

저선량 감마선 조사가 파종자의 발아에 미치는 영향

이은경 · 김재성 · 이영근 · 이영복¹⁾
한국원자력연구소, 충남대학교 원예학과

The Acceleration of Germination in Welsh Onion Seed Irradiated with the Low Dose γ -ray Radiation

Eun-Kyung Lee, Jae-Sung Kim, Young-Keun Lee, Young-Bok Lee¹⁾(Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, Korea ²⁾Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

Abstract : To investigate the hormetic effects of the low dose γ -ray radiation on the germination rate, welsh onion (*Allium fistulosum* L. cv. Eunchun and cv. Sukchangwoidae) seeds were irradiated at the dose of 0.5 ~ 24.0 Gy with the γ -ray radiation (Co-60). The germination rate of 'Eunchun' cultivar increased about 10% in the low dose γ -ray irradiation group compared with that of the control. In the 'Sukchangwoidae' cultivar, the germination rate of the 4 Gy irradiation group increased 40% more than that of the control. Broadly, it seemed that the hormetic effects of the low-dose γ -ray radiation were taken more promisingly in the uncultivated soil than in the fertile soil. The germination rate from the paper towel and filter paper based cultivation increased 10% and 16% more, respectively, in the 1 Gy irradiation group than that in the control group. And the electric conductivities of the above groups supposed to be taken hormetic effects of the γ -ray radiation were lower than those of the control group. From the above results, it is suggested that the low dose γ -ray radiation ranged from 1 Gy to 10 Gy could have the hormetic effects on the germination rate related characters in welsh onion seeds.

Key words : radiation hormesis, welsh onion, γ -ray radiation, electric conductivity, germination

서 언

Hormesis는 어떤 계(system)에 대한 어떤 물질의 유해량 이하에 의한 긍정적인 자극을 말하는 것으로 Southam과 Ehrich¹⁾에 의해 처음 사용되었는데 생리학적인 첨가량에서는 곰팡이의 생육을 억제하는 참나무 껌질 추출물이 저농도에서는 오히려 곰팡이의 생육을 촉진한다는 사실을 발견하였다. Hormesis는 Arndt-Schulz²⁾ 법칙 "소량의 독은 자극작용이 있다 (Small dose of poison is stimulatory)"를 설명한 것인데 이는 다시 말하면 유해량 이하의 유해한 작용물질이 생물체에 자극적인 반응을 일으킬 수 있다는 것이다. 방사선 중 γ 선은 의학과 농학분야에서 많이 이용되고 있는데 치료에 사용하는 γ 선량은 통상 원자력 작업종사자 또는 원자력 산업관련 지역주민들의 피폭에 비해 상당히 높은 선량이다. 농업분야에서도 고선량 방사선이 식품멸균, 살충, 육종, 해충구제, 발아억제 등을 위해 사용되고 있는데 대부분이 유해효과를 나타내는 고선량으로 실험을

수행했기 때문에 저선량에서의 hormesis효과를 무시해 버렸다. 1898년 Atkinson³⁾이 방사선 조사한 algae가 비조사한 대조구에 비해 성장속도가 빠르게 되는 신비로운 반응을 관찰한 이래 100년 가까이 계속되고 있다. 이온화방사선은 이것이 발견된 후 짧은 시간내에 자극작용이 있는 것으로 알려졌는데 Maliney 와 Thourenin⁴⁾은 X선이 종자의 발아를 증가시키며 Erler⁵⁾는 방사선 조사가 식물의 생장을 가속시킨다고 보고하였다. 채소원예 작물중 토마토의 경우는 발아율 증가와 생육촉진 및 수량증가에 대해 많이 보고^{6,7)}되어 있으며 숙기가 8일정도 단축된 조숙성⁸⁾도 나타났다. 저선량 γ 선 조사에 의해 자극된 작물의 종류에는 상추⁹⁾, 고추¹⁰⁾, 오이¹¹⁾ 및 담배¹²⁾등으로 생육촉진과 수량증가 등 농업적 가치가 있는 것이 많이 보고되어 있다. 저선량 γ 선이 조사된 종자에서 생육한 식물의 생육촉진과 생장증대 외에도 옥수수에서는 광합성 증대, 콩과식물에서는 한발에 대한 내한성 증가도 보고¹³⁾되어 있다. 백합과인 파의 발아적 온은 15°C~25°C로서 그 이상이 되면 발아가 불량하게 되

고 대표적인 단명종자이므로 특히 저장조건에 주의해야 한다. 따라서 본 실험에서는 저선량의 방사선 조사가 폐기처분되는 묵은 종자의 발아율에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 본 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

저선량의 방사선 조사가 파(*Allium fistulosum L.*)종자의 발아율에 미치는 hormesis 효과를 알아보기 위하여 1997년산 '은천'과 1992년산 '석창외대' 파종자를 각각 홍농종묘(주)와 중앙종묘(주)로부터 분양받아 각각의 발아율과 전기전도도를 조사하였다.

방사선조사

저선량 방사선 조사에 사용한 조사시설은 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설(^{60}Co)을 이용하여 선량을 $1\text{Gy}/\text{h}$ 로 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 Gy의 수준으로 건조종자에 직접 조사하였다. 조사선량은 Frincke dosimeter로 측정하였다.¹⁴⁾

Pot 실험

홍농종묘(주) 1997년산 '은천'파와 중앙종묘(주) 1992년산 '석창외대'파종자를 0(대조구)부터 24 Gy 9수준으로 저선량의 방사선을 조사한 후 한국원자력연구소 온실 주변의 비경작지 토양을 이용하여 15cm 검은 비닐포트에 50립씩 3반복으로 파종하여 각각의 발아율을 조사하였다.

Plug tray를 이용한 발아율 조사

발아율이 현저하게 떨어지는 중앙종묘(주)의 1992년산 묵은 '석창외대' 파종자에 저선량의 방사선으로 0부터 1, 2, 4, 20 Gy로 조사한 후 시판되는 육묘용 배합상토(부농 5호)를 구입하여 105공 plug tray에 100립씩 3반복으로 3월 23일에 파종하여 유리온실에서 생육시킨 후 4월 4일부터 각각의 발아율을 조사하였다.

기내배양을 통한 발아율조사

저선량의 방사선을 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 Gy 9수준으로 조사한 후 홍농종묘(주)의 1997년산 '은천'파종자를 70% 에탄올에 1분간 표면소독하고 2% sodium hypochlorite에 15분간 침지하여 멸균수로 3회 수세한 후 $\frac{1}{2}$ MS medium에 3.0% sucrose와 0.8% agar가 첨가된 배지와 MS medium이 첨가되지 않고 3.0% sucrose와 0.8% agar만으로 조제된 배지 2종류로 구분하여 50립씩 3반복으로 각각의 배지에 파종한 후 28°C incubator에서 1월 19일부터 1월 26일 까지 약 일주일간 각각의 발아율을 조사하

였다.

흡습지를 이용한 발아율조사

저선량의 방사선이 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24 Gy로 조사된 '석창외대' 파종자를 직경 9cm petridish에 흡습지(whatman No. 2) 1매를 깔고 각각의 선량별로 조사된 종자를 50립씩 3반복으로 파종하여 5ml의 중류수를 공급한 후 28°C incubator에서 4월 4일부터 4월 15일까지 각각의 발아율을 조사하였다.

Paper towel을 이용한 발아율 조사

저선량의 방사선이 0부터 1, 2, 4, 10, 20 Gy로 조사된 1992년산 묵은 '석창외대' 파종자를 70% 에탄올에 1분간 표면소독하고 2% sodium hypochlorite에 15분간 침지하고 멸균수로 3회 수세한 후 축축하게 젖은 paper towel 2매를 wax paper 한 장 위에 놓은 후 축축하게 젖은 paper towel 상에 동간격으로 종자 50립씩 3반복으로 4월 10일에 치상 한 후 한 장의 축축한 paper towel을 종자위에 덮었다. Wax paper, 축축한 paper towel 3장, 종자를 함께 두루 말고 고무밴드로 한쪽 끝을 안전하게 맨 후 rag doll에 번호를 매겨 28°C incubator에서 발아시켜 4월 13일부터 4월 16일까지 4일간 발아율을 조사하였다. 발아조사는 종자를 치상한 후 1일간격으로 하였으며 유근이 종피를 뚫고 1.0 mm 이상 신장한 것을 발아한 것으로 간주하였다.

전기전도도검사

저선량의 방사선이 각각의 선량별로 조사된 종자 50립을 70% 에탄올 50ml에 1분간 세척하고 2% sodium hypochlorite에 20분간 소독한 후 중류수로 3회 수세하였다. 각 종자를 100ml의 비이커에 넣은 후 2차 중류수 50ml를 넣어 종자를 고르게 놓이게 가볍게 혼들여 준 후 20°C의 incubator에 넣어 시간 별로 꺼내어 손으로 가볍게 수번 혼든 후 conductivity bridge로서 전기전도도를 측정하였다.

결과 및 고찰

발아율이 떨어져 폐기처분되는 1992년산 '석창외대' 파종자와 1997년산 '은천' 파종자를 대상으로 방사선 hormesis 효과를 알아보기 위하여 건조종자에 저선량의 방사선을 선량별로 조사하여 1차 실험으로 양분이 전혀 들어있지 않은 척박한 토양에 50립씩 3반복으로 파종하여 각각의 발아율과 발아양상을 알아본 결과 그림 1에서와 같이 1997년산 '은천' 파종자는 대조구의 80%에 비해 처리구에서는 90% 이상의 발아율을 보여 대조구보다 약 10% 증가된 발아양상을 보였다. 반면, 1992년산 '석창외대' 파종자는 6년된 묵은 종자로 발아율이 현저히 떨어졌는데 대조구의 경우 약

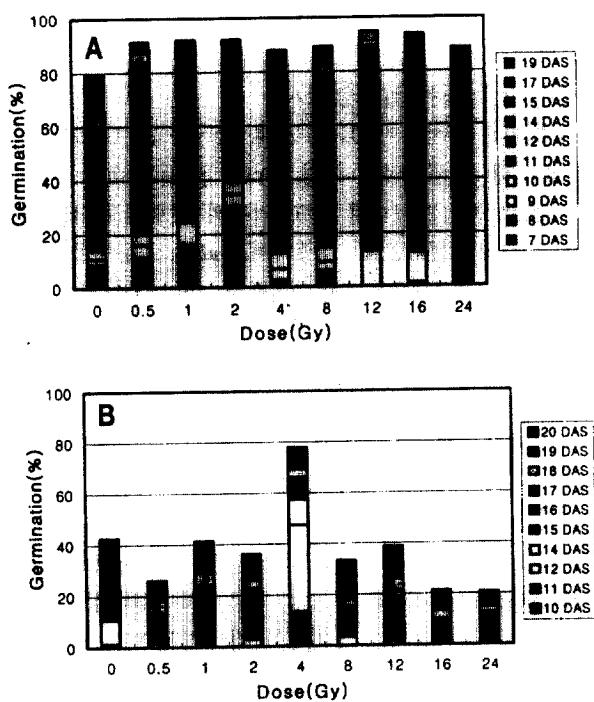


Fig. 1. Effect of γ -ray irradiation doses on the seed germination in different welsh onion cultivars. A; Eunchun (Hungnong Seed Co.), B; Sukchangwoidae (Choong-Ang Seed Co.), DAS; days after sowing

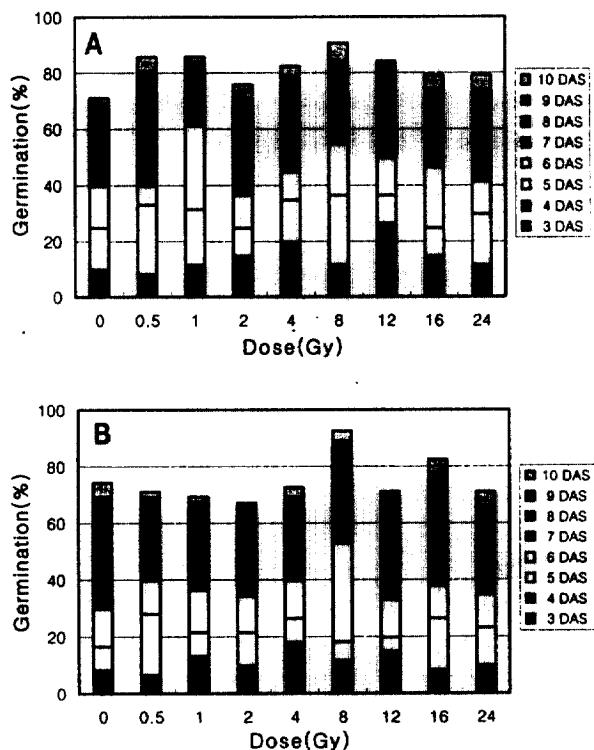


Fig. 3. Effect of sowing media on the germination of welsh onion, cv. Eunchun seeds irradiated by γ -ray with different doses. A ; 3.0% sucrose + 0.8% agar, B ; $\frac{1}{2}$ MS medium + 3.0% sucrose + 0.8% agar. DAS; days after sowing.

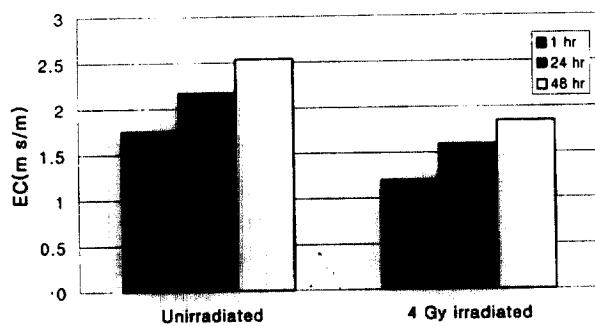


Fig. 2. Changes of electric conductivity in welsh onion, cv. Sukchangwoidae seeds between doses of γ -ray irradiation. Electric conductivity were measured with 3 replications.

40%를 약간 웃도는 발아율을 보인 반면 4 Gy 조사구에서는 80%에 가까운 발아율을 보여 무처리구에 비해 100% 이상 증가된 발아율 양상을 보였다. 발아율이 현저하게 증가되었던 4 Gy 조사구와 방사선이 조사되지 않은 대조구 2 처리구만을 대상으로 전기전도도를 조사한 결과 대조구의 전기전도도는 $2.5 \text{ m} \cdot \text{S}/\text{m}$ 을 보인 반면 4 Gy 조사구에서는 1.7 $\text{m} \cdot \text{S}/\text{m}$ 를 나타내 대조구에 비해 발아율이 증가되었던 4 Gy 조사구에서 전기전도도가 감소함을 알 수 있었다(그림 2). 또한 방사선이 조사된 9개 조사구 중에서 비교적

높은 선량인 16 Gy와 24 Gy 조사구에서는 대조구에 비해 오히려 발아율이 떨어지는 양상을 보여 그 이상의 선량은 고선량 조사구에서 나타나는 억제 현상이 나타날 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 기내배양을 통해 알아본 1997년 산 ‘은천’ 파종자의 발아양상은 그림 3에서와 같이 2종류의 배지 모두 8 Gy 조사구에서 90%이상의 발아율을 보여 대조구의 72~75%에 비해 약 15~20% 정도 증가된 발아율을 보였다. 토양별 차이에 따른 방사선 감용정도를 확인하기 위하여 2차 실험에서는 105공 plug판에 1992년산 묵은 ‘석창외대’ 파종자를 영양상태가 비교적 잘 유지되어 있는 시판용 육묘용 배합상토(부농 5호)에 3월 24일에 파종하여 유리온실에서 키운 후 발아율을 조사해보니 대조구의 발아율 50%미만에 비해 1, 2, 4 Gy 조사구에서는 표 1에서와 같이 발아율이 증가되었는데 특히 4 Gy 조사구에서는 대조구에 비해 약 10%정도 증가된 발아율 양상을 보였다. 그러나 1차 실험때(척박토양)와 같은 현저한 발아율 증가는 없었는데 이는 파종토양의 조건에 따라 방사선 감용정도가 다르기 때문에 나타난 결과로 판단되었다. 이것은 γ 선 1~2.5 kR을 조사하여 보리종자를 척박한 토양에서 재배하였을 경우에는 수량증가 효과가 있었으나 비옥한 토양에서는 효과가 없었다는 Suess와 Grosse^[15]의 보고와는 일치하는 경향이었으나 Degner와 Schacht^[16]는 최고의 생육조

전하에서 옥수수의 생장이 빨랐다는 보고와는 정 반대의 경향을 보였다. 이것으로 파 작물에 있어서의 방사선 자극 작용은 최적의 환경조건(비옥한 토양)보다는 최적이하(척박한 토양)에서 생육된 식물에서 더 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 처리구 중 비교적 높은 조사구(20 Gy)에서 나타나는 부의 현상은 토양조건에 큰 관계없이 발아율이 억제되는 양상을 보였다. 또한 흡습지와 paper towel을 이용하여 알아 본 발아율 조사에서는 2가지 경우 모두 1 Gy 조사구에서 효과적인 발아율 증가 양상을 확인 할 수 있었는데 중류수가 공급된 흡습지 1매를 깔고 시도한 실험에서 는 표 2에서와 같이 저선량 방사선이 조사되지 않은 대조

구의 발아율은 22.2%에 그친 반면 1 Gy가 조사된 처리구에서는 38.0%까지 발아율이 증가되었으며 통계처리 결과에서 알 수 있듯이 이 발아율 증가효과는 특히 발아초기에 뚜렷하여 초기에 유의적인 상관관계가 인정되었다. Paper towel을 이용한 발아율 조사 역시 흡습지에서의 양상과 마찬가지로 1 Gy 조사구에서 72.6%까지 발아율이 증가되어 62.0%를 보인 대조구에 비해 약 10%정도 발아율을 향상시킬 수 있었다(표 3). 이는 무종자에 γ -ray 10 Gy를 조사한 결과 발아와 생장을 촉진시켰다는 Pall⁷⁾의 보고와 토마토의 발아증가와 생육촉진 및 수량증가에 대한 Vlasuk⁷⁾의 보고와도 일치하는 경향을 보였다. 대조구에 비해 발아

Table 1. Change of germination rate in welsh onion (cv. Sukchangwoidai) seeds irradiated with different doses of γ -ray. Seeds were sowed on plug tray. DAS; days after sowing

Days after sowing (DAS)	Germination(%)				
	Dose(Gy)				
0	1	2	4	20	
12	2.3 c ^a	2.0 c	6.7 ab	7.0 b	5.3 bc
14	15.3 bc	13.3 c	35.0 a	25.7 abc	14.0 c
15	25.7 a	22.0 a	36.7 a	36.0 a	22.0 a
16	36.0 a	34.7 a	47.0 a	44.7 a	33.3 a
17	40.3 a	38.7 a	49.7 a	47.7 a	37.0 a

^aMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 2. Change of germination rate in welsh onion (cv. Sukchangwoidai) seeds irradiated with different doses of γ -ray. Seeds were sowed on filter paper. DAS; days after sowing

Days after sowing (DAS)	Germination(%)						
	Dose(Gy)						
0	1	2	4	8	12	24	
7	0.7 b ^a	6.0 a	3.3ab	2.7 ab	0.7 b	3.3 ab	2.7 ab
8	5.3 a	16.7 a	13.3a	11.3 a	9.3 a	13.3 a	8.0 a
9	14.0 a	20.0 a	17.3 a	15.3 a	20.7 a	16.7 a	14.0 a
10	17.3 a	27.3 a	18.7 a	23.3 a	26.0 a	23.3 a	18.0 a
11	20.7 a	38.0 a	20.7 a	28.0 a	29.3 a	30.7 a	23.3 a
12	22.0 a	38.0 a	23.3 a	28.7 a	32.7 a	34.0 a	24.0 a

^aMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3. Effect of γ -ray irradiation on the germination in 6 years old welsh onion seeds cv. Sukchangwoidai. Seeds were sowed on paper towel. DAS; days after sowing

Days after sowing (DAS)	Germination(%)					
	Dose(Gy)					
0	1	2	4	10	20	
3	16.6 b ^a	34.0 a	24.6 ab	21.4 ab	23.4 ab	12.6 b
4	50.0 ab	54.6 a	40.6 ab	39.4 b	43.4 ab	24.6 c
5	59.4 ab	66.6 a	55.4 ab	54.0 ab	54.0 ab	42.6 b
6	62.0 ab	72.6 a	60.0 ab	60.6 ab	61.4 ab	51.4 b

^aMean separation in rows by Duncan's multiple range test at 5% level

율이 증가되었던 1, 2, 4 Gy 조사구와 방사선이 조사되지 않은 대조구의 침출물을 대상으로 전기전도도를 조사해 본 실험에서는 표 4에서와 같이 방사선이 조사되지 않은 대조구에 비해 저선량의 방사선이 조사된 처리구에서 전기전도도가 감소하는 경향을 보였는데 이는 저선량의 방사선 조사가 종자에 자극을 가함으로서 종자 내부에 영향을 끼쳐 발아율이 촉진되고 증가되는 것으로 판단되었다. 이상의 결과로 저선량의 방사선 조사로 둑은 파종자의 발아율을 약 10% 정도 높일 수 있었으며 발아율 증가의 적정 선량은 1~10 Gy로 판단되며 20 Gy 이상의 선량은 오히려 발

Table 4. Changes of electric conductivity in welsh onion, cv. Sukchangwoldai seeds depending on dose of γ -ray

Incubation time (hr)	Electric conductivity(m · s/m)			
	Dose(Gy)			
	0	1	2	4
2	2.32 ab ^a	2.42 a	1.58 b	1.74 ab
4	4.42 a	4.06 ab	3.15 b	3.33 ab
6	5.81 a	5.18 a	4.27 b	4.49 b
8	7.04 a	5.94 ab	5.23 b	5.36 b
10	8.14 a	6.95 ab	6.32 b	6.63 b
12	8.17 a	7.33 ab	6.50 b	6.63 b
24	10.36 a	9.40 ab	8.85 b	8.86 b
36	13.24 a	12.40 ab	11.98 b	11.59 b

^aMean separation in rows by Duncan's multiple range test at 5% level

아에 있어서 억제작용을 하는 것으로 사료되며 방사선 자극작용은 최적의 환경보다는 최적이하의 환경에서 더 민감하며, 작물의 종류, 품종, 종자의 상태, 재배조건 및 주변의 여러 환경요인이 크게 작용하는 것으로 판단되었다.

요 약

방사선 hormesis 효과를 알아보기 위하여 저선량의 방사선을 조사한 후 파종자의 발아양상을 비교하였다. 홍농종묘(주)에서 분양받은 1997년산 '은천' 파종자는 대조구에 비해 저선량의 방사선이 조사구에서 약 10%정도 증가된 발아율 양상을 보였으며, 기내배양에서도 마찬가지로 8 Gy 조사구에서 약 10%정도 증가되는 것을 알 수 있었다. 중앙종묘(주)로부터 분양받은 1992년산 '석창외대' 파종자의 경우 대조구에서는 약 42.7%의 발아율을 보인 반면 4Gy가 조사된 처리구에서는 약 78.0%까지 발아율이 증가하는 것으로 나타났다. 전반적으로 최적의 비옥토양에서 보다는 비경작지에서 방사선 유익효과가 증가되는 양상을 보였다. 흡습지에서의 발아율 양상은 대조구의 발아율이 22%로 매우 저조한 반면, 1 Gy 조사구에서는 38%까지 발아율이 증가되어 약 16%정도 증가율을 보였다. Paper towel을 이용

한 발아율 실험에서 역시 1 Gy 조사구에서 발아율이 증가되는 경향을 보였는데 역시 대조구에 비해 1 Gy 조사구에서 약 10% 정도 증가하는 양상을 보였다. 발아율이 증가되었던 저선량 방사선 조사구의 전기전도도를 조사해 본 결과 대조구에 비해 낮아지는 경향을 보였다. 결론적으로 1Gy에서 10Gy정도의 저선량 방사선 수준에서 파종자의 발아율 증가효과가 나타나는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 현

- Southam, C. M. and J. Ehrlich. (1943). Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood decaying fungi in culture. *Phytopathology*. 33:517.
- Luckey, T. D. (1980). *Hormesis with ionizing radiation*. CRC press, Inc., Boca Raton, Fla.
- Atkinson, G. F. (1898). Report upon some preliminary experiments with the Rontgen rays on plants. *Scince*. 7:7
- Maldiney, A. and J. R. Thourenin. (1980). On the influence of X-rays and germination. *Rev. Gen. Bot.* 10:81.
- Erler, M. (1906). Über die heilend Wirkung der Gontgenstrahlen beiabgegrenzten Eiterungen. *Eiterungen. Jahrb. W. Bot.* 5:65.
- Vlasyuk, P. A. (1964). Effect of ionizing radiation on the physiological-biochemical properties and metabolism of agricultural plants. *Inst. Fiziol. Biokhim. Rast. SSR*. 24:31.
- Abdullaev, M. A. and N. M. Berezina. (1968). Radiostimulating effect in γ irradiated tomato seedlings. *Dokl. Akad. Az. SSR*. 24:38.
- Miller, M. W. (1987). Radiation hormesis in plants. *Health physics*. 52(5):607.
- Sax, I. (1955). The effect of ionizing radiation on plant growth. *Am. J. Bot.* 42:360.
- Izvorska, N. (1973). The gamma ray effect on the growth, productivity, and somebiochemical changes of pepper. *Inst. Fiziol. Rast. Bulg. Akad. Nauk.* 18:79.
- Yurina, A. V. and L. A. Kardashina. (1977). Presowing gamma irradiation of seeds as a method to increase cucumber fruitfulness in the hot house. *Radiobiology (Moscow)*. 12: 311

12. Kuzin, A. M., E. K. Uzorin and V. L. Chirkovskii. (1963). Remote effects γ irradiation of seeds on the development of various Nicotiana plants. *Radiobiology(Moscow)*. 3:903.
13. Savin, V. N. and O. G. Stepanenko. (1967). Change of drought resistance of plants irradiated with ^{60}Co gamma rays. *Radiobiology(Moscow)*. 7:619.
14. Niels, W. H. and J. B. Roger. (1970). *Manual on radiation dosimetry*. Mard. Dekker, Inc. New York.
15. Suess, A. and W. Grosse. (1968). The effect of low doses of γ radiation of plant growth. *Strahlenutzung*. December. 1.
16. Degner, S. and W. Schacht. (1975). Examination of the specific effect of low doses of ionizing radiation on the seed of culivated plants : 5 year production experiments with soil maize seed irradiated with ^{60}Co gamma radiation. *Radiobiol. Radiother.* 16:37.
17. Pal, I., K. Pannenthali and F. Maul. (1976). Report in the red radish phytotron experiment coordinated by ESNA at Godollo, Hungary, Stim. Newsl. 9:39.