

# 국내 주요지역의 사과 바이러스 및 바이로이드 5종의 발생 현황

## Occurrence Status of Five Apple Virus and Viroid in Korea

### \*Corresponding author

Tel: +82-43-220-5632

Fax: +82-43-220-5629

E-mail: lepimoth@korea.kr

이성균<sup>1\*</sup> · 차재순<sup>2</sup> · 권의석<sup>1</sup> · 이윤상<sup>1</sup> · 유세은<sup>1</sup> · 김주형<sup>1</sup> · 김대일<sup>2</sup><sup>1</sup>충북농업기술원, <sup>2</sup>충북대학교 농업생명환경대학Seongkyun Lee<sup>1\*</sup>, Jae-Soon Cha<sup>2</sup>, Yeuseok Kwon<sup>1</sup>, Yun Sang Lee<sup>1</sup>, Se Eun Yoo<sup>1</sup>, Ju Hyung Kim<sup>1</sup>, and Daeil Kim<sup>2</sup><sup>1</sup>Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea<sup>2</sup>College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

The investigation of the infection rate of domestic apple orchards by four types of apple viruses (Apple chlorotic leaf spot virus [ACLSV], Apple stem pitting virus [ASPV], Apple stem grooving virus [ASGV], Apple mosaic virus [ApMV]) and one type of viroid (Apple scar skin viroid, ASSVd) found that most apple trees were infected with viruses and viroid at the rate of 97.3%. By region, the infection rate in Jeongseon stood at 98.8%, Danyang at 100%, Yesan at 100%, Jangsu at 89.1%, and Muju at 98.1%. By each virus and viroid, the infection rate of ASGV was the highest at 93.4%, followed by ASPV at 85.7%, ACLSV at 59.0%, ASSVd at 6.7%, and ApMV at the lowest 3.6%. In addition, 84.8% of the cases were infected with two or more types of viruses and viroid, nearly seven times the single type infection rate of 12.4%, and the cases infected with three viruses, ASPV, ACLSV, and ASGV accounted for 56.2%, more than the half the total number of trees investigated.

**Keywords:** Apple, Occurrence status, Viroid, Virus

Received June 23, 2020

Accepted June 25, 2020

## 서론

장미과 사과나무속에 속하는 사과(*Malus domestica*)의 국내 재배면적은 32,954 ha이며, 생산량은 535,324톤으로(Korean Statistical Information Service, 2019) 과수 중 가장 많은 비중을 차지하고 있어 경제적으로 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 매우 중요한 과수이다. 하지만 사과에서 발생하는 바이러스는 사과 생산을 지속시키기 위한 연구 개발에 많은 제약을 준다(Hadidi와 Barba, 2011).

현재 인과류(pome)에 발생하는 바이러스 또는 바이러스와 유사한 병은 약 340종 이상이며, 사과나무에는 적어도 12종의 바이러스 또는 바이러스와 유사한 병에 감염되어 심각한 경제적 손실을 발생시킨다(Németh, 1986; Nisar, 2013; Saade 등, 2000). Apple mosaic virus (ApMV)에 감염된 사과나무는 봄에 어린잎의 엽맥을 따라 열린 노란색의 불규칙한 반점이 생길 수 있으며, 잎은 조기 낙엽된다. 증상의 정도는 봄철 기온이 따뜻한 시기에 더욱 심하며 대부분의 상업용 사과 품종에서 발생하며 발생 정도는 품종마다 다양하다(Dursunoglu와 Ertunc, 2008; Posnette와 Cropley, 1956). Apple stem pitting virus (ASPV), Apple stem grooving virus (ASGV), Apple chlorotic leaf spot virus (ACLSV)의 경우 일반적으로 증상이 잘 나타나지 않으며, 대부분 복합 감염의 형태로 발생한다. 또한 감수성

### Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

대목을 사용한 사과나무에서 고접병을 유발하기도 하는 것으로 알려져 있다(Hirata 등, 2003; Pasquini 등, 1998; Yanase 등, 1989).

바이러스와 마찬가지로 바이로이드 역시 사과나무에 피해를 주고 있는데 그중 Apple scar skin viroid (ASSVd)는 과실 표피에 얼룩덜룩한 증상을 나타내며 주로 붉은색 품종의 사과 과실에서 많이 발생을 한다(Yamaguchi와 Yanase, 1976).

이렇게 다양한 피해를 주는 바이러스 및 바이로이드는 현재까지 마땅한 치료방법이 개발되어 있지 않으며, 이미 많은 사과원에 발생하고 있으나, 정확한 감염률 및 피해 정도에 대해서는 사과를 재배하는 대부분의 농업인도 알고 있지 못한 실정이다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서 주요 산지에서 재배되고 있는 사과원을 대상으로 바이러스 및 바이로이드 5종의 감염률을 조사하였다.

## 재료 및 방법

**감염 현황 조사.** 사과원의 바이러스 및 바이로이드 감염 현황을 조사하기 위해 2018년 7월 12일 3개의 팀으로 나누어 강원 정선 4농가, 충북 단양 3농가, 충남 예산 3농가, 전북 장수 3농가, 무주 3농가에서 각 농가별로 1-3품종을 대상으로 품종당 30주씩, 전체 780주의 사과나무를 채집하여 바이러스 및 바이로이드의 감염 검사를 수행하였다(Table 1). 사과나무에서는 이미 바이러스와 바이로이드가 많이 발생되고 있지만, 본 연구에서는 그중 대표적인 바이러스 ACLSV, ASPV, ASGV, ApMV 4종과 바이로이드는 ASSVd 1종만을 대상으로 시험을 수행하였다.

**바이러스 및 바이로이드 검정.** 사과나무의 신초를 채집하여 GeneAll의 ribospin total RNA isolation kit (Seongnam, Korea)을 사용하여 RNA를 추출하였으며, 과정은 GeneAll에서 제시한 protocol에 준하여 진행하였다. 추출한 RNA는 Intron의 ONE-STEP RT-PCR Premix kit (Seoul, Korea)을 사용하여 cDNA 합성 및 PCR 증폭을 하였으며 사용된 프라이머는 Table 2와 같다.

**Table 1.** Location surveyed for apple viruses and viroids in Korea

Area	Orchard	Variety
Gangwon, Jeongseon	A	Jahong
	B	Jahong
	C	Fuji, Hongro
	D	Fuji, Hongro
Chungbuk, Danyang	E	Fuji
	F	Fuji, Hongro
	G	Fuji
Chungnam, Yesan	H	Fuji
	I	Fuji, Hongro
	J	Fuji
Jeonbuk, Jangsu	K	Jahong
	L	Fuji, Hongro
	M	Fuji Fubrax, Hongro
Jeonbuk, Muju	N	Fuji Fubrax, Jahong
	O	Fuji Fubrax, Hongro
	P	Fuji Fubrax, Fuji, Jahong

**Table 2.** List of PCR primers used in this study

Primer	Sequence	Product size (bp)	Reference
ACLSV-F	5'-TTCATGGAAAGACAGGGGCAA-3'	677	Menzel et al. (2002)
ACLSV-R	5'-AAGTCTACAGGCTATTTATTATAAGTCTAA-3'		
ApMV-F	5'-CGTAGAGGAGGACAGCTTGG-3'	450	Hassan et al. (2006)
ApMV-R	5'-CCGGTGGTAACTCACTCGTT-3'		
ASPV-F	5'-ATGTGTGGAACCTCATGCTGCAA-3'	370	Menzel et al. (2002)
ASPV-R	5'-TTGGGATCAACTTTACTAAAAAGCATAA-3'		
ASGV-F	5'-GCCACTTCTAGGCAGAACTCTTTGAA-3'	273	Menzel et al. (2002)
ASGV-R	5'-AACCCCTTTTGTCTTCAGTACGAA-3'		
ASSVd-F	5'-CCCGGTAAACACCGTGCGGT-3'	331	Lee et al. (2001)
ASSVd-R	5'-ACCGCGAAACACCTATTGTG-3'		

ACLSV, Apple chlorotic leaf spot virus; ApMV, Apple mosaic virus; ASPV, Apple stem pitting virus; ASGV, Apple stem grooving virus; ASSVd, Apple scar skin viroid.

## 결과 및 고찰

강원, 충북, 충남, 전북의 16개 사과원을 대상으로 바이러스 및 바이로이드 5종의 감염 조사 결과(Tables 3, 4), 전체 바이러스 및 바이로이드 감염률은 97.3%로 대부분의 사과나무가 감염되어 있었으며, 감염되지 않은 사과나무의 비율은 2.7%인 것으로 나타났다. 바이러스 및 바이로이드 종류별 감염률은 ASGV 93.4%, ASPV 85.7%, ACLSV 59.0%, ASSVd 6.7%, ApMV 3.6% 순으로 ASGV가 가장 높았고 ApMV가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 바이러스 및 바이로이드에 단독 또는 복합 감염 조사 결과(Table 5), 바이러스 및 바이로이드 단 1종만 감염된 비율은 12.4%였으며, 2종 이상 복합 감염된 비율은 84.8%로 복합 감염의 비율이 단독 감염에 비해 약 7배 가까이 되는 것으로 조사되었다.

**Apple chlorotic leaf spot virus (ACLSV).** ACLSV의 전국 감염률은 59.0%였으며, 지역별로 보면 충북 단양지역이 78.3%로 가장 높았고, 전북 무주지역이 44.5%로 가장 낮은 감염률을 보였다. 또한 사과원별로 보면 조사 주수가 100% 감염된 사과원이 2곳이었으며, 6.7%의 감염률을 보인 사과원이 가장 낮은 것으로 조사되어 사과원별로 감염률의 편차가 심한 것으로 조사되었다. 또한 동일 사과원 내에서 후지와 홍로의 감염률은 5농가 중 4농가의 홍로 감염률이 높게 나타났다.

ACLSV는 1959년 미국의 사과나무에서 처음으로 보고되었으며(Burnt 등, 1996), 사과, 복숭아, 배, 자두, 체리, 살구 등을 감염시킨다(Lister, 1970; Németh, 1986). ACLSV에 감염되면 대부분의 사과 품종은 30–40% 손실이 발생하며 감염률은 80–100%까지 보고가 되어 있는데(Cembali 등, 2003; Nemchinov 등, 1995; Wu 등, 1998), 본 연구에서 ACLSV의 전국 감염률은 59.0%로 80–100%에 미치지 못하지만 일부 사과원의 감염률이 80% 이상으로 조사되어 향후 감염률이 더 올라갈 수 있을 것으로 판단된다.

**Apple stem pitting virus (ASPV).** ASPV의 감염 현황 조사 결과, 전체 감염률은 85.7%였고, 충북 단양지역의 경우 99.7%로 감염률이 가장 높았으며, 전북 무주지역은 69.9%로 가장 낮은 감염률을 보였다. 또한 지역별로 보면 전체 16개 사과원 중 7개 사과원은 ASPV에 100% 감염이 되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 나머지 과원들도 50% 이상이 감염되어 ASPV의 감염률이 전국적으로 매우 높은 것으로 조사되었다. 특히 ASPV는 ACLSV와 ASGV와 함께 복합 감염되는 경우가 많은데(Ji 등, 2013; Leone 등, 1998; Wang 등, 2010), 본 연구에서도 3종의 바

이러스가 복합 감염된 경우는 56.2%로 조사 주수의 절반 이상이 ASPV, ACLSV, ASGV 3종에 복합 감염되어 있었다.

**Apple stem grooving virus (ASGV).** ASGV는 본 연구의 조사 대상인 바이러스 및 바이로이드 5종 중에서 가장 높은 감염률을 보인 바이러스로 전체 감염률은 93.4%였다. 특히 조사 대상 16개 사과원 중 7개 사과원은 100% 감염률을 보였으며, 100%가 아닌 사과원도 최소 감염률이 50%가 넘어서 전국적으로 이미 많은 사과나무가 감염되었으므로 본 연구의 조사 대상의 바이러스 중 가장 관리가 시급한 바이러스로 판단된다.

**Apple mosaic virus (ApMV).** ApMV의 전체 감염률은 3.6%로 본 연구의 대상 바이러스 및 바이로이드 중 가장 낮은 감염률을 보였다. 16개 사과원 중 10개 과원의 감염률은 0%인 것으로 나타내며, 무주의 P 농가의 자홍 품종을 제외하면 사과원당 감염률이 10%를 넘지 않았다. Pertzik와 Lenz (2011)에 따르면 ApMV는 종종 ACLSV와 ASPV와 함께 발생하지만 감염 빈도는 훨씬 적었다고 보고하였으며, Cho (2015)에 따르면 국내 사과나무의 ACLSV, ASGV, ASPV의 감염률은 47.6%인 반면 ApMV는 발생되지 않았음을 보고하였다.

본 연구에서도 이 연구들과 마찬가지로 ApMV가 ACLSV와 ASPV와 복합 감염된 경우가 많았으며, 감염률은 ApMV가 ACLSV, ASPV보다 극히 낮은 것으로 조사되었다.

**Apple scar skin viroid (ASSVd).** ASSVd의 전국 감염률은 6.7%는 대부분의 사과원에서 감염률이 0%였으나, 정선의 D 농가의 경우 후지 66.7%, 홍로 40.0%로 매우 높은 감염률을 보여 ASSVd에게 유리한 조건이 갖추어지면 언제든지 높은 전염력을 가질 수 있을 것으로 판단됨에 따라 ASSVd의 전염력에 대한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

현재 국내 사과원에 바이러스 및 바이로이드는 매우 높은 감염률을 보여주고 있어 당장 시급한 대책이 필요한 실정이다. 하지만 바이러스 및 바이로이드의 경우 현재 치료 방법이 개발되어 있지 않아, 매개충 방제, 농자재 소독 등 예방에만 그 노력이 치우쳐 있으나, 본 연구 결과에서도 알 수 있듯이 이미 바이러스 및 바이로이드는 많은 농가에 전염되어 있어 어찌 보면 예방은 그 효과가 적을 것으로 판단된다. 따라서 실질적인 대안이 필요한데 최근 조직배양 기술을 이용해 사과 무병묘 생산 기술 개발이 시도되고 있으며(Kwon 등, 2019; Lee 등, 2013; Wang 등, 2006), 또한 일부 묘목상에서 무병묘를 보급하고 있다. 다만 다년생인 나무의 특성상 한번 식재를 하면 외부적 요인에 의해 나무가 고사하지 않는 이상 대부분의 과수원에서는 나무를 갱신

**Table 3.** Apple virus and viroid infection in Gangwon, Chungbuk, Chungnam, Jeonbuk

Area	Orchard	Variety	ACLSV	ASPV	ASGV	ApMV	ASSVd	No. <sup>a</sup>	
Gangwon, Jeongseon	A	Jahong	O	O	O	-	-	23	
			O	O	-	-	-	1	
			O	O	O	O	-	1	
			-	O	-	-	-	1	
			-	O	O	-	-	4	
	B	Jahong	O	O	O	-	-	29	
			O	O	O	-	O	1	
	C	Fuji	O	O	O	-	-	9	
			O	O	O	O	-	1	
			-	O	O	-	-	19	
			-	O	O	-	O	1	
			O	O	O	-	-	29	
		D	Fuji	-	O	O	-	-	1
				O	O	O	-	O	11
				O	O	-	-	-	1
				O	O	O	-	-	2
			Honggro	Fuji	-	O	O	-	-
	-				O	O	-	O	9
	-				-	O	O	O	1
	O				-	O	-	-	1
	O	O			-	-	-	7	
	O	O			O	-	-	7	
	Chungbuk, Danyang	E	Fuji	-	-	O	-	-	2
O				O	O	-	-	26	
O				O	O	O	-	2	
O				O	O	-	-	25	
-				O	O	-	-	5	
F		Honggro	O	O	O	-	-	11	
			O	O	O	-	O	6	
			-	O	O	-	-	10	
			-	O	O	-	O	2	
			O	-	O	-	-	1	
G	Fuji	O	O	O	-	-	23		
		-	O	O	-	-	7		
Chungnam, Yesan	H	Fuji	-	O	O	-	-	6	
			O	O	-	-	-	1	
			O	O	O	-	-	23	
	I	Fuji	O	O	O	-	-	9	
			-	O	O	-	-	21	
			O	O	O	-	-	26	
			-	O	-	-	-	1	
	J	Fuji	-	O	O	-	-	3	
			-	O	O	-	-	17	
			O	O	O	-	-	3	
O			O	O	O	-	4		
-			-	O	-	-	4		
			-	-	O	-	1		
			-	O	O	-	1		

Table 3. Continued

Area	Orchard	Variety	ACLSV	ASPV	ASGV	ApMV	ASSVd	No. <sup>a</sup>		
Jeonbuk, Jangsu	K	Jahong	O	O	O	-	-	11		
			-	-	O	-	-	5		
			-	O	-	-	-	1		
			-	O	O	-	-	5		
			-	-	-	-	-	8		
			L	Fuji	O	O	O	-	-	27
					-	O	O	-	-	3
					O	O	O	-	-	30
	-	-			O	-	-	7		
	M	Fuji Fubrax	O	-	-	-	-	2		
			O	O	O	-	-	2		
			O	O	-	-	-	1		
			-	O	-	-	-	4		
			-	O	O	-	-	7		
			-	-	-	-	-	6		
			Hongro	O	O	-	-	-	1	
				O	O	O	-	-	7	
				-	O	-	-	-	1	
				-	O	O	-	-	20	
			Jeonbuk, Muju	N	Fuji Fubrax	O	O	O	-	-
-						-	O	-	-	10
-	O	-				-	-	3		
-	O	O				-	-	11		
-	-	-				-	-	0		
Jahong	O	O				O	-	-	1	
	O	-				-	-	-	3	
	O	O				O	-	-	3	
	O	-				O	-	-	1	
	O	-				O	O	-	1	
	O	O				O	O	-	1	
O	Fuji Fubrax	-				-	-	O	-	1
		-		-	O	-	-	8		
		-		O	-	-	-	4		
		-		O	O	-	-	2		
		-		-	-	-	-	4		
		O		O	O	-	-	1		
		O		-	O	-	-	2		
		-		O	-	-	-	16		
Hongro	O	O		O	-	-	10			
	O	O	O	-	-	24				
	O	O	O	O	-	1				
	-	O	O	-	-	5				
	-	O	O	-	-	1				
	O	O	O	-	-	15				
P	Fuji	O	O	O	O	-	1			
		O	O	O	O	-	1			
		-	O	O	-	-	13			
		-	O	O	-	-	1			
		O	-	O	-	-	1			
	Fuji Fubrax	O	O	O	-	-	4			
		-	-	O	-	-	17			
		-	O	O	-	-	7			
		O	O	O	-	-	8			
		O	O	O	O	-	20			
-	O	O	-	-	1					

ACLSV, Apple chlorotic leaf spot virus; ASPV, Apple stem pitting virus; ASGV, Apple stem grooving virus; ApMV, Apple mosaic virus; ASSVd, Apple scar skin viroid.

<sup>a</sup>The number of infected tree.

**Table 4.** Infection rate of viruses and viroid infecting apple tree

Area	Orchard	Variety	Infection rate (%)					
			ACLSV	ASPV	ASGV	ApMV	ASSVd	ND
Gangwon, Jeongseon	A	Jahong	83.3	100	93.3	0	3.3	0
	B	Jahong	100	100	96.7	0	3.3	0
	C	Fuji	33.3	100	100	3.3	3.3	0
		Hongro	96.7	100	100	0	0	0
	D	Fuji	46.7	100	96.7	0	66.7	0
		Hongro	60.0	60.0	90.0	3.3	40.0	6.7
	Average		70.0	93.3	96.1	1.1	19.4	1.1
Chungbuk, Danyang	E	Fuji	93.3	100	100	6.7	0	0
	F	Fuji	83.3	100	100	0	0	0
		Hongro	60.0	96.7	100	0	26.7	0
	G	Fuji	76.7	100	100	0	0	0
		Average	78.3	99.7	100	1.7	6.7	0
Chungnam, Yesan	H	Fuji	80.0	100	96.7	0	0	0
	I	Fuji	30.0	100	100	0	0	0
		Hongro	86.7	100	96.7	0	0	0
	J	Fuji	23.3	83.3	100	0	20.0	0
		Average	55.0	95.8	98.3	0	5.0	0
Jeonbuk, Jangsu	K	Jahong	36.7	56.7	70.0	0	0	23.3
	L	Fuji	90.0	100	100	0	0	0
		Hongro	100	100	100	0	0	0
	M	Fuji Fubrax	16.7	46.7	56.7	0	0	20.0
		Hongro	26.7	96.7	90.0	0	0	3.3
Average		53.7	79.9	83.2	0	0	10.1	
Jeonbuk, Muju	N	Fubrax	20.0	66.7	90.0	0	0	0
		Jahong	36.7	36.7	53.3	10.0	3.3	13.3
	O	Fuji Fubrax	6.7	40.0	96.7	0	0	0
		Hongro	83.3	100	100	3.3	3.3	0
	P	Fuji	53.3	100	100	3.3	3.3	0
		Fuji Fubrax	16.7	43.3	100	0	0	0
		Jahong	96.6	100	100	69.0	0	0
Average		44.5	69.9	91.9	12.0	1.4	1.9	
Total average			59.0	85.7	93.4	3.6	6.7	2.7

ACLSV, Apple chlorotic leaf spot virus; ASPV, Apple stem pitting virus; ASGV, Apple stem grooving virus; ApMV, Apple mosaic virus; ASSVd, Apple scar skin viroid; ND, not detected.

을 하는 경우가 드물다. 따라서 신규 조성 과원을 시작으로 검증된 사과 바이러스 무병묘를 식재하도록 하고, 신규 과원과 기존 과원으로 대상으로 지속적인 감염률 조사를 통해 더 이상

감염 및 확산되는 것을 차단시켜야 할 것이다.

본 연구는 위에서 언급한 5종의 바이러스 및 바이로이드만을 대상으로 하였으며, 또한 바이러스 및 바이로이드 검출 시 동일

**Table 5.** Single and mixed infections in apple trees

	Single	Mixed	Not detected
Infection rate (%)	12.4	84.8	2.7

한 사과나무 내에서 여러 부위를 사용하지 않고 신초만을 사용하여 검출을 시도하였다. 물론 다양한 부위에서 검출을 시도하는 것이 정확도 측면에서는 더 나은 방법일 수 있으나, 그 대신 좀 더 다양한 지역, 다양한 사과원에서 많은 사과나무를 대상으로 조사를 수행하여 전국적인 사과 바이러스 및 바이로이드의 경향치를 보고자 하였다. 실제 본 연구는 780주의 사과나무를 대상으로 조사를 수행하였다.

## 요 약

사과 바이러스 4종(Apple chlorotic leaf spot virus [ACLSV], Apple stem pitting virus [ASPV], Apple stem grooving virus [ASGV], Apple mosaic virus [ApMV]), 바이로이드 1종(Apple scar skin viroid [ASSVd])을 대상으로 국내 감염률을 조사한 결과, 감염률은 97.3%로 대부분의 사과나무가 바이러스 및 바이로이드에 감염되어 있는 것으로 조사되었다. 지역별로는 정선 98.8%, 단양 100%, 예산 100%, 장수 89.1%, 무주 98.1%였으며, 바이러스 및 바이로이드 각각의 감염률은 ASGV 93.4%, ASPV 85.7%, ACLSV 59.0%, ASSVd 6.7%, ApMV 3.6% 순으로 ASGV의 감염률이 가장 높았고 ApMV의 감염률이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 또한, 바이러스 및 바이로이드 2종 이상 복합 감염 비율은 84.8%로 단 1종만 감염된 비율인 12.4%와 비교하여 약 7배 가까이 되는 것으로 조사되었다.

## Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgments

This work was carried out with the support of Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through (Agri-Bioindustry Technology Development Program), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (grant No. 315003-05-5-HD060).

## References

- Burnt, A. A., Crabtree, K., Dallwitz, M. J., Gibbs, A. J. and Watson, L. 1996. Viruses of Plants: Descriptions and Lists from the VIDE Database. CAB International, Wallingford, UK. 1484 pp.
- Cembali, T., Folwell, R. J., Wandschneider, P., Eastwell, K. C. and Howell, W. E. 2003. Economic implications of a virus prevention program in deciduous tree fruits in the US. *Crop Prot.* 22: 1149-1156.
- Cho, I. S. 2015. New approaches of the molecular assays and the surveys of fruit tree viruses in commercial orchards. Ph.D. thesis. Chungnam National University, Daejeon, Korea. 150 pp.
- Dursunoglu, S. and Ertunc, F. 2008. Distribution of Apple mosaic ilarvirus (ApMV) in Turkey. *Acta Hort.* 781: 131-134.
- Hadidi, A. and Barba, M. 2011. Economic impact of pome and stone fruit viruses and viroids. In: *Virus and Virus-Like Diseases of Pome and Stone Fruits*, eds. by A. Hadidi, M. Barba, T. Candresse and W. Jelkmann, pp. 1-7. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA.
- Hassan, M., Myrta, A. and Polak, J. 2006. Simultaneous detection and identification of four pome fruit viruses by one-tube pentaplex RT-PCR. *J. Virol. Methods* 133: 124-129.
- Hirata, H., Lu, X., Yamaji, Y., Kagiwada, S., Ugaki, M. and Namba, S. 2003. A single silent substitution in the genome of Apple stem grooving virus causes symptom attenuation. *J. Gen. Virol.* 84: 2579-2583.
- Ji, Z., Zhao, X., Duan, H., Hu, T., Wang, S., Wang, Y. et al. 2013. Multiplex RT-PCR detection and distribution of four apple viruses in China. *Acta Virol.* 57: 435-441.
- Korean Statistical Information Service. 2019. URL <http://www.kosis.kr/index/index.do> [25 June 2020].
- Kwon, Y. H., Lee, J. K., Kim, H. K., Kim, K. O., Park, J. S., Huh, Y. S. et al. 2019. Efficient virus elimination for apple dwarfing rootstock M.9 and M.26 via thermotherapy, ribavirin and apical meristem culture. *J. Plant Biotechnol.* 46: 228-235. (In Korean)
- Leone, G., Lindner, J. L., van der Meer, F. A., Schoen, C. D. and Jongedijk, G. 1998. Symptoms on apple and pear indicators after back-transmission from *Nicotiana occidentalis* confirm the identity of Apple stem pitting virus with Pear vein yellows virus. *Acta Hort.* 472: 61-66.
- Lee, G., Kim, J. H., Kim, H. R., Shin, I. S., Cho, K. H., Kim, S. H. et al. 2013. Production system of virus-free apple plants using heat treatment and shoot tip culture. *Res. Plant Dis.* 19: 288-293. (In Korean)
- Lee, J. H., Park, J. K., Lee, D. H., Uhm, J. Y., Ghim, S. Y. and Lee, J. Y. 2001. Occurrence of Apple scar viroid-Korean strain (ASSVd-K) in apples cultivated in Korea. *Plant Pathol. J.* 17: 300-304.
- Lister, R. M. 1970. Apple chlorotic leaf spot virus. Descriptions of Plant Viruses. No. 30. URL <https://www.dpvweb.net/dpv/show-dpv.php?dpvno=30> [25 June 2020].
- Menzel, W., Jelkmann, W. and Maiss, E. 2002. Detection of four

- apple viruses by multiplex RT-PCR assays with coamplification of plant mRNA as internal control. *J. Virol. Methods* 99: 81-92.
- Nemchinov, L., Hadidi, A. and Verderevskaya, T. 1995. Detection and partial characterization of a plum pox virus isolate from infected sour cherry. *Acta Hort.* 386: 226-236.
- Németh, M. V. 1986. Virus, Mycoplasma and Rickettsia Diseases of Fruit Trees. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 840 pp.
- Nisar, A. D. 2013. Apple stem grooving virus: a review article. *Int. J. Modern Plant Anim. Sci.* 1: 28-42.
- Pasquini, G., Faggioli, F., Pilotti, M., Lumia, V. and Barba, M. 1998. Characterization of Apple chlorotic leaf spot virus isolates from Italy. *Acta Hort.* 472: 195-202.
- Petrzik, K. and Lenz, O. 2011. Apple mosaic virus in pome fruits. In: Virus and Virus-Like Diseases of Pome and Stone Fruits, eds. by A. Hadidi, M. Barba, T. Candresse and W. Jelkman, pp. 25-28. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA.
- Posnette, A. F. and Cropley, R. 1956. Apple mosaic virus host reactions and strain interference. *J. Hort. Sci.* 31: 119-133.
- Saade, M., Aparicio, F., Sánchez-Navarro, J. A., Herranz, M. C., Myrta, A., Di Terlizzi, B. et al. 2000. Simultaneous detection of the three ilarviruses affecting stone fruit trees by nonisotopic molecular hybridization and multiplex reverse-transcription polymerase chain reaction. *Phytopathology* 90: 1330-1336.
- Wang, L. P., Hong, N., Wang, G. P., Xu, W. X., Michelutti, R. and Wang, A. M. 2010. Distribution of Apple stem grooving virus and Apple chlorotic leaf spot virus in infected *in vitro* pear shoots. *Crop Prot.* 29: 1447-1451.
- Wang, L., Wang, G., Hong, N., Tang, R., Deng, X. and Zhang, H. 2006. Effect of thermotherapy on elimination of Apple stem grooving virus and Apple chlorotic leaf spot virus for *in vitro*-cultured pear shoot tips. *HortScience* 41: 729-732.
- Wu, Y. Q., Zhang, D. M., Chen, S. Y., Wang, X. F. and Wang, W. H. 1998. Comparison of three ELISA methods for the detection of Apple chlorotic leaf spot virus and Apple stem grooving virus. *Acta Hort.* 472: 55-60.
- Yamaguchi, A. and Yanase, H. 1976. Possible relationship between the causal agent of dapple apple and scar skin. *Acta Hort.* 67: 249-254.
- Yanase, H., Koganezawa, H. and Fridlund, P. R. 1989. Correlation of pear necrotic spot with pear vein yellows and apple stem pitting, and a flexuous filamentous virus associated with them. *Acta Hort.* 235: 157-158.