

2

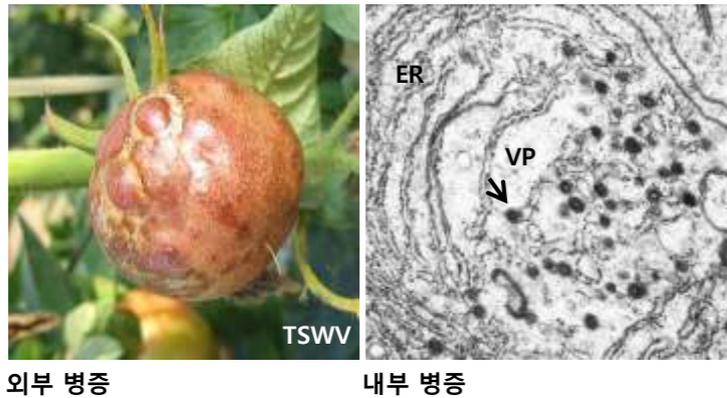
식물 바이러스의 아름다운 표현

1. 식물 외부 표현 다양성

식물 바이러스는
세포와 조직에 감염하여
얼마나 다양하게
외부 표현을 하는가 ?

1. 식물 바이러스의 예술적 표현

식물 바이러스에 감염된 식물체의 외부에 나타난 예술적 표현을 외부 병증 external symptom이라 하며, 내부 세포와 조직의 예술적 표현은 내부 병증 internal symptom 이라 한다. 동일한 바이러스가 여러 기주 식물에서 다양한 증상의 예술적 표현을 하는데 감염될 수 있는 여러 식물의 종류를 기주 범위 host range라고 한다. 사진은 토마토반점위조바이러스 *Tomato spotted wilt virus*, TSWV에 감염된 토마토 과실의 외부 병증과 세포 내부의 바이러스 입자가 소포체 endoplasmic reticulum, ER 주변에 존재하는 내부 병증이다.



식물 바이러스가 표현하는 외부 병증을 보면서 핵산과 단백질로 구성된 가장 간단한 바이러스가 얼마나 다양하고 아름다운 표현 하는지를 이해하고, 바이러스의 외부 증상의 특징을 이해하면 식물 바이러스를 이해하는데 기본이다.

식물 바이러스에 감염된 식물체는 과거와 현재의 대접이 다르다. 400년 전 네덜란드에서는 백합 구근 한 개와 풍차를 교환할 수 있는 매우 높은 경제적 가치가 있었으나, 바이러스 감염 증상을 알고 난 후에는 키가 작아지거나 기형 등으로 이용가치가 없어지기 때문에 감염 식물은 보는 즉시 제거 하므로 사람과 끊임없는 전쟁 상태에 있다고 해도 과언이 아니다.

2. 모자이크

모자이크 증상은 식물 바이러스가 일으키는 가장 일반적인 증상이다. 모자이크 증상은 잎의 엽록체가 조직에 불 균일하게 분포하여 나타나는 증상이므로 분포 형태에 따라서 매우 다양하게 나타난다. 또한 모자이크 증상은 잎의 형태가 기형인 증상이 대체로 함께 나타나는 특징이 있다. 다양한 모자이크 증상을 보면서 식물 바이러스의 증상을 이해하도록 한다.

오이모자이크바이러스 *Cucumber mosaic virus*, CMV에 감염된 고추 잎은 엽록체의 불 균일로 인한 모자이크 증상과 함께 잎이 주글주글한 증상이 나타난다. 순무모자이크바이러스 *Turnip mosaic virus*, TuMV에 감염된 무 잎은 엽록체의 퇴화로 황화 증상이 넓은 면적에 나타나고 엽록체가 정상적으로 분포하는 부위는 기형이 되는 특징이 있다.

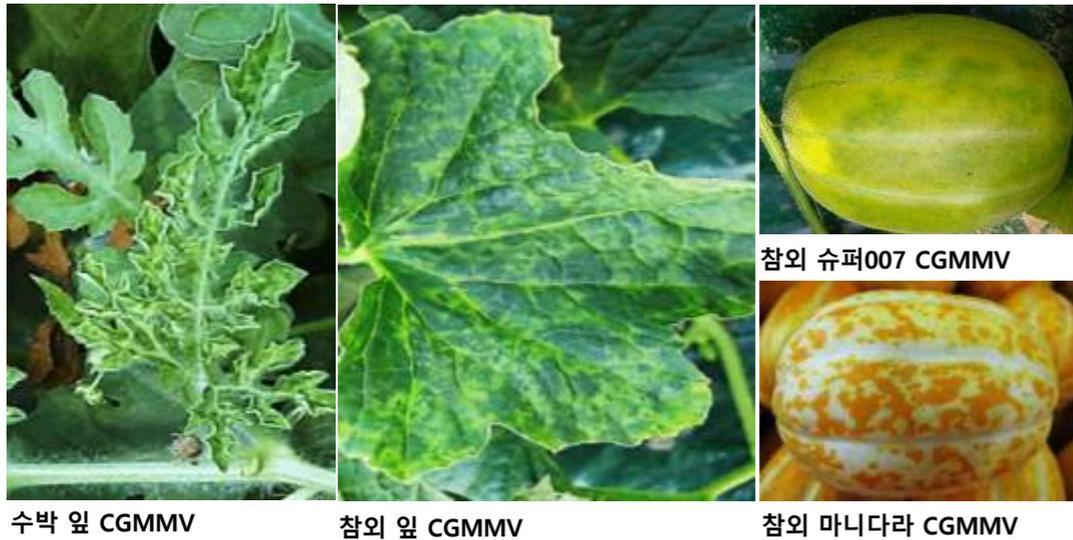


고추 잎 모자이크 CMV

무 잎 모자이크 TuMV

오이녹반모자이크바이러스 *Cucumber green mottle mosaic virus, CGMMV*는 전형적인 모자이크 증상을 일으키는데, 감염된 수박 잎은 모자이크 증상과 함께 잎 전개가 충분히 되지 못하여 기형을 유발하지만 수박 과실 표면에는 모자이크 증상이 잘 나타나지 않지만 과육의 황대 yellow band와 무름 증상을 유발한다.

참외에서는 잎과 과실에 모두 동일한 증상을 일으킨다. 참외 잎의 증상은 전형적인 모자이크 증상이며 심하게 기형이 되지는 않는다. 과실은 어린 과실이나 완숙한 과실 모두 모자이크 증상이 잘 나타난다. 농업인 들은 이 증상을 예비군복 증상이라고도 한다. 유묘에 바이러스가 감염되면 정상적인 생육을 하지 못하며, 중 후기에 감염될 경우에도 과실에 모자이크 증상이 나타나면 상품성이 거의 없으며 매우 낮은 가격으로 판매되어 경제적 손실이 크다.



수박 잎 CGMMV

참외 잎 CGMMV

참외 마니다라 CGMMV

참외 슈퍼007 CGMMV



수박 잎 황화 모자이크 CGMMV+WMV

수박 과일 모자이크 원형반점 CGMMV+WMV

오이 잎 모자이크 WMV

수박모자이크바이러스 *Watermelon mosaic virus, WMV*는 오이 잎에 전형적인 모자이크 증상을 일으킨다. 잎의 모자이크는 잎 주맥 사이의 엽육 조직이 퇴락되며 잎의 가는 잎맥을 경계로 나타나기도 하며, 가는 잎맥 사이의 퇴락 증상과 함께 주맥의 녹대 증상을 수반하여 WMV를 포함한 포티바이러스 Potyvirus 들은 잎맥의 증상 발현과 관련이 있다.

토마토덤불위축바이러스 *Tomato bushy stunt virus*, TBSV는 토마토 과실에 전형적인 모자이크 증상을 일으키며 특히 성숙한 과실은 착색이 불 균일하며 원형 또는 부정형의 큰 반점이 나타난다. 일찍 감염된 과실은 크기가 작아지고 기형이 된다. 순무황화모자이크바이러스 *Turnip yellow mosaic virus*, TYMV는 2012년 처음 발생한 바이러스이며, 배추 어린 묘에 종자전염 되어 감염되면 황화증상과 함께 잎이 전개되지 못하여 기형이 된다. 생육 중 후기에 감염되면 황화 증상이 주로 나타난다.



토마토 과실 모자이크 TBSV

배추 잎 모자이크와 위축 TYMV

나리의 바이러스 단독감염과 복합감염 증상을 보면 오이모자이크바이러스 CMV의 단독감염 증상은 모자이크 증상이며, 나리무증상바이러스 *Lily symptomless virus*, LSV와 나리모틀바이러스 *Lily mottle virus*, LMoV가 복합되면 잎이 가늘어지고 심한 모자이크 증상이다. 그러나 CMV+LSV+LMoV 3종 바이러스 복합감염 증상은 잎 퇴락이 심하여 황화 모자이크 증상이 나타나고 키고 크지 못하고 위축이 된다.



나리 잎 모자이크 CMV

나리 잎 심한 모자이크 LSV+LMoV

나리 잎 황화 모자이크 CMV+LSV+LMoV

선인장엑스바이러스 *Cactus virus X*, CVX가 감염된 등근 선인장은 황화 증상을 수반한 대형 황화 모자이크 증상이 나타나며, 삼각주 선인장은 작은 황화반점이 많이 나타나는 모자이크 증상이다.

선인장은 영양번식을 하므로 바이러스 무병주가 매우 중요하다. 농가에서 재배되는 다양한 색상의 비모란 선인장은 엽록소가 거의 없어 탄소동화작용을 못하므로 대목으로 삼각주를 사용하여 재배기간을 단축할 수 있다. 바이러스에 감염된 접수의 등근 선인장과 대목의 삼각주는 접목을 하면 접목 부위의 융합이 잘 되지 않아 고사하며 정상적으로 생육하지 못하여 상품성이 없다.



등근 선인장 모자이크 CVX

삼각주 선인장 모자이크 CVX

비모란 선인장 삼각주 접목

3. 황화



멜론 잎 황화 CABYV

박과진딧물전염황화바이러스 *Cucurbit aphid-borne yellows virus, CABYV*는 2014년 우리나라에서 처음 발생한 바이러스이다. CABYV에 감염된 멜론은 잎 전체가 퇴록 되는 전형적인 황화증상이 나타난다. 초기의 황화 증상은 상엽과 하엽 모두에서 부분적인 황화증상과 엽맥녹대 증상이 나타나며 증상이 진전되면 식물체 전체 잎이 황화된다. 황화 증상이 나타난 감염주의 멜론 과실은 네트 무늬가 불 균일해 지고 괴저 증상도 나타나 상품성이 거의 없다.

파파야원형반점바이러스 *Papaya ringspot virus, PRSV*는 오이에 모자이크 증상이 나타나고 황화 증상과 함께 황화 모자이크 증상으로 진전된다. 황화 모자이크 증상은 더욱 진전되면 잎 전체가 황화된다.



오이 잎 황화 PRSV



오이 잎 황화 모자이크 PRSV

사과퇴록반점바이러스 *Apple chlorotic leaf spot virus, ACLSV*가 복숭아에 감염되면 봄에는 전형적인 모자이크 증상이 나타난다. 여름 기간이 되면 증상이 진전되어 황화 증상의 면적이 넓어지고 결국 잎 전체가 황화된다.



복숭아 잎 황화 모자이크 ACLSV

백변 albino



고추 잎 백변



토마토 잎 백변

잎이 탈색이 되는 백변증상은 바이러스 감염에 의한 황화증상 혹은 질소 영양분 결핍에 의한 생리작용과 유사하여 혼돈하기 쉽다. 고추 잎의 백변 증상은 잎의 엽록체가 부족한 증상으로 바이러스 감염에 의한 황화증상에 비하여 흰색으로 보인다. 백변 증상은 기주 식물의 유전적 원인이므로 백변증상이 나타난 밭에 심겨진 식물체 들에서 동일한 증상이 많이 나타나므로 산발적으로 발생하는 바이러스 감염증상과 영양 결핍 증상과 구분할 수 있다. 토마토 잎에 나타난 백변증상도 고추의 백변증상과 동일한 증상으로 다양한 식물의 백변증상과 동일하다.

4. 괴저반점

괴저반점 증상은 모자이크 증상과 함께 식물 바이러스가 일으키는 대표적인 증상이다. 괴저반점 증상은 기주의 저항성 발현 기작의 하나로 이해하지만 실용적 측면에서 보면 괴저반점으로 인한 상품성이 없어 저항성 의미는 없다. 다양한 괴저반점 증상 들을 보면서 바이러스의 특성을 이해하도록 한다.

1993년 대관령 지역인 평창, 횡계 등 지역에서 순무모자이크바이러스 *Turnip mosaic virus*, TuMV가 대 발생하였다. TuMV에 감염된 배추의 증상은 검은색의 작은 괴저반점이며 주로 엽육 조직에 나타나고 증류 mid rib에는 거의 나타나지 않는다. 유묘기에 감염되면 식물체는 성장하지 못하고 기형이 된다. TuMV에 의한 괴저반점은 세균성 괴저반점병의 괴저반점보다 매우 작아 구분이 가능하다.



배추 잎 괴저반점 TuMV



배추 위축 기형 TuMV

오이모자이크바이러스 CMV는 고추에 보통 모자이크 또는 기형 증상을 일으키는데, 과실에 괴저반점 증상을 일으키는 괴저계통 CMV-N이 발생하였다. CMV-N 계통은 주로 저항성 품종에서 발생하는데, 파프리카 과실에서는 큰 괴저반점이 과실의 일 부분에서 발생하며 푸른 과실이나 붉은 과실 괴저반점과 함께 착색이 불 균일한 증상이 나타난다.

일반 붉은 고추에서는 과실의 괴저반점이 과실 전체에 나타나며 착색이 불 균일하여 상품성이 없다. 고추에 발생하는 CMV와 기주 식물의 병원성도 달라 병원성 분화가 일어난 계통이다. 토마토반점위조바이러스 TSWV에 의한 증상과 유사하지만 혈청학적, 유전자 진단 모두 음성반응이다.



파프리카 과실 괴저반점 CMV-N



고추 과일, CMV-N

5. 엽맥 녹대

멜론괴저반점바이러스 MNSV가 멜론에 감염되면 어린 묘의 잎에는 괴저반점이 산발적으로 나타나며 수확기의 잎에서는 큰 괴저반점이 나타난다. 작은 괴저반점은 여러 개가 모여서 큰 괴저반점으로 진전되며 결국 잎 전체가 괴저로 된다. 멜론 잎 괴저반점은 세균에 의한 증상과 혼돈하기 쉽다.



멜론 유묘 잎 괴저 반점 MNSV 멜론 수확기 잎 괴저 반점 MNSV

멜론괴저반점바이러스 MNSV가 수박에 감염되면 수박 과실 내 과피에 괴저반점이 나타나며, 여러 개의 괴저반점이 모여서 큰 괴저반점이 된다. 괴저반점이 나타난 과실 표면은 울퉁불퉁하다. 수박 잎에는 작은 괴저반점이 먼저 나타나고 여러 개가 모여서 큰 괴저반점이 나타난다. 줄기에서도 동일한 증상이 나타난다.



수박 과실 내 과피 괴저반점 MNSV 수박 잎 괴저반점 MNSV

쭉키니황화모자이크바이러스 *Zucchini yellow mosaic virus, ZYMV*는 호박 잎에 전형적인 엽맥 녹대 vein banding 증상을 일으킨다. 엽맥 녹대 증상은 엽맥을 중심으로 진한 녹색의 띠가 형성되며 엽육 조직은 연한 녹색으로 탈색된다. 성엽에서는 전형적인 엽맥 녹대 증상을 보이나 어린 잎에서는 잎이 충분히 전개되지 못하여 잎 각이 형성되지 않는 기형이 된다. ZYMV를 오이 떡잎에 인공접종 후 일주일 정도되면 본엽에서 엽맥 녹대 증상이 나타나는데, 잎이 충분히 전개되지 못하여 잎 가장자리 침이 형성되는 기형이 된다.



호박 신엽 엽맥 녹대 ZYMV 호박 성엽 엽맥 녹대 ZYMV 오이 신엽 엽맥 녹대, ZYMV



무 엽맥 녹대, TuMV

순무모자이크바이러스 *Turnip mosaic virus, TuMV*에 감염된 무 잎은 주맥을 중심으로 엽맥 가장자리에 녹대 증상이 나타나며 가는 엽맥에서는 엽맥 녹대 증상이 약하게 나타난다. 엽맥 사이의 엽육 조직은 탈색되어 연한 녹색이 된다.

6. 엽맥 투명

순무모자이크바이러스 *Turnip mosaic virus*, TuMV에 감염된 무 잎은 주맥을 중심으로 엽맥 투명 vein clearing 증상이 나타나며, 가는 엽맥에서는 엽맥 투명 증상과 함께 엽육 조직의 녹색이 띠를 만든지만 엽맥 사이의 엽육 조직은 탈색되어 연한 녹색이 된다.

오이모자이크바이러스 CMV가 감염된 담배 잎은 병증 발현 초기에 가는 압맥은 전형적인 엽맥 투명 증상이 나타나며 모자이크 증상으로 진전된다.



무 엽맥 투명 TuMV

담배 엽맥 투명 CMV

파프리카 엽맥 투명 BWYV

배추 엽맥 투명 TYMV

사탕무황화바이러스 *Beet western yellows virus*, BWYV에 감염된 파프리카는 신엽, 노엽 모두 엽맥투명 증상이 나타난다. 엽맥 투명 증상이 나타난 후 증상이 진전되거나 생육 초기에 감염된 식물체는 심한 위축 증상이 나타난다.

배추에 감염된 순무황화모자이크바이러스 *Turnip yellow mosaic virus*, TYMV는 전형적인 엽맥투명 증상을 나타내며, 조금 떨어져서 보면 전신 황화증상으로 보인다. 배추 생육 초기에 감염되면 심한 위축 증상과 함께 기형 증상이 나타난다.

7. 다중 원형반점

다중 원형반점 multiple ring spot은 토마토반점위조바이러스 *Tomato spotted wilt virus*, TSWV에 의하여 매우 잘 나타나는 증상이다. 다중 원형반점 가운데의 괴저반점은 바이러스의 최초 감염 점이며 바이러스와 기주 세포의 상호작용에 의하여 일정한 간격으로 여러 겹의 원형 선 O-ring이 둘러싸고 있는 형태이다. 다중 무늬는 많게는 10여 개 이상이 되기도 한다.

다중 원형반점은 여러 개가 모여서 부정형의 다중 원형반점을 나타낸다. 다중 원형반점은 잎의 주맥을 경계로 하여 잎의 양쪽으로 구분되어 발현되는 것이 일반적이다. 그러나 주맥의 경계와 상관없이 다중 원형반점을 만들기도 하여 바이러스의 병원성 분화로 인한 병증 발현 기작의 서로 다른 형태도 존재한다.

고추 잎의 다중 원형반점 증상 이외에 단일 원형반점이 나타나기도 하며 일렬로 배열되어 있거나 여러 개가 모여서 부정형의 물결무늬 병증을 일으키기도 한다.



고추 잎 다양한 다중 원형 반점 TSWV

8. 기형



감자 잎 다중 원형 반점, 괴저 TSWV

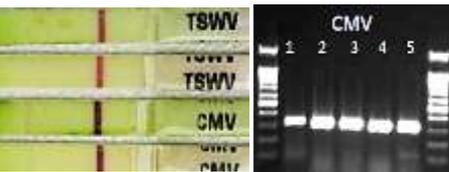
토마토반점위조바이러스가 감자에 감염되면 잎에 여러 겹의 다중 원형반점이 나타난 후 큰 괴저 원형반점으로 진전된다. 큰 괴저원형반점을 자세히 보면 괴저 증상에 원형의 띠가 있는 것을 볼 수 있다. 큰 괴저 원형반점은 합쳐져서 잎 괴저 증상으로 진전된다.



고추 잎, 다중 원형 반점, CMV

오이모자이크바이러스CMV에 감염된 고추 잎에서 다중 원형반점 증상은 엽맥을 경계로 형성되며, 원형에서 부정형의 다중 원형반점이 나타난다.

CMV에 의한 고추 잎의 다중 원형반점은 지금까지 알려지지 않은 특이 병증이며, CMV-RIGS 혈청학적 진단결과 TSWV와 기존 CMV와는 음성반응이며, RT-PCR 유전자 진단결과 양성반응으로 확인되었다. 고추 잎에 다중 원형반점을 일으키는 CMV는 새로 병원성 변이가 일어난 CMV의 계통이며, 2008년 양평과 괴산 지역에서 동시에 발생한 계통이다.



CMV, TSWV RIGS 검정, RT-PCR 검정



토마토 잎 기형 CMV

식물 바이러스 감염 증상의 대표적인 기형 malformation 증상은 잎, 과실을 포함하여 식물체 전체 어느 부위에서도 나타난다.

오이모자이크바이러스 CMV가 위성 satellite 핵산 RNA5를 갖고 있지 않은 계통이 토마토에 감염되면 잎이 가늘어지는 신발 끈 shoe string 기형 병증을 일으킨다.



토마토 잎 기형 TYLCV

토마토 황화잎 말림 바이러스 *Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV에 감염된 토마토 상위 잎은 도관부 신장은 이루어지지만 엽육 조직의 신장이 되지 못하여 잎이 도관부만 보일 정도로 기형이 된다. 기형 증상의 잎은 엽맥 녹대 증상과 함께 잎이 아래로 말리는 증상이 나타나기도 한다.



오이 잎 기형 ZYMV

쭈키니황화모자이크바이러스 *Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV에 감염된 오이 잎은 엽맥의 신장이 잘되지 않고 엽육 조직이 신장하여 튀어 오르며 잎 가장자리의 조직이 신장하지 못하여 잎이 작아지는 기형이 된다. 새로 전개되는 잎에서는 잎 기형 증상이 더욱 심하다.

오이 과실의 기형 증상은 바이러스의 단독과 복합감염에 따라서 서로 다른 증상이 나타난다. 추키니황화모자이크바이러스 ZYMV에 감염된 오이 과실은 과실 침 부위가 튀어 오르며 이 부위를 중심으로 기형이 된다. 파파야원형반점바이러스 Papaya ringspot virus, PRSV에 감염된 과실은 과실 끝 부위가 가늘어지고 굴곡과가 된다. ZYMV와 PRSV에 감염되면 두 종 바이러스의 복합증상인 과실이 튀어 오르고 가늘어지는 기형증상이 나타난다.

추키니황화모자이크바이러스 ZYMV와 오이녹반모자이크바이러스 CGMMV가 복합감염된 오이 과실은 침 부위가 심하게 튀어 오르며 확대하여 보면 침 부위와 함께 과실의 세로 부위인 씨방 부위 전체가 심하게 튀어 오르고 세로로 계곡이 크게 형성되는 심한 기형증상이 나타난다. 이와 같이 바이러스 단독 감염 증상과 복합감염 증상은 각 바이러스의 병증 특성과 함께 병증 심화가 나타나 바이러스 감염에 의한 피해가 심하게 된다.



추키니 호박 기형 CGMMV-P



토마토 과일 기형 TSWV

오이녹반모자이크바이러스 호박계통 CGMMV-P에 감염된 호박 과실은 곧게 생육하지 못하고 구불구불해지고 튀어나오는 기형 증상이 나타난다. CGMMV-P 계통은 오이, 참외에 감염되는 계통이 호박에 병원성이 없기 때문에 구분된다. 추키니녹반모자이크바이러스 ZGMMV로 명명되기도 하였으나 CGMMV의 유전자 유연성 결과로 호박 계통 CGMMV-P으로 확인되었다.

토마토 반점 위조 바이러스 *Tomato spotted wilt virus*, TSWV는 고추 잎과 과실, 토마토 과실에서 원형반점과 다중 원형반점 multiple ringspots의 특징적인 증상을 일으키는 바이러스이다. 토마토 과실에서 큰 원형반점이 나타난 후 증상이 진전되면 큰 원형반점의 가장자리를 경계로 하여 동그랗게 튀어 오르며 여러 개의 오름으로 인하여 과실이 기형이 된다. 튀어 오름은 어린 과실뿐만 아니라 숙기가 진행된 붉은 과실에서도 동일하게 나타나며, 기형과 함께 괴저 증상도 수반된다.

9. 줄무늬



벼 잎 줄무늬 RSV

벼줄무늬잎마름바이러스 *Rice stripe virus*, RSV가 감염된 어린 묘는 초장이 길어지고 고사하지만 성묘에 감염된 벼 잎에서는 잎맥의 엽육조직을 따라서 녹색과 황화 증상이 교대로 줄무늬 stripe 증상이 나타난다.



옥수수 TSWV 글라디오러스 BYMV

토마토반점위조바이러스 TSWV에 감염된 옥수수 잎은 전형적인 줄무늬 증상이 나타나는데, 줄무늬 증상은 잎의 세로맥을 따라서 녹색과 황화 반점 증상이 엽육 조직에 일렬로 불규칙하게 반복하면서 줄무늬가 나타난다. 줄무늬 증상은 신엽과 노엽 모두 잘 나타나며, 병증이 진전되면 식물체는 전체적으로 황화증상을 수반하여 마름 증상과 유사하게 보인다.

글라디오러스는 강남콩황화모자이크바이러스 *Bean yellow mosaic virus*, BYMV의 자연 기주 식물 natural host 로 알려져 있다. 잎의 증상은 세로 엽맥을 따라서 잎줄무늬가 나타나며 심하면 기형이 된다.

식물 바이러스 감염에 의한 줄무늬 증상은 그물맥 netted venation을 가진 잎에서는 잘 나타나지 않으며, 대체로 단자엽 식물의 평행맥 parallel venation을 갖는 잎에서 잘 나타나는 특징이 있다.

10. 줄기 괴저



토마토 줄기 괴저 CMV-CARNA5

오이모자이크바이러스가 위성 핵산 satellite RNA를 갖고 있는 계통 CMV-CARNA5에 감염된 토마토는 줄기에 세로로 긴 괴저증상이 나타난다. 줄기 괴저 stem necrosis 증상이 나타난 줄기는 양수분 이동을 잘 하지 못하며, 결국 식물체는 고사한다.

CMV-CARNA5는 병원성이 약한 바이러스 계통 attenuate virus strain 이므로 고추에 감염되면 약한 모자이크 증상을 유발하지만 토마토에서는 줄기와 순 bud에 심각한 괴저 증상을 일으키므로 기주 식물 종류에 따라서 병원성 발현이 다르다.



고추 줄기 괴저 PMMoV

고추에 감염하는 토마토바이러스인 고추연한모틀바이러스 *Pepper mild mottle virus*, PMMoV는 감수성 고추에서 새로 전개되는 고추 줄기에 괴저 증상을 일으킨다. 줄기 괴저 증상은 순 부위에서 아래로 괴저 증상이 진전되며 괴저 부위가 고사하여 줄기가 고부라지고 줄기 전체가 고사한다. 고추연한모틀바이러스는 종자전염 바이러스이며 1980년대에 고추에 90% 정도 심하게 발생하였다가 최근에 다시 증가하고 있다.



멜론 줄기 괴저, MNSV

멜론 괴저 반점 바이러스 *Melon necrotic spot virus*, MNSV는 멜론 잎에 전형적인 괴저반점 necrotic spot과 잎맥괴저 vein necrosis 증상을 일으킨다. 줄기 괴저 증상은 키는데, 이 증상과 함께 곁가지가 달린 줄기 부위를 중심으로 줄기 괴저 증상이 위 아래로 나타난다. 줄기 괴저 증상은 잎에 괴저 증상이 나타난 후 진전된 증상이다. 연작을 지속적으로 한 농가 포장에서 심하게 발생한 수확기의 식물체는 도관부의 기능이 상실되어 대부분 시들어 고사한다.



토마토 줄기 괴저, TSWV

토마토반점위조바이러스 TSWV에 감염된 어린 묘는 신엽에서 괴저 증상이 나타나고 줄기에 괴저 증상이 나타난 후 고사한다. 줄기 괴저 증상은 한쪽 면으로 길이로 나타나는 특징이 있으며 줄기 전체가 둥글게 괴저로 나타나는 경우는 거의 없다.



콩 줄기 괴저 SMV-G5HD

콩모자이크바이러스 *Soybean mosaic virus*, SMV가 콩(대두)에 감염되면 감수성 품종에서는 모자이크 증상이 나타나며, 저항성 품종에서는 엽맥과 줄기 괴저 증상이 나타난다. 덕유콩 품종에 SMV-G5HD 계통이 감염되어 나타난 엽맥 괴저, 줄기 괴저 증상이며, 감염주는 고사한다. SMV의 괴저 계통은 광고품종의 SMV-G5가 처음 보고되었고, 황금콩 감염 계통 SMV-G5H, 덕유콩 감염 SMV-G5HD 등이 있다.



고추 줄기 괴저 TSWV

토마토반점위조바이러스 TSWV가 고추에 감염하면 신엽을 중심으로 괴저 증상이 나타나며 이어서 줄기가 검은색의 괴저 증상이 나타난다. 괴저 증상이 나타난 줄기는 고사하므로 더 이상 식물체가 생육하지 못한다.

토마토반점위조바이러스는 고추 잎과 과실에 전형적인 다중 원형반점 증상을 일으키지만 고추 품종에 따라서 줄기 괴저와 잎 괴저 증상을 일으킨다.

11. 순 괴저



콩 순 괴저, SMV-G5HD

콩모자이크바이러스 SMV-G5HD계통을 콩 유묘 자엽에 인공접종 하면 잎에 괴저반점과 엽맥 괴저 증상이 나타나며, 병증이 진전되면 순 괴저 bud necrosis 증상이 나타나며 식물체가 고사한다. 순 괴저 증상은 콩모자이크바이러스에 저항성인 품종에서 발현되는 증상이지만 순 괴저는 식물체가 고사하므로 실용성이 없기 때문에 약한 모자이크 증상을 발현하는 감수성 품종을 선발하여야 한다.



고추 순 괴저, TSWV

토마토반점위조바이러스 TSWV는 다중 원형반점의 고추 잎과 과실에 특징적인 증상을 일으키지만, 감염된 고추는 새순이 고사하고 더 이상 생육하지 못한다. 새순은 정단 shoot tip 뿐만 아니라 측지의 순 모두 순 고사가 일어난다.

토마토반점위조바이러스의 매개충인 총채벌레는 순 부위의 작은 겹쳐진 잎 사이 속 또는 꽃잎 사이 속에 주로 서식하므로 바이러스 감염이 순 부위에서 시작하여 고사 증상이 일어난다.

12. 잎 말림

감자잎말림바이러스 *Potato leaf roll virus*, PLRV에 감염된 감자 잎은 아래 잎부터 잎 말림 증상이 나타나며 병증이 심해지면 상위 잎까지 잎 말림 증상이 나타난다. 잎 말림 증상은 수분 부족에 의한 증상과 혼동하기 쉬우나 감자잎말림바이러스 감염에 의한 증상은 위쪽으로 잎 전체가 말리는 증상 cupping으로 잎을 가만히 손으로 쥐어 보면 바삭 소리가 나면서 잎이 부러진다. 잎이 경화되어 부서지는 이유는 바이러스 감염으로 인하여 광합성에 의하여 생성된 전분이 식물체 다른 부위로 전류 되지 못하고 침적되기 때문이다.

토마토잎말림바이러스 *Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV에 감염된 토마토는 감수성 품종에서 잎 말림 증상이 잘 나타난다. 토마토의 잎 말림 증상은 하엽이나 상엽 모두 나타나며, 주로 잎 가장자리가 경화되고 괴저로 되어 위쪽으로 말리는 특징적인 증상이 나타나고 경화된 잎은 만지면 부스러지는 소리가 난다.



감자 잎 말림 PLRV



토마토 잎 말림 TYLCV

13. 위축

벼검은줄위축바이러스 *Rice black-streaked dwarf virus*, RBSDV에 보독충인 애멸구를 벼 유묘에 흡즙 시킨 후 생육 정도를 비교하면 건전주에 비하여 절반 정도 키가 작아지는 위축 dwarf 증상이 나타난다. 위축 증상이 나타난 벼는 출수가 되지 못하고 출수 하여도 유수형성이 되지 않아 수량이 없다.

벼검은줄위축바이러스가 자연 발생한 경북 영천지역 생육 초기의 포장에서 보면 논 바닥이 보일 정도로 분얼을 하지 못하고 키가 매우 작은 위축 증상을 볼 수 있어 수량을 기대할 수 없다.

벼검은줄위축바이러스는 벼와 옥수수가 주요 기주 식물이며, 옥수수도 키가 매우 작아지는 특징적인 병증이 나타난다. 감염 시기에 따라서 증상의 정도가 다르지만 생육 초기에 감염되면 건전주에 비하여 절반 이하로 키가 작아지고 열매도 열리지 못한다.



벼 위축 RBSDV

벼 위축 포장 RBSDV

옥수수 위축 RBSDV

14. 식물체 고사



벼 고사, RSV



토마토 고사, TSWV

벼줄무늬잎마름바이러스 *Rice stripe virus*, RSV에 감염된 벼는 어린 묘 앞에 퇴록 줄무늬 증상이 나타나고 고사한다. 그러나 생육 중기에 감염된 감수성 벼는 식물체가 급격히 고사하는 특징적인 병증이 나타난다. 충남 당진 지역 감수성 벼가 감염되어 고사한 포장이며 멀리서 보면 수확기의 벼로 오인하기 쉽다. 감염 포장의 식물체를 근접하여 보면 대부분 고사 증상이 나타난 것을 알 수 있다.

토마토반점위조바이러스 *Tomato spotted wilt virus*, TSWV에 감염되어 고사한 경기 안양 지역 하우스 재배 토마토이다. 성묘 시기에 감염된 토마토는 줄기에 괴저 증상이 나타나 도관부의 기능을 상실하여 식물체가 위조 되고 결국 고사한다.

토마토반점위조바이러스가 알려지지 않았던 2003년 초기에는 농업인 뿐만 아니라 연구자들도 토양 곰팡이인 후사리움 *Fusarium* spp. 또는 세균에 의한 시들음병으로 오인하여 방제가 되지 못 하였다.

15. 바이로이드 감염 증상



국화 위축 CSVd

바이로이드 viroid 병원체는 식물 바이러스의 감염 증상과 유사한 위축, 기형, 괴저 등의 증상을 유발하며, 병원체의 진단과 방제 대책 등이 바이러스와 유사하다. 국화왜화바이로이드 *Chrysanthemum stunt viroid*, CSVd는 국화에 심한 위축 severe stunt 증상을 일으킨다.



국화는 삽목에 의하여 번식하는 식물이므로 일단 감염되면 번식하는 모든 개체는 위축 증상이 나타난다. 그러나 위축 증상의 정도는 개체 마다 변이 폭이 큰 것을 알 수 있으며 건전한 개체처럼 생육하기도 한다.



한라봉 CBLVd+HSVd+CVd

제주 지역의 한라봉에 감염된 바이로이드는 감귤구불잎바이로이드 *Citrus bent leaf viroid*, CBLVd, 호프위축바이로이드 *Hop stunt viroid*, HSVd, 감귤오에스바이로이드 *Citrus viroid-OS*, CVd-OS, 3종의 바이로이드가 복합감염되었으며, 병증은 과실이 조롱박 모양으로 되며 크기가 작아진다.

한라봉은 탕자나무를 대목으로 이용하여 접목 재배하는데 감염된 한라봉 접수를 사용하면 지제부 접목부위는 접목 유합이 잘 되지 못하고 괴저로 진행되어 나무가 고사한다.

16. 화이토프라스마 감염 증상



나리 총생

나리 대화

화이토프라스마 phytoplasma 병원체에 의하여 나타나는 병증은 주로 위축과 총생 rosetting 증상이다. 식물 바이러스 감염 증상과 매우 유사하다. 화이토프라스마에 감염된 백합(나리)의 증상은 총생 증상이다. 성장점이 정상적인 분화가 되지 못하여 집단화 cluster가 된다.



포도 나무 신초 총생

포도 송이 총생

많은 성장점 집단에는 각각 작은 신엽이 발달하여 총생 증상이 나타난다. 총생과 함께 또 다른 나리의 화이토프라스마 감염 증상은 신초 부위의 줄기 대화 帶化 stem flat 증상이다. 대화 증상이 나타난 줄기에는 정상적인 1~2개의 꽃이 개화하지 못하고 매우 많은 꽃이 개화하여 상품성이 없다.



대추 나무 총생

화이토프라스마 감염에 의한 총생 증상은 포도의 신초, 포도 송이의 총생, 대추 나무의 신초 총생인 빗자루병 Jujube witches broom 등 많은 식물에 발생한다.