

## イネの生長初期における根の発達を阻害する PCP の濃度と感受性の品種間差異

長澤 純夫\*・近藤 雅彦\*・糟谷 真宏\*

Sumio NAGASAWA, Masahiko KONDO and Masahiro KASUYA  
Concentration of PCP Inhibiting the Development of Roots at the Early  
Growth Stage of Rice and the Difference of Susceptibilities in Varieties

諸種の生物学的検定実験において、あたえられた刺激量に平行して、生体の反応量が、連続的に変化する計量型の反応結果は、量的な数値として表示され、百分率の表現はできない。それ故、離散量にもとづく計数反応型の実験記録を解析するための、プロビット常法をそのままこれに適用することは許されない。しかしこうした連続的な反応記録も、もしこれを相対的な百分比として示すことができれば、プロビット常法の応用は充分可能ならずである。Finney<sup>2)</sup> は予備的に平均最大反応量をもうけて、各投量レベルにおける反応量を割り、その百分比を求めてから、これをプロビットに変換することによって、投量-反応率回帰直線の方程式を算定するための、最尤法を示した。

イネの生長初期における根の発達を阻害する PCP の濃度をきめることを目的に、水耕法によって実験した結果をこの方法によって解析し、中央阻害濃度とその信頼限界を算定した。あわせて PCP の根の発達阻害作用に対する感受性の品種間差異を、0.3ppm の濃度レベル<sup>1)</sup>において比較し、Duncan<sup>1)</sup> の multiple range test によって、その差の有意性を検定した。その結果をここに述べる。

本文に入るに先立ち、供試したイネの種子を御分譲いただいた、島根大学農学部付属農場福田晨講師と、島根県農業試験場水田作科新田英雄科長に深謝の意を表する。

### 実験材料および方法

大多数の植物は、土壌を場として生長する。これらの植物の根の発達を助長、または阻害する薬物の量を評価

する実験を行なう場合、栽培の場に土壌を用いる方法は実際的な見地からは望ましい。しかしそうする事によって、土壌自体の有する複雑な要因の介入してくる事は避けられない。薬物の一次的な有効度を評価するだけの実験ならば、それはできるだけ簡単な系においてなされるべきである。水耕法では、均一な生長の場を作りうるだけでなく、実験が終了した時点で根を損傷する事なく、ほとんどすべての反応量をとらえる事ができるから、そうした目的にそいうる実験法のひとつと云いよう。

一方、PCP (pentachlorophenol) は、かつては殺菌剤として、また除草剤として、わが国でも大量に使用された。しかし魚類に対して高い毒性を有する事と、濃厚な環境汚染源である事のために、現在ではその製造販売は中止され、これを市場に見る事はできない。しかしこの Na 塩は水によくとける事から、水系を媒体とする基礎的な生物検定実験には、きわめて便利な薬物のひとつである。ここに用いた試料は、研究実験用に残された有効成分90%を表示する市販粒剤である。これを水耕栽培肥料ハイポネックス 1g/1l の溶液で試料換算 14ppm から  $i=0.15$  の対数間隔で11段階の溶液に調製した。中央阻害濃度をきめる1980年度の実験に供試したイネは、1979年の秋に収穫された品種、日本晴で、その種子を実験に入る前の7日間、水に浸漬する事によって発芽発根した同一水準のものをえらんで用いた。

実験はまず、直径 5.1cm、深さ 9.8cm のガラスびんに、PCP の稀釈液をみたした。次に底を切り取り、そこに塩化ビニール製の網をはった直径 6.0cm、深さ 3.5cm のプラスチック製のカップを置き、前記の種子 8粒を入れて種子がひたる状態に水面を調整した。蒸散による水溶液の減少は、随時水を加える事で補った。11

\* 生物汚染化学研究室

第1表 PCP によるイネの根の発達阻害——各々の試験びんにおける根の乾燥重量  $y$ (mg)

行	1	2	3	4	5	列 6	7	8	9	10	11	12	行の 合計 $T_i$
1	F 4.0	K 13.8	B 2.4	G 5.4	C 2.9	H 9.5	I 10.4	J 11.6	D 4.3	E 4.8	L 18.3	A 2.2	89.6
2	L 17.2	I 13.5	G 10.9	H 12.0	K 15.3	A 1.0	J 15.8	D 1.7	E 3.7	C 3.5	F 9.6	B 1.5	105.7
3	I 10.9	A 0.7	F 7.2	J 13.4	G 10.1	E 7.4	D 3.0	L 17.4	B 1.9	H 6.3	K 14.6	C 2.3	95.2
4	K 13.5	L 17.5	H 6.3	I 13.0	B 1.6	G 2.8	F 7.0	E 1.4	A 2.5	J 11.7	C 2.3	D 1.9	81.5
5	G 11.9	F 3.0	I 11.3	B 1.3	D 2.6	J 9.5	L 18.7	K 10.4	C 1.2	A 2.0	H 5.3	E 1.7	78.9
6	J 17.1	H 6.4	K 13.9	A 0.7	L 11.9	C 1.0	E 6.9	B 2.1	G 2.6	I 12.3	D 1.0	F 1.5	77.4
7	C 2.6	D 2.7	A 2.1	L 16.5	J 13.6	I 14.7	K 13.1	F 7.4	H 5.8	B 2.2	E 0.6	G 9.8	91.1
8	E 3.2	J 9.7	D 2.4	K 13.2	A 1.6	L 18.2	B 0.8	C 2.9	F 5.6	G 12.9	I 12.1	H 6.8	89.4
9	B 1.7	E 3.8	J 10.6	C 2.0	F 4.1	K 15.0	H 7.8	A 1.9	L 16.9	D 6.0	G 4.8	I 12.1	86.7
10	H 18.9	C 2.8	E 3.6	F 1.1	I 14.0	D 6.2	A 1.2	G 10.6	J 11.7	L 17.2	B 1.4	K 14.9	103.6
11	D 4.8	G 10.5	L 13.9	E 1.1	H 14.0	B 2.8	C 2.1	I 15.8	K 14.7	F 4.4	A 1.5	J 23.6	109.2
12	A 4.1	B 1.2	C 3.3	D 2.8	E 3.1	F 6.1	G 4.2	H 10.9	I 10.4	K 12.9	J 14.0	L 22.3	95.3
列の合計 $T_c$	109.9	85.6	87.9	82.5	94.8	94.2	91.0	94.1	81.3	96.2	85.5	100.6	1103.6= $T$
びんの符号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	平均の 標準 偏差
PCP 濃度(ppm)	14	10	7	5	3.5	2.5	1.75	1.25	0.875	0.625	0.4375	0	
処理の合計 $T_i$	21.5	20.9	28.9	39.4	41.3	61.0	96.5	110.0	150.5	162.3	165.3	206.0	
平均 $\bar{a}$	1.79	1.74	2.41	3.28	3.44	5.08	8.04	9.17	12.54	13.53	13.78	17.17	0.48
	$\sum T_i^2=102670.06,$			$\sum T_c^2=102229.26,$			$\sum T_i^2=148877.20,$			$\sum y^2=13212.86$			

段階の稀釈溶液, およびハイポネックスだけの対照区を併せた  $12 \times 12 = 144$  個のガラスびんは, ラテン方格に配置して, ガラスびんを置く位置の根の発達に及ぼす影響を平均化するようにした。7日後, 根の部分を切り取り, カップに入れて, シリカゲルを用いた乾燥器で乾燥し, 1日後にびん毎の重量をメトラー自記天秤で, 秤量, mg の単位まで記録した。この実験は温度, 照明などの調節を行なわない実験室の条件下で, 1980年の8月に行なったもので, その間の日平均気温は  $23.5^\circ\text{C}$  であった。

つぎに品種間の感受性の差異を実験した1981年度の実験に供試した9品種のイネは, 1980年の秋に収穫されたもので, それらのコードレターと品種名は, A: 維新, B: ヤシロモチ, C: 近畿33号, D: ニホンマサリ, E: IR24, F: アルポリオ J10号, G: チドリ, H: 日本晴, I: コシヒカリである。実験を行なった濃度レベルを  $0.3\text{ppm}$  とした他, 実験の方法, 環境条件などはす

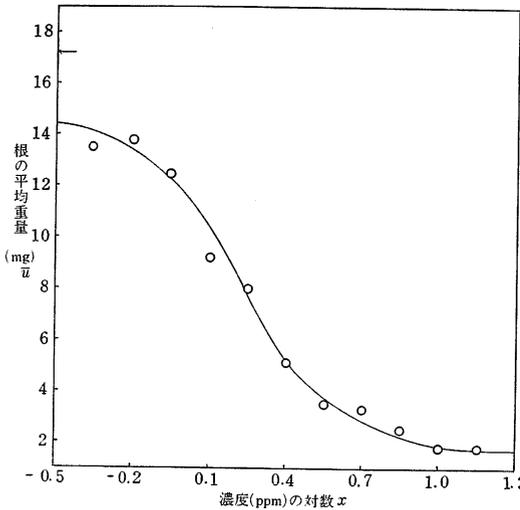
第2表 第1表の測定値の分散分析

項	自由度	平方和	平均平方	分散比
行	11	97.97	8.906	1.51
列	11	61.24	5.567	0.95
処 理 誤 差	110	3948.57	358.961	61.01
全 補 正 項	143	4754.99		
	1	8457.868		

べて前実験とほぼ同じであった。

### 結果と考察

ガラスびんの縦, 横の数共に  $k=12$  の, 合計144個の配置と, それぞれのびんで生長した8個の幼苗の, 根重を示したのが第1表である。第1表の  $k \times k = 12 \times 12$  のラテン方格に配置した実験結果の要因効果と誤差を, 分散分析によって分割し, その有意性を検定した結果が第2表である。



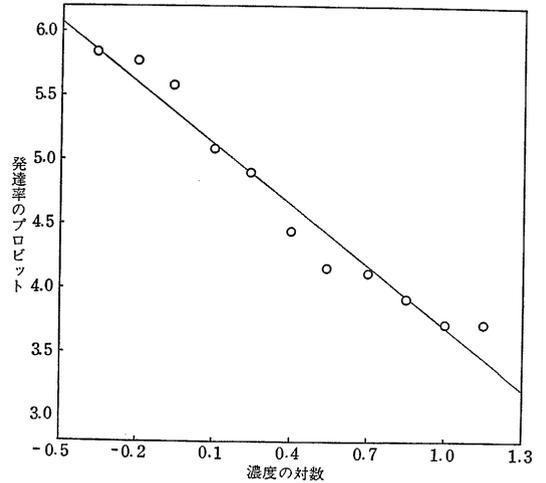
第1図 水耕液中の PCP の濃度とイネの生長初期根の重量。矢印は PCP の混入しない水耕液中で生育した根の重量。

求められた平方和を、それぞれの自由度で割った平均平方について、 $F$  表を用いて  $F$  検定を行なった結果は、第5欄に見る様に、行間、列間共に有意でなく、実験条件は均一化できたといいうる。誤差の平均平方と処理の平均平方を比べるまでもなく、濃度間の差は有意である。ここで自由度 110 を有する誤差の平均平方  $s^2 = 5.884$  が後の検定に用いられる。

ところで第1表下段の濃度を対数  $x$  に変換してこれを横軸にとり、これに対応する根の重さの平均  $\bar{u}$  を縦軸にとって、2者の関係をグラフ上に打点すると、第1図に示す様なほぼ正規のシグモイド曲線がえられる。この様な正規のシグモイド曲線は、この縦軸を適当な単位に変換するならば、これを直線化する事は可能はずである。ただここで縦軸の数値は計量値であって、百分比でないから、先にも記した様に、これらを直ちにプロビット、ロジット、アングルなどの単位に変換して解析に入る事はできない。すなわちそれぞれの濃度における平均反応量はえられても、一般にその反応の最大量が不明であるために、相対的な反応比率を直接にきめる事ができない。Finney はこうした実験結果を解析するためのひとつの手段として、観測された反応量から、暫定的に平均限界反応量  $H$  (mean limiting response) をもうけ、これに対する各濃度における反応量  $u$  との比

$$p = u/H \quad (F 10.2)$$

を計算して、これをプロビットに変換し、濃度の対数との間の最も確からしい直線関係を、平均限界反応量を逐次補正しながら、求める最尤法を述べている。これをこ



第2図 PCP の濃度とイネの根の発達率

こに適用して PCP のイネの根の発達を阻害する中央濃度と、その信頼限界を求める事にする。ここで ( $F 10.2$ ) は Finney の論著の (10.2) 式である事を示す。

まず第1表をみると、PCP の最低濃度 0.4375ppm における根の重さの平均は 13.78mg で、また次の濃度の 0.625ppm においては 13.53mg で、PCP を含まないハイポネックスと水だけの対照区におけるそれは  $h = 17.17$ mg である。それ故、平均限界反応量  $H$  は、この 17.17 ほどには大きくないであろうと考えて、まずその中間に近い 15.50 あたりを、暫定的に  $H$  として最初の計算に移る。すなわちこの場合、濃度をこれ以下にきざしても、平均してこれをこえる様な根の重さはえられないと考える点の、反応量  $H$  を想定する。そして以下述べる様な計算をくりかえして  $H$  の値を補正しながら、最も尤らしい  $H$  の値をきめた上、これを用いて百分比を算定する。

ここでは第1回目の計算によって補正された、平均限界反応量  $H' = 17.30$  を、新たに平均限界反応量  $H = 17.30$  として、第2回目の計算を進める過程を示す。この  $H = 17.30$  で各濃度における根の重さの平均値  $\bar{u}$  を割り、これを仮の平均発達率 (第3表第4欄  $p$ ) として、これに対応する観測値のプロビット (empirical probit) を、プロビット変換表 (たとえば Finney: Probit Analysis 第1表, Fisher and Yates: Statistical Tables 第IX表) から読みとる (第3表第5欄  $Y'$ )。これと濃度の対数の関係を打点し、これを満足する直線をひく。すなわちこれが予備回帰直線 (provisional regression line) で、第2図がそれである。この図から各濃度に対応する期待プロビット (expected pro-

第3表 濃度—根発達率曲線の計算

$x$	$n$	$u$	$\frac{p}{(H=17.30)}$	$Y'$	$Y$	$10-Y$	$w-Z^2$	$nw$	$x'$	$y$
1.15	12	1.79	0.10	3.72	3.4	6.6	0.01230	0.14760	0.4940	3.808
1.00	12	1.74	0.10	3.72	3.6	6.4	0.02242	0.26904	0.5394	3.729
0.85	12	2.41	0.14	3.92	3.9	6.1	0.04746	0.56952	0.6227	3.920
0.70	12	3.28	0.19	4.12	4.2	5.8	0.08392	1.00704	0.7313	4.125
0.54	12	3.44	0.20	4.16	4.4	5.6	0.11104	1.33248	0.8230	4.177
0.40	12	5.08	0.29	4.45	4.7	5.3	0.14546	1.74552	1.0018	4.458
0.24	12	8.04	0.46	4.90	4.9	5.1	0.15757	1.89084	1.1593	4.900
0.10	12	9.17	0.53	5.08	5.2	4.8	0.15291	1.83492	1.4814	5.044
-0.06	12	12.54	0.72	5.58	5.5	4.5	0.12395	1.48740	1.9640	5.581
-0.20	12	13.53	0.78	5.77	5.7	4.3	0.09750	1.17000	2.4276	5.770
-0.36	12	13.78	0.80	5.84	6.0	4.0	0.05855	0.70260	3.4770	5.829
$-\infty$	12	17.17	—	—	—	—	—	—	—	—
$S$								12.15696		

$nwx$	$nwy$	$nwx'$	$nwx^2$	$nwx'x'$	$nwx'^2$	$nwxy$	$nwx'y$	$nwy^2$
0.1697	0.5621	0.0729	0.1952	0.0839	0.0360	0.6464	0.2777	2.1403
0.2690	1.0033	0.1451	0.2690	0.1451	0.0783	1.0033	0.5412	3.7411
0.4841	2.2325	0.3546	0.4115	0.3014	0.2208	1.8976	1.3902	8.7515
0.7049	4.1540	0.7364	0.4934	0.5155	0.5386	2.9078	3.0378	17.1354
0.7195	5.5658	1.0966	0.3886	0.5922	0.9025	3.0055	4.5806	23.2482
0.6982	7.7815	1.7487	0.2793	0.6995	1.7518	3.1126	7.7955	34.6901
0.4538	9.2651	2.1921	0.1089	0.5261	2.5412	2.2236	10.7410	45.3991
0.1835	9.2553	2.7183	0.0183	0.2718	4.0268	0.9255	13.7109	46.6839
-0.0892	8.3012	2.9213	0.0054	-0.1753	5.7373	-0.4981	16.3035	46.3289
-0.2340	6.7509	2.8403	0.0468	-0.5681	6.8951	-1.3502	16.3885	38.9527
-0.2529	4.0955	2.4429	0.0911	-0.8795	8.4941	-1.4744	14.2399	23.8724
3.1066	58.9672	17.2692	2.3075	1.5126	31.2225	12.3996	89.0068	290.9436

$$\begin{aligned} \bar{x} &= Snwx/Snw = 3.1066/12.15696 = 0.2555 \\ \bar{x}' &= Snwx'/Snw = 17.2692/12.15696 = 1.4205 \\ \bar{y} &= Snwy/Snw = 58.9672/12.15696 = 4.8505 \\ S_{xx} &= Snwx^2 - \bar{x}Snwx = 2.3075 - 0.2555 \times 3.1066 = 1.5138 \\ S_{xx'} &= Snwx'x' - \bar{x}'Snwx' = 1.5126 - 0.2555 \times 17.2692 = -2.8997 \\ S_{x'x'} &= Snwx'^2 - \bar{x}'Snwx'[+n_h] = 31.2225 - 1.4205 \times 17.2692[+12] = 18.6916 \\ S_{xy} &= Snwxy - \bar{x}Snwy = 12.3996 - 0.2555 \times 58.9672 = -2.6665 \\ S_{x'y} &= Snwx'y - \bar{x}'Snwy[+n_h(h-H)/H] = 89.0068 - 1.4205 \times 58.9672[-0.0902] = 5.1537 \\ S_{yy} &= Snwy^2 - \bar{y}Snwy = 290.9436 - 4.8505 \times 58.9672 = 4.9232 \end{aligned}$$

bit, 第3表第6欄 Y) を読みとり, さらに従来の計数反応型の実験記録に対して行なわれる。プロビット変換法においてなされるのと同じ方法, すなわち  $y=(Y-P/Z)+p(1/Z)$  または  $y=(Y+Q/Z)-q(1/Z)$  の式 (前の式は  $Y < 5$ , 後の式は  $Y > 5$  の場合に用い,  $p$  は発達比,  $q=1-p$ , 他の数値は  $Y$  に対してそれぞれ表, たとえば Finney 第III表, Fisher and Yates 第IX<sub>2</sub>表から読みとる) から, 計算のためのプロビット (working probit, 第3表第11欄  $y$ ) を求める。あるいは Finney の第IV表からは, 直接これを読みとる事ができる。重みは,

$$w = Z^2 \tag{F 10.3}$$

を重み係数として, これに反復回数  $n$  をかけて求める。

$Z^2$  は  $Y$  が5以上の場合は, それに対応する  $Z^2$  の値を, 5以下の場合は  $10-Y$  に対応する  $Z^2$  の値を Finney の第V表から読みとる(第8欄)。これに  $n=12$  をかけた第9欄の  $nw$  が重みとなる。ここでさらにひとつの補助変数

$$x' = P/Z \tag{F 10.4}$$

を導入して, つぎの計算に移らなければならないが, これは Finney の第II表の  $Y$  のかわりに  $10-Y$  を求め (第7欄), これに対応する  $Q/Z$  を読みとり, これをそのまま  $x'$  とすればよい (第10欄)。こうして用意された  $x, x', y, nw$  とから, それらの平均値  $\bar{x}, \bar{x}', \bar{y}$  と, 偏差の平方和および積和  $S_{xx}, S_{xx'}, S_{x'x'}, S_{xy}, S_{x'y'}, S_{yy}$  が第3表の下段に示す様な順序で計算される。

ここで本実験では、対照区が設けられているので、 $S_{x'x'}$  には括弧の中に示した様に、さらに無処理区のガラスびんの数、すなわちくりかえしの回数  $n_h=12$  を、 $S_{x'y}$  には  $n_h(h-H)/H=12(17.17-17.30)/17.30=-0.0902$  をそれぞれくわえておく。  $h$  は対照区の平均根重である。暫定的に設けられた平均限界反応量、すなわち根の重さの平均限界値  $H$  から、真の最大反応量を求めるための補正量を  $\delta H$  とし、これと修正回帰直線の位置と方向に関する母数  $a$  および  $b$  を、つぎの3式によって求める。

$$\begin{cases} b S_{xx} + \frac{\delta H}{H} S_{xx'} = S_{xy} \\ b S_{xx'} + \frac{\delta H}{H} S_{x'x'} = S_{x'y} \end{cases} \quad (F 10.5)$$

および

$$a = \bar{y} - b\bar{x} - \frac{\delta H}{H} \bar{x}' \quad (F 10.6)$$

さきに求められている数値を (F 10.5) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} 1.5138 b - 2.8997 \frac{\delta H}{H} &= -2.6665, \\ -2.8997 b + 18.6916 \frac{\delta H}{H} &= 5.1537. \end{aligned}$$

これから  $b$  および  $\frac{\delta H}{H}$  を求めるには、行列式

$$\begin{aligned} \Delta &= S_{xx} \cdot S_{x'x'} - S_{xx'}^2 \\ &= 1.5138 \times 18.6916 - (-2.8997)^2 \\ &= 19.8871 \end{aligned}$$

を計算し、つぎに示す様な逆行列を導く。

$$\begin{aligned} V &= \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} \\ v_{21} & v_{22} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} S_{x'x'}/\Delta & -S_{xx'}/\Delta \\ -S_{xx'}/\Delta & S_{xx}/\Delta \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 18.6916/19.8871 & 2.8997/19.8871 \\ 2.8997/19.8871 & 1.5138/19.8871 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.939886 & 0.145808 \\ 0.145808 & 0.076120 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

ここで  $v_{12}=v_{21}$  である。これから求める  $b$  および  $\frac{\delta H}{H}$  はつぎの様にして計算される。

$$\begin{aligned} b &= v_{11} \cdot S_{xy} + v_{12} \cdot S_{x'y} \\ &= 0.939886 \times (-2.6665) + 0.145808 \times 5.1537 \\ &= -1.7548 \\ \frac{\delta H}{H} &= v_{12} \cdot S_{xy} + v_{22} \cdot S_{x'y} \\ &= 0.145808 \times (-2.6665) + 0.076120 \times 5.1537 \\ &= 0.00350 \end{aligned}$$

この  $\frac{\delta H}{H}=0.00350$  に、先に暫定的に設けた  $H=17.30$  を代入して、 $H$  に対する  $\delta H=0.00350 \times 17.30=0.0606$  がえられる。これから補正された  $H$  の値は  $H'=H+$

第4表 観測値と計算によって求められた期待根重量との比較

$x$	$Y$	$P$	$U=H'P$	$\bar{u}$	$(\bar{u}-U)$	$(\bar{u}-U)^2$
1.15	3.2759	0.042	0.73	1.79	1.06	1.12
1.00	3.5391	0.072	1.25	1.74	0.49	0.24
0.85	3.8023	0.116	2.01	2.41	0.40	0.16
0.70	4.0655	0.175	3.04	3.28	0.24	0.06
0.54	4.3463	0.257	4.46	3.44	-1.02	1.04
0.40	4.5920	0.342	5.94	5.08	-0.86	0.74
0.24	4.8727	0.449	7.79	8.04	-0.25	0.06
0.10	5.1184	0.547	9.50	9.17	-0.33	0.11
-0.06	5.3992	0.655	11.37	12.54	1.17	1.37
-0.20	5.6448	0.740	12.85	13.53	0.68	0.46
-0.36	5.9256	0.823	14.29	13.78	-0.51	0.26
$-\infty$		1.000	17.36	17.17	-0.19	0.04

$$S(\bar{u}-U)^2=5.66$$

$\delta H=17.3606$  となる。この  $H'$  が限界反応量、すなわち、先に述べた実験条件下で PCP が存在しない場合、発達する根の重量限界値と考えられるものである。

つぎに  $a$  は、先に示した (F 10.6) 式にそれぞれ該当する数値を代入して

$$\begin{aligned} a &= 4.8505 - (-1.7548) \times 0.2555 - 0.00350 \times 1.4205 \\ &= 5.2939 \end{aligned}$$

をえる。これから PCP の濃度と、その重量で示した生長初期の根の発達率との関係は、

$$\begin{aligned} Y &= a + bX \\ &= 5.2939 - 1.7548X \end{aligned}$$

をもって表わす事ができる。

ここでえられた濃度-発達率回帰直線の方程式が、観測値と適合しているかどうかの検定は、つぎの様に行なう。すなわち、上に得られた  $Y=5.2939-1.7548X$  の  $X$  に、第4表第1欄の数値を代入して、各々の濃度における期待プロビット  $Y$  を求め (第4表第2欄)、これに対応する発達率 (反応比)  $P$  をプロビット表から逆によみとる (第3欄)。そして先の根の発達限界値  $H'=17.3606$  をかけて、重さの期待値  $U$  を求める。これと観測された重さの平均値  $\bar{u}$  (第5欄) の差 (第6欄) の平方和  $S(\bar{u}-U)^2=5.66$  と、この実験結果の分散分析によって求められた第2表の誤差の平均平方  $s^2=5.884$  とを比較する事によって、回帰直線の適合性が検定される。 $\bar{u}$  は  $n=12$  個のガラスびんでえられた観測値の平均であるから、これを12倍する。その値 67.92 は、12濃度の平均値から回帰直線の位置と方向に関する、3つのパラメーターを算定したのこりの自由度9の残差平方和であるので、算定された直線からのはずれの度合を示す平均平方は、

$$\begin{aligned} D_0^2 &= n \times S(\bar{u}-U)^2 / (k-3) \\ &= (12 \times 5.66) / (12-3) \\ &= 7.55 \end{aligned}$$

である。これを誤差の平均平方  $s^2$  とくらべて

$$F_{\text{cal}} = D_0^2 / s^2 < F_{n_s}^{k-3} \quad (P_r=0.05)$$

であるならば、計算された回帰直線は、観測値と適合していると判定する。

$$F_{\text{cal}} = 7.55/5.884 = 1.28 < F_{110}^9 = 1.96 (P_r = 0.05)$$

この結果から回帰直線は、観測値と適合していると判定できる。

もうひとつの検定法は、つぎの式によってまず、

$$S_{yy} - bS_{xy} - \frac{\delta H}{H} S_{x'y'} = 4.9232 - (-1.7548) \times (-2.6665) - 0.00350 \times 5.1537 = 0.2260 \quad (\text{F } 10.11)$$

これに  $H^2 = 17.36^2 = 301$  をかけて、残差平方和 68.03 をえる。これはさきの 67.92 と同じであるので、 $D_0$  の値もひとしく同じ結論に達する。

つぎに  $b$  および  $H$  の分散は、つぎの様にし

$$V(b) = s^2 v_{11} / H^2 = 5.884 \times 0.939886 / 17.30^2 = 0.018478 \quad (\text{F } 10.12)$$

$$V(H) = s^2 v_{22} = 5.884 \times 0.07612 = 0.447890 \quad (\text{F } 10.13)$$

これから  $b$  および  $H$  の標準誤差は、それぞれ 0.136 と 0.67 で、 $b$  および  $H$  は最初のそれらと大きくちがっていない事がわかる。ここで  $V(b) = v'_{22}$  とおく。中

央発達障害濃度は次式であたえられる。

$$m = \bar{x} + (5 - \bar{y} + \frac{\delta H}{H} \bar{x}') / b \quad (\text{F } 10.14)$$

これに先の数値を代入して

$$m = 0.2555 + (5 - 4.8505 + 0.00350 \times 1.4205) / (-1.7548) = 0.1675$$

がえられたが、この逆対数値は 1.47062ppm となる。すなわち、この場合 PCP が浸漬7日後にその根の発達を50%障害する濃度は 1.471ppm であったと結論する事ができる。

$m$  の信頼限界を求めるためには、まず上の式によってあたえられた  $m - \bar{x}$  に対する信頼限界を、つぎの様に計算する。すなわち  $b$  の分散は、先に計算されているが  $(5 - \bar{y} + \frac{\delta H}{H} \bar{x}')$  の分散は

$$V(5 - \bar{y} + \frac{\delta H}{H} \bar{x}') = s^2 \left( \frac{1}{S_{n\bar{y}}} + \bar{x}'^2 v_{22} \right) / H^2 = 5.884 \times \left( \frac{1}{12.15696} + 1.4205^2 \times 0.07612 \right) / 17.30^2 = 0.004637$$

で、両者の共分散は

$$\text{Cov} \left\{ \left( 5 - \bar{y} + \frac{\delta H}{H} \bar{x}' \right), b \right\} = s^2 \bar{x}' v_{12} / H^2 = 5.884 \times 1.4205 \times 0.145808 / 17.30^2 = 0.004072$$

第5表 濃度 0.3ppm の PCP の混入する水耕液と、混入しない水耕液に生育した9品種のイネ (A~I) の発育初期根の平均重量 (mg)

ブロック行	列 (幼苗あたりの重量)									行合計 $T_r$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
PCP 処理区	1	A 1.87	B 1.68	C 1.59	D 1.40	E 1.31	F 0.60	G 1.97	H 1.33	I 1.78	13.53
	2	B 1.09	C 1.11	E 1.02	G 1.41	D 1.34	I 1.26	F 0.50	A 1.73	H 1.40	10.91
	3	C 1.36	D 0.94	F 1.28	A 0.86	H 1.02	G 1.14	I 1.11	E 1.03	B 1.26	10.00
	4	D 1.43	H 1.35	A 1.53	B 1.26	F 1.60	E 1.05	C 0.82	I 1.13	G 2.45	12.62
	5	E 1.10	G 1.57	B 1.26	I 1.07	C 1.12	H 1.01	D 0.98	F 0.90	A 1.53	10.54
	6	F 0.92	I 1.30	H 1.37	E 0.80	B 1.29	D 0.84	A 0.42	G 1.50	C 1.22	9.66
	7	G 1.24	F 0.45	I 1.01	C 1.27	A 1.14	B 1.14	H 1.34	D 1.53	E 1.26	10.38
	8	H 0.89	E 0.89	G 1.75	F 0.30	I 1.14	A 1.23	B 1.01	C 0.64	D 0.93	8.78
	9	I 1.32	A 1.30	D 0.87	H 1.38	G 1.79	C 1.01	E 1.02	B 1.08	F 1.70	11.47
列合計 $T_c$	11.22	10.59	11.68	9.75	11.75	9.28	9.17	10.92	13.53	97.89	
品種別合計 $T_r$	A 11.66	B 11.07	C 10.14	D 10.26	E 9.48	F 8.25	G 14.82	H 11.09	I 11.12	97.89	
無処理対照区	1	A 2.05	B 2.03	C 2.30	D 1.81	E 1.49	F 1.48	G 2.18	H 1.73	I 2.22	17.29
	2	B 2.01	C 2.31	E 1.50	G 2.20	D 2.14	I 2.16	F 1.89	A 1.96	H 1.70	17.87
	3	C 3.08	D 1.71	F 1.83	A 2.02	H 1.91	G 2.06	I 1.97	E 1.31	B 2.21	18.10
	4	D 1.50	H 1.46	A 1.47	B 1.74	F 2.78	E 1.50	C 1.63	I 1.90	G 1.94	15.92
	5	E 1.58	G 2.05	B 1.71	I 1.82	C 1.51	H 1.38	D 1.95	F 1.93	A 1.66	15.59
	6	F 1.73	I 1.73	H 1.54	E 1.28	B 1.06	D 1.50	A 1.56	G 1.81	C 1.79	14.00
	7	G 1.99	F 1.99	I 2.14	C 1.64	A 1.70	B 1.71	H 1.62	D 1.26	E 1.56	15.61
	8	H 1.58	E 1.47	G 1.80	F 1.18	I 1.95	A 2.20	B 1.54	C 1.27	D 1.93	14.92
	9	I 2.20	A 1.77	D 2.01	H 1.45	G 2.01	C 1.69	E 1.96	B 1.83	F 2.00	16.92
列合計 $T_c$	17.72	16.52	16.30	15.14	16.55	15.68	16.30	15.00	17.01	146.22	
品種別合計 $T_r$	A 16.39	B 15.84	C 17.22	D 15.81	E 13.65	F 16.81	G 18.04	H 14.37	I 18.09	146.22	
品種別平均 $\bar{y}_r$	A 1.82	B 1.76	C 1.91	D 1.76	E 1.52	F 1.87	G 2.00	H 1.60	I 2.01		
品種別両ブロック合計 $T_i$	A 28.05	B 26.91	C 27.36	D 26.07	E 23.13	F 25.06	G 32.86	H 25.46	I 29.21	244.11	

である。これらをそれぞれ  $v'_{11}$ ,  $v'_{12}$  とおき、 $m - \bar{x} = 0.1675 - 0.2555 = -0.088$  を  $m'$  とおいて、つぎの式から

$$m + \frac{g}{1-g} \left( m - \frac{v_{12}}{v_{22}} \right) \pm \frac{t}{b(1-g)}$$

$$\times \sqrt{[v_{11} - 2mv_{12} + m^2v_{22} - g(v_{11} - v_{12}^2/v_{22})]}$$

$$= -0.088 + \frac{0.024}{1-0.024} \times \left( -0.088 - \frac{0.004072}{0.447890} \right)$$

$$\pm \frac{1.98}{1.7548 \times (1-0.024)}$$

$$\times \sqrt{0.004637 - 2 \times (-0.088) \times 0.004072}$$

$$+ (-0.088)^2 \times 0.447890 - 0.024 \times (0.004637 - 0.004072^2/0.018478) = -0.010574, -0.180592$$

の答をえる。ここで  $g$  は  $n=110$   $P_r=0.05$  に対する  $t$  の値 1.98 を用いて、つぎの式から計算される。

$$g = t^2 V(b)/b^2$$

$$= 1.98^2 \times 0.018478 / (-1.7548)^2$$

$$= 0.024$$

この様にして求めた値に  $\bar{x} = 0.2555$  を加えて、 $m$  の信頼限界 0.074908 および 0.244926 をえる。これを濃度の実数単位になおすと、根の発達を50%阻害する濃度は、先に記した様に、1.471ppm で、危険率 0.05 におけるこの信頼限界は 1.18825 および 1.75763ppm とな

第6表 第5表の結果の分散分析

ブロック	要因	自由度	平方和	平均平方	分散比
PCP 処理区	行列	8	1.9375	0.2422	3.48
	品種	8	1.7090	0.2136	3.07
	誤差	8	2.8976	0.3622	5.21
	全補正	56	3.8939	0.0695	
無処理対照区	行列	8	1.7070	0.2134	2.62
	品種	8	0.6695	0.0837	1.03
	誤差	8	2.0577	0.2572	3.15
	全補正	56	4.5710	0.0816	
品方誤差補	格×品種	8	3.4613	0.4327	5.72
	誤差	8	1.4940	0.1868	2.47
	全補正	112	8.4679	0.0756	
	誤差	1	367.8376		

る。もっともこの場合  $g < 0.1$  であるから、信頼限界は常法により簡単に求めればことたりる。

$$V(m) = \frac{1}{b^2} \left\{ \frac{1}{S_{nw}} + \bar{x}'^2 v_{22} - 2\bar{x}'(m - \bar{x})v_{12} + (m - \bar{x})^2 v_{11} \right\} = 0.09079$$

上に述べた計算例は、はじめに根の重さの推定最大量  $H$  を 17.30 とおいて、これに対する各葉量における根の重さの平均値との比から、発達率を求めて両者の関係を計算したものである。計算によってえられた補正され

第7表 PCP を混入した水耕液と、混入しない水耕液で栽培した9品種のイネ (A~I) の生長初期根の重量比

品 種	F	C	I	D	E	B	A	H	G
重 量 比	0.321	0.832	0.886	0.795	0.862	0.955	1.027	0.831	0.985
	0.267	0.581	0.627	0.761	0.671	0.619	0.978	0.875	0.705
	0.684	0.712	0.552	0.534	0.678	0.716	0.473	0.638	0.570
	0.856	0.429	0.562	0.813	0.691	0.716	0.841	0.844	1.225
	0.481	0.586	0.532	0.557	0.724	0.716	0.841	0.631	0.785
	0.492	0.639	0.647	0.477	0.526	0.733	0.231	0.856	0.750
	0.241	0.665	0.502	0.869	0.829	0.648	0.626	0.838	0.620
	0.160	0.335	0.567	0.528	0.586	0.574	0.676	0.556	0.875
	0.909	0.529	0.657	0.494	0.671	0.614	0.714	0.863	0.895
$\Sigma y = T_0$	4.411	5.308	5.532	5.828	6.238	6.291	6.407	6.932	7.410
範囲 $R$	0.749	0.497	0.384	0.392	0.336	0.381	0.796	0.319	0.655
$[y^2]$	0.59643	0.17623	0.10511	0.19908	0.08855	0.09941	0.50044	0.12343	0.32165
$\bar{y}_0$	0.49011	0.58978	0.61467	0.64756	0.69311	0.69900	0.71189	0.77022	0.82333
Subsets	5%								
	1%								

注)  $F_{\max} = 6.735$   $k=9$   $n=8$   $\Sigma R = 4.509$   $\Sigma [y^2] = 1.75993$   $s^2 = 0.02444347$ ,  $n_2 = 72$ ,  $s_y = \sqrt{s^2/9} = 0.0521$

有意水準	$k'$ に対する Duncan の “Student” 化された範囲 $R_s$								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
5 %	0.147	0.155	0.160	0.163	0.166	0.169	0.170	0.172	
1 %	0.195	0.204	0.209	0.214	0.217	0.219	0.222	0.224	

た根の重さの限界量  $H'=17.36$  は、暫定的に設けられた  $H=17.30$  とほとんど違ってないから、これ以上の補正計算は普通必要がなく、上に求めた  $Y=5.2939-1.7548X$  の式をもって、濃度と根の発達率の関係を示せば充分であると考えられる。しかしさらに詳細な補正計算を行なおうとする場合は、 $H'=17.36$  を新たに  $H$  と考えて、同じ様に計算をくりかえせばよい。しかし実用的見地からは、危険率 0.05 で適合性がえられれば、それまでの推定で充分であろう。もっとも計算のくりかえしは、Canola SX 300 程度の卓上電算機があれば、プログラムによってそれ程の時間を要せずすめることができる。

つぎに任意にえらんだ濃度レベル 0.3ppm における PCP のイネの根の発達阻害作用と品種間の感受性の差異を実験した結果を、第 5 表に示した。(A~I) までの 9 品種の試験びんは、この表に見るような  $9 \times 9$  のラテン方格に配置し、処理、無処理ふたつの方格について、同時に実験した。第 6 表の分散分析の結果から、無処理対照区の列間の平均平方に、有意性がみられなかったのを除き、他の平均平方はすべて有意でこの度の実験ではこうした配置によっても行、列のびんを置く位置の影響をとりぞくことはできなかった。処理区における品種間の差異は、あきらかにみとめられたが、同時に無処理対照区におけるその差異も有意であったから、PCP の根の発達阻害の程度は、無処理対照区における品種ごとの幼苗あたりの根重量に対する処理区の、それぞれの品種における幼苗あたりの重量の比をもって比較することとした。

第 7 表は第 5 表に示した処理区の各品種の幼苗あたりの根の重量を、その品種の無処理区の平均幼苗あたりの

根重  $\bar{y}_0$  で割った値を示したもので、この値の小さい品種から順次列記した。この値が小さいことは、葉害をうける割合が大であるということの、ひとつの指標となるであろう。

第 7 表上段の数値について、Duncan の multiple range test を行なった結果を、その下段の subsets の線分によって示した。F, C, I, D と E, B, A, H G および C, I, D, E, B, A の品種群内には、危険率 0.05 において、PCP の発達阻害作用に対する感受性に有意の差がみられなかった。同時に I, D, E, B, A, H 群内の品種間の差も、有意でないといえる。危険率を 0.01 にとった場合のこの関係は、subsets の線分にもるように多少ことになっていた。

## 摘 要

イネの生長初期の根の発達を助長、または阻害する薬物の有効度を評価するための、最も簡単な実験系として水耕法をえらび、PCP によるモデル実験を行なって、濃度と根重量との関係を求めた。Finney のプロビットを用いる計量型反応記録を解析する方法によって、実験結果を整理し、中央発達阻害濃度とその信頼限界を求めた。PCP の発達阻害作用に対する品種間の感受性の差異を、同じ方法で実験し、Duncan の multiple range test によって供試した 9 品種の類別を行なった。

## 引用文献

1. DUNCAN, D. B. : *Biometrics* 11 : 1-42, 1955.
2. FINNEY, D. J. : *Probit Analysis* (2nd Ed.) Cambridge Univ. Press, 318pp. 1952.

## Summary

Early rice seedlings were cultured by hydroponic method in which PCP was added at logarithmic levels of concentration. Total dry weight of roots at each concentration was measured after a prescribed time of cultivation. The median inhibitory concentration of PCP for root development was estimated by Finney's probit analysis method for quantitative response data. Susceptibilities in some varieties to the growth inhibitory effect of PCP were compared at a selected concentration and the significance of difference between varieties was determined by Duncan's multiple range test.