

生物農藥의 開發現況과 今後展望

崔庸哲 · 李正云* · 金永九

Present and Future of Microbial Pesticides

Yong-Chul Choi, Jeang-Oon Lee* and Yung-Koo Kim

ABSTRACT

Chemical pesticides have been re used for a long time to protect crops from diseases, insects, and weeds ; ample and secure supply of foods in present days would not be possible without them. However, concerns on the risk of using chemical pesticides rising steadily in recent years forced discard many of them and seek an alternate, environment-friendly control strategies. Microbial pesticide is regarded as one of the most promising methods because if properly developed, it will be effective, cheap, and environment-safe. Currently, about 180 microbial pesticides are under development throughout the world and at least 20 of them including B.t. and antibiotics are registered in Korea. This paper discusses some of the successful examples, intriguing problems, and future prospects of microbial pesticides.

緒 言

農作物을 安全하게 保護하기 위해서는 農作物에 被害要因인 病害蟲 및 雜草를 인위적으로 제거하지 않으면, 기대할 수 없는 收穫을 招來하게 되므로 作物을 安全하게 保護하기 위한 資材인 農藥의 役割이 매우 重要함은 모두 인식하고 있는 사실이라 하겠다.

아러한 農藥의 主體는 大部分이 有機合成製品으로 長期間 使用時 防除效果 以外的 問題點으로 나타나고 있는 分別 없는 過用, 誤用, 毒性, 環境汚染 및 自然生態系에 미치는 惡影響과 藥劑抵抗性 出現 등의 많은 副作用으로 否定的 視覺이 점차 增大되는 傾向이 높다 하

겠다. 그러나 이러한 問題點 때문에 現在 使用中인 모든 農藥의 使用을 中止할 수 없는 現實로 볼 때, 보다 安全하고 副作用이 적은 農藥의 代替方案의 하나로 生物農藥이 부각되고 있는 實情이라 하겠다.

生物農藥의 主體는 自然에 存在하고 있는 賦存資源인 生物體를 農藥으로 活用하기 때문에 有機合成 農藥에 비해 安全한 長點이 있는 反面 短點 또한 적지 않은 傾向이나, 今後 作物保護 및 自然生態系 維持라는 側面에서는 많은 製品이 開發 實用化 되어야 할 것이다.

生物農藥은 生物體 自體인 微生物(細菌, 곰팡이, 바이러스)과 線蟲 및 天敵昆蟲을 活用하는 것과 微生物이 生産하는 活性物質을 利用하는 것으로 分類할 수 있으며, 活用分野는 殺菌,

* 農村振興廳, 農業科學技術院 National Institute of Agricultural Science & Technology. Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

殺蟲, 除草, 生長調整劑 및 霜害 防止劑가 實用化 되어 있는 實情이다.^{1,14,30,34,36,44,50)}

國內에서 使用되고 있는 農藥은 모두 先進國에서 開發된 것을 導入하거나, 특허가 끝난 製品的 복제생산 또는 技術제휴에 의한 것으로 새로운 製品的 開發은 아직도 많은 난관을 극복하지 않으면 안되는 것이 現在の 實態라 할 수 있겠다. 또한 現在の 農藥管理法에는 微生物, 天敵 等の 生物資源을 利用한 生物農藥이 包含되어 있으나, 有機合成農藥의 試驗基準이나 登錄基準에 準하여 取扱되므로 새로운 基準設定도 必要的 課題라 할 수 있겠다.

지금까지, 世界的으로 開發 實用화된 生物農藥을 紹介하고 아울러 가까운 日本에서의 開發現況 및 國內에서의 研究動向과 生物農藥 活用化에 提起되는 여러 가지 問題點 및 檢討事項에 대해 報告드리고자 한다.

本 論

生物農藥의 範圍에 대한 分類는 美國의 경우에는 EPA에 의해 化學農藥과 生物的 防除劑로 區分하고 있으며 生物的 防除劑中에 生化學農藥과 微生物農藥 및 그 외의 生物的 防除劑로 分類하고 있으며,³⁵⁾ 日本에서는 天敵昆蟲, 線蟲, 微生物, 生物生産 物質로 分類하고 있는²¹⁾ 反面 國內에서는 天敵, 微生物 活用 農藥을 모두 農藥으로 規定하고 있는 것이 最近의 實情이라 하겠다.

여기에서 紹介하고자 하는 生物農藥은 微生物 自體利用과 微生物이 生産하는 活性物質 및 天敵에 대해 說明드리고자 하며, 生物體인 植物性 成分을 利用하여 最終적으로 有機合成하여 利用하는 植物性 農藥은 生物農藥의 範圍에서 除外시켰음을 알려드립니다.

生物農藥의 實用化 製품을 中心으로 說明드리며, 國內에서의 研究現況과 生物農藥의 登錄要件의 檢討 및 問題點과 今後展望에 對하여 살펴보면 다음과 같다.

1. 外國에서의 開發現況

가. 微生物을 自體利用한 生物農藥

1) 微生物 殺菌劑

微生物인 細菌, 곰팡이를 各種 植物病原菌의 增殖抑制, 寄生, 抗生, 捕食作用을 利用하여 實用化 시킨 것으로, 이들 微生物을 病害 防除用으로 試圖한 研究歷史는 1927년 감자 더덩이병 防除用으로 放線菌 利用이 最初이며, 1960년 以後부터 農藥으로 實用化되기 始作하였으며, 日本에서는 1962년에 담배 허리마름病에 *Trichoderma* 生菌 製劑를 始初로 많은 製품이 美國에서 開發되었으며 大部分의 製품이 育苗中 發生되는 立枯病 防除用으로 開發되었음이 注目된다.^{15,35)}(표 1)

微生物 殺菌劑中 가장 成功的인 製品으로는 各種 作物 특히 多年生 木本類의 뿌리에 發生되고 있는 뿌리혹 細菌病(Crown gall)의 拮抗微生物인 *Agrobacterium radiobacter* strain 84 및 K1026 菌株를 利用한 Galltrol, Dygall, Nogall, Bakuterozu 製品이라 하겠다.^{21,35,50,53)} 뿌리혹 細菌病은 모든 細菌病이 現在の 有機合成農藥에 의한 防除效果가 低調한데 比하여, 이 生物農藥은 確實한 效果를 나타내어 優秀한 防除劑로 利用되고 있다. 防除機作으로는 *A. radiobacter* 細菌이 生産하는 Agrocin 이라는 物質이 病原菌의 細胞壁의 合成을 阻害하는 것으로 밝혀져 있다.

2) 微生物 殺蟲劑

活用되고 있는 微生物로는 곰팡이, 細菌, 바이러스이며, 많은 製품이 응애, 진딧물, 뿌리혹 線蟲, 풍뎅이類, 배추좀나방, 과밤나방, 솔잎말이 잎벌레, 온실가루이 등 各種 害蟲防除劑로 實用化되고 있다.³⁵⁾(표 2)

이들 製品中 가장 잘 알려진 製品은 *Bacillus thuringiensis*인 Bt 細菌을 利用한 Bt 製品으로 微生物農藥의 研究歷史가 最初인 1921년부터 始作하여, 1948년 製품이 實用화된 以來 全世界의 微生物農藥의 賣出額의 90% 以上을 占有하고 있는 有名한 製品이라 할 수 있다.

Bt 細菌은 많은 變種이 있으며, 各 變種이 生産하는 毒素에 따라 防除對象 害蟲이 相異

Table 1. Commercially available microbial pesticide for the control of diseases.

Microorganisms	Microbial Agent	Target diseases	Commercial Name	Country of registration(year)
Bacteria	<i>Agrobacterium radiobacter</i> strain 84.	Crown gall	Galltrol Bakuterozu Dy gall	USA('79) Japan('89) Canada
	<i>A. radiobacter</i> K1026	Crown gall	Nogall	Australia
	<i>Bacillus subtilis</i>	Seedling root diseases infection seed-borne	Quantum 4000 GUS 2000	USA USA
	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Seedling root	Blue circle	USA
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> EG-1053	Damping-off	Dagger G	USA('88)
	<i>Streptomyces griseovirides</i>	Damping-off(<i>Fusarium</i> <i>Alternaria</i> etc.)	Mycostop	USA
Fungus	<i>Gliocladium virens</i> GL-21	Damping-off(<i>Rhizoctonia</i> , <i>pythium</i>)	WRC-GL-21 WRC-AP- 1	USA('90)
	<i>Pythium ligandam</i>	Sugar beet disease	Polygandron	Czechoslovakia
	<i>T. harzianum</i> Rifai strain KRL-AG 2	Damping-off(<i>Pythium</i>)	F-Stop	USA
	<i>T. harzianum/poly- sporum</i>	Wood-decaying fungus	Binab™ T	USA
	<i>T. lignorum</i>	Southern blight Sore shin(Tobacco)	<i>Trichoderma</i> (spore)	Japan('62)
	<i>Trichoderma viridae</i>	<i>Verticillium</i> in mushroom Plum silver leaf disease	BINAB T SEPPIC BINAB	France UK

한 것으로 알려져 있으며, *B.t. kurstaki*, *B.t. aizawai*, *B.t. israelensis*, *B.t. san diego*, *B.t. tenebrionis* 등이 이용되고 있으며, 제품의 종류도 균과 독소가 혼합되어 있는 것과 독소 자체만의 제품이 이용되고 있다. 殺蟲機作은 毒素가 蟲體의 强알카리 消化液에 의해 活性化되어 中腸의 細胞를 파괴시켜 致死케 하는 것으로 알려져 있으며, 最近 遺傳工學技法에 의한 操作 및 殺蟲性 作物 育種에 많은 利用研究가 活潑하다.

微生物農藥中 國內에 導入되어 實用化中인 것으로 *B.t. kurstaki*, *B.t. aizawai* 菌株을 利用한 製品이 1981년에 登錄되어, 初期에는 흰불나방을 對象害蟲으로 使用되었으나, 1989年 以後 배추좀나방의 發生과 有機合成農藥의 藥劑 抵抗性 出現에 따라 1995년에는 出荷量 1백 2톤, 賣出額 38億원에 이르는 急成長한 生物農藥으로는 유일한 제품으로 알려져 있으며, 最近에는 *Bt* 農藥原劑도 生産 供給하고 있는 狀態이

다.

3) 微生物 除草劑

微生物 除草劑 開發은 雜草에 發生하는 病原菌을 利用하여 雜草에 病을 發生시키므로서 枯死시키는 研究가 推進되어, 現在 雜草에 發生하고 있는 病原菌을 製品化시킨 것이라 할 수 있다.(표 3).

1950年代부터 研究가 이루어지다, 1963년에 中國에서 본격적인 微生物 除草劑가 콩밭 雜草인 *Cuscuta* spp.를 防除하기 爲한 炭疽病菌인 *Collectotrichum gloeosporioides*를 大量生産시킨 Lubao No.1이 最初의 農藥이며, 1970年 以後 美國에서 本格的 研究가 開始된 以來 1981年 後에 감귤 밭에 發生되는 雜草인 Strangler vine (*Morrenia odorata*)를 防除할 수 있는 病原菌의 一種인 *Phytophthora palmivora*를 利用한 Devine 商品이 開發된 以來, 며 및 콩 栽培地域에서 發生되는 콩과 雜草인 Northern joint vetch(*Aeshynomene virginica*) 防除에 炭疽病菌의 一種인

Table 2. Commercially available microbial pesticide for the control of insects.

Microor-ganisms	Microbial Agent	Target insects	Commercial Name	Country of registration(year)	
Fungus	<i>Archersonia aleyrodis</i>	Whitefly(green house)	Aseronija	USSR	
	<i>Arthobotrys irregularis</i>	Root-knot nematodes	Royal 350	France	
	<i>Arthobotrys robusta antipolis</i>	Mushroom nematedes	Royal 300	France	
	<i>Beauveria bassiana</i>	Colarado potato beetle Oriental European borer	Boverin	USSR	
	<i>Hirsutella thompsonii</i>	Rust mite(Citrus)	Mycar	USA('81)	
	<i>Metharhizium anisopliae</i>	Spittle bug	Metaquino	Brazil	
	<i>Monacrosporium phymatophagum</i>	Root-knot nematodes	Nemahiton	Japan('90)	
	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Nematode eggs Root-knot nematodes	Biocon	Phillippine	
	<i>Verticillium lecanii</i>	Aphid(greenhouse) Whitefly(greenhouse)	Vertalec Mycotal	UK UK	
	Bacteria	<i>B. t. aizawai</i>	Lepedoptera wax moth	Certan	USA('81)
<i>B. t. israelensis</i>		Dipidoptera	Tekner	USA('81)	
<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i>		Lepidoptera	Dipel, Thuricide	USA('61)	
<i>B. t. kurstaki</i> strain EG 2371		Lepidoptera	Cutlass	USA('89)	
<i>B. t. k.</i> strain EG 2348		Gypsy moth	Condor	USA('89)	
<i>B. t. k.</i> strain EG 2424		Lepidoptera Coleopteran	Foil	USA('90)	
<i>Bacillus popilliae</i> /lentimorbus		Japanese beetle	Doom	USA('48)	
<i>B. t. san diego</i>		Colorado potato beetle	M-one	USA('88)	
<i>B. t. tenebrionis</i>		Colorado potato beetle	Trident Novodor	USA('88)	
<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>B. t. kurstaki</i> δ -endotoxin gene cloning(dead cell)		Diamondback moth	MVP	USA('91)	
<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>B. t. san diego</i> δ -endotoxin gene cloning(dead cell)		Colorado potato beetle	M-Track	USA('91)	
Virus		<i>Cydia pomonella</i> GV	Frosted chafer	Carpocapsin	France Germany
		<i>Dendrolimus spectabilis</i> GV	Pine caterpillar	Matsukemin	Japan ('74)
	<i>Heliothis</i> NPV	Cotton bollworm	Elcar	USA ('75)	
	<i>Lymantria dispar</i> NPV	Gypsy moth	Gypchek Virin-ensh	USA USSR	
	<i>Mamestra brassicae</i> NPV	Cabbage armyworm	Mamestrin Virin-ex	France USSR	
	<i>Neodiprion</i> NPV	Pine sawfly	Virox	UK	
	<i>Neodiprion lecontei</i> NPV	Pine sawfly	Lecontvirus	Canada	
	<i>Neodiprion sertifer</i> NPV	Pine sawfly	Neocheck-s Virin-Diprion	USA USSR	
	<i>Nosema locustae</i> virus	Spodoptera exigua	Spod-X	Denmak('93)	
	<i>Orgyia pseudotsugata</i> NPV	Douglas-firtussock moth	Biocontrol-1 Virtuss	USA Canada	
	<i>Pieris rapae</i> GV	Common cabbageworm	Virin-GKB	USSR	

Table 3. Commercially available microbial pesticide for the control of weeds.

Microorganisms	Microbial Agent	Target weeds	Commercial Name	Country of registration(year)
Fungus	<i>Alternaria cassiae</i>	Sicklepod	MYD 751M(oil) MYX 104(spore)	USA
	<i>Cercospora rodmanii</i>	Water hyacinth	ABG-5003	USA ('87)
	<i>Collectotrichum gloeosporioides</i> f. sp. <i>aeschynomene</i>	Northern joint vetch(Rice, Soybean cultivated)	Collego	USA ('82)
	<i>C. g. f. sp. clidemiae</i>	Clidemia herta (Kosters curse)	LUBOA 11	USA
	<i>C. glaeosporioides</i> f. sp. <i>cuscutae</i>	<i>Cuscuta</i> spp.(Dodder)	LUBOA 11	USA
	<i>C. gloeosporioides</i> f. sp. <i>malvae</i>	Roundlead mallow	BioMale	USA ('88)
	<i>Phytophthora palmivora</i>	Strangler vine (<i>Morrenia odorata</i>)	DeVine	USA ('81)

Table 4. Nematodes as Biocontrol Agents of Insects.

Nematode	Target insects	Commercial Name	Country of registration(year)
<i>Steinernema feltiae</i> DD 136	Soil insects Termites	Seek Spear	USA Australia
<i>Heterorhabditis</i> sp.	Black vine weevil		USA Australia
<i>Romanomermis cullicivorax</i>	Mosquito		USA

Collectotrichum gloeosporioides f. sp. *asechynomene*을 이용한 Collego이라는 분생孢자를 乾燥시켜 商品化시킨 除草劑의 商品이 開發되었다.^{4,13,14,17,35,39,44,47,48,51)}

이들 微生物 除草劑가 開發된 以後 많은 研究가 推進되어, 1993年 캐나다에서 苜蓿의 問題雜草인 Roundled mallow(*Malva pusilla*)에 病을 일으키는 炭疽病菌을 利用하여 BioMal이라는 製品이 開發되었으며,^{14,35,40,44)} 以後 Waterhyacinth에 *Cercospora*를 利用한 ABG-5003과 Sicklepod의 *Alternaria*菌을 利用한 MYD, MYX 製品이 開發되고 있는 實情이다.^{35,44)} 以外에 日本에서는 올방개(*Eleocharis kuroguwai*)에 病을 發生시키는 病原菌인 *Epicoccossorus nematosporus*, *Nimbya scirpicola*, *Dendryphiella* sp.과 골프장의 禾本科 雜草인 *Poa annua*에 病을 일으키는 細菌인 *Xanthomonas campestris*를 商品化시키고자 開發에 拍車를 加하고 있는 중이다.⁵⁶⁾

4) 天敵昆蟲

天敵을 利用한 것으로는 線蟲과 天敵昆蟲을 活用하여 害蟲防除劑 開發을 들 수 있으며, 土壤 害蟲 및 흰개미 防除用으로 線蟲을 利用한 Seek 및 Spear라는 商品名으로 開發되었고,³⁵⁾ 물바구미 種類(black vine weevil)에 線蟲인 *Heterorhabditis* sp. 利用과 모기의 防除用으로 *Romanomermis*가 活用되고 있다.(표 4)

한편 天敵昆蟲을 利用한 害蟲防除로는 世界的으로 花란에서 가장 活潑히 推進되고 商品化가 成功하고 있으며, 1994年 日本에서도 같은 製品이 實用化되고 있다.^{20,21)}

점박이용애 防除用으로 SPIDEX, 온실가루이의 EN-STRIP, 메뚜기類의 Noloc 製品이 開發되어 使用되고 있다.³⁵⁾(표 5)

나. 微生物生産 生理活性物質

微生物을 人工的으로 培養할 때, 培養液內에 微生物이 生産하는 代謝産物을 排出하게 되는

Table 5. Natural enemies of insects.

Natural enemy	Target insects	Commercial Name	Country of registration(year)
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Tetranychus genus	SPIDEX	Japan ('94)
<i>Encarsia formosa</i>	Greenhouse white fly	EN-STRIP	Japan ('94)
<i>Nosema locustae</i>	Rangeland grasshopper	Noloc	USA ('80)

Table 6. Antibiotics registered to use on agricultural crops.

Antibiotic	Microorganism (s)	Targets (Crops)	Year of registration(Korea)
Blasticidin-S	<i>Streptomyces griseochsomogenes</i>	Blast(Rice)	'58 ('66)
Kasugamycin	<i>St. kasugaensis</i> <i>St. kasugapinus</i>	Blast(Rice)	'64 ('69)
Validamycin	<i>St. hygroscopicus</i> var. <i>limoneus</i>	Sheath blight(Rice)	'70 ('76)
Polyoxin	<i>St. cacaui</i> var. <i>asoensis</i>	Sheath blight(Rice) Alternaria leaf spot(Apple) Powdery mildew(Apple, Pear, Cucumber) Black rot(Pear) Brown spot(Tobacco) Gray mold(Red pepper) Scab(pump) Canker(Apple)	'64 ('71)
Streptomycin	<i>St. griseus</i>	Canker(Citrus) Bacteria shot hole(Peach) Late blight(potato)	'44 ('81)
Oxytetracyclin	<i>St. limosus</i>	Canker(Citrus)	'50 ('88)
Avermectin	<i>St. avermitilis</i>	Mite	'79 ('95)
Milbemectin	<i>St. hygroscopicus</i> subsp. <i>aureolacvimosus</i>	Mite	'73 ('94)
Tetranactin	<i>St. aureus</i>	Mite	'71 (-)
Bialophos	<i>St. hygroscopicus</i>	None selective herbicide	'84 ('89~'92)

데 이러한 代謝活性物質을 分離, 精製하여 醫藥用 및 農業用 抗生物質로 活用하는데, 이러한 抗生物質은 約 8,000種 이상이 알려져 있으며 이중 實用化 중인 것은 約 600여종이며, 農業용으로 活用되는 것은 20여종이 使用中이며 用途는 殺菌劑, 殺蟲劑, 除草劑 및 生長調整劑로 利用되고 있다.(표 6)

農業用 抗生物質 生産菌은 土壤內에 많이 分布하고 있는 放線菌(Actinomycetes)中 *Streptomyces* 屬 菌株가 主體이며, 1958年 稻熱病 防除用인 Blasticidin S를 先頭로 많은 抗生物質이 日本에서 開發 普及되었으며, 以後 응애 防除用 殺蟲劑로 利用되는 Tetranactin, Avermectin,

Milbemectin이 開發되었으며, 1984年 日本의 明治製果(株)로부터 世界最初의 非選擇性 經葉處理 除草劑인 Bialophos가 實用化되었다.^{52,54)}

이들 農業用 抗生物質은 微生物 自體가 아닌 生産物을 利用하게 되므로 農藥으로서의 安全性 評價는 有機合成인 化學農藥과 同一한 水準에서 評價하고 있으나, 化學農藥에 비해 매우 低毒한 것으로 알려져 있다.

2. 國內의 研究現況

微生物 自體를 利用하여 病害蟲 및 雜草防除 등의 研究로는 外國에 비해 30~50年 뒤늦은 1980年代에 基礎的 研究가 遂行되어 온 結

果, 지금까지 實用化 製品은 開發되지 못하고 있으나, 研究水準은 짧은 研究歷史에 比하여 좋은 結果가 이루어지고 있는 實情이다.(표 7, 8)

病害防除에 關한 研究로는 담배의 TMV,⁶⁾ Bacterial wilt,³⁴⁾ 오이의 Fusarium wilt,^{2,5,22,57)} 고추의 *phytophthora blight*,^{7,9,23,28,29,43,55)} 딸기의 *Fusarium wilt*,^{37,38,39)} *Rhizoctonia bud rot*,⁴⁶⁾ 사탕무우의 Damping-off,³²⁾ 벼의 Blast, sheath blight,³³⁾

等에 關한 研究가 報告되고 있으며, 害蟲防除에 微生物을 利用한 研究는 뿌리혹 線蟲과 슬 앞혹파리 防除用 곰팡이 분리^{12,49)}, 핵다각체병 바이러스를 이용한 흰불나방,²⁷⁾ 담배거세미나방,¹⁹⁾ 과밤나방,²⁴⁾ 과립병 바이러스를 이용한 배추흰나비,⁴⁵⁾ 細胞質 多角體病 바이러스를 이용한 담배나방,¹⁸⁾ 研究와 天敵昆蟲을 利用한 害蟲防除로는 삼립해충의 선충,¹¹⁾ 이용과 밤나 무혹벌, 간자와 응애의 天敵,^{26,31)} 점박이응애의

Table 7. Selected references on the studies of microbial biocontrol agents of crop diseases in Korea.

Crop	Disease	Microbial Agent	Year of publication	Number in reference
Tobacco	TMV	Virulence virus	'85	6
	Bacterial wilt	Non pathogenic <i>P. solanacearum</i>	'85	34
Cucumber	Fusarium wilt	Rhizosphere antagonists	'87	22
		<i>Pseudomonas gladioli</i>	'92	5
		Non pathogenic strain of <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	'93	57
		<i>Gliocladium virens</i> <i>Pseudomonas putida</i>	'95	2
Red pepper	<i>Phytophthora blight</i>	<i>Bacillus</i> sp.(AC-1)	'86	7.9
		<i>Pseudomonas cepacia</i>	'88	23
		<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Enterobacter agglomerans</i>	'89	43
		Non pathogenic strain of <i>Phytophthora capsici</i>	'92	55
Strawberry	Fusarium wilt	<i>Trichoderma</i> sp.	'88	37
		<i>T. harzianum</i>	'95	38
		<i>Pseudomonas gladioli</i>	'90	39
	<i>Rhizoctonia bud rot</i>	Antagonistic microorganisms	'94	46
Sugar beet	Damping-off	<i>Pseudomonas</i> sp.	'88	32
Rice	Blast, sheath blight	<i>Pseudomonas</i> sp.	'90	33

Table 8. Selected references on the studies of microbial biocontrol agents of insects in Korea.

Target	Microbial Agent	Year of publication	Number in reference
Root-knot nematode	Fungus(isolated from infected insect)	'88	12
Tobacco cutworm	Nuclear polyhedrosis Virus	'89	19
Fall webworm	Nuclear polyhedrosis Virus	'89	27
Common cabbage worm	Granulosis Virus	'91	45
Armyworm	Nuclear polyhedrosis Virus	'91	24
Oriental tobacco budworm	Cytoplasmic polyhedrosis Virus	'91	18
Pine leaf gall midge	Steribe fungus	'95	49

Table 9. Selected references on the studies of natural enemies of insects in Korea.

Target	Microbial Agent	Year of publication	Number in reference
Forest insects	Nematodes(<i>Steinernema carpocapsae</i> , <i>Heterotabditis bacteriophora</i>)	'91	11
Chestnut gall-wasp	Natural enemy	'93	26
Two spotted spider mite	<i>Amblyseius longispinosus</i>	'94	25
Soybean-aphid	<i>Aphidius</i> sp.	'94	3
Tea red spider mite	Natural enemy	'95	31

Table 10. Selected references on the studies of microbial biocontrol agents of weeds in Korea.

Weed	Disease	Microbial Agent	Year of publication	Number in reference
Bayonet-Grass (<i>Scirpus maritimus</i>)	Bown spot	<i>Nimbya scirpicola</i>	'94	59
Water chestnut	Fingerprint stem blight	<i>Epicoccosorus nematosporus</i>	'96	16

긴털이리응애,²⁵⁾ 콩진딧물의 진디벌,³⁾ 研究가 報告되고 있다.(표 9)

한편 微生物에 의한 雜草防除研究로는 外國의 例와 같이 雜草의 病原菌을 活用한 매자기의 *Nimbya scirpicola*⁵⁹⁾와 올방개의 지문무늬病原菌인 *Epicoccosorus nematosporus*¹⁶⁾을 活用한 大量生産法 및 製劑化 研究를 檢討하고 있는 중이다.(표 10) Bt 細菌을 利用한 研究는 大學 및 研究所에서 가장 많은 研究가 推進되어 왔으며, Bt菌의 大量生産法,¹⁰⁾ 新 菌株의 分離, 毒素性生産에 관한 遺傳工學研究 및 遺傳子 操作 等 많은 報告가 있으며, 國內에서 使用中인 Bt 原劑의 生産도 活潑히 이루어지고 있다.

微生物 生産 活性物質인 農業用 抗生物質 研究 역시 外國에 비해 20~30年 後에 出發하였으나 많은 研究가 推進되었으며, 現在도 新物質 探索에 힘쓰고 있다.

病害防除용으로 흰잎마름병,⁴²⁾ 除草劑用인 Cychloheximide^{8,58)}를 分離同定한 바 있으며, 放線菌 *Streptomyces* 菌에 依한 最初의 Maculocin을 分離한 바 있으나, 新規物質 分離나 有望한 物質의 活用까지는 이르지 못하고 있다.

3. 生物農藥의 登錄要件

外國의 경우(미국, 유럽, 캐나다, 영국 등)에는 化學農藥과 生物農藥의 登錄評價 基準이

設定되어 있으며, 특히 安全性 評價部分에 差異를 두는 Tier system 制度에 따라 要件을 달리하고 있으나, 國內의 경우에는 農藥管理法에 生物農藥 登錄規定이 없으므로 現在의 化學農藥과 同一한 基準에 準하지 않으면 안되는 實情이다. 그러나, 이미 外國에서도 많은 生物農藥이 경험적으로 化學農藥보다 安全한 것으로 評價되어 새로운 生物農藥 登錄規定에 準하여 實用化되는 것을 參考로 國內에서도 새로운 規定을 設定하여 低毒安全한 生物農藥이 活用될 수 있는 方法이 提示되어야 할 것으로 생각된다.

日本의 경우에도 점차 生物農藥의 實用化 品目이 增加됨에 따라 世界의 傾向을 比較 檢討하여 잠정적 規定에 의해 새로운 生物農藥이 登錄되고 있으며, 빠른 期間內에 登錄規定이 提示될 것으로 알려져 있다.

生物農藥으로서의 基準을 檢討한다면 다음과 같은 내용은 반드시 參考하여야 할 것이다.²¹⁾

- ㉔ 化學農藥의 規格, 性狀과 같은 水準으로의 利用生物의 分類上의 位置를 明確히 하는 特性 등의 把握
- ㉕ 人間이나 家畜에 대한 感染性的 有無, 病原性的 有無를 밝혀야 하며
- ㉖ 農藥으로서 實用的인 效果의 確認

- ㉔ 標的作物에 對한 藥害 等 影響이 없어야 하며
- ㉕ 環境이나 標的外 生物(누에, 꿀벌 等 有用昆蟲) 등에 影響이 없고
- ㉖ 農藥으로서의 製品管理(輸送, 保管 等)가 되어야 한다.

한편, 미국, 호주, 캐나다 등에서 使用中인 微生物 殺菌劑로 利用되고 있는 뿌리혹 細菌病 防除劑인 *Agrobacterium radiobacter* strain 84 菌株을 日本에서 生物農藥인 Bakuterohzu를 1989年 12月 登錄時 提出書類를 參考로 하면 다음과 같다.^{50,53)}

Agrobacterium radiobacter
(Bakuterohzu) 登錄 書類

I. 開發의 經緯

II. 有效成分의 特性과 生物活性

1. 名稱 및 分類學上의 位置

一般名, 商品名, 學名, 分類學上 位置, 色, 生産物, 病原性, 生理型, 安定性(溫度, pH, 光)

2. 生物活性

- 1) 活性의 範圍
- 2) 作用機作(mechanism)
- 3) 作用特性과 防除上의 利點 등

III. 安全性

1. 人畜毒性

- 1) 急性經口毒性(LD₅₀值, 랫드)
- 2) 눈 1차 자극성(토끼)
- 3) 피부 1차 자극성(토끼)
- 4) 피부 자극성(몰못)
- 5) 변이원성(Ames Test)

2. 有用生物에 대한 影響

- 1) 魚類에 대한 影響(잉어, 송어, 송사리)
- 2) 有用昆蟲(지렁이)
- 3) 土壤殘留性(반감기, 홍적중식토, 홍적경식토)

3. 代謝

- 1) 動物代謝(랫드분뇨중, 장기중 : 폐, 간장, 신장 등, 혈액의 생균)
- 2) 植物代謝(장미묘 根面의 생존균수)

IV. 工業所有權

4. 問題點

가. 國內開發의 問題點

自體開發에 의한 實用化를 推進하고 있으나, 여러 가지 要因이 問題點으로 提起되고 있다. 1) 國內 開發技術은 研究歷史가 짧고 技術水準이 낮으며 研究人員이 數的으로 不足하다. 또한 산발적이고 興味爲主의 研究가 主流를 이루고 있으며 體系의인 研究에 의한 技術蓄積과 産, 學, 官, 研의 共同研究가 不足하다. 2) 防除對象의 選擇性이 좁아, 1~2種에 대해서만 效果를 보여 使用이 制限的이다. 3) 農藥을 製造販賣하는 立場에서 볼 때 限定된 防除對象, 開發時 많은 人員, 施設投資 등 受益保障이 어렵다. 4) 使用者의 立場에서는 效果가 速效性인 化學農藥의 選好 5) 農藥登錄時 化學農藥과 같은 同一한 條件의 提出書類作成時 解決能力不足 및 많은 時日所要 等を 들 수 있겠다.

나. 利用上의 問題點

生物農藥은 化學農藥과 달리 抗生物質을 除外하고는 生命體인 關係로 現在의 化學農藥과 같은 品質保證 期間을 定하는데 많은 어려움이 있으므로 別途의 方法을 提示하지 않으면 안될 것이다(保證期間, 活性分析方法).

또한, 살아있는 生命體이므로 他 藥劑와의 影響을 고려하여야 하며, 溫, 濕度의 影響과 年次 또는 地域에 따라 環境影響을 받을 수 있으므로 이의 解決方法이 이루어져야 할 것이다.

今後展望

全世界 農藥市場에서 生物農藥이 차지하는 賣出額은 全體農藥 278億\$('94)中 1%인 2~3億\$에 지나지 않으며, 開發實用화된 70여종

(抗生物質 除外)中 各國에서 가장 많이 사용하고 있는 Bt劑를 除外하면 大部分의 生物農藥은 使用量이 미미한 實情이다. 使用中인 生物農藥도 化學農藥보다 優秀하거나 藥劑 抵抗性問題로 藥效를 볼 수 없는 病害蟲 防除에 限하거나 化學農藥으로 防除하기 어려운 뿌리혹 細菌病 等과 같은 防除劑로 利用되고 있다.

그러나, 이제까지 매우 效果의이며 使用量이 많았던 優秀한 化學農藥이 科學技術의 發達에 의해 前에 究明되지 않았던 毒性이 밝혀져 使用制限 또는 폐기되는 現實로 볼 때 低毒安全한 生物農藥의 매력은 높아질 것이며, 새로운 藥劑開發과 實用化는 더욱 促進될 것으로 생각된다.

특히, 環境生態系에 影響을 주지 않는 점, 藥劑 抵抗性 出現이 거의 없고, 抵抗性 病害蟲에 效果의이며, 生物農藥 使用으로 깨끗하고 安心할 수 있는 農産物을 生産할 수 있다는 意息變化, 賦存資源을 利用한 低廉한 開發費 등으로 볼 때 生物農藥의 開發實用化는 매우 期待된다 하겠다.

또한 農藥을 필수적으로 사용치 않으면 안될 國內의 立場에서는 生物農藥開發은 필히 이루어져야할 課題라 할 수 있다.

지금까지 開發하고 있는 國內의 研究結果를 擴大發展시킨다면 短期間에 實用化가 可能할 것이며, 2000年前에 最少 2~3種의 새로운 生物農藥이 開發되어 世界農藥市場에 參與할 수 있을 것으로 展望된다.

참 고 문 헌

1. 和田哲夫. 1995. 農藥としての天敵昆蟲의 利用, 一普及上의問題點と今後の展望. 植物防疫 49(9) : 1~4.
2. 裴永錫·沈昶琪·朴昌錫·金喜圭. 1995. 오이 덩굴쪄김병 抑制에 관한 根圈定着能力이 있는 *Gliocladium virens*와 *Pseudomonas putida*의 協力效果. 한국식물병리학회지 11(4) : 287~291.
3. 장영덕·이재영·윤영남. 1994. 콩진딧물에 기생하는 진디벌과 이의 증기생벌에 관한 연구. 한국응용 곤충학회지 33(2) : 51~55.
4. Charudattan. R. 1985. The use of natural and genetically altered strains of pathogens for weed control. In Biological Control in Agricultural IPM systems. 347~371. Academic Press, Orlando, FL.
5. 조종택·손석련·문병주. 1992. 길항세균 *Pseudomonas gladioli*와 유기물 첨가에 의한 오이 덩굴쪄김병의 억제효과. 한국식물병리학회지 8(1) : 8~13.
6. 崔章京·孫經玉. 1985. 弱毒 담배모자이크 바이러스. I. 弱毒 바이러스의 誘起 및 特性. 한국식물 병리학회지 1(1) : 3~11.
7. Choi, Yong Chul. 1994. Control of Fungal Diseases with Antagonistic Bacteria, *Bacillus* sp. AC-1, Proceedings of International Symposium on Biological Control of plant Diseases. 50~61.
8. 崔庸哲·裴永錫·朴英善. 1992. *Streptomyces* 屬 ACRI-45-1 菌株가 生産하는 除草活性物質의 分離 精製 및 同定에 關한 研究. 농사시험연구 논문집 34(1 C. P) : 28~34.
9. 崔庸哲·李載國·裴永錫. 1994. 고추疫病 防除用 拮抗微生物 AC-1 菌株의 農家生産 方法. 農業科學 論文集. 36(2 C. P) : 337~342.
10. 崔庸哲·李時雨·愼鏞華·李庚徽. 1986. 微生物 殺蟲劑(BT제) 大量生産에 關한 研究. 농사시험연구 논문집 28(2) : 56~59.
11. 추호렬·Harry K. Kaya·이상명·김태욱·김준범. 1991. 곤충 병원성 선충 *Sterinerna carpocapsae*와 *Heterorhabditis bacteriophora*를 이용한 삼림해충의 방제. 한국응용 곤충학회지 30(4) : 227~232.
12. 정미정·김희규. 1988. 뿌리혹 線蟲에 대한 寄生 天敵真菌의 接種源 濃도와 溫度條件에 의한 線蟲 感染 및 集團의 減少效果. 韓國應用昆蟲學會誌 27(3) : 149~158.
13. Daniel, J.T., Templeton, G.E., Smith, R.T., fox. W.T. 1973. Weed sci. 21 : 303~307.

14. 郷原雅敏. 1994. 微生物 除草劑の研究動向. バイオコントロール 研究會レポート(PST Bio-cont. Rept) 4 : 50~59.
15. Harris. A.R. 1994. Plant growth promotion and biological controls for damping-off in Container-grown Seedlings Using Soil bacteria and fungi. Australia : 18~23.
16. 홍연규·조재민·김재철·엄재열. 1996. 생물제초제로서 올방개 지문무늬병균(*Epicoccosorus nematosporus*)의 동정, 병원성 및 기주범위. 한국식물병리학회지 12(1) : 58~65.
17. 本間善久. 1992. アンケート調査結果にみみ昭和51年以降の我が國土壤傳染病研究の歩み. PSJ Soilborne Disease Workshop Report. 11~20.
18. 임대준·장동숙·최귀문·강석권. 1991. 담배나방 세포질 다각체병 바이러스의 동정 및 병원성에 관한 연구. 한국응용곤충학회지 30(4) : 219~226.
19. 任大準·朴範錫·崔金貴文·姜錫權, David K, Reed. 1989. 담배겨세나방 核多角體病 바이러스의 生化學的 特性. 한국곤충학회지 19(2) : 113~122.
20. 飯塚敏彦. 1995. 天敵微生物の改變と利用. 植物防疫 49(11) : 20~25.
21. 日本植物防疫協會. 1994. 生物農藥開發の手引き. 1~11.
22. 池亨鎮·金喜圭. 1987. 오이 덩굴쪄김病菌에 대한 오이 根圈拮抗微生物의 分離, 同定 및 拮抗作用. 한국식물병리학회지 3(4) : 187~197.
23. 池亨鎮·南充九·金忠會. 1988. 고추 疫病에 對한 生物學的 防除研究 I. 拮抗菌分離 및 室內와 溫室에서의 力價檢定. 한국식물병리학회지 4(4) : 305~312.
24. 진병래·박범석·제연호·강석권. 1991. 파밤나방 핵다각체병 바이러스의 생화학적 특성. 한국응용곤충학회지 30(2) : 144~149.
25. 김동순·이준호. 1994. 점박이응애(*Tetranychus urticae*) 알에 대한 긴털 이리응애(*Amblyseius longispinosus*)의 採食行動. 한국응용곤충학회지 33(1) : 33~38.
26. 김종국. 1993. 밤나무 흑별의 천적종류와 발생소장. 한국응용곤충학회지 32(3) : 285~290.
27. 金賢郁·朴範錫·陳炳來·任大準·姜錫權. 1989. 누에와 흰불나방 核多角體病 바이러스의 生化學的 特性. 한국응용곤충학회지 28(3) : 105~112.
28. 金容基·崔庸哲·柳甲喜·李庚徽·愼鏞華. 1988. 고추 疫病 防除用 拮抗微生物에 依한 生物學的 防除. 농사시험연구논문집 30(3) : 8~18.
29. 金容基·崔庸哲·柳甲喜·李庚徽. 1989. 拮抗微生物 AC-1(*Bacillus* sp.) 處理時 고추 疫病 防除效果 및 土壤微生物에 미치는 影響. 농사시험연구논문집 31(3 C. P)
30. 岸國平·大畑貫一編. 1986. 微生物と農業. 全國農林水産協會. 328~342.
31. 이승찬·김도익·김상수. 1985. 간자와 응애(*Tetranychus kanzawai*)의 생태 및 천적에 관한 연구. 한국응용곤충학회지 34(3) : 249~255.
32. 李王休·小林喜六. 1988. 사탕무우 根面에서 分離한 항균성 *Pseudomonas* sp.의 동정 및 항균물질의 단리와 동정. 한국식물병리학회지 4(4) : 264~270.
33. 李永熙·沈揆烈·李銀鍾·T.W. Mew. 1990. 室內 및 溫室에서 螢光性 *Pseudomonas* spp.의 水稻 眞菌病에 依한 生物學的 防除效果. 한국식물병리학회지 6(1) : 73~80.
34. 李永根·金政和·朴元穆. 1985. 非病原性 *Pseudomonas solanacearum*을 利用한 담배 세균성 마름병의 방제. 한국식물병리학회지 1(1) : 17~21.
35. 三菱化成 安全科學研究所. 1993. 微生物農藥の現狀と安全性 評價. 化學工業日報社 21~294.
36. Mohammadi. O. 1994. Commercial development of Mycostop biofungicide. Improving plant productivity with Rhizosphere Bacteria.

- Australia : 282~284.
37. 文炳周·鄭厚燮·曹鍾澤. 1988. 딸기 시들음病菌에 대한 *Trichoderma*屬 菌의 拮抗作用에 관한 研究. 韓食毒物病理解학회지 4(2) : 111~123.
 38. 문병주·정후섭·박현철. 1995. 딸기 시들음病菌에 대한 *Trichoderma*속 菌의 길항작용에 관한 연구. V. 중복기생균 *Trichoderma harzianum*에 대한 딸기 시들음병의 생물적 방제. 韓食毒物病理解학회지 11(4) : 298~303.
 39. 文炳周·盧聖煥·曹鍾澤. 1990. 길항세균 *Pseudomonas gladioli*를 이용한 딸기 시들음병의 생물적 방제. 韓食毒物病理解학회지 6(4) : 461~466.
 40. Mortensen, K. 1988. Weed sci. 36 : 473~478.
 41. 西東力. 1994. 施設害蟲의 微生物的 防除, 施設防疫 48(11) : 17~20.
 42. 朴載邑·崔庸哲·愼鏞華·李庚徽. 1988. 抗生物質 生産 放線菌 菌株를 利用한 벼 흰잎마름병 防除에 關한 研究. 農事시험연구 논문집 30(3) : 1~7.
 43. 朴璿憲·金喜圭. 1989. 고추 疫病에 대한 優秀 拮抗菌 *Trichoderma harzianum*과 *Enterobacter agglomerans*의 選拔 및 고추 苗의 拮抗菌 處理方法에 따른 病防除 效果. 韓食毒物病理解학회지 5(1) : 1~12.
 44. Robert. E. Hoagland. 1990. Microbes and Microbial products as Herbicides. : 2~52, 132~175, 276~287.
 45. 류강선·진병래·강석권. 1991. 배추흰나비 과립병 바이러스 DNA의 생화학적 특성. 韓食毒物病理解학회지 30(2) : 138~143.
 46. 신동범·小林紀彦·이준탁. 1994. 길항미생물에 의한 시설재배 딸기 눈마름병의 생물학적 방제. 韓食毒物病理解학회지 19(4) : 112~118.
 47. Smith, R.J., 1968. Jr. Weed Sci. 16 : 252~255.
 48. Smith R.J. 1982. In Biological control of weeds with plant pathogens : 189~203.
 49. 서중복·진병래·신상철·박호용·이병용·이창근·강석권. 1995. 삼림토양으로부터 솔잎혹파리 감염 사상균의 분리. 韓食毒物病理解학회지 34(4) : 368~372.
 50. 鈴井孝仁. 1992. Topics on Risk Assessments of Biological pest control Agents. PSJ Soil-borne Disease Workshop Report : 110~121.
 51. TeBeest, D., Templeton, G, E. 1985. Plant Dis. 69 : 6~10.
 52. 橋邦降·金子邦夫. 1986. 除草劑ピアラホスの開發, 日本農藥學會誌 11(2) : 297~304.
 53. 伴野廣太郎. 1994. 微生物農藥의 登録-박테로즈의 販賣에 到る 經過와 問題點-바이오 컨트롤 研究會 레포트(PSJ Biocont. Rept) 4 : 16~23.
 54. 上野芳夫·大村智. 1986. 微生物藥品化學, 南江堂. 222~227.
 55. 황병국·김은수. 1992. 비병원성 *Phytophthora capsici* 균주에 의한 고추역병의 억제. 韓食毒物病理解학회지 8(1) : 1~7.
 56. 山田昌雄. 1994. 雜草防除のための微生物農藥開發의 現狀(2) 크로그 와이, 스즈메노카타비라의 防除, 바이오 컨트롤 研究會 레포트(PSJ Biocont, Rept.) 4 : 60~69.
 57. 양성식·김충희. 1993. 오이 덩굴쪼김병의 교차보호에 관한 연구. I. 토양내 *Fusarium oxysporum* 균의 분포 및 병원성. 韓食毒物病理解학회지 9(2) : 19~25.
 58. 유익동·김신덕·김창진. 1989. 방선균에 의한 식물생육조절물질 탐색(II). 과학기술처 BSN 7062(2) -144-3.
 59. 유승현·윤해근·심형권. 1994. 매자기에 갈색무늬병(가칭)을 일으키는 *Nimbya scirpicola*. 韓食毒物病理解학회지 10(1) : 61~63.