감마선 처리에 의한 장미 삽수의 발근 여부에 따른 생존율과 돌연변이 발생빈도

김세원[†] · 이효정[†] · 김예솔 · 조영득 · 류재혁 · 강시용 · 김상훈^{*}

한국원자력연구원 첨단방사선연구소

Effect of Gamma-ray on Survival and Mutation Rates of Rooted Cuttings and Unrooted Cuttings in Rose

Se Won Kim[†], Hyo Jeong Lee[†], Ye-Sol Kim, Yeong Deuk Jo, Jai Hyunk Ryu,
Si-Yong Kang, and Sang Hoon Kim^{*}

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup, 56212, Korea

Abstract : This study was carried out to compare the survival and mutation rates and mutation spectrum by gamma-irradiation on rooted and unrooted cuttings of three spray type ('Lovelydia', 'Yellowbabe', and 'Haetsal') and two standard type ('Vital' and 'Aqua') cultivars in roses. Two groups, rooted and unrooted cuttings were gamma-irradiated at 70Gy for 24 hours. The irradiated rooted and unrooted cuttings were planted in a greenhouse, and survival, mutation rates and mutation spectrum were investigated 30 weeks after planting, respectively. As a result, survival and mutation rates of gamma-ray irradiated plants were 16.4%~50.8% and 0~5.1% for unrooted cuttings, and 39.4%~55.1% and 0.7%~7.4% for rooted cuttings, respectively. In conclusion, both survival and mutation rates were a little higher on rooted cuttings than on unrooted cuttings. However, when only survived plants after gamma-ray irradiation were considered, mutation rates were 0~10% and 1.8%~14.1% for unrooted cuttings and rooted cuttings, respectively, showing no significant difference. In addition, diverse variations on color and number of petals or shape of flowers were detected both in plants from rooted and unrooted cuttings, which indicated that there was no significant difference in mutation spectrum between two groups.

Keywords : Mutation spectrum, Radiation, Spray type, Standard type

서 언

지금까지 장미품종의 육성은 주로 교잡육종에 의해 다양한 특성을 가진 품종들이 개발되고 있으나, 육종연한과 노동력, 비용 등이 많이 든다(Park et al. 1995). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 최근에는 방사선을 이용한 돌연변이 육종방법이 이용되고 있다(Koh et al. 2010). 방사선을 이용한 돌연변이 육종은 원품종의 우수한 형질은 대부분 그대로 유지하면서 화색 또는 화형만을 변화시킨 품종을 비교적 단기간에 개발할 수 있다(Broertjes & Harten, 1998). 방사선 조사는 종자, 삽수, 삽목묘, 식물체 등을 대상으로 하거나(Shin et al. 1998) 기내 조직배양 신탁 또는 배양체에 방사선을 조사하여 돌연변이를 유기한다

(Douglas, 1986, Sonnio et al. 1986). 방사선 돌연변이 육종에는 주로 감마선이 사용되었으나, 최근에는 일본, 중국 등을 중심으로 중 이온 등의 high LET(Linear Energy Transfer)의 활용빈도가 증가하고 있다(Abe et al. 2012).

장미에서 감마선 조사에 의해 발생하는 돌연변이들은 화색, 화형, 꽃잎 수, 잎색 등에 있어 변이를 보이며 이중 화색에 변이가 발생하는 것이 가장 많다(Smilansky et al. 1986). 국내에서 장미 삽수 또는 발근묘에 감마선을 조사하여 많은 장미 돌연변이 품종들이 개발되었다(Koh & Ahn, 2008, Koh et al. 2008, 2010). 하지만 발근된 삽수와 미발근 삽수의 감마선 조사가 돌연변이 발생빈도에 미치는 영향에 관한 연구가 거의 보고된 바 없다. 일반적으로 영양번식작물에 속하는 화훼류의 방사선 조사는 미발근 삽수보다는 발근된 삽수를 사용하는데, 이는 발근 삽수의 조직분화가 미발근 삽수에 비해 활발하기 때문이다(Jarvis, 1986). 발근 삽수에 방사선을 조사하기 위해서는 넓은

^{*}Corresponding Author (E-mail: shkim80@kaeri.re.kr, Tel: +82-63-570-3318)

(Received on May 19, 2017. Accepted on June 8, 2017.)

조사 공간이 요구되고, 시료의 이동에 어려움이 많다. 하지만 미발근 삽수에 방사선을 조사할 경우 시료의 이동이 편리하며, 발근 삽수에 비해 한 번에 많은 개체를 조사할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 장미의 발근 삽수와 미발근 삽수에 감마선 조사를 하여 생존율과 돌연변이 발생 빈도 및 변이 스펙트럼을 비교하고 이를 통해 효율적인 돌연변이 유기 체계를 확립하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용한 장미 품종은 절화용 장미(*Rosa hybrid* Hort.)로 스프레이형 3품종(‘러블리디아’(Lovelydia), ‘엘로우바베’(Yellowbabe), ‘햇살’(Haetsal))과 스탠다드형 2품종(‘비탈’(Vital), ‘아쿠아’(Aqua))를 사용하였다. 시판되는 50구 상용 트레이(범농, 정읍, 한국)를 사용해서 줄기의 길이가 5~7cm에 잎이 3~5장 달린 외마디 가지를 비스듬하게 잘라 삽수를 38 × 38mm 암면큐브(명성프라콘, 포천, 한국)에 삽목 후 6주 정도 지나 발근이 완성되고 액아에서 신초의 길이가 5cm 정도 신장된 발근 후 처리구와 줄기의 길이가 5~7cm에 잎이 3~5장 달린 외마디 가지의 삽수인 발근 전 처리구로 나누어 감마선을 조사하였다. 감마선 처리는 2014년 4월 27일 한국원자력연구원 첨단방사선연구소 저준위 감마선 조사시설(3,000Ci; MDS Nordion, Canada)을 이용하여 24시간 동안 70Gy 선량으로 조사하였다. 기존 연구에서 Koh et al. (2010)는 ‘스피텔라’ 및 ‘커버넌트’ 두 품종을 사용하여 다양한 선량으로 조사를 한 결과 70~110Gy 선량이 장미에서 다양한 형태의 돌연변이를 유기하기에 가장 적합하다고 보고하였으며, 본 연구에서는 이를 고려하여 조사선량을 70Gy로 선정하였다. 발근 전 처리구의 감마선 조사는 균일한 크기의 절단된 삽수를 종이봉투에 넣어 조사하였으며, 발근 후 처리구는 50구 상용트레이의 중간지점이 70Gy 조건이 되게 산출하여 트레이 상태로 조사하였다.

감마선 조사 후 발근 후 처리구는 원예용상토(바이오상토 1호, 흥농, 한국)에 바로 정식하였으며, 발근 전 처리구는 발근 후 처리구와 동일하게 50구 상용트레이의 암면큐브에 가식하여 6주 후 발근된 개체만 인공상토에 정식하였으며, 두 개 처리구 모두 발근촉진제는 사용하지 않았다. 두 개의 조사처리구는 유리 온실에서 25±5℃로 유지하면서, 장미 양액재배표준재배법(RDA, 2001)에 준하여 점적 비순환식으로 양액으로 관수재배하였다. 병해충 관리는 발생 초기에 적절하게 방제하면서 재배하였다. 발근 후 처리구와 발근 전 처리구의 생존율, 정식개체수

대비 돌연변이 발생 빈도, 생존개체수 대비 돌연변이 발생빈도 및 변이 스펙트럼 분석(화색, 화형, 꽃잎 수)은 정식 후 30주 정도에 조사하였다.

발근 후 처리구와 발근 전 처리구의 감마선 조사 후 장미 5개 품종에 대한 생존율과 돌연변이 발생빈도의 유의성 검정은 Duncan's multiple ranges test($p<0.05$)로 하였다. 모든 분석은 최소한 3회 이상 실험분석 하였으며, 통계분석은 SPSS Ver.12(SPSS Inc., USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

생존율 및 돌연변이 발생빈도

감마선 조사 후 장미 5개 품종에 대한 생존율을 비교한 결과 스프레이 품종인 ‘러블리디아’의 경우 발근 후 처리구와 발근 전 처리구 생존율이 각각 52.4%와 50.8%로 유의한 차이가 없었다(Table 1). 반면 스프레이 품종 ‘엘로우바베’ 및 ‘햇살’의 경우 발근 전 처리구의 생존율이 발근 후 처리구에 비해 감마선 조사 후 30% 정도 감소되었으며, 스탠다드 품종 ‘비탈’ 및 ‘아쿠아’의 경우 60% 정도로 크게 감소한 것으로 나타났다(Table 1). 발근 후 처리구와 발근 전 처리구 간의 유의성 검정을 Duncan's multiple ranges test를 통해 $p<0.05$ 수준에서 5개 품종 중 엘로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아의 생존율에서 유의성 있었다(Table 2). 기존 연구에 따르면 ‘스피텔라’의 경우 삽목 후 6주 정도 경과된 발근 삽수에 110Gy로 24시간 동안 조사하였을 때 50% 정도 식물체가 고사하였으며, ‘커버넌트’의 경우 150Gy에서 50% 정도가 고사하는 것으로 보고되었다(Koh et al. 2010). 또한, ‘아마데우스’ 및 ‘리틀 마블’ 기내배양 식물체의 경우 110-130Gy로 24시간 동안 처리하였을 때 50% 정도가 고사한 것으로 보고되었다(Kim et al. 2006). 이전 연구결과와 비교하여 볼 때 본 연구에 사용된 5개 품종의 경우 70Gy 조사선량에서도 발근 후 처리구의 생존율이 40-50% 정도인 것으로 보아 기존 연구의 타 품종에 비해 상대적으로 방사선에 대한 감수성이 높은 것으로 보이며, 70Gy 조사선량이 돌연변이를 유기하기에 적합한 조건으로 판단된다.

발근 후 처리구와 발근 전 처리구에 감마선 조사 후 발생한 돌연변이의 발생빈도를 품종 별로 비교한 결과 발근 후 처리구의 경우 ‘러블리디아’에서 23개체, ‘엘로우바베’에서 3개체, ‘햇살’에서 5개체, ‘비탈’에서 4개체, ‘아쿠아’에서 3개체가 확인되었으며, 발근 전 처리구의 경우 ‘러블리디아’에서 13개체, ‘엘로우바베’에서 2개체, ‘햇살’에서 2개체, ‘비탈’에서 1개체가 확인되

Table 1. Effect of gamma-ray on survival and mutation of rooted cuttings and unrooted cuttings in five rose cultivars.

Type ^z	Cultivar	Rooted cuttings			Unrooted cuttings		
		No. of total planted cuttings	No. of total survivals (%)	No. of total mutants (% / %) ^y	No. of total planted cuttings	No. of total survivals (%)	No. of total mutants (% / %) ^y
SP	Lovelydia	311	163 (52.4±2.8)	23 (7.4±0.9/14.1±1.9)	256	130 (50.8±5.2)	13 (5.1±1.0/10.0±2.1)
SP	Yellowbabe	424	167 (39.4±2.1)	3 (0.7±0.7/1.8±1.6)	290	72 (24.8±4.0)	2 (0.7±0.6/2.8±2.2)
SP	Haetsal	321	177 (55.1±5.9)	5 (1.6±0.5/2.8±0.8)	177	70 (40.7±1.1)	2 (1.1±1.0/2.9±2.4)
ST	Vital	424	180 (42.5±2.6)	4 (0.9±0.4/2.2±0.8)	324	53 (16.4±1.1)	1 (0.3±0.5/1.9±2.7)
ST	Aqua	263	120 (45.6±1.3)	3 (1.1±0.3/2.5±0.8)	256	44 (17.2±4.9)	2 ^x (0/0)

^zSP: Spray type; ST: Standard type.^yLeft %: No. of mutants/No. of planted cuttings × 100; Right %: No. of mutants/No. of survivals × 100.^xNo mutation.**Table 2.** Effect of rooting stage on survival and mutation rates in five rose cultivars.

Type	Cultivar	Stage	Survivals	Mutants/planted ^z	Mutants/survival ^y
SP	Lovelydia	Rooted	52.4 ^x a ^w	7.4a	14.1a
		Unrooted	50.8a	5.1a	10.0b
SP	Yellowbabe	Rooted	39.4c	0.7b	1.6c
		Unrooted	24.8d	0.7b	2.8c
SP	Haetsal	Rooted	55.1a	1.6b	2.8c
		Unrooted	40.7c	1.1b	2.9c
ST	Vital	Rooted	42.5b	0.9b	2.2c
		Unrooted	16.4e	0.3b	1.9c
ST	Aqua	Rooted	45.6b	1.1b	2.5c
		Unrooted	17.2e	0.0b	0.0c

^zNo. of mutants/No. of planted cuttings × 100.^yNo. of mutants/No. of survivals × 100.^xFigures presented the control value(%).^wValues followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range tests.

있고 ‘아쿠아’에서는 돌연변이체가 확인되지 않았다(Table 1).

감마선 조사 후 최초 식재된 삽수를 기준으로 발근 후 처리구의 돌연변이 발생빈도를 비교하면 러블리아, 옐로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아가 각각 7.4%, 0.7%, 1.6%, 0.9%와 1.1%로 확인되었으며, 발근 전 처리구의 경우 러블리아, 옐로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아가 각각 5.1%, 0.7%, 1.1%, 0.3%, 0%로 확인되었다(Table 1). 결과적으로 발근 후 처리구가 발근 전 처리구에 비해 ‘옐로우바베’를 제외한 4개 품종에서 약간 높은 돌연변이 발생빈도를 보이고 있다. 또한 ‘러블리아’가 다른 4개 품종에 비해 발근 후 처리구와 발근 전 처리구 모두에서 높은 돌연변이 발생빈도가 확인되었다(Table 1). 하지만 발근 후 처리구와 발근 전 처리구 간의 유의성 검정을 Duncan's multiple ranges test를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 유의성이 없었다(Table 2).

감마선 조사 후 생존개체를 기준으로 발근 후 처리구의 돌연변이 발생빈도를 비교하면 러블리아, 옐로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아가 각각 14.1%, 1.8%, 2.8%, 2.2%, 2.5%로 확인되었으며, 발근 전 처리구의 경우 러블리아, 옐로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아가 각각 10.0%, 2.8%, 2.9%, 1.9%, 0%로 확인되었다(Table 1). 감마선 조사 후 최초 식재된 삽수를 기준으로 하는 경우 ‘옐로우바베’를 제외한 4개 품종에서 발근 후 처리구가 발근 전 처리구에 비해 높은 돌연변이 발생빈도를 보인 반면, 생존개체를 기준으로 돌연변이 발생빈도를 비교한 결과 오히려 ‘옐로우바베’(2.8%)의 경우 발근 전 처리구가 발근 후 처리구에 비해 다소 높은 돌연변이 발생빈도가 확인되었다(Table 1). Koh et al. (2010)은 삽목 후 6주 정도 지나 발근된 삽수에 70Gy를 조사하였을 경우 ‘스피텔라’의 경우 15.7%, ‘커버넷’의 경우

Table 3. Characteristics of flower mutants derived from rooted cuttings and unrooted cuttings in five rose cultivars.

Type	Cultivar	Rooted cuttings				Unrooted cuttings			
		Petal color	Petal type	Petal No.	Mutation spectrum index (MSI) ^z	Petal color	Petal type	Petal No.	Mutation spectrum index (MSI)
SP	Lovelydia	16 pale pink(12), greenish pink(2), dark pink(2)	2 rounded(1), flatted(1)	5 increased(5)	3.68	11 pale pink(5), greenish pink(1), chimeric(5)	1 flatted(1)	1 increased(1)	3.85
SP	Yellowbabe	2 dark yellow(1), ivory(1)	- ^y	1 increased(1)	1.80	2 pale yellow(1), orange(1)	-	-	2.78
SP	Haetsal	5 ivory(2), greenish ivory(2), white(1)	-	-	1.69	1 chimeric(1)	1 flatted(1)	-	2.86
ST	Vital	3 orange red(2), chimeric(1)	1 flatted(1)	-	1.67	1 orange red(1)	-	-	1.89
ST	Aqua	3 pale pink(3)	-	-	0.83	-	-	-	0

^zValues were calculated as following calculation: MSI = No. of mutants types / No. of survival plants × 100. Mutants having similar characteristics were counted as one.

^yNo mutation.

15.0%의 돌연변이 발생빈도를 보고하였으며, 이러한 결과는 ‘러블리디아’에서 확인된 돌연변이 발생빈도와 유사한 결과이다. 또한 ‘스피텔라’에서는 110-170Gy의 높은 조사선량에서 50% 정도의 높은 돌연변이 발생빈도를 보이고 있으나, 돌연변이 발생빈도가 조사선량에 비례적으로 증가하지는 않는다는 것이 확인되었고, 높은 조사선량에서 돌연변이의 발생빈도가 상대적으로 높지만 식물체 고사 또는 생육 정지의 지나친 장애를 초래하기 때문에 돌연변이를 유기하기에 적합하지 않다고 보고하였다 (Koh et al. 2010). Kim et al. (2006)은 ‘아마테우스’ 및 ‘리틀 마블’을 10-150Gy로 감마선 조사한 결과 50-90Gy에서 돌연변이체를 획득할 수 있었다고 보고하고 있으며, Nakajima (1973)는 80Gy 조사선량에서 가장 높은 빈도의 돌연변이체를 유기하였다고 보고하고 있어 본 연구에 사용된 70Gy 조사선량은 품종, 변이유도 형질 및 처리환경 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 본 연구에 사용된 5개 품종에서는 돌연변이를 유기하기 위한 적합한 조사선량으로 판단된다.

발근 후 처리구와 발근 전 처리구 간의 유의성 검정을 Duncan’s multiple ranges test를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 본 결과, 5개 품종 중 엘로우바베, 햇살, 비탈, 아쿠아의 생존율과 러블리디아의 생존개체만 대상으로 돌연변이 발생빈도에서만 유의성이 있다고 판단되고, 나머지에서는 유의성이 없다고 판단된다 (Table 2).

변이 스펙트럼 분석

발근 후 처리구와 발근 전 처리구에 감마선 조사 후 발생한 돌연변이의 분포 스펙트럼을 품종 별로 비교한 결과 ‘러블리디아’의 경우 발근 후 처리구로부터 발생한 돌연변이체 23계통 중 화색변이 16개체[연한 핑크색(12), 연두색을 띠는 핑크색(2), 진한 핑크색(2)], 화형변이 2개체[끝이 둥근 꽃잎(1), 끝이 평평한 꽃잎(1)], 꽃잎 수 변이 5개체[꽃잎 수 많아짐(5)]으로 분류되며, 발근 전 처리구로부터 발생한 돌연변이체 13개체 중 화색변이 11개체[연한 핑크색(5), 연두색을 띠는 핑크색(1), 키메라(5)], 화형변이 1개체[끝이 평평한 꽃잎(1)], 꽃잎 수 변이 1개체[꽃잎 수 많아짐(1)]으로 분류되었다(Table 3, Fig. 1).

‘엘로우바베’의 경우 발근 후 처리구로부터 발생한 돌연변이체 3계통 중 화색변이 2개체[진한 노랑색(1), 아이보리색(1)], 꽃잎 수 변이 1개체[꽃잎 수 많아짐(1)]으로, 발근 전 처리구로부터 발생한 돌연변이체 2개체는 모두 화색변이[연한 노랑색(1), 오렌지색(1)]로 분류되었으며, ‘햇살’의 경우 발근 후 처리구로부터 발생한 돌연변이체 5개체 모두 화색변이[아이보리색(2), 연두색을 띠는 아이보리(2), 흰색(1)]로, 발근 전 처리구로부터 발생한 돌연변이체 2개체 중 화색변이 1개체[키메라(1)], 화형변이 1개체[끝이 평평한 꽃잎(1)]으로 분류되었다(Table 3, Fig. 1). ‘비탈’의 경우 발근 후 처리구로부터 발생한 돌연변이체 4개체 중 화색변이 3개체[오렌지색을 띠는 적색(2), 키메라(1)], 화형변이

Fig. 1. Flower mutants derived from five rose cultivars by gamma irradiation treatment.

1개체[끝이 평평한 꽃잎(1)]으로, 발근 전 처리구로부터 발생한 돌연변이체 1개체는 화색변이[옐로우색을 띠는 적색(1)]로 분류되었으며, ‘아쿠아’의 경우 발근 후 처리구로부터 발생한 돌연변이체 3개체 모두 화색변이[연한 핑크색(3)]으로 분류되었으며, 발근 전 처리구로부터는 돌연변이체가 발생하지 않았다(Table 3, Fig. 1). 결론적으로 5개 품종의 발근 후 처리구와 발근 전 처리구 모두 화색변이의 발생비율이 화형이나 꽃잎 수의 변이보다 높은 것을 확인할 수 있었으며 이전 연구결과(Koh et al. 2010)와도 일치한다.

변이 스펙트럼 분포 경향

화훼류 품종개발을 위한 방사선 돌연변이육종에서 변이 유기를 위한 최적조건은 생육장애가 최소화되면서 돌연변이 발생비율이 높고 폭 넓은 변이 스펙트럼을 보이는 것이다. 일본이나 중국 등 방사선육종이 활발한 나라에서는 변이 스펙트럼을 넓히기 위해 변이유기 기작이 감마선과 다른 중이온을 이용한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 다양한 품종들이 개발된 바 있다(Okamura et al. 2003, Wu et al. 2009). 본 연구에서는 5개

품종에 대해 이러한 변이 스펙트럼을 지수로 분석한 결과, ‘아쿠아’를 제외한 4개 품종 모두에서 발근 전 처리구가 발근 후 처리구보다 높게 확인되었다(Table 3). 특히 ‘엘로우바베’ 및 ‘햇살’의 경우 발근 전 처리구에서 발근 후 처리구에 비해 50% 이상 높게 확인되었다. 이러한 결과는 돌연변이 발생빈도와는 큰 차이를 보이고 있다. Koh et al. (2010)은 감마선 조사선량에 따른 변이 스펙트럼 분포를 비교하였으나 조사선량에 따른 비례적인 경향치는 확인할 수가 없었다.

일반적으로 장미 등을 포함한 영양번식 화훼작물의 방사선 돌연변이 육종은 미발근 삽수보다는 발근 삽수에 방사선을 조사하여 돌연변이를 유기한다. 이는 발근된 삽수의 경우가 발근 전의 삽수에 비해 조직분화가 활발하기 때문에 변이발생이 높을 것으로 추정되며, 또한 발근 전의 삽수에 방사선을 조사할 경우 발근율이 낮아지기 때문이다. 반면, 발근된 삽수를 조사할 경우에는 방사선조사 시 제한적인 공간으로 인해 많은 양의 시료를 조사하기에는 어려운 점이 있다. 본 연구결과에서는 발근 후 처리구에서 발근 전 처리구보다 생존율과 돌연변이 발생빈도는 증가하였으나, 변이 스펙트럼의 분포 결과는 상반된 결과를 보이고 있다. 통념적으로 이해하고 적용하고 있던 화훼작물의 발근 삽수에 대한 방사선 조사에서 전체적인 유전자의 발현은 뿌리분화 등의 생장과 관련된 유전자의 발현이 증가되는 것은 명확하다. 하지만, 타겟 형질인 화색이나 화형 등과 관련된 유전자들의 발현은 미발근 삽수와 발근 삽수에서 미미할 것으로 추정되며, 본 연구의 결과와도 일치한다. 이러한 연구결과는 향후 다양한 화훼작물의 방사선 돌연변이 육종의 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

장미는 국화, 난과 더불어 3대 화훼작물에 속하며, 절화 및 분화, 조경, 꽃꽂이 등 활용범위가 광범위하다. 본 연구는 장미의 발근된 삽수와 발근 전 삽수에 감마선을 조사하여 생존율과 돌연변이 발생빈도, 변이 스펙트럼을 비교하기 위해 실시하였다. 실험재료로는 스프레이형 장미 3품종(‘러블리디아’, ‘엘로우바베’, ‘햇살’)과 스탠다드형 장미 2품종(‘비탈’, ‘아쿠아’)을 사용하였으며, 감마선 조사는 발근된 삽수와 발근 전 삽수로 구분하여 한국원자력연구원 저준위 감마선 조사시설에서 70Gy로 조사하였다. 발근 전 삽수의 감마선 처리구는 발근 후 생존개체만 정식하였으며, 발근된 삽수의 감마선 처리구는 바로 정식하였다. 생존율과 돌연변이 발생빈도, 변이 스펙트럼은 정식 후 30주에

비교하였다. 그 결과 발근된 삽수의 감마선 처리구는 생존율과 돌연변이 발생빈도가 각각 39.4%~55.1%, 0.7%~7.4%로 나타났다. 발근 전 삽수의 감마선 처리구는 각각 16.4%~50.8%, 0%~5.1%로 확인되었다. 결론적으로 발근된 삽수가 발근 전 삽수에 비해 감마선 조사 시 상대적으로 높은 생존율과 돌연변이 발생빈도를 보인다. 하지만 생존개체만을 대상으로 돌연변이 발생빈도를 비교할 경우 발근 삽수의 경우 1.8%~14.1%, 발근 전 삽수의 경우 0%~10%로 품종간의 차이는 다소 있으나 전체적으로 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한, 발근 삽수와 미발근 삽수 모두 다양한 화색, 화형, 꽃잎 수의 변이가 확인되어 변이 스펙트럼에서도 큰 차이를 확인할 수 없었다. 미발근 삽수를 방사선 처리에 바로 이용해도 발근 삽수가 차이가 없으므로 앞으로 이용 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 정부(미래창조과학부) 재원으로 한국원자력연구원 주요사업 및 한국연구재단의 지원(원자력연구개발사업, NRF-2017M2A2A6A05018543)을 받아 수행된 연구임.

REFERENCES

1. Abe T, Ryuto H, Fukunishi N, Shu QY, Forster BP, Nakagawa H. 2012. Ion beam radiation mutagenesis, pp. 99-106. In Plant mutation breeding and biotechnology, CAB International and FAO, Wallingford, Oxfordshire, UK.
2. Broertjes C, van Harten AM. 1988. Applied mutation for vegetatively propagated crops. Elsevier Science Publisher, New York. pp. 225-285.
3. Douglas GC. 1986. Effects of gamma radiation on morphogenesis and mutagenesis in cultured stem explants of poplar. In Nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement. Proceeding of a symposium, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. pp. 121-128.
4. Jarvis BC. 1986. Endogenous control of adventitious rooting in non-woody cuttings. In New root formation in plants and cuttings, Springer, Dordrecht, Netherlands. pp. 191-222.
5. Kim GJ, Koh GC, Gi GY, Choi KJ, Song HS. 2006. In vitro mutant induction by irradiation of gamma-ray in *Rosa hybrid* Hort. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24:

- 497-502.
6. Kim YS, Sung SY, Jo YD, Lee HJ, Kim SH. 2016. Effects of gamma ray dose rate and sucrose treatment on mutation induction in chrysanthemum. *Eur. J. Hort. Sci.* 81: 212-218.
 7. Koh, GC, Ahn KB. 2008. Breeding of rose 'Gippeumi' with orange-red flower through gamma irradiation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 26: 445-448.
 8. Koh GC, Ahn KB, Gi GY, Na TS, Kang SY. 2008. Breeding of rose 'Honami' with red-purple flower through gamma irradiation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 26: 302-305.
 9. Koh, GC, Kim MZ, Kang SY. 2010. Induction of petal color mutants through gamma ray irradiation in rooted cuttings of rose. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28: 796-801.
 10. Korea Agro-Fisheries and Food Trade Corporation. 2014. Korea agricultural trade information (KATI). <http://kati.net/kati.do>
 11. Nakajima K. 1973. Induction of useful mutations of mulberry and roses by gamma rays. In *Induced mutations in vegetatively propagated plants*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. pp. 105-116.
 12. Okamura M, Yasuno N, Ohtsuka M, Tanaka A, Shikazono N, Hase Y. 2003. Wide variety of flower-color and-shape mutants regenerated from leaf cultures irradiated with ion beams. *Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. B.* 206: 574-578.
 13. Park MH, Han KC, Kim KJ, Lee DW. 1995. Effect of genotypes on shoot multiplication of cut rose by nodal culture. *Kor. J. Plant Tissue Cult.* 22: 217-221.
 14. Rural Development Administration (RDA). 2001. *Rose Culture*. pp. 127-163.
 15. Shin YU, Kim WC, Moon JY, Chung KH. 1988. Induction of compact mutants in pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) by gamma irradiation. *Res. Report RDA(H)* 30: 73-78.
 16. Smilansky Z, Umiel N, Zieslin N. 1986. Mutagenesis in rose cv. Mercedes. *Envir. Exp. Bot.* 26: 278-283.
 17. Solfanelli, C, Poggi A, Loreti E, Alpi A, Perata P. 2006. Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 140: 637-646.
 18. Sonnio A, Ancora G, Locard C. 1986. In vitro mutation breeding of potato. Use of propagation by microcuttings. In *Nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement. Proceeding of a symposium*, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. pp. 385-393.
 19. Wu DL, Hou SW, Qian PP, Sun LD, Zhang YC, Li WJ. 2009. Flower color chimera and abnormal leaf mutants induced by $^{12}\text{C}^{6+}$ heavy ions in *Salvia splendens* Ker-Gawl. *Scientia Horticulturae*. 121: 462-467.