

국내 노지재배 고추의 바이러스 발생률 및 발병 현황

Incidence and Occurrence Pattern of Viruses on Peppers Growing in Fields in Korea

권선정* · 조인숙 · 윤주연 · 정봉남

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

***Corresponding author**

Tel: +82-63-238-6323

Fax: +82-63-238-6305

E-mail: sjkwon2448@korea.kr

Sun-Jung Kwon*, In-Sook Cho, Ju-Yeon Yoon, and Bong-Nam Chung

Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Field surveys to investigate the incidence and occurrence pattern of viruses in red pepper were conducted during 2015–2016 in Korea. A total of 424 samples in 2015 and 368 samples in 2016 were collected based on selection of plants showing symptoms from farmer's field from every June to September. Reverse transcription-Polymerase chain reaction was used to test all samples for the presence of one or more of following viruses: *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Broad bean wilt virus 2* (BBWV2), *Potato spotted wilt virus* (TSWV), *Beet western yellows virus* (BWYV), *Pepper mottle virus* (PepMoV), *Potato virus Y* (PVY) and *Pepper mild mottle virus* (PMMoV). The average disease incidence was 91.7% in 2015 and 98% in 2016 and the all seven viruses were found although there were different kinds of regions. The percent virus incidence in collected samples during 2015 was as follows: CMV, 73.8%; BBWV2, 68.3%; BWYV, 46.9%; PMMoV, 14.6%; TSWV, 12.7%; PepMoV, 6.6% and PVY, 3.3%. For 2016, incidence was as follows: CMV, 73.3%; BBWV2, 71.4%; BWYV, 34.7%; TSWV, 27.9%, PMMoV, 19.2%; PepMoV, 13.5% and PVY, 3.5%. Mixed infections were prevalent over single infections and infection rate was 83% and 86.7% in 2015 and 2016, respectively.

Keywords: Field survey, Incidence, Occurrence pattern, Pepper viruses

Received January 11, 2018

Revised February 6, 2018

Accepted February 6, 2018

서 론

고추에서 바이러스병은 고추의 생육억제 및 품질 저하를 유발하여 경제적으로 손실을 야기하는 고추 재배 시 가장 문제가 되는 원인의 하나이다(Green과 Kim, 1991; Pernezny 등, 2003). 고추를 감염하는 바이러스의 종류는 전세계적으로 68종이 보고되어 있으며 나라별, 기후별로 재배 품종의 차이에 따른 주요

바이러스의 발병양상도 다르게 나타난다(Kenyon 등, 2014a). 고추는 온열대 지역의 기후에서 재배되는 특성 상 진딧물이 매개하는 바이러스가 가장 많은 피해를 주는 것으로 알려져 있다. 진딧물 매개 바이러스 중 주요 바이러스로는 *Potato virus Y* (PVY), *Pepper mottle virus* (PepMoV), *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV), *Chilli veinal mottle virus* (ChiVMV), *Pepper veinal mottle virus* (PVMV), *Tobacco etch virus* (TEV) 와 같은 Potyvirus속 바이러스들과, *Broad bean wilt virus 1* (BBWV1)과 *Broad bean mosaic virus 2* (BBWV2)의 Fabavirus속 바이러스, *Cucumber mosaic virus* (CMV, Cucumovirus), *Pepper yellow leaf curl virus* (PYLCV, Polerovirus), *Alfalfa mosaic virus* (AMV, Alfamovirus)가

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

있다. 이 외에도 총채벌레가 매개하는 *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), *Impatiens necrotic spot virus* (INSV), *Pepper necrotic spot virus* (PNSV)와 같은 Tospovirus속 바이러스들과 종자 및 토양 오염에 의해 전염되는 *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Tomato mosaic virus* (ToMV), *Pepper mild mottle virus* (PMMoV)와 같은 Tobamovirus속 바이러스들이 대부분 고추를 재배하는 나라에서 문제가 되는 주요 바이러스들이다(Genda 등, 2011; Kenyon 등, 2014a; Moury와 Verdin, 2012). 아울러 최근에는 가루이가 전염하는 *Pepper golden mosaic virus* (PepGMV), *Pepper leafroll virus* (PepLRV)와 같은 Begomovirus속 바이러스들의 발생이 아시아를 포함해 전세계적으로 보고가 증가되고 있는 추세이다(Kenyon 등, 2014b; Martinez-Ayala 등, 2014; Melgar-ejo 등, 2013).

국내에서의 고추 감염 바이러스 종류는 16종으로 AMV, CMV, BBWV2, PepMoV, PMMoV, PVY, TMV, PVX, ToMV, TSWV, *Tobacco mild green mosaic virus* (TMGMV), *Pepper severe mosaic virus* (PepSMV), *Bell pepper mottle virus* (BPMV), *Chilli veinal mottle virus* (ChiVMV), *Pepper vein chlorosis virus* (PVCV), INSV가 보고된 바 있다(Choi 등, 2002, 2005, 2010; Im 등, 1991; Kwak 등, 2013; Kim 등, 1990, 2012; Lee 등, 2004). 16종의 바이러스 중 현재까지 지속적으로 발생하는 바이러스는 CMV, BBWV2, PepMoV, PMMoV, PVY 5종이며 2006년 이후 TSWV가 꾸준히 발생되고 있다(Cho 등, 2007; Lee 등, 2015). PVCV와 ChiVMV는 1990년과 1991년에 첫 보고 후 발생사례가 없으며(Im 등, 1991, Kim 등, 1990), PepSMV와 BPMV의 경우 국내 고추 분리주에 대한 염기서열 정보가 보고되었으나 발생보

고는 이루어 지지 않았다(Ahn 등, 2006; Rhie 등, 2007). INSV는 2009년 고추 육묘에서 첫 발생 후 강원도 지역에서만 국부 발생되었다고 보고된 바 있다(Choi 등, 2010; Kim 등 2012). TMV와 ToMV, AMV는 2002년 고추 바이러스 발생조사 결과 검출되지 않았으며, 그 이후로 발생보고가 되지 않았고 TMGMV의 경우 2008년 이후 발생이 없는 것으로 조사되었다(Cho 등, 2007; Kim 등, 2012; Lee 등, 2004). 주요 바이러스의 발생율은 해마다 다른 양상을 보이고 있으며 복합감염 비율이 갈수록 증가하고 있는 것으로 나타나 발병양상은 계속 변화되고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구는 2015년과 2016년 국내 노지재배 포장을 대상으로 바이러스 병징을 보이는 고추에 대하여 감염바이러스를 조사한 내용으로 국내 고추의 주요 바이러스인 CMV, BBWV2, PMMoV, PepMoV, PVY, TSWV 6종과 2010년 파프리카에서 첫 보고(Park 등, 2011)가 되었던 *Beet western yellows virus* (BWYV)를 추가하여 총 7종에 대해 발생여부를 조사하고 연도별로 발병률과 발생양상을 분석하여 이를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

조사 지역 및 시료 채집. 노지재배 고추를 대상으로 고추에 발생하는 바이러스의 종류를 조사하기 위해 2015년에는 7개도 17개 지역(경기도: 안성; 충북: 괴산; 충남: 청양, 보령, 부여, 당진; 전북: 익산, 임실, 고창, 완주; 전남: 장성, 순천, 화순; 경북: 영양, 안동, 영천; 경남: 함안)에서 총 424개의 시료를 채집하였고 2016년에는 8개도 16개 지역(경기도: 안성; 강원도: 영월, 평창;

Table 1. List of pepper-infecting virus detection primers used in this study

| Virus | Primer | Primer sequences (5'→3') | Genome location | Amplified size (bp) |
|--------|--------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| CMV | Fwd | ATGGACAAATCTGAATCAACCAGTGCTG | R3 1257-1284 | 657 |
| | Rev | TCAGACTGGGAGCACTCCAGATGTGGG | R3 1887-1913 | |
| BBWV2 | Fwd | AAACAAACAGCTTTCGTTCCG | R1 18-38 | 369 |
| | Rev | GCCATCTCATTAGCATGGA | R1 368-386 | |
| TSWV | Fwd | ATGTCTAAAGTTAAGCTCACTAAGGAA | R3 2801-2827 | 777 |
| | Rev | TTAAGCAAGTCTGCAAGTTTTGCCTG | R3 2051-2076 | |
| BWYV | Fwd | CGAATCTTGAACACAGCAGAG | 95-115 | 690 |
| | Rev | TGTGGGATCTTGAAGGATAGG | 764-784 | |
| PVY | Fwd | TGGTGCATTGARAATGGAACCTC | 8919-8941 | 781 |
| | Rev | GTCTCCTGATTGAAGTTTACA | 9679-9699 | |
| PepMoV | Fwd | TTGAATGTGGTACATATGAAG | 8521-8541 | 889 |
| | Rev | CATATAATAATATTTTCATCCC | 9389-9409 | |
| PMMoV | Fwd | GAKTCWKCTTCGTTTTAACT | 5665-5684 | 515 |
| | Rev | AACTTATTTWYRCCATCATGT | 6159-6179 | |

충북: 괴산; 충남: 청양, 홍성; 전북: 고창, 무주, 완주; 전남: 담양, 화순; 경북: 영양, 안동, 영천, 청송; 경남: 함안)에서 총 368개 시료를 채집하였다(Table 2, 3). 시료 채집 시기는 6월부터 9월까지 월별로 실시하고 고추 잎에 나타나는 바이러스 병징을 육안 조사하여 감염이 의심되는 잎을 중심으로 채집하였다. 각 포장마다 바이러스 발병률이 달라 시료 채집의 개수는 일정하지 않았다.

유전자 진단. 바이러스 진단은 유전자 진단법을 이용하였다. 먼저 채집 시료는 액체질소를 이용하여 마쇄 후 Plant RNA Prep kit (Biocube)를 이용하여 total RNA를 추출하였고 각 RNA는 7종의 바이러스에 대한 특이 프라이머(Table 1)를 이용하여 진단하였다. 핵산증폭은 Maxime RT-PCR premix kit (iNtRON)을 사용하였으며 반응 조건은 55°C, 30분; 95°C, 2분; <95°C, 30초; 50°C, 30초; 72°C, 1분> 35 cycles; 72°C, 5분 처리하였다. 각 PCR 산물은 1% agarose에서 전기영동하여 감염여

부를 확인하였다.

결 과

2015년 노지고추 바이러스병 발생조사. 국내 노지 고추에 발생하는 바이러스의 발병 현황을 조사하기 위해 2015년 6-9월까지 7개도 17개 지역에서 총 424개의 시료를 수집하였다. 7종 바이러스에 대한 유전자 진단을 실시한 결과, 91.7%인 389개 시료에서 7종 바이러스 감염을 확인하였다(Table 2). 전체 조사지역에 대한 바이러스 감염율은 CMV와 BBWV2가 73.8%와 68.3%로 가장 높았고, BWYV가 46.9%의 높은 감염율을 보였다. PMMoV는 14.6%, TSWV는 12.7%, PepMoV는 6.6%, PVY는 3.3%로 조사되었다. 검정된 바이러스의 수가 전체 검정 시료수 보다 높은 것은 복합 감염된 시료가 많았기 때문이다. 한편, 7종의 바이러스는 조사 지역에 따라 발병 양상이 매우 상이하게 나타났는데, CMV와 BBWV, BWYV가 조사 전 지역에서

Table 2. Occurrence of different viruses on pepper grown in fields surveyed in 2015

| Region | Virus | | | | | | | | Total |
|--------------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | CMV | BBWV2 | TSWV | BWYV | PVY | PepMoV | PMMoV | Negative | |
| Gyeonggi-do | | | | | | | | | |
| Anseong | 26 | 26 | 0 | 14 | 0 | 0 | 4 | 10 | 40 |
| Chungcheongbuk-do | | | | | | | | | |
| Geosan | 12 | 22 | 0 | 10 | 0 | 0 | 16 | 0 | 22 |
| Chungcheongnam-do | | | | | | | | | |
| Cheongyang | 10 | 11 | 3 | 10 | 0 | 6 | 0 | 10 | 29 |
| Boryeong | 6 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 12 |
| Buyeo | 22 | 22 | 0 | 15 | 0 | 2 | 0 | 4 | 26 |
| Dangjin | 9 | 12 | 0 | 0 | 4 | 0 | 13 | 0 | 14 |
| Jeollabuk-do | | | | | | | | | |
| Iksan | 20 | 22 | 0 | 19 | 0 | 7 | 0 | 0 | 26 |
| Imsil | 18 | 22 | 7 | 22 | 0 | 0 | 12 | 1 | 29 |
| Gochang | 35 | 22 | 7 | 19 | 4 | 0 | 10 | 5 | 41 |
| Wanju | 15 | 15 | 9 | 6 | 0 | 1 | 7 | 2 | 25 |
| Jeollanam-do | | | | | | | | | |
| Jangseong | 16 | 6 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 22 |
| Suncheon | 18 | 0 | 0 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| Hwasun | 14 | 13 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| Gyeongsangbuk-do | | | | | | | | | |
| Yeongyang | 26 | 23 | 0 | 10 | 0 | 12 | 0 | 0 | 27 |
| Andong | 20 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| Yeongcheon | 22 | 30 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| Gyeongsangnam-do | | | | | | | | | |
| Haman | 24 | 24 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| Total | 313 | 290 | 54 | 199 | 14 | 28 | 62 | 35 | 424 |

거의 골고루 검출된 반면, TSWV는 충남(청양, 보령), 전북(임실, 고창, 완주), 전남(장성, 화순) 지역에서는 발생되었지만 그 외 지역에서는 발병율이 0%로 나타났다. 또한 PMMoV의 경우 경기도(안성), 충북(괴산), 충남(당진)과 전북(임실, 고창, 완주)지역에서만 검출되었고 충남(청양, 보령, 부여)과 전남, 경북, 경남지역에서는 검출되지 않았으며, PepMoV와 PVY도 충남, 전북, 전남, 경북의 일부 지역에서만 발생하는 것으로 조사되었다(Table 2). 발생하는 바이러스의 종류도 지역에 따라 3종-6종으로 다르게 나타나 지역간 바이러스 분포양상이 다르다는 것을 알 수 있었다. 지역별 바이러스 분포는 다음과 같다. 안성, 괴산은 CMV, BBWV2, BWYV, PMMoV의 4종 바이러스, 충남(청양, 보령, 부여, 당진)과 전북(익산, 임실, 고창, 완주) 지역은 CMV, BBWV2, TSWV, BWYV, PVY, PepMoV, PMMoV 7종 바이러스가 모두 발생되었다. 전남(장성, 순천, 화순) 지역은 CMV, BBWV2, TSWV, BWYV, PVY 5종 바이러스, 경북(영양, 안동, 영천) 지역은 CMV, BBWV2, BWYV, PepMoV 4종 바이러스, 경남(함안) 지역은

CMV, BBWV2, BWYV의 3종 바이러스가 발생한 것으로 조사되었다. 지역별 바이러스의 발병율은 다음과 같이 나타났다. 안성: CMV와 BBWV2, 65%; BWYV, 35%; PMMoV, 10%, 괴산: BBWV2, 100%; PMMoV, 72.7%; CMV, 54.5%; BWYV, 45.4%, 청양: BBWV2, 37.9%, CMV와 BWYV, 34.4%; PepMoV, 20.6%; TSWV, 10.3%, 보령: TSWV, 66.6%; CMV, 50%, 부여: CMV와 BBWV2, 84.6%; BWYV, 57.6%; PepMoV, 7.6%, 당진: PMMoV, 92.8%; BBWV2, 85.7%; CMV, 64.2%; PVY, 28.5%, 익산: BBWV2, 84.6%; CMV, 76.9%; BWYV, 73%, PepMoV, 26.9%, 임실: BBWV2와 BWYV, 75.8%; CMV, 62%; PMMoV, 41.3%; TSWV, 24.1%, 고창: CMV, 85.3%; BBWV2, 53.6%; BWYV, 46.3%; PMMoV, 24.3%; TSWV, 17%; PVY, 9.7%, 완주: CMV와 BBWV2, 60%; TSWV, 36%; PMMoV, 28%; BWYV, 24%; PepMoV, 4%, 장성: CMV, 72.2%; TSWV, 45.4%; BBWV2, 27.2%, 순천: CMV, 94.7%; PVY, 31.5%; BWYV, 26.3%, 화순: CMV, 77.7%; BBWV2, 72.2%; TSWV, 55.5%; 영양: CMV, 96.2%; BBWV2, 85.1%; PepMoV,

Table 3. Occurrence of different viruses on pepper grown in fields surveyed in 2016

| Region | Virus | | | | | | | | Total |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| | CMV | BBWV2 | TSWV | BWYV | PVY | PepMoV | PMMoV | Negative | |
| Gyeonggi-do | | | | | | | | | |
| Anseong | 22 | 11 | 0 | 12 | 0 | 0 | 10 | 0 | 26 |
| Gangwon-do | | | | | | | | | |
| Yeongwol | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 |
| Pyeongchang | 20 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| Chungcheongbuk-do | | | | | | | | | |
| Geosan | 29 | 43 | 20 | 10 | 1 | 0 | 7 | 0 | 43 |
| Chungcheongnam-do | | | | | | | | | |
| Cheongyang | 27 | 33 | 25 | 3 | 0 | 11 | 16 | 0 | 35 |
| Hongseong | 15 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 2 | 17 |
| Jeollabuk-do | | | | | | | | | |
| Gochang | 24 | 17 | 9 | 13 | 0 | 0 | 21 | 5 | 36 |
| Muju | 21 | 15 | 15 | 9 | 3 | 6 | 0 | 0 | 27 |
| Wanju | 15 | 25 | 10 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 25 |
| Jeollanam-do | | | | | | | | | |
| Damyang | 4 | 2 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| Hwasun | 24 | 23 | 6 | 6 | 0 | 0 | 4 | 0 | 25 |
| Gyeongsangbuk-do | | | | | | | | | |
| Yeongyang | 11 | 22 | 4 | 2 | 0 | 18 | 0 | 0 | 22 |
| Andong | 0 | 12 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| Yeongcheon | 16 | 15 | 0 | 13 | 5 | 0 | 3 | 0 | 17 |
| Cheongsong | 6 | 12 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 0 | 12 |
| Gyeongsangnam-do | | | | | | | | | |
| Haman | 26 | 26 | 0 | 26 | 0 | 4 | 0 | 0 | 26 |
| Total | 270 | 263 | 103 | 128 | 13 | 50 | 71 | 7 | 368 |

44.4%; BWYV, 37%, 안동: CMV, BBWV2, BWYV, 100%, 영천: BBWV2, 100%; CMV, 73.3%; BWYV, 60%, 함안: CMV, BBWV2, BWYV, 100% (Table 2).

2016년 노지고추 바이러스병 발생조사. 2016년 노지 고추의 바이러스병 조사 역시 6-9월까지 실시하였고 시료는 8개도 16개 지역에서 총 368개를 채집하여 분석하였다. 안성, 괴산, 청양, 고창, 완주, 화순, 영양, 안동, 영천, 함안지역은 2015년과 동일하게 조사하여 발병율 양상을 비교하고자 하였고 그 외 지역은 강원도에서 2곳이 추가되었고 농가 사정상 일부 지역은 변경되었다. 2016년의 노지 고추 전체 바이러스 발병율은 98%로 2015년 보다 더 높게 나타났다. 전체 시료의 각 바이러스 감염율은 CMV가 73.3%, BBWV2가 71.4%로 나타났으며, BWYV와 TSWV가 각각 34.7%, 27.9%의 감염율을 보였고 PMMoV가 19.2%, PepMoV가 13.5%, PVY가 3.5%로 발생하였다(Table 3). 바이러스 종류별 바이러스 발병은 2015년과는 다소 차이가 있었는데, CMV의 경우 안동의 조사 농가를 제외한 모든 지역에서 발병되었으며, BBWV2는 영월 조사 농가를 제외한 모든 농가에서 검출되었다. BWYV는 영월과 담양의 조사 농가 외 모든 지역에서 검출되어 고추에 발생하는 주요 바이러스임을 알 수 있었다. TSWV의 경우도 2015년과 비교해 충남(청양), 전북(고창, 무주, 완주), 전남(담양, 화순) 외에 충북 괴산과 경북 안동에서도 검출이 되어 발생지역이 추가되었으며, PMMoV도 안성, 영월, 괴산, 청양, 고창, 화순, 영천에서 검출되어 2015년보다 발병지역이 증가하였다. PepMoV는 충남(청양)과 전북(무주, 완주), 경북(영양, 청송), 경남(함안)지역에서만 검출되었고, PVY의 경우 괴산, 무주, 경북(안동, 영천)에서만 발병한 것으로 조사되었다. 지역별 발생한 바이러스의 종류와 발병률은 다음과 같다. 안성: CMV, 84.6%; BWYV, 46.1%; BBWV2, 42.3%; PMMoV, 38.4%, 영월: CMV와 PMMoV, 100%, 평창: CMV, 95.2%; BBWV2와 BWYV, 33.3%, 괴산: BBWV2, 100%; CMV, 67.4%; TSWV, 46.5%; PMMoV, 16.2%; PVY, 2.3%, 청양: BBWV2, 94.2%; CMV, 77.1%; TSWV, 71.4%; PMMoV, 45.7%, PepMoV, 31.4%; BWYV, 8.5%, 홍성: CMV와 BWYV, 88.2%, 고창: CMV, 66.6%; PMMoV, 58.3%; BBWV2, 47.2%; BWYV, 36.1%; TSWV, 25.0%, 무주: CMV, 77.7%; BBWV2와 TSWV, 55.5%; BWYV, 33.3%; PepMoV, 22.2%, PVY, 11.1%, 완주: BBWV2, 100%; CMV, 60%, TSWV, 40%; BWYV와 PepMoV, 20%, 담양: TSWV, 100%, CMV, 28.5%; BBWV2, 14.2%, 화순: CMV, 96.0%; BBWV2, 92.0%; TSWV와 BWYV, 24.0%; PMMoV, 16.0%, 영양: BBWV2, 100%; PepMoV, 81.8%; CMV, 50.0%; TSWV, 18.1%, BWYV, 9.0%, 안동: BBWV2, 100%, BWYV와 PVY, 33.3%, 영천: CMV, 94.1%; BBWV2, 88.2%; BWYV,

76.4%; PVY, 29.4%, PMMoV, 17.6%, 청송: BBWV2, 100%, CMV와 PepMoV, 50.0%; BWYV, 25.0%, 함안: CMV, BBWV2, BWYV, 100%; PepMoV, 15.3% (Table 3).

단독감염과 복합감염 발생양상. 2015년과 2016년 채집시료에서의 단독감염과 복합감염의 발생률을 비교하였다. 전체 채집시료의 단독감염 발생율은 2015년에는 16.9%, 2016년에는 13.2%로 조사된 반면 복합감염 발생율은 2015년과 2016년에 각각 83.0%와 86.7%로 나타나 복합감염의 비율이 훨씬 높은 것으로 조사되었다(Table 4). 단독감염에 의한 바이러스 발병율은 2015년에는 CMV가 10%, TSWV가 3.6%로 가장 높은 비율로 나타났다(Table 5). 2015년 전체 바이러스 감염율에서 CMV (73.8%)와 함께 높은 발생율을 보였던 BBWV2 (68.3%), BWYV (46.9%)의 경우 단독 감염율은 1.8%와 0%로 나타나 대부분 복합감염으로 발병된다는 것을 알 수 있었다(Table 5). 반면, 2016년의 단독 감염 바이러스에는 TSWV가 4.4%로 발생율이 가장 높았고 CMV가 4.2%로 2015년보다 줄어들었다. 한편, BBWV2가 2016년에 3.9%로 2015년 1.8% 보다 2배 이상 증가한 것으로 조사되었다(Table 5). PVY와 PepMoV도 2016년에는 단독 감염율이 0%로 조사되어 대부분 복합감염에 의한 발생양상을 보이는 것을 알 수 있었다.

복합감염 양상은 바이러스 발병율이 높게 나타난 CMV와 BBWV2 조합이 많은 것을 제외하고는 규칙을 찾기 어려웠다.

Table 4. Single and mixed infection of viruses in pepper fields during the 2015 and 2016

| Year | Diseased samples | | | Mixed infections (%) |
|------|------------------|-------|-------|----------------------|
| | Single | Mixed | Total | |
| 2015 | 66 | 323 | 389 | 83.0 |
| 2016 | 48 | 313 | 361 | 86.7 |

Table 5. Incidence of single virus infection in pepper fields during the 2015 and 2016

| Virus | Incidence per year (%) | |
|--------------|------------------------|-------------|
| | 2015 | 2016 |
| CMV | 10.0 | 4.2 |
| BBWV2 | 1.8 | 3.9 |
| TSWV | 3.6 | 4.4 |
| BWYV | 0 | 0.6 |
| PVY | 0.3 | 0 |
| PepMoV | 0.3 | 0 |
| PMMoV | 1.0 | 0.2 |
| Total | 17.0 | 13.3 |

Table 6. Incidence of mixed virus infection in pepper fields in 2015

| Multiple type of infection | Incidence (%) |
|----------------------------|---------------|
| Double | 32.1 |
| CMV+BBWV2 | 15.9 |
| CMV+BWYV | 2.0 |
| CMV+TSWV | 3.0 |
| CMV+PVY | 0.5 |
| CMV+PepMoV | 0.2 |
| CMV+PMMoV | 0.5 |
| BBWV2+BWYV | 4.3 |
| BBWV2+TSWV | 0.5 |
| BBWV2+PVY | 0.2 |
| BBWV2+PMMoV | 3.0 |
| BWYV+TSWV | 0.2 |
| BWYV+PMMoV | 1.2 |
| PVY+PMMoV | 0.5 |
| Triple | 40.6 |
| CMV+BBWV2+BWYV | 29.3 |
| CMV+BBWV2+TSWV | 2.1 |
| CMV+BBWV2+PVY | 1.3 |
| CMV+BBWV2+PepMoV | 1.8 |
| CMV+BBWV2+PMMoV | 3.1 |
| CMV+BWYV+TSWV | 0.8 |
| BBWV2+BWYV+TSWV | 0.5 |
| BBWV2+BWYV+PepMoV | 0.7 |
| BWYV+TSWV+PMMoV | 1.0 |
| Tetra | 9.3 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PepMoV | 4.1 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PMMoV | 3.1 |
| CMV+BBWV2+BWYV+TSWV | 1.0 |
| CMV+BBWV2+PVY+PMMoV | 0.5 |
| CMV+BWYV+TSWV+PMMoV | 0.5 |
| Penta | 1.0 |
| CMV+BBWV2+BWYV+TSWV+PMMoV | 0.5 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PVY+PMMoV | 0.5 |
| Total | 83.0 |

특이한 것은 2015년에는 3종 복합감염의 비율이 40.6%로 2종 바이러스 복합감염(32.1%)보다 더 높은 발생율을 보인 반면(Table 6) 2016년에는 2종 복합감염이 41.2%로 3종 복합감염(27.7%)과 비교해 가장 높은 발생율을 나타냈다(Table 7). 4종 바이러스의 복합감염은 2015년에는 9.3%에서 2016년에는 16.6%로 증가하여 복합감염 양상이 훨씬 더 다양해지고 있다는 것을 알 수 있었다. 5종 바이러스의 발생율은 2015년과 2016년에 1% 정도로 나타났다(Table 6, 7).

Table 7. Incidence of mixed virus infection in pepper fields in 2016

| Multiple type of infection | Incidence (%) |
|-----------------------------|---------------|
| Double | 41.2 |
| CMV+BBWV2 | 15.8 |
| CMV+BWYV | 7.2 |
| CMV+TSWV | 2.2 |
| CMV+PMMoV | 4.2 |
| BBWV2+BWYV | 1.1 |
| BBWV2+TSWV | 5.5 |
| BBWV2+PepMoV | 3.6 |
| BWYV+PMMoV | 1.3 |
| TSWV+PMMoV | 0.3 |
| Triple | 27.7 |
| CMV+BBWV2+BWYV | 9.7 |
| CMV+BBWV2+TSWV | 5.8 |
| CMV+BBWV2+PVY | 0.8 |
| CMV+BBWV2+PepMoV | 3.6 |
| CMV+BBWV2+PMMoV | 1.7 |
| CMV+BWYV+PVY | 0.3 |
| CMV+BWYV+PMMoV | 0.8 |
| CMV+TSWV+PMMoV | 1.1 |
| BBWV2+BWYV+TSWV | 0.8 |
| BBWV2+BWYV+PVY | 1.4 |
| BBWV2+BWYV+PepMoV | 0.3 |
| BBWV2+BWYV+PMMoV | 0.3 |
| BWV2+TSWV+PepMoV | 0.3 |
| BWV2+TSWV+PMMoV | 0.8 |
| Tetra | 16.6 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PepMoV | 5.0 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PMMoV | 4.1 |
| CMV+BBWV2+BWYV+TSWV | 0.8 |
| CMV+BBWV2+BWYV+PVY | 1.1 |
| CMV+BBWV2+TSWV+PepMoV | 0.3 |
| CMV+BBWV2+TSWV+PMMoV | 5.0 |
| CMV+BBWV2+PepMoV+PMMoV | 0.3 |
| Penta | 1.1 |
| CMV+BBWV2+BWYV+TSWV+PMMoV | 0.6 |
| CMV+BBWV2+TSWV+PepMoV+PMMoV | 0.6 |
| Total | 86.7 |

월별 바이러스 발생양상 분석. 2015년과 2016년의 노지고추를 대상으로 월별 바이러스 발생양상을 분석하였다(Fig. 1). 노지고추 정식기 대부분 5월 초순-중순에 이루어지는 것을 감안했을 때 고추 생육 초기에 발병하는 바이러스의 종류와 이후 발생하는 바이러스 발병 양상을 조사하고자 하였다. 분석 결

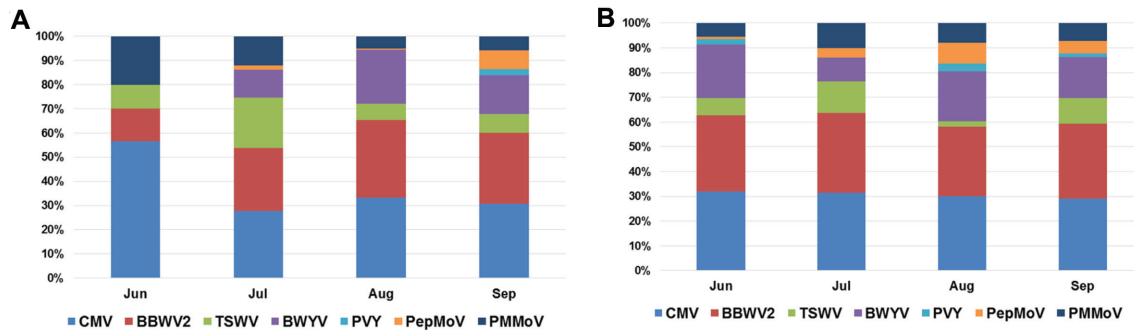


Fig. 1. Monthly occurrence of pepper viruses in field in Korea in 2015 (A) and 2016 (B).

과 2015년과 2016년의 고추 정식 초기 바이러스 발생 양상은 다르게 나타났는데, 2015년 6월에는 CMV의 발생률이 50% 이상을 차지했으며 PMMoV, BBWV, TSWV가 초기 발생된 반면, 7월 이후로는 진딧물 전염 바이러스인 BWYV, PepMoV를 비롯하여 BBWV2의 발생이 함께 증가하는 양상을 보였다. 그러나 2016년에는 6월 생육초기부터 BBWV2, CMV와 함께 BWYV와 PepMoV, PVY와 같은 진딧물 전염 바이러스를 비롯해 TSWV, PMMoV의 7종 바이러스가 모두 발생하는 것으로 조사되었다 (Fig. 1). 7월-9월까지 바이러스 발생은 2015년과 2016년이 발병률 차이는 있었지만 바이러스 종류별 발생양상은 유사하게 나타났다. 한편, TSWV는 2015년과 2016년 모두 6월 발생을 시작으로 7월에 발생이 증가하다가 8월에는 발생률이 낮아지고 9월에 다시 증가되는 양상을 보였다(Fig. 1).

고찰

국내 고추에서의 바이러스병 조사는 1970년대 초반에 AMV, CMV, TMV, PVX, PVY의 발생 보고를 시작으로(Kang 등, 1973; La 등, 1972) 1990년대 후반까지 TMV 등 Tobamovirus에 의한 발생빈도가 가장 높았으나 2000년 이후에는 CMV, PMMoV, PepMoV, BBWV2가 고추의 주요 바이러스로 보고되었다(Cho 등, 2007; Kim 등, 1990; Lee 등, 2015). 기후변화에 따른 매개충 발생 변화와 바이러스의 변이를 통해 고추의 바이러스 피해 양상이 변화하고 있어 본 연구를 통해 최근 노지고추에 발생하는 바이러스의 종류를 파악하고 발생 양상을 분석하고자 했다.

2015년과 2016년 노지 고추 생육기간 동안 발생하는 바이러스를 분석한 결과 국내에는 본 연구에서 검정한 7종의 바이러스가 모두 분포하고 있으며 바이러스 감염율은 2015년에는 91.4%, 2016년에는 98.0%로 매우 높은 것으로 조사되었다(Table 2, 3). 가장 높은 감염율을 나타낸 바이러스는 CMV와 BBWV2로 각각 2015년에는 73.8%와 68.3%, 2016년에는

73.3%와 71.4%로 조사되어 매우 높은 발병률을 보였다. Lee 등 (2015)이 2006-2010년 조사에서 노지고추의 CMV 발병률이 평균 34.8%라고 보고한 것과 비교하면 최근 CMV의 발생비율은 2배 정도 더 높아진 것으로 나타났다. 한편 BBWV2의 경우, Kwak 등(2013)의 조사에서도 고추에서의 BBWV2 발생비율이 매우 높아진 것을 보고하였는데 최근 조사에서도 꾸준히 발병률이 높게 유지가 되고 있음을 확인 할 수 있었다. BWYV는 국내에서 2010년 파프리카에서 처음 발생 후 고추에서는 발생률이 조사된 바 없었으나 이번 조사를 통해 BWYV가 고추에 발생하는 주요한 바이러스(평균 40.8%)임을 확인하였고 아울러 거의 모든 조사 지역에서 발병되어 전국적으로 확산이 되었음을 추측할 수 있었다. BWYV의 확산은 진딧물에 의한 영속전염이 원인으로 판단되어 감염원 제거 및 진딧물 관리에 각별한 관리가 필요해 보인다. 고추에서의 TSWV 발생은 2015에 12.7%, 2016년에는 27.9%으로 증가추세를 보였으며 특이한 것은 기존 보고(Cho 등, 2005, 2007; Lee 등, 2015)와 마찬가지로 2015년에는 충남, 전북, 전남 지역을 중심으로 서남해안 지역 위주로 발생하였으나 2016년에는 충북과 경북지역에서도 발생되어 TSWV의 발생지역이 확산된 것으로 나타났다. TSWV는 총채벌레에 의해 주로 전염이 되는 바이러스이므로 TSWV의 확산과 총채벌레의 발생 분포에 따른 역학관계에 대한 연구가 필요해 보인다. TSWV는 CMV나 BBWV2보다 발병률은 낮으나 피해 양상은 훨씬 더 심하며 특히 시설재배 고추포장에서는 포장전체를 폐기해야 할 정도의 피해율을 보이고 있는 만큼 정식 전 육묘관리 및 TSWV 보독 총채벌레 유충의 존재 가능성이 있는 토양은 철저히 소독하여 발생을 차단하는 것이 매우 중요하다. 본 조사를 통해 최근 고추에서 Potyvirus속 바이러스(PepMoV와 PVY)들이 증가하고 있는 양상을 확인하였다. 기존 보고(Cho 등, 2007; Lee 등, 2015)에 따르면 PepMoV는 2002-2004년에 20-30% 정도로 발생하다가 2006-2010년에는 5% 내외로 감소한 것으로 조사되었으나 본 조사를 통해 다시 증가하고 있

는 것으로 나타났다. PVY의 경우, Lee 등(2004)과 Kim 등(2012)의 논문에서 발병률이 거의 1% 미만인 것으로 보고되었으나, 2015-2016년 조사에서는 3% 이상으로 발생하고 있음을 알 수 있었다. 한편, 종자 및 토양에 의해 전염되는 PMMoV는 2015년 14.6%, 2016년 19.2%로 조사되었는데 Lee 등(2015)이 2006-2010년 평균 5% 내외로 조사한 수치보다 더 증가되었음을 알 수 있었다.

최근 국내 노지고추의 바이러스 발생 양상은 대부분 복합감염 형태로 발병하는 것으로 나타났다(Table 4). 복합 감염 형태도 매우 다양하게 조사되었는데 이전 보고에서는 CMV+BBWV2, CMV+PepMoV와 같은 2종 복합감염 형태가 대부분이었으나 본 조사 결과, 3종 이상의 복합감염 발병률이 전체 복합감염의 50% 이상을 차지하였으며 5종의 바이러스 복합감염은 처음 조사되었다(Table 6, 7). 본 조사에서는 2종 복합감염 중에는 CMV+BBWV2가 16% 발병률로 가장 높은 비율로 나타났다, 3종 복합감염에서는 CMV+BBWV2+BWYV가 가장 높은 발병률을 보였다. 특히 2015년에는 전체 복합감염 중에서 CMV+BBWV2+BWYV가 29.3%로 가장 높은 발병률을 나타냈다(Table 6). 2016년에는 3종 복합감염 발생률이 2015년 40.6%에서 27.7%로 감소했으나 복합감염 형태는 14종류로 더 다양하게 나타났으며 4종 복합 발생률은 2015년 9.3%에서 2016년 16.6%로 증가되었음을 알 수 있었다(Table 7). 복합감염의 발생 비율 및 양상이 더 복잡해진 것은 기후 온난화로 인해 매개충 발생시기가 앞당겨져 생육 초기 감염이 증가하고 있기 때문인 것으로 추측된다. 이는 월별 바이러스 발생조사에서도 나타났는데 노지고추 생육 초기인 6월에 바이러스 감염 종류가 2015년 4종에서 2016년 7종으로 늘어나 복합감염의 양상이 더 다양해진 요인으로 작용했을 것으로 사료된다(Fig. 1).

바이러스는 감염하여 증식하는 동안 유전자 변이가 일어나기 쉽고 매개충에 의해 전염되는 과정에 재조합이 되기도 하므로 병원성의 변화가 많다. 아울러 매개충의 밀도 및 이동 경로 등도 기후변화에 의해 변화되므로 바이러스의 발생 특성을 파악하는 것은 바이러스병 피해를 최소화하는 매우 중요한 조사이다. 국제 교역에 따른 새로운 고추 품종 재배가 증가하고 있어 국내 미보고 바이러스 및 신종바이러스에 대한 조사에도 대비가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

국내 노지 고추에서의 바이러스 발생률 및 발병현황을 조사하기 위해 2015-2016년까지 포장조사를 수행하였다. 시료 채집은 6월부터 9월까지 월별로 실시하였고 노지 포장에서 바이

러스 병징을 보이는 고추에 대해 2015년 424개, 2016년 368개의 시료를 채집하였다. 감염여부는 7종 바이러스(오이모자이크바이러스, 잠두위조바이러스2, 토마토반점위조바이러스, 사탕무황화바이러스, 고추모틀바이러스, 감자바이러스 Y, 고추약한모틀바이러스)에 대한 유전자 진단법을 이용하여 검정하였다. 그 결과, 바이러스 발병률은 2015년에는 91.7%, 2016년에는 98%로 조사되었고, 조사지역에 따라 발생하는 바이러스의 종류는 차이가 있었으나 7종 바이러스가 모두 발생됨을 확인하였다. 2015년 바이러스 종류별 발생률은 CMV, BBWV, BWYV, PMMoV, TSWV, PepMoV 및 PVY가 각각 73.8%, 68.3%, 46.9%, 14.6%, 12.7%, 6.6% 및 3.3%이었으며 2016년 바이러스 발생률은 CMV, BBWV2, BWYV, TSWV, PMMoV, PepMoV 및 PVY가 73.3%, 71.4%, 34.7%, 27.9%, 19.2%, 13.5% 및 3.5%로 조사되었다. 바이러스 발생양상을 분석한 결과, 전체 채집시료의 복합감염 비율이 2015년에는 83%, 2016년에는 86.7%로 단독감염보다 대부분 복합감염의 형태로 발병됨을 알 수 있었다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Basic Research Program (PJ01087801) of National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, H. I., Yoon, J. Y., Hong, J. S., Yoon, H. I., Kim, M. J., Ha, J. H. et al. 2006. The complete genome sequence of Pepper severe mosaic virus and comparison with other potyviruses. *Arch. Virol.* 151: 2037-2045.
- 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.
- Choi, G. S., Kim, J. H., Ryu, K. H., Choi, J. K., Chae, S. Y., Kim, J. S. et al. 2002. First report of *Tobacco mild green mosaic virus* infecting pepper in Korea. *Plant Pathol. J.* 18: 323-327.
- Choi, G. S., Kim, J. H., Lee, D. H., Kim, J. S. and Ryu, K. H. 2005. Occurrence and distribution of viruses infecting pepper in Korea.

- Plant Pathol. J.* 21: 258-261.
- Choi, H. S., Lee, S. H., Kim, M. K., Kwak, H. R., Kim, J. S., Cho, J. D. et al. 2010. Occurrence of virus diseases on major crops in 2009. *Res. Plant Dis.* 16:1-9.
- Genda, Y., Sato, K., Nunomura, O., Hirabayashi, T. and Tsuda, S. 2011. Immunolocalization of *Pepper mild mottle virus* in developing seeds and seedlings of *Capsicum annuum*. *J. Gen. Plant Pathol.* 77: 201-208.
- Green, S. K. and Kim, J. S. 1991. Characteristics and Control of Viruses Infecting Peppers: a Literature Review. Technical Bulletin No. 18. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan. 60 pp.
- Im, K. H., Chung, B. K., Yoon, J. Y. and Green, S. K. 1991. A survey on viruses infecting peppers (*Capsicum annuum*) in Korea by microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Korean J. Plant Pathol.* 7: 251-256.
- Kang, K. Y., Choi, J. I. and La, Y. J. 1973. Isolation and identification of viruses affecting pepper (*Capsicum annuum* L.) in Korea. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 13: 35-43.
- Kim, J. S., Kim, S. K., Lee, S. H. and Lee, M. W. 1990. A pepper vein chlorosis virus causing stem necrosis and vein chlorosis on red pepper in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 6: 376-381.
- Kim, J. S., Lee, S. H., Choi, H. S., Kim, M. K., Kwak, H. R., Kim, J. S. et al. 2012. 2007-2011 characteristics of plant virus infections on crop samples submitted from agricultural places. *Res. Plant Dis.* 18: 277-289.
- Kenyon, L., Kumar, S., Tsai, W.-S. and Hughes, J. d'A. 2014a. Virus disease of peppers (*Capsicum* spp.) and their control. *Adv. Virus Res.* 90: 297-354.
- Kenyon, L., Tsai, W.-S., Shin, S. L. and Lee, L. M. 2014b. Emergence and diversity of begomoviruses infecting solanaceae crops in East and Southeast Asia. *Virus Res.* 186: 104-113.
- Kwak, H. R., Kim, M. K., Nam, M., Kim, J. S., Kim, K. H., Cha, B. J. et al. 2013. Genetic composition of *Broad bean wilt virus 2* infecting red pepper in Korea. *Plant Pathol. J.* 29: 274-284.
- La, Y. J., Choi, J. I. and Kang, K. Y. 1972. Serological investigation of virus diseases of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) in Korea. *J. Plant Biol.* 15: 23-27.
- Lee, J. H., Hong, J. S., Ju, H. J. and Park, D. H. 2015. Occurrence of viral diseases in field-cultivated pepper in Korea from 2006 to 2010. *Korean J. Organic Agri.* 23: 123-131.
- Lee, S. H., Lee, J. B., Kim, S. M., Choi, H. S., Park, J. W., Lee, J. S. et al. 2004. The incidence and distribution of viral diseases in pepper by cultivation types. *Res. Plant Dis.* 10: 231-240.
- Martinez-Ayala, A., Sanchez-Campos, S., Caceres, F., Aragon-Caballero, L., Navas-Castillo, J. and Moriones, E. 2014. Characterization and genetic diversity of pepper, bean and tomato in Peru. *Ann. Appl. Biol.* 164: 62-72.
- Melgarejo, T. A., Kon, T., Rojas, M. R., Paz-Carrasco, L., Zerbini, F. M. and Gillbertson, R. L. 2013. Characterization of a New World monopartite begomovirus causing leaf curl disease of tomato in Ecuador and Peru reveals a new direction in geminivirus evolution. *J. Virol.* 87: 5397-5413.
- Moury, B. and Verdin, E. 2012. Viruses of pepper crops in the Mediterranean basin: a remarkable stasis. In: *Advances in Virus Research* (Chapter 4), eds. by G. Loebenstein and H. Lecoq, pp. 127-162. Academic Press, Burlington.
- Park, C. Y., Shin, Y. G., Kim, J. S., Nam, M., Lee, J. H., Jun, E. S. et al. 2011. First report of Beet western yellows virus on *Capsicum annuum* var. *angulosum* at Jinju in Korea. *Plant Pathol. J.* 17: 463.
- Pernezny, K. L., Roberts, P. D., Murphy, J. F. and Goldberg, N. P. 2003. *Compendium of Pepper Disease*. APS Press, St. Paul, MN, USA.
- Rhie, M. J., Min, B. E., Hong, J. S., Song, Y. S. and Rye, K. H. 2007. Complete genome sequence supports bell pepper mottle virus as a species of the genus Tobamovirus. *Arch. Virol.* 152: 1401-1407.