

## 절화 백합 잎마름병 방제 및 품질 보존을 위한 감마선 150 Gy와 Sodium Dichloroisocyanurate 병용처리

# Combined Treatment with Gamma Irradiation and Sodium Dichloroisocyanurate to Control Leaf Blight and to Preserve Cut Lilies

구태훈 · 홍성준 · 윤성철\*

선문대학교 BT-융합제약공학과

\*Corresponding author

Tel: +82-41-530-2282

Fax: +82-41-530-2939

E-mail: scyun@sunmoon.ac.kr

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

Department of BT-Convergent Pharmaceutical Engineering, Sunmoon University, Asan 31460, Korea

For the purpose of practical application of gamma irradiation for export lily without the ionic energy damage, 150 Gy gamma ray was suggested as the safe level on cut lilies, the oriental cultivar Siberia (white) and Sorbonne (pink). The combined treatments of 150 Gy gamma ray and sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) at 0, 40, 100, and 200 µg/l, were tried to control lily leaf blight caused by *Botrytis elliptica*. Incidences of petal blight on the two oriental lilies at control were 93%–95%, whereas those at the combined treatments of 150 Gy and 100 µg/l or higher of NaDCC were 76%–83%. However, severity of petal blight was not reduced by the combined treatments. Gamma irradiation at 150 Gy did not change the cut lily quality such as improve cut lily longevity of vase-life compare with the control. In addition, fresh weight, chlorophyll contents, and the color of pink petals of Sorbonne were not changed by 150 Gy of gamma irradiation. Therefore, we recommend the combined treatment of 150 Gy gamma irradiation and 100 µg/l NaDCC for the standard operating procedure on cut lily for export quarantine to control leaf blight.

**Keywords:** *Botrytis elliptica*, Combined treatment, Export quarantine, Oriental lily, Vase-life

Received April 20, 2016

Revised May 12, 2016

Accepted May 31, 2016

## 서 론

수출입 검역에 사용하던 methyl-bromide (MtBr) 훈증제 대신으로 감마선, 엑스선과 같은 이온화 에너지를 식물검역에 활용한 것은 1995년 미국 하와이에서 본토로 과실류 통관이 시초였으며(Zhao 등, 1996), 이후 2004–2007년에 호주, 태국, 인도, 파키스탄, 남아공 등에서 표준처리절차서(standard operating procedure, SOP)를 만들어 활용 중이다. 우리나라

에서도 방사선을 이용한 실용화 기술 개발을 통한 국가차원 검역관리 체계를 구축하고자 검역본부의 소독 기준 처리 설정 및 표준처리절차 지침을 마련하기 위해 2013-2015년에 주요 수출 과채류(사과, 배, 단감, 감귤, 고구마, 파프리카)와 절화 화훼류(장미, 국화, 백합)에 이온화 에너지를 처리한 농산물의 품질 평가를 실시하였다. 과채류는 대체로 400 Gy까지는 무난하나, 조직이 얇고 연한 화훼류는 100–200 Gy의 저선량도 품목에 따라 품질저하를 보이므로 한계흡수 선량 결정에 신중하여야 한다.

이온화 에너지에 대한 장해와 저항성 차이는 같은 종이라

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

©The Korean Society of Plant Pathology

©This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도 품종별로 다르게 나타나므로 농산물 품질 평가는 품목 내에서 품종별로 한계를 설정하여야 한다. 예를 들면, 이온화 에너지를 처리한 장미는 개화불량, 꽃잎 변색 등 품질저하가 심각하였는데, 러블라리디아, 피스, 엠세컨드, 슈팅스타 품종은 아예 감마선 처리가 불가능하였고, 옐로바베도 감마선 100 Gy가 한계흡수 선량이었다(Chu 등, 2015). 특히 진균성 저장 병원균 사멸에는 최소 1 kGy의 감마선이 필요한 반면(Jeong 등, 2015), 연한 조직인 화훼류에 이온화 에너지를 적용하려면 화학제와 병용처리하는 것이 필수적이다(Chu 등, 2015; Yoon 등, 2014). 병용처리는 병원균 살균력 증가를 위해 방사선 선량을 줄이는 대신 병원미생물 제어 및 품질 보존이 가능한 기술이다(Temur와 Tiryaki, 2013).

그동안 본 실험실에서는 수출용 오리엔탈 백합 잎마름병원균(*Botrytis elliptica*) 방제와 절화 백합 관상수명 증대를 위해 시베리아, 르네부, 소르본느 품종을 이용하여 수출 포장 박스에 200 Gy 감마선 혹은 150–200 Gy 엑스선 이온화 에너지와 sodium dichloroisocyanurate (NaDCC)를 병용처리하여 잎과 꽃잎에 발생하는 잎마름병 억제를 시도하였다(Hong 등, 2016; Kim 등, 2014). 하지만 1–2 kGy의 고선량 뿐만 아니라 200–400 Gy의 저선량에서도 일부 꽃대가 꺾이거나 꽃봉오리 끝이 까맣게 타들어가며 개화되지 못하고 꽃봉오리로 남거나 유색품종 백합 꽃잎에서 탈색이 나타나므로, 수출 현장에서 이온화 에너지를 활용할 수 있도록 감마선 선량을 150 Gy로 낮추는 대신 화학처리제인 NaDCC 농도를 증가시키는 병용처리 개선이 필요하였다.

따라서 본 실험은 절화 백합 수출 현장에서 문제되었던 살균제 약흔 클레임을 줄이고자 MtBr 훈증제를 대체할 수 있는 감마선 병용처리 방안을 구축하고자 한다. 이 과정에서 그간 고선량 감마선에서 불가피하게 발생한 백합 조직의 이온화 에너지에 따른 손상을 줄이고자 기존의 200 Gy보다 낮은 선량을 제시하고자 한다. 본 연구의 감마선 150 Gy와 NaDCC 병용처리 결과는 이전 연구에서 보고했던 X선 병용처리 및 200 Gy 감마선 병용처리 결과들과 비교, 평가함으로써 절화 백합 수출 검역에 대한 최종적 처리 방안을 제시하여 이를 토대로 수출 검역 표준처리절차서를 작성할 것이다.

## 재료 및 방법

**절화 백합, 병원균, 감마선 조사.** 본 연구에서 사용한 절화 백합은 200 Gy 감마선 실험과 동일한 오리엔탈 계열인 백색 시베리아(Siberia)와 분홍색 소르본느(Sorbonne) 품종이었으며, 백합 잎마름병 병원균은 지난 연구들(Hong 등,

2016; Kim 등, 2014)과 동일 균주인 한국농업미생물자원센터에서 분양 받은 *B. elliptica* (accession No. 43461)를 사용하였다. 병원균 배양을 위한 감자한천배지, 포자 형성을 위한 자외선 자극, 접종을 위한 포자현탁액 농도 조절 방법 모두 지난 실험과 동일하였다. 감마선 조사(irradiation)는 전라북도 정읍시 소재 한국원자력연구원에서  $^{60}\text{Co}$ 으로부터 시간당 600 Gy 선량으로 방출된 감마선을 이용하여 150 Gy로 조사하였고, 오차는  $\pm 10\%$ 였다. 절화 백합은 수출용 종이 박스 상자(가로×세로×높이: 20×100×15 cm)에 넣어, 감마선 조사는 2015년 1월 14일, 20일, 2월 26일 총 3회 실시하였다.

**감마선과 NaDCC 융복합 처리에 따른 꽃잎에서 잎마름병 발병률(incidence)과 발병도(severity).** 백합 꽃잎에 150 Gy 감마선과 NaDCC를 병용처리하여 잎마름병 발병 억제를 알아보았다. 절화 백합에 병원균 포자 현탁액을 접종 후, 19°C로 맞춘 습실챔버에 24시간 두어 발병을 유도한 후, 0, 40, 100, 200  $\mu\text{g/l}$  농도의 NaDCC (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 분무한 후, 3시간 이내에 150 Gy 감마선을 처리하였다. 총 3회 감마선 조사 후, 처리한 꽃은 14일 동안 화병에 두고 절화 꽃잎에서 발병을 관찰하면서 지난 실험과 같은 방법(Kim 등, 2014)으로 꽃잎의 수, 발병률(incidence), 발병도(severity)를 측정하였다. 잎마름병 억제 실험에 사용한 백합 절화는 총 192송이로서, 두 품종의 백합에 처리당 4송이의 백합이 총 8개 조합의 처리에 3회 감마선 조사가 수행되었다. 총 8개 조합의 처리는 ① 0 Gy+무처리, ② 0 Gy+NaDCC 40  $\mu\text{g/l}$ , ③ 0 Gy+NaDCC 100  $\mu\text{g/l}$ , ④ 0 Gy+NaDCC 200  $\mu\text{g/l}$ , ⑤ 150 Gy+무처리, ⑥ 150 Gy+NaDCC 40  $\mu\text{g/l}$ , ⑦ 150 Gy+NaDCC 100  $\mu\text{g/l}$ , ⑧ 150 Gy+NaDCC 200  $\mu\text{g/l}$ 였다. 8개 처리에 따른 통계적 차이는 분산분석 후, 최소유의차 검정 (least significant difference)을 실시하였다(ver. 2.2; S-link, Seoul, Korea).

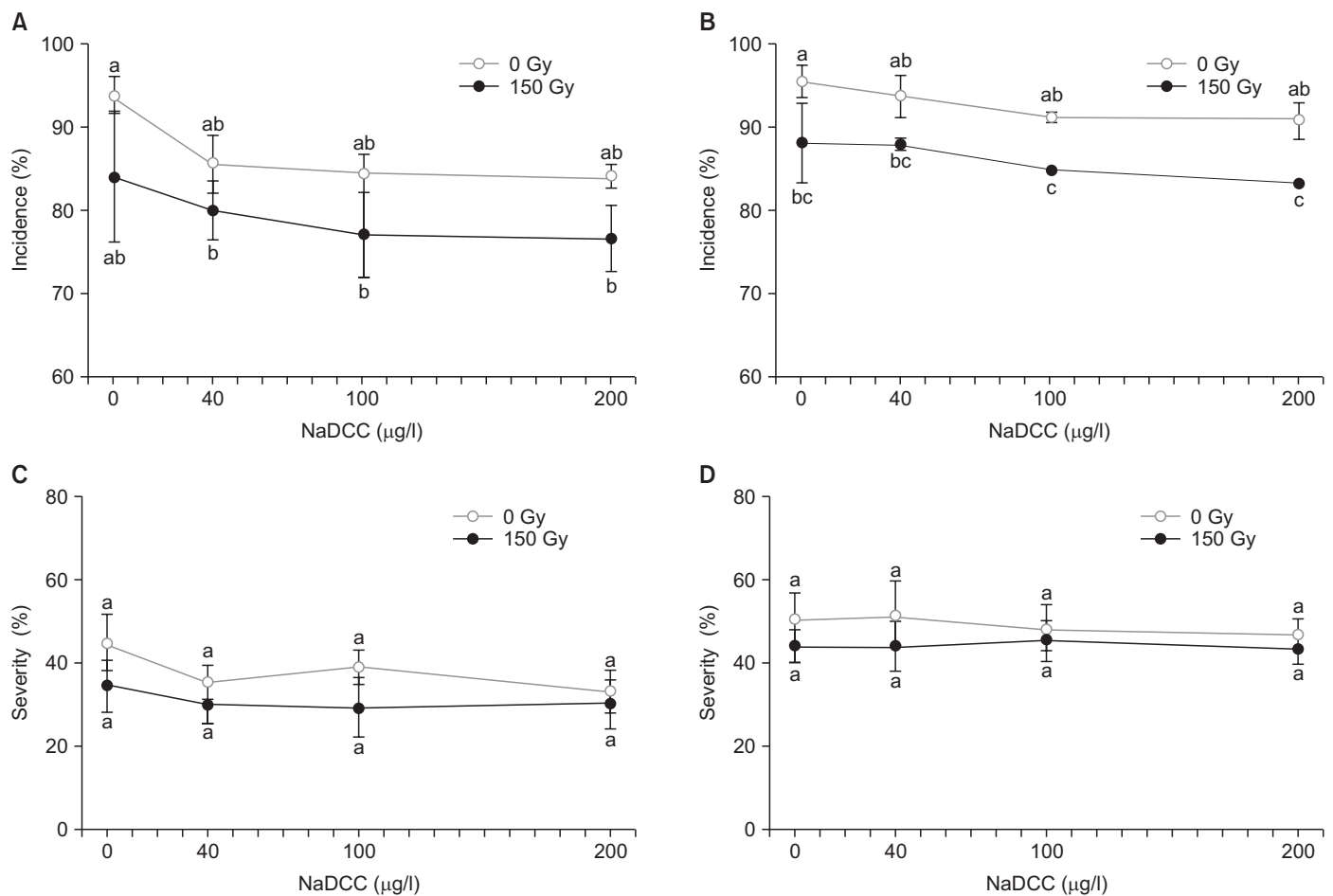
**감마선 처리에 따른 절화 백합의 관상수명, 엽록소 함량, 생중량 변화.** 저선량인 150 Gy의 감마선 처리가 절화 백합의 품질을 더 오래 유지하는지를 알아보기 위한 저장성 향상 연구로서 잎의 엽록소 함량, 만개한 꽃의 유지기간, 초기 생중량 변화를 측정하였다. 처리는 150 Gy 감마선을 조사한 것과 조사하지 않은 두 처리였으며, 처리한 백합은 재절화하여 실험실에서 21 플라스크에 두어 처리 직후 SPAD Chlorophyll Meter (SPAD-502; Konica Minolta, Tokyo, Japan)로 엽록소 함량을 측정하였고, 생중량은 초기 생중량(100%)에 대한 상대적 비율로서 감마선 조사 직후, 5일, 10일 후에 각

각 경시적으로 측정하였다. 만개기간은 꽃송이가 만개되어 열화가 나타날 때까지 기간을 측정하였는데, 백합 절화 꽃송이의 위치에 따라 최하단, 하단, 중단으로 나누어 감마선 처리 유무에 따라 관상수명을 측정하였다. 이 실험에 사용한 백합 절화는 총 108송이였고, 두 품종의 백합에 처리당 9송이의 백합을 2처리(감마선 조사 유/무)에 3회에 걸쳐 감마선 조사를 수행하였다. 감마선 조사 유/무에 따른 두 처리의 차이를 two-tailed t-test로 평가하였다.

## 결 과

**감마선과 NaDCC 융복합 처리에 따른 꽃잎의 발병률 (incidence)과 발병도(severity) 변화.** 잎마름 병원균을 인위 접종한 시베리아 꽃잎에서 아무런 방제를 하지 않

았던 대조구의 발병률(incidence)은 93.7%였다. 또한 감마선 처리 없이 화학대체제인 NaDCC를 40, 100, 200  $\mu\text{g/l}$ 로 처리 하였을 때 발병률은 84%–85%까지 낮아졌다. 반면, 감마선 150 Gy만을 조사하면 발병률은 84%였고 감마선과 NaDCC를 병용처리하면 NaDCC 농도 증가에 따라 76%–79%였다. 특히 대조구와 병용처리들의 발병률은 시베리아 꽃잎에서 통계적으로 유의하게 감소하였다( $P < 0.05$ ; Fig. 1A). 소르본느 품종에서는 대조구 발병률이 95%, NaDCC만을 처리한 발병률이 90%–93%였고, 150 Gy 감마선만을 처리한 발병률은 88%였다. NaDCC 100, 200  $\mu\text{g/l}$ 와 150 Gy 감마선을 병용처리한 발병률은 각각 85%와 83%로, 무처리 발병률에 비해 통계적으로 유의하게 감소하였다( $P < 0.05$ ; Fig. 1B). 두 품종의 발병도(severity)는 시베리아에서는 처리에 따라 30%–45%였고(Fig. 1C), 소르본느에서는 43%–52%였다(Fig. 1D). 발병률에서의



**Fig. 1.** Incidence (A, B) and severity (C, D) of petal blight on two oriental lily cultivars, cvs. Siberia (A, C) and Sorbonne (B, D). Symptoms on petal were measured at 8 days after infection. Eight treatments were the combinations of gamma irradiation (0 Gy and 150 Gy) and sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) as a chemical substitute (0, 40, 100, 200  $\mu\text{g/l}$ ). Experiments were independently irradiated at three times. Error bars were standard error of three replications. Statistical comparisons were conducted among the 8 treatments in each cultivar. Different character means statistically different at  $P < 0.05$ . Incidence (%) was a diseased frequency of 18 petals of 3 flowers per cutting and 4 cuttings were treated. Severity (%) was diseased areas of the measured 18 petals, rated each petal as 0–4 rates.

병용처리에 따른 발병 감소와는 달리 두 품종 모두 감마선 처리에 따른 발병도 감소는 뚜렷하지 않았고, 병용처리가 꽃잎의 발병도를 통계적으로 유의하게 감소시키지 않았다 (Fig. 1C, D).

**감마선 처리에 따른 관상수명, 엽록소 함량, 생중량 등 경시적 백합 품질 변화.** 절화 백합의 최하단/하단/중단에 있는 꽃송이 별로 감마선 처리 유무에 따라 측정된 관상수명은 최하단과 하단에서는 각각 7일과 5-6일 정도였고, 150 Gy 감마선 처리는 관상수명을 무처리와 거의 비슷하거나 0.2-0.7일 정도로 약간 감소시키나 통계적으로 유의하지

않았다(Table 1). 한편 중단 꽃의 관상수명은 무처리가 2.5-2.7 일 정도였으나 시베리아 품종의 경우 약 1일 정도 만개기간이 증가된 반면, 소르본느 품종은 오히려 0.7일 감소하였는데 이들 변화도 통계적으로 유의하지 않았다(Table 1). 조사 직후 측정된 엽록소 함량은 두 품종 모두 54-57로서 150 Gy 감마선 처리가 백합 잎의 엽록소 함량을 파괴시키지 않았다. 10일 후 다시 측정된 무처리의 엽록소 함량은 경시적 파괴가 진행되어 처음 측정치의 절반 정도인 30-40이었으며, 두 품종 모두 감마선 처리에 따른 엽록소 함량 감소는 없었다(Fig. 2). 절화 백합의 생중량은 초기에 비해 5일차에는 약 110%까지 증가하다가 10일 후에는 두 품종 모두 감마선 처리에서는 90%로 감소하고, 무처리는 100%를 유지하였는데, 150 Gy 감마선 처리에 따른 통계적 차이는 없었다(Fig. 3).

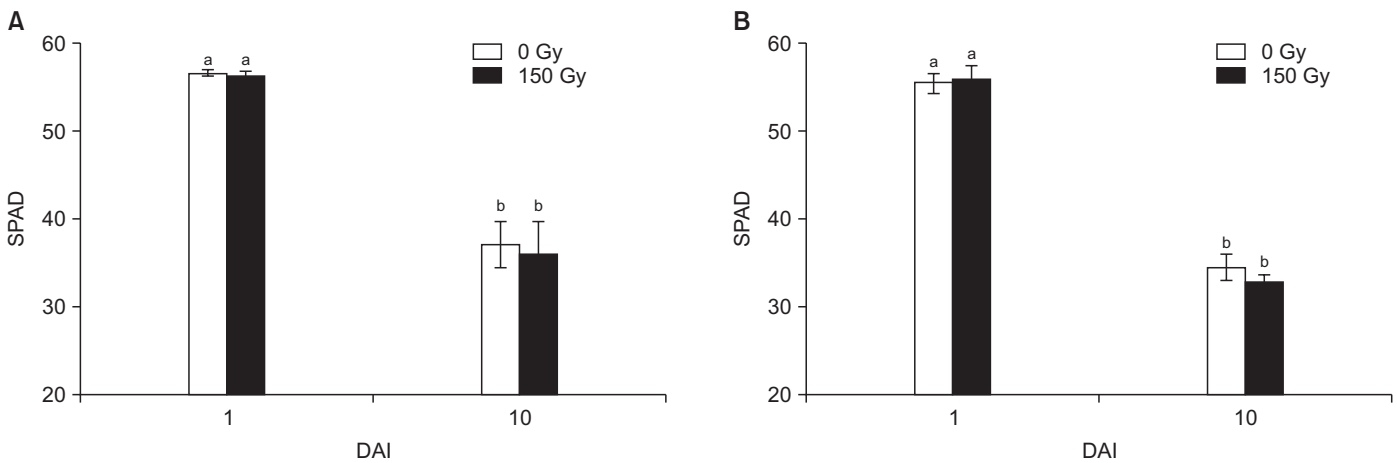
**Table 1.** Number of days for fully opened lily flowers were measured after  $\gamma$ -ray irradiation at 150 Gy

Flower position	Oriental lily cultivar	Gamma irradiation treatment	
		0 Gy	150 Gy
Lowest	Siberia	7.3±1.0 <sup>a</sup>	7.1±1.8 <sup>a</sup>
	Sorbonne	7.4±1.5 <sup>a</sup>	6.7±1.0 <sup>a</sup>
Low	Siberia	6.8±1.5 <sup>a</sup>	6.1±1.1 <sup>a</sup>
	Sorbonne	5.2±1.3 <sup>a</sup>	4.5±1.1 <sup>a</sup>
Middle	Siberia	2.7±0.9 <sup>a</sup>	3.6±2.4 <sup>a</sup>
	Sorbonne	2.5±0.7 <sup>a</sup>	1.8±0.9 <sup>a</sup>

While the treated cuttings were reserved in vases, the fully opened day was measured from fully opened to wilt. Statistical comparison between  $\gamma$ -ray-irradiated and non-irradiated cuttings was conducted by t-test for each flower position and cultivar. Same characters mean statistically not different at  $P>0.05$ .

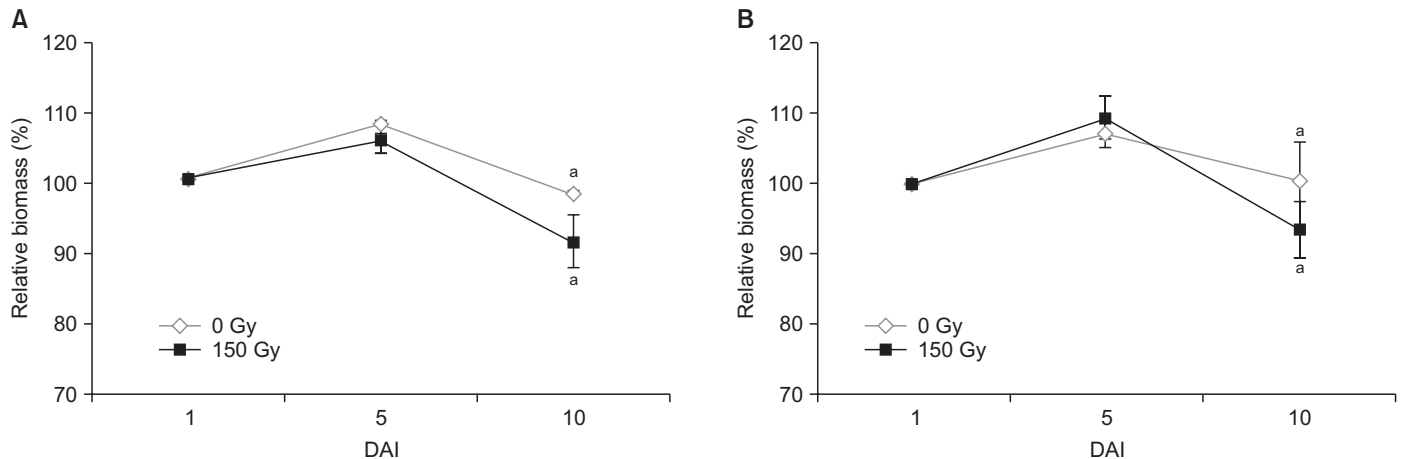
### 고찰

본 연구진의 NaDCC와 X선 150 Gy와 200 Gy 병용처리 결과(Hong 등, 2016)와 감마선 200 Gy와 병용처리 결과(Kim 등, 2014)를 종합적으로 고려했을 때, 본 연구에서 수행한 150 Gy 감마선과 100  $\mu$ g/l 이상의 NaDCC 병용처리가 이온화 에너지를 이용한 백합 잎마름병 방제에 가장 적절한 방안이라고 판단된다. 왜냐하면 시베리아와 소르본느 꽃잎의 발병률은 150 Gy 감마선과 100  $\mu$ g/l 이상의 NaDCC 병용처리에 의해 대조군의 발병률보다 통계적으로 유의하게 억제되었기 때문이다. 한편 X선 단독 혹은 X선과 NaDCC 병용처리 둘 다 같은 품종의 백합 꽃잎 발병을 억제하지 못했다(Hong 등,



**Fig. 2.** Chlorophyll contents on leaves of the two lily cultivars, cvs. Siberia (A) and Sorbonne (B). Chlorophyll contents were measured by SPAD Chlorophyll Meter on 9 leaves of three cuttings which were treated by  $\gamma$ -ray irradiation (0 Gy and 150 Gy) at right after and 10 days after irradiation (DAI). The gamma irradiation was independently treated at three times. Error bars were standard error of three replications. Multiple comparisons of least significant difference among the combination of  $\gamma$ -ray treatment and the measured times in each cultivar. Same characters mean statistically not different at  $P>0.05$ .





**Fig. 3.** Changes of relative biomass, 100% at the beginning, were measured at 1, 5, and 10 days after  $\gamma$ -ray irradiation (DAI). Doses of  $\gamma$ -ray irradiation were 0 Gy and 150 Gy on the two cultivars, cvs. Siberia (A) and Sorbonne (B). Three experiments were independently irradiated. Error bars were standard error of three replications. Statistical comparisons of t-test were conducted between non-irradiated and irradiated in each cultivar. Different characters mean statistically different at  $P < 0.05$ .

2016). 또한 200 Gy 감마선 병용처리는 소르본느 품종의 잎에서만 발병도가 감소하였다(Kim 등, 2014). 결국 이온화 에너지의 부작용을 최소화하면서 잎마름병 발병 억제 효과는 비슷했던 본 연구의 결과가 가장 뛰어났다.

본 연구에서 150 Gy 감마선은 절화 백합의 만개기간을 약 0.5일 정도 연장시키거나 감소시키지만 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 한편 200 Gy 감마선은 시베리아 품종 최하단에서 만개기간을 약 1일까지 감소시켰고, 150 Gy X선은 같은 품종 하단에서 2일가량 만개기간을 연장시켰다(Hong 등, 2016). 한편 Park 등(1999)은 감마선이 절화 장미에서 품질 유지기간 연장 효과를 보고한 바 있다. 종합적으로 이온화 에너지 처리에 따른 절화 백합 만개기간 연장은 X선에서만 1-2일 연장 효과가 있었던 반면, 감마선 처리는 만개기간 연장 효과가 없었다.

백합 잎이 점차 갈변하는 엽록소 파괴는 1주일간 보존된 절화 백합에서 경시적으로 자연스럽게 나타나며, 이온화 에너지가 조사된 즉시 엽록소가 파괴되거나 경시적으로 엽록소 파괴가 가속되지는 않았다. 감마선이 엽록소를 파괴하는 현상은 10-50 Gy를 조사한 어린 잎에서 나타난다는 보고(Rajarajan 등, 2014)가 있었으나, 본 연구진이 그동안 수행했던 150-200 Gy의 X선과 감마선 처리 실험에서 상품성이 있는 다 자란 성숙한 절화 백합 잎의 품질을 떨어뜨리지는 않았다. 다만, 200 Gy 감마선은 시베리아와 소르본느 두 품종 모두에서 비록 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 엽록소 함량이 다소 줄었던 반면, 150 Gy 감마선을 처리한 본 연구에서는 엽록소 함량이 전혀 줄지 않았다.

감마선 처리는 거베라, 커큐니아 등 절화 화훼류의 유색 꽃잎에서 탈색이 나타나는데(Kikuchi, 2003), 150 Gy 감마선 처리에서는 분홍색 소르본느 꽃잎의 탈색이 관찰되지 않았다. 절화 백합의 도관이 막히면서 화병의 물을 빨아올리지 못하게 되면서 건조가 나타나는데, 150 Gy 감마선 처리 10 일 후 무처리에 비해 약 10% 생중량 감소를 보인 반면, 200 Gy 감마선 처리는 시베리아와 소르본느 품종 초기 생중량의 60% 또는 그 이하로 마름 증상이 심각하였다. 즉 150 Gy는 200 Gy 감마선보다 건조현상을 다소 완화시켰다. 이런 경향은 X선도 유사하였다. 결론적으로 150 Gy 감마선 처리가 비록 절화 백합의 만개기간을 연장시키거나 혹은 품질을 향상시키지는 못하였으나, 200 Gy 감마선 처리에서 나타났던 건조 등 품질 열화가 매우 적거나 거의 없었다.

한편, 원자력연구원에서는 2014년 4월에 일본 오사카와 2014년 9월 러시아 블라디보스토크에 수출 백합인 시베리아 품종을 대상으로 150 Gy 감마선과 NaDCC 50  $\mu\text{g/l}$ 를 병용 처리하여 일본과 러시아에서 각각 검역과 수입허가를 받아 화훼류 수출국 대상 실증실험(market trial test)을 실시하였다. 병용처리 결과 우려했던 병충해는 발견되지 않았고 절화 백합의 품질도 무처리에 비해 열화되지 않았다. 한편 절화 백합 외에 장미와 국화에서 수행되었던 이온화 에너지 적용 연구 결과, 장미는 감마선 200 Gy와 NaDCC 70  $\mu\text{g/l}$ 가, 국화는 NaDCC 70  $\mu\text{g/l}$  단독 처리가 표준처리방안으로 제안되었다(Jung 등, 2014). 이는 감마선 조사 처리에 장미가 절화 화훼류 중 가장 강했고, 백합이 그 다음이며, 국화는 이온화 에너지에 매우 약해 적용이 곤란할 것으로 여겨진다. 결론

적으로 본 연구 결과에서 얻어진 150 Gy의 감마선과 NaDCC 100 µg/l의 병용처리 방안을 수출용 절화 백합의 잎마름병원균을 제어하는 병용처리 기술로서 최종 제안할 수 있었다.

## 요 약

절화 백합 조직에 손상을 일으키지 않는 수준의 감마선을 이용한 검역 현장적용을 위해 수출용 오리엔탈 계통 백합 품종 중 흰색인 시베리아와 분홍색인 소르본느 절화 백합에 150 Gy 감마선 조사(irradiation)를 실시하였다. 감마선 150 Gy와 다양한 수준(0, 40, 100, 200 µg/l)의 NaDCC를 병용처리하여 두 품종의 절화 백합의 잎마름병 방제를 평가한 결과, 꽃잎의 발병률(incidence)은 대조구 93%–95%에 비해 150 Gy 감마선과 100 µg/l 이상 농도의 NaDCC 병용처리한 발병률은 76%–83%로 통계적으로 유의하게 감소하였다. 하지만 꽃잎의 발병도(severity)에서는 감마선 병용처리에 따른 발병 억제 효과는 없었다. 150 Gy 감마선 처리는 만개기간을 연장시키는 저장성 개선의 효과를 얻지는 못했지만, 엽록소를 파괴하거나 생중량을 감소시키는 절화 백합의 품질저하도 없었다. 또한 분홍색의 소르본느 꽃잎의 탈색도 보이지 않았다. 따라서 수출용 절화 백합의 잎마름병 방제를 위해 150 Gy의 감마선과 NaDCC 100 µg/l의 병용처리 방안을 수출검역 SOP에 제안한다.

## Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgement

This work was supported by 2015 Export Promotion Technology Development Program, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

## References

- Chu, E. H., Shin, E. J., Park, H. J. and Jeong, R. D. 2015. Effect of gamma irradiation and its convergent treatment for control of postharvest *Botrytis cinerea* of cut roses. *Radiat. Phys. Chem.* 115:22-29.
- Hong, S. J., Koo, T. H. and Yun, S. C. 2016. Controlling *Botrytis elliptica* leaf blight on hybrid lilies through the application of convergent chemical X-ray irradiation. *Plant Pathol. J.* 32: 77-84.
- Jeong, R. D., Shin, E. J., Chu, E. H. and Park, H. J. 2015. Effects of ionizing radiation on postharvest fungal pathogens. *Plant Pathol. J.* 31: 176-180.
- Jung, K., Yoon, M. C., Park, H. J., Lee, K. Y., Jeong, R. D., Song, B. S. and Lee, J. W. 2014. Application of combined treatment for control of *Botrytis cinerea* in phytosanitary irradiation processing. *Radiat. Phys. Chem.* 99: 12-17.
- Kikuchi, O. K. 2003. Gamma and electron-beam irradiation of cut flowers. *Radiat. Phys. Chem.* 66: 77-79.
- Kim, J. H., Koo, T. H., Hong, S. J. and Yun, S. C. 2014. Application of gamma irradiation and its convergent treatments on several varieties of oriental hybrid lily to control leaf blight. *Res. Plant Dis.* 20: 79-86. (In Korean)
- 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)
- Rajarajan, D., Saraswathi, R., Sassikumar, D. and Ganesh, S. K. 2014. Effectiveness and efficiency of gamma ray and EMS induced chlorophyll mutants in rice ADT(R) 47. *Global J. Biol. Agric. Health Sci.* 3: 211-218.
- Temur, C. and Tiryaki, O. 2013. Irradiation alone or combined with other alternative treatments to control postharvest diseases. *Afr. J. Agric. Res.* 8: 421-434.
- Yoon, M. C., Jung, K., Lee, K. Y., Jeong, J. Y., Lee, J. W. and Park, H. J. 2014. Synergistic effect of the combined treatment with gamma irradiation and sodium dichloroisocyanurate to control gray mold (*Botrytis cinerea*) on paprika. *Radiat. Phys. Chem.* 98: 103-108.
- Zhao, M., Moy, J. and Paull, R. E. 1996. Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin. *Postharvest Biol. Tech.* 8: 209-222.