

한국에서의 감자 바이러스병 발생과 그 연구에 대한 고찰

함 영 일*

농촌진흥청 고령지 농업시험장 산지작물과

Review on the Occurrence and Studies of Potato Viral Diseases in Korea

Young-Il Hahm*

Highland Crop Research Division, National Highland Agricultural Experiment Station,

RDA, Daegwallyeong 232-950, Korea

(Received on January 21, 2003)

The occurrence of potato (*Solanum tuberosum*) viral diseases caused by *Potato virus X* (PVX), *Potato virus Y* (PVY), *Potato leafroll virus* (PLRV), *Potato virus S* (PVS), *Potato virus M* (PVM), *Potato virus A* (PVA), *Potato virus T* (PVT), *Alfalfa mosaic virus* (AIMV), *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Potato mop top virus* (PMTV) *Tobacco rattle virus* (TRV) and *Potato spindle tuber viroid* (PSTVd), potato witches' broom phytoplasma, have been identified so far in Korea. Major viral diseases such as PVX, PVY and PLRV had been studied more deeply, however, the others are just identified and only partially characterized since the first study on the relation between PVX nucleic acid and virus protein by Kim in 1961. The most studies on potato viral diseases are mainly focused on the problems of seed potato production. The National Alpine Agricultural Experiment Station (NAAES), since it began its activities in 1961, has given special attention to this problem by doing studies to identify, characterize and control potato virus diseases. This effort resulted in the development of new potato virus detection methods as a basis for elaborating new method of control, such as the production of seed potato free of virus and the selection of new virus-resistant transgenic potatoes. The further studies of potato viral diseases required would be followings: the continuous monitoring for the occurrence of identified or not identified potato viruses in Korea, the isolation of resistant viral genes, the development of control method for the non-persistently transmitted viruses like PVY, special vectors such as nematode and fungus transmitted viruses, TRV and PMTV, and the development of control methods against potato viral diseases by viral cross protection, therapy, transgenic plant, and the use of the agents or molecules, such as virus inhibitors and antiviral proteins, etc., blocking viral replication.

Keywords : potato, viral diseases, PVX, PVY, PLRV, control methods

감자(*Solanum tuberosum*)는 우리 나라에 들어온 지 약 200년이 지나는 동안 주로 구황작물로서 취급 받아오다 최근에서야 가공식품으로 각광을 받기 시작하고 있다. 감자는 전 세계적으로 식품으로서의 중요성은 널리 알려져 있으나 우리 나라에서는 극히 일부분을 제외하고는 조리 및 가공방법의 미개발과 홍보부족으로 특히 가공감자 생산의 확대가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 최근 감자 재배면적은 2.5-3만 정보로 80년대 초반보다는 오히려 현

저히 줄어들었으나 다행히 생산량은 70만톤 내외로 과거와 같은 수준을 유지하고 있다. 이는 단위 면적당 수량증가 때문이며 이러한 수량증가 요인으로는 바이러스 감염률이 낮은 씨감자의 공급이 첫째이며, 아울러 재배기술의 발달, 새로운 품종의 보급 등을 꼽을 수 있을 것이다.

건전한 씨감자를 생산 공급하기 위해서는 여러 가지 병해충으로부터 안전하게 씨감자를 유지, 증식해야 하는데, 이때 감자역병과 함께 여러 가지 바이러스병이 제일 문제가 된다. 특히 감자는 영양변식하는 작물로 바이러스가 한번 감염되면 종자변식 작물과는 달리 후대작물에도 계속적으로 전염되어 수량을 감소시키는 감자의 병리적 퇴화(Degeneration)의 주원인이 되고 있다. 이러한 수량감소

*Corresponding author

Phone)+82-33-330-7802, FAX)+82-33-330-7715

E-mail)yih0512@rda.go.kr

를 줄이고자 약 100여년전부터 선진국에서는 나라마다 건전 씨감자의 생산을 보증하기 위한 씨감자 생산계획(Seed Potato Program)을 수립하여, 특히 바이러스병에 대한 동정, 검정, 검사(포장과 후대)를 철저히 하기 위하여 많은 노력과 투자를 아끼지 않고 있는 실정이다(Shepard & Clafflin, 1975; 함, 1998; de Bokx, 1972).

감자에 대한 바이러스의 영향은 감자가 유럽에 처음 전래된 17세기이래 계속 연구되어 왔는데, 처음에는 감자의 잎을 말리게 하고 쭈그러지게 하며 또한 계속적인 영양 번식으로 수량이 감소되는 장애 때문에 퇴화된다고 생각하였다(Salaman, 1949). 이런 퇴화의 원인이 20세기 들어 서야 바이러스임이 밝혀졌다. 감자에서는 이제까지 바이

Table 1. Distribution of viruses by their association with potato (Salazar, 1996)

Virus and viroid that depend on potato for survival and spread			Viruses that don't depend on potato for survival and spread	
PVX	PMTV	APMV	AIMV	TRV
PVY	PLRV	PSV	BCTV	TMV
PVS	PVT	PBRV	CMV	ToSWV
PVM	PYV	PSTVd	PYDV	ToBRV
PVA	APLV	WPMV	TRSV	TSV
PAMV				SALCV

*Bold face indicates the viruses that were reported on potatoes in Korea.

Table 2. Transmission characteristics of different potato viruses and other agents in potato(Salazar, 1996)

Virus	Natural means of transmission (main vector)	Type of transmission	Other means of transmission (vector)
PLRV	<i>M. persicae</i> & others	Persistent	
PVY-O	<i>M. persicae</i> & others	Nonpersistent	Contact
PVY(PW)	Aphids(helped)		
PVY-N	<i>M. persicae</i> & others	Nonpersistent	
PVS	<i>Aphis</i> sp. & others	Nonpersistent	Contact
PVM	<i>M. persicae</i>	Nonpersistent	Contact
PVX	Mechanical contact		<i>S. endobioticum</i>
PVA	<i>M. persicae</i> & others	Nonpersistent	Contact
APLV	Mechanical contact		
APMV	Mechanical contact		
PVT	Mechanical contact		Botanical seed
PYV(SB22)	<i>M. persicae</i>	Semipersistent	
PMTV	<i>Spongospora subterranea</i>		
TNV	<i>Oplidium</i> spp.		
TRV	<i>Trichodorus</i> sp.		Mechanical
PSTVd	Mechanical contact		<i>M. persicae</i> (helped)
Phytoplasma	Leafhopper (several spp.)	persistent	

러스유사 병원체인 바이로이드(Viroid), 파이토플라스마(Phytoplasma)를 포함하여 약 40여종의 많은 바이러스가 보고되었지만 이들 중 다행히 단지 몇 종만이 경제적으로 중요한 것으로 보고되어 있으며(Table 2) 그렇게 중요하지 않은 바이러스들도 특수한 환경 하에서는 심한 피해를 일으키는 수도 있다고 한다(Burton, 1966; Salazar, 1999). 이들 바이러스를 기주와의 연관성에 따라 두 가지 부류(Salazar, 1996), 즉 *Potato virus X*(PVX)등과 같이 생존과 전파에 감자가 꼭 필요한 바이러스와 그렇지 않은 *Alfalfa mosaic virus*(AIMV)등과 같은 것으로 뚜렷하게 나눌 수 있다(Table 1).

감자 바이러스병은 다른 병들과는 달리 식물체를 완전히 고사시키는 경우는 드물지만 감자의 생육과 수량을 감소시킨다. 진단은 바이러스 계통차이에 따른 증상변화, 성숙도와 이병기간에 따른 식물체의 반응, 감자품종, 환경 영향에 의한 차이가 많으므로 상당히 어렵고 복잡하다(de Bokx, 1972; Struik & Weisema, 1999). 현재 바이러스 진단은 일반적으로 생물학적 특성 비교, 순화, 전자현미경, 물리적 성질 비교, 전기영동, 혈청학적 특성, 분자생물학적 특성 등과 기타 가능한 모든 기법이 망라되고 있는데, 그중 현재 혈청학적 방법인 효소결합항체법(ELISA)과 분자생물학적 방법인 핵산교잡법(NASH)과 중합효소연쇄반응법(PCR)은 각각 바이러스 존재와 동정을 위해 그 정확성과 민감성으로 널리 사용되고 있는데 감자에서도 발견이 비교적 어려운 바이러스를 ELISA법, NASH법과 PCR법에 의해 처음으로 진단 가능케 했다(Casper, 1977; Audy *et al.*, 1990; Saiki *et al.*, 1988; Jeffries, 1998).

본고는 한국의 감자 바이러스병에 대한 과거와 현재의 연구를 우리 나라와 외국의 씨감자 생산체제와 함께 고찰하여 봄으로써 금후 무병씨감자 생산은 물론 감자 바이러스에 대한 연구 방향을 제시하고자 한다.

선진 외국에서의 감자 바이러스병에 대한 초기(1900-50) 연구

John Tuke(1800)에 의하면 스코트랜드에서는 감자 재배를 위해 씨감자를 사용하면 처음 1-2년에는 이상 증상이 없다가 재배 3년째가 되면 일반적으로 잎이 쭈그러지고(curl) 수량 감소가 인식되었는데, 이러한 수량 감소를 피하기 위해서는 최소한 2년에 한번씩 새로운 씨감자를 사용해야 한다고 보고한 바 있다(Burton, 1966). 그 후 독일의 Appel(1906)이 최초로 감자잎말림병(*Potato leafroll virus*, PLRV)에 대해 피해를 언급한 이래, PLRV의 감자 유관속 사부의 전분 축적에 의한 잎말림 증상, 진딧물 전염성, 저

항성, 증상발현의 원인 등에 관한 연구(Orton, 1914; Quanjer, 1913, 1921; Artshwagner, 1923; Murphy, 1938)를 수행하였으며, 또한 PVX의 증상 발현, 전염성, 계통, 수량감소(Johnson, 1925; Schultz *et al.*, 1934; Laughnane & Murphy, 1938)에 대한 연구 및 PVX와 다른 바이러스와의 복합감염 연구(Loughnane & Murphy, 1938; Smith, 1937)등이 주로 이루어졌다. *Potato virus Y*(PVY)는 진딧물 전염(Kassanis, 1942; Loughnane, 1943), 바이러스 계통(Bawden & Kassanis, 1947), 저항성(Johnes *et al.*, 1940)에 대한 연구가 있었으며, 기타 바이러스 *Potato virus A*(PVA), *Potato virus G*(PVG), *Potato virus F*, PVF(Laughnane, 1934; Quanzer, 1921) 등에 대한 연구도 있었다. 그 후 1960년대 초반부터 본격적인 감자바이러스 연구가 시작되어 오늘에 이르렀다고 할 수 있다.

우리 나라에서의 바이러스병 발생 및 그 연구

1960년대. 우리 나라의 감자 바이러스 발생과 연구는 기록으로 보면 일찍이 1950년대 말 씨감자 생산을 대관령에 위치한 고령지시험장에서 시작하면서 비로소 시작되었는데, 문헌상 최초의 기록으로는 1960년대 초 PVX에 관한 바이러스 합성기작에 대한 연구(김은수, 1961)가 최초이지만 감자 재배와는 관련이 없는 실험실내에서 물리, 화학적인 특성 연구가 전부였다. 이어서 씨감자 생산에 필요한 바이러스 진단용 PVX, PVS와 PVY의 항혈청 제조 및 생물적, 물리적 성질에 대한 연구, 그리고 주요 감자 재배지대의 바이러스 이병률을 조사한 바 있다(최와강, 1964; 최정일, 1969). 또한 당시 씨감자 생산은 2-3년에 한번씩 외국에서 무병씨감자를 분양 받아 증식하는 수준으로, 도입 무병 씨감자를 유지 증식하고, 바이러스병 경감을 위해 감자 생육기간중 주기적인 약제 살포와 포장에서 바이러스 이병식물을 조기에 제거하는 이병주 제거에 급급하여 연구사업은 극히 미미하였다(한 등, 1971).

1970년대. 우리 나라 씨감자의 본격적인 생산은 1960년대 말 씨감자의 중요성이 인식되면서부터 수요급증으로 체계적인 생산단계의 정비와 확대의 일환으로 감자 원종장이 설립(1969년)되어 원종과 보급종을 생산하게 되었다. 그러나 씨감자의 무병화, 검정 및 검사, 증식기술의 미비 등으로 씨감자 생산에 어려움을 겪었다. 당시에는 주로 무병 씨감자를 도입, 증식하는 과정에서 씨감자 생산포장에서의 육안검정에 의한 이병주 제거, 매개 진딧물 방제를 위한 약제 살포 등의 바이러스병 방제법에 관한 연구(한과 정, 1971)가 수행되었으며 또한 건전 씨감자 생

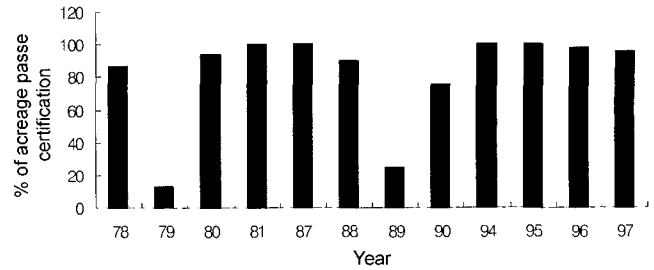


Fig. 1. The percentage of both Register'd and Certified seed potato acreage entered for certification that passed certification standards from 1978-1981(4), 1987-1991(4) and 1994-1997(4). Data from 1982-1986(6) and 1992-1993(2) could not be obtained.

산을 위한 새로운 적지 선정을 위한 진딧물 조사등 기본적인 채종 적지 조사연구(윤과 소, 1971; 백, 1975; 손 등, 1976; 윤과 소, 1977)를 실시한 바 있다. 또한 씨감자 채종시 바이러스 특히 PLRV와 PVY의 발생경감을 위한 토양 살충제 처리효과(한 등, 1971) 및 PVX, PVS, PVM과 PVY에 대한 바이러스의 특성, 항혈청 제조에 대한 연구(이 등 1977a, 1977b) 및 감자포장에서의 몇 가지 바이러스의 이병률을 혈청으로 조사한 바 있다(나, 1972).

한편 1977년 필자에 의해 씨감자 기본식물 남작품종에서 길쭉한 모양의 괴경을 처음 발견, 바이로이드에 의한 갈쪽병(Potato spindle tuber viroid ; PSTVd)으로 육안동정 되었으나(Fig. 2), 이로 인해 수년 후 우리나라 씨감자 생산에 엄청난 시련과 변화를 일으켰다(함, 1996). 따라서 갈쪽병 때문에 당시 기본식물의 씨감자 모두를 소각하여 다음해 원원종용 씨감자가 없어 당시 원원종 포장에서 괴경을 선별하여 기본종과 원원종용으로 사용하였으나 당시까지만 하여도 바이러스 검정방법은 육안 검정에 의한 이병주 제거가 바이러스 방제의 전부였기 때문에 다른 바이러스의 이병률은 자연히 높아질 수밖에 없었다. 여기에 또한 대관령 채종 재배지대 주변의 오염감자 포장의 산재에 따른 바이러스병 전염으로 씨감자의 재감염이 심하여(함, 1991) 결국 1979년과 1980년 씨감자로서의 보증을 받지 못하고 불합격되어 일본으로부터 씨감자 수입이라는 오점을 남기게 되었다(Fig. 1, Table 5; 함, 1996).

1980년대. 무병씨감자 생산을 위해 조직배양 기법(Kim 등, 1983)과 바이러스 대량 검정을 위한 혈청반응법과 지표식물 검정법에 관한 연구(함 등, 1984)를 시작으로 PVX와 PVS의 재감염(Hahm *et al.*, 1981), 바이러스 이병률 경감을 위한 Temik, Mineral oil등의 약제처리 및 방법(류 등, 1984), 채종포의 격리거리(이 등, 1982), 바이러스 복합감염 및 ELISA검정법 확립을 위한 검정한계, 엽 및 괴경 부위별, 품종별, 시기별 검정 정도(함 등, 1986, 1988,

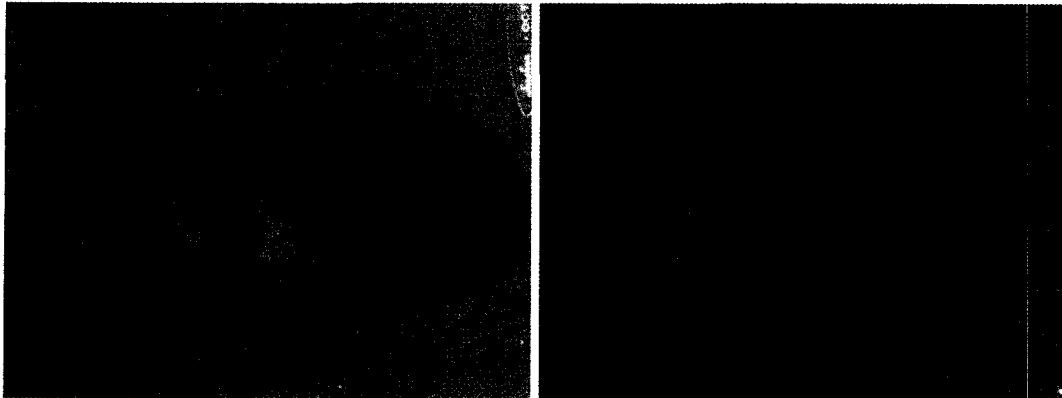


Fig. 2. Potato spindle tuber viroid (PSTVd). Infected tuber (left) and healthy one (right).

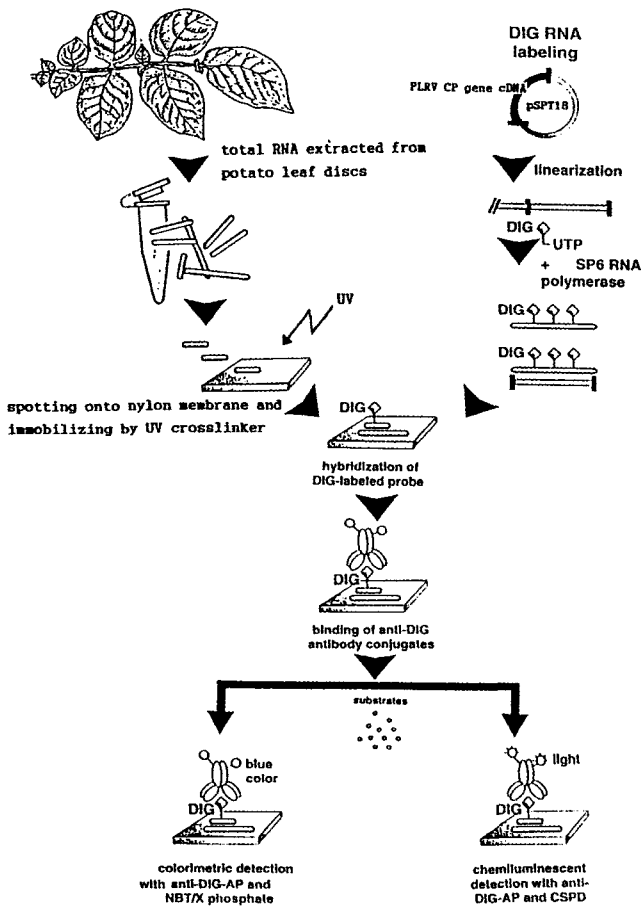


Fig. 3. Strategy for the detection of potato viruses, e.g. PLRV using Digoxigenin-labeled RNA prove.

1989), PVY의 계통분리(박과 최, 1984; 정 등, 1990) 등을 실시하였다. 또한 PLRV의 발생생태, 계통분류, 검정 방법, 저항성 품종 및 방제에 관한 연구를 실시하였다(함과 최, 1990; 함 등 1990). 이때 씨감자 공급기관인 중자

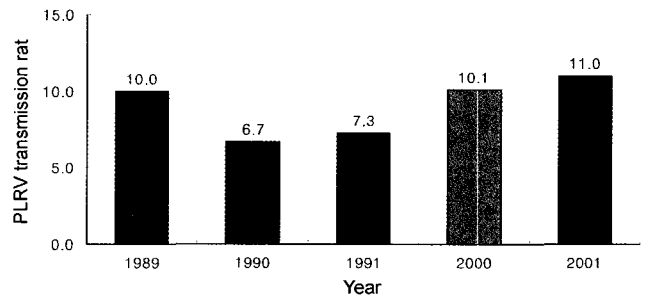


Fig. 4. Annual change of the percentage of PLRV-viruliferous aphids in seed potato producing area, Daegwallyeong.

공급소도 대관령에 탄생하였으며(1983) 바이러스 검사를 위해 농산물검사소도 무병 씨감자 생산을 위해 일익을 담당하기에 이르렀다. 또한 당시 PLRV에 이병성인 수미풀종 재배면적의 증가로 바이러스가 대발생하여(함 등, 1991) 씨감자를 수입을 하였으며, 저항성품종 육성이 시급하여 당시 PLRV에 강하고 역병에 강한 조품 품종이 탄생되어 어려움을 조금이나마 덜 수 있었다(김 등, 1990).

한편 바이러스 매개충인 진딧물에 대한 관심도 높아져 매개 진딧물의 월동 가능성, 비래 양상을 조사하였는데, 대관령에서는 매개진딧물의 월동은 확인할 수 없었으며, 6월 하순이 비래 최성기이며, 복숭아혹진딧물이 우점종으로 밝혀졌으며 비래 진딧물의 보독여부 검정법 확립(함과 최, '90) 및 보독충률을 구명(함과 박, 1992)한 바 있다(Fig. 4).

1990년대와 2000년대. 우리 나라 씨감자 생산의 세번째 위기가 1980년대 말과 1990년대 초기의 씨감자 채종 포장의 바이러스 이병률 증가를 초래하였는데(Table 3) 이러한 바이러스 이병률 급증 원인이 당시에는 밝혀지지 않았으나, 대관령 씨감자 포장 주변 환경 불량인 것으로 밝혀진 것을 위시하여 일련의 채종에 필요한 연구

들이 이루어 졌다(함 등, 1990; 함, 1991; 함 등, 1992, 1993).

PVY는 지표식물 반응에 따라 O와 N 계통이 분리되었으며(정 등, 1990), 비래 진딧물의 보독여부 조사로 PLRV의 보독충율이 당시 약 7% 정도로 나타남으로써(함과 최, 1990; 함, 1991, 1992) 노지 재배 씨감자는 보증을 받지 못하고 불합격의 원인이 되었으며(Fig. 1) 따라서 이러한 이병률 높은 일반 감자 재배(함과 박, 1992; Hahm *et al.*, 1998)와 높은 보독충률로 당시로는 특별한 조치를 취하게 되었는데 이것이 씨감자의 망실 재배방식이었다(Table 3). 이로 인하여 현재 우리 나라 봄감자는 원종, 가을감자는 원원종까지의 모든 씨감자 생산을 망실재배로 하고 있는 실정이다. 이는 전 세계적으로 드문 현상으로 씨감자

재배지대의 환경, 즉 진딧물 발생과 비래 상황과 주변의 오염감자 포함한 기주식물 재배 및 분포의 중요성을 보여주는 좋은 예일 것이다(함, 1999; Hahm, 1999) 따라서 씨감자 생산체계가 없거나 새로 시작하는 곳에서는 특히 씨감자 생산지의 환경영향(윤 등 1995; 함 1996)을 미리 평가함은 건전 씨감자 생산의 성패를 좌우하는 매우 중요한 일이라 생각되며 필자가 방문한 이디오피아와 북한도 이와 비슷한 환경으로 씨감자 생산 계획에 우리의 경험을 제안한 바 있다.

현재 우리 나라는 씨감자의 망실재배로 점점 채종포의 이병율이 낮아져 드디어 1990년대 중반이후에는 1%이하(법정 허용범위 4%)의 이병율을 내게 되었다(Table 5). 또한 최근에는 씨감자 생산에서 고한 부분인 진단

Table 3. A comparison of PLRV infection rates of seed potatoes grown under different cultivation conditions in 1998 to 1999(Hahm, 1991)

Growing condition (Area)	Cultivar	Year	No. of plants			Remarks
			Tested	Infected	%	
Open field (Yongsan)	Superior	'88	43	3	7.0	Surrounded by table potatoes
		'89	46	17	37.0	
Net house (Yongsan)	"	'88	50	1	2.0	"
		'89	94	1	1.1	"
Open field (Hoenggye)	"	'88	46	10	21.7	"
		'89	49	9	20.0	"
Net house (Hoenggye)	"	'88	47	1	2.1	"
		'89	46	0	0	"
Open field (Taebaek)	"	'89	49	3	6.1	Isolated field from table potatoes

Table 4. Some characteristics of potato virus diseases on potato plants in Korea(2002)

virus group	Member virus	Major symptom on leaf	Particle		Detection	Hosts
			size	shape		
Potex	PVX	mild mosaic	515 * 13	Filamentous	ELISA, NASH	narrow(tomato, pepper)
Carla	PVS	mosaic	640 * 11	Filamentous	ELISA, NASH	narrow(pepino)
Carla	PVM	mottle	640 * 11	Filamentous	ELISA	narrow(solanacea)
Porty	PVA	mild mosaic	730 * 11	Filamentous	ELISA(AT)	narrow(potato)
Porty	PVY	mosaic	740 * 11	Filamentous	ELISA, NASH	wide(pepper, tomato weed, etc)
Tricho	PVT	Yellow	640 * 10	Filamentous	ELISA, NASH	narrow(oca)
Alfamo	AIMV	calico(spraing)*	58,52,48 * 12	Bacilliform	ELISA, NASH	wide(alfalfa, clover, etc)
Tobamo	TMV	Yellow	300 * 18	Rod	ELISA, NASH	wide(crops, herbaceous plant)
Tobra	TRV	Yellow(corky)	190,150 * 22	Rod	NASH, RTPCR	wide(gladiolous, tulip, lettuce, etc)
Furo	PMTV	chevron(net)	100-150 * 18-20	Rod	ELISA, NASH	narrow(potato)
Luteo	PLRV	leafroll (necrosis)	24	Isometric	ELISA, NASH	narrow(tomato, <i>Datura</i> , <i>Capsella</i> spp.)
Viroid	PSTV	upright (spindle)	80000 mw	Circular	NASH, RTPCR	narrow(pepino, avocardo, tomato)
Phytoplasma	witch's broom	hairy sprout	50-1000 mw	Pleomorphic	NASH, PCR	narrow(alfalfa, clover)

*(): Tuber symptom.

Table 5. Virus incidence of seed potatoes in Registered and Certified seed potato fields(Hahm, 1999)

Year	Cv.	Registered, %			Certified, %		
		Plant rogued out	Infected plants at inspection	Total	Plant rogued out	Infected plants at inspection	Total
'90	I. C.*	1.40	0.00	1.40	36.40	0.40	36.80
	Superior	1.30	0.00	1.30	36.30	0.40	36.70
'92	I. C.	0.80	0.10	0.98	9.93	0.26	10.10
	Superior	0.53	0.09	0.62	8.40	0.25	8.60
'94	I. C.	0.20	0.25	0.52	5.40	0.70	6.10
	Superior	0.37	0.28	0.65	2.90	0.20	3.10
'96	I. C.	0.10	0.01	0.12	0.30	0.05	0.35
	Superior	0.15	0.02	0.17	4.80	0.09	4.89
'98		0.30	0.06	0.44	0.60	0.07	0.67
		0.06	0.02	0.08	0.04	0.04	0.44

*I.C. : Irish Cobbler.

과 검정분야에서 혈청학적 방법인 ELISA(함 등, 1991)법과 함께 조기, 정밀 진단 방법인 cDNA probe를 이용한 핵산교잡법(NASH)의 도입(함 등, 1992; 최 등, 1992; 함 등, 1993; 함 1996), DIG 등 화학물질 결합 cRNA probe 이용(Fig. 3)과 PCR을 이용한 바이러스 진단법에 관한 연구가 진행되었다(최 등, 1992, 1995; Jeong *et al.*, 1997; 함, 1998; 서 등, 1998). 그리고 저항성 감자재배를 위한 PLRV의 항바이러스성 단백질과 CP유전자를 이용한 바이러스 형질전환 감자개발(Choi 등 1994; Hahm 등 1994) 등의 연구도 이루어졌다.

최근에는 감자를 가해하는 새로운 바이러스 즉 *Alfalfa mosaic virus*(AIMV), *Tobacco mosaic virus*(TMV), *Tobacco rattle virus*(TRV), *Potato mop-top virus*(PMTV)에 대한 분리동정, 생물학적 특성, 형태적 특성, 염기서열(Sequence) 등 분자학적 특성과 발생 생태 등의 연구(Jung *et al.*, 2000; Jung, 2001; 정 등 2002; Yun *et al.*, 2002)가 있었으며 또한 파이토프라스마에 의한 감자 빗자루병(potato witches' broom)도 동정(함 등 2001)되고 계통해석 연구로 일본과 같은 계통임이 밝혀졌으며(Jung *et al.*, 2002) 일본에서의 유입 가능성이 높은 것으로 생각되어 다시 한번 식물검역의 중요성을 이 분야의 연구는 이제 시작하는 단계로 빗자루병 외에 purple-top wilt, phyllody, stolbur 등에 대한 발생 가능성 등 지속적인 연구가 절실한 실정이라고 할 수 있겠다.

금후, 감자 바이러스병의 연구

현재 우리 나라에 발생한 적이 있거나 발생하고 있는 바이러스로는 PVX, PVS, PVM, PVA, PVY, PVT(*Potato*

virus T), PLRV, AIMV, TMV, TRV, PMTV 등 11종과 비로이드인 갈쭉병, 파이토프라스마인 빗자루병 등이 알려져 있다(Table 4). 이들 중 발생빈도가 높고 피해가 크며 중요한 것으로는 외국과 마찬가지로 PVX, PVY, PLRV 정도이다. 그중 PVX는 씨감자 생산체계를 통한 씨감자를 이용하는 한 발생이 제한 될 것이지만, 재감염 될 기회가 많고 또한 매우 쉽게 전염되므로 항상 주의가 필요하다. PVY와 PLRV는 진딧물이 각각 비영속 전염과 영속 전염시키는 바이러스이므로 특히 기후(기온, 강우, 풍향 등)와 주위 환경(기주식물과 오염식물)에 따라 발생과 전파 정도의 차이가 많다. 특히 감자 바이러스 매개진딧물의 활동과 발생 증가에 좋은 환경인 지구 온난화 현상이 계속되고(권 등, 2002) 대서, 자심 등 PVY에 약한 품종의 재배면적이 늘어나는 추세이면(Yun *et al.*, 2002) PVY의 발생이 증가될 것이며, 아울러 진딧물이 매개하는 다른 바이러스 즉 AIMV, PVS, PVM등도 늘어날 가능성이 충분하다(Table 2). 수미품종 재배면적의 감소로 PLRV의 발생은 줄어들 것으로 예상되지만, 이점 또한 품종의 재배 양상에 따라 달라 질 것이다. 한편 이들 주요 바이러스 외에는 국부적으로 발생하여 문제가 될 수 있는 것으로는 TMV, TRV, PMTV, CMV, ToSWV(*Tomato spotted wilt virus*)등과 남미에서 문제가 되는 APLV(*Andean potato latent virus*), APMV(*Andean potato mosaic virus*), PAMV(*Potato acuba mosaic virus*), PYV(*Potato yellowing virus*) 등이 있으며, 이들 중 최근 제주도의 대지 감자에서 PVT와 TRV 발생이 좋은 예이다(Personal communication).

이상과 같이 감자 바이러스에 대한 연구는 여러 분야로 나누어져 있으나 금후에는 바이러스병의 전염 특성(특히 곰팡이, 선충, 가루이류에 의한 전염), 소홀하기 쉬운

발생 생태, 진단법의 개선 및 씨감자 생산체계로의 응용, 바이러스병의 방제법으로서 최근의 새롭고 적극적인 방법인 분자생물학적 방법인 바이러스에 대한 분자생물학적 변이 유발, 활성효소체계의 변화, 염기서열 일부의 변경 또는 치환 등에 대하여 특히 아래에 열거한 사항과 같은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

- 1) 최근 우리 나라 감자바이러스 발생 생태 조사 및 비교
- 2) 세계 감자바이러스 발생의 지속적인 모니터링 및 검역 강화
- 3) 바이러스 오염 감자 무독화의 신속 정밀화 및 무독화의 공정화
- 4) 바이러스 저항성 유전자원 수집 및 감자 육성
- 5) 감자 PVY 등 Non persistent virus의 계속적인 방제법 개발
- 6) 바이러스 저항성 유전자 탐색 및 형질전환 감자 개발
- 7) 바이러스 매개체의 전염특성 연구
- 8) 바이러스 억제제, 불활성제, 약독제 등 방제제 실용화 및 개발 연구

참고문헌

- Artschwagner, E. F. 1923. Occurrence and significance of phloem necrosis in the Irish potato. *J. Agri. Res.* 24: 237-245.
- Audy, R., Parent, J. G. and Asselin, A. 1990. Detection of Potato virus S and Y by nucleic acid spot hybridization using nonradioactive cDNA probes. *Amer. Potato J.* 67(8): 538.
- Bawden, F. C. and Kassanis, B. 1947. The behaviour of some naturally occurring strians of Potato virus Y. *Ann. appl. Biol.* 34: 503-516.
- Burton, W. G. 1966. The Potato. N. Veenman & Zonen N. V., Wageningen, Holland. 382 p.
- Casper, R. 1977. Detection of potato leafroll virus in potato and in *P. floridana* by enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA). *Phytopath. Z.* 90: 364-368.
- Choi, J. I. 1969. Studies on the *Potato virus X* and *Potato leafroll virus* for disease-free seed potato production. *J. Kor. Soc. Crop Sci.* 7: 31-63.
- 최정일, 강응희. 1964. 감자 바이러스에 관한 연구. 농사시험연구보고 7: 189-201.
- 최장경, 이장하, 함영일. 1992. 화학 루미네센스를 이용한 감자 잎말림 바이러스의 유전자 진단. 강원대 농업과학연구 4: 1-5.
- 최장경, 이종희, 함영일. 1995. *In Vitro* 전사 RNA probe를 이용한 식물 바이러스병의 진단. 한국식물병리학회지 11(4): 367-373.
- Choi, K. W., Moon, Y. H., Kim, M. K. and Hahm, Y. I. 1994. Development of Virus-Resistant Potato by Expression of *Phytolacca Antiviral Protein*. Proceeding of 4th APA Triennial Conference, July 5-6. 1994. Daekwallyong, Korea. 2: 17-21.
- Cockerham, G. 1943. The relations of potato varieties to viruses X, A, B and C. *Ann. appl. Biol.* 30: 338-344.
- de Bokx, J. A. 1972. Viruses of potatoes and seed-potato production. Pudoc Co. Wageningen, Holland. 233 p.
- 함영일. 1991. 한국에 발생하는 감자잎말림바이러스병(PLRV)의 역학적 연구. 강원대 대학원 박사 논문.
- 함영일. 1996. 감자 바이러스의 발생과 방제 대책. 식물과 농업 2(1): 1-14.
- 함영일. 1998. 감자 바이러스병과 씨감자 검정체계. 소인영교수 퇴임기념논문 "식물 바이러스학 논고". pp.107-122.
- Hahm, Y. I. 1999. The perspective of seed potato program and potato virus diseases in Korea. Proceeding of Kangwon International Potato Symposium. In 'Perspective in the potato industry toward 21st centry'. pp.42-56.
- 함영일, 최장경. 1990. 대관령지방 비래진딧물의 감자잎말림바이러스(PLRV) 보독성 검정. 한국병리학회지 6(3): 382-386.
- 함영일, 최관순, 최장경. 1993. 핵산 프르브를 이용한 바이러스 진단 기술 개발. 농업논문집(유전) 35(2): 293-244.
- 함영일, 최장경, 정승룡. 1992. 효소 결합항체법과 cDNA법에 의한 감자 바이러스 진단 연구. 농시논문집 34(2): 78-84.
- Hahm, Y. I., Choi, J. K. and Kim, J. K. 1994. Development of transgenic potato expressing viral protection against *Potato leafroll virus*. Introduction of coat protein gene from PLRV into plants by binary vector. In Proceedings of 4th APA Triennial Conference. July 5-7. 1994. Daekwallyong, Korea. 2: 65-71.
- 함영일, 정승룡, 김정간. 1986. 경영고조제 살포후 발생한 신엽에서 괴경으로 감자 X 바이러스(PVX)와 감자 Y 바이러스(PVY)의 이동에 관한 연구. 농시논문집 28(H): 104-108.
- 함영일, 정승룡, 박천수. 1988. 몇가지 감자 바이러스의 집종시기에 따른 증상발현에 관하여. 농시논문집 30(1C): 13-18.
- 함영일, 정승룡, 박천수. 1989. 감자 X 바이러스와 Y 바이러스 상호작용이 감자 생육에 미치는 영향. 농시논문집 31(4): 49-53.
- 함영일, 정승룡, 박천수. 1991. 감자 주요 바이러스 검정을 위한 ELISA의 응용. 농시논문집 33(3H): 91-97.
- Hahm, Y. I., Kwon, M., Kim, J. S., Seo, H. W. and Ahn, J. H. 1998. Survey on disease occurrence in major horticultural crops in Kangwon alpine areas. *Korean J. Plant Pathol.* 14(6): 668-675.
- 함영일, 이돈균, 김정간. 1984. 감자 Y 바이러스 검정 식물 "A6"(*Solanum demissum* X *S. tuberosum* 'Aquila')의 사용에 관한 연구. 농시연보. 26(2): 7-9.
- 함영일, 박천수. 1992. 감자포장에 비래하는 진딧물과 보독충 발생 양상. 농시논문집 34(2): 74-78.
- 함영일, 박천수, 김정간. 1992. 대관령지역에서의 감자잎말림바이러스(PLRV)의 전염원과 재감염. 한국식물병리학회지 6(4): 497-503.
- 함영일, 류경열, 조일찬. 2001. 파이토프라스마에 의한 감자 빗자루병 발생. 식물병연구 7(2): 116-119.
- Hahm, Y. I., S. A. Slack and R. J. Slattery. 1981. Reinfection of potato seed stocks with *Potato virus S* and *Potato virus X* in

- Wisconsin. *American Potato J.* 58: 117-125.
- 한병희, 정찬균, 강응희. 1971. II. 감자엽권바이러스병 방제에 관하여. *농시연보*. 14: 25-28.
- Jeffries, C. J. 1998. Potato(No. 19). FAO/IPGRI Technical guidelines for the safe movement of germplasm, 177p.
- 정승룡, Goto, 함영일. 1992. 우리나라 감자에서 분리한 감자 Y 바이러스의 한 계통. *한국식물병리학회지* 8(3): 209-212.
- 정승룡, 함영일, 박천수. 1990. 대관령지역에 발생하는 감자 Y 바이러스(PVY)의 계통분류와 전염시기 규명. *농시논문집* 32(H): 55-62.
- Jeong, Y. H., Jeon, J. H., Choi, K. H., Kim, H. S., Oh, H. W. and Jeong, H. 1997. Detection of *Potato virus S* using ELISA and RT-PCR techniques. *Korean J. Plant Pathol.* 13(5): 317-322.
- Jung, H. W. 2001. Characterization of viruses isolated from potato in Korea. PhD Thesis. Seoul National University, Seoul, Korea. 146p.
- Jung, H. Y., Hahm, Y. I., Lee J. T. Kakizawa, S. and Sawayanagi, T. et al. 2002. Phylogenetic analysis of potato-witch's broom phytoplasma occurring in Korea. *Jap. J. Phytopath.* 68(1): 71(Abst.).
- Jung, H. W., Jung, H. J., Yun, W. S., Hahm, Y. I. and Kim, K-H. 2000. Characterization and partial nucleotide sequence analysis of *Alfalfa mosaic virus* isolated from potato and azuki bean in Korea. *Plant Pathol. J.* 16(5): 1-7.
- Jung, H. W., Yun, W. S., Hahm, Y. I. and Kim, K-H. 2002. Characterization of Tobacco mosaic virus isolated from potato showing yellow leaf mosaic and stunting symptoms in Korea. *Plant Disease* 86(2): 112-117.
- Jung Hyo Won, Yun Won Soo, Seo Hyo Won, Hahm Young Il and Kim Kook-hyung. 2000. Characterization and partial nucleotide sequence of *Potato virus X* isolated from potato in Korea. *Plant Pathol. J.* 16(2): 110-119.
- Johnes, L. K. 1934. The rate of spread of veinbanding virus on potatoes. *Phytopathology* 24: 1144.
- Johnes, L. K., Vint, C. L. and Bu가, E. F. 1940. The resistance of progeny of Kathdin potatoes to viruses. *J. Agri. Res.* 60: 631-644.
- Johnson, L. 1925. Transmission of viruses from apparently healthy potatoes. *Bull. Wis. Agri. Exp. Stn.* pp.12.
- Kassanis, B. 1942. Transmission of *Potato virus Y* by *Aphis almi*(Boyer). *Ann. appl. Biol.* 29: 95.
- 김은수. 1961. 감자 바이러스 X의 분해산물. *성균관대학교 논문집*. 1961. 6: 200-214.
- Kim, H. S., Jeon, J. H., Choi, J. K., Park, Y. H. and Jeong, H. 1996. Eradication of PVS(*Potato virus X*) by thermo- and chemotherapy in potato tissue culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37(4): 533-536.
- 김관수, 김현준, 함영일. 1990. 감자 조숙다수성 신품종 "조풍" 육성. *농시논문집* 32(H): 50-54.
- 김유철, 황석중, 박영섭, 한병희, 김정간. 1983. 기내열처리 및 생장점배양에 의한 감자 "강원계 6호"의 바이러스 무독화에 관한 연구. *농시연보* 25: 128-131.
- Kim, Y. C., Kim, S. B. and Hahn, B. H. 1993. Eradication of *Potato virus S* and *X* by repeated in vitro heat treatment combined with meristem apex culture. *Kor. J. Plant Tissue Culture*. 10(1): 424-427.
- 김성일, 신관용, 함영일. 1991. 재배 형태별 경엽조제 처리가 감자수량 및 바이러스병에 미치는 영향. *농시논문집* 34(2): 33-40.
- 권민, 박천수, 함영일, 이승한. 2002. 대관령지역의 연도별 진딧물 비래 및 PLRV 보독률 변동. *한농곤지* 41(4): 247-253.
- 이돈균, 류승열, 박천수, 정승룡, 한병희. 1982. 감자채종포 주위 환경이 종서 바이러스 감염에 미치는 영향. *고시 시험연구보 고서* 120-128.
- 이순형, 이기운, 정봉조. 1977. 감자 바이러스 X의 순화와 혈청학적 연구. *한국식물보호학회지* 16(2): 101-104.
- 이순형, 이기운, 정봉조. 1977. 감자 바이러스 S 순화와 항혈청 제조. *한국식물보호학회지* 16(3): 145-148.
- Loughnane, J. B. 1933. Insect transmission of virus A of potatoes. *Nature, Lond.* 131: 838-839.
- Loughnane, J. B. 1943. *Aphis rhamnii* Boyer; its occurrence in Ireland and its efficiency as a vector of potato viruses. *J. Dep. Agri. Repub. Ire.* 40: 291-298.
- Loughnane, J. B. and Murphy, P. A. 1938. Dissemination of potato virus X and F by leaf contact. *Scient. Proc. R. Dubl. Sco.* 22: 1-15.
- Murphy, P. A. 1938. The leaf-roll disease of potatoes. A summary of modern knowledge. *J. Dep. Agri. Repub. Ire.* 35: 1-19.
- 나용준. 1972. 감자 바이러스의 혈청학적 동정에 관한 연구. *한국식물보호학회지* 13(1) : 41-46.
- Orton, W. A. 1914. Inspection and certification of potato seed stock. *Phytopathology* 4: 39-40(Abstr.).
- 박은경, 최장경. 1984. 감자 바이러스 Y의 계통분류를 위한 판별식물. *한국식물보호학회지* 23(4): 203-208.
- Quanjer, H. M. 1913. Die Nekrose des Ploems der Kartoffelflanze, die Ursache der Blattrollkrankheit. *Meded. LandbHooges. Wageningen.* 6: 41-80.
- Quanjer, H. M. 1921. New work on leaf curl and allied diseases in Holland. *R. hort. S. Rep. Int. Potato Conf.*, 127-145.
- 류연하, 김승열, 한영희, 배도함, 김무성. 1984. 종서생산에 있어서 약제처리가 감자바이러스 방제에 미치는 영향. *농시연보* 26(2): 58-64.
- Salaman, R. N. 1939. The *Potato virus 'X'*: its strains and reactions. *Phil. Trans. R. B.* 229: 137-217.
- Salazar, L. F. 1996. Potato viruses and their control. International Potato Center. Lima, Peru.
- Saiki, R. K., Gelfand, D. H. and Stoffel, S. 1988. Primer directed enzymic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. *Science.* 239: 487-491.
- Schultz, E. S., Clark, C. F., Bonde, R., Raleigh, W. P. and Stevenson, F. G. 1934. Resistance of potato to mosaic and other virus diseases. *Phytopathology* 24: 116-132.
- Schultz, E. S. and Folsom, D. 1921. Leafroll, net-necrosis, and spindling-sprout of Irish potato. *J. Agri. Res.* 21: 47-80.

- 서효원, 함영일, 오승은, 신관용. 1998. Digoxigenin으로 표지된 cRNA 프르브를 이용한 PLRV 진단. 한국식물보호학회지 14(6): 636-641.
- Shepard, J. F. and Clafin, L. E. 1975. Critical analyses of the principle of seed potato certification. *Ann. Rev. Phytopath.* 13: 271-293.
- Smith, K. M. 1937. A Textbook of Plant Virus Diseases. Chuchill, London. pp.615.
- 손준수, 윤재탁, 최영연. 1976. 감자 채종적지 선정에 따른 병충해 발생조사. 경북 농진원. 시험연구보고서 631-643.
- Struik, P. C. and Wiersema, S. G. 1999. Seed potato technology. wageningen Pers. Wageningen, Holland. 383p.
- Tuke, J. 1800. *General view of the agriculture of the North Riding of Yorkshire*. Enlarged demy 8vo edn., Board of Agriculture, London. pp.355.
- Yun, W. S., Jung, H. W., Oh, M. H., Hahm, Y. I. and Kim, K-H. 2002. Variation of *Potato virus Y* isolated from potato, tobacco, pea and weeds in Korea on the C-terminal region of coat protein gene and 3' non-translated region. *Plant Pathol. J.* 18(3): 130-137.
- 윤순기, 소인영. 1971. 전북지방의 씨감자에 이병된 감자바이러스의 분포 조사. 전북대 농대논문집 2: 1-9.
- 윤재탁, 김재창, 최성국, 함영일. 1995. 씨감자 생산을 위한 봉화 고령지의 환경평가. 농업논문집 37(H): 401-406.