

植調

第54巻
第7号

JAPR Journal

根寄生雑草種子の発芽刺激物質ストリゴラクトン 米山 弘一

石川県における水稻の密苗移植栽培技術の現状と

普及状況および移植機の進展 宇野 史生

薬剤散布ノズルの特徴と選択 池口 明宏

根域温度制御による園芸作物の生育・開花制御 窪田 聡・村松 嘉幸



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

クロクワイ

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® イス 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® イス ジャンボMX

農林水産省登録
第23866号

アジムスルフロン・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……

独自のキャリアー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。



カウンシル®
コンプリート

新登場



ノビエ、難防除多年生雑草を「一発処理」で枯らす除草力。鉄コーティング直播栽培にも適応。多角化・大規模化に貢献できる次世代の水稲用除草剤です。

除草力“の”
カウンスシル。
高葉齢ノビエも! 難防除も!



●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)カウンスシル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



あぜ草の使い途

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 理事
中澤 伸夫

毎年8月1日は私の地区の共同墓地清掃デーである。8月13日の月遅れ盆迎え火に備え、この日早朝から「3密」を避けつつ、それぞれの墓所周りの草を刈りきれいにしている。墓地周縁など一帯の草刈りは役員の仕事で、刈り払い機を使い、今年は長雨の影響か例年以上に生い茂った草を刈る。道路際もいつもの環境整備行事がコロナ禍の事情で中止になったせいか、アスファルトの境目や隙間に大型で丈の長い草がびっしり生えた。ヒメジョオン、ヒメムカシヨモギ、アカザなど。見苦しく交通安全の妨げにもなるので役員が刈り取るが、問題は刈草の始末である。いつも悩みの種となる。

公共用地で発生したもののなので、専用の「燃えるゴミ」袋に詰めて集積所に運べば、市が無料で処分してくれる。青草のままより、数日干しておけば軽くなるのに、と内心思いながら、人手のあるうちにと、黙々と何十かのビニール袋に満杯の草を詰め込んだ。

考えてみればこれはエネルギーの無駄、CO₂排出など環境上の問題が多い。この青草は水分を多く含むので、おそらく燃料をかけて焼却される。市では生ゴミや草木の類は、なるべく堆肥化して有効利用するよう呼びかけているが、堆肥化する人も、それを利用する人も今は少数である。

本県（長野県）は一人あたりのゴミの排出量が全国一少ない県とされているのに、なぜこうなってしまったのか。

私が子供の頃は、どこか家庭でも、鶏やウサギ、ヤギ、羊などを普通に飼っていて、その飼料用に田のあぜ道などは格好の草刈り場であった。小家畜の餌確保は子供も役割を担った。動物により給餌される草に対し好き嫌いがあって、せっかく用意した草にそっぽを向かれ当惑したり、毒草はいけない、濡れた草はいけない、など家畜の世話の手伝いも案外骨が折れた記憶がある。

当時（昭和30年代頃）は、水田畦畔の草は有効に活用され、鍬であぜ塗りの上面はあぜ豆（大豆）を作り、通路部分に発生した草（雑草とは呼ばずあぜ草と言った）は飼料や堆肥にと、草を無駄に捨てることがなかった。棚田のような傾斜地であぜ草刈りが苦勞な場所でもよく管理され、自然な美観が保たれていた。上記のお墓から出た草も、当時であれば皆が喜んで持ち帰っただろうと思われる。

話を転ずるが、和辻哲郎著「風土」には「ヨーロッパには雑草がない」というくだりがある。日本人の感覚からすると本当？と驚くような話だが、西ヨーロッパは東アジアのモンスーンと異なり夏乾燥の気象であって、放任すればたちまち雑草で覆われる日本とはだいぶ様相が違うという。

和辻はヨーロッパの気候環境は穏やかであり、人間に従順で全体が「牧場」の地域であり、人間と自然がともに共生しているという。これに対して日本などモンスーン地域の特徴は「暑熱と湿潤」であり、自然が暴威を生むことから、一刻たりとも手を抜けば雑草に負けてしまう「闘う農業」の気候だと捉えている。これは「風土」論の基調となる考察である。

地球上で住む場所や気象環境など風土が異なると、雑草と農業生産との向き合い方が、かくも違うものかと考えさせられる。「雑草」の言葉の持つひびき（ニュアンス）も地域や民族が異なればこんなにも印象が違うものかと改めて感じた。世界的に見て、日本が西欧に比べて雑草科学の研究が特に進展した理由かもしれない。ちなみに「風土」（1935）は哲学書でありながら、農業経営の講義にもよく登場した本である。

近年、地球温暖化への対策が焦眉の急となっているが、農業の中でも、畜産が温暖化に関わりが大きいことがさほど知られていない。牛など反芻胃から出るメタンの温室効果はCO₂の25倍ほどにもなり、世界全体の温暖化原因の15%に達するとも言われる。畜産農家の生産意欲を大きく削ぐような知見ではあるが、最近の植物性プロテインによる代替肉利用の世界的動きの背景でもある。

温暖化や気象災害の多発、コロナ禍など、地球規模の環境問題や災厄に対し、古い時代から先祖が積み上げ、地道に克服を重ね、現在も取り組まれている研究から生まれる人間の叡智で（過去に戻るのではなく）解決策が何とか見いだせないものかと思う。雑草をゴミなど無駄にすることなく、ヨーロッパのように「闘い」が不要で持続的な営農活動を行っていく方法はないものだろうか。そうした永続的な生産活動のありかたとそれを支える技術開発が現在最も求められていると思う。

夢物語かもしれないが、あぜ草の使い途から農業技術の将来に対する期待へと思いを巡らせてみた。

根寄生雑草種子の発芽刺激物質 ストリゴラクトン

愛媛大学
女性未来育成センター
米山 弘一

はじめに

ストリゴラクトン (strigolactone) は、根寄生雑草種子の発芽刺激物質として発見された。その後、80%以上の陸上植物と共生するアーバスキュラー菌根菌 (AM 菌) の共生開始に重要なシグナルであることが明らかとなり、さらには植物地上部の枝分かれを抑制する植物ホルモンとしても機能することが示された。ストリゴラクトンは、根の形態制御、二次成長 (肥大成長)、光形態形成、種子発芽、葉の老化や乾燥ストレス耐性などにも係わっており、農業生産場面への応用が期待されている。本稿では、根寄生雑草種子の発芽刺激物質としてのストリゴラクトンについて、現在までの研究状況と今後の展望について解説する。

1. 根寄生雑草

ハマウツボ科の根寄生雑草で光合成能を有する半寄生性のストライガ (*Striga* spp.) と光合成能を持たない全寄生性のオロバンキ (*Orobanche*, *Phelipanche* spp.) は、前者はサハラ砂漠以南のアフリカ諸国の、後者は地中海沿岸諸国の農業に甚大な被害を与えている。ストライガの光合成能は低く、生育に必要なエネルギーを得ることができないため、光合成能を欠くオロバンキと同じく、宿主に寄生しないと生育できない絶対寄生性である。近年、これらの根寄生雑草の生息域は拡

大しており、根寄生雑草は限られた地域の問題ではなく、世界の農業生産を脅かす存在である。ストライガはトウモロコシ、ソルガム、イネ、サトウキビなどイネ科植物の、オロバンキはトマト、ニンジン、セイヨウアブラナ、タバコ、豆類、ヒマワリなどの双子葉植物の根に寄生する。寄生確立後、ストライガでは2~3週間、オロバンキでは数週間から数ヶ月間、地中で宿主から養水分を取奪して塊根が肥大成長し、その後花茎が地上に現れ、開花・結実する。寄生部位が地下であるため、寄生の有無を初期に検知することは困難であり、寄生が検知された時点で宿主はすでに重篤な被害を受けている。根寄生雑草は養水分の総てを宿主から得ており、強力なシンクである。そのため、宿主植物に処理された移行性の薬剤は根寄生雑草に移行・蓄積する。例えば、グリホサートのような非選択性除草剤の適切な処理により根寄生雑草の防除が可能である。一方、宿主植物体内で代謝・解毒される選択性除草剤は、根寄生雑草の防除には向いていない。なお、ターゲットサイト変異による薬剤耐性は根寄生雑草防除に有効であり、ALS阻害型除草剤とその耐性作物の組み合わせによる寄生雑草防除法の開発と普及も進められている (Xieら 2010)。

一般の植物が1個体当たり最大千粒程度の種子を生産するのに対して、根寄生雑草は数万~数十万粒の微小な (長径0.2~0.3ミリの紡錘形) 種子を生産する。その種子は土壤中で10

年以上生存可能であり、根寄生雑草が侵入した圃場は、その後数十年にわたって宿主となる作物の栽培は困難となる。根寄生雑草の最大の特徴は、その種子が、宿主の根から分泌される「発芽刺激物質」を感知した時にだけ発芽することである。この特殊な発芽要求性は根寄生雑草の巧妙な生存戦略である。栄養分の少ない微小な種子が発芽後幼根を伸長させて宿主の根に確実に到達するためには、宿主の根のごく近傍に存在する証拠 (シグナル) が必須であり、その1つが宿主の根から分泌される発芽刺激物質である。

根寄生雑草種子の発芽刺激物質には、キク科植物のセスキテルペンラクトン、アブラナ科植物のイソチオシアン酸エステルなど複数の化合物群が知られているが、すべての陸上植物が生産・分泌している発芽刺激物質



図-1 セイヨウアブラナに寄生した *Phelipanche ramosa* (フランス、ナント大学にて)。

がストリゴラクトンである。ストリゴラクトンは、生きた根だけが分泌し、土壌中では短時間に分解・消失するため、根寄生雑草にとって、ごく近傍の宿主の存在を担保する格好のシグナルである (Xie ら 2010; Al-Babili・Bouwmeester 2015)。

2. ストリゴラクトン

Striga lutea (*S. asiatica*) の発芽刺激物質としてワタの根滲出液から最初に単離・構造決定されたストリゴラクトンは、ストライガの種子発芽刺激物質であり、分子内に水酸基を持つことから、strigol と名付けられた (ol はアルコールの意味) (Cook ら 1966)。その後、strigol 類縁体が次々と発見され、いずれもラクトン (分子内エステル) 構造を有することから、ストリゴラクトンと総称されるようになった (Butler 1995)。現在までに 40 種類程度のストリゴラクトンが単離・構造決定されているが、その中には *avenaol* のように strigol とはかなり異なったユニークな化学構造のストリゴラクトンが含まれている (Yoneyama ら 2018)。

ほとんどすべてのストリゴラクトンは根滲出液から根寄生雑草種子の発芽刺激活性を指標として単離されている。根滲出液中のストリゴラクトンの濃度はせいぜいナノモル (10^{-9} M) 程度であるが、根滲出液 (培養液) をそのまま根寄生雑草種子に処理すると発芽が誘導される。酢酸エチルなどの有

機溶媒で抽出・濃縮することにより、タンパク質、無機塩、糖類などを除去することができる。また、ストリゴラクトンは活性炭に効率的に吸着されるので、活性炭を詰めたナイロンメッシュの袋を水耕装置に組み入れて、根から分泌されるストリゴラクトンをトラップすることによって大量のストリゴラクトンを集めることができる (Akiyama ら 2005)。なお、後述するように、貧栄養下、特にリン欠乏条件下で植物を培養するとストリゴラクトン生産・分泌量が劇的に増加することから、ストリゴラクトンの単離・構造決定用のサンプル調製には、一定期間リン欠乏条件下で水耕し、活性炭でストリゴラクトンをトラップする方法が行われる。

活性炭に吸着されたストリゴラクトンをアセトンで溶出し、アセトンを減圧留去して得られる水性残渣を酢酸エチルで抽出することで、粗ストリゴラクトン抽出物を得る。この抽出物を根寄生雑草種子に対する発芽刺激活性を指標にして精製する。根寄生雑草の種類によって各種ストリゴラクトンに対する感受性が異なるので、あらかじめ検定材料とする根寄生雑草を決めておく。オロバンキの中には特定の宿主に寄生するものも多い。例えば、セイヨウキヅタ (English ivy) に特異的に寄生する Ivy broomrape (*O. hederiae*) は、欧州各国で園芸用に栽培されている。そこで、セイヨウキヅタの根滲出液抽出物を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で分画し

て、日本国内に自生する根寄生雑草やセウツボ (*O. minor*) と *O. hederiae* の種子に対する発芽刺激活性を調べたところ、活性物質はそれぞれ全く異なる画分に溶出された。一般に、宿主範囲の広いオロバンキである *P. ramosa*, *P. aegyptiaca* などの根寄生雑草による農業被害が大きい。これらの根寄生雑草の種子は、多種類の植物の根滲出液によって発芽が誘導される (すなわち、多くのストリゴラクトンに対する感受性が高い)。一方、*O. cumana* はヒマワリに特異的に寄生し、その種子発芽はヒマワリの根滲出液で誘導されるが、ダイズなどのマメ科植物の根滲出液では誘導されない。*O. cumana* によるヒマワリへの被害は地中海沿岸諸国だけに留まらず最近では中国でも拡大している。ヤセウツボの種子も多くの植物の根滲出液によって発芽が誘導され、宿主範囲が広い。ヤセウツボは一時、米国オレゴン州でクローバー栽培に大きな被害を及ぼし、重要雑草とされていた。ヤセウツボが日本に侵入したのは 80 年以上前であり、現在では日本全国に広く生息しているものの、農業上の被害は報告されていない。

植物種によって、生産・分泌するストリゴラクトンは異なることが多く、同種の植物でも、品種間で異なる場合もある。例えば、ソルガムのストライガ感受性品種は主要なストリゴラクトンとして化学的に比較的安定でストライガに対する発芽刺激活性の強い 5-deoxystrigol (5DS) を生産・分泌するのに対して、耐性品種

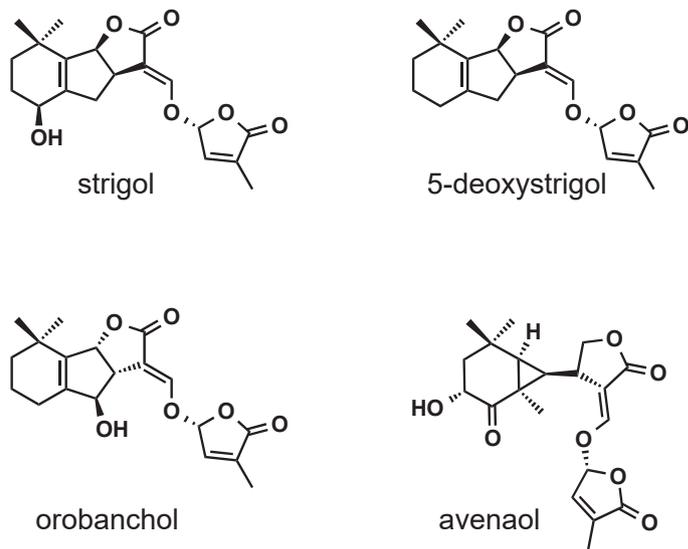


図-2 ストリゴラクトンの化学構造

Strigol はワタ, 5-deoxystrigol はミヤコグサ, orobanchol はアカクローバー, avenaol はスズメノチャヒキの根滲出液から単離された。

はストライガに対して弱い発芽刺激活性しか示さず化学的にも若干不安定な orobanchol が主要なストリゴラクトンである (Gobena ら 2017)。なお、植物は単独のストリゴラクトンを生産・分泌するのではなく、根滲出液には複数のストリゴラクトン混合物が含まれている。例えばタバコでは 10 種類以上のストリゴラクトンを生産・分泌している (Xie 2016)。後述するように、根寄生雑草は植物種に特異的なストリゴラクトンだけではなく、複数のストリゴラクトンの組み合わせパターンを認識し、特定の (より好ましい) 宿主を選択していると考えられる。

3. 根圏シグナルとしてのストリゴラクトン

根寄生雑草の宿主植物だけではなく非宿主植物もストリゴラクトンを生産・分泌することは 20 世紀半ばには確認されていたが、自らを寄生の危険にさらすような発芽刺激物質を根から放出する理由については長い間不明であった。大阪府立大学の秋山らは、ミヤコグサが分泌し、AM 菌の菌糸分岐

を誘導するブランチングファクター (BF) の探索研究を続け、ミヤコグサは少なくとも 2 種類の BF を分泌しており、その内 1 つの BF が 5DS であることを突き止めた (Akiyama ら 2005)。また、5DS 以外の複数のストリゴラクトンが菌糸分岐誘導活性を示したことから、植物が生産・分泌する BF はストリゴラクトンであると結論した。AM 菌と陸上植物との共生は、4.6 億年前に始まったとされ、80% 以上の陸上植物が AM 菌と共生する。すなわち、ストリゴラクトンの本来の役割は AM 菌の共生に係わる根圏シグナルであり、6000 ~ 8000 万年前に登場したとされる根寄生雑草は、宿主を検出するシグナルとしてストリゴラクトンを悪用している。なお、AM 菌も絶対共生菌であり、近傍に存在する宿主の根から分泌されるストリゴラクトンをよりどころにしている。また、AM 菌だけではなく、マメ科植物と共生する根粒菌の共生もストリゴラクトンによって促進される。陸上植物が登場して以来ストリゴラクトンが根圏シグナルとして存在していたことから、土壤微生物は必然的にストリゴラ

クトンの影響を受けるとともに、AM 菌や根粒菌のように宿主を検出するシグナルとして利用していると考えられる (Yoneyama 2020)。

4. リン、窒素欠乏によるストリゴラクトンの生産・分泌促進

AM 菌および根粒菌との共生により、植物はそれぞれリン、窒素を獲得する。特にリンは土壤中を移動しにくく、大部分は植物が利用できない形態であるため、植物の根圏は常にリン欠乏状態である。そこでリン欠乏状態の植物は、ストリゴラクトン生産・分泌を増大させ、AM 菌共生を促す。リン施肥は逆にストリゴラクトンの生産・分泌を抑制し、AM 共生を阻害する。これはよく知られたストリゴラクトンを介したリン欠乏による AM 菌共生促進である。我々は、ストリゴラクトンが AM 菌の共生に係わるということが明らかにされる前に、ヤセウツボの宿主であるアカクローバー (ムラサキツメクサ) のストリゴラクトン生産・分泌がリンによって阻害されることに気づいていた。それは、アカクローバーが生産・分泌するストリゴラクトンの構造解析のために、アカクローバーの水耕栽培を行った際、栄養たっぷりの水耕液で培養するとアカクローバーは順調に生育するが、水耕液に分泌されるストリゴラクトンの量 (実際には発芽刺激活性) が劇的に低下したからである。培養液の組成を検討した結果、リンが低下の主要な原因であることが分

かった(Yoneyamaら 2001)。その後、アカクローバーでは、培地のリンを通常の1/20量にすると、アカクローバーが分泌するストリゴラクトンである orobanchol の分泌量が数十倍に増加することを確認した(Yoneyamaら 2007a)。この時、ストリゴラクトンの同定・定量には高速液体クロマトグラフータンデム型質量分析計(LC/MS/MS)を使用した。現在、農薬の残留分析やドーピング検査に広範に用いられているLC/MS/MSであるが、ストリゴラクトンの微量分析にも不可欠である。我々はLC/MS/MSによって根滲出液の粗抽出物から全く精製せずにストリゴラクトンが分析可能であることを示した(Satoら 2003)。

栄養欠乏によるストリゴラクトン生合成・分泌の制御は、植物の栄養獲得戦略に係わっている。アカクローバーのように根粒菌と共生するマメ科植物では、リン欠乏下でのみストリゴラクトン生合成・分泌が促進されるのに対して、イネ科のソルガムでは、リンおよび窒素欠乏の両方で促進される(Yoneyamaら 2007b)。このことは、アカクローバーではリンの供給を、ソルガムではリンと窒素の供給をAM共生に依存していることを示している。逆に、AM菌と共生しないマメ科植物であるホワイトルーピンでは、これらの栄養欠乏条件ではストリゴラクトン生合成・分泌に変化はなかった。

根寄生雑草は土壌養分の乏しい地域で猛威を振るっているが、特にリンの施肥によって被害が抑えられる

ことが報告されている。実際に、リン欠乏条件下で育てた植物にリンを与えると、ストリゴラクトン生合成・分泌が24時間以内に顕著に低下した(Yoneyamaら 2013)。そこで我々は、オーストラリアのアデレード近郊の根寄生雑草(*P. ramosa*)汚染地域で、リン施肥による寄生抑制効果を検証するための圃場試験を行った。諸般の事情で実験開始時期が遅くなったこともあって、対照区(リン無施肥区)の作物(ニンジン)が全く寄生されず、完全な失敗に終わった。最近、他の研究グループがケニアで行った圃場試験でも対照区が*S. hermonthica*に寄生されなかったとのことであり、根寄生雑草を用いた圃場試験では、十分な準備と共に、複数年度にわたる実施が必要である。

ストライガの宿主のイネ科作物では、リンおよび窒素欠乏でストリゴラクトン生合成・分泌が促進されるので、リンおよび窒素肥料の施肥による寄生被害の低減が期待される。残念ながらアフリカ諸国では化学肥料が高価なこと、土壌および気象条件から施肥による増収効果が低いことがネックとなる。

アフリカ諸国でストライガ被害の低減に効果を発揮しているのは、「プッシュプル」という栽培方法である。この栽培方法はもともと害虫(ニカメイガ)防除のために考案されたが、ストライガの被害も低減することが分かった。具体的にはトウモロコシなどイネ科作物の外周にニカメイガを誘

引するネピアグラスやスーダングラスを植え、イネ科作物はニカメイガの忌避物質を分泌するマメ科のデスマディウム(牧草)と混植する。デスマディウムはストリゴラクトンを分泌してストライガの発芽を誘導するが寄生されず、同時に幼根の生育阻害物質も分泌しており、結果としてストライガによる被害が低減できる。残念ながらデスマディウムはオロバンキの寄生低減には効果がなかった。類似の方法(実際には組み合わせは逆になるが)として、トマトなどの双子葉作物にオロバンキが寄生できないイネ科植物を混植する方法も考えられるが、オロバンキの寄生抑制に効果的な双子葉作物とイネ科植物(作物)の組み合わせは報告されていない。

5. ストリゴラクトンの農業生産への利用

(1) 根寄生雑草防除

ストリゴラクトンが根寄生雑草の種子発芽刺激物質として発見された経緯から、ストリゴラクトンあるいは合成ストリゴラクトンを根寄生雑草の防除に利用するという試みが行われている。宿主の存在しない条件で根寄生雑草種子をストリゴラクトン処理によって強制的に発芽させ、枯死させようという、いわゆる「自殺発芽の誘導」である。米国では、*S. asiatica*の種子発芽刺激活性を持つエチレンの土壌くん蒸によって*S. asiatica*の汚染

地域を大幅（1%以下）に縮小することができたが、50年以上という年月と3億ドル以上の経費を費やしても未だに完全な駆除には至っていない（Tasker・Westwood 2012）。

ストリゴラクトンアゴニスト（ストリゴラクトン様活性物質）を用いた自殺発芽の誘導を宿主の非存在下で行えば、根寄生雑草の埋土種子の減少に有効である。一方、作付け前にストリゴラクトンアゴニストを処理して自殺発芽を誘導し、その後に宿主作物を栽培する場合、ストリゴラクトンアゴニストの処理時期、灌水条件、播種時期の厳密な調整が必須となる。そのため、天水農業地域での実用化は難しい。最近 Al-Babili らのグループは、自殺発芽の誘導は休耕で行い、作物のローテーションとの併用によって根寄生雑草の埋土種子を減少させる方法を提案している（Kountche ら 2019）。

オロバンキについても同様な方法で埋土種子の低減を図ることは可能であろう。しかし、実用化にはまだ多くの試行錯誤が必要である。これまで述べてきたように、すべての植物がストリゴラクトンを生産・分泌していることから、圃場に非宿主作物が栽培されていれば自殺発芽の誘導は起きているはずである。しかし、例えば、10年以上間を空けて宿主植物を栽培したとたんに根寄生雑草が大発生したという報告は多く、根寄生雑草防除の難しさを物語っている。このことは、根寄生雑草の種子が、より好ましい宿主の分泌するストリゴラクトン混合物のプロ

ファイルを識別し、それ以外の植物のストリゴラクトンプロファイルではそれほど発芽が誘導されない可能性を示唆している。実際に我々が視察したイタリアの農家では、20年目で初めてトマトを栽培したところ *P. ramosa* によって大きな被害を受けた。このように、根寄生雑草防除へのストリゴラクトンおよびストリゴラクトンアゴニストの利用については、解決すべき多くの課題が残されている。

(2) AM 菌共生促進

ストリゴラクトン生合成欠損植物は AM 菌共生率が極めて低いが、ストリゴラクトン処理によって共生率が回復する。農業先進国の多投入型農業では、ストリゴラクトン分泌量が低く抑えられ、AM 菌共生率も低下していると考えられる。循環型農業を指向した施肥量の低減や土壌栄養分の効率的利用には、ストリゴラクトンあるいはストリゴラクトンアゴニストによる AM 菌共生の促進が有効であろう。実際に、AM 菌の胞子とストリゴラクトンアゴニストの投与によって、作物の初期生育を促進し、密植栽培における生産性を飛躍的に高めるといった試みが始まっている。AM 共生した植物ではリンが供給されてストリゴラクトン分泌量が低下するので、結果として根寄生雑草の寄生率低減も期待できる。また、AM 共生によって乾燥、高温など環境ストレス耐性も向上する。なお、ストリゴラクトン分泌量を増加させたり、ストリゴラクトンアゴニスト

を処理することは、根寄生雑草種子の発芽を促し、寄生の危険性を高めることになる。そこで、AM 菌の共生は促進するが根寄生雑草種子の発芽には影響しない（あるいは影響の少ない）ストリゴラクトンおよびストリゴラクトンアゴニストの開発と利用が望まれる。ソルガム製のストライガ耐性品種が分泌する orobanchol は、ストライガに対する発芽刺激活性は低いが AM 菌に対しては最強の BF である。すなわち、ストライガを対象とすれば、orobanchol は好ましいストリゴラクトンである。しかしオロバンキを対象とした場合、orobanchol がオロバンキの宿主である双子葉作物の主要なストリゴラクトンであることから、別のアプローチが必要である。

(3) 植物の形態調節

リン欠乏下で植物はストリゴラクトン生産・分泌を促進して AM 菌との共生を促すと共に、地上部の生育を抑えつつ地下部の生育を促進し、養分吸収能力を高めようとする。ストリゴラクトンは地上部枝分かれを抑制し、主根や根毛の伸長を促進することから、リン欠乏下における植物の反応を制御する因子のひとつである。

「緑の革命」では、植物ホルモンであるジベレリンの生合成欠損変異体（半矮性）の形質を利用した短稈性の高収量品種が育種・選抜された。イネで選抜された品種では、同時にストリゴラクトン生合成遺伝子 *CCD7* の機能も低下している（Wang ら 2020）。す

なわち、ストリゴラクトン生合成の制御が、今後、イネ以外の作物の育種・選抜の新しいターゲットになりうる。

今後の展望

最近の10年間に、植物におけるストリゴラクトンの生合成経路、受容体とシグナル伝達経路の詳細がかなり明らかになってきた。しかし、植物が多様な化学構造を有するストリゴラクトンを生産・分泌する理由、枝分かれ抑制ホルモンの活性本体、根圏に分泌されたストリゴラクトンの植物間コミュニケーションにおける役割など、未だに不明な点が多い。これら残された問題が近い将来解明され、ストリゴラクトンの利用技術の確立へと繋がることを期待している。

ストリゴラクトン研究に関する最近の進歩などについては、日本農芸化学会の「化学と生物」のセミナー室に10月号から「ストリゴラクトン研究の最前線」として4回にわたって掲載されるので、興味のある方はそちらを参照いただきたい。

謝辞

私がストリゴラクトン研究を続けてこられたのは、諸先輩方、共同研究者の方々から頂いた多くの励ましやお力添えのお陰です。深甚なる謝意を表します。

引用文献

- Akiyama, K. *et al.* 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 435, 824–827.
- Al-Babili, S. and Bouwmeester, HJ. 2015. Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone. *Annu. Rev. Plant Biol.* 66, 161–186.
- Butler, LG. 1995. Chemical communication between the parasitic weed *Striga* and its crop host. A new dimension in allelochemistry. In KM Inderjit, M Dakshini, FA Enhelling, eds, *Allelopathy, Organisms, Processes and Applications*. American Chemical Society, Washington DC, pp 158–168.
- Cook, CE. *et al.* 1966. Germination of witchweed (*Striga lutea* Lour.): isolation and properties of a potent stimulant. *Science* 154, 1189–1190.
- Gobena, D. *et al.* 2017. Mutation in sorghum *LOW GERMINATION STIMULANT 1* alters strigolactones and causes *Striga* resistance. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114, 4471–4476.
- Kountche, BA. *et al.* 2019. Suicidal germination as a control strategy for *Striga hermonthica* (Benth.) in smallholder farms of sub-Saharan Africa. *Plants, People, Planet* 1, 107–118.
- Sato, D. *et al.* 2003. Analysis of strigolactones, germination stimulants for *Striga* and *Orobancha*, by high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 51, 1162–1168.
- Taster, AV. and Westwood, JH. 2012. The U.S. witchweed eradication effort turns 50: A retrospective and look-ahead on parasitic weed management. *Weed Sci.* 60, 267–268.
- Wang, Y. *et al.* 2020. A strigolactone biosynthesis gene contributed to the Green Revolution in rice. *Mol. Plant* 13, 923–932.
- Xie, X. *et al.* 2010. The strigolactone story. *Annu. Rev. Phytopathol.* 48, 93–117.
- Xiet, X. 2016. Structural diversity of strigolactones and their distribution in the plant kingdom. *J. Pestic. Sci.* 41, 175–180.
- Yoneyama, K. *et al.* 2001. Production of clover broomrape seed germination stimulants by red clover root requires nitrate but is inhibited by phosphate and ammonium. *Physiol. Plant.* 211, 25–30.
- Yoneyama, K. *et al.* 2007a. Phosphorus deficiency in red clover promotes exudation of orobanchol, the signal for mycorrhizal symbionts and germination stimulant for root parasites. *Planta* 225, 1031–1038.
- Yoneyama, K. *et al.* 2007b. Nitrogen deficiency as well as phosphorus deficiency in sorghum promotes the production and exudation of 5-deoxystrigol, the host recognition signal for arbuscular mycorrhizal fungi and root parasites. *Planta* 227, 125–132.
- Yoneyama, K. *et al.* 2013. Nitrogen and phosphorus fertilization negatively affects strigolactone production and exudation in sorghum. *Planta* 238, 885–894.
- Yoneyama, K. *et al.* 2018. Which are the major players, canonical or non-canonical strigolactones? *J. Exp. Bot.* 69, 2231–2239.
- Yoneyama, K. 2020. Recent progress in the chemistry and biochemistry of strigolactones. *J. Pestic. Sci.* 45, 45–53.

石川県における水稲の 密苗移植栽培技術の現状と 普及状況および移植機の進展

石川県農林総合研究センター
育種栽培研究部
宇野 史生

はじめに

米価下落や担い手農家への農地集積から水稲栽培の省力・低コスト化の重要性が増している。こうした背景をふまえ省力・低コスト化技術として密苗（ヤンマー株式会社，商標登録第 5864399 号）移植栽培技術が開発され，普及している。密苗移植栽培技術は育苗箱当たり乾籾換算で 250～300 g を播種・育苗することで（図-1），単位面積当たりの育苗箱使用枚数を $1/2 \sim 1/3$ に削減でき，播種から移植までの労力や生産コストを削減できる。

北陸地域の稲作では育苗箱当たり乾籾換算で 120g 程度の種子を播種する薄播きが進められ，健苗育成による良質米生産が進められてきた（小島 2006）。薄播きは苗の草丈当たりの乾物重を増加させることに加え，移植時の株当たり苗数を 4 本程度と適正にする細植えを促し，強勢な下位分げつの発生を通じて収量・品質の安定化に



図-1 育苗箱に播種した状態
左：乾燥籾 120g / 育苗箱
右：乾燥籾 300g / 育苗箱

貢献してきたと言える。密苗はこの薄播きとは逆行する播種量を増やす技術であり，苗は細く，草丈当たりの乾物重が小さくなる（図-2，3）。そこで，この密苗でも育苗箱使用枚数削減によるメリットを生かしながら薄播きの苗に劣らない収量を得るための栽培方法と細植えを可能にする移植機の開発に向け，農事組合法人アグリスターオナガ，株式会社ぶった農産，石川県農林総合研究センター，ヤンマー株式会社の 4 者による共同研究に 2013 年から取り組んだ。2016 年に専用の移植機および密苗キットが販売され，2019 年には石川県で水稲作付面



図-2 密苗と慣行苗（品種コシヒカリ）
左：密苗（乾燥籾 300g / 育苗箱）
右：慣行苗（乾燥籾 120g / 育苗箱）
出芽後育苗期間 17 日



図-3 密苗と慣行苗（品種コシヒカリ）
左：密苗（乾燥籾 300g / 育苗箱）
右：慣行苗（乾燥籾 120g / 育苗箱）
出芽後育苗期間 12 日

積の 5% に相当する 1,240ha まで普及している（石川県農林総合事務所調べ）。また様々な地域・品種で慣行苗と遜色無い収量が得られている（澤本ら 2019a）。

密苗移植栽培の管理

(1) 播種作業

密苗の播種作業は，専用の播種機を用いて行う。乾籾換算で 250～300g を播種できる播種機は密苗クイックマニュアル ver2（ヤンマーアグリ株式会社 2019）にも紹介されている。密苗は掻き取り面積を狭くしていることから，育苗箱内に播種のムラがあると，連続欠株につながりやすい。特に種籾の芽や根が伸びすぎた場合に播種機が詰まって播種ムラが生じるのでハト胸状態で播種する（図-4,5）。

播種を開始する前に播種量を確認する。例えば乾籾換算で育苗箱当たり 300g 播種する場合，脱水直後の催芽籾は重量が 1.25～1.30 倍に増加するので，375～390g 程度を播種することになる。床土は 1.8～2.0cm 程度とし，慣行苗よりも播種量が多い分 0.2cm 程度減らすとよい。覆土は慣行苗と同程度とする。出芽は加温出芽および無加温出芽のどちらも慣行苗と同様の方法で実施できる（中村ら 2018；図-6）。平置きで出芽する場合は慣行苗に比べて覆土の持ち上がりが起こりやすいので，著しい場合はほうきで箱内に払い落とした後，灌水する。



図-4 ハト胸状態

(2) 育苗管理

ビニルハウス内で育苗した場合、密苗は慣行苗に比べて出芽後 10 日程度から葉齢の展開が緩やかとなり、3.0 葉（不完全葉を 1 葉とする）程度で停滞し、その後育苗を続けても 4 葉は完全に抽出しないという特徴がある（稲崎ら 2017; 澤本ら 2019b; 寺崎・野村 2019）。また出芽後の育苗期間が 3 週間程度経過した苗は、移植後の出葉速度が低下すること（稲崎ら 2017）や、初期分けつの発生が少なくなること（宇野ら 2018a; 寺崎ら 2019）が報告されている。一方、育苗期間の温度が低温（日平均気温が 15°C 以下）であった場合、出芽後の育苗期間を 4 週間程度とした場合でも生育初期の分けつ発生が少なくなる場合もあることや、こうした低温条件では 2 週間では苗のマット強度が確保できない場合もある（宇野ら 2018a）。こうしたことを総合的に判断すると、育苗期間の平均気温が 15°C 程度以下の低温条件で育苗する場合（石川県では 5 月上旬移植の場合）

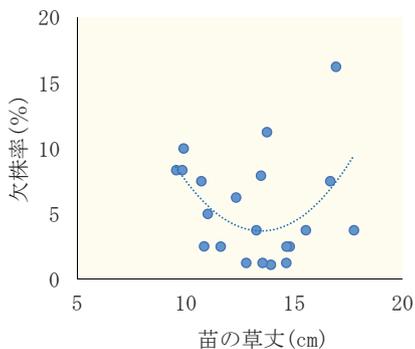


図-7 苗の草丈と欠株率の関係



図-5 芽が伸び過ぎた種子
播種時からまわり、播種ムラが生じやすく、播種量が少なくなった部分は移植時に連続欠株が生じる原因となる。

は出芽後の育苗期間を 3 週間程度とし、育苗期間の平均気温が 15°C を上回る場合（石川県では 5 月中旬移植の場合）は育苗期間を 2 週間とすることで、苗のマット強度を確保しつつ移植後の初期生育を確保できると考えられる。

目標とする苗の草丈は 13cm 程度である。苗は短くても長くても植え付け姿勢の悪化から欠株を招きやすくなる（図-7）。また、大区画ほ場では田面の高低差から苗が短いと苗が水没する危険性がある。植え付け深 3cm、水深 3cm、圃場の高低差 6cm を合計した 12cm 以上が水没しないための苗丈の目安となる。育苗期間が低温で経過する場合や苗の草丈が短くなりやすい品種は遮熱・保温性の被覆資材を緑化後最大 3 日間べたがけすることで苗の草丈を確保しやすい（中村ら 2018）。遮熱・保温性の被覆資材は日本ピアレスフィルム工業株式会社のピアレスフィルム TS タイプ内張用や東罐興産株式会社のトークンほなみで苗の高温障害を防ぎながら苗を伸長できることを確認している。遮熱性の資材ではあるが、べたがけ中にビニルハウス内の温度が 38°C を超えると高温障害を招く可能性があるため留意する（中田・宇野 2019）。

(3) 移植

専用の移植機を用いて慣行苗と同様に株当たり 4 本程度、植え付け深 2 ~ 3cm となるように移植する。密苗



図-6 無加温出芽・露地プール育苗の苗（品種コシヒカリ）
左：密苗（乾燥粉 300g / 育苗箱）
右：慣行苗（乾燥粉 120g / 育苗箱）
出芽後育苗期間 21 日

を精度よく移植できるヤンマーアグリ株式会社の移植機 YRD シリーズは植付爪やレール取り口の幅が従来の移植機より狭くなっており、育苗箱から小面積掻き取ることで、浮き苗、欠株の少ない植え付けができる（ヤンマーアグリ株式会社 2019）。従来機に比べ爪の幅は 13mm から 10mm に、苗載せ台の横送り回数を最大 26 回から 30 回に、縦取り量の範囲は 8 ~ 17mm から 5 ~ 10mm となっている（澤本・稲村 2020）。

移植時の土壌は苗が倒れず、植え穴が埋め戻す程度の硬さがよく、水深は浅いほど浮き苗が発生しにくく、落水状態が望ましい。30a 区画であれば、午前中の移植は前日夕方に落水、午後の移植は朝に落水すると移植に適したほ場の状態となる。株当たり植え付け本数を少なくすると欠株率が高くなるので注意し、欠株は 5% 以下を目標とする。ただし、澤本ら（2019a）が全国 342 経営体で実施した実証栽培で欠株が多いと回答しても減収が認められないこと、3 連続で欠株した場合（周囲株を含めて 20% 欠株に相当する）の減収程度は 5 ~ 7% 程度に留まること（宇野ら 2020）等から、基本的に補植は不要と言える。

(4) 除草剤の散布

密苗でも慣行苗と同様に移植同時の除草剤散布が可能である。密苗は慣行



図-8 除草剤の移植同時施用が密苗生育に及ぼす影響
(品種コシヒカリ)

左：無処理，中：パッチリLX1 キロ粒剤3倍区
右：パッチリLX1 キロ粒剤3倍植付深0cm区
移植29日後撮影，植付深と水深を適正に保てば生育抑制は認められないが，根が露出した条件では生育抑制が認められる。

苗に比べ，草丈当たりの乾物重が小さいこと，葉齢が若いことから除草剤の葉害が起こりやすい苗と言える。これまでポット試験において水深と植え付け深を適正に保つことで，初中期一発処理除草剤を移植同時処理しても密苗は慣行苗と同様に生育抑制を受けないことを確認した(図-8；宇野ら2018b)。また，2014～2016年に実施した現地実証のべ53地点においてほとんどの実証地で移植同時で初期剤または一発処理除草剤を散布したが，葉害症状はみとめられていない。一方で，砂壤土で慣行苗に比べて初期生育抑制が認められた事例(寺崎ら2020)が報告されていること，慣行苗よりも葉害を受けやすい苗の形質であることから，慣行苗よりも植え付け深，水深を適正にすることに加え，異なる土壌や気象条件において葉害の起こりにくい除草剤の情報を蓄積していく必要がある。

(5) 病害虫防除

育苗箱施薬剤を使用する際，密苗は慣行苗に比べて苗当たりおよび10a当たりの施薬量が少なくなる。これは育苗箱施薬剤の適用内容に「育苗箱(30×60×3cm，使用土壌約5L)1箱当たり50g」等と育苗箱当たりの散布量が定められているのに対し，密苗



図-9 側条施薬機(ヤンマーアグリ株式会社 2019)

は慣行苗に比べ育苗箱当たりの苗本数が多く，10a当たりの育苗箱使用枚数が少なくなるためである。そのため，これまでに慣行苗に比べて害虫に対する防除価が低下した事例が報告されている(新山・進藤2018)。こうしたことを背景に育苗箱当たりの播種量にかかわらず，苗当たり，10a当たりの施薬量を一定にする移植機に取り付け可能な側条施薬機が開発され，側条施薬の登録がある農薬が増えてきている。側条施薬は移植と同時に施肥溝に施薬する技術であり，育苗箱使用枚数や栽植密度にかかわらず一定量(例えば1kg/10a)を施薬できる(図-9)。

(6) 移植後の生育の特徴と管理

移植後の密苗は慣行苗よりも小さく心細いが(図-10)，慣行苗と同様の管理でよい。慣行苗に比べ葉齢が若いいため，分けつ発生までに期間を要し，移植1ヶ月程度は茎数が劣るが(図-11)，最高分けつ期にかけて生育は追いつき同等となる(図-12)。中干し

は地域で目標とする生育量を確保してから実施する。出穂期は1～3日程度遅くなり(図-13)，それに伴い成熟期も遅延する。



図-10 移植直後の様子(品種ひやくまん穀)
左：密苗，右：慣行苗

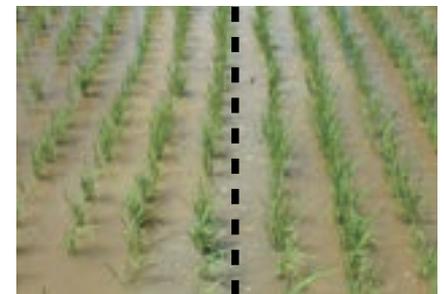


図-11 移植1か月後の生育(品種ひやくまん穀)
左：密苗，右：慣行苗
移植時の葉齢差の影響が大きく密苗の茎数は慣行苗に劣る。



図-12 移植50日頃の生育(品種ひやくまん穀)
左:密苗, 右:慣行苗
最高分けつ期頃になると密苗と慣行苗の茎数の差は小さくなる。



図-13 穂揃期の生育(品種ひやくまん穀)
左:密苗, 右:慣行苗
密苗は慣行苗に比べて出穂期が1~3日程度遅くなり、伴って成熟期も遅くなる。

(7) 密苗移植栽培の課題克服に向けて

密苗は移植適期が短いことから特に大規模経営では播種作業を頻繁に行わないと、苗の老化を招く。苗の老化を防ぐための技術として苗箱の貯蔵技術(齋藤 2018)と加温出芽と無加温出芽を組み合わせる技術がある(石川県農林総合研究センター 2019)。苗の貯蔵技術は播種作業を一度に集約し、加温せずに貯蔵し、作業進捗に合わせて加温出芽させる技術であり、日積算温度 200°Cまで貯蔵が可能である(齋藤 2018)。加温出芽と無加温出芽を組み合わせる技術は、同じく播種作業を一度に集約し、作業予定に合わせて加温または無加温で出芽させる技術である。無加温出芽する場所はビニルハウスと露地とを組み合わせることでさらに出芽時間に差を設けることができる(石川県農林総合研究センター 2019)。

また、密苗は移植時の苗補給は減らせるが、側条施肥を行う場合、肥料補給のために移植作業を中断する必要がある。この施肥量を減らすことができれば1日で移植できる面積はさらに拡大する。水稻の基肥肥料は一般的に窒素・リン酸・加里を含むが、リン酸、加里は土壌中に必要量があれば毎年施

肥しなくても稲が必要量を吸収できる。そのため、リン酸・加里を3年分施肥し、移植時に窒素のみを施肥することで、窒素濃度の高い肥料が使用でき、移植時の施肥量を減らすことができる(宇野ら 2019)。密苗でも水稻育苗箱全量基肥栽培の検討が進められており(高橋ら 2020)、苗箱に施肥することができれば作業時間はかなり短縮できる可能性がある。

引用文献

- 稲崎史光ら 2017. 育苗期間の違いが高密度播種育苗栽培における「コシヒカリ」の苗質および本田での生育・収量に及ぼす影響. 日作東北支部報 32, 14-15.
- 石川県農林総合研究センター 2019. 水稻多収品種の密苗移植栽培とフリージアの水稻育苗ハウス利用型栽培導入マニュアル. 3-16
- 小島守夫 2006. 大規模水稻育苗施設における育苗管理方法の改善による福井良食味米の普及. 北陸作報 41, 16-17.
- 中田敏朗・宇野史生 2019. 水稻無加温出芽時におけるビニルハウス内の温度が出芽率に及ぼす影響. 石川県農林水産研究成果情報 21, 4.
- 中村弘和ら 2018. 被覆資材を用いた高密度播種による水稻育苗法に関する研究. 北陸作報 53, 20-23.
- 新山徳光・新藤勇人 2018. 水稻の高密度播種育苗移植における育苗箱施用剤のイネミズゾウムシに対する防除効果. 日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集 62, 80
- 齋藤祐幸 2018. 密播育苗における播種後苗箱の貯蔵技術(第2報). 北陸作物学会報

第54号別号, 1.

澤本和徳ら 2019a. 高密度播種した水稻苗移植栽培技術の地域適応性. 農業食料工学会誌 81(4), 256-265.

澤本和徳ら 2019b. 石川県における育苗箱に高密度に播種した水稻稚苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質. 日作紀 88, 27-40.

澤本和徳・稲村達也 2020. 高密度播種苗仕様田植機の植え付け精度の検討—高密度播種苗と乳苗および稚苗の比較—. 農業食料工学会誌 82, 188-195.

高橋行継ら 2020. 水稻育苗箱全量基肥栽培と密苗栽培に関する研究(第6報). 日本作物学会講演要旨集 250, 22.

寺崎亮・野村幹雄 2019. 水稻「コシヒカリ」における高密度播種苗の特性及び初期生育. 日本作物学会講演要旨集 247, 112.

寺崎亮ら 2020. 富山県の沖積砂壤土水田における土壌処理除草剤が水稻の高密度播種苗に及ぼす影響. 日本作物学会講演要旨集 249, 139.

宇野史生ら 2018a. 高密度播種苗の育苗期間が苗質および移植後初期生育に及ぼす影響とタチガレエース M 液剤の有効性. 北陸作報 53, 27-30.

宇野史生ら 2018b. 一発処理除草剤が高密度播種苗の移植後初期生育に及ぼす影響. 北陸作報 53, 24-26.

宇野史生ら 2018c. 高密度播種苗を用いた移植栽培における欠株が収量構成要素・収量に及ぼす品種間差. 北陸作物学会報 第54号別号, 2.

宇野史生ら 2019. 移植時肥料補給回数を減らす N-PK 分割施肥による水稻栽培. 日本作物学会講演要旨集 247, 18.

ヤンマーアグリ株式会社 2019. 密苗クイックマニュアル Ver.2. https://www.yanmar.com/media/news/2019/04/14030111/mitsunae_quickmanual.pdf

薬剤散布ノズルの特徴と選択

ヤマホ工業株式会社
技術開発部
池口 明宏

ヤマホ工業は1960年に創業以来、防除の5大原則を①安全散布、②均一散布、③付着性、④省力・省エネ散布、⑤適期・適量散布と考え、さまざまなノズルを開発してきた。その中でも、散布作業への安全性を重視したキリナシノズル*や殺虫殺菌剤に広く用いられる新広角ノズルなどは代表的なノズルである。

薬剤散布におけるノズルは、付着性、均一性、安全性などを左右する重要な部品の1つであり、その性能が薬剤散布の良否を左右すると言っても過言ではない。また、ノズルにはさまざまな種類や特長があるため、場面や用途によって使い分けが必要である。ここでは、薬剤散布ノズルの特徴とその選択方法について紹介する。

*キリナシはヤマホ工業株式会社の登録商標です。

1. ノズルの噴霧パターンによる分類

薬剤散布ノズルは、ソリッドノズル(直進タイプ)、ホロコーンノズル(中空円錐タイプ)、フルコーン(充円錐タイプ)、フラットノズル(扇形タイプ)の4種類(図-1~4)に分類される。ソリッドノズルは丸孔から噴出するため、棒状(ストレート)に噴霧粒子が発生し、最も勢い(打力)が強く到達性がある。ホロコーンノズルは、ノズル内の旋回中子と呼ばれる部品によって、薬液が渦運動を起こしながらノズル孔から噴出されるため、中空円錐状に噴霧粒子が発生する。中央部には噴霧粒子が発生しないため、比較的小さい噴霧粒子で勢い(打力)が弱くソフトな霧が得られる。フルコーンノズルはノズル内の旋回中子によって、渦運動と直進する流れが組み合わさりノズル孔から噴出されるため、充円錐

状に噴霧粒子が発生する。一般的に噴出孔が同じであれば、ホロコーンノズルよりも噴霧粒子は大きくなる。果樹用や洗浄用として使用されており、ホロコーンノズルに比べて到達性に優れる。フラットノズルは、ノズル内部の案内溝に沿って流れる薬液が衝突して噴出されるため、扇形状に噴霧粒子が発生する。ホロコーンノズルに比べ均一性や到達性に優れているため、さまざまな作物や除草剤散布用などに使用されている。

2. ノズルの特性

(1) 均一性

ノズルから噴霧された薬液を一定間隔で採取(回収)すると、落下量分布が得られる。落下量分布を求めることで薬液散布時の均一性を評価することができる。すなわち、落下量分布の均一なノズルを用いることで散布ムラの

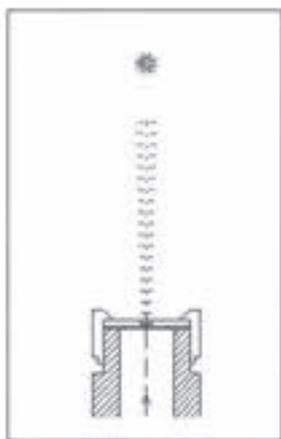


図-1 ソリッドノズル

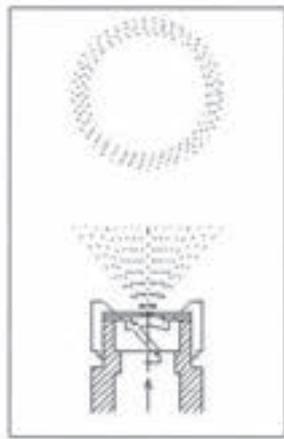


図-2 ホロコーンノズル



図-3 フルコーンノズル



図-4 フラットノズル

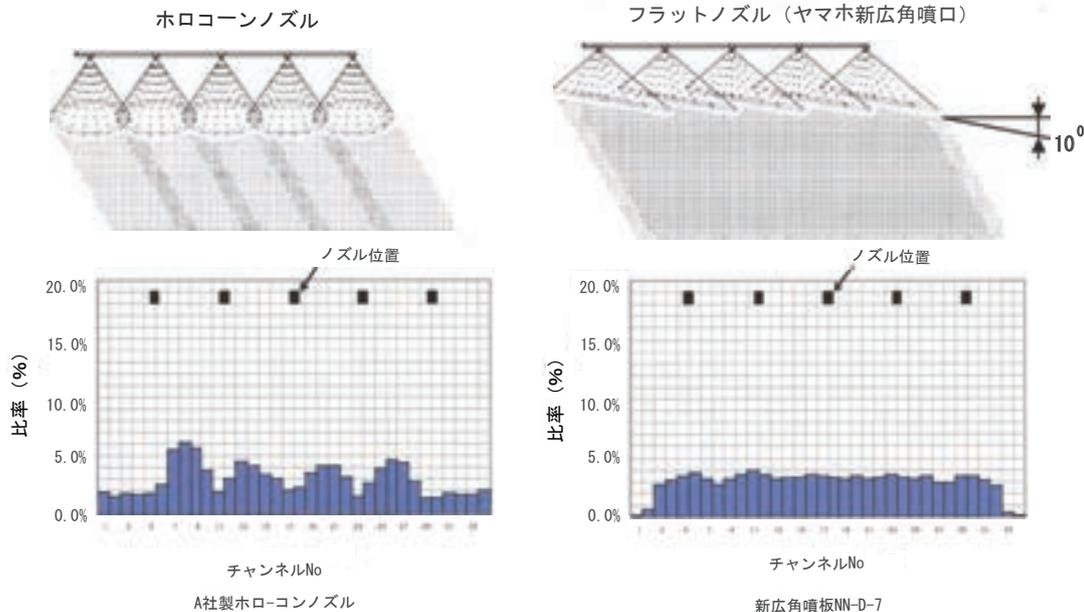


図-5 ホロコーンノズルとフラットノズルの噴霧パターンの落下量分布の違い

※試験条件 (ヤマホ工業社内試験規格に準拠)

試験装置: ヤマホ式分布測定装置

(チャンネル幅 = 50mm、チャンネル数 = 34 条、最大計量幅 = 1.7m)

ノズル取付ピッチ (mm): 300

ない作業ができる。平面に散布する場合、ホロコーンノズルに比べフラットノズル (扇形ノズル) は均一性に優れる (図-5)。

(2) 耐久性

ノズルの耐久性は、構造や材質、使用圧力、使用流体、使用時間によ

て異なる (図-6)。

ノズルは磨耗すると噴霧量が多くなるため、適切な噴霧量以上に噴霧され、さらに噴霧パターンも乱れ不均一となる。したがって、噴霧量が多くなったときや噴霧パターンに乱れが見られた場合は交換する必要がある。ノズルの耐久性を高めるため、材質には耐磨耗

性に優れるステンレスやセラミックが採用されている。

3. ドリフト低減ノズル

噴霧される粒子の大きさ (粒子径) は、ドリフトに密接に関係しており、微細な粒子ほどドリフトし易くなる。ドリフト低減ノズルは、この粒子を大きくし、ドリフトを少なくさせたノズルで、慣行ノズルの平均粒子径が約 0.1mm (100 μ m) 未満であるのに対して、約 0.12mm (120 μ m) 以上のものが該当する (ただし、厳密に定義されていない)。噴霧粒子には、霧タイプと空気を混入したキリナシタイプ (泡状) の 2 種類がある (図-7)。一般にキリナシタイプは、霧タイプのものに比べ粒子径が大きくなる。

ドリフト低減ノズルは、さまざまな種類とそれらの特徴がある (表-1)。乗用管理機やブームスプレーヤでは、切替式ノズルを用いていくつかのノズルを使い分けている。また、手散布で

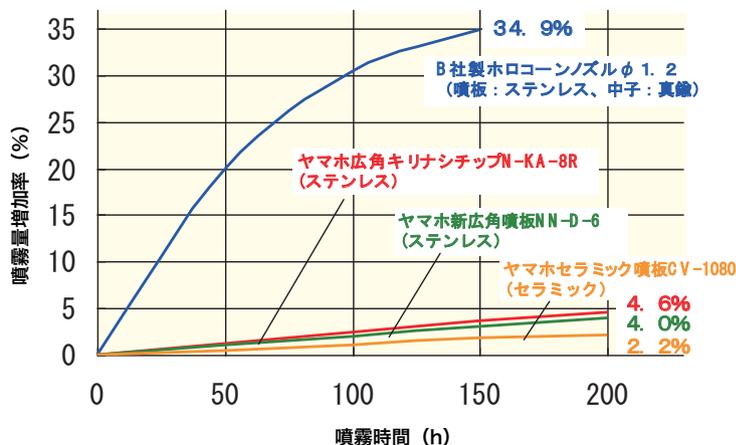


図-6 ノズル種類別の磨耗度比較

(噴霧量増加率の大きさは磨耗度の大きさ)

※試験条件 (ヤマホ工業社内試験規格に準拠)

噴霧圧力: 2.0M Pa

噴霧量: 1.2L/m in

噴霧液: 5-5 式ボルドー液 (1% 石灰・硫酸銅液)

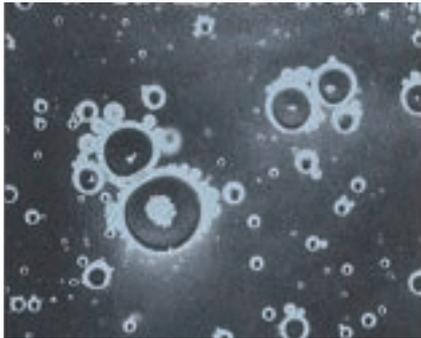
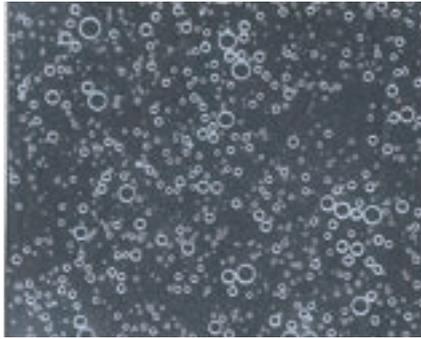


図-7 霧タイプ(上)とキリナシタイプ(下)の粒子径(写真)

表-1 主なドリフト低減ノズル

方式	ノズル名称	平均粒子径 ^{※1} (μm)	作物別用途
空気混入	セラミック噴板	80~180	畑作・果樹
なし	セービングノズル	120	畑作(少量散布)
(霧タイプ)	SVK噴板	160~230	果樹
空気混入型	キリナシESノズル	280~350	畑作・水田
	キリナシKSノズル	260~450	畑作・果樹
(キリナシタイプ)	広角キリナシノズル	350~570	水田・除草
	強力キリナシノズル	590~1160	果樹

※1 適正圧力値における数値



図-8 サマーラックみえーるカバーと散布例(写真)

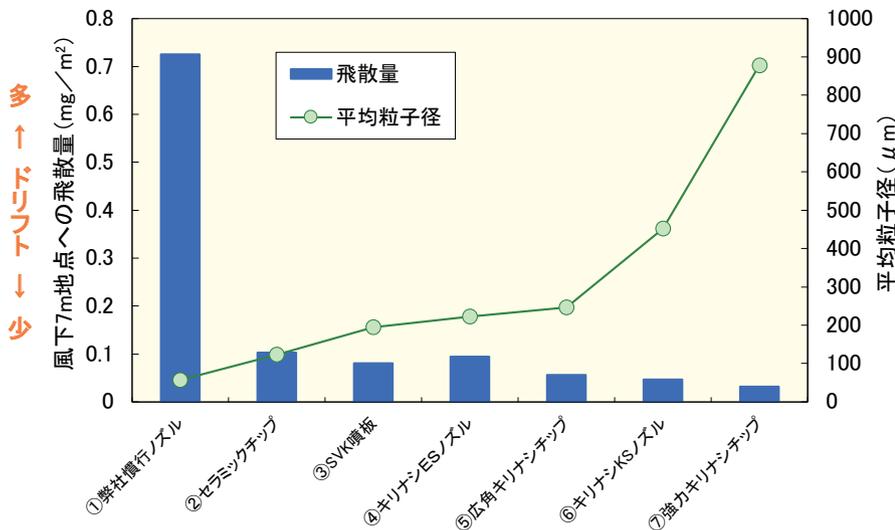


図-9 慣行ノズル(①)ドリフト低減ノズル(②~⑦)の平均粒子径と飛散量の関係 (JA全農 農業研究室より提供)

風速 2m/s の条件下、ノズル直下より 2~10m に紙を設置し、赤色 106 号 100ppm を 5L 散布した後、紙に付着した液を定量分析し、飛散量とした。(室内試験)
散布圧力: ①= 2MPa, ②③= 1MPa, ④⑤⑥= 1.5MPa, ⑦= 0.5MPa

は、より飛散を少なくするカバー付きのもの(商品名:サマーラックみえーるカバー 図-8)も商品化されている。

図-9は、粒子径の異なるノズルと飛散量を測定したものである。このグラフからは、平均粒子径が大きくなると飛散量が少なくなることが見て取れ

るが、注目すべきは平均粒子径が約 100 μm を超えると、飛散量が急激に減少していることである。これは、平均粒子径が大きくなると、飛散しやすい数十 μm の粒子の含まれる割合が少なくなること示している。したがって、ドリフトを低減するためには、噴

霧圧力を抑えて、平均粒子径を大きくすることも有効である。

4. 作物別の薬剤散布ノズルの特長

薬剤散布ノズルは、果樹・立木、平面野菜、水田、茶、除草剤など散布機や作物によってさまざまな特長がある。それぞれの作物における特長を以下に示す。

果樹・立木は、作物自体に高さがあることから、真横もしくは下から斜め上方向に向けて散布される。散布位置から作物まで距離があり風の影響を受け易く、葉や枝の密生度が高いことから、ノズルの噴霧角度を狭くして到達性を持たせたノズルが採用されている(図-10)。

平面野菜については作物の上から下方向への散布、立体的な作物では下から斜め上方向に向けて散布される。散布位置から作物までの距離が短く、果樹のように風の影響を受けにくいこと



図 -10 果樹用ノズル散布例



図 -11 野菜用ノズル散布例



図 -12 水田用ノズル散布例



図 -13 茶用ノズル散布例



図 -14 除草用ノズル散布例

から比較的噴霧角度の広いノズルが採用されている(図-11)。

水田には、足元から先端方向へ広範囲にわたって散布できる畦畔ノズルが使用されている。散布位置から遠くへ飛ばす必要があり、風の影響を受けやすくなることから、噴霧角度や到達性

の違うノズルを複数個組み合わせたノズルが採用されている(図-12)。

茶に対しては、上から下方向への噴霧で、茶の葉や枝の密生度が高いことから到達性に優れた比較的噴霧角度の狭いノズルが採用されている(図-13)。

除草剤は、主に雑草の上から下向きに散布される。散布位置から雑草までの距離は短く、風の影響を受けると他作物への被害が大きいため、噴霧粒子径が大きく噴霧角度の広いドリフト低減ノズルが採用されている(図-14)。

5. ノズルの選択方法

まず、使用場面や薬剤により霧タイプ、キリナシタイプ(ドリフト低減)のどちらかを選ぶ。近接した圃場がある場合やよりドリフトを抑えたいときはキリナシタイプを選択すると良い。次に、作物、散布面積、散布時間や動力噴霧機の性能などにより、ノズルの種類を決める。例えば、果樹用で広範囲を速く散布する場合は、噴口の数や噴出量の多いノズルを選択する。このとき、ノズルの噴霧量×1.3が動力噴霧機の吸水量以内になるよう選択する(下記、圧力損失の簡易計算式を参照)。これは動力噴霧機の余水を約3割確

保するためである。また、噴出量とホースの内径、長さにより圧力損失が発生するため注意が必要である。例えば、10 L/分のノズルを選択、内径8.5mmのホースを100m接続して作業する場合は、約1.1MPaの圧力損失が発生する。よって、動力噴霧機の元圧力を2.6MPaに設定すると、約1.5MPaの先端圧力(噴霧圧力)が得られる。散布終了後は、腐食や凍結防止のため、水通しと水抜きをして保管する。

ホースによる圧力損失の簡易計算式

$$P=4.7 \times L \times Q^2 / D^5$$

P = 圧力損失 (MPa),

L = ホース長さ,

Q = 噴霧量 (L/分),

D = ホース内径 (mm)

6. おわりに

ヤマホ工業はこれからも、ユーザー、農業・防除機メーカーや各研究機関と連携しながら、防除の5大原則を実現するさまざまなノズルを開発していく予定である。ノズルの特徴や性能より、いろいろな場面や用途にあった適切なノズルを選択していただきたい。安全かつ効率的な薬剤散布作業に本稿が参考となれば幸いである。

根域温度制御による園芸作物の生育・開花制御

日本大学
生物資源科学部

窪田 聡・村松 嘉幸

はじめに

筆者らは2012年から花苗の生育・開花に及ぼす根域温度の影響について注目し、様々な実験を行ってきた。当初は排水孔のない素焼鉢に植物を植え、その鉢を水を張ったプールベンチに置いてプール内の水温を加熱・冷却することにより根域温度を調節し、地上部の生育・開花に及ぼす影響について検討を行った。温室の最低気温を13°Cに加熱し根域は無加熱したものの、最低気温を8°Cまで下げて根域のみを18°Cに加熱したものを比較すると、明らかに根域を加熱したものの方が生育・開花が促進され、かつ消費エネルギー量が30%削減されることが明らかとなった。シクラメンは夏の高温に弱く、高温が続くと開花が遅延し年末出荷に間に合わなくなる。通常、低地で栽培している生産者は夏季に植物を高冷地に移動させる、いわゆる山上げ栽培を行っている。そこで、ミニシクラメンを用いて生育・開花に対する夏季の根域冷却の影響について検討した。その結果、気温が30°Cを超えるような高温期においても根域を20°C~23°Cに冷却すると無冷却に比べて著しく開花が促進され、年内の早い時期に出荷が十分に可能になることが明らかとなった。このように、根域温度は花苗の生育・開花に著しい影響を及ぼすことが示された。一方、これらの実験は素焼鉢を水を張ったプールベンチに入れて行うという実際の生産

現場と著しくかけ離れた方法で行われていたため、根域温度制御技術を生産現場に落とし込む装置の開発が必要であった。そこで、生産現場で一般的に使用されているビニル鉢に対して根域温度を制御できる新型根域環境制御装置(N.RECS)を産学連携で開発した。今回は開発されたN.RECSの性能と園芸作物に対する効果を紹介するとともに、今後の根域温度制御の可能性について述べてみたい。

1. 新型根域環境制御装置(N.RECS)の開発

N.RECSの概要を図-1に示す。発泡スチロール製の断熱パネルの上にア

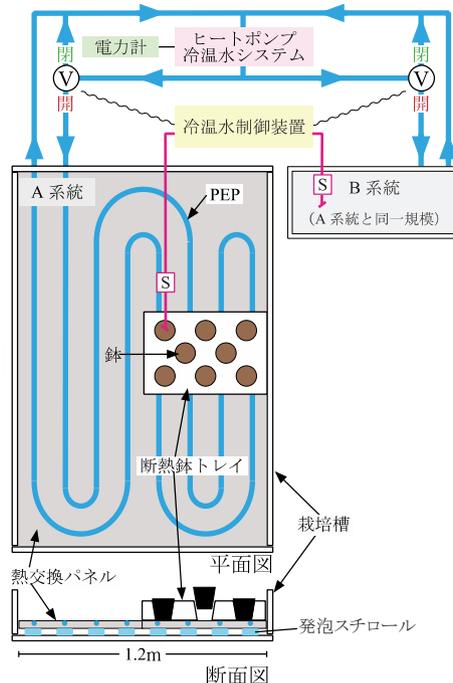


図-1 N.RECSの構造
V: 電動三方バルブ, PEP: 架橋ポリエチレンパイプ, S: 土壌温度センサー

ルミ製熱交換パネルが敷かれ、熱交換パネルに冷温水を循環させるための架橋ポリエチレンパイプ(PEP)が熱交換パネル内に敷設されている。PEPには空気熱源式ヒートポンプ冷温水システムで製造された冷水(7~10°C)または温水(35~40°C)を循環させる。循環回路には電動三方バルブ(V)が設置されている。冷温水制御装置に接続された土壌温度センサー(S)で根域温度を測定し、任意に設定された根域温度になるようにVを開閉して、鉢内の温度を調節する仕組みになっている。鉢を熱交換パネルの上に直接おいただけでは加熱・冷却効果は限られるため、発泡スチロール製の断熱鉢トレイを熱交換パネルの上に敷き詰め(図-2)、断熱鉢トレイに鉢を入れて温度を調節する。このような方法で根域温度を制御すると(図-3)、冬季の無加熱温室(最低気温約5°C)であっても根域温度を約25°Cに維持するこ



図-2 N.RECSによる植物の栽培状況
熱交換パネルの上に断熱鉢トレイを敷き詰め、断熱鉢トレイ内にポットを入れて栽培する。

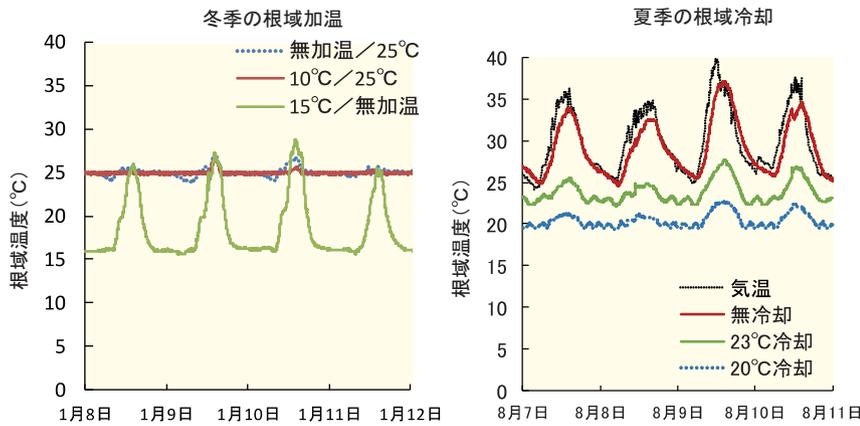


図-3 N.RECSにおける冬季の根域加温と夏季の根域冷却の制御性能

冬季の根域加温実験の凡例は温室の暖房温度/根域加温温度を示す。無加温/25°Cの最低気温は約5°Cであったが、根域温度はほぼ25°Cに保たれている。夏季の根域冷却では気温が35°Cを上回り、無冷却の根域温度も気温とほぼ同じ温度まで上昇しているが20°C冷却では最大でも23°Cを上回ることなく、気温に比べて約10°C冷却できている。

とができ、夏季には最高気温が35°Cになっても根域温度を23°C以下に抑えることができる。

2. 花き生産に対するN.RECSの効果

N.RECSを使用して冬季の矮性ダリアの根域加温栽培を行ったところ (図

-4)、温室の暖房温度を普通栽培よりも3°C程度下げ根域を24°Cに加温すると、明らかに生育・開花が促進されるとともに、全体の消費エネルギーコストが30%削減された。また、耐暑性が低いフクシアを用いて夏季に根域冷却を行ったところ (図-5)、根域無冷

普通栽培 (根域無加温, 最低気温 15 ~ 16°C)



N.RECS (根域 24°C加温, 最低気温 12°C)



図-4 冬季の矮性ダリアの生育・開花に及ぼす根域加温の影響

N.RECSで根域加温を行った植物では、普通栽培に比べて分枝数、葉数、着蕾数が増加している。消費エネルギーコストはN.RECSで30%削減された。

根域無冷却



根域 20°C冷却



図-5 高温期のフクシアの生育に及ぼす根域冷却の影響

実験期間中の最高気温は両区とも同一であり30~35°Cであった。根域無冷却では根がほとんど張っておらず地上部が枯死しているが、N.RECSによって根域を20°Cに冷却すると根が旺盛に生育し、地上部の成長も促進されている。

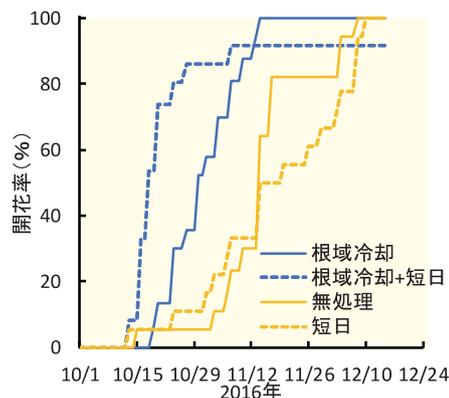


図-6 一季成り性イチゴの開花に及ぼす根域冷却と短日処理の影響

品種‘女峰’9cmポット苗を8月4日にN.RECSが設置された土耕ベンチに定植した。根域冷却(約20℃)は8月4日～10月7日まで、短日処理は8月4日～9月1日まで実施した。

却では約半数の株が枯死したが、根域を20℃に冷却すると全ての株が生存し健全に生育した。この他にもローダンセマムを用いた根域冷却試験を行ったところ、夏季の根域冷却は植物の健全性を維持するのに極めて有効であることが示されている。これらの根域冷却実験は最高気温が35℃に達するような猛暑の期間に行われた。根域のみを冷却することで植物の健全性が保たれたことは、植物の耐暑性は地上部だけでなく根の耐暑性が重要な要因として関わっていると推察される。一般に地床で植物を栽培する畑栽培では、地表から地中に向かって土壌温度は気温の変化を受けにくくなり、年間を通じて安定して推移する(千葉 1970)。一方、鉢栽培における根域温度は、気温と同じか日射の影響を受けて気温よりも高くなる場合が多くなるとともに、日周変動も大きい。したがって、鉢で栽培する植物ほど根域温度の影響を受けやすいと考えられ、N.RECSによる根域温度制御は有効だろう。

現在まで花き植物においては、冬季の根域加温による生育・開花促進と省エネルギー化が可能な品目として、鉢栽培では矮性ガーベラ、矮性ダリア、球根ペゴニア、ゼラニウム、プリム

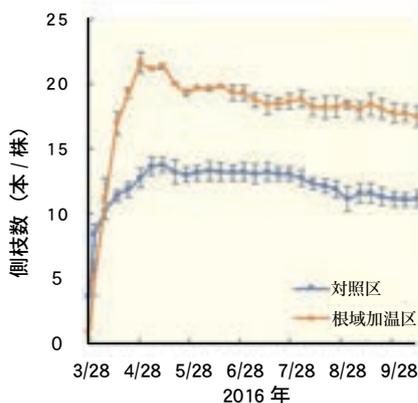
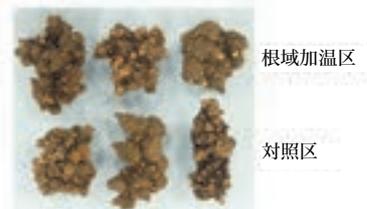


図-7 薬用植物ソウジュツの地上部生育と根茎発達に及ぼす根域加温の影響
ソウジュツの側枝数は対照区に比べて根域加温によって明らかに増加した。根茎重も根域加温区では対照区の約1.2倍に増加した。

処理区	根茎重 (g/株)
根域加温	154.7
対照	130.7



ラ・オブコニカ(村松ら 2018)、ベッド栽培では切り花ガーベラ(村松ら 2019a)について確認され、夏季の根域冷却ではフクシア、ローダンセマムの枯死防止と生育促進、ガーデンシクラメン、パンジー、アネモネでは生育促進、花数増加と開花期前かが認められている。

3. 野菜・薬用植物生産に対するN.RECSの効果

N.RECSによる根域温度制御は花き植物だけでなく、野菜や薬用植物の栽培にも効果を発揮する。11月頃から出荷が始まる一季成り性イチゴは様々な品種が開発されているが、基本的には25℃以下の冷涼な気温と短日により花芽が分化する。そのため、11月にイチゴを出荷するためには、遅くとも9月には花芽を誘導する必要がある。夏季の花芽誘導は保冷库にイチゴの苗を1ヶ月程度毎日出し入れすることにより、低温と短日処理が同時に行える夜冷栽培が行われている。しかし、保冷库に大量の苗を出し入れする労力がかかる欠点がある。この方法で花芽誘導したイチゴの苗を本圃に定植するが、高温条件が継続すると頂花房が開花して腋芽が花芽分化せず栄養成長を継続してしまうことがあり、その

防止のためにイチゴの苗のクラウン(短縮茎部)に冷水を循環させたチューブを接触させてクラウンの温度上昇を抑え、花芽分化の安定化を促す株元冷却技術も開発されている。そこで、一季成り性イチゴの花芽誘導にN.RECSによる根域冷却が有効かどうかを検討した(図-6)。その結果、品種‘女峰’の苗をN.RECSによって根域温度制御が可能な土耕ベンチに定植し、8月4日から根域を20℃に冷却し短日処理を併用したところ、開花率が80%に達するまでの所要日数は、無処理あるいは短日処理のみに比べて1ヶ月以上短縮し10月中～下旬に開花した(水野ら 2018)。また、イチゴのポット苗でもN.RECSによる根域冷却と短日処理を併用すると著しい開花促進効果が認められた。したがって、N.RECSは労力がかかる従来の夜冷栽培を代替することができるほか、冬季の加温も行えるため温室全体を暖房する従来法よりもランニングコストが安くイチゴの樹勢維持にも貢献するだろう。

薬用植物のソウジュツ(ホソバオケラ)は根茎を生薬として使用する。そこで、冬季の根域加温がソウジュツの生育と根茎肥大に及ぼす影響について検討した(図-7)。温室の最低気温を約16℃で管理した対照区と、最低気温を10℃に下げ根域温度を24℃に加

表-1 トマト苗の初期生育に対する気温と根域温度の影響

実験	気温/根域温度	葉面積	葉数	葉1枚当たりの葉面積	草丈	総根長
根域温度調節	22℃/27℃	122	100	120	100	149
	22℃/22℃	100	100	100	100	100
	22℃/17℃	69	95	72	92	60
気温調節	27℃/22℃	112	111	101	142	109
	22℃/22℃	100	100	100	100	100
	17℃/22℃	63	79	80	78	74

根域温度調節は気温を22℃に固定して、根域温度を17～27℃の範囲で変更し、気温調節は根域温度を22℃に固定して、気温を17～27℃の範囲で変更した。測定データは22℃/22℃の測定値を100とした時の相対値として示した。なお、根域温度調節および気温調節における22℃/22℃の生育にはほとんど差がなかった。根域温度調節では地上部の生育に対して葉面積に著しい影響が出ている。一方、気温調節では葉面積、葉数、草丈にも著しい影響が見られる。

温した根域加温区の生育を比較すると、根茎から発生したシュートの株あたりの側枝数は明らかに根域加温区で増加し、また実験終了時に収穫した根茎の新鮮重も対照区に比べて1.2倍に増加した。一般的に植物の二次代謝成分の濃度は、生育が抑制されて新鮮重が減少すると高くなり、逆に新鮮重が増加すると低下する傾向が見られる。しかしながら、本実験では新鮮重が増加した根域加温区においても、根茎のメタノール抽出エキスの濃度に差はなかった。したがって、ソウジュツの根域加温は生薬成分量の増加に有効であることが示された。なお、消費エネルギーコストは対照区よりも約30%削減された。野菜ではその他にもシソ(大葉)の冬季の根域加温栽培では慣行法と収穫量は変わらないが消費エネルギーコストは30%削減されるほか、根域冷却ではゴマの葉に含まれる機能性成分が増加、高温期のトマトの苗生産では生育促進、トマトの果実生産では生育促進、着花数増加、尻ぐされ防止効果が認められている。以上のことから、N.RECSは野菜や薬用植物等を含めた幅広い植物の生育制御にも効果的であると判断できる。

4. 根域温度制御による植物の新しい生育制御方法

現在まで、鉢栽培、ベッド栽培、養液栽培などの各種栽培方法に対応し、根域を加温・冷却できるシステムはN.RECS以外に存在しない。現在まで

の研究はN.RECSの根域加温・冷却に対する各種園芸作物の適応性試験を中心に行い、すでに述べたような一定程度の成果を得た。一方、根域温度が植物の地上部のどの部分に特異的に影響するのには十分に明らかになっていなかった。そこで、人工気象室内にN.RECSを導入して気温と根域温度の相互関係についてトマト苗を材料に検討した(表-1)。その結果、根域温度は葉面積と総根長には強い影響を及ぼすが葉数と草丈にはほとんど影響しないこと、気温は葉面積、葉数、草丈、総根長に影響することが明らかとなった。このことから、根域温度を植物の生育に応じて可変制御し葉面積の拡大速度を制御できる可能性が考えられた。

そこで、実験材料として茎があまり伸長せずロゼット状に葉が広がり、植物の葉面積を画像解析によって測定しやすいパチュニアを用いて、根域温度の可変制御が葉面積の拡大速度に及ぼす影響について検討した。具体的には、N.RECSを設置した冬季の無加温温室にデジタルカメラを設置し、植物の頭上から静止画を毎日撮影した。静止画から画像解析ソフトウェア(Image J)で葉の部分を抽出し、そのピクセル数から実際の葉面積を算出した。最終目標の葉面積(100cm²)とその目標到達期間(30日と45日)をあらかじめ設定し、両者から指数関数による成長曲線モデルを作成した。その成長曲線モデルと計測した葉面積を毎日照らし合わせ、成長曲線モデルに葉面積

ができるだけ適合するように根域温度を調節した。その結果、目標到達期間が30日と45日に設定した区の実際の到達期間は、それぞれ33日と47日となり目標に対する遅延は2～3日であった(村松ら 2019b)。このことは、N.RECSによる根域温度制御が植物成長(葉の拡大成長)を比較的精度良く制御できることを示し、この技術により品目によっては出荷時期を調節することが可能であると考えられる。N.RECSは温室のベンチごとに設置できることから、それぞれのベンチが独立して根域温度を制御すれば、今まで困難であった同一の温室で同一時期に栽培を開始した植物の出荷時期をずらすことが可能になり、労働力の分散化に大きく貢献するだろう。

近年、生産者においても野菜苗等の初期成長に人工気象室が利用されるようになった。人工気象室においても、基本的には温室と同様に気温と根域温度に大きな違いはない。しかし、人工気象室とN.RECSを組み合わせ、気温と根域温度を独立して精密に制御すれば、今まで不可能であった新しい植物形態形成の制御方法を編みだすことも可能視できる。

5. 根域温度による葉面積拡大のメカニズム

葉の拡大には細胞の吸水成長が重要である。細胞の吸水は細胞の水ポテンシャルと土壌の水ポテンシャル間の勾配によって行われる。両者の水ポテン

シャルは細胞内で低く土壌で高いため、水は土壌から細胞へ流れる。土壌水分が少なくなったり、土壌に塩類が集積したりすると土壌の水ポテンシャルが大きく低下し、細胞に吸水されにくくなる。植物の個体としてみたときの根の吸水量は、根長（表面積）と単位根長（単位表面積）当たりの吸水能力の積によって規定されると考えられる。根は一般に低温よりも高温条件でよく伸長する。

細胞に水が入るためには、細胞膜や液胞膜を通過しなければならない。これらの生体膜にはアクアポリン（水チャネル）と呼ばれる水透過性タンパク質が膜を貫通するように多数局在している（Maurelら 2008）。アクアポリンには1つの水分子よりも僅かに大きな孔が開いており、この孔を水分子が通過することによって生体膜の内側と外側に水が移動する。アクアポリンはチャネルとしての機能しか持たず水輸送の方向性は制御しないが、細胞内のpHやカルシウムイオン濃度によって孔の開閉が制御されるため水の通過速度を制御する。したがって、生体膜に存在するアクアポリンの量が多く、アクアポリンの孔が開いている場合により多くの水が生体膜を通過できる。

単位根長あるいは単位面積あたりの吸水能力は、主に根の生体膜におけるアクアポリンの分布とその機能を反映していると考えられる。イネでは根域温度が低下すると根の水透過性が一時的に低下するが、その後水透過性が回復するとともに一部のアクアポリン遺

伝子の発現量が増加する（Ahamedら 2012）。一方、筆者が水耕栽培トマトを使って異なる根域温度で4日間栽培された植物の根のmRNAの違いを次世代シーケンサーで解析したところ、根域温度が22°Cから17°Cに低下すると数種類のアクアポリン遺伝子の発現量が半減した（未発表）。以上のことから、根域温度は根の発育とアクアポリンの発現を通して、植物の吸水量に非常に大きな影響を与える。そして、地上部の生育、特に吸水成長の結果として起こる葉面積の拡大に関係していることが示唆される。

以上のように、根域温度は植物の成長に強い影響を及ぼすことが様々な園芸植物において実証された。温室の環境制御では地上部の気温、湿度、飽差、CO₂濃度、光強度、日長などの環境パラメータの計測と制御が可能となり、先端的な施設園芸ではこれらの制御が日常的に行われている。一方、地下部環境に目を向けると養液栽培では土壌水分、EC、pHの計測と制御が行われているものの、根域温度の制御はほとんど行われておらず、その他の栽培方法では地下部環境の計測と制御は全く行われていないのが実情である。したがって、根域温度は農業生産において制御すべき環境制御パラメータであるといえ、根域温度制御を農業生産の標準技術として取り入れることにより、より柔軟により省エネルギーで植物成長の調節が可能になるだろう。また、耐暑性が低いフクシアやローダンセマムの根域温度を冷却するだけで生

存性が大幅に向上したように、植物全体の耐暑性には根の耐暑性が大きく関わっていると考えられることから、根の耐暑性を指標とした植物育種にも今後注目する必要がある。

なお、本報は農林水産省委託プロジェクト研究「国産花きの国際競争力強化のための技術開発」および日本大学学長特別研究第2期「日本大学発 スマートアグリカルチャーの創出と産業化を目指した技術開発」によって行われた成果を中心にまとめたものである。

引用文献

- Ahamed, A. *et al.* 2012. Cold stress-induced acclimation in rice is mediated by root-specific aquaporins. *Plant Cell Physiol.* 53, 1445-1456.
- 千葉, 1970. VIII. 土壌の物理. p.115-128, 農林省振興局研究部監修, 農業気象ハンドブック, 養賢堂, 東京.
- Maurel, C. *et al.* 2008. Plant aquaporins: Membrane channels with multiple integrated functions. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59, 595-624.
- 水野真二ら 2018. 根域環境制御装置(N.RECS)を用いた根域冷却と短日処理による一季成り性イチゴの超促成栽培. *園学研* 17(別1), 327.
- 村松嘉幸ら 2018. 新型根域環境制御装置(N.RECS)による冬季の根域加温が花卉植物の生育・開花に及ぼす影響. *園学研* 17(別2), 290.
- 村松嘉幸ら 2019a. 新型根域環境制御装置(N.RECS)による冬季の根域加温が切り花ガーベラの収量と省エネルギー性に及ぼす影響. *園学研* 18(別1), 222.
- 村松嘉幸ら 2019b. 画像解析と成長曲線モデルに基づいた根域温度調節による花苗の成長制御. *園学研* 18(別2), 264.

キク科コゴメギク属の一年草。北アメリカ原産とされる帰化植物。畑地、庭、路傍などに普通。茎はよく分枝し、背丈は15cm～50cmほど。葉は対生、単葉、卵形で3脈が目立つ。花は4～5mmほどの小さな花で、筒状花と舌状花を持つ。舌状花は普通5個、白色で舌片の先は浅く3裂する。

「掃き溜め菊」は「継子の尻拭い」や「尻糞葛」^{へくそかづら}、「大犬の陰囊」^{おおいぬふり}などと並んで植物の悪名の代表格とされるが、その花は愛らしい。鮮やかな黄色の筒状花の周りに白い小さな花弁が3～5枚ひるがえる。その花弁、先端が浅く切れ込み、きっちりとして並んでつくわけでもなく花弁と花弁の間が不規則に空いている。ちょうど歯が生えだした赤ん坊の口元に似て、なんとも可愛い。

牧野富太郎が東京世田谷の経堂の掃き溜めで見つけたからこの名をつけた、というのは良く知られている。しかし、今では「掃き溜め」というものがなくなり、このキクが生育していた場所がどんどこだったのかは想像するほかない。牧野がこのキクを見つけた当時、ゴミは市町村が収集していた。収集にあたっては敷地や公有地の一部などにゴミを集めていたが、そ

の集められていた場所が「掃き溜め」であった。そこに集められていたゴミはほとんどが台所から出る野菜くずや食べ残しであり、当然ながら、それらの生ゴミはビニール袋に入れて捨てられるわけではなく、そのまま、あるいは新聞紙や経木などに包まれて捨てられることになる。また、それらのゴミはすべてがきっちりとして回収されるわけではなく、しだいに固まって「良質」な有機物「畑」になっていたに違いない。ハキダメギクはそんなところに根を下ろしたのである。

牧野富太郎が見つけたのが「掃き溜め」であったということは、まさしく日本という新天地に来て栄養豊富な場所を見つけて生育地を拡大していく「掃き溜め菊」のたくましさの表れであった。

そんな風に考えてくると、あの不規則な隙間を開けて並んだ白い花弁は、赤子の口元ではなく、人生を逞しく生きてきて、何本かの歯が抜けた老婆の口元を想像するのであるがいかだろうか。

統計データから

家計調査から見る食料消費支出 (家計調査年報 2019) 状況

家計調査は、総務省統計局が全国約8,000世帯の家計収支を調査し、家計調査年報として公表している。消費支出は、食料、住居、光熱・水道、家具・家事用品、被服及び履物、保健医療、交通・通信、教育、教養娯楽及びその他に大別されている。

2019年の二人以上の世帯(平均世帯人員2.97人)の消費支出は、3,520,547円(月平均29万3千円)で、そのうち食料支出は、消費支出の27.4%を占める。2000年との対比で見ると、消費支出全体では92.5%に支出金額が減少している、食料支出も99.1%と減少しているが、減少幅が小さく、生活必需品として消費支出に対する相対的な割合は高まっている。

食料消費支出のなかで、最も割合の高いものは外食で18.3%、特に調理食品13.3%は最も伸びが大きい。穀類は8.1%を占めるが、2000年の9.3%から1.2ポイントの減少である。このうち、米の支出割合は2000年の4.1%から2.4%と、1.7ポイントの大きな減少である。対照的に伸びているパンとは、占める割合が逆転している。生鮮野菜は7%とその占める割合は変わらない。最も減少が顕著なのは魚介類で4ポイントの減少。また、生鮮果物も2000年の4.4%から3.7%と、同じく酒類も5.1%から4.2%と、消費支出における割合が減少した品目となっている。(K.O)

表 2人以上の世帯における食料支出金額 2000年と2019年の対比

項目	2000年		2019年		増減※※
	金額(円)	割合(%)※	金額(円)	割合(%)※	
消費支出	3,807,937	—	3,520,547	—	92.5※※※
食料	973,680	25.5※※※※	965,536	27.4※※※※	1.9
穀類	90,892	9.3	78,421	8.1	-1.2
内 米	40,256	4.1	23,212	2.4	-1.7
パン	27,512	2.8	32,164	3.3	0.5
麺類	18,771	1.9	17,713	1.8	-0.1
魚介類	110,868	11.4	73,862	7.6	-4.0
肉類	81,140	8.3	89,365	9.3	1.0
乳卵類	45,407	4.7	46,006	4.8	0.1
野菜・海藻	112,206	11.5	103,533	10.7	-0.8
内 生鮮野菜	67,727	7.0	67,901	7.0	0
果物	44,647	4.6	39,032	4.0	-0.6
内 生鮮果物	42,544	4.4	35,742	3.7	-0.7
油脂・調味料	40,637	4.2	43,649	4.5	0.3
菓子類	78,532	8.1	87,469	9.0	0.9
調理食品	99,691	10.2	128,386	13.3	3.1
飲料	46,237	4.7	58,174	6.0	1.3
酒類	49,994	5.1	40,721	4.2	-0.9
外食	173,430	17.8	176,917	18.3	0.5

注：割合(%)※は、食料費に占める各品目の割合。増減※※は、食料費に占める2019年-2000年の割合の増減。
※※※は、2000年に対する2019年の消費支出の割合。※※※※は、全消費支出に占める食料の割合。

2019 年度冬作関係 除草剤・生育調節剤試験判定結果

(公財) 日本植物調節剤研究協会 技術部

2019 年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会は、2020 年 9 月 10 日（木）に新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から Web 会議において開催された。

この検討会には、試験場関係者 32 名、委託関係者 20 名ほ

か、計 67 名の参集を得て、除草剤 19 薬剤 (71 点) について、試験成績の報告と検討が行われた。

その判定結果および使用基準については、次の判定表に示す通りである。

2019 年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験 判定

A. 除草剤 (1)小麦

薬剤名 有効成分及び含有率(%)	判定	使用基準							継続の内容
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
1.AK-01 液 グリホサートイソプロピル アミン塩:41% [TAC普及会]	実・継 (従来 通り)	一年生雑 草	茎葉処理 (全面)	耕起7日以前 雑草生育期	250～ 500mL 散布水量50 ～100L	全土壌	東北以南	・周辺作物に飛散し ないように注意す る。	・播種後出芽前 における効果、薬害の 確認
		多年生イネ 科雑草			500～ 750mL 散布水量50 ～100L				
2.ANK-553(改) 乳 ペンディメタリン:30.0% [BASFジャパン]	継								・小麦生育期、雑草 発生前での効果、 薬害の確認
3.BAH-1517 乳 シンメチリン:75.0% [BASFジャパン]	-								
4.HSW-062 フロアブル インダノファン:10.0% ジフルフェニカン:4.0% [ホクサン]	実・継	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽 前、雑草発 生前	150～250mL 散布水量 70～100L	全土壌 (砂土を除 く)	北海道	・葉に白斑を生じる 場合がある ・イヌカミツレが多 発する圃場では高薬 量で使用する	・小麦3葉期処理で の効果、薬害の確 認(北海道)
				出芽直前～ 小麦3葉期、 雑草発生始	100～200mL 散布水量 70～100L				
				茎葉兼土 壌処理 (全面)	小麦4～6葉 期(越冬前)ス ズメノカタビラ 4葉期まで				
5.MAH-1802 フロアブル ペンディメタリン:35% [アダマ・ジャパン]	継								・播種後出芽前処 理での効果、薬害 の確認
6.ZH-1402 フロアブル オキサジクロメホン:30.0% [全国農業協同組合連合会]	継								・播種後出芽前 での効果、薬害の確 認 ・出芽前期での効 果、薬害の確認 ・小麦1～3葉期で の効果、薬害の確 認

A. 除草剤 (1)小麦

薬剤名 有効成分及び含有率(%)	判定	使用基準						継続の内容		
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域		使用上の注意	
7.トリフルラリン 乳 トリフルラリン 44.5% [日産化学]	実・継 (従来 通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽 前, 雑草発 生前	200mL~ 300mL 散布水量 100L	全土壌 (砂土を除 く)	全域	・ツユクサ科, カヤツ リグサ科, キク科, ア ブラナ科を除く。 ・小麦生育期処理 は, 播種後の土壌 処理剤との体系で 使用する。	・カズノグサに対 する効果の変動要 因の確認 ・小麦1~3葉期, 雑 草発生始期におけ る効果, 薬害の確認	
		一年生イネ 科雑草		播種後~小 麦3葉期, イ ネ科雑草1葉 期まで						北海道
		一年生イネ 科雑草, カ ズノグサ		小麦生育 期, 雑草発 生前						全域
8.トリフルラリン 粒 トリフルラリン 2.5% [日産化学]	実・継 (従来 通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽 前 雑草発生 前	4~5kg	全土壌 (砂土を除 く)	全域	・ツユクサ科, カヤツ リグサ科, キク科, ア ブラナ科を除く。 ・小麦生育期処理 は, 播種後の土壌 処理剤との体系で 使用する。	・北海道での小麦1 ~3葉期(イネ科雑 草1葉期まで)の効 果, 薬害の確認 ・体系処理でのカズ ノグサに対する効 果の確認 ・小麦生育期, 雑草 発生前での効果薬 害の確認(一年生広 葉雑草) ・小麦1~3葉期, 雑 草発生始期での効 果, 薬害の確認	
		一年生イネ 科雑草		小麦生育期 雑草発生前						東北以南
		カズノグ サ		小麦生育期 中耕培土後 雑草発生前						

A. 除草剤 (2)大麦

1.AK-01 液 グリホサートイソプロピル アミン塩:41% [TAC普及会]	実・継 (従来 通り)	一年生雑草	茎葉処理 (全面)	耕起7日以 前, 雑草生 育期(草丈 30cm以下)	250~500mL 散布水量50 ~100L	全土壌	全域	・作物に飛散しない ように注意する。	・播種後出芽前処 理での効果, 薬害 の確認	
2.ANK-553(改) 乳 ペンディメタリン:30.0% [BASFジャパン]	継								・大麦生育期, 雑草 発生前での効果, 薬害の確認	
3.トリフルラリン 乳 トリフルラリン:44.5% [日産化学]	実・継 (従来 通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽 前, 雑草発 生前	200~300mL 散布水量 100L	全土壌 (砂土を除 く)	全域	・ツユクサ科, カヤツ リグサ科, キク科, ア ブラナ科を除く ・中耕培土後処理 は播種後の土壌処 理剤との体系処理 で使用する	・カズノグサに対 する効果の変動要 因の確認(中耕培土 後処理) ・大麦生育期(前処 理剤との体系)によ る効果, 薬害の確 認 ・大麦1~3葉期, 雑 草発生始期処理で の効果, 薬害の確 認	
		一年生イネ 科雑草, カ ズノグサ		大麦生育期 中耕培土後 雑草発生前						東北以南
4.トリフルラリン 粒 トリフルラリン 2.5% [日産化学]	実・継 (従来 通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽 前 雑草発生 前	4~5kg	全土壌 (砂土を除 く)	全域	・ツユクサ, カヤツリ グサ, キク, アブラ ナ科雑草を除く。 ・大麦生育期処理 は播種後の土壌処 理剤との体系で使 用する。	・体系処理でのカズ ノグサに対する効 果の確認 ・大麦生育期, 雑草 発生前での効果薬 害の確認(一年生広 葉雑草) ・大麦1~3葉期, 雑 草発生始期での効 果, 薬害の確認	
		一年生イネ 科雑草		大麦生育期 雑草発生前						東北以南
		カズノグ サ		大麦生育期 中耕培土後 雑草発生前						

A. 除草剤 (3)なたね

薬剤名 有効成分及び含有率(%)	判定	使用基準							継続の内容
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
1.NC-360 フロアブル キザロホップエチル:7.0% [日産化学]	継								・イネ科雑草3～6, 6～8, 8～10葉期処理での効果, 薬害の確認

A. 除草剤 (4)水稲刈跡

1.NC-622 液 グリホサートカリウム 塩:48% [日産化学]	実・継	一年生雑草	茎葉処理 (全面)	水稲刈取後 雑草生育期 (草丈30cm以下)	200～500mL 散布水量 5～6L, 25～ 100L	全土壌	全域	・少水量散布(5～ 6L, 25～50L/10a) の場合は専用ノズ ルを使用する	・ミズガヤツリ, オモ ダカ, クログワイ以 外の多年生雑草に 対する, 翌年の発 生量低減効果の確 認
		多年生雑草			500～ 1000mL 散布水量 5～6L, 25～ 100L				
		ミズガヤツ リ, オモダ カ, クログワ イ(翌年発 生低減効 果)			水稲刈取後 雑草再生時 (草丈30cm以下)				
2.NFH-101 液 (旧名称:MRS-301) グリホサートイソプロピル アミン塩:10% 2, 4-PAイソプロピルアミ ン塩:5% [ニューファム]	継								・効果, 薬害の確認
3.NFH-131 液 (旧名MRS-195) グリホサートイソプロピル アミン塩:41% [ニューファム]	継								・効果, 薬害の確認
4.YF-65L 液 ジクワット:7.0% パラコート:5.0% [シンジェンタジャパン]	継								・雑草イネに対する 密度抑制効果の確 認 ・体系処理での雑 草イネに対する密 度抑制効果の確認

A. 除草剤 (5)水田畦畔

1.JC-401 粒 (旧NHS-50) 塩素酸ナトリウム:50% [日本カーリット]	実・継	一年生雑草	土壌処理 (全面)	水稲刈取後 雑草生育期 (草丈20cm以下)	20～40kg	全土壌	東北以南		・多年生雑草に対 する効果の確認
2.SBH-207 粒 (旧NHS-50) 塩素酸ナトリウム:50% [エス・ディー・エスバイオテック]	実・継 (従来 通り)	一年生雑 草, 多年生 広葉雑草	土壌処理 (全面)	水稲刈取後 雑草生育期 (草丈30cm以下)	20～40kg	全土壌	東北以南		・多年生イネ科雑草 に対する効果の確 認 ・スギナに対する効 果の確認

禁断の果実

東北大学特任教授
サイエンスライター

渡辺 政隆

女は実を取って食べ、一緒にいた男にも渡したので、彼も食べた。二人の目は開け、自分たちが裸であることを知り、二人はいちじくの葉をつづり合わせ、腰を覆うものとした。

『創世記』3-6,7 (新共同訳より)

旧約聖書に登場する禁断の智慧の実はリンゴと言いつつ、改めて調べてみるとその根拠は乏しいことがわかる。通説では、アダムとイブはヘビの誘惑によってリンゴを食べ、楽園を追放される。しかし、聖書に智慧の実の種類を特定する記述はない。宗教画としても、時代や地域により、禁断の果実としてはリンゴのほかに、ブドウ、オレンジ、イチジクなどが描かれている。唯一聖書に記載があるのは、智慧の実を口にして恥ずかしさを覚えた二人が、イチジクの葉を纏うという行いのみなのである。

イチジク属は、世界中におよそ750～800種が分布している。われわれが食用にしているのは、中東地域を原産とするイチジク *Ficus carica* で、ヨルダンの紀元前9400～9200年の遺跡から半化石状のイチジクの実が見つまっている。

漢字でイチジクを無花果と書くのは、「花」を咲かせることなく実をつけるからとされている。しかしじつ

は、われわれが食べている赤いつぶつぶが花なのだ。細かいことをいうと、イチジクの実(果囊という)は、花軸が肥大して袋状になり、その内側に小さい花をたくさんつけた花囊が成熟したものなのだ。

イチジク属のすべての種は、それぞれ特定の種類のコバチ(イチジクコバチ)との1対1の共生関係を築いている。その関係は、コバチはイチジクの花に産卵して繁殖するお返しに花粉の媒介をしてあげるといふ相利共生関係である。基本的には、そのイチジクコバチがいないと受粉が成立せず、種子を生産できないのだ。しかし、食用イチジクお抱えのイチジクコバチは、日本にはいない。日本で栽培されている食用イチジクは、受粉しなくても実が肥大して成熟する品種なのである。したがって、がぶりと囓んでも、コバチを食べてしまうことはない。



エジプトイチジクと共生するコバチの雌

精妙な相利共生関係

日本にも、イヌビワ、ガジュマルなど、多くのイチジク属が自生している。外国産の種としては、インドボダイジュ、インドゴムノキなどの観葉植物もイチジク属である。

イチジク属には、雌雄同株の種と雌雄異株の種がある。たとえばガジュマルは雌雄同株で、イヌビワは雌雄異株である。雌雄同株の種では、長いめしべ、短いめしべ、おしべという3種類の花が1つの花囊に取まっている。それに対して雌雄異株の種では、雌株の花囊には長いめしべだけ、雄株の花囊には短いめしべとおしべが取まっている。これらの花のうち、コバチが産卵できるのは、短いめしべだけである。長いめしべでは、めしべの先端から差し込んだ産卵管が、付け根の子房まで届かないからだ。

ふくらみ始めた花囊の中では、めしべが成長して受粉の準備ができていく。その花囊に、コバチの雌がやって来る。雌コバチ



イチジク *Ficus carica*
C.J.Trew, G.D.Ehret, *Plantae selectae* (1750-1773) より



ルネサンス期の画家マサッチオの壁画「楽園追放」(1426～7)
1980年代になされた修復により、原作にはなかったイチジクの葉が消された(右が修復後)

はすでに受精を終えていると同時に、イチジクの花粉も携えている。花嚢内部への入り口は狭く、しかも1カ所しかない。雌バチは、その入り口をこじ開けて内部へと侵入する。翅が体から外れ落ちてしまうほどの難行の末に、目的のめしべを見つけて産卵するのである。花嚢の中を這いずり回る間に、受粉も完了する。産卵を終えた雌バチは、そのままそこで息絶える。一方、卵から孵った幼虫は、子房を食べて大きくなる。

雌雄同株のガジュマルの花嚢では、短いめしべからはガジュマルコバチが孵化し、長いめしべはコバチに食べられることとなく種子をつける。それに対して、雌雄異株のイヌビワでは、雌株に侵入したイヌビワコバチの雌は、受粉は執り行われるため種子は実るが、(短いめしべがないため)産卵はできず、そのまま死んでしまう。雄株に侵入した雌バチは、すべてのめしべに産卵と受粉をし、役割を全うする。つまり、雌雄異株の種では、雌株は種子生産用で、雄株はイヌビワコバチの揺りかご専用なのだ。コバチは、雌株と雄株を見分けることはできない。

コバチの蛹からは、雄バチが先に羽化して出てくる。ただし羽化とはいっても、雄バチには最初から翅がない。雌バチは、羽化しても自分では花に穴をあけられない。雄バチが、雌バチが羽化している花に穴を開けて交尾をするのだ。さらには、交尾を済ませた雌バチが花嚢から脱出するための穴も開けてやる。雌バチは、花嚢を脱出する際におしべの花粉を身につけて外に羽ばたき、産卵用の花嚢を探す。このように、イチジクとコバチの生活史が、完全にシンクロして進行するのだ。まさに、持ちつ持たれつ状態といえるだろう。

問題は、このように強固な1対1の相利共生関係が、800種近いイチジク属でどのようにして成立したかである。近年、各種イチジクとイチジクコバチのDNA解析が行われるようになり、それぞれの系統樹が構築されつつある。

かつては、寄主となるイチジクと寄生するコバチとが、何らかのしかたで同時に種分化することでそれぞれの多様化が進んできたという説が有力だった。しかし、DNA解析のデータが蓄積される中で、その可能性は薄れてきたようだ。

むしろ、イチジク属内の雑種化が進む中で新種が形成され、

コバチがその後を追うように種分化してきたのではないかという。上述したように、同じ花嚢内で交尾が完了するため、コバチでは近親交配が起こりやすく、遺伝的変異に偏りが生じがちである。それに加えて、コバチ類が寄主を間違えることが、意外と多く起きているのではないかとも考えられる。

熱帯林にはイチジク属の種がたくさん生育している。いわゆる締め殺し植物の多くはイチジク属である。しかも、イチジクの実を食べる動物はたくさんいるため、種子は広範囲に分散される。そうした種にどのようなコバチが飛来しているかは、あまり調べられていないうえに、イチジク属の雑種形成もよくわかってはいない。

奔放な愛を謳う

生物の分類体系を築いたリンネは、めしべとおしべの数を結婚形態になぞらえた分類法を考案した。その中でイチジクはPolygamia(多婚)綱Trioecia(三家)目に分類されている。雄花だけ、雌花だけ、雄花と雌花の両方という3つの家があるグループだというのだ。

かのチャールズ・ダーウィンの祖父で医師にして詩人でもあったエラズマス・ダーウィンは、リンネの分類法に共感し、たとえばナデシコ科で雌雄異株のセンノウ類について次のように歌い上げた。

彼女らは欲びに満ちてその比類なき華やかな衣をはだけ、とまどう
男たちを胸に抱かんとす。

エラズマス・ダーウィン『植物の愛』より

一方、『チャタレー夫人の恋人』で知られるD.H.ロレンスは、「いちじく」という詩の中で、イチジクを女性器の暗喩としてその正しい食し方と下品な食し方を説いた後で、楽園からの追放に新たな解釈を施している。

イヴはかつて「心の中で」じぶんが裸かだということを知ったとき、
急いでイチジクの葉を纏った。そして、アダムにも同じものを纏ってやった。

D.H.ロレンス『愛と死の詩集』(安藤一郎訳)より

かくのごとく、イチジクは科学者のみならず文学者の想像力をも刺激してやまない存在なのである。

協会だより

■試験成績検討会（リモート開催）

- 2020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

日時：2020年12月2日（水） 9:30～17:00

3日（木） 9:30～17:00

- 2020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

日時：2020年12月8日（火） 9:30～17:00

9日（水） 9:30～17:00

- 2020年度水稲関係除草剤試験成績中央判定会議

日時：2020年12月10日（木） 9:30～17:00

- 2020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

日時：2020年12月15日（火） 9:30～17:00

16日（水） 9:30～17:00

- 2020年度水稲関係生育調節剤試験成績検討会

日時：2020年12月18日（金） 9:30～17:00

新型コロナウイルス感染拡大防止の面から、いずれの検討会とも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行います。

■人事異動

2020年9月30日付

退職 北海道研究センター

吉良 賢二

植調第54巻 第7号

■発行 2020年10月15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(ベンゾビシクロン)
- イザナギ1キロ粒剤/フロアブル(ベンゾビシクロン)
- ゲパード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤(ベンゾビシクロン/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
(ベンゾビシクロン/カフェンストロール/ダイムロン)
- ジカマック500グラム粒剤(ベンゾビシクロン)
- ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビシクロン)
- モーレッツ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビシクロン)
- アネシス1キロ粒剤(ベンゾビシクロン)
- ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル(ベンゾビシクロン)
- テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ(ベンゾビシクロン)
- クサビフロアブル(ベンゾビシクロン)
- 天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビシクロン)
- 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(ベンゾビシクロン)
- 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!

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> イッテツ(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) 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) ウエス(フロアブル) オークス(フロアブル) カービー(1キロ粒剤) キクトモ(1キロ粒剤) キチット(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) クサトリーBSX(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) サンシャイン(フロアブル) 忍(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) シリウスエグザ(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/顆粒) シリウスターボ(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) スマート(1キロ粒剤/フロアブル) | <ul style="list-style-type: none"> ダブルスターSB(1キロ粒剤/ジャンボ/顆粒) テラガード(ジャンボ/250グラム) トビキリ(ジャンボ) ナギナタ(1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ) ハーディ(1キロ粒剤) ハイカット/サンパンチ(1キロ粒剤) 半蔵(1キロ粒剤) フォーカスショット(ジャンボ)/プレッサ(フロアブル) フルニング/ジャイブ/タンボエース(1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤) ブルゼータ(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) ビックシユアZ(1キロ粒剤) 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) ライジンパワー(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/>



生物図鑑の読み放題サイト

図鑑.jpのご案内

<https://i-zukan.jp>

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

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

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

こんな方におすすめ

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

*利用には通信回線が必要です。

あの図鑑を一気に検索



植物ジャンルラインナップ

(2017年3月現在)

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

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

植物ジャンル年会費（税別価格）

個人向けコース 1ユーザ3端末 5000円 / 年

1～2ユーザ 5000円 / 年 × ユーザ数

法人向けコース 3～49ユーザ 4500円 / 年 × ユーザ数

50ユーザ以上 個別見積

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

推奨環境

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

【スマートフォン・タブレット】

iPhone, iPad mini, iPad / Safari 最新版
Android / Chrome 最新版

詳しくはサイトへ

<https://i-zukan.jp>

お問い合わせ先

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

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/nougyo/>

害虫・病害・雑草

稲の異変!?

写真を撮るだけ

スマホでいつでも、写真からAI診断、有効薬剤をご紹介

明日の農業を
考える

レイミーが
AI診断するよ

病害虫・雑草
を撮影

いもち病
発生予測
機能付き!

診断結果
有効薬剤
がわかる!

※画面は開発中のものため実際と異なる場合があります

スマートフォンアプリ **無料ダウンロード**
『レイミーのAI病害虫雑草診断』

日本農業ホームページから

日本農業株式会社

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

日本農業株式会社は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています

■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。

エフィーダ含有除草剤ラインアップ

皇帝の品格。
エンペラー®

移植も直播も飼料稲にも。高い安全性。

ベルーガ®

水田除草の未来を切り拓く。

アバンティ®

除草効果優先、使いやすさ優先。

プライオリティ®

この除草剤、バックク。

ベッカク®

●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。●防除日誌を記載しましょう。



自然に学び 自然を守る
クマイ化学工業株式会社
本社:東京都台東区池之端1-4-26 〒110-8782 TEL:03-3822-5036
ホームページ: <https://www.kumiai-chem.co.jp>



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。



©はクマイ化学工業(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!

ノピエ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®

フルパワー® MX 1キロ粒剤/ジャンボ®

スリゲイ® A 1キロ粒剤

ヒエカッパ® A 1キロ粒剤

フルチロー® ジャンボ®

フルニンギ® ジャンボ®



フルセトスルフロン剤
ラインナップ

ナイスドリ® 1キロ粒剤

乾田直播
専用 **ハードパンチ**® DF

石原産業株式会社

販売 石原バイオサイエンス株式会社

ホームページ アドレス
<http://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。

大好評の除草剤ラインナップ

新登場!

ゼータプラス 1キログラム
シアンホ
フロアブル

マズオ 1キログラム
シアンホ
フロアブル

ゼータタイガー 1キログラム
シアンホ
フロアブル
300Fg

ゴエモン 1キログラム
シアンホ
フロアブル

メガゼータ 1キログラム
シアンホ
フロアブル
400Fg

オサキニ 1キログラム

忍 1キログラム
シアンホ
フロアブル

イッテツ 1キログラム
シアンホ
フロアブル

ドニチS 1キログラム

®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 **i-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、まっまっへ
scc GROUP

住友化学

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

畑向け除草剤

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

緑地管理用除草剤

ハイバー **パワーボンバー**
粒剤

除草剤専用展着剤

サファントWK 丸和 **サファント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54巻 第7号 目次

- 1 巻頭言 あぜ草の使い途
中澤 伸夫
- 2 根寄生雑草種子の発芽刺激物質ストリゴラクトン
米山 弘一
- 8 石川県における水稻の密苗移植栽培技術の現状と普及状況および移植機の進展
宇野 史生
- 12 薬剤散布ノズルの特徴と選択
池口 明宏
- 16 根域温度制御による園芸作物の生育・開花制御
窪田 聡・村松 嘉幸
- 21 〔田畑の草種〕^{くさくさ}掃き溜め菊(ハキダメギク)
須藤 健一
- 21 〔統計データから〕家計調査から見る食料消費支出(家計調査年報2019)状況
- 22 2019年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験判定結果
(公財)日本植物調節剤研究協会 技術部
- 25 〔連載〕道草・第22回 禁断の果実
渡辺 政隆
- 27 広場

No.66

表紙写真 〔ハキダメギク〕



1932年に国内への侵入が確認された。以降、全国に拡散。畑地、路傍、空き地などに生育する。牧野富太郎が東京世田谷区の掃き溜めで見つけたからこの名をつけたと言われる。短期間で開花・結実し、暖かい地方では年に3世代生育できる。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



子葉。扁平形で無毛。



頭花。舌状花は通常5個。



幼植物。葉は対生し、まばらに粗毛を生やす。



そう果。淡褐色の粗毛を密生。