除草剤の混用における相互作用

—相互作用の概念と検定法—

農林省農事試験場 千 坂 英 雄

1. はじめに

除草剤の混用の目的については改めて述べるまでもないが、殺草スペクトラムの拡大、ある雑草草種に対する殺草力の向上、薬害の軽減などを挙げることができよう。共力効果の大きい除草剤の組み合わせによって、より少ない薬量で十分な効果が期待され、また薬害・毒性面の安全性が高まるから、相互作用の検定は実用上とても重要な意味をもっている。

しかし、相互作用の概念や検定の理論は、とくに除草剤の場合、必ずしも明確な形で考究されていないように思われる。本報では、これまでに提案されている相互作用の考え方や検定法を若干の私見をまじえて紹介し、どこに問題があるのか、また有用な方法は何かを探ってみたい。

2. 殺虫剤の分野における考え方

除草剤の相互作用を論ずるにあたって、殺虫剤の分野における連合作用 (Joint toxic action) の考え方を無視するわけにはいかない。殺虫剤で考えられている連合作用は、2種以上の薬剤が生体内で相互関連をもって生理的に作用する狭い意味の相互作用 (共力・拮抗) にとどまらずに、生体内でそれぞれが独立に作用する場合や、さらには生体外で薬剤が物理・化学的反応を起す場合、時間的なへだたりをもって作用する場合などを含んだ包括的な考え方である。

連合作用は BLISS (1939)²⁾ によって論理的な展開が試みられて以来、多くの研究者が関心を持ち、いろいろな提案がなされている。その全容を紹介することは難かしいが、基本的に流れている考え方を、BLISS らを中心に、できるだけ平易に解説してみたい (連合作用に関する既往の研究の紹介は酒井¹⁵⁾ にくわしい)。

(1) 薬量反応曲線 (Dose-response curve)

殺虫剤の反応はふつう致死率としてとらえられる。そして一般には、致死率 y と薬量の対数 $\log x$ との関係を示すグラフは対称のS字曲線を描き、プロビット (Probit) に変換した致死率 Y と薬量の対数は直線関係

$$Y = a + b \log x \quad (a, b \text{ は定数}) \quad \text{①}$$

で表わされる。

プロビットとは、正規分布を表わす対称なS字曲線を直線化するための変換方法であり、したがって ① 式が成り立つということは、供試昆虫の薬剤に対する感受性とその薬剤の薬量の対数に対して正規分布していることを意味している。連合作用の数量的解析は、単剤の薬量反応曲線にプロビット回帰直線があてはまることを前提として構成されていることが多い。

(2) 独立連合作用 (Independent joint action)

反応が致死率でとらえられることから、次に述べるように、2剤が生体内で独立に作用するという場合が考えられたと思われる。BLISS²⁾ は連合作用を3つのグループに分け、その1つを独立連合作用、すなわち作用性 (作用機作) の異なる2剤が互いに独立に作用する場合とした。

2剤が“独立”に働くとはどういうことであるか。結論的にいえば、この場合、次の式が成り立つということである。

$$P_c = P_a + P_b(1 - P_a)(1 - r) \quad \text{②}$$

$$\text{ただし } P_a \geq P_b$$

ここで P_a : 薬剤 A の ag における致死率 P_b : 薬剤 B の bg における致死率 P_c : 両剤を $(a+b)g$ 混用したときの致死率 で、 r は処理された昆虫の薬剤 A に対する感受性と薬剤 B に対する感受性との間の相関の程度 (協調率, Coefficient of association) を表わす指数である。

$r = 1$ つまり A 剤と B 剤とに対する感受性が完全に相

第1図 独立連合作用の模式図 … $r = 1$ の場合 (PLACKETT ら¹⁶⁾)

関しているとき、PLACKETT ら¹⁶⁾ が示す図を借りれば、第1図のように図解される。B剤で死ぬべき個体はすでにA剤の作用だけで死んでいるとみてよく、 $P_c = P_a$ となる。

次に $r = 0$ 、すなわち両剤に対する感受性に全く相関がないとき、第1図と同様な図解を試みると、第2図の

第2図 独立連合作用の模式図 … $r = 0$ の場合

ように表わされるであろう。A剤に感受性が大きい順に個体を並べれば、B剤に対する感受性はランダムに分布することになるから、A剤の作用で死ななかった個体に対してB剤は P_b の致死率で作用する。したがって、

$$P_c = P_a + (1 - P_a) P_b \dots\dots\dots ②'$$

となる。この場合、致死率の代りに生存率 $Q (=1-P)$ をとれば、

$$Q_c = Q_a Q_b \dots\dots\dots ②''$$

という簡単な形で表現される。

BLISS や FINNEY^{7,8)} は、 r を $0 \leq r \leq 1$ の範囲で考

えている。 r の値は測定値から推定するほかはない。たとえば、A剤とB剤のそれぞれ50%致死量を混用したときの致死率が P_c だったとすれば、②式の P_a と P_b に0.5を代入し $r = 3 - 4P_c$ として求めることができる。そして標準化された実験操作・供試昆虫の下では、A・B剤間の r の値は混合比などにかかわらず一定の値を示すはずである。(しかし、実験的な例証は挙げられておらず、実際にはそれほど簡単に r の値が決定されるとは思えない。)

もし、A剤・B剤の薬量反応曲線と r の値が決定されれば、②式からある一定の混合比をもった混剤の薬量反応曲線を求めることができる。その一般式は複雑であるので省略することにして、グラフで例示しよう。

薬量反応曲線がそれぞれ $Y_A = a_A + b_A \log x_A$, $Y_B = a_B + b_B \log x_B$ で示される2薬剤A,Bを1:1の割合で混合した混剤Cを想定し、 $b_A \neq b_B$ の場合(第3図)と $b_A = b_B$ の場合(第4図)について、 r の値によって混剤Cの薬量反応曲線がどの程度変るかを比較した。第3図b)は、理解を容易にするため、プロビット変換値の代りに致死率そのものをとってa)と同じグラフを描いたものである。

これらの図から明らかなように、 r の値が小さいほど混剤の効力は大きくなり、 $r = 0$ で混剤の最大の効果が得られる。また、等薬量(混剤では各母剤の合計薬量)で比較したとき、混剤の効力は両母剤の中間にあるいはそれよりも下廻ることが多い。しかしここで注目すべきことは、第4図a)に見られるように、混剤の効力が等薬量の母剤の効果を上廻ることもあるという点である。これは、両母剤の勾配が等しいときに限らず、異なると

第3図 独立連合作用に属する混剤の薬量反応曲線 … $b_A \neq b_B$ の場合

第4図 独立連合作用に属する混剤の薬量反応曲線 … $b_A = b_B$ の場合

きでも、母剤の効力が接近している場合や勾配がゆるやかな場合には同様に起りうる（この点は BLISS, FINNEY は指摘していない）。つまり、現象的には拮抗作用・共力作用と等しい効果でも、一部はこの独立連合作用に含まれる。

PLACKETT^{16,17)}, HEWLETT¹¹⁾ らは、 r を $-1 \leq r \leq 1$ の領域に拡大して考えている。 $r = -1$ （A 剤と B 剤に対する感受性が完全に逆相関）のとき、第1図にならって図解すれば、昆虫の感受性は A 剤と B 剤とで全く逆の配列となるから、 $P_A + P_B \leq 1$ のとき $P_C = P_A + P_B$ 、 $P_A + P_B \geq 1$ のとき $P_C = 1$ （100% 致死）となる。 r を負の領域に拡大すると ② 式は成り立たず、PLACKETT らは別の形の一般式を提出し、相異連合作用（Dissimilar joint action）と名付けた。この説明は省略するが、この相異連合作用は現象的には共力作用と等しい効果をかなり包含している。

(3) 類似連合作用 (Similar joint action)

BLISS の連合作用の第2のグループは類似連合作用で、同種の生理的組織体に作用する作用性の等しい2剤を混用したとき、各剤が生体内で独立に働く場合である。このとき、1成分は一定の割合で他の成分に置き換える。作用性が等しければ、たとえ効力は異なっても供試昆虫の感受性の偏差は各母剤間で等しいと考えられ、したがって ① 式の b は2母剤に共通である。

この作用に属する混剤 C の薬量反応曲線は、母剤 A、B の薬量反応曲線、効力比、および混合比によって決定される。いま A、B 剤の反応曲線をそれぞれ $Y_A = a_A + b \log x_A$ 、 $Y_B = a_B + b \log x_B$ ($a_A > a_B$) とする。A 剤に

対する B 剤の効力比 k は $\log k = (a_B - a_A) \times 1/b$ （両直線の水平の距離。ただし、A 剤の反応曲線を基準とし、これより効力の小さい方向は負とする。）で表わされる。たとえば 50% 致死量が A 剤 2g、B 剤 10g とすれば、効力比 k は 0.2 である。混合比 $\pi_A : \pi_B$ ($\pi_A + \pi_B = 1$) の混剤 C の薬量反応曲線は

$$Y_C = a_A + b \log (\pi_A + k\pi_B) x_C \\ = a_A + b \log (\pi_A + k\pi_B) + b \log x_C \dots\dots\dots ③$$

となる。

A 剤と混剤 C の反応曲線の水平の距離 $\log (\pi_A + k\pi_B)$ は $\log k < \log (\pi_A + k\pi_B) < 0$ であるから、第5図に例を示すように、混剤の反応曲線はある母剤の反応曲線の間にはさまれ、これらと平行である。母剤の反応曲線が等し

第5図 類似連合作用に属する混剤の薬量反応曲線

い第4図b)と比べると明かなように、独立連合作用と類似連合作用とでは、単剤が独立に作用するとしても作用点・作用性が異なるか否かで、母剤と混剤の反応曲線の関係は異なる。

(4) 共力作用・拮抗作用 (Synergism, Antagonism)

BLISS の連合作用の第3のグループは共力作用およびその負の作用としての拮抗作用である。これは前述の2つの連合作用と異なり、2剤が相互作用をもつ場合であって、混剤の効果は母剤からは推定不能であり、相互作用に関する何らかの指数を実験的に決定する必要がある。

もっとも単純な場合は、同じ作用点・作用性をもち反応曲線が平行な2薬剤で相互作用があるとき、つまり類似共力作用 (Similar synergistic action) である。この作用の一般化には BLISS よりも FINNEY が成功している。結論的にいうと、FINNEY は③式を発展させて次の式を提出している。

$$Y_C = a_A + b \log (\pi_A + k\pi_B + K \sqrt{k\pi_A\pi_B}) + b \log x_C \dots\dots\dots ④$$

K は共力作用係数 (Coefficient of synergism) と呼ばれ、 $K=0$ で③式に一致する。類似連合作用のとき、混剤の $x_C g$ は A 剤の薬量 $(\pi_A + k\pi_B)x_C g$ と同等の効果をもつわけであるが、共力あるいは拮抗作用を示すとき、A 剤の $(\pi_A + k\pi_B + K \sqrt{k\pi_A\pi_B})x_C g$ と同等の効果をもつ。K が正であれば、混剤の薬量反応曲線は③式の曲線 (第5図参照) の左方へ平行移動して A・B 剤は共力作用、また K が負であれば右方へ移動し拮抗作用をもつことを意味する。

FINNEY のすぐれた功績は、プロビット回帰式の算出とその検定、およびそれをもとにした類似連合作用・類似共力作用の統計的な検定法を確立したことである。

反応曲線が平行でない2剤の混剤の共力作用に関しては FINNEY はほとんどふれていない。PLACKETT ら¹⁷⁾ は別の仮定から出発して連合作用を分類しており、その中の複合類似連合作用 (Complex similar joint action) は、勾配の異なる2剤の共力的な作用を包含している。しかし、その考え方は、理論的な正確さはあるにしても、数式が複雑で、頭の中だけで構築されているうらみがある。酒井¹⁹⁾ の DDT と DDD の混用の例にみられるように、実験値にこの連合作用の数式をあてはめて検定することには、かなりの困難性と矛盾が伴うようである。

3. 除草剤の相互作用の検定法

除草剤の分野では、混剤は実用的に重要な意味をもつ

ているにもかかわらず、相互作用に関する研究はあまり多くない。ここには、代表的な二、三の考え方を解説的に紹介する。

(1) GOWING, COLBY の方法

GOWING^{9,10)} は、殺虫剤において致死率のプロビット変換値 Y と薬量の対数 $\log x$ との間に一般的に成り立っている直線関係は、除草剤による生育抑制率のプロビット変換値 Y' でも同様に成り立つとし、BLISS らの考え方を援用して除草剤の相互作用を論じている。

前述したように①式の関係は、供試昆虫の薬剤に対する感受性が薬量の対数に対して正規分布していることを意味するものであるから、もし感受性が全く均質な個体群を想定すると、この個体群はある薬量の処理で全部死ぬかあるいは全部死なないかのいずれかである。ところが、このような計数的反応 (Quantal response) の致死率と異なって、生育抑制率のような計量的反応 (Quantitative response) は、感受性の均質な個体群でも薬量に応じて連続的な数値をとり、薬量反応曲線を描くのがふつうである。したがって、植物個体群の除草剤に対する感受性が薬量の対数に対して正規分布をしていたとしても、一般には Y' と $\log x$ とが直線関係になるという保証はない。むしろ野島¹⁵⁾ は、幼芽長・発芽速度などの計量的反応で、プロビットに変換しないものとの数値 y' と $\log x$ との間に直線関係があることを見ている。

ただ、生育抑制率と薬量の対数とが対称に近い S 字曲線をとることは多いとみられるから、Y' と $\log x$ とが近似的に直線にあてはまることも多く起るであろう。GOWING の報文には測定値が示されていないので、どの程度直線のあてはまりがよいのか不明であるが、いずれにしても生育抑制率をとったときの薬量反応曲線が一般にどのような式で表現されるのか、理論的、解析的な検討が今後必要であろう。

さて、近似的にしる Y' と $\log x$ とが直線関係であるとして、GOWING は BLISS の独立連合作用と類似の方法で2剤混用の理論線をグラフ上に描き、これと測定値との関係から共力・拮抗作用を測定しようとしている。測定値や計算方法が示されていないので、理論線の具体的な求め方は明瞭でないが、前述した BLISS の②'式 $P_c = P_a + (1 - P_a)P_b$ を用いているとみられる。

COLBY^{4,5)} は GOWING の考え方をさらに単純化した。すなわち、生育抑制率が除草剤 A の ag 処理で $P_a \%$ 、除草剤 B の bg 処理で $P_b \%$ のとき、この両者の混用処理の生育抑制率の予想値を $P_E \%$ 、実測値を $P_c \%$ とすれば、 P_E は

$$P_E = P_a + P_b (100 - P_a) / 100 \dots\dots\dots ⑤$$

で表わされ、 $P_E < P_C$ のときに共力的、 $P_E > P_C$ のときに拮抗的、また $P_E = P_C$ のときに相加的な組み合わせであるとした。

生育抑制率の代りに、生育量の対無処理区比 $Q\%$ をとれば、予想値 Q_E は ②' 式と同様に、 $Q_E = Q_a Q_b / 100$ となる。これは 3 剤以上の混用に容易に拡大でき、 n 個の除草剤の混剤の予想値 Q_{En} は $Q_{En} = Q_1 Q_2 \cdots Q_n / 100^{n-1}$ である。COLBY はさらに P_C / P_E の値を共力効果の相対的な程度を示す指数 (Relative synergism) とし、当然のことながら、一般に混用薬量が少ないほど共力効果が大きいとしている。

この方法は、一見非常に単純明快な相互作用の検定法のように見受けられる。しかし、これは相加効果を ⑥ 式のように定義したとすれば成り立つということであって、その相加効果の定義は次に述べるような理由から決して妥当なものとは考えられない。

COLBY の相加効果は、BLISS の独立連合作用の $r=0$ の場合 ②' 式に等しい。これは第 2 図に図解した通り、作用性の異なる 2 薬剤が生理的に独立に作用すると仮定したときに成り立つ考え方である。ところが、致死率の場合と違って、2 剤が独立に作用したとして生育抑制反応をそれぞれの薬剤が関与する 2 つの部分に分けうる状況を想定することは困難である。つまり、 P_E の値を相加効果とする理論的な根拠をどこにも求めることができない。

見方をかえていえば、COLBY の方法は各母剤の薬量反応曲線の形を全く無視しているところに問題がある。たとえば、50% 生育抑制薬量が 5g である 2 つの薬剤を混用したとき、相加効果は一義的に 75% と決まってしまう。たとえ単剤 10g で 90% の効果があったとしてもである。また、作用性の等しい 2 剤の混用 (極端な場合は同一薬剤) においても、薬量段階によって共力的であったり拮抗的であったりすることになる。これらの点は、常識的な相互作用の認識からかなり外れており、実用的にも誤った結論を導きかねないと思われる。

(2) 類似連合作用を基準とする方法

長沢ら¹⁴⁾は、作用性の類似する 2 剤間の相互作用を、BLISS や FINNEY の類似共力作用と同じ手法で検定した。反応としてイネの幼芽伸長率 (計量的反応) をとっている。

類似共力作用の分析では、各母剤および混剤のプロビット回帰直線の勾配が等しいという仮定が要求されるので、まず共通の勾配をあてはめた計 3 本のプロビット回帰直線を測定値から求め、3 本が平行な直線であることを統計的に確める。別に、類似連合作用の ③ 式によ

て、2 剤が相互作用をもたないときの混剤の反応曲線の理論式を算出し、これと測定値から求めた回帰式との異同によって相互作用を検定する。理論線よりも効力が強い方向に回帰直線が移動していれば共力作用、反対ならば拮抗作用である。

類似連合作用がもつ性質、すなわち混剤の 1 成分は一定割合で他の成分に置き換えられるという性質に着目すれば、薬量反応曲線がどんな形のものであろうと、それが 2 母剤で相同の形 (反応曲線が水平に平行移動しただけの関係) をしていれば、その混剤の理論的な反応曲線はグラフ上に描くことができる。反応曲線の形が相同ということは、すべての反応量の範囲で効力比が等しいことを意味している。かりに A 剤に対する B 剤の効力比 0.2 の 2 剤 A、B を 1:2 の割合で混合したとき、混剤 6g (A 剤 2g + B 剤 4g) の効果は A 剤の 2.8g ($2g + 0.2 \times 4g$) の効果と等しい。これを混剤の各薬量段階で計算してグラフにかけば、類似連合作用の反応曲線が得られる。

したがって、類似連合作用を基準とするこの方法は、たとえプロビット回帰直線が得られなくとも採用することができる (ただし、統計的な厳密な検定方法とはとれない)。しかし、2 母剤および混剤の薬量反応曲線は相同でなければならず、また長沢も認めているように、作用性が等しい除草剤の混用に限るという致命的な欠陥がある。

(3) CRAFTS の方法

CRAFTS ら (1936)⁹⁾ によって提案され、SHEETS ら²⁰⁾ が採用している方法である。足立ら¹¹⁾ も一部にこの方法を取り入れている。殺虫剤の分野で BURCHFIELD ら³⁾ がとっている方法も原理的にこれと等しい。これは第 6 図

第 6 図 CRAFTS の作図による相互作用の類別 (CRAFTS⁹⁾ より模式化)

のような作図による方法である。

まず混用しようとする2剤A, Bの薬量反応曲線を実験から求め、たとえば50%生育抑制薬量 a, b gを推定する。そしてA剤 a/p gとB剤 b/q g (ただし $1/p + 1/q = 1$)を混用処理して生育抑制率を測定し、図のようにプロットして線で結ぶ。この線が横軸に平行であれば(I), この組み合わせは相加的であるとし、この相加的効果の線より上にくれば共力的、下にくれば拮抗的であるとする。

結局, CRAFTS は, 2剤の混用処理でその一方の剤の薬量が一定の比率で他剤に置き換えられるとき相加的な組み合わせだとしている。CRAFTSの方法はBLISSの論文(1939)²⁾よりも先に出されているが, CRAFTSの相加的効果の線はBLISSの類似連合作用の考え方と原則的に一致している。

しかし, BLISS や FINNEY が薬剤の作用性に基づく理論的な面から出発し, 反応量0~100%の範囲で連合作用・相互作用を検討しようとしているのに対し, CRAFTSは母剤のある特定の反応量に焦点をあてて相互作用を検討しており, この点では根本的に異なっている。したがってまた, CRAFTSの方法は, 母剤の薬量反応曲線がたとえどんな形のものであっても採用できる。これらの点は, 次に述べる等効果線による方法でもほぼ同様である。

検討を要するのは, この相加的効果の定義が普遍妥当性をもつかどうかであり, この点は次報の等効果線法の考え方の中で考察したい。CRAFTSの方法は, A剤とB剤が共力的な組み合わせであるか否かを推定する有力な手段であると思われるが, 欠陥もある。たとえば, 実用的な見地から, 雑草を満足すべき程度に防除するのに好適な混合比・薬量は何かといった点に関しては, ほとんど情報を与えない。

(4) 等効果線 (Isobole) による方法

混剤のある一定の反応量(効果)に焦点をあて, その反応量を達成するのに混剤の成分がそれぞれいくら必要かを作図する方法で, 古く医薬の分野でLOEWEら(1926)¹³⁾によって考案されたといわれる。その後医薬ではDE JONGE¹²⁾, また酒井¹⁸⁾によれば殺虫剤でREILLY, GADDUMによって検討されている。

除草剤にこの方法を適用したのはTAMMES(1964)²¹⁾が最初であろう。TAMMESも, もととは殺虫剤への適用を主眼としており, 第7図はTAMMESからそのまま引用したものである。

まず, 母剤の単用を含め各段階の薬量を組み合わせて混用処理し, A剤の薬量を一定にしたときのB剤の薬量反

第7図 等効果線による相互作用の類別 (TAMMES²¹⁾)

* 計量的反応の場合は拮抗効果の一部とみなした方がよい…筆者

応曲線およびB剤の薬量を一定にしたときのA剤の薬量反応曲線を描き, そこからたとえば50%致死薬量を数点求め, 第7図のように50%致死の等効果線をかく。等効果線が(I)であれば相加効果とする。この相加効果の線を基準とし, 等効果線がこの下にくれば共力効果である(II)。

図は殺虫剤の場合であるが, CRAFTSの方法のところで述べたように, この場合も薬量反応曲線の形を問わないから, 致死率に限らず生育抑制率をとっても成り立ちうる。ただし, 第7図の独立効果(III)はBLISSの独立連合作用(②式)の $r=1$ の場合であるが, 生育抑制率では“独立”ということが考えにくいので, 等効果線が(I)より上方にくるときはすべて拮抗の効果とみた方が妥当である。

第8図は, 参考のために, 母剤の一方が単独では効力をもたない場合(たとえば展着剤など)について示した

第8図 等効果線による相互作用の類別 — 母剤の一方(B剤)が効力をもたない場合 (TAMMES²¹⁾)

* この場合は 独立=相加 と考えられる…筆者

ものである。この図で TAMMES は (I) を独立効果としているが、第7図と連続させてみれば、これは相加効果でもある。

相加効果の線は、第6図の CRAFTS のものと一致し、BLISS の類似連合作用と基本的に同じである。この相加効果の線は、共力効果・拮抗効果を区分する基準となる重要な線であり、これについての検討は次報にゆずりたい。等効果線による相互作用の検定法は、相互作用の作用機構の面に関して直接的な知見を与えるものではないが、実効ある混剤を創出するという実用上の面ではすこぶる有効な方法と考えられる。

4. む す び

以上、相互作用に関連するいくつかの考え方を解説的に紹介した。理解が不十分で、あるいはまちがって解説・批判した点がないかとおそれる。

これまでの検討の結果では、実用的な観点に立つと、等効果線のもつ利点が大きいのと思われるので、この方法とその他の考え方との異同について理論的につめ、また利用の方向などを次報で考察したい。

引 用 文 献

- 1) 足立明朗・浜田慶二：光合成阻害除草剤の連合作用。雑草研究 **12**, 59~64 (1971)。
- 2) BLISS, C. J.: The toxicity of poisons applied jointly. *Ann. appl. Biol.* **26**, 585~615 (1939)。
- 3) BURCHFIELD, H. P. and F. WILCOXON: Comparison of dosage-response and time-response methods for assessing the joint action of antimetabolites. *Contr. Boyce Thomp. Inst.* **18**, 79~82 (1954)。
- 4) COLBY, S. R. *et al*: Synergistic and antagonistic combinations for broadening herbicidal selectivity. *Weeds* **13**, 87~91 (1965)。
- 5) COLBY, S. R.: Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. *Weeds* **15**, 20~22 (1967)。
- 6) CRAFTS, A. S. and C. W. CLEARY: Toxicity of arsenic, borax, chlorate, and their combinations in three California soils. *Hilgardia* **10**, 401~412 (1936)。
- 7) FINNEY, D. J.: The analysis of toxicity tests on mixtures of poisons. *Ann. appl. Biol.* **29**, 82~94 (1942)。
- 8) FINNEY, D. J.: Probit analysis. Cambridge Univ. Press, London (1947)。
- 9) GOWING, D. P.: A method of comparing herbicides and herbicide mixtures at the screening level. *Weeds* **7**, 66~76 (1959)。
- 10) GOWING, D. P.: Comments on tests of herbicide mixtures. *Weeds* **8**, 379~391 (1960)。
- 11) HEWLETT, P. S. and R. L. PLACKETT: Statistical aspects of the independent joint action of poisons, particularly insecticides. II. *Ann. appl. Biol.* **37**, 527~552 (1950)。
- 12) JONGH, S. E. DE: Isoboles. In DE JONGH, H.: Quantitative methods in pharmacology. Amsterdam, 318~327 (1961)。
- 13) LOEWE, S. and H. MUISCHNEK: Über Kombinationswirkungen. *Arch. exp. Path. Pharmac.* **114**, 313~326 (1926)。
- 14) 長沢純夫ら：イネの幼芽の伸長を阻害する DBN と TPN の連合作用。雑草研究 **6**, 80~83 (1967)。
- 15) 野島数馬・奈良正雄：農薬などの植物に対する反応速度について。雑草研究 **3**, 64~68 (1964)。
- 16) PLACKETT, R. L. and P. S. HEWLETT: Statistical aspects of the independent joint action of poisons, particularly insecticides. I. *Ann. appl. Biol.* **35**, 347~358 (1948)。
- 17) PLACKETT, R. L. and P. S. HEWLETT: Quantal responses to mixtures of poisons. *Jour. Roy. Sta. Soc., S. B.* **14**, 141~163 (1952)。
- 18) 酒井清六：殺虫剤の連合作用に関する昆虫毒物学的研究。東京 (1960)。
- 19) 酒井清六：殺虫剤生物検定の予測性。農業生産技術 **2**, 23~28 (1960)。
- 20) SHEETS, T. J. and O. A. LEONARD: An evaluation of the herbicidal efficiency of combinations of ATA with dalapon, monuron, and several other chemicals. *Weeds* **6**, 143~151 (1958)。
- 21) TAMMES, P. M. L.: Isoboles, a graphic representation on synergism in pesticides. *Neth. J. Plant Path.* **70**, 73~80 (1964)。

(1972年6月11日受付)

Interaction in Herbicide Combinations —Concepts and Assessing Methods of Interaction—

Hideo CHISAKA

Central Agricultural Experiment Station, Konosu, Saitama

Summary

Several concepts and assessing methods on the interaction in combination of chemicals, including insecticides, were reviewed.

Joint toxic action in insecticides, which was proposed by BLISS and developed by FINNEY, PLACKETT and others, has been adopted more or less for the assessment of interaction in herbicide combinations.

Various approaches in herbicide combinations were discussed, e.g. those of GOWING, COLBY, NAGASAWA, CRAFTS and TAMMES. The isobole method of TAMMES might be practically most useful.