

除草剤の残効期間および 土壌中移動性試験法について

中央農業総合研究センター・耕地環境部・畑雑草研究室 與語靖洋

はじめに

除草剤の研究をしていると、「土に手を出すな。」とよく言われる。土壌中では除草剤の挙動にかかわる様々な環境要因が複雑に絡み合っているため、突き詰めていくとまさに「泥沼」にはまり込むというのがその理由である。しかし、近年残留農薬の分野では農薬の環境等への影響のリスク管理の視点から、それら要因について世界で共有できるOECD(Organization for Economic Cooperation and Development, 経済開発協力機構)法が確立されるとともに、水田および畑における土壌中挙動のシミュレーションモデルがいくつか提唱されている¹⁾。一方、除草剤の残効期間や土壌中移動性については、古くから生物検定と組み合わせた様々な方法が世界各国で開発され、これまでいくつかの成書⁴⁻¹³⁾に紹

介されている。ここではこれら試験法について、目的から具体的試験方法まで成書の追補的内容を紹介する。

1. 何のために除草剤の残効期間や土壌中移動性を調べるのか？

これらを調べる目的は、3つに分けられる(表-1)。第1に作物栽培である。除草剤、特に土壌処理型除草剤の効果や薬害は土性や気象等によって変動することが知られている。また作付け体系を想定した後作への影響(Carry over)や、除草剤の横および地下浸透が原因で灌漑水に除草剤が混入することによる周辺作物への影響も懸念される。一般に効果・薬害および周辺作物への影響については移動性、後作への影響については残留性が大きく影響する。しかし後

表-1 除草剤の土壌中挙動の生物検定法の目的

分類	目的	重要性		対象生物等
		移動性	残留性	
作物栽培	効果	大	小	対象雑草
	薬害	大	小	対象作物
	後作(作付け体系)への影響	小	大	後作物
	周辺作物(作物配置)への影響	大	小	周辺作物・間作
生態影響	圃場内の非標的生物への影響	小	大	絶滅危惧種, 生物多様性
	圃場外の非標的生物(河川・湖沼の生物)への影響	大	小	
除草剤	有効成分スクリーニング	大	大	扱いやすい感受性植物
	製剤開発(溶出制御等)	大	小	同上または対象作物・雑草

作への影響の場合、逆の例がある。ヨーロッパのような大陸性気候では冬の間に降雪（雨）量が多く、夏季には少ない。そこで麦用スルホニルウレア系除草剤を秋または春に処理すると、処理後の低温と春の雪解け等による土壤中下方移動・分布により、薬剤が分解しにくくなる。夏作として甜菜を栽培し始めるころには、当該薬剤は水の上方移行とともに上昇し、甜菜の根が分布する場所まで移動し、吸収される。甜菜は多くのスルホニルウレア系除草剤に対して極めて感受性であるため、容易に葉害が生じるのである。この場合は後作への影響であるものの、土壤中移動性の方が残留性よりも重要な意味を持っている。何れにせよ作物の除草剤感受性が重要な要因であることは確かである。

第2に生態影響である。昨今、絶滅危惧種や生物多様性の問題は学問分野にとどまらず、世間で広く取り上げられている。1992年5月には「生物多様性条約」が制定され、昨年には200ヶ国近い国々が締結した。農業分野でも特に農業使用との関連から、圃場内や河川・湖沼等圃場外の非標的生物を対象に研究や行政対応が積極的に進められている。従来圃場外の非標的生物といえば、養殖魚、蚕、ミツバチ等有用生物に対する影響が最重要課題であり、農業登録の際にはそれぞれの農業に対する感受性試験が義務付けられている。しかし、最近では自然生態系のあらゆる生物が対象であり、特に水生生物への影響が世界的に注目されている。例えば藻類においては *Selenastrum capricornutum* を世界的な指標生物にする試みもなされている。生態影響については作物栽培以上に多岐に渡る複雑かつ不均一な環境において、長期的影響や回復性等時間的要因も考慮する必要性があり、今後様々な視点から検討する必要がある。

第3に除草剤開発である。行政が取り上げる以前から農業開発においては土壤中挙動が有効成分のスクリーニング（選抜）に組み込まれており、長期残留性や極端に高い土壤中移動性を持った薬剤は開発の早い段階で篩い落とされる。ここでの目的は薬剤挙動そのものであり、機器分析を代替する簡便な検出系としての生物検定として当初から利用されていた。その後、土壤中移動性については水-オクタノール分配 (Log P)¹⁾ も利用されるようになってきた。一方、製剤開発では主に土壤中移動性の抑制や残効期間の延長が目的となる。この場合、感受性の高い検定植物または対象作物・雑草等を利用することで溶出制御等製剤の最適化が簡単にできる。移動性については一般的には小さいほうが好まれる。しかし、ゴルフ場の場合、土中30cmの深さに生息する土壤病害・土壤害虫を対象とすること、サッチ層があることからむしろ移動性が高いことが求められることがある。この場合も有効成分より製剤や散布技術で対処するのがよいであろう。

2. 除草剤の土壤中挙動試験法あれこれ

この試験法は、薬剤を土壤中で挙動させる実験およびその後の狭義の検定法（検出法）の2段階に分けられ、前者は後者の検出法にあまり依存しない。挙動実験には室内試験から圃場まであり、各場面でも様々な方法がある。現場では、作物や土壌の種類や水管理、代掻きや耕起等各種耕種的手段、さらには気象等様々な変動要因があり、除草剤の土壤中挙動も様々な影響を受けるため、実際場面で繰り返し試験した結果が最も正確であろう。しかし現実的には全ての条件を網羅して試験を実施することは不可能であり、試験管サイズから戸外ライシーメータ

一まで各種モデル試験が組まれる。モデル試験設計の際には、試験目的を明確にするとともに、主に制限要因としての試験実施環境を把握し、その試験から出せる答えの範囲を理解した上で最適な方法を選択することが大切である。

後者の土壤中除草剤の検出法は以下の3つに分けられる。第1にガスクロマトグラフや液体クロマトグラフを用いた機器分析法である。これらは農薬自体を検出する分離分析法であり、農薬登録に必要な作物および土壌残留性試験の公定法は全てこれらを用いることが前提である。欠点としては分析機器が高価で維持費やランニングコストも高く、分析には専門的知識と技術が求められることである。

第2に免疫検定法 (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay, ELISA) である。これも機器分析同様農薬自体を検出でき、抗体によってはそれに匹敵する感度を有するものの、バッチ法であるため交差反応性があることが欠点である。この利点はマニュアルどおりすれば誰にでも使え、その日のうちに結果が出せ、1日で数百検体分析することも可能なことである。但し、現時点では1検体1,000円程度コストがかかり、使える除草剤も限られているので、今後の技術開発に期待したい。

第3に生物検定法である。これもELISA法同様簡易なバッチ法であるが、生物活性を検出するため結果が出るまでに最低でも1週間程度要すること、および検出しているのは必ずしも有効成分とは限らないことが前二者と異なる。逆にそのことが利点となり、現場で起こる生物学的現象に近いことを把握できるとも考えられる。

いずれの方法にせよ、検出感度の範囲(限界)があることに注意する。また生物反応では対数

ロジスティック曲線の傾きが極めて急な薬剤もある。従って自分が知りたい検出濃度を検出するにはその範囲に収まるように検定法を選定するとか、濃縮・希釈することが必要である。

3. 除草剤の残効期間の生物検定法

ここでは、雑草の発生前に処理する土壌処理型除草剤 (Pre-emergence herbicide) の重要な生物特性である残効期間の生物検定法のうち、挙動試験から検出法まで室内で行う方法を中心に記述する。この検定法の試験計画には図-1

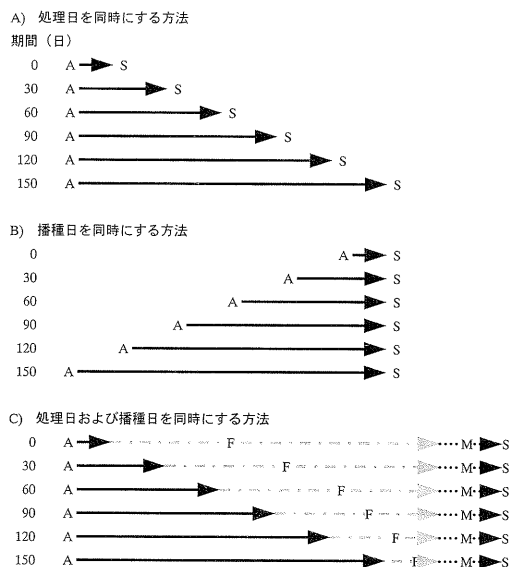


図-1 除草剤残効性試験の各種試験計画
(T:処理, S:播種, F:低温保存(-20~30℃), M:解凍)

に示した3つの考え方がある。処理日を同時にする方法 (A) は、ワグネルポットを用いた検定法として日本植物調節剤研究協会が除草剤試験実施基準⁹⁾で示している。薬剤処理を同時に行うため、大きな容器に処理して後でそこを細かく区分して一定期間後に播種することもでき、準備から調査まで最も簡便な方法である。また播種日からの環境要因が同じであるため、ガラス温室や戸外でもある程度安定した結果が

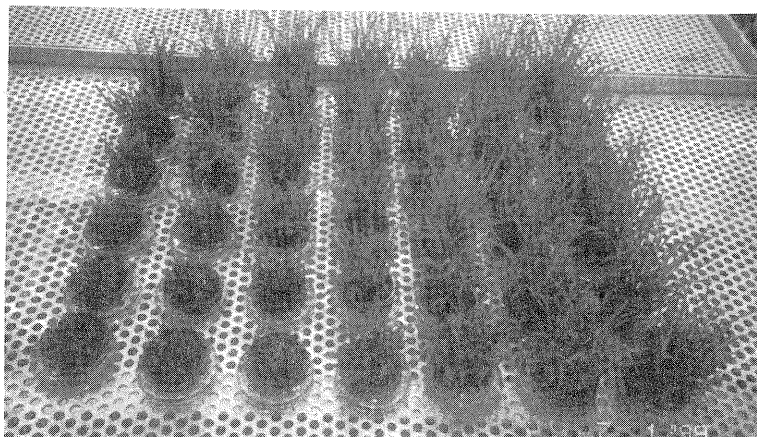


写真-1 除草剤残効性試験 (シンジェンタ・スイス・Stein研究所)
(手前右から左に向かって濃度が高くなり, 奥に向かって処理後日数が長くなる。)

出やすく, 残効期間が未知のものでも対応しやすい。しかし, 調査に合わせて検定植物を均一に催芽・育成させなければならず, 休眠性のある雑草が検定植物である場合には工夫が必要である。

一方, 播種日を同時にする方法(B)の利点は, 残効期間が一目でわかることと雑草を一定の催芽状態で播種できることである。しかし, 一定期間ごとに薬剤を準備する必要がある, 処理後の環境要因が現実と異なること等が欠点として挙げられる。従って, 長期間の残効性を見る場合はガラス温室等外部環境の影響を受けやすい場所で試験するのは難しい。

これらの欠点を補うのが処理日および播種日を同時にする方法(C)である。ある一定期間低温貯蔵(−20℃以下)するのがポイントである。写真-1に示したように, 薬量幅をとることにより, どの薬量を処理すれば, 必要な残効期間が得られるかが一目でわかる。萩本⁹⁾が既にわかりやすく紹介しているので, 詳細は避けるが, この方法を使えば, 例えば忙しいときに圃場から土壌を採取したり, まとめて多量に試験しても, 小分けして凍結させておけば, 時間

のあるときにいつでも生物検定を実施できる。

除草剤の残効期間を知る上で重要なことは土壌の扱いである。土壌中の残効期間は土壌表層中の薬剤の消長, すなわち土壌中移動性や光分解に関連する物理化学的要因と微生物分解を主とする生物的要因の影響を受ける。これら要因を分けて試験設計することもでき

るが, 後者を考えると対象とする圃場から採取して一年以内の土壌または目的とする土壌水分状態で維持された土壌を用いることが肝要である。いずれの場合も風乾状態に長期間放置された土壌を使うべきではなく, 篩にかけるときの極端に乾燥させないことが大切である。どうしてもできない場合は, 試験開始前に一定期間(最低1週間以上)目的の条件(湛水・畑水分)に維持してから, 除草剤を処理するよう心がける。水稻用除草剤の残効期間試験で漏水をかけるか否かは目的に応じて判断する。

4. 除草剤の土壌中移動性の生物検定法

畑条件の試験法のうち土壌厚層クロマトグラフィーについて, 実験手順を追って解説する(図-2)。チバガイギー(現シンジェンタ)では「リーチングボックス法」(写真-2右側)と呼んでいたが, 萩原⁹⁾が既に詳細に紹介しているものと合わせて見ると更に理解が深まる。

1. 深さ5～10mm程度, 幅5cm, 長さ30cm程のステンレス製U字溝を用意する。
2. U字溝の両端に濾紙の短冊をのりで貼り付け

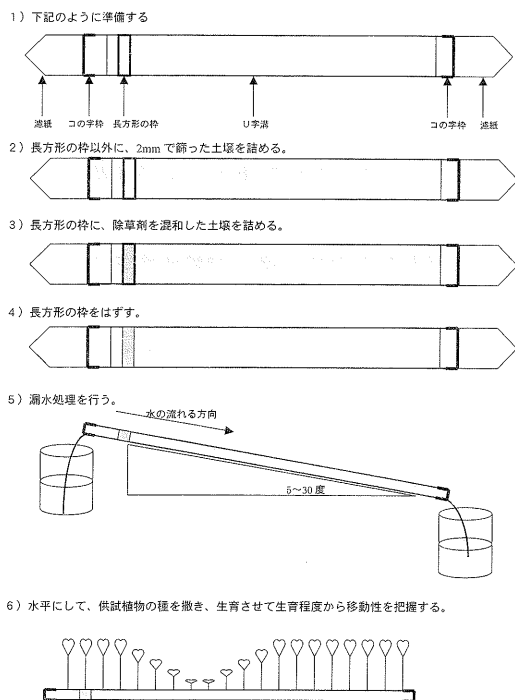


図-2 畑用除草剤の土壌中移動性試験法

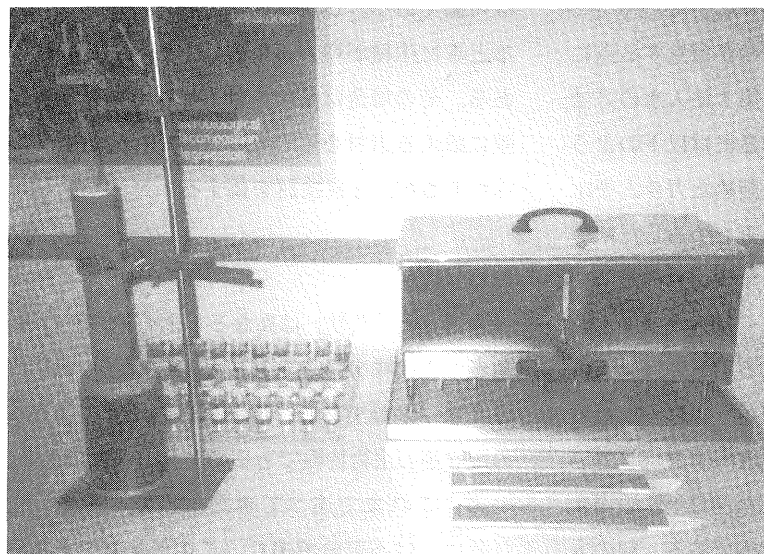


写真-2 除草剤の土壌中移動性試験法の例（シンジェンタ・スイス・Stein研究所）
 （左：リーチングカラム法、右：リーチングボックス法（手前に土壌板が置いてある。））

る（のりしろ1 cm）。両端にコの字型の枠、一方の端から2 cm程の場所に長方形の枠（厚さはU字溝の深さに合わせる）を入れ、それ以外の部分に2 mmに篩った供試土壌を入れる。全体に土壌を入れてから、枠の部分だけ吸引により土壌を取り除いてもよい。

3. 除草剤（製剤・有効成分いずれでも可能）を混ぜた土壌を長方形の枠の中に入れ、枠を静かにはずして処理層とする。漏水処理により広がることを考慮し、薬量は供試植物が枯れ始める濃度よりも10倍以上濃いのが目安であるが、除草剤が多すぎると水がうまく流れないことがあるので注意する。
4. 処理層が近い側を上にして、5～30度の角度をつけて設置する。
5. ペーパークロマトグラフィーを展開する要領と同じで、上側の濾紙を水に浸すことで漏水

処理を開始する。下の濾紙から水が落ちるようにになったら漏水処理を止める。漏水処理中の土壌の乾燥を防ぐため、水を溜めたバットを用意して全体を大きな箱で覆うこともあるが、必須ということではない。

6. 生物検定には2つの方法がある。

A) U字溝を水平に置き、その上に均一に供試植物（感受性が高く、種の小さいものが扱いやすい）の種を撒く。それを植物が生育できる環境に置き、土壌が乾かないように、

時々霧吹きで灌水する。カバーをかぶせると乾燥が防げるが、植物が大きくなったらカバーははずした方がよい。一定期間経ったら植物の生育を観察し、最も生育阻害が大きかった位置または一定の阻害程度以上になった下側の位置を移動度とする。

B) U字溝を水平に置き、一定間隔（1～2 cm）で掻き取り、小さなシャーレに移す。各シャーレに同量の供試植物の種を撒く。生育・灌水・調査等はA)と同様である。

なお、下側から漏水した水を一定のフラクション（5～10ml）に分けて採水し水耕（または砂耕）栽培で生物検定する方法もある。この場合は、下の濾紙が湿ってから更に長時間水を流す必要があるため、土壌の乾燥に注意する。また下側の濾紙は除草剤の吸着を防ぐためにグラスファイバー濾紙を用いる。

湛水条件については、いくつか留意する点について記載するにとどめる。第1に入水の方法について、均一な土壌層を作るには以下のようにするとよい。土壌を均一に詰めたカラムを水槽に垂直にセットする。5円玉をつるした糸等を利用すればよい。次に水槽全体にカラムの中に空気が入らないようにゆっくり入水し、土壌表面よりも若干低目まで入れる。その後代掻きし、土壌が落ち着いたら水深が3 cm程度になるように更に入水する。3 cmの水深まで持っていったから代掻きすると、ほとんどの土壌の場合水深は3 cmを超えてしまうためである。別の方法として、ゲルろ過カラムの充填法を応用して、カラムに最初に水を一定量入れておいて、2 mmで篩った土壌をポットの上からゆっくり充填する方法もある。これらの方法であれば空気はま

ず入らない。

第2に漏水方法については様々な方法がある。最も簡単なのはそのまま一定速度で水を最後まで抜いてしまう方法である。より実際に近づくために、例えば3 cm×3日間の漏水をかける方法があるものの、途中で給水するのが大変である。ひとつのアイデアとして、ゲルろ過カラムと同様に下からペリスタポンプで一定流量引きながら、カラムよりも上部に給水タンクを置くことで漏水した分だけ補給されるようにする方法が考えられる。

第3に土壌の分割方法である。上記とも関連するが、より実際の移動性を把握したい場合は最後に水を抜くことができない。畑の場合であれば、分割しやすいカラム（1 cmの無底円筒の組合せ、スリット入りのカラム）を用いてそのまま分ける、またはプラスチック等のカラムを用いて、凍結後に回転ノコギリで分割することは可能である。しかし湛水条件では水が氷になるときに体積が増大して容器が割れる危険性がある。その場合は温度を徐々に下げるとか、膨張に耐える素材を用いることで回避できる可能性があるが、今後検討を要する。

おわりに

「残留」と「残効」は異なるとよく言われる^{2,3)}。前者は土壌中分解性や移動性など狭義の除草剤の土壌中挙動であり、後者は残効期間や後作への影響等の生物特性であるのがその理由である。一方、これまで述べてきたように「残留」と「残効」は不可分であり、このテーマである残効期間と土壌中移動性も密接に関係している。しかし「残留」は分析化学や有機化学であるのに対して、「残効」は農学的要素が強く研究分野として距離がある。除草剤の合理的利用や環

境影響の削減が求められる昨今、このギャップを埋める努力がますます必要であろう。

引用文献

- 1) 岡田洋子：「雑草科学実験法」，日本雑草学会編，375-383，2001
- 2) 小林裕子：マテリアルライフ 12(3)，120-125，2000
- 3) 杉山 浩：植調25(6)，230-239，1991
- 4) 高林実：畑作物，「農業実験法 3. 除草剤編」，石塚ら編，ソフトサイエンス社，44-63，1981
- 5) 田中十城・岡本浩一郎：「雑草科学実験法」，日本雑草学会編，147-151，2001
- 6) 萩本宏：「農業生物検定法」，細辻豊二編，全国農村教育協会，489-498，1985
- 7) 陽川昌範・李日男：「農業実験法 3. 除草剤編」，石塚ら編，ソフトサイエンス社，44-63，1981
- 8) 宮原益次：「農業実験法 3. 除草剤編」，石塚ら編，ソフトサイエンス社，64-81，1981
- 9) Gerber H.R. : Crop protection agents-Their biological evaluation, ed. N.R. McFarlane, Academic Press 307-321, 1977
- 10) Gerber H.R. and J.A. Guth: Proceeding of European Weed Research Council Symposium, 51-69, 1973
- 11) Gerber H.R., A. Nyffeler and D.H. Green: Aspects of Applied Biology 4, 1-14, 1983
- 12) Gerber H.R., P. Ziegler and P. Dubach: Proceeding of 10th British Weed Conference, 118-125, 1970
- 13) Guth J.A., H.R. Gerber and Th. Schlaepfer: Proceeding of British Weed Conference, 961-971, 1977
- 14) Inao K., : Journal of Pesticide Science, 28, 24-32, 2003

日本帰化植物写真図鑑

清水矩宏・森田弘彦・廣田伸七／編著 B6判 548頁 本体価格 4,300円

●帰化植物630余種を1,700余点のカラー写真で紹介。飼料作物畑の雑草害と対策も解説

ヒエという植物

本書は、ヒエの植物としての側面、農耕地の雑草としての側面、食料としての側面など、多面的にヒエを解説した。15人の専門家が分担執筆。

藪野友三郎／監修
山口 裕文／編集
A5判 208ページ
本体 3,500円

全国農村教育協会
<http://www.zennokyo.co.jp>

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL03-3833-1821 FAX03-3833-1665