~8,10,14,16,61,62,66]가 있으나, 各各의 因子에 대하여 藥害를 論한 報告는 Weber[63,64], Scott[55] 등에 의한 數種의 硏究를 除外하고는 거의 찾을 수가 없다. 따라서 여기에서는 有機物 및 粘土鑛物의 各 單一因子가 除草劑의 藥害變動에 미치는 영향을 보다 깊이 究明할 目的으로 石英砂 培地에 定量的으로 有機物 및 粘土鑛物을 添加한 人工培地를 만들어 實驗을 遂行하였다(그림 1). 그 結果[33,45] 그림 1에서와 같이 供試藥劑의 種類에 따라서는 差異와 各各의 特色은 있었으나, 어느 藥劑이던 모두 共通的으로 有機物含量과 藥害 程度와의 사이에는 높은 相關關係가 있었다. 即 有機物含量의 增加는 明白히 藥害 輕減을 表示하여 有機物에 의한 除草劑의 吸着이 매우 强함을 나타내고 있다. 이것은 Weber[64], Day[4], Hance[5], Haris[6,7], Koren[12], Liu[16], Upchurch[62], 竹內[61] 등 各 硏究者들의 結果와도 一致하였다.

本 實驗을 通해서 특히 注目할 만한 것은 供試藥劑 중 nitrofen, CNP, PCP, benthiocarb, butachlor 등은 石英砂 培地 중에서도 약간 生育이 可能하며, 有機

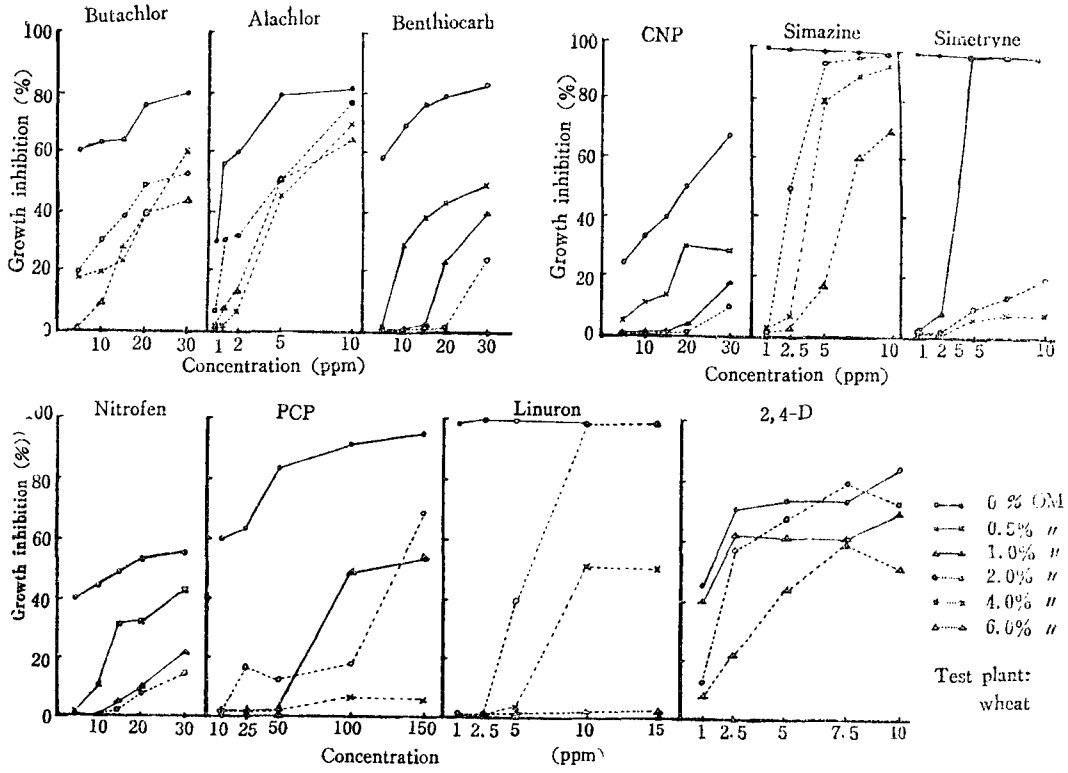

Fig. 1. Influence of Organic matter on phytotoxicity

物含量이 1.0% 程度로 적은 土壤 條件下에서도 藥害는 急減하고, 有機物 2.0%以上의 水準이 되면 藥害는 거의 없어지는 傾向을 나타내었다(butachlor는 6% 水準에서도 약간의 藥害는 尙存). 이에 反해서 우리나라에서 때때로 藥害 問題를 일으킨 바 있는 simazine, 2,4-D, linuron, simetryne, alachlor 등은 有機物含量이 적은 石英砂 培地(1.0%)에서는 標準施用量의 1/3~1/2量에서도 甚害枯死를 나타내었고, 有機物含量이 4~6% 以上으로 되었을 때에야 비로소 藥害는 急減하는 것이 明白히 되었다(但 simetryne은 有機物含量 2.0%以上만 되면 藥害는 急減된다). 以上의 事實에 의하여 日本, 美國 등에서 幅넓게 쓰여지는 triazine系, urea系, phenoxy系 등의 藥劑가 우리나라에서 比較的 問題視되었던 것은 有機物平均含量이 比較的 낮은 것이 重要한 理由의 하나이다는 것이 明白히 되었다.

다음으로 粘土鑛物의 種類와 含量의 差異가 各 除草劑의 藥害에 미치는 영향[33,45]은 montmorillonite와 kaolinite 모두 有機物 添加效果와 같이 銳敏하지 않고 그 效果는 매우 微弱하며 특히 montmorillonite보다도 kaolinite 添加效果는 2,4-D, PCP, linuron 등의 藥劑를 除外하고는 一般的으로 供試藥劑 거의가 그 效果가 無視될 程度이었다. 따라서 우리나라 논, 밭 土壤의 80~90%가 kaolinite로 組成되어 있기 때문[38]에 前述한 有機物 條件에 附加하여 다시 非選擇的 除草劑의 土壤吸着能에 原理를 둔 物理的 選擇性을 利用한 土壤處理劑의 適用에 즈음하여 不利한 土壤條件 狀態에 있는 것으로 생각된다.

라. 溫度, pH 등이 藥害에 미치는 影響

溫度, pH 등의 差異가 除草劑의 藥害에 미치는 影響[41]은 그림 2,3에서 볼 수 있는 바와 같이 溫度 條件의 경우에는 各培地(有機物, montmorillonite, kaolinite)의 全濃度範圍에 걸쳐서 低溫時의 藥害가 高溫時보다도 적은 共通된 傾向을 表示하고 있고, pH 條件의 경우에는 供試 4藥劑 중 benthiocarb, nitrofen, butachlor 등은 培地의 組成에 不拘하고 藥害에 있어서는 pH의 影響을 받은 일이 적고, 다만 2,4-D處理區에 있어서만 低 pH인 때가 高 pH인 때 보다도 藥害가 적은 傾向을 나타내었다. 結局 pH는 酸型除草劑 또는 弱鹽基性을 表示하는 除草劑[61,65,66](우리나라에서는 simazine, PCP, 2,4-D 등)에 있어서는 그 影響을 받지만 그 以外의 非이온型 中性除草劑(dip-

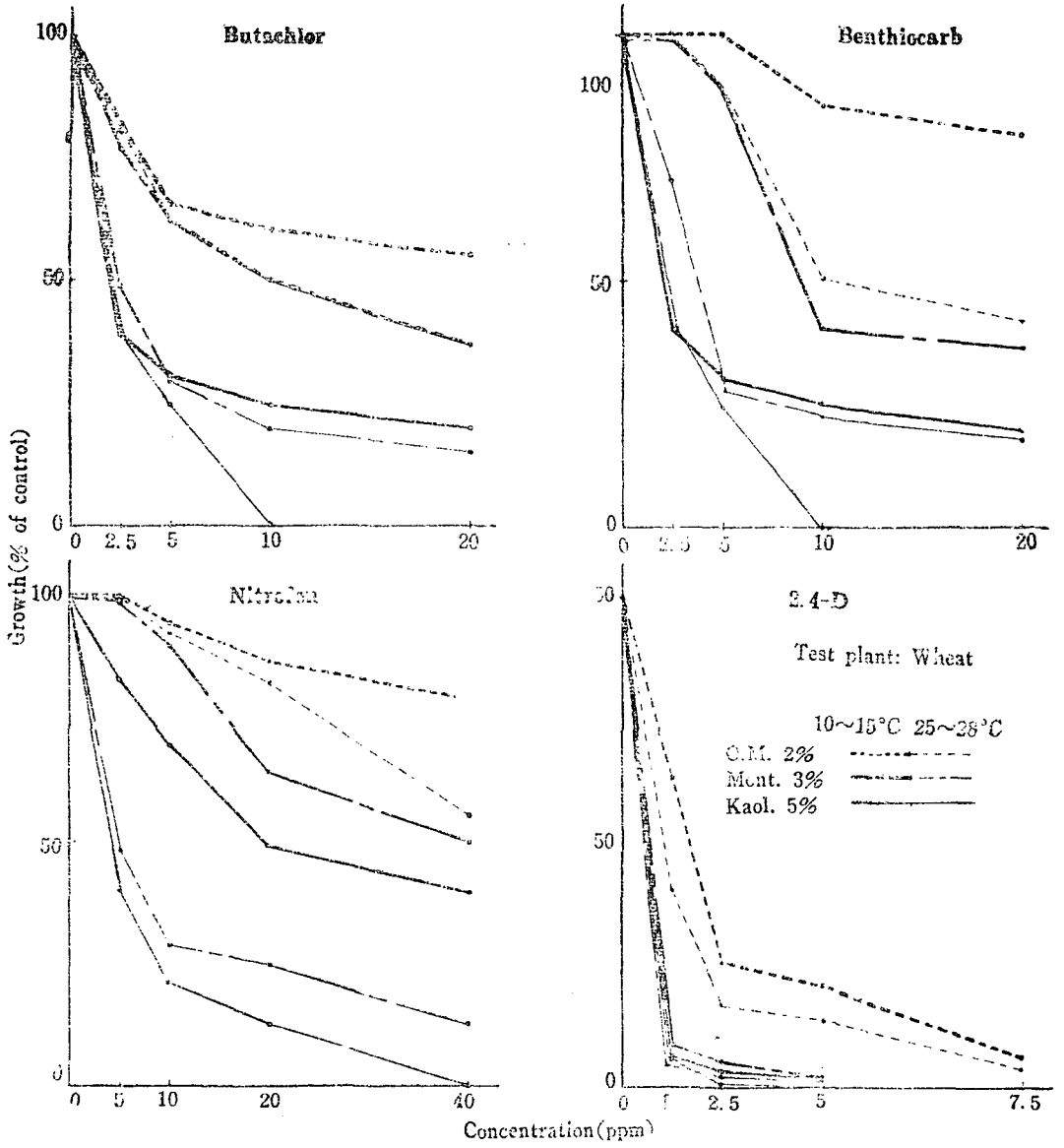

Fig. 2. Influence of temperature on phytotoxicity of herbicides

henyl ether系, acetanilide系, urea系, carbamate系)에서는 pH의 影響이 적을 뿐만 아니라, 우리나라 全體耕地土壤과 같이 pH의 範圍(5.0~6.0)가 그다지 넓지 않은 곳에서는 큰 問題가 되지 않는 것이 明白해졌다.

마. 개스크로마토그라피에 의한 除草劑 吸着 實驗

以上의 生物檢定 結果, 各土壤 및 耕地別 藥害差는 土壤構成物質의 吸着能 大小에 의하여 決定된 것으로 생각되었기 때문에 이것을 確認하기 위하여 우리나라에 있어서 代表的 除草劑의 하나인 butachlor로써 土壤組成의 差異가 butachlor의 吸着에 미치는 영향을 電子捕獲개스크로마토그라피에 의하여 檢定한 結果[47,48]는 표 5에서 보는 바와 같이 有機物含量이 2.4~3.4% 範圍에서는 輕壤土~壤土 條件(특히 montmorillonite系)에서 分配係數 Kd値는 높고, 그와는 反對로 有機物이 1.1~1.7% 範圍에 있는 kaolinite系 砂壤土 條件에서의 Kd値는 越等히 낮은 値를 나타내었다. 또 石英砂培地 중 有機物含量別 Kd値[47]도 有機物 增加와 함께 比例的으로 높아지는 傾向을 나타내어 前述한 生物檢定 結果와 거의 合致

Table 5. Distribution coefficient by 9 kinds of soils

No.	Soil	Kd
1	Pohang montmorillonite	47
2	Volcanic ash	16
3	Jeonbug univ. paddy	51
4	Buyong	35
5	Jeonbug univ. upland 1	14
6	Pohang Kaoilnite	21
7	Kyongnam P.O.R.D.	16
8	Jeonbug univ. upland Ⅱ	14
9	Sindab	23

※ soil texture:refer to Table 1

有機物 및 粘土含量, 降雨量 등의 多少, 降雨條件 등에 關係없이 大體로 移動幅이 좁고 또한 그 變動도 적었는데 反하여 simazine, alachlor, 2,4-D, linuron, butachlor 등은 有機物 및 粘土含量이 높은 條件에서는 比較的 移動幅은 좁으나 이들의 含量이 적은 砂壤土 條件 등에서는 降雨量의 增加와 함께 移動幅은 急激히 擴大되기 때문에 그 藥劑에 대하여 感受性 作物의 경우는 藥害를 일으킬 念慮가 크다는 것이 表示되었다.

한편 湛水下 漏水量別 下方移動性 檢定 結果는[37,41] 그림 6에서 보는 바와 같이 nitrofen, benthiocarb 등은 밭 狀態에서의 下方移動 實驗(20mm 降雨 條件)

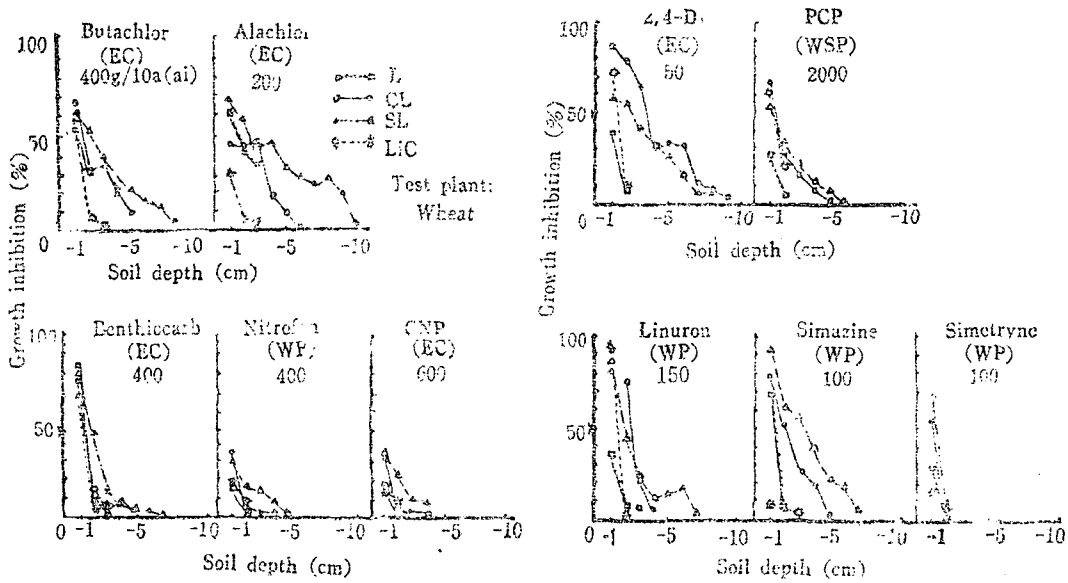

Fig. 4. Leaching of herbicides at several soil types(upland condition)

때와 같이 漏水量의 大小에 關係없이 移動幅이 좁은 傾向을 表示하였는데 butachlor 및 benthiocarb+simetryne에 있어서는 밭 條件下보다 一般으로 移動幅이 넓은 傾向을 나타내었고, 漏水量의 增加와 함께 그에 比例하여 移動幅은 擴大되었다. 특히 simetryne劑는 無漏水狀態에 있어서도 有機物含量이 적은 砂壤土 등의 條件에서는 3cm層까지도 移動하고, 漏水量의 增加와 함께 그에 比例하여 移動幅이 擴大되었다. 이와 같이 湛水下에서 移動幅이 擴大된 理由는 이들 2藥劑는 比較的 溶解度(특히 simetryne의 경우)가 높기 때문에 湛水下에서는 溶解擴散量이 增加되기 때문인 것으로 생각된다.

以上 행한 生物檢定 結果 중 특히 논, 밭 條件別로 移動幅의 變動이 있었던 simetryne의 結果에 대하여 이것을 化學的 檢定에 의하여 詳細하게 確認할 目的으로 ^{14}C-simetryne劑에 의하여 그 移動性을 追跡한 結果[37,41], 그림 7,8에서 볼 수 있는 바와 같이 밭 狀態(20mm 降雨條件下)의 微砂質壤土에서는 2cm層까지 2,000cpm(cpm: counts per minute), 3cm層에서는 自然係數(Back Ground)와 같은 程度이며 砂壤土에서는 2cm層에서 1,800 cpm, 3cm層에서 400 cpm을 記錄하였다. 한편 湛水下 3cm/日 漏水條件에서는 意外로 移動幅은 擴大되어 微砂質壤土의 경우 3cm層에서 1,000cpm, 4cm層에서 400cpm을 記錄하였고, 砂壤土條件에서는 7cm層位에서 1,200cpm, 8cm層에서 750cpm을 記錄하는 등 移動幅은 顯著하게 擴大됨이 밝혀졌다.

以上의 結果는 生物檢定 結果와 完全히 같은 傾向

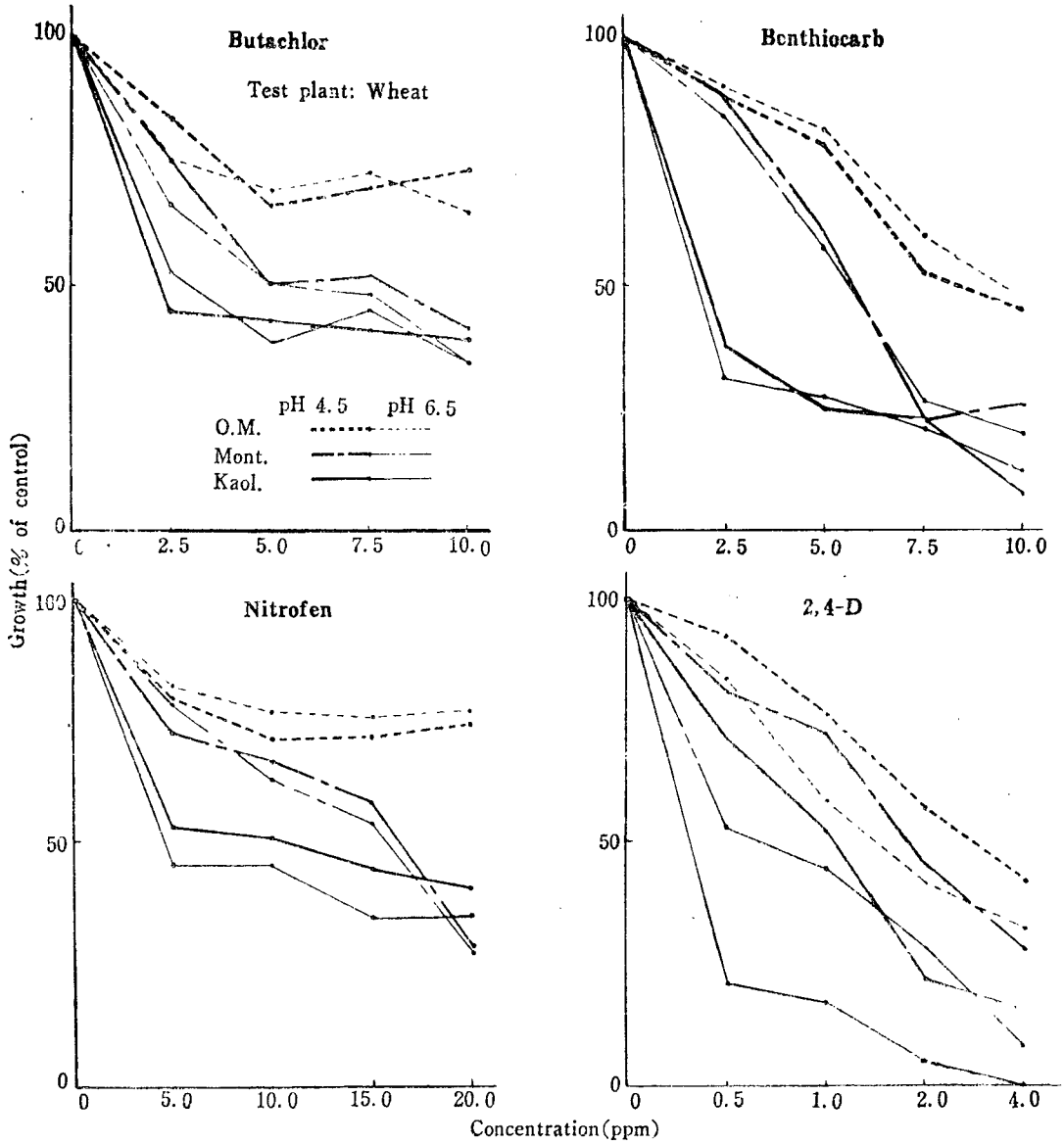

Fig. 3. Influence of pH on the phytotoxity of herbicides

된 結果를 나타내었다.

2. 土壤 중 除草劑의 移動特性

前項의 土壤種類에 따른 藥害差異 實驗(吸着)과는 逆相關關係에 있다고 할 수 있는 土壤中 除草劑의 移動特性을 多面的으로 實施한 結果[34,41] 移動幅을 規制하는 要因은 本質的으로는 除草劑의 理化學的 特性 即 基本骨格의 荷電의 種類, 溶解度, 劑型 등이 最大의 要因인데, 一般的으로는 吸着要因과 마찬가지의 土壤種類, 有機物含量, 粘土鑛物의 種類및 含量 기타 降雨量(또는 漏水量), 降雨條件, 溫度 등에 의한 移動幅이 크게 變動되는 것이 明白해졌다. 移動에 대하여 물의 行動과의 關係에 대하여 보면, 著者의 硏究에서 供試된 藥劑範圍에서는 重力水에 따른 垂直下方移動이 가장 크고, 蒸散에 따른 上方移動은 적었다. 기타 水平移動은 특히 적고 現地圃場에 있어서는 거의 問題가 적은 것으로 생각된다.

移動의 種類 중 가장 重要한 下方移動 實驗 중 발 條件에서 行하여진 結果[45]를 藥劑別로 檢討하면 그림 4,5에서 보는 바와 같이 共通的 現象으로서는 CNP, nitrofen, benthiocarb, simetryne, PCP 등은

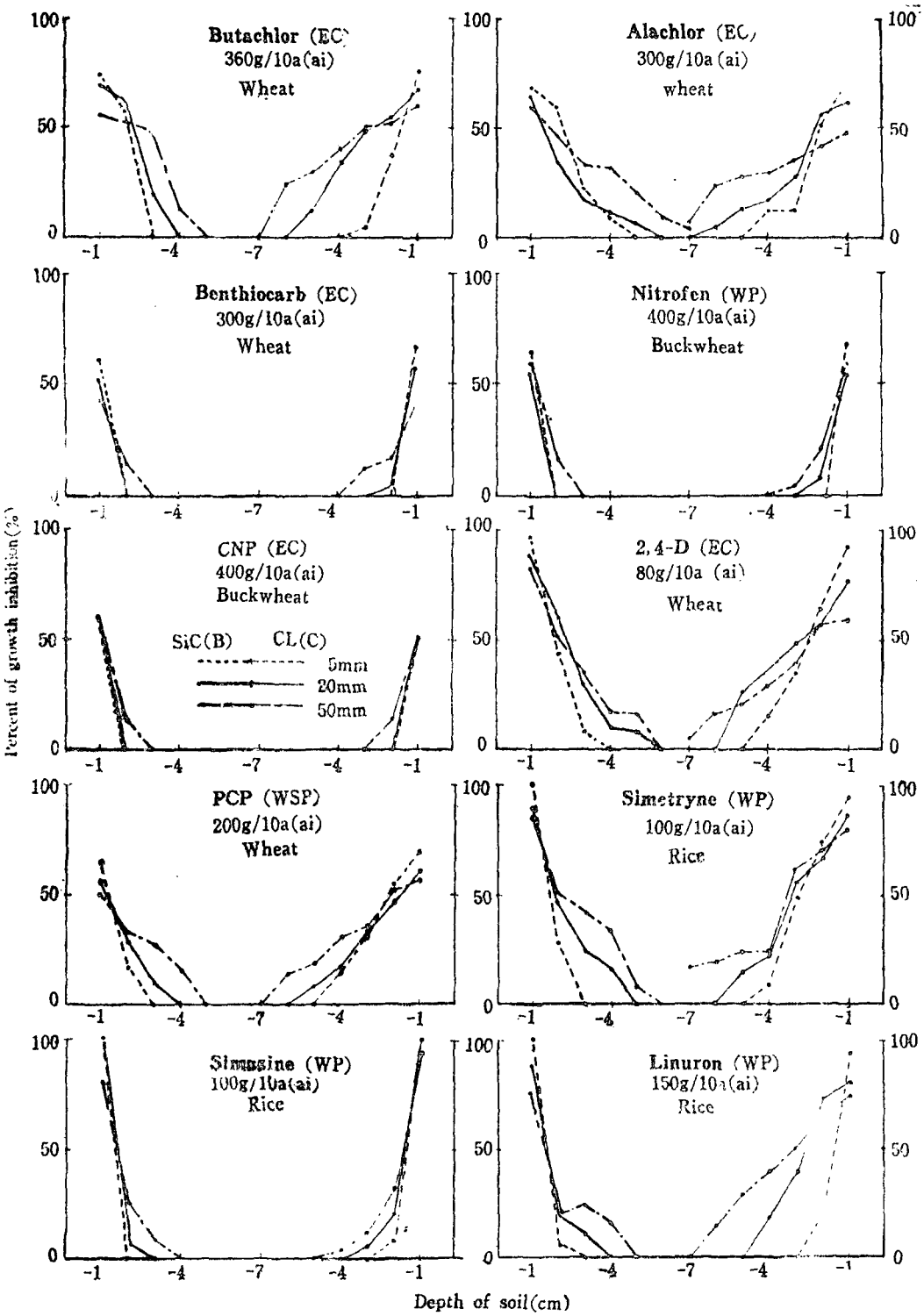

Fig. 5. The effect of amount of simulated rainfall on leaching

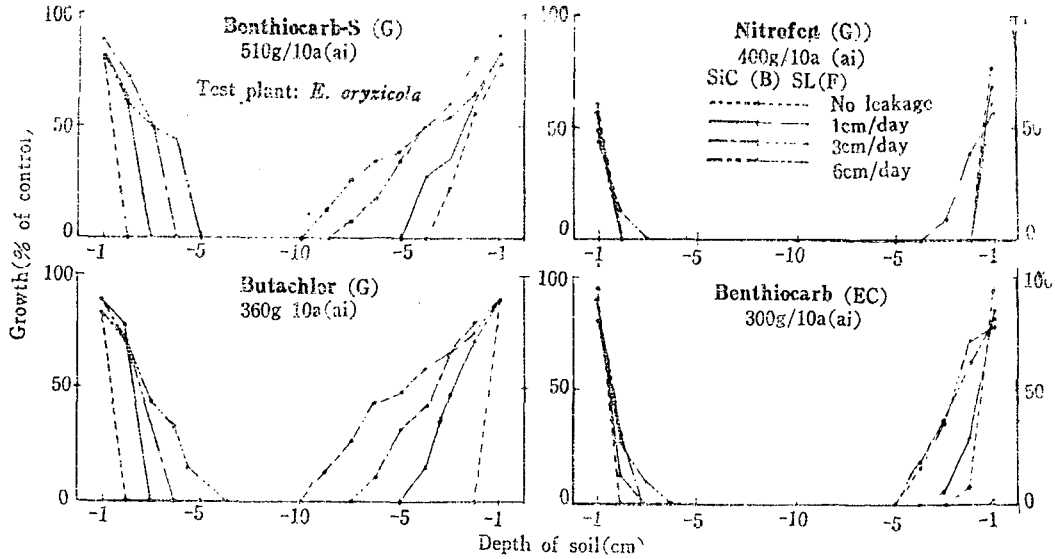

Fig. 6. Downward movement of herbicides by leakage difference under flooded condition

을 表示한 것이며, 生物檢定 結果에 대하여 다시 確信을 얻을 수 있었다.

以上의 移動試驗 結果 얻어진 藥劑別 特性은 前項의 藥害差異試驗 結果와도 거의 合致하고, 또 그동안 우리나라의 農家圃場에서 直接 直面한 藥害發現과도 一致하는 結果[28,32]를 나타내었다. 即 우리나라에서 現在 논, 밭에서 가장 많이 쓰여지고 있는 nitrofen, CNP, benthiocarb는 全國 어느 地域에서나 거의 藥害問題로 크게 문제가 되는 일이 없었다. 그것은 本硏究結果에서도 明白한 바와 같이 이들 藥劑

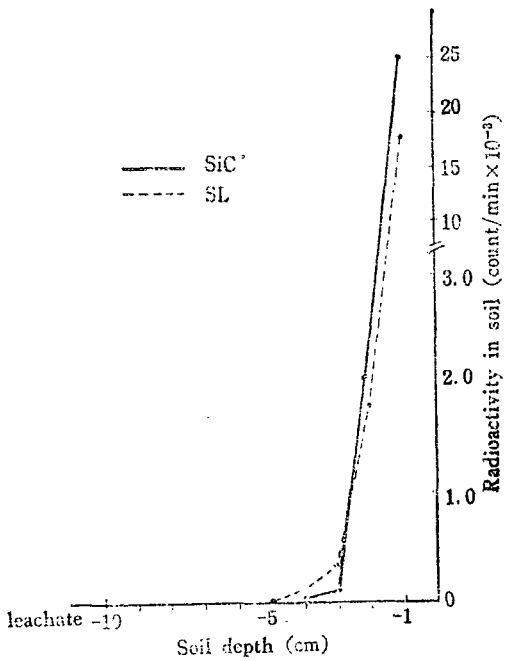

Fig. 7. Leaching of ^{14}C-simetryne in upland soil condition

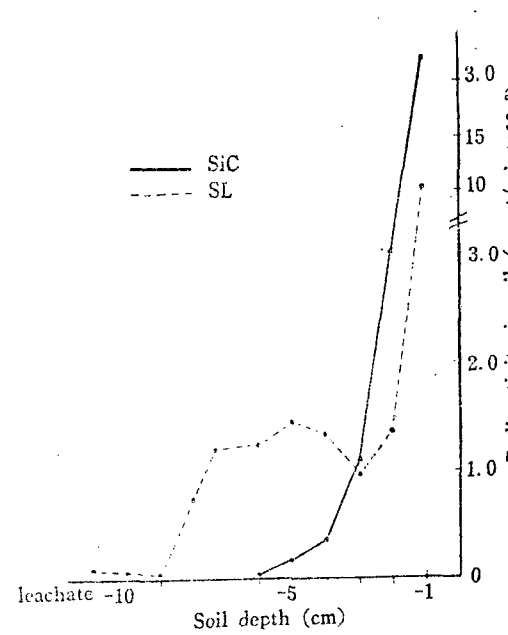

Fig. 8. Leaching of ^{14}C-simetryne in flooded soil condition

는 土性, 降雨 등에 관계없이 移動幅이 좁고 또 그 變動이 적기 때문에 實用上 藥害問題가 생기지 않는 것으로 생각된다. Butachlor, alachlor 등의 移動幅은 中程度이며 특히 alachlor의 경우는 土性, 降雨 등에 의한 變動이 큰 藥劑이다. 그러나 一般으로 藥害問題가 적은 理由는 이들 藥劑는 選擇性 除草劑로서 適用作物의 種類가 많은 것에 의한 것이다. 특히 butachlor의 경우는 벼, 보리를 비롯하여 기타 밭 作物에 이르기까지 適用範圍가 넓다. 이에 反하여 논에 있어서 高溫 또는 有機物含量이 적은 砂壤土 條件 등에서 統一벼에 대하여 大規模의 藥害[28,29,37,38]를 낸 바 있는 simetryne劑는 本硏究 結果가 表示한 바와 같이 밭 狀態에서는 移動幅이 土性에 關係없이 좁기 때문에 一般的으로 밭 作物에 대하여서는 安全度가 높다고 할 수 있으나[31] 湛水下 논 狀態의 砂壤土 條件에 있어서는 溶解度가 높고 常時 飽和水量 以上의 물이 存在하는 논에서는 移動幅이 월등히 擴大되기 때문에 本劑에 대하여 感受性이 큰 벼에 藥害[37]를 일으킨 主要原因으로 될 수 있다고 생각된다.

Simazine, linuron, 2,4-D(抵抗性 作物 除外) 및 同系의 混劑 등이 우리나라와 같은 土壤에서 藥害問題를 일으킨 理由는 土性(특히 有機物이 적은 砂壤土 條件), 降雨 등 條件에 따라서는 移動幅의 變動이 크고 施用藥量幅이 좁은 非選擇的 除草劑이기도 하기 때문에 경우에 따라서는 심한 藥害를 일으키는 結果를 가져온 것이라 생각된다.

以上 우리나라에서는 現在 登錄市販 중의 藥劑別로 土壤 중의 吸着移動性을 通하여 作物에 安全한 藥劑群과 土性降雨 등 條件에 따라 항상 藥害發現의 危險性을 內包하고 있는 2群의 藥劑群으로 나눌 수 있다는 것을 科學的으로 解明하였다. 以上 얻어진 이들의 結果는 우리나라에 있어서 除草劑 適正使用法 確立上 基礎的 資料로 되고 또 今後에 있어서의 新規藥劑의 方向 提示에 多少나마 寄與할 수 있는 것으로 確信한다.

3. 土壤 중에 있어서 除草劑의 殘效持續性

前項의 土壤 중 吸着, 移動實驗에 이어서 土中行動特性中 主要部門의 하나인 主要 除草劑의 土壤 중에 있어서 논, 밭 圃場別 殘效持續期間 및 이들에 關與하는 諸要因을 究明할 目的으로 田畓別로 現地圃場室內 및 野外 등에서 生物檢定을 행하였다[40]. 그 結果는 그림 9, 10에서 볼 수 있는 바와 같이 밭 圃

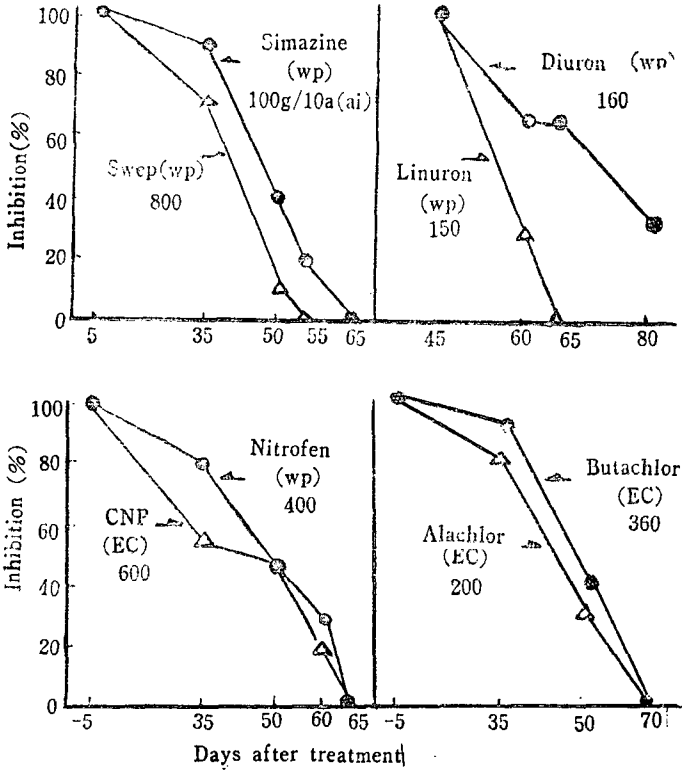

Fig. 9. Inactivation of herbicides in red-yellow Clay loarn soil in summer, July '70 to August '70

場에서 季節을 달리하여 10種 藥劑를 藥量別로 處理한 結果, 殘效~半減期는 處理期間 중의 溫度와 密接한 關係가 있고, 高溫期에 處理한 分은 最短 38日 (CNP)에서 最長 70日(limuron) 程度인데, 低溫期處理는 最短 80日(PCP), 最長 160日(linuron)까지 持續되었다. 供試藥劑의 殘效期間은 處理季節에 關係없이 거의 同一의 傾向을 나타내었고, 그 긴 順位는 urea系(linuron), diphenylether系의 m-置換體(TOPE), acetanilide系(butachlor>alachlor), triazine系 (simazine), thiocarbamate系(benthiocarb), diphenylether系의 o-置換體(nitrofen, CNP), phenoxy 系(2,4-D)로 나타났다.

投下藥量差에 의한 殘效期間은 藥量이 많을수록(標準施用量의 2倍), 一般的으로 10~20日 內外의 殘效의 完全消失期까지에는 큰 差異가 없었다.

畓圃場 條件에 있어서의 漏水量 差異別로 除草劑를 處理한 結果[49]는 그림 11, 12에서 보는 바와 같이 殘效~半減期는 1日 漏水量의 大小에 따라 큰 差異가 있고, 無漏水條件下[18]에서는 最短30日에서, 最長 70日까지의 사이에, 3cm/日 漏水條件下에서는 最短 2~3日에서 最長 30~35日까지의 사이에 殘效~半減期가 있어 漏水의 有無가 除草劑의 殘效에 큰 影響을 미치고 있음을 나타냈다. 畓漏水條件에 있어서 殘效~半減期의 順位는 butachlor>benthiocarb+simetryne>nitrofen>CNP>PCP 등의 順이었다[48].

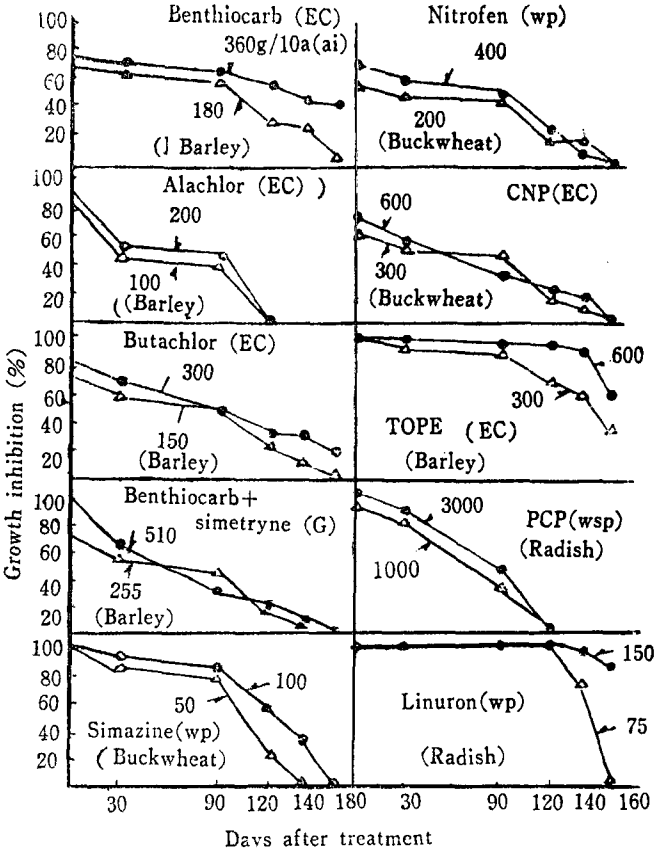

Fig. 10. Inactivation of 10 herbicides in red-yellow clay loam soil in winter and early spring, Nov. '73 to April '74

除草劑의 殘效~消失에 關與하는 諸要因을 究明한 結果[49], 耕地土壤組成의 差異가 殘效期間에 미치는 影響은 同一藥劑의 경우도 土壤의 種類間에는 20~50日 程度의 큰 差異를 나타내었고, 火山灰土>浦項 montmorillonite土壤, 芙蓉統土壤>新踏統土壤 등의 順으로 殘效期間이 짧았는데 이는 有機物 및 粘土含量과 높은 相關性이 認定되었다.

有機物含量別 殘效期間[49]은 그 含量이 높을수록 短縮되었는데 即 그 含量이 높은 土壤과 낮은 土壤과의 사이에는 30~50日 以上의 殘效期間 差異가 있어서 有機物이 除草劑의 分解에 크게 關與하는 것이 表示되었다.

除草劑의 殘效期間은 藥劑의 溶脫移動特性에 의하여 差異가 있는데[49], 一般으로 閉鎖系에서의 殘效期間이 自然圃場에서의 그것보다도 월등히 긴 傾向을 보여서, 兩條件下에서 15~40日間의 差異를 나타내었다. 兩條件下에서의 差異는 各藥劑의 溶解度 및 移動性 등과 密接한 關係가 있었는데 吸着力이 적은 土壤條件에서는 移動幅이 넓은 alachlor, simazine 등이 가장 그 差異가 크고, 다음이 TOPE, benthiocarb+simetryne이며, 差異가 적은 藥劑는 CNP, nitrofen, PCP, linuron, butachlor 등이었다.

土壤微生物 또한 藥劑의 殘效에 影響을 미쳐서, 非殺菌土壤이 殺菌土壤보다도 殘效期間이 짧았으며[49] 그밖에 水分含量別로 보면 過濕區가 乾燥區보다,[49] 明暗條件別로는 光이 있는 경우가 遮光이 된 條件에서[49] 또 酸化還元條件別로는 還元條件이 酸化條件보다 供試 大部分의 藥劑가 짧은 殘效期間을 表示하였는데[49] 이러한 點에 있어서는 諸外國의 研究者들의 報告와 거의 一致하는 傾向이라 할 수 있었다[1,11,13~15,56,58~61]. 그러나 이러한 一聯의 實驗 중에서 外國研究者의 報告와 相違하였던 點[10]은 閉鎖系(有底容

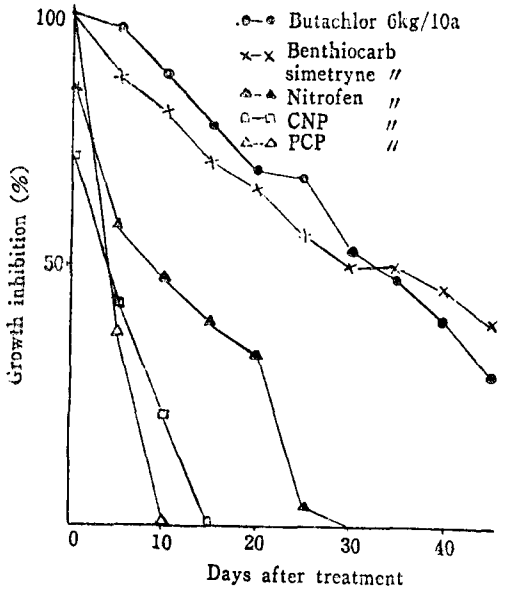

Fig 11. Inactiviation of 5 herbicides in paddy sandy loam soil, 3cm leaching/day, test plant was barnyardgrass

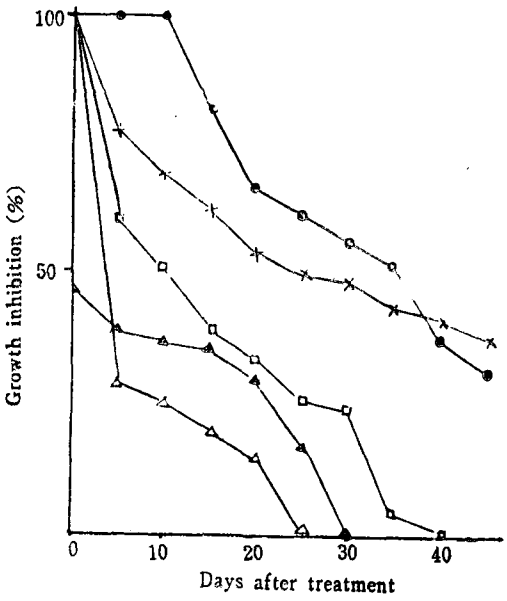

Fig 12. Inactivation of herbicides in paddy claysoil, 1.5cm leaching/day, test plant was barnyardgrass

器) 중에 있어서 各系統別 藥劑의 殘效期間이다. 즉 本實驗에 供試한 10種 藥劑의 分解~不活性化 期間에 對한 藥劑의 系統別 順位 傾向에 있어서는 Klingman[11], 鍬塚[13~15], 竹松[58~60], 荒井[1], 近內[10] 등의 報告結果와 著者의 結果와의 사이에는 大差는 없으나, 藥量, 溫度, 土壤物理性 등이 近似한 條件에서의 同一 藥劑에 對한 閉鎖系에서의 殘效期間을 比較할 때에는, 우리나라와 같은 土壤條件에서의 期間이 월등히 긴 傾向을 나타낸 結果를 表示하였다. 이것은 外國의 土壤에 비하여 우리나라의 土壤은 平均的으로 有機物 및 粘土含量이 적고, 또 粘土鑛物의 種類도 吸着力이 적은 kaolinite가 그 大部分을 차지하고 있기 때문에 藥劑에 대한 吸着~不活性化能도 弱하고 또 有機物含量의 差에 起因되는 微生物 分解能力의 差에 의한 結果인 것으로 생각된다.

그러나 自然圃場條件에 있어서는 우리나라 土壤은 一般的으로 吸着力이 적은 土壤이 많기 때문에 溶脫에 의한 消失이 外國條件보다는 많은 것에 의하여 長期間殘留하지 않는 것이 그 特色이다.

以上 田畓圃場條件에 있어서 또는 閉鎖系에서의 野外條件 등에 있어서 田畓 主要 除草劑의 殘效持續性에 대하여 究明한 結果, 藥劑特性 또는 殘效에 關與하는 諸要因에 의하여 遲速의 差는 있으나, 어느 藥劑이건 一定期間 後에는 分解~不活性되기 때문에 土壤殘留에 의한 後作 또는 他生物系에 미치는 영향은 적은 것으로 判斷된다. 그러나 本實驗에서의 殘效期間은 주로 植物活性에 의하여 調査된 것이기 때문에 그 藥劑가 同一濃度로 土壤 중에 殘留해 있다 하더라도 그것이 나타내는 活性은 植物의 種類, 土壤의 種類 및 各種 關與條件 등에 의하여 差가 생길 可能性도 있기 때문에 以上 論한 殘效期間은 殘留量을 表示한 것은 아니기 때문에 今後 化學的 檢定에 의한 再確認이 더욱 必要하다고 생각된다.

結　　言

以上으로 우리나라의 代表 耕地土壤 중에 있어서의 除草劑 行動特性 即 土壤 種類別 主要 除草劑의 藥害變動, 移動特性 및 殘效持續期間 등을 中心으로 各種 要因別로 檢討를 加하였다. 아직도 今後 더욱 硏究를 要하는 點도 적지 않으리라 보지만 一應 一次的인 目的 即 1975年 現在 우리나라에 導入되어 있는 藥劑의 系統과 種類別로 그 土壤 중 特性이 解明되어 우리나라의 土壤條件에서도 土性, 降雨, 施用藥量 등에 크게 關係없이 比較的 藥害에 安全한 除草劑群과 要因變動에 따른 藥害變動이 심하여 항상 藥害發生要因을 內包하고 있는 除草劑群으로 나눌 수 있었고, 또한 除草劑의 土壤 중 殘效持續性에 대하

여도 各種 要因別로 明白히 한 바 있다. 이들 結果들이 바탕이 되어 全國의 土壤類型에 適合한 適正 除草劑 選拔 및 安全使用 基準을 作成할 때에 基礎的 資料로 되고 또 今後에 있어서의 新規藥劑開發의 方向 提示에 參考가 된다면 이보다 더한 기쁨이 없겠다.

參 考 文 獻

1. 荒井正雄, 宮原益次, 片岡孝義, 1966, 水田低魚毒除草劑の土壤中の殘効期間と移動程度について, 雜草研究 5 : 90—94
2. Bailey, G.W. and J.L. White, 1964, Review of absorption and desorption of organic pesticides by soil colloids, with implications concerning pesticide bioactivity, Agr. Food Chem. 12(4) : 324—332
3. 蔡痒陽, 張永善, 1973, 全北農耕地土壤에 대한 化學的 特性에 관하여, 全北農耕 73 試驗研究報告(別册)
4. Day, B.E., L.S. Jordan and V.A. Jolliffe, 1968, The influence of soil characteristics on the adsorption and Phytotoxicity of simazine, Weed Sci. 16 : 209-212
5. Hance, R.J., 1965, The adsorption of urea and some its derivatives by a variety of soil, Weed Res. 5 : 98-100
6. Harris, C.I.and G.F. Warren, 1974, Adsorption and desorption of herbicides by soil, Weeds 12 : 20-126
7. _____ and _____, 1966, Adsorption, movement and phytotoxicity of monuron and s-triazine herbicides in soil, Weeds 14 : 6-10
8. 茨木和典, 野田健兒, 1969, 除草劑の土壤中における行動 第1輯土壤の種類と除草劑の作用力, 雜草研究 8 : 20-24
9. 近內誠登, 1972, DCPA(Propanil)の除草作用特性および各種共力劑檢索に關する基礎的研究, 宇都宮大學農學部學術報告特輯 28 : 1-68
10. 近內誠登, 竹內安智, 竹松哲夫, 1974, 林業用除草劑の土壤中における殘留および行動に關する基礎的研究, 宇大農學部學術報告 9(1) : 95-112
11. Klingman, G.C., 1975, Weed Science, Principles and Practices, John Wiley & sons Inc., New York
12. Koren, E.,C.L. Fog and F.M. Ashton, 1969, Adsorption, volatility, and migration of thiocarbamate herbicides in soil, Weed Sci. 17 : 148-154
13. 鍬塚昭三, 1972, 湛水土壤中における除草劑の分解, 近代農業における土壤肥料の研究 3 : 107-112
14. _____, 1973, 除草劑の土壤中における吸着, 移動, 分解と除草作用, 植物の化學調節 8(2) : 72-83
15. _____, 1973, 除草劑の土壤中における殘留と消長, 植物防疫 22 : 13-19
16. Liu, L. C., H. Cibes-Viade, and F.K.S. Koo, 1970, Adsorption of ametryne and diuron by soil, Weed Sci. 18 : 470-474
17. 梁桓承, 1969, 乾畓直播栽培에 있어서 雜草防除에 관한 基礎的研究, 全北農大論文集 1 : 83-86
18. _____, 權泰英, 李萬相, 1970, 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 1-75
19. _____, _____, 1970, Cl-phenoxy系 除草劑에 관한 研究 Ⅰ, Ⅱ, 全北農大論文集 1 : 77-82, 83-86
20. _____, _____, 1970, 林業苗圃에 있어서 除草에 關한 研究 —混合撒布에 의한 除草効果— 全北大學校碩士學位論文 1-55
21. _____, 1971, 果樹園下草防除에 관한 研究, 全北大農大論文集 2 : 44-49
22. _____, 1971, 무우 배추밭 雜草防除에 관한 研究, 全北大農大論文集 2 : 51-53
23. _____, 1971, 콩밭雜草防除에 관한 研究, 韓國植物保護學會誌 10(1) : 31-37
24. _____, _____, 許康旭, 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
25. _____, 金濟桓, 1972, 果樹園下草防除에 관한 研究, 全北大論文集 14 : 69-77
26. _____, 박영문, 최한철, 1972, 뽕밭 雜草防除에 관한 研究, 全北大農大論文集 3 : 35-44
27. _____, 1972, 除草劑에 의한 省力多收栽培에 관한 研究, 農村振興廳研究報告 1-120
28. _____, 李碩榮, 1972, Saturn-S 藥害發生要因究明에 관한 研究 第1報 土性의 差異에 의한 藥害要因, 全北大農大論文集 3 : 28-34
29. _____, 1973, _____, 第2報 含씨메트린 除草劑에 대한 品種別抵抗性差異, 韓國作物學會誌 13 : 93-105

30. _____, 1973, 移秧前土壤混和 및 表面處理에 관한 硏究, 韓國植物保護學會誌 12(2) : 63-70
31. Ryang, H.S., 1973, Studies on weed control in upland rice field, Jeonbug Nat'l Univ. Thesis Collection of the Agri. College 4 : 6-818
32. 梁桓承, 1973, 除草劑에 의한 畓裏作麥藥害發生要因究明에 관한 硏究, 韓國作物學會誌 14 : 147-157
33. _____, 李碩榮 外 3人, 1973, 合理的인 除草劑使用을 위한 土壤性質에 따른 藥害要因究明, 科學技術處硏究年報 R-73-47 : 1-57
34. _____, 1973, 除草劑의 水稻移秧前土壤混和 및 土壤表面處理에 의한 水稻品種間의 抵抗性差異究明에 관한 硏究 第3報 砂壤土條件, 農村振興廳農事試驗硏究報告 16(C) : 79-88
35. _____, 崔定植, 1973, 新除草劑에 의한 畓雜草防除에 관한 硏究, 全北大農大論文集 4 : 82-89
36. _____, 1974, 우리나라에 있어서 除草劑 硏究體制의 現況과 改善方向, 韓國植物保護學會誌 13(3) : 151-165
37. _____, 金仁坤, 1974, 除草劑 simetryne劑에 의한 統一벼의 藥害發生要因究明에 관한 硏究, 全北大學校碩士學位論文 1-47
38. _____, 1977, 韓國における雜草防除の現況と問題點, 日本 雜草防除硏究會 第4回 雜草防除夏期硏究會テキスト : 53-87
39. _____, 1974, 우리나라에 있어서 雜草의 被害現況과 問題點, FAO韓國協會植物保護專門委員會食糧增產과 植物保護세미나報告書 19-39
40. _____, 姜聲然, 1974, 新除草劑에 의한 宿根草(띠, 쇠뜨기 및 고사리)의 防除에 관한 硏究, 全北大農大論文集 5 : 63-67
41. _____ 외 5人, 1975, 除草劑의 土壤 중 吸着 및 移動에 관한 硏究, 全北大農大論文集 6 : 79-100
42. Ryang, H.S., C.B. Kim and C.M. Choi, 1975, Weed control in barley in Korea, Proc. 5th APWSS : 319-324
43. _____, M.K. Kim and J.C. Jeon, 1975, Control of perennial weeds in paddy rice in Korea, Proc. 5th APWSS : 294-297
44. _____, 梁桓承, 金茂基, 全載哲, 1975, 畓多年生雜草의 生態에 관한 硏究, 韓國作物學會誌, 21 : 24-34
45. _____, 1976, 土壤中における除草劑の行動特性に關する硏究, 特に韓國土壤を中心にして, 京都大學博士學位論文
46. _____, 全載哲, 金成朝, 1976, 麥作에 있어서 2,4-D에 의한 廣葉雜草防除에 관한 硏究, 韓國植物保護學會誌 15(4) : 185-191
47. _____, 李碩榮, 1976, 土壤組成의 差異가 Butachlor 吸着에 미치는 影響, 全北大 農大論文集 7 : 67-73
48. _____, _____, 1977, 數種吸着劑에 의한 Butachlor의 吸着 및 脫着에 관한 硏究, 全北大農大論文集 8 : 111—116
49. _____, 1977, 土壤 중에 있어서 除草劑의 行動特性에 관한 硏究 Ⅲ. 殘效持續性, 大韓民國學術院論文集, 自然科學編 16 : 231-259
50. _____, 全載哲, 文永熙, 1978, 西海岸干拓畓에 있어서 多年生雜草 매자기 防除에 관한 硏究 Ⅰ. 매자기의 分布, 韓國作物學會誌 23(1) : 60-63
51. _____, _____, _____, 1978, 西海岸干拓畓에 있어서 多年生雜草 매자기 防除에 관한 硏究 Ⅱ. 매자기의 生理生態的特性, 韓國作物學會誌 23(1) : 64-73
52. _____, _____, _____, 1978, 西海岸干拓畓에 있어서 多年生雜草 매자기 防除에 관한 硏究 Ⅲ. 매자기의 藥劑에 의한 防除, 韓國作物學會誌 23(1) : 74-79
53. _____, 1978, 除草劑의 利用現況과 問題點, 韓國植物保護學會誌(投稿中)
54. _____, 金成朝, 全載哲, 1978, Bentazon에 의한 畓多年生雜草의 防除에 관한 硏究, 圓光大論文集 12輯 427-436
55. Scott, D.C. and J.B. Weber, 1967, Herbicide Phytotoxicity as influenced by adsorption, Soil Sci. 104(3) : 151-157
56. 白石憲郎, 渡邊全, 1972, CAT およびCIPCの作用性と殘効性におよぼす土壤水分の影響について, 雜草硏究 14 : 51-55
57. 植物環境硏究所, 1971, 槪略土壤調査報告, 農村振興廳
58. 竹松哲夫, 1966, 最新藥劑除草法(畑地及非農耕地篇), 博友社
59. _____, 近內誠登, 竹內安智, 1971, Chloroacetamide系 化合物の除草作用特性に關する硏究, 11 : 44-49
60. _____, _____, 1974, 水田除草劑の理論と

實際，博友社
61. 竹内安智，近内誠登，竹松哲夫，1972，3-(2-methylphenoxy) pyridazineの土壌中における作用發現條件の解析，雜草研究 14：29-35
62. Upchurch, R.P., F.L. Selman, D.D. Mason, and E.J. Kason, and E.J. Kamprath, 1966, The correlation of herbicidal activity soil and climatic factors, Weeds 14：42-48
63. Weber, J.B. and H.D. Coble, 1968, Microbial decomposition of diquat adsorbed on montmorillonite and kaolinite clay, Agr. Food Chem. 16：475-478
64. _____, 1968, Adsorption of diquat, paraquat and prometone by montmorillonite and Kaolimite clay minerals, Soil Sci. Soc. of America Proc. 17：417-420
65. _____, 1971, Behavior of organic pesticides in soil, Proc. Soil Sci. of North Carolina 14：74-118
66. _____ and S.B. Weed, 1973, Effect of soil on the biological activity of pesticides, in W.D. Guenzi(ed), Pesticides and their effects on soil and waters, Soil Sci. Soc. of America Inc.