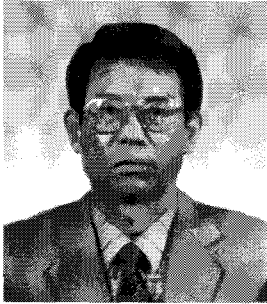


제 1 부

# 미생물농약 개발의 현황과 전망



**최 용 철**

농약연구소 농약생물과 농학박사

**미**생물농약은 미생물을 성분으로 하는 농약을 말한다. 크게 보아서 미생물 자체를 이용하는 것과 미생물이 분비하는 활성물질을 이용하는 두가지가 있다.

미생물농약과 화학농약의 특성을 비교하여 보면 다음과 같다.

화학농약은 화합물의 독성에 근거를 둔데 비해 미생물농약은 길항작용(拮抗作用)이나 병원성등에 근거를 두고있어 약효의 발현이 늦은 반면 약효지속성이 길다. 화학농약은 약제저항성 병해충의 발현으로 약효가 저하될 수 있으나 미생물농약은 표적생물에 대한 선택성이 높으므로 저항성 발현이 적고 저항성 병해충에 대해서도 약효가 높다. 또 표적

생물 이외에는 큰 영향을 주지 않으므로 생태계에 영향이 적고 비교적 안전하다.

한편 화학농약의 주성분은 화합물을 이용하게 되므로 제제의 안정성이 높고 균일한데 비하여 미생물농약은 미생물 자체이용시 제제의 불안정과 불균일한 문제점을 가질 수 있다. 그러나 미생물 농약은 유용한 미생물자원을 이용하는 것이므로 화학농약의 1/20~1/100의 저렴한 비용으로 개발할 수 있으며 등록시각지의 개발기간도 짧은 잇점이 있다.

## 1. 미생물농약의 개발역사

미생물 자체를 주성분으로 하는 미

그림1. 농약의 분류(미국)

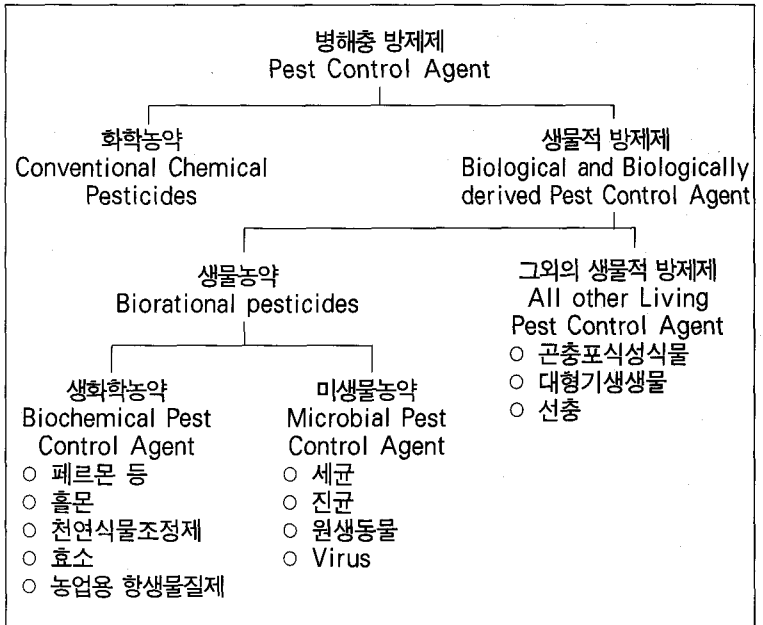


표 1. 미생물농약의 연구역사

구 분	종 류	개시년	개발국	방 제 대 상
길항 미생물	세균	1968	미국	옥수수 묘입고병
	진균	1932	"	완두 묘입고병
	방선균	1927	"	감자 더듬이병
	바이러스	1955	"	감귤 tristeza virus
교차방어	세균	1964	미국	감자 청고병
	진균	1951	"	고구마 줄기썩음병
	바이러스	1951	"	CTV
천적 미생물	세균	1921	독일	나비목 해충
	진균	1880	"	딱정벌레목 해충
	바이러스	1956	일본	나비목 해충
	선충	1928	미국	Acrobeles buestchlii
(잡 초)	진균	1971	미국	Rush skeletonweed

생물농약은

▲병방제 길항미생물(한쪽의 미생물이 다른쪽의 미생물에 대해 경쟁, 기생, 항생, 포식작용에 의해 방제 가능)이용

▲병이 걸리기 전에 병원성이 없거나 약한 병원균을 이용한 교차방어(Cross protection)

▲곤충에 질병을 일으키는 병원균을 이용한 천적미생물의 이용

▲잡초에 병을 유발시키는 병원균을 이용하여 제초효과를 나타내는등 각종 미생물을 이용하게 된다.

길항미생물로는 세균, 진균, 방선균, 바이러스 등이 있다. 이들을 이용한 방제역사를 보면 1927년에 미국에서 방선균으로 감자 더듬이병을, 1951년 진균을 이용한 교차보호로 고구마 줄기썩음병을, 1980년에 진균을 이용하여 딱정벌레목 해충을 방제한 역사가 있다. 특히 가장 많이 알려져있는 비티제 생산균인 *Bacillus thuringiensis*는 1921년부터 연구역사를 갖고 있다(표 1).

미생물이 분비하는 활성물질을 이용한 농업용 항생물질은 토양내 미생물중 방선균을 이용한 것이 대부분이며 의약품 항생물질에 비해 비

교적 늦게 개발되었다. 특히 일본에서 많이 개발되었는데 1958년에 벼도열병 방제용 브라스딘이 최초의 실용화품으로 알려져 있다.

## 2 미생물농약의 개발 현황

미생물 자체를 이용한 미생물농약으로 전세계에 실용화 되고있는 것은 66종이다. 연구개발중인 것은 80종인데 이중 6종은 등록신청중인 것으로 알려져 있다(표 2).

실용화 및 연구개발이 가장 활발한 국가는 미국이며 다음이 일본이다. 실용화가 이루어진 국가는 미국을 포함한 14개국이며(한국은 자체 개발 품목이 아닌 원제 수입에 의한 실용화) 연구개발중인 국가는 13개국으로 알려져 있다. 이들 개발국중 가장 특징적인 것은 역시 미국이다. 미국은 실용화 및 연구개발중인 것이 살균, 살충, 제초제 및 상해(霜害)방지제등 다양한데 비하여 구소련은 실용화된 7품목이 모두 살충제에 한정되어 있다.

실용화된 품목은 살충제가 48종으로 가장 많고 살균제는 16종, 제초제는 2종이 알려져있다. 연구개발중

인 것은 살충제 46종(등록신청중 2종), 살균제 29종(신청중 3종), 제초제 4종이며 상해방지제 1종이 등록신청중에 있으므로 실용화품목은 계속 늘어날 것으로 전망된다.

길항미생물을 이용하여 실용화된 살균제는 14종인데 세균을 이용한 것이 4종이고 진균과 바이러스를 이용한 제제가 각각 5종이다. 천적미생물을 이용하여 실용화된 미생물농약은 38종으로 살충제가 36종, 제초제가 2종이다. 살충제 36종 가운데 세균을 이용한 것이 12종, 진균 10종, 바이러스 10종, 원생동물 1종, 선충을 이용한 것이 3종이다.

연구개발을 추진중인 것은 길항미생물을 이용한 것이 24종(살균제 22종, 상해방지제 2종)이며 천적미생물을 이용한 것은 44종(살충제 40종, 제초제 4종)이 알려져 있다.

미생물농약에 이용된 미생물의 종류를 보면 표 3과 같다. 세균을 이용한 해충방제제는 *B. t.균(Bacillus thuringiensis)*이 전부이다. 이중 살충성 독소 유전자삽입에 의한 유전공학기법으로 세균을 사멸시켜 독소만을 이용하여 환경영향을 줄이도록한 제품등장이 최근의 경향이다. 병해방제용으로 이용되는 세균은 *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*균이 있다.

진균은 해충방제용으로 *Hirsutella*, *Verticillium*등이, 병해방제용으로 *Trichoderma*, *Gliocladium*등이, 잡초방제용으로는 잡초에 발병을 일으키는 *Phytophthora*, *Collectotrichum*이 이용 되고 있다. 바이러스는 해충방제용으로 NPV, CPV, GV등 곤충질병체가 이용되고 있고 병해방제용으로 TMV, CMV, CTV등 병원성 약독주를 이용하고 있다. 원생동물은 선충방제에 *Nosema*가 이용되고 있고 선충

표2. 미생물농약의 개발현황(1991)

\* ( ) 등록신청종

국 별	종 류		실 용			추 진 중			
	실용	추진	병해	해충	잡초	병해	해충	잡초	상해
미 국	27	33(6)	5	20	2	8(3)	22(2)	2	1(1)
일 본	9	25	5	4		13	10	2	
구소련	7			7					
프랑스	5	4	1	4		1	3		
영 국	5	5	2	3		1	4		
호 주	3	2	1	2		1	1		
브라질	2	1	1	1		1			
캐나다	2			2					
화 란	1	2	1			1	1		
구 주		3					3		
중 국	1			1					
한 국	1			1					
독 일	1			1					
필리핀	1			1					
폴란드	1			1					
대 만		1				1			
이태리		1				1			
체 코		1				1			
페 루		1					1		
케 나		1					1		
합 계	66	80(6)	16	48	2	29(3)	46(2)	4	1(1)

을 이용한 해충방제제로는 *Sternerna*, *Heterorhaliditis*, *Romanermis*가 알려져 있다.

한편, 미생물이 분비하는 활성물질을 이용한 농업용 항생물질은 약 17종이 실용화 되어 살균, 살충, 제초, 생장조정제로 활용되고 있으며 국내에서는 8종이 외국으로부터 수입되어 사용되고 있다.

국내에서도 미생물농약을 개발코자 국립연구기관, 대학, 정부출연연구기관등에서 연구를 추진하고 있으며 길항미생물을 이용한 병해방제제 6종, 천적미생물을 이용한 제제 4종 등 10여종에 대해 검토중이다. 그러나 연구역사로 볼때 B. t세균은 1975년대에, 그외의 연구는 1980년대 이후부터이므로 선진외국에 비해

연구역사가 짧고 기술축적이 부족하며 연구인력도 적은 관계로 현재 실용화 단계까지는 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

그러나 일본의 경우에는 자체적으로 개발한 미생물자체이용 약제가 '92년도에 15종(살충제 12종, 살균제 3종)이 위탁시험이 실시되고 있으므로 머지않아 실용화 될것으로 보이는데 이는 '90년의 시험내용과 비교할때 미생물농약개발에 집중적인 투자결과라 생각된다.

### 3. 국내 개발의 문제점

국내에서도 자체개발에 의한 실용화를 추진하고 있으나 여러가지 요인이 문제점으로 제기되고 있다.

첫째, 국내의 개발기술은 연구역사가 짧고 기술수준이 낮아져 있으며 연구인원이 숫적으로 부족하다. 또한 산발적이고 흥미위주의 연구가 주류를 이루고 있으며 체계적인 연구에 의한 기술축적과 산·학·관·연의 공동연구가 부족하다.

둘째, 방제대상의 선택성이 좁은 미생물농약의 특성이 걸림돌로, 유기합성농약에 비해 1~2종에 대해서만 방제효과를 보이는 사용폭이 좁다.

셋째, 농약을 제조, 판매하는 입장에서 볼때 소량의 사용량, 한정된 방제대상, 개발까지의 많은 시간과 기술을 요하는 부문에 인원 및 시설 투자를 하여도 당장 수익을 보장할 수 없을뿐만 아니라 국내에서 개발에 흥미를 가질만한 우수한 미생물이 선별되어 있지 않다.

넷째, 환경 생태계 유지와 안전한 농산물 생산을 제창하며 중요하다고 인정하면서도 작물 재배시 많은 병해충 및 잡초로부터 작물을 보호하기 위해서는 효과가 빠른 화학농약을 선호하는 농민의 입장이 앞서있다.

다섯째, 미생물농약으로 이용되는 미생물자체, 생산품, 제품에 대한 안전성평가 역시 화학농약과 동일한 조건의 제출서류작성시 국내에서 해결할 수 있는 능력이 부족하다.

### 4. 미생물농약 개발의 전망

전세계 농약시장에서 미생물농약이 차지하는 매출액은 약 7,000만\$ ('88)로 0.5%에 불과하다(미생물 활성물질은 제외). 그나마 실용화되어 있는 66종의 미생물농약중 각국에서 가장 많이 사용하고 있는 비티제를 빼고나면 대부분의 미생물농약은 사용량이 미미한 실정이다. 사용

표3 미생물농약에 이용된 미생물의 종류

종류	대상	실용화	개발중
세균	해충	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Bacillus popilliae</i>/lenticornis</li> <li>○ <i>Bacillus thuringiensis</i> kurstaki</li> <li>○ <i>B. t.</i> kurstaki strain EG2371</li> <li>○ <i>B. t.</i> kurstaki strain EG2348</li> <li>○ <i>B. t.</i> kurstaki strain EG2424</li> <li>○ <i>Psudomonas fluorescens</i>/ <i>B. t. k</i> 遺傳子挿入(死菌)</li> <li>○ <i>P. f.</i>/<i>B. t.</i> san diego 遺傳子挿入</li> <li>○ <i>B. t.</i> aizawai</li> <li>○ <i>B. t.</i> israelensis</li> <li>○ <i>B. t.</i> thuringiensis</li> <li>○ <i>B. t.</i> san diego</li> <li>○ <i>B. t.</i> tenebrionis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>B. t.</i> morrisoni</li> <li>○ <i>Bacillus sphaericus</i></li> <li>○ <i>Pasteuria penetrans</i></li> </ul>
	병해	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Agrobacterium radiobacter</i> strain 84</li> <li>○ <i>A. radiobacter</i> K1026</li> <li>○ <i>Psudomonas fluorescens</i> EG 1053</li> <li>○ <i>Bacillus subtilis</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Bacillus subtilis</i></li> <li>○ <i>Pseudomonas solanacearum</i> 弱毒株</li> <li>○ <i>Pseudomonas galadioli</i> M - 2196</li> <li>○ <i>Pseudomonas cepacia</i></li> <li>○ <i>Streptomyces griseoviridis</i></li> </ul>
	상해		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Pseudomonas syringae</i></li> </ul>
진균	해충	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Hirsutella thompsonii</i></li> <li>○ <i>Verticillium lecanii</i></li> <li>○ <i>Arthrotrrys robusta</i> antipolis</li> <li>○ <i>A. irregularis</i> 1141</li> <li>○ <i>Paecilomyces lilacinus</i></li> <li>○ <i>Monacrosporium phymatophagum</i></li> <li>○ <i>Beauveria bassiana</i></li> <li>○ <i>Metarhizium anisopliae</i></li> <li>○ <i>Aschersonia aleyrodis</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Verticillium lecanii</i></li> <li>○ <i>Beauveria bassiana</i></li> <li>○ <i>Metarhizium anisopliae</i></li> <li>○ <i>Aschersonia aleyrodis</i></li> <li>○ <i>Nomuraea rileyi</i></li> <li>○ <i>Beauveria tenella</i></li> <li>○ <i>Neozygites floridana</i></li> <li>○ <i>Entomophaga parxibuli</i></li> <li>○ <i>E. maimaiga</i></li> <li>○ <i>Paecilomyces fumosoroseus</i></li> <li>○ <i>Erynia neophidis</i></li> <li>○ <i>Arthrotrrys coroides</i></li> <li>○ <i>Dactylella oviparasitica</i></li> <li>○ <i>Nematophthora gynophila</i></li> <li>○ <i>Verticillium chlamydo sporium</i></li> </ul>

되고 있는 미생물농약도 화학농약의 약효보다 우수하거나, 약제저항성 문제로 약효를 볼수 없는 병해충방제에 한하거나, 화학농약으로는 방제하기 어려운 근두암증병과 같은 세균병이나 바이러스병 방제에 많이 이용되고 있다.

그러나 이제까지 매우 효과적이며 사용량이 많았던 우수한 화학농약이 과학기술의 발달에 따라 예전에는 밝혀지지 않았던 독성이 밝혀져 사용제한 또는 폐기되는 현실을 볼때, 저독안전한 미생물농약의 매력은 화학농약보다 높은 것이 틀림없고 사

용량도 차츰 많아져 우수한 약제개발과 실용화가 더욱 촉진될 것으로 생각된다.

특히 환경생태계에 영향을 주지않는 점, 약제저항성 출현이 거의 없고 약제저항성 병해충에 대해 효과적인 점, 미생물농약의 사용으로 개

〈표3 계속〉

종류	대상	실용화	개발중
진균	병해	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Trichoderma viride</li> <li>○ T. lignorum</li> <li>○ T. harzianum/polysporum</li> <li>○ T. harzianum Rifai strain KRL-AG2</li> <li>○ Gliocladium virens GL-21</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Basidiomyces spp.</li> <li>○ Melanospora damnosa</li> <li>○ Ampelomyces quisqualis</li> <li>○ Phytochytrium gaertneriomyces</li> <li>○ Fusarium oxysporum 非病原性株</li> <li>○ Rhizoctonia solani 弱毒株(R1-64)</li> <li>○ Phthium ligandam</li> <li>○ Endotea parasitica</li> </ul>
	잡초	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Phytophthora palmivora</li> <li>○ Collectotrichum gloeosporioides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sclerotinia sclerotiorum</li> <li>○ Epicoccosorus nemato sporus</li> <li>○ Puccinia cardurum</li> <li>○ Drechslera monoceras</li> </ul>
바이러스	해충	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ NPV(Heliothis, Orgyria, Pseudotsugata, Lymantria dispar, Neodiprion sertifer Neodiprion, Neodiprion lecontei, Mamestra brassicae)</li> <li>○ CPV(Dendrolimus spectabilis)</li> <li>○ GV(Cydia pomonella, pieris rapae)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ NPV(Autographa californica, Anagrapha falcifera Trichoplusiani, Spodoptera exigua, Spodoptera ornithogalli, Spodoptera littoralis, Spodoptera frugiperda, Panolis flammea, Spodoptera litura)</li> <li>○ GV(Cydia pomonella)</li> </ul>
	병해	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ TMV 弱毒株(MII-16, L11A, L11A237)</li> <li>○ CMV 弱毒株</li> <li>○ CTV 弱毒株</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ WMV(호박Mosaic) 弱毒株</li> <li>○ TMV 고추系 弱毒株(Pa18)</li> <li>○ 고추 Mosaic virus 弱毒株</li> <li>○ CGMMV 弱毒系統(SH33b)</li> <li>○ CMV-SR 弱毒株</li> <li>○ PRSV 弱毒株</li> </ul>
원생동물	선충	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nosema locustae</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nosema algerae</li> <li>○ Nosema pyrausta</li> <li>○ Nosema sp.</li> <li>○ Vairimorpha necatrix</li> <li>○ Mattesia trogodermae</li> </ul>
	병해		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 食菌性 아메바</li> </ul>
선충	해충	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Steinernema feltiae</li> <li>○ Heterorhabditis sp.</li> <li>○ Romanemermis cullicivorax</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Steinernema feltiae</li> <li>○ Heterorhabditis sp.</li> </ul>
	병해		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aphelenchus avenae</li> </ul>

꼭하고 안심할 수 있는 농산물을 생산할 수 있다는 생산자와 소비자의 인식변화, 우수한 부존 미생물자원을 이용한 저렴한 개발비등으로 볼 때 미생물농약의 매력은 계속 커질

것으로 기대된다.

아직 국내기술에 의한 자체 개발 농약이 없는 우리의 현실로 볼때, 연구조성과 기반을 갖추어 추진한다면 단시간내에 실용화 가능성이 가

장 높고 부가가치도 높은 분야이다. 현재의 국내 기술수준 및 연구성과로 볼때 2,000년전에는 최소 2~3종의 미생물농약이 실용화 가능할 것으로 전망할수 있겠다. **농약정보**