안전사용 특집Ⅲ

농약의 혼용과 상호작용

필요성 커지는 농약혼용 상호작용력 알아야 한다

전 재 철 전북대학교 농과대학 교수

상호작용력에 대한 이해필요

인류의 식량생산에 있어 농약이 차지하는 비중은 막대하다. 농업병해충 및 잡초등으로부터 작물을 보호하기 위하여 투여되는 비용은 전체 농작업에 소요되는 총생산비의 대략 1/3을 차지하고 있다. 처리되는 농약의 종류도 다양하며, 처리횟수나 처리방법 등도 단순하지 않다. 하나의 작물이 파종되면서부터 수확에 이르기까지 전 재배기간동안 대략 잡아도 종자소독제, 발아전 또는 생육기 제초제, 살충제, 살균제, 살선충제, 또한 때로 식물생장조절제 등이 처리된다. 더욱이 작물생육기간중에는 작물의 생산성 증진을 위하여 다양한 종류의 화학비료 등도 처리되고 있다.

최근의 농작업에 있어서 두 종 이상의 농약을 동일작물에 동시에 사용하는 예는 매우 흔한 일이 되었다. 이종(異種)농약(예, 살충제와 제초제)의 혼합처리, 동종(同種)농약(예, 제초제와 제초제)의 혼합처리, 또는 이미 제품화되어 있는 혼합제제나 농약과 비료와의

동시처리 등이 사용현장에서의 환경조건이나 편의성에 따른 인위적인 목적에 따라 여러 방법으로 처리된다. 이 때 농약간의 상호작용은 혼용 당시 뿐만 아니라 체계적으로 처리되는 과정의 먼저 처리된 농약과 후에 처리될 농약과의 사이에서도 일어나게 된다. 그 결과 농약간에 상호 작용력으로 인하여 예상되는 기대효과와는 다른 결과가 초래될 수도 있다. 따라서 농약 상호작용력의 이해는 혼합제의 약효 발휘를 최대화 시키기 위하여 또 기대하지 않거나 바람직하지 못한 효과의 출현을 방지하기 위하여도 필요하다.

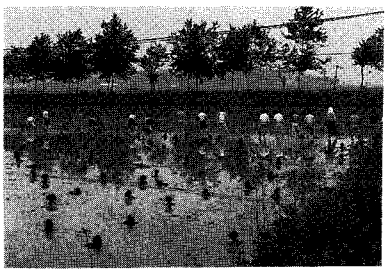
1. 혼용의 장점

농약을 인위적(혼합제 제제 또는 살포전 혼합)으로 혼용하는 경우 각 혼합성분의 작용이 전적으로 독립적으로 발휘되는 조건하에서는 이들의 효과를 예측하기가 가능하다.

방제폭 확대, 노동력 절감등

방제효과가 다른 두 성분의 혼용으로 병충 및 잡초 방제폭의 확대를 가져올 수 있고 또 방제기간의 연장을 꾀할 수도 있다. 때로 약제를 바꾸어 처리함으로써 특정 저항성 종을 방제하기도 하며, 그렇게 함으로써 저항성 종의 출현을 지연시키는 효과도 기대할 수 있다. 혼용할 농약의 상호작용력이 기대효과를 초과하는 경우에는 처리약량을 감소시킴으로써 작물 안전성이 증진될 뿐만 아니라, 작물 및 토양의 농약 잔류량도 그만큼 감소되는 효과가 기대된다.

농약의 혼합사용은 성분농약 개개의 처리에 비할 때 시간과 노동력을 크게 절감하여 생산비 감소 효과를 가져옴은 물론, 다양하고 빈번한 농작업으로 인한 재배지의 교란 내지는 토양 다짐으로 작물 재배환경이 나빠지는 것을 감소시



농약의 혼합사용은 개별적인 농약처리에 비해 시간과 노동력, 생산비를 절감할 수 있고 빈번한 농작업으로 인한 재배환경의 악화를 막는 효과도 얻을 수 있다.

키는 효과도 있음을 간과할 수는 없다.

2. 혼용의 문제점

농약 혼용의 문제점은 약제처리 과정에서의 물리 화학적 변화에서 야기되는 점과 작물체에 대한 생리적인 면에서의 피해이다.

물리화학적 변화와 작물피해

일반적으로 농약의 혼용은 실용상 같은 성상(性狀)끼리 이루어지는 것이 보통이다. 액상간의 혼용에서 가장 크게 나타나는 문제점은 두 성분간의 물리 화학적 불화합성으로 이는 성분의 용해도, 복합체 형성, 이온성 전하(電荷)에 따라 영향을 받는다. 그 결과 화합되지 않을 경우 응집되거나, 결정으로 석출(析出)되거나, 상(相)분리 또는 점성이 증가되어 약제처리 과정이 어렵게 된다.

입제간의 혼용은 입자의 크기, 모양, 비중 등의 차이로 두 제품이 잘 섞이지 않아 불균일 살포의 결과를 초래하는 문제점이 있다.

이러한 예는 농약의 혼용에서 뿐만 아니라, 농약과 비료의 혼용에서도 똑같이 적용된다. 더욱이 농약-비료 혼용의 경우 처리기구의 차이에서 오는 문제점도 고려되어야 하는데, 일반적으로 비료의 분무 입자가 농약의 것 보다는 크기 때문에 비료를 기준한 살포로는 농약의 불균일 살포가 초래되며, 반대의 경우가 되면 비료의 살포에 필요 이상의 시간과 노력이 소모된다.

입제간의 혼용에 있어서는 두 제품이 잘 섞이지 않는 불균일 혼화에 있다. 입제혼화 과정에는 입자의 크기, 모양 및 비중 모두가 영향을 미치지만 그 중에서도 입자의 크기가 가장 중요하다. 즉 두 제품의 입자 크기가 상이하면 혼화하고자 용기에 제품을 채울 때 주로 큰 입자들은 바깥 쪽으로 구르며, 작은 입자들은 가운데 남게 된다. 또한 혼화를 위하여 용기를 흔드는 경우에는 큰 입자는 위 쪽에, 작은 입자들은 아래 쪽에 몰

리게 되어 이런 상태에서의 살포는 불균일 살포의 결과를 초래한다.

3. 농약의 상호작용

두 가지 이상의 농약이 혼용될 때 성분간의 작용은 살포 이전인 혼합 용기내에서부터 일어나기 시작하며, 살포 후에는 토양중, 식물체의 표면, 식물체중의 흡수이행과 관련된 조직, 또는 작용점에서 일어난다. 더욱이 이러한 상호작용은 대상으로 하는 식물체 뿐만 아니라 인근의 식물체에서도 나타나기도 한다.

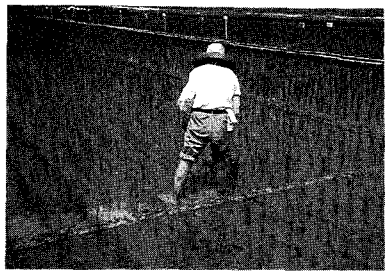
농약간에 일어나는 상호작용의 형태는 Tammes(1964)에 의하여 처음으로 4가지가 제안된 바 있지만, 그 후 적용 용어 및 정의에 있어서는 여러 학자들 사이에 논란이 계속되어 왔다. 최근에 Hatzios와 Penner(1985)는 실용적인 점을 고려하여 고등식물에 대한 3가지 형태의 상호작용 즉 공력작용(Synergism), 길항작용(Antagonism) 및 부가효과(Additive effect)를 제안하였다.

공력, 길항작용 및 부가효과

이 경우 공력작용은 표준모델법(Morse, 1978) 측정으로 대상 식물체에 대한 혼용농약 처리의 반응이 예상반응보다 크게 나타나는 두 약제 간의 협력 작용을 나타내며, 길항작용은 예상반응 보다 적게 나타나는 작용을, 그리고 부가효과는 예상반응과 같게 나타나는 경우라고 하였다. 실용적인 관점에서 보면 공력작용 및 길항작용이 더욱 중요한 것은 물론이려니와, 부가효과는 농약간의 상호작용이 실제로는 일어나지 않는 경우이지만 같은 일을 한번에 수행하는 가장 경제적인 혼용법으로서 대상으로 하는 작물에 있어 약해를 유발하는 불화합성과 같은 점이 없기 때문에 중요하다. 이하 각 농약의 혼용에 있어 이러한 상호작용들 가운데 몇몇의 예를 들어 본다.

화본과의 광엽잡초 방제목적

제초제-제초제 제초제간 혼용의 상호작용은 유기제초제의 효시인 2,4-D가 개발되기 이전에 벌써 Crafts와 Leary(1936)에 의하여 맨 처음 확인된 이래, 방제하고자 하는 적용 초종의 확대를 위해서 또 특정 잡초종의 번식을 방지할 목적으로 다양한 혼합제 개발 및 체계처리 방법이 도입되어 이용되



제초제간 혼용의 가장 대표적인 조합으로 화본과 방제용 제초제와 광엽잡초 유효 제초제의 혼용을 들 수 있는데 최근 우리나라에서 사용하고 있는 많은 혼합제가 이런 유형이다.

고 있다. 이들 혼용의 가장 대표적인 조합으로는 화본과 방제용 제초제와 광엽잡초 유효 제초제의 혼용을 들 수 있다.

최근 우리나라에서 개발되어 등록 사용되고 있는 많은 혼합제가 이러한 형태를 갖추고 있다. 물론 이러한 혼합제들의 주성분간의 상호작용도 다양하여 Perfluidone과 Bifenox의 혼합과 같이 공력작용을 나타내거나, Bensulfuron-methyl과 Thiobencarb의 혼합과 같이 길항작용을 보이기도 하지만, 많은 조합들이 실질적인 상호작용을 나타내지 않는 부가효과를 나타내기도 한다.

두 제초제간의 상호작용력이 항상 같은 양상만을 보이는 것은 아니다. 대상으로 하는 식물체의 종류에 따라 나타나는 상호작용력의 결과가 다르다. 이러한 예로서 Alachlor와 Atrazine의 혼합제는 귀리에 대하여는 길항 효과를, 피에 대하여는 공력 효과를 나타낸다. 또 Paraquat와 Solan의 혼합제가 토마토에 대하여는 길항효과를 나타내지만, 바랭이에 대하여는 공력효과를 나타낸다. 이와같은 상이한 효과들은 아마도 대상 식물체들의 약제에 대한 감수성 차이에서 오는 것으로 생각되고 있다.

제초제의 선택성에 영향미쳐

제초제－살충제 방제 목적이 완전히 상이한 이종(異種) 약제간의 혼용이나 체계처리 결과가 공력작용 때문에 작물 피해로 나타나는 예는 허다하다. 특히 제초제의 선택성이 유기인계 및 Carbamate계의 살충제에 의해서 소멸되는 예가 일찌기 관찰되어 왔다. Alachlor와 Carbofuran의 작용, Linuron과 Disulfoton의 작용 또는 Bentazon과 Diazinon의 작용등 수많은 보고들 대부분이 공력효과 때문에 보리, 밀등에서 약해가 증대된 결과를 보여주었다. 이러한 예로서 곧잘 인용되는 제초제

Propanil의 경우에는 Propanil의 벼에 대한 선택성이 유기인계나 Carbamate계 살충제의 동시 또는 근접 살포에 의하여 소실되는데, 이는 벼의 체내에 존재하는 Propanil 가수분해 효소인 arylacylamidase의 작용성을 이들 살충제가 저해하기 때문인 것으로 밝혀졌다. 그러나 이같은 공력작용이 유기염소계나 그 밖의 살충제와의 사이에서 일어난다는 보고는 아직없다.

제초제와 살충제간의 상호작용이 길항작용을 보이는 예는 그리 많지 않다. Trifluralin, Atrazine 및 Fluometuron 등의 활성은 유기인계 살충제와의 길항작용 때문에 감소된다고 알려져 있다. 그러나 이러한 길항작용도 처리시기에 따라 나타나지 않기도 하는데, Pendimethalin과 유기인계 살충제와의 길항효과는 이들 두 약제가 동시에 처리되거나, 유기인계 약제가 Pendimethalin 처리 후에 처리되었을 때만 나타나며, Pendimethalin 처리에 앞서 유기인계 약제가 처리될 때는 이러한 상호작용 효과는 나타나지 않는다.

제초제－살균제 이들의 상호작용에 대한 보고는 제초제－살충제에 비하여 아주 적은 편이며, 보고된 상호작용도 길항작용이 대부분이어서 제초제－살충제의 경우와는 반대되는 경향이다. 현재까지 보고된 공력작용으로는 유일하게 Trifluralin과 PCNB의 목화유묘 생육억제에 대한 것 뿐이며, 그 밖에 Propanil, Nitrofen, CNP 등의 HMI(3-hydroxy-5-methylisoxazole)와의 길항작용및 EPTC와 살균제 Carboxin, Triazine계 제초제와 Fenaminosulf와의 예등이 알려져 있다.

제초제－약해경감제 Hoffmann(1962)이 최초로 제초제의

농약의 혼용에 있어서는 약제간의 상호작용에 대한 철저한 이해를 바탕으로 적절한 적용법을 강구함으로써 부(否)의 효과를 막는 것이 무엇보다 중요하다.

약해로 부터 작물을 선택적으로 보호하는 화합물을 제초제 약해경감제(Herbicide antidote)라고 칭한 이래 1,8-naphthalic anhydride (NA)를 비롯한 Dichlormid, Fenclorim 등이 상품화되어, Thiocarbamate나 Chloroacetanilide계 제초제의 약해를 경감시키는데 이용되고 있다. 이들 두 화합물간의 작용성은 본질적으로는 생리, 생화학적 길항작용 때문에 나타나며, 따라서 이와같은 약해경감제를 제초제 효과에 대한 "길항제(Antagonist)"라고 부르기도한다.

약해증대, 약효감소 초래키도

제초제-비료 및 무기염료 제초제 처리에 있어 증량제로서의 비료의 사용은 농작업에 있어 일반화되고 있는 현상으로, Petty등(1971)은 이것을 "잡초방제와 양분공급(Weed and Feed)"이라는 개념으로 표현하고 있다. 비료나 식물 영양분을 제초제에 혼용할 때 물리, 화학적으로 잘 화합되고 또 농업적인 측면에서도 부(否)의 효과만 없다면 이들의 혼용처리는 더욱 개발될 여지가 많다. 그러나 양분공급을 위한 비료나 무기염류들이 제초제의 작용성에 영향을 미쳐 약해증대 또는 약효감소의 결과를 초래하기도 한다. 예로서 질소는 Simazine, Atrazine, Picloram등의 이행성을 높혀 이들 제초제의 활성을 증대시키지만, 인산은 Trifluralin의 약효를 떨어뜨린다. 또 이와는 반대로 제초제가 비료 및 무기염류들의 이용성에 영향을 미쳐, Atrazine은 옥수수에 있어서 가리의 흡수를 증대시키지만, Diphenamid는 마그네슘, 칼슘, 인산, 가리 등의 흡수를 저해하는 것으로 보고되어 있다.

이상의 여러가지 예에서 나타난 바와 같이 농약간의 혼용에 있어 상호작용은 모든 경우에 다 적용되는 규칙성을 나타내고 있지는 않다. 대상으로 하는 잡초나 작물의 종류에 따라, 또 같은 식물에 대해서도 사용되는 약제의 종류에 따라서 나타나는 반응은 무척 다양하다. 그럼에도 불구하고 최근의 농작업에서 농약의 혼용이나 혼합제의 사용이 보다 더 요구되고 있음은 결국 에너지(모든 생산비) 절약의 바램으로 이해될 수 있겠다. 다만 이러한 상호작용의 철저한 이해를 바탕으로 적절한 적용법의 강구로 부(否)의 효과가 나타나지 않도록 함이 중요하다.