

HRACにおける作用点分類の更新

HRACは「Herbicide Resistance Action Committee (除草剤抵抗性対策委員会)」の略号である。この組織は、農業業界によって設立され、特に除草剤抵抗性雑草に対する取り組みを支援する目的で、Websiteを中心に様々な情報を提供している。日本のJHRACのように各国・地域に組織があり、グローバルHRACが全体を統括している。

グローバルHRACのMode of Action (MoA) Classification Working Group (作用点分類作業部会)は、昨年末に作用点のマスターリストとポスターを更新し、2023年12月15日バージョンとして報告書(HRAC, 2023)とともにWeb公開した。報告書は2ページ弱の内容なので読み飛ばそうと思ったが、少し気になって詳細を確認すると、思いの外重要なことが含まれていたことから、ここに概要を紹介する。

以下を読み進む際には、下記URLにある2022年版と2024年版ポスターを比べながらご覧いただきたい。さらにマスターリストまで確認したい方は、下記2024年版ポスターが置かれているサイトからExcelファイルを直接ダウンロードできる。また、除草剤のRACコードについてあまり詳しくない方は、2年ほど前に本誌のコラム「緒」No.2(與語, 2021)で紹介したので、参照いただくことで以下のことが理解しやすくなる。

なお、更新したポスターのタイトルには「HRAC Mode of Action Classification 2024」、直訳すれば、「2024年版HRAC除草剤作用機構分類」となるが、ここで取り上げているのは作用点だけなのでこのコラム全体ではそのようにしている。

- ・2022年版ポスター：https://hracglobal.com/files/HRAC_MOA_Poster_January_6_2022.pdf
- ・2024年版ポスター：<https://hracglobal.com/tools/2024-hrac-global-herbicide-moa-classification>

注1：AgbioInvestorは、作物保護と種子・形質産業を網羅するグローバルな情報等を提供するために2017年に設立。そのパートナーとしてFraser McDougallやAllister Phillips等がいる。

1. 背景と今回の取り組み

除草剤の有効成分リストに関する当初の内容は、除草剤抵抗性Websiteの管理者であるIan Heap氏から提供された。それを元に、the British Crop Production Council (BCPC)のPesticide Manual、アメリカ雑草科学会(WSSA)の除草剤ハンドブック、Phillips McDougall/AgbioInvestor^{注1}のような第三者報告書と照合して、記載内容のギャップや新規市場導入について検討したうえで整理したものである。

マスターリストやポスターの更新に際して、グローバルHRACは、2017年以降の決定を踏襲している。更新のポイントは、有効成分リスト・作用点指定・化合物群の更新や見直し、作用点分類コード変更の提案、年次見直しおよび更新に関するプロセスの考案である。

初回作成時の内容は、まず2022年版ポスターの公表において更新された。リストへの掲載については、当該有効成分が上市されていることが条件である。最終的なマスターリストには、参照された全ての有効成分が含まれているものの、更新された2024年版ポスターに掲載された有効成分は、原則的にマスターリストの中から抜粋したものである。ただし、私が調べた時点では、両者で合致しない有効成分もあり、有効成分や作用点の検索ができる“GLOBAL HERBICIDE CLASSIFICATION LOOKUP”とも一致しない部分があったことを申し添える。

今回の更新は、複数の農業メーカー(BASF:2名、バイエルクロップサイエンス:3名、コルテバ:3名、シンジェンタ:2名、事務局:1名)によって行われた。その際、WSSAの代表と協議し、全ての変更を調整したとのことである。

なお、グローバルHRACは、2020年に導入した数字コード体系を今後も維持する予定である。それは、英語やラテン文字を使用しない地域や識字率が低い地域においても、大半の方がアラビア数字(0~9)を理解していることから、国際的に通用し、かつ長期的な持続性があるためとしている。

2. 更新内容

A) 有効成分の追加

新規有効成分として、エピリフェナシル(epyrifenacil)がHRACコード=14(PPO阻害)に追加された。この有効成分は、住友化学がアメリカ大陸(USA, カナダ, アルゼンチン, ブラジル)において、2022年に新規登録申請したN-フェニルイミド系除草剤であり、大豆やトウモロコシに

適用があるイネ科から広葉雑草まで広範囲に効果を示す茎葉処理剤である。

B) 有効成分のポスターからの削除

HRACコード=0（作用点不明）にあったジフェナミド（diphenamid）、ジフェンゾコート（difenzoquat）、ダイムロン（dymron=daimuron）、フランプロップ（flamprop）が削除された。私が調べた範囲では、それぞれ以下に掲げた作用点が提案されているものの、文献、登録データ、一般に入手可能な販売データの調査結果から判断して削除したとある。

- ▶ ジフェナミド（diphenamid）：超長鎖脂肪酸生合成阻害
- ▶ ジフェンゾコート（difenzoquat）：細胞膜破壊、核酸合成阻害
- ▶ ダイムロン（dymron=daimuron）：光化学系II阻害
- ▶ フランプロップ（flamprop）：細胞分裂または伸長阻害

HRACコード=14（プロトポルフィリノーゲン酸化酵素（PPO）阻害）にあったアザフェニジン（azafenidin）は農薬登録がないことを理由に削除された。この有効成分は、日本では2001年に登録したものの、2004年には失効しており、欧米ではヒト健康リスクのデータが不十分等の理由により登録されていない。

C) 有効成分の変更

クミルロン（cumyluron）、オキサジクロメホン（oxaciclomefone）、ブロモブチド（bromobutide）は、HRACコード=0から30（脂肪酸チオエステラーゼ（FAT）阻害）へ移動した。その判断理由となったのは、Johnen *et al.* (2022) の論文である。この論文では、FATを結晶化するとともに、酵素結合や阻害の検定、さらには代謝経路の解析等からなる一連の実験によってFATに結合すると同定した。

なお、この論文には上記の有効成分以外に、methyldymron（メチルダイムロン）とtebutam（テブタム）があるが、元々ポスターに記載がなく、マスターリストでは、前者はそのままHRACコード=0に残っているものの、後者はHRACコード=30に移動している。

アミトロール（amitrole）は、HRACコード=34（リコペンシクラーゼ（LC）阻害）から0へ移動した。その判断理由を一言でいえば、作用点を決定づける証拠がないためである。Traxler *et al.* (2023) によれば、アミトロールは当初HRACコード=22、つまり光化学系I阻害剤であるパ

ラコートやジクワットと同じと考えられていた。この有効成分は、その後一旦HRACコード=34、つまりカロテノイド（カロチノイド）生合成系にあるLC阻害剤として、新規にHRACコード=34が与えられた。しかし、2000年前後の論文から、アミトロールはヒスチジンや色素の生合成を阻害しないこと、つまりLC阻害剤として作用するとは現時点で考えられないとしている。

その他、細かい部分だが、欧州においては、プロパギザホップ（propaquizafof）をキザロホップ（quizafof）のエステル体に指定した。また、プロピソクロル（propisochlor）の化学構造式を、正確な表現ではないかもしれないが、NからのOアルキルの先端部をエチル基からイソプロピル基に修正した。

なお、HRACのマスターリストにおいては、化合物の一般名の末尾に原則としてアルキル基や塩に関する表記があるものの、ポスターにおいては記載していない。

D) HRACコードの削除

上述のように、HRACコード=34に唯一位置づけられていたアミトロールの作用点としてリコペンシクラーゼ（LC）を確定する結論が得られなかったため、作用点コードそのものをポスターから削除した。

E) デザイン等

以下は、ポスターを具体的にご覧になる方の参考に箇条書きにまとめたものである。

- ・構造式の拡大等、デザインの刷新。
- ・化合物群（chemical family）名の合理化。
- ・光化学系II阻害であるHRACコード=5と6を囲む枠を削除。

私が推測するに、光化学系II阻害には、セリン264を作用点とするHRACコード=5（旧C1/C2）と、ヒスチジン215（旧C3）を作用点とするHRACコード=6の2種類がある。それぞれ、トリアジン系を含む複数の化合物群（アトラジン、メトリブジン、ジウロン、ブロマシル、フェンメディファム、プロパニル）と、ニトリル系（ベンタゾン、プロモキシニル）の作用点であることが明らかであるため、一つのグループとしての枠を取り払ったのであろう。

- ・HRACコード（作用点分類）の一部に略記の導入。

そのうち超長鎖脂肪酸伸長酵素は、英語で直訳すれば“Very Long-Chain Fatty Acid Elongase (VLCFAE)”となるが、グローバルHRACでは“Very Long-Chain Fatty Acid Synthesis (VLCFA)”，つまり酵素ではなく代謝系として示

している。

- ・一部の有効成分に下記の番号を付与（ポスターの脚注に記載）
 - ①除草剤の前駆体
 - ②化合物群に有効成分が1つしかない場合は、化合物群名を記載せず白地で表示。
 - ③ポスター発表時点でまだ農業登録手続き中の新規有効成分
- ・HRACコード=0は、コード表の下に配置することで、作用点が確定しているHRACコードとは別扱いにしている。

今回の更新にあるように、今後もある有効成分が現在分類されているものとは異なる作用点に変更されることもあるだろう。そのため、作用点については、確定したものとして捉えるのではなく、その有効成分の性質を特徴づけるものとして、研究や実際の雑草管理に活かすことが肝要で

ある。除草剤の作用点については、今後の研究発展とともに、益々明確化されることを期待したい。

参考文献等

- HRAC Global Herbicide MoA Classification Working Group Report. Version: Dec 15th, 2023. <https://hracglobal.com/files/HRAC-Global-Herbicide-MOA-Classification-Working-Group-Report-December-2023.pdf>
- Johnen P. *et al.* 2022. Inhibition of acyl-ACP thioesterase as site of action of the commercial herbicides cumyluron, oxaziclomefone, bromobutide, methylodymron and tebutam. *Pest Management Science*, 78 (8), 3620-3629.
- Traxler C. *et al.* 2023. The nexus between reactive oxygen species and the mechanism of action of herbicides. *Journal of Biological Chemistry*, (2023) 299(11) 105267.
- 與語靖洋 2021. 除草剤のRACコード. *植調* 55(8), 21-22.

統計データから

ブロッコリー、指定野菜に

農林水産省は令和8年度からブロッコリーを「指定野菜」に追加すると発表した。（令和6～7年度に特定野菜からの移行準備を進め、令和8年度事業から適用予定）。追加は1974年のジャガイモ以来、半世紀ぶりのことである。

指定野菜とは「特に消費量が多く、国民生活にとって重要な野菜」を国が指定するものである。ブロッコリーが指定されたのは、出荷量が大きく増えていることが理由である。平成23年に比べ、作付面積で128%、出荷量で136%の伸びは、野菜のなかで最も大きい。

「野菜指定産地制度」によって、指定野菜はその野菜を毎年作る規模の大きな産地を、それぞれ国が定めており、出荷価格が一定以下に下落した場合は、補給交付金が支給される。但し、指定野菜の出荷数量の2分の1以上を指定された消費地域に出荷する義務がある。

因みに、指定野菜は、キャベツ、きゅうり、さといも、だいこん、たまねぎ、トマト、なす、にんじん、ねぎ、はくさい、ばれいしょ、ピーマン、ほうれんそう、レタスの14品目で、指定産地は890産地（令和3年5月7日現在）となっている。

ブロッコリーは、抗酸化作用のあるビタミンCやβカロテン、ビタミンEが多く含まれており、栄養素の量は野菜の中でもトップクラスで、食物繊維も豊富で、便秘の改善にも有効とされる。また、「スルフォラファン」という成分が含まれていることから、がんの予防効果があるとも言われている。このように、栄養豊富な野菜として人気が高まりつつあり、生産農家からも消費拡大に期待が寄せられている。ブロッコリーの主な生産地は、出荷量からみると、北海道、愛知県、埼玉県、香川県、長野県などとなっている（表-1）。（K. O）

表-1 令和4年産ブロッコリーの都道府県別の作付面積及び出荷量

都道府県	作付面積 (ha)	出荷量 (t)	都道府県	作付面積 (ha)	出荷量 (t)	都道府県	作付面積 (ha)	出荷量 (t)
全 国	17,200	157,100						
北海道	3,060	26,200	徳 島	974	10,900	福 島	437	3,470
香 川	1,300	12,700	愛 知	972	14,100	鹿児島	373	3,270
埼 玉	1,190	13,300	熊 本	900	7,490	鳥 取	305	6,330
長 野	1,130	11,100	群 馬	627	5,640	千 葉	334	2,460
長 崎	1,040	10,100	福 岡	491	3,270	石 川	290	1,540