

4.4 農薬各論概説

農薬を、分野別に、主に作用機作や作用特性に注目した分類を行い、解説する。なお、農薬の名称は、日本での農薬登録での一般名を用いた。

4.4.1 殺菌剤

(1) 無機化合物

炭酸塩は、ナトリウムとカリウムの2種類がある。炭酸水素ナトリウムは分生孢子の形成と発芽を抑制する。炭酸水素カリウムは植物病原菌の細胞内に入ったカリウムイオンが細胞内のイオンバランスを崩して効果を発揮する。

(2) SH基酵素阻害剤

解糖やTCAサイクル回路のエネルギー代謝過程で特に重要な働きをするSH基を活性触媒基としてもつ酵素を阻害する。そのため、SH基酵素阻害剤は呼吸阻害剤に分類されたり、SH基以外の多くの物質の、多くの個所を阻害すると考えられているので多作用点阻害剤ともいわれる。

SH基酵素阻害剤には多くの種類がある。無機銅、有機銅、ボルドー液などの銅剤、ジネブやチウラムなどのジチオカーバメート系、次亜塩素酸塩、ジカルボキシイミド系（フルオロフェニル系）のフルオリミド、キノキサリン系のキノメチオネート、ポリハロアルキルチオ系のキャプタン、ベンゾチアゾール系のベンチアゾール、スルフェン酸系、ジチアノン、TPNなどがSH基酵素阻害剤といわれる。TPNはアンカプラーの説もある。

土壌殺菌殺虫剤・くん蒸剤の臭化メチルやクロルピクリンもSH基酵素阻害剤であり、古い薬であるがいまだに多くの出荷金額を誇っている。土壌処理殺菌殺虫剤のカーバムや土壌処理殺菌・殺線虫剤のダゾメットは土壌中でイソチオシアネートに変化してSH基阻害活性を示す。

(3) 電子伝達系阻害剤

摂取された糖や脂肪などのエネルギー源は代謝循環系を経て電子を生じ、ミトコンドリアの電子伝達系の酵素複合体 または からユビキノンへ流れ、酵素複合体 、を経て、最後に水と炭酸ガスになる。電子伝達系で生ずるエネルギーはリン酸基をもつ高エネルギーのATPの合成に使われる。その他、農薬には電子伝達系を阻害するものと電子伝達に共役してATPを合成するのを阻害する脱共役作用剤（アンカプラー、酸化的リン酸化阻害剤）とがある。

石灰硫黄合剤は散布された植物体上で硫黄微粒子を生じ殺菌力を発揮する。正常な電子伝達の代わりに、適当な酸化還元電位をもつこれらの無機硫黄剤が存在すると薬剤が還元されて、正常な呼吸鎖の機能が働かなくなる。このように石灰硫黄合剤などの作用機作は電子伝達系を阻害すると考えられているが、硫黄が酸化されて亜硫酸ガスを生じ、それが毒性を示すとする説もある。

その他の殺菌剤の電子伝達系阻害剤の1つはコハク酸から補酵素ユビキノンの間にある複合体（コハク酸脱水素酵素）の阻害による呼吸系の電子伝達阻害剤で、カルボキシアミド系のオキシカルボキシン、チフルザミドなどがある。もう1つはミトコンドリアの電子伝達系の複合体（チトクロムbc₁複合体）を阻害するもので、きのこ

の天然生理活性物質であるストロビルリンの合成誘導体であるアゾキシストロビンなどのメトキシアクリレート系、オキサゾリジンジオン系のファモキサドンが最近登録されている。

脱共役剤（アンカプラー）として DPC、フルアジナムが知られる。フルアジナムは SH 基酵素阻害であるとの報告もある。

（４） 菌体成分生合成阻害剤

a. タンパク質合成系阻害剤

抗生物質のミルディオマイシンはタンパク合成阻害と細胞壁合成阻害がいわゆる。抗生物質のプラストサイジン S、カスガマイシン、ストレプトマイシン、オキシテトラサイクリンはタンパク質合成阻害であるがそのメカニズムはそれぞれ異なる。カスガマイシンとストレプトマイシンは細菌にも有効である。

b. 核酸生合成阻害剤

核酸は RNA と DNA の 2 種類に大別される。DNA は遺伝子の本体として、親から子へ複製されて情報の伝達に関与している。RNA は細胞核と細胞質に分布し、主に DNA に書き込まれた情報をもとにタンパク質の生合成に関与する。

酸アミド系殺菌剤でフェニルアミド系やアシルアラニン系ともいわれるメタラキシルとオキサジキシルはブドウべと病やジャガイモ疫病などの藻菌類の RNA ポリメラーゼを阻害し、リボソーム RNA の合成阻害といわれる。オキシリニック酸はイネの細菌病に有効で、DNA の複製を阻害すると考えられている。

c. 細胞膜成分生合成阻害剤

細胞膜は細胞質を外界から保護するだけでなく、内外の物質の選択的透過性に関与し、細胞壁合成酵素系やエネルギー代謝系に関する酵素系も細胞膜に組み込まれている。細胞膜の構成成分は脂質タンパク質複合体で、多くの糸状菌では細胞膜構成成分としてエルゴステロールを含んでいる。

チオールリン酸エステルの EDDP、IBP、ジチオラン系のイソプロチオランはレシチン合成のメチオニンからメチル基転移の段階を阻害し、細胞膜の構成成分であるリン脂質レシチンの合成を阻害剤するリン脂質合成系阻害剤である。トビイロウンカの増殖抑制効果もある。

エルゴステロール生合成阻害剤（SBI 剤、EBI 剤）は病原菌の細胞膜の形成に必要なエルゴステロールの生合成を阻害する。したがって孢子発芽は阻害しないが、菌糸の伸長や孢子の形成を阻害する。阻害場所は主に 2 カ所ある。一つはスクワレン C 14 位脱メチル化阻害剤（DMI 剤）で、最近登録されたテトラコナゾールなどのトリアゾール系、オキスポコナゾールフマル酸塩などのイミダゾール系のほかにピリミジン系、ピリジン系、ピペラジン系がある。もう一つは還元阻害・異性化阻害剤で、モルフォリン系とピペリジン系の薬剤があり、DMI 剤とは同じステロール阻害でも作用点が異なり、交差耐性を示さないのが外国では使用されている。エルゴステロール生合成の過程は植物ホルモンの一つであるジベレリンの生合成過程と類似したところがあり、ジベレリン生合成も阻害する傾向がある。

アミノピリミジン系のジフルメトリムはステロール合成阻害といわれるが、EBI 剤とは異なる作用機作と推測されている。

d. 細胞壁成分合成阻害剤

抗生物質のポリオキシンは糸状菌の細胞壁に特異的に含まれる成分であるキチンを合成する酵素を阻害する。ケイ皮酸系のジメトモルフは最近登録された殺菌剤で菌糸の細胞壁形成阻害といわれる。

e. メラニン生合成阻害剤

イネのいもち病菌が付着器をつくってイネ体に進入する際に付着器のメラニンの生合成を阻害し、物理的強度を低下させて進入を防ぐと考えられている。病斑の孢子形成も阻害する。有機塩素系のフサライド、シクロプロパン系のカルプロパミド、トリシクラゾール、ピロキロン、ジクロシメットがある。

f. メチオニン合成系阻害剤

アニリノピリミジン系のシプロジニルは菌体のメチオニンの生合成阻害である。

g. 糖代謝系阻害剤

抗生物質のバリダマイシン A は菌体の貯蔵糖であるトレハロースをグルコースに分解するトレハラーゼ酵素を阻害する。

(5) 細胞膜機能阻害剤

a. 細胞膜機能阻害剤

プロシミドンなどのジカルボキシイミド系でジクロロフェニル系の殺菌剤は菌糸の伸長を抑制し、菌糸細胞の破壊などを起こす。膜結合のフラビン酵素が阻害されて膜破壊がおきたと考えられている。長鎖脂肪酸族グアニジン系のイミノクタジン三酢酸塩、イミノクタジンアルベシル酸塩は、界面活性剤的性質から脂質二重層構造の破壊によると考えられる細胞膜機能阻害および脂質生合成阻害といわれる。

b. 細胞内容物の漏出剤

プロパモカルブ塩酸塩は菌糸細胞膜に作用し、細胞内容物の漏出を起こす。ジクロメジンは菌糸の細胞隔壁の欠失と細胞内容物の漏出を起こし、菌糸伸長が阻害される。フェリムゾンは薬剤処理により菌糸から酸性電解質の漏出が起こったり、酢酸やピルビン酸の細胞内への取り込みが阻害されたりする結果、膜の物質透過機能障害が殺菌機構と考えられている。

c. グルコース吸収阻害剤

フェニルピロール系のフルジオキシニルは細胞膜に作用し、植物からのグルコースの吸収を阻害し、細胞が飢餓状態に陥ることで殺菌効果を発揮する。

(6) 細胞分裂阻害剤（微小管形成阻害剤）

細胞分裂の際まず染色体が細胞の中央に配列し、これと両極の間に動原体系といわれる糸状構造ができて紡錘体を形成し、その後染色体は両極に引き寄せられて2個の核を形成する。動原体系は、チューブリンと呼ばれる特殊なタンパク質でできている微小管が主要構成要素である。ベノミルなどのベンズイミダゾール系は菌体の微小管タンパクと結合して有糸分裂を阻害する有糸核分裂阻害剤あるいは細胞分裂阻害剤といわれる。

カルバニラート系のジエトフェンカルブはベンズイミダゾール系殺菌剤に耐性が発達した系統に有効で、感受性系統には効力はない負相関剤である。耐性に变化した微小管タンパクに結合する。