

한국·중국 벼 도열병균 생리형 분석 및 품종 저항성 특성 비교

김동윤¹ · 심홍식¹ · 최성호 · Lei Cailin² · Zhong Zhuan Ling² · 한성숙*

작물과학원 환경생명공학과, ¹농업과학기술원 농업생물부 식물병리과, ²중국농업과학원 작물육종재배연구소

Comparative Assay Fungus Population and Resistant Genes about *Magnaporthe grisea* between Korea and China

Dong-Yun Kim¹, Hong-Sik Shim¹, Seong Ho Choi, Lei Cailin²,
Zhong Zhuan Ling² and Seong-Sook Han*

Crop Environment and Biotechnology Div. National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

¹Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Sciences & Technology, Suwon 441-707, Korea

²Rice Research Division, Institute of Crop Breeding and Cultivation, CAAS, Beijing 100081, China

(Received on November 9, 2004)

One hundred isolates of *Magnaporthe grisea* from Korea and China were characterized for pathogenicity using eight Korean differential varieties(KDV), six Chinese differential varieties(CDV) and six near isogenic lines(NILs) developed in China. The restriction length polymorphism of *M. grisea* isolates from each country also was analyzed using MGR586 as a probe. One hundred Korean isolates classified into 17 races on KDV were grouped into 29 pathotypes on Chinese near isogenic lines(NILs). Virulence of 46% of Korean isolates against all the six Chinese NILs indicated that the current six Chinese NILs alone was not enough to be used as differential varieties in Korea. Especially, susceptibility of the BL1 carrying resistance gene *Pi-b* to 70% of tested Korean isolates suggested that BL1(*Pi-b*) may not be a useful resistance source to Korean blast. Based on the virulence assays of *M. grisea* populations from each country were divided into two groups. About 50% of Chinese isolates showed similarity to the 30% of the Korean isolates. Especially, the isolates from northern part of China, where Japonica rice cultivars were grown, showed high similarity to the Korean isolates, while isolates from southern part of China, where Indica rice were mainly grown, showed low similarity to Korean isolates. The genome RFLPs of Korean isolates were quite different from those of southern part of China using MGR586 as a probe. These data indicated that the physiological and genetical characteristics of *M. grisea* population might be determined by strong interaction with cultivated rice.

Keywords : China, Korea, Resistant gene, RFLP, Rice blast

도열병은 전 세계적으로 벼를 재배하는 지역에서 주요한 병해이며, 특히 한국, 중국, 일본을 비롯한 아시아 벼 재배지역에서 심하게 발생한다(Ou, 1985; 中國農作物病害蟲報, 1995). 도열병은 연구 역사가 길고 방제 약제도 많이 개발되어 있지만, 도열병 피해와 병역학에 대한 보고는 끊임없이 2~3년마다 발생한다. 이러한 보고 내용은 대부분 병발생과 아울러 품종의 저항성이 감수성으로 전락한 경우이다(한, 1995; 이, 1978; 山田昌雄, 1965). 도열병

역학에 대한 방제방법으로는 경종적 방제법과 저항성 품종을 육성하는 방법 및 농약에 의한 화학적 방제법이 있는데, 이 중 저항성 품종을 이용하는 것이 가장 경제적이다(羅寬, 1985; Ou, 1985), 환경보호 차원에서도 바람직한 방법이다. 그러나 일반적으로 저항성 품종육성이 병원균의 변이를 따라 갈 수 없다. 따라서 도열병균이 병원성 변이를 보여 저항성 품종을 극복하였던 여러가지 예가 있는데, 새로운 레이스 출현으로 저항성이 감수성으로 보고된 경우는 한국에서도 통일형 품종의 break down 등 다수가 있다(岩田和夫, 1968; 김, 1968; 이, 1972; 山田昌雄 등, 1978; 한 등, 1998, 2001). 일본에서는 중국품종을 일본 재래품종에 교배하여 Kanto51, 53호 등 최초로 *Pi-K*

*Corresponding author

Phone)+82-31-290-6758, Fax)+82-31-290-6752

E-mail)sshan@rda.go.kr

유전자를 도입한 품종을 육성·재배하였으나 1951년 저항성 품종으로 육성된 Kanto51호와 Kanto53호가 새로운 레이스 C-race에 의하여 저항성이 무너진 바 있다(岩田和夫, 1966, 1968; 山田昌雄, 1965). 한국의 경우에는 이병성 품종인 풍옥과 일본의 Kanto55호를 교배하여 보급되었던 관옥이 경기도 지역에서 C-8 race에 의하여 저항성이 붕괴되었으며(이, 1972), 통일벼의 경우에도 IR8, IR24 등의 indica 품종과 일반계 품종과의 교배로 육성 보급된 지 아주 오랫동안 저항성을 유지하여 왔으나 7년만에 새로운 레이스 출현으로 저항성이 붕괴되었다(李, 1978). 이 새로운 레이스에 대한 추적은 신품종의 종자증식 장소인 필리핀이나 우리나라 인접 국가 병원균과의 병원성을 비교, 진단하여 전파의 가능성을 진단해 보았다. 그러나 인접국가인 중국으로부터의 유입에 대한 보고는 없는 것으로 조사되었다. 그 이후 70년대 후반부터는 통일품종의 도열병 저항성을 증진시킨 품종들이 다양하게 육성 보급되었으나 1980년 중반기부터 풍산벼, 영풍벼 등에서 새로운 레이스와의 친화성이 증가하여 저항성이 무너지게 되었다(이 등, 1987). 그 후 미질에 대한 소비자들의 요구도가 달라지면서 다시 Japonica 품종들이 육성되기 시작하였다. 이처럼 한국의 도열병 저항성 육성은 체계적이지 못하고, 복잡 다양하여 아직까지도 육성품종의 저항성에 대한 계보도를 추적하기 힘든 상태이다.

중국의 경우, 동북 삼성인 길림성, 요녕성, 흑룡강성은 Japonica 벼 주산단지이면서 일부 일본, 한국 품종의 재배면적이 증가하고 있는 실정이다(신, 2001). 또한 남서부 지역의 양자강 중하류 지역은 Indica 품종 및 잡종1세대인 hybrid벼를 재배하면서 수량 증대에 힘을 썼으나 최근의 경제 사정이 나아지면서 미질 중심의 Japonica 품종으로 갱신을 하고 있는 추세이다. 따라서 중국 품종이나 한국 품종들의 유전적 배경이 유사한 것으로 추정되어 도열병균의 상호 교차 침해의 가능성을 배제할 수는 없다. 따라서 중국의 벼 도열병균의 병원성 및 유전적 특성을 분석하고 도열병에 대한 광범위 저항성원을 선발하기 위하여 양국 품종 저항성을 평가해 본다면 양국의 도열병 연구에 더 큰 이해와 진전이 있으리라 생각된다.

중국 벼 재배지역의 지리적 특성

중국 각 지역의 벼 재배 품종 선택은 그 지역의 온도와 광 등의 조건과 밀접한 관계가 있는데, 현재 중국의 수도작 지역은 각 지역의 온도, 광, 강수량 조건과 Japonica type/Indica type의 종류, 조생종 혹은 만생종 벼의 재배, 하류와 산맥 등을 근거로 하여 화남 재배지역(Indica type),

화중 재배지역 (일모작/이모작, Indica/Japonica type), 화북 재배지역(일모작, Japonica type), 동북 재배지역(조숙 Japonica type), 서북 건조 재배지역(Japonica type), 서남 고원 재배지역(Indica type) 등 크게 6개로 나눌 수 있다(熊振民等, 1990).

1) 화남 재배지역은 광동성, 광서성, 복건성, 대만을 포함한 지역으로 온도와 강우량이 전국에서 가장 높고 벼 재배가능 일수가 가장 긴 지역이다. 벼 이모작 재배가 일반화 되어있고 지역에 따라 3모작도 가능하며, 주로 Indica type 벼가 재배되나 지역에 따라 Japonica type 벼도 재배되고 있다. 2) 화중 재배지역은 절강성, 강소성, 안휘성, 강서성, 호남성, 호북성, 사천성을 포함하는 지역으로 평균 기온은 4월에 14°C 이상, 7월에 26°C 이상, 10월에 17°C 이상이며 서창 지역은 1월에도 11°C 이상 된다. 년 평균 강우량은 1,000 mm 이상이며, 토양 비옥도나 유기질 함량이 화남지역에 비해 풍부하다. 일모작 재배를 주로 해왔는데 최근 들어 이모작 재배로 바뀌는 추세이고 Indica type 및 Japonica type 벼가 모두 재배되고 있다. 3) 화북 재배지역은 산둥성, 허북성, 허남성, 산서성, 섬서성, 감숙성, 내몽고 자치구 남쪽지역을 포함하는 지역으로 평균 기온은 4월에 13°C 이상, 7월에 20°C 이상, 10월에 13°C 이상이다. 그러나 만리장성 북쪽, 란조 서쪽지역은 5~9월 사이에만 평균 10°C 이상을 유지하고 있다. 년 평균 강우량은 500 mm~1,000 mm 정도로 지역별 차이가 있고 6월~8월 사이가 우기에 속하므로 조숙 Japonica type 벼가 주로 재배되고 있다. 천진 일부지역, 허남 북부 지역에서는 조숙 Indica type 벼가 적지 않게 재배되고 있는데, 그 이유는 맑은 날이 많고 비오는 날이 적으며 밤, 낮의 일교차가 커서 벼의 동화작용이 왕성하므로 많은 벼 수확량을 내기 때문이다. 4) 동북 재배지역(조숙 Japonica type)은 우리나라와 대륙으로 이접한 지역으로 요녕성, 길림성, 흑룡강성, 내몽고 자치구 서부쪽을 포함하는 지역으로 최근에 관개수로 사업으로 인해 벼 재배면적이 점점 증가하고 있다. 본 지역은 남-북 지역간 기온차가 매우 커서 심양의 5월 평균기온이 16°C, 9월은 17°C 이지만 흑하 지역의 경우 각각 10.8°C, 12.7°C 밖에 되지 않으며, 북위 53°12' 지역은 세계 수도재배의 북방한계선이다. 년 평균 강우량은 동부지역이 750 mm, 서부/북부 지역이 500 mm이며, 7월~8월 사이에 주로 내린다. 이 지역에서는 Japonica type 벼가 주로 재배되고 있다. 5) 서북 건조 재배지역의 신장 자치구인 천산 주위 지역은 여름에 47°C 이상의 고온이며 년 강우량이 70 mm, 상대습도 50% 정도의 고온 건조 기후이다. 서북부의 우루무치 지역은 강우량이 비교적 많아 300 mm 정도되고 5월 평균기온이

16°C, 7월 24°C, 9월 14°C 정도이다. 본 지역은 토양이 건조하나 석회질, 인, 칼륨이 풍부하고 일교차가 커 동화생산물 집적이 많으므로 평균 온도가 22°C 이하, 상대습도가 40% 되는 지역에서 관개수만 충분히 공급된다면 벼 다수확을 할 수 있다. 6) 서남 고원 재배지역은 운귀지역과 청해 서장고원 지역으로 운귀지역은 열대와 온대 기후대에 속하고 수심 500~2,400 m의 하류가 있으며 분지와 산 주위에 계단식 논이 있다. 토양수분이 비교적 좋은 곳은 겨울에도 재배를 하고 두과와 화분과 작물을 혼작하여 재배하기도 한다. 운남 지방의 해발 1,600 m 이하 지대는 Indica type 벼를 주로 심고, 1,000 m 이하 지대는 이모작 재배를 하며, 1,600 m~1,800 m에는 Indica type 과 Japonica type 벼를 함께 재배하고 1,800 m~2,400 m까지는 대부분 Japonica type 벼를 재배한다. 귀주지역 산지에는 Japonica type, 평지에는 Indica type 벼가 재배된다.

중국 벼 도열병에 대한 연구

중국 벼 도열병 레이스에 대한 연구는 1950년대 말에 시작, 70년대에 레이스 연구가 본격적으로 시작되어 1977년도에 7개의 판별품종을 선발, 중국 벼 도열병 레이스 판별과 지역별 분포정도를 구명하기 시작했다(全國稻瘟病生理小種聯合實驗組, 1980). 판별품종은 21개의 성, 시, 자치구의 476개 군주를 공시한 후 23개 품종에 여러 차례 접종하여 최종적으로 7개의 중국 벼 도열병 레이스 판별품종을 선발하였다(Table 1)(曹功懋等, 1983; 金敏忠等, 1986). 판별품종 Tetep(ZA군) 원산지는 베트남이고 저항성 품종으로 반응이 비교적 안정되어 있다. Zhenlong 13(ZB군)은 절강성(온주 지역) 농업과학연구소에서 육성되었고 많은 군주에 대해 저항성이고 반응이 비교적 정확하고 안정되어 있다. Sifeng 13(ZC군)은 절강성 농업과학원에서 육성되었고 다른 판별품종과 다른 저항성원을 갖고 있으며 동북지역 도열병균 군주에 대해 저항성을 보인다. Dongnong 363(ZD군)은 동북 농학원에서 육성되었고 현재 동북 수도재배 지역에서 비교적 저항성 품종이다. 관동51(ZE군) 원산지는 일본이고 중국 Indica type 벼의 저항성원을 갖고 있다(山田昌雄, 1965). Hejiang 18(ZF군)은 흑룡강성 Hejinag 수도연구소에서 육성된 품종으로 50% 이상의 군주에 대해 감수성 반응을 보여 판별능력을 갖고 있는 품종이다. Lijiangxintuanheigu(LTH, ZG군)은 운남지방에서 육성된 품종이고 각 지역 군주에 대해 고도로 감수성 품종이며 반응이 안정되어 있다(中國農作物病蟲害報, 1995). 중국의 도열병에 대한 저항성 연구에 대한 조사를 해 보면, 워낙 넓고 다양한 벼 품종이 재배되

고 있어 중국전체 상황을 모두 파악하기는 어렵다. 우선 Japonica 주산단지이며 한국과 가까운 흑룡강성의 경우를 살펴보면, 벼재배 면적이 한국 전체 벼재배 면적보다도 넓은 161.5만 ha이며 80% 이상이 Japonica를 재배한다. 도열병 저항성 육종은 1960년대에 시작되었지만 60년대 말~70년대 초에 도열병 만연으로 저항성이 붕괴되는 현상을 보였다. 1960년대에 이 지역에 주로 재배되던 도열병 저항성 유전자는 *Pi-a*(愛知旭 유래), *Pi-i*(石狩白毛 유래)가 대부분이었으므로 일본에서 유래되고 한국의 통일 품종의 모본으로도 사용되었던(CES, RDA, 1990) 유카라로부터 *Pi-k*, *Pi-b* 유전자가 도입되었는데 이는 70년대 초 입에 새로운 레이스의 출현에 의해 무너지는 결과를 가져왔다. 지속적인 저항성 유전자의 보완에서도 별다른 성과를 거두지 못하여 중국 남쪽으로부터 Indica type의 품종으로부터 저항성이 도입되어 여러 가지의 저항성 모본을 육성하여 지속적으로 Japonica 품종의 저항성을 개선하는데 사용하여 저항성 품종을 육성하고 유지하는데 성과를 거둔 바 있다(신대석, 21세기농업종합응용기술, 2001). 그러나 한국이나 중국 모두 판별품종의 저항성 유전자를 모르거나 단인자가 아닌 복합적인 주동 유전자가 존재하여 병원균 분류에 오류를 범할 수 있으므로 새로운 판별 체계가 필요한 시점에 있다(Table 1).

중국도열병균 레이스 판별체계 및 신판별체계로의 전환

중국 도열병균 판별체계는 지방 자치구별로 따로 연구하여 운영하고 있는 곳도 있으나 전체 중국의 통합 도열병균 판별 체계를 분석하여 보고, 우리나라 군주를 중국 판별품종과 단인자 품종(NIL)에 적용하여 양국 군주 및 유전자원을 평가하여 보았다.

중국 레이스의 분류 및 명명법은 국제 레이스 판별체계와 대체로 비슷하다. 7개 판별품종을 Indica type(3개), Japonica type(4개), 저항성 정도(저항성 군주수를 기준)에 의거하여 저항성 품종에서 감수성 품종 순으로 배열하였고, 알파벳 자모 A,B,...G가 각각 판별품종 Tetep, Zhenglong13, 四豐43, 東農363, 관동51, 合江18, 麗江新團黑谷를 대표하게 하였다. 레이스를 분류할 때 먼저 분류군을 쓰고 그 뒤에 번호를 쓴다(Table 2).

A품종(Tetep)은 A군 레이스의 분류품종이고 A품종에 감수성 반응을 보이면 이 군주는 A군에 속한 레이스이다. B품종(Zhenglong13)은 B군 레이스의 분류품종이며 A품종에 저항성 반응을 보이고 B품종에 감수성 반응을 보이면 B군 레이스이다. C품종(四豐43)은 C군 레이스의 분

류품종이고 A, B 품종에 저항성 반응을 보이고 C 품종에 감수성 반응을 보이면 C 군 레이스이다. 판별품종 모든 품종에 저항성 반응을 보이면 H 군 레이스이다. A, B, C 3 군에 속하는 레이스는 Indica type 판별품종에서 감수성 반응을 보인 것이므로 Indica type 레이스라고 하고, D, E, F, G 군 레이스에서 감수성 반응을 보이면 Japonica type 레이스라고 한다. 같은 군에 속하는 레이스는 분류 품종 뒤에 있는 품종들의 반응에 따라 구분이 되는데 아라비아 숫자로 표시하여 2분법(二分法) 배열을 한다. 중국 7개 판별 품종에서 검정되는 레이스의 수는 “ $2^7=128$ ”이므로 128개가 된다. 중국 판별품종을 사용하여 검정된 도열병균 레이스는 “중화인민공화국소종”의 간칭인 한어 병음표기법, Zhong guo의 첫 자 Z를 첫 자리에 놓고 그 뒤에 A, B, C, D, E, F, G 자모중 감수성 반응을 보이기 시작하는 레이스군 자모를 놓는다(黃振興等, 1986; 全國稻瘟病生理小種聯合實驗組, 1980; 張學博等, 1981). 예를 들어 ZA₁, ZB₃, ZC₁₅ 등이다. Tetep 품종이 어떤 군주에 대해 감수성 반응을 보이면 다른 품종의 반응에 관계없이 이 군주의 레이스는 ZA 군이고, Tetep은 저항성, Zhenlong 13이 감수성 반응을 보일 경우 다른 품종의 반응에 관계없이 이 군주의 레이스는 ZB 군이다. 각 군 뒷면에 있는 숫

자는 레이스 번호이고, 7개의 판별품종에서 나올 수 있는 가장 큰 레이스 번호는 128이다. 그러나 중국판별 품종 역시 우리나라와 비슷한 실정으로 판별품종의 저항성 유전자를 알고 판별체계를 작성한 것이 아니라서 한 개의 판별품종에 중복된 주동유전자가 존재하며, 밝혀지지 않은 유전자로 구성되어 있다. 또한 중국 재배품종은 유전적으로 매우 다양하므로 전체 중국이 공통으로 사용하여 사용할 수 있는 판별체계를 만드는 것은 한계가 있다. 더구나 현재 판별체계로 분류한 레이스 수는 매우 다양하여 군의 집단을 해석하기에는 부적당하여 10년 전부터 중국농업과학원의 작물육종연구소의 Dr. Ling Z.Z. group에서는 저항성 유전자가 없는 LTH 품종에 일본 유전자를 도입하여 단인자 저항성 품종을 만들고자 시도한바 6개의 NIL을 만들어서 신평별 품종 체계로 전환하고 있는 시점이다(Table 1). 이에 한국 도열병균에 대한 레이스 분류 체계는 이미 여러번 보고된 바 있어 이를 대신하고자 한다(Han, 1995).

한국 및 중국 군주의 병원성 비교

1) 한국 대표군주 및 최근 한국 내 농가포장으로부터

Table 1. Used differential varieties of Korean and Chinese and Near Isogenic lines (NIL) of Chinese for pathogenic test with 200 isolates which isolated from Korea and China farmers field

	Varieties	Donor/types	Genotypes
KDV*	Tetep	IndicaXJaponica	Pi-a+, more unknown genes
	Tabaegbyeo	IndicaXJaponica	Not determined
	Tongil	IndicaXJaponica	Probably Pi-i, Pi-k, ?
	Yushin	IndicaXJaponica	Probably Pi-i, Pi-k
	Kanto 51	Japonica	Pi-k
	Nongbaeg	Japonica	Pi-i, ?
	Jinheung	Japonica	Not determined
	Nagdongbyeo	Japonica	No gene
CDV**	Tetep	Indica	Pi-a+, more unknown genes
	Zhenlong 13	Indica	Not determined
	Sifeng 43	Indica	Pi-a or probably Pi-t or Pi-b
	Dongnong 363	Japonica	Pi-a, Pi-k
	Kanto 51	Japonica	Pi-k
	Hejiang 18	Japonica	Pi-a, Pi-i
	Lijiangxintuanheigu (LTH)	Japonica	Without any major resistance gene
NIL***	F80-1	Kusabue	Pi-k
	F98-7	Tsuyuake	Pi-k ^m
	F124-1	K1	Pi-ta
	F128-1	PiNo.4	Pi-ta ²
	F129-1	K60	Pi-k ^p
	F145-2	BL1	Pi-b
	Lijiangxintuanheigu (LTH)	Japonica	Without any major resistance gene

KDV* : Korean Differential Varieties.

CDV** : Chinese Differential Varieties.

NIL*** : Near Isogenic Lines which developed from Crop Breeding and Cultivation Institute, CAAS.

Table 2. Pathogenic races of 100 Korean isolates on 7 Chinese Differential Varieties (CDV) which developed from China on 1977

Race group	Race Code	CDV							No. of isolates
		Tetep	Zhenlong 13	Sifeng 43	Dongnong 363	Kanto 51	Hejiang 18	LTH	
G	G1	R	R	R	R	R	R	S	11
F	F1	R	R	R	R	R	S	S	12
E	E1	R	R	R	R	S	S	S	7
	E3	R	R	R	R	S	R	S	11
D	D1	R	R	R	S	S	S	S	8
C	C11	R	R	S	R	S	R	S	2
	C13	R	R	S	R	R	S	S	3
	C15	R	R	S	R	R	R	S	1
B	B7	R	S	S	S	R	R	S	1
	B11	R	S	S	R	S	R	S	2
	B17	R	S	R	S	S	S	S	1
	B23	R	S	R	S	R	R	S	3
	B27	R	S	R	R	S	R	S	1
A	A41	S	R	S	R	S	S	S	2
	A45	S	R	R	S	R	R	S	1
	A49	S	R	R	S	S	S	S	23
	A57	S	R	R	R	S	S	S	11
7groups	17races	Sum of isolates							100

분리한 100균주는 한국판별 품종에서 17개 레이스로서 중국판별품종에 접종한 결과, 역시 17개 레이스로 판별되었다. 그 중 Tetep을 침해하는 균주는 한국 및 중국판별 품종에서 각각 KI-100 group 및 A group인 37%를 차지하고 있었다(Table 2). 중국에서 저항성 유전자 없이 안정적으로 이병성 병반을 보이는 LTH는 공시된 한국균주 모두에 대하여 이병성 반응을 보여 주동유전자가 없는 것으로 확인되었다. 또한 A49 레이스가 23%로 가장 많이 분리 되었으며, F1, G1, E3, A57 레이스가 주로 많이 분류 되었다(Table 2).

2) 반대로 중국균주 100균주에 대한 한국 판별품종에서의 반응은 Table 3과 같다. 중국균주 중 북방균주 47균주는 중국판별품종에서 24개 레이스로 구분되었으며 특히 남방으로부터 채집된 53균주는 30개의 레이스로 각각 분류되어 총 34개 레이스로 구분되었다. 그 중 KI-1113, KJ-101, KI-409, KI-215, KI-307, KJ-201, KJ-105, KI-315, KJ-301, KJ-203, KJ-107, KJ-401 등 12개 레이스가 우리나라에서 중요한 레이스로 이미 보고된 바 있다(Han, 1995). 중국 100개 균주 중 북방 균주의 반응을 보면, KJ-101, KJ-201, KJ-105, KJ-301, KJ-401 레이스가 각각 11%, 10%, 9%, 8%, 7%의 비율로 나타났으며, 이 레이스는 우리나라에서도 과거 20년간 우점레이스로 분포되고 있는 것으로 보아 중국 북방균주와 우리나라 균주는 병원성이 비슷한 것으로 분석된다. 그러나 그 이외의 보고되지 않은

새로운 레이스는 대부분 중국 남부에서 수집된 균주의 반응으로 나타나 중국균주는 북부와 남부 균주가 병원형의 차이가 큰 것으로 나타났다. 한국 100균주의 레이스가 한국판별품종에서 17개 정도인 것에 비하면 중국균주는 한국판별품종에서 병원형이 훨씬 다양한 것으로 나타났다. 특히 남방균주는 한국 판별품종 8개 품종을 모두 침해하지 못하는 균주도 100개 중 8개나 되었으며, 다른 품종은 침해하지만 낙동벼를 침해하지 못하는 균주가 37%나 되는 것으로 나타났다. 낙동벼에 저항성 반응을 보이는 중국 병원균은 모두 남방계 재배 품종인 Indica로부터 분리한 균주이며, 중국 북방에서 분리한 균주는 낙동벼에 모두 병원성이 있었다(Table 3). 낙동벼는 예전의 한국균주에 대하여 저항성 유전자가 없는 품종으로 알려진 품종이지만, 중국 균주에 대한 반응 결과를 보면, 주동 유전자가 상당히 존재하는 것으로 추정되고 있다. 하지만 최근에 한국 균주에서도 낙동벼에 대하여 저항성을 보이는 균주가 분리되고 있어 한국 판별품종 체계 및 낙동벼의 역할에 많은 문제점을 시사하여 주고 있다. 이러한 실험을 통하여 보면, 중국의 경우 기후대에 따라 다양한 재배 품종이 재배되며, 이로부터 분리된 병원균의 유전적 배경이 다양함을 진단할 수 있는데, 품종의 다양한 저항성 유전자 도입을 위하여 좋은 재료로 사용할 수 있으리라 생각된다. 일반적으로 병원균의 병원형 결정은 품종의 유전자형과 일치하는데, 이는 품종의 저항성 유전자와 병

Table 3. Pathogenic reactions of 100 Chinese isolates on Korean differential varieties

Races	Korean differential varieties								Isolates
	Tetep	Taebaeg	Tongil	Yushin	Kanto 51	Nong baeg	Jinheung	Nagdong	
KI-1113	S	R	R	R	S	S	S	S	97-99-1
KJ-101	R	R	R	R	S	S	S	S	93-37-2, Zh10-9-4, 97-110-2, 97-62-2, 83-36-1, 97-125-1, 97-177-2
KI-257	R	S	R	R	R	S	S	S	98074A, 97-165-2
KI-409	R	R	R	S	R	S	S	S	98084A
KI-215	R	S	S	S	R	R	R	S	G3, G15, GDDWV-5
KI-212	R	S	S	S	R	S	R	R	G11
KI-307	R	R	S	S	S	R	R	S	G13
KJ-201	R	R	R	R	R	S	S	S	98031A, SC35, SC15, SC6, 93-20-1, 97-7-1, 87-17-1, 93-34-2, 93-40-2, 97-78-1, 97-72-2
KJ-105	R	R	R	R	S	R	S	S	93-144, 93-23-1, 97-162-2, 85-7-4, 93-17-2, 97-129-1, 97-104-2, 97-158-2
KI-231	R	S	S	R	R	R	R	S	98022B
KJ-103	R	R	R	R	S	S	R	S	98097A, 97-130-2
KI-315	R	R	S	S	R	R	R	S	95-t ₁
KI-326	R	R	S	R	R	S	S	R	98083A
KI-230	R	S	S	R	R	R	S	R	SC34
KI-416	R	R	R	S	R	R	R	R	98095
KI-216	R	S	S	S	R	R	R	R	G8
KJ-301	R	R	R	R	R	R	S	S	SC1, 85-33-3, 93-58-2, 93-44-1, 97-69-1, SN19-3, 97-80-1, 97-70-2, 97-71-1, SN10-1, 93-55-2
KJ-104	R	R	R	R	S	S	R	R	SC32
KI-260	R	S	R	R	R	S	R	R	G4
KI-324	R	R	S	R	S	R	R	R	SC31
KI-316	R	R	S	S	R	R	R	R	G5, 95-t ₂
KI-232	R	S	S	R	R	R	R	R	G2
KJ-203	R	R	R	R	R	S	R	S	Di-1, SC18
KJ-107	R	R	R	R	S	R	R	S	93-145, 93-29-1, 93-32-2
KI-248	R	S	R	S	R	R	R	R	G9, GDDWV-1
KI-263	R	S	R	R	R	R	R	S	98055A
KI-414	R	R	R	S	R	R	S	R	98075A, 98085A, SC27, G14, SC23
KJ-202	R	R	R	R	R	S	S	R	SC28
KJ-108	R	R	R	R	S	R	R	R	Z10-8-14
KI-416	R	R	S	S	R	R	R	R	SC24, SC26
KI-332	R	R	R	R	R	R	R	R	93-141-1
KJ-401	R	R	R	R	R	R	R	S	SC14, 93-93-1, 93-84-1, 85-37-4, 93-81-1, 85-5-3, 93-141-2, 97-106-1, 97-103-1
KJ-204	R	R	R	R	R	S	R	R	G7, SC29, SC4, SC11
KJ-302	R	R	R	R	R	R	S	R	SC10
0	R	R	R	R	R	R	R	R	G1, G6, G10, 98079A,* SC8, SC39, SC41, SC43

*Isolates which were shadowed letters were collected from South China.

Table 4. Pathogenic reaction of Korean 100 isolates on the Near isogenic line (NIL) which newly developed in China

Pathogenic reaction types	F80-1	F98-7	F124-1	F128-1	F129-1	F145-2	No. of Korean isolates
	<i>Pi-k</i>	<i>Pi-K^m</i>	<i>Pi-ta</i>	<i>Pi-ta²</i>	<i>Pi-K^p</i>	<i>Pi-b</i>	
1	S*	S	S	R	S	S	13
2	S	R	S	S	R	R	3
3	S	R	S	R	S	R	1
4	S	S	S	R	S	R	1
5	R	R	S	R	S	R	1
6	R	R	S	R	R	R	1
7	S	S	S	S	S	R	3
8	S	S	S	S	S	S	46
9	S	R	R	S	R	R	6
10	R	R	R	R	S	R	1
11	S	S	S	S	R	S	2
12	S	S	R	R	R	R	2
13	S	S	R	S	R	R	1
14	S	R	S	R	R	R	2
15	S	S	R	R	S	R	1
16	S	R	R	R	R	R	1
17	R	R	R	R	R	R	1
18	S	R	S	S	S	S	1
19	S	R	R	S	S	S	2
20	S	S	S	R	S	R	1
21	S	S	S	S	R	R	1
22	S	S	R	S	S	R	1
23	S	R	R	S	R	S	2
24	S	R	R	R	S	R	1
25	R	S	S	R	S	R	1
26	S	R	R	S	S	R	1
27	S	S	R	S	S	R	1
28	S	R	R	S	S	S	1
29	S	S	S	S	R	R	1
	SUM						100

*R : Resistant (0-3 degree of disease level according to IRRI standardization, S : Susceptible (4-5 degree of disease level).

원성을 결정하는 병원균의 비병원성 유전자가 만났을 때 표현되며, 이는 Gene-for-Gene 이론(Flor, H. H. 1955)으로 설명될 수 있다. 이 결과에서도 중국 북방에서 재배되고 있는 품종은 대부분 일본형 품종이거나 일본형 품종을 교배 모본으로 사용한 Indica× Japonica 교잡종이므로 저항성 유전자가 한국에서 재배되고 있는 품종의 저항성원과 유전적으로 매우 비슷한 것으로 해석된다. 반면에 중국남부의 재배품종은 대부분 Indica로서 한국 재배 품종과는 다른 저항성원이며 그에 따라 병원성도 아주 다른 것으로 분석되어 저항성 유전자와 병원균의 비병원성 유전자가 레이스를 결정한다는 이론과 일치하고 있었다.

3) 중국에서 신품종 품종을 위하여 육성한 F80-1(*Pi-K*)

등 5개의 monogenic lines(NILs)과 LTH에 대해 100개의 한국 균주를 접종한 결과는 Table 4와 같다. 그 결과, 중국 NILs 반응을 기초로 한 한국 병원균은 29개 병원형으로 구분되었다. 그 중 대부분의 균주가 그룹 1, 7, 8, 9 등 4개 그룹에 속해 있었으며 가장 많은 균주가 분포되어 있는 그룹은 8번 group으로서 시험균주의 46%가 중국 신품종 체계 후보품종인 NILs(LTH/일본품종 저항성 유전자)을 모두 침해하였는데 이것으로 보아 중국 저항성 유전자 품종 set는 한국균주의 병원성을 분류한다든가 육종시 저항성 유전자로의 도입 등의 연구에 적합하지 않은 것으로 생각된다. 또한 F145-2(*Pi-b*)를 침해하는 균주를 살펴보면 약 70균주(70%)가 이병성으로 나타난 것을

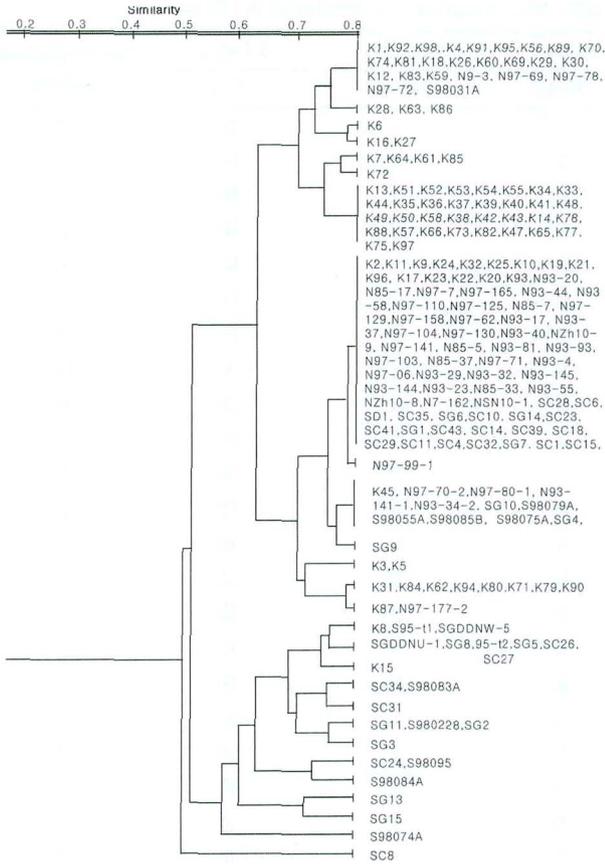


Fig. 1. Similarity of isolates from Korea & China (North & South) by pathotyping on Korean and Chinese differential varieties. **K-Korean isolates, N-North China isolates, S-South China isolates.

알 수 있었다. *Pi-b*를 침해하는 균주의 분포에 대한 보고서는 Han 등(1998)에 의하여 보고된 바 있다. 1993~1995년도에 일품벼 및 진미벼 등을 주로 침해하고 전국 23%를 분포하던 KI-409 등의 레이스가 일품벼 등 대부분의 재배 품종의 교배모본으로 사용되었던 BL1, BL7계통(최등, 1991)이 보유한 *Pi-b* 저항성 유전자(橫尾政雄, 1978)를 침해하였던 것으로서 보고된 것과 관련하여, 이 실험에서도 한국 균주 70% 이상이 이병성 반응을 보인 것으로 나타났으므로, 역시 *Pi-b* 유전자는 우리나라 저항성 품종 육종 시 지양해야 할 유전자임을 증명할 수 있었다.

한·중 균주의 병원형 및 유전형에 따른 연관관계 분석

한국·중국 균주의 병원형에 따른 유전형을 분석하기 위하여 중국 판별품종, 중국 monogenic lines, 한국 판별 품종 등 20개 품종에 접종한 결과, 중국 북방 균주는 2개의 group으로 나뉘었고 한국 균주와 유사도가 매우 높은 것으로 나타났다. 중국 남방 균주는 상호간 유사성이 낮으며, 한국 균주와 유사성이 낮으며 아주 다른 병원형을 가지고 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

Fig. 1에서와 같이 기주에서의 병 반응에 따라서는 북방균주와 남방 균주는 뚜렷이 구별되며, 북방 균주는 대부분 한국 균주와 비슷한 병원형을 보여 70~80%의 유사도가 있음으로 조사되었다. 그러나 DNA 구조에서는

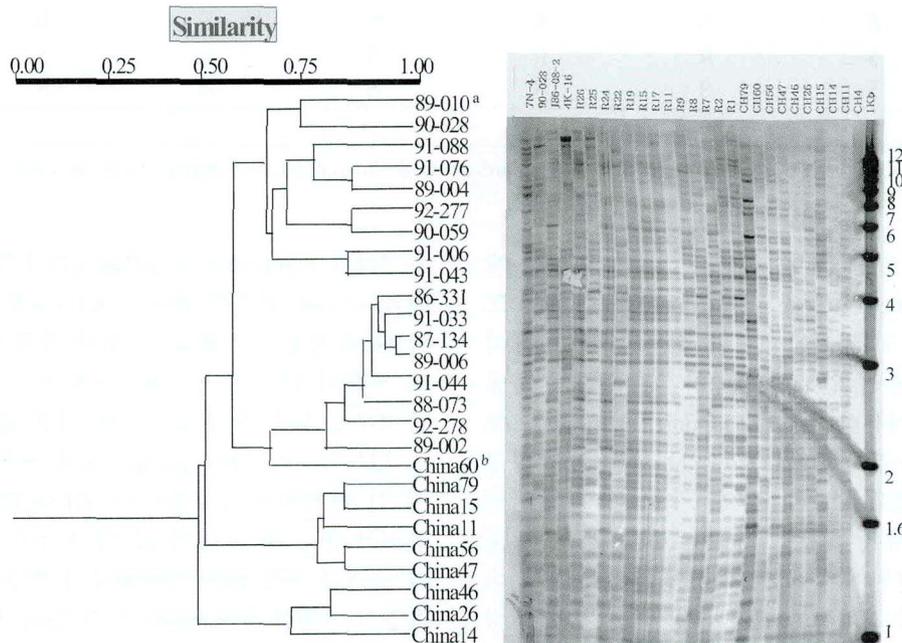


Fig. 2. Differentiation of UPGMA-Clustering of Korean and Chinese isolates of *Magnaporthe grisea*. Genetic similarity was calculated from genome RFLP profiles. (a) Korean isolates from, (b) Chinese isolates from South China.

repetitive sequence MGR586(Hamer 등, 1991)에 의한 도열병균 RFLP는 한국 균주에서는 보통 50~70개의 band가 관찰되나(Han, 1993) 중국균주는 40~55개의 band pattern을 보여 DNA 구조상으로는 아주 다른 양상을 보였다(Fig. 2). 이것은 병원균의 Genomic-DNA 구조가 병원성과 직접적으로 관련이 있기 때문이란 증명을 하기에는 유전적 정보가 부족하지만, 지역별로 재배되고 있는 벼의 저항성 유전자가 상반되는 경향이므로 그로부터 분리한 병원균의 생태형 추적에 좋은 재료로 해석될 수 있겠다(Han, 1993). Fig. 2에서 보는 바와 같이 중국균주인 C60균주는 한국 균주와 유사도가 높으며 다른 균주들은 아주 다른 pattern으로 나타났다. 또한 이러한 결과를 통하여 균의 지리적 이동 등을 진단할 수 있는데, 중국균주는 band수가 적고, 한국 균주는 좀 더 진화된 많은 band 양상을 보였다. 이는 중국으로부터 이동하였을 가능성이 있는 병원균이 한국품종에 정착하여 새로운 저항성 유전자를 통하

여 비병원성 유전자를 획득하는 등 유전적인 변이 가능성을 진단해 볼 수 있었다. 따라서 도열병균의 유전적 구조에 대한 결과는 좀 더 많은 실험이 요구된다.

대표균주에 의한 품종의 저항성 분석 및 저항성원 평가

국제미작연구소(IRRI)에서 육성한 저항성 유전자를 갖고 있는 12개 monogenic line에 대해 양국의 대표균주를 접종한 결과는 Table 5와 같다. 한-중 균주의 유전자 침해비율은 대체로 비슷한 경향이었으나 *Pi-z*, *Pi-3*, *Pi-5(t)*는 한국 균주가 각각 56.6%, 58.1%, 45.4% 침해하는 반면 중국 균주는 각각 85.2%, 75.9%, 75.9%를 침해하여 중국 균주의 침해 비율이 높았다. 따라서 한국에서는 이들 유전자가 저항성 품종 육성에 좀 더 유용한 것으로 나타났다. *Pi-b* 유전자의 경우, 한국 균주의 82.6%가 침해하는 반면 중국 균주는 59.3%가 침해하여 한국 균주의 침해 비율이 높았고 중국에서는 *Pi-b* 저항성 유전자가 유용한 것으로 나타났다. *Pi-sh* 유전자는 약 97%의 한국 균주가 침해하였으나 중국 균주는 모두 침해하여 양국 균주 모두 기주의 *Pi-sh* 저항성에 해당하는 병원균의 비병원성(*avr Pi-sh*) 유전자가 없는 것으로 추정된다. 이 결과는 Table 1과 비슷한 양상을 보였으며, *Pi-a*, *Pi-sh* 유전자는 두 국가에서 모두 저항성원으로는 사용할 수 없으며, LTH는 양국 모든 병원균에 대하여 이병성 반응을 보임으로서 이것은 유전자 분석하는데 좋은 재료로 사용될 수 있었다.

벼의 도열병 저항성 유전자는 여러 연구자에 의해 보고된 바 있지만, 일본형 유전자 표기법(*Pi-a,b,k,i* 등)과 국제표준표기법(*Pi-1,2,3,5,9* 등)이 있는데 현재는 약 40여개의 유전자들이 보고되어 있다. 이들 유전자들이 같은 것이 있을 것으로 생각되어 이를 추적하고 표준화하는 작업이 이루어지고 있는 단계이다. 그러나 각 국가마다 재배 품종에는 어떤 유전자가 있는지 또는 그 주동유전자별로 병원성 관련 저항성 정도 data가 보고되지 않아서 이를 사용하는 많은 육종가 및 유전학자, 분자유전학자들이 병저항성과 연결하여 연구과제를 진행하기가 어려운 실정이다. 따라서 한국 및 중국의 대표 균계를 이용한 Near isogenic-lines의 병원성 특성 보고는 여러 학자들에게 아주 유용한 정보가 될 것으로 생각된다.

요 약

한·중 벼 도열병균의 특성 검정과 저항성원의 공동 평

Table 5. Resistant assesment of Near-isogenic lines from IRRI against to 130 Korean referential isolates and 55 North China isolates

Resistant gene*	Countries	Ratio of isolates (%)		No. of isolates
		R	S	
<i>Pi-a</i>	Korea	4.5	95.5	132
	China	3.6	96.4	55
<i>Pi-l</i>	Korea	37.1	62.9	132
	China	23.6	76.4	55
<i>Pi k-s</i>	Korea	24.2	75.8	132
	China	23.6	76.4	55
<i>Pi k-h</i>	Korea	30.8	69.2	133
	China	43.6	56.4	55
<i>Pi-z(?)</i>	Korea	43.4	56.6	129
	China	14.8	85.2	54
<i>Pi-ta</i>	Korea	14.7	85.3	129
	China	22.6	77.4	53
<i>Pi-b</i>	Korea	17.4	82.6	132
	China	40.7	59.3	54
<i>Pi-sh</i>	Korea	3.2	96.8	125
	China	0	100	52
<i>Pi-3</i>	Korea	41.9	58.1	129
	China	24.1	75.9	54
<i>Pi-5(t)</i>	Korea	54.6	45.4	130
	China	24.1	75.9	54
<i>Pi-7(t)</i>	Korea	27.7	72.3	130
	China	38.9	61.1	54
LTH	Korea	0	100	130
	China	0	100	54

가를 통하여 병원균의 특성을 구명하고 주요 저항성원에 대한 정보와 한국 도열병균의 분화 현상이 중국으로부터 유래하였는지를 분석하였다. 각국의 대표균주 각각 100균 주씩을 한국, 중국 판별품종 및 단인자 저항성 품종에 접종한 결과, 한국 병원균은 중국 단인자 저항성 품종에서 29개의 반응형을 보였으며, 한국균주 46%가 중국 NIL(LTH/일본품종 저항성 유전자)을 모두 침해하여, 우리나라 벼 육종 시 저항성원으로 적합지 않은 것으로 나타났다. 또한 한국판별품종에 대한 중국균주의 반응결과, KJ-201, KJ-301, KJ-403, KJ-105, KJ-101 레이스가 각각 11%, 10%, 9%, 8%, 7%의 비율로 나타났다. 그러나 RFLP-MGR586 profile은 한국 균주가 중국균주보다 band 수와 양상이 다양하여 변이가 심한 것으로 나타났으며, IRRI에서 육성한 11개의 단인자 저항성 품종에 대하여 한-중 균주의 유전자 침해비율은 대체로 비슷한 경향이였다. *Pi-z*, *Pi-3*, *Pi-5(t)*는 한국 균주가 각각 56.6%, 58.1%, 45.4% 침해하는 반면, 중국 균주는 각각 85.2%, 75.9%, 75.9%를 침해하여 중국 균주의 침해 비율이 높았고 *Pi-b* 유전자의 경우, 한국 균주의 82.6%가 침해하는 반면 중국 균주는 59.3%가 침해하여 한국 균주의 침해 비율이 높았다.

참고문헌

- Bandong, I. M. and Ou, S. H. 1966. The physiologic races of *Pyricularia oryzae* Cav. in the Philippines. *Philipp. Agr.* 49: 655-667.
- 曹功懋等. 1983. 吉林省稻瘟病菌生理小種初步研究. *植物病理學報* 13(4): 13-19.
- 최해춘, 조수연, 박래경, 김연규, 박남규, 신영섭, 문헌팔, 손영희. 1991. 벼 고도양질 내생 다수성 신품종 진미벼. *농시논문집* 33(3): 9-16.
- CES, RDA. 1990. Rice varietal improvement in Korea. p 26, 97.
- Flor, H. H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust, its genetics and other implications. *Phytopathology* 45: 680-685.
- Han, S. S. 1995. Transition of rice blast fungus (*Pyricularia grisea*) races in relation to differential varieties in Korea. *Plant Dis. & Agri.* 1(2): 9-17.
- Han, S. S., Choi, S. H., Ra, D. S. and Eun, M. Y. 1998. Analysis of rapid increase of rice blast fungus race KI-409 in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 14(6): 705-709.
- Han, S. S., Ra, D. S. and Nelson, R. 1993. Comparison of RFLP-based phylogenetic trees and pathotypes of *Pyricularia oryzae* in Korea. *RDA J. Agri. Sci.(C.P.)* 35(1): 315-323.
- 한성숙, 류재당, 심홍식, 이세원, 홍연규, 차광홍. 2001. 도열병균 새로운 레이스 KI-1117a에 의한 저항성 품종의 이병화 및 레이스 분포변동 (1999-2000). *식물병연구* 7(2):86-92.
- Hamer, J. E. 1991. Molecular probes for rice blast disease. *Science.* 252: 632-633.
- 黃振興等. 1986. 上海地區稻瘟病菌生理小種研究. *上海農學院學報* 4(1): 27-35.
- 岩田和夫. 1968. 新潟縣におけるいもち病高度抵抗性品種の罹病化. *植物防疫* 22(7): 275-279.
- 岩田和夫, 安部辛男. 1966. 新潟縣におけるいもち病抵抗性品種(支那系品種)の罹病化について. *北陸病蟲會報* 14: 8-16.
- 金寅權. 1968. 韓國에 있어서의 稻熱病菌의 生態品種과 水稻品種의 稻熱病 抵抗性에 關한 研究. *植物保護. 別策* 3號. pp1-16.
- 金敏忠等. 1986. 浙江省稻瘟病菌生理小種分布及其變化動態的研究. *浙江農業科學* 5: 265-267.
- 清澤茂久. 1972. いもち病菌レースの判別品種の選抜あるいは作出. *育雜.* 22: 119-123.
- Kiyosawa, S. et al. 1981. Pathogenicity tests of Philippine isolates of blast fungus using two sets of rice varieties. *Japan. J. Breed.* 31(4): 367-376.
- 이은중. 1972. 저항성 품종인 관옥의 도열병 격발 원인. *한식보호지* 11(1): 41-43.
- 李銀鍾. 1978. 韓國におけるイネいもち病菌の病原性分化に關する研究. *東京大 博士學位 論文.* pp20-154.
- 이은중, 유재당, 예완해, 한성숙, 이영희. 1987. 한국도열병균 레이스 판별품종 체계에 대한 제안. *농시논문집(식환, 균이, 농가)* 29(1): 206-213.
- 羅寬等. 1985. 湖南省稻瘟病菌生理小種動態與品種抗性研究. *湖南農業科學* 3: 18-21.
- Murray, M. G. and Thompson, W. F. 1980. Rapid isolation of high-molecular-weight plant DNA. *Nucleic Acids Research* 8: 4321-4325.
- Ou, S. H. Rice diseases(2nd). 1985. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England 109-201.
- 신대석. 2001. 21세기농업융합응용기술. *흑룡강조선민족출판사* p39-42.
- Taylor, B. and Powell, A. 1982. Isolation of plant DNA and RNA. *Focus* 4: 4-6.
- 全國稻瘟病生理小種聯合實驗組. 1980. 我國稻瘟病菌生理小種研究. *植物病理學報* 10(2): 71-81.
- 熊振民等. 1990. 中國水稻. *中國農業科學出版社* 79-85.
- Yamada, M. et al. 1976. Proposal of a new method for dSoc. *Japan.* 42: 216-219.
- 山田昌雄. 1965. 外國稻系高度いもち病抵抗性品種の發病. *日植病報* 19(6): 231-234.
- 山田昌雄, 李銀鍾. 1978. 韓國における統一系イネ品種のいもち病罹病化. *植物防疫* 32(6): 14-19.
- 横尾政雄, 菊池文雄, 藤卷 宏, 永井卓太郎. イネの日印交雜から育成したいもち病抵抗性の新系統BL1-BL7. *日本育種學雜誌* 28(4): 359-385.
- Yu, Z. H. et al. 1991. Tagging genes for blast resistance in rice via linkage to RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 81: 471-476.
- 張學博等. 1981. 福建省稻瘟病菌生理小種研究. *福建農學院* 2: 23-29.
- 中國農業科學院植物保護研究所主編. 1995. 中國農作物病蟲害報, 第2版, 北京, 中國農業出版社 3-14.