

한국 잔디 근권에서 분리된 *Streptomyces* spp.의 살균제에 대한 반응조사

이정환¹ · 민규영² · 전창욱³ · 최수민⁴ · 심규열¹ · 곽연식^{3*}

¹한국잔디연구소, ²대정골프엔지니어링, ³경상대학교농업생명과학연구원, ⁴국립산림과학원남부산림자원연구소

Investigation of Fungicide Response of *Streptomyces* spp. Isolated from Rhizosphere in Zoysiagrass

Jung Han Lee¹, Gyu Young Min², Chang Wook Jeon³, Su Min Choi⁴, Gyu Yul Shim¹ and Youn-Sig Kwak^{3*}

¹Korea Turfgrass Research Institute, Seongnam 463-840, Korea

²Daejung Golf Engineering Co. Ltd., Yongin 449-881, Korea

³Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

⁴Southern Forest Resource Research Center, Korea Forestry Research Institute, Jinju, Gyeongnam 660-300, Republic of Korea

(Received on February 3, 2015. Revised on March 26, 2015. Accepted on March 26, 2015)

Abstract *Streptomyces* spp. isolated from turfgrass rhizosphere and tested for their response to large-patch control fungicides. The tested fungicides were actually used in golf course or turfgrass cultivation to prevent large-patch disease. Tolerance to 3 triazole group of the strains was the highest to the PR fungicide, and following the SR fungicide, whereas the isolated strains were no tolerance to HR fungicide. Tolerances to three kind of Strobilurin group were similar for the all of the tested *Streptomyces* spp.. Growth and sporulation of the all strain was normal in CB and AP fungicide treatments. However no spore formulated in double concentration. Strains, tolerance to acetanilide fungicides, appeared that KT fungicide tolerance was higher than MK fungicide. The selected strains showed strong tolerance against AT fungicide but have no tolerance to ATR fungicides. In conclusion, the bacterial strains showed tolerance against 1 carbamate, 1 organophosphate and 1 cyanopyrrole group, while have no tolerance against two mixture formulations (1 Quinone + Strobilurin and 1 Imidazole + Triazole).

Key words Chemical response, Fungicide, *Streptomyces* spp.

서 론

방선균(*Streptomyces* sp.)은 많은 종류의 항균활성물질을 생성하며 경작토양에서는 토양을 매개로 하는 식물병원균을 억제하는 역할에 관여한다(El-Tarabily and Hardy, 2000). 또한 식물의 근권부에서 균주의 세포 밖으로 가수분해할 수 있는 물질을 생산하여 다른 미생물의 생장을 저해하는 중요한 역할을 한다. *Streptomyces*가 분비하는 몇 가지 이차대사산물은 항생작용 및 효소분해능력을 가지고 있어 의학산업과 식물병에 대한 생물적 방제인자로도 이용되

고 있다(Lechevalier, 1988; Gottlieb, 1973; Valois et al., 1996 and Sabaratnam and Traquair, 2002). *Streptomyces* 속 세균을 생물적 방제에 이용하면 화학농약에 비하여 병원균의 저항성 발생이 낮으며 환경오염문제를 일으키지 않는 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 농업에서 식물병 방제를 위하여 *Streptomyces*속을 이용한 경우가 다양하게 보고되고 있다. 토마토의 *Fusarium* 시들음병을 *S. griseus* 균주를 처리하여 방제효과를 높인 결과가 있으며 (Anitha and Rabeeth, 2009). *Streptomyces*속 세균을 처리하여 *Helminthosporium solani* 균주에 의해 발생하는 감자 괴경의 은문병(silver scurf)을 방제한 결과가 있다(Elson, 1997). *Phytophthora capsici* 균주가 일으키는 고추역병을 *Trichoderma harzianum* 균주과 *S. rochei* 균주를 조합 처

*Corresponding author

Tel: +82-55-772-1922, Fax: +82-55-772-1929

E-mail: kwak@gnu.ac.kr

리하여 방제한 연구가 있으며(Ezziyyani et al., 2007) 이외에도 여러 종류의 진균병원균의 생장을 감소시킨다는 연구 결과가 있다(Taechowisan et al., 2005; Errakhi et al., 2007; Maldonado et al., 2010). 진균류인 *Trichoderma* 속에 대한 약제 반응을 조사한 결과는 다양하게 연구되어 있다(Abdel-Moity et al., 1982; Papavizas et al., 1982; Mishra et al., 2004). 이에 반해 세균류에 대해서는 연구가 거의 진행되어있지 않는 것으로 알려져 있고 특히 *Streptomyces*속은 생물적 방제제로 유용하게 이용될 수 있는 균임에도 불구하고 약제에 대한 반응을 조사한 결과는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 잔디 재배지의 토양에서 *Streptomyces* spp. 균주를 분리하여 생물적 방제제로 이용 가능한 균주를 선발하기 위한 약제에 대한 반응을 조사하였다.

재료 및 방법

공시약제

분리된 균주의 항균활성 능력을 검정하여 1차로 선발된 15개 균주의 약제 반응을 조사하기 위하여 적용한 약제는 실제 골프장이나 잔디 재배지에서 사용되는 약제를 대상으로 시험하였다. 사용된 약제는 15개로 단제 13종과 혼합제 2종을 사용하였다. 단제 의 경우 트리아졸계(Triazole) 3종, 스트로빌루린계(Strobilurin) 3종, 아닐라이드계(Acetanilide) 2종, 유기유황계(Organosulfur) 2종, 카바메이트계(Carbamate) 1종, 시아노피롤계(Cyanopyrrole) 1종과 유기인계(Organophosphate) 1종을 사용하였으며, 혼합제는 퀴논계 + 스트로빌루린계(Quinone + Strobilurin) 1종, 이미다졸계 + 트리아졸계(Imidazole + Triazole) 1종을 시험에 사용하였다(Table 1).

Table 1. Information of fungicides used in this study

Chemicals	Chemical group	Active ingredient (content)	Site of action	Mode of action
PR	Triazole	difenoconazole (10%)	C14-demethylase in sterol biosynthesis	DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors)
SR	Triazole	metconazole (20%)	C14-demethylase in sterol biosynthesis	DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors)
HR	Triazole	tebuconazole (25%)	C14-demethylase in sterol biosynthesis	DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors)
CB	Strobilurin	pyraclostrobin (22.9%)	Inhibition of Complex III: cytochrome bc1 (ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors)
AP	Strobilurin	trifloxystrobin (22%)	Inhibition of Complex III: cytochrome bc1 (ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors)
CBA	Strobilurin	pyraclostrobin (22.9%)	Inhibition of Complex III: cytochrome bc1 (ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors)
MK	Acetanilide	flutolanil (15%)	Inhibition of Complex II: succinate-dehydrogenase	SDHI (Succinate DeHydrogenase Inhibitors)
KT	Acetanilide	boscalid (47%)	Inhibition of Complex II: succinate-dehydrogenase	SDHI (Succinate DeHydrogenase Inhibitors)
AT	Organosulfur	etridiazole (35%)	Lipid peroxidation	AH-fungicides (Aromatic Hydrocarbons) & Heteroaromatics
ATR	Organosulfur	propineb (70%)	Multi-site contact activity	Dithiocarbamates and relatives
TS	Carbamate	thiophanate-methyl (70%)	β-tubulin assembly in mitosis	MBC-fungicides (Methyl Benzimidazole Carbamates)
MD	Phenylpyrrole	fludioxonil (50%)	MAP/Histidine- Kinase in osmotic signal transduction (os-2, HOG1)	PP-fungicides (PhenylPyrroles)
RG	Organophosphorus	tolclofos-methyl (50%)	Lipid peroxidation	AH-fungicides (Aromatic Hydrocarbons) & Heteroaromatics
MKN	Quinone + Strobilurin	dithianon (24%) + pyraclostrobin (8%)	Multi-site contact activity + Inhibition of Complex III: cytochrome bc1 (ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	Quinones + QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors)
SK	Imidazole + Triazole	prochloraz-manganese (25%) + tebuconazole (15%)	C14-demethylase in sterol biosynthesis + C14-demethylase in sterol biosynthesis	DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors) (SBI: Class I) + DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors) (SBI: Class I)

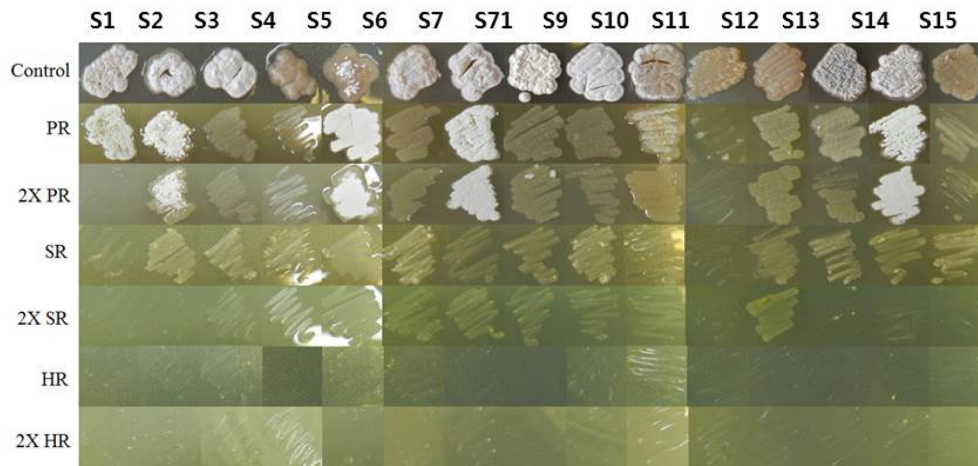


Fig. 1. Growth and sporulation of *Streptomyces* spp. on PDK media containing three triazole groups.

50% 이하로 S15균주는 성장하지 못하는 것으로 나타났다 (Table 2, Fig. 1). SR 약제에 대한 반응은 S2, S3 균주와 S6 균주가 60%로 나타났으며 나머지 균주(S1, S4, S5, S7, S71, S9, S10, S12, S13, S14, S15)들은 50% 이하로 나타났고 S11 균주의 경우에는 전혀 성장하지 못하는 결과로 나타났다(Table 2, Fig. 1). HR 약제처리 결과는 PR 약제와 SR 약제처리와 달리 선발된 모든 균주가 성장하지 못하는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 1). 2배 높은 농도로 희석하여 제조한 배지에서 균의 생장은 PR의 경우 11개의 균주(S2, S3, S5, S6, S7, S71, S9, S10, S12, S13, S14)가 50%이상 성장하는 것으로 나타났으며 4개의 균주(S1, S4, S11, S15)는 30% 이하로 성장하였다. SR 약제처리에서는 S12 균주가 40% 성장하였으며 S3, S6, S7, S71, S9 균주와 S10 균주가 20%로 나타났고 나머지 균주들(S1, S2, S4, S5, S11, S13, S14, S15)에서는 전혀 성장하지 못하는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도의 HR 약제 처리에서는 모든 균주가 성장하지 못하였다(Table 2, Fig. 1).

S4, S11, S12 균주와 S15 균주는 무처리구인 PDK 배지에서 포자를 형성하지 않는 것으로 나타났다. PR 약제의 실제 적용농도에서 S1, S2, S5, S7 균주와 S14 균주가 무처리구와 같이 정상적으로 형성하는 것으로 나타났고 S10 균주가 80%로 나타났으며 S71 균주와 S9 균주가 20%로 나타났다. 이외 균주는 포자형성이 전혀 되지 않는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 1). 2배 높은 농도의 처리에서는 S5, S7 균주와 S14 균주가 정상적으로 형성이 되었고 S2 균주가 60%로 S6 균주와 S71 균주가 20%로 조사되었으며 이 이외의 균주(S1, S3, S9, S10, S13)는 포자형성이 이루어지지 않았다(Table 3, Fig. 1). SR 약제와 HR 약제처리에서는 S6 균주가 SR 약제 실제 적용 농도에서 20% 정도 포자를 형성하였고 나머지 균은 실제 및 2배 높은 농도로 처리한 것에서는 전혀 포자형성이 이루어지지 않는 것으로 나타났다

(Table 3, Fig. 1). 트리아졸계와 이미다졸계 약제는 스테롤 생합성에서 C₁₄ demethylation을 억제하여 항균작용을 하는 중요한 그룹으로 알려져 있다(Siegel, 1981). 본 시험에서 선발된 15개 균주 중 10개 균주는 스테롤 생합성에 문제가 되지 않으며 PR약제와 혼용이 가능할 것으로 판단된다.

스트로빌루린계(Strobilurin)에 대한 약제 반응

선발된 균주의 스트로빌루린계(Strobilurin) 약제 3종류에 대한 약제 반응을 조사한 결과 CB 약제에 대한 균주의 생장은 실제 약제 적용농도에서 모두 무처리구와 같이 정상적으로 성장하는 것으로 나타났으며, 2배 높은 농도에서는 S2와 S15 균주가 80% 정도 성장하였고 이외의 균주들은 정상적으로 성장하였다(Table 2, Fig. 2). AP 약제의 경우 S1과 S15 균주가 80%로 S2 균주가 60%로 나타났으며 이 세 균주를 제외한 균주는 모두 정상적으로 성장하는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 실제 약제 적용농도와 일치하는 결과가 나타났다(Table 2, Fig. 2). CBA 약제 처리에 대하여 S3, S71, S9, S10, S12, S13 균주와 S14 균주는 정상적으로 성장하였으며 S1, S6, S7 균주와 S15 균주는 80%로 성장하였다. S2, S5 균주와 S11 균주는 60%로 나타났으며 S4 균주는 40% 정도 성장하였다. 2배 높은 농도에서는 정상적으로 성장하는 균주는 없었으며 80% 성장하는 균주가 S12 균주와 S14 균주였고 60%인 균주는 S1, S2, S6, S9 균주와 S13 균주였다. 40% 성장하는 균주는 S5, S71 균주와 S10 균주였고 S4, S7, S11 균주와 S15 균주는 생장이 20% 미만으로 나타났다(Table 2, Fig. 2).

포자형성은 CB 약제 처리결과 실제 적용농도에서 PDK 배지에서 포자를 형성하지 않는 균주를 제외한 모든 균주가 포자를 정상적으로 형성하는 것으로 나타났으며 2배 높은 농도로 처리한 것에서는 S1, S2 균주와 S13 균주가 각각 80, 60과 20%로 나타났고 나머지 균주들(S1, S2, 3, S5, S6,

Table 3. Chemical sensitivity of the selected *Streptomyces* spp. based on sporulation index value.5 for 100%, 4 for 80%, 3 for 60%, 2 for 40%, 1 for 20% and 0 for 0%

Spore produce	Chemical name	Isolates														
		S1	S2	S3	S4 ^a	S5	S6	S7	S71	S9	S10	S11 ^a	S12 ^a	S13	S14	S15 ^a
General Concentration	CON	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	-	-	5	5	-
	PR	5	5	0	-	5	0	5	1	1	3	-	-	0	5	-
	SR	0	0	0	-	0	1	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	HR	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	CB	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	-	-	5	5	-
	AP	2	2	5	-	5	5	5	5	5	5	-	-	3	4	-
	CBA	2	0	4	-	0	4	2	5	5	1	-	-	0	4	-
	MK	5	3	5	-	3	5	4	5	5	0	-	-	3	3	-
	KT	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	-	-	5	5	-
	AT	3	3	5	-	5	5	5	5	5	0	-	-	0	4	-
	ATR	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	TS	2	3	5	-	4	5	5	5	5	5	-	-	3	5	-
	MD	2	2	5	-	0	4	0	2	5	3	-	-	1	1	-
	RG	5	5	2	-	3	3	5	0	4	0	-	-	3	4	-
	MKN	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
SK	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-	
Two times higher Concentration	CON	5	5	5	-	5	5	5	5	5	-	-	5	5	-	
	PR	0	3	0	-	5	1	5	1	0	0	-	-	0	5	-
	SR	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	HR	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	CB	4	3	5	-	5	5	5	5	5	5	-	-	2	5	-
	AP	4	3	5	-	2	5	5	5	3	2	-	-	5	5	-
	CBA	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	MK	0	0	0	-	3	0	0	4	0	0	-	-	0	0	-
	KT	5	5	5	-	5	5	5	5	5	4	-	-	5	5	-
	AT	1	0	0	-	1	2	5	5	0	0	-	-	0	2	-
	ATR	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
	TS	2	2	5	-	5	5	5	5	5	4	-	-	2	5	-
	MD	2	2	5	-	0	4	0	2	5	3	-	-	1	1	-
	RG	5	5	3	-	4	5	5	5	5	5	-	-	4	3	-
	MKN	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-
SK	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	-	

^aStrains did not sporulate.

S7, S71, S9, S10, S14)은 모두 포자를 형성하는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 2). 선발된 균주의 AP 약제 처리에 대한 포자형성은 S1 균주와 S2 균주가 40%로 S13 균주와 S14 균주가 각각 60%와 80%로 포자가 형성되는 것으로 나타났다. 이외의 균주들(S3, S5, S6, S7, S71, S9, S10)은 모두 포자를 정상적으로 형성하는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도로 처리한 결과 S5 균주와 S10 균주가 40%로 나타났으며 S2 균주와 S9 균주는 60%로 나타났으며 나머지(S3, S6, S7, S71, S13, S14)는 모두 80% 이상 포자를 형성하는 것으로 나타났다(Table 3 Fig. 2). CBA 약제의 경우 S3, S6,

S71, S9 균주와 S14 균주는 60% 이상으로 나타났으며 S1, S2, S5, S7, S10 균주와 S13 균주는 60% 이하로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 모든 균주가 포자를 형성하지 않는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 2). 스트로빌루린계 약제는 진균의 호흡과 관련된 cytochrome b와 c 사이의 전자전달을 저해하여 병원균을 억제한다고 알려져 있다(Fernández-Ortuño et al., 2008). 시험결과 스트로빌루린계 약제 3종은 시험 균주의 생장에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 CBA 약제를 2배 높은 농도로 처리하였을 때 특정 균주들은 정상적으로 성장하지 못하는 것으로 나타났으나 기준농

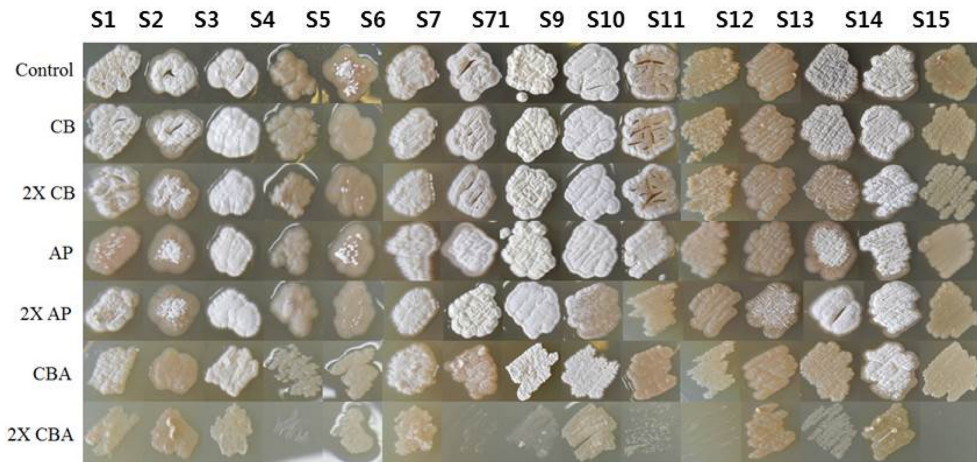


Fig. 2. Colony types of *Streptomyces* spp. on PDK media containing three strobilurin groups.

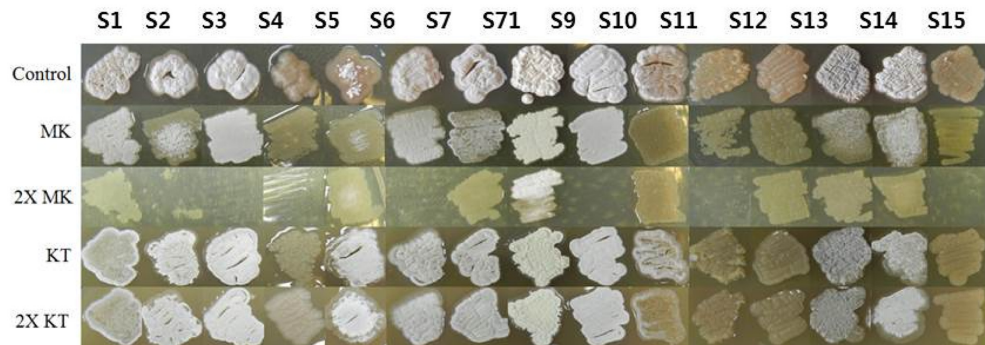


Fig. 3. Sensitivity test of *Streptomyces* spp. against two acetanilide groups on PDK media.

도로 처리하면 모든 균주와 약제가 혼용이 가능할 것으로 판단된다.

아닐라이드계(Acetanilide)와 유기유황계(Organosulfur)에 대한 약제 반응

아닐라이드계(Acetanilide) 2종, 유기유황계(Organosulfur) 2종에 대한 선발균주의 반응을 조사한 결과 아닐라이드계의 MK 약제에 대한 생장은 실제 약제 적용농도에서 S10, S11 균주와 S15 균주는 60%로 나타났으며 이외의 균주는 모두 80% 이상 성장하였다. 2배 높은 농도에서는 80%로 자라는 것이 7개 균주(S5, S7, S71, S10, S12, S13, S14)였고 S1, S2 균주와 S3 균주는 각각 60, 40과 20%로 나타났다. S4, S6, S9, S11 균주와 S15 균주는 성장하지 못하는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 3). KT 약제에 대하여는 실제 적용농도와 2배 높은 농도에서 모두 PDK 배지에서 성장하는 것과 일치하였다(Table 2, Fig. 3). 유기유황계의 AT 약제의 경우 실제 적용농도에서 S4, S11 균주와 S15 균주는 40, 40과 60%로 나타났고 이외의 균주(S1, S2, S3, S5, S6, S7, S71, S9, S10, S12, S13, S14)는 80% 이상으로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 S4 균주가 40%로 S1, S2, S3, S6, S71, S9,

S11 균주와 S12 균주가 60%로 S5, S10, S13, S14 균주와 S15 균주가 80%로 나타났으며 S7 균주와 S71 균주는 PDK 배지에서 성장하는 것과 동일하였다(Table 2, Fig. 4). ATR의 경우 실제 적용농도와 2배 높은 농도에서 모두 성장하지 못하였으며 포자형성도 하지 않는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 4).

선발된 균주의 아닐라이드계(Acetanilide) MK 약제 처리에 대한 포자형성은 실제 적용농도에서는 S1, S3, S6, S71 균주와 S9 균주가 PDK 배지에서 포자를 형성하는 것과 동일하였다. S7 균주는 80%로 나타났으며 S2, S5, S13 균주와 S14 균주는 60%로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 S5 균주와 S71 균주가 각각 60%와 40%로 나타났으며 나머지 균주들(S1, S2, S3, S6, S7, S9, S10, S13, S14)은 포자를 형성하지 않는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 3). KT 약제는 실제 적용농도에서 모두 포자를 형성하는 것으로 나타났으며 2배 높은 농도에서는 S10 균주가 80%로 형성되는 것을 제외하고는 모두 정상적으로 포자를 형성하였다(Table 3, Fig. 3). 유기유황계(Organosulfur)인 AT 약제의 실제 적용농도에서 6개의 균주(S3, S5, S6, S7, S71, S9)가 포자를 정상적으로 형성하였으며 S1 균주와 S2 균주는 60%로 나타

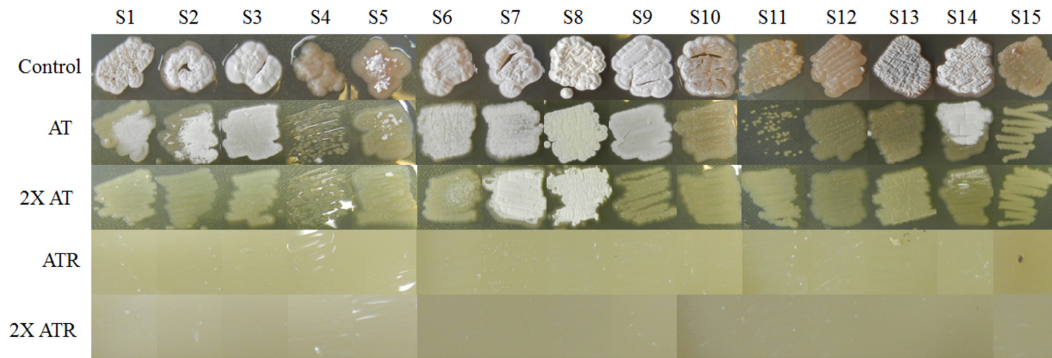


Fig. 4. Organosulfur groups fungicide sensitivities of selected *Streptomyces* spp. on PDK.

났다. S14 균주는 80%로 S10 균주와 S13 균주는 형성하지 않는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 S7 균주와 S71 균주가 정상적으로 포자를 형성하였으며 S6 균주와 S14 균주가 40%로 S1 균주와 S5 균주가 20%로 나타났으며 S2, S3, S9, S10 균주와 S13 균주의 경우 포자를 형성하지 않는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 4). 아닐라이드계 약제는 succinate dehydrogenase를 억제하여 미토콘드리아의 호흡을 방해하는 작용을 하고(Avenotand Michailides, 2010) 유기유황계 약제의 경우 multi-site로 살균효과를 나타낸다고 알려져 있다(Gisi and Sierotzki, 2008). 15개 균주의 아닐라이드계 약제 대한 반응을 조사한 결과 모두 혼용이 가능한 것으로 나타나다. 유기유황계의 AT 약제와 혼용이 가능한 균주는 모두 12개 균주로 나타났으나 ATR 약제와는 혼용이 불가능한 것으로 나타났다.

카바메이트계(Carbamate), 시아노피롤계(Cyanopyrrole)와 유기인계(Organophosphate)에 대한 약제 반응

카바메이트계(Carbamate), 시아노피롤계(Cyanopyrrole)와 유기인계(Organophosphate) 약제에 대한 선발된 균주의 생리적인 반응은 카바메이트계인 TS 약제를 실제 처리농도에서 S1 균주와 S2 균주의 생장이 80%로 나타났으며 나머지 균주들(S3, S4, S5, S6, S7, S71, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15)은 모두 정상적인 성장하였다. 2배 높은 농도에서는 S4 균주와 S15 균주가 각각 0%와 20%로 성장하였으며 나머지 균주들은 모두 80% 이상 성장하는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 5). 포자형성은 실제 적용농도에서 S1 균주가 40%로 S2 균주가 40%로 S13 균주가 60%로 나타났으며 이외의 균주들(S3, S5, S6, S7, S71, S9, S10, S14)은 모두 정상적으로 포자형성이 되는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 S1, S2 균주와 S13 균주가 40%로 나타났고 나머지 균주들은 모두 포자가 잘 형성되는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 5).

시아노피롤계의 MD 약제에 대하여는 10개의 균주(S1, S2, S4, S5, S6, S9, S10, S12, S13, S14)가 약제 처리에

80%이상의 성장을 보였으며 5개의 균주(S3, S7, S71, S11, S15)는 60% 이하의 성장을 보였다. 2배 높은 농도로 처리한 경우에도 실제 적용농도로 처리한 것과 유사하게 나타났다(Table 2, Fig. 5). 포자형성의 경우 실제 적용농도와 2배 높은 농도로 처리한 것의 포자형성이 일치하는 것으로 나타났다. S3, S6 균주와 S9 균주가 80% 이상으로 나타났고 8개의 균주들(S1, S2, S5, S7, S71, S10, S13, S14)은 60% 이하로 나타났다(Table 3, Fig. 5).

유기인계 RG 약제의 실제 적용농도에서 S1, S2, S7 균주와 S9 균주의 경우 생장이 100%로 잘되는 것으로 나타났고 S6, S10, S12, S13 균주와 S14 균주는 80%로 나타났다. S3 균주와 S15 균주는 60%로 나머지 균주들(S4, S5, S71, S11)은 40%이하로 나타났다. 2배 높은 농도에서는 9개 균주(S1, S2, S6, S7, S9, S10, S13, S14, S15)가 80% 이상으로 S3, S5, S71 균주와 S12 균주는 60%로 S4 균주와 S11 균주는 각각 0%와 40%로 나타났다(Table 2, Fig. 5). 포자형성은 실제 적용농도에서 S1, S2, S7, S9 균주와 S14 균주가 80% 이상으로 S3, S5, S6 균주와 S13 균주가 각각 40, 60, 60,과 60%로 나타났다. S71 균주와 S10 균주는 포자를 형성하지 않는 것으로 나타났다. 2배 높은 농도로 처리한 것의 포자형성 실제 적용농도와 비슷하게 나타났다(Table 3, Fig. 5).

카바메이트계 약제는 체세포분열에서 필수적인 β -tubulin 조립과정을 저해하는 기작을 가지고 있고 시아노피롤계는 삼투신호전달에서 MAPKinase나 HistidineKinase를 저해하는 것으로 알려져 있으며 유기인계 약제는 지질과산화를 저해하는 것으로 알려져 있다(Guan et al., 2014; Yoshimi et al., 2005; Altuntas et al., 2002). 카바메이트계인 TS 약제와 15개 균주 모두 혼용이 가능한 것으로 보이며 시아노피롤계의 MD 약제와 10개의 균주가 혼용이 가능한 것으로 나타났다. 또한 유기인계 RG 약제와는 9개 균주가 혼용이 가능할 것으로 판단된다.

혼합제에 대한 약제 반응

퀴논계 + 스트로빌루린계(Quinone + Strobilurin) 혼합제 1

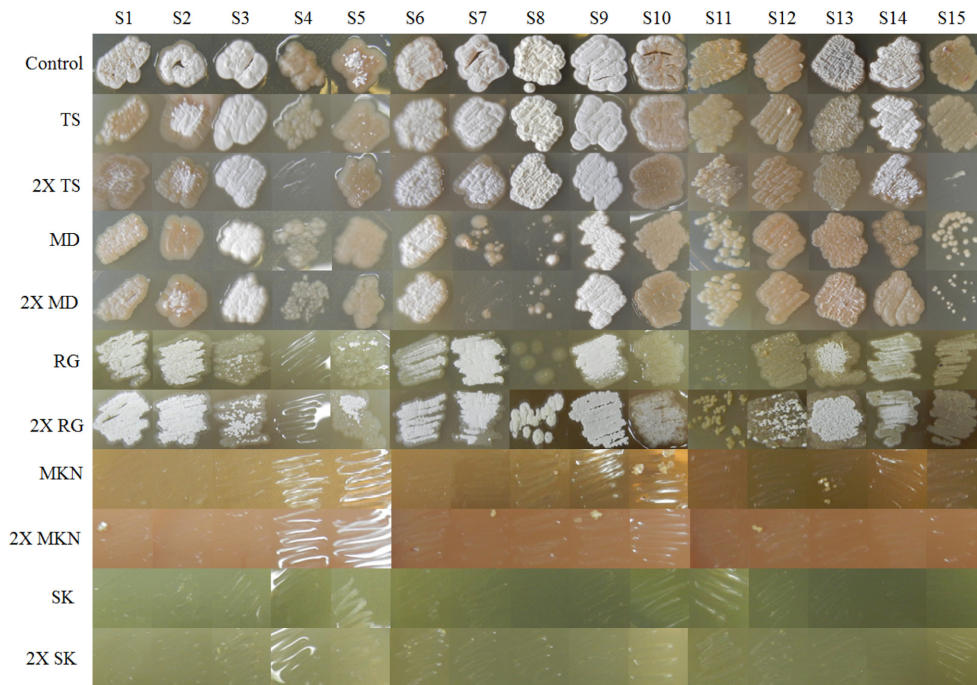


Fig. 5. Colony types of *Streptomyces* spp. on PDK medium containing one carbamate group (TS), one phenylpyrrole group (MD), one organophosphorus group (RG) and two mixture formulations (MKN and SK).

종과 이미다졸계 + 트리아졸계 (Imidazole + Triazole) 1종의 생장과 포자형성을 조사한 결과 선발된 15개 균주 모두 실제 적용농도와 2배 높은 농도로 처리한 것 모두 전혀 성장하지 않았고 포자도 형성하지 않은 것으로 나타났다 (Table 2, Table 3, Fig. 5).

병해충종합관리(Integrated Pest Management, IPM)는 환경 친화적이고 지속 가능한 방법으로 병해충을 관리하는 것을 의미하며 작물과 병해충의 생태를 이해하여 효율적인 병해충 방제 방법을 지향하고 작물의 생산성을 우선으로 병해충에 의해 작물이 피해를 입더라도 가장 경제적인 선에서 병해충을 방제하는 것을 의미한다 (Chandler, 2011). 병해충 종합관리에 의해 작물이 재배되고 생산될 때 생물적 방제제가 농약에 대하여 영향을 받지 않는다면 좀 더 경제적으로 관리가 이루어질 것이다. 본 연구에서 단계 및 혼합제로 트리아졸계, 스트로빌루린계, 아닐라이드계, 유기유황계, 카바메이트계, 시아노피롤계, 유기인계, 퀴논계, 이미다졸계의 약제를 이용하여 선발된 15개 균주의 약제 반응을 조사하였다. 조사 결과는 퀴논계 + 스트로빌루린계 혼합제와 이미다졸계 + 트리아졸계 혼합제는 15개 균주 모두 성장하지 않는 것으로 나타났다. 단계에 대한 선발된 균주의 약제 반응은 대부분 몇 개의 약제를 제외하고는 성장에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 병해충종합관리라는 측면에서는 충분히 이용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구결과가 가지는 중요성은 친환경 방제에서 생물적 방제제로 이용되는 균주가 약제 반응 검정이 없이 사용되게

된다면 화학적 방제에 의해 생물적 방제효과가 감소되거나 없을 수 있는 가능성이 커질 것으로 예측된다. 본 실험에서와 같이 생물적 방제제의 약제 반응 검정은 필수적으로 이루어져야 한다고 사료된다. 생물적 방제제로 이용되는 균주들의 약제 반응 검정 시험은 극히 드물게 이루어져왔다. 진균류인 *Trichoderma* 속에 대한 약제에 대한 반응을 조사한 결과는 다양하게 연구되어왔으나 세균류 대해서는 연구가 거의 진행되어 있지 않다. *Trichoderma* 속과 *Bacillus subtilis* 와 *Pseudomonas fluorescens*에 대하여 carbendazim, mancozeb, metalaxyl, captan, thiram과 nemacur에 대하여 약제에 대한 반응을 조사한 결과가 보고되어있으며 (Mohiddin & Khan, 2013) 생물적방제제로 이용되는 균주인 *T. harzianum*에 대하여 chlorothalonil, captan과 captafol에 대한 반응을 조사한 결과가 있다 (Abdel-Moity et al., 1982; Papavizas et al., 1982; Mishra et al., 2004). 특히 본 연구에서 선발한 *Streptomyces* 속은 생물적 방제제로 유용하게 이용될 수 있는 균임에도 불구하고 약제에 대한 반응을 조사한 결과는 거의 없는 실정으로 본 실험에서 수행한 것과 같이 약제 반응 조사하는 것은 중요한 의미가 있다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청원예특작과학원연구(과제번호: PJ 010904)의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며 이에 깊은 감사 드립니다.

Literature Cited

- Abdel-Moity, H., G. C. Papavizas and M. N. Shatia (1982) Induction of new isolates of *Trichoderma harzianum* tolerant to fungicides and their experimental use for control of white rot of onion. *Phytopathology*. 72:396-400.
- Altuntas, I., N. Delibas and R. Sutcu (2002) The effects of organophosphate insecticide methidathion on lipid peroxidation and anti-oxidant enzymes in rat erythrocytes: role of vitamins E and C. *Hum. Exp. Toxicol.* 21:681-685.
- Anitha, A. and M. Rebeeth (2009) In vitro antifungal activity of *Streptomyces griseus* against phytopathogenic fungi of tomato field. *Acad. J. Plant Sci.* 2:119-123.
- Avenot, H. F. and T. J. Michailides (2010) Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. *Crop Prot.* 29:643-651.
- Chandler, D., A. S. Bailey, G. M. Tatchell, G. Davidson, J. Greaves and W. P. Grant (2011) The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 366:1987-1998.
- El-Tarabily, K. and St. J. Hardy (2000) Biological control of *Sclerotinia minor* using a chitinolytic bacterium and actinomycetes. *Plant Pathol.* 49:573-583.
- Errakhi, R., F. Bouteau, A. Lebrihi and M. Barakate (2007) Evidences of biological control capacities of *Streptomyces* spp. against *Sclerotium rolfsii* responsible for damping-off disease in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *World J. Microbiol. Biotechnol.* 23:1503-1509.
- Ezziyyani, M., M. E. Requena, C. Egea-Gilabert and M. E. Candela (2007) Biological control of *Phytophthora* root rot of pepper using *Trichoderma harzianum* and *Streptomyces rochei* in combination. *J. Phytopathol.* 155:342-349.
- Fernández-Ortuño D, J. A. Torés, A. de Vicente and A. Pérez-García (2008) Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. *Int. Microbiol.* 11:1-9.
- Gisi, U. and H. Sierotzki (2008) Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. *Eur. J. Plant Pathol.* 122:157-167.
- Guan, Q., C. Han, D. Zuo, M. Zhai, Li, Z. Zhang, Q. et al. (2014) Synthesis and evaluation of benzimidazole carbamates bearing indole moieties for antiproliferative and antitubulin activities. *Eur. J. Med. Chem.* 24:306-315.
- Lechevalier, M. P. (1988) Actinomycetes in agriculture and forestry. In *Actinomycetes in Biotechnology* Goodfellow, M. Williams, S.T. Mordarski, M. Eds; Academic Press: London, pp. 327- 348.
- Maldonado, M. C., C. E. Oroasco, M. A. Gordillo and A. R. Navarro (2010) In vivo and in vitro antagonism of *Streptomyces* sp. RO3 against *Penicillium digitatum* and *Geotrichum candidum*. *Afr. J. Microbiol. Res.* 4:2451-2556.
- Mishra, A., S. D. Sharma and S. I. Patel (2004) Cross tolerance of *Trichoderma harzianum* Rifai to fungicides. *Indian Phytopathol.* 38:207-211.
- Mohiddin, F. A. and M. R. Khan (2013) Tolerance of fungal and bacterial biocontrol agents to six pesticides commonly used in the control of soil borne plant pathogens. *Afr. J. Agric. Res.* 8:5331-5334.
- Papavizas, G. C., J. A. Lewis and T. H. Abdel Moity (1982) Evaluation of new biotypes of *T. harzianum* for tolerance to benomyl and enhanced biocontrol capabilities. *Phytopathology*. 72:126-132.
- Sabaratnam, S. and J. A. Traquair (2002) Formulation of a *Streptomyces* biocontrol agent for the suppression of *Rhizoctonia* damping-off in tomato transplants. *Biol. Cont.* 23:245-253.
- Siegel, M. R. (1981) Sterol-inhibiting fungicides: effects on sterol biosynthesis and sites of action. *Plant Dis.* 65:986-989.
- Valois, D., K. Fayad, T. Barasubiye, M. Caron, C. Dery, R. Brzezinski and C. Beaulieu (1996) Glucanolytic actinomycetes antagonistic to *Phytophthora fragariae* var. *rubi*, the causal agent of Raspberry root rot. *Appl. Environ. Microbiol.* 5:1630-1635.
- Yoshimi, A., K. Kojima, Y. Takano and C. Tanaka (2005) Group III histidine kinase is a positive regulator of hog1-type mitogen-activated protein kinase in filamentous fungi. *Eukaryot Cell.* 4:1820-1828.

한국 잔디 근권에서 분리된 *Streptomyces* spp.의 살균제에 대한 반응조사

이정환¹ · 민규영² · 전창욱³ · 최수민⁴ · 심규열¹ · 곽연식^{3*}

¹한국잔디연구소, ²대정골프엔지니어링, ³경상대학교농업생명과학연구원, ⁴국립산림과학원남부산림자원연구소

요 약 골프장이나 잔디 재배지에서 분리된 방선균을 대상으로 잔디병 방제 약제에 대한 약제 반응 조사한 결과 트리아졸계(Triazole) 약제 3종에 대한 반응은 PR 약제의 경우 시험 균주에 가장 영향을 미치지 않았고 다음으로 SR 약제로 나타났다. 반면에 HR 약제에 대하여 모든 균주는 성장하지 않는 것으로 나타났다. 스트로빌루린계(Strobilurin) 3종에 대한 반응은 선발된 균주 모두 유사하게 나타났다. CB와 AP 약제 경우 균주의 성장과 포자형성이 잘되었으나 CBA 약제 경우 2배 농도에서 선발된 균주 모두 포자형성이 되지 않았다. 아닐라이드계(Acetanilide) 2종에 대한 반응은 MK 약제보다 KT 약제 잘 성장하였다. 유기유황계(Organosulfur) 2종에 대한 약제반응은 AT 약제에서 잘 성장하였으며 ATR 약제에서는 자라지 않는 것으로 나타났다. 카바메이트계(Carbamate) 1종, 유기인계(Organophosphate) 1종과 시아노피롤계(Cyanopyrrole) 1종에 대하여 시험 균주는 생장에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 퀴논계 + 스트로빌루린계(Quinone + Strobilurin) 혼합제 1종과 이미다졸계 + 트리아졸계(Imidazole + Triazole) 1종에 대하여는 전혀 성장하지 않는 것으로 나타났다.

색인어 약제 반응, 살균제, 방선균