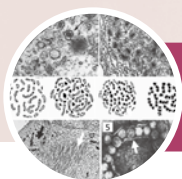


2장

왜 세계적으로 중요한 바이러스인가?

1. 바이러스 전염특성과 피해
2. 우리나라 대표적 피해 사례
3. 복합감염
4. 토마토반점위조바이러스가 감염하는 잡초 기주 종류
5. 아시아 국가의 오소토스포바이러스 발생
6. 오소토스포바이러스들의 우리나라 발생 가능성
7. 세계 발생 이력



1. 바이러스 전염특성과 피해

식물 바이러스는 전염양식에 따라서 종자에 의하여 전염하는 바이러스와 매개충에 의하여 전염하는 바이러스 등으로 구분하는데, 매개충의 종류는 진딧물, 애벌레, 담배가루이, 총채벌레 등 매우 다양한 매개 곤충에 의하여 전염하며 또한 전염양식도 복잡한 기작을 갖기 때문에 바이러스병 발생양상도 복잡하다.

오소토스포바이러스 *Orthotospovirus*는 토마토반점위조바이러스 *Tomato spotted wilt virus*, TSWV가 대표 바이러스이며, 감염된 식물체의 세포 내에서 증식하고 동시에 매개 곤충인 총채벌레 체내에서도 바이러스가 감염, 증식하여 식물에 바이러스를 전염한다. 토마토반점위조바이러스는 단자엽과 쌍자엽 식물 약 1,000종이 바이러스에 감염하는 것으로 알려져 있어 거의 모든 농작물에 감염이 가능할 수 있다. 바이러스 감염 증상은 원형반점 *ring spot* 뿐만 아니라 잎, 줄기, 과일 등 식물체 모든 부위에 심각한 증상을 일으키고, 병원성이 매우 강하기 때문에 경제적인 피해가 매우 크다.

토마토반점위조바이러스 TSWV와 함께 우리나라에 발생하는 봉선화괴저반점바이러스 *Impatiens necrotic spot virus*, INSV는 2009년 강원도에서 처음 발생하였으며 감염 기주 식물의 종류가 600여종이며 병원성 또한 매우 강하다. 국화줄기괴저바이러스 *Chrysanthemum stem necrosis virus*, CSNV는 2013년 강원도 온실 재배 국화에서 발생하였다.

우리나라에 발생하는 3종의 오소토스포바이러스 이외에도 26종이 세계적으로 발생하고 있으며 대부분의 오소토스포바이러스들은 꽃노랑총채벌레 등 15종의 총채벌레에 의하여 전염되는데, 총채벌레의 종과 오소토스포바이러스의 종과 서로 특이성이 있기 때문에 서로 다른 총채벌레의 종에 의하여 전염된다 (표 II-2).

우리나라에 서식하고 있는 총채벌레는 모두 6종인데, 이중에서 4종이 토마토 반점위조 바이러스를 전염할 수 있으며, 바이러스를 갖고 있는 꽃노랑총채벌레는 전염률이 보통 90% 이상이어서 바이러스가 매우 잘 전염된다 (표 1.3).

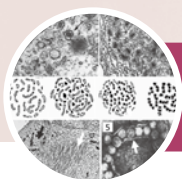
토마토반점위조바이러스는 거의 모든 식물에 감염이 가능하므로 농작물은 어떤 종류라도 감염 기주가 될 수 있으며, 특히 고추, 토마토, 감자 등 가지과 식물, 국화와 같은 국화과 식물, 땅콩과 같은 콩과식물에 피해 증상이 매우 심하다. 더구나 총채벌레가 서식할 수 있는 모든 농작물은 토마토반점위조바이러스 등을 포함하여 약 26종의 오소토스포바이러스에 단독 또는 몇 종의 바이러스에 복합감염이 가능할 뿐만 아니라 피해 증상도 심하다.

오소토스포바이러스들은 병원성 변이, 매개충 종류, 기주범위 특성 등으로 볼 때에 중요한 바이러스이므로 세계적으로 국가간 지역간 이동금지 바이러스로 관리되고 있다. 그러나 우리나라에서는 토마토반점위조바이러스가 2005년 국가관리대상에서 제외되어 피해발생을 가중 시키고 있다.

2. 우리나라 대표적 피해 사례

2.1 토마토반점위조바이러스 TSWV

2003년 충남 예산의 고추에서 한 주가 발견된 후 2004년~2005년 경기 안양시 관양동 비닐하우스 단지의 고추, 토마토 등 20여종의 작물에 대 발생하였다. 2004년 대 발생 후 2007년까지 3년간 전국 확산은 고추와 토마토를 중심으로 경기, 충남, 전북, 전남 등 서남해안 지역을 중심으로 급속히 확산하였으며, 2011년까지 전국 29개 시·군에 발생하였다 (그림 II-1, 표 II-1).



최초 발생 약 10년 후인 2015년에는 비교적 지역적으로 격리된 경북 내륙지역인 안동지역에 발생하여 확산하고 있으며, 2017년에는 전국적으로 시설하우스 및 노지 재배 고추, 토마토에 거의 모든 지역에 발생하여 피해를 주고 있어 경제적 손실이 많다(미발표 자료).



그림 II-1. 토마토반점위조바이러스(TSWV)의 발생 지역 (2003~2011).

표 II-1. 토마토반점위조바이러스 TSWV의 우리나라 초기 발생

연도	발생 지역
2003	충남 예산
2004	경기 안양시 관양동
2005	충남 당진군 유곡리
2006	충남 태안, 홍성, 서산
	전북 임실, 남원
	전남 순천, 광주
2007	경기 부천
	충남 예산, 서천
2008	경기 화성, 안성
	충남 청양
	전남 나주, 영광
2009	강원 강릉
	충남 공주
	전남 함평
	경남 함안, 김해, 하동
2010	전북 진안
	제주 제주시
2011	충남 보령
	전남 강진, 장흥, 완도

우리나라에서 2006년 ~2011년 동안 토마토반점위조바이러스(TSWV)가 전국적으로 급속히 확산한 원인은 고추 유묘를 길러서 농가에 판매하는 대형 육묘장에서 토마토반점위조바이러스가 발생하여 감염된 묘를 구입하여 심은 농가들은 모두 바이러스에 감염되었다.

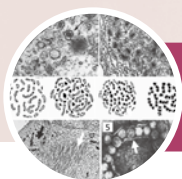
전남 지역 G와 N 2의 2개 육묘장은 20,000m²의 대형 육묘장인데 모든 고추

묘가 토마토반점위조바이러스에 감염되어 있었고, 고추 어린 묘 앞에 토마토반점 위조바이러스의 전형적인 병증인 원형반점 증상이 나타났으며 심한 것은 줄기가 고사하여 묘판이 움푹 움푹 들어가는 것을 볼 수 있다(사진 II-1).

대형 육묘장의 감염 묘에 의한 급속한 확산은 전남 지역뿐만 아니라 충남, 강원 도에서도 그 사례가 발생하였다. 감염 묘는 대형 육묘장이 있는 지역뿐만 아니라 우리나라의 묘 유통 특성상 대형 육묘장들이 서로 묘를 유통하고 농가에 보급하므로 감염 묘가 전국적으로 확산되는 원인이 된다. 따라서 어느 한 육묘장이 감염되면 전국으로 급속히 확산되며, 감염 묘를 심은 농가를 중심으로 전염원이 정착되어 바이러스병이 매년 발생하였다.



사진 II-1. 토마토반점위조바이러스(TSWV)가 모두 감염된 대형 육묘장의 고추 유묘.



충청남도 : 충남 예산은 토마토반점위조바이러스 TSWV가 2003년 처음 발생한 지역이며 2011년 까지 10개 시·군에서 발생하여 대부분의 지역에서 바이러스가 만연되어 발생하고 있다. 충남지역은 전체적으로 우리나라에서 가장 많은 발생 지역과 면적으로 하우스 및 노지 재배 고추, 토마토에 많은 피해를 주고 있다. 또한 이 지역에 위치한 대형 육묘장에서 보급한 감염 묘는 전국적 확산의 원인의 하나로 파악되었다.

2008년 ~ 2011년 시설 고추의 토마토반점위조바이러스 발생률은 예산과 서산지역이 각각 19.5%와 16.1%로 가장 많이 발생하고 있으며 다음으로는 홍성 12.3%, 태안 5.1%이다(Choi et al, 2012). 시설고추와 노지고추의 토마토반점위조바이러스 발생률은 각각 25.9%와 3.1%로 시설고추에서 많이 발생하고 있다(그림 II-3). 노지 고추에서 발생률은 비교적 낮지만, 발생한 노지 포장 주변에 전염원이 정착하고 있어 앞으로 고추, 토마토 등 주요 작물의 피해가 지속적으로 상승할 것으로 예상된다.

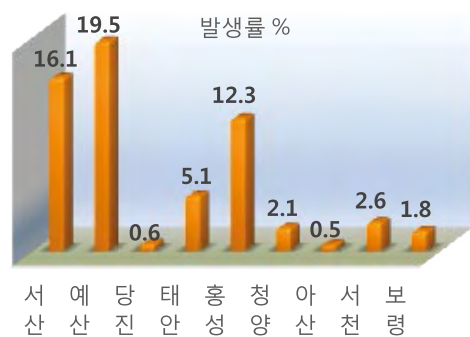


그림 II-3. 충남 지역별 시설 고추의 토마토 반점위조바이러스 TSWV 발생.

전라남북도 : 토마토반점위조바이러스 TSWV의 급속 확산기인 2008년에서 2011년의 발생 작물의 분포를 보면 토마토가 전체 조사 작물 중에서 66%를 차지하여 남부 지역의 경우 토마토가 가장 피해를 많이 받고 있는 것을 알 수 있다. 다음으로는 노지재배 고추가 18%로 피해를 받고 있으며 시설재배 고추가 9%로 고추의 전체 감염률이 27%를 차지하고 있다. 파프리카와 피망은 발생 작물 분포에서 각각 6%와 1%를 차지하는데, 이것은 작물 재배면적이 적은 것이 원인으로 보인다(Choi et al, 2012; 그림 II-4).

대부분의 식물이 토마토반점위조바이러스의 감염 기주이고, 토마토는 주로 시설재배를 하고 고추는 노지와 시설재배 모두 많은 재배면적을 차지하고 있기 때문에 재배지 주변에 전염원이 지속적으로 축적되고 있다. 또한 매개충인 총채벌레 밀도가 동시에 높아지고 있기 때문에 우리나라 주요 양념채소인 고추 생산에 앞으로 장해요인으로 작용할 것으로 보인다.

2017년 전남지역은 고추에서 나주, 영광, 해남의 경우 평균 감염률이 33%이며, 전북지역의 익산, 임실, 정읍, 고창, 군산, 무주, 남원, 완주 지역에서 고추, 토마토, 파프리카의 발생률이 34.2%에 달하고 발병주율도 많게는 30%까지 높아 전 지역이 토마토반점위조바이러스에 만연되어 있으며, 또한 다른 바이러스들과 복합 감염되어 발생하고 있어 피해가 가중되고 있다(미발표 자료).

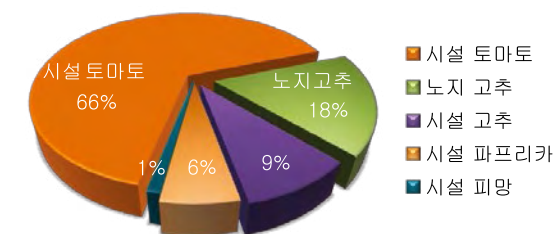
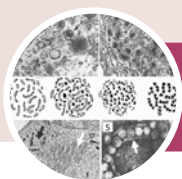


그림 II-4. 전남 지역의 토마토반점위조바이러스 TSWV의 주요 발생 작물 발생률.



경기도 강화군 : 토마토반점위조바이러스TSWV가 2004~2005년 경기도 안양 관양동, 충남 당진 등에 대 발생한 후 10년이 지난 2015년 우리나라 대표 작물인 고추를 대상으로 강화도 한 지역에서 2015년 13개 읍·면을 대상으로 전화 문답을 통한 현장방문 조사로 수행되었다(우리나라 식물 바이러스 과거 현재 미래 워크숍, 2016년).

강화도의 고추 재배면적은 노지재배 390ha, 시설재배 50ha로 총 440ha이다. 고추 총 재배면적 대비 13개 읍·면, 787농가, 78.3ha, 약 18%를 조사하였다(표 II-2). 노지재배 고추의 경우 조사면적 60.6ha, 발병면적 44.6ha, 발병률 74%이었으며, 시설재배 고추는 조사면적 11.7ha, 발병면적 8.7%, 발병률 74%이었다(그림 II-5). 강화도 전체 고추 재배면적의 18%를 조사하였으나 노지와 시설재배 모두 74%의 발병률을 보여 토마토반점위조바이러스가 만연되어 피해를 주고 있다.

강화도 13개 읍·면의 고추 감염 토마토반점위조바이러스의 감염률을 보면(그림 II-6), 노지재배의 경우 서도면은 감염률 9.1%로 가장 낮았으며, 교동과 삼산면은 36%, 양사면 55%, 나머지 지역은 65% ~ 100%로 수확이 불가능할 정도의 피해가 발생하였다. 시설재배의 경우, 시설재배가 없는 강화읍을 제외하고, 서도면 20%, 삼산면 27%, 교동면 37%로 가장 낮았으며 나머지 지역은 78.2% ~ 100%로 피해가 매우 컸다.

노지재배와 시설재배 발병률을 볼 때 교동, 삼산, 서도면을 제외하면 모두 극심하게 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 강화도에서 가장 고추 재배면적이 넓은 화도면은 노지재배 65%, 시설재배 80%가 토마토반점위조바이러스에 만연되어 있으며, 가장 재배면적이 적은 내가면은 노지와 시설재배 모두 100% 발생하였다.

강화도는 앞으로 지속적으로 바이러스 전염원이 축적될 것이기 때문에 과거 안양 관양동 지역과 같이 매개충인 총채벌레와 중간기주인 잡초류를 확실히 제거하여 병 발생률을 0%로 하는 조치를 조속히 취하지 않으면 고추를 비롯한 모든 작물 재배에서 토마토반점위조바이러스로 인한 농작물 재배 자체가 매우 어려워질 것으로 예상된다.

표 II-2. 강화군 지역별 토마토반점위조바이러스TSWV의 발생(2015)

읍면	조사면적(a)	
	노지	시설
강화읍	3,600	—
선원면	91,100	19,900
불은면	144,400	26,400
길상면	75,300	4,900
화도면	218,900	13,600
양도면	24,100	5,400
내가면	5,400	400
하점면	300	400
양사면	11,800	7,800
송해면	6,200	5,900
교동면	15,600	29,600
삼산면	2,500	1,100
서도면	6,600	1,500
계	605,800	116,900

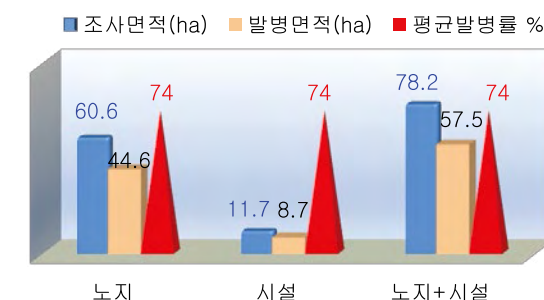


그림 II-5. 강화군 노지와 시설재배 고추의 토마토 반점위조바이러스TSWV 발생(2015).

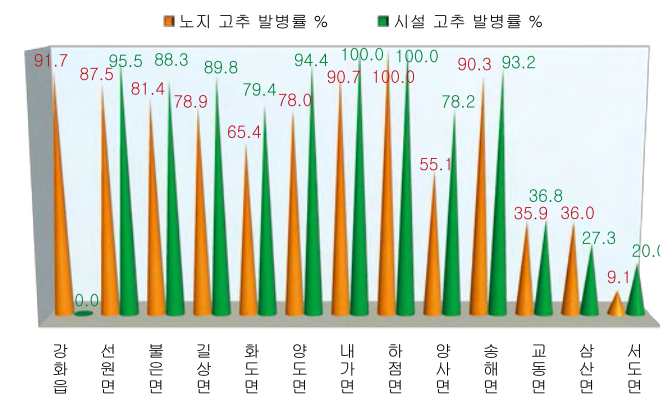
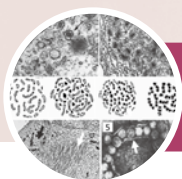


그림 II-6. 강화군 읍면별 고추 노지와 시설재배의 토마토 반점위조바이러스TSWV 발생(2015).

2.2. 봉선화괴저반점바이러스 *INSV*

우리나라에서 2009년 7월 강원도 삼척시 하장면, 홍천군 내면 등 약 20ha 150여 농가에서 처음으로 발생 하였다. 발생 원인은 강원도 평창군 대관령면에 소재한 대관령영농조합법인에서 바이러스에 감염된 고추 유묘를 농가에 공급하였기 때문이다. 농가 공급 고추 유묘는 녹광, 청양 및 피망 품종 100만주를 삼척 70만주, 태백 15만주, 임계 15만주, 홍천은 극히 일부 공급하였다. 그러나 최초 전염원에 대한 확인은 하지 못하였다(Choi et al, 2012).

농가 포장에 정식한 고추에 발생한 봉선화괴저반점바이러스 *Impatiens necrotic spot virus, INSV*의 증상은 잎에 괴저 원형반점이 나타나며, 특히 줄기가 괴저로 변화하면서 마디가 부러져 식물체가 주저 앉는 심한 증상을 나타냈으며 (사진 II-2), 이 포장에 심겨진 고추는 대부분 바이러스에 감염되었다.

봉선화괴저반점바이러스 *INSV*는 검역 관리급으로 지정되어 있으므로, 고추 묘를 생산한 온실과 감염 묘를 재배한 농가의 식물을 폐기 하였으며, 매개충인 총채벌레 공동방제를 하였다. 2009년 이후 3년간 발생 포장의 추적 조사 결과 발생을 하지 않는 것으로 조사 되었으나, 2016년 충북 음성의 관엽식물인 호야에 갑자기 발생하였다(충북 농업기술원 영농활용, 2017). 이와 같이 봉선화괴저반점바이러스는 2009년 강원도에서 최초 발생 후 2016년 충북에서 발생하여 전염원에 대한 추적이 매우 어려울 뿐만 아니라 다른 지역에서 갑자기 출현할 가능성도 매우 크므로 바이러스 발생 모니터링에 세밀한 관찰이 필요하다.

봉선화괴저반점바이러스의 중요성은 토마토반점위조바이러스 *TSWV*와 매우 유사한 바이러스이고 기주 범위가 600여종의 식물로 병원성이 매우 강하며, 우리나라에 토마토반점위조바이러스가 전국에 발생하고 있으므로, 봉선화괴저반점 바이러스의 재 발생 및 급속 확산 가능성이 매우 크므로 주의가 필요한 바이러스

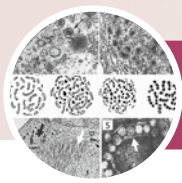
이다. 봉선화괴저반점바이러스는 주로 화훼류에 심한 병증을 일으키는 바이러스이며, 대부분의 화단용, 화분 및 벽걸이용, 관엽식물, 영년생 화훼류에 감염하여 피해를 준다. 다음의 표는 미국 미시간주의 감염 화훼류의 구분이며(Mary Hausbeck, 2015), 약 83종이 감염된다 (표 II-3).



사진 II-2. 봉선화괴저반점바이러스 *INSV*가 감염된 고추의 줄기 괴저 증상과 농가 고추 포장.

표 II-3. 봉선화괴저반점바이러스 *INSV*의 화훼류 감염 식물

용도	품종명
화단용	Ageratum, Coleus, Geranium, Pepper, Basil, Dahlia, Impatiens, Petunia, Begonia, Dusty Miller, Lettuce, Salvia, Browallia, Eggplant, Marigold, Tomato, Calendula, Forget-Me-Not, Morning Glory, Verbena, Celosia, Everlasting Flower, Nasturtium, Zinnia 등 25종
화분, 벽걸이	African Violet, Columnea, Gerbera, Primula, Azalea, Cyclamen, Gloxinia, Streptocarpus, Calceolaria, Exacum, Hydrangea, Thanksgiving Cactus, Chrysanthemum, Gardenia, New Guinea, Impatiens, Cineraria, Geranium, Kalanchoe 등 19종
관엽 식물	Birds-Nest Fern, Nephthytis, Silver Evergreen, Zebra Plant, Dracaena, Pedilanthus, Spiderwort, Ivy, Peperomia, Swedish Ivy, Lipstick Vine, Piggyback Plant, Wax Plant 등 13종
영년생	Aster, Columbine, Goldenrod, Poppy, Aubrietta, Coreopsis, Lobelia, Stonecrop, Barberry, Dahlia, Lupine, Tiger Lily, Bee Balm, Daisy, Obedient Plant, Veronica, Bishops Weed, Delphinium, Peony, Wormwood, Brachycome, Evening Primrose, Phlox, Campanula, Gaillardia, Polemonium 등 26종



3. 복합감염

대만 중남부지역에서 수박에 발생한 수박은색모틀바이러스WSMoV와 멜론황화반점바이러스MYSV의 발생상황을 2007년부터 3년간 효소결합항체진단 ELISA으로 모니터링한 결과 2007년에는 수박은색모틀바이러스가 22.4%, 2008년에는 24.7%로 상승한 반면 2009년에는 19.1%로 감소하였다(Peng et al, 2011). 또한 멜론황화반점바이러스는 2007년 19.9%에서 2008년 6.2%로 현저히 감소하였고 2009년에는 8.6%로 상승하였다. 그러나 두 바이러스의 복합감염은 2007년에 발생하지 않았으나 2008년 0.12%에서 2009년 0.34%로 낮은 감염률이었으나 약 3배 증가하였다 (그림 II-7).

대만에서 수박은색모틀바이러스와 멜론황화반점바이러스는 2007년에 처음 발생하였고, 모두 오이충채벌레에 의하여 전염하는 바이러스이며, 수박에서 두 종의 바이러스가 복합 감염되어 발생하는 양상이 처음 나타났고, 두 바이러스의 단독감염률이 감소하고 복합감염이 증가하는 것은 피해 증가 가능성을 의미한다 (사진 II-3).

그림 II-7. 수박은색모틀바이러스 WSMoV와 멜론황화반점바이러스 MYSV의 단독과 복합감염률.

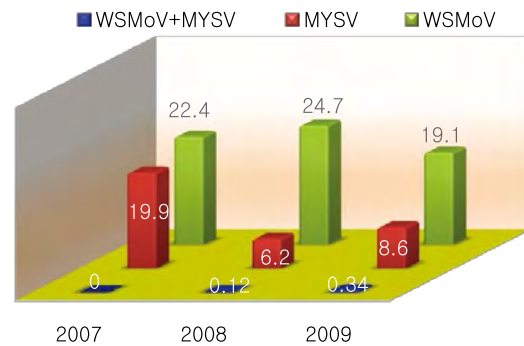
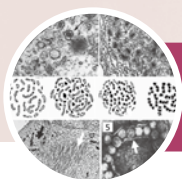


사진 II-3. 멜론황화반점바이러스MYSV에 감염된 수박 잎의 증상은 수박은색모틀바이러스WSMoV와 동일하지만(좌), 멜론 잎은 모자이크 증상이 나타난다(우). Quito-Avila et al, 2014.

4. 토마토반점위조바이러스가 감염하는 잡초 기주 종류

잡초 기주 식물은 매개 곤충인 총채벌레가 작물에 바이러스를 전염할 수 있도록 녹색다리green bridge 역할을 하고, 농작물 바이러스 감염의 일차 전염원이므로 작물과 함께 기주 잡초의 중요성도 매우 크다. 토마토반점위조바이러스TSWV가 발생한 충남, 전남 등의 지역에서 2008년 ~ 2011년 채집한 잡초 41과 144종의 1,104 식물체에 대하여 유전자 진단을 한 결과, 토마토반점위조바이러스에 감염된 기주로 확인된 종은 22과 42종이었다(Choi et al, 2012; 표 II-4).

식물 과Family 별 잡초 기주 종 수와 분포 비율은 국화과, 십자화과 및 석죽과가 각각 6종으로서 가장 많았으며, 콩과가 4종, 비름과와 꼭두서니과가 각각 2종이었다. 그리고 가지과 등 16과는 각 1종으로 조사되었다. 검정 개체수가 20개체 이상인 9종 중 감염률은 하계일년생의 경우 가는잎한련초가 95.6%, 동계일년생은 별꽃이 55%이었다. 토마토반점위조바이러스 잡초 기주를 생활형 별로 보면, 동계 일년생이 18종으로 기주 잡초 중 42.9%, 하계 일년생이 13종으로 30.9% 그리고 다년생이 11종으로 26.2%이다. 잡초 기주 중 동계일년생의 비중이 높은 이유는 동계기간 중 무 가온 하우스에서 이들 종들이 많이 서식하고 있기 때문이다. 또한 토마토반점위조바이러스는 기주 범위가 매우 넓은 바이러스이므로 앞으로 연구가 더 진행되면 감염 기주 식물 종류가 많이 밝혀질 것으로 예상된다.



2

왜 세계적으로 중요한 바이러스인가?

인도에서는 1998년(Jain et al, 1998), 태국에서는 2008년(Chiemsoombat et al, 2008), 인도네시아에서는 2009년(Pappu and Druffel, 2009), 중국의 연남지역에서 2011년(Rao et al, 2011, 2013), 필리핀에서는 2012년(Relevante et al, 2012)에 보고 되었다.

수박은색모틀바이러스는 일본이 원산지이며 아시아 국가들에서 확산을 하는 바이러스인데, 아메리카 대륙의 미국에서는 2010년에 미시시피 지역에서 발생을 보고하였다(Ali et al, 2012). 또한, 일부 남아메리카에서 발생한다는 보고가 있으나 정확하지 않다 (EPPO, 2016).

우리나라는 원산지 국가인 일본과 가장 가까운 국가이므로 최근의 농산물 수출입이 많이 이루어지므로 우리나라에 유입하여 발생할 가능성이 매우 높은 바이러스이기 때문에 국경검역에서 면밀하게 다루어져야 하고 농업현장에서도 수박 바이러스 발생 상황에 관심을 가져야 할 것이다.

3장

얼마나 진화하고 있는가?

1. 세계 발생 오소토스포바이러스의 유전자 군
2. 오소토스포바이러스들은 미주, 유라시아, 아시아 대륙 원산지로 구분
3. 우리나라 토마토반점위조바이러스TSWV의 진화
4. 봉선화괴저반점바이러스INSV의 유전적 분화
5. 중국 발생 고추 감염 수박은색모틀바이러스WSMoV 계통분화
6. 오소토스포바이러스의 혈청학적 구분