

植調

JAPR Journal

第57巻

第6号

ウリ科植物はどのように疎水性化合物を地上部に蓄積するのか？ 乾 秀之

佐賀県における大豆圃場の雑草発生実態について 秀島 好知

中干し期間の延長によるメタン発生量の削減効果 塩野 宏之

ピロキサスルホン(ブランドネーム:アクシーブ®)の国内畑作分野での展開

板屋 大吾・吉野 幸則・胡 文倩



公益財団法人日本植物調節剤研究協会

JAPAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF PHYTO-REGULATORS (JAPR)

しつこい畑地雑草を きれいに抑えます!



作用性の異なる3種の除草剤の混合剤です。

大豆、小麦・大麦、とうもろこし、ばれいしょ、にんじんの雑草防除に

クリアター

乳 剤 細粒剤F

細粒剤F

乳 剤



●使用前にはラベルをよく読んでください。 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。 ●本剤は小袋の手の届く所には置かないでください。 ●防除日誌を記録しましょう。



自然に学び 自然を守る
クマイ化学工業株式会社
本社 東京都台東区池之端1-4-26 〒110-8782 TEL03-3822-5036
ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>

©クマイ化学工業(株)の登録商標



リベレーター

「宣言」
麦づくりを
もっと先へ。

1年生の広葉雑草から、ジニトロアニリン系やスルホニルウレア系の
抵抗性イネ科雑草まで、幅広い殺草力と散布適期で、
麦づくりに新たな余裕と可能性を拓く
次世代の麦用除草剤リベレーターで雑草問題から解放し、
高品質な麦づくりをサポートします。

●使用前にはラベルをよく読んで下さい。 ●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。 ●本剤は小袋の手の届く所には置かないで下さい。 「リベレーター」は、バイエルグループの登録商標。

麦用除草剤



リベレーターと リベレータープロがフル

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8282 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00,13:00~17:00
土日祝日および会社休日を除く



“コロナ規制が緩和して”の雑感

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 理事
一般財団法人日本花普及センター 理事
腰岡 政二

2020年の正月に発生した新型コロナウイルス感染症に関わる制限規制（コロナ規制）により、日々の生活が激変した。私が勤めていた大学では、卒業式や入学式などを含めた各種イベントが縮小あるいは中止となり、講義や実習などは可能な限りリモートが主体になった。大学に限らず、社会全体がコロナ規制の煽りを受けたのはご存じの通りである。この間、私自身はワクチン接種のおかげか、幸いにも発症することにはなかった。しかし、研究大国と自負する割には、自国でのワクチン開発が進んでおらず、他国の製品に頼らざるを得なかったのはまことに情けない話である。新型コロナウイルス感染症の発生からまる3年を経過したこの5月に、本感染症の感染症法上の位置づけが2類相当から5類に変更され、それにより、コロナ規制が大幅に緩和されることになった。おかげで、教育現場や社会における活動が速やかに正常な状態に戻りつつあるのは喜ばしい反面、鉄道や繁華街での雑踏の戻りには幾分危惧を覚える。というのも、新型コロナウイルス自体が消滅したわけではなく、感染第9波が起きる可能性が指摘されており、今まで通り注意するに越したことはない。一方、コロナ規制のおかげで、ウイルスに関する知識と感染防止の対策法が身近なものとして広まったことや、Webを通じた情報の共有が進んだことも事実である。

私事ではあるが、コロナ規制が始まった真ただ中で、13年間を務めた大学での定年退職を迎えた。もちろん、予定されていた最終講義やパーティなどの催しは、中止あるいは無期延期となった。しかし、規制緩和と同時に、退職した研究室から、最終講義の意味合いも兼ねた特別講義を実施したいとの連絡があった。3年間のブランクがあつての講義でもあり、気恥ずかしい思いがあつたが、ありがたくお受けすることにした。4年次学生を対象とした講義にもかかわらず、多くの卒業生や関係者にも参加をいただき、懐かしくまた楽しく講義を行えたことに心から感謝したい。さらに、その後のパーティでは、参加者の皆が現役当時に戻ったような、久しぶりの同窓会的な雰囲気を満喫することができた。これもまた、規制緩和のおかげである。

さて、この特別講義では、植物の成長調節とそこに関わってきた自分自身の研究活動を題材としてお話したが、こ

れを機に今一度、自身の研究活動を振り返ってみた。研究者としての道に足を踏み入れたのは、大学院博士課程を中退し大学助手となったことに始まる。縁あって、30歳で海外留学した時に問われた“What do you want to do in the future? (何がしたいのか?)、What can you do now? (何ができるのか?)”の言葉を座右の銘として、その後の40年間を、異動は繰り返したものの、公的研究機関や大学でのいずれの場所であっても、同じテーマを対象として研究に取り組めたのは幸せであった。一方、長い研究生活の中で、尊敬できる指導者や信頼できる共同研究者に恵まれ、多くの研究論文を作成することができたが、それらの研究において十分に意図したことが解明できたのか、また、それらの成果でわずかでも社会貢献に寄与できたのかを考えてみると、まことに心もとない。

どのような研究であっても、履行するためには当然ながら資金が必要である。公的研究機関や大学では、バブル経済が崩壊した後も数年間は、潤沢とは言わないまでも、短期間での研究成果を求められることもなく、いわゆる基礎研究に没頭できた感がある。その後、経常研究費の枠がどんどん縮小され、思い通りの研究を実施するには、それが基礎研究であっても、競争的資金の獲得が必要となった。そのために、目先の成果を得ることに汲々とし、腰を落着けた研究がしにくくなったのも事実である。確かに、Gサイエンス学術会議の共同声明では、基礎研究の重要性を謳い、基礎研究に対する長期的な公的資金の回復とその維持を勧告している。また各界から、基礎研究の重要性が叫ばれていることもあり、政府は「10兆円規模の大学基金」の創設などで、基礎研究力強化に向けた施策を実施してはいるが、多くの研究者にとっては、経常研究費の充実の方が有難いのではなかろうか。もちろん、経常研究といえども、独りよがりになりがちな研究を避ける意味でも、外部評価が必要であることは言うまでもないが・・・。

貴重な巻頭言を、たわいもない雑感で汚すことになったが、年寄りの戯言としてお許し願いたい。

ウリ科植物はどのように疎水性化合物を地上部に蓄積するのか？

神戸大学
バイオシグナル総合研究センター
乾 秀之

はじめに

殺虫剤ディルドリンやヘプタクロルは、1972年に農業登録が失効したにもかかわらず、環境中で分解されにくい性質を持つため、長期間圃場に残留している。汚染圃場でキュウリやカボチャ植物が栽培されると、これら果実に残留基準値を超えて検出される (Hashimoto 2005; 板垣 2018)。また、ポリ塩化ジベンゾ-*p*-ダイオキシン (PCDD) やポリ塩化ジベンゾフラン (PCDF) を含むダイオキシン類も、ズッキーニの果実に蓄積することが報告された (Hülster *et al.* 1994)。その後、殺虫剤 DDT の分解物である *p,p'*-DDE (White *et al.* 2003) やクロルデン (Mattina *et al.* 2004)、ドリン系殺虫剤 (Otani *et al.* 2007)、工業化学品として使用されていたポリ塩化ビフェ

ニル (PCB) (Inui *et al.* 2008) など、残留性有機汚染物質 (POPs) に分類される多くの化合物がウリ科植物の地上部に蓄積することが報告された (表-1)。ウリ科植物に蓄積するこれら化合物に共通する特徴として、疎水性が極めて高いことが挙げられる。疎水性化合物の地上部蓄積は、ウリ科以外の植物の地上部ではほとんど見られないことから、そのメカニズムは不明であるものの、潜在的な汚染圃場におけるウリ科植物の栽培では、残留基準値を超える果実の汚染に注意を払う必要があることが認識されてきた。

疎水性化合物の植物への取り込み、地上部への蓄積は、(1) 土壌有機物と結合した疎水性化合物の脱離・可溶化、(2) 疎水性化合物の根細胞への取り込み、(3) 疎水性化合物の根から地上部への移行、(4) 疎水性化合物の代謝を経て起こると考えられ

る (図-1)。本総説では、疎水性化合物の植物地上部への蓄積に最も重要と考えられる (3) のステップについて、これまで明らかとなっている分子メカニズムを紹介する。さらに、疎水性化合物の体内輸送タンパク質の生理機能と機能制御による研究展開について議論する。

1. 植物に蓄積する化合物の性質

根を介した植物地上部への化合物の蓄積に重要な要因は、さまざまな報告において議論されてきた (Collins *et al.* 2006; Fujisawa 2002)。Briggs らは、水-オクタノール分配係数 (K_{ow}) が異なる化合物を水耕液に添加し、培養した大麦の地上部に蓄積する化合物量から地上部に蓄積しやすい化合物の $\log K_{ow}$ の最大値が 1.78 であること

表-1 残留性有機汚染物質とウリ科植物に蓄積する化合物

意図的生成物		非意図的生成物
農業	工業化学品	
アルドリン	ポリ塩化ビフェニル	ポリ塩化ジベンゾ- <i>p</i> -ダイオキシン
ディルドリン	テトラ (ベンタ) プロモジフェニルエーテル	ポリ塩化ジベンゾフラン
エンドリン	ヘキサプロモビフェニル	
DDT	ヘキサ (ヘプタ) プロモジフェニルエーテル	
クロルデン	ペルフルオロオクタンスルホン酸 (フルオリド) とその塩	
ヘプタクロール	ペルフルオロヘキサンスルホン酸とその塩と関連化合物	
マイレックス	ポリ塩化ナフタレン	
トキサフェン	ヘキサクロロブタジエン	
クロルデコン	ヘキサプロモシクロデカン	
リンデン	短鎖塩素化パラフィン	
ベンタ (ヘキサ) クロロベンゼン	デカプロモジフェニルエーテル	
ペンタクロロフェノールとその塩とエステル	ペルフルオロオクタ酸とその塩と関連化合物	
エンドスルファンとその関連異性体		
ジコホル		
α -ヘキサクロロシクロヘキサン		
β -ヘキサクロロシクロヘキサン		

太字はウリ科植物での蓄積報告がある化合物

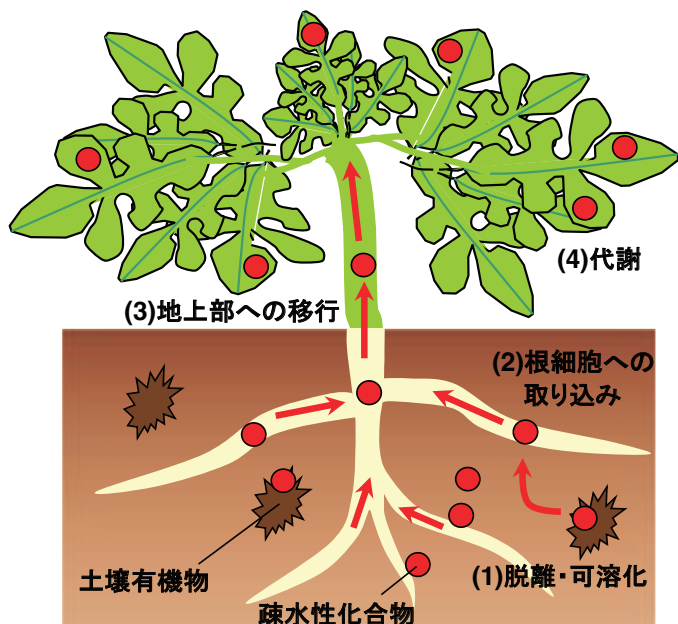


図-1 植物による疎水性化合物の取り込み、蓄積ステップ



図-2 ズッキーニの栽培と導管液（白矢印）

を示した (Briggs *et al.* 1982)。Hsu らは大豆を用いて、その最大値は 3.07 であることを示した (Hsu *et al.* 1990)。これらの結果から、 $\log K_{ow}$ が 2～3 付近の化合物は、根からの蒸散流に乗って植物の地上部に移行しやすいと考えられる。したがって、 $\log K_{ow}$ 値が 4 以上の一般的に疎水性が高いと言われる化合物は根から地上部に輸送されにくく、そのほとんどが根を含む地下部に留まったままとなる。しかし、ウリ科植物は前述の通り、PCDD や PCB をはじめとする $\log K_{ow}$ 値が 7 前後の高疎水性化合物であっても地上部に蓄積することができる。

2. ウリ科植物が持つ疎水性化合物の体内輸送タンパク質の同定

17 科 32 種の植物の地上部におけるディルドリン蓄積量を比較したところ、ウリ科植物において高濃度に蓄積されることが示された (Otani *et al.* 2007)。Mattina らは、ヘプタクロルエポキシドとクロルデンの複数の

異性体で汚染された土壌でズッキーニとキュウリを栽培したところ、根、導管液、地上部に含まれる各異性体の検出パターンは、土壌中の異性体存在パターンと類似していることを示した (Mattina *et al.* 2004)。このことは、土壌中の疎水性化合物が根から導管液を通る経路により地上部に輸送・蓄積されることを示している (図-1)。ディルドリン (Murano *et al.* 2010b) や PCB (Goto *et al.* 2019) もウリ科植物の導管液から検出されたことから、疎水性化合物は導管液を介した経路で地上部に輸送されることが示唆された。導管液は、土壌から取り込んだ水分とともに各種ミネラルを地上部に輸送している (図-2)。したがって、疎水性化合物であっても導管液に溶解される必要があることを示している。Murano らは、ディルドリンがズッキーニとキュウリの導管液中で可溶化することを示し、これはディルドリンが約 14kDa の導管液タンパク質と結合するためであることを明らかにした (Murano *et al.* 2010a)。我々のグループも、ズッキーニ導管液中のタンパク質成分による疎水性化合物の可溶化が

地上部輸送に重要であることを示した (Inui *et al.* 2013)。すなわち、PCB を地上部に高蓄積するズッキーニ品種の導管液には、17kDa 前後のタンパク質が存在し、その量はズッキーニ各品種の地上部への PCB の蓄積のしやすさと有意な正の相関があった。そこで、17kDa 付近のタンパク質が疎水性化合物の地上部蓄積に重要な因子であると考え、そのアミノ酸配列を解読し、データベースで検索したところ、Major latex-like protein (MLP) の一部であることが判明した (Inui *et al.* 2013)。ズッキーニ以外のウリ科植物、例えばカボチャ、キュウリ、スイカ、ヘチマ、ユウガオも同様に導管液中に MLP を有していた (Iwabuchi *et al.* 2020)。

MLP はシラカバ由来のアレルゲンである Bet v1 スーパーファミリーの一員であり、特徴的な長い α -ヘリックスとそれを取り囲む β -シート、その結果形成された疎水性化合物を収納可能な空洞が存在するという共通の特徴を持つ (図-3) (Fernandes *et al.* 2013; Marković-Housley *et al.* 2003)。MLP もこの空洞に疎水性化合物を結合できると考えられた。そこで、

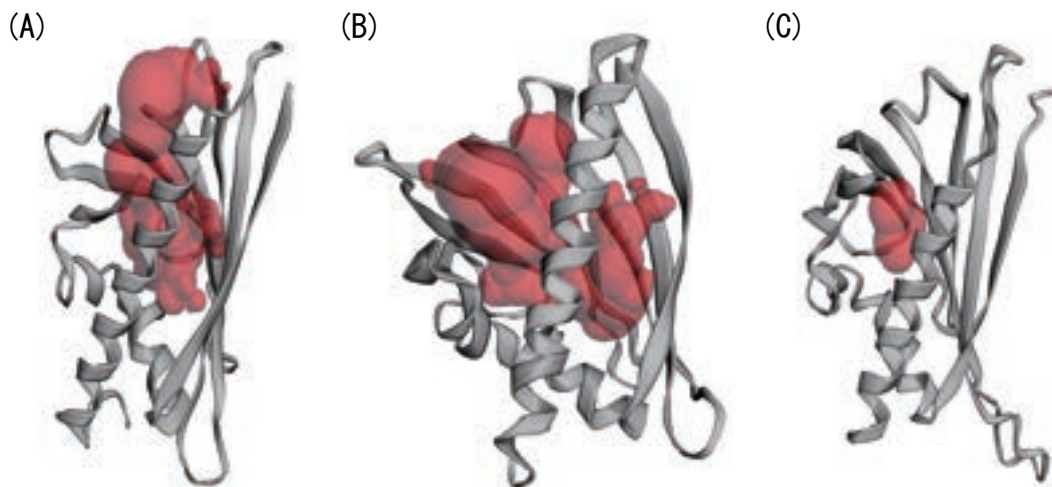


図-3 Bet v1 スーパーファミリーに属するタンパク質の立体構造
(A)*Betula pendula* Bet v 1a(CAA33887), (B)*Lupinus luteus* LiPR10.1(AAC12790), (C)*Cucurbita pepo* CpMLP-PG1(BAN14688)
AlphaFold2(Jumper *et al.* 2021) で三次元構造を構築し、CASTp(Tian *et al.* 2018) を用いてタンパク質内部の空洞 (赤色) を示した。

MLP と PCB やディルドリン, 17β -エストラジオールなどの多様な構造の疎水性化合物との結合を調べたところ, MLP や化合物の種類によって異なる結合強度を示した (Goto *et al.* 2019)。また, 疎水性化合物の低蓄積, 高蓄積性能にかかわらず, MLP はズッキーニの根に存在していたのに対し, 導管液では高蓄積性能を示す品種により多く存在していた (Goto *et al.* 2019)。さらに, 高蓄積ズッキーニ品種の導管液には, 総導管液タンパク質の 85% にものぼる MLP が含まれていることが明らかとなった (Inui *et al.* 2023)。このことは, 導管液における MLP の存在が疎水性化合物の地上部蓄積に重要であることを示している。一方, 非ウリ科のタバコ植物において MLP 遺伝子を過剰発現させると, 地上部に PCB がより多く蓄積する可能性があることが示された (Stoykova and Inui 2021)。これらの結果から, 土壌中に存在する疎水性の高い化合物が根に取り込まれると, 疎水性化合物は細胞で合成された MLP と結合して可溶化される。形成された MLP-疎水性化合物複合体は細胞外に分泌することで導管に移行し, 蒸散流に従って地

上部に輸送され, 蓄積すると考えられた (図-1)。

3. MLP の生理的機能

ウリ科植物における MLP の本来の機能として, 疎水性汚染物質の体内輸送を担っているとは考えにくいことから, 他の機能を担っている可能性が高い。MLP 遺伝子の発現は, 病原菌の感染による生物ストレスや乾燥, 高温等による非生物ストレスによって影響を受けることが明らかにされている (Fujita and Inui 2021)。例えば, 植物病原菌 *Verticillium dahliae* を接種するとワタの MLP 遺伝子の発現が増加し (Yang *et al.* 2015), シロイヌナズナでは低温処理や塩処理によって MLP 遺伝子の発現レベルが低下する (Wang *et al.* 2016)。また最近, 我々を含めた複数のグループが, 病原菌への抵抗性付与に MLP が関係していることを報告している (Fujita *et al.* 2022a; Yang *et al.* 2015)。これは病原菌の感染を抑制する働きを持つ感染時特異的タンパク質クラス 10 (PR-10) と MLP が共に Bet v 1 スーパーファミリーの一員であり, 類似の立体構造

を有することと関連があるかもしれない (図-3) (Fernandes *et al.* 2013)。これらの結果は, MLP 遺伝子の発現やそれに伴う MLP の存在量の変化を通した, 植物が生育する環境の変化への応答・適応と考えられる。ズッキーニのゲノムには 21 の MLP 遺伝子が存在しており, シロイヌナズナや他の植物種においても十数から数十遺伝子の存在が明らかにされている (Fujita *et al.* 2022b; Zhang *et al.* 2018)。これらを考え合わせると, MLP は環境応答・適応に関して重要な生理機能を担っている可能性がある。さらに, MLP の根から地上部への体内移動は, 根で受容した何らかの環境シグナルを地上部に伝達する役割を示しているのかもしれない。

4. MLP を利用した疎水性化合物の輸送制御

MLP は根において疎水性汚染物質と結合する (図-1)。この結合を阻害することは, MLP による汚染物質の地上部輸送の阻害につながり, 汚染低減をもたらす可能性がある。そこで, 理研が有するケミカルライブラリー約

2万種の化合物の中から、MLPと結合する化合物の探索を行った (Fujita *et al.* 2020a)。MLPと結合する約200種の化合物を同定し、これら化合物の構造の一部と類似する構造を、既存の農薬から探索した。市販されている農薬はすでに安全性が確認されているため、汚染低減のために使用しやすいと考えられる。殺菌剤アミスルブロムと殺虫剤ピリフルキナゾンがMLPと結合する可能性がある農薬として見出され、これら農薬は狙い通りMLPとディルドリンの結合を阻害することができた。さらに、ディルドリン人工汚染土壌でズッキーニを栽培し、ピリフルキナゾンを活性成分とする殺虫剤コルトを散布したところ、導管液中のディルドリン濃度が低下した。

一方、MLP遺伝子は根で発現し、合成されたMLPは取り込まれた疎水性汚染物質と結合し、複合体を形成して導管液を介して地上部に輸送される (図-1)。MLP遺伝子の発現抑制は、MLP量の減少につながり、これは結合する汚染物質の減少をもたらして、地上部の汚染を抑制すると予想される。そこで我々は、MLP遺伝子の発現を抑制する化合物を、農薬から選定した。ディルドリンを混合した人工汚染土壌において、高汚染されるズッキーニ品種を栽培し、ウリ科作物に適用のある殺菌剤ダコニールを散布したところ、導管液中のディルドリン濃度が低下することが判明した (Fujita *et al.* 2020b)。根に存在するMLP量が減少していたことから、散布した農薬

によりMLP遺伝子の発現が抑制され、輸送されるディルドリンが減少したと考えられる。このように、二つの異なるアプローチによりMLPの機能を制御することで、疎水性汚染物質の輸送を抑制し、作物汚染の低減が可能であることを示した。

おわりに

ダイオキシシン類や有機塩素系殺虫剤によりウリ科作物の果実が汚染されるという現象の発見から始まった研究は、ウリ科植物が導管液に持つMLPが疎水性化合物の体内輸送タンパク質として働くことで、地上部汚染が引き起こされることが明らかとなり、一応の決着を見た。しかしながらMLPは、ウリ科植物だけが保有する特殊なタンパク質ではなく、広く植物に存在し、さらにゲノム中に多くの遺伝子を持つことが明らかとなった。したがって、ウリ科植物で特徴的に見られる疎水性化合物の蓄積は、MLP遺伝子を持つことだけでは説明できない。疎水性化合物の低蓄積ズッキーニ品種の根においてもMLPは存在していることから、根の細胞内で合成されたMLPが細胞外に分泌され、導管に到達する過程にウリ科植物特有のメカニズムがあるものと考えられる。疎水性化合物を高蓄積するズッキーニ品種の導管液タンパク質のうち85%を占めるMLPは、細胞外分泌タンパク質が保有するシグナル配列をそのN末端に持たない (Inui *et al.* 2023)。これは、ウリ

科植物が疎水性化合物を蓄積する性能を獲得した要因を明らかにする手掛かりになるかもしれない。

我々の研究成果により、導管液におけるMLPの量やMLPと疎水性化合物の結合親和性が、地上部汚染の程度や汚染化合物の種類を決定することが明らかとなった。これに関わる分子メカニズムを利用することにより、作物汚染を抑制する技術を開発できる可能性を示した。一方、MLP遺伝子の発現を促進する化合物を見出すことができれば、効率の良いファイトレメディエーション (植物を利用した環境浄化) 技術の開発にも展開できる可能性がある。

参考文献

- Briggs, G.G. *et al.* 1982. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. *Pestic. Sci.* 13, 495-504.
- Collins, C. *et al.* 2006. Plant uptake of non-ionic organic chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 40, 45-52.
- Fernandes, H. *et al.* 2013. Structural and functional aspects of PR-10 proteins. *FEBS J.* 280, 1169-1199.
- Fujisawa, T. 2002. Model of the uptake of pesticides by plant. *J. Pestic. Sci.* 27, 279-286.
- Fujita, K. *et al.* 2020a. Pesticide treatment reduces hydrophobic pollutant contamination in *Cucurbita pepo* through competitive binding to major latex-like proteins. *Environ. Pollut.* 266, 115179.
- Fujita, K. *et al.* 2020b. Suppression of the genes responsible for transporting hydrophobic pollutants leads to the production of safer crops. *Sci. Total Environ.* 741, 140439.

- Fujita, K., Inui, H., 2021. Review: Biological functions of major latex-like proteins in plants. *Plant Sci.* 306, 110856.
- Fujita, K. *et al.* 2022a. MLP-PG1, a major latex-like protein identified in *Cucurbita pepo*, confers resistance through the induction of pathogenesis-related genes. *Planta* 255, 10.
- Fujita, K. *et al.* 2022b. Genome-wide identification and characterization of *major latex-like protein* genes responsible for crop contamination in *Cucurbita pepo*. *Mol. Biol. Rep.* 49, 7773–7782.
- Goto, J. *et al.* 2019. Uptake mechanisms of polychlorinated biphenyls in *Cucurbita pepo* via xylem sap containing major latex-like proteins. *Environ. Exp. Bot.* 162, 399–405.
- Hashimoto, Y. 2005. Dieldrin Residue in the Soil and Cucumber from Agricultural Field in Tokyo. *J. Pestic. Sci.* 30, 397–402.
- Hsu, F.C. *et al.* 1990. Study of root uptake and xylem translocation of cinmethylin and related compounds in detopped soybean roots using a pressure chamber technique. *Plant Physiol.* 93, 1573–1578.
- Hülster, A. *et al.* 1994. Soil-Plant Transfer of Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans to Vegetables of the Cucumber Family (*Cucurbitaceae*). *Environ. Sci. Technol.* 28, 1110–1115.
- Inui, H. *et al.* 2023. *Cucurbita pepo* contains characteristic proteins without a signal peptide in the xylem sap. *J. Plant Physiol.* 287, 154038.
- Inui, H. *et al.* 2013. A major latex-like protein is a key factor in crop contamination by persistent organic pollutants. *Plant Physiol.* 161, 2128–2135.
- Inui, H. *et al.* 2008. Differential uptake for dioxin-like compounds by zucchini subspecies. *Chemosphere* 73, 1602–1607.
- Iwabuchi, A. *et al.* 2020. Factors regulating the differential uptake of persistent organic pollutants in cucurbits and non-cucurbits. *J. Plant Physiol.* 245, 153094.
- Jumper, J. *et al.* 2021. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature* 596, 583–589.
- Marković-Housley, Z. *et al.* 2003. Crystal structure of a hypoallergenic isoform of the major birch pollen allergen Bet v 1 and its likely biological function as a plant steroid carrier. *J. Mol. Biol.* 325, 123–133.
- Mattina, M.I. *et al.* 2004. Plant uptake and translocation of highly weathered, soil-bound technical chlordane residues: Data from field and rhizotron studies. *Environ. Toxicol. Chem.* 23, 2756–2762.
- Murano, H. *et al.* 2010a. Dieldrin-dissolving abilities of the xylem saps of several plant families, particularly *Cucurbita pepo* L. *Environ. Toxicol. Chem.* 29, 2269–2277.
- Murano, H. *et al.* 2010b. Dieldrin uptake and translocation in plants growing in hydroponic medium. *Environ. Toxicol. Chem.* 29, 142–148.
- Otani, T. *et al.* 2007. Differential uptake of dieldrin and endrin from soil by several plant families and *Cucurbita* genera. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, 86–94.
- Stoykova, P., Inui, H. 2021. Transport enhancement of hydrophobic pollutants by the expression of zucchini major latex-like protein genes in tobacco plants. *J. Plant Physiol.* 263, 153464.
- Tian, W. *et al.* 2018. CASTp 3.0: Computed atlas of surface topography of proteins. *Nucleic Acids Res.* 46, W363–W367.
- Wang, Y. *et al.* 2016. Major latex protein-like protein 43 (MLP43) functions as a positive regulator during abscisic acid responses and confers drought tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* 67, 421–434.
- White, J.C. *et al.* 2003. Subspecies-Level Variation in the Phytoextraction of Weathered *p,p'*-DDE by *Cucurbita pepo*. *Environ. Sci. Technol.* 37, 4368–4373.
- Yang, C.L. *et al.* 2015. Cotton major latex protein 28 functions as a positive regulator of the ethylene responsive factor 6 in defense against *Verticillium dahliae*. *Mol. Plant* 8, 399–411.
- Zhang, N. *et al.* 2018. Genome-wide evolutionary characterization and expression analyses of major latex protein (MLP) family genes in *Vitis vinifera*. *Mol. Genet. Genomics* 293, 1–15.
- 板垣英祐 2018. かぼちゃ栽培におけるヘブタクロル汚染農耕地土壌の対策技術. 農薬環境科学研究 49–57.

佐賀県における大豆圃場の 雑草発生実態について

佐賀県農業試験研究センター
作物部長
秀島 好知

表-1 佐賀県における大豆雑草発生面積の推移（各普及センター聞き取り）

はじめに

近年、大豆の収量は、特に関東以西において低迷しているが、その要因の一つとして雑草害が指摘されており（山崎 2016）、その中でも特に帰化アサガオ類やホオズキ類が増加傾向にあると言われている。実際、佐賀県においても、各地域の普及指導員に聞き取り調査を行った結果（表-1）、帰化アサガオ類やホオズキ類のみならず、ヒユ類やツユクサなども増加傾向にあることが明らかとなった。そこで、今後持続的な大豆の安定生産に資するため、県内の現地巡回による雑草の見取り調査を行った。

材料および方法

2021年8月30日から9月14日にかけて、各地域農業改良普及センター（2022年度から各農業振興センターに名称変更）の普及指導員および農協の営農指導員らと協力し、県内の大豆作付圃場（36旧市町村、236筆）における雑草の発生状況を調査した。調査の方法は、石丸（2014）や大隈（2014）の方法を参考として、大豆が作付けされている佐賀県内の圃場について、旧市町村単位を対象として、1カ所（1団地）あたり2筆～6筆、1市町につき1カ所～3カ所について、表-2の基準を目安に雑草の草種と発生程度について達観調査を行った。

単位:ha

主要雑草名	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R元)	2020 (R2)	2021 (R3)	2022 (R4)
ノビエ	4,230	3,835	3,440	4,590	5,088	5,266	5,046
カヤツリグサ	2,050	1,770	1,170	2,150	2,968	3,051	2,961
メヒシバ	1,865	1,365	765	1,575	1,375	1,379	1,389
オヒシバ	1,115	615	765	820	620	619	634
アゼガヤ	3,937	2,610	2,657	2,705	3,355	3,544	3,244
タデ類	2,860	2,863	2,068	2,390	2,550	2,748	2,733
タカサブロウ	1,010	1,100	300	1,120	1,420	1,425	1,430
ホソアオゲイトウ	920	1,071	1,177	1,497	1,857	1,852	1,652
アオゲイトウ	315	315	285	315	1,315	1,510	1,310
イヌビユ	562	513	568	638	848	848	848
※アサガオ類	205	365	625	820	825	1,036	1,146
※ホオズキ類	1,478	1,240	2,542	3,132	3,172	3,145	3,795
その他広葉(オオナモミ)	51	1	0	0	0	0	50
その他広葉(スベリヒユ)	600	800	800	1,000	1,500	1,680	1,630
その他広葉(イチビ)	11	12	51	56	71	12	17
その他広葉(クサネム)	708	1,015	1,015	1,195	1,195	1,245	1,345
その他広葉(ツユクサ)	210	251	311	407	412	490	960
その他広葉(エノキグサ)	200	200	300	510	510	540	550
大豆作付面積	8,370	8,150	8,000	7,820	7,750	7,850	7,630

※アサガオ類・ホオズキ類は草種の分類を行っていない。

表-2 雑草の調査基準

発生程度	達観調査における判定の目安
0 無	圃場内に1個体または極わずかに発生が認められる
1 微	数個体が確認されるが実害はほぼないと思われる
2 少	数個体が確認され防除の判断に迷う。まだ手取り対応が可能
3 中	作物への影響が出始める頃。放っておくと増殖の恐れあり
4 多	かなり発生が多く何らかの防除が必要。畔際からでも繁茂が目立つ
5 甚	極めて発生が多く農作物や収穫作業に支障あり。蔓延状態

結果および考察

1) 佐賀県内の大豆圃場における雑草の発生状況については、発生圃場数（発生圃場率）が多い順に、ザクロソウ、イヌビエ、カヤツリ

グサ類、タカサブロウ、エノキグサ、メヒシバ、スベリヒユであった（表-3）。

2) また、圃場あたりの発生量が多い（蔓延状態にある）雑草は、イヌビエ、カヤツリグサ類、タカサブロウ、メヒシバ、ヒユ類、ツユ

表-3 雑草の発生状況

雑草名	発生 ほ場数	発生ほ場率 (%)	最大 被害 程度	発生 市町村数 (36中)	主な発生地(旧市町村) ※被害程度の比較的大きい所
ザクロソウ	148	62.7	4	34	武雄, 大町, 鹿島, 川副, 厳木
イヌビエ	135	57.2	5	34	上峰, 唐津, 千代田, 鳥栖, 中原など
カヤツリグサ類	131	55.5	5	33	鹿島, 白石, 山内など
タカサブロウ	122	51.7	5	33	江北, 久保田, 厳木, 千代田
エノキグサ	108	45.8	3	29	北方, 厳木, 塩田, 山内
メシバ	102	43.2	5	31	鳥栖, 白石など
スベリヒユ	101	42.8	4	28	川副, 塩田, 武雄, 東与賀
アゼガヤ	83	35.2	4	27	大町, 唐津など
ヒユ類(ケイトウ類含む)	78	33.1	5	28	鳥栖, 塩田など
タデ類 (イヌタデ・サナエタデ)	76	32.2	4	25	厳木, 武雄, 山内など
ホソバツルノゲイトウ	51	21.6	3	21	白石, 千代田など
オヒシバ	49	20.8	2	21	北方, 鳥栖, 東与賀, 富富, 三根など
ツユクサ	44	18.6	5	20	東脊振, 上峰, 北方など
ヒロハフウリンホオズキ	38	16.1	5	23	伊万里, 上峰, 東与賀など
トキンソウ	35	14.8	4	13	鳥栖, 山内, 三田川など
ホソバフウリンホオズキ	34	14.4	5	14	武雄, 山内, 伊万里, 久保田など
クサネム	30	12.7	5	16	東与賀, 白石, 山内など
マメアサガオ	30	12.7	5	13	中原, 武雄, 神埼, 伊万里など
イヌガラシ	27	11.4	3	15	山内, 大町など
マルバツユクサ	24	10.2	5	14	東脊振, 伊万里など
エノコログサ	23	9.7	4	10	東脊振, 鳥栖, 伊万里, 有田など
ホシアサガオ	23	9.7	4	10	伊万里, 千代田, 鳥栖など
ニシキソウ	21	8.9	1	13	鹿島, 唐津, 神埼, 白石, 鳥栖など
カロライナツユクサ	17	7.2	5	8	鳥栖, 伊万里, 塩田など
スギナ	16	6.8	4	11	厳木など
ハナイバナ	16	6.8	3	10	神埼, 三田川, 東与賀など
アメリカアサガオ	12	5.1	3	6	多久, 鳥栖, 東与賀, 東脊振, 千代田
マルバアサガオ (マルバアメリカアサガオ含む)	5	2.1	5	5	東脊振, 武雄, 伊万里など
イヌホオズキ	5	2.1	2	4	武雄, 塩田, 東脊振, 伊万里
マルバルコウ	5	2.1	2	4	武雄, 厳木, 東脊振, 鹿島
アメリカセンダングサ	4	1.7	5	4	伊万里など
イチビ	4	1.7	3	4	厳木, 上峰, 大町, 有田
ゼニアオイ	4	1.7	1	3	鹿島, 三根, 山内
オオオナモミ	2	0.8	3	2	東脊振, 厳木
タゴボウモドキ	2	0.8	3	2	大町, 武雄
シロザ	1	0.4	1	1	佐賀
ノミノフスマ	1	0.4	1	1	三日月
ヨシ(アシ)	1	0.4	1	1	基山
アキノノゲシ	1	0.4	1	1	東与賀
ツルマメ	1	0.4	1	1	嬉野
ノラアズキ	1	0.4	1	1	厳木(過去に武雄でも報告あり)
アメリカフウロ	1	0.4	1	1	厳木
ミカンソウ	1	0.4	1	1	厳木
ナガエツルノゲイトウ	1	0.4	1	1	川副(大詫間)

注) 発生が確認された圃場数が多い順に並べ替えている。



図-1 ヒロハフウリンホオズキの蔓延した圃場(上峰町: 9月5日撮影)



図-2 アメリカセンダングサの蔓延した圃場(伊万里市: 9月13日撮影)



図-3 カロライナツユクサの蔓延した圃場(鳥栖市: 9月12日撮影)



図-4 開花期のカロライナツユクサ(鳥栖市: 9月12日撮影)

クサ, ヒロハフウリンホオズキ, ホソバフウリンホオズキ, クサネム, マメアサガオ, マルバツユクサ, カロライナツユクサ, マルバアサガオ, アメリカセンダングサであり, いずれも程度は5(甚)であった(表-3)。

3) 特に, ヒロハフウリンホオズキ(図-1)やアメリカセンダングサ(図-2)など大型の草種が蔓延した圃場では, 見た目にも明らかに大豆減収を伴うような状態であった。

4) 近年, 佐賀県各地でもカロライナツユクサ(図-3, 図-4)が蔓延している圃場が見受けられるようになった。

5) 主要雑草の発生状況について, 佐賀農試センターで開発した“かんたん地区システム(Maps)”を用いて各市町村で最も発生程度の多かった圃場をプロットしたところ, 帰化アサガオ類については, 中原町と東脊振村で多く, また神埼町や武雄市, 伊万里市などでも多い圃場があることがわかった。

表-4 大豆作で使用された除草剤（2021 年，2022 年）

農薬の種類	農薬名	佐賀県計 (ha)	
		2021年	2022年
播種前 非選択性 茎葉 処理剤	グリホサートカリウム塩液	3,691	4,764
	グルホシネート液	2,059	3,170
	グルホシネートPナトリウム塩液	1,321	1,859
	グリホサートイソプロピルアミン塩・ピラフルフェンエチル水和	532	694
	グリホサートイソプロピルアミン塩液	267	214
合 計		7,870	10,701
播種後 (出芽前) 土壌 処理剤	アラクロール・リニュロン乳・粒	2,388	592
	トリフルラリン乳・粒	613	611
	フルミオキサジン水和	403	735
	ジメテナミドP・ベンディメタリン・リニュロン乳	209	224
	ベンチオカーブ・ベンディメタリン・リニュロン乳	107	99
	ジメテナミド・リニュロン乳	60	481
	DCMU水和	38	47
	プロメトリン・ベンチオカーブ乳	19	6
	アラクロール乳	18	21
合 計		3,854	2,815
生育期 茎葉処理 (土壌処理) 剤	キザロホップエチル水和	647	998
	ベンタゾン液	515	804
	フルチアセトメチル乳	302	703
	イマザモックスアンモニウム塩液	173	292
	クレトジム乳	21	32
	セトキシジム乳	18	21
	フルアジホップP乳	4	1
	リニュロン粒・水和	3	4
合 計		1,682	2,856
大豆作付面積 (ha) 農林水産省		7,850	7,630

注1)JAさかの販売実績(6月～8月/各年)から推計。

た（表-3，図-5，市町村名は図-9 参照。以下，同じ）。

6) 同様にホオズキ類（ヒロハフウリンホオズキ，ホソバフウリンホオズキ，イヌホオズキ）についてみると，県東部では上峰町で多く，西部では伊万里市，武雄市，山内町で蔓延圃場が確認された（表-3，図-6）。

7) ツユクサ類（ツユクサ，マルバツユクサ，カロライナツユクサ）については，鳥栖市，東脊振村，伊万里市で蔓延圃場があり，次いで塩田町でも多発生が確認された（表-3，図-7）

8) 様々な種類の多いヒユ類（アオビユ，ホナガアオビユ，ホソバアオゲイトウ，ノゲイトウなど）については，鳥栖市で蔓延圃場が確認され，塩田町でも発生の多い圃場がみられた（表-3，図-8）。

まとめ

大豆の雑草防除技術を開発するにあたり，佐賀県内での雑草の発生状況を調査した。この結果，発生圃場数が多い雑草は，ザクロソウ，イヌビエ，カヤツリグサ類，タカサブロウ，エノキグサ，メヒシバ，スベリヒユであった。また，蔓延状態にある雑草は，イヌビエ，カヤツリグサ類，タカサブロウ，メヒシバ，ヒユ類，ツユクサ，ヒロハフウリンホオズキ，ホソバフウリンホオズキ，クサネム，マメアサガオ，マルバツユクサ，カロライナツユクサ，

マルバアサガオ，アメリカセンダングサがあり，ホオズキ類やセンダングサなどの大型の草種が蔓延した圃場では，見た目にも明らかに大豆減収を伴うような状態であった。さらに近年，佐賀県各地でもカロライナツユクサが蔓延している圃場が確認された。

参考に，2021 年産および 2022 年産大豆で使用された除草剤について，佐賀県農業協同組合の販売実績から推計・作成したデータを表-4 に示した。あくまでも標準的な薬液量や粒剤散布量からの推計値なので，実際の散布面積とはかなり異なっている可能性があるが，一定の傾向をみるには十分であろう。これによると，播種前の非選択性茎葉処理剤としては，グリホサートカリウム塩液剤が最も多く使用されており，次いでグルホシネート液剤となっている。この 2 剤で作付面積の 7 割以上を占めていた。また，播種後の

土壌処理剤としては，2021 年は，アラクロール・リニュロン乳剤または粒剤が圧倒的に多く使用されていたが，2022 年は，フルミオキサジン水和剤やジメテナミド・リニュロン乳剤が伸びてきており，アラクロール・リニュロン乳剤または粒剤は急激に出荷量が減少している。その他の土壌処理剤については，様々なものが使用されているが 2022 年は，そもそも全体の使用量が減少している。一方で，生育期における茎葉処理剤は，2022 年に出荷量が増加しており，ヒエ剤に比較して広葉剤が多く使われている印象である。また，全体的に 2021 年と比較して，2022 年は，播種前非選択性茎葉処理剤や生育期茎葉処理剤の使用面積がかなり増加している点も特筆すべきことであろう（複数回散布や混用散布もあるため，延べ面積は大豆の作付面積を超えている）。これらの除草剤が

販売されている地域と、その地域における雑草の発生状況との関係もみてみたが、その関連は判然としなかった。

これらの結果を踏まえ、現在、佐賀県農業試験研究センターでは、新たな大豆難防除雑草対策として、石灰窒素やトリフルラリンの土壌混和处理などを検討するとともに、麦畦を利用した不耕起播種や部分浅耕一工程播種、事前畦立て播種などの新しい大豆播種技術による雑草防除効果について試験・検討を行っているところである。

補足

本論文は、九州の雑草（九州雑草防除研究会編，2023 年 1 月）第 52 号に掲載された記事（秀島 2022）に新たなデータを加え、加筆・修正したものである。

参考文献

- 秀島好知 2022. 佐賀県における大豆圃場の雑草発生実態．九州の雑草 52:4-8.
石丸知道 2014. 福岡県北部における大豆雑草の発生状況と防除の実態．九州の雑草 44:3-5.

大隈光善 2014. 北部九州における大豆圃場での雑草発生の実態とその防除対策．九州の雑草 44:9-14.

山崎哲 2016. 大分県の大豆作における雑草の発生実態．九州の雑草 46:2-3.

中干し期間の延長による メタン発生量の削減効果

山形県農林水産部
塩野 宏之

はじめに

近年、地球温暖化が進行しており、1900年代からみると日本の年平均気温は100年あたり1.30℃の割合で上昇している（気象庁HP）。さらに、気候変動も顕在化しており、例えば、「ゲリラ豪雨」の発生回数も増加傾向にある。気象庁によれば、2013～2022年の10年における1時間降水量が50mm以上の降雨の年間平均発生回数は、統計期間の最初の10年間（1976～1985年）の年間平均発生回数に比べ約1.5倍に増加しており（気象庁HP）、豪雨による災害が激甚化している（農林水産省2020）。

近年の地球温暖化は、人為的な活動に由来する温室効果ガスの大気中濃度の上昇が一因であるとされる。産業革命以降、人為起源の温室効果ガスの排出量は年々増加しており、2019年における世界の温室効果ガス排出量は約335億トン（CO₂換算）となっている（日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット2022）。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）によれば、2010年の世界の温室効果ガス排出量の内訳は、二酸化炭素（CO₂）が最も多く、全体の78%を占めている。次いでメタン（CH₄）が16%、一酸化二窒素（N₂O）が6.2%、フロン類が2.0%となっている（IPCC 2014）。これらのガスは、その種類によって温

室効果への影響が異なり、同じ重量の二酸化炭素に比べメタンは23倍、一酸化二窒素は265倍、フロン類は4倍～数万倍温室効果に対する寄与が大きく（IPCC 2014）、この係数を地球温暖化係数（GWP：Global Warming Potential）という。各温室効果ガスの排出量（CO₂換算）は、それぞれのガスの排出量とGWPから算出される。

我が国の温室効果ガスの総排出量を見ると、2019年は12億1,210万トン（CO₂換算）となっており、そのうち農林水産分野における温室効果ガスの排出量は全体の約4.0%を占めている（温室効果ガスインベントリオフィス2023）。2019年の我が国の農林水産分野における温室効果ガスの排出量（CO₂換算）は約4,700万トンとなっており、その内訳をみる

と、メタンが46.2%と最も多く、次いで二酸化炭素34.1%、一酸化二窒素19.7%となっている（農林水産省2021）。そのため、農林水産分野から排出される温室効果ガスを削減するためには、施設園芸の省エネルギー化や流通の効率化による二酸化炭素排出量の削減、施肥の適正化等による一酸化二窒素の削減等とともに、最も温室効果への寄与が高いメタン発生量の削減が重要である。

我が国の農林水産分野におけるメタンの発生量は、稲作由来のものが最も多く、次いで家畜の消化管内発酵、家畜排せつ物からの発生となっている（図-1）。稲作におけるメタンの発生は、イネの生育期間の大部分が湛水条件下で栽培されることに起因する。水田では湛水後、土壌の還元が進行し、

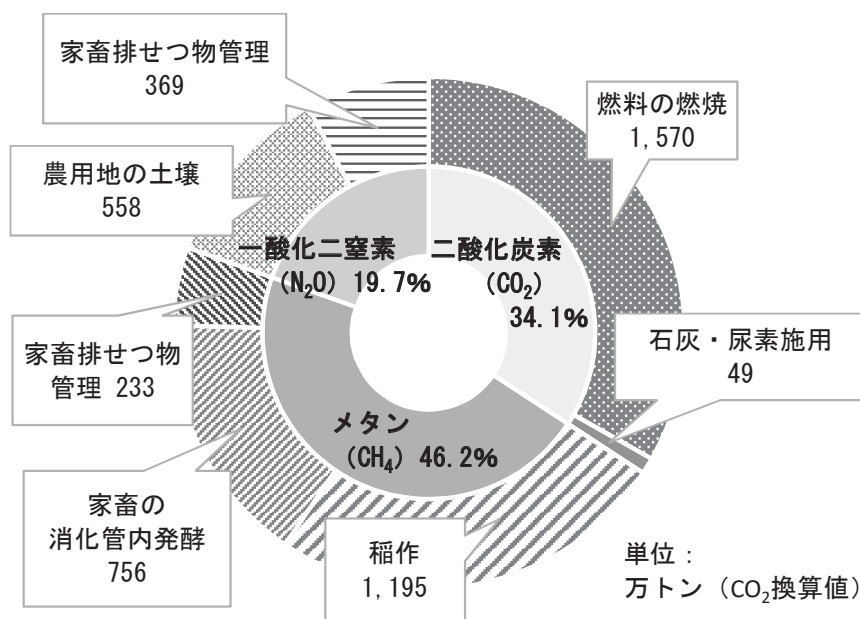


図-1 我が国の農林水産分野から排出される温室効果ガス（2019年）
（農林水産省資料より作成）

湛水後の 過程日数	物質の変化	開始時期の土壌Eh (mV)	微生物の代謝形式
初期 	物質状酸素 (O_2) の消失	+600~+500	酸素呼吸
	硝酸 (NO_3^-) の消失	+600~+500	硝酸還元
	Mn^{2+} の生成	+500~+300	(マンガンの還元)
	Fe^{2+} の生成		(第2鉄の還元)
	硫化水素 (H_2S) の生成	0~-190	硫酸還元
	水素 (H_2) の生成	-150~-220	発酵
後期	メタン (CH_4) の生成	-150~-190	メタン発酵 (炭酸還元を含む)

高井康雄1960. 水田土壌の還元と微生物代謝 (5), 農業技術 16, 213-216. より。

中干しは、稲作の基本的な栽培技術

メタン発生量の削減技術のうち、中干し期間の延長は追加コストを必要としないことから、生産者にとって取り組みやすい技術と考えられる。しかし、Ito ら (2011) はメタン発生量の削減効果と収量・品質への影響については報告しているものの、イネの生育、土壤環境へ及ぼす影響については述べていない。仮に、慣行より早い時期に中干しを開始する場合、従来の指針とは異なる生育量（茎数）で中干しを開始する可能性があるため、慣行栽培との生育量の違いを明らかにする必要がある。そのため、中干し期間の延長をメタン発生量の削減技術として広く普及させるためには、それぞれの地域において、中干し期間の延長がイネの生育と土壤環境（特に土壤水分）にどのような影響を及ぼすのか、また、慣行栽

そこで、本稿では、日本海側積雪寒冷地に位置する山形県の水田において、中干し期間の延長がメタン発生量、イネの生育、収量、品質、土壌環境に及ぼす影響を調査した結果について報告する。なお、詳細は塩野ら（2019）が報告しており、そちらも参照されたい。

1 試験の概要

試験は2008年、2009年に山形県農業総合研究センター（山形県山形市、土壌型は細粒灰色低地土）で水稻品種「はえぬぎ」を用いて行った。当該地域の水田では、4月下旬に耕起し、5月上旬から中旬に湛水、代かきを行い、5月中旬から下旬に苗（主に稚苗）を移植する。移植後は3～5cm程度の湛水状態を保ち、分けつ数が必要穂数の80～90%になった時点で中干しを行う。中干しの強さは土壌表面に小ヒビが入る程度とする。中干し期間は通常7～10日間程度で、山形県では6月下旬から7月上旬に実施されることが多い。中干し終了後は数日湛水、数日落水を繰り返す間断灌漑が基本となる。品種により違いはあるものの、概ね7月下旬から8月中旬に出穂し、その後は8月下旬から9月上旬に水尻を解放して最終落水を行い、9月中

表-2 試験区の構成

年次	区名	中干し期間			
		月日	日数	降雨 日数	期間中 総降水量 (mm)
2008	前延長区	6/20~7/4	14日	5	36
	後ろ延長区	6/27~7/11	14日	7	58
	慣行区	6/27~7/4	7日	3	33
2009	前延長区	6/22~7/6	14日	7	50
	後ろ延長区	6/29~7/13	14日	8	109
	慣行区	6/29~7/6	7日	4	43

(塩野ら 2019)より

旬から10月上旬頃に収穫する。当該地域の8割以上の水田では、収穫時に裁断、散布された稲わらが翌年の耕起時まで放置される。積雪期間は概ね12月下旬から3月中旬頃である。

試験区の構成を表-2に示した。慣行区は中干しを6月第6半旬~7月第1半旬頃まで7日間実施し、中干し期間を前に7日間延長した試験区を中干し前延長区（以下、前延長区）、後ろに7日間延長した試験区を中干し後ろ延長区（以下、後ろ延長区）とした。試験区の大きさは1区当たり34㎡とし、各区3反復で設置した。

水田土壤中で発生したメタンは、主にイネの通気組織を通じて大気中に放出される（犬伏ら 1989）。そのため、水田から発生するメタンは、複数株のイネを覆うクロズドチャンバー

（陽・八木 1988）を用いて採取した（図-2）。すなわち、縦60cm×横60cm×高さ100cm（移植から6月下旬までは高さ60cm）の透明プラスチック製の無底箱型チャンバーをイネ8株の上から静かに被せ、チャンバー内のガスを一定期間ごとに数回サンプリングバッグに採取した。採取したガスを実験室に搬入後、FID（水素炎イオン化検出器）付ガスクロマトグラフを用いてメタン濃度を測定し、一定時間毎のメタン濃度の変化からメタンフラックス（単位時間、単位面積からのメタン発生量）を計算した。メタンの測定頻度は週に1回を基本とした。測定期間中におけるメタン発生量は、メタンフラックスの推移を積分して求めた。また、ガス採取時に、圃場に設置したままの白金電極（各区の反復当たり

5本）にポータブル土壌Eh計を接続し、酸化還元電位（Eh）を測定した。土壌含水率は、定期的に水田から土壌を採取し、湿潤状態の土壌の重量と105℃の乾燥器内に1晩静置した後の重量差から求めた。

イネの生育調査は、前延長区の中干し前（6月20日）と、最高分げつ期（7月10日）、成熟期（9月10日）に行った。各区の反復当たり10株について、中干し前と最高分げつ期は草丈、茎数、葉色（SPAD値）を、成熟期は稈長および穂数を調査した。収量は、成熟期に各区の反復当たり80株を刈取り、脱穀後、1.9mmの篩を通し、篩上の玄米の重量を精玄米重とした。次に、穀粒判別機を用いて整粒歩合を、透過型近赤外分析機を用いて乾物当たりの玄米粗タンパク質含有率を調査した。また、同時期に各区から平均値±1本の穂数の株をサンプリングし、一穂穂数及び精玄米粒数歩合（全玄米粒数に対する1.9mm以上の玄米粒数の割合）を調査した。調査値は試験区毎に3反復の平均値で示した。

2 結果と考察

（1）中干し期間の延長とメタンフラックス、メタン発生量

図-3に試験期間中におけるメタンフラックスの推移を示した。慣行区のメタンフラックスは、湛水後徐々に



図-2 水田から発生するメタンを採取している様子

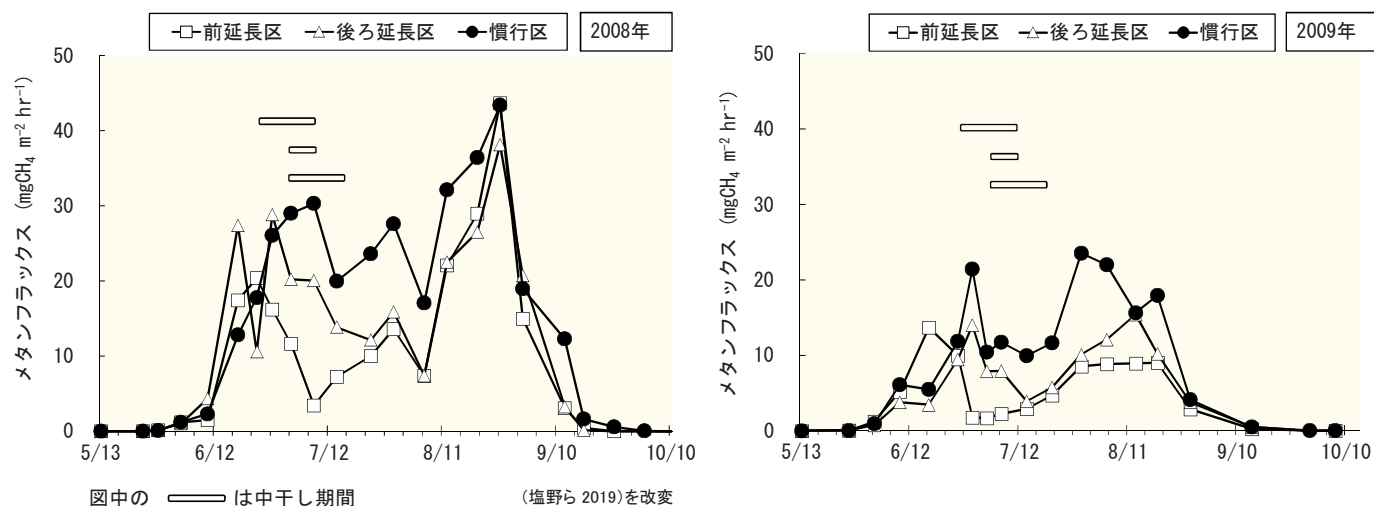


図-3 メタンフラックスの推移

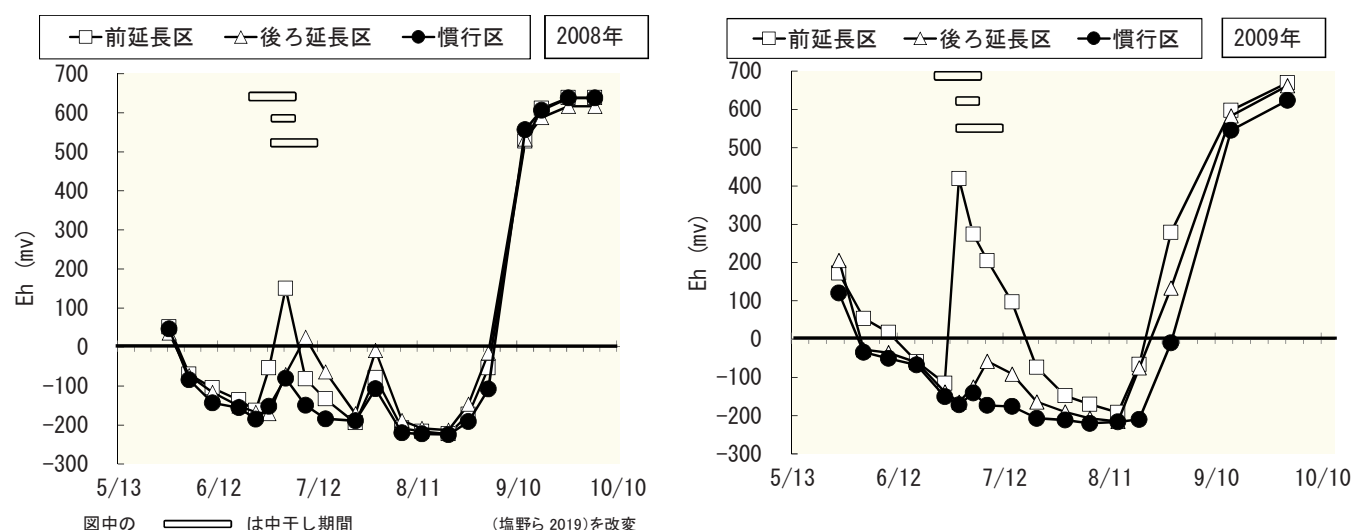


図-4 土壌 Eh の推移

大きくなり、2008 年は 7 月上旬に、2009 年は 6 月下旬に一つ目のピークがみられた。その後、両年とも中干しの開始によってメタンフラックスの値は小さくなり、中干しの終了後に再び増加していき、8 月下旬頃に二つ目のピークがみられた。また、2008 年と 2009 年のメタンフラックスを比べると、2008 年は 2009 年に比べ各区ともメタンフラックスが大きくなった。

両年とも、中干し開始から 8 月上旬のメタンフラックスは前延長区が最も小さく、次いで後ろ延長区となり、慣行区のメタンフラックスが最も大きくなった。中干しの延長によりメタン

発生が抑制され、さらに、前延長区と後ろ延長区では、中干しが終了し、再湛水された後も慣行区に比べメタンフラックスが小さく推移しており、中干しの延長によるメタンフラックスの削減効果は、中干し期間中だけではなく、それ以降も続いていた。

土壌 Eh は、湛水後徐々に低下し、中干し前は各区とも -200mV 程度まで低下した (図-4)。その後、中干しを開始すると土壌 Eh は一時的に上昇し、酸化的な土壌条件となった。中でも、前延長区の土壌 Eh は他の試験区に比べ早い時期から高まり、2008 年は 7 月 2 日に +150mV、2009 年は

6 月 29 日に +400mV となった。また、2008 年、2009 年とも、6 月下旬から 7 月中旬における後ろ延長区の土壌 Eh の値は慣行区より上昇したが、前延長区ほど高くはならなかった。その後、各試験区とも、中干しが終了し圃場が再湛水されたことで、土壌 Eh は再び -200mV 程度まで低下した。2008 年と 2009 年を比較すると、2008 年は 2009 年に比べ土壌 Eh が低く推移したことから、よりメタンが発生しやすい条件だった。

栽培期間中におけるメタン発生量は、前延長区、後ろ延長区、慣行区の順で 2008 年は 35.5、41.9、55.0

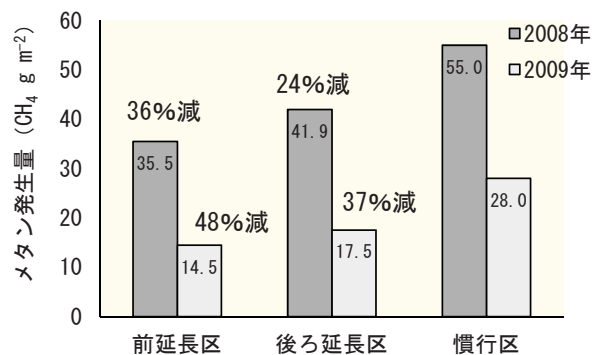


図-5 メタン発生量

棒グラフの上の数字は各年の慣行区を 100 とした場合のメタン削減率 (塩野ら 2019) を改変

CH₄ g m⁻², 2009 年は同順で 14.5, 17.5, 28.0 CH₄ g m⁻² となり, 2 カ年を通じて前延長区が最も少なく, 次いで後ろ延長区となり, 慣行区が最も多くなった。中干しの延長によりメタン発生量が削減され, 慣行区に比べ前延長区では 36 ~ 48%, 後ろ延長区では 24 ~ 37% のメタン発生量が削減された (図-5)。

(2) 中干し期間の延長が土壌含水率へ及ぼす影響

2008 年の中干し前における土壌含水率は各試験区とも 40% 以上だったが, 中干しを開始すると, 前延長区では 32%, 後ろ延長区では 34% まで低下した。慣行区も中干し開始後に土壌含水率が低下したが, 前延長区及び後ろ延長区ほど低下しなかった。再湛水

以降も前延長区, 後ろ延長区では慣行区に比べやや低く推移した。2009 年の中干し前の土壌含水率は 38% だったが, 前延長区では中干し開始後に 32% まで低下した。しかし, 後ろ延長区では 36% までの低下に留まり, 慣行区と同等の値だった (図-6)。

2008 年, 2009 年の前延長区における中干し期間前半 7 日間の降水量は, それぞれ 3mm, 7mm であり, 慣行区の中干し期間及び後ろ延長区の中干し期間後半 7 日間の降水量に比べ少なかった (表-2)。

(3) 中干し期間の延長がイネの生育, 収量, 玄米品質へ及ぼす影響

表-3 にイネの生育を示す。イネの稈長は, 2008 年, 2009 年とも前延長区, 後ろ延長区では慣行区より 1

~ 2cm 程度短くなった。最高分げつ期の茎数及び穂数への影響は, 2008 年, 2009 年の前延長区及び 2008 年の後ろ延長区ではみられなかったが, 2009 年の後ろ延長区ではやや減少した。山形県の内陸地域における「はえぬき」の穂数の指標値は 480 本/m², 中干し開始の目安は分げつが必要穂数の 80 ~ 90% になった時点としており (山形県 2010), 目標穂数を 100 とした場合, 2008 年の中干し開始前 (6 月 20 日) における各試験区の茎数は目標穂数の 9 割, 2009 年では 6 割程度だった。2009 年の前延長区では必要な有効茎数を確保する前に中干しを開始したが, 慣行区に比べ穂数が減少することはなかった。一方, 同年の後ろ延長区では, 中干し前の茎数は慣行区と同等だったが, 穂数は慣行区に比べ少なくなった。森ら (2003) によれば, 中干しを後ろに 10 日間延長した場合の穂数減少の有無は年次や土

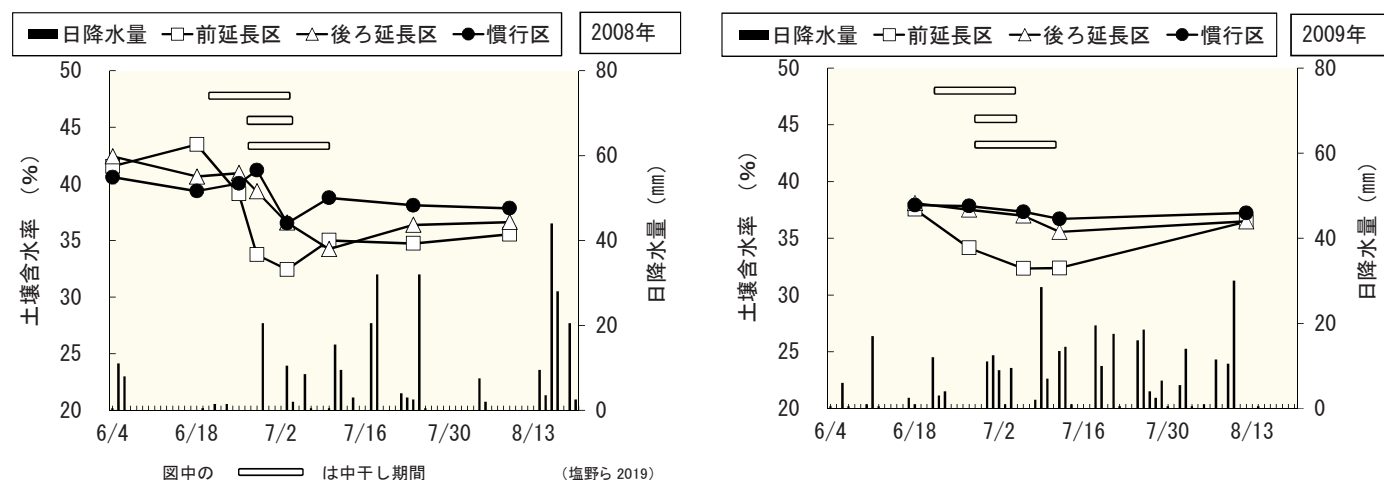


図-6 土壌含水率と日降水量

表-3 中干し期間と水稻の生育

年次	区名	中干し前 (6月20日)		最高分げつ期 (7月10日)			成熟期 (9月10日)	
		草丈 cm	茎数 本 m ⁻²	草丈 cm	茎数 本 m ⁻²	葉色 SPAD値	穂数 本 m ⁻²	稈長 cm
2008	前延長区	30.0	464	57.7	656	43	518	78.8
	後ろ延長区	29.6	440	56.5	643	41	516	78.7
	慣行区	30.0	432	57.6	658	42	520	79.7
2009	前延長区	29.9	300	52.8	555	40	492	75.0
	後ろ延長区	30.6	332	53.5	538	38	464	77.1
	慣行区	31.4	337	55.0	571	40	494	77.7

(塩野ら 2019)を改変

表-4 中干し期間と水稻の収量・収量構成要素・品質

年次	区名	穂数			千粒重 (g)	精玄米粒数 歩合(%)*	整粒 歩合(%)	玄米粗タンパク質 含有率(%)
		一穂	×100粒 m ⁻²	慣行比				
2008	前延長区	67.9	352	93	22.3	82.4	84.2	7.1
	後ろ延長区	69.6	358	94	22.5	83.4	85.2	7.0
	慣行区	73.0	380	100	22.4	78.2	85.3	7.5
2009	前延長区	62.7	308	87	22.7	84.1	82.3	6.7
	後ろ延長区	71.5	331	94	22.7	83.1	81.7	6.8
	慣行区	71.6	354	100	22.6	82.4	79.7	7.1

*: 1.9mmの篩で選別される玄米粒数の割合。

(塩野ら 2019)を改変

壤条件等により一定ではないとしており、本試験でも一定の傾向はみられなかった。中干しの延長が茎数や穂数へ及ぼす影響については今後さらに検討する必要がある。

次に、穂数への影響をみると、中干しの延長により一穂穂数が減少し、慣行区に比べ2008年の前延長区では5.1粒、後ろ延長区では3.4粒少なくなった。2009年の前延長区では慣行区に比べ8.9粒少なく、後ろ延長区では慣行とほぼ同等となった。一穂穂数の減少によってm²当たり穂数も減少し、2008年の前延長区では慣行比93%、後ろ延長区では慣行比94%、2009年では同区順でそれぞれ87%、94%となった。中干しの前延長と後ろ延長を比較すると、前延長の方が後ろ延長に比べ穂数の低下程度が大きかった(表-4)。

今回の試験で用いた品種「はえぬぎ」における穂数の指標値は30,000～32,000粒/m²であり(山形県2010)、本試験の慣行区の値はやや過剰となった。しかし、中干し期間を延長することで穂数が抑制され、特に、その抑制

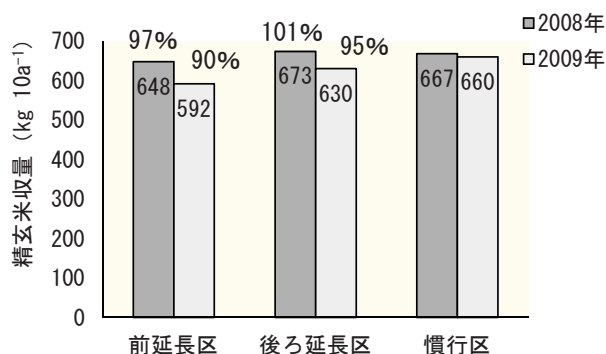


図-7 精玄米収量
棒グラフの上の数字は慣行区の値に対する各区の値の割合 (塩野ら 2019)を改変

効果は中干しを前に延長する場合で高かった。

精玄米収量をみると、2008年は前延長区、後ろ延長区、慣行区の順でそれぞれ648, 678, 667 kg/10aとなり、慣行比はそれぞれ97%, 101%だった。2009年は同区順で592, 630, 660 kg/10aとなり、慣行比はそれぞれ90%, 95%だった(図-7)。Itoら(2011)が報告したように、精玄米収量は中干しの延長によって慣行とほぼ同等、または僅かに減少する傾向を示し、特に、中干し前延長の場合でより減収する傾向だった。ただし、「はえぬぎ」の精玄米収量の指標値は580

kg/10aであり(山形県2010)、本試験では中干しを延長しても指標値以上の精玄米収量が確保された。森ら(2003)は、乾土効果(春期に土壌が乾燥することで土壌中の有機態窒素の無機化が進み、湛水後に多くのアンモニウム態イオンが生成する現象)が高く、イネの生育量が多い年次の中干しの開始時期を早めることで、過剰な穂数を適正域に制御できることを報告しており、本試験の結果からも、中干しの延長が過剰な穂数の制御に有効であることが示された。

玄米品質をみると、千粒重、整粒歩合は中干しの延長による影響はみられ

なかった。一方、中干しの延長により精玄米粒数歩合は若干高まり、玄米粗タンパク質含有率は低下する傾向を示した。前延長区、後延長区では、慣行区に比べ玄米粗タンパク質含有率が0.3～0.5ポイント低くなった。このことから、中干しの延長は玄米粗タンパク質含有率を低下させ、食味に良い影響があると考えられた。

3 まとめ

中干し期間を慣行より前または後ろに7日程度延長することで、慣行に比べメタン発生量が前延長の場合で36～48%、後延長の場合で24～37%削減された。また、稈長は短くなり、穂数は慣行と同等あるいは減少する場合があったが、その傾向は一定ではなかった。一穂粒数、m²当たり粒数は減少した。精玄米収量は中干しの延長によって慣行とほぼ同等、または僅かに減少する傾向を示し、特に、中干し前延長の場合でより減収する傾向だった。

以上より、積雪寒冷地水田において、中干し前の生育が平年以上であった場合は慣行より早め（前延長）の中干しを行い、一方、平年の生育量に達しない場合は慣行の中干しに入った上で生育を見ながら中干しを延長（後延長）すれば、収量、品質、食味を確保しながら、より実用的・現実的にメタン発生量を削減できると考えられた。

本試験の結果から、中干し期間の延長がメタン発生量の削減に有効である

ことが明らかとなった。しかし、慣行に比べ減収する場合もあることから、中干し延長を広く普及するためには、技術内容を現場へ周知するとともに、中干し延長に取り組む生産者に対しインセンティブとなるような経済的な支援を行う必要がある。

農林水産省では、化学肥料・化学合成農薬を原則5割以上低減する取組と合わせて、農業者等が実施する地球温暖化防止や生物多様性保全に効果の高い取組に対し支援を実施しており、令和2年度から、14日以上の中干しに取り組む場合に支援を実施している（農林水産省 HP）。また、令和5年3月に、温室効果ガスの削減量を「クレジット」として国が認証する「J-クレジット制度」の方法論に「水稻栽培による中干し期間の延長」が新たに承認された（農林水産省 HP）。このため、中干し延長により生じたクレジットを生産者が企業等へ販売し、収入を得ることが出来るようになった。このような取組が今後ますます広がり、農業分野からの温室効果ガスの発生量削減へ繋がることを期待したい。

謝辞

本研究は、平成20年度および21年度水田土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業（農林水産省）により行われた。

引用文献

AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change WG3 SUMMARY

FOR POLICYMAKERS ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf

EDMC エネルギー・経済統計要覧 2022 年度版 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット

後藤ら 2004. 寒地水田における稲わらの分解促進と水管理によるメタン発生軽減効果. 土肥誌, 75, 191-201.

蓮川ら 2019. 灰色低地水田の3年4作田畑輪換体系を通じた緩和策導入による温室効果ガス排出量削減効果. 土肥誌, 90, 1-12.

犬伏ら 1989. 水稻体を経由したメタンの大気中への放出. 土肥誌, 60, 318-324.

気象庁 HP : https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html

気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>

陽 捷行・八木一行 1988. 水田から発生するメタンのフラックスの測定法. 土肥誌, 59, 458-463.

三浦吉則 2003. 水田からのメタン発生の実態と抑制のための稲わら管理に関する研究. 福島県農業試験場特別研究報告, 7, 1-38.

森ら 2003. 土壌乾土効果が大きい年次における中干しおよび幼穂形成期追肥窒素量の調整による水稻粒数の制御効果. 土肥誌, 74, 823-825.

日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NIR) 2023 年度 4 月版 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編

農林水産省 2020. 気象変動に対する農林水産省の取組 : https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/GR/attach/pdf/s_win_abs-71.pdf

農林水産省 2021. 農業分野における地球温暖化対策について（令和3年12月作成版） : <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-72.pdf>

農林水産省 2023. 環境保全型農業直接支払交付金について（令和5年4月） : https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-96.pdf

農林水産省報道発表資料 2023 年 3 月 1 日 : <https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/>

b_kankyo/230301.html
 農山漁村文化協会 1982. 農業技術体系 作物編, 2, イネ 基本技術① 追記第4号, p. 220, 東京.
 塩野ら 2014. 積雪寒冷地の稲わら春すき込み水田における田畑輪換がメタン・一酸化二窒素発生に及ぼす影響, 土肥誌, 85, 420-430,
 塩野ら 2016. 積雪寒冷地低地土稲わらすき込み水田における耕起法の違いが翌年のメ

タン, 一酸化二窒素発生量に及ぼす影響, 土肥誌, 87, 101-109,
 塩野ら 2019. 日本海側積雪寒冷地の稲わら施用水田におけるメタン発生量の年次変動と中干し期間の延長によるメタン発生量の低減効果 第2報 中干し期間の延長によるメタン発生量の低減効果と水稻生育への影響, 土肥誌, 90, 193-200,
 高井康雄 1961. 水田土壌の還元と微生物代謝 (5), 農業技術 16 (5), 213-216,

Yagi, K. *et al.* 1996. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. Global Biogeochemical Cycles. 10, 255-267.
 山形県農林水産部 2010. 稲作指針

田畑の草種

子持ち万年草 (コモチマンネングサ)

4月から始まっているNHKの朝の連続テレビ小説「らんまん」。高知が生んだ植物学者牧野富太郎をモデルにした物語で、各週の番組タイトルに植物名が振られている。第1週の「バイカオウレン」に始まってその第12週が「マルバマンネングサ」。主人公の榎野万太郎は婚姻のための高知へ戻っていたがそこへロシアからの手紙が東京経由で送られてきた。そこにはロシアのマキシモヴィッチに送っていたマルバマンネングサが新種 (*Sedum makinoi* Maxim.) であると記され、*Sedum* 属の中の新種の種小名に *makinoi* の名がついた。

東京に戻った万太郎こと牧野富太郎は、かねてから構想していた日本の植物誌として「日本植物志圖篇」を自費で刊行を始めた。第1巻第1集に記載された種はわずか6種であったが、1ページに1種という大胆な圖篇はその序文に「一葉ノ紙上一種ノ植物ヲ描出シテ決シテ他種ノ紙面ヲ犯スコト勿ラシム是レ後日大成ノ功ヲ見ルノ時ニ當テ天然ノ分類ニ從テ容易ニ編次ノ舊態ヲ改更スルノ便アレバナリ」と書いたように、将来、各種を並べ替えて植物志を完成させることを考えていた壮大な計画であった。

その「日本植物志圖篇」の第7集以降は「我邦ノ新植物ニ對シテ始メテ新學名ヲ下シテ之レヲ本集デ公ニ」した圖篇で

(公財)日本植物調節剤研究協会
 兵庫試験地 須藤 健一

あった。

マルバマンネングサがマキシモヴィッチから新種として献名されてから3年、圖篇の第10集にマルバマンネングサの同属他種であるコモチマンネングサが載せられた。他のマンネングサと異なり、花は咲いても種子が出来ず、代わりに葉の付け根にできる無性芽で殖えていく。これが新種と気づき *Sedum bulbiferum* Makino の学名を与えた。今度は同じ *Sedum* 属に命名者として Makino の名がついた。

コモチマンネングサはベンケイソウ科マンネングサ属の一年草。本州の東北南部以南のやや湿った道端、畦、畑地、空き地などに普通。背丈は5-6cmくらいで、大きなものでも15cm程度。茎は下部では地を這うが上部では立ち上がる。茎が赤みを帯びることも多い。葉はやや間隔をあけてつき長さ1-2cmで扁平なへら型。多肉質で厚みがある。花は12-15mmの黄色の5弁花。花弁は細長い楕円形で先が尖り星形。咲いているときはちょうど星が輝いているように見える。種子はほとんどできず花茎の途中の葉の基部にできるムカゴで殖える。マンネングサ属でムカゴができるのは本種だけであるので同定は容易い。

ピロキサスルホン (ブランドネーム：アクシーブ®) の国内畑作分野での展開

クミアイ化学工業株式会社
生物科学研究所
板屋 大吾
吉野 幸則
胡 文倩

はじめに

ピロキサスルホン（ブランドネーム：アクシーブ®）は、クミアイ化学工業（株）が開発したイソキサゾリン環を有する新規除草剤で、ダイズ、トウモロコシ、コムギなど多くの畑作物用土壌処理剤として、現在ではオーストラリアや米国をはじめとした世界21カ国で農業登録され使用されている。日本においては、ピロキサスルホン含有混合剤として、コムギ用にクタシーブ®フロアブルが農業登録され販売（2021年より）、ダイズ用にクリアシーブ®乳剤が農業登録（2023年3月）されている。

本報では、ピロキサスルホンの畑作用除草剤としての生物活性に触れ、クタシーブ®フロアブル、クリアシーブ®乳剤を中心に、国内畑作分野での本化合物における雑草防除技術について紹介する。

1. ピロキサスルホンの概要

(1) 物理化学的性状と安全性

ピロキサスルホンは、イソキサゾリン環とピラゾール環の2つのヘテロ環を有する構造を持つ。本化合物は、クミアイ化学工業（株）が開発した除草剤原体ベンチオカーブの活性本体であるチオカーバメートスルホキシドを参考に合成が進められ、開発された化合物である。特徴的な物理化学性とし

て、水溶解度、土壌吸着係数 ($K_{\text{FOC}}^{\text{ads}}$) が、それぞれ 3.49 mg/L (20 °C)、36-664（日本土壌条件 25 °C）であり、既存の畑作土壌処理除草剤と比較していずれも値が小さい化合物である (Nakatani *et al.* 2016)。また、人畜、環境生物への安全性も高い。

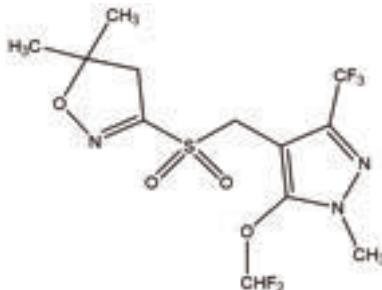
一般名：ピロキサスルホン

(ISO 名：pyroxasulfone)

化学名 (IUPAC)：

3-[5-(difluoromethoxy)-1-methyl-3-(trifluoromethyl)pyrazol-4-ylmethylsulfonyl]-4,5-dihydro-5,5-dimethyl-1,2-oxazole

構造式：



分子式：C₁₂H₁₄F₅N₃O₄S

分子量：391.32

性状：白色固体

融点：130.7 °C

水溶解度：3.49 mg/L (20 °C)

蒸気圧：2.4×10⁻⁶ Pa (25 °C)

土壌吸着性： $K_{\text{FOC}}^{\text{ads}} = 38-66$ （日本土壌条件 25 °C）、 $K_{\text{FOC}}^{\text{ads}} = 57-114$ （米国土壌条件 25 °C）

人畜毒性：

急性経口毒性

ラット♀ LD₅₀ >2,000 mg/kg

急性経皮毒性

ラット♂♀ LD₅₀ >2,000 mg/kg

魚毒性：96hLC₅₀ >3,750 µg/L（コイ）、>2,800 µg/L（ブルーギル）、>2,100 µg/L（ニギマス）

(2) 作用機構および殺草作用症状

ピロキサスルホンの作用機構は、超長鎖脂肪酸伸長酵素阻害（HRAC 分類グループ 15）に分類され、植物表皮のワックス層や細胞膜を構成するスフィンゴ脂質等の主成分である超長鎖脂肪酸（Very-Long-Chain Fatty Acid, VLCFA）の生合成を触媒する酵素、超長鎖脂肪酸伸長酵素（Very-Long-Chain Fatty Acid Elongase, VLCFAE）を阻害する。また、植物の小胞体には複数の VLCFAE が存在しているが、ピロキサスルホンは C18:0 → C20:0, C20:0 → C22:0, C22:0 → C24:0, C24:0 → C26:0 ならびに C26:0 → C28:0 の複数の各伸長反応を低濃度にて阻害する (Tanetani *et al.* 2009)。本剤を処理した感受性植物は、VLCFA の生合成が阻害されることで、細胞分裂や伸長が抑制され、出すくみや生育抑制といった作用症状を示しながら、最終的には枯死に至る。

(3) 生物活性

ピロキサスルホンは、既存の同作用機構の化合物と比較して低用量で、一年生のイネ科雑草、カヤツリグサ科雑草、広葉雑草に対して、発生前土壌処

表-1 ピロキサスルホンの発生前土壌処理による主な畑作雑草に対する除草効果
Yamaji *et al.* 2014 から抜粋

ピロキサスルホン薬量 (g a.i./10a)	雑草名
1.6	イヌビエ, エノコログサ, キンエノコロ, メヒシバ, オオクサキビ, オヒシバ
3.2	メリケンニクキビ, セイバンモロコシ, ナルコビエ, アオゲイトウ
6.3	キハマスゲ, シロザ, イヌホオズキ, サナエタデ
12.5	イチビ, マルバアメリカアサガオ

理で幅広い殺草スペクトラムを示す特徴を有す。温室内ポット試験の結果, 1.6 g a.i./10a でイヌビエやエノコログサを含むイネ科雑草6草種に対して達観90%以上の除草効果を示し, 3.2 g a.i./10a 以上では, アオゲイトウ, イチビ, キハマスゲ等の広葉雑草やカヤツリグサ科雑草に対しても90%以上の効果を示した(表-1)。また, ピロキサスルホンは, ダイズ, コムギ, トウモロコシといった主要畑作物に加え, ヒマワリ, 乾燥豆類(レンズマメ, ヒヨコマメ)に対して播種前~発芽後生育期処理で高い安全性を示す。また, 処理時期や方法は限定されるものの, ラッカセイ, バレイショ, タマネギといった作物に対しても高い安全性を示し, 近年ではこれらの作物でも使用されている(Geier *et al.* 2006, Sikkema *et al.* 2008, Knezevic *et al.* 2009, Walsh *et al.* 2011, Olson *et al.* 2011, Boydston *et al.* 2012, Yamaji *et al.* 2014, Zandstra *et al.* 2018)。この作物安全性の高さによる, 適用作物および処理時期の広さは, 本化合物の特徴の一つとなっている。

2. 北海道コムギ作用除草剤 キタシーブ®フロアブル

(1) キタシーブ®フロアブルの概要

キタシーブ®フロアブル(開発コー

ド:KUH-165)は,ピロキサスルホン・7.4%,ジフルフェニカン・7.4%の2成分を含有する,北海道コムギ作用土壌兼茎葉処理除草剤である。本剤は,2020年に農薬登録(登録番号第24415号)され,2021年より北海道にて販売開始された。本剤は,北海道コムギ作において防除対象となる,スズメノカタビラ,イヌカミツレ,ハコベ,スカシタゴボウ,コヌカグサ(種子発生)等の一年生イネ科・広葉雑草に対して,持続的且つ安定した除草効果を示す高性能剤であり,コムギに対する安全性も高い。本剤の実用薬量は80~100 ml/10aであり,使用時期はコムギ播種後からコムギ3葉期まで(雑草の発生前から発生始期まで),使用方法は雑草茎葉散布又は全面土壌散布である。

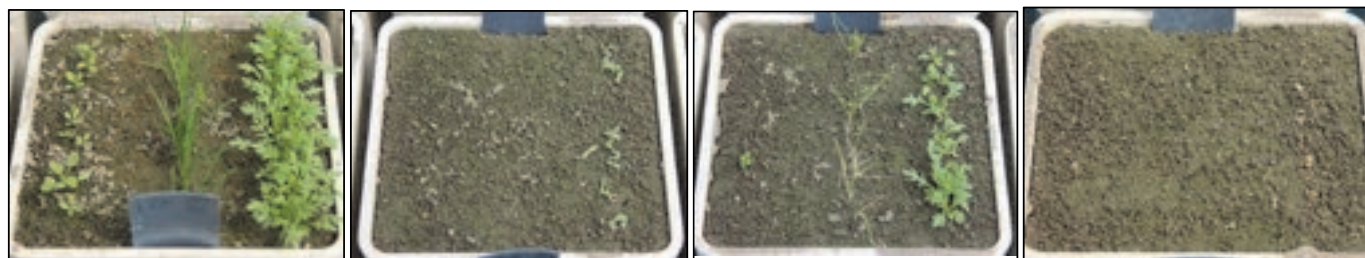
(2) 各有効成分の特長と混合相性

キタシーブ®フロアブルの有効成分のうち,ピロキサスルホンは一年生イネ科雑草を中心に一部の広葉雑草も加えて高い除草効果および効果持続性を示す。一方,ジフルフェニカン(作用機構:カロテノイド生合成経路のフィトエン不飽和化酵素(PDS)阻害,HRAC分類グループ12)は,広葉雑草を中心に発生前~発生始期に高い除草効果を示す。これら異なる特徴を持つ2つの有効成分の混用により,殺草スペクトラムの拡充および除草効果の

増強が期待され,実際に同事象を確認している。温室内ポット試験にて,コハコベ,スズメノカタビラ,イヌカミツレに対する発生前処理の効果を確認したところ,各単剤では残草が認められたが,混用により何れの草種も完全枯殺し(図-1),コハコベおよびスズメノカタビラに対する効果においては,Colby期待値法(Colby 1967)による相加~相乗的効果向上を示した(図-2)。

(3) 北海道コムギ作を想定した適用性

キタシーブ®フロアブルの北海道コムギ作の主要雑草に対する,発生前処理および発生始期処理時の除草効果および効果持続性を,温室内ポット試験で確認した。本剤は発生前~2葉期のスズメノカタビラ,発生前~本葉1対葉期のコハコベ,発生前~子葉期のイヌカミツレに対して極大効果を示し,いずれの草種に対しても市販剤A剤と同等以上の除草効果を示した(図-3)。また,本剤は処理42日後に播種したスズメノカタビラ,処理21日後に播種したイヌカミツレに対して高い除草効果を示し,市販剤A剤と同等以上の残効性を示した(図-4)。さらに,北海道コムギ作の難防除雑草である,多年生イネ科雑草コヌカグサ(レッドトップ)の地下茎に対して,本剤は,実用薬量の80~100ml/10a



無処理

ピロキサスルホン
8 g a.i./10a

ジフルフェニカン
8 g a.i./10a

ピロキサスルホン
+
ジフルフェニカン
8+8 g a.i./10a

図-1 ピロキサスルホンとジフルフェニカンの混用時の除草効果（処理後 16 日）
クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験（埴壤土）。供試草種：コハコベ（左），スズメノカタビラ（中），イヌカミツレ（右）。

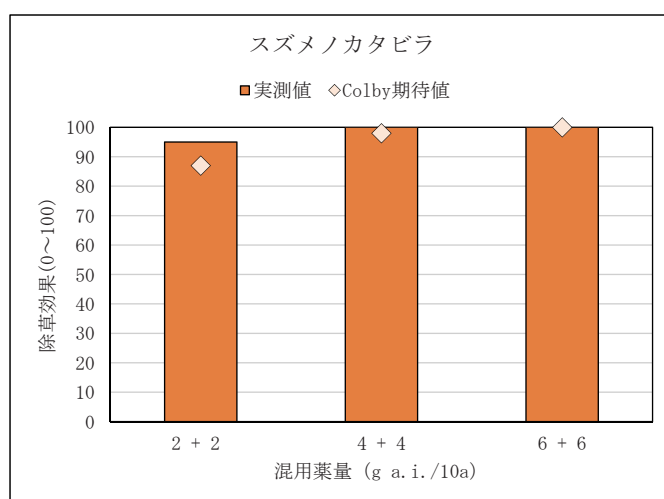
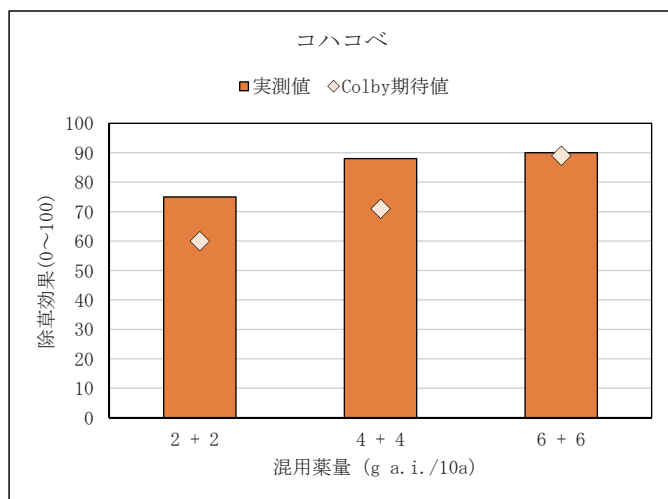


図-2 ピロキサスルホンとジフルフェニカンの混用時の発生前処理におけるコハコベおよびスズメノカタビラに対する効果
クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験。除草効果は観察調査指数（0: 効果なし～ 100: 完全枯死）で示し、処理後 34 日の調査結果を示した。

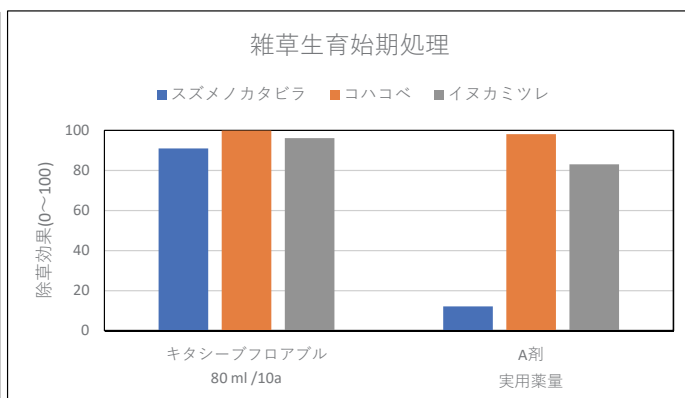
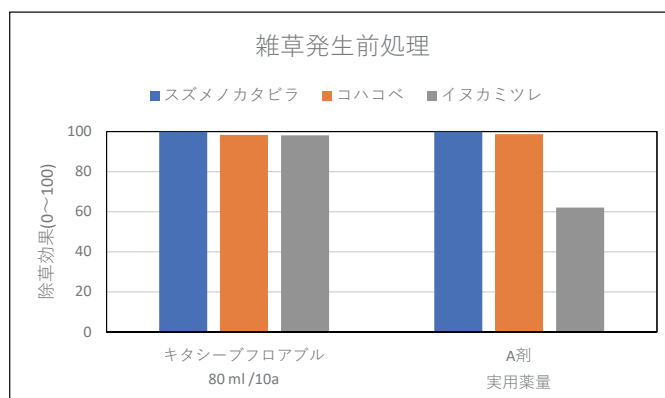


図-3 北海道コムギ作主要雑草に対する処理時期別の除草効果

クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験。

雑草発生始期処理は、雑草の葉齢が、スズメノカタビラ 2 葉期、コハコベ本葉 1 対葉期、イヌカミツレ子葉期時に行った。除草効果は、観察調査指数（0: 効果なし～ 100: 完全枯死）を示し、発生前処理試験では、スズメノカタビラとコハコベは処理後 35 日、イヌカミツレは処理後 30 日の調査結果、発生始期処理では、スズメノカタビラは処理後 46 日、コハコベは処理後 47 日、イヌカミツレは処理後 36 日の調査結果を示した。

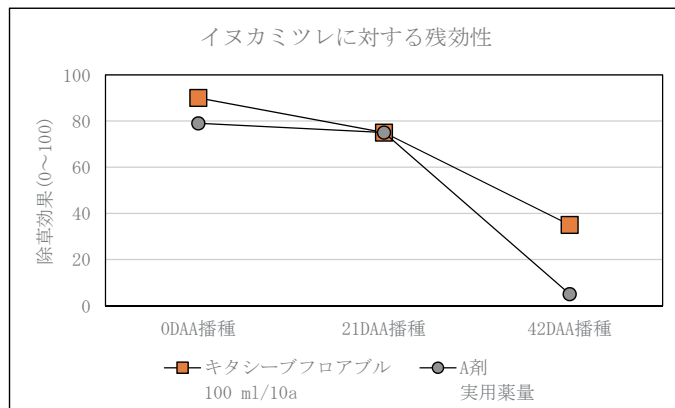
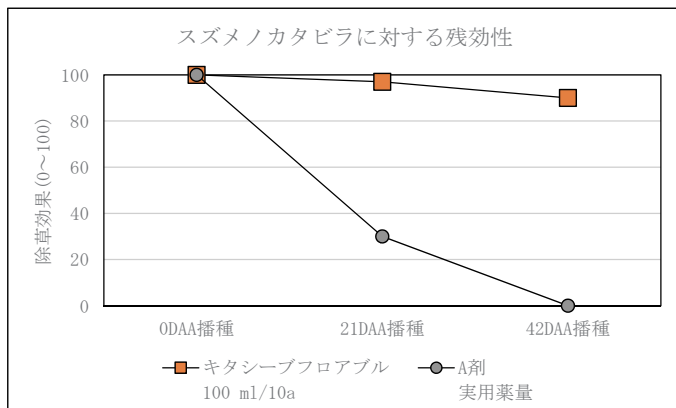


図-4 スズメノカタビラ、イヌカミツレに対する残効性（薬剤処理後、所定日に各草種を播種した）
クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験。除草効果は観察調査指数（0: 効果なし～ 100: 完全枯死）を示し、処理後 65 日の調査結果を示した。

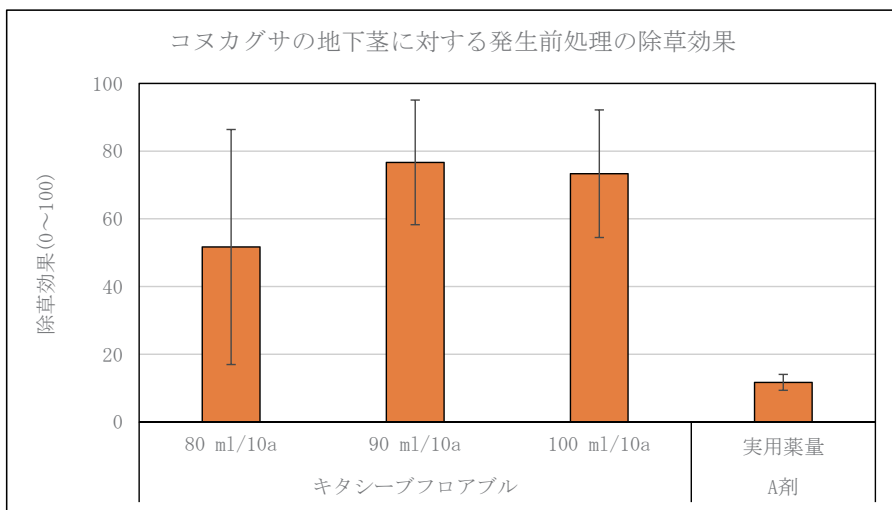
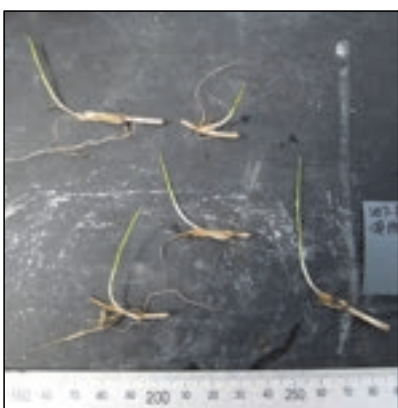


図-5 上左：コヌカグサとその地下茎，上右：切断した地下茎の節間からの再生，
下：コヌカグサの切断した地下茎に対する発生前処理の除草効果
クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験。除草効果は観察調査指数（0: 効果なし～ 100: 完全枯死）を示し、処理後 31 日の調査結果を示した（エラーバー：標準偏差 3 反復）

で、市販剤 A 剤に優る抑制効果を示した（図-5）。

本剤のコムギ安全性を、温室内ポット試験で確認した。その結果、北海道のコムギ品種キタノカオリ、きたほなみ、きたもえ、ゆめちから、はるきりり、ハルユタカに対し、本剤の実用上限薬量（100ml/10a）の倍薬量で、出芽前および生育期処理いずれにおいても、コムギ薬害（生育抑制と白化）は軽微であった（図-6）。

本剤の圃場条件下での適用性を、2017～2018 年の北海道斜里町、幕別町、富良野市、栗山町の圃場にて評価した。斜里町で実施した雑草発生前処理では、スズメノカタビラに対して市販剤 A 乳剤に優る効果が、栗山町で実施した雑草発生始期処理では、スズメノカタビラに対して市販剤 A 剤に優り、イヌカミツレ、コハコベ、コヌカグサ（種子発生）に対して市販剤 A 剤と同等の高い効果が認められた（図-7）。また、斜里町、幕別町、富良野市で実施した出芽前および生育期処理では、コムギに対する初期薬害はいずれも市販剤 A 剤と同等であった（図-8）。

これらの多くの温室内ポット試験および現地圃場試験において薬効・薬害を検討した結果から、Kitasei Floaple は北海道コムギ用除草剤とし

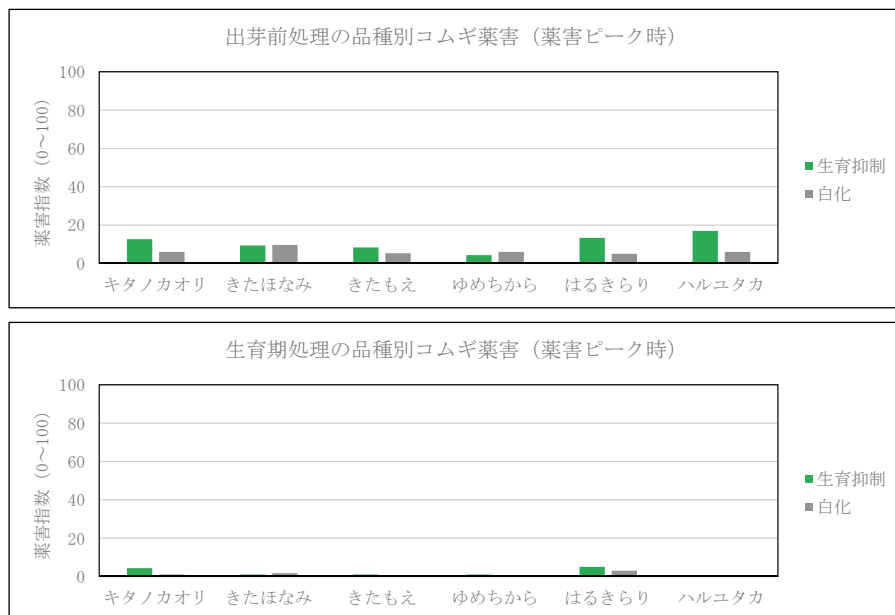


図-6 北海道のコムギ品種に対するキタシーブフロアブル 200 ml/10a 処理のコムギ薬害
(上：出芽前処理, 下：生育期処理 (コムギ 1 葉期時処理))

クミアイ化学工業 (株) 温室内 (静岡県菊川市) ポット試験。薬害指数は観察調査指数 (0: 薬害なし ~ 100: 完全枯死) を示し, 出芽前処理では処理後 7 日の調査結果, 生育期処理では処理後 14 日の調査結果を示した。薬害指数 20 以上は許容外の薬害を示す。

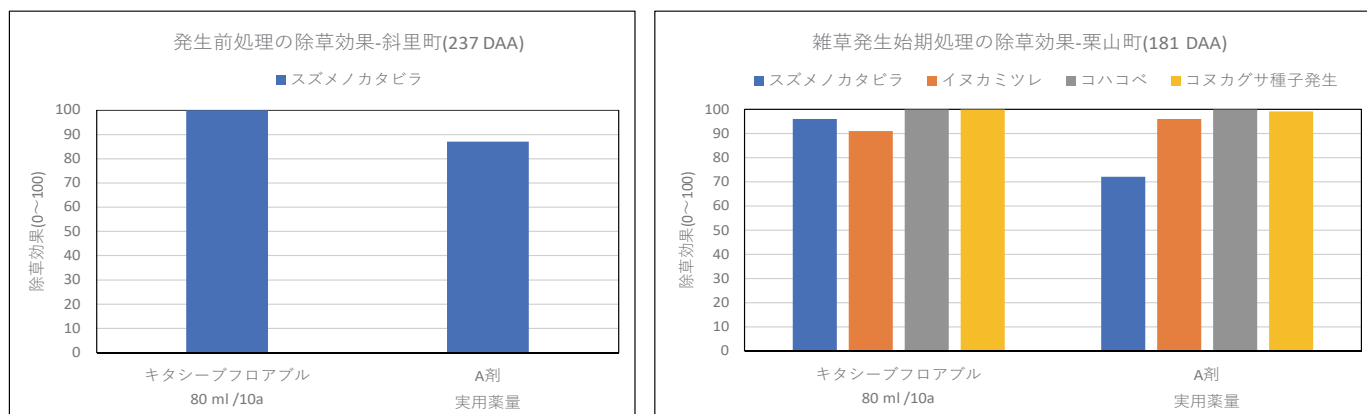


図-7 北海道現地圃場試験の除草効果評価結果

2017 年 北海道現地圃場 (斜里町), クミアイ化学工業 (株) 圃場 (栗山町) で実施。除草効果は観察調査指数 (0: 効果なし ~ 100: 完全枯死) を示す。

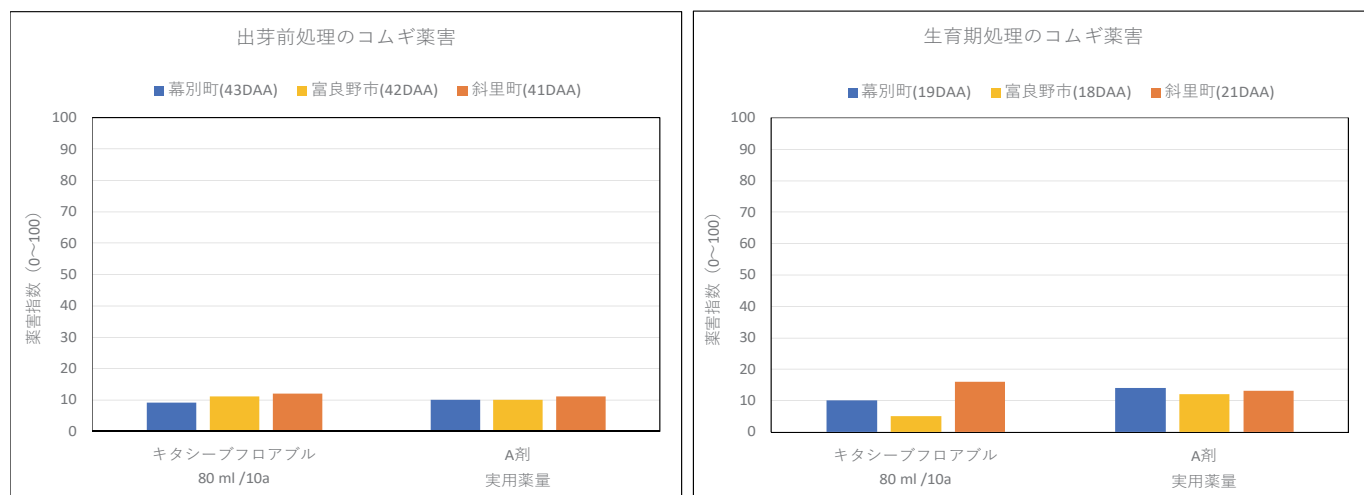


図-8 北海道現地圃場試験のコムギ安全性評価結果

2017 年 現地圃場 (幕別町, 富良野市, 斜里町) で実施。薬害指数は観察調査指数 (0: 薬害なし ~ 100: 完全枯死) を示し, 調査時期は表中記載の処理後日数 (DAA) に準じる。薬害指数 20 以上は許容外の薬害を示す。

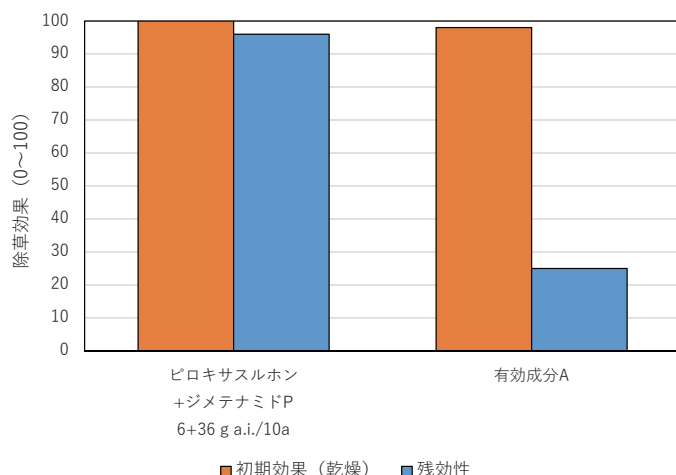


図-9 ピロキサスルホンとジメテナミドPの混用によるイヌビエに対する除草効果と残効性
クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験。乾燥条件は薬剤処理後底面給水を制限し、ポット表面が常に乾燥するよう管理した。除草効果は、観察調査指数（0：効果なし～100：完全枯死）を示し、処理後33日の調査結果を示した。残効性は処理後32日に土壌表層にイヌビエ種子を播種し、播種後16日の観察調査指数（0：効果なし～100：完全枯死）を示した。有効成分Aは有効成分Aを単一有効成分とする国内ダイズ作市販剤を用いた。

表-2 クリアシーブ乳剤の殺草スペクトラム

	薬量 (/10a)	一年生イネ科雑草						一年生広葉雑草										
		イヌビエ	オヒシバ	メヒシバ	エノコログサ	スズメノカタビラ	アゼガヤ	アオゲイトウ	ヒロハフウリン ホオズキ	イヌホオズキ	シロザ	オオイヌタデ	スベリヒユ	エノキグサ	センダングサ	アメリカ イチビ	ツユクサ	アサガオ類
クリアシーブ乳剤	500ml	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
	400ml	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	◎	-	△
	300ml	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	-	○	△	△

◎：極大，○：有効，△：やや不十分な効果，-：評価データなしを示す
いずれの雑草も発生前処理時の効果

て高い適用性を有することが明らかになった。

3. ダイズ作用除草剤 クリアシーブ®乳剤

(1) クリアシーブ®乳剤の概要

クリアシーブ®乳剤（開発コード：KUH-209）は、ピロキサスルホン・1.2%、ジメテナミドP・7.2%、リニュロン・9.6%の3成分を含有する、ダイズ用土壌処理除草剤である。本剤は、2023年2月8日に農薬登録（登録番号第24739号）されている。本剤は、ダイズ播種後出芽前（雑草発生前）の全面土壌散布で、幅広い一年生

雑草に対して高い効果を示す。また、各有効成分の投下薬量は、実用薬量500ml/10aあたりで、ピロキサスルホンが6 g a.i./10a、ジメテナミドPが36 g a.i./10a、リニュロンが48 g a.i./10aと、国内のダイズ用土壌処理剤の中では比較的少なく、環境負荷が小さいことが特徴である。

(2) 各有効成分の特長と混合相性

クリアシーブ®乳剤は、イネ科雑草やアオゲイトウに対して高い効果を示すピロキサスルホンとジメテナミドP（作用機構：VLCFAE阻害，HRAC分類グループ15）、幅広い広葉雑草に対して高い効果を示すリニュロン（作用機構：PSIIセリン264バインダー阻

害，HRAC分類グループ5）を含み、幅広いダイズ作一年生雑草に対して高い効果を示す。また、ピロキサスルホンとジメテナミドPは、同じ作用機構で殺草スペクトラムも類似するが、物理化学性の異なる両化合物の混用により、効果が低下しやすい土壌表面乾燥条件下での効果安定化や、残効性の向上を示す（図-9）。

(3) ダイズ作適用性

クリアシーブ®乳剤は、イヌビエ、オヒシバ、メヒシバなどの一年生イネ科雑草や、アオゲイトウ、ヒロハフウリンホオズキ、スベリヒユ、エノキグサなどの一年生広葉雑草など、ダイズ作で発生する一年生雑草に対して、発生前土壌処理で高い効果を示し、幅広い殺草スペクトラムを有す（表-2）。

日本の主なダイズ作地域では、播種時期が梅雨時期と重なり、土壌処理剤の効果に影響することがある。また、国内のダイズ作圃場の多くが水稲転換畑であり、前述同様に降雨が重なると、一般的に土壌処理剤の薬害が生じやすい。このような処理後に多雨が生じた際にも、本剤は安定した効果と残効性、ならびにダイズに対する高い安全性を示すことが、処理後の多雨を想定した各種温室内ポット試験の結果から明らかになっている。多雨条件下（薬剤処理後10日間以内の25mmおよび100mmの人工降雨条件）での、本剤のイヌビエに対する効果を確認したところ、本剤の効果は市販剤と同等以上であった（図-10）。また、多雨

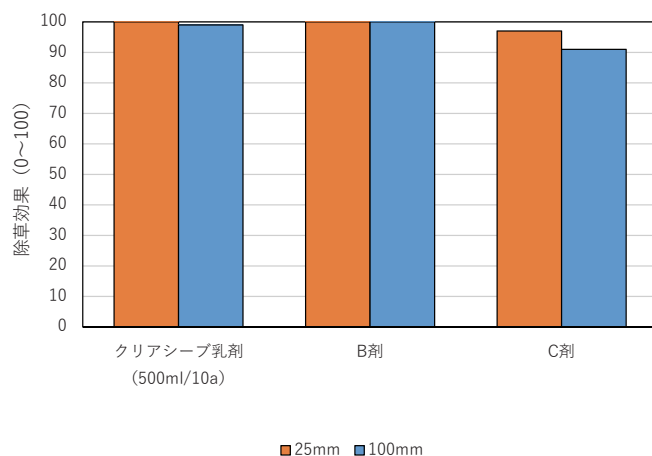


図-10 クリアシープ乳剤の降雨量の違いによるイヌビエに対する除草効果

クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験（埴壤土）。処理後10日間の積算降雨量が25mm, 100mmとなるように処理後3, 5, 7, 10日に人工降雨処理を行った。除草効果は、観察調査（0=効果なし~100=完全枯死）指数を示し、処理28日後の調査結果を示した。

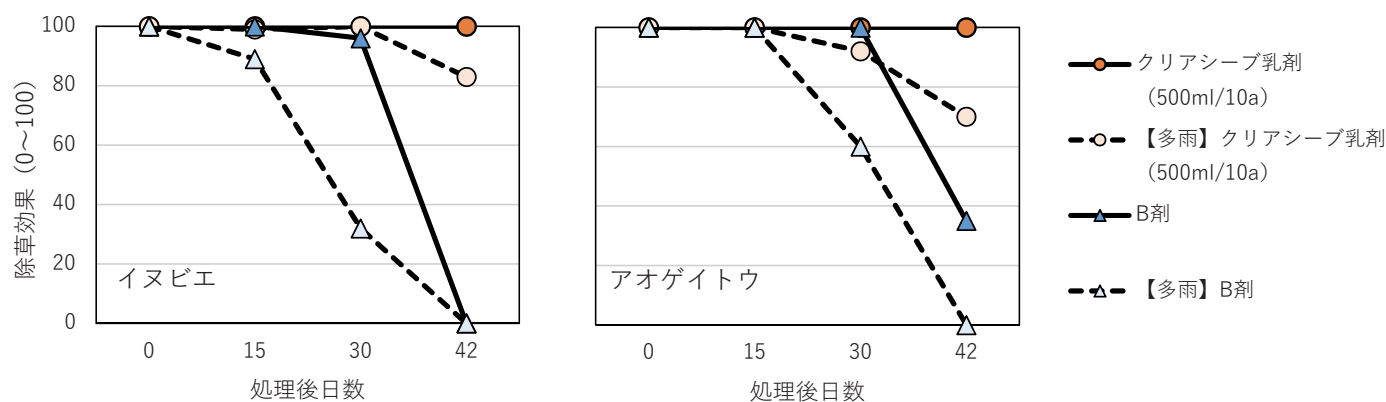


図-11 クリアシープ乳剤のイヌビエ、アオゲイトウに対する残効

クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験（埴壤土）。薬剤処理直後、15日後、30日後、42日後に土壌表層にイヌビエ、アオゲイトウを播種し、播種20日後に観察調査を行った。除草効果は観察調査指数（0=効果なし~100=完全枯死）を示す。通常降雨条件は薬剤処理直後に2mmの人工降雨処理を、多雨条件は薬剤処理直後、処理9日後、26日後に各20mmの降雨処理を行った。

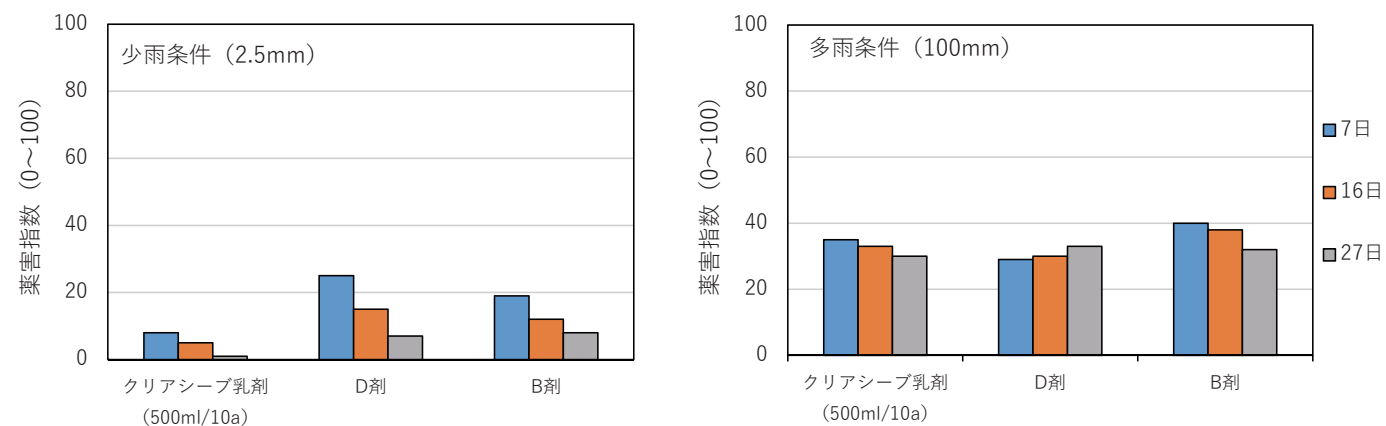


図-12 クリアシープ乳剤のダイズに対する降雨量別の安全性

クミアイ化学工業（株）温室内（静岡県菊川市）ポット試験（砂質埴壤土、品種：フクユタカ）。通常降雨条件では、処理直後に2.5mmの人工降雨処理を、多雨条件では、処理直後、3日後、6日後、8日後、10日後に各20mmの人工降雨処理を行った（計100mm）。薬害指数は処理後7日、16日、27日の観察指数（0=影響なし~100=完全枯死）を示した。薬害指数20以上は許容外の薬害を示す。

表-3 クリアシーブ乳剤 (500ml/10a) の日植調委託試験 (2020-2022 年実施) 結果

委託年度	試験事例数	薬害程度	除草効果	効果が高いと判定された草種
2020年	4	無 (10) 微 (3)	極大 (12) 大 (1)	イヌビエ, オヒシバ, メヒシバ, エノコログサ, アゼガヤ, スズメノカタビラ, イヌビユ, ホソアオゲイトウ,
2021年	6	小 (0)	中 (0)	ヒロハフウリンホオズキ, イヌホオズキ, エノキグサ,
2022年	3	中 (0) 大 (0)	小 (0)	スベリヒユ, シロザ, イヌタデ, タニソバ, ハコベ, ナズナ, カヤツリグサ, タカサブロウ, ザクロソウ, ツユクサ

条件下での本剤のイヌビエ, アオゲイトウに対する残効性を確認したところ, 本剤の残効性は通常の降雨管理条件よりも低下したものの, その低下幅は市販剤 B 剤と比較して小さく, 本剤は安定した効果を示した (図-11)。さらに, 多雨条件下 (処理後 10 日間で 100mm の人工降雨) での本剤のダイズ薬害を確認したところ, 本剤の多雨条件下でのダイズ薬害は, 通常降雨条件 (処理直後 2.5mm の人工降雨) と比較して助長される傾向はあるものの, その程度は市販剤と同程度であった (図-12)。

2020-2022 年に実施した日植調委託圃場試験では, 本剤は, 薬量 300-500ml/10a において幅広い草種に対して高い効果を示した。また, ダイズ安全性については, 軽微な影響が 3 事例見られたが, 減収を伴う薬害は認められなかった (表-3)。

これらの多くの温室内ポット試験および現地圃場試験において薬効・薬害を検討した結果から, クリアシーブ® 乳剤はダイズ作において高い適用性を有することが明らかになり, また, 近年多発する突発的な大雨や長雨などの環境変動条件下においても, 安定した

効果が期待できる。

おわりに

日本国内の畑作穀物作付面積は, 水稲作付面積と比較して依然として小さいが, 昨今の気候変動や海外情勢を背景とした食料安全保障の強化のため, 今後は畑作物生産量の増加が求められていく。今後も, アクシーブ® の特徴を活用した混合剤開発を精力的に進め, 雑草防除の観点から, 国内の畑作物の単収増加に貢献できるように努めていきたい。

引用文献

- Boydston R.A., Felix J. and Al-Khatib K. 2012. Preemergence Herbicides for Potential Use in Potato Production. *Weed Technol.* 26, 731-739.
- Colby, S.R. 1967. Weeds, 15 20-22.
- Geier P.W., Stahlman P.W. and Frihauf J.C. 2006. KIH-485 and S-metolachlor efficacy comparisons in conventional and no-tillage corn. *Weed Technol.* 20, 622-626
- Knezevic S.Z., Datta A., Scott J. and Porpiglia P.J. 2009. Dose-Response Curves of KIH-485 for Preemergence Weed Control in Corn. *Weed Technol.* 23, 34-39.

- Nakatani M., Yamaji Y., Honda H. and Uchida Y. 2016. Development of the novel pre-emergence herbicide pyroxasulfone. *J. Pestic. Sci.* 41, 107-112.
- Olson B.L.S., Zollinger R.K., Thompson C.R., Peterson D.E., Jenks B., Moechnig M., and Stahlman P.W. 2011. Pyroxasulfone with and without Sulfentrazone in Sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Technol.* 25, 217-221.
- Sikkema S.R., Soltani N., Sikkema P.H. and Robinson D.E. 2008. Tolerance of Eight Sweet Corn (*Zea mays* L.) Hybrids to Pyroxasulfone. *Hort. Science* 43, 170-172.
- Tanetani Y., Kaku K., Kawai K., Fujioka T. and Shimizu T. 2009. Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. *Pestic. Biochem. Physiol.* 95, 47-55.
- Walsh M.J., Fowler T.M., Crowe B., Ambe T. and Powles S.B. 2011. The potential for pyroxasulfone to selectively control resistant and susceptible rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) biotypes in Australian grain crop production systems. *Weed Technol.* 25, 30-37.
- Yamaji, Y. *et al.* 2014. Weed control efficacy of a novel herbicide, pyroxasulfone. *J. Pestic. Sci.* 39, 165-169.
- Zandstra B. and Phillippo C. 2018. The final word in onion weed control. 58th WSSA Abstracts 332.

花と果実の無いホシアサガオ標本の帰化年代の顛末

ふじのくに地球環境ミュージアム 准教授

早川 宗志

本誌の連載（植調 57 巻 2 号）において、森田弘彦氏がこれまで“サヤマカグサ”としてきた分類群が実は“サヤマカグサとエゾノサヤマカグサの雑種”であったことを報告された（森田 2023）。研究が進展することで初めて明らかになる事実であるにも関わらず、森田氏がお詫びをなされている真摯な姿勢を見習い、著者の早川もお詫びをして訂正する案件を記すことにしたい。それは、ホシアサガオの国内への帰化年代についての標本調査を行った報告（早川ら 2019）である。背景と内容は以下の通り。

熱帯原産の一年生雑草である帰化アサガオ類が本州以南のダイズ畑や家畜飼料用のトウモロコシ畑等に侵入し、問題となっている。帰化アサガオ類は国内のダイズ栽培時に一般的に用いられている土壌処理剤やダイズ生育期に全面処理可能な茎葉処理剤ペンタゾンに対する感受性が低いことに加え、つる性で機械除草が困難という生態的特徴を持つため、ダイズ畑や飼料畑に侵入して被害をもたらす。

著者が研究を始めた 2017 年時点で日本の農耕地とその周辺で問題が確認されていた帰化アサガオ類は、アメリカアサガオとその変種マルバアメリカアサガオ、マルバアサガオ、マメアサガオ、ホシアサガオ、マルバルコウの 5 種 1 変種であった。このうち、マルバアサガオ（1704–1711 年栽培記録）、マルバルコウ（1850 年前後渡来）、アメリカアサガオ（1882 年栽培記録）の 3 種は 100 年以上前の栽培記録がある（表-1）。そのため、古い標本を確認できたとしてもそれが植栽である可能性を否定しきれず、標本情報のみからでは実際に野外で定着していたのかどうか判断が困難である。一方、栽培記録の無いとされてきたマルバアメリカアサガオ、マメアサガオ、ホシアサガオの 3 種は、既報よりも古い標本が確認

できた場合、国内初帰化年の更新である可能性が高い。

浅井（1971）は、「戦後の 1950–1951 年頃に食糧事情の緩和を計るために北米から盛んに穀物を輸入したが、輸入米による中毒（下痢）事件が相次ぎ、その原因は輸入穀物に混入していたヒルガオ科植物の夾雑種子であった。夾雑種子の選別に努めた結果、中毒米事件は沈静化した。選別された種子は廃棄されたために、アメリカアサガオ、マルバアメリカアサガオ、マメアサガオなどが発生、帰化した」としている。すなわち、戦後、輸入穀物中に混入して非意図的に導入されたと考えられている。

そこで、複数の植物収蔵庫において帰化アサガオ類の再同定を実施するとともに採集年月日を調査した。その結果、ホシアサガオの花もしくは果実を確認できた最古標本は国立科学博物館植物研究部標本庫（TNS）所蔵の 1951 年に沖縄県沖縄島那覇市で採集された標本であった（天野鉄夫 6796, 1951 年 10 月 3 日, TNS129645, 図-1）。他方、1951 年以前の明治期から戦前にかけて採集された計 5 点のホシアサガオと再同定した標本は、花および果実がなく、3 裂した葉裂片のうち、側裂片は頂裂片より大きく、さらに側裂片が 2 裂し、葉基部は閉じていなかった（図-2）。そのため、「これらホシアサガオの標本と、近年、農耕地などで普通に見られるホシアサガオとは葉の形態が異なっており、由来が異なる可能性がある。」と報告した（早川ら 2019）。しかし、花もしくは果実がない“ホシアサガオ”とした分類群は、別種イモネノホシアサガオであったとの判断に至った。自分の同定能力の未熟さを反省し、深くお詫びをして訂正する次第である。

なお、早川ら（2019）で報告したもう 2 種の国内の最古

表-1 4 つの文献における帰化アサガオ類 5 種 1 変種の日本国内における初記録

	ホシアサガオ	マメアサガオ	マルバアメリカアサガオ	アメリカアサガオ	マルバアサガオ	マルバルコウ
浅井（1971）	1950-1951年頃	1950-1951年頃	1950-1951年頃	1950-1951年頃	-	-
浅井（1993）	-	1947年神奈川県	-	-	-	江戸時代観賞用
山崎（2003）	戦後	1947年徳島県	-	1882年栽培*	1704-1711年栽培記録	嘉永年間渡来
太刀掛・中村（2007）	1945年以降	戦後	1971年以前	1882年栽培*	1704-1711年栽培記録	-

*現在定着している系統は戦後に侵入した系統であるとしている。



図-1 1951年に沖縄県那覇市で採集されたホシアサガオ標本
(天野鉄夫 6796, 1951年10月3日, TNS129645)



図-2 1908年に長崎県島原市で採集された栽培イモネノホシアサガオ
標本(牧野富太郎 *s.n.*, 1908年9月1日, MAK147979)

標本は以下の通りであった。マメアサガオは徳島県立博物館 (TKPM) 所蔵の1943年に徳島県での採集標本が最古標本であった(阿部近一 36617, 1943年9月15日, TKPM-BSP226704)。マルバアメリカアサガオは福島大学共生システム理工学類生物標本室 (FKSE) および東京都立大学牧野標本館 (MAK) 所蔵の1955年に愛知県で採集された標本が最古標本であった(井波一雄 *s.n.*, 1955年9月20日, FKSE63006, MAK373365)。

輸入穀物、輸入飼料、外国産緑化用種子には様々な夾雑種子が含まれており、雑草種子の非意図的な導入実態が報告されている。帰化アサガオ類は園芸由来の逸出もしくは終戦後の輸入穀物に混入・定着したと考えられてきた(浅井 1971, 山崎 2003)。また本稿では、戦前に栽培されていた花と実の付いていない“ホシアサガオに似た標本”(早川ら 2019) がイモネノホシアサガオであることを報告した。これらの結果を踏まえると、最も古い標本が1951年のホシアサガオおよび1955年のマルバアメリカアサガオに関しては、これまでの戦後帰化と矛盾しない結果であった。他方、1943年の標本が確認されたマメアサガオに関しては、第2次世界大戦中に既に帰化していた可能性がある。

帰化アサガオ類の帰化および分布拡大の年代を明らかにす

るためには、早川ら (2019) で対象とした5種1変種だけではなくイモネノホシアサガオなどを含めた全国の収蔵庫に所蔵されるさく葉標本を利活用することで、より詳細な分布拡大の実態を明らかにすることも可能かもしれない。

謝 辞

標本調査を許可いただいた FKSE, MAK, TI, TKPM, TNS とそのハーバリウムスタッフに感謝します。

参考文献

- 浅井康宏 1971. 戦後帰化植物考. 「植物と文化 I」. 八坂書房, 東京, pp. 4-14.
- 浅井康宏 1993. 緑の侵入者たち—帰化植物のはなし. pp. 169-172. 朝日新聞, 東京.
- 早川宗志ら 2019. ホシアサガオ, マメアサガオ, マルバアメリカアサガオ (ヒルガオ科) の日本への初帰化年代. 雑草研究 64: 5-8.
- 森田弘彦 2023. 「サヤヌカグサ」として情報提供してきた水田のイネ科多年生雑草の類末. 植調 57: 15-17.
- 太刀掛優・中村慎吾 2007. 改訂増補帰化植物便覧. 684p. 比婆科学教育振興会, 広島.
- 山崎敬 2003. ヒルガオ科. 清水建美編著「日本の帰化植物」, 平凡社, 東京, pp. 160-164.

植物代謝から見た除草剤の作用点 (2) 代謝と酵素

2023年7月13日、Physical Review Lettersのオンライン版に「Linear Response Theory of Evolved Metabolic Systems」と題した論文 (Yamagishi & Hatakeyama 2023) が掲載された。

私は、そのプレスリリース (山岸・畠山 2023) のタイトル「生き物の代謝系は様々だが、その応答は普遍的である—代謝経済学による線形応答関係の発見—」に興味を引かれた。そこでは、物理学で知られているシンプルな関係式で代謝を説明できる、つまり、ニュートンの万有引力のような物理学における普遍的法則が、生物の営みにおいても成立するというのである。さらに、そこで開発した手法は

経済学からヒントを得たというのだから凄い。なお、その理論を導入することによって、様々な代謝応答の予測が可能となり、新薬開発に役立つと述べている。

除草剤の作用点について様々な情報を収集しているうちに、このコラムにおいて個別の作用点の解説に進む前に、一呼吸置いて、植物代謝のイロハについて、除草剤の作用点の大半を占める酵素の視点から知識を共有することにした (田宮ら 2005, 日本生化学会 1997, 水谷ら 2022)。少々お付き合いいただきたい。

1. 一次代謝と二次代謝

一次代謝は、全ての生物のほぼ全ての部位で普遍的にみられるもので、植物においては、光合成や呼吸等のエネルギー代謝や、4大主要成分である核酸、タンパク質、糖質、脂質の生産や分解に関わる。一方、二次代謝は、一部の生物や器官・組織・細胞レベルで偏在・局在するまたは誘導されるもので、各種ストレス応答等の環境適応や、植物ホルモン等の自己制御に関わる。

既存除草剤の作用点は、不明となっているHRACコード“0”を除くと、全部で25ヶ所ある。そのうち酵素の関与が明確なものは19ヶ所あり、そのうち18ヶ所が一次代謝であ

表-1 酵素の種類

HRAC コード	酵素名等(網掛け・カッコ内は酵素以外または不明)	酵素番号	主な代謝系(*1)	存在場所
1	アセチル CoA カルボキシラーゼ	EC 6.4.1.2	脂肪酸合成(1)	葉緑体、細胞質
2	アセト乳酸/アセトヒドロキシ酸合成酵素(*2)	EC 2.2.1.6	アミノ酸合成(1)	葉緑体
3	(微小管重合阻害)		細胞分裂	(細胞分裂時)
4	(インドール酢酸様活性(合成オーキシシン))		植物ホルモン	
5	光合成(光化学系Ⅱ)	EC 1.10.3.9	光合成(1):電子輸送	葉緑体
6	光合成(光化学系Ⅲ)	EC 1.10.3.9	光合成(1):電子輸送	葉緑体
9	EPSP 合成酵素	EC 2.5.1.19	アミノ酸合成(1)	葉緑体、色素体
10	グルタミン合成酵素	EC 6.3.1.2	光呼吸(1)、光合成(1)、アミノ酸合成(1)	色素体、細胞質
12	フィトエン脱飽和酵素系でのカロテノイド合成	EC 1.3.5.5	カロテノイド合成(1)	葉緑体、色素体
13	1-デオキシ-D-キシロース-5-リン酸合成酵素	EC 2.2.1.7	イソプレノイド合成(2)	色素体
14	プロトポフィリノーゲン酸化酵素	EC 1.3.3.4	クロロフィル・ヘム合成(1)	葉緑体、ミトコンドリア
15	超長鎖脂肪酸伸長酵素(細胞分裂)	EC 2.3.1.199	脂肪酸合成(1)	細胞質、小胞体
18	ジヒドロプロテイン酸合成酵素	EC 2.5.1.15	葉酸(2)・核酸(1)の代謝	ミトコンドリア、細胞質
19	(オーキシシン移動阻害)		植物ホルモン	
22	(光合成(光化学系Ⅰ):ラジカル形成)		光合成(1):ラジカル形成	葉緑体
23	(有糸分裂/微小管形成阻害)		細胞分裂	(細胞分裂時)
24	(脱共役)		呼吸(1)	ミトコンドリア
27	4-ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ	EC 1.13.11.27	プラストキノン合成(1)	細胞質(葉緑体)
28	ジヒドロオロト酸デヒドロゲナーゼ	EC 1.3.99.11	スクレオチド合成(1)	ミトコンドリア
29	細胞壁(セルロース)合成	EC 2.4.1.12	セルロース合成(1)	細胞膜
30	脂肪酸チオエステラーゼ	EC 3.1.2 (14 etc.)	脂肪酸合成(1)	葉緑体
31	セリン/スレオニン特異的ホスファターゼ	EC 3.1.3.16	各種調節・制御(翻訳後修飾)(1)	細胞質
32	ソラネシルニリン酸合成酵素	EC 2.5.1.11	光合成(1)	葉緑体
33	ホモゲンチジン酸ソラネシルトランスフェラーゼ	EC 2.5.1.117	光合成(1)	葉緑体
34	リコペンβシクラーゼ	EC 5.5.1.19	カロテノイド合成(1)	葉緑体
0	(作用点不明)			

1:1=一次代謝、2=二次代謝。:「合成酵素」は「シンターゼ」ともいう。

る。残り1ヶ所の作用点はHRACコード“13”であるが、この代謝系のイソプレノイドは、一次と二次の中間的代謝物とされること、またこの作用点の酵素である1-デオキシ-D-キシルロース-5-リン酸合成酵素はメチルエリスリトールリン酸（MEP）経路の初期段階に位置することから、酵素が関与する既存除草剤の作用点は全て一次代謝であるとも言える。なお、パラコートで知られるHRACコード“22”の作用点は、酵素は関与しないものの、除草剤が光化学系Iから電子を“横取り”して、活性酸素の生成を引き起こすことで、一次代謝である光合成に作用する（表-1）。

除草剤の最大の特徴は、植物を枯殺することである。そのことは、上述のようにその作用点の多くが植物の生命維持に必須の一次代謝であることから容易に想像できる。一方、二次代謝を阻害した場合は、植物の生長バランスを崩すものの、直接的に枯殺しない。除草剤の中には、二次代謝である植物ホルモン作用（HRACコード“5”）やオーキシシン移動阻害（HRACコード“19”）もある。これらは代謝系やホルモンバランスの攪乱から、さらに他の代謝系等に影響して、最終的に植物を死に至らしめる。そのため、これらを作用点に持つ除草剤は一般に遅効的に作用する。

また、植物成長調整剤に位置付けられている抑草剤には既存除草剤を利用したものもあり、作用点も複数ある。一方、抑草剤に特化したものにはジベレリン生合成阻害を作用点とするものが多く、これも二次代謝なので、生育の停止や抑制が主たる作用であり、枯死させないのが特徴となる。

2. 酵素

酵素の名称は酵母に由来し、1897年、“enzyme”と名付けられた。それに先立って1833年、デンプンを分解する物質としてジアスターゼを発見して以来、数多くの酵素が発見されており、その数は生物界で数千種類にも及ぶとされている。

酵素は、生体内における化学反応を助けるタンパク質、簡単に言えば“生体触媒”である。つまり、反応前の物質（基質）でも、反応後の物質（代謝物）でもなく、そのものは化学変化を受けずに反応を媒介する。なお、広義には生体触媒に微生物や植物細胞を含めることもあるが、ここでは酵素について扱う。

酵素は化学触媒と様々な点で異なる。第一に反応速度が速いことである。酵素がない時に比べて $10^6 \sim 10^{12}$ 倍、化学触媒よりも数桁速くなると言われている。これらの化学反応ではエネルギーの峠を一度超える必要がある。それを“活性化エネルギー”というが、酵素は化学触媒に比べて、この活性化エネルギー、つまり峠の高さを極めて低くすることができるからである。

第二に反応条件が極めて穏やかなことである。生体内で

起こることなので当たり前かもしれないものの、通常、常温（100℃未満）、中性（pH）、大気圧で反応が進む。逆に言えば、その条件を逸脱する、例えば高温や強酸・強アルカリ条件では、タンパク質である酵素は変性して失活してしまう。もちろん例外はあり、深海の微生物の酵素はむしろ低温や高圧条件でよく働く。

第三に特異性である。これは基質だけに限らず代謝物も然りである。結果として化学合成では不可避免的な副反応が生じにくい。中学校や高校で、酵素反応は“鍵と鍵穴”の關係に似ていると学んだ方も多いと思うが、これはこの特異性のことを示している。しかし、酵素の場合、金属でできた鍵と鍵穴のように固いものではなく、実際は柔らかく、時には形を大きく変えながら反応を触媒することによりこの特異性を確保している。

第四に調整能である。酵素における量の制御や活性の調節の仕組みは様々である。具体的には、アロステリック効果、各種修飾、拮抗・不拮抗・非拮抗阻害、フィードバック阻害、さらにこのコラムで取り上げてきたエピジェネティックス等である。結果として代謝物の量を調節することによって、生体のホメオスタシスの維持や成長を支えている。

また、この酵素の本体には酸化還元や転移等の苦手な反応がある。その場合、“補因子”が必要である。補因子には金属イオンや有機分子があり、後者のことを“補酵素”と呼ぶ。その中の有名なものにCoA（Coenzyme A、補酵素A）がある。また、ビタミンの多くは補酵素の前駆体であり、有名なものに葉酸、パントテン酸、ビオチン等がある。なお、これらの酵素の特性を工業利用する研究も、発酵・醸造、固定化酵素、さらにはバイオテクノロジー等の分野において盛んに行われており、実用化も進んでいる。

3. 酵素番号

農業に登録番号やCAS番号があるように、酵素にもEC番号（酵素番号）があり、国際生化学分子生物学連合の命名法委員会（NC-IUBMB）が管理している。

酵素番号の付け方にはルールがある。仮に「EC ①.②.③.④」とすると、①は反応の特異性である。それぞれ1. 酸化還元、2. 転移、3. 加水分解、4. 脱離、5. 異性化、6. 合成、7. 転送、を示す（図-1）。NC-IUBMBは設立後65年が経過しているが、1～6までは当初からあったものの、7. 転送は2019年に新たに追加された。その中で、既存除草剤の作用点は、2が8つ、1が6つ、3と6が2つ、5が1つある。前述したように、酵素本体は、1（酸化還元）や2（転移）は苦手なので、補因子が関与することが多いのではと推測している。今後詳細に調べてできるだけ紹介したい。

②と③は下位の分類で、②は基質特異性、③はそれに加

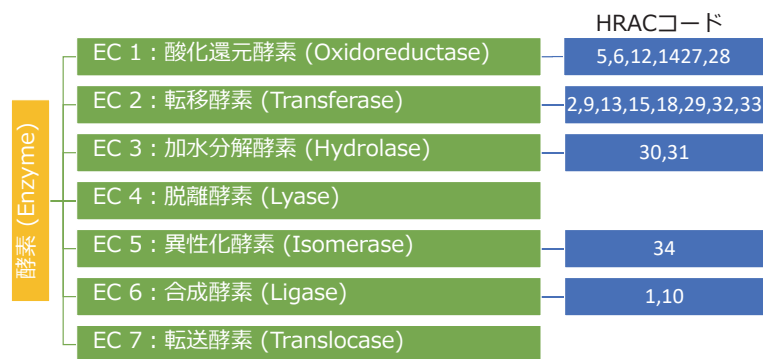


図-1 酵素の種類と HRAC コード

えて補酵素による反応様式の違いを表す。④はそこに分類された酵素の通し番号で、リストに加えられた順に番号が振られている。

なお、新規に酵素を発見した際は、生物で新種を発見したときと同様に、まず論文発表する。その後にNC-IUBMBに申請し、そこで承認されて初めて新しい酵素番号が付与される。

4. 除草剤と酵素

酵素について、除草剤との関係から考える際には、2つの視点がある。1つは作用点、もう一つは異物代謝である。

前述のように、作用点はHRACコード“0”を除いて、全部で25ヶ所あり、そのうち酵素の関与が明らかなものは19ヶ所ある。それら酵素は複数個所に存在することもあるが、葉緑体 (約14)、細胞質 (7)、ミトコンドリア (4) の順に多い。葉緑体に“約”と付けたのは、HRACコード“27”の作用点はプラスチキノン生合成であるものの、私が調べたところ、存在場所として細胞質以外に葉緑体が見つからなかったためである。

なお、「緒」のNo.2 (與語 2021b) やNo.12 (與語 2023) において、HRACコード“34”の作用点を「カロチノイド生合成 (標的部位不明)」としていた。しかし、標的部位は既に明らかになっており、「リコペンβ-シクラーゼ」である。HRACのGlobal Herbicide Classification Lookupの HRACコードの記載も2020年には改訂されており、お詫びしてここで訂正する。また、この作用点が四半世紀前 (Schnurr *et al.* 1998) から注目されていたことは驚きである。なお、今回以降、「カロチノイド」は「カロテノイド」と表記する。

もう一つの異物代謝については、4つの反応が存在する。P450等による酸化還元等の第1相反応、グルタチオン-S-トランスフェラーゼ等による抱合の第2相反応、ABCトランスポーター等による液胞等への輸送の第3相反応 (與語 2021a)、そして最近加えられた液胞内の代謝等の第4相反応である。P450一つとっても分子種、すなわち酵素の数が

植物では300にも及ぶとともに、その反応や基質の特異性も多岐にわたるため、ここでは詳細を割愛する。

今回は植物代謝と酵素について、除草剤の作用点の視点から概説した。1. 一次代謝と二次代謝のところでも少し述べたが、植物ホルモン関連の作用点に限らず、除草剤は作用点によって分類されるものの、実際はその後に続く、二次的・三次的影響がカスケード的に進行した結果として、植物は枯死に至る。また、除草剤によっては、複数の作用点を有するものもあるかと私は推測している。次号以降、個々の作用点について執筆する中で、様々な角度から情報収集して、そのようなことにも言及できればと考えている。

参考文献等

- 田宮信雄ら訳 2005. ヴォート生化学 (上・下) 第3版, pp. 1262
- 日本生化学会編 1997. 細胞機能と代謝マップ I. 細胞の代謝・物質の動態. 東京化学同人, pp.302.
- 水谷正治ら編 2022. 基礎から学ぶ植物代謝生化学 (第3版) pp. 326
- Schnurr, G. *et al.* 1998. Interaction of 2-(4-Methylphenoxy) triethylamine and Related Compounds with Its Herbicide Target in the Carotenoid Biosynthetic Pathway. *Journal of Pesticide Science*, 23, 113-116.
- Yamagishi, J. F. and Hatakeyama, T. S. 2023. Linear Response Theory of Evolved Metabolic Systems. *Physical Review Letters*, 131, 028401.
- 山岸純平・畠山哲央 2023. 生き物の代謝系は様々だが、その応答は普遍的である—代謝経済学による線形応答関係の発見. 東京大学プレスリリース. https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/press/z0109_00086.html (2023年7月26日確認)
- 與語靖洋 2021a. 除草剤は植物体内をどのように振舞うか? 植調 55(6), 24-25
- 與語靖洋 2021b. 除草剤のRACコード. 植調 55(8), 21-22
- 與語靖洋 2023. 植物代謝から見た除草剤の作用点 (1) 代謝マップ (俯瞰図 (素案)). 植調 57(4), 21-23

上川試験地

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
上川試験地 主任
楠目 俊三

植調協会上川試験地は、北海道旭川市で水稲用除草剤を主に試験を行っている試験地である。当試験地は、北海道内でも有数の米どころと呼ばれる上川中央部のやや東寄りの水田地帯に試験圃場と事務所を構えている。地理的には北緯43°8′と道内でも高緯度に位置するが、盆地地形のため水稲作期中の日照時間は長く、最高気温が道内でも高めとなる場所である。しかし、1年を通しての気温の推移をみると、冬期は-20℃以下となる日がある一方で、夏期は30℃を越える日が数日以上あり、年間の気温差が50℃以上もある厳しい自然環境下で農業を行っている。

1. 沿革

当試験地は1982年（昭和57年）に旧北海道立上川農業試験場（旭川市永山）内の水田圃場を一部借用して水稲用除草剤適用性試験を開始し、1996年（平成8年）には旭川市近郊の東川町へ移転した。その後、2002年（平成14年）には現在の上川試験地（旭川市永山町）にごく近い場所へ再度試験地を移し、2006年（平成18年4月）以降は試験圃場と事務所を現在の場所に構えて試験を行っている（図-1）。

現在の試験地開設に当たっては、当時、北海道内での砂壤土試験が旧北海道立道南農業試験場（現道総研道南農業試験場）でのみ試験が行われ、その実施点数も少なかったことか

ら、砂壤土試験が可能な試験圃場の確保が急務とされていた。この状況のなか、当試験地で砂壤土試験が開始されたことにより、北海道地域における砂壤土拡大試験の実施スピードは格段に上がった。

2. 試験圃場と水稲栽培

当試験地の試験圃場は短辺26m 長辺195mと超長方形な水田を2筆借用し、それぞれの圃場ともに水口側半分が砂壤土の区画、水尻側半分が壤土の区画という異なる土性を有した圃場条件で試験を行っている。なお、砂壤土と壤土の境界部分は可能な限り面積を多く取るように試験区設計を工夫しており、そのボーダー部分は試験に利用しないようにしている。

田植え時期は毎年5月20日頃としている。道内で移植水稲関係の試験を行っている3場所（植調北海道研究センター、中央農業試験場、道南試験場）では稚苗機械移植による試験を行っているが、当試験地では育苗や移植および慣行防除などの栽培管理全般を近隣農家へ作業委託している関係から、中苗マット機械移植栽培で試験を行っている。また、試験区面積は普通枠試験（3㎡/区）、ジャンボ剤やフロアブル剤での中規模や周縁部散布試験は200㎡/区と250㎡/区を標準として、田植え当日に試験区を設置している。

3. 発生草種

当試験地に発生する草種は、ノビエ（タイヌビエ）が主要草種であるが、現在の試験地開設当時からヘラオモダカ（図-2）とオオアブノメ（図-3）が多発生することが特徴的であった。しかし、近年はヘラオモダカが減少しつつある中、一般圃場での発生は少ないハリイとミズハコベ（図-4）が相当量発生している。その他の発生草種としてはイヌホタルイ、ミゾハコベ、アゼナがあり、多年性雑草としてはウリカワ、ヒルムシロ、セリを埋込みして試験を行っている。さらに、ヘラオモダカやイヌホタルイその他一年性広葉雑草（図-5）にはスルホニルウレア（SU）剤に抵抗性を示すバイオタイ



図-1 試験圃場の全景



図-2 ヘラオモダカ



図-3 オオアブノメ



図-4 ハリイ（上）とミズハコベ（下）

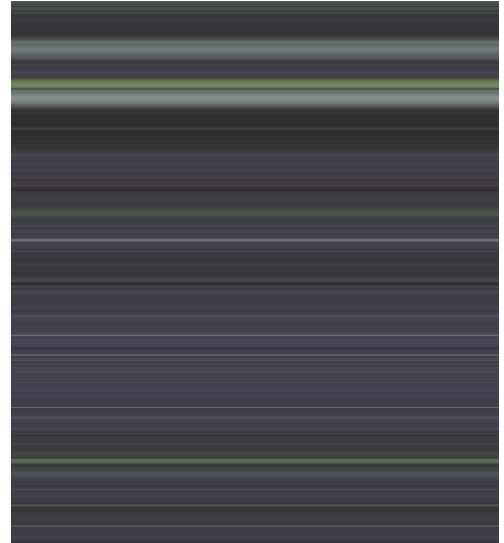


図-5 一年生広葉雑草
(オオアブノメ、ハリイ、アゼナ、ミズハコベ、ミゾハコベ)

ブが含まれており、特に発生量の多いオオアブノメはイマゾスルフロンに対して感受性が低下している。また、道内で発生が広く認められているミズアオイとオモダカは試験圃場には発生していない。

4. 砂壤土試験の特徴

当試験地は砂壤土での試験も行っている事を前記したが、同様に砂壤土での試験を行っている道総研南農業試験場と比較して、当試験地では薬害症状の出やすい傾向が認められる。北海道の様な寒地水稲栽培地帯では低温により水稲の生育に大きな影響を受ける可能性が高く、特に移植後から生育初期

に水稲除草剤による生育抑制を受けると、生育量の不足や出穂の遅れなどにより収量や玄米品質の低下を招くことが懸念されることから、可能な限り薬害を回避することが望まれている。

最後に、北海道における水稲の主要作付け地域である上川地域と植調北海道研究センターが位置する空知地域とは気象的にも土壌的にも異なる点が多く、さらには水稲用除草剤の使用場面を見ても、それぞれの地域で発生する雑草種や薬剤処理方法および中干しも含めた水田の水管理にも差異が存在することから、今後も上川試験地における水稲用除草剤試験の実施意義は大きいと考えられる。

協会だより

試験成績検討会

- 2023年度水稲関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会 (Web会議)

【北海道地域】

日時：2023年10月25日 (水) 9:30～17:00
26日 (木) 9:30～12:00

【東北地域】

日時：2023年10月31日 (火) 9:30～17:00
11月1日 (水) 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2023年11月6日 (月) 9:30～17:00
7日 (火) 9:30～17:00

【関東・東海地域】

日時：2023年11月9日 (木) 9:30～17:00
10日 (金) 9:30～17:00

【近畿・中国・四国地域】

日時：2023年11月15日 (水) 9:30～17:00
16日 (木) 9:30～17:00

【九州地域】

日時：2023年11月21日 (火) 9:30～17:00
22日 (水) 9:30～17:00

- 2023年度技術確認圃地域別報告会 (Web会議)

【東北地域】

日時：2023年11月7日 (火) 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2023年11月10日 (金) 9:30～17:00

【近畿・中国・四国地域】

日時：2023年11月14日 (火) 9:30～17:00

【九州地域】

日時：2023年11月16日 (木) 9:30～17:00

【関東・東海地域】

日時：2023年11月17日 (金) 9:30～17:00

本年度の技術確認圃地域別報告会は、同じ地域の水稲関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会とは別日での開催となりますので、ご注意ください。

- 2023年度春夏作芝関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会 (Web会議)

日時：2023年11月13日 (月) 13:30～17:00

研究会等

- 植物化学調節学会第58回大会

開催日：2023年11月17日(金)～19日(日)

場 所：明治大学生田キャンパス・中央校舎、
第1校舎6号館

(神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1)

プログラム：

11月17日午後：口頭発表，社員総会

11月18日午前：シンポジウム

昼食：理事会，企業説明会

午後：会員集会，賛助会，授賞式，受賞講演，
特別講演，懇親会

11月19日午前：口頭発表

昼食：編集委員会

午後：ポスター発表，表彰式

※講演・口頭発表はオンラインでの配信を検討中

参加申込み方法：

学会ホームページ (<https://www.jscrip.jp/>) の参加登録
サイトから登録を行った後，参加費を振り込み

- 第28回アジア太平洋雑草学会会議 (APWSS)

開催日：2023年11月26日(日)～29日(水)

場所：タイ・プーケット

参加申込み方法：

大会ホームページ (<https://www.apwss2023-phuket.com/>) より参加登録

【お知らせ】

植調第57巻 第5号の訂正をお知らせいたします。

P.24

統計データから 都道府県別水稲10a 当たり年収量
右段11行目

誤) ～奈良，和歌山，高知，長崎，宮崎の各県で

正) ～奈良，和歌山，岡山，高知，長崎，宮崎の各県で

植調第57巻 第6号

■ 発 行 2023年9月25日

■ 編集・発行 公益財団法人日本植物調節剤研究協会
東京都台東区台東1丁目26番6号
TEL 03-3832-4188 FAX 03-3833-1807

■ 発行人 大谷 敏郎

■ 印 刷 (有)ネットワン

© Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators (JAPR) 2016
掲載記事・論文の無断転載および複写を禁止します。転載を希望される場合は当協会宛にお知らせ願います。

取 扱 株式会社全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 (植調会館)
TEL 03-3833-1821

株式会社エス・ディー・エス バイオテックの水稲用除草剤有効成分を含有する製品

イザナギ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボSD/200SD粒剤(ベンゾビスクロン)

イネヒーロー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤(ダイムロン)

ウィードコア1キロ粒剤/ジャンボSD/200SD粒剤(ベンゾビスクロン)

ラオウ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ダイムロン)

カイシMF1キロ粒剤(ベンゾビスクロン)

バットウZ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビスクロン)

アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG(ベンゾビスクロン)

ダンクショットフロアブル(ベンゾビスクロン/カフェンストロール)

天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤(ベンゾビスクロン)

ゲパード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤(ベンゾビスクロン/ダイムロン)

ホットコンビ200粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビスクロン/テニルクロール)

レプラス1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤(ダイムロン)

ジカマック500グラム粒剤(ベンゾビスクロン)

ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビスクロン)

アネシス1キロ粒剤(ベンゾビスクロン)

ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル(ベンゾビスクロン)

テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ(ベンゾビスクロン)

ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ(ベンゾビスクロン)

銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ダイムロン)



ベンゾビスクロンはSU抵抗性雑草やアシカキ、イボクサにも高い除草効果を示します。

「ベンゾビスクロン」含有製品

アールタイプ/シュナイデン(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)

イネキング(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)

キクトモ(1キロ粒剤)

サスケ粒剤200(200グラム粒剤)

サスケ-ラジカルジャンボ

シルト(フロアブル)

忍(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)

シロノック(ジャンボ)

タンボエース(1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)

トビキリ(ジャンボ)

ナギナタ(豆つぶ250/ジャンボ)

ハイカット/サンパンチ(1キロ粒剤)

半蔵(1キロ粒剤)

フォーカスショット(ジャンボ)/ブレッサ(フロアブル)

フルイニング(ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)

ブレイブ(1キロ粒剤/フロアブル)

ピラクロエース/カリュード(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)

ライジンパワー(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)



株式
会社

エス・ディー・エス バイオテック

〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町3番地 AKSビル5階

TEL.03-6867-8320 FAX.03-6867-8329 <https://www.sdsbio.co.jp>



オモダカ



ホタルイ



コナギ



イボクサ

サイラ®とは 「サイラ/CYRA」は有効成分の一般名：シクロピリモレート (Cyclopyrimorate) 由来の原体ブランド名です。

サイラは、新規の作用機構を有する除草剤有効成分です。オモダカ、コナギ、ホタルイ等を含む広葉雑草やカタツリグサ科雑草に有効で、雑草の根部・茎葉基部から吸収され、新葉に白化作用を引き起こし枯死させます。新規作用機構を有することから、抵抗性雑草の対策にも有効です。また、同じ白化作用を有する4-HPPD阻害剤(ピラゾレート、テフリルトリオン等)と相性が良く、混合することで飛躍的な相乗効果を示します。

除草剤分類

33

除草剤の作用機構分類(HRAC)においても新規コード33 (作用機構:HST阻害)で掲載され、注目されています。

新規有効成分サイラ配合製品ラインナップ

水稲用一発処理除草剤

ジェイソウル®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

ジャスタ®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

ワサウエポン®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

ウルティモZ®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

水稲用中・後期処理除草剤

バイスコープ®

1キロ粒剤

ルナクロス®

1キロ粒剤



**三井化学クロップ&ライフ
ソリューション株式会社**

東京都中央区日本橋 1-19-1 日本橋ダイヤビルディング
三井化学アグロ(株)はグループ内企業を再編し社名変更いたしました。



®を付した商標は登録商標です。

病害虫雑草の プロを手の中に!

写真を撮るだけで
病害虫雑草診断
ができる

診断履歴を
管理・分析
できる!

有効薬剤
がわかる!

通信料を除く

レイミーが
スマートに解決!

スマートフォン用アプリ

レイミーの AI病害虫雑草診断

無料!

※画面は開発中のものです。

対応作物が増えました!!

■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは(株)NTTデータCCSと日本農業(株)の共同開発です。■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会(H30～R1)」の成果を社会実装したものです。■学習に用いたデータは、農林水産省委託事業「人工知能未来農業創造プロジェクト・AIを活用した病害虫診断技術の開発」および、「官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)」の成果である「病害虫被害画像データベース」を用いた。

開発

アプリの無料ダウンロードはこちら

日本農業ホームページから

日本農業 検索

参加

日本のアザミウマ450余種を詳説

日本^{原色}アザミウマ図鑑

岡島秀治・榎本雅身／著

B5判 624ページ

(カラー48ページ・モノクロ576ページ)

定価：本体20,000円＋税

ISBN978-4-88137-202-9



アザミウマが同定できる専門図鑑が必要

これまで、わが国では重要害虫種のアザミウマのみに情報が集中してきた。応用昆虫学上大切なことではあるが、反面、アザミウマでは重要害虫はほんの一握りにすぎず、今後の侵入種の増加などを視野に入れると、アザミウマ全体に対する正しい同定技術の普及は急務。

カラー生態写真で生時の色彩や形態をありのままに再現

種の正確な同定には、脱色されたプレパラート標本は必須であるが、一方で生時の状態を正しく把握しておくことも重要である。本図鑑のために撮影された189種319点のカラー写真が、科・亜科・属の特徴などの基本情報を生き生きと伝えてくれる。

きわめて質の高いモノクロ写真画像を多用

種の解説を1種1ページに統一。1種当たり10点程度の細密モノクロ写真図版を登載し、同定のポイントとなる表皮の表面構造や刺毛配列などの微細構造を適確に表現。画像はプレパラートにしたうえで深度合成技術を用いて顕微鏡撮影し、手書き図を上回るナチュラルで高精細のクオリティを実現。

英文併記の解説、検索表、研究史から標本作成法まで

各論ではアザミウマ各種の形態、分布、生態を解説し、形態についての英文を併記した。これにより海外の読者はもちろんのこと、アザミウマ研究を志す初学者にとっても大いに有用である。概説では分類、生態、研究史、分布、採集、標本作成について解説。

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
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665
hon@zennokyo.co.jp

図鑑.jpのご案内

<https://i-zukan.jp>

「日本の生き物を調べる・わかる 図鑑.jp」は、電子書籍化した図鑑類が読み放題になる会員制サービス（ジャンルごとの年会費制）です。各出版社が発行している日本を代表する専門図鑑を中心に、すでに絶版となった図鑑や公共機関などが発行した一般には入手が困難な図鑑も提供します。

複数の図鑑を和名・学名・科名で横断検索できるだけでなく、ユーザが投稿写真を加えることで図鑑が補完され、図鑑とユーザ投稿を合わせて「究極の図鑑」を目指すサービスです。

図鑑.jpでは、個人でご利用いただく通常コースに加えて、会社・研究機関・NPO等で複数人でリーズナブルにご利用いただける法人ライセンスもございます。

こんな方におすすめ

- ✓ 複数の図鑑を楽々閲覧したい
- ✓ 野外で、タブレットやスマホで図鑑を見たい*
- ✓ 会社で、複数の担当で同時に図鑑を使いたい

*利用には通信回線が必要です。



植物ジャンルラインナップ

(2017年3月現在)

図鑑名	出版社名
山溪ハンディ図鑑 1 野に咲く花 増補改訂新版	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 山に咲く花 増補改訂新版	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 合弁花・単子葉・裸子植物	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 離弁花 1	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 離弁花 2	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 増補改訂 日本のスマイレ	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 日本の野菊	山と溪谷社
日本帰化植物写真図鑑	全国農村教育協会
日本帰化植物写真図鑑 2	全国農村教育協会
原色図鑑 芽ばえとたね	全国農村教育協会
日本水草図鑑	文一総合出版
日本の水草	文一総合出版
日本のスゲ	文一総合出版
神奈川県植物誌 2001	神奈川県立生命の星・地球博物館

野鳥ジャンルも提供中（個人 3000 円 / 年、法人 2600 円 / 年～）
ジャンル、掲載図鑑は順次拡大予定

植物ジャンル年会費（税別価格）

個人向けコース 1 ユーザ 3 端末 5000 円 / 年

1 ～ 2 ユーザ 5000 円 / 年 × ユーザ数

法人向けコース

3 ～ 49 ユーザ 4500 円 / 年 × ユーザ数

50 ユーザ以上 個別見積

※個人向けコースはクレジットカードのみの決済になります。
※法人向けの場合で見積書などが必要な場合はご連絡ください。
※法人向けは1ユーザあたり2.5端末を基本に切り上げます。
※上記以外のユーザ数・利用方法はお問い合わせください。

推奨環境

【PC】 Windows / MS IE11、MS Edge 最新版、
Chrome 最新版、Firefox 最新版
Mac / Safari 最新版、Firefox 最新版

【スマートフォン・タブレット】

iPhone、iPadmini、iPad / Safari 最新版
Android / Chrome 最新版

詳しくはサイトへ

<https://i-zukan.jp>

お問い合わせ先

図鑑.jp 事務局 03 -6744-1908（山と溪谷社内）
i-zukan@yamakei.co.jp

豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤



湛水直播の除草場面で大活躍！

非SU系水稲用除草剤

ブレキープ[®] 1キロ粒剤
フロアブル

- ・は種時の同時処理も可能！
- ・非SU系の2成分除草剤
- ・SU抵抗性雑草に優れた効果！



ノビエ3.5葉期、高葉齢のSU抵抗性雑草にも優れた効き目

ゼンイチ[®] MX 1キロ粒剤 / ジャンボ[®]

フルパグ[®] MX 1キロ粒剤 / ジャンボ[®]

スーパ[®] A 1キロ粒剤

ヒエック[®] A 1キロ粒剤

フルチア[®] ジャンボ[®]

フルイニグ[®] ジャンボ[®]

タイズド[®] 1キロ粒剤

乾田直播 専用 **ハードパンチ[®] DF**

石原バイオサイエンスの
ホームページはこちら▶



●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

ISK 石原産業株式会社

販売 **ISK 石原バイオサイエンス株式会社**

ホームページ アドレス
<https://ibj.iskweb.co.jp>



雑草調査のプロに必携の 雑草図鑑

植調 雑草大鑑

WEEDS OF JAPAN IN COLORS

浅井元朗 著

企画：公益財団法人 日本植物調節剤研究協会
B5判 360ページ 定価 10,560円(税込)
ISBN978-4-88137-182-4

ひとつの雑草種について種子、芽生え、幼植物、生育中期、成植物から花・果実までのすべてを明らかにした図鑑。研究者から農業関係者まで、雑草調査のプロにお役にたつ図鑑です。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

<http://www.zennokyo.co.jp>

私たちの多彩さが、
この国の農業を豊かにします。

®は登録商標です。

〒103-6020 東京都中央区日本橋2丁目7番1号 お客様相談室 0570-058-669 農業支援サイト 農力 <https://www.i-nouryoku.com>

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手が届く所には置かないでください。●空袋・空容器は廃棄等に放置せず適切に処理してください。



大勢の農家さんへ
SCG GROUP

住友化学

大好評の除草剤ラインナップ

新登場! **ゼータジャガー** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

新登場! **バットウZ** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

新登場! **ゼータプラス** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル 200Fg

マスラオ 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

ゼータタイガー 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル 300Fg

ズエモン 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

メガゼータ 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル 400Fg

オサキニ 1キロ粒剤

忍 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

イッテツ 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル

ドニチS 1キロ粒剤

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

畑作向け除草剤

アタックショット 乳剤 **ムギレンジャー** 乳剤
丸和 **ロックス**®

果樹向け除草剤

シンバー® **リバー**®

芝生向け除草剤

アトラクティブ® **ユニホップ**®
サベルDE ハーレイDE

緑地管理用除草剤

ハイバーX 粒剤 **パワーボンバー**

除草剤専用展着剤

サファグントWK 丸和 **サファグント30**

MBC 丸和バイオケミカル株式会社

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-5-2
TEL03-5296-2311 <https://www.mbc-g.co.jp>

第57巻 第6号 目次

- 1 巻頭言 “コロナ規制が緩和して”の雑感
腰岡 政二
- 2 ウリ科植物はどのように疎水性化合物を地上部に蓄積するのか?
乾 秀之
- 7 佐賀県における大豆圃場の雑草発生実態について
秀島 好知
- 12 中干し期間の延長によるメタン発生量の削減効果
塩野 宏之
- 19 〔田畑^{くさくさ}の草種〕子持ち万年草(コモチマンネングサ)
須藤 健一
- 20 ピロキサスルホン(ブランドネーム:アクシーブ[®])の国内畑作分野での展開
板屋 大吾・吉野 幸則・胡 文倩
- 28 〔連載〕標本は語る 第3回
花と果実の無いホシアサガオ標本の帰化年代の顛末
早川 宗志
- 30 〔緒(いとぐち)〕No.13 植物代謝から見た除草剤の作用点(2)
代謝と酵素
與語 靖洋
- 33 〔連載〕研究センター・試験地紹介(2) ー上川試験地ー
楠目 俊三
- 35 広場

No.101

表紙写真 《コモチマンネングサ》



道ばた、空き地、畦畔、畑地など、やや湿った日陰に生育するベンケイソウ科の冬生一年草。9～11月に芽出て5～6月に開花する。茎は地際で分枝し、基部は地を這い、上部は斜上する。茎下部は赤褐色。多肉質で柔らかい。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



珠芽が発根した幼植物。葉ははじめ広卵形。



葉は無柄、細いへら形で肉質。



上部の枝先に径約12mmの黄色い花をつける。



葉腋に、小円形の葉が2対ある珠芽(むかご)をつける。