

총 설

Acidovorax avenae subsp. *avenae*에 의한
벼세균성줄무늬병 (細菌性褐條病)의 연구동향

송완엽 · 강미형 · 김형무*
전북대학교 농과대학 생물자원과학부

Current Status of Bacterial Brown Stripe of Rice Caused by
Acidovorax avenae subsp. *avenae*

Wan-Yeob Song, Mi-Hyung Kang and Hyung-Moo Kim*

Faculty of Biological Resources Science, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

Acidovorax avenae subsp. *avenae* is the causal pathogen of several hosts including oats, corn, foxtail, millet, wheatgrass, sugarcane, and rice. The pathogen is a seedborne pathogen of rice and known to occur widely in rice growing countries. The pathogen causes inhibition of germination, brown stripe on the leaf, curling of the leaf sheath and abnormal elongation of the mesocotyl of rice. Bacterial colonies grow slowly and are convex, circular and creamy with tan to brown center. The causal bacterium is Gram-negative and rod shape with a single polar flagellum. Nonfluorescence, poly- β -hydroxybutyrate accumulation and precipitate formation around the colony on the medium are useful in the differentiation of this bacterium from other subspecies of *A. avenae* as well as nonfluorescent bacteria pathogenic to rice. This bacterium has belonged to the genus of *Pseudomonas* but recently was transferred to the new genus *Acidovorax* on the basis of bacteriological and molecular biological data. However, the difference of biochemical characteristics, protein profile of the cell and host range among strains should be more clarified. To develop an effective control strategy for this disease, understanding of detailed life cycle of the disease, critical environmental factors affecting disease development on each host and relationship to grain discoloration of rice are prerequisite. Although the affected area has been world-widely reported, there is no exact estimation of yield loss and the distribution of the pathogen in Korea. This review will focus on recent progress on the understanding of the bacteriological and ecological characteristics of the causal bacterium and control means of the disease.

Keywords : *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, bacterial brown stripe, rice.

Acidovorax avenae subsp. *avenae*는 기주로 처음 보고된 귀리 (Manns, 1909) 외에도, 옥수수, 사탕수수 및 벼를 비롯한 다수의 화본과 식물에서 주로 엽고 (blight) 또는 줄무늬 (stripe) 병징을 일으키며, 우리 나라를 포함한 30여 개국의 여러 기주에서 병을 발생시키고 있다. 국내에서는 벼의 세균성줄무늬병 (細菌性褐條病) (Shakya와 Chung, 1980) 만이 보고되어 있고

다른 화본과 작물에서는 보고된 바 없다. 효과적인 본 병의 방제를 위해서는 병환에 대한 정확한 이해, 기주에서 병의 진전에 영향을 미치는 환경요인 및 종자전염 등에 대한 정확한 이해가 선행되어야 하나, 여기에 대한 연구가 부족한 실정이다. 더욱이 발병지역이 세계적으로 분포하고 있지만, 국내에서는 본 병원균에 의한 정확한 피해상황이나 발생분포에 대한 평가조차 없다.

Table 1에서와 같이 다양한 기주식물에서 엽고 또는 갈색 및 적색 줄무늬 병징을 일으키는 것으로 보고된 본 병원균은 분류학적으로 다양하게 분류되었다가, *Pseudomonas avenae*로

* Corresponding author
Phone) +82-652-270-2527, Fax) +82-652-270-2531
E-mail) mc1258@moak.chonbuk.ac.kr

Table 1. Original description and symptom of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* on different host

Reported species	Symptom	Host	Reference
<i>Pseudomonas avenae</i>	Bacterial blight	Oat	Manns, 1909 Schaad <i>et al.</i> 1975
<i>P.(Bacterium) panici</i>	Stripe	Proso millet	Elliott, 1923
<i>P. alboprecipitans</i>	Bacterial disease	Foxtail	Rosen, 1922
	Bacterial leaf blight, stalk rot Brown stripe	Corn Forage crops: teosinte, wheatgrass, bromgrass, rescuegrass, maize, ragi, Rice	Johnson <i>et al.</i> , 1949 Tominaga, 1971
	Brown stripe	Ragi	Nishiyama <i>et al.</i> , 1979
<i>P.(Bacterium) setariae</i>	Brown stripe	Italian millet	Okabe, 1934
	Brown stripe	Bromgrass/wheatgrass	Tominaga, 1968
<i>P. eleusinae</i>	Stripe	Ragi	Billimoria & Hegde, 1971
<i>P.(Phytomonas) rubrilineans</i>	Red stripe	Sugarcane	Lee <i>et al.</i> , 1925
			Hayward, 1962

통합되었으나 최근에 Willems 등 (1992)에 의해 *A. avenae* subsp. *avenae*로 재분류가 이루어진 바 있다. 그러나, 보고된 strain 간의 세균학적 특성 및 기주범위에 대한 결과에서 여러 가지 일치하지 않는 특성들이 보고되어 있으며, 특히 벼에서 분리된 strain과 타 기주로부터 분리된 strain들과는 여러 가지 특성에 있어 많은 차이가 있으나 이같은 차이점들이 충분히 반영되지 않은 것으로 사료된다. 따라서 이 병원균의 strain간의 상호관련 및 분류의 정확성 여부를 검증하는 연구가 뒤따라야 될 것으로 사료되며, 이와같은 차이를 비교하는데 필요한 본 병의 발생, 병원성, 병원균의 분류학적 특성, 병원균의 검정 및 방제등에 대하여 종합적으로 기술하고자 한다.

병징 및 증자전염. 본 병은 주로 벼, 옥수수 및 귀리 등에 집중하여 보고되어 있으며, 주로 잎에 황색 또는 갈색의 줄무늬 병징을 일으키며 병징이 잎집까지 확대된다.

자연상태의 기주에대한 감염 및 인위접종에 의해 병을 일으키는 기주는 Table 2와 같이 다양하다 (Bradbury, 1986). 벼에서는 주로 잎의 갈색 줄무늬를 일으키고 종자에도 감염되나 종자에서 전형적 병징은 나타나지 않으며 주로 유효기에 많은 피해를 준다 (Kadota와 Ohuchi, 1990). 유효기 병징으로 종자의 발아억제, 잎에 갈색 줄무늬, 잎집의 구부러짐(腰曲) 및 중배축(中胚軸)의 비정상적 신장 등이 주요 증상이다. 이 병에 심하게 감염된 모를 이앙할 경우, 2주 내에 죽게 되지만, 약하게 감염되었을 경우에는 병징이 은폐되기도 한다. 수잉기

이후에 벼가 홍수에 의해 침수되는 경우를 제외하고 병의 자연적인 발생은 나타나지 않으며, 출수기의 개화일 전후에 병원균이 종자를 침입하나 종자에서 뚜렷한 병징은 나타나지 않는다. 인도네시아에서는 벼에서 적색줄무늬병을 일으키는 세균이 *A. avenae* subsp. *avenae*로 보고된 바 있으나 병징이 다소 달라서 동종내의 다른 pathovar로 간주되고있다 (Hakim, 1996). 벼에서 본 병원균은 종자전염 되는 것으로 알려져 있으며, 29개국으로부터 수집된 벼종자 중 28개국의 종자가 병원균에 감염되었고, 5°C에서 8년동안 보관된 종자에서도 병원균이 생존하였다 (Shakya 등, 1985). 변색미와도 관련이 있으며 변색미뿐만 아니라 건전미에서도 분리되었다 (Zeigler와 Alvarez, 1990; Xie 등, 1998). 병원균의 존재 부위가 명확하게 밝혀져 있지는 않으나 종피내에서 발견된 결과로 보아 종피내에 존재하는 것으로 알려졌다 (Shakya 등, 1986).

옥수수에서는 전생육기간에 걸쳐 발생되며 전형적인 병징은 엽초에 엽고와 잎자루 부패(stalk rot)가 나타난다 (Johnson 등, 1949). 그러나 다른 연구에 의하면 잎자루 부패는 발생되지 않는다는 보고도 있다 (Summer와 Schaad, 1977). 귀리에는 유효기에서 출수기까지 발생하며, 잎에는 초기에 수침상의 병반이 나타나고 후에 담록색의 줄무늬가 엽맥에 형성되며, 엽초에는 폭이 좁은 암갈색의 줄무늬가 형성된다. 종자상의 병징은 불분명하다 (Goto와 Okabe, 1952).

병원균의 전염 경로 및 발생 환경. 옥수수에서 본 병원균

Table 2. Reported natural host, artificial host and geographical distribution of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*^a

Natural host	Artificial host	Geographical distribution
<i>Agropyron intermedium</i>	<i>Agropyron elongatum</i>	Bangladesh, Bhatan, Brazil,
<i>A. trichophorum</i>	<i>Alopecurus pratensis</i>	China, Colombia, Costa Rica,
<i>A. sativa</i> ^b	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Egypt, India, Indonesia, Japan,
<i>Bromus catharticus</i>	<i>Bromus arvensis</i>	Korea, Leone, Madagascar,
<i>B. marginatus</i>	<i>B. inermis</i>	Malawi, Mexico, Mozambique,
<i>Caryotal mitis</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	Nepal, Nigeria, Pakistan,
<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>F. elatior</i>	Paraguay, Phillipines,
<i>Echinochloa crusgalli</i>	<i>Holcus lanatus</i>	Portugal, Sierra, Srilanka,
<i>Elusine coracana</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	Sudan, Surinam, Taiwan,
<i>Euchlaena mexicana</i>	<i>Lolium mutiflorum</i>	Thailand, Turkey, Uruguay,
<i>Oryzae sativa</i>	<i>L. perenne</i>	USA, Zaire.
<i>Panicum hirsutum</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	
<i>Paspalum urvillei</i>	<i>Poa pratensis</i>	
<i>Setaria italica</i>	<i>Secale cereale</i>	
<i>S. lutescens</i> ^b	<i>Setaria geniculata</i>	
<i>S. viridis</i>	<i>Sorghum sudanense</i>	
<i>Sorghum bicola</i> (<i>S. vulgare</i>)	<i>Triticum aestivum</i>	
<i>Zea may</i>		

^aAdapted from Bradbury (1986).

^bOriginal description.

Table 3. Bacteriological characteristics of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*^a

Characteristics	<i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>avenae</i>
Gram stain	- ^b
Flagellum	1 polar
Fluorescein	-
PHB accumulation	+
Optimum growth temperature	36°C
Nitrate reduction	+
Denitrification	-
Oxidase	-
Arginine dihydrolase	-
Potato soft rot	-
H ₂ S production	-
Litmus milk peptonization	+
Lipid hydrolysis	+
Gelatine hydrolysis	v
Starch hydrolysis	±
Acid production	
in 7 days from galactose, glucose, mannitol,	+
in 10 days from glycerol.	+
lactose, maltose, sucrose	+
Sole carbon source :	
L-leucine, D-sorbitol, D-xylose	+
D-arabinose, inositol,	
L- threonine, D-trehalose	-

^aAdapted from Bradbury (1986).

^bSymbols: +, positive; ±, slight; v, variable; and -, negative.

은 주로 종자 및 주변 잡초를 통하여 전염되는 것으로 알려져 있으며, 벼에서는 종자전염만 언급되어 있고 포장내의 잡초를 통한 전염에 대한 보고는 없다.

벼의 유묘에 세균성줄무늬병을 일으키는 1차전염원은 본 병원세균을 보유한 종자이다. 종자에 감염되는 시기는 출수개화 기이며, 이병유묘를 이양한 논에서 수확한 종자는 보균율이 높다. 이듬해 종자의 췌아 기간중에 병원균이 급속히 증식되고, 증식한 병원세균은 종자에 부착한 상태로 육묘상에 분산되며, 보균종자에서 건전종자로 육묘상에서 2차전염되어 병해가 확대된다 (Kadota, 1996; Kadota와 Ohuchi, 1990).

옥수수 갈색줄무늬병의 1차전염원은 포장 주변에서 생육하는 잡초인 vassegrass (*Paspalm urvillei* Steud)로 알려져 있다 (Gitaitis 등, 1978). 본 병원균에 감염된 잡초의 잎은 엷고 증상을 나타낸다. 병원균은 종자전염이 이루어지며, 본 잡초로부터 분리된 세균은 옥수수에 병원성이 있다. 따라서 잡초로부터 옥수수로의 감염과 작업기계를 통한 감염의 가능성이 있다. 이 외에도 감염식물의 잔사와 토양전염원 등으로부터 본 병이 유래될 가능성도 있다 (Summer와 Schaad, 1977).

A. avenae subsp. *avenae*의 세균학적 특성. *A. avenae* subsp. *avenae*의 형태 및 배양적 특성은 Gram 음성이며 포자를 형성하지 않고, 간상형으로서 단극에서 두 개의 편모가 관찰되기도 하나 주로 하나의 편모이다. 비형광성이고 poly-β-

hydroxybutyrate를 축적하는 것이 주요한 특징이다. 특히 yeast extract-dextrose-calcium carbonate 배지에서 cream색의 집락을 이룬다. 배지에서 타세균에 대한 상대적 발육속도는 느린편이며, 특히 벼의 종자로부터 *A. avenae* subsp. *avenae*의 분리시에 *Pantoea herbicola* 및 타 부생성 세균의 초과 발육 및 유사한 형태의 집락들로 인해서 일반배지에서는 본 세균을 분리하는 것이 쉽지가 않다. 선택배지에서도 *Burkholderia glumae* 또는 *Burkholderia plantarii* 등의 벼의 주요 병원균과 형태적 특성이 유사하여 혼선을 초래한다. 41°C의 고온에서도 발육하는 특성이 있어, 본 병원균만의 특이적 검출을 위하여 36°C의 고온에서 배양하는 방법을 이용하기도 한다 (Kadota, 1996).

Type strain은 NCPPB 1011 (ATCC 19860; ICPB PA 117; PDDCC 3183) 이며, 세균학적 주요특성은 Table 3과 같다. 그러나 다양한 기주에서 다양한 학명으로 보고된 바와같이, 생리생화학적 특성에 있어서도 보고자에 따라서 또는 분리된 기주에 따라서 차이가 있다.

분류학적 위치. 전술된 여러 가지 차이들을 고려할 때, 분류학적인 기원, strain간의 연관관계 및 차이점 등은 향후의 subspecies 내에서 보다 정확한 분류학적 유연관계분석에 필요하다. 따라서 최근의 분류체계가 적용되기까지의 각 과정 또한 이와같은 분석에 개별적으로 중요한 의미를 가진다.

A. avenae subsp. *avenae*는 표현형적 특성 및 DNA-rRNA와 DNA-DNA hybridization에 근거하여 나뉘어진 *Pseudomonas*의 5개의 group 가운데, rRNA super family내의 acidovorans rRNA complex의 일부인 rRNA group III (section III)에 *P. avenae*로서 포함되어져 있었다 (Palleroni, 1984). 그러나 acidovorans rRNA complex에 본 species가 section III에 속해있는 것뿐만 아니라, 계통분류학적으로 상당히 멀리 있는 몇몇 속의 다양한 species를 포함하는 오류가 있었다 (Kerstens와 De Ley, 1984). 최근에 이와 같이 복잡한 상황을 시정하기 위한 acidovorans rRNA complex의 재분석에 의해 *Comamonas* 속 (De Vos 등, 1985)이 부활되었고, *Hydragenophaga* (Willems 등, 1989), *Acidovorax* (Willems 등, 1990) 및 *Varivorax* 속 (Willems 등, 1991)이 신설되면서 재분류가 이루어졌다. 그 후 Willems 등 (1992)에 의해 acidovorans rRNA complex에 속하는 잘못 명명된 *Pseudomonas* species와 subspecies들이 신설된 *Acidovorax* 속으로 재분류가 이루어졌다. 그 결과 이전의 *P. avenae*, *P. rubrilineans*, '*P. setariae*'는 *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*로, *P. cattleyae*는 *A. avenae* subsp. *cattleyae*로, *P. pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*는 *A. avenae* subsp. *citrulli*로 재분류 되었다.

재분류된 *A. avenae* subsp. *avenae*에는 Table 1과 같이 그

분리된 기원과 생리생화학적 특성이 다양한 strain들이 속해있어 strain간의 이형성에 대한 본질적인 의문을 제시 해준다. 따라서 각 strain의 분리 기원은 분류학적 유연관계에 대한 고찰에 매우 중요하다. *Pseudomonas avenae*는 1909년에 Manns에 의해 처음으로 미국에서 귀리 잎에 엽고를 일으키는 것으로 보고되었으며, 1922년 Rosen에 의해 foxtail에 발생한 유사한 병이 보고되었으나 생리적 특성의 차이 때문에 이 병원균은 *P. alboprecipitans* 라는 새로운 이름으로 명명되었다. Schaad 등 (1975)은 이병된 옥수수로부터 분리된 균주, 기존에 보고된 *P. avenae* 및 *P. alboprecipitans*의 비교를 통하여 후자가 *P. avenae*의 이명이라고 하였으며 이 *P. avenae*는 Young 등의 목록 (1978)과 Approved Lists of Bacterial Names (Skerman 등, 1980)에 기록되게 되었다. 사탕수수의 적색줄무늬병은 *Phytomonas rubrilineans* (Lee 등, 1925)에 의해 일어나는 것으로 보고되었으며, 1942년에 이 species는 *Xanthomonas* 속 (Starr와 Burkholder, 1942)으로 옮겨졌으나 Hayward (1962)에 의해 *Pseudomonas* 속으로 변경되었다. 1934년 Okabe는 Italian millet (*Setaria italica*)에 갈색줄무늬병을 일으키는 병원균이 *Bacterium setariae*라고 보고하였으나, 후에 *Pseudomonas* 속으로 변경되었다 (Savulescu, 1947). Young 등 (1978)은 *P. setariae*를 분리된 species로 간주하였으나 Approved Lists (Skerman 등, 1980)에는 포함되지 않았다.

Proso millet으로부터 분리되어 millet에 병원성인 것으로 보고된 *Pseudomonas panici* (Elliot 1923) Stapp. 1928 (Goto와 Okabe, 1952)는 *Pseudomonas syringe* van Hall 1902의 pathovar로 제안되었으나, *Panax quinquefolium*으로부터 분리된 관련 없는 병원균인 *P. panici* (Dowson 1943)와 혼동되었으며, 이들 중 어느 것도 Approved Lists에 기록되지 않았다.

근연종의 경우에, 후에 *Pseudomonas* 속으로 옮겨진 *Bacterium cattleyae*는 Pavarino (1991)에 의해 orchids로부터 3개 종의 타세균과 함께 분리되어졌으나 불완전하게 기술되어 충분히 구분할 수 없었다. 후에 *Cattleyae*와 *Phalaenopsis* species로부터 분리된 병원성 분리주들이 *P. cattleyae*로 동정되었으며, 이것은 위에 기술된 이름들 중에서 Approved Lists에 포함된 것 중 하나이다. 두개의 각각 다른 식물병원균이 *P. pseudoalcaligenes*의 subspecies가 되었으며, 수박의 과실부패 병원균 *P. pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* (Webb과 Goth, 1965)는 *A. avenae* subsp. *citrulli*로, konjac (*Amorphophallus konjac*)의 잎으로부터 분리된 병원균인 *P. pseudoalcaligenes* subsp. *konjaci* (Goto, 1983)는 *Acidovorax konjaci*로 재분류 되었다.

그 외에도 ragi에 세균성 전신 시들음을 일으키는 *P. eleusineae* (Billimoria와 Hegde, 1971)가 보고되었다. 그러나 이 세균은

Table 4. Biochemical differences among strains of *A. avenae* subsp. *avenae*

Reference Characteristics	Kadota (1996) Rice	Schaad <i>et al.</i> (1975) Corn	Tominaga <i>et al.</i> (1971) Forage crops	Nishiyama <i>et al.</i> (1979) Ragi	Goto & Ohata (1961) Rice
2-ketoglucuronic acid production	+ ^a		-		
Oxidase	+	-	+	+	
Gelatine hydrolysis	-	v	v	-	(+)
Starch hydrolysis	+	+	+	-	-
Sole carbon source:					
lactose	v		-	-	
maltose	v		-	-	
raffinose	v		-	-	
Glycerin	+		+	-	
Salicin	±		-	-	
Malonic acid	+		-	+	

^aSymbols: +, positive; ±, weak; v, variable; and -, negative.

Table 5. Original description of *A. avenae* subsp. *avenae* and its pathogenicity

Reference ^a Host	<i>P. alboprecipitans</i>				<i>P. panici</i>			<i>P. setariae</i>			<i>P. eleusineae</i>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ragi	+ ^b											+
Corn	+	+	+	v	+					+	v	+
Foxtail	+	+		-			+	+	+	+	+	
Proso millet	-			-		+	+	+		+		-
Rice	-			v				+	-	+	v	

^aAdapted reference no.: 1, Nishiyama *et al.*, 1979; 2, Rosen, 1922; 3, Johnson *et al.*, 1949; 4, Tominaga, 1971; 5, Goto & Starr, 1971; 6, Elliott, 1923; 7, Goto & Okabe, 1952; 8, Goto, 1964; 9, Okabe, 1934; 10, Goto & Ohata, 1961; 11, Tominaga, 1968; and 12, Billimoria & Hegde, 1971.

^bSymbols: +, positive; v, variable in each strain; and -, no symptom in the pathogenicity test on each host.

후에 Nishiyama 등 (1979)에 의해서 *P. alboprecipitans*의 이명으로 제안되었으나 매우 제한적으로 서술되었고, 참고균주가 존재하지 않아 Approved Lists에는 기록되지 않았다.

*P. panici*와 *P. alboprecipitans*는 대부분의 경우에 동일한 종으로 간주되었으나, Tominaga (1971)는 원래 기록된 *P. panici*와 *P. setariae* 간의 세균학적 성질에 차이가 있고, *P. panici*는 *Xanthomonas* 속으로 분류한 보고가 많으며, 전자의 의견에 동조하는 사람들은 대부분 미국의 millet으로부터 분리한 세균과 비교실험을 하지 않았다는 이유로 같은 종으로 간주하지 않았다. Nishiyama 등 (1979)은 ragi로부터 분리된 *P. alboprecipitans*의 연구에서 *P. setariae*와 *P. panici*는 동일종으로 판단 하였으나 *P. alboprecipitans*와는 병원성 및 여타의 세균학적 성질에 차이가 있는 것으로 생각하여 이명으로 간주하였다.

이와같은 이질적인 분류학적 기원 및 이론이 있음에도 불

구하고, 현재의 *A. avenae* subsp. *avenae* 분류체계가 일반적으로 받아들여지고 있다. 그러나 *A. avenae* subsp. *avenae*내 strain간의 기주범위 및 생리생화학적 특성에 있어 이형성이 공존하고 있는것도 사실이다.

***A. avenae* subsp. *avenae* strain간의 주요 차이점.** 전술된 *A. avenae* subsp. *avenae*의 일반적인 특성들과는 다르게 strain간의 이질적인 특성이 보고된바 있으며, 생리생화학적 특성, 기주범위 및 균체의 단백질상 차이 등을 그 대표적인 차이점의 예로 들수 있다.

생리생화학적인 차이는 분리된 기주에 따라서 차이가 보고된바 있으며, 특히 lipase 활성, gelatin 액화, H₂S 생성, indole 생성, starch 가수분해 및 ammonium 생성 등에서 분리된 기주의 기원 및 strain에 따라서 차이가 있는 점이 보고되었다 (Kadota, 1996; Nishiyama 등, 1979; Schaad 등, 1975; Tominaga,

1971) (Table 4).

기주범위에 있어서는 균주의 기원과 접종한 식물에 따라서 병원성에 차이를 보인다. Okabe (1934), Tominaga (1971) 및 Nishiyama 등 (1979)의 접종시험에 따르면 finger millet, Italian millet, maize, rescuegrass, teoshinte 및 wheatgrass 등에서 분리된 균주들은 벼에 병원성을 나타내지 않았으며, Kadota (1996)의 보고에서도 벼 분리주는 타 기주에 병원성을 나타내나, 타 기주 분리주는 벼에 병원성을 나타내지 않았다 (Table 5). 그러므로 벼 분리주는 벼에 대한 병원성에 있어 타 식물로부터의 분리주들과 다를 것으로 생각된다. 지금까지의 병원성에 대한 연구보고를 종합하여 보면 *P. avenae*는 다범성 세균으로 간주되며, *P. alboprecipitans*는 그 분리된 기주식물에 가장 높은 친화성을 보이고 그 외의 기주식물에도 약하나 병원성을 보이는 것으로 보고된 바 있다. 따라서 본 종에는 기주범위가 다른 계통의 존재여부를 고려할 필요성이 있다.

Kadota 등 (1991)에 의해 이들 strain간에 분리원에 따라서 세포의 단백질상이 분석된 바 있으며 벼 strain만이 50,000 Da 크기의 band를 가지고 있고, 이 band를 제외한 다른 band들은 벼와 다른 기주 간에 차이가 없다.

길항물질 생산. 본 세균에 의한 사상균 및 세균에 대한 억제효과에 대한 보고가 있으며, 본 세균으로부터 분리된 도열병균을 억제하는 100,000 Da의 단백질이 보고된 바 있다 (Kunitake 등, 1988). Wakimoto 등 (1986)에 의해서는 본 세균이 분비하는 항생물질이 *Agrobacterium tumefaciens*, *Clavibacter michiganensis* pv. *michiganensis*, *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, *Ralstonia solanacearum*, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, *Xanthomonas campestris* pv. *citri* 및 *X. oryzae* pv. *oryzae* 등을 억제하는 것으로 보고된 바 있다.

병원균의 분리 및 검정. 벼의 종자로부터 병원균의 검정시에 생리생화학적으로 유사한 타 세균 및 비병원성의 *Pseudomonas putida* 와 *Pseudomonas fluorescence*가 공통적으로 분리되어지고, *Pantoea herbicola*와 같이 빠르게 발육하는 strain이 공존함으로써 인해서 상대적으로 발육속도가 느린 본 세균은 일반배지에서 직접적인 분리를 통한 검정은 어렵다. Zeigler와 Alvarez (1989)는 basal mineral salts 배지에 bromthylmol blue와 arginine을 첨가한 배지상에서 *A. avenae* subsp. *avenae* 와 *Burkholderia glumae*, *P. fuscovaginae*, *P. syringae* pv. *orizicola* (*P. syringae* pv. *syringae*)를 구별할 수 있었다. 그러나 *A. avenae* subsp. *avenae*는 sucrose 첨가후에도 발육하지 않는 것이 그 특징으로 보고되어 있고, 특이성이 낮아서 실제로는 널리 사용되지 못하고 있다.

혈청학적 방법에 의한 검출방법으로는 수수의 식물조직내에서 본 세균의 면역형광검출법 (Akhtar와 Claffin, 1986)에 의한 시도가 있었고, 벼에서는 Shakya (1987)에 의한 본 병원균의 혈청학적 방법에서의 진단과 Kadota 등 (1991)에 의한 본 병원균의 혈청학적 특성 및 특이성이 보고된 바 있다.

분자생물학적 연구로는 16S와 23S 사이의 ITS 부위의 크기가 다른 벼 병원성 세균과 차이가 있어 특이적 동정에 그 같은 특성의 이용 가능성이 보고된 바 있으며, PCR을 이용하여 그같은 특성을 특이적으로 검정하는 방법이 보고된 바 있다 (Kim과 Song, 1996; Song 등, 1997).

방제. 벼의 세균성줄무늬병의 주요한 1차전염원은 보균종자이다. 따라서 본 병의 방제에는 건전 종자를 이용하는 것이 가장 중요하다. 이병종자가 건전종자와 외형적으로 현저한 차이가 발견되지 않으며, 더욱이 보균종자와 이병종자를 염수선법으로도 구별하기 어렵다. 본 병원세균에서 종자로 이병되는 시기는 개화기 전후의 짧은 기간이다. 따라서 출수개화기 전에 본 병원균에 대한 효과적인 방제 약제를 살포하면 이병을 저하시킬 수 있다. 옥수수의 갈색줄무늬병도 종자 전염의 가능성이 있으므로 채종하는 포장은 본 병이 발생하지 않는 곳을 선택하는 것이 좋으며, 잡초와 옥수수간의 병원균 이동의 가능성이 있으므로 채종포에서는 잡초 제거를 확실히 해야 한다.

벼에서 본 병의 방제를 위하여 육묘기간과 이앙기에 2% kasugamycin의 100배 회석액의 시용이 효과적이다 (Yaoita 등, 1988). 이외에도 효과적인 방제방법으로, 육묘기에 적정 온도와 수분을 유지해 주고 파종전에 발아시험과 함께 병원균이 없는 종자를 이용 하며, 종자가 병원균에 감염되어 있는 경우에는 kasugamycin을 이용한다.

그 외에도 본 병원균에 대한 생물학적 방제방법이 시도되었다. Johnsson 등 (1998)에 의하면 *Pseudomonas chlororaphis*의 MA 342 strain을 곡류의 종자병해 방제를 위해 종자에 처리해서 파종해 본 결과, 타 병원균과 함께 본 병원균을 방제할 수 있었다. 옥수수로부터 분리된 외생세균을 이용한 생물학적 방제의 경우에 29개의 형광성 pseudomonads와 4개의 *Bacillus* spp.가 길항작용을 나타냈으며, *P. fluorescens* F-11과 F-24 및 *Bacillus* sp. U-46이 온실에서 본 병원균 방제에 효과가 있었다 (Lopes와 Stall, 1990).

해결 해야될 문제점들. 세균성줄무늬병원균은 보고된 생리, 생화학적 특성 및 기주범위등에 있어서는 strain간의 차이점이 있음에도 불구하고, 최근들어 *A. avenae* subsp. *avenae*로 재분류가 이루어져 분류학적 위치 및 타 subspecies와의 관계가

재정립되었다. 그러나, 특히 벼 strain과 타 strain으로 대별되는 여러 가지 차이점이 본 병원균의 분류에 충분히 반영되지 않은 것으로 사료된다. 따라서 향후 strain간의 분자생물학적 유연관계 분석을 통한 보다 정확한 분류학적 관계가 규명되어야 할 필요가 있으며, 방제 방법에 있어서도 좀 더 효과적인 방제 방법이 개발되어져야 될 필요성이 있다.

참고문헌

- Akhtar, M. A. and Clafin, L. E. 1986. Immunofluorescent detection of *Pseudomonas avenae* in sorghum plant tissue. *Pakistan J. of Agricultural Research* 7:238-240.
- Billimoria, K. N. and Hegde, R. K. 1971. A new bacterial disease of ragi, *Eleusine coracana* (Linn.) Gaertn., in Mysore State. *Curr. Sci.* 51:589.
- Bradbury, J. F. 1986. *Pseudomonas* Migula 1984. In : *Guide to plant pathogenic bacteria*, ed. by J. F. Bradbury, pp.110-185. CAB International Mycological Institute, England.
- De Vos, P., Kersters, K., Falsen, E., Pot, B., Gillis, M., Segers, P. and De Ley, J. 1985. *Comamonas* Davis and Park 1962 gen. nov., nom. rev. emend., and *Comamonas terrigena* Hugh 1962 sp. nov., nom. rev. *Int. Sys. Bacteriol.* 35:443-453.
- Dowson, W. J. 1943. On the generic names *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Bacterium* for certain bacterial pathogens. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 26:1-14.
- Elliott, C. 1923. A bacterial stripe disease of proso-millet. *J. Agr. Res.* 26:151-159.
- Gitaitis, R. D., Stall, R. E., and Strandberg, J. O. 1978. Dissemination and survival of *Pseudomonas alboprecipitans* ascertained by disease distribution. *Phytopathology* 68:227-231.
- Goto, M. 1964. Nomenclature of the bacteria causing bacterial leaf streak and bacterial stripe of rice. *Rep. Fac. Agr. Shizuoka Univ.* 14:3-10.
- Goto, M. 1983. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *konjaci* subsp. nov., the causal agent of bacterial leaf blight of konjac (*Amorphophalus konjac* Koch.) *Int. J. Syst. Bacteriol.* 33:539-545.
- Goto, K. and Ohata, K. I. 1961. Bacterial stripe of rice. *Spec. Public. Coll. Agr. Taiwan Univ.* 10:49-57.
- Goto, M. and Okabe, N. 1952. Studies on the causal organisms of bacterial stripe disease of millet and the brown stripe disease of Italian millet. *Bull. Fac. Agric. Shizuoka Univ.* 2:15-24.
- Goto, M. and Starr, M. P. 1971. A comparative study of *Pseudomonas andropogonis*, *P. stizobii* and *P. alboprecipitans*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 37:233-241.
- Hayward, A. C. 1962. Studies on bacterial pathogens of sugar cane. II. Differentiation, taxonomy, and nomenclature of the bacteria causing red stripe and mottled stripe diseases. *Mauritius Sugar Ind. Res. Inst. Occas. Pap.* 13:13-17.
- Hakim, L. 1996. The characteristic comparison of bacterial red stripe with *Pseudomonas avenae* and *Pseudomonas glumae* Kurita et Tabei. *Mon-Mata* (Indonesia) 22:2-9.
- Johnson, A. G., Robbert, A. L. and Cash, L. 1949. Bacterial leaf blight and stalk rot of corn. *J. Agr. Res.* 78:719-733.
- Johnsson, L., Hokeberg, M., Gerhagson, B. 1998. Performance of the *Pseudomonas chlororaphis* biocontrol agent MA342 against cereal seedborne diseases in field experiments. *European J. of Plant Pathology* 104:701-711.
- Kadota, I. 1996. Studies on the pathogen of bacterial brown stripe of rice and its ecology. *Bulletin of the Hokuriku National Agricultural Experiment Station* 38:113-171.
- Kadota, I. and Ohuchi, A. 1990. Symptoms and ecology of bacterial brown stripe of rice. *JARQ.* 24:15-21.
- Kadota, I., Ohuchi, A., and Nishiyama, K. 1991. Serological properties and specificity of *Pseudomonas avenae* Manns 1909, the causal agent of bacterial brown stripe of rice. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn* 57:268-273.
- Kerstens, K. and De Ley, J. 1984. Genus *Alcaligenes* Castellani and Chalmer 1919, 936^{AL}, p.361-373. In N. R. Krieg and J. G. Holt (ed.), *Bergey's manual of systematic bacteriology*, vol. 1. The Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- Kim, H. M. and Song, W. Y. 1996. Characterization and differentiation of rice seedborne bacterial pathogens by PCR using primers to 16S and 23S rDNA. *Seed Science and Technology* 24:571-580.
- Kunidake, S., Matsuyama, N., and Wakimoto, S. 1988. Production of proteinous anti-fungal substances by *Pseudomonas avenae* Manns. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 54:640-642.
- Lee, H. A., Purdy, H. A., Barnum, C. C. and Martin, J. P. 1925. A comparison of red-stripe of sugarcane and other grasses. In Red-stripe disease studies, *Bull. Exp. Stn. Hawaiian Sugar Planters' Assoc.* 1-99.
- Lopes, C. A. and Stall, R. E. 1990. Biological control of *Pseudomonas avenae* with epiphytic bacteria isolated from corn. II. Selection and evaluation of antagonists. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 25:1133-1141.
- Manns, T. F. 1909. The blade blight of oats-a bacterial disease. *Ohio Agric. Res. Stn. Res. Bull.* 210:91-167.
- Nishiyama, K., Nishiharan N. and Ezuka, A. 1979. Bacterial brown stripe of ragi caused by *Pseudomonas alboprecipitans*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 45:25-31.
- Okabe, N. 1934. Bacterial disease of plants occurring in Formosa. IV. *J. Soc. Trop. Agric. Taiwan* 6:54-63.
- Palleroni, N. J. 1984. Genus I. *Pseudomonas* Migula, 1894, p. 141-199. In N. R. Krieg and J. P. Holt (ed.), *Bergey's manual of systematic bacteriology*, vol. 1. The Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- Pavarino, G. L. 1991. Intra- and intergeneric relationships of the genus *Aquaspirillum*: *Prolinoborus*, a new genus for *Aquaspirillum fasciculus*, with the species *Prolinoborus fasciculus* comb. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 42:44-57.
- Rosen, H. R. 1922. A bacterial disease of foxtail (*Chaetochloa lutescens*). *Ann. Mo. Bot. Gard.* 9:333-402.
- Savulescu, T. 1947. Contribution à la classification des bactériacées phytopathogènes. *An. Acad. Romane Ser. III* 22:135-160.
- Schaad, N. W., Kado, C. I. and Summer, D. R. 1975. Synonymy of *Pseudomonas avenae* Manns 1905 and *Pseudomonas alboprecipitans* Rosen 1922. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 25:133-137.
- Shakya, D. D. 1987. Rapid diagnosis of *Pseudomonas avenae* by pathogenicity and serology. *Korean J. of Plant Pathology* 3:300.
- Shakya, D. D. and Chung, H. S. 1980. Bacterial brown stripe on rice seedling in Korea. (Abstract) *Annual Meeting of Plant Protection Society.*
- Shakya, D. D. and Chung, H. S., and Vinther, F. 1986. Transmission of *Pseudomonas avenae*, the cause of bacterial stripe of rice. *J.*

- Phytopathol.* 116:92.
- Shakya, D. D., Vinther, F. and Mathur, S. B. 1985. World wide distribution of a bacterial stripe pathogen of rice identified as *Pseudomonas avenae*. *Phytopath. Z.* 114:256-259.
- Skerman, V. B. D., McGowan, V. and Sneath, P. H. A. (ed). 1980. Approved lists of bacterial names. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 30:225-420.
- Song, W. Y., Hatziloukas, E., Kim, H. M., and Schaad, N. W. 1997. Development of PCR primers for detection of *Pseudomonas avenae*. *Phytopathology* 87:S92.
- Starr, M. P., and Burkholder, W. H. 1942. Lipolytic activity of phytopathogenic bacteria determined by means of spirit blue agar and its taxonomic significance. *Phytopathology* 32:598-604.
- Summer, D. R. and Schaad, N. W. 1977. Epidemiology and control of bacterial leaf blight of corn (*Pseudomonas avenae*). *Phytopathology* 67:1113-1118.
- Tominaga, T. 1968. Brown stripe of bromegrass and wheat grass caused by *Pseudomonas setariae* (Okabe) Savulecu. *Rev. Appl. Mycol.* 47:513.
- Tominaga, T. 1971. Studies on the diseases of forage crops in Japan. *The Bulletin of the National Ins. Agr. Scin. Jpn.* 25(3):205-305.
- Wakimoto, S., Hyrayae, K., Tsuchiya, K., Kushima, Y., Furuya, N., Matsuyama, N. 1986. Production of antibiotics by plant pathogenic pseudomonads. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 52:835-842.
- Webb, R. E., and Goth, R. W. 1965. A seedborne bacterium isolated from watermelon. *Plant Dis. Rep.* 49:818-821.
- Willems, A., Busse, J., Goor, M., Pot, B., Falsen, E., Jantzen, E., Hoste, B., Gillis, M., Kersters, K., Auling, G., and De Ley, J. 1989. *Hydrogenophaga*, a new genus of hydrogen-oxidizing bacteria that includes *Hydrogenophaga flava* comb. nov. (formerly *Pseudomonas flava*), *Hydrogenophaga palleronii* (formerly *Pseudomonas palleronii*), *Hydrogenophaga pseudoplava* (formerly *Pseudomonas pseudoplava* and "*Pseudomonas carboxydoflava*"), and *Hydrogenophaga taeniospiralis* (formerly *Pseudomonas taeniospiralis*). *Int. J. Syst. Bacteriol.* 39:319-333.
- Willems, A., Falsen, E., Pot, B., Jantzen, E., Hoste, B., Vandamme, P., Gillis, M., Kersters, K. and De Ley, J. 1990. *Acidovorax*, a new genus for *Pseudomonas facilis*, *Pseudomonas delafieldii*, EF group 13, EF group 16, and several clinical isolates, with the species *Acidovorax facilis* comb. nov., *Acidovorax delafieldii* comb. nov. and *Acidovorax temperans* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 40:384-398.
- Willems, A., Goor, M., Thielemans, S., Gills, M., Kersters, K., and De Ley, J. 1992. Transfer of several phytopathogenic *Pseudomonas* species to *Acidovorax* as *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* subsp. nov., comb. nov., *Acidovorax avenae* subsp. *citullii*, *Acidovorax avenae* subsp. *cattleyae*, and *Acidovorax konjaci*. *Int. J. Syst. Bact.* 42:107-119.
- Willems, A., Pot, B., Falsen, E., Vandamme, P., Gillis, M., Kersters, K. and De Ley, J. 1991. Polyphasic taxonomic study of the emended genus *Comamonas*: relationship to *Aquaspirillum aquaticum*, E. Falsen group 10, and other clinical isolates. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 41:427-444.
- Xie, G. L., Sun, X. L., Mew, T. W., Xie, G. L., and Sun, X. L. 1998. Characterization of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* from rice seeds. *Chinese Journal of Rice Science* 12:165-171.
- Yaoita, T., Harasawa, R., Fujimaki, Y., and Tominaga, T. 1988. The occurrence of bacterial brown stripe of rice and its control in nursery boxes. *J. of the Niigata Agricultural Experiment Station, Japan* 36:35-44.
- Young, J. M., Dye, D. W., and Wilkie, J. P. 1978. Genus VII. *Pseudomonas* Migula 1894. In J. M. Young, D. W. Dye, J. F. Bradbury, C. G. Panaopoulos, and C. F. Robbs (ed.). A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria. *N. Z. J. Agric. Res.* 21:153-177.
- Zeigler, R. S. and Alvarez, E. 1989. Differential culture medium for *Pseudomonas* species causing sheath rot and grain discoloration of rice. *International Rice Research Newsletter* 14:27-28.
- Zeigler, R. S. and Alvarez, E. 1990. Characteristics of *Pseudomonas* spp. causing grain discoloration and sheath rot of rice, and associated pseudomonad epiphytes. *Plant Disease* 74:917-922.