

다시 각광받는 미생물농약 BT제

인축·환경에 무해, 해충에 저항성 유발없어
금후 세계적으로 이용 촉진될 전망

자료조사실

이 글은 일본의 (株) S.D.S. Biotech의 安田 誠이 “BT제의 현황과 문제점”이란 제목으로 <植物防疫>지 Vol. 45('91. 12)에 소개한 것이다.

필자는 이 글에서 미생물살충제의 이용은 금후 세계적으로 아주 촉진될 것으로 전망하고 있다. 특히 유기합성살충제에 못지않게 미생물살충제의 단점이 극복된 BT제는 보다 긍정적인 새로운 인식 속에 그 이용이 널리 확산될 것으로 보고 있다.

우리나라에서도 BT제는 80년대 초반부터 생산되어 왔으나 사용량은 그리 많지 않았다. 그러나 품목고시에 의해 적용범위가 다소 확대되고 저항성 유발이 없는 미생물농약, 무공해농약이라는 인식의 확산속에 우리나라에서도 89년부터는 수요가 크게 늘고 있다.

차제에 미생물농약의 사용이 보다 확대되기를 기대해본다. <편집자주>

자연계의 병원(病源) 미생물을 생물농약으로 해충방제에 이용하려는 시도는 오랜 역사를 갖고 있다.

이제까지 유기합성살충제는 저항성의 발달, 환경에의 잔류, 잠재해충의 해충화 문제에 직면하여 보다 새로운 형태의 농약으로 개선되어 가고 있다. 이러한 노력과 동시에 유기합성살충제가 안고 있는 문제를 해결하지 않으면 안된다는 점에서 미생물살충제에 대한 기대는 자못 크다 하겠다. 그러기 위해서 지금까지 각종 미생물살충제가 개발되어 실용화되고는 있지만 이러한 노력에도 불구하고 세계적으로 판매되고 있는 것은 현재 상황으로는 BT제 하나뿐이라고 해도 과언은 아니다.

그러나 이 BT제도 일본에서는 충분히 받아들여지지 않고있는 실정이어서 이 글에서는 BT제의 해외현황을 중심으로 그 현황과 문제점들을 정리해보았다.

1. 미생물살충제의 문제점과 BT제

미생물살충제로의 이용이 검토되고 있는 곤충병원미생물은 바이

러스, 세균, 사상균, 원생동물, 선충등이 있다.

세계 살충제 시장에서 이들 미생물살충제가 차지하는 비율은 약 1.6%이고 이중 BT관련제품이 90~95%이다(Agrow, 1991). 현재 BT제의 연간 사용량은 10,000톤을 넘어서고 있는 것으로 추정된다. BT제가 이같이 성공하고 있는 이유는 일반 미생물살충제가 갖고 있는 약점이 극복됨과 동시에 그 잇점이 인정되고 있기 때문이라고 생각된다.

미생물살충제의 세가지 단점

일반 미생물살충제의 약점으로 지적되고 있는 것은 주로 다음 3가지이다.

① 효과가 늦고 해충의 발육단계와 밀도 및 환경조건에 따라 감염성이 달라 효과에 기복이 있다.

② 유기합성농약과의 혼용 및 체계방제의 일부로 포함시킬 수 없거나 곤란하다.

③ 제제화가 곤란하여 장기간의 안정성 보장이 어렵다.

①의 약점에 관해서 바이러스는 일반적으로 해충이 감염되어 사망하기 까지의 소요일수가 10일 정도이고, 사상균은 곤충의 몸표면

에서 받아하여 감염함으로써 곤충의 발육단계나 환경조건의 영향을 받기 쉽다. 그러나 BT제는 일반적으로 곤충이 먹을 경우 수시간 내에 섭식활동을 멈추고 2~3일만에 죽게 된다. 이런 살충속도를 일반 유기합성살충제와 비교하면, 곤충의 신경계를 작용점으로 하는 제제만은 못하지만 탈피저해제에 비해서는 사망까지의 소요시간이 짧고 식해(食害)를 빨리 정지시키는 장점도 인정되고 있다.

②의 문제에 있어서 BT제는 석회유황합제나 보르도액등 알칼리성이 강한 약제와의 혼용에는 주의를 요하지만 일반 유기합성살충제와의 혼용이나 체계방제로의 조합이 어느 정도 가능하다.

③에 대해서는 현재의 상품은 일반 유기합성살충제와 마찬가지로 3년간의 약효보증이 가능하고, 제제도 일본에서 판매되고 있는 BT제는 모두 수화제이지만 해외에서는 여러 제형이 판매되고 있다.

미생물제제 단점보완한 BT제

이와같이 BT제는 본래 *B. t.* 균이 가진 특성과 그에 대한 개선의 결과로 일반 미생물살충제가 갖는 약점이 유기합성살충제와 비교하

여 실용상 뒤떨어지지 않는 수준까지 극복되고 있다고 생각된다. 또한 요즈음 세계적으로 BT제가 받아들여지고 있는 배경에는 유기합성살충제와 동등하게 사용할 수 있고 후술한 미생물농약의 잇점에 대한 긍정적인 인식이 크게 영향을 미쳤다고 본다.

2. BT제의 종류

현재 여러나라에 등록되어 있는 주요 BT제를 표1에 담았다. *B. t.* 균에는 20종 이상의 아종(亞種)이 있지만 실용화된 것은 *kurstaki*, *aizawai*, *israelensis*, *tenebrionis*, *san diego* 등으로 그 대부분이 자연계에서 스크리닝(screening)된 것이다. 이밖에 *morisoni*, *alesti*, *sotto* 등 여러 아종에 살충활성이 있다고 보고되어, 이들 아종을 이용한 BT제가 실용화될 가능성이 있다.

나비류 해충에 '슈리사이드'

*kurstaki*는 나비목 해충을 대상으로 많은 상품이 개발되어 있다. 그 중에서도 슈리사이드(Thuricide)는 1961년 Biofarm Cooperation사(현 Sandoz사)에 의해 BT제로는 세계최초로 미국에 등록되어

있다. 이미 30년의 판매실적이 있어 그 등록내용으로 추측하면 채소, 과수, 삼림등 넓은 분야의 나

비목 해충에 효과가 있다. 이 점을 감안하면 *kurstaki*의 적용대상은 현재 나비목 해충에 국한되어 있

표1. 각국에 등록·판매중인 BT제

* *kurstaki*와 *aizawai*의 혼합제

BT제의 종류	<i>Bt</i> 균의 아종 또는 사용기술	제 품 명	회 사 명	대 상 해 충
자연계에서 스크리닝된 BT제	<i>kurstaki</i>	Thuricide	Sandoz	나비목해충
		Delfin	〃	
		Dipel	Abbott	
		Biobit	Novo	
		Foray	Novo	
Bactucide		Ricerca		
Larvo BT		Fermone		
Bernan BT		Bactec		
슈리사이드		S. D. S Biotech		
다이포루		住友化學工業		
바시렛쿠스*	塩野義製藥			
도아로-CT	東亞合成化學工業			
	<i>aizawai</i>	Certan	Sandoz	잎벌레류
	<i>israelensis</i>	Teknar	Sandoz	가·뷰
		Vectobac	Abbot	
		Skeetal	Novo	
		Bactis	Ricerca	
		Acrobe	Cyanamid	
	<i>tenebrionis</i>	Trident	Sandoz	콜로라도
		Novodor	Novo	잎벌레
	<i>san diego</i>	M-One	Mycogen	콜로라도
				잎벌레
인위적 조작에 의한 BT제	接合體	Condor	Ecogen	
		Foil	〃	
		Cutlass	〃	
	독소단백 유전자를 <i>Pseudomonas</i> 균에 도입, 死菌化	MVP	Mycogen	
	M-One Plus	〃		

지만, 그 살충범위는 꽤 넓은 것으로 생각된다. 특히 일본을 포함한 아시아권에서 난방제(難防除)해충으로 되어있는 배추좀나방에 사용하고 있는 BT제는 *kurstaki*가 주체를 이루고 있다.

파리류와 딱정벌레류의 BT제

*israelensis*는 파리목(目) 해충에 효력을 나타내어 미국에서는 모기, 벚섯파리, 파리매 유충의 방제용으로 등록되어 있다. 세계적으로 보면 은코세루까증(症) 병원 선충을 매개하는 파리매의 구제를 위해 WHO의 프로젝트(project)로 미국에서 많이 사용되고 있다.

*tenebrionis*와 *san diego* 두 아종은 딱정벌레목(目) 해충에 효과를 보여 미국에 등록되어 있다. 그러나 등록대상 해충은 콜로라도잎벌레와 느릅나무잎벌레로 특히 유기합성살충제에 저항성을 가진 콜로라도잎벌레 방제에 주로 이용되고 있다. 현재 발견되어 있는 *B. t.* 균은 딱정벌레목 해충에 대한 살충범위가 좁아 보다 넓은 살충범위를 갖는 균주의 발견이 기대된다.

인위적 조작에 의한 BT제

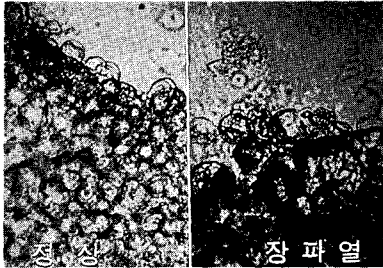
현재 세계적으로 사용되고 있는

BT제는 주로 자연계에서 발굴된 균주에 근거하고 있다. 단, 미국의 Ecogen사는 *B. t.* 균 아종간의 접합으로 만들어낸 BT제를, Mycogen사는 독소단백유전자를 *Pseudomonas*균에 도입하여 독소단백을 만든 후 사균화(死菌化)한 BT제를 등록하였다. 이와같이 인위적 조작에 의한 BT제가 등록된 이유는 접합이라는 유전자 조환은 자연계에서도 생겨나는 것으로 유전자 조작이 되어있어도 사균화됨으로써 증식가능성을 배제했기 때문이다. 또한 Sandoz사는 1990년에 미국 EPA의 허가를 얻어 유전자조작에 기초한 BT제의 포장시험을 시작하여 이러한 BT제가 판매되는 것도 먼 장래의 일이 아님을 시사하고 있다.

3. BT제의 잇점

일반적인 미생물살충제의 특징은 주로 ① 안전성이 높고 ② 생태계에 미치는 영향이 적으며 ③ 저항성이 생기지 않는다는 점이다. 이 세가지가 중요한 개발동기가 되고 있으며, BT제에 있어서도 이들 특징은 잇점으로 되어있다.

① 인축에 대한 안전성이 높다



BT제는 곤충의 중장세포에 작용한다

BT제의 살충작용은 그 결정단백질이 곤충 소화액의 알칼리와 소화액중의 단백질분해효소에 의한 부분적 분해를 받아 활성화되고 곤충의 중장(中腸) 상피(上皮)세포에 작용함으로써 발현된다. 이러한 곤충에의 특이적인 작용성과 본래 호기성 세균인 *B. t.* 균이 포유류 장내(腸內)의 혐기성 조건에서는 증식하지 않는 특성으로 보아 BT제는 포유류에 높은 안전성이 확보된 농약의 중요한 일부가 되고 있다.

인축, 환경에 전혀 무해

사실 BT제는 농약으로서 보통 독성의 분류에도 넣을 수 없을 정도로 독성이 낮다. 경구투여에 의한 급성독성시험으로는 마우스에 대한 최대시험량이 10g(16,000 IU/mg)/kg, 랫드에 대해서는 13g(슈리사이드원제)/kg으로도 치사개체

를 인정할 수 없었다(BT연구회, 1981). 또한 미국에서는 사람에 대한 경구 및 흡입투여시험이 이루어졌으나 BT제 투여에 의한 악영향은 인정되지 않았다.

미국EPA는 오랜기간 제조판매되고 있는 농약에 대하여 이제까지의 데이터로부터 안전성을 재평가하여 EPA의 견해를 “등록기준(Registration standard)”으로 발표하고 있다. BT제에 관해서는 *kurstaki, israelensis, aizawai* 아종을 정리, 1986년에 초안이 발표되었고(EPA 1986) 1988년에는 그후 등록된 *tenebrionis, san diego* 아종을 모두 합하여 그후의 데이터를 고려하여 최종보고서가 출간되어 있다(EPA 1988). 그 결과 BT제의 포유류에 대한 독성학적 및 생물학적 영향을 평가하기 위한 충분한 데이터가 이미 마련되어 있고 인간 및 환경에 대한 위험성은 없다고 되어있다.

② 대상해충에 선택성이 높고 천적, 생태계에 미치는 영향이 적다
식독(食毒)으로 작용하는 BT제의 작용특성으로 보아 기생성 천적 및 포식성 천적에 대한 악영향은 없을 것으로 예상되지만 실제 BT제의 사용에 의해서도 악영향은

없다고 보고되어 있다.

실 사용에서도 악영향 없어

일본에서도 上杉·杉浦(1974), 杉浦등(1975)은 배추밭의 천적 및 토양동물상에 대한 BT제의 영향을 유기합성살충제와 비교조사하였으나 악영향은 나타나지 않았다.

BT연구회의 石黒(1989)은 식물체, 水中, 토양 환경에서의 BT제 소장(消長)에 관한 문헌을 정리하였으나 축적되는 경향은 인지되지 않고 있다.

③ 유기합성 살충제에 저항성을 발달시킨 해충에도 효과가 있으며 동시에 저항성 발달이 없다.

유기합성 살충제의 대부분이 곤충의 신경계 및 키틴질 생합성계에 작용하는데 반하여 BT제는 단백질 독소로 곤충의 중장(中腸) 세포에 작용하므로 작용성이 서로 다르다. 유기합성 살충제에 저항성을 발달시킨 해충에도 BT제의 효력은 발휘되는 것으로 추측된다.

실제로 九州병해충방제추진협의회가 방제법 확정을 위한 연작시험에서 배추좀나방의 감수성을 검정한 결과, 각종 유기합성살충제에 저항성이 발달된 배추좀나방에 대해서도 BT제가 효력이 있는 것

으로 나타났다.

저항성은 거의 유발되지 않아

해충의 BT제에 대한 약제저항성 출현은 1985년에 실험적으로 확인된 이래(McGaughey, 1985), 포장에서도 배추좀나방을 중심으로 저항성 사례가 보고되어 있다. 일본에서도 배추좀나방에 대하여 일부지역에서 감수성 저하가 보고되었고, 大阪에서도 고도의 저항성 사례가 보고되어 있다.

그러나 浜(1991)은 이제까지의 BT제에 대한 저항성 사례와 시험 결과를 요약, 배추좀나방의 BT저항성은 불안전하여 대체로 발현이 늦은 경향이라고 했다. 그 이유는 배추좀나방의 BT저항성은 상(常)염색체상의 불완전 열성의 주동유전자에 지배되기 때문이며, 고도의 저항성도 BT제의 살포를 중지하면 감수성이 회복된다. 사실 외국에서 30년 가까운 사용역사에 비해보면 저항성 사례는 적어 저항성 발달이 되지않는 것으로 추측된다.

이상의 내용에서 BT제는 미생물살충제의 잇점을 고루 갖추고 있음을 알 수 있고, 이러한 특성이 현재의 보급에 도움이 되고있다.