

## 오이녹반모자이크바이러스의 토양전염 생태 및 윤작에 의한 방제

박진우\* · 장태호<sup>1</sup> · 송성호<sup>2</sup> · 최홍수<sup>3</sup> · 고숙주<sup>4</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물팀, <sup>1</sup>대전식품의약품안전청 의료제품안전과, <sup>2</sup>경기도농업기술원 기술보급부  
친환경기술과, <sup>3</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, <sup>4</sup>전라남도농업기술원 연구개발국 친환경연구소

(2010년 12월 6일 접수, 2010년 12월 16일)

## Studies on the Soil Transmission of CGMMV and Its Control with Crop Rotation

Jin-Woo Park\*, Tae-Ho Jang<sup>1</sup>, Sung-Ho Song<sup>2</sup>, Hong-Soo Choi<sup>3</sup> and Sug-Ju Ko<sup>4</sup>Agricultural Microbiology Team, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon-si, 441-707, Republic of Korea, <sup>1</sup>Medical Products Safety Division, Daejeon Regional KFDA, Daejeon-si, 302-828, Korea, <sup>2</sup>Crops Technology Division, Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong-si, 445-784, Korea, <sup>3</sup>Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon-si, 441-707, Korea, <sup>4</sup>Environmentally-Friendly Research Center, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju-si, 520-715, Korea

## Abstract

*Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV) is one of major plant viruses infecting cucurbitaceous crops via soil or infected seeds. This study investigate ecology of infection of CGMMV in soil, and control tactics of this virus with soil hygiene and crop rotation. This virus was survival to 50% in soil without host plants for 17 months and had high vitality in debris of infected plant over 1 year. Infection rate of CGMMV was 1.0~3.6% in control soil and 12~36% in soil transplanted with wounded root of watermelon. It showed that wounded root may affect severity of soil infection. Rotation between rice and watermelon caused dramatical reduction from 76.8% in repeated cultivation to 7.3% of progeny infection by CGMMV. Therefore, it is suggested that crop rotation be effective for control of CGMMV.

**Key words** *Cucumber green mottle mosaic virus*, Soil transmission, Control, Crop rotation

## 서 론

수박은 우리나라 농가의 주요한 소득 작물로 과채작물 중 생산량이 가장 많은데, 국민의 생활수준이 향상되면서 수요가 증가하여 계절에 관계없이 연중 시설재배가 되고 있지만 수박의 윤작재배에 따른 생리적 장애나 병해충에 의한 피해가 증가하고 있다. 최근에는 오이녹반모자이크바이러스(*Cucumber green mottle mosaic virus*; CGMMV)의 발생이 증가하면서 수박재배에 큰 문제를 일으키고 있다.

CGMMV는 담배모자이크바이러스(*Tobacco mosaic virus*;

TMV)와 함께 Tobamovirus에 속하는 바이러스로 영국에서 처음 보고된(Ainsworth, 1935) 이래 일본(Komuro, 1971; Komuro *et al.*, 1971), 이란(Rahimian *et al.*, 1977), 이스라엘(Antignus *et al.*, 1990), 인도네시아(Sutarya, 1994), 폴란드(Kaminska *et al.*, 1996), 스페인(Celix *et al.*, 1996) 등에서 보고되었다. 특히 일본에서는 1960년대 후반에 CGMMV가 대발생하여(小室, 1973) 사회적으로 큰 문제를 일으킨 바 있다. 우리나라에서는 1989년 진주, 함안 등 경남 지방에 처음 발생이 보고된(Lee *et al.*, 1990) 이후 1995년에는 전국적으로 피해가 확산되었다. 최근 국내의 높은 땅 값과 인건비 등을 절감하기 위해 중국이나 동남아 등에서 시판용 종자를 채종하고 있는데 이 과정에서 1998년도에 중국에서 CGMMV

\*연락처 : Tel. +82-31-290-0487, Fax. +82-31-290-0406

E-mail: jinwoopark@korea.kr

에 오염된 수박 대목용 종자가 국내에 유입되어 심각한 사회적 문제를 일으켰으며 당시 전국적으로 약 950여 농가의 490여 ha에 대발생하여 농가에 큰 피해를 주었다.

CGMMV는 앞에 심한 모자이크 병징을 일으키는 동시에 수박과육이 심하게 섬유질화되어 멍치는 ‘피수박’ 증상을 유발하여 수박의 상품성을 현저히 저하시킨다. CGMMV는 TMV와 마찬가지로 증대전염은 되지 않지만 종자나 토양에 의해 전염이 되며(Hollings *et al.*, 1975), 즙액접촉에 의한 전염이 쉬워 작업 중 부주의로 인해 포장 전체로 확산될 가능성이 매우 크지만 전염생태에 관해서는 구체적인 내용이 많이 알려진 바 없다.

식물바이러스에 대한 방제대책은 많이 알려져 있지 않다. 농약살포와 같은 직접적 방제대책은 거의 전무하고 매개충구제 등 재배적 측면에서의 경종적 방법, 저항성품종 육성, 무병종묘 생산, 약독바이러스를 이용한 생물적방제 등이 제한적으로 이용되고 있을 따름이기 때문에 CGMMV에 대해서도 포장 위생 관리 등 극히 제한적이고 간접적인 방제대책만이 제시되었을 뿐이다.

따라서, 본 연구는 CGMMV의 주요한 전염경로 중 하나인 토양전염에 관한 기작을 구명하고, 토양전염 생태 구명을 기초로 한 CGMMV의 방제전략을 수립하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 연도별 CGMMV 발생현황 조사

1998년도에 CGMMV가 대발생했던 지역을 중심으로 2000년부터 2001년에 걸쳐 발생현황을 조사하였다. 2000년에는 경북 고령, 구미, 군위, 달성, 봉화, 성주, 안동, 예천, 경남 의령, 진주, 창녕, 창원, 함안, 전북 고창의 14지역을, 2001년에는 경북 고령, 구미, 군위, 달성, 성주, 예천, 경남 거창, 의령, 진주, 창녕, 창원, 함안, 함천, 충남 공주, 논산, 부여, 예산, 충북 음성외의 18지역을 조사하였다. 발생조사는 매년 2월부터 5월에 걸쳐 매월 1회에 걸쳐 하였으며 각 지역별로 농업기술 센터를 통해 1998년에 문제종자를 사용한 10여 농가씩 안내

받은 후 각 농가별로 2동씩을 선정해 매회 동일한 동의 발병 상황을 조사하였다. 발병율은 하우스 내에서 2명이 지나가면서 각각 좌우를 조사하여 발생주수를 세어 나간 후(발생주수 X 2 / 전체주수)의 공식에 따라 동별 발생율을 조사한 다음 합산하여 평균을 구하였으며 발생주수에 곱한 수치 2는 덩굴이 무성해 못 보고 지나친 주에 대한 평균 보정값이다. 발생면적은 CGMMV가 한 주라도 발생한 동을 발생면적에 포함시킨 후 지역별로 합산하여 조사하였다.

### CGMMV의 토양 내 활성유지기간 조사

토양 내에서 CGMMV의 활성유지기간을 확인하기 위해 포트에 수박이병과를 매몰한 후 2개월 단위로 포트 내 토양에서 이병과의 잔재물 및 잔재물 주위의 흙을 채집하였다. 인위적으로 담수 상태와 무담수 상태를 유지하기 위해 수박이병과를 매몰한 비 재배용 포트에는 지속적으로 물을 대 주었고, 일반 포트는 주기적으로 물을 주어, 논과 밭의 환경을 조성해 주었다. 2개월 단위로 채집한 수박 이병과 잔재물 및 주위 흙은 인산완충액(pH 7)으로 마쇄하고 상층액을 *Nicotiana benthamiana*에 접종하여 병징의 발현여부를 조사하였다. 토양 내에 존재하는 수박 식물체 잔재물에서 CGMMV가 얼마나 오래 활성을 유지하는지 확인하기 위해 토양에 수박과실을 매몰한 1년 후 잔재물만 따로 채취, 마쇄한 후 *N. benthamiana*에 생물검정하여 활성을 조사하였다.

### CGMMV의 토양전염율 조사

CGMMV에 오염된 토양에 수박을 심었을 때 바이러스의 유묘전반율을 조사하기 위해 지름 30 cm의 PVP 파이프를 40 cm 길이로 잘라 하우스에 묻은 후 농가에서 피수박을 구입하여 파이프 하나당 수박을 반 통씩 묻고 그 수박 통 속에 바이러스 뿌리가 접촉하도록 정식을 하였다(Fig. 1). 관행재배를 하면서 CGMMV 병징의 발현여부를 육안으로 관찰하였다. 수박묘를 정식할 때 뿌리의 상처여부가 CGMMV의 감염에 미치는 영향을 조사하기 위해 토양에 10 µg/ml, 1 µg/ml,



Fig. 1. Plots for soil infection of CGMMV (2000~2001, greenhouse experiment).

100 ng/ml, 10 ng/ml의 농도로 조절한 순화 CGMMV 액 100 ml을 관주한 후 바이러스 순화액이 있는 주위에 뿌리에 상처를 낸 수박 묘와 상처를 내지 않은 수박 묘를 정식하였다. 처리된 수박 묘는 1일 후 하우스에 설치한 토양격리용 PVP 파이프에 옮겨심은 후 관행법에 준해 재배하면서 병징의 발현여부를 ELISA로 검정하였다.

**작부체계에 따른 CGMMV의 후대감염을 조사**

먼저 1998년(1년차)에 큰 포트에 피수박 및 이병식물체를 매몰하여 인위적으로 이병토양을 만든 후, 6가지의 처리구를 조성하였다. 담수 처리구는 담수방치 처리구 및 벼 재배 처리구로 나누고, 무담수 처리구는 방치 처리구, 수박 재배구 및 알타리무우 재배구로 나누었으며 수박 재배구는 다시 CGMMV 감염구와 무감염구로 나누었다. 관행재배에 준해 재배를 마친 후에는 1999년(2년차) 시험으로 각 처리구 포트의 흙을 하우스의 PVP 파이프 안에 그대로 옮겨 심은 후에 수박을 재배하면서 각 작부체계별로 CGMMV의 발생상황을 조사하였으며, 육안으로 관찰된 바이러스 감염주에 대해서는 ELISA와 전자현미경으로 감염여부를 확인하였다. 이와는 별도로 수박의 연작과 담전윤환이 CGMMV의 후대감염에 미치는 영향을 포장 단위에서 구명하기 위해, 2000년과 2001년의 CGMMV 발생상황 조사결과를 수박연작 재배지와 담전윤환 재배지로 나누어 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**CGMMV의 토양 내 활성유지기간 조사**

CGMMV는 토양내에서 매우 오랜 기간 활성을 유지하였

다. 기주가 재배되지 않는 토양에서도 CGMMV는 17개월 후까지 50% 전후의 활성을 유지하였으며(Table 1), 담수처리나 무담수 처리 자체는 바이러스의 활성에 크게 영향을 미치지 않는 듯하다. CGMMV는 토양 내에서 오랜 기간 활성을 유지할 뿐 아니라 식물의 잔재물 속에서도 1년 이상 활성을 유지한다는 결과를 확인하였다(Table 2). 무담수 상태에서 식물체 잔재물이 비교적 빨리 분해는 되지만 수박과실 껍질 등의 부위는 담수, 무담수 토양 내에서 양의 차이가 있을 뿐이지, 1년이 지나도 미이라 형태로 토양 내에 그대로 존재하는 것을 알 수 있었다. 이 잔재물을 회수하여 생물검정을 한 결과 여전히 병원성을 유지하고 있는 것으로 나타나 CGMMV는 토양 내와 식물체 잔재물 속에서 최소한 1년 이상의 기간 동안 활성을 유지하는 것으로 생각된다.

**CGMMV의 토양전염을 조사**

CGMMV가 토양 내에서 오랜 기간 생존할 수 있는데 반해, 실제로 오염이 심하게 된 토양에서 바이러스의 유묘 전염율을 조사한 결과 1.0~3.6%의 매우 낮은 수치를 나타내었다(Table 3). 이는 CGMMV의 종자전염과 매우 흡사한 결과로 토양전염 역시 높은 빈도로 일어나는 것이 아니고 토양 내에 존재하는 바이러스 입자가 우연히 뿌리의 상처 등을 통해 침입할 때 전염이 가능하다는 사실을 의미한다. 위의 가정을 확인하기 위해 수박묘를 정식할 때 뿌리에 상처를 내어 정식한 결과 평균적으로 2~3% 정도에 머무르던 토양전염율이 12~36%로 높아짐을 알 수 있었다(Table 4). 뿌리에 상처를 주지 않고 정식한 처리의 경우 바이러스 무접종구와 크게 차이가 나지 않았는데, 10 µg/ml 처리시에 토양전염율이 높게 나타난 것은 바이러스의 농도가 높아서 쉽게 감염되었다기보

**Table 1.** Survival duration of CGMMV in soil

Month	1	3	5	7	9	11	13	15	17
	No. of survived sample/Total sample								
Water logging	4/5	4/5	5/5	4/5	3/5	3/5	4/5	2/5	3/5
Without water	5/5	4/5	3/5	4/5	4/5	3/5	2/5	3/5	2/5

\* Bioassay: Supernatant inoculation of infected *Nicotiana benthamiana* in soil grined

**Table 2.** Number of vital samples of CGMMV in soil and infected plant debris

	No. of soil samples	No. of soil samples containing debris	No. of vital samples
Water logging	120	82	64
Without water	120	75	61

\* Sampled 1 year after infected watermelon in soil

\*\* Bioassay: Supernatant inoculation of infected *Nicotiana benthamiana* in soil grined

**Table 3.** Seedling infection rate of CGMMV by virus-contaminated soil

Test No.	Disease occurred soil/total soil tested	Seedling infection rate (%)
1	16/450	3.6
2	2/210	1.0
3	3/180	1.7

\* Virus infection rate was investigated by visual examination of symptom development on watermelon seedlings transplanted to the soil in which CGMMV-infected watermelon fruits were buried.

**Table 4.** Effect of wound on watermelon seedling roots for CGMMV infection in transplanting

Seedling treatment	Virus concentration	Symptomatic seedlings/ total seedlings tested	Seedling infection rate (%)
Root wound treated	10 µg/ml	9/25	36.0
	1 µg/ml	3/25	12.0
	100 ng/ml	4/25	20.0
	10 ng/ml	1/25	4.0
Root wound not treated	10 µg/ml	3/25	12.0
	1 µg/ml	0/25	0.0
	100 ng/ml	1/25	4.0
	10 ng/ml	1/25	4.0
No treatment		1/50	2.0

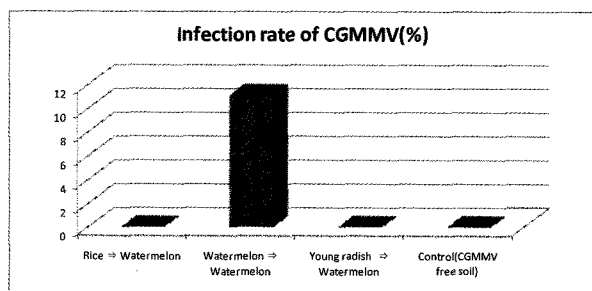
\* Each concentration of 100 ml virus solution was mixed with soil in rice-growing Wagner pot, and watermelon seedlings were transplanted to the pot. After 1 day in the pot, the seedlings were transplanted again to plastic house for disease transmission examination.

다는 정식 과정에서 상처가 나지 않게 충분히 주의를 기울였음에도 눈에 보이지 않는 미세한 상처가 발생하는데 기인한 것 이라고 생각된다.

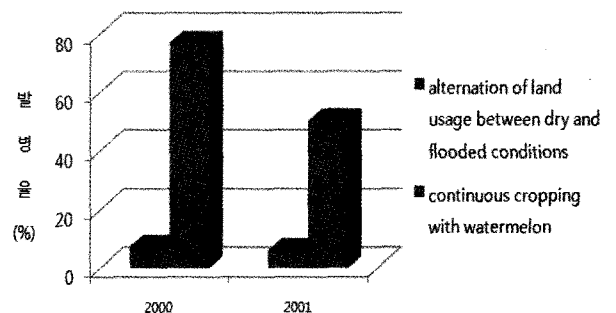
**작부체계에 따른 CGMMV의 후대감염을 조사**

1998년과 1999년에 2년에 걸친 하우스 시험을 통해 작부 체계별로 CGMMV의 바이러스 재감염 상황을 조사한 결과 수박연작시에 확실히 바이러스의 피해가 증폭되는 것을 알 수 있었다(Fig. 2). 수박을 연작한 토양에서는 후대에도 바이러스의 피해가 재현되므로 가급적 연작을 회피하는 것이 현

명한 방안이라고 할 수 있을 것이다. 이를 실제 농가에서 확인하기 위해 2000년과 2001년에 걸쳐 수박 재배지의 발생상황을 정밀하게 조사한 결과(Fig. 3), 2000년에는 답전윤환지 7.3%, 연작지 76.8%, 2001년에는 답전윤환지 6.1%, 연작지 50.2%로 답전윤환지의 CGMMV 재감염율이 현저히 낮은 것으로 조사되었다. 이 결과가 비록 포장조사 성적이기 는 하지만, 2년간에 걸쳐 동일지역의 동일포장을 조사대상으로 한 전수정밀조사 성적임을 감안할 때 답전윤환이 바이러스 경감에 어느 정도 효과가 있는 것으로 결론내릴 수 있다.



**Fig. 2.** Re-infection rate of CGMMV with crop rotation in greenhouse condition (1998~1999).



**Fig. 3.** Re-infection rate of CGMMV with crop rotation in field (2000~2001).

## &gt;&gt; 인 / 용 / 문 / 헌

- Ainsworth, G. C. 1935. Mosaic diseases of the cucumber. *Ann. Appl. Biol.* 22(1):55-67.
- Antignus, Y., Pearlsman, M., Ben-Yoseph, R. and Cohen, S. 1990. Occurrence of a variant of cucumber green mottle mosaic virus in Israel. *Phytoparasit. Isr. J. Plant Prot. Sci.* 18(1):50-56.
- Celix, A., Luis-Arteaga, M. and Rodriguez-Cerezo, E. 1996. First report of cucumber green mottle mosaic tobamovirus infecting greenhouse grown cucumber in Spain. *Plant Dis.* 80(11):1303.
- Hollings, M., Komuro, Y. and Tochiara, H. 1975. Cucumber Green Mottle Mosaic Virus. In "CMI/AAB Description of Plant Virus No. 154." Wm. Culross and Son Ltd., Coupar Angus, Perthshire, Scotland.
- Kaminska, M. and Rudzinska-Langwald, A. 1996. Incidence of new virus diseases in Polish greenhouses. II. Tobamoviruses. *Phytopathologia Polonica.* 11:151-157.
- Komuro, Y. 1971. Cucumber green mottle mosaic virus on cucumber and watermelon and melon necrotic spot virus on muskmelon. *J. Agr. Res. Quart.* 6(1):41-45.
- Komuro, Y., Tochiara, H., Fukatsu, R., Nagai, Y. and Yoneyama, S. 1971. Cucumber green mottle mosaic virus (watermelon strain) in watermelon and its bearing on deterioration of watermelon fruit known as "konnyaku" disease. *Phytopathol. Soc. Jap. Ann.* 37(1):34-42.
- 小室康雄. 1973. 野菜のウイルス(キコウリ). pp. 118-131. 誠文堂, 新光社. 東京.
- Lee, K. W., Lee, B. C., Park, H. C. and Lee, Y. S. 1990. Occurrence of cucumber green mottle mosaic virus disease of watermelon in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 6(2):250-255.
- Rahimian, H. and Izadpanah, K. 1977. A new strain of cucumber green mottle mosaic virus from Iran. *Iran J. Agric. Res.* 5(1):25-34.
- Sutarya, R. 1994. Detection of virus diseases on cucumber in Subang, Brebes and Tegal (Java, Indonesia). *Buletin-Penelitian-Hortikultura (Indonesia).* 27(1):99-106.

## 오이녹반모자이크바이러스의 토양전염 생태 및 유행에 의한 방제

박진우\* · 장태호<sup>1</sup> · 송성호<sup>2</sup> · 최홍수<sup>3</sup> · 고숙주<sup>4</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물팀, <sup>1</sup>대전식품의약품안전청 의료제품안전과, <sup>2</sup>경기도농업기술원 기술보급부 친환경기술과, <sup>3</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, <sup>4</sup>전라남도농업기술원 연구개발국 친환경연구소

**요 약** 오이녹반모자이크바이러스(*Cucumber green mottle mosaic virus*; CGMMV)는 박과작물에 병을 일으키는 중요한 바이러스로 종자 및 토양전염을 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 CGMMV의 토양전염 생태를 구명하고, 직접적인 화학적 방제방법이 없는 식물 바이러스의 특성을 고려하여 윤작이나 포장위생 등 경종적 방제법을 이용한 CGMMV의 방제 전략에 대하여 고찰하였다. CGMMV는 기주식물이 없는 토양에서 17개월 동안 50% 정도의 활성을 유지하였으며, 토양 내에 존재하는 식물의 잔재물 속에서도 1년 이상 높은 활성을 유지하였다. 자연적인 상태에서 CGMMV의 토양전염율은 1.0~3.6%인 데 반해, 수박묘를 정식할 때 뿌리에 상처를 내어 정식한 결과 토양전염율이 12~36%로 증가하여 뿌리의 상처가 CGMMV의 토양전염에 크게 관여함을 알 수 있었다. 수박재배시 작부체계에 따른 CGMMV의 후대감염율을 분석한 결과 2000년에는 답전윤환지 7.3%, 연작지 76.8%, 2001년의 경우 답전윤환지 6.1%, 연작지 50.2%로 답전윤환에 의한 윤작이 CGMMV의 피해경감에 효과가 있음을 알 수 있었다.

**색인어** 오이녹반모자이크바이러스, 토양전염, 방제, 윤작