

公益財団法人 日本植物調節剤研究協会
研究所

濱村 謙史朗

除草剤作用機作の変遷

はじめに

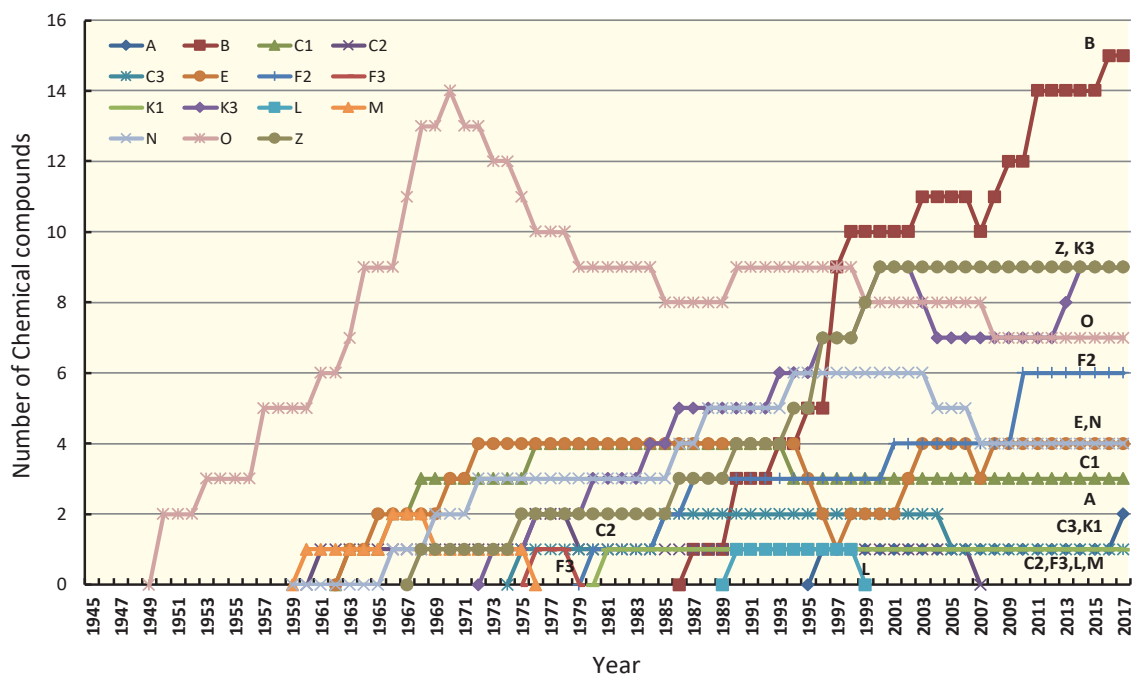
今からおよそ 30 年前の 1989 年は、産業用無人ヘリコプターが市販された年である。我が国で 2, 4-D の普及が始まった 1950 年から既に 39 年が経過している。その間、田植機やコンバインが普及し、数多くの除草剤成分が発見され単剤や混合剤として農業登録され市販された。一発処理剤も 1982 年から既に普及が始まっていた。1990 年には、水稲用除草剤の 1 キロ粒剤およびジャンボ剤の開発を当協会が農業メーカーに提案し、フロ

アブル剤は市販が開始された。同年には、田植機の普及率が 98%、水田の除草労働時間は 10 a あたり 2.4 時間にまで減少していた。除草剤普及以前のそれが 50.6 時間であったことから計算するとわずかに 5%であり、水稲用除草剤の開発は既に成熟した段階にあったといえる。それゆえ、本稿では過去 30 年間にわたり作用機作別に水稲用除草剤の登録状況を紹介しますが、必要に応じそれ以前の化合物についても論じたり、作用機作からみた特徴を記述することで理解が深まるよう試みた。また、作用機作の分類は HRAC (Herbicide Resistance

Action Committee) にしたがって、除草剤としての登録年次が早い作用機作順に記述した。なお、末尾に水稲用除草剤としての登録年と雑草防除史を整理して載せた。参考にご覧いただきたい。

作用機作別水稲用除草剤の登録状況

作付け期間中に本田で使用する除草剤について、作用機作別の除草剤数を農業登録年次で整理した (図-1、2)。1990 年以降は ALS 阻害剤の登録数の増加が際立っており、次いで



<HRAC分類グループ>
 A : ACCase阻害剤
 B : ALS阻害剤
 C1-3 : 光化学系 II 阻害剤
 E : PPO阻害剤
 F2 : 4-HPPD阻害剤
 F3 : その他カロチノイド生合成阻害剤
 K1 : 微小管重合阻害剤
 K3 : VLCFAE阻害剤
 L : セルロース合成阻害剤
 M : アンカッピング剤
 N : 脂質合成阻害(非ACCase阻害)剤
 O : 合成オーキシニン剤
 Z : 作用機作不明

図-1 日本における水稲用除草剤の作用機作別登録化合物数の推移

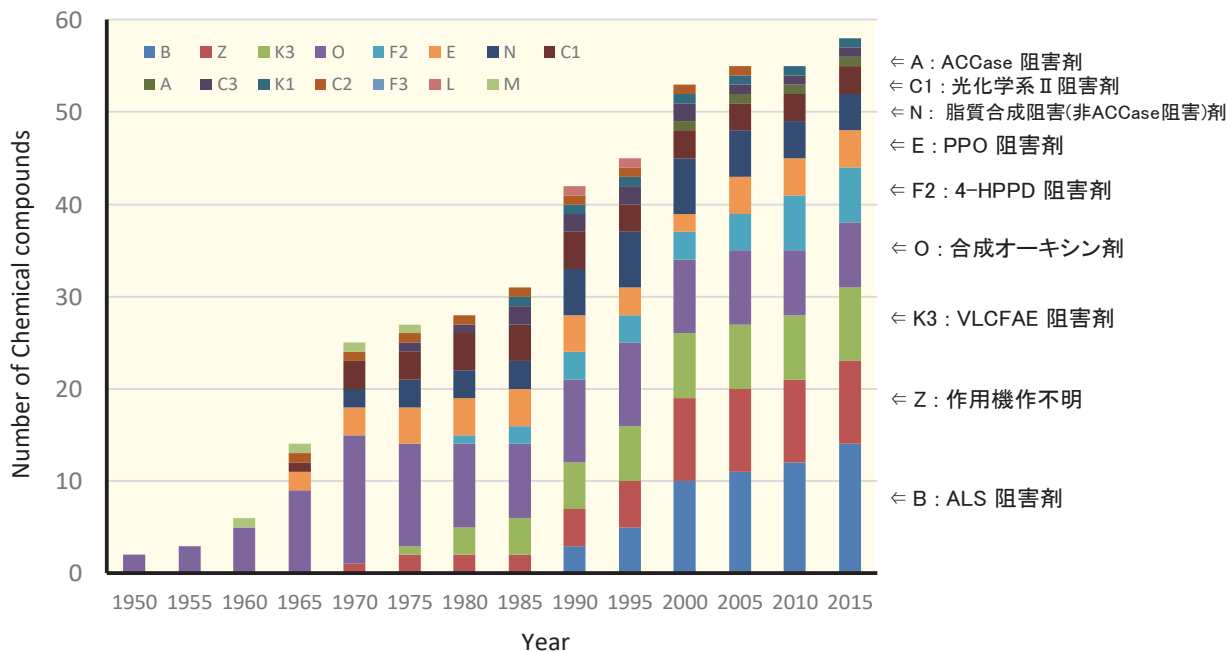


図-2 日本における水稻除草剤の登録化合物数の推移

4-HPPD 阻害剤と VLCFAE 阻害剤の増加が目立つ。作用機作不明の剤も同等程度増加した。一方、合成オーキシシン剤が大きく減少し、脂質合成阻害剤（非 ACCase 阻害）も若干減少した。それ以外の作用機作の化合物は、登録数として大きな変化はない。以下には、作用機作別の化合物の推移を紹介する。

(1) 合成オーキシシン剤(グループO)

グループOの化合物は植物体内のオーキシシン濃度異常を引き起こし、調節機能をかく乱する。その結果、莖葉の捻転、黄化、発根異常などをもたらした広葉雑草を枯殺する。最初に使用された除草剤が本グループであり、1950年に2,4-Dの普及が開始された。その後2,4-Dトリエタノールアミン、MCPAナトリウム塩、2,4-Dエチルエステル、MCPエチルエステル、MCPCAなどが相次いで登録され、1969年に14化合物で最大となった以降、1985年までに6化合物が失効した。1988年にクロメプロップが登録され、1989年にノビエに有効なキンクロラックが登録されたが本化合

物は10年後に失効した。その後、現在まで7化合物で推移している。また、本グループでは現在、広葉雑草はもちろんノビエにも作用を有するフロルピラウキシフェンベンジルの開発が進められ、2020年の登録が見込まれている。

(2) アンカップリング剤(グループM)

グループMの化合物は、ミトコンドリアの酸化的磷酸化のアンカップラー(uncoupler)として作用する。植物は呼吸が高まり、呼吸基質が大きく消費され枯死すると考えられている。1956年にPCP-カルシウムが登録された。本化合物はイネ科雑草に効果があるため直ちに広範に使用された。その後1966年にPCP-ヒドラジンが登録され最大2化合物となったが、魚毒性の問題から1976年までに順次失効した。

(3) 光化学系II阻害剤(グループC2)

1961年にプロパニル、1976年にフルオチウロンが登録され2化合物となったが、いずれも2007年までに失効した。

(4) クロロフィル生合成酵素；PPO阻害剤(グループE)

グループEの化合物は、クロロフィル生合成過程での触媒酵素プロトックス(PPO)を阻害し、異常蓄積されたプロトポルフィリノーゲンが、光増感作用によりプロトポルフィリンに変換されるに伴い、生成された活性酸素が細胞を破壊して枯死させる。一年生雑草に速効的な作用を示す。近年開発された化合物の中には、ミズガヤツリ、コウキヤガラなど多年生カヤツリグサ科雑草やウリカワなど多年生広葉雑草にも一定の効果を有するものがある。1963年のNIPの登録に始まり、1965年にクロロニトロフェン(CNP)、1970年にフルオロニトロフェン、1972年にオキサジアゾン、1973年にクロメトキシニルと相次いで登録され、初期剤として極めて大きなシェアを誇ったが、ダイオキシン類の問題などで1994年以降失効が相次いだ。しかしながら1998年にペントキサゾン、1999年にカルフェントラゾンエチル、2002年にオキサジアル

ギル, 2003年にオキサジアゾン(再登録), 2008年にピラクロニルが登録されるなど, 現在5化合物の登録があり, SU抵抗性の一年生広葉雑草対策用の成分として広く活用されている。

(5) 光化学系II阻害剤(グループC1)

グループC1の化合物は, 光合成の光化学系IIにおける主要タンパクD1において電子伝達を阻害する。D1タンパクに蓄積した還元力の高い電子が酵素にわたることにより発生した活性酸素が, 細胞膜などを破壊して枯死させる。一年生雑草全般に作用があるが, 広葉雑草への効果が高い。1963年のプロメトリンの登録に始まり, 1966年にスエップ, 1969年にシメトリン, 1976年にジメタメトリンが登録され, 現在でも中期剤の混合成分や, アオミドロなどの藻類および珪藻類や藍藻類が引き金となる表層剥離の対策成分として広く使用されている。

(6) 脂質合成阻害剤(非ACCase阻害)(グループN)

グループNの化合物は, マロニルCoAによる炭素鎖の延長あるいはステアリン酸やリノレン酸等の長鎖脂肪酸の生合成を阻害することで, 細胞分裂が阻害され植物は枯死する。1966年のSAPの登録に始まり, 1969年にベンチオカーブ, 1972年にモリネート, 1994年にベンフレセートが登録され, 現在3化合物の登録がある。ベンチオカーブは中期剤のノビエ対策用

混合母剤や一発処理剤の混合母剤として活用されている。ベンフレセートはノビエよりもカヤツリグサ科に有効で, 特にクログワイに卓効を示し中期剤の混合母剤として活用されることが多い。モリネートは発芽後早い段階での直播水稻に対する安全性が見直され, 直播水稻用一発処理剤(湛水直播用)の混合母剤として開発が進められている。なお, 本グループのベンチオカーブはVLCFAE阻害活性が確認されており, 本グループの中から将来グループK3に変更される化合物もあると考えられる。

(7) 超長鎖脂肪酸伸長酵素; VLCFAE阻害剤(グループK3)

超長鎖脂肪酸(VLCFA)は, 炭素鎖が20~30以上の飽和脂肪酸や不飽和脂肪酸からなり, 植物のクチクラ層や細胞膜を構成する主成分である。その前駆体は, 葉緑体において生合成された炭素数16あるいは18の脂肪酸であり, 小胞体において超長鎖脂肪酸伸長酵素(VLCFAE)によって炭素鎖が伸長することで生合成される。すなわち本グループの化合物は, この脂肪酸の長鎖化を阻害する作用によって, 植物は細胞分裂が正常に行われず枯死する。1990年代の研究によってクロロアセトアミド系除草剤の作用点がVLCFAEであることが明らかとなっている。1973年にプタクロール, 1976年にピペロホス, 1980年にナプロアニリド, 1984年にプレチラクロール, 1986年にメフェナセット,

1993年にテニルクロール, 1998年にカフェンストロール, 1999年にインダノファン, 2000年にフェントラザミド, 2001年にアニロホス, 2013年にイプフェンカルバゾン, 2014年にフェノキサスルホンが登録された。一発処理剤の混合成分のうち主にノビエ対策の化合物として広く普及し, 現在でも7化合物の登録がある。また, 特に効果の持続性が長いものは, 問題雑草一発処理剤の混合母剤にも活用されている。

(8) 光化学系II阻害剤(グループC3)

本グループの化合物は, PS-II(Hill反応)阻害すなわち光合成阻害作用が中心となるが, 作用が即効的であることから, 電子伝達系阻害, 呼吸阻害, 蒸散阻害などの総合作用が殺草効果に関わっていると考えられている。1975年にベンタゾンが登録され, 10年後の1985年にはベンタゾンナトリウム塩が登録された。本グループはこの2化合物のみである。一年生広葉雑草や多年生広葉雑草に除草効果が高く, 雑草の発生を抑える土壌処理効果はないものの, 大きく成長した個体を枯殺可能なため, 後期剤の成分として現在も広く使用されている。

(9) 4-ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ; 4-HPPD阻害剤(グループF2)

本グループの化合物は, カロチノイド合成系においてPDSが作用する際

の補酵素であるプラストキノンの生合成を触媒する酵素 4-HPPD を阻害する。1980 年にピラゾレートが登録され、当時発生面積が増加していたウリカワに除草効果が高く、最初に開発された一発処理剤の混合母剤としても用いられた。その後、1985 年にピラゾキシフェン、1987 年にベンゾフェナップが登録され、しばらく経過した 2001 年にベンゾビシクロン、2010 年にメソトリオンおよびテフリルトリオン、2018 年にはフェンキノトリオンと相次いで登録された。現在 7 化合物の登録があり、いずれもコナギやアゼナなどに除草効果が高く、中にはホタルイ類にも卓効を示すものもあり、SU 抵抗性雑草対策用の一発処理剤の混合母剤として重要な位置づけとなっている。

(10) アセトラクテート合成酵素；ALS 阻害剤（グループ B）

本グループの化合物は、タンパク質を構成する分岐鎖アミノ酸であるバリン、ロイシン、イソロイシン合成に関与するアセト乳酸合成酵素（ALS）に作用し、植物は細胞分裂が阻害され生育が停止する。1987 年のペンスルフロメチルの登録に始まり、本剤は対象草種が広範で効果の持続性にも優れることから、一発処理剤の混合母剤として短期間のうちに広く普及した。1990 年にシノスルフロンおよびピラゾスルフロン、1993 年にイマゾスルフロン、1995 年にハロスルフロメチル、1997 年にシクロスルファミロ

ン、アジムスルフロン、ピリミノバックメチルおよびビスピリバックナトリウム塩、1998 年にエトキシスルフロン、2003 年にピリフタリド、2008 年にペノキススラム、2009 年にフルセトスルフロン、2011 年にプロピリスルフロンおよびピリミスルファン、2013 年にメタゾスルフロン、2016 年にトリアファモンと相次いで登録された。現在 15 化合物が登録されており、グループ別の登録化合物数として最多である。また、本グループの化合物はイネ科雑草、広葉雑草、または両方に除草効果を示すものがあり、得手不得手となる草種が化合物によって明確に異なるのも特徴的である。さらに、土壌処理、茎葉処理や茎葉兼土壌処理など有効な処理方法も異なっており、効果の持続性も様々である。したがって、これらを混合母剤として開発される除草剤は、ノビエ専用剤、問題雑草一発処理剤や直播水稲一発処理剤（湛直）など非常に個性的なものが多い。

(11) アセチル CoA カルボキシラーゼ；ACCCase 阻害剤（グループ A）

本グループの化合物は、脂肪酸生合成の開始反応を触媒する酵素 ACCCase を阻害し膜合成の阻害をもたらす。主にイネ科雑草に卓効を示し広葉雑草には効果がない。1996 年にシハロホップブチルが登録された。基本的に茎葉処理としての性格が強く高葉齢のノビエにも除草効果が高いため、後期剤としての活用が主となるが、一発処理剤の処理晩限を拡大する目的で ALS

阻害剤と組み合わせた混合剤も多い。2017 年にはメタミホップが水稲用に登録され、現在 2 化合物の登録がある。また近年、ヒメタイヌビエやイヌビエにおいて抵抗性バイオタイプが報告されている。

(12) 作用機作不明とされる化合物（グループ Z）

1968 年に登録されたキノクラミン（ACN）はナフトキノン骨格を有し、茎葉部から吸収され、光増感物質の蓄積による過酸化効果によって光合成反応を阻害すると考えられている。各種藻類や苔類に卓効を示し単剤として使用されることが多いが、幾つか混合剤も開発されている。1975 年に登録されたダイムロンは尿素系の化合物で、細胞分裂や細胞伸長の阻害によりカヤツリグサ科の雑草に有効である。ALS 阻害剤や VLCFAE 阻害剤に対する葉害軽減効果が見出され、それを目的として混合剤化された一発処理剤も多い。1986 年に登録されたプロモブチドはアミド系の化合物で、細胞分裂の阻害作用を示しカヤツリグサ科雑草の中でも特にホタルイ類に対して卓効である。ホタルイ類は ALS 阻害剤の抵抗性バイオタイプが各地で問題になっていることから、対策剤の混合母剤として貴重な存在となっている。1996 年に登録されたエトベンザニドはイネとノビエの属間選択性に極めて優れるため、直播水稲用除草剤として活用されている。同年に登録されたクミルロンは尿素系の化合物で、ダイムロンと

同様の作用が想定され、カヤツリグサ科雑草に有効である。2000年に登録されたオキサジクロメホンは、ノビエに有効で効果の持続性も長く、一発処理剤の混合母剤として活用されている。除草剤の作用機作として植物内因性のジベレリン代謝活性阻害作用が報告されているが、ノビエ防除の根本的な作用機作であるかはさらに検討が必要である。

(13) 最近開発された化合物

2019年9月にシクロピリモレートが登録された。本化合物の作用性は基本的にはカロチノイド生合成阻害であるが、化合物本体および代謝物のDMCは、プラストキノン生合成経路で4-HPPDの下流で働くホモゲンチジン酸ソラネシルトランスフェラーゼ (HST) 活性を阻害する。そのためHRACグループはF2と異なる可能性がある。

おわりに

以上のように、現在水稲作で使用される除草剤化合物の作用機作は、明らかになっているだけで11種類、作用機作不明のものを含めても20種類にも満たない。それらを単剤として初期剤や後期剤に活用した除草剤もあるが、多くは混合剤として開発され、ここ30年の間には問題雑草一発処理剤や直播水稲一発処理剤(湛直)も誕生した。組み合わせは様々で、巧みな製剤・処方技術によってジャンボ剤、フロアブル剤、顆粒水和剤、少量拡散型

粒剤などの省力散布剤型も数多く開発されてきた。雑草防除における省力化は全農薬メーカーの努力の賜物といえる。そのため、冒頭で述べたように水田での除草労働時間は大幅に短縮されており、最近では作業労働の軽減策として直播栽培以外にも、密播・密苗など高密度播種やそれに疎植栽培を組み合わせるなど、育苗管理の省力化や苗箱数の削減化技術に注目が集まっている。また、農林水産省は最新のドローン技術を取り込んで農業現場にイノベーションを起こすというねらいのもと、2019年3月に農業用ドローン普及計画を示した。ドローンによる農薬散布、肥料散布、播種、受粉、農産物等運搬、ほ場センシング、鳥獣被害対策などへの活用を期待しているようである。今後はこれらを視野に入れた除草剤開発も進められるであろう。しかし、水稲作における雑草防除が、既存の化合物活用で果たして十分だろうか。思いつくまま挙げてみてもALS阻害剤抵抗性雑草の多様化、除草剤抵抗性ノビエの出現、クログワイ、オモダカ、コウキヤガラ、シズイなど難防除雑草や雑草イネの顕在化、温暖化による雑草発消長の変化、直播栽培の導入による防除期間の長期化、品種ローテーションによる漏生イネ対策など、解決すべき問題は少なくない。農薬メーカーには今後も新除草剤の研究・開発を鋭意進めていただき、新規作用性の化合物の開発はもちろん、より高性能な混合剤化や製剤の開発に大いに期待したい。そして、道府県の試

験場など研究機関には、新除草剤や新栽培技術を駆使した効率的で省力的な雑草防除体系の確立に期待したい。

引用および参考文献

- 独立行政法人農林水産消費安全技術センター (FAMIC) ホームページ 農薬抄録及び評価書等 <http://www.acis.famic.go.jp/syouroku/index.htm>.
- 濱村謙史朗 2012. 問題雑草の変遷と除草剤の評価手法 作物と雑草の制御. Vol.8. p21-25.
- Hamamura, kenshiro 2018. Development of herbicides for paddy rice in Japan. Weed Biology and Management 18,75-91.
- 一前宣正 (ベンチオカープ), 川久保克彦 (ピラゾレート), 嶺昭彦 (ベントゾン) 1981. 農薬の作用点と作用機構. 日本農薬学会誌 6,360-364.
- 一般社団法人日本雑草学会ホームページ 除草剤および植物調節剤のリスト http://wssj.jp/academic/nouyaku_list.php.
- 伊藤操子 2016. 世界における除草剤の歴史: その誕生・発達・変遷 草と緑. 8, 3-11.
- 川島良一・中川恭二郎・宮原益次 1968. 除草剤二十年のあゆみ. 3-37.
- 公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会ホームページ 農業技術発達史 <https://jataff.jp/ayumi/index.html>.
- 公益財団法人日本植物調節剤研究協会 植調二十, 三十, 四十, 五十年史.
- 公益財団法人日本植物調節剤研究協会 ホームページ <http://www.japr.or.jp/>.
- 松本宏 1988. トリアジン系除草剤の作用機構に関する研究. 雑草研究 33, 97-104.
- 宮原益次 (監修) 1987. [図解] 水田多年生雑草の生態 (デュボンジャパン)
- 日本雑草学会会報編集委員会 1993. 除草剤解説. 雑草研究 38(1), 47-59.
- 農薬工業会ホームページ <https://www.jcpa.or.jp/lab/mechanism.html> 農薬の作用機構分類 (RACコード)
- SHIBUYA INDEX 研究会 2014. SHIBUYA INDEX (2014) -Index of Pesticides.
- 田中十城ら 2001. 植調 Vol.35, No.5 19-27.
- 種谷良貴ら 2012. 超長鎖脂肪酸伸長酵素阻害型除草剤. 植物の生長調節 Vo147. No2, 120-126.
- 山口裕文ら 2018. 雑草学入門 (講談社)
- 吉沢長人 1995. 除草剤開発の想い出

水稲栽培での年次別登録除草剤と雑草防除史

年次	登録除草剤成分	ISO名；HRACグループ	雑草防除や除草剤に関する動き
1950(昭25)	・2,4-Dソーダ塩(2,4-PA) ・2,4-PAトリエタノールアミン('79失効)	・2,4-PA/2,4-D-sodium ; O ・2,4-PA-triethanolamine ; O	・2,4-Dが水稲用除草剤として普及開始 ・2,4-D普及会設立
1951(昭26)			・2,4-D普及本格化 ・日本直播農業協会設立(直播研究・普及目的)
1952(昭27)			・過酸化石灰の酸素供給効果報告(後のカルパーコーティング直播)
1953(昭28)	・MCPナトリウム/MCPAナトリウム塩	・MCPA-sodium/MCPA-sodium ; O	・水稲「越南17号」(後のコシヒカリ)品種適応性試験
1954(昭29)			・除草労働時間31.1hr/10a
1955(昭30)			・松田順次(長野農試)が水稲室内育苗を公表。田植機械開発の原点
1956(昭31)	・PCP(PCPカルシウム)('76失効)	・PCP-Ca ; M	・水稲「コシヒカリ」を育成(福井農試)
1957(昭32)	・2,4-Dエチルエステル(水中2,4-D) ・MCPエチル/MCPAエチル(水中MCP)	・2,4-D-ethylester ; O ・MCP-ethylester/MCPA-ethyl ; O	・PCP普及開始(ノビエに活性あり急速に普及、魚毒性強)
1958(昭33)			
1959(昭34)	・MCPBEチル(水中MCPB)	・MCPB-ethyl ; O	
1960(昭35)	・DCMU	・DCMU/diuron	・除草労働時間26.8hr/10a
1961(昭36)	・プロパニル(DCPA)('07) ・MCPアリルエステル('88失効)	・DCPA/propanil ; C2 ・MCP-allyl ester ; O	・PCP・MCP(パムコン)登録('68失効) ・PCP散布後の集中豪雨で河川へ流出。琵琶湖、有明海で魚大量死
1962(昭37)			・選択性除草剤プロパニル(DCPA、スタム)市販化 ・除草労働時間20.9hr/10a
1963(昭38)	・MPCPA(マピカ)('75失効) ・NIP(ニトフェン)('82失効)	・MPCPA/mapica ; O ・NIP/nitrofen ; E	・PCP使用可能地域制限 ・除草剤CNP試験開始 ・田植機の開発と利用試験本格化
1964(昭39)	・2,4-Dアミン塩 ・2,4-PAブトキシエチル('73失効) ・2,4,5-T('73失効)	・2,4-D-dimethylamine ; O ・2,4-D-butoxyethyl ; O ・2,4,5-T	・NIP(ニップ)実用化 ・MCC(スエップ)日本に導入 ・国産田植機第1号実用化
1965(昭40)	・CNP(MO)('96失効)	・chlornitrofen/CNP/MO ; E	・CNP(MO)粒登録。稚苗に安全性高く、機械移植の普及に拍車。 ・除草労働時間17.4hr/10a
1966(昭41)	・SAP(混合剤として)('79失効) ・スエップ('94失効) ・PCP-ヒドラジン('69失効)	・bensulide/SAP ; N ・MCC/swep ; C1 ・PCP-hydrazine ; M	・除草労働時間16.4hr/10a ・MCC(スエップ)登録 ・バインダー開発
1967(昭42)	・2,4-PAブチルエステル('76失効) ・MCPカルシウム('73失効) ・SAP(単剤として)('70失効)	・2,4-PA-butyl ; O ・MCP-Ca ; O	・ホタルイ、ミズガヤツリ、ウリカワ、ヒルムシロ、オモダカ、クログワイなど多年生雑草増加 ・自脱型コンバイン開発(2条刈り・歩行型)
1968(昭43)	・2,4-PAイソブチルエステル('71失効) ・MCP/MCPA(酸)('85失効) ・キノクラミン ・シメリン	・2,4-D-isobutyl ; O ・metaxon/MCP/MCPA ; O ・quinoclamine/ACN ; Z ・simetryn ; C1	・土壌混和処理剤の試験開始「荒代後原液滴下処理」 ・MCC・MCP(スエップM)粒登録、茎葉兼土壌処理剤第1号 ・農技研が稲の約培養に成功 ・農技研がV字型多収稲作理論を提唱 ・動力式田植機開発
1969(昭44)	・ベンチオカーブ	・benthiocarb/thiobencarb ; N	・茎葉兼土壌処理剤の試験開始 ・MCC・MCP(スエップM)粒普及開始、普及面積130,000ha ・水稲作付面積ピーク ・米の生産調整始まる
1970(昭45)	・フルオロニトロフェン(MO-500/CFNP)('73失効) ・フェノール/MCPAチオエチル('08失効)	・fluoronitrofen ; E ・MCPA-thioethyl ; O	・ベンチオカーブ・シメリン(サターンS)粒市販化、MOとの体系使用が移植栽培で普及 ・除草剤のパイプダスターによる散布試験開始 ・除草労働時間13.0hr/10a ・田植機の普及開始
1971(昭46)	・モリネート	・molinate ; N	・大規模水稲育苗施設を設置始まる ・田植機普及面積228,000ha(普及率9%)
1972(昭47)	・オキサジアゾン('95失効、'03再登録)	・oxadiazon ; E	・オキサジアゾン(ロンスター)乳上市、普及面積40,000ha ・全国多年生雑草発生実態調査(植調協会；全国農業改良普及協会を通じた調査)多年生雑草発生面積総計1,100,000ha ・カルパー研究会結成 ・稚苗移植普及率(田植機普及率)19%

1973(昭48)	・ブタクロール('97失効, '99再登録) ・クロトキシニル('97失効)	・butachlor ; K3 ・chlomethoxyinil/chlomethoxyfen ; E	・オキサジアゾン(ロンスター)乳普及面積160,000ha ・稚苗移植普及率33%
1974(昭49)			・モリネート魚毒問題 (本剤は土中出芽穀への葉害少なく、湛水土中直播への適用が考えられていた) ・多年生雑草発生面積総計2,015,000ha ・除草労働時間9.0hr/10a ・ベンタゾン酸からNa塩への製剤変更(落水またはごく浅水処理技術確立) ・永年残留試験開始(植調研究所) ・除草労働時間9.0hr/10a ・稚苗移植普及率47% ・直播栽培面積5万5,300haで戦後最高に
1975(昭50)	・ダイムロン ・ベンタゾン(酸)('05失効) ・ピペロホス('02失効) ・ジメタメリン	・daimuron ; Z ・bentazone ; C3 ・piperophos ; K3 ・dimethametryn ; C1	・植調協会研究所において体系是正用除草剤(一発処理剤)の基礎研究開始 ・稚苗移植普及率61%
1976(昭51)	・フルオチウロン('79失効) ・メトキシフェノン('84失効)	・fluothiuiron ; C2 ・methoxyphenone ; F3	・ショウロンM粒普及開始 ・稚苗移植普及率73%
1977(昭52)			・体系是正用除草剤(一発処理剤)の適用性試験開始 ・オキサジアゾン(ロンスター)乳の普及に伴いホタルイ発生面積増加(約720,000ha) ・茎葉兼土壌処理剤普及面積2,050,000haで最大(水稲作付面積2,200,000ha) ・稚苗移植普及率(機械移植面積)80% ・農業機械化研で側条施肥田植機の試作開始
1978(昭53)			・水田難防除雑草(クログワイ)用除草剤の試験開始 ・除草労働時間7.0hr/10a
1979(昭54)			
1980(昭55)	・グリホサートイソプロピルアミン塩(畦畔等) ・ナプロアニリド('04失効) ・ピラゾレート	・glyphosate-isopropyl amine ; G ・naproanilide ; K3 ・pyrazolate ; F2	・除草労働時間5.9hr/10a ・乗用型田植機普及始まる ・カルバー粉剤農薬登録(条播用35%剤) ・無人ヘリコプターの機械開発開始
1981(昭56)	・ブタミホス	・butamifos ; K1	・農林水産省「超多収稲」研究開始
1982(昭57)	・ビフェノックス('07失効)	・bifenox ; E	・一発処理除草剤(オーザ、クサカリン等)普及開始 ・全国多年生雑草発生実態調査(植調協会; 全国農業改良普及協会を通じた調査)多年生雑草発生面積総計3,700,000ha(水稲作付面積2,210,000ha) ・除草労働時間5.7hr/10a
1983(昭58)			・ヤマハ無人ヘリ開発
1984(昭59)	・グルホシネート(畦畔等) ・ビアラホス(畦畔等, '05失効) ・プレチラクロール	・glufosinate ; H ・bialaphos ; H ・pretilachlor ; K3	・乗用型田植機全出荷台数の30%を占有
1985(昭60)	・ピラゾキシフェン ・ベンタゾン(ナトリウム)	・pyrazoxyfen ; F2 ・bentazone-sodium ; C3	・初・中期一発処理剤開発推進 ・除草剤ヘリコプター散布の検討 ・中国農業検定所(ICAMA)および黒龍江省農業科学院にて「日本における除草剤の開発利用研究の現状と今後」と題して植調協会(吉沢)が講演 ・黒龍江省農業科学院と植調協会との間で「日・中友好雑草防除技術交流に関する覚書」を交わす ・除草労働時間4.3hr/10a ・汎用コンバインの普及開始 ・田植機普及率96%
1986(昭61)	・ジメピペレート('04失効) ・ブロモブチド ・メフェナセト	・dimepiperate ; N ・bromobutide ; Z ・mefenacet ; K3	・長期持続型一発処理剤の開発推進 ・除草労働時間3.8hr/10a ・ピラゾレート・ブタクロール(クサカリン)普及面積560,000ha ・ロータリ式田植機開発される ・田植機普及率97%

1987(昭62)	・ベンスルフロンメチル ・ベンゾフェナップ	・bensulfuron-methyl ; B ・benzofenap ; F2	・ベンスルフロンメチル含有一発処理除草剤(ウルフ、ザーク等)市販開始
1988(昭63)	・エスプロカルブ ・クロメプロップ	・esprocarb ; N ・clomeprop ; O	・国、県で「大規模・大区画・直播関連事業」始まる
1989(平 1)	・キンクロラック('99失効)	・quinclorac ; L,O	・ICAMAを窓口として、植調協会との雑草防除に関する技術交流(日中技術交流)が始まる ・ベンスルフロンメチル・メフェナセット・ダイムロン(ザークD)粒登録 ・産業用無人ヘリコプター生産販売開始(ヤマハ)
1990(平 2)	・グリホサートトリメシウム塩(畦畔等) ・ピリブチカルブ ・シノスルフロン('07失効) ・ピラゾスルフロンエチル	・glyphosate-trimesium ; G ・pyributicarb ; Z ・cinosulfuron ; B ・pyrazosulfuron-ethyl ; B	・除草剤の1キロ化を植調協会が提案 ・ジャンボ剤を「手投げ用除草剤」として植調協会が提唱 ・除草剤初のフロアブル製剤(シーゼットフロアブル)市販化 ・第1回日中技術交流会「中日農田雑草防除技術交流会」を北京市にて開催 ・除草労働時間2.4hr/10a ・田植機普及率98%
1991(平 3)	・グリホサートナトリウム塩(畦畔等) ・グリホサートアンモニウム塩(畦畔等) ・ジチオビル('94失効)	・glyphosate-sodium ; G ・glyphosate-ammonium ; G ・dithiopyr ; K1	・除草剤1キロ粒剤の研究開始 ・無人ヘリコプターの利用始まる ・田植機普及率99%
1992(平 4)			・除草剤ジャンボ剤の研究開始 ・除草労働時間2.0hr/10a
1993(平 5)	・イマゾスルフロン ・テニルクロール	・imazosulfuron ; B ・thenylchlor ; K3	・一発処理除草剤の使用面積が水稻作付面積の約90% ・水稻湛水土中直播において「落水出芽法」確立
1994(平 6)	・シメチリン('06失効) ・ベンフレセート	・cinmethylin ; Z ・benfuresate ; N	・除草剤GNP使用自粛通知(農水省) ・1キロ剤(ソルネット、ウルフェース、ゴルボ、ライザー、アクト、ザーク、ザークD)が市販開始 ・水稻除草剤ジャンボ剤(クサトリージャンボ、モゲトンジャンボ)農業登録 ・除草労働時間1.6hr/10a ・「直播サミット」始まる(農林水産省)
1995(平 7)	・ハロスルフロンメチル	・halosulfuron-methyl ; B	・除草労働時間2.0hr/10a ・水稻湛水土壌中直播研究会が「水稻直播研究会」と改名 ・V溝直播栽培全量基肥法開発(愛知農試)
1996(平 8)	・クミルロン ・カフェンストロール ・エトベンザニド ・シハロホップブチル	・cumyluron ; Z ・cafenstrole ; K3 ・etobenzanide ; Z ・cyhalofop-butyl ; A	・SU-Rミズアオイ報告
1997(平 9)	・シクロスルフアムロン ・アジムスルフロン ・ピリミノバックメチル ・ビスピリバックナトリウム塩	・cyclosulfamuron ; B ・azimsulfuron ; B ・pyriminobac-methyl ; B ・bispyribac-sodium ; B	・自己拡散型粒剤としてクラッシュ1キロ粒登録 ・長期持続型除草剤としてネビロス1キロ粒登録 ・SU-Rアゼナ、アメリカアゼナ、タケトアゼナ報告 ・打ち込み式代かき同時土中点播技術「ショットガン直播栽培」確立(九州農試)
1998(平 10)	・エトキシスルフロン ・ペントキサゾン ・フルアジホップP(畦畔等)	・ethoxysulfuron ; B ・pentoxazone ; E ・fluazifop-P-butyl ; A	・SU-Rイヌホタルイ報告 ・高精度水稻湛水条播機開発(生研センター、井関、クボタ、三菱、ヤンマー)
1999(平 11)	・インダノファン ・カルフェントラゾンエチル ・ブタクロール(再登録)	・indanofan ; Z(⇒K3) ・carfentrazone-ethyl ; E ・butachlor ; K3(再登録)	・少量拡散型粒剤としてダンシングA500グラム粒登録('08失効)
2000(平 12)	・オキサジクロメホン ・フェントラザミド	・oxaziclomefone ; Z ・fentrazamide ; K3	・除草労働時間1.8hr/10a ・SU-Rコナギ報告
2001(平 13)	・アニコロス ・ベンゾビシクロン	・anilos ; K3 ・benzobicyclon ; F2	・田植同時処理可能な粒剤としてイノーバ1キロ粒登録 ・イノーバ発売(田植同時処理の普及開始) ・SU-Rタイワンヤママイ報告
2002(平 14)	・オキサジアルギル	・oxadiargyl ; E	・SU-Rオモダカ報告
2003(平 15)	・ピリフタリド ・オキサジアゾン(再登録)	・pyrifthalid ; B ・oxadiazon ; E(再登録)	・除草労働時間1.8hr/10a
2004(平 16)	・グリホサートカリウム塩(畦畔等)	・glyphosate-potassium ; G	・除草労働時間1.6hr/10a ・鉄コーティング直播技術開発(近中四農研) ・イネゲノム配列完全解読に成功
2005(平 17)			・除草労働時間1.6hr/10a ・スクミリンゴガイ食害防止と雑草防除の同時防除が可能な除草剤としてショウリョクジャンボ登録

2006(平 18)			<ul style="list-style-type: none"> ・除草労働時間1.5hr/10a ・SU-Rホソバヒメソハギ報告
2007(平 19)			<ul style="list-style-type: none"> ・除草労働時間1.5hr/11a
2008(平 20)	<ul style="list-style-type: none"> ・ピラクロニル ・ペノキサラム 	<ul style="list-style-type: none"> ・pyraclonil ; E ・penoxsulam ; B 	<ul style="list-style-type: none"> ・除草労働時間1.4hr/12a ・SU-Rオモダカ, ヘラオモダカ, アブノメ報告
2009(平 21)	<ul style="list-style-type: none"> ・フルセスルフロン 	<ul style="list-style-type: none"> ・flucetosulfuron ; B 	<ul style="list-style-type: none"> ・雑草イネ防除研究開始(長野県における雑草イネ発生面積約300ha) ・除草労働時間1.4hr/10a
2010(平 22)	<ul style="list-style-type: none"> ・メソトリオン ・テフルトリオン 	<ul style="list-style-type: none"> ・mesotrione ; F2 ・tefuryltrione ; F2 	<ul style="list-style-type: none"> ・雑草イネ防除作用性試験(5剤) ・除草労働時間1.4hr/10a ・鉄コーティング直播マニュアル策定(近中四農研) ・鉄コーティング専用播種機発売(クボタ)
2011(平 23)	<ul style="list-style-type: none"> ・グルホシネートPナトリウム塩(畦畔等) ・プロピリスルフロン ・ピリミスルファン 	<ul style="list-style-type: none"> ・glufosinate-P-sodium ; H ・propyrisulfuron ; B ・pyrimisulfan ; B 	<ul style="list-style-type: none"> ・除草労働時間1.3hr/10a ・ACCase阻害剤抵抗性ヒメタイスビエ報告
2012(平 24)			<ul style="list-style-type: none"> ・問題雑草一発処理剤開発試験開始 ・「雑草イネまん延防止防止マニュアル」作成(中央農研) ・除草労働時間1.4hr/10a ・ACCase阻害剤抵抗性イスビエ報告
2013(平 25)	<ul style="list-style-type: none"> ・イプフェンカルバゾン ・メタゾスルフロン 	<ul style="list-style-type: none"> ・ipfencarbazone ; K3 ・metazosulfuron ; B 	<ul style="list-style-type: none"> ・湛水直播栽培における播種法別除草体系に関する試験開始 ・無人ヘリ稼働水田面積36%, 有人ヘリ2%(ヤマハ社推定) ・雑草イネ総合防除対策マニュアル(長野県)
2014(平 26)	<ul style="list-style-type: none"> ・フェノキサスルホン 	<ul style="list-style-type: none"> ・fenoxasulfone ; K3 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1回「鉄コーティング水稲直播推進大会」開催(JA全農)
2015(平 27)			<ul style="list-style-type: none"> ・問題雑草一発処理剤として15剤に実用化判定 ・除草労働時間1.3hr/10a ・ALS阻害剤抵抗性ヒメタイスビエ報告 ・雑草イネまん延防止技術マニュアルVer.2(農研機構) ・密苗本格的に普及開始(ヤンマー調べ)
2016(平 28)	<ul style="list-style-type: none"> ・トリアファモン 	<ul style="list-style-type: none"> ・triafamon ; B 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題雑草一発処理剤市販開始 ・病虫害防除主体にドローン農薬散布本格化(684ha): 農水省調べ
2017(平 29)	<ul style="list-style-type: none"> ・メタミホップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・metamifop ; A 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン(マルチローター): 6メーカー8機種, 無人ヘリコプター: 2メーカー8機種(空中散布における無人航空機利用技術指導指針より) ・病虫害防除主体のドローン農薬散布(9,690ha): 農水省調べ
2018(平 30)	<ul style="list-style-type: none"> ・フェンキトリオン 	<ul style="list-style-type: none"> ・fenquinoatrione ; F2 	<ul style="list-style-type: none"> ・直播一発処理剤(湛水)として4剤に実用化判定 ・農業取締法改正閣議決定(第一条の二に「草」, 「除草剤」が明記) ・ドローン(マルチローター): 11メーカー16機種, 無人ヘリコプター: 3メーカー9機種(空中散布における無人航空機利用技術指導指針より) ・密苗普及面積24,000ha(ヤンマー調べ: 見込み)
2019 (平31, 令元)	<ul style="list-style-type: none"> ・シクロピリモレート 	<ul style="list-style-type: none"> ・cyclopyrimorate ; (?) 	<ul style="list-style-type: none"> ・雑草イネ・漏生イネ防除技術マニュアル(農研機構)