

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
선인장 신품종 육성 연구		화훼	'96~	선인장다육식물연구소 선인장연구팀	이재홍
접목선인장 바이러스 검정체계 구축		화훼	'21~'23	선인장다육식물연구소 선인장연구팀	이지혜
색인용어	접목선인장, 바이러스, 검정체계, PCR				

ABSTRACT

The purpose of this study was to establish a virus detection system for the production of virus-free grafted cactus. For rapid diagnosis of viruses, a simultaneous detection system using Real-time PCR was set up for six viruses belonging to the *Potexvirus* genus, including Cactus virus X(CVX), Zygocactus virus X(ZVX), Cactus mild mottle virus(CMMoV), Opuntia virus X(OVX), Saguaro cactus virus(SCV), and Pitaya Virus X(PiVX). The virus infection rates of the cactus & succulent research institute's genetic resource were 57.6% in 2021, 26.6% in 2022, and 24.0% in 2023, with CVX and PiVX being the main infected viruses. The CVX infection rate of *selenicereus* cactus used as grafted cactus rootstock was 52.2% in 2021, 35.1% in 2022, and 7.5% in 2023, showing that the virus detection system was effective in managing virus-free seedlings. The virus infection rates in grafted cactus cultivation farms in Gyeonggi province were 55.0% in 2021, 35.1% in 2022, and 59.5% in 2023, with CVX and PiVX being the main infected viruses.

Key words: Cactus, Grafted cactus, Virus, Real-time PCR, *Potexvirus*, CVX, ZVX, CMMOV, OVX, SCV, PiVX

1. 연구목표

접목선인장은 경기도 특화작목이자 우리나라 주요 수출화훼 작목이다. 경기도의 접목선인장 재배면적은 8.5ha로 전국 재배면적의 48%를 차지하고(농림축산식품부, 2023), 2023년 선인장 수출액은 344만 달러로 미국, 일본 등 17개국에 수출되었으며

우리나라 화훼류 수출액의 37%를 차지한다(농식품수출정보, 2023). 접목선인장은 영양 번식으로 증식하는데 바이러스에 감염된 접수와 대목을 이용하여 증식하거나 소독하지 않은 접목 도구를 사용하게 되면 바이러스에 감염되기 쉽다. 전 세계적으로 40종 이상의 바이러스가 선인장에 감염된다고 알려져 있지만 국내에서 보고된 선인장에 감염된 바이러스는 8종이다. 바이러스에 감염되면 시기나 환경에 따라 병징이 나타나지 않는 경우도 있으나 1종의 바이러스에 의한 단독 감염 보다는 2종 이상의 바이러스에 복합감염될 경우 피해가 크다. 주로 포텍스바이러스속에 속하는 5종의 바이러스인 Cactus virus X(CVX), Zygocactus virus X(ZVX), Opuntia virus X(OVX), Schlumbergera virus X(ShVX), Pitaya virus X(PiVX) 등이 복합감염되어 피해를 주고 있는데 원형황화, 모자이크, 조직 변형 등의 증상이 나타나거나(곽 등, 2020) 구직경, 자구수 및 접목활착률 감소 등의 피해가 발생한다(정 등, 2003). 이처럼 선인장 바이러스는 생산량 감소와 품질 저하 등 경제적 피해를 초래하나 현재까지 바이러스를 치료할 수 있는 방제법과 약제는 개발되어 있지 않기 때문에 바이러스의 감염과 확산 방지를 위해서는 사전관리와 초기대응이 중요하다. 바이러스 저항성 품종을 개발하는 방법도 있지만 많은 노력과 시간이 소요되므로 현재로서는 감염주 제거와 병해충 방제 등 사전관리와 예방이 가장 기본적인 방제 수단이자 효과적인 방제 대책이라고 할 수 있다(이 등, 2023). 따라서 접목선인장 바이러스 검정체계를 구축하여 바이러스 감염여부를 신속하게 분석하고 농가 모니터링을 통한 접목선인장 생산현장 관리를 목표로 2021년부터 2023년까지 3년간 연구를 추진한 결과는 다음과 같다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 접목선인장 바이러스 진단시스템 구축

접목선인장에 발생하는 주요 바이러스인 Cactus virus X(CVX), Zygocactus virus X(ZVX), Cactus mild mottle virus(CMMoV), Opuntia virus X(OVX), Saguaro cactus virus(SCV) 및 Pitaya virus X(PiVX) 분석을 위해 multiplex Real-time PCR Kit(코젠바이오텍社)를 활용하였으며 Real-time PCR 분석법으로 검정하였다(표1, 2 및 3).

표 1. 바이러스 검정키트 구성과 명칭

바이러스 검정키트 구성	명칭
Primer / Probe Mix 1(CVX, ZVX, PiVX)	P ₁
Primer / Probe Mix 2(CMMoV, OVX, SCV)	P ₂
2X RT-PCR Master Mix	2XM
Control 1(CVX, ZVX, PiVX)	C ₁
Control 2(CMMoV, OVX, SCV)	C ₂

표 2. 바이러스 검정을 위한 PCR 키트 반응액 조성 (단위: μ l)

검정키트 구성	시 료	Positive Control [↓]	Negative Control
2XM	10	10	10
P ₁ 또는 P ₂	5	5	5
추출 RNA(C ₁ 또는 C ₂) [♯]	5	(5)	-
합 계	20	20	15

↓ Positive Control: 추출 RNA 대신 제품에 포함된 Control 1 또는 2를 첨가

♯ C₁: CVX, ZVX, PiVX 혼합, C₂: CMMoV, OVX, SCV 혼합

표 3. PCR 키트 반응조건

온도(°C)	시간	Cycle(회)
50	30 min	1
95	10 min	1
95	15 sec	40
60	1 min	40

<시험 2> 접목선인장 바이러스 검정 및 모니터링

가. 연구소

접목선인장 품질향상과 안정생산을 위해 2021년부터 2023년까지 3년간 바이러스 진단시스템을 활용하여 검정을 실시하였다. 2021년부터 2022년까지 Cactus virus X(CVX), Zygocactus virus X(ZVX), Cactus mild mottle virus(CMMoV), Opuntia virus X(OVX), Saguaro cactus virus(SCV) 5종을 검정하였으며 2023년에는 Pitaya virus X(PiVX)를 추가하여 6종을 검정하고 무병자원 수집 및 관리에 활용하였다.

나. 농가

접목선인장 재배농가의 바이러스 발생을 조사하기 위하여 2021년부터 3년간 시험을 수행하였다. 경기도내 접목선인장 재배농가를 대상으로 2021년에는 18개소를, 2022년에는 8개소를 대상으로 CVX 등 바이러스 5종을 검정하였으며, 2023년에는 14개소를 대상으로 PiVX 바이러스 6종을 검정하고 감염률, 감염바이러스 종류 등을 조사하여 재배농가의 무병자원을 수집하고 증식 및 모니터링에 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 접목선인장 바이러스 진단시스템 구축

2021년 선인장 바이러스인 CVX, ZVX, CMMoV, OVX, SCV를 신속 검정하기 위해 5종의 바이러스를 동시에 분석할 수 있는 multiplex Real-time PCR 키트 활용 Real-time PCR 분석법을 구축하였다. 검사의 정확도 향상을 위해 바이러스 활성과 검출농도를 조사하여 검출한계를 설정

정하였으며(그림 1), 시료채집과 분석방법을 표준화하였다(그림 2). 2023년에는 용과 바이러스로 알려져 있으며 복합감염시 피해를 주는 PiVX 1종을 추가하여 선인장 바이러스 6종에 대한 동시검정 시스템을 구축하였다.

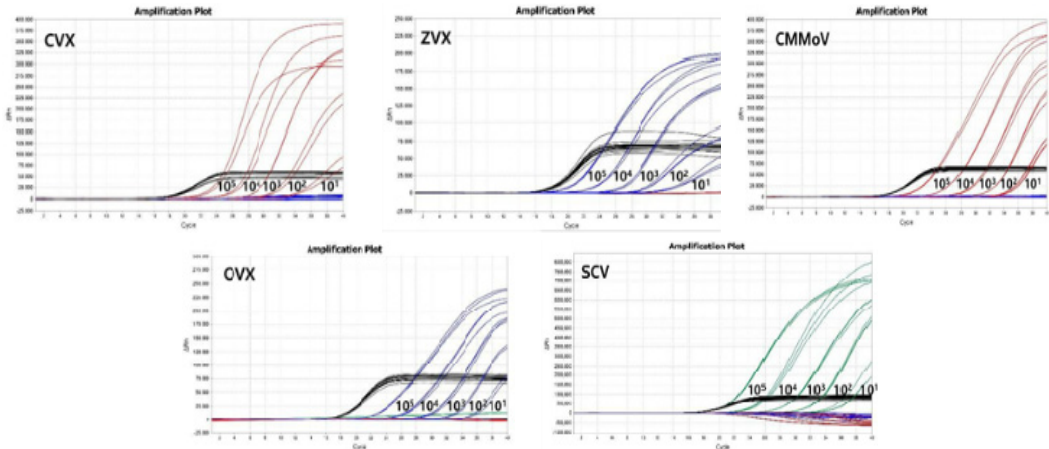


그림 1. 바이러스별 활성 및 검출한계 검정

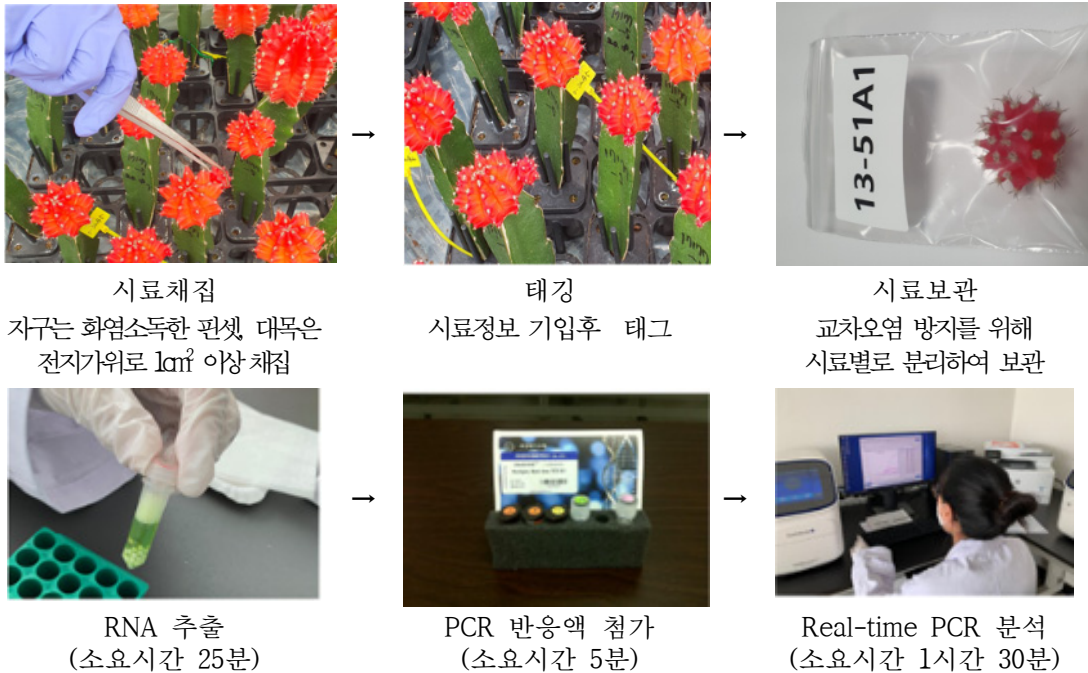


그림 2. 시료채집 및 바이러스 분석절차

본 과제를 통하여 구축한 바이러스 검정시스템은 기존 PCR 분석법과 달리 6종의 바

이러스를 동시에 분석할 수 있어 분석과정 간소화, 노동력 감소 등의 효과가 있고 PCR 과 RT-PCR 분석법보다 진단시간이 3시간 단축되어 신속한 분석이 가능하며 검출한계도 낮아 고도로 정밀한 진단이 가능하다. 사설검정(검정의뢰)과 비교해서도 검정비용 감소와 진단시간 단축 등의 이점이 있어 대량분석과 신속한 현장대응이 가능할 것으로 판단되었다(표 3).

표 3. 바이러스 검정시스템의 효율성 비교

구 분	검정비용 [↓] (천원/점)	진단방법	진단소요기간 (일) [↓]	분석가능 시료수
사설검정(검정의뢰)	110	Real-time PCR	7	7점/일
자체검정(연구소)	40	Real-time PCR	1	184점/1일*

↓ 비용: 시료당 소요되는 금액, ↓ 진단소요기간: 검정의뢰부터 결과통보까지 소요되는 시간

* 분석가능 시료수 산출근거: ① × ② × ③ = 184

① 1회(96well) 당 시료 46점 분석가능

Positive Control 2 + Negative Controp 2 + 시료 46점(P₁: CVX, ZVX, PiVX) + 시료 46점(P₂: CMMoV, OVX, SCV)

② 일일 분석가능 회수: RNA 추출부터 분석까지 4-5시간→오전/오후 2회

③ Real-time PCR 2대 운용

<시험 2> 접목선인장 바이러스 검정 및 모니터링

가. 연구소

CVX 등 바이러스 5종에 대한 검정결과 2021년 연구소 보유자원의 바이러스 검출률은 57.6%였으며 검출된 바이러스는 CVX 1종이었다. 작목별 바이러스 검출률은 접목선인장 산취 88.9%, 아스트로피툼 87.5%, 및 비모란 68.4%였고, 삼각주 52.2%, 연성각 25% 순으로 낮았으며, 아스트로피툼 감염개체간 교배로 생산된 실생에서는 바이러스가 검출되지 않아 교배실생의 바이러스 무병종묘 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 2022년 바이러스 검출률은 26.6%였으며 작목별로는 소데가우라 100%, 접목선인장 비모란 55.6%, 삼각주 14.7% 및 연성각 12.5% 순으로 낮았고, 비모란 실생에서는 아스트로피툼 실생과 마찬가지로 바이러스가 검출되지 않았다. 2023년에는 복합감염시 피해를 주는 것으로 알려져 있는 PiVX 1종을 추가하여 바이러스 6종에 대한 검정시스템을 구축하고 검정을 실시하였다. 6종의 바이러스에 대한 연구소 자원의 바이러스 검출률은 24.0%였으며 작목별 검출률은 비모란 접목개체 75.3%, 삼각주 17.5%, 삼각주 실생 13.6%, 연성각 7.9% 순으로 낮았고 소데가우라는 감염주 제거로 바이러스가 검출되지 않았다(표 4).

표 4. 연구소 보유자원 바이러스 검출결과

년도	작 목	검정시료수(주)	검출시료수(주)	바이러스 검출률(%)
2021	비모란(접목)	38	26	68.4
	산취(접목)	9	8	88.9
	아스트로피툼(접목)	8	7	87.5
	아스트로피툼(실생)	5	-	-
	삼각주(대목)	23	12	52.2
	연성각(대목)	16	4	25.0
	계(평균)	99	57	(57.6)
2022	비모란(실생)	10	-	-
	비모란(접목)	27	15	55.6
	삼각주(대목)	109	16	14.7
	연성각(대목)	48	6	12.5
	소테가우라(대목)	20	20	100.0
	계(평균)	412	171	(26.6)
2023	삼각주(대목)	1,014	177	17.5
	삼각주(실생)	22	3	13.6
	비모란(접목)	146	110	75.3
	연성각(대목)	38	3	7.9
	소테가우라(대목)	2	-	-
	계(평균)	1,222	293	(24.0)

주요 검출 바이러스는 CVX, PiVX 2종이었으며 복합감염도 CVX+PiVX 감염이 대부분으로 조사되어 바이러스 감염 방지를 위해서는 CVX, PiVX 2종에 대한 집중 관리가 필요하다고 판단되었다(표 5).

표 5. 연구소 보유자원 바이러스별 감염현황

년도	작 목	단독감염(주)						복합 감염(주) ¹⁾	계
		CVX	OVX	ZVX	CMMbV	SCV	PIVX ²⁾		
2021	비모란(접목)	26	-	-	-	-	-	-	26
	산취(접목)	8	-	-	-	-	-	-	8
	아스트로피툼(접목)	7	-	-	-	-	-	-	7
	삼각주(대목)	12	-	-	-	-	-	-	12
	연성각(대목)	4	-	-	-	-	-	-	4
	계(감염률, %)	57(100)	-	-	-	-	-	-	57(100)

년도	작 목	단독감염(주)						복합 감염(주) [♪]	계
		CVX	OVX	ZVX	CMMoV	SCV	PIVX [♯]		
2022	비모란 (접목)	15	-	-	1	1	-	6(CMMoV 2, SCV 4)	23
	삼각주 (대목)	17	-	-	-	-	-	-	17
	연성각 (대목)	6	-	-	-	-	-	-	6
	아스트로피툼 (접목)	2	-	-	-	-	-	-	2
	소데가우라 (대목)	20	-	-	-	-	-	-	20
	계 (감염률, %)	60 (88.2)	-	-	1 (1.5)	1 (1.5)	-	6 (8.8)	68 (100)
2023	비모란 (실생)	62	2	8	-	-	91	14(PIVX)	177
	비모란 (접목)	3	-	-	-	-	-	-	3
	삼각주 (대목)	35	-	-	-	-	21	54(PIVX)	110
	연성각 (대목)	3	-	-	-	-	-	-	3
	계 (감염률, %)	103 (35.2)	2 (0.7)	8 (2.7)	-	-	112 (38.2)	68 (23.2)	293 (100)

♯ PIVX: 2023년부터 검정, ♪ 복합감염: CVX + CVX외 바이러스 동시감염

한편, 접목선인장의 대목으로 사용되는 삼각주의 무병종묘 생산 및 관리에 바이러스 검정기술을 활용한 결과 연차별 CVX 검출률은 2021년 52.2%에서 2022년 14.7%, 2023년 7.5%로 점차 감소되어 바이러스 이병주 제거에 의한 바이러스 감염관리에 효과가 큰 것으로 나타났다(표 6).

표 6. 삼각주선인장의 연차별 CVX 검출률

구 분	2021년	2022년	2023년
검정시료수(주)	23	109	1,014
검출시료수(주)	12	16	76
검출률(%)	52.2	14.7	7.5

나. 농가

접목선인장 농가 관리와 무병묘 분리재배 지도를 위해 바이러스 검정을 추진한 결과 2021년 도내 접목선인장 재배농가 18개소의 바이러스 검출률은 55.0%였으며 작목별로는 비모란이 96.1%, 삼각주가 35.1%였다. 2022년 도내 접목선인장 재배농가 8개소의 바이러스 검출률은 35.1%였으며 작목별로는 비모란이 100%, 삼각주가 33.9%였다. 2023년 도내 접목선인장 재배농가 14개소를 대상으로 바이러스를 검정한 결과 검출률은 59.5%였으며 작목별 감염률은 비모란이 80.0%, 삼각주가 53.9%였다(표 7).

표 7. 접목선인장 재배농가 바이러스 검출결과

년 도	작 목	검정시료수(주)	검출시료수(주)	바이러스 검출률(%)
2021	비모란(접목)	103	99	96.1
	삼각주	199	70	35.1
	계(평 균)	302	169	(55.0)
2022	비모란(접목)	5	5	100
	삼각주	254	86	33.9
	계(평 균)	259	91	(35.1)
2023	비모란(접목)	80	64	80.0
	삼각주	293	158	53.9
	계(평 균)	373	222	(59.5)

접목선인장 재배농가의 주요 검출 바이러스는 연구소와 마찬가지로 CVX, PiVX 2종이었으며 복합감염도 CVX+PiVX 감염이 대부분으로 조사되어 생산현장의 효율적인 바이러스 관리를 위해서는 CVX와 PiVX에 대한 집중 관리가 필요하다고 판단되었다(표 8).

표 8. 접목선인장 재배농가 바이러스별 감염현황

년도	작 목	단독감염(주)						복합 감염(주) ^b	계
		CVX	OVX	ZVX	CMMoV	SCV	PIVX		
2021	비모란(접목)	96	-	-	-	-	-	3 (CMMoV)	99
	삼각주	67	-	-	-	-	-	3(CMMoV 2, OVX+ZVX1)	70
	계 (감염률, %)	163 (96.4)	-	-	-	-	-	6 (3.6)	169 (100)

년도	작 목	단독감염(주)						복합 감염(주) ¹⁾	계
		CVX	OVX	ZVX	CMMoV	SCV	PiVX		
2022	비모란(접목)	5	-	-	-	-	-	-	5
	삼각주	84	-	-	-	-	-	2(SCV)	86
	계 (감염률, %)	89 (97.8)	-	-	-	-	-	2 (2.2)	91 (100)
2023	비모란(접목)	45	-	-	-	-	4	15(PiVX)	158
	삼각주	113	-	1	-	-	13	31(PiVX)	64
	계 (감염률, %)	158 (71.2)	-	1 (0.4)	-	-	17 (7.7)	46 (20.7)	222 (100)

4. 적 요

접목선인장 무병종묘 생산시스템 확립 및 품질향상을 위해 접목선인장 바이러스 검정체계 구축 연구를 2021년부터 3년간 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. CVX 등 선인장바이러스 6종에 대한 동시검정 시스템을 구축하여 검정효율이 향상되었고, 무병자원 수집과 증식을 위한 연구소 및 접목선인장 재배농가의 관리와 모니터링에 활용하였다.
- 나. 연구소 보유자원 바이러스 검정결과 검출률은 2021년 57.6%, 2022년 26.6%, 2023년 24.0%였으며 주요 검출 바이러스는 CVX, PiVX 2종이었다.
- 다. 경기도 접목선인장 재배농가 바이러스 검정결과 검출률은 2021년 55.0%, 2022년 35.1%, 2023년 59.5%였으며 주요 검출 바이러스는 CVX, PiVX 2종이었다.

5. 인용문헌

농림축산식품부. 2023. 2022 화훼재배현황: pp. 81-82.
 농식품수출정보(www.kati.net). 2023. 선인장 수출입통계.
 광혜련 등. 농촌진흥청. 2020. 선인장 감염 포텍스 바이러스 속 5종 바이러스 다중 진단용 프라이머 세트 및 이를 이용한 진단 방법. 한국등록특허 제 10-2020-0074787호: pp. 4-5.
 정봉남 등. 2003. Effect of CVX infection on Graft-take and Growth of *Gymnocalycium mihanovichii* in Grafting Cactus. 한국원예과학회지 44(5):748
 이지혜. 경기도농업기술원. 2023. 삼각주선인장 재배와 바이러스 관리 매뉴얼: p. 18.

6. 연구결과 활용제목

- 접목선인장 바이러스 신속진단체계 구축 및 활용 (2021, 영농활용)
- 경기지역 접목선인장 바이러스 실태조사 결과 (2021, 영농활용)
- 삼각주선인장 바이러스 검정결과 정보제공 (2022, 영농활용)
- 삼각주선인장 바이러스 검정결과 활용 농가 컨설팅 및 교육 (2023, 영농활용)

7. 연구원편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'21	'22	'23
접목선인장 바이러스 검정체계 구축	책임자	선인장다육식물 연구소	농업연구사	이지혜	세부과제 총괄	○	○	○
	공동 연구자	〃	농업연구사	서재순	시료검정	-	○	○
		〃	농업연구관	이재홍	자료분석	○	○	○
〃	〃	〃	정구현	시험검토	○	○	○	