식물병연구
Res. Plant Dis. 10(4) : 231-240 (2004)

Research in Plant Disease
©The Korean Society of Plant Pathology

시설 및 노지재배 고추의 바이러스병 발생과 분포

이수헌* · 이재봉 · 김상목 · 최홍수 · 박진우 · 이준성 · 이기운[1] · 문제선[2]
농업과학기술원 식물병리과, [1]경북대학교 농생물학과, [2]한국생명공학연구원 세포기능조절연구실

The Incidence and Distribution of Viral Diseases in Pepper by Cultivation Types

Su-Heon Lee*, Jae-Bong Lee, Sang-Mok Kim, Hong-Soo Choi, Jin-Woo Park, Jun-Seong Lee, Key-Woon Lee[1] and Jae-Sun Moon[2]

Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea
[1]Department of Agricultural Biology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
[2]Lab. of Cellular Function Modulator, Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Daejeon 305-333, Korea
(Received on November 18, 2004)

In the year of 2002 annual nationwide survey of virus diseases occurring in the pepper fields and greenhouses in Korea, the distribution and the incidence of viral diseases was investigated. The pepper samples from both greenhouses (155 samples) and open fields (227 samples) were collected and further analyzed to detect eleven different viruses by RT-PCR. The results indicate that no sample collected from both greenhouse and open field seems to be infected by TMV, RMV, PVY, AMV, and TSWV. On the other hand, CMV, BBWV2, PepMoV, PMMoV, TMGMV and ToMV are readily identified from greenhouse and open field samples by RT-PCR. The infection rates of the collected samples between greenhouse and open field are largely different. Comparing with 10% of virus-infected pepper samples grown in greenhouse, approximately one third of pepper samples collected from open field are infected. The mixed-infection rates in the virus-infected greenhouse and open field samples are 16% and 61%, respectively. The dominant virus occuring in greenhouse is PMMoV, indicating that virus-infected seed stocks and infected plant debris in the growing area may be important sources of inocula. On the other hand, both CMV and BBWV2 are dominant viruses in open field. This may indicate that the migration of viruliferous insect vectors into pepper fields may be the most important source of inoculum. Also, the survey shows that BBWV2 is newly immerging virus to be controlled in Korea. The discrepancies on the distribution and the occurrence of viral diseases between field and greenhouse may provide a fact that the accumulation and distribution of inoculum by successive cultivation and the migration of viruliferous vectors into growing areas are likely to be important factors to determine the incidence of viral diseases. Therefore, the further studies on epidemiology and the consideration of new breeding program of pepper are essential to minimize virus diseases.

Keywords : **Pepper, RT-PCR, Virus, Cultivation type**

고추(*Capsicum* spp.)는 남미의 멕시코, 페루와 볼리비아가 원산지인 가지과 작물이다. 우리나라 고추 생산량은 전국적으로 노지고추가 약 1조원 시설고추가 5000억원이며, 재배면적은 노지재배가 약 7만 ha, 시설재배가 약 5천 ha로 채소 재배면적의 25%를 차지하는 경제적으로 가장 중요한 작물중 하나이다. 고추에서 바이러스병은 생산량 감소와 함께 상품성을 크게 떨어뜨린다. 진딧물이 매개체인 바이러스의 경우, CMV는 60%이상의 생산량감소를 초래하였으며(Joshi와 Dubey, 1973; Florini와 Zitter, 1987), 두가지 potyvirus, *Potato virus Y*(PVY)와 *Pepper mottle virus*(PepMoV) 또한 많은 피해를 주었다(Laird 등, 1964; Purcifull 등, 1975). 또한 진딧물이 매개하는 *Broad*

*Corresponding author
Phone)+82-31-290-0436, Fax)+82-31-290-0406
E-mail)suheon@rda.go.kr

bean wilt virus(BBWV)는 아르헨티나, 불가리아, 헝가리, 이탈리아, 일본, 모르코 등지에서 많은 피해를 주고 있다(Boccardo와 Conti, 1973; Conti 등, 1972; Gracia와 Gutierrez, 1982; Imoto, 1975; Lockhart와 Fischer, 1977; Yankulova와 Kaitazova, 1979). 총채벌레가 매개체인 *Tomato spotted wilt virus*(TSWV)는 하와이에서 1940년대에 큰 피해를 주었고(Cho 등, 1989), 1984년 루이지에나에서는 60% 이상이 감염되었다(Greenough와 Black, 1984). 고추에 발생하는 토바모바이러스(tobamovirus) 중 가장 문제가 되는 바이러스는 PMMoV로 전세계적으로 문제가 되고 있으며(최, 1989; Garcia 등, 1990; Greenleaf 등, 1964; Nagai 등, 1981; Pares, 1985), 지역에 따라 *Tobacco mosaic virus*(TMV)와 *Tomato mosaic virus*(ToMV)의 피해사례가 보고되어 있다(Abdalla 등, 1991; Alonso 등, 1989; Hamm 등, 1995; Igwegbe와 Ogungbade, 1985; Schuerger 등, 1995). 특히 바이러스병은 병원체의 특성으로 인하여 발병초기 육안으로 병발생 유무를 알기 어렵고, 또한 약제방제가 현재까지 불가능하다. 그러므로 효과적인 방제대책을 강구하기 위하여 고추에 발생하고 있는 정확한 바이러스 병의 종류와 감염생태 등에 대한 기초연구가 선행되어야 한다.

약 45종의 바이러스가 고추를 감염하는 것으로 보고되어 있으나(Green과 Kim, 1991), 실질적으로는 지역에 따라 수 종의 바이러스가 경제적으로 손실을 야기하는 병을 일으킨다(Abdalla 등, 1991; Benner 등, 1985; Makkouk과 Gumpf, 1976). 국내 고추에 발생하는 바이러스는 1971년과 1973년의 조사에서 TMV, CMV, Potato virus X (PVX), PVY, Alfalfa mosaic virus(AMV)가 단독 또는 복합감염되어 있다고 하였다(라 등, 1972; 강 등, 1973). 1991년에는 10종의 항혈청을 사용한 DAS-ELISA에 의해 고추바이러스를 조사한 결과 4가지 바이러스(TMV, CMV, AMV, TSWV)가 전체에 약 94%를 차지하였다(임 등, 1991). 그리고 고추종자로부터 PMMoV와 ToMV가 분리되었으며, 토바모바이러스 평균오염율은 78.5%로 나타났다(한, 1999). 지금까지 고추에서 바이러스병의 조사는 대부분의 경우 혈청학적 방법에 의존하여 이루어졌기 때문에 현재의 바이러스 분류체계를 고려해 볼 때 정확한 바이러스의 동정이 이루어지지 않았을 가능성이 있다. 또한 과거와는 다른 고추품종이 재배되고 있고, 시설재배 면적의 확대와 함께 재배환경도 많이 달라진 상황이여서 고추에 발생하는 바이러스병 또한 많은 변화가 예상된다. 본 연구에서는 전국의 주요 시설고추 및 노지고추 재배지역에서 바이러스 병징을 보이는 고추를 채집하여 전자현미경과 역전사중합효소연쇄반응(RT-PCR) 분석을 통하여 정확한 바이러스 병을 진단하여 바이러스병의 발생생태에 대하여 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

바이러스 감염주 수집. 시설재배 고추는 2002년 3월에서 4월에 전국 주요 재배지 49농가에서 바이러스 발병율을 조사하고 감염시료 155점을 채집하였다. 노지재배 고추는 2002년 7월에서 9월에 제주도를 제외한 전국 351개 포장의 바이러스 발병률을 조사하였고, 바이러스 감염시료 227점을 수집하였다. 수집된 시료는 용도별로 소포장한 다음 −70°C 냉동고에서 보관하였다.

전자현미경 검경. 채집한 고추 잎을 2% phosphotungstic acid를 이용하여 direct negative staining method 방법에 의해 전자현미경(Carl Zeiss LEO912AB)으로 바이러스 입자를 검경하였다.

전체 RNA분리. RT-PCR 분석의 주형(template)으로 사용하기 위하여 채집한 식물체 조직으로부터 전체 RNA를 분리하였다. 전체 RNA는 Total RNA isolation system (Promega Co.)을 이용하여 잎조직 50 mg에서 분리하였다. 분리된 전체 RNA는 최종적으로 ice-cold 75% 에탄올로 3회 세척한 후 건조한 다음 RNase-free 증류수 50 μl에 녹인 다음 RT-PCR 분석에 사용하였다.

프라이머 합성 및 선발. 11종의 바이러스(PMMoV, PepMoV, CMV, *Tobacco mild green mosaic virus*, BBWV2, PVY, TMV, ToMV, *Ribgrass mosaic virus*, AMV, TSWV)에 대한 종 특이적 프라이머를 설계한 다음 RT-PCR에 사용하였다. 개별 바이러스 각각에 대하여 유전자은행의 염기서열 정보를 모은 다음 바이러스가 공통적으로 가지고 있는 종(species) 특이적 염기서열에서 프라이머를 설계하였다. 합성한 프라이머는 대상바이러스와 관련바이러스를 사용하여 특이적으로 반응하는 프라이머를 선발하였다(Table 1). 각각의 바이러스에 대한 RT-PCR 산물은 Fig. 1과 같다.

RT-PCR. 역전사(Reverse transcription) 반응은 분리한 전체 RNA 0.5 μl, 25 pmole 다운스트림 프라이머(downstream primer), 5× 역전사 완충액(250 mM Tris-HCl, 150 mM KCl, 40 mM $MgCl_2$, 5 mM DTT, pH 8.5) 1 μl, 10 mM dNTP 0.5 μl, 10 U RNase inhibitor, 그리고 2 U AMV 역전사효소를 첨가한 반응액 5 μl를 42°C에서 30분간 항온처리하여 실시한 다음 95°C에서 5분간 변성시켰다. 중합효소연쇄반응(Polymerase chain reaction, PCR)은 역전사반응액 5 μl에 25 pmole 업스트림프라이머(upstream primer), 1.25 U Taq DNA polymerase, 10× 중합효소연쇄반응 완충액(100 mM Tris-HCl, 500 mM KCl,

Table 1. Primers used in this study

Target	Primer pairs[a]	Sequence	Length	Product (bp)
PMMoV	PMMo-C30(−)	GCTCCGAGAAGTGCCGACA	19	310
	PMMo-N50(+)	ATTGGGCAGAACTCGGAGTCATCGG	25	
CMV	CMR3-C20(−)	CGACTGACCATTTTAGCCGTA	21	438
	CMR3-N60(+)	ATTTGATTCTACCGTGTGG	19	
PepMoV	PepMoV-C40(−)	TATCGTGGCATGTATGGTTCTTG	23	540
	PepMoV-N30(+)	TGGAGAGGAGAAAAAGAAAAATAA	24	
TMGMV	TMGM-C2(−)	GTCCACTAGCAGTCTCAAAGCCTGC	25	501
	TMGM-N1(+)	AATGTAAGTGATGACGAGTCTATCG	25	
BBWV2	BBW2-C40(−)	GCTAGGTCCAGGCAAATTGTA	21	579
	BBW2-N20(+)	ATACACAAATAGTTCTCA	18	
PVY	PY-C50(−)	AAACTTTGTATCTAGCACTGATCA	24	588
	PY-N10(+)	ATTTCATCCTTTTTCATTCGTAGA	24	
TMV	TM-C2(−)	AACCAGAAGAGCTCTCGAAAGAGCT	25	501
	TM-N1(+)	ATCGATGATGATTCGGAGGCTACTG	25	
ToMV	ToM-C60(−)	AACTCTTTTTCAACTTCATC	20	285
	ToM-N30(+)	CTACTGCCCTTTGTCATTAGAA	22	
RMV	RM-C10(−)	GGATTCGAACCTCTCACTT	19	859
	RM-N30(+)	AAGGTTTCGAAGGTGTGGTTGACG	24	
AMV	AM-C10(−)	CGCATGGGTAGGAGCTGTGAAGAC	24	440
	AM-N50(+)	CTGGTGGGAAAGCTGGTAAAC	21	
TSWV	TSW-C1(−)	AACACTCAGTCTTACAAATCATC	23	1,039
	TSW-N1(+)	TTATTAAGCACAACACACAGAA	22	

The primers were selected after the alignment of the nucleotide sequences from the known isolates of each virus. [a](−), downstream primer; (+), upstream primer.

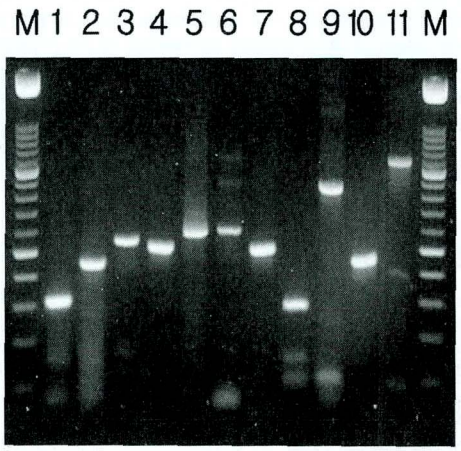

Fig. 1. RT-PCR analysis of eleven viruses infecting pepper plants. RT-PCR is carried out by standard method. M : 100-bp standard ladder; Lanes 1, PMMoV (310 bp); Lane 2, CMV (438 bp); Lane 3, PepMoV (540 bp); Lane 4, TMGMV (501 bp); Lane 5, BBWV2 (579 bp); Lane 6, PVY (588 bp); Lane 7, TMV (501 bp); Lane 8, ToMV (285 bp); Lane 9, RMV (859 bp); Lane 10, AMV (440 bp); Lane 11, TSWV (1,039 bp).

15 mM $MgCl_2$, pH 8.3) 2 μl를 첨가하고 증류수를 첨가하여 반응액을 25 μl로 만들었다. 이 반응액을 94°C 45초, 55°C 60초, 72°C 80초로 40회 증폭시켰으며 마지막에는 72°C에서 10분간 처리하였다. RT-PCR 산물은 0.5× TBE 완충액과 1.5% 아가로즈 겔을 사용하여 전기영동한 후 ethidium bromide로 염색하여 확인하였다.

결 과

시설 및 노지재배 고추에서의 바이러스병 발생정도. 시설재배 고추의 바이러스병 발생정도를 2002년 3월 18일에서 4월 4일 사이에 5개도 12지역에서 49개의 포장을 조사하였다(Table 2). 시설재배 고추의 바이러스 평균 발병율은 9.4%로 나타났으며, 포장별 발병율의 범위는 0~99%로 매우 크게 나타났다. 지역적으로 볼 때 채집시기가 수확기 무렵(3월 중순에서 하순)인 경남과 전남지역은 바이러스 발병율이 다른 지역에 비해 상대적으로 높았다. 반

Table 2. Incidence of viral diseases of pepper plants grown in greenhouses

Province	Area	No of fields	% plant disease	% range of infected plants
Gyeongnam[a]	Jinju	8	39.9	0.1-99
	Haman	3	0.7	0.1-1
	Changnyeong	5	0.26	0-1
	Miryang	5	18.63	0-90
Jeonnam[b]	Jangseong	3	0.03	0-0.1
	Naju	3	0.67	0-2
	Gwangju	2	17.75	0.5-35
	Boseong	5	0.42	0-1
Chungnam[c]	Dangjin	4	0	-
	Gongju	7	0.71	0-5
Jeonbuk[c]	Gimje	1	0	-
Gyeongbuk[c]	Yecheon	3	0.1	0.1-0.1
Total/average	12	49	9.4	0-99

Sampling time : [a]March 18th-March 21th; [b]March 26th-March 29th; [c]April 2nd-April 4th. The estimation was empirically made by the observation of the symptom expression of the pepper plants in greenhouses. The wide range (0 to 99 %) of the disease incidence in the pepper plants grown in greenhouses might be due to either virus infected seeds or poor management of the disease.

면 충남, 전북, 경북 지역은 채집시기에 고추가 정식기 또는 정식 후 한달정도 밖에 지나지 않았기 때문에 바이러스 병의 발병율이 낮게 나타난 것으로 보인다. 같은 생육기일지라도 포장별 바이러스 병의 피해정도가 큰 차이를 보이는 것은 시설재배지의 관리정도, 오염된 종자의 사용으로 종자전염, 시설재배지 환경 등에 기인한 것으로 판단된다.

노지재배 고추에 대한 병 발생정도는 7월 30일에서 9월 6일 사이에 전국적으로 22지역 351포장을 조사하였다 (Table 3). 채집시기는 고추생육기로 볼 때 중기 정도에 해당하며, 이 시기의 전국 평균발병율은 약 30% 정도로 시설재배 고추에 비해 상당히 높게 나타났다. 포장별 발병율의 범위는 1~100%로 시설재배에서 보여진 결과와 마찬가지로 그 차이가 심하게 나타났다. 이는 바이러스에 감염된 종자를 사용하여 육묘하였거나 심하게 오염된 환경에서 재배되었기 때문인 것으로 판단된다. 채집시기별로 보면 9월 초순에 조사된 지역은 상대적으로 8월 초순에 조사된 지역에 비해 바이러스 발병율이 상당히 높았다. 이는 노지재배의 경우 진딧물에 의한 바이러스 확산이 더욱 진행되어 나타난 결과로 생각된다. 실질적으로 고추생육 말기가 되면 노지재배의 경우 진딧물의 활동에 의해 거의 대부분의 고추가 바이러스에 감염된다.

Table 3. Incidence of viral disease of pepper plants grown in open fields

Province	Area	No. fields	% plant disease	% range of infected plants
Gyeongbuk	Andong[a]	50	27.26	1-80
	Cheongsong[a]	51	12.45	1-70
	Yeongyang[a]	44	14.50	1-80
	Uiseong[a]	43	26.28	2-90
Chungbuk	Umsong[a]	20	35.75	5-90
	Goesan[a]	30	26.97	1-90
	Boeun[a]	30	19.83	1-60
	Chungju[b]	1	70	-
	Jecheon[b]	5	28	5-60
Chungnam	Yesan[c]	4	72.50	50-90
	Cheongyang[c]	6	81.67	40-90
	Buyeo[c]	3	73.33	30-100
Jeonbuk	Jeongeup[c]	13	61.54	20-90
	Gochang[c]	12	66.67	40-90
Gangwon	Yeongwol[b]	8	36.25	5-95
	Pyeongchang[b]	9	18	2-50
Gyeongnam	Hapcheon[a]	6	16.83	1-50
	Changnyeong[a]	5	29.40	2-80
Gyeonggi	Anseong[b]	8	78.75	40-90
	Icheon[b]	1	5	-
Jeonnam	Haenam[c]	1	70	-
	Gangjin[c]	1	40	-
Total/average	22	351	28.89	1-100

Sampling time : [a]July 30th- August 3rd; [b]August 15th- August 17th; [c]September 4th- September 6th. The estimation was empirically made by the observation of the symptom expression of the pepper plants in open fields. The characteristic of the disease incidence in open fields was relatively higher in the area of west coastal plain. It is thought that the sampling time, August in east mountainous area and September in the west plain, may produce this discrepancy in the incidence of the viral disease.

전자현미경 검경. 수집한 고추 시료를 direct negative staining method에 의해 전자현미경으로 관찰한 결과 막대형 입자(Fig. 2A)와 사상형 입자(Fig. 2B)를 관찰할 수 있었으며, 뚜렷한 구형입자는 잘 관찰되지 않았다. 막대형 입자는 RT-PCR 진단결과 모두 PMMoV, TMGMV, ToMV중 하나인 것으로 확인되었으며, 사상형 입자는 대부분 PepMoV로 진단되었다. 한편, 구형입자인 CMV와 BBWV2 등은 감염즙액을 이용한 direct negative staining method에 의해서는 관찰되지 않았다. 사상형 입자가 관찰된 총 115점의 시료 중 시설고추 1점과 노지고추 15점의 시료는 RT-PCR 진단에서 사상형 형태를 가지는 PepMoV

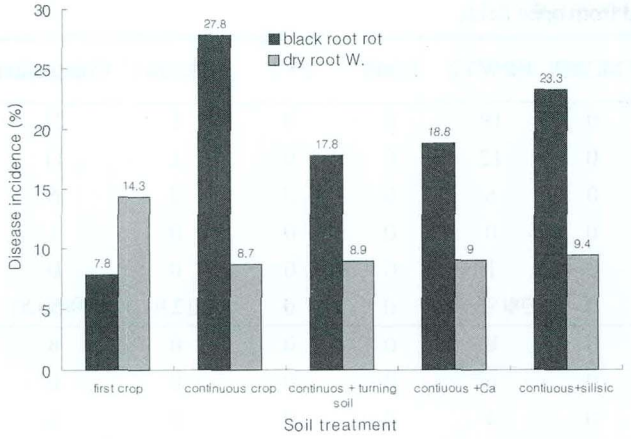

Fig. 2. Morphology of the virus particles negatively stained with phosphotungstic acid in peppers. Bar equals 200 nm. **A**, Rod-shaped particles; **B**, Filamentous particles.

와 PVY로 진단되지 않았다. 여기서 관찰된 사상형 바이러스는 길이가 대부분 600~900 nm로 형태적으로 보아 아직까지 국내 고추에서 동정되지 않은 다른 포티바이러스일 것으로 추측된다.

시설재배 고추 바이러스병 발생생태. 시설재배 고추에서 수집한 155점의 시료를 11종 바이러스(PMMoV, PepMoV, CMV, TMGMT, BBWV2, PVY, TMV, ToMV, RMV, AMV, TSWV)에 대하여 RT-PCR 방법으로 진단하였다(Table 4). 그 결과 PMMoV는 78점(50.3%), CMV는 10점(6.5%), PepMoV는 58점(37.4%), TMGMV는 7점(4.5%), BBWV2는 9(5.8%) 점의 시료에서 확인되었다. 그러나 PVY, TMV, ToMV, RMV, AMV, TSWV는 검출되지 않았다. 25점의 시료는 2종의 바이러스에 복합감염되어 있었다. 위의 결과를 종합해 볼 때 시설재배 고추에 발생하는 바이러스는 PMMoV, PepMoV, CMV, BBWV2, TMGMV 순으로 많이 발생하였다. 종자전염 및 토양전염되는 토바모바이러스(PMMoV, TMGMV)의 발생이 많았고 진딧물로 옮겨지는 바이러스(PepMoV, CMV, BBWV2)의 발생이 상대적으로 적은 것은 외부환경과 차단된 시설재배지의 특성에 기인하는 것으로 보인다. 지역적으로 볼 때 경남지역은 PMMoV의 발생이 많았고, 전남지역은 PepMoV의 발생이 많았다. 이것은 전남지역의 채집시기가 10일 정도 늦었고, 지역적으로 PepMoV 보독진딧물이 많이 존재한 결과로 추측된다. 한편 충남과 경북지역은 정식 후 한 달 이내에 채집되었기 때문에 대부분의 시료에서 종자 전염되는 PMMoV가 검출되었다. 시설재배 고추에서 채집한 18시료(전체 시료의 11.6%)는 뚜렷한 바이러스 병징을 나타내었으나 본 실험에 사용한 11종 바이러스 진단용 프라이머와 반응하지 않는 것으로 볼 때 생리적 장해에 의한 병징이거나 다른 바이러스에 의한 증상으로 판단된다.

노지재배 고추 바이러스병 발생생태. 전국 노지재배 고추에서 채집한 227점의 시료를 11종 바이러스(PMMoV,

Table 4. The results of RT-PCR analysis using pepper samples collected from greenhouses

Province	Area	No of samples	PMMoV	CMV	PepMoV	TMGMV	BBWV2	Unknown[d]	Coinfection
Gyeongnam[a]	Jinju	56	44	4	10	1	0	6	9
	Haman	17	1	2	7	6	0	1	0
	Changnyeong	11	6	0	1	0	0	4	0
	Miryang	18	12	3	6	0	3	2	8
	Subtotal (%)	102	63(61.8)	9(8.8)	24(23.5)	7(6.9)	3(2.9)	13(12.7)	17(16.7)
Jeonnam[b]	Jangseong	1	1	0	0	0	0	0	0
	Naju	5	0	0	5	0	0	0	0
	Gwangju	14	1	0	11	0	5	2	5
	Boseong	19	2	0	18	0	1	1	3
	Subtotal (%)	39	4(10.3)	0	34(87.2)	0	6(15.4)	3(7.7)	8(20.5)
Chungnam[c]	Gongju	7	5(71.4)	0	0	0	0	2(28.6)	0
Gyeongbuk[c]	Yecheon	7	6(85.7)	1(14.3)	0	0	0	0	0
Total (%)	10	155	78(50.3)	10(6.5)	58(37.4)	7(4.5)	9(5.8)	18(11.6)	25(16.1)

Sampling time : [a]March 18th-March 21th; [b]March 26th-March 29th; [c]April 2nd-April 4th.
[d]The samples were shown viral particles in observation of electron microscope or apparently indicated viral symptoms, but no virus was detected by RT-PCR. Approximately 80% of the samples contain either PMMoV or PepMoV. The rest of the samples shares CMV, BBWV2, and TMGMT. No sample contains PVY, TMV, ToMV, RMV, AMV, and TSWV.

Table 5. The results of RT-PCR analysis using pepper samples collected from open fields

Province	Area	No of sample	PMMoV	CMV	PepMoV	TMGMV	BBWV2	ToMV	PVY	Unknown[d]	Coinfection
Chungbuk	Umsong[a]	28	3	25	7	0	19	0	0	1	21
	Goesan[a]	20	10	9	2	0	12	0	0	1	11
	Boeun[a]	6	0	5	3	0	6	0	0	0	6
	Chungju[b]	2	0	2	1	0	0	0	0	0	1
	Jecheon[b]	13	7	2	3	0	1	0	0	0	0
	subtotal (%)	69	20(29.0)	43(62.3)	16(23.2)	0	38(55.1)	0	0	2(2.9)	39(56.5)
Gyeongbuk	Andong[a]	8	3	4	6	0	8	0	0	0	8
	Cheongsong[a]	6	1	3	4	0	6	0	0	0	6
	Yeongyang[a]	4	1	2	1	0	4	0	0	0	3
	Uiseong[a]	5	0	4	4	0	4	0	0	0	4
	subtotal (%)	23	5(21.7)	13(56.5)	15(65.2)	0	22(95.7)	0	0	0	21(91.3)
Gyeongnam	Hapcheon[a]	10	5	6	7	1	7	1	0	0	8
	Changnyeong[a]	9	4	3	3	0	8	1	0	0	7
Gyeonggi	Anseong[b]	18	1	17	4	0	16	0	0	0	15
	Icheon[b]	4	0	4	1	0	2	0	0	0	3
Gangwon	Yeongwol[b]	18	2	8	1	0	10	0	0	3	6
	Pyeongchang[b]	16	1	5	0	0	2	1	1	6	0
Chungnam	Yesan[c]	12	3	12	0	0	4	0	0	4	11
	Cheongyang[c]	14	3	13	5	0	12	0	0	1	12
	Buyeo[c]	5	1	2	5	0	5	0	0	0	5
Jeonbuk	Jeongeup[c]	14	7	4	4	0	6	1	0	4	9
	Gochang[c]	12	4	3	0	0	1	0	0	6	2
Jeonnam	Haenam[c]	2	1	1	0	0	0	1	0	0	1
	Gangjin[c]	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (%)	22	227	58(25.6)	134(59.0)	61(26.9)	1(0.4)	133(58.6)	5(2.2)	1(0.4)	26(11.5)	139(61.2)

Sampling time : [a]July 30th- August 3rd; [b]August 15th- August 17th; [c]September 4th- September 6th; [d]The samples were shown viral particles in observation of electron microscope or apparently indicated viral symptoms, but no virus was detected by RT-PCR. TMV, RMV, AMV, and TSWV are not detected in the samples collected from open fields, but a single sample contains PVY. The predominant viral diseases of the pepper plants grown in open fields are both CMV and BBWV2, indicating that viruliferous aphid vectors may be important sources for the high incidence of viral diseases in open fields. Weeds near the pepper fields may have to be considered as major inocula for CMV and BBWV2. Therefore, the studies on weeds as virus reservoir could provide a way to reduce the incidence of viral diseases in pepper.

PepMoV, CMV, TMGMV, BBWV2, PVY, TMV, ToMV, RMV, AMV, TSWV)에 대하여 RT-PCR 방법으로 진단하였다(Table 5). 그 결과 CMV는 134, BBWV2는 133, PepMoV는 61, PMMoV는 58, ToMV는 5, TMGMV는 1, PVY는 1점의 시료에서 확인되었다. 그러나 TMV, RMV, AMV, TSWV는 검출되지 않았다. 총 139점의 시료가 복합감염 되었고, 이들 중 86점의 시료는 2종 바이러스, 38점의 시료는 3종 바이러스, 6점의 시료는 4종 바이러스에 복합감염 되었다. 전체적으로 볼 때 노지재배 고추에 발생하는 바이러스는 CMV(59%), BBWV2(58.6%), PepMoV (26.9%), PMMoV(25.6%), ToMV(2.2%), TMGMV(0.4%), PVY(0.4%) 순이었다. 지역적으로 볼 때, 경북지방은 PepMoV와 BBWV2의 발생이 다른 지역에 비해 많았으며 복합감염된 정도가 높게 나타났다. 노지에서는 시설재배지에서보다 매개충의 활동이 용이하므로 진딧물이 옮기는 바이러스(CMV, BBWV2, PepMoV, PVY)의 발생이 종자전염 및 토양전염을 하는 토바모바이러스(PMMoV, ToMV, TMGMV) 보다 상대적으로 많았다. 한편 시설재배에서 검출되지 않은 ToMV의 발생이 확인되었다. 노지재배 고추에서 채집한 15시료(전체 시료의 6.6%)는 전자현미경 검경에서 사상형 입자를 관찰하였으나 포티바이러스(PVY, PepMoV) 진단용 프라이머와 반응하지 않은

Table 6. The summary of the states of mixed infections in pepper plants grown in greenhouses and open fields

Virus	Greenhouse		Open field	
	No of samples	%	No of samples	%
Single Infection	130	83.9	88	38.8
PMMoV	60	38.7	18	7.9
CMV	3	1.9	30	13.2
PepMov	39	25.2	5	2.2
BBWV2	4	2.6	14	6.2
TMGMV	6	3.9	0	0
ToMV	0	0	3	1.3
PVY	0	0	1	0.4
Unknown[a]	18	11.6	17	7.5
Filamentous	1	0.6	6	2.6
Others	17	11.0	11	4.8
Coinfection	25	16.1	139	61.2
PMMoV+CMV	6	3.9	7	3.1
PMMoV+PepMoV	12	7.7	1	0.4
PMMoV+BBWV2	0	0	10	4.4
CMV+PepMoV	1	0.6	4	1.8
CMV+BBWV2	0	0	46	20.3
CMV+ToMV	0	0	1	0.4
PepMoV+BBWV2	5	3.2	17	7.5
TMGMV+PepMoV	1	0.6	0	0
CMV+PepMoV+BBWV2	0	0	25	11.0
PMMoV+CMV+BBWV2	0	0	10	4.4
PMMoV+PepMoV+BBWV2	0	0	3	1.3
PMMoV+CMV+PepMoV +BBWV2	0	0	5	2.2
ToMV+TMGMV+PepMoV +BBWV2	0	0	1	0.4
Unknown (coinfection)[a]	0	0	9	4.0
CMV+Filamentous	0	0	4	1.8
PMMoV+Filamentous	0	0	2	0.9
CMV+BBWV2+Filamentous	0	0	1	0.4
PMMoV+BBWV2+Filamentous	0	0	1	0.4
PMMoV+CMV+Filamentous	0	0	1	0.4
Total	155	100	227	100

[a]Among unknown samples, filamentous viral particles are observed in the infected tissue under electron microscope, but no virus is detected by RT-PCR. The samples indicated by "others" never show any sign of the virus by both EM and RT-PCR. However, it is highly possible that those may be infected by the virus having isometric particle unless their symptoms are caused by various physiological effects.

것으로 보아 고추에 감염되는 다른 포티바이러스로 판단된다. 시설고추에서와 마찬가지로 뚜렷한 바이러스 병징을 나타내나 11종 바이러스 진단용 프라이머와 반응하지 않은 11시료(전체 시료 중 4.8%)는 생리장해에 의한 병징이거나 다른 바이러스에 의한 증상으로 판단된다.

재배양식에 따른 바이러스 감염양상. 시설 및 노지재배 고추 382시료의 RT-PCR 진단 결과를 보면(Table 6), 전체적으로 볼 때 종자 및 오염된 재배환경으로부터 전염되는 토바모바이러스(PMMoV, TMGMV, ToMV)는 148점(약 39%)의 시료에서 확인되었으며, 진딧물에 의해서 전염되는 바이러스(CMV, BBWV2, PepMoV, PVY)는 258점(67.5%)의 시료에서 확인되었다. 세부적으로 보면 시설고추에서는 토바모바이러스가 85점(54.8%), 진딧물에 의해 매개되는 바이러스가 71점(45.8%)의 시료에서 확인되었으며, 노지고추에서는 토바모바이러스가 63점(27.8%), 진딧물에 의해 매개되는 바이러스가 187점(82.4%)의 시료에서 검출되었다. 시설고추에서는 오염된 종자 및 재배환경으로부터 전염되는 토바모바이러스의 발생이, 그리고 노지고추는 진딧물에 의해 전염되는 바이러스의 발생이 많은 것으로 보아 재배양식에 따라 바이러스의 감염양상은 확연히 달라진다는 것을 확인할 수 있었다.

재배양식별 복합감염 양상을 보면, 시설재배 고추는 155점의 시료 중 25점(16.1%)이 복합감염되어 있었으며, 노지재배 고추는 227점의 시료 중에서는 139점(61.2%)이 2종 이상의 바이러스에 복합감염되어 있었다. 또한 시설고추에서는 25점의 시료 모두 2종의 바이러스에 복합감염된 반면, 노지고추는 2종 바이러스에 86점, 3종 바이러스에 38점, 4종 바이러스에 6점의 시료가 복합감염되어 있었다. 이것으로 보아 노지고추는 시설고추에 비해 바이러스의 2차전염이 활발히 일어난다는 것을 알 수 있으며 발생하는 바이러스의 종류로 보아 주로 진딧물이 그 역할을 담당한다고 판단할 수 있다.

고 찰

본 조사에서 고추의 바이러스병 발병율은 시설고추가 약 10%, 노지고추가 약 30%의 발병율을 보였다. 그러나 고추 생육 초기 또는 중기에 조사된 결과로써 고추 생육의 말기에 이르게 되면 바이러스병 발병율은 더욱 높아질 것이며, 실제 노지고추의 경우는 거의 100% 가까운 발병율을 보이는 포장을 흔히 볼 수 있다. 직접적인 생산량 감소를 추정한다면, 시설고추가 약 10%, 노지고추가 약 30% 정도 감수된다고 추측할 때 각각 500억과 3000억의 생산량 감소를 초래한다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 엄청난 피해에도 불구하고 세균 또는 곰팡이 등에 의해 발생하는 병과 달리 바이러스병에 대한 같은 적극적

인 방제대책은 수립되지 못하고 있는 실정이다. 고추 바이러스병 관리대책을 수립하기 위해서는 고추에 발생하는 주요바이러스에 대한 저항성 유전자원의 탐색, 바이러스 매개충의 효과적인 관리방법, 중간기주와 매개체를 포함한 생태적 연구 등이 시급히 수행되어야 될 것으로 생각된다.

국내 고추에 발생하는 바이러스 기록을 보면 1971년 채집한 162시료에 대하여 혈청학적 방법에 의하여 조사한 결과 CMV, TMV, AMV, PVY, PVX가 발생하는 것으로 확인되었으며(라 등, 1972), 1973년 강 등에 의해 15점의 시료에서 CMV, TMV, AMV, PVY가 분리 · 동정되었다. 그 후 485 시료를 이용한 10종 바이러스에 대한 ELISA 조사(임 등, 1991)에서 TMV, CMV, AMV, TSWV가 주로 확인되었고 극히 낮은 빈도로 TEV, CVMV, PVY, PVX가 양성반응을 보였다. 그러나 검사한 485점 시료 중 205점의 시료에서는 바이러스가 확인되지 않은 점으로 볼 때 ELISA에서 검출되지 않은 다른 바이러스가 많이 존재하였을 것으로 판단된다. 본 조사에서 수행된 RT-PCR에 의한 분석과 전자현미경을 통한 정밀조사에서는 전체 시료 382점중 354점의 시료에서 바이러스를 확인하였다는 점에서 고추에 발생하고 있는 거의 대부분의 바이러스가 진단되었다고 볼 수 있다. 과거와 비교할 때 CMV, BBWV2, PMMoV, PepMoV가 전체 시료 중 약 90%에서 검출되어 기존에 보고된 것과 상당히 다른 발생양상을 보였다. CMV는 과거와 마찬가지로 여전히 고추에서 우점하는 바이러스로 확인되었으나, AMV와 TSWV는 본 조사에서 전혀 검출되지 않는 것으로 보아 현재 발생이 거의 없는 것으로 보이며, 이전 조사에 검출된 것들 중에 일부는 사용한 항혈청의 비특이적 반응에 의한 결과도 포함되었을 것으로 생각된다. 특히, 고추에서 TSWV는 ELISA을 이용한 과거 조사에서 검출된 적이 있으나(임 등, 1991), RT-PCR을 통한 정밀진단과 지표식물을 이용한 바이러스 분리과정에서 확인된 적이 없는 것으로 판단할 때 항원항체의 비특이적 반응에 의한 결과로 사료된다. 국내 고추에서 발생된 토바모바이러스는 과거의 경우 형태적 및 혈청학적 특성으로 대부분의 경우 TMV 또는 TMV의 고추계통으로 흔히 동정되었다(라 등, 1972; 강 등, 1973; 최 등, 1989; 임 등, 1991). 그러나 본 조사에서 토바모바이러스에 감염된 149시료 중 136시료(91.3%)가 PMMoV로 확인되었으며 나머지 시료에서는 TMGMV와 ToMV 만이 검출되었다는 것과 국내 재배되는 대부분의 고추가 TMV에 대한 저항성 품종이라는 점과 최근 연구결과 고추종자에서 PMMoV와 ToMV가 분리되었고(한, 1999), 시설고추에서 분리한 85점의 토바모바이러스 분석결과 PMMoV가 78점이며 TMGMV가 7점이라는 사실(Lee 등, 2001)을 고려할 때 과거 고추에 TMV로 기록된 대부분의 바이러스는 PMMoV로 판단된다. 그리고 과거 고추에서 토바모바이러스의 발생율이 50% 이상 이었고(라, 1972; 임, 1991) 종자오염율이 약 80%에 달했으나(한, 1999) 본 조사에서 토바모바이러스의 발병율은 이전의 기록보다는 많이 낮아진 것으로 보아 고추종자를 통한 바이러스의 감염은 많이 줄어든 것으로 생각된다. 지금까지의 기록을 보면 고추에 발생하는 포티바이러스는 혈청학적 진단을 통하여 대부분 PVY로 동정되었으며(강 등, 1973; 라 등, 1972), PepMoV는 진단대상에서 거의 빠져 있었다. 그러나 본 조사에서 PVY가 검출된 경우는 노지고추에서 1점이 유일하였으며, 전자현미경에서 사상형 바이러스가 검출된 119점의 시료는 PepMoV로 확인되었다. 이러한 결과로 볼 때 과거에 혈청학적 방법만으로 조사된 경우 PepMoV는 혈청학적으로 유연관계를 가지는 PVY로 포함되어 동정되었을 것으로 추측된다. 한편 전자현미경에서 사상형바이러스가 검출되었으나 PepMoV와 PVY 진단용 프라이머와 반응하지 않은 16점의 바이러스는 국내에서 아직까지 동정되지 않은 다른 포티바이러스 일 것으로 판단된다. BBWV2는 지금까지 고추에서 발생하고 있는 바이러스 정도로만 알려져 있었으며(한국식물병리학회, 1998), 피해의 심각성이나 방제에 관한 연구는 수행되지 않았다. 본 시험에서 BBWV2는 노지고추 바이러스 감염주 약 60%에서 검출되었으며, 지역적으로 경북지역에서는 23점의 시료 중 22점이 감염되는 피해의 심각성을 보여 주어, CMV와 함께 고추에서 가장 중요한 바이러스중 하나로 시급히 관리대책이 마련되어야 할 중요한 바이러스로 확인되었다.

지금까지 국내 고추의 바이러스병 발생조사는 혈청학적 방법에 의한 조사가 대부분이였으나 본 시험에서는 11종의 바이러스에 대한 RT-PCR과 전자현미경을 사용함으로써 복합감염 양상에 대한 정밀한 조사가 이루어질 수 있었다. 과거의 경우 1971년에는 복합감염율이 약 56%이였고(라, 1972), 1991년 조사에서는 약 43%이였다(임, 1991). 본 조사에서는 때 바이러스 감염주 중에서 시설고추에서는 약 16%, 노지고추에서는 약 61%가 복합감염되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한 시설고추는 모두 2종의 바이러스에 복합감염되었으며 노지고추는 2종에서 4종의 바이러스에 복합감염되어 있어 진딧물에 의한 바이러스의 확산이 심각함을 보여 주었다. 국내 고추에서 발생하는 주요진딧물은 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)와 목화진딧물(*Aphis gossypii*)이며, 이들은 봄과 가을에 한번씩 년 2회 최고밀도를 나타낸다(김 등, 1986). 이 시기

는 노지재배에서 바이러스병 발생이 증가하는 시기와 거의 일치한다. 그러나 고추에서 지금까지 진딧물의 바이러스 전염생태에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있어 바이러스병 방제대책을 수립하는데 어려움이 있으며, 고추에 발생하는 주요 바이러스 각각에 대한 중간기주의 탐색, 바이러스 계통의 병원성, 매개체를 통한 바이러스의 이동시기 및 경로, 매개충의 생활습성 등의 구체적인 연구가 시급히 이루어져야겠다.

재배양식에 따른 바이러스병의 감염 양상은 뚜렷이 구별되었다. 시설고추에서는 토바모바이러스가 우점하였으며, 노지고추에서는 진딧물이 매개하는 바이러스들이 우점하였다. 관리적 측면에서 시설재배에서는 건전한 유묘의 보급, 이병주의 조속한 제거, 철저한 진딧물의 차단 등이 필요할 것이며, 노지고추는 포장주위의 중간기주의 제거 및 진딧물을 회피하기 위한 대책수립 등이 바이러스병의 피해를 줄인는 방법일 것이다.

요 약

2002년 노지 및 시설재배 고추를 대상으로 전국적인 규모의 바이러스병 발생실태를 조사하였다. 시설(155시료) 및 노지포장(227시료)에서 바이러스 감염주를 채집하여 전자현미경과 RT-PCR로 분석하였다. 시설 및 노지재배 고추에서 수집한 시료에서 TMV, RMV, PVY, AMV, TSWV에 감염된 것은 없었다. 그러나 CMV, BBWV, PepMoV, PMMoV, ToMV, TMGMV는 RT-PCR에 의해 검출되었다. 시설 및 노지재배 포장에서 바이러스 발병율은 상당히 다르게 나타났다. 시설재배에서는 10%의 발병율을 보였으나, 노지재배에서는 약 30%의 발병율을 나타냈다. 복합감염율은 시설 및 노지재배에서 각각 16%와 61%로 나타났다. 시설재배에서는 PMMoV가 우점하는 것으로 보아, 바이러스에 오염된 종자와 재배지에서의 바이러스 감염잔재물이 중요한 전염원이 된 것으로 보인다. 반대로 노지재배에서는 CMV와 BBWV가 우점하였다. 이것으로 보아 바이러스를 보독한 매개충의 이동이 가장 중요한 전염원으로 나타났다. 또한 이 연구에서 BBWV2는 우리나라에서 방제해야 할 새로운 바이러스로 대두되었다. 노지 및 시설재배에서 바이러스병의 발병율과 분포의 차이로 볼 때 연작에 따른 전염원의 축적 및 분포상과 재배지로의 바이러스 보독매개충의 이동이 바이러스 발생을 결정하는 중요한 요소로 보인다. 그러므로 식물병 역학과 고추의 새로운 육종 프로그램에 대한 진전된 연구가 바이러스 병을 줄이는데 필수적일 것이다.

참고문헌

Abdalla, O. A., Desjardine, P. R. and Dodds, J. A. 1991. Identification, disease incidence, and distribution of viruses infecting peppers in California. *Plant Dis.* 75: 1019-1023.

Alonso, E., Gracia, L. I., Avila, R. M. J., Wicke, B., Serra, M. T. and Diaz, R. J. R. 1989. A tobamovirus causing heavy losses in protected pepper crops in Spain. *Journal of Phytopathology* 125: 67-76.

Benner, C. P., Kuhn, C. W., Demski, J. W., Dobson, J. W., Colditz, P. and Nutter, F. W., Jr. 1985. Identification and incidence of pepper viruses in Northeastern Georgia. *Plant Dis.* 69: 999-1001.

Boccardo, G. and Conti, M. 1973. Purification and properties of nasturtium ringspot virus. *Phytopathology Z.* 78: 14-24.

Cho, J. J., Mau, R. F. L., German, T. L., Hartmann, R. W., Yudin, L. S., Gonsalves, D. and Provvidenti, R. 1989. A multidisciplinary approach to management of *Tomato spotted wilt virus* on Hawaii. *Plant Dis.* 73: 375-382.

최장경, 박영섭, 김정옥, 박은경. 1989. 고추에서 분리한 담배 모자이크 바이러스의 生物的특성. 한국식물병리학회지 5(4) : 331-336.

Conti, M., Lisa, V. and Boccardo, G. 1972. Preliminary results on pepper virus diseases in Piemonte and Umbria. *Annalli Fac. Sci. Agr. Univ. Torino* 7: 290-301.

Florini, D. A. and Zitter, T. A. 1987. *Cucumber mosaic virus* (CMV) in pepper (*Capsicum annuum* L.) in New York and associated yield losses. *Phytopathology* 77: 652(Abstr.).

Gracia, L. I., Serra, M. T., Alonso, E., Wicke, M. L. and Diaz, R. J. R. 1990. Characterization of a Spanish strain of pepper mild mottle virus(PMMV-S) and its relationship to other tobamoviruses. *J. Phytopathology* 129(1): 1-8.

Gracia, O. and Gutierrez, L. S. 1982. Broad bean wilt virus in pepper crops in Argentina. *Phytopath. Medit.* 21: 107-109.

Green, S. K. and J. S. Kim. 1991. Characteristics and control of virus infecting peppers: A literature review, Technical bulletin No. 18. Asian Vegetable Research and Development Center.

Greenleaf, W. H., Cook, A. A. and Heyn, A. N. J. 1964. Resistance to *Tobacco mosaic virus* in Capsicum With reference to the Samsun latent strain. *Phytopathology* 54: 1367-1371.

Greenough, D. R. and Black, L. L. 1984. Occurrence of Frankliniella occidentalis in Louisiana. *Phytopathology* 75: 1362.

Hamm, P. B., Jaeger, J. R. and MacDonald, L. 1995. Virus disease of pepper in northeast Oregon. *Plant-Disease.* 79: 968-971.

한국식물병리학회. 1998. 한국식물병목록. 제3판. 436pp.

한정헌. 1999. 고추 tobamovirus의 病原型 同定 및 高比重라텍스粒子를 利用한 檢出. 서울대학교 박사학위논문.

Igwegbe, E. C. K. and Ogungbade, O. K. 1985 Evaluation of

pepper cultivars under greenhouse conditions for resistance to a defoliation strain of *tobacco mosaic virus*. *Plant Dis.* 69: 899-900.

임경환, 정봉구, 윤진영, Sylvia K. Green. 1991. ELISA test를 이용한 우리나라 고추바이러스의 종류와 분포에 관한 조사. 한국식물병리학회지 7(4): 251-256.

Imoto, M. 1975. Studies on mosaic disease of sweet pepper (*Capsicum frutescens* L.) 2. Occurrence of mosaic disease of sweet pepper and kinds of its causal viruses in Hiroshima prefecture. *Bull. Hiroshima Agr. Expt. Station, Japan*. 36: 56-66.

Joshi, R. D. and Dubey, L. N. 1973. Assessment of losses due to CMV on chili. *Science and Culture* 39: 521-522.

강광원, 최정일, 라영준. 1973. 우리나라에 發生하는 고추의 바이러스 分離同定. 한국원예학회지 13: 35-43.

김석환, 김인수, 이문홍. 1986. 주요 채소에서 발생하는 진딧물의 종류와 발생소장에 관한 연구. 한국식물보호학회지 25(3): 129-132.

Laird, E. F., Desjardins, P. R. and Dickson, R. C. 1964. Tobacco etch virus and potato virus Y from pepper in southern California. *Plant Dis. Rep.* 48: 772-776.

Lockhart, B. E. L. and Fischer, H. U. 1976. Some properties of an isolate of broad bean wilt virus associated with a field disease of pepper in Morocco. *Phytopathol. Z.* 88: 209-214.

Makkouk, K. M. and Gumpf, D. J. 1976. Characterization of potato virus Y strains isolated from pepper. *Phytopathology* 66: 576-581.

Nagai, Y., Takeuchi, T. and Tochihara, H. 1981. A new mosaic disease of sweet pepper caused by pepper strain fo *tobacco mosaic virus*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 47: 541-546.

Pares, R. D. 1985. A tobamovirus infecting capsicum in Australia. *Ann. Appl. Biol.* 106: 459-474.

Purcifull, D. E., Zitter, T. A. and Hiebert, E. 1975. Morphology, host range and serological relationships of pepper mottle virus. *Phytopathology* 65: 559-562.

라영준, 최정일, 강광원. 1972. 血淸學的 方法에 依한 고추의 바이러스病 感染相 調査. 식물학회지 15: 23-27.

Schuerger, A. C. and Hammer, W. 1995. Effects of temperature on disease development of tomato mosaic virus in Capsicum annuum in hydroponic systems. *Plant Dis.* 79(9): 880-885.

Yankulova, M. and Kaitazova, P. 1979. Broad bean wilt virus-a new virus on pepper in Bulgaria. *Grradinarska I Lozarska Nanka*. 16: 48-57.