한국환경농학회지 제18권 제1호(1999)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 18, No. 1, pp. 41~47

NaCl 처리와 감마선조사가 자주달개비 수술털 세포의 분홍돌연변이 유기에 미치는 영향

김진규 · 김원록 · 김재성 · 김기남[1] · 홍광표[1]
한국원자력연구소 · [1]한국전력공사

Effect of NaCl Treatment and Gamma Ray Irradiation on the Induction Pink Mutations in Hairs of *Tradescantia* Stamen

Jin Kyu Kim, Won-Rok Kim, Jae Sung Kim, Ki-Nam Kim[1], and Kwang-Phyo Hong[1] *(Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, [1]Korea, Korea Electric Power Corporation, Seoul, 135-791, Korea)*

ABSTRACT : To investigate the combined effect of gamma ray irradiation and NaCl treatment on *Tradescantia* somatic cell pink mutations, potted plants of *Tradescantia* 4430 were evenly sprayed with NaCl solution(170 mM) 24 hours before irradiation(NaCl+γ) and after irradiation(γ+NaCl). Irradiation doses were 0.3, 0.5, 1.0 and 2.0 Gy of gamma-ray. The plants irradiated only with gamma radiation were used as control group(CT). Frequency of pink mutation increased linearly with irradiation dose and the peak interval of elevated mutation frequencies appeared during 6~12 days after irradiation in all the experimental groups. The slope of dose-response curve in CT was 5.99(r^2=0.99), while it were 4.55(r^2=0.98) in NaCl+γ and 4.33(r^2=0.99) in γ+NaCl. It seemed that pre- and post-treatment of NaCl had a protective effect ir against radiation-induced cell damages since it decreased the slope value by more than 24%. It is suggested that protective effect on DNA damages can be invoked in irradiated stamen hair cells by NaCl treatment.

Key words : NaCl, irradiation, pink mutation, protective effect, *Tradescantia*

서 론

생물학적 스트레스란 식물의 생장 또는 발생을 촉진시키거나 감소시키는 어떤 환경조건의 변화를 말한다[1]. 일반적으로 결빙, 고온, 수분부족, 높은 염도와 같은 환경 스트레스는 생물체에 대한 생리적 변화를 일으킬 수 있으며 때로는 형태학적 변형을 유발하기도 한다. 식물체는 고정된 장소에서 생장하기 때문에 과도한 염분이 주어질 경우 심각한 염해를 입게 되며 바닷가나 또는 간척지 토양에 서식하는 식물체에 있어서는 염분이 매우 중요한 환경 스트레스의 하나로 작용하고 있다. 과도한 염분은 식물체의 생장과 발육을 제한할 뿐 아니라 형태적 변화 및 생리적 변화를 포함한 다양한 생물학적 변화를 유발하는 것으로 알려져 있다[2]. 지금까지 염분이 식물체에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 수도작을 포함한 작물체가 입는 염해 또는 생리반응의 저해를 규명하는 측면에서 이뤄져 왔다[3,4]. 특히 국토확장 사업의 주요한 수단으로 시행되어온 갯벌 간척과 이에 따른 간척지의 농지화 문제는 염분이 식물체에 미치는 영향을 심도 있게 연구하도록 유도하는 계기가 되었다. 탈염 과정이 진행중인 간척지에서는 뿌리 흡수를 통한 염분의 영향이 나타날 수 있으며 기타의 해안지역에서도 강풍이나 해일시 바닷물이 식물체에 닿는 직접적 염해가 작물체에 나타날 수 있으며 해무의 형태로도 염분 스트레스가 발생할 수 있기 때문에 이같은 염분 스트레스 발생지역에서는 시설재배에서 조차도 토양내 염분축적이 문제시될 수 있다[5]. 작물체의 내염성에 관하여 연구된 보고에 따르면 보리, 밀, 옥수수 및 목화 등은 200mM의 염농도에서도 고사하지 않는 내염성 작물이며 수도작과 녹두 콩 등의 콩과 식물류는 염농도에 상대적으로 약한 것으로 나타났다[6]. 한편 Kang and Shim[7]은 내염성 식물의 탐색 및 생물학적 염해 모니터링 기술을 개발하기 위한 시도의 일환으로 간척지 및 탈염이 진행된 지역에 서식하는 자연식생을 조사하여 보고한 바 있으나 작물체 이외의 자연식생을 포함한 식물체에 대하여 염분이 나타내는 영향을 연구한 사례는

그리 많지 않다. 특히 환경요인의 하나로서의 염분이 물리화학적 성격이 다른 자극과 함께 식물체에 작용하였을 때 나타나는 복합적인 영향은 지금까지 보고된 바 없다.

Kim *et al.*[8,9]은 종간잡종(interspecific hybrid) 자주달개비 클론의 수술털 세포에 나타나는 돌연변이를 이용하여 기온일교차, 광주기 등의 환경 스트레스가 방사선과 함께 복합적으로 작용하였을 때 나타나는 변화를 연구하여 보고한 바 있다. 이러한 연구결과들을 통하여 자주달개비 수술털 돌연변이계는 방사선에 대한 선량-반응 규명 외에도 여러 가지 환경요인의 복합적 영향을 평가하는 데 응용이 가능한 생물학적 실험계로 인정받아 왔다[10]. 자주달개비 수술털의 선단세포는 분열능력이 있어서 발생 또는 분열과정중 방사선 등의 돌연변이원에 피폭되면 쉽사리 체세포 돌연변이를 일으킨다. 자주달개비는 꽃색의 표현형이 자주색(또는 남색)으로 화서(inflorescence)의 발생 또는 수술털 세포의 분열과정 중에 방사선을 포함한 돌연변이원이나 화학적 발암원에 노출될 경우 쉽사리 체세포 돌연변이를 일으킨다. 남색 표현형과 관련이 있는 유전자가 방사선에 의해 손상을 받으면 수술털 세포의 표현형이 분홍 또는 무색으로 바뀌게 된다[11]. 이와 같은 자주달개비 종간잡종 클론의 생물학적 특이성을 실험상의 이론적 기반으로 다양한 응용연구[12-17]가 진행되어 왔으나 해안지역이나 간척지 등에서 문제시되고 있는 염분이 방사선과 함께 자주달개비에 미치는 복합적 영향을 연구한 사례는 없다. 따라서 본 연구에서는 외견상 생육장해나 기관의 형태적 발달에 저해를 일으키지 않는 저농도의 염분이 식물체에 미치는 영향을 평가하기 위한 방법의 하나로 방사선에 의하여 유발되는 자주달개비 수술털 분홍돌연변이 빈도가 NaCl 처리에 따라 어떻게 달라지는 지를 실험적으로 분석하였다.

재료 및 방법

공시재료

실험용 식물체는 방사선에 민감하게 반응하면서도 자발돌연변이율(intrinsic mutation rate)이 비교적 낮은 *Tradescantia* 4430을 사용하였다. 포트에서 건전하게 생육된 식물체를 24시간 동안 실험실의 조건에 순치시킨 다음 조사군별로 20개 이상의 포트(>200화기)를 사용하였다.

NaCl 처리

NaCl(Nakarai Chemical Ltd.) 용액은 해수의 약 $\frac{1}{3}$ 농도에 상응하는 170mM(10‰)가 되도록 조제하였으며 분무기를 이용하여 식물체 화서의 포엽 부분을 중심으로 균일하게 분무하였다. NaCl 용액의 분무는 실험군에 따라서 방사선 조사 24시간 전과 후로 나누어 실시하였다. 방사선 조사와 NaCl 처리의 시간간격은 실험식물체의 개화가 통상 1일 간격으로 이뤄지는 점을 감안한 것이다.

방사선조사

한국원자력연구소의 Cobalt-60 감마선원(약 400 Ci 용량, Panoramic Irradiator, Atomic Energy of Canada Ltd.)를 이용하여 상온, 공기 중에서 시료를 0.3, 0.5, 1.0, 및 2.0 Gy의 선량으로 방사선을 조사하였다. Fricke dosimeter로 측정한 조사선량률은 0.44 Gy/h였다[18].

식물체 배양

방사선을 조사한 식물체는 포트채로 생장상 내에서 배양하였으며 Hoagland No. 2 solution 6배 희석액[19]을 3일에 한번씩 공급하여 주었다. 방사선만 조사한 실험군(CT), NaCl 처리후 방사선 조사한 실험군(NaCl+γ) 및 방사선 조사 후 NaCl을 처리한 실험군(γ+NaCl) 모두 배양조건은 명기 14시간, 20℃, 습도 80%, 조도는 290μmole/m2/sec, 암기 10시간, 18℃, 상대습도 85%로 동일한 조건을 유지하였다.

검경분석

돌연변이는 실체현미경을 이용하여 배율 25배 하에서 계수하였다. 만개상태의 화기를 실험군별로 채화한 다음 6개의 수술을 모두 떼어내 파라핀유가 도말된 슬라이드상에 펴서 검경용 프레파라트를 제작하였다. 돌연변이는 한 개 또는 다수의 연속된 분홍세포군 각각을 하나의 돌연변이 건(event)수로 계수 하였다. 돌연변이 세포, 수술털 수 및 수술털 세포수의 계수는 방사선 조사 후 4주 이상 지속적으로 실시되었다. 특히 방사선 조사 후 분홍돌연변이율 증가가 두드러진 고조기간(peak interval)의 검경결과를 통합한 자료(pooled data)로부터 분홍돌연변이빈도(pink mutations/100 hairs)를 산정하였으며 방사선을 조사하지 않은 대조시료의 분홍돌연변이율을 보정자료로 사용하였다.

결과 및 고찰

방사선에 의하여 자주달개비 수술털 세포에 유발되는 각종 돌연변이는 방사선 조사 후 날짜가 경과함에 따라 점차 증가하여 최대값에 이르렀다가 다시 감소하여 자발돌연변이율까지 낮아지는 포물선의 양상을 나타낸다. CT 실험군에 있어서 중간 조사선량인 1.0 Gy 조사군을 기준으로 했을 때 방사선에 의한 분홍돌연변이율의 증가는 조사 후 7일 경부터 급격히 증가하여 조사 11일 후 10.07±1.04로 최대값을 보였으며(Fig.1A), NaCl+γ 실험군의 분홍돌연변이율의 증가는 조사 후 7일 경부터 증가하기 시작하여 조사 11일 후에 6.17±2.47로 최대값을 나타내었다(Fig.1B). 한편

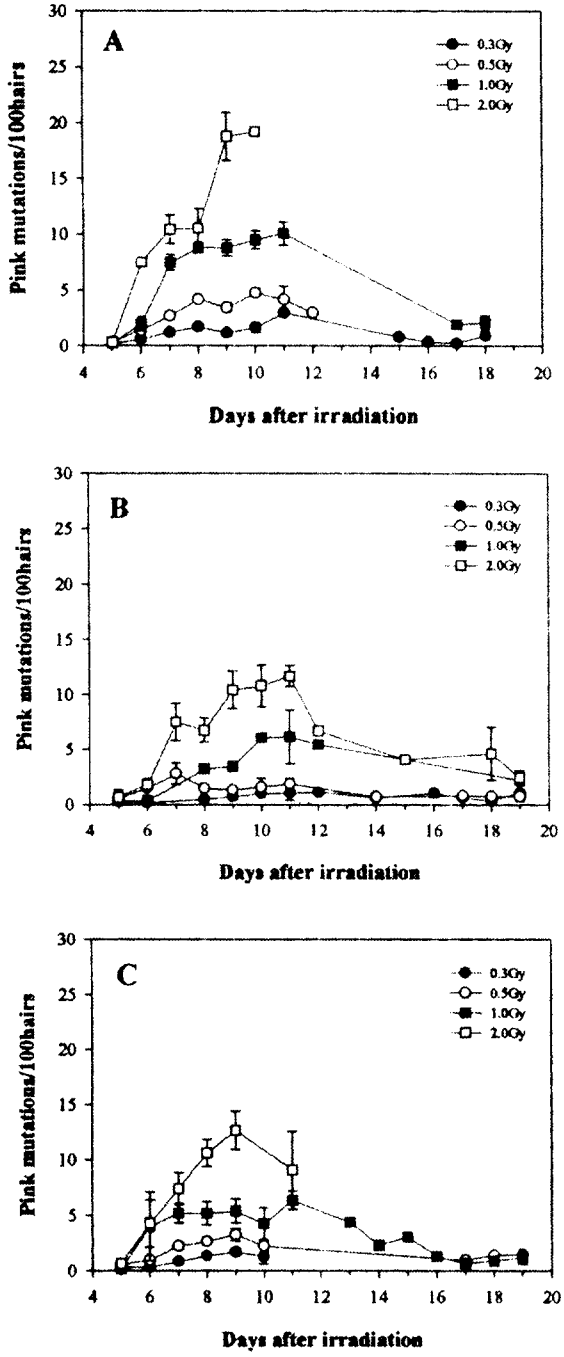

Fig 1. Pink mutation frequeneies in irradiated Tradescantia 4430 by days after irradiation. A: CT, B: NaCl+r, C: r+NaCl. Bar represents standard error of mean(n=12)

γ+NaCl 실험군의 분홍돌연변이율의 증가는 방사선 조사 후 6일 경부터 뚜렷한 증가를 나타내기 시작하여 조사 11일 후에 6.34±0.83으로 최대값을 나타내었다(Fig.1C). 즉, 분홍돌연변이가 확연하게 증가한 고조기간은 CT 실험군에 있어서는 방사선 조사 후 6일째부터 11일까지, γ+NaCl 실험군 역시 조사 6일 후부터 11일까지로 같았다. NaCl+γ실험군 또한 방사선 조사 후 7일째부터 12일까지로 두 조사

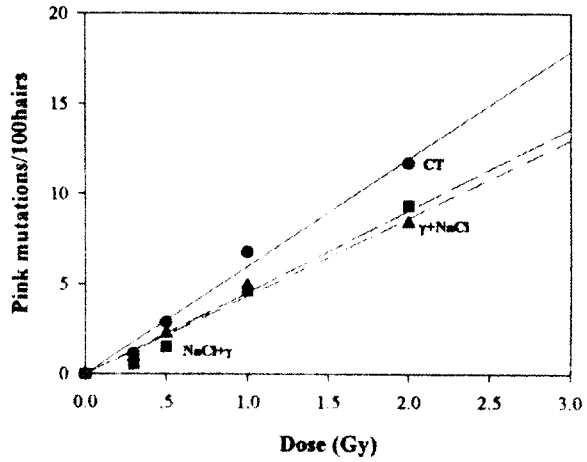

Fig 2. Relationship between pink mutation frequencies induced in stamen hairs of the Tradescantia 4430 and irradiation doses

군과 비교하여 큰 차이가 없었다. 따라서 세 실험군 모두 방사선 조사 후에 분홍돌연변이가 증가하는 시기와 분홍돌연변이 최대값을 나타내는 시기에 있어서 커다란 차이 없이 유사하게 나타났다. 돌연변이율 고조기간은 통상 방사선 조사 후 6일에서 20일 사이에 나타나지만 공시식물체의 생육상태 및 실험처리시의 손상정도에 따라 약간 다르게 나타날 수도 있으나 본 실험에서는 세 실험군 모두 통상적인 고조기간내에 돌연변이율이 증가하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 분석결과의 통계적 오차와 분산을 최소화하기 위하여 돌연변이율이 최대값에 이르는 날짜를 중심으로 일정한 기간을 고조기간으로 설정하여 이때의 돌연변이율 검경결과를 통합하여 데이터로 활용한다. 본 실험에서 분홍돌연변이가 확연하게 증가한 고조기간은 CT 실험군과 γ+NaCl 실험군은 조사 후 6일부터 11일까지, NaCl+γ실험군은 조사 후 7일부터 12일까지로 설정하였다. 세 조사 실험군에 있어서 방사선량의 증가에 따른 분홍돌연변이의 증가는 뚜렷한 일차함수적 선량-반응 관계를 나타내고 있다(Fig.2). 이같은 선형적 관계식의 회기계수는 CT 실험군과 γ+NaCl 실험군에 있어서는 0.99, NaCl+γ실험군에 있어서는 0.98로서 높은 통계적 유의성이 인정된다. CT 실험군에 있어서 감마선에 의하여 유발되는 돌연변이 빈도의 증가계수 α=5.99에 비해 170mM의 NaCl 용액을 방사선 조사 24시간 전후에 처리한 경우에 있어서 돌연변이 빈도 증가계수는 각각 α=4.55 와 α=4.33으로 낮아짐을 알 수 있었다. 즉 NaCl의 전후처리에 의해 방사선에 의한 돌연변이 유발효과가 각각 24% 와 27% 정도 억제되는 결과를 나타낸 것이다.

방사선에 의한 돌연변이가 DNA 분자상에 나타나는 손상의 결과임을 중요시할 때 Chadwick과 Leenhouts[20]에 의하여 제시된 방사선작용에 관한 분자이론은 매우 효과적

으로 방사선의 생물학적 효과를 설명할 수 있는 이론적 근거가 될 수 있다. 그러나 이러한 분자이론은 정교하게 설정되어 수많은 변수를 포함하고 있기 때문에 획득된 실험데이터가 양적으로 충분할 경우에만 적용 가능하다. 또한 방사선에 의한 돌연변이, 염색체 이상 또는 종양유발 등의 생물학적 효과에 관해서 분석된 자료가 적정한 규모의 가용성을 가질 때는 Tubiana 등[21]이 제시한 다소 간단한 선형-이차함수 모델(linear-quadratic model)을 사용하여 선량-반응 관계를 표현할 수 있다. 이러한 두 가지 이론적 모델은 모두 저선량에서부터 생물학적 반응이 선량포화를 나타내는 고선량 영역까지를 해석할 수 있도록 설정된 것이다. 그러나 방사선량에 의해 선정된 생물학적 말단점에 나타나는 영향이 포화점을 나타내지 않는 범위의 선량영역에 대해서는 선량-반응 관계가 단순한 선형적 일차함수로 표현될 수 있다. 본 연구 결과를 해석하기 위해 사용한 일차함수적 관계식은 최소한의 변수만을 포함하고 있으므로 분석결과를 적용할 때 분석데이터에 대한 충분한 자유도가 유지될 수 있어서 통계적으로 안정적일 뿐 아니라 실제 해석결과를 볼 때 회기계수가 0.98 이상으로 나타남으로써 통계적 유의성이 충분히 안정될 수 있다. 실제로 저선량 영역에 있어서 방사선에 의한 자주달개비 수술털 세포 분홍돌연변이 유발은 선형적 일차함수를 이용한 선량-반응 관계식으로 해석하는 것이 정당함은 이미 보고된 바 있다[22].

CT 실험군에 있어서의 꽃당 평균 수술털 수의 변화양상은 조사 후 시간이 경과함에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig.3A). NaCl+γ실험군에 있어서 꽃당 평균 수술털 수의 변화양상 역시 CT 조사군과 같이 조사 후 시간이 경과함에 따라 소폭으로 감소하는 경향을 보였으며(Fig.3B), γ+NaCl 실험군에 있어서도 꽃당 평균 수술털 수의 변화양상 역시 조사 후 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig.3C). 따라서 세가지 실험군 모두에 있어서 수술당 수술털의 숫자는 실험기간이 진행됨에 따라 약간씩의 감소현상을 보였는데 이는 식물체가 온실내의 정상적 생육환경으로부터 실험실내의 제한적 환경조건으로 옮겨진 데 따르는 환경변화의 충격과 식물체 화서의 노화에 따라 나타나는 복합적 결과로서 실내 실험에서 나타나는 일반적 현상으로 받아들여질 수 있다. 통상 살충제 등의 강한 화학물질을 고농도로 처리하였을 경우는 화서 발육부진과 수술털 수 및 그 세포수의 급격한 감소를 예상할 수 있으나 실제로 통상적 권장 사용농도 범위에서는 자주달개비 화기와 관련된 생육에 제한이 전혀 나타나지 않았다[23]. 본 실험에서도 3개 실험군 모두에서 NaCl 처리후 날짜 경과에 따른 수술털 수 감소 양상이 3개 실험군 모두에서 유사하게 나타났음에 비추어 볼 때 NaCl 처리에 의한 영향으로 수술털이 감소하였다는 증거는 나타나지 않았다.

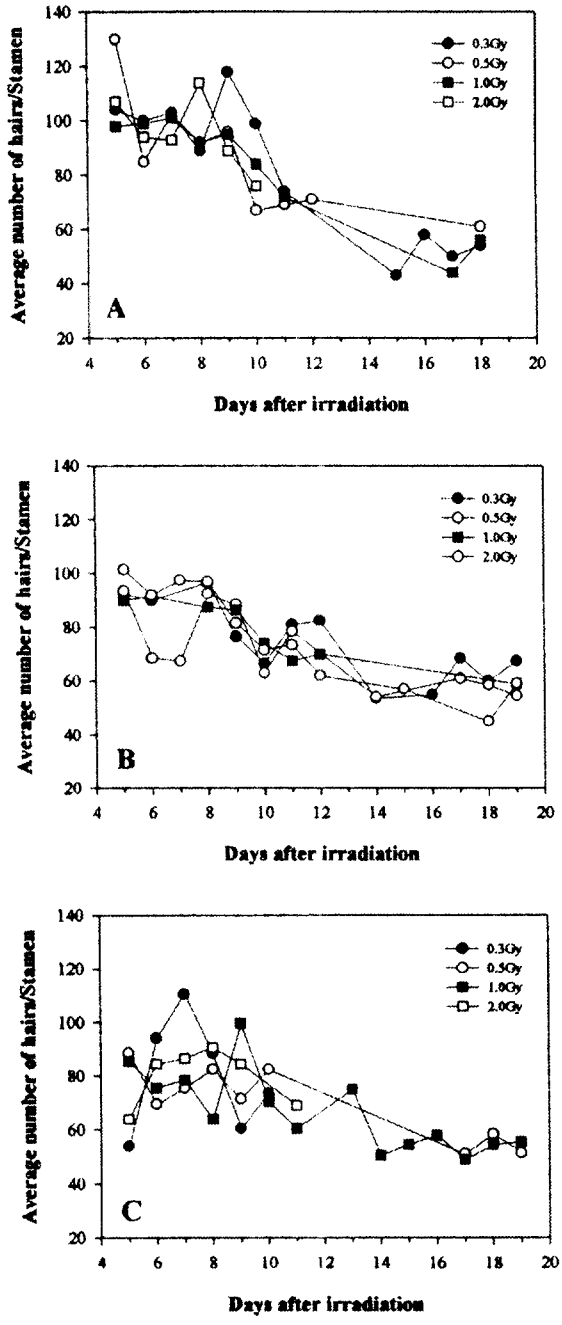

Fig 3. Average number of hairs per stamen in irradiated Tradescantia 4430. A: CT, B: NaCl+r, C: r+NaCl

즉, NaCl 처리 전후 방사선량의 증가에 따른 수술털 감소에 대한 유의수준 검정에서도 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$).

CT 실험군에 있어서 방사선 조사 후 수술털당 수술털 세포수의 변화는 2.0 Gy 조사군에서만 뚜렷한 감소를 보였을 뿐 나머지 조사군에 있어서는 커다란 변화를 보이지 않았으며(Fig.4A), NaCl+γ실험군에서의 방사선 조사 후 수술털당 수술털 세포수는 CT 실험군과는 달리 모든 조사군에 있어서 거의 일정하게 유지되었다(Fig.4B). γ+NaCl 실

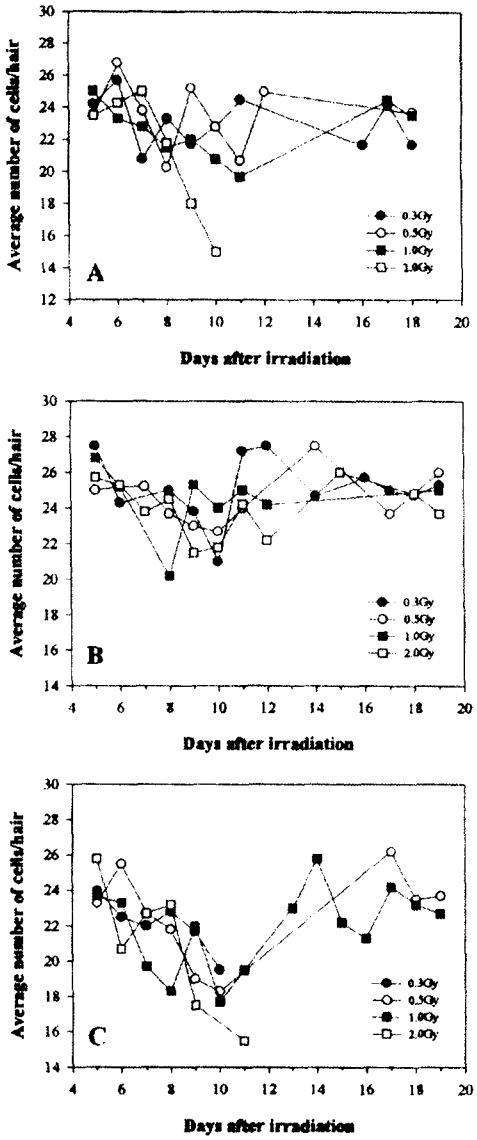

Fig 4. Average number of cells per hair in irradiated Tradescantia 4430. A: CT, B: NaCl+r C: r+NaCl

험군에서의 방사선 조사 후 수술털당 수술털 세포수는 2.0 Gy 조사군에서만 뚜렷한 감소를 나타내었을 뿐 다른 조사선량에서는 조사 후 세포수가 감소하다가 다시 증가하는 양상을 나타내었다(Fig.4C).

방사선 조사 후 개화된 전체적인 꽃수에 있어서 CT 실험군의 경우 선량의 증가에 따라 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타낸 반면 NaCl+γ실험군과 γ+NaCl 실험군에서 있어서는 NaCl+γ실험군의 1.0 Gy 실험군을 제외한 나머지 조사군에 있어서는 조사 후 개화된 전체적인 꽃수에 있어서 커다란 변화를 나타내지 않았는데 이는 NaCl의 처리가 자주달개비의 생육에 있어서 커다란 영향을 주지 않고 있음을 시사하는 결과이다(Table 1). CT 실험군 및 γ+NaCl 실험군 모두에 있어서 개화수가 실험개시후 7일째를 기점으로 비교적 크게 감소하였기 때문에 방사선이나 NaCl의 처리가 식물체에 생육장해를 유발하였다고 볼 수 없다. 다만 식물체 생육의 연주기(annual cycle) 특성상 춘계에 생성되는 화서는 10~15개 정도의 화아(flower bud)를 가지고 있으나 하계 및 추계에 생성되는 화서는 화아수가 10개에 못미치는 경우가 대부분이며 실험식물체 화서로부터 가장 늙은 화아 2~3개를 제거한 후 실험에 사용하기 때문에 개화수의 최대분포가 실험개시후 6~10일 기간에 존재하게 된다. 이와 같은 점을 감안할 때 NaCl을 처리한 전후의 감마선 조사는 자주달개비의 생장발육에 있어서는 커다란 영향을 주지 않은 것으로 판단할 수 있다.

결론적으로 방사선 조사에 의하여 유발된 자주달개비 수술털의 분홍돌연변이율이 NaCl의 처리에 의하여 확연하게 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 170mM의 NaCl 용액이 처리되었을 때 자주달개비 세포내의 DNA 손상복구에 관련된 기작이 자극을 받아 관련 효소의 활성이 증가했거나 또는 NaCl 자체가 방사선에 의한 DNA 손상에 대하여 방어효과(protective effect)를 갖기 때문인 것으로 해석될 수 있다. 특히 본 실험은 해무와 유사한 농도의 NaCl을

Table 1. Course of blooming of Tradescantia 4430

Exp. Group	Dose [Gy]	Day after irradiation(NoF)														
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
CT	0.3	5	6	24	21	6	4	1	0	0	0	3	5	3	4	2
	0.5	6	10	31	18	9	4	2	2	0	0	0	0	0	1	0
	1.0	4	11	12	8	5	8	2	0	0	0	0	0	2	2	0
	2.0	2	1	10	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NaCl + r	0.3	6	1	0	5	3	1	2	2	0	1	0	6	5	3	3
	0.5	3	4	3	6	5	2	6	0	0	3	0	0	2	3	2
	1.0	1	3	0	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2
	2.0	2	4	2	6	5	6	6	1	0	0	1	0	0	2	3
r + Nacl	0.3	1	2	11	10	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	6	1	15	13	4	3	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	1.0	1	2	12	9	5	2	2	0	1	1	1	2	1	2	2
	1.0	2	3	10	10	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

NoF : Number of flowers

식물체에 처리한 후 그 영향을 세포돌연변이 유발 측면에서 분석한 결과라는 점에서 식물학적, 농학적 의미가 크며, 자주달개비 수술털 세포계의 다양한 실험적 응용성을 암시하고 있다.

요 약

NaCl과 방사선이 자주달개비 수술털 세포 분홍돌연변이에 미치는 영향을 조사하였다. 포트에서 생육된 *Tradescantia* 4430 식물체에 코발트 선원으로부터 0.3, 0.5, 1.0 및 2.0 Gy의 감마선을 조사하였다. NaCl 용액(170mM)의 분무처리는 방사선 조사 24시간전 및 후에 이루어졌다. CT 실험군, NaCl+γ실험군 및 γ+NaCl 실험군에 있어서의 돌연변이 빈도가 증가한 고조기간은 방사선 조사 후 6~12일로 나타났으며 돌연변이 빈도는 방사선량 증가에 따라 선형적으로 증가하는 반응관계를 보였다. CT 실험군에서의 선량반응식 기울기(증가계수)는 5.99(r^2=0.99)이었으나, NaCl+γ실험군의 증가계수는 4.55(r^2=0.98), γ+NaCl 실험군은 4.33(r^2=0.99)으로 CT실험군의 값에 비해 낮았다. 즉, 방사선 조사 전후에 NaCl을 처리한 실험군들이 방사선만 조사한 CT 조사군에 비하여 방사선에 의한 돌연변이 유발 증가율이 24% 이상 억제됨을 확인할 수 있었으며 이는 NaCl 자체가 방사선에 의한 DNA 손상에 대하여 방어효과를 갖기 때문인 것으로 해석 될수있다.

참고문헌

1. Levitt, J. (1972). Responses of Plants to Environment Stresses. Academic Press, Inc., New York.
2. Hilal, H., Zenoff, A. M., Ponessa, G., Moreno, H., and Massa, E. M. (1998). Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidase expression in developing soybean roots, Plant Physiol., 117 : 695-701.
3. Song, Y. S., and Choi, W. Y. (1993). Physiological responses of rice plant as influenced by salinity stress using sea water, Korean J. Crop Sci., 38 : 483-488.
4. Lee, S. Y., Kim, C. S., Cho, J. W., and Kang, Y. G. (1996). Physiological response of barley seedlings to salt stress, Korean J. Crop Sci., 41 : 665-671
5. Pessaraski, M. (1991). Formation of saline and sodic soils and their reclamation, J. Environ. Sci. Health, A26 : 1303-1320
6. Shim, S. I., Lee, S. G., and Kang, B. H. (1998). Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. II. Responses of emergence and early growth of several crop species to saline stress, Korean J. Environ. Agr., 17 : 122-126
7. Kang, B. H., and Shim, S. I. (1998). Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. I. Survey of vegetation in saline region and determination of saline tolerance of the plant species of the region, Korean J. Environ. Agr., 17 : 26-33
8. Kim, J. K., Song, H. S., Chae, S. K. (1999). Influence of environmental stresses on radiation-induced pink mutations in Tradescantia stamen hairs, Second International Symposium on Ionizing Radiation, May 10-14, Ottawa, Canada (1999) (accepted)
9. Kim, J. K., Kim, W. R., Kim, J. S., Shin, H. S., and Lee, J. J. (1998). Effects of diurnal temperature difference and gamma radiation on the frequency of somatic cell mutations in the stamen hairs of Tradescantia 4430, Kor. J. Environ. Biol., 16 : 253-262
10. Ichikawa, S. (1992). Tradescantia stamen-hair system as an excellent botanical tester of mutagenecity : its responses to ionizing radiations and chemical mutagens, and some synergistic effects found. Mut. Res. 270 : 3-22
11. Christianson, M.L. (1975). Mitotic crossing-over as an important mechanism of floral sectoring in Tradescantia. Mut. Res., 28 : 389-395.
12. Sparrow, A. H., Schairer, L. A., and Villalobos-Pietrini, R. (1974). Comparison of somatic mutation rates induced in Tradescantia by chemical and physical mutagens. Mutat. Res., 26 : 265-276.
13. Gichner, T., Veleminsky, J., and Underbrink, A. G. (1980). Induction of somatic mutations by the promutagen dimethylnitrosoamine in hairs of Tradescantia stamen. Mutat. Res., 78 : 381-384.
14. Kim, J. K., Kim, W. R., Lee, Y. K., Kim, J. S., Song, H. S., Jeong, C. Y., Kim, K. N., and Hong, K. P. (1998). Monitoring of environmental radiation using Tradescantia bioindicator, Kor. J. Environ. Biol., 16 : 85-91
15. Ichikaw, S., Kanai, H., and Harada, H. (1990). Somatic mutation frequencies in Tradescantia stamen hairs treated with aqueous solutions of ethyl methanesulfonate and methanesulfonate and methyl methanesulfonate. Jpn. J. Genet., 65 : 309-321.
16. Cebulska-Wasilewska, A., Rekas, K., and Kim, J. K. (1999). Application of TSH bioindicator for studying the biological efficiency of radiation. Nukleonika, 44 : (in press)
17. Kwon, S. H., Lee, Y. I., Chung, K. H., and Oh, J. H. (1981). Mutation frequency of Tradescantia (BNL clone

4430) stamen hairs exposed to low dose of gamma ray in KAERI gamma-field, J. Kor. Nuc. Soc. 13 : 162-167

18. Niels, W. H., and Roger, L. B. (1970). Manual on Radiation Dosimetry, Marcle Dekker Inc., New York.
19. Conger, A. (1964). A simple liquid-culture method of growing plants. Proc. Florida State Horticultural Society, 77 : 3-6.
20. Chadwick, K. H., and Leenhouts, H. P. (1980). The Molecular Theory of Radiation Action, Springer-Verlag, Heidelberg.
21. Tubiana, M., Dutreix, J., and Wambersie, A. (1990). Introduction to Radiobiology. Taylor & Francis, London.
22. Kim, J. K., and Kim, W. R. (1998). Neutron dose response of Tradescantia stamen hair pink mutations and RBE. J. Korean Asso. Radiat. Prot., 23 : 17-23.
23. Kim, J. K., Kim, W. R., Lee, C. J., Chang, H. H., and Lee, Y. K. (1999). Protective effect of pesticide on radiation-induced cell damage in Tradescantia 4430 stamen hairs, Kor. J. Environ. Biol., 17 : (in press)