

除草剤の作用生理の研究手法

農林水産省農業環境技術研究所 坂 齊

除草剤の作用特性・選択性機構等その作用生理を明らかにするには、そのための手法の開発が極めて重要である。筆者は、数年来この観点から、いくつかの実験手法の検討・開発に携わり、その手法を用いて、代表的な除草剤の作用性を横断的に比較検討し、また除草剤抵抗性雑草の抵抗性機構の解明等の一助としてきた。

ここでは、そのなかで一応実験系が確立していて汎用性があると考えられる、*in vitro*のラミナジョイント法と酸素電極法、および *in vivo* の系としてのポロメータ法を取りあげて、使用の実際と問題点を紹介するとともに、これらの手法の将来的展開方向についても若干言及してみたい。

1. ラミナジョイント法

ラミナジョイント(葉身基部 lamina joint)とは、単子葉植物に主としてみられる葉身(lamina)と葉鞘(sheath)との継ぎ目部位を指す(図1)。イネの幼苗では、この部位の組織、特に向軸(adaxial)側の数層の表皮細胞群は極めて鋭敏にオーキシシン反応を示して伸長・肥大生長するとともに、これと平行して葉身が背軸(abaxial)側の一方向に屈曲する(図1, 図2)。オーキシシンに反応して引きおこされた葉身と葉鞘との間の角度が130度程度になったときのラミナジョイント部位の向軸側細胞長は、背軸側のその4~5倍になる¹⁾。しか

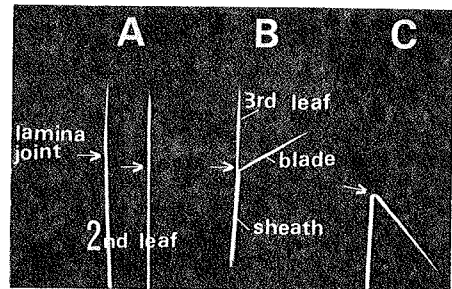


図1. イネ黄化幼苗の第2葉葉片と検定手順

- A: 第2葉葉片。調製したあと蒸留水に浮かべる。
- B: 1日間蒸留水に浮かべた葉片。40~60°の角度をもつ。不要な第3葉はこの段階で除いてもよい。
- C: オーキシシン液(50 μ M)に2日間浮かべたあとの第2葉葉片。110~130°に曲がる。

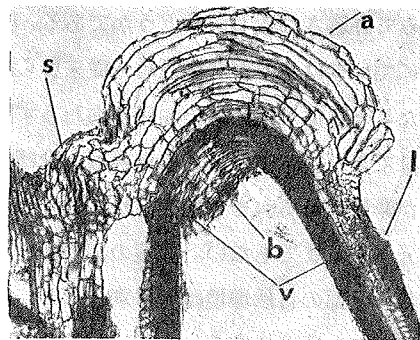


図2. IAA(50 μ M)処理後のラミナジョイント部位の縦断切片(x72)¹⁾

- a: 向軸側細胞群、細胞の伸長生長が著しい。
- b: 背軸側細胞群、v: 維管束系、l: 葉身、s: 葉鞘。

しこの時、ラミナジョイント部位の向軸側組織の細胞分裂活性は認められない。従って、この

葉身の屈曲角度の大小で、オーキシン依存の細胞伸長程度をほぼ定量的に把握できることから、オーキシン活性物質やオーキシン依存の細胞伸長阻害剤・促進剤の検定系あるいはオーキシンの作用機構解明のための実験系として、その有用性が認められている^{13, 14, 16)}。

しかし、本検定法が一応確立されて以来、はや20年以上になるにもかかわらず、この間、この実験系が充分活用されてきたとは言い難い。それは、我が国ではイネは実験材料としてなじみやすいにもかかわらず、アベナ伸長（あるいは屈曲）テストほどには国際的に知られていないこと（昨年、英国WROのJ. Caseleyが農環研に来訪された折、赤色光下で紹介したラミナジョイント法に、彼は大変驚いていた）、研究者は各自で開発した検定法をおもに使用すること（例えば文献27参照）、また、本法は極めて簡便に取り扱えるが、アベナテストなどに比べオーキシン感度が劣る等の理由があげられる。

しかし、近年、新生理活性物質探索の中で、ラミナジョイント法がブラシノステロイド化合物に鋭敏に反応する（この手法では、ブラシノステロイドはオーキシンの1万倍以上の活性を示す）ことが判明するにおよび、その特異性が改めて脚光を浴びるに至っている²⁸⁾。

1) 材料の調製と試験

イネの種子を、ベンレート液等で処理後、30℃条件下で充分な水に浸漬する。1日経て水を取り替え、浸漬する水量を若干少な目（種子全体が浸る程度）にして更に1日、同じ条件下に放置する。次いで、発芽揃いのよい種子を選び、0.7%寒天を入れたシャーレ（直径15cm程度のものがよい）に、胚を上向きにして、寒天中に軽く突き刺すようにして播種する。シャーレ当たり100～120粒の割合で播く。播種が終わった

ら、寒天表面が濡れる程度に水を加え、暗黒の30℃恒温器で栽培する。イネの生長に応じて水量を増す。寒天表面が乾くと雑菌が繁殖しやすいので、水切れに注意する。恒温器内は、高湿条件に保つことが肝要で、これにより軟弱で徒長した検定材料としてふさわしい黄化幼苗を得ることができる。水の補給は赤色光下で行なう。

播種7日後（この程度のageの材料が最大のオーキシン反応を示し、実験日の選定にも都合がよい）、赤色光下で、カミソリで幼苗のラミナジョイント下1.5cmのところを切り取り、第3葉が抽出している場合は、それを取り除いて第2葉葉片を30℃の蒸留水に浮かべる（図1A）。葉身や葉鞘の長さは、オーキシン反応に影響しないから検定溶液が少ないときは、ラミナジョイントの上下5mm（全体として約1cm）の長さに切りそろえて使用するとよい。蒸留水に浮かべた葉片は、1日経つと屈曲して、様々な葉身傾斜角度をもつものになる。全く屈曲しないものもある。その中から40～60度程度に曲った葉片を選んで、ピンセットで軽くつまみあげ、分度器で角度を測ったあと所定の検定液に浮かべる（図1B）。2日間浸漬後、再び葉片の傾斜角度を測定し、2日間で変化した角度をもとめる（図1C）。この角度の大小で、オーキシンやオーキシン様活性物質あるいは、オーキシン依存の細胞伸長を阻害したり、促進する物質の検定ができる。これらの操作は赤色光下でおこなうが、それ以外は30℃暗黒下に静置する。なお材料としての幼苗は品種により、また種子の保存期間の長さやその状態で、オーキシン反応が大きく変動する。

2) 葉身傾斜の経時変化とその調節

播種7日後に調製した第2葉葉片は、オーキシン液に浮かべても直ちに反応しない¹⁵⁾。約10

～12時間程度の lag period の後40時間位まで直線的に傾斜角度は増大する。従って通常、葉片調製後24時間蒸留水に入れて葉片をagingさせたあと、被検液に入れなおし、検定するわけである。その一例を図3に示した。この図は

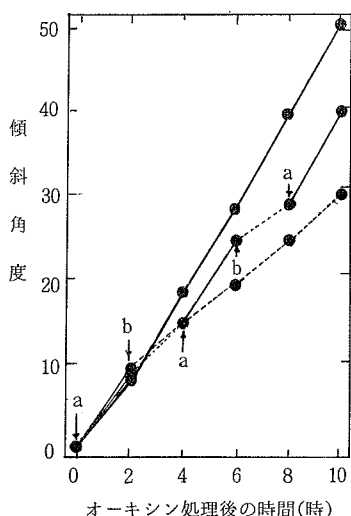


図3. オーキシンによる葉身傾斜速度の調節¹⁶⁾
 —: IAA (50 μ M) + マレイン酸カリウム (2.5 mM)
 ----: マレイン酸カリウム (2.5 mM)
 a と b でそれぞれ溶液の入れ替えをする。

24時間蒸留水でagingさせた葉片をシャーレ内に固定し、同一葉片の角度の経時変化を投影検査機(東芝製)で測定したものである¹⁶⁾。オーキシン(50 μ M IAA)が存在すると直ちに葉身は屈曲しはじめる(約5%時、図3のa)が、オーキシンを除いて緩衝液だけにすると(図3のb、ここでは溶液に緩衝能をもたせるためにマレイン酸カリを使用しているが、リンゴ酸・シュウ酸・コハク酸等の塩でもよい²⁴⁾), 傾斜速度は鈍る(約2.5%時)。オーキシンに入れかえると再びその速度は、はじめの速度に回復する。すなわち、ラミナジョイントの細胞の伸長速度は、オーキシンによって見事に調節されていることがわかる。この手法により、各種薬剤の効果を短時間に検定できる。薬剤はその作用のちがいに

よって薬剤処理後、オーキシン依存の細胞伸長阻害が発現するまでの時間がことなる¹⁷⁾ので、阻害作用をもつ薬剤の判別も可能である。カイネチンは、このオーキシン依存葉身傾斜を顕著に阻害する(I_{50} は約 2×10^{-5} M)が、その作用の発現にはアンチマイシンAやアクチノマイシンDよりも長い時間を要する¹⁷⁾。こうした各種阻害剤の作用からみて、ラミナジョイント細胞の伸長生長には、蛋白質核酸合成が関与していることも明らかである。

3) 薬剤の検定

除草剤等生理活性物質の検定は、通常、オーキシン(たとえばIAA)に依存した細胞伸長生長に与える阻害あるいは促進効果を調べる。しかし、2,4-Dやその類似化合物あるいは、アミベン等安息香酸系化合物などのようにホルモン活性をもつものは、IAAと共存させることなく単独でその効果を判定できる。ブラシノステロイド化合物も単独で作用を顕わす。従って、ラミナジョイント法等による生物検定では、検定化合物単独の効果と、これにIAAを共存させた場合の効果の両方をサーベイしておく必要がある。ラミナジョイント法による数種薬剤の検定事例を図4に示した²⁴⁾。ここでは、IAA依存の

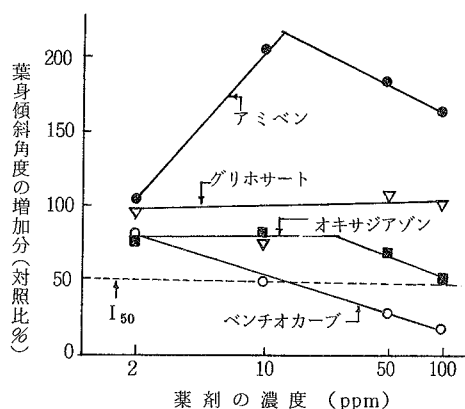


図4. ラミナジョイント法による薬剤の検定²⁴⁾

伸長生長（葉身傾斜）に与える薬剤の作用を調べたものである。先述のように、ホルモン活性をもつアミベンはIAAと共存すると、ある濃度までは細胞伸長を促進するが、高濃度になると阻害作用が発現する。オキサジアゾン是一定濃度まで伸長生長に影響しないが、高濃度になるとアミベンと同様阻害作用を示す。グリホサートは、使用した濃度範囲内ではラミナジョイント法に反応しない。顕著な蛋白質合成阻害活性を示すベンチオカーブは、 I_{50} が約10ppmである。次にベンチオカーブのようなIAA依存の細胞伸長を阻害する薬剤の阻害様式について、酵素反応速度論で使われる手法のひとつを用いて表示しなおした事例(Lineweaver-Burkプロット)を図5に示した¹¹⁾。この図からIAA

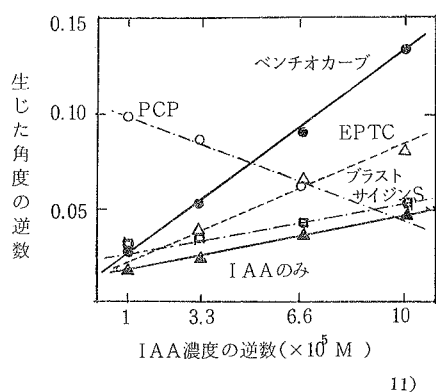


図5. IAAに対する阻害剤の阻害形式¹¹⁾

ベンチオカーブ：50 μ M, EPTC：50 μ M,
PCP：5 μ M, プラストサイジンS：0.25 μ M.

と共存したベンチオカーブとEPTCのカーブは、IAA単独のカーブと縦軸上で交わり、2薬剤は各々蛋白質合成過程でIAAと拮抗して阻害することが結論できる。しかしIAA単独のカーブに対して、ベンチオカーブとは異なる阻害様式を示すプラストサイジンSやPCPは、別の作用点をもつことを示している。このことは、既に知られている両薬剤の作用特性からも明らかである(筆者らの試験では、PCPの阻害形式は、

図5のそれとは異なり、プラストサイジンSと同様、IAA単独のカーブにはほぼ平行するカーブになった)。このように同じ検定手法でも、そのアプローチを変えれば、薬剤の作用機構の解明が可能である。

ラミナジョイント法のもうひとつの活用方法の事例を紹介してみよう。それはCraftの薬剤混合方法²⁾を準用して、作用点の異なる2薬剤(ここではDBNとパラコート)のIAA依存細胞伸長生長に対する混合効果を調べたものである²⁴⁾(図6)。本図にみるように、その効果が

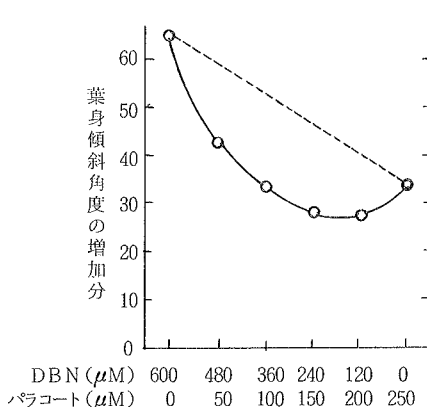


図6. DPAとパラコートのIAA依存葉身傾斜速度に対する混合効果²⁴⁾

IAA (50 μ M)とマレイン酸カリウム
(2.5 mM)を含む。

単に両薬剤の混合による相加効果なら、測定値は図の点線上にプロットできるはずであるが、実際には実線上に乗り、両剤の相乗的な阻害作用が示唆された。その詳細は、等効果曲線法など別の手法で更に検討する必要があるが、本図に示す薬剤の混合効果試験は、除草剤の混合剤化における簡便なスクリーニングに役立つ可能性を示唆するものといえる。

2. 酸素電極法

この手法は、筆者らが1979年頃から取り組ん

できた簡便な除草剤検定法のひとつで、特に光合成・呼吸阻害剤の検定^{5,6,22)}に有効である。その基本的なアイデアは、Lüttge¹²⁾、Jones & Osmond¹⁰⁾あるいは我が国ではIshii et al.⁸⁾による葉片光合成測定法の確立と光合成に対するDCMU等阻害剤の作用性研究に由来する。また酸素電極そのものは、旧来から酵素化学・細胞化学の分野で広く活用されており、特に目新しいものではない。筆者は、1970年代中葉、この装置を用いて、RuBPオキシゲナーゼ活性あるいは、チトクロムCオキシターゼ活性を測定したことがある²⁵⁾。松中は、この酸素電極によるミトコンドリア呼吸系への除草剤作用に基づく作用機構解明研究を紹介している¹⁸⁾。

ところで、筆者ら²¹⁾が1981年に雑草研究誌にこの酸素電極による光合成速度測定法と、これに対する除草剤作用の検定について紹介して以来、多くの識者から批判・質問を受けてきた。その内容の大部分は、装置の組立・稼動法および光合成速度（単位時間当りのO₂放出速度）の計算方法である。特に光合成速度の値はデータとして必須である。しかし、本装置で測定した値は、植物の生育中の環境要因による影響や採取葉から調製したディスクのagingによる影響を受けて変動するので、ひきつづき検討すべき余地が残されている²⁸⁾。切葉にして水中で光合成をおこなわせるという本報の不自然さも問題であろう。従って酸素電極での測定値をその植物葉の光合成速度として、直ちに実験結果を比較・論議するのは、限定した条件内での結果の論議を除けば現在のところ飛躍があるようである。

一方、薬剤による光合成阻害程度は、対照の光合成速度に対する薬剤を添加した場合の光合成速度の相対値として算出し、薬剤の阻害力を

検定する。従ってこの場合は、供試植物の光合成速度の絶対値は、それほど問題にしくなくてもよい。また上述の植物の生育環境、ディスクの調製およびディスクのaging等の要因あるいは供試植物種のちがいによる光合成速度の変動も致命的ではなく、本法の薬剤検定における簡便法のひとつになっている。

この手法を用いて、50数種類の除草剤、代謝阻害剤の作用力を調べてみた²²⁾（表1）。その結

表1. 酸素電極による光合成阻害力に基づいた除草剤の分類²⁶⁾

pI ₅₀ (M)	除草剤・代謝阻害剤
(1) $4.5 \times 10^{-6} \sim 1.8 \times 10^{-4}$	ヒル反応阻害(A)剤…DCMU, プロメトリン, シメトリン, メトリブジン, リニユロン, CMMP, アトラジン, プロパニル, プロマシル, シマジン, ピラゾン, スウェップ, CCCP, S-52.
(2) $6.6 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$ $10^{-3} \sim 10^{-2}$	呼吸系阻害(B)剤…ディノセブ, アンチマシシン-A, KCN, PCP. AとBあるいはBとCの作用を共有する剤…メタゾール, アイオキシニル, プロモキシニル, CIPC.
(3) $10^{-2} \sim 10^{-1}$	電子受容剤・ジクワット, パラコート.
(4) 阻害なし	オーキシシン攪乱型, 蛋白質・核酸合成阻害型(C), 光要求型, 有糸分裂阻害型薬剤およびその他…2,4-D, 2,4,5-T, MCPA, クロラムベン, ディカンバ, ディクロホプメチル, アミトロール, ビフェノックス, CNP, ニップ, オキサジアゾン, X-52, ピラゾレート, アロキシジム, アシュラム, メトラクロール, トリフルラリン, セトキシジム, ペンディメタリン, SL-501, グリホサート.

PI₅₀（光合成速度を50%阻害する薬剤の濃度）をもつ薬剤は、阻害力が強い順序で記載した。除草剤は、植調研、全農をはじめメーカー各社からの恵与を受けた。

果、これらの薬剤は、2,4-DNPやベンタゾン等の例外を除くとPI₅₀（ディスク光合成を50%阻害する薬剤の濃度）値の大小によって、大きく4つのグループに分類できた²⁶⁾（しかし、先述のように、PI₅₀値そのものは、草種や植物の生

育のステージのちがいで変動する)。また、これらの除草剤のうち、光合成を阻害する各薬剤の PI_{50} 値を、ハウレンソウ等の葉緑体で測定された文献上のヒル反応50%阻害濃度- HI_{50} -と比較・対照すると、 PI_{50} は HI_{50} の5~200倍の値であった。この結果はイネの止葉を供試して得られたもので、ヒル反応法に比べ感度が著しく低いことを示している。しかし、 PI_{50} と HI_{50} の間には極めて高い正の相関が認められた。つまり、本法は、上述の分類を目安にすることにより、ヒル反応活性検定法よりも簡便に薬剤の活性を検定できるものと考えられる。同時に光合成活性に影響を与えない薬剤については、前述のラミナジョイント法等を活用する必要があることはいうまでもない。

3. ポロメータによる蒸散量の測定

近年、非破壊的に植物の生理状態・機能を把握する測器がいくつか開発されている。従来からの“ものさし”は代表的な非破壊計測器で、その重要性は今後変わることはない。同化箱法による光合成測定装置は、物質生産にかかわる研究に供する今日的測器といえるが、高価でかつ活用するにはかなりの熟練を要する。

ここに紹介するポロメータによる蒸散量測定法も、こうした非破壊による生体計測法のひとつである。筆者らが用いている米国ライカー社のスーパーポロメータ(LI-1600型、図7)は、高価だ使用法は実に簡単である。これは、植物の蒸散に係る各種要素を、内蔵するマイクロコンピュータによって演算処理し、拡散抵抗値・蒸散量を、検体を切りとることなくインタクトな状態で直読測定できる。同時に、葉の周辺温度(気温)、葉温度、相対湿度、光量子量をもデジタル表示する。その原理と仕様等の詳細は他にゆずり、また本

法の、蒸散速度に比例して増大する飽差とのからみは、今後の検討課題として、ここでは測定の実際と二、三の問題点を述べてみよう。

1) 葉の蒸散量の測定

供試する植物の葉をセンサーヘッド部(図7-C, 広葉用, 細葉用, 針葉用のセンサーキッ

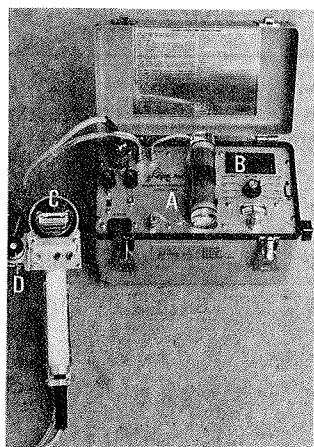


図7. スーパーポロメータ(LI-1600型)

A: 本体, B: デジタル表示板,
C: センサーヘッド,
D: 光量子センサー

トがある)に挟むと、本装置は、数十秒の間に蒸散量等の各種データを測定・記憶するので、必要に応じてデジタル表示したり(図7-B)、コンピューターに接続してデータ処理ができる。この装置はコンパクトな携帯用であるから、試験現場で使用できる利点をも有する。

表2にダイズの蒸散量・拡散抵抗を測定した結果を一例としてあげた。本表から、ほぼ同一の生育ステージにある植物体の蒸散量・拡散抵抗値は、同じ葉位の複葉間での差異は小さく、葉位間では有意な差異がいずれの個体においても認められる。つまり本装置による結果の再現性は大変良いことを示している。しかしながら、同一葉について、短時間の間に繰返し

表2. ダイズ葉の蒸散量の葉位間差異

葉 位	個 体 1		個 体 2		個 体 3		個 体 4		平 均	
	拡散抵抗 ¹	蒸散量 ²	拡散抵抗	蒸散量	拡散抵抗	蒸散量	拡散抵抗	蒸散量	拡散抵抗	蒸散量
1 (0.2~0.3葉)	2.58	6.31	3.66	4.52	2.15	7.80	3.55	4.78	3.07+0.62	5.85+1.52
2	0.76	18.87	1.05	14.74	0.99	15.81	1.12	13.84	1.01+0.19	15.82+2.19
3	0.63	22.05	0.70	20.17	0.66	22.20	0.65	21.22	0.66+0.03	21.41+0.93
4	0.62	22.61	0.60	22.95	0.64	22.75	0.65	21.38	0.63+0.02	22.43+0.71
5 (初生葉)	0.89	16.86	0.82	18.09	0.93	16.82	0.84	17.67	0.87+0.05	17.36+0.62

1: s/cm, 2: $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$

ガラス温室でポット栽培した第4本葉が展開中のダイズ(新4号)の葉について測定. 各個体の数値は, 本葉については三複葉の各々の平均値, 初生葉は2枚の平均値である.

気温32℃, 相対湿度50~52%, 光量子量1025 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$, 1982年8月下旬.

測定すると, 値が大きくふれた。これは, センサーヘッドへの葉の接触および測定の際通す乾燥空気による葉面の気孔開閉への後作用のためと考えている。

なお, 表2や図8にみるようにガラス温室のような比較的制御された環境下で測定した植物の蒸散量は, 同化箱で光合成速度と平行して測定した露点法による蒸散量の測定結果とほぼ一致する。

図8には, イネの蒸散量・拡散抵抗値の日変

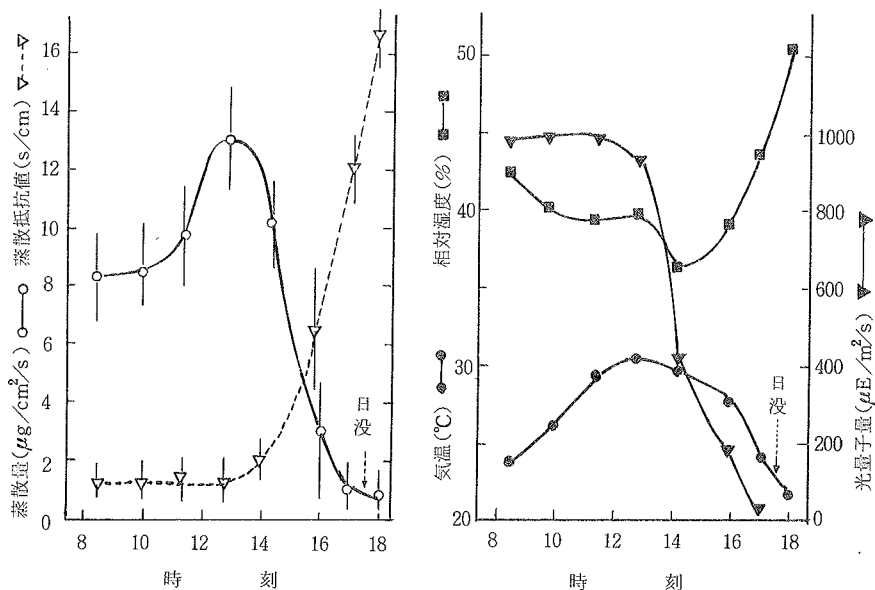


図8. イネの蒸散量, 拡散抵抗等の日変化

1982年10月13日(快晴)に, ガラス温室でポット栽培したイネ(密陽23号開花期)の止葉について測定.

化を, 気温・湿度・光量子量とともに示した。蒸散量・拡散抵抗値およびその変化のパターンは, 他の測器による結果⁷⁾にほぼ一致している。

しかし, 当然のことながら, 土壌の水分状態や日照の多寡は植物の蒸散量に顕著な影響を示す。従ってガラス室のような条件下であっても, 測定時の天候の変化やポット植物の水分不足には, 注意を要する。圃場

では, 蒸散に強く影響する気温・風速・湿度・天候など変動しやすい気象条件下で測定する場合は多いので, 結果の取り扱いには充分気を付

ける必要がある。

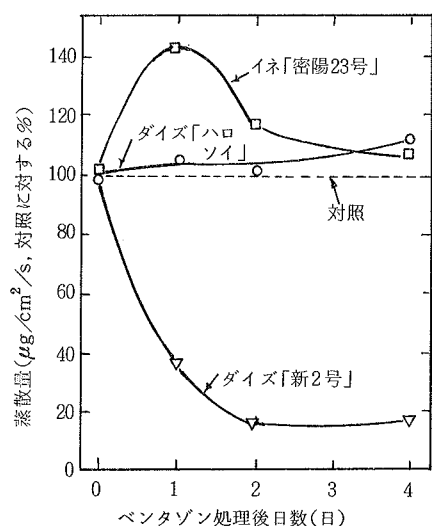


図9. ダイズとイネの蒸散に及ぼすペンタゾンの影響

ガラス室でポット栽培した第7～第8本葉展開期のダイズと幼穂形成期のイネにペンタゾン(50%水和剤, 20g/a)を茎葉散布。完全展開最上位葉について測定。1982年8月上旬(晴)。処理4日後、ダイズ「新2号」の下葉は黄化し、測定葉位葉の黄変もわずかに認められたが、ダイズ「ハロソイ」とイネでは、いずれの葉位葉も黄化はみられなかった。

2) 除草剤の作用

室内型グロースキャビネットはもちろんのこと、ガラス室でも比較的安定した気象条件を選んで測定(1時間程度)できるので、蒸散に対する除草剤等の作用を他の環境要因にそれほど注意を払うことなく、かなりくわしく調べることができる。図9と図10は、ペンタゾンやシメトリン、ジメタメトリンの蒸散に及ぼす影響を調べたものである⁹⁾。前者では、供試したダイズのうち、ペンタゾンに感受性の品種新2号は、光合成阻害による葉の黄化が起こるはるか以前の処理1日後に、すでに急激な蒸散阻害を引き起こしている。ダイズのハロソイやイネではこれらはみられない。先述のように環境制御下での蒸散量は光合成速度と高い正の相関を示すことを考えると、本実験結果にみるダイズ新2号の蒸散阻害は、ペンタゾンによる光合成阻害をほぼ反映していると考えてよいだろう。後者のイネ南京11号の蒸散に対するシメトリンとジメタメトリン(いずれもイネ用の光合成阻害型除草剤であるが、前者のシメトリンは高温・高照

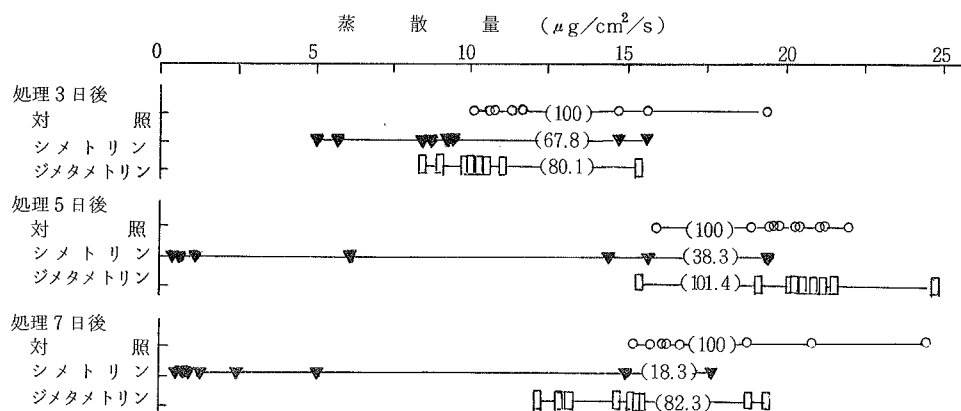


図10. イネ葉の蒸散量に対する光合成阻害型除草剤の影響

1/5000aポットで栽培した6葉期前後のイネ(南京11号)を、約75 Klux, 30℃の空調グロースキャビネット内で数日間栽培し、これにシメトリン(有効成分1.8mg/ポット)、ジメタメトリン(同1.32mg/ポット)を水面滴下処理した(各々1.5%, 1.1%を含む製剤に換算すると、いずれも6kg/10aになる)あと、第5葉位葉について測定しその値をプロットした。()は平均蒸散量での対照に対するパーセント。

度下で南京11号に光合成阻害による葉枯れ等の薬害を出す)の影響をみると、ジメタメトリンの蒸散抑制効果は処理後日数にかかわらず比較的小さいが、シメトリンの蒸散抑制効果は、可視薬害が現われる(処理7日後)よりも早い処理3日後にはすでに顕著であった。しかし、圃場レベルでの試験と同様、シメトリンの薬害は、供試個体全部に発現するわけではなく、全く正常に生育する個体も多い。両者の差異は、生育遅延や可視害徴が現われるようになって気付くことになる。従って、図10の測定値が個体間で大きくふれているのは、薬害を受けなかった個体の測定値も含まれているためと考えることができた。

以上のように、スーパーポロメータは、蒸散量等の簡便な測器であり、また除草剤特に光合成阻害型薬剤の作用特性や薬害を迅速に測定・判定できるものとしてその有用性を指摘できる。今後、このポロメータ法は、センサーヘッドの小型化などの改良により、圃場のインタクトな幼植物を用いて薬剤のスクリーニングや効果の迅速な検定にも活用できよう。

4. 展 望 と 結 語

以上、ここでは、筆者が、旧農技研(生理6研)時代以来係わってきた除草剤研究における実験手法について、異なる三種類の具体例を取り上げて概説した。これらは、農薬実験法(除草剤編)⁴⁾にもとりあげられておらず、また、松中の解説¹⁸⁾の中でも充分にはふれられていない

古くて新しい手法といえよう。

ところで、近年の研究手法は、最後にとりあげたスーパーポロメータにみるような非破壊的でかつ迅速に結果を判定できる生体計測手法の開発が強く指向されているようである。医療用として開発されたCTスキャナーの農業への利用¹⁹⁾、有機化学分野で多用されているNMRの非破壊的生体成分計測への活用などは好例である。ここで紹介した酸素電極は、最近更に改良されて、まだ葉切片を用いることにかわりはないが、水相ではなく気相状態で酸素の放出量(光合成速度)を測定するとともに葉からの自家蛍光を同時に測定して、光化学系への除草剤作用をより細かく調べることができるようになった³⁾。Arntzen 一派は、可搬形の葉緑素自家蛍光捕捉装置を開発し、圃場レベルで非破壊的に光合成阻害型除草剤の作用を極めて短時間に検出している²⁰⁾。また、ここに紹介したポロメータは、最近大幅に改良されており、蒸散量と同時に光合成速度をも短時間に測定できる可搬型装置として、圃場レベルでの有用性が期待されている。これらは、活用の仕方次第で、除草剤等のスクリーニングや作用機構の研究手法としてのみならず、広く高等植物の、栽培現場における生理・生態機能を直接解明し、診断することを可能にするものといえよう。

本稿が、研究遂行上の一助になれば幸いである。

引 用 文 献

- 1) Bingham, G. E. and P. I. Coyne: A portable, temperature-controlled, steady-state porometer for field measurements of transpiration and photosynthesis. *Photosynthetica* 11, 148~160 (1977).
- 2) 千坂英雄: 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. 雑草研究 14,

- 12~18(1972).
- 3) Delieu, T. J. and D. A. Walker : Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. *Plant Physiol* **73**, 534~541(1983).
 - 4) 深見順一・上杉康彦・石塚皓造・富沢長次郎(編) : 農薬実験法③除草剤編, ソフトサイエンス社, 東京(1981).
 - 5) Hyeon, S-Be, M. Nishida, A. Ohsaka, J-M. Kim and A. Suzuki : A simple bioassay for chemicals active to the photosynthetic or respiratory systems of plants. *Agric. Biol. Chem.* **46**, 811~812(1982).
 - 6) 玄丞培・鈴木昭憲 : 酸素電極法による植物の光合成と呼吸に対する阻害物質の簡単な生物検定法, 植物の化学調節 **17**, 157~162(1982).
 - 7) 石原邦・平沢正・飯田修・木村昌久 : 水稻葉身の蒸散速度・気孔開度・気孔伝導度・木部の水ポテンシャルおよび葉の水ポテンシャルの日変化, 日作紀 **50**, 25~37(1981).
 - 8) Ishii, R., I. Yamagishi and Y. Murata : On a method for measuring photosynthesis and respiration of leaf slices with oxygen electrode. *Japan. J. Crop. Sci.* **46**, 53~57(1977).
 - 9) 伊藤夫仁・坂 斉・千坂英雄 : s-トリアジン系除草剤の水稻生理に及ぼす影響と品種間差異, 雑草研究 **28**(別), 81~82(1983).
 - 10) Jones, H. G. and C. B. Osmond : Photosynthesis by thin leaf slices in solution. I. Properties of leaf slices and comparison with whole leaves. *Aust. J. biol. Sci.* **26**, 15~24(1973).
 - 11) 木村一郎・一前宣正・松中昭一 : 除草剤ベンチオカーブの作用機構, 雑草研究 **12**, 54~59(1971).
 - 12) Lüttge, U., E. Ball and K. von Willert : Gas exchange and ATP levels of green cells of leaves of higher plants as affected by FCCP and DCMU in *in vitro* experiments. *Z. Pflanzenphysiol. Bd* **65 S₂**, 326~335(1971).
 - 13) 前田英三 : イネのラミナ・ジョイントに対するホルモン剤・除草剤の反応, 雑草研究 **2**, 113~118(1963).
 - 14) 前田英三 : イネの lamina joint を利用する植物ホルモン作用の新測定法, 植物生理 **4**, 118~123(1964).
 - 15) Maeda, E. : Rate of lamina inclination in excised rice leaves. *Physiol. Plant.* **18**, 813~827(1965).
 - 16) 前田英三・坂 斉 : イネの葉身傾斜速度の研究に関する新しい実験系の確立. 日作紀 **37**, 37~44(1968).

- 17) Maeda, E. and H. Saka : Regulation of lamina-inclination rate by selective inhibitors in excised rice leaves. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, **39**, 279~286 (1970).
- 18) 松中昭一：除草剤の作用機構研究における生理・生化学的技法. 日本農薬学会誌 **4**, 525~532 (1979).
- 19) 中村滋男・藤井正司：CTスキナの農業・林業への利用, 遺伝 **38**, 43~49 (1984).
- 20) Richard, Jr. E. P., J. R. Goss, C. J. Arntzen and F. W. Slife : Determination of herbicide inhibition of photosynthetic electron transport by fluorescence. Weed Sci. **31**, 361~367 (1983).
- 21) 坂 齊・千坂英雄：酸素電極法による除草剤光合成阻害の検定, 雑草研究 **26**, 79~84 (1981).
- 22) 坂 齊・千坂英雄：除草剤の酸素電極による光合成阻害力の検定, 雑草研究 **27**, 63~70 (1982).
- 23) 坂 齊・千坂英雄：酸素電極法による植物の光合成速度の変動要因について, 日作紀 **52** (別1), 217~218 (1983).
- 24) 坂 齊・千坂英雄・C. プレマスティラ・S. ツングソンティボン：イネのラミナ・ジョイント法による除草剤共力剤の検定, 雑草研究 **29** (別), 133~134 (1984).
- 25) 坂 齊：イネの生育に伴う光合成関連酵素活性の変動とその種・品種間差異, 農技研報告D印刷中 (1985).
- 26) Saka, H. and H. Chisaka : Photosynthesis measurement by oxygen electrode as a simple bioassay method. JARQ. **18**, 252~259 (1984).
- 27) 竹松哲夫・竹内安智・古口正巳：Brassinolide 類の生物検定法と生理作用, 植物の化学調節 **18**, 38~54 (1983).
- 28) Wada, K., S. Marumo, N. Ikekawa, M. Morisaki and K. Mori : Brassinolide and homobrassinolide promotion of lamina inclination of rice seedling. Plant & Cell Physiol. **22**, 323~325 (1981).

カンキツ園の管理と春雑草の防除

農林水産省果樹試験場興津支場栽培研究室主任研究官 鈴木邦彦

1. は じ め に 春雑草の生育が遅かった。しかし, 秋から年末
 1984年の春は全国的に異常な寒さに見舞われ, にかけては比較的暖かい日が続いたため, 秋か