

除草剤は植物体内を どのように振舞うか？

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問
與語 靖洋

研究分野において、昨今声高に叫ばれている言葉に「社会実装」があり、実用化に結び付く研究の価値をより高く評価する傾向にある。この実現には、第一に、①研究 (Research)、②開発 (Development)、③実証 (Demonstration)、④普及 (Diffusion) の四つの段階を着実に進めること、第二に、関係する社会や組織がそのベクトルを共有することが大切である。このコラムのタイトルとした『緒 (いとぐち)』は本来は糸の先端のことであるが、そこには「発端」とか「端緒」等の意味がある。私はこのコラムにおいて、様々な情報源から、雑草管理や作物の成長調節等に関連する話題を紹介することで、社会実装の最初のステップである「気づく」を皆さんと共有できればと考えている。お茶でも見ながらご覧いただければ幸いです。

なお、ここで取り上げる“除草剤”は、主に化学合成した分子量数百以下の低分子有機化学物質、いわゆる“化学農

薬”である。また、“農薬”や“除草剤”は農薬取締法上で定義されているものの、ここではそれらをあまり意識せず、それぞれが潜在的に持つ能力を念頭に置いて筆を進める。他にも読者の誤解を生むような用語の使い方が懸念されるときは、その都度追記したいと考えている。

まず始めに、私が今後投稿する記事の内容を理解しやすくするため、植物である作物や雑草の中で、化学農薬である除草剤がどのような振る舞いをするかを俯瞰的に捉えることとする。一般に野外で処理される除草剤ならば、まず環境中挙動から説明すべきところであるが、それらについては、本誌52巻2号 (與語 2018) をご参照いただくとして、このコラムでは植物と除草剤の相互作用を中心とした *In vivo* 以下の現象に注目していく。

除草剤の処理方法は、土壌処理剤と茎葉処理剤に大別されるが、これはわが国独特の表現である。海外では、pre-emergence (出芽前処理)、post-emergence (出芽後処理、early- (初期) やlate- (後期) がある)、at-emergence (出芽時処理) のような処理時期や、over-the-top application (全面処理)、pre-plant incorporation (土壌混和処理)、wiper application (塗布処理) のような処理方法で表すことが一般的である。土壌処理剤は雑草の出芽前から出芽後に土壌に、茎葉処理剤は雑草の出芽後に茎葉に処理する薬剤のことである。

図-1に示したように、土壌に処理された除草剤は、そのまま植物体に吸収されることがあるものの、“残効性”を念

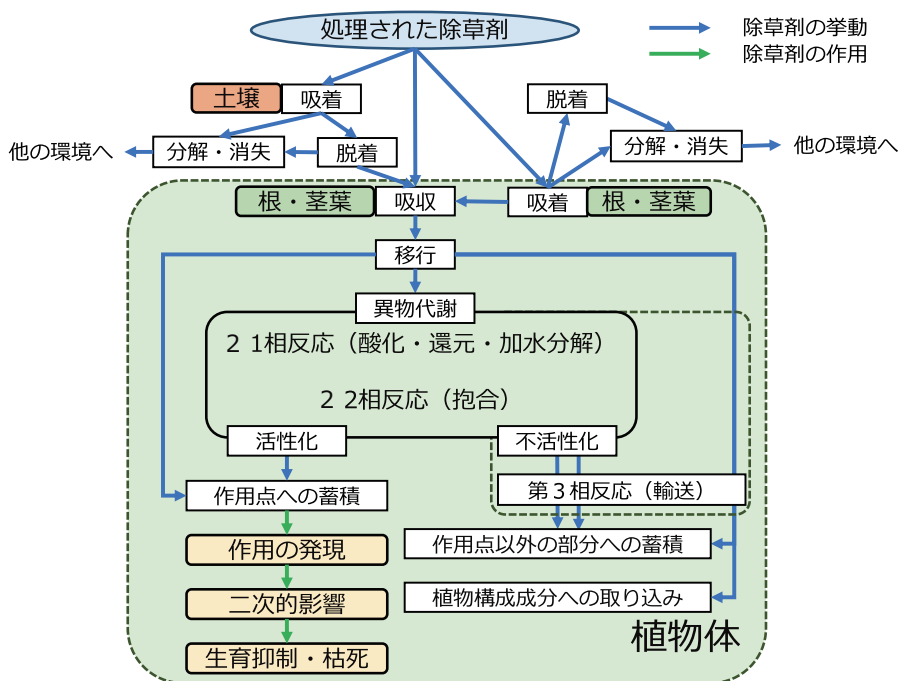


図-1 除草剤の植物体内挙動

頭に入れると、土壌にいったん吸着された後、土壌中の水相に脱着して、根や地下にある茎葉基部、あるいは発芽した芽から吸収される。一方、茎葉に処理された除草剤は、茎葉表面にいったん吸着された後、茎葉内部に浸透して吸収される。茎葉の傷や切株に塗布または灌注処理する場合は、吸着を介さないで吸収される。

植物体に吸収された除草剤は、植物体内を移行して作用点に蓄積することで、殺草または抑草作用を発現する。その後、次から次へと生じるいわゆるカスケード反応によって、植物体内に二次的影響が生じ、それが葉効や葉害の症状として表れて、結果として生育抑制や枯死に至る。除草剤の作用点として、現在30弱の箇所が知られているが、それはまた後日紹介する。

植物体内移行については、組織間の長距離と膜透過を含む短距離があり、除草剤によって様々な運搬経路や様式がある。詳細は別の機会に解説する。

その間、植物は除草剤を異物代謝する。といっても植物が持つ生存や成長のために必要な代謝系に除草剤が乗っかること（共代謝）等、純粋に異物代謝でないケースもある。結果として、元々生育阻害活性を有した除草剤を不活性化（解毒）したり、逆に活性のない除草剤を活性化したりするが、一般には前者のケースが多い。不活性化には2段階あり、何れも水溶性が増加する方向に代謝され、その点では動物代謝と同じである。処理された除草剤自身や不活性化されたものは、最終的に液胞や細胞壁等に蓄積されるか、さらに分解されて構成成分として植物に取り込まれる。このように、液胞などに取り込まれることを“第3相反応（輸送）”ということもある。詳細については、別の回に解説する。

さて、化学物質のリスクは、その物質がヒトや環境中の生物に対して、望ましくない影響を与える可能性のことであり、その大きさは、「曝露量×有害性」によって決定される。除草剤の植物への影響に照らし合わせると、「曝露量」は、除草剤の処理方法や環境に応じて、植物体への曝露方法・期間・量が変化し、植物体に吸収された除草剤が

移行・代謝された結果としての“阻害作用する物質”の作用点への蓄積量がそれに相当する。「有害性」は、一義的には作用点の阻害程度であり、両者の積がリスクの大きさになる。しかし、植物体全体を考えると、その作用点の植物生理上の位置付け、植物の成長、生活環境等が複雑に絡み合って、葉効や葉害という目に見える「生物的なリスク」が生じる。このことから植物に対する除草剤のリスクは、「曝露量×有害性」のような単純な数式では表せないことが容易に推察される。

Krähmerら（2021）は、最近Pest Management Scienceに土壤処理および茎葉処理除草剤と化学物質の物理化学性に関する総説を出した。タイトルを意識すれば、「何が土壤処理または茎葉処理型除草剤の化学構造を決めるのか？ それらの設計（デザイン）のための物理化学的要因にはどのような価値があるか？」となる。私は早期公開の段階で読んだが、オープンアクセスなので、誰でも読むことができる。この総説のアブストラクトの最後には、「吸収・移行モデルは化合物の潜在的な動態を説明するための貴重なツールであるものの、除草剤を設計する際には、吸収と移行以外の多くの要因を考慮しなければならない。・・・一般的な物理化学的特性は、残念ながらまだ存在していない。」と締めくくっており、除草剤の作用機構については、未知なる部分が多いことを物語っている。

今回は、極めて概念的な内容に終始したことで、少し取っ付きにくいものになってしまったが、少しずつ具体的な話題に移行していきたい。（2021年8月17日）

参考文献等

與語靖洋 2018. 農業や雑草管理の視点から見た環境リスク. 植調 52(2), 9-12

Krähmer, H. *et al.* 2021. What makes a molecule a pre- or a post-herbicide – how valuable are physicochemical parameters for their design? *Pest Management Science*, <https://doi.org/10.1002/ps.6535>