

저선량 감마선 조사에 의한 고추 역병 저항성 유기

김재성 · 이은경 · 송정영¹ · 김홍기¹ · 이영복¹

(한국원자력연구소 방사선응용연구팀, ¹충남대학교 농과대학)

요약 - *Phytophthora capsici*에 의한 고추 역병은 세계적으로 피해가 심할 뿐만 아니라 방제도 매우 어려운 병으로서 효과적인 병 방제를 위해 새로운 시도가 필요한 실정이다. 본 연구는 이러한 취지에서 감마선의 hormesis 효과를 이용하고자 시도되었다. 저선량 감마선 조사가 고추의 역병 저항성을 유도하는지 여부를 밝히기 위해 광복과 다복 두 품종을 공시하였다. 저선량 감마선은 두 품종 모두 조사선량에 관계없이 발아율을 크게 제고시켰다. 병 저항성 증대에 관한 분석시 품종간에 차이가 있어 감수성 품종인 다복에서 뚜렷한 증대효과가 확인되었으며, 그 효과는 조사선량에 따라 차이가 있었다. 1, 4Gy 조사구가 무조사구에 비해 뚜렷하게 저항성이 증가되었으며 특히 4Gy 조사시 병 저항성이 가장 높게 유도되었다. 이러한 현상은 모든 실험에서 일관된 경향을 나타내었고, 통계 분석시에도 유의차가 인정되었다. 반면에 저항성 품종인 광복에서는 무조사에 비해 감마선 조사에 따른 저항성의 증가를 확인할 수 없었다.

서론

고추역병은 고추 연작포장에서 매년 다발하며, 유포기에서부터 수확기까지 전 생육기간에 걸쳐 뿌리에서부터 열매까지 모든 부위에 발생하여 막대한 피해를 줄 뿐 아니라 병원균인 *Phytophthora capsici*는 토양 전염성균으로 방제 역시 매우 어려운 중요한 방제대상종 하나이다.

이 병의 효과적인 방제를 위해 윤작이나 유기물 시용, 피복 등의 경종적 방제법과 고추 자체의 저항성을 이용하는 방법, 길항미생물을 이용한 생물학적 방제법, 살균제의 관주나 경엽 살포 등의 화학적 방제법 등이 권장되고 있다(Hwang & Kim 1995). 그러나 연작을 위주로 하는 우리나라의 재배 특성과 수매 및 토양 전염하는 균의 특성 때문에 아직까지도 효과적인 방제가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 다소나마 해결하기 위한 노력의 일환으로 식물자체의 병 저항성을 후천적으로 증대시켜주는 연구가 진행되고 있다. 방사선 hormesis를 이용한 저선량의 감마선 조사도 그 중 하나인데 감마선은 작물에 여러 가지 유익한 특성을 발현시키는 것으로 밝혀져 이를 농업적으로 활용하려는 시도가 활발하다. 저선량의 감마선은 토마토(Abdullaev & Berezina 1968), 고추

(Izvorska 1973), 오이(Yurina & Kardashina 1977) 등 작물의 생육을 촉진하고 수량을 증대하는 효과가 있음이 확인된 바 있으며, 특히 국내에서도 최근 이 등(1998a)이 고추의 발아와 생육에 큰 효과가 있음을 확인한 바 있다. 또한 최근에는 Ito와 Meixu(1994)가 고추에 감마선을 조사했을 때 식물 병원 세균인 *Bacillus subtilis*에 대한 항균활성이 증대됨을 밝힌 바 있다. 감자(Zeimalov et al. 1972), 옥수수(Lysikov & Orinstein 1967) 외에도 최근 밀(Neto et al. 1996)이나 강낭콩(Nikolova & Por-yazov 1991), 코코아(Adu et al. 1996) 등 다수의 작물에서 감마선의 병 저항성 유도효과가 확인되어 작물의 병 저항성 증대나 효과적인 병해 방제 수단으로 큰 관심을 끌기에 이르렀다.

본 연구는 저선량의 감마선 조사가 고추 식물체의 최대 병해 중 하나인 역병에 대한 저항성을 증대시키는지 여부를 밝혀 병 방제를 위한 활용 가능성을 모색하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 공시품종

고추 역병균 *Phytophthora capsici* 97CC3104균주에 저항성을 나타내는 “광복(중앙종묘)”과 감수성을 나타낸 “다복(홍농종묘)” 등의 고추(*Capsicum annuum* L.) 품종

을 사용하였다.

2. 방사선 조사

0, 1, 2, 4, 8, 12, 20 Gy의 일곱 단계로 구분한 저선량의 감마선을 고추 종자에 직접 조사하였다. 조사는 한국원자력연구소의 저준위 조사시설 (⁶⁰Co)을 이용하였으며, 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다.

3. 공시작물 재배

각 선량별로 감마선이 조사된 종자를 조사 당일 마사토와 배양토(부농상토 5호)를 1:1로 혼합하여 담은 플라스틱 연결포트에 파종한 후 온도 25°C와 습도가 자동으로 조절되는 온실에서 재배하였으며 발아율은 파종 20일 후에 조사하였다. 재배기간 동안 다른 병원균으로부터 격리시켰으며, 실험은 동일한 방법으로 1998년 4월 20일, 8월 14일, 11월 19일 파종하여 3차례에 걸쳐 실시하였는데 파종 4~6주후 각각의 조사구별 유효를 개별 포트에 이식한 후 재배하였다.

4. 접종원 준비

병원성 검정을 위한 고추역병균 접종원은 20% V-8 juice agar 배지에서 25°C의 암조건으로 7일간 배양한 후 다시 광조건 하에서 3일 동안 배양하여 유주자낭을 형성시켰다. 그 후 5°C에서 1시간동안 유주자를 방출시킨 다음 유주자 농도를 10⁴/ml로 맞추어 접종원으로 사용하였다.

5. 병원성 검정

매 반복 시험당 격리된 온실에서 8~10주 동안 생육시킨 건전한 고추 식물체를 조사구당 20~40주씩 공시하여 접종원을 1ml씩 지체부에 관주 접종하였다. 발병 유도를 위한 상처는 주지 않았으며 실험은 시기를 달리 하고자 1998년 6월 25일, 10월 28일, 1999년 1월 24일 세차례 접종 후 20일 후에 발병정도를 조사하였다.

6. 병 저항성 조사

저항성 조사를 위해 이병정도를 접종 20일 후에 조사하였다. 이병지수는 6단계로 0 = 병징이 없음, 1 = 줄기 20% 정도 갈변, 2 = 줄기 21~50% 정도 갈변, 3 = 줄기 50% 이상 갈변하고 시들기 시작함, 4 = 작물체의 지상부위가 심하게 시들음, 5 = 식물체 전체 고사 등으로 나누었다.

결과 및 고찰

감마선 조사는 일차적으로 비교적 발아율이 낮았던

Table 1. Germination rate of pepper seeds irradiated with different doses of gamma ray

Cultivar	Germination (%)						
	Dose (Gy)						
	0	1	2	4	8	12	20
Kwangbok	52	84	96	87	86	90	73
Dabok	31	49	60	80	75	66	31

공시 고추 종자들의 발아율을 크게 향상시켰다(Table 1). 발아 촉진효과는 광복 품종에서 무처리시 52%였던 발아율이 2Gy 조사구에서는 96%로 약 1.8배 정도 발아율을 촉진시켰으며, 다복의 경우 4Gy 조사구에서는 80%로 대조구의 31%에 비해 무려 2.6배나 더 촉진시키는 것으로 나타났다. 따라서 일단 이 감마선 조사가 발아율이 낮은 고추 종자에 대한 활용 가능성과 함께 발아 후의 고추 생육에도 상당한 영향을 줄 것으로 판단되었다. 이러한 현상은 품종을 달리한 Izvorska (1973), 이 등 (1998a)의 연구결과와 종을 달리한 김 등 (1998)과 이 등 (1998b)의 결과와도 일치하는 경향으로 이는 추후 농업 및 농학연구에도 이용가치가 높을 것으로 사료된다.

병원성 검정 결과 광복과 다복 두 품종은 각각 저항성 반응에서 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 1). 저항성 품종인 광복은 지체부에 갈변 증상과 전체적으로 시들음 증상을 보인 반면 감수성 품종인 다복은 대부분의 식물체가 완전히 이병되어 고사하는 증상을 나타내 추후 감마선 조사 결과의 비교 분석이 아주 용이하였다. 그러나 감마선 조사선량 간에는 저항성 반응에 약간의 차이가 있었다(Fig. 2).

특히 이러한 병 저항성 증대 현상은 감수성 품종인 다복에서 더욱 뚜렷이 나타나 병 저항성이 감수성 품종에서 더 잘 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 처리방법을 실용적으로 개발한다면 종자의 감마선 조사방법은 고추 역병 방제시 화학적 방제를 위시한 현재의 종합방제보다 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 방사선 hormesis 현상은 본 실험에서 접종을 위한 건전 식물체 재배시 나타난 감마선의 생육촉진 효과와도 일치하는 것으로 주목된다.

품종간 저항성 반응정도를 두 품종과 조사선량별로 비교를 통해 좀 더 정밀하게 분석하였다. 우선 발병이 심하였던 감수성 품종인 다복에서는 조사구 간에 발병도 차이가 비교적 뚜렷했다. 1, 4 Gy 조사가 가장 크게 병 저항성을 유도시켰으며, 그 다음이 20 Gy로 무조사구에 비해 뚜렷이 저항성이 향상되었음을 알 수 있었다. 특히 4Gy 조사구는 거의 대부분의 식물체가 고사한 조사구에 비해 약간의 시들음 증상과 지체부 발병을 나타

Table 2. Change in Phytophthora blight severity of susceptible pepper cultivar (cv. Dabok) irradiated by gamma-ray

Trials	Dose (Gy)													
	0		1		2		4		8		12		20	
1	4.375 ^z	15.5 ^y	3.813	4	4.563	18	3.875	5	4.375	15.5	4.250	13	4.000	6
2	4.293	14	4.125	8	4.872	20	3.213	2	4.199	11	4.777	19	4.143	10
3	4.138	9	3.643	3	4.249	12	3.034	1	4.885	21	4.378	17	4.013	7
	R ₁ = 38.5		R ₂ = 15		R ₃ = 50		R ₄ = 8		R ₅ = 47.5		R ₆ = 49		R ₇ = 23	
	n ₁ = 3		n ₂ = 3		n ₃ = 3		n ₄ = 3		n ₅ = 3		n ₆ = 3		n ₇ = 3	

$$H^* = \{(12/n(n+1)) \sum(R_i^2/n_i)\} - 3(n+1) = 15.883 > \chi^2_{(6, 0.05)} = 12.59$$

^z Disease severity based on a scale is the same as Fig. 2.

^y Ranking based on the disease severity.

^x Statistic value was analysed by Kruskal-Wallis's H test in non-parametric tests.

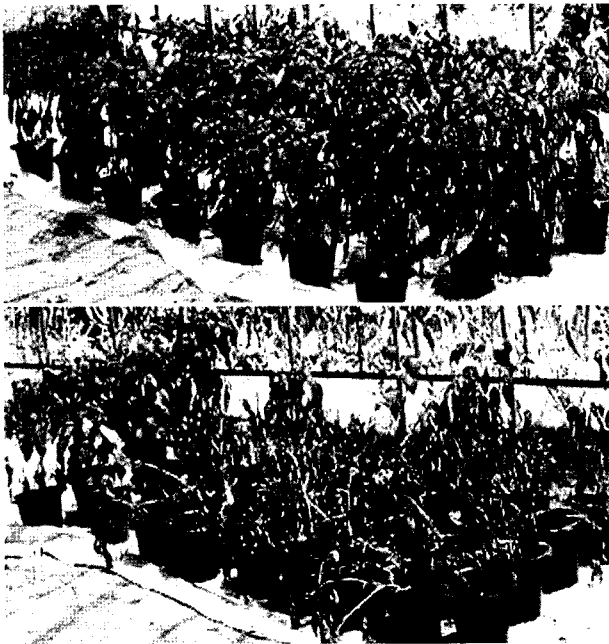


Fig. 1. Disease development between the resistant cultivar (cv. Kwangbok: upper) and the susceptible cultivar (cv. Dabok: below) of pepper plants one month after inoculation with zoospores of *Phytophthora capsici*.

내의 발병도 3.37 정도의 비교적 높은 저항성이 유기된 것으로 나타났으며, 통계분석 결과도 이를 증명하였다 (Table 2).

이들 저선량 방사선의 병 저항성 유기효과는 최근 이 등(1998a)이 밝힌 고추의 초기 생육촉진효과와도 상당히 연관이 있는 것으로 보여 저선량 감마선 조사가 고추의 생육 뿐만 아니라 병 저항성 유기효과에 이르기까지 매우 광범위하게 방사선 hormesis 효과를 유도하고 있는 것으로 추정된다. 이미 다른 여러 작물에서도 이와 유사한 현상이 발견된 바 있으나 아직까지 그 근본적인

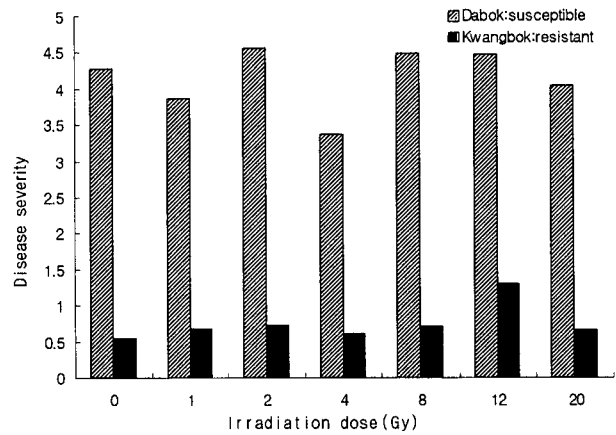


Fig. 2. Comparison of disease severity between resistant and susceptible cultivar against *Phytophthora* blight on 20 days after inoculation. The seeds were irradiated with different dose of gamma ray just before sowing. Disease severity was estimated by following a scale, where 0 = healthy or no symptom, 1 = lesion below 20% of stem, 2 = lesion to 50% of stem, 3 = wilting slightly, 4 = wilting severely, 5 = plant dead.

작용기작이 밝혀져 있지 않기 때문에 (김과 이 1998) 추후 관련 연구가 반드시 필요할 것으로 보인다. 또한 고추종자에 4 Gy의 감마선 조사는 초기 생육촉진 및 엽록소 함량도 크게 증가시키는 것으로 밝혀져 (이 등 1998a) 고추에 대한 감마선 hormesis 효과와 관련해 주목할 선량으로 생각된다. 다른 식물에서도 감마선 조사에 의해 식물체내 성분이나 특성을 변화시킬 뿐만 아니라 (Hayashi *et al.* 1994), 병 저항성 증대를 가져오는 것 (Adu *et al.* 1996; Neto *et al.* 1996)으로 보고된 바 있다.

한편, 고추 역병에 저항성 품종인 광복의 발병양상은 다복과는 크게 달라 접종 후 초기 생육만으로 판단할 때는 감마선 무조사시 발병이 아주 심하지는 않았다

Table 3. Change in Phytophthora blight severity of resistant pepper cultivar (cv. Kwangbok) treated by gamma ray irradiation

Trial	Dose (Gy)													
	0		1		2		4		8		12		20	
1	0.520 ^z	5 ^y	0.413	2	0.608	6	0.200	1	0.648	7	1.240	19	0.452	4
2	0.428	3	0.834	17	0.723	11	0.880	18	0.677	8	1.289	20	0.832	16
3	0.698	10	0.762	13	0.821	15	0.732	12	0.789	14	1.365	21	0.678	9
	R ₁ = 18 n ₁ = 3		R ₂ = 32 n ₂ = 3		R ₃ = 32 n ₃ = 3		R ₄ = 31 n ₄ = 3		R ₅ = 29 n ₅ = 3		R ₆ = 60 n ₆ = 3		R ₇ = 29 n ₇ = 3	
$H^F = \{(12/n(n+1)) \sum (R_i^2/n_i)\} - 3(n+1) = 8.589 < \chi^2_{(6, 0.05)} = 12.59$														

^z Disease severity based on a scale is the same as Fig. 2.

^y Ranking based on the disease severity.

^x Statistic value was analysed by Kruskal-Wallis's H test in non-parametric tests.

(Table 3). 또한 감마선 조사에 의한 저항성 반응 유기현상도 거의 발견되지 않아 병 저항성 품종에 저항성을 발현시키거나 나아가 효과적인 방제대책 수립에 큰 기여를 하지 못할 것으로 분석되었다.

이러한 결과들은 여러 가지 우수한 특성을 보유하고 있으면서도 병에 감수성인 고추품종에 발아 및 병 저항성 발현과 밀접한 관련이 있는 저선량의 감마선을 조사함으로써 방제가 쉽지 않은 역병에 대한 저항성을 증대시킬 뿐만 아니라 추후 타 작물들의 병 저항성 증대에도 기여할 가능성이 있음을 시사한다.

사 사

This project was carried out under the Nuclear R & D Program by MOST.

참 고 문 헌

- 김재성, 김진규, 백명화, 김정규(1998) 저선량 γ 선 조사가 배추종자의 발아와 수량에 미치는 효과. 한국환경농학회지 **17** : 274-278.
- 김재성, 이영복(1998) 저선량 전리방사선에 의한 작물의 활성 증진. 한국환경농학회지 **17** : 76-85.
- 이은경, 김재성, 이영근, 이영복(1998a) 저선량 감마선 조사에 의한 고추의 발아와 생육. 한국원예학회지 **39** : 670-675.
- 이은경, 김재성, 이영근, 이영복(1998b) 저선량 감마선 조사가 파종자의 발아에 미치는 영향. 한국환경농학회지 **17** : 346-351.
- Abdullaev MA & NM Berezina (1968) Radiostimulating effect in γ irradiated tomato seedlings. *Kokl. Akad. Az. SSR.* **24** : 38-40.
- Adu AY, GK Owusu, S Sackey, B Padi & A Abdul-Karimu

(1996) Use of gamma rays to induce mutants resistant to cocoa swollen shoot disease in *Theobroma cacao L.* *Plant-Breeding* **115** : 74-76.

Hwang BK & CH Kim (1995) Phytophthora blight of pepper and its control in Korea. *Plant Disease* **79** : 221-227.

Hayashi T, S Todoriki & K Kohyama (1994) Irradiation effects on pepper starch viscosity. *J. Food Science* **59** : 118-120.

Ito H & G Meixu (1994) Inhibition of microbial growth by spice extracts and their effect of irradiation. *Food Irradiation Japan.* **29** : 1-7

Izvorska N (1973) The gamma ray effect on the growth, productivity, and some biochemical changes of pepper. *Inst. Fiziol. Rast. Bulg. Akad. Nauk,* **18** : 79-83.

Lysikov VN & ZA Orinstein (1967) Effect of mutagenic factors on the change on the resistance of corn to smut. *Tr. Kishinev. Skh. Inst.* **46**, 154; *CA* **69** : 7453.

Neto AT, CEO Camargo, MC Alves Jr., A Pettinelli & FA Ferreira (1996) Plant height reduction and disease resistance in wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivar IAC-18 by gamma radiation-induced mutations. *Brazilian J. Genetics.* **19** : 275-281.

Nikolova V & I Poryazov (1991) Pollen mother cell meiosis in mutants of *Phaseolus vulgaris L.* resistant to *Xanthomonas campestris var. phaseoli* (Smith) Dye. *Genetika Seleksiya* **24** : 422-425.

Yurina AV & LA Kardashina (1977) Presowing gamma irradiation of seeds as a method to increase cucumber fruitfulness in the hot house. *Radiobiology (Moscow).* **17** : 141-144.

Zeimalov II, AA Aliv & RR Riza-Zade (1972) Influence of preplanting gamma irradiation on the yield and phyto-phthorosis of potatoes, *Radiobiology (Moscow),* **12** : 311.

Induction of Resistance against Phytophthora Blight of Pepper by Low Dose Gamma Ray Radiation

Jae Sung Kim, Eun Kyung Lee, Jeong Young Song,¹
Hong Gi Kim¹ and Young Bok Lee¹

(Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea,

¹College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

Abstract - Phytophthora blight of pepper, which is caused by *Phytophthora capsici* Leonian, is not only the most destructive disease worldwide, but also difficult to control effectively. It has been needed to have new trials for effective control to the disease. We employed radiation hormesis of gamma ray as the new trial in the control strategy. Two cultivars, Kwangbok and Dabok, were used to analyse whether gamma ray radiation can induce disease resistance. The germination rate of pepper seeds was significantly enhanced by the radiation at all dose levels. Stimulatory effect for resistance induction was found to differ between cultivars. It was confirmed that the remarkable effect was induced in Dabok and depended on radiation dosage. Disease resistance at 4 Gy was much higher than that of control. On the other hand, no detectable induction effect for resistance was observed in Kwangbok which was moderate resistant cultivar to gamma ray radiation. [Hormesis, Gamma ray, Pepper, Phytophthora blight, Resistance induction].