

어젠다코드	1 - 3 - 8		구분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	P01	작목구분코드	VC-01-0803
과제종류	농업공동연구		세부사업(약어)	기후변화	
과제명	기후변화 대응 국가관리 바이러스 정밀분포지도 작성 및 진단 매뉴얼 개발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	최홍수		농업연구원	국립농업과학원	
연구기간	2014 ~ 2018		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
4) 기후변화에 따른 강원지역 국가관리 바이러스 정밀분포지도 작성			환경농업연구과	원현섭	'14~'18
색인용어	기후변화대응, 국가관리급바이러스, 바이러스병정밀분포지도, 조기진단				

ABSTRACT

This study researched the current occurrence status of viral diseases of solanaceous crops in the main production areas of Gangwon region, for four years from 2014 to 2018. From 2014 to 2018, in eight cities and counties including Chuncheon, CMV, BBWV2, PMMoV, TSWV, and PVY occurred in chilli peppers. In case of tomato, the research was performed in 2017 and 2018 while TSWV and TYLCV were verified in Chuncheon, Hoengseong, and Cheorwon. Especially, TYLCV occurred in Chuncheon region for the first time in 2017, which was verified in 2018. Lastly, the current occurrence status of viral diseases of bell peppers was researched in seven cities and counties like Gangneung, Hoengseong, and Cheorwon from 2015 to 2018. In the results, CMV, BBWV2, PMMoV, PepMoV, and TSWV were verified in bell peppers of Gangwon region. During the research period, there were no crops suspected or infected by BWYV, so that it is judged that there is no villiferous or infected aphid by this virus in Gangwon-do. Such results of this study could be used as the basic data for the stable production of crops through the early prevention of plant diseases occurring in the solanaceous crops of Gangwon region.

1. 연구목표

기후 온난화 및 세계화에 따른 농산물 교역 증가로 인해 새로운 바이러스가 돌발적으로 발생하여 생물학적 생태파괴로 인한 피해가 계속 확대되고 있고 신규바이러스 또한 매년 증가하고 있다. 2004년 토마토덤불위축바이러스(*Tomato bushy stunt virus*, TBSV)를 시작으로 2007년 호박모자이크바이러스(*squash mosaic virus*, SqMV), 2008년 감자갈쭉마이로이드(*Potato spindle tuber viroid*, PSTVd) 와 토마토황화잎말림바이러스(*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), 2010년 사탕무황화바이러스(*Beet western yellows virus*, BWYV), 2012년 순무황화모자이크바이러스(*Turnip yellow mosaic virus*, TYMV), 2013년 토마토퇴록바이러스(*Tomato chlorosis virus*, ToCV) 와 질경이모자이크포텍바이러스(*Plantago asiatica mosaic virus*, PIAMV)가 발생을 하였다. 이에 따라 국가에서 피해발생을 우려하여 관리하는 국가관리바이러스 12종을 선정하였는데 사탕무황화바이러스(*Beet western yellows virus*, BWYV), 박과진딧물매개황화바이러스(*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV), 등대풀잎말림바이러스(*Euphorbia leaf curl virus*, EuLCV), 동아시아시계초바이러스(*East Asian Passiflora virus*, EAPV), 봉선화괴저만점바이러스(*Impatiens necrotic spot virus*, INSV), 파파야잎말림바이러스(*Papaya leaf curl virus*, PaLCuV), 질경이모자이크포텍바이러스(*Plantago asiatica mosaic virus*, PIAMV), 토마토덤불위축바이러스(*Tomato bushy stunt virus*, TBSV), 토마토퇴록바이러스(*Tomato chlorosis virus*, ToCV), 토마토반점위조바이러스(*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), 토마토황화잎말림바이러스(*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), 순무황화모자이크바이러스(*Turnip yellow mosaic virus*, TYMV)가 있다.

이러한 국가관리 바이러스와 일반바이러스가 강원도 주요 재배작목에서의 발생과 종류를 파악하는 것은 바이러스병에 의한 피해를 사전에 예방할 수 있는 조기진단 매뉴얼 제작을 위한 중요한 기초자료이다. 그러나 강원지역 원예 및 화훼작물에 피해를 주는 바이러스의 종류와 병징 발현 특성에 대한 연구가 이루어지지 않아 농업현장에서 조기에 진단을 할 수 없었다. 따라서 강원도 지역 및 작목별 바이러스 종류 및 분포현황에 대한 지도 작성과 조기진단매뉴얼개발 및 바이러스와 매개충과의 유연관계를 분석하기 위해 본 과제를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

〈제4세부과제: 기후변화에 따른 강원지역 국가관리 바이러스 정밀 분포지도 작성〉

(시험 1) 강원지역 국가관리 바이러스 모니터링 및 긴급 방제 프로토콜 개발

강원지역 국가관리바이러스 모니터링을 위해 2014년부터 2018년까지 토마토, 파프리카, 배추, 멜론에서 발생하는 바이러스의 발생양상을 조사하였다. 조사 시기는 정식 후 30일경, 60일 및 수확기에 실시를 하였다. 작목별 조사 시기 및 대상바이러스로는 멜론에서는 2014년부터 2018년까지 춘천, 횡성, 양구에서 CABYV, CMV, WMV, ZYMV에 대한 4종의 바이러스 발생양상조사를 실시하였다. 배추에서는 2014년~2018년까지 강릉, 태백, 삼척, 정선에서 TYMV, TuMV, CMV, RMV에 대한 바이러스 발생양상을 조사하였다. 파프리카는 2015년부터 2018년까지 BWYV, CMV, BBWV2, PMMoV, TSWV, PepMoV에 대한 바이러스를 모니터링 하였다. 마지막으로 토마토는

파프리카와 마찬가지로 2015년~2018년까지 춘천, 횡성, 철원, 화천, 양구에서 ToCV, TYLCV, TbLCV, TSWV, TBSV에 대한 5종의 바이러스의 지역별 발생양상을 조사하였다. 포장에서 채집된 바이러스 증상시료는 RT-PCR방법을 이용하여 바이러스를 검정하였다. 우선 채집된 시료를 1.5ml 튜브에 1cm×1cm크기로 자른 후 마쇄한 후 easy-spin™ [DNA free] Total RNA Extraction kit (iNtRON Biotechnology, Seongnam, Korea)를 이용하여 사용자 매뉴얼에 따라 분리를 하였으며 감염 식물체에서 전체 핵산을 분리한 후 핵산 추출물을 진단에 이용하였다. 유전자 진단에 대상 바이러스의 특이 프라이머는 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과에서 디자인한 프라이머를 사용하였으며, 표 1과 같다. PCR 조성액 총액은 20μl로 1×AccuPower® PCR Master Mix (Bioneer, Daejeon, Korea) 2μl, Forward primer(10 pmol) 1μl, Reverse primer(10 pmol) 1μl, RNA 2μl, D.W 14μl로 반응시켰다.

RT-PCR 조건은 55℃에서 30분, 95℃에서 10분 역전사 반응 뒤 95℃에서 10분간 denaturation 후, 95℃에서 30초, 57℃에서 40초, 72℃에서 45초로 35회로 진행하였고 TbLCV(Tobacco leaf curl virus) 와 TYLCV는 95℃에서 3분간 denaturation 후, 94℃에서 20초, 55℃에서 30초, 72℃에서 1분로 35회 조건으로 진행하였다. PCR이 완료되면 각 산물은 1.2% agarose gel에서 전기영동을 통해 감염여부를 확인하였다.

표 1. 바이러스 의심주 진단에 사용한 프라이머 목록

바이러스	프라이머 이름	염기서열(5'-3')	PCR산물 크기(bp)
CMV	CMV DP u1	CGTCGTGGTTCCCGCTCCG	690bp
	CMV DP d2	AGCGCGCATCGCCGAAAGAT	
BBWV2	BBWV2 1-1u	AAACAAACAGCTTTTCGTTCCG	380bp
	BBWV2 1R	GCCATCTCATTGGCATGG A	
PepMoV	PepMoV u1	AATGGCACGTCCCCAAA	705bp
	PepMoV d1	TCTCTCTCATGCCAACTACGA	
PMMoV	PMMoV 6F	CAGTTTCCAGTGCCAATCAATTA	456bp
	PMMoV 6R	GTTGTAGCCCAGGTGAGTCCACTC	
PVY	PVY N40	GCATACGACATAGGAGAAACTG	550bp
	PVY C10	TATGATAAAAAGTAGTACAGG	
BWYV	BWYV 95F	CGAATCTTTGAACACAGCAGAG	690bp
	BWYV 784R	TGTGGGATCTTTGAAGGATAGG	
TSWV	TSWV 6F	GAGATTTCTCAGAATTTCCAGT	459bp
	TSWV 6R	AGAGCAATCGTGTCAATTTTATTTC	
ToCV	ToCV-M-4F	AGAAGATCCGCGCTAATGCTAA	479bp
	ToCV-M-4R	GGTCATCTTTCCCAAACACGA	
TYLCV	tylcv 1f	GTC AACCAATCAAATTTGCATCCTC AA	712bp
	tylcv 1-2r	GTCCAAAATCCATTGGGC	
TbLCV	hyvv 1f	GTCAGCCCTAATTTGAACGG	779bp
	hyvv 1r	AGCTTGTTCCTTAGACG	
TBSV	TBSV 2-F	AGGTATGTTGACAGGGATGTC	898bp
	TBSV 2-R	TTGCCAGGGTACATGGCCCTG	

(시험 2) 고추바이러스병 분포지도 작성

강원지역 고추 및 주변잡초에 발생한 바이러스 분포지도를 작성을 위해 2014년부터 2016년까지 춘천, 강릉 등 8개 지역에서 CMV, BBWV2 등 7종의 바이러스에 대한 지역별 발생양상을 분석하였다. 바이러스진단에 사용한 프라이머와 유전자분석 방법은 시험 1과 같다.

(시험 3) 강원 수출작목의 바이러스병 분포 및 조기진단기술 정립

백합, 딸기, 칼라에 대한 강원 수출작목의 바이러스병 분포 및 조기진단기술 정립을 위해 춘천, 강릉, 횡성, 영월, 인제에서 바이러스 분포양상을 조사하였다. 백합은 2014년부터 2018년까지 PIAMV 등 4종의 바이러스에 대한 발생양상을 조사하였고, 딸기는 2016년~2017년에 SMoV 등 5종의 바이러스에 대한 발생조사를 실시하였다. 유전자 진단에 대상 바이러스의 특이 프라이머는 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과에서 디자인한 프라이머를 사용하였으며, 표 2, 3과 같으며, 유전자 분석 방법은 시험 1과 같다.

표 2. 백합바이러스 의심주 진단에 사용한 프라이머 목록

바이러스	프라이머 이름	염기서열(5'-3')	PCR산물 크기(bp)
PIAMV	PIAMV DF1	TGC TTC GAC GCG GGC TC	520bp
	PIAMV DR2	GCT GGT TAA GTT TGC CRA TA	
CMV	CMV-F	GAG TCA TGG ACA AAT CTG	650bp
	CMV-R	AAC ACG GAT TCA AAC TGG	
LSV	LSV-F	GAT GTC GAA GGT GTC AAA AGC TGC	551bp
	LSV-R	CAC TGT TAG AGC AAC GAC TAA CCC	
LMoV	LMoV-F	GGC TGT TTC ATC TGG AAG TGT GC	300bp
	LMoV-R	CAT GGT TTG TGC ATA GAG AAT GG	

표 3. 딸기바이러스 의심주 진단에 사용한 프라이머 목록

바이러스	프라이머 이름	염기서열(5' -3')	PCR산물 크기(bp)
SMoV	SMoV-UTF	GCTACCATCCGTGATAACA	250
	SMoV-UTR	CCTACATAGAGAAGTGTCTCG	
SCV	SCV-POF	CCACAGATAACAATGACAGA	408
	SCV-ROF	CCTCTAAAGCGCATACTGT	
SMYEV	SMYEV-FPF	ACAATCGCYCTGGTCAGTAA	829
	SMYEV-FPR	GCTGGGTAGAAAGAAGAAFTGAGA	
SVBV	SVBV-CPF	GATGATTGACTACAGCAGC	831
	SVBV-CPR	CCATATTGTGTTTCCGGTG	
ArMV	ArMV-CPF	GTATTACGTGGGTTATGAG	288
	ArMV-CPR	CTGCCTCAAACCTCAGCATA	
SNSV	SNSV-CPF	CCCAACTTGTTTTGACAAGT	502
	SNSV-CPR	GCACCACACAATTGTTAT	
SpaV	SpaV-HSF	ATGTTTCATGAAATCAGTTTGTG	675
	SpaV-HSR	AACGGATGAGAATTACAGTC	
SLRSV	SLRSV-CPF	AAGTTACACCTTCATGCGC	918
	SLRSV-CPR	AAAGAGGTGGTTGGTTGTAT	

(시험 4) 지역별 작물-중간기주-매개충별 국가관리바이러스 정밀분포지도 작성

TSWV, TYLCV, LMoV에 대한 작물 및 매개충별 보독을 분석을 통한 유연관계를 파악하기 위해 총채벌레, 진딧물, 담배가루이를 채집하여 보독을 조사를 실시하였다. 채집된 가루이 및 총채벌레 시료는 매개충의 유전자추출을 위해서 PCR방법을 이용하여 바이러스를 검정하였다. 우선 채집된 시료를 1.5ml 튜브에 1마리씩 나눠 담고 마쇄한 후 해당 매개충별 추출 키트를 사용하여 DNA 및 RNA를 추출하였다. 담배가루이는 AccuPrep Genomic DNA Extraction Kit(Bioneer, Daejeon, Korea)를 이용하여 사용자 매뉴얼에 따라 분리를 하였으며 가루이에서 DNA를 분리한 후 PCR 진단에 이용하였다. 총채벌레는 easy-spin™ [DNA free] Total RNA Extraction kit (iNtRON Biotechnology, Seongnam, Korea)를 이용하여 사용자 매뉴얼에 따라 분리를 진행하였다. 유전자 진단에 대상 바이러스의 특이 프라이머는 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과에서 디자인한 프라이머를 사용하였으며, 표 1과 같다. PCR 조성액 총액은 20 μ l로 Maxime PCR PreMix Kit (i-MAX™ II)(iNtRON Biotechnology, Seongnam, Korea) 2 μ l, Forward primer (10 pmol) 1 μ l, Reverse primer(10 pmol) 1 μ l, DNA 2 μ l, D.W 14 μ l로 TYLCV는 반응시켰고, RT-PCR 조성액 총액은 20 μ l로 SuPrimeScript RT-PCR Premix(2X)(GeNet Bio, Daejeon, Korea) 2 μ l, Forward primer(10 pmol) 1 μ l, Reverse primer(10 pmol) 1 μ l, DNA 2 μ l, D.W 14 μ l로 TSWV를 반응시켰다.

PCR은 95 $^{\circ}$ C에서 3분간 denaturation 후, 95 $^{\circ}$ C에서 20초, 55 $^{\circ}$ C에서 30초, 72 $^{\circ}$ C에서 1분으로 35회로 진행하였고, TbLCV(*Tobacco leaf curl virus*) 와 TYLCV는 95 $^{\circ}$ C에서 3분간 denaturation 후, 94 $^{\circ}$ C에서 20초, 55 $^{\circ}$ C에서 30초, 72 $^{\circ}$ C에서 1분로 35회 조건으로 진행하였고, RT-PCR 조건은 55 $^{\circ}$ C에서 30분, 95 $^{\circ}$ C에서 10분 역전사 반응 뒤 95 $^{\circ}$ C에서 10분간 denaturation 후, 95 $^{\circ}$ C에서 30초, 57 $^{\circ}$ C에서 40초, 72 $^{\circ}$ C에서 45초로 35회로 진행하였고 PCR과 RT-PCR이 완료되면 각 산물은 1.2% agarose gel에서 전기영동을 통해 감염여부를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

<제4세부과제: 기후변화에 따른 강원지역 국가관리 바이러스 정밀 분포지도 작성>

(시험 1) 강원지역 국가관리 바이러스 모니터링 및 긴급 방제 프로토콜 개발

첫 번째로 멜론에 발생한 바이러스 발생양상 조사를 위해 2014년부터 2018년까지 춘천, 횡성, 양구의 멜론재배지에서 시료를 채집하였다. 연도별, 지역별 감염률을 보면 2014년에는 CABYV가 양구에서 50%, 횡성에서는 40%였고, 2015년에는 양구에서는 42%, 횡성에서는 50%의 감염률을 보였다. 2016년에는 CABYV가 춘천, 횡성에서 66%였고 양구에서는 50%의 감염률을 보였다. 2017년에는 CABYV가 양구에서 30.7%, 춘천에서는 23%였으며, CMV는 춘천에서만 46%의 발병률을 보였다. WMV는 춘천 42%, 양구 15%였으며 ZYMV는 춘천에서만 30% 발생하였다. 2018년에는 CABYV가 양구에서 88.2%, WMV 53%, ZYMV 41%가 발생하였다(표 4).

표 4. 멜론 바이러스 모니터링 결과

(*: 국가관리바이러스)

지역	연도	채집시료	RT-PCR 결과			
			CABYV*	CMV	WMV	ZYMV
춘천	2016	12	8	-	-	-
	2017	26	6	12	11	8
황성	2014	30	12	-	-	-
	2015	24	12	-	-	-
	2016	24	16	-	-	-
양구	2014	30	15	-	-	-
	2015	24	10	-	-	-
	2016	20	10	-	-	-
	2017	26	8	0	4	0
	2018	17	15	0	9	7
합계	2014	60	27	0	0	0
	2015	48	22	0	0	0
	2016	56	34	0	0	0
	2017	52	14	12	15	8
	2018	17	15	0	9	7

두 번째로 배추는 2014년부터 2018년까지 강릉, 태백, 삼척, 정선의 고랭지배추 재배지에서 의심주 시료를 채집하여 진단하였다. 그 결과 2014년엔 태백에서 TuMV가 100%진단되었고, 2015년에는 TuMV가 삼척, 정선에서 100%가 진단되었으며, 태백에서는 60%의 진단율을 보였다. 2016년 진단 결과로는 TuMV는 태백 60%, 삼척과 정선에서는 40%, CMV는 태백 20%, 삼척·정선에서는 10%였다. 2017년에는 TuMV 단독감염으로 나타났고 지역별 검출율은 정선 48.3%, 태백 39.2%로 진단되었다. 마지막으로 2018년에는 TuMV 태백 42.8%, 정선 31.2%, CMV 태백 14%, 정선 12.5%로 나타났다(표 5).

표 5. 배추 바이러스 모니터링 결과

(*: 국가관리바이러스)

지역	연도	채집시료	RT-PCR 결과			
			TYMV*	TuMV	CMV	RMV
강릉	2018	6	0	0	0	-
	2014	22	0	22	0	0
태백	2015	10	0	6	-	-
	2016	10	0	6	2	-
	2017	28	0	11	-	-
	2018	7	0	3	1	-
삼척	2015	14	0	14	-	-
	2016	10	0	4	1	-
정선	2015	12	0	12	-	-
	2016	10	0	4	1	-
	2017	31	0	15	-	-
	2018	16	0	5	2	-
합계	2014	22	0	22	0	0
	2015	36	0	32	0	0
	2016	30	0	14	4	0
	2017	59	0	26	0	0
	2018	29	0	8	3	0

세 번째로 토마토는 2015년부터 2018년까지 춘천 등 5개 시군의 토마토 시설재배지에서 시료를 채집하여 바이러스 검정을 하였다. 연도별 지역별 감염률을 보면 2015년과 2016년에는 춘천, 철원, 화천에서 ToCV 등 3종의 토마토 바이러스에서 대해 검정을 하였는데 3개의 지역 모두 바이러스가 검출되지 않았다. 2017년에는 춘천, 횡성, 철원, 양구에서 ToCV 등 5종의 토마토바이러스에 대한 감염 여부를 조사하였다. 그 결과 양구를 제외한 3개의 지역에서 바이러스가 검출되었다. 첫 번째로 춘천지역에서는 TYLCV 59.5%의 감염률을 보였고 나머지 바이러스는 검출되지 않았다. 횡성은 TSWV 30.7%로 나타났고 ToCV 등 나머지 4종의 바이러스는 발생하지 않았으며 철원도 횡성과 마찬가지로 TSWV 87.5%의 감염율을 보인 반면 다른 바이러스는 진단되지 않았다. 마지막으로 2018년에는 춘천지역에서 TYLCV 2.9%, TSWV 91.1%가 진단되었으며 ToCV, TbLCV, TBSV는 검출되지 않았다. 토마토 바이러스 진단결과를 보면 특히 춘천지역은 강원도는 겨울기온이 낮아 담배가루이의 월동이 불가능하여 그동안 TYLCV에 의한 감염은 없다고 여겨졌지만 매년 이상 고온현상이 지속됨으로 인해 성공적으로 월동한 담배가루이가 주변잡초나 이병주를 흡즙하여 바이러스를 보독한 후 건전주를 감염시켜 2017년에는 강원도에서도 최초 감염이 확인되었다. 2018년에도 감염이 확인되었고 기온은 매년 오르는 만큼 다른 지역으로도 충분히 확산할 가능성이 높으므로 TYLCV에 대한 지속적인 감시가 필요할 것으로 생각 된다(표 6).

표 6. 토마토 바이러스 모니터링 결과 (*: 국가관리바이러스)

지역	연도	채집시료	RT-PCR 결과				
			ToCV*	TYLCV*	TbLCV	TSWV*	TBSV*
춘천	2015	18	0	0	0	-	-
	2016	8	0	0	0	-	-
	2017	42	0	25	0	0	0
	2018	34	0	1	0	31	0
횡성	2017	13	0	0	0	4	0
	2018	7	0	0	0	5	0
철원	2015	6	0	0	0	-	-
	2016	8	0	0	0	-	-
	2017	16	0	0	0	14	0
화천	2015	16	0	0	0	-	-
	2016	6	0	0	0	-	-
양구	2017	24	0	0	0	0	0
합계	2015	40	0	0	0	0	0
	2016	22	0	0	0	0	0
	2017	95	0	25	0	18	0
	2018	41	0	1	0	36	0

마지막으로 파프리카 시설재배지에서 발생한 바이러스 발생양상 조사를 위해 2015년부터 2018년까지 강릉 등 8개 시군의 시료를 채집하여 바이러스 검정을 하였다. 연도별 지역별 감염률을 살펴보면 2015년에는 강릉, 횡성, 철원에서 BWYV 등 5종의 파프리카 바이러스에서 대해 검정을 하였다. 그 결과 강릉에서는 CMV-BBWV2 75%, PMMoV 50%, TSWV 68.7%의 감염률을 보였다. 횡성에서는 CMV 66.6%, BBWV2 58.3%, PMMoV 16.6%, TSWV 33.3%의 감염률을 보였고 철원에서는 CMV 65%, BBWV2 60%, PMMoV 10%의 감염률을 보이는 것으로 진단되었다. 2016년에는

강릉, 횡성, 정선, 철원, 화천에서 BWYV 등 5종의 파프리카 바이러스에서 대해 검정을 하였는데 화천을 제외한 4개의 지역에서 바이러스가 검출되었다. 첫 번째로 횡성에서는 CMV 66.6%, BBWV2 58.3%, PMMoV 16.6%, TSWV 33.3%의 감염률을 보였으며 2015년과 마찬가지로 BWYV는 검출되지 않았다. 정선지역은 CMV·BBWV2 50%, TSWV 83.3%의 감염률을 보였고 BWYV와 PMMoV는 검출되지 않았다. 강릉과 철원에서는 다른 바이러스는 검출되지 않았고 TSWV만 63.1%, 82.3%의 감염률을 보였다. 2017년에는 강릉, 평창, 양구, 고성에서 BWYV, CMV, BBWV2, TSWV, PepMoV에 대한 바이러스 감염여부를 조사하였는데 양구를 제외한 3지역에서 바이러스가 검출되었다. 강릉에서는 CMV 45.4%, BBWV2 93.9%, TSWV 36.3%, PepMoV 84.8%의 감염률을 보였다. 평창에서는 CMV 10.7%의 감염률만 나타났고, 나머지 바이러스는 검출되지 않았다. 고성에서는 TSWV 78.1%의 감염률만 보였다. 마지막으로 2018년에는 강릉과 양구에서 CMV, BBWV2, TSWV, PepMoV에 대한 바이러스 감염여부를 조사하였는데 강릉은 BBWV2-TSWV 50%의 감염률을 보였고 양구에서는 강릉과 마찬가지로 BBWV2 89.4%, TSWV 94.7%의 감염률을 보였다. 2015년부터 2018년까지 파프리카 바이러스를 진단하는 동안 BWYV에 의한 감염은 없었는데 이 바이러스는 진딧물에 의해 매개되는 바이러스로 아직 강원도에는 BWYV를 매개한 진딧물이 없거나 BWYV에 감염된 이병주가 없는 것으로 판단이 된다(표 7).

표 7. 파프리카 바이러스 모니터링 결과

(*: 국가관리바이러스)

지역	연도	채집시료	RT-PCR 결과					
			BWYV*	CMV	BBWV2	PMMoV	TSWV*	PepMoV
강릉	2015	16	0	12	12	8	11	-
	2016	19	0	0	0	0	12	-
	2017	33	0	15	31	-	12	28
	2018	6	-	0	3	-	3	0
횡성	2015	12	0	8	7	2	4	-
	2016	12	0	8	7	2	4	-
평창	2017	28	0	3	0	-	0	0
정선	2016	6	0	3	3	0	5	-
철원	2015	20	0	13	12	2	0	-
	2016	17	0	0	0	0	14	-
화천	2016	12	0	0	0	0	0	-
양구	2017	26	0	0	0	-	0	0
	2018	19	-	0	17	-	18	0
고성	2017	32	0	0	0	-	25	0
합계	2015	48	0	33	31	12	15	0
	2016	66	0	11	10	2	35	0
	2017	119	0	18	31	0	37	28
	2018	25	0	0	20	0	21	0



【멜론(CABYV)】



【배추(TuMV)】



【파프리카(BBWV2)】



【파프리카(TSWV)】



【토마토(TYLCV)】



【토마토(TSWV)】

그림 1. 원예작물 주요 바이러스 병징

(시험 2) 고추 바이러스병 정밀분포지도 작성을 위한 이력관리 체계 구축

강원지역 고추에서 발생한 바이러스 발생양상 조사를 위해 2014년부터 2016년까지 춘천 등 8개 시군의 고추재배지에서 시료를 채집하였다. 연도별, 지역별 감염률을 보면 2014년에 홍천은 CMV 62.5%, BBWV2 31.3%, PMMoV 6.3%였고, PepMoV, PVY, BWYV는 검출되지 않았다. 양구는 CMV 96.6%, BBWV2 6.6%, PMMoV, PepMoV, PVY, BWYV는 검출되지 않았다. 인제에서는 CMV 71.1%, BBWV2 8.8%였고, 나머지 바이러스는 검출되지 않았으며, 고성은 CMV 93.5%, BBWV2 6.5%였고 인제와 마찬가지로 나머지 바이러스는 검출되지 않았다. 2015년은 CMV 등 6종의 바이러스에 대해 춘천, 강릉 등 8개 지역에서 조사하였다. 진단 결과 춘천은 CMV 73.3%, BBWV2 60%, TSWV 33.3%로 나타났고, PepMoV, PMMoV, PVY는 검출되지 않았다. 강릉지역에서는 CMV 66.6%, BBWV2 91.6%, PMMoV 16.6%, TSWV 29.1%였으며, PepMoV, PVY는 검출되지 않았다. 속초는 CMV 50%, BBWV2 50%, TSWV 100%로 나타났고, PepMoV, PMMoV, PVY는 검출되지 않았다. 홍천은 CMV 68.7%, BBWV2 81.2%, PMMoV 25%, PVY 6.2%, TSWV 68.7%로 나타났고 PepMoV는 검출되지 않았다. 평창에서는 CMV 59.1%, BBWV2 63.6%, PMMoV 27.2%, PVY 18.1%, TSWV 63.6%로 나타났고, PepMoV에 감염된 시료는 없었다. 양구와 인제는 CMV

86.6%, BBWV2 66.6%, PMMoV 26.6%, TSWV 46.6%였으며 PepMoV와 PVY는 검출되지 않았다. 마지막으로 고성에서는 CMV·BBWV2 41.6%, PMMoV·TSWV 33.3%였고 인제와 마찬가지로 PepMoV와 PVY는 검출되지 않았다. 마지막으로 2016년에는 CMV 등 4종의 바이러스에 대해 춘천 등 7개 지역에서 바이러스 감염률을 조사하였다. 그 결과 춘천에서는 BBWV2 91.3%, PepMoV 39.1%, TSWV 73.9%로 나타났고, CMV는 검출되지 않았다. 강릉은 CMV 26.4%, BBWV2 100%, PepMoV 16.9%, TSWV 79.2%로 진단되었으며, 홍천은 CMV 10.5%, BBWV2 92.1%, PepMoV 13.1%, TSWV 76.3%로 나타났다. 평창지역은 CMV 3.8%, BBWV2 88.4%, PepMoV 23%, TSWV 92.3%로 나타났고, 양구에서는 BBWV2 40.7%, PepMoV 11.1%, TSWV 48.1%로 나타났고, CMV에 감염된 시료는 검출되지 않았다. 인제는 CMV 3.8%, BBWV2 69.2%, PepMoV 19.2%, TSWV 53.8%로 나타났으며, 마지막으로 고성은 BBWV2·TSWV 100%의 감염율을 보였고, CMV와 PepMoV는 감염되지 않았다. 일부 지역에서는 검정된 바이러스 수가 전체 검정 수보다 높은 곳이 있는데 이것은 복합감염된 시료가 있기 때문이다(표 8).

표 8. 고추 바이러스 모니터링 결과

(*: 국가관리바이러스)

지역	연도	채집시 료	RT-PCR 결과						
			CMV	BBWV2	PepMoV	PMMoV	PVY	BWYV*	TSWV*
춘천	2015	15	11	9	0	0	0	-	5
	2016	46	0	42	18	-	-	-	34
강릉	2015	24	16	22	0	4	0	-	7
	2016	53	14	53	9	-	-	-	42
속초	2015	12	6	6	0	0	0	-	12
	2014	16	10	5	0	1	0	0	-
홍천	2015	16	11	13	0	4	1	-	11
	2016	38	4	35	5	-	-	-	29
평창	2015	22	13	14	0	6	4	-	14
	2016	26	1	23	6	-	-	-	24
양구	2014	30	29	2	0	0	0	0	-
	2015	15	13	10	0	4	0	-	7
	2016	27	0	11	3	-	-	-	13
인제	2014	45	32	4	0	0	0	0	-
	2015	15	13	10	0	4	0	-	7
	2016	26	1	18	5	-	-	-	14
고성	2014	31	29	2	0	0	0	0	-
	2015	12	5	5	0	4	0	-	4
	2016	38	0	38	0	-	-	-	38
합계	2014	122	100	13	0	1	0	0	0
	2015	131	88	89	0	26	5	0	67
	2016	254	20	220	46	0	0	0	194

다음으로 강원도 고추재배지 주변 잡초의 바이러스 감염 여부를 분석하기 위해 춘천 등 8개의 시군의 고추밭 포장 주변에서 개비름 등 16종의 잡초를 채집하여 CMV 등 7종의 바이러스에 대해 유전자 분석을 통한 감염 여부를 조사하였다. 진단결과 평창에서는 제비쑥, 흰명아주, 민들레를 채집하여 유전자 진단을 하였는데 흰명아주에서만 BBWV가 검출되었다. 인제에서는 명아주, 쇠비름, 방동사니를 채집하여 유전자분석을 한 결과 명아주에서 CMV가 검출되었고, 쇠비름, 방동사니에서는 검출되지 않았다. 마지막으로 춘천에서는 흰명아주, 섬모시풀, 민들레를 채집하여 7종의 바이러스에 대한 유전자분석을 한 결과 흰명아주에서만 CMV가 검출되었다. 강릉, 홍천, 양구, 고성에서는 바이러스가 검출되지 않았다(표 9).

표 9. 고추포장 주변잡초 발생 바이러스 모니터링 결과('16) (*: 국가관리바이러스)

지역	잡초명	CMV	BBWV	PepMoV	PMMoV	PVY	TSWV*	INSV*
홍천	개비름	-	-	-	-	-	-	-
	흰명아주	-	-	-	-	-	-	-
	쇠별꽃	-	-	-	-	-	-	-
	개피	-	-	-	-	-	-	-
	섬포시풀	-	-	-	-	-	-	-
	사마귀풀	-	-	-	-	-	-	-
강릉	민들레	-	-	-	-	-	-	-
	개피	-	-	-	-	-	-	-
	봄여뀌	-	-	-	-	-	-	-
	민들레	-	-	-	-	-	-	-
	고들빼기	-	-	-	-	-	-	-
평창	제비쑥	-	-	-	-	-	-	-
	흰명아주	-	○	-	-	-	-	-
	민들레	-	-	-	-	-	-	-
인제	명아주	○	-	-	-	-	-	-
	쇠비름	-	-	-	-	-	-	-
	방동사니	-	-	-	-	-	-	-
속초	명아주	-	-	-	-	-	-	-
	민들레	-	-	-	-	-	-	-
양구	미국까마중	-	-	-	-	-	-	-
	명아주	-	-	-	-	-	-	-
	민들레	-	-	-	-	-	-	-
춘천	제비쑥	-	-	-	-	-	-	-
	흰명아주	○	-	-	-	-	-	-
	섬모시풀	-	-	-	-	-	-	-
고성	민들레	-	-	-	-	-	-	-
	메꽃	-	-	-	-	-	-	-
	민들레	-	-	-	-	-	-	-



【PMMoV】



【BBWV2】



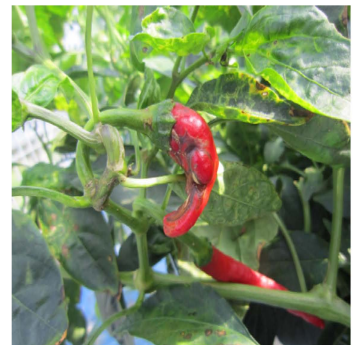
【TSWV】



【PepMoV】



【CMV】



【TSWV+CMV】

그림 2. 고추 주요 바이러스 병징

(시험 3) 강원 수출작목의 바이러스병 분포 및 조기진단기술 정립

첫 번째로 강원지역 수출작목 백합재배단지에서 PIAMV 발병율을 지역 및 품종에 따라 분석을 하였다. 2014년에는 인제 횡성에서 조사를 실시하였는데 구근 도입국은 네덜란드였고 품종은 인제는 시베리아, 메두사, 레이크 미시건, 횡성은 시베리아를 재배하는 것으로 나타났다. PIAMV 발병주율 조사결과로는 인제에서 시베리아 0.7%, 메두사 0.6%, 레이크 미시건 0.6%였고 횡성에서는 시베리아 1.7%로였다. 인제에서는 2014년에 생산된 네덜란드 구근도 도입을 하였는데 이 때 도입한 구근에서의 PIAMV 발병주율은 5.0%로 나타났다. 2015년 조사결과로는 인제에서 시베리아 0.7%, 메두사 0.6%, 레이크 미시건 0.6%였고 횡성은 시베리아 0.7%, 쉐일라 1.0%, 마지막으로 강릉은 콘카도르 품종으로 2014년과 2015년 수입된 구근 모두 35%의 발병주율을 보였다(표 10).

표 10. 백합재배단지에서 PIAMV 발병율

연도	지역	구군 도입국(년도)	품종	조사주수	PIAMV 병주율(%)
2014	인제	네덜란드(2013)	시베리아	20,000	0.7
			메두사	10,000	0.6
			레이크 미시건	10,000	0.6
	횡성	네덜란드(2013)	시베리아	46,000	0.7
			시베리아	28,000	1.0
			인제	네덜란드(2014)	시베리아
2015	인제	네덜란드(2013)	시베리아	20,000	0.7
			메두사	10,000	0.6
			레이크 미시건	10,000	0.6
	횡성	네덜란드(2013)	시베리아	46,000	0.7
			쉐일라	28,000	1.0
			강릉	네덜란드(2014)	콘카도르
네덜란드(2015)	콘카도르	20,000		35.0	

다음으로 국내의 나리에서 분리한 PLAMV 분리주(Kr)와 러시아 및 일본에서 보고된 계통간의 바이러스 외피단백질 코딩영역의 염기서열(508b) 비교하였다. 그 결과 러시아에서 보고된 바이러스와의 염기서열 상동은 80%였고 일본에서 분리된 바이러스와의 염기서열 상동은 87%였다. 따라서 국내에서 분리된 PIAMV는 러시아 및 일본에서 분리된 바이러스와 계통적으로 매우 유사한 것으로 판단이 되었다(표 11).

표 11. 국내 PLAMV 분리주(Kr)와 러시아 및 일본에서 보고된 바이러스 염기서열(508b) 비교

Isolates (Acc. No)	Russia (Z21647)	Kr	Li1 (AB360790)	Li6 (AB360795)
Russia	100.00	80.04	79.04	79.24
Kr	80.04	100.00	87.99	87.80
Li1	79.04	87.99	100.00	99.80
Li6	79.24	87.80	99.80	100.0

또한 2015년부터 2018년까지 강원도 백합주산지인 춘천, 강릉 등 5시군을 대상으로 PIAMV 등 4종의 바이러스에 대한 발생양상을 분석하였다. 2015년에는 춘천에서 CMV 85.7%, PIAMV 와 LSV 28.5%, LMoV 14.2%였고 2016년에는 인제에서 PIAMV 와 LMoV 100%, CMV 40%였다. 2017년에는 강릉에서 CMV 70.5%, 인제 63.6%의 감염률을 보였고 PIAMV와 LMoV는 강릉에서만 47%, 26.4%의 감염률을 보였다. 2018년에는 CMV는 인제 66.6%, 횡성 58.3%, 강릉 26%, 영월 15%였으며, PIAMV는 영월 67.5%, 인제 58.3%, 강릉 26%, 영월 15%였다. LSV는 인제 83.3%, 영월 42.5%, 춘천 37.5%, 횡성 27.7%, 강릉 19.5%였으며 마지막으로 LMoV는 인제 75%, 영월 65%, 춘천 37.5%, 강릉 17.3%의 감염률을 보였다(표 12).

표 12. 백합 바이러스 모니터링 결과

(*: 국가관리바이러스)

지역	연도	품종	채집 시료	RT-PCR 결과			
				PIAMV*	LSV	LMoV	CMV
춘천	2015	셀리아 등 7종	7	2	2	1	6
	2018	잠베지	8	0	3	3	0
강릉	2018	그린스타	34	16	0	9	24
		그린스타	18	10	9	8	0
		플래쉬타워	8	0	0	0	0
		팡파르	8	0	0	0	0
		밀키웨이	8	8	0	0	8
		코랄캔디	4	4	0	0	4
횡성	2018	시베리아	12	6	1	0	3
		메두사	12	3	0	0	6
		시베리아	12	1	9	0	12
영월	2018	두산백합	13	5	0	12	0
		어거스타	7	5	7	3	2
		우리타워	8	5	8	5	4
		우리타워	6	6	1	2	0
		메두사	6	6	1	4	0
		2016	시베리아	10	10	0	10
인제	2017	시베리아	22	0	0	0	14
	2018	시베리아	12	7	10	9	8
	2015		7	2	2	1	6
합계	2016		10	10	0	10	4
	2017		56	16	0	9	38
	2018		142	66	49	46	47



【모자이크】



【줄무늬】



【염맥투화】



【괴사반점】



【뒤틀림】



【뒤틀림+모자이크】

그림 3. 백합 바이러스 병징

두 번째로 2016년부터 2017년까지 황성에서 딸기바이러스 5종에 대한 발생양상조사를 실시하였다. 딸기 바이러스 의심주 32점에 대한 바이러스 감염여부 조사결과 강원지역 딸기에서는 바이러스가 검출되지 않아서 아직까지 강원도에는 딸기바이러스 이병주가 유입되지 않은 것으로 판단된다(표 13).

표 13. 딸기 바이러스 모니터링 결과

지역	연도	채집시료	RT-PCR 결과				
			SMoV	SCV	SNSV	SPaV	SLRSV
황성	2016	16	0	0	0	0	0
	2017	16	0	0	0	0	0

(시험 4) 지역별 작물-중간기주-매개충별 국가관리바이러스 정밀분포지도 작성

마지막으로 백합과 토마토 매개충에 대한 보독을 분석을 실시하였다. 그 결과 백합에서는 진딧물에 의한 보독이 4%, 토마토에서는 담배가루이에 의한 보독이 8.3%로 진단되었으며 바이러스 확산원인이 감염주 뿐만 아니라 매개충에 의한 흡즙에 의해서도 발생하는 것으로 판단된다(표 14).

표 14. 매개충 보독을 분석결과

(*: 국가관리바이러스)

작목	매개충	대상바이러스	조사수 (마리)	LSV	CMV	LMoV	ToCV* TYLCV* TSWV*			보독 총율 (%)
							ToCV*	TYLCV*	TSWV*	
백합	진딧물	LSV, CMV, LMoV	100	0	0	4	-	-	-	4
토마토	가루이류	TYLCV, ToCV	24	-	-	-	0	2	0	8.3
	총채벌레	TSWV	20	-	-	-	0	0	0	0



【담배가루이】



【담배가루이 알】

그림 4. 토마토 바이러스 매개충

4. 적 요

(시험 1) 강원지역 국가관리 바이러스 모니터링 및 긴급 방제 프로토콜 개발

- 가. 국가관리급 바이러스 프라이머 3종, 원예작물 바이러스 프라이머 11종 개발
- 나. 멜론에서는 국가관리바이러스로 CABYV가 춘천, 횡성, 양구 등 3지역에서 모두 조사되었고, 기타 CMV, WMV, ZYMV가 조사되었음
- 다. 배추에서는 국가관리바이러스인 TYMV는 조사되지 않았고, TuMV가 가장 많이 검출되었고, 다음으로 CMV가 일부 조사되었음
- 라. 파프리카에서는 국가관리바이러스로 TSWV가 많은 지역에서 조사되었고, 기타 바이러스로 CMV, BBWV2, PMMoV, PepMoV 등이 조사되었음
- 마. 토마토에서는 국가관리바이러스로 TYLCV와 TSWV가 조사되었고, TYLCV는 춘천에서만 조사되었으며, TSWV는 춘천, 횡성, 철원 등 3지역에서 조사되었음

(시험 2) 고추 바이러스병 정밀분포지도 작성을 위한 이력 관리 체계 구축

- 가. 고추 바이러스 진단 프라이머로 6종을 개발하였음
- 나. 고추 국가관리바이러스 조사에서는 TSWV가 춘천 등 8시군에서 조사되었고, 기타 바이러스로 CMV, BBWV2, PepMoV, PMMoV, PVY 등의 바이러스가 조사되었음
- 다. 고추포장 주변 잡초 발생 조사에서는 일부 시군에서 CMV와 BBWV가 검출되었음

(시험 3) 강원 수출작목의 바이러스병 분포 및 조기진단기술 정립

- 가. 백합 바이러스 PIAMV, CMV, LSV, LMoV 등이 조사되었고, 이에 대한 진단 프라이머로서 4종을 개발하였음
- 나. 여름딸기 바이러스 SMoV 등 8종에 대한 진단프라이머를 개발하였음

5. 인용문헌

- Cho, J. D., Kim, J. S., Kim, J. Y., Kim, J. H., Lee, S. H., Choi, G. S. et al. 2005. Occurrence and symptoms of tomato spotted wilt virus on vegetables in Korea. *Res. Plant Dis.* 11: 213-216.
- Cho, J. D., Kim, J. S., Lee, S. H., Choi, G. S. and Jeong, B. N. 2007. Viruses and symptoms on peppers and their infection types in Korea. *Res. Plant Dis.* 13: 75-81.
- Cho, J. D., Lee, J. H., Ko, S. J., Choi, H. S., Lee, S. H., Choi, G. S. and Kim, J. S. 2011. Symptoms of Cucumber Virus Diseases Occurred in Sangju and Gurye in 2006 and 2007. *Res. Plant Dis.* 17(2): 196-204. (In Korean)
- Choi, H. S., Lee, S. H., Kim, M. K., Kwak, H. R., Kim, J. S., Cho, J. D. and Choi, G. S. 2010. Occurrence of virus diseases on major crops in 2009. *Res. Plant Dis.* 16: 1-9. (In Korean)

- Czosnek, H. 1999. Tomato yellow leaf curl virus. CMI/AAB Descriptions of plant viruses. No. 368.
- Diener, T. O. and Raymer, W. B. 1971. Potato spindle tuber viroid. CMI/ AAB Descriptions of plant viruses. No. 66.
- Kim, J. S., Lee, S. H., Choi, H. S., Kim, M. K., Kwak, H. R., Cho, J. D., Choi, G. S. and Kim, J. Y. 2009b. Occurrence of virus diseases on major crops in 2008. Res. Plant Dis. 15: 1-7. (InKorean)
- Kim, J. S., Lee, S. H., Choi, H. S., Kim, M. K., Kwak, H. R., Nam, M., Kim, J. S., Choi, G. S., Cho, J. D., Cho, I. S. and Chung, B. 2011. Occurrence of Virus Diseases on Major Crops in 2010. Res. Plant Dis. 17(3): 334-341. (In Korean)
- Kil, H. B., Kang, M. J., Choi, W. S., Kim, J. I., Phan, M. S. V., Iim, J. H., Kim, M. K. and Park, M. R. 2018. Survey of the Routes and Incidence of Viral Infection of Tomato and Paprika Growing in Greenhouses in Cheryon Province, Korea During 2015-2017. Res. Plant Dis. 24(2): 145-152. (In Korean)
- Ko, S. J., Choi, D. S., Ma, K. C., Kim, D. I., Kim, M. K., Choi, H. S. and Kim, H. W. 2014. Pattern of the Occurrence of Tomato yellow leaf curl virus on Cultivation. Res. Plant Dis. 20(4): 303-306. (In Korean)
- Kwon, S. J., Cho, I. S., Yoon, J. Y. and Chung, B. N. 2018. Incidence and Occurrence Pattern of Viruses on Peppers Growing in Fields in Korea. Res. Plant Dis. 24(1): 66-74. (In Korean)
- Kwon, O. H., Lee, J. H., Jang, K. S., Kim, D. J., Kim, C. Y., Jeon, S. G., Kwon, J. B. and Jung, H. Y. 2017. Incidence of Viral Diseases on Red Pepper in Yeongyang-Gun, Gyeongbuk Provice. Res. Plant Dis. 23(3): 234-240. (In Korean)

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2015(2년)	영농활용	국내 나리재배에 발생하는 새로운 바이러스(PLAMV)의 병징과 진단
2016(3년)	영농활용	멜론의 황화증상 원인 바이러스 진단
2017(4년)	학술발표	강원지역 원예작물 바이러스 발생양상
	홍 보	원예작물 바이러스 진단키트 워크숍
	기술지도	원예작물 바이러스 진단과 방제교육
2018(5년)	홍 보	원예작물 바이러스 진단키트 워크숍
	영농활용	강원지역 가지과 작물 바이러스의 종류 및 지역별 분포현황
	논문게재	강원지역 가지과 작물 바이러스 발생현황

성과지표명		연도		1년차(2014)		2년차(2015)		3년차(2016)		4년차(2017)		5년차(2018)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문 게재	SCI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	비SCI	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	
학술 발표	국제	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
	국내	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
영농 활용	기술	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	정보	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	3	3		
홍보		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	2	
기술지도		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
계		-	-	1	1	1	1	1	3	1	3	4	8		

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
					'14	'15	'16	'17	'18
과제책임자	국립농업과학원	농업연구관	최홍수	과제 총괄	○	○	-	-	○
	국립농업과학원	농업연구사	김미경	"	-	-	○	○	-
세부책임자	환경농업연구과	농업연구관	권순배	세부주관 수행	○	○	○	-	-
	환경농업연구과	농업연구사	원현섭	"	-	-	-	○	○
공동연구자	환경농업연구과	농업연구관	정태성	시험수행 협조	-	○	-	○	○
	"	농업연구사	이재홍	"	○	○	-	○	○
	"	"	이안수	"	-	-	-	○	-
	"	"	이남길	"	○	○	-	○	-
	"	"	황세정	"	-	-	-	○	○
	"	공무직	조순옥	생육조사 지원	○	○	○	○	○
	"	"	강성모	"	○	-	-	-	-
	"	"	박동권	"	-	○	○	○	○
	"	"	강성희	"	-	-	○	-	○
	"	"	이승제	"	-	-	-	-	○
"	기간제	김정주	"	-	-	○	-	-	