

미생물 살충제 - 비티(BT)제



곤충에 병을 일으키는 바이러스, 리켓티아, 세균, 진균, 원생동물, 선충등의 천적미생물을 이용한 해충방제는 100여년전¹⁾부터 시도되어 왔으나 실용적인 해충방제기술로 등장한 것은 약40여년전의 일이다. 실제로 미생물살충제로서 미국에서 1949년에 처음으로 등록되어 대량으로 사용된 것은 왜콩풍뎅이의 방제에 이용된 세균제제(*Bacillus popilliae*)이다. 그후 1961년에는 나비목유충의

1) 소련의 Elie Metchnikoff(1845~1916)는 흑강병에 걸린 풍뎅이나 병원균포자를 흡속에 섞어넣어 건강한 풍뎅이를 병사(病死)시키는데 성공하였다(1879~1880년), 그는 1908년도 노벨상(생리, 의학부문) 수상자이기도 하다.

박 종 성

충남대학교 농과대학

방제에 이용된 세균제제(*Bacillus thuringiensis*²⁾; BT제)가 미국에서 농약등록의 인가를 얻어 현재 세계 각국에서 사용되고 있다. 특히 BT제의 성공적인 실용화에 힘입어 계속해서 여러가지 병원체를 이용한 미생물 살충제가 개발되었으며, 그 수는 20종류를 넘어서고 있다(표 1 참조). 이들 실용적인 미생물살충제중에서 중심적인 역할을 담당해온 제제가 세균(*Bacillus thuringiensis*)을 이용한 BT제이다. 현재 미국을 위시하여 캐나다, 유럽제국, 소련, 중국, 한국(1981년 농약등록), 일본, 동남아제국 등에서 여러가지 나비목 해충의 방제에 사용되고 있는 BT제의 연간소비량은 약 8,000 톤이나 된다고 한다.

NPI사가 보내준 미생물살충제

필자가 BT제에 관하여 관심을 가지게 된 것은 꽤 오래전의 일이다. 미국 캘리포니아대학의 식물병리학부(버크리분교)에서 약 3개월 머물고 있던 1967년 가을(10월 30일)에 인편으로 한통의 공문과 함께 2종류의 미생물살충제와 참고자료철이 학부장 스나이더박사(William C.

Snyder)를 통해 나에게 전달되었다. 보내온 미생물살충제의 하나는 BT제인 Biotrol BTB 25-W(Nutrilite Products, Inc.; NPI)이었고 다른 하나는 왕담배나방의 NPV제인 Biotrol VHZ(NPI)였다. 그리고 공문의 내용은 두가지 미생물살충제가 한국에서 실용화되도록 협조해 달라는 것이었고 서명자는 NPI사의 운영담당 지배인인 웨스탈(E.B. Westall) 씨였다. NPI사가 보내준 두가지 미생물살충제는 같은해 12월하순 귀국한 다음 바로 농업기술연구소 병리과장(故 이시종씨)에게 인도하고, 우리나라에서의 실용성을 시험해보도록 권고한 기억이 난다.

그 당시 다양한 유기합성살충제가 각광을 받고 있던 시대였기 때문에 살충효과나 가격면에서 미생물살충제가 농약시장에서 살아남기 힘들 것이라고 예상했다. 실제로 피레스로이드계 살충제의 등장으로 몇가지 바이러스 살충제(Elcar, SN406)가 미국에서 제조중지된 것으로 알고 있다. 그러나 예상을 뒤엎고 BT제는 미국에서 미생물살충제로 등록(1960년)된 다음 전세계에 시장을 넓히면서 성장하고 있다. 한국이나

2) 이 세균은 1901년 일본의 이시와다 박사에 의하여 연화병에 걸린 누에에서 처음으로 분리되었으며 *Bacillus sotto*라고 명명되었다. 그리고 이 세균에 독소가 존재한다는 것도 밝혀져 있었다.

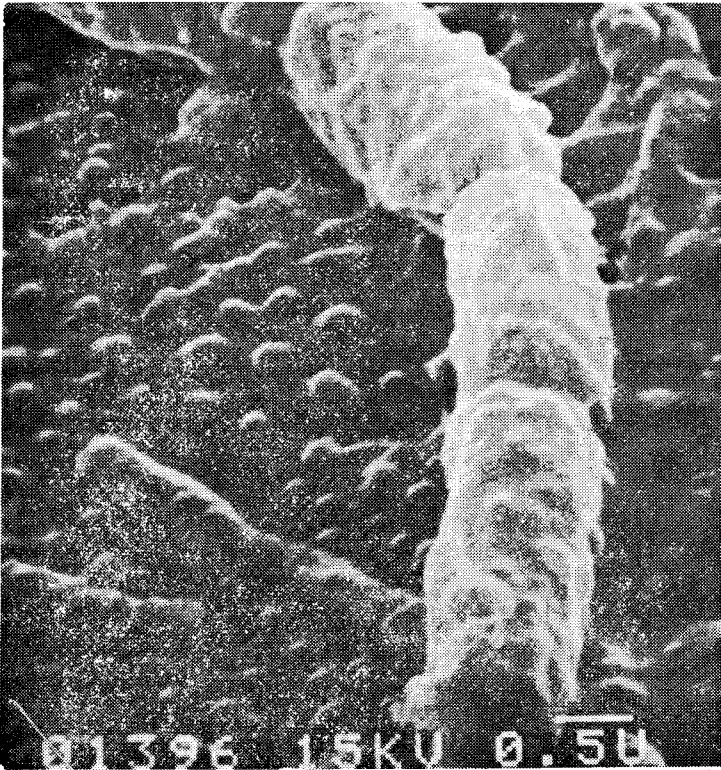
표1. 미생물살충제의 종류

제제(製劑)	병원체(기주곤충)	제조국명(제조사)
바이러스 제제	NPV(검은무늬나방 1종) NPV(사탕무도독나방) NPV(왕담배나방 1종) NPV(양배추금무늬나방) NPV(애기잎말이나방 1종) NPV(독나방 1종) NPV(짚시나방) NPV(누런솔잎벌) NPV(솔잎벌 1종) CPV(솔나방) GV(배추흰나비)	미국(농무성) 미국(NPI, IMC) 미국(NPI, Sandoz-Wander, Sammons) 미국(IMC) 미국 미국(NPI), 캐나다 미국, 소련(GMB) 미국, 소련 캐나다 일본(중외제약, 구미아이화학) 소련(Latvian Agricult. Academy)
세균제제	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> (나비목곤충) <i>B. thuringiensis</i> var. <i>galleriae</i> (나비목곤충) <i>B. thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> (모기유충) <i>B. popilliae</i> (왜콩풍뎅이)	미국(NPI, Abbott Labs, Sandoz-Wander), 프랑스, 독일, 체코 슬로바키아, 소련 " 미국, 중남미에서 사용 미국(Fairfax Biological Lab.)
진균제제	<i>Hirsutella thompsoni</i> (굴녹응애) <i>Beauveria bassiana</i> (고드린 나방, 코로라도 잎벌레) <i>Metarhizium anisopliae</i> (거품벌레, 매미충류) <i>Verticillium lecanii</i> (진딧물류, 온실가루이, 총채벌레)	미국(Abbott Labs.) 미국(NPI), 소련(GMB) 미국(NPI), 브라질 영국
미포자충제제	<i>Nosema locustae</i> (메뚜기류)	미국

NPV : 핵다각체병바이러스, CPV : 세포질다각체병바이러스, GV : 과일병바이러스

일본에서 양잠업에 미칠 나쁜 영향을 핑계로 오랫동안 미루어왔던 BT제의 농약등록이 1981년에 인가

되었을 뿐만아니라 적지않은 과학자들이 BT제제에 이용하는 병원세균(*Bacillus thuringiensis*)의 연구에



*Bacillus thuringiensis*의 전자 현미경사진

참여하고 있는 것으로 알려져 있다.

미생물살충제의 장·단점

유기합성살충제와 BT제 등의 미생물살충제는 저마다 장·단점을 지니고 있다. BT제가 농약으로 등록된 다음 40년이 지난 오늘날까지 그 자리를 지키고 있는 이유는 어떤

장점 때문인가를 생각해본다는 것은 무의미한 일이 아니다. 실제로 보통의 화학살충제와 비교한 경우의 미생물살충제는 대상으로 하는 기주곤충의 범위(살충스펙트럼)가 좁다든가, 지효성(遲効性)이며 방제 적기가 좁다든가, 또는 대량생산이 어렵고 안정성(安定性)이 없다든가 하는 단점이 있는 반면에 선택성

(選擇性)이 높다든가, 저항성(抵抗性)을 획득한 해충의 출현빈도가 대단히 낮다든가 또는 살충효과가 지속적이라든가, 인축이나 작물에 대한 안전성이 높다는 장점도 지니고 있다.

BT제의 대상해충에 대한 특성을 높혀 생산비를 절감할 수 있다면 앞서 적은 장점과 더불어 BT제는 확고하게 미생물살충제의 자리를 지켜나갈 것이 분명하다. 1970년 미국에서 선발된 BT균주(HD-1, var. *kurstaki*)는 당시 BT제제에 이용되고 있던 균주(var. *thuringiensis*)와 비교하면, 해충에 대하여 약 200배의 강한 특성을 나타내며, 그 후 미국에서 생산된 BT제는 이 균주(HD-1)로 대체되었다.

앞서 적은바와 같이 선택성이 높다는 것은 BT제와 같은 미생물살충제의 단점이기도 하지만 장점이기도 하다. 동시에 여러가지 해충이 발생하고 있는 포장에서 방제제로서는 만족스러운 것이 못된다. 그래도 다행히 BT제는 다른 미생물살충제(바이러스제제)에 비하면 살충스펙트럼을 넓힐수 있는 가능성이 많이 제시되어 있다. BT제제에 이용되는 *Bacillus thuringiensis*³⁾는 살충성단

백질(CP)을 결정으로 생산하는 보통의 토양세균이며 편모항원에 의한 혈청형 및 에스테라제형에 의하여 약30아종으로 분류되어 있으며, 그 병원성은 균주에 따라 큰 차이가 있다(표 2 참조). 동일 계통이라도 *dendrolimus*아종과 같이 누에에 대하여 강독인 T84A1균주가 있는가하면, 누에에 대하여는 약독이고, 배추좀나방이나 배추흰나비에 대하여는 강독인 AF101균주도 있다.

이와같이 금후에도 살충활성을 달리하는 다양한 균주가 발견될 가능성이 있으며, 미생물 육종기술의 발달이 BT제의 살충스펙트럼을 더욱 넓혀줄 것으로 기대된다. 현재 농작물, 수목등을 가해하는 약80여 종류의 나비목해충에 대하여 BT제의 살충활성이 있는 것으로 알려져 있다. 화학살충제의 개발에 있어서도 선택성이 높은 것을 요청하고 있는 것이 오늘의 실정이다. 미생물살충제가 지니고 있는 좁은 살충스펙트럼을 단점으로만 생각한다는 것은 속단에 지나지 않는다는 생각이 든다.

저항성해충출현 문제안돼

화학살충제를 사용하고 있는 농

3) 이 세균의 CP가 곤충(주로 나비목)에 의하여 섭취되면 알카리성의 소화액에 의하여 분해되어 중독에 의하여 곤충은 사망하게 된다.

표2. *Bacillus thuringiensis*(BT제)의 몇가지 아종과 그 살충활성

아종(균주)	살충활성	
	(+)	(-)
<i>berliner, sotto, kurstaki</i> HD-73 등 대부분의 아종	나비목곤충	
<i>dendrolimus</i>	나비목곤충	파리목곤충
<i>israelensis, kyushuensis, darmstadiensis</i> 73E-10-2	파리목곤충	나비목곤충
<i>kurstaki</i> HD-1, <i>aizawai</i> IPL, <i>kenyae</i>	나비목곤충 파리목곤충	
<i>tenebrionis, entomocidus, morrisoni, tolworthi, finitimus, japonensis</i>	딱정벌레목곤충	

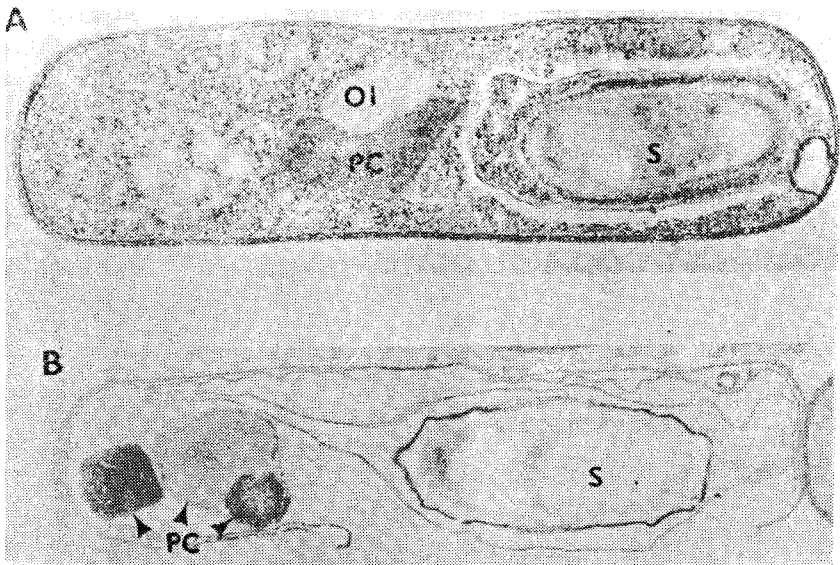
[주] (+) : 살충활성 있음, (-) : 살충활성 없음

업의 현장에서 오래전부터 심각한 문제로 등장한 것이 빈도가 높은 저항성해충의 출현이다. 미생물살충제를 사용하는 경우에는 일반적으로 저항성을 획득한 해충이 잘 나타나지 않는 것으로 생각하고 있으나 그 가능성이 아주 없는 것은 아니다. BT제를 사용하는 경우에 화랑곡나방(미국, 1985년)이나 배추좀나방(일본, 1990년)의 저항성 계통이 나타난다는 보고도 있다. 그러나 이들의 저항성은 화학살충제에서 보고되어 있는 저항성비(抵抗性比)와 비교하면 대단히 낮은 값으로 나타나며 큰 문제가 되지 않는다고 한다.

미생물살충제에 이용되는 천적미생물은 대상해충의 체내에 들어가서 증식하고 해충을 병사(病死)시킨

다. 증식한 천적미생물은 병사한 곤충체내나 토양중에 잔존하여 다음 세대의 해충이 발생할때 유력한 전염원이 된다. 즉 그 살충효과가 한 세대에 그치는 것이 아니라 다음 세대까지 지속된다는 것이다. 이와 같은 지속적인 살충효과는 자연개체군에서 유행병이 빈번하게 관찰되는 천적미생물(NPV : 핵다각체병 바이러스) 일수록 강한 경향이 있다. 화학살충제의 경우에는 찾아볼 수 없는 바람직한 현상이다.

화학살충제와는 달리 미생물살충제는 인축이나 작물에 대하여 해작용이 없고 또한 생태계의 보전에 불리한 영향을 주지않는 것으로 알려져 있다. 미국·환경보호국(EPA : 1986)에 의하면, BT제의 등록을 위하여 제출된 모든 자료 및 공표



B. t.의 전자 현미경 사진 B. t. kurstaki 변종(A)과 israelensis 변종(B)
S : 포자, OI : 난형봉입체, PC ; 결정단백질소체

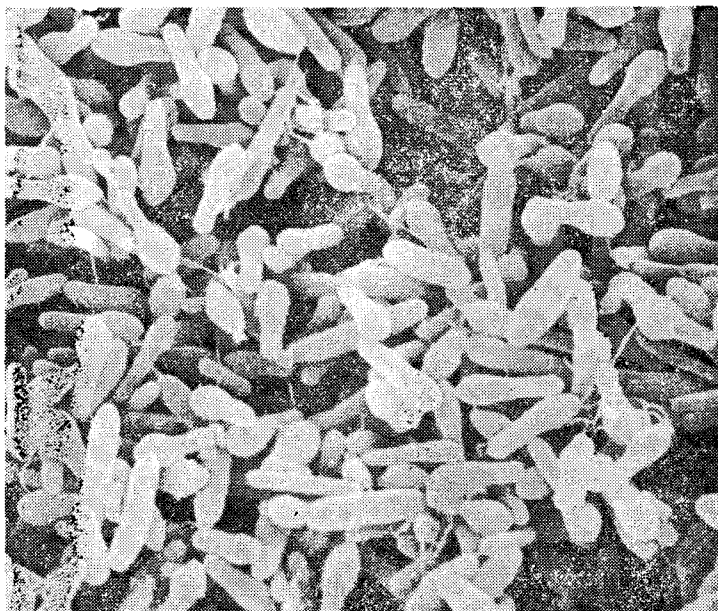
논문을 조사한 결과, 독성학적 및 생물학적 영향을 평가하기에 충분한 데이터가 있고 사람이나 환경에 대한 안전성에 있어서 두려워할 점은 없다고 한다. 또한 세계보건기구(WHO : 1983)의 보고서에서도 과거 12,000톤 이상의 BT제가 여러가지 식용작물의 해충방제에 사용되었지만 인체에 대하여 아무런 나쁜 영향도 주지않았다고 한다. 이들 보고서에 의한다면 BT제는 식용작물에 대한 잔류기준을 설정할 필요가 없는 농약이라는 생각이 든다.

최근 유기농법(有機農法)을 좋아

하는 미국의 농가에서 미생물살충제의 수요가 늘어나고 있다고 한다. 이들은 생산물에 화학살충제를 사용하지 않았다는 라벨을 첨부하여 무공해농산물이라는 명목아래 화학농약을 사용한 경우보다 약2배의 높은 값으로 판매하고 있다고한다. 앞으로 어떤 농약이 살아남을 것인가를 재삼 생각해보아야 한다는 생각이 든다.

개조식물 육성재배의 「꿈」

미생물살충제의 대명사격인 BT제의 생산에 이용되고 있는 세균



Bacillus sphaericus 모기 살충미생물의 전자현미경 사진

(*Bacillus thuringiensis*)은 요즘의 소위 첨단과학의 하나로 지목되고 있는 유전공학에서 큰 각광을 받고 있다. 최근 이 세균의 독소단백질 생산유전자(CP gene)의 해석이 진행되고, 활성부위의 전염기 배열이 결정되어 유전자를 조작하여 적용 범위의 확대, 대량생산등이 가능해졌다. 또한 유전자(CP gene)를 담배, 토마토, 목화등에 도입하여 식물체에 재생시켜 살충제를 살포할 필요가 없는 내충성인 개조식물(改造植物)을 만들어내는 데도 성공하

고 있다(벨기에, 1986; 미국). 이들 개조식물의 실용성을 검토하기 위하여, 현재 미국이나 유럽에서 80여건의 포장시험이 진행중에 있다고 한다. 꿈과 같은 개조식물의 육성, 재배가 실현될 날이 멀지않다는 생각이 든다.

BT살충활성 재발견의 의의

BT제의 연구사를 훑어보면, 국제조명나방연구사업(1927~1931)의 일환으로 *Bacillus thuringiensis*의 실용화시험과 제제화연구가 시작되었

으나 얼마 안가서 이 시험연구가 중단되었다고 한다. 전후 1949년에 미국 캘리포니아대학의 곤충병리학 부장이었던 E. A. Steinhaus 박사(1914~1969)에 의하여 이 세균의 살충활성이 재발견되어 연구가 재개되고, 1960년에는 농약으로 등록되고 실용화에 성공하였다. 오늘에 와서 생각하면, *Bacillus thuringiensis*의 살충활성의 재발견은 대단히 중요한 의의를 가지고 있다. 그것이 미생물살충제에 의한 해충방제기술을 정착시켰을 뿐만아니라 유전공학의 발달에 크게 기여하고 있으니 하는 말이다.

PI-살충살균제 이용기대

오래전에 이루어진 연구결과가 한동안 빛을 못보다가 훗날 다른 과학자에 의하여 재발견되어 과학 발전에 크게 기여한 예가 적지않다. BT제와 관계가 있는 예로서 프로테아제인히비타(PI)가 있다. PI 그 자체는 이미 1936년에 Kunitz등에 의하여 발견된 다음, 여러가지 동식물 체내에서 찾아내어 연구가 진행되어 왔다. 1970년대 이후 동식물이 외적으로부터 자신을 보호하기 위하여 생체내에서 만들어내는 살충성과 살균성을 지닌 단백질의 1종이라는 것이 밝혀지면서 과학자

들의 큰 주목을 끌게된 것이다. 최근의 연구보고에 의하면 콩종자중에 함유되어 있는 세리-PI를 BT제와 혼합하여 살포하면 담배나방의 1종(*Heliothis zea*)이나 사탕무도둑나방(*Spodoptera exigua*)에 대하여 상승적인 살충효과를 나타낸다고 한다. 또한 PI는 곤충의 혈액중에도 존재하며 백강병균(*Beauveria bassiana*)이나 녹강병균(*Metarhizium anisopliae*)에 대한 살균성도 있는 것으로 추정되고 있다(에구찌; 1983, 1987). 이 밖에도 최근 PI의 발현유전자를 주요작물의 세포안에서 발현시키는 것이 가능해졌기 때문에 앞으로 식물의 해충 및 병원미생물에 대한 살충겸 살균물질로서의 적극적인 이용이 기대된다.

미국 NPI사가 20여년전 나에게 보내준 BT제가 어떤 면에서 대단히 값진 선물이었지만 그것이 국내에서 일찌기 활용하지 못하였다는 아쉬움을 금할 길이없다. 또한 현재에 대한 관심에 가득차고, 미래에 대한 한없는 전망을 사랑하면서 과거에 깊이 뿌리를 내린 과학자가 국내에서 더욱 많이 배출되었으면 하는 마음 간절하기에 이 글을 적어두기로 했다. 독자 여러분에게 조금이라도 도움이 되었다면 다행으로 생각한다.