



감마선 조사가 결명자의 생육과 항산화 활성에 미치는 영향

엄 민* · 강시용** · 이재원*† · 이옥란***†

*전남대학교 산림자원학부, **한국원자력연구원 첨단방사선연구소, ***전남대학교 식물생명공학부

Effect of Gamma Ray on Germination, Growth and Antioxidant Activity of *Senna tora*

Min Um*, Si Yong Kang**, Jae Won Lee*† and Ok Ran Lee***†

*Division of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea.

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

***Department of Plant Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea.

ABSTRACT

Background: *Senna tora* is a flowering plant in the legume family Fabaceae. Its seeds are roasted and consumed as tea in Asia, to reduce inflammation in the liver and improve eyesight. Thus, it has been considered as an important medicinal crops in Asia. However, breeding trials to improve its genetic properties are rare. Mutation breeding by gamma ray is known to be an effective and highly successful approach for the generation of agronomically useful cultivars. Here we analyzed the effects of several dosages of gamma ray on the biological conditions of *Senna tora* seeds.

Methods and Results: The germination rate and growth patterns of *Senna tora* were examined following irradiation with gamma ray at 100, 200, 300 and 400 Gy. The total phenolic compound contents and antioxidant activities of *Senna tora* were analyzed. Germination increased at 100 and 200 Gy in the M1 and M2 generations compared with that of the control (M0). The total phenolic compound contents and antioxidant activity of the seeds significantly decreased as the radiation dosage increased above 100 Gy in the M1 generation.

Conclusions: *Senna tora*, irradiated with gamma ray at dosages 100, 200, 300, and 400 Gy, showed maximum germination rate at 200 Gy in the M2 generation. Plant height and leaf size gradually decreased with increasing gamma ray intensity in the M2 generation. The total phenolic compound contents decreased significantly at 400 Gy, and the related antioxidant activity was also decreased as the radiation dosage increased.

Key Words: *Senna tora*, Antioxidant Activity, Gamma Ray, Germination, Total Phenolic Compounds

서 언

결명자 [*Senna tora* (L.) Roxb.]는 콩과의 일년생 초본으로 전통적으로 눈을 밝게 하며 간 기능을 향상시키는 약용식물로 알려져 있다 (Hong *et al.*, 2012). 결명자는 특이한 냄새와 맛을 가지고 있어 주로 차 (茶)의 형태로 응용되어왔고, 현대에 이르러 보고된 결명자의 효능은 간세포 회복과 콜레스테롤 저하, 동맥경화 예방 등이 있다 (Cho *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2001). 또한 결명자 종자는 항산화 물질인 페놀성 화합물

을 다량 포함하여 항산화 활성을 가지는 것으로 보고되었다 (Lee *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2004).

항산화 물질은 인체 내의 과량의 활성산소를 제거하여 몸의 항상성을 유지시킬 수 있다. 활성산소는 강한 산화력을 가지고 있어 몸속에 있는 세포, 단백질, DNA 등을 무분별하게 파괴시켜 노화나 질병을 발생시킨다 (Cabisco *et al.*, 2000; Lim *et al.*, 2004). 지금까지는 인체 내 유해한 활성산소를 줄이기 위해 높은 항산화 활성과 경제성을 가지는 합성 항산화제 (BHT; butylated hydroxytoluene, BHA; butylated

†Corresponding author: (Phone) +82-62-530-2054, +82-62-530-2098 (E-mail) hj7400@korea.kr, ljw43376@chonnam.ac.kr
Received 2017 August 7 / 1st Revised 2017 August 21 / 2nd Revised 2017 September 5 / 3rd Revised 2017 September 29 / Accepted 2017 October 9
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

hydroxyanisole)가 이용되었다. 하지만 과량 이용될 경우 암 유발과 같은 부작용을 발생시켜 일부 나라에서는 사용이 제한, 금지되고 있는 실정이다 (Hayes *et al.*, 2000; Kahl and Kappus, 1993). 따라서 안전성의 문제로 합성 항산화제를 대신하기 위한 새로운 천연 물질의 항산화제에 대한 연구가 증가되고 있다.

식물은 세계적으로 전통적인 의약품의 기초가 되며 천연 항산화제를 얻을 수 있는 자원으로 나라별 고유 식물로부터 천연 항산화제를 얻기 위한 연구가 지속되고 있다. 높은 항산화 활성을 가지는 식물의 연구, 산업화 및 이용은 생물다양성 협약에 의해 생물자원에 대한 주권적 권리를 인정받을 수 있다. 따라서 국가 간의 자원이용에서 우위를 선점하기 위해서는 생약자원의 기초연구와 더불어 효율적 이용을 위해 신품종 육종 및 개량이 필요하다. 작물의 이용을 위한 육종 및 개량 방법으로는 인위적으로 돌연변이를 일으키는 화학처리 및 방사선 조사 방법이 있다. 방사선 조사는 단시간에 유전형질을 개량할 수 있는 방법으로 종자에 감마선을 조사함으로써 생물 활성을 증진시킬 수 있다 (Kim *et al.*, 2008; Macklis and Beresford, 1991).

결명자는 염색체 수가 기타 약용작물에 비하여 적고 (n=13), 실내 및 포장 재배가 용이한 작물로 국내에서 유전체 연구가 시작되어 활용가능성이 기대되는 기초 모델 약용작물로 활용될 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 결명자 종자에 감마선을 조사하여 결명자의 발아 및 생육, 항산화 활성을 증진시킬 수 있는 적합한 조사량을 탐색하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

공시재료는 2014-2016년 전남대학교에서 수확한 결명자 [*Senna tora* (L.) Roxb.] (M0)를 사용하였으며, 선별된 종자는 정읍 한국원자력연구소 감마선 조사 시설 (Co-60 3000 Ci, Nordion Inc., Ottawa, Canada) 내에서 감마선 선량을 100 Gy에서 400 Gy까지 24 시간 처리하였으며, 감마선이 처음 조사된 종자는 M1으로 명명하였다. 감마선이 조사된 종자를 재배하여 얻어진 종자와 그 다음 세대의 종자를 각각 M2, M3로 명명하였다. 감마선 조사량과 세대에 따라 종자의 항산화 활성, 발아 및 성장을 비교 분석하기 위해 감마선이 조사되지 않은 시료를 대조구로 이용하였다.

2. 발아방법

처리종자의 실험은 105 개의 칸이 있는 트레이에 상토를 넣고 깊이 2 cm의 구멍을 뚫어 종자를 1 립씩 심었으며 25°C의 일정한 온도로 통제하여 발아시킨 후 생육상 변화를 조사하였다. 발아조사는 파종 후 7 일째 첫 번째 싹이 지상부에

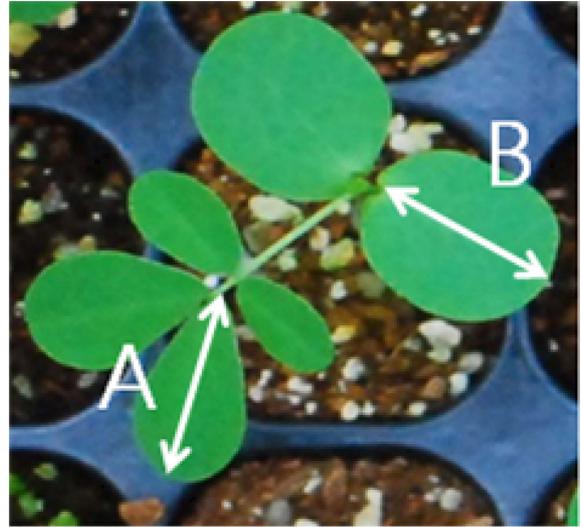


Fig. 1. Investigation site of growth characteristics in seedling of *Senna tora* after gamma ray irradiation. A; true leaf length, B; cotyledon length.

출현한 날을 기준으로 하였으며, 최종 발아율은 파종 후 발아가 거의 완료되는 날인 파종 20 일 후를 기준으로 하였다. 생육상 변화의 조사는 초장 (stem)과 자엽 (cotyledon) 및 본엽 (true leaf) 두 가지 엽장의 길이를 측정하였고, 초장은 파종 7 일과 20 일 후에 엽장은 21 일 후에 측정하였다 (Fig. 1). 초장의 길이는 줄기가 지상부에 출현한 곳에서부터 자엽의 시작점까지 측정하였으며 자엽과 본엽의 엽장은 각각 잎의 가장 긴 지체부에서 끝부분까지 측정하였다. 측정된 값들은 *t*-test를 통해 감마선을 처리하지 않은 대조구와 비교하여 생육변화 결과를 냈다.

3. 결명자 종자의 알코올 추출

균일한 추출효과를 위하여 결명자 종자는 40 mesh 이하로 분쇄하였다. 추출은 결명자 시료와 75% 에탄올 용매를 1:20 (w/v) 비율로 혼합하여 3 시간 동안 shaking water bath (60°C, 150 rpm)에서 수행되었다. 이후 원심분리 (2,000 rpm, 10 분)를 3 회 반복하여 상층액을 분리하였으며 회전식 감압 농축기를 사용하여 농축 후 동결건조를 실시하였다. 동결건조 후 분말을 균일하게 분쇄하여 실험 전까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

4. 총 페놀화합물 (total phenolic compounds, TPC) 측정

결명자 종자의 TPC 함량 측정은 추출물을 1 mg/ml로 용해시켜 이용하였다. 용해된 추출물 0.2 ml와 10% (w/w)의 Folin Ciocalteu's reagent (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 1 ml를 혼합한 후 7.5% (w/v)의 Na₂CO₃ (Duksan Pure Chemicals Co., Ltd., Ansan, Korea) 0.8 ml를 첨가하

였다. 반응을 위해 암실에서 2 시간 방치하였으며, 760 nm의 UV-vis spectrophotometer (UV 1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)에서 흡광도를 측정하였다. TPC 정량을 위해 vanillin (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 이용하여 표준 곡선을 작성하였다.

5. ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)]를 이용한 자유라디칼 소거 활성

ABTS (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 이용한 자유라디칼 소거 활성은 Re 등 (1999)의 방법을 변형하여 수행하였다. 7 mM ABTS와 2.4 mM potassium persulfate (Duksan Pure Chemicals Co., Ltd., Ansan, Korea) 용액을 1 : 1 (v/v)로 혼합하여 16 시간 동안 차광상태로 방치시켜 ABTS⁺를 형성시켰다. 이 후 UV-vis spectrophotometer (UV 1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도 값이 0.7 ± 0.02가 되도록 에탄올로 희석하였으며 희석된 ABTS⁺용액 1 ml에 농도별로 추출물 0.2 ml를 첨가한 후 흡광도의 변화를 측정하였다.

6. 통계분석

감마선 조사량과 세대에 따른 항산화 활성 분석을 위해 Two-way ANOVA를 실시하였다. 통계적 유의성은 p-value < 0.05 수준에서 유의성이 있다고 판단하였으며 IBM SPSS Statistical Package for Social Science Statistics 23 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 감마선이 조사된 결명자 종자의 발아율

감마선이 처음 조사된 결명자[Senna tora (L.) Roxb.] 종자 M1과 그 다음세대 종자인 M2 발아율은 저선량의 조건 (100 Gy, 200 Gy)에서 유의하게 증가하였다 (Fig. 2). 100 Gy - 300 Gy 조건의 발아율은 무처리 된 종자보다 높았으며, 최대 발아율은 100 Gy (66.0%) 조건으로 대조구와 비교하여 약 7.2% 발아율이 증가하였다.

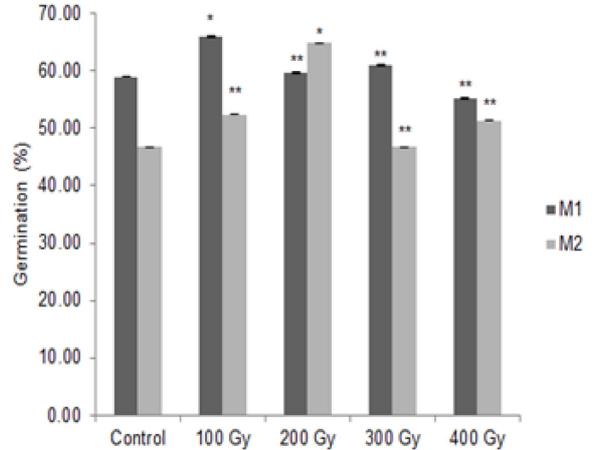


Fig. 2. Effect of gamma ray on the germination of Senna tora. The data were statistically analyzed using t-test, significant differences were assessed to be significant at *p < 0.05 and **p < 0.01 level of probability. Average n = 145 (M1), 55 (M2).

300 Gy에서는 대조구와 비교하여 2.0% 정도 발아율이 증가하였지만, 400 Gy 조건에서는 발아율이 감소하였다. M2 세대의 발아율은 무처리된 종자부터 200 Gy 조건의 종자까지 상승하였지만 300 Gy와 400 Gy 조건에서 각각 46.7%, 51.4%로 낮아졌다. M2 세대는 M1 세대와 비교하여 종자의 발아율이 감소하는 것을 육안으로 확인하였다 (Fig. 3).

M2 세대의 200 Gy 조건은 M1의 200 Gy 조건과 비교하여 발아율이 증가하였다. 결과적으로 결명자 발아율에 있어서 최적의 감마선 조사량은 200 Gy로 판단되며, 300 Gy 이상의 감마선 조사는 결명자 발아율을 감소시켰다.

2. 감마선 조사 결명자의 생육

감마선을 조사한 M1 세대의 줄기 길이는 파종 후 7 일째 대조구와 100 Gy - 400 Gy간의 유의한 차이가 나타나지 않았지만 20 일 후에는 대조구를 기준으로 100 Gy에서 400 Gy로 선량이 높아질수록 줄기 길이가 유의하게 감소하였다 (Fig. 4). 이것은 M2 세대와 유사한 경향으로 200 Gy 조건을 제외

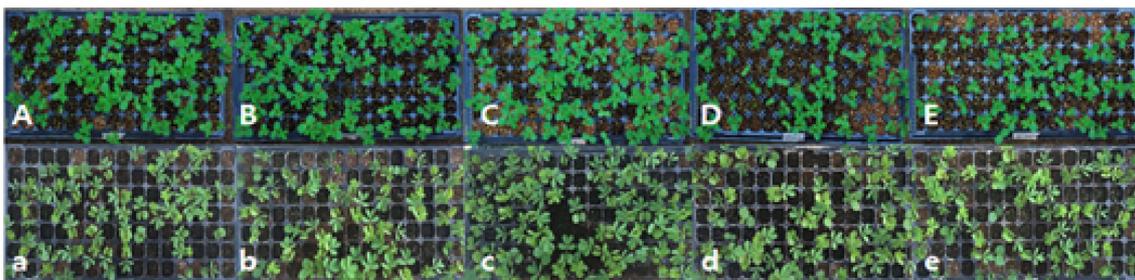


Fig. 3. Effect of gamma ray on the growth of Senna tora. A - E; M1 generations, a - e; M2 generations.

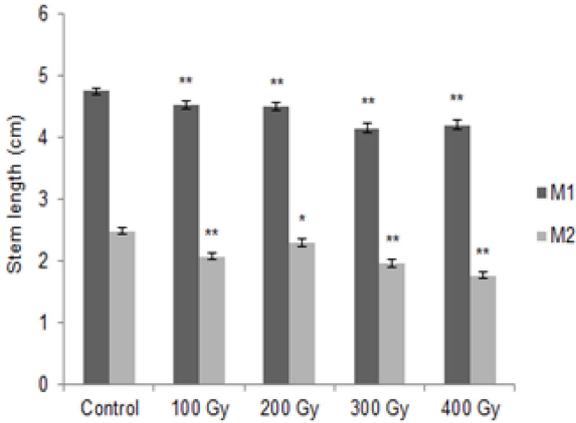


Fig. 4. Effect of gamma ray on the stem length of *Senna tora*. The data were statistically analyzed using *t*-test, significant differences were assessed to be significant at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.01$ level of probability. Average $n = 151$ (M1), 55 (M2).

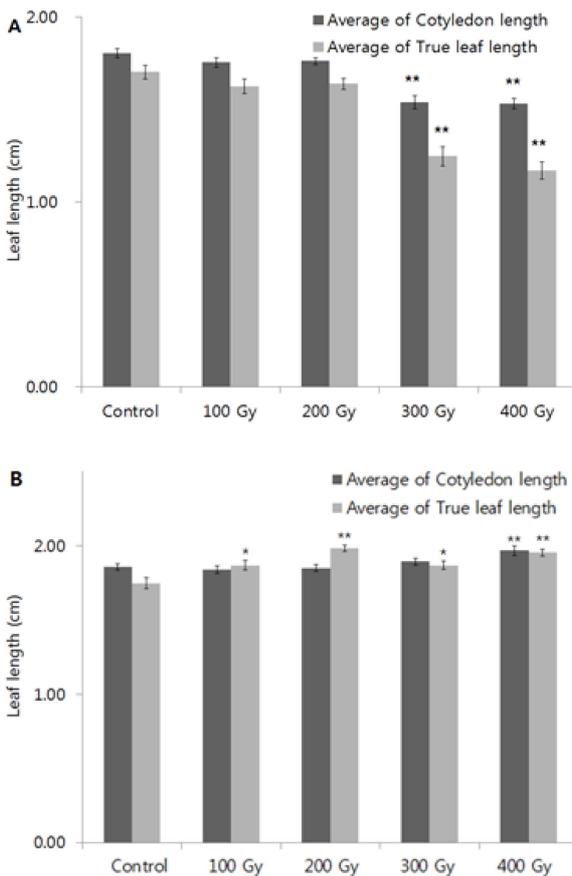


Fig. 5. Effect of gamma ray on the length of cotyledon and true leaf of *Senna tora*. A; M1, B; M2. The data were statistically analyzed using *t*-test, significant differences were assessed to be significant at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.01$ level of probability. Average $n = 84$ (M1), 54 (M2).

하고 점차적으로 감소하였다. 즉, 100 Gy이상의 감마선 조사는 결명자 종자의 줄기 생장을 억제하는 것으로 사료된다.

M1 세대의 파종 21 일 후 측정된 자엽과 본엽의 길이는 각각 대조구와 비교하여 100 Gy에서 400 Gy로 선량이 높아질수록 점차 감소하였다 (Fig. 5). 300 Gy와 400 Gy 구간은 자엽과 본엽 모두 유의하게 감소하였다. 하지만, M2 세대 본엽의 길이는 400 Gy에서 유의하게 상승하였고, 자엽의 길이는 200 Gy와 400 Gy에서 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 세대가 지남에 따라 감마선 처리에 의한 스트레스가 회복된 것으로 보인다. 본 연구는 감마선 조사 후 M2 세대의 생육상 차이를 조사한 것으로, 그 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 M1 세대의 생육상 차이를 조사할 예정이며, 변이체를 추후 선발하여 육종에 활용할 계획이다.

3. 감마선 조사 후 총 페놀화합물 (total phenolic compounds, TPC) 변화

페놀화합물은 식물의 감염과 상해로부터 스스로를 보호 할 수 있게 하는 2 차 대사산물로써 항균, 항암, 항산화 등 다양한 생리활성을 포함하고 있다

(Krishnaiah *et al.*, 2011). 페놀화합물은 전자 공여능을 가지고 있어 산화를 억제하는 것으로 자유 라디칼을 제거하는 항산화 활성과 관련이 있다 (Han *et al.*, 2006). 따라서 페놀화합물의 함량은 식물체의 항산화 활성을 예상할 수 있는 자료이다. Lee 등 (2013)이 보고한 결명자의 TPC 함량은 7.15 mg/g으로 알려져 있다.

감마선 조사량이 증가할수록 각 세대 내에서의 TPC는 감소하는 경향을 보였으나, 세대가 M1에서 M3로 증가할수록 그 감소도가 회복되는 경향을 보였다 (Fig. 6). M1 세대 내에서 100 - 200 Gy 조사는 TPC 함량에 유의한 차이를 보이지 않았

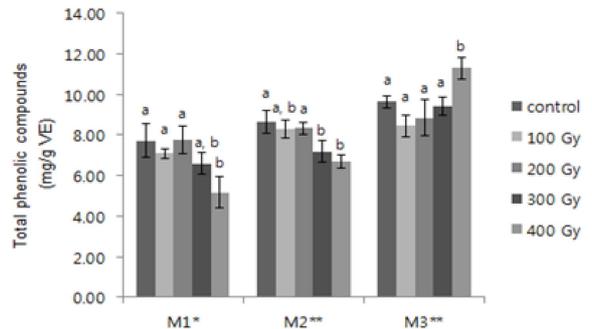


Fig. 6. Effect of gamma ray on the total phenolic compounds of M1 - M3. VE; Vanillin equivalent, control; M0. The data were statistically analyzed using Two-way ANOVA, significant differences were assessed to be significant at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.01$ level of probability. a - b; the data were analyzed using Tukey's HSD (honestly significant difference).

으나, 300 Gy 이상에서 유의한 차이를 보이기 시작했으며, 400 Gy에서는 최대 감소량을 보였다. M2 세대의 경우도 M1 세대와 유사하게 TPC 함량 변화를 보였으며, 300-400 Gy 조사량부터 확연한 감소를 보였다. 이는 Sikder 등 (2015)이 연구한 저선량 감마선 (50-250 Gy) 조사가 토마토의 총 당 함량, 아스코르브산과 잎의 페놀 함량 등에 영향을 미치는 것과 유사하였다. 하지만 세대 간 즉, M1에서 M3로 진행되면서, TPC의 전체 함량은 증가하였다. 이것은 세대가 거듭되면서, 감마선에 의한 세포 스트레스 정도가 회복되면서 나타나는 현상으로 분석되며 추후 감마선을 이용한 결명자 연구에 있어 중요한 연구사례가 될 것으로 사료된다.

4. 결명자 추출물의 항산화 활성

감마선이 직접 조사된 결명자 (M1)는 항산화 활성 차이에 따라 통계적으로 a-d 집단이 분류되었으며, a에서 d로 갈수록 항산화 활성이 낮은 집단으로 확인되었다 (Fig. 7). M1 세대 내 100 Gy는 대조구와 비교하여 낮은 항산화 활성을 나타냈지만, 두 조건 사이의 항산화 활성에서 유의미한 차이가 없었다. 하지만 조사량이 증가할수록 (> 100 Gy) 항산화 활성이 감소하면서 대조구와 큰 차이를 나타냈다 (Fig. 7).

M1 세대 내에서는 감마선 조사에 따라 항산화 활성의 차이가 다른 세대와 비교하여 크게 나타났으며 (f -value = 258.70), 세대가 증가하면서 감마선 조사에 따른 항산화 활성의 차이는 감소하였다 [f -value = 49.22 (M2), 4.01 (M3)]. M1 세대의 가장 큰 항산화 활성차이는 감마선 조사가 돌연변이를 유발하여 감소된 TPC 함량에 의해 항산화 활성이 감소된 것으로 사료된다. TPC의 수산기는 라디칼을 제거, 흡착 및 중화를 하기 때문에 직접적으로 항산화 활성에 관여하는 인자로서 TPC 감소가 항산화 활성의 감소를 발생시키는 것으로 판단된다. 이것은 Lampart-Szczapa 등 (2003)의 감마선 조사량 증가에 따라 lupin 종자의 TPC 감소가 항산화 활성이 감소에 영향을 미치는 결과와 일치하였다. 반면 Dixit 등 (2010)의 연구에서는 감마선 조사량이 증가함에 따라 항산화 활성이 증가하다가 5 kGy의 조사량에서 비 조사된 시료보다 항산화 활성이 낮아짐을 확인하였다. Štajner 등 (2007)의 연구에 의하면 대두는 감마선 조사량 (-10 kGy)이 증가함에 따라 항산화 활성이 증

Table 1. Two-way ANOVA analysis of antioxidant activity using the seeds of *Senna tora*.

	Sum of squares	Mean square	f-value	p-value
M1	0.65	0.16	258.70	0.00 ^a
M2	0.50	0.12	49.22	0.00 ^a
M3	0.03	0.01	4.01	0.03 ^b

a-b; the data were analyzed using Tukey's HSD (honestly significant difference).

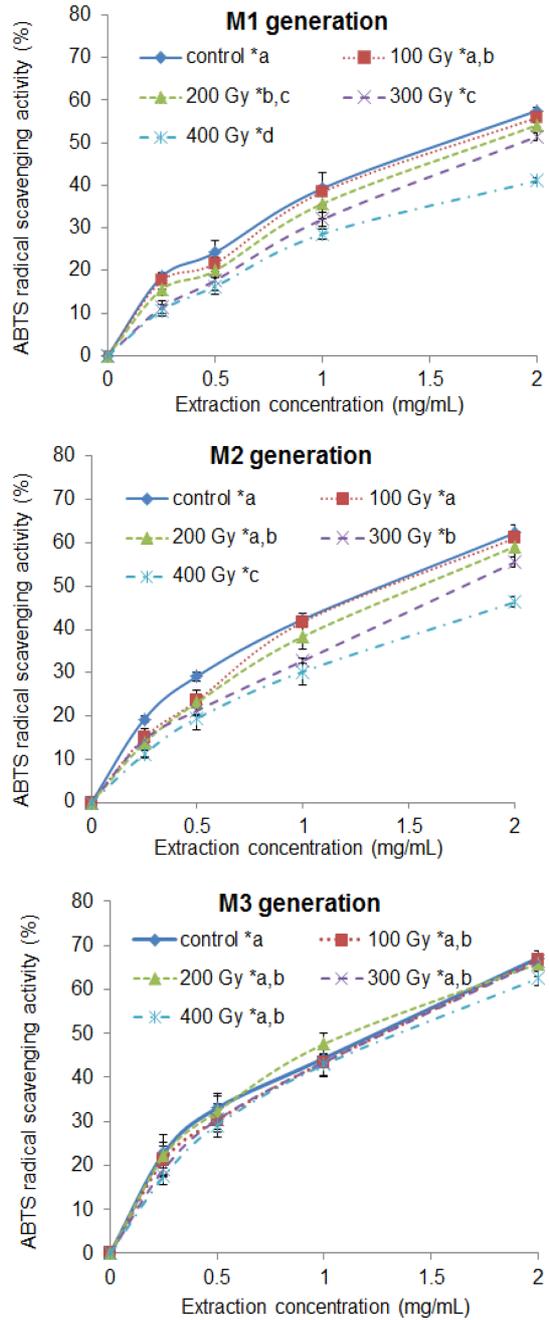


Fig. 7. Antioxidants activity of gamma ray treated *Senna tora* in each generation. control; M0. The data were statistically analyzed using SPSS, significant differences were assessed to be significant at * $p < 0.05$ level of probability. a - d; the data were analyzed using Tukey's HSD (honestly significant difference).

가하는 것으로 나타났다. 시료에 따라 강한 강도의 감마선 처리는 세포벽을 분해하여 페놀과 플라보노이드 성분의 추출을 증가시켜 항산화 활성을 증가시켰다 (Choi et al., 2009). 감

마선 조사량에 따른 항산화 활성의 변화는 시료의 유전변이에 의한 성분 변화와 강한 감마선 에너지에 의한 분해정도에 영향을 받는 것으로 사료된다.

세대 (M1 - M3)가 증가할수록 감마선 조사 결명자의 항산화 활성은 증가하였는데 이것은 TPC 함량과 동일한 경향을 나타냈다 (Fig. 5). M1과 M2 세대의 IC₅₀은 각각 1.85 ± 0.27 mg/ml, 1.65 ± 0.24 mg/ml로 M2에서 높은 항산화 활성을 보였지만, 통계적으로 M1과 M2 세대의 항산화 활성에 차이가 없음을 알 수 있다 (Table 1). 반면, M3 세대의 평균 IC₅₀은 1.34 ± 0.07 mg/ml로 M1 및 M2 세대와의 유의적인 차이가 나타났다. 이것은 감마선 처리에 의한 스트레스가 M2 세대까지 영향을 미치며 M3 세대에서는 감소되는 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Cabiscol E, Tamarit J and Ros J.** (2000). Oxidative stress in bacteria and protein damage by reactive oxygen species. *International Microbiology*. 3:3-8.
- Cho IJ, Lee C and Ha TY.** (2007). Hypolipidemic effect of soluble fiber isolated from seeds of *Cassia tora* Linn. in rats fed a high-cholesterol diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:1592-1596.
- Choi HS, Cha SS, Na MS, Shin KM and Lee MY.** (2001). Effect of the ethanol extract of *Cassia tora* L. on antioxidative compounds and lipid metabolism in hepatotoxicity of rats-induced by ethanol. *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*. 30:1177-1183.
- Choi JI, Kim JK, Srinivasan P, Kim JH, Park HJ, Byun MW and Lee JW.** (2009). Comparison of gamma ray and electron beam irradiation on extraction yield, morphological and antioxidant properties of polysaccharides from tamarind seed. *Radiation Physics and Chemistry*. 78:605-609.
- Dixit AK, Bhatnagar D, Kumar V, Rani A, Manjaya JG and Bhatnagar D.** (2010). Gamma irradiation induced enhancement in isoflavones, total phenol, anthocyanin and antioxidant properties of varying seed coat colored soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58:4298-4302.
- Han SH, Woo NRY, Lee SD and Kang MH.** (2006). Antioxidative and antibacterial activities of endemic plants extracts in Korea. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 14:49-55.
- Hayes JD, Chanas SA, Henderson CJ, McMahon M, Sun C, Moffat GJ, Wolf CR and Yamamoto M.** (2000). The Nrf2 transcription factor contributes both to the basal expression of glutathione S-transferases in mouse liver and to their induction by the chemopreventive synthetic antioxidants, butylated hydroxyanisole and ethoxyquin. *Biochemical Society Transactions*. 28:33-41.
- Hong KH, Um MY, Ahn JY and Ha TY.** (2012). Effect of *Cassia tora* extracts on D-galactosamine-induced liver injury in rats. *Korean Journal of Food and Nutrition*. 25:546-553.
- Kahl R and Kappus H.** (1993). Toxicology of the synthetic antioxidants BHA and BHT in comparison with the natural antioxidant vitamin E. *Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung*. 196:329-338.
- Kim DH, Park HW, Park CG, Sung JS and Seong NS.** (2008). Effect of gamma irradiation on the germination and growth of *Astragalus membranaceus*. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 16:238-241.
- Krishnaiah D, Sarbatly R and Nithyanandam R.** (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing*. 89:217-233.
- Lampart-Szczapa E, Korczak J, Nogala-Kalucka M and Zawirska-Wojtasiak R.** (2003). Antioxidant properties of lupin seed products. *Food Chemistry*. 83:279-285.
- Lee MH, Cho JH and Kim BK.** (2013). Effect of roasting conditions on the antioxidant activities of *Cassia tora* L. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 45:657-660.
- Lee SJ, Shin JH, Kang MJ, Yang SM, Ju JC and Sung NJ.** (2009). Effect of garlic and medicinal plants composites on antioxidant activity and lipid levels of liver in hypercholesterolemic rats. *Journal of Life Science*. 19:1769-1776.
- Lim JD, Yu CY, Kim MJ, Yun SJ, Lee SJ, Kim NY and Chung IM.** (2004). Comparison of SOD activity and phenolic compound contents in various Korean medicinal plants. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 12:191-202.
- Macklis RM and Beresford B.** (1991). Radiation hormesis. *Journal of Nuclear Medicine*. 32:350-359.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M and Rice-Evans C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26:1231-1237.
- Sikder S, Ravat VK, Basfore S and Hazra P.** (2015). Isolation of induced mutants using gamma ray and ethyl methane sulphonate in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 6:464-471.
- Štajner D, Milošević M and Popović BM.** (2007). Irradiation effects on phenolic content, lipid and protein oxidation and scavenger ability of soybean seeds. *International Journal of Molecular Sciences*. 8:618-627.