

21 世紀農薬科学への提言

農薬送達システムとインテリジェント製剤

製剤技研 辻 孝三

1. 農薬送達システム

21 世紀は、少量で効力を発揮し、環境負荷が少なく、安全な農薬が求められている。また農作業の軽量化、省力化も重要になっている。これらの要望に応えるには有効成分の性能に依存するところも大きい、製剤・施用法も大きく関係している。そこでは農薬送達システム (Pesticide Delivery System, PDS) の考え方が非常に重要であると考えられる¹⁻⁵⁾。

農薬送達システムとは、「必要な時に、必要な場所に、必要な量の農薬を送達するという理念」である。このような理念が実現されれば、無駄になる農薬がなくなり、施用された農薬がすべて有効に利用されることになる。そして環境負荷が少なくなり、作業者および一般の人に対しても安全であり、省力的かつ省資源も実現できる。PDS は、医薬分野における薬物送達システム (Drug Delivery System, DDS) の考え方と類似しているとは言え、その実用化の観点からは、表 1¹⁻⁵⁾ に示すように、①開放系である。②自然環境条件の影響が大きい。③高価な材料や技術を用いることができない。④農薬を標的まで運搬する媒体がない。⑤環境や健康な人間への影響も考えなければならない。などの制約のために DDS より極めて難しいと考えられるが、今後さらに新規製剤とそれに合った施用法を開発することによって、少しでもその方向に近づく技術が開発されることが望まれる。そのためには、放出制御技術及び標的指向化 (ターゲティング) 技術の開発が非常に重要になる。

表 1. PDS と DDS の比較

	PDS	DDS
対象系の状態	開放系	閉鎖系
環境条件	変化が大	一定 (体内)
材料、技術の制約	高価なものは使えない	比較的高価なものも使える
運搬媒体	なし	有り (血液、体液など)

2. 放出制御技術と標的指向化技術

放出制御技術⁶⁾には時間的な放出、場所的な放出及び標的的刺激に応答した放出がある。時間的な放出には、農薬

を徐々に放出する徐放性製剤や一定時間後に放出が始まる時限的な放出、さらに昼間だけなど一定時間毎に周期的に農薬を放出するものなどがある。場所的な放出は、製剤が特定の場所に来ることによって放出が起こるものであるが、その場所に特定の条件があるために放出が起こる場合もある。例えば前者では水田の土壌表面や水面に製剤が来て、農薬の放出が起こるようにした製剤があり、後者ではある場所での特定の pH、金属イオンなどの条件により農薬の放出が起こる製剤などがある。これは標的的刺激に応答した刺激応答性製剤の一つである。その他一般の刺激応答性の放出としては熱、光、水、酵素などの刺激に応答して農薬を放出する刺激応答性の放出制御製剤がある。放出制御技術の中で最もよく利用されているのはマイクロカプセルである⁷⁾。マイクロカプセルは持続性の付与、施用量の低減、環境負荷の軽減、毒性の低減、刺激応答性など多くの有用な特徴があり、国内でも 40 種類以上の農薬マイクロカプセルが上市されている。さらに次に述べる標的指向性を持ったマイクロカプセルもいくつか開発されている。

標的指向化技術には、①能動的標的指向性、②受動的標的指向性、また別の分類になるが③標的に関係した場所特異的放出、および④標的に関係した時期特異的放出などがある。

能動的標的指向性は製剤自身が標的に向かって移動するものである。通常の製剤では、このようなことは期待できないが、水田または水口に施用した農薬製剤が水の流れに乗って標的に到達する場合はこれに当たる。また生きた微生物を利用した生物農薬が標的に向かって移動する場合や天敵農薬もこれに入る。しかし一般的には、製剤には標的へ運搬する媒体がないので、能動的標的指向性は施用技術に依存しなければならない。例えば乗用田植機に噴霧器を装着し、稲の生育中期以降で水稻の真上 5~10 cm という至近距離から農薬の濃厚液を精度よく噴霧する技術が開発されている。(乗用型速度連動式地上液剤少量散布装置、パンクルスプレーヤなど) この方法によって標的である稲体への付着効率が高まり、施用量を低減することができる⁸⁾。また乗用田植機に装着するフロアブル製剤施用装置「滴下マン」などを使用して、田植えと同時に稲の近くに農薬を散布できる。これらの技術により病虫害防除を行う場合、

省力化と同時に標的指向性のある防除技術となる⁸⁾。また種子処理や育苗箱処理も標的の近くに施用する技術である。またセンサーで標的を感知し、その標的のみに農薬を施用できる散布機もいくらか開発されている。

受動的標的指向性は標的が製剤に近寄って来て、選択的に防除されるものである。その一つは誘引剤の利用である。これにより防除標的を選択的に誘引して防除できる。また農薬入りマイクロカプセルを標的害虫が物理的に破壊する場合もこれに当たる。

標的に関係した場所特異的放出は、製剤が標的のいる場所に来た時のみ農薬を放出するものであり、先に述べた放出制御技術での場所的な放出制御にあたる。高分子化農薬でワタの上だけで農薬を放出する例が報告されている。これはワタの葉の上の露の pH や金属イオンなどに応答する材料を用いるものである。また標的である害虫の消化管中でのみ農薬を放出するマイクロカプセルがある。これは消化管中の pH が約 11 であり、その条件で溶解する高分子材料を利用したものである。また農薬が水田の水面で選択的に放出され、水面近くに棲息する標的害虫を効率よく防除できる水面展開剤も開発されている。

標的に関係した時期特異的放出では標的病虫害が多く発生する温度になった時のみに、農薬の放出が起こるように設計した製剤などがある。

このように放出制御技術および標的指向化技術は、互いに密接に関連しており、既に多くの技術が開発あるいは提案されているが、PDS を実現するためには、これらの技術は益々重要になり利用されると思われる。

今後 21 世紀には、さらに種々の機能を付与した高度の放出制御技術と標的指向化技術の開発が望まれる。最近はセンサー技術も非常に発達してきているので、それらを応用した製剤・施用法のさらなる開発が期待できる。

3. インテリジェント製剤

今後、標的指向化技術と放出制御技術が大きく進歩すると共に、種々のインテリジェント材料が開発されることが考えられる。それらを利用することにより自ら標的を検知（センサー機能）し、必要な農薬を選択（プロセッサ機能）し、放出するような機能（アクチュエーター機能）を持ったインテリジェント製剤や同様の機能を持った施用技術ができれば、農薬の施用は環境負荷が少なく、非常に省力的で、かつ安全で効率のなものになるであろう。これが 21 世紀の農薬製剤・施用法の究極の目標になると考えられる¹⁾。

このような分野での技術開発について、今後の大いなる発展を期待したい。

引用文献

- 1) 辻 孝三：農薬製剤ガイド，日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会編，日本植物防疫協会，pp. 235–236, 1997.
- 2) K. Tsuji: Pesticide Formulation and Application Systems 21, 63–78 (2001).
- 3) 辻 孝三：農薬製剤・施用法の進歩，日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会編，pp. 45–58, 2001.
- 4) 辻 孝三：農薬の環境科学最前線，日本農薬学会／上路雅子，片山新太，中村幸二，星野敏明，山本広基編集，ソフトサイエンス社，pp. 249–263, 2004.
- 5) 辻 孝三：新農薬開発の最前線，山本出編，シーエムシー，pp. 190–211, 2003.
- 6) 大坪敏朗，辻 孝三：農薬製剤ガイド，日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会編，日本植物防疫協会，pp. 63–71, 1997.
- 7) K. Tsuji: Microspheres, Microcapsules and Liposomes, Vol. 1, ed. by R. Arshady, Citus Books, pp. 349–371, 1999.
- 8) 生江洋一：シンポジウム「環境調和を目指した農薬と防除技術の展望」日本植物防疫協会，p. 44（平成 11 年 1 月 12 日）。