

植調

JAPR Journal

第55巻

第6号

帰化アサガオ類の生育・着蕾・種子生産に及ぼす

日長の影響解明を効果的な防除につなげる 澁谷 知子

静岡県内の茶園における夏期の雑草発生実態 市原 実

カーネーションの香り—切り花における付加価値としての可能性を探る— 岸本 久太郎

ブラシノステロイドのケミカルバイオロジー研究の農業への応用展開へ向けて 中野 雄司



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)

新提案!「中期にジャンボ」ラクラク散布!

新技術

ソニックスプレッド®

テクノロジーだから

拡散力が違う!

ノビエ

コナギ

ホタルイ

クログワイ

オモダカ

各種雑草に幅広い効果!

水稲用中期除草剤

セカンドショット®



ジャンボMX

農林水産省登録
第23867号

動画を
チェック!



アトカラ®



ジャンボMX

農林水産省登録
第23866号

アジムスフロン・ペノキスラム・メソトリオン粒剤

セカンドショット、アトカラ、ソニックスプレッドは三井化学アグロ(株)の登録商標です。



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 <http://www.mitsui-agro.com/>

ソニックスプレッド® テクノロジーとは……

独自のキャリアと数種の界面活性剤の絶妙な配合によって、拡散性能を飛躍的に向上させた三井化学アグロ独自のジャンボ剤新製剤技術です。

○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。○容器・空袋などは圃場などに放置せず、適切に処理してください。○防除日誌を記録しましょう。



ボデーガードプロ

新登場



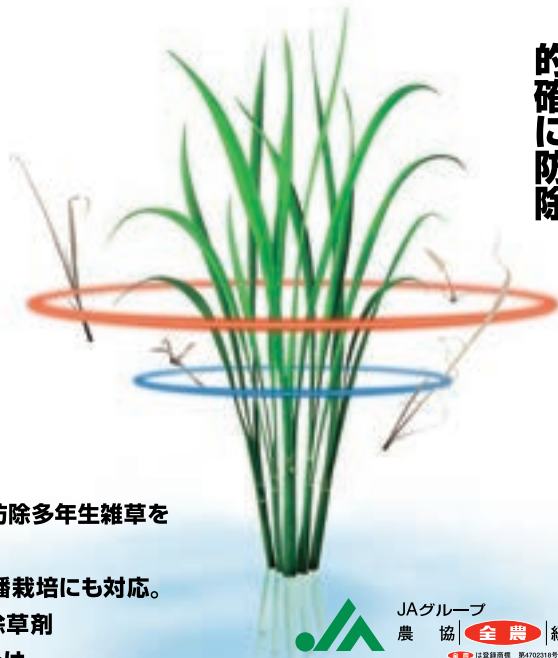
一発でノビエ、難防除多年生雑草を
しっかり除草。

鉄コーティング直播栽培にも対応。

次世代の水稲用除草剤

「ボデーガードプロ」は

多角化・大規模化に貢献します。



2成分で
稲を守る、プロ。
高葉齢ノビエも難防除雑草も、
的確に防除。



JAグループ
農協 全農 経済連



●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。 (B)ボデーガードはバイエルグループの登録商標

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



東京オリンピックを観戦しながら DX (Digital X-formation) を想う

公益財団法人日本植物調節剤研究協会理事
公益財団法人日本植物調節剤研究協会東北支部長
田中 良

今夏、コロナ禍で外出が制限され、例年とは異なる不自由な日常生活、職場環境を強いられる中で小職にとっては二度目の東京オリンピックを自宅で観戦し、アスリート達が一生懸命に勝負に挑む姿に感動しました。選手本人の優れた資質は然ることながら、膨大な練習量（≒試行回数）と実証データに基づく支援アプリケーションソフトウェアの活用によるコーチ・スタッフのお陰と感じました。また、開会式の前に行われたブルーインパルス6機の編隊飛行による五輪の色雲は見事な技でしたものの予想の範囲内でしたが、夜空に浮遊する立体ホログラムのような光の地球の演出には、はじめは出来の良いCGかと思いましたが、ドローン（drone 小型無人飛行機）1842機による編隊飛行だと知って驚嘆し、技術進歩の速さに驚くばかりでした。

農業分野での航空機利用は1980年代に有人ヘリコプターによる航空防除が盛隆しましたが、その後より小型の無人ヘリに変遷し、小職も2000年代にラジコンヘリによる薬剤散布や水稻生育調査の試験に取り組んだ経験がありましたが、当時のドローンはまだまだホビーマスターの段階で産業用に実用化されるには時期尚早と感じていました。しかし、現在はイベント演出や宅配サービスにも自律飛行するドローンが利用され始めたとのニュースを知ると正に隔世の思いがします。

技術の進歩には、優れた頭脳によるアイデアが不可欠であることは勿論ですが、試行錯誤による改善の積み重ねも重要であると実感しています。実際の試作・試行の繰り返しには相当の年月が必要でしたが、AIによるデータ解析やスーパーコンピュータによるシミュレーションによって驚異的に短縮されているのでしょうか。

一方、農作物での栽培試験は年に1回からせいぜい数回であり、果樹類ではさらに年数を要しています。栽培をコンピュータでシミュレーションすることは現況では遠い将来の技術なので、試行回数の増大を克服するには実施場所数を増やすことで対応する必要があると考えられます。

従前から複数の試験場により共同試験や連携試験が盛んに行われてきて、主査研究員が各試験場の役割分担や成績を取りまとめて、成果も数多く上がってきていますが、所属組織が異なる各試験場の自主性や主体性に配慮したり、栽培環境

が大きく異なると、同一試験の試行回数の増加という観点からは不十分な側面も見うけられます。

試験場所間の統一的な試験方式といえば、作物残留 GLP 試験が植調協会でも実施されています。GLP 試験では、試験責任者が試験計画書を策定して試験担当場所に上意下達で実施する方式ですので、同一条件の試験を全国に展開するには好都合ですが、試行回数を増やして技術革新を促進するという観点ではない試験制度です。

一方、植調協会の薬効薬害試験は、各試験場の環境条件は異なるものの同一の試験処理条件を全国十数カ所で実施しています。一験場所の3反復で薬効薬害を判定するのではなく十数カ所×3反復の成績を検討して評価しています。一カ所では十数年かかる試行回数を一年で確保しているとも言え換えられます。

この様な全国規模の試験方式を農業登録に必要なデータを得るためと割り切るのではなく、雑草制御技術の効率的な進歩を目指す試験データを取得・活用するために試行回数を増大させる手段に応用できると認識するならば、GLP 試験と同様に試験責任者を定めて全国共通的な試験条件・調査項目を試験設計書に明記して、試験担当場所もその意を共通認識して取り組めば、AI 分析やコンピュータシミュレーションが可能となる膨大な試験データを効果的に収集・蓄積でき、新技術の迅速な開発に結びつけられると思われれます。

植物調節剤研究の精度向上、試験方法の改善をさらにスピードアップするには、優秀な人材の育成は基より、試験条件を明確にして同一条件での試行回数を増やして改善を積み重ね、その成績・情報をデジタルデータとして共有することが効果的です。IT のさらなる活用を積極的に浸透させ、年々加速度的に厳しくなる環境の変化に対応するためにも DX（デジタル・トランスフォーメーション）を目指していくことが切実な時代になると思う今日この頃です。

参考資料

- ・フリー百科事典（Wikipedia）
- ・DX 推進ガイドライン（経済産業省）

帰化アサガオ類の生育・着蕾・種子生産に及ぼす日長の影響解明を効果的な防除につなげる

元農研機構中央農業研究センター
澁谷 知子

はじめに

帰化アサガオ類は各地のダイズ畑やその周辺で繁茂し、大きな問題となっている強害雑草である。筆者らのグループはこれらを効果的に防除するため、基礎から応用までの試験研究を行ってきた。その一つが「帰化アサガオ類4種の生育・着蕾・種子生産に及ぼす日長の影響」のタイトルで日本雑草学会が発行する和文誌「雑草研究」に掲載された（澁谷・中谷 2020）。ここではその掲載内容を解説するとともに日長反応性という基礎的知見が効果的な防除にどのようにつながるのかについて述べたい。なお、「雑草研究」はweb公開されているので、興味を持たれた方はご一読いただきたい。

1. 植物の生育等に及ぼす日長の影響の調査方法

まず、日長反応性について説明する。日長は、植物の生長過程において栄養生長から生殖生長へ生育ステージを変換する重要な環境要因の一つであるが、その反応性によって、大きく短日植物、長日植物、中性植物の3つのグループに分けられる。短日植物は一定の日長より短い日長条件下で、長日植物は一定の日長より長い日長条件下で花芽形成が起き、中性植物は日長に関係なく花芽形成が起こる。短日植物と長日植物は、一定の日長を境に花芽形成が起こらない限界日長を持つ質的

な反応を示すもののほか、限界日長は持たずに生育が進むと最終的には花芽形成が起こる量的な反応を示すものがあり、一定の日長を境に花芽形成が著しく促進あるいは抑制される日長を最適日長限界という。また、植物は日長に反応できるようになるためには最低限の栄養生長が必要で、それを基本栄養生長相といい、その後に日長に反応する感光相に入る。なお、花芽形成は顕微鏡下で植物を分解して観察する必要があるため、多くは着蕾や出穂を観察することで日長反応性を調査する。

日長が雑草の種子生産等に及ぼす影響調査は主要な畑雑草や水田雑草で行われている（中谷・草薙 1991a; 中谷・草薙 1991b; 汪ら 1996; 小荒井ら 2014）。調査方法としては人工気象室での日長制御試験や異なる出芽時期の個体の開花時期調査などがある。アサガオは短日植物であることが知られているが、本試験では我が国で問題になっている4種の帰化アサガオ類について、その生育や着蕾・種子生産に及ぼす日長の影響を調査するため、太陽光を併用した人工気象室にて以下の条件で行った。

日長条件は補光あるいは遮光することで16時間、13時間、10時間の3条件の日長を作り、その中で帰化アサガオ類（マルバアメリカアサガオ、マメアサガオ、ホシアサガオ、マルバルコウ）をポットに播種して90日間栽培した。気温はいずれの日長条件でも25℃一定とし、気温の影響を排除した。着蕾日、開花日、着蕾日の葉齢

を観察し、結実した場合は完熟種子を適宜採種した。試験最終日につるの長さと茎葉の乾物重、種子の数と生体重を測定した。なお、夏至の日長は、関東地域では約14時間30分であるが、北海道などでは15時間を超える地域もあることから、本試験では質的な日長反応性を調査するために16時間日長を設定した。また、関東地域で13時間日長になるのは4月中旬および8月下旬、10時間日長以下になるのは11月下旬～1月中旬である。

2. 着蕾・開花に及ぼす日長の影響

本試験の結果、16時間日長下では4種ともに着蕾までの期間は著しく長く、マルバアメリカアサガオは試験期間中にまったく着蕾しなかった。他の3種は播種から76～78日後に、着蕾が認められた。ただし、マメアサガオは着蕾しない個体の方が多かった。

一方、13時間日長下および10時間日長下では、4種ともに着蕾と開花および結実が認められた。マルバアメリカアサガオとマメアサガオは13時間日長下および10時間日長下では着蕾までの日数が17～19日、着蕾時の本葉数が3～2葉でほとんど差がなかった。ホシアサガオとマルバルコウは13時間日長下では、着蕾までの日数と着蕾時の本葉数がそれぞれ35日と10葉、24日と7葉で、マルバアメリカアサガオとマメアサガオよりも遅く、10時間日長下では、それぞ



図-1 開花したマルバアメリカアサガオ
(10 時間日長下、播種 19 日後に着蕾し、その後
2 週間で開花)

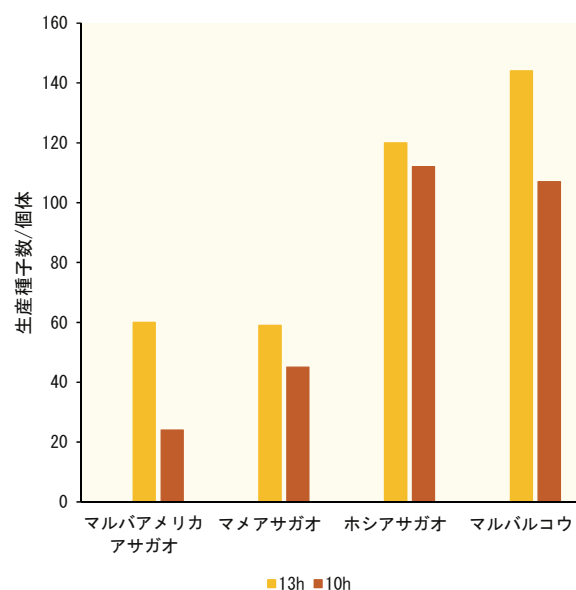


図-2 異なる日長条件下での帰化アサガオ類の種子生産数
(澁谷・中谷 2020 より作図)

れ、20 日と 3 葉、21 日と 4 葉となり、13 時間日長下の場合よりも短縮した。また、着蕾から開花までの期間は 4 種ともに約 2 週間であった (図-1)。

これらのことから、4 種ともに短日植物であり、マルバアメリカアサガオは質的短日性、他の 3 種は量的短日性と考えられ、マメアサガオは 13 時間日長および 10 時間日長下での反応から、マルバアメリカアサガオに近い特性を持つと判断された。日長反応性の強さの指標として使われる感光相の長さによると今回供試した 4 種は、マルバアメリカアサガオとマメアサガオ、ホシアサガオとマルバルコウの 2 つのグループに分けられ、前者の方がより感光性が強いと考えられた。また、4 種はいずれも 10 時間日長下では本葉数 3 前後で着蕾し、基本栄養生長相は非常に短いと判断された。

3. 種子生産と生育に及ぼす日長の影響

次に種子生産と生育に対する日長の影響について考えてみたい。日長が短い条件では光合成ができる時間が短く

なるため、必然的に生育量は小さくなる。また、光合成産物をどの器官に配分するかという分配特性を考えることは雑草の生存戦略を知る上でも重要である。

4 種ともに 13 時間日長下と 10 時間日長下で種子が生産され、生産数は 13 時間日長下の方が多く、また、いずれの日長条件下でもマルバアメリカアサガオとマメアサガオの方がホシアサガオとマルバルコウよりも少なかった (図-2)。これは、マルバアメリカアサガオとマメアサガオの種の特性として 1 粒の種子が大きいためと考えられた。

マルバアメリカアサガオとマメアサガオは、10 時間日長下では、茎葉乾物重に対して種子の生体重の比率が著しく大きかったことから、種子生産に特化していると考えられたが、13 時間日長下では、茎葉乾物重あたりの総つる長が大きく、つるを伸ばしながら種子を生産していると考えられた (図-3)。一方、ホシアサガオは、茎葉乾物重あたりの総つる長は 3 つの日長条件下でもほぼ同じであり、マルバルコウは日長が短い条件下の方が長かつ

た (図-3)。マルバルコウは 3 種の中でも種子が一番小さいが、10 時間日長下でもつるを伸ばしながら種子を多く生産する特性を持っていると考えられた。

4. 日長の影響解明からわかる種子生産を阻止する防除時期

これらの結果から野外での帰化アサガオ類の動態や効果的な防除時期を考えてみたい。

関東地域のダイズ栽培は 6 月中旬頃から播種が始まり、圃場内では帰化アサガオ類はそれ以降に出芽すると考えられるが、圃場周辺では 4 月上旬頃からだらだらと発生している。本試験の結果から、供試した 4 種の帰化アサガオ類は、基本栄養量に達していれば、限界日長あるいは最適日長限界より短い日長条件で着蕾が促進されたと考えられた。多くの場合、帰化アサガオ類は 8 月下旬～9 月上旬に開花すると言われていること、野外で 6 月下旬に播種したマルバアメリカアサガオとマルバルコウが 8 月上旬に着蕾したこと (澁谷ら 2007) や 5 月

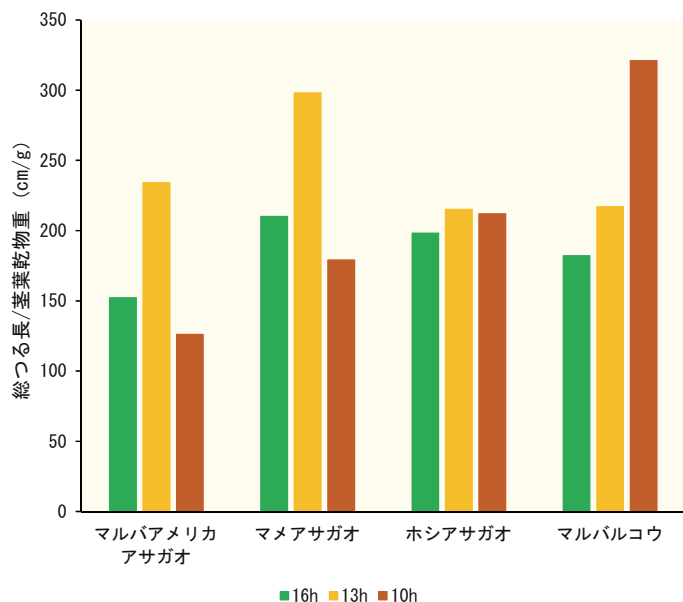


図-3 異なる日長条件下での帰化アサガオ類のつるの伸長
(澁谷・中谷 2020 より作図)



図-4 水稻刈り後のマメアサガオ (2008 年 10 月 19 日)

下旬から7月下旬に播種した帰化アサガオ類が8月上旬から9月中旬に開花したこと(澁谷ら 2010)と本試験の結果を合わせると、帰化アサガオ類の限界日長あるいは最適日長限界は13時間から14時間の間にあることが示唆された。さらに、本試験で帰化アサガオ類の基本栄養生長は非常に小さいこと、13時間日長よりも短い日長では速やかに着蕾することが明らかとなったが、実際、水稻収穫後に出芽したとみられるマメアサガオの開花が10月中旬に観察されている(図-4)。また、本試験の結果から4月頃にも着蕾が促進される時期があることが推定されたとおり、野外で4月中旬に播種した帰化アサガオ類が6月中下旬に開花すること(澁谷ら 2010)や麦の収穫時にマルバルコウが小さいながらも開花している様子が観察されている(図-5)。

以上のように本試験で得られた基礎的な知見を踏まえて、野外観察や播種時期を変えた試験を実施することにより、見逃しやすい雑草の生態を把握することができ、種子生産を阻止する効果的な防除時期が明らかになる。この

ような取り組みは我が国での生態が不明な外来の雑草の分布可能域の推定や分布拡大阻止にも役立つと考えられる。

耕地での雑草防除は、雑草の種子生産を阻止するとともに他所から伝播を阻止するという予防的な面と作物生産への雑草害を回避する対処療法的な面がある(伊藤 1993)。帰化アサガオ類はつるで作物に絡みつくので雑草害も大きく、種子は硬実で休眠性を持つことから、土壌処理型除草剤が効きにくい。このため、ダイズ畑での防除は困難で各種の茎葉処理型除草剤や機械除草を組み合わせた防除法が開発されているが、コストも手間もかかる上、防除タイミングも難しい(農研機構 2021; 浅見ら 2021a; 浅見ら 2021b)。このため、予防的な管理が重要になる。帰化アサガオ類は圃場周辺から圃場に侵入する様子や水稻刈り後や麦畑での開花も観察されていることから、これらの場所では徹底的に防除を行い、種子生産を阻止する必要がある。8月頃までに大きく生育したものはもちろん、春先や初秋に出芽してすぐに種子生産をする小さい個体も見落とさないようにしなければならない。

現在のところ、関東地域では圃場周辺での種子生産を阻止するには少なくとも6月、8月、9月の防除が欠かせないと考えられる(農研機構 2011)。

5. 地球温暖化による影響

最後に地球温暖化が及ぼす影響について少しふれたい。植調第55巻第1号で特集されているように地球温暖化が雑草の生育や動態に及ぼす影響は大きい。帰化アサガオ類も気温上昇によって葉齢進展が早まって除草剤の効果が低下したり、作物に絡みつくことによる直接的な雑草害が増大したり、栄養生長の増大に伴って種子生産が増加するとともに種子生産期間が長くなって種子生産を阻止する効果的な防除時期も変わることが予想される。作物や雑草の葉齢進展を有効積算温度で推定することで適期に防除する取り組みも行われている(森田 2021; 浅見ら 2021a)。今後、帰化アサガオ類をはじめとする難防除雑草について、生育と種子生産にかかわる日長反応性と有効積算温度による葉齢進展推定および除草剤が有効な葉齢晩限などを組み



図-5 麦収穫時のマルバルコウ（2012年6月21日）

合わせることで、温暖化にも対応できる効果的な防除時期の推定や防除法が開発され、分布拡大と被害が防止できるようになることを期待している。

参考・引用文献

- 浅見秀則ら 2021a. ダイズの葉齢進展モデルを活用した多筆圃場における帰化アサガオ類の適期防除. 雑草研究 66, 1-10.
- 浅見秀則ら 2021b. 温暖地のダイズ狭畦栽培におけるイマザモックスアンモニウム塩を導入したマルバアメリカアサガオの防除. 雑草研究 66, 48-58.
- 稲垣栄洋 2002. 雑草の成功戦略. NTT出版, 東京.
- 伊藤操子 1993. 雑草学総論. 養賢堂, 東京.
- 小荒井晃ら 2014. 九州地域内で採取されたクサネムとアメリカセンダングサの開花時期に及ぼす発生時期の影響. 雑草研究 59, 11-14.
- 森田弘彦 2021. 気温上昇のもとで水田雑草の動態変化を考える. 植調 55, 18-24.
- 日本雑草学会編 2001. 雑草科学実験法. 日本雑草学会, 東京.
- 中谷敬子・草薙得一 1991a. 主要畑夏雑草の生育特性, 特に出穂・着蕾に及ぼす日長および温度条件の影響. 雑草研究 36, 74-81.
- 中谷敬子・草薙得一 1991b. 主要畑夏雑草の生育および種子生産に及ぼす播種期の影響. 雑草研究 36, 176-182.
- 農研機構中央農業総合研究センター 2011. 帰化アサガオ類の地域全体へのまん延を防止するためのほ場周辺管理技術.
- 農研機構 2021. 診断に基づく大豆栽培改善技術導入支援マニュアル. 大豆栽培における難防除雑草の防除.
- 澁谷知子ら 2007. 帰化アサガオ4種の出芽可能期間と種子生産. 雑草研究 52 (別), 186-187.
- 澁谷知子ら 2010. 帰化アサガオ類の生活史特性と対策 1. 開花結実の日長と温度反応性. 雑草研究 55 (別), 53.
- 澁谷知子・中谷敬子 2020. 帰化アサガオ類4種の生育・着蕾・種子生産に及ぼす日長の影響. 雑草研究 65, 110-113.
- 汪光正熙ら 1996. ミズアオイとコナギの開花の日長反応性特性. 雑草研究 41, 241-246.

田畑の草種

柳蓼（ヤナギタデ）

タデ科イヌタデ属の一年草, 時に多年草。全国の畦や休耕田, 河川敷や水路の水辺など湿った所に生育する。茎は直立し, 無毛, 高さ 30-80cm。3-10cm のヤナギのような葉をつけるのでこの名がある。

イヌタデ属は日本に 20 種余りありすべて草本で, それらを分類するには花序, 葉の形, 托葉鞘の形状などを観察することになるが, ヤナギタデだけはすぐにわかる。葉の先をちぎって噛んでみればいい。数秒の青臭い味の後, ピリリッとした辛さで舌先が痺れ思わず吐き出してしまう。ヤナギタデの辛み成分タデオナールの仕業である。一説には「蓼」という名前は, この舌先がただれるように辛いことから「ただれ」が「たで」になって名付けられたのだという。

「蓼食う虫も好き好き」という諺があるが, その「蓼」がヤナギタデである。あんなに辛いヤナギタデでもその蓼を食べる虫 (例えばホタルハムシなど) がいるように人の好みは様々だ, という喩えに使われるのだが, そもそも人の好みは様々で, その辛さを生かした「蓼酢」という調味料がある。ヤナギタデの

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

葉を擦りつぶして酢でのばしたものであるが, なんでも鮎の塩焼きには欠かせないものらしく, 食通で知られる北大路魯山人は「鮎を食う」の中で, 「食べるにははらわたを抜かないで, 塩焼きにし, 蓼酢によるのが一番味が完全で, しかも, 香気を失わないでよい。」という。

さらに言えば, ヤナギタデの栽培品種であるベニタデ, ホソバタデ, アオタデなど, 辛み成分の多寡はあるが, ベニタデやホソバタデは白身の魚に, アオタデはその青みを生かして赤身の魚にと, それらの芽蓼を刺身のつまとして特徴を生かして使ってきている。

日本在来で, 少なくとも万葉の時代から知られ, 利用もされていた。万葉集巻 11 に「吾が宿の穂蓼古幹摘み生し・・・」とあるとおり, すでに自分の家で「蓼」を栽培していたことが想像される。ここで栽培されていた「蓼」は, すなわちヤナギタデであったはずである。

以来, 繊細な日本のハーブとしてのヤナギタデを「蓼食う虫」である「人」は連綿として利用してきたのである。

静岡県内の茶園における夏期の雑草発生実態

静岡県農林技術研究所
茶業研究センター
市原 実

はじめに

静岡県は全国有数の茶産地であり、県内各地においてチャ (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) が栽培されている (図-1)。本県の茶園面積 (15,200 ha) は全国の茶園 (39,100 ha) の約 40% を占めており、近年では茶農家の経営規模が拡大傾向にある (静岡県 2021)。一方、本県の茶園では、チャ樹に絡みつく蔓性雑草や、茶園周縁部およびうね間における雑草の発生 (図-2(a)～(d)) が栽培上問題となっており、これらの雑草対策が課題となっている (市原ら 2020)。チャ樹に絡みつく蔓性雑草は収穫時にチャ葉に混入すると品質が低下するため除去する必要があるが、除草剤による防除が困難であるため、農家が手取りで除草を行っている (徐 2016)。茶園周縁部やうね間に生育する雑草は、茶園管理作業の妨げや収穫物への異物混入源として問題となるため、非選択性除草剤や手取り等による雑草防除が行われている (徐 2016)。しかし、広域の茶園を管理するためには多大な労力がかかるため、茶園にお



図-1 静岡県牧之原地域の茶園



図-2 (a) チャ樹の下で出芽し、幹に絡みつクヤマノイモ、(b) チャの樹冠面まで蔓が到達し、樹冠面に絡みついて蔓延するヤマノイモ、(c) 茶園周縁部の雑草植生および (d) うね間に生育する雑草 (ダンドボロギク)

ける効果的かつ効率的な雑草管理技術の開発が求められている。

茶園における新たな雑草管理技術を開発するためには、まずは茶園の雑草発生実態を明らかにすることが必要である。しかし、国内の茶園において雑草発生実態を調査した事例は少なく、静岡県牧之原地域の茶園において 1948～1949 年 (青野・中山 1949a,b, 1951) と 1969～1970 年 (小幡 1973) に雑草発生実態が調査されて以降、約 50 年間調査が行われ

てこなかった。また、チャ樹に絡みつク蔓性雑草は、三重県内の茶園でも問題となっている (徐 2012) が、蔓性雑草の種構成や発生程度の定量的な調査は行われていないため、強害雑草となりうる蔓性雑草の発生実態を明らかにする必要がある。そこで著者らは、静岡県内の主要茶産地 5 地域の茶園 (計 50 地点) において、特に雑草が問題となる夏期に、①チャの樹冠面における蔓性雑草の発生実態と、②茶園周縁部およびうね間の雑草植生を調査

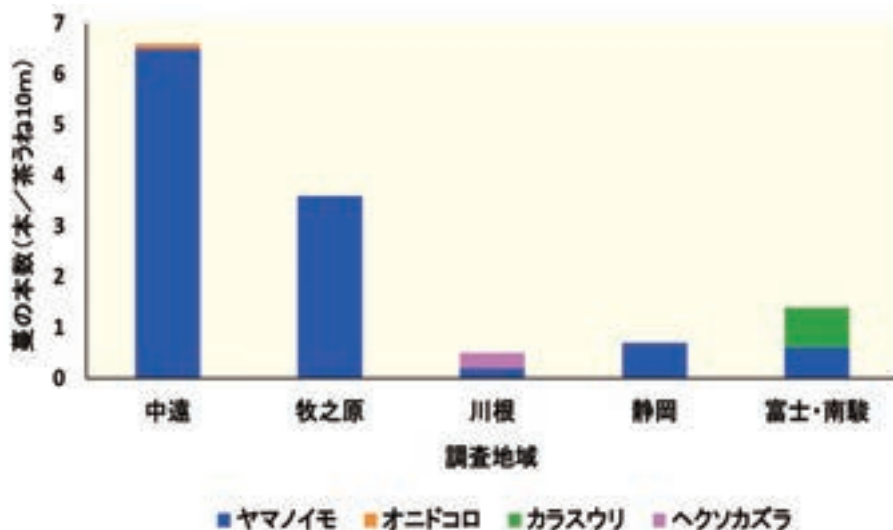


図-3 各地域の茶園における茶うね 10m あたりの樹冠面で見られた蔓性雑草の蔓の本数*
(市原ら 2020 より改変引用)
* 数値は各地域 10 地点の平均値

した(市原ら 2020)。本稿では、これらの研究成果について紹介する。

1. チャ樹冠面における蔓性雑草の発生実態

2019 年 7～9 月に、静岡県内の主要茶産地である中遠地域(磐田市, 袋井市, 掛川市), 牧之原地域(牧之原市, 御前崎市, 菊川市, 島田市), 川根地域(島田市川根町, 川根本町), 静岡地域(静岡市), 富士・南駿地域(富士市, 富士宮市, 沼津市)の慣行管理の茶園 50 地点(各地域 10 地点)において、チャ樹冠面の蔓性雑草の発生実態を調査した。各茶園において、蔓性雑草の発生が典型的と考えられる茶うねを 1 うね抽出し、うね 10m あたりの樹冠面で見られた蔓性雑草の蔓の本数を草種ごとに調査した。なお本調査では、樹冠面に抽出した蔓の本数をカウントしたため、蔓の本数は必ずしも個体数を示しているわけではない。

静岡県内の茶園において、チャ樹冠面の蔓性雑草は多くの地域でヤマノイモ(*Dioscorea japonica* Thunb.) (図-2(a),(b)) が優占していることが明ら

かとなり、特に中遠地域と牧之原地域では他地域と比べて樹冠面に本草種の蔓が多く確認された(図-3)。地域によってヤマノイモの発生程度が異なったものの、いずれの地域でも本草種が確認され、ヤマノイモは茶園の環境に適応して生育しているものと考えられる。茶園ではチャ樹が茂り、うね間が狭いため、内部が強く被陰されるという特徴がある。さらに地表面にはチャの枝葉が堆積している。このため、多くの雑草にとって、茶園内は生育に不適な環境であると考えられる。一方、ヤマノイモは担根体(イモ)や珠芽(ムカゴ)による栄養繁殖を行う多年生植物であり、強く被陰された環境下でこれらが出芽しても貯蔵養分によって初期生長を行えるため、茶園内でも生育しやすいものと考えられる。ヤマノイモを確実に防除するためには、担根体の除去や珠芽をつける前のタイミングでの除草が重要となるだろう。ヤマノイモの生態に基づいた効果的な防除方法や防除タイミングを、今後明らかにしていく必要がある。

牧之原地域の茶園では、1940 年代は蔓性雑草のヤブマメ(*Amphicarpaea*

edgeworthii Benth.) やヘクソカズラ(*Paederia foetida* L.) が多く出現していた(青野・中山 1949a, 1951) が、1969～1970 年にはこれらを含む蔓性雑草が減少したことが報告されている(小幡 1973, 1987)。一方、現在の牧之原地域における本調査では、ヤブマメやヘクソカズラは確認されなかったものの、チャの樹冠面にヤマノイモが多く確認された(図-3)。これらのことから、茶園の蔓性雑草の種構成や発生程度は、時代によって変化していると考えられる。茶園の蔓性雑草が 1940 年代と比べて 1969～1970 年において減少した理由として、小幡(1987) は茶園の中耕や敷き草等の管理作業の濃密さが変化したためと考察している。1970 年以降、茶園の雑草管理の作業時間は年々減少傾向にあり(静岡県 2021)、現在になり再び蔓性雑草が問題となっているのは、雑草管理の濃密さが低下しているためかもしれない。また、静岡県内では夏期の三番茶を摘採しない茶園が増加しているため、夏期の蔓性雑草の除草が不十分となり、蔓性雑草が繁茂しやすくなっている可能性も考えられる。今後は、茶園の管理が蔓性雑草の生育や発生程度に及ぼす影響について詳しく調査する必要があるだろう。

2. 茶園周縁部およびうね間における雑草植生

上記 1. で調査した茶園の周縁部において、典型的な植生と考えられる箇

表-1 各地域の茶園の周縁部における出現草種の被度 (%) と乗算優占度 (MDR, m³ m⁻²) *、*** (市原ら 2020 より改定引用)

科名	種名	学名	中遠		牧之原		川根		静岡		富士・南駿	
			被度	MDR	被度	MDR	被度	MDR	被度	MDR	被度	MDR
トクサ科	スギナ	<i>Equisetum arvense</i>	3.8	0.0088	0	0	0	0	0	0	7.5	0.0194
キマノイモ科	キマノイモ	<i>Dioscorea japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0.1	0.0002	0	0
カヤツリグサ科	ヒデリコ	<i>Fimbristylis littoralis</i>	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0	0	0
	クダマヤツリ	<i>Cyperus compressus</i>	0	0	0	0	0.2	0.0004	0	0	0	0
	コゴメガヤツリ	<i>Cyperus iria</i>	5.7	0.0138	0.2	0.0005	0.5	0.0014	0.7	0.0023	0.8	0.0022
イネ科	ニワホコリ	<i>Eragrostis multicaulis</i>	0	0	0.6	0.0010	0.7	0.0013	0.1	0.0002	0	0
	オヒシバ	<i>Eleusine indica</i>	7.1	0.0206	4.9	0.0114	4.1	0.0247	0	0	3.1	0.0036
	メヒシバ	<i>Digitaria ciliaris</i>	24.7	0.1056	1.8	0.0083	15.7	0.0389	4.2	0.0184	19.2	0.0777
	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	0	0	0	0	0.1	0.0003	0	0	0	0
	未同定種		0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	0.0137
ツユクサ科	ツユクサ	<i>Commelina communis</i>	0	0	0.5	0.0007	0.5	0.0009	1.3	0.0023	0.1	0.0003
タデ科	イヌタデ	<i>Persicaria longiseta</i>	0	0	0	0	0	0	0.3	0.0008	0	0
ナデシコ科	コハコベまたはミドリハコベ	<i>Stellaria media</i> or <i>S. neglecta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0004
ヒユ科	ゴウシユウアリタソウ	<i>Dysphania pumilio</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0002
ザクザク科	ザクザク	<i>Triglochea stricta</i>	2.9	0.0021	0	0	10.3	0.0152	3.4	0.0045	2.5	0.0024
スベリヒユ科	スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i>	0.7	0.0006	0.2	0.0002	3.6	0.0063	0	0	0.5	0.0007
アカバナ科	コマツヨイグサ	<i>Oenothera lacinata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0003
トウダイグサ科	コニシキソウ	<i>Euphorbia maculata</i>	0	0	0.4	0.0002	0.5	0.0003	0.1	0.0004	0.3	0.0001
	エノキグサ	<i>Acalypha australis</i>	0.2	0.0002	0	0	0.5	0.0006	0.1	0.0002	0.5	0.0006
	アカメガシワ	<i>Mallotus japonicus</i>	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0	0	0
カタバミ科	カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>	0	0	0	0	0.2	0.0001	0	0	0	0
マメ科	シロツメクサ	<i>Trifolium repens</i>	0	0	0	0	0	0	1.1	0.0012	0	0
	未同定種		0	0	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0
ムラサキ科	ハナイバナ	<i>Bothriospermum zeylanicum</i>	0	0	0	0	0.5	0.0005	0	0	0	0
ヒルガオ科	マメザサガオ	<i>Ipomoea lacunosa</i>	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0	0	0
アゼトガラン科	ワリクサ	<i>Torenia crustacea</i>	0	0	0	0	1.0	0.0007	0.9	0.0004	0	0
オオバコ科	オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>	0	0	0	0	0.3	0.0001	0	0	0	0
キク科	オオアレチノギク	<i>Erigeron sumatrensis</i>	0	0	0.6	0.0008	0	0	0.1	0.0003	0.8	0.0016
	ハハコグサ	<i>Pseudognaphalium affine</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.0016
	チチコグサモドキ	<i>Gamochaeta pensylvanica</i>	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0	0.2	0.0003
	ベニバナボロギク	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	0.1	0.0001	0.1	0.0001	0	0	0	0	0	0
	ハキダセグク	<i>Galinsoga quadriradiata</i>	0	0	0	0	0	0	0.2	0.0003	0	0
	コセンダングサ	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>pilosa</i>	0	0	0	0	0	0	0.3	0.0004	1.3	0.0028
	ノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i>	0	0	0.1	0.0001	0	0	0	0	1.2	0.0019
出現種数**			8		14		16		14		18	

* 数値は各地域 10 地点の平均値。

** 出現種数の算出において、イネ科未同定種、イラクサ科未同定種、コハコベまたはミドリハコベは、それぞれ 1 種としてカウントした。

*** 各地域において、被度および MDR の高かった上位 2 ～ 3 草種の数値の背景色を緑色で示した。

所にコドラート (1m×1m) を 3 箇所配置し、コドラート内の各草種の被度と最大草高を調査した。被度については、Penfound の被度階級 (Penfound and Howard 1940) に基づき 5 段階の被度区分 (1': 1 ～ 5 %, 1: 5 ～ 25 %, 2: 25 ～ 50 %, 3: 50 ～ 75 %, 4: 75 ～ 100 %) で判定した。ただし、被度 + (1 % 未満) の草種は調査しなかった。被度階級法によるデータは被度 (m² m⁻²) データに変換した (1': 0.03, 1: 0.15, 2: 0.375, 3: 0.625, 4: 0.875)。被度および草高を乗じることにより乗算優占度 {MDR (m³ m⁻²) = 被度 (m² m⁻²) × 草高 (m)} を算出した。また、茶園のうね間においては、雑草が散在している程度であったため、定量的な調査は行わず、目立った雑草の種名を記録するのみとした。

静岡県内の茶園周縁部では 20 科

34 種の雑草が確認され、県内の多くの地域でメヒシバ (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler) が優占していることが明らかとなった (表 -1)。1969 ～ 1970 年における牧之原地域の茶園においても、夏期にはメヒシバが優占していたことが報告されている (小幡 1973)。一方、現在の牧之原地域の茶園においては、メヒシバよりもオヒシバ (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) のほうが乗算優占度が高かった (表 -1)。近年、牧之原地域および中遠地域の茶園周縁部では、オヒシバ等がグリホサート系除草剤により枯死しにくい事例が生じており、本調査においてもグリホサート散布後にオヒシバが多く生存している圃場が確認された。そのため、地域によっては茶園周縁部のオヒシバがグリホサート抵抗性を発達させ、それが雑草種数および種構成に影響を及ぼしているのかもしれない。今後は、茶園周縁部におけるグリホサート抵抗性雑草の発生実態や抵抗性程度を明らかにする必要があるだろう。

茶園のうね間においては、ダンドボロギク (*Erechtites hieracifolius* (L.) Raf. ex DC.) (図 -2(d)), ベニバナボロギク (*Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S.Moore), オオアレチノギク (*Erigeron sumatrensis* Retz.), ノゲシ (*Sonchus oleraceus* L.), コセンダングサ (*Bidens pilosa* L. var. *pilosa*), アメリカセンダングサ (*Bidens frondosa* L.), チチコグサモドキ (*Gamochaeta pensylvanica* (Willd.) Cabrera), メヒシバ, ツユクサ (*Commelina communis* L.) 等が散在していた。これらの中でも、キク科の草高の高い雑草種 (ダンドボロギク, ベニバナボロギク等) については、チャの樹冠面よりも草高が高まるため、茶

園管理作業の障害や収穫物への異物混入源として特に問題となるだろう。

おわりに

茶園の構造は主に茶うね、うね間および茶園周縁部の3要素から成り立っている(徐 2016)ため、茶園の雑草対策を講じるためには、それぞれの場所における雑草発生実態を明確に把握する必要がある。本研究により、静岡県内の主要茶産地における茶園の樹冠面(茶うね)、周縁部およびうね間において、夏期に防除対象となる雑草の発生実態が明らかとなってきた。現在、

静岡県では茶園における効果的かつ効率的な雑草管理技術を開発するために、農業機械メーカーとの共同研究により、チャ樹に絡みつくヤマノイモ等の蔓性雑草や、うね間の雑草を物理的に防除する機材の開発に取り組んでいる。

引用文献

青野英也・中山仰 1949a. 牧の原茶園雑草目録(第一報). 茶業技術研究 1, 37-42.
青野英也・中山仰 1949b. 牧の原茶園雑草目録(続報). 茶業技術研究 2, 34-35.
青野英也・中山仰 1951. 茶園雑草の生態に関する調査. 茶業技術研究 4, 39-42.
市原実ら 2020. 静岡県内における茶園周縁部の植生および茶摘採面上の蔓性雑草の発生実態. 雑草研究 65, 114-117.

小幡兼男 1973. 牧之原南部地域の茶園雑草について. 静岡県茶業試験場研究報告 5, 35-53.
小幡兼男 1987. 茶園雑草防除の現状と問題点—静岡県を中心として—. 雑草研究 32, 1-6.
Penfound, W.T. and J.A. Howard 1940. A phytosociological study of an evergreen oak forest in the vicinity of New Orleans, Louisiana. Am. Midl. Nat. 23, 165-174.
徐錫元 2012. 除草の風土〔22〕三重県の茶園における雑草防除, 特にヤマノイモの抜き取り. 雑草研究 57, 67-68.
徐錫元 2016. 除草の風土〔30〕静岡県中・西部の茶園およびその周辺部での雑草防除. 雑草研究 61, 157-158.
静岡県 2021. 静岡県茶業の現状. <http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-340/documents/chagyounogenjyou-03.pdf> (2021年8月20日アクセス確認)

統計データから

令和元年産花木等生産状況

令和元年産花木等生産状況調査結果を表に示した。

花木類の作付面積(販売を意図した栽培)は2,777haで、出荷量は5,458万本、出荷額は146億円となっている。芝の作付面積は4,529haで、出荷量は3,263ha、出荷額は59億円となっている。地被植物類の作付面積は75haで、出荷量は

34ha、出荷額は25億円となっている。

なお、令和元年度産調査は主産県調査年に当たり、直近の全国調査年である平成30年の作付面積の全国値のおおむね80%を占める上位都道府県を調査対象(主産県)としている。表には上位3主産県の作付面積等も加えた。(K. O)

表 令和元年産花木等生産状況

類・品目	作付面積	出荷額	主産上位の都道府県					
			千円	千円	千円	千円	千円	千円
花木類	277,703	14,571,714	福 岡	4,070,172	千 葉	4,037,146	愛 知	2,824,158
うち								
ツツジ	24,150	907,510	三 重	14,798	福 岡	4,208	東 京	2,182
サツキ	22,857	807,068	三 重	17,319	栃 木	3,193	東 京	2,345
カイツカイブキ	4,033	234,874	愛 知	1,570	千 葉	1,384	福 岡	859
タマイブキ	245	2,860	千 葉	141	熊 本	40	香 川	34
ツバキ	7,280	248,476	千 葉	2,226	福 岡	1,704	東 京	1,604
モミジ	8,045	702,354	福 岡	2,069	福 島	2,030	千 葉	1,037
ヒバ類	18,857	1,739,749	千 葉	15,872	三 重	2,985		
ツグ類	10,936	542,281	三 重	4,364	愛 知	2,322	千 葉	1,543
その他花木	181,300	9,386,542	福 岡	48,745	鹿児島	42,307	千 葉	25,143
芝	452,851	5,895,647	茨 城	3,105,000	鳥 取	1,564,767	北海道	706,413
うち								
日本芝	423,298	4,875,169	茨 城	310,000	鳥 取	79,707	鹿児島	33,591
西洋芝	29,553	1,020,478	北海道	18,420	宮 崎	6,033	鳥 取	5,100
地被植物類	7,540	2,533,806	三 重	848,525	埼 玉	483,992	千 葉	477,782
うち								
蔓もの類	697	220,872	東 京	389	愛 知	164	三 重	122
タケ・ササ類	453	146,649	東 京	304	三 重	55	愛知・千葉	47
ジャノヒゲ類	2,060	1,046,977	三 重	1,189	鹿児島	360	愛 知	295
草本類	2,859	824,469	埼 玉	1,656	東 京	285	兵 庫	279
木本類	1,471	294,839	千 葉	487	三 重	347	鹿児島	226

「令和元年産花木等生産状況調査結果」令和3年8月20日公表(農林水産省)による

は作付面積(a)

は出荷額(千円)

カーネーションの香り

一切り花における付加価値としての可能性を探る―

農研機構野菜花き研究部門
野菜花き品種育成研究領域

岸本 久太郎

はじめに

カーネーション (*Dianthus caryophyllus* L.) は、バラやキクと並んで世界三大花卉と称され、流通量の多い花である (小野崎 2016)。農林水産省の平成 30 年度花き生産出荷統計によれば、日本の切り花類ではキクに次いで出荷本数が多く、約 2 億 3 千本である。一方、わが国のカーネーション切り花の年間流通量は、6 億本前後で安定しているが、国内の出荷量は年々減少しており、輸入品の占める割合が高くなって久しい (小野崎 2016)。従って、国産カーネーションには、輸入品との差別化が求められている。

香りは、花卉ならではの魅力の一つであるが、カーネーションにおいても注目すべき特徴のように思われる。カーネーションは、クローブ様のスパイシーな芳香を有し、その主たる香氣成分は、芳香族化合物のオイゲノールであるとされている (フレディ・ゴズラン, グザビエ・フェルナンデス 2013; 中島基貴 1995)。また、欧州では、カーネーションの香りを、香水や飲食物の香り付けなどに利用してきた歴史があり、地中海沿岸地域では、香料用のカーネーションが栽培されている (フレディ・ゴズラン, グザビエ・フェルナンデス 2013)。カーネーションが日本に伝来したのは江戸時代の初期と推定されているが、当時の日本を代表する本草学者の貝原益軒は、カーネーションを「大ニシテ香アリ」と描

写しており (貝原 1709)、その香りの強さを特筆すべき性質とみなしていたようである。

一方、わが国において、一般人約 900 人を対象に実施した切り花のアンケート調査では、「カーネーションの香りを想起できる」と回答した人は約 8% であった。この割合は、ユリやバラの回答者の割合が約 70% であったことと比較すると、非常に低い。また、カーネーションについては、「香りを向上させたい」という回答が 3 割以上に達し、最も高い割合を示した (岸本 2012)。これらの結果から、現在の日本においては、消費者の多くは、カーネーションの香りを知らないだけでなく、カーネーションには香りがないと認識しており、香りの向上が切望されていると考えられる。

これまで、筆者らは、カーネーション切り花における香りの付加価値と

しての有望性を探るため、香氣成分分析と香りの官能評価との比較解析を行い、香りの多様性や人に対する嗜好を明らかにした。さらに、切り花の香りの発散が、収穫後の管理条件によってどのような影響を受けるか調査し、香りの保持に適した管理の方法について検討した。本稿では、これらの結果に基づいて、香りを付加価値として活用するために必要な要素を論ずる。

1. カーネーションの香りの特徴

(1) 香りの多様性

カーネーションの花の香りは、芳香族化合物、テルペノイド、及び脂肪酸誘導体などで構成され、最も主要な香氣成分は、芳香族化合物である

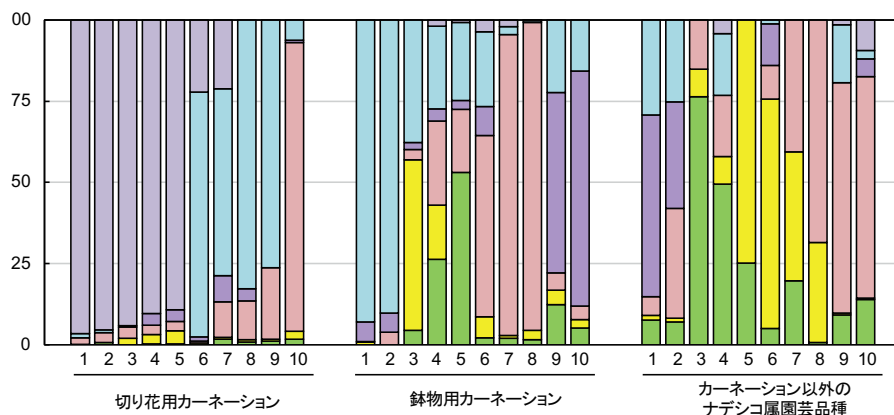


図-1 ナデシコ属園芸品種の発散香氣成分組成の比較

切り花用カーネーション、鉢物用カーネーション、及びカーネーション以外のナデシコ属園芸品種各 10 品種の発散香氣成分の組成比を示す

芳香族化合物		その他の香氣成分	
安息香酸メチル	オイゲノール	テルペノイド	脂肪酸誘導体
イソオイゲノール	上記以外		

(Kishimoto 2020)。特に切り花用のカーネーションでは、数種類の芳香族化合物が大半を占め、これらによって香りが特徴づけられている (図-1)。

市販の切り花用カーネーション 25 品種を無作為に選定し、香りを分析した結果、その内、23 品種が安息香酸メチルを主要香気成分としており、オイゲノールを主要香気成分としていたのは 1 品種のみであった (岸本ら 2019)。この分析結果は、カーネーションの主要香気成分が、オイゲノールであるとする定説とは一致しなかった。さらなる調査を進めた結果、他にもオイゲノールを主要香気成分とする品種が見出されたが (図-1)、市販品種においては、オイゲノール系の香りは希少であることが明らかになった (Kishimoto 2020 ; 岸本ら 2019)。

一方、鉢物用のカーネーションやカーネーション以外のナデシコ属園芸品種は、切り花用カーネーションと比較して、香気寄与成分の種類が豊富で、香気成分組成も多様である (図-1, Kishimoto 2020)。これらには、切り花用カーネーションにはなかったテルペノイドを主要香気成分とした品種も認められる。さらに興味深いことに、切り花用において支配的であった安息香酸メチル系の香りは、鉢物用においては稀なようである。このように、香りに着目すると、切り花用と鉢物用カーネーションは系統的に異なっているように見受けられる。

(2) 香りの変化

カーネーションの香りの発散は、開花と同時に急激に高まる。このとき、香気成分の生合成や発散に寄与すると推定される転写因子や酵素遺伝子の発現も急速に上昇することから、カーネーションの香りは、これらの遺伝子発現によって制御されていると考えられる (Kishimoto and Shibuya 2021)。香気成分発散量が最も高い時期、すなわち香りが最も強い時期は、開花から数日間であるが、それを過ぎても発散量の減少はゆるやかである。その後、花卉の退色やしおれといった老化が視認できる段階になると、香気成分の発散量は急速に低下する。このような香気成分発散量の変動様式は、安息香酸メチル系とオイゲノール系の両方に共通している (Kishimoto and Shibuya 2021)。

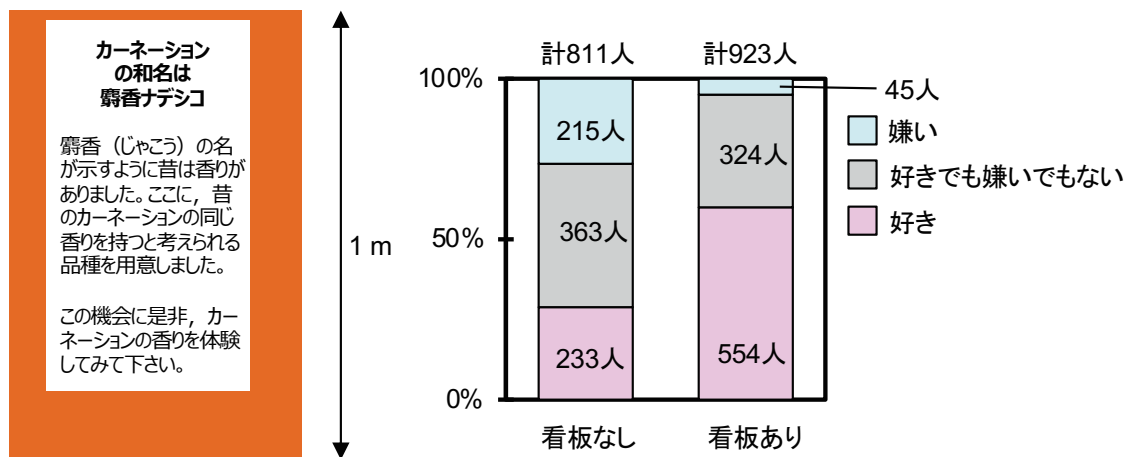
カーネーションの花の香りの減少は、花卉の老化と同調的に起こるが、花卉の老化は、植物ホルモンであるエチレンによって誘導される (Kondo *et al.* 2020)。また、エチレンをカーネーションに処理すると香気成分の発散量が急速に減少する (Schade *et al.* 2001)。ペチュニアでは、香気成分生合成酵素遺伝子の発現を抑制する転写因子の発現がエチレンによって活性化され、これにより香気成分発散量が減少することが知られている (Liu *et al.* 2017)。これらの報告から、カーネーションの香りの発散もエチレンによって負に制御されていると推定される。

いくつかの植物では、開花の進展に伴い、発散香気成分の種類も大きく変化する (Pragadheesh *et al.* 2017)。切り花用カーネーションの香りは、芳香族化合物が支配的であるが、開花ステージの晩期には、セスキテルペンであるカリオフィレンの割合が増加する傾向がある (Kishimoto and Shibuya 2021)。しかしながら、この時期には、香りの発散量も少なく、香りもほとんど感じ取れなくなっている。

(3) 官能評価

切り花用のカーネーションを用いて香りの官能評価試験を行った結果、安息香酸メチル系の方が、オイゲノール系よりも、好まれる傾向を示した。安息香酸メチル系の場合、十分に香る発散量が維持された状態では、50%以上の被験者が「好き」と回答し、「嫌い」と回答した被験者の割合は 10 ~ 20%程度と低かった (岸本ら 2019)。安息香酸メチルは、スイセン、リンゴ、ブドウ、及びオレンジなど種々の花や果物の主要な香気成分の一つで、甘いドライフルーツ様の芳香がある (Burdock 2010)。

一方、オイゲノール系の場合、「好き」と「嫌い」の被験者の割合がともに約 30%と拮抗し、「好きでも嫌いでもない」と回答した被験者の割合も多かった (岸本ら 2019)。筆者は、この理由として、わが国では欧州のようにオイゲノールのスパイシーな香りに慣れ親しんできた文化がないため、花の香りとしては想定外の匂いがしたこ



試験会場に用意された立て看板の模式図

香りの官能評価結果

カーネーションの匂いを嗅いで当てはまる項目を○で囲んでください
「 好き 好きでも嫌いでもない 嫌い 」

図-2 2013 年度農研機構一般公開にて実施されたカーネーションの香りの官能評価試験結果
被験者は、試験会場に展示されているカーネーション品種ドゥルカルの匂いを嗅いで、上記の質問に回答した

とに違和感を覚えた被験者が多かったのではないかと推測している。しかし、2013 年度の農研機構の一般公開（茨城県つくば市）において、一般来場者を対象に実施した試験では、興味深い結果も得られている。ただし、この試験には切り花用品種ではなくオイゲノール系の鉢物用品種（品種ドゥルカル）を使用している。試験会場に花の香りについて簡単な情報を記述した看板（図-2 の左）を用意した区とそのような情報を一切提示しなかった区との比較試験を行ったところ、香りの情報を示した区では、「好き」の評価が60%にまで向上し、「嫌い」の評価が5%未満にまで減少した（図-2 の右）。香りの価値や希少性に関する情報が事前に与えられると、被験者は未知の香りに対する警戒感よりも好奇心が増し、好意的な評価につながるようである。

2. 収穫後の管理条件の違いが切り花の香りに与える影響

(1) 収穫とエチレン作用阻害剤の影響

カーネーションを切り花にすると鉢植えのままで維持したときよりも老化誘導ホルモンであるエチレンの生産が早くおこり、花の日持ちが短くなる（Kondo *et al.* 2020）。しかし、市販のカーネーション切り花は、収穫直後にエチレンの作用阻害剤であるチオ硫酸銀陰イオン性錯体（STS）が処理されるため、老化が抑えられ、地植えの状態よりも日持ちする。このように、同じカーネーションの花であっても、それぞれ置かれた状況によって日持ちが異なるが、花の香りについてはどうだろうか。

図-3 の上段は、鉢植えの花と切り花の香気成分発散量の経日変化を比較したものである。安息香酸メチル系（品種コマチ）とオイゲノール系（品種ミルキーウェイ）のいずれにおいても、

切り花では一貫して香りの発散量が減り続け、鉢植えの花よりも香気成分発散量の減少が早いことが分かる。

一般に、カーネーションの切り花では、収穫の3～4日後に花弁内のエチレン量が上昇し、これに追従して花の老化がおこる（Kondo *et al.* 2020）。しかし、切り花における香りの減少はこれらに先行して開始される。従って、切り花では、香りの減少は、エチレンとは異なる要因によって引き起こされると考えられる。また、収穫前後の香気成分発散関連遺伝子の発現量に大きな変化は認められず（Kishimoto and Shibuya 2021）、切り花における香りの減少は、少なくとも既知の香気成分発散関連遺伝子の発現によって制御されているわけではないようである。

収穫から4日後以降の香気成分発散量に着目すると、STS 処理した切り花の方が、そうでない切り花よりも高い発散量が維持される傾向があり、特に、オイゲノール系においては顕著であった（図-3 の中段）。このように、開花ステージの中期以降になると、今

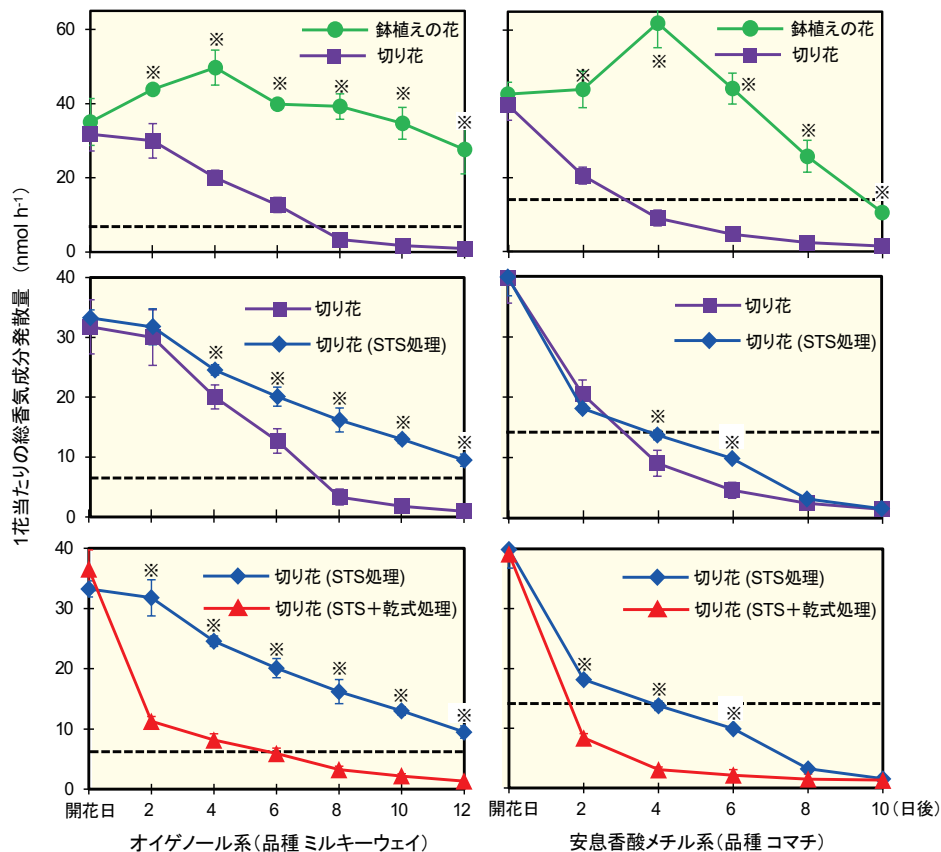


図-3 カーネーション花の香気成分発散量の経日変化

切り花は、開花日に収穫された。※有意差あり (t-検定, $n = 3$, $p < 0.05$)。STS 処理: 0.2 mM 硝酸銀と 1.6 mM チオ硫酸ナトリウム・五水和物の混合溶液 (エチレン作用阻害剤) を切り花に 12 時間吸水させた。

乾式処理: STS 処理後、切り花への水の供給を 24 時間だけ断った。点線は、カーネーションの花の香りの強さを 4 段階 (よく香る・香る・あまり香らない・香らない) で評価したとき、被験者の 70% 以上が「よく香る、あるいは香る」と評価した香気成分発散量の下限 (岸本ら 2019)

度はエチレンの作用により香りの減少が相加的に早まると推定される。そして、STS は、このエチレンによる香りの減少の促進を抑制していると考えられる。

こうした香りの発散量の違いは、嗅覚的にも意味のある違いなのだろうか。筆者らは、正規分布において、平均値を中心とした標準偏差の 2 倍の領域 (全体の約 70%) のヒトが「香る」と評価する香りは、概ね香ると判断しても良いのではないかと考えた。そこで、性別と年齢を均等に振り分けた 80 名の被験者に様々な開花ステージのカーネーションの香りを嗅がせ、強さを 4 段階 (「よく香る」・「香る」・「あまり香らない」・「香らない」)

で評価してもらい、70% 以上の被験者が香りの強さを肯定的に評価 (「よく香る」か「香る」を選択) した発散量の下限を見出した (岸本ら 2019)。この値 (図-3 の点線) を指標として香りの持続期間を比較すると、オイゲノール系の鉢植えの花は、開花から 12 日後も香りが維持されていると推定されるが、切り花では、6~8 日後には香りが失われていると推定される (図-3 の上段)。一方、STS 処理した切り花は、STS 処理しなかった場合と比較して 4 日間ほど香りの持続期間が長くなることが期待される (図-3 の中段)。安息香酸メチル系においても鉢植えの花と切り花では、香りの持続期間が大きく異なることが示唆さ

れた。しかし、オイゲノール系の切り花で見られたような、STS 処理による香りの持続期間の向上は、示唆されなかった (図-3 の中段)。安息香酸メチル系とオイゲノール系の複数の品種において同様の調査を行った結果、安息香酸メチル系は、オイゲノール系と比較して切り花における香りの持続期間が短く、STS 処理による香りの保持効果も低いことが示された (Kishimoto 2021)。その理由の一つとして、安息香酸メチルは、嗅覚閾値が高く、香るためには、オイゲノールより多くの発散量が必要とすることが挙げられる (図-3)。

(2) 輸送方式と後処理剤の影響

カーネーションの主たる輸送方式は、乾式輸送であり、輸送中は水が切れた状態となる。これに対して切り花を水に生けた状態で輸送する湿式輸送がある。湿式輸送は、切り花の積載量に対して、重量がかさみ、コスト高になるため、カーネーションにおいてはあまり採用されていない。

これらの輸送方式の違いがカーネーション切り花の香りの発散に影響するかどうか調査した。その結果、乾式処理を行った切り花では、香気成分発散量の減少が促進され、香る期間も短くなることが示された (図-3 の下段)。従って、乾式輸送は、切り花における香りの減少をさらに助長していると考えられる。この乾式処理による香り減少の促進は、STS 処理によって軽減されないことから (Kishimoto 2021),

少なくともエチレン非依存的な機構であると推定される。これまでのところ、乾燥ストレスと植物の香りの発散の関係を指摘した研究報告は他にないようである。

STSのように出荷前に生産者によって処理される品質保持剤を前処理剤と呼ぶ。これに対して、輸送後の切り花の日持ちを向上させるための処理される品質保持剤を後処理剤と呼ぶ(市村 2016)。後処理は、主に花屋さんなどの販売者によって行われることが多いが、広義には、消費者が市販の品質保持剤を切り花に処理する場合も含まれる。後処理剤の主成分は、切り花の養分となる糖質であるが、糖質を生け水に加えると細菌の増加を招くため、これを防ぐ抗菌剤も含まれている(市村 2016)。

ショ糖を主成分とした後処理剤は、バラやチューリップなど多種多様な花き品目において、日持ちの向上効果があることが報告されている(市村 2016)。この後処理剤が、カーネーション切り花の香気成分発散量に与える影響について調査した。切り花は、収穫直後にSTS処理され、その後、湿式管理下に24時間置かれたものを使用した。その結果、後処理区と無処理区の切り花の間に有意な違いは認められなかった(Kishimoto 2021)。糖質の種類を果糖やブドウ糖に変えた試験でも結果は同じであった(Kishimoto 2021)。このことから少なくとも、糖質の後処理が、カーネーションの香りに悪影響を与えることはないようである。

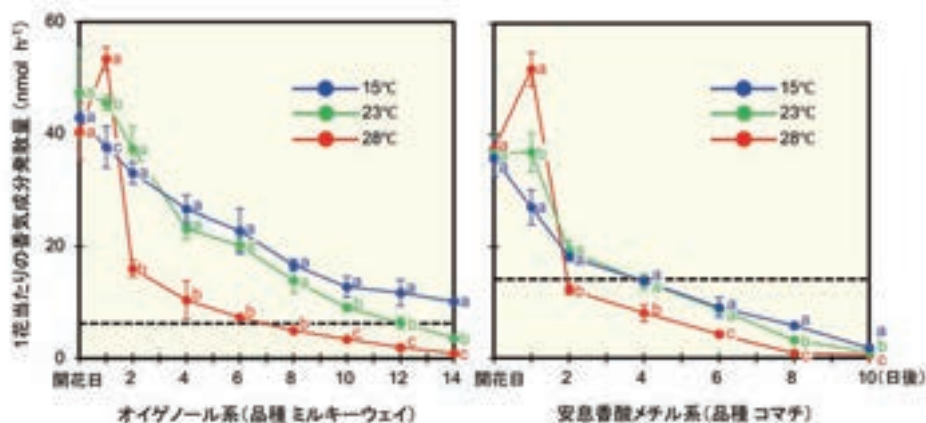


図-4 異なる温度条件下におけるカーネーション切り花の香気成分発散量の経日変化
切り花は開花日に収穫され、エチレン作用阻害剤であるSTS (0.2 mM 硝酸銀と 1.6 mM チオ硫酸ナトリウム・五水和物の混合溶液) が処理された。同日区の異なるアルファベットは有意差を示す(Tukey's 検定, $n = 3$, $p < 0.05$)。点線は、カーネーションの花の香りの強さを4段階(よく香る・香る・あまり香らない・香らない)で評価したとき、被験者の70%以上が「よく香る、あるいは香る」と評価した香気成分発散量の下限(岸本 2019)

カーネーションの切り花では、収穫後、花卉内の糖質の含量が減少し続けることが知られている(Kondo *et al.* 2020)。糖質は、花卉において芳香族化合物の基質となることから、切り花への糖質の補給は、理論的には香りの減少を抑える働きが期待できる。しかし、結果はそうではなかったことから、生け水から導管を介して吸収された糖質を香気成分生合成に活用できない何らかの理由があるのかもしれない。あるいは、一般的な後処理の糖濃度(1%)では、香気成分の生産には足りなかった可能性もある。

(3) 温度の影響

切り花の生理状態は、温度に左右され、日持ちにも大きく影響する(市村ら 2015)。これまで紹介してきた結果は、常温(23°C)の温度条件下で得られたものであるが、これにわが国の冬季と夏季の屋内を想定した温度(それぞれ15と28°C)を加え(勝野・H. B. リジャル 2011)、各温度条件下におけるカーネーションの香りの発散の比較を行った(Kishimoto 2022)。

その結果、湿式管理下におかれたオイゲノール系のミルキーウェイで

は、15°Cの方が、23°Cよりも香りの持続期間が長いことが示唆された(図-4)。一方、安息香酸メチル系のコマチでは、15°Cと23°Cの香りの持続期間に顕著な差異は示唆されなかった(図-4)。また、いずれの切り花においても、28°Cは、香りの持続期間を短くすると推定された(図-4)。従って、夏季のように気温が28°Cを超える高温期は、切り花の香りが早く失われると予想される。

興味深いことに、温度が高い条件ほど収穫直後の香気成分発散量は高いが、その後の減少も早いことが示された(図-4)。最近の研究から、花の香気成分は花卉の表皮から一斉に放出されるわけではなく、一時的に花卉表層のクチクラに蓄積されるようである(Liao *et al.* 2021)。ペチュニアの場合、花卉全体の香気成分の内、半分の香気成分がクチクラに存在すると推計されている(Liao *et al.* 2021)。筆者は、カーネーション切り花において、高温下での香気成分発散量が一時的に高かった理由は、温度が高いほどクチクラから揮発する香気成分量が増えるからだと考えている。また、その後の発散量の急速な減少は、クチクラに蓄

えられていた香気成分が先に枯渇してしまったからであると考えられる。また、温度が高いほど呼吸量が増加するため、香気成分の原材料となる糖質の消耗も早いと予想される。

まとめ

市販の切り花用のカーネーションのほとんどは、安息香酸メチル系の香りを有するが、収穫後の香りの保持に優れているのは、オイゲノール系である。また、STSによるエチレン作用阻害は、花の日持ちだけでなく香りの保持という点でも有効である。

切り花の香り保持には、水を切らない管理、すなわち湿式輸送が不可欠である。湿式輸送は、海外から空輸される切り花には適用できないため、国産品と輸入品との差別化に適した香りの保持方法といえる。また、湿式輸送は、コスト高ではあるが、生産者や卸売業者中には、カーネーションの品質向上を意図して、本輸送方式を積極的に取り入れているところも少なくない。このような取り組みにおいては、香りの存在は、付加価値としてだけでなく、切り花が新鮮であることや収穫後管理が適切であったことを消費者に伝える手段としても有効なように思われる。

切り花の香り保持には、温度も重要な要素である。ただし、温度管理による香りの保持効果を得るためには、切り花が湿式管理されていることが前提である。筆者らの調査では、10～15℃の温度帯が、カーネーションの

切り花の香りの保持に適していることが示された(Kishimoto 2022)。また、これらの温度条件は、花屋さんなどで見かける冷蔵機能付きのショーケースでも容易に達成できる温度でもある。オイゲノール系のミルキーウェイでは、収穫後の6日間を10℃の低温で管理すると、切り花を常温に移した後の香り保持期間が、常温で維持し続けたときよりも長くなることが示唆されている(Kishimoto 2022)。従って、切り花が消費者の手に渡るまで10℃で管理するだけでも、香りの延長効果が期待できる。

本研究では、現状のカーネーションの出荷・販売形態に留意して、切り花の香りに対する影響を調査し、香りの保持のために適切な管理方法を検討してきた。しかしながら、収穫時の切り前（切り花の咲き具合）は、どの段階が、香りの保持に適しているのか、輸送中の長い暗期は香りの発散にどのように影響するのか、など、検討すべき課題は未だ多い。さらに、現状の収穫後管理の最適化だけでは、地植えの花と同等の香りの発散量を切り花に付与することは難しいと考えられる。言い換えれば、切り花において地植えの花と同じ生理状態を再現することができれば、更なる香りの保持効果を得ることが期待できる。

おわりに

収穫によって花の香りが減少することは、経験的にはよく知られていたこ

となのかもしれない。しかし、これを学術的に明らかにし、報告したのは、筆者らのカーネーションによる研究が初めてであると思われる(Kishimoto and Shibuya 2021)。また、カーネーションの主たる香気寄与成分が、オイゲノールから安息香酸メチルに置き換わっていたことも、驚くべき発見であった(岸本ら 2019)。これらを見出した時、カーネーションの香りは、書籍上ではよく知られているにも関わらず、われわれの多くが認知していないという謎がいつべんに解けた気がした。オイゲノール系の香りは、1970年代以前に登録された品種においては、まだ、主要であったようである(Clery *et al.* 1999)。1980年代になると、地中海系と称される耐病性に優れた交雑品種群が世界中に普及した経緯があり、現在のカーネーション品種もこれに連なっている(小野崎 2016)。筆者は、この地中海系が、安息香酸メチル系の香りを有する品種群であったと推定している。

これまで述べてきたように、カーネーション切り花の香りを保持する試みは、まだ検討すべき課題を抱えている。また、香りが多様性に乏しいことも悩ましい問題である。一方、切り花用品種以外のナデシコ属園芸品種には、多様な香りがあふれている。これらを切り花の芳香性向上のための育種素材として活用するのも魅力的な試みのように思われる。

花の香りを保持する研究を始めてから、花卉業界の様々な方々に大変お世

話になった。花を育種する人，栽培する人，流通させる人，販売する人，魅力を伝える人，研究する人など枚挙にいとまがない。ここに感謝の意を表したい。加えて，多くの方を差し置いて一人だけ名をあげることを許していただきたい。2020年に故人となられた矢祭園芸の金澤大樹氏なくしては，カーネーションの香りの研究をここまで進展させることはできなかった。重ねて，感謝申し上げる。

引用文献

- Burdock, G. A. 2010. Flavor ingredients sixth edition. p.1215-1216. CRC Press. Boca Raton.
- Clery, R. A. *et al.* 1999. An investigation into the scent of carnations. *J. Essent. Oil Res.* 11, 355-359.
- フレディ・ゴズラン, グザビエ・フェルナンデス (前田久仁子 訳) 2013. 調香師が語る香料植物の図鑑. p.219. 原書房, 東京.
- 市村一雄ら 2015. 重要切り花品目の常温と高温における日持ちの調査. 花き研究所研究報告 15, 15-24.
- 市村一雄 2016. 切り花の鮮度・品質保持 基礎と実践. pp.19-67. 誠文堂新光社, 東京.
- 貝原益軒 1709. 大和本草. 巻之七 (草之三) p.11 京都大学所蔵.
- 勝野二郎・H. B. リジャル 2011. リビングにおける温熱環境と快適感に関する研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東). p.385-386.
- 岸本久太郎 2012. ナデシコ属における花の香気成分の特徴. 植調 46, 291-299.
- Kishimoto, K. 2020. The characteristics of flower scents in carnations. pp.147-157. Onozaki, T. and M. Yagi. The carnation genome. Springer. Berlin.
- 岸本久太郎ら 2019. カーネーション切り花の発散香気成分の分析と官能評価. 農研機構研究報告野菜花き研究部門 3, 29-40.
- Kishimoto, K. and K. Shibuya. 2021. Scent emissions and expression of scent emission-related genes: comparison between cut and intact carnation flowers. *Sci. Hortic.* 281, DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109920.
- Kishimoto, K. 2021. Effect of post-harvest management on scent emission of carnation cut flowers. *Hort. J.* 90, 341-348.
- Kishimoto, K. 2022. Effect of temperature on scent emission from carnation cut flowers. *JARQ.* 56, 印刷中
- Kondo, M. *et al.* 2020. Comparison of petal senescence between cut and intact carnation flowers using potted plants. *Sci. Hortic.* 272, DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109564.
- Liao, P. *et al.* 2021. Cuticle thickness affects dynamics of volatile emission from petunia flowers. *Nat. Chem. Biol.* 17, 138-145.
- Liu, F. *et al.* 2017. PhERF6, interacting with EOBI, negatively regulates fragrance biosynthesis in petunia flowers. *New Phytol.* 215, 1490-1502.
- 中島基貴 1995. 香料と調香の基礎知識. pp.51-53. 産業図書, 東京.
- 小野崎隆 2016. カーネーション. pp.32-62. 柴田道夫 編. 花の品種改良の日本史. 悠書館. 東京.
- Pragadheesh, V. S. *et al.* 2017. Scent from *Jasminum grandiflorum* flowers: investigation of the change in linalool enantiomers at various developmental stages using chemical and molecular methods. *Phytochemistry* 140, 83-89.
- Schade, F. *et al.* 2001. Fragrance volatiles of developing and senescing carnation flowers. *Phytochemistry* 56, 703-710.

ブラシノステロイドのケミカル バイオロジー研究の農業への 応用展開へ向けて

京都大学大学院
生命科学研究科
中野 雄司

はじめに

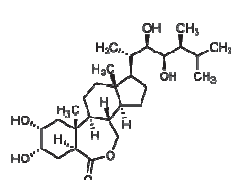
植物生理学の観点からの定義において、植物ホルモンは、「多くの種類の植物種において広く生産され、低濃度において植物の生理過程を明瞭に調節する化合物」とされている（高橋・増田 1994, など）。21 世紀に入っても、新しくストリゴラクトンや多種類のペプチドホルモンがこの定義に一致する化合物と認定され、植物ホルモンに仲間入りしている。さらに、化学分析機器の感度や精度の向上、オミクス解析技術の進化、構造生物学や情報科学の発展、なども背景に、現在も様々な天然の植物生理活性化合物の探索や機能解析が進められている。このように新しい植物ホルモンの単離・同定に始まる生理活性、生合成から受容体・シグ

ナル伝達機構の解明研究は、植物の成長や環境応答機構、病害抵抗性などにおける未解明の領域を明らかにし、また、植物ホルモンの持つ強い生理活性は、人工合成植物ホルモン類や植物化学調節剤の創製研究にも広がりつつ、農業などへの実用化展開も広く試みられてきている。このような基礎研究と応用研究の両方における研究の歴史と現在の活況状況は、植物ホルモン研究の未来が明るい展望に満ちていることを示している。

この植物ホルモンの中で、研究歴が比較的新しい部類となるブラシノステロイドは、1977 年にアメリカ農務省における発見と構造決定の第 1 報告がなされている。1980 年代になると東京大学農学部においてカステステロンをはじめとして多くの類縁体が報告されるようになり、その後の研究に

よって、植物の多岐に渡る成長ステップにおいて、総じて促進的な機能を持つことが明らかとなった。具体的には、植物の発芽促進、葉・茎・根の成長促進、果実形成の促進、植物病害抵抗性の向上、植物の環境ストレス耐性の向上、などである（Nakano and Asami 2014）（図 -1）。これらの複数の有用活性をみると農業現場への展開に興味を持たれるが、残念ながら、現時点ではまだ実用化には至っていない。その原因としては、天然のブラシノステロイドが植物中に非常に微量でしか内生しないこと、人工合成反応に複雑なステップが多数存在することが挙げられる。また、天然型ブラシノステロイドは、野外試験では、安定性が低いという研究報告もあり、コストのみでなく、化学構造の検討も課題であると考えられる。筆者らは、基礎研究

器官伸長促進
葉緑体制御
環境ストレス耐性向上
病害抵抗性向上



ブラシノステロイド (BR)

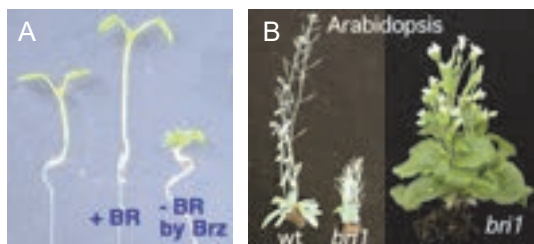


図 -1 ブラシノステロイドの生理活性は総じて促進的である
A: アラビドプシス明所発芽時のブラシノステロイド処理 (+BR) は胚軸伸長を促進し、ブラシノステロイド生合成阻害剤処理 (+Brz) は抑制する。
B: ブラシノステロイド受容体欠損突然変異体 *bri1* は矮性形態を示す

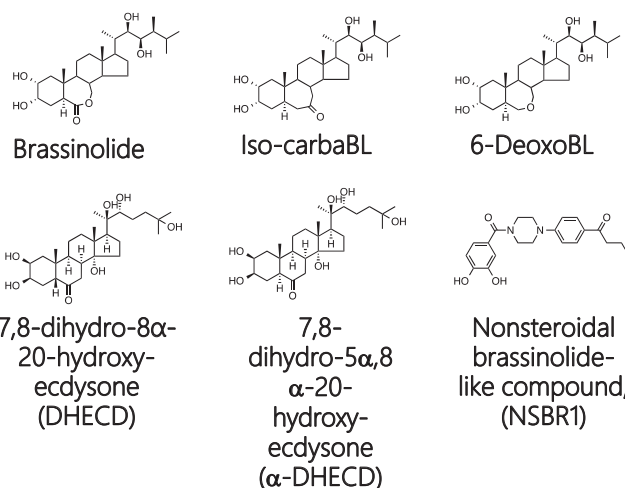


図 -2 ブラシノステロイド活性を持つ化合物

と実用研究の双方での活用へ向けて、ブラシノステロイド活性を持つ合成化合物、ブラシノステロイドの生合成阻害化合物、またこれらの化合物を活用するケミカルバイオロジー研究によるブラシノステロイドのシグナル伝達機構の研究を進めている。

1. ブラシノステロイド様活性化合物

6-Deoxo-6a-oxo-6a-carba BL (Iso-carba BL) および 6-deoxobrassinolide (6-Deoxo BL) は、ブラシノステロイドのB環（ステロイド骨格を形成する4つの環状構造の下段右側の環）の化学構造について、ラクトン体 (Brassinolide)、ケトン体 (Iso-carba BL)、デオキソ体 (6-Deoxo BL) の構造活性相関研究を行うことを一つの目的として、合成した化合物である (図-2) (Nakamura *et al.* 2017)。双子葉植物は、ブラシノステロイド生合成酵素を欠損した場合、胚軸や葉、花茎が矮化した形態を示すが、この矮性形態へのブラシノステロイド類縁化合物の投与による回復性を元にした活性測定が用いられている。筆者らは、この系を用いてアラビドプシスの生合成遺伝子欠損変異体 *det2* (*de-etiolation2*) とにおける形態回復活性と、下流のブラシノステロイド応答性遺伝子の発現解析を行い、Iso-carba BL と 6-Deoxo BL が、共に Brassinolide と同等の活性を示すことを明らかにした。一方、単子葉植物

においては、葉の基部にブラシノステロイド類縁化合物を投与し、葉が外側に曲がる性質を利用したラミナジョイントアッセイによる活性測定が用いられ、単子葉のモデル実験植物でもあるイネにおいても多く用いられる。このイネのラミナジョイントアッセイと下流の応答性遺伝子発現を用いた解析では、6-DeoxoBL は BL と同等の活性を示したが、Iso-carba BL は活性を示さなかった。この結果について、ブラシノステロイド受容体であるアラビドプシス AtBRI1 とイネ OsBRI1 について、*in silico* において作成した両受容体の3次元立体構造モデルとのドッキングシミュレーションを行ったところ、6-DeoxoBL は、AtBRI1 および OsBRI1 の双方と密接な相互作用を示すことが予測されたが、Iso-carba BL の場合は AtBRI1 との間では相互作用が予測されるアミノ酸が、OsBRI1 との間においては相互作用性が若干低くなる可能性が予測された。このような精密な受容体と化合物の親和性の相違が、積み重なって生理活性の違いとなっている可能性が考察されている。このような双子葉植物と単子葉植物との間の異なる生理活性は、将来的に、除草剤や植物成長調節剤を開発する際の手掛かりになると期待される。

Ecdysteroid (エクダイステロイド) は、ステロイド骨格を持つ化合物であり、主に、昆虫の脱皮を誘発する脱皮ホルモンである。熱帯地域のタイ国などに生育するシソ科植物 *Vitex glabrata* は、興味深いことに、この昆

虫エクダイステロイドの類縁化合物を生合成する。進化的見地からは、昆虫によって捕食されにくくするための防虫効果によって特殊な植物に獲得された化合物ではないかと考えられる。この植物性のエクダイステロイドは、4 kg の植物から約 60g の化合物を精製によって得ることが可能であり、40kg のアブラナの花粉から 4mg しか得られない植物ブラシノライドと比較して、非常に多量に植物体中に生合成される。このような生産量の多さに由来する実用化展開への期待と、植物における昆虫ステロイドホルモンの進化的保存性への興味から、これらの化合物の植物における生理活性の解析を行った。東京大学の浅見と筆者らは、天然に存在する Ecdyson (ECD), と、ECD を化学的に変換させた 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD), 7,8-dihydro-5 α ,8 α -20-hydroxyecdysone (α -DHECD) (図-2) を比較解析した結果、イネのラミナジョイントアッセイ、実験植物アラビドプシスのブラシノステロイド阻害剤 Brz による胚軸の矮性形態からの回復活性を示すことが明らかとなった。さらに、ブラシノステロイド応答性遺伝子の発現解析において、少なくとも DHECD と α -DHECD は、若干弱いながらも確かなブラシノステロイド様の生理活性を示すことも確認された (Thussagunpanit *et al.* 2017)。上述した通り、ECD は *Vitex glabrata* から大量に入手が可能であり、ECD から DHECD と α -DHECD への合成

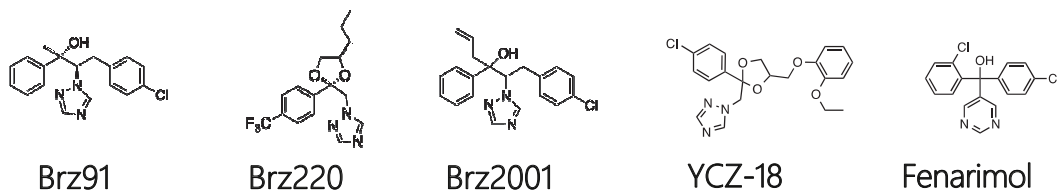


図-3 ブラシノステロイド生合成阻害活性を持つ化合物

も高効率な反応系が見つけられている。今後、より活性の高い植物性エクダイスステロイドの開発と共に、非常に興味深い。

ブラシノステロイドのステロイド骨格は、土壌中では安定性が低い場合があり、農業利用においては、改良の余地があると考えられている。そのような背景を元に、非ステロイド型ながら、植物にブラシノステロイド様活性を持つ化合物の開発も試みられている。近年では、このような化合物の設計（ドラッグデザイン）に、既に報告されているブラシノステロイド受容体 BRI1 の3次元立体構造と候補化合物のドッキングシミュレーションやモレキュラーダイナミクス法（MD、分子動力学法）が用いられている。これらの新しい手法を駆使して京都大学の中川らによって Nonsteroidal brassinolide-like compound (NSBR1) (図-2) が、設計・創製された。イネのラミナジョイントアッセイに加え、アラビドプシスの Brz と化合物の共処理による矮性形態からの回復実験、下流のブラシノステロイド応答性遺伝子発現解析によって、確かなブラシノステロイド様活性を示すことを明らかとなった (Sugiura *et al.* 2017)。このようなステロイド骨格とは異なる化学構造を母体としたブラシノステロイド化合物の創製が可能であることを示したことは、より安定性が高く、また、可能な限りコストも抑えた新しいタイプのブラシノステロイド化合物の創製が可能であることを示し得たと考えられ、その将来性が期待される。

2. ブラシノステロイド生合成阻害化合物

ブラシノステロイドの生合成阻害剤については、東京大学の浅見らを中心とする共同研究グループによる精力的な創製を始めとして、多くの開発が試みられている。図-3の化合物は全てアゾール型のブラシノステロイド生合成阻害剤であり、Brz91 から Triadimefon までの作用部位はブラシノステロイド側鎖 22 位水酸化に関わるチトクローム P450 酸化酵素 DWF4 であることが明らかにされている。Brz91, 2001, 220 はブラシノステロイド研究に広範囲に使われており、総称として Brz と呼称することが多い (Nakano *et al.* 2014)。

比較的近年になって、秋田県立大の王と筆者らは、DWF4/CYP90B1 の類縁酵素ながら特異的阻害剤が得られていなかった CYP90D1 酸化酵素の阻害剤として YCZ-18 を創製し、その生理活性を明らかにした (図-3) (Oh *et al.* 2015a)。また、微生物のエルゴステロール生合成阻害活性を持つ殺菌剤であり、農薬としても登録され使用されている Fenarimol が、植物においては CYP90D1 酸化酵素の阻害活性を持つことも明らかとした (図-3) (Oh *et al.* 2015b)。異なる化学構造や異なるターゲットに対する生合成阻害剤が今後も創製されることは、各生合成ステップの詳細な解明に役立つと共に、安価なブラシノステロイド生合

成阻害剤開発への道筋にもなると期待される。

3. ブラシノステロイドのシグナル伝達機構

1990 年代に入って広がったアラビドプシスをを用いた分子遺伝学は、遺伝子レベルのブラシノステロイド研究を加速度的に推進した。アメリカ・ソーク研究所のコーリー博士らによって、暗所においても胚軸が短く子葉が開く暗所下光形態形成を示し、ブラシノステロイド投与で形態が回復する突然変異体から、ブラシノステロイド生合成欠損変異体 *det2* が発見されたことを皮切りに、世界各地で同様の突然変異体の探索が進み、多くの生合成ステップが明らかにされた。さらに同グループによって、暗所下光形態形成を示しながらブラシノステロイド投与で形態が回復しない突然変異体から、ブラシノステロイド受容体として 1 回膜貫通型の Ser/Thr キナーゼ BRI1 (Brassinosteroid-insensitive1) も単離された。2つの論文は 1997 年の PNAS と Cell に立て続けに報告されている。ブラシノステロイドが発見された 1970 年後半からこの時期にかけて、ブラシノステロイドは植物ホルモンの分類には入り得ない、というのが国際的な植物生理学会の見解であったが、それはブラシノステロイドによる生理作用が、既知のオーキシンやサイトカイニンに比べると明瞭では無いと考察されていたことが主要な理由の一

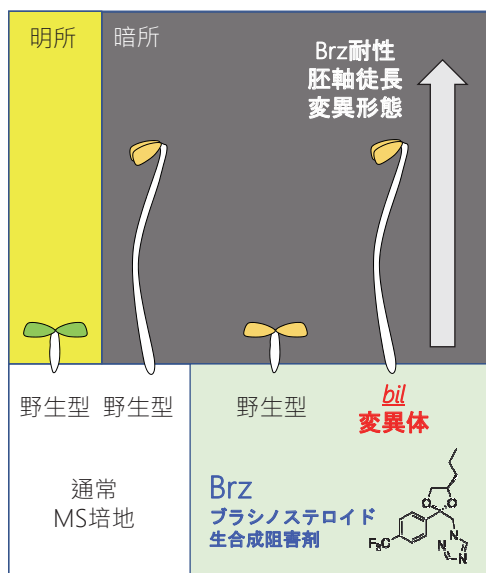


図-4 ブラシノステロイド生合成阻害剤 Brz を用いたブラシノステロイドシグナル伝達結成型突然変異体の選抜戦略

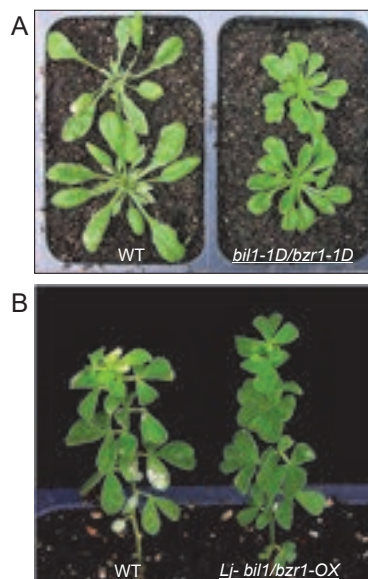


図-5 ブラシノステロイドシグナル伝達のマスター転写因子 BIL1 の高発現化植物は難防除害虫アザミウマへの食害耐性を示す
A: アラビドプシス BIL1 活性型変異体 bil1-1D と野生型のアザミウマ食害試験
B: マメ科ミヤコグサ BIL1 高発現型形質転換体 Lj-bil1/bzr1-OX と野生型のアザミウマ食害試験

つであった。その状況下において、このアラビドプシスにおけるブラシノステロイド生合成酵素遺伝子や受容体遺伝子欠損突然変異体が、野生型植物に比べて非常に強い矮性形態を示し、同時期に東京大学の横田らにより単離されたエンドウマメにおけるブラシノステロイド欠損変異体が同じ傾向の非常に強い矮性形態を示すことが明らかにされたことは、ブラシノステロイドが多種類の植物の形態形成において非常に重要な役割を果たしていることを示す、と認識されるようになった。その結果、ブラシノステロイドは植物ホルモンの分類内に入ると定義されることとなった。

天然化合物が持つ生理活性は植物が進化の過程で獲得した時点で既に植物によっては自明の生理現象であり、その化合物が植物ホルモンに分類されようがされまいが、植物自身の生活にとっては何も関係のない植物生理学者達の勝手な議論とも言える。しかし、この 1996 年頃からブラシノステロイドに関する学術論文は急激に増えてお

り、その生理活性発現機構の解明が劇的に進行した。研究成果の定義付け、格付け、が研究の発展には重要な時があるということは、基礎研究だけでなく応用研究にも当てはまることではないだろうか。

続いて、この BRI1 の発見によりブラシノステロイドの受容が細胞表面で行われることが明らかになったため、受容体から細胞核まで情報を伝えるシグナル伝達機構の解明が期待された。そこで、筆者らは、上述のブラシノステロイド生合成阻害剤 Brz 存在下で暗所発芽したアラビドプシス野生型株がブラシノステロイド欠損突然変異体と同様に暗所光形態形成を示すことに注目し、この Brz 条件下においても胚軸徒長かつ子葉閉鎖の形態を示す耐性突然変異体が単離され得れば、その変異体はブラシノステロイドのシグナル伝達経路が活性化された突然変異体と位置付け得ると着想した。その考えに基づく探索の中で、最初の強い変異形質は、アラビドプシス遺伝学の初期から用いられてきた点突然変異

を誘発する EMS 処理によって作成された変異種子から得られ、*bill-1D* (*Brz-insensitive-long hypocotyl-1D*) と命名した(図-4)。その後、上述のアメリカ・ソーグ研究所のコーリー博士の研究室に筆者が留学して研究を行い、原因遺伝子の単離に至った (Wang *et al.* 2002)。さらにその後の研究によって、BIL1/BZR1 および BES1 は、bHLH 型の転写因子として、各々約 3000 種の遺伝子の発現を制御する活性を持つことが明らかにされている。アラビドプシスの全ゲノム解析によって、推定される遺伝子数は約 26000 種であり、約 10% 強をこの遺伝子ファミリーが制御していることから、ブラシノステロイドのシグナル伝達のマスター転写因子として働いていると考えている (Nosaki *et al.* 2018)。

この *BIL1/BZR1* 遺伝子の周辺でさらに展開している農業利用も可能な形質についても紹介したい。筆者らが単離した *BIL1/BZR1* の機能獲得型アラビドプシス突然変異体 *bill-1D* および *BIL1/BZR1* を高発現させた遺伝子組換えミ

ヤコグサ（マメ科モデル植物）について、難防除害虫アザミウマの摂食試験を行ったところ、野生型植物と比べてアザミウマの摂食痕数が確かに減少する傾向を示すことが明らかとなった（図-5）。この耐性原理について解析を行ったところ、傷害応答の植物ホルモンであるジャスモン酸により誘導されるマーカー遺伝子として用いられる *VSP2* と *LOX2* 遺伝子の発現がアラビドプシス突然変異体 *bill-D* において、ミヤコグサの *LjVSP1b* 遺伝子発現も *BIL1/BZR1* 高発現型ミヤコグサにおいて、共に上昇していることが明らかとなった。これらのことより、*BIL1/BZR1* 遺伝子はブラシノステロイドのみでなく、ジャスモン酸のシグナル伝達経路ともクロストークし、植物にアザミウマの摂食耐性を誘導していると考察している（Miyaji ら 2014）。

bill-ID 変異体と同様の Brz 耐性の胚軸徒長型変異体として単離した *bil2-ID* は、変性したタンパク質の修復を行うシャペロン因子 DnaJ/HSP40 と相同性の高い新規遺伝子が高発現したことによって変異形態を示すことが明らかにされている。この変異体は、胚軸伸長に代表される成長促進活性に加えて、環境ストレスに耐性を示す活性を持つことが明らかとなっている。すなわち、実験植物アラビドプシス野生型植物は、高塩濃度条件、強光条件、において、成長が阻害されることが知

られるが、この *BIL2* 遺伝子が高発現した *bil2-ID* 変異体は、この条件下において生育可能であり、確かなストレス耐性を示した。この生理活性の発現機構としては、ストレス環境下において変性したタンパク質の *BIL2* タンパク質による修復活性によるものではないかと考察している（Bekh-Ochir *et al.* 2013）。

おわりに

このようなブラシノステロイドのシグナル伝達遺伝子による植物の成長促進、害虫への摂食害耐性や環境ストレス耐性の向上化研究は、ブラシノステロイド類緑化合物や阻害剤、さらにシグナル伝達遺伝子の形質転換体やゲノム編集植物を用いることによって、植物成長を促進する技術開発が可能であることを示していると考えられる。今後、ケミカルと遺伝子を組み合わせた複合型ケミカルバイオロジー育種によって、農業生産量や緑地保全の促進に向けた技術開発に貢献したいと考えている。

文 献

Bekh-Ochir, D. *et al.* 2013. A novel mitochondrial DnaJ/Hsp40 family protein BIL2 promotes plant growth and resistance against environmental stress in brassinosteroid signaling. *Planta* 237, 1509-1525.

Miyaji, T. *et al.* 2014. A master transcription factor BIL1/BZR1 in brassinosteroid signalling increases resistance against plant feeding by insect. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 78, 960-8.

Nakamura, A. *et al.* 2017. Molecular actions of two synthetic brassinosteroids, iso-carbaBL and 6-deoxoBL, which cause altered physiological activities between Arabidopsis and rice. *PLoS One* 12, e0174015 .

Nakano, T. *et al.* 2014. Brassinosteroid signalin and biosynthesis'. *Plant Chemical Biology*, John Wiley & Sons Inc., pp.128-144.

Nosaki, S. *et al.* 2018. Structural basis for brassinosteroid response by BIL1/BZR1. *Nature Plants* 4, 771-776.

Oh, K. *et al.* 2015a. YCZ-18 is a new brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *PLoS One* 10, e0120812 (2015a).

Oh, K. *et al.* 2015b. Fenarimol, a pyrimidine-type fungicide, inhibits brassinosteroid biosynthesis. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 17273-17288.

Sugiura, A. *et al.* 2017. Discovery of a nonsteroidal brassinolide-like compound, NSBR1. *J. Pestic. Sci.* 42, 105-111.

高橋信孝・増田芳雄 1994. 植物ホルモンハンドブック. 東京都, 培風館.

Thussagunpanit, J. *et al.* 2017. Characterization of synthetic ecdysteroid analogues as functional mimics of brassinosteroids in plant growth. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 172, 1-8.

Wang, Z., Nakano, T. *et al.* 2002. BZR1 is a novel nuclear protein that mediates brassinosteroid-induced growth and feedback suppression of brassinosteroid biosynthesis. *Developmental Cell* 2, 505-513 (2002)

ホウレンソウ

農研機構九州沖縄農業研究センター
畑作研究領域

鎌田 えりか

ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) はヒユ科に属する双子葉類で、鉄やβカロテンなどの栄養を豊富に含み、食味が良いことから世界中で消費されている。ホウレンソウの原産は中央アジアといわれており、そこから東西に伝わって品種の分化が進んだ。日本へは、中国で育成された東洋系の品種と、ヨーロッパ、アメリカで育成された西洋系の品種が伝来し、今ではこれらを交配した一代雑種が主に栽培されている。ホウレンソウは栄養生長の途中で収穫されることから、普段は花を目にする機会は少ない。今回はそんなホウレンソウの花について紹介する。

ホウレンソウは、雌花だけを着ける株と雄花だけを着ける株に分かれる雌雄異株植物である (図-1A)。雄花には4つの葯があり、開裂すると細かい花粉が大量にこぼれて風で運ばれる。雌花はこの花粉を受け取るための4~5本に分かれた長い柱頭をもつ (図-2)。ホウレンソウは風媒花であるため、昆虫を誘引するための花卉や蜜は退化したと考えられている。一般的には雄株と雌株に分かれるホウレンソウだが、雌雄両方の花をもつ株や、両性花をもつ株 (間性株) が見られることがある (図-1B,C)。ホウレンソウの雌雄性は単一の遺伝子ペアに支配されており、間性株の発現には不完全優性に働く単一の遺伝子によって制御されると考えられている (Janick

and Stevenson 1955; Yamamoto *et al.* 2014)。

ホウレンソウの花が咲く過程は、生長点の近くに花芽が作られる花芽分化と、花茎が伸長する抽苔の2つの現象に分けられる。ホウレンソウの花芽分化は日長の影響を受けないといわれており、発芽後15~30日程度で起こる。花芽分化が始まると、まず、生長点が肥大肥厚して円錐状に盛り上がる (分化初期, 図-3A)。その後、生長点の周囲に花房の突起が形成され (花房分化期, 図-3B)、さらに、生長点が隆起して複数の花房が形成される (花房形成期, 図-3C) (江口・市川 1940)。花芽分化後は長日条件によって抽苔が促進される。抽苔が起こる限界日長は、東洋系の品種では12~13時間、西洋系の品種では14~16時間程度といわれている (香川 2004)。また、長日に加えて温度条件や光質によっても抽苔が促進されることが報告されており、効率のよい育種や採種のためにもホウレンソウの抽苔に関する研究が進められている。

抽苔したホウレンソウは食味が悪いいため、野菜としての商品価値を失う。そのため、作型に応じた適切な品種選定によって抽苔を避ける必要がある。かつては短日条件下で栽培される秋播き冬どりの方が一般的だったため、抽苔は問題になりにくかった。しかし、現在は周年供給の需要に応えるため春から

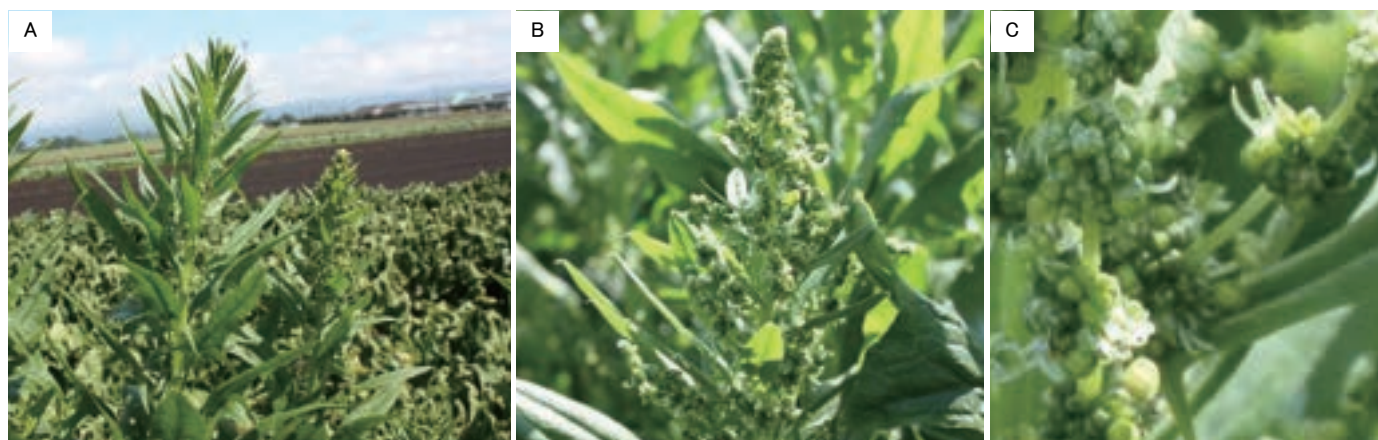


図-1 抽苔したホウレンソウ
A: 雌株 (左) と雄株 (右) B: 間性株 C: B の一部を拡大したもの。葯と柱頭が混在している。



図-2 ホウレンソウの雌花（左）と雄花（右）

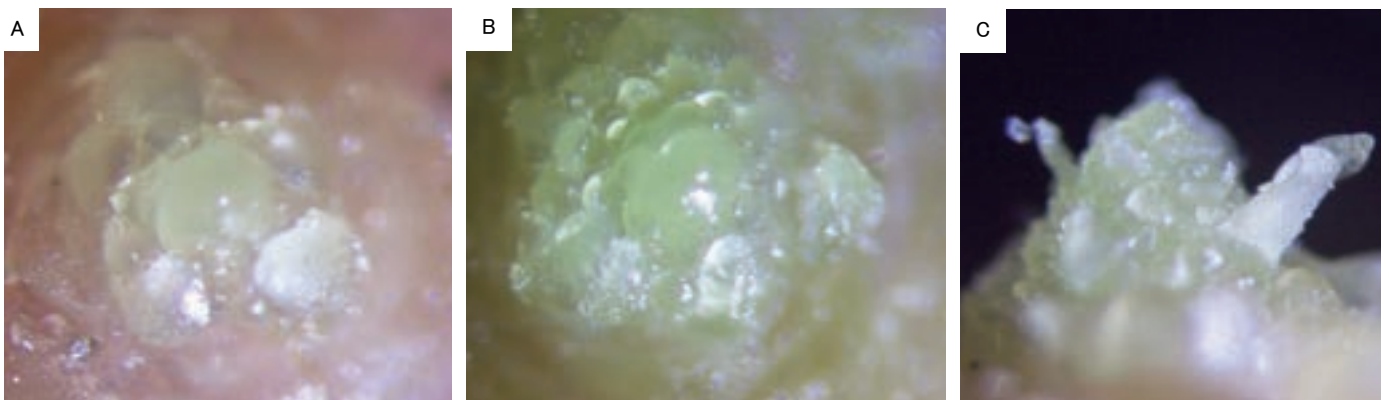


図-3 ホウレンソウの花芽分化の様子

A: 分化初期 B: 花房分化期 C: 花房形成期

A および B は生長点を上から撮影, C は生長点を横から撮影した。

夏にかけても栽培されており、暑さに強い晩抽性の品種が育成されてきた。さらに近年は、加工・業務用として冬から春にかけて大型に栽培する作型が増えている。この作型では、生育初期の低温伸長性と晩抽性を兼ね備えるという、これまでとは異なる形質が求められるため、生産現場の要望に応えられる品種は限られている。さらなる晩抽性品種の改良が求められるが、抽苔にくいということは、なかなか花が咲かず種を得るのが難しいということである。一年中美味しいホウレンソウを供給するために、生産者や育種家はホウレンソウの花と日々格闘している。

参考文献

- 江口庸雄・市川秀男 1940. 菠薐草の花芽分化と抽苔に関する研究. 園芸学会雑誌 11(1), 13-56.
- Janick, J. and E.C. Stevenson 1955. Genetics of the monoecious character in spinach. *Genetics* 40(4), 429-437.
- 香川彰 2004. 農業技術体系 第2版 15. pp.28-37.
- Yamamoto, K. et al. 2014. Molecular evidence that the genes for dioecism and monoecism in *Spinacia oleracea* L. are located at different loci in a chromosomal region. *Heredity* 112, 317-324.

除草剤は植物体内を どのように振舞うか？

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

研究分野において、昨今声高に叫ばれている言葉に「社会実装」があり、実用化に結び付く研究の価値をより高く評価する傾向にある。この実現には、第一に、①研究 (Research)、②開発 (Development)、③実証 (Demonstration)、④普及 (Diffusion) の四つの段階を着実に進めること、第二に、関係する社会や組織がそのベクトルを共有することが大切である。このコラムのタイトルとした『緒 (いとぐち)』は本来は糸の先端のことであるが、そこには「発端」とか「端緒」等の意味がある。私はこのコラムにおいて、様々な情報源から、雑草管理や作物の成長調節等に関連する話題を紹介することで、社会実装の最初のステップである「気づく」を皆さんと共有できればと考えている。お茶でも見ながらご覧いただければ幸いである。

なお、ここで取り上げる“除草剤”は、主に化学合成した分子量数百以下の低分子有機化学物質、いわゆる“化学農

薬”である。また、“農薬”や“除草剤”は農薬取締法上で定義されているものの、ここではそれらをあまり意識せず、それぞれが潜在的に持つ能力を念頭に置いて筆を進める。他にも読者の誤解を生むような用語の使い方が懸念されるときは、その都度追記したいと考えている。

まず始めに、私が今後投稿する記事の内容を理解しやすくするため、植物である作物や雑草の中で、化学農薬である除草剤がどのような振る舞いをするかを俯瞰的に捉えることとする。一般に野外で処理される除草剤ならば、まず環境中挙動から説明すべきところであるが、それらについては、本誌52巻2号 (與語 2018) をご参照いただくとし、このコラムでは植物と除草剤の相互作用を中心とした *In vivo* 以下の現象に注目していく。

除草剤の処理方法は、土壌処理剤と茎葉処理剤に大別されるが、これはわが国独特の表現である。海外では、pre-emergence (出芽前処理)、post-emergence (出芽後処理、early- (初期) や late- (後期) がある)、at-emergence (出芽時処理) のような処理時期や、over-the-top application (全面処理)、pre-plant incorporation (土壌混和処理)、wiper application (塗布処理) のような処理方法で表すことが一般的である。土壌処理剤は雑草の出芽前から出芽後に土壌に、茎葉処理剤は雑草の出芽後に茎葉に処理する薬剤のことである。

図-1に示したように、土壌に処理された除草剤は、そのまま植物体に吸収されることがあるものの、“残効性”を念

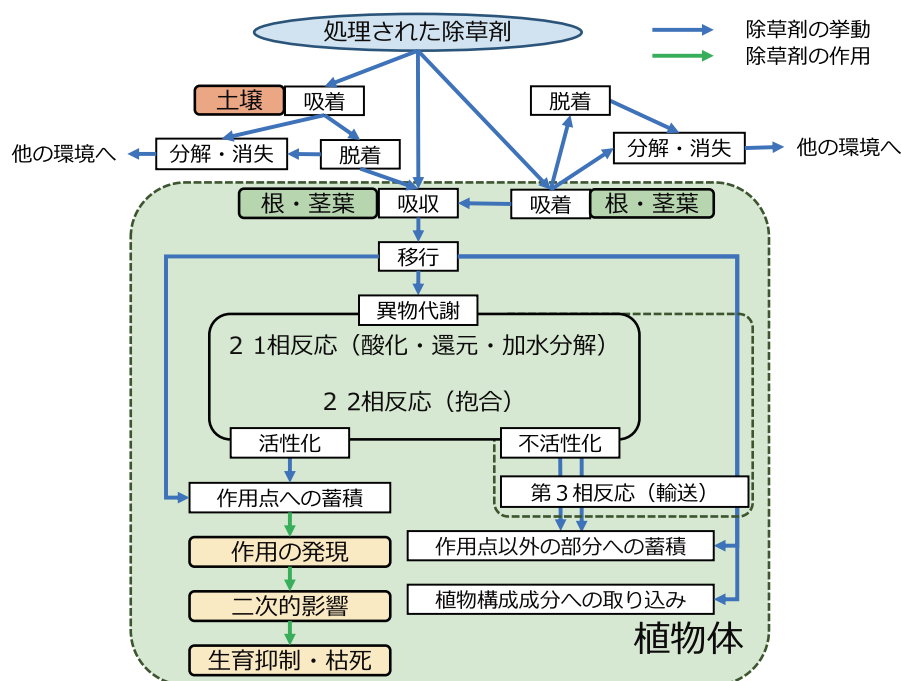


図-1 除草剤の植物体内挙動

頭に入れると、土壌にいったん吸着された後、土壌中の水相に脱着して、根や地下にある茎葉基部、あるいは発芽した芽から吸収される。一方、茎葉に処理された除草剤は、茎葉表面にいったん吸着された後、茎葉内部に浸透して吸収される。茎葉の傷や切株に塗布または灌注処理する場合は、吸着を介さないで吸収される。

植物体に吸収された除草剤は、植物体内を移行して作用点に蓄積することで、殺草または抑草作用を発現する。その後、次から次へと生じるいわゆるカスケード反応によって、植物体内に二次的影響が生じ、それが薬効や薬害の症状として表れて、結果として生育抑制や枯死に至る。除草剤の作用点として、現在30弱の箇所が知られているが、それはまた後日紹介する。

植物体内移行については、組織間の長距離と膜透過を含む短距離があり、除草剤によって様々な運搬経路や様式がある。詳細は別の機会に解説する。

その間、植物は除草剤を異物代謝する。といっても植物が持つ生存や成長のために必要な代謝系に除草剤が乗っかること（共代謝）等、純粋に異物代謝でないケースもある。結果として、元々生育阻害活性を有した除草剤を不活性化（解毒）したり、逆に活性のない除草剤を活性化したりするが、一般には前者のケースが多い。不活性化には2段階あり、何れも水溶性が増加する方向に代謝され、その点では動物代謝と同じである。処理された除草剤自身や不活性化されたものは、最終的に液胞や細胞壁等に蓄積されるか、さらに分解されて構成成分として植物に取り込まれる。このように、液胞などに取り込まれることを“第3相反応（輸送）”ということもある。詳細については、別の回に解説する。

さて、化学物質のリスクは、その物質がヒトや環境中の生物に対して、望ましくない影響を与える可能性のことであり、その大きさは、「曝露量×有害性」によって決定される。除草剤の植物への影響に照らし合わせると、「曝露量」は、除草剤の処理方法や環境に応じて、植物体への曝露方法・期間・量が変化し、植物体に吸収された除草剤が

移行・代謝された結果としての“阻害作用する物質”の作用点への蓄積量がそれに相当する。「有害性」は、一義的には作用点の阻害程度であり、両者の積がリスクの大きさになる。しかし、植物体全体を考えると、その作用点の植物生理上の位置付け、植物の成長、生活環境等が複雑に絡み合って、薬効や薬害という目に見える「生物的なリスク」が生じる。このことから植物に対する除草剤のリスクは、「曝露量×有害性」のような単純な数式では表せないことが容易に推察される。

Krähmerら（2021）は、最近Pest Management Scienceに土壌処理および茎葉処理除草剤と化学物質の物理化学性に関する総説を出した。タイトルを意識すれば、「何が土壌処理または茎葉処理型除草剤の化学構造を決めるのか？ それらの設計（デザイン）のための物理化学的要因にはどのような価値があるか？」となる。私は早期公開の段階で読んだが、オープンアクセスなので、誰でも読むことができる。この総説のアブストラクトの最後には、「吸収・移行モデルは化合物の潜在的な動態を説明するための貴重なツールであるものの、除草剤を設計する際には、吸収と移行以外の多くの要因を考慮しなければならない。・・・一般的な物理化学的特性は、残念ながらまだ存在していない。」と締めくくっており、除草剤の作用機構については、未知なる部分が多いことを物語っている。

今回は、極めて概念的な内容に終始したことで、少し取っ付きにくいものになってしまったが、少しずつ具体的な話題に移行していきたい。（2021年8月17日）

参考文献等

與語靖洋 2018. 農薬や雑草管理の視点から見た環境リスク. 植調 52(2), 9-12

Krähmer, H. *et al.* 2021. What makes a molecule a pre- or a post-herbicide – how valuable are physicochemical parameters for their design? Pest Management Science, <https://doi.org/10.1002/ps.6535>

「草魂碑」と「草木塔・草木供養碑」への余話

森田 弘彦

2019年11月に、(公財)日本植物調節剤研究協会富山試験地の今井秀昭主任が「雑草防除の試験研究に携わった者として・・草達の御霊を鎮魂するとともにお世話になった人々へのご恩に報いたい」気持ちを込めた「草魂碑」を、植調研究所(茨城県牛久市 図-1)、富山県農業研究所(富山県富山市)および植調協会富山試験地(同県砺波市)に建立された。今井氏の動機や先人の残した草木塔などについては、同氏の二つの記事(植調54(2・3), 2020, 植調北陸支部だより20, 2020)に詳しい。「山形県米沢市を中心とする置賜地方には、草木の慰霊・供養する大きな草木塔が、・・・人目の付くところにあると聞く(今井 前出。)」と、草木塔の本場でのことも解説されている。筆者は、コメの輸入自由化に抵抗する東北の農民魂の源として草木塔を紹介した全山形教職員組合執行委員長の新聞記事「草木供養塔(1994年10月)」を読んだことがある。そこで、手元にある草木塔の雑情報を集めて余話とする。

今井氏のおっしゃるように、草木塔や草木供養碑は山形県米沢市を中心とした地域に分布していて、その中心地の同市田沢地区では「草木塔の里」として観光案内をしている(<https://www.tazawa-forest.com/somoku/about.html>)し、市立米沢図書館の一区画には多数の解説資料が所蔵され、さらに山形県の植物に関する多数の著作で知られる結城嘉美氏は「草木塔の調査報告(山形県立博物館研報5, 1984)」

をまとめられた。したがって、山形県内ではよく知られていて、県の農業試験研究機関の方に尋ねて「ああ知っていますよ。」と即答されたこともある。しかし、その存在が同県内で知られるようになったのは第二次世界大戦後の1954年で、米沢市在住の佐藤忠蔵氏の調査を紹介した短い記事であった。ここでは「・・斯る供養碑は置賜郡にのみ残り県内他に余り見ないことに照らし上杉藩が如何に治水治山に意を注ぎ領内に植樹を奨励したかを窺うに足るものと思ふ。・・」とある(緑化文化の草木供養碑 羽陽文化23, 1954: 図-2)。「上杉鷹山がつくらせたという記録も無いのだが、・・」とわかっていても、旧米沢藩の名君鷹山公の施策と関連づけた下記の論考もある(遠藤 英「米沢学事始 上杉鷹山の訓え 明るい未来を拓くために・・・」, 2011)。

(確認されている最古の草木塔は鷹山公の治世に建てられたもので、1780(安永9)年7月19日に、米沢市入田沢の塩地平に建てられたものである。塩地平は小国山とともに、1772(安永元)年に江戸の大火で類焼した米沢藩桜田邸・麻布邸の再建用の木材が伐採された地である(中略)。伐採から草木塔建立までに少しの間があるのは、伐採後に新たに植林がなされたうで供養がおこなわれたためかもしれない。

筆者は残念ながら未だ田沢地区に足を踏み入れていないが、JR米沢駅に途中下車した機会に市内の上杉神社で新作



図-1 植調研究所(茨城県牛久市)の試験園場を見渡す場所に、今井秀昭氏によって建立された草魂碑



図-2 山形県置賜郡の草木供養塔を世に出した佐藤忠蔵氏の調査を紹介した記事(羽陽文化23, 1954)

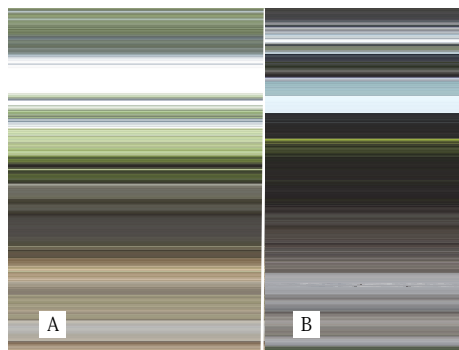


図-3 現代の草木塔（米沢市上杉神社境内、2013年建立：A）と草木供養之碑（東京都葛飾区柴又帝釈天構内、2004年建立：B）

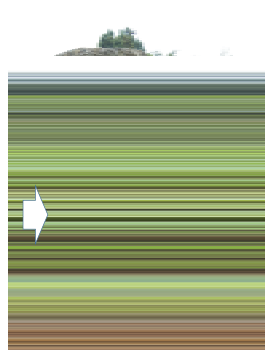


図-4 JR 米沢駅から訪ねた草木塔関連の六面幢（米沢市東部小学校東）、矢印部に「草木国土悉皆成佛 大乘妙典一万部」の文字、右奥には落下した笠部分（2019年9月）



図-5 「職業上・研究上の殺虫供養に関する虫塚」の例、旧農業技術研究所構内（現農研機構 農業環境研究部門、茨城県つくば市：A）と福井県農業試験場構内（福井県福井市：B）

の草木塔(図-3-A)と「市立東部小学校東の塔婆型六角柱」(図-4)を見た。後者は、1966年の佐藤忠雄氏のまとめでは草木塔の一つとされたものの、結城氏の報告では草木塔から除外され、「その他記録されたもの 米沢市東部小学校東（六面幢）」と扱われた。この六面幢には「大乘妙典一万部 草木国土悉皆成佛」と刻まれていて、この語句が草木塔にもみられることから、この碑の草木塔との関連が示唆されるという（結城 上記）。

信仰心の欠如した筆者には知る術もないが、「草木国土悉皆成佛」は仏教の經典の一句だそうで、鎌倉時代後期の僧、無住一圓の仏教説話集「沙石集」に、「草木成佛とはどういうことか？」と問答を挑んだ客僧に、「それはさておき、ご自身の成佛についてはご存じか？」と応じたという高僧の、下記の逸話がある。

巻第三 四 禪師の問答是非の事

草河の故眞觀長老は、(中略)或時通世の僧、齡五旬にあまれるが、見参に入らんとあながちに申有りけり。たやすく人に對面する事なく、法門など申さる事もまれなりけるが、さてこの僧に對面して、何事の御用にやと問はる。天台の法門をかたのごとく承りて候に付けて、草木成佛の事、不審に候といふ。良久く返事なし。とばかり有りて、草木の成佛はしばらくおき候、御邊の成佛は、いかか御存知候と問はるに、その事は、いまだ何とも存ぜずといふ。先づ其御用意があるべく候ひけるとて立入れにけり。この僧ことばなくにがりてぞ出でける。道人の問答は、生死の一大事を心に掛けて、無始の輪廻をたち、五陰の重擔をすてんと思ひて、直に問ひ、直に答ふ。これ參禪學道のすがたなり。(後略)

(筑土鈴寛校訂 「岩波文庫 沙石集上巻」 1943)

この話は、14世紀後半に「沙石集」の抜粋で編纂されたという「金撰集」にも収録されたし、また、時代が下って明治時代の中頃、石川県能登半島鳳至郡の老農泉 勘十郎氏は、和歌で綴った農書「新刻 皇州農業振起集、1889」を出版

して「第六十九 地質ヲ一般ト見ルハ大ナル誤リ」で、「釋尊も草木國土ことごとく 皆成佛といふておへたり」と詠んだ。つまり、「草木成佛」は日本の歴史上で長い間周知の教えであったようであるが、これを石に刻んで碑としたのは上記の限られた地域であった。

昆虫の世界には「虫塚」がある。昆虫学者・昆虫学史研究家で、北海道農業試験場（当時）の病理昆虫部長時代に筆者も多々ご指導いただいた長谷川 仁氏は、全国の昆虫仲間から得た虫塚などの情報を「Ⅰ. 害虫多発時の供養に関するもの Ⅱ. 虫送り・虫祭りの祈祷場を示すもの Ⅲ. 趣味や職業上・研究上の殺虫供養に関するもの Ⅳ. 特殊な昆虫やその発生地などを記念するもの Ⅴ. 昆虫に関する歌碑や句碑」に区分してⅠとⅡの事例を記載し、Ⅲについては「(近年昆虫同好会や農事試験場その他によって建てられた) 虫塚(例：図-4-A, B)のほとんどがごく近年研究者の建立となっている点は、後世どのような解釈がもたれることであろうか。」と記された(自然の文化誌 昆虫篇6 虫塚と虫供養塔、自然1976年6月号)。米沢市を中心とした古くからの草木塔はⅡに、今井氏の草魂碑や葛飾柴又の帝釈天境内にある東京造園業組合の「草木供養碑(図-3-B)」などはⅢに含まれるのであろう。

草木も色恋のもつれで戦をするし(雑草のよもやま第9回、2017)、天上の神の庭から地上に落ちたヤナギの葉は魚のシシャモに変えられ(更科源蔵・川上澄生「北海道繪本」、1975)、江戸時代には、信心深い米屋が播いたトウモロコシが亡き娘の新盆時にハスの花をつけたり、伐られた老樹が赤い血を流したり(白井光太郎「植物妖異考」、1925)するので、要するに植物の動向は油断できない。植物や雑草の恨みを買うことが多いであろう「植調誌」の読者の方々には、「草魂碑」をあだやおろそかにすることのないようにお願いしたい。

【九州地域】

日時：2021年11月19日（金） 9:30～17:00

本年度の技術確認圃地域別報告会の開催日は、例年開催している水稻関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会の2日目ではありませんので、ご注意ください。

●2021年度春夏作芝関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会

日時：2021年11月22日（月） 13:00～17:00

新型コロナウイルス感染拡大防止対策として、いずれもWeb会議形式にて開催いたします。

なお、通信障害リスクの軽減及び会議中の煩雑さ回避のため、参加人数は必要最低限にして行います

研究会等

■第49回構造活性相関シンポジウム（オンライン開催）

主催：日本薬学会構造活性相関部会

日時：2021年11月18日（木）～19日（金）

一般参加登録：9月13日～開催1週間前頃（予定）

※人数上限(250人程度)に達した場合その時点で終了予定
詳しくは <https://www.phar.kindai.ac.jp/qsar2021/index.html>

■協会だより

■試験成績検討会（リモート開催）

●2021年度水稻関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会

【北海道地域】

日時：2021年10月27日（水） 9:30～17:00

28日（木） 9:30～12:00

【東北地域】

日時：2021年11月1日（月） 9:30～17:00

2日（火） 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2021年11月8日（月） 9:30～17:00

9日（火） 9:30～15:00

【関東東海地域】

日時：2021年11月11日（木） 9:30～17:00

12日（金） 9:30～17:00

【近畿中国四国地域】

日時：2021年11月17日（水） 9:30～17:00

18日（木） 9:30～17:00

【九州地域】

日時：2021年11月24日（水） 9:30～17:00

25日（木） 9:30～17:00

●2021年度技術確認圃地域別報告会

【東北地域】

日時：2021年11月5日（金） 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2021年11月12日（金） 9:30～17:00

【近畿中国四国地域】

日時：2021年11月16日（火） 9:30～17:00

【関東東海地域】

日時：2021年11月18日（木） 9:30～17:00

植調第55巻 第6号

■発行 2021年9月16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

SDSの水稲用除草剤有効成分を含有する「新製品」

アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG (ベンゾビスシクロン)
ウィードコア1キロ粒剤 (ベンゾビスシクロン)
ダンクショットフロアブル (ベンゾビスシクロン/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 (ベンゾビスシクロン)
パピリカ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスシクロン/テニルクロール)
イザナギ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスシクロン)
ゲバード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾビスシクロン/ダイムロン)
ホットコンビ200粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスシクロン/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)
サスケ粒剤200/サスケ-ラジカルジャンボ/レオンジャンボパワー
 (カフェンストロール/ダイムロン/ベンゾビスシクロン)
ジカマック500グラム粒剤 (ベンゾビスシクロン)
ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスシクロン)
モーレツ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスシクロン)
アネシス1キロ粒剤 (ベンゾビスシクロン)
ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスシクロン)
テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ (ベンゾビスシクロン)
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 (ベンゾビスシクロン)
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)



「ベンゾビスシクロン」含有製品

SU抵抗性雑草対策に！アシカキ、イボクサ対策にも！

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)	スマート (1キロ粒剤/フロアブル)
イッテツ (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/ジャンボ/顆粒)
イネキング/クサバルカン (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)
ウエス (フロアブル)	トビキリ (ジャンボ)
オークス (フロアブル)	ナギナタ (1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ)
カービー (1キロ粒剤)	ハーディ1キロ粒剤
キクトモ (1キロ粒剤)	ハイカット/サンパンチ1キロ粒剤
クサトリーBSX (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	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/ブレッサフロアブル
サンシャイン (フロアブル)	ブルゼータ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)
忍 (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	フルイニング (ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)
ジャイブ (スカイ500グラム粒剤)	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/フロアブル/ジャンボ/顆粒)	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)
シリウスターボ (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)
シロノック (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	



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)

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。

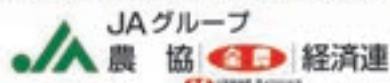
大豆、小麦・大麦、とうもろこし、ばれいしょ、にんじんの雑草防除に

クリアター

乳 剤 細粒剤F



●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。●登録日誌を記録しましょう。



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 TEL:03-3822-5036
ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>

©クミアイ化学工業(株)の登録商標

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

ブレイク[®] 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[®]

スガチ[®] A 1キロ粒剤

ヒエクッパ[®] A 1キロ粒剤

フルチア[®] ジ ジャンボ[®]

フルイニ[®] ガ ジャンボ[®]

タイスド[®] IL 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>

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。

〒104-8260 東京都中央区新川1丁目27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・空容器は廃棄等し適切に処理してください。



大粒の赤い実、まっすぐにへ
sco 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

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

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® **ユニホッフ**®
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

サファゾントWK 丸和 **サファゾント30**

 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/>

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

第55巻 第6号 目次

- 1 巻頭言 東京オリンピックを観戦しながらDX (Digital X-formation) を想う
田中 良
- 2 帰化アサガオ類の生育・着蕾・種子生産に及ぼす
日長の影響解明を効果的な防除につなげる
澁谷 知子
- 5 〔田畑の草種〕^{くさくさ} 柳蓼(ヤナギタデ)
須藤 健一
- 6 静岡県内の茶園における夏期の雑草発生実態
市原 実
- 9 〔統計データから〕令和元年産花木等生産状況
- 10 カーネーションの香り—切り花における付加価値としての可能性を探る—
岸本 久太郎
- 17 ブラシノステロイドのケミカルバイオロジー研究の農業への応用展開へ向けて
中野 雄司
- 22 〔シリーズ・野菜の花〕ハウレンソウ
鎌田 えりか
- 24 〔緒(いとぐち)〕No.1 除草剤は植物体内をどのように振舞うか?
與語 靖洋
- 26 〔連載〕雑草のよもやま 第25回 「草魂碑」と「草木塔・草木供養碑」への余話
森田 弘彦
- 28 広場

No.77

表紙写真 〔ヤナギタデ〕



休耕田や畦など、湿った土地に多く、河川や水路の水辺にも生育する。タデ類のうちでは水田にもっとも多い。湿った畑条件でも出芽し、転換畑の夏作物でも害草となる。暖地では株で越冬することもある。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



生育初期。茎は無毛で赤色。

生育。茎の下部で旺盛に分枝する。



花穂。緑色、淡紅色の花をつける。



そう果。長さ約3mm。