식물병연구
Research Article | Open Access
Res. Plant Dis. 20(2) : 79-86(2014)
http://dx.doi.org/10.5423/RPD.2014.20.2.079

수출용 오리엔탈 백합 품종 잎마름병 방제를 위한 감마선 및 화학 대체제 융복합 처리 효과

Application of Gamma Irradiation and Its Convergent Treatments on Several Varieties of Oriental Hybrid Lily to Control Leaf Blight

김지훈 · 구태훈 · 홍성준 · 윤성철*

선문대학교 의생명과학과

Ji-Hoon Kim, Tae-Hoon Koo, Sung-Jun Hong and Sung-Chul Yun*

Department of Biomedical Sciences, Sun Moon University, Asan 336-708, Korea

***Corresponding author**
Tel : +82-41-530-2282
Fax: +82-41-530-2939
E-mail: scyun@sunmoon.ac.kr

In order to seek more eco-friend, economic and safer quarantine method than current methyl bromide fumigation, the convergent treatment with 200 Gy of gamma irradiation and several chemicals such as nano-siver particles (NSS), sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) was tried on the cuttings of lily in the packing of catonnage box for export. With 6 independent experiments of gamma irradiation on the three lily cultivars, cvs. Siberia, Le reve and Sorbonne, incidence and severity of lily leaf blight was investigated on leaves and petals at 8-d after infection. 200 Gy of gamma irradiation decreased at 13–25% of severity on the leaf of Sorbonne, but it increased at 2–5% of severity on the leaf of Siberia and Le reve. Chemical substitutes such as NSS and NaDCC were not effective to control of lily blight on cuttings. By 200 Gy of gamma irradiation treatment, chlorophyll contents were statistically significantly decreased at 12-d after irradiation and the longevities vaselife of fully open flower of Siberia and Sorbonne were increased at 0.4 to 1.2 days. In addition, the relative fresh weights of the gamma irradiated cuttings were severely dried compared to the non-irradiated control. On the other hands, the symptoms of phyto-toxicity of high dose gamma irradiation at 1 or 2 kGy on cv. Siberia were to be blight at the tip of bloom, bent necks of flower, and delayed the process of flowering.

Keywords : NaDCC, Nanosilver, Phytotoxicity, Quarantine, Vaselife

Received May 29, 2014
Revised June 17, 2014
Accepted June 20, 2014

서 론

백합은 국화, 장미와 더불어 우리나라 3대 수출 화훼 품목으로서 2012년 수출액은 약 300만 US$이었으며, 대부분 일본으로 수출되었다(KITA, 2012). 백합 계통은 오리엔탈(Oriental hybrid), 아시아틱(Asiatic hybrid), 나팔 백합(Longiflorum)으로 나뉘는데, 대표적인 수출 품종은 꽃과 잎이 다른 계통에 비해 비교적 크고 향기가 강한 특징을 갖는 오리엔탈 계통이다(Taean LES, 2014). 이 중 대표적 수출 품종은 흰색의 시베리아와 리얄토, 분홍색의 소르본느, 메두사, 쉴라 등이다. 최근 백합 수출시장에서 다양한 품종이 요구되는데 그 이유는 일부 품종으로 공급이 제한될 경우 공급량 증대에 따라 단가가 낮아지기 때문이다(Kim, 2012). 우리나라 주요 백합 생산지는 강원, 제주, 충남 태안지역이며, 수입국인 일본의 겨울철과 3, 4월 수요 증대에 따라 여수, 부산 등 남부지역으로 확대되고 있다(Kim, 2012). 시설 하우스와 노지 포장에서 재배하는 백합에서 가장 큰 문제는 백합 잎마름병이다. 이 병 방제는 예방용 살균제 살포가 보편적인데 종종 잎에 남은 약흔이 수출 클레임이 된다(Hahm 등, 2007).

백합 수출 과정에 소요되는 기간은 농가에서 90 cm로 절화 후 화훼 수출 회사에 집하되어 수출 검역 완료까지 약 1–2일 소요되며, 수입국으로 수송에 2–3일이 더 소요된다. 수입국에서 하역 후 검수단계를 거쳐 도매상에 도착까지 1–2일이 소요된다. 농가에서 절화한 백합이 봉오리에서 만개하여 꽃을 즐길 수 있는 기간을 최대 2주로 본다면, 수출과정에 5–7일 이상 소모

되어, 실제 구매한 소비자가 즐길 수 있는 기간은 7–10일이므로 수출과정 단축도 중요하다. 이외에도 수출 절화류 품질저하의 원인에는 수입국의 까다로운 검역 통관에 따른 지연이며 이는 신선도 유지가 중요한 절화 품질에 큰 영향을 주고있다(Park 등, 1999).

한편, 수출 검역에 보편적으로 사용되어온 methyl bromide (MeBr)는 성층권 오존층을 파괴하는 환경 위해 물질로서 농업생산 현장 및 선진국에서는 2005년 이후 사용이 전면 금지되었고, 우리나라 검역에서도 2015년 이후 사용 금지 예정이므로 대안이 필요하다. 감마선 조사는 MeBr 훈증 방법보다 경제적이며, 환경적으로도 안전하므로, 선진국은 향신료뿐만 아니라 신선 과일과 채소의 검역에 이미 사용 중이다. 따라서, 우리나라도 이온화 에너지는 검역에 적용하는 응용 기술 개발이 요구된다(Yoon 등, 2009). 만일 백합 수출 검역과정에서 이온화 에너지 사용이 가능하다면, 살균제 약흔 클레임 문제를 해결함과 동시에 재배 중 백합 잎마름 병원균의 살균제 저항성 출현 문제(Kim 등, 2001)를 해결할 수 있다. 더불어서 감마선은 절화류의 수명을 연장시키므로(Park 등, 1999), 절화 백합 저장성을 향상시켜 관상수명 연장을 통한 품질 향상도 기대할 수 있다.

이온화 에너지를 이용한 수출입 검역은 아직 우리나라에서 적용된 바 없으나, 주요 선진국의 경우 신선 과실과 채소를 중심으로 감마선, 엑스선 그리고 가속 전자선과 같은 이온화 에너지를 사용하고 있다(Kader, 1986). 50–150 Gy 이하의 이온화 에너지는 구근의 발근 및 인경의 발아를 억제할 수 있으며, 아스파라거스나 버섯의 수확 후 생장억제를 시킬 수 있다. 150–750 Gy의 이온화 에너지는 곤충 발달을 억제시킴으로써 방제가 가능하며 비슷한 선량에서 바나나, 망고, 파파야 등의 후숙을 억제시킬 수 있다. 하지만 수확 후 발생하는 진균병을 방제하기 위해서는 1750 Gy 이상이 요구되므로 연약한 조직을 갖는 절화 백합에 적용하기에는 너무 높은 선량이다. 따라서, 식물병원균 제어를 위한 감마선 연구에는 화학 대체제와의 융복합 기술이 필수적이다.

이온화 에너지는 화훼 해충의 멸충 및 절화 생육억제 뿐만 아니라 한약재의 멸균, 사료곡물의 멸균, 수입 목재의 멸균과 곰팡이 제거, 돼지고기 멸균 등 다양한 농산물에 활용 가능하지만 이들 중 화훼산업 분야는 다른 농산물 분야에 비해 시장이 지속적으로 성장하고 있고, 먹거리가 아니므로 식약청 허가와 같은 법적 규제가 없으며, 낮은 선량이 요구되므로 조사비용이 적게 드는 등 열거한 농산물 적용 분야 중에서 가장 유망한 분야이다(Woo와 Kwon, 2008).

본 연구진은 선행연구를 통해 백합 수출현장 잎마름병 방제 대안으로 감마선과 화학 대체제인 이염화이소시안산나트륨(Sodium dichloroisocyanurate, NaDCC)을 각각 200 Gy와 40 μg/l로 융복합 처리를 제안한 바 있다(Kim과 Yun, 2014). 하지만 선행연구는 백합 잎 절편을 한천 판에 접종시킨 간이 접종 방법이므로 절화 백합의 수출용 박스에 감마선과 대체제를 처리하여 대량으로 수출되는 현장에서 적용 가능한 실증 실험의 평가가 필요하다. 더불어서 수출 현장에서 점차 증가하는 다양한 백합 품종 수요에 발맞춰 대표적 수출 품종들에 대한 감마선 민감도 연구도 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라 수출 검역현장에서 현행 MeBr의 대안으로서 감마선 융복합기술 적용이 가능한지를 알아보기 위해 백합 잎마름병 방제와 수출 절화백합의 고품질 유지를 목적으로 실험을 실시하였다. 대표적 수출 절화백합 품종인 시베리아, 르네부, 소르본느 품종을 대상으로 수출 포장 박스 단위로 지난 연구에서 제시한 200 Gy 수준의 감마선 조사와 NaDCC 및 NSS 화학대체제를 적용하여 잎과 꽃잎에서 발생하는 잎마름병 방제 가능성을 알아보았다. 뿐만 아니라, 감마선 및 융복합 처리에 따라 화병에서 보관 중인 절화 백합에서 변화하는 엽록소 함량, 생중량 및 관상수명의 변화를 측정하여 감마선을 수출용 백합에 처리했을 때 나타나는 품질변화를 평가하고 1–2 kGy 고선량의 감마선이 조사되었을 때 나타나는 시베리아 품종의 피해 증상도 알아보았다.

재료 및 방법

백합, 백합 잎마름병원균, 감마선 처리. 실험에 사용한 백합은 오리엔탈 계통인 시베리아(*Lilium* oriental hybrids 'Siberia'), 르네부(*Lilium* oriental hybrids 'Le reve'), 소르본느(*Lilium* oriental hybrids 'Sorbonne')로 농가에서 인위접종 1일전 약 90 cm 길이로 절화한 것이었다. 한 송이에는 대략 3–5개의 꽃봉오리가 달려 있으며 가장 발달이 빠른 맨 아래 꽃봉오리의 꽃잎도 초록색이었다.

백합 잎마름 병원균은 한국농업미생물자원센터(Korean agricultuleal culture collection; KACC)에서 분양받은 *Botrytis elliptica*(NO.43461)를 사용하였다. *B. elliptica*는 감자한천배지(PDA; Difco, USA)에 22°C에서 7일간 배양하고, 근 자외선광을 12시간씩 매일 조사하여 포자생성을 유도하였다. *B. elliptica*의 포자 현탁액은 5×10^5 spores/ml로 맞추어 접종에 사용하였다.

감마선은 전북 정읍 한국원자력연구원에서 조사(irradiate)하였는데, ^{60}Co으로부터 시간당 600 Gy 선량으로 방출된 감마선을 각 연구목적에 맞게 조사하였다. 백합에 감마선 조사는 봉오리가 열리지 않은 절화백합 시베리아, 소르본느, 르네브를 수출 박스 포장 상태(W: 20 cm, L: 100 cm, H: 15 cm)로 감마선을 200 Gy 선량으로 조사하였다. 감마선 조사는 총 6회 실시하였는데 1차는 2013년 11월 22일, 2차는 12월 19일, 3차는 12월 24일, 4차는 2014년 1월 15일, 5차는 1월 17일, 6차는 2월 18일이었다. 조사 후 백합 절화는 기부로부터 15 cm 위를 수돗물에 담그어 재절화하여 증류수가 들어있는 화병에 담아 14일간 관상수명을 평가하였다. 관상수명은 꽃봉오리가 개화부터 만개하는 개화기간, 꽃의 만개가 유지되는 기간, 관상 평가기간 중

생중량 변화, 엽록소 함량 변화 등을 측정하였다.

잎마름병 병원균 접종 및 감마선과 화학 대체제의 융복합 처리. 시베리아, 르네브, 소르본느 세 가지 품종 절화 백합에 *B. elliptica* 포자 현탁액 5×10^5 spores/ml을 분무접종 한 후, 습도 유지를 위해 포화습도 습실 챔버에 19°C와 상대습도 100%를 유지하면서 24시간 두어 발병을 유도하였다. 습실 처리 후 대체제 NaDCC, NSS을 잎에 약액이 흐를 때까지 충분히 분무한 뒤, 수출용 절화 박스로 포장하여 200 Gy의 감마선을 조사하였다. 처리는 감마선을 조사하지 않은 0 Gy와 200 Gy와 화학대체제의 무처리, NaDCC 40 μg/l와 NSS 40 μg/l의 조합으로서 ① 0 Gy + 무처리, ② 200 Gy + 무처리, ③ 0 Gy + NaDCC 40 μg/l, ④ 200 Gy + NaDCC 40 μg/l, ⑤ 0 Gy + NSS 40 μg/l, ⑥ 200 Gy + NSS 40 μg/l 등 총 6가지 처리가 실시되었다. 각 처리에 사용한 절화백합은 3송이며 매 실험에 품종 당 18송이, 즉 3품종 54송이를 분무접종하여 6회 실험동안 총 324송이의 백합을 사용하였다. 감마선 조사 후, 절화 기부로부터 15 cm 윗부분을 재절화하여 수돗물에 담그고 관상수명의 종료시점까지 발병 심각도를 조사하였다.

잎마름병의 발병율, 발병도 및 방제가. 절화백합에 포자 현탁액을 분무접종한 후, 잎과 꽃잎에 각각 발병율(disease incidence)과 발병도(disease severity)를 측정하였다. 잎의 발병율은 절화 하나 당 9개의 잎을 대상으로 각 잎에서의 발병 유무를 판단하여 처리당 절화 당 8개의 잎, 3 절화의 총 24개 잎을 대상으로 이들 중 발병한 잎의 백분율을 발병율로 나타내었고, 발병도는 발병된 잎의 발병 수준을 0–4까지 나누어 0은 무발병, 1은 잎에서 발병 면적이 1–10%, 2는 11–25%, 3은 26–50%, 4는 50% 이상의 병반 면적으로 정하였다. 발병도는 측정된 각 잎의 병반 면적 수준의 합을 분자로하고 조사한 잎 수×4(최대 발병 수준)로 나눈 백분율로 계산하였다. 꽃잎의 발병율과 발병도도 비슷하였는데, 꽃잎은 절화 당 3개의 봉우리로 처리당 9개 봉우리의 꽃잎을 대상으로 했으며, 만개한 하나의 꽃당 병조사 꽃잎수는 6개, 봉오리의 꽃잎수는 3개 였다. 병조사는 접종 후 8일차에 실시하였고, 총 6번 실험을 각각 반복으로 하였다.

$$\text{발병률(\%)} = \frac{\text{(각 처리구 이병 잎 수)}}{\text{(각 처리구 총 잎 수)}}\times 100$$

$$\text{발병도(\%)} = \frac{\text{처리한 잎의 rate 0–4의 총 합}}{\text{각 처리구의 잎 수}\times 4}\times 100$$

발병율과 발병도의 통계처리는 각 품종 당 6개 처리(감마선과 화학대체제의 조합 = 0, 200 Gy × control, NaDCC, NSS)간의 다중비교를 최소유의차검정(least significant difference)으로 비교하였다.

접종 후 관상기간 중 엽록소 함량, 관상수명 및 생중량 변화. 절화백합을 감마선 조사를 하지 않은 것과 200 Gy 감마선 처리 후에 재절화된 꽃을 화병에 담근 후 최대 2주까지 화병에 담긴 송이의 엽록소 함량, 관상수명 기간 및 생중량 변화를 측정하였다. 매 실험에 품종 당 18송이(감마선 무처리 9송이, 처리 9송이)가 사용되어 3품종 54송이가 6회 반복 실시되어 총 324송이의 백합을 사용하였다. 엽록소 함량은 SPAD(SPAD-502, Konica Minolta; Tokyo, Japan)을 이용하여 감마선 조사 직후와 최초 측정 12–13일 후 감마선을 조사한 잎과 조사하지 않은 잎에서 측정하였다. 측정은 4차, 5차, 6차 세 실험의 3반복 결과였고, 처리간 비교는 감마선 조사 1일 후와 12일 후, 감마선 조사 유무(0과 200 Gy) 등 4가지 처리간의 다중비교를 백합 품종별로 최소유의차검정(least significant difference)으로 비교하였다.

관상수명은 절화백합의 꽃봉오리 끝이 열려 완전 만개 직전까지 개화기간, 만개기간, 만개 이후 꽃의 열화가 진행되는 네 단계를 거치는데, 이 중 개화기간(봉오리가 벌어지기 시작하여 만개까지)과 만개(완전히 벌어져서 열화 직전까지)기간을 각 꽃봉오리에서 측정하였다. 절화당 최대 5개까지 달린 꽃봉오리 중 최하단, 하단, 중단의 꽃봉오리를 대상으로 개화 단계기간을 매일 측정하여 각 단계에 소요되는 기간을 계산하였다. 관상수명 측정은 2차, 3차 4차, 5차, 6차 실험에서 실시되어 5차례 실험의 5반복 결과였으며, 통계 분석 처리는 봉오리 위치(최하단, 하단, 중단)과 감마선 조사(0과 200 Gy) 유무의 조합으로 6가지였고, 처리 간의 다중비교는 3가지 백합 품종 각각의 최소유의차검정(least significant difference)으로 분석하였다.

생중량의 변화는 접종 및 처리 후 화병에 꽂기 직전 모든 절화를 재절화한 무게를 100% 상대값으로 정하여 최초 중량대비 생중량 증감 정도를 %로 나타냈다. 측정은 처리 직후, 5–6일 후, 12일 후에 각각 실시하였다. 4차, 5차, 6차 실험의 3반복 평균이 실시되었다.

고선량 감마선 조사에 따른 시베리아 품종의 영향. 백합 잎마름병 방제를 위해서는 200 Gy 선량의 감마선을 단독 혹은 융복합처리 하였지만, 1–2,000 Gy의 고선량 감마선은 절화백합에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 대조구인 감마선을 조사하지 않은 시베리아 백합과 함께 1 kGy와 2 kGy의 선량을 수출용 절화백합에 2013년 1월 10일에 조사하였다. 각 선량당 10송이씩을 조사한 후 조사 3일부터 10일 후까지 봉오리와 꽃에 나타난 변화를 0 Gy 대조구와 비교하여 육안으로 확인 후, 사진 촬영하였다.

결 과

백합 잎의 잎마름병 발병율(disease incidence)와 발병도(disease severity). 백합 잎에서 잎마름병 발병율(incidence)은 3 품종(르네부, 시베리아, 소르본느)의 발병율은 각각 72–84%,

32–52%, 22–37%로 품종간의 차이를 보였다. 하지만 대체제 무처리와 감마선 단독처리, 대체제 단독처리와 감마선과 대체제 융복합 처리 등 6가지 처리에 따른 통계적 차이는 세 품종 모두에서 나타나지 않았다(Fig. 1A). 비록 처리들 간의 통계적인 유의성은 없었지만 르네부와 시베리아 품종에서 감마선 200 Gy과 NaDCC 융복합 처리는 NaDCC 단독처리에 비해 오히려 발병율이 11–12% 상승한 반면, 소르본느에서 NaDCC와 감마선 융복합 처리가 약 10% 발병율을 감소시켰다. 결론적으로, 소르본느에서는 융복합 처리가 대체제 단독처리에 비해 발병을 감소시켰으나, 시베리아와 르네부에서는 오히려 감마선 융복합 처리에서 더 높은 발병을 보였다(Fig. 1A). 3품종의 발병도는 6–33%로 발병율보다 현저히 낮았다. 르네부, 시베리아는 6처리 모두에서 약 20% 내외의 비슷한 수준의 발병도였으나, 소르본느에서는 화학대체제 무처리나 NaDCC, NSS 단독처리에서의 발병도는 20–33%였는데 비해 융복합 처리에서의 발병도가 6–7%에 불과하여 통계적으로 유의한 발병억제력을 보였다(Fig. 1B).

백합 꽃잎의 잎마름병 발병율(disease incidence)와 발병도(disease severity). 백합 꽃잎에서 발병율은 잎보다 더 높아 세 품종이 55–91%였으며, 가장 높은 것은 소르본느로 81–91%였고, 시베리아는 60–68%, 르네부는 55–70%로서 꽃잎의 발병율은 잎의 발병율과는 달랐다(Fig. 2A). 한 품종 내 감마선과 대체제의 조합인 6가지 처리에 따른 통계적 차이는 3품종 모두 통계적으로 유의하지 않았고, 시베리아와 르네부에서 감마선 처리는 무처리에 비해 발병율이 약 2–7% 증가한 반면 소르본느에

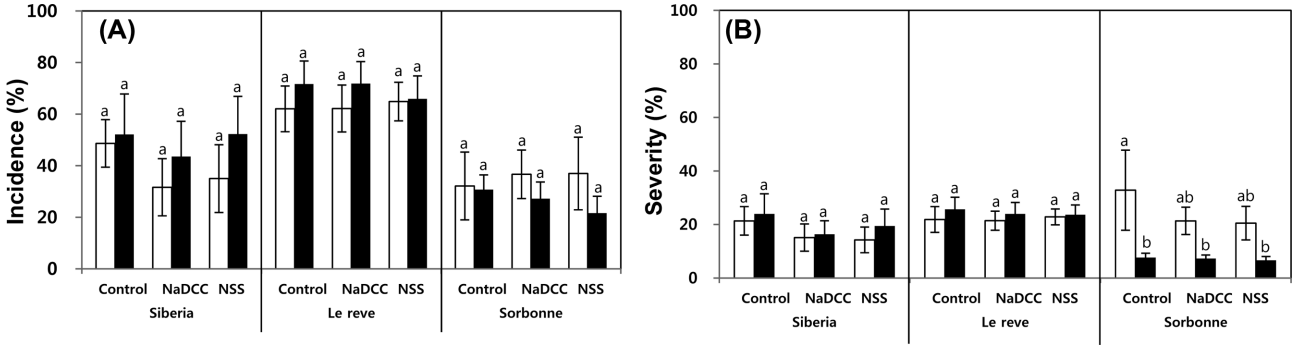

Fig. 1. Leaf blight on lily leaves of the three cultivars, cvs. Siberia, Le reve, and Sorbonne. Symptoms on leaf were measured 8 days after infection. Six treatments were the combinations of gamma irradiation [0 (□) and 200 (■) Gy] and chemical substitutes (no-treated control, NaDCC, NSS); ① 0 Gy + no chemical, ② 200 Gy + no chemical, ③ 0 Gy + NaDCC 40 μg/l, ④ 200 Gy + NaDCC 40 μg/l, ⑤ 0 Gy + NSS 40 μg/l, ⑥ 200 Gy + NSS 40 μg/l. Incidence (%) was a diseased frequency of 9 leaves per cutting and 3 cuttings were treated in each treatment (**A**). Severity (%) was diseased areas of the measured leaf, rated each leaf as 0–4 rates (**B**). Six experiments were independently irradiated. Error bar was standard error of six replications. Statistical comparisons were conducted among the 6 treatments in each cultivar. Different character means statistically different at $p < 0.05$.

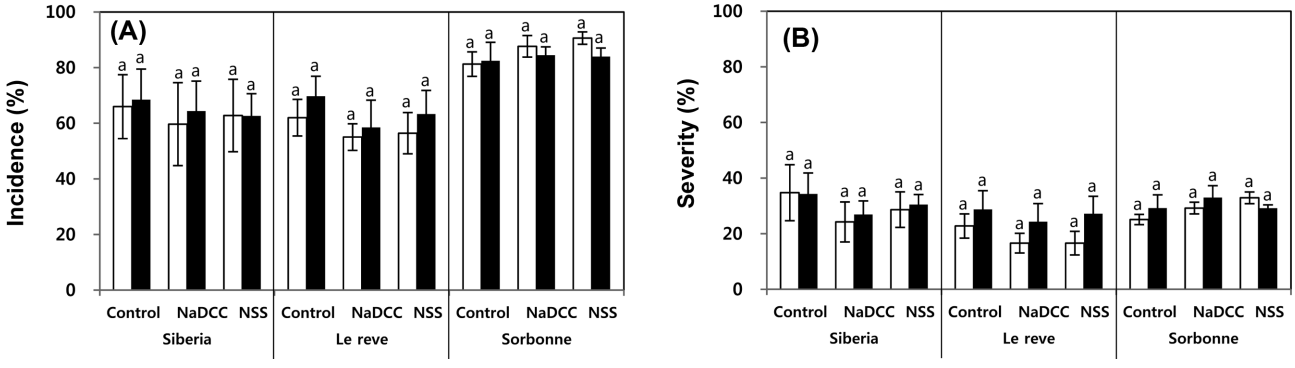

Fig. 2. Flower blight on lily petals of the three cultivars, cvs. Siberia, Le reve, and Sorbonne. Symptoms on flowers were measured 8 days after infection. Six treatments were the combinations of gamma irradiation [0 (□) and 200 (■) Gy] and chemical substitutes (no-treated control, NaDCC, NSS); ① 0 Gy + no chemical, ② 200 Gy + no chemical, ③ 0 Gy + NaDCC 40 μg/l, ④ 200 Gy + NaDCC 40 μg/l, ⑤ 0 Gy + NSS 40 μg/l, ⑥ 200 Gy + NSS 40 μg/l. Incidence was a frequency of 18 petals of 3 flowers per cutting and 3 cuttings were treated in each treatment (**A**). Severity (%) was diseased areas of the measured petal, rated each petal as 0–4 rates (**B**). Six experiments were independently irradiated. Error bar was standard error of six replications. Statistical comparisons were conducted among the 6 treatments in each cultivar. Different character means statistically different at $p < 0.05$.

서는 감마선 융복합 처리가 3–6% 발병을 억제하여 잎에서 나타난 것과 대체로 비슷한 양상을 보였다(Fig. 2A). 꽃잎의 발병도는 3 품종에서 17–35%로서 잎의 발병도보다 약간 높은 수준이었다. 꽃잎의 발병율과 마찬가지로 각 품종별로 6가지 처리에 따른 통계적 유의는 없었다. 소르본느의 NSS 처리를 제외하고는 대체제 단독처리보다 감마선 융복합 처리에서 발병도가 오히려 상승하였는데, 특히 르네부 품종의 경우 6–10% 발병도가 상승하였다(Fig. 2B). 시베리아와 소르본느에서도 2–3% 정도 발병도가 증가하였다.

접종 후 관상기간 중 엽록소 함량, 관상수명 및 생중량 변화. 절화 백합을 물에 꽂아두고 관찰한 결과, 엽록소 함량은 조사 직후 감마선 처리가 엽록소 함량에 영향을 주지 않으나 12일 후 측정한 결과 시베리아와 소르본느에서 경시적인 엽록소 함량 감소가 통계적으로 유의하였다. 한편, 12일 후 측정한 감마선 처리에 따른 엽록소 함량은 통계적으로 유의한 감소는 없었지만 대체로 감마선 처리에서 엽록소 함량이 더 많이 감소되었다(Fig. 3). 르네부 품종에서는 4처리 모두 통계적으로는 같은 수준이었지만 경시적 감소, 감마선에 의한 엽록소 함량 감소 등 비슷한 경향이었다.

백합 꽃이 완연히 만개되어 열화되기 직전까지의 기간을 측정하면, 품종과 상관없이 가장 아랫부분의 꽃은 4–6일 동안 만개한 반면, 하단은 약 3.5일, 중단은 1–2일간 만개하여 최하단 꽃이 가장 긴 만개기간을 보였다(Fig. 4). 200 Gy의 감마선 조사는 시베리아 꽃의 하단과 중단에서 0.6–1.2일 가량 만개기간을 연장시키며, 소르본느의 만개기간을 0.4–0.6일 연장시키나 르네부에서는 감마선 연장 효과는 없다. 최하단 꽃봉오리에서는 르네부와 소르본느에서 200 Gy 감마선이 0.7–1.0일 정도 만개기간을 오히려 단축시켰다(Fig. 4).

한편, 봉오리에서 꽃잎이 벌어지기 시작하면서 만개까지의 기간을 개화과정 기간을 측정한 결과, 만개와는 반대로 하단, 중단의 꽃이 최하단에 비해 개화과정 기간이 1–2.5일 가량 길었는데 이는 생리적으로 만개한 기간이 짧은 반면 개화를 준비하는 기간이 위쪽 봉오리일수록 길어짐을 알 수 있다(Fig. 5). 시베리아의 경우 감마선은 개화 준비기간을 단축시킨 만큼 만개기간을 연장시켰으며, 나머지 두 품종에서 감마선 처리에 따른 개화기간 변화는 매우 미미하였다(Fig. 5).

처리 직후 재절화한 송이의 생중량을 100%하여 상대적인 생

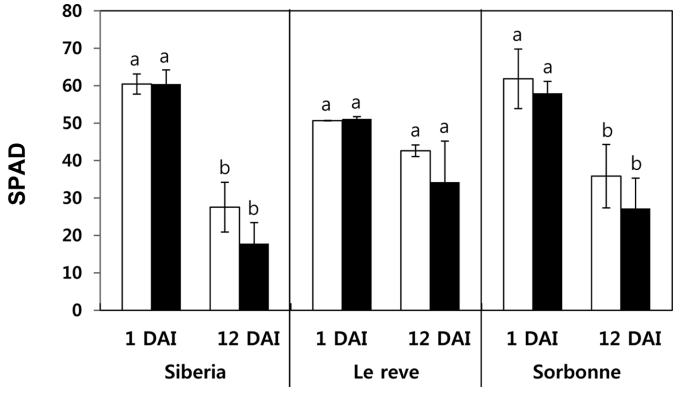

Fig. 3. Chlorophyll contents on lily leaf of the three cultivars, cvs. Siberia, Le reve, and Sorbonne. Chlorophyll contents were measured by SPAD on 9 leaves treated by gamma irradiation [0 (□) and 200 (■) Gy] at right after and 12 days after irradiation (DAI). Three experiments were independently irradiated. Error bar was standard error of three replications. In each cultivar, statistical comparisons were conducted among the 6 treatments, which were the combination of gamma irradiations (0 and 200 Gy) and measured dates (right after and 12 days after irradiation). Different character means statistically different at $p < 0.05$.

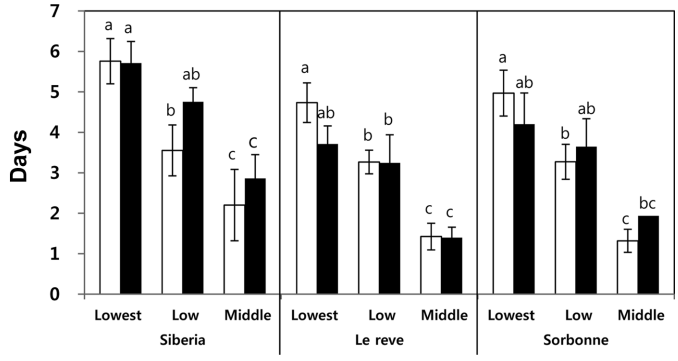

Fig. 4. Durations of fully open lily of cvs. Siberia, Le reve, and Sorbonne on the lowest, low, and middle positions of flowers on a cutting. 200 Gy (■) or non-irradiated (□) gamma irradiation were treated. Multiple comparisons among the six, which were the combination of gamma irradiation (0 and 200 Gy) and position of the flowers at the lowest, low, and middle on a cutting. Statistical comparisons were conducted among 6 treatments in each cultivar. Different character means statistically different at $p < 0.05$.

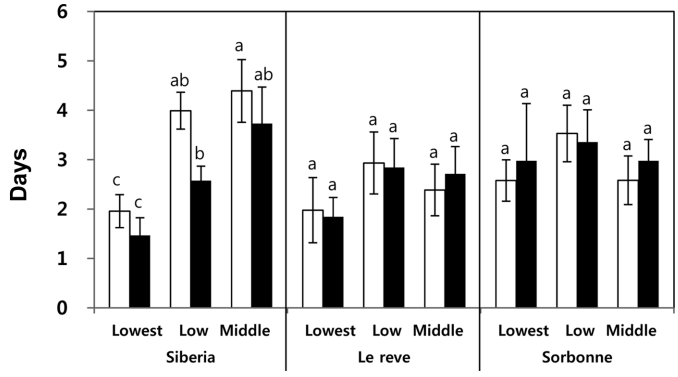

Fig. 5. Durations of opening flower lily of cvs. Siberia, Le reve, and Sorbonne on the lowest, low, and middle positions of flowers on a cutting. 200 Gy (■) or non-irradiated (□) gamma irradiation were treated. Multiple comparisons among the six, which were the combination of gamma irradiation (0 and 200 Gy) and position of the flowers at the lowest, low, and middle on a cutting. Statistical comparisons were conducted among 6 treatments in each cultivar. Different character means statistically different at $p < 0.05$.

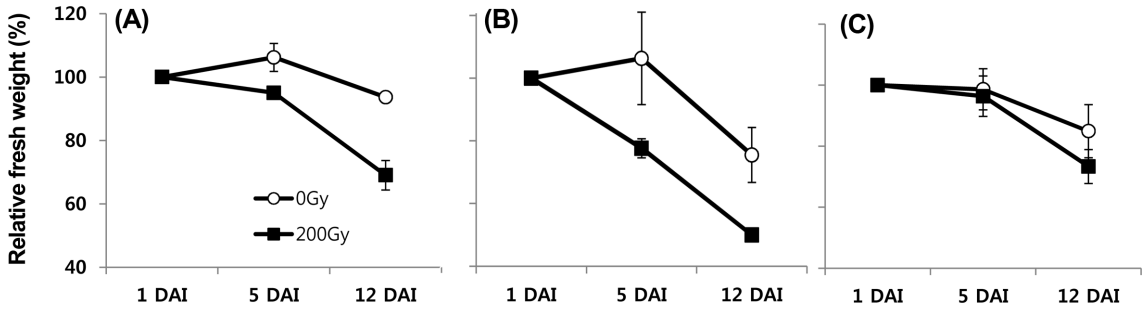

Fig. 6. Changes of relative biomass, 100% at the beginning, were measured at 1, 5, and 12 days after irradiations (DAI). Gamma irradiation [0 (○) and 200 (■) Gy] was treated on the three cultivars, cvs. Siberia (**A**), Le reve (**B**), and Sorbonne (**C**). Three experiments were independently irradiated. Error bar was standard error of three replications.

Fig. 7. Phytotoxicity of gamma irradiation of 1 and 2 kGy on cultivar Siberia lily cuttings. Photos were taken 3–10 days after irradiation depending on the symptoms. Damages on budding tip of flower (**A**), flower necks were bent (**B**), and damages were shown on the colored budding and stop to flowering process.

중량의 경시적 변화를 측정한 결과, 감마선을 처리하지 않은 대조구는 2주까지 75–94%를 유지한 반면 감마선을 조사한 꽃의 생중량은 조사 12일 후, 르네부에서는 초기 생중량의 50%(Fig. 6B), 시베리아에서는 초기 생중량의 70%까지 생중량이 감소하였다(Fig. 6A).

고선량 감마선 조사에 따른 시베리아 품종의 생육영향. 1 kGy와 2 kGy의 감마선을 시베리아 절화에 조사하였을 때 발생되는 생육 피해 양상으로 꽃봉오리 끝이 까맣게 타들어가는 것, 목이 꺾이는 것, 개화가 진전되지 않고 초록색 봉오리로 남거나 초록색에서 흰색으로 색은 변하나 꽃봉오리가 열리지 않고 흰색의 봉오리로 남아있는 증상 등이 고선량 감마선 피해로 관찰되었다(Fig. 7).

고 찰

잎과 꽃잎에서의 발병율과 발병도로 감마선 및 융복합 기술에 따른 잎마름병 방제 효과를 정리하면, 감마선 단독 처리에 의한 발병감소는 소르본느 품종 잎에서 발병율이 감소했으나 통계적 차이는 없었고, 소르본느 잎에서 발병도는 무방제에 비해 감마선과 NSS 융복합 처리로 통계적으로 유의하게 감소되었으나 나머지 품종에서는 거의 감마선에 의한 발병 억제는 없었다. 또한 화학대체제 단독처리로도 이미 감염된 절화백합의 잎마름병 치료효과가 없었다. 한편 본 연구진의 시베리아 잎 절편을 한천 판에서 한 실험의 경우(Kim and Yun, 2014), NaDCC나 NSS 화학대체제 단독처리의 경우 방제가가 상당히 높았다. 본 연구 결과는 선행연구에서 기대했던 감마선과 화학대체제의 융복합 처리로 잎마름병을 방제할 수 있으리라는 예측과는 다른 것이므로 백합 수출현장에서 감마선 조사를 위해서는 화학대체제의 농도를 높이거나 MeBr보다 위해하지 않은 대체 훈증제 개발 등 새로운 실증연구가 필요하다.

세 품종 발병 결과를 보면 잎은 르네부 품종이 백합 잎마름병에 가장 감수성이었으나, 꽃잎은 3개 품종이 거의 비슷했다. 발병율은 소르본느가 가장 감수성이었으므로 잎과 꽃잎 중 어디에 더 심각하게 발병하느냐에 따라 품종의 민감도는 다르다. 본 실험은 높은 농도의 병원균 포자를 인위접종한 후 발병을 유도하였으므로, 조직이 연약한 꽃잎이 상대적으로 심한 발병을 보였지만, 잎마름병이 재배기간 중 발생할 때는 잎에서의 병징이 전형적이므로 꽃잎의 결과보다는 잎의 결과에 더 주목할 필요가 있다. 또한 3 품종 중 잎에서의 마름병에 저항성이 상대적은 높은 소르본느 품종에서의 감마선 처리가 가장 효과적일 것으로 기대된다.

절화백합을 화병에서 즐길 수 있는 기간 동안 200 Gy 감마선을 처리한 시베리아 품종은 최하단 꽃봉오리는 변화가 없으나 하단과 중단에서 개화기간이 줄어든 만큼 활짝핀 만개기간이 0.5–1일 더 늘어나 만개한 꽃을 즐길 수 있다. 소르본느 품종에서는 만개기간 연장이나 개화기간 단축이 나타나긴 하였으나

매우 미미하였고, 르네부는 감마선 조사에 따른 개화수명 연장 효과는 없었다.

백합 수출 검역과정에서 감마선 기술 적용시 유의할 점 중 하나가 경시적인 엽록소 파괴 현상이 감마선 처리에 의해 촉진된다는 결과이다. 비록 소르본느 품종에서는 경시적인 감소 혹은 감마선 처리효과가 통계적으로 유의하지 않았지만, 시베리아와 르네부는 감마선 조사한 구간에서 12일 후 잎에서의 엽록소 함량 감소는 통계적으로 유의하였다(Fig. 3). 감마선 조사가 잎의 노화과정에서 엽록소 함량 감소를 촉진하는 것으로 여겨진다. 화훼류 관상에 있어 꽃뿐만 아니라 싱싱한 잎도 중요한 관상대상이므로 잎의 갈변이 촉진되는 감마선의 피해도 고려할 필요가 있다. Kang 등(2004)의 실험에서 500–750 Gy의 감마선 조사 시 무의 엽록소에서 돌연변이가 나타남을 보고하였다.

Fig. 7에서 보듯이 1–2 kGy의 고선량 감마선 처리로 인해 꽃봉오리가 타들어가는 현상뿐만 아니라, 목꺾임, 개화지연을 넘어 발달이 저해되는 극심한 피해 증상을 보였다. Park 등(1999)의 연구에 따르면, 절화 장미와 국화에서 500 Gy 이상의 감마선 선량에서 황변, 목 꺾임 등의 피해증상을 나타내며, 절화 품질을 매우 악화시켰다. Kim 등(2010)의 연구에서는 포인세티아의 색상변이를 나타내기도 하였다. 더불어 본 실험에서 200 Gy 감마선 조사된 300송이 이상을 관찰한 결과, 비교적 낮은 선량에서도 일부 연약한 꽃봉오리 끝이 갈색으로 변하는 가벼운 피해증상을 보였다. 따라서 화훼류 수출시장에서 보다 완벽한 제품의 품질 확보를 위해 향후 200 Gy보다 낮은 선량의 보완 실험이 필요할 것이다.

절화류 수명 연장을 위한 수단으로 연구된 것으로 저온저장(Rudnicki 등, 1986), 수중 절단(Ahn과 Park, 1996; Ahn, 1996), 설탕용액처리(Hayashi와 Todoriki, 1996; Paulin, 1986), 에틸렌을 포함한 생장조절물질 처리(Awad 등, 1986; Son 등, 1999; van Meeteren과 Slootweg, 1986) 등이 있었으나, 감마선 처리 후 절화 수명 및 생리적 변화를 연구(Park, 1999)한 것은 거의 없었다. Kwon 등(1999)의 연구에 따르면 화병에서 백합이 싱싱함을 유지할 수 있으려면 꽃으로의 원활한 수분공급과 탄수화물 함량이 유지되어야 하며 공급되는 물에서 부패 미생물이 제어되어야 한다. 일반적으로 화병의 꽃에서 초기에 수분 흡수가 진행되나 점차 생리적 기능을 잃으면서 흡수가 줄어든다. 본 실험에서 감마선 조사직후부터 일주일까지 생중량 감소는 감마선 처리와 무처리 둘 다 서서히 진행되었으나, 5일부터 12일 사이에는 감마선이 조사된 백합에서 생중량은 급격히 감소하였다(Fig. 6). 즉 애초 기대했던 감마선 조사에 따른 생리작용 억제와 수명 연장은 없었고, 감마선이 조사된 백합은 생리작용의 억제를 넘어 수분공급의 감소에 따른 마름 현상이 현저히 나타났다. 고선량에서 생화가 빨리 말라가면서 생리적 작용이 현저히 저해되는 변화는 감마선을 이용한 절화 장미와 백합에서 보고된 바 있다(Park 등, 1999).

수출 검역단계에서 절화백합에 감마선을 처리하여 잎마름병을 방제하거나 절화 수명을 연장하려는 시도는 본 연구진이 앞서 잎 절편과 기내실험을 연구를 통해 제시한 방제가에는 도달할 수 없었다. 다만 다른 품종들과는 달리 감마선 조사로 소르본느 잎에서의 발병억제와 시베리아 품종 하단과 중단 꽃봉오리에서 최대 1일 정도 만개기간 연장되는 긍정적 효과를 보았다. 특히 NaDCC 단독처리도 이전 연구의 기대만큼의 결과가 절화백합에서 보이지 않았다. 그럼에도 불구하고 화훼수출 분야는 다른 농산물 분야보다도 이온화 에너지 적용시 상업화 가능성이 높고 조사 비용이 낮은 강점이 있다. 활용할 수 있는 이온화 에너지는 감마선뿐만 아니라 전자빔과 X-선 등 아직도 연구할 분야가 많다. 특히 해충제어에는 비교적 저선량이 요구되므로(Koo 등, 2012) 멸충을 일차목표로 이온화 에너지 검역을 실시하고 문제가 되는 병해는 화학 대체제를 좀 더 고농도로 처리하여 살균력을 높이는 융복합 처리가 현장 적용이 가능한 대안이라고 여겨진다.

요 약

화훼 수출 검역에서 기존 메틸브로마이드 훈증보다 경제적이고 친환경적이며 안전한 대안으로서 감마선 융복합 처리 기술을 백합 잎마름병 방제에 적용하였다. 감마선 융복합 처리는 200 Gy 감마선과 이염화이소시안산나트륨(NaDCC) 은나노 입자(NSS)의 화학대체제를 시베리아, 르네부, 소르본느 품종의 절화 백합이 담긴 수출포장용 종이상자에 총 6회로 실시하였다. 감마선 조사 8일 후 백합 잎과 꽃잎에서 측정한 발병율(disease incidence)과 발병도(disease severity)로 분석 결과, 감마선은 소르본느 잎에서 발병도를 약 13–25% 감소시킨 반면, 르네부 잎에서는 발병도를 2–5% 증가시켰다. 화학대체제 처리와 무처리를 비교한 결과 절화 백합 수출현장에서 화학대체제의 잎마름병 발병 억제 효과를 기대할 수 없었다. 한편, 조사 12일 후 감마선 처리 유무에 따른 백합 잎의 엽록소 함량 비교 결과 감마선에 의해 통계적으로 유의하게 감소하였고, 시베리아와 소르본느 꽃의 만개 기간을 0.4–1.2일 연장시켰다. 또한 감마선이 조사된 절화는 화병에서 무처리에 비해 마름이 발생하여 생중량 감소가 뚜렷하였다. 한편, 1과 2 kGy 고선량 감마선은 백합 꽃봉오리 끝 부분을 짙은 갈색으로 변색시키거나 꽃봉오리 목 부분의 꺾임, 봉오리가 개화하지 못하게 하는 등 마름 이외에도 감마선 과도에 의한 품질저해 피해가 나타났다.

Acknowledgement

This work was supported by Export Promotion Technology Development Program, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. In addition, we thank to Korea Atomic Energy Research Institute for the gamma irradiation.

References

Ahn, G. Y. and Park, J. C. 1996. Effects of postharvest pretreatments on vaselife of cut rose 'Mary de Vor'. *Hort. Environ. Biotechnol.* 37: 475–478. (In Korean)

Ahn, G. Y. 1996. Effect of postharvest pretreatment, recutting stems in water, and carbonated soft drink treatment on vaselife and flower quality of cut rose 'Mary de Vor'. *Hort. Environ. Biotechnol.* 37: 719–725. (In Korean)

Awad, A. R. E., Meawad, A. Kamel, A. and El-Saka, M. 1986. Cut flower longevity as affected by chemical pre-treatment. *Acta Hort.* 181: 177–182.

Hayashi, T. and Todoriki, S. 1996. Sugars prevent the detrimental effects of gamma irradiation on cut Chrysanthemums. *Horti-science* 31: 117–119.

Hahm, S. S., Lee, K. H., Lee, J. W, Lee, H. D. and Yu, S. H. 2007. Control and incidence of leaf blight on lily with different cultural systems. *Res. Plant Dis.* 13: 152–156. (In Korean)

Kader, A. A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *J. Food Technol.* 40: 117–121.

Kang, G. H., Seo, J. K., Ahn, C. H., Lee, K. S., Lee, I. S. and Lee, Y. I. 2004. Chlorophyll mutation of radish irradiated with gamma ray. *Korean J. Hort. Sci. Technol*. 22: 66.

Kim, B.-S., Chun, H. H. and Hwang, Y. A. 2001. Occurrence and changes of *Botrytis elliptica* resistant to fungicides. *Korean J. Pesticide Sci.* 5: 61–67. (In Korean)

Kim, J.-H. and Yun, S.-C. 2014. Effect of gamma irradiation and its convergent treatments on lily leaf blight pathogen, *Botrytis elliptica*, and the disease development. *Res. Plant Dis.* 20: 71–78. (In Korean)

Kim, J. T. 2012. Case study about export of Korean lily to Japan. *Korean J. Trade* 37: 31–52. (In Korean)

Kim, S. T., Kang, S. Y., Lee, E. K. and Kim, W. H. 2010. Rooting, growth, and color mutation of poinsettia cultivars affected by gamma ray radiation. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 28: 146.

KITA (Korea International Trade Association). 2012. http://www.kita.net

Koo, H, N., Yoon, S. H., Shin, Y. H., Yoon, C., Woo, J. S. and Kim, G. H. 2012. Electron beam irradiation induces abnormal development and the stabilization of p53 protein of American serpentine leafminer, *Liriomyza trifolii* (Burgess). *Radiat. Phy. Chem.* 81: 86–92.

Kwon, H. J., Hwang, M. J. and Kim, K. S. 1999. Postharvest physiology and prolonging vase life of cut freesia (*Freesia refracta*). *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 17: 361–364.

Park, I.-H., Jung, Y.-S., Lee, W.-S., Kwon, J.-H. and Byun, M.-W. 1999. Effect of gamma irradiation and post-irradiation treatment of preservatives on the cut flower longevity of rose and mum. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 6: 286–291. (In Korean)

Paulin, A. 1986. Influence of exogenous sugars on the evolution of some senescence parameters of petals. *Acta Hort.* 181: 183–192.

Rudnicki, R. M., Goszcsynsk, D. and Nowak, J. 1986. Storage of cut flowers. *Acta Hort.* 181: 285–294.

Son, K.-C., Byoun, H.-J. and Kim, M.-K. 1997. Effect of ethionine in preservative solution on the physiological changes of petals during vaselife of cut rose cv. Red Sandra. *Hort. Environ. Biotechnol.* 38: 309–314. (In Korean)

Taean Lily Experiment Station. 2014. http://lily.cnnongup.net/html/lily/

Van Meeteren, U. and Slootweg, G. 1986. The effects of foliar sprays with STS during forcing of Lilium x 'Enchantment' on flower-bud abscission and opening. *Acta Hort.* 181: 473–476.

Woo, J. S. and Kwon, H. J. 2008. A survey on commercialization possibility of electron-beam irradiation in agriculture. *J. Environ. Friendly Agri. Res.* 10: 95–118. (In Korean)

Yoon, Y., Byun, M.-W., Kim, W.-J., Kwon, J.-H. and Lee, J.-W. 2009. Current status of food irradiation technology on quarantine of agricultural commodities. *Food Sci. Ind.* 42: 19–26.