

## 국화왜화바이로드 저항성 국화 유전자원 선발

### Identification of Chrysanthemum Genetic Resources Resistant to Chrysanthemum Stunt Viroid (CSVd)

박상근\*

S. K. Park\*  
국립한국농수산대학  
화훼학과<sup>1</sup>  
theodds@korea.kr

최성열

S. Y Choi  
세종대학교  
바이오산업자원공학과<sup>2</sup>  
ykshin22@korea.kr

곽용범

Y. B. Kwack  
국립한국농수산대학  
과수학과<sup>1</sup>  
kwack@korea.kr

#### Abstract

Chrysanthemum stunt viroid (CSVd), a small, single-stranded, infectious RNA, has caused a severe problem in chrysanthemum in the world. In Korea, since CSVd was firstly observed in 1997, the disease has been spread throughout the whole country rapidly. In spite of the seriousness, few methods for control of CSVd have been known without prevention. The use of resistant cultivars is one of the most efficient approaches for overcoming CSVd disease in chrysanthemum cultivation. This study was carried out to identify chrysanthemum genetic resources for the resistance to chrysanthemum stunt viroid (CSVd). A total of 192 commercial cultivars including 167 spray and 25 standard chrysanthemum were screened with CSVd through grafting inoculation method. In most of the inoculated cultivars, typical disease symptoms, stunting of plant height, reduced flower size, and flower color bleaching, were induced. Several cultivars, however, were symptomless or showed delay in symptom expression. Of 192 chrysanthemum cultivars, two cultivars with less than 5% of the average reduction rate of plant height, 'Chiwerel' and 'Jeongheungdaesin', were rated as resistant. And six cultivars less than 20% including 'Inga' were rated as moderate resistant. The remaining 184 cultivars with a high level of reduction were rated as susceptible. We expect that these genetic resources can be used in crossbreeding programs for developing CSVd resistant cultivars of chrysanthemum.

**Key words** : *Dendranthema x grandiflorum*, Grafting inoculation, Resistance, RT-PCR, Selection

\*교신저자

1 Korea National College of Agriculture & Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874 Korea

2 Department of Bioresources Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

## I. 서론

국화(*Dendranthema × grandiflorum* Kitamura.)는 국화과에 속하는 숙근화훼 작물로 장미와 더불어 국내 2대 절화작물이다. 2018년 국화 재배 면적과 생산액은 각각 314ha, 455억원으로, 가장 많은 재배면적과 생산액을 기록했던 2005-2006년 805.1 ha, 1,030억원 대비 각각 61%, 56% 정도 감소하였다. 이와 같은 큰 폭의 생산규모의 감소에도 불구하고 2018년 국화의 단위면적당 생산액은 14,510원/m<sup>2</sup>로 2005-2006년 평균 12,150원/m<sup>2</sup> 대비 약 20% 정도 증가되는 등 국화는 국내 화훼 농업 경영인에게 여전히 경제적인 재배 작물로 평가받고 있다(MAFRA, 2019).

그러나 최근 들어 *Puccinia horiana*에 의한 국화흰녹병과 *Verticillium dahliae*에 의한 반쪽시들음병 등 곰팡이 병을 비롯하여 토마토반점위조바이러스(tomato spotted wilt virus, TSWV)와 국화아스퍼미바이러스(chrysanthemum aspermy virus, TAV) 등 바이러스병, 국화왜화바이로이드(chrysanthemum stunt viroid, CSVd), 국화황화모틀바이로이드(chrysanthemum chlorotic mottle viroid, CChMVd) 등 바이로이드 병 발생의 증가로 인해 생산성이 감소하고 품질이 저하되는 등 국화 생산이 위협받고 있다.

이 중 Pospiviroidae과에 속하는 국화왜화바이로이드는 국화에 가장 큰 피해를 주는 바이러스성 병원체로, 감염 시 초장, 잎, 꽃 등의 크기가 30~50%정도까지 감소되고, 개화에 필요한 일장 반응을 교란함은 물론 품종에 따라 황화되거나 소엽이 직립하는 등 국화의 정상적인 생육을 억제하여 절화 품질을 저하시키고 수확량을 감소시켜 상당한 경제적 손실을 유발한다(Diener 과 Lawson, 1973; Bouwem and Zaayen, 1995). 국내에서도 1997년 '청풍' 품종에서 처음 보고된 이후, 전국적으로 빠르게 확산되어 2005년에는

품종에 따라 9.7%에서 66.8%까지 감염되었다고 보고되었으며(Chung 등, 2005), 최근에는 그 피해가 점차 증가되고 있다.

국화왜화바이로드병은 전염성이 강하고 잠복기가 길 뿐만 아니라 삽목을 통한 국화의 번식과정에서 작업자나 작업 도구에 의해 쉽게 전염된다(Chung 등, 2009). 일반적으로 재배적 방제나 화학적 방제가 불가능하기 때문에 한번 감염되면 주 전체를 제거해야 하며, 병 발생을 예방하는 것 이외에는 방제 방법이 없다(Chung 등, 2001). Sodium hypochlorite 또는 sodium hydroxide와 formaldehyde의 혼합 약제가 도구의 표면에 오염된 국화왜화바이로이드를 불활성화시킬 수 있다는 보고가 있으나(Garnesy and Whidden, 1972; Singh 등, 1985), 삽수 채취의 효율성 문제로 실제적 활용은 어려운 실정이다. 최근에는 고온이나 저온, 항바이러스제를 처리한 후 성장점 배양을 통해 바이로이드에 감염된 국화로부터 무병묘를 생산하려고 시도하고 있으나 상대적으로 성공률이 낮고 비용도 높다. 따라서 국화왜화바이로드병에 의한 피해를 줄이기 위해서는 저항성 품종의 육성이 반드시 필요한 실정이다.

Matsushita 등(2012)과 Nabeshima 등(2012), Omori 등(2009)은 국화왜화바이로이드에 감염된 국화에서 병징이 나타나지 않거나 병 발현이 지연되는 몇 가지 국화 품종들을 보고한 바 있다. 더욱이 Matsushita 등(2012)은 저항성과 감수성의 pseudo-F<sub>1</sub> 집단 분석을 통해 국화왜화바이로이드 저항성이 후대에 유전된다고 보고하였다. 이에 본 연구에서는 국화왜화바이로드병 저항성 신 품종 육성하기 위하여 국내에서 재배되는 주요 국화 품종에 대한 국화왜화바이로이드병 저항성 정도를 구명하고, 저항성 유전자원을 선발하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 식물재료

농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 보유하고 있는 국화 유전자원 가운데 스프레이 국화 167 품종과 스탠다드 국화 25 품종 등 총 192 품종에 대하여 2005년 6월 국립원예특작과학원 비닐하우스(경기도 수원 탑동 소재)에 품종별 10주씩 재식 거리 20 × 20cm로 토양에 식재하고 2006년부터 2007년까지 국화왜화바이러스 검정을 위한 삽수 채취용 모주로 활용하였다.

### 2. 국화왜화바이러스 병 접종 및 저항성 평가

2005년 10월에 국립원예특작과학원 원예특작환경과로부터 국화왜화바이러스에 단독 감염된 ‘청풍’ 품종의 기내 배양묘로부터 유기된 삽수 50개를 분양받아 국립원예특작과학원 격리 하우스(경기도 수원 탑동 소재)에서 삽목 증식하였다. 국화왜화바이러스 병 저항성 검정을 수행하기 위하여 2006년 1월에 이병주에서 삽수 200개를 채

취하여 직경 15cm 화분에 원예용상토를 충진하여 삽목하고 초장이 20cm정도 자랐을 때 2-3주간격으로 3차례 적심하여 측지를 유도하였다. 병접종은 2006년 3월부터 4월까지 검정용 품종의 줄기 선단부를 5cm 정도의 길이로 채취한 후, 국화왜화바이러스 이병주를 대목으로 접목하여 접종하는 접목즙액접종법을 이용하였다(Fig. 1). 1차 병 저항성 검정은 접목 활착이 완료된 후 적심하여 감염주의 삽수를 채취하고 대조구(무병주)와 함께 128구 플러그트레이에 삽목한 후, 2006년 6월에 품종별로 발근된 삽목묘 20주를 검정용 격리 하우스 포장에 정식하고 국화 보통재배 작형으로 재배하여 생육 특성을 비교하였다. 2차와 3차 검정은 1차 검정에서 선발된 품종을 대상으로 2007년 1월과 6월에 각각 삽수를 채취하여 육묘한 후, 가로, 세로, 높이가 각각 30 × 55 × 25cm인 플라스틱 상자에 원예용 상토를 충진하여 품종별로 15주를 정식하고 국화 축성재배와 보통재배 작형으로 재배하여 생육 특성을 비교하였다. 저항성 평가는 품종별로 꽃이 만개한 후에 초장을 조사하여 무병주에 대한 감염주의 초장감소율을 바탕으로 평가하였다.

$$\text{초장감소율}(\%) = \frac{\text{무병주 초장} - \text{감염주 초장}}{\text{무병주 초장}} \times 100(\%)$$



Fig. 1. Graft inoculation of chrysanthemum stunt viroid on chrysanthemum

### 3. 국화왜화바이러스 RNA 추출 및 RT-PCR 검정

Total RNA는 국화 줄기 선단부 신초 100mg으로부터 Shiwaku 등(1996)기 기술한 CF11 cellulose 컬럼을 이용하여 추출하였으며, 추출된 RNA pellet은 50 $\mu$ l nuclease-free water에 녹여 실험에 이용하였다. 국화왜화바이러스 검정을 위한 프라이머는 CSVd 염기서열(GeneBank accession no. AF394452) 354bp를 증폭할 수 있도록 합성하였으며, 프라이머 염기서열은 다음과 같다. Reverse primer는 5'-TTCTTTCAAAGCAGCAGGGT-3', forward는 5'-AAAGAAATGAGCGGAAGAAG-3'이다.

cDNA는 RNA 1 $\mu$ l와 10pmol의 reverse primer 1 $\mu$ l, 1 $\times$ PCR buffer (50mM KCl, 10mM Tris-HCl, pH 8.3), 5mM MgCl<sub>2</sub>, 1mM dNTP, 1 $\mu$ l MuLV reverse transcriptase (Applied Biosystems, USA)를 혼합하여 70°C에서 5분간 합성한 후, 1 $\mu$ l RNase inhibitor (1U/ $\mu$ l)를 추가하여 37°C에서 1시간 처리하였다. PCR 반응은 5 $\mu$ l cDNA, 1 $\times$ PCR buffer, 0.5mM dNTP, 10pmol의 reverse primer와 forward primer 각 1 $\mu$ l, 4mM MgCl<sub>2</sub>, 2.5U AmpliTaq DNA polymerase (Applied Biosystems, USA)를 혼합한 후, MJ Research사의 Thermal Cycler (PTC-100, MA, USA)를 이용하여 최초 94°C에서 2분 수행 후, 94°C에서 30초, 53°C에서 1분, 72°C에서 1분간 40회 반복하고 마지막으로 72°C에서 5분간 수행하였다. PCR 증폭 산물은 1% agarose gel 전기영동으로 확인하였다(Chung 등, 2005).

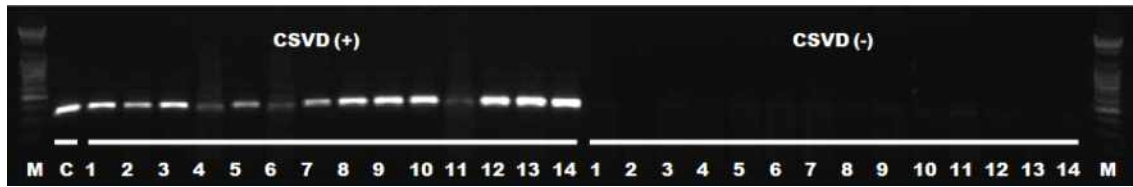
### III. 결과 및 고찰

스프레이 167 품종과 스탠다드 25 품종 등 총 192 품종을 대상으로 점목즙액접종법을 이용해

병 접종을 실시하고 만개기 평균 초장감소율을 측정한 결과, 국화왜화바이러스 병 접종 처리구의 초장이 대조구에 비해 최대 87% 정도까지 감소하였으며, 평균적으로도 39.8%정도 감소하는 등 생육이 위축되는 증상을 보였다.

국화왜화바이러스 병 접종 처리구와 대조구의 두 집단 간 초장 차이를 검정하기 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 공시된 192 품종 가운데 'Inga' 등 5 품종은 병 접종 처리구의 초장이 대조구보다 오히려 더 길게 조사되는 등 초장감소를 보이지 않았으며, 'Chiwerel' 등 26 품종에서 초장감소가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 조사되었다. 이들 품종들의 초장감소율은 0~15% 정도로 나타났으며, 평균 초장감소율은 5%였다. 국화왜화바이러스 병 접종 처리에 의한 초장감소가 유의적으로 인정되는 품종은 'Anastasia' 등 166 품종으로, 초장이 22~87% 정도까지 감소되었으며 이들 품종들의 평균 초장감소율은 44.7%였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 초장감소가 나타나지 않은 품종들의 평균 초장감소율 5%를 저항성 평가기준으로 설정하였으며, 5~20%는 중도저항성, 초장감소가 20%를 초과하는 경우에는 감수성으로 평가하는 국화왜화바이러스 병 저항성 평가기준을 설정하고, 1차 병 저항성 검정 결과를 바탕으로 'Inga', 'Voyager', 'Jeongheungdaesin' 3 품종을 저항성, 'Costa Yellow' 등 23품종을 중도저항성으로 선발하였다(Table 1).

1차 병 저항성 검정에서 선발된 품종 가운데, 삽수채취가 가능한 'Ansellia' 등 14 품종을 대상으로 2차, 3차 병 저항성 검정을 수행하였다. 생육특성조사를 실시하기 전 국화왜화바이러스 병 접종 처리구와 대조구의 실제 감염 여부를 확인하기 위해 RT-PCR 검정을 실시한 결과, 병 접종 처리구에서만 CSVd-RNA가 검출되었고 대조구에서는 검출되지 않았다(Fig. 2).



**Fig. 2. Detection of chrysanthemum stunt viroid by RT-PCR in 14 chrysanthemum cultivars.** RT-PCR products were examined by 1% agarose gel electrophoresis stained with ethidium bromide. CSVd(+), infected plant; CSVd(-), non-infected plant; M, DNA size marker 100bp; C, control; 1, Jeonghuengdaesin; 2, Inga; 3, Chiwerel; 4, Universe; 5, Voyager; 6, Ansell; 7, Herby; 8, Chopin Dark Pink; 9, Euro White; 10, NR75001 (F-8); 11, Costa Yellow; 12, Plano Pink; 13, Focus; 14, Panama.

품종별 만개기 이후의 생육특성 조사 결과, 1차 검정에서 저항성으로 평가된 3 품종 중 'Jeongheungdaesin' 품종은 지속적으로 초장 감소를 보이지 않은 반면, 'Inga'와 'Voyager' 두 품종은 각각 2차, 3차 평균 9.8%와 16.7%의 초장감소율을 보였다. 반면 1차 검정에서 8% 정도의 초장감소율을 보였던 'Chiwerel' 품종의 경우에는 2차, 3차 모두 2% 미만의 초장 감소율을 나타냈다. 그 외에 'Ansell', 'Chopin Dark Pink', 'Herby', 'Universe' 4품종은 20% 미만의 초장감소율을 나타냈으며, 'Euro White' 등 나머지 6 품종에서는 평균 23~32% 정도의 초장감소율을 나타냈다(Table 2, Fig. 3).

화경, 엽장, 엽폭 등 생육특성 조사에서도 저항성인 'Chiwerel'과 'Jeongheungdaesin' 품종의 경우에는 생육 감소에 대한 통계적 유의성이 보이지 않았으며, 'Inga' 등 6개의 중도저항성 품종에서도 대부분 생육 감소에 대한 통계적 유의성을 보이지 않았다. 그러나 그 이외의 감수성 품종들의 경우에는 화경이나 엽장, 엽폭도 대조구에 비해 감소되는 경향을 보였다(Fig. 3). 병 접종 처리구와 대조구 사이에 마디의 수는 공시된 14 품종 모두 통계적 유의성이 인정되지 않았으며 (Table 2), 이는 국화왜화바이러스에 의한 초장 감소 등의 왜화증상 발현이 gibberelic acid 20

oxidase의 활력 감소에 따른 지베렐린 생합성 감소에 의해 절간 신장이 억제된 결과라는 Hayward 등 (2005)과 Huh 등(2006)의 보고와 일치하였다.

Nabeshima 등(2012)과 Matsushita 등(2012)은 상업적으로 재배되는 국화 품종에서 접목즙액 접종법을 이용하여 국화왜화바이러스 저항성 유전자원들을 선발하였고, 저항성으로 선발된 품종의 real-time RT-PCR 결과 CSVd-RNA가 감수성 품종에 비해 매우 낮은 수준으로 검출되는 것으로 보고하였다. 또한 Matsushita 등(2012)은 선발된 저항성 품종을 감수성 품종과 교잡한 교잡1세대에서 병 저항성이 유전된다고 보고하였다. 이번 실험에서도 1차 검정에서 중도저항성 이상으로 선발된 품종들의 RT-PCR 결과 모든 품종에서 CSVd-RNA가 검출되었고(Fig. 2), 이들 품종들 가운데 일부는 감수성으로 재평가되기도 하였지만, 2차와 3차 검정 시의 초장감소율이 평균 15.7%, 최대 34.5% 정도로 1차 검정 시 초장감소율에 비해 낮게 유지되고 있었다. 이러한 점을 감안할 때, 유전적 요인에 의한 선발효과가 존재한다고 할 수 있으며, 저항성 발현이 안정적으로 나타나는 'Chiwerel' 등의 품종들이 국화왜화바이러스 저항성 품종을 육성하는 교배모본으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

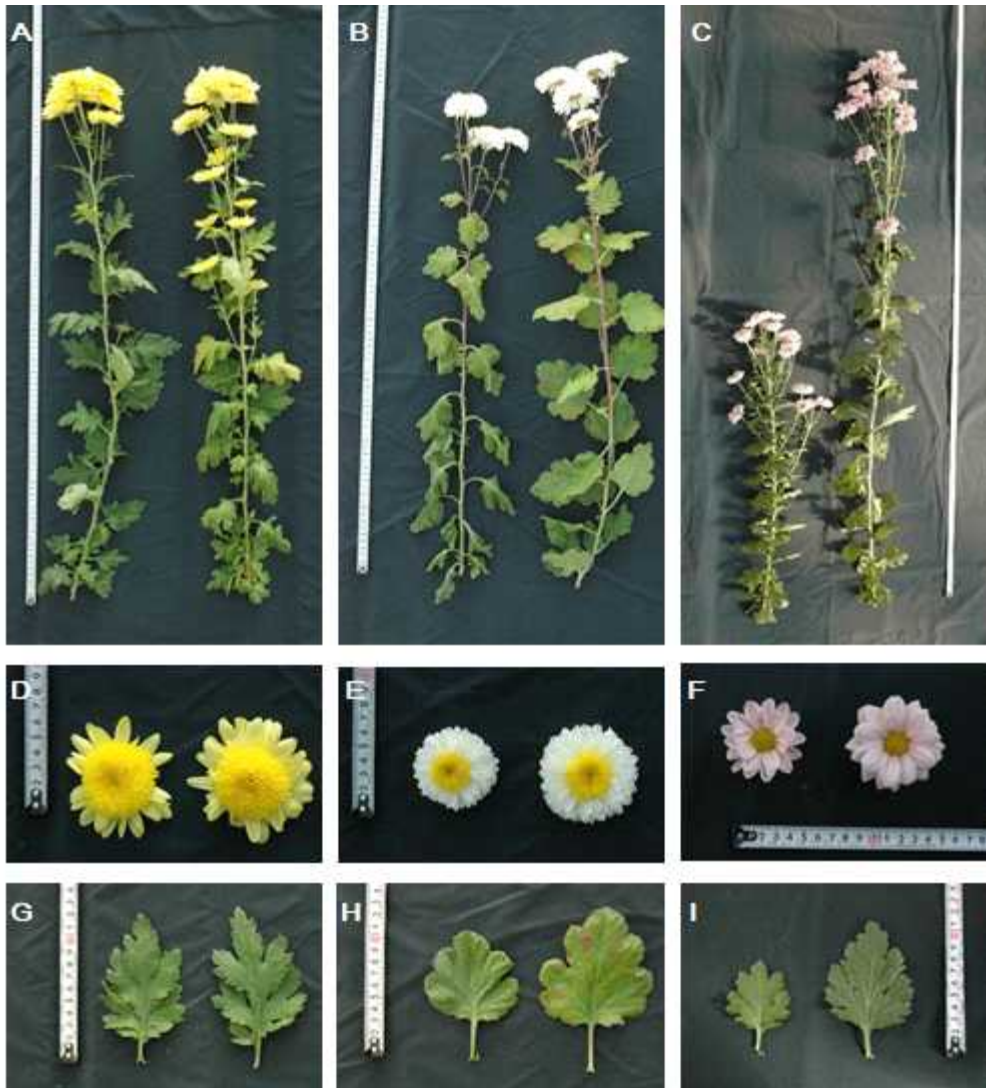


Fig. 3. Comparing plant height, flower, and leaf of the infected (left) and the non-infected (right) with chrysanthemum stunt viroid in resistant 'Chiwerel' (A, D, G), moderate resistant 'Inga' (B, E, H), and susceptible 'Mona Lisa Pink' (C, F, I).

#### IV. 적요

전 세계적으로 국화에 큰 피해를 야기하는 국화왜화바이로드는 단일나선형의 감염성 RNA 병원체로, 1997년 국내에서 처음 발견된 이후 전국적으로 빠르게 전파되고 있다. 그러나 이러한 심

각성 예도 불구하고, 국화왜화바이로드는 재배적, 화학적 방제가 불가능하기 때문에 예방 이외에는 방제할 수 있는 방법이 거의 없는 실정이다. 따라서 국화 재배에 있어 국화왜화바이로이드병을 방제하기 위해서는 저항성 품종의 육성이 절실하다. 이에 본 연구에서는 국화왜화바이로이드

저항성 품종 육성을 위한 기반 구축을 위해 유전 자원을 선별하고자 하였다. 스프레이 167 품종과 스탠다드 25 품종 등 총 192 품종을 공시하여 접 목즙액접종법을 통해 병 저항성 검정을 실시한 결과, 대부분의 품종에서 초장이 감소하는 전형적인 왜화 증상을 나타냈으며, 화경이 감소하고 화 색이 퇴화되는 증상을 보였다. 그러나 일부 품종에서는 이와 같은 병징이 나타나지 않거나 지연되는 경향을 보였다. 192 품종 가운데 5% 이하의 초장 감소율을 보인 'Chiwerel'과 'Jeongheungdaesin'은 저항성, 20% 미만의 초장감소율을 보인 'Inga' 등 6 품종은 중도저항성, 그리고 그 외 184 품종은 감수성으로 평가되었다. 저항성 발현이 안정적으로 나타나는 'Chiwerel' 등의 품종들은 국 화왜화바이러스병 저항성 품종을 육종하는 교배모본으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 참고문헌

1. Bouwem, I. and A. van Zaayen (1995) Chrysanthemum stunt viroid. p.218-227. In: Viroid. A. Hadidi, R. Flores, J.W. Randles and J.S. Semancik (eds). CSIRO Publishing.
2. Chung, B. N., G. S. Choi, H. R. Kim, and J. S. Kim (2001) Chrysanthemum stunt viroid in *Dendranthema grandiflorum*. Plant Pathol. J. 17:194-200.
3. Chung, B. N., J. D. Cho, I. S. Cho, and K. S. Choi (2009) Transmission of chrysanthemum stunt viroid in chrysanthemum by contaminated cutting tool. Hort. Environ. Biotechnol. 50:536-538.
4. Chung, B. N., J. H. Lim, S. Y. Choi, J. S. Kim, and E. J. Lee (2005) Occurrence of chrysanthemum stunt viroid in chrysanthemum in Korea. Plant Pathol. J. 21: 377-382.
5. Diener, T. O. and R. H. Lawson (1973) Chrysanthemum stunt: A viroid disease. Virology 51:94-101.
6. Garnsey, S. M. and R. Whidden (1972) Decontamination treatments to reduce the spread of citrus exocortis (CEV) by contaminated tools. Proc. Fla. Stn. Hortic. Soc. 84:63-65.
7. Haywood, V., T. S. Yu, N. C. Huang, and W. J. Lucas (2005) Phloem long-distance trafficking of *GIBBERELLIC ACID-INSENSITIVE* RNA regulates leaf development. The Plant Journal. 42:49-68.
8. Huh E. J., S. K. Lee, B. N. Chung, I. J. Lee, and S. Y. Choi (2006) Changes of growth and gibberellin contents in chrysanthemum by infection of chrysanthemum stunt viroid. Hort. Environ. Biotech. 47: 366-370.
9. Matsushita Y., K. Aoki, and K. Sumitomo (2012) Selection and inheritance of resistance to Chrysanthemum stunt viroid. Crop Prot. 35:1-4.
10. Nabeshima, T., M. Hosokawa, S. Yano, K. Ohishi, and M. Doi (2012) Screening of chrysanthemum cultivars with resistance to chrysanthemum stunt viroid. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81:285-294.
11. Omori, H., M. Hosokawa, H. Shiba1, N. Shitsukawa, K. Murai, and S. Yazawa (2009) Screening of chrysanthemum plants with strong resistance to chrysanthemum stunt viroid. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 78:350-355.
12. Shiwaku, K., T. Iwai, and Y. Yamamoto

- (1996) Cloning and nucleotide sequence of Chrysanthemum stunt viroid. Hygo Pre. Agric. Ins.(Agriculture) 44:1-4.
13. Singh, R. P (1985) Clones of Solanum

berthaulti resistant to Potato tuber spindle viroid. Phytopathology 65:1432-1434.

논문접수일 : 2020년 5월 18일  
논문수정일 : 2020년 6월 1일  
게재확정일 : 2020년 6월 11일



**Table 1. Plant height of 192 chrysanthemum cultivars inoculated and the non-inoculated with chrysanthemum stunt viroid.**

Cultivars	Plant height (cm)		Cultivars	Plant height (cm)		Cultivars	Plant height (cm)		t-test
	Inoculated	Non-inoculated		Inoculated	Non-inoculated		Inoculated	Non-inoculated	
Spray type									
Accent	37.8	72.1 ***	Cuenca	51.7	132.5 ***	Kumo	66.8	78.8 NS	
Anastasia	67.6	87.0 *	Dancer	45.8	51.1 NS	Lerbin	45.4	113.0 ***	
Anemone	24.2	65.1 ***	Dash	87.7	134.0 ***	Lineker Salmon	54.7	113.4 ***	
Angaesoguk	39.8	106.0 ***	Deilanne	77.0	113.4 ***	Lineker White	62.3	126.0 **	
Anselia	55.7	63.8 NS	Deiliah	64.1	113.4 ***	Lollipop Pink	62.5	76.8 **	
Ardilo	77.2	110.4 **	Delwind	63.1	100.3 ***	Maiami	69.0	135.0 ***	
Argus	34.6	67.3 ***	Diamond	47.4	82.8 ***	Managua	54.9	73.5 *	
Artist Pink	76.6	117.4 ***	Dion	41.8	98.3 ***	Marscott	28.5	76.6 ***	
Artist Yellow	85.2	128.7 ***	Dominica	26.5	76.2 ***	Mona Lisa Pink	57.3	134.5 **	
Arusha	86.8	112.3 **	Dublin	69.6	106.6 **	Mona Lisa Splendid	48.2	142.4 ***	
Bacchus	42.6	66.0 **	Earling	37.3	76.5 ***	Mona Lisa White	50.8	112.4 *	
Baeksoguk	59.0	101.3 ***	Eunhasu	34.6	89.3 ***	Montana	45.8	117.4 ***	
Barbosa	32.5	74.5 ***	Euro White	109.7	121.4 NS	Moon Stone	39.8	104.1 ***	
Biartz Pink	64.5	118.3 ***	Euro Yellow	84.1	115.3 **	Moonlight	53.8	111.7 ***	
Biartz Yellow	72.8	119.5 ***	Feeling Green	64.6	132.6 ***	Morning	64.0	98.3 ***	
Biartz Red	28.2	114.7 ***	Flamenco	77.5	125.0 ***	Morning Sun	69.1	102.2 **	
Bijux	67.7	133.0 ***	Focus	76.3	87.5 NS	Nice	54.2	122.8 ***	
Billion	85.3	128.8 **	Forore Green	84.3	138.6 ***	Noa	54.0	112.0 ***	
Blue Marble	15.5	53.6 *	Froggy	53.8	111.9 ***	Novello	62.6	95.4 ***	
Bonghwang	24.6	94.8 ***	Garcia	48.7	104.6 ***	NR7500(F-8)	111.6	124.8 NS	
Bronze Marble	41.8	88.6 ***	Gold Peas	51.4	92.2 *	Odm	42.5	135.5 ***	
Camarina Orange	66.8	94.9 **	Grand Pink	56.9	121.6 ***	Oscar Pink	63.9	93.6 ***	
Carnival	27.8	67.2 ***	Green Bird	72.5	120.7 ***	P-3	58.5	120.7 **	
Cassa	49.1	111.0 **	Groovy	49.8	109.0 ***	Paco	44.9	79.2 *	
Charming Eye	66.7	100.5 ***	Hanakazaguruma	40.9	72.3 **	Panama	92.3	101.8 NS	
Chiwerel	90.9	98.6 NS	Hebo	38.2	104.1 ***	Paragon	41.5	83.5 ***	
Chopin Dark Pink	98.6	116.0 NS	Herby	90.1	100.8 NS	Party White	65.8	129.8 ***	
City	65.6	140.8 ***	Hunt	69.4	97.2 **	Patra	70.9	129.7 ***	
Cosmos King	25.3	68.3 ***	Inga	86.6	74.5 NS	Peak	94.5	131.5 *	
Costa Orange	15.3	120.2 ***	Jeanny Dark Pink	61.5	131.3 ***	Penny Lane	17.0	68.6 ***	
Costa White	88.3	153.8 *	Jeanny Orange	64.5	118.0 ***	Pimpea	71.1	146.5 ***	
Costa Yellow	61.7	66.1 NS	Juwang	42.1	76.7 ***	Ping Pong White	47.6	98.5 ***	
Creado	79.3	145.3 ***	Kingfisher	38.6	86.1 ***	Pink Elisa	57.7	83.5 ***	
Crocodile	70.2	111.5 ***	Kinkazaguruma	27.0	95.4 ***	Pink Marble	54.8	76.0 *	

\*NS, \*, \*\*, \*\*\* mean non-significant, significant at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 1. (continued)

Cultivars	Plant height (cm)		Cultivars	Plant height (cm)		Cultivars	Plant height (cm)		Non-inoculated	t-test	
	Inoculated	Non-inoculated		t-test <sup>z</sup>	Inoculated		Non-inoculated	Inoculated			Non-inoculated
Spray type											
Pinocchio	56.2	83.2	*	Saffier	60.5	80.1	**	Tokyo	66.1	101.0	**
Plano Dark	105.7	146.5	***	Saffier Sunny	72.9	82.4	NS	Topic	37.1	74.6	**
Plano Pink	97.8	114.5	NS	Samos	53.9	107.6	**	Tricolor (R/S)	60.1	90.1	***
Plano White	95.0	122.8	**	Samos Pink	67.6	112.7	***	Tricolor (R/Y)	49.2	83.1	***
Plano Yellow	88.8	122.2	***	Saradona	53.3	87.1	***	Universe	111.2	122.6	NS
Polished Marble	47.0	105.8	***	Sei Alps	71.0	118.9	***	Vesuvio Yellow	25.6	94.2	***
Proud	96.3	119.6	*	Sei Claire	67.6	144.5	***	Vesuvio White	33.7	109.9	***
Puma Sunny	55.2	87.0	***	Sei Mariah	47.7	87.6	***	Voyager	85.6	87.7	NS
Puma White	57.5	109.3	***	Sei Monaco	52.2	81.4	***	Vyking	46.0	106.9	***
Reagan	67.8	135.5	***	Sei Palette	30.4	67.7	***	Weaver	44.0	117.2	***
Reagan Pink	66.5	129.8	***	Sei Papion	56.1	51.5	NS	Westland	58.5	76.5	*
Recharles	26.0	81.9	***	Sei Plaza	76.4	97.5	***	White King	35.3	106.5	***
Red King	39.3	88.8	***	Sei Rosa	82.4	124.9	***	White Marble	61.9	105.8	***
Redock Improved	88.7	164.5	***	Sei Verona	66.7	81.0	*	White Pompon	34.0	48.2	***
Refour	39.8	64.7	***	Seinokagayaki	28.6	83.0	***	White Summer	43.3	65.3	***
Relance	62.7	108.5	***	Shark	75.9	96.7	***	Wimbledon	80.5	123.1	***
Resouci	48.7	118.7	***	Sharon	43.9	91.8	***	Wimbledon Dark	61.8	131.7	***
Restone	59.0	115.6	***	Sizzle	45.8	82.8	***	Yen	50.8	90.0	***
Royal ardilo	64.1	82.6	*	Statesman	26.9	62.5	***	Yeonia	69.7	101.4	**
Ruces	43.6	54.6	*	Swan	43.7	103.9	***	Yoko One	64.6	93.6	***
Saffier	60.5	80.1	**	Talent	29.7	62.5	***	Yokohama	51.5	103.3	***
Royal ardilo	64.1	82.6	*	Tiger	48.7	121.7	***	Zion	86.6	121.1	**
Ruces	43.6	54.6	*	Tobago	92.3	120.4	**				
Standard type											
Baekma	77.4	83.8	NS	jinba	30.0	86.4	***	Seolpung	69.0	101.7	**
Byakko	75.3	103.0	***	Kokka Akafuji	55.5	96.6	**	Seolpung Yellow	71.2	113.4	***
Daejinnyeo	58.9	90.0	***	Kokka Kohmyoh	59.7	75.8	***	Seudo	44.5	61.3	***
Daejinwhang	58.2	94.7	**	Kokkanoshizue	35.7	68.4	***	Shosai	56.5	119.8	***
Gukgwang	68.6	127.8	***	Otomezakura Orange	72.0	112.6	***	Shunochikara White	54.8	89.0	***
Gukhwaedae	41.4	75.9	***	Otomezakura Pink	69.9	99.9	***	Shunochikara Yellow	44.5	60.5	***
Gwibuin	42.4	65.8	***	Seifu	67.5	113.2	***	Yongma	88.6	111.9	*
Iwanohakusen	65.8	69.4	NS	Seiko No Aki	54.7	83.8	*				
Jeongheungdaesin	90.4	86.7	NS	Seiko No Makoto	75.6	129.4	**				

<sup>z</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\* mean non-significant, significant at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

**Table 2. Effect of chrysanthemum stunt viroid on the growth of 14 chrysanthemum cultivars**

Cultivars	Disease test	Flower diameter (cm)		Leaf width (cm)		Leaf length (cm)		t-test	t-test
		Inoculated	Non-inoculated	Inoculated	Non-inoculated	Inoculated	Non-inoculated		
Ansella	2 <sup>nd</sup>	4.29	4.63	5.34	4.50	8.70	7.91	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>	4.91	4.70	5.54	6.11	9.38	10.29	***	***
Chiwerel	2 <sup>nd</sup>	8.08	7.88	6.62	6.50	11.63	11.36	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>	8.41	8.80	7.30	7.06	12.19	12.01	NS	NS
Chopin Dark Pink	2 <sup>nd</sup>	5.96	6.15	6.77	6.23	10.26	9.66	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>	6.15	6.03	6.52	6.43	10.24	10.05	NS	NS
Costa Yellow	2 <sup>nd</sup>	3.02	4.62	3.68	5.12	6.61	9.72	*	*
	3 <sup>rd</sup>	7.74	8.63	5.05	7.29	9.90	14.90	***	***
Euro White	2 <sup>nd</sup>	7.63	8.48	5.45	7.52	11.07	15.78	***	***
	3 <sup>rd</sup>	5.06	6.55	6.84	6.15	10.93	11.05	NS	NS
NR75001 (F-8)	2 <sup>nd</sup>	7.43	7.13	6.20	6.46	11.21	12.44	NS	***
	3 <sup>rd</sup>	3.38	3.31	6.55	7.60	8.35	10.78	***	***
Focus	2 <sup>nd</sup>	3.50	3.60	7.23	8.43	9.18	11.58	NS	***
	3 <sup>rd</sup>	3.90	3.88	3.85	4.50	6.39	7.35	*	*
Herby	2 <sup>nd</sup>	4.55	3.77	4.96	4.55	7.69	7.47	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>	7.03	7.04	6.49	7.70	18.57	10.96	**	NS
Inga	2 <sup>nd</sup>	8.21	7.84	7.74	7.70	11.74	11.89	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>	5.11	8.73	5.96	6.34	8.86	11.90	***	***
Panama	2 <sup>nd</sup>	6.64	7.74	5.72	7.40	9.32	12.55	***	***
	3 <sup>rd</sup>	6.49	6.53	5.16	6.34	9.15	11.30	NS	***
Plano Pink	2 <sup>nd</sup>	5.39	7.11	5.30	7.55	9.98	12.60	***	***
	3 <sup>rd</sup>	8.09	7.79	6.23	6.31	10.59	11.68	NS	***
Universe	2 <sup>nd</sup>	8.23	8.71	6.48	7.09	10.90	11.71	*	*
	3 <sup>rd</sup>	6.09	6.15	6.73	7.13	10.18	12.29	NS	**
Voyager	2 <sup>nd</sup>	4.33	13.74	5.22	6.25	9.33	12.43	**	***
	3 <sup>rd</sup>	18.43	21.00	6.73	6.25	11.83	11.28	NS	NS
Jeongheungdaesin	2 <sup>nd</sup>	24.04	21.00	5.71	5.04	12.02	28.83	NS	NS
	3 <sup>rd</sup>								

<sup>a</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\* mean non-significant, significant at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

**Table 2. (continued)**

Cultivars	Disease test	Plant height (cm)		Number of Node (cm)		Average node length (cm)		Reduction ratio of				
		Inoculated	Non-inoculated	t-test <sup>2</sup>	Inoculated	Non-inoculated	t-test	Inoculated	Non-inoculated			
Ansellia	2 <sup>nd</sup>	53.95	54.08	NS	35.75	29.25	1.52	1.89	**	1.00	0.81	
	3 <sup>rd</sup>	50.04	62.71	***	33.31	38.33	***	1.50	1.64	**	0.80	0.92
	2 <sup>nd</sup>	75.98	77.5	NS	28.17	27.75	NS	2.72	2.79	NS	0.98	0.97
Chiwirel	3 <sup>rd</sup>	67.27	60.35	NS	26.43	26.19	NS	2.60	2.31	NS	1.11	1.12
	2 <sup>nd</sup>	78.76	92.76	**	33.86	36.13	*	2.33	2.57	*	0.85	0.91
	3 <sup>rd</sup>	59.66	73.28	***	29.43	36.36	***	2.03	2.02	NS	0.81	1.00
Costa Yellow	2 <sup>nd</sup>	51.22	75.58	*	33.80	32.2	NS	1.53	2.3	*	0.68	0.66
	3 <sup>rd</sup>	75.21	98.65	***	36.13	34.13	NS	2.08	2.89	***	0.76	0.72
	2 <sup>nd</sup>	68.91	88.7	***	26.50	31.69	***	2.60	2.81	*	0.78	0.93
NR75001 (F-8)	3 <sup>rd</sup>	65.51	94.9	**	33.88	38.88	NS	1.92	2.45	**	0.69	0.78
	2 <sup>nd</sup>	77.44	91.96	***	39.50	39.31	NS	2.00	2.34	**	0.84	0.86
	3 <sup>rd</sup>	62.20	84.33	**	28.25	30.63	NS	2.21	2.76	***	0.74	0.8
Focus	2 <sup>nd</sup>	55.75	78.83	***	30.00	34.25	***	1.85	2.3	**	0.71	0.81
	3 <sup>rd</sup>	69.83	60.98	NS	47.25	42	NS	1.48	1.44	NS	1.15	1.03
	2 <sup>nd</sup>	60.84	69.48	NS	34.44	38.55	*	1.81	1.79	NS	0.88	1.01
Inga	2 <sup>nd</sup>	54.70	63.36	*	28.71	26.5	NS	1.91	2.39	***	0.86	0.80
	3 <sup>rd</sup>	63.54	67.49	NS	26.90	28.13	NS	2.34	2.41	NS	0.94	0.97
	2 <sup>nd</sup>	56.81	76.2	***	35.50	36.38	NS	1.62	2.1	**	0.75	0.77
Panama	3 <sup>rd</sup>	40.24	61.48	***	28.40	31.25	**	1.42	1.96	***	0.65	0.72
	2 <sup>nd</sup>	66.38	90.7	***	36.63	37	NS	1.82	2.43	***	0.73	0.75
	3 <sup>rd</sup>	64.60	81.4	***	32.63	37.27	***	1.99	2.19	**	0.79	0.91
Universe	2 <sup>nd</sup>	74.74	68.56	NS	27.13	27.5	NS	2.77	2.5	NS	1.09	1.11
	3 <sup>rd</sup>	61.85	73.99	***	25.73	28.63	**	2.41	2.6	**	0.84	0.93
	2 <sup>nd</sup>	69.20	80.24	*	33.38	34.88	NS	2.08	2.31	NS	0.86	0.90
Voyager	3 <sup>rd</sup>	58.72	73.14	***	32.70	61.77	***	1.79	1.77	NS	0.80	1.02
	2 <sup>nd</sup>	57.07	54.43	NS	30.50	32.5	*	1.87	1.68	NS	1.05	1.11
	3 <sup>rd</sup>	44.24	41.06	NS	25.36	30.43	***	1.78	1.35	NS	1.08	1.31
Jeongheungdaesin	2 <sup>nd</sup>	57.07	54.43	NS	30.50	32.5	*	1.87	1.68	NS	1.05	1.11
	3 <sup>rd</sup>	44.24	41.06	NS	25.36	30.43	***	1.78	1.35	NS	1.08	1.31

<sup>2</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\* mean non-significant, significant at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively.