

除草剤の作用点 「除草剤が雑草(植物)を 枯らすしくみ」



(公)日本植物調節剤研究協会 技術顧問
與語 靖洋
Yasuhiro Yogo

除草剤を農場全体に均一に処理したとき、作物は元気に育っているのに、雑草だけ枯れる不思議な現象も起こります。このことを“選択作用性”といいます。

選択作用性（効果と薬害）という聞き慣れない言葉ですが、除草剤が作物に影響せずに雑草の生育を抑制する、つまり“効果”があることです。ちなみに作物の生育に悪い影響が出ることを“薬害”といいます。農薬には他にも殺菌剤や殺虫剤などがありますが、農場で使うときは、それらも作物に薬害が発生しないことが求められます。しかし、殺菌剤や殺虫剤の防除対象はそれぞれ病原菌と害虫であり、植物である作物とは生物の種類として大きく異なります。それに対して、雑草は農作物と同じ植物（草）です。そのため、“選択作用性”、簡単には“選択性”という特性がとても重要です。除草剤が雑草を枯らすしくみにはいくつかの段階があり、この全体が“作用機構”です。作用機作や作用機序ともいい、大まかには以下の吸着・吸収・移行・代謝・作用点の5つの段階があります。その各段階における作物と雑草の違いから選択作用性が生まれます。

除草剤は作用点で分類されます、この分類を通称「HRAC：Herbicide resistance Action Committee（除草剤抵抗性作業部会）」コードといい、現在25ヶ所知られています（表1）。

以下に各段階を示します。

- ① 吸着：雑草の根や茎葉に付着する
- ② 吸収：根や茎葉から雑草の中に入る
- ③ 移行：作用点がある場所まで植物体内を移動する
- ④ 代謝：一般に有効成分を解毒することであるが、毒性を高めることもある

- ⑤ 作用点：除草剤が雑草を枯らす基本的な作用を示す、つまり要となる場所

さて、除草剤の種類や処理方法も様々にあり、枯れる雑草の種類や枯れ方、さらには作物における薬害症状や程度も異なります。

ここでは除草剤が雑草を枯らすしくみである“作用機構”のうち、作用点について個別に解説します。除草剤は、ほとんどが分子量数百の低分子の有機化学物質です。現在使われている除草剤は300種類以上あります。

除草剤は、この作用点を阻害またはかく乱することによって、雑草を枯らします。既存除草剤の作用点には、光合成、脂肪酸合成、アミノ酸合成などの合成経路や、植物ホルモン作用のかく乱、細胞分裂阻害などがありますが、まだ作用点不明な除草剤もあります。

1. 主な作用点（抜粋）

・光合成電子伝達系阻害（HRACコード＝5、6、22）

植物は光合成の明反応において、光エネルギーを吸収して植物が利用できる化学エネルギーに変換します。この過程を光合成電子伝達系と呼びます。この系を阻害する除草剤の阻害位置は、光化学系I（HRACコード＝22）と光化学系II（HRACコード＝5、6）の大きく分けて2ヶ所あります。

・脂肪酸生合成阻害（HRACコード＝1、15、30）

脂肪酸生合成に関与する阻害位置は、アセチルCoAカルボキシラーゼ（HRACコード＝1）、脂肪酸チオエステラーゼ（HRACコード＝30）、超長鎖脂肪酸伸長酵素（HRACコード＝15）の3ヶ所あ

表 1. グローバル HRAC コード

A	作用点など
1	アセチル CoA カルボキシラーゼ
2	アセト乳酸合成酵素/アセトヒドロキシ酸合成酵素
3	微小管重合
4	インドール酢酸様活性(合成オーキシン)
5	光合成(光化学系Ⅱ)(セリン 264)
6	光合成(光化学系Ⅱ)(ヒスチジン 215)
9	EPSP 合成酵素
10	グルタミン合成酵素
12	フィトエン脱飽和酵素系でのカロテノイド合成
13	1-デオキシ-D-キシロース-5-リン酸合成酵素
14	プロトポルフィリノーゲン酸化酵素
15	超長鎖脂肪酸伸長酵素
18	ジヒドロプテロイン合成酵素
19	オーキシン移動
22	光化学系Ⅰ:ラジカル形成
23	有糸分裂/微小管形成
24	脱共役
27	4-ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ
28	ジヒドロオロト酸デヒドロゲナーゼ
29	セルロース合成
30	脂肪酸チオエステラーゼ
31	セリン/スレオニン特異的ホスファターゼ
32	ソラネシルニリン酸合成酵素
33	ホモゲンチジン酸ソラネシルトランスフェラーゼ
0	不明

ります。これらの酵素が順番に働いて、脂肪酸が鎖状に繋がり、ワックスなどになります。

・アミノ酸生合成阻害 (HRAC コード= 2、9、10)

現在使用されている除草剤の中にはアミノ酸の生合成を阻害することによって植物を枯らすものがあります。代表的なものとして、分枝アミノ酸(バリン、ロイシン、イソロイシン)生合成経路であるアセト乳酸/アセトヒドロキシ酪酸合成酵素阻害剤 (HRAC コード= 2)、芳香族アミノ酸(フェニルアラニン、チロシン、トリプトファン)生合成経路である5-エノールピルビルシキミ酸-3-リン酸合成酵素 (EPSPS) 阻害剤 (HRAC コード= 9)、およびグルタミン合成酵素阻害剤 (HRAC コード= 10) があります。

・植物ホルモン作用のかく乱 (HRAC コード= 4)

植物の成長や生活環の調節等には、植物ホルモンが深く関わり、現在オーキシンをはじめ7種類の植物ホルモンが知られていますが、その中で最初に発見されたのがオーキシン(インドール酢酸)です。2,4-Dなどのフェノキシカルボン酸系化合物を代表とする合成オーキシンは、オーキシンによる調節系をかく乱することで除草効果を発揮します。

・細胞分裂阻害 (HRAC コード= 3、23)

ここでは、微小管重合阻害と有糸分裂/微小管形成阻害の2種類があります。前者 (HRAC コード= 3) は細胞分裂の際に形成される紡錘糸の基となる微小管の形成を阻害し、後者 (HRAC コード= 23) は微小管の機能を妨害し細胞分裂を阻害します。

・クロロフィル生合成阻害 (HRAC コード= 14)

クロロフィル生合成酵素阻害剤の代表的な作用点として、プロトポルフィリノーゲン酸化酵素があります。

・セルロース生合成阻害 (HRAC コード= 29)

セルロースは植物の細胞壁を構成している鎖状の高分子です。ここに分類される除草剤は、グルコースからセルロースへの生合成を阻害します。

2. アロキシジム、セトキシジムの作用点

アロキシジムとセトキシジムは、日本曹達が発明した全く新しいシクロヘキサンジオン系という構造を有し、イネ科雑草に特異的に活性を有する除草剤であり、それぞれ昭和 55(1980)年、昭和 60(1985)年に国内で農薬登録を取得しました。セトキシジムはアロキシジムよりも活性が高く、殺草スペクトラム

がより広いこと、さらには作物に対する安全性の観点などからその後の普及は徐々にセトキシジムに取れんしたそうです。

作用特性は 2 剤とも同様に 1 年生、多年生のイネ科雑草に選択的に活性を示し、広葉作物には薬害がない特徴を有しています。また、従来は雑草発芽前の土壌処理が主流でしたが、本剤は茎葉処理で速やかに作用点に移動して生長点を枯殺するというこれまでにない特徴も有しています。

作用機構は、脂質生合成系におけるアセチル CoA カルボキシラーゼ (ACCase) 阻害 (HRAC コード= 1) であることが分かっています。この作用機構を示す除草剤は本剤が初めてです。

日本メーカーが最初に見出したこのシクロヘキサンジオン系骨格が世界市場の除草剤の大きな位置を占めるようになったことは特筆に値します。