

Research Report

시설 내 상대습도 및 온도 조건에 따른 국화 '백마'의 생육과 흰녹병 발생

유용권^{1,2*}, 노용승²¹목포대학교 자연과학대학 원예학과²목포대학교 자연자원개발연구소

Occurrence of White Rust and Growth of Chrysanthemum 'Baekma' under Various Relative Humidity and Temperature Conditions in the Greenhouse

Yong Kweon Yoo^{1,2*} and Yong Seung Roh²¹Department of Horticultural Science, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea²Institute of Natural Resources, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

Abstract: This study was carried out to investigate the effect of relative humidity (70, 80, 90, and 95%) and to examine the interrelationship of temperature (15, 20, and 25°C) and relative humidity (60, 70, 80, and 90%) in the greenhouse on growth and occurrence of white rust in chrysanthemum 'Baekma'. The developmental stages of white rust were monitored from the initial occurrence to sporidium formation in teliospores. When the relative humidity of greenhouse was adjusted to 90% or more for 40 days, the occurrence rate of white rust, the number of infected leaves, and the number of symptoms per leaf were more than 97%, 10, and 55, respectively. However, in the treatment with 70% relative humidity, the occurrence rate of white rust dropped to 30% and only two spots of symptoms were observed with only 1 or 2 infected leaves per plant. The growth of cut flowers, such as fresh weight and leaf number, was the highest in 70% relative humidity. In the 90% relative humidity treatment, the first symptom of white spot appeared at 6 days after planting in chrysanthemum infected with white rust (stage 1), and then after one day, teliospores came out through the epidermal tissue of leaf (stage 2). The telium was formed with increasing teliospores after 1 to 2 days (stage 3), and then the promycelia developed from teliospores (stage 4). After a lapse of 4 to 5 days, sporidia formed on promycelia (stage 5). Regardless of relative humidity, white rust did not occur at all in treatments at 25°C. In treatments at 20°C, the number of sporidia was high regardless of relative humidity, but white rust did not occur in 60% and 70% relative humidity. As the relative humidity was higher, the number of sporidia and occurrence rate of white rust greatly increased, but the occurrence rate of white rust decreased to less than 14% in 60% and 70% relative humidity in treatment at 15°C.

Additional key words: *Dendranthema grandiflorum*, promycelium, *Puccinia horiana*, sporidia, teliospore, telium

서 언

녹병균은 분류학상 담자균문 녹병균강 녹병균목에 속하는 식물 병원성 균으로 13개과 160속에 7,000여 종이 보고되어 있으며, 열대와 한대에 걸쳐 분포하고 있다(Cummins and Hiratsuka, 2003; Kirk et al., 2008). 대부분의 녹병균은

기주 특이성 현상이 강하게 나타나 특정 속 또는 특정 종의 기주에서만 발생하는 특성이 있으며, 살아있는 식물에서만 기생하는 절대 기생균으로 건전한 식물에 기생한다(Agrios, 2004).

주요 식물에 병을 일으키는 녹병균에는 *Puccinia*, *Gymnosporangium*, *Uromyces*, *Phragmidium*, *Cronartium*, *Melampsora*,

*Corresponding author: yooyong@mokpo.ac.kr

※ Received 19 August 2014; Revised 14 October 2014; Accepted 16 October 2014. 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ008437042013)의 지원에 의해 이루어진 것임.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

Coleosporium, *Phakopsora* 등이 알려져 있다(Ko et al., 1998). *Puccinia* 속은 녹병균목 중에서 가장 종류가 많으며, 각종 맥류의 줄기녹병(*P. graminis*), 옥수수녹병(*P. sorghi*), 사탕수수녹병(*P. sacchari*), 목화녹병(*P. malvacearum*), 잇꽃녹병(*P. carthami*)과 같은 농작물뿐만 아니라, 기린초녹병(*P. stipa-sibiricae*), 파와 마늘녹병(*P. allii*), 잔디녹병(*P. zoysiae*), 붓꽃녹병(*P. iridis*), 국화(*P. horiana*) 등과 같은 원예작물에도 큰 피해를 주고 있고, 우리나라에는 106종이 알려져 있다(Kim, 2001; Kwon and Park, 2003; Lee et al., 2003; Park and Lee, 2003; Ryu, 2004).

국화는 장미, 백합과 더불어 전 세계적 소비가 많은 3대 절화료 알려져 있고, 우리나라에서도 재배면적과 판매량이 절화류 중에서 가장 많을 뿐만 아니라 수출액도 9,759천불로 높은 비중을 차지하고 있다(MAFRA, 2013). 우리나라에서 재배하고 있는 스탠다드 국화 중 ‘백마’는 9월 하순에 개화하는 순백색의 대형 품종으로 꽃잎수가 많고, 꽃의 중앙부가 녹색을 나타내어 깨끗한 이미지를 제공하여 국내 유통량과 수출량이 증가하고 있다(Shin et al., 2005; Yoo and Roh, 2012). 그러나 국화 흰녹병이 시설재배에서 연중 발생하고 있고, 특히 봄과 가을철 주야간 온도 차가 심하거나 강우 시 다습조건에서 많이 발생하여 품질하락 및 생산량 감소의 원인이 되고 있다(Park et al., 2013).

국화 흰녹병은 1895년 일본에서 처음 발견되었다고 보고된 이후, 영국에서는 1963년 일본에서 도입된 숙근성 국화 ‘Konjimum’에서 발견되었고, 이후 국화를 재배하는 거의 대부분의 국가에서 발생하고 있다(Baker, 1967; Dickens, 1994b; Whipps, 1993). 흰녹병의 병징은 처음에는 잎 뒷면에 담황색의 작은 돌기가 생기고, 심하게 감염된 잎은 시들고 말라 죽게 되는데, 국화에서 가장 심각한 피해를 주는 병으로 알려져 있다(Kim et al., 1997). 국화 흰녹병을 유발하는 *Puccinia horiana*는 동포자와 소생자의 두 포자세대를 거치는데, 담황색 돌기인 동포자퇴 내의 동포자가 선단부에서 발아하여 전균사체 위에 소생자가 형성된다. 이 소생자는 바람에 의해 공기 중으로 비산되어 다른 국화에 전염되는 단순 동포자생성의 단순경로를 갖는다(Choi, 2001; Kapooria and Zadoks, 1973; Uchida, 1982).

흰녹병의 발생은 온도와 습도 환경이 중요한 요인으로 알려져 있다. Uchida(1982)는 소생자의 발아 적정 온도는 15-23°C이며, 상대습도 90% 이상이면 가능하다고 하였고, Choi(2001)는 동포자와 소생자의 발아온도는 17°C가 최적이라고 하였다. 그러나 이와 같은 흰녹병균의 형성과 발달

에 관한 연구 결과들은 대부분 실험실 내에서 동포자퇴를 분리하거나 이병엽의 일부 절편을 사용하여 성장상에서 온도를 조절하여 실시된 것이며, 실제 국화 재배포장에서 연구는 실시된 바 없다. 또한 흰녹병 발생과 관련된 시설 내 다양한 습도 및 온도 등 재배환경 조건을 구명한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 스탠다드 국화 ‘백마’를 시설 내에서 재배 시 작물의 생육과 흰녹병 발생에 미치는 상대습도와 온도 조건의 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험 1. 상대습도 조건에 따른 흰녹병 발생, 생육 및 발생단계

본 실험은 스탠다드 국화 ‘백마’(*Dendranthema grandiflorum* ‘Baekma’)를 3월 15일에 삼목하여 발근된 묘를 실험 재료로 사용하였다. 660m² 크기의 플라스틱하우스 내에 16m² 크기의 소형 플라스틱 하우스 16개를 제작하여 사용하였고, 처리당 4반복으로 삼목묘를 1m 폭의 이랑에 10 × 10cm 간격으로 8줄씩 반복당 320주를 4월 5일에 정식하였다. 정식 후부터 복합비료 폴리피드(질소:인산:칼륨 = 19:19:19, Haifa Chemicals Ltd., 이스라엘)를 사용하여 EC 0.8로 조정된 후 1일 2회 공급하였다. 4월 30일에 소형 플라스틱하우스에 가습기(MH-401A, (주)엠테크윈, 한국) 및 공기교반제습기(SGD-11S, 신안그린텍, 한국)를 설치하여 오후 6시부터 이튿날 오전 6시까지 상대습도가 70, 80, 90, 95 ± 2%가 되도록 설정하여 6월 9일까지 처리하였고, 소형 플라스틱하우스 외부의 온도를 측정하였다. 흰녹병에 이병된 초장 25-30cm의 국화 ‘백마’를 20cm 간격으로 4월 30일에 이랑 가운데 식재하였다. 5월 30일부터 흑색비닐을 이용하여 오후 6시부터 오전 6시까지 차광하여 단일처리를 해 주었다. 상대습도 처리 10일 후인 5월 10일부터 6월 9일까지 10일 간격으로 이랑 가운데 정식되어 있는 50개체를 대상으로 4반복으로 흰녹병 발생률, 식물체당 발병엽수, 발병엽당 병징수 등 흰녹병 발생 정도를 조사하였다. 흰녹병 발생률은 잎 뒷면에 흰색 반점의 병징이 가시적으로 확인할 수 있는 것으로 삼았고, 50개 개체 중 병징이 하나 이상 관찰된 것을 대상으로 백분율로 계산하였다. 식물체당 발병엽수는 50개체에서 병징이 1개 이상인 엽수를 조사하여 합친 값을 50으로 나눈 값으로 하였으며, 발병엽당 병징수는 50개체의 발병엽에서 병징수를 조사하여 합친 값을 발병엽수로 나눈 값으로 하였다. 정식 110일 후에 ‘백마’의 절화장, 줄기직경, 엽수, 절화 생체중, 화폭, 꽃무게 등 생육을 조사하였다.

흰녹병의 발생단계를 관찰하고자 상대습도 90% 처리 포장에서 흰녹병에 감염되어 흰색 반점이 나타나는 1단계부터 동포자에서 소생자가 형성되는 5단계까지의 잎을 채취하였다. 디지털실체현미경(DIMIS-M, (주)시원광기술, 한국)과 주사전자현미경(S-3500N, Hitachi, Japan)을 통해 관찰하였고, 흰녹병 발생단계를 5단계로 구분하여 제시하였다. 주사전자현미경을 통한 관찰은 흰녹병에 감염된 잎을 2% glutaraldehyde 용액에서 12시간 세포를 고정시켰고, 0.1M phosphate buffer에서 30분씩 2회 세척하였다. 이후 ethanol 50, 75, 90, 95, 100%에서 각각 40분씩 탈수시켰으며, t-butyl alcohol로 15분씩 3회 세척하였고, freeze dryer로 건조 처리한 후 백금으로 코팅하여 촬영하였다.

실험 2. 온도와 상대습도 조건에 따른 흰녹병 발생

본 실험은 스탠다드 국화 ‘백마’(*Dendranthema grandiflorum* ‘Baekma’)를 9월 15일에 삼목하여 발근된 묘를 실험 재료로 사용하였다. 삼목묘를 주간 20°C, 야간 15°C로 조절된 12m² 크기의 유리온실에 원예용상토(바이오상토, 흥농, 한국)로 채워진 폭 0.8m의 스티로폼 베드에 처리당 3반복으로 10 × 10cm 간격으로 8줄씩 반복당 120주를 10월 2일에 정식하였다. 정식 후부터 복합비료 폴리퍼드(질소:인산:칼륨 = 19:19:19, Haifa Chemicals Ltd., 이스라엘)를 사용하여 EC 0.8로 조절한 후 1일 2회 공급하였다. 11월 2일에 유리온실을 하루 중 일 각각 15, 20, 25 ± 2°C의 조건으로 설정하여 조절하였으며, 가습기(MH-401A, (주)엠테크윈, 한국) 및 공기교반제습기(SGD-11S, 신안그린텍, 한국)를 설치하여 오후 6시부터 이튿날 오전 6까지 상대습도가 60, 70, 80, 90 ± 2%가 되도록 처리하였다. 또한 흰녹병에 이병된 초장 20-25cm의 국화 ‘백마’를 20cm 간격으로 이랑 가운데 식재하였다. 처리 3일부터 9일 후까지 2일 간격으로 20개의 잎을 3반복으로 채취

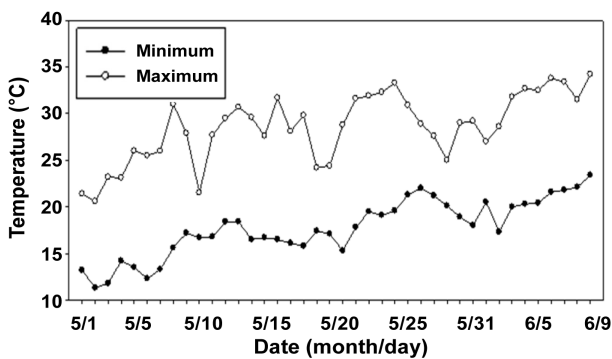


Fig. 1. Daily maximum and minimum temperature in the greenhouse from 1 May to 9 June.

하여 부착되어 있는 소생자 수를 광학현미경(DM 750M, Lecia Microsystems Ltd., Germany)을 통해 조사하였다. 또한 흰녹병 발생까지의 일수 및 처리 후 20일째에 50개체를 대상으로 3반복으로 흰녹병 발생률, 발병엽당 병징수를 조사하였고, 조사방법은 실험 1과 동일하게 하였다.

통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 Duncan의 다중범위검정으로 $p \leq 0.05$ 수준에서 각 처리간 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

실험 1. 상대습도 조건에 따른 흰녹병 발생, 생육 및 발생단계

소형 플라스틱 하우스의 외부 기온을 측정한 결과, 최고 온도는 5월 초순에 20.6°C에서 점차 높아져 6월 초순에 34.2°C까지 상승하였다. 최저온도는 5월 초순에 11.3°C에서 점차 높아져 5월 25일까지 19.5°C 이하로 유지되었고, 이후 상승하여 6월 초순에는 23.4°C까지 높아졌다(Fig. 1).

플라스틱 하우스 내의 상대습도를 오후 6시부터 다음날 오전 6시까지 70, 80, 90, 95%가 되도록 처리한 후 10일 간격으로 흰녹병 발생률을 조사하였다(Fig. 2). 처리 후 10일째에 상대습도 90%와 95% 처리에서는 흰녹병 발생률이 각각 97%와 100%로 높게 나타났고, 상대습도 80%와 70%에서는 각각 50%와 21%로 나타나 상대적으로 낮았으며, 각 처리간

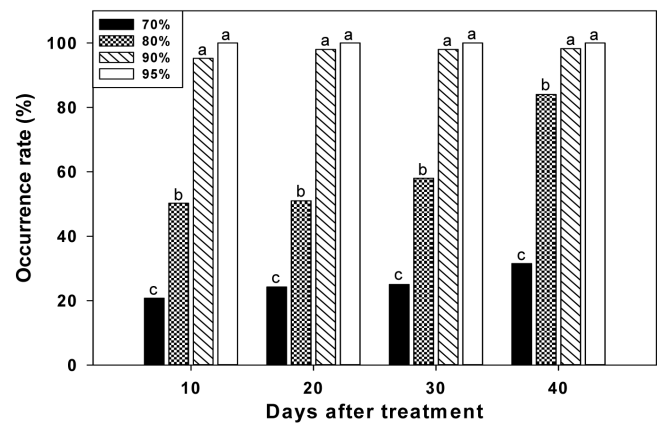


Fig. 2. Occurrence rate of white rust in different relative humidity conditions (70, 80, 90, and 95%) in the greenhouse growing standard chrysanthemum ‘Baekma’. Legend alphabets indicate mean separation at $p \leq 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

유의한 차이를 보여 주었다. 처리 후 시간이 경과함에 따라 상대습도 80%와 70% 처리에서도 조금씩 흰녹병 발생률이 높아졌는데, 처리 후 40일째에 각각 84%와 32%를 나타냈다.

국화 ‘백마’ 흰녹병에 감염된 발병엽수를 조사하였는데, 처리 후 10일째에 상대습도 90%와 95%에서는 1주당 각각 3.8개와 5.2개가 감염되었고, 상대습도 70%와 80% 처리에서는 1주당 각각 1.3개와 1.6개가 감염된 것으로 나타났다(Fig. 3). 처리 후 40일째까지 상대습도 80, 90, 95% 처리에서는 감염된 엽수가 크게 증가하여 각각 4.0개, 10.3개, 10.4개로 나타났다. 반면에 상대습도 70% 처리에서는 1.4개로 발병엽수가 거의 증가하지 않았고, 다른 처리보다 통계적으로 유의하게 적었다.

국화 ‘백마’의 발병엽당 병징수를 조사한 결과, 상대습도 95% 처리에서는 처리 후 10일째에 45.0개가 관찰되었고, 이후 지속적으로 증가하여 처리 40일째에는 78.2개로 조사되었다(Fig. 4). 상대습도 90% 처리에서도 처리 10일째에 22.3개, 20일째에 34.2개, 30일째에 54.1개, 40일째에 55.3개로 시간이 경과함에 따라 병징수가 크게 증가하였다. 상대습도 80% 처리에서는 10일째에 3.3개, 20일째에 5.2개, 30일째에 7.0개, 40일째에 19.2개로 병징수가 서서히 증가함을 알 수 있었다. 상대습도 70% 처리에서는 처리 10일째에 1.8개, 처리 20일과 30일째에 2.1개, 처리 40일째에 2.4개로 다른 처리에 비해 병징수가 가장 적었다.

녹병의 발생은 강우와 상대습도도 큰 영향을 미치는데, *P. iridis*는 붓꽃에서 발생하는 녹병균으로 강우량과 강우일

수가 많아 대기의 상대습도가 높은 계절에 발병이 잘 된다고 하였다(Kwon and Park, 2003). *P. iridis*에 의해 발병되는 마늘 녹병은 여러 환경 요인 중에서 강우량과 상대습도가 가장 큰 영향을 미치며, 잦은 강우와 높은 상대습도에 의해 녹병 발생률이 높았다(Lee et al., 2003). 국화 흰녹병균의 경우에도 동포자와 소생자의 발아를 위해서는 높은 습도가 필요하다고 하였는데, 70% 이하의 상대습도에서는 동포자가 발아할 수 없고, 소생자는 90% 이하의 상대습도에서는 건조에 민감하게 반응한다고 하였다(Water, 1981). Firman and Martin(1968)은 소생자가 잎 조직 내로 침투하기 위해서는 90% 이상의 상대습도 조건이 요구된다고 하였다. 본 실험에서도 시설 내 상대습도가 높을수록 흰녹병 발생률이 높아졌으며, 병징수도 많아졌다. 특히 80% 이상의 상대습도에서 발병률이 크게 증가하였는데(Fig. 2 and Table 2), 상대습도 80% 이상의 처리는 동포자에서 소생자 형성이 용이하였을 뿐만 아니라 소생자의 발아에도 적합한 조건이었기 때문에 판단된다. 반면에 상대습도 70% 이하에서는 흰녹병 발생률이 크게 낮아졌는데(Fig. 2 and Table 2), 이는 동포자에서 소생자 형성과정은 어느 정도 진행되지만(Fig. 5) 낮은 습도 조건으로 인하여 소생자의 발아가 크게 억제되기 때문인 것으로 생각된다.

플라스틱 하우스 내의 상대습도를 오후 6시부터 다음날 오전 6시까지 70, 80, 90, 95%가 되도록 처리한 후 정식 110일 후에 생육을 조사하였다(Table 1). 절화장은 상대습도 95% 처리에서 118.1cm로 가장 짧았으며, 70-90% 처리에서

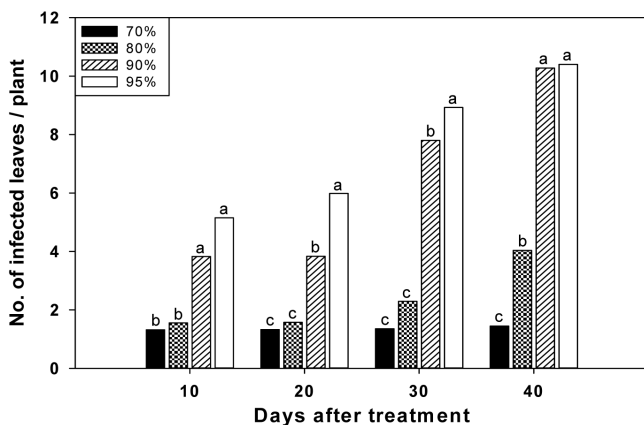


Fig. 3. Number of leaves infected by white rust in different relative humidity conditions (70, 80, 90, and 95%) in the greenhouse growing standard chrysanthemum ‘Baekma’. Legend alphabets indicate mean separation at $p \leq 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

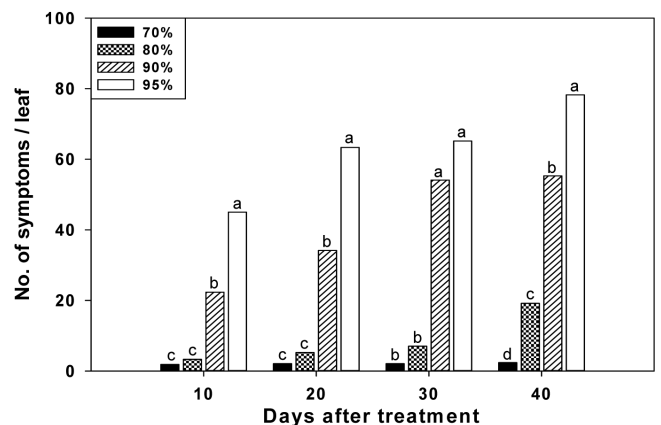


Fig. 4. Number of white rust symptoms in different relative humidity conditions (70, 80, 90, and 95%) in the greenhouse growing standard chrysanthemum ‘Baekma’. Legend alphabets indicate mean separation at $p \leq 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

는 121.1-128.5cm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 줄기 직경과 화폭은 처리간에 차이가 없었으며, 엽수는 상대 습도 70% 처리에서 45.2개로 가장 많았다. 절화 생체중은

상대습도가 90% 이상 높은 처리에서 가벼웠으며, 상대습도 70과 80% 처리에서는 83.7-83.8g으로 나타나 국내 및 일본 시장에서 최고의 품질로 거래되는 수준이었다. 꽃의 생체중

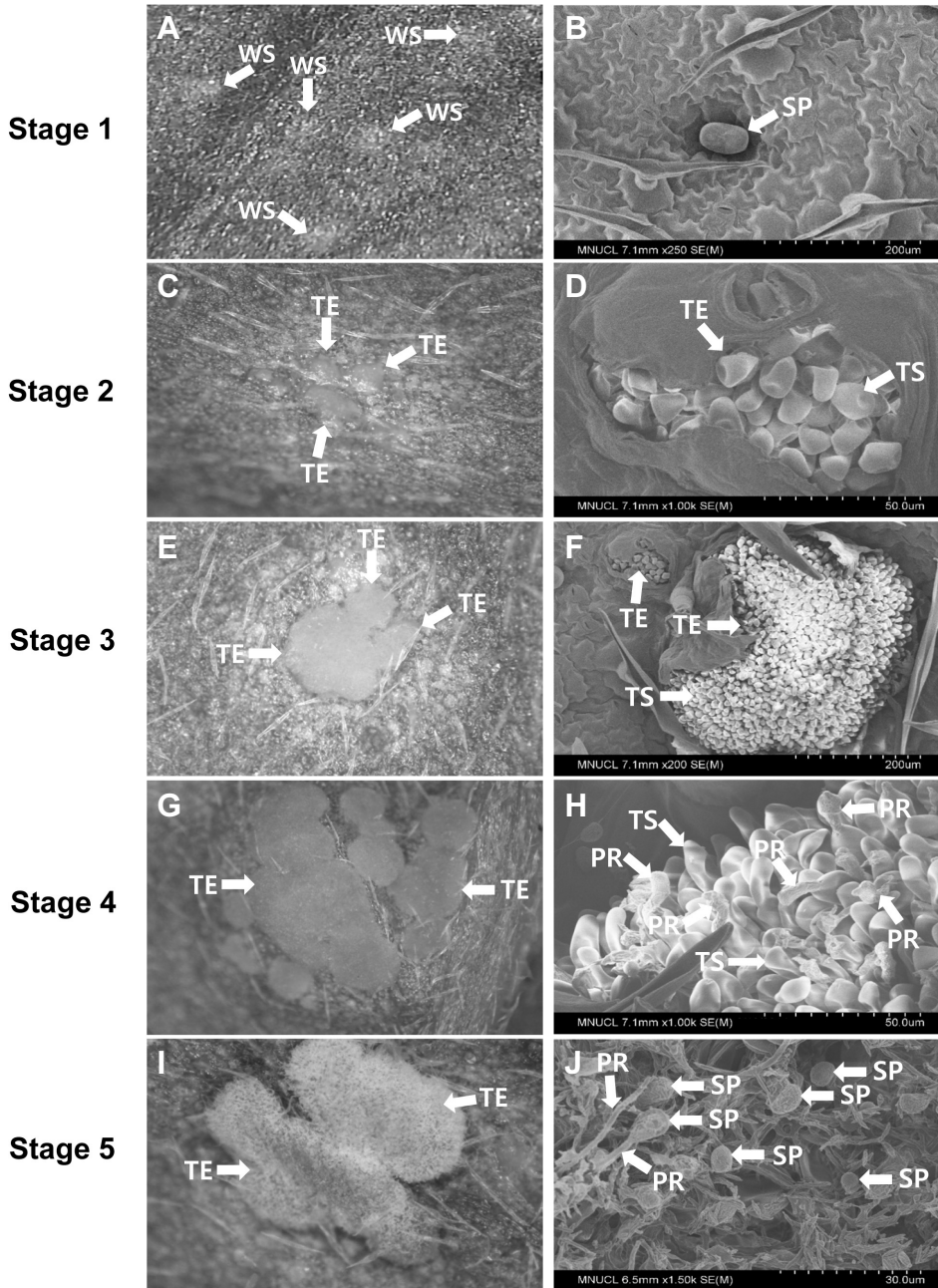


Fig. 5. Developmental stages of white rust in chrysanthemum 'Baekma'. A, C, E, G, and I, stereoscopic micrographs; B, D, F, H, and J, scanning electron micrographs. A, white spot (WS) on leaf in stage 1 at 6 days after treatment; B, penetration of sporidia (SP) into leaf in stage 1 ($\times 250$); C, early telium (TE) of translucent jelly phase in stage 2 at 7 days after treatment; D, telium and teliospore (TS) from epidermal tissue in stage 2 ($\times 1000$); E, developed telium on leaf in stage 3 at 8-9 days after treatment; F, teliospores in telium in stage 3 ($\times 200$); G, combined several telia in stage 4 at 9-10 days after treatment; H, promycelia (PR) developed from teliospores in stage 4 ($\times 1000$); I, white telium covered with promycelia in stage 5 at 14-15 days after treatment; J, sporidia formation on promycelia in stage 5 ($\times 1500$).

은 상대습도 70% 처리에서 12.0g으로 가장 무거웠다.

따라서 국화 ‘백마’의 시설 재배 시 상대습도를 70% 정도로 유지하면 흰녹병 발생률을 30% 내외로 낮출 수 있고, 1-2개의 감염된 잎에 2개 정도의 병징만 나타나 병해를 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 절화의 생육이 양호하여 품질이 향상되는 것으로 나타났다.

흰녹병 발생단계를 1단계부터 5단계로 구분하여 잎을 채취한 후 디지털실체현미경과 주사전자현미경을 통해 관찰했다. 흰녹병 발생 1단계에서는 감염된 국화를 정식한 후 6일후 잎에 가시적으로 확인할 수 있는 흰색 반점이 나타났는데(Fig. 5A), 이 부위를 주사전자현미경으로 관찰하면 소생자가 부착된 잎의 주변 부위가 함몰된 모습을 보여 주었다(Fig. 5B). 이후 1일이 경과되면 흰색반점이 반투명한 젤리상의 모습으로 변화되며 동포자퇴가 형성되기 시작했는데(2단계, Fig. 5C), 잎의 표피조직을 뚫고 동포자들이 잎 표면으로 나오고 있었다(Fig. 5D). 젤리상의 모습은 1-2일 후에 더욱 크기가 커지면서 담황색 증상의 동포자퇴 모습으로 변화하였으며(3단계, Fig. 5E), 많은 동포자들이 형성되었다(Fig. 5F). 이후 1-2일이 경과되면 동포자퇴가 더욱 발달하여 주변의 동포자퇴들과 합쳐지는 모습을 보였고(4단계, Fig. 5G), 동포자에서 전균사체가 발달되는 모습을 보였다(Fig. 5H). 이들 전균사체는 4-5일이 경과되면 동포자퇴를 완전히 뒤덮을 정도로 발달하여 동포자퇴가 흰색으로 보이며(5단계, Fig. 5I), 전균사체에서 소생자가 형성되어 있었다(Fig. 5J).

국화 흰녹병은 소생자가 잎에 붙으면 적정 온도 조건에서 7-10일의 잠복기를 거쳐 병징이 나타난다고 하였다(Firman and Martin, 1968; Zandvoort et al., 1968). *Puccinia horiana*에 감염된 국화의 첫 번째 증상은 잎 표면에 엷은 황녹색 또는 황백색의 증상이 나타나며, 이후 4-7일이 경과되면 증상 위에 동포자퇴가 형성된다고 하였다(Dickens, 1994a; Uchida,

1982). 그러나, 본 실험에서는 흰녹병에 감염된 국화를 정식한 후 6일째에 정상 국화의 잎에서 첫 번째 증상으로 약 0.3-0.5mm 정도의 흰색 반점이 나타났으며, 3-4일 후에 1.0-1.2mm 크기의 황백색 동포자퇴가 형성되어 이전의 연구와는 약간의 차이를 보여 주었다.

실험 2. 온도와 상대습도 조건에 따른 흰녹병 발생

15, 20, 25°C의 온도로 조절된 유리온실 내에서 상대습도를 60, 70, 80, 90%로 처리하여 국화 ‘백마’를 정식한 후 흰녹병균의 소생자수를 관찰하였는데, 전반적으로 15와 20°C에 비하여 25°C 조건에서 소생자수가 크게 적음을 알 수 있었다(Fig. 6). 15°C 조건에서는 상대습도가 높을수록 소생자수가 크게 증가하였는데, 상대습도 60% 처리에서는 소생자수가 처리 3일 후 18.8개에서, 처리 9일 후에는 25.1개로 약간 증가하였다. 그러나, 상대습도 80과 90% 처리에서는 처리 3일 후 각각 19.9개와 24.6개였는데, 처리 9일 후에는 각각 40.1개와 53.1개로 크게 증가하였다(Fig. 6A).

20°C 조건에서는 15와 25°C보다 처리 3일 후에 소생자수가 많이 관찰되었는데, 상대습도 60과 70% 처리에서는 33.5-33.9개였으며, 80과 90%에서는 38.8-39.1개로 나타났다. 처리 5일 후에는 상대습도 처리에 상관없이 소생자수가 조금 증가하는 모습을 보여 주었고, 이후 9일째까지 약간씩 소생자수가 감소하는 경향을 나타냈다. 전반적으로 상대습도가 높을수록 소생자수가 많았으나, 15°C의 조건에 비해 상대적으로 상대습도 처리 간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 6B).

25°C 조건에서는 처리 3일 후의 소생자수가 상대습도 60%에서 8.8개, 70%에서 13.1개, 80%에서 13.2개, 90%에서 15.3개로 나타나 상대습도가 높을수록 소생자수가 증가하였으나, 15와 20°C의 조건에 비하면 소생자수가 크게 감소하였음을 알 수 있었다. 처리 9일 후에는 상대습도 60%

Table 1. Effect of different relative humidity conditions (70, 80, 90, and 95%) in the greenhouse on cut flower growth of standard chrysanthemum ‘Baekma’.

Relative humidity (%)	Cut flower length (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Fresh weight of cut flower (g)	Flower diameter (cm)	Fresh weight of flower (g)
70	121.1 ab ²	5.5 a	45.2 a	83.7 a	9.0 a	12.0 a
80	128.5 a	5.6 a	40.6 b	83.8 a	9.0 a	10.6 b
90	123.7 ab	5.3 a	42.4 b	73.8 b	8.6 a	10.1 b
95	118.1 b	5.5 a	40.2 b	63.1 c	8.5 a	10.7 b

²Mean separation within columns at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

처리에서 소생자수가 15.2개로 가장 적었으며, 상대습도 70% 이상 처리에서는 소생자수가 약간씩 증가하였는데, 70%에서 18.4개, 80%에서 18.2개, 90%에서 18.6개로 나타나 처리 간 통계적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 6C).

15, 20, 25°C의 조건에서 상대습도를 60, 70, 80, 90%로 조절하여 흰녹병 발생까지 일수, 및 처리 20일 후 흰녹병 발생률과 발병엽당 병징수를 조사하였다. 25°C 온도 조건에

서는 상대습도에 상관없이 흰녹병이 발생하지 않았고, 20°C에서 상대습도 60과 70% 처리에서도 흰녹병이 발생하지 않았다(Table 2). 흰녹병 발생까지 일수는 15°C 조건에서 상대습도 60%에서는 10.2일, 70%에서 8.1일, 80과 90%에서는 6.4일과 6.0일이 소요되었고, 20°C 조건에서는 상대습도 80%에서 19.3일, 90%에서는 16.2일 소요되었다. 이러한 결과는 20°C보다 15°C 조건에서, 상대습도가 높을수록 흰녹병이 빨리 발생함을 알 수 있었다. 흰녹병 발생률은 15°C 조건에서 상대습도 60%에서는 6.2%, 70%에서 14.3%, 80%에서는 78.7%, 90%에서는 89.4%로 나타나 시설 내 상대습도가 높을수록 흰녹병 발생률이 높았고, 20°C에서는 상대습도 80%에서 12.3%, 90%에서 32.1%로 나타났다. 또한 흰녹병에 감염되어 나타나는 엽당 병징수는 15°C 조건에서 상대습도 60%에서는 1.3개, 70%에서 2.5개, 80%에서는 7.5개, 90%에서는 16.3개로 나타나 상대습도가 높을수록 동포자수가 많이 형성되었다. 시설 내 온도조건이 20°C에서는 상대습도 80%에서 1.7개, 90%에서 4.3개로 나타나 상대적으로 15°C 조건보다 병징수가 적었다.

국화의 흰녹병은 주로 국화와 식물에서 발병하며, 다습하고 온도가 낮은 봄과 가을에 주로 발생한다. 이러한 계절에 주로 발병하는 이유는 흰녹병균인 *Puccinia horiana*의 소생자가 발아하여 국화 잎에 감염되고, 감염증상인 동포자수가 형성된 후 전균사체에서 소생자들이 발달하기까지는 온도 조건에 의해 크게 영향을 받기 때문이다. 흰녹병에 감염된 국화 잎의 절편을 분리하여 생장상 내에서 온도에 따른 병 발생을 관찰했는데, 동포자에서 소생자의 형성은 4-23°C에서 가능하나, 25°C 이상에서는 소생자가 형성되지 않았고, 15-20°C가 최적의 온도 조건이라고 하였다(Anikster, 1986; Firman and Martin, 1968; Park and Kim, 1993). 또한, 소생자는 0-30°C에서 발아하지만, 적정 발아온도는 13-22°C이며, 잎 표피조직으로의 침투는 17-24°C의 온도 범위에서 진행된다고 하였다. 만약 소생자가 30°C에서 발아되더라도 25°C 이상에서는 잎을 침투하지 못하여 감염되지 않는다고 하였다(Firman and Martin, 1968; Park and Kim, 1993). Choi(2001)는 동포자와 소생자의 발아는 모두 17°C가 최적의 온도 조건이라고 하였다.

실험 1에서 흰녹병이 대부분 발생하는 처리 후 7일 이내의 시설 내 온도가 주간 20-26°C, 야간 11-14°C로 유지(Fig. 1)되었기 때문에, 상대습도 90% 이상에서 97%의 높은 발병률을 보여준 것으로 판단된다. 또한 5월 말 이후에는 시설 내 온도가 주간 30°C, 야간 20°C 이상 높아짐에 따라 흰녹

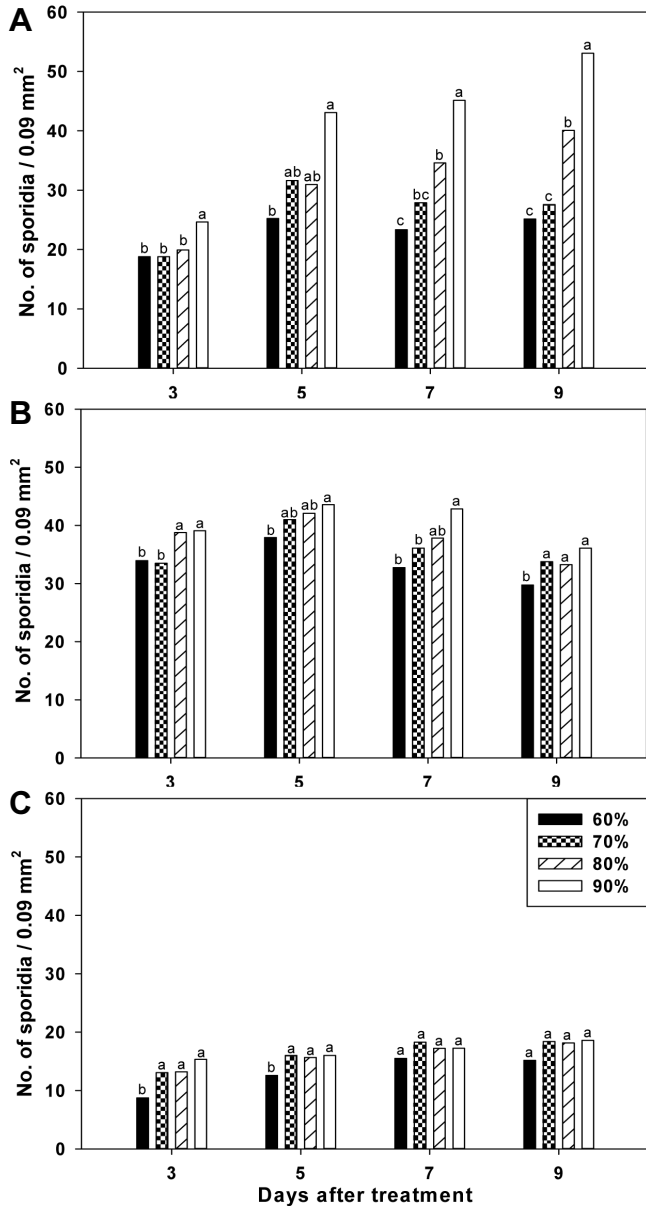


Fig. 6. Number of sporidia of white rust on standard chrysanthemum 'Baekma' leaf in different temperature and relative humidity conditions in the greenhouse. A, 15°C; B, 20°C; C, 25°C. Legend alphabets indicate mean separation at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. Effect of different temperature and relative humidity conditions in the greenhouse on days to occurrence, occurrence rate, and the number of symptoms of white rust in standard chrysanthemum 'Baekma' at 20 days after treatment.

Treatment		Days to occurrence	Occurrence rate (%)	No. of symptoms/leaf
Temperature (°C)	Relative humidity (%)			
15	60	10.2 c ^z	6.2 e	1.3 d
	70	8.1 d	14.3 d	2.5 cd
	80	6.4 e	78.7 b	7.5 b
	90	6.0 e	89.4 a	16.3 a
20	60	- ^y	-	-
	70	-	-	-
	80	19.3 a	12.3 d	1.7 d
	90	16.2 b	32.1 c	4.3 c
25	60	-	-	-
	70	-	-	-
	80	-	-	-
	90	-	-	-

^zMean separation within columns at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^yNo infection to white rust.

병 발생률이 거의 증가하지 않았다. 실험 2에서도 시설 내 온도가 25°C 조건에서는 상대습도가 높더라도 흰녹병이 전혀 발생이 되지 않았다(Table 2). 이러한 결과는 Park and Kim(1993)과 Firman and Martin(1968)의 연구에서와 같이 25°C 이상에서는 상대습도가 높아도 소생자의 형성이 억제 될 뿐만 아니라 소생자가 형성되더라도 잎을 침입하지 못하기 때문인 것으로 판단되었다. Choi(2001)는 습도보다 온도가 흰녹병 발병에 주된 요인으로 작용한다고 하였는데, 본 실험에서도 20°C 조건에서 상대습도 처리 간 소생자수의 차이가 크지 않았고, 상대습도 90% 처리에서 흰녹병 발생률이 32%로 낮은 것으로 보아 상대습도보다 온도조건이 흰녹병 발생에 더 중요한 것으로 판단되었다. 15°C의 온도 조건에서는 습도가 높을수록 잎에서 관찰된 소생자수가 크게 증가하였고, 병 발생률도 높았다(Fig. 6). 이는 동포자의 발아에 이어 소생자의 형성은 15°C 정도의 온도와 높은 습도를 요구하기 때문인 것으로 분석되었다.

이와 같이 온도와 상대습도는 국화의 흰녹병 발생에 큰 영향을 미치는데, 국화의 흰녹병을 예방하거나 방제하기 위해서 myclobutanil, triflumizole, triadimefon, mancozeb 등의 약제를 살포하는데(Choi, 2001; Priest, 1995; Wang et al., 2008), 시설 내의 온도와 습도 환경이 불량하면 방제 효과가 크게 떨어진다. 따라서 시설 내 온도가 20°C 이하이면서 상대습도가 높은 시기에는 제습기를 이용하여 상대습도를 70%

이하로 낮추도록 관리하고, 소생자의 잠복기를 고려하여 적용 약제를 6-7일 간격으로 살포한다면 국화 흰녹병 발생을 예방할 수 있을 것으로 판단되었다.

초 록

본 연구는 스탠다드 국화 '백마'의 흰녹병 발생과 생육에 미치는 시설 내의 상대습도(70, 80, 90, 95%)의 영향을 조사한 후, 온도(15, 20, 25°C)와 상대습도(60, 70, 80, 90%)의 상호관계를 알아보고자 실시되었다. 또한 흰녹병의 발생 초기부터 동포자퇴에서 소생자가 형성될 때까지 병 발생 단계를 관찰하였다. 국화 '백마'를 시설 재배 시 상대습도를 90% 이상 조건에서 40일간 처리되었을 때, 흰녹병 발생률이 97%, 주당 발병엽수가 10개, 발병엽당 병징수가 55개 이상으로 나타났다. 그러나, 상대습도를 70% 이하로 유지하면 흰녹병 발생률을 30% 낮출 수 있고, 한 주당 1-2개의 감염된 잎에 2개의 병징만 나타나 병해를 크게 줄일 수 있었다. 생체중과 엽수와 같은 절화의 품질은 다른 처리보다 상대습도 70% 처리에서 가장 우수하였다. 상대습도 90% 처리구에서 흰녹병에 감염된 국화를 정식한 후 6일 후에 첫 병징인 흰색 반점이 나타났고 (1단계), 1일 경과 후에 동포자가 잎의 표피 조직을 뚫고 나왔으며(2단계), 1-2일 후에 동포자의 수가 증가하면서 동포자퇴가 크게 형성되었다(3단계). 동포자에서

1-2일 후에 전균사체가 발달하였고(4단계), 4-5일 경과된 후 전균사체에서 소생자가 형성되었다(5단계). 시설 내 온도를 25°C로 처리했을 때, 상대습도에 관계없이 흰녹병이 전혀 발생하지 않았다. 시설 내 온도가 20°C에서는 상대습도에 관계없이 소생자수가 많았으나, 60%와 70%에서는 흰녹병이 발생하지 않았다. 시설 내 온도가 15°C에서는 상대습도가 높을수록 소생자수가 많았고, 흰녹병 발생률도 높아졌으나, 상대습도가 낮은 60-70% 처리에서는 흰녹병 발생률이 14% 이하로 낮았다.

추가 주요어 : *Dendranthema grandiflorum*, 전균사체, *Puccinia horiana*, 소생자, 동포자, 동포자퇴

인용문헌

- Agrios, G. 2004. Plant pathology. 5th ed. Academic Press, USA.
- Anikster, Y. 1986. Teliospore germination in some rust fungi. *Phytopathology* 76:1026-1030.
- Baker, J.J. 1967. Chrysanthemum white rust in England and Wales 1963-66. *Plant Pathol.* 16:162-166.
- Choi, J.D. 2001. The physiological characteristic, selection of resistance cultivars, and effect of control on white rust of chrysanthemum. MS thesis, Kongju National University, Kongju, Korea.
- Cummins, G.B. and Y. Hiratsuka. 2003. Illustrated genera of rust fungi. 3rd ed. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Dickens, J.S.W. 1994a. Review of the biology and epidemiology of chrysanthemum white rust. *North Amer. Plant Protection Organization* 14:1-3.
- Dickens, J.S.W. 1994b. The occurrence and control of chrysanthemum white rust in the United Kingdom. *North Amer. Plant Protection Organization* 14:24-28.
- Firman, I.D. and P.H. Martin. 1968. White rust of chrysanthemum. *Ann. Appl. Bio.* 62:429-442.
- Kapooria, R. and J.C. Zadoks. 1973. Morphology and cytology of the promycelium and the basidiospore of *Puccinia horiana*. *Neth. J. Plant Pathol.* 79:236-242.
- Kim, S.H. 2001. Taxonomic study of rust fungi (*Uredinales*) in Korea. PhD dissertation, Incheon Univ., Incheon, Korea.
- Kim, Y.J., M.R. Cho, J.S. Kim, N.Y. Heo, and S.Y. Na. 1997. Disease and pest in floricultural crops. Nongmunsinmunsa, Seoul, Korea p. 124-125.
- Kirk, P.M., P.F. Cannon, D.W. Minter, and J.A. Stalpers. 2008. Dictionary of the fungi. 10th ed. CABI, Wallingford, UK.
- Ko, Y.J., H.D. Shin, K.G. Ahn, S.G. Lee, J.G. Lee, B.J. Cha, and J.S. Cha. 1998. Plant pathology. 4th ed. World Science, Seoul, Korea.
- Kwon, J.H. and C.S. Park. 2003. Rust of *Iris nertschinskia* caused by *Puccinia iridis*. *Res. Plant Dis.* 9:125-127.
- Lee, D.H., J.S. Hur, and Y.J. Ko. 2003. Occurrence of garlic rust in southern regions of Korea. *Res. Plant Dis.* 9:121-124.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2013. Annual report of floriculture in 2012. MAFRA, Seoul, Korea.
- Park, K.S. and C.H. Kim. 1993. Effect of temperature and pH on sporidia formation of *Puccinia horiana* on chrysanthemum and evaluation of varietal resistance. *Korean J. Plant Pathol.* 9:42-46.
- Park, K.S. and S.G. Lee. 2003. Rust of safflower (*Carthamus tinctorius*) caused by *Puccinia carthami*. *Res. Plant Dis.* 9:128-130.
- Park, S.R., I.P. Ahn, D.J. Hwang, A.C. Chang, K.B. Lim, and S.C. Bae. 2013. Current status of ecology and molecular detection in *Puccinia horiana*. *Flower Res. J.* 21:128-132.
- Priest, M.J. 1995. Chrysanthemum white rust in New South Wales. *Australasian Plant Pathol.* 24:65-69.
- Ryu, J.S. 2004. Studies on rust of plant with a special reference of *Gymnosporangium* and *Puccinia* species. MS thesis, Andong National Univ., Andong, Korea.
- Shin, H.K., J.H. Lim, H.R. Cho, H.K. Lee, M.S. Kim, C.S. Bang, Y.A. Kim, and Y.J. Kim. 2005. A new standard chrysanthemum cultivar, 'Baekma' with large white flower. *Kor. J. Breed.* 37:119-120.
- Uchida, T. 1982. Infection of chrysanthemum rust and its control. *Plant Protection* 36:170-174.
- Wang, S., H. Liu, and S. Dai. 2008. Field experiment of fungicides for control of chrysanthemum white rust. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* 17:116-119.
- Water, J.K. 1981. Chrysanthemum white rust. *EPPO Bul.* 11: 239-242.
- Whipps, J.M. 1993. A review of white rust (*Puccinia horiana* Henn.) disease on chrysanthemum and the potential for its biological control with *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas. *Ann. Appl. Biol.* 122:173-187.
- Yoo, Y.K. and Y.S. Roh. 2012. Growth and cut flower quality as affected by irrigation and nutrient level during short day treatment in *Dendranthema grandiflorum* 'Baekma'. *Flower Res.* 20:211-217.
- Zandvoort, R., C.A.M. Groenewegen, and J.C. Zadoks. 1968. On the incubation period of *Puccinia horiana*. *Netherlands J. Plant Path.* 74:128-130.