

根寄生植物の実態とその防除

宇都宮大学野生植物科学研究センター 米山 弘一

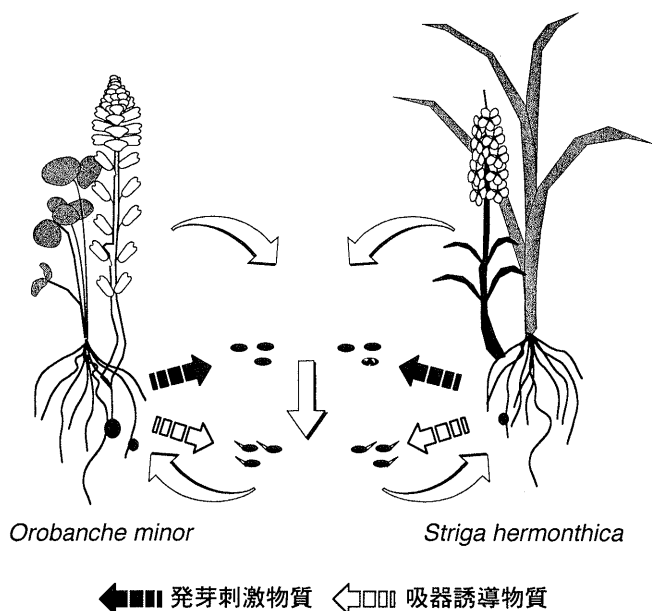
はじめに

他の植物（宿主植物）に寄生し、養水分を宿主に依存して生活する「寄生植物」は、30万種の高等植物の約1%（3000種）といわれている。寄生植物の最大の特徴は、「吸器」と呼ばれる宿主との接続器官を有することである。寄生植物の種子が発芽すると、その幼根が宿主の茎あるいは根に侵入し、吸器が形成されて宿主植物の維管束系と接続する。根に寄生する「根寄生植物」は、寄生確立後、4週間から6週間ほどしてから地上に出現するが、その間に宿主植物（作物）の生育に甚大な被害を及ぼす¹⁻⁴⁾。農業生産に被害を及ぼしている代表的な根寄生植物（雑草）には、葉緑体を有し光合成を営む半寄生性（hemiparasite）のストライガ（*Striga* spp.）と、葉緑体を持たない全寄生性（holoparasite）のオロバンキ（*Orobanch*e spp.）がある。なお、ストライガは半寄生性であるが、自身の光合成によって獲得できるエネルギーは生存に必要な全エネルギーの30%以下であり、その一生を通じて宿主への寄生なしには生存できない完全寄生（obligate parasite）である。ストライガの宿主はトウモロコシ、ソルガム、ミレットなどのイネ科作物であり、オロバンキの宿主はトマト、ニンジン、タバコなどの双子葉作物であるが、ストライガおよびオロバンキの中にはそれぞれ双子葉作物およびイネ科作物

に寄生するものもある。これらの根寄生植物は個体当たり数十万粒の微小な種子を生産し、その種子は土壤中で10年以上生存するので、根寄生植物に汚染された場合、宿主となる（感受性の）作物は、長期間にわたって作付けできない。ストライガによる被害の著しいアフリカ諸国では、75%以上の圃場でストライガの種子が確認され、その農業生産への被害は病害虫をはるかに超えており、汚染の進んだ圃場の放棄が砂漠化の原因にもなっている⁵⁾。一方、オロバンキは地中海沿岸諸国を中心として広く生息し、農業生産に被害を及ぼしているが、最近では、オーストラリア、ドイツ、フランスなどの農業先進国における被害の拡大も報告されている。一部の種を除いて、これらの根寄生植物は植物防疫法の規制を受けるため、汚染圃場は隔離され、農作物の移動も禁止される。そのため、農業先進国、特に農産物輸出国にとって、根寄生植物による汚染の拡大は極めて重大な問題である。

1. 根寄生植物の特殊な生活環

寄生植物は生存に必要な養水分を宿主に依存しているが、根寄生植物であるストライガおよびオロバンキでは、その生活環の進行にも、宿主との相互作用が不可欠である。すなわち①種子発芽、②吸器形成、③宿主への侵入、④寄生の確立、⑤開花・結実という生活環は、宿主の



存在下でのみ進行する。その中でも特に注目されているのが、根寄生植物種子の発芽および吸器形成の過程であり、これらの過程には、宿主の根由来の化学物質が深く関わっている^{6,7)}。

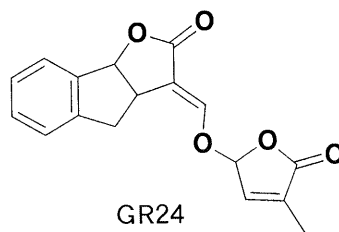
(1) 発芽刺激物質

根寄生植物の種子は、湿潤暗黒下適当な温度（20℃～30℃）で一定期間保たれた後（コンディショニングと呼ばれる）、宿主（あるいは非宿主）植物の根が分泌する発芽刺激物質を受け取ると発芽する。コンディショニングの至適温度・期間は種によって異なる。熱帯地方に多いストライガでは30℃前後、温帯から亜寒帯まで生息するオロバンキでは23℃前後で1週間から2週間程度でコンディショニングが完了する。なお、一般に、コンディショニング期間中に発芽刺激物質を与えると発芽が阻害される。また、後述するように、発芽刺激物質は土壤中で不安定であり、速やかに分解する。すなわち、コンディショニングが完了し、しかも宿主（非宿主）の根のごく近傍（5 mm程度といわれている）に

存在する種子のみが発芽することになる。このことから実際の圃場では、埋土種子のうちの極めて少数の種子が発芽しているものと予想され、地上に現れた根寄生植物の個体数（寄生した個体のうち30%程度が地上部に現れる）からシードバンクを推定することは困難である。さらに、根寄生植物の開花・結実を放置すると、個体あたりの種子生産量が膨大であることから汚染が急速に進行する。例えば *S. hermonthica* では、1 m² 当たり2個体程度が開花・結実するだけでシードバンクは維持される。

S. asiatica の発芽刺激物質とし

て最初に単離構造決定されたストリゴールは、宿主ではなく、非宿主であるワタの根の滲出液から分離された^{8,9)}。ストリゴールは非宿主植物から得られたため、真の発芽刺激物質として疑問視されたが、その後、宿主であるソルガムの根滲出液中にもストリゴールの存在が確認された¹⁰⁾。その他、ソルガムからはソルゴラクトンが¹¹⁾、カウピーからはアレクトロール¹²⁾ がそれぞれストライガの発芽刺激物質として単離構造決定されている（アレクトロールの構造は確定していない）。ストリゴールの単離構造決定に続いて、ストリゴール類縁体の合成が精力的に行われ、構造活性相関が詳細に検討されている。合成類縁体の中で最も高活性なGR24の構造からも分かるように、活性発現に重要な部分構造はC環とD環部分であ



り、D環2位の立体配置も重要で、非天然型の活性は極めて低い。これらのストリゴール関連化合物はストリゴラクトンと総称される¹³⁾。

ストリゴラクトン以外にも発芽刺激物質としてジヒドロベンゾキノ誘導体であるジヒドロソルゴレオンがソルガムの根滲出液から単離されている¹⁴⁾。この物質は急速に酸化され、アレロケミカルとして知られるソルゴレオンを与える。しかし、*S. hermonthica*種子に対する発芽刺激活性はストリゴールの1/1000以下であること、ソルガムの品種別のストライガに対する感受性とジヒドロソルゴレオンの分泌・生産量との相関が低いことなどから、発芽刺激物質としての役割を疑問視する研究者も多い。ちなみにソルガムの品種間でストライガ感受性には1000倍程度の差があり、ソルゴラクトンの分泌量と高い相関関係が確認されている¹⁵⁾。

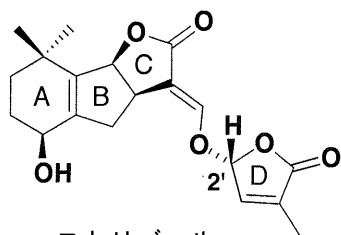
このように、ストライガの発芽刺激物質は30年ほど前から知られていたが、オロバンキの発芽刺激物質については全く報告されていなかった。しかし、ストリゴールなどのストリゴラ

トンがオロバンキの種子に対しても強力な発芽刺激活性を示すことから、オロバンキの発芽生理研究にもGR24あるいはストリゴールが標準的な発芽刺激物質として用いられていた。

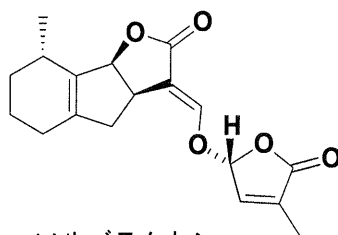
横田らは、ヤセウツボ (*O. minor*) の宿主であるアカクローバーが生産する発芽刺激物質の精製を行い、アカクローバーは少なくとも3種類のストリゴラクトンを生産していることを明らかにした。そのうち比較的生産量の多い2種類についてさらに精製を進め、すでにカウピーから得られていたアレクトロールと、新規なストリゴラクトンを単離した¹⁶⁾。新規ストリゴラクトンはオロバンコールと名づけられ、その構造は森らによって確定した¹⁷⁾。この結果は、オロバンキの発芽刺激物質も、ストライガと同様に、ストリゴラクトンである可能性を強く示唆するものである。なお、アカクローバーの植物体における発芽刺激物質の局在性を調べた結果、根だけが発芽刺激物質を生産することが分かった¹⁸⁾。

鳥取大学の杉本らは、非宿主植物の培養根の

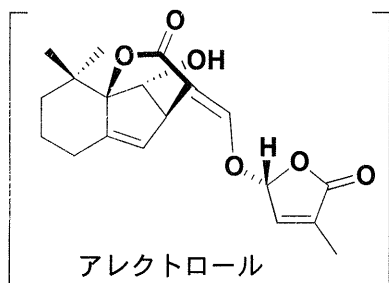
発芽刺激活性を検討し、少なくとも2種類の非宿主植物の培養根がストライガの発芽刺激物質を生産することを明らかにした¹⁸⁾。最近、活性物質の単離構造決定に成功し、コウモリカズラの生産する発芽刺激物質はストリゴ



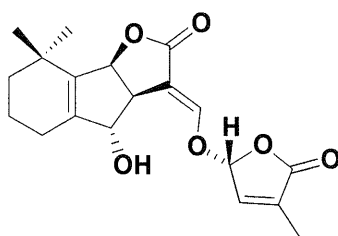
ストリゴール



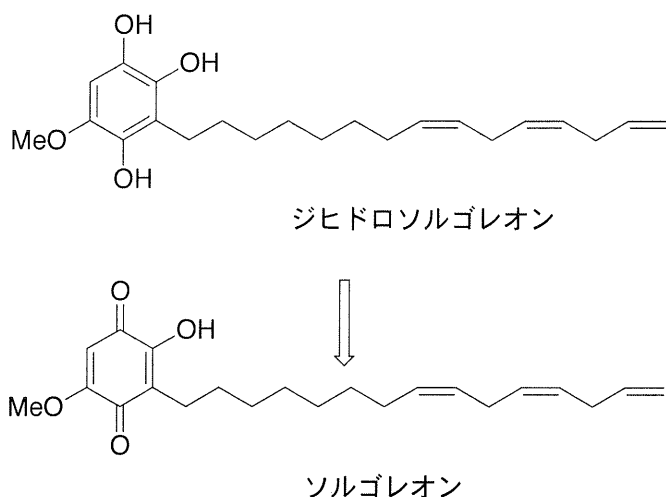
ソルゴラクトン



アレクトロール



オロバンコール



ールであることを確認した。すなわち、宿主だけではなく、非宿主植物も寄生雑草種子の発芽刺激物質を生産しており、発芽刺激物質が広く植物界に分布している可能性を示唆している。このことは、ストリゴラクトンを生産する植物におけるストリゴラクトンの本来の役割や、根圏微生物相に対する影響など、興味深い研究分野を拓くものであろう。

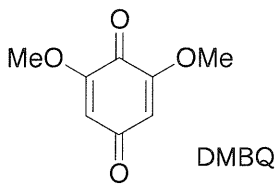
アカクローバーの水耕液中の肥料成分は発芽刺激物質の生産に大きく影響し、硝酸態窒素と尿素は促進的であるが、アンモニア態窒素およびリン酸は阻害的である¹⁹⁾。さらに、アンモニア態窒素は発芽あるいは発芽後の幼根伸長にも阻害的に作用する。ストライガやオロバンキでは、アンモニアの解毒酵素であるグルタミン合成酵素の活性が低いことが知られており^{20, 21)}、アンモニア態窒素に高い感受性を示すのであろう。これらの実験結果は、ストライガやオロバンキによる被害が施肥（特にアンモニア態窒素やリン酸を含む肥料）によって軽減されるという事実をある程度説明することができる。ストライガの被害が大きいアフリカ諸国では、施肥がほとんど行われていないこと、また土壌中の

リン酸含量が極めて低いことも、これらの根寄生雑草の繁殖にとって好都合なのであろう。最近アフリカでは、マメ科の樹木を植えることによってストライガによる被害を低減させようという試みも行われている。生育の早い樹木であれば燃料としても利用できるため、実用的な対応策である。

(2) 吸器形成誘導物質

このようにして膨大な数の埋土種子のうち、ごくわずかであるが発芽した種子は、宿主の根由来の吸器誘導物質の存在下で吸器(haustorium)が形成され、宿主の根に侵入する。前述の発芽刺激物質は発芽だけに関与し、吸器形成には無関係であると考えられ、実際にストライガやオロバンキの種子をコンディショニング後、ストリゴール処理しても発芽はするが吸器は形成されない。

ストライガの吸器形成誘導物質として最初に単離構造決定されたのは、ソルガム由来のベンゾキノン類である²²⁾。代表的な化合物がDMBQ(2,6-ジメトキシベンゾキノン)である。また、無置換ベンゾキノンも強力な吸器誘導活性を示す。これらのベンゾキノン誘導体の吸器誘導における構造活性相関は、Lynnらによって詳細に解析されており、特異的な阻害剤も得られている²³⁾。なお、ソルガムの根浸出液中にはDMBQが含まれておらず、吸器誘導物質は、発芽したストライガ種子とソルガムの根との相互作用によって生じる。Lynnらは、根寄生植物の幼根端に過酸化水素が生成し、その過酸化水素が宿主の根のペクチン分解の引き金になると説明している^{24, 25)}。DMBQなどのベンゾキノン類以外にもフ



ラボノイドやサイ
トカニンなどが
吸器誘導活性を示
す。

オロバンキの吸器

誘導物質は不明であるが、恐らくストライガと
同じメカニズムが関与しているものと予想され
る。アカクロパーの水耕液はヤセウツボの種
子発芽を誘導するが、吸器形成は誘導しない。
しかし、発芽種子をろ紙に這わせたアカクロ
パーの根の近傍に静置すると吸器が誘導され、
寄生する。すなわち、ストライガの場合と同じ
ように、吸器誘導物質は、発芽種子と宿主の根
との相互作用を経て初めて生成する。

2. 根寄生植物の回避法および防除法

根寄生植物による被害を回避するための最も
効果的な方法は施肥であろう。施肥によって宿
主作物の発芽刺激物質の生産量が低下し、根寄
生植物の種子発芽あるいは発芽後の生育も抑制
され、さらに宿主の生育が促進されるので、根
寄生植物に対する抵抗力も上昇する。しかし、
発展途上国では施肥の経費が問題になる。圃場
にマメ科の樹木を植えるほうが現実的かもしれ
ない。その他の回避法としては、宿主にはなら
ないが発芽刺激物質を生産・分泌する作物（ワ
タなど）を栽培する方法（トラップクロップ）、
宿主を栽培して寄生された宿主ごと刈り取っ
てしまうという方法（キャッチクロップ）があ
る。スーダンのソルガム畑では後者の方法が行
われていた。刈り取ってもソルガムはある程度
再生するので、若干収量は低下するものの被害
を減らすことは可能である。しかし、天水農業
地帯では、刈り取り後に全く降雨が無い場合
もあるので、収穫皆無となる危険性もはらんで
いる。

もちろん、クロップローテーションにより、
宿主と非宿主作物を交互に、あるいは一定の
期間をあけて栽培することは非常に有効な回
避法である。実際に灌漑農業地帯ではクロ
ップローテーションが行われているため、根
寄生植物による被害は少ない。しかし、ソ
ルガムなど重要な穀類生産地帯の多くは単
一作であり、クロップローテーションへの移
行は難しい⁵⁾。

根寄生植物の防除法として最も重要なのは
いかにしてシードバンクを減らすかである。
臭化メチルなどの土壌くん蒸剤によって種子
を死滅させるのが最も効果的であるが、高価
であること、オゾン層破壊への配慮から使用
が制限されており（近い将来全面的に使用禁
止）、広い面積では不可能である。透明ある
いは黒色のプラスチックシートによって土壌
を被覆し、太陽熱で種子を死滅させるという
方法も試みられているが、やはり高価であり、
広い面積を対象とした実用的な技術とはい
えない。

根寄生植物に対する耐性品種の育種も試
みられている。方法論的には2種類あり、一
方は発芽刺激物質の生産量の少ない品種の
選抜であり、他方は寄生されても生育がそれ
ほど阻害されない品種の育成である。前者の
例ではソルガムの1000種以上の品種をシャ
ーレ試験によって発芽率を指標にスクリー
ニングし、*S. hermonthica* に対して発芽刺
激活性をほとんど示さない品種を選抜した¹⁵⁾。
ちなみに発芽刺激物質の生産は劣性形質であ
った。残念ながらこれらの品種は収量が低い
ため（収量と発芽刺激物質生産が密接に関
連している）、農民からは歓迎されず、さら
に栽培を続けると徐々に寄生される個体が
増加してしまった。恐らく*S. hermonthica*
がごく少量の発芽刺激物質を効率的に利用
するようになったものと考えられている。後
者の例では、

根寄生植物耐性だけではなく、耐病性などの形質も含めた育種が行われており、有望な品種が得られている²⁶⁾。これらの耐性品種では、ストライガに寄生されても著しい収量低下はおきない。もちろん、寄生したストライガが開花・結実する前に刈り取るなど、シードバンクを低下させる方策もあわせて行う必要がある。ストライガに対して耐性を示すソルガムでは、根への侵入や維管束への接続が阻害されるので、そのメカニズムを詳しく解析することにより、より有効な育種が可能であろう。

前述のように根寄生植物の種子は微小であり、貯蔵栄養分も少ないため、発芽後1週間以内に宿主に寄生できないと死滅する。そこで、根寄生植物の種子を強制的に発芽させ、死滅させるという「自殺発芽の誘導」が古くから提案されてきた。トラップクroppも自殺発芽の誘導であるが、根のごく近傍に存在する種子の発芽を誘導するだけであり、圃場全体のシードバンクからすれば恐らくごくわずかに過ぎない。そこで、発芽刺激物質を利用した自殺発芽誘導による防除の方がより有効である。しかし残念ながらストリゴールを始めとする天然の発芽刺激物質は土壤中で不安定であり、さらに合成コストの面からも実用化は不可能である。すなわち、ストリゴラクトンとは構造的に異なる、土壤中で安定でしかも安価に供給可能な発芽刺激物質の開発が待望されている。

ストライガの多くはエチレンで発芽が誘導される^{27,28)}。米国ノースカロライナおよびサウスカロライナ州における*S. asiatica*の防除には、エチレンの土壌くん蒸が積極的に行われ、現在では汚染地域がかなり減少した²⁹⁾。しかしオロバンキの種子発芽はエチレンでは誘導されない(少なくともヤセウツボの種子発芽に対してエ

チレンは阻害的)。

除草剤による防除はもちろん有効な手段である。特に根寄生植物は宿主から養水分を得ているため、宿主植物の体内を移行する除草剤であれば土壤中の根寄生植物に蓄積される。そのため、根寄生植物の除草剤感受性は宿主作物に比較するとかなり高い。ただし、宿主植物体内で急速に解毒される除草剤では多少効果が低下するはずである。除草剤の中でも、体内移行性に優れたALS(アセト乳酸合成酵素)阻害剤やグリホサートなどは効果的な除草剤である。これらの除草剤はアミノ酸生合成を阻害するが、宿主から養水分を得ている根寄生植物でも、アミノ酸生合成が重要なことは興味深い。なお、JoelおよびGresselらは除草剤耐性品種の利用を早くから提案している³⁰⁾。彼らはALS阻害剤耐性のソルガム種子に除草剤を粉衣させて有効な結果を得ている。種子粉衣によって高価な除草剤の投下量を低減することも可能である。なお、ALS阻害剤についてはすでに多くの抵抗性雑草が存在しており、抵抗性変異の確率がかかなり高いことが分かっている。根寄生植物の種子生産量は極めて多量なので、すでにALS阻害剤抵抗性の根寄生植物の種子が圃場に存在している可能性も否定できない。また、除草剤を利用する防除では、シードバンクの減少速度は比較的遅い。

根寄生植物が宿主に寄生を確立するまでには、①発芽、②吸器形成、③宿主への侵入、④維管束との結合という少なくとも4つの段階があるので、これらの過程のいずれかを阻害すれば、根寄生植物からの被害を回避できる。

発芽については現在のところ特異的な阻害剤は得られていないが、各種の病原菌がスクリーニングされており、それらの菌の代謝産物には

有効な阻害剤が存在する可能性もある。吸器形成は最初に発芽種子からの働きかけが重要なので、詳細は不明であるが、その過程（あるいは酵素）を特定し、阻害剤を探索することも可能であろう。宿主への侵入では、細胞壁分解酵素が関与しているの、特徴的な細胞壁分解酵素であれば、阻害剤の探索も可能かもしれない。残念ながら維管束との結合から寄生の確立については不明な点が多く、今後の研究の進展が期待される。オロバンキはシロイヌナズナにも寄生するので^{31,32)}、遺伝子発現の面から解析が進められており、寄生に関与していると考えられるいくつかの遺伝子が同定され始めている。

根寄生植物の種子は休眠により土壤中で10年以上生存できる。コンディショニングの完了した種子も発芽刺激物質を受け取れない場合には容易に二次休眠に入る。そこで、休眠種子に対する強制的な休眠打破作用やコンディショニングの阻害（あるいは促進）作用を有する化合物は防除に利用可能である。一般に種子休眠には内生植物ホルモンであるアブシジン酸(ABA)およびジベレリン(GA)が関与しているので、ABAおよびGA生合成阻害剤を上手く利用することによって休眠やコンディショニングの制御が可能であると思われる。ストライガ種子のコンディショニングや発芽に対してGA生合成阻害剤はあまり影響を与えないが、オロバンキ種子ではコンディショニングが強力に阻害され、その結果として発芽刺激物質に対する感受性が大きく低下する。ABA生合成阻害剤はGA生合成阻害剤の作用とは全く逆の傾向を示す。

おわりに

根寄生植物のストライガおよびオロバンキは特定の宿主植物に寄生する。この傾向はストラ

イガでより顕著であり、逆にオロバンキでは比較的多様な植物を宿主として寄生することができる。例えばワタはストリゴールを分泌するがストライガ、オロバンキの宿主とはならない。なぜワタが宿主とはならないのかを明らかにすることができれば、根寄生植物の効率的な防除法を確立できるはずである。また、ストリゴールを始めとするストリゴラクトンの本来の機能（植物および土壌微生物に対する生理作用など）の解明も興味深い。

引用文献

- 1) Musselman, L. J. 1980. The biology of *Striga*, *Orobanch*e, and other root parasitic weeds. Annu. Rev. Phytopath. 18, 463-489
- 2) Stewart, G. R. and M. C. Press 1990. The physiology and biochemistry of parasitic angiosperms. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 41, 127-151
- 3) 竹内安智 1994. 寄生雑草の生物学と防除. 農薬誌 19, S183-S195
- 4) 米山弘一・杉本幸裕 1999. 根寄生雑草 *Striga* 類および *Orobanch*e 類における種子発芽の化学的誘導. 植物の化学調節 34, 181-190
- 5) 米山弘一・杉本幸裕 1999. スーダンの農業事情と寄生雑草による被害状況. 植物の化学調節 34, 116-118
- 6) 杉本幸裕 2000. 宿主植物が分泌する根寄生雑草の発芽刺激物質. 化学と生物 38, 147-149
- 7) 杉本幸裕 2000. 根寄生雑草の発芽刺激物質. 農薬誌 25, 438-440
- 8) Cook, C. E., L.P. Whichard, B. Turner, M. E. Wall and G. H. Egley 1966. Germina-

- tion of witchweed (*Striga lutea*): isolation and properties of a potent stimulant. Science 154, 1189-1190
- 9) Cook, C.E., L.P. Whichard, M. E. Wall, G. H. Egley, P. Coggon, P. A. Luhan and A.T. MacPhail 1972. Germination stimulants. II. The structure of strigol—a potent seed germination stimulant for witchweed (*Striga lutea* Lour.). J. Am. Chem. Soc. 94, 6198-6199
 - 10) Siame, B. P., Y. Weerasuriya, K. Wood, G. Ejeta and L.G. Butler 1993. Isolation of strigol, a germination stimulant for *Striga asiatica*, from host plants. J. Agric. Food Chem. 41, 1486-1491
 - 11) Hauck, C., S. Müller and H. Schildknecht 1992. A germination stimulant for parasitic flowering plants from *Sorghum bicolor*, a genuine host plant. J. Plant Physiol. 139, 474-478
 - 12) Müller, S., C. Hauck and H. Schildknecht 1992. Germination stimulants produced by *Vigna unguiculata* Walp cv Saunders Upright. J. Plant Growth Regul. 11, 77-84
 - 13) Butler, L. G. 1995. Chemical communication between the parasitic weed *Striga* and its host. ACS Symp. Ser. 582, 158-166
 - 14) Chang, M., D. G. Netzly, L. G. Butler and D. G. Lynn 1986. Chemical regulation of distance: Characterization of the first natural host germination stimulant for *Striga asiatica*. J. Am. Chem. Soc. 108, 7858-7860
 - 15) Hess, D. E., G. Ejeta and L. G. Butler 1992. Selecting sorghum genotypes expressing a quantitative biosynthetic trait that confers resistance to *Striga*. Phytochemistry 31, 474-478
 - 16) Yokota, T., H. Sakai, K. Okuno, K. Yoneyama and Y. Takeuchi 1998. Aleotrol and orobanchol, germination stimulants for *Orobancha minor*, from its host red clover. Phytochemistry 49, 1967-1973
 - 17) Mori, K., J. Matsui, T. Yokota, H. Sakai, M. Bando and Y. Takeuchi 1999. Structure and synthesis of orobanchol, the germination stimulant for *Orobancha minor*. Tetrahedron Lett. 40, 943-946
 - 18) Ma, Y., A.G. T. Babiker, I.A. Ali, Y. Sugimoto and S. Inanaga 1996. *Striga hermonthica* (Del.) Benth germination stimulant(s) from *Menispermum dauricum* (DC.) root culture. J. Agric. Food Chem. 44, 3355-3359
 - 19) Yoneyama, K., Y. Takeuchi and T. Yokota 2001. Production of clover broomrape germination stimulants by red clover root requires nitrate but is inhibited by phosphate and ammonium. Physiol. Plant. 112, 25-30
 - 20) McNally, S.F., T.O. Orebamjo, B. Hirel and G. R. Stewart 1983. Glutamine synthetase isoenzymes of *Striga hermonthica* and other angiosperm root parasites. J. Exp. Bot. 34, 610-619
 - 21) Chang, M. and D.G. Lynn 1986. The haustorium and the chemistry of host recognition in parasitic angiosperms. J. Chem. Ecol. 12, 165-59
 - 22) Lynn, D.G., and J.E. Rahe 1992. Phenolic

- signals in cohabitation: implications for plant development. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 41, 497-526
- 23) Smith, C.E., T. Ruttledge, Z. Zeng, R.C. O'Malley and D.G. Lynn 1996. A mechanism for inducing plant development: The genesis of a specific inhibitor. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93, 6986-6991
- 24) Keyes, W.J., R.C. O'Malley, D. Kim and D. G. Lynn 2000. Signaling organogenesis in parasitic angiosperms: Xenognosin generation, perception, and response. J. Plant Growth Regul. 19, 217-231
- 25) Yoder, J. I. 2001. Host-plant recognition by parasitic Scrophulariaceae. Curr. Opin. Plant Biol. 4, 359-365
- 26) Kim, S.-K. 1996. Horizontal resistance: core to a research breakthrough to combat *Striga* in Africa. Integ. Pest Manag. Rev. 1, 229-249
- 27) Jackson, M. B., and C. Parker 1991. Induction of germination by a strigol analogue requires ethylene action in *Striga hermonthica* but not in *S. forbesii*. J. Plant Physiol. 138, 383-386.
- 28) Logan, D. C. and G. R. Stewart 1991. Role of ethylene in the germination of the hemiparasite *Striga hermonthica*. Plant Physiol. 97, 1435-1438.
- 29) Kaiser, J. 1999. Stemming the tide of invading species. Science 285, 1836-1841
- 30) Joel, D.M., Y. Kleifeld, D. Losner-Goshen, G. Herzlinger and J. Gressel 1995. Transgenic crops against parasites. Nature 374, 220-221
- 31) Goldwasser, Y., D. Plakhine and J. I. Yoder 2000. *Arabidopsis thaliana* susceptible to *Orobanch* spp. Weed Sci. 48, 342-346
- 32) Westwood, J. H. 2000. Characterization of the *Orobanch*-*Arabidopsis* system for studying parasite-host interactions. Weed Sci. 48, 742-748

21世紀版

SHIBUYA INDEX ができました。

—9th Edition— 2002年版

渋谷成美・ほか／編集 A4版 932頁 定価45,000円(税込)

1978年に第1版を発行して以来、簡便に使える農業リストとして知られている本書の第9版。世界の農業のほとんどを網羅し、一般名、商品名、コードナンバー、メーカー名、構造式、適用場面、特性を記載。単剤約3,500を構造別に整理し、関連化合物の検索も容易にできる。また、混合剤で約5,000種も掲載。

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) 電話/03-3833-1821 FAX/03-3833-1665