

植調

第56卷
第7号

JAPR Journal

ナス科果菜類のオーキシン代謝と単為結果 松尾 哲
光合成の動態解明に基づくイチゴの精密環境調節技術の開発 日高 功太
除草剤耐性てんさいを用いた新除草体系 池谷 聡
植物の記憶(1)短期記憶と長期記憶 與語 靖洋



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)

エフィーダ含有除草剤ラインアップ

4成分が魅せる、防除効果の神髄。

NEW シンズイ Z

皇帝の品格。
エンペラー

この除草剤、ベッカク。
ベッカク

除草効果優先、使いやすさ優先。
プライオリティ

水田除草の未来を切り拓く。
アバンティ

移植も直播も飼料稲にも。高い安全性。
ベルーガ

水田除草に、新たな風。

新規有効成分エフィーダ®とは

新しい成分「エフィーダ®」配合/水稲用除草剤シリーズ
白化作用を示し、SU剤抵抗性雑草を含めた幅広い雑草に優れた効果があります。

飼料用イネや多収米にも品種を問わず使用できます。

新しい水稲用除草剤をぜひお試しください。



®はクミアイ化学工業(株)の登録商標

- 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。
- 防除日誌を記帳しましょう。



自然に学び 自然を守る
クミア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 <https://www.kumiai-chem.co.jp>

カウントダウン®

雑草の無い水田へ

一発、カウントダウン。

JAグループ 農協 全農 経済連
® カウントダウンはバイエルグループの登録商標
® はクミアイ化学工業(株)の登録商標

新登場



- 1 3成分で高い除草効果
- 2 ノビエへの優れた除草効果
- 3 難防除多年生雑草への高い除草効果
- 4 多年生イネ科雑草に対する高い除草効果
- 5 SU抵抗性雑草に対する高い除草効果
- 6 田植同時散布可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 7 無人航空機での処理可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 8 水口施用可能(移植水稲・フロアブル)
- 9 拡散性に優れたジャンボ剤
- 10 直播水稲への適用性
- 11 新規需要米(WCS、飼料米等)に対する高い安全性

●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。●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。

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 〒100-8262 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00, 13:00~17:00
土・日・祝日を除く



どこを向いて仕事をするか

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 常務理事
研究所長
濱村 謙史朗

2021年5月12日に「みどりの食料システム戦略（みどり戦略）－食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現－」が策定され、2022年4月22日には「環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律（みどりの食料システム法）」が成立、5月2日に公布、7月1日に施行され、関連する取り組みに対して今後、国として税制・財政面で支援していく体制が示された。みどり戦略で掲げられた「2050年までに化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減」という設定目標は、当協会や会員メーカーはもちろん生産者にとってもインパクトが大きい。この目標値に対しては、2030年までの中間目標として10%低減ということが新たに設定されており（2022年6月21日公表）、当面の間は農薬だけに頼らない総合防除推進の指針を国が策定し、これに即した具体的な防除計画を全都道府県において策定することを目指すようだ。その際、みどりの食料システム法では、化学肥料使用量の30%低減、耕地面積に占める有機農業の割合を25%（100万ha）に拡大および温室効果ガスの排出量削減をも同時に推進する取り組みを支援するため、農業者、農薬・肥料メーカー、農業協同組合、普及組織などの関係者が組織した協議会に対し交付金が創設されている。

ここで注目したいのが、温室効果ガスのメタンの排出量を抑制する手法として「中干し期間の延長」や「秋耕の実施」が紹介されていることである。慣行より中干しを1週間延長することで30%の削減効果が期待でき、稲わらのすき込みを春から秋に変えれば50%の削減効果が期待できるようだ。交付金の支援を受けるには、協議会での栽培体系の検証、栽培マニュアルの作成、産地戦略の策定および情報発信などに取り組むこととされているが、農水省が市町村に対し行った「農業分野の地球温暖化緩和策に関する意識・意向調査」（2022年4月公表）によると、中干し期間の延長については、「既に取り組んでいる」が25.9%、「支援がなくても取り組んでみたい」が28.9%、「何らかの支援があれば取り組んでみたい」が24.6%。秋耕の実施については、「既に取り組んでいる」が59.5%、「支援がなくても取り組んでみたい」が13.5%、「何らかの支援があれば取り組んでみたい」

が12.4%の順に多く、現場での受け入れ態勢はすでに出来ているといえよう。また、みどり戦略からは少し離れるが、近年北陸地域では水稻の過剰生育によるコメの品質低下が問題視されており、その対策として「早めの中干し」が推奨されている。移植後25日あるいは30日から中干しを開始するというものである。全ての地域を調べてはいないが、温暖化を背景に他地域でも似た対策が検討されているようだ。

では今後、中干しに焦点をあてた様々な対策が各地で行われると仮定して、水稻用除草剤の使用で起こりうる課題を考えてみた。一発処理剤は基本的に移植後45～50日頃の除草効果で実用性が判断される。その際、慣行栽培において移植後45日より前に中干しが実施される場合は、中干しまでの除草効果の良否が判断材料となる。すなわち現行の一発処理剤は、「早めの中干し」や「中干し期間の延長」に果たして耐えられるのだろうか。また、残草が目立つと中・後期剤の使用が増え、化学農薬使用量の低減に逆行しないだろうか。

2022年は当協会が公益財団法人となって10年目、財団法人として設立した1964年から数えて58年目にあたる。この間協会は、会員メーカー、公設の農業試験場や普及関係、専門調査員など多くの方々からのご支援とご協力により、雑草防除技術や植調剤の利用技術の発展に着実に貢献できた。今は信州の土となってしまったが、お元気な頃の吉沢顧問はよく『君たちはどこを向いて仕事をしているんだ！』とおっしゃっていたのを思い出す。今後も、現場が雑草防除で困らないよう、国民がひもじい思いをしないよう、これまでの事業・研究の方向性は踏襲しつつ新たな課題にも柔軟に対応していきたい。国・政府の方針はグローバルな観点・我が国の長期的な視点として大切であろう。みどり戦略のサブタイトルにある“食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立”には心から賛同する。一方で、その実現に向けての取り組みの中で起こりうる問題や課題に対しては、いち早く察知し早め早めに手を打ちたい。関係各位には、今後も一層のご支援とご協力を心よりお願い申し上げます。

ナス科果菜類のオーキシン代謝と単為結果

農研機構野菜花き研究部門
野菜花き育種基盤研究領域
松尾 哲

はじめに

トマトやナスなどのナス科野菜の果実は、雌しべの基部の子房が発達したものであり、通常、果実形成のためには、受粉とそれに続く受精が必要である。受粉後、トマトの子房では、細胞分裂が7~10日程度の間活発になり、増加した細胞が肥大することにより果実が肥大し、果実成熟期に最大の大きさとなる。このように、受粉は果実形成を開始させるためのトリガーとなるが、一方で、受粉していない子房に植物ホルモンを処理することでも果実が大きくなるのが古くから知られている。果菜類の品目や化合物の種類によって効果は異なるが、オーキシンやジベレリン、サイトカイニンなどを未受粉の子房に処理すると果実が肥大し、いくつかの化合物は植物成長調節剤として利用されている。ナスやトマトの栽培では、合成オーキシンの4-クロロフェノキシ酢酸（商品名トマトーン）を用いた着果や果実形成を促進させるための処理が行われており、年間を通した果実の安定生産に重要な役割を果たしている。

子房への植物ホルモンの外生処理は、内生の物質の代替としての働きやそれらの機能を補強する効果があると考えられるが、通常の果実形成では、植物ホルモンは子房内で合成され、果実形成を調節する物質として働いている。果実形成は、受粉により開始することから、植物ホルモンと受粉の間に

は深い関係があると考えられてきたが、内生植物ホルモンの定量技術向上や関連遺伝子が明らかになるとともに、果実形成期の植物ホルモンの調節に関する研究も進展してきた。本稿では、ナス科果菜類の果実形成における内生オーキシンの調節と農業上重要な形質である単為結果性の研究について紹介する。

1. ナス科果菜類の果実形成と内生オーキシン

先に述べたように、ナス科果菜類の果実形成に外生オーキシン処理が効果を示すことは古くから知られていた。一方、内生オーキシンと果実形成の関係の知見は少なかったが、遺伝子組換え体等を用いた研究で徐々に役割が明らかにされた。Rotino *et al.* (1997) は、細菌のオーキシン生合成酵素遺伝子 (*iaaM*) をナスの花芽に発現させ、内生オーキシンのインドール酢酸 (IAA) 含量を高めることにより、受粉しなくても果実が肥大することを示した。また、Wang *et al.* (2005) は、トマトのオーキシンスIGNAL伝達系の Aux/IAA タンパク質に属する SHIAA9 をコードする遺伝子の発現を抑制すると、果実が肥大することを明らかにした。Aux/IAA タンパク質は、内生オーキシン濃度が低い状態では下流のオーキシン応答性遺伝子の発現を抑制する機能を持ち、オーキシン濃度が上昇するとユビキチンプロテアソーム系で分解され、その抑制を解除して様々な

オーキシン応答反応が起こるようになることから、この結果は、子房の内生オーキシンの状態が、果実形成を制御することを示している。

植物の IAA の生合成や不活性化に関わる経路は長らく不明であったが、2000 年以降にモデル植物のシロイヌナズナを用いた研究で大きく理解が進んだ。生合成では、アミノ酸のトリプトファン (Trp) を経由する経路としない経路が存在することが提唱されているが、現在では、Trp からトリプトファンアミノ基転移酵素 (TAA1/TARs) の触媒反応でインドールピルビン酸 (IPyA) に変換され、次いでフラビンモノオキシゲナーゼの YUCCA の働きにより、活性型の IAA となる二段階反応が主要な経路 (IPyA 経路) と考えられている (Mashiguchi *et al.* 2011; Stepanova *et al.* 2011; Won *et al.* 2011)。一方、IAA は様々な代謝経路で不活性化されることが報告されているが、シロイヌナズナでは、それらの内の GRETCHEN HAGEN 3 (GH3) と DIOXYGENASE FOR AUXIN OXIDATION (DAO) の 2 種類の酵素による不活性化が主要な経路と考えられている (Mellor *et al.* 2016; Porco *et al.* 2016; Zhang *et al.* 2016)。

著者らは、IAA の代謝経路とトマトの果実形成との関係を調べるため、受粉期の子房における IAA 生合成と不活性化に関わる酵素の遺伝子群の発現解析を行った (Matsuo *et al.* 2018)。その結果、生合成酵素 TAA1/TARs

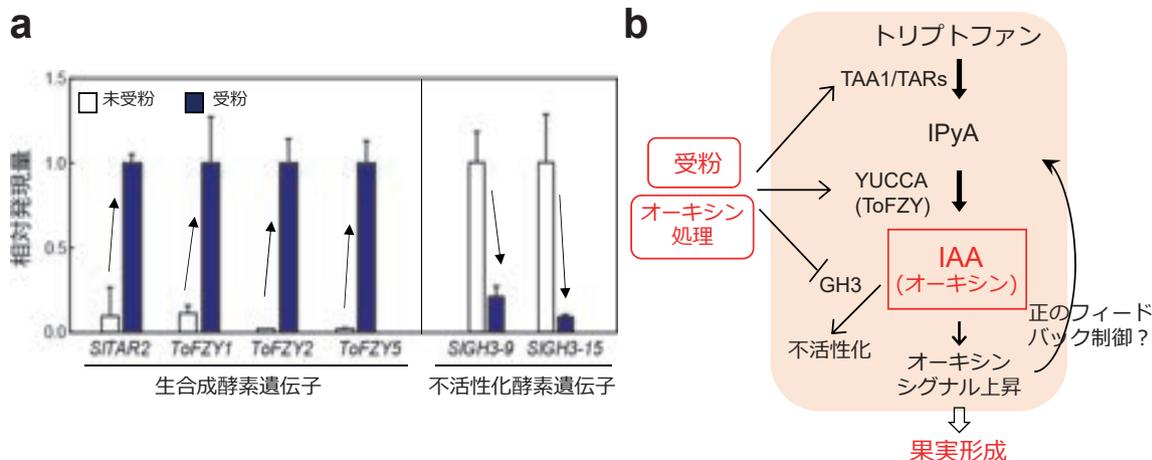


図-1 トマト子房でのオーキシンの調節
 (a) 未受粉 (白) と受粉 3 日後 (青) のトマト子房でのオーキシン生成および不活性化酵素遺伝子の発現。
 (b) 受粉およびオーキシン処理後のトマト子房でのオーキシン代謝の調節。

や YUCCA (トマトでは ToFZY) をコードする複数の分子種の遺伝子は、受粉後数日で大きく発現が上昇する一方で、不活性化に関与する GH3 をコードする遺伝子の発現は抑制されることを明らかにした (図-1-a)。これらの発現パターンは、内生 IAA の動態とも一致しており、受粉により、生成が活性化、不活性化が抑制されることにより、子房に急速に IAA が蓄積すると考えられる (図 1-b)。

果実形成とオーキシン代謝の関係をさらに理解するため、果実を肥大させる効果のある合成オーキシンの 2,4-D を子房に処理した際の遺伝子の動態についても解析した。その結果、処理 3 日後には、受粉処理した際に発現が上昇した分子種と同じ生成酵素遺伝子の発現が上昇し、不活性化酵素遺伝子の発現が低下することが明らかとなった。興味深いことに、これは、通常の植物ホルモン処理で見られる応答とは傾向が異なる。多くの組織では、処理された植物ホルモンの効果を低減させるために、生成酵素遺伝子の発現を抑制し、不活性化酵素遺伝子発現を上昇させる反応を示す。実際、子房への 2,4-D 処理で発現が低下する不活性化酵素遺伝子の *SIGH3.9* や *SIGH3.15*

は、トマトの根に IAA 処理をすると発現が上昇することが報告されている (Liao *et al.* 2015)。以上のことから、受粉期の子房は、通常の組織とオーキシン調節機構が異なると考えられ、受粉などで上昇したオーキシンのシグナルに反応してさらに内生 IAA を増加させる仕組みが存在することが想定される (図 1-b)。

2. 単為結果とオーキシン代謝

(1) 単為結果性

これまで述べたように、通常、果実形成は、受粉とそれに続く受精の後に起こるが、花粉形成を含めたこれらの過程は環境の影響を受けやすく、極端な高温や低温、低日照などの生育条件になると、果実形成は阻害される。また、ハウスなどの施設内の栽培では、通風不足で花粉が柱頭にうまく到達せず、受粉不十分により収量が不安定になることがあり、それらの対策として手作業や訪花昆虫による受粉や着果促進剤の処理が行われる。一方で、植物には受粉しなくても果実を肥大させる単為結果性を持つ系統が存在し、それ

らの利用は収量の安定につながると考えられてきた。単為結果系統は様々なものが発見されているが、トマトでは、*pat-2* 遺伝子を導入した「パルト」や「ハウスパルト」(サカタのタネ)、ナスでは、ヨーロッパの単為結果系統である Talina が持つ形質を導入した「あのみり」および「あのみり 2 号」(農研機構育成)などが国内で実用化されている。これら単為結果品種の農業への利用は、高温などの不良環境下でも収量を安定させ、受粉作業などの手間やコストを低減させることから大変有用だが、メカニズムの理解は進んでおらず、その形質を利用した品種の普及が進みにくい一因にもなっていた。次項では、新たに発見された単為結果ナス *pad-1* 変異体について紹介する。

(2) ナス *pad-1* 変異体

ナス *pad-1* 変異体は、民間種苗会社の農場で自然突然変異体として発見された。通常、野生型ナスでは、受粉を阻害すると子房は肥大しないが、*pad-1* 変異体は、野生型のナスが受粉して作る果実と同等以上の大きさの果実を肥大させる (図 2-a)。また、*pad-1* 変異体は、受粉すると種子を形成する。これまで、単為結果性を示す様々な植

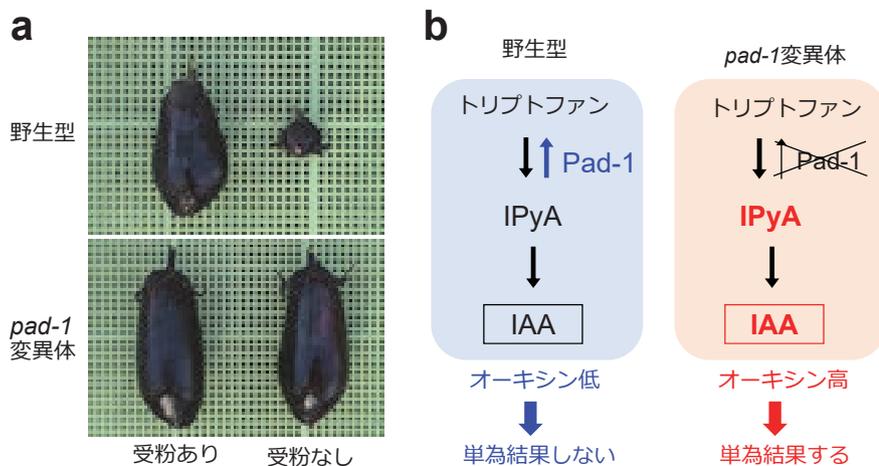


図-2 ナス *pad-1* 変異体
 (a) 野生型 (上) および *pad-1* 変異体 (下) の果実。
 (b) *pad-1* 変異体の単為結果性機構。

物が見出されているが、単為結果による果実の大きさが受粉してできるものより小さいことや種子が得られにくい等の欠点のために育種素材として用いられない系統も多かったことから、*pad-1* 変異体は品種育成のための有望素材であると考えられた。また、この変異体の単為結果性は、先に挙げたトマトの *pat-2* やナス「あのみり」等とは原因が異なることも明らかとなっている。余談だが、変異体の名称の *pad-1* は、*parental advice-1* の略で、諺の「親の意見と茄子の花は千に一つも仇はない」から来ている。実際のナスの栽培では、すべての花が無駄にならない訳ではなく、安定して生産するために着果促進剤や訪花昆虫が利用されるが、この変異体の栽培では、諺のとおりそれらの処理をしなくても落花や肥大不良で無駄になる果実が極めて少ない。

著者らは、*pad-1* 変異体の単為結果性の原因を解明するため、変異体の未受粉の子房を採取し、植物ホルモンの定量分析を行った (Matsuo *et al.* 2020)。その結果、*pad-1* 変異体の未受粉の子房には、野生型の約6倍という極めて高い IAA が含まれることが明らかとなった。子房以外の組織

では、薬と根の内生 IAA 濃度が *pad-1* 変異体において高い傾向が見られたが、地上部の他の栄養器官の含量は野生型と同等であった。これらの結果から、*pad-1* 変異体の子房に高濃度の IAA が含まれることが単為結果性の原因であると考えられた。

pad-1 変異体の子房に高濃度の IAA が蓄積する機構を明らかにするため、マップベースクローニングによる原因遺伝子の単離を試みた。その結果、変異体では、アミノ基転移酵素をコードする遺伝子 (*Pad-1*) に大きな欠失を含む変異が入っていることが明らかとなった。この酵素 (*Pad-1*) と IAA 代謝経路の関係を調べるため、変異体と野生型子房の IAA 関連物質の定量を行ったところ、変異体では、IAA 以外にその前駆体である IPyA の濃度も有意に高かった。一方、IPyA の上流の前駆体である Trp は、野生型と変異体との間に濃度差は無かった。さらに、この酵素が関与する反応を調べるため、野生型のナスが持つ正常な *Pad-1* 組換えタンパク質の機能解析を行ったところ、この酵素は、IPyA を Trp に変換する反応を触媒した。また、野生型ナスの受粉前後の子房の *Pad-1* の発現を確認したところ、受粉までの

子房発達と共に発現が上昇し、開花当日にピークとなり、その後減少することが明らかとなった。これらの結果は、通常のナスでは、*Pad-1* タンパク質は、受粉するまでの子房の IPyA 含量を減らすことで内生 IAA 濃度を低く保つ役割を持つことを示唆している。一方で、*pad-1* 変異体では、この酵素の機能が失われているため、子房に IPyA と IAA が蓄積し、単為結果が引き起こされると考えられる (図 2-b)。

(3) 単為結果品種開発への利用

Pad-1 と相同性の高い遺伝子は、同じナス科のトマトやピーマンにもそれぞれ1コピーずつ存在する (トマト *SlPad-1*, ピーマン *CaPad-1*)。そこで、これらの遺伝子の機能抑制が、単為結果性導入に利用できるかを検証した。その結果、トマトの RNAi 形質転換体やピーマンのエチルメタンスルホン酸による変異体も、ナスと同様に IAA を蓄積し、単為結果性を示したことから、ナス以外のナス科果菜類の品種開発にも利用できることが明らかとなった (図-3)。これらは種無し品種の開発にもつながることから、今後の進展が期待される。また、シロイヌナズナの *Pad-1* オルソログ遺伝子 (*VASI*) の変異体の報告では、果実等が肥大するという記述は見られず、この形質がナス科植物特有のものであるかどうかは、今後研究を進める上で興味深いところである (Zheng *et al.* 2013)。

現在、*pad-1* 変異による単為結果性は、ナス品種「PC 筑陽」や「PC お竜」(い



図-3 Pad-1 遺伝子発現抑制によるトマトへの単為結果性導入
花の雄しべを除去して受粉を阻害すると、野生型（左）では果実が肥大しないのに対し、*SIPad-1* 発現を RNAi で抑制した形質転換トマト（中央）では果実が肥大する。右の写真は、形質転換体の単為結果果実の切断面を示し、果実には種子が形成されていない。

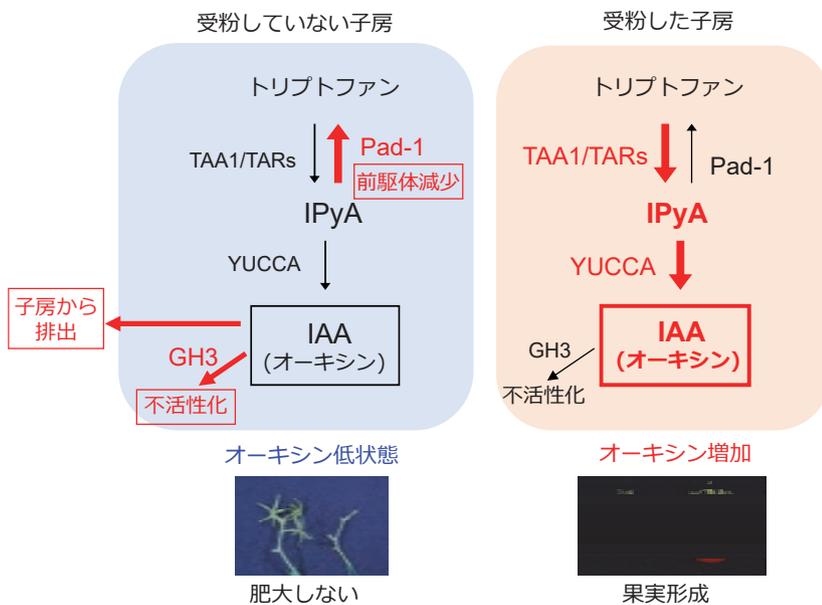


図-4 ナス科果菜類の受粉前後の子房でのオーキシンの調節

ずれもタキイ種苗) に導入され、普及が進んでいる。*pad-1* 変異体は、通常の栽培環境だけでなく、野生型のナスが受粉しても果実が肥大しないような過酷な高温条件でも果実を肥大させることが明らかになっている (Matsuo *et al.* 2020)。地球温暖化の進行は、果菜類の生産に深刻な影響を及ぼすことが懸念されており、単為結果品種の利用は、これを回避する有効な方法になると期待される。

おわりに

本稿では、主にナス科果菜類の受粉前後の子房での内生オーキシン調節について述べた。受粉後、果実形成のために IAA の蓄積が急速に進むことは

前に示したが、興味深いことに、トマトやナスの生合成酵素遺伝子の *TAA1/TARs* や *YUCCA* のいくつかの分子種は、未受粉の子房に発現しており、受粉後に発現が低下する (Matsuo *et al.* 2018, 2020)。このことは、未受粉の子房内でも IAA が作られていることを示している。一方で、野生型のトマトの未受粉花の花柄にオーキシン極性輸送阻害剤の N-1-ナフチルフタミン酸等を処理すると果実が肥大することが知られており、正常な生育のためには、作られた IAA が子房外に排出される必要があると考えられる (Serrani *et al.* 2010)。また、トマトの IAA 不活性化に関わる GH3 をコードする遺伝子には、*Pad-1* と同じように開花当日に発現が高く、受粉後に低

下するものがあることから、*Pad-1* と代謝経路は異なるが、未受粉の子房の IAA を減少させる点において、これらの酵素が同様の役割を持つことが推測される (Matsuo *et al.* 2018)。以上のことから、未受粉の子房では、IAA 前駆体の減少、IAA の不活性化、IAA の子房外への輸送などの様々な手段が取られることによって、IAA が果実形成をしてしまう内生量にならないように調節されていることがわかる (図-4)。植物にとって、子孫(種子)を残すためには、受粉せずに果実形成をすることは不都合であるにも関わらず、未受粉の子房で IAA が作られる理由は十分に明らかにされていないが、その状態においても受粉するまで内生 IAA を適切に保ち続ける仕組みがあることは興味深いことである。

なお、本稿の内容の一部は、引用文献に記載した原著論文、およびバイオテック東海(東海地域生物系先端技術研究会発行)令和3年度版86号「ナス *pad-1* 変異体の単為結果性機構」を改変したものである。

引用

- Liao, D.H. *et al.* 2015. The characterization of six auxin-induced tomato GH3 genes uncovers a member, *SIGH3.4*, strongly responsive to arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell Physiol.* 56, 674-687.
- Mashiguchi, K. *et al.* 2011. The main auxin biosynthesis pathway in Arabidopsis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 18512-18517.
- Matsuo, S. *et al.* 2018. Transcriptional regulation of auxin metabolic-enzyme

- genes during tomato fruit development. *Sci. Hortic.* 241, 329-338.
- Matsuo, S. *et al.* 2020. Loss of function of the *Pad-1* aminotransferase gene, which is involved in auxin homeostasis, induces parthenocarp in Solanaceae plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 117, 12784-12790.
- Mellor, N. *et al.* 2016. Dynamic regulation of auxin oxidase and conjugating enzymes *AtDAO1* and *GH3* modulates auxin homeostasis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 11022-11027.
- Porco, S. *et al.* 2016. Dioxygenase-encoding *AtDAO1* gene controls IAA oxidation and homeostasis in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 11016-11021.
- Rotino, G.L. *et al.* 1997. Genetic engineering of parthenocarpic plants. *Nat. Biotechnol.* 15, 1398-1401.
- Stepanova, A.N. *et al.* 2011. The *Arabidopsis* YUCCA1 flavin monooxygenase functions in the indole-3-pyruvic acid branch of auxin biosynthesis. *Plant Cell* 23, 3961-3973.
- Serrani, J.C. *et al.* 2010. Inhibition of auxin transport from the ovary or from the apical shoot induces parthenocarpic fruit-set in tomato mediated by gibberellins. *Plant Physiol.* 153, 851-862.
- Wang, H. *et al.* 2005. The tomato *Aux/IAA* transcription factor *IAA9* is involved in fruit development and leaf morphogenesis. *Plant Cell* 17, 2676-2692.
- Won, C. *et al.* 2011. Conversion of tryptophan to indole-3-acetic acid by TRYPTOPHAN AMINOTRANSFERASES OF *ARABIDOPSIS* and YUCCAs in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 18518-18523.
- Zhang, J. *et al.* 2016. DAO1 catalyzes temporal and tissue-specific oxidative inactivation of auxin in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 11010-11015.
- Zheng, Z. *et al.* 2013. Coordination of auxin and ethylene biosynthesis by the aminotransferase VAS1. *Nat. Chem. Biol.* 9, 244-246.

くさくさ
田畑の草種

胡草, 恵比須草, 夷草
(エビスグサ)

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

皆さん方は七福神をご存知だろうか。そう、恵比寿、大黒、毘沙門、弁財、福祿寿、寿老人、布袋の七神のことであり、^{かし}儂(恵比寿)もその一人ではあるのだが。

儂はもともとこの国での土着信仰の神として祀られておった。ところが平安時代初期の最澄という偉い坊さんがインドから台所の神として大黒さんを連れてきた。その後ほどなくして京都の鞍馬山で信仰されていた毘沙門どのが加わり、一時は儂を含む三神が信仰されることがあった。それが平安時代末頃になると近江竹生島の弁天様の信仰が盛んになって三神に加わり、しばらくは四神信仰の時期が続いた。

室町時代中期の東山文化のころ、中国の道教から福祿寿さんや寿老人、仏教界から布袋和尚もやってきて、室町時代の終わり頃には儂を含む七神の顔ぶれが揃ったことになる。

江戸時代の初め、天海僧正が徳川家康に、富国繁栄の方策として広く信仰されていた七柱の神々がもたらす徳を説いたといわれている。

つまりは、人間の七福を七神に求めて、インドから来られた大黒天に有福を、毘沙門天に威光を、弁財天に愛嬌を、また、中国からの寿老人に長寿を、福祿寿に人望を、さらに布袋和尚

には大量を願うことで六福を叶えようとした。そうして日本古来の恵比寿である儂に清廉、正直を委ねてきた。

それを象徴する縁起物として描かれたものが七福神の乗る宝船じゃ。その宝船の絵には一緒に回文の歌も書かれておる。

長き夜の 遠の眠りの 皆目覚め 波のり船の 音の良きかな
くどいようじゃが儂を除く六神は皆インドや中国から来た
神々じゃ。

話がそれてしまったようじゃ。

エビスグサはマメ科センナ属の一年草。アメリカ原産の帰化植物。日本へは江戸時代の享保年間に中国から渡来したといわれている。本州以南の畑地、空き地、道端、樹園地などで生育。背丈は50cmから100cm。葉は互生し2~4対の偶数羽状複葉で、夕方になると葉を閉じる就眠活動をする。7月から8月に黄色い花を咲かせるが、いわゆるマメ科の蝶形花ではなくいびつな5弁花である。花後、10月頃に10cmから15cmの細長い豆果をつける。この細長い豆果を恵比寿天の持つ釣り竿に見立てて「恵比寿草」と名付けられたように思うが、牧野富太郎は「夷」の字を充てて「夷夷の異国から渡来したから」、とする方がいいかであろうか。

光合成の動態解明に基づく イチゴの精密環境調節技術の開発

農研機構九州沖縄農業研究センター
暖地畑作物野菜研究領域
日高 功太

はじめに

近年、イチゴの施設生産では、ハウス内のCO₂濃度を積極的に高めて光合成を促進させることで増収・高品質化をねらうCO₂施用技術が全国的に普及拡大している。CO₂施用等の環境調節を行ううえでは、環境調節を通してイチゴの物質生産を左右する「光合成」や、光合成産物を運ぶはたらきである「転流」をどれだけ促進できるかを意識しながら行うことが重要である。そのためには、イチゴの光合成や転流の環境応答を解明し、それに基づく環境調節が必要であるが、これについては完全な解明には至っていない。また、今後のイチゴ生産では、2021年に農林水産省が策定の「みどりの食料システム戦略」にも掲げられている生産力向上とCO₂排出抑制の両立を意識した新たな環境調節技術によるイチゴ生産体系の構築が求められる。

本稿では、上記の問題解決を目的として著者が取り組んでいる研究テーマ「光合成の動態解明に基づくイチゴの精密環境調節技術の開発」について、これまでの成果「イチゴ果実への光合成産物の転流動態の可視化」、「慣行比2.5倍の超多収生産技術(10t/10a)の確立」、「CO₂排出抑制を志向した精密環境調節技術の開発」を紹介する。

イチゴ果実への光合成産物の転流動態の可視化

イチゴ生産において、葉(ソース)で合成した光合成産物を果実等のシンクへ送るはたらきである「転流」は、収穫対象器官への光合成産物の集積を通して収量や品質を左右する重要な生理反応であり、これに基づく環境調節技術の開発が望まれている。しかし、計測の困難性から研究事例が少なく詳細なメカニズムは解明されていない。また、葉で作られた光合成産物がいつのタイミングで果実に転流されるのか等、光合成産物のリアルタイムな動態への関心が高まっており、これを調べるためには、転流動態を「非侵襲的」かつ時間・空間連続的に計測する方法が必要となる。

量子科学技術研究開発機構の高崎量子応用研究所(プロジェクトRIイメージング)は、放射性同位元素(RI)をトレーサーとして植物に投与し、植物体内を移行するRIの動きを可視化する

る positron-emitting tracer imaging system (PETIS) を開発している。PETIS で得られた転流画像を解析することで、転流動態の定量的な評価が可能となっている。そこで、¹¹C で標識された RI の二酸化炭素 (¹¹CO₂) をトレーサーとしてイチゴ葉に投与し、PETIS を用いてイチゴ果実への光合成産物 ¹¹C の転流動態を初めて可視化・定量化した。PETIS による転流計測の概要を示す(図-1)。本計測システムでは、ポジトロン(陽電子)放出核種である ¹¹CO₂ をトレーサーとして用い、葉に投与された ¹¹CO₂ は、光合成によって ¹¹C で標識された光合成産物(糖)となり各器官へ転流される。¹¹C は原子核の崩壊に伴ってポジトロンを放出し、ポジトロンは電子と結合して消滅する際に 180° 反対方向に同時に消滅ガンマ線を発生する。植物を挟んで対向配置したガンマ線検出器へ同時に入射したガンマ線を検出し、その入射位置からガンマ線の由来となった光合成産物 ¹¹C の存在位置を特定することで、植物体内にお

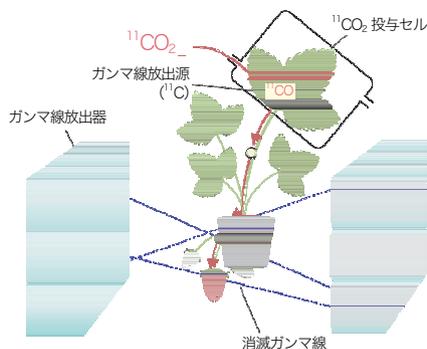


図-1 PETIS による転流計測の概要図(左)と植物セッティングの様子(右)

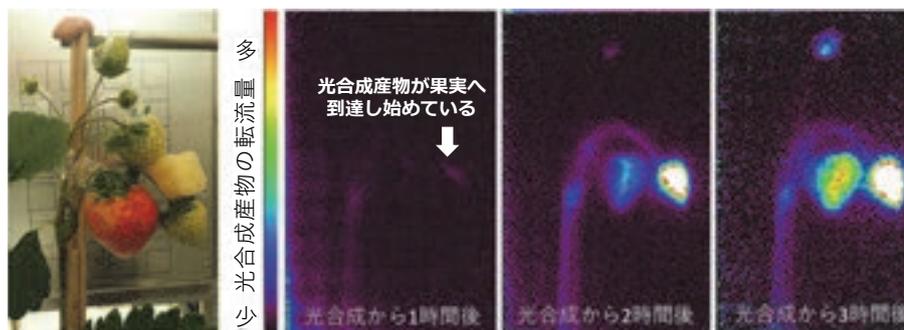


図-2 検出器に設置した果実（左）とイチゴ果実への光合成産物の転流の様子（右）

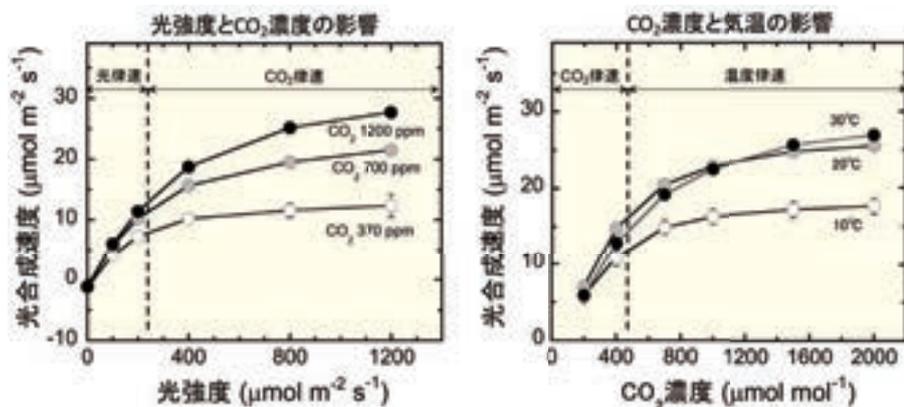


図-3 光強度、CO₂濃度と気温に対するイチゴの光合成速度

る¹¹Cの2次元分布画像を構築する。このガンマ線検出に基づく画像構築を連続して行うことで、植物体内における¹¹Cの動態を動画像として取得することが可能になっている。イチゴ品種‘福岡S6号’（あまおう）をプラスチックポットで栽培し、葉を9枚、果実を6果に揃えた植物体を実験に供試した（図-2左）。PETISの撮像視野に果実を設置し、果房直下葉に約200MBqの¹¹CO₂を投与して、各果実への¹¹C転流動態を180分間撮像した。

¹¹CO₂投与から1時間毎の¹¹C分布画像を示す（図-2右）。葉に投与された¹¹CO₂が光合成によって取り込まれ、¹¹Cで標識された光合成産物が果柄を経由して果実へと転流する様子を初めて可視化した。その結果、葉の光合成から約1時間後には、光合成産物が果実に到達し始めることが明らかになった。また、果実への¹¹Cの転流速度が各果実によって異なり、白熟

期果実への転流速度が最も早く、ついで赤熟期果実、緑熟期果実の順となっていた。このことから、同一の果房内においても果実の着果順位によって転流活性が異なることが明らかになった（Hidaka *et al.* 2019）。

慣行比2.5倍の超多収生産技術（10t/10a）の確立

イチゴの反収増加のためには、環境調節だけでなく可動式栽培システムを用いた栽植株数の増加も効果的である。そこで、イチゴの10t/10a多収生産（慣行平均：4 t /10a）を目標に九州沖縄農業研究センターの太陽光型植物工場で「一季成り性多収品種の複合環境調節と可動式高設栽培システムを組み合わせた超多収生産技術の開発」に取り組んだ。

環境調節の条件設定のために、イチゴの葉における光合成の環境応答を測



図-4 慣行高設栽培（上）と可動式高設栽培（下）

定した。その結果（図-3左：各CO₂濃度下での光—光合成曲線，図-3右：各気温下でのCO₂—光合成曲線），光合成は一定以上の光強度下においてCO₂濃度を370から1,200ppmに高めることで顕著に促進されたが，200 μmol m⁻² s⁻¹以下の弱光下では光強度が光合成を律速し，CO₂濃度の上昇による促進効果はみられなかった（図-3左）。20°Cの気温下での葉の光合成はCO₂濃度を1,000ppmに高めることで顕著に促進された（図-3右）。気温30°C下でも20°Cと同等の促進効果がみられたが，気温10°C下では光合成促進効果が大きく低下した。これは，低温により光合成の関連酵素の反応が遅くなったためであると考えられる。

以上の光合成の環境応答に関する知見および弱光環境を改善する補光技術（Hidaka *et al.* 2013）に基づいて複合環境調節と多植栽培によるイチゴ品種‘紅ほっぺ’の10t/10a生産の実証試験を行った。本試験では、可動式高設栽培システム「吊り下げ式可動高設栽培システム」を用いてハウス空間あたりの栽植株数を増やした（図-4下）。栽培ベツ

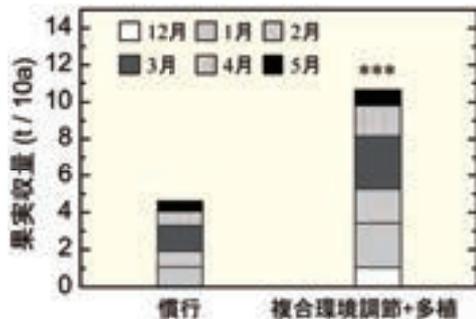


図-5 複合環境調節と多植栽培の組合せが果実収量に及ぼす影響
 (***) : t検定により0.1%水準で有意差あり

ドを作業時にだけ稼働させることで、無駄な通路幅を省き、栽培ベッド列数を慣行の高設栽培(図-4上)の1.5倍、すなわち栽植株数を10a当たり8,000株から12,000株に増やすことが可能となっている。光合成の環境応答データに基づいて(図-3)、葉の光合成促進のための複合環境調節(補光、早朝加温、換気、CO₂施用)を行った。6~18時に葉面上の受光量を400 μmol m⁻² s⁻¹、施設内のCO₂濃度を1000ppmで管理し、CO₂施用にあわせて早朝加温を行い、日中の気温を15°C~27°Cで管理した。複合環境調節によって光合成は慣行(無補光、CO₂無施用、早朝加温無し)に比べて顕著に促進され、頂果房および一次腋果房の開花が早まるとともに花数が増加した(データ略)。さらに、果実の成熟日数が短くなるだけでなく収穫果数の増加や平均果重が重くなることで慣行に比べて果実収量が有意に増加した。この複合環境調節技術に花芽分化の安定化が可能なクラウン温度制御技術(Hidaka et al. 2017)や可動式高設栽培システムを用いた多植栽培を組み合わせることで12月~翌5月までの収量において、慣行高設栽培(8,000株/10a)の2.5倍の10t/10aの超多収生産を実生産規模レベルで実現した(図-5)(Hidaka et al. 2016)。

局所CO₂施用システム

システム構成:

1. CO₂発生機(写真a)
2. CO₂濃縮ボックス(写真a)
3. 送風機(写真a)
4. 配風パイプ(写真a)
5. 施用チューブ(写真b)

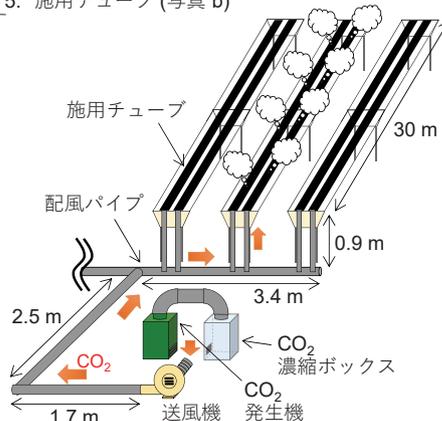
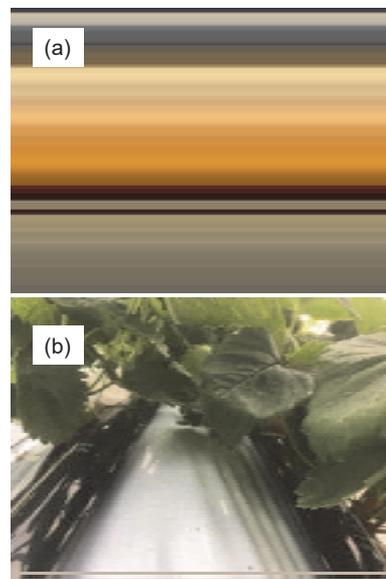


図-6 局所CO₂施用システム



CO₂ 排出抑制を志向した精密環境調節技術の開発

イチゴ生産における現行のCO₂施用では、灯油やLPガスの燃焼により発生させたCO₂ガスをハウス空間全体に施用するのが一般的である。しかし、イチゴは植物体がコンパクトであるためハウス全体への施用は空間的な無駄があると考えられる。また、2021年に農林水産省から策定された「みどりの食料システム戦略」にも掲げられているように、これからのイチゴ生産では、生産力向上とCO₂排出抑制の両立を意識した新たな環境調節技術の開発によるイチゴ生産体系の構築が求められる。

CO₂施用時における無駄の改善を目指して、九州沖縄農業研究センターは局所CO₂施用技術(図-6)を九州大学と共同で開発した(農林水産省「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト(課題番号:19189416,事業主体:農研機構)」の支援で開発)。本施用システムは、燃焼式CO₂発生機、CO₂濃縮ボックス、送風機、塩ビ製

パイプライン、配風チューブ等の資材で構成されており、CO₂発生機から排出されたCO₂ガスをCO₂濃縮ボックスによって約2倍の濃度に濃縮させた後に送風機で回収し、塩ビ製のパイプラインを經由して株元に設置した配風チューブの穴から葉近傍に局所施用する仕様になっている。そこで、開発した局所施用システムの導入が、イチゴ‘恋みのり’の収量やCO₂施用にかかる灯油使用量に及ぼす影響について、慣行施用法であるハウス空間全体への施用と比較検証した。

局所CO₂施用下では、CO₂発生機から濃縮させたCO₂ガスを送風機で強制的にイチゴの葉近傍にハウス奥まで施用するため、長いハウス(84m)でもハウス奥まで均一に葉近傍のCO₂濃度を高濃度化することが可能であった(図-7)。一方、慣行のハウス全体施用では(循環扇は未使用)、ハウス手前の上部にCO₂ガスが留まってハウス奥まではCO₂ガスが届かず低濃度となった。また、ハウス天窓換気条件下においてもイチゴ群落内のCO₂濃度が全体施用に比べて100から200ppm程度高くなることを確認

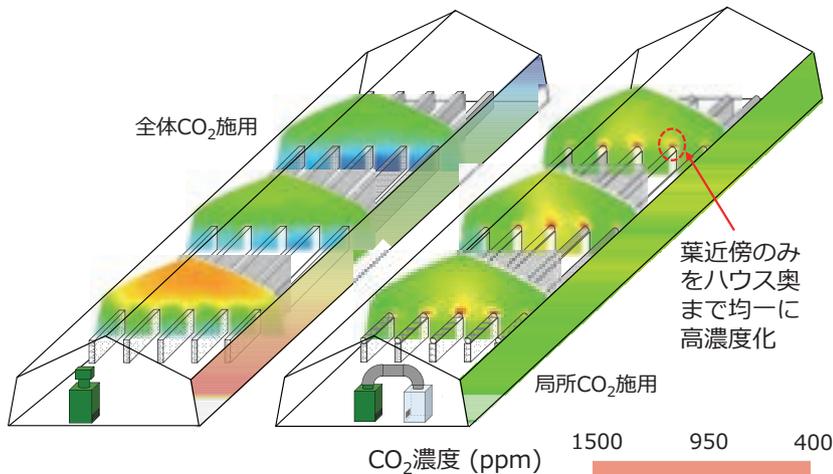


図-7 全体施用および局所施用下でのCO₂濃度分布

されている (Hidaka *et al.* 2022)。以上のようなCO₂濃度分布特性を持つ局所施用および全体施用について、両施用区の施用濃度を800ppmに揃えて栽培試験を実施した結果、CO₂施用による5月までの増収効果は全体施用に比べて局所施用の方が22%高くなった(図-8)。さらに、4月までの一作を通した灯油使用量については、局所施用の方が全体施用に比べて27%の削減効果が確認された(図-9) (Hidaka *et al.* 2022)。現在は、スマート農業実証プロジェクトにおいて、増収・省エネの両立を目指して、当該技術を生産者の現地圃場で実証試験中である。なお、当該システムは安価な農業資材で構成されていることから、生産者による自家施工も可能である。現在、これらの現地実証試験で得られた成果のアウトリーチ活動を積極的に実施しており、現地試験圃場近辺の地域等で普及が進みつつある。また、自家施工を行っている生産者の中には、さらに工夫して一つの局所CO₂施用システムで複数のハウスに施用している事例もある。このように、一般的に1ハウスあたり1台の導入を要する

CO₂発生機を局所施用にすることで、複数ハウスをCO₂発生機1台で施用可能になる点も当該技術のメリットである。

おわりに

以上、イチゴの光合成の環境応答に基づいて複合環境調節技術の制御ロジックを提示し、これに多植栽培を組み合わせることで超多収生産を実生産規模レベルで実証した。また、これらの基礎となる光合成産物の転流動態を初めて可視化することに成功した。現在、さらなる増収を目指して光合成だけでなく転流の促進にも着目した環境調節技術の開発に取り組んでいる。さらに、今後の施設園芸においては脱化石燃料化が求められており、生産現場における持続的なイチゴ生産技術の構築に向けて増収とCO₂排出抑制の両立を目指した環境調節技術の開発に引き続き取り組んでいく予定である。

引用文献

Hidaka, K. *et al.* 2013. Effect of supplemental lighting from different light sources

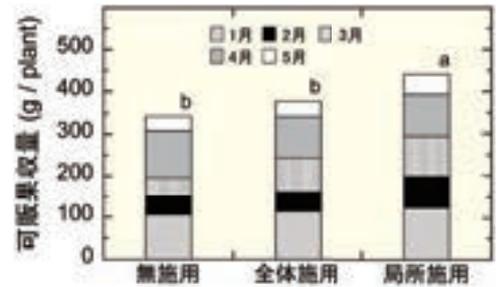


図-8 各CO₂施用条件下における可販果収量

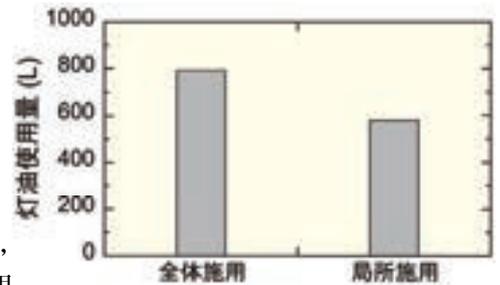


図-9 各CO₂施用条件下における灯油使用量

on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology* 51, 41-47.

Hidaka, K. *et al.* 2016. Twofold increase in strawberry productivity by integration of environmental control and movable beds in a large-scale greenhouse. *Environmental Control in Biology* 54, 79-92.

Hidaka, K. *et al.* 2017. Crown-cooling treatment induces earlier flower bud differentiation of strawberry under high air temperatures. *Environmental Control in Biology* 55, 21-27.

Hidaka, K. *et al.* 2019. Dynamic analysis of photosynthate translocation into strawberry fruits using non-invasive ¹¹C-labeling supported with conventional destructive measurements using ¹³C-labeling. *Frontiers in Plant Science* 9, 1946.

Hidaka, K. *et al.* 2022. Crop-local CO₂ enrichment improves strawberry yield and fuel use efficiency in protected cultivations. *Scientia Horticulturae* 301, 111104.

除草剤耐性てんさいを用いた 新除草体系

道総研北見農業試験場
研究部麦類畑作グループ
池谷 聡

はじめに

2022（令和4）年3月に、除草剤耐性を持つてんさい品種が初めて北海道優良品種に認定され、対象となる新規除草剤も同時期に農業登録された。これらを用いたてんさいの新除草体系は、現状の除草体系を大幅に省力化できる可能性がある。ここでは、まず現状の除草体系の概要を説明した上で、その問題点を示した。さらに、新除草

体系の概要について説明し、その意義と問題点についてまとめた。

1. てんさいの除草体系

てんさいの現状の除草体系は、除草剤処理が中心である。主力の除草剤は、てんさいに適応した選択性を持つ広葉雑草用のフェンメディファム（ベタナール乳剤など）、レナシル・PAC（レナパック水和剤）、メタミトロン（ハーブラックWDGなど）の3剤である（表

-1）。フェンメディファムは茎葉処理剤で、レナシル・PACとメタミトロンは土壌処理効果も併せ持つ茎葉処理剤である（梶山 2009）。なお、それぞれの剤の効果は、雑草種によって異なる。フェンメディファムはシロザへの効果が高く、レナシル・PACはタニソバやイヌタデへの効果が高い。またイガホビユやイヌホオズキの防除にはメタミトロンが不可欠である（石川 2014）。そのため、処理時の殺草スペクトルを拡げるために、生産現場では、

表-1 てんさいの主力広葉雑草用除草剤の特徴

有効成分名	農薬の名称	効果	移植栽培		直播栽培		効果の高い雑草種
			使用時期	10a当たり 使用量	使用時期	10a当たり 使用量	
フェンメディファム	ベタナール乳剤	茎葉処理	活着後 (雑草発生揃期)	500～600mL	本葉2葉展開後 (雑草発生揃期)	500～600mL	シロザ
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生揃期)		
	ビートアップフロアブル	茎葉処理	活着後 (雑草発生揃期)	400～600mL	本葉2葉展開後 (雑草発生揃期)	400～600mL	
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生揃期)		
レナシル・PAC	レナパック水和剤	茎葉処理・ 土壌処理	活着後 (雑草発生始期)	200～300g	本葉2葉展開後 (雑草発生始期)	200g	タニソバ, イヌタデ
メタミトロン	ハーブラックWDG	茎葉処理・ 土壌処理	活着後 (雑草発生始期～発生揃期)	400～600g	本葉2葉展開後 (雑草発生始期～ 発生揃期)	250～350g	イガホビユ, イヌホオズキ
					子葉展開期～ 本葉抽出期 (雑草発生始期～ 発生揃期)		

注1)「令和4年度 北海道 農作物病害虫・雑草防除ガイド」(北海道農政部)に基づいて作成。使用時期「中耕後」の項目は省略した。

2) 効果の高い雑草種は、(石川 2014)から引用。

表-2 てんさい除草体系の問題点

問題点	内容	作業への影響
① 除草剤の残効期間	短く、複数回処理が必要	作業量多、他作物との作業競合
② 除草剤の混用	2～4剤を現地混用	作業が煩雑
③ 直播栽培	出芽直後からの十分な除草剤処理が不可	適期防除が難しく、労力がかさむ

これらの剤を現地混用で用いることが多い。現地混用する場合は、てんさいへの薬害を防ぐために、経験的に薬量を最大使用量の半量とすることが多い。また、イヌビエなどのイネ科雑草の発生が多い圃場では、イネ科雑草用の除草剤も混用されることがある(石川 2014)。

レナシル・PACやメタミトロンは、土壌処理効果を持つものの、その残効期間はそれほど長くなく数週間程度である。そのため、雑草が生え揃う5月下旬から、てんさいの地上部が圃場表面を覆う7月中旬以降までの期間に、数週間ごとに2～3回程度これらの剤を処理する必要がある。また雑草が大きくなりすぎると効果が劣る(北海道農政部 2022)ので、適期処理が必要とされる。

直播栽培においては、子葉展開期から本葉抽出期には薬害による生育遅延等が発生する恐れがあるので、雑草発生が早い場合には、フェンメディファムあるいはメタミトロンを、薬害が発生しにくい通常より低い濃度で処理することになる。本葉2葉期以降は、移植栽培とほぼ同様に主力3剤を処理できるが、メタミトロンについては、薬害が発生しやすいため、使用量が移植栽培よりも低く設定されている(表-1)。

その他に、カルチベーターを使った中耕作業も、除草目的として除草剤処理と組み合わせて行われることが多い。また、残草の量に応じて手取り除草が行われる。

2. てんさいの除草体系の問題点

以上のようなことから、現状の除草体系には、いくつか問題点が存在する(表-2)。**①**主力3剤は残効期間が短く、複数回の処理が必要となり、作業量が多くなる一方で、他作物との作業競合等もあって適期処理が難しい。また、**②**てんさいの除草剤には混合剤も一部存在するものの、除草剤処理作業において、2から4剤が現地混用されることが多く、作業が煩雑となる。混用しても殺草スペクトルは完全ではなく、ツユクサやイチビなどの難防除雑草は残りやすい。さらに、**③**直播栽培では、初期生育量が少なく、出芽直後から十分な除草剤処理ができないので、雑草と競合しやすく、移植栽培より適期処理が難しい。そのため、処理が遅れ気味となり、最終的には手取り除草の回数や時間が移植栽培よりも多くなる傾向があり、労力がかさむ。

もし、現状の除草体系に以下のような改善がなされれば、上記の問題点を解消できると考えられる。**①**除草剤に2か月程度の長さの残効期間があれば、雑草発生期からてんさいの地上部が地面を被覆する7月中旬以降までに、除草剤処理を1回のみで終わらせることができる。また、**②**主力3剤を超える幅広い殺草スペクトルを1剤で実現できれば、除草剤処理作業時に現地混用する必要がなくなる。さらに**③**直播栽培において、てんさいの出

芽直後の処理でも薬害が発生しないような除草体系が実現できればよい。

3. 新品種「KWS 8K879」を用いた新除草体系について

2022(令和4)年3月に、てんさい「KWS 8K879」が北海道優良品種に認定された。この品種は除草効果の極めて高い新規除草剤に耐性を持つ。この除草剤耐性品種と新規剤を組み合わせた除草体系は、現状の除草体系の問題点を解消できる可能性があると考えられる。以下は、この新除草体系について説明する。

(1) 「KWS 8K879」の育成経過と対象除草剤について

「KWS 8K879」は、ドイツのKWS種子株式会社(以下KWS)が育成し、日本甜菜製糖株式会社(以下日甜)が輸入したてんさい品種で、ドイツのバイエルクロップサイエンス株式会社(以下バイエル)が開発した新ALS(アセト乳酸合成酵素)阻害型除草剤「チエンカルバゾンメチル・ホラムスルフロン水和剤(農薬名:コンビソ OD)」(以下コンビソ OD)に耐性を持つ。

除草剤「コンビソ OD」の有効成分のうち「ホラムスルフロン」は主に茎葉処理効果を持ち、「チエンカルバゾンメチル」は茎葉処理効果と土壌処理効果を併せ持つ。この2成分を混合することにより、ヨーロッパで行われた試験では、「コンビソ OD」はす

表-3 新除草体系の実証試験結果^{1),2)}

試験地	系統, 品種名	処理区 ⁵⁾	除草剤 処理 回数	残草量 ⁶⁾		手取除草 時間 (分/10m ²)	無除草区の 主な雑草種	収量 ⁷⁾	
				残草重量 (kg/m ²)	無除草 区比(%)			糖量 (kg/10a)	糖量慣行 除草体系比 (%)
A市	KWS 8K879	「コンビソOD」区 ³⁾	1回	0	0	0		-	-
	カーベ2K314	慣行区 ⁴⁾	3回	0.57	16	25	イネ科, シロザ, タデ科, イヌガラン, イヌホオズキ	-	-
		無除草区	なし	3.63	100	なし		-	-
B市	KWS 8K879	「コンビソOD」区 ³⁾	1回	0	0	0	イネ科, シロザ, タデ科, スカシタゴボウ, イヌホオ ズキ	842	97
	カーベ2K314	慣行区 ⁴⁾	3回	0.05	1	10		867	100
		無除草区	なし	6.03	100	なし		-	-
北見農試	KWS 8K879	「コンビソOD」区 ³⁾	1回	0	0	0	イネ科, シロザ, タデ科, ハコベ, スカシタゴボウ, イヌホオズキ, イガホビユ	1,099	90
	カーベ2K314	慣行区 ⁴⁾	2回	0.03	1	4		1,217	100
		無除草区	なし	2.69	100	なし		195	16

注1) 令和3年実施。直播栽培3反復乱塊法。カルチ無施工。A市, B市は日甜の普及見込み地域の雑草多発生圃場。北見農試を含めて雑草の種子を播種し試験。

注2) 播種期は, 5月上旬から中旬。収穫期は9月中旬から10月上旬。

注3) 「コンビソOD」区の除草剤使用量: 100ml/10a 水量50L/10a。

注4) 慣行区の除草剤使用量: A市, B市 1回目 フェンメディファム+メタミトロン+クレトジム (10a当たり300mL+200g+75mL 水量80L) 2,3回目 フェンメディファム+メタミトロン+レナシルPAC (10a当たり300mL+200g+150g 水量80L)。北見農試 1回目 フェンメディファム+レナシルPAC+キザロホップエチル (10a当たり300mL+150g+200mL 水量100L) 2回目 フェンメディファム+メタミトロン+セトキシジム (10a当たり300mL+300g+150mL 水量100L) (フェンメディファムはすべてベタナール乳剤)

注5) 除草剤処理時期は, 「コンビソOD」および慣行1回目が5月下旬から6月初め(てんさい本葉2葉期), 2回目が6月下旬, 3回目が7月上旬。

注6) 残草調査は, 7月下旬。また, 慣行除草体系の残草重量は, 残草調査前後に4回行った手取り除草時の合計。

注7) A市は苗立ち枯れ病が多発し, 欠株が多かったため, 収量データは省略した。

すべてのイネ科と広葉の雑草種に極めて高い除草効果を持つことが示された(Hain and Holtschulte 2014)。なお「コンビソOD」は, 本邦では令和4年3月に, 同剤耐性てんさいを対象に農業登録された。

また, 「KWS 8K879」の除草剤耐性は, 遺伝子組換えではなく, 細胞培養技術によって作出されたもので, バイエルとKWSの共同研究によって開発された。育成方法は, 以下の通りである(Hain and Holtschulte 2014)。まず, てんさい植物体の組織から, 脱分化した細胞を誘導し, 対象除草剤の有効成分を含んだ培地で培養する。すると, 極めて低い確率ではあるものの, 除草剤に耐性を持つ細胞が選抜される。その細胞から植物体を再生させると, 除草剤耐性遺伝子を持ったてんさいが得られる。この間の過程が細胞培

養技術である。今回のALS阻害型除草剤耐性てんさいの場合は, 約15億個の細胞から1細胞が選抜された。

このようにして作出されたてんさいのALS阻害型除草剤耐性遺伝子は, てんさいのALS遺伝子が自然突然変異を起こしたものである。ALS遺伝子は, 必須アミノ酸であるロイシンやバリン等の分岐鎖アミノ酸の元となるアセト乳酸を合成するALS酵素をコードしており, ALS阻害型除草剤は, その有効成分がこのALS酵素に結合して酵素機能を阻害することによって機能している。しかし, ALS遺伝子塩基配列の一部が変化することで, ALS酵素が, 除草剤の有効成分が結合できない形状に変化し, その結果, 除草剤耐性を獲得する。この突然変異は, ALS遺伝子塩基配列のうち1か所のみで生じており, その他はも

もとの塩基配列と同じである。

このようにして得られたALS阻害型除草剤耐性遺伝子を, 農業形質の優れた親系統に, 一般的な育種方法である戻し交配育種によって導入していくことで, 「KWS 8K879」が育成された。

海外では, 除草剤耐性てんさいとして, 「グリホサート(農薬名「ラウンドアップ」)耐性てんさいが広く栽培されている。これは, 細菌由来の「グリホサート」耐性遺伝子を導入した遺伝子組み換え作物である(OECD Environment Directorate 1999)。現在, 遺伝子組み換え作物は, 農林水産省等において, 「カルタヘナ法」等に基づき生物多様性への影響や食品としての安全性等を評価した上で, 問題のないものが承認され, 国段階では一般栽培可能となる(農林水産省2022)。さらに, 北海道で観賞用等以外の遺伝



「コンビソ OD」区 (除草剤 1 回処理 品種「KWS8K879」)



慣行区 (除草剤 3 回処理 品種「カーベ 2K314」)



無除草区 (品種「カーベ 2K314」)

図-1 実証試験圃場の様子 (A 市 令和 3 年 7 月 12 日)

子組み換え作物を一般栽培するためには、国での承認後に、「北海道遺伝子組み換え作物の栽培等による交雑等の防止に関する条例」(北海道 2005(第 4 次改正 (2022))) に基づいた知事の許可が必要となる。また許可申請に当たっては、交雑混入防止処置等の提出と栽培内容の説明会が必要とされ、知事の許可に当たっては、北海道食の安全・安心委員会の意見聴取が必要とされている。一方で、「KWS 8K879」のような細胞培養技術を用いて育成された品種は、一般栽培する上で、遺伝子組み換え作物のような法律上の規定はなく、一般的な交雑育種法で育成された作物と同様に栽培できる。

(2) 北海道における新除草体系の実証試験

「コンビソ OD」は、上述のような優れた除草効果が海外で示されているが、その他に、これまでの国内での除草剤試験の知見から、土壌処理効果の残効が極めて長く、処理条件さえ良好であれば、1 回処理のみで十分な効果を上げることが可能になると推測された。そこで、「コンビソ OD」の優れた除草効果と長い残効期間を実証するために、全道 3 カ所の雑草多発圃場において、移植栽培よりも雑草管理の難しい直播栽培で、新除草体系での残草および手取り除草時間を調査した。「コンビソ OD」の処理回数は 1 回と

し、処理時期および使用量は、植物調節剤協会 (以下植調) の除草剤試験において最も効果が安定していた、広葉雑草 1, 2 葉期 (てんさい本葉 2 葉期) および 10a あたり薬量 100mL 水量 50L とした。また土壌の乾燥条件での処理を避けた (「コンビソ OD」区)。さらに比較として、現状の除草体系についても同様に調査した。試験区の条件 (薬剤の組み合わせや使用量、処理回数等) は、それぞれの地域での慣行法とし、品種は、日甜の主力品種である「カーベ 2K314」とした (慣行区)。その他に除草剤処理を行わない無除草区を設けた。残草調査は、てんさいの地上部が地面を覆う 7 月下旬に行った。

結果を表-3、試験地の 1 つである A 市圃場での 7 月中旬の様子を図-1 に示す。各試験地の無除草区では、イヌビエ等のイネ科雑草、シロザ、タデ類、スカシタゴボウ、イヌホオズキ、ハコベ、イガホビユ等の広葉雑草が 1 m²あたり約 2.6kg~6kg 発生した。「コンビソ OD」区では、すべての試験地で 7 月下旬の残草調査において残草は認められず、その後の手取り除草も必要なかった。一方、慣行区では、除草剤を 2~3 回処理した後でも 1m²あたり約 30g~570g の残草が認められ、手取り除草もすべての試験地で必要であった。このように、「コンビソ OD」は高い除草効果を持つだけでなく、7 月下旬までの約 2 か月の長い残

効期間を持ち、1 回処理のみで十分な効果を上げることが実証された。なお、「KWS 8K879」に対する「コンビソ OD」の葉害は、確認されなかった。

(3) 「KWS 8K879」を用いた新除草体系の意義

上記の実証試験のように、「KWS 8K879」を用いた新除草体系は、「コンビソ OD」の高い除草効果と長い残効期間により、1 回処理のみで十分な効果を上げることが可能であることが示された。そのため、現状の除草体系のような複数回の処理が不要となる。その上に、雑草が多発する圃場においても、手取り除草を省略できる可能性が高い。また、植調の除草剤試験では、直播栽培のてんさい子葉展開直後処理で葉害発生が観察しないことが確認されており、本剤の直播栽培での使用時期は、「(てんさい) 子葉期以降」で登録されている (表-4)。そのため、直播栽培においても子葉展開直後から通常の濃度で処理することが可能で、現状の除草体系における直播栽培での問題点が解消される。さらに、この除草剤のみで十分な殺草スペクトルを持つことから、現地混用の煩雑さも省くことができる。その上に、ツククサやイチビのような難防除雑草についても、日甜などの知見では十分な効果が得られている。これらのことから、「KWS 8K879」を用いた新除草体系を導入

表-4 「コンビソ OD」の適用表

作物名	適用雑草名	使用時期	薬量	希釈水量	本剤の使用回数	使用方法	チエンカルバ	ホラムスルフ
							ゾンメチルを 含む農薬の総 使用回数	ロンを含む農 薬の総使用回 数
てんさい (ALS阻害剤耐性) (移植栽培)	1年生雑草	移植後 (雑草発生始期～ 広葉雑草4葉期) ただし、収穫90日前まで	50～100mL/10a	50L/10a	1回	雑草茎葉散布 または 全面散布	1回	1回
てんさい (ALS阻害剤耐性) (直播栽培)	1年生雑草	子葉期以降 (雑草発生始期～ 広葉雑草4葉期) ただし、収穫90日前まで	50～100mL/10a	50L/10a	1回	雑草茎葉散布 または 全面散布	1回	1回

注)「農薬登録情報提供システム」(農林水産省) (<https://pesticide.maff.go.jp/agricultural-chemicals/details/24624>) より作成

表-5 「KWS 8K879」の収量性

品種名	根重 (t/10a)	根中糖分 (%)	糖量 (kg/10a)	「カーベ2K314」対比(%)		
				根重	根中糖分	糖量
KWS 8K879	6.85	15.98	1,095	88	99	87
カーベ2K314	7.80	16.14	1,260	100	100	100

注1) 全北海道の3か年(平成30年～令和2年)、延べ14か所平均。

注2) 除草作業は現状の除草体系。

することによって、現状の除草体系を大幅に省力化できる可能性があると考えられる。直播栽培は、育苗や移植作業が不必要で大幅な省力化となるため、近年増加してきているが、除草作業においては、移植栽培よりも労力がかさむ傾向にある。そのため、新除草体系は、特に直播栽培で有意義であると考えられる。

(4) 問題点

以上のように、「KWS 8K879」と「コンビソ OD」による新除草体系は、除草作業を大幅に省力化できるが、現状では「KWS 8K879」の収量性に問題を抱えている。全道で行われた現状の除草体系における収量試験では、「カーベ2K314」よりも糖量が13%低かった(表-5)。しかし、3-(2)の表-3にあげた、直播栽培の雑草多発圃場における実証試験の収量調査では、慣行区の「カーベ2K314」との糖量差が、北見農試では10%、さらに雑草量の

多いB市では3%に縮小していた。また、この実証試験に基づいた経済性試算では、北見農試の雑草発生レベル以上の直播栽培圃場であれば、収穫物1tあたりの「KWS 8K879」の生産費が、慣行区の「カーベ2K314」の同水準以下となった(データ省略)。このように、「KWS 8K879」は収量性が低いものの、雑草の発生量がある程度多い直播栽培圃場であれば、十分な導入効果があると考えられる。そのため、新除草体系の普及にあたっては、雑草が多発して管理が困難な直播栽培地域を中心に導入されていく見込みである。今後は、除草剤耐性てんさいの品種改良が収量面でも進んでいくと考えられるので、収量の問題は徐々に改善されていき、それに伴って導入が可能となる場面も増えてくると予想される。

「コンビソ OD」が属するALS阻害型除草剤では、抵抗性雑草が発生しやすいことが知られている。北海道の畑作では、ALS阻害型除草剤は種類

が少なく、抵抗性雑草もほとんど知られていないが、稲作では、イヌホタルイ、コナギなどいくつかの抵抗性雑草の発生が問題となっている(内田・岩上2014)。稲作で抵抗性雑草が問題となっている原因として、水稲は連作されるため、ALS阻害型除草剤が同一圃場に毎年処理されることによって、発生した抵抗性雑草が残りやすいと推測される。しかし畑作では、稲作のように連作が行われることは少なく、小麦、てんさい、ばれいしょの3輪作か、これに豆類を加えた4輪作が基本的に行われている。そのため、もしもてんさいの「コンビソ OD」処理で抵抗性雑草が発生したとしても、その他の輪作物での別成分の除草剤の処理によって、抵抗性雑草が淘汰される可能性が高いと考えられる。このように稲作よりも耐性雑草のリスクは低いと考えられるものの、できる限り発生を抑えなければならないので、「コンビソ OD」の使用回数は、1回に制

限されている（表-4）。今後長く効果を保ちながら、新除草体系を使用していくためには、この使用回数を厳守することが重要である。

その他に、「コンビソ OD」には、使用上でいくつか注意点がある。まず、土壌処理効果が大きいのが、土壌が乾燥している状態で処理すると、上記のような高い除草効果を発揮できない。また、雑草の葉齢が進んだ条件で処理しても（特にシロザ 5 葉期以降）、残草が目立つようになる。そのため、使用時期は、広葉雑草 4 葉期までとなっている（表-4）。さらに、除草剤耐性を持っていない一般のてんさい品種には薬害が強く、少量でも薬液が付着すると、枯死する。また、日甜による試験では、他の作物に対しても、薬液の飛散で激しい薬害が発生することが確認されている。そのため、処理時にはドリフトに十分に注意する必要がある。

まとめ

除草剤耐性てんさいと「コンビソ OD」を用いた新除草体系は、現状の

てんさい除草体系の問題点を解消し、除草作業を大幅に省力化できる可能性がある。一方で、「コンビソ OD」は、使用する上で多くの注意点があり、特定の品種と除草剤を必ず組み合わせる使用するという、今までにない体系であることから、除草剤の販売も含めて、慎重に少しずつ普及されていく見込みである。

北海道の畑作は、ますます効率化が求められていく。そのような中で、今後この新体系が必要とされる機会も増えていくと考えられるので、これまでにない高い効果を十分に生かしながら、末長く北海道農業へ貢献していくことを期待している。

引用文献

- 石川枝津子 2014. 十勝地域のテンサイ栽培における雑草管理. てん菜研究会報 55, 9-15.
- Hain, R. and B. Holtschulte 2014. Novel weed control system in herbicide tolerant sugar beet. Workshop “Herbicide Tolerant Varieties”, European Weed Research Society.
- 北海道 2005 (第 4 次改正 (2022)). 北海道遺伝子組み換え作物の栽培等による交雑

等の防止に関する条例.

北海道農政部 2022. 令和 4 年度 北海道農作物病害虫・雑草防除ガイド.

梶山努 2009. 主要作物別の雑草防除法 てん菜, 柳沢朗・古原洋・越智弘明監修, 北海道の耕地雑草. ニューカントリー 2009 秋季臨時増刊号. 北海道協同組合通信社, 札幌市 136-143.

農林水産省 2022. カルタヘナ法とは, 農林水産省ホームページ. (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/about/index.html>)

農林水産省 2022. コンビソ OD, 農薬登録情報提供システム.

(<https://pesticide.maff.go.jp/agricultural-chemicals/details/24624>)

OECD Environment Directorate 1999. Consensus document on general information concerning the genes and their enzymes that confer tolerance to glyphosate herbicide, Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No.10.

内野彰・岩上哲史 2014. 水田雑草におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性の出現とその生態. 日本農薬学会誌 39 (1), 58-62.

ペナン島とMARDI稲研究所

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問

渡邊 寛明

はじめに

長期在外研究で渡航した1992年8月からアロースターでの単身生活をしていましたが、翌年の4月に家族が来てからはペナン島とアロースターの行き来が始まった。MARDIセブランプライ稲研究所のあるペナン州は日曜日が休み、MADAのあるケダ州は金曜日が休みだったので、MADAの熱研チーム長とも相談して、火曜日から木曜日はアロースター、金曜日から月曜日はペナン島で過ごすことにした。今回はペナン島での生活とその対岸のカパラバタスにあるMARDI稲研究所での調査研究について書こうと思う。

ペナン島からの通勤

半島マレーシアの西側マラッカ海峡に面した港町バターワースから数km沖合にある東西12km、南北24kmの亀の甲羅の形をした島がペナン島である。ペナン州はこのペナン島と対岸のセブランプライの2郡から成る(図-1)。州都はペナン島北東部のジョージタウン。イギリス東インド会



図-1 当時のペナン州とMARDI稲研究所や各機関の所在地

社の交易拠点として整備され、イギリス植民地時代の建物が現在も数多く残っている。ペナン島と半島側との交通はフェリーポートとペナンブリッジ(現在は2本あるが、当時は1本しかなかった)がある。通勤ではどちらも利用したが、遠回りとなるペナンブリッジよりも運転距離が短いフェリーポート利用の方が少し多かったと思う。フェリー乗り場はいつも混んでいた。10~15分ほど待って乗船し、15~20分ほどで対岸のバターワースに着く。早朝のフェリーポート上で海風を受けながら眺める古都ジョージタウンの景色は幻想的であった(図-2)。船を降りると車で40分ほど走ればカパラバタスのMARDIに着く。まだ暗い午前6時にジョージタウンにあるコンドミニウム(セキュリティ完備のマンション)を出発して、MARDIに到着するのは7時半頃になる。午前8時から12時半までが午前の勤務、14時から午後の勤務だが外は暑いので室内でのパソコン作業か誰かと喋って過ごすことが多かった。東京とペナンとでは経度が約40度違う。時差がなければ日本よりも2時間半ほど遅く夜明けを迎えるところを、マレーシアと日本との時差は1時間と短い。そのため、MARDIの始業時刻(午前8時)は日本だと6時半~7時の薄暗さだ。まだ涼しいうちに仕事を始めて外での仕事は午前中に終わる、そのような勤務時間の設定になっていた。一方で、夕方仕事が終わってから日が沈むまでがずいぶん長い。1時間半かけて帰宅してもまだ太陽は高く、それから日が沈むまでたっぷり時間があつた。学校から帰ってきた子供たちとリゾートホテルのプールに出かけたりしたが、3年目にプール付きのコンドミニウムに引っ越してからは、ほぼ毎夕そこで時間を過ごした。仕事が終わって



図-2 フェリーポートから眺めるジョージタウン
左端の船は運航中の他のフェリーポートで、その先には60階建てのコムタビルが見える



図-3 MARDI でのイネ科雑草の動態試験と Sobri 君



図-4 乾田直播水田で多発するタイワンアイアシ

から家族と余暇を過ごすという経験を始めて味わった。

MARDI で引き継いだイネ科雑草の試験

前任の伊藤一幸さんの主な研究テーマは水田のイネ科雑草の生態だった。MARDI で種子の動態を調べる試験を設計され、カウンターパートの雑草研究者 Azmi Man さんとアシスタントの Sobri Hassan 君 (図-3) が調査を継続されていた。対象雑草はイヌビエ、ヒメタイヌビエ、タイヌビエに加えて乾田直播栽培で特に発生が多いとされるタイワンアイアシ (*Ischaemum rugosum* Salisb.) (図-4) の4草種である。0.25 m² (50cm×50cm, 深さ 50cm) のステンレス製の枠に水田耕土を詰め、その表層 10cm に各草種の種子を 1 万粒混和し、

その後水稲栽培を繰り返しながら雑草の出芽数を調査するという試験である。埋土種子の発芽や生存・死滅には土壤水分条件の影響も大きいと考えられたので、3種類の水管理条件 (通年湛水, 通年落水, 水稲栽培期間のみ湛水) を設けてその違いも含めて検討することになっていた。出芽個体は全て最初に土壌混和した種子からのもので、調査時に抜き取るので新たな種子生産は無い。イヌビエとヒメタイヌビエの試験は 1990 年第 1 作から、タイヌビエとタイワンアイアシの試験は 1991 年第 2 作から始まり、いずれも 3 年間 (二期作なので 6 シーズン) にわたり調査を継続した。

出芽数調査の結果から各草種の水稲 1 作期あたりの総出芽数を求め、種子埋設後の作期経過にもなう推移を示した

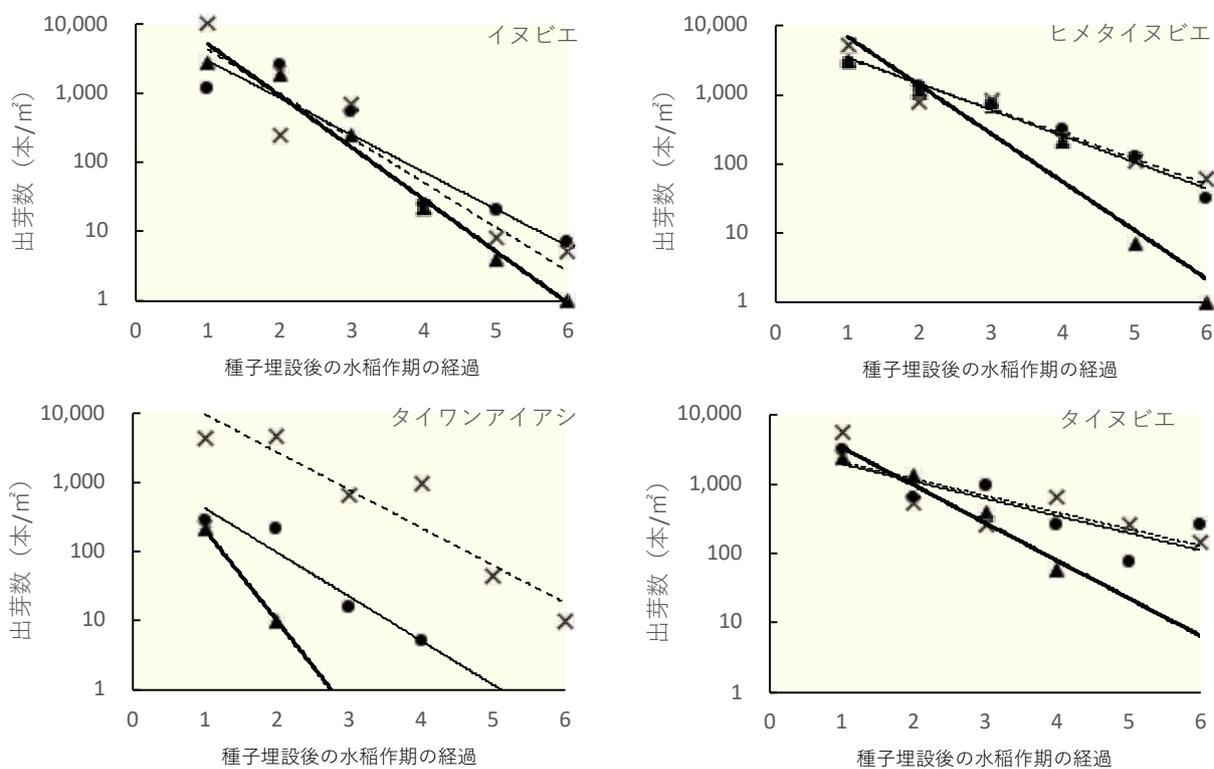


図-5 一年生イネ科雑草における種子埋設後の作期あたり総出芽数の経過 (Watanabe et al. 1996 より)
 × 通年落水 ● 水稲作付期間中のみ湛水 ▲ 通年湛水



図-6 中華レストランで行本峰子さんを囲んで
左端から Chan さん、和田節さん、Chen さん、中央に行本峰子さん、
右端からは岡本正弘さん、著者、Yap さん、

のが図-5である。いずれの草種も種子埋設直後の作付けあるいは2作目の出芽が最も多く、その後のシーズンでは総出芽数は減少していった。水管理との関係では、どれも通年湛水条件で総出芽数の減少程度が大きいことが分かる。特にタイワンアイアシではこの傾向が顕著で、通年湛水区では3シーズン目以降は全く出芽しなかった。なお、このグラフでは縦軸を対数目盛にしているの、どの草種も水稲作期の経過にともなう総出芽数の減少は指数関数で近似されること、すなわち作期を経る毎にほぼ一定の割合で総出芽数が減少していることがわかる。日本で実施していた農業研究センターでのイヌホタルイの研究でも、新たな種子生産がなければ埋土種子数（土中の生存種子数）は毎年30%程度ずつ減少する（前年の埋土種子数の約7割が次作まで生き残る）ことを確認していた（渡辺ら1991）。MARDIでの試験でみられた一年生イネ科雑草の総出芽数の減少も、発芽や死滅による埋土種子数の減少を反映したものと考えることができる。なお、試験終了時（6シーズン経過後）に土壤中で生存していた埋土種子数を調べたところ、タイヌビエとヒメタイヌビエで当初埋設数の僅か3%ほどが生存していたが、イヌビエとタイワンアイアシの埋土種子はほとんど残っていなかった。ここでの経験は帰国後に東北農業試験場で取り組んだタイヌビエの動態研究を進めるのに役立った。

カパラバタスの町で

MRDI 稲研究所には数名の中国系研究者がおられた。水稲育種の Chen Yok Hwa さん、虫害の Chan Poon Min さん、統計の Yap Beng Ho さん、作物生理の Tay Chan Yong さんである。育種の Chen さんは当時マレーシア全域で普及していた水稲品種 MR-84 の育成者である。若い時から日本人の育種研究者、特に橘高さんには多くを教わったといつも話しておられた。言葉を飾ることがなく、我々にも辛辣な言い方で注意する気の良い親爺さんである。他の皆さんもそれぞ



図-7 小原裕三さん（左）と著者（右）ジェライ山にて

れの分野の第一人者だ。Chan さんと Tay さんには英語の添削をお願いすることが多かった。Tay さんは物静かで皮肉を込めた物言いが特徴だった。英語の添削は丁寧で、1995年に日本で開催された第15回 APWSS（つくば）のシンポジウムで雑草イネについて話題提供した時には要旨作成で大変お世話になった。Yap さんはいろいろお得情報を持っておられ、ペナン島で家族が運転していた自家用車は Yap さんの仲介で購入したものである。帰国時にその車を売却するときも彼のお世話で高く売れ、なんだか得をした気分になった。

MARDIでの毎日の楽しみは彼ら中国系研究者たちとのカパラバタス町に出た昼食だった。お気に入りのレストランは2軒あり、どちらも道路側に仕切りがないオープンな古い店だが、それぞれニューショップ、オールドショップと呼んでいた。中華料理の注文は、具材（野菜、肉、魚の種類）、調理方法（焼く、揚げる、炒める、煮る、蒸す）、味付け（醤油、魚醤、ブラチャンやサンバルなどの辛味調味料、甘酢餡、香辛料）の組合せで行う。時々、Chen さんに「今日はお前が注文してみろ」と言われ、野菜炒めや魚のから揚げなど5~6人だと4皿程度を注文する。皆が気に入る料理だったら”クレバー オーダー”だったと褒められる。中国系の人たちは皆お喋りで、噂話などで昼休みのひと時を過ごす。ニューショップのフィッシュカレーや海老入りスチームエッグ、オールドショップの鳥の辛子炒めや炒飯は私のお気に入りになった。一人で行った時には中華丼のようなものも作ってくれた。休みの日にペナンから家族を連れて来てニューショップで食事をしたことがある。ご主人が調理をする様子を妻がジッと見ていた。その視線を背中に感じたのか、親爺さんは時々振り返りながら頑張って中華鍋を振っていた。日本に帰国後、妻がおいしい中華を作ってくれるようになったのはニューショップの親爺さんのおかげも大きい。

短期専門家の道案内

TARC の長期在外研究員は、短期専門家が当地に派遣された際にその研究遂行が滞りなく進むよう、関係機関や研究者との連絡調整や調査圃場への道案内といった補助的な役割も担っていた。私の赴任期間中に来られた短期専門家には、雑草ヒエを食害するメイガ類の調査に来られた安田耕司さん、MARDI の農薬分析装置の整備と分析指導に来られた行本峰子さん (図-6)、水田に散布された除草剤の環境中の挙動を調べに来られた小原裕三さん (図-7)、アレロパシー活性植物の探索調査に来られた藤井義晴さん、雑草イネの遺伝変異の調査に来られた Duncan Vaughan さんなどがおられた。

行本さんはジョージタウンのホテルに宿泊されていた。MARDI からの帰途、USM (マレーシア科学大学) に寄るためにペナンブリッジのちょうど中間あたりを走っていた時だった。すぐ前を走っていたトラックが跳ね飛ばした小石がフロントガラスに当たったのか、突然ガラス全面にひびが入り何も見えなくなった。慌ててガラスをたたき破り視界を確保した。雨も降っていたので、助手席の行本さんには運転席との間から後部座席に移動してもらった。路肩が殆ど無いペナンブリッジの上、車は猛スピードで走っており、ペナン島に渡りきるまでは止まることはできなかった。初めての経験で私はずいぶん慌てた。行本さんも危険を感じられたと思うが、あまり動じておられない様子で、むしろ私の手の傷を心配されていた。

MARDI からフェリーボートでペナン島に帰る時は、カバラバタスから国道 1 号線を車で南下してバターワースに向

かう。その途中にマレーシアの空軍基地があるが、その正面、国道沿いにテントを張った屋台のマレー料理がとても美味しい。短期で来られていた小原さんをその店に案内したことがある。マレー料理は、まずお皿にご飯をよそってもらい、その上に食べたいおかず (カレーや魚、鳥肉、野菜の揚げ物、焼物、煮物など) を乗せていく。その店にも美味しそうなおかずがたくさんあったが、普通は 3 品程度を乗せてお金を払う。小原さんと私のお皿にはいろんなおかずでご飯の上に山盛り乗っかっている。「もっといろいろ食べたいのにもうこれ以上は乗らない」と二人で悔しがった。

現在は東京農業大学国際食料情報学部の教授として教鞭をとっておられる宮浦理恵先生は、当時はまだ京都大学の博士課程の学生だった。京都大学の山末祐二先生から「学生が一人東南アジアに調査旅行に行くので、近くに行ったらよろしく」と依頼され、雑草採取のための道案内兼運転手をしたことがある。気になる雑草を見つけたら藪の中でもどんどん入っていくので、コブラに出会わないか心配しながら後を追いかけたことを思い出す。東アジアと東南アジアでみられるオヒシバの種内変異を論文に纏められたが、私が案内したジェライ山の山頂 (ケダピーク) で採取したオヒシバもその研究材料の一つになったようだ。

参考文献

- 渡辺寛明ら 1991. 水田土壌中におけるイヌホタルイ種子の生存状態と発生. 雑草研究 36(4), 362-371.
- Watanabe, H. *et al.* 1996. Ecology of major weeds and their control in direct seeding rice culture of Malaysia.

植物の記憶 (1)

短期記憶と長期記憶

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問

與語 靖洋

還暦を過ぎたころから、老人ボケを頓(とみ)に感じる。具体的には物覚えの悪さと記憶力の低下であるが、教科書や参考書を何冊も丸ごと暗記して大学受験に臨んだころにはもう戻れない。また、頭の回転速度の鈍化も加速度的に進み、頭の中に浮かんだことをメモするのに鉛筆が追いつかないことももうないであろう。

さて、「植物はそこまで知っている—感覚に満ちた世界に生きる植物たち—」と題した訳本を見つけた。原題は「What a Plant Knows - A Field Guide to The Senses (of Your Garden - and Beyond) ^(注1)」でDaniel Chamovitz氏の2012年の著作である。括弧内も含めて直訳すれば「植物が知っていること—あなたの庭に生える植物が持つ感覚の観察ガイドとその先—」であろうか。この本は、植物の持つ五感、といっても味覚はなく、代わりに位置感覚を入れ、それに記憶を加えて章立てされている。この本では植物の性質を安易に擬人化することを避けつつも、植物の持つ外部刺激に対する反応について理解しやすくすることを目的にヒトの感覚の用語を利用してあり、100報を超える原著論文や総説等をベースに執筆されたものである。

この本の6章のタイトルに、“植物は憶えている (What a Plant Remembers)”とある。その言葉通り、ここでは植物の“記憶”について書かれている。Chamovitz氏は、記憶を3つに分類して、植物には最下層の“手続き記憶”のみが存在するとしている。つまり、植物はヒトが持っている固有名詞や言葉の意味等の知識に関する“意味記憶”や、自分やその周辺に起こったまたはニュースなどで知った過去の出来事に関する“エピソード記憶”を持っていない。今回は、この植物が持つ手続き記憶について、短期と長期に分けて主に紹介する。

1. 短期記憶

(1) 捕虫葉 (insectivorous leaf)

最も短い短期記憶として、モウセンゴケ科の食虫植物ハエトリグサ (*Dionaea muscipula*, 別名: ハエトリソウ, ハエジゴク) が捕虫葉を閉じる反応 (閉合運動) がある (須

田ら 2021)。この2枚貝の貝殻のような捕虫葉の2つの列片の内側の中ほどにそれぞれ3本の感覚毛がある。その感覚毛の1つに虫が1回接触しただけでは葉は閉じないが、連続する2回目以降の接触で葉が閉じる。しかし、1回目と2回目の間隔が約30秒空くと葉は閉じない、すなわちこの植物は1分未満の短時間しか虫の接触という刺激を記憶できないことになる。またこの閉合運動には刺激の強さも重要で、そのカギを握るのがカルシウム (Ca) イオンである。Caイオン濃度が一定以上に達するとバネが作動して葉が閉じる。すなわち1回目の刺激だけではCaイオン濃度が不十分で、2回目の刺激を合わせることで閉合運動を作動させる濃度レベルに達する。一方、刺激の間隔が空くと葉が閉じないのは、1回目の刺激で上昇したCaイオン濃度が急速に低下し、2回目の刺激によってその濃度が増加しても作動させるレベルにまで達しないためと考えられている。また、この閉合運動は、接触の刺激を電流に置き換えて、累積電荷が一定以上に達しても起こる。おもしろいことに、ヒトの神経細胞におけるイオンチャンネルのカリウム (K) イオン通過阻害剤 (テトラエチルアンモニウムクロリド, バリウム, 亜鉛) を、ハエトリグサを育てているポットにあらかじめ土壌処理しておく、その後刺激しても葉は閉じない。また2,4-ジニトロフェノール (DNP) やペンタクロロフェノール (PCP) 等の脱共役剤 ^(注2) の土壌処理はさらに強力に作用する (Volkov *et al.* 2007)。

ハエトリグサの捕虫葉はその後捉えた虫がもがくことでさらに刺激を受けて、狭窄運動で虫を絞めつけるとともに、消化酵素を分泌して、溶け出した栄養素を吸収する。

ちなみに指で触ると葉を閉じるオジギソウ (*Mimosa pudica*) においても、ハエトリグサと同様にイオンの流入や流出によって膨圧が変化するモデルが提唱されている。

(2) 巻きひげ (tendrils)

次につる性植物の特徴である巻きひげの反応である。マメ科植物のエンドウ (*Pisum sativum*) の巻きひげは、明条件で障害物に接触するとすぐに巻きつくが、暗条件ではこの反応が起らない。しかし、暗条件でも接触したことは1~2時間記憶しており、後で光を当てるとその時に障害物がなくてもすぐ巻きつき始める (Jaffe 1977)。つまり、巻きひげが巻きつくための回転運動には、接触刺激とともに光が必要である。さて、雑草にもマメ科 (カラスノエンドウ) 以外に、ウリ科 (アレチウリ) やブドウ科 (ヤブガラシ) 等があり、このような巻きひげの反応は雑草害を甚大にする要因の一つとなっている。

2. 長期記憶

(1) 頂芽優勢 (apical dominance)

頂芽が優先的に成長する一方、側芽の成長が抑制される現象のことを“頂芽優勢”といい、ほとんどの植物がこの性質を有している。アマ (*Linum usitatissimum*) の子葉から出る最初の頂芽を切除すると側芽が2つ出る。そこで、一方の子葉を除去した後で頂芽を除去したところ、残った子葉側の側芽しか出ない。熱帯アメリカ原産のキク科・一年生雑草であるコセンダングサ (*Bidens pilosa*) も同様で、片方の子葉を傷つけるだけでも、その後頂芽を除去すると、もう片方の子葉側の側芽しか育たない。この子葉を傷つけられたことを記憶している時間は、2週間程度である。逆に片方の子葉に針を刺して数分後に子葉を2つとも除去してから頂芽を除去しても、同様の反応が起こる。このことから子葉から芽への情報は思いの外早く伝わるようである (Thelliera *et al.* 2000)。図-1はその反応を模式化したものである。植物は、子葉の切除や傷つけ等の非対称処理の信号を“検知”して、本来対称に出芽する側芽に対して、子葉が元気な側の側芽を優先的に成長させるよう“記憶の格納”をする。このことを“対称性の破れ”という。非対称処理は、その“記憶の呼び起こし”にも関与して、片方の側芽だけが芽生えることになる。記憶の呼び起こしは低温処理や水ストレス、さらには頂芽を切除しても起こる。一方、この頂芽の切除は、“頂芽優勢の消失”すなわち成長を休止していた側芽の出芽を誘発する。それらが組み合わさった“最終的反応”として、元気な子葉側の側芽がより多く芽生える。

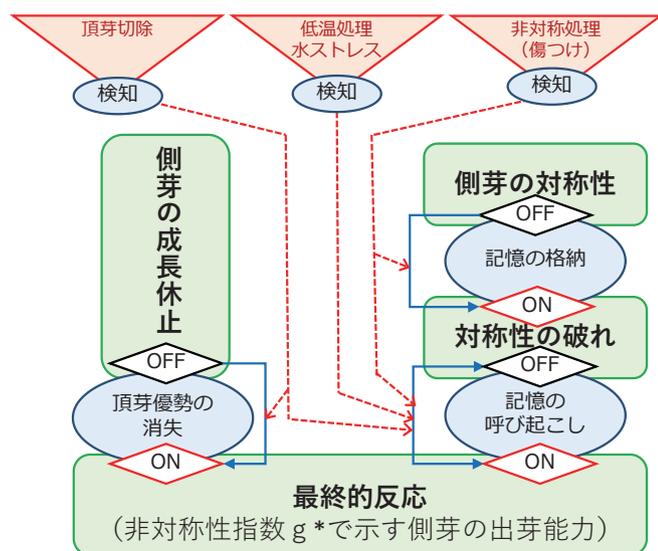


図-1 植物における外部刺激と記憶

(Thelliera *et al.* 2000 の図 5 と図 10 を組み合わせて和訳・改定)

*: 非対称性指数 (g) = $(nB - nA) / N$

n: 頂芽を除去した後の側芽の数 (nA と nB は何れかの子葉側)

N: 総数 (nA + nB)

g は 0 ~ 1 の間で、0 に近いと対称性、±1 に近いほど非対称性が高い。

る。これらの現象を“形態形成記憶”といい、果樹、庭木、盆栽等の剪定にはこの性質を利用する。

(2) 春化 (vernalization)

植物は季節を感じて開花・結実する。長日植物は冬の低温を経験することによって、春に温かくなった後に花芽形成が誘導される。このことを“春化”，人為的に行う行為を春化处理という。この花芽形成を司っている遺伝子の1つが“開花遺伝子 (Flowering Locus C, FLC)”である。紛らわしいが、FLCは開花に対して抑制的に働く。つまり花成ホルモンであるフロリゲン遺伝子 (Flowering Locus T, FT) や転写因子である *Suppressor of Overexpression of CO1 (SOC1)* の発現を抑制する。そのため、低温を経験し、FLCの発現を抑制することによって開花する。しかし、実際の開花には春化以外にも、光条件、個体の成長度合い、植物ホルモン、さらには関連する転写因子を含む遺伝子やタンパク質等の様々な“光周性因子^(注3)”が関与する。そのためそれらの条件が揃う春を迎えるまでの間、低温の経験をおそらく1ヶ月以上記憶する必要がある。この花成のメカニズムはとても複雑なので詳細は割愛するが、ここにもDNAのメチル化を介した“エピジェネティクス” (興語 2022) が関係している。

次に春夏秋冬と関連した日長との関係に目を移してみよう。小麦のような長日植物の場合、秋撒きして幼植物段階で冬の夜長を過ごした後、“限界暗期”よりも夜の時間が短くなる、逆に言えば1日は24時間なので、“限界日長”よりも昼の時間が長くなることで花芽形成が促進される。春化は、冬の低温を経験した後、この日長応答性に対する抑制が解除される現象である。頂芽優勢で述べた言葉を借りれば、長日植物では、低温によって格納された花芽形成の記憶が、日長によって呼び起こされ、最終的反応として春以降に開花する。このような現象は、小麦だけでなくアブラナ科等の長日植物に一般にみられるものの、この限界暗期の時間は植物や品種によって微妙に異なる。

少し話は変わるが、小麦には冬小麦と春小麦がある。別の言い方をすれば、秋播種では出穂するものの、春播種では栄養成長に留まり、茎葉が繁茂するだけの“秋播性”品種と、春播種でも生殖成長に移行して出穂する“春播性”品種がある。春化は前者の秋播性が消失して生殖生長に入る準備とも言える。逆に後者の春播性品種においては、低温の経験は花芽形成のために記憶する要因ではない。さて、日本には寒地から暖地までである。暖地において冬の低温が春化の誘導に不十分な場合、開花に春化が不要な春播性品種が冬に播種されることもある。一方、低温が厳しすぎると

秋に播種した小麦が冬越しできないため、カナダや北海道の一部等では春播性品種を雪解け後に播種する。なお、水稻等の短日植物の場合は、逆に限界暗期以上になることで花芽形成が誘導されるが、このような光条件との関係は、この本の第1章の“植物は見ている (What a Plant Sees)”に書かれている。

(3) 植物は環境を細胞レベルで記憶する

植物の主に葉の裏側に存在する気孔は1対の孔辺細胞で構成されており、明条件で開き、二酸化炭素を取り込むことで光合成を促進する。赤色光は光合成を介して細胞膜のプロトンポンプを活性化し、水素イオンを放出する。青色光はフォトトロピンに受容され、最終的にKイオンの取り込みを誘導し、浸透圧の上昇とともに水が取り込まれて、孔辺細胞の体積が増加することによって、気孔が開く。

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所植物生理学グループは、長日条件(明/暗:16/8時間)で育てた植物が、短日条件(明/暗:8/16時間)で育てた植物に比べて、気孔が大きく開くことを示した(Aoki *et al.* 2019; 木下ら 2019)。さらに植物が育つ日長を長日から強制的に短日に変更すると、少なくとも1週間は気孔が開く状態が持続ことを示した。実はこれらの反応にも花芽形成における光周性因子であるFTやSOC1が関与し、SOC1がFTを介して気孔開度を促進する可能性がある。さらに、長日から短日条件に変更した際、FTの発現は1週間で低下するものの、SOC1の発現は高いレベルで維持することから、そこに記憶システムが存在、つまり気孔が日長条件という環境情報を細胞レベルで記憶していることになる。この気孔開度に関連した遺伝子の発現制御も、関与する遺伝子からも推測できるように、花芽形成と同様にヒストンの修飾、すなわちエピジェネティクスが関与する。

ちなみにシロイヌナズナには少なくとも11の光受容体があり、日長以外にも、発芽、屈折、夕暮れや朝焼け等を感じするが、その時感知する光波長は異なり、さらに遠赤外光から紫外線まで幅広く、スイッチをON/OFFしたり、記

憶したりする。

さて、今回は植物の短期記憶と長期記憶について紹介した。このような感覚に関連した遺伝子には、植物と動物で共通のものがあるものの、光、水、養分等に対する他の植物との競合も含めて、“動けない”植物だからこそ持っている反応や記憶もある。その成長や形態形成の反応のメカニズムが明らかになれば、抑草剤を含む植物成長調整剤の開発にもつながるであろう。また、今回示した植物の反応は、その種または品種に特徴的なものであり、かつ遺伝すると考えられている。そのことについては次回取り上げたい。

参考文献等

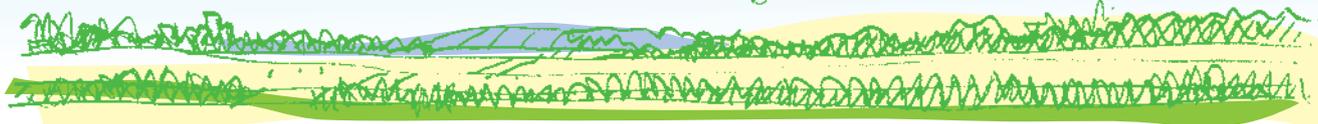
- Aoki, S. *et al.* 2019. Regulation of stomatal opening and histone modification by photoperiod in *Arabidopsis thaliana*. *Scientific Reports*, 9:10054.
- Chamovitz, D. 2012. *What a Plant Knows - A Field Guide to The Senses of Your Garden - and Beyond*. Oneworld Publications, pp.224.
- ダニエル・チャモヴィッツ著(矢野真千子訳) 2017. 「植物はそこまで知っている - 感覚に満ちた世界に生きる植物たち. 河出書房新社(文庫本). pp.199.
- Jaffe, M. J. 1977. Experimental separation of sensory and motor functions in pea tendrils. *Science*, 195(4274), 191-192.
- 木下俊則ら 2019. 植物は自分のおかれた環境を細胞レベルで記憶する. *プレスリリース* (2019年7月18日)
- 須田 啓ら 2021. カルシウムイオンを介したハエトリソウの記憶機構. *植物科学最前線* 12:89.
- Theilliera, M. *et al.* 2000. Long-distance transport, storage and recall of morphogenetic information in plants, The existence of a sort of primitive plant 'memory'. *Life Sciences*, 323, 81-91.
- Volkov, A. G. *et al.* 2007. Closing of Venus Flytrap by Electrical Stimulation of Motor Cells. *Plant Signaling & Behavior*, 2(3), 139-145.
- 與語靖洋 2022. メンデル性遺伝によらない除草剤抵抗性. *植調* 56(5), 16-18.

注1) 括弧内は、更新・拡大版(2017年)では削除されている。

注2) 酸化的リン酸化において、電子伝達系とATP合成の両反応を阻害することなく、共役を阻害する化合物。Uncoupler。

注3) 生物が季節変化に係る日長を認識して、それぞれの形態形成を含

む生命活動を行う形質である光周性に関連する因子のこと。植物の光周性反応には、花芽形成、塊茎・根茎等の栄養繁殖器官形成、節間伸長、落葉、色素形成等がある。花芽形成だけでも数多くの因子が存在し、促進・抑制・反応の統合等に関与する。



5年前の10月、シンポジウム参加のため、中央アジアの国キルギスを訪れた。そこは天山山脈の麓に広がる高原の国で、シルクロード要衝の地でもある。会議終了後のエクスカーションで訪れたバラサグン遺跡は、首都ビシュケクから60キロの距離にある世界遺産。そこには11世紀に当地で栄えた王朝が建設したプラナの塔が、まるで監視塔か狼煙台かのようにポツンと建っていた(図-1)。



図-1 1バラサグン遺跡に建つプラナの塔

それはモスクでの礼拝を知らせるミナレットと呼ばれる建造物だとか。もともとは高さ45メートルだったが、15世紀に起きた大地震で崩れ、現在は24メートルだという。それでも頂上からは、遠くまで広がる草原と、その先に横たわる天山山脈の勇壮な眺めが楽しめた。1,000年前に東西交易の隊商が歩んだ土地かと思うと感慨深いものがあった。

古代中国と西欧を結んだ交易路が「絹の道」と呼ばれる所以は、もちろん、中国から運ばれた絹が羊毛や金銀と交換され、中国へと送られていたからである。絹の生産量は、現在も中国が世界1位だが、2位以下はインド、ウズベキスタン、イランと続いている。いうなれば、シルクロードに沿った国々で、今も養蚕が行われているのだ。

カイコのルーツ

いうまでもなく、絹糸はカイコ(蚕 *Bombyx mori*) が繭を作るときに吐き出す糸を撚ったものである。カイコはクワ(桑)の葉を食べて育つ。

クワというのはクワ科クワ属の植物の総称で、北半球の温帯を中心に十数種が知られている。日本にはもともとヤマクワが自生していた。養蚕のために栽培されているマクワは、カイコとともに2,000年前に中国からもたらされたとき、さまざまな品種がつくられてきた。クワは、養蚕以外にも、

葉や実が食用とされてきた。西欧には16世紀頃に伝えられ、マルベリーと称される実は栄養価が高く食用とされてきた。

カイコは、クワコ(*Bombyx mandarina* 図-2)という野生種を家畜化して作り出されたとされている。カイコは飛べないが、クワコには飛翔力がある。クワコは、日本(北海道、本州、四国、九州)をはじめとして、極東ロシア沿海州、中国北部、朝鮮半島、台湾という広い地域に野生種として生息している。

養蚕の歴史自体は5,000年前の中国に遡るといわれているが、それを裏付ける証拠は考古学的なものだけだった。1926年に中国山西省夏県の西陰村(西安の北東約200km)にある遺跡から繭が、2019年にはやはり山西省の史村の遺跡でカイコの繭を模した石彫りが見つかったのだ。

それらは、今から5,000年前に黄河中流域で栄えた仰韶文化の遺跡である。仰韶文化というのは新石器時代晩期の農耕文化で、アワやキビ、カラシナなどを栽培しながら犬や豚などの家畜を飼うという完全な定住生活を送っていた。また、明るい赤褐色をした紅陶に彩色した土器でも知られる。

考古学的アプローチからすれば、遺跡から新たな証拠が出土するのを待つしかない。しかし今やわれわれには、遺伝子を調べるという手段がある。これまでもカイコのゲノムを解析した研究はあったが、品種や変種の数が多いこともあり、網羅的な解析には手が届かない状態だった。しかしこのたびついに、カイコのパンゲノム解析の結果が報告された^{注)}。



図-2 クワコの成虫(Wikipediaより)

注) Tong, X. *et al.* 2022. High-resolution silkworm pan-genome provides genetic insights into artificial selection and ecological adaptation. *Nat Commun* 13, 5619. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33366-x>

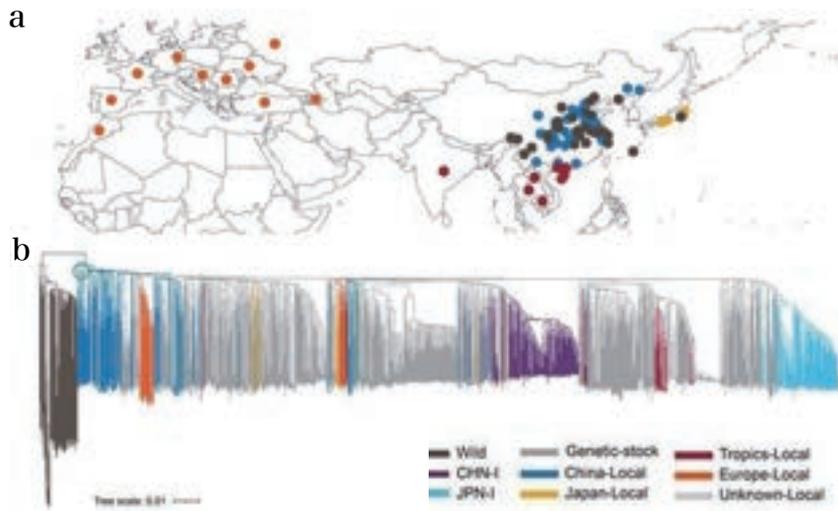


図-3 カイコとクワコの地理的分布と分子系統樹
 黒丸(クワコ)と青丸(中国のローカル品種)の分布が重なり、系統樹でもクワコ(黒いバー)から分かれた基部に中国のローカル品種(青いバー)が位置している。(Tong, *et al.* 2022 より)

から分かれた品種や変種の遺伝子セットすべてを網羅したゲノムのことである。具体的には世界中から集めた1,078種類の品種や亜種(カイコの205種類の地方品種, 194種類の改良品種, 632種類の遺伝資源, クワコの47種類の亜種・品種), 1,082サンプルのゲノムを解析し, その塩基配列をできるだけ詳しく調べ上げたのだ。

そしてカイコの各種品種と野生のクワコのゲノム情報から分子系統樹を作成した。その結果, クワコ集団(図-3bの黒い分岐群)から分かれたカイコ集団のうち, 黄河中流域の地方品種(青い分岐群)が系統樹の付け根に位置した。これは, カイコが家畜化されたのはその地域だったことを意味する。つまり考古学的な証拠と一致する結果が得られたのだ。そのほかにも研究チームは, カイコの家畜化に関連した遺伝子468個, 改良品種に関連した遺伝子198個を同定した。そのうちで, それぞれ264個と185個は新発見の遺伝子だった。

カイコの科学

同研究は, 中国と日本の実用品種を比較した結果も報じている。それによると, 改良品種に関連した遺伝子の共有率は3パーセントにも満たなかったという。これは, カイコの品種改良が両地域で独立に行われてきたことを示している。

かつて, 遺伝学者の外山亀太郎は, 中国産や欧州産のカイコの品種と日本の品種を交雑させると, 親よりも優れた特徴をもつ一代交雑種ができる雑種強勢という現象を発見し, 1906年にカイコの一代交雑種の実用化を提唱した。それから100年以上を経て, カイコの雑種強勢の遺伝学的背景が明らかになったことになる。



図-4 カイコの多様性
 カイコの多様な表現系を各発生段階を含めて示してある。(Tong, X. *et al.* 2022 より)

外山はまた, メンデルの遺伝法則が再発見された1900年にカイコを用いた交配実験を開始し, 動物で初めてメンデルの法則が成り立つことを実証し1906年に発表した。欧州産の黄繭品種と日本産の白繭品種を交雑させたところ, 生まれたカイコはすべて黄繭だった。そこでさらにその黄繭個体どうしを交雑させたところ, 黄繭個体と白繭個体が3:1の割合で生まれてきたのだ。

日本のカイコを用いた研究として語り継がれているのが, 昆虫脱皮ホルモン, エクジソンの分離だろう。カイコの脱皮と変体を促進する物質が前胸腺から分泌されていることを1940年に突き止めたのは福田宗一だった。ドイツの生化学者アドルフ・ブテナントとペーター・カールソンは, 日本から輸入した500kgのカイコの蛹から250mgのエクジソンの結晶を1954年に得ることに成功した。

カイコのパンゲノムを解析した研究チームは, 中国の深圳にある北京基因组研究所(BGI Group)の子会社BGI Genomicsのメンバーである。この組織は, 近年, さまざまな生物のゲノム解析に基づく最先端の研究を連発している。かつてカイコの研究は日本のお家芸だった。しかしその他の基礎研究も含めて, 日本の科学は中国からすっかり後れをとってしまった。

ブラナの塔が建つバラサグン遺跡には, バルバルと呼ばれる30~50cmほどの高さの石人が点在していた。かつての栄華を偲ぶ跡はただそれだけ。似たような道を辿る日本の科学研究の行末が危ぶまれる。

広 場

協会だより

試験成績検討会

- 2022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：2022年11月29日 (火) 13:00～17:00

- 2022年度畑作・草地飼料作関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会 (Web会議)

日時：2022年12月1日 (木) 10:00～17:00

2日 (金) 10:00～17:00

- 2022年度水稲関係除草剤直播栽培・畦畔等 適用性試験成績検討会 (Web会議)

日時：2022年12月8日 (木) 9:30～17:00

9日 (金) 9:30～17:00

- 2022年度水稲関係除草剤試験成績中央判定会議 (Web会議)

日時：2022年12月12日 (月) 9:30～17:00

- 2022年度水稲関係生育調節剤試験成績検討会 (Web会議)

日時：2022年12月16日 (金) 9:30～17:00

- 2022年度春夏作野菜花き関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会 (Web会議)

日時：2022年12月19日 (月) 10:00～17:00

20日 (火) 10:00～17:00

研究会等

- 植物化学調節学会第57回大会

日時：2022年11月25日 (金)～27日 (日)

会場：対面+オンライン (講演・口頭発表) でのハイブリッド開催

(対面)：福井県立大学永平寺キャンパス・交流センター
(福井県吉田郡永平寺町松岡兼定島 4-1-1)

日程：11月25日午後：企業説明会，編集委員会，社員総会，授賞式

11月26日午前：口頭発表

午後：会員集会，賛助会，受賞講演，特別講演，情報交換会

11月27日午前：口頭発表

午後：ポスター発表，表彰式

参加申込：11月11日まで学会HP (<https://www.jsgrp.jp/>)の登録フォームから事前登録。それ以降は大会会場での当日受付

参加費：同HPに掲載の大会概要を参照のこと

- 日本雑草学会第37回シンポジウム

テーマ「知っていますか？植物防疫法 植物保護と雑草学の関わり」

主催：日本雑草学会

共催：農研機構 植物防疫研究部門

後援：日本応用動物昆虫学会，日本植物病理学会

日時：2022年11月9日(水) 13:30～16:30

主会場：

ビジョンセンター品川 307室 (東京都港区高輪 4-10-8 京急第7ビル)

サテライト会場 (メイン会場とオンライン接続)：秋田県立大学大潟キャンパス

(秋田県南秋田郡大潟村字南2-2)

福井県立大学あわらキャンパス 教育棟講義室 (福井県あわら市二面88-1)

ふじのくに地球環境史ミュージアム 講堂 (静岡市駿河区大谷5762)

シャルム新大阪 621号室

(大阪市淀川区西中島6丁目2-3チサンマンション 第7新大阪)

九州沖縄農業研究センター筑後・久留米研究拠点 (筑後) (福岡県筑後市大字和泉496)

オンライン：個人でのオンライン参加も可能 (Zoomウェビナー) 定員500名

講演：「植物保護の法的根拠」

吉岡 俊人 (新潟食料農業大学)

「植物病理学における植物防疫の重要性」

有江 力 (東京農工大学)

「日本における植物検疫の歴史 - 害虫を中心に」

松村 正哉 (農研機構 植物防疫研究部門)

「諸外国における雑草の輸入検疫について」

黒川 俊二 (京都大学)

「農耕地の外来雑草問題-その構造的背景と社会システムとしての総合防除に向けて-」

浅井 元朗 (農研機構 植物防疫研究部門)

杉山 暁史 (京都大学生存圏研究所)

参加費：日本雑草学会会員，非会員ともに無料

参加申込：日本雑草学会HP (<https://wssj.jp/>) の申込みフォームから登録

申込締切：2022年10月31日 (月)

正 誤 表

56巻6号p21,p22およびp23に誤植があり，著者にお詫び申し上げますとともに，読者の方々に訂正のほどお願いします。

- ・ p21表-1の表記に誤りがあります。訂正をお願いします。

誤	正
イミタクロプリト	→ イミダクロプリド
アセタプリミト	→ アセタプリミド
フサライト	→ フサライド
キノクアミン (ACN)	→ キノクラミン (ACN)
プロモブチト	→ プロモブチド
ブロマシル	→ ブロマシル
メチタチオン (DMTP)	→ メチダチオン (DMTP)
テトラコナゾール	→ テトラコナゾール
ベンフルラリン(ベスロジン)	→ ベンフルラリン(ベスロジン)
インタノファン	→ インダノファン
2,4-Dイソプロピル塩	→ 2,4-Dイソプロピルアミン塩
テブフェンピラト	→ テブフェンピラド
オキザミル	→ オキサミル
タミノジット	→ ダミノジット

- ・ p22図-7の図キャプションが欠けておりました。以下の通りとなります。

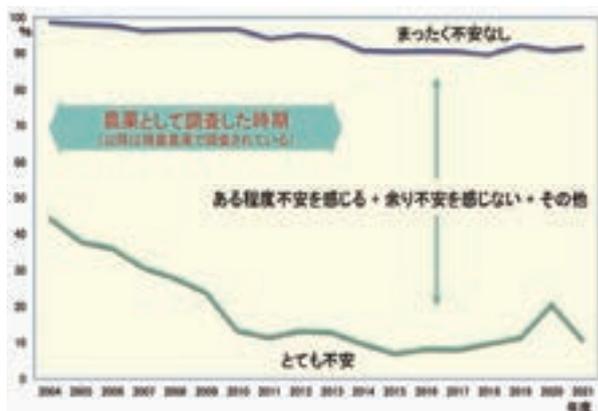


図-7 農業への不安 (食費安全モニター調査結果より改変)

- ・ p23表-3の一部が欠けていました。表の差し替えをお願いします。

表-3 科学技術の評価する際に重視する点
科学技術のリスク認知に及ぼす情報環境の影響 (小杉素子・土屋智子, 2000 より)

	一般市民	バイオ専門家	原子力専門家
国・企業等の信頼性	0.714	0.363	0.431
経済的貢献可能性	0.340	0.584	0.803
技術的コントロール可能性	0.469	0.876	0.890
社会の管理規制能力	0.531	0.272	0.448
社会的必要性	0.887	1.993	2.136
生じうる事故の規模	0.276	0.162	0.119
責任の所在	0.545	0.162	0.169
事故の発生確率	0.434	0.123	0.189
科学技術の完成度	0.473	0.454	0.269
結果の予測可能性	1.253	0.558	0.355

植調第56巻 第7号

- 発行 2022年10月24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「新製品」

- イザナギ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボSD (ベンゾピシクロン)
- カイシMF1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- バットウZ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG (ベンゾピシクロン)
- ウィードコア1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- ダンクショットフロアブル (ベンゾピシクロン/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 (ベンゾピシクロン)
- パピリカ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾピシクロン/テニルクロール)
- ゲパード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾピシクロン/ダイムロン)
- ホットコンビ200粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン/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 (ベンゾピシクロン)
- ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- アネシス1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾピシクロン)
- テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- イネヒーロー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
- ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- 銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
- 月光1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (カフェンストロール/ダイムロン)



ベンゾピシクロンは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。

「ベンゾピシクロン」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) | タンボエース (1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤) |
| イッテツ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | トビキリ (ジャンボ) |
| イネキング (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | ナギナタ (1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ) |
| オークス (フロアブル) | ハイカット/サンパンチ (1キロ粒剤) |
| キクトモ (1キロ粒剤) | 半蔵 (1キロ粒剤) |
| クサビ (フロアブル) | フォーカスショット (ジャンボ)/プレッサ (フロアブル) |
| サスケ粒剤200 (200グラム粒剤) | ブルゼータ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| サスケ-ラジカルジャンボ/レオンジャンボパワー (ジャンボ) | フルイニング (ジャンボ/スカイ500グラム粒剤) |
| 忍 (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | プレキープ (1キロ粒剤/フロアブル) |
| シリウスエグザ (1キロ粒剤/ジャンボ/顆粒) | ピラクロエース/カリユード (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| シロノック (ジャンボ) | モーレッツ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| スマート (1キロ粒剤/フロアブル) | ライジンパワー (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| ダブルスターSB (1キロ粒剤/顆粒) | |



根も止める

有効成分「アルテア」は、多年生雑草の地上部を枯らすだけでなく、翌年の発生原因となる塊茎の形成も抑えます。日本の米づくりを根本から進化させる新しい効き目、「アルテア」配合の除草剤シリーズに、どうぞご期待ください。

これからの日本の米づくりに

アルテア[®]

配合除草剤シリーズ

<https://www.nissan-agro.net/altair/>



 日産化学株式会社

東京都中央区日本橋二丁目5番1号 ホームページ <https://www.nissan-agro.net/> お客様窓口 TEL.03-4463-8271 (9:00~17:30 土日祝日除く)



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ヤツリグサ科雑草に有効で、雑草の根部・莖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(ピラジレート、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

水稲用中・後期処理除草剤

シイソウル®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

シヤスマ®

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

バイスコープ®

1キロ粒剤

ルナグロス®

1キロ粒剤



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1日本橋ダイヤビルディング
ホームページ <https://www.mitsui-agro.com/>

各剤の
詳しい情報は
こちら



®を付した商標は
三井化学アグロの
登録商標です。

植物成長調整剤

花類の節間伸長抑制に

ビーナイン[®]
(ダミノジッド) **顆粒水溶剤**

ぶどうの品質向上、新梢管理の省力に

日曹 フラスター[®] **液剤**
(メピコートクロリド)

除草剤

イネ科雑草の除草に。

-8葉期まで使用できます-

たまねぎ・だいず・あずき・ばれいしょ・てんさい
かんしょ・いんげんまめ・やまのいも・にんじん・そば
(他40作物以上に登録)

生育期処理 **ナブ**[®] **乳剤**
除草剤 (セトキシジム)

より強く、よりやさしく。
進化した、畑作除草のキラ星

フィールドスターP[®] **乳剤**
(ジメテナミドP)

スズメノカタビラを含む
イネ科雑草の防除に

-たまねぎは2回まで使用できます-

ホーネスト[®] **乳剤**
(テプラロキシジム)

強さと、優しさで守る!
飼料用とうもろこし専用除草剤

アルファード[®] **液剤**
(トプラメゾン)



日本曹達株式会社

本社 〒100-8165 東京都千代田区大手町2-2-1 ☎ 03-3245-6178
ホームページアドレス <https://www.nippon-soda.co.jp/nouguyo/>

明日の農業を
考える

レイミー
スマートに解決!

病害虫雑草の プロを手の中に!

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!**

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!

水稲

キャベツ

レタス

はくさい

ズッキーニ

おぎ

トマト

きゅうり

なす

いちご

■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 **日本農業株式会社** **NTT DATA** 株式会社NTTデータCCS

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

通信料を除く **無料!**

参加 **日産化学株式会社**

日本曹達株式会社

三井化学アグロ株式会社

農研機構 イノベーション7

丸和バイオケミカル株式会社

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

ゼンアツ® MX 1キロ粒剤 / ジャンボ®

フルパグ® MX 1キロ粒剤 / ジャンボ®

スゲギ® A 1キロ粒剤

ヒクツパ® A 1キロ粒剤

フルフォー® ジャンボ®

フルニグ® ジャンボ®

タイズドール® 1キロ粒剤

乾田直播専用 **ハードポイント**® 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。

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
フロアフル
シヤンボ

新登場!
ゼータプラス 1キロ粒剤
シヤンボ
フロアフル
200Fg

マズオ 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

®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。●小児の手の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。



大塚のあふみ、まっまごへ
SCC GROUP



畑向け除草剤

アタックショット 乳剤 **ムギレンジャー** 乳剤
丸和 **DD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® **ユニホック7**®
サベルDE ハレイ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

サファゴントWK 丸和 **サファゴント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
☎03-5296-2311 <http://www.mbc-g.co.jp/>

第56巻 第7号 目次

- 1 巻頭言 どこを向いて仕事をするか
濱村 謙史朗
- 2 ナス科果菜類のオーキシン代謝と単為結果
松尾 哲
- 6 〔田畑の草種〕^{くさくさ} 胡草, 恵比須草, 夷草(エビスグサ)
須藤 健一
- 7 光合成の動態解明に基づくイチゴの精密環境調節技術の開発
日高 功太
- 11 除草剤耐性てんさいを用いた新除草体系
池谷 聡
- 17 マレーシアでの調査研究の思い出(3) ペナン島とMARDI稲研究所
渡邊 寛明
- 21 〔緒(いとぐち)〕 No.8 植物の記憶(1) 短期記憶と長期記憶
與語 靖洋
- 24 〔連載〕道草 第30回 絹の来た道
渡辺 政隆
- 26 広場

No.90

表紙写真 〔エビスグサ〕



江戸期に中国から薬用として移入された。関東以西に分布する。畑地, 空き地, 道ばた, 樹園地などに分布する。茎は直立して分枝し, 8~9月に黄色い花を着ける。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



子葉。楕円形で先は円い。



花。葉腋から出た柄の先端に黄色い花を着ける。



葉。互生で倒卵形。



豆果。円柱形で長さ10~15cm。