水稲作用低毒性除草剤に関する研究

主要低毒性除草剤の評価試験，ならびに2・3の特性

誌名	九州農業試験場報告
ISSN	03760685
著者名	野田,健児 江口,末馬 小沢,啓男 茨木,和典
発行元	農林省九州農業試験場
巻/号	15巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 59-123
発行年月	1970年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

水稲作用低毒性除草剤に関する研究

—主要低毒性除草剤の評価試験，ならびに2・3の特性—

野田　健児*・江口　末馬*・小沢　啓男**・茨木　和典*

STUDIES OF LESSER TOXIC HERBICIDES FOR SOIL APPLICATION IN TRANSPLANTED PADDY RICE

—EVALUATION AND SEVERAL HERBICIDAL PROPERTIES—

Kenji NODA*, Suema EGUCHI*, Keio OZAWA**,
and Kazunori IBARAKI*

目　　次

第1章　緒言，および研究の背景
第2章　除草剤評価試験
　第1節　材料および実験方法
　第2節　発生雑草の種類と量
　第3節　除草効果
　第4節　草種選択性
　第5節　イネの生育，収量への影響
　第6節　イネへの薬害症状
第3章　作用特性
　第1節　茎葉作用性
　第2節　種子作用性
　第3節　イネ苗への根部処理作用性
　第4節　作用力の温度による変動
第4章　土壌中の行動
　第1節　土中移動性
　第2節　土中残効性
第5章　総合考察
第6章　和文摘要
　引用文献
　Summary
　写真図版

I　緒言，および研究の背景

水田移植水稲作においては，第2次大戦後除草剤による雑草防除の効果が確認され，1950年ごろから2・4D，1954年ごろからMCP系薬剤の生育中期の茎葉処理剤としての普及がなされ，ついで1959年ごろからはPCPの土壌処理剤としての実用化普及がなされてきた(第1図参照)．その急速な普及には粒剤化技術の発達が著しく貢献している．また，雑草防除を除草剤による化学的防除に切替えた基礎的知見としては「水稲作における中耕作業の意義の限界確認」ということを忘れてはならない．すなわち，中耕という作業は特殊な条件のばあいを除いて，除草効果以外の生理的な意義はきわめてすくない (*47*, *60*, *83*)，したがって雑草防除が除草剤によって可能になれば，中耕作業は省略しうることに

1969年5月19日 受理　Received May 19, 1969.
* 作物第1部作物第5研究室　Weed Control Lab., the 1st Section of Crop Research, Kyushu Agricultural Experiment Station, MAF, Chikugo, Fukuoka Pref., 833 JAPAN.
** 日本植物調節剤研究協会研究所　Institute of Japan Association for the Advancement of Phyto-regulators, Konosu, Saitama Pref., 365 JAPAN.

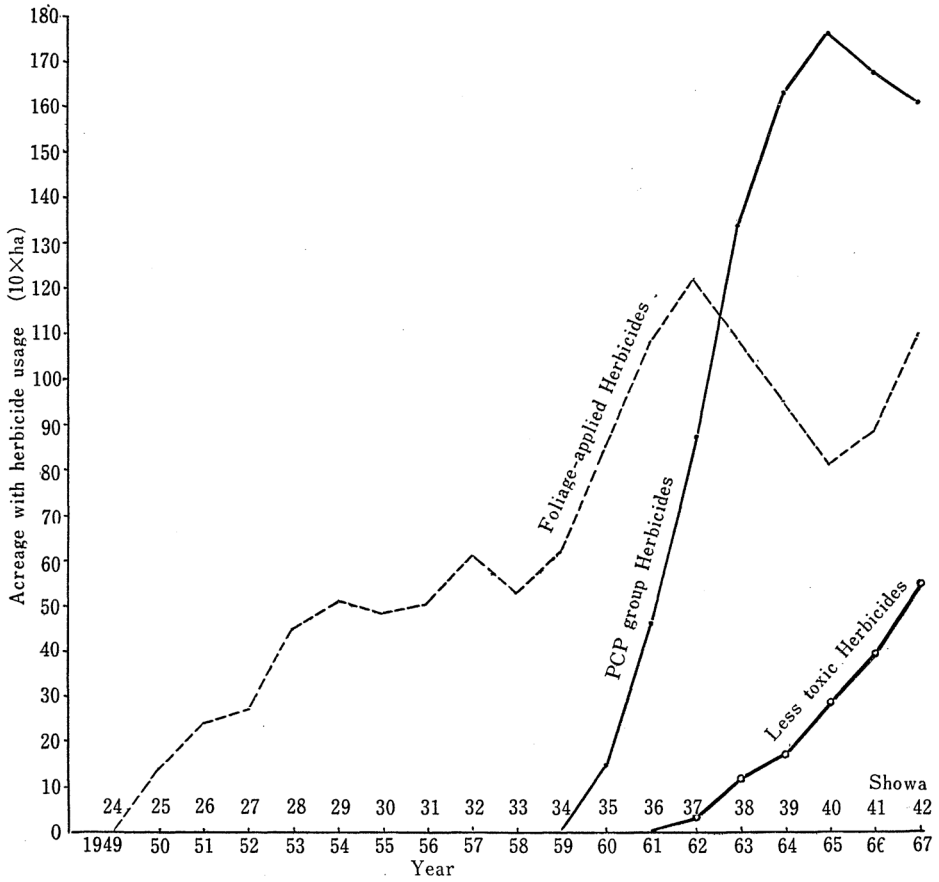


Fig. 1 Change of herbicide usage in paddy rice fields in Japan

なる．この知見はまた，密植適応性品種の育成 (*51, 60*) による水稲生産力の向上のための技術改良にも間接的に貢献しているといえる．

しかし，PCP の急速な普及は，この薬剤が本質的に高い人畜毒性を持っているために(第1表参照)，散布直後の天候，とくに降雨条件によって，一時的に多量の PCP が河川や近海に溢流し，これが魚貝類への被害をもたらす可能性のあることが推定された．すなわち，1959年5月，PCP の実際的使用に先だって，PCP の水田における使用制限の通達がなされ，1961年4月には水産動植物にたいする被害防止についての注意などがなされた．それにもかかわらず，1962年には PCP の普及が著しく延びたためか，びわ湖，有明海沿岸における魚貝類の被害が発生し，水田除草剤 PCP との関連が著しい社会的問題にまでなった．したがって，研究開発分野にたいしても，PCP に替わりうる効果的であって，しかも低毒性な除草剤の開発，実用化が強く要請された．

筆者らは，このような実際的な要請もあって PCP に替わる新除草剤の発見，使用技術確立のために関連研究機関，とくに農林省農事試験場，福岡，佐賀，熊本，長崎，滋賀各

県農業試験場と関係をもちながら，1962年来低毒性除草剤の評価試験，それらの除草剤特性，さらにまた使用技術確立のための基礎的知見の研究を行なってきた．

すでに，1963年より PCP 使用規制地帯では，順次 MCPCA，NIP，Prometryne，DBN，DCBN，CNP などの除草剤が PCP に替わって登録され実用化されてきた．そうしてこれらの除草剤の中では，単に低毒性であるというばかりでなく，PCP 以上にすぐれた除草剤特性が発揮され，普及段階に入っている．1967年現在の推定使用面積は MCPCA 粒剤 6.4万 *ha*，NIP 粒剤，16.3万 *ha*，CNP 粒剤，15.0万 *ha*，Prometryne 粒剤，10.0万 *ha*，CNP+MCP 粒剤，7.1万 *ha*，その他約10万 *ha*，計55万 *ha* あまりに達している．その後低毒性にして異なった系統の薬剤の開発研究が進められているが，水田水稲作における低毒性除草剤の根幹となっているのは，上記系統の薬剤であり，これらとの混剤，あるいは若干の置換基の変換したものが多い．したがって，筆者らは PCP と比較しながら上記低毒性6薬剤の評価試験，除草剤特性その他に関する研究結果を総括的に報告し，今後における除草剤開発のための基礎的知見とする．しかし，これら薬剤の詳細な生理，生化学的知見については不明のところが多いが，これらについては今後さらに“低毒性除草剤の研究”という枠にとらわれることなく，除草剤の生理的研究の一環として研究をつづけてゆく予定である．

なお，本試験研究を行なうに際しては，九州農試香山作物第1部長のご指導激励，中国農試荒井栽培部長の有益な助言を得，また出版にあたっては九州農試天辰場長，前記香山部長のご校閲を得た．厚く感謝の意を表する．

また，本研究の一部は日本植物調節剤研究協会より委託費の補助を受けたものであることを附記して，謝意を表する．

II　除草剤評価試験

まずほ場における除草剤としての可能性を総合的に評価するために，なるべく自然ほ場条件にちかい小枠ほ場を作成し，殺草効果，イネへの影響を中心とした試験を行なった．

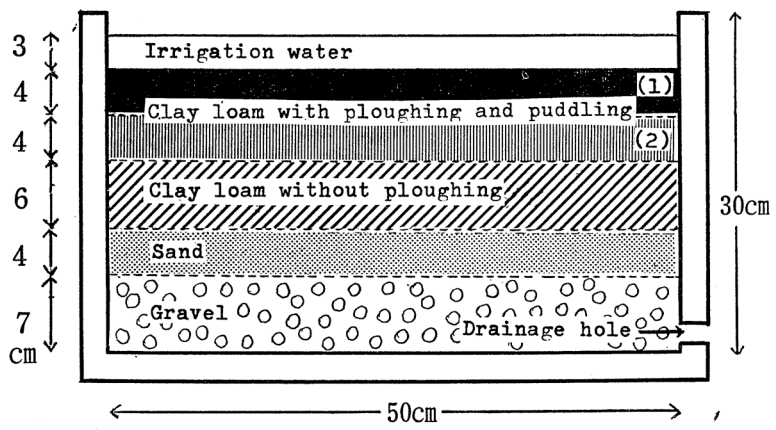


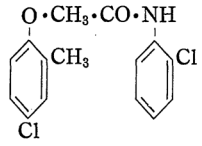
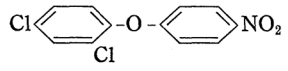
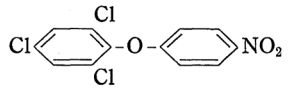
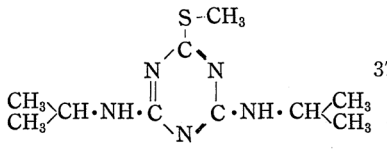
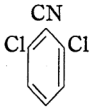
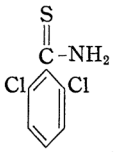
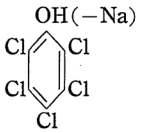
Fig. 2.　Preparation of a small concrete field for herbicide evaluation.

1. 材料，及び実験方法

1962年より水田水稲作用除草剤の評価試験は実用化除草剤，新除草剤を含めて一つの評価基準のもとに10ないし20ずつ供試してきたが，本報ではその代表的な低毒性除草剤として第1表に示した6剤と，比較剤としての PCP についての結果を述べる．

供試ほとしては 50×50×30 *cm* のコンクリート枠を設置し，筑後地方の冲積埴壌土地帯を想定して各区の土壌は第2図のごとく充てんした．表層 4 *cm* のいわゆる耕土に当たる部分の土壌は，毎年雑草種子を多く含んだ水田土壌と交換すると共に，代掻時にはさらに一定量の雑草種子（発芽率によってその量は，年により若干異なったが，タイヌビエで

Table 1. Name and toxicity of chemicals used.

Common name	Chemical name	Structural formula	LD_{50}mg/kg	TLM ppm
MCPCA	N-(2-chlorophenyl) -(2-methyl 4-chlorophenoxy) acetoamide		260 mouse	1.1
NIP	2, 4-dichloro 4-nitro diphenylether		3580 rat	34.0
CNP	2, 4, 6-trichloro 4-nitro diphenylether		10800 rat	290.0
Prometryne	2-methylmercapto-4, 6-bis(isopropylamino)-*s*-triazine		3750 mouse	23.5
DBN	2, 6-dichlorobenzonitrile		6810 rat	17.0
DCBN	2, 6 dichlorothiobenzamide		1750 mouse	37.0
Rf. PCP	Pentachlorophenol (Na)		78 rat	0.3

Note: LD_{50} means the lethal dosage that kills 50% of the animals used. TLM means the median tolerance limit of the carp after 48 hrs.

は一区当たり 30-50 *cc* を表層に混入して湛水条件とした．また，1966年にはマツバイ茎を含む土壌を一定量ずつ混入した．

供試イネ品種はホウヨク，またはシラヌイであり，1区9株，1株3本植とした．薬剤散布後，実際のほ場の漏水性を考慮して，排水孔より散布次日より1ないし2日，2ないし3 *cm*/日の人工的な漏水条件を与えた．試験年次，移植日，散布後の気象条件は第2表のごとくである．反覆は2，しかし作物，及び雑草関係とも精密栽培としたために，反覆間の変動はきわめて少なかった．1962年には普通期夏期試験と追加的な秋期試験，1963年には2回の重複試験，1965，1966年には全供試除草剤を2群に分けて供試したので，A，B に区別してかかげた．

Table 2. Culture method and weather condition

Year		Date of trans-plant.	Days* after transplant.	Rice seedling PL. H.	Tiller No.	Leaf No.	10 days after application Mean temp.	Rainfall
1962	Test 1 Test 2	3, July 27, Sept	6, 15 5,	28.6 19.5	1.2 1.0	5.9 3.2	28.5℃ 28.8℃ 21.2	33.1, 4.4mm 4.1
1963	Test 1 Test 2	4, July 8, Aug.	8 8	38.3 44.7	1.0 1.0	5.5 3.1	28.4 26.6	108.1 173.3
1964		2, July	4, 8	33.9	1.0	6.4	27.4, 27.4	—, 16.5
1965	(A, B)	29, June	4, 8	—(cut)	—	6.8	23.9, 24.4	182.6, 313.2
1966	(A, B)	28, June	4, 8	25.1	1.0	6.2	23.4, 22.9	152.4, 155.0
1967		27, June	4, 8	27.8	—	6.3	24.2, 24.5	80.9, 169.3

Notes: A and B tests were made at separate places. 9 hills made up from 3 plants each were grown in one plot. Chemical application was made under submerging in depth of 3 cm. * Time of herbicide application.

2. 発生雑草の種類と量

まず供試ほの発生雑草の種類，および量を試験開始後約30日，8月上旬に行なわれた無処理放任区の調査結果でみると第3表のようである．タイヌビエ，タマガヤツリ，ヒデリコ，キカシグサ，アブノメ，コナギ，アゼナなどの一年生雑草，および多年生雑草マツバイが主要な発生雑草であった．アブノメ，マツバイ，アゼナは年によって発生が少なく，充分な考察が出来なかった．また，ヒデリコは年によりタマガヤツリとこめて調査された．両者の生態的特徴はかなり類似しているので，カヤツリグサ科として考察しても大局に影響なかったと推定される．その他の雑草としては，ミゾハコベ，チョウジタデ，ミズハコベ，アゼムシロ，アゼトウガラシなどの発生がみられた．最近暖地でも漸増しつつある深根性多年生雑草ミズガヤツリ (*Cyperus serotinus*)，ウリカワ (*Sagittaria pygmaea*)，ヒルムシロ (*Potamogeton Franchetii*) などに対する評価は本報告では不可能であった．

本試験ほ内の発生総数は m^2 当たり4000ないし9000であり，実際の農家は場よりもかなり著しい，従って除草効果の不充分な区では，雑草調査時期までの雑草害的症状がみられた．なお，調査後は全雑草を手取除去し，以後の雑草害はおこらないようにした．

Table 3. Weeds in check

Scientific name	Family name	Common name (Japanese name)	1962	1963 (T 2)
Echinochloa crusgalli var. *orizicola*	*Gramineae*	barnyardgrass (Tainubie)	165.6 (250.4)	368.0 (94.4)
Cyperus difformis	*Cyperaceae*	umbrella plant (Tamagayaturi)	165.6 (16.8)	528.0 (39.2)
Fimbristylis miliacea	*Cyperaceae*	— (Hideriko)		296.0 (2.9)
Rotala indica var. *uliginosa*	*Lythraceae*	toothcup? (Kikashigusa)	1432.0 (138.4)	1128.0 (252.0)
Dopatrium junceum	*Scrophulariaceae*	— (Abunome)	1005.6 (422.4)	1784.0 (188.4)
Moncchoria vaginalis	*Pontederiaceae*	monochoria (Konagi)	50.4 (40.0)	4440.0 (151.7)
Lindernia procumbens	*Scrophulariaceae*	False pimpernel (Azena)	80.0 9.6	
Eleocharis acicularis	*Cyperaceae*	slender spikerush (Matsubai)	— (72.3)	— (4.8)
Others*			1010.4 (60.0)	220.0 (20.0)
Total			3909.6 (1009.9)	8764.0 (753.4)

Notes: "Upper" are number per m^2 and "under" are dry weight(g) per m^2, but the parenthesis in the latter indicate fresh weight.
* Others include some of the following weed species:

Scientific name	Family name	English name	Japanese name
Elatine triandra	*Elatinaceae*	Waterwort	Mizohakobe
Ludwigia prostrata	*Onagraceae*	Waterprimrose	Chojitade
Callitriche verna	*Callitrichaceae*	Waterstarwort	Mizuhakobe
Lobelia chinensis	*Campanulaceae*	Lobelia	Azemushiro
Vandellia angustifolia	*Scrophulariaceae*	—	Azetōgarashi

3. 除草効果

1962年から1967年にかけての評価試験における7薬剤の殺草力を，散布後約30日目の全雑草の残存本数，ならびに残存重量の対無処理区比数，すなわち残草率の平均値で各年ごとに一覧してしめすと第4表のようである．

PCP では 100 g/a の雑草発生前処理では効果極大であるが，発生しはじめてからの処理，また発生前でも 75 g/a 処理になると，効果はかなり劣ってくる．抑草症状は土中での種子，および発芽直後のものの殺草，または発生直後のものの速効的な殺草であり，ほ場でみられる抑草期間は比較的短い．

MCPCA では 4 g/a 処理では明らかに効果不充分であるが，7.5-8.0 g/a の発生前処理で効果大である．しかし，PCP 同様に発生後処理になると劣ってくる．殺草症状は土壌をとおしての殺種子性が主体であり，発芽したものに対しては PCP より若干遅く殺草

of evaluation tests.

1964	1965 (A)	1965 (B)	1966 (A)	1966 (B)	1967	Average
310.0 (641.6)	164.0 44.7	54.0 25.9	250.0 189.2	376.0 548.9	115.5 62.1	225.4
904.0 (300.8)	2632.0 12.1	2372.0 14.4	991.2 50.0	826.0 44.0	9.8 0.4	1053.6
			117.2 0.32			206.6
2556.0 (866.0)	3880.0 26.5	1016.0 15.7	1298.0 18.7	2164.0 29.0	7.5 0.1	1685.2
			1352.0 31.6	1160.0 24.9	44.0 2.1	1069.1
32.0 (30.8)	20.0 1.2	44.0 3.3	168.0 7.0	328.0 12.5		726.1
			52.5 0.5	33.5 0.3	2.3 0.1	42.1
			— 0.35	— 0.68	t	
320.0 (48.0)	680.0 6.7	212.0 37.5	212.5 1.9	260.8 2.6		416.5
4122.0 (1887.2)	7376.0 91.2	3698.0 96.8	4441.4 299.6	5148.3 662.9	179.1 64.8	

性をしめすようである．

NIP では 15-30 g/a の発生前処理ではほとんど完全に雑草の発生を抑制し，効果は極大であるが，発生後処理ではかなり効果が劣ってくる．殺草症状は未発生のものは土中で殺草，発生直後のものは急速に褐色化，または白化症状をしめして枯死してゆく．CNP も NIP と似た傾向をしめしたが，発生後の雑草への作用が若干弱いような傾向がみられる．総合した両者の殺草力差は本試験ではみられなかった．

Prometryne では 3-8 g/a の処理で発生前，発生後処理とも効果は極大，または大であり，両時期の効果の差が，すでにのべた4剤に比べてすくない．これは雑草のステージに対する適期がやや後期にあることを示すものである．殺草症状としては，やや遅効的に退色，黄白化枯死してゆく．また一部は土中で未発生のまま致死するものもある．

DBN, DCBN は発生前処理よりも発生直後処理の方が効果が高い．本試験では 10 g/a 処理で発生後処理では極大であるが，発生前処理では大，ないし中の効果である．殺草症状としては土壌中での殺種子，ならびに発生したものに対してはやや遅効的に退色枯死にいたらしめる．

以上7剤の除草効果は適期，適量において極大であるが，発生前と発生後処理との効果の相対的関係は必ずしも同じでなく，両時期の相対的関係を効果の絶対値と無関係に観察するための指数として，発生後処理の抑草率を発生前の抑草率で除した値 (Pr. Po Ratio)

Table 4. Weeding activity expressed as percent* of untreated

Herbicide	Formulation	Dosage (A.I. g/a)	1962 T1 Pr	1962 T2 Pr	1963 T1 Po	1963 T2 Pr	1964 Pr	1964 Po
PCP	g	75						
		100	3	3	15	9	2	
MCPCA	g	4			38	31		
		7.5～8.0	18	32	15	15	8	
NIP	e	12.5	4					
		25.0	1					
	g	15			10	2	1	6
		21		1				
		30			11	1	1	2
CNP	g	10			31	1		
		15					6	31
		21			7	2		
		30					2	7
Prometryne	w	5	2					
		10	1					
	g	3～4			13	20	5	
		6～8		2	14	10	2	
DBN	w	5	38		28	59		
		10	37	7	22	61		
		20	5					
	g	5			15	53		
		10			9	28		
DCBN	w	5			11	40		
		10		2	2	38		
	g	5			25	42		
		7.5～10			13	22		

Notes: "g", "e", and "w" show granular, emulsifiable concentrate and wettable formulation, respectively. "Pr" and "Po" show pre-emergence and partial post-emergence application, respectively.
* mean of percents by number and weight.

でみると第5表のとおりである．この値は雑草のステージに対する適用巾の大小をしめす1つの数値と考えてもよい．これによれば，NIP, CNP は発生前処理に対する発生後処理の効果の減少が最も大きく，ついでPCP, MCPCA である．Prometryne では1.1の値であり，両処理期の差がほとんどないことを示している．さらにDBN, DCBN では1.0以下であり，むしろ発生後処理の効果が高いことをしめすものである．

以上のように雑草の未発生，既発生に対

Table 5. Comparison of Pr•Po ratio* in the case of the soil-treatment of herbicides.

Herbicide	A.I. g/a	Pr•Po Ratio
PCP-g	100	3.9
MCPCA-g	7.5～8.0	1.9
NIP-g	21	7.0
CNP-g	21	6.9
Prometryne-g	3～4	1.1
DBN-w, g	10	0.7
DCBN-w, g	10	0.4

Note: * is the index obtained by reducing the percent of remaining weeds at a post-emergence treatment by that at a pre-emergence one.

check by number and weight of remaining weeds.

1965				1966				1967		Average	
A		B		A		B					
Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po
2	4	1	20	16	12	9	30	6	35	10.3 3.3	25.7 13.0
4						7	28	6	31	31.0 13.0	38.0 24.7
3	3	5	2	2	8	2	13	1	55	4.0 1.0 1.5 2.3 1.0	 8.0 16.2 6.5
		2	3	2	21	2	16	2	22	1.0 6.0 2.0 2.0	31.0 31.0 13.8 7.0
9	3			6	18					2.0 1.0 10.0 4.7	 11.0 14.0
										28.0 35.0 5.0 53.0 28.0	47.0 22.0 15.0 9.0
										40.0 20.0 42.0 22.0	11.0 2.0 25.0 13.0

する効果の差は，各薬剤の作用性，土中行動の差に起因すると考えられる．この点については総合考察において論及する．

3. 草種選択性

主要雑草種に対する殺草力を，比較的草種の発生が均一であった1963，1966年の試験から草種ごとの対無散布比で示すと第3，4，5図のようである． PCP はキカシグサ，アブノメ，コナギなどに効果がきわめて高い．ついでカヤツリ類である．タイヌビエには若干劣る．またマツバイに対しては効果は低い．ヒエに対して劣るのは PCP が残効短く，移動が少ないことによると考えられるが，マツバイに対しては本質的にも作用力が弱いように考えられる．

MCPCA は広葉雑草には効果高いが，ヒエには本質的に劣るようである．しかし，PCP とは逆にマツバイには特異的に効果高く，chlorophenoxy 的な特性が現われている．NIP，CNP はほとんど同一傾向であり，広葉，カヤツリには極めて効果高いが，ヒエ，コナギのややすすんだ時期のものにはやや効果が劣る．とくにコナギには特異的に劣る傾向がみられる．マツバイに対しては未発生，または発生始期のものに対してはかなり効果的であるが，時期の進んだものに対しては極めて劣る． NIP，CNP 間の草種選択性の差は発生

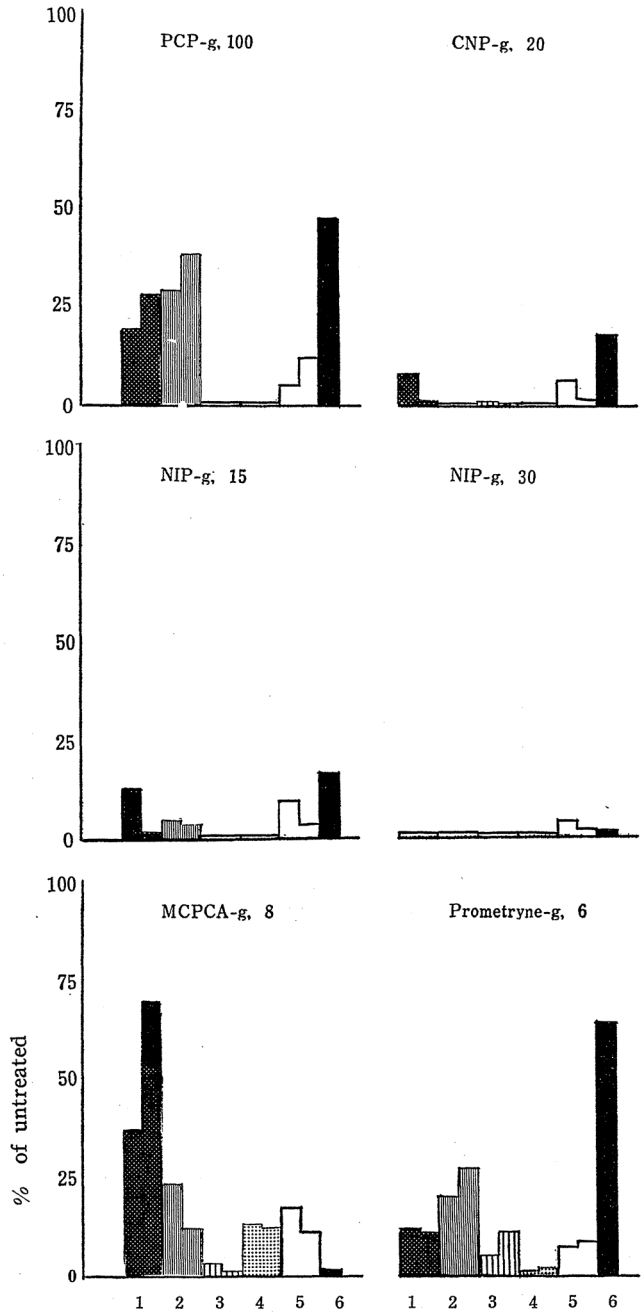


Fig. 3 Weeding activity of herbicides for several weed species (1963) (Test 1).

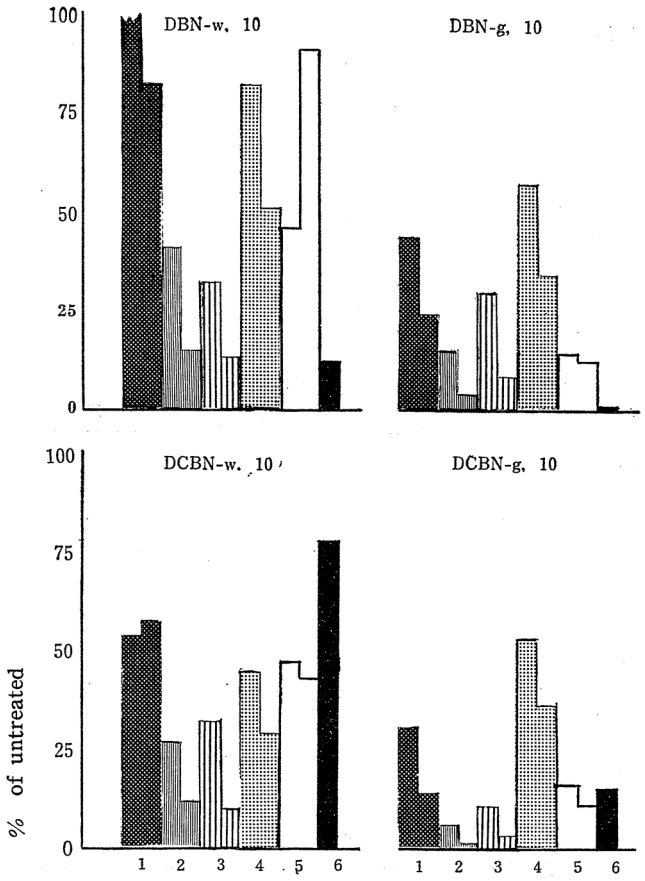


Fig. 3. Weeding activity of herbicides for several weed species (1963, Test 1). (continued).

Notes: 1: *Echinochloa crusgalli*
2: *Cyperus sp.* (annual)
3: *Rotala indica*
4: *Dopatrium junceum*
5: *Monochoria vaginalis*
6: *Eleocharis acicularis*
Left is number, and right is weight. Figures are dose, *g/a.*

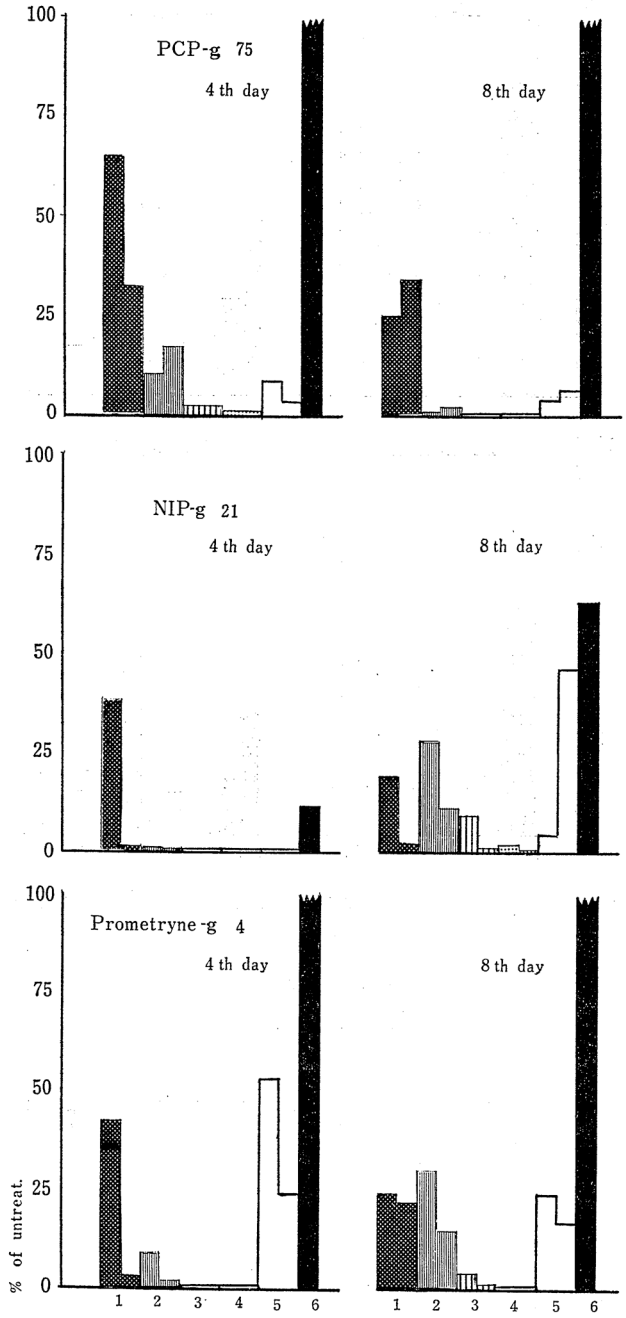


Fig. 4 Weeding activity of herbicides for several weed species (1966, A).
See Fig. 3. Dates are the time of herbicide application by the number of days after rice transplanting.

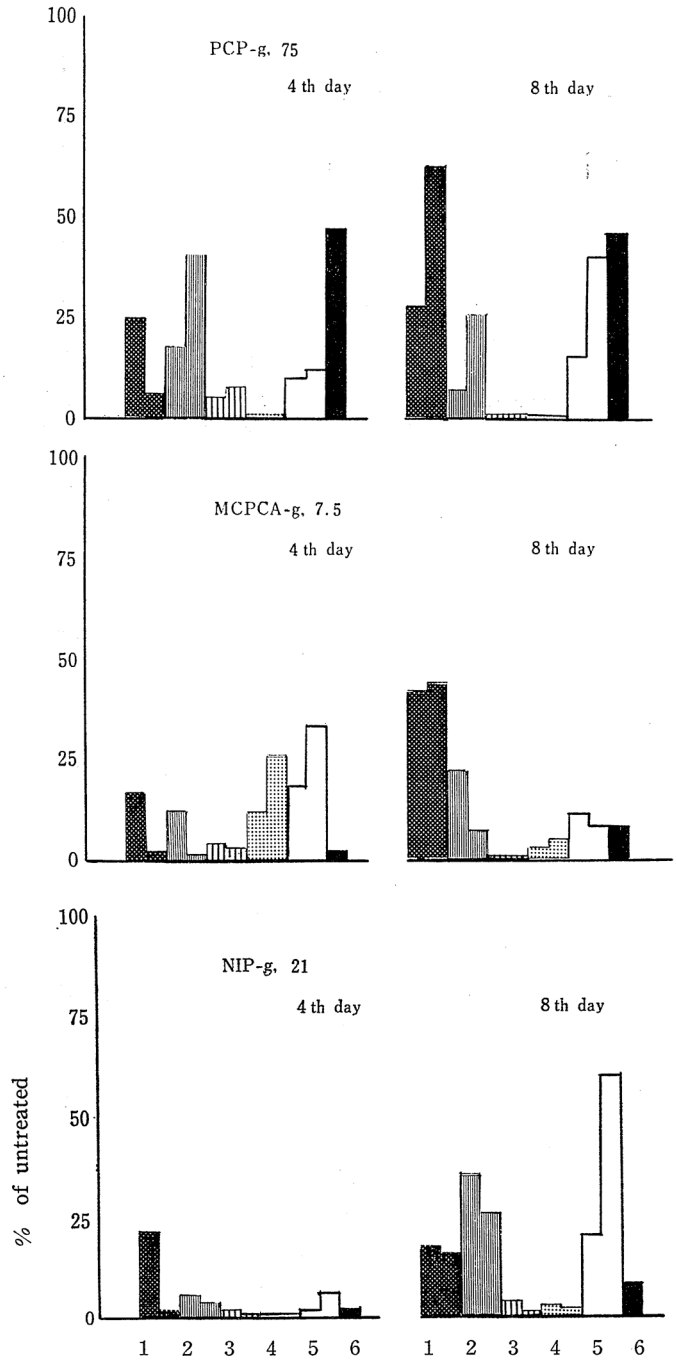


Fig. 5 Weeding activity of herbicides for several weed species (1966, B).
See Figs. 3 and 4.

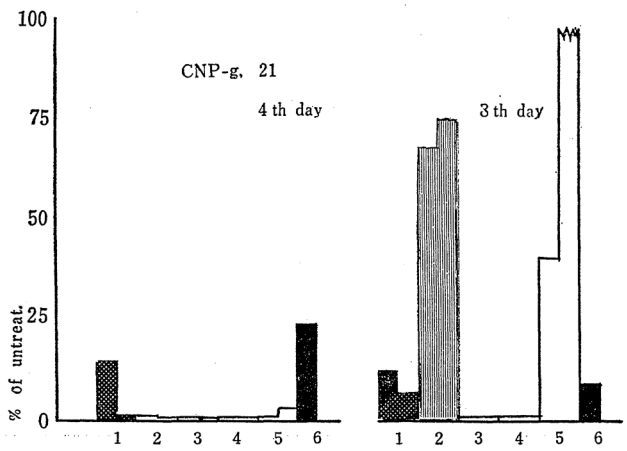


Fig. 5. Weeding activity of herbicides for several weed species (1966, B). (continued).

Weeds \ Herbicides	PCP	MCPCA	NIP	CNP	Pro-metr.	DBN	DCBN
Echinochloa Crus-galli var. *orizicola*	○	△	⊙	⊙	⊙	△	△
Cyperus microiria, Fimbristylis littoralis	⊙	⊙	●	⊙	●	⊙	⊙
Rotala indica	●	●	●	●	●	○	⊙
Dopatrium junceum	●	⊙	●	●	●	○	○
Monochoria vaginalis	●	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
Eleocharis acicularis	△	●	⊙	○	△	●	●

● very strong ⊙ strong ○ moderate △ weak

Fig. 6. Selective action of soil-applied herbicides against several weed species (General Consideration).

前処理ではほとんど差がないが，発生後処理になると CNP の方がコナギ，カヤツリにやや劣り，ヒエにはむしろ優る傾向がみられる．

Prometryne はキカシグサ，アブノメにとくに効果的であり，ついでヒエ，カヤツリ類，コナギに効果をしめす．しかし，マツバイには劣る．DBN，DCBN の草種選択性は全く同様の傾向であり，供試薬剤では全般に効果は不充分であったが，その中での相対的関係をみると，マツバイに対しては特異的に高い．また一年生雑草に対してはコナギ，アブノメには効果たかいが，ヒエ，キカシグサにはやや劣る．

以上のべた土壌処理の場合の草種に対する殺草力の差を模式的に表現すると第6図のごとくである．このような殺草力の差は雑草の生態的，生化学的な特徴の差と共に，薬剤そのものの残効性，移動性などとの複合的な関係によって生起されるものと考えられる．

5. イネの生育，収量への影響

イネの生育，および収量への影響の一例として，生育末期の生長量の比較を対無散布手取除草区比数でしめすと第6表のごとくである．除草効果が不充分の場合には，調査時期までの雑草害が若干あらわれて，薬剤そのものの影響でないものが第6表には一部あらわれている．各薬剤について具体的にみると，PCP 75 g/a 処理では若干生長量が減少しているが，これは効果不足の影響であり，100 g/a になると全く生長量への阻害はみられない．散布直後一時的に外側の古い葉が障害されることもあるが回復は早い．

MCPCA では散布後の分けつ抑制，生育遅延，暗緑色化が多少はみられるが，その後の生育によって回復し，薬剤による生長量の減少はみられない．4 g/a 処理の減少は明らかに雑草害によるものである．

NIP，CNP においては，15-21 g/a 処理では散布直後の斑紋状反応はみられるが，生育に対してはほとんど影響しない．むしろその後の生育において促進されるような現象が伺われる．Prometryne では1963年の Test 1 において，散布後7～10日ごろから著しい薬害が発生し，この被害は生育末期まで回復出来なかった．この障害はその後の実験（後記）によって散布直後の異常な高温によることが確認された．その他の年の実験においては，生長への障害は全く認められなかった．

DBN，DCBN の薬害反応は全く同様であり，中心葉の枯化，葉の垂下，生育の停滞が若干みられたが，10 g/a 以下の処理量では後期まで影響することはない．第6表にみられる生長量の低下は除草効果不足による雑草害が原因していると考えられる．

以上の結果を総括すると，低毒性6剤の土壌処理におけるイネへの障害は，適切な処理法においてはほとんどみられない．しかし，イネへの影響は散布後の条件によって異なるものであり，宮原・荒井(*38*)は Prometryne，NIP はきわめて安定しているが，MCPCA は軽微な生育抑制があり，DBN 粒は薬害が大きく，これには土壌中の移動性が大きく影響するとのべ，板谷ら (*29*) は水深の影響は PCP＞NIP＞Prometryne＝DBN＞MCPCA の順であると報じている．また筆者らは栽培時期(早期と普通期)，土壌の種類，漏水性による影響の変動性を観察したところ，NIP は時期，漏水には変動すくなく，火山灰土では若干作用が低下する，MCPCA は漏水，時期の影響がやや大きく，DBN，DCBN は漏水，土壌による変動がとくに大きい，さらに Prometryne は時期（おそらく高温）による影響が大きい．PCP は条件による変動がきわめて少なかった(*49*)．また一般に暖地においては散布後の高温の影響が問題である(*44*)が，この点については後章にて触れる．

また，条件によって，おそらく作用濃度が稀釈された場合と推定されるが，NIP，Prometryne，DBN 等では生長促進的な現象が観察された．この実証は今後の課題と考えられる．

5. イネへの薬害症状

すでに述べたごとく適正な使用条件下で使用された場合には，供試薬剤の移植水稲に対する薬害，収量への影響は全くないか，極めて少ない．しかし，実際の場面では不均一散布，過剰散布，漏水過多，湛水条件不良，高温，低温等の苛酷な条件下の使用，また不良イネ苗の使用などによって，程度の差あれ，各薬剤とも特有の薬害症状をしめすものである．1962～67年の試験において多量散布区，苛酷な温度条件であった1962年 Test 1，2，

Table 6. Comparison on yield index expressed as

Herbicide	Formulation	Dosage (A.I. g/a)	1962 T1 Pr	1962 T2 Pr	1963 T1 Po	1963 T2 Pr	1964 Pr	1964 Po
PCP	g	75						
		100	104		103	112	107	
MCPCA	g	4			87	95		
		7.5～8.0	103		88	108	98	
NIP	e	12.5	112					
		25.0	111					
	g	15			117	110	102	96
		21						
		30			112	103	101	99
CNP	g	10			117	115		
		15					94	88
		21			115	121		
		30					99	97
Prometryne	w	5	105					
		10	105					
	g	3～4			66	103	95	
		6～8			31	115	100	
DBN	w	5	107		84	102		
		10	99		110	94		
		20	107					
	g	5			96	95		
		10			92	104		
DCBN	w	5			91	96		
		10			102	96		
	g	5			118	84		
		7.5～10.0			119	88		

Note: Whole rice plants were harvested around the later season of growing, September, followed by weighing. The values of the 1963 Test 2 were excepted, because those were from an uncommon season test.

またその他の試験，調査(*49*, *50*)をつうじて得られた供試薬剤の土壌処理におけるイネに対する薬害症状をのべてみる．

PCP では反応はきわめて早く，下位葉の退色，折損，または流れ葉となり，枯死する．著しい場合には生育停止，株全体が枯死することもある．また初期症状として水際葉鞘部の白退色化がみられる．他方，次章で詳述するが漏水の著しいところで，根吸収的に作用する場合には黄退色に先だって青枯れ症状を起こすものと推定される．

MCPCA では薬剤の反応のあらわれは比較的おそく，7～10 日目ごろより株の開張，分けつ抑制，生育抑制の症状にはじまり，葉は細長いものが発生し，転び苗化し，葉色はむしろ暗色化，後に退色黄化してくる．根は褐色化し，棒状根化するのが特徴的である．上記の症状は 30 日目ごろから回復に向かってくる．初期の茎数抑制が 10 %以下では，収量にほとんど影響しないようである．初期の分けつの乱れは，分解的にみると散布時直後に発生するけつ子がよう折，または弱小化しており，出穂期には出すくみ，遅れ穂，二段穂などになって現われるようである (*50*)．

percentage of untreated check by whole rice weight.

1965				1966				1967		Average	
A		B		A		B					
Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po	Pr	Po
				94	98					94	98
104	105	102	97					107	95	105	100
										95	87
105						105	94	100	99	103	94
										112	
										111	
										106	107
104	103	104	94	109	104	103	100	106	100	105	100
										102	106
										115	117
										94	88
		104	99	106	102	103	101	100	107	107	105
										99	97
										105	
										105	
105	108			102	101					101	92
										107	31
										105	84
										97	110
										107	
										95	96
										104	92
										96	91
										96	102
								102	92	93	105
										88	119

NIP, CNP は同系統の薬剤であり，薬害症状もほとんど同じである．散布後1～2日にして水際部の白斑，または褐斑にはじまり，この斑点状薬害は水面上まで上昇する．甚だしい場合には数 *cm* に達する．また，さらに斑点部から折損して流れ葉となるものもあり，著しい場合には生育が停滞する．NIP と CNP とを厳密に比較すると斑点の発生は NIP の方がやや甚だしい．

Prometryne はやや遅効的に葉部の線状クロロシス，または先端ないし展開部からの黄化退色，ついで枯死してゆく，被害の進行は比較的ながくつづき，甚だしい場合には枯死株も発生する．triazine 系薬剤の typical な症状は GYSIN (*20*) ものべているごとく，Hill 反応阻害に関連する chlorosis ではないかと考えられる．これが根からの作用のみでなく，葉鞘基部からも作用するものと考えられる．

DBN では2～3日して伸長中の最上位葉のまき葉枯化と共に，展開葉の伸長垂下，また葉巾もやや広くなる．時に葉の肩部に褐色の小斑点状エソがみられたり，暗緑色化がみられる．症状が激しい場合には全体的な生育停滞，Stunting 症状，または黄化症状がみられる．さらに後期になると，過剰分けつの促進をうながすために，茎数がむしろ多くなる．DBN の薬害症状についてはかなりの報告があり，DAAMS & BURNSLEY (*12*) は根，

茎などの肥大，崩壊，褐色化，葉は切断し易くなり，濃青緑色化をのべている．

MILBORROW (*36*) も dark green を特徴としてのべている．KOOPMAN & DAAMS (*32*) は殺種子性と共に，生長点が敏感に反応し，Stunting 症状を呈することをのべている．DCBN の症状は DBN とほとんど同様であり，同一薬量ではむしろ DBN よりも反応は強い傾向がみられる．

低毒性除草剤 MCPCA，NIP，Prometryne，DBN についての，田植後処理の害徴については，typical な点については宮原・荒井(*38*)も触れており，本質的に筆者らの結果との差はみられない．

III 作 用 特 性

1. 茎葉作用性

除草剤の茎葉をとおしての作用の有無，強弱は殺草機構や薬害の発生と関連する知見であり，主として一年生雑草にたいして茎葉作用の大なることは，殺草巾を増大する一因子となる．しかし，イネに対しても薬害を大きくする要因となるものであり，このような場合には粒剤化が作用特性の上からも要求される．PCP，および低毒性6剤の茎葉作用性を次の方法によって比較した．

1）実験方法．供試薬剤の標準使用量（第7表参照）を a 当り 8-10 *l* の水に溶解，または懸濁状態とし，検定植物の本葉が完全に展開後，植木鉢の土壌表面を綿でおおって土壌への浸透を防ぎ，加圧噴霧器で overhead に散布し，その後の茎葉作用の発現進行状態を定性的に観察した．1963，'64，'65 年の結果をしめすと第7表のごとくである．作用値 (Action value) は茎葉作用の発現の遅速，程度の両面から算出した値である．

2）結果．PCP の茎葉作用は散布次日にはすでに反応があらわれた，急速に変色枯化してゆく，5～7日で最大に達し，相対的にイネ科のイネ，ヒエに対するよりも広葉作物に強い，とくにアズキ，キウリへの作用は強い．総括してイネ＜ヒエ＜大根＜ナタネ＜キュウリ＜アズキの順に作用力差の傾向がみられる．

NIP では散布後1～2日目より反応が現われ，PCP より僅かにおそい傾向がみられる．アズキ，キュウリへの作用が大きく，イネへはやや低い，作用力値の比較では若干 PCP よりも低い．CNP の作用力の作物種類間の反応は，NIP と大体同様であるが，作用力値では若干 NIP より低いようである．

Prometryne の作用の発現は3ないし7日目ごろからはじまり，黄化退色枯化の過程をたどる．イネ科よりもキウリ，ナタネに強く現われ，また粒剤よりも水和剤の方がやや強い．最大に達する時期は PCP，NIP などよりも遅く，15日目ごろである．

MCPCA は広葉作物への作用の発現は，散布後1～2日目にはじまり，かなり早いが，イネへの作用は10日目ごろに多少みられる程度であり，イネ科と広葉との選択作用性が顕著であると推定される．DBN，DCBN ではいずれの検定作物に対しても，茎葉作用反応は全くみられず，茎葉を通しての作用は全くないと推定される．しかし，DBN は大気中からと根からと吸収される (*35*)，また茎の表皮からも吸収される (*83*) といわれているが本実験ではそのような現象はみられない．おそらく気化しての作用ではないかと考えられる．

Table 7. Action of overhead-applied herbicides on foliage.

(1963)

Herbicides	A. I. g/a	Test plants	Number of days after spraying 1	2	3	4	5	7	10	Action value
NIP-e	30	Rice	±	+	++	++～+++	++～+++	++～+++	++～+++	1.8
		Cucumber	++	++～+++	+++～V	IV～V	V	IV～V	V	3.9
		Rape	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	2.6
DBN-w, g	10	Ri.	−	−	−	−	−	−	−	0
		C.	−	−	−	−	−	−	−	0
		Ra.	−	−	−	−	−	−	−	0
DCBN-w, g	10	Ri.	−	−	−	−	−	−	−	0
		C.	−	−	−	−	−	−	−	0
		Ra.	−	−	−	−	−	−	−	0
Prometryne-g	8	Ri.	−	−	−	−	+	+	+	0.4
		C.	−	−	−	+	+～++	++	++	0.9
		Ra.	−	−	−	+	+～++	+～++	++	0.9
Prometryne-w	8	Ri.	−	±	+	++	++	+++	+++	1.6
		C.	−	−	+	++	++	++～+++	+++～IV	1.6
		Ra.	−	−	+	++	++	++	+++	1.4
MCPCA-g	8	Ri.	−	−	−	−	−	−	−	0
		C.	+	+～++	++	++	++	++～+++	+++	2.0
		Ra.	+	+～++	++	++	++	+++	+++	2.1
PCP-g	100	Ri.	+～++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	2.8
		C.	+～++	++～+++	+++	+++	IV	V	V	3.4
CNP-g	20	Ri.	−	−	−	+	++	+～++	++	0.9
		C.	±	+	+～++	++	++	+++	+++	1.9

(1964)

Herbicides	A. I. g/a	Test plants	Number of days after spraying 1	2	3	5	7	Action value
CNP-g	20	Rice	+	++	++	++	++～+++	1.9
		Barnyard.	+	++	++	++～+++	+++	2.1
		Daikon	−	−	+～++	++	++～+++	2.0
NIP-g	20	Ri.	−	++	++	+++	+++	2.0
		B.	−	++	++	+++	+++	2.0
		D.	−	++	++	+++	+++	2.0
PCP-g	100	Ri.	+～++	+++	+++	IV	IV	3.1
		B.	+～++	+++	+++	+++～IV	IV	3.0
		D.	+	+++	+++～IV	IV	IV	3.1

(1965)

Herbicides	A. I. g/a	Test plants	Number of days after spraying 1	2	3	5	6	9	15	Action value
PCP-g	100	Rice	+～++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	2.8
		Azuki	+++	IV	V	V	V	V	V	4.6
NIP-g	21	Ri.	−	++	+++	+++	+++	+++	+++	2.4
		A.	+	+++	IV	IV	V	V	V	3.9

CNP-g	21	Ri.	±	+	##	##	##	##	##	2.4
		A.	##	##	IV	IV	IV	V	V	3.7
MCPCA-g	7.5	Ri.	−	−	−	−	−	±	+	0.2
		A.	±	±～+	+	+	+	+	##	1.0
Prometryne-g	4	Ri.	−	−	+	##	##	##	##～###	1.2
		A.	±	±	+	###	IV	###～IV	V	2.5

Notes: A. I. means active ingredient.
Action value was obtained by fitting 0, 1, 2, 3, 4 and 5 for no, slight, intermediate, severe, very severe injuries and complete killing of test plants, respectively.

MCPCA, DBN, DCBN のようにイネへの茎葉作用がほとんどないものは，イネへの薬害は根を通じての作用によるのが主体と考えられる．これに対し PCP, NIP, CNP, Prometryne 等では湛水部の葉鞘からの作用もあるものと考えられる．

以上の実験を総括して茎葉への作用力の強弱を考察すると，PCP>NIP>CNP>Prometryne>MCPCA>DBN=DCBN の順序に区別される．

2. 種子作用性

薬剤の種子に対する作用力は，土壌処理の場合の殺草力，殺草機作を考察するための有力な知見である．ここでは DBN, DCBN 以外の5剤についての種子作用力を次の方法で比較した．

1）実験方法．薬剤濃度1%から 10^{-6}% までに7，または8階梯を設け，検定植物と

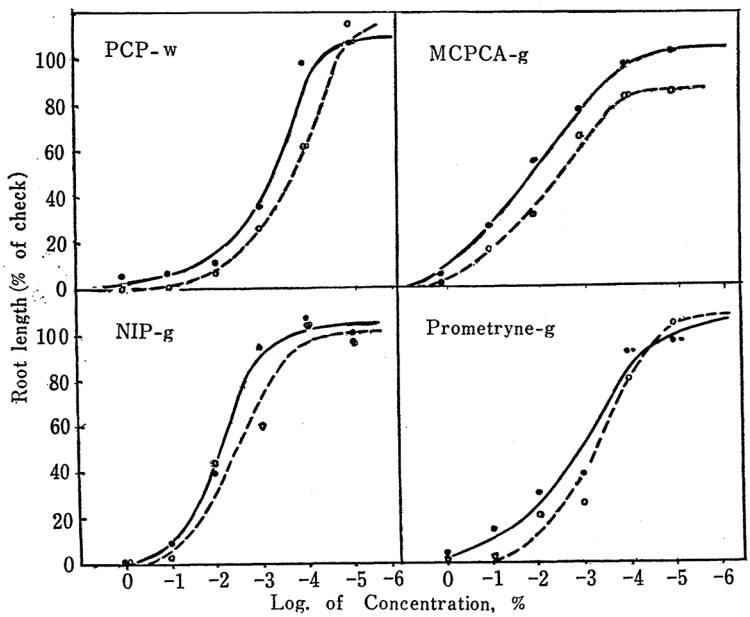


Fig. 7. Relationship between Log. of concentration and root inhibition of wheat (black) and rape (empty) (1963, Exp. 1).
(black: wheat, empty: rape)

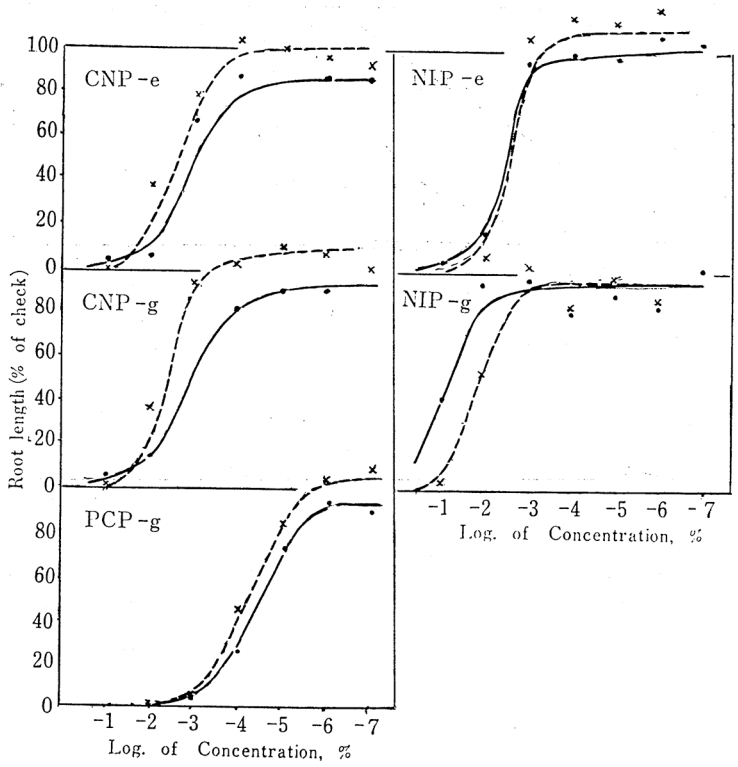


Fig. 8. Relationship between Log. of concentration and root inhibition of rice (black) and daikon (cross) (1924, Exp. 2).
(black: rice, cross: daikon)

してイネ，大根，コムギ，ナタネ種子を用い，シャレーに5 *cc* 薬量を入れて，検定植物種子20粒を播種し，20°*C* 恒温下に3～4日処理した後の根長を測定して，対無処理区%として示した(第7，8，9図参照)．

2）結果．供試濃度(%)の対数値に対する根長の対無処理区比をプロットして，曲線化して示すと，第7，8，9図にみられるようにS字曲線的にその濃度の減少と共に，抑制度が減少する傾向をしめす．1963年には PCP, NIP, MCPCA, Prometryne の4剤を供試したが，いずれもナタネへの作用がコムギへよりも大きい．50%抑制濃度 (RI_{50}) では作用力は PCP>Prometryne>NIP≒MCPCA の順である．1964年では PCP>CNP≒NIP である．また CNP, NIP では乳剤の方が粒剤よりもやや大きい．またイネと大根への作用が両剤で異なっており，NIP ではイネ<大根，CNP ではイネ>大根である．

1965年では PCP>MCPCA>prometryne>CNP の順であるが，とくに MCPCA ではコムギとナタネによって著しい作用力差がみられる．種子作用力においてもこの薬剤の chlorophenoxy 的特性を明瞭にしめしている．

3年の実験結果から各々の粒剤の80%および50%の根長抑制濃度 (RI_{80}, RI_{50}) を算出して示すと第8表のごとくである．PCP-g の RI_{80}，および RI_{50} は 0.1～1.0 *ppm* にあ

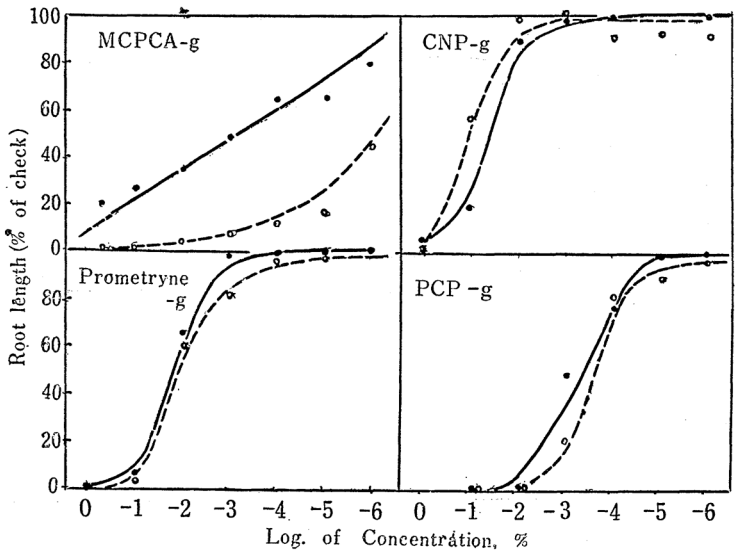


Fig. 9. Relaionship between Log. of concentration and root inhibition of wheat (black) and rape (empty) (1965, Exp. 3).
(black: wheat, empty: rape)

Table 8. RI_{80} and RI_{50} of five herbicides used.

Herbicide	RI_{80}		RI_{50}	
	(Rice, or wheat)	(Rape, or daikon)	(Rice, or wheat)	(Rape, or daikon)
PCP-g	0.71	0.40	0.089	0.10
MCPCA-g	177.8	1.59	7.09	0.04
Prometryne-g	28.2	15.9	2.82	2.53
NIP-g	89.1	31.6	2.00	7.08
CNP-g	25.1	50.2	3.16	7.94

Notes: Obtained from Figs. 6, 7, and 8 data.
RI_{80} and RI_{50} are the concentrations in ppm, required to reduce the length of roots by 80 and 50%, respectively.

り，種子作用力はきわめて大きい．MCPCA-g ではイネ科と広葉とで著しい差がみられる．しかし，Prometryne-g では両グループ作物への作用力に比較的差が少なく 15～30 *ppm* (RI_{80})，2～3 *ppm* (RI_{50}) である．

また NIP と CNP とではイネ科と広葉作物とでは根長抑制濃度が逆の相対的関係にある．すなわち，イネ科に対して CNP の方が強く作用する．また，総合した抑制力は CNP>NIP の傾向がみられる．実際ほ場条件下において，未発生種子の殺草力，イネの発芽障害が CNP の方が NIP より大きいことが観察された (*48*) が，上記の特性と相関連するものと考えられる．従来，種子作用力の濃度については，近江 (*54, 55*) はソバを用い PCP 水溶液については 50 %阻害が約 1.8 *ppm* であり，本実験と大体一致するが，土壌中の NIP の発芽阻害については 50 %阻害 400～500 *ppm* としており，筆者らの 7～20 *ppm* よりかなり高い値である．おそらくこれは実験方法のちがいによるものであろう．

また本実験の RI_{80} 値は，実際ほ場の湛水下に散布された薬剤が，湛水量に充分混合，または溶解した濃度とは必ずしも一致しない．これは，実際ほ場の殺草力が種子作用力のみでなく，土壌との不活性化，残効，移動，その他の要素によって規制されるためであろう．

3. イネ苗への根部処理作用性

移植水稲作における土壌処理除草剤のイネ苗への作用は，主として根や葉鞘基部，あるいは両者を通して行なわれる．しかし，実際のほ場においては作用の発現，強弱は栽培法，気象条件，土壌条件，とくに土壌中の残効，移動性が関与する面が大きい．ここでは土中行動を度外視した場合のイネへの作用性，すなわち根をとおしての作用様相を観察し，被害診断，薬害発生機作を知るための一知見とした．

1）イネ苗の葉部への影響

実験1．供試薬剤，および濃度は PCP 粒（a 濃度: 200 *ppm*, b: 20, c: 2), Prometryne 粒 (a: 10 , b: 1), DBN 粒 (a: 20, b: 2), NIP 粒，および CNP 粒 (a: 50, b: 5), MCPCA 粒 (a: 15, b: 1.5) であり，三角フラスコに HOAGLAND 水耕液除草剤液 130 *cc* を入れ，水溶液，または懸濁液状態として，3～4 *L* 期のイネ苗を挿苗して葉部への影響を観察した．実験は明るい室内の平均気温 27～34° 下で行なわれた．6 反覆，調査は葉身部の退色枯化の状態を完全枯化 1.0，異常なし 0 とし，黄化半枯死は ½ 値として面積による枯化率を定量的にもとめて比較した．処理 12 日目の葉位ごとの枯化の状態は第 10 図のごとくである．

PCP では a，b 濃度では急速に青枯れ症状となり，枯死する．c 濃度では古い葉位からやや順次に枯化してゆく．Prometryne では 7 日目ごろから退色枯化し，12 日目には供試全葉とも完全に枯化している．DBN

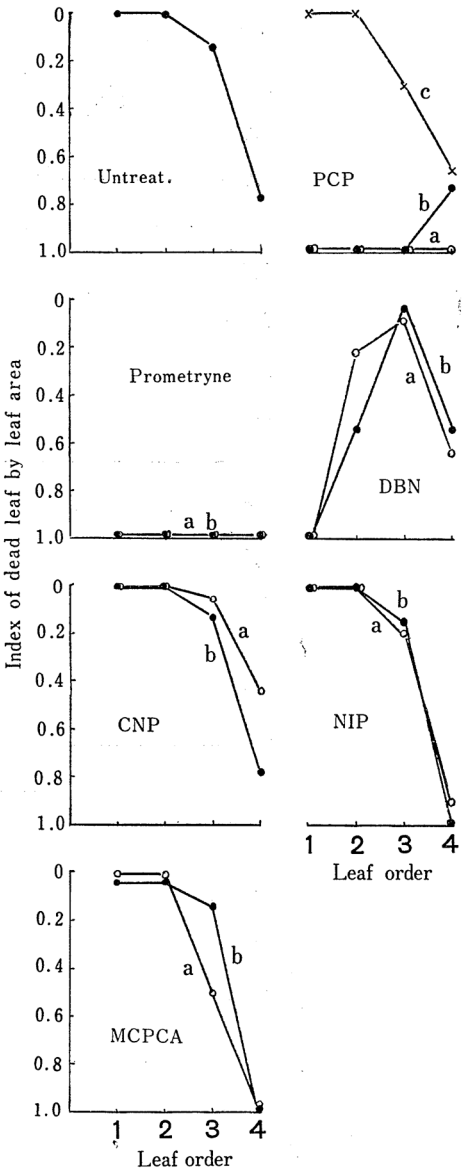
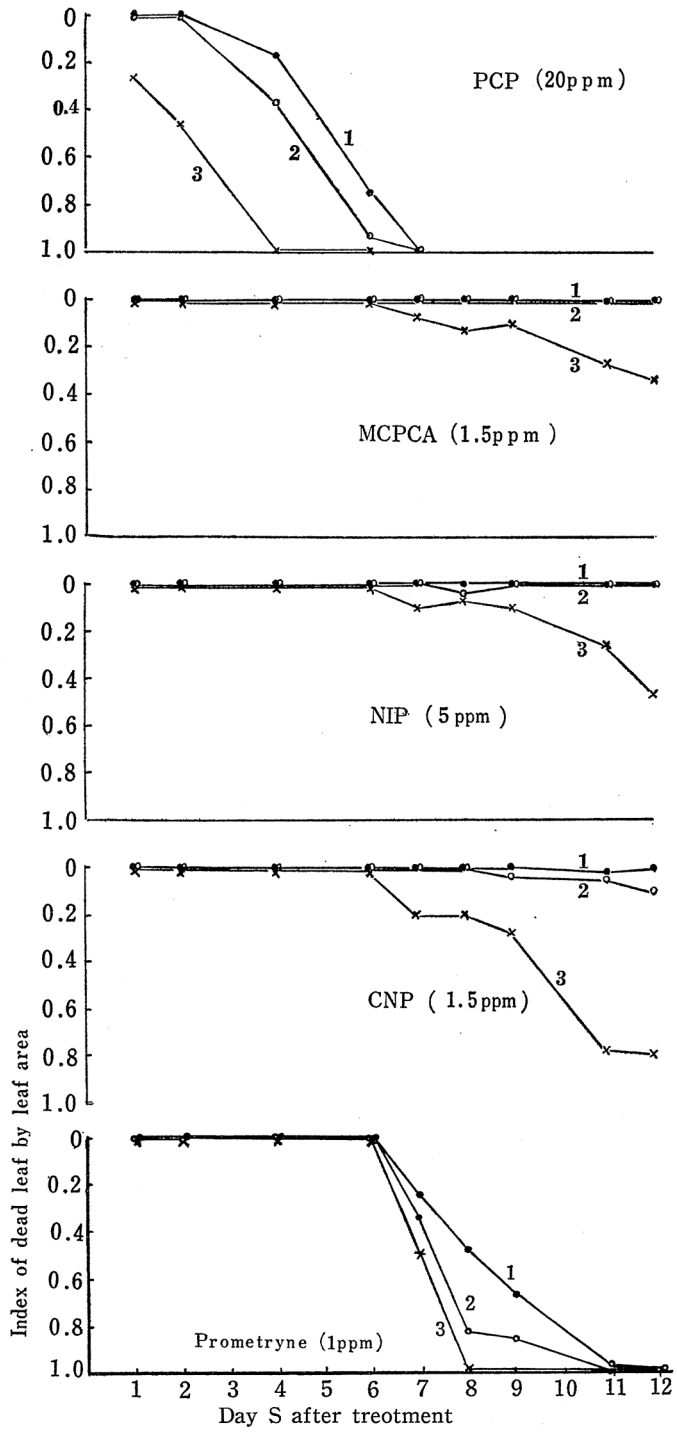


Fig. 10. Comparison on the dead leaf of rice seedlings root-applied with herbicides.
a, b, and c are doses, high, medium and low, respectively. Leaf order, 1 to 4, is the young to the old.


PCP (20ppm)
MCPCA (1.5ppm)
NIP (5ppm)
CNP (1.5ppm)
Prometryne (1ppm)
Index of dead leaf by leaf area
Day S after treotment
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

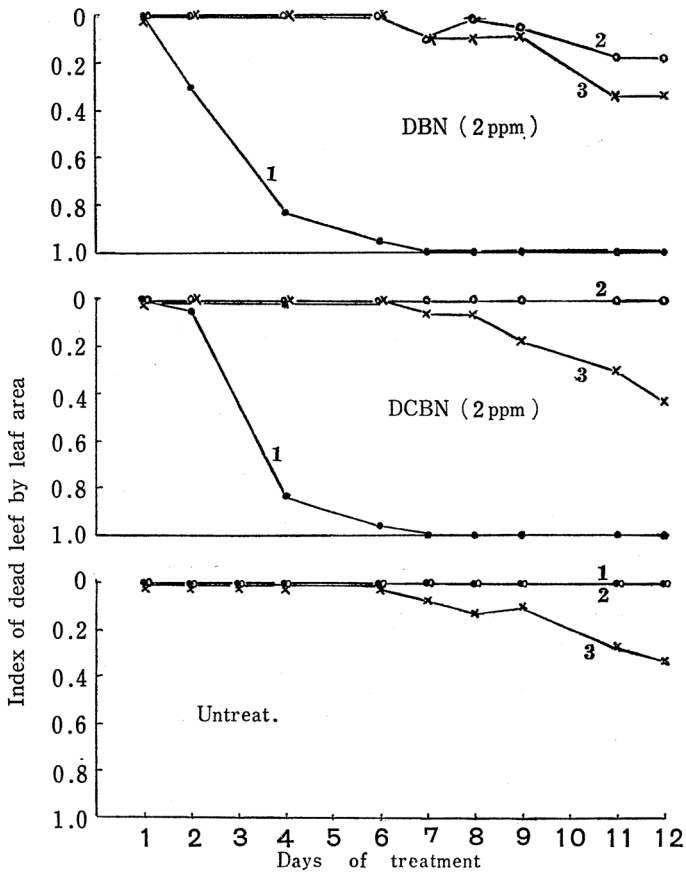


Fig. 11. Change in dead leaf of rice seedlings root-applied with herbicide in water culture solution.
Leaf order, 1 to 3, shows the young to the old.

では若い生長中の葉から枯化しはじめ，急速に退色青枯状にすすむ．他方，残余の葉はやや遅れて古い葉から退色枯化してゆく，従って12日目には生長中の葉の次位のものが最も枯化の遅れた状態で残存している．a, b 濃度の差はほとんどみられない．

NIP, CNP の根をとおしての葉の枯化におよぼす影響はきわめて少なく，無処理に比べて古い葉の枯化が若干著しい程度である．MCPCA では古い葉位から枯化はすすむが，NIP, CNP についで根部処理の地上部におよぼす影響は少ない．

実験2, 前と同様な方法で経時的変化を更に確認した．イネ苗は 4.3～4.7L 期，28～32°C 下で，コイトトロンにより，濃度は前実験の b のみについて3反覆で行なつた．(第11図参照)．

PCP では1日目から枯化しはじめ，古い葉から若い葉の順にすすむ．症状の進展は急速であり，7日目には供試3葉とも全く枯死する．MCPCA では前実験と同様に葉の枯化は少なく，7日目ごろから古い葉の葉先枯れがみられる．

NIP, CNP では7日目から古い葉より症状が現われるが，その進展は CNP が若干速い傾向がみられる．Prometryne では7日目から古い葉より症状が現われてくるが，その後の2～3日間に葉位間の差は比較的少なくなり，一せいに葉先，または展開部にはじまり，退色黄化，白灰色化して枯化してゆく．DBN, DCBN は前実験でもみられたごとく，若い中心葉では2日目から，古い葉では7日目ごろから反応が現われてくる．中心葉の症状は急速強制枯化の状態であるが，他葉では退色，色沢も不健全な状態となり枯化してゆく．

以上の2実験により，根部へ処理された除草剤の葉部の枯化への第一次的反応は，薬剤の種類，系統によって明らかに異なっている．これは各剤の作用機作，吸収，転流機構などの生理的，生化学的な差によるものと考えられる．しかし，実際のほ場における葉部への薬害反応は，この第一次的反応に加えて，養分吸収阻害などに基づく二次的反応が現われて，やや多岐にわたる症状をしめすものと考えられる．

2）イネ根への生態的影響

実験1，供試7薬剤のイネ苗の発根力におよぼす影響を観察した．水耕除草剤液（濃度は第9表参照）にイネ苗 4.0 *L* 期，旧根を切断して浸漬し，明るい室内，平均気温 27～30°*C* 下に放置し，7日目の発根状態をみると第9表のごとくである．

Table 9. Comparison of rooting activity in rice seedlings immersed in herbicide solution (Exp. 1).

Plot	Concent.	Number of roots emerged	Length of root emerged	% of dead leaf by area
PCP	20 *ppm*	0**	0** *cm*	90.0**%
MCPCA	1.5	4.6**	0.28**	27.2**
Prometryne	1.0	5.6	6.50	0
NIP	5	7.2	5.10**	10.0
CNP	5	5.4*	7.08	2.6
DBN	2	0**	0**	41.6**
DCBN	2	0.2**	0.02**	43.4**
Untreat.	—	8.2	6.82	0
LSD	5%	2.3	1.12	13.4
	1	3.1	1.51	18.1

Notes: Values are average of 5 replications. Single and double asterisks show the significance of 5 and 1% levels to untreated check, respectively.

発生新根数，新根長とも著しく抑制されるのは DBN, DCBN, PCP である．PCP では急速な葉枯れと併行して，地上部エネルギーも失われて全く発根能力がなくなると推定される．DBN, DCBN では根発生原基への被害作用が大きいようである．MCPCA では根原基，形成層は若干動きはじめるが，その後の伸長が阻害され，異常根的症状を呈し，根長がきわめて短い．NIP, CNP, Prometryne は若干抑制的であるが，それほど著しくない．

実験2．前実験にひきつづいて供試濃度を2階梯として，再実験を行なった．明るい室内，平均気温 17～21°*C*，5日目の結果は第10表のごとくである．

結果は本質的に前実験と同様であるが，NIP では高，低濃度による影響の差が全くみれらないのに反して，Prometryne では高濃度による根長の抑制がかなりみられる．

Table 10. Comparison of rooting activity in rice seedlings immersd in herbicide solution (Exp. 2).

Plot	Concent.	Number of roots emerged	Length of root emerged
PCP	200 *ppm*	0**	0** *cm*
	20	0**	0**
MCPCA	15	4. 0**	0. 13**
	1. 5	8. 0**	0. 13**
Prometryne	10	13. 3	1. 47**
	1	12. 0	3. 07(*)
NIP	50	14. 0	3. 30(**)
	5	15. 3	3. 00(*)
DBN	20	0**	0**
	2	0**	0**
Untreat.	—	14. 0	2. 55
LSD	5%	3. 87	0. 43
	1	5. 28	0. 58

Notes: Values are average of 3 replications. See Table 9. Parenthesis shows reverse significance.

実験3． イネ苗 4～5 L のものを用い，28～30°C 下での，自然日光下における発根状態，および根形態への影響を再解察した．発根状態についての6日目の調査結果は第11表のごとくであり，いままでの結果と異なる点は Prometryne, NIP とも高濃度では抑制がみられることである．両剤の作用が光を必要とするといわれていることから，本実験が光条件下で行なわれたためであろうか．また，本実験では側根の発生状態も測定したが，結果は一次根のそれと同様な傾向であった．

Table 11. Comparison of rooting activity in rice seedlings immersed in herbicide solution (Exp. 3).

Plot	Concent.	Number of roots emerged	Length of root emerged	Percent of root with lateral roots
PCP	200 *ppm*	0**	0**	—
	20	0**	0**	—
MCPCA	15	1. 75**	0. 10**	0
	1. 5	2. 00**	0. 15**	0
Prometryne	10	5. 00*	1. 23	15. 0
	1	7. 50	3. 18(**)	13. 3
NIP	50	7. 00	1. 70	3. 5
	5	7. 25	2. 30	24. 1
DBN	20	0. 25**	0. 03**	0
	2	0**	0**	—
Un-treat.	—	7. 63	2. 05	21. 8
LSD	5%	1. 87	0. 77	
	1	2. 54	1. 05	

Notes: Values are average of 4 replications. See Tables 9 and 10.

つぎに薬剤の根の外部形態への影響をみると，MCPCA では亜先端部が肥厚し，淡褐色化し，根毛が 0. 3～1. 0 *cm* 位のところにそう生している．根毛の長さは 0. 5～0. 6 *mm* 位である．PCP では全体的に白色，ないし淡褐色化し，根毛はほとんどみられない．根表面のつやがなく，活性をそう失した外観を呈する．

Prometryne では根毛が供試材料の50%に発生している，しかし，部位的に MCPCA

のように限定されることなく，全般的であり，その長さは短い．DBN では先端より 0.5～1.0 *cm* 部位が濃褐色化，肥厚し，側根の発生はなく，根毛もすくない．NIP では無処理区との差がほとんどなく，根毛も全般に発生している．

実験4．発生した新根に対する影響をみるために，イネ苗 2.0～2.7 *L* のものを用い，標準薬剤濃度(b)に浸漬し，その後の根伸長，その他について観察した．

根の伸長状態を図示すると第12図のごとくであり PCP, DBN, MCPCA では処理後5日目までほとんど伸長しない．これらは，薬剤の直接的な作用によるものと考えられる．CNP は無処理区とほとんど同じ伸長速度で経過している．これに対して Prometryne は3日目ごろから若干の伸長抑制がみられる．

また上記の過程における根形態におよぼす影響は本質的には実験3と同様であるが，DBN MCPCA では斑点状の側根原基のエソがみられる．その数は MCPCA の方が多い(第12図参照)．

実験5．さらに前実験を確認するために，23°*C* 恒温，光条件下で同様の実験を行なった．

MCPCA は5日目以後，おそらく薬効がすくなくなると，肥厚部先端が再伸長し，伸長部には多くの根毛が密生

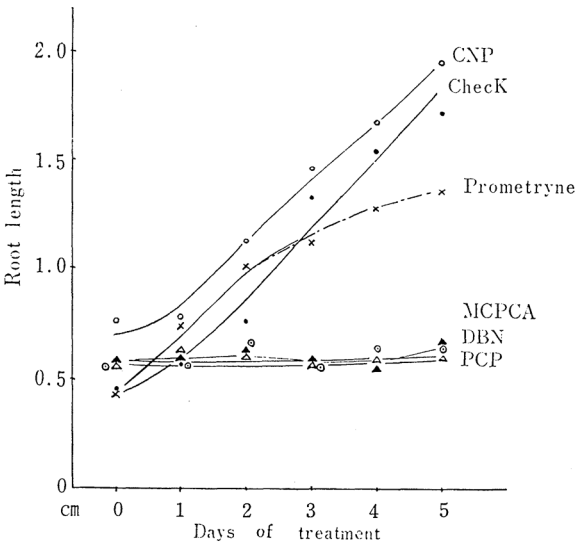


Fig. 12. Root elongation of rice seedlings in herbicide-containing culture media (Exp. 1).

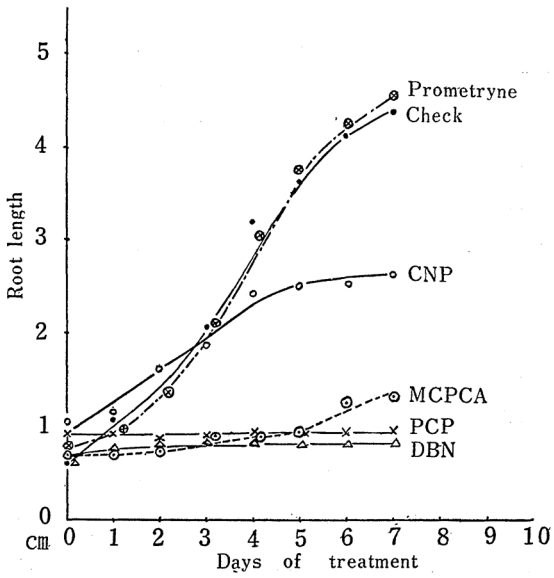


Fig. 13. Root elongation of rice seedlings in herbicide-containing culture media (Exp. 2).

してくる．伸長停止した側根も再伸長してくる．このことから，MCPCA の根の障害作用は組織の表層部に限定され，根形成層にまで達しないもののごとくである．

DBN は障害症状がさらにすすむと，組織のぜい弱化がすすみ，破生し，折損し易くなる．再伸長はみられない．本実験では Prometryne による伸長抑制は全くみられなかったが，CNP では逆に 4 日目ごろから抑制傾向が顕著になった (第 13 図)．

以上の数実験を総括して考察すると，発根力，根伸長に最も著しく影響するものは PCP, DBN, DCBN であり，次いで MCPCA である．Prometryne, NIP, CNP は条件によって抑制的傾向をしめすが，根への障害的影響は比較的少ない．さらに根の形態への影響も薬剤の系統によって明らかな差がみられる．

3）イネ根への解別的影響（予報）

イネ根にたいする各薬剤の組織解剖的影響を，イネ苗を PCP (200, 20 *ppm*)，MCPCA (15, 1.5 *ppm*)，NIP (50, 5 *ppm*) DBN (20, 2 *ppm*)，Prometryne (10, 1 *ppm*) の水耕液に浸漬し，7 日後の状態を，さらに一部 MCPCA については 14 日目の状態を固定，パラフインセクションを主体として観察した．材料は新生根について，先端部および一部中間部についても行なった．各薬剤の typical な反応について予報的に述べる．

DBN においては最も顕著な反応がみられ，外観的にみられた先端肥大部の内部構造では，表皮，皮層，中心柱の細胞が色素に濃染しており，細胞を浸潤的に犯している．おそらく致死細胞化しているものと考えられる．細胞の肥大が全体的にみられる (photo1, A, B, C,)．まれに維管束の plugging がみられた．根中間部では，側根原基が生長停止したままで止まり，一部では細胞間の破生化がみられる (photo1, D, E,)．分裂細胞はみられない．DBN の解剖的観察については MILBORROW (*36*) は細胞内に Melanin 物質の集積，分裂の停止，分裂組織の若干の肥大をのべており，清水 (*63*) はイネ科植物への DBN の影響を観察し，植物体の短大化は細胞の垂直方向の伸長抑制によるとし，細胞膜のぜい弱化，維管束の破生空隙の発生をのべている，しかし低濃度では生長点を阻害しないと報じている．

MCPCA においては，全体的な細胞の肥大がみられる．表皮より根毛の発生が多数みられるが，DBN のような細胞の浸潤症状はみられない (photo F, H)．また一部の根には皮層細胞の破生空隙的な傾向がみられる (photo G)．中間部，および基部には多くの支根発生原基，または濃度がうすくなると分裂像もみられる．MCPCA の組織細胞的反応についての報告はほとんどないが，その作用機作の上から 2・4 D等の phenoxy 系薬剤との類似性が存在するものと考えられる．2・4 Dについてはきわめて多く組織細胞的研究があり，濃度段階によって異なると推定されるが，低濃度では不足根の発生，細胞，根毛の伸長，細胞分裂の活性，proliferation，異常生長等，また高濃度では分裂異常，停止，篩管部の崩壊，致死などが考えられる (*10*)．

PCP においては形態的異常はみられないが，内部的細胞分裂がほとんどみられない．おそらく致死化しているのかもしれない．NIP, Prometryne においては本観察では明らかな異常はみとめられなかった．しかし，atrazine については染色体異常を *Vicia faba* の根細胞について報ぜられており (*74*)，また，atrazine の細胞内の異常，とくに chloroplast への影響については すでに 報ぜられており (*3, 21*)，Prometryne, NIP 等の細胞

第12表　除草剤のイネ根への影響（総括表）

除草剤名	発根力	幼根の伸長力	根毛の発生	分岐根の発生伸長	形態異常	解剖的変化
PCP	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 抑制	±	− ？
MCPCA	＋＋ 30～50%に減少	＋＋～＋＋＋ 抑制再伸長	＋＋ 根毛集中的発生	＋＋ 後期には伸長している	＋＋＋ 肥厚突起褐色化	＋＋ 肥大根毛多発
Promet	−～±	−～± 条件により増加することある	−～± やや少ない	± 若干少ない	−～±	− ？
DBN	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 抑制枯死	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 抑制	＋＋＋ 肥厚突起褐色化破生	＋＋＋ 肥大細胞障害分岐根停止
NIP CNP	−～±	−～± 条件により増加することある	−(～±)	−～±	−～±	− ？

注：−　無処理と差ない
　　±　無処理に比べてビの影響
　　＋　〃　少　〃
　　＋＋　〃　中　〃
　　＋＋＋　〃　甚　〃
　　実用化濃度について考察された。

学的，細胞化学的影響についてはさらに検討する必要がある．

以上のイネの根に対する影響を総括すると，第12表のごとくである．

4.　作用力の温度による変動性

既にのべたごとく1963年の評価試験において，Prometryne 処理区においては薬剤散布後の高温が主因と推定される著しい薬害が発生し，また全国の県農試による適用試験を通覧してみると Prometryne の薬害は西南暖地に発生しやすいことが知られた(*51*)．従って，高温によって作用力が増大し，薬害を助長することは暖地において除草剤を普及させる場合に一つの大きな問題となる．ここに供試低毒性除草剤，および PCP の作用力の温度による変動を実験的に確認せんとして一連の実験を行なった．

1）温度変動性の比較

実験1，　供試除草剤は第13表にしめした5剤，薬量を2階ていとし，温度条件としては12時間切換えとし，25～35°*C* (H 区)，20～30°*C* (M 区)，15～25°*C* (L 区) を設けた．処理時のイネの生育は草丈 35 *cm*，葉令 6.0，葉数 2～3，2反覆とし，イネへの影響を処理後7日目に調査した．実験は1964年10月コイトトロンで行なわれた．

結果．　薬害の発生は Prometryne の高温区において特に著しく，処理後2～3日目より退色，葉枯れが著しくみられる．中，低温区と温度が低くなるにつれ症状は軽くなってくる．これについで MCPCA の高温区では，分けつ抑制，葉先枯れ，根部の異常などが見られ，温度による差は Prometryne について大きいと推定される．これら2剤に比べて NIP，PCP，DBN の温度による差は少なく，とくに DBN では高温区の方が優っている傾向がみられる，これはこの薬剤は volatility が高く (*35*)，低温区の方が残効がながく，作用濃度が高くなったためと推定される．薬害状態，茎数の比較のためのデータは前報(*40*)で報じたが，温度変動性をしめす一つの指数として，低温区の対無処理区比（L）に対する，中温区，高温区の対無処理区比（各々 M, H, とする）の減少率を，中，高温区

Table 13. Index of the variation of rice response to herbicides, as influenced by temperatures (1964).

Herbicide	Dosage *g/a*	Visible symptom	Plant height	Number of stems	Total plant Wt.
PCP-g	150	0	−2.3	1.5	4.8
	75	0	−2.0	−4.0	10.0
MCPCA-g	8	25	−7.8	23.6	−1.9
	4	25	−2.1	2.9	26.6
NIP-g	30	0	−0.9	1.6	1.4
	15	0	−2.6	−3.8	9.8
Prometryne-g	8	60	16.2	47.1	43.9
	4	45	22.8	42.6	58.0
DBN-g	10	−40	−16.5	−2.5	−40.6
	5	0	−4.9	−25.8	−24.3

Notes: Index was obtained from follows:

$$\text{Index} = \frac{(L - M/2) + (L - H)}{L} \times \frac{1}{2} \times 100$$

L: % of untreated check at a low temp., 15～25°C
M: 〃 moderate., 20～30
H: 〃 high., 25～35
Negatives indicate superiority at higher temperatures.
Codes for visible symptom;
6: killed　2: slight
5: very severe　1: very slight
4: severe　0: harmless
3: moderate

で重みづけて，示すと次のごとくである．

$$\text{高温反応性指数} = \frac{(L - M)/2 + (L - H)}{L} \times \frac{1}{2} \times 100(\%)$$

算出結果は第13表のごとくであり，いずれの形質によっても明らかに Prometryne の値が高く，温度変動性が大なることをしめしている．ついで MCPCA である．草丈，茎数，全重の3形質問では全重量による値が最も適切に温度変動性をしめしているように思われる．

実験2，次に発生直後のヒエに対する殺草力の温度による差を観察した．供試除草剤は第14，15図にしめした6剤，薬量は2階ていとし，温度条件としては 12 *hs* 切換の 25～32°*C* (H 区)，20～26°*C* (M 区)，15～18°C (L 区) を設けた．処理時のヒエは草丈 2.17 *cm*，葉数 0.68 の発生直後の時期であり，2反覆とし，処理後9日目に全く障害のないものを対象とした場合，および退色，生育停止のものも含め残存しているすべてのものを対象とした場合の結果を第14，15図にしめした．

結果．全般的にみて，DBN の低量区を除いて，高温ほど殺草力はたかい．その差の程度は Prometryne が最も大きく，ついで MCPCA であり，PCP も本数ではかなりの温度による変動がみられる．これら3薬剤に比べて NIP，CNP の温度差はすくない．DBN では中温区の作用が最大の傾向がみられる．DBN 高温区では蒸気圧により残効が短くなったため，また低温区では 20°*C* 以下であり，作用力が劣ったため，中温区が最大の抑草力をしめしたものと考えられる．NIP と CNP 間では重量調査では本質的な差はみられないが，本数のそれでは CNP の方が若干温度差が大きい傾向がみられる．

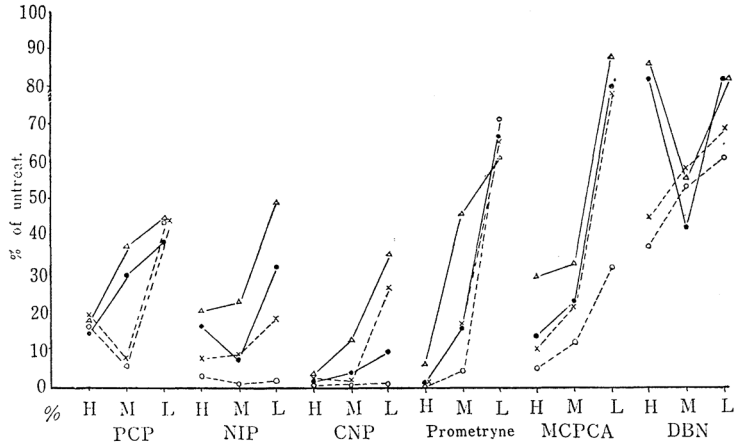


Fig. 14. Weeding activity of herbicides on barnyardgrass at three different temperatures, indicated by remaining weight (1964)
Solid and broken lines indicate low and high doses, respectively. Black and empty marks are the data evaluated for no-injurious grass alone, triangular and cross marks are for all remaining grass.

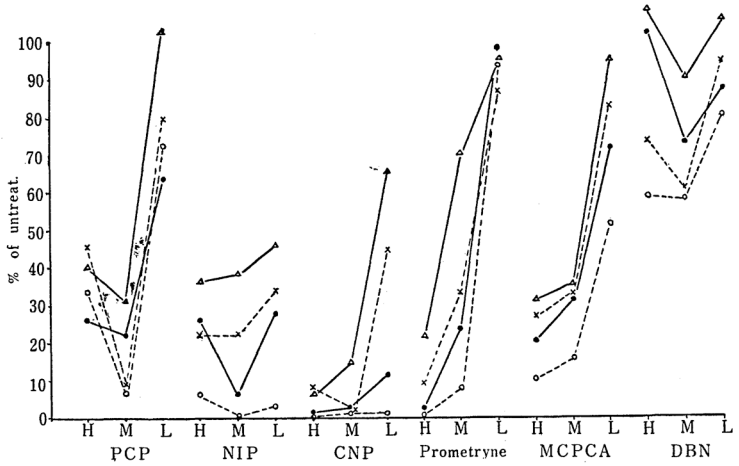


Fig. 15. Weeding activity of herbicides on banyardgrass at three different temperatures, indicated by remaining number (1964). See Fig. 14.

以上のごとく土壌処理した場合の除草剤の作用力は温度，とくに高温によって増大する．その程度は除草剤の種類によって異なっており，イネへの薬害は高温により Prometryne>MCPCA>PCP=NIP≧DBN の順，ヒエへの殺草力は Prometryne>MCPCA>PCP>CNP>NIP>DBN の順に助長される．水田移植水稲用除草剤の温度変動については Prometryne が大きいこと (*2*)，除草効果については 18.5～28°*C* の範囲では温度差がないこと (*38*)，NIP，CNP は温度による変動がすくないこと (*17*) 等の報告があるが，その他茎葉処理剤，また畑作条件についての除草剤の温度による作用力の変動については

かなりの報告がみられる（*9, 13, 23, 25, 31, 33, 40, 64*）．これらの除草剤の作用力の温度による変動は，CURRIER and DYBING (*11*) がのべているごとく，いくつかの過程，要因が考えられ，それが除草剤の種類によって異なっているものと考えられる．

2）イネの薬害と地上部，地下部の温度

温度条件の変動，とくにイネ移植後の気温が 30°*C* 以上の過高になることによって，除草剤，とくに Prometyrne の作用は増大し，イネへの薬害を助長することがわかった．気温の変動は必然的に地下部温度（水温）も変動することであり，ここでは地上部気温と地下部温度とを分けて考え，両者のうちいずれの温度変動の影響が大きいかを実験した．

実験1，地上部気温 20～26° の環境下で，地下部温度をポットごとに一定温の恒温水槽に入れることによって調節して実験した．温度階ていは 35～39°*C* (H)，29～31°*C* (M)，20～25°*C* (L) とし，タムポットに 3.8～4.6*L* イネ苗を移植し活着後処理を開始して，症状が最高になった 10 日目に調査した．2 反覆，供試薬剤，薬量は第 16 図にしめした．

結果．地上部の生体重でみると，温度階ていに無関係に Prometryne, MCPCA, DBN, DCBN では生長抑制がみられるが，温度による変動は，前項において高温による薬害が大きいとされた Prometryne, MCPCA ともに全くみられない．むしろ高温により生長が促進される傾向がみられる．しかし，無処理においてもその傾向がみられるので本質的なものではないであろう．

茎数においては，MCPCA では明らかに減少傾向をしめしているが，その他の区では無処理と同様に高温により増加の傾向をしめしている．従って，供試温度範囲における地下部高温によるイネへの抑制的反応の助長はみられない．

実験2，さらに地上部と地下部の温度との組合せた実験を行なった．タムポットに

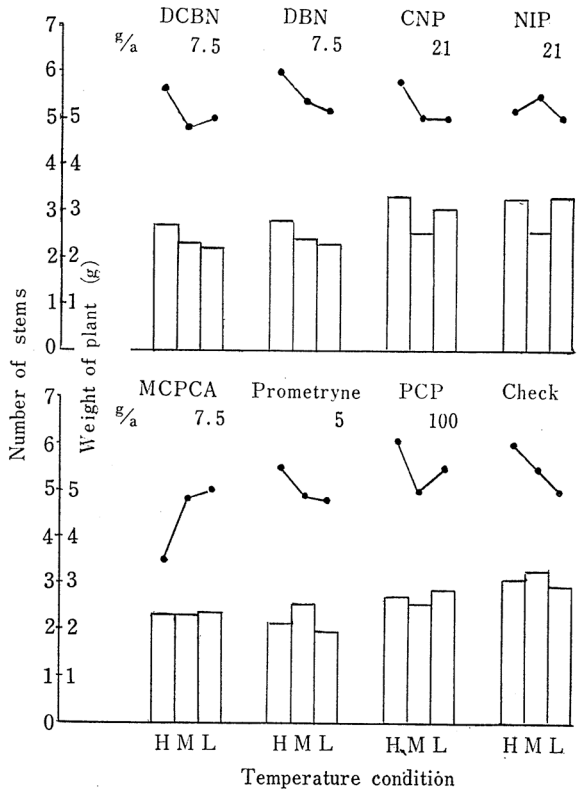


Fig. 16. Influence of underground temperatures on rice with herbicide application by roots.
H: 35-39°C, M: 29-31°C, L: 20-25°C, Air temperature: 20-26°C

2～3*L*, 29～32*cm* イネ苗を移植し，気温はコイトトロンで3階てい，地下部温度はそのままの区と水道水による冷却区とを設けた．すなわち，試験区は第17図にしめした6区である．2反覆．

結果. 葉枯率によって，地上部，地下部の温度の影響を総括してみると，高温による葉枯れの増加はPrometiryneが最も著しく，ついでPCP, MCPCA であり，CNPでは全くみられない．さらに地下部のみの温度の影響を，高地上部温区についてみると，高温区の方が低温区よりも葉枯率はやや大きい．従って地下部温度もイネへの除草剤の作用力の増大に関与することがわかる．しかし総括してみると，それよりも地上部気温の影響の方がより大きいと考えられる．

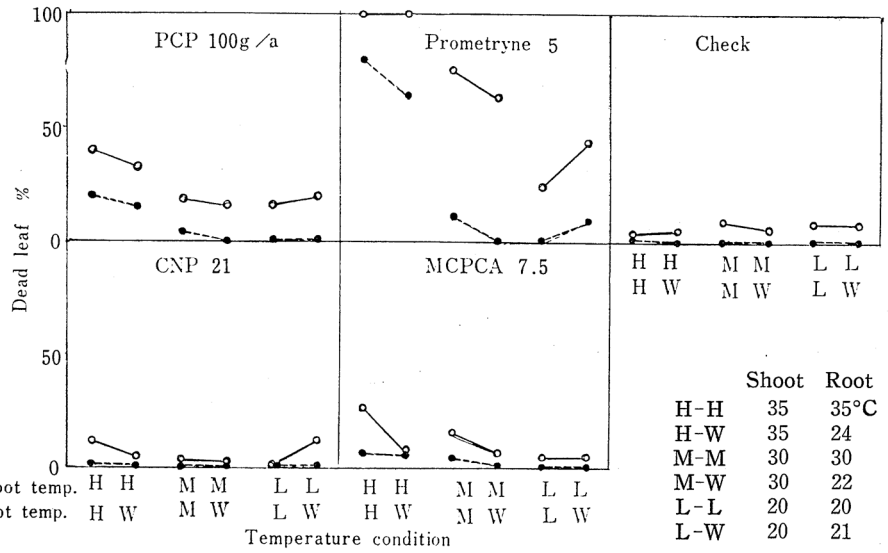


Fig. 17. Influence of shoot and root temperatures on rice seedlings root-applied with herbicides.
Black and empty are the data measured on the 5th and 7th day after the beginning of application, respectively.

以上の2実験から，Prometryne の温度変動性は地下部の温度の差に基づくよりも，地上部の気温の差に基づくものがより大きいと推定される．

3）Prometryne の作用力と蒸散作用

供試除草剤の中では Prometryne の温度変動性が最も大きいことがわかった．元来，*s*-triazine 系除草剤が蒸散作用に基づく mass flow によって植物体内に吸収されること (*20, 59*) はすでに知られており，Prometryne の高温反応が地上部の温度条件に左右されるものが大きいと推定されるとき，その温度が空気湿度を左右し，蒸散量を規定し，ひいては薬剤の吸収に関係することが考えられる．従って，Prometryne による薬害と蒸散作用との関係についての2，3の実験を行なった．

実験1， 三角フラスコに 1 *ppm* Prometryne 液を 120 *cc* 入れ，高温 33～35°*C*, 中温 23～29°*C*, 低温 15～24°*C*, 各々飽和湿度区と乾燥剤によって空気湿度を低くした区

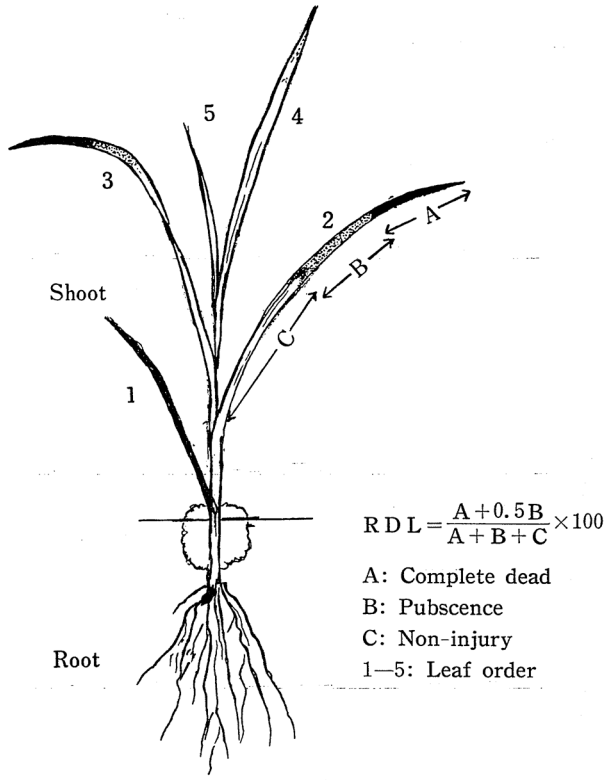


Fig. 18. A method for quantitative estimation of the rate of dead leaf (RDL) in rice seedlings.

とをガラス容器によって設けて，上記フラスコに 2*L* 期のイネ苗を挿して，処理直後の蒸散，および以後の葉枯率（第18図にしめした指数による）を調査した．

処理後2日間の蒸散量は低湿区の方が高湿区よりも明らかに少ない．また，Prometryne 処理区は無処理区より若干少なくなっている．処理後4，8，14日目の葉枯率も低湿区の方が明らかに高く，その差の発現は高温区の方が早い．しかし，さらに日数が経過するとその差は消失してしまう．すなわち，空気湿度の差により蒸散作用が異なり，おそらく体内への Prometryne の吸収が促進され，薬害が早く現われるものと考えられる(19 図参照)．

実験2，Hill 反応阻害的に働く triazine 系，尿素系の除草剤は植物体の蒸散作用を抑制する (*65*, *66*, *78*)，例えば SMITH and BUSHHOLTZ は atrazine について大豆，とうもろこしの蒸散作用が処理後1 h で著しく低下することをのべている．従って，高温条件で処理直後蒸散作用は促進され，薬剤の吸収は早く，多くなるが，そのことがかえって逆に蒸散を抑制するであろうことが推定される．この点を実験的に確かめるために本実験を行なった．

実験1と同様な方法で 31°*C*，23°*C*，14°*C* 下のイネ苗の蒸散量の変化をみると第20図のごとくである．生重 1*g* 当たりの蒸散量では高，中，低温区とも2日目までの低下がき

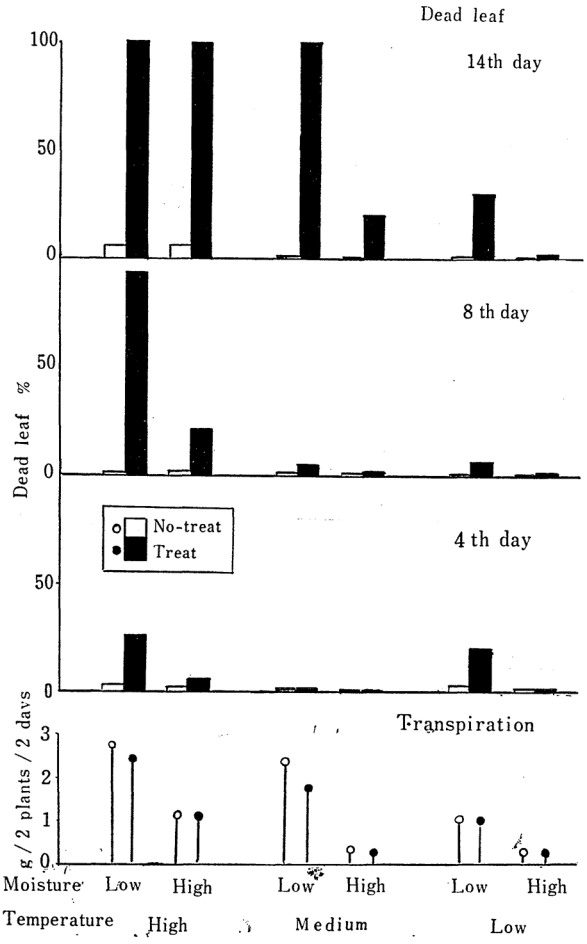


Fig. 19. Influence of atmospheric moistures and temperatures on leaf death and transpiratian of rice seedlings.
Dates are from the starting of prometryne treatment.

わめて著しく，処理前の値を無処理区から推定するとき，高温区ほどその低下度は著しい．したがって，対無処理区比でみても同様な傾向がみられる．このことから高温区では初期により多くの薬剤を吸収するが，ある日時後には葉枯れのために返って蒸散が抑制され，吸収も制限される．これに対して低温区では長く吸収しつづける，したがって絶対吸収量では，triazine 系薬剤の吸収は高温で大きい (*59*) という報告もあるけれども，必ずしも高温区が多いとは考えられない．最近，WHEELER and HAMILTON (*77*) が atrazine の薬害の現われるまでの吸収量は低温の方が高温よりも多いという結果を報じており，上記の考察を裏付けるものである．

要するに温度と蒸散に伴なう吸収との関係は，処理後比較的短い期間の吸収パターンの

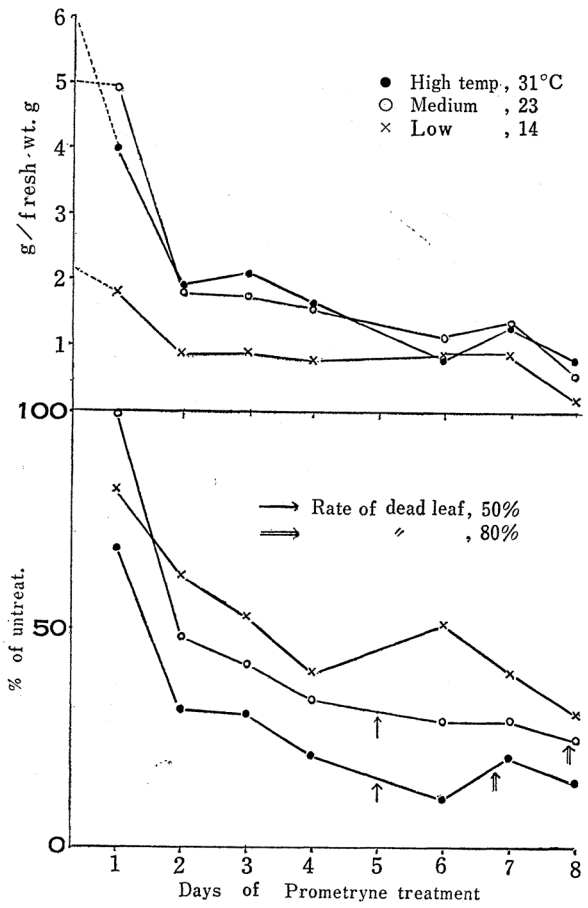


Fig. 20. Changes in transpiration of rice seedlings root-applied in prometryne solution medium.

変動として把うべきものと考えられる．

4）Prometryne の作用時期と薬害

Prometryne による薬害は温度によっての処理後の短期間の吸収パターンの差が関係すると考えられたが，その時期をさらに明確にするために次の2，3の実験を行なった．

実験1，4*L* 期のイネ苗をタムポットに育成し，高温 25～35°*C*，低温 15～25°*C* 下に2日間処理して薬液を除去洗滌し，後各々を½あて再び高，低温に置いて薬害の発現を観察した．供試濃度 0.65 *ppm* についてみると，第21図のごとくであり，葉部の枯化過程．処理開始後11日目の生育量のいずれにおいても処理後2日間の高，低温区間の差の方が，その後の温度差によるよりも大きい．これは処理直後の温度差による吸収量の差が，薬害の発現に大きく作用したためと考えられる．しかし，薬剤除去後の温度による差もみられることから，吸収された薬量が例え同じでも，その後の温度条件によって薬害の発現が異なることも考えられる．

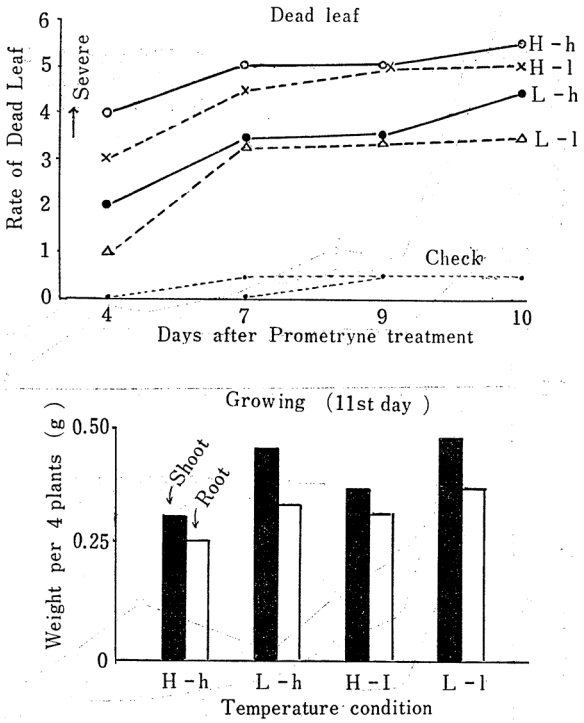


Fig. 21. Influence of temperatures during and after prometryne treatment on rice seedlings.
(H, h: 35-25°C, L, l: 25-15°C. Capital and small letters are "During"-and "After"-treatment, respectively)

F value for Rice Growing

	shoot p.	Root p.
H-L	34.66**	5.36
h-l	3.28	3.84

実験2, Prometryne による薬害は処理開始後数日の条件が著しく関係することから, 処理日数について0から5日までの6区を設けて, 薬害が最高になる限界日数についての実験を行なった. 実験は水耕, 1フラスコ当たり 0.12 *mg*, と砂耕, 1カップ当たり 0.30 *mg* について行ない, イネ苗 3～5 *L* 期のものを供試し, 高温区と低温区の葉枯れ率の変化を比較した. 3反覆, 結果は第22図にしめしたごとくである. 水耕栽培のばあいには高温区では2日, 低温区では3日間の処理で最高の薬害になっている. 砂耕栽培ではその日数はさらに短く, 1～2日である. おそらく処理直後の吸収量の差に加えて, 温度による薬剤そのものの作用力, イネ体内の生理的条件の差などによって, 薬害発現のための温度による処理限界日数の差が生じたものと考えられる.

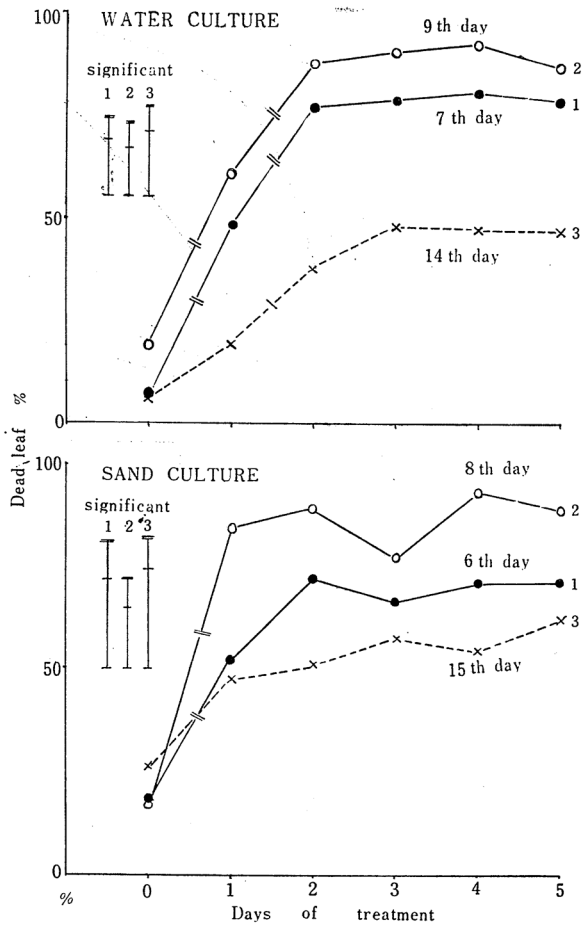


Fig. 22. Relationship between treatment days and dead leaf in rice seedlings root-applied in prometryne solution medium, as associated with temperatures.

Solid and broken are at high and low temperatures, respectively. Dates are from starting of treatment.

実験3， つぎに処理時の条件を同じくし，薬剤除去後の温度が薬害の発現にどのように影響するかを観察した．すなわち，Prometryne 1 *ppm* 液にイネ苗を 25°*C* 下で 24 *hrs* 処理し，培液の薬液を完全に除去して水耕とし，31°*C*, 25°*C*, 18°*C* の温度条件下において葉枯れ率の変化を観察した．3反覆，結果は第23図のごとくである．無処理区の葉枯れの進行は，若干高温区が早いが，温度によるその差は極めて少ない．これに対して，Prometryne 処理のばあいには温度条件によって葉枯れの進行は明らかに異なっており，完全枯化はでは5日目，25°*C* では8～9日目，18°*C* では12日目以後であった．このことから，Prometryne の高温反応性は処理直後の吸収パターンの差以外に，吸収された

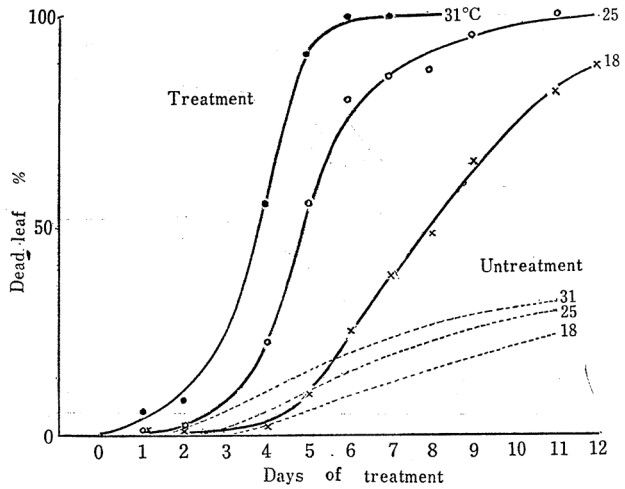
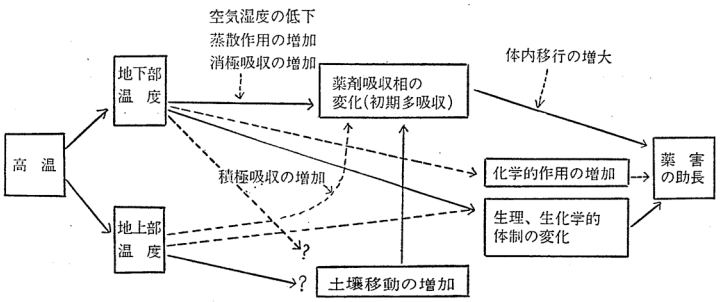


Fig. 23. Variation in the occurence of dead leaf of rice seedlings root-applied in prometryne solution medium, as in fluenced by temperatures.

Prometryne の作用力，または作用されるイネ体の生理的条件の差なども影響するであろうことが再び考察される．

5）Prometryne の高温反応性の機作

Prometryne のイネに対する薬害が，高温によって促進される機構について，以上のべた実験結果を主体として考察すると第24図のごとくである．すなわち，まず高温条件はイネの地上部と地下部との高温に分けられる．薬害の助長にたいしては地上部の高温がより大きい，すなわち，これは高温により空気湿度が低下し，蒸散作用の増大をまねくと考えられる．この場合，蒸散と水分吸収とはきわめて相関的であるが，塩類吸収に対しては必ずしも全く平行的であるとは考えられない (*59*, *68*) という見解もあるが，すくなくとも *s*-triazine 系薬剤については，その吸収が蒸散流に乗って主体的に行なわれる (*10*) ことが知られており，蒸散作用の増大が Prometryne の吸収を促進し，薬害の発生を助長す



第24図. 高温下プロメトリンによるイネの薬害発生機作（仮説）

る．しかし，Prometryne がイネ体にある程度とりこまれると，逆に蒸散作用の急激な抑制がおこり，吸収も低下する．要するに地上部の高温により Prometryoe の吸収パターンが薬害の発生し易い状態，すなわち，処理直後に急激にイネ体に対して toxic に働くように吸収されると考えられる．さらに他方，地下部の高温も積極的吸収に対して促進的に働くことが別の報告 (*27*)，ならびに本実験からも推定される．

吸収された薬剤の体内における移動転流については，Prometryne についての直接的実験データはないが，他の薬剤アミトール (*33*)，2・4D および Benzoic acid (*56*) では高温により転流が増加すると報じられており，Prometryne の体内移動についても高温が促進すると考えてよかろう．

さらに，高温条件が吸収された Prometryne の体内での作用力の増大に関与すること，また高温ではイネの代謝能，不活性化能なども変化し (*40, 77*)，イネの体制が薬剤の影響をうけ易い状態になることが推定される．CURRIER and DYBING (*11*) も folier penetration に伴う温度の影響について薬剤の physicochemical process，植物体の physiological factors，に分けてくわしくのべている．

他方，土中移動については前報 (*46*) ならびに後記するごとく高温によって移動が増大することは考えられない．UBCHURCH (*70*) も Manuron の土壌中での下方移動は逆に低温下の方が大きい結果を実験的にしめしている．

以上のように Prometryne の高温による作用力の増大はきわめて複雑であり，完全な実証のためには吸収量の追跡，イネ体の生理，生化学的変化の追跡を待って結論すべきものであろう．また，Prometryne 以外の比較的温度変動の大さい別系統の薬剤，MCPCA，PCP などについては別の視点から考察してゆかねばならない．

IV 土 壌 中 の 行 動

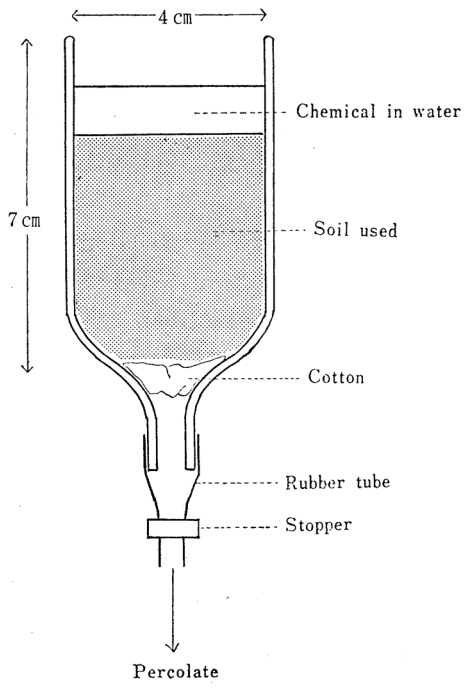
1. 土中移動性

除草剤の土壌中における下方移動性は，除草剤の使用技術，とくに土壌処理のばあいにその適用性を評価するための重要な特性となっている (*31, 43*)．畑地条件下の移動性については自然のほ場を利用する方法 (*42*)，また実験室的な方法によっても比較的その相対的な値の比較は容易である，しかし水田下の湛水状態における土壌中の移動性の実験は，水分が介在するために層別に土壌中の薬剤を検知することは若干困難をともない，また繁雑である．すでに荒井ら (*1*) は円筒分離コラムにより低毒性除草剤，ならびに PCP の移動性を比較したが，筆者らは間接的ではあるが，より簡便な方法として一定土壌による薬剤の吸着保持程度を知り，除草剤の土壌中における移動程度の比較を 1962 から 1966 にかけて行なった．また一部 Prometryne の温度条件に関連した移動性の比較を縦断コラム法によって行なった結果 (*45*) もあわせ報告する．

実験方法．第 25 図にしめしたようなガラスシリンダー装置を利用し，土壌の一定量 (風乾重 25 *g* ないし 30 *g* 各年次では均一量) を充塡し，一定濃度液 (Bioassay における根長抑制率約 80 %液) を 20 *cc*，ないし 30 *cc* を注入し，吸着を完全にするため 12 *hrs* 以上静置後，ピンチコックの調節により均一に徐々に透下させる．透下液には土壌に化学的に吸着されたもの，土壌層に物理的に保持されたもの以外の薬剤量が含まれていると考え

Table 14. Index for downward movement of

Herbicides	1962				1863						
	L		V		T1. L		T2. L	T3. L		V	
	W	R	W	R	W	D	W	W	R	W	R
PCP	0.84	0.98	0>	0.04	0.59	—	*	*	*	0.10	0.08
MCPCA	0.95	0.96	0.25	0>	0.93	0.97	0.71	0.75	0.93	0.80	1.00
NIP	0.68	0.38	—	—	0.16	0>	0.38	*	*	*	*
CNP	—	—	—	—	0.18	0.39	0.34	*	*	*	*
Prometryne	0.68	0.71	0.05	0.23	0.21	0.31	0>	0.74	0.47	0>	0>
DBN	0.98	0.94	0.33	0.31	0.92	0.16	0>	0>	0.11	0>	0.03
DCBN	1.00	0.91	0.97	0.89	*	0.91	1.00	1.00	0.96	1.00	0.96



Fig, 25. A glass cylinder equiqment for determining the ads orptive-retention activity of herbicide in the soil.

られる．原液，透下液の薬剤量をナタネ，コムギ種子を用いて生物検定し，各々の根長抑制率を A, B とし，指数 B/A 値を移動指数とした．この数値の範囲は0，ないし1であり，0の場合には移動がきわめて少ないことをしめす．移動指数 B/A 値を一括してしめすと第14表のごとくである．

結果. 1962, 63年には冲積埴壌土，洪積黒色火山灰壌土をもちい，6剤間の比較を行なった．一般に除草剤の移動，薬害が土壌有機物含量に支配されることが大きいことは知られており (*35, 43, 61, 71, 72,*)，本実験でも有機物を多く含んだ黒色火山灰土よりも埴壌土での移動性が大きい．とくに供試薬剤のうちでは，DBN, MCPCA, PCP, Prometryne における土壌間の差が顕著である．

1965年には温度条件 35°*C*, 25°*C* の2階ていとして実験した．除草剤の移動性が温度により溶解度 (*43*)，土壌吸着 (*52*) などが変化して，高温により移動しやすくなることが考察されているが，本実験では，むしろ PCP, NIP, Prometryne の移動値は低温下の方が大きい傾向がみられる．このことは Prometryne についての縦コラム式による移動程度の比較においてもみられるところであり (*46*) (第26図参照)，また UPCHURCH (*70*) はMonuron の土壌中での下方移動も低温下の方が大きい結果をしめしている。おそらく除草剤の移動性は残効性とも間接的に関係する，すなわち土壌中の残効が低温により長くなったため，移動量も多くなったものと考えられる．

herbicide by means of "Percolation Method".

				1965								1966	
T4. L		V		T1. L				T2. L				L	
W	R	W	R	W l	W h	H l	H h	W l	W h	R l	R h	W	R
0.20	0.63	0.01	0>	0.27	—	0.83	0.40	1.00	0.86	0.45	0.14	0.33	0.42
0.52	0.96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.92	1.00
0.66	0>	0>	0>	0.43	0.29	0.57	0.19	0.13	0.26	0.29	0.21	0.36	0.30
*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—	—	0.39	0.35
0>	0>	0.23	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0>	0>	—	—	0.99	0.97	0.99	0.98	0.20	0.14	0.16	0.19	—	—
0.99	0.93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Notes: * impossible to measure, —no test. "L" and "V" are clay loam and volcanic ash soils, respectively. "W" "R" and "D" are test plants, wheat, rape, and daikon respectively. "l" and "h" are low and high temperatures, respectively. All experiments were conducted during summer seasons.

Table 15. Summarized comparison on the downwards movement of herbicides in the clay loam soil.

Herbicide	Mean, B/A value	Degree of movement
PCP	0.58	Med. ～Small
MCPCAP	0.86	Large～Med.
rometryne	0.35	Small
NIP	0.33	Small
CNP	0.33	Small
DBN	0.46	Large, or Small
DCBN	0.94	Large

Notes: This result was obtained from 1962～'66 experiments.

4ヵ年の実験をつうじて，薬剤間の相対的な移動値の比較を埴壌土についてみると第15表のごとくである．PCP の移動性は「中～小」である．PCP は土壌に吸着され易く，移動に基づく薬害は少ないとされているが，実験室的に測定される移動性は必ずしも小さくない．薬害の懸念の少ないことは，残効が短く，回復が早いということも関係している．MCPCA の移動性は比較的大きく，これが使用技術上の制限要素となっている．NIP, CNP はほとんど差なく移動性は「小」と判断される．NIP は土壌吸着が大で，移動が少ないことは荒井(*1*)，漆原(*73*)，井田(*28*)によってものべられている．Prometryne の移動も「小」であることは荒井(*1*)その他(*82*)の報告にもみられることであり，土壌吸着は他の *s*-triazine 系に比べて最も大きいとされている．

DBN については有機物の多い土壌での移動が少ないことは，それへの吸着が大きい(*35, 37*)ことから推定されるが，埴壌土のみの実験についてみても実験条件による変動が大きい．おそらくこの薬剤の volatility が高いことから，散布方法，散布時，あるいは散布後の条件によって薬剤の行動が変化し易く，従って移動性も変動し易いのではないかと考えられる．DCBN の移動性は供試薬剤中もっとも大きい．以上のべた吸着保持力をベースとした薬剤の移動性の相対的関係は塩化ビニールコラム法で行なった荒井(*1*)らの結果と本質的にはきわめて似ている．

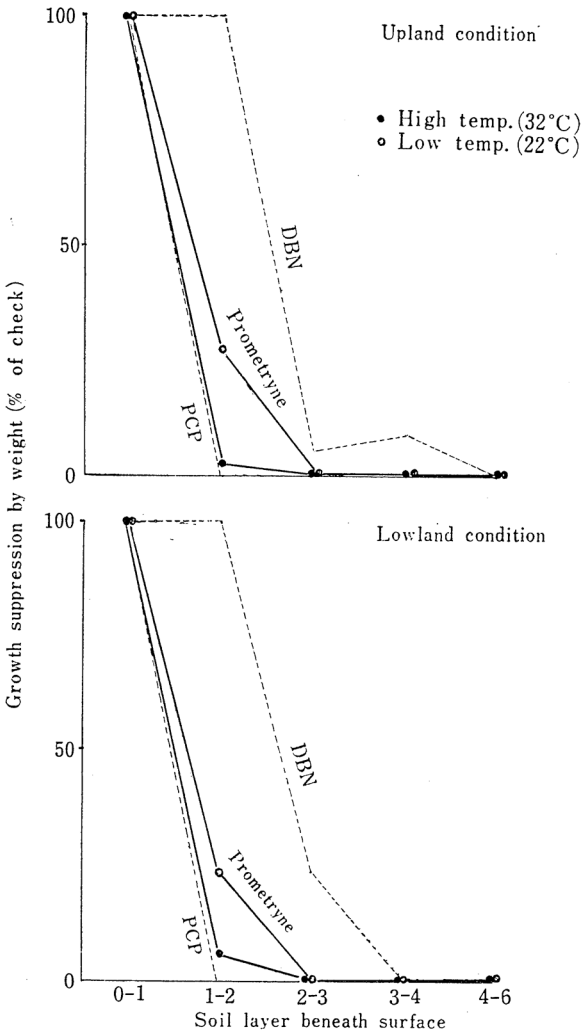


Fig. 26. Downwards movement of Prometryne as related with temperatures and land conditions.

Wheat seeds were used as a test plant of bioassay.

2. 土中残効性

除草剤の土壌中における残効性は抑草期間の長短，作物への影響の程度に関係し，また間接的には土壌中の移動とも関連する除草剤の特性として重要な一性質である．この残効性にたいしては，移動性と同様に多くの要素が関係し(*43*)，条件によって変動するものであるが，ここでは供試7薬剤の冲積埴壌土における残効性の相対的関係を知らんとして2，3の実験を行なった．

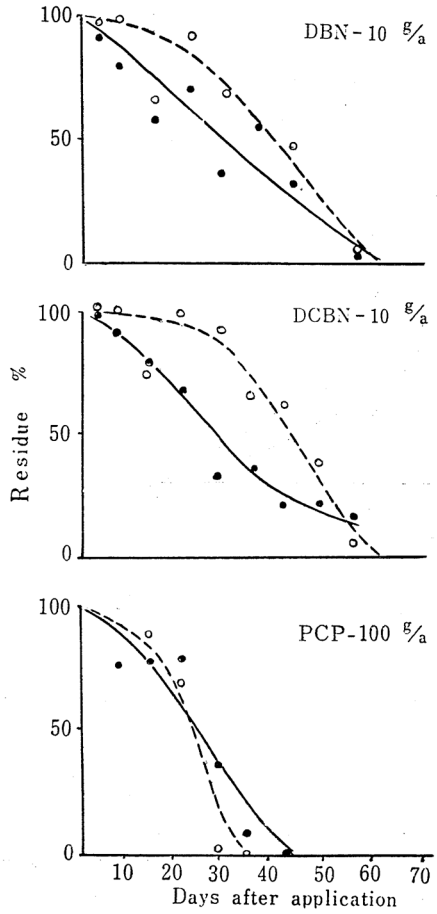


Fig. 27. Residual activity of three herbicides, measured by the root lengths of rice and daikon (1963).
Black: rice, empty: daikon

実験1，1963年，10 *cm* 径シャレーを用い，薬剤散布後湛水条件として，7日ごとにシャレー内の薬剤量を，検定植物としてイネ，ダイコン種子を用い，置床後5日目の根長測定によって検定した．PCP，DBN，DCBN についての結果は第27図のごとくである．PCP に比べて DBN，DCBN ともに残効期間はながく，半減期間 PCP で25日とすると，DBN，DCBN では1.4，ないし1.5倍である．しかし，ナタネでみると，DCBN が若干長い傾向がみられる．DBN は土中移動性の場合と同様に，土壌による吸着，不活性化の変動が大きく，また volatility が高いことは土中残効も変動し易いことが推定される．

実験2，Prometryne，NIP，CNP はすでにのべたように根部への作用が低く，種子からの根長抑制率によって薬剤量を検出することは困難であり，またフレも大きい．1966年にはイネを検定植物とし，その生長抑制率によって残効を比較した．すなわち，10 *cm* 径タムポットに沖積埴壌土を充填して湛水し，薬剤散布後硝子室内に置いて，一定間隔ごとにイネを播種して，15日後の生長量を調査して，対無処理区比率を算出した．結果は第28図のごとくである．

供試4剤のうちでは PCP が最も短い，生体重による薬剤の半減日数は PCP に比べて Prometryne が最もながく，約2倍である．NIP，CNP は約1.3倍であり，この両者間の差はほとんどみられない．

Prometryne の残効が長いことはすでに報ぜられている(*1*)．残効には土壌吸着，微生物分解が関係する，しかし，光分解，vapor による消失の意義は明らかでないとされ，*s*-triazine 系の methoxy，Cl 系に比べると残効は短いとされている(*82*)．NIP については荒井らは Prometryne とほとんど同じ残効をしめしており，本実験結果と異なっているが，その原因については明らかでない．また，NIP と CNP の比較については，光分解は CNP>NIP，水中溶出速度は NIP>CNP，であるという報告がある(*73*)が，両者の厳密な比較は今後の問題であろう．

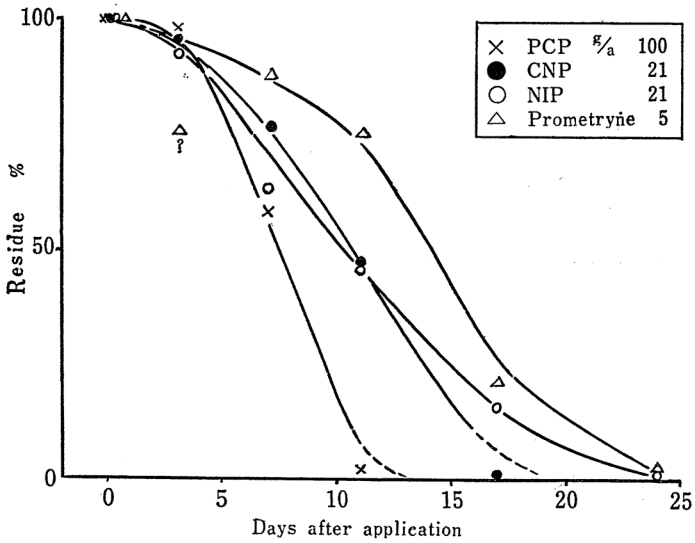


Fig. 28. Residual activity of several herbicides in the soil, measured by the weight of rice seedlings as a test plant (1966).

実験3, 除草剤の残効性に関係する環境要素としてはまず温度があげられる. 温度は土壌中の薬剤の微生物分解, 化学的分解, 吸着性, その他を支配し, 土壌中の残効性に影響をおよぼすものである. ここでは PCP, Prometryne, MCPCA について 20°C, 35°C 下における残効性をコムギ, ナタネ, キュウリを検定植物として, 置床後 14 日目の生体重により抑制率を出して, 半減日数で比較すると第16表のごとくである.

いずれの薬剤でも高温 35°C 下の方が, 20°C よりも半減日数が減少している. 3剤間の比較では PCP が 10～20 日で最も短く, ついで MCPCA, Prometryne の順であり, 各々 1.8, 1.5 倍である. 荒井ら (1) は湛水下の MCPCA の残効は PCP と大差ないとしているが, 本実験では PCP よりもかなり長い.

Table 16. Number of days required to 50% reduction of rice seedling weight (1967).

Herbicide	Dosage g/a	Temp., 20°C			Temp., 35°C		
		Wheat	Rape	Cucumber	Wheat	Rape	Cucumber
PCP-g	75	—	17	13	—	10	13
	225	22	22	23	20	16	21
Prometryne-g	4.5	34	29	26	21	19	20
	13.5	40<	40<	40<	38	27	30
MCPCA-g	7.5	25	27	16	19	17	17
	22.5	35	40<	40<	27	35	30

Notes: Test plant weights were measured the 14th day after seeding.
Values indicate the relative persistence of herbicides in the soil.

以上の3実験により，PCP に対する各薬剤の残効性の長短から，薬剤相互間の比較を考えると，Prometryne>MCPCA>DCBN≧DBN>CNP≒NIP>PCP の順である．PCP を 20 日間位の残効と考えると，Prometryne 40 日，以下 35 日，30 日，25 日位と考えてよかろう．以上は供試低毒性除草剤，および PCP の残効性についての一実験例であり，残効性はいろいろの条件によって変動するものであり，変動性を考えた各薬剤の残効性についての特徴は，さらに多くの実験を重ねなければならない．

V 総　合　考　察

以上暖地の水田水稲作において魚毒性が問題となった PCP に替るべき低毒性除草剤の評価試験，ならびに使用法の基礎的裏付となる 2．3 の作用特性，その他の試験結果をのべてきた．これらの結果に基づいて除草剤としての特性を一括して示すと第 17 表のごとくである．PCP 粒剤と比較しながら各薬剤の適用性，今後の問題点，それらの基礎的知見としての作用，殺草機作について総括的に考察してみよう．

まず比較剤としての PCP であるが，すでに多く知られているごとく，強い殺種子性，未発生種子への接触的，また根吸収的作用性によって移植直後の土壌処理剤としての効果はきわめて高く，接触的な薬害も時に発生することがあるが，被害からの回復が早く，経済的に有利であるということも加わって広い適用地帯をもっている．しかし，高い魚毒性以外に除草剤としてのいくつかの欠点ももっている．すなわち，残効が短いことは抑草期間が必ずしも長くないことを示しており，加えて移動は小さいために殺草への時期的適用巾は狭く，生育のすすんだ雑草，とくにタイヌビエには効果が劣る．また，深根性多年生雑草には著しく増量散布しない限り，効果が限定される．PCP の雑草，またはイネに対する作用は接触的，または根吸収的に体内にとりこまれて急速に toxic に働く

第 17 表　除草剤としての特性総括表

除草剤	殺草適期	草種選択性	茎葉作用力	種子作用力	イネ根への作用性（発根力）	イネ根への形態的影響	高温による作用力の変動	土中移動 洪積黒色火山灰土	土中移動 沖積壌土	土中残効（沖積壌土）
PCP	種子 | 発生前後	広葉≫ヒエ マツバイ	大	大	大	小 致死	中	小	中	短 20日
MCPCA	種子 | 発生前後	広葉 マツバイ≫ヒエ	イネ科小 広葉 中	大	大～中	肥大 大分岐根 根毛	中	中	大	長 35
NIP	発芽種子 | 発生前後	広葉>マツバイ コナギ ヒエ	大	小	ム～小	ム～小	小	小	小	短～中25
CNP	発芽種子 | 発生前後	広葉>マツバイ コナギ ヒエ	大	小	ム～小	ム～小	小	(小)	小	短～中25
Prometryne	種子 | 発生直後	広葉>ヒエ>マツバイ	中	中	ム～小	ム～小	大 特に著しい	小	小～中	長 40
DBN	種子 | 発生直後	マツバイ≫広葉>ヒエ	小～ム	大～中	大	肥大 大細胞浸潤致死	小～ム	小	大	中 30
DCBN	種子 | 発生直後	マツバイ≫広葉>ヒエ	小～ム	大～中	大	(大)	小～ム	大	大	中 30

注：土中残効の日数（半減期）は比数の一例，（ ）は推定．

と考えられるが，その作用点は DNP，その他の substituted phenol によって研究がなされており (*8, 10, 34*)，生体内での呼吸によってのエネルギーの代謝阻害，すなわち酸化的リン酸化阻害剤，uncoupler として作用する．この作用は phenol 系薬剤の中で置換位置で di>para>meta>ortho の順である (*19*)．また，SIMON (*67*) は 2, 4-dinitro>mononitro>2, 4, 6-trinitro の順に作用が弱まることをのべており，松中 (*34*) は酸化的リン酸化が阻えられ，ADP，Pi が体内で増加し，呼吸の昂進があることから，PCP と DNP の呼吸への影響をしらべ PCP の作用が DNP より大きいことをのべており，uncoupler としての PCP の作用は大きく，湛水下の水田除草剤としての第一義的作用点はここにあると考えられる．しかし，高濃度になると呼吸阻害以外に光合成阻害，-SH 阻害剤としても働くという考えも出されている．

MCPCA 粒剤は殺種子性が強く，接触的作用はほとんどないので発芽，ないし発生した幼植物への作用は著しく劣る．したがって雑草ステージに対する適用巾は著しく狭い．しかし，PCP のマツバイへの欠点を補っており，田植直後の早期散布での適用性はきわめて高い．その他の問題点としては，本剤は phenoxy 系に加えて Amide 的性質もあわせ持っていると推定されるが，phenoxy 的性質のためにヒエに対しては PCP よりも劣っている．また，20°*C* 以下の低温，30°*C* 以上の高温においてはイネへの薬害が発生し易く，温度条件にたいする適用域も小さい，土壌中の移動がやや大きいことから，漏水のとくに多い地帯での使用はやや制限される．現在，佐賀県を中心とした北九州の漏水の少ない平坦地水田において適用されている．殺草への作用点は MCPCA としての研究はほとんどないので不明であるが，phenoxy 的性質をもっており，広葉とイネ科との草種選択性，植物への被害症状，組織の prolifelation 的異常などから推定するとき，phenoxy 系薬剤の作用点が重要な役割を演ずることは否定しえない．phenoxy 系の代表的薬剤である 2・4D については多くの報告がある．酵素的な作用に関係するという考 (*10, 15*)，しかしこれについては否定的な説もある (*80, 81, 41*)．呼吸作用，O_2 吸収に関係する (*26, 41*)．核酸代謝異常 (*30, 58, 76*)，また uncoupler 的役割についての報告もあり (*16, 75*)，おそらく 2・4D の生体内での生化学的作用点は複雑であり，W. S. A (*82*) による「2・4Dは植物体の呼吸，養分代謝阻害，細胞分裂異常をもたらすが，一次的な作用点は未だ確立してない」というべきであろう．しかし，CRAFTS (*10*) は 2・4D の植物への作用を次のごとく仮説している．「いくつかの enzymatic system，および生理的過程が関連しながら，Tryphtophan から Protein，または Indolepyruvic acid→IAA への変化点，あるいは Nicotinic acid への変化点において作用する」と．phenoxy 系の広葉とイネ科，すなわち双子葉と単子葉植物との間の選択性については，薬剤の吸収，移行の差 (*79*)，吸収の遅速 (*18*)，移行の差 (*3, 24*) によると報ぜられているが，組織的には維管束構造の差 (*41*) が原因の主体と考えられる．

NIP 粒，CNP 粒は同じ系統の薬剤であり，根郎への作用，種子そのものへの作用は低いが，発芽直後から発生直後の雑草に対して接触，一部若干の移行も推定される様相で作用し，適期散布による殺草力はきわめて高い．しかし，生育時期のすすんだ雑草への殺草力は急激に低下する，すなわち，時期に対する適用巾は PCP よりも狭い．また，草種に対する作用としてはコナギに劣る．マツバイに対しては未発生の初期のものにはかなりの効果

があるが，発生したものに対しては効果が劣る．イネへの薬害は土中移動がきわめて少なく，温度による変動も少ないのできわめて安全であるが，深水の場合には葉鞘部をつうじての褐斑，白斑的薬害がみられる．両者とも田植直後の土壌処理剤としての適用性がきわめて高い．

NIP と CNP との差異については，なかなかつかみ難いが，イネ科と広葉への茎葉作用性が若干異なること，種子期への作用は CNP>NIP の傾向であるが，茎葉への接触的作用力は NIP の方が大きい傾向がみられる．したがって雑草時期への適用巾は NIP>CNP，とくに低温地帯においてこの傾向が著しい (*46*)．

NIP，CNP の作用機作については，その知見はきわめてすくないが (*82*)，NIP は光生化学的に活性化されて，有毒物質になる (*73*)．武久(*67*)は NIP の根に対する細胞分裂異常は認められない，とのべているが，殺草の作用点の解明は今後の問題である．

Prometryne は根吸収のみでなく，一部茎葉を通しても体内にとりこまれて，toxic に働いて雑草を枯死にみちびくが，根そのものへの作用は比較的小さい．一部殺種子性(おそらく高濃度作用) もあるが，多くは発生して白化枯死する，したがって作用の発現はやや遅効的である．殺草の適期は PCP より後期にあり，適用巾はやや大きいと考えられる．田植後の発生前および発生後の土壌処理剤として適用される．しかし，この薬剤の欠点としては温度による作用力の変動がきわめて大きいことである．したがって，暖地九州のような田植後の気温が高くなり易いところでは使用が制限される．草種に対する著しい選択性の差はないが，マツバイに対する充分な効果は期待しがたい．Prometryne そのものの殺草，作用機作についての報告はないが，*s*-triazine 系の一つの薬剤としての解釈が主体的には成立つであろう．*s*-triazine としては Simazine，Atrazine 等についての生化学的，生理学的多くの研究がなされている (*10*, *20*, *22*, *82*)．

EXTER (*14*) は *s*-triazine 系薬剤の O_2 発生阻止を観察し，Simazine 以下のものから 9 倍の阻止力のあるものまで，薬剤によって異なっている．MORELAND (*39*) らは Simazine の Hill reaction の阻害，ASHTON ら (*5*) も Simazine は CO_2 固定が抑制されることを報じており，*s*-triazine 系の作用の主体は同化作用，その中の Hill reaction の抑制にあると考えられる．この作用に先行して，chloroplast の異常，破壊が Atrazine 処理において観察されている (*21*)．

しかし，EXTER は Hill reaction の阻止と殺草力とは必ずしも完全に一致しないといい，Crafts (*10*) は土壌中でも発生阻止作用あることは，他の殺草作用もあるとのべており，また citric acid，serine，aspirazine，sucrose などへの影響から別の代謝阻害の作用もあることが示されている (*6*, *85*)．さらに Prometryne のばあいには Simazine と異なって，茎葉作用もあり，これが作用機作的に根吸収のものと全く同じであるかどうか現在の知見では不明である．

DBN は殺種子性は強く，また成植物には根吸収的に主として生長部位に移行して toxic 作用をしめす．従って比較的雑草の生育時期の広はんいにおいて殺草性をしめし，田植後の種子期から発生後までの土壌処理剤としての適用性が高い．しかし，土壌の種類によっては移動性が大きく，これは若干後期でも殺草力をしめすという反面，イネへの薬害も出易いという欠点を示す．また，ある限界以上の雑草に対しては，茎葉作用がほとんどない

ために，急激に殺草力が低下する場合も生ずる．また，高い volatility は除草効果の不安定をしめすようである．草種に対してはマツバイに対して特異的に効果的な長所を持っている．

DBN の作用機作については，根吸収されたものは若干ゆるやかに上方移行し，生長点に多く集積して，生長発達を抑制し，組織の異常，崩壊を招くとされている．呼吸や同化作用への一次的影響はなく (*35, 82*)，蒸散作用に対しても地上部の枯化がない限り，抑制しない．KOOPMAN (*32*) は anti-auxin 的作用を持っていると報じている．また最近 PENNER and ASHTON (*57*) は子葉の proteolytic activity の発達を阻止する作用があることをのべている．

DCBN は DBN と同じ nitril 系薬剤であり，殺草特性はほとんど同じである．移動性が DBN 以上に大きい傾向があり，土壌，漏水性の制限がより厳しいと推定される．同一量での作用力はむしろ DBN より大きい傾向もみられ，技術的には散布量の調節ということが考えられるが，本質的には DBN に準じて適用される．

VI 摘　　要

わが口における水田移植水稲作における PCP の実用化，普及は 1959 年ごろから急速にすすみ，そのために PCP の流失による魚貝類への被害が問題となった．したがって，低毒性にして，PCP に替る効果的な除草剤の開発が緊急に要請され，筆者らは 1962 年以来低毒性除草剤の評価試験，特性試験を行なってきた．それらの結果を総括的に報告する．

除草剤評価試験

1. コンクリート小枠ほ場を用い，精密栽培により除草剤 PCP, MCPCA, NIP, Prometryne, CNP, DBN, DCBN の殺草性，イネへの影響についての第一次評価試験を行なった．

2. 対象雑草は水田主要一年生雑草，タイヌビエ，一年生カヤツリ（タマガヤツリ，ヒデリコ），キカシグサ，アブノメ，コナギ，アゼナ，その他，多年生のマツバイ，等であった．

3. 供試 7 剤とも適正散布による除草効果は高い．PCP, MCPCA, NIP, CNP は雑草の発生前，あるいは直後のものへの効果がたかく，Prometryne はやや後期の雑草時期のものへも効果あり，さらに DBN, DCBN は発生前から発生後のものへの効果が見られる．

4. 草種選択性は第 6 図のごとくに総括される．PCP はヒエ，マツバイに劣り，MCPCA はヒエにとくに劣る．NIP, CNP はマツバイに劣り，また時期のすすんだコナギにも劣る．Prometryne はマツバイに劣る．しかし DBN, DCBN はヒエに特に劣るが，マツバイには効果が高い．

5. イネへの影響の最もすくないものは，NIP, CNP, ついで PCP であり，MCPCA は散布直後に生育抑制，株開張がみられる．Prometryne は散布直後の高温障害が著しく，DBN, DCBN は土壌条件により薬害の変動がやや大きい．要するに，苛酷な条件の場合におけるイネへの障害は，薬剤によって異なった症状として現われる．

作　用　特　性

1. 供試7薬剤の茎葉作用性を，検定植物としてイネ，ヒエ，コムギ，キュウリ，アズキ，ナタネ等を用い，作用の経過，作用の大小を比較した．MCPCA はイネ科とその他とでは顕著な作用の差がみられる．作用の極めて小さいものは DBN，DCBN である．総括して茎葉作用力の差を順別すると次の如くである．

PCP＞NIP≧CNP＞Prometryne＞MCPCA＞DBN＝DCBN

2. 濃度階てい7ないし8区，検定植物コムギ，イネ，ナタネ，大根を用い，シャレーテストにより種子への作用力を，根長抑制によって観察した．すなわち，濃度一根長抑制曲線より RI_{80}，RI_{50} (80％，50％抑制濃度) を出して比較すると，イネ科種子の場合，PCP＞CNP＞Prom.＞NIP＞MCPCA，広葉種子の場合，PCP＞MCPCA＞Prometryne＞NIP＞CNP のように種子作用力差がみられる．

3. 水耕液中に除草剤を懸濁，または溶解させ，根部より吸収された薬剤がイネ苗の葉部の退色枯化にどのように影響するかを観察した．吸収された薬剤の影響は，PCP が最も速く，且つ著しい．Prometryne は処理5ないし7日目ごろより比較的葉位間の差なく退色枯化してくる．DBN，DCBN では最も若い葉が先ず枯化し，ややおくれて古葉から退色してくる．MCPCA，NIP，CNP による葉の変化は殆んどみられない．以上は根部吸収による薬剤の第一次的反応と考えられる．

4. イネ幼苗の発根力，根伸長に最も著しく抑制的に影響するのは PCP，DBN であり，ついで MCPCA である．しかし MCPCA，はおそらく濃度がうすくなると再伸長をうながし．また部分的な根毛の多発を導く．Prometryne，NIP，CNP は高濃度になるとやや抑制するが，比較的根部への影響は少ない．

5. イネ根への形態的，解剖的影響を観察した．DBN では先端部の肥厚，分岐根原基の褐色化生長停止，破生の発生，組織内への細胞の浸潤的障害（おそらく致死）がみられる．MCPCA では先端部の肥厚，分岐根原基の多発，一部細胞の肥大，また皮層部の空隙化などがみられる．PCP では細胞分裂像はみられず，組織の致死をもたらすと推定される．Prometryne，NIP，CNP では根部組織細胞への障害は比較的すくない．

6. 土壌処理した場合の供試薬剤のイネへの薬害の温度による変動，すなわち高温による薬害の助長，は Prometryne＞MCPCA＞PCP＞NIP＝CNP＞DBN の順である．殺草力の変動についても大体同様な傾向がうかがわれる．

7. Prometryne の薬害機構を考察するために一連の試験を行なった．1) Prometryne 作用力の変動は地下部温より地上部温に左右されることが大である．2）同一気温下では空気湿度の低いばあいが薬害の発生は助長される．3) Prometryne の薬害は処理直後の蒸散流による急速な薬剤の吸収によると推定され，その程度が高温下において特に著しい．4) Prometryne による高温下の薬害の助長は第24図に示したような機構が考察される．

土　壌　中　の　行　動

1. 土壌中における供試薬剤の移動性を，吸着保持力の大小によって推定した．一般に洪積火山灰土よりも埴壌土での移動が大きい．温度 35°C，25°C 間の差を PCP，NIP，

Prometryne でみると，むしろ低温下の方が大きい傾向がみられる．また，薬剤間の相対的な移動性の大小を沖積土についてみると， DCBN≧DBN>MCPCA>PCP>Prometryne >NIP=CNP である．

2. 土壌中の残効性をシャレー，またはタムポットによる漏水のない条件下について比較した．実験結果を総括するとき， Prometryne>MCPCA>DCBN≧DBN>CNP=NIP >PCP の順であり，PCP を半減期まで20日位の残効と考えるとき， Prometryne 40日，以下35日，30日，25日ぐらいと考えられる．

以上の結果を基にし6低毒性除草剤の作用性，殺草性，適用性を PCP と比較しながら総合的に考察した．

引 用 文 献

1) 荒井正雄・宮原益次・片岡孝義(1966) 水田用低毒性除草剤の土壌中の残効期間と移動程度．雑草研究，**5**，90-94.
2) 荒井正雄・古谷勝司(1967) S-トリアジン系除草剤の作用性に関する研究 第2報 メチルメルカプト誘導体の水稲・タイヌビに対する殺草性の温度による変動．日作紀，**36**，315-319.
3) ASHTON, F. M. (1958) Absorption and traslocation of radioactive 2, 4-D in sugarcane and bean plants. *Weeds*, **6**, 257-262.
4) ASHTON, F. M., E. M. GIFFORD, Jr., and T. BISALUTLA (1963) Structural changes in *Phaseolus vulgaris* induced by atrazine 1. Histological charges. *Bot. Gaz.*, **124**, 329-335.
5) ASHTON, F. M., G. ZWEIG, and G. W. MASON (1960) The effect of certain triazines on $C^{14}O_2$ fixation in red kidney beans. *Weeds*, **8**, 448-451.
6) ASHTON, F. M., and E. G. URIBE (1962) Effect of atrazine on sucrose-C^{14} and serine-C^{14} metabolism. *Weeds*, **10**, 295-297.
7) BARNSLEY, G. E., and P. H. ROSHER (1961) The relationship between herbicidal effect of 2, 6-dichlorobenzonitrile and its persistence in the soil. *Weed Res.*, **1**, 147-158.
8) BONNER, J. (1949) Limiting factors and growth inhibitors in the growth of the Avena coleoptile. *Amer. Jour. Bot.*, **36**, 323-332.
9) BURNSIDE, O. C. (1965) Longevity of amiben, atrazine, and 2, 3, 6-TBA in incubated soil. *Weeds*, **13**, 274-276.
10) CRAFTS, A. S. (1967) *The chemistry and mode of action of herbicides*. John Wiley & Sons, Inc. New York・Londen・Sydney.
11) CURRIER, H. B., and C. D. DYBING (1959) Foliar penetration of herbicides. *Weeds*, **7**, 195-213.
12) DAAMS, and BARNSLEY (1961) Comp. Rendus des Journées d'Etudes sur les Herkicides, 68-73. (cited from Literature 78).
13) DAVIES, D. E. (1956) Some factors that affect the phytotoxicity of water-soluble DNBP. *Weeds*, **4**, 227-234.
14) EXER, A. (1958) Über Pflanzenwachstrumregulatoren. Die Einfluss von Simazin auf den Pflanzenstoffwechsel. *Experientia*, **14**, 135-136.
15) FREED, V. H., and M. MONTGOMERY (1958) The effect of surfactants on foliar absorption of 3-amino-1, 2, 4-triazole. *Weeds*, **6**, 386-389.
16) FRENCH, R. C., and A. BEEVERS (1953) Respiratory and growth responses induced by growth regulators and allied compounds, *J. Amer. Bot.*, **40**, 660-666.
17) 古谷勝司・荒井正雄(1966) Diphenylether 系除草剤の作用性に関する研究．雑草研究．**5**，99-104.
18) GALLUP, A. H., and F. G. GUSTAFSON (1952) Absorption and translocation of radioactive 2, 4-dichloro-5-iodophenoxyacetic acid by green plants. *Pl. Physiol.*, **27**,

603-612.
19) GAUR, B. K., and H. BEEVERS(1959) Respiratory and associated responses of carrot discs to substituted phenol. *Pl. Physiol.*, **34**, 427-432.
20) GYSIN, H., and E. KNÜSLI(1960) Chemistry and herbicidal properties of triazine derivatives. *Advance in Pest Control Res.*, **3**, 289-358.
21) HILL, E. R., E. C. PUTALA, and J. VENGRIS(1968) Atrazine induced ultrastructural changes of barnyardgrass chloroplasts. *Weed Sci.*, **16**, 377-380.
22) HILTON, J. L., L. L. JANSEN, and H. M. HULL(1963) Mechanisms of herbicicide action. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, **14**, 353-384.
23) HODGSON, R. H., and N. E. OTTO(1963) Pondweed growth and response to herbicides under controlled light and temperature. *Weeds*, **11**, 232-237.
24) HOLLY, R. W., F. P. BOYLE, and D. B. HAND(1950) Studies of the fate of radioactive 2, 4-dichlorophenoxy acetic acid in bean plants. *Arch. Biochem.*, **27**, 143-151.
25) 穂村豊・吉田三郎(1964) 紅茶園の雑草防除に関する研究. 雑草研究, **3**, 76-83.
26) HUMPHREYS, T. E., and W. M. DUGGER, Jr. (1957) The effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on the respiration of etiolated pea seedlings. *Pl. Physiol.*, **32**, 530-536.
27) 茨木和典(1967) *s*-Triazine 系除草剤の作用力におよぼす環境要因の影響. 雑草研究, **6**, 42-47.
28) 井田昭典・中島嗣郎・滝島英策(1964) NIP 乳剤の土壌中における移動と作用性 第1報. 農園 **39**, 983-984.
29) 板谷至・太田孝・杉山薫(1967) 水稲栽培条件の許容度に関する研究 第6報 除草剤の効果および水稲の生育におよぼす均平の許容度. 静岡農試研究報告, **12**, 24-30.
30) KEY, J. L., and J. B. HANSON(1961) Some effects of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on soluble nucleotides and nucleic acid of soybean seedlings. *Pl. Physiol.*, **36**, 145-152.
31) KLINGMAN, G. C. (1961) *Weed Control as a Science.* New York・London, John Wiley & Sons, Inc.
32) KOOPMAN, H., and J. DAAMS(1960) 2, 6-dichlorobenzonitrile: a new herbicide. *Nature*, Lond., **186**, 89-90.
33) LEONARD, O. A. (1960) 1960 Meeting of WSA (cited from Literature **10**).
34) 松中昭一(1964) フェノール系除草剤の化学構造と作用機作. 雑草研究, **3**, 40-45.
35) MASSINI, P. (1961) Movement of 2, 6-dichlorobenzonitrile in soils and in plants in relation to its physical properties. *Weed Res.*, **1**, 142-146.
36) MILBORROW, B. V. (1964) 2, 6-dichlorobenzonitrile and boron deficiency. *J.* exp. Bot., **15**, 515-523.
37) MILLER, C. W., L. E. DEMORANVILLE, and A. J. CHARIG(1966) Persistence of dichlobenil in cranberry bogs. *Weed Sci.*, **14**, 296-298.
38) 宮原益次・荒井正雄(1966) 水田用低魚毒性除草剤の殺草特性, 薬害特性について. 雑草研究, **5**, 95-98.
39) MORELAND, D. E., W. A. GENTNER, J. L. HILTON, and K. L. HILL(1959) Studies on the mechanism of herbicidal action of 2-chloro-4, 6-bis (ethylamino)-s-triazine. *Pl. Physiol.*, **34**, 432-435.
40) MUZIK, T. J., and W. G. MAULDIN(1964) Influence of environment on the response of plants to herbicides. *Weeds*, **12**, 142-145.
41) 村上浩(1964) オーキシン型除草剤の化学構造と作用機作. 雑草研究, **3**, 29-34.
42) NODA, K., K. IBARAKI, S. EGUCHI, and K. OZAWA(1965) Studies on ecological characteristics of the annual weed, cleaver, and its chemical control on drained winter paddy fields for wheat plants in temperate Japan. *Bull. Kyushu Agr. Expt. Sta.*, **11**, 345-374.
43) 野田健児(1964) 除草剤利用における作用特性の意義. 雑草研究, **3**, 10-19.
44) 野田健児・茨木和典・小沢啓男(1965) 除草剤の作用力の温度による変動. 雑草研究, **4**, 127-131.

45) 野田健児・茨木和典(1968) 除草剤, 主として prometryne の作用力の温度による変動要因の一考察. 雑草研究, **7**, 105-110.
46) 野田健児(1967) 水稲除草剤 Mo 粒剤の作用性. 農薬通信, **71**, 1-5.
47) 野島数馬(1935) 水田の中耕に関する研究. 関東東山農試報告, **17**, 1-113.
48) 農林省九州農試作物第1部作物第5研究室(1964) 暖地水田水稲作における低毒性除草剤について. 九農試年報, 昭39, 19-23.
49) ——(1963) 主要除草剤の漏水, 土性試験. 昭38, 除草剤成績書 85 (未発表, とうしや)
50) ——(1964) MCPCA 異常障害現地調査. (未発表, とうしや).
51) 農林省農林水産技術会議事務局(1963) 昭38除草剤夏作関係試験研究中央打合せ会議総合要録.
52) 能勢和夫(1964) 除草剤の土壌中における行動とその機作. 雑草研究, **3**, 20-28.
53) 岡田正憲・ほか(1967) 短桿品種の育成過程. 水稲新品種ホウヨク, コクマサリ, シラヌイならびに両親品種の選定と母本品種十石の来歴, 九州農試彙報, **12**, 187-224.
54) 近江静雄(1966) 除草剤ニップが数種植物の種子発芽と幼時生長におよぼす影響. 金沢大教育学部紀要, **14**, 95-99.
55) 近江静雄(1966) 土壌中の PCP の生物検定に関する予備試験. 雑草研究, **5**, 138-142.
56) PALLAS, J. E. (1958) Ph. D. dissertation, Univ. of Calif., Davis (cited from Literature 11).
57) PENNER, D., and F. M. ASHTON (1968) Influence of dichlobenil, endothal, and bromoxynil on kinin control of proteolytic activity. *Weed Sci.*, **16**, 323-326.
58) REBSTOCK, T. L., G. L. HAMNER, and H. M. SELL (1954) The influence of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on the phosphorus metabolism of cranberry bean plants. *Pl. Physiol.*, **29**, 490-491.
59) SHEETS, T. J. (1961) Uptake and distribution of simazine by oat and cotton seedlings. *Weeds*, **9**, 1-13.
60) 瀬古秀生・九鬼正信(1955) 水田における中耕の効果に関する研究. 東近農試研究報告, **3**, 30-55.
61) SHERBURNS, H. R., V. H. FREED, and S. C. FANG (1956) The use of C^{14} carbonyl labeled 3(*p*-chlorophenyl)-1, 1-dimethyl urea in a leaching study. *Weeds*, **4**, 50-54.
62) SHIGEMURA, C. (1967) Contribution of newly developed varieties to the increased production of rice in the warmer districts of Japan, a case of Hoyoku, etc. *Bull. Kyushu Agr. Expt. Sta.*, **12**, 154-166,
63) 清水正治(1963) DBN がイネ科植物の生長と分化におよぼす影響. 雑草研究, **2**, 109-112.
64) 白坂進・岩田岩保(164) 畑作物に対する除草剤の薬害に関する研究, 第1報 甘藷の薬害発生に対する気温の影響. 日作会九州支部会報, **23**, 56-57.
65) SMITH, D., and K. P. BUCHHOLTZ (1962) Transpiration rate reduction in plants with atrazine. *Science*, **136**, 263-264.
66) SMITH, D., and K. P. BUTCHHOLTZ (1964) Modification of plant transpiration rate with chemicals. *Pl. Physiol.*, **39**, 572-578.
67) SIMON, E. W., and G. E. BLACKMAN (1953) *Jour. Exptl. Bot.*, **4**, 232-250. (cited from Literature 35).
68) SUTCLIFFE, J. F. (1962) *Mineral salts absorption in plants.* Chap. 7. Pergamon Press.
69) 武久慎 他(1966) DCPA, NIP, ATA の細胞遺伝学的効果に関する研究. 雑草研究, **5**, 154-156.
70) UPCHURCH, R. P., 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.
71) UPCHURCH, R. P. (1958) The influence of soil factors on the phytotoxicity and plant selectivity of diuron. *Weeds*, **6**, 168-171.
72) UPCHURCH, R. P., and D. D. MASON (1962) The influence of soil organic matter on the phytotoxicity of herbicides. *Weeds*, **10**, 9-14.
73) 漆原久幸(1967) ジフェニー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.

74) WAKONIG, R., and T. J. ARNASON(1959) Chromosome breakage induced in *Vicia faba* root-tips by 2, 4, 6-tri (ethyleneimion)-1, 3, 5-triazine. *Canadian J. Bot.*, **37**, 403-411.
75) WEEDING, R. T., and M. K. BLACK (1961) Uncoupling of phosphorylation in Chlorella by 2, 4-dichlorophenoxy acetic acid. *Pl. & Soil* **14**, 242-248.
76) WEST, S. H., J. B. HANSON, and J. L. KEY(1960) Effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on the nucleic acid and protein content of seedling tissue. *Weeds*, **8**, 333-340.
77) WHEELER, H. L., and R. H. HAMILTON(1967) The leaf concentrations of atrazine in cereal crops as related to tolerance. *Weed Sci.*, **16**, 7-10.
78) WILLS, G. D., D. E. DAVIS, and H. H. FUNDERBURK(1963) The effect of atrazine on transpiration in corn, cotton, and soybeans. *Weeds*, **11**, 253-255.
79) WOOD, J. W., J. W. MITCHELL, and G. W. IRVING, Jr. (1947) Translocation of a radioactive plant growth regulator in bean and barley plants. *Science*, **105**, 337-339.
80) WOODFORD, E. K., K. HOLLY, and C. C. McCREADY(1958) Herbicides. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, Vol. **9**, 311-358.
81) WORT, D. J. (1954) Influence of 2, 4-D on enzyme systems. *Weeds*, **3**, 131-135.
82) WSA (1967) *Herbicide Handbook of the Weed Society of America* (first ed.). 21-24, 81-87.
83) 山崎慎一・高橋周寿・武田昭七(1962) 水田の中耕効果について. 雑草研究, **1**, 97-105.
84) 薮本修・込谷弘・滝島英策(1964) NIP 乳剤の土壌中における移動と作用性 第2報. 農園, **39**, 1269-1270.
85) ZWEIG, G., and F. M. ASHTON(1961) in preparation (cited from Literature 10).

Summary

Chemical weed control with herbicide application, introduced to Japan immediately after World War II, has been a very strong weapon to made rice growers free from hard- and mechanical weeding operation in summer and to save the labor costs for weeding. By 1966, the number of persons required for weeding rice fields was reduced by 70 percent as compared with before the introduction of herbicides. In addition, the replacement of hand and mechanical weeding by chemical weeding stimulated the improvement of existing cultural methods and the development of new ones.

The 1958 marks the discovery of the effectiveness of PCP as a soil treatment herbicide that is applied just after transplanting of rice seedlings. Greatly aided by its make-up into a granular formulation, PCP's practical use expanded rapidly in the transplanted rice fields throughout Japan since around 1959, as seen in Fig. 1. However, a wide use of PCP posed a very serious problem, when heavy rains occured right after PCP application, great quantities of it were washed into rivers and seas. This pollution, probably caused by PCP's essential high toxicity against animals, resulted in the death of fish and shellfish, as found in Kyushu District in 1962 and 1963. Therefore, urgently required was the synthesis and development of a new herbicide having the herbicidal effectiveness of PCP but without its toxic effect on fish and shellfish. Along such a line of social situation, we have performed experiments for evaluating herbicides and investigatons of their herbicidal characteristics since 1962 in order to find and

practise new herbicides for a substitute of PCP. In this paper, the results of experiments on principal lesser toxic herbicides, which have been initially developed, have been generally reported and discussed.

Evaluation Tests

In order to assess the initial activity of lesser toxic herbicides under a paddy condition, the herbicides were evaluated per-emergence and post-emergence with small field plots enclosed with concrete frames. Chemicals used were PCP, NIP (Nitrofen), CNP, MCPCA, Prometryne, DBN and DCBN, as shown in Table. 1. Principal weed species employed for evaluating herbicides were barnyardgrass, several annual aquatic broadleaved weeds and perennial slender spikerush, as shown in Table 3.

Weeding activity. All herbicides used, when properly applied, gave a excellent weeding activity, less than 10 percent of untreated check by the amount of remaining weeds. That is, the pre-emergence of PCP, MCPCA, NIP, CNP Prometryne, DBN and DCBN were effective at the dosages of 100, 7-8, 20-30, 5-10, 7-10, and 7-10 *g* per *are*(1/100, *ha*), respectively. Out of them, the most strong and stable weeding was found in NIP and CNP pre-emergence. Estimating from the ratio of pre-emergence activity to post-emergence one, their weeding activity on advanced weed stages was decreasingly found in order of DCBN=DBN, Prometryne, MCPCA, PCP, and NIP=CNP, as seen in Table 5.

Selective activity on weed species was differently found according to the kinds of herbicides. PCP gave very poor activity on barnyardgrass and slender spikerush, MCPCA provided selective action on spikerush. NIP and CNP gave weak activity to monochoria and spikerush at their advanced stages. Prometryne was also weak in spikerush weeding. Although DCBN and DBN gave the least activity in baryardgrass weeding, they provided high selectivity on slender spikerush.

Influence on rice. Some of herbicides used gave somewhat specific injurious symptom in rice after treatment even at a proper rate and procedure. MCPCA gave growth suppression and inhibition of tillering for a while after application. NIP and CNP gave brown and/or white spots at the base of stem in rice seedlings near water surface, particulaly in the case of deep watering. The injurious symptoms mentioned above, however, disappeared soon and gave no reduction of rice yield at the harvest time. Prometryne gave a severe damage in rice seedlings when an air temperature was unexpectly high just after herbicide applcation and resulted in the reduction of rice yield, as seen in the 1963's tests. The mechanism on the effect of a high temperature to rice damage with prometryne application was discussed by means of several supplementary experiments. DBN and DCBN gave growth suppresion and stunting of rice plants when uneven application was made or the leakage of irrigation water in fields was large.

On the other hand, it was interestingly found that NIP, CNP, and Prometryne gave slight growth enhancement of rice when a certain condition was maintained.

HERBICIDAL PROPERTIES

Several basic herbicidal properties necessary to practise new herbicides were studied as follows:

Action on foliage. In order to learn the aspect and degree of action of herbicides on foliage in the case of overhead application, repeated experiments were conducted in the geen house, using the established plants of rice, wheat, rape, cucumber, azuki bean, and barnyardgrass as testing materials. The strongest and fastest action was found in PCP. Next was in NIP and CNP. When compared between NIP and CNP for the kinds of crops, CNP seemed to be stronger against gramineous crops than NIP. Although MCPCA acted very strongly on broadleaved crops, it was very weak against rice and barnyardgrass. Prometryne had somewhat slow action, its initial sign was found around 5 to 7 days after application. DBN and DCBN hardly gave appreciable action in all crops used. Generarally speaking, it is considered to classify in order of decreasing action on foliage as follows:

$$PCP > NIP \geqq CNP > Prometryne > MCPCA > DBN = DCBN$$

Seed killing activity. Seed killing activity of herbicides was observed at several concentrates. The seeds of rice, wheat, rape and daikon were used as testing materials. The graphs plotting the regression of the logarithm for root length of seedlings as percentage of the untreated plot against the logarithm of cocentrates could be expressed by a hyperbolic formula. From this regression curve, the concentrate which prevent 80 or 50 percent of untreated check in root length, RI_{80} or RI_{50}, was obtained as indicated in Table 8. In general, the seed killing activity was decreasing in order of PCP, CNP, Prometryne, NIP, and MCPCA for grass crops, and in order of PCP, MCPCA, Prometryne, NIP and CNP for broadleaved crops.

Response of rice leaves to herbicide by roots. Influence of herbicides absorbed by roots on rice shoot grown in water culture media containing herbicides was observed. The response of rice leaves was different according to the kinds of herbicides. PCP gave rapid dehydration and death within a few days after application. Prometryne gave an initial sign of response of leaves characterized by decoloration around one week after application. All leaves of a hill were died completely in relatively short days. In DBN, the first symptom of injury was found in the youngest leaf inside, and afterthat the older leavess outside make decoloration one by one. NIP, CNP, and MCPCA hardly gave any influence in rice leaves. They have only very less activity on leaves by roots.

Action of herbicides on roots of rice. Effect of hebicides on rooting activity and root elongation of rice was observed in rice seedlings grown in water culture media containing herbicides. PCP and DBN gave the severest injury, prevented completely rooting and root elongation. MCPCA also prevented root elongation, but the formation of root primordia was not injured, but rather promoted in diluted media. NIP, CNP, and Prometryne was in less or no influence on rooting and root elongation.

Some anatomical response of root tissues to herbicides was observed in rice seedlings mentioned above. DBN gave serious histological and cytological changes of root tissues of rice such as enlargement of cells, death of cortex cells which were estimated by deep staining, disappearance of root hairs, and prevention of

A summarized table of

Herbicide	Suitable time for killing	Selectivity	Action on foliage	Seed killing	Action on rice by roots
PCP	S-E	Br≫B, S	Great	Great	Great
MCPCA	GS-E	Br, S≫B	Small-Medium	Great	Great-Medium
NIP	GS-E	Br>S, B, Mo	Great	Small	No-Small
CNP	GS-E	Br>S, B, Mo	Great	Small	No-Small
Prometryne	S-AE	Br>B, S	Medium	Medium	No-Small
DBN	S-AE	S>Br, B	No-Small	Great-Medium	Great
DCBN	S-AE	S>Br, B	No-Small	Great-Medium	Great

Notes: S-Seed stage; Br-Broadleaved weeds;
GS-Germinated seed; B-Barnyardgrass;
E-Before or after emergence; S-Slender spikerush;
AE-After emergence; Mo-Monochoria;
*Number of days for half activity. VAS: Volcanic ash soil, CL:Clayl oam.

lateral root emergence. MCPCA gave the enlargement of root cells and the partial vacuolation of cells in cortex. PCP seemed to give the cessation of cell division in root tissues. No appreciable response of root tissues was induced by the application of NIP, CNP, and Prometryne in this experiments.

Temperature and phytotoxicity. The variation of weeding activity and phytotoxicity on rice seedlings as infuenced by air temperatures was different very much according to the kinds of herbicides. The largest was found in Prometryne, and next in MCPCA and PCP. The smallest was in DBN and DCBN. The mechanism of variation in rice phytotoxicity with Prometryne was taken into consideration from the result of several experiments. The phytotoxic action of Prometryne was influenced more at an air temperature than at a soil temperature. The downwards movement of prometryne into the soil was not increased by rising the temperature. Thus, the relation of a high temperature to the phytotoxicity of prometryne on rice seedlings should be considered in complicated relation of the following three factors: 1) change in the pattern of prometryne uptake, which is mainly depending on transpiring stream, probably characterized by rapid absorption of the chemical soon after treatment, 2) increase in the physico-chemical reaction of Prometryne in plant cells at a high temperature, and 3) change in the physiological and biochemical states of rice seedlings.

Soil Behavior

The degree of downwards movement of herbicides used into soils was compared by means of measuring adosoptive-retention capacity, using the glass tube shown in Fig. 25. Generally speaking, their downwards movement was found less in alluvial volcanic soil than in a clay soil, and those of NIP, PCP, and Prometryne seemed to be more at a low temperature than at a high temperature. Considering the comparative relationship of the mobility of herbicides used in the case of clay soil, the following was estimated:

$$DCBN \geqq DBN > MCPCA > PCP > Prometryne > CNP = NIP$$

Persistance in soils under a flooding condition without water leakage was in-

herbicidal properties

Influence on rice roots	Increase of action by high temp.	VAS	Movement in soils CL	Residue in soils CL	
Small	Medium	Small	Medium	Short	20*
Great	Medium	Medium	Great	Long	35
No-Small	Small	Small	Small	Short-Medium	25
No-Small	Small	(Small)	Small	Short-Medium	25
No-Small	Great	Small	Small-Medium	Long	40
Great	No-Small	Small	Great	Medium	30
Great	No-Small	Small	Great	Medium	30

vestigated by means of bioassay used rice, rape, wheat as test plants. Summarizing several repeated experiments, the longest was prometryne, followed by other herbicides in order of MCPCA, DCBN≧DBN>CNP=NIP>PCP. An example of the number of days arrived at a time of half activity was as indicated in the summarized Table.

The foregoing is generally shown in the summarized Table. Furthermore, the practical adaptability of each herbicide was discussed based on herbicidal characteristics above stated.

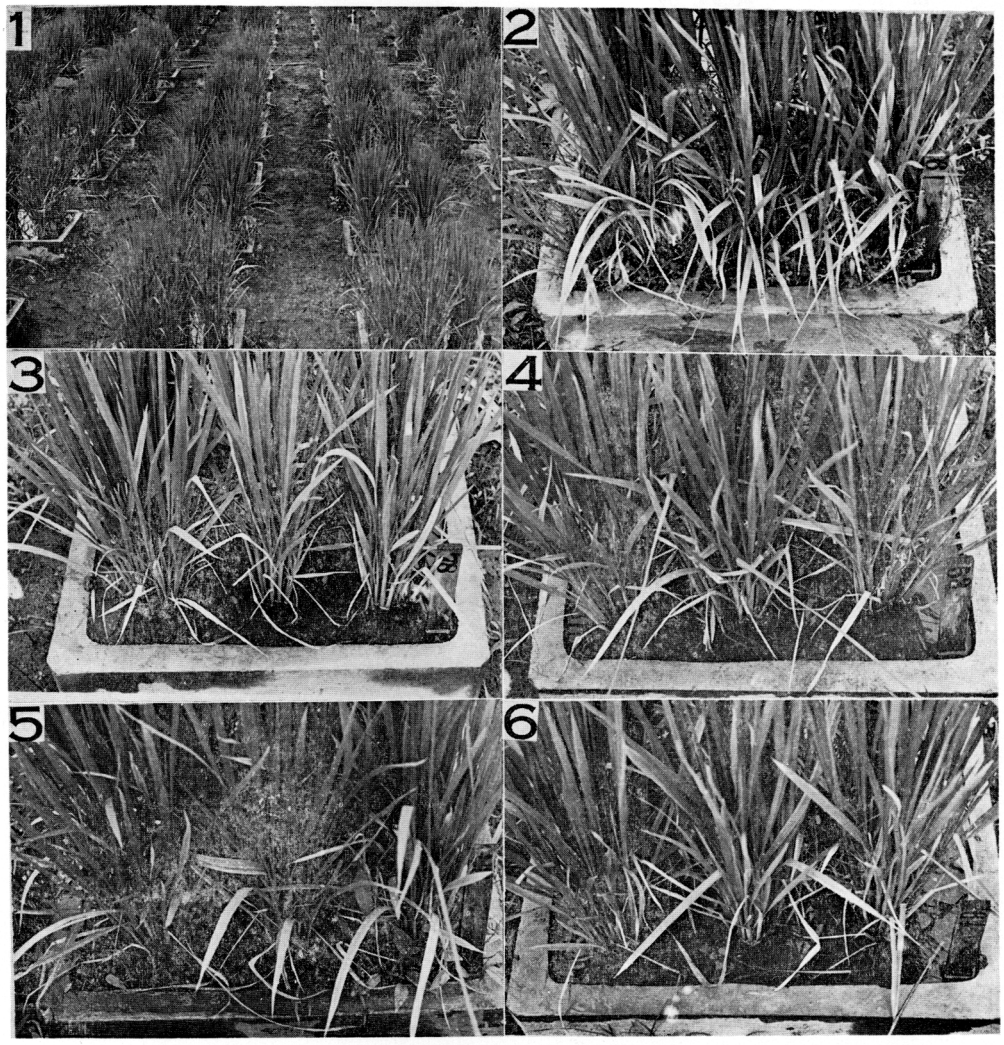


Photo. 1. An example of the evaluation tests (1962).

1: General view of testing fields, 2: Untreated plot,
3: PCP, 100 *g* per *a*, 4: NIP, 25 *g* per *a*,
5: DBN, 10 *g* per *a*, 6: Prometryne, 5 *g* per *a*.

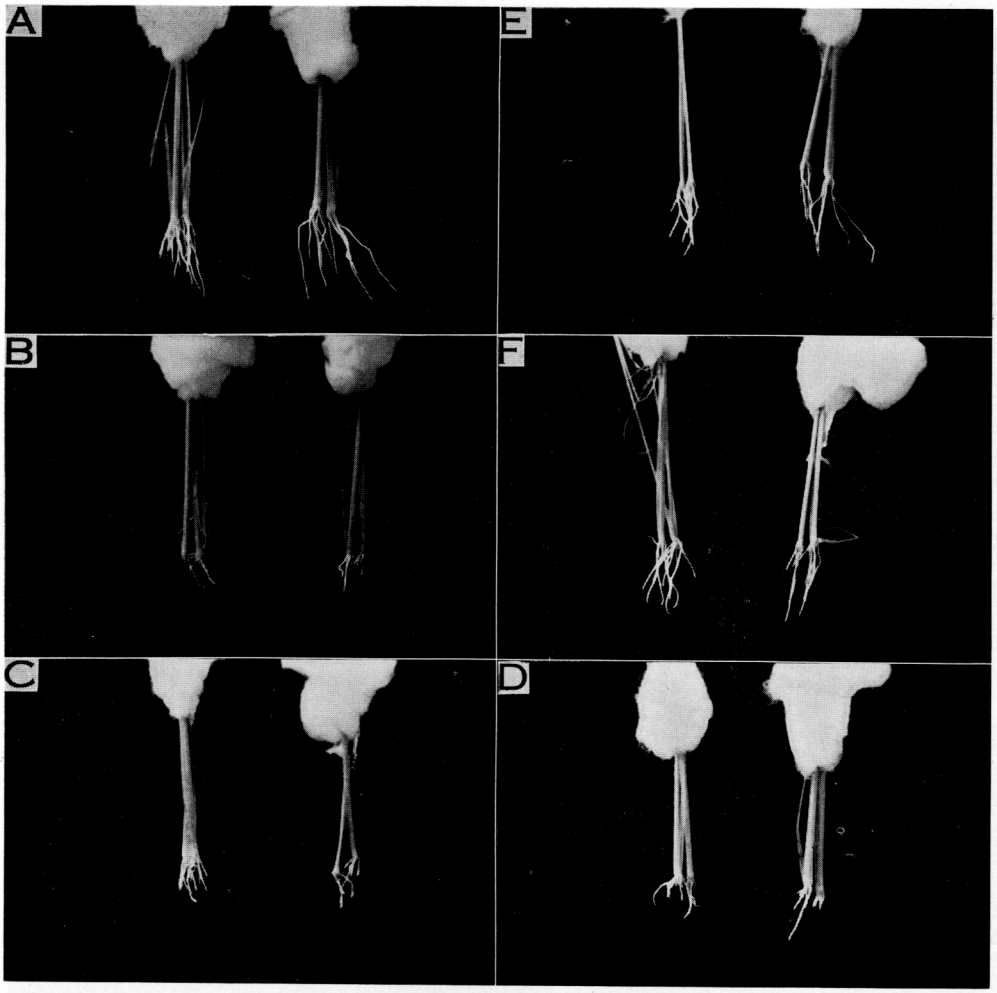


Photo. 2. Effect of herbicides on root elongation of rice seedlings.
A: Check　B: PCP　C: MCPCA
D: DBN　E: Prometryne　F: NIP

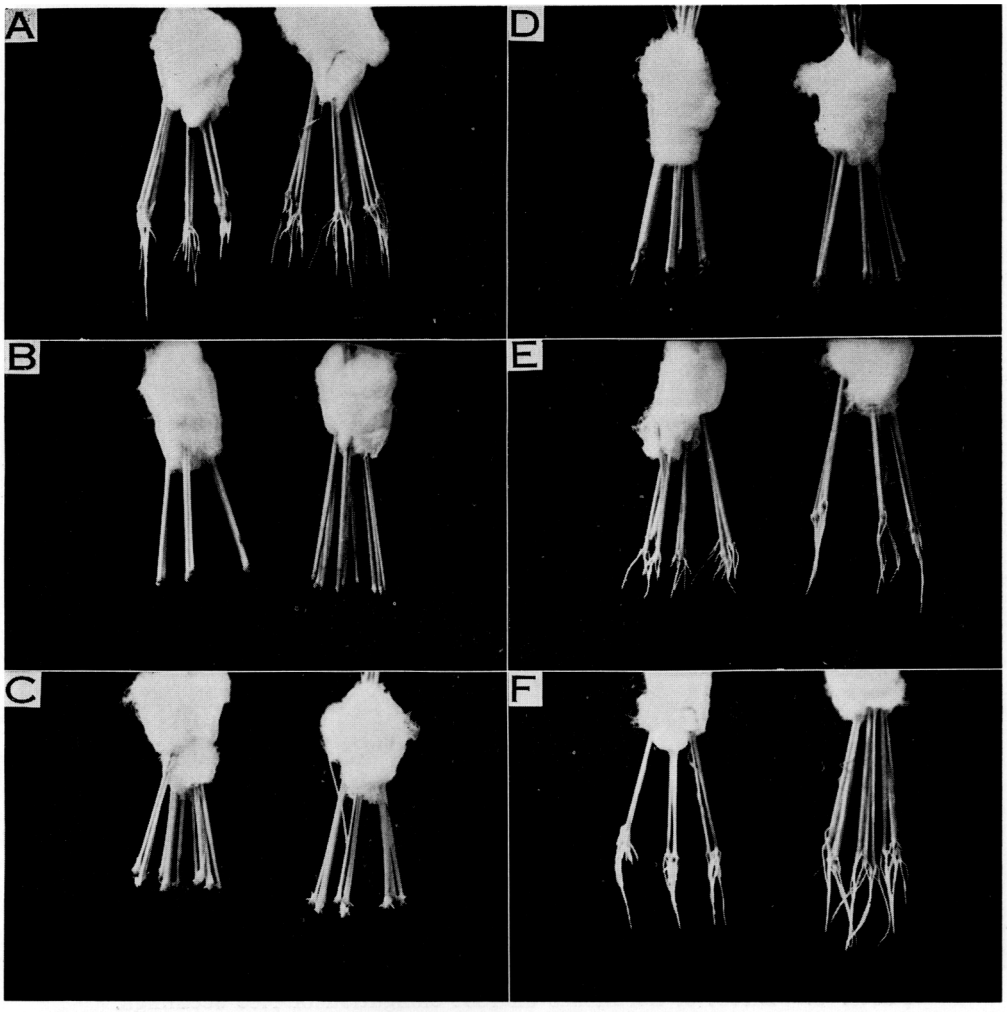


Photo. 3. Effect of herbicides on rooting activity of rice seedlings.
A: Check, B: PCP, C: MCPCA,
D: DBN, E: Prometryne, F: NIP

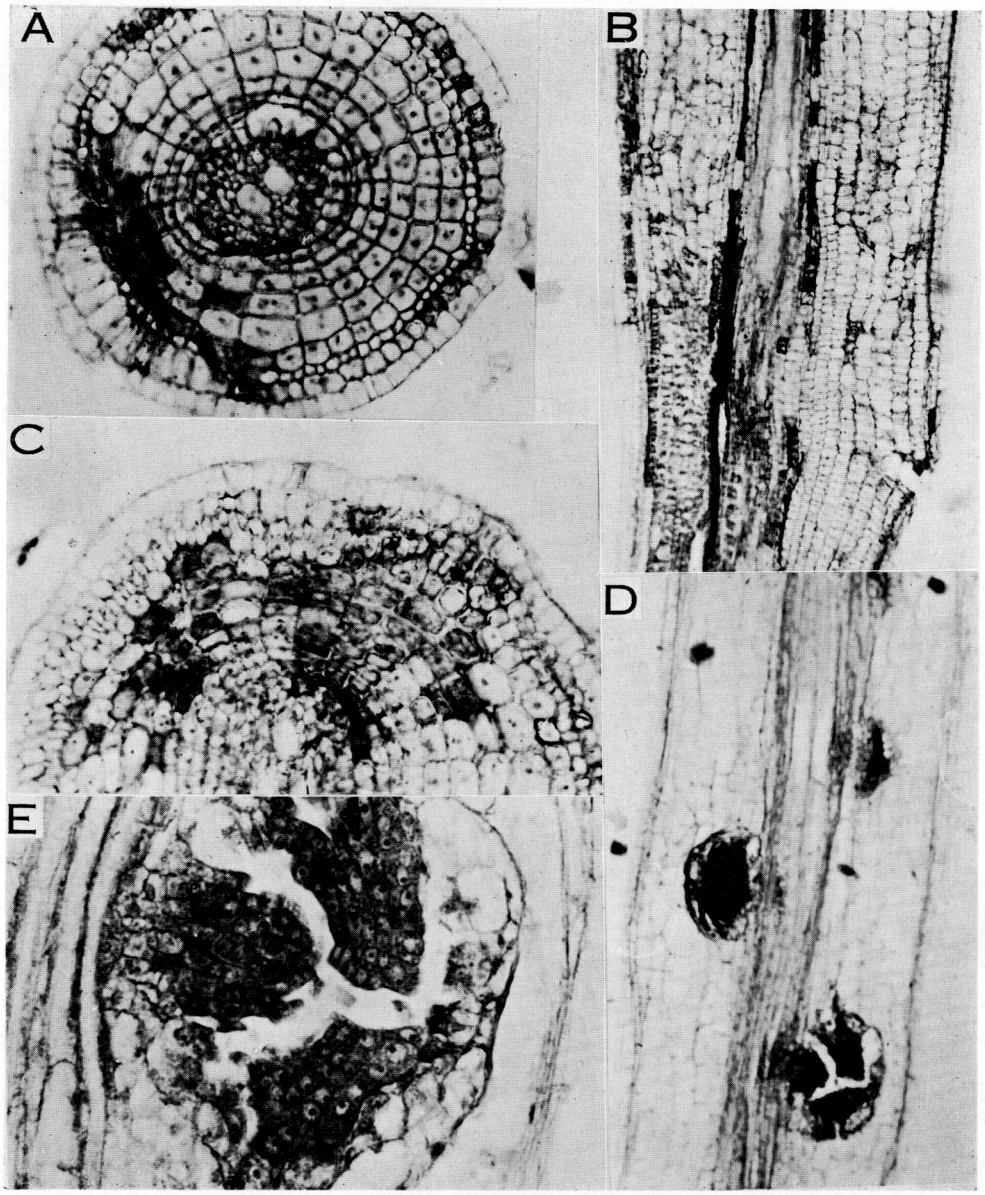


Photo. 4. A: Transverse section of the terminal portion of a root applied with DBN (×50). B: Longitudinal section of the above (×50) C: Transverse section of a part of the terminal portion of a root (×100). Deep staining shows invading with DBN chemical. D: Longitudinal section of the intermiddle portion of a root applied with DBN (×100). E: Primordia of a lateral root in the above (×200)

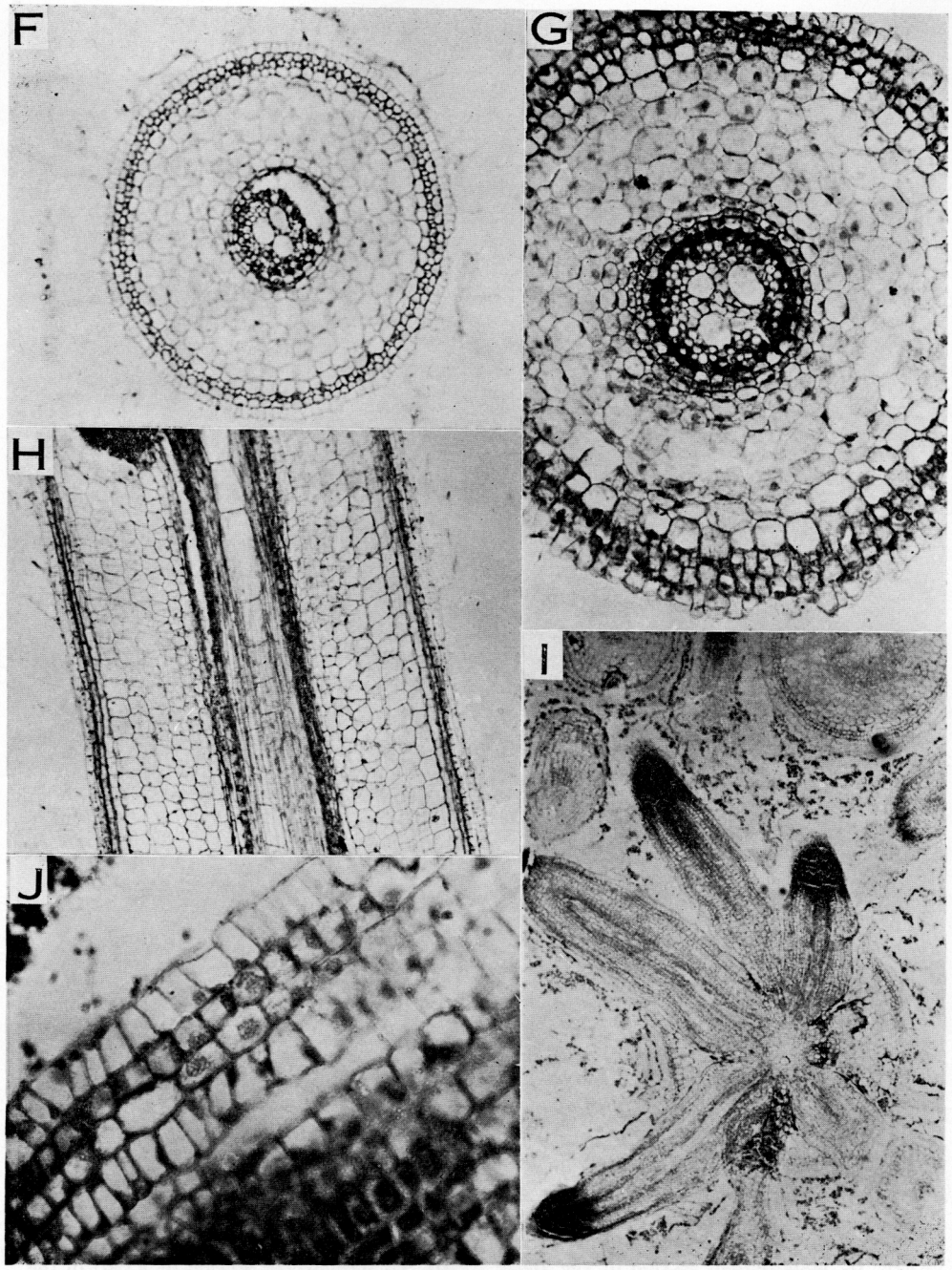


Photo. 5. F: Transverse section of the terminal portion of a root applied with MCPCA (×50). G: Enlargement of transverse section with MCPCA application. See vacuolation of cells (×100). H: Intermiddle portion of a root. No injurious cells with MCPCA invading (×50). I: Proliferation of lateral roots at base (×20). J: A part of a newly activated root at base. Cell divisions are found(×200).

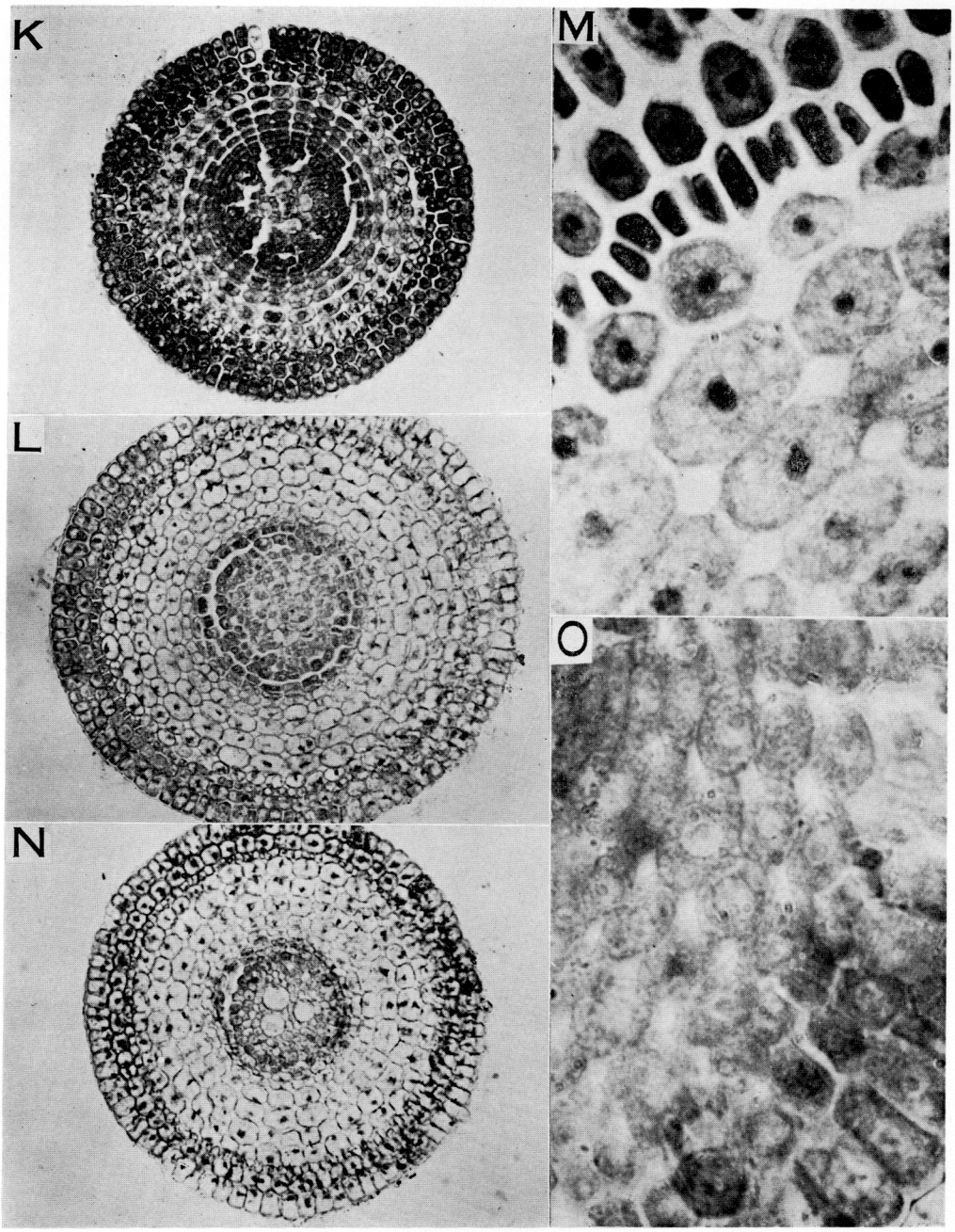


Photo. 6. K: Transverse section of the terminal portion of a root applied with NIP (×100). L: The same with PCP (×100). M: Enlargement of cortical cells. No cell division is found (×500). N: Transverse section of an untreated root(×100). O: Enlargement of the above. Some cell divisions are found in cortex (×500).