

고품질 발아채소의 생산·유통기술 개발 및 산업화

Development of Production and Distribution Technology for High Quality Seed Sprouts

발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 개발 (제1세부)
(Development of E-beam sterilization technology
for high quality seed sprouts)

발아채소의 위해도 평가 및 저감화를 위한 HACCP Plan 개발 (제2세부)
(Microbial safety analysis and development of
HACCP plan for seed sprouts)

고품질 발아채소의 적합 포장재 선정 및 유통기한 설정 (제3세부)
(Selection of optimal packaging material and determination of expiration date for high-quality sprout)

발아채소의 전자빔 살균공정 개발 (협동기관)
(Development of E-beam sterilization process
for seed sprouts)

경북대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고품질 밭아채소의 생산·유통기술 개발 및 산업화” 과제의 보고서로 제출합니다.

2009년 5월 29일

주관연구기관명 : 경북대학교
주관연구책임자 : 권 중 호
세부연구책임자 : 이 연 경
 : 문 광 덕
연 구 원 : 캐서린웨이지
 김귀란, 박주환, 전소윤
 박은정, 이현정, 장지현
 김태훈 (대농바이오)

협동연구기관명 : 이비테크(주)
협동연구책임자 : 한 범 수
연 구 원 : 김유리, 김진규
 강원구

요 약 문

I. 제 목

고품질 발아채소의 생산·유통기술 개발 및 산업화

II. 연구개발의 목적 및 필요성

건강웰빙식품의 하나로서 수요가 증가하고 있는 발아채소류는 미생물학적 관점에서 안전성 확보방안이 요구되고 있다. 따라서 고품질 발아채소의 생산 및 유통을 위하여 위생적 살균, 포장 및 상품화 기술의 개발과 산업화 연구가 필요하다. 이에 현행 발아채소의 생산 공정에서 위해요소를 분석 평가하고, 효과적인 제어관리기술을 확보하고자 하였다. 동시에 고품질 발아채소의 상품화를 위한 생산·유통관리 기술을 체계화하고 기술이전에 필요한 기반을 마련하도록 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 개발

발아채소의 고품질화를 위한 비열(non-thermal) 및 비약제(non-chemical) 살균기술을 마련하고자, 시판 발아채소 및 종자의 미생물적 위해요소 분석과 아울러 전원(電源)에 의해서 발생·제어될 수 있는 전자빔과 대조구로써 감마선 조사에 의한 병원성미생물의 감수성 확인과 종자 및 발아채소에 대한 살균실험을 수행하였다. 아울러 전자빔을 종자 및 새싹채소에 처리하였을 시 발아 및 생리적 특성, 새싹의 저장 중 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질을 평가하여 적정 살균조건을 확립하고, 나아가 개선된 포장과 생산현장에 적용될 HACCP 관리계획 확보 연구를 수행하였다.

- 가. 시판 새싹채소 및 종자의 (병원성) 미생물 오염여부 확인시험
- 나. 새싹종자 오염 병원성 미생물의 전자빔 감수성 확인시험
- 다. 새싹채소 오염 병원성 미생물의 전자빔 감수성 확인시험

- 라. 새싹 종자 및 채소의 전자빔 살균효과 확인시험
- 마. 새싹 종자 및 채소의 살균처리에 따른 품질안정성 시험
- 바. 전자빔 살균조건 확립 및 경제적 타당성 분석

2. 발아채소의 위해도 평가 및 저감화를 위한 HACCP Plan 개발

발아채소의 안전성 관리방안을 확보하기 위하여 실험실 재배 및 발아채소 생산현장에서 직접 종자에서부터 발아채소의 생산 전 단계의 시료를 채취하여 일반세균, 대장균군, *E. coli* 및 식중독균의 오염도를 측정, 비교함으로써 오염 실태를 파악하였다. 아울러 발아채소의 미생물 오염수준을 제어하는 방안을 모색하고자 적무 종자에 인위적으로 *L. monocytogenes*균을 접종한 후 세척 및 소독효과 실험을 시행하였다. 이를 토대로 생산현장에 적용할 수 있는 GMP 및 HACCP 관리계획 확보 연구를 수행하였다.

- 가. 발아채소 생산단계별 미생물학적 위해요소 분석
- 나. 발아채소 종자의 살균처리와 침종수에 따른 살균효과 확인시험
- 다. 발아채소 종자 발아동안 재배수에 따른 제어효과 확인시험
- 라. 발아채소의 살균처리에 따른 살균효과 확인시험
- 마. 발아채소 위생적 생산을 위한 GMP 매뉴얼 및 HACCP plan 개발 검증

3. 고품질 발아채소의 적합 포장재 선정 및 유통기한 설정

현재 발아새싹채소의 포장재인 PET의 유통 중 오염가능성과 중량감소 등의 문제점을 해결하고자, 적합 포장재 선택 실험을 수행하였다. 아울러 선정된 포장재를 발아채소에 적용하여 현재 이용 중인 PET 포장재를 대조구로 저장실험을 실시하여 발아채소 상품의 유통기한 설정을 위한 연구를 수행하였다.

- 가. 포장재가 발아채소의 물리적 품질 변화에 미치는 영향평가
- 나. 포장재가 발아채소의 이화학적 품질 변화에 미치는 영향평가
- 다. 포장재가 발아채소의 미생물학적 품질 변화에 미치는 영향평가
- 라. 포장재가 발아채소의 관능적 품질 변화에 미치는 영향평가
- 마. 적합 포장재 이용 및 전자빔 처리 발아채소의 품질 및 유통기한 설정시험

4. 발아채소의 전자빔 살균공정 개발

발아채소의 고품질화를 위한 살균기술을 마련하고자, 시판 발아채소에 전자빔을 적용하여 살균실험을 수행하였다. 전자빔에 의한 조사처리를 위한 빔 전류, 빔 출력 및 빔 균일도를 평가하고 발아 및 생리적 특성, 새싹의 저장 중 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질을 평가하여 적정 살균조건을 확립하였다.

가. 빔전류, 빔출력 및 빔균일도 설정

나. 조사 유형별 전자빔의 선량분포도 특성파악 및 피조사체 흡수선량 결정

다. 발아채소의 전자빔 처리공정 개발 및 살균조건 최적화

라. 발아채소의 품질보증 및 품질관리를 위한 매뉴얼 확립

마. 발아채소의 전자빔 살균 경제성 분석

IV. 연구개발결과

1. 발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 개발

가. 새싹채소 및 종자에 오염 가능성이 있는 병원성 미생물의 전자빔 살균효과 확인을 위하여, 우선 시판되고 있는 새싹채소 15종(14개 社)과 새싹용 종자(7종/5개 社)에 대한 5종의 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*, *Coliforms*) 존재 여부를 확인 한 결과 broccoli, red radish 및 alfalfa 새싹에서 *Listeria*의 오염이 확인되었다.

나. *Listeria monocytogenes* 오염 시료 중 다소비 새싹채소인 브로콜리와 적무의 종자와 새싹채소를 모델시료로 하여 4종의 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*)의 전자빔 감수성[D₁₀ value(decimal reduction dose) & 5 D value(5 log cycle reduction)]을 비교 측정 한 결과, 전자빔 에너지는 감마 에너지와 살균효과가 유사하였으며, 1-3 kGy 범위의 선량에서 발아채소에 혼입된 병원성미생물의 사멸관리가 가능한 것으로 확인되었다.

다. 시판 중인 다소비 새싹채소(16종 55품목)의 총 세균은 7-8 log CFU/g, 대장균군(coliforms)은 4-8 log CFU/g 수준이었고, 새싹종자(7종/5개 社)는 1-5 log CFU/g 및 < 3 log CFU/g 수준으로 오염정도가 다양하였다. 이들 미생물에 대한 전자빔과 감마선의 사멸효과를 측정 비교한 결과, 3 kGy 이하의 조사에서 병원성미생물보다 저항성이 큰 총 세균과 대장균군은 2-5 log cycles 감소되었다. 전자빔의 살균효과는 초기 오염도에 따라 상이하였으며, 감마선과 유사한 살균효과를 보였다.

라. 전자빔 살균된 새싹종자(무순, 적양배추, 브로콜리, 적무, 클로버 등)의 발아과정 중 총 세균 농도를 분석한 결과, 재배 1일째에 비조사 시료에서는 2-5 log CFU/g, 조사시료에서는 1-4 log CFU/g의 낮은 농도를 나타내었으나 5일째에는 유사한 값(7-8 log CFU/g)을 나타내어 재배환경의 크게 영향을 받았다. 새싹종자에는 대장균군이 검출되지 않았으나 재배 5일에 비조사구는 5 log CFU/g 수준을, 3 kGy 이하의 전자빔 조사시료에서는 1-4 log CFU/g의 대장균군 농도를 보였다.

마. 새싹종자의 초기발아율은 대부분 95% 이상을 보였다. 종자의 전자빔 살균에서 적무는 5 kGy까지, 브로콜리는 2 kGy까지 유의적인 차이가 없었다. 그러나 무순, 양배추 등은 1 kGy 이상 조사 시 발아율이 90% 이하로 감소되었다. 전반적은 전자빔은 감마선보다 종자의 발아율에 미치는 영향이 다소 낮았다. 살균 종자로부터 재배한 발아채소의 수분, 수율 및 길이는 감소하는 경향이었으나 1-3 kGy 범위에서는 차이가 크지 않았다.

바. 새싹종자는 발아 중 비타민 C, 카로테노이드, 클로로필, 총페놀, sulforaphane 등 대부분의 기능성분 함량은 크게 증가하였으나, glucoraphenin 함량은 감소하였다. 살균처리를 위한 종자의 전자빔 조사는 화학성분의 증가와 감소의 완만한 변화를 가져왔으며, 이는 새싹의 성장이 완만해 짐에 따른 것이 주원인으로 판단된다.

사. 현행 발아채소 공장에서 생산된 시판용 포장상품의 미생물학적 품질을 개선할 목적으로 전자빔을 조사한 결과, 총 세균과 대장균군에서 초기농도가 각각 5-6 및 4-5 log CFU/g 수준이던 것이 1-3 kGy의 조사로써 2-4 log cycle 정도의 감소효과를 보이면서 6±2℃에서 3일까지도 미생물학적 품질개선이 가능하였다. 또한 시료상품의 색, 냄새, 조직 및 전반적 기호도에 대한 관능적 품질평가(5점채점법)에서 1-3 kGy 조사시료는 대조시료와 큰 차이 없이 저장 5일까지도 3점 이상의 양호한 상품특성을 보여주었다.

아. 고품질 발아채소의 유통기술 확보를 위하여 전자빔의 살균효과와 상품의 선도유지 개선효과가 확인된 OPP포장재의 적용실험을 2종의 모델 발아채소(무순, 클로버)를 대상으로 실시한 결과, 2 kGy 내외의 전자빔 조사는 미생물학적 품질을 효과적으로 향상시켰을 뿐 아니라 저온 및 실온저장에서도 대조구 및 현행 포장재보다 양호한 품질을 유지시켰다.

2. 발아채소의 위해도 평가 및 저감화를 위한 HACCP Plan 개발

가. 발아채소 종자의 일반세균과 대장균군은 실험실 및 생산현장에서 종자의 종류, 소독유무에 관계없이 재배기간 동안 미생물학적 수준은 증가하였고, 최종 발아채소에서도 높은 수치를 나타내었고, 일부 채소에서 식중독균 중 *Listeria monocytogenes*가 검출되었다.

나. 종자 소독 시 차아염소산나트륨, 알코올, 유기산, 칼슘하이퍼클로라이트 등의 처리와 염소수, 오존수, 전해수에 침지, 열수처리 등의 방법으로 처리한 결과, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리시키거나 70°C 이상에서 1분 이상 열수 처리하는 방법이 효과적이었다. 화학적 소독제 처리 및 열수처리에 따른 발아율은 무처리군과 큰 차이를 보이지 않았다.

다. 발아채소 재배기간 동안의 재배수로서 염소수, 오존수, 전해수 등은 미생물 증식을 억제하여 저감효과를 나타내었다. 그 중에서 전해산화수와 전해알칼리수가 큰 저감화 효과를 보였으며, 특히 HClO 100 ppm, pH 3 이하의 전해산화수가 가장 큰 저감효과를 나타내었다.

라. 종자의 소독 및 소독수 처리에 의한 재배 후 새싹채소의 세척단계에서 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리한 경우, 80% 에탄올에 30분간 처리한 경우, 전해수로 3회 이상 세척한 경우에 섭취직전 식품에 대한 미생물학적 안전기준치를 만족시켰다. 종자에서부터 발아채소 생산 전 단계에 걸쳐 단계별로 적용한 살균처리가 효과적이었다.

마. 앞선 실험결과를 통해 20,000 ppm calcium hypochlorite 또는 열수처리에 의한 종자 소독(CCP 1) 및 전해수를 통한 재배(CCP 2) 및 세척을 적용하여 섭취직전 식품에 대한 미

생물학적 안전기준치 이하를 만족시킴으로써, 이를 토대로 발아채소의 위생적 생산과 안전성 확보를 위한 우수제조기준(Good Manufacturing Practice, GMP) 및 식품위해요소중점관리기준(Hazard analysis Critical Control Point, HACCP) 가이드라인을 마련하였다.

3. 고품질 발아채소의 적합 포장재 선정 및 유통기한 설정

가. 무순 및 브로콜리 발아채소를 통기구멍 유무에 따른 2종의 PET 및 산소투과도에 따른 3종의 방담 OPP film에 포장한 결과, 포장 내 기체 조성은 포장재의 산소투과도가 높을수록 O₂ 농도는 높아지고 CO₂ 농도는 낮아짐을 확인하였다. 그리고 중량감소율의 경우 PET(6 holes)가 최대 19.7%로 높은 감소율을 보였으며, 다른 포장재의 경우 1% 내외로 나타났다. 또한 산소투과도가 낮은 포장재의 경우 저장기간에 따라 Hunter's b value (황색도)가 높게 나타났으며 이취가 발생하였다.

나. 가용성고형분 함량은 저장기간이 길어짐에 따라 증가하였으며 산소투과도가 낮은 포장재의 경우 함량 변화가 작게 나타났다. pH의 경우는 저장기간이 길어질수록 증가 경향을 보였으며 대체로 산소투과도가 높을수록 pH의 값이 더 낮음을 확인하였다.

다. 총균수는 저장기간에 따라 증가하였으며 저장 7일 후 PET(6 holes) 및 산소투과도가 높은 방담OPP film에 비해 PET(no hole) 및 산소투과도가 가장 낮은 방담OPP film의 총균수가 평균 1 log CFU/g 정도 높은 수준으로 나타났다.

라. 관능검사 결과, PET(no hole)와 산소투과도가 가장 낮은 방담 OPP film의 경우 대체로 뿌리변색은 적었으나 발아채소냄새가 약해지고 이취가 심하게 증가하였으며, PET(6 holes) 및 산소투과도가 가장 높은 OPP film의 경우 뿌리변색이 심해졌고 발아채소냄새가 강한 것으로 나타났다. 종합적 기호도 항목에서는 산소투과도가 20,000 cc/m²·24h인 OPP film에서 저장 7일까지 다른 포장재에 비해 높은 관능적 품질을 보였다.

마. 선정된 방담OPP film 1종과 PET(6 holes)을 포장재로 이용하여 전사선 처리 후 4℃, 10℃ 및 20℃에 저장한 무순 및 클로버 발아채소의 중량감소율은 4℃에서 저장한 PET 포장재에서는 증가 정도가 미미하였으나 20℃에서 저장한 PET 포장재에서 가장 높게 나타나 최대 28.07%로 확인되었다. 반면 방담OPP film 포장재의 경우 온도가 높아질수록 중량감소율이 높아졌으나 그 수준은 0.00~1.08% 정도에 불과하였다.

바. 저장온도가 높아질수록 총균 및 대장균군의 농도가 높아졌으며 2 kGy 이상의 선량 조사에서 대장균군의 사멸효과가 있었으나 20℃ 저장 시 4.43 log CFU/g까지 그 농도가 증가하였다. 방담OPP 포장재의 경우 총균수 및 대장균군의 농도가 PET 포장재와 비슷하거나 다소 낮게 나타났다.

4. 발아채소의 전자빔 살균공정 개발 및 적용

가. 중에너지급 전자가속기는 설비에 대한 적격성을 판단하기 위하여 수시로 선량분포도를 측정 관리하고 있으며, 발아채소의 포장 용기별로 선량을 측정하였다. 발아채소에 조사된 흡수선량은 저선량의 범위로 처리되었으며, 포장재의 재질이나 충전되어 있는 새싹 양의 변화에 민감하게 변화하였다.

나. 발아채소 및 종자의 경우 유효투과 깊이는 2.5 MeV에서 59 mm로 조사한 모든 시료는 제품의 바닥 면까지 투과되는 것으로 확인되었으며, Sample 종류별 빔 uniformity는 1.07-1.26으로 측정되었다.

다. 발아채소의 포장용기의 종류별 선량분포도를 확인한 결과 전자빔의 깊이와 선량과의 이론적인 관계에 일치하는 것으로 나타났으며, 조사 시료의 밀도와 조사물질의 두께에 따라 전자빔 조사 설비의 운전조건을 결정할 수 있었다.

라. 전자빔 조사에 따른 온도 영향은 흡수선량 1-10 kGy 범위로 조사 처리되어 온도 변화는 조사 전과 후에 큰 차이를 나타내지 않았다.

마. 발아채소상품의 위생적 품질 향상을 위한 전자빔 처리의 경제적 타당성 분석한 결과, 생산 공장에 전자빔 설비를 설치하는 것은 고비용 등으로 타당성이 없었다. 따라서 전자빔 전문 업체에 의뢰하여 처리할 경우 단위 상품 톤당 수송비(150,000원)와 조사비용(230,000-320,000원/톤)은 현행 상품의 시장가격(평균 10,000,000원)에 2.7-2.9% 수준으로 상품의 위생적 품질 향상을 고려한다면 충분히 타당성이 있는 것으로 판단된다.

바. 발아채소 상품의 전자빔 조사 서비스 시설 이용을 위한 품질보증 및 품질관리를 위한 시스템을 구축하고 공정적용 매뉴얼을 확립하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

시판 발아채소 및 종자에서 5종의 병원성미생물 오염 여부를 검사하여 일부 발아채소 (broccoli, red radish, alfalfa)에서 *Listeria*의 오염을 확인하였다. 이들 채소에 병원성미생물 (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*)을 접종하여 전자빔 감수성 (D_{10} value & 5 D value)을 측정된 결과, 감마선과 유사한 살균효과를 보여주었고, 미생물 농도를 2-5 log cycle 감소시키면서 발아채소의 품질변화를 최소화할 수 있는 조사선량으로서 1-3 kGy 범위의 전자빔 처리조건을 확립하였다. 따라서 발아채소 상품의 미생물 농도와 채소의 빔 감수성을 고려한 전자빔의 최적살균공정의 적용은 향후 식품에 대한 전자빔 이용의 법적허가를 위한 정책 자료로 활용될 수 있으며, 나아가 산업화를 고려할 시점에서는 생산공장에 전자빔 시설을 설치하는 것보다는 기존 상업용 전자빔 시설의 조사서비스(irradiation service)를 활용하는 것이 경제적으로 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

또한 본 연구결과로서 발아채소의 선도유지 효과와 이물질 유입 및 미생물 오염 가능성을 줄일 수 있는 OPP 포장재의 선정과 선정된 포장재를 사용하였을 경우의 유통기한을 설정함으로써 실제 시판제품의 유통에 적용할 수 있는 조건과 기술적 기반을 확보하였다. 아울러 현행 발아채소 생산 공장에서 침종 및 재배 단계별로 분석한 미생물위해요소평가 자료는 확립된 GMP 매뉴얼 및 HACCP 가이드라인과 더불어 발아채소 상품의 미생물학적 안전성 확보는 물론, 고품질 유통에 활용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 확보한 기술자료 및 관련기술은 참여기업은 물론 관련 업계에서 기술교육이 가능하므로 적극적으로 현장 적용을 통하여 고품질 발아채소의 생산 및 유통에 기여하게 될 것이다.

SUMMARY

I. Title

Development of Production and Distribution Technology for High Quality Seed Sprouts

II. Objectives and Importance of the Project

The seed sprouts, as one of the well-being health foods, are needed to be improved in their microbiological quality from the food safety point of view. Accordingly, the systematic studies on non-thermal microbial decontaminations, effective packaging, and technical feasibility will result in the high-quality production and distribution of seed sprouts in the market. This work was intended to analyze the existing microbial hazards in both production plants and marketing commodities for developing the decontamination methods. At the same time, infra-structural platforms for the practical implementations of technologies to be used for the sanitary production and distribution of high-quality seed sprouts were pre-established.

III. Contents and Scope of the Project

Section 1. Development of E-Beam Sterilization Technology for High Quality Seed Sprouts

To develop a sterilization technology of non-thermal or non-chemical properties, the existing microbial hazards in both production plants and marketing commodities were first analyzed. And then electron beam that can be controlled by the electric on/off was applied along with gamma ray (a comparative group) for such investigations as energy treatment effects on microbial (patogens) sensitivity and sterilization in commercial sprouts or seeds. In addition, the germination properties of irradiated seeds and quality aspects from the microbiological, physicochemical and sensory

points of view of seed sprouts during post-germination storage periods were evaluated in order to establish an optimal sterilization condition, which will be combined with improved packaging and HACCP plan for the production and distribution of high-quality seed sprouts.

- a. Evaluation of general and pathogenic microorganisms contaminated in commercial seeds and seeds sprouts
- b. Determination of E-beam sensitivity of pathogens contaminating sprout seeds
- c. Determination of E-beam sensitivity of pathogens contaminating seed sprouts
- d. Quality aspects of sprouts germinated from E-beam treated seeds
- e. Microbiological, physicochemical and sensory qualities of sprouts as affected by E-beam treatment
- f. Establishment of E-beam sterilization conditions for seed sprouts and its economic feasibility analysis

Section 2. Microbial Safety Analysis and Development of HACCP Plan for Seed Sprouts

To ensure microbial safety and prevent sprout-associated illnesses, microbial quality of the step-by-step process in seed sprouting was analyzed. Their comparative effects in decontaminating seeds and sprouts were also evaluated by treatment of disinfectants on APC and *L. monocytogenes* inoculated in red radish sprouts. Development of GMP and HACCP plan in order to apply at production area was conducted.

- a. Microbiological analysis of step-by-step process in sprouts production
- b. Decontamination effects of seeds with disinfected treatments and soaking water
- c. Decontamination of sprouts on irrigation water during sprouting
- d. Decontamination effects of sprouts on disinfected treatments
- e. Development of GMP and HACCP plan in order to ensure microbial safety

Section 3. Selection of Optimal Packaging Material and Determination of Expiration Date for High Quality Seed Sprouts

The PET, which is the packaging material used for seed sprouts, showed many problems such as high chances of contamination and weight loss of the commercial products packaging. Thus, the objective of this study was to select an optimal packaging material for seed sprouts. The sprouts packaged with the selected optimal packaging materials were compared to sprouts packaged with conventional PET and the expiration date of the distributing products was determined.

- a. The effect of different packaging materials on the physical quality of sprouts
- b. The effect of different packaging materials on the chemical quality of sprouts
- c. The effect of different packaging materials on the microbiological quality of sprouts
- c. The effect of different packaging materials on the organoleptic quality of sprouts
- d. Change in the weight loss of sprouts using selected optical packaging material and E-beam treatment
- e. The quality evaluation of sprouts packaged in selected optical packaging material combined with E-beam treatment and shelf-life prediction

Section 4. Development and Application of E-Beam Sterilization Process for Seed Sprouts

In order to develop the sterilization technology for high-quality seed sprouts, commercial sprouts and their seeds were carried out sterilization test by applying e-beam. The sterilization condition was set up by evaluating a beam current, beam output and beam uniformity for irradiation treatment with E-Beam, and by estimating physiological characteristic and sprouting, microbiology, physico-chemical and a sensual quality.

- a. Setting up beam current, beam output and beam uniformity
- b. Characteristic understanding of dose distribution chart in E-Beam irradiation along with irradiation patterns
- c. E-Beam treatment process development for seeds and sprouts, and optimizing sterilization conditions
- d. Establishing manuals for a quality management and guarantee of seed sprouts
- e. Economic feasibility analysis on E-beam sterilization of seeds sprouts

IV. Results of the Project

Section 1. Development of E-Beam Sterilization Technology for High Quality Seed Sprouts

1) In order to determine the e-beam sterilization effect on pathogens potentially contaminating seeds or its sprouts, commercial sprouts (16 kinds from 10 companies) and their seeds (7 kinds from 5 companies) were tested for their contamination by 5 pathogens (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*, *Coliforms*), thereby resulting in observing *Listeria* positive in such sprouts as broccoli, red radish and alfalfa.

2) Broccoli and red radish were selected as model samples in seeds and sprouts, which were found positive of *Listeria monocytogenes*, were used as a medium for the irradiation (e-beam and gamma-rays) sensitivity studies on 4 species of pathogens (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*) by determining D₁₀ value (decimal reduction dose) and 5 D value (5 log cycle reduction), from which it was found that e-beam has a similar sterilizing effect to gamma rays on the above bacteria and a dose of 1 to 3 kGy was enough to control their contamination in sprouts.

3) The populations of total bacteria and coliforms in most-consumed commercial seed sprouts (55 items in 16 kinds) were 7-8 log CFU/g and 4-8 log CFU/g, respectively, and those of commercial seeds (7 kinds from 5 companies) were 1-5 log CFU/g and < 3 log CFU/g, respectively, which were varied with their kinds and

companies' origins. The e-beam irradiation of 1 to 3 kGy was enough to reduce the microbial loads by 2 to 5 log cycles, which was similar sterilizing effects to gamma irradiation.

4) The microbial growth in irradiated seeds at 1 to 3 kGy, such as radish, red cabbage, broccoli, red radish, etc., were analyzed during germination period. At the 1st day of germination, the bacterial loads were 2-5 log CFU/g in non-treated control but 1-4 log CFU/g in irradiated samples. However, the loads rapidly increased in both non-irradiated and irradiated groups, reaching similarly 7-8 log CFU/g at 5th day of germination, which is mainly due to the cultivation environments. Meantime, coliforms were negative to 3 log CFU/g in most sprout seeds, but at 5th day they increased up to 5 log CFU/g in non-irradiated control and 1 to 4 log CFU/g in irradiated ones, respectively.

5) The initial germination rate of most seeds were more than 95% and did not significantly change up to 5 kGy in red radish and 2 kGy in broccoli, respectively. In case of radish and cabbage seeds, however, it reduced by about 90% upon 1 kGy. Electron beam was less detrimental to seed viability than gamma rays, which resulted in a gradual decrease in moisture, yield and length of sprouts but not apparent at doses of 1 to 3 kGy.

6) Germinating the seeds led to an increase in the contents of functional components, such as ascorbic acid, carotenoid, chlorophyll, total phenolics and sulforaphane but to a decrease in glucoraphenin content. These changes in chemical properties during germination were modulated by E-beam irradiation, which was supposed resulting from the retardation of sprout growth in irradiated seeds.

7) E-beam irradiation at 1 to 3 kGy enabled commercial packaged sprouts to be improved their microbiological quality by reducing the loads of total aerobic bacteria and coliforms from 5-6 and 4-5 log CFU/g to the extent of 2-4 log cycles, thus maintaining the hygienic quality up to 3 days or longer of storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$. The sensory evaluation by 5 hedonic scaling on color, odor, texture and overall acceptance of irradiated sprouts at 1-5 kGy did not show any apparent differences from the control, indicating 3 point (fair) until 5 days of storage under commercial packaging conditions.

8) For establishing the distribution methods for high-quality seed sprouts, the E-beam was applied to the optimized packaging material (OPP, oriented polypropylene) to verify their suitability for two model commercial sprouts samples (radish, clover). The results proved that the combination treatment of OPP packaging and E-beam irradiation at around 2 kGy could provide the sprouts with improvement of the microbiological quality and with the extension of shelf-life as compared to the conventional packaging.

Section 2. Microbial Safety Analysis and Development of HACCP Plan for Seed Sprouts

1) For sprouts grown, the APC and coliform count increased rapidly during the sprouting process regardless of use of commercial sanitizer, and presence of the pathogenic *L. monocytogenes* in non sanitizer.

2) We recommends decontamination of seeds with one or more treatments (soaking in a 20,000 ppm calcium hypochlorite for 15 minutes) that have been approved for reduction of pathogens in seeds by US FDA and heat treatment (soaking 70°C hot water for 1 min). And germination after each treatment was not greatly decreased.

3) This study demonstrated that the use of acidic and alkalic electrolyzed water as disinfectant during sprouting could be an effective intervention strategy against the pathogens contamination of sprouts. Especially, acidic electrolyzed water of HClO 100 ppm, above pH 3 was the most effective.

4) After seed sanitation and decontamination during sprouting, chemical treatments (soaking in 100 ppm sodium hypochlorite for 5 minutes or 80% ethanol for 30 minutes, and washing by electrolyzed water above three times) at washing step were considered to effect in comparison to the safety standards of some foreign countries. Therefore, combination treatments may be needed to eliminate the pathogens in all processing step of seed sprouting.

5) The implementation of decontamination of seeds (CCP 1) by soaking in a 20,000 ppm calcium hypochlorite for 15 minutes or 70°C hot water for 1 min and irrigation (CCP 2) and washing by electrolyzed water during sprouting were verified in comparison to the safety standards of some foreign countries. According to this results, this research determined to implement Good Manufacturing Practices (GMP) during sprout production, and to develop Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) plan in order to ensure microbial safety and prevent sprout-associated illnesses as effective intervention strategy against the pathogen contamination during seed sprouting.

Section 3. Selection of Optimal Packaging Material and Determination of Expiration Date for High Quality Seed Sprouts

1) The headspace gas evaluation showed that O₂ gas became low and CO₂ gas became high in sprouts packaged with 2 kinds of PET with 6 holes and without hole and 3 kinds of anti-fogging OPP with different oxygen transmission rate in order to have high oxygen transmission rate. The weight loss rate of sprout in PET with 6 holes was 19.7%, which is the maximum weight loss rate, while other packaging materials had about 1% weight loss. The sample with low oxygen transmission rate showed an increased in b value, thus had more yellow color. In addition this sample was also observed to have an off-odor.

2) The soluble solid contents tended to increase during storage, but the not much increase was observed in sprout packaged with low oxygen transmission rate materials. The pH of the sample packaged with 5 kinds of materials increased during storage, but the pH decreased in samples with high oxygen transmission rate.

3) Total aerobic bacteria counts in all samples was high during storage, but total aerobic bacteria of sprout packaged with low oxygen transmission rate was higher than others.

4) The result of organoleptic qualities showed that the sprouts packaged with PET(no hole) and anti-fogging OPP, with low oxygen transmission rate, were generally low in yellowness of root, a weak sprout smell and strong off odor, while PET with

6 holes and anti-fogging OPP, with high oxygen transmission rate, were high in yellowness of root, and had a strong sprout smell. The sprouts packaged with anti-fogging OPP, which has middle oxygen transmission rate, had a good score in terms of overall acceptability until 7 days of storage.

5) The sprout packaged with PET had 0.0~1.84% weight loss rate at 4°C, and 28.07% at 20°C, which is the maximum weight loss rate, while the sprout packaged with anti-fogging OPP, which selected as optimal packaging material for high-quality sprout, had 0.00~1.08% weight loss rate.

6) Total aerobic bacteria and coliform bacteria counts in the sprout were higher especially at higher storage temperature. The sprouts treated with e-beam of more than 2 kGy showed that the total coliform bacteria was sterilized, but at 20°C total coliform bacteria was 4.43 log CFU/g. Total coliform bacteria count of the sprout packaged with anti-fogging OPP was almost the same as compared to the sprout packaged with PET.

Section 4. Development and Application of E-Beam Sterilization Process for Seeds and Seed Sprouts

1) In order to estimate eligibility for facility, middle-energy E-Beam accelerator was frequently measured and managed a dose distribution chart and dose classify by packages of seed sprouts was measured. The absorbed dose irradiated to sprout vegetable was dealt with ranges of low dose and changed sensitively for variation of package materials or quantity of sprouts filled

2) In case of seeds and sprouts, A available penetration depth was confirmed to penetrate sample material fully that was irradiated by condition 2.5 MeV and 59 mm depth, and E-beam uniformity by types was measured 1.07-1.26.

3) The verification result of a dose distribution chart classify by sort of sprout vegetable packages was found out agreements of theoretical relation for depth and dose of E-beam. and operation conditions for E-Beam irradiation facilities were determined by

density and thickness of irradiating materials

4) The temperature effect by irradiating E-Beam was not different before and after of irradiating at 1-10 kGy absorbed dose.

5) The economic feasibility was analyzed on E-beam sterilization of seeds sprouts. The E-beam facilities was found too expensive to be installed at sprout factories. However, the irradiation service by the irradiation company would be reasonable for treating the commercial sprouts commodities based upon the costs consisting of transportation fee (150,000 won/ton) and irradiation cost (230,000-320,000 won/ton), which will be 2.7-2.9% of the market prices of the corresponding sprouts (average 10,000,000 won).

6) The quality assurance and quality control in E-beam irradiation service facilities were pre-established for seed sprouts along with progress manuals.

V. Result Achievements and Their Application Plans

Some commercial seed sprouts like broccoli, red radish and alfalfa were found to be contaminated with *Listeria* species. The electron beam D_{10} value and 5 D value for critical pathogens, such as *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria* and *Bacillus cereus*, on the media of Broccoli and red radish samples in both seeds and sprouts were similar in its sterilizing effect to gamma ray and a dose level of 1 to 3 kGy was enough to control microbial contaminations in seed sprouts by reducing their loads upto 2 to 5 log cycles with negligible changes in physiological and quality properties. The above results based upon the scientific and technical achievements on the optimized electron beam processes can be applied for a commercial purpose through establishing the corresponding legislations and regulations in the near future, and in case of which the irradiation service would be economically feasible as compared to the construction of beam facility at the sprout production plant.

On the other hand, the improved packaging (oriented polypropylene, OPP) was selected as a material showing the effect of extending shelf-life, protecting foreign matter and microbial contamination, and by which the expiration date of stored seed sprouts was determined along with or without e-beam irradiation for pre-establishing platforms in the practical implementation of sprout irradiation. The evaluation data on the existing microbial hazards in the current production steps of seed sprouts can be practically used together with the proposed GMP manuals and HACCP guidelines for the sanitary production and distribution of high quality sprouts by the participating industries and others through the technical education and guides.

CONTENTS

I. Outlines of the Project	29
1. Objectives of the Project	29
2. Necessities of the Project	29
3. Scopes of the Project	30
II. R & D Status in Domestic and Overseas	31
III. Contents of the Project and Its Results	32
<i>Section 1. Development of E-Beam Sterilization Technology for High Quality Seed Sprouts</i>	32
1. Introduction	32
2. Materials and Methods	33
1) Microbiological analysis of commercial sprouts and seeds	33
2) Microbial sterilization effect of E-beam irradiation	35
3) E-beam sensitivity of total microbes and pathogens	35
4) Mode samples and E-beam irradiation	36
5) Quality evaluation of sprouts from irradiated seeds during germination	37
6) Quality evaluation of E-beam irradiated sprouts during storage	39
7) Establishment of optimal E-beam sterilization conditions	40
8) Data analysis	40
3. Results and Discussion	41
1) Microbial (pathogenic) contaminations of commercial sprouts and seeds	41

2) Microbial sterilization effects of E-beam irradiation on seeds and sprouts	48
3) E-beam sensitivity of total microbes and pathogens on sprouts and seeds	52
4) Quality of germinated sprouts from E-beam irradiated seeds	68
5) Quality of E-beam irradiated sprouts during storage	92
6) Optimum E-beam sterilization conditions	101

4. Conclusions	113
-----------------------	-----

Section 2. Microbial Safety Analysis and Development of HACCP Plan for Seed Sprouts	115
--	-----

1. Introduction	115
------------------------	-----

2. Materials and Methods	116
---------------------------------	-----

1) Sprouts and seed samples	116
2) Microbiological analysis of step-by-step process in sprouts	116
3) Germination rate of disinfected seeds	119
4) Reduction of microbial of Sprouts and sprout Seed	120

3. Results and Discussion	121
----------------------------------	-----

1) Sprouts and seed	121
2) Microbiological analysis of step-by-step process in sprouts production	125
3) Germination rate for disinfected seeds	139
4) Reduction of bacteria in sprouts and seed	141
5) HACCP application in sprout production	159
6) Good manufacturing practice(GMP) for the production of Sprout	163
7) HACCP management plan for the production of sprout	177

4. Conclusions	187
-----------------------	-----

Section 3. Selection of Optimal Packaging Material and Determination of Expiration Date for Hight Quality Seed Sprouts	188
---	-----

1. Introduction	188
2. Materials and Methods	189
1) The selection of optimal packaged materials for seed sprouts	189
2) Determination of expiration date for sprouts in optimal packagings	192
3. Results and Discussion	195
1) The selection of optimal packaged materials for seed sprouts	195
① Physical analysis	195
② Chemical analysis	199
③ Total aerobic bacteria counts	201
④ Functional analysis	202
⑤ Organoleptic quality analysis	204
2) Determination of expiration date for seed sprout in optimal packaging material	207
① Weight loss	207
② Microbiological analysis	210
③ Functional analysis	215
④ Organoleptic quality	226
4. Conclusions	235

**Section 4. Development and application of E-Beam Sterilization Process
for Seed Sprouts**

237

1. Introduction	237
2. Materials and Methods	238
1) Seed sprouts and packaged materials	238
2) Food irradiation	239
3) Electron beam sterilization	240
4) Electron beam accelerator	247
5) Irradiation dose	253

6) Electron beam irradiation	256
7) Biological dosimeter	260
3. Results and Discussion	265
1) Low energy accelerator	265
2) Sprouts and seeds	269
3) Operation factor by electron beam	269
4) Dose map of seed sprouts	272
5) Effect of temperature by electron beam	277
6) Economic analysis of electron beam sterilization	277
4. Conclusions	286
IV. Goal Accomplishment and Substantial Contributions	288
V. Result Achievements and Their Application Plans	290
VI. Overseas Information on Science and Technology during the Project Years	293
VII. References	295

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	29
제 1 절	연구개발의 목적	29
제 2 절	연구개발의 필요성	29
제 3 절	연구개발의 범위	30
제 2 장	국내외 기술개발 현황	31
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과	32
제 1 세부	: 발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 개발	32
제 1 절	서론	32
제 2 절	재료 및 방법	33
1.	시판 발아채소 및 종자의 (병원성)미생물 오염도 분석	33
2.	전자빔 처리에 따른 미생물 살균효과	35
3.	(병원성)미생물의 방사선 감수성 조사	35
4.	모델시료 선정 및 방사선 조사	36
5.	전자빔 처리에 따른 발아종자의 재배 중 품질특성	37
6.	전자빔 처리에 따른 발아채소의 저장 중 품질특성	39
7.	최적 살균조건 시험	40
8.	결과 분석	40
제 3 절	결과 및 고찰	41
1.	시판 발아채소 및 종자의 (병원성)미생물 오염특성	41
2.	전자빔 처리에 따른 발아채소종자 및 발아채소의 미생물 살균효과	48
3.	발아채소용 종자 및 발아채소 오염 (병원성)미생물의 전자빔 감수성 확인	52

4. 전자빔 처리에 따른 시료의 품질 특성	68
5. 전자빔 처리된 발아채소의 저장에 따른 품질 특성	92
6. 최적 살균조건 설정	101
제 4 절 결 론	113
제 2 세부 발아채소의 위해도 평가 및 저감화를 위한 HACCP Plan 개발	115
제 1 절 서 론	115
제 2 절 재료 및 방법	116
1. 발아채소 및 종자시료	116
2. 발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해분석	116
3. 저감화 처리에 따른 품질안전성 시험	119
4. 발아채소 및 종자의 미생물 저감화 효과 시험	120
제 3 절 연구개발 결과	121
1. 실험 대상 발아채소 종자 및 발아채소	121
2. 발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해요인 분석	125
3. 저감화 처리에 따른 품질안정성 시험	139
4. 발아채소 및 종자의 미생물 저감화 방안	141
5. 발아채소 생산현장에서의 HACCP 적용	159
6. 발아채소 생산을 위한 우수생산관리기준(GMP)	163
7. 발아채소 생산을 위한 HACCP 관리계획 모델 개발	177
제 4 절 결 론	187
제 3 세부 고품질 발아채소의 적합 포장재 선정 및 유통기한 설정	188
제 1 절 서 론	188
제 2 절 재료 및 방법	189

1. 발아채소 제품의 적합 포장 재질 선정 시험	189
2. 고품질 발아채소 제품의 최적포장에 따른 유통기한 설정 시험	192
3. 결과분석	195
제 3 절 결과 및 고찰	195
1. 고품질 발아채소 제품의 적합 포장 재질 선정	195
가. 물리적 품질 특성 변화	195
나. 이화학적 품질 특성 변화	199
다. 총균수 변화	201
라. 기능성분 변화	202
마. 관능적 품질 변화	204
2. 고품질 발아채소 제품의 최적 포장에 따른 유통기한 설정	207
가. 중량감소율의 변화	207
나. 미생물학적 품질 변화	210
다. 기능성분 변화	215
라. 관능적 품질 변화	226
제 4 절 결 론	235
협동 과제 : 발아채소의 전자빔 살균공정 개발	237
제 1 절 서 론	237
제 2 절 재료, 방법 및 원리	238
1. 발아채소 시료 및 포장재 종류	238
2. 식품 방사선 조사의 특징	239
3. 전자빔 조사의 특징	240
4. 전자가속기	247
5. 조사선량	253
6. 전자빔 조사	256
7. 생물학적 선량계	260

제 3 절 결과 및 고찰	265
1. 저에너지 전자가속기	265
2. 전자빔 조사용 시료	269
3. 전자빔 조사설비 운전인자	269
4. 발아채소의 선량분포도	272
5. 전자빔 조사에 따른 온도영향	277
6. 전자빔 시설의 이용에 따른 경제성 분석	277
 제 4 절 결 론	 286
 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	 288
 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	 290
 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	 293
 제 7 장 참고문헌	 295

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

최근 웰빙 식품으로서 발아채소의 수요가 지속적으로 유지되고 있다. 그러나 발아채소의 재배 및 유통환경에 따라 미생물학적 안전성 확보에 문제점이 지적되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 시판 발아채소 및 발아채소의 생산 공정에서 미생물학적 위해요소를 분석평가하고, 아울러 유통 중인 발아채소의 품질 및 유통 특성을 확인하고자 하였다. 또한 발아채소 및 종자에 오염된 (병원성) 미생물을 확인하고, 저감화를 위한 방안을 마련하고자 하였다. 즉, 발아종자의 침종 및 재배과정에서 전처리 방법과 재배수에 따른 발아채소의 미생물 오염도를 확인하고 이를 저감화하기 위한 GMP 및 HACCP 가이드라인을 마련하고자 검증을 통해 현장적용 가능성을 확인하였다. 아울러 발아채소 포장상품의 살균처리를 위한 전자빔의 미생물 살균특성과 최적 처리조건 확립을 시도하였고 전자빔의 허가를 전제로 하여 경제적 타당성을 분석하였다.

제 2 절 연구개발의 필요성

최근 건강에 대한 관심과 사회전반의 well-being trend에 따라 발아채소에 대한 수요가 증가하고 있다. 발아새싹채소는 다양한 영양소와 기능성 성분을 함유하고 있어 건강기능 편이식품으로서 소비가 기대된다. 발아채소류는 병원성미생물의 오염이 용이하고 재배과정에서 증식이 빠른 식품이므로 주요 선진국에서는 대형 식중독 사고의 원인식품으로 판명되었다. 그러나 발아채소류의 병원성 미생물 오염은 원료종자의 표면뿐 아니라 재배수가 원인이 될 수 있으므로 염소계약제가 사용되어 왔으나 효과의 불충분과 안전성 등의 문제로 미국 FDA 및 USDA는 방사선 조사 방법을 허용하기도 하였다. 발아채소류는 조직이 연하므로 세척에 의한 세균 작업은 매우 제한적이며 원료종자의 살균과 위생적 새싹 재배공정이 요구되는 특성을 지니고 있다. 따라서 발아채소의 미생물학적 안전성 확보와 고품질 유통을 위해서는 생산에서부터 유통단계에 이르기까지 미생물 오염 및 성장을 제어할 수 있는 방안이 요구되며, 이를 위하여 종자의 침종법과 재배수의 선택은 물론, 생산 전 단계에 적용될 수 있는 GMP 및 HACCP 가이드라인 확립과 효과적인 포장법 및 비약제, 비가열 살균법의 확보를 위한 체계적인 연구가 필요하다.

제 3 절 연구개발의 범위

유통 중인 다소비 발아새싹채소의 대표시료를 선정하여 총 세균과 대장균군 농도를 모니터링 하였다. 또한 발아채소 및 종자 상품에 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*, *Coliforms*)의 존재 여부를 확인토록 하였다. 이 중 일부 상품에서는 *Listeria*의 오염이 확인됨에 따라 브로콜리와 적무의 종자와 새싹채소를 모델 시료로 하여 4종의 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*)의 전자빔 감수성(D₁₀ value)과 5 D value를 감마선과 비교하여 측정하였고, 살균에 필요한 적정선량 범위와 조건을 확립하였다. 아울러 발아채소 생산 현장에서 미생물 위해요소의 분석평가와 종자의 소독처리(약재 및 열처리), 새싹 재배수의 선택을 위한 다양한 물의 사용을 통하여 발아채소 생산 과정에서의 미생물 저감화 방안을 확보하였다. 이를 바탕으로 고품질 발아채소 생산을 위한 HACCP 관리계획과 우수제조기준(GMP)을 마련하고자 하였다. 그리고 발아채소 상품의 포장별 및 제품군별 유통과 품질특성을 조사하여 선도유지 효과가 개선된 포장재를 선별하고, 최적조건의 전자빔 살균과 저장중 품질 안정성 시험을 통하여 유통기한을 설정하였다. 이같이 고품질 발아채소 생산을 위한 HACCP 관리계획 모델개발과 적용시험과 함께 포장된 발아채소 제품의 전자빔 살균효과 실증 및 전자빔 살균기술의 경제적 타당성을 분석하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내외적으로 신선편이식품의 소비가 지난 10년에 비해 약 17% 증가되었으나 이들 관련 식품이 원인이 된 식인성질별 발생은 이보다 크게 증가하여 병원성 미생물에 대한 철저한 안전 관리가 필요하다. 발아채소류의 병원성 미생물 오염은 원료종자의 표면뿐 아니라 재배수가 원인이 될 수 있으므로 염소계약제가 사용되어 왔으나, 효과의 불충분과 안전성 등의 문제로 미국 FDA 및 USDA는 방사선 조사법을 허용하기도 하였다. 또한 국내 식품의약품안전청에서는 발아새싹채소를 신선편이식품으로 분류하고, 미생물학적 안전성 확보를 위한 규격(대장균 및 살모넬라 음성, 바실러스 세레우스 10^3 / g 이하 등)을 마련하여 2008년부터 시행하고 있다. 이같이 발아새싹채소는 영양적, 기능적 우수성에도 불구하고 미생물학적 안전성에 대한 우려 때문에 활발한 소비가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 발아채소류의 병원성 미생물 오염은 주로 오염된 원료종자의 사용과 재배 생산 과정 중 수질과 재배 환경에서 비롯되므로 조직이 극히 연약한 발아새싹채소를 효과적으로 세척하기란 한계가 있다는 지적이다. 따라서 제품을 포장한 다음 살균처리 할 수 있는 비파괴 살균공정이 요구되며, 국제적으로 전자빔이나 이온화 에너지를 이용한 완제품의 살균방법이 주목을 받고 있다. 미국에서는 발아채소로 인한 식중독이 자주 발생함에 따라 모든 종자는 발아 전 20,000 ppm calcium hypochlorite 용액으로 살균할 것을 권고하고 있다. 하지만, 처리효과가 확실치 않아 대체방안이 요구되고 있으며, 발아채소의 원료측면에서 GAP 제도와 가공측면에서의 GMP 제도의 적용, 이외의 위생 및 안전성 확보를 위한 노력으로 HACCP 가이드라인 등이 개발 활용되고 있다. 따라서 지속적인 수요를 보이고 있는 발아채소류의 고품질 상품화와 유통 안전성을 확보하기 위해서는 생산 공정에서의 위해요소 분석과 효과적 미생물 제어관리기술의 확보가 필요하다. 또한 현재 유통 중인 발아채소의 포장재로 주로 사용되고 있는 PET 용기는 옆면과 윗면에 있는 구멍으로 인한 유통 중 오염 가능성을 가지고 있으나 아직까지 이를 대체할 수 있는 포장재에 관한 연구는 미흡하다. 따라서 발아채소의 유통 중 오염을 줄일 수 있는 포장재 연구 및 유통기술에 관한 연구가 필요하다. 이상과 연구개발 동향으로 바탕으로 다양한 연구개발이 진행되고 있으므로 보다 안전성, 편의성 및 경제성이 뒷받침된 발아새싹채소류의 생산 및 유통 보급이 기대된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 세부 발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 개발

제 1 절 서 론

최근 생활수준의 향상으로 건강에 대한 관심이 증대되어 기능성 신선채소류에 대한 수요가 증가하고 있다(1). 발아채소는 신선편이식품의 하나로써 어린떡잎이나 잎 또는 줄기를 수확하여 신선한 상태로 식용하는 것을 총칭하며, 종자에서 싹이 터 자신의 성장을 위해서 영양소와 식물생리활성물질을 생합성하므로 완전히 성장한 채소나 종자에 비해 그 함량은 3-4배 높다(2,3). 발아채소는 성장이 빠르고 조직이 부드러워 식미감이 좋으며 재배과정에서 농약을 사용하지 않는 반면에, 재배 시 20-40°C의 재배온도와 높은 상대습도는 미생물 성장에 최적의 조건을 제공해 준다(4,5).

따라서 발아채소종자와 발아채소는 수확, 건조 및 재배과정 중 부패 및 병원성미생물의 오염이 용이하여 발아채소의 섭취는 식중독 사고의 원인이 되기도 하였다(6-9). 이같이 발아채소가 미국 등 선진국에서 식중독 사고를 일으킴에 따라 미국 FDA는 발아채소를 생식하는 것은 위험하다고 경고하고, 모든 종자는 발아 전 20,000 ppm calcium hypochlorite 용액으로 살균할 것을 권고하였다(6,10). 또한 발아채소 종자의 표면 제균을 위해 제안되고 있는 살균제로는 sodium 혹은 calcium hypochlorite, hydrogen peroxide, chlorine dioxide, ethanol, ozonized water, acidified sodium chlorite, organic acid/hypochlorite, gaseous acetic acid 등이 연구되었다(10,11).

그러나 발아채소의 병원성미생물 오염은 원료종자의 표면 뿐 아니라 재배 중 내부로 침투된 미생물이 주요 원인이므로 염소계약제(hypochlorites 등)의 처리로써는 완전한 제균(decontamination)이 불가능한 실정이므로 미국 FDA 및 USDA는 종자에 최고 8 kGy의 방사선 조사를 허가한 바 있다(12,13). 또한 국내 식품의약품안전청에서는 발아채소를 신선편의식품으로 분류하고, 안전성 확보를 위한 규격(대장균 및 살모넬라 음성, 바실러스 세레우스 $10^3/g$ 이하 등)을 마련하여 2008년부터 시행하고 있다(14).

발아채소는 미생물이 오염되었을 경우 저장일수가 급격히 감소할 뿐만 아니라 병원성균에 의하여 식중독에 감염될 가능성이 있고, 또한 유통 저장 중 품질의 변화를 초래하므로 존재하는 미생물을 감소시키는 것이 중요하다. 따라서 효과적인 미생물적 안전성 확보

를 위해서는 우선적으로 초기미생물 오염수준을 안전한 수준 이하로 감소시키거나 제거하는 것이 중요하다. 지금까지 발아채소의 살균방법 연구로는 열수처리, 이온수 처리 등의 방법이 보고(15-17)된 바 있으나 비약제(non-chemical), 비열처리(non-thermal)에 의한 연구는 미비한 실정이다(18-20). 식품에 이온화 에너지를 이용한 기술은 그 안전성과 기술적 타당성이 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공식적으로 인정되었고(21), 최근에는 실용화가 확대되고 있다(12). 특히 전자빔(electron beam)은 전원에 의해 에너지의 발생을 조절할 수 있으므로 선진국에서는 식품에 대한 활용이 늘어나고 있으나 국내에서는 허용되지 않은 실정이다(12,14,22).

이에 본 연구에서는 발아채소류의 고품질화를 위한 효과적인 살균기술을 개발할 목적으로 유통 발아채소 및 종자의 병원성 미생물 위해도를 평가하고, 아울러 주요 병원성미생물의 전자빔 감수성 확인과 발아채소 상품에서의 살균효과를 검토하였다. 또한 최적 살균조건을 확립하기 위하여 미생물 제어효과와 더불어 발아채소의 이화학적, 관능적 품질에 미치는 영향을 평가하여 발아채소의 위생화를 위해 적용할 수 있는 전자빔 이용조건을 확보하고, 국내 사용허가에 대비한 정책 자료와 기술 활용기반을 마련하고자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 시판 발아채소 및 종자의 (병원성)미생물 오염도 분석

가. 실험재료

국내에서 시판중인 발아채소 관련 14개사 제품 중 발아채소 15종(알파파, 브로콜리, 유채, 메밀, 배추, 케일, 녹두, 청경채, 무순, 적양배추, 적무순, 대두싹, 순무, 다채)과 7종의 종자(알파파, 브로콜리, 배추, 유채, 적양배추, 적무순, 다채)를 인터넷 및 대형마트에서 구매하여 4-8℃에서 저장하면서 일반 미생물 및 병원성 미생물의 오염도를 분석하였다.

나. (병원성)미생물 측정

(1) 일반미생물

(가) 일반세균 (Total plate count)

시료에 혼입된 일반세균은 APHA 표준방법(23)에 따라 plate count agar(Difco, Maryland, USA)를 사용하여 30°C에서 2-3일간 배양한 후 CFU/g로 계수하였다.

(나) 대장균군 (Coliforms)

시료에 혼입된 대장균군은 desoxycholate agar(Difco, Maryland, USA)를 사용하여 pour plate method(23)에 의하여 37°C에서 2-3일간 배양한 후 적색의 집락을 CFU/g로 계수 하였다.

(2) 병원성 미생물

(가) 병원성대장균 O157 : H7 (*Escherichia coli* O157 : H7)

검체 10 g을 취하여 90 mL의 mEC(modofied E. coli) 배양액에 novobiocin을 첨가한 후 35°C에서 24시간 증균배양하였다. 이같이 mEc 배지에서 배양된 단일균주를 EMB 배지(eosin methylene blue agar)에 접종시켜서 35°C에서 24시간 배양하였다. EMB 한천배지에서 녹색의 금속성 광택을 보이는 집락을 보통한천배지(NA)에 옮겨 35°C에서 24시간 배양 후 그람음성 간균임을 확인하고 KIA, indole, oxidase test와 같은 생화학 실험을 실시하였으며 그 후 API(analytical profile index) 20E kit를 이용하여 E coli O157:H7을 확인하였다.

(나) 살모넬라 (*Salmonella* sp.)

검체 10 g을 취하여 90 mL의 멸균된 펩톤수에 가한 후 35°C 18시간 증균배양하였다. 0.1 mL 배양액을 취하여 selenite cystine broth 10 mL에 넣어서 35°C에서 24시간 배양시킨다. 증균배양액을 XLD한천배지(xylose lysine desoxycholate agar)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양하였다. 붉은 테두리에 검은색을 띠는 살모넬라로 추정되는 균을 보통한천배지(NA)에 접종시킨 후 배양하였으며 gram staining, KIA, indole, oxidase test를 실시하였으며 그 후 API 20E kit를 이용하여 살모넬라를 확인하였다

(다) 리스테리아(*Listeria monocytogenes*)

검체 10 g을 취하여 90 mL Listeria 증균배지(Listeria enrichment broth)에 가한 후 30°C에서 24시간 배양하였다. 증균 배양된 균주를 리스테리아 선택배지(Listeria selective agar)에 접종한 후 30°C에서 24시간 배양한다. 검은색 집락의 Listeria로 추정되는 단일균주를 보통한천배지에 접종한 후 배양된 균을 이용하여 gram staining, B-haemolysis, catalase, motility test를 실시하였으며 API 리스테리아 키트를 이용하여 확인시험을 실시하였다.

(라) 바실러스 세레우스(*Bacillus cereus*)

검체 10 g을 취하여 90 mL 인산완충 희석액에 가하여 균질화한 검액을 10% egg yolk emulsion을 첨가한 MYP배지(mannitol egg yolk polymyxin agar)에 접종하여 30°C에서 24시간 배양하였다. 배양 후 혼탁한 환을 갖는 분홍색 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하여 30°C에서 24시간 배양하였다. 배양 후 균주를 gram staining, B-haemolysis, catalase, motility test를 실시하였으며 API CHB/E kit를 사용하여 확인시험을 하였다.

2. 전자빔 처리에 따른 미생물 살균효과

현행 다소비 발아채소 및 종자 6종(무순, 브로콜리, 배추, 다채, 적양배추, 클로버)에 대해 전자빔 및 비교구로써 감마선을 0, 1, 3, 5 kGy 조사 후 일반세균 및 대장균군에 대하여 1.나.(1)의 방법에 의해 살균효과를 측정하였다.

3. (병원성)미생물의 방사선 감수성 조사

가. 재료선정

시판 발아채소 중 *Listeria monocytogenes*가 발견된 시료 3종 중 2종(적무순, 브로콜리)에 대해 일반미생물 2종(총세균, 대장균군), 병원성균 4종(*Escherichia coli* O157 : H7, *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*)에 대해 방사선 감수성 실험을 실시하였다.

나. 전자빔 감수성 실험

(1) 미생물 접종

시료 5 g을 stomacher filter back에 넣어서 진공포장 한 다음 6, 25 kGy로 감마선 조사하여 미생물을 완전 멸균시켰다. 배양된 병원성세균은 TSA agar에 4°C에서 보관한다. 각 병원성세균의 콜로니를 취하여 TSB에 넣어서 150 rpm에서 30-35°C에서 24시간 교반시킨다. 교반된 배양액을 0.5 mL 취하여 TSB 50 mL에 넣어서 150 rpm에서 배양시킨다. 배양액 1 mL을 취하여 12, 16, 18, 24시간 혼합된 TSA에 넣어서 각 병원성세균의 잔존율을 확인하였다. 초기 오염수준이 10^8 - 10^9 CFU/mL를 얻기 위하여 E. coli는 35°C에서 18시간 회전교반기에, *Listeria monocytogenes*와 *Bacillus cereus*는 각각 30°C에서 18시간, 16시간동안 배양시켰다. 각 배양액을 재빨리 50 g의 시료에 혼합시킨다. 즉시 그 배양액을 제거한다. 시료를 데시케이터에 넣어서 종자는 24시간, 발아채소는 2시간 동안 건조시킨다. 초기오염 일반세균 및 병원성 세균을 약 10^6 - 10^7 농도로 맞추었다.

(2) 전자빔 처리

전자빔 조사는 전자선가속기(2.5 MeV, EB-TECH, Daejeon, Korea)를, 감마선 조사는 정읍방사선과학연구소 소재 ^{60}Co 감마선조사시설(100 kCi point source, AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 각각 이용하여 0.25-3 kGy 범위의 선량으로 조사하였다. 이 때 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter (Harwell, UK)와 CTA dosimeter를 사용하였다.

(3) 미생물 살균효과 및 감수성 측정

일반세균, 대장균군 및 병원성 미생물(*Escherichia coli* O157 : H7, *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*)에 대한 감수성 측정은 1.나.(2)의 (병원성)미생물 시험방법과 동일하게 측정하였다. 그리고 조사선량 별 미생물 살균효과는 log CFU/g으로 나타내었고, 각 병원성미생물의 감수성은 D_{10} -value (Decimal reduction dose)와 5 D value (5 log reduction dose)로 나타내었다(24).

4. 모델시료 선정 및 방사선 조사

가. 시료 선정

시판 발아채소 및 종자 중 다소비 시료 5종(적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추, 클로버)

을 모델시료로 선정하여 아래와 같은 실험을 실시하였다.

나. 발아채소 재배

평균 발아율이 90% 이상인 것으로 외부 손상이 없고 양호한 외관을 지닌 종자를 선별하여 발아채소 재배기(EasyGreen Automatic Sprouter System, Seed & Grain Tech, Inc., Nevada, USA)를 이용하여 약 20 g의 종자를 평판 cartridge에 담아 매일 3시간 간격으로 15분 동안 수분을 공급해주면서 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 5일 동안 재배하였다.

다. 포장 및 저장

방사선 조사된 발아채소 종자는 대조구로써 비조사 시료와 함께 polyethylene nylon 포장지에, 그리고 재배 수확된 발아채소는 유통상품의 포장재인 polyethylene terephthalate (PET) pack에 50 g씩 포장하여 $6\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 1주일간 저장하였다.

라. 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 종자와 발아채소로 구분하여 전자빔과 감마선을 조사하였다. 발아채소 및 종자는 미국에서 8 kGy까지 허가(14)되어 있음을 고려하여 0, 1, 2, 3, 4 및 5 kGy를 상온에서 조사하였다.

5. 전자빔 처리에 따른 발아종자의 재배 중 품질특성

가. 생리적 품질특성

(1) 발아율 측정

종자의 발아율은 외부손상이 없고 외관이 양호한 종자 100개를 각 조사구(0, 1, 3, 5 kGy) 별로 취하여 바닥에 여지를 간 petri dish에 담고 증류수 10 mL를 넣어 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 항온기에서 72-96시간 배양 후 싹의 발아율을 측정하였다. 이 때 발아는 싹이 튼 눈의 길이가 0.1 cm 이상인 것을 발아로 간주하여 백분율로 나타내었다(25).

(2) 수율 측정

방사선 조사된 새싹 종자의 수율을 측정하기 위하여 종자시료 1 g을 여지를 바닥에 깔 petri dish에 담고 증류수 10 mL를 넣어 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 항온기에서 96 시간 배양 후 초기 종자무게 대비 최종 발아된 발아채소 무게비로 나타내었다.

(3) 길이 측정

방사선 조사된 새싹 종자의 생육변화를 알아보기 위하여 종자시료 100개를 여지를 바닥에 깔 petri dish에 담고 증류수 10 mL를 넣어 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 항온기에서 96 시간 재배 후 digimatic caliper(Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japan)를 사용하여 길이 측정에 따른 방사선조사 선원별 및 선량에 따른 차이를 비교분석하였다.

나. 미생물 품질특성(일반세균, 대장균군)

발아채소 종자의 재배 중 전자빔 처리에 따른 일반세균 및 대장균군 측정은 1.나.(1)의 일반미생물 측정방법과 동일하게 실시하였다.

다. 기능적 품질특성

(1) Ascorbic acid 함량 분석

발아채소의 ascorbic acid 함량 분석은 A.O.A.C.법(26)을 사용하였다. 발아채소 5 g을 취하여 10 mL metaphosphoric acid(MPA)를 가하여 분쇄한 후 Whatman filter No. 41로 여과하고 다시 50 mL의 MPA를 가하여 분쇄 및 여과를 반복하였다. 여액을 100 mL 메스플라스크에 MPA로 fill up 시킨 후 여액 10 mL를 취하여 dichloroindophenol dye solution으로 적정하여 pink color가 나타날 때를 종말점으로 하였다.

(2) Carotenoid/ Chlorophyll 함량 분석

발아된 채소의 carotenoid/chlorophyll 함량 분석은 Fan과 Thayer(27)에 의한 방법으로 측정하였다. 발아채소 5 g을 20 mL 차가운 아세톤을 넣어 혼합·분쇄 후 감압 여과하였다. 감압여과 후 남은 시료에 다시 차가운 아세톤 5 mL를 가하여 두 번 정도 반복한다. 그리고 여과된 추출물을 약 20 mL이 될 때까지 농축 후 25 mL 메스플라스크에 넣어 아세톤으로 fill up 후 -20°C 에서 하룻밤 동안 냉동 보관한다. 다음 15 mL centrifuge tube에 하룻밤 냉동보관 된 시료 2 mL와 HPLC용 증류수 0.8 mL 및 3 mL diethyl

ether를 섞어 혼합 분리한다. 다음 test tube에 분리된 diethyl ether층 여액과 HPLC용 증류수 2 mL를 섞는다. 위의 액을 vortex로 15초간 강하게 혼합 후 UV-Vis spectrophotometer(Optizen 2120UV, Mecasys, Daejeon, Korea)를 이용하여 470, 662 및 646 nm에서 흡광도를 측정하였다. Carotenoid, chlorophyll a 및 chlorophyll b의 함량은 Lichtenthaler 및 Wellburn(28)에 의한 방정식을 이용하여 계산하였다. 총 chlorophyll 함량은 chlorophyll a와 chlorophyll b의 합계로 하였다.

(3) Total phenol 함량 분석

각 시료의 페놀성 화합물의 측정은 Folin-Denis법(29)에 준하여 실시하였다. 즉, 각 시료 추출물 2 mL에 phenol 시약 2 mL을 혼합하여 실온에서 3분간 정치한 뒤 10% Na₂CO₃ 용액 2 mL을 가하여 혼합하고 실온에서 1시간 반응시킨 다음 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 표준물질로서 gallic acid (Sigma-Aldrich, Inc., Steinheim, Germany)를 적당한 농도로 희석 조제하여 표준곡선을 작성하였다.

(4) Sulforaphane 함량 분석

브로콜리 및 적양배추 발아채소의 sulforaphane 함량분석은 Liang 등(30)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 5 g을 분쇄한 후 자가분해를 위해 실온에서 30분간 방치시킨 뒤 시료 5 g에 50 mL methylene chloride와 2.5 g anhydrous sodium sulfate를 넣어 혼합 여과를 2번 반복한다. 다음 methylene chloride를 제거하기 위해 30°C에서 rotary evaporator (Heidolph WB-2001, Kelheim, Germany)를 이용하여 농축하고 그 시료를 acetonitrile에 녹여 0.22 µm membrane filter로 여과한 후 HPLC(Waters 600 E, Milford, MA, USA)에 의해 측정하였다. 이때 표준물질로는 L-sulforaphane(Sigma-Aldrich, Inc., Steinheim, Germany)을 적당한 농도로 희석 조제하여 표준곡선을 작성하였다.

(5) Glucoraphenin 함량 분석

적무순 발아채소의 glucoraphenin 함량 분석은 O'Hare 등(31)의 방법을 사용하여 측정하였다. 시료 약 0.4 g에 가열된 증류수 10 mL를 첨가 후 항온수조에서 6분간 가열하여 myrosinase enzyme를 불활성화 시킨다. 위의 가열 시료를 분쇄한 후 Whatman No. 1 여과지를 이용하여 여과한다. 그 여액에 20 mL 증류수를 가하여 혼합 후 0.22 µm syringe filter를 사용하여 재 여과한 후 HPLC로 측정하였다. 이때 표준물질로는 sinigrin (Sigma-Aldrich, Inc., Steinheim, Germany)을 적당한 농도로 희석 조제하여 표준곡선을

작성하였다.

6. 전자빔 처리에 따른 발아채소의 저장 중 품질특성

가. 미생물학적 품질특성

일반세균 및 대장균군 측정은 1.나 (1)의 일반미생물 측정방법과 동일하게 실시하였다.

나. 관능적 품질특성

유통 중 발아채소의 방사선 조사 처리 후 선원, 선량별 및 저장기간에 따른 발아채소의 관능적 품질을 평가하기 위하여 식품공학을 전공한 20-30대 대학생 및 대학원생 10명을 대상으로 5점채점법(5:매우 좋다, 4:좋다, 3:보통이다, 2: 좋지않다, 1: 매우 좋지않다)에 의해 각 발아채소 시료에 대한 색, 이취, 조직감, 전반적인 기호도를 평가토록 하였다(32).

7. 최적 살균조건 시험

현행 시판 무순과 클로버 발아새싹채소를 모델시료로 선정하여 현행의 PET 포장재와 제3 세부과제의 연구결과에서 최적포장재로 선택된 OPP 필름을 비교하기 위해 50 g 단위로 생산 당일 포장하여 전자빔을 상온에서 1, 2, 3 kGy를 조사하였고, $6\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에 저장하면서 미생물학적, 기능성분 및 관능적 품질특성을 7일 간 비교하였다. 그 결과 우수한 품질과 상품성을 유지하는 포장재와 전자빔 조사선량을 최적살균조건으로 하여 협동과제의 조사공정 최적화와 경제적 타당성 분석 및 2세부 과제의 HACCP 관리계획과 연계토록 하였다.

8. 결과 분석

발아종자 및 발아채소의 살균처리에 따른 생리적, 기능적, 관능적 품질특성의 결과는 SAS(Statistical Analysis System)에 의한 분산분석(ANOVA)과 Duncan's multiple range test에 의해 유의차 검증을 실시하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 시판 발아채소 및 종자의 (병원성)미생물 오염특성

발아채소류의 병원성미생물 오염은 오염된 원료종자의 사용이나 생산 환경에서 비롯된다. 최근 국내외적으로 발아채소에 기인한 식중독 발생사례가 증가되고 있음을 감안할 때 (Waje & Kwon, 2007) 종자 또는 발아채소 상품의 미생물학적 안전성 확보가 요구된다. 본 실험은 현재 국내에서 시판 유통되고 있는 발아채소와 종자의 일반미생물 및 병원성 미생물 오염 현황을 조사하여 살균기술연구의 기초자료로 활용하고자 하였다.

가. 시판 발아채소 및 종자의 일반 미생물 오염여부 확인

현재 국내에서 시판 유통되고 있는 발아채소 15종(56품목) 및 종자 7종(28품목)을 대상으로 일반세균 및 대장균군의 오염 여부를 확인하였으며, 그 결과는 Table 1.1, 1.2에 나타내었다. 시판 유통 중인 모든 발아채소 및 종자에서 일반세균 및 대장균군이 다량 검출되었다. 각 시료마다 약간의 차이가 있었으나 대체로 발아채소에서는 일반세균은 10^7 - 10^8 CFU/g, 대장균군은 10^4 - 10^8 CFU/g으로 높은 수치를 나타내었다. 또한 종자의 경우 일반세균의 경우 10^1 - 10^5 CFU/g, 대장균군은 10 - 10^3 까지 다양한 수치를 나타내었다. 이에 종자시료에 비해 발아채소에서 일반세균 및 대장균군이 훨씬 높게 나타났는데, 이것은 재배과정 중 미생물이 잘 자라는 재배환경(온도, 습도 등)과 출하 및 유통과정에서 미생물이 성장, 오염될 수 있음을 시사하고 있다.

Table 1.1. Microbiological count of commercial fresh sprouts from different companies in Korea

Type of Sprout (No. of companies)	Total plate count (CFU/g) ¹⁾	Coliform count (CFU/g) ¹⁾	Pathogen (No. of samples)
Alfalfa (6)	6.3 x 10 ⁷ – 9.1 x 10 ⁸	7.4x 10 ⁶ – 2.4 x 10 ⁸	<i>L. monocyto- genes</i> (1)
Brassica (2)	4.7 x 10 ⁷ – 7.2 x 10 ⁷	1.9 x 10 ⁷ – 2.1 x 10 ⁷	-
Broccoli (7)	1.8 x 10 ⁷ – 7.3 x 10 ⁸	1.3 x 10 ⁷ – 5.2 x 10 ⁷	<i>L. monocyto- genes</i> (1)
Buckwheat (2)	2.9 x 10 ⁸ – 9.2 x 10 ⁸	1.4 x 10 ⁷ – 7.2 x 10 ⁷	-
Chinese cabbage (4)	4.1 x 10 ⁷ – 7.4 x 10 ⁸	1.6x 10 ⁷ – 4.0 x 10 ⁷	-
Kale (2)	1.6 x 10 ⁸	3.7 x 10 ⁷ – 8.4 x 10 ⁷	-
Mungbean (1)	1.2 x 10 ⁷	4.1 x 10 ⁴	-
Pak choi (1)	2.6×10 ⁷	9.1×10 ⁶	-
Radish (2)	2.0 x 10 ⁷ – 4.4 x 10 ⁷	3.3 x 10 ⁵ – 4.5 x 10 ⁶	-
Rape (5)	4.9 x 10 ⁷ – 5.4 x 10 ⁸	1.3 x 10 ⁷ – 2.9 x 10 ⁷	-
Red cabbage (8)	2.4 x 10 ⁷ – 9.0 x 10 ⁸	1.1 x 10 ⁷ – 1.0 x 10 ⁸	-
Red radish (6)	5.0 x 10 ⁷ – 6.8 x 10 ⁸	2.1 x 10 ⁷ – 7.3 x 10 ⁷	<i>L. monocyto- genes</i> (1)
Soybean (1)	1.1 x 10 ⁷	1.0 x 10 ⁶	-
Tatsoi (5)	2.1 x 10 ⁷ – 8.1 x 10 ⁸	9.1 x 10 ⁶ – 5.7 x 10 ⁷	-
Turnip (1)	3.1 x 10 ⁷	3.9 x 10 ⁷	-
Mixed sprouts (2)	2.0 x 10 ⁷ – 5.0 x 10 ⁷	5.5 x 10 ⁵ – 6.2 x 10 ⁶	-

¹⁾Values are means of triplicate experiments (n=3)

Table 1.2. Microbial count of commercial sprout seeds from different companies in Korea

Type of Sprout (No. of companies)	Total plate count (CFU/g) ¹⁾	Coliform count (CFU/g) ¹⁾	Pathogen
Alfalfa (5)	1.5 x 10 ¹ – 4.9 x 10 ⁴	<10 – 1.1 x 10 ²	-
Broccoli (5)	3.5 x 10 ² – 2.2 x 10 ³	<10 – 2.5 x 10 ¹	-
Chinese cabbage (1)	1.2 x 10 ⁴	2.0 x 10 ¹	-
Rape (4)	3.9 x 10 ³ – 3.5 x 10 ⁵	5.5x 10 ¹ – 2.2 x 10 ³	-
Red cabbage (3)	9.2 x 10 ² – 8.4 x 10 ³	<10 – 9.0 x 10 ¹	-
Red radish (5)	1.6 x 10 ² – 4.2 x 10 ³	<10 – 3.5 x 10 ¹	-
Tatsoi (5)	1.5 x 10 ² – 2.5 x 10 ⁵	<10 – 1.5 x 10 ²	-

¹⁾Values are means of triplicate experiments (n=3).

나. 시판 발아채소 및 종자의 병원성 미생물 오염여부 확인

(1) 시판 발아채소의 병원성 미생물 오염여부 확인

발아채소 중 현재 국내에서 시판 유통되고 있는 17종(56품목, Fig. 1.1)을 대상으로 병원성 미생물의 오염 여부를 정성적으로 확인하였다. 시험 대상 병원성 미생물은 발아채소를 포함한 신선편이식품에서 오염 가능성이 보고된 *Escherichia coli* O157:H7(MacConkey sorbitol 한천배지 또는 EMB agar, 35°C, 24 hrs), *Salmonella* (MacConkey 한천배지 또는 XLD 한천배지, 35°C, 24 hrs), *Listeria* (Oxford 한천배지, 30°C, 24~48 hrs), *Bacillus cereus* (식품공전법) 및 *Coliforms* (desoxycholate agar(Difco, Lab)을 대상으로 시험하였다. 그 결과 Table 1.3-1.6과 같이 국내 주요 생산 판매업체 10개 사의 새싹채소 총 56품목을 screening한 결과 브로콜리, 적무 및 알파파의 일부시료에서 리스테리아가 오염된 것으로 확인되었고, 또한 모든 발아채소 상품에서 대장균군(coliforms)이 다량 검출되었다.



Fig. 1.1. Typical commercial fresh sprouts used in the experiment.

Table 1.3. Pathogens of commercial fresh sprouts of alfalfa, brassica, and broccoli

Pathogen	Alfalfa						Brassica		Broccoli						
	A	B	C	D	E	F	D	G	C	D	E	F	G	H	I
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	+ ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	+ ²⁾	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

Table 1.4. Pathogens of commercial fresh sprouts of buckwheat, chinese cabbage, kale, mixed sprouts, mungbean, and pak choi

Pathogen	Buckwheat		Chinese cabbage				Kale		Mixed sprouts		Mungbean	Pak choi
	D	G	A	B	E	F	D	G	C	J	D	J
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

Table 1.5. Pathogens of commercial fresh sprouts of radish, rape, and red cabbage

Pathogen	Radish (3 colors)	Radish			Rape					Red cabbage						
	A	C	D	D	E	F	G	I	A	B	C	D	E	F	H	I
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

Table 1.6. Pathogens of commercial fresh sprouts of red radish, soybean, tatsoi(vitamin), and turnip

Pathogen	Red radish						Soybean	Tatsoi(vitamin)					Turnip
	B	D	E	F	G	I	J	A	B	D	E	F	G
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	-	-	+ ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

(2) 시판 발아채소종자의 병원성 미생물 오염여부 확인

위 발아채소와 동일한 방법으로 발아채소종자에 대한 병원성 미생물의 오염 여부를 확인하였다. 즉, 발아채소종자는 Fig. 1.2와 같이 국내 다소비 종자 7종(알파파, 브로콜리, 적무순, 다채, 유채, 적양배추, 배추)을 5개 회사로부터 구입하여 병원성 미생물의 존재여부를 확인하였으나 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria* 및 *Bacillus cereus*는 검출되지 않았으나 *Coliforms*은 상당 수준 검출되었다(Table 1.7, 1.8). 따라서 종자에서는 오염이 없었으나 재배환경에 따라 혼입될 수 있는 가능성을 고려하여 병원성 미생물이 양성으로 판정된 3종의 새싹채소류 중 국내 소비량이 많은 브로콜리와 적무를 대상으로 전자빔 감수성 확인시험을 실시하였다.



Fig. 1.2. Commercial sprout seeds used in experiment.

Table 1.7. Pathogens of commercial sprouts seeds of alfalfa, broccoli, and red radish

Pathogen	Alfalfa					Broccoli					Red radish				
	E	F	I	K	L	E	F	I	K	L	E	F	I	K	L
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

Table 1.8. Pathogens of commercial sprouts seeds of tatsoi, rape, red cabbage and chinese cabbage

Pathogen	Tatsoi(vitamin)					Rape				Red cabbage			Chinese cabbage
	WB	SM	SH	MS	SN	WB	SH	MS	SN	WB	SH	SN	SM
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coliforms</i>	+ ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾Negative; ²⁾Positive.

2. 전자빔 처리에 따른 발아채소종자 및 발아채소의 미생물 살균효과

본 실험에서는 국내에서 다소비 발아채소 및 그 종자 6종(브로콜리, 배추, 클로버, 무순, 적양배추, 다채 등)를 대상으로 초기 오염 미생물(일반총세균과 대장균)의 농도를 측정하고, 전자빔과 비교구로써 감마선 처리에 의한 살균효과를 살펴보고자 1-5 kGy의 선량을 조사한 후 표준방법(total aerobic bacteria/plat count agar; coliforms/desoxycholate agar, Difco, Lab)을 사용하여 계수하였다(n=3).

가. 발아채소종자의 전자빔 살균효과 확인

발아채소종자의 초기 오염미생물의 농도를 확인한 후, 전자빔 및 감마선에 따른 시료별 살균효과를 비교하였다(Table 1.9). 비조사구의 일반세균의 경우 브로콜리 종자(2.59 log CFU/g)를 제외한 대부분의 발아채소종자에서 5-6 log CFU/g 정도로 확인되었고 대장균은 음성으로 나타났다. 이온화 에너지를 1-5 kGy 조사하여 살균효과를 확인한 결과, Table 1.9에 나타낸 바와 같이 조사선량이 증가할수록 일반세균수가 감소되었으며, 전자빔에 비해 감마선에서 그 감소 더 큰 것으로 나타났다.

Table 1.9. Microbial count of irradiated seeds with electron beam and gamma ray

Seed	Irradiation dose (kGy)	Total plate count (CFU/ g)		Coliform count (CFU/ g)	
		E-beam	Gamma ray	E-beam	Gamma ray
Broccoli	0	3.9×10^2	3.9×10^2	0	0
	1	2.8×10^2	1.4×10^2	0	0
	3	4.2×10^1	N.D. ¹⁾	0	0
	5	0	0	0	0
Chinese cabbage	0	1.2×10^4	1.2×10^4	0	0
	1	2.5×10^2	3.0×10^2	0	0
	3	3.0×10^1	N.D.	0	0
	5	0	0	0	0
Clover	0	3.1×10^5	3.1×10^5	0	0
	1	2.0×10^5	1.6×10^3	0	0
	3	3.5×10^3	1.3×10^2	0	0
	5	4.0×10^1	8.0×10^1	0	0
Radish	0	6.7×10^5	6.7×10^5	0	0
	1	1.8×10^5	8.4×10^3	0	0
	3	5.7×10^2	8.6×10^2	0	0
	5	2.6×10^2	2.3×10^2	0	0
Red cabbage	0	9.2×10^4	9.2×10^4	0	0
	1	3.6×10^4	5.6×10^3	0	0
	3	7.5×10^2	6.2×10^2	0	0
	5	4.5×10^1	N.D.	0	0
Tatsoi	0	1.9×10^5	1.9×10^5	0	0
	1	2.1×10^4	9.0×10^3	0	0
	3	1.5×10^3	2.0×10^3	0	0
	5	3.0×10^2	1.2×10^2	0	0

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 10 CFU per g). (n=3).

나. 발아채소의 전자빔 살균효과 확인

본 실험에 사용된 6종의 발아채소의 일반세균수는 5.39-6.77 log CFU/g로 비교적 높은 미생물 수준을 보여주었다. 한편 저에너지 전자빔을 이용하여 발아채소의 초기 미생물농도를 낮추고자 발아채소 품목별 살균 적정선량(1-5 kGy)을 조사하여 살균정도를 확인하였다(Table 1.10).

다소비 발아채소 중 국내 유통량을 고려하여 선택된 브로콜리, 배추, 클로버, 무순, 적양배추 및 다채의 조사선량에 따른 일반세균 및 대장균군의 미생물 사멸효과를 측정하였다. 사용된 대부분의 발아채소에서는 1-3 kGy 전자빔 조사로써 2-5 log cycles 이상의 감균 효과를 보였으며, 감마선 조사와 유사하거나 더 좋은 살균효과를 나타내었다. 대장균군은 초기 3.04-4.49 log CFU/g이 전자빔 및 감마선 조사 시 완전 사멸되거나 비조사 시료에 비해 2-3 log Cycle 이상의 감균효과를 나타내었다. 배추, 적양배추 및 무순의 경우 5 kGy 전자빔 조사에서는 일반세균이 0-10¹/g 범위였으나 브로콜리와 다채의 경우에는 처리 후에도 3.14-3.93 log CFU/g 총세균수가 확인되어 새싹채소의 종류와 오염미생물의 특성에 따라 다양한 살균특성을 나타내었다.

Table 1.10. Microbial count of irradiated sprouts with electron beam and gamma ray

Sprout	Irradiation dose (kGy)	Total plate count (CFU/ g)		Coliform count (CFU/ g)	
		E-beam	Gamma ray	E-beam	Gamma ray
Broccoli	0	5.98×10^6	1.40×10^6	2.48×10^4	7.63×10^3
	1	1.10×10^5	5.03×10^4	3.6×10^2	N.D.
	3	9.73×10^4	2.25×10^4	0	0
	5	8.50×10^3	3.08×10^3	0	0
Chinese cabbage	0	2.6×10^5	1.24×10^6	1.1×10^3	1.59×10^4
	1	9.7×10^2	1.11×10^4	N.D. ¹⁾	0
	3	2.5×10^1	3.33×10^3	0	0
	5	1.3×10^1	2.78×10^3	0	0
Clover	0	3.3×10^5	4.80×10^5	1.1×10^3	1.50×10^2
	1	1.3×10^1	3.50×10^2	0	0
	3	0	3.00×10^2	0	0
	5	0	2.50×10^1	0	0
Radish	0	1.3×10^6	3.76×10^5	1.9×10^3	1.53×10^4
	1	2.5×10^3	1.14×10^4	N.D.	0
	3	2.5×10^2	4.30×10^3	0	0
	5	4.0×10^1	3.58×10^3	0	0
Red cabbage	0	2.5×10^5	1.17×10^6	3.7×10^3	1.51×10^3
	1	1.8×10^4	1.73×10^4	1.3×10^1	1.00×10^1
	3	2.3×10^1	2.08×10^3	N.D.	0
	5	1.3×10^1	1.78×10^3	0	0
Tatsoi	0	4.0×10^6	5.88×10^6	8.5×10^3	3.90×10^3
	1	3.0×10^4	4.93×10^3	N.D.	2.75×10^1
	3	1.9×10^4	2.73×10^3	0	N.D.
	5	1.4×10^3	2.10×10^3	0	N.D.

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 10 CFU per g). (n=3)

3. 발아채소용 종자 및 발아채소 오염 (병원성)미생물의 전자빔 감수성 확인

가. 발아채소 및 종자의 일반미생물 전자빔 감수성 확인

(1) 발아채소종자의 일반미생물 전자빔 감수성

발아채소종자의 전자빔 및 감마선 조사에 따른 시료의 감수성을 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 1.3-1.8 및 Table 1.11에 나타내었다. 대체로 종자에 대한 일반세균수의 D₁₀-value는 전자빔의 경우 1.38-3.07 kGy, 감마선은 1.08-2.56 kGy로 나타났으며, 전자빔에 비해 감마선에서 감수성이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 종자에 대한 전자빔 살균 시 D₁₀-value가 각 시료마다의 차이를 나타냄에 따라 살균에너지가 종자의 종류에 따라 서로 상이한 살균 특성을 가져옴을 확인할 수 있었다.

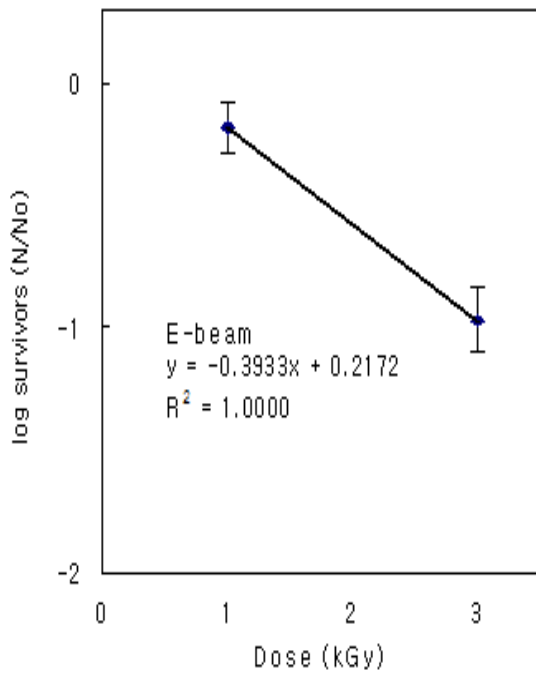


Fig. 1.3. Reduction of total plate count in broccoli seed by irradiation treatment,

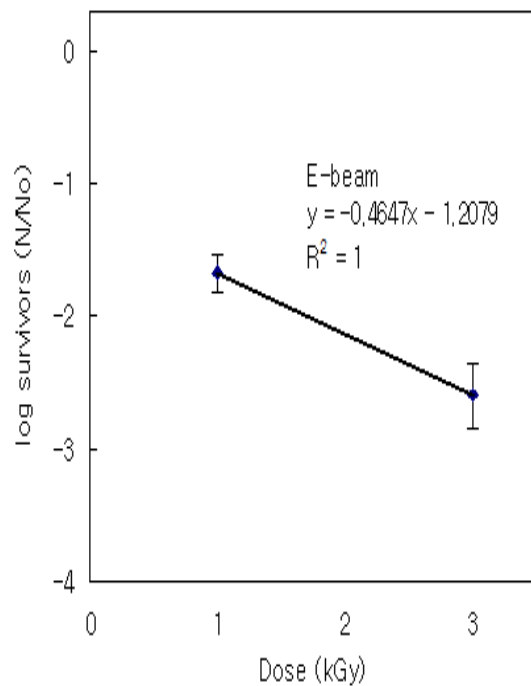


Fig. 1.4. Reduction of total plate count in Chinese cabbage seed by irradiation treatment,

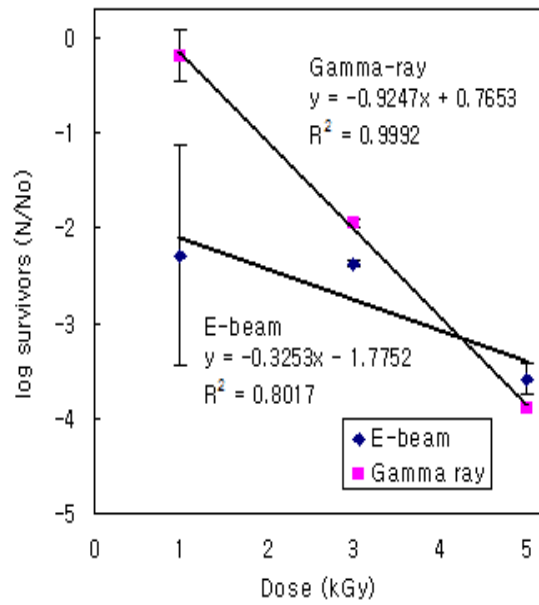


Fig. 1.5, Reduction of total plate count in clover seed by irradiation treatment.

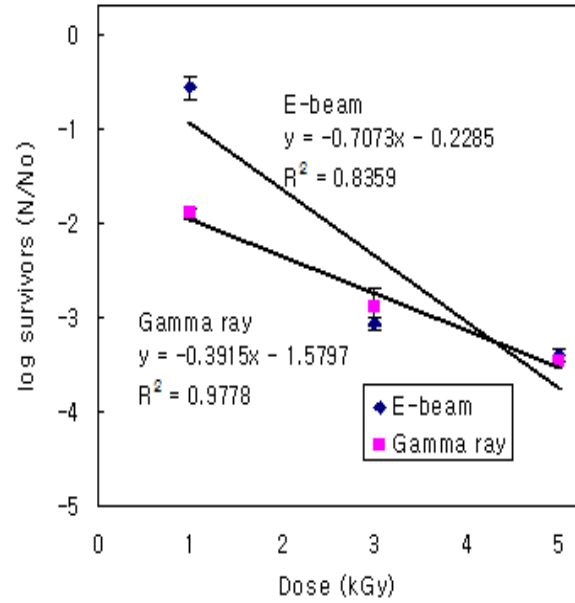


Fig. 1.6, Reduction of total plate count in Radish seed by irradiation treatment.

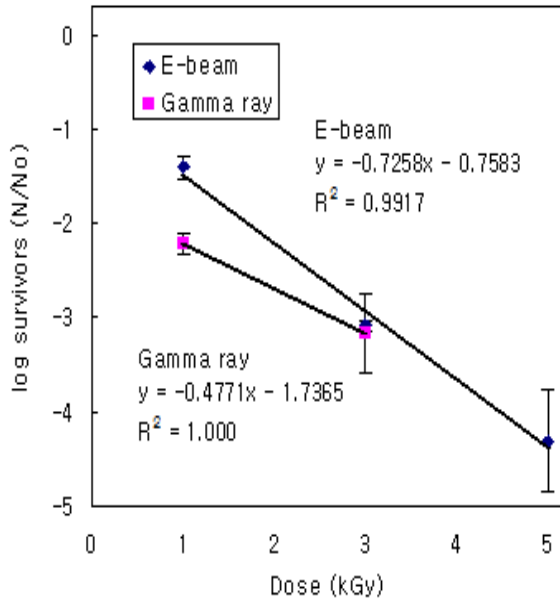


Fig. 1.7, Reduction of total plate count in radish seed by irradiation treatment.

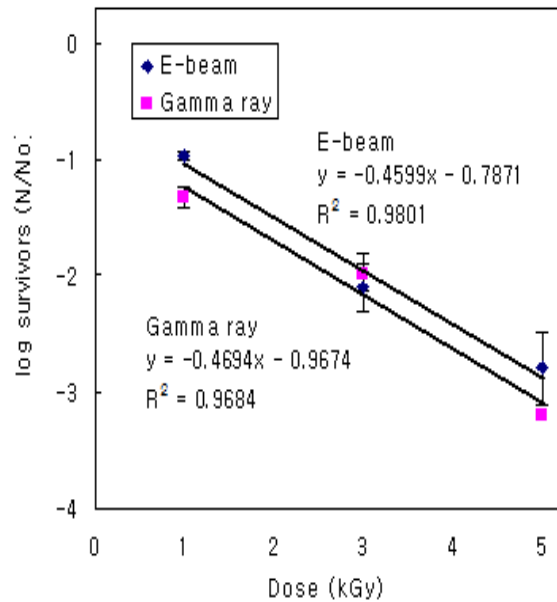


Fig. 1.8, Reduction of total plate count in tatsoi seed by irradiation treatment.

Table 1.11. Radiation D₁₀ values (kGy) of total plate count in sprout seeds

Sprout seed	E-beam	Gamma ray
Broccoli	2.54	-
Chinese cabbage	2.15	-
Clover	3.07	1.08
Radish	1.41	2.56
Red cabbage	1.38	2.10
Tatsoi	2.17	2.13

¹⁾Values are means± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

(2) 발아채소의 일반미생물 전자빔 감수성

저에너지 전자빔을 이용하여 발아채소의 초기 미생물농도를 낮추고자 발아채소 6종에 대해 품목별 적정선량(1-5kGy: 병원성 미생물보다 더 큰 내성을 가짐)을 조사하여 전자빔 및 감마선에 대한 감수성 확인시험을 실시하였다. 각 시료에 대한 일반세균의 전자빔 감수성 결과는 Fig. 1.9-1.14와 Table 1.12에 나타내었다.

신선발아채소의 일반세균에 대한 방사선 감수효과는 전자빔의 경우 1.26-2.12 kGy로 시료에 대한 전자빔의 감수성 효과가 높게 나왔으나, 감마선의 경우 3.02-7.97 kGy로 각 시료마다 감수성이 상이하였으며, 그 미생물에 대한 살균효과도 전자빔에 비해 감수성 낮은 것으로 나타났다. 이에 신선발아채소의 경우 감마선보다 전자빔에 대한 미생물의 감수성이 크게 나타났다. 이상에서 종자의 경우 투과력이 큰 감마선의 감수성이 크게 나타났지만, 밀도가 낮은 발아채소에서는 감마선에 비해 전자빔에서 높은 감수성을 보여 미생물 사멸 효과가 큰 것을 알 수 있었다.

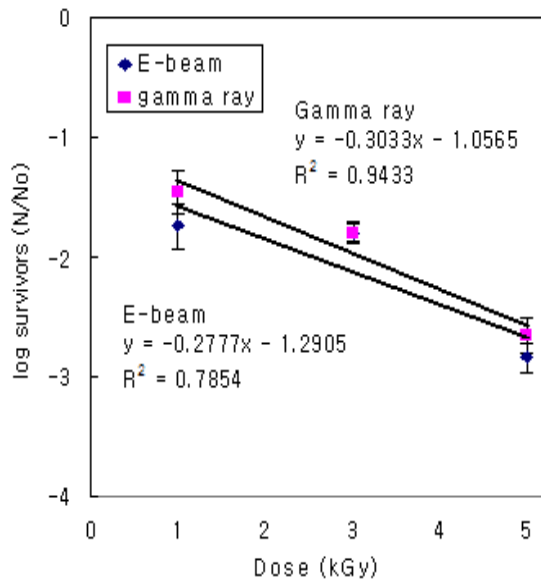


Fig. 1.9, Reduction of total plate count in broccoli sprout by irradiation treatment,

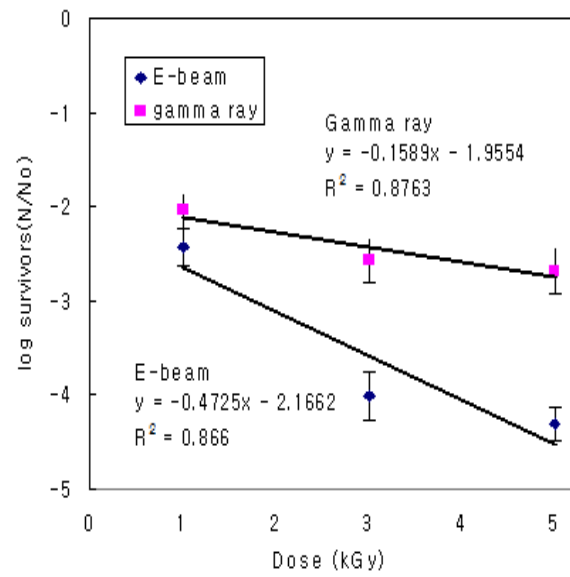


Fig. 1.10, Reduction of total plate count in chinese cabbage sprout by irradiation treatment,

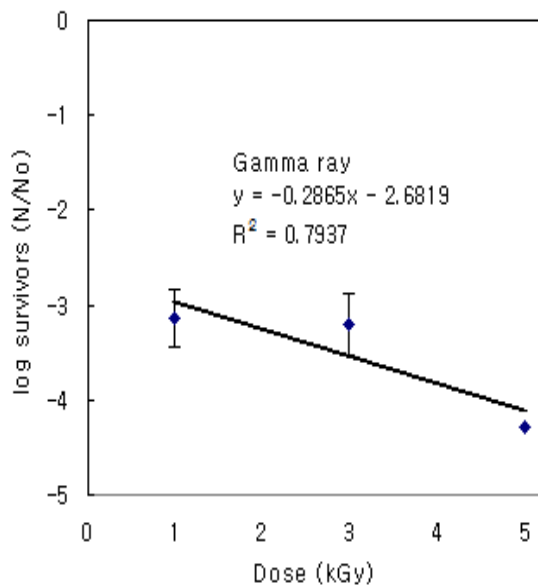


Fig. 1.11, Reduction of total plate count in clover sprout by irradiation treatment,

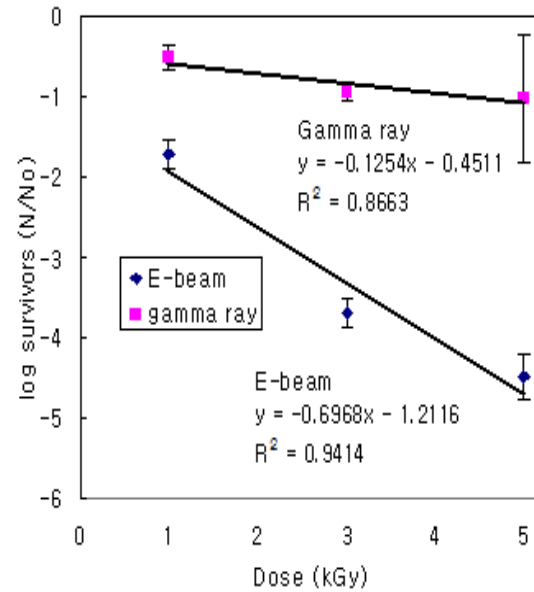


Fig. 1.12, Reduction of total plate count in radish sprout by irradiation treatment,

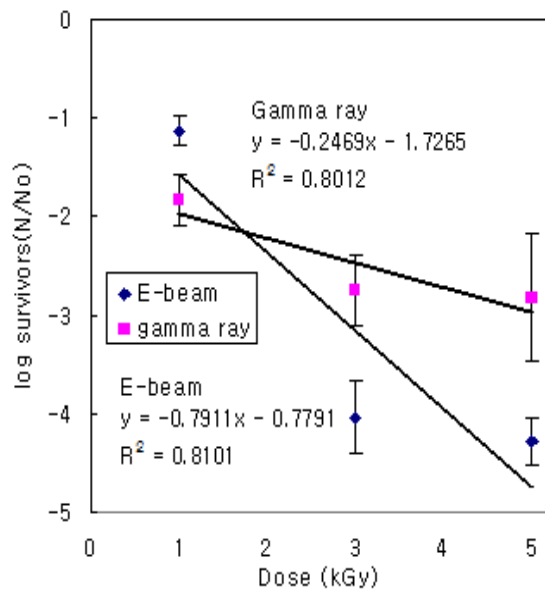


Fig. 1,13. Reduction of total plate count in red cabbage by irradiation treatment.

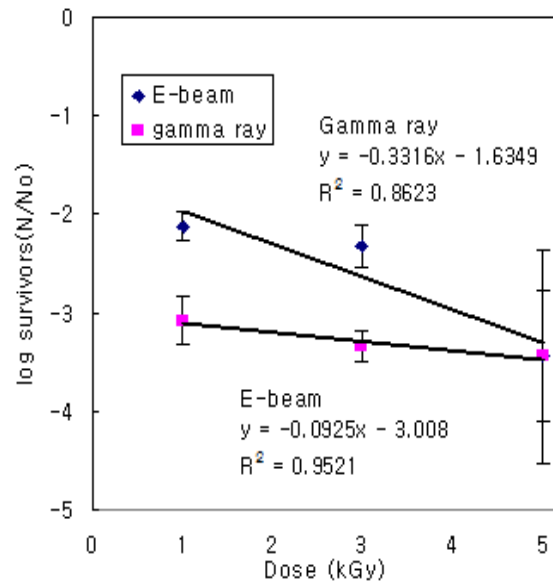


Fig. 1,14. Reduction of total plate count in tatsoi sprout by irradiation treatment.

Table 1.12. Radiation D₁₀ values (kGy) of total plate count in fresh seed sprouts

Sprout seed	E-beam	Gamma ray
Broccoli	-	3.29
Chinese cabbage	2.12	6.29
Clover	-	3.49
Radish	1.44	7.97
Red cabbage	1.26	4.05
Tatsoi	1.81	3.02

¹⁾Values are mean± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

나. 발아채소종자 및 발아채소 오염 병원성미생물의 전자빔 감수성 확인

발아채소용 종자의 표면제균·살균을 위해 제안되고 있는 방법으로는 염소계약제 등 화학적 방법이 널리 알려져 있으나 살균효과와 안전성 측면에서 대체방안이 요구되고 있다. 또한 새싹채소의 병원성 미생물 오염은 종자의 표면과 건조 중 내부로 침투된 미생물이 원인이 될 수 있으므로 투과성을 지닌 살균법의 이용과 재배 환경의 개선이 필요하다. 따라서 본 실험에서는 표면살균의 특성을 지닌 전자빔(~2.5 MeV electron accelerator, EB Tech, Daejeon, Korea)과 내부 살균이 가능한 감마선(Co-60, 100 kCi point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada) 에너지를 이용하여 주요 병원성 미생물에 대한 감수성 확인으로써, 화학적 방법을 대체할 물리적 살균방법을 확보하고자 하였다.

(1) 발아채소종자의 병원성 미생물 전자빔 감수성

병원성미생물 리스테리아 positive 시료로 확인된 적무와 브로콜리의 종자를 대상으로 상기 4종의 미생물을 일정한 농도(10^7 - 10^8 /mL)로 배양·접종한 다음 전자빔 및 비교구로서 감마선에 대한 감수성을 D_{10} -value와 5 D value로 측정 확인하였다.

(가) 발아채소종자에서 *Escherichia coli* O157:H7의 전자빔 감수성

발아채소종자에 접종된 *Escherichia coli* O157:H7의 전자빔 및 감마선 감수성을 측정하기 위하여 조사선량에 따른 사멸특성을 Fig. 1.15와 1.16에 나타내었다. 전자빔과 감마선 에너지의 미생물 사멸효과는 적무와 브로콜리에서 유사한 경향을 나타내었다. 이를 바탕으로 *E. coli* O157:H7의 감수성을 산출해 본 결과 Table 1.13과 같이 브로콜리 종자에서의 D_{10} -value는 전자빔과 감마선이 각각 0.99 kGy와 1.18 kGy로 전자빔의 감수성이 높게 나타났으며, 적무종자에서는 전자빔의 경우(1.85 kGy)가 감마선의 경우(0.99 kGy)보다 낮은 감수성을 나타내어 에너지와 종자의 특성에 따라 다소 상이함을 알 수 있었다. 한편 5 log cycle reduction에 해당되는 5D 선량을 확인해 본 결과 Table 1.14와 같이 브로콜리에서는 에너지 간에 유의적 차이가 없었으나, 적무에서는 유의적인 차이가 인정되었다.

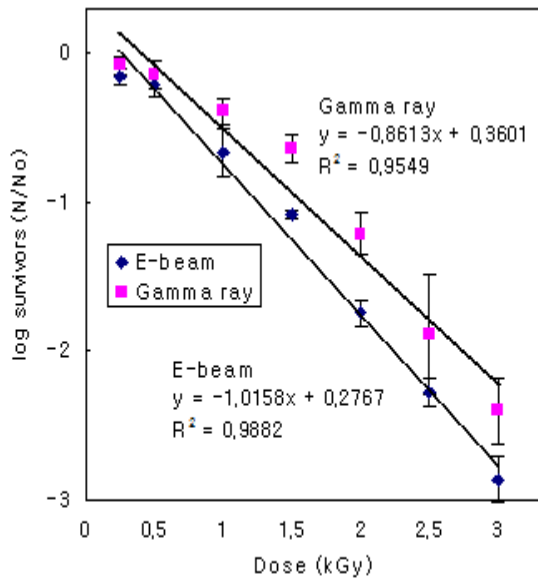


Fig. 1.15. Reduction of *E. coli* O157:H7 in Broccoli seed by irradiation treatment.

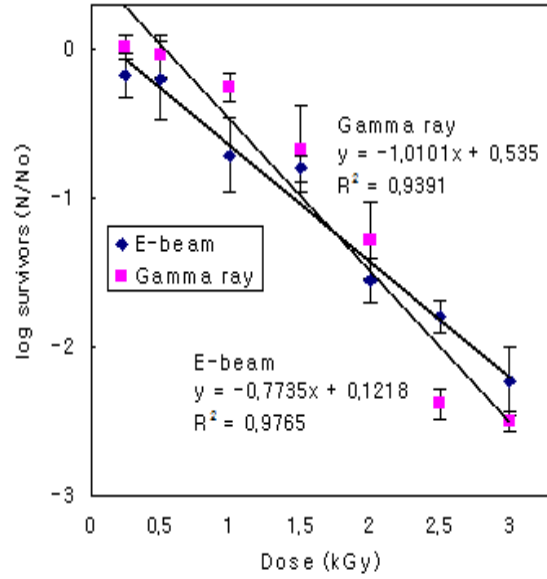


Fig. 1.16. Reduction of *E. coli* O157:H7 in red radish seed by irradiation treatment.

(나) 발아채소종자에서 *Salmonella typhimurium*의 전자빔 감수성

적무와 브로콜리 종자에 접종된 *Salmonella typhimurium*이 조사선원에 따른 감수성 차이를 확인하고자 Fig. 1.17과 1.18과 같이 사멸곡선을 작성하였고, 그 결과를 바탕으로 감수성을 D_{10} -value와 5 D value로 각각 계산하여 그 차이를 비교하였다(Table 1.13, 1.14). 브로콜리 종자에 접종된 병원성미생물의 D_{10} -value는 전자빔의 경우 0.60 kGy로 감마선의 D_{10} -value와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 적무 종자에서는 감마선에 비해 전자빔에서 상당히 감수성이 낮은 것으로 확인되었다.

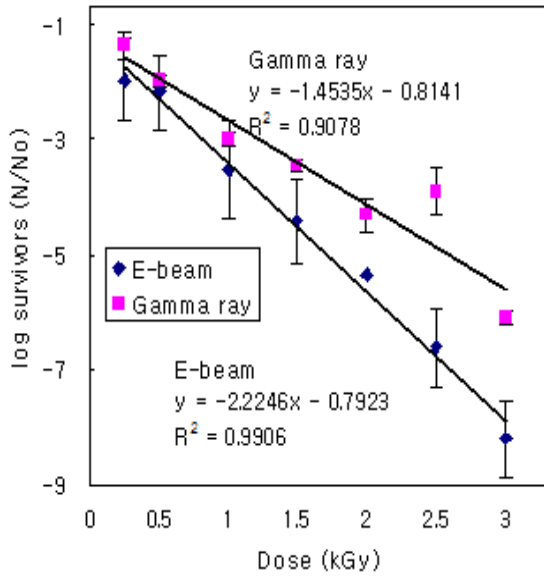


Fig. 1.17. Reduction of *S. typhimurium* in broccoli seed by irradiation treatment.

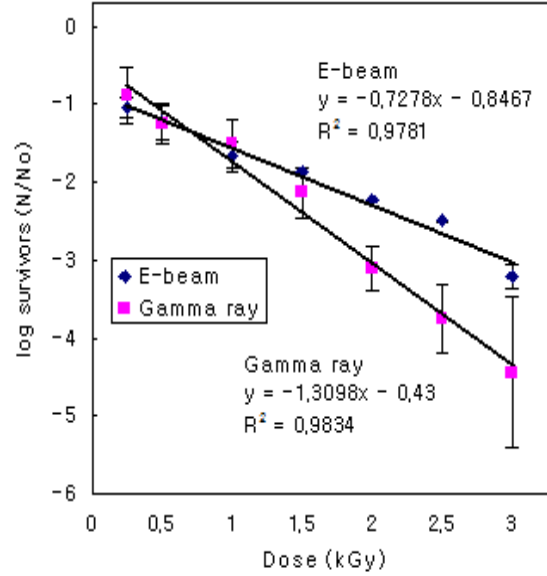


Fig. 1.18. Reduction of *S. typhimurium* in red radish seed by irradiation treatment.

(다) 발아채소종자에서 *Listeria monocytogenes*의 전자빔 감수성

브로콜리 종자에 접종된 *Listeria monocytogenes*의 사멸곡선은 Fig. 1.19와 1.20에 나타내었다. 브로콜리 종자에서는 에너지에 대한 감수성이 비교적 큰 것으로 나타났으나, 적무에서는 특히 전자빔 조사 시료에서 감수성이 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 D_{10} -value로 나타낸 감수성은 Table 1.13에 나타낸 바와 같이 전자빔과 감마선이 각각 0.55 kGy와 0.49 kGy로 4종의 병원성미생물 중 가장 높은 전자빔 감수성을 나타내었고, 에너지에 따른 큰 차이는 없었다. 또한 적무 종자에서는 타 미생물과 유사하게 전자빔은 다소 낮은 감수성을, 감마선은 높은 감수성을 보여주었고 5 D값에서도 같은 경향이 나타났다.

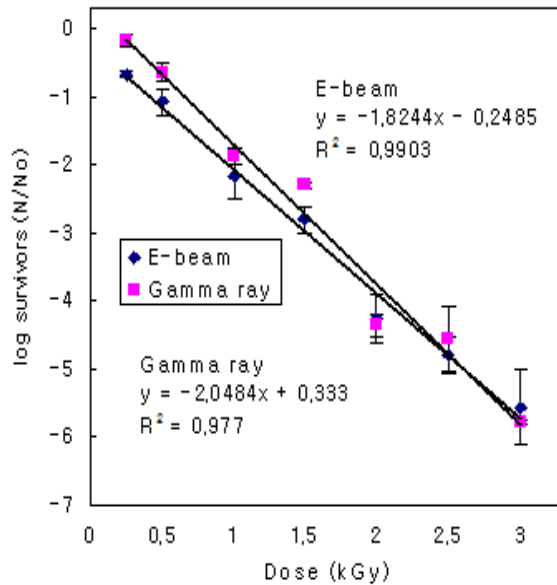


Fig. 1.19, Reduction of *L. monocytogenes* in broccoli seed by irradiation treatment.

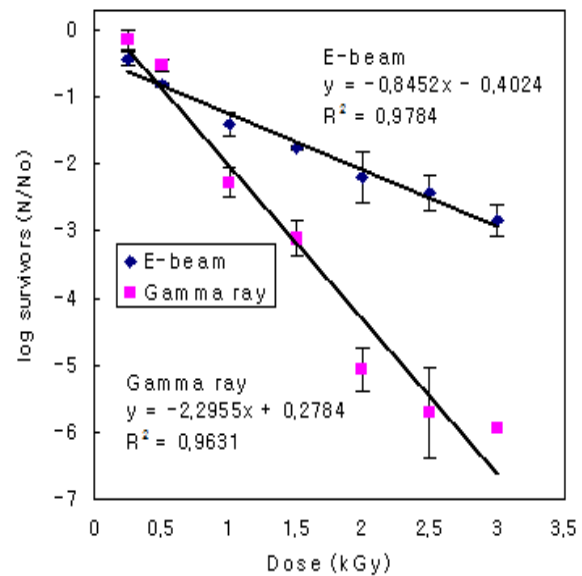


Fig. 1.20, Reduction of *L. monocytogenes* in red radish seed by irradiation treatment.

(라) 발아채소종자에서 *Bacillus cereus*의 전자빔 감수성

브로콜리 및 적무 종자의 *Bacillus cereus*에 대한 전자빔 조사선량에 따른 감수성을 감마선과 비교한 결과는 Fig. 1.21, 1.22와 Table 1.13, 1.14에 나타내었다. 브로콜리 종자에 접종된 *B. cereus*의 D_{10} -value로 나타낸 감수성은 전자빔의 경우 1.17 kGy, 감마선의 경우 0.92 kGy이었으며, 에너지 간에는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 본 실험에서 *B. cereus*는 전자빔에 대하여 가장 낮은 감수성을 나타낸 반면, 감마선에서는 *E. coli* O157:H7 (D_{10} -value, 1.18 kGy)이 *B. cereus*(D_{10} -value, 0.92 kGy)보다 더 낮은 감수성을 나타내었다. 적무 종자에 접종된 *B. cereus*에서 두 선원의 감수성은 다른 병원성 미생물과 마찬가지로 D_{10} -value에 차이를 나타내어 전자빔이 감마선에 비해 감수성이 높게 나타났으며 5D 값에도 같은 경향을 나타내었다.

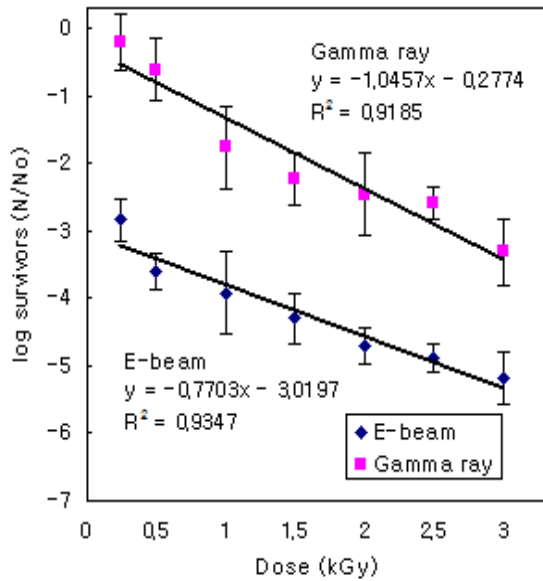


Fig. 1.21, Reduction of *B. cereus* in broccoli seed by irradiation treatment.

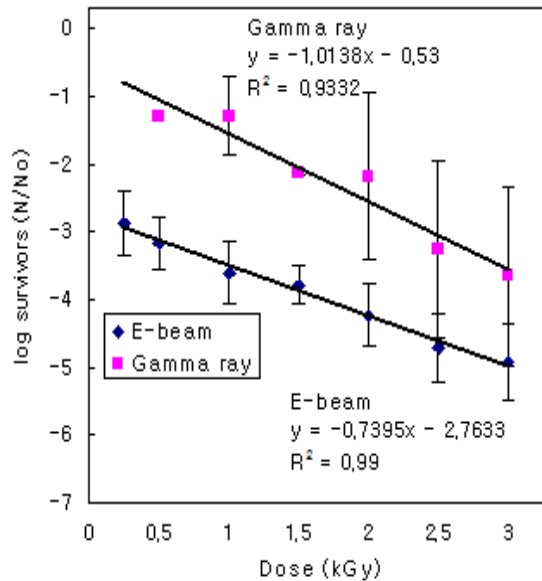


Fig. 1.22, Reduction of *B. cereus* in red radish seed by irradiation treatment.

Table 1.13. Radiation D₁₀ values of pathogens inoculated in broccoli and red radish seeds

Pathogen	Broccoli seed		Red radish seed	
	E-beam	Gamma ray	E-beam	Gamma ray
<i>Escherichia. coli</i> 0157:H7	0.99±0.02 ¹⁾ a	1.18±0.17a	1.85±0.14a	0.99±0.04b
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.60±0.03b	0.81±0.00a	1.35±0.09a	0.80±0.22b
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.55±0.06a	0.49±0.02a	1.20±0.15a	0.40±0.05b
<i>Bacillus cereus</i>	1.17±0.07a	0.92±0.03b	1.53±0.58a	0.92±0.37a

¹⁾ Values are means± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

Table 1.14. Radiation 5 D values of pathogens inoculated in broccoli and red radish seeds

Pathogen	Broccoli seed		Red radish seed	
	E-beam	Gamma ray	E-beam	Gamma ray
<i>Escherichia. coli</i> 0157:H7	4.95±0.02a	5.90±0.17a	9.25±0.14a	4.95±0.04b
<i>Salmonella typhimurium</i>	3.00±0.03b	4.05±0.00a	6.75±0.09a	4.00±0.22b
<i>Listeria monocytogenes</i>	2.75±0.06a	2.45±0.02a	6.00±0.15a	2.00±0.05b
<i>Bacillus cereus</i>	5.85±0.07a	4.60±0.03b	7.65±0.58a	4.60±0.37a

¹⁾Values are means± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

이상과 같이 브로콜리와 적무의 종자에 대하여 4종의 병원성미생물을 접종하고 전자빔과 감마선의 감수성을 측정하여 본 결과, 조사선원과 병원성미생물에 따라 상이한 감수성 (D_{10} value)을 보였다. 즉, 브로콜리 종자에서 전자빔은 0.55-1.17 kGy, 감마선은 0.49-1.18 kGy, 적무에서는 전자빔은 1.20-1.85 kGy, 감마선은 0.40-0.99 kGy로 각각 나타났다. 또한 5 D value에서도 유사한 경향을 보였지만, 발아채소 종자에서는 병원성미생물의 오염가능성 있으나 그 농도가 매우 낮으므로 사멸을 위해서는 비교적 낮은 선량의 이온화 에너지 조사에 의해서도 효과적인 관리가 가능할 것으로 기대된다.

(2) 발아채소의 병원성미생물 전자빔 감수성

신선편이식품 범주에 포함되어 있는 발아채소의 미생물 관리기준은 "대장균 음성, 바실러스 세레우스 $10^3/g$ 이하"로 규정되고 있다(14). 병원성미생물 리스테리아 positive 시료로 확인된 브로콜리와 적무의 새싹채소를 대상으로 4종의 병원성 미생물을 일정 농도 (10^7 - $10^8/mL$)로 배양·접종한 다음 전자빔과 감마선에 대한 감수성을 D_{10} -value와 5 D value(NACMCF, 1999)로써 측정 확인하였다.

(가) 발아채소에서 *Escherichia coli* O157:H7의 전자빔 감수성

브로콜리 발아채소에 접종된 *Escherichia coli* O157:H7의 전자빔 및 감마선 감수성을 측정하기 위하여 사멸곡선을 작성하여 본 결과, 전자빔에 비해 감마선의 사멸곡선 기울기가 상대적으로 크게 나타났다(Fig. 1.23, 1.24). 이를 바탕으로 D₁₀-value를 측정한 결과 Table 1.15에 나타낸 바와 같이 전자빔(0.73 kGy)이 감마선(0.46 kGy)에 비해 유의적으로 감수성이 낮았으며, 이와 같은 결과는 적무 새싹채소에서도 동일한 경향을 나타내면서 전자빔과 감마선의 D₁₀-value는 0.81 kGy와 0.41 kGy로 2배 정도의 감수성 차이를 보였다. 이 같은 결과는 초기 미생물 농도를 5 log cycle 감소시키기 위해 필요한 에너지 량에서도 같은 경향이었다(Table 1.16).

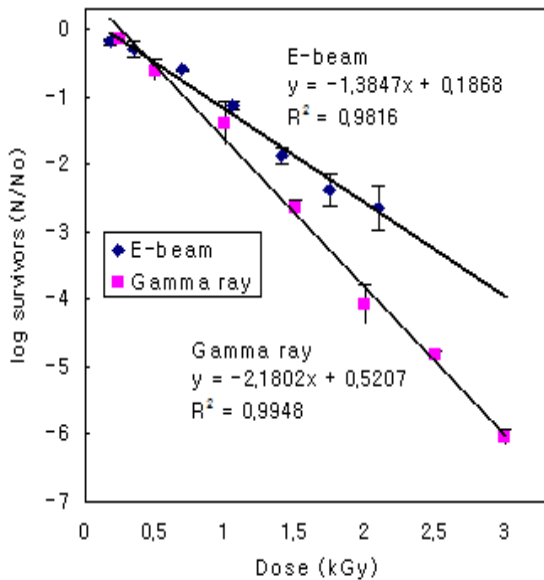


Fig. 1.23. Reduction of *E. coli* O157:H7 in broccoli sprout by irradiation treatment.

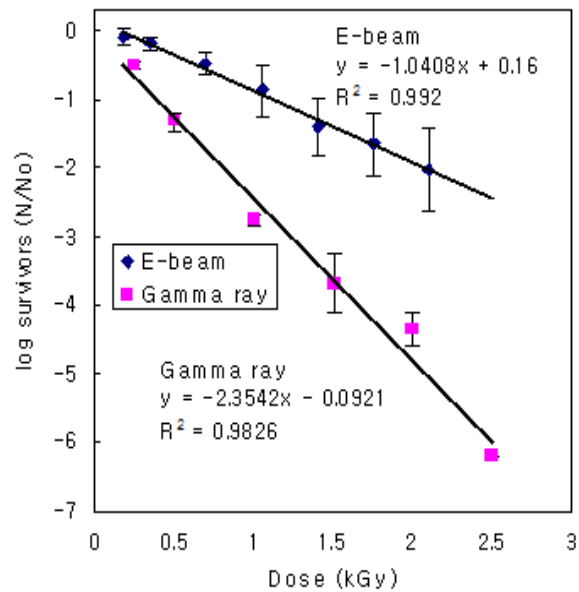


Fig. 1.24. Reduction of *E. coli* O157:H7 in red radish sprout by irradiation treatment.

(나) 발아채소에서 *Salmonella typhimurium*의 전자빔 감수성

모텔 발아채소에 대한 *Salmonella typhimurium*의 감수성은 살균에너지의 종류에 따라 유의적인 차이를 보였다. 브로콜리 새싹채소에 접종된 *S. typhimurium*의 D₁₀-value는 전자빔은 0.30 kGy, 감마선은 0.13 kGy로 확인되었다. 또한 적무 채소에서는 각각 0.23과 0.14로 채소의 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 *S. typhimurium*은 타 미생물에 비해 전자빔 에너지 감수성이 가장 큰 것으로 확인되었다(Fig. 1.25, 1.26; Table 15, 16).

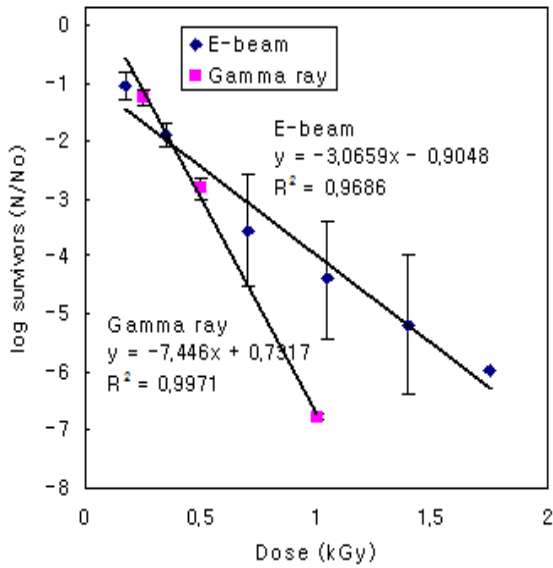


Fig. 1.25, Reduction of *S. typhimurium* in broccoli sprout by irradiation treatment.

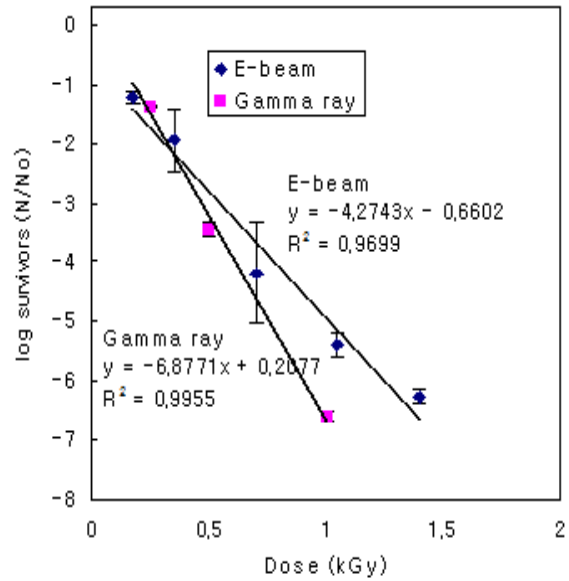


Fig. 1.26, Reduction of *S. typhimurium* in red radish sprout by irradiation treatment.

(다) 발아채소에서 *Listeria monocytogenes* 전자빔 감수성

*Listeria monocytogenes*의 경우 선행연구에서 일부 시판 발아채소에서 발견된 병원성미생물로서, 브로콜리 및 적무 발아채소에 *L. monocytogenes*를 접종시켜 조사선량에 따른 사멸정도를 Fig. 1.27, 1.28에 나타내었다. 그 결과, 전자빔에 비해 감마선 대한 감수성이 더 큰 것을 알 수 있었으며, D_{10} -value에 있어서도 브로콜리와 적무 채소에 접종된 *L. monocytogenes*의 D_{10} -value는 전자빔의 경우 각각 0.43 kGy와 0.59 kGy였으며, 감마선은 각각 0.16 kGy와 0.22 kGy로 에너지원 간의 유의적 차이가 확인되었다 (Table 1.15, 1.16).

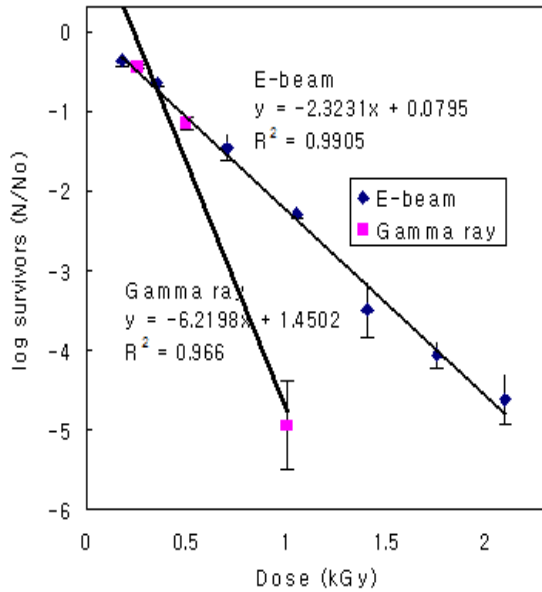


Fig. 1.27. Reduction of *L. monocytogenes* in broccoli sprout by irradiation treatment.

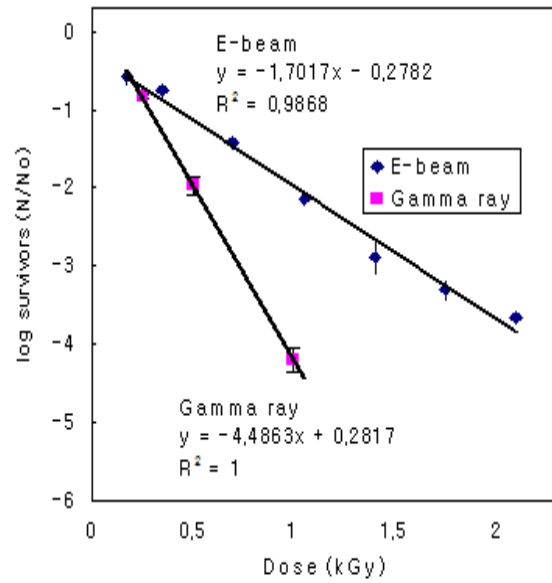


Fig. 1.28. Reduction of *L. monocytogenes* in red radish sprout by irradiation treatment.

(라) 발아채소에서 *Bacillus cereus*의 전자빔 감수성

브로콜리 발아채소에 접종된 *Bacillus cereus*의 D_{10} value로 나타낸 전자빔 및 감마선에 대한 감수성은 각각 0.41 kGy와 0.33 kGy로 이온화 에너지별 차이가 확인되었다(Table 1.15). 반면, 적무 발아채소에 접종된 *B. cereus*의 감수성은 전자빔의 경우 0.96 kGy였고, 감마선의 경우 0.49 kGy로 브로콜리에 접종된 *B. cereus*의 감수성 결과보다 저항성이 큰 것으로 나타났다(Table 1.15). 이와 같이 동일한 병원성미생물이라 하더라도 발아채소 및 이온화 에너지의 종류에 따라 사멸효과가 상이함을 알 수 있었다(Table 1.15, 1.16).

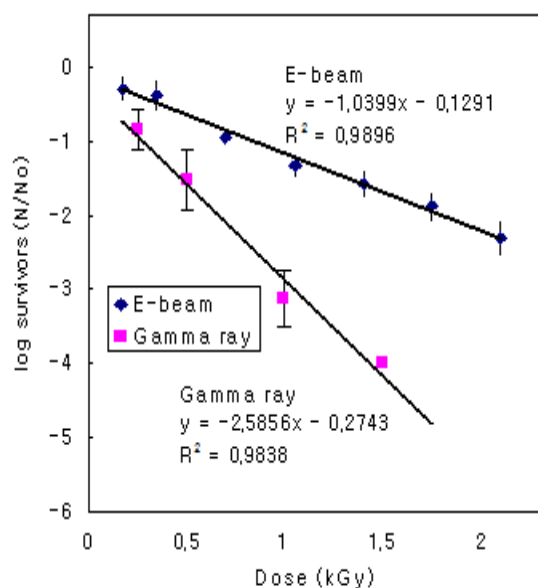


Fig. 1.29. Reduction of *B. cereus* in broccoli sprout by irradiation treatment.

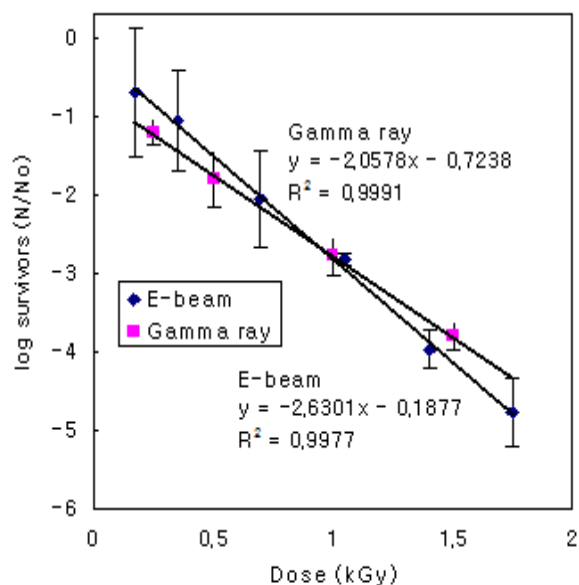


Fig. 1.30. Reduction of *B. cereus* in red radish sprout by irradiation treatment.

Table 1.15. Radiation D_{10} values of pathogens inoculated in broccoli and red radish sprouts

Pathogen	Broccoli sprout		Red radish sprout	
	E-beam	Gamma ray	E-beam	Gamma ray
<i>Escherichia. coli</i> 0157:H7	0.73±0.08a	0.46±0.01b	0.81±0.04a	0.41±0.02b
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.30±0.06a	0.13±0.00b	0.23±0.00a	0.14±0.00b
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.43±0.02a	0.16±0.02b	0.59±0.03a	0.22±0.01b
<i>Bacillus cereus</i>	0.41±0.15a	0.33±0.07a	0.96±0.04a	0.49±0.03b

¹⁾Values are means± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

Table 1.16. Radiation 5 D values of pathogens inoculated in broccoli and red radish sprouts

Pathogen	Broccoli sprout		Red radish sprout	
	E-beam	Gamma ray	E- beam	Gamma ray
<i>Escherichia. coli</i> O157:H7	3.65±0.08a	2.30±0.01b	4.05±0.04a	2.05±0.02b
<i>Salmonella typhimurium</i>	1.50±0.06a	0.65±0.00b	1.15±0.00a	0.70±0.00b
<i>Listeria monocytogenes</i>	2.15±0.02a	0.80±0.02b	2.95±0.03a	1.10±0.01b
<i>Bacillus cereus</i>	2.05±0.15a	1.65±0.07a	4.80±0.04a	2.45±0.03b

¹⁾Values are mean± standard deviation (n=3). Means followed by the same letters within the row per sample are not significantly different ($p>0.05$).

이상 4종의 병원성미생물을 접종시킨 브로콜리와 적무의 발아채소에 전자빔과 감마선의 감수성 결과를 요약하면, 전자빔은 대체로 감마선에 비해 낮은 감수성을 보였으며, 채소의 종류에 따라서도 다소 상이한 값을 보여 주었다. 그리고 발아채소 브로콜리의 경우 병원성미생물의 종류에 따라서는 *Salmonella typhimurium* > *Bacillus cereus* > *Listeria monocytogenes* > *Escherichia coli* O157:H7의 순으로 전자빔에 대한 감수성이 큰 것을 확인하였고, 발아채소 적무의 경우에는 *Salmonella typhimurium* > *Listeria monocytogenes* > *Escherichia coli* O157:H7 > *Bacillus cereus*의 순으로 전자빔에 대한 감수성 패턴을 보였다. 이로써 발아채소종자 및 발아채소에 있어서 병원성 미생물에 대한 사멸효과가 인정되었으며, 방사선에 대한 감수성은 발아채소종자 및 시료에 따라 서로 다른 감수성을 나타냈으며, 발아채소의 경우에는 감마선이 전자빔에 비해 감수성이 높은 것으로 나타났다.

특히 최근 식약청의 발아채소에 대한 미생물 규격(대장균 음성, 바실러스 세레우스 10^3 /g 이하)을 감안할 때(14), 우선 발아채소에서 병원성미생물의 오염을 방지하기 위한 방법으로써 재배환경의 개선과 생산 후 출하이전 상품에 효과적인 살균기술을 적용하는 방안이 필요하다.

4. 전자빔 처리에 따른 시료의 품질 특성

가. 전자빔 처리된 발아채소 종자의 재배기간에 따른 품질 특성

(1) 생리적 품질 특성

(가) 발아율

발아법(germination)은 생체 식품에서 방사선 조사의 의한 특이적 변화를 알아보는 생물학적 방법이다. 따라서 전자빔 및 감마선 처리에 따른 발아채소종자의 발아율 변화를 조사한 결과는 Table 1.17에 나타내었다.

전자빔 및 감마선 처리에 따른 발아채소종자의 발아율은 비조사구는 발아채소 5종 모두 95% 이상이었으며, 1 kGy의 방사선 조사처리에서는 약 86-99%로 적무순 및 브로콜리의 경우에는 대조구와 큰 차이는 없었으나 무순, 적양배추 및 글로버의 경우에는 대조구와 보다 낮은 발아율을 나타내었다. 적무순의 경우에는 전자빔 처리에 따라 발아율에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나 브로콜리, 무순, 적양배추 및 클로버에서는 전자빔 처리에 따라 발아율이 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 적무순의 경우에는 초기 99%에서 5 kGy 조사 시 발아율이 98%로 대조구와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 무순, 적양배추 및 클로버의 경우 3 kGy에서는 약 73-83%, 5 kGy에서는 약 38-51%로 급격히 감소하였다. 이는 감마선 조사에서도 유사하게 나타났다. 이로 보아 전자빔 처리에 의해서도 시료에 따라 다소 차이는 있지만 발아채소의 발아율을 어느정도 감소시킴을 확인할 수 있었다.

(나) 수율

수율은 발아채소의 생산에 있어서 경제성과 밀접한 상관성을 지닌다. 따라서 전자빔 처리에 따른 발아채소 종자의 발아수율을 측정된 결과는 Table 1.18에 나타내었다. 그 결과 비조사 시료의 무게를 100%로 보았을 때 전자빔 및 감마선 조사 시료 중 모든 시료에서 1 kGy에서는 87-99%의 수율로 비조사 시료와 유사한 값을 나타내었다. 그러나 3 kGy에서는 적무순 및 브로콜리의 경우 67-76%로 감소하였으며 무순, 적양배추 및 클로버의 경우 83-91%로 비조사시료와 비교하여 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 5 kGy에서는 모든 시료에서 45-67%로 비조사 시료에 비해 약 50% 이상 수율이 감소하였다.

Table 1.17. Germination of sprouts grown from irradiated seeds

(unit : %)

Dose (kGy)	Electron beam					Gamma ray				
	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover
0	99 ¹⁾ ±1.3 ^a	96 ±0.9 ^a	95 ±1.2 ^a	96 ±0.6 ^a	96 ±2.0 ^a	99 ±1.3 ^a	96 ±0.9 ^a	95 ±1.2 ^a	96 ±0.6 ^a	96 ±2.0 ^a
1	99 ±0.7 ^a	96 ±2.2 ^a	88 ±1.5 ^b	90 ±0.6 ^b	89 ±2.6 ^b	99 ±0.7 ^a	96 ±0.9 ^a	86 ±2.1 ^b	89 ±1.5 ^b	84 ±4.5 ^b
3	99 ±3.2 ^a	92 ±1.5 ^{bc}	73 ±1.0 ^c	83 ±2.1 ^c	79 ±8.7 ^c	98 ±3.2 ^{ab}	92 ±2.8 ^{bc}	72 ±1.5 ^c	84 ±4.7 ^b	76 ±5.5 ^c
5	98 ±2.1 ^{ab}	87 ±1.9 ^d	51 ±4.9 ^d	48 ±2.5 ^d	38 ±5.5 ^d	97 ±2.5 ^b	90 ±3.6 ^c	51 ±4.2 ^d	47 ±2.1 ^c	24 ±6.5 ^d

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.18. Yield ratio of sprouts grown from irradiated seeds

(unit : g/ g)

Dose (kGy)	Electron beam					Gamma ray				
	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover
0	10.32 ±0.64 ^{1)a} (100%)	10.64 ±0.78 ^a (100%)	6.41 ±0.63 ^a (100%)	6.49 ±0.17 ^a (100%)	6.68 ±0.68 ^b (100%)	10.32 ±0.64 ^a (100%)	10.64 ±0.78 ^a (100%)	6.41 ±0.63 ^a (100%)	6.49 ±0.17 ^a (100%)	6.68 ±0.68 ^a (100%)
1	8.98 ±0.49 ^b (87%)	9.21 ±0.79 ^b (86%)	6.08 ±0.11 ^a (95%)	6.48 ±0.25 ^a (100%)	6.07 ±0.39 ^b (91%)	8.93 ±0.11 ^b (86%)	9.16 ±0.12 ^b (86%)	6.35 ±0.4 ^a (99%)	5.56 ±0.80 ^b (85%)	5.83 ±0.52 ^b (87%)
3	7.99 ±0.19 ^c (77%)	7.20 ±0.33 ^c (67%)	5.81 ±0.12 ^a (90%)	5.95 ±0.19 ^b (92%)	5.76 ±0.26 ^b (86%)	7.90 ±0.38 ^c (77%)	7.16 ±0.07 ^c (67%)	5.33 ±0.3 ^b (83%)	5.16 ±0.13 ^b (80%)	5.30 ±0.16 ^b (79%)
5	6.97 ±0.26 ^d (67%)	5.31 ±0.13 ^d (49%)	3.33 ±0.46 ^b (52%)	2.74 ±0.21 ^c (42%)	3.63 ±0.16 ^c (54%)	6.67 ±0.26 ^d (65%)	5.45 ±0.27 ^d (51%)	3.38 ±0.3 ^c (53%)	2.95 ±0.06 ^c (46%)	3.31 ±0.26 ^c (50%)

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by the different within the column are significantly different ($p < 0.05$).

(다) 길이

전자빔 조사된 발아채소종자의 새싹 생장율을 알아보기 위해 길이변화를 측정하였으며, 그 결과는 Table 1.19와 대표시료 3종에 대한 길이변화는 Fig. 1.31-1.33에 나타내었다. 무순과 클로버를 제외한 나머지 시료 중 1 kGy 조사 시료에서는 길이 변화율이 비조사 시료와 비교하여 92-98%로 거의 유사하였으나, 무순과 클로버의 경우 64-72%로 다른 시료와 길이 변화율에 큰 차이를 나타내었다. 3 kGy의 조사선량에서는 적무순, 브로콜리 및 클로버 시료에서는 87-92%로 다소 감소하였으나 무순과 적양배추 시료에서는 60-73%로 감소하여 시료마다 방사선 조사에 의한 영향이 다름이 확인되었다. 또한 5 kGy의 높은 선량에서는 모든 시료에서 37-79%로 시료마다 다소 차이가 났으나 약 평균 50% 이상의 감소율을 나타내었다.

Table 1.19. Length of sprouts grown from irradiated seeds

(cm)

Dose (kGy)	Electron beam					Gamma ray				
	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover	Red radish	Broccoli	Radish	Red cabbage	Clover
0	3.01 ±1.21 ^{1)a} (100%)	2.85 ±0.85 ^a (100%)	3.87 ±0.3 ^a (100%)	2.74 ±0.23 ^a (100%)	3.87 ±0.31 ^a (100%)	3.01 ±1.21 ^a (100%)	2.85 ±0.85 ^a (100%)	3.87 ± 0.32 ^a (100%)	2.74 ± 0.23 ^a (100%)	3.87 ± 0.31 ^a (100%)
1	2.95 ±0.43 ^{ab} (98%)	2.78 ±0.65 ^b (97%)	2.50 ±0.5 ^b (65%)	2.65 ±0.22 ^b (97%)	2.50 ±0.48 ^b (65%)	2.97 ±1.21 ^{ab} (98%)	2.65 ±1.24 ^b (93%)	2.79 ± 0.26 ^b (72%)	2.60 ± 0.19 ^b (95%)	2.79 ± 0.24 ^b (72%)
3	2.64 ±0.91 ^b (87%)	2.63 ±0.43 ^c (92%)	2.33 ±0.4 ^c (60%)	2.02 ±0.13 ^c (74%)	2.33 ±0.38 ^c (60%)	2.42 ±0.98 ^b (80%)	2.59 ±0.52 ^{ac} (90%)	2.45 ± 0.48 ^c (63%)	1.90 ± 0.20 ^c (69%)	2.45 ± 0.36 ^c (63%)
5	2.38 ±0.62 ^c (79%)	1.75 ±0.78 ^d (61%)	1.46 ±0.4 ^d (37%)	1.51 ±0.20 ^d (55%)	1.47 ±0.39 ^d (37%)	2.32 ±0.74 ^c (77%)	1.91 ±1.04 ^c (67%)	1.48 ± 0.41 ^d (38%)	1.44 ± 0.18 ^d (53%)	1.48 ± 0.38 ^d (38%)

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=100).

^{a-d}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).



Fig. 1.31. Radish sprouts grown from irradiated seeds.

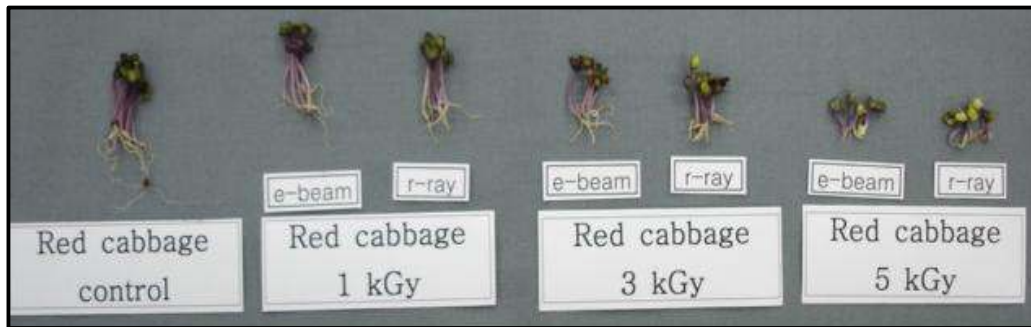


Fig. 1.32. Red cabbage sprouts grown from irradiated seeds.



Fig. 1.33. Clover sprouts grown from irradiated seeds.

(2) 미생물적 품질특성

전자빔 처리된 발아채소종자의 재배과정 중 일반세균수의 변화는 Fig 1.34-1.38에 나타내었으며, 대장균균수의 변화는 Fig 1.39-1.43에 나타내었다. 전자빔 처리에 따른 발아채소종자의 재배과정 중 일반세균수의 경우 초기에는 비조사구에 비해 일반세균수가 낮게 나타났다. 그러나 재배기간이 길어짐에 따라 전자빔 처리와 관계없이 비조사구와 유사하게

나타남을 볼 수 있다(Fig 1.34-1.38). 또한 이는 시료에 따라 차이가 없는 것으로 나타났으며, 감마선 처리에서도 유사하게 나타났다. 전자빔 처리된 발아채소종자의 재배기간에 따른 대장균균수의 경우 초기에는 검출되지 않았으나, 재배기간이 길어짐에 따라 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 비조사구에 비해서는 낮은 대장균균수를 나타내었으며, 시료에 따라서는 크게 차이가 없는 것으로 나타났고 감마선 조사에서도 유사하게 나타났다(Fig 1.39-1.43). 이는 발아채소의 경우 종자로 인한 미생물의 증식보다는 재배과정 중의 재배환경 및 재배수에 의한 오염이 미생물 증식의 주원인으로 여겨진다. 따라서 국내의 발아채소 재배 환경을 고려한다면 종자의 전자빔처리에 의한 미생물의 제어는 실용적인 측면에서 타당성을 기대하기 힘든 것으로 판단되었다.

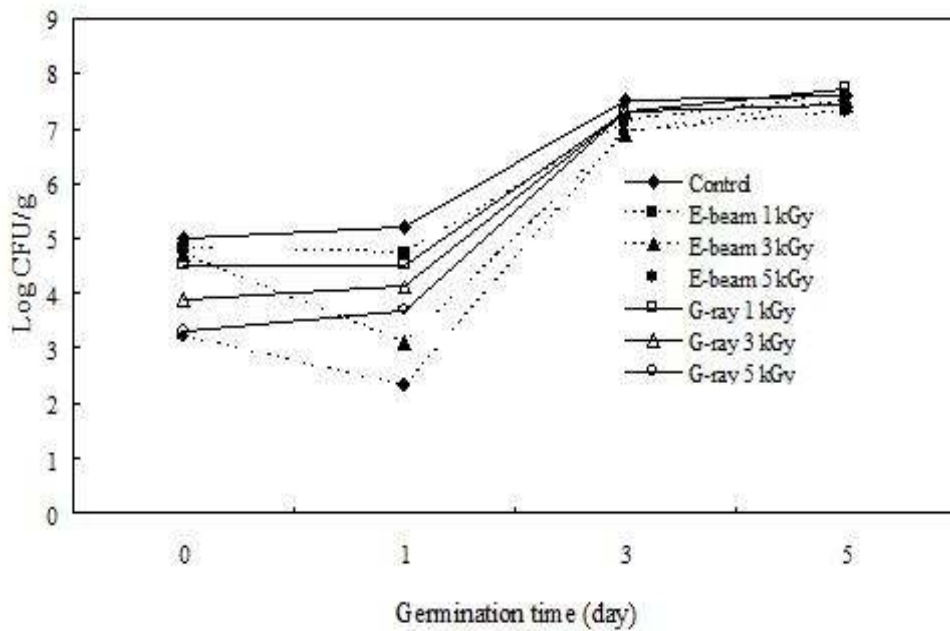


Fig. 1.34. Total plate count of red radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

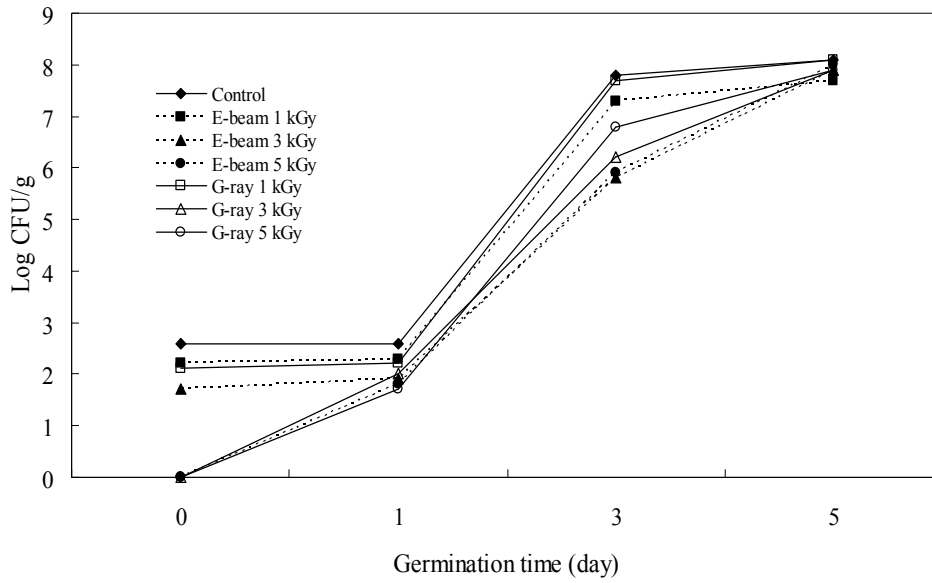


Fig. 1.35. Total plate count of broccoli sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$.

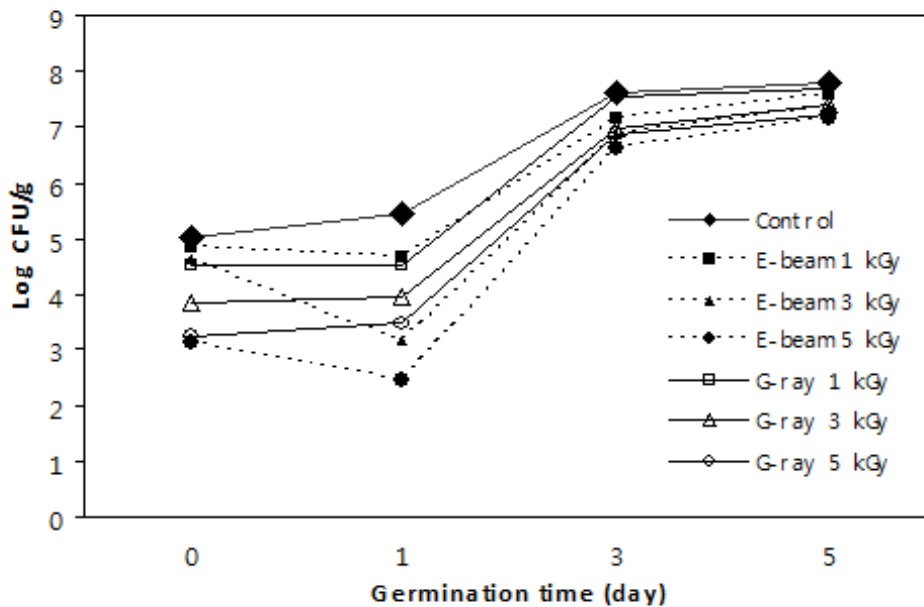


Fig. 1.36. Total plate count of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$.

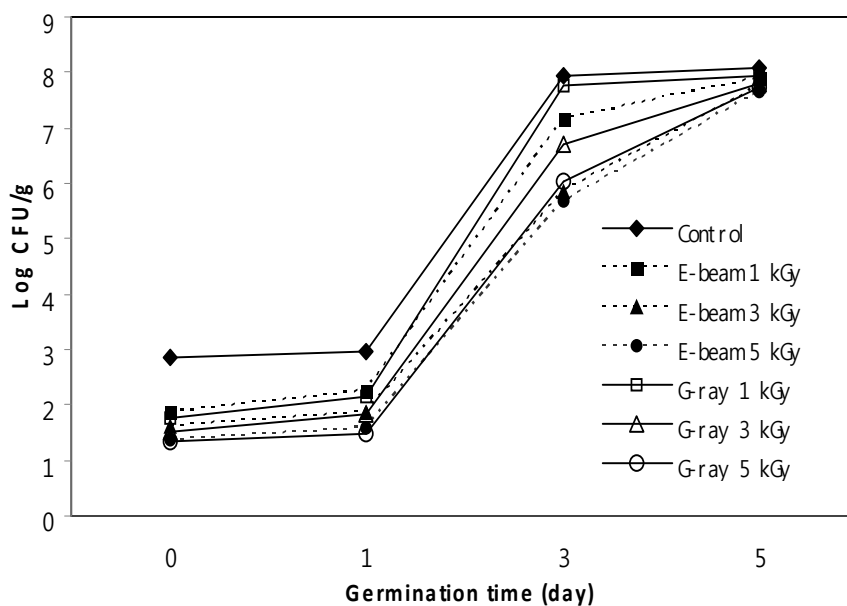


Fig. 1.37. Total plate count of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

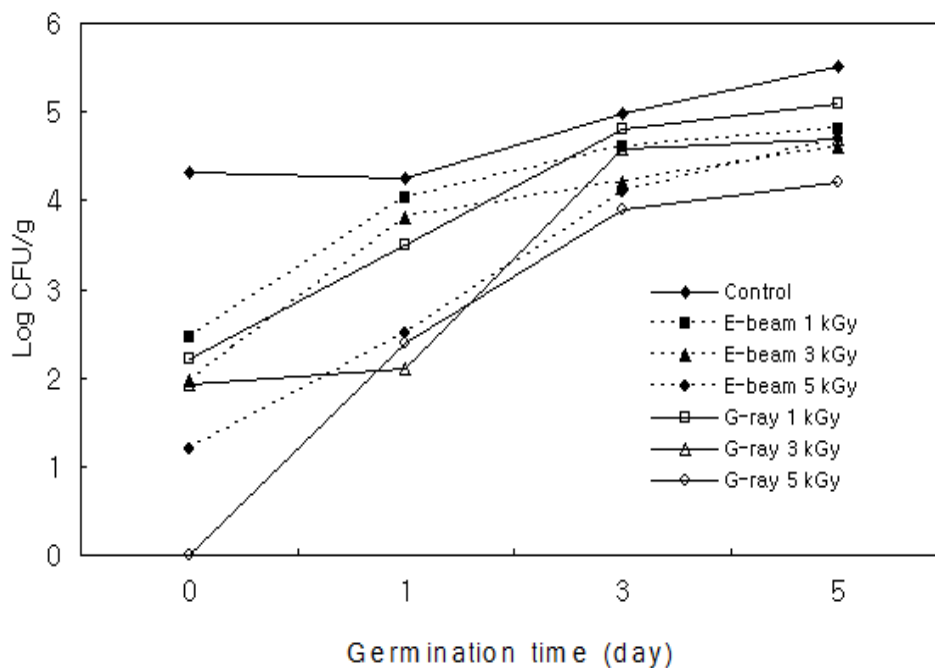


Fig. 1.38. Total plate count of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

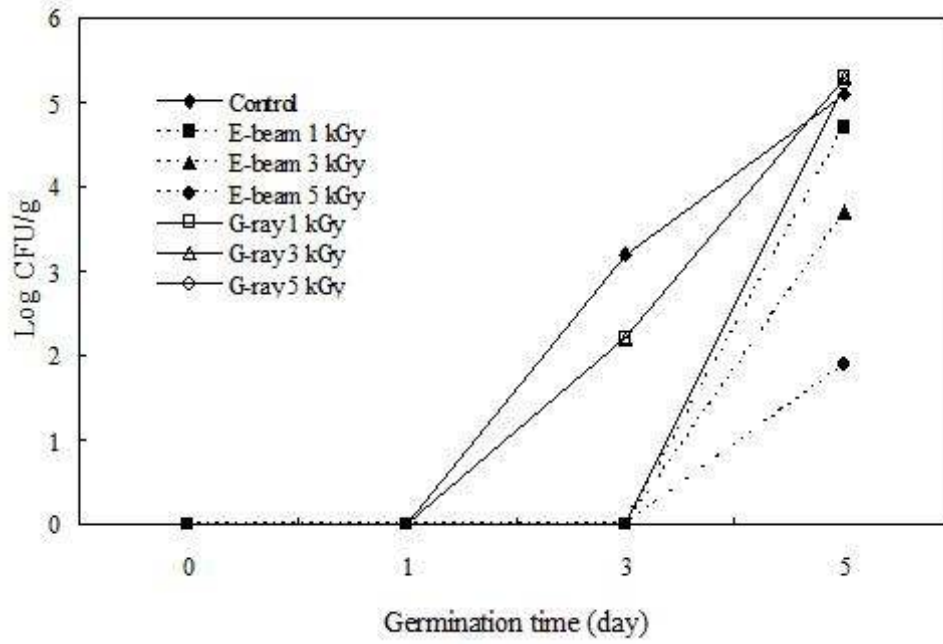


Fig. 1.39. Total coliform count of red radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

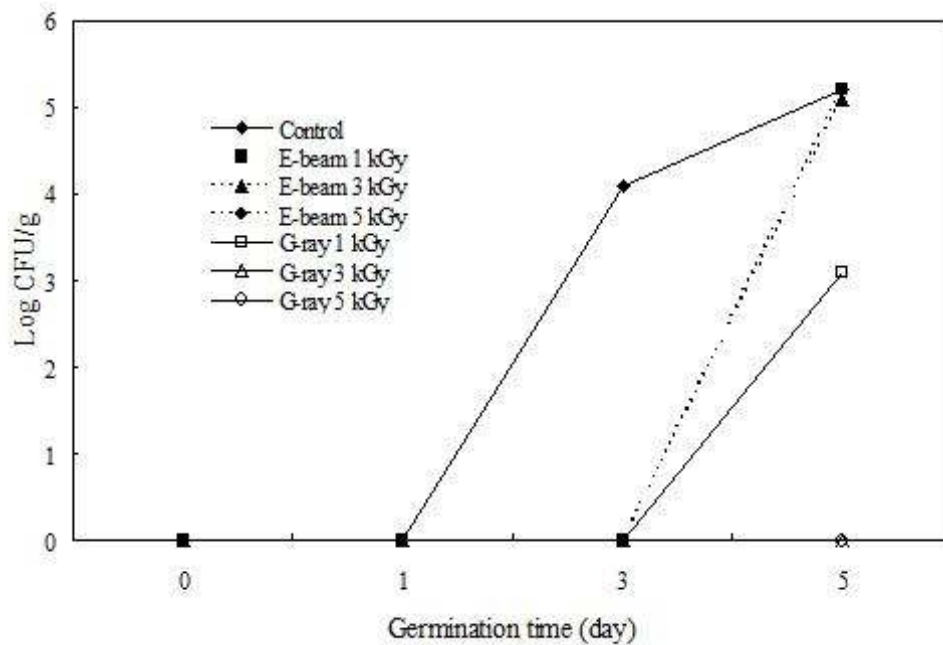


Fig. 1.40. Total coliform count of clover grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

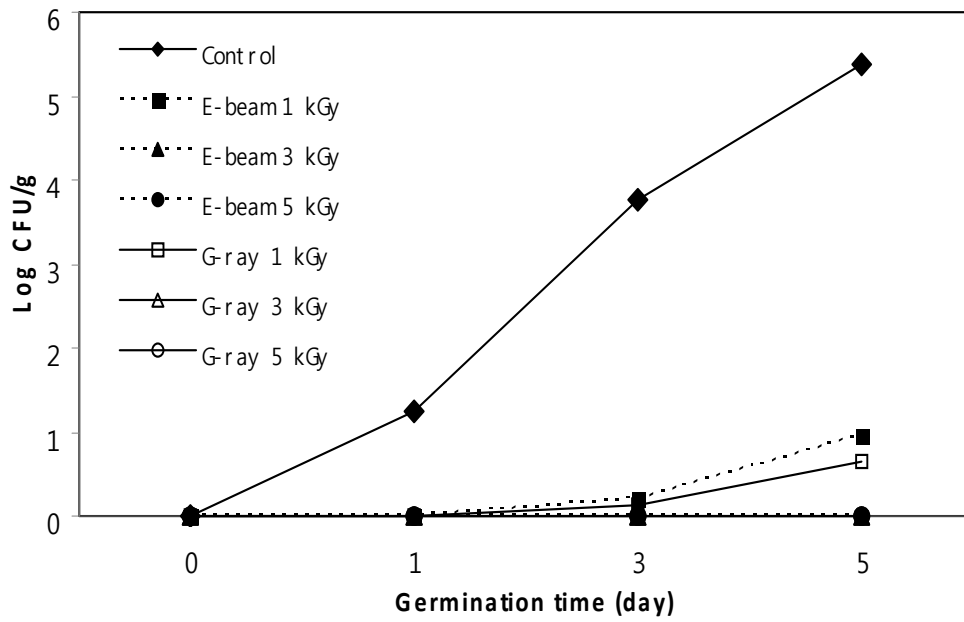


Fig. 1.41. Total coliform count of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

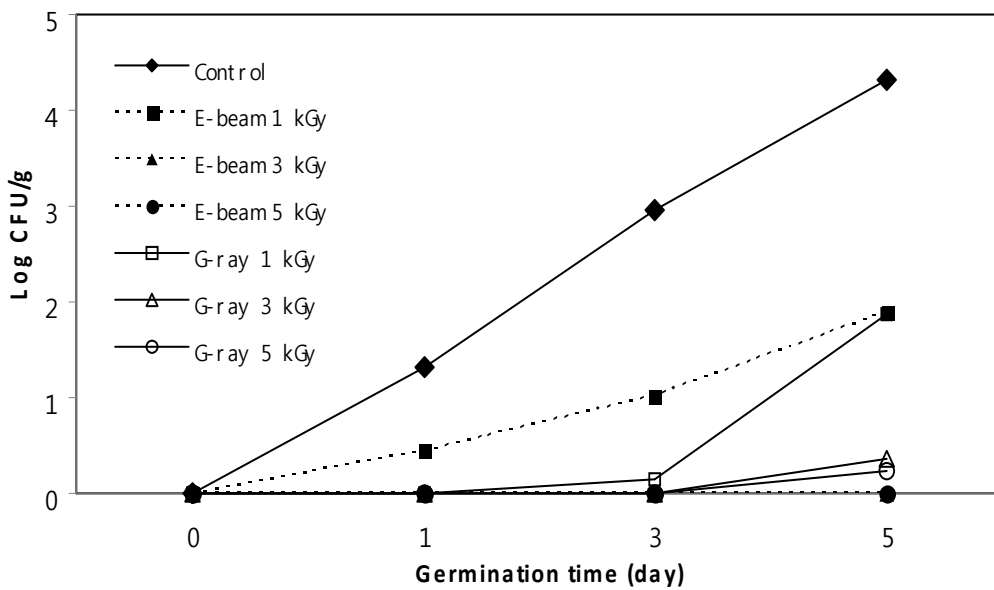


Fig. 1.42. Total coliform count of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

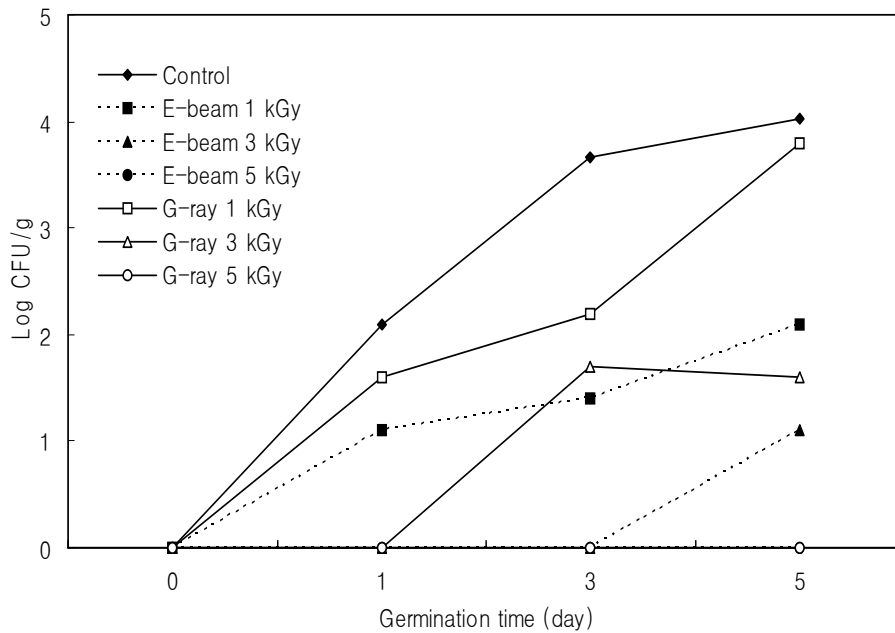


Fig. 1.43. Total coliform count of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C.

(3) 기능성 품질 특성

(가) Total ascorbic acid 함량

Table 1.20-1.24는 방사선 조사된 적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추 및 클로버 종자로 부터 재배된 발아채소의 재배기간에 따른 ascorbic acid 함량 변화를 나타낸 것이다. 비 조사된 발아채소 종자(적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추, 클로버)의 ascorbic acid 함량은 약 18.6-35.4 µg/g로 현저히 낮았으나 재배 5일 후 ascorbic acid 함량은 약 422.9-754.5 µg/g로 약 21-40배 정도 증가하였다. 이것은 종자에 비해 발아하는 동안 발아채소의 영양적 가치가 증가함을 보여준다. 그러나 조사된 종자로부터 재배된 발아채소는 조사선량에 따른 발아율 저하로 인해 조사선원에 관계없이 조사선량이 증가할수록 ascorbic acid의 함량은 감소하는 경향으로 나타났다. 5일 동안 재배하는 동안 1 kGy의 낮은 선량에서는 약 12-19%, 5kGy의 높은 선량에서는 37-51%의 감소율을 나타내었다.

Table 1.20. Ascorbic acid content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red radish sprouts grown from irradiated seed during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	35.4 ± 1.4	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	297.1 $\pm 35.3^{\text{ay}}$	235.8 $\pm 16.8^{\text{bcy}}$	209.5 $\pm 16.4^{\text{cdy}}$	169.8 $\pm 8.3^{\text{ey}}$	254.1 $\pm 8.3^{\text{by}}$	223.1 $\pm 15.1^{\text{bcdy}}$	197.1 $\pm 7.5^{\text{dey}}$
Germination (Day 5)	744.7 $\pm 66.3^{\text{ax}}$	600.5 $\pm 32.9^{\text{bx}}$	499.5 $\pm 36.2^{\text{cx}}$	358.4 $\pm 18.0^{\text{dx}}$	622.2 $\pm 43.9^{\text{bx}}$	496.8 $\pm 14.4^{\text{cx}}$	443.5 $\pm 15.4^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-e}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.21. Ascorbic acid content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of broccoli sprouts grown from irradiated seed during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	18.6 $\pm 1.2^1)$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	200.2 $\pm 15.2^{\text{ay}}$	183.3 $\pm 3.6^{\text{by}}$	157.4 $\pm 4.5^{\text{cy}}$	124.8 $\pm 4.9^{\text{ey}}$	158.9 $\pm 6.4^{\text{cy}}$	143.3 $\pm 2.8^{\text{dy}}$	131.1 $\pm 2.5^{\text{dey}}$
Germination (Day 5)	754.5 $\pm 22.1^{\text{ax}}$	661.5 $\pm 35.1^{\text{bx}}$	530.6 $\pm 6.8^{\text{dx}}$	423.5 $\pm 17.5^{\text{fx}}$	606.5 $\pm 12.5^{\text{cx}}$	467.7 $\pm 16.5^{\text{ex}}$	468.6 $\pm 15.7^{\text{ex}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-e}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.22. Ascorbic acid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	18.7 $\pm 1.1^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	253.8 $\pm 13.9^{\text{ay}}$	193.4 $\pm 8^{\text{cy}}$	143.7 $\pm 10.5^{\text{ey}}$	95.4 $\pm 6.5^{\text{fy}}$	218.0 $\pm 14.1^{\text{by}}$	165.9 $\pm 9.2^{\text{dy}}$	135.0 $\pm 4.9^{\text{ey}}$
Germination (Day 5)	640.4 $\pm 21.2^{\text{ax}}$	466.7 $\pm 13.2^{\text{cx}}$	351.3 $\pm 21.3^{\text{ex}}$	237.0 $\pm 8.2^{\text{gx}}$	509.7 $\pm 8.6^{\text{bx}}$	415.1 $\pm 19.8^{\text{dx}}$	298.9 $\pm 12.9^{\text{fx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-g}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.23. Ascorbic acid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	18.6 $\pm 1.3^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	238.5 $\pm 12.2^{\text{ax}}$	208.4 $\pm 7.3^{\text{by}}$	165.3 $\pm 10.3^{\text{cy}}$	129.0 \pm 5.6 ^{dy}	173.3 $\pm 9.6^{\text{cy}}$	155.6 $\pm 7.4^{\text{cy}}$	134.1 $\pm 2.9^{\text{dy}}$
Germination (Day 5)	518.6 $\pm 4.7^{\text{ax}}$	476.4 $\pm 12^{\text{bx}}$	292.7 $\pm 10^{\text{ex}}$	311.0 \pm 16.2 ^{dex}	368.6 $\pm 12.6^{\text{cx}}$	379.9 $\pm 17.2^{\text{cx}}$	325.1 $\pm 3.3^{\text{dx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-g}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.24. Ascorbic acid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	29.30 $\pm 3.12^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	171.95 $\pm 10.50^{\text{ay}}$	97.04 $\pm 4.45^{\text{by}}$	77.56 $\pm 4.97^{\text{cy}}$	49.63 $\pm 3.96^{\text{ey}}$	94.59 $\pm 4.02^{\text{bcy}}$	77.40 $\pm 2.02^{\text{cy}}$	53.89 $\pm 1.85^{\text{dy}}$
Germination (Day 5)	422.95 $\pm 17.65^{\text{ax}}$	282.90 $\pm 21.68^{\text{bx}}$	214.09 $\pm 10.84^{\text{cx}}$	122.55 $\pm 3.10^{\text{ex}}$	258.40 $\pm 13.08^{\text{bcx}}$	200.68 $\pm 11.42^{\text{cdx}}$	136.07 $\pm 13.38^{\text{dx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-e}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x-y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

(나) Total carotenoid 함량

Table 1.25-1.29는 방사선 조사된 적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추 및 클로버 종자로부터 발아시킨 발아채소종자의 재배기간에 따른 총 carotenoid 함량변화를 나타낸 것이다. 그 결과 발아채소종자의 총 carotenoid 함량은 0.30-0.57 $\mu\text{g/g}$ 로 아주 미비하였으나 재배기간 중 발아된 발아채소의 총 carotenoid 함량은 재배기간이 길어질수록 적무순은 약 67배, 브로콜리와 무순은 약 35배, 적양배추는 약 24배, 클로버는 약 11배로 급격히 증가하였다. 그러나 1 kGy와 3 kGy 조사된 종자로부터 재배된 발아채소의 경우 조사선원에 관계없이 대조구와 큰 차이가 나타나지 않았으나 5 kGy의 조사선량에서는 약 50% 이상의 큰 감소율을 나타내어 조사선량이 증가할수록 총 carotenoid 함량은 감소하였다. 이것은 조사선량이 증가할수록 방사선 조사에 의한 발아율의 저하가 주원인으로 사료된다.

Table 1.25. Total carotenoid content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	0.32 $\pm 0.02^1)$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	5.52 $\pm 0.44^{\text{ay}}$	4.30 $\pm 0.04^{\text{by}}$	2.55 $\pm 0.10^{\text{cy}}$	1.62 $\pm 0.14^{\text{ey}}$	4.41 $\pm 0.10^{\text{by}}$	2.93 $\pm 0.23^{\text{cy}}$	2.00 $\pm 0.23^{\text{dy}}$
Germination (Day 5)	21.45 $\pm 1.56^{\text{ax}}$	17.97 $\pm 0.86^{\text{bcx}}$	15.86 $\pm 0.95^{\text{cx}}$	10.82 $\pm 1.83^{\text{dx}}$	19.41 $\pm 0.43^{\text{bx}}$	17.28 $\pm 0.28^{\text{bcx}}$	15.79 $\pm 1.33^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-c}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.26. Total carotenoid content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of broccoli sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	0.30 $\pm 0.06^1)$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	4.64 $\pm 0.37^{\text{ay}}$	3.15 $\pm 0.28^{\text{by}}$	2.60 $\pm 0.16^{\text{cy}}$	2.22 $\pm 0.02^{\text{cy}}$	3.29 $\pm 0.30^{\text{by}}$	2.45 $\pm 0.19^{\text{cy}}$	2.21 $\pm 0.49^{\text{cy}}$
Germination (Day 5)	10.34 $\pm 0.90^{\text{ax}}$	8.41 $\pm 0.53^{\text{abx}}$	8.31 $\pm 0.68^{\text{abx}}$	8.00 $\pm 0.60^{\text{bx}}$	8.59 $\pm 1.12^{\text{abx}}$	8.59 $\pm 1.60^{\text{abx}}$	7.87 $\pm 2.05^{\text{bx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-c}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.27. Total carotenoid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	0.57 $\pm 0.02^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	5.53 $\pm 0.09^{\text{by}}$	4.90 $\pm 0.24^{\text{cy}}$	3.91 $\pm 0.32^{\text{cy}}$	2.57 $\pm 0.79^{\text{ey}}$	6.65 $\pm 0.22^{\text{ay}}$	4.32 $\pm 0.08^{\text{cdy}}$	2.58 $\pm 0.14^{\text{ey}}$
Germination (Day 5)	20.03 $\pm 1.31^{\text{ax}}$	18.07 $\pm 0.58^{\text{ax}}$	15.28 $\pm 3.93^{\text{abx}}$	7.99 $\pm 1.54^{\text{cx}}$	14.41 $\pm 6.11^{\text{abx}}$	11.16 $\pm 0.15^{\text{bcx}}$	7.34 $\pm 0.29^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.28. Total carotenoid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam			Gamma ray		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	0.46 $\pm 0.13^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	4.37 $\pm 0.11^{\text{ay}}$	3.09 $\pm 0.04^{\text{by}}$	2.35 $\pm 0.21^{\text{cy}}$	1.61 $\pm 0.37^{\text{dy}}$	2.85 $\pm 1.13^{\text{by}}$	2.51 $\pm 0.14^{\text{cy}}$	2.33 $\pm 0.13^{\text{cy}}$
Germination (Day 5)	11.46 $\pm 1.28^{\text{abx}}$	10.45 $\pm 0.06^{\text{abcx}}$	9.24 $\pm 0.28^{\text{cdx}}$	8.57 $\pm 0.13^{\text{dx}}$	11.79 $\pm 1.00^{\text{ax}}$	10.27 $\pm 0.40^{\text{abcx}}$	10.12 $\pm 0.15^{\text{bcx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.29. Total carotenoid content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	0.58 $\pm 0.02^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	4.00 $\pm 1.50^{ay}$	3.28 $\pm 0.07^{by}$	2.77 $\pm 0.11^{bcy}$	2.36 $\pm 0.09^{cy}$	3.34 $\pm 0.23^{aby}$	2.37 $\pm 0.21^{cy}$	1.66 $\pm 0.29^{dy}$
Germination (Day 5)	6.04 $\pm 2.55^{bx}$	5.42 $\pm 1.23^{cx}$	4.35 $\pm 0.45^{cdx}$	5.22 $\pm 0.75^{bcx}$	8.02 $\pm 0.41^{ax}$	6.37 $\pm 0.30^{abx}$	4.15 $\pm 1.78^{dx}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

(다) Total chlorophyll 함량

Table 1.30-1.34는 방사선 조사된 적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추 종자로부터 발아시킨 발아채소종자의 재배기간에 따른 총 클로로필 함량변화를 나타낸 것이다. 발아채소종자의 클로로필 함량은 적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추 및 클로버 순으로 각각 3.81, 1.45, 8.90, 3.44, 3.28 $\mu\text{g/g}$ 로 그 함량이 아주 적었으나 재배기간이 증가할수록 각각 68.0, 82.69, 126.92, 86.58, 88.28 $\mu\text{g/g}$ 으로 약 14-57배 정도 증가하였다. 또한 1 kGy의 조사 시 전자빔 및 감마선의 조사선원에 관계없이 클로로필 함량에 큰 차이가 나타나지 않았으나 3 kGy와 5 kGy로 조사된 종자로부터 재배된 발아채소는 대조구에 비해 약 45-81%의 감소율을 나타내었다. 이는 조사선량이 증가함에 따른 발아율의 저하로 인한 것으로 사료된다. 또한 브로콜리와 무순 및 브로콜리는 감마선 조사된 시료에서, 적무순과 적양배추는 전자빔 조사시료에서 많이 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 종자시료의 종류와 발아상태가 다르기 때문인 것으로 생각된다.

Table 1.30. Total chlorophyll content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	3.81 $\pm 0.19^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	23.88 $\pm 2.96^{\text{ay}}$	20.89 $\pm 0.62^{\text{aby}}$	17.06 $\pm 0.24^{\text{cy}}$	12.90 $\pm 0.50^{\text{dy}}$	22.36 $\pm 1.20^{\text{ay}}$	18.29 $\pm 0.41^{\text{bcy}}$	16.37 $\pm 3.58^{\text{cy}}$
Germination (Day 5)	68.00 $\pm 7.58^{\text{ax}}$	41.09 $\pm 1.89^{\text{cx}}$	39.85 $\pm 2.07^{\text{cx}}$	31.10 $\pm 2.32^{\text{dx}}$	65.50 $\pm 1.63^{\text{ax}}$	53.47 $\pm 1.75^{\text{bx}}$	47.18 $\pm 6.56^{\text{bcx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.31. Total chlorophyll content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of broccoli sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	1.45 $\pm 0.35^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	38.94 $\pm 1.81^{\text{ay}}$	35.99 $\pm 0.37^{\text{aby}}$	28.95 $\pm 1.46^{\text{cy}}$	24.19 $\pm 0.63^{\text{dy}}$	33.27 $\pm 0.23^{\text{by}}$	26.58 $\pm 3.57^{\text{cdy}}$	20.76 $\pm 1.68^{\text{ey}}$
Germination (Day 5)	82.69 $\pm 6.12^{\text{ax}}$	75.89 $\pm 0.71^{\text{ax}}$	63.32 $\pm 4.38^{\text{bx}}$	54.57 $\pm 7.10^{\text{bx}}$	56.77 $\pm 9.11^{\text{bx}}$	39.57 $\pm 0.75^{\text{cx}}$	39.08 $\pm 10.94^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-e}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.32. Total chlorophyll content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	8.90 $\pm 1.01^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	61.55 $\pm 2.89^{\text{by}}$	51.01 $\pm 2.87^{\text{cy}}$	49.87 $\pm 7.31^{\text{cy}}$	36.32 $\pm 1.40^{\text{dy}}$	73.84 $\pm 5.13^{\text{ay}}$	53.06 $\pm 0.87^{\text{cy}}$	32.81 $\pm 2.33^{\text{dy}}$
Germination (Day 5)	126.92 $\pm 5.49^{\text{ax}}$	117.47 $\pm 12.69^{\text{abx}}$	103.10 $\pm 8.47^{\text{bx}}$	69.33 $\pm 13.92^{\text{cx}}$	127.57 $\pm 8.24^{\text{ax}}$	83.65 $\pm 5.69^{\text{cx}}$	66.83 $\pm 3.41^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.33. Total chlorophyll content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	3.44 $\pm 0.18^1$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	33.73 $\pm 1.43^{\text{ay}}$	23.89 $\pm 1.63^{\text{by}}$	17.13 $\pm 3.53^{\text{cdy}}$	14.91 $\pm 0.33^{\text{dy}}$	23.06 $\pm 0.90^{\text{by}}$	21.73 $\pm 2.71^{\text{bcy}}$	20.05 $\pm 2.00^{\text{cy}}$
Germination (Day 5)	86.58 $\pm 8.79^{\text{ax}}$	81.02 $\pm 3.46^{\text{abx}}$	74.95 $\pm 1.26^{\text{bx}}$	65.85 $\pm 0.38^{\text{cx}}$	75.49 $\pm 6.32^{\text{bx}}$	68.12 $\pm 3.01^{\text{bcx}}$	66.95 $\pm 9.89^{\text{cx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.34. Total chlorophyll content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at $23\pm 2^\circ\text{C}$

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	3.28 $\pm 0.58^{1)}$	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	56.79 $\pm 2.31^{ay}$	52.96 $\pm 0.32^{by}$	42.97 $\pm 1.87^{cy}$	36.60 $\pm 2.06^{cdy}$	46.82 $\pm 4.31^{bcy}$	36.90 $\pm 3.96^{cdy}$	24.51 $\pm 5.34^{dy}$
Germination (Day 5)	88.28 $\pm 41.05^{bcx}$	87.80 $\pm 5.79^{bcx}$	71.48 $\pm 28.78^{cx}$	61.07 $\pm 7.56^{dx}$	90.32 $\pm 1.49^{ax}$	86.99 $\pm 7.37^{bx}$	68.42 $\pm 7.32^{cdx}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

(라) 총 페놀성 화합물 함량

Phenolic component는 분자 내 phenol성 -OH기를 가지는 화합물로 강한 항산화기능을 가지는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 전자빔 처리가 발아채소의 총 페놀성 화합물 함량에 미치는 영향을 알고자, 전자빔 조사된 종자로부터 발아시킨 발아채소의 재배기간에 따른 총 phenol 함량의 변화를 관찰하였다. Table 1.35-39는 전자빔 조사된 적무순, 브로콜리, 무순, 적양배추 및 브로콜리 종자로부터 재배된 발아채소의 재배기간에 따른 총 페놀성 화합물 함량 변화를 나타낸 것이다. 그 결과 종자의 총 페놀성 화합물 함량은 5.41-7.99 mg/g으로 매우 낮았으나 재배기간이 길어질수록 발아시킨 적무순, 브로콜리, 무순 및 적양배추, 클로버의 총 phenol 함량은 각각 45.76, 21.08, 35.78, 22.53, 4.27 mg/g으로 종자시료에 비해 약 2.9-6.6배 정도 증가하였다. 또한 전자빔 조사된 종자로부터 재배된 적무순과 클로버 발아채소의 페놀함량은 1 kGy와 3 kGy의 조사선량에서는 대조구와 큰 차이가 나타나지 않았으나 5 kGy의 조사선량에서는 다소 감소하였다. 그리고 브로콜리와 적양배추 발아채소의 총 페놀성 화합물 함량은 조사선량이 증가할수록 그 함량도 증가하였으며 조사선원 간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Table 1.35. Total phenol content¹⁾ (mg of gallic acid/ g, d.b.) of red radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	7.99 ±0.40 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	35.56 ±0.99 ^{ay}	32.72 ±0.74 ^{by}	28.14 ±1.22 ^{dy}	22.99 ±0.50 ^{ey}	35.04 ±0.49 ^{ay}	30.30 ±0.54 ^{cy}	28.47 ±2.18 ^{cdy}
Germination (Day 5)	45.76 ±1.18 ^{ax}	43.38 ±1.79 ^{abx}	42.62 ±2.74 ^{abcx}	39.11 ±0.98 ^{cx}	44.50 ±1.67 ^{abx}	43.83 ±1.50 ^{abx}	41.62 ±3.15 ^{bcx}

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-e}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p<0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.36. Total phenol content¹⁾ (mg of gallic acid/ g, d.b.) of broccoli sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	7.08 ±0.61 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	15.86 ±1.17 ^{ay}	16.25 ±1.62 ^{ay}	16.83 ±0.69 ^{ay}	17.00 ±0.37 ^{ay}	15.83 ±0.37 ^{ay}	16.35 ±1.37 ^{ay}	16.90 ±0.15 ^{ay}
Germination (Day 5)	21.08 ±0.26 ^{bx}	22.10 ±1.70 ^{abx}	22.09 ±1.14 ^{abx}	23.37 ±0.11 ^{ax}	21.38 ±0.79 ^{bx}	21.59 ±0.24 ^{abx}	22.64 ±1.39 ^{abx}

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a,b}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p<0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.37. Total phenol content (mg of gallic acid/ g, d.b.) of radish sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	5.41 ±0.13 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	18.44 ±1.21 ^{cy}	17.10 ±1.22 ^{cdy}	17.02 ±1.81 ^{cdy}	15.9 ±0.49 ^{dy}	19.31 ±0.38 ^{cy}	24.76 ±0.05 ^{ay}	21.88 ±0.15 ^{by}
Germination (Day 5)	35.78 ±2.21 ^{ax}	33.03 ±1.75 ^{abx}	31.89 ±2.78 ^{bcx}	28.22 ±1.22 ^{cx}	29.82 ±1.31 ^{bcx}	30.09 ±0.5 ^{bcx}	31.48 ±1.26 ^{bcx}

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p<0.05$).

^{x-y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.38. Total phenol content (mg of gallic acid/ g, d.b.) of red cabbage sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	7.07 ±0.61 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	15.74 ±1.16 ^{ay}	16.08 ±1.61 ^{ay}	17.09 ±0.7 ^{ay}	15.33 ±0.33 ^{ay}	15.49 ±0.36 ^{ay}	16.15 ±1.35 ^{ay}	15.83 ±0.15 ^{ay}
Germination (Day 5)	22.53 ±0.99 ^{cx}	24.97 ±1.66 ^{bcx}	25.05 ±0.21 ^{bcx}	26.42 ±0.18 ^{abx}	24.29 ±0.93 ^{bcx}	23.46 ±1.49 ^{cx}	28.10 ±0.82 ^{ax}

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p<0.05$).

^{x-y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.39. Total phenol content (mg of gallic acid/ g, d.b.) of clover sprouts grown from irradiated seeds during germination at 23±2°C

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seed (Day 0)	4.27 ±0.05 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	13.60 ±0.41 ^{bcy}	13.69 ±2.39 ^{bcy}	12.05 ±1.42 ^{cy}	10.99 ±0.88 ^{dy}	14.48 ±1.20 ^{ay}	14.29 ±1.16 ^{ay}	13.17 ±2.06 ^{by}
Germination (Day 5)	25.37 ±2.12 ^{ax}	24.89 ±0.13 ^{bx}	19.40 ±0.46 ^{cx}	19.13 ±2.92 ^{cx}	25.50 ±1.78 ^{ax}	17.91 ±0.61 ^{xd}	17.52 ±2.77 ^{dx}

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

^{a-d}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p<0.05$).

^{x-y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

(마) Sulforaphane 함량

Sulforaphane은 isothiocyanates의 일종으로 케일, 브로콜리, 양배추와 같은 십자화가 식물에 풍부하며 마쇄과정에서 myrosinase 효소작용에 의해 생성된다. 전자빔 처리된 발아 채소종자로부터 발아시킨 브로콜리와 적양배추의 재배기간에 따른 sulforaphane 함량 변화를 관찰하였으며, 그 함량은 Table 1.40, 1.41 및 Fig. 1.44에 나타내었다. 그 결과 발아 채소의 재배기간 중 sulforaphane 함량은 브로콜리의 경우 재배기간이 길어질수록 약 2배 가까이 증가하였으나 적양배추의 경우 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한 조사선량이 증가할수록 sulforaphane 함량은 브로콜리의 경우 약 2배 정도 감소하였으나 적양배추의 경우 조사선량이 증가할수록 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 조사선량 증가에 따른 sulforaphane 함량이 감소하는 것은 방사선 조사에 의해 종자의 발아 및 생장률이 떨어짐에 따라 기인한 것으로 사료된다. 그러나 전자빔과 감마선 처리에 따른 유의적인 차이는 크게 나타나지 않았다.

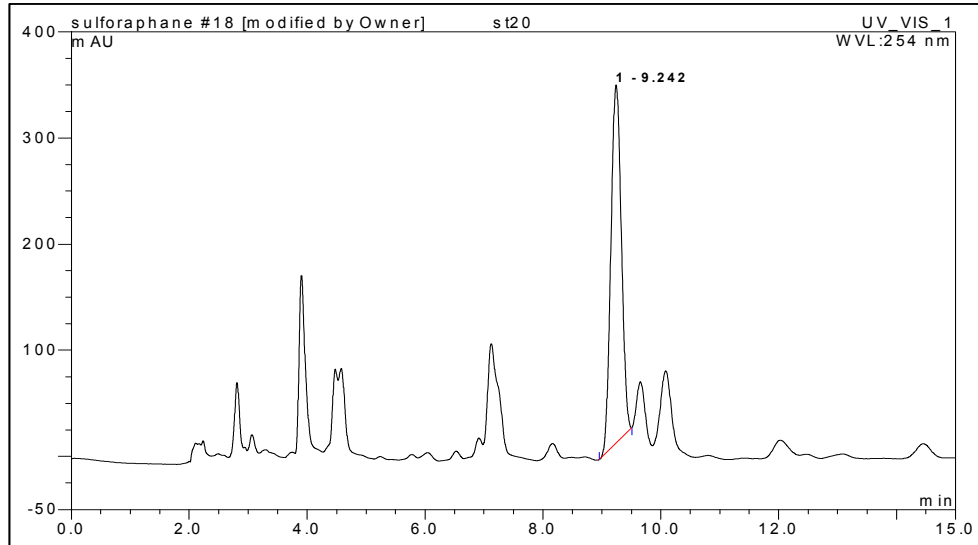


Fig. 1.44. HPLC chromatogram of sulforaphane from broccoli sprout.

Table 1.40. Sulforaphane content¹⁾ ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of germinated broccoli sprouts from irradiated seeds

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Germination (Day 3)	324.3 $\pm 4.2^{\text{ay}}$	273.0 $\pm 3.9^{\text{by}}$	238.6 $\pm 10.3^{\text{bcy}}$	214.7 $\pm 5.3^{\text{cy}}$	276.8 $\pm 22.7^{\text{by}}$	211.2 $\pm 18.7^{\text{cy}}$	165.7 $\pm 38.4^{\text{dy}}$
Germination (Day 5)	790.3 $\pm 24.4^{\text{ax}}$	681.0 $\pm 28.4^{\text{bx}}$	463.7 $\pm 8.3^{\text{cdx}}$	437.6 $\pm 26.1^{\text{dx}}$	519.3 $\pm 58.1^{\text{cx}}$	506.9 $\pm 4.9^{\text{cdx}}$	486.8 $\pm 11.4^{\text{cdx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-d)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.41. Sulforaphane content ($\mu\text{g/g}$, d.b.) of germinated red cabbage sprouts from irradiated seeds

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Germination (Day 3)	297.3 $\pm 10.6^{\text{1)ax}}$	294.3 $\pm 14.9^{\text{ax}}$	285.6 $\pm 7.0^{\text{ax}}$	245.7 $\pm 7.4^{\text{bx}}$	290.4 $\pm 0.3^{\text{ax}}$	283.5 $\pm 4.0^{\text{ax}}$	235.6 $\pm 21.3^{\text{bx}}$
Germination (Day 5)	307.6 $\pm 12.9^{\text{ax}}$	299.0 $\pm 1.8^{\text{abx}}$	291.0 $\pm 0.4^{\text{abx}}$	279.8 $\pm 1.3^{\text{bx}}$	299.1 $\pm 1.4^{\text{abx}}$	296.0 $\pm 0.2^{\text{abx}}$	280.2 $\pm 12.6^{\text{bx}}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a,b)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

(마) glucoraphenin 함량

Table 1.42와 1.43 및 Fig. 1.45는 방사선 조사 된 적무순 및 무순 종자로부터 재배된 발아채소의 재배기간에 따른 glucoraphenin 함량 변화를 나타낸 것이다. 그 결과 적무순의 경우 재배기간이 길어질수록 그 함량이 감소하는 것으로 나타났으며, 조사선량 및 선원에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 무순의 경우에는 재배기간이 길어질수록 glucoraphenin의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 전자빔 조사선량이 증가할수록 그 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 전자빔에 비해 감마선에서 더 높은 함량으로 나타났다. 즉 이온화 에너지 처리된 종자의 재배에 따른 glucoraphenin 함량은 시료에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다.

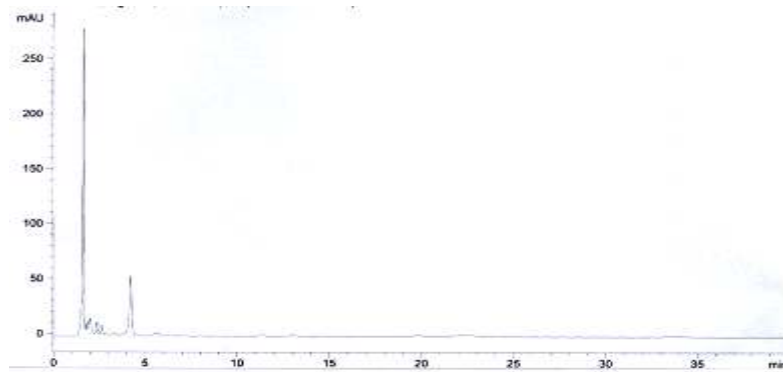


Fig. 1.45. HPLC chromatogram of sinigrin from red radish sprout.

Table 1.42. Glucoraphenin content¹⁾ ($\mu\text{mol/g}$, d.b.) of germinated red radish sprouts from irradiated seeds

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Seeds (Day 0)	240.6 \pm 1.8	-	-	-	-	-	-
Germination (Day 3)	204.4 \pm 36.1 ^{ax}	206.9 \pm 2.4 ^{ax}	202.7 \pm 7.9 ^{ax}	217.6 \pm 39.4 ^{ax}	208.3 \pm 20.0 ^{ax}	212.4 \pm 13.4 ^{ax}	222.4 \pm 5.0 ^{ax}
Germination (Day 5)	53.3 \pm 18.8 ^{cy}	57.6 \pm 11.7 ^{bcy}	74.9 \pm 3.0 ^{aby}	74.0 \pm 2.3 ^{abcy}	59.5 \pm 18.7 ^{abcy}	88.4 \pm 1.7 ^{aby}	91.4 \pm 17.3 ^{ay}

¹⁾Values are means standard deviation (n=3).

^{a-c}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x,y}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1.43. Glucoraphenin content ($\mu\text{mol/g}$, d.b.) of germinated radish sprouts from irradiated seeds

Stage	Control	Electron beam (kGy)			Gamma ray (kGy)		
		1	3	5	1	3	5
Germination (Day 3)	14.68 $\pm 0.67^{1ey}$	36.69 $\pm 1.04^{dy}$	81.46 $\pm 0.34^{cy}$	85.36 $\pm 1.30^{cy}$	73.45 $\pm 1.38^{cy}$	132.83 $\pm 0.16^{by}$	207.39 $\pm 1.63^{ay}$
Germination (Day 5)	89.43 $\pm 0.43^{dx}$	173.21 $\pm 22.16^{bx}$	184.07 $\pm 0.32^{bx}$	193.07 $\pm 0.49^{bx}$	105.09 $\pm 0.43^{bx}$	153.15 $\pm 5.03^{cx}$	245.98 $\pm 0.64^{ax}$

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

^{a-c)}Means followed by different letters within the row are significantly different ($p < 0.05$).

^{x-y)}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p < 0.05$).

5. 전자빔 처리된 발아채소의 저장에 따른 품질 특성

가. 미생물적 품질 특성

앞서 연구한 전자빔 조사된 발아채소종자로부터 재배된 발아채소의 재배기간에 따른 미생물 농도측정 결과에서 재배 최종 단계에서 비조구와 조사구간의 미생물 농도 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 현행 시판 발아채소에 유통 직전 전자빔을 조사하여 저장기간에 따른 미생물 살균효과 실험을 실시하여 그 결과를 Fig. 1.46-1.55에 나타내었다.

전자빔 조사에 의한 무순과 적양배추 발아채소의 미생물 농도는 초기에는 비조사구 시료에서는 일반세균이 5.32-6.19 log CFU/g이었으나 1, 3 및 5 kGy의 조사선량이 증가함에 따라 각각 4.06-4.39, 3.63-2.39 및 1.60-3.55 log CFU/g으로 비조사 시료에 비해 조사 시료에서 2-4 log cycle 정도 감소됨을 확인할 수 있었다. 또한 저장기간이 길어짐에 따라 비조사 시료와 조사 시료 모두에서 미생물 농도가 증가함을 볼 수 있었으나, 비조사 시료에 비해 조사 시료에서 평균 2-4 log cycle 정도 감소된 수준을 나타내었다(Fig. 1.46-1.50).

유통 직전 발아새싹채소에 전자빔 처리에 따른 초기 대장균군 농도 변화를 조사한 결과, 비조사 시료에서는 약 4.57-5.27 log CFU/g이었으나 1 kGy 조사시료는 0.70-1.0 log CFU/g으로써 비조사 시료에 비해 3-4 log cycle 정도 감소하였다. 그리고 3 kGy 이상의 조사 시료에서는 거의 검출되지 않았다. 그러나 저장기간이 길어질수록 대장균군 농도가 증가하였으나 조사시료가 비조사 시료에 비해 평균 1-3 log cycle 정도 낮은 농도로 확인

되었고, 3 kGy 이상의 선량에서는 저장 마지막 날까지 거의 발견되지 않았다(Fig. 1.51-1.55). 이로써 유통 전 발아채소의 전자빔 처리가 미생물 사멸에 효과가 있음을 확인 하였으며, 전자빔에 의한 발아채소종자의 미생물 관리보다는 발아채소의 미생물 관리가 더욱 효과적인 방법으로 나타났다.

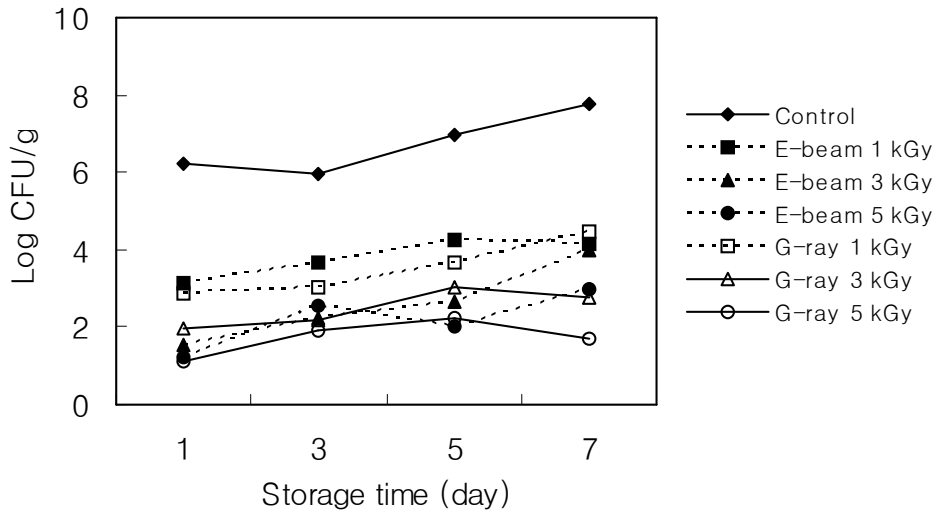


Fig. 1.46. Total plate count of irradiated red radish sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

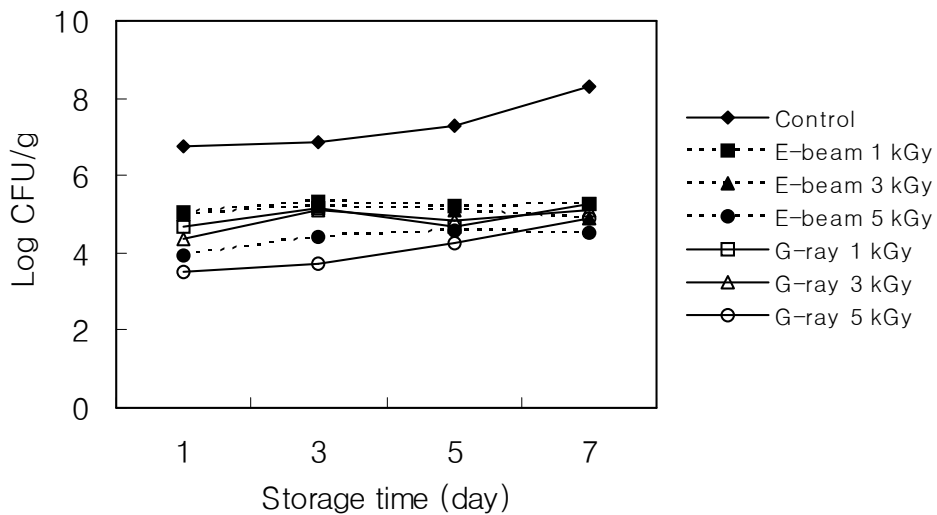


Fig. 1.47. Total plate count of irradiated broccoli sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

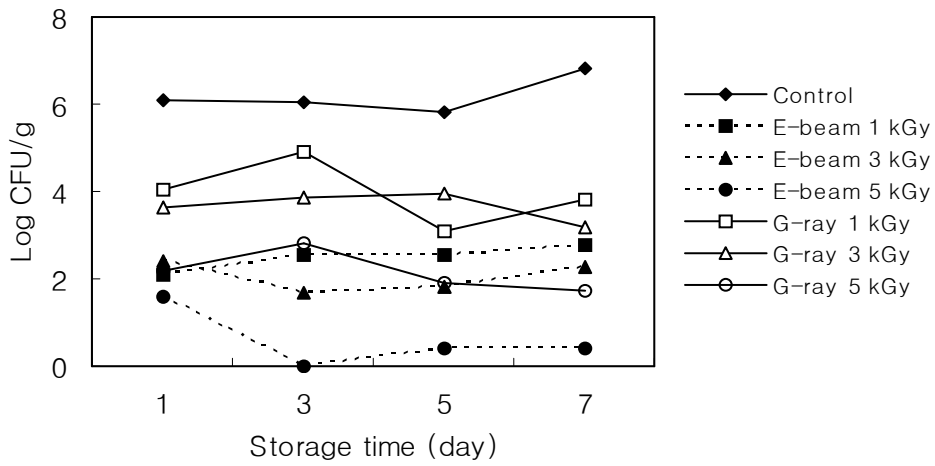


Fig. 1.48. Total plate count of irradiated radish sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

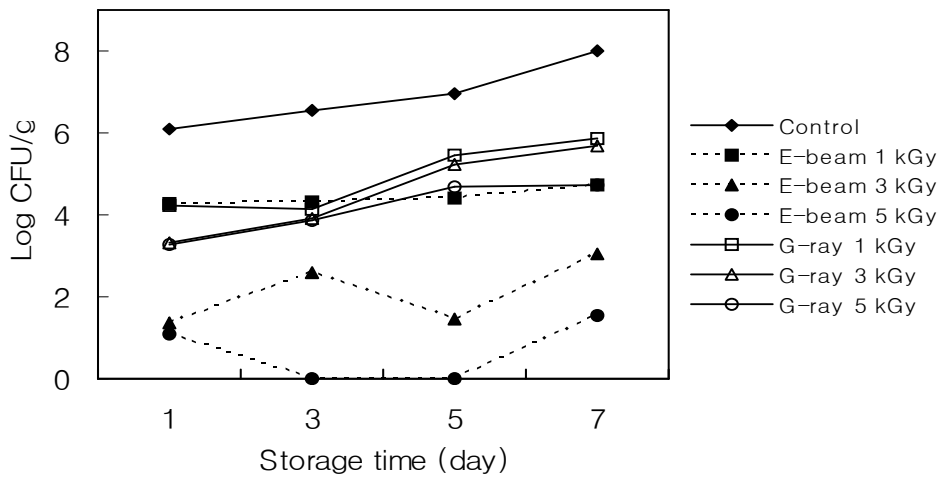


Fig. 1.49. Total plate count of irradiated red cabbage sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

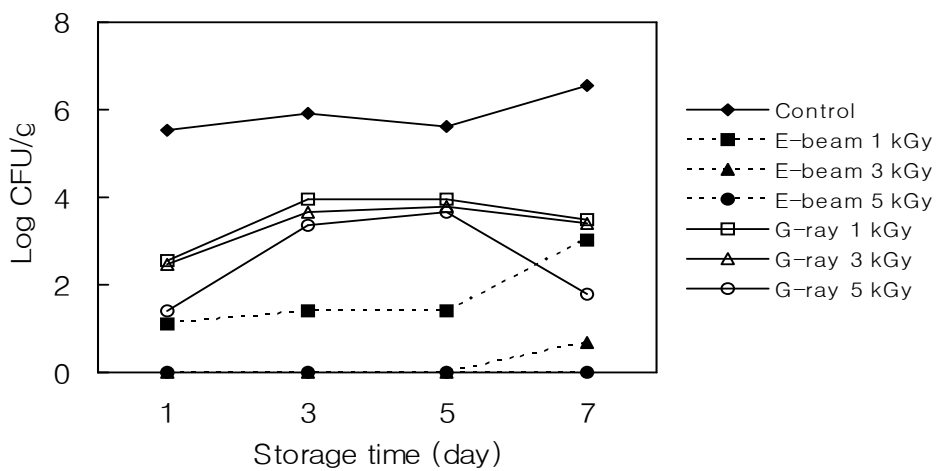


Fig. 1.50. Total plate count of irradiated clover sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

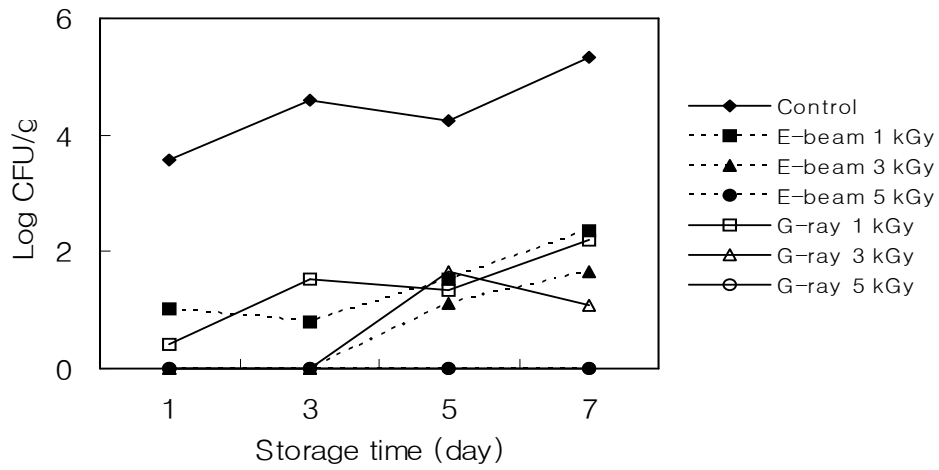


Fig. 1.51. Coliform count of irradiated red radish sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

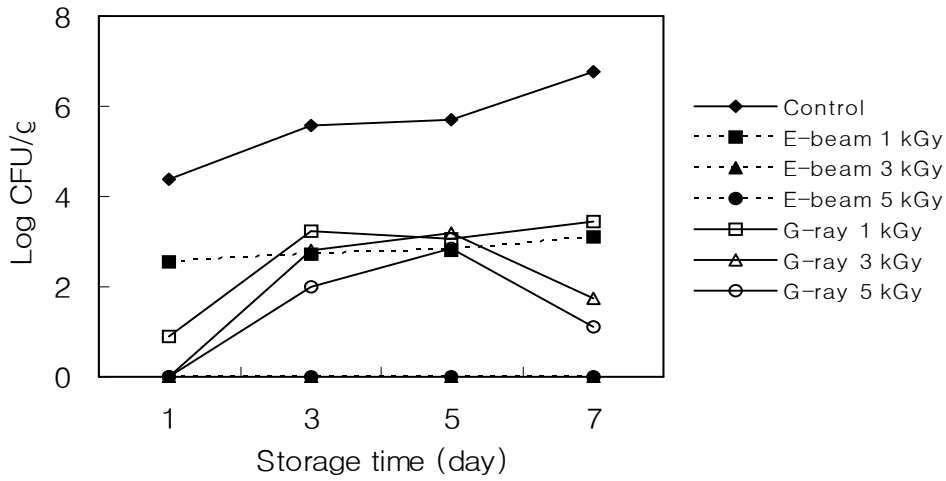


Fig. 1.52. Coliform count of irradiated broccoli sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

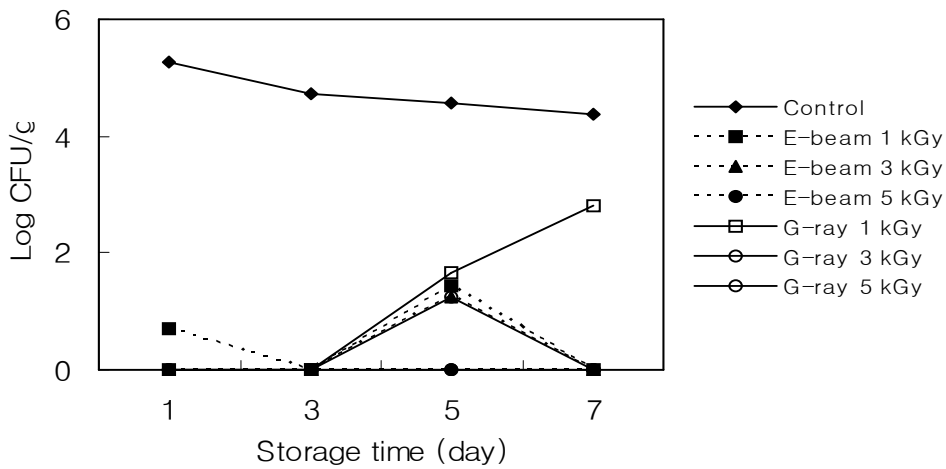


Fig. 1.53. Coliform count of irradiated radish sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

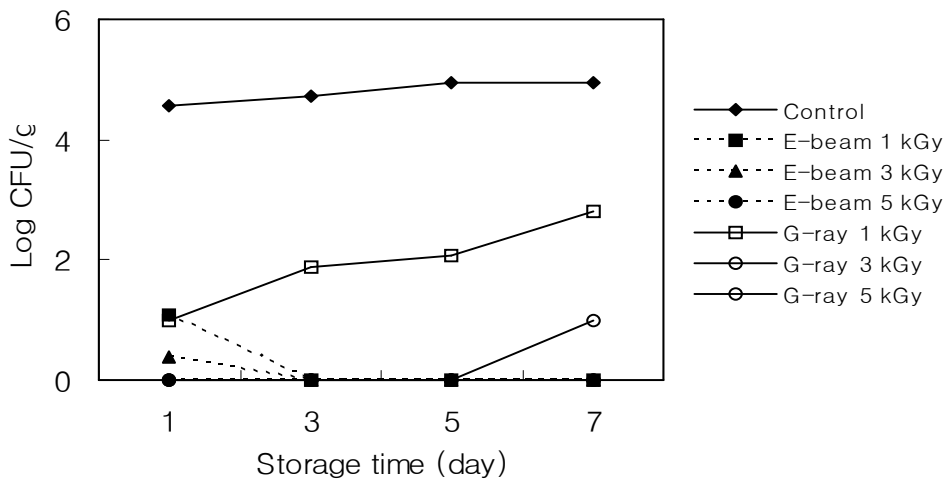


Fig. 1.54. Coliform count of irradiated red cabbage sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

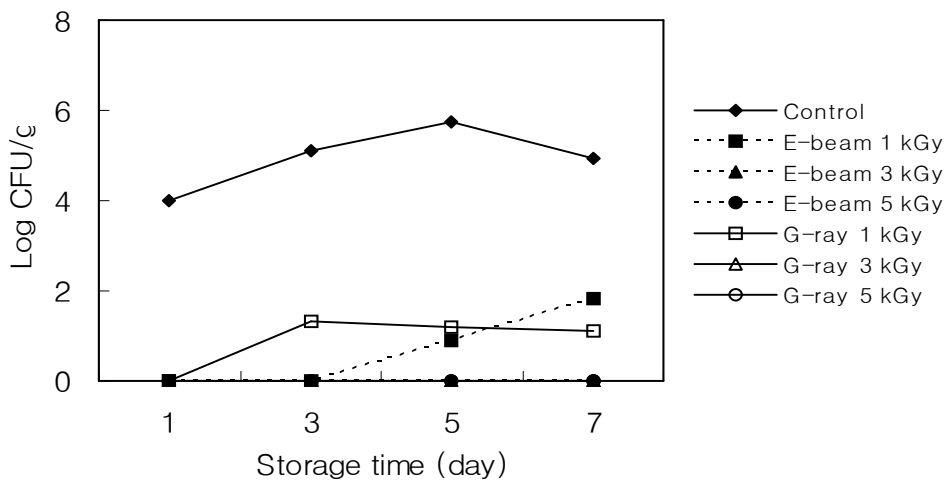


Fig. 1.55. Coliform count of irradiated clover sprout during storage at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$.

나. 관능적 품질 평가

전자빔과 감마선 조사된 모델 발아채소의 관능적 품질평가는 각 시료의 무처리대조군 (control), electron beam 및 gamma ray 조사군(각각 1, 3, 5 kGy)을 대상으로 10명의 선 발된 검사요원에게 발아채소의 색, 이취, 조직감, 전반적기호도에 대하여 평가하게 하였다. 이 때 시료는 $4-6^{\circ}\text{C}$ 의 저온저장고에 보관하면서 1, 3, 5, 7일 간격으로 대조군과 조사군 간의 관능적 품질인자에 대하여 관능시험을 실시하게 하였으며, 그 결과는 Table 1.44-1.46에 나타내었다.

그 결과 저장 3일째까지는 처리 군 간에 품질에 큰 차이가 없었으나 저장 5일째부터는 대조군에 비해 처리구에서 관능평점이 점차 감소하였다. 그러나 1 kGy를 조사한 조사군에서는 무처리 대조군(control)과 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 이에 유통 중 미생물 혼입이 문제시 될 수 있는 발아새싹채소에 적정선량의 전자빔이나 감마선을 처리한다면 관능적 품질을 유지시키면서 미생물적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대되며, 전반적으로 조사선원에 따른 큰 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 1.44. Sensory properties¹⁾ of electron beam and gamma ray irradiated radish sprouts stored at 6±2°C for 7 days

Parameter	Storage time (day)	Electron beam (kGy)				Gamma ray (kGy)			
		0	1	3	5	0	1	3	5
Color	1	4.6 ±0.5 ^{aw}	4.6 ±0.7 ^{aw}	4.3 ±0.8 ^{aw}	4.1 ±0.6 ^{aw}	2.9 ±1.1 ^{ax}	2.9 ±1.1 ^{ax}	2.9 ±1.1 ^{ax}	2.8 ±1.0 ^{ax}
	3	4.4 ±0.8 ^{aw}	4.4 ±0.8 ^{aw}	4.0 ±0.8 ^{awx}	4.4 ±0.5 ^{aw}	2.9 ±0.8 ^{ax}	2.8 ±1.0 ^{ax}	3.0 ±1.1 ^{ax}	2.4 ±0.7 ^{ax}
	5	3.8 ±0.4 ^{ax}	3.0 ±0.6 ^{bx}	3.2 ±0.8 ^{abx}	3.0 ±0.6 ^{bx}	2.8 ±0.7 ^{ax}	2.6 ±0.7 ^{ax}	2.6 ±0.7 ^{ax}	2.4 ±0.7 ^{ax}
	7	3.5 ±0.5 ^{ax}	2.7 ±0.6 ^{bcx}	3.2 ±0.8 ^{abx}	2.5 ±0.8 ^{cx}	2.5 ±0.8 ^{ax}	2.3 ±0.7 ^{ax}	2.6 ±0.7 ^{ax}	2.1 ±0.6 ^{ax}
Odor	1	1.7 ±0.8 ^{aw}	1.5 ±0.5 ^{ax}	1.6 ±0.7 ^{aw}	1.7 ±0.7 ^{aw}	1.8 ±1.0 ^{ax}	1.4 ±0.7 ^{ax}	1.3 ±0.5 ^{az}	1.5 ±0.5 ^{ay}
	3	1.7 ±0.5 ^{abw}	1.4 ±0.8 ^{bx}	1.9 ±0.4 ^{abw}	2.3 ±1.0 ^{aw}	2.0 ±1.1 ^{ax}	1.9 ±1.1 ^{ax}	1.8 ±0.9 ^{ayz}	1.8 ±1.2 ^{axy}
	5	2.2 ±1.2 ^{aw}	1.8 ±0.8 ^{awx}	1.8 ±0.8 ^{aw}	2.0 ±0.9 ^{aw}	2.3 ±1.0 ^{ax}	2.5 ±1.2 ^{ax}	2.3 ±1.2 ^{axy}	2.3 ±0.9 ^{axy}
	7	2.5 ±0.9 ^{aw}	2.5 ±1.1 ^{aw}	2.4 ±0.9 ^{aw}	2.5 ±0.8 ^{aw}	2.5 ±1.3 ^{ax}	2.4 ±1.1 ^{ax}	2.6 ±0.5 ^{ax}	2.6 ±1.2 ^{ax}
Texture	1	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.9 ±0.3 ^{aw}	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.6 ±0.5 ^{aw}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.3 ±1.0 ^{ax}	3.9 ±0.8 ^{ax}
	3	4.3 ±0.8 ^{awx}	4.1 ±0.9 ^{awx}	4.1 ±0.4 ^{aw}	3.7 ±0.9 ^{awx}	4.1 ±0.8 ^{ax}	3.9 ±0.8 ^{axy}	3.8 ±0.7 ^{axy}	3.4 ±0.5 ^{axy}
	5	4.0 ±0.9 ^{ax}	3.5 ±0.8 ^{ax}	3.3 ±0.5 ^{abx}	2.5 ±0.6 ^{by}	3.5 ±0.8 ^{axy}	3.1 ±0.6 ^{ay}	3.0 ±0.5 ^{ay}	3.0 ±1.1 ^{ay}
	7	3.8 ±0.6 ^{ax}	3.7 ±0.6 ^{abx}	3.3 ±0.7 ^{abx}	3.0 ±0.3 ^{bxy}	3.0 ±0.8 ^{ay}	3.1 ±0.8 ^{ay}	3.0 ±1.1 ^{ay}	2.8 ±0.7 ^{ay}
Overall acceptability	1	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{aw}	4.1 ±0.5 ^{aw}	3.4 ±1.1 ^{ax}	3.4 ±1.1 ^{ax}	3.6 ±1.3 ^{ax}	3.3 ±1.2 ^{ax}
	3	4.3 ±0.8 ^{aw}	4.4 ±0.8 ^{awx}	4.0 ±0.0 ^{aw}	3.7 ±0.9 ^{awx}	3.4 ±0.9 ^{ax}	3.3 ±0.7 ^{ax}	3.3 ±0.9 ^{ax}	2.8 ±1.0 ^{ax}
	5	3.8 ±0.4 ^{ax}	3.5 ±0.5 ^{abxy}	3.2 ±0.8 ^{abx}	2.8 ±0.7 ^{bxy}	2.8 ±1.0 ^{ax}	2.6 ±0.7 ^{axy}	2.9 ±0.8 ^{ax}	2.8 ±1.2 ^{ax}
	7	3.5 ±0.5 ^{ax}	3.0 ±0.8 ^{aby}	3.4 ±0.8 ^{abx}	2.6 ±1.1 ^{by}	2.6 ±0.7 ^{ax}	2.3 ±0.7 ^{ay}	2.6 ±0.7 ^{ax}	2.5 ±0.5 ^{ax}

¹⁾Sensory evaluation was conducted by 10 panelists using a 5-point hedonic scale (5=very good; 1=very bad).

^{a-c}Means followed by different letters within the row per parameter are significantly different ($p<0.05$).

^{w-z}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.45. Sensory properties¹⁾ of electron beam and gamma ray irradiated red cabbage sprouts stored at 6±2°C for 7 days

Para- meter	Storage time (day)	Electron beam (kGy)				Gamma ray (kGy)			
		0	1	3	5	0	1	3	5
Color	1	4.7 ±0.5 ^{awx}	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.7 ±0.7 ^{aw}	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{ax}	4.3 ±0.5 ^{ax}	4.0 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}
	3	4.9 ±0.4 ^{aw}	4.3± 0.8 ^{abwx}	4.0 ±0.6 ^{bw}	3.7 ±0.4 ^{bx}	4.4 ±0.5 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	4.0 ±0.8 ^{ax}	3.9 ±1.1 ^{axy}
	5	4.0 ±0.9 ^{axy}	4.2 ±0.8 ^{awx}	2.8 ±0.8 ^{bx}	3.2 ±1.0 ^{abxy}	4.4 ±0.5 ^{ax}	3.9 ±0.8 ^{ax}	4.0 ±0.5 ^{ax}	3.1 ±0.6 ^{byz}
	7	3.5 ±0.5 ^{ay}	3.6 ±0.5 ^{ax}	2.7 ±0.9 ^{bx}	2.9 ±0.8 ^{by}	3.8 ±0.7 ^{ax}	3.8 ±0.5 ^{ax}	3.8 ±0.7 ^{ax}	2.9 ±0.6 ^{bz}
Odor	1	1.6 ±0.7 ^{aw}	1.6 ±0.5 ^{aw}	1.6 ±0.5 ^{aw}	1.7 ±0.5 ^{aw}	1.9 ±0.6 ^{ax}	1.6 ±0.7 ^{ax}	1.6 ±0.5 ^{ax}	1.8 ±0.7 ^{ay}
	3	2.0 ±0.6 ^{aw}	2.3 ±0.8 ^{aw}	2.3 ±0.8 ^{aw}	2.6 ±0.5 ^{aw}	2.0 ±1.1 ^{ax}	1.9 ±0.8 ^{ax}	2.0 ±0.5 ^{ax}	1.9 ±1.0 ^{ay}
	5	1.7 ±0.8 ^{aw}	1.8 ±0.8 ^{aw}	2.3 ±0.8 ^{aw}	2.7 ±1.4 ^{aw}	2.1 ±1.1 ^{ax}	2.0 ±1.1 ^{ax}	2.3 ±1.3 ^{ax}	2.3 ±0.7 ^{axy}
	7	2.5 ±0.9 ^{aw}	2.7 ±0.9 ^{aw}	2.9 ±1.1 ^{aw}	2.5 ±0.8 ^{aw}	2.5 ±0.9 ^{ax}	2.4 ±1.1 ^{ax}	2.4 ±0.9 ^{ax}	3.0 ±1.2 ^{ax}
Texture	1	4.8 ±0.4 ^{aw}	4.5 ±0.7 ^{aw}	4.4 ±0.7 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{aw}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.5 ±0.8 ^{ax}	4.0 ±1.1 ^{ax}	4.4 ±0.9 ^{ax}
	3	4.6 ±0.5 ^{awx}	4.3 ±0.8 ^{awx}	4.0 ±0.6 ^{awx}	3.9 ±0.7 ^{awx}	4.0 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{axy}	3.5 ±0.5 ^{ax}	3.5 ±0.8 ^{ay}
	5	3.8 ±0.8 ^{axy}	3.5 ±0.6 ^{abwx}	2.7 ±0.5 ^{by}	3.2 ±1.2 ^{abxy}	3.8 ±0.7 ^{ax}	3.5 ±0.5 ^{ay}	3.5 ±0.8 ^{ax}	3.0 ±0.8 ^{ay}
	7	3.4 ±0.7 ^{ay}	3.4 ±0.8 ^{ax}	3.0 ±0.8 ^{abxy}	2.5 ±0.7 ^{by}	3.6 ±0.5 ^{ax}	3.6 ±0.7 ^{ay}	3.4 ±0.7 ^{abx}	2.8 ±0.7 ^{by}
Overall accepta- -bility	1	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.6 ±0.5 ^{aw}	4.6 ±0.5 ^{aw}	4.5 ±0.5 ^{aw}	4.5 ±0.8 ^{ax}	4.4 ±0.7 ^{ax}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.3 ±0.9 ^{ax}
	3	4.4 ±0.5 ^{aw}	4.0 ±0.6 ^{abwx}	4.0 ±0.6 ^{abw}	3.7 ±0.5 ^{bx}	4.3 ±0.5 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	3.6 ±0.5 ^{ax}	3.6 ±0.9 ^{ax}
	5	4.0 ±0.9 ^{awx}	3.8 ±0.9 ^{awx}	2.7 ±0.8 ^{bx}	3.0 ±0.9 ^{abxy}	4.5 ±0.5 ^{ax}	4.0 ±0.0 ^{abx}	3.8 ±0.7 ^{bx}	2.8 ±0.7 ^{cy}
	7	3.3 ±0.5 ^{ax}	3.3 ±0.7 ^{ax}	2.6 ±0.7 ^{bx}	2.6 ±0.8 ^{by}	3.9 ±0.6 ^{ax}	3.1 ±0.6 ^{aby}	3.5 ±0.9 ^{ax}	2.5 ±0.8 ^{by}

¹⁾Sensory evaluation was conducted by 10 panelists using a 5-point hedonic scale (5=very good; 1=very bad).

^{a-c}Means followed by different letters within the row per parameter are significantly different ($p<0.05$).

^{w-z}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 1.46. Sensory properties¹⁾ of electron beam and gamma ray irradiated clover sprouts stored at 6±2°C for 7 days

Parameter	Storage time (day)	Electron beam (kGy)				Gamma ray (kGy)			
		0	1	3	5	0	1	3	5
Color	1	5.0 ±0.0 ^{aw}	4.9 ±0.3 ^{aw}	4.9 ±0.3 ^{aw}	4.5 ±0.5 ^{bw}	4.4 ±0.5 ^{ax}	4.3 ±0.7 ^{ax}	4.0 ±0.8 ^{ax}	4.3 ±0.7 ^{ax}
	3	4.9 ±0.4 ^{aw}	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{abwx}	3.9 ±0.7 ^{bw}	4.3 ±0.7 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	4.0 ±0.8 ^{ax}	4.3 ±0.7 ^{ax}
	5	4.0 ±0.6 ^{ax}	3.7 ±0.5 ^{abx}	3.5 ±0.8 ^{abxy}	2.8 ±1.0 ^{bx}	4.5 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{abx}	4.0 ±0.5 ^{abx}	3.8 ±0.7 ^{bxy}
	7	3.5 ±0.7 ^{ax}	3.9 ±0.8 ^{ax}	3.4 ±0.9 ^{aby}	2.6 ±1.0 ^{bx}	4.0 ±0.8 ^{ax}	3.8 ±0.9 ^{ax}	3.9 ±0.4 ^{ax}	3.3 ±0.7 ^{ay}
Odor	1	1.4 ±0.5 ^{aw}	1.4 ±0.5 ^{ax}	1.4 ±0.5 ^{aw}	1.6 ±0.5 ^{ay}	1.3 ±0.5 ^{ax}	1.4 ±0.5 ^{ax}	1.4 ±0.5 ^{ax}	1.3 ±0.5 ^{ay}
	3	1.4 ±0.5 ^{bw}	1.4 ±0.5 ^{bx}	1.7 ±0.8 ^{abw}	2.4 ±0.8 ^{axy}	1.5 ±0.8 ^{ax}	1.6 ±0.7 ^{ax}	1.5 ±0.5 ^{ax}	1.8 ±0.9 ^{axy}
	5	1.3 ±0.5 ^{cw}	2.0 ±0.6 ^{bcwx}	2.5 ±0.8 ^{bw}	2.8 ±1.0 ^{aw}	1.5 ±0.8 ^{ax}	1.5 ±0.8 ^{ax}	1.5 ±0.8 ^{ax}	1.8 ±0.7 ^{axy}
	7	2.2 ±1.0 ^{aw}	2.4 ±0.7 ^{aw}	2.5 ±0.1 ^{aw}	3.0 ±0.2 ^{awx}	2.0 ±1.2 ^{ax}	1.9 ±1.0 ^{ax}	1.9 ±1.2 ^{ax}	2.3 ±1.3 ^{ax}
Texture	1	4.9 ±0.3 ^{aw}	4.6 ±0.5 ^{abw}	4.3 ±0.4 ^{bw}	4.3 ±0.5 ^{bw}	4.5 ±0.8 ^{ax}	4.3 ±0.5 ^{ax}	4.4 ±0.7 ^{ax}	4.4 ±0.7 ^{ax}
	3	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{aw}	3.7 ±0.8 ^{bwx}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	3.6 ±0.9 ^{axy}
	5	4.3 ±0.8 ^{aw}	3.8 ±0.8 ^{abwx}	3.2 ±0.8 ^{bcx}	2.7 ±1.0 ^{cxy}	4.3 ±0.7 ^{ax}	4.1 ±0.8 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{ax}	3.6 ±0.5 ^{axy}
	7	3.5 ±0.5 ^{abx}	3.6 ±0.8 ^{ax}	3.4 ±0.9 ^{abx}	2.7 ±0.9 ^{by}	4.3 ±0.9 ^{ax}	3.6 ±1.2 ^{ax}	3.9 ±0.8 ^{ax}	3.3 ±1.0 ^{ay}
Overall acceptability	1	4.9 ±0.3 ^{aw}	4.7 ±0.5 ^{abw}	4.6 ±0.5 ^{abw}	4.4 ±0.5 ^{bw}	4.8 ±0.5 ^{ax}	4.4 ±0.5 ^{ax}	4.0 ±0.9 ^{ax}	4.1 ±1.0 ^{ax}
	3	4.9 ±0.4 ^{aw}	4.7 ±0.5 ^{aw}	4.4 ±0.5 ^{aw}	3.7 ±0.5 ^{bwx}	4.3 ±0.9 ^{ax}	4.3 ±0.5 ^{axy}	4.1 ±0.8 ^{ax}	3.8 ±1.0 ^{ax}
	5	4.3 ±0.5 ^{aw}	3.8 ±0.8 ^{abwx}	3.1 ±0.8 ^{bcx}	2.8 ±0.9 ^{cxy}	4.5 ±0.5 ^{ax}	4.1 ±0.6 ^{abxy}	4.3 ±0.5 ^{ax}	3.6 ±0.5 ^{bx}
	7	3.6 ±0.7 ^{ax}	3.5 ±0.8 ^{ax}	3.3 ±0.7 ^{ax}	2.4 ±0.9 ^{by}	4.3 ±0.9 ^{ax}	3.6 ±1.2 ^{aby}	3.9 ±0.8 ^{ax}	3.4 ±0.7 ^{bx}

¹⁾Sensory evaluation was conducted by 10 panelists using a 5-point hedonic scale (5=very good; 1=very bad).

^{a-c}Means followed by different letters within the row per parameter are significantly different ($p<0.05$).

^{w-z}Means followed by different letters within the column are significantly different ($p<0.05$).

6. 최적 살균조건 설정

앞서 미생물 살균효과 실험에서 전자빔 처리는 발아채소종자보다는 발아채소에 대하여 오염된 미생물의 관리가 효과적인 것으로 확인하였다. 따라서 포장된 발아채소 상품의 전자빔 처리의 최적살균조건을 설정하기 위하여, 현행 PET 포장법과 본 연구의 3세부 과제에서 도출된 최적의 OPP 포장재에 의한 모델시료(무순, 클로버)의 전자빔 조사(0, 1, 2, 3 kGy) 직후와 $6\pm 2^{\circ}\text{C}$ 저장 중 미생물, 기능적 및 관능적 품질특성을 조사하여 협동과제의 최적살균공정 확립과 2세부과제의 HACCP 관리계획에 필요한 기술 자료를 확보하고자 하였다.

가. 미생물학적 품질 특성

무순과 클로버의 전자빔 처리 후 저장기간에 따른 포장재 및 조사선량에 따른 일반세균수의 변화는 Table 1.50에 나타내었다. 무순과 클로버 채소의 일반세균은 비조사구에서는 10^6 - 10^7 CFU/g으로 미생물 오염농도가 매우 높았으나 1 kGy에서는 10^2 - 10^3 CFU/g, 2와 3 kGy에서는 10^1 - 10^2 CFU/g으로 조사선량이 높을수록 미생물 사멸효과는 뛰어난 것으로 확인되었다. 또한 저장 7일 동안 미생물 생육특성은 저장기간이 길어질수록 미생물 생육이 증가하여 비조사구 시료의 경우 10^7 - 10^8 CFU/g이었다. 그러나 전자빔 조사시료의 경우 선량에 따라 다소 차이가 있었으나 10^2 - 10^6 CFU/g 범위의 농도를 나타내어 비조사구에 비해 2-5 log cycle 정도 감소시킴을 확인하였고 그 증식속도도 완만하였다.

무순과 클로버의 저장기간에 따른 포장재 및 조사선량에 따른 대장균균수는 Table 1.51에 나타내었다. 대장균균은 초기오염농도가 비조사구에서는 10^2 - 10^3 CFU/g이었으나 전자빔 처리구의 경우 선량에 따른 차이가 있었으나 10^1 - 10^2 CFU/g로 농도가 낮거나 2 kGy 이상의 조사선량에서는 발견되지 않았다. 그러나 저장 말기에는 비조사구의 경우 10^4 - 10^6 CFU/g로 크게 증가하였으나 전자빔 조사구는 10^1 - 10^3 CFU/g로 비조사구에 비해 약 2-3 log cycle 정도 감소됨을 확인하였다. 이때 포장재에 따른 미생물 생육특성 실험결과 OPP 포장 구에서 미생물의 농도의 감소효과를 확인할 수 있었다. 이는 산소투과성의 OPP 포장재는 발아채소를 완전 밀봉 상태로 포장 저장시킬 수 있으므로 미생물의 2차 오염을 방지할 수 있는 반면, 현행 PET 방법은 포장의 주위에 약 6개 내외의 공기구(hole, 약 5 mm 지름)를 두고 있으므로 발아채소의 중량감소 및 건조는 물론, 공기 중 미생물의 추가적인 오염의 가능성이 있으므로 개선된 포장의 사용효과가 인정되었다.

Table 1.47. Total plate count of irradiated sprouts in different packaging during storage (CFU/ g)

sample	Irradiation dose (kGy)	Storage time (day)					
		0	1	3	5	7	
Radish	OPP	0	$1.5 \times 10^{71)}$	1.6×10^7	1.3×10^8	1.2×10^8	1.3×10^8
		1	6.0×10^3	6.4×10^3	9.0×10^3	1.3×10^4	4.8×10^3
		2	9.5×10^1	9.7×10^1	2.4×10^2	3.8×10^2	5.5×10^2
		3	1.6×10^1	5.3×10^1	1.2×10^2	2.2×10^2	2.3×10^2
	PET	0	3.3×10^7	1.4×10^8	2.4×10^8	1.7×10^8	2.4×10^8
		1	1.8×10^4	8.5×10^3	2.5×10^4	3.3×10^4	4.9×10^4
		2	4.7×10^2	9.3×10^2	1.6×10^3	1.6×10^3	6.2×10^3
		3	3.8×10^2	1.2×10^2	4.7×10^2	3.5×10^2	7.8×10^2
Clover	OPP	0	1.2×10^6	2.0×10^6	1.1×10^7	4.2×10^7	9.0×10^7
		1	8.3×10^2	6.2×10^2	1.3×10^3	9.0×10^3	6.1×10^5
		2	2.6×10^2	3.0×10^2	9.9×10^2	2.3×10^3	2.9×10^4
		3	1.7×10^2	1.2×10^2	2.9×10^2	4.2×10^2	4.3×10^3
	PET	0	2.2×10^7	5.5×10^6	2.5×10^7	2.6×10^7	1.2×10^8
		1	3.4×10^3	1.9×10^3	1.6×10^3	2.1×10^3	1.3×10^6
		2	7.9×10^2	3.3×10^2	3.1×10^2	4.0×10^2	6.0×40^5
		3	4.0×10^1	1.3×10^2	2.1×10^2	2.4×10^2	4.3×10^4

¹⁾Values are means of triplicate experiments (n=3).

Table 1.48. Coliform of irradiated sprouts in different packaging during storage
(CFU/ g)

sample	Irradiation dose (kGy)	Storage time (day)					
		0	1	3	5	7	
Radish	OPP	0	1.3×10^{21}	2.59×10^2	4.3×10^2	3.5×10^3	2.02×10^4
		1	4.5×10^1	6.0×10^1	3.2×10^2	3.7×10^2	6.0×10^2
		2	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0
	PET	0	3.3×10^2	2.4×10^2	1.56×10^3	1.36×10^4	1.6×10^4
		1	1.8×10^2	4.9×10^2	1.75×10^2	2.5×10^3	3.5×10^3
		2	0	0	1.2×10^1	4.7×10^2	9.3×10^2
		3	0	0	0	1.2×10^3	3.8×10^1
Clover	OPP	0	3.6×10^3	3.82×10^4	4.3×10^4	9.3×10^4	6.5×10^5
		1	1.0×10^1	3.2×10^1	6.0×10^1	1.1×10^2	4.7×10^2
		2	0	0	0	2.2×10^1	2.9×10^1
		3	0	0	0	0	1.7×10^1
	PET	0	6.5×10^3	2.2×10^4	2.5×10^5	5.5×10^5	6.3×10^6
		1	1.1×10^2	1.4×10^2	1.6×10^2	1.3×10^3	2.0×10^3
		2	0	0	3.1×10^1	4.0×10^2	6.0×10^2
		3	0	0	0	1.3×10^1	2.5×10^2

¹⁾Values are means of triplicate experiments (n=3).

나. 기능성 품질 특성

(1) Total ascorbic acid 함량

무순과 클로버 시료에 전자빔을 조사하여 저장기간에 따른 총 ascorbic acid의 함량변화는 Table 1.52, 1.53에 나타내었다. 그 결과 두 종의 시료 모두 저장기간이 길어짐에 따라 총 ascorbic acid 함량이 감소되었다. 또한 방사선 조사선량이 증가할수록 감소하는 반면 OPP 포장재와 PET 포장재에 따라서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Table 1.49. Total ascorbic acid (mg/100 g, f.w.) of irradiated radish sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	68.22 ±7.25 ¹⁾	69.28 ±10.05	58.54 ±6.566	56.69 ±7.28	61.26 ±1.82	63.51 ±5.31	57.05 ±0.75	60.90 ±2.26
1	56.29 ±6.97	51.98 ±9.95	48.53 ±8.32	46.64 ±2.84	55.86 ±10.10	52.66 ±11.15	47.77 ±7.91	47.12 ±12.22
3	54.15 ±3.71	60.57 ±2.41	57.02 ±3.04	54.19 ±3.70	58.36 ±0.80	59.95 ±3.65	58.18 ±1.89	57.23 ±1.73
5	66.81 ±2.20	64.45 ±2.26	57.67 ±2.54	67.39 ±1.88	61.84 ±2.59	58.98 ±3.95	54.01 ±1.44	52.05 ±2.51
7	53.93 ±2.36	49.73 ±3.76	43.34 ±1.89	43.78 ±1.95	51.03 ±1.77	46.14 ±3.59	43.13 ±3.40	47.22 ±1.29

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

Table 1.50. Total ascorbic acid (mg/100g, f.w.) of irradiated clover sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	16.50 ±0.22 ¹⁾	17.16 ±1.26	17.16 ±0.99	16.36 ±0.74	18.90 ±1.18	20.38 ±1.63	19.57 ±1.21	14.25 ±1.24
1	17.77 ±0.75	16.39 ±0.99	15.42 ±0.32	12.55 ±1.86	17.92 ±2.71	16.47 ±1.47	15.49 ±1.09	15.89 ±0.64
3	15.63 ±2.58	13.89 ±1.51	13.31 ±1.68	12.55 ±0.88	16.76 ±0.97	12.73 ±1.99	12.73 ±2.03	12.51 ±0.94
5	15.92 ±1.38	12.08 ±1.97	12.88 ±1.73	11.86 ±2.24	15.63 ±1.31	13.20 ±0.70	10.88 ±0.31	10.63 ±0.65
7	17.08 ±1.56	13.89 ±1.35	13.31 ±1.12	12.40 ±0.83	16.87 ±0.43	10.99 ±2.15	10.41 ±0.43	11.39 ±3.0.2

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=3).

(2) Total carotenoid 함량

무순과 클로버 시료에 전자빔을 조사하여 저장기간에 따른 총 carotenoid의 함량 변화는 Table 1.54, 1.55에 나타내었다. 총 carotenoid 함량변화는 PET와 OPP 포장재 모두 저장기간이 길어질수록 감소하였으며 선량간에는 큰 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Table 1.51. Total carotenoid ($\mu\text{g/g}$, f.w.) of irradiated radish sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	1.88 $\pm 0.07^{1)}$	1.30 ± 0.05	1.84 ± 0.04	1.50 ± 0.27	1.81 ± 0.13	1.74 ± 0.02	1.33 ± 0.02	1.57 ± 0.03
1	1.35 ± 0.06	1.34 ± 0.20	1.60 ± 0.08	1.18 ± 0.72	1.43 ± 0.01	1.33 ± 0.05	1.25 ± 0.02	1.17 ± 0.03
3	1.53 ± 0.05	1.30 ± 0.02	1.48 ± 0.02	1.09 ± 0.04	1.14 ± 0.02	1.27 ± 0.02	1.22 ± 0.08	1.19 ± 0.10
5	1.41 ± 0.02	1.24 ± 0.01	1.34 ± 0.11	1.03 ± 0.05	1.04 ± 0.03	1.04 ± 0.02	0.99 ± 0.03	1.10 ± 0.03
7	1.16 ± 0.04	1.03 ± 0.05	1.14 ± 0.12	1.25 ± 0.03	0.96 ± 0.03	1.10 ± 0.01	0.87 ± 0.02	1.13 ± 0.11

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

Table 1.52. Total carotenoid ($\mu\text{g/g}$, f.w.) of irradiated clover sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	0.42 $\pm 0.02^{1)}$	0.28 ± 0.04	0.23 ± 0.02	0.25 ± 0.06	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.06	0.21 ± 0.06	0.22 ± 0.04
1	0.10 ± 0.02	0.15 ± 0.04	0.24 ± 0.21	0.18 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.04	0.19 ± 0.03	0.16 ± 0.03
3	0.09 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.04	0.16 ± 0.07	0.11 ± 0.03	0.14 ± 0.05	0.18 ± 0.01
5	0.04 ± 0.04	0.14 ± 0.05	0.09 ± 0.03	0.14 ± 0.03	0.01 ± 0.07	0.10 ± 0.03	0.12 ± 0.06	0.12 ± 0.06
7	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.01 ± 0.06	0.08 ± 0.03	0.01 ± 0.01	0.12 ± 0.08	0.02 ± 0.01	0.14 ± 0.01

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

(3) Total chlorophyll 함량

무순과 클로버 시료에 전자빔을 조사하여 저장기간에 따른 총 chlorophyll의 함량변화는 Table 1.56, 1.57에 나타내었다. 그 결과 두 종의 시료 모두 저장기간이 길어짐에 따라 총chlorophyll의 함량이 감소되었으며, 비조사구와 비교하여 1 kGy와 큰 유의적인 차이가 나타나지 않았지만 대체로 선량이 높아질수록 그 함량도 감소하는 경향이 나타났다. 또한 OPP와 PET 포장재에 따른 함량변화는 저장 7일째 PET보다 OPP 포장재에서 carotenoid 함량이 높았는데 이것은 PET보다 OPP 포장재가 색의 변화를 줄이는 효과를 가져 온 것으로 사료된다.

(4) Total phenol 함량

무순과 클로버 시료에 전자빔을 조사하여 저장기간에 따른 총 페놀성 화합물 함량 변화는 Table 1.56, 1.57에 나타내었다. 그 결과 두 종의 시료 모두 저장기간이 길어짐에 따라 총 페놀성 화합물이 감소되었으나, 비조사구에 비해 조사선량이 높아질수록 총 페놀성 화합물은 다소 증가하는 경향을 나타내었으며 포장재에 따른 함량변화는 거의 나타나지 않았다.

Table 1.53. Total chlorophyll ($\mu\text{g/g}$, f.w.) of irradiated radish sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	6.13	5.12	5.70	8.30	6.70	7.09	5.91	4.95
	$\pm 0.42^{1)}$	± 1.57	± 0.28	± 3.42	± 0.72	± 0.13	± 0.61	± 0.79
1	4.87	4.83	5.20	3.91	6.34	6.52	4.07	4.14
	± 0.62	± 0.36	± 1.51	± 0.47	± 0.86	± 0.47	± 0.27	± 1.81
3	4.53	4.12	5.20	3.95	5.36	4.90	3.91	3.33
	± 0.28	± 0.10	± 0.48	± 0.13	± 0.56	± 0.31	± 0.06	± 0.78
5	4.44	3.52	4.52	3.51	4.72	3.44	3.69	3.23
	± 0.43	± 0.36	± 0.61	± 0.63	± 0.85	± 0.61	± 0.21	± 0.70
7	1.63	2.32	2.10	1.69	3.13	3.50	3.83	3.21
	± 0.31	± 0.22	± 0.27	± 0.40	± 0.47	± 0.30	± 0.60	± 0.55

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

Table 1.54. Total chlorophyll ($\mu\text{g/g}$, f.w.) of irradiated clover sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	13.09	10.40	10.69	9.58	12.11	10.85	10.09	9.16
	$\pm 0.27^{1)}$	± 0.30	± 0.29	± 0.41	± 1.52	± 1.15	± 0.87	± 0.9
1	9.70	8.88	10.84	8.54	9.43	9.52	9.02	7.73
	± 0.55	± 0.39	± 0.29	± 0.46	± 0.43	± 0.59	± 0.57	± 0.19
3	9.28	7.32	8.44	7.97	8.34	8.86	8.78	07.26
	± 0.58	± 0.39	± 0.69	± 0.48	± 0.50	± 0.56	± 1.03	± 0.81
5	7.01	6.28	7.05	6.90	9.59	7.91	8.04	6.22
	± 0.50	± 0.65	± 0.25	± 0.45	± 1.45	± 0.71	± 0.21	± 0.90
7	5.79	5.97	6.93	5.47	7.96	6.72	7.63	6.77
	± 0.11	± 0.56	± 0.37	± 0.25	± 0.20	± 0.23	± 0.38	± 0.19

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

Table 1.55. Total phenol ($\mu\text{g/g}$, F.W) of irradiated radish sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	7.62	7.21	8.01	7.96	6.89	7.61	8.35	7.99
	$\pm 0.08^{1)}$	± 0.15	± 0.08	± 0.15	± 0.10	± 0.06	± 0.05	± 0.37
1	7.19	7.06	7.98	7.90	6.29	7.63	7.76	7.36
	± 0.11	± 0.16	± 0.27	± 0.06	± 0.46	± 0.06	± 0.28	± 0.08
3	6.20	7.60	7.02	7.24	5.99	6.89	7.61	7.67
	± 0.04	± 0.05	± 0.05	± 0.06	± 0.48	± 0.19	± 0.35	± 0.07
5	5.59	6.83	6.61	6.85	5.60	5.35	6.39	7.08
	± 0.14	± 0.07	± 0.03	± 0.27	± 0.06	± 0.07	± 0.10	± 0.11
7	5.21	6.86	6.35	6.93	4.93	5.40	6.00	5.94
	± 0.07	± 0.15	± 0.17	± 0.13	± 0.04	± 0.22	± 0.07	± 0.37

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

Table 1.56. Total phenol ($\mu\text{g/g}$, f.w.) of irradiated clover sprouts in different packaging during storage

Storage time (day)	PET				OPP			
	Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
0	5.63 $\pm 0.34^{1)}$	5.16 ± 0.01	5.24 ± 0.18	8.26 ± 0.29	6.26 ± 1.52	5.24 ± 0.13	5.94 ± 0.05	5.40 ± 0.07
1	5.42 ± 0.23	4.95 ± 0.03	5.02 ± 0.11	5.42 ± 0.18	5.50 ± 0.13	5.36 ± 0.34	5.37 ± 0.17	5.12 ± 0.08
3	4.91 ± 0.09	4.81 ± 0.22	5.11 ± 0.06	5.02 ± 0.04	5.19 ± 0.07	5.06 ± 0.15	5.19 ± 0.04	5.02 ± 0.11
5	4.47 ± 0.13	4.98 ± 0.27	5.03 ± 0.98	4.48 ± 0.17	4.98 ± 0.03	4.84 ± 0.13	4.93 ± 0.08	4.91 ± 0.25
7	4.31 ± 0.09	3.70 ± 0.03	3.79 ± 0.08	4.58 ± 0.12	3.68 ± 0.06	3.86 ± 0.03	5.13 ± 0.08	4.09 ± 0.05

¹⁾Values are means \pm standard deviation (n=3).

다. 중량 감소 변화

중량 감소는 발아채소의 조직변화와 관련이 있는 것으로, 중량의 유지는 선도 및 외관 품질을 유지하는데 중요한 요인이다.

따라서 현행 PET 포장재와 선택 OPP 포장재의 전자빔 조사에 따른 저장 중 중량감소 변화를 살펴보았으며 그 결과는 Fig. 1.56에 나타내었다. 발아채소의 중량 감소는 조사된 시료를 비조사시료와 함께 6°C에 저장하면서 1, 3, 5, 7일째에 중량 감소 실험을 실시하였다. 그 결과 무순과 클로버 시료 모두에서 저장기간이 길어짐에 따라 포장시료의 중량이 변화하였으며, 중량 감소는 OPP 포장재보다는 현행 PET 포장재에서 더 크게 나타났다. 이로써 현행 PET 포장재보다는 OPP 포장재의 적용은 발아채소 유통 상품의 선도유지는 물론 중량의 변화를 최대한 줄일 수 있는 방안이 될 것으로 기대한다.

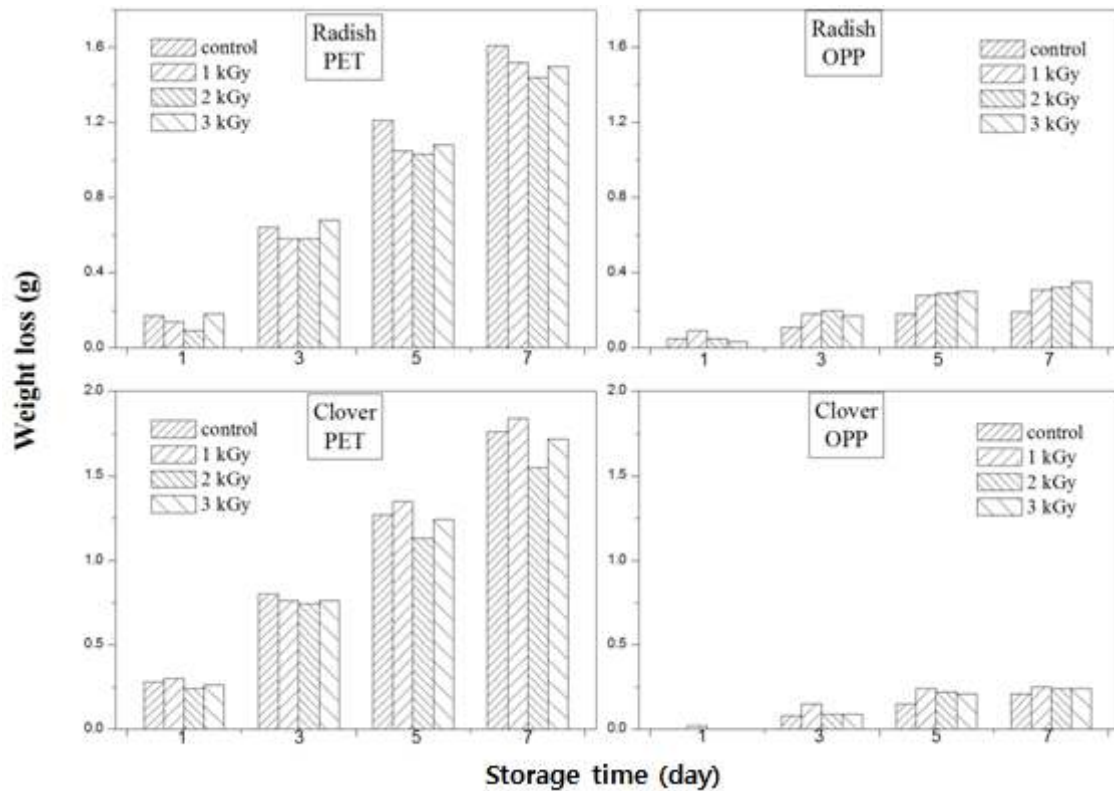


Fig. 1. 56. Weight loss of irradiated radish and clover sprouts in different packaging during storage.

라. 관능적 품질 특성

포장재 OPP와 PET로 포장된 무순과 클로버 발아채소에 전자빔을 0, 1, 2, 3 kGy로 조사한 후 $6\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하면서 7일 동안 저장기간에 따른 발아채소의 관능적 품질 평가를 실시하였다. 관능적 품질평가는 상품성과 관련지어 외관, 뿌리변색, 새싹냄새, 이취, 조직감, 시늬, 전반적 기호도 등에 대하여 총 10명의 선발된 검사요원으로 하여금 7점 채점법(7=아주 좋다, 6=약간 좋다, 5=좋다, 4=보통이다, 3=싫다, 2=약간 싫다, 1=아주 싫다)으로 평가를 실시하였다.

그 결과 대체로 모든 항목에서 저장기간이 길어질수록 관능적 품질 평점은 점차 감소하였으며, 조사선량에 따른 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한 포장재에 따른 품질 비교는 유의적으로 큰 차이는 나지 않았다. 그러나 OPP 포장재에서 외관 및 조직감이 약간 더 높은 평점을 보였으며 뿌리변색, 시늬 현상이 적게 일어나 관능적으로 우수한

것으로 나타났다. 이것은 PET 포장재에서 외관형태상 발아채소의 호흡을 위해 4-6개의 구멍이 있는데, 이 공기구멍을 통하여 수분이 증발됨에 기인한 것으로 생각된다. 그리고 고유한 발아채소의 냄새유지 및 이취발생은 PET 포장재에서 좀 더 높은 평점을 얻었으며, 이는 PET보다 OPP가 산소 투과율이 낮음에 따라 기인한 것으로 여겨진다.

포장재의 선택에 있어서 산소투과율이 너무 높으면 신선편이식품의 호흡을 촉진시키고 반면, 산소투과율이 너무 낮으면 혐기적 조건이 되어 부패 및 미생물의 번식우려가 있다. 따라서 발아채소와 같은 신선편이식품의 경우 포장재의 선택이 중요한 것으로 판단된다.

이로써 앞서 실시한 미생물적 품질특성에서 PET보다 OPP에서 미생물의 증식이 완만하였으며, 관능적 품질 평가에서도 PET보다 OPP에서 외관상 좀 더 높은 평점을 보임으로써 PET 포장재 보다는 OPP 포장재를 발아채소살품의 포장재로 대체하는 방안이 타당할 것이다. 또한 발아채소에 따른 적정선량은 시료마다 다소 차이가 있으나 미생물학적 품질과 관련하여 2 kGy 내외가 적당할 것으로 판단된다. 따라서 발아채소 포장 상품에 적정선량의 전자빔을 처리한다면 관능적 상품성을 유지시키면서 미생물학적 안전성 확보에 기여할 것으로 기대된다.

Table 57. Sensory properties¹⁾ of electron beam irradiated radish sprouts stored at 6±2°C for 7 days in different packaging

Storage time (day)	PET					OPP			
	Irradiation dose (kGy)					Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	3	0	1	2	3	
외관	1	6.14±0.90	5.86±0.69	6.00±0.82	5.14±0.90	6.14±0.90	6.29±0.76	5.86±0.90	5.29±1.11
	3	6.00±0.82	5.86±1.21	5.57±1.40	5.57±0.53	6.14±0.69	6.43±0.53	6.57±0.53	6.14±0.90
	5	5.14±0.69	4.86±0.69	5.29±0.76	5.43±0.98	5.57±0.98	6.00±0.82	5.29±0.76	6.00±1.00
	7	5.14±0.69	5.14±0.69	5.29±0.69	5.57±0.53	5.43±0.95	5.29±0.95	5.86±1.35	5.71±0.49
뿌리변색	1	5.86±1.21	5.57±1.27	6.29±1.25	5.29±0.95	6.00±1.00	5.86±1.07	6.14±0.90	5.57±1.40
	3	6.14±0.90	5.71±1.89	5.57±1.51	5.29±1.25	6.29±1.11	5.86±1.35	6.29±0.76	6.00±1.15
	5	4.86±0.69	4.71±0.76	5.43±0.53	4.86±1.21	5.57±1.13	6.00±0.82	5.71±0.76	5.57±0.98
	7	5.43±1.51	5.86±1.07	5.43±0.79	5.00±1.41	5.43±0.79	6.14±0.38	5.86±1.07	5.14±1.07
새싹새	1	6.14±1.21	5.86±1.46	5.86±1.35	5.43±1.27	6.00±1.00	5.14±1.07	5.71±0.95	4.71±1.70
	3	6.00±0.82	5.29±1.38	5.71±0.95	4.71±1.38	5.86±0.38	5.29±0.49	5.14±0.69	4.86±1.46
	5	4.71±0.76	4.57±0.53	5.14±0.69	4.43±0.98	5.43±0.79	4.57±1.81	4.86±1.35	5.00±1.41
	7	4.83±0.75	5.14±1.07	5.14±0.90	5.29±0.76	4.33±1.21	4.14±1.35	4.71±1.11	4.57±0.53
이취	1	6.57±1.13	6.57±0.53	6.00±1.15	5.71±1.38	6.43±0.79	6.29±0.95	6.14±0.90	5.43±1.72
	3	5.29±1.11	5.29±1.25	5.86±1.21	5.00±0.82	5.00±1.41	5.29±1.11	5.43±0.98	5.00±1.15
	5	4.00±1.15	5.00±1.29	4.14±1.07	4.57±0.79	5.14±1.07	5.43±0.79	5.14±0.69	5.29±0.76
	7	4.86±0.69	4.86±0.90	5.00±0.82	5.00±0.82	4.14±0.90	4.14±1.35	4.86±1.35	4.00±0.82
조직감	1	6.57±0.53	6.57±0.53	6.43±0.53	5.57±0.79	6.43±0.79	6.57±0.79	6.57±0.53	6.29±0.76
	3	6.00±0.82	6.43±0.79	5.57±0.53	5.29±0.95	5.86±1.07	6.43±0.53	6.57±0.53	6.00±1.15
	5	5.71±0.76	5.57±0.53	5.14±0.90	5.00±0.58	5.71±1.25	5.43±0.79	5.00±0.82	5.57±0.79
	7	5.43±0.79	5.86±0.69	5.43±0.79	5.14±0.69	6.00±0.82	5.29±0.76	5.29±1.70	5.57±1.27
시름	1	6.43±0.79	6.29±0.76	6.29±0.95	6.00±1.00	6.14±0.90	6.86±0.38	6.29±0.76	6.14±0.90
	3	6.43±0.53	6.00±1.15	6.29±0.76	6.14±0.38	6.00±0.58	6.00±0.82	6.14±0.90	6.14±0.90
	5	5.14±0.69	3.86±0.69	4.71±1.11	4.57±0.79	5.71±0.76	5.86±0.69	5.43±0.98	6.00±0.58
	7	5.14±0.90	5.43±0.79	5.14±0.90	5.57±0.79	5.14±0.69	4.86±0.90	5.57±1.13	5.14±1.27
종합적기호도	1	6.14±0.69	6.00±0.58	5.71±0.76	5.57±0.53	6.14±0.69	5.57±1.40	5.86±0.38	5.14±1.21
	3	5.86±0.90	5.71±1.38	6.14±1.07	5.57±1.13	5.71±0.76	6.00±0.58	6.14±0.38	6.14±0.69
	5	4.57±0.79	4.57±0.53	4.71±0.49	4.57±0.53	5.86±0.69	6.14±0.90	6.29±0.76	5.57±0.53
	7	5.29±1.11	5.57±0.98	4.86±0.69	5.29±0.95	5.00±0.82	4.86±1.07	5.29±1.38	4.43±1.27

¹⁾Sensory evaluation was conducted by 10 panelists using a 7-point hedonic scale (7=very good; 1=very bad).

Table 58. Sensory properties¹⁾ of electron beam irradiated clover sprouts stored at 6±2°C for 7 days in different packaging

		PET				OPP			
		Irradiation dose (kGy)				Irradiation dose (kGy)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
외관	1	6.50±0.76	6.38±0.92	6.63±0.52	6.13±1.36	6.38±0.92	6.50±0.76	6.88±0.35	5.88±0.83
	3	6.38±0.52	6.00±0.76	5.50±0.93	5.88±0.83	6.38±0.52	5.88±0.64	5.38±0.52	5.63±0.52
	5	6.13±0.64	5.38±0.74	4.63±0.52	4.63±0.52	6.25±0.46	5.88±0.64	5.75±0.89	4.50±0.53
	7	5.57±1.13	5.71±0.49	4.71±0.95	4.57±0.79	5.57±1.27	5.71±0.49	5.00±1.29	4.86±1.07
뿌리변색	1	6.25±0.71	5.63±0.52	5.63±1.41	5.88±0.99	6.50±0.53	5.63±0.92	6.13±0.83	5.50±0.96
	3	6.13±0.99	5.50±1.07	5.00±1.07	5.25±0.89	6.38±0.74	5.88±0.64	5.50±0.53	5.75±0.46
	5	5.13±0.64	5.50±0.53	4.38±0.52	3.88±0.64	5.50±0.76	5.25±0.89	4.88±0.64	4.00±0.76
	7	5.57±0.53	4.86±1.21	4.29±0.76	4.57±0.79	5.71±0.75	5.43±0.9	4.71±0.95	4.43±0.98
새싹냄새	1	5.50±0.93	6.25±0.71	5.63±1.06	5.38±0.74	5.13±0.99	5.50±0.93	5.63±1.19	5.88±0.99
	3	5.75±1.04	5.50±0.93	4.38±1.41	4.25±1.39	5.88±0.64	5.13±0.83	5.50±1.31	5.38±0.92
	5	5.13±0.83	4.88±0.99	4.88±0.64	4.50±0.76	5.63±0.74	4.50±1.07	4.75±1.28	5.38±0.74
	7	4.43±1.13	3.86±1.35	4.29±0.76	4.14±1.46	4.71±0.95	4.86±0.69	4.71±0.5	4.43±1.13
이취	1	6.13±0.64	6.13±0.64	5.50±0.93	5.63±0.74	6.00±0.93	6.13±0.35	5.50±0.76	6.13±0.64
	3	5.50±0.76	5.13±1.46	4.63±1.60	3.88±1.55	5.38±1.51	4.63±1.41	4.88±0.99	3.88±1.25
	5	4.75±0.89	4.63±1.06	4.50±1.07	3.88±1.25	5.63±0.52	5.63±0.52	4.88±0.99	5.00±0.93
	7	4.86±1.07	4.86±1.07	4.00±1.15	3.86±1.07	5.00±1.15	4.57±1.27	4.86±0.69	4.14±0.90
조직감	1	6.38±0.52	5.25±0.89	5.75±0.46	5.63±0.74	6.50±0.76	6.00±1.07	6.13±0.64	6.25±0.71
	3	5.50±1.07	5.50±0.93	5.75±1.04	5.75±0.71	5.63±0.74	5.50±0.76	5.13±1.13	5.88±0.99
	5	5.38±0.52	4.88±0.83	5.25±0.71	4.38±0.92	5.38±0.92	5.63±0.52	5.13±0.83	5.00±0.76
	7	4.86±1.35	4.14±0.90	3.86±0.90	3.86±1.07	4.71±1.50	4.57±0.98	4.43±1.13	4.00±0.82
시들	1	5.63±0.92	5.75±0.89	5.75±1.04	5.75±0.89	5.88±1.25	5.75±0.71	5.88±0.99	6.00±1.07
	3	5.38±0.74	5.38±0.52	5.13±1.13	5.00±1.07	5.50±0.93	4.50±1.07	5.00±1.31	4.88±1.25
	5	5.00±0.76	5.00±0.93	4.25±1.16	4.00±1.07	5.38±0.52	5.38±0.52	5.25±0.89	4.50±1.20
	7	4.57±1.40	4.86±1.07	4.43±0.98	4.86±0.90	5.00±0.82	4.71±0.49	4.71±0.76	4.57±0.53
종합적기호	1	5.88±0.64	5.75±0.46	5.38±0.74	5.63±1.17	6.25±0.89	6.13±0.35	6.13±0.83	5.50±0.93
	3	6.00±0.53	5.38±0.92	4.63±0.92	4.88±0.64	6.13±0.64	5.50±0.93	5.50±0.76	5.38±0.74
	5	5.75±0.71	5.25±0.46	4.63±0.92	4.38±0.92	5.75±0.46	5.50±0.53	4.75±1.04	4.38±0.52
	7	5.00±1.00	4.57±1.27	4.14±0.69	4.57±1.13	5.00±1.29	5.14±0.38	4.29±0.95	4.00±0.82

¹⁾Sensory evaluation was conducted by 10 panelists using a 7-point hedonic scale (7=very good; 1=very bad).

제 4 절 결 론

유통 중인 발아채소 및 종자의 미생물 오염도를 확인하고자 total plate count, coliforms 및 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*, *Coliforms*)에 대한 실험을 실시한 결과, 시판 다소비 발아채소(16종 55품목)의 일반세균은 7-8 log CFU/g, 대장균군은 4-8 log CFU/g 수준이었고, 발아채소종자(7종/5개 社)는 총세균과 대장균군이 각각 1-5 log CFU/g 및 < 3 log CFU/g 수준으로 오염정도가 다양하였다. 그리고 특이하게도 시판 브로콜리, 적무순 및 알파파 발아채소에서는 *Listeria*의 오염이 확인되었다. 이로써 특히 시판 발아채소는 미생물학적 품질개선이 요구되었으며, 다소비 모델시료(6종)에 대해 전자빔 조사의 살균효과를 감마선 비교하면서 측정한 결과, 살균효과는 초기오염도에 따라 상이하지만 초기 10^5 - 10^6 CFU/g이던 것이 대체로 3 kGy 이하의 조사선량에서 일반세균과 대장장균군이 2-5 log cycle 정도 감소하였고 조사선원에 따른 차이는 거의 없었다.

또한 *Listeria monocytogenes* 오염이 확인된 시료 중 다소비 새싹채소인 브로콜리와 적무의 종자와 발아채소를 대상으로 4종의 병원성미생물(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, *Bacillus cereus*)을 접종하여 전자빔 감수성[D₁₀ value(decimal reduction dose) & 5 D value(5 log cycle reduction)]을 측정한 결과, 전자빔은 감마선 에너지와 살균효과가 유사하였으며, 1-3 kGy 범위의 선량에서 발아채소에 혼입된 병원성미생물의 사멸관리가 가능한 것으로 확인되었다.

전자빔 살균 처리된 발아채소종자 5종(무순, 브로콜리, 적양배추, 적무, 클로버)에 대해 발아과정 중 세균수를 측정한 결과, 재배 1일째에 비조사 시료에서는 2-5 log CFU/g, 조사시료에서는 1-4 log CFU/g의 상대적으로 낮은 농도를 나타내었으나 5일째에는 유사한 값(7-8 log CFU/g)을 나타내었다. 종자에서는 초기 대장균군이 검출되지 않았으나 재배 5일의 비조사구는 5 log CFU/g 수준을, 3 kGy 이하의 전자빔 조사시료에서는 1-4 log CFU/g의 농도를 보여 총세균과 대장균군의 농도는 재배환경에 크게 영향을 받으므로 발아채소상품의 미생물학적 안전성 확보를 위해서 종자에 전자빔을 처리하는 방법은 기술적 타당성이 없는 것으로 판단하였다.

따라서 현행 발아채소공장에서 생산된 시판용 포장상품의 미생물학적 품질을 개선할 목적으로 전자빔의 살균효과를 조사한 결과, 일반세균과 대장균군에서 초기 농도가 각각 5-6 및 4-5 log CFU/g 수준이던 것이 1-3 kGy의 조사로써 2-4 log cycle 정도의 감소효과를 보이면서 6±2℃에서 3일 이후까지도 미생물학적 품질개선이 가능하였다. 또한 시료

상품의 색, 냄새, 조직 및 전반적 기호도에 대한 관능적 품질평가에서도 1-3 kGy 조사시료는 대조시료와 큰 차이 없이 저장 5일까지도 3점 이상의 양호한 상품특성을 보여주었다.

한편 고품질 발아채소의 유통기술 확보를 위하여 전자빔의 살균효과와 상품의 선도유지 효과가 확인된 OPP포장재의 적용실험을 2종의 모델발아채소(무순, 클로버)를 대상으로 실시한 결과, 2 kGy 내외의 전자빔 조사는 미생물학적 품질을 효과적으로 향상시켰을 뿐 아니라 저온 유통조건에서도 무처리 대조구 및 현행 포장재(PET)보다 양호한 품질을 유지시켰다. 이로써 발아채소포장상품에 적정선량의 전자빔을 처리한다면 관능적 품질을 유지시키면서 미생물학적 품질 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

제2 세부 발아채소의 위해도 평가 및 저감화를 위한 HACCP Plan 개발

제 1 절 서 론

최근 건강웰빙식품으로서 수요가 크게 증가하고 있는 발아채소는 병원성 미생물의 오염과 성장이 용이한 식품으로서 미국, 일본 등 주요 선진국에서 대형 식중독 사고의 원인 식품으로 판명되었다(1-3). 1973년 미국의 한 가정에서 콩(soy), 크레스(cress), 겨자(mustard) 종자에서 *Bacillus cereus*가 발견되었는데 새싹을 키우는 도구에 의한 것으로 가장 먼저 보고되었다(4). 미생물학자들은 종자가 발아하는 동안 *Bacillus cereus*는 $>10^7/g$ 로 증식한다는 사실을 밝혀냈다(1). 발아채소의 병원성 미생물 오염은 주로 오염된 원료종자로부터 기인한다고 보고되어진다(5). 대표적으로 미국, 일본 시장에서의 발아채소 생산량(미국 30만 톤/1999년)은 매년 크게 신장하고 있으며, 이는 대부분 샐러드 등으로 날로 섭취됨으로써 식중독 사고를 일으킨 바 있으며(미국 1996-2004년, 1,636 cases/27건; 일본 1996-1997년, 16,126 cases/15건 등), 그 원인이 새싹용 종자인 것으로 밝혀졌다(1-3).

발아채소의 위생적 생산을 위한 우량제조 및 품질관리기준(Good Manufacturing Practices, GMP)이나 위해요소중점관리기준(Hazard Analysis Critical Control Point, HACCP) 제도의 도입은 발아채소 관련 식중독 발생의 위험을 줄일 수 있을 것이다.

국내 발아채소 시장규모의 증가와 지속적 수요에 대응하기 위해서는 위생적 생산, 유통 기술 확보와 안전관리체제의 구축이 시급하다.

미국에서는 발아채소에 의한 식중독이 지속적으로 발생함에 따라 미국 FDA는 모든 종자를 발아시키기 전에 20,000 ppm calcium hypochlorite 용액으로 살균할 것을 권고하였다(6-8). 발아채소용 종자표면 제균을 위해 제안되고 있는 살균제로는 sodium 혹은 calcium hypochlorite, hydrogen peroxide, chlorine dioxide, ethanol, oxonated water, acidified sodium chlorite, organic acid/hypochlorite와 gaseous acetic acid가 있다(9-11).

발아채소는 조직이 매우 연하므로 세척에 의한 제균작업은 매우 제한적으로 실시될 수 있으므로 원료 종자의 살균과 위생적 발아채소 재배공정이 요구되는 특성을 지닌다.

신선편이 식품의 수요가 증가되고 있는 시점에서 웰빙식품으로 다소비되고 있는 발아채소의 안전성 확보와 고품질 유통을 위한 선도유지, 포장 및 상품화 기술 개발은 시급히 추진되어야 한다. 발아채소를 포함한 신선편이 농산물의 안전성은 생산업체의 영세성과 유통구조의 복잡성 등으로 인해 가격에 비하여 품질이 낮은 제품이 유통됨에 따라 소비

자의 인식에 악영향을 미치며, 특히 단체급식의 경우 식사기피 및 위생사고 발생 등에 대한 불안감 등이 높아지고 있다(12).

발아채소 생산 공정에서 위해요소의 분석평가 및 효과적인 제어관리 기술의 확보는 제품의 안전성, 편이성 및 경제성을 제고시켜 신선편이식품 산업의 활성화와 신 유통관리 기술의 보급에 크게 이바지 할 것이므로 이에 대한 적극적인 연구개발이 요구된다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 발아채소 및 종자시료

발아채소는 재배방법이 쉽고 재배기간이 짧아 초기에는 소규모 농가가 생산·판매했으나, 최근에는 품목의 다양화와 위생적인 측면이 강조되어 대규모 기업형으로 재배되고 있는 실정이다. 따라서 생산 규모와 적정 재배시설을 갖춘 발아채소 재배업체인 A와 B의 2개 업체를 선정하였고, 각 업체에서 생산되는 발아채소 중 판매량이 비교적 많은 발아채소종자 및 발아채소를 실험대상 샘플로 선정하였다.

2. 발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해분석

미생물 검사는 식품공전(2007)의 방법을 기준으로 실시하였다. 두 업체의 각 생산단계별로 시료를 채취하여 일반세균, 대장균군, 대장균 및 병원성 미생물(*Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Bacillus cereus*)의 오염도를 평가하고, 국내산 종자와 수입산 종자간의 미생물학적 오염도를 비교 평가하였다.

가. 시료 채취 및 전처리

생산현장으로부터 채취한 시료를 각각 100 g 정도씩 포장하여 ice box로 운반하여 즉시 실험하였다. 채취한 시료 중 10 g을 취하여 90 mL 0.85% 멸균 NaCl용액을 가하여 균질화한 후 이 중 1 mL을 시험원액으로 사용하였다.

나. 일반세균 및 식중독균 검사

(1) 일반세균 (Aerobic plate count)

전처리 된 시험원액 1 mL을 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액에 1 mL씩을 취하여 멸균된 일회용 페트리접시 2매에 넣고 표준한천배지(Plate Count Agar) 약 15 mL를 무균적으로 분주한 후 35°C에서 24-48시간 배양하였다. 1평판당 30-300개의 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계수하였다.

(2) 대장균군 (Coliforms)

전처리 된 시험원액 1 mL을 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액에 1 mL씩을 취해 대장균군 건조필름배지에 접종한 후 잘 흡수시키고 35°C에서 24시간 배양한 후 생성된 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고, 그 평균집락수에 희석배수를 곱하여 대장균군 수를 산출하였다.

(3) 대장균 (*E. coli*)

전처리 된 시험원액 1 mL을 취하여 9mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액에 1 mL씩을 취해 Petrifilm™ *E. coli* count(PEC)에 접종한 후 잘 흡수시키고 35°C에서 24시간 배양한 후 생성된 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 대장균 수를 산출하였다.

(4) 살모넬라 (*Salmonella* spp.)

전처리 된 시험원액 1 mL를 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액을 MacConkey 한천배지 또는 XLD 한천배지에 접종시킨 후 35°C에서 24시간 배양하였다. 50-150개의 무색의 유당 비분해균의 집락 또는 검은색 집락이 확인된 평판을 선별하여 각 집락수를 계수하였다. 계수한 평판에서 5개씩의 전형적인 집락을 취하여 보통한천배지에 접종하여 35°C에서 18~24시간 배양한 후 그람음성간균임을 확인하고 TSI 사면배지에 천자이식하여 35°C에서 24시간 배양하여 유당, 서당 비분해, 가스생성 양성인 균임을 확인하고 VITEK32를 사용하여 동정하여 재확인하였다.

(5) 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus*)

전처리 된 시험원액 1 mL를 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희

석하였다. 각 단계 희석액을 난황첨가 만니톨 식염한천배지 또는 10%난황 텔루라이트를 첨가한 Baird parker agar에 접종하여 37℃에서 16-24시간 배양하였다. 50-150개의 황색 불투명 집락(만니톨 분해)을 나타내고 주변에 혼탁한 백색환(난황반응양성)이 있는 집락 또는 중앙부위에 검은 집락과 가장자리에 환을 갖는 집락의 평판을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개의 전형적인 집락을 취하여 보통한천배지에 옮겨 37℃에서 18-24시간 배양한 후 그람양성구균으로 확인되면 Coagulase test, Catalase test를 실시하고, BAP Agar에 도말하여 37℃에서 24시간 배양하여 용혈을 일으키면 양성으로 판정한 후, VITEK32를 사용하여 동정하여 재확인하였다.

(6) 리스테리아균 (*Listeria monocytogenes*)

전처리 된 시험원액 1 mL를 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액을 Oxford 한천배지에 접종하여 30℃에서 24-48시간 배양한 후 50-150개의 의심집락이 확인된 평판을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개의 전형적인 집락을 취하여 보통한천배지에 옮겨 30℃에서 24h hemolysis(BAP agar) test를 하여 재확인하였다.

(7) 장출혈성대장균 (*Escherichia coli* O157:H7)

전처리된 시험원액 1 mL를 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액을 MacConkey sorbitol 한천배지 또는 EMB agar에 접종하여 35℃에서 24시간 배양한 후 50~150개의 분홍빛 투명 집락과 녹색의 금속성 집락이 확인된 평판을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개씩의 전형적인 집락을 취하여 보통한천배지에 접종하여 35℃에서 24시간 배양 후 그람음성 간균을 확인하고 혈청시험을 실시한 후 VITEK32를 사용하여 재확인하였다.

(8) 비브리오균 (*Vibrio parahaemolyticus*)

전처리된 시험원액 1 mL를 취하여 9 mL 0.85% 멸균 NaCl 용액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액을 TCBS 한천배지에 접종하여 35℃에서 18-24시간 배양한 후 50-150개의 직경 2-4 mm인 청록색의 서당 비분해 집락이 확인된 평판을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개씩의 전형적인 집락을 취하여 3% NaCl을 첨가한 보통한천배지에 접종하여 35℃에서 24시간 배양 후 Oxidase test, motility test와 발효, 가스 비생성 결과로 재확인하고 VITEK32로 동정하여 확인하였다.

(9) 바실러스 세레우스 (*Bacillus cereus*)

전처리된 시험원액 1 mL을 취하여 9 mL 멸균인산완충희석액에 넣어 단계별로 희석하였다. 각 단계 희석액을 MYP 한천배지에 접종하여 30°C에서 24시간 배양한 후 50-150개의 집락 주변에 lecithinase를 생성하는 혼탁한 환이 있는 분홍색 집락을 계수하였다. MYP 평판배지에서 전형적인 집락 5개를 선별하여 보통한천배지에 접종하여 30°C에서 24시간 배양 후 그람양성 간균임을 확인하고 VITEK32로 동정하였다. motility test를 하여 재확인시험 하였다. *Bacillus cereus*로 확인 동정된 균수에 희석배수를 곱하여 균수를 계산하였다.

3. 저감화 처리에 따른 품질안전성 시험

가. 종자소독처리

종자 소독은 각 농도별 sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, 에탄올과 오존수, 전해산화수, 전해환원수 그리고 다양한 온도별로 열수에 처리하였다.

나. 발아채소 종자 발아율 측정

건실한 종자를 육안으로 선별하여 일정량(100 seeds)씩을 취하여 비처리 종자의 경우, 증류수에 6시간 침지하여 사용하였고, 저감화 처리 종자의 경우 각 처리수에 6시간 침종 또는 침종 후 처리하여 사용하였다. 저감화 처리 및 비처리 종자는 10cm 페트리디쉬 용기에 여과지(Whatman No.1) 1장을 깔고 증류수 10 mL을 첨가한 후 치상하여 암상태의 25°C 발아상에서 3회 이상 반복 실시하였다. 발아기간 동안 건조하지 않도록 증류수를 보충해 주었으며, 유근이 1mm 이상 나온 것을 발아한 것으로 간주하였고 종자를 치상한 후 12시간 간격으로 2일 동안 조사하여 ISTA(1996)의 발아실험법에 준하여 산출하였으며, 조사치는 3회 시험한 결과의 평균값으로 나타내었다.

4. 발아채소 및 종자의 미생물 저감화 효과 시험

가. 접종 식중독균 선정 및 전처리

저감화 대상 미생물로는 발아채소의 미생물 검사에서 양성 반응을 보였으며, 발아채소의 재배특성과 저온으로 유통된다는 특성을 고려하여 저온성 식중독균으로 그람 양성균인 *Listeria monocytogenes*를 선정하였다.

(1) 사용균주

사용균주는 *L. monocytogenes* ATCC 19111을 사용하였고 30℃에서 24시간 배양의 방법으로 2차, 3차 후 배양을 거쳐 실험목적에 맞게 희석하여 사용하였다.

(2) *Listeria monocytogenes* 접종 및 건조

본 실험에서는 침지법을 택하여 균을 접종한 후 실온에서 20시간 건조 후 접종한 액이 완전히 마른 후 실험하였다. 접종균수는 발아채소종자의 경우 약 10^3 - 10^5 CFU/g, 발아채소의 경우 약 10^5 - 10^7 CFU/g로 맞춘 후 골고루 접종하였다.

나. 살균소독제의 처리

(1) 소독제의 종류

살균소독제는 시중에 판매중인 sodium hypochlorite(DC chemical co., Ltd, 유효염소 10%), calcium hypochlorite(DC chemical co., Ltd), 에탄올(99.9%)을 구입하여 사용하였고, 침종수와 재배수는 오존수(OZW-1001, 알카오존스, 오존농도 0.25 ppm), 전해산화수(HClO 100 ppm, ORP 1,100 mV, pH 2.76), 전해환원수(HClO 101.79 ppm, ORP 676mV, pH 8.72)를 선택하여 실험에 사용하였다.

(2) 소독제의 농도 및 시간

발아채소종자 소독시 calcium hypochlorite는 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리하였고, 발아채소 소독시 sodium hypochlorite의 경우 100 ppm, 200 ppm 농도에 각각 5, 10, 20분간 처리하였고, 에탄올은 80% 농도에서 30초, 1, 5분간 처리하였다. 오존수(OZW-1001, 알카오존스, 오존농도 0.25 ppm), 전해산화수(HClO 100 ppm, ORP 1,100 mV, pH 2.76),

전해환원수(HClO 101.79 ppm, ORP 676mV, pH 8.72)에는 각각 5분, 10분, 20분간 처리하였다.

다. *Listeria monocytogenes* 정량 실험 방법

각각의 살균소독제를 농도별, 시간별로 처리한 시료에 멸균수 90 mL를 첨가하여 3분간 stomaching한 후 0.85% NaCl 용액으로 연속희석한 후 Tryptic soy agar(TSA)와 Oxford agar에서 37℃, 24-48시간 배양 후 균수는 standard plate count(SPC)방법으로 계산하였고, colony-forming unit(CFU)/g로 표현하였다. 모든 샘플은 duplicate로 하고 동일 시료에 대해 2회 반복하여 조건별 잔존 미생물의 균수를 측정하여 그 평균값을 얻었다.

제 3 절 연구개발 결과

1. 실험 대상 발아채소 종자 및 발아채소

가. 발아채소 및 종자의 종류

발아채소종자 시료는 협력업체 A로부터 공급받았고, 생산단계별 발아채소 시료는 A와 B의 두 업체로부터 공급받았다. A업체에서 공급받은 발아채소종자와 발아채소는 판매량이 비교적 많은 국내산 5종(배추, 무순, 유채, 적무, 다채)과 수입산 5종(알팔파, 브로콜리, 클로버, 적채, 적무)으로 그 모양은 Fig. 2.1, Fig 2.2와 같다.

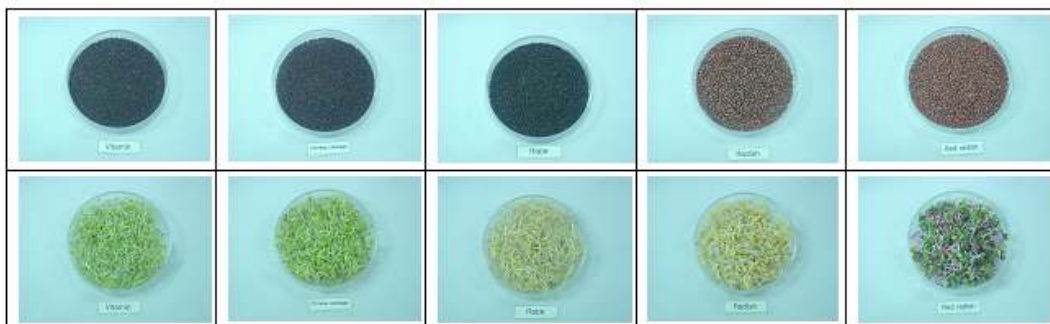


Fig 2.1. Domestic seeds and sprouts in company A.

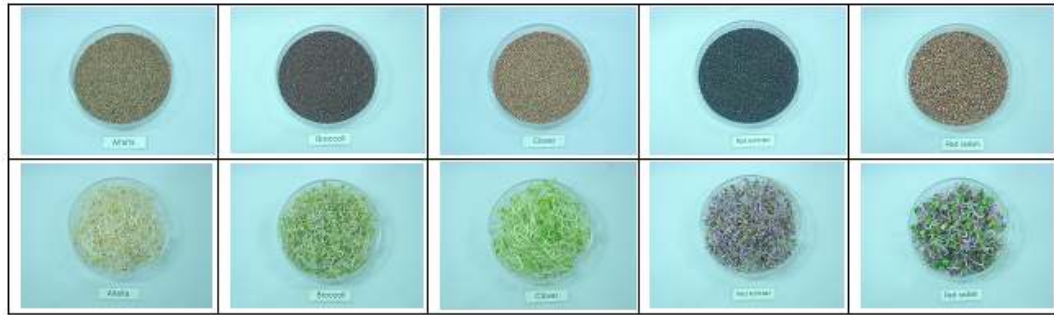


Fig. 2.2. Imported seeds and sprouts in company A.

A업체에서 수입산 종자의 주 수입국은 미국과 이탈리아로, Table 2.1과 같다.

Table 2.1. Importing country of the sample seeds in company A

Samples	Importing country	Samples	Importing country
Chinese cabbage	Korea	Alfalfa	Italy
Radish	Korea	Broccoli	Italy, United states
Rape	Korea	Clover	United states
Red radish	Korea	Red kohlrabi	Italy
Tatsoi	Korea	Red radish	Italy

B업체에서 공급받은 발아채소종자와 발아채소는 국내산 2종(배추, 유채)과 수입산 4종(알팔파, 브로콜리, 적채, 적무)으로 그 모양은 Fig. 2.3, Fig. 2.4와 같으며, 수입산 종자의 주 수입국은 A업체와 같았다.

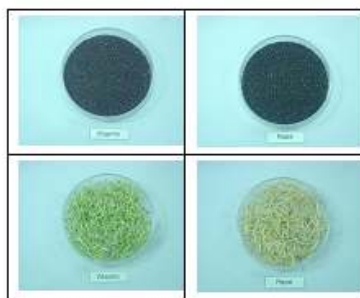


Fig. 2.3. Domestic seeds and sprouts in company B.

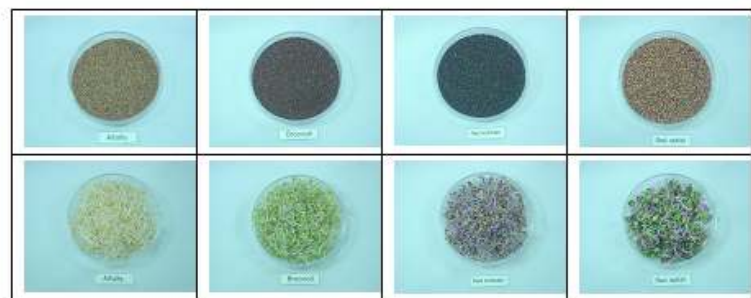


Fig. 2.4. Imported seeds and sprouts in company B.

나. 발아채소 생산과정

발아채소는 재배방법이 쉽고 재배기간이 짧아 초기에는 소규모 농가에서 생산·판매했으나, 최근에는 품목의 다양화와 위생적인 측면이 강조되어 대규모 기업형으로 재배되고 있는 실정이다. 각 업체의 생산체계는 Fig. 2.5와 같이 원료 입고 및 보관, 종자침중, 발아, 재배, 세척, 탈수, 예냉, 포장의 과정으로 이루어져 있다. 생산과정 중에서의 차이점을 살펴보면, 재배방식에 있어서 A업체는 드럼에서만 2일 재배하나, B업체의 경우 드럼에서 1일 재배 후 이틀을 트레이에서 재배하는 점에서 차이가 있었다.

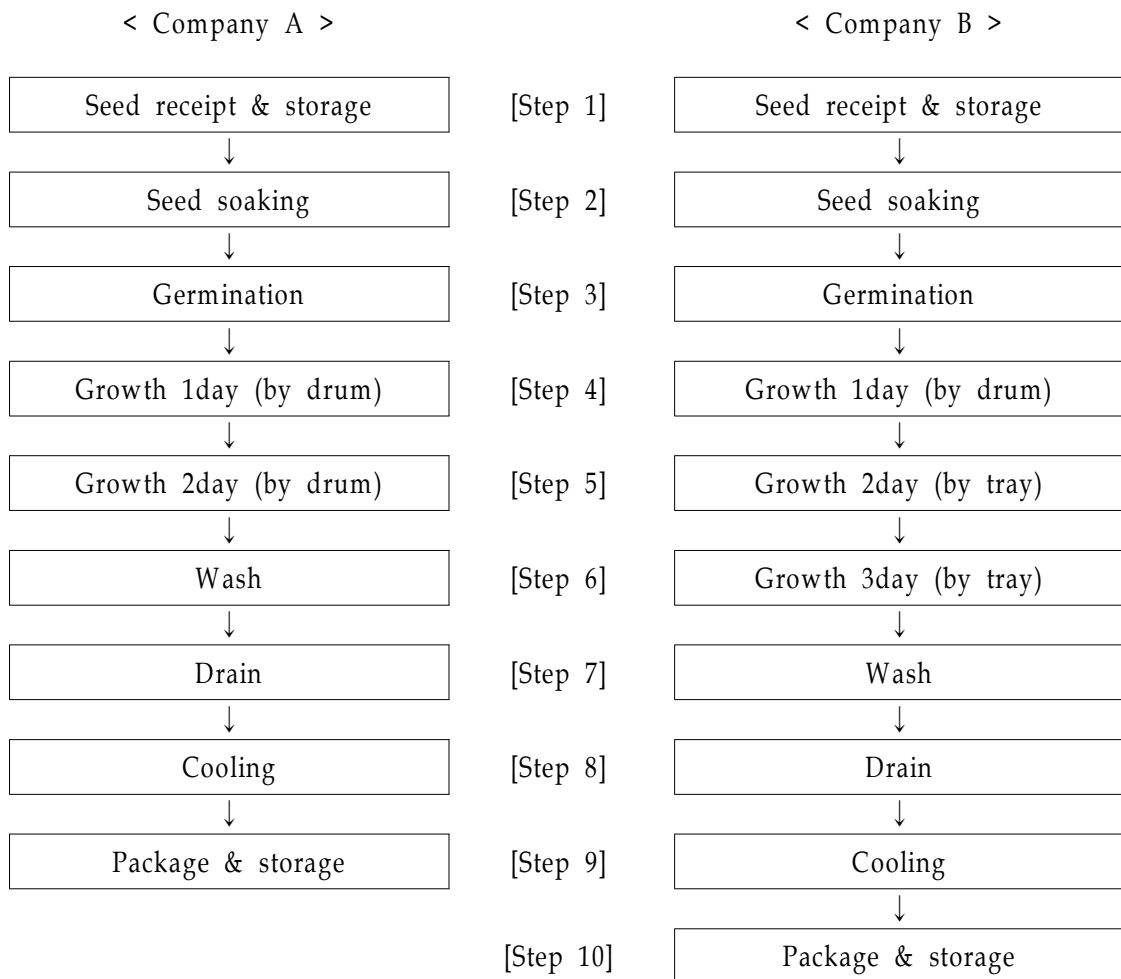


Fig. 2.5. The sprout production processes of company A and B.

A와 B업체의 생산현장 실태는 각각 Fig. 2.6, Fig. 2.7과 같다. A업체는 우리나라 발아채소의 40% 이상 생산하고 있는 법인 기업으로 국내산과 수입산 종자를 엄격히 구분하고, 생산시설도 국내산 종자와 외국산 종자를 이원화하여 고품질·안전농산물을 생산하기 위해 지하 300m 천연암반수를 사용하여 자체 개발한 인큐베이터드럼식 재배기에서

자동화시스템으로 생산하고 있었다. 현재 HACCP 인증을 받기 위해 HACCP 규격에 맞는 생산 및 가공공정을 일부 갖추고 적용하여 운영하고 있었다. 한편 B업체는 주로 대형마트와 급식업소 등에 발아채소를 납품하고 있는 업체로 최근 HACCP 인증을 받기 위해 시설 및 컨설팅을 받아 식약청에 자료를 제출한 바 있었지만 신선편이 농산물에 대한 HACCP 기준이 없어 인증을 못 받은 상태였다. 본 연구팀에서 조사한 결과 두 업체는 다소 업체간 위생시설 및 관리수준의 차이가 있었지만 위생관리의 중요성을 인식하고 작업공정, 시설 및 위생관리에 주의를 기울이고 있었다.



Fig. 2.6. The sprouting pictures of company A.



Fig. 2.7. The sprouting pictures of company B.

2. 발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해요인 분석

가. 발아채소의 실험재배에서의 재배단계별 위해분석

발아채소의 실험재배에 의한 재배단계별 미생물학적 위해요인을 분석한 결과는 Table 2.2-2.7과 같다. 종자 소독 시 식중독균은 검출되지 않았고, 대조군에 비하여 유의하게 낮은 미생물 수준을 보였으나, 발아과정에서 일반세균, 대장균군 모두 10^7 - 10^8 CFU/g으로 종자소독 여부에 관계없이 종자에 비하여 유의하게 높은 오염 수준을 나타내었다. 또한 종자 소독하지 않은 클로버에서 *Listeria monocytogenes* 이 검출되었다.

Table 2.2. Total plate count and coliforms during germination of alfalfa

Day	Total plate count (CFU/g)		Coliform count (CFU/g)	
	Control	Treatment	Control	Treatment
0 (seed)	$6.25 \times 10^3 \pm 4.71 \times 10^3$	$8.20 \times 10^1 \pm 6.01 \times 10^1$	$1.72 \times 10^3 \pm 1.52 \times 10^3$	$1.00 \times 10^1 \pm 1.10 \times 10^1$
1	$6.09 \times 10^7 \pm 6.25 \times 10^7$	$7.92 \times 10^6 \pm 7.60 \times 10^6$	$2.93 \times 10^7 \pm 3.37 \times 10^7$	$2.23 \times 10^6 \pm 2.26 \times 10^6$
2	$1.10 \times 10^8 \pm 5.89 \times 10^7$	$2.80 \times 10^7 \pm 2.61 \times 10^7$	$2.33 \times 10^7 \pm 1.78 \times 10^7$	$2.17 \times 10^6 \pm 1.30 \times 10^6$
3	$2.00 \times 10^8 \pm 9.57 \times 10^6$	$6.85 \times 10^7 \pm 9.88 \times 10^6$	$1.30 \times 10^8 \pm 5.79 \times 10^7$	$3.32 \times 10^7 \pm 2.34 \times 10^7$
4	$1.70 \times 10^8 \pm 1.10 \times 10^8$	$9.27 \times 10^7 \pm 3.75 \times 10^7$	$1.20 \times 10^8 \pm 1.20 \times 10^8$	$4.82 \times 10^7 \pm 3.55 \times 10^7$
5 (sprout)	$2.30 \times 10^8 \pm 9.81 \times 10^7$	$1.80 \times 10^8 \pm 5.22 \times 10^7$	$1.30 \times 10^8 \pm 1.30 \times 10^8$	$1.10 \times 10^8 \pm 1.00 \times 10^8$

Mean \pm SD

CFU: colony forming unit.

Table 2.3. Total plate count and coliforms during germination of broccoli

Day	Total plate count (CFU/g)		Coliform count (CFU/g)	
	Control	Treatment	Control	Treatment
0 (seed)	$2.35 \times 10^4 \pm 1.22 \times 10^4$	$3.00 \times 10^2 \pm 1.42 \times 10^2$	$2.06 \times 10^4 \pm 1.43 \times 10^4$	ND
1	$1.90 \times 10^8 \pm 1.30 \times 10^8$	$3.07 \times 10^6 \pm 2.51 \times 10^6$	$1.87 \times 10^6 \pm 2.50 \times 10^5$	$1.23 \times 10^5 \pm 1.40 \times 10^5$
2	$9.60 \times 10^7 \pm 1.14 \times 10^7$	$1.50 \times 10^8 \pm 1.50 \times 10^8$	$2.27 \times 10^7 \pm 1.35 \times 10^7$	$3.52 \times 10^6 \pm 3.26 \times 10^6$
3	$1.50 \times 10^8 \pm 4.46 \times 10^7$	$1.20 \times 10^8 \pm 6.33 \times 10^7$	$2.60 \times 10^7 \pm 1.62 \times 10^7$	$9.22 \times 10^6 \pm 9.01 \times 10^6$
4	$6.52 \times 10^7 \pm 1.16 \times 10^7$	$2.10 \times 10^8 \pm 6.94 \times 10^7$	$6.00 \times 10^6 \pm 4.79 \times 10^6$	$8.45 \times 10^6 \pm 7.60 \times 10^6$
5 (sprout)	$2.50 \times 10^8 \pm 2.06 \times 10^7$	$2.90 \times 10^8 \pm 1.00 \times 10^7$	$3.62 \times 10^7 \pm 1.95 \times 10^7$	$6.12 \times 10^7 \pm 8.77 \times 10^6$

Mean \pm SD.

CFU: colony forming unit.

Table 2.4. Total plate count and coliforms during germination of clover

Day	Total plate count (CFU/g)		Coliform count (CFU/g)	
	Control	Treatment	Control	Treatment
0 (seed)	$2.83 \times 10^5 \pm 2.62 \times 10^5$	$1.80 \times 10^3 \pm 1.81 \times 10^3$	$2.24 \times 10^5 \pm 2.55 \times 10^5$	$1.53 \times 10^3 \pm 1.52 \times 10^3$
1	$3.23 \times 10^7 \pm 2.78 \times 10^7$	$2.69 \times 10^7 \pm 2.54 \times 10^7$	$8.15 \times 10^6 \pm 2.75 \times 10^6$	$5.30 \times 10^6 \pm 6.32 \times 10^5$
2	$7.80 \times 10^7 \pm 4.85 \times 10^7$	$5.72 \times 10^7 \pm 4.07 \times 10^7$	$4.15 \times 10^7 \pm 2.77 \times 10^7$	$3.61 \times 10^7 \pm 3.12 \times 10^7$
3	$9.30 \times 10^7 \pm 6.02 \times 10^7$	$6.85 \times 10^7 \pm 4.43 \times 10^6$	$2.72 \times 10^7 \pm 1.12 \times 10^7$	$2.52 \times 10^7 \pm 1.50 \times 10^6$
4	$9.95 \times 10^7 \pm 2.37 \times 10^7$	$5.60 \times 10^7 \pm 4.33 \times 10^7$	$3.60 \times 10^7 \pm 2.02 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7 \pm 1.38 \times 10^7$
5 (sprout)	$7.47 \times 10^7 \pm 3.46 \times 10^7$	$2.70 \times 10^7 \pm 8.08 \times 10^6$	$4.25 \times 10^7 \pm 3.00 \times 10^7$	$1.86 \times 10^7 \pm 1.55 \times 10^7$

Mean \pm SD.

CFU: colony forming unit.

Table 2.5. Total plate count and coliforms during germination of red cabbage

Day	Total plate count (CFU/g)		Coliform count (CFU/g)	
	Control	Treatment	Control	Treatment
0 (seed)	$3.45 \times 10^4 \pm 1.50 \times 10^4$	$5.70 \times 10^1 \pm 5.00 \times 10^1$	$1.40 \times 10^4 \pm 2.44 \times 10^3$	$5.00 \times 10^0 \pm 5.00 \times 10^0$
1	$1.47 \times 10^7 \pm 4.42 \times 10^6$	$3.45 \times 10^6 \pm 5.74 \times 10^5$	$1.20 \times 10^7 \pm 4.54 \times 10^6$	$1.35 \times 10^6 \pm 2.38 \times 10^5$
2	$1.37 \times 10^7 \pm 3.77 \times 10^6$	$5.72 \times 10^6 \pm 2.63 \times 10^6$	$1.15 \times 10^7 \pm 3.48 \times 10^6$	$1.82 \times 10^6 \pm 3.77 \times 10^5$
3	$3.65 \times 10^7 \pm 1.91 \times 10^6$	$1.77 \times 10^7 \pm 1.01 \times 10^7$	$1.80 \times 10^7 \pm 9.17 \times 10^6$	$3.95 \times 10^6 \pm 2.95 \times 10^6$
4	$4.57 \times 10^7 \pm 3.90 \times 10^7$	$2.12 \times 10^7 \pm 9.60 \times 10^6$	$4.62 \times 10^7 \pm 3.59 \times 10^7$	$5.22 \times 10^6 \pm 3.09 \times 10^6$
5 (sprout)	$4.57 \times 10^7 \pm 2.45 \times 10^7$	$3.17 \times 10^7 \pm 1.58 \times 10^7$	$3.11 \times 10^7 \pm 3.16 \times 10^7$	$1.99 \times 10^7 \pm 1.45 \times 10^7$

Mean \pm SD.

CFU: colony forming unit

Table 2.6. Total plate count and coliforms during germination of red radish

Day	Total plate count (CFU/g)		Coliform count (CFU/g)	
	Control	Treatment	Control	Treatment
0 (seed)	$1.85 \times 10^4 \pm 6.40 \times 10^3$	$9.20 \times 10^1 \pm 9.00 \times 10^1$	$1.38 \times 10^4 \pm 6.51 \times 10^3$	$1.50 \times 10^1 \pm 1.70 \times 10^1$
1	$8.67 \times 10^6 \pm 6.14 \times 10^6$	$2.00 \times 10^6 \pm 2.18 \times 10^6$	$1.82 \times 10^6 \pm 6.07 \times 10^5$	$2.45 \times 10^4 \pm 2.76 \times 10^4$
2	$1.40 \times 10^7 \pm 8.16 \times 10^5$	$1.08 \times 10^7 \pm 1.35 \times 10^6$	$4.75 \times 10^6 \pm 1.47 \times 10^6$	$2.22 \times 10^6 \pm 9.46 \times 10^5$
3	$7.00 \times 10^7 \pm 2.44 \times 10^6$	$1.88 \times 10^7 \pm 1.29 \times 10^7$	$8.22 \times 10^6 \pm 5.51 \times 10^6$	$3.30 \times 10^6 \pm 3.36 \times 10^5$
4	$1.30 \times 10^8 \pm 1.30 \times 10^8$	$1.90 \times 10^7 \pm 1.82 \times 10^6$	$3.05 \times 10^7 \pm 1.59 \times 10^7$	$1.11 \times 10^7 \pm 7.93 \times 10^6$
5 (sprout)	$1.10 \times 10^8 \pm 9.16 \times 10^7$	$4.37 \times 10^7 \pm 2.11 \times 10^7$	$1.82 \times 10^7 \pm 3.20 \times 10^6$	$1.36 \times 10^7 \pm 7.89 \times 10^6$

Mean \pm SD.

CFU: colony forming unit.

Table 2.7. Food-borne pathogens during germination of clover

Day	<i>E. coli</i> (CFU ² /g)	<i>E. coli</i> O157:H7 (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	<i>L. monocytogenes</i> (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>Salmonella</i> spp. (CFU/g)
0 (seed)	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	1.0×10 ⁴	1.2×10 ⁴	-
2	-	-	-	8.5×10 ³	8.5×10 ³	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5 (sprout)	-	-	-	1.5×10 ⁴	1.8×10 ⁴	-

나. A 생산업체 발아채소의 생산단계별 위해분석

A업체의 발아채소 및 종자 생산단계별 미생물학적 품질은 Table 2.8, Table 2.9와 같다. 종자의 경우, 일반세균 수는 10³-10⁵ CFU/g, 대장균군 수는 10¹-10³ CFU/g으로서 국내산과 수입산 종자간의 차이는 보이지 않았다. 종자의 침종시 소독제(calcium hypochlorite 20,000 ppm) 처리 유무에 따른 차이를 나타내었는데, 먼저 소독제를 처리하지 않은 경우의 국내산 종자의 일반세균 수는 10⁴-10⁵ CFU/g, 대장균군 수는 10³-10⁴ CFU/g으로 나타났으며, 수입산 종자의 일반세균 수는 10³-10⁵ CFU/g, 대장균군 수는 10²-10⁴ CFU/g으로 나타났다. 소독제를 처리한 경우 국내산 종자의 일반세균 수 10³-10⁴ CFU/g, 대장균군 수는 10¹-10² CFU/g으로 나타나 10¹-10² CFU/g 정도의 감소효과를 보였으며, 수입산 종자는 일반세균수 10¹-10³ CFU/g, 대장균군 수는 ≤10¹ CFU/g으로 나타나 10²-10³ CFU/g 정도로 국내산 종자보다 감소효과가 더 크게 나타나 종자 침종 시 소독처리의 필요성이 시사된다.

종자가 발아 후 국내산은 일반세균 10⁷-10⁸ CFU/g, 대장균군 10⁴-10⁷ CFU/g으로 높게 나타났고, 수입산은 일반세균 10⁶-10⁸ CFU/g, 대장균군 10³-10⁷ CFU/g으로 높은 수치를 보여 발아와 함께 세균의 증식이 활발해지는 것을 알 수 있었다. 재배 기간동안 일반세균과 대장균군이 10⁶-10⁸ CFU/g, 10⁵-10⁷ CFU/g으로 높은 오염도를 유지하는 것으로 나타났다. 세척과 탈수 후에도 일반세균과 대장균군이 10⁶-10⁸ CFU/g, 10⁵-10⁷ CFU/g으로 높은 오염도를 나타내는 것으로 볼 때 물로만 세척하기 보다는 적절한 소독과정을 거쳐 미생물학적 위해를 안전한 수준으로 감소 혹은 제거시킬 수 있는 방법을 모색하여야 할 것으로 사료된다. 저장동안에도 일반세균과 대장균군이 ≤10¹ log cycle 정도의 증가 현상을 보여 저장온도와 방법 등이 적절하게 이루어 지지 않으면 저장시간의 경과에 따라 위생상태는 더 나빠질 것으로 사료된다.

발아채소류의 미생물수준을 평가하는데 있어서 식품공전에는 생채소류에 대한 미생물적 허용기준은 규정되어 있지 않으나, Solberg 등(13)은 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치로서 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 대장균군 수 10^3 CFU/g 이하로 제시하고 있다. 이러한 기준의 한계치와 비교하면 총균수와 대장균군수 모두 안전기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 총균수가 10^7 - 10^8 CFU/g이 식품에 존재할 경우에는 이것이 원인이 되어 다른 식품과의 복합적인 작용 또는 면역기능이 약한 사람에게는 병원성이 없는 세균이라 할지라도 식중독을 일으킬 가능성이 큰 것으로 예상되어질 수 있다(14,15).

높은 일반세균수를 보인 거의 모든 시료에서 대장균군수 역시 높은 수치를 보였다. 이는 발아채소의 비위생적 처리과정 및 비위생적 환경을 반영하고 있으며, 일반세균수 및 대장균군수가 발아채소의 오염지표로 사용될 수 있음을 시사하고 있다.

*E. coli*는 미생물 검출시 식품위생상의 분변오염의 지표세균으로서 식품에 전혀 검출이 되어서는 안되는 균이지만(15), Table 2.10-2.12와 같이 침종 시 소독제를 처리하지 않은 국내산 무, 유채, 적무 종자의 발아 후 과정에서 *E. coli*가 검출이 되었다. 적무의 경우 세척을 통해 제거된 점을 본다면 침종 시 소독제 처리를 통한 1차적 관리와 철저한 세척을 통한 2차적 위생관리를 위한 특별한 주의가 요망된다.

병원성 미생물에 대한 분석결과는 Table 2.13과 같다. 분석된 10종의 모든 시료에서 침종 시 소독제 처리 유무와 관계없이 전 생산단계에서 장관출혈성 대장균인 *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*와 *Bacillus cereus*는 전혀 검출되지 않았으나, 저온성 세균으로 다양한 경로의 오염 원인인 *L. monocytogenes*에 대한 정성적 분석을 실시한 결과, 침종 시 소독제를 처리 하지 않은 수입산 적무의 발아와 그 이후 단계에서 양성반응을 나타내어 발아채소에서 야기되어 발생할 수 있는 식중독을 예방하기 위해 침종 시 소독제 처리의 필요성이 더욱 강조된다.

Table 2.8. Aerobic plate count of step-by-step process in seed sprouting by company A

Samples		Process steps (CFU/g)							
		Seed	Soaked seed	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
Domestic	Chinese cabbage	5.2×10 ⁴	1.9×10 ⁴ (2.1×10 ⁴)	6.2×10 ⁷ (7.8×10 ⁷)	1.7×10 ⁸ (1.8×10 ⁸)	6.7×10 ⁷ (5.6×10 ⁸)	1.4×10 ⁷ (1.5×10 ⁸)	9.0×10 ⁶ (7.2×10 ⁷)	4.9×10 ⁷ (9.0×10 ⁷)
	Radish	5.1×10 ⁵	9.1×10 ⁴ (3.3×10 ⁵)	1.1×10 ⁸ (5.8×10 ⁷)	1.8×10 ⁸ (9.1×10 ⁷)	2.2×10 ⁷ (2.9×10 ⁸)	7.3×10 ⁶ (7.8×10 ⁷)	6.4×10 ⁶ (8.7×10 ⁷)	5.4×10 ⁷ (1.1×10 ⁸)
	Rape	9.7×10 ⁴	2.5×10 ⁴ (4.5×10 ⁴)	1.7×10 ⁷ (5.6×10 ⁷)	1.5×10 ⁸ (1.8×10 ⁸)	9.0×10 ⁷ (2.5×10 ⁸)	1.2×10 ⁷ (3.7×10 ⁷)	4.7×10 ⁶ (4.1×10 ⁷)	7.6×10 ⁷ (1.9×10 ⁷)
	Red radish	4.1×10 ⁴	1.2×10 ⁴ (2.9×10 ⁴)	4.6×10 ⁷ (7.3×10 ⁷)	1.7×10 ⁸ (8.1×10 ⁷)	1.7×10 ⁷ (9.3×10 ⁷)	4.5×10 ⁶ (1.6×10 ⁷)	3.1×10 ⁶ (2.9×10 ⁷)	1.4×10 ⁷ (2.1×10 ⁷)
	Tatsoi	9.0×10 ³	5.6×10 ³ (1.0×10 ⁴)	2.1×10 ⁷ (9.1×10 ⁷)	8.4×10 ⁷ (1.5×10 ⁸)	8.1×10 ⁷ (4.5×10 ⁸)	3.4×10 ⁷ (9.2×10 ⁷)	2.7×10 ⁷ (1.1×10 ⁸)	1.1×10 ⁸ (1.1×10 ⁸)
Imported	Alfalfa	1.2×10 ³	7.2×10 ² (7.4×10 ⁴)	4.0×10 ⁷ (6.4×10 ⁷)	7.3×10 ⁷ (6.4×10 ⁷)	6.1×10 ⁷ (6.1×10 ⁷)	2.2×10 ⁷ (1.1×10 ⁷)	1.7×10 ⁷ (9.8×10 ⁶)	1.7×10 ⁷ (1.5×10 ⁷)
	Broccoli	5.0×10 ³	3.0×10 ¹ (6.2×10 ³)	1.6×10 ⁶ (3.2×10 ⁷)	8.0×10 ⁷ (3.1×10 ⁷)	6.2×10 ⁷ (3.7×10 ⁷)	1.8×10 ⁷ (2.2×10 ⁷)	1.6×10 ⁷ (1.9×10 ⁷)	1.3×10 ⁷ (3.2×10 ⁷)
	Clover	2.1×10 ⁴	2.2×10 ³ (2.2×10 ⁵)	1.4×10 ⁷ (2.7×10 ⁷)	8.6×10 ⁷ (2.9×10 ⁷)	4.3×10 ⁷ (2.7×10 ⁷)	2.1×10 ⁷ (1.6×10 ⁷)	1.9×10 ⁷ (6.0×10 ⁷)	1.4×10 ⁷ (1.4×10 ⁷)
	Red kohlrabi	5.6×10 ³	6.1×10 ² (1.5×10 ⁴)	9.3×10 ⁶ (1.2×10 ⁷)	4.1×10 ⁷ (8.0×10 ⁷)	8.1×10 ⁷ (7.3×10 ⁷)	4.8×10 ⁷ (2.1×10 ⁷)	1.8×10 ⁷ (2.4×10 ⁷)	3.3×10 ⁷ (1.9×10 ⁷)
	Red radish	2.8×10 ⁴	7.8×10 ³ (1.8×10 ⁴)	1.7×10 ⁷ (7.0×10 ⁷)	2.4×10 ⁷ (1.6×10 ⁸)	2.4×10 ⁷ (1.2×10 ⁸)	1.1×10 ⁷ (5.0×10 ⁷)	9.2×10 ⁶ (2.6×10 ⁷)	1.2×10 ⁷ (2.3×10 ⁷)

CFU : Colony forming unit

() : Not treated with sanitizer

Table 2.9. Coliform count of step-by-step process in seed sprouting by company A

Samples		Process steps (CFU/g)							
		Seed	Soaked seed	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
Domestic	Chinese cabbage	6.5×10 ¹	1.0×10 ¹ (7.4×10 ³)	1.1×10 ⁶ (3.0×10 ⁶)	1.0×10 ⁶ (2.3×10 ⁷)	8.0×10 ⁵ (4.2×10 ⁷)	5.5×10 ⁵ (1.4×10 ⁷)	4.0×10 ⁵ (1.2×10 ⁷)	7.0×10 ⁵ (5.6×10 ⁶)
	Radish	2.0×10 ³	3.2×10 ² (2.9×10 ⁴)	6.0×10 ⁴ (1.0×10 ⁷)	8.5×10 ⁵ (1.1×10 ⁷)	1.1×10 ⁶ (2.1×10 ⁷)	9.0×10 ⁵ (8.9×10 ⁶)	1.1×10 ⁶ (3.9×10 ⁶)	1.0×10 ⁶ (1.6×10 ⁷)
	Rape	5.0×10 ²	1.3×10 ¹ (1.3×10 ⁴)	6.5×10 ⁵ (4.4×10 ⁶)	1.6×10 ⁶ (2.1×10 ⁷)	1.1×10 ⁶ (2.7×10 ⁷)	7.5×10 ⁵ (4.2×10 ⁶)	1.1×10 ⁶ (3.7×10 ⁶)	1.2×10 ⁶ (1.9×10 ⁶)
	Red radish	3.0×10 ²	1.2×10 ² (1.9×10 ³)	1.9×10 ⁵ (8.1×10 ⁶)	9.3×10 ⁶ (9.3×10 ⁶)	1.3×10 ⁶ (7.2×10 ⁶)	9.0×10 ⁵ (7.0×10 ⁶)	1.1×10 ⁶ (7.0×10 ⁶)	7.5×10 ⁵ (6.2×10 ⁶)
	Tatsoi	2.0×10 ²	1.6×10 ² (1.2×10 ³)	6.0×10 ⁵ (2.5×10 ⁶)	8.0×10 ⁵ (1.4×10 ⁷)	8.5×10 ⁵ (3.7×10 ⁷)	1.2×10 ⁶ (1.1×10 ⁷)	1.5×10 ⁵ (9.0×10 ⁶)	8.0×10 ⁵ (1.1×10 ⁷)
Imported	Alfalfa	3.2×10 ²	1.0×10 ¹ (6.8×10 ⁴)	4.9×10 ⁴ (7.3×10 ⁶)	5.2×10 ⁵ (2.5×10 ⁷)	2.2×10 ⁶ (1.8×10 ⁷)	1.7×10 ⁵ (6.0×10 ⁶)	2.2×10 ⁵ (4.1×10 ⁶)	5.0×10 ⁵ (4.3×10 ⁶)
	Broccoli	2.0×10 ²	< 10 ¹ (4.5×10 ²)	7.5×10 ³ (1.0×10 ⁷)	4.2×10 ⁵ (1.0×10 ⁷)	8.4×10 ⁶ (8.4×10 ⁶)	3.3×10 ⁵ (2.1×10 ⁶)	6.0×10 ⁵ (3.4×10 ⁶)	1.1×10 ⁶ (3.9×10 ⁶)
	Clover	1.5×10 ³	< 10 ¹ (3.6×10 ⁴)	5.0×10 ³ (1.7×10 ⁷)	1.6×10 ⁵ (2.8×10 ⁷)	8.4×10 ⁷ (1.2×10 ⁷)	1.1×10 ⁵ (6.3×10 ⁶)	1.9×10 ⁵ (4.4×10 ⁶)	1.5×10 ⁶ (6.2×10 ⁶)
	Red kohlrabi	3.5×10 ²	1.0×10 ¹ (3.6×10 ⁴)	7.9×10 ⁴ (7.3×10 ⁶)	2.2×10 ⁵ (1.8×10 ⁷)	3.3×10 ⁶ (1.4×10 ⁷)	2.4×10 ⁵ (7.9×10 ⁶)	2.1×10 ⁵ (9.8×10 ⁶)	1.9×10 ⁶ (9.7×10 ⁶)
	Red radish	7.5×10 ³	7.5×10 ¹ (2.3×10 ³)	3.6×10 ⁴ (1.2×10 ⁷)	3.1×10 ⁵ (1.8×10 ⁷)	1.6×10 ⁶ (1.0×10 ⁷)	2.1×10 ⁵ (2.5×10 ⁶)	2.0×10 ⁵ (3.0×10 ⁶)	1.8×10 ⁶ (1.4×10 ⁶)

CFU : Colony forming unit

() : Not treated with sanitizer

Table 2.10. Pathogen analysis of step-by-step process in no treated seed sprouting of domestic radish by company A

Pathogens	Process steps (CFU/g)							
	Seed	Soaked seed (Not treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
<i>Escherichia coli</i>	1.0×10 ¹	1.0×10 ¹	4.0×10 ³	5.0×10 ³	5.0×10 ³	1.0×10 ¹	2.0×10 ¹	4.0×10 ¹
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

CFU : Colony forming unit

ND : Not detected

Table 2.11. Pathogen analysis of step-by-step process in no treated seed sprouting of domestic rape by company A

Pathogens	Process steps (CFU/g)							
	Seed	Soaked seed (Not treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
<i>Escherichia coli</i>	ND	1.0×10 ¹	3.0×10 ²	8.0×10 ²	7.0×10 ²	3.0×10 ¹	4.0×10 ¹	4.0×10 ¹
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

CFU : Colony forming unit.

ND : Not detected.

Table 2.12. Pathogen analysis of step-by-step process in sprouting of domestic red radish seed not treated with sanitizer by company A

Pathogens	Process steps (CFU/g)							
	Seed	Soaked seed (Not treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
<i>Escherichia coli</i>	ND	ND	2.0×10 ²	1.0×10 ³	1.0×10 ³	ND	ND	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

CFU : Colony forming unit.

ND : Not detected.

Table 2.13. Pathogen analysis of step-by-step process in sprouting of imported red radish seed not treated with sanitizer by company A

Pathogens	Process steps (CFU/g)							
	Seed	Soaked seed (Not treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
<i>Escherichia coli</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	+	+	+	+	+	+
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Not detected.

+ : Detected.

다. B 생산업체 발아채소의 생산단계별 위해분석

B업체 발아채소의 생산단계별 미생물학적 품질평가 결과는 Table 2.14, Table 2.15와 같다. 종자의 경우, 일반세균 수는 10^3 - 10^4 CFU/g, 대장균군 수는 10^2 - 10^4 CFU/g으로서 국내산과 수입산 종자간의 차이는 보이지 않았다. 종자의 침종시 소독제(리후레쉬 1,000-1,500배 희석) 처리를 하였는데, 국내산 종자의 일반세균 수는 10^3 - 10^5 CFU/g, 대장균군 수는 10^3 - 10^4 CFU/g으로 나타났으며, 수입산 종자의 일반세균 수는 10^2 - 10^4 CFU/g, 대장균군 수는 10^1 - 10^3 CFU/g으로 나타나 $\leq 10^3$ CFU/g 정도의 감소효과를 보여 A업체보다 종자 소독처리에 더 주의를 요하는 것으로 판단되어진다.

그러나 종자의 발아 직후 국내산과 수입산 종자 모두 일반세균 10^7 CFU/g, 대장균군 10^5 CFU/g으로 다소 낮아 보였으나, 재배과정동안 미생물의 증식으로 일반세균 10^8 CFU/g, 대장균군 10^7 CFU/g으로 높은 오염도를 나타내어 A업체와 비슷한 결과를 보였다. 종자가 발아되는 환경적 조건이 미생물의 성장 조건과 유사하여 나타난 결과라 사료된다.

한편 재배방법에 차이를 보이는 A업체와 B업체의 수입산 종자에 있어 재배과정동안의 오염 수준을 비교해보면, 드럼식 기계에서만 재배를 하는 A업체의 경우 일반세균과 대장균군은 각각 10^7 CFU/g, 대장균군 10^6 CFU/g이었으며, 드럼식과 트레이식 병행 재배를 하는 B업체의 경우 일반세균과 대장균군은 각각 10^8 CFU/g, 대장균군 10^7 CFU/g으로 A업체보다 10^1 CFU/g 정도 높은 수치를 보였다. 이는 트레이식 재배 환경이 미생물의 증식 또는 오염에 노출 가능성이 크다는 것을 시사해준다.

세척과 탈수 후에도 큰 감소를 보이지 않아 일반세균 수는 10^7 CFU/g, 대장균군 수는 10^6 - 10^7 CFU/g으로 높은 오염도 수준을 유지하였다.

*E. coli*와 병원성 미생물에 대한 분석결과는 Table 2.16과 같다. 분석된 6종의 모든 시료의 전 생산단계에서 *E. coli*는 물론 장관출혈성 대장균인 *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*와 *Bacillus cereus*가 검출되지 않았다. 이는 종자소독으로 식중독균의 제어가 가능함을 시사해주는 결과이다.

Table 2.14. Aerobic plate count of step-by-step process in seed sprouting by company B

Samples		Process steps (CFU/g)							
		Seed	Soaked seed (Treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
Domestic	Chinese cabbage	1.5×10^4	5.1×10^3	2.9×10^7	1.9×10^8	1.8×10^8	1.9×10^8	1.9×10^7	2.0×10^7
	Rape	1.5×10^5	1.0×10^4	2.3×10^7	2.0×10^8	7.0×10^8	4.0×10^8	5.7×10^7	6.0×10^7
Imported	Alfalfa	8.4×10^4	1.3×10^4	5.8×10^7	3.7×10^8	1.6×10^8	1.4×10^8	9.4×10^6	2.2×10^7
	Broccoli	5.4×10^4	4.3×10^2	1.9×10^7	2.9×10^8	2.9×10^8	1.2×10^8	2.5×10^7	3.5×10^7
	Red kohlrabi	5.6×10^3	1.9×10^3	1.1×10^7	2.4×10^8	3.3×10^8	7.0×10^7	5.6×10^7	7.3×10^7
	Red radish	2.0×10^3	6.2×10^2	1.7×10^7	2.9×10^8	2.8×10^8	1.3×10^8	5.9×10^7	7.9×10^7

CFU : Colony forming unit.

Table 2.15. Coliform count of step-by-step process in seed sprouting by company B

Samples		Process steps (CFU/g)							
		Seed	Soaked seed (Treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
Domestic	Chinese cabbage	7.3×10^3	1.3×10^3	6.5×10^5	2.7×10^6	1.9×10^7	2.0×10^7	2.2×10^6	5.5×10^6
	Rape	7.5×10^4	4.0×10^3	2.6×10^5	2.9×10^6	3.3×10^7	3.3×10^7	4.8×10^6	3.5×10^6
Imported	Alfalfa	2.2×10^4	6.8×10^3	1.9×10^5	2.3×10^6	4.0×10^7	3.2×10^7	6.9×10^6	7.3×10^6
	Broccoli	4.8×10^4	7.0×10^1	3.3×10^5	3.4×10^6	1.9×10^7	1.9×10^7	4.1×10^6	5.4×10^6
	Red kohlrabi	5.5×10^2	1.1×10^2	1.8×10^5	1.5×10^6	5.2×10^7	1.1×10^7	6.0×10^6	7.0×10^6
	Red radish	3.3×10^2	1.2×10^2	1.9×10^5	2.7×10^6	2.2×10^7	1.8×10^7	1.8×10^7	1.1×10^7

CFU : Colony forming unit.

Table 2.16. Pathogen analysis of step-by-step process in seed sprouting by company B

Pathogens	Process steps (CFU/g)							
	Seed	Soaked seed (Treated)	Sprouting 1day	Sprouting 2day	Sprouting 3day	Wash	Drain	Storage
<i>Escherichia coli</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

CFU : Colony forming unit.

ND : Not detected.

3. 저감화 처리에 따른 품질안정성 시험

가. 수입산 종자의 소독처리가 발아율에 미치는 영향

수입산 종자의 각 소독제의 농도별 처리 후 발아율을 측정한 결과는 Table 2.17과 같다. 거의 모든 종자에서 소독제 처리 여부와 관계없이 시간경과에 따라 발아율이 유의하게 증가하였다.

Table 2.17. Germination rate of five seeds by washing and sterilization treatments

Treatment		Germination rate (%)			
		Time (hr)			
		12	24	36	48
Alfalfa	Distilled water	80.0±0.0	90.0±0.0	90.0±2.8	92.0±2.8
	Tap water	62.0±2.8	74.0±2.8	84.0±0.0	92.0±0.0
	70% Ethanol	58.0±2.8	76.0±5.6	80.0±0.0	90.0±0.0
	CaOCl ₂ 20,000 ppm	38.0±0.0	84.0±2.8	84.0±0.0	88.0±2.8
	10% NaOCl 50 ppm	72.0±5.6	74.0±0.0	86.0±8.4	96.0±0.0
	10% NaOCl 100 ppm	64.0±0.0	80.0±16.9	88.0±5.6	94.0±0.0
	10% NaOCl 200 ppm	74.0±5.6	84.0±5.6	86.0±0.0	94.0±2.8
Broccoli	Distilled water	18.0±0.0	40.0±0.0	46.0±0.0	80.0±0.0
	Tap water	18.0±2.8	34.0±5.6	52.0±2.8	78.0±0.0
	70% Ethanol	6.0±0.0	30.0±0.0	50.0±2.8	76.0±0.0
	CaOCl ₂ 20,000 ppm	12.0±2.8	44.0±5.6	56.0±0.0	72.0±0.0
	10% NaOCl 50 ppm	14.0±0.0	36.0±0.0	54.0±2.8	80.0±0.0
	10% NaOCl 100 ppm	8.0±0.0	40.0±0.0	58.0±2.8	78.0±0.0
	10% NaOCl 200 ppm	8.0±0.0	36.0±5.6	58.0±0.0	80.0±5.6
Clover	Distilled water	42.0±2.8	86.0±2.8	90.0±0.0	98.0±0.0
	Tap water	56.0±5.6	64.0±0.0	68.0±0.0	90.0±0.0
	70% Ethanol	44.0±5.6	76.0±2.8	88.0±0.0	92.0±0.0
	CaOCl ₂ 20,000 ppm	44.0±0.0	78.0±0.0	80.0±8.4	90.0±0.0
	10% NaOCl 50 ppm	38.0±2.8	78.0±0.0	80.0±0.0	98.0±0.0
	10% NaOCl 100 ppm	48.0±0.0	90.0±2.8	92.0±0.0	96.0±0.0
	10% NaOCl 200 ppm	36.0±5.6	64.0±2.8	90.0±0.0	96.0±0.0
Red cabbage	Distilled water	4.0±0.0	24.0±2.8	38.0±0.0	78.0±0.0
	Tap water	8.0±2.8	30.0±0.0	48.0±0.0	82.0±0.0
	70% Ethanol	4.0±0.0	28.0±2.8	32.0±0.0	70.0±2.8
	CaOCl ₂ 20,000 ppm	8.0±0.0	22.0±0.0	30.0±2.8	70.0±2.8
	10% NaOCl 50 ppm	12.0±2.8	32.0±0.0	48.0±2.8	78.0±0.0
	10% NaOCl 100 ppm	10.0±2.8	28.0±5.6	46.0±0.0	76.0±0.0
	10% NaOCl 200 ppm	8.0±0.0	32.0±0.0	48.0±0.0	76.0±0.0
Red radish	Distilled water	24.0±2.8	74.0±2.8	82.0±2.8	94.0±0.0
	Tap water	34.0±2.8	84.0±0.0	90.0±2.8	96.0±0.0
	70% Ethanol	18.0±2.8	80.0±0.0	84.0±0.0	90.0±0.0
	CaOCl ₂ 20,000 ppm	28.0±0.0	54.0±2.8	72.0±5.6	86.0±0.0
	10% NaOCl 50 ppm	14.0±2.8	56.0±0.0	74.0±0.0	96.0±2.8
	10% NaOCl 100 ppm	22.0±2.8	60.0±5.6	62.0±0.0	96.0±0.0
	10% NaOCl 200 ppm	12.0±0.0	70.0±2.8	72.0±0.0	90.0±0.0

나. 국내산 적무 종자의 소독처리가 발아율에 미치는 영향

발아채소는 3-5일 정도의 짧은 기간 동안 재배하는 특징을 가지므로 일반적으로 24시간 내에 싹을 틔워야 한다. 따라서 종자를 5℃와 20℃의 온도에서 6시간 침지시킨 후 12시간 간격으로 최대 48시간까지의 발아율을 조사하였으며, 생산효율적 측면에서 48시간 내의 발아율 80% 이상으로 품질안전성을 판단하였다.

적무 종자의 여러 조건의 소독 처리에 따른 발아율의 변화를 조사한 결과는 Table 2.18과 같다. 5℃와 20℃의 증류수 침종 후 발아율은 36시간 후 각각 88.5%, 93.0%였으며 48시간 후에는 95.0%, 95.3% 수준이었으나, 증류수 침종 후 Calcium hypochlorite 20,000ppm에서 15분 동안 처리한 후의 발아율은 48시간 후에도 5℃와 20℃에서 각각 82.0%, 83.8%로 나타나 대조군에 비하여 약 12%의 감소를 나타내었다. Calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리시 가장 낮은 발아율을 보였지만 식중독균 제어를 위해 미국 FDA에서 권장하고 있는 사항이다.

반면 염소수 50 ppm, 100 ppm 농도에서의 발아율은 24시간 후 82.5-91.8% 범위로 나타났고, 오존수의 경우 24시간 후 5℃와 20℃에서 각각 81.0%, 86.3%로 나타났으며 48시간 후에는 95.5%, 97.8%로 높은 수준을 나타내었다. 염소수와 오존수의 처리는 12시간 후 대조군에 비하여 약 3배 정도의 높은 발아율을 보였으며, 24시간 내에 발아율을 80% 이상의 높은 수준을 나타내어 염소수와 오존수의 처리가 발아를 촉진시키는 것으로 나타났다.

5℃의 전해수 처리는 12시간 후 산화수는 8.0%, 환원수는 4.0%로 낮은 발아율을 나타내었지만 20℃의 경우는 12시간 후 산화수 44.0%, 환원수 23.0%로서 약 5배 정도의 높은 발아율을 보여 침종온도의 증가가 짧은 시간내에 발아를 촉진시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 전해산화수는 5℃ 침종의 경우 36시간 후 83.5%, 20℃에서는 24시간 후 82.4%의 발아율을 나타내었으며, 전해환원수는 5℃와 20℃ 모두 36시간 후 각각 80.5%, 81.0%의 발아율을 나타내었다.

일반적으로 종자의 휴면타파와 발아촉진을 위해 이용되고 있는 화학물질들은 종자내부에 수분흡수를 가속화하여 단백질의 수화 및 침윤작용을 촉진시키고 효소활력을 증대시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(16).

이러한 결과에서 종자의 소독 처리가 발아채소의 미생물적 안전성을 증가시킴과 동시에 생산성을 유지시키기 위한 방안으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2.18. Effect of chemical treatment on germination rate in red radish seeds

Treatment	Soaking time (h)	Soaking temp. (°C)	Germination rate (%)			
			12h	24h	36h	48h
Distilled water	6	5	10.0	63.5	88.5	95.0
	6	20	26.0	77.8	93.0	95.3
Distilled water & Ca(OCl) ₂ 20,000ppm, 15min	6	5	5.5	26.0	66.0	82.0
	6	20	8.7	56.2	79.0	83.8
Chlorine 50 ppm	6	5	30.0	82.5	92.0	95.0
	6	20	60.2	91.0	95.5	96.0
Chlorine 100 ppm	6	5	30.5	87.5	94.5	96.5
	6	20	66.8	91.8	97.0	97.4
Ozonated water	6	5	22.5	81.0	91.5	95.5
	6	20	54.0	86.3	94.5	97.8
Acidic electrolyzed water	6	5	8.0	75.0	83.5	88.0
	6	20	44.0	82.4	85.5	90.8
Alkalic electrolyzed water	6	5	4.0	68.0	80.5	83.0
	6	20	23.0	74.0	81.0	92.0

4. 발아채소 및 종자의 미생물 저감화 방안

Solberg 등 (13)의 기준에 의하면 가열공정을 거치지 않은 식품은 일반세균수가 10^6 CFU/g 이상인 경우 위생을 개선할 필요가 있다고 했는데, 발아채소는 분석시료의 100%가 10^6 CFU/g 이상 검출되어 비위생적인 것으로 조사되었다. 이런 비위생적인 발아채소를 이용하여 가열조리공정을 거치지 않고 무침류나 생채류를 생산하였을 경우 최종조리 음식의 안전성을 보장할 수 없다. 따라서 미생물학적 위험을 감소시키기 위해 발아채소의 미생물 검사에서 *E. coli*와 *L. monocytogenes*가 검출된 적무 종자와 발아채소에 대해 *L. monocytogenes*를 10^3 - 10^5 CFU/mL로 배양·접종한 후 여러 조건의 소독 방법을 적용한 후 효과를 평가해 보았다.

가. 종자 소독에 따른 저감화 효과

(1) 침지온도에 의한 생산단계별 미생물 증식 변화 추이

적무 종자의 침지온도 차이에 따른 생산단계별 미생물 증식 변화를 조사한 결과는 Table 2.12와 Fig 2.8, Fig 2.9와 같다. 5℃ 증류수에 6시간 침지시킨 경우, 침지 전 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 $5.48 \pm 0.01 \log \text{CFU/g}$ 과 $3.33 \pm 0.02 \log \text{CFU/g}$ 이었으나, 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 $4.29 \pm 0.02 \log \text{CFU/g}$ 과 $3.25 \pm 0.02 \log \text{CFU/g}$ 으로 일반세균수가 약 1 log CFU/g정도 감소되는 것으로 나타났지만 발아 후 일반세균은 $7.76 \pm 0.01 \log \text{CFU/g}$, *L. monocytogenes* 수는 $5.95 \pm 0.02 \log \text{CFU/g}$ 으로 약 3 log CFU/g 정도 증가하는 것으로 나타났다.

반면 20℃ 증류수에 6시간 침지시킨 결과, 침지 전 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 $5.83 \pm 0.01 \log \text{CFU/g}$ 과 $3.48 \pm 0.02 \log \text{CFU/g}$ 이었으며, 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 $7.05 \pm 0.14 \log \text{CFU/g}$, $3.45 \pm 0.21 \log \text{CFU/g}$ 으로 일반세균 수는 오히려 약 1 log CFU/g 정도 증가하는 것으로 나타나 5℃에서의 침지 시와 상이한 결과를 보였다. 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 $8.47 \pm 0.03 \log \text{CFU/g}$, $5.48 \pm 0.01 \log \text{CFU/g}$ 로 약 1-2 log CFU/g 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 침지온도가 20℃일 때, 일반세균의 성장 온도대와 유사하여 균의 증식을 촉진시키기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 결과에서 침지온도가 5℃일 때 침중시간동안 균의 증식을 억제시킴으로써, 다른 소독제 처리와 병행될 경우 종자의 살균효과를 증대시킴과 동시에 발아 후 미생물학적 안전성을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

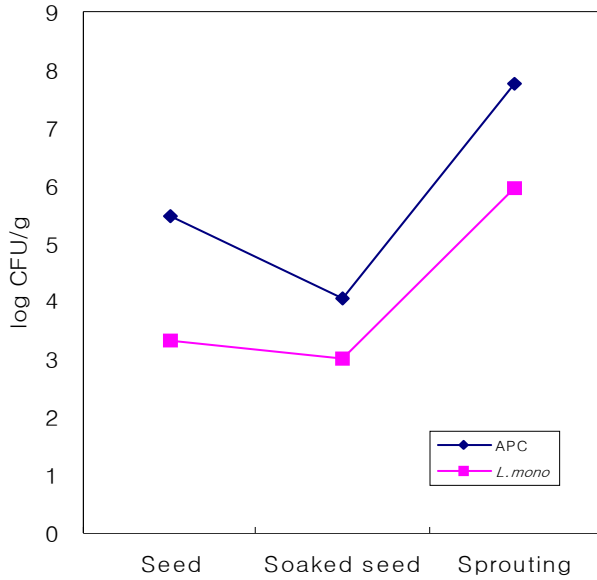


Fig. 2.8. Microbiological quality of soaked seed at 5°C.

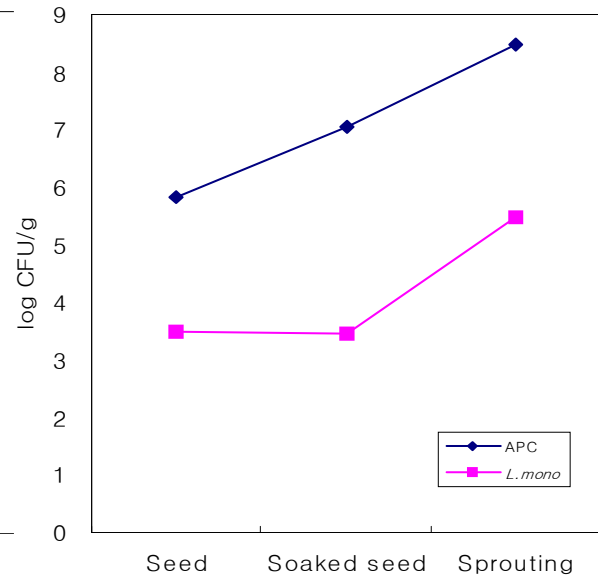


Fig. 2.9. Microbiological quality of soaked seed at 20°C.

(2) 화학적 소독제 처리에 따른 종자 소독 효과

(가) 침종수 처리에 따른 종자 소독 효과

침종수에 따른 적무 종자의 소독 효과와 발아시 미생물 증식에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2.13, Fig. 2.10, Fig. 2.11과 같다. 침종 전 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 5.48 ± 0.01 log CFU/g, 3.33 ± 0.02 log CFU/g이었으며, 증류수에 6시간 침지 후 일반세균 수는 4.29 ± 0.02 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.26 ± 0.01 log CFU/g으로 약간의 감소를 보였다. 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.76 ± 0.01 log CFU/g, 5.96 ± 0.01 log CFU/g으로 증가를 나타내었다. 증류수에 6시간 침지시킨 후 calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리시킨 종자의 일반세균 수는 1.87 ± 0.12 log CFU/g으로 나타나 3 log cycle 이상의 감소효과를 보였고 *L. monocytogenes* 수는 1 log CFU/g 이하로 나타나 종자 표면의 우수한 소독효과를 보였다. 그러나 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.95 ± 0.00 log CFU/g, 5.11 ± 0.00 log CFU/g으로 높은 수치를 나타내어 종자내부의 균까지 완전한 소독이 이루어지는 것은 아닌 것으로 판단된다.

전해산화수에 6시간 침지시킨 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 3.33 ± 0.04 log CFU/g, 1.49 ± 0.01 log CFU/g으로 증류수에 침지시킨 종자에 비하여 약 1 log cycle

정도의 감소 효과를 보였다. 발아 후에도 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.97 ± 0.00 log CFU/g, 5.16 ± 0.01 log CFU/g으로 나타나 증류수 침종 후 발아시킨 경우와 비교하여 미미한 감소를 보였다. 전해환원수에 6시간 침지시킨 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 3.30 ± 0.03 log CFU/g, 1.41 ± 0.17 log CFU/g으로 약 2 log cycle 정도의 감소를 보였고, 발아 후에도 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.95 ± 0.02 log CFU/g, 4.99 ± 0.03 log CFU/g으로 전해산화수와 유사한 감소효과를 나타내었다.

오존수에 6시간 침지시킨 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 4.27 ± 0.04 log CFU/g, 2.25 ± 0.02 log CFU/g으로 나타나 증류수에 침종시킨 종자와 비교하여 일반세균 수의 변화는 거의 없이 *L. monocytogenes* 수만 1 log cycle 정도의 감소효과를 보였고, 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.14 ± 0.17 log CFU/g, 5.31 ± 0.02 log CFU/g으로 나타나 미미한 감소만을 나타내었다.

이러한 결과를 보면 종자 살균 및 발아시 미생물의 증식 억제를 위해 종자 침종 후 calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리시키거나 침종수로서 전해산화수나 환원수를 활용하는 방안으로 전처리에 적용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

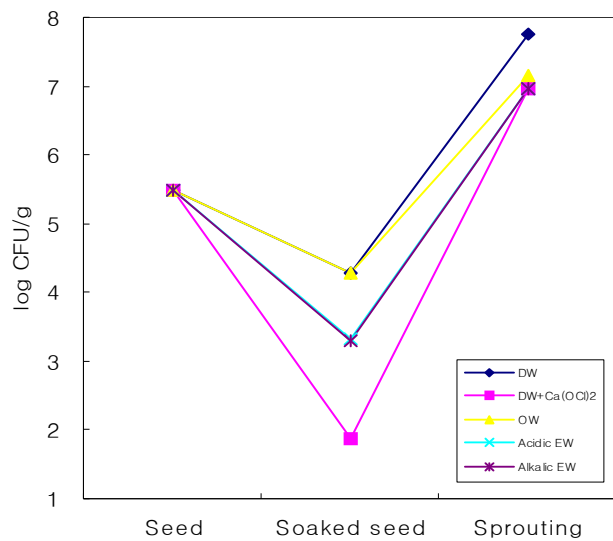


Fig. 2.10. Effect of seed decontamination on APC.

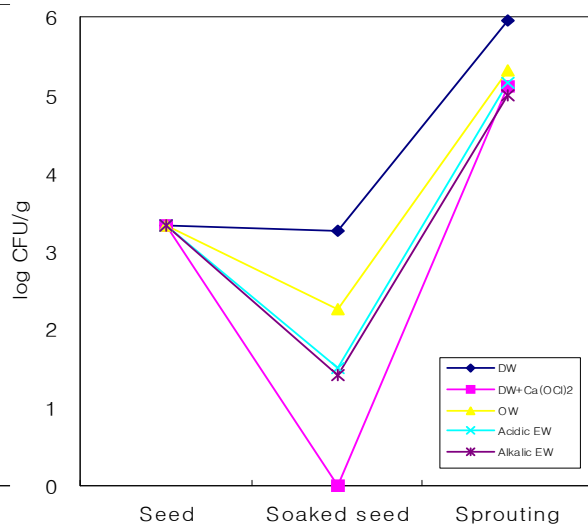


Fig. 2.11. Effect of seed decontamination on *L. monocytogenes*.

(3) 열수처리에 따른 종자 소독 효과

열수처리에 따른 적무 종자의 소독 효과와 발아시 품질에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2.19와 같다. 적무 종자를 다양한 온도의 증류수에 처리하여 48시간 내의 발아율과 *L. monocytogenes* 수의 변화를 조사하였으며, 발아율 80% 이상으로 품질안정성을, *L. monocytogenes* 미검출을 미생물적 안전성으로 판단하였다.

침종 전 종자의 *L. monocytogenes* 수는 3.95 ± 0.16 log CFU/g이었으며, 발아율은 92.8% 였고, 증류수에 3시간 침종 후 94.7%로 증가하였다. 열수 온도가 증가할수록 발아율은 감소하는 경향을 보였으며, 열수처리 후 침종시킨 종자에서 발아가 더 촉진되는 것으로 나타났다.

한편 *L. monocytogenes* 수 역시 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 70°C에서 1분간 처리한 경우 85.2%의 발아율과 함께 *L. monocytogenes*도 검출되지 않았다. 발아채소는 친환경적이며 무농약, 유기농으로 많이 재배가 되고 있어 화학적 살균제를 사용하지 않으면서 종자 살균 및 발아시 미생물의 증식 억제를 위한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2.19. Effect of hot water treatment on germination rate and *L. monocytogenes* in red radish seeds

Treatment temp. (°C)	Soaking time (sec)	Germination rate (%)		<i>L. monocytogenes</i> population
		No soaking	Soaking after treatment	
Control	0	92.8	94.7	3.95 ± 0.16
60	30	94.7	96.7	0.88 ± 0.68
	60	92.8	97.3	0.43 ± 0.59
65	30	92.3	94.8	0.20 ± 0.45
	60	87.3	90.6	0.11 ± 0.33
70	30	87.4	89.7	0.02 ± 0.14
	60	82.0	85.2	0
75	30	76.2	78.0	0
	60	67.3	68.7	0
80	30	13.2	24.8	0
	60	9.6	13.5	0
90	30	2.4	3.6	0
	60	0.5	1.0	0

나. 재배수에 따른 저감화 효과

(1) 실험재배에서 적용한 저감화 효과

재배수 차이에 따른 적무 종자의 재배단계별 미생물 저감 효과를 보았는데, 먼저 50 ppm 농도의 염소수와 오존수의 결과는 Fig. 2.12, Fig. 2.13에 나타내었다.

종자의 초기 일반세균 수는 5.83 ± 0.00 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.44 ± 0.06 log CFU/g이었으며 대조군으로서 증류수로 재배한 경우를 보면, 침종 후 일반세균 수는 5.05 ± 0.14 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.39 ± 0.12 log CFU/g으로 약간의 감소를 나타내었다. 그러나 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.47 ± 0.03 log CFU/g, 5.46 ± 0.02 log CFU/g으로 나타났으며, 재배 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 8.00 ± 0.05 log CFU/g, 5.60 ± 0.04 log CFU/g으로 증가함을 나타내었다.

염소수 50 ppm 농도로 재배한 종자의 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.37 ± 0.00 log CFU/g, 5.25 ± 0.19 log CFU/g으로 나타나 대조군에 비하여 약간 낮은 수치를 보였으며, 재배 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.31 ± 0.04 log CFU/g, 4.73 ± 0.03 log CFU/g으로 나타나 대조군에 비해 1 log cycle 이하의 감소를 보였다.

오존수로 재배한 경우, 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.47 ± 0.03 log CFU/g, 5.29 ± 0.05 log CFU/g으로 나타나 대조군과 큰 차이를 보이지 않았으나 재배 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.21 ± 0.03 log CFU/g, 4.74 ± 0.06 log CFU/g으로 나타나 염소수 50 ppm 농도로 재배한 결과와 유사한 감소 효과를 보였다.

50 ppm 농도의 염소수와 오존수로 대체하여 재배한 발아채소의 일반세균 수는 1 log cycle 이하의 미미한 감소를 나타내었으며, *L. monocytogenes* 수에 있어서도 약 1 log cycle 정도의 감소를 보여 제어효과는 크게 나타나지 않았다.

오존수와 50 ppm 농도의 염소수 모두 증류수로 재배한 경우와 비교해 큰 감소효과는 나타나지 않았지만 재배동안 균의 증식을 억제시킴으로서 재배 후 세척과정에 시너지 효과를 기대할 수 있으리라 판단된다.

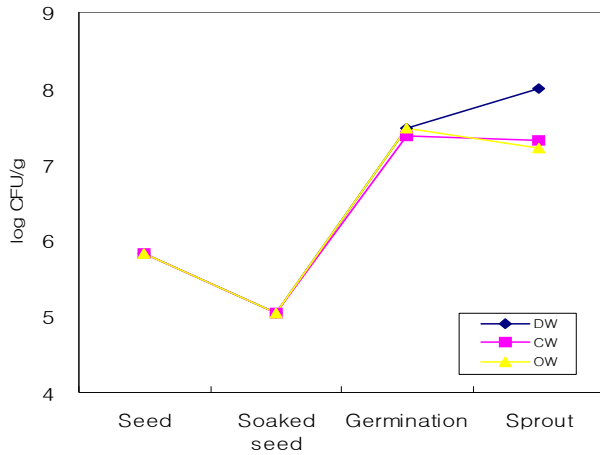


Fig. 2.12. Effect of irrigation water on APC in red radish seed sprouts.

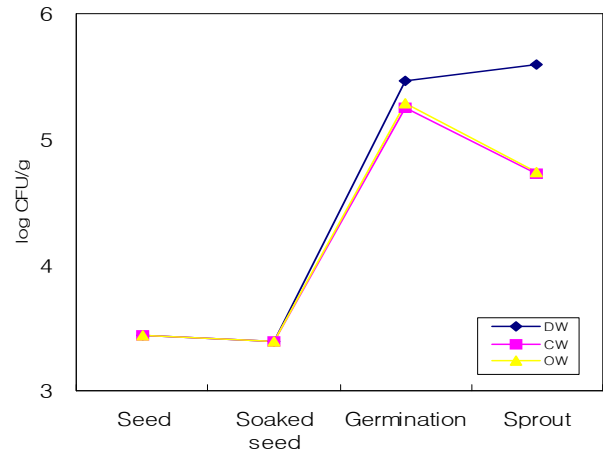


Fig. 2.13. Effect of irrigation water on *L. monocytogenes* in red radish sprouts.

전해수로 재배한 적무 종자의 재배단계별 미생물 저감 효과 결과는 Fig. 2.14, Fig. 2.15에 나타내었다. 종자의 초기 일반세균 수는 5.29 ± 0.02 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.33 ± 0.02 log CFU/g이었으며 대조군으로서 증류수로 재배한 경우를 보면, 침종 후 일반세균 수는 4.94 ± 0.01 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.25 ± 0.02 log CFU/g으로 약간의 감소를 나타내었다. 그러나 발아 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.09 ± 0.00 log CFU/g, 5.28 ± 0.00 log CFU/g으로 나타났으며, 재배 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.24 ± 0.00 log CFU/g, 5.51 ± 0.02 log CFU/g으로 증가함을 나타내었다.

전해산화수로 재배한 종자의 발아 후 일반세균 수는 6.95 ± 0.08 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 4.39 ± 0.02 log CFU/g으로 대조군과 비교하면 미미한 감소를 보였다. 재배 후의 일반세균 수는 6.04 ± 0.01 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 3.12 ± 0.00 log CFU/g으로 대조군에 비해 약 1 log cycle 이상의 감소효과를 보였다.

전해환원수로 재배한 경우, 발아 후의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.62 ± 0.11 log CFU/g, 4.00 ± 0.00 log CFU/g으로 나타나 전해산화수로 발아시킨 경우보다 약간의 감소를 더 보였다. 재배 후에도 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 5.11 ± 0.03 log CFU/g, 2.96 ± 0.01 log CFU/g으로 나타나 대조군에 비하여 약 2 log cycle 이상의 감소효과를 보여 우수한 제어효과를 나타내었다.

이러한 결과를 보면, calcium hypochlorite, 전해산화수 및 전해환원수를 통한 종자 소독 후 염소수, 오존수 및 전해수로의 재배를 병행한다면 더 큰 저감효과를 기대할 수 있으리라 판단된다.

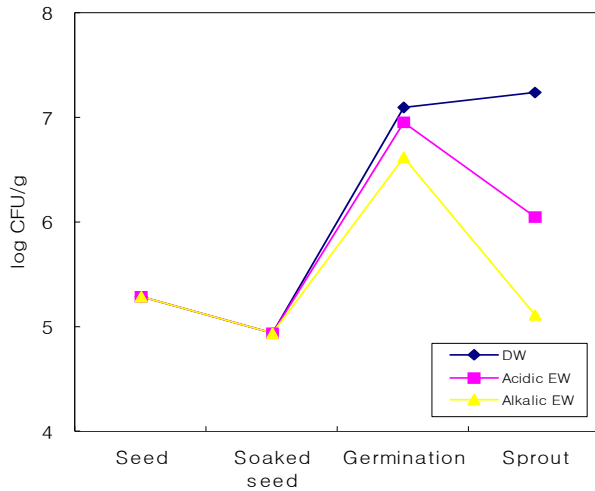


Fig. 2.14. Effect of irrigation water on APC in red radish seed sprouts.

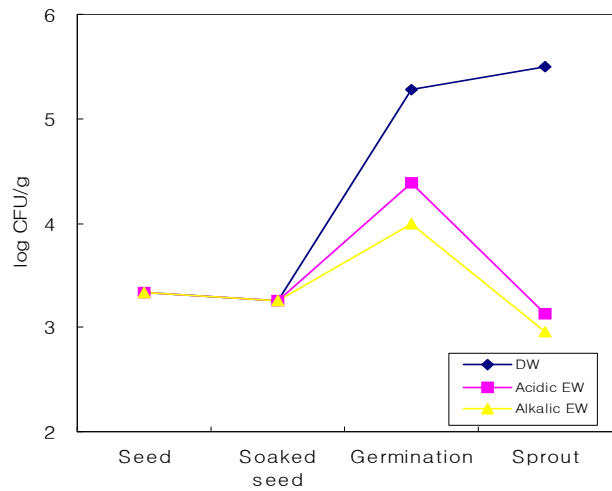


Fig. 2.15. Effect of irrigation water on *L. monocytogenes* in red radish sprouts.

(2) 업체의 생산현장에서 적용한 저감화 효과

Calcium hypochlorite과 sodium hypochlorite의 종자소독에 따른 50 ppm 염소수로 업체에서 재배한 적무 발아채소의 소독 효과는 Fig. 2.16, Fig. 2.17에 나타내었다.

종자의 초기 일반세균수는 4.76 ± 0.10 log CFU/g이었으며 증류수에 침지 후 5.84 ± 0.07 log CFU/g, 발아 후 6.39 ± 0.30 log CFU/g으로 증가를 보였고, 50 ppm 농도의 염소수로 재배 후에도 6.31 ± 0.01 log CFU/g으로 일반세균수의 감소효과는 크게 나타나지 않았다.

반면 증류수 침지 후 Calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리 후 2 log cycle의 감소효과를 보여 2.27 ± 0.02 log CFU/g으로 나타났으며 발아 후에도 6.09 ± 0.07 log CFU/g으로 나타나 증류수 침종시에 비해 약간 낮은 수치를 보였지만, 50 ppm 농도의 염소수 재배 후 6.06 ± 0.03 log CFU/g으로 나타나 증류수 침종 후 재배한 발아채소에 비하여 미미한 감소 효과를 나타내었다.

염소수에 침지시킨 종자의 경우 50 ppm 농도에서 3.94 ± 0.10 log CFU/g으로 나타났고, 100 ppm 농도에서 3.80 ± 0.05 log CFU/g으로 나타나 종자 침종 전에 비해 1 log cycle 정도의 감소효과를 보였다. 그러나 발아 후 각각 6.25 ± 0.02 log CFU/g, 6.24 ± 0.04 log CFU/g으로 높은 수치를 나타내었으며, 50 ppm 농도의 염소수 재배 후에도 증류수 침종 시와 비교해 크게 차이를 나타내지 않아, 현장에서 적용된 종자 소독에 따른 발아시 미생물 제어 효과는 크게 나타나지 않았다.

Fig. 2.12-2.15에 나타낸 증류수, 염소수로 재배한 경우와 비교해 보면, 현장에서 적용된

50 ppm 농도의 염소수로 재배한 결과는 큰 감소효과를 나타내지는 않았지만 재배동안 균의 증식을 억제시킴으로써 추후 세척시 소독제 사용이 병행된다면 시너지 효과를 발휘해 산업현장에서의 적용 가능성을 기대할 수 있으리라 판단된다.

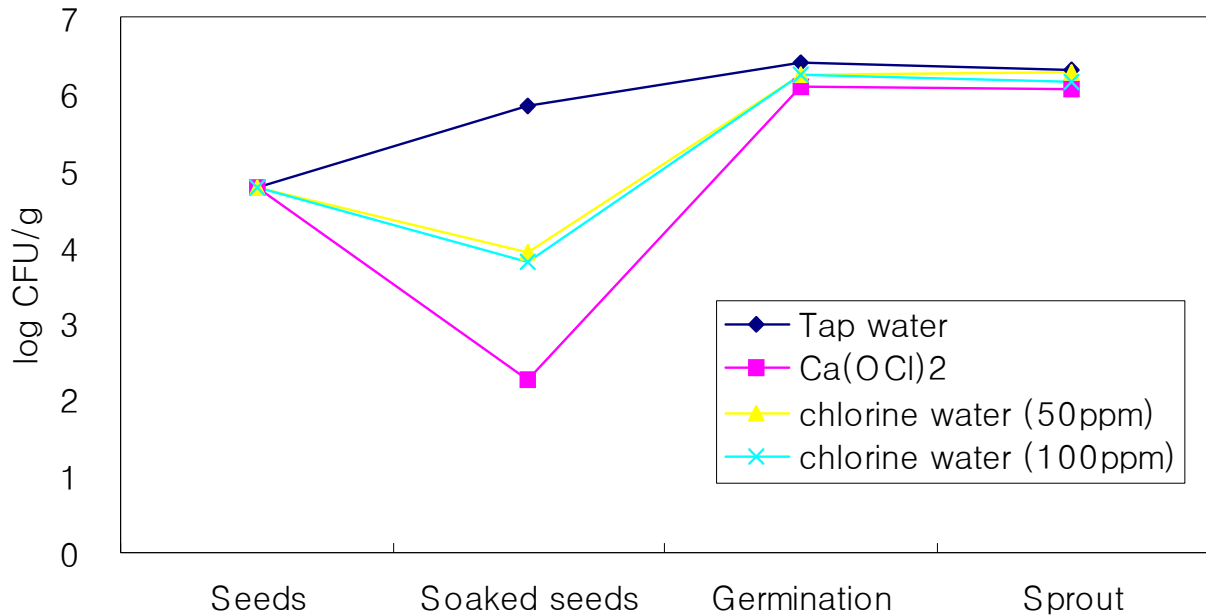


Fig. 2.16. APC on soaking waters of chlorine 50 ppm in red radish seed sprouts.

대장균균의 경우, 초기 균수는 4.13 ± 0.09 log CFU/g이었으며 증류수 침종 후 5.81 ± 0.00 log CFU/g, 발아 후 6.37 ± 0.07 log CFU/g으로 증가하는 경향을 나타내었으며 50 ppm 농도의 염소수 재배 후에도 6.25 ± 0.03 log CFU/g으로 재배수에 대한 영향은 크게 나타나지 않았다. 증류수 침종 후 calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리 후 2 log cycle 이상의 감소를 보여 1.87 ± 0.12 log CFU/g으로 나타났으며 발아 후 5.71 ± 0.04 log CFU/g, 50 ppm 염소수 재배 후 5.96 ± 0.02 log CFU/g으로 나타났다. Sodium hypochlorite 50 ppm과 100 ppm 농도에서 침종 후 재배한 경우에도 증류수 침종한 발아채소의 결과와 크게 차이가 나지 않아 대장균균의 제어효과도 일반세균의 결과와 유사하게 나타나 50 ppm 농도의 염소수 재배의 미생물 제어효과는 크게 나타나지 않았다.

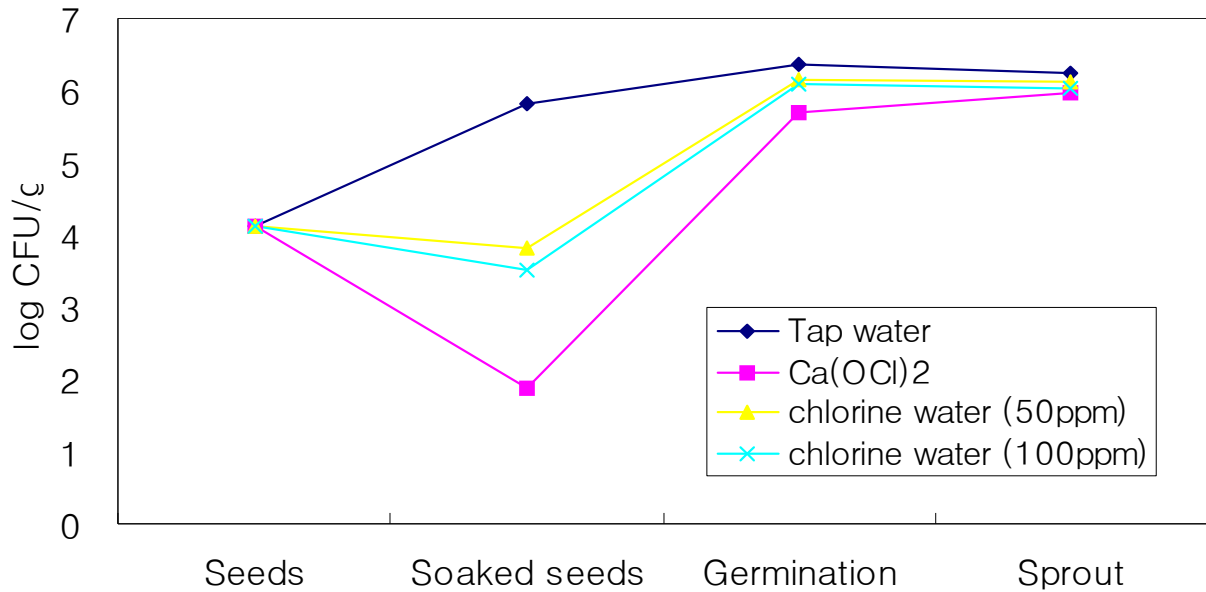


Fig. 2.17. Coliform count on soaking waters of chlorine 50 ppm in red radish seed sprouts.

다. 화학적 살균제의 농도와 침지시간, 처리방법에 따른 저감화 효과

(1) Sodium hypochlorite와 Ethanol의 발아채소에 대한 소독 효과

Sodium hypochlorite와 ethanol의 농도 및 침지시간에 따른 적무 발아채소의 소독 효과는 Fig. 2.18, Fig. 2.19에 나타내었다. 초기 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 8.13 ± 0.11 log CFU/g과 6.40 ± 0.01 log CFU/g이었으나 Sodium hypochlorite 100 ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.58 ± 0.04 log CFU/g, 4.85 ± 0.00 log CFU/g으로 나타났고, 200ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.57 ± 0.02 log CFU/g, 4.69 ± 0.00 log CFU/g으로 나타나 대조군에 비하여 약 1.5 log cycle의 감소효과를 보였다. 같은 농도에서 침지시간의 증가에 따른 감소효과를 측정된 결과 1 log cycle 이하의 미미한 감소효과를 보여 침지시간의 증가에 대한 영향은 크게 나타나지 않았으나 Sodium hypochlorite 200 ppm 농도에서 20분간 처리하였을 때 대조군에 비하여 약 2 log cycle의 감소를 나타내어 일반세균 수는 6.14 ± 0.19 log CFU/g, *L. monocytogenes* 수는 4.27 ± 0.09 log CFU/g으로 처리조건 내에서 가장 우수한 미생물 제어 효과를 나타내었다.

차아염소산나트륨을 이용한 다른 연구자들의 결과에 의하면 처리에 의한 균의 감소가 거의 없었다는 결과뿐만 아니라 매우 효과적이었다는 서로 상반되는 결과도 있었다(17,18,19).

한편 ethanol 80% 농도에서 30초간 처리하였을 경우, 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 5.59 ± 0.03 log CFU/g, 3.65 ± 0.01 log CFU/g으로 대조군에 비하여 약 2 log cycle 이상의 감소효과를 나타내었으며, 처리시간의 증가에 대한 영향은 크게 나타나지 않았다.

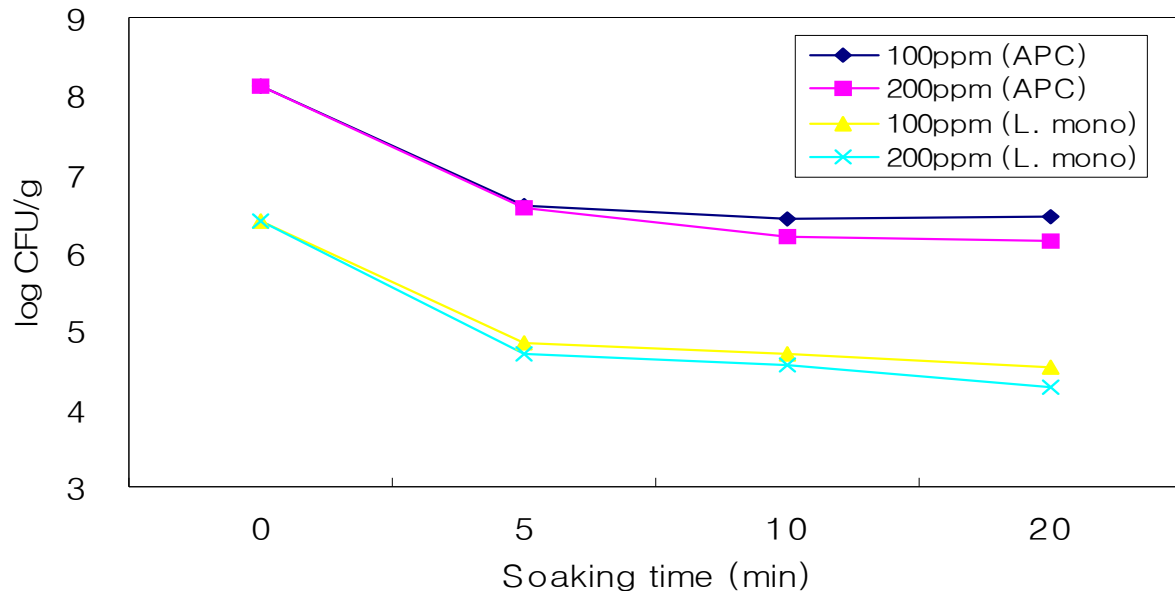


Fig. 2.18. Effect of sodium hypochlorite on microbial quality of red radish sprouts.

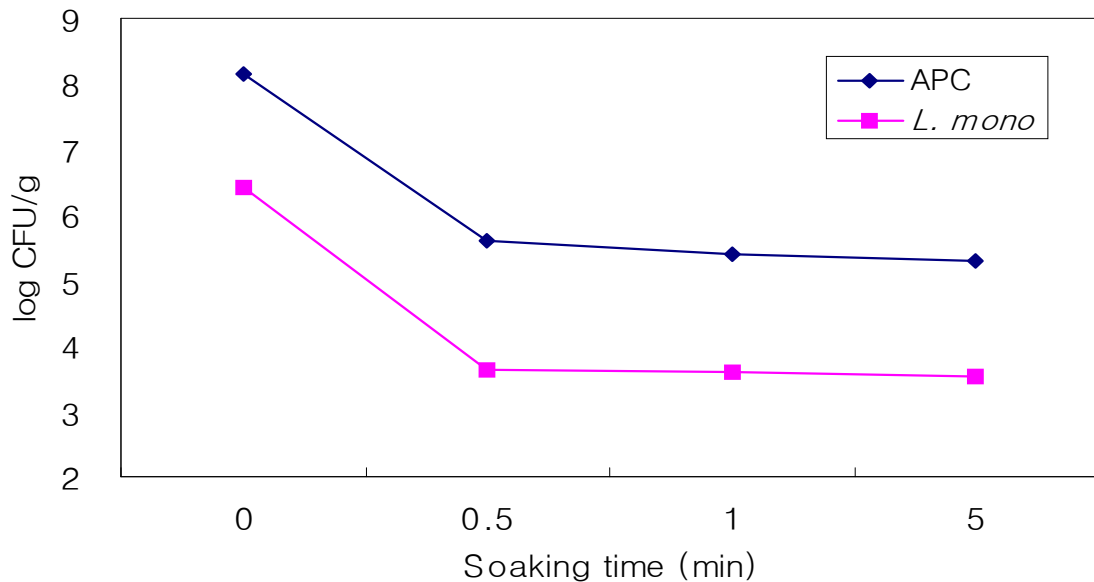


Fig. 2.19. Effect of ethanol on microbial quality of red radish sprouts.

(2) 화학적 소독수의 침지시간에 따른 발아채소의 소독 효과

전해산화수, 전해환원수와 오존수의 침지시간에 따른 적무 발아채소의 소독 효과는 Fig. 2.20, Fig. 2.21에 나타내었다. 일반세균의 경우, 초기 균수가 8.13 ± 0.11 log CFU/g이었으나 전해산화수를 5분, 10분, 20분간 처리하였을 때 각각 6.30 ± 0.01 log CFU/g, 6.24 ± 0.03 log CFU/g, 6.18 ± 0.10 log CFU/g으로 나타나 20분간 처리시 약 2 log cycle의 감소를 나타내었다. 전해환원수를 5분, 10분, 20분간 처리하였을 때 각각 6.70 ± 0.04 log CFU/g, 6.53 ± 0.09 log CFU/g, 6.34 ± 0.01 log CFU/g으로 20분 처리시 1 log cycle 이상의 감소를 나타내어 전해산화수에 비하여 다소 낮은 감소효과를 보였다. 오존수의 경우 20분간 처리시 7.28 ± 0.04 log CFU/g으로 나타나 전해산화수, 환원수를 5분간 처리했을 때보다도 상대적으로 낮은 감소효과를 나타내어 처리조건 중에서 가장 낮은 제어효과를 보였다. 그러나 전해산화수, 환원수와 오존수 모두 처리 시간에 따라 미미한 증가현상을 나타내었다.

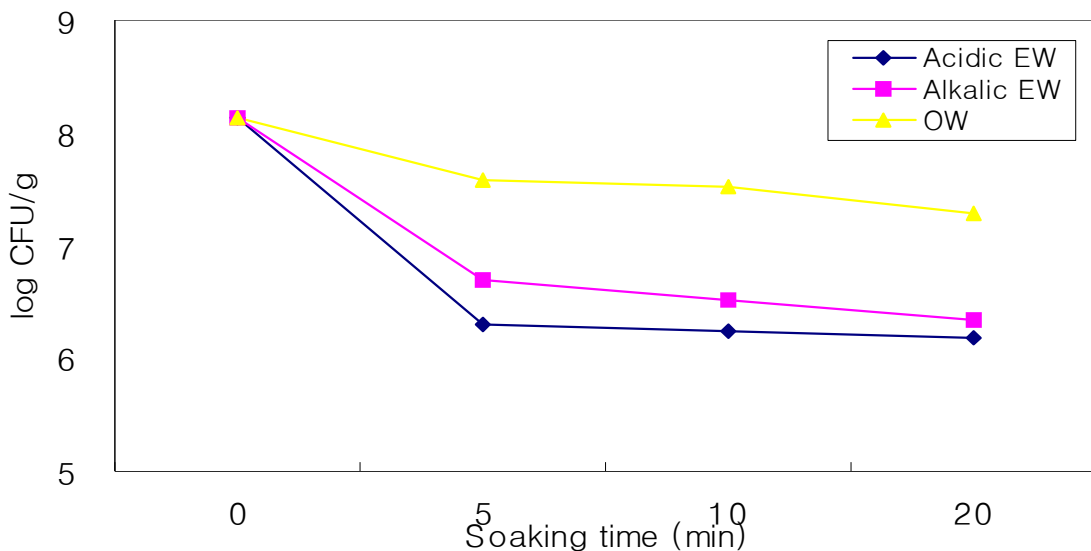


Fig. 2.20. Effect of chemical water on Aerobic plate count of red radish sprouts.

*L. monocytogenes*의 경우, 초기 균수가 6.40 ± 0.01 log CFU/g이었으나 전해산화수를 5분, 10분, 20분간 처리하였을 때는 각각 4.57 ± 0.03 log CFU/g, 4.46 ± 0.09 log CFU/g, 4.05 ± 0.00 log CFU/g으로 나타나 2 log cycle 이상의 감소효과를 보여 처리조건에서 가장 우수한 제어효과를 나타내었다. 전해환원수를 5분, 10분 20분간 처리하였을 때는 각각 5.03 ± 0.11 log CFU/g, 4.87 ± 0.17 log CFU/g, 4.77 ± 0.01 log CFU/g으로 나타나 1 log cycle 이상의 감소를 보여 전해산화수에 비하여 낮은 감소효과를 나타내었다. 오존수의

경우 20분간 처리시 1 log cycle 감소한 5.30 ± 0.03 log CFU/g으로 전해산화수와 환원수로 5분간 처리시보다 낮은 감소효과를 보여 일반세균과 같은 경향을 나타내었다.

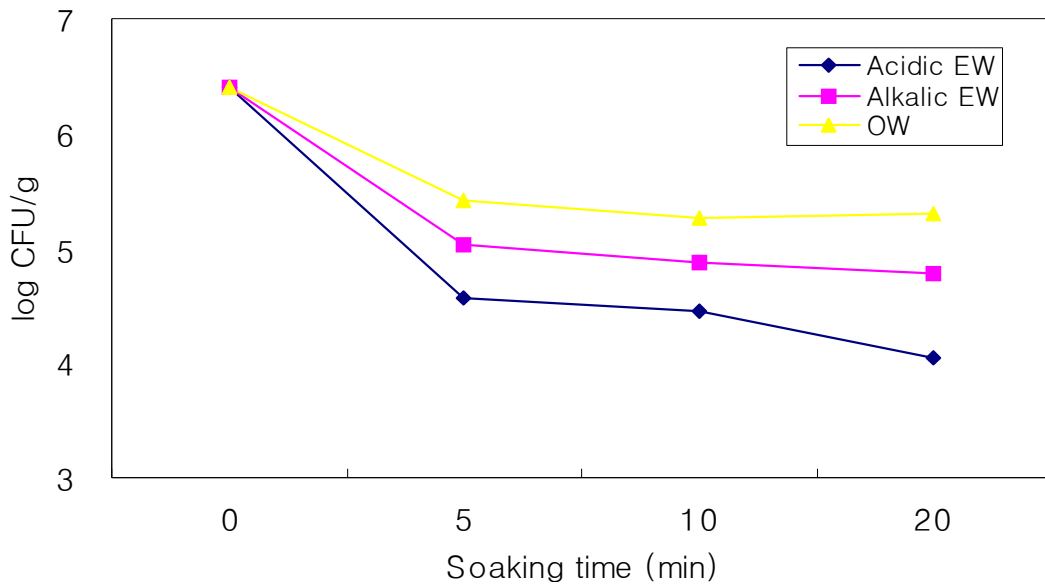


Fig. 2.21. Effect of chemical water on *L. monocytogenes* of red radish sprouts.

(3) 세척수에 따른 발아채소의 소독 효과

증류수, 전해산화수, 전해환원수와 오존수 세척에 따른 적무 발아채소의 소독 효과는 Fig. 2.22에 나타내었다. 세척 전 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 7.27 ± 0.02 log CFU/g, 5.40 ± 0.01 log CFU/g으로 증류수로 3회 세척 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 6.91 ± 0.01 log CFU/g, 4.28 ± 0.01 log CFU/g으로 1 log cycle 이하의 미미한 감소를 나타내었다. 전해산화수 3회 세척 후 일반세균 수는 5.90 ± 0.08 log CFU/g으로 1 log cycle 이하의 감소를 보였고, *L. monocytogenes* 수는 1.98 ± 0.03 log CFU/g으로 3 log cycle 이상의 감소를 보여 *L. monocytogenes* 제어효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 전해환원수로 3회 세척한 경우 일반세균 수는 6.51 ± 0.11 log CFU/g으로 1 log cycle 이하의 미미한 감소를 보였지만, *L. monocytogenes* 수는 3 log cycle의 감소를 보여 2.30 ± 0.00 log CFU/g으로 나타났다. 한편 오존수로 3회 세척한 경우의 일반세균수와 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.64 ± 0.03 log CFU/g, 4.08 ± 0.03 log CFU/g으로 증류수 세척에 비하여 약간의 감소효과를 더 보여 제어효과는 크게 나타나지 않았다.

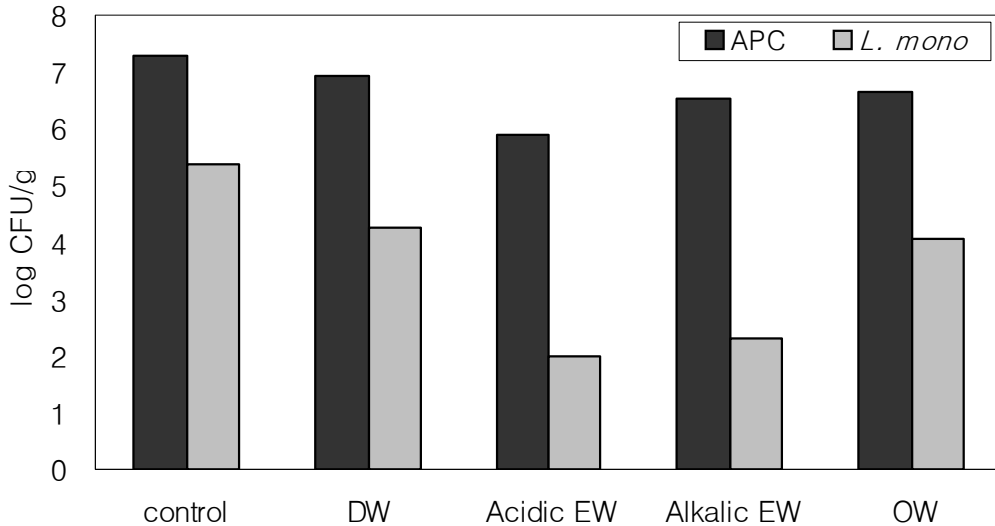


Fig. 2.22. Comparison of different washing treatments on microbial quality of red radish sprouts.

라. Hurdle technology

(1) Ca(OCl)₂, chlorine, ethanol의 복합 처리에 따른 발아채소의 저감화 효과

Calcium hypochlorite 소독 유무에 따른 적무 종자의 염소수 재배 후 소독방법에 따른 미생물 저감효과 결과는 Table 2.20과 같다. 종자의 초기 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.83 ± 0.00 log CFU/g, 3.48 ± 0.00 log CFU/g이었으며 증류수 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.29 ± 0.44 log CFU/g, 3.15 ± 0.21 log CFU/g으로 약간의 감소를 나타내었으며, calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리 후 일반세균 수는 2.10 ± 0.12 log CFU/g으로 3 log cycle의 감소를 보였으며 *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다.

발아 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.47 ± 0.03 log CFU/g, 5.48 ± 0.00 log CFU/g으로 나타내었으며, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.95 ± 0.00 log CFU/g, 4.48 ± 0.00 log CFU/g으로 미소독 종자보다 약간 낮은 수치를 나타내었다. 50 ppm 농도의 염소수로 재배 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.32 ± 0.03 log CFU/g, 4.60 ± 0.00 log CFU/g으로 미미한 감소를 보였고, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 미소독시에 비해 1 log cycle 이상의 낮은 수준으로 각각 6.24 ± 0.00 log CFU/g, 3.30 ± 0.00 log CFU/g으로 나타났다.

50 ppm 농도의 염소수로 재배한 발아채소의 소독에는 앞선 연구에서 우수한 미생물

제어효과를 나타낸 차아염소산나트륨과 에탄올을 사용하였다. 먼저 미소독 종자를 50 ppm 농도의 염소수로 재배한 발아채소를 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균 수는 처리전과 비교하여 약 1 log cycle 정도의 감소를 보인 6.23 ± 0.01 log CFU/g으로 나타났으며 *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다. 소독 종자를 50 ppm 농도의 염소수로 재배한 발아채소를 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균 수는 미소독군에 비하여 약 1 log cycle 정도 낮은 수치를 보인 5.17 ± 0.08 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다. 80% 에탄올에서 30 초간 처리한 경우 미소독 종자와 소독종자의 일반세균 수는 각각 5.17 ± 0.08 log CFU, 3.83 ± 0.18 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 모두 검출되지 않았다.

이러한 결과에서 보면, calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 종자 소독 후 50 ppm 농도의 염소수로 재배하여 세척단계에서 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 또는 80% 에탄올로 30분간 처리하면, 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 식중독균 미검출의 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치에 적합하게 된다.

(2) 오존수, NaOCl, ethanol의 복합 처리에 따른 발아채소의 저감화 효과

오존수 소독 유무에 따른 적무 종자의 오존수 재배 후 소독방법에 따른 미생물 저감효과 결과는 Table 2.21과 같다. 종자의 초기 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.83 ± 0.00 log CFU/g, 3.48 ± 0.00 log CFU/g이었으며 증류수 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.29 ± 0.44 log CFU/g, 3.15 ± 0.21 log CFU/g으로 약간의 감소를 나타내었으며, 오존수 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.05 ± 0.14 log CFU/g, 3.00 ± 0.00 log CFU/g으로 미소독 종자에 비해 약간의 감소를 보였다. 발아 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.47 ± 0.03 log CFU/g, 5.48 ± 0.00 log CFU/g으로 나타내었으며, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.97 ± 0.07 log CFU/g, 5.29 ± 0.05 log CFU/g으로 미소독 종자보다 약간 낮은 수치를 나타내었다.

오존수로 재배 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 7.21 ± 0.03 log CFU/g, 4.73 ± 0.03 log CFU/g으로 미미한 감소를 보였고, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 미소독시에 비해 1 log cycle 정도 낮은 수준으로 각각 6.11 ± 0.01 log CFU/g, 3.74 ± 0.06 log CFU/g 으로 나타났다. 오존수로 재배한 발아채소의 소독에는 앞선 연구에서 우수한 미생물 제어효과를 나타낸 차아염소산나트륨과 에탄올을 사용하였다. 먼저 미소독 종자를 오존수로 재배한 발아채소를 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균 수는 처리전과 비교하여 약 1 log cycle 이상의 감소를 보인

5.98±0.06 log CFU/g으로 나타났으며 *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다. 소독 종자를 오존수로 재배한 발아채소를 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 후 일반세균 수는 미소독군과 비교하여 약간 낮은 수치를 보인 5.40±0.02 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다. 80% 에탄올에서 30초간 처리한 경우 미소독 종자와 소독종자의 일반세균 수는 각각 5.00±0.06 log CFU, 3.80±0.14 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 모두 검출되지 않았다.

이러한 결과에서 보면, 종자 침종부터 재배기간 동안 오존수를 사용하여 재배 후 세척 단계에서 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 또는 80% 에탄올로 30분간 처리하면, 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 식중독균 미검출의 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치에 적합하게 된다.

Table 2.20. Effect of Ca(OCl)₂-chlorine-ethanol hurdle on APC and *L. monocytogenes* during cultivating of radish seed

Processing step	Treatment		Population (log CFU/g)	
	First treatment	Second treatment	APC	<i>L. monocytogenes</i>
Seed			5.83±0.00	3.48±0.00
Soaked seed	Distilled water		5.29±0.44	3.15±0.21
	Distilled water & Ca(OCl) ₂ 20,000ppm, 15min		2.10±0.12	<1.00
Germination	Distilled water		7.47±0.03	5.48±0.00
	Distilled water & Ca(OCl) ₂ 20,000ppm, 15min		6.95±0.00	4.83±0.00
Sprout	Distilled water		7.32±0.03	4.60±0.00
	Distilled water & Ca(OCl) ₂ 20,000ppm, 15min		6.24±0.00	3.30±0.00
Washing	Distilled water	NaOCl 100pp, 5min	6.23±0.01	<1.00
		Ethanol 80%, 30sec	6.17±0.08	<1.00
	Distilled water & Ca(OCl) ₂ 20,000ppm, 15min	NaOCl 100ppm, 5min	5.17±0.08	<1.00
		Ethanol 80%, 30sec	3.83±0.18	<1.00

CFU : Colony forming unit

Table 2.21. Effect of ozonated water-NaOCl-ethanol hurdle on APC and *L. monocytogenes* during cultivating of radish seed

Processing step	Treatment		Population (log CFU/g)	
	First treatment	Second treatment	APC	<i>L. monocytogenes</i>
Seed			5.83±0.00	3.48±0.00
Soaked seed	Distilled water		5.29±0.44	3.15±0.21
	Ozonated water		5.05±0.14	3.00±0.00
Germination	Distilled water		7.47±0.03	5.48±0.00
	Ozonated water		6.97±0.07	5.29±0.05
Sprout	Distilled water		7.21±0.03	4.73±0.03
	Ozonated water		6.11±0.01	3.74±0.06
Washing	Distilled water	NaOCl 100ppm, 5min	5.98±0.06	<1.00
		Ethanol 80%, 30sec	5.00±0.06	<1.00
	Ozonated water	NaOCl 100ppm, 5min	5.40±0.02	<1.00
		Ethanol 80%, 30sec	3.80±0.14	<1.00

CFU : Colony forming unit

(3) 전해산화수, 환원수, NaOCl의 복합 처리에 따른 발아채소의 저감화 효과

전해환원수 소독 유무에 따른 적무 종자의 전해환원수 재배 후 소독방법에 따른 미생물 저감효과 결과는 Table 2.22와 같다. 종자의 초기 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 5.29±0.02 log CFU/g, 3.33±0.02 log CFU/g이었으며 증류수 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 4.29±0.02 log CFU/g, 3.25±0.02 log CFU/g으로 약간의 감소를 나타내었으며, 전해환원수 침지 후 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 3.30±0.03 log CFU/g, 2.13±0.00 log CFU/g으로 미소독 종자에 비해 약 1 log cycle 정도의 감소를 나타내었다.

발아 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.95±0.08 log CFU/g, 4.96±0.06 log CFU/g으로 나타났으며, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.62±0.11 log CFU/g, 4.41±0.00 log CFU/g으로 미소독 종자보다 약간 낮은 수치를

나타내었다.

전해환원수로 재배 후 미소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 각각 6.04 ± 0.01 log CFU/g, 4.05 ± 0.13 log CFU/g으로 약 1 log cycle 정도의 감소를 보였고, 소독 종자의 일반세균과 *L. monocytogenes* 수는 미소독시에 비해 약 1 log cycle 정도 낮은 수준으로 각각 5.11 ± 0.03 log CFU/g, 3.96 ± 0.01 log CFU/g으로 나타났다.

전해환원수로 재배한 발아채소의 소독에는 앞선 연구에서 우수한 미생물 제어효과를 나타낸 전해산화수, 전해환원수 및 차아염소산나트륨을 사용하였다. 먼저 미소독 종자를 전해환원수로 재배한 발아채소를 전해산화수와 전해환원수로 3회 세척한 후의 일반세균 수는 각각 처리전과 비교하여 1 log cycle 이상의 감소를 보인 4.93 ± 0.04 log CFU/g, 4.91 ± 0.08 log CFU/g 으로 나타났으며 *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다. 소독 종자를 전해환원수로 재배한 발아채소를 전해산화수와 전해환원수로 3회 세척한 후의 일반세균 수는 각각 미소독군과 비교하여 약간 낮은 수치를 보인 4.88 ± 0.15 log CFU/g, 4.81 ± 0.02 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 검출되지 않았다.

종자소독 유무에 따른 전해환원수 재배 후 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리한 경우, 미소독 종자와 소독종자의 일반세균 수는 각각 5.29 ± 0.03 log CFU, 4.81 ± 0.12 log CFU/g으로 나타났으며, *L. monocytogenes* 수는 역시 검출되지 않았다.

이러한 결과에서 보면, 종자 침종부터 재배기간 동안 전해환원수를 사용하여 재배 후 세척단계에서 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리 또는 전해산화수, 전해환원수로 3회 세척시, 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 식중독균 미검출의 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치에 적합하게 된다.

Table 2.22. Effect of acidic EW-alkalic EW-NaOCl hurdle on APC and *L. monocytogenes* during cultivating of radish seed

Processing step	Treatment		Population (log CFU/g)	
	First treatment	Second treatment	APC	<i>L. monocytogenes</i>
Seed			5.29±0.02	3.33±0.02
Soaked seed	Distilled water		4.29±0.02	3.25±0.02
	Alkalic EW		3.30±0.03	2.13±0.00
Germination	Distilled water		6.95±0.08	4.96±0.06
	Alkalic EW		6.62±0.11	4.41±0.00
Sprout	Distilled water		6.04±0.01	4.05±0.13
	Alkalic EW		5.11±0.03	3.96±0.01
Washing	Distilled water	Acidic EW	4.93±0.04	<1.00
		Alkalic EW	4.91±0.08	<1.00
		NaOCl 100 ppm, 5min	5.29±0.03	<1.00
	Alkalic EW	Acidic EW	4.88±0.15	<1.00
		Alkalic EW	4.81±0.02	<1.00
		NaOCl 100 ppm, 5min	4.81±0.12	<1.00

CFU : Colony forming unit

5. 발아채소 생산현장에서의 HACCP 적용

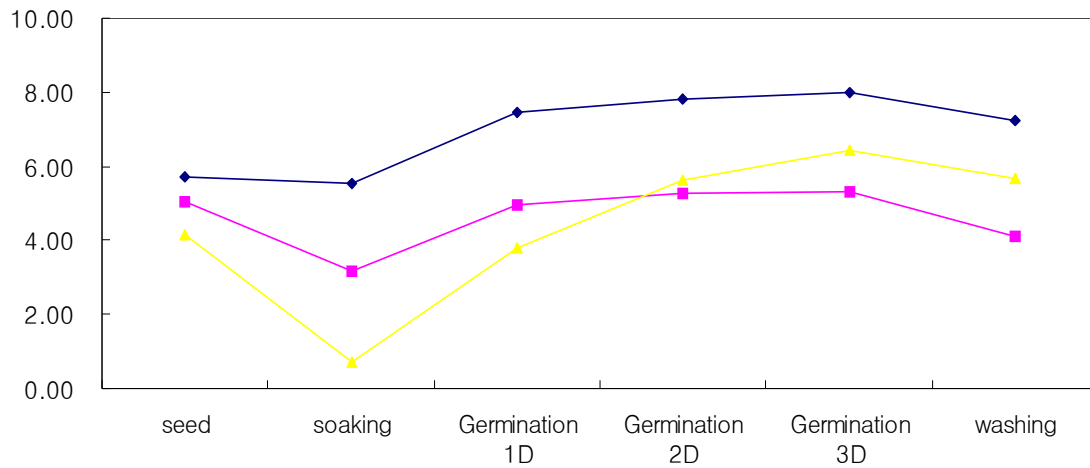
앞에서 제시된 다양한 종자 소독방법들 중에서 화학적 소독제로서 20,000 ppm Ca(OCl)₂와 70℃ 에서의 열수처리가 효과적이었으며, 증류수 보다 전해수(특히, 산화수)의 소독수로 재배한 경우에 식중독균 제어뿐만 아니라 일반세균 수까지도 감소시켜 재배수의 처리를 권장하는 바이다. 종자소독제로 미국 FDA에서도 권장하고 있는 20,000 ppm Ca(OCl)₂ 보다 발아채소의 친환경적인 특성에 맞게 열수처리 방법을 권장하고자 한다.

가. $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 에 의한 종자소독과 산화수 재배

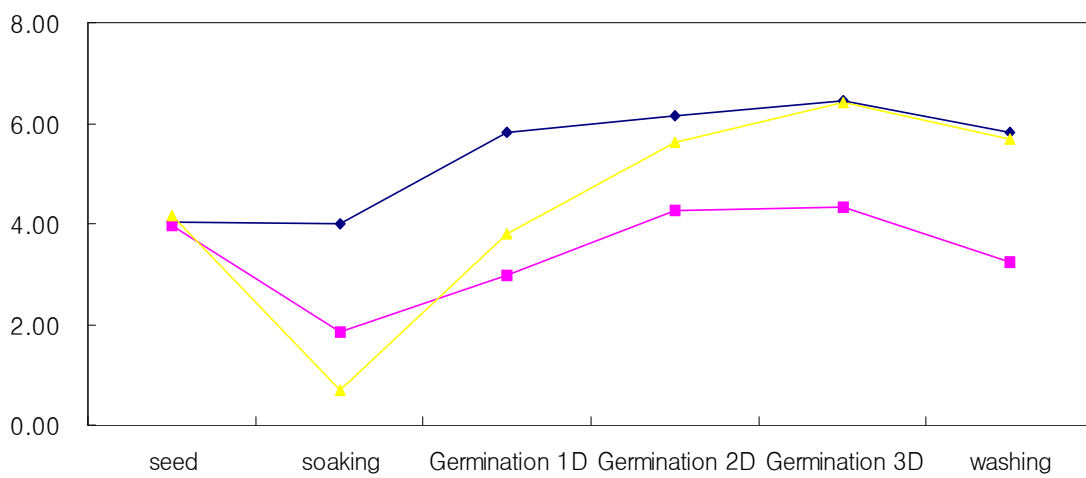
본 연구에서 개발한 HACCP plan을 업체의 생산현장에 적용하여 재배한 적무 발아채소의 생산단계별 미생물학적 품질은 다음과 같다(Fig.2.23). 우선 업체에서 재배수로 사용하고 있는 지하수를 대조군으로 하여 앞선 실험에서 우수한 미생물 저감효과를 나타낸 전해산화수, 열수처리와의 비교 결과는 Fig. 2.23-2.25에 나타내었다. 전해산화수의 침종만으로는 *L. monocytogenes*의 사멸이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 그러나 전해산화수로의 재배는 최종단계에서 일반세균과 대장균군이 각각 4.11 ± 0.12 , 3.25 ± 0.43 log CFU/g으로 나타나 현저한 감소를 보였다.

나. 열수처리에 의한 종자소독과 산화수 재배

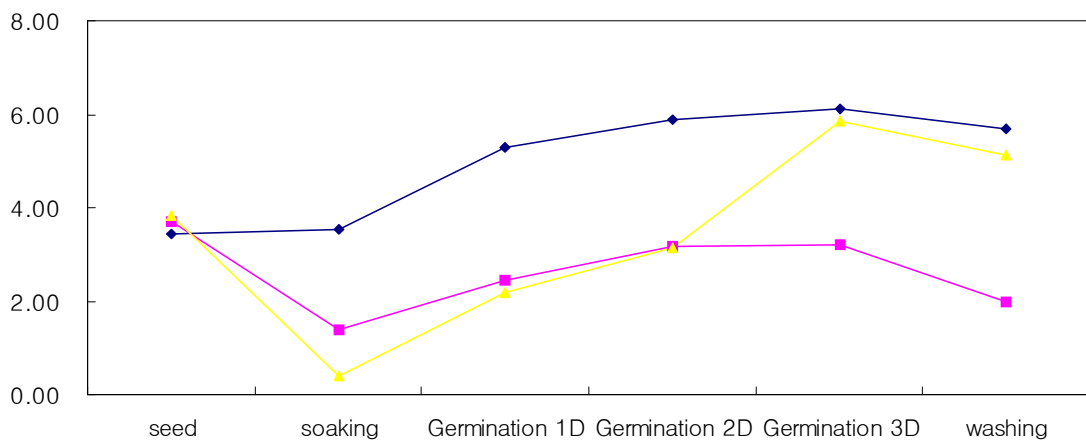
종자의 열수처리와 산화수 재배의 복합적 처리의 결과는 Fig. 2.24와 같다. 앞선 실험에서는 70°C의 열수에 1분간 침지시킨 경우 완전히 사멸됨을 확인하였으나, 현장적용시 완전 사멸이 되지 않는 경우는 종자 투입량이 실험에서 g 단위의 소량이 아닌 20 kg 이상의 대량으로 열수에 넣는 동시에 온도가 떨어졌기 때문으로 사료된다. 소량씩 2-3회에 나누어 처리함으로써 온도를 유지시킬 것을 권장한다. 그러나 전해산화수로 재배시 미량의 균들마저 모두 사멸되어 검출되지 않았다. 열수처리와 산화수 재배의 복합적 처리의 결과는 일반세균과 대장균군수가 각각 4.02 ± 0.11 , 2.97 ± 0.14 log CFU/g으로 나타나, Solberg 등(13)이 제시한 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치로서 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 대장균군 수 10^3 CFU/g 이하의 기준에 부합하여 미생물학적으로 안전한 섭취가 가능할 것으로 사료된다.



(A)

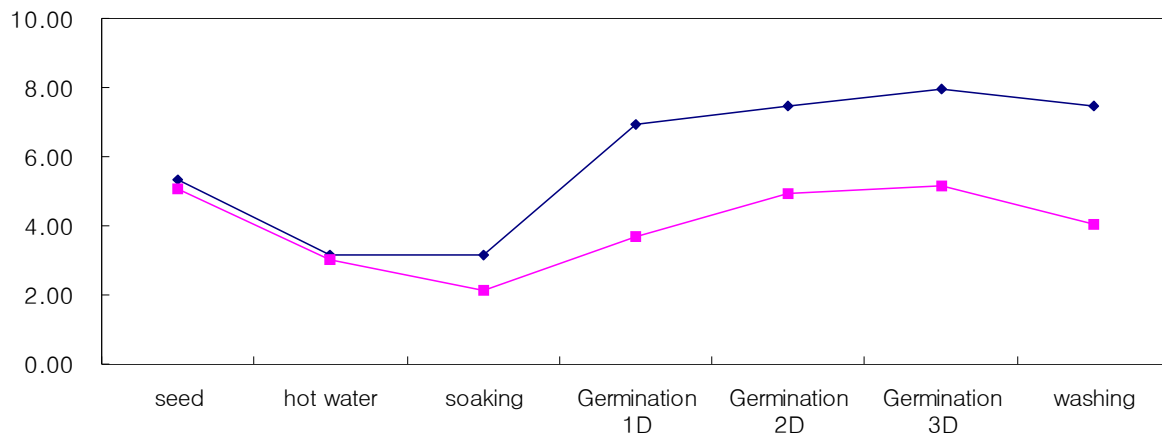


(B)

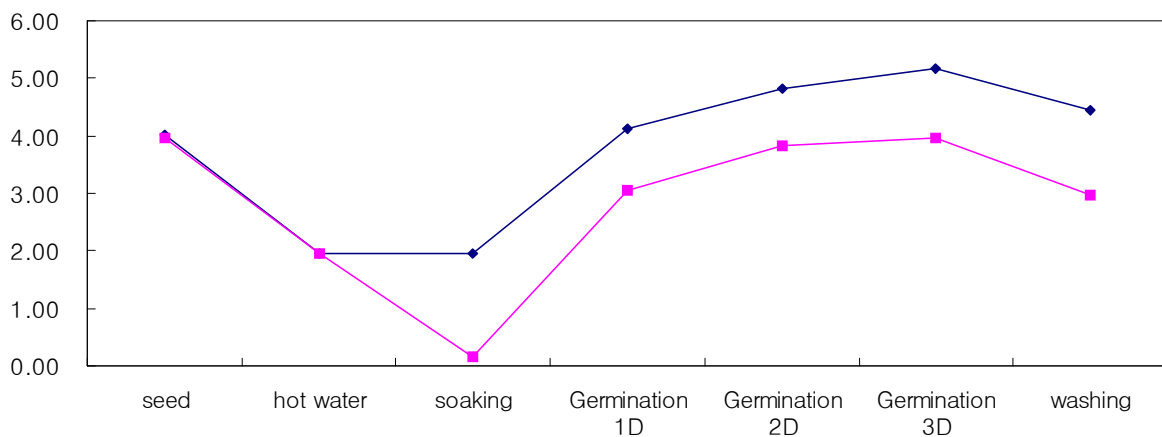


(C)

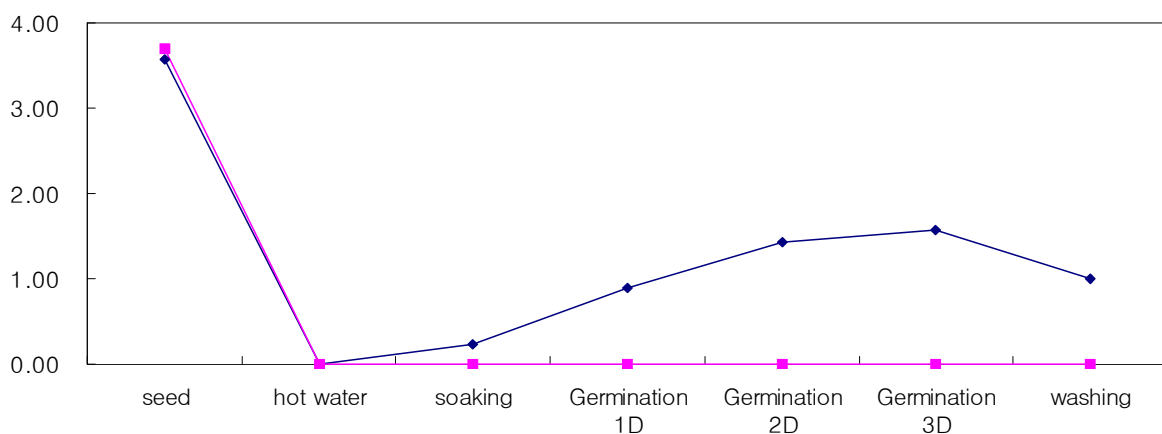
Fig. 2.23. Effect of acidic electrolyzed water on microbial population in red radish seed sprouting. (A) aerobic plate count. (B) Coliforms. (C) *L. monocytogenes* population. ◆, irrigated tap water (control); ■, irrigated acidic electrolyzed water; ▲, irrigated tap water after 20,000 ppm Ca(OCl)₂ treatment.



(A)



(B)



(C)

Fig. 2.24. Effect of acidic electrolyzed water after soaking in hot water (70°C) on microbial population in red radish seed sprouting. (A) aerobic plate count. (B) Coliforms. (C) *L. monocytogenes* population. ◆, irrigated tap water (control); ■, irrigated acidic electrolyzed water.

6. 발아채소 생산을 위한 우수생산관리기준 (GMP)

발아채소의 품질을 확보하기 위해서는 우선 전 공정에 걸쳐 법적으로 승인된 기준을 준수하여야 하며 이와 더불어 자체적으로 공정기준보다 강화된 자가기준을 엄격하게 적용함으로써 품질개선 노력을 기울여야 한다. 특히, 불순물, 이물 기타 외부로부터의 오염 또는 혼입이 발생하지 않도록 예방조치를 강구함과 동시에 혼동이나 작업자의 오류에 의한 품질의 인위적인 오류를 최소화할 수 있도록 하여야 한다.

그러기 위해서는 발아채소는 종자의 입고와 완제품, 출고에 이르기까지 전 생산공정에서 조직적인 생산관리와 생산계획에 의한 계획적이고 조직적인 품질관리를 하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 GMP 매뉴얼(20)의 수정, 적용을 통하여 발아채소생산업체로 하여금 발아채소의 위생적 생산과 품질의 균질성을 확보하는데 목적이 있으며, 적용확대를 위한 방법을 제시하고자 한다.

가. 발아채소 생산을 위한 일반관리기준

(1) 작업장의 구조

(가) 내장재

- 세정, 세균이 쉽고 내수, 내열성이 있는 건축재를 선정하고 사용되는 살균제의 종류를 정하고 내부식성과 미생물 증식 방지를 위한 항균 자재를 사용한다.
- 습도가 높은 구역의 벽, 천장은 내습성 및 항균·항곰팡이성 재질을 사용하며 사전에 미생물 부착상황을 조사하여 선정하며 필요시 곰팡이방지 도장을 하여야 한다.

(나) 바닥

- 바닥은 내수성·내열성·내약품성·항균성·내부식성 등의 적절한 재질을 사용하여야 하고 바닥은 파여 있거나 갈라진 틈이 없어야 하며, 작업 특성상 필요한 경우를 제외하고 마른 상태를 유지하여야 한다.
- 미생물의 증식방지를 위하여 영양분이 되는 수분의 제거가 중요하며 제조라인의 가동중이나 설비 등을 세정한 후에 빨리 바닥을 건조하여야 한다.
- 설비·기계에 제습, 건조기능을 부가시켜 실내공기를 건조시키든가 직접 바닥을 건조시키는 방법을 고려하여야 한다.

(다) 천장

- 천장은 틈이 없고 평활하여 청소가 용이한 구조로 하며 가능한 밝은 색으로 도장하여 오염여부를 쉽게 식별할 수 있어야 한다.
- 천장은 먼지가 쌓여 있거나 곰팡이가 피어 있지 않도록 관리하여야 한다.
- 천장은 빗물이 새거나 응결수가 떨어지지 않도록 관리하여야 한다.
- 천장은 결로를 방지하기 위하여 단열재를 이용하며 원료보관고 등은 수분의 차단을 고려하여야 한다.

(라) 내벽

- 그 표면이 평활하고 적어도 바닥 면에서 1.5m 이상을 불침투성, 내산성, 내열성의 재료를 사용하여야 한다.
- 내벽은 곰팡이가 피어있지 않고 청소가 용이한 구조이어야 한다.
- 내벽은 갈라진 틈이 없으며 파손된 부분이 없도록 청결하게 관리하여야 한다.

(마) 배수

- 배수설비를 흐르는 배수는 영양원이 풍부하여 해충, 미생물 등의 발생원이 되며 배수설비 자체도 쥐, 해충 등의 침입경로가 되므로 배수로, 배수구, 배수관 등의 배수설비에는 방충, 방서, 방균 등의 위생 대책상 유효한 조치가 필요하다.
- 배수로는 배수가 잘 되도록 설치하여야 한다.
- 배수로에 퇴적물이 쌓이지 않도록 하여야 하며, 폐수의 역류가 되지 아니하도록 관리하여야 한다.

(바) 배관

- 배관은 청소가 용이하도록 설치하여야 한다.
- 누수가 되거나 응결수가 발생하지 아니 하도록 단열재 등으로 보온처리하거나 이에 상응하는 적절한 조치를 취하여야 한다.
- 배관의 연결부위는 인체에 무해한 재질을 사용하여야 한다.

(사) 출입구

- 출입구의 문은 내수성 자재로 제작하여 물 청소가 용이한 구조로 하며 밀폐 가능한 구조로 하여 작업장의 문이 열려 있지 않도록 관리하여야 한다.

- 출입구를 통하여 오염구역과 청정구역으로 구분하여 진입한다.
- 출입구를 통과하는 단위시간당의 물량과 그 기능(온도차, 종류, 물성)에 따라 문에 의한 구분과 개방형 송풍(에어커튼, 에어서티) 등으로 외부와 내부의 공기 청정도 구분을 명확히 유지하여야 한다.
- 외부에서 건물 내부로의 출입구는 외부로부터의 곤충, 쥐, 먼지 등을 막는 제일 관문으로서 신발의 세척과 교체, 손세척, 마스크착용 등의 위생복장 정비가 가능하도록 전실을 설치하며 내부작업장의 출입구에는 에어샤워, 외측출입구에는 견고하고 틈새가 없는 구조의 문(자동개폐식)을 설치하여야 한다.
- 작업장의 출입구에는 구역별 복장 착용 방법 및 개인위생관리를 위한 세척, 건조, 소독 설비 등을 구비하고, 작업자는 세척 또는 소독 등을 통해 오염가능성 물질 등을 제거한 후 작업에 임하여야 한다.
- 화장실 출입구는 손잡이를 통하여 손으로부터의 미생물이 오염되는 것을 방지하기 위하여 자동개폐식으로 하는 것이 바람직하다.
- 식품과 직접 접촉하는 용기 및 포장재는 간접적으로 사용한 것과 구분하여 각각의 작업장으로 반입하여야 한다.
- 청결한 용기 및 포장재는 전용의 운반장치나 공기청정설비를 통하여 청결 작업 구역으로 운반하여 종이상자 조립작업장이나 외포장 작업장 등의 오염구역과는 별도의 루트를 사용하여야 한다.

(아) 통로

- 작업장내의 통로는 지정된 이동경로를 표시하여 교차오염을 방지하여야 한다.
- 작업장내의 통로는 작업자의 이동에 지장이 없도록 물건 등을 적재하거나 다른 용도로 사용하지 않아야 한다.

(자) 창

- 창문의 아래부분은 먼지가 집적되지 않도록 45° 이하의 각도를 유지하여야 한다.
- 창은 밀폐가 가능한 구조이어야 한다.
- 환기를 위한 창의 개방에 따른 해충의 침입을 방지하기 위한 방충망을 설치하며 방충망의 접합부위는 누수방지 처리를 하여야 한다.
- 창틀은 녹슬지 않고 부식되지 않는 스테인레스 재질 등을 사용하여야 한다.
- 창의 유리는 파손 시 유리조각이 작업장내로 흩어지거나 원부자재 등을 혼입

되지 않아야 한다.

- 창외 유리에는 파손 시 비산방지를 위하여 필름코팅을 하여 관리하여야 한다.

(차) 채광 및 조명

- 조명의 밝기는 작업에 지장을 주지 않도록 설정하여야 한다.
- 선별 및 검사구역 작업장 등은 육안확인이 필요한 조도(540 lux 이상)를 유지하여야 한다.
- 색의 오인을 일으킬 수 있는 조명을 배제하여야 한다.
- 채광 및 조명시설은 내부식성 재질을 사용하여야 한다.
- 조명시설에는 파손이나 이물 낙하 등에 의한 오염이 유발되지 않도록 보호장치를 설치하여 청결히 관리하여야 한다.

(2) 작업장 환경관리

(가) 구획설정

- GMP 적용공장의 일반제조관리를 위하여 가장 중요한 것은 교차오염을 방지하는 구조를 갖는 것이며 건물의 내부는 미생물에 의한 교차오염을 피하기 위해 적절히 구획하여야 한다.
- 발아채소재배지의 교차오염 발생 원인으로는 종자, 사람, 환경 등이 있다.
- 구획은 방충, 방서, 방균, 방곰팡이와 청정도의 확보 및 온·습도의 유지를 위해 실시한다.
- 구획 설정시 사람, 제품간에 교차오염이 발생하지 않는 구조인지, 작업자의 동선 거리 등을 고려하여 각 구역을 하나의 범주에 집약하고 생산효율의 저하를 방지하도록 한다.
- 제조 공정간에 제품의 청정도(미생물수, 이물혼입) 수준이 변하는 공정을 분석하여 작업구역을 오염구역과 청결구역으로 구분하여야 한다.
- 공장전체의 구획기준을 작성하여 구역의 경계는 벽으로 구획하여야 한다.
- 다른 구역간의 작업동선이 있는 경우는 차단시스템을 채용하여야 한다.
- 소정의 온도, 습도를 유지할 수 있도록 구분하여야 한다.

(나) 동선계획

- 미생물의 오염방지를 위하여 원료의 반입에서 가공, 보관, 출하에 이르는 공정흐름과 원재료 및 제품의 종류, 형태, 물량, 관리온도 등을 충분히 파악하고 구역구분과 물류 및 사람의 동선을 설정하고 이를 준수하여야 한다.
- 구역계획에 기초하여 각 작업실의 구역을 결정하여 원료 반입에서 제품출하까지의 작업실을 배치하고 원료, 포장재, 폐기물 등의 흐름을 추가하여야 한다.
- 원료의 입고에서부터 제조·가공, 보관, 운송에 이르기까지 모든 단계에서 혼입될 수 있는 이물에 대한 관리계획을 수립하고 이를 준수하여야 하며, 필요한 경우 이를 관리할 수 있는 시설·장비를 설치하여야 한다.
- 설정 구역간의 청정도 차에 의한 차단구조를 설치하여 다른 구역간의 오염침입을 최소화하여야 한다.
- 작업자의 흐름을 추가하고 청결구역과 일반구역별로 각 구역별 위생수칙을 설정하여 다른 구역간의 출입을 최소화하여야 한다.
- 시설내의 동선은 사람(종업원)과 물건(원재료, 포장재, 제품, 폐기물 등)의 동선으로 나누어 고려한다.
- 물류 및 사람의 동선은 청결동선과 오염동선이 인접, 교착하지 않도록 하여 원재료나 제품의 신속한 흐름으로 정체에 의한 위생상의 문제점을 해소하고 또한 쓰레기나 종이조각 등과 제품, 포장재 등의 교차를 방지하여야 한다.
- 제품의 흐름이 청정도가 높은 구역에서 낮은 구역으로 되돌아가지 않도록 제조설비를 일자형(one way)으로 배치하도록 한다.
- 작업자는 전용현관에서 실내화로 갈아 신고 제조구역의 입구에서 위생수칙에 의한 갱의, 수세, 소독 등을 실시한 후 출입하도록 하며 부득이하게 다른 구역으로 이동할 때는 해당구역에 설정된 위생수칙을 준수할 수 있도록 입구에 적합한 설비를 구비하여야 한다.

(다) 공조 환기계획

- 공기관리는 위생적인 공간을 유지·확보하기 위한 것으로 이를 위해서는 청정도의 확보, 온·습도의 유지, 환기 등을 하기 위한 설비를 정확히 구비하여야 한다.
- 작업장내에서 발생하는 악취, 이취, 유해가스, 매연, 증기 등을 배출할 수 있는 충분한 환기시설을 설치하여야 한다.
- 환기장치에는 급기구와 배기구를 설치하여 양쪽의 밸런스를 유지하며 교차오염

을 방지하도록 각각 독립된 계통으로 환기되도록 하여야 한다.

(라) 온도관리

- 원료 및 제품의 온도, 작업환경, 경제성을 고려하여 제조·가공·포장·보관 등 작업 공정별로 온도 관리계획을 수립하고 이를 측정할 수 있는 온도계를 설치하여 관리하여야 한다.

(마) 습도관리

- 제품의 안전성 및 적합성을 확보하기 위한 습도관리계획을 수립·운영하여야 한다.
- 높은 습도는 환경미생물 증식의 좋은 조건이 되므로 작업 중에 발생하는 증기를 배출하는 환기설비가 구비되어야 한다.

(바) 결로 방지 대책

- 결로는 실내의 온도조건, 외부공기의 조건, 건축물 구성부의 재질, 환기상태, 실내의 증기발생량 등의 요인에 의해 발생하게 된다.
- 내 벽면의 곰팡이 발생 등에 의한 오염방지와 응축수의 낙하에 의한 미생물 오염의 방지를 위하여 결로방지 대책은 중요하다.
- 곰팡이와 균의 발생원인이 되는 결로를 방지할 수 있도록 내습성 재질이나 단열재 등을 사용하며 막다른 골목길이 되는 장소를 만들지 않도록 설계하여야 한다.

(사) 분진방지대책

- 분진방지는 이물 혼입, 미생물증식 제어와 연관된 식품공장의 중요한 청정대책이다.
- 실외에서의 분진 혼입을 방지하여야 한다.
- 실내분진의 발생 및 누적을 방지하여야 한다.
- 분진을 제거하여야 한다.

(아) 낙하세균의 제어

- 청정도의 지표로는 공기 중의 부유먼지수, 부유균수, 낙하세균수, 낙하진균수, 생산기기의 부착균수 등을 측정한다.
- 공장내의 미생물과 작업자의 의복이나 원료 등과 같이 외부에서 들어온 미생물이 작업중 사람의 움직임과 공기의 흐름에 의해 먼지와 같이 공중에 부유

하다가 공기의 흐름이 멈추면 바닥에 낙하하게 되며 바닥이 젖어 있으면 증식하여 오염을 유발한다.

- 바닥의 건조화, 외부 미생물의 침입방지(동선계획), 정기적인 청소 및 소독이 필요하다.
- 실내증식억제(저온화), 먼지제거(필터), 청정도 유지를 위한 적절한 실내압 및 기류 확보, 야간의 자외선램프 살균 등 제어를 위한 적절한 대책을 확보하여야 한다.

(자) 방충 및 방서

- 이물 혼입의 요인으로 거론되는 곤충류의 방지는 그 자체의 혼입뿐만 아니라 다수의 미생물을 부착하여 갖고 들어와 실내에 두면 증식을 하기 때문에 생물학적 위해 방지의 면에서도 중요한 항목이다.
- 방충을 위하여 부지 주변에서의 발생을 방지하고 건물내부로의 유인 및 침입을 방지하며 실내에서의 제거를 위한 적절한 대책을 강구하여야 한다.
- 외부로 개방된 흡·배기구 등에는 여과망이나 방충망 등을 부착하고, 관리계획에 따라 청소 또는 세척하거나 교체하여야 한다.
- 방서를 위한 적절한 대책을 강구하여야 하며 침입 및 서식의 흔적이 있는지 정기적으로 점검하여야 한다.
- 작업장 내에서 해충이나 설치류 등의 구제를 실시할 경우에는 정해진 위생 수칙에 따라 공정이나 식품의 안전성에 영향을 주지 않는 범위 내에서 적절한 보호 조치를 취한 후 실시하며, 작업 종료 후 식품취급시설 또는 식품에 직·간접적으로 접촉한 부분은 세척 등을 통해 오염물질을 제거하여야 한다.

(3) 생산시설관리

(가) 생산시설의 배치

- 생산에 필요한 생산시설 및 기구 등을 충분히 구비하여야 한다.
- 생산시설·설비는 공정간 또는 취급시설·설비 간 오염이 발생되지 않도록 공정 흐름에 따라 적절히 배치되어야 한다.
- 생산시설 등이 원료나 제품에 위해를 끼치지 않도록 하여야 한다.
- 제품과 접촉하는 시설·설비는 인체에 무해한 내수성·내부식성 재질로 열탕·증기·살균제 등으로 소독·살균이 가능하여야 한다.
- 온도를 높이거나 낮추는 처리시설에는 온도변화를 측정·기록하는 장치를 설치

- 구비하거나 일정한 주기를 정하여 온도를 측정하고, 그 기록을 유지하여야 하며 관리계획에 따른 온도가 유지되어야 한다.

(나) 제조시설의 세정

- 영업장에는 시설, 설비, 기구, 기구 등을 충분히 세척하거나 소독할 수 있는 시설이나 장비를 갖추어야 한다.
- 시설, 설비, 기기, 기구 등은 세정이나 소독이 용이한 구조이어야 한다.
- 시설, 설비, 기기, 기구 등은 녹이 슬지 않도록 비부식성 재질을 사용하여야 한다.
- 세정을 위해 고압분사기를 사용하는 경우 미생물이 에어로졸화 하여 공기중에 비산되어 낙하함으로써 사용에 주의하여야 한다.
- 세척, 소독한 기구는 위생적으로 보관·관리하여야 한다.
- 세척 또는 소독에 사용하는 약품 등 독성이 있는 유해물질은 작업장 내에 방치되지 않도록 정해진 장소에 구분하여 보관·관리하여야 한다.
- 종업원, 위생복, 위생모, 위생화, 작업장 주변, 작업실별 내부, 제품생산시설(이송 배관포함), 냉장·냉동설비, 용수저장시설, 보관·운반시설, 운송차량, 운반도구 및 용기, 모니터링 및 검사 장비, 환기시설(필터, 방충망 등 포함), 폐기물 처리용기, 세척·소독도구, 등에 대한 세척 또는 소독 기준을 정하여야 한다.
- 세척 또는 소독 기준은 세척·소독 대상별 세척·소독 부위, 방법 및 주기, 책임자, 기구의 올바른 사용방법, 세제 및 소독제(일반명칭 및 통용명칭)의 구체적인 사용 방법 등의 사항을 포함하여야 한다.
- 세척 및 소독의 효과를 확인하고, 정해진 관리계획에 따라 세척 또는 소독을 실시하여야 한다.

(4) 위생시설

(가) 화장실

- 작업원수에 비례하여 화장실을 충분히 구비하여야 한다.
- 화장실은 작업장과 분리하여 위생적으로 관리하여야 한다.
- 내부 공기를 외부로 배출할 수 있는 별도의 환기시설을 갖추어야 한다.
- 화장실의 벽과 바닥, 천장, 문은 내수성, 내부식성의 재질을 사용하여야 한다.
- 전용의 신발을 비치하여 교체 후 사용하여야 한다.

- 화장실의 출입구에는 손 세정설비, 건조설비, 소독설비 등을 설치하여야 한다.

(나) 탈의실

- 작업장과 분리하여 위생적으로 관리하여야 한다.
- 탈의실은 외출복장(신발 포함)과 위생복장(신발 포함)간의 교차오염이 발생하지 않도록 구분·보관하여야 한다.

(다) 손세척 시설

- 유수수조식으로 손 씻기에 충분한 크기의 구조이어야 한다.
- 손을 사용하지 않고 이용할 수 있는 구조이어야 한다.
- 손을 말릴 수 있는 시설(1회용 종이타올 포함)을 비치하여야 한다.
- 소독시설(소독수 포함)을 구비하여야 한다.
- 온수설비를 구비하여야 한다.

(라) 폐기물 및 폐수처리

- 작업장과 일정거리를 유지하며, 격리된 일정장소에 폐기물 및 폐수처리시설을 설치, 운영하여야 한다.
- 폐기물 및 폐수처리 시설은 적절히 관리하여야 한다.
- 폐기물 등의 처리용기는 밀폐할 수 있는 구조로 하여 침출수 및 냄새가 누출되지 않도록 하여야 하고, 관리계획에 따라 폐기물 등을 처리, 반출하고, 그 관리 기록을 유지하여야 한다.
- 폐기물 등의 처리용기는 자주 소독 및 세척하여 위생적으로 관리하여야 한다.
- 매일 또는 시간별로 연속적으로 반출하여 옥외에 임의 방치하지 않아야 한다.

(5) 용수 공급

- 발아채소 생산업체에서 사용하는 물은 세정수 및 배합수 등으로 사용되어 직접 또는 간접적으로 원료·제품과 접촉하므로 용수의 수질은 위생관리를 하기 위해 매우 중요하다.
- 수돗물을 사용하거나 수돗물이 아닌 지하수 등을 사용하는 경우에는 「먹는물관리법」의 기준에 적합한 물을 공급할 수 있는 시설을 구비하여야 하며 관련시설을 정기적으로 점검하여 적절히 관리하여야 한다.

- 지하수를 사용하는 경우 취수원은 화장실, 폐기물·폐수 처리시설, 동물사육장 등 기타 지하수가 오염될 우려가 없는 장소에 위치, 관리하여야 하며, 필요한 경우, 살균 또는 소독 장치를 갖추어야 한다.
- 비음용수 배관은 음용수 배관과 구별되도록 표시하고 교차되거나 합류되지 아니 하여야 한다.
- 저수조, 배관 등은 인체에 유해하지 아니한 재질을 허용하여야 한다.
- 용수저장탱크는 오염물질의 유입을 방지하기 위하여 잠금장치를 설치하고 외부로부터 오염되지 아니하도록 누수 및 오염여부를 정기적으로 점검·관리하여야 한다.
- 저수조에 용수가 장시간 저장되면 잔류염소가 소실되어 미생물이 증식하거나 철, 망간 등의 침전이 생기는 수도 있기 때문에 용수의 사용량에 비하여 저수조가 너무 크지 않도록 설치하여야 한다.
- 저수조는 반기별 1회 이상 「수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙」에 따라 청소와 소독을 자체적으로 실시하거나, 「수도법」에 따른 저수조청소업자에게 대행하여 실시하여 청결하게 관리하여야 하며, 그 결과를 기록·유지하여야 한다.
- 용수에 대한 정기 수질검사는 먹는물 수질기준 전 항목에 대하여 년 1회 이상(제조수 반기 1회 이상) 검사를 실시하여야 하며, 먹는물 수질기준에 정해진 미생물학적 항목에 대한 검사는 월 1회 이상 실시하여야 한다. 미생물학적 항목에 대한 검사는 간이검사키트를 이용하여 자체적으로 실시할 수 있다.

(6) 냉장·냉동 설비

- 원료나 제품을 효과적으로 수용하는 구조와 기능을 구비하여야 한다.
- 냉장설비 등에 대하여 정기적으로 점검·정비하여야 하며, 기록을 유지하여야 한다.
- 저장시설은 적절한 관리와 세척이 가능하며 해충의 접근과 서식을 방지하고 저장 중에 오염으로부터 효과적으로 보호할 수 있는 구조이어야 한다.
- 냉장시설은 내부의 온도를 5℃이하, 냉동시설은 -18℃이하로 유지하고, 외부에서 온도변화를 관찰할 수 있어야 하며, 온도 감응 장치의 센서는 온도가 가장 높게 측정되는 곳에 위치하도록 한다.

(7) 검사 관리

(가) 제품검사

- 제품검사는 자체 실험실에서 검사계획에 따라 실시하거나 검사기관과의 협약에 의하여 실시하여야 한다.
- 검사결과에는 다음 내용이 구체적으로 기록되어야 한다.
 - 검체명
 - 제조년월일 또는 유통기한(품질유지기한)
 - 검사 연월일
 - 검사항목, 검사기준 및 검사결과
 - 판정결과 및 판정연월일
 - 검사자 및 판정자의 서명날인
 - 기타 필요한 사항

(나) 시설 설비 기구 등 검사

- 냉장·냉동 및 가열처리 시설 등의 온도측정 장치는 연 1회 이상, 검사용 장비 및 기구는 정기적으로 검·교정하여야 한다. 이때 자체적으로 검·교정하는 경우에는 그 결과를 기록·유지하여야 하고, 외부 공인 검·교정 기관에 의뢰하여 검·교정하는 경우에는 그 결과를 보관하여야 한다.
- 작업장의 청정도 유지를 위하여 공중낙하세균 등을 관리계획에 따라 측정·관리하여야 한다. 다만, 제조공정의 자동화, 시설·제품의 특수성, 식품이 노출되지 아니 하거나, 식품을 포장된 상태로 취급하는 등 작업장의 청정도가 식품에 영향을 줄 가능성이 없는 작업장은 그러하지 아니할 수 있다.

(8) 회수 프로그램 관리

- 부적합품이나 반품된 제품의 회수를 위한 구체적인 회수절차나 방법을 기술한 회수프로그램을 수립·운영하여야 한다.
- 부적합품의 원인규명이나 확인을 위한 제품별 생산 장소, 일시, 제조라인 등 해당시설내의 필요한 정보를 기록·보관하고 제품추적을 위한 코드표시 또는 로트관리 등의 적절한 확인 방법을 강구하여야 한다.

나. 발아채소 생산을 위한 생산공정 관리기준

(1) 종자 입고

- GAP를 적용한 종자 생산업체로부터 공급받아야 한다.
- 각 입고품의 미생물 검사에 대한 확인서를 받아야 한다.
- 각 품목별 물리적 손상이나 잠재적 오염여부를 확인해야한다.
- 검사성적서의 확인 또는 검사를 통하여 입고기준 및 규격에 적합한 종자만 구입해야 한다.
- 오염된 종자의 분석 결과는 문서로 보관하여야 한다.
- 부적합한 종자는 적절한 절차를 정하여 반품 또는 폐기 처분한다.
- 종자의 검수는 납품시 즉시 실시하며 부득이 검수가 늦어질 경우에는 정해진 냉장 온도에서 보관한다.
- 입고검사를 위한 검수실은 별도로 구획한다.

(2) 종자 저장

- 종자는 선입선출 원칙에 따라 입고·출고상황을 관리·기록한다 (관리번호, 제조일자 등 확인).
- 부적합한 종자는 별도의 지정된 장소에 보관하고 명확하게 식별되는 표식을 하여 반송, 폐기 등의 조치를 취한 후 그 결과를 기록·유지한다.
- 교차오염을 방지하기 위하여 바닥이나 벽에 밀착되지 않도록 충분한 거리를 확보하여 적재·관리한다 (최소 10cm 이상 이격).
- Unit cooler 밑에 누수 보호장치가 없는 경우에는 적재를 금한다.
- 내수성이 없는 나무재질의 파렛트 등은 사용을 금한다.

(3) 종자 침중

- 침중은 발아를 향상시키기 위해 필요한 단계이다.
- 이 단계에서 미생물의 급격한 증가를 초래할 수 있으므로, 종자표면의 미생물 수준을 감소시키기 위해 침중수에 다양한 소독제를 사용한다.
- 침중용기는 사용전 반드시 소독제로 세척한다.
- 종자의 미생물 증가를 감소시키기 위해 가능한 단시간 침지시키는 것을 권한다.
- 세척·살균제는 식품 사용에 승인된 것만을 사용해야 한다.
- 소독제의 양은 종자 양의 적어도 5배 이상은 되도록 한다 (예를 들면, 종자 5 kg

- 에 소독제를 적어도 25 L 이상은 사용하여야 한다).
- 소독제 사용에 대한 기록은 문서로 기록·유지한다.
- 세척·살균제는 정해진 장소에 보관·관리한다.
- 침종 후 세척은 종자에 잔류된 소독제 등을 제거하는 목적으로 충분히 행하도록 한다.
- 용수는 수돗물이나 먹는물 관리법 규정에 의한 먹는물 수질기준에 적합한 지하수이어야 하며, 지하수를 사용하는 경우 반드시 물 살균·소독장치를 구비하여야 한다.
- 먹는물 수질기준 전 항목에 대하여 연 1회 이상 검사를 실시하며, 먹는물 수질기준에 정해진 미생물학적 항목에 대한 검사는 월 1회 이상 실시한다. 미생물학적 항목에 대한 검사는 간이검사키트를 이용하여 자체적으로 실시한다.
- 수돗물은 55개 항목 (소독제 및 소독부산물질 7개 항목 포함), 지하수는 48개 항목 (필요시 소독제 및 소독부산물질 항목 검사) 실시한다.
- 용수저장탱크, 배관 등은 인체에 유해하지 않은 재질을 사용하며 외부로부터의 오염물질 유입을 방지하는 잠금장치를 설치하고, 누수 및 오염여부를 관리계획에 따라 점검한다.
- 용수저장탱크는 청소와 검사가 용이하도록 설계되어야 하고 반기별 1회 이상 관련 법령에 적합하게 청소와 소독을 실시하여 청결하게 관리하며 그 결과를 기록·유지한다.

(4) 발아

- 발아동안 교차오염을 방지하기 위해 시설 및 환경을 청결히 한다.
- 모든 시설은 사용하기 전 반드시 살균·세척한다.
- 발아, 재배, 포장실은 구획하여야 하며, 외부 오염으로부터 차단되어야 한다.
- 재순환된 물을 사용하는 경우에는 적합한 용수 처리 시스템을 갖추어야 한다.
- 용수의 미생물적 검사를 실시하여 그 결과를 기록·유지한다.

(5) 재배

- 재배기간동안 종자내 미생물 성장이 최적상태이므로 각별히 청결 및 오염에 주의하여야 한다.
- 재배동안 용수의 미생물적 검사를 실시하여 그 결과를 기록·유지한다.
- 재배드럼은 사용 전·후 반드시 살균·소독제로 세척한다.

(6) 수확

- 모든 장비는 사용 전 반드시 살균·소독제로 세척한다.

(7) 세척

- 세척은 발아채소의 미생물 수준을 감소시키고 이물질 등을 제거한다.
- 가능한 차가운 물을 사용해야 재배동안의 발아채소의 온도를 낮추고 잠재된 미생물 성장을 지연시킬 수 있다.
- 세척용수는 교차오염을 방지하기 위해 batch당 교체한다.

(8) 탈수

- 탈수기는 사용 전·후 반드시 살균·소독제로 세척한다.
- 탈수기는 공정간 또는 취급시설·설비간 오염이 발생되지 않도록 공정의 흐름에 따라 적절히 배치, 공업용 윤활유나 물리적 위해요인에 의한 오염발생을 방지하도록 한다.
- 탈수기는 인체에 무해한 내수성·내부식성 재질로 열탕·증기·살균제 등으로 소독·살균이 가능하여야 한다.

(9) 예냉

- 발아채소는 재배동안 상승된 품온을 낮추기 위해 냉장온도에 보관한다.
- 미생물 성장을 최소화하고 빠른 예냉을 위해 작고 얇은 용기에 보관한다.
- 냉장시설은 내부의 온도를 5℃ 이하로 유지하고, 외부에서 온도변화를 관찰할 수 있어야 하며, 온도 감응 장치의 센서는 냉각원으로부터 가장 멀리 위치해야 한다.
- 냉장시설·설비는 관리계획에 따라 점검·정비·청소를 실시하며 그 결과를 기록·유지한다.

(10) 포장

- 수확 후 포장 사이의 시간을 단축시키는 것을 권한다.
- 포장재는 청결하며, 무독성이어야 하며, 보관 및 사용에 있어 발아채소의 품질과 안전성을 유지할 수 있어야 한다.
- 포장재질과 디자인은 외부 오염, 손상으로부터 최소화할 수 있도록 고안되어야 하며, 적절한 라벨을 부착하여야 한다.

- 라벨은 제품명, 제조일자 (유통기한), 제조업자 등을 기본적으로 포함하여야 하며, 제품의 효율적인 유통과 리콜시 코드 부착도 권한다.
- 발아채소는 유통 및 보관을 위해 “냉장보관”을 반드시 명시한다.
- 발아채소는 단순 농산물로 분류되므로 “세척 후 섭취”를 명시한다.

(11) 냉장보관

- 발아채소는 냉장상태로 최대 14일 까지 보관가능하나 유통·판매를 위해 가능한 빨리 출하시킬 것을 권한다.
- 냉장시설은 내부의 온도를 5℃ 이하로 유지하고, 외부에서 온도변화를 관찰할 수 있어야 하며, 온도 감응 장치의 센서는 냉각원으로부터 가장 멀리 위치해야 한다.
- 완제품은 선입선출 원칙에 따라 입고·출고상황을 관리·기록한다.

(12) 출하

- 운송차량 (지게차 등 포함)으로 인하여 운송제품이 오염되는 것을 금한다.
- 운송차량은 냉장의 경우 10℃ 이하를 유지할 수 있어야 하며, 외부에서 온도변화를 확인할 수 있도록 임의 조작이 방지된 온도기록장치를 부착하여야 한다.
- 운송차량, 운반도구 및 용기는 관리계획에 따라 세척·소독을 실시한다.

7. 발아채소 생산을 위한 HACCP 관리계획 모델 개발

앞선 연구의 결과를 통해 보다 위생적으로 안전하고 규격화된 품질의 발아채소 생산을 위한 HACCP plan을 제시하고자 한다.

가. 전자빔 조사 미적용

(1) 재배공정도

일반적인 발아채소의 재배공정도는 Fig. 2.26과 같다.

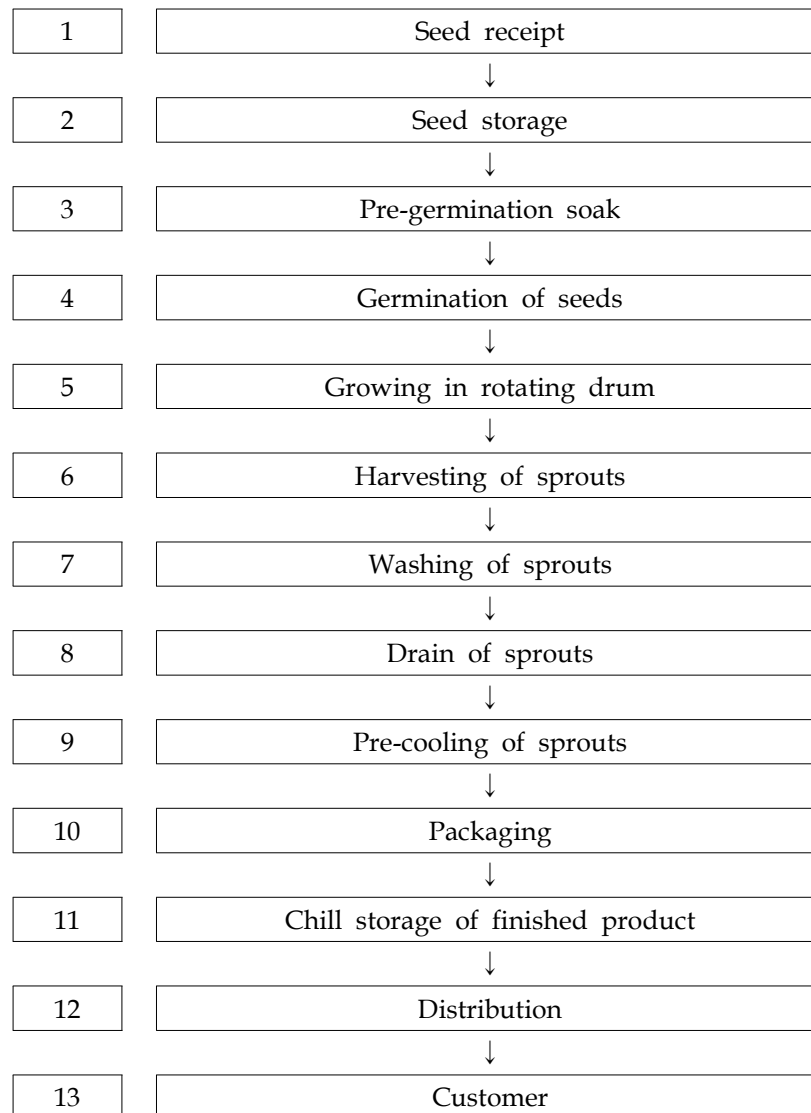


Fig. 2.26. Process step flow for sprout production.

(2) 위해목록표

발아채소에 대하여 작성한 위해목록표는 Table 2.23과 같다. 각 단계별 발생가능한 모든 위해요인들은 심각성 3단계, 발생가능성 5단계로 위해도를 평가하여, 1단계의 종자, 3단계의 종자침중, 4단계의 발아, 5단계의 재배과정에서의 미생물학적 위해를 hazard로 정하였다.

Table 2.23. Hazard analysis

No.	Process	Hazard(s)	Origins	Hazard analysis		Hazard	Control measures
				severity	likelihood		
1	Raw materials: Dried seeds	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination by birds, rodents or insects -High microbial loading -Presence of pathogens on seeds -Contamination by pesticides	High	High	Hazard	-Bird, rotent and insect control program -Selection of suppliers of good quality seed -Microbial tests on dried seeds -Discard seed
		C Agrichemicals	-Pesticides used during seed crop	Medium	Low	No Hazard	-Inspection
		P Foreign matter such as soil, metal fragments, broken glass, hair et al.	-Contamination by foreign matter	Low	High	No Hazard	-Inspection, sieving and washing
2	Seed storage	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Bacterial growth due to damp storage conditions -Contamination by dirt	High	Low	No hazard	-Dry storage/Humidity control and moisture control in seeds -Clean storage environment
3	Pre-germinati on soak	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Growth of surface microbial contamination -Contamination from dirty soaking containers -Contamination from water supply	High	High	Hazard	-Surface decontamination of seeds -Cleaning and disinfecting of recycled soaking containers -Disinfection of water supply

No.	Process	Hazard(s)	Origins	Hazard analysis		Hazard	Control measures
				severity	likelihood		
4	Germination	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination from dirty germination containers -Contamination from water supply	High	High	Hazard	-Cleaning and disinfecting of recycled germination containers -Disinfection of water supply
5	Growth	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Excessive microbial proliferation -Contamination from dirty growth containers -Contamination from water supply	High	High	Hazard	-Use of disinfected irrigation water -Cleaning and disinfecting of recycled growth containers -Disinfection of water supply
6	Harvest	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination during harvesting -High microbial levels on the harvested sprouts	Medium	Medium	No hazard	-Cleaning and disinfecting of spades, etc. used for harvesting -Application of control measures before harvesting
7	Wash	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination from wash water -Proliferation of microorganisms in wash tank water -Contamination of wash tank surfaces -Dirty collection bin contamination	Medium	Medium	No hazard	-Chlorination of wash water -Chilling and chlorination of wash water -Cleaning and disinfecting wash tank system daily at the end of production -Clean and disinfect collection bins
		C Residual chlorine	-Chemical residue from rinse water	Low	Low	No hazard	-Rinse sprouts thoroughly with potable water following harvest -Sufficient rinsing

No.	Process	Hazard(s)	Origins	Hazard analysis		Hazard	Control measures
				severity	likelihood		
8	Drain	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination of drain surfaces	Medium	Nglg	No hazard	-Cleaning and disinfecting of drainers
9	Pre-cooling	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Cross-contamination from raw material, germination and growing areas	Medium	Medium	No hazard	-Well designed factory line layout and drainage system. Controlled movement of staff and equipment -Maintain, clean and sanitize all equipment and clean and sanitize all surfaces that may contact the sprouts
10	Packaging	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Contamination due to unsanitary handling practices	Medium	Medium	No hazard	-Personnel hygiene control, regular hand washing, regular change of gloves, regular cleaning and sanitation of equipment -Package time is less than 10 minutes
		C Chemicals	-Outflow from packaging materials	Low	Nglg	No hazard	-Used approved food grade packaging materials
		P Packing materials	-Contamination by foreign matter during packing	Low	Nglg	No hazard	-Use Good Manufacturing Practices (GMPs) -Protect al lights from accidental breakage

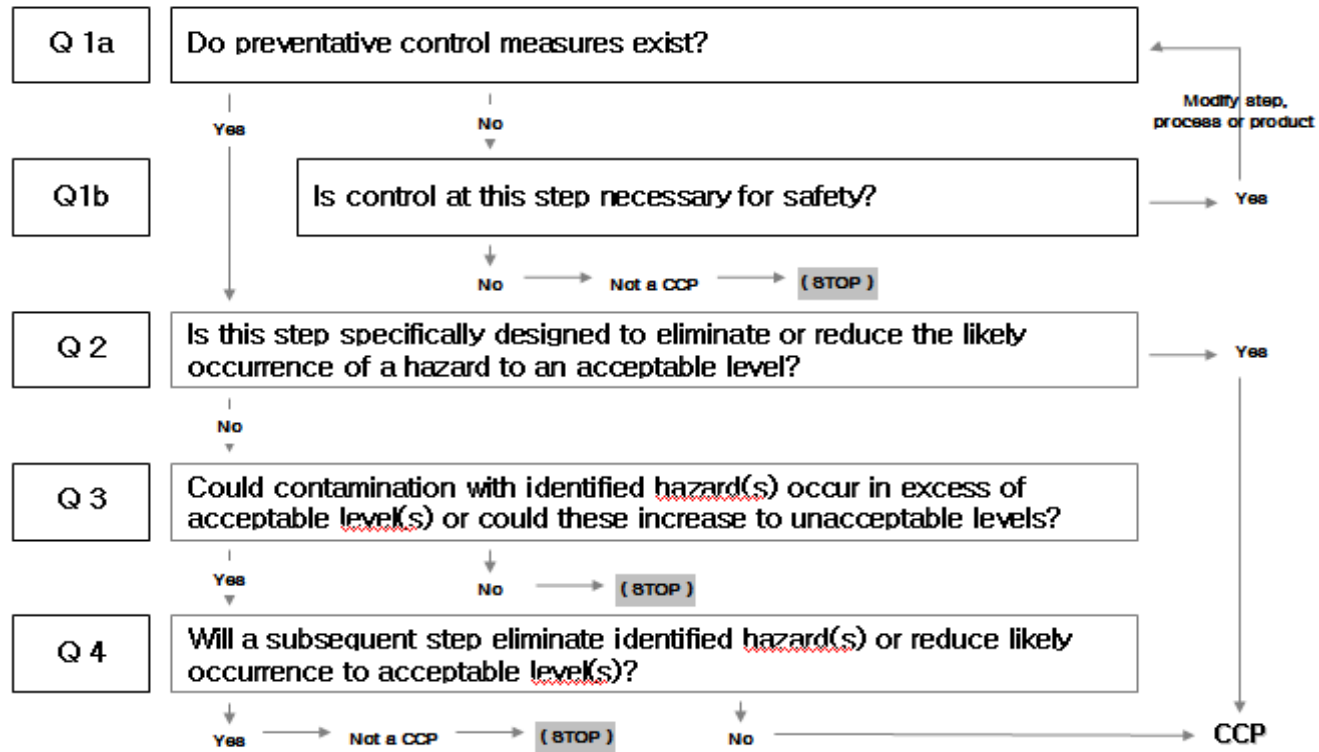
No.	Process	Hazard(s)	Origins	Hazard analysis		Hazard	Control measures
				severity	likelihood		
11	Chill storage	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Microbial growth	Medium	Medium	No hazard	-Storage under chill 4°C±2°C. Limited shelf-life
12	Distribution	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Microbial growth -Use of out of date product	Medium	Medium	No hazard	-Chill distribution chain 4°C±2°C -Date label and stock rotation control
13	Consumer	B High microbial level, pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	-Storage abuse of product leading to microbial growth	Medium	Medium	No hazard	-Clear instructions to the consumer on storage, shelf-life and product preparation -Ensure a pest control program is in place -Use sneeze guards where product is sold in bulk

*Severity was evaluated by three stage: low, medium, high.

Likelihood was evaluated by five stage: negligible, low, medium, high, critical.

(3) 중요관리점 결정

중요관리점 결정에 있어 각 공정을 위해요소목록표의 순서에 따라 하나씩 Fig. 2.27의 CCP 결정도를 적용하였다.



* Codex HACCP system and guidelines for its application, CODEX

Fig. 2.27. CCP decision tree.

발아채소에 대한 중요관리점의 결정표는 Table 2.24와 같다. Table 2.23에서 위해로 평가된 항목들 중에서 중요관리점 결정표에 의해 발아 전 종자침종, 재배단계를 중점적으로 관리할 항목으로 지정하였다.

Table 2.24. Determination of critical control points on sprouts

No	Process	Hazard(s)	Q1a	Q1b	Q2	Q3	Q4	CCP No.
1	Raw seeds	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	Yes		No	Yes	Yes	
3	Pre-germination soak	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	Yes		Yes			CCP-1B
4	Germination	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	Yes		No	Yes	Yes	
5	Growth	B Pathogenic bacteria such as <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. cereus</i>	Yes		Yes			CCP-2B

* Q1a : Do preventive measures exist for the identified hazard(s)? If no-go to Q1b. If yes-go to Q2.

Q1b : Is control at this step necessary for safety? If no-not a CCP. If yes-modify step, process or product and return to Q1a.

Q2 : Does this step eliminate or reduce the likely occurrence of hazard(s) to an acceptable level? If no-go to Q3. If yes-CCP

Q3 : Could contamination with identified hazard(s) occur in excess of acceptable levels or could these increase to unacceptable levels? If no-not a CCP. If yes-go to Q4.

Q4 : Will a subsequent step eliminate hazard(s) or reduce the likely occurrence to an acceptable level? If no-CCP. If yes-not a CCP.

(4) HACCP 계획

밭아채소에 대하여 작성한 HACCP 계획표는 Table 2.25와 같다. CCP 1인 발아 전 침중에서의 종자소독단계는 미국 FDA에서 권장하고 있는 20,000 ppm Ca(OCl)₂에 의한 방법과 이 실험에서 제시한 70℃의 열수에 1분간 처리하는 방법 두 가지를 제시하였다.

Table 2.25. HACCP plan

CCP	Significant hazards	Critical limits	Monitoring procedure and frequency				Corrective action	CCP Verification	HACCP records
			What	How	Frequency	Who			
CCP-1B / Pre-germination soak	Pathogen growth	-Soak for 15min at 20,000 ppm Ca(OCl) ₂	Treatment concentration & time	Test paper & timer	Each batch	Field crews	-Return to soaker until 15min at 20,000 ppm Ca(OCl) ₂	-Calibrate timer -Check visual colorimetric test paper	-Treatment log -Timer calibration log
		-Soak above 1min at 70℃ in hot water	Treatment temperature & time	Thermometer & timer	Each batch	Field crews	-Return to soaker until 5min at 65℃ hot water	-Calibrate thermometer and timer each week	-Treatment log -Thermometer calibration log
CCP-2B / Growth	Pathogen growth	-Irrigation with acidic electrolyzed water with below pH 3, chlorine 100 ppm	Property of EOW	pH meter & test paper	Each batch	Field crews	-Irrigation after adjusting property of EOW	-Calibrate pH meter -Check visual colorimetric test paper	-Property of EOW log

나. 전자빔 조사 적용

발아채소의 고품질화를 위한 전자빔 살균기술 이용은 선진외국과 국제기구에서는 사용이 허가되어 있으나, 국내에서는 식품에 대한 전자빔의 이용이 허가되지 않은 상태이다. 그러나 기술적 타당성이 인정되면 법적허가와 제도적 인프라가 구축될 것이므로, 본 보고서에서는 허가된 것을 전제로 하여 적용 방안에 대하여 기술하고자 한다.

(1) 전자빔 조사 시설의 설치와 이용

경제적 타당성 분석을 바탕으로 발아채소 포장상품의 출하 전 살균처리를 위하여 새싹공장에 2.5 MeV 수준의 전자빔 시설을 설치할 수 있다. 이는 원자력법의 적용에 따른 인허가와 초기투자비용(8억 원 이상)이 크므로 현실적으로는 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었다. 그러나 생산 공장에 설치하여 활용할 경우에는 HACCP 계획에 포함시켜 생산된 소포장(시중 유통 소단위) 발아채소를 매우 간단한 공정으로 전자빔 살균 컨베이어를 연속적으로 통과시킴으로써 포장 당 5분 이내에 살균처리가 완료될 수 있다. 그리고 살균처리된 포장상품은 수송용 박스포장 단위로 출하되는 단계로 넘길 수 있다. 이때 본 연구에서 선발한 OPP 포장재는 발아채소의 소포장에 적극 활용되어 유통 중 선도유지 효과와 미생물의 재오염을 방지하여 발아채소의 고품질 유통을 기대할 수 있다.

(2) 전자빔 조사서비스 시설의 이용

발아채소 생산 공장에 전자빔을 설치하는 경우는 초기 시설투자비가 너무 크므로 현실적으로 타당성이 없다고 본다. 따라서 국내에 가동 중인 전자빔 조사시설의 서비스를 활용할 경우에는 새싹공장에서 출하된 상품이 시장에 도착하기 전 전자빔 조사시설(대전, 충북 음성 등)을 경유하여 살균처리를 실시할 수 있다. 이때 전자빔 조사를 위한 총 소요시간(추가 수송거리, 상하차, 조사처리 등)은 1-2시간으로 충분하므로 추가비용이 최종 제품가격의 2.7-2.9% 수준임을 감안할 때, 발아채소의 위생적 품질향상을 위한 살균기술의 활용은 선택적으로 여지가 있다고 사료된다.

제 4 절 결 론

발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해요인을 분석한 결과, 종자의 일반세균 수는 10^3 - 10^5 CFU/g, 대장균군 수는 10^1 - 10^3 CFU/g으로서 국내산과 수입산 종자간의 차이는 보이지 않았으며 침종시 소독 유무에 따라 10^1 - 10^2 CFU/g 정도의 감소효과를 나타내었다. 종자발아 후 일반세균 수는 10^6 - 10^8 CFU/g, 대장균군 수는 10^3 - 10^7 CFU/g으로 높은 수치를 나타내었고, 재배 기간동안 약간의 증가를 보였으며 세척과 탈수 후에도 일반세균과 대장균군이 10^6 - 10^8 CFU/g, 10^5 - 10^7 CFU/g으로 높은 오염도를 나타내었다. 침종시 소독제를 처리하지 않은 국내산 무, 유채, 적무 종자의 발아 후 과정에서 *E. coli*가 검출되었으며, 장관출혈성 대장균인 *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*와 *Bacillus cereus*는 전혀 검출되지 않았으나, *L. monocytogenes*에 대한 정성적 분석을 실시한 결과, 침종시 소독제를 처리 하지 않은 수입산 적무의 발아와 그 이후 단계에서 양성반응을 나타내었다.

발아채소의 미생물 저감화를 위해 미생물 검사에서 *E. coli*와 *L. monocytogenes*가 검출된 적무 종자와 발아채소에 대해 *L. monocytogenes*를 10^3 - 10^5 CFU/mL로 배양·접종한 후 여러 조건의 소독 방법을 적용한 후 효과를 평가하였다. 종자 소독시 calcium hypochlorite 20,000 ppm 농도에서 15분간 처리시키거나 열수처리하는 방법, 침종수로서 전해산화수나 환원수를 활용하는 방안으로 전처리에 적용하는 것이 효과적이었으며, 재배기간 동안의 미생물의 증식을 억제시키기 위해 염소수, 오존수 및 전해수로의 재배를 병행시 더 큰 저감효과를 기대할 수 있었다. 재배 후 세척단계에서 차아염소산나트륨 100 ppm 농도에서 5분간 처리한 경우, 80% 에탄올에 30분간 처리한 경우, 전해산화수 또는 환원수로 3회 세척한 경우,에 총 균수 10^5 CFU/g 이하, 식중독균 미검출의 섭취직전의 식품에 대한 미생물적 안전기준치를 만족시켰다. 이 결과들을 종합하여 볼 때, 발아채소의 친환경적 생산 특성에 맞게 종자의 열수처리와 전해산화수 재배의 병행이 미생물 저감효과와 업무효율성이 높을 것으로 사료된다.

따라서 발아채소 생산현장에서의 침종시 소독제 처리 또는 열처리를 통한 1차적 관리와 재배단계의 증식억제, 철저한 세척 및 소독을 통한 2차적 위생관리 등 단계적 위생관리의 적용이 권장된다.

본 연구에서는 발아채소의 위생적 생산을 위한 GMP 적용 매뉴얼과 HACCP plan 개발을 통하여 위생관리제도의 확대방안을 제시하고자 한다.

제 3 세부 : 고품질 발아채소의 적합 포장재 선정 및 유통기한 설정

제 1 절 서 론

발아채소는 종자를 발아시켜 어린 싹을 이용하는 것으로, 싹이 트는 시기에 성장을 위해 여러 물질을 생합성하며 발아채소의 비타민 및 미네랄 함량은 성채의 3-4배에 이르는 등 영양적으로 우수하다. 발아채소는 예로부터 많은 나라에서 이용되어 왔고 약 30년 전부터 세계적인 관심을 받고 있으며(1), 한국에는 2003년에 소개된 이래로 소비자들의 관심이 증가하여 최근에는 무순, 브로콜리, 알팔파, 적양배추, 배추, 다채, 유채 및 메밀 등 다양한 종류의 발아채소를 시중에서 쉽게 접할 수 있게 되었다.

전반적인 산업의 고도화와 도시화로 영양섭취 식생활로 소비자의 인식이 전환되었고 최근 웰빙(well-being)에 대한 관심 증가로 건강지향의 식생활을 선호하고 있으며 이에 따라 발아채소에 관한 소비가 증대하고 있다. 게다가 맞벌이 여성의 증가 및 핵가족화로 인해 편의성을 추구하게 되어 신선편이 식품의 수요가 증가하고 있고 이와 관련 산업이 증가하고 있는 실정이다. 신선편이 식품은 손질이나 세척 없이 바로 이용할 수 있어 조리 시간을 단축시키고 빠르고, 편리함과 동시에 건강식품과 부합되는 장점이 있다. 미국이나 유럽 등에서는 신선도와 편의성을 동시에 추구하려는 소비자의 욕구를 충족시켜 줄 수 있는 신선편이 채소류의 소비가 증가하고 있는 추세이며, 여러 나라에서 신선편이 식품이 일반화되어 시장에서 판매되고 있다.

시중에 유통되고 있는 발아채소의 포장용기는 대부분 PET(polyethylen terephthalate)가 사용되고 있는데, PET는 인체에 무해하고 화학반응에 강하고 투명도가 좋아 내용물 확인이 용이하고 저온에 강하며 적재가 용이하다는 장점이 있으나, 투습도 및 가스투과도가 낮아 호흡량이 많은 발아채소의 경우 품질 저하가 빠르게 일어난다는 문제점이 있다. 이러한 문제점의 보안을 위해 PET 포장재에 통기구멍을 만들어 가스투과 및 투습이 용이하게 하였으나 이 통기구멍을 통한 이물질의 혼입 및 미생물 오염의 가능성과 수분손실에 의한 신선도 저하 등 품질저하의 문제점을 가지고 있다. 발아채소와 같은 신선편이 식품은 소비자들이 제품을 구입 후 바로 사용할 수 있는 장점이 있지만 열처리를 하지 않고 주로 생식으로 섭취하기 때문에 미생물 오염이 일어날 수 있어 식중독 발병의 원인이 될 수 있다. 일본의 경우 1998년에 미생물이 오염된 무순의 *Salmonellae*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* 및 *Aeromonas*

hydrophila 등에 의해서 6,000명 이상의 식중독 환자가 발생한 바 있다(2). 발아채소는 유통 시 일정하지 않은 온도 처리로 인한 미생물 성장이 용이하고, 현재 이용되고 있는 PET 포장재의 통기구멍에 의한 미생물 오염의 가능성 또한 높다. 따라서 유통과정 중 발생할 수 있는 미생물 오염을 최소화하기 위한 포장의 필요성이 대두되고 있다.

OPP film에 기능을 첨가한 것으로 방담(anti-fogging) OPP film이 있는데 film 표면에 결로현상이 생기지 않도록 만든 film으로 수증에서 증식되기 쉬운 미생물 발생을 방지하여 제품의 신선도를 유지시켜 준다. 포장재에 대한 품질평가 실험으로는 양파(3), 양상추(4), 상추(5), 샐러리(6), 느타리버섯(7), 숙주나물(8), 토마토(9) 등의 다양한 신선편이 제품 및 농산물에 관해서는 많이 이루어졌으나 발아채소에 대한 실험은 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 통기구멍의 유무를 달리한 PET 포장재와 산소투과도를 달리한 3종의 방담 OPP film 포장재를 선택하여 저장기간에 따른 무순 및 브로콜리 발아채소의 품질변화를 조사하고 상기 실험에서 우수한 결과를 보인 포장재를 선정하여 유통기한 설정을 위한 품질특성 변화를 알아보았다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 발아채소 제품의 적합 포장 재질 선정 시험

가. 종자 시료 및 발아

본 실험에서 사용한 무 및 브로콜리 종자는 (주)대농바이오에서 구입한 것으로 외관이 양호한 것을 선별하여 사용하였고, 새싹재배기(Model OV, EasyGreen MikroFarm™, USA)를 이용하여 4시간마다 15분씩 물을 주며 28±1℃에서 4일 동안 빛이 차단된 상태에서 발아시킨 것을 시료로 이용하였다.

나. 발아채소의 포장 및 저장

예비실험을 거쳐 PET 용기와 plastic film 종류 중 방담OPP film을 포장재로 사용하였다. PET 포장재는 통기구멍의 유무에 따라 통기구멍이 있는 것(PO) 및 통기구멍이 없는 것(PC)의 2종을 선정하였다. PET 포장재는 육각형 형태로 단단한 것으로 PO 포장재는

용기 옆 부분에 6개의 통기구멍이 있고 시중에서 유통되고 있는 형태이며, PC 포장재는 육각형의 형태로 단단한 형태인 것은 PO 포장재와 동일하나 통기구멍이 없는 밀폐형 포장재이다. 3종의 방담OPP film 포장재는 Table 3.1에 나타내었으며 각 포장재는 3면을 열접합한 후 발아채소를 일정량 넣은 후 입구를 동일한 방법으로 접합 후 사용하였다.

재배한 발아채소를 수돗물 3회 및 증류수 2회 세척하여 이물질 제거 후 탈수 과정을 거쳐 포장에 사용하였으며, 각 포장재에 60 g씩 포장하여 10°C에서 7일간 저장하였다.

Table 3.1. Oxygen transmission rate(OTR) of anti-fogging OPP film

	LO	LM	LH
OTR (cc/m ² ·24h)	5,000	20,000	40,000
Thickness (μm)	30	30	30
Size (cm)	20×20	20×20	20×20

다. 물리적 품질 분석

(1) 포장 내의 기체 분석

Gas analyser(280 COMBO, England)를 이용하여 대기 중 기체조성에 대한 포장 내의 headspace gas를 측정하였으며, 이때 대기의 기체조성은 O₂ 21%, CO₂ 0%를 기준으로 하였다.

(2) 중량감소율 분석

각 포장재별로 한 개를 선택하여 저장기간 중 중량을 측정하고, 저장 1일째의 중량에 대한 백분율로 계산하여 중량감소율을 나타내었다.

(3) 색도 측정

마쇄한 발아채소를 표준 백색판(L=97.78, a=-0.39, b=+2.05)으로 보정한 colorimeter(CR-200, Minolta, Japan)를 이용하여 색도를 측정하고, 그 결과를 각각 Hunter's color value인

L(lightness) 및 b(yellowness) value로 나타내었다. 또한 저장기간에 따른 전반적인 색변화 정도를 알아보기 위해 저장 1일째 색도에 대한 색차를 ΔE value로 나타내었으며 ΔE value는 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\Delta E \text{ value} = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

라. 이화학적 품질 분석

시료 20 g과 증류수 40 mL을 30초간 마쇄한 후 여과한 액을 사용하여 굴절당도계 (automatic&water resistant, Atago Master, Japan)와 pH meter(Mettler toledo delta 320, China)로 가용성고형분 함량 및 pH를 측정하였다.

마. 미생물학적 품질 분석

발아채소 5 g와 0.1% 멸균 펩톤수 45 mL을 혼합한 액을 각 단계별로 희석하여 접종 후 배양하여 형성된 colony를 계수하였다. 단계별 희석액 1 mL을 petri dish에 분주한 후 40-50°C인 PCA(plate count agar, DifcoTM, America)를 부어 shaking한 다음 35°C에서 48 시간동안 배양하여 계수한 총균수를 log CFU/g으로 나타내었다. 시료채취 및 실험과정에서 사용되는 모든 기구는 autoclave를 이용하여 121°C, 15분간 가압멸균한 것을 이용하였다.

바. 기능성분 분석

(1) Total phenol 함량 측정

총 페놀화합물은 Folin-Ciocalteu 시약을 이용한 비색법으로 정량하였다(10, 11). 발아채소 5 g에 50% ethanol을 가하여 overnight 추출한 후 여과한 액 0.1 mL에 증류수 3.9 mL와 Folin-Ciocalteu 시약을 가하여 mixing 후 5분간 반응시켰다. 반응액에 포화 sodium carbonate 용액 0.5 mL을 첨가하여 30분간 정치시킨 용액을 spectrophotometer (Optizen 2120UV, Mecasys, Korea)를 이용하여 725 nm에서 측정하였고 gallic acid를 사용한 표준곡선으로부터 환산하여 나타내었다.

(2) 전자공여능 측정

전자공여능은 시료의 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl(DPPH)에 대한 전자공여 효과로서 시료의 환원력을 측정하였다(12). 발아채소 5 g과 50% ethanol 50 mL을 함께 overnight 추출 후 여과한 액에 미리 제조한 DPPH 용액 4 mL을 가하여 40초간 반응시킨 다음 spectrophotometer를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Free radical scavenging activity(\%)} = \left(1 - \frac{A_{bs}}{A_{bc}}\right) \times 100$$

A_{bs}: Absorbance of DPPH solution with sample at 517nm

A_{bc}: Absorbance of DPPH solution without sample at 517nm

사. 관능적 품질 분석

훈련된 경북대학교 식품공학과 학생 10명을 대상으로 실시하였으며, 외관(appearance), 뿌리변색(yellowness of root), 발아채소냄새(sprout smell), 이취(off-odor), 조직감(texture), 시듦(withering), 종합적기호도(overall acceptability) 등의 항목에 대해 9점 채점법으로 포장재에 따른 발아채소의 관능검사를 실시하였다.

2. 고품질 발아채소 제품의 최적포장에 따른 유통기한 설정 시험

가. 발아채소 시료 및 포장

본 실험에서 사용한 무 및 클로버 발아채소는 (주)대농바이오에서 구입하여 사용하였으며, 구입 시 시중에 유통 중인 PET 포장재에 포장된 상태인 발아채소를 구입하였다. 그리고 상기 적합 포장 재질 선정 시험에서 선정된 20×20 cm 크기의 방담OPP 포장재 (OTR 20,000 cc/m²·24h)에 열접합기를 이용하여 50 g씩 재포장하여 실험에 이용하였다.

나. 발아채소의 살균 및 전처리

(1) 전자빔 조사

PET 및 적합포장재에 포장된 발아채소를 이비테크(주)에 의뢰하여 전자빔 조사를 하였으며, 조사선량은 1 kGy, 2 kGy 및 3 kGy로 하였고 대조군 실험을 병행하여 수행하였다.

(2) 발아채소의 저장

각 포장재에 포장하여 전자빔 조사한 발아채소는 4°C, 10°C 그리고 20°C에 7일간 저장하며 저장 후 1일, 3일, 5일, 7일째에 품질평가 실험을 실시하였다.

다. 중량감소율 변화 확인

각 포장재별로 한 개를 선택하여 저장기간 중 중량을 측정하고, 저장 0일째의 중량에 대한 백분율로 계산하여 중량감소율을 나타내었다.

라. 미생물농도 변화 확인

발아채소 5 g과 0.1% 멸균 펩톤수 45 mL을 혼합한 액을 각 단계별로 희석하여 접종 후 배양하여 형성된 colony를 계수하였다. 단계별 희석액 1 mL을 petri dish에 분주한 후 40-50°C인 PCA(plate count agar, Difco™, America)와 DLA(dechloro lartose agar, Difco™, America)를 부어 혼합한 다음 35°C에서 24-36시간동안 배양하여 계수한 총균 및 대장균군을 log CFU/g으로 나타내었다. 시료채취 및 실험과정에서 사용되는 모든 기구는 autoclave를 이용하여 121°C, 15분간 가압 멸균한 것을 이용하였다.

마. 기능성분 분석

(1) Total vitamin C 분석

총 비타민C 분석은 DNP법을 이용하였다(13, 14). 즉, 발아채소 5g에 5% 메타인산용액 100 mL을 가하여 마쇄하여 여과한 액 2 mL에 인도페놀 용액을 몇 방울 떨어뜨려 적색을 유지한 후 thourea-metaphosphoric acid 용액을 넣었다. DNP 용액 1 mL을 넣고 37°C에서 30분간 반응시킨 용액에 85% 황산 용액을 가하여 30분간 정치시킨 용액을 spectrophotometer를 이용하

여 540 nm에서 측정하였고 ascorbic acid를 사용한 표준곡선으로부터 환산하여 나타내었다.

(2) Total phenol 함량 분석

각 시료의 페놀성 화합물의 측정은 Folin-Denis법(15)에 준하여 실시하였다. 즉, 각 시료 추출물 2 mL에 Folin 시약 2 mL을 혼합하여 실온에서 3분간 정치한 뒤 10% Na₂CO₃ 용액 2 mL을 가하여 혼합하고 실온에서 1시간 반응시킨 다음 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 표준물질로서 gallic acid (Sigma-Aldrich, Inc., Steinheim, Germany)를 적당한 농도로 희석 조제하여 표준곡선을 작성하였다.

(3) Chlorophyll/ Carotenoid 함량 분석

발아된 채소의 chlorophyll 및 carotenoid 함량 분석은 Fan과 Thayer(16)에 의한 방법을 사용하여 측정하였다. 발아채소 5 g을 취하여 20 mL 차가운 아세톤을 넣어 혼합·분쇄 후 감압여과한다. 감압여과 후 남은 시료에 다시 차가운 아세톤 5 mL을 가하여 두 번 정도 반복한다. 그 여과된 추출물을 약 20 mL이 될 때까지 농축 후 그 액을 25 mL 메스플라스크에 넣어 아세톤으로 정용 후 -20°C 하룻밤 동안 냉동보관 한다. 다음 15 mL centrifuge tube에 하룻밤 냉동보관 된 시료 2 mL과 HPLC용 증류수 0.8 mL 및 3 mL diethyl ether를 섞어 혼합 분리한다. 다음 test tube에 분리된 diethyl ether층 여액과 HPLC용 증류수를 2 mL 섞는다. 위의 액을 vortex로 15초간 강하게 혼합 후 UV-vis spectrophotometer (Optizen 2120UV, Mecasys, Daejeon, Korea)를 이용하여 470, 662 및 646 nm에서 흡광도를 측정하였다. chlorophyll a와 chlorophyll b의 함량은 Lichtenthaler and Wellburn(17)에 의한 방정식을 사용하여 계산하였다. 총 chlorophyll 함량은 chlorophyll a와 chlorophyll b의 합계이다.

바. 관능적 품질 분석

훈련된 경북대학교 식품공학과 학생 10명을 대상으로 실시하였으며, 외관(appearance), 뿌리변색(yellowness of root), 발아채소냄새(sprout smell), 이취(off odor), 조직감(texture), 시듦(withering), 종합적기호도(overall acceptability), 상품적 가치(marketability) 등의 항목에 대해 7점 채점법으로 포장재에 따른 발아채소의 관능검사를 실시하였다.

3. 결과분석

본 실험의 실험 결과는 평균±표준편차로 나타내었다. 또한 유의성을 검정하기 위해 SAS 9.1 program을 이용하여 Duncan's multiple range test를 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 고품질 발아채소 제품의 적합 포장 재질 선정

가. 물리적 품질 특성 변화

(1) 포장 내 기체 조성 변화

저장기간 동안 다른 포장재로 포장한 무순 및 브로콜리 발아채소의 포장 내 headspace gas를 측정된 결과를 Fig. 3.1에 나타내었다. 무순 및 브로콜리 발아채소 모두 저장기간 동안 PO 포장재 내의 O₂ 및 CO₂의 농도가 16.9-17.0% 및 4.1-4.2%로 각각 측정되었으나, PC 및 LO 포장재의 O₂ 및 CO₂의 농도는 10.5-14.5% 및 5.9-11.0% 범위로 O₂ 농도는 낮고 CO₂ 농도는 높게 나타났다. 또한 산소투과능이 상대적으로 높은 LH 포장재의 O₂ 농도는 14.4-16.0%, CO₂ 농도는 5.0~6.3%였고 LM 포장재의 경우 각각 13.3~15.5%, 5.6~7.6%로 나타났다. 무순과 브로콜리 발아채소의 포장 내 headspace gas 농도는 포장재별로 유사한 경향을 보였다.

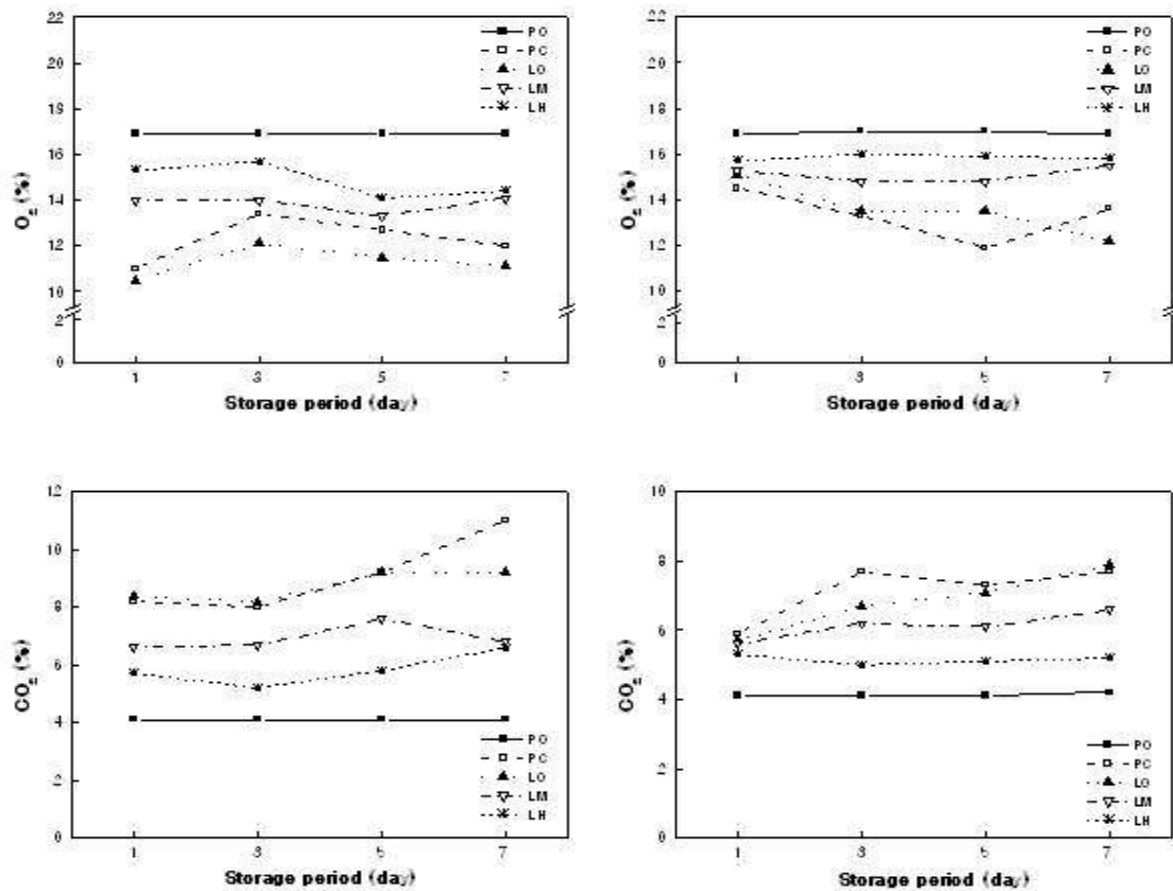


Fig. 3.1. Change in gas composition of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C (left: radish, right: broccoli).

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

(2) 중량감소율의 변화

중량 감소는 발아채소의 시들 현상과 관련이 있는 것으로, 중량의 유지는 외관 품질을 유지하는데 필수적인 사항이다. 무순 및 브로콜리 발아채소의 포장재별 저장 중 중량감소율의 변화를 측정된 결과는 Fig. 3.2와 같다. 본 실험에 이용된 포장재 중 PO 포장재의 중량감소율이 가장 높게 측정되어 발아채소의 시들 현상이 심하게 나타났고, PC, LO, LM 및 LH 포장재의 중량감소율은 낮았다. 통기구멍이 없는 PC 및 방담OPP film 포장재에 비해 통기구멍이 있는 PO 포장재의 중량감소율이 높게 나타났다.

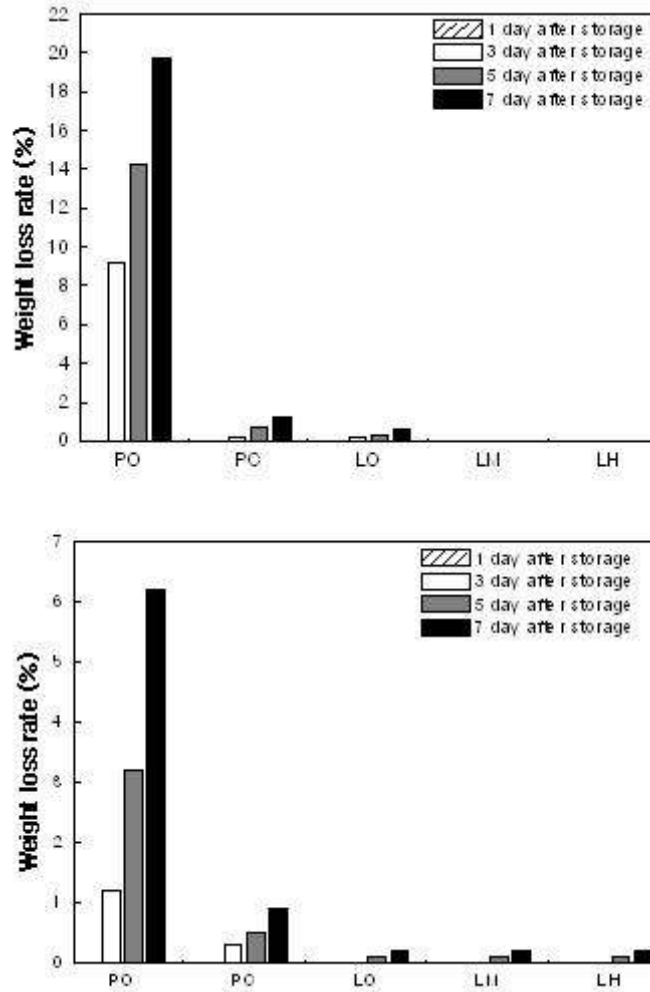


Fig. 3.2. Change in weight loss rate of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C(left: radish, right: broccoli).

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

(3) 색도 변화

5종의 포장재로 포장한 무순 및 브로콜리의 저장기간별 L, b 및 ΔE value를 Table 3.2와 3.3에 나타내었다. 무순의 경우 포장재에 따라 전반적으로 PO 및 LH 포장재의 L value가 낮았고, LO 포장재의 경우 다소 높게 측정되어 명도가 더 높은 것으로 나타났으나 포장재간의 뚜렷한 유의적 차이는 보이지 않았다. 대부분의 포장재에서 b value는 저장기간에 따라 증가하였는데, 특히 LO 포장재는 초기에 31.39이었으나 저장 7일 이후 43.51로 크게 증가하여 다른 포장재에 비해 황색을 많이 띄는 것으로 나타났으며 유의적

인 차이가 있었다. 브로콜리의 L value의 경우 LH 및 LM 포장재는 감소 경향을 보였으며, PC 및 LO 포장재는 저장기간에 따른 L value의 증감이 있었으나 저장 7일째에는 명도가 다른 포장재에 비해 높게 나타났다. 저장기간에 따른 b value의 값은 전반적으로 증가하였는데 PC 및 LO 포장재의 경우 저장 1일째는 다른 포장재와 비슷한 값이었으나 저장 7일째에는 다른 포장재에 비해 다소 높게 나타났다. PC 및 LO 포장재에서 저장기간에 따른 b value의 증가가 나타나 황색을 띄었으며 이취가 있었다.

저장기간에 따라 ΔE value는 증가하였고, 특히 LO 포장재의 경우 저장 7일째 무순 및 브로콜리의 ΔE value가 높게 나타나 다른 포장재에 비해 색변화가 큰 것으로 나타났다.

Table 3.2. Change in Hunter's L, b and ΔE value of radish sprout packaged with different materials during storage at 10°C

		Storage period (days)			
		1	3	5	7
L value	PO	63.39±0.30 ^{1)d}	65.17±0.48 ^c	63.37±0.76 ^c	62.39±0.56 ^d
	PC	66.83±0.18 ^b	68.05±0.74 ^a	66.23±0.59 ^b	65.28±0.39 ^b
	LO	67.85±0.34 ^a	68.57±0.28 ^a	67.67±0.29 ^a	67.08±0.62 ^a
	LM	66.28±0.26 ^c	66.83±0.88 ^b	66.43±0.46 ^b	64.79±0.27 ^{bc}
	LH	66.78±0.16 ^b	65.64±0.18 ^c	63.54±0.45 ^c	64.50±0.35 ^c
b value	PO	31.65±0.52 ^a	32.66±0.50 ^b	33.50±1.32 ^b	35.39±0.96 ^b
	PC	31.06±1.06 ^a	34.09±0.43 ^a	33.72±0.31 ^b	33.47±1.07 ^c
	LO	31.39±0.65 ^a	33.02±0.49 ^b	43.73±0.81 ^a	43.51±0.60 ^a
	LM	30.34±0.50 ^a	34.32±1.29 ^a	33.93±0.68 ^b	32.25±1.43 ^c
	LH	31.22±0.58 ^a	31.49±0.46 ^c	33.21±0.76 ^b	36.03±1.13 ^b
ΔE value	PO	-	2.55±0.14 ^c	3.66±0.33 ^b	4.56±0.31 ^c
	PC	-	3.36±0.48 ^b	2.75±0.81 ^c	2.92±0.38 ^d
	LO	-	1.79±0.44 ^d	12.33±0.19 ^a	12.15±0.21 ^a
	LM	-	4.07±0.89 ^a	3.60±0.21 ^b	2.57±0.69 ^d
	LH	-	1.45±0.10 ^d	3.95±0.27 ^b	5.34±0.61 ^b

¹⁾ Mean±S.D.,

^{a-d}Values within the same column with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP).

Table 3.3. Change in Hunter's L, b and ΔE value of broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C

		Storage period (days)			
		1	3	5	7
L value	PO	55.85±0.75 ^{1)a}	55.18±2.89 ^a	55.11±0.65 ^a	55.48±0.48 ^b
	PC	57.02±0.87 ^a	56.07±0.75 ^b	54.35±0.95 ^a	59.32±0.56 ^a
	LO	50.82±13.31 ^a	56.00±0.84 ^b	54.75±1.28 ^a	58.37±0.75 ^a
	LM	56.74±0.74 ^a	57.51±0.66 ^a	54.43±1.33 ^a	53.25±1.24 ^c
	LH	58.67±0.66 ^a	55.83±1.80 ^a	56.03±1.49 ^a	53.41±0.55 ^c
b value	PO	23.85±1.08 ^a	24.74±4.40 ^a	25.52±1.32 ^a	27.21±1.12 ^{bc}
	PC	21.98±0.91 ^a	25.79±2.60 ^a	23.98±1.24 ^a	28.55±1.49 ^{bc}
	LO	22.97±1.30 ^a	24.70±1.49 ^b	25.38±0.96 ^a	29.93±0.57 ^a
	LM	22.64±0.73 ^a	25.77±0.37 ^b	25.53±1.01 ^a	26.27±0.68 ^c
	LH	23.39±1.32 ^a	24.93±1.87 ^b	26.65±1.70 ^a	27.09±0.85 ^{bc}
ΔE value	PO	-	1.16±0.53 ^d	1.83±0.65 ^c	3.41±0.28 ^d
	PC	-	3.96±0.32 ^a	2.53±0.48 ^{bc}	7.18±0.46 ^a
	LO	-	1.96±0.61 ^c	2.64±0.57 ^{bc}	7.33±0.63 ^a
	LM	-	3.24±0.42 ^b	3.32±0.48 ^{ba}	5.25±0.53 ^c
	LH	-	3.31±0.55 ^{ba}	3.49±0.64 ^a	6.57±0.23 ^b

¹⁾ Mean±S.D.,

^{a-d} Values within the same column with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP).

나. 이화학적 품질 특성 변화

(1) 가용성고형분 함량 변화

5종의 포장재로 포장한 무순 및 브로콜리 발아채소의 저장기간에 따른 가용성고형분 함량을 측정된 결과는 Fig. 3.3과 같다. 발아채소의 경우 저장기간이 길어짐에 따라 가용성고형분의 함량이 증가하거나 유사하게 측정되었다. 무순은 저장 1일째 모든 포장재에서 1.4°Brix로 측정되어 각 구간의 유의적 차이가 없었으나, 저장 7일째 PO 포장재의 경우

2.1°Brix로 나타나 가장 많이 증가하였다. 브로콜리의 경우 LH 포장재가 초기에 1.2°Brix 수준이었으나 저장 7일 이후 1.6°Brix로 증가하였고, PO 포장재의 경우 초기에 1.5°Brix 수준이었으나 저장 7일 이후 1.8°Brix로 증가하였다. 무순 및 브로콜리 모두 PO 포장재의 가용성고형분 함량의 증가폭이 가장 컸는데, 이는 중량감소에 의한 수분손실의 영향이 큰 것으로 생각된다. 그리고 산소투과도가 낮은 PC 및 LO 포장재의 가용성고형분 함량의 변화는 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다.

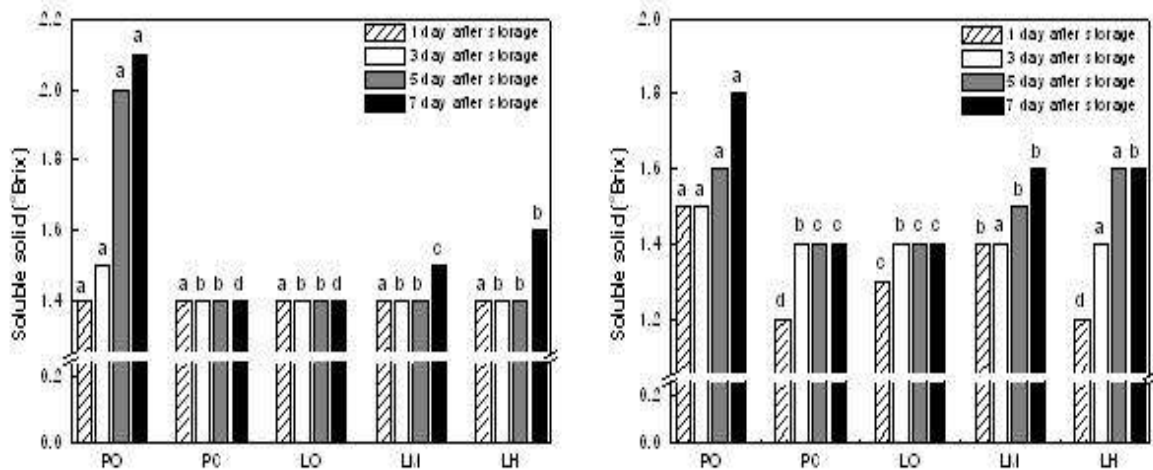


Fig. 3.3. Change in soluble solid contents of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C (left: radish, right: broccoli).

^{a-d}Values within the same day with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP).

(2) pH 변화

저장기간에 따라 무순 및 브로콜리 발아채소의 pH를 측정한 결과를 Fig. 3.4에 나타내었다. 무순의 경우 저장 1일째 및 저장 7일째 PO 포장재는 4.49 및 5.21, PC 포장재는 5.11 및 6.06, LO 포장재는 5.23 및 5.58, LM 포장재는 5.07 및 5.53, LH 포장재는 5.12 및 5.40으로 나타나 모든 포장재에서 유의적으로 증가하였으며, PO 포장재의 pH 증가가 가장 작고 PC 포장재의 경우 pH 증가가 큰 것으로 나타났다. 브로콜리의 경우 무순에 비해 포장재에 따른 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나 저장 1일째와 저장 7일째의 pH를 비교해보면, LO 포장재의 pH 변화가 가장 크고 PO 포장재가 작았다. 발아채소의 저장기간이 길어질수록 pH의 증가 경향을 보였으며, 대체로 산소투과도가 높을수록 pH의 변화가 적었다.

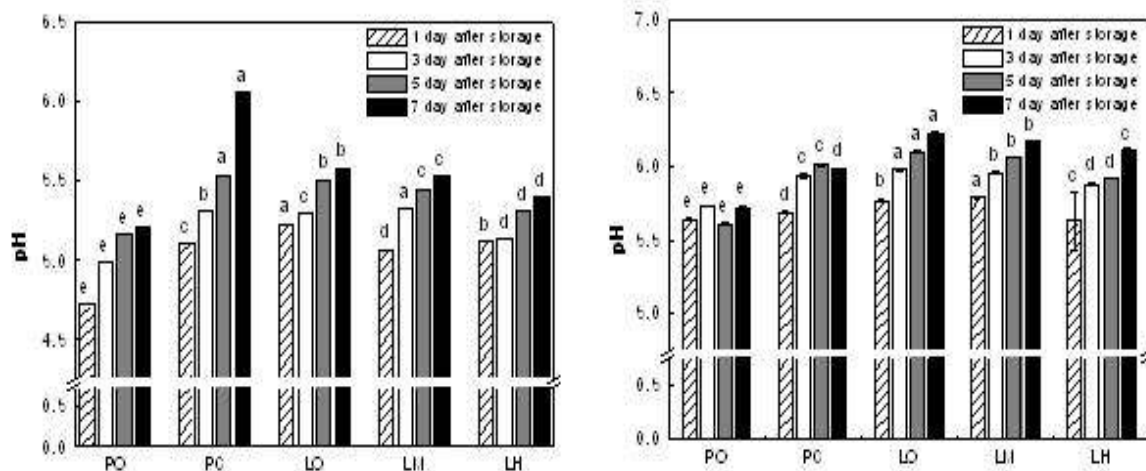


Fig. 3.4. Change in pH of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C (left: radish, right: broccoli)

^{a-e}Values within the same day with different letters are significantly different ($p < 0.05$),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

다. 총균수 변화

5종의 포장재로 포장된 무순 및 브로콜리 발아채소의 저장기간별 총균수를 측정한 결과를 Fig. 3.5에 나타내었다. 총균수는 저장기간에 따라 증가하였으며, 무순의 경우 6.7~8.7 log CFU/g 수준이었고, 특히 PC 및 LO 포장재의 경우 초기에 7.1 log CFU/g 및 6.8 log CFU/g 수준이었으나 저장 7일 이후 8.7 log CFU/g로 증가하여 PC 및 LO 포장재의 미생물수가 다른 포장재에 비해 상대적으로 많았다.

브로콜리의 총균수는 6.9~8.7 log CFU/g로 무순과 비슷한 수준으로 조사되었다. PC 및 LO 포장재는 초기에 6.9 log CFU/g 수준이었으나 저장 7일 이후 각각 8.7 log CFU/g 및 7.9 log CFU/g로 증가하였고 무순과 유사한 경향을 보여 다른 포장재보다 PC 및 LO 포장재의 총균수가 많은 것으로 나타났다. 본 실험에서 PC 및 LO 포장재의 총균수가 많은 것은 포장재의 산소투과도가 낮아 발아채소의 호흡에 의해 포장 내 O₂ 농도가 낮아져 미호기성 미생물에 의한 영향이라 사료된다.

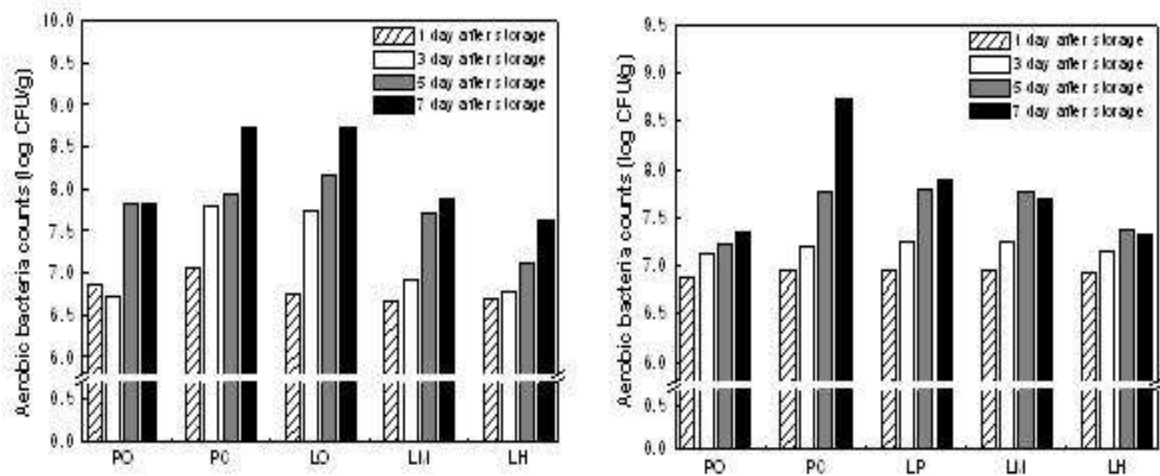


Fig. 3.5. Change in total aerobic bacteria counts of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C (left: radish, right: broccoli).

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP).

라. 기능성분 변화

(1) Total phenol 함량 변화

포장된 무순 및 브로콜리 발아채소의 저장기간에 따른 총 페놀 함량을 측정한 결과를 Fig. 3.6에 나타내었다. 무순의 경우 저장 1일째 값에 비해 저장 3일째 총 페놀 함량은 감소하였으나 저장 7일째까지 다시 증가하는 경향을 보였다. 저장기간 동안 전반적으로 PC 과 LO 포장재의 총 페놀함량이 다른 포장재에 비해 더 높았으나, 뚜렷한 유의적 차이는 없었다. 브로콜리는 PC 및 LO 포장재의 값이 다른 포장재에 비해 더 높게 나타나 무순 과 유사한 결과를 보였으나, 저장기간의 경과 및 포장재 종류에 따른 뚜렷한 유의적 차이는 없었으며 전체적인 총 페놀 함량은 무순에 비해 더 낮은 것으로 나타났다.

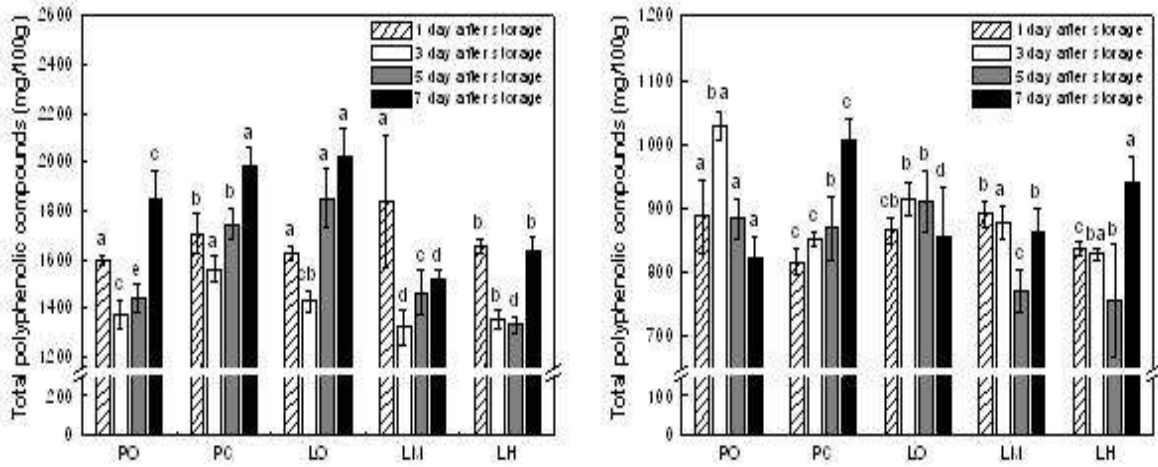


Fig. 3.6. Change in total phenolic compounds of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C (left: radish, right: broccoli).

^{a-d} Values within the same day with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

(2) 전자공여능 변화

저장기간에 따른 포장한 무순 및 브로콜리 발아채소의 전자공여능을 측정된 결과는 Fig. 3.7과 같다. 무순의 전자공여능을 측정된 결과 PC 포장재의 경우 초기에 71.5% 수준이었으나 증가 추세를 보여 저장 7일 이후 88.1%로 나타났으며, LO 포장재는 초기에 82.2% 수준이었으나 저장 3일째에는 다소 감소하여 74.0%로 나타났으나 저장 7일 이후 88.8%로 측정되어 다른 포장재에 비해 높은 전자공여능을 보였다. 전반적으로 산소투과도가 낮은 PC 및 LO 포장재의 전자공여능이 다른 포장재에 비해 높은 것으로 나타났으나 다른 포장재와의 유의적인 차이는 없었다. 브로콜리의 경우 PO 포장재의 경우 초기에 85.0% 수준이었으나 저장 7일 이후 87.6%로 증가하였으며 LH 포장재의 경우 초기에 83.3% 수준이었고 저장 5일째 다소 감소하였으나 저장 7일 이후 87.2%로 증가하였다. 브로콜리의 포장재별 전자공여능의 변화는 무순과 상이한 결과를 보여 산소투과도가 높은 PO 및 LH 포장재가 다른 포장재에 비해 높게 나타났으나 뚜렷한 유의적 차이는 없었다.

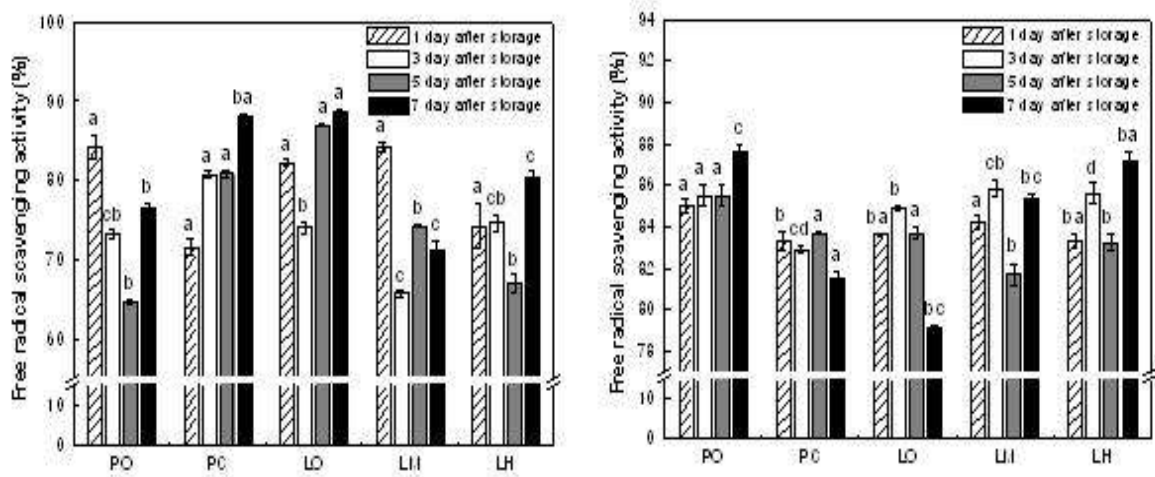


Fig. 3.7. Change in free radical scavenging activity of radish and broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C(left: radish, right: broccoli).

^{a-d}Values within the same day with different letters are significantly different ($p < 0.05$),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

마. 관능적 품질 변화

포장재에 따른 무순 및 브로콜리 발아채소의 저장기간 동안 관능검사의 결과를 Table 3.4와 3.5에 나타내었다. 무순의 경우 PO 포장재의 외관, 뿌리변색, 조직감, 시늬 등의 항목에서 다른 포장재에 비해 낮은 점수를 받았으나 발아채소냄새는 강하고 이취는 낮았으며 전반적으로 LM 포장재의 종합적 기호도가 높게 평가되었다. 브로콜리의 경우, LO 포장재가 외관, 발아채소냄새, 이취, 조직감, 시늬 등의 항목에서 낮은 점수를 받았으며 LM 포장재의 경우 외관, 이취, 조직감 등의 항목에서 높은 점수를 받았고 PO 포장재의 경우 관능검사 요원들이 발아채소냄새를 가장 강하게 느꼈으나 LM 포장재와 유의적 차이는 없었다.

관능검사 결과, 산소투과도가 낮은 PC 및 LO 포장재의 경우 대체로 뿌리변색이 적었으나 발아채소냄새가 약하고 이취가 강하게 나타났으며 산소투과도가 높은 PO 및 LH 포장재의 경우 뿌리변색이 심하게 나타났으나 그 중 PO 포장재는 발아채소냄새가 강한 것으로 나타났다. 종합적 기호도에서는 LM 포장재가 저장 7일까지 다른 포장재에 비해 높은 관능적 평가를 받았다.

Table 3.4. Organoleptic qualities of radish sprout packaged with different materials during storage at 10°C

		Storage period (day)			
		1	3	5	7
Appearance	PO	5.4±1.9 ^{1)b}	4.0±1.0 ^c	3.4±1.3 ^c	2.9±1.5 ^b
	PC	7.4±1.3 ^a	5.9±0.9 ^b	6.0±1.6 ^{ba}	4.3±0.9 ^{ba}
	LO	8.1±1.1 ^a	6.6±1.0 ^{ba}	5.8±1.1 ^{ba}	5.5±1.3 ^a
	LM	7.9±1.3 ^a	7.2±0.8 ^a	6.5±0.8 ^a	5.4±1.8 ^a
	LH	7.3±0.9 ^a	6.4±1.3 ^{ba}	5.2±1.1 ^b	4.4±1.3 ^a
Yellowness of root	PO	4.4±1.6 ^b	4.1±1.2 ^b	2.0±0.8 ^b	2.3±1.2 ^c
	PC	6.6±1.1 ^a	6.6±0.9 ^a	6.0±1.5 ^a	4.6±1.4 ^b
	LO	7.9±0.4 ^a	6.6±0.5 ^a	5.6±1.1 ^a	6.5±1.5 ^a
	LM	7.1±1.6 ^a	6.3±0.5 ^a	5.8±1.5 ^a	4.0±1.5 ^b
	LH	6.9±1.1 ^a	5.9±0.6 ^a	4.9±0.9 ^a	4.1±1.1 ^b
Sprout smell	PO	7.0±1.3 ^a	7.1±1.5 ^a	6.7±0.7 ^a	6.6±1.7 ^a
	PC	5.3±1.5 ^b	5.5±2.0 ^a	2.6±1.4 ^c	3.3±1.4 ^{cb}
	LO	6.0±1.5 ^{ba}	5.9±1.2 ^a	3.6±1.5 ^c	2.0±0.8 ^{cb}
	LM	7.1±1.1 ^a	6.0±1.6 ^a	5.2±1.1 ^b	4.8±1.2 ^b
	LH	6.3±1.3 ^{ba}	6.6±0.5 ^a	5.3±1.3 ^b	4.3±1.8 ^b
Off-odor	PO	6.0±1.5 ^a	7.3±1.5 ^a	7.2±1.0 ^a	6.4±2.0 ^a
	PC	5.8±1.5 ^a	5.9±1.3 ^b	2.3±1.5 ^c	4.0±1.2 ^b
	LO	6.5±1.0 ^a	4.4±1.3 ^c	3.4±1.1 ^c	1.1±0.4 ^c
	LM	6.2±1.3 ^a	5.1±0.9 ^{cb}	6.8±1.2 ^{ba}	5.3±1.6 ^{ba}
	LH	5.5±0.8 ^a	5.7±0.8 ^{cb}	5.6±1.9 ^b	6.7±1.5 ^a
Texture	PO	7.1±0.9 ^a	4.7±1.1 ^c	5.8±1.0 ^{ba}	3.6±0.9 ^c
	PC	6.9±0.9 ^a	6.3±1.6 ^{ba}	5.7±0.8 ^{ba}	4.6±1.5 ^{cb}
	LO	8.0±1.2 ^a	5.6±1.3 ^{bc}	4.9±1.4 ^{ba}	4.9±0.8 ^b
	LM	7.4±1.0 ^a	7.3±1.5 ^a	6.0±0.9 ^a	6.9±1.1 ^a
	LH	7.6±1.1 ^a	7.0±1.0 ^{ba}	6.4±1.0 ^a	6.1±0.6 ^a
Withering	PO	6.1±1.1 ^b	3.9±1.4 ^b	3.1±1.4 ^b	2.9±1.5 ^b
	PC	6.7±1.1 ^b	6.9±1.4 ^a	5.6±1.3 ^a	4.9±1.6 ^a
	LO	8.1±0.9 ^a	6.8±0.9 ^a	5.6±1.1 ^a	3.9±2.0 ^{ba}
	LM	8.0±0.6 ^a	7.4±0.7 ^a	6.6±1.3 ^a	5.5±1.1 ^a
	LH	7.1±0.9 ^{ba}	6.9±1.0 ^a	5.8±1.2 ^a	5.3±1.8 ^a
Overall acceptability	PO	5.7±1.4 ^c	5.0±1.2 ^b	3.1±1.3 ^d	2.6±1.5 ^b
	PC	6.7±0.8 ^b	7.1±1.1 ^a	3.7±1.7 ^{dc}	4.3±1.0 ^a
	LO	8.0±0.6 ^a	7.0±1.6 ^a	4.5±1.2 ^{bc}	2.5±1.1 ^b
	LM	7.4±1.0 ^{ba}	7.8±1.0 ^a	6.6±1.2 ^a	5.0±1.1 ^a
	LH	7.4±0.5 ^{ba}	6.9±0.8 ^a	5.4±1.6 ^{ba}	4.8±1.3 ^a

¹⁾ Mean±S.D.,

^{a-d} Values within the same column with different superscript letters are significantly different (p<0.05),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m²·24h (Anti-fogging OPP).

Table. 3.5. Organoleptic qualities of broccoli sprout packaged with different materials during storage at 10°C

		Storage period (day)			
		1	3	5	7
Appearance	PO	6.8±0.9 ^{1)ba}	5.6±1.2 ^a	5.1±1.3 ^a	3.9±1.1 ^{ba}
	PC	5.6±1.1 ^{bc}	5.0±0.5 ^a	5.7±1.4 ^a	2.8±1.3 ^{bc}
	LO	6.1±1.4 ^{bac}	5.9±0.6 ^a	5.6±1.1 ^a	2.5±1.2 ^c
	LM	7.1±1.0 ^a	5.6±0.7 ^a	5.4±1.2 ^a	4.4±1.3 ^a
	LH	5.4±1.1 ^c	5.3±1.3 ^a	5.6±1.5 ^a	3.3±0.7 ^{bac}
Yellowness of root	PO	6.4±1.3 ^a	4.6±1.1 ^a	4.0±1.0 ^b	2.7±1.0 ^{bc}
	PC	6.3±1.3 ^a	5.0±0.8 ^a	6.1±1.7 ^a	3.3±1.2 ^{ba}
	LO	6.4±1.2 ^a	5.1±0.6 ^a	5.1±1.1 ^{ba}	4.3±1.2 ^a
	LM	6.8±0.7 ^a	4.5±0.5 ^a	4.0±1.5 ^b	2.9±1.4 ^{bc}
	LH	6.1±0.8 ^a	4.5±0.5 ^a	4.2±1.4 ^b	1.8±1.0 ^c
Sprout smell	PO	7.0±1.0 ^a	6.8±1.0 ^a	7.1±1.3 ^a	5.3±1.3 ^a
	PC	4.4±1.1 ^c	2.3±1.0 ^d	2.0±0. ^b	1.5±0.5 ^c
	LO	5.6±1.3 ^{bc}	3.9±1.6 ^c	2.0±0.7 ^b	1.3±0.5 ^c
	LM	6.7±1.7 ^{ba}	5.5±1.1 ^b	6.1±1.6 ^a	5.0±1.5 ^a
	LH	7.4±0.5 ^a	4.4±1.2 ^{cb}	6.1±2.0 ^a	3.6±1.4 ^b
Off-odor	PO	7.6±1.0 ^a	6.4±1.5 ^a	7.0±1.3 ^a	5.1±1.7 ^a
	PC	4.0±1.2 ^c	2.1±1.1 ^c	1.9±1.1 ^b	1.3±0.5 ^b
	LO	3.4±1.4 ^c	4.4±1.3 ^b	1.7±0.7 ^b	1.0±0.0 ^b
	LM	6.4±1.4 ^{ba}	5.8±1.4 ^a	6.8±2.0 ^a	5.6±1.7 ^a
	LH	6.0±1.6 ^b	6.0±1.3 ^a	7.0±1.5 ^a	4.9±2.0 ^a
Texture	PO	7.2±1.1 ^{ba}	6.4±0.5 ^{ba}	5.8±1.2 ^a	3.8±0.7 ^a
	PC	7.1±1.1 ^{ba}	5.4±1.6 ^{ba}	4.6±1.3 ^a	2.4±0.7 ^b
	LO	6.2±1.1 ^{ba}	6.6±1.0 ^a	4.6±1.4 ^a	1.7±0.7 ^b
	LM	7.3±0.7 ^a	6.3±0.7 ^{ba}	5.4±1.4 ^a	4.4±0.9 ^a
	LH	6.6±0.9 ^{ba}	6.4±0.9 ^{ba}	5.9±1.3 ^a	4.2±1.2 ^a
Withering	PO	6.8±0.9 ^a	5.1±1.3 ^b	5.0±1.2 ^{ba}	3.8±1.0 ^a
	PC	6.8±1.4 ^a	6.0±1.0 ^{ba}	3.9±1.1 ^{ba}	2.1±0.8 ^b
	LO	6.1±1.2 ^a	6.7±1.0 ^a	4.5±1.2 ^{ba}	1.6±0.5 ^b
	LM	6.8±1.3 ^a	6.6±1.1 ^a	5.5±1.7 ^a	3.8±1.3 ^a
	LH	6.5±1.6 ^a	6.4±1.3 ^a	5.2±1.5 ^{ba}	4.3±0.7 ^a
Overall acceptability	PO	6.5±1.1 ^{ba}	5.8±0.8 ^a	5.6±1.5 ^a	4.0±1.1 ^a
	PC	5.5±0.9 ^{bc}	3.4±1.4 ^b	3.2±1.4 ^b	1.8±0.8 ^b
	LO	5.0±0.8 ^c	5.7±1.3 ^a	3.8±1.5 ^b	1.6±0.7 ^b
	LM	6.9±1.0 ^a	6.0±0.8 ^a	5.7±1.5 ^a	4.4±1.3 ^a
	LH	6.0±1.2 ^{bac}	5.7±1.0 ^a	5.7±1.5 ^a	3.4±0.9 ^a

¹⁾ Mean±S.D.,

^{a-c}Values within the same column with different superscript letters are significantly different (p<0.05),

PO: 6 holes (PET), PC: no hole (PET), LO: OTR 5,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP),

LM: OTR 20,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP), LH: OTR 40,000 cc/m² 24h (Anti-fogging OPP).

2. 고품질 발아채소 제품의 최적 포장에 따른 유통기한 설정

가. 중량감소율의 변화

PET 및 방담OPP film에 포장 후 전자빔 조사한 무순 및 클로버 발아채소의 중량감소율을 Fig. 3.8과 3.9에 나타내었다. 저장기간에 따라 중량감소율은 증가하였으며 대체로 클로버에 비해 무순의 중량감소가 더 많았는데 이는 발아채소 크기가 상이하여 증산 작용 등에 차이가 있었기 때문인 것으로 생각된다. 저장 온도에 따른 중량감소율을 비교해보면 저장 7일째 4℃는 1.84%, 10℃는 11.78% 그리고 20℃의 경우 28.07%로 나타나 저장 온도가 높을수록 중량감소가 더 많았으나 조사량에 따른 중량감소율은 뚜렷한 경향이 나타나지 않아 조사량은 중량감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. PET 포장재를 이용한 발아채소의 경우 중량이 최대 8.07% 감소하여 품질변화가 심한 것에 비해 방담OPP film 포장재에 포장한 발아채소의 경우 최대 1.08% 감소하여 수분손실이 적은 것을 확인하였다.

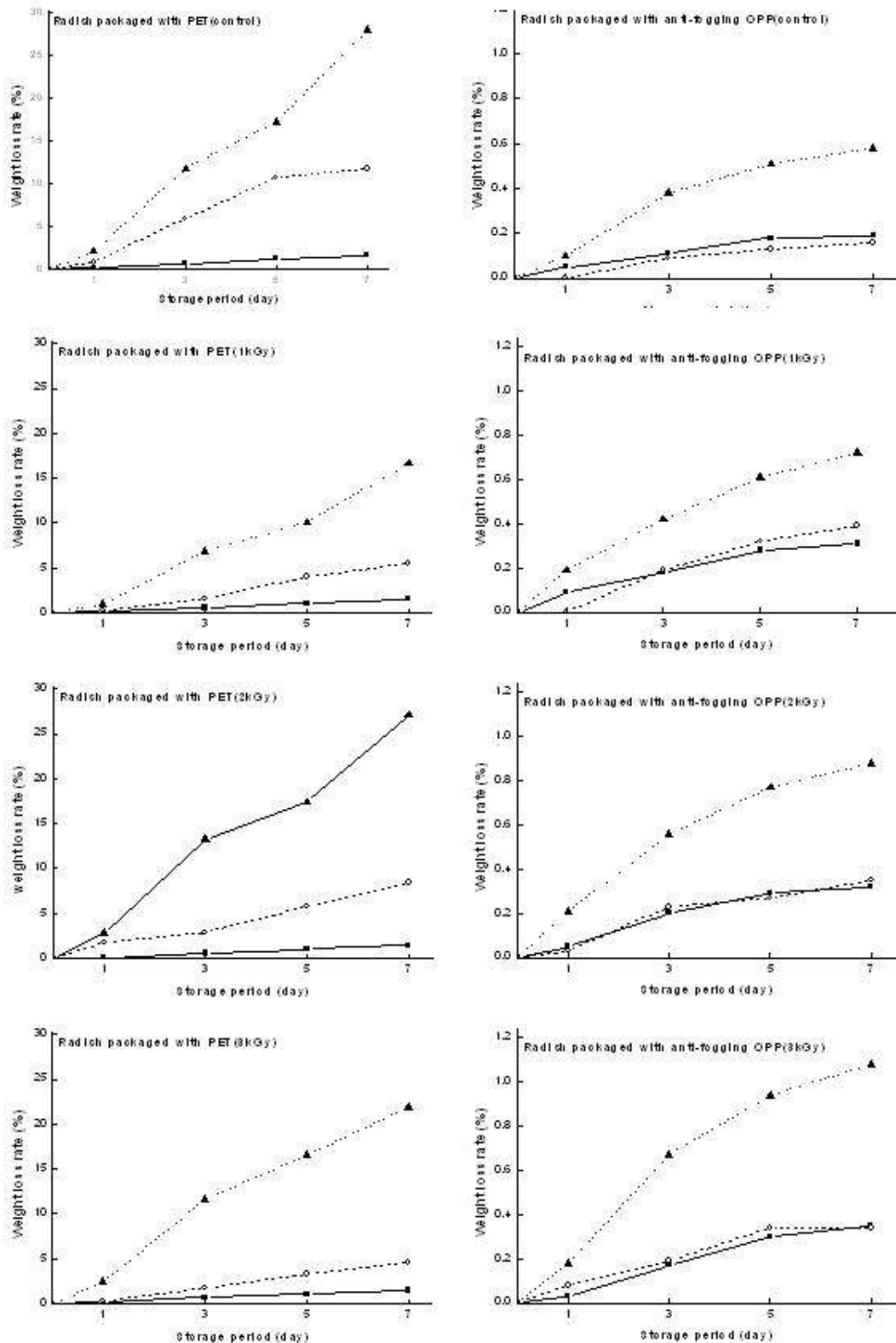


Fig. 3.8. Change in weight loss rate of radish sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose (■:4°C, ○:10°C, ▲:20°C).

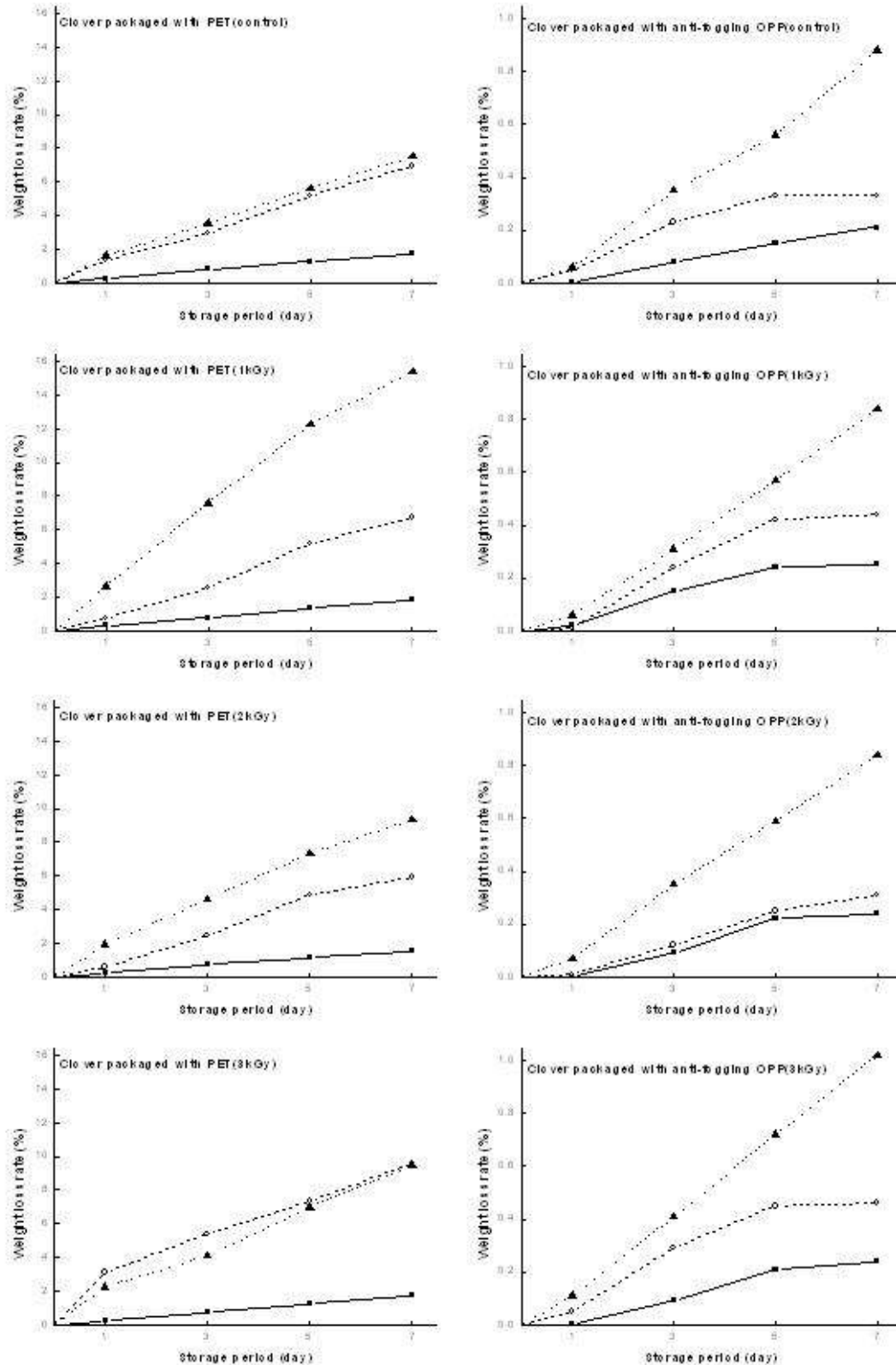


Fig. 3.9. Change in weight loss rate of clover sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose(■:4°C, ○:10°C, ▲:20°C).

나. 미생물학적 품질 변화

(1) 총균수 변화

PET 및 방담OPP 포장재에 포장한 무순 및 클로버의 저장온도 및 저장기간에 따른 총균수를 측정된 결과를 Table 3.6 및 3.7에 나타내었다. 저장기간이 길어짐에 따라 총균수가 증가하였으며 저장기간 동안 4°C에 저장한 무순 및 클로버의 총균수는 최대 8.38 log CFU/g이었으며 10°C 및 20°C의 8.91 log CFU/g 경우 및 8.88 log CFU/g로 나타나 저장온도가 높아질수록 총균수가 대체로 증가하였음을 확인하였다. control 구에 비해 조사선량이 높아질수록 총균수의 농도가 낮아졌으며 PET 포장재에 비해 방담OPP 포장재의 총균 농도가 다소 낮거나 유사한 값으로 측정되었다.

(2) 대장균군 농도 변화

다른 포장재를 이용한 무순 및 클로버 발아채소의 저장온도 및 저장기간에 따른 대장균군의 농도변화를 Table 3.8 및 3.9에 나타내었다. 2 kGy 이상의 전자빔 조사에서 대장균군의 사멸효과를 확인할 수 있으나, 저장온도가 높아짐에 따라 대장균군의 농도가 높아져 3 kGy로 조사한 경우도 20°C에서 저장 7일째에는 4 log CFU/g 이상으로 나타났다. 4°C에서 저장한 무순 및 클로버의 대장균군의 경우 최대 6.80 log CFU/g 수준이었고, 10°C 및 20°C의 경우 6.14 log CFU/g 및 6.36 log CFU/g으로 나타나 저장온도가 대장균군의 농도 변화에 영향이 많았으며 PET 포장재에 비해 방담OPP 포장재의 경우 다소 낮거나 비슷한 수준으로 측정되었다.

Table 3.6. Change in total aerobic bacteria counts of radish sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(log CFU/g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	7.52	7.18	7.52	7.18	7.52	7.18
	1	8.15	7.20	7.87	7.32	8.34	8.39
	3	8.38	8.11	8.24	7.80	8.63	8.65
	5	8.23	8.08	8.38	8.27	8.70	8.53
	7	8.38	8.11	8.91	8.87	8.88	8.79
1 kGy	0	4.26	3.78	4.26	3.78	4.26	3.78
	1	3.93	3.81	4.81	4.35	5.28	5.12
	3	4.40	3.95	5.23	5.14	5.84	5.51
	5	4.52	4.11	5.70	5.43	6.50	6.00
	7	4.69	3.68	6.09	5.60	7.90	7.27
2 kGy	0	2.67	1.98	2.67	1.98	2.67	1.98
	1	2.97	1.99	3.12	2.95	3.47	3.10
	3	3.20	2.38	3.90	3.77	4.44	4.17
	5	3.20	2.58	5.37	4.27	5.62	4.80
	7	3.79	2.74	5.35	5.16	6.30	5.69
3 kGy	0	2.58	1.20	2.58	1.20	2.58	1.20
	1	2.08	1.72	3.03	2.55	3.37	2.73
	3	2.67	2.08	3.27	3.01	4.63	3.94
	5	2.54	2.34	3.74	3.65	5.57	4.75
	7	2.89	2.36	4.34	4.13	6.53	5.70

Table 3.7. Change in total aerobic bacteria counts of clover sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(log CFU/g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	7.34	6.08	7.34	6.08	7.34	6.08
	1	6.74	6.30	7.73	7.53	7.85	7.29
	3	7.40	7.04	7.49	7.48	7.91	7.49
	5	7.41	7.62	8.22	8.08	8.36	8.31
	7	8.08	7.95	8.66	8.62	8.77	8.77
1 kGy	0	3.53	2.92	3.53	2.92	3.53	2.92
	1	3.28	2.79	4.67	3.57	4.54	4.25
	3	3.20	3.11	4.43	4.11	4.85	4.60
	5	3.32	3.95	4.78	4.52	6.31	6.25
	7	6.11	5.79	6.09	5.58	7.90	7.27
2 kGy	0	2.90	2.41	2.90	2.41	2.90	2.41
	1	2.52	2.48	3.59	3.43	3.52	2.99
	3	2.49	3.00	3.86	3.40	4.51	4.10
	5	2.60	3.36	4.88	4.67	5.31	4.86
	7	5.78	4.46	5.40	5.14	7.30	6.69
3 kGy	0	1.60	2.23	1.60	2.23	1.60	2.23
	1	2.11	2.08	1.76	2.38	2.10	1.92
	3	2.32	2.46	2.33	2.20	2.55	2.52
	5	2.38	2.62	3.81	3.26	4.58	3.55
	7	4.63	3.63	4.28	4.45	6.53	6.35

Table 3.8. Change in total coliform bacteria counts of radish sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(log CFU/g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	2.52	2.11	2.52	2.11	2.52	2.11
	1	2.38	2.41	3.25	2.72	3.96	3.06
	3	3.19	2.63	4.01	3.25	4.66	3.73
	5	4.13	3.54	4.79	4.54	5.61	4.69
	7	4.20	4.31	5.53	5.52	6.36	5.63
1 kGy	0	2.26	1.65	2.26	1.65	2.26	1.65
	1	2.69	1.78	2.84	2.28	3.17	2.84
	3	2.24	2.51	3.44	3.25	4.23	3.59
	5	3.40	2.57	3.59	3.82	4.83	4.54
	7	3.54	2.78	4.62	4.40	5.50	5.41
2 kGy	0	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	1.79	-
	3	1.08	-	1.58	-	3.46	2.74
	5	2.67	-	2.82	1.91	4.80	3.91
	7	2.97	-	3.73	3.32	5.39	5.14
3 kGy	0	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	1.66	1.44
	3	-	-	1.57	-	3.09	2.49
	5	3.08	-	2.96	2.22	4.00	3.68
	7	1.58	-	3.78	3.55	4.37	4.43

Table 3.9. Change in total coliform bacteria counts of clover sprout packaged with PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(log CFU/g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	3.81	3.56	3.81	3.56	3.81	3.56
	1	4.34	4.58	4.54	4.54	4.62	4.79
	3	5.40	4.63	5.65	5.52	5.54	5.69
	5	5.74	4.97	5.90	5.63	6.16	6.08
	7	6.80	5.81	6.14	5.86	7.14	6.06
1 kGy	0	2.04	1.00	2.04	1.00	2.04	1.00
	1	2.15	1.51	1.79	1.66	3.50	2.28
	3	2.20	1.78	2.84	2.72	4.14	3.25
	5	3.11	2.04	3.42	3.36	4.31	3.82
	7	3.30	2.67	3.98	4.96	5.39	5.02
2 kGy	0	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	1.28	-	2.83	1.16
	3	1.49	-	-	-	3.51	3.10
	5	2.60	1.34	3.04	2.58	4.21	3.82
	7	2.78	1.46	3.45	3.46	4.71	4.46
3 kGy	0	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	5	1.11	-	2.81	2.63	1.42	1.52
	7	2.40	1.23	3.63	3.38	4.25	2.86

다. 기능성분 변화

20℃에서 PET 포장재에 저장한 무순의 경우 저장 7일째에 수분손실의 정도가 심해 더 이상 상품적가치가 없는 것으로 판단되어 기능성분 실험을 실시하지 않았다. Fig. 3.10은 PET 포장재에 저장한 무순의 저장 7일째 사진이다.

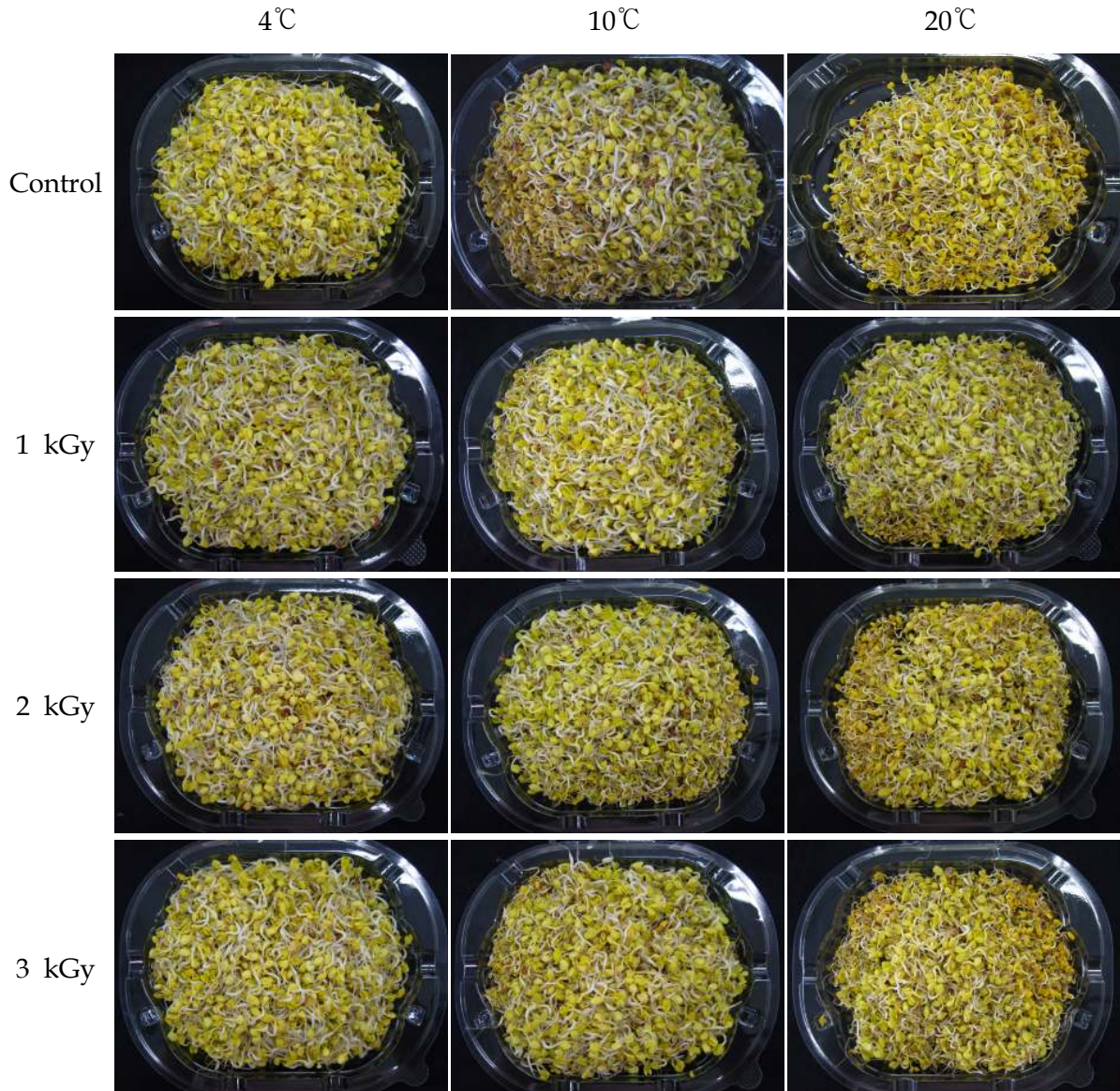


Fig. 3.10. Radish packaged with PET at 7th day of storage.

(1) Total vitamin C 함량의 변화

포장재를 달리하여 전사선 조사한 무순 및 클로버 발아채소의 total vitamin C 함량을 Fig. 3.10 및 3.11에 나타내었다. 무순 및 클로버의 total vitamin C 함량은 각각 $35.58 \pm 2.97 \sim 69.28 \pm 10.05$ mg/100g 및 $3.99 \pm 0.28 \sim 20.38 \pm 1.63$ mg/100g 수준으로 측정되었으며 무순의 total vitamin C 함량이 더 높은 것으로 나타났으며 저장기간이 길어질수록 total vitamin C 함량은 감소 경향을 보였다. 또한 저장온도가 높아질수록 total vitamin C 함량이 낮고, 또한 조사선량이 높을수록 total vitamin C 함량은 다소 감소하는 것으로 관찰되었다. 그러나 PET 포장재 및 방담OPP 포장재 간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 total vitamin C 함량의 경우 포장재가 미치는 영향이 크지 않은 것으로 생각된다.

(2) Total phenol 함량의 변화

PET 및 방담OPP 포장재에 포장한 무순 및 클로버 발아채소의 total phenol 함량을 측정한 결과를 Table 3.12 및 3.13에 나타내었다. total phenol 함량 측정 결과 무순은 $4.40 \pm 0.05 \sim 9.53 \pm 0.33$ $\mu\text{g/g}$ 이었고 클로버의 경우 $3.29 \pm 0.11 \sim 6.49 \pm 0.07$ $\mu\text{g/g}$ 로 무순이 다소 높게 나타났고, 저장기간이 길어짐에 따라 total phenol 함량이 감소하는 것으로 확인되었다. 포장재에 따른 total phenol 함량이 뚜렷한 차이를 보이는 것은 아니나 PET 포장재의 경우 다소 높게 측정되었으며 온도 및 선량조사에 의한 total phenol 함량의 차이는 보이지 않았다.

Table 3.10. Change in total vitamin C contents of radish packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., mg/100g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	68.22±7.25 ¹⁾	61.26±1.82	68.22±7.25	61.26±1.82	68.22±7.25	61.26±1.82
	1	56.29±6.97	55.86±10.10	55.46±8.69	55.53±7.28	53.39±7.49	62.20±0.40
	3	54.15±3.71	58.36±0.79	57.16±3.39	58.39±7.13	50.09±5.24	52.30±1.84
	5	66.81±2.20	61.84±2.59	64.13±2.69	58.65±0.58	50.96±0.81	64.89±1.74
	7	53.93±2.36	51.03±1.77	54.30±1.84	48.89±5.39	-	-
1 kGy	0	69.28±10.05	63.51±5.30	69.28±10.05	63.51±5.30	69.28±10.05	63.51±5.30
	1	51.97±9.95	52.66±11.15	49.40±9.08	52.41±8.27	46.43±8.03	60.86±0.59
	3	60.57±2.41	59.95±3.65	53.57±2.55	57.20±4.67	46.46±0.99	53.28±0.83
	5	64.45±2.26	58.98±3.95	57.05±0.79	51.43±3.23	46.43±3.04	65.72±0.76
	7	49.73±3.76	46.14±3.59	51.47±1.24	50.20±4.20	-	-
2 kGy	0	58.54±6.57	57.05±0.75	58.54±6.57	57.05±0.75	58.54±6.57	57.05±0.75
	1	48.53±8.32	47.77±7.91	52.37±10.95	46.82±1.93	54.41±11.78	50.85±3.94
	3	57.02±3.04	58.18±1.89	52.52±4.01	56.44±12.16	57.78±3.96	50.20±1.53
	5	57.67±2.54	54.01±1.44	51.70±1.78	51.32±0.75	42.04±1.37	53.03±1.58
	7	43.34±1.89	43.13±3.40	43.23±3.54	58.21±1.93	-	-
3 kGy	0	56.69±7.28	60.90±2.26	56.69±7.28	60.90±2.26	56.69±7.28	60.90±2.26
	1	46.64±2.84	47.11±12.22	47.22±2.47	48.57±3.00	54.08±14.78	57.52±1.09
	3	54.19±3.70	57.23±1.73	54.70±0.43	46.10±13.01	43.09±4.88	47.88±2.01
	5	67.39±1.88	52.05±2.51	49.69±2.60	49.04±1.35	44.61±0.63	47.08±1.32
	7	43.78±1.95	47.22±1.29	35.58±2.97	53.57±2.80	-	-

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.11. Change in total vitamin C contents of clover packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., mg/100g)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	16.50±0.22 ¹⁾	18.90±1.18	16.50±0.22	18.90±1.18	16.50±0.22	18.90±1.18
	1	17.77±0.75	19.92±2.71	18.50±2.19	18.10±0.66	17.92±0.92	17.05±0.50
	3	15.63±2.58	16.76±0.97	17.05±1.12	15.67±0.49	16.83±2.78	15.34±0.58
	5	15.92±1.35	15.63±1.31	15.85±0.58	14.07±1.74	13.13±0.35	11.28±2.92
	7	17.08±1.56	16.87±0.43	16.65±2.49	14.00±2.75	11.17±1.13	10.66±1.43
1 kGy	0	17.16±1.26	20.38±1.63	17.16±1.26	20.38±1.63	17.16±1.26	20.38±1.63
	1	16.39±0.99	16.47±1.47	14.73±2.39	15.74±0.30	16.18±3.73	13.75±1.51
	3	13.89±1.51	12.73±1.99	14.80±0.93	13.46±0.49	11.24±1.04	11.32±1.18
	5	12.08±1.97	13.20±0.70	12.69±0.54	10.95±0.38	7.97±1.51	9.61±1.75
	7	13.89±1.35	10.99±2.15	10.95±1.79	10.37±0.98	8.63±2.07	7.87±0.85
2 kGy	0	17.16±0.99	19.59±1.21	17.16±0.99	19.59±1.21	17.16±0.99	19.59±1.21
	1	15.41±0.32	15.49±1.09	15.27±1.34	17.16±0.91	13.75±2.18	13.24±1.51
	3	13.31±1.68	12.73±2.03	13.49±1.07	12.91±0.29	12.37±0.51	10.08±1.22
	5	12.88±1.73	10.88±0.31	12.55±0.51	9.61±0.38	6.27±3.10	7040±2.41
	7	13.31±1.11	10.41±0.43	11.32±1.21	15.02±3.38	5.77±1.41	5.55±0.77
3 kGy	0	16.36±0.74	14.25±1.24	16.36±0.74	14.25±1.24	16.36±0.74	14.25±1.24
	1	12.55±1.86	15.89±0.64	14.87±1.49	14.76±1.16	16.36±1.49	13.31±0.42
	3	12.55±0.87	12.51±0.94	12.37±3.18	14.07±0.72	12.80±0.18	9.10±1.98
	5	11.86±2.24	10.63±0.65	11.82±0.56	8.81±1.29	4.46±0.25	7.29±0.22
	7	12.40±0.82	11.39±3.02	12.22±0.94	6.71±2.23	4.13±0.86	3.99±0.28

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.12. Change in total phenolic compounds of radish packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	7.62±0.08 ¹⁾	6.89±0.10	7.62±0.08	6.89±0.10	7.62±0.08	6.89±0.10
	1	7.19±0.11	6.29±0.46	9.53±0.33	7.39±0.09	7.44±0.52	7.21±5.05
	3	6.20±0.04	5.99±0.48	7.40±0.28	6.65±0.11	7.03±0.10	6.88±0.36
	5	5.59±0.14	5.60±0.06	6.74±0.20	6.04±0.16	6.30±0.07	6.95±0.01
	7	5.21±0.07	4.93±0.04	5.39±0.07	4.40±0.05	-	-
1 kGy	0	7.21±0.15	7.61±0.06	7.21±0.15	7.61±0.06	7.21±0.15	7.61±0.06
	1	7.06±0.16	7.63±0.06	7.80±0.07	7.75±0.04	8.04±0.17	6.35±0.10
	3	7.60±0.05	6.89±0.19	7.13±0.07	4.75±0.04	5.33±0.01	5.47±0.11
	5	6.83±0.07	5.35±0.07	6.49±0.04	6.08±0.17	5.50±0.14	4.60±0.06
	7	6.86±0.15	5.40±0.22	4.76±0.32	5.62±0.05	-	-
2 kGy	0	8.01±0.08	8.35±0.05	8.01±0.08	8.35±0.05	8.01±0.08	8.35±0.05
	1	7.98±0.27	7.76±0.28	7.84±0.19	7.35±0.09	8.67±0.07	7.45±0.10
	3	7.02±0.05	7.61±0.35	8.06±0.10	5.68±0.11	8.29±0.24	5.68±0.28
	5	6.61±0.03	6.39±0.10	7.79±0.09	5.35±0.16	5.62±0.01	5.30±0.04
	7	6.35±0.17	6.00±0.07	6.87±0.23	4.74±0.13	-	-
3 kGy	0	7.96±0.15	7.99±0.37	7.96±0.15	7.99±0.37	7.96±0.15	7.99±0.37
	1	7.90±0.06	7.36±0.08	9.28±0.08	7.86±0.13	7.91±0.09	7.51±0.07
	3	7.24±0.06	7.67±0.07	8.11±0.08	5.55±0.12	7.37±0.36	6.64±0.11
	5	6.85±0.27	7.08±0.11	8.09±0.05	5.29±0.09	5.61±0.16	5.97±0.08
	7	6.93±0.13	5.94±0.37	6.94±0.46	4.74±0.09	-	-

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.15. Change in total phenolic compounds of clover packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	5.63±0.34 ¹⁾	6.26±1.52	5.63±0.34	6.26±1.52	5.63±0.34	6.26±1.52
	1	5.42±0.23	5.50±0.13	6.32±0.13	6.13±0.40	5.11±0.33	4.75±0.34
	3	4.91±0.09	5.19±0.07	6.49±0.07	5.77±0.08	4.23±0.13	4.12±0.20
	5	4.47±0.13	4.98±0.03	5.80±0.03	5.04±0.05	4.75±0.34	3.98±0.09
	7	4.31±0.09	3.68±0.06	5.94±0.11	4.89±0.08	4.15±0.29	3.29±0.11
1 kGy	0	5.16±0.01	5.24±0.13	5.16±0.01	5.24±0.13	5.16±0.01	5.24±0.13
	1	4.95±0.03	5.36±0.34	5.33±0.10	6.21±0.09	4.98±0.08	4.67±0.26
	3	4.81±0.22	5.06±0.15	5.21±0.22	5.27±0.02	4.20±0.02	4.38±0.13
	5	4.98±0.27	4.84±0.13	5.19±0.14	4.90±0.10	4.38±0.13	4.41±0.59
	7	3.70±0.03	3.86±0.03	5.05±0.10	4.94±0.12	4.43±0.10	3.76±0.92
2 kGy	0	5.24±0.18	5.94±0.05	5.24±0.18	5.94±0.05	5.24±0.18	5.94±0.05
	1	5.02±0.11	5.37±0.17	5.82±0.12	6.30±0.10	4.96±0.30	5.04±0.18
	3	5.11±0.06	5.19±0.04	5.95±0.36	5.76±0.28	4.72±0.14	4.88±0.21
	5	5.03±0.98	4.93±0.08	5.71±0.08	5.16±0.14	4.88±0.21	4.10±1.44
	7	3.79±0.08	5.13±0.08	5.26±0.20	4.72±0.09	3.74±0.03	3.93±0.22
3 kGy	0	8.26±0.29	5.40±0.07	8.26±0.29	5.40±0.07	8.26±0.29	5.40±0.07
	1	5.42±0.18	5.12±0.08	5.91±0.22	6.16±0.09	4.76±0.07	5.51±0.01
	3	5.02±0.04	5.02±0.11	5.58±0.13	5.98±0.16	4.59±0.06	4.76±0.07
	5	4.48±0.17	4.91±0.25	5.51±0.06	5.50±0.09	3.96±0.04	4.48±0.68
	7	4.58±0.12	4.09±0.05	5.51±0.07	5.39±0.05	3.26±0.12	4.18±0.16

¹⁾ Mean±S.D..

(3) Chlorophyll 함량의 변화

포장재를 달리한 무순 및 클로버 발아채소의 chlorophyll의 함량을 Table 3.14와 3.15에 나타내었다. 무순 및 클로버의 chlorophyll 함량은 각각 $1.69\pm 0.4\sim 11.14\pm 1.22$ $\mu\text{g/g}$ 및 $3.10\pm 0.39\sim 13.09\pm 0.27$ $\mu\text{g/g}$ 범위로 나타났다. 저장온도에 따른 무순 및 클로버의 chlorophyll 최대 함량은 4°C의 경우 각각 7.09 ± 0.13 $\mu\text{g/g}$ 및 13.09 ± 0.27 $\mu\text{g/g}$ 이었고 10°C는 각각 9.69 ± 1.52 $\mu\text{g/g}$ 및 13.09 ± 0.27 $\mu\text{g/g}$, 그리고 20°C는 각각 11.14 ± 1.22 $\mu\text{g/g}$ 및 13.09 ± 0.27 $\mu\text{g/g}$ 로 저장온도가 높을수록 대체로 높게 측정되었다. 전자빔량에 따른 차이는 보이지 않았으며 방담OPP 포장재에 포장한 무순의 경우 chlorophyll의 함량이 대체로 다소 높은 것으로 확인되었으나 클로버의 경우 포장재에 따른 뚜렷한 차이가 없었다.

(4) Carotenoid 함량의 변화

PET 및 방담OPP 포장재에 포장한 무순 및 클로버 발아채소의 carotenoid를 측정한 결과는 Table 3.18과 3.19와 같다. 저장기간이 길어짐에 따라 무순 및 클로버 발아채소의 carotenoid의 함량은 감소하였으며 무순의 경우 저장온도에 의한 carotenoid의 함량 변화가 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 클로버의 경우 4°C일 때 $0.01\pm 0.01\sim 0.42\pm 0.02$ $\mu\text{g/g}$ 이었으나 10°C 및 20°C에서 저장한 경우 각각 $0.30\pm 0.01\sim 0.84\pm 0.004$ $\mu\text{g/g}$ 및 $0.34\pm 0.02\sim 0.62\pm 0.02$ $\mu\text{g/g}$ 로 나타나 온도가 높아짐에 따라 carotenoid의 함량은 약간 증가하는 것으로 나타났다. 조사한 전자빔의 선량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았고 또한 포장재에 따른 차이도 나타나지 않아 이들 조건이 carotenoid의 함량 변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

Table 3.16. Change in chlorophyll compounds of radish packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	6.13±0.42 ¹⁾	6.70±0.72	6.13±0.42	6.70±0.72	6.13±0.42	6.70±0.72
	1	4.87±0.62	6.34±0.86	9.69±1.52	8.81±0.49	11.14±1.22	9.22±0.57
	3	4.53±0.28	5.36±0.56	8.21±0.76	6.64±0.50	7.84±2.78	9.54±0.80
	5	4.44±0.43	4.72±0.85	7.69±0.33	6.26±0.44	6.74±0.54	6.87±0.28
	7	1.63±0.31	3.13±0.47	3.14±0.60	4.36±0.19	-	-
1 kGy	0	5.12±1.57	7.09±0.13	5.12±1.57	7.09±0.13	5.12±1.57	7.09±0.13
	1	4.83±0.36	6.52±0.47	7.69±0.36	7.67±1.28	9.60±1.86	10.99±0.72
	3	4.12±0.10	4.90±0.31	7.56±0.55	7.10±0.63	8.32±1.33	11.05±0.96
	5	3.52±0.36	3.44±0.61	5.12±0.28	4.90±1.07	8.01±0.13	8.98±0.40
	7	2.32±0.22	3.50±0.30	3.80±0.68	3.44±1.31	-	-
2 kGy	0	5.70±0.28	5.91±0.61	5.70±0.28	5.91±0.61	5.70±0.28	5.91±0.61
	1	5.20±1.51	4.07±0.27	7.22±0.24	8.88±0.53	9.56±0.55	10.03±0.93
	3	5.20±0.48	3.91±0.06	6.50±0.65	7.04±0.26	9.60±0.40	9.31±0.48
	5	4.52±0.61	3.69±0.21	6.16±0.73	6.81±1.07	6.00±0.79	7.69±0.08
	7	2.10±0.27	3.83±0.60	5.39±0.60	4.73±0.56	-	-
3 kGy	0	8.30±3.42	4.95±0.79	8.30±3.42	4.95±0.79	8.30±3.42	4.95±0.79
	1	3.91±0.47	4.14±1.81	7.88±0.62	6.59±0.53	8.14±0.26	9.24±1.42
	3	3.95±0.13	3.33±0.78	6.95±0.75	6.54±0.84	7.85±0.61	8.45±0.61
	5	3.51±0.63	3.23±0.70	6.20±0.18	6.64±0.73	7.27±0.17	6.66±0.25
	7	1.69±0.40	3.21±0.55	6.44±0.47	4.84±1.53	-	-

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.17. Change in chlorophyll compounds of clover packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	13.09±0.27 ¹⁾	12.11±1.52	13.09±0.27	12.11±1.52	13.09±0.27	12.11±1.52
	1	9.70±0.55	9.43±0.43	7.92±0.526	8.82±1.35	6.15±0.13	6.52±0.54
	3	9.28±0.58	8.34±0.50	7.22±0.76	6.23±0.84	5.54±0.73	5.48±0.37
	5	7.01±0.50	9.59±1.45	6.94±0.80	6.05±0.56	4.54±0.11	4.25±0.13
	7	5.79±0.11	7.96±0.20	5.67±0.21	5.65±0.23	4.72±0.85	3.63±0.26
1 kGy	0	10.40±0.30	10.85±1.15	10.40±0.30	10.85±1.15	10.40±0.30	10.85±1.15
	1	8.88±0.39	9.52±0.59	7.41±0.56	9.16±1.17	6.12±0.21	6.73±0.71
	3	7.32±0.39	8.86±0.56	6.47±0.16	7.57±0.59	5.25±0.15	5.77±0.19
	5	6.28±0.65	7.91±0.71	5.70±0.15	5.59±0.44	5.49±1.41	4.58±0.45
	7	5.97±0.56	6.72±0.23	3.13±0.39	5.41±0.46	4.80±0.36	5.03±0.86
2 kGy	0	10.69±0.29	10.09±0.87	10.69±0.29	10.09±0.87	10.69±0.29	10.09±0.87
	1	10.84±0.29	9.02±0.57	7.03±0.22	7.64±0.44	6.95±0.07	7.64±0.47
	3	8.44±0.69	8.78±1.03	5.04±0.28	6.00±0.83	5.80±0.22	6.45±0.30
	5	7.05±0.25	8.04±0.21	5.06±0.28	5.36±0.57	4.66±0.76	5.17±1.14
	7	6.93±0.37	7.63±0.38	3.47±0.34	4.78±0.47	4.54±0.48	3.78±0.23
3 kGy	0	9.58±0.41	9.16±0.9	9.58±0.41	9.16±0.9	9.58±0.41	9.16±0.9
	1	8.54±0.46	7.73±0.19	6.06±0.73	6.84±0.48	5.84±0.67	6.70±0.32
	3	7.97±0.48	7.26±0.81	5.78±0.43	5.98±0.59	4.81±0.44	5.17±0.57
	5	6.90±0.45	6.22±0.90	4.10±0.69	5.77±0.12	4.34±0.43	4.62±1.51
	7	5.47±0.25	6.77±0.19	3.52±0.30	4.91±0.30	3.21±0.60	4.24±0.48

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.18. Change in carotenoid compounds of radish packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	1.88±0.07 ¹⁾	1.81±0.13	1.88±0.07	1.81±0.13	1.88±0.07	1.81±0.13
	1	1.35±0.06	1.43±0.01	1.69±0.02	1.51±0.03	1.77±0.02	1.49±0.03
	3	1.53±0.05	1.14±0.02	1.64±0.04	1.54±0.02	1.39±0.03	1.22±0.03
	5	1.41±0.02	1.04±0.03	1.32±0.02	1.20±0.05	1.15±0.05	1.06±0.01
	7	1.16±0.04	0.96±0.03	1.05±0.02	0.83±0.00	-	-
1 kGy	0	1.30±0.05	1.74±0.02	1.30±0.05	1.74±0.02	1.30±0.05	1.74±0.02
	1	1.34±0.20	1.33±0.05	1.71±0.03	1.51±0.04	1.57±0.25	1.76±0.04
	3	1.30±0.02	1.27±0.02	1.37±0.03	1.03±0.04	1.39±0.02	1.37±0.02
	5	1.24±0.01	1.04±0.02	0.82±0.03	0.74±0.09	1.16±0.01	1.28±0.04
	7	1.03±0.05	1.10±0.01	0.86±0.03	0.83±0.08	-	-
2 kGy	0	1.84±0.04	1.33±0.02	1.84±0.04	1.33±0.02	1.84±0.04	1.33±0.02
	1	1.60±0.08	1.25±0.02	1.33±0.04	1.35±0.03	1.59±0.04	1.55±0.03
	3	1.48±0.02	1.22±0.08	1.24±0.05	1.16±0.15	1.52±0.05	1.17±0.02
	5	1.34±0.11	0.99±0.03	1.23±0.03	1.15±0.04	0.84±0.03	1.30±0.03
	7	1.14±0.12	0.87±0.02	0.85±0.03	1.03±0.02	-	-
3 kGy	0	1.50±0.27	1.57±0.03	1.50±0.27	1.57±0.03	1.50±0.27	1.57±0.03
	1	1.18±0.72	1.17±0.03	1.68±0.07	1.48±0.01	1.37±0.03	1.50±0.02
	3	1.09±0.04	1.19±0.10	1.46±0.07	1.10±0.02	1.39±0.04	1.10±0.01
	5	1.03±0.05	1.10±0.03	1.28±0.03	0.06±0.16	0.94±0.01	0.99±0.05
	7	1.25±0.03	1.13±0.11	0.97±0.03	1.07±0.07	-	-

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.19. Change in carotenoid compounds of clover packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

(W.B., $\mu\text{g/g}$)

Storage period (days)		4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Control	0	0.42±0.02 ¹⁾	0.15±0.02	0.42±0.02	0.15±0.02	0.42±0.02	0.15±0.02
	1	0.10±0.02	0.13±0.02	0.70±0.05	0.72±0.05	0.62±0.02	0.55±0.02
	3	0.09±0.02	0.16±0.07	0.62±0.07	0.53±0.01	0.51±0.02	0.46±0.02
	5	0.04±0.04	0.01±0.07	0.48±0.03	0.49±0.02	0.39±0.03	0.38±0.02
	7	0.05±0.01	0.01±0.01	0.51±0.05	0.47±0.05	0.40±0.05	0.34±0.02
1 kGy	0	0.28±0.04	0.16±0.06	0.28±0.04	0.16±0.06	0.28±0.04	0.16±0.06
	1	0.15±0.04	0.14±0.04	0.65±0.04	0.84±0.04	0.60±0.02	0.60±0.04
	3	0.16±0.01	0.11±0.03	0.63±0.05	0.66±0.04	0.58±0.02	0.55±0.01
	5	0.14±0.05	0.10±0.03	0.64±0.06	0.61±0.05	0.56±0.15	0.41±0.05
	7	0.11±0.04	0.12±0.08	0.30±0.01	0.54±0.01	0.50±0.01	0.46±0.04
2 kGy	0	0.23±0.02	0.21±0.06	0.23±0.02	0.21±0.06	0.23±0.02	0.21±0.06
	1	0.24±0.21	0.19±0.03	0.50±0.03	0.53±0.05	0.62±0.02	0.67±0.02
	3	0.14±0.01	0.14±0.05	0.45±0.01	0.54±0.02	0.55±0.01	0.58±0.02
	5	0.09±0.03	0.12±0.06	0.45±0.02	0.51±0.03	0.49±0.01	0.48±0.01
	7	0.01±0.06	0.02±0.01	0.34±0.02	0.42±0.03	0.38±0.06	0.34±0.02
3 kGy	0	0.25±0.06	0.22±0.04	0.25±0.06	0.22±0.04	0.25±0.06	0.22±0.04
	1	0.18±0.02	0.16±0.03	0.55±0.07	0.59±0.04	0.60±0.04	0.52±0.03
	3	0.13±0.04	0.18±0.01	0.48±0.02	0.55±0.00	0.49±0.04	0.46±0.03
	5	0.14±0.03	0.12±0.06	0.39±0.06	0.50±0.05	0.44±0.03	0.44±0.12
	7	0.08±0.03	0.14±0.01	0.36±0.03	0.47±0.04	0.34±0.03	0.46±0.02

¹⁾ Mean±S.D..

라. 관능적 품질 변화

무순 및 클로버 발아채소의 저장기간 및 온도에 따른 관능적 품질변화를 Table 3.20과 3.21에 나타내었다. 무순 및 클로버의 경우 공통적으로 저장기간이 길어질수록 그리고 저장온도가 높아질수록 모든 항목에서 점수가 낮아졌으며 조사선량이 높으면 대부분의 항목에서 낮은 점수를 보여 관능적 품질이 다소 낮아짐을 확인하였다. PET 포장재는 방담 OPP 포장재에 비해 발아채소냄새가 다소 강하게 나타났으나 그 외의 항목인 외관, 뿌리 변색, 조직감, 시듦, 종합적 기호도 및 상품성에서 상대적으로 낮은 점수가 확인되었다.

Table 3.20. Change in organoleptic qualities of radish packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

Contorl parameter	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.14±0.90	6.14±0.90	5.86±0.69	6.43±0.53	5.00±1.63	5.71±1.11
	3	6.00±0.82	6.14±0.69	5.29±0.76	5.57±1.13	3.29±0.95	6.14±0.69
	5	5.14±0.69	5.57±0.98	4.86±1.07	5.14±0.69	4.57±0.79	4.86±1.07
	7	5.14±0.69	5.43±0.8	3.00±1.00	5.57±0.53	3.00±1.15	5.43±1.27
Yellowness of root	1	5.86±1.21	6.00±1.00	5.86±1.35	5.86±1.46	5.00±1.73	5.86±1.46
	3	6.14±0.90	6.29±1.11	5.86±1.21	5.71±0.76	2.57±1.27	5.43±0.98
	5	4.86±0.69	5.57±1.13	4.57±0.98	6.00±0.58	3.29±0.95	4.86±0.69
	7	5.43±1.51	5.43±0.79	3.00±1.53	4.86±0.90	2.14±1.07	4.57±1.27
Sprout smell	1	6.14±1.21	6.00±1.00	5.14±1.21	5.86±1.35	4.29±1.11	5.29±1.80
	3	6.00±0.82	5.86±0.38	5.57±1.13	5.29±0.95	4.71±1.50	4.86±0.69
	5	4.71±0.76	5.43±0.79	4.71±0.76	4.29±1.11	3.43±1.27	4.14±1.57
	7	4.83±0.75	4.33±1.21	5.00±1.00	4.00±1.73	3.71±1.80	4.29±1.70
Off-odor	1	6.57±1.13	6.43±0.79	5.29±1.38	6.00±0.82	5.14±1.07	5.86±0.90
	3	5.29±1.11	5.00±1.41	5.71±0.76	4.71±0.49	4.57±1.99	4.71±1.11
	5	4.00±1.15	5.14±1.07	3.86±1.07	4.14±1.35	2.86±0.90	4.00±1.63
	7	4.86±0.69	4.14±0.90	3.57±0.98	3.86±1.68	2.43±1.13	4.00±1.63
Texture	1	6.57±0.53	6.43±0.79	6.29±1.11	6.71±0.49	5.29±0.95	6.14±0.69
	3	6.00±0.82	5.86±1.07	5.86±0.90	6.00±0.82	5.14±1.95	6.14±0.69
	5	5.71±0.76	5.71±1.25	5.29±0.95	5.29±0.95	4.43±1.81	5.14±1.95
	7	5.43±0.79	6.00±0.82	4.57±2.37	5.57±0.79	3.14±1.68	5.29±1.25
Withering	1	6.43±0.79	6.14±0.90	6.29±0.95	6.14±0.69	5.43±1.51	6.00±1.00
	3	6.43±0.53	6.00±0.58	6.29±0.49	5.57±0.98	3.57±1.81	5.57±0.98
	5	5.14±0.69	5.71±0.76	4.71±0.95	5.71±0.95	4.14±1.21	5.43±1.27
	7	5.14±0.90	5.14±0.69	3.43±1.62	5.00±0.82	2.43±1.27	4.57±1.13
Overall acceptability	1	6.14±0.69	6.14±0.69	5.71±0.76	6.14±0.69	5.14±0.69	5.71±0.76
	3	5.86±0.90	5.71±0.76	6.14±0.69	5.57±1.13	3.14±1.35	5.43±0.79
	5	4.57±0.79	5.86±0.69	4.57±0.79	5.00±1.29	3.14±1.21	3.86±0.90
	7	5.29±1.11	5.00±0.82	3.29±1.50	4.86±1.35	2.71±1.25	4.00±1.15
Marketability	1	6.00±0.82	6.57±0.53	5.71±1.11	6.57±0.53	4.86±1.68	5.71±0.76
	3	5.57±0.98	5.29±1.25	5.71±0.76	5.71±0.95	2.71±1.25	5.71±1.11
	5	5.14±0.90	5.71±1.11	4.71±0.95	5.43±0.79	3.43±0.98	4.43±1.27
	7	5.14±0.69	5.29±0.76	3.00±1.63	5.00±0.58	2.14±1.07	4.29±1.11

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.20. Continued

parameter \ 1 kGy	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	5.86±0.69	6.29±0.76	5.71±1.11	6.14±1.07	5.71±1.38	5.86±1.21
	3	5.86±1.21	6.43±0.53	5.71±1.50	6.00±0.53	5.57±0.53	5.71±1.38
	5	4.86±0.69	6.00±0.82	4.86±0.90	5.14±0.82	4.57±1.13	5.14±0.69
	7	5.14±0.69	5.29±0.95	5.43±0.53	5.71±0.95	4.71±1.50	5.29±0.76
Yellowness of root	1	5.57±1.27	5.86±1.07	5.71±1.11	5.71±1.11	5.57±1.27	5.86±0.90
	3	5.71±1.89	5.86±1.35	5.86±1.21	5.71±1.11	5.14±0.90	5.86±1.07
	5	4.71±0.76	6.00±0.82	4.14±1.35	5.43±0.53	3.71±0.76	5.14±0.90
	7	5.86±1.07	6.14±0.38	4.57±0.79	4.71±0.76	3.29±1.25	4.71±1.38
Sprout smell	1	5.86±1.46	5.14±1.07	6.00±0.82	4.71±1.80	5.29±1.11	5.43±1.51
	3	5.29±1.38	5.29±0.49	5.14±1.35	4.57±1.81	4.71±1.11	4.86±1.35
	5	4.57±0.53	4.57±1.81	4.71±0.76	4.57±1.62	3.71±0.76	4.71±0.95
	7	5.14±1.07	4.14±1.35	4.57±0.79	3.71±1.38	4.14±0.90	4.14±1.21
Of-odor	1	6.57±0.53	6.29±0.95	6.57±0.53	6.43±0.79	6.29±0.76	6.00±1.00
	3	5.29±1.25	5.29±1.11	6.00±0.58	5.57±0.98	5.29±0.76	5.43±0.79
	5	5.00±1.29	5.43±0.79	4.57±0.98	4.57±1.13	4.00±1.73	4.71±0.49
	7	4.86±0.90	4.14±1.35	5.71±0.76	4.57±1.62	4.57±1.13	5.57±0.53
Texture	1	6.57±0.53	6.57±0.79	6.14±0.90	6.29±0.76	6.29±0.49	6.57±0.53
	3	6.43±0.79	6.43±0.53	5.86±0.69	6.14±0.69	5.43±1.27	6.00±0.82
	5	5.57±0.53	5.43±0.79	4.29±1.38	5.86±0.90	4.14±1.57	5.43±1.51
	7	5.86±0.69	5.29±0.76	5.71±1.25	5.43±1.13	5.14±1.35	5.00±1.29
Withering	1	6.29±0.76	6.86±0.38	6.00±1.15	6.43±0.79	6.14±1.07	6.43±0.79
	3	6.00±1.15	6.00±0.82	6.00±1.00	5.71±0.95	5.71±0.95	5.43±1.13
	5	3.86±0.69	5.86±0.69	4.71±0.76	6.14±0.90	4.00±1.41	5.00±1.29
	7	5.43±0.79	4.86±0.90	5.57±1.13	5.14±1.07	4.86±1.07	4.57±0.98
Overall acceptability	1	6.00±0.58	5.57±1.40	5.71±0.76	5.86±0.38	5.43±0.53	5.86±0.90
	3	5.71±1.38	6.00±0.58	5.57±0.53	5.43±0.79	5.57±0.53	5.57±1.13
	5	4.57±0.53	6.14±0.90	4.43±0.79	5.14±0.90	3.86±0.90	4.57±0.53
	7	5.57±0.98	4.86±1.07	5.71±0.76	4.71±1.11	4.71±0.76	4.29±1.50
Marketability	1	6.00±0.58	6.57±0.79	5.71±0.95	5.86±0.90	5.71±1.11	6.14±0.90
	3	5.14±1.95	5.86±1.07	5.57±0.79	5.57±0.98	5.00±1.00	5.71±1.11
	5	4.71±1.38	5.57±0.79	4.00±1.15	5.71±0.49	3.71±1.11	4.57±1.51
	7	5.57±0.79	5.29±0.76	5.29±0.95	4.86±0.69	4.43±0.79	4.29±1.11

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.20. Continued

parameter \ 2 kGy	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.00±0.82	5.86±0.90	6.43±0.53	5.86±0.69	6.00±1.15	5.86±0.90
	3	5.57±1.40	6.57±0.53	6.00±0.58	5.71±0.49	3.14±0.69	5.86±1.07
	5	5.29±0.76	5.29±0.76	5.14±0.90	5.00±0.82	4.57±1.13	5.43±0.79
	7	5.29±0.76	5.86±1.35	4.29±0.76	5.86±0.82	2.57±0.79	5.14±1.07
Yellowness of root	1	6.29±1.25	6.14±0.90	4.86±1.57	5.43±0.79	5.57±1.27	5.43±1.27
	3	5.57±1.51	6.29±0.76	5.29±1.11	5.57±0.79	3.00±1.15	5.71±1.11
	5	5.43±0.53	5.71±0.76	4.43±1.13	5.29±1.21	3.57±0.98	4.57±0.79
	7	5.43±0.79	5.86±1.07	4.14±1.21	5.14±1.27	2.00±0.82	4.29±1.50
Sprout smell	1	5.86±1.35	5.71±0.95	6.14±0.90	4.57±1.99	6.14±0.90	5.14±1.77
	3	5.71±0.95	5.14±0.69	5.86±1.46	4.57±1.40	3.43±1.51	5.43±1.13
	5	5.14±0.69	4.86±1.35	5.00±0.82	4.86±0.69	4.43±1.27	4.14±1.86
	7	5.14±0.90	4.71±1.11	5.14±0.69	4.29±1.50	2.86±1.57	3.86±1.57
Off-odor	1	6.00±1.15	6.14±0.90	5.86±1.46	6.29±0.76	6.43±0.79	6.29±0.76
	3	5.86±1.21	5.43±0.98	6.29±0.76	4.14±1.07	4.57±1.13	5.57±0.79
	5	4.14±1.07	5.14±0.69	4.71±0.49	5.14±0.69	3.86±1.57	4.57±0.79
	7	5.00±0.82	4.86±1.35	4.57±1.27	4.57±0.98	2.57±1.27	5.43±0.79
Texture	1	6.43±0.53	6.57±0.53	6.57±0.53	5.43±1.13	5.86±0.38	5.71±0.95
	3	5.57±0.53	6.57±0.53	5.57±0.98	5.71±0.95	2.86±1.46	5.43±0.53
	5	5.14±0.90	5.00±0.82	4.57±1.51	5.00±1.41	3.29±1.50	5.14±1.07
	7	5.43±0.79	5.29±1.70	4.57±1.90	5.57±0.79	3.29±1.50	4.71±1.50
Withering	1	6.29±0.95	6.29±0.76	6.14±0.90	5.86±0.90	6.14±0.69	6.43±0.79
	3	6.29±0.76	6.14±0.90	6.14±0.90	5.86±0.90	3.00±1.29	5.71±0.95
	5	4.71±1.11	5.43±0.98	4.43±0.98	6.14±0.90	2.86±1.35	5.00±1.00
	7	5.14±0.90	5.57±1.13	4.57±1.27	5.00±1.15	2.57±0.98	4.29±0.76
Overall acceptability	1	5.71±0.76	5.86±0.38	6.00±0.82	5.43±0.53	5.57±0.79	6.00±1.00
	3	6.14±1.07	6.14±0.38	5.86±0.69	5.43±0.79	3.43±1.13	5.43±1.27
	5	4.71±0.49	6.29±0.76	4.57±0.79	4.86±0.69	3.29±1.60	4.29±0.95
	7	4.86±0.69	5.29±1.38	4.57±0.98	5.00±1.15	2.43±0.79	4.29±1.11
Marketability	1	5.86±0.90	6.29±0.76	6.14±1.21	6.00±1.00	5.43±1.27	6.14±1.07
	3	5.71±1.50	5.71±1.38	5.86±0.90	5.71±0.76	2.86±1.07	5.29±1.50
	5	5.14±1.35	5.71±1.25	4.29±1.25	5.71±0.76	2.86±0.90	4.71±1.38
	7	4.57±0.53	5.71±1.11	4.29±1.11	4.71±0.76	2.57±0.53	4.14±1.35

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.20. Continued

3 kGy parameter	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	5.14±0.90	5.29±1.11	5.86±0.69	6.14±0.6	6.00±1.29	5.86±1.76
	3	5.57±0.53	6.14±0.90	6.00±0.82	6.00±0.82	5.29±0.95	5.43±0.79
	5	5.43±0.98	6.00±1.00	4.71±1.11	4.71±1.11	4.00±1.29	4.86±0.90
	7	5.57±0.53	5.71±0.49	4.14±0.69	5.29±0.79	2.86±1.21	3.86±1.35
Yellowness of root	1	5.29±0.95	5.57±1.40	5.29±1.38	6.29±0.76	5.71±1.38	4.71±1.60
	3	5.29±1.25	6.00±1.15	4.86±1.35	5.43±0.98	4.14±1.07	4.57±1.13
	5	4.86±1.21	5.57±0.98	4.00±1.00	3.86±0.90	3.57±0.98	3.57±0.53
	7	5.00±1.41	5.14±1.07	3.00±1.29	4.71±1.25	2.00±0.82	3.00±1.29
Sprout smell	1	5.43±1.27	4.71±1.70	5.29±1.50	4.29±1.89	5.14±1.35	4.14±1.35
	3	4.71±1.38	4.86±1.46	5.43±1.40	5.14±1.35	3.57±1.62	4.43±1.27
	5	4.43±0.98	5.00±1.41	4.86±1.21	5.29±0.76	3.00±1.15	4.00±1.15
	7	5.29±0.76	4.57±0.53	4.43±0.98	4.14±1.21	3.00±1.91	3.43±1.62
Off-odor	1	5.71±1.38	5.43±1.72	6.14±1.21	5.00±1.41	6.29±0.95	4.29±1.50
	3	5.00±0.82	5.00±1.15	5.86±1.07	5.43±1.13	4.57±0.53	4.86±0.69
	5	4.57±0.79	5.29±0.76	5.14±1.07	5.43±0.53	4.29±1.25	4.29±1.25
	7	5.00±0.82	4.00±0.82	4.29±1.11	4.57±0.98	3.29±1.50	4.86±1.77
Texture	1	5.57±0.79	6.29±0.76	5.29±1.38	6.00±1.00	6.00±0.58	6.14±0.90
	3	5.29±0.95	6.00±1.15	4.86±0.69	5.86±0.90	4.71±0.76	6.14±0.69
	5	5.00±0.58	5.57±0.79	4.71±1.70	4.86±1.35	3.43±1.72	4.86±1.35
	7	5.14±0.69	5.57±1.27	4.14±1.77	5.71±0.95	3.14±1.07	4.14±1.57
Withering	1	6.00±1.00	6.14±0.90	6.14±0.90	6.14±1.07	6.57±0.53	6.14±0.69
	3	6.14±0.38	6.14±0.90	5.57±0.79	5.43±1.13	5.00±1.00	5.00±1.41
	5	4.57±0.79	6.00±0.58	4.43±0.79	5.14±1.07	3.29±1.70	3.86±1.35
	7	5.57±0.79	5.14±1.57	4.43±1.40	4.86±0.90	2.43±0.79	3.57±1.27
Overall acceptability	1	5.57±0.53	5.14±1.21	5.71±0.76	5.86±0.69	6.00±0.82	5.00±1.15
	3	5.57±1.13	6.14±0.69	5.57±0.79	5.71±1.25	4.57±1.27	5.14±1.07
	5	4.57±0.53	5.57±0.53	4.57±0.98	4.29±1.38	3.29±1.50	3.57±0.98
	7	5.29±0.95	4.43±1.27	4.43±0.98	4.57±1.27	2.43±0.98	2.86±1.07
Marketability	1	5.29±0.76	5.57±0.98	5.29±1.25	5.71±0.95	5.43±1.27	5.43±0.79
	3	5.43±0.98	5.43±1.72	4.86±1.07	5.57±0.79	4.00±0.82	5.00±0.82
	5	5.00±1.41	5.71±1.11	4.14±1.07	4.86±1.07	2.43±0.98	3.57±1.27
	7	5.43±0.98	4.57±1.27	3.86±1.07	4.43±0.98	2.14±0.69	2.86±1.21

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.21. Change in organoleptic qualities of clover packaged PET and anti-fogging OPP during storage at different temperature and e-beam irradiation dose

control parameter	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.50±0.76	6.38±0.92	5.63±1.19	6.13±0.64	5.88±0.99	6.50±0.53
	3	6.38±0.52	6.38±0.52	5.13±0.83	6.38±0.74	2.50±0.53	6.25±0.89
	5	6.13±0.64	6.25±0.46	5.25±0.71	6.13±0.64	2.13±0.83	5.50±0.76
	7	5.57±1.13	5.57±1.27	5.00±1.00	5.14±0.90	3.43±1.51	5.29±1.60
Yellowness of root	1	6.25±0.71	6.50±0.53	5.75±0.46	5.88±0.64	5.88±1.25	6.13±0.64
	3	6.13±0.99	6.38±0.74	4.63±1.30	6.13±0.83	2.00±0.53	5.88±1.25
	5	5.13±0.64	5.50±0.76	5.00±0.76	5.88±0.64	1.38±0.74	5.13±0.83
	7	5.57±0.53	5.71±0.76	5.14±1.21	4.71±1.11	4.43±1.13	4.57±0.98
Sprout smell	1	5.50±0.93	5.13±0.99	5.25±0.89	5.50±0.76	4.63±0.74	5.13±0.64
	3	5.75±1.04	5.88±0.64	4.88±1.25	4.88±1.25	4.00±1.41	4.38±1.60
	5	5.13±0.83	5.63±0.74	4.38±0.74	4.88±0.99	2.63±1.30	4.63±0.74
	7	4.43±1.13	4.71±0.95	4.43±1.13	3.86±1.35	3.86±1.77	4.71±1.38
Off-odor	1	6.13±0.64	6.00±0.93	5.50±0.76	5.88±0.99	5.63±1.30	5.75±0.89
	3	5.50±0.76	5.38±1.51	5.13±0.83	5.75±1.04	3.25±1.49	5.75±0.89
	5	4.75±0.89	5.63±0.52	4.63±0.92	5.25±1.16	1.25±0.46	5.00±0.93
	7	4.86±1.07	5.00±1.15	4.00±1.41	4.43±1.81	3.71±1.38	4.00±2.00
Texture	1	6.38±0.52	6.50±0.76	5.38±0.52	6.25±0.71	5.63±1.06	6.38±0.92
	3	5.50±1.07	5.63±0.74	5.38±0.74	5.75±0.71	3.25±1.28	5.75±0.89
	5	5.38±0.52	5.38±0.92	4.38±1.06	5.50±0.53	2.38±1.30	5.25±0.89
	7	4.86±1.35	4.71±1.50	4.29±1.60	4.29±1.38	4.43±1.72	3.86±1.35
Withering	1	5.63±0.92	5.88±1.25	5.00±1.69	5.75±1.04	5.75±0.71	5.88±1.13
	3	5.38±0.74	5.50±0.93	4.75±1.16	5.38±0.52	2.38±1.19	5.38±0.74
	5	5.00±0.76	5.38±0.52	5.00±0.93	5.63±0.52	1.63±0.92	4.75±0.89
	7	4.57±1.40	5.00±0.82	4.00±1.00	4.57±1.27	4.00±1.29	3.57±1.51
Overall acceptability	1	5.88±0.64	6.25±0.89	5.50±0.76	5.50±0.76	5.50±0.93	5.75±0.46
	3	6.00±0.53	6.13±0.64	4.63±0.92	5.50±0.93	2.25±0.71	5.25±1.04
	5	5.75±0.71	5.75±0.46	4.50±1.07	5.63±0.52	1.63±0.74	5.00±0.53
	7	5.00±1.00	5.00±1.29	4.43±0.98	4.71±0.95	4.00±1.15	4.86±1.46
Marketability	1	6.13±0.83	6.00±0.46	5.63±0.52	6.00±0.00	5.50±0.76	5.75±0.46
	3	5.75±0.89	5.75±0.89	4.88±0.99	5.63±0.92	2.00±0.53	5.25±1.04
	5	5.50±0.76	5.63±0.52	4.25±0.89	5.63±0.52	1.25±0.46	4.75±0.71
	7	5.29±1.11	4.86±0.69	4.57±1.27	4.86±1.07	3.86±1.46	4.43±1.62

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.21. Continued

parameter \ 1 kGy	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.38±0.92	6.50±0.76	6.13±1.13	6.13±0.83	5.88±1.13	5.13±1.55
	3	6.00±0.76	5.88±0.64	6.00±0.93	5.63±0.92	4.00±1.31	5.88±0.64
	5	5.38±0.74	5.88±0.64	4.88±0.83	5.63±0.74	3.25±0.89	5.25±1.28
	7	5.71±0.49	5.71±0.49	4.71±1.38	4.71±0.76	3.14±0.90	4.43±1.27
Yellowness of root	1	5.63±0.52	5.63±0.92	5.75±0.71	5.75±0.89	5.63±1.06	5.38±0.92
	3	5.50±1.07	5.88±0.64	5.50±0.93	5.50±1.20	3.88±1.55	5.25±1.16
	5	5.50±0.53	5.25±0.89	4.63±0.74	5.25±0.46	2.50±1.07	4.63±0.74
	7	4.86±1.21	5.43±0.79	4.29±0.95	4.57±0.98	3.57±0.98	3.71±1.38
Sprout smell	1	6.25±0.71	5.50±0.93	5.75±0.71	5.50±0.93	5.50±1.07	4.88±0.83
	3	5.50±0.93	5.13±0.83	4.50±0.93	5.00±0.76	4.75±1.04	4.63±1.30
	5	4.88±0.99	4.50±1.07	4.38±0.74	4.75±1.28	3.25±1.16	4.88±0.64
	7	3.86±1.35	4.86±0.69	4.29±0.76	4.14±1.21	3.57±1.27	3.86±1.07
Off-odor	1	6.13±0.64	6.13±0.35	5.63±0.92	4.88±0.83	4.38±1.41	5.13±1.36
	3	5.13±1.46	4.63±1.41	4.38±1.30	3.88±0.99	4.00±0.76	5.50±0.93
	5	4.63±1.06	5.63±0.52	4.88±0.99	4.88±1.25	3.88±1.25	4.13±1.46
	7	4.86±1.07	4.57±1.27	4.71±1.38	4.43±1.13	3.43±1.27	4.14±1.86
Texture	1	5.25±0.89	6.00±1.07	5.75±0.71	5.50±1.20	6.00±0.76	5.50±1.41
	3	5.50±0.93	5.50±0.76	5.50±0.76	5.75±0.71	4.38±1.06	5.25±1.39
	5	4.88±0.83	5.63±0.52	4.75±0.89	5.00±0.93	3.13±0.83	4.88±0.83
	7	4.14±0.90	4.57±0.98	3.86±1.21	4.29±1.25	3.14±1.21	4.00±1.41
Withering	1	5.75±0.89	5.75±0.71	5.38±0.74	5.50±1.07	5.50±1.20	5.50±0.76
	3	5.38±0.52	4.50±1.07	5.38±0.92	4.75±0.89	3.88±1.13	4.38±0.92
	5	5.00±0.93	5.38±0.52	4.63±0.92	5.50±0.53	3.00±0.93	5.25±0.71
	7	4.86±1.07	4.71±0.49	4.29±0.95	4.71±1.38	3.71±1.11	3.57±1.13
Overall acceptability	1	5.75±0.46	6.13±0.35	6.25±0.46	5.38±0.74	5.25±1.16	5.13±0.83
	3	5.38±0.92	5.50±0.93	4.88±0.99	5.50±1.41	3.75±1.49	5.25±0.89
	5	5.25±0.46	5.50±0.53	4.25±0.89	5.38±0.52	3.00±0.76	4.63±0.52
	7	4.57±1.27	5.14±0.38	4.43±0.79	4.71±0.95	3.29±1.38	3.86±1.57
Marketability	1	5.50±0.76	6.00±0.53	5.63±0.92	5.63±0.74	5.38±1.30	5.38±0.74
	3	5.63±0.74	5.63±0.74	4.88±0.83	5.38±1.19	3.50±1.20	5.50±0.76
	5	5.25±1.04	5.50±0.53	3.88±0.83	5.25±0.71	2.38±0.92	5.13±0.64
	7	4.71±1.11	5.29±0.49	4.43±1.27	4.86±0.90	3.29±1.38	3.57±1.40

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.21. Continued

parameter \ 2 kGy	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.63±0.52	6.88±0.35	5.50±0.93	5.75±0.71	5.38±1.06	5.75±1.04
	3	5.50±0.93	5.38±0.52	5.50±0.76	5.25±1.04	4.88±1.13	5.13±1.13
	5	4.63±0.52	5.75±0.89	5.00±0.93	5.25±0.71	3.88±0.83	4.88±1.25
	7	4.71±0.95	5.00±1.29	5.71±1.38	4.86±1.35	3.29±1.11	4.29±1.60
Yellowness of root	1	5.63±1.41	6.13±0.83	5.75±1.28	5.88±0.64	4.88±0.99	5.13±1.13
	3	5.00±1.07	5.50±0.53	4.75±1.04	5.00±1.31	4.75±1.39	5.25±1.16
	5	4.38±0.52	4.88±0.64	4.00±1.07	4.88±0.64	2.88±1.25	4.88±0.64
	7	4.29±0.76	4.71±0.95	4.71±0.95	4.57±1.27	3.00±1.29	3.86±1.46
Sprout smell	1	5.63±1.06	5.63±1.19	5.63±0.52	5.00±0.93	5.50±0.93	5.13±0.64
	3	4.38±1.41	5.50±1.31	5.25±0.46	4.63±1.51	4.25±1.28	4.75±1.49
	5	4.88±0.64	4.75±1.28	4.63±0.92	4.75±1.28	3.25±0.89	4.88±0.99
	7	4.29±0.76	4.71±0.95	4.43±0.53	4.57±1.27	4.00±1.00	3.57±1.13
Off-odor	1	5.50±0.93	5.50±0.76	5.50±0.93	6.00±0.76	4.25±1.75	5.13±1.13
	3	4.63±1.60	4.88±0.99	5.00±1.07	4.50±1.41	5.25±1.04	5.75±0.89
	5	4.50±1.07	4.88±0.99	4.00±1.20	5.38±0.74	3.25±0.89	4.25±1.28
	7	4.00±1.15	4.86±0.69	4.29±1.25	4.43±1.62	4.43±1.13	3.71±1.60
Texture	1	5.75±0.46	6.13±0.64	5.38±0.92	6.00±0.76	5.38±0.92	5.75±1.04
	3	5.75±1.04	5.13±1.13	5.25±0.71	5.25±1.28	4.63±0.92	4.75±1.49
	5	5.25±0.71	5.13±0.83	4.50±0.93	4.63±1.30	3.63±0.92	4.25±0.89
	7	3.86±0.90	4.43±1.13	4.14±1.57	4.57±1.40	3.71±1.38	3.14±1.07
Withering	1	5.75±1.04	5.88±0.99	5.50±1.20	5.75±0.46	4.88±1.25	5.13±1.46
	3	5.13±1.13	5.00±1.31	4.75±1.04	4.50±1.51	4.88±0.83	4.38±1.77
	5	4.25±1.16	5.25±0.89	5.00±0.76	4.63±0.52	3.38±0.92	4.00±1.20
	7	4.43±0.98	4.71±0.76	4.71±0.95	4.29±1.38	3.00±1.00	3.57±1.13
Overall acceptability	1	5.38±0.74	6.13±0.83	5.25±0.89	5.38±0.92	4.75±1.28	5.25±0.71
	3	4.63±0.92	5.50±0.76	4.63±1.41	5.00±1.31	4.63±1.41	4.63±1.51
	5	4.63±0.92	4.75±1.04	4.13±1.25	4.88±0.83	3.50±0.93	4.75±0.71
	7	4.14±0.69	4.29±0.95	4.43±0.79	4.71±0.95	3.86±1.46	3.57±1.51
Marketability	1	5.25±0.89	6.13±0.99	5.25±1.16	5.13±0.83	5.38±0.74	5.38±0.74
	3	4.63±1.06	5.00±0.76	4.63±1.30	5.25±1.16	4.38±1.60	5.00±1.07
	5	4.38±1.06	5.00±0.76	3.88±1.36	5.13±0.83	2.63±1.19	4.38±1.30
	7	4.17±0.75	4.43±1.13	4.29±0.95	4.71±0.95	4.14±1.35	3.86±1.21

¹⁾ Mean±S.D..

Table 3.21. Continued

parameter \ 3 kGy	Storage period (days)	4°C		10°C		20°C	
		PET	OPP	PET	OPP	PET	OPP
Appearance	1	6.13±1.36	5.88±0.83	5.38±1.19	5.50±0.76	6.00±0.93	5.50±1.07
	3	5.88±0.83	5.63±0.52	4.50±1.07	5.75±0.46	5.00±1.20	4.75±0.89
	5	4.63±0.52	4.50±0.53	4.13±0.83	5.38±0.92	2.50±1.20	4.38±0.74
	7	4.57±0.79	4.86±1.07	5.14±1.07	4.71±1.11	2.71±1.11	3.57±1.72
Yellowness of root	1	5.88±0.99	5.50±0.93	4.88±0.99	5.13±0.83	5.38±1.19	5.13±0.83
	3	5.25±0.89	5.75±0.46	4.13±1.25	5.38±1.51	4.88±1.13	4.63±1.69
	5	3.88±0.64	4.00±0.76	3.63±1.06	4.13±0.64	2.13±0.83	4.25±1.28
	7	4.57±0.79	4.43±0.98	4.57±1.13	4.43±0.98	2.57±1.51	3.57±1.81
Sprout smell	1	5.38±0.74	5.88±0.99	5.63±1.06	5.25±0.89	5.38±0.92	5.25±0.71
	3	4.25±1.39	5.38±0.92	4.88±1.36	4.88±1.46	4.75±1.04	4.88±1.36
	5	4.50±0.76	5.38±0.74	4.38±1.19	4.50±1.20	3.75±1.04	4.63±0.92
	7	4.14±1.46	4.43±1.13	4.43±0.53	4.00±0.82	3.43±0.98	4.00±1.53
Off-odor	1	5.63±0.74	6.13±0.64	5.13±1.13	5.13±1.46	5.25±0.89	5.38±0.92
	3	3.88±1.55	3.88±1.25	4.88±1.25	4.88±1.64	4.88±0.99	4.63±1.77
	5	3.88±1.25	5.00±0.93	4.38±1.51	4.00±1.20	3.38±0.92	4.38±1.06
	7	3.86±1.07	4.14±0.90	4.14±0.69	4.57±0.79	3.43±0.79	3.29±1.60
Texture	1	5.63±0.74	6.25±0.71	5.13±0.99	5.75±0.89	5.38±0.92	5.75±0.71
	3	5.75±0.71	5.88±0.99	4.88±1.13	5.38±0.74	4.63±0.92	4.63±1.51
	5	4.38±0.92	5.00±0.76	4.13±0.35	4.38±0.52	2.88±1.36	4.25±0.89
	7	3.86±1.07	4.00±0.82	4.29±1.11	4.43±0.79	3.14±1.21	3.14±1.35
Withering	1	5.75±0.89	6.00±1.07	5.00±1.07	5.50±1.07	4.88±0.83	5.25±1.16
	3	5.00±1.07	4.88±1.25	4.50±1.51	4.75±1.16	4.50±0.93	4.38±1.60
	5	4.00±1.07	4.50±1.20	4.00±0.93	4.38±1.06	2.38±1.19	3.88±0.83
	7	4.86±0.90	4.57±0.53	4.57±0.98	4.29±0.95	2.43±1.40	3.43±1.51
Overall acceptability	1	5.63±1.19	5.50±0.93	4.75±1.16	5.25±0.89	4.88±1.55	5.38±0.92
	3	4.88±0.64	5.38±0.74	4.13±1.73	5.25±0.89	4.25±1.28	4.13±1.25
	5	4.38±0.92	4.38±0.52	3.75±1.28	4.75±0.89	2.75±1.16	3.63±1.19
	7	4.57±1.13	4.00±0.82	3.00±1.00	4.29±0.76	3.00±1.00	3.57±1.27
Marketability	1	5.00±1.41	5.63±1.30	4.75±0.89	5.13±1.13	5.13±0.83	5.25±0.89
	3	5.63±0.92	5.00±0.76	4.13±1.46	5.25±0.71	4.25±1.28	4.13±1.46
	5	4.25±1.04	4.38±0.74	3.38±1.19	4.38±0.92	1.75±0.71	4.38±1.06
	7	4.00±0.82	4.00±1.00	4.29±0.95	4.14±1.07	2.57±0.79	3.57±0.98

¹⁾ Mean±S.D..

제 4 절 결 론

발아채소의 적합 포장재를 선정하기 위하여 시판되는 발아채소 중 소비가 많은 무순과 브로콜리를 선정하여 포장재에 따른 발아채소의 저장기간 중 품질특성을 조사하였으며 이를 바탕으로 선정된 포장재와 PET 포장재를 비교하여 유통기한 설정 실험을 실시하였다.

포장재 선정을 위한 실험에서 중량감소율은 PO 포장재가 가장 높았으며, LM 및 LH 포장재의 경우 중량감소가 거의 없었다. 포장 내 가스 조성의 경우 PO 포장재에서는 비교적 높은 O₂ 농도와 낮은 CO₂ 농도를 나타내었으며 LH, LM, LO, PC 포장재 순으로 O₂ 함량은 낮아지고 CO₂ 함량은 높아져 포장재에 따른 기체 조성의 차이를 보였다. 저장기간에 따라 가용성고형분의 함량은 증가하는 경향을 보였는데, PO 포장재의 경우 가장 많이 증가하였고, 산소투과도가 낮은 PC 및 LO 포장재에서 변화가 작게 나타났다. pH의 경우 발아채소의 저장기간이 길어질수록 유의적으로 증가하였으며 대체로 산소투과도가 높을수록 pH의 값이 더 낮았다. 전반적으로 PO 및 LH 포장재의 L value가 낮게 나타났고, PC 및 LO 포장재는 L value가 높게 측정되어 다른 포장재와의 유의적 차이가 있었으며 저장 7일째 LO 포장재에서 b value와 ΔE value가 높게 나타나 다른 포장재에 비해 색변화가 큰 것으로 확인되었다. 총 페놀 함량은 포장재에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 PC와 LO 포장재의 총 페놀 함량이 다른 포장재에 비해 더 높은 것으로 측정되었다. 전자공여능 측정 결과 무순의 경우는 PC 및 LO 포장재가 다른 포장재에 비해 높은 수준을 보였으며, 브로콜리의 경우는 PO 및 LH 포장재가 높게 측정되었다. 무순 및 브로콜리의 총균수는 저장기간에 따라 증가하였으며, PC 및 LO 포장재가 다른 포장재에 비해 상대적으로 많았다. 관능검사 결과, PC 및 LO 포장재의 경우 대체로 뿌리변색이 적었으나 새싹냄새가 약하고 이취가 강하게 나타났으며, 산소투과도가 높은 PO 및 LH 포장재의 뿌리변색이 강했고, 특히 PO 포장재는 새싹냄새가 강한 것으로 나타났으나 LM 포장재와의 유의적인 차이는 없었으며 LM 포장재의 종합적 기호도가 가장 높게 유지되었다. 종합적으로 판단한 결과, 산소투과도가 높고 발아채소의 색 변화를 최소화하며 관능검사에서 양호한 평가를 받은 LM 포장재를 선택하여 유통기한 설정 실험을 실시하였다. 그리고 앞서 1세부 과제에서 발아채소에 유효한 선량으로 선정된 1 kGy, 2 kGy 및 3 kGy의 전사선 조사를 병행하여 유통기한 설정 실험을 행하였다.

저장 온도에 따른 중량감소율을 측정한 결과 온도가 높을수록 중량감소율이 더 높았으나 전자빔 조사량에 따른 차이는 뚜렷하지 않아 전자빔 조사량은 중량감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. PET 포장재를 이용한 발아채소의 경우 저장 7일 후 중량

감소율이 28.07%로 심하게 나타났으나 방담OPP film 포장재에 포장한 발아채소는 최대 1.08% 감소하여 수분손실이 적은 것을 확인하였다. 미생물학적 품질 변화로 총균 및 대장균군의 농도 변화를 보면 저장온도 및 저장기간에 따라 그 수가 증가하였으며 대조구에 비해 조사선량이 높아질수록 총균 및 대장균군의 농도가 낮아졌다. PET 포장재에 비해 방담OPP 포장재의 총균 농도가 다소 낮거나 유사한 값으로 측정되었다. 기능성분으로 총 vitamin C, 총 phenol, chlorophyll 및 carotenoid의 함량을 측정한 결과 저장기간이 길어질수록 모두 감소하는 경향을 보였고, 총 vitamin C의 경우 저장온도와 조사선량이 증가할수록 그 함량은 감소하는 것으로 나타났다. Chlorophyll 및 carotenoid의 경우 저장온도가 높을수록 그 함량이 대체로 높게 나타났으며 전자빔 조사량에 따른 차이는 보이지 않았다. 또한 모든 기능성분의 경우 포장재에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않아 기능성분의 차이에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다. 무순 및 클로버의 경우 공통적으로 저장기간이 길어질수록 그리고 저장온도가 높아질수록 모든 항목에서 점수가 낮아졌으며 조사선량이 높으면 대부분의 항목에서 낮은 점수로 나타나 품질이 다소 낮아짐을 확인하였다. PET 포장재가 방담OPP 포장재에 비해 발아채소냄새는 다소 강하게 나타났으나 그 외의 항목인 외관, 뿌리변색, 조직감, 시늬, 종합적 기호도 및 상품성에서 상대적으로 낮은 점수가 확인되었다. 따라서 종합적으로 판단해 볼 때 PET 포장재의 경우 4℃ 저장 시 약 3일, 10℃ 저장 시 약 3일, 20℃ 저장 시 약 1일 동안 품질 유지가 되는 것으로 나타났으며 방담 OPP 포장재의 경우 4℃ 저장 시 약 5일, 10℃ 저장 시 약 5일, 20℃ 저장 시 약 3일 동안 발아채소의 품질이 유지되어 방담 OPP 포장재가 품질 유지에 더욱 효과적이었으나 전자빔 2 kGy 이상일 경우 품질 유지 기간이 약 1일 정도 더 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 발아채소를 방담OPP 포장재로 포장한 후 제품의 기능적, 관능적 품질에 영향이 미미한 수준인 1 kGy 정도의 전자빔을 조사한 후 제품화하여 저온유통을 실시한다면 품질 유지 기간을 기존 대비 약 2~3일정도 연장시킬 수 있어 유통 중 품질이 개선될 수 있을 것으로 기대된다.

협동 과제 : 발아채소의 전자빔 살균공정 개발

제 1 절 서 론

최근 30개 학교 2,000여명이 집단 식중독을 일으키는 사상 최악의 급식 사고로 단체급식의 위생 문제가 도마에 오른 가운데 ‘방사선 식품 조사(Food Irradiation)’가 단체급식의 안전사고를 근절할 수 있는 해결책으로 다시 주목받고 있다. 특히, 집단 식중독 사고의 원인으로 지목되고 있는 노로바이러스(Norovirus)는 방사선 식품조사를 통해 안전하게 제거할 수 있는 것으로 드러나, 방사선 식품 조사 기술을 이용하면 노로바이러스는 물론 O-157, 살모넬라, 콜레라 등 다른 식중독 균도 쉽게 제거할 수 있다.

방사선 식품 조사 기술은 현재 52개국에서 250여 식품 품목에 식중독균 제거, 곰팡이 해충 등 병충해 방제 목적으로 사용되고 있다. 미국의 경우 식중독 예방을 위해 식육류 뿐 아니라 굴 등 어패류 포함, 55개 식품에 방사선 조사를 허가하고 있다. 특히 미국 농무부(USDA)는 식중독 사고를 원천봉쇄하기 위해 2003년 5월 국립학교 점심 급식 프로그램에 방사선 조사된 쇠고기(햄버거 포함)의 공급을 승인, 2004년 1월부터 고등학교 학생들에게 방사선이 조사된 햄버거를 급식으로 공급하고 있다.

방사선 조사 식품은 세계보건기구(WHO)와 국제식량농업기구(FAO) 국제식품안전센터(NCFS) 국제원자력기구(IAEA) 등 공신력 있는 국제기구와 미국 농무부(USDA), 식품의약품(FDA) 등이 50년 이상 광범위하고 철저한 연구 결과를 토대로 안전성을 입증한 바 있다. 방사선이 조사된 식품에서는 어떠한 방사능도 검출되지 않을 뿐 아니라 유전독성학적으로도 전혀 문제가 없는 것으로 판명됐다. 1980년 WHO와 FAO IAEA가 구성한 식품방사선조사 공동전문위원회(JECFI)는 ‘법적 규제치 이하의 방사선 처리 식품은 독성학적 장해를 전혀 일으키지 않으며 더 이상의 독성 실험은 필요 없다’고 밝혔고, 1990년 WHO/FAO/IAEA 공동 주최 전문가회의에서는 ‘방사선 조사를 기존 허용기준보다 10배 이상 높여도 아무런 건강상 위험이 없다’고 결론 내린 바 있다. 그러나 우리나라는 아직 식육 및 가공품에 대한 방사선 조사를 법적으로 허용하지 않고 있다. 현재 국내에서 방사선 조사가 허용되고 있는 식품은 감자, 양파, 된장, 고추장, 건조 채소류 등 26가지로 향후 식품의 종류는 점점 추가될 것으로 판단되어진다.

방사선 식품 조사는 식품 또는 식품 재료를 본래 상태에 가깝게 보존하거나 품질과 위생을 개선할 목적으로 방사선에 일정 시간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절, 물성 개선 등

의 효과를 거두는 기술로 Co-60(코발트)나 Cs-137(세슘)의 방사선 동위원소에서 나오는 감마선과 전자가속기에서 발생하는 전자빔으로 식품의 멸균 및 살균에 이용한다. 그러나, 감마선의 경우 전자빔보다 처리시간이 길고 방사성동위원소를 이용하므로 유지 및 관리가 어려운 문제점을 가지고 있어 전기에너지만을 이용하는 전자가속기에 의한 식품조사 및 의료기기 멸균이 날로 증가하고 있다.

본 연구는 방사선 식품 조사의 장점인 농산물의 발아 및 발근 억제, 식품의 부패균 및 병원균 사멸 등과 같은 식품의 저장성과 안정성을 증진시키는 효과를 전자가속기의 조사 처리에 대한 선량분포도를 평가하고, 전자빔 이용에 따른 경제성 분석 및 조사서비스 관련 품질관리 방안을 모색하고자 한다.

제 2 절 재료, 방법 및 원리

1. 발아채소 시료 및 포장재 종류

전자빔 조사실험을 위한 발아채소 및 종자 시료는 Fig.4.1과 같이 4종(다채, 클로버, 적매밀, 브로콜리)이었으며 채소별로 별도 포장되어 있었고 Fig.4.2와 같이 크게 4종류의 포장재로 나눌 수 있다.

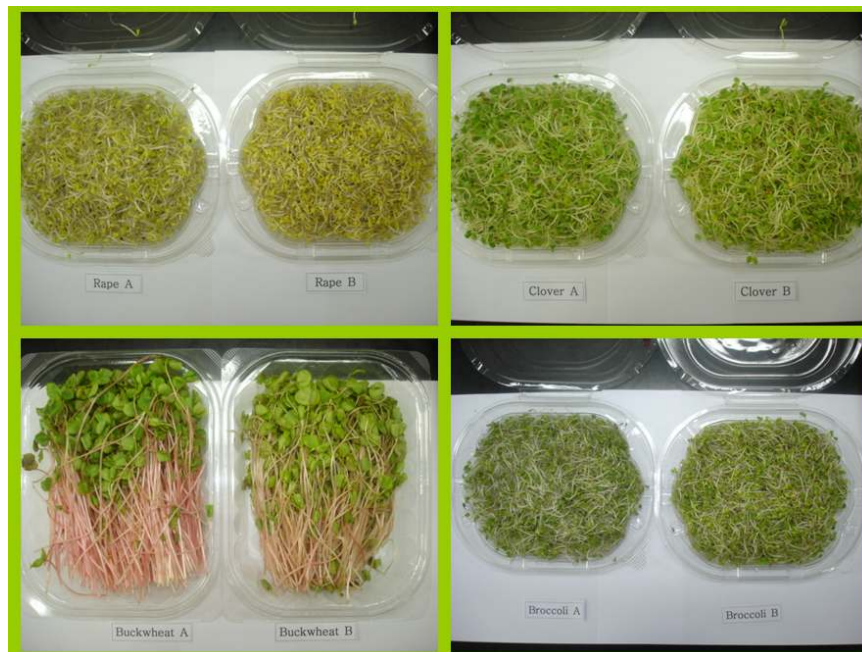


Fig. 4.1. 실험에 사용된 발아채소.



Fig. 4.2. 실험에 사용된 발아채소 포장재류.

2. 식품 방사선 조사의 특징

방사선 식품 조사 기술은 근채류 농산물(감자 마늘 양파 등)과 밤 등의 발아 및 발근 억제, 과일 등의 숙도 지연, 식품의 부패균 및 병원균 사멸 등과 같이 식품의 저장성과 안정성을 증진시키는 다양한 효과를 얻을 수 있다. 방사선 식품 조사는 비열처리, 냉온살균 가공법으로 처리되는 식품의 내부온도 상승이 거의 없어 식품의 물성, 영양 및 품질의 변화를 최소화할 수 있는 장점을 지니고 있다.

현재 식품공전에 규정된 최대치인 10 kGy의 방사선을 조사해도 온도 상승은 약 2.4℃ (물 기준)에 불과해 단백질, 탄수화물, 지방, 무기질 등 영양소의 질적 손실이 없다. 비타민의 경우는 단독으로 조사하면 상당히 손실되지만, 식품에 함유된 경우에는 손실량이 감소되며 감소량은 다른 식품 가공방법과 비슷한 수준이다. 방사선 식품 조사는 또 인체에 유해한 각종 보존제나 훈증 처리 시 필요한 화학약품의 피해를 미연에 방지할 수 있다. 근채류 농산물(감자 마늘 양파 등)과 밤 등의 발아 및 발근 억제, 과일 등의 숙도 지연, 식품의 부패균/병원균 사멸 등과 같이 식품의 저장성과 안정성을 증진시키는 다양한 효과를 얻을 수 있다.

Table 4.1. Domestic irradiation permission foodstuffs item

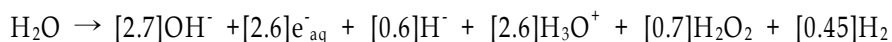
허가선량 (kGy)	품 목	조사목적
0.15 이하	감자, 마늘, 양파	발아억제
0.25 이하	밤	발아억제
1 이하	생버섯, 건조버섯	속도지연
5 이하	난분, 가공식품 제조원료용 곡류, 두류 및 그 분말, 조미식품 제조원료용 전분	살균, 살충(위생화)
7 이하	가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류 분말, 된장분말, 고추장 분말, 간장 분말, 가공식품 제조원료용 건조채소류, 효모·효소식품, 조류식품, 알로에분말, 인삼(홍삼포함) 제품류	살균, 살충(위생화)
10 이하	건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차살균이 필요한 환자식	살균, 살충(위생화)

※ 식품의약품안전청 고시 제2004-41호 (2004년 5월 24일 개정)

3. 전자빔 조사의 특징

가. 방사화학

방사화학에서 중요한 개념 중 하나는 흡수선량(absorbed dose) 즉, 전리방사선 영역에 노출되는 물질에 침착되는 에너지양이다. 흡수선량은 흡수된 에너지를 조사된 물질의 질량으로 나누는 것으로 SI unit 인 Gy(=J/kg)로 나타낸다. 물, 식품류 및 과일류의 주요 구성은 물이다. 그러므로 전리방사선의 효과는 물과 방사선과의 상호작용에 의해 좌우된다. 순수한 물의 경우 전리방사선에 노출되면 물의 방사화학의 다음의 식에 의해 진행된다.



순수한 물을 고려할 경우 물에 의해 흡수된 100 eV 당 2.7OH[·], 2.6e[·]_{aq}, 0.6H[·], 2.6H₃O⁺, 0.7H₂O₂와 0.45H₂가 생성된다. 액상의 경우, 산화제 OH(hydroxyl radical), 환원제 수화

전자(e^-_{aq}), H(hydrogen radical)가 주요 생성물이다. 이들 물질은 반응성 높은 활성 종으로 제조공정에 방사선이 조사되면 병원균이 사멸하고, 표적 오염물질의 분자구조를 파괴하여 오염물질의 산화와 취기가 제거된다.

나. 전자빔의 살균원리

전리방사선은 직접적 및 간접적인 2가지 방법으로 물질과 상호 반응한다. 직접적인 상호작용에서, 전리방사선은 세포사멸의 원인인 미생물 내에 존재하는 DNA와 단백질 같은 결정적인 분자들과 상호작용한다. 간접적인 상호작용은 조사되는 동안 물의 방사분해 산물이 높은 반응성 중간생성물을 형성한 후 미생물 내에서 표적 생분자들과 반응한다. 전자가속기에서 발생하는 높은 에너지의 전리방사선은 매우 높은 신뢰도를 나타내며, 청결하고, 효과적인 방법으로 병원균을 비활성화 시키는 능력을 가지고 있다.

전자빔 멸균기술은 전자빔을 이용하여 물의 방사분해를 유도하고, 이를 통해 생성된 각종 라디칼 반응으로 식품 내에 존재하는 박테리아, 바이러스, 기생충 등의 병원균을 효과적으로 사멸시킬 수 있는 효과적인 멸균 방법으로 응용된다. 전자빔은 전리방사선의 일종으로 물질을 투과하는 작용과 함께 전리 및 여기작용을 하므로 병원균의 DNA에 직접 손상을 가하는 직접작용과, DNA 주변의 수분을 라디칼화 시켜 라디칼에 의해 간접적으로 DNA에 손상을 주는 간접작용으로 분류될 수 있다.

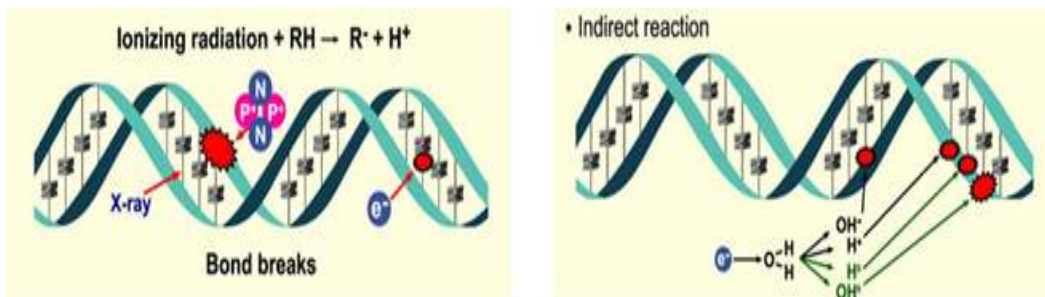
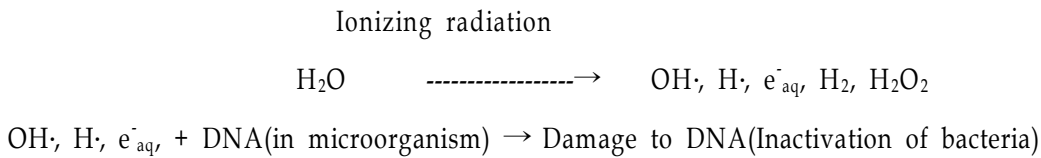


Fig. 4.3. Sterilization mechanism of radiation.

전자빔 멸균의 특징은 혼합이 필요 없이 직접적으로 물질을 투과함으로써 멸균처리가 일어나고 멸균처리에 소요되는 시간은 매우 짧으며 실질적인 전자빔 조사시간은 수 초간으로 이루어질 수 있다. 전자빔 조사선량에 따라 미량의 독성 유기물질의 추가적인 산화 분해를 기대할 수 있으며, 멸균처리 후에 발생하는 잔류물에 대한 2차 오염의 우려가 전혀 없다.

전자빔은 감마선이나 X선과 같이 이온화 방사선에 속한다. 산업용으로 사용되는 전자빔의 에너지는 10 MeV 이하이며 이 에너지로서는 방사화의 염려는 없다. 전자빔은 산업용으로 이용되는 감마선 (X선)에 비해 투과력이 작다. 특히 저에너지 전자빔의 에너지는 1.0 MeV 이하이기 때문에 투과력은 수 mm-0.5 cm에 불과하다. 한편 1 MeV-10 MeV의 중·고에너지 전자빔은 1-20 cm의 투과력이 있으며, 식품의 살균, 의료 용구의 멸균, 포장재의 살균, 사료의 살균, 하수오니의 살균, 물의 살균에 이용이 가능하다. 전자빔 조사는 살균처리 이외에도 수입 곡물의 살충처리에 사용이 가능하다.

다. 전자빔의 살균효과

전자빔은 감마선에 비해 선량률이 높기 때문에 Fig. 4.4에 나타나 있는 바와 같이 감마선에 비해 살균선량은 약간 높게 된다.

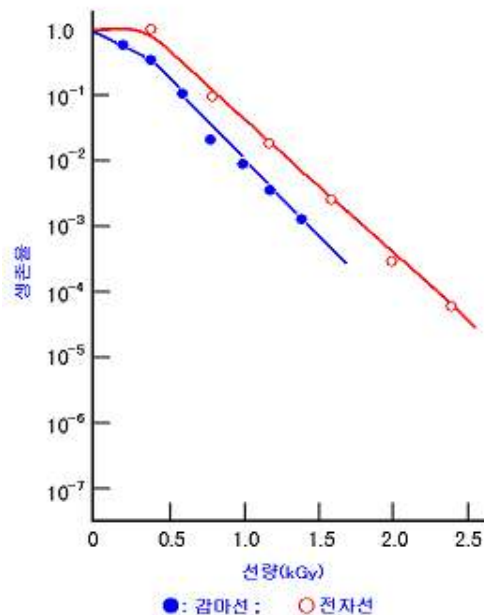


Fig. 4.4. Under peptone coexisting gamma-ray of the *Aspergillus flavus* stocks spore which is dried and comparison of sensitivity with the electronic beam.

Fig. 4.4에 이용한 미생물은 아스퍼질러스(*aspergillus*) 속의 곰팡이로서 식품을 부패시키는 균으로, 이 균에 대한 살균선량은 건조된 상태에서 조사할 경우 약 3 kGy가 필요하지만, 수분이 있는 상태에서는 1.5-2.0 kGy이다.

전자빔의 에너지는 살균 효과에 영향을 미치지 않는다. 일례로 제시하는 *Bacillus · C .pumilus* 아포(芽胞)에서는 Fig. 4.5의 방사선 조사효과에서 볼 수 있는 바와 같이 0.5 MeV이든 3 MeV이든 같은 감수성을 나타낸다. 또 제품 내부에서의 살균효과는 Fig. 4.6에서 볼 수 있는 것과 같이 흡수선량과 상관성이 있으며, 내부 산란에 의하여 저에너지로 된 2차 전자빔의 영향은 인지되지 않는다.

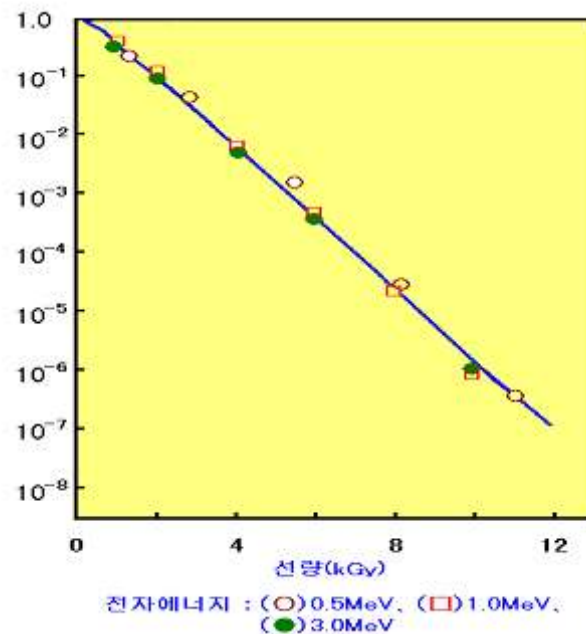
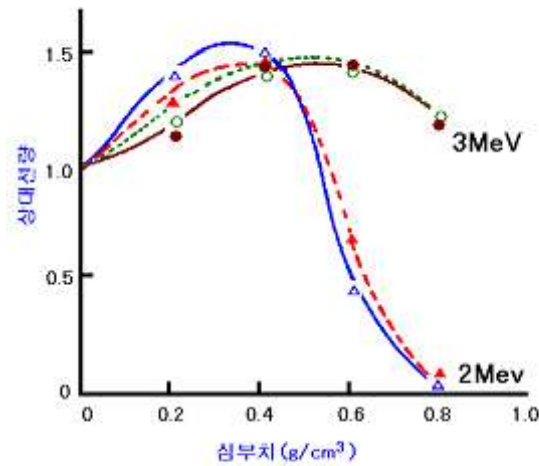


Fig. 4.5. Comparison of sensitivity with electronic beam energy.



실선 (합쳐서 ●과△): 바실루스·푸미루스의 10%생존선량(D10)의 역수로부터 추정된 상대 심부선량 분포,
점선 (합쳐서 ○과▲): 라디오크로믹선량계(몰리선량계)로 얻은 상대심부선량분포

Fig. 4.6. Sterilization effect and depth dose distribution with electron beam.

전자빔의 살균효과는 감마선과 마찬가지로 free radical이 DNA 사슬을 손상시켜, 그 세포분열능력을 저해하는 것에 기인하며, 기본적으로는 자외선 살균의 원리와 같다. 그러나 자외선은 투과력이 극히 약하기 때문에 물질의 표면밖에 살균할 수 없는데 비해, 전자빔은 에너지의 크기를 바꿈으로써 그 투과력을 선정할 수가 있으며, 표층부의 살균에서 포장제품의 살균에 이르기까지 광범위하게 응용할 수가 있다. 전자빔의 경우 감마선에 비해 선량률이 높기 때문에 필요 살균선량이 약간 많게 된다. 그 원인은 짧은 시간에 필요로 하는 살균선량의 조사를 끝낼 수 있으며 이 때문에 세포외의 산소가 충분히 세포내로 확산하지 않고, 과산화 radical의 생성량이 적다는 것으로 설명할 수 있다. 같은 이유로 전자빔 조사에서는 장시간 조사를 필요로 하는 감마선 조사에 비해 성분의 산화 열화가 저감하는 경향을 알 수 있다.

방사선 살균이 가열이나 약제처리 등 다른 처리법보다 우수한 점은 그 투과력이 강하고, 품질열화가 적으며, 더욱이 독성물질의 잔류가 없다는 것에 있다. 이와 같은 특징을 살린 산업에의 응용방법으로서 다음과 같은 것이 있다.

에너지가 1.0 MeV 이하의 저에너지 전자빔은 제품 표층부의 살균에 적합하다. 보통 표면살균에 사용하는 자외선보다 투과력이 알맞게 크기 때문에 온주 감귤 껍질의 곰팡이를 전자빔 조사 살균함으로써 조사하지 않는 경우에 비해 저장기간을 2배 이상 연장할 수가 있다.

중에너지 전자빔은 1-5 MeV이며 무포장의 알맹이 또는 가루상태의 것, 몇 개층으로 된

제품의 대량처리에 적합하다. 예를 들면 소맥분의 균수를 저감할 목적으로 하는 살균처리 (필요선량은 1-2 kGy, 가축사료 원료인 어분의 살모넬라균 살균 (5 kGy), 하수오니의 살균 (3-5 kGy), 하수처리 방류수의 살충·살균 (1 kGy))도 유망하다고 생각하고 있다. 또 살균처리는 아니지만, 같은 이용의 예로서 수입곡류의 살충처리가 있다. 종래의 살충처리법에서는 ethylene oxide을 사용하고 있으나 2010년에는 ethylene oxide에 의한 살충처리가 전면적으로 사용 금지될 가능성이 있으며, 그 대체 처리법으로 중에너지 전자빔이 유망하다.

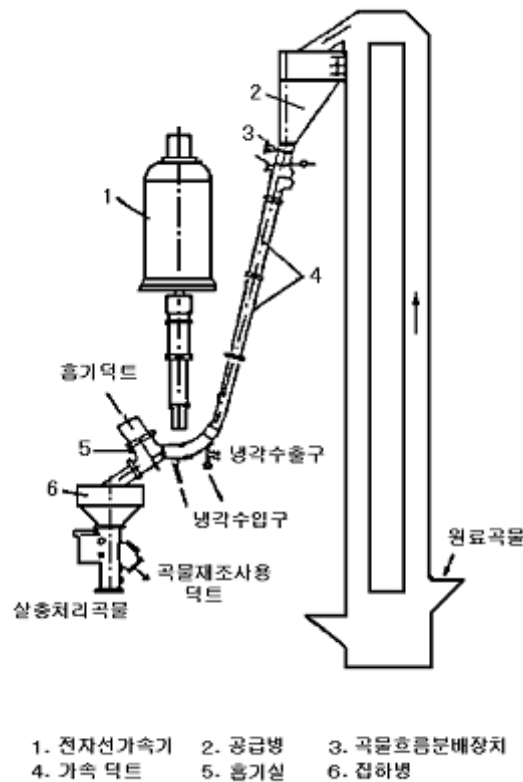


Fig. 4.7. Cereals flesh insect facility with electron beam(Russia).

고에너지 전자빔은 5-10 MeV이며, 냉동식품의 식중독균 살균 (3 kGy), 생선고기의 식중독균 살균 (2 kGy), 향신료와 생약의 살균 (7-10 kGy), 의료용구의 멸균(완전살균, 25 kGy), 포장재의 살균 (15 kGy) 등의 광범위한 응용이 가능하다. 예를 들면 향신료의 경우 전자빔에 의한 살균선량은 Fig. 4.8에서 볼 수 있는 것과 같이 감마선에 비해 약간 많다. 향신료의 주요 오염균은 내수성의 유아포 세균이지만 7-10 kGy로 살균할 수 있으며, 조사에 따르는 변화로서는 Table 4.2에서 볼 수 있는 것과 50 kGy를 조사해도 향기 성분인 정유의 성분은 변화하지 않으며, 또 산화를 방지하는 성분도 변화하지 않는다.

Table 4.2. Creation change of oil refining ingredient after irradiation (D=50kGy)

가스크로마토피크No.	정유성분	비조사	감마선 50kGy	전자선 50kGy
1	α -Pinene	64,458	81,028	73,533
2	Camphene	1,251	1,650	1,568
3	Subinene	85,996	162,552	143,994
4	β -Pinene	10,643	19,304	15,586
5	Myrcene	229,686	423,779	358,991
6	δ -3-Carene	37,611	53,410	41,783
7	α -Phellandrene	27,077	40,151	31,243
8	Limonene	161,552	297,572	269,846
9	δ -Terpinene	7,116	8,910	8,302
10	p-Cymne	21,603	35,994	31,818
11	Terpinolene	5,660	8,012	8,016
12	δ -Elemene	12,025	13,011	12,961
13	α -Copaene	20,674	22,302	21,275
14	Linalool	11,019	12,144	13,334
15	β -Caryophyllene	451,239	552,773	590,538
16	α -Humulene	27,859	36,899	32,620
합계		1,175,469	1,769,491	1,655,408

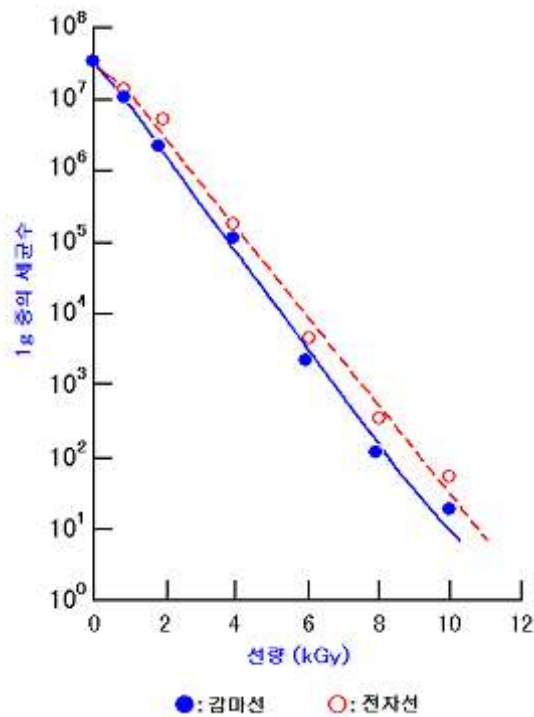


Fig. 4.8. Sterilization effect gamma-ray and electron beam(Tumeric).

4. 전자가속기

가. 전자가속기의 구성

전자가속기는 인위적인 전장 하에서 하전을 띠고 있는 입자가 전장에 이끌려 정지 상태로 부터 가속될 수 있는 현상을 이용하는 장치이며, 정전압 가속장치의 경우 하전입자가 가속되어 얻는 최대의 에너지는 전장에 인가된 전압에 하전입자의 전하값(전자 한 개가 1V의 전압에 의하여 가속될 경우 그때의 에너지는 1 eV이다.)을 곱한 값으로서 eV의 치수로서 표시된다. 한편 전장에서 가속되는 전자는 대기 중에서 쉽게 산란되어 그 에너지를 잃게 되므로 전자가 가속되는 구간은 필수적으로 진공상태를 유지하여야 한다. 따라서 일반적인 전자빔의 정전압 가속기가 갖추어야 할 필수적인 시스템으로 가속전압을 발생시키는 고전압 장치, 전자를 발생시키는 전자총, 전자를 진공상태에서 가속시키기 위한 가속관으로 구성된다.

일반적으로 전자총은 음의 고전압 전위에 둔다. 이는 전자를 접지 전위에서 이용하기 때문이다. 조사물을 접지 전위에 두고 처리해야 하기 때문이며, 전자총의 전위가 음(-)의 하전을 띠게 되고, 따라서 전자는 밀어내는 힘에 의하여 가속되어 시료에 도달하는 조사 형태가 된다.

MV 이상의 고전압 터미널의 경우 대기 중에서 가동을 하기 위해서는 주위로의 방전을 방지하기 위하여 넓은 공간이 필요하다. 이 공간을 절약하기 위하여 MV 이상의 가속기인 경우 절연기체로 충전 된 압력용기를 고전압 터미널 외부에 설치하는 것이 일반적이다.

나. ELV형 고전압 발생장치

수백 kV급의 직류 고전압은 상용의 단일 변압기와 정류기를 이용하면 용이하게 만들 수 있다. 그러나 MV급 이상이 되면 단일 변압기를 이용하는 방식으로는 절연에 한계가 있어 여러 가지의 방법을 사용하는데 그 중의 공심형 변압기 형식의 채택한 것이 ELV형 가속기의 고전압 발생장치다.

ELV형 가속기의 고전압 발생장치는 전압증배 정류회로를 여러 단 직렬로 연결하여 고전압을 발생시키는 형태로 유도성 결합방식과 병렬 전력 공급방식을 조합한 형태로서, 각 단의 전류용량이 동일하여 변압기의 이차코일이 동일한 구조를 가지나 각 단의 내압은 달라진다.

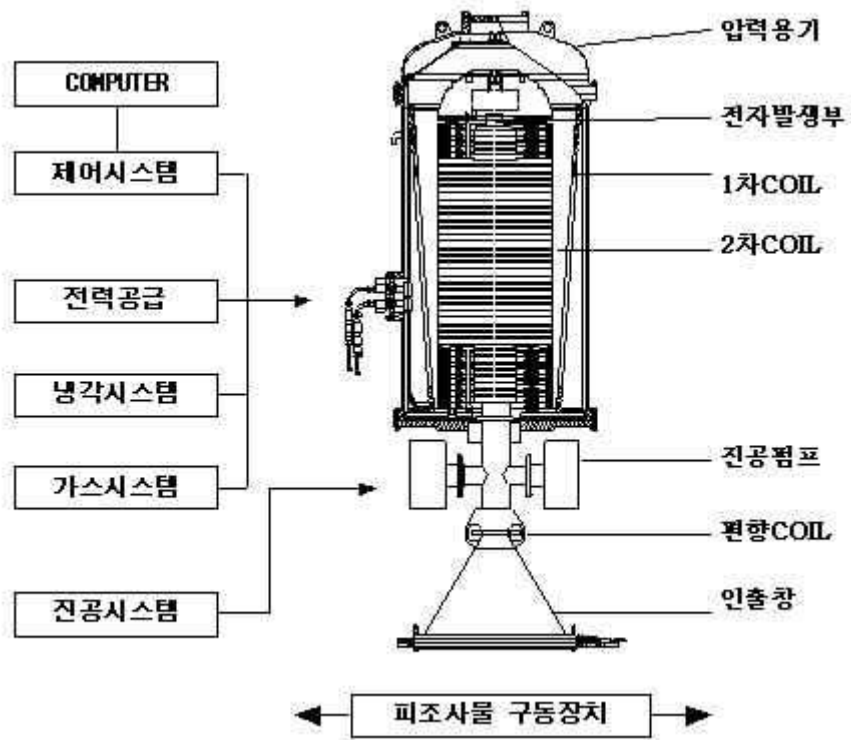


Fig. 4.9. Electron accelerator (ELV type).



Fig. 4.10. Photo of electron accelerator (ELV-8).

연구개발에 사용된 전자가속기는 ELV-8형으로 사양은 Table 4.3과 같다.

Table 4.3. Specifications of electron accelerator(Model: ELV-8)

ITEM	SPECIFICATION
Accelerating energy	1.2 - 2.5MeV
Energy instability	<±2%
Beam current	max. 40mA
Beam power	max. 100kW
Beam current instability	<±2%
Non-uniformity of the current linear density	<±10%
Window length	1600mm

다. 전자총

전자들은 금속 표면의 전위에 의하여 금속에 구속되어 있다. 이 전위는 일함수라고 불리며, 전자가 이 에너지 이상을 얻으면 금속 표면을 벗어날 수 있으며, 전자의 방출은 에너지를 공급하는 방법에 따라 열전자 방출, 광전자 방출 및 이차전자 방출로 나눈다. 이 중에서 전자가속기에서 주로 사용하는 것은 열전자 방출이며 열전자 방출에는 직접 가열 방식과 간접 가열방식이 있는데 ELV형 전자가속기에서는 LaB₆를 음극물질로 사용하는 간접 가열방식을 사용한다. 이 재질은 텅스텐에 비하여 동작온도가 낮아 전자빔의 인출이 용이하고, 전류밀도가 비교적 높아 작은 면적의 음극으로 높은 전류의 인출이 가능하다. 그러나 진공도가 나쁜 경우에는 이온역류에 의한 충격으로 인하여 마모되어 수명이 짧아질 수 있으므로 사용 중의 진공도에 대하여 조심하여야 한다.

라. 가속관

가속관은 고전압 발생부에서 발생하는 전위를 이용하여 전자총으로부터 생성된 전자를 가속시키는 역할을 한다. 가속전위는 보통 수백 kV이상이므로 고전압 절연 및 가속입자의 집속 문제 때문에 직접1단으로 가속시킬 수 없고, 전 전위를 일정한 전위 구배를 갖도록 여러 등분의 등전위면을 갖도록 설계하게 된다. 정전 가속기 기술의 발달과 더불어 가속관도 구조나 재료, 가공 기술면에서 보다 높은 가속전장을 얻을 수 있도록 개발되고 있

는 추세이다. 가장 일반적인 가속관 형태는 평행 원관형 가속관으로서 이는 세라믹을 이용한 절연링과 도체 원관을 교대로 쌓는 형태를 이룬다.

가속관은 전자가 가속되면서 진행되는 공간이므로 좋은 진공도를 유지할 필요가 있다. 전자가 가속관 내부의 기체와 충돌하면 진행방향이 바뀌고 가속관 벽에 입사 되어 전하의 축적 및 가속관 내부의 방전의 원인이 되며 또한 전자와 기체분자와의 충돌로 인하여 발생된 양전하의 이온들이 가속관을 따라 역으로 가속되면서 전자총을 때려 수명을 단축시킬 수도 있다. 이러한 부작용을 방지하기 위하여, 최소한 10^{-6} torr는 유지되어야 한다.

마. 전자빔 수송장치

전자빔 수송장치는 가속된 전자를 이용하여 처리공정에 적합하도록 유도하는 것이다. 전자빔 처리하는 장치는 집속장치, 편향장치 및 인출장치로 구분된다. 이중 집속장치는 가속된 전자가 전자빔의 공간전하 효과로 발산하는 것을 방지하고 처리에 이용될 수 있는 빔 크기로 조절하기 위한 것이다. 이러한 집속장치는 크게 전장형과 자장형의 집속장치로 분류할 수 있으며, 실용적으로 전자의 집속에는 전장을 이용하는 것보다 자장을 이용하는 것이 유리하다. 전자빔의 편향에 사용할 수 있는 편향장치도 크게 나누어 전장형과 자장형으로 나눌 수 있으며, 집속장치와 마찬가지로 편향장치에서도 MeV급 전자빔 가속기에서는 전장형보다는 자장형을 이용하는 것이 간단하고 보다 유용하다. ELV 시스템에서는 두께 50 m인 titanium 박막을 사용하고 있다.

바. 전자빔의 특징

방사선(radiation)은 우리 지구상에서 볼 수 있는 에너지의 한가지 형태이며, 자연환경에서 언제나 접할 수 있다. 방사선은 생물활동에 영향을 미치며, 지구상에 생명체가 생겨난 이래로 생물의 진화에도 영향을 미쳤다. 방사선은 전자기파 또는 빠른 속도로 운동하는 원자의 입자 형태로 에너지를 한 물체에서 다른 물체로 전환시킬 수 있다. 전자기파에 의해 전달되는 에너지는 광양자(photon) 에너지이며 입자파에 의해 전달되는 에너지는 입자의 운동에너지이다.

방사선의 에너지는 방사선의 경로에 따라서 그 근방에 있는 분자에 에너지를 주게 되는데 경로에 가까운 곳에서는 이온화로 생성되는 분자의 양이온과 전자의 이온쌍이 그리고 약간 떨어진 곳에서는 전자의 들뜬 분자와 그 분해에 의해서 생성된 중성의 라디칼이

집단적으로 생성되어 비적(Track, spur)을 형성한다. 이처럼 빠른 물리적 과정을(10^{-13} sec)을 거치는 분자종(molecular species)은 자신 혹은 다른 분자와 에너지를 주고 받아서 활성이 있는 1차 분자생성물이나 확산 라디칼을 형성한다. 라디칼은 외각궤도에 짝짓지 않은 전자를 가지고 있는 것이 특징으로 화학식에 점을 붙여 표시한다. 물리화학적 과정(10^{-10} sec)을 거친 이들의 분자종은 생물의 중요한 생체분자(핵산이나 단백질) 라디칼의 바탕이 된다. 또한 생물분자가 물로 둘러싸여 있는 경우 물에서 생성되는 OH라디칼, H 라디칼과 수화전자(hydrated electron, e_{aq}^-)가 간접적으로 중요한 생체분자와 반응한다. 생체분자 라디칼의 생성에서 분자의 화학변화를 화학적 과정이라고 하며, 반응은 10^{-6} sec 이내에 일어난다.

고에너지 방사선은 초기에는 방사 화학적인 반응에 사용한다. 여기에 포함된 방사선은 자연방사능, 인공방사능(α 선, β 선, γ 선), X-선, 중성자선, 입자선, 전자빔 등이다. 이중 전자빔과 선은 종종 방사선 공정의 응용연구에 적용되기도 한다. 고에너지 방사선은 크게 3가지 분류가 되는데 첫째, 자연방사능과 인공방사능으로 분류되며, 둘째 입자가속기, 셋째는 핵반응기이다. 첫번째 분류의 자연방사능은 라듐과 라돈이고, 인공방사능은 Co-60, Cs-137, St-90이다. 두번째 그룹은 X-선 발생기와 여러 유형의 전자가속기로 Vande Graaff 가속기와 양이온 입자 빔을 사용하는 사이클로트론이다. 셋째는 핵반응기 방사능 원으로 중성자 빔과 α 선, β 선, γ 선 그리고 중성자의 혼합원으로 나타난다. Co-60의 선과 전자가속기는 가장 일반적이고 공통적으로 사용되는 방사선의 기본이다.

사. 깊이에 대한 선량 곡선

비전리 방사선의 사용에 있어서 흡수된 방사선은 공정에서 조절해야 할 필요가 있는 유일한 인자이기 때문에 식품에 흡수된 방사선 선량에 대한 재현성 및 정확한 평가는 매우 중요하다. Dosimetry는 사양, 선량작성(dose mapping), 검증수행(validation), 절차수립(commissioning procedure) 뿐만 아니라 플랜트의 일간 운전에 대한 변화에 맞는 공정인자의 설정에 중요한 역할을 한다.

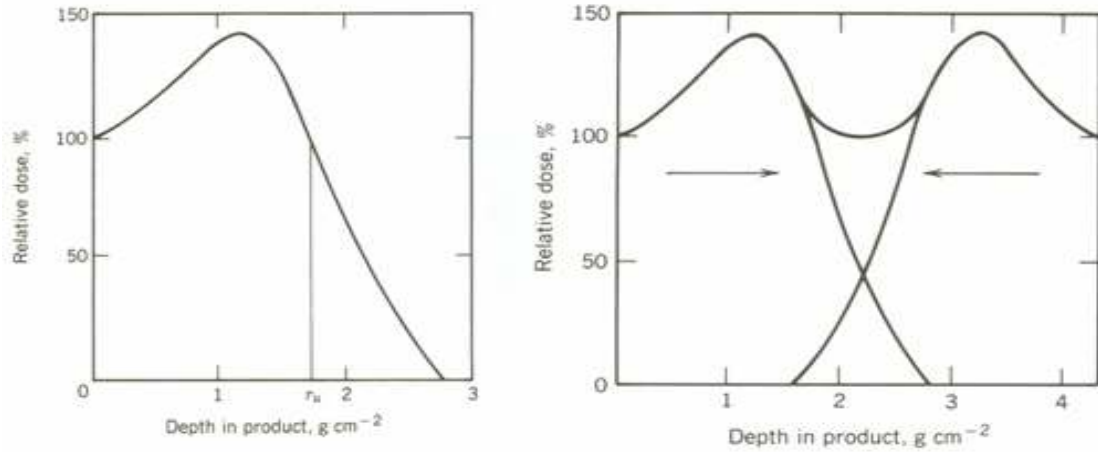


Fig. 4.11. Depth-dose curve for various beam energy.

전자빔 에너지가 물질에 전달되면 선량은 모든 두께에서 균일하지 않고, Fig. 4.11에서 보는 바와 같이 두께에 따라 변한다. 그 곡선은 선량 대 단위 비중을 가진 물질에서 가속기의 공급 에너지별 투과 깊이를 보여준다.

일반적으로 유효투과깊이(useful range)는 최대치의 60% 이상인 선량이 조사되는 두께로 선정한다. 이 값은 요구되는 선량을 초과하는 것을 최소화하고, 전자빔 투과의 전체 효율을 최대로 하는 것이 최적의 포인트이다. 이것은 전자빔의 이용 효율과 관련하여 더 상세하게 검토 되어야 하며, 아래 식에 의하여 간단히 계산될 수도 있다.

$$r_u = \frac{E_0^2}{3\rho} \quad (E_0 \leq 1\text{MeV})$$

$$= \frac{E_0}{3\rho} \quad (E_0 \geq 1\text{MeV})$$

r_u : 유효비정(cm), E_0 : 전자빔에너지(MeV), ρ : 조사된 물질의 밀도(g/cm^3)

방사선의 적용은 조사하려는 목적물과 깊이에 따라 여러가지 유형의 깊이-선량의 곡선을 갖는다. 대상물에 대한 방사에너지의 깊이는 깊이-선량곡선으로 나타낼 수 있으며 입자의 흡수선량을 거리에 따라 나타내었다. Fig. 4.12 는 방사선 조사시 투과 깊이에 따른 흡수선량으로 나타낸 것이다. 방사능의 조사 기술의 유형은 크게 Fig. 4.13과 같다.

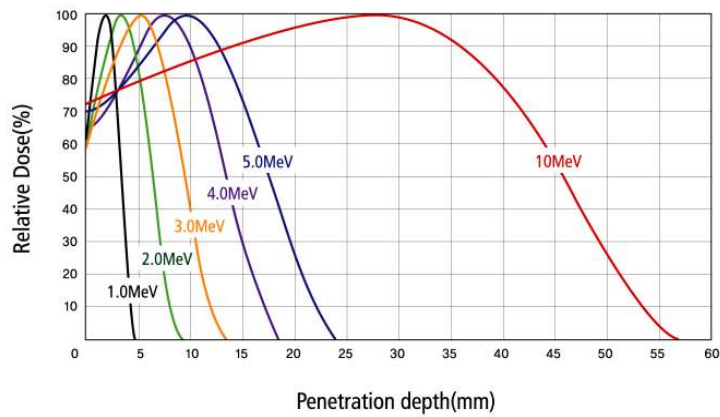


Fig. 4.12. Percentage depth-dose curves for electron irradiation of water.

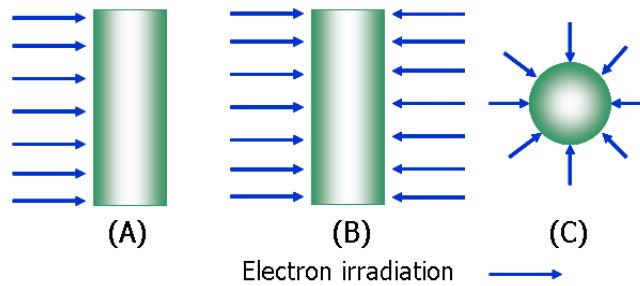


Fig. 4.13. Irradiation techniques:(A) irradiation from one side of the sample only; (B) irradiation from two opposite sides; (C) multidirectional irradiation.

5. 조사선량

가. 선량시스템

선량 시스템의 흡수선량 측정은 물리적 또는 화학적 선량계뿐만 아니라 측정장비 (예를 들면, 분광광도계, EPR분광계)까지 방사능 측정에 관련되어지며, 기준규격 (과장과 흡수도 기준)이 사용된다. 선량계의 분류는 선량계의 종류에 따라 정확도 및 적용에 따라 분류될 수 있다.

·선량계는 4개의 종류로 분류되며 다음과 같다.

- 1차 표준 선량계(Primary standard dosimeters)
- 참고 기준 선량계(Reference standard dosimeters)
- 이동 기준 선량계(Transfer standard dosimeters)
- 실용 선량계(Routine/working dosimeters)

1차 표준 선량계는 SI 기본단위 (질량, 길이, 시간, 전류 등)와 물리적인 상수를 바탕으로 측정되며, 이 선량계는 흡수한 양의 절대량으로 조정이 필요하지 않다. 방사능 측정 체계의 기본 유형은 국가 기준 실험실에 의해 일반적으로 제공한다. 1차 표준 선량계는 ionization chambers와 calorimeters가 있다. 참고 기준 선량계는 다른 선량계를 측정하기 위하여 기준 규격으로 사용될 수 있는 고도의 계측 개념을 포함하고 있으며, 1차 표준 선량계와 달리 조정이 필요하다. 참고 기준 선량계는 각종 매개변수에 따라 영향을 받는데, 조사 온도, 조사 후 안정도에 따라 변화한다. 일반적으로 사용한 선량계는 Fricke 선량계, Ceric-cerous 선량계, Dichromate 선량계, Ethanol chlorobenzene 선량계 및 Alanine dosimeters 가 사용된다. 이동 기준 선량계는 국가 기준 실험실로 부터 방사선 조사 시설의 조사선량을 확인하기 위하여 측정된 선량계로 방사성 동위원소의 이동이 잦은 경우 측정용으로 많이 사용한다. 실용 선량계는 방사선 조사시설의 선량 지도 및 선량 모니터링을 위하여 사용하는 선량계로서 수시로 선량에 대한 검증을 필요로 한다. 일반적으로 사용한 실용 선량계는 PMMA 필름, Radiochromic 필름, CTA 필름, Ceric-cerous 및 ECB 선량계를 포함한다.

Table 4.4. Classes of dosimeter

Class	Calibration necessary?	Uncertainty ($k = 1$)	Examples
Primary	No	1%	Calorimeter, Ionization chamber
Reference	Yes	2-3%	Calorimeter, Alanine, Dichromate, Ceric-cerous, ECB, Fricke,
Transfer	Yes	3-5%	Alanine, Fricke, Dichromate, Ceric-cerous, ECB
Routine	Yes	5%	PMMA, Radiochromic films, CTA, Ceric-cerous, ECB

플라스틱 필름이 방사선 조사된 경우에 생기는 화학적 변화에 관련한 양을 측정하는 것에 의해 흡수선량을 구하는 선량계이다. 필름선량계의 일반적인 특징으로는 측정이 용이하고, 구입이 비교적 쉬우며, 조사된 물질의 평면 및 두께 방향에 대해서 선량분포 측정이 용이하여 실용선량계로 널리 이용되고 있다.

필름선량계에 의한 측정 원리는 특정 파장에 있어서 흡광도 변화와 발색이나 변색이 있고, 그 외 발생한 라디칼 수의 측정에 의한 방법 등이 있다. 필름선량계를 사용할 때는 선량의 측정에 이용하는 계측기류(분광광도계, 두께를 재는 기계 등)에 대해서는 정기적인 검교정이 필요하다.

나. CTA 필름선량계

CTA 필름선량계는 톨리페닐포스페이트(TPP)를 첨가제로 한 삼초산 셀룰로즈 필름으로, 파장 280 nm에서 흡광도가 흡수선량에 대해 직선적으로 증가하는 것을 이용한 선량계이다. CTA 필름선량계는 일본원자력연구소와 프랑스원자력청과 공동연구에 의해서 개발되어 시판된 실용선량계로서 널리 사용되고 있다. 방사선 측정용 필름 FTR-125는 현재 일본 후지사진필름(주)에서 생산하고 있으며, Fig. 4.14에 FTR-125의 외관을 나타내었다. FTR-125는 두께 125 μm , 폭 8 mm의 테이프 형태로 상세한 CTA 필름선량계의 제원은 Table 4.5와 같다.

Table 4.5. Specifications of CTA film dosimeter (FTR-125)

Items	Specifications
중량조성	삼초산셀룰로즈($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_8$)n 85% 톨리페닐포스페이트 $\text{C}_{18}\text{H}_{15}\text{O}_4\text{P}$ 15%
공칭의 두께	0.125mm
테이프 폭	8mm
밀도	0.29g/cm ³
표준측정파장	280nm
미조사 필름의 흡광도	0.12 - 0.13
중량평균 원자번호(Z)	6.7
질량충돌저지능(1MeV 전자)	1.74 MeV·cm ² ·g ⁻¹
질량에너지 흡수계수(⁶⁰ Co, γ 선)	0.0281cm ² /g
단위 선량당 흡광도변화($\Delta\text{OD}/\text{kGy}$), K	0.063



Fig. 4.14. Dosimetry of CTA film (FTR-125).

6. 전자빔 조사

가. 전자빔 투과(Electron beam penetration)

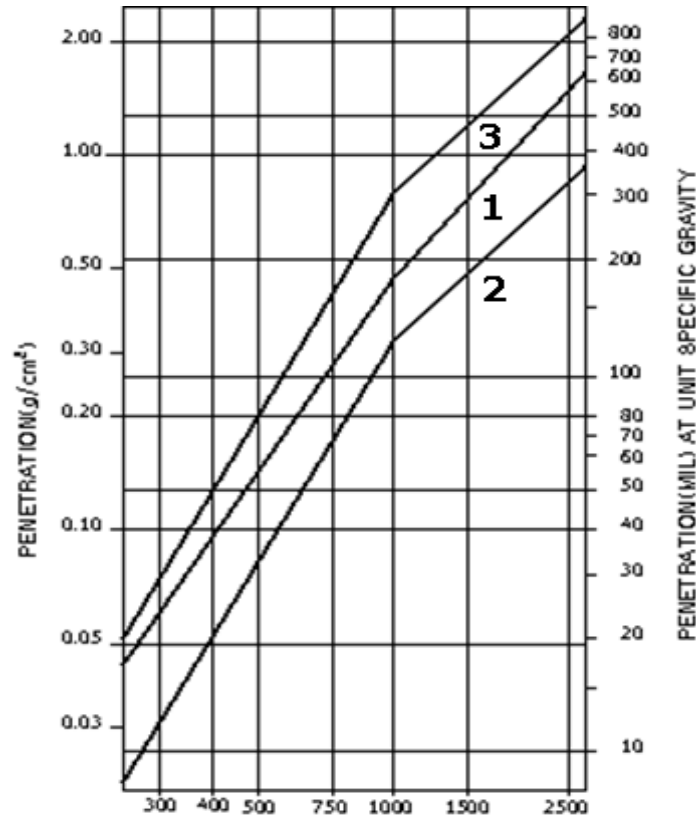
전자빔 조사공정의 적용 제품의 적용성에 관련된 판단은 전자빔 에너지의 범위에 따라 선택되어진다. 전자빔 에너지는 투과할 수 있는 물질의 두께를 결정하는 것으로 1 MeV 는 1 MV의 전압 차에 의해 가속된 전자에 의해 이동 되는 에너지로, 1 MeV 이상에서 전자의 물질 투과 깊이는 직접적으로 그 에너지에 비례하고, 투과 깊이는 조사물질의 비중에 반비례한다. 그러므로 100 μ 알루미늄 시트(비중=2.7)는 물 270 μ 두께와 같다.

전자빔의 투과 깊이는 일반적으로 밀도와 두께를 모두 포함하는 단위 면적당 조사되는 물질의 무게로 나타내며, 투과 깊이는 단위 cm^2 당 g로 표현 되는데 여기서 두께는 cm, 밀도는 g/cm^3 이다.

나. 단면 조사 (Single side irradiation)

전자빔 에너지는 조사물질에 모두 전달되어도 선량은 모든 두께에서 균일하게 나타나지 않는다. 전자빔의 조사선량은 Fig. 4.15와 같이 조사물질의 두께에 따라 선량 값이 달리 나타난다. Fig. 4.12 의 곡선은 선량 대 단위 비중을 가진 물질에서 전자빔 가속기의 공급 에너지별 투과 깊이를 보여준 곡선으로 인출창과 공기 중 경로(4 cm)의 에너지 손실을 고려한 실제의 곡선을 나타낸 것이다. 공기 중 경로가 4 cm 보다 더 큰 경우 투과 깊이의 추가적인 손실은 대략적으로 추가적인 cm당 투과 깊이 10 μ 의 손실로 계산되어진다. 선량은 두

께에 균일하지 않기 때문에 일부 두께에만 어느 정도 균일한 조사가 가능하다. 유효 깊이는 최대치의 60% 이상인 선량이 조사되는 두께로 선정한다. 유효 투과깊이와 에너지의 관계는 Fig. 4.15 에 나타내었다.



- 1-Total penetration
- 2-Useful penetration for single-side irradiation
- 3-Useful penetration for double-side irradiation

Fig. 4.15. Useful penetration for irradiation and electron energy.

다. 양면조사(Double side irradiation)

전자빔을 물질의 양면에 조사를 하는 기술을 'double bombardment'라 하며 반대쪽은 한쪽 면의 투과 깊이 곡선의 거울 이미지로 부터 얻을 수 있다. 최적의 조사 조건의 경우 선량분포 결과는 Fig. 4.16와 같이 나타나며, 조사물질의 밀도와 두께에 따라 투과 깊이별 선량은 여러가지 경향으로 설명할 수 있다. 양면조사(double bombardment)의 유효 두께는 단면(single side) 조사로 얻어지는 값의 2배 보다 더 커진 값으로 나타날 수 있다.

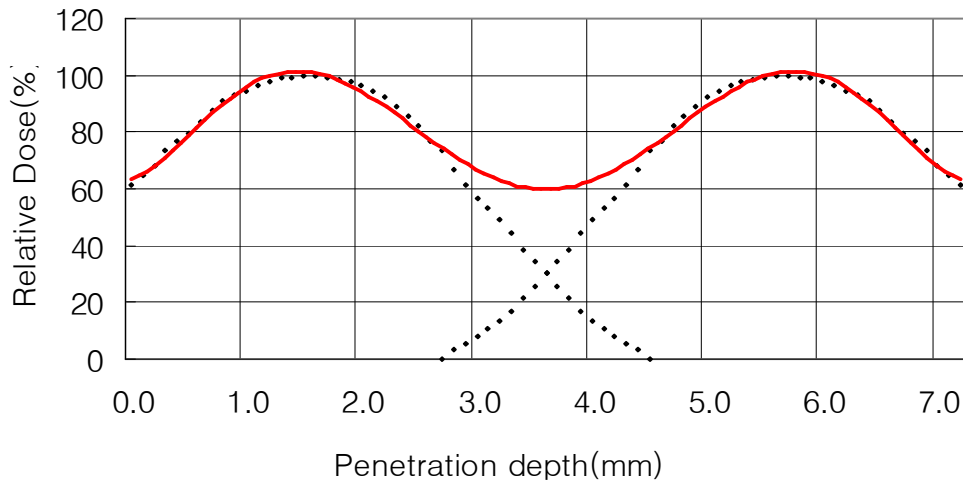


Fig. 4.16. Dose-depth variation in product using double bombardment technique.

Fig. 4.16에서 보는 바와 같이 양면 조사 시 유효 제품의 두께는 한쪽 면의 1회 조사보다 2.4배가 된다. 고형물질의 경우 제품은 한쪽 면 조사 후에 뒤집어 전자빔을 2회 통과시켜 조사할 수 있다. 선형속도는 2회 통과함으로써 반감되는 반면에 제품 두께는 더 빠른 속도로 한번 통과할 때보다 두 배 이상이 커진다. 양면조사와 에너지에 대한 유효 투과 깊이는 Table 4.6에 정리하였다.

Table 4.6. Useful penetration for irradiation with electron energy

Energy (kV)	300	500	750	1,500	2,500
Total penetration	0.63	1.40	3.00	7.50	15.0
Useful penetration single-side irradiation	0.31	0.80	1.68	5.00	8.7
Useful penetration double-side irradiation	0.75	1.90	4.00	12.0	21.0

라. 흡수선량의 두께

깊이에 따른 선량 변화는 흡수에 대한 두께 효율 계산 시 고려되어야 한다. Fig. 4.17 과 Fig. 4.18 은 얼마나 많은 에너지의 양이 모양과 밀도가 균일한 제품의 최적 두께에서 유용하게 흡수되는지를 보여준다. 이들 각각의 곡선에서 효율은 곡선 아래 전체 면적에 대한 투영 제품 단면적의 비로 고려할 수 있다. 최적보다 더 두꺼운 두께에서 투영 면적은 감소하고 초과 선량에 기인한 비효율성이 전자빔의 범위를 중간에 차단하여 얻을 수 있는 것 보다 더 빠르게 증가하기 때문에, 제품을 완전히 통과해서 소실되는 조사 빔과 초과 선량 모두에서 저감이 이루어진다.

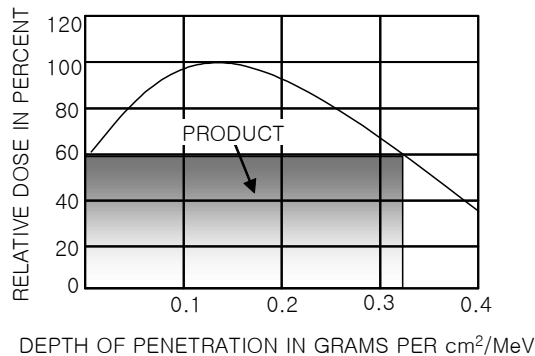


Fig. 4.17. Thickness efficiency of absorption irradiation from a single side.

단면조사의 두께 효율은 거의 60%이고, 양면조사는 65-70% 범위이다. 양면조사는 투과 깊이가 2.4배 증가할 뿐 아니라 Fig. 4.18과 같이 두께의 효율도 증가한다. 이 양면조사의 효율은 같이 빔과 제품 사이에 끼운 얇은 흡수필터의 기술 개선을 통하여 제품 두께별 효율을 극대화시키기 위하여 Fig. 4.19와 같이 사용 할 수 있다. 필터는 조사 제품의 용기의 상부에 설치할 수도 있다. 이 같은 경우에 있어서 제품을 통과하는 중의 선량이 최대 선량의 약 80%일 때의 제품의 두께와 빔 에너지가 선택된다. 75% 이상의 두께 효율은 이 방법을 이용하여 생산 공정에 적용할 수 있다.

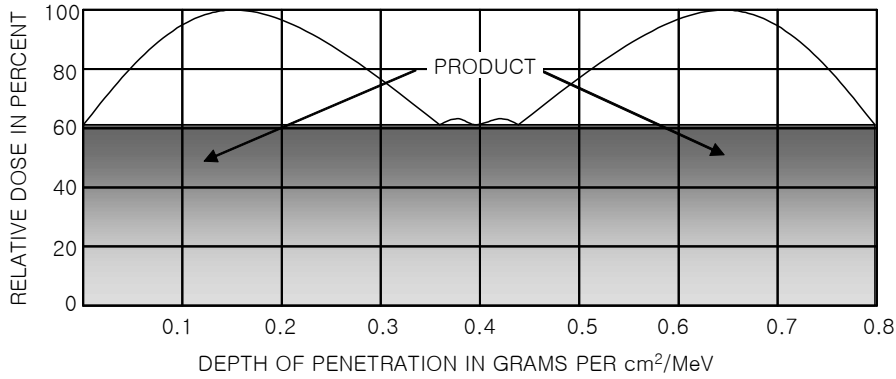


Fig. 4.18. Thickness efficiency of absorption irradiation from two side.

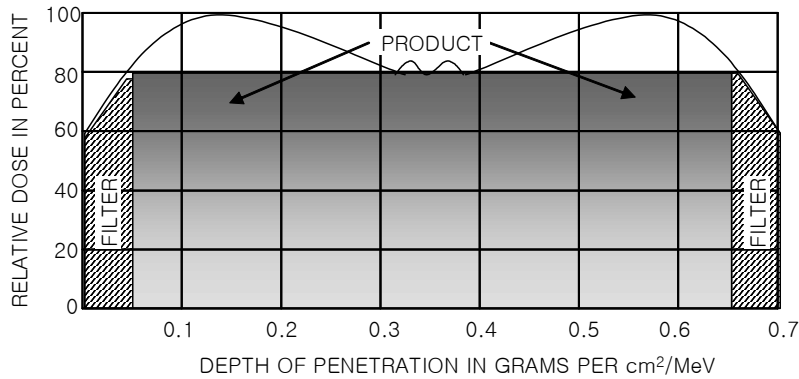


Fig. 4.19. Use of filters to improve uniformity of dosage in depth.

7. 생물학적 선량계

생물학적 선량측정은 방사선 조사의 세균·곰팡이에 대한 영향을 멸균 지표균을 사용해서 직접 확인하는 방법으로서, 방사선 가공처리 분야에서 이용되는 실용적인 선량계이다. 예를 들면 유아포세균인 *Bacillus · C .pumilus*를 생물학적 선량계의 살균의 지표로 이용하게 되면, 조사 후 장시간에 걸친 선량측정이 가능하며, 또한 생물에 대한 방사선의 영향을 조사하는 제품 포장 속의 여러 곳을 직접적이고 용이하게 확인할 수 있다는 이점을 가지고 있다. *Bacillus · C .pumilus*는 측정 환경의 선정에 의하여 재현성이 좋은 방사선 감수성을 나타내며, 많은 나라에서 의료용구의 방사선 멸균효과 확인 등에 살균 지표로 이용하고 있다. 또 방사선 가공처리 분야에서 의료용구 멸균과 식품조사의 사례를 기술하고 있다. 또 생물학적 선량계는 원폭 피폭자의 혈액중 이상치를 지표로 해서 피폭선량을

측정하는 방법도 있다.

방사선 가공처리 분야에서 의료용구의 방사선 멸균은 세계적으로 널리 보급되어 있고, 식품조사도 세계적으로 실용화가 진전되고 있으며, 조사의 유무 검지기술과 조사의 생물학적 효과를 확인하기 위해 미생물을 사용한 선량 평가법의 개발의 요청도 있었다. 생물학적 선량 측정은 방사선 조사의 세균·곰팡이에 대한 영향을 멸균 지표균을 사용해서 직접 확인(생물학적 효과를 지표로 선량을 측정)하는 방법이다. 미생물에 의한 생물학적 선량계는 사용하는 균체가 작기 때문에, 여러 곳에서 또는 제품의 미소부위까지 쉽게 선량분포를 측정할 수 있다는 이점이 있다. 생물학적 선량계 기술개발이 요청된 이유로서 조사시설이 다르면 선량 균일도와 조사 조건이 달라지며, 특히 전자빔 멸균의 경우 투과력이 적기 때문에 제품을 균일하게 조사하기 곤란하며, 포장 내 각 부위에서의 직접 선량을 측정하는 것이 필요하다는 것을 들 수 있다. 한편 정확도가 높다고 하는 물리적 또는 화학적 선량계는 생물학적인 효과를 제품 전체에 걸쳐 직접 확인하기가 곤란하였다. 또 제품의 재질에 따라 멸균선량을 결정하는데도 생물학적 선량계는 중요한 역할을 한다. 이 때문에 조사 의뢰자 쪽에서도 제품을 포장한 용기 내부에 멸균 지표균을 첨가하여, 멸균 효과를 확인하는 일이 있다. 조사 시설에서도 여기에 호응해서 멸균을 보증하기 위해 멸균 지표균을 사용하는 일이 많다.

가. 미생물의 방사선 감수성과 선량평가

생물의 경우에는 생존률로 부터 선량을 평가하기 때문에 많은 요인에 의한 생존률의 변동을 고려할 필요가 있으며, 따라서 물리적 선량계나 화학선량계에 비해 정확도가 낮다고 평가되어 왔다. 예를 들면 Fig. 4.20에서 볼 수 있는 게시하는 바와 같이 미생물의 방사선 감수성이 미생물의 종류 및 조사 조건에 따라 현저하게 달라진다고 알려졌다. 이 중에서 유아포 세균인 *Bacillus · C .pumilus*의 포자는 건조한 조건에서나 물이 존재하는 조건에서도 방사선 감수성이 거의 차이를 보이지 않는다.

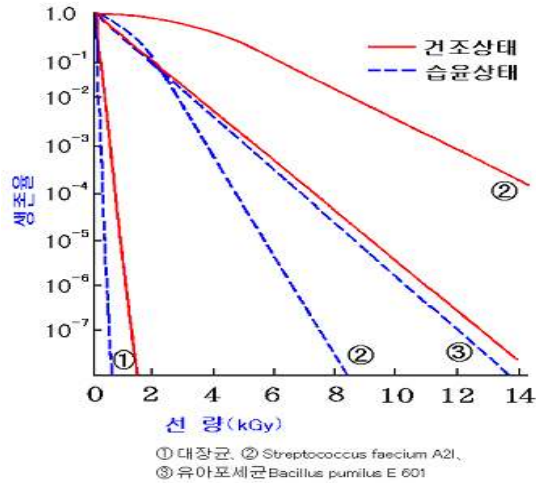


Fig. 4.20. Radiation sensibility of *Bacillus pumilus* E601 and e-coil.

첨가물의 종류에 따라 *Bacillus · C .pumilus* 포자의 방사선 감수성은 달라진다. Fig. 4.20 및 Fig. 4.21에서 볼 수 있는 바와 같이 peptone이나 glycerin과 같은 첨가물이 공존하면 전자빔 조사와 감마선 조사 어느 경우에도 첨가하지 않은 경우에 비해 조사선량이 큰 데도 불구하고 균의 생존률이 높다고 하는 경향이 인지된다. 이는 산소의 공급을 차단하고 과산화물의 발생 · 영향을 방지하는 효과 때문이라고 추정된다. 한편 이 균 포자의 방사선 감수성은 Fig. 4.22에서 볼 수 있는 것과 같이 유리 섬유 여과지 위에 첨가물 (peptone과 glycerin)이 공존하지 않는 상태에서 건조 · 조사하면 감마선과 전자빔의 차이를 인지할 수 없다.

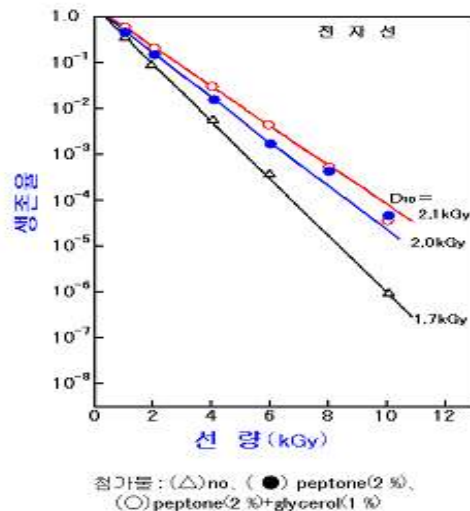


Fig. 4.21. Effect of electron beam sensibility and food additive.

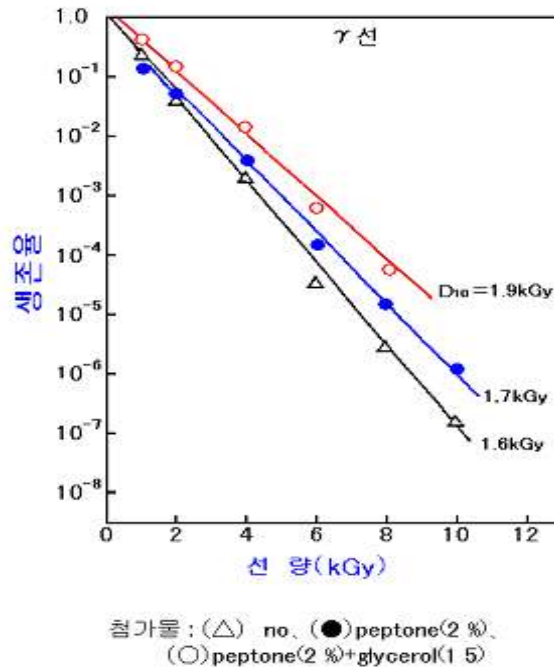


Fig. 4.22. Effect of gamma-ray sensibility and food additive.

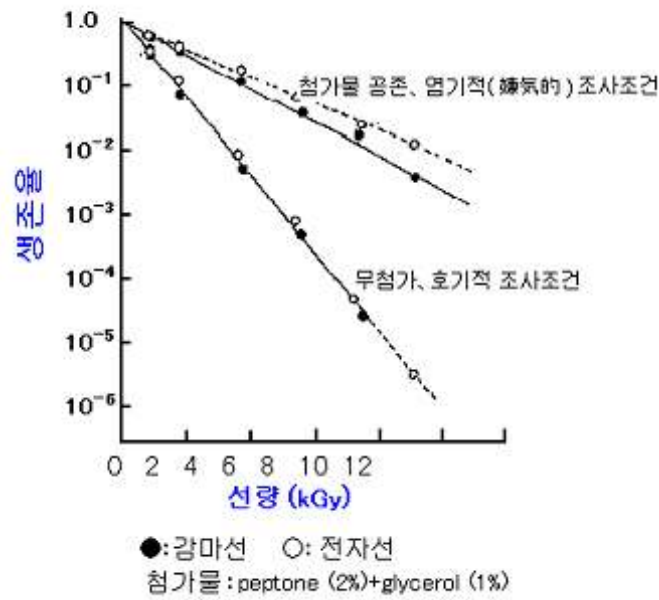


Fig. 4.23. Comparison with sensibility of gamma ray and electron beam by food additive.

이와 같이 미생물 등의 방사선 감수성은 숙련된 사람이 일정 조건에서 수행하면 재현성이 있는 결과를 얻을 수 있으며, 물리적 선량계나 화학 선량계와 높은 상관성을 나타낸다. 유아포 세균 가운데서도 *Bacillus*와 *C. pumilus* 포자는 취급이 간단하여 재현성이 있는 값을 얻을 수 있으며, 또한 방사선량 측정에 유리하게 방사선에 대한 내성이 적당한 정도 있기 때문에 고선량 조사의 생물학적 선량계에 많이 이용되고 있다. 건조조건에서는 *Bacillus*와 *C. pumilus* 포자는 장기간에 걸쳐 안정적이며, 산소 및 수분 투과성이 없는 포장재로 밀봉해 두면 수개월 동안 그 활성을 안정하게 보존할 수 있다. 또 포자를 형성하지 않는 세균 가운데서도 첨가물 공존하에서 건조시켜 밀봉해 두면 수개월간 안정한 균종이 있으며, 0.5-10 kGy의 선량측정에 이용이 가능하다.

나. 방사선 가공처리에서의 지표균 이용

의료 용구의 방사선 멸균 지표균으로서 유아포 세균인 *Bacillus · C. pumilus*가 여러 나라에서 이용되고 있다. *Bacillus · C. pumilus* 포자의 방사선 감수성은 Fig. 4.23에서 볼 수 있는 것과 같이 유리 섬유 여과지 위에서 첨가물이 공존하지 않는 상태에서 건조·조사하면 감마선과 전자빔의 차이를 인지할 수 없으며, 생존곡선의 직선부에서 90% 살균하는데 소요되는 선량은 1.6 kGy이다. 이 값은 시험 자에 따른 오차가 적다.

구체적으로는 멸균공정 관리에 사용되는 멸균 지표균 시편은 여과지 편 (2*4cm)에 포자를 약 1×10^6 개 도포·건조시켜 만들며, 포장한 제품의 내부에 첨가해서 방사선으로 멸균 처리한다. 그 후 시편을 액체배지에 투입해서 수일간 배양해서 균의 증식 유무를 조사해서 멸균효과를, 무균도달을 확인하는 시험법으로 판정한다. 혹시 제품이 필요선량 만큼 조사되지 않았을 가능성이 있는 경우에는 지표균을 다시 편편한 한천(寒天)배지에 도포해서 살아남은 균 수자로부터 제품이 받은 선량을 추정한다.

의료용구의 멸균 지표균에 의한 방사선 멸균의 확인은 멸균을 보증하기 위하여 중요하다. 또 복잡한 형상의 제품 내의 멸균효과를 확인하기 위해 *Bacillus · C. pumilus*의 포자를 제품내부에 첨가 건조시켜, 조사후의 생존률 분포 또는 무균시험으로 멸균효과를 확인할 수가 있다.

식품조사의 경우에는 제품 각 부위에서의 조사 유무의 판별 즉, 검지법이 중요하다. 현 재로서는 향신료 등의 건조식품인 경우 열형광 선량 측정이 유망하다. 닭고기 등에서는 뼈조각이나 모래 등에 남아 있는 free radical의 양을 ESR(Electron Spin Resonance: 전자스핀 공명흡수) 법으로 측정하는 방법이 유망하다고 알려져 있다. 그러나 조사의 유무에

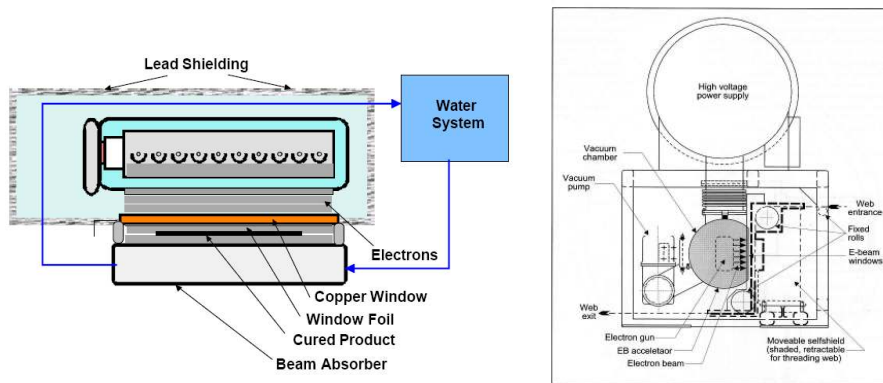
관한 검사법에서는 숙련자에 의한 측정이 필요하며, 계측기기류도 고가이고, 제품 각 부위에서의 정확한 흡수선량을 측정하는 일이 곤란한 경우가 많다. 이 때문에 식품 조사의 경우에도 지표균을 사용한 생물학적 선량계에 의한 조사량의 보증이 필요하게 된다. 이와 같은 식품조사의 경우에는 방사선 감수성이 높은 *Pseudomonas* 등의 세균이 유망하다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 저에너지 전자가속기

발아채소의 단위사업처럼 소규모의 제조공정에 사용 가능한 전자가속기를 고려하기 위하여 저에너지 용량의 전자가속기의 제작을 고려하고 있다. 본 연구는 저에너지 전자가속기를 제작하기 위한 계기를 마련하고, 향후 진행될 연구사업의 기술동향 및 현황을 분석하는데 목적을 가지고 진행하였다.

최근까지 산업용 저에너지, 자기 차폐형 전자가속기의 공급자는 ESI(Energy Sciences Incorporated), NHV(Nissin High Voltage), RPC(RPC Technologies), AEB(Advanced Electron Beam)로 전 세계적으로 4개의 회사에서 제조 판매하는 매우 제한된 분야였다. 저에너지 전자가속기는 조사체의 폭을 따라 전자빔이 균일하게 조사되도록 선형 필라멘트(Linear filament)의 전자빔 source를 채용하고 있다. 저에너지 전자가속기의 선도기업인 ESI는 현재 저에너지, 자체차폐의 고정된 전자가속기를 전문적으로 생산하고 있으며, ESI EZ-Cure™의 경우 80keV 이하 낮은 에너지를 갖는 모델은 기존 ESI 장치의 down-sized 버전으로 더 저렴하게 시장에 출시되고 있다.



Muti filament type (RPC)

Linear Filament (ESI)

Fig. 4.24. Filament type low energy accelerator.

AEB의 EB Unit는 산업용 및 연구개발용으로 사용하기 위해 단순화되었는데, 현장에서 진공펌프를 사용하지 않기 위해 공장에서 미리 진공을 만들어 차폐한 시스템으로 생산된다. 단순한 plug-out/plug-in 교체 방법으로 유지 보수에 의한 시스템의 정지 시간을 줄였다. 시스템은 초박막 인출창(10 μm 이하의 Ti foil)을 사용하고, solide state rack에 설치된다. 시스템의 구성은 빔을 인출하여 분산하기 위하여 특별 고안된 전원공급장치(power supply)을 사용하였고, 빔전류(beam current), 40 mA(@ 25 cm window)을 가지고 80-150 keV 사이에서 조정할 수 있도록 전기적 전달효율과 사용의 편이를 위해 touch screen 컴퓨터제어를 적용되었다.

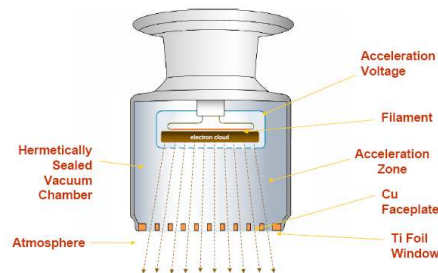


Fig. 4.25. Standard modular low voltage EB unit.

일본 Toyo Ink 사는 미국 AIT 사의 Min EB 기술을 수입하여 사용하고 있으며, 주로 잉크도료의 curing 에 사용되는 EB 시스템이다. Min EB 은 유리튜브 내에 전자빔 원을 넣어 고진공으로 밀폐하는 구조로 설계 되었다. 전자는 전위차에 의해 빛의 속도로 가속 되어 인출창을 통과하여 공기 중으로 인출된다. 각 사양과 구조는 다음과 같다.

- Size : ϕ 45mm,L190mm
- Irradiation wide : 2.5cm/tube
- Acceleration Voltage : 25-60KV
- Tube Current : 0.6mA
- Tube life : 1500hours

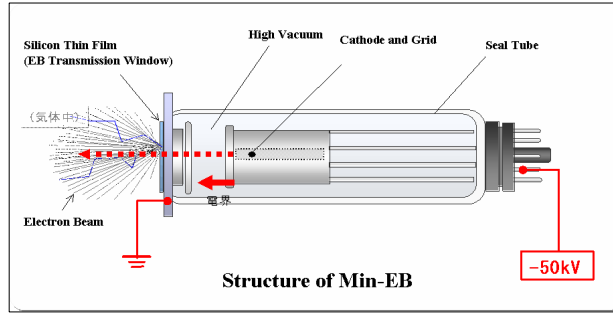


Fig. 4.26. Structure of mini- EB Tube and specifications.

Table 4.7에는 modular low voltage EB system과 기존 curtain type of low voltage, self shielded EB 기술의 차이를 요약하였다.

Table 4.7. Modular and traditional low voltage EB systems

Property	Modular EB units	Traditional low-voltage EB systems
Mode of manufacture	Modular Repetitive	Custom designed Single unit production
Electron source	Heated filament	Heated filament
Beam chamber	Factory evacuated	Dynamically pumped
Beam window	6 or 7 μm Ti foil	8–12.5 μm Ti foil
Beam voltage	Variable 80–150 kV	Fixed increments
Power supply	Solid-state	Coil-wound transformer
Repair mode	Replacement	On-site service

독일의 경우 1984년 KFK(Kernforschungszentrum Karlsruhe)는 ESI Electrocurtain TM 자체 차폐가속기(150-300 kV, 3.6 kW)를 이용하여 현장의 배기가스처리용 전자빔 시스템을 개발하였다.

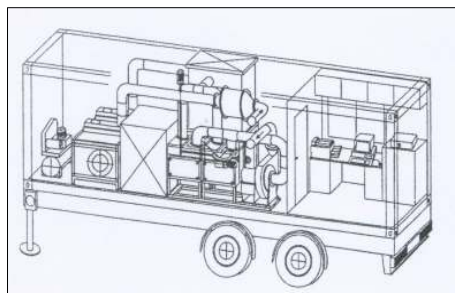


Fig. 4.25. FZK Mobile Irradiation system AGATE-M (Karlsruhe, 1994).

미국 HVEA사는 현장의 특별한 환경문제를 다루기 위하여 제품을 이동하여 사용할 수 있도록 큰 크기의 트레일러에 탑재한 자체차폐구조로 구성된 이동형 전자빔시스템을 개발하였다. 1990년대 중반 Raychem사(현재 Tyco Electronics 자회사)는 오염지하수를 개선하고 처리하는 이동형 시스템을 개발하였으나 상업적 관심 부족으로 프로젝트는 중단된 상태이다.



Fig. 4.28. HVEA transportable system.

서울대학교, KAIST 및 연구소(한국원자력연구원, 플라즈마협회 등)에서 실험용 소형 전자빔 발생 모듈을 제작한 바 있으나 아직 실용화 단계에는 이르지 못하고 있으며 저에너지 전자가속기의 상업용 연구는 전무한 상태이다. 특히, 이동형 전자가속기 개발 부분에서 서울대가 Portable DC 전자가속기(400kV, 40mA, air core transformer type)를 개발한 바 있으나 안정적이고 컴팩트한 가속기 제작에 대한 추가적인 연구개발이 필요한 것으로 판단된다.

현재 소형 저에너지 전자가속기의 상업적 응용연구는 주로 curing 및 coating 관련 고분자개질에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 이들 연구개발에 필요한 저에너지 전자가속기가 구비되어 있는 연구기관이 일부 있으나 사용범위가 제한적이어서 외국에 실험을 의뢰하는 등 연구개발에 지장을 초래하고 있는 실정이다. 현재 국내에는 전자가속기가 상용화되어 제작되고 있으나, 주로 중에너지 (0.5-2.5 MeV) 및 고에너지(10 MeV)의 전자가속기에 국한되어 있고, 구조 측면에서 서로 상이한 저에너지 전자가속기에 대한 기술을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 최근 저 에너지 가속기에 대한 학계 및 산업체의 관심과 수요의 증가로 전자가속기에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있고 특히 상용 저 에너지 전자가속기의 필요성이 대두되어 일부 기업 및 연구소에서 선행기술의 조사하고 개념 설계를 진행하고 있으며, 외국의 기술선과의 교류 및 접촉이 추진되고 있다.

2. 전자빔 조사용 시료

발아채소의 전자빔 조사에 의한 살균처리 용 시료는 종류별로 Fig. 4.1과 같이 채소의 특징에 따라 PET 용기에 50 g 중량으로 소포장 되어 있으며 각각 뚜껑이 있다(Fig. 4.2). 그리고 신선편이식품인 발아채소의 호흡을 위하여 이들 포장의 측면에 총 6개 정도의 구멍(직경 0.2 mm 이하)이 있어 유통저장 중 일정한 통기가 이루어지도록 제조되었다. 그러나 이와 같은 포장방법은 상품의 유통 중 건조 및 중량감소를 크게 초래할 뿐 아니라 공기 중 미생물의 오염을 일으켜 발아채소 상품의 위생적 유통에 큰 장애가 되고 있다.

3. 전자빔 조사설비 운전인자

전자빔 조사공정은 전자빔 에너지의 범위에 따라 선택되어지는데, 전자빔에너지는 투과할 수 있는 물질의 두께를 결정하는 것으로 1 MeV는 1 MV의 전압 차에 의해 가속된 전자에 의해 이동 되는 에너지이다. 1 MeV 이상에서 전자의 물질 투과 깊이는 직접적으로 그 에너지에 비례하고, 투과 깊이는 조사 물질의 비중에 반비례한다. 전자빔의 투과 깊이는 일반적으로 밀도와 두께를 모두 포함하는 단위 면적당 조사되는 물질의 무게(g/cm^2)로 표현되는데 여기서 두께는 cm, 밀도는 g/cm^3 이다.

전자가속기에 의한 조사처리는 전자가속기의 빔 에너지, 빔 전류, 이송대차의 속도, 빔 인출창의 통과 회수, 조사 시료의 밀도 및 두께에 따라 제품의 요구선량을 결정하였다. 전자가속기는 Fig. 4.8 을 사용하였으며, 이송대차는 Fig. 4.29 에서 보는 바와 같이 이송 카트 시스템으로 구성되어 있다.



Fig. 4.29. Cart system of electron accelerator(2.5 MeV).

전자빔 조사 설비의 선량분포도 측정은 설비의 적격성을 확인하기 위해 동일 밀도 물질로 적재하여 전자빔 조사 설비 내에서 진행하였으며, 공정 처리의 재현성, 분포 및 선량에 관한 측정을 유지하기 위해 조사 설비 내에서 흡수선량을 측정한다. 전자빔 조사 설비의 선량 분포도 측정은 ISO/ASTM 51649:2005(E) Practice for dosimetry in an electron beam facility for radiation processing at energies between 300 keV and 25 MeV 와 ISO/ASTM 51650:2005(E) Practice for use of a cellulose triacetate dosimetry system의 측정 방법을 적용하였다.

전자빔 에너지는 조사물질에 모두 전달되어도 선량은 모든 두께에서 균일하게 나타나지 않는다. 그러므로 전자가속기의 인출창으로 부터 선량 균일도를 평가하였으며, Fig. 4.33 은 살균 실험에 사용한 전자빔의 에너지에 따른 살균 반응기 위치별 선량을 측정하였다. 운전조건은 전자가속기 빔 에너지 2.5 MeV, 빔 전류 1.0-20 mA 와 컨베이어 이송 속도는 20-30 m/min로 고정하였다.

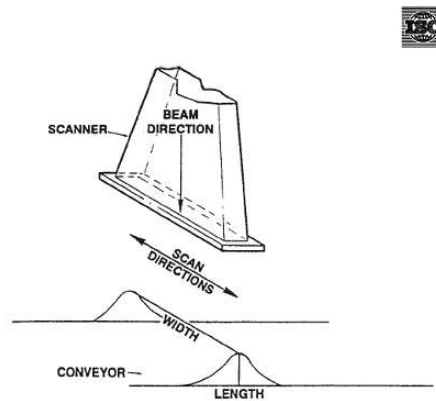


Fig. 4.30. Diagram showing beam length and width for a scanned beam using a conveyor system.

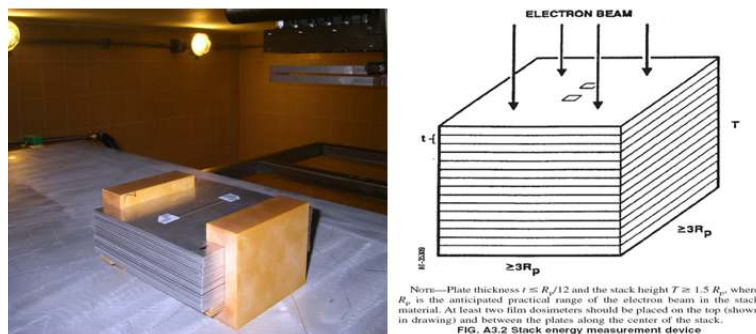


Fig. 4.31. Stack energy measurement device.

전자빔의 조사선량은 Fig. 4.32과 같이 조사물질의 두께에 따라 선량 값이 달리 나타나는데, 일반적으로 조사 깊이는 최대치의 60% 이상인 선량이 조사되는 두께로 선정한다. 유효 투과깊이와 에너지의 관계는 Fig. 4.32에 측정하여 나타내었다. 발아채소의 경우 유효투과 깊이는 2.5 MeV에서 59 mm로 결정되었다.

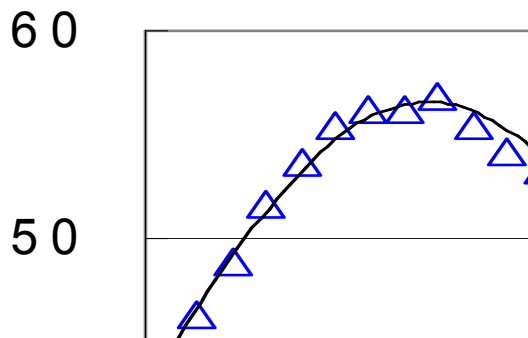
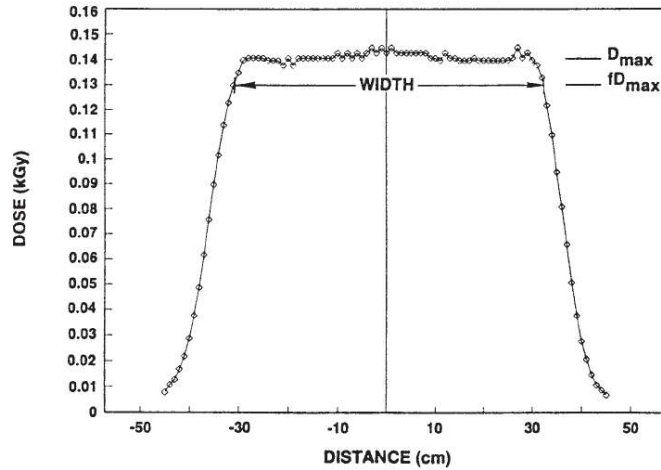


Fig. 4.32. Depth-dose curve for various beam energy (beam energy: 1.0-2.5 MeV, beam current: 20mA, conveyor speed: 5 m/ min).

Fig. 4.33과 Fig. 4.34는 전자빔 조사기 인출창에서 스캐링 길이에 따른 선량 분포도를 나타낸 것으로 실용 선량계를 스캐닝 길이 방향으로 설치한 후 전자가속기와 이동대차 시스템을 조정하면서 빔 균일도를 측정하였다. CTA 필름을 인출창과 동일한 방향으로 150 cm 일자형으로 놓고 선량계를 측정 한 후, 조사 처리된 선량계 필름을 2시간 반응 후 분광광도계 280 nm에서 측정했다.



NOTE—McKeown, J., AECL Accelerators, private communication, 1993. Example of a beam width profile of an AECL Impela accelerator.
 FIG. 3 Example of electron-beam dose distribution along the beam width with the width noted at some defined fractional level f of the average maximum dose D_{max}

Fig. 4.33. Electron beam dose distribution along the beam width with the width.

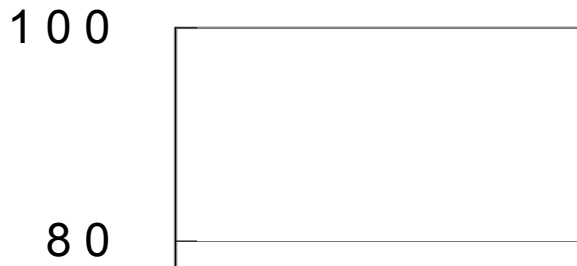


Fig. 4.34. Dose distribution on conveyor for Y axis at the dynamic irradiation (beam energy 1.0 MeV, beam current 20 mA, conveyor speed 5m/ min).

4. 발아채소의 선량분포도

발아채소와 종자에 대한 선량평가를 하기 위하여 포장재의 종류별로 CTA 필름 선량계를 부착하여 조사 제품의 흡수선량을 측정하였다. 발아채소와 종자의 전자가속기와 전자빔 부대설비의 운전조건은 Table 4.8 의 운전인자를 가지고 살균처리 하였으며, 저선량의 범위에서 제품의 포장재별 선량 분포도의 차이를 평가하기 위하여 비교한 결과를 Table 4.9에 정리하였다. 또한, 발아채소 및 종자의 경우 유효투과 깊이는 2.5 MeV에서 59 mm 로 조사한 모든 시료는 제품의 바닥 면까지 투과되는 것으로 측정되었다.



Fig. 4.35. Dosimetry of sprouts.

Table 4.8. Test condition of sprouts

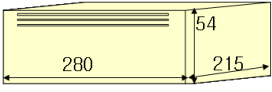

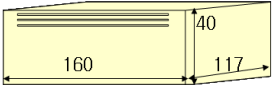
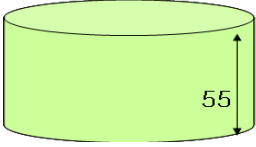
Dose rate [=5 kGy, t=15 mm]			
No.	mA	Velocity(m/min)	times
1	9.4	20	1
2	4.2	20	2
3	2.3	20	3
채소종자 [d=0.5, t=15 mm]			
No.	Dose(kGy)	mA	Velocity(m/min)
1	0	0	0
2	1	1.1	20
3	2	3.2	20
4	3	5.2	20
5	5	9.5	20
6	10	19.0	20
발아채소 [d=0.17, t=30 mm]			
No.	Dose(kGy)	mA	Velocity(m/min)
1	0	0	0
2	1	1.0	20
3	3	5.2	20
4	5	9.3	20

발아채소의 포장용기는 모양에 따라 크게 4종류로 전자빔 조사를 실시하였는데, 이때 CTA 필름선량계를 포장용기 뚜껑 상부, 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위, 포장용기 바닥면의 채소 아래 및 포장용기 바닥면에 선량계를 3개씩 넣어 측정하였고, 포장용기의 깊이 에 따라 일부 선량측정 위치를 조정하기도 하였다. CTA 필름선량계는 투명하여 부착한 위치를 Fig. 4.35와 같이 표현하였다.

Table 4.9과 Table 4.10는 새싹 포장용기 별 선량분포도를 측정하였다. Table 4.9의 선량분포도 측정시 전자빔 조사설비의 운전 조건은 Beam power 2.5 MeV, Beam current 1.7 mA, Cart Velocity 30m/min 로 제품용기 표면의 흡수선량 평균 0.52 kGy 를 기준으로 조사 처리하였다.

Sample 1-1의 새싹은 포장용기 상부 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. 포장용기 상부는 0.53 kGy, 포장용기 바닥면은 0.42 kGy로 전자빔이 시료의 두께에 따라 선량분포도가 달리 나타나는 특성을 적용할 수 있었으며, Sample 1-1의 빔 uniformity는 1.26 이었다.

Table 4.9. Dose mapping of sprouts by packing materials[1]

Sample	Packing materials(mm)	Dose mapping	Dose (kGy)
1-1		<ol style="list-style-type: none"> 포장용기 상부 포장용기 바닥면 	0.53 kGy 0.42 kGy
1-2		<ol style="list-style-type: none"> 포장용기 뚜껑 상부: 포장용기 뚜껑 하부(채소 위) 포장용기 바닥면(채소 아래) 포장용기 바닥면 	0.52 kGy 0.55 kGy 0.44 kGy 0.48 kGy
1-3		<ol style="list-style-type: none"> 포장용기 뚜껑 상부 포장용기 바닥 	0.52 kGy 0.42 kGy
1-4		<ol style="list-style-type: none"> 포장용기 뚜껑 상부 포장용기 뚜껑 하부(채소 위) 포장용기 바닥 면에서 50 mm 포장용기 바닥 면에서 30 mm 포장용기 바닥 면에서 15 mm 포장용기 바닥 면 포장용기 바닥 	0.52 kGy 0.55 kGy 0.52 kGy 0.46 kGy 0.43 kGy 0.42 kGy 0.40 kGy
Beam power: 2.5 MeV, Beam current: 1.7 mA, Velocity: 30 m/min			

Sample 1-2의 새싹은 포장용기 뚜껑 상부, 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위, 포장용기 바닥면의 채소 아래 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. Sample 1-2는 발아채소의 포장용기 뚜껑 상부 0.52 kGy, 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위 0.55

kGy, 포장용기 바닥면의 채소 아래 0.44 kGy 및 포장용기 바닥면 0.48 kGy 로 측정되었다. 발아채소의 포장용기 뚜껑 상부와 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위는 포장재만의 특성을 확인하기 위해 측정하였으나, 포장재의 밀도가 적어 투과깊이에 별다른 영향을 주지 않았다. 전자빔의 깊이 선량곡선에서 본 바와 같이 전자빔은 일정한 두께에서는 전자빔의 흡수선량이 증가하였다가 두께가 커질수록 표면의 흡수선량보다 적게 나타나는 경향을 보이고 있는데, Sample 1-2의 경우 깊이에 따른 선량곡선의 잘 반영하고 있는 것으로 판단되었다. 또한, 포장용기 바닥면의 채소 아래의 흡수선량은 0.44 kGy로 측정되었으나 포장용기 바닥면은 0.48 kGy로 0.04 kGy 높게 나타나는 것은 조사시료를 이송하는 cart의 바닥면, 알루미늄 판에까지 전자빔이 조사되고 전자가 되튐되는 현상까지 반영한 값으로 판단되었다. Sample 1-2의 빔 uniformity는 1.25로 계산되었다.

Sample 1-3의 새싹는 포장용기 뚜껑 상부 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. 포장용기 상부는 0.52 kGy, 포장용기 바닥면은 0.42 kGy로 전자빔이 시료의 두께에 따라 선량분포도가 달리 나타나는 특성을 적용할 수 있었으며, Sample 1-3의 빔 uniformity는 1.23 이었다.

Sample 1-4의 새싹는 포장용기 뚜껑 상부, 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위, 포장용기 바닥 면에서 50 mm 지점, 포장용기 바닥 면에서 30 mm 지점, 포장용기 바닥 면에서 15 mm 지점 및 포장용기 바닥 면의 선량분포도를 측정하였다. Sample 1-4의 새싹는 포장용기 뚜껑 상부 0.52 kGy, 포장용기 뚜껑 하부의 채소 위 0.55 kGy, 포장용기 바닥 면에서 50 mm 지점 0.52 kGy, 포장용기 바닥 면에서 30 mm 지점 0.46 kGy, 포장용기 바닥 면에서 15 mm 지점 0.43 kGy 및 포장용기 바닥 면 0.42 kGy의 선량분포도를 나타내었으며, 알루미늄 판의 이송 cart는 0.40 kGy로 측정되었다. Sample 1-4의 빔 uniformity는 1.30 이었고, Fig. 3.15 는 발아채소의 선량분포도를 나타낸 것으로 전자빔의 깊이와 선량의 관계를 나타내었다.

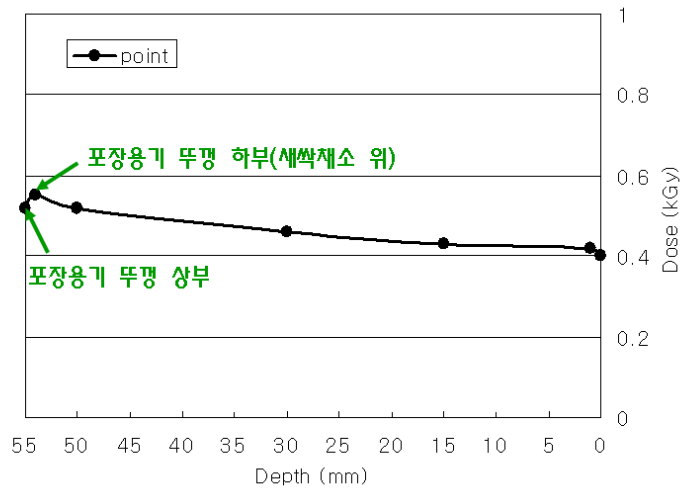


Fig. 4.36. Dose distribution in 55mm thick layer of sprouts irradiated by 2.5 MeV electrons.

Table 4.10. Dose mapping of sprouts by packing materials[2]

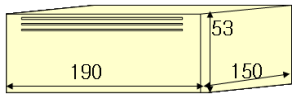

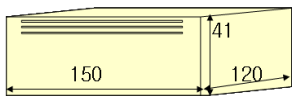
Sample	Packing materials (mm)	Dose mapping	Dose (kGy)
2-1		1. 포장용기 상부 2. 포장용기 바닥면 (190*150*55, 129g)	1.00 kGy 0.81 kGy
2-2		1. 포장용기 상부 2. 포장용기 바닥면 (14.5*11.5*3.5, 88g)	0.99 kGy 0.92 kGy
2-3		1. 포장용기 상부 2. 포장용기 바닥면 (150*120*41, 111g)	0.99 kGy 0.84 kGy
Beam power: 2.5 MeV, Beam current: 3.9 mA, Velocity: 30 m/min			

Table 4.10는 새싹 포장용기 별 선량분포도를 Table 4.9 보다 증가한 1.0 kGy 을 기준으로 평가하였다. 선량분포도 측정 시 전자빔 조사설비의 운전 조건은 beam power 2.5 MeV, beam current 3.9 mA, Velocity 30 m/min 로 조사 처리하였다.

Sample 2-1의 발아채소는 포장용기 상부 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. 포장용기 상부는 1.00 kGy, 포장용기 바닥면는 0.81 kGy로 전자빔이 시료의 두께에 따른 선량분포도 특성을 나타내었으며, sample 2-1의 빔 uniformity는 1.23으로 나타났다.

Sample 2-2의 발아채소는 포장용기 상부 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. 포장용기 상부는 0.99 kGy 포장용기 바닥면는 0.92 kGy 로전자빔이 시료의 두께에 따른 선량분포도 특성을 나타내었으며, sample 2-2의 빔 uniformity는 1.07로 나타났다.

Sample 2-3의 발아채소는 포장용기 상부 및 포장용기 바닥면에 필름선량계를 부착하여 측정하였다. 포장용기 상부는 0.99 kGy, 포장용기 바닥면는 0.84 kGy로 전자빔이 시료의 두께에 따른 선량분포도 특성을 나타내었으며, sample 2-3의 빔 uniformity는 1.17로 나타났다.

발아채소의 포장용기의 종류별 선량분포도를 확인한 결과 전자빔의 깊이와 선량과의 이론적인 관계에 일치하는 것으로 나타났으며, 조사 시료의 밀도와 조사물질의 두께에 따라 전자빔 조사 설비의 운전조건을 결정할 수 있었다. 또한, 이를 바탕으로 축적된 운전 자료를 바탕으로 이론적인 함수식을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 전자빔 조사에 따른 온도영향

발아채소 및 종자를 전자빔으로 조사 처리하였을 때 발아채소 내 약간의 온도가 상승할 수 있으나, 흡수선량 1-10 kGy 범위에서는 아주 미비한 것으로 측정되었다. 전자빔 조사 처리 시 일반적으로 온도 증가는 단열조건에서 계산되어지는데, 1 kGy 조사시 0.24 cal/g의 열이 발생한다. 발아채소 및 종자를 조사 처리한 선량은 1-10 kGy 범위의 온도 변화는 조사 전과 후에 큰 차이를 나타내지 않았다.

6. 전자빔 시설의 이용에 따른 경제성 분석

가. 전자빔 조사시설의 현장설치

발아채소 및 종자의 살균처리를 위한 전자빔 시설은 에너지 준위에 따라 1 MeV 이하와 1 MeV 이상으로 구분할 수 있다. 이 때 1 MeV 이하는 에너지 준위가 매우 낮아 원자력법

에 적용되지 않을 뿐 아니라, 투과력이 미약하여 발아종자에 처리 시 내부로의 침투가 불가능하여 발아력에 영향을 미치지 않는다. 하지만 본 1세부과제의 연구결과 발아채소 종자가 전자빔 등에 의해 살균되었다 하더라도 새싹의 재배과정에서 재배환경의 영향으로 5일 경에는 비조사구와 동일한 수준의 미생물 증식이 야기되므로 전자빔에 의한 발아종자의 살균처리는 타당성이 없는 것으로 결론을 내렸다.

따라서 경제적 타당성 등을 고려하여 발아채소 포장상품의 출하 전 살균처리를 위하여 새싹공장에 2.5 MeV 수준의 전자빔 시설을 설치할 수 있다. 그러나 이 수준의 전자빔 시설의 설치에 원자력법의 적용에 따른 인허가와 초기 투자비용이 8억 원을 상회하므로 발아채소 공장에 전자빔 시설을 설치하는 것은 경제적 타당성이 없는 것으로 분석된다. 또한 제도적으로 식품의 전자빔 조사가 허가되어 있지 않은 실정이므로 단기적인 활용은 어려운 실정이나 장기적 관점에서 타당성 검토가 시도되었다.

나. 전자빔 조사 서비스 시설 이용

식품에 대한 전자빔의 사용이 허가된 경우를 전제로 하여 발아채소의 전자빔 처리에 따른 경제적 타당성을 분석하였다. 먼저 세 가지 발아채소 상품에 대하여 미생물의 농도 및 발아채소 별 전자빔 저항성을 고려하여 1~3 kGy의 전자빔을 처리할 경우, 발아채소의 생산 및 포장비용은 무처리와 동일한 것으로 가정하였다. 그리고 발아채소 상품 1톤을 기준으로 하였을 때 국내 수송비(공장에서 조사공장 편도 유류, 통행료 감가상가 포함)는 약 150,000원으로 추정되었고, 전자빔 조사비용은 조사선량과 처리시간(10 MeV 22분; 2.5 MeV 34분)을 고려할 때 Table 4.11 및 4.12와 같이 약 80,000-170,000원이 예상되었다. 따라서 전자빔 조사에 따른 추가적 비용은 발아채소 상품 1톤 당 230,000-320,000원이 소요되는 것으로 나타났으며, 이는 발아채소(클로버, 무순, 적양배추) 1톤 당 추정 시판가격인 8,000,000-12,000,000원을 감안하여 본다면 약 2.7~2.9%의 추가비용이 발생되며, 이는 위생적 품질향상으로 상쇄될 수 있는 수준으로 예상되며, 향후 산업적 적용 시에는 면밀한 검토가 요망된다.

Table 4.11. Economical feasibility analysis on electron beam treatment of selected seed sprouts (won)¹⁾

Sprout (ton)	Market price (won)	Irradiation (kGy)	Cost for production & packaging	Transportation cost (factory →irradiator →market)	Irradiation cost (won)		Quality
					2.5 MeV	10 MeV	
Clover		0	Same	0	0	0	Fair
		1		150,000	80,000	110,000	Good
Radish		0	Same	0	0	0	Fair
		2		150,000	80,000	140,000	Good
Chinese cabbage		0	Same	0	0	0	Fair
		3		150,000	80,000	170,000	Good

¹⁾전자빔 조사기준 : 5톤 차량, 적재 중량 1톤, 200 box, 1-3 kGy 처리 시

(주)대농바이오영농조합법인(해가든) ---> 이비테크(주) 수송 시;

① 거리 및 시간 : 140 km 편도 / 1시간 30분

② 수송비 : 150,000원

③ 조사비용: 선량 유효성에 따라 산정 (Table 4.12)

Table 4.12. Irradiation cost for treating electron beam selected seed sprouts

Electron beam (MeV)	Irradiation condition	Irradiation dose (kGy)		
		1	2	3
2.5	Cart irradiation (60 m) (20 cart/cycle) (Box/cart) beam current (mA)	24 min	24 min	24 min
		25 m/min	25 m/min	25 m/min
		4 mA	8 mA	12 mA
		80,000 won	80,000 won	80,000 won
10	Conveyer irradiation (5 m) (5 box/slot) beam current	22 min	28 min	34 min
		9.1m/min 0.5min/Slot	7.0m/min 0.7min/Slot	6.0m/min 0.8min/Slot
		0.5 mA	0.8 mA	1.0 mA
		110,000 won	140,000 won	170,000 won

다. 감마선 조사서비스 방안

일반적으로 감마선조사는 대용량의 Co-60 방사성동위원소를 내장한 시설에서 살균처리가 이루어지고 있다. 발아채소류는 신선도 측면에서 조사선량에 아주 민감한 품목이므로 대단위 조사시설에 응용하기에 어려움이 따르는 품목 중의 하나이다. 왜냐하면 대단위조사시설에서는 상업적 목적으로 저밀도 품목의 경우 4-5 kGy 수준의 기본선량을 설정하여 가동하는 경우가 대부분이므로 발아채소와 같은 저선량 처리를 위해 특수 환경을 재설정하기는 어려움이 따른다. 그린피아기술(주) 시설의 경우 1 pallet에 일정 수량의 box를 최대한 동일 위치에 적재하여 흡수선량(absorbed dose)의 균일성을 높여야 한다. 혹은 조사시설에서 시간 설정을 상기 선량으로 재설정함으로써 처리가 가능하다 하겠다. 현재 1, 2, 3 kGy 범위의 선량을 1톤 물량에 처리할 경우 약 2시간 30분 정도 소요될 것이며, 동시에 5톤 규모의 물량이라면 전체 처리시간이 6시간 정도 소요될 것으로 계산된다. 이는 당사의 상업적 감마선조사시설을 이용하여 신선식품을 처리한다는 것이 시간적으로 타당성이 낮다는 증거이다. 상기 발아채소 상품은 신선도가 가장 중요한 상품가치임을 고려할 때 단시간에 신속하게 살균 처리하여 출하하는 것이 유리하다. 조사비용을 산출해 본 결과, Table 3에서와 같이 1톤 발아채소상품의 수송비는 50,000원, 조사비용은 1-3 kGy 선량 범위에서 약 300,000만원으로 예상된다. 상품(1톤)의 시장가격 8,000,000-12,000,000원을 고려해 본다면 3.5-4.4%의 추가비용이 발생하는 것으로 확인되었다. 그러나 상품의 선도 및 품질을 고려해 본다면 조사시간이 상대적으로 짧은 전자빔 처리가 유리할 것으로 판단된다.

Table 4.13. Economical feasibility analysis on gamma irradiation of selected seed sprouts (won)¹⁾

Sprout	Market price (won/ton)	Irradiation (kGy)	Cost for production & packaging	Transportation cost (factory →irradiator →market)	Irradiation cost (won)	Quality	Added cost (%)
Clover	10,000,000	0	Same	0	0	Fair	
		1		50,000	300,000	Good	
Radish	8,000,000	0	Same	0	0	Fair	
		2		50,000	300,000	Good	
Red cabbage	12,000,000	0	Same	0	0	Fair	
		3		50,000	300,000	Good	

¹⁾감마선 조사기준 : 5톤 차량, 적재 중량 1톤, 200 box, 1-3 kGy 처리 시

(주)대농바이오영농조합법인(해가든) ---> 그린피아기술(주) 수송 시;

① 거리 및 시간 : 왕복 90 km / 편도 30분

② 수송비 : 50,000원

③ 조사시간 : 2시간 30분 내외

7. 전자빔 시설의 이용에 따른 공정 적용 매뉴얼

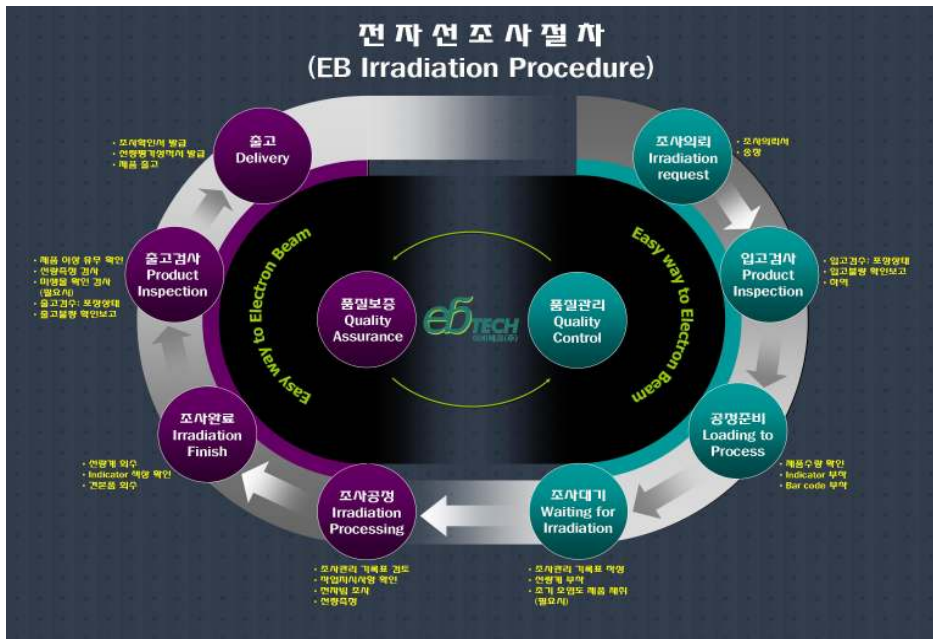


Fig. 4.37. Electron beam irradiation procedure.

·1단계: 전자빔 조사서비스 접수

- ① 전자빔 조사서비스 신청을 인터넷 혹은 전화로 사전에 접수를 받는다.
- ② 모든 접수사항은 영업관리에서 일정 조정 및 취합 관리한다.
- ③ 영업관리는 발아채소업체에 이메일 혹은 팩스로 조사서비스의뢰서 양식을 송부하고, 서비스 요청사항을 확인한다.
- ④ 영업관리는 발아채소업체로부터 접수된 조사서비스 의뢰서를 품질관리에 전달한다.
- ⑤ 품질관리부의 조사의뢰 제품의 성상 및 조사 가능성을 확인 후 생산부에 작업을 통보한다.

·2단계: 프로그램에 의한 선량계산

- ① 품질관리는 접수된 조사서비스 의뢰서를 기초로 하여 전자빔 운전조건 설정하기 위하여 선량프로그램을 사용하여 계산한다.
- ② 조사서비스 프로그램의 입력항목은 밀도, 두께, 주요 화학성분 값으로 전자빔 에너지 조건에 따라 찾아 입력하여 전자빔 조사선량을 결정한다. 상세한 사용법은 EB Irradiation services 매뉴얼을 참조한다.
- ③ 발아채소업체로부터 필요 선량을 요구받거나 필요시 조사선량에 대한 컨설팅을 제공하고, 제품의 포장형태 및 두께를 확인한다.

·3단계 : Dose Validation (dose mapping)

- ① 품질관리는 포장재질의 구성 원료, 포장형태 및 치수, 제품의 밀도, 포장 재료의 시험 조사선량 및 품질의 안전성에 대한 평가 자료를 근거로 조사선량을 계산한다.
- ②. 품질관리는 프로그램에 의하여 계산된 결과를 품질관리 부서장의 확인을 득한 후 생산부에 전달한다.
- ③ 프로그램에 의하여 계산된 전자빔의 운전 조건에 따라 전자가속기 및 콘베이어를 운전하고, 3개 카트의 중앙에 위치한 제품표면에 CTA필름을 부착한다.
- ④ 제품에 식별번호나 조사 전, 후에 관한 식별을 위하여 아래 그림의 식별번호표와 노란색 Indicator를 부착한다.

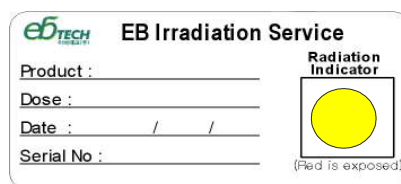


Fig. 4.38. Indicator label.

- ⑤ 초기 제품의 경우 Dose Mapping은 아래의 절차에 따라 실시한다. 발아채소의 대부분은 겉보기 밀도가 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 이상이므로 2.5MeV로 조사 처리 가능한 제품의 최대 두께는 100mm로 제한된다. 제품별 동질밀도에 대한 선량 분포도 측정을 위한 선량 측정 위치는 그림과 같은 위치에 선량계 필름을 설치하여 측정한다. 여기서 선량계 필름의 길이는 최소 50 mm로 한다. 선량계의 설치 위치는 아래의 그림과 같이 위치시킨다. 설정된 적재형태 내에서 최대선량, 최소 선량을 결정한다. 공정의 재현성을 평가하기 위하여 Dose Mapping은 3차에 걸쳐 실시한다.

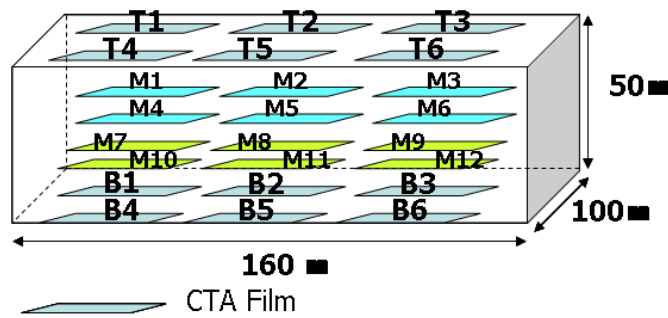


Fig. 4.39. Loading pattern.

예상되는 최대선량과 최소선량을 기준으로 선량 위치를 정하여 기록한다. 정규 공정을 위한 선량 측정 모니터링 위치를 결정한다. Dose mapping의 주기는 최초 제품조사 의뢰시와 조사제품의 설계 변경시 실시한다. Dose mapping 결과에 대한 관리번호를 부여하고 측정결과를 기록관리 한다. 선량의 mapping 실측결과에 따라 선량계산 프로그램을 calibration하고, 관리번호를 부여한다.

- ⑥ 조사선량의 일상관리는 다음의 절차에 따른다.
- ㉠ 주기: 매회 조사서비스 의뢰시 실시한다.
 - ㉡ 전자빔 조사 의뢰된 제품의 선량 측정 모니터링 위치에 선량계 필름을 부착한다. 전자빔 조사 의뢰된 제품은 3개의 컨베이어 카트(80cm*80cm)에 별도로 구분하여 중앙에 위치시킨다. 선량계 필름은 최소 5cm 길이로 일정하게 자른 후 제품 속에 넣거나, 매직테이프를 이용하여 제품의 표면에 고정한다.
 - ㉢ 계산 및 설정된 조건에 따라 전자빔 조사를 한다.

- ㉔ 전자빔 조사된 제품이 출구로 나온 후 부착된 필름을 떼어 알루미늄 호일에 포장 후 화학실험실로 옮긴다.
- ㉕ 선량의 계산방법은 분광광도계의 흡광도 값을 이용하여 측정값을 계산한다.
- ㉖ 설정된 적재형태 내에서 최대선량, 최소선량을 결정한다.

7. 품질관리는 전자빔 조사 의뢰된 제품의 전자빔 운전조건과 조사선량 확인서를 발행하여 영업관리에 제품의 출고를 지시한다.

4단계 : 전자가속기 점검 및 전자빔 조사 준비

- ① 전자가속기 가동 전에 유지보수점검항목을 기준으로 이상 유무를 확인한다.

NO	일일점검항목	비고
1	Interlock unit 접점 상태 확인	가동중 확인
2	이온펌프 진공도	가동중 확인
3	카트와 인출창 높이	가동전 확인
4	콘베이어 레일	가동전 확인
5	콘베이어 제어관벨	가동전 확인
6	카트의 변형 및 파손	가동전후확인
7	누설방사선량측정	가동중 확인
8	수냉각장치(chiller)	가동전 확인
9	적외선출입인터록	가동전 확인
10	오존배기팬	가동전 확인
11	Air cooling Blower	가동전 확인
12	전자총	가동중 확인
13	감시카메라	가동전 확인
14	조사실 내부 환경	가동전 확인

- ② 접수된 제품을 조사실 앞으로 운반한다.
- ③ 카트식 콘베이어 및 이송 레일의 청소 상태(이물질 등)를 확인하고, 전원 투입 후 전후 왕복운동을 시켜 작동상태가 정상인지 확인한다.
- ④ 빔 인출창과 카트의 거리는 20 cm로 조정하고, 조사할 제품의 박스의 높이를 고려하여 카트의 높이를 조정하여야한다. (기준점은 제품의 중간 높이로 한다.)
- ⑤ 운전자는 의료기기 제품을 카트식 콘베이어에 loading한다.

- ⑥ 조사 서비스가 준비된 제품에 전자빔 조사 유무를 판정하는 라벨지를 각각 부착한다. 필요시 Bar Code 시스템을 구비하여 조사처리 제품의 효율적인 관리가 가능토록 하여야 한다.

5단계 : 전자빔 조사 (Electron beam irradiation)

- ① 전자빔의 Utility Panel의 Fan과 Chiller 버튼을 눌러 동작시킨다.
- ② 전자빔의 1층과 2층 차폐도어가 닫혀 있는지 확인한다.
- ③ 전자빔 조사실 내부에 사람이 있는지 없는지 확인한다.
- ④ 전자빔 조사실 내부의 전등과 내부감시 카메라의 전원을 동작시킨다.
- ⑤ 전자빔 MCU 판넬 및 컨트롤용 PC의 전원을 동작시키고, 전자빔 조사시설의 가동을 사이렌으로 알린다.
- ⑥ 전자빔 조사일지에 전자가속기 운전사항 및 시작시간, 작업자, 날짜, 사용자 정보 등을 기록한다.
- ⑦ 전자빔 운전 프로그램(ELV.EXE) 실행한다.
- ⑧ 전자빔 조사 조건에 따라 빔에너지를 입력한다.
- ⑨ 전자빔 조사 조건에 따라 빔전류를 입력한다.
 - * 전자가속기의 상세 가동 및 정지순서는 가속기 운전매뉴얼에 따라 실시 한다.
- ⑩ 전자빔의 입력된 설정조건이 될 때 까지 Warming-up 시킨다.
- ⑪ 전자빔 운전 조건의 정상상태가 확인되면 이동식 카트를 동작시킨다.
- ⑫ 이동식 카트의 컨트롤 판넬에서 제품의 이송속도를 제어한다.
- ⑬ 내부 감시 카메라를 통해 이동식 카트의 이동을 관찰한다.
- ⑭ 제품의 전자빔 조사공정이 끝나면 전자빔을 정지한다.

6단계: 전자빔 조사완료

- ① 조사 서비스가 완료된 제품의 전자빔조사 유무를 부착된 인디케이트의 색깔 변화로 확인한다(노랑→빨강).
- ② 이동식 카트 위의 조사된 제품의 포장 단위별 바코드를 확인한다.
- ③ 제품의 수량, 포장상태, 파손여부를 확인한다.
- ④ 발아채소 업체별 조사선량 관리에 기록을 보관한다.
- ⑤ 전자빔의 운전조건과 조사선량을 선량인정서에 기록하여 확인서를 발행한다.
- ⑥ 고객불만 사항을 접수한다.

제 4 절 결 론

방사선 식품 조사의 장점인 농산물의 발아 및 발근 억제, 식품의 부패균 및 병원균 사멸 등과 같은 식품의 저장성과 안정성을 증진시키는 효과를 전자가속기의 조사처리에 대한 선량분포도를 평가하고, 전자가속기의 보급을 위한 저에너지급 소형화를 위한 방안을 모색하고자 지속적인 연구개발을 수행하고자 한다.

본 연구에 사용한 중에너지급 전자가속기는 설비에 대한 적격성을 판단하기 위하여 수시로 선량분포도를 측정 관리하고 있으며, 발아채소의 포장 용기별로 선량을 측정하였다. 발아채소에 조사된 흡수선량은 저선량의 범위로 처리되었으며, 포장재의 재질이나 충전되어 있는 새싹 양의 변화에 민감하게 변화하였다. 발아채소 및 종자의 경우 유효투과 깊이는 2.5 MeV에서 59 mm로 조사한 모든 시료는 제품의 바닥 면까지 투과되는 것으로 확인되었으며, sample 종류별 빔 uniformity는 1.07-1.26으로 측정되었다.

발아채소의 포장용기의 종류별 선량분포도를 확인한 결과 전자빔의 깊이와 선량과의 이론적인 관계에 일치하는 것으로 나타났으며, 조사 시료의 밀도와 조사물질의 두께에 따라 전자빔 조사 설비의 운전조건을 결정할 수 있었다. 또한, 이를 바탕으로 축적된 운전 자료를 바탕으로 이론적인 함수식을 도출할 수 있을 것으로 판단되었다. 전자빔 조사에 따른 온도 영향은 흡수선량 1-10 kGy 범위로 조사 처리되어 온도 변화는 조사 전과 후에 큰 차이를 나타내지 않았다.

발아채소의 살균처리는 종자를 제외한 최종상품에 대하여 처리하며, 처리공정의 추가에 따른 경제적 타당성을 고려하였다. 발아채소 공장에 2.5 MeV 수준의 전자빔 처리시설을 설치하려면, 전자빔 시설의 운전 및 관리를 요하는 동위원소 일반면허소지자가 기본자격으로 필요하며, 전자빔 시설은 원자력법의 방사선 발생장치로 분류되므로 교육과학기술부의 사용에 관한 인허가를 취득하여야 한다. 2.5 MeV 전자빔 시설의 초기 기계장치 투자비용은 8억원 수준이며, 토목 건축비용은 3억원 수준으로 매우 크므로 발아채소 공장에 직접 전자빔 시설을 설치하는 것은 경제적인 어려움이 있는 것으로 판단된다. 그러므로 전자빔 조사서비스를 받을 수 있는 시설을 이용할 경우를 고려하였다.

발아채소 상품 1톤을 기준으로 하였을 때 수송비(공장에서 조사공장 편도 유류, 통행료 감가상각 포함)는 약 15만 원으로 추정되었고, 전자빔 조사비용은 조사선량과 처리시간(10 MeV, 28분; 2.5 MeV, 24분)을 고려할 때 약 8-17만 원이 예상되었다. 따라서 전자빔 조사에 따른 추가적 비용은 발아채소 상품 1톤 당 23-32만이 소요되는 것으로 판단되고, 전자빔 조사 서비스 시설 이용에 관한 공정 적용 매뉴얼은 3.7에 작성되었다.

농산물의 발아 및 발근 억제, 식품의 부패균 및 병원균 사멸 등과 같은 식품의 저장성과 안정성을 증진시키는 효과로 전자빔의 활용이 향후 극대화될 것으로 판단되지만, 대상업체의 집단화된 위치에 전자빔이 설치되거나 기존 전자빔 조사시설을 이용한 조사서비스가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

과제별	연도별	목 표	달성도 및 기여도
1세부과제	1차년도 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소 및 종자 오염 미생물의 전자빔 /감마선 감수성 확인 ■ 발아채소 및 종자의 전자빔/ 감마선 살균효과 비교 및 타당성 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소 및 종자의 미생물 오염 확인 및 병원성미생물(5종)정성적 확인평가 ■ Positive 모델시료에서 병원성미생물 전자빔/ 감마선 감수성(D₁₀ value 과 5 D value)확인과 종자 및 발아 채소 살균특성 확인
	2차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소의 품질평가와 최적 전자빔/감마선 살균조건 확립 ■ 발아채소의 전자빔/감마선 살균법 실용화 타당성 분석 기술자료 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전자빔/감마선(1-3 kGy) 살균효과 확인 및 품질보증 적용조건 확보 ■ 미생물생육특성과 조사 공정 고려, 전자빔의 포장 발아채소 적용타당성 및 조건 확보
2세부과제	1차년도 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소의 생산단계별 미생물학적 위해요소평가 ■ 재배수 및 소독제의 감균효과 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소 생산현장에서 미생물적 위해요소 (일반세균, 대장균군, 대장균 및 식중독균 5종) 분석평가 ■ 발아채소 재배수(염소수, 오존수, 전해수 등) 및 소독제(차아염소산나트륨, 에탄올, 유기산 등) 처리 효과에 대한 감균 및 품질 확인
	2차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소의 위생적 생산기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소 생산 공정에서의 GMP, HACCP 적용 매뉴얼작성(종자살균/ 소독, 채소의 위생 전처리, 살균공정 등)

과제별	연도별	목 표	달성도 및 기여도
3세부과제	1차년도 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유통 중 발아채소의 유통특성 평가 및 포장재 선택시험 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시중 유통 중 발아채소의 포장형태별, 제품군별 유통특성(품질, 유통기한 등) 조사
	2차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고품질 발아채소 제품의 유통기술 확립과 유통기한 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소의 적합 포장재질 선정시험(5종의 포장재 중 1종의 방담OPP film 선정) ■ 선정된 포장재를 이용, 전자빔(1-3 kGy)처리 후 유통조건(4, 10, 20℃) 별 품질평가와 유통기한 설정
협동과제	1차년도 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Electron beam intensity, beam power 조절과 beam uniformity 설정 ■ 포장특성에 따른 전자빔 흡수특성 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 300 keV 및 2.5 MeV에서의 빔전류(mA) 및 빔출력(kW) 조절과 빔균일도 확보 ■ 새싹채소 포장특성에 따른 beam 적용과 cellulose triacetate dosimetry 및 dose mapping systemdp 의한 흡수선량비교 및 calibration 결정
	2차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소의 빔 살균공정 제어 및 적용 매뉴얼 구축 ■ 살균공정 HACCP plan 적용을 위한 manual 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 발아채소 및 종자 빔 살균공정제어 및 적용 매뉴얼 구축 ■ 살균공정 HACCP plan 적용을 위한 manual 작성, 품질관리 및 품질보증 지침 확보

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 주요 연구결과

- ◆ 발아채소 종자에서부터 생산 전 단계에서의 미생물학적 위해분석 평가
- ◆ 발아채소 생산과정에서의 미생물 저감화 방안 제시
- ◆ 고품질 발아채소 생산을 위한 GMP 매뉴얼 및 HACCP 관리계획 모델 개발
- ◆ 시판 발아채소의 제품군 및 포장형태별 품질 및 유통특성 모니터링
- ◆ 고품질 발아채소 유통을 위한 포장재 선발 및 전자빔 여부에 따른 유통기한 설정
- ◆ 발아채소 오염 가능 병원성미생물의 전자빔/감마선 감수성 확인
- ◆ 포장된 발아채소 상품의 전자빔 살균조건 확립
- ◆ 전자빔 조사 서비스를 위한 품질관리지침 구축 및 경제성 분석

2. 활용계획

- ◆ 연구결과의 국내외 학술지 게재로써 safety-claim에 대한 과학적 근거자료로 활용
- ◆ 발아채소 생산현장에서 단계별 미생물학적 위해요소 분석 기술지도
- ◆ 발아채소 생산현장에서 GMP 매뉴얼 및 HACCP 가이드라인 현장적용 활용
- ◆ 개선된 포장기법을 활용한 발아채소 포장상품의 고품질 유통기술 적용 지도
- ◆ 발아채소 등 신선편이식품의 병원성미생물 분석기법 및 전자빔 감수특성 공유
- ◆ 신선편이식품 안전성확보를 위한 전자빔이용 허가기준(안) 마련 정책 자료로 활용
- ◆ 전자빔 조사 서비스를 위한 품질보증 및 품질관리 지침서 근거자료로 활용

3. 연구결과의 활용 영역

가. 국내외 논문게재

- 1) Waje, C., Kwon, J.H. Improving the food safety of seed sprouts through

- irradiation treatment. *Food Sci. Biotechnol.*, 16(2): 171-176 (2007)
- 2) Waje, C., Jun, S.Y., Lee, Y.K., Kim, B.N., Han, D.H., Jo, C., Kwon, J.H. Microbial quality assessment and pathogen inactivation by electron beam and gamma irradiation of commercial seed sprouts. *Food Control*, 20, 200-204 (2009)
 - 3) Waje, C., Park, J.H., Kim, G.R., Kim, Y.R., Han, B.S., Lee, Y.K., Moon, K.D., Kwon, J.H. Effect of irradiation of red radish seeds on the seed viability and functional properties of sprouts. *Food Sci. Biotechnol.*, 18(2), 390-395 (2009)
 - 4) Waje, C., Jun, S.Y., Lee, Y.K., Moon, K.D., Choi, Y.H., Kwon, J.H. Seed viability and functional properties of broccoli sprouts during germination and postharvest storage as affected by irradiation of seeds. *J. Food Sci.*, 74(5), c 370-374 (2009)
 - 5) 이현정, 장지현, 권중호, 문광덕. 포장재가 무순의 저장 중 품질특성에 미치는 영향. *한국식품저장유통학회지*, 16(2) 147-154 (2009)
 - 6) 박주환, 김귀란, 권중호. 전자빔과 감마선 조사된 무순 및 적양배추 종자의 발아 중 미생물학적 및 생리적 품질특성. *한국식품저장유통학회*, 16(2) 186-191 (2009)
 - 7) 박정은, 권중호, 이연경. 새싹 종자 소독 여부에 따른 발아율과 재배기간별 미생물 오염도. *한국식품저장유통학회*, 16(2) 292-298 (2009)

나. 학협회 논문발표

- 1) Waje, C., Jun, S.Y., Lee, Y.K. and Kwon, J.H. Microbial quality assessment and pathogen inactivation by electron beam in commercial seed sprouts in Korea. 2007 IFT Annual Meeting and Food Expo, July 27-Aug. 1, 2007 McCormick Place, Chicago, Illinois, USA (Abstract Book, p. 264)
- 2) Jun, S.Y., Waje, C., Kwon, J.H. and Lee, Y.K. Microbial assessment of sprouts and comparison of the effects of sanitizers. 10th Asian Congress of Nutrition, Sept. 9-13, 2007, Taipei, Taiwan (Abstract Book, p. 230)
- 3) Waje, C., Kwon, J.H.. Nutritional quality of red radish sprouts grown from irradiated seeds. 2008 International Symposium and Annual Meeting, The Korean Society of Food Science and Nutrition, Proceeding p. 170, Ramada Plaza Hotel, Jeju Island, Korea, 13-15 October 2008.
- 4) 전소윤, Waje, C., 권중호, 이연경. 새싹채소류의 위해미생물 오염도 평가 및 소독효

- 과 비교. 한국식품위생안전성학회 창립 20주년 기념 국제심포지엄 및 학술발표회 자료집, p. 231, 건국대, 서울 (2006. 11. 17)
- 5) Waje. C., Lee, Y.K., Kwon, J.H. Effect of electron beam and gamma irradiation on the seed viability of red radish and broccoli sprouts. 한국식품과학회 2007년 학술발표회 초록집, p. 187, 부산 BEXCO (2007. 06. 20-22)
 - 6) 박주환, Catherine Waje, 김귀란, 이연경, 김유리, 한범수, 문광덕, 권중호. 전자빔 조사에 따른 시판 적양배추 새싹의 미생물 사멸효과와 관능적 품질 특성. 2008 한국식품영양과학회 학술발표회 초록집, p. 169, 제주도 (2008. 10. 13-15)
 - 7) 김찬희, 배혜민, 박주환, Catherine Waje, 김현구, 권중호. 방사선 조사가 새싹채소종자(배추, 다채)의 발아 및 품질특성에 미치는 영향. 2008 한국식품저장유통학회 학술발표회 초록집, p 291, 광주 (2008. 11. 07)
 - 8) Jun, S.Y., Kim, T.H., Lee, Y.K. Microbiological evaluation of step-by-step in seed sprouting. IAFP 2008 95th Annual Meeting, August 3-6. Columbus, USA (Abstract Book, p. 31)
 - 9) Jun, S.Y., Kim, T.H., Lee, Y.K. Effect of different water irrigation in the reduction of the microflora during red radish seed sprouting. 한국식품위생안전성학회 학술발표회 초록집, p 266, 서울대 (2008. 11. 6)
 - 10) Jun, S.Y., Lee, Y.K. Decontamination of red radish seeds artificially contaminated with *Listeria monocytogenes*. IAFP 2009 96th Annual Meeting, July 12-15. Grapevine, Texas, USA

다. 세미나 발표

- 1) 이연경. 새싹채소의 HACCP 관리계획 개발. '그린바이오 식품산업 현황과 미래전략' 심포지엄 특별강연, 한국식품저장유통학회, 2009. 6. 5 (진주, 경상대)

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. Villaluenga, C.M., Frias, J., Gulewicz, P., Gulewicz, K. and Vidal-Valeverde, C. Food safety evaluation of broccoli and radish sprouts. *Food Chem. Toxicol.* 46, 1635-1644 (2008)
2. Farkas, J. Irradiation for better foods. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 148-152 (2006)
3. Fernandez-Orozco, R., Piskula, M.K., Zielinski, H., Kozłowska, H., Frias, J. and Vidal-Valverde, C. Germination as a process to improve the antioxidant capacity of *Lupinus angustifolius* L. var. Zapaton. *Eur. Food Res. Technol.* 223, 495-502 (2006)
4. Force, L.E., O'Hare, T.J., Wong, L.S. and Irving, D.E. (2007). Impact of cold storage on glucosinolate levels in seed-sprouts of broccoli, rocket, white radish and kohlrabi. *Postharvest Biol. Technol.* 44, 175-178.
5. Gabriel, A.A., Berja, M.C., Estrada, A.P., Lopez, M.A., Nery, J.B. and Villaflor, E.B. Microbiology of retail mung bean sprouts vended in public markets of National Capital Region, Philippines. *Food Control*, 18, 1307-1313 (2007)
6. Fahey JW, Ourisson PJ, Degnan FH. Pathogen detection, testing and control in broccoli sprouts. *Nutrition Journal.* 5:13 (2006)
7. USDA. Guidebook for the preparation of HACCP plans. p 1-74 (1999)
8. Kerri H. Guidelines for developing GMPs, SOPs and ESTRs-RTE products. p 1-25 (1999)
9. Khattak, A.B., Zeb, A. and Bibi, N. Impact of germination time and type of illumination on carotenoid content, proteinsolubility and in vitro protein digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food Chem.* 109, 797-801 (2008)
10. Liang, H., Yuan, Q.P., Dong, H.R. and Liu, Y.M. . Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. *J. Food Compos. Anal.* 19, 473-476 (2006)
11. Lopez-Amoros, M.L., Hernandez, T. and Estrella, I.. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. *J. Food Comp. Anal.* 19, 277-283 (2006)
12. Mintier, A.M. and Foley, D.M. Electron beam and gamma irradiation effectively reduce

- Listeria monocytogenes* populations on chopped Romaine lettuce. *J. Food Prot.* 69, 570-574 (2006)
13. O'Hare, T.J., Wong, L.S., Force, L.E., Gurung, C.B., Irving, D.E. and Williams, D.J. Glucosinolate composition and anti-cancer potential of daikon and radish sprouts. *ISHS Acta Hort.* 765, 237-244 (2008)
 14. Osaili, T.M., Shaker, R.R., Abu Al-hasan, A.S., Ayyash, M.M. and Martin, E.M. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* in infant milk formula by gamma irradiation: determination of D10-value. *J. Food Sci.* 72, 85-88 (2007)
 15. Pierre, P.M. and Ryser, E.T.. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes* on inoculated alfalfa seeds with fatty acid-based sanitizer. *J. Food Prot.* 69, 582-590 (2006)
 16. Saroj, S.D., Hajare, S., Shashidhar, R., Dhokane, V., Sharma, A. and Bandekar, J.R. Radiation processing for elimination of *Salmonella typhimurium* from inoculated seeds used for sprout making in India and effect of irradiation on germination of seeds. *J. Food Prot.* 70, 1961-1965 (2007)
 17. Sun, T., Powers, J.R. and Tang, J. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chem.* 105, 101-106 (2007)
 18. Thompson, S. and Powell, D.A. Risks associated with the consumption of fresh sprouts. <<http://www.foodsafetynetwork.ca>> Accessed March (2006)
 19. Weiss, A. and Hammes W.P. Efficacy of heat treatment in the reduction of salmonellae and *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa, mung bean and radish seeds used for sprout production. *Eur. Food Res. Technol.* 221, 187-191 (2005)

제 7 장 참고문헌

(제 1 세부과제)

1. Choi, J.W., Park, S.Y., Yeon, J.H., Lee, M.J., Chung, D.H., Lee, K.H., Kim, M.G., Lee, D.H., Kim, K.S. and Ha, S.D. microbial contamination levels of fresh vegetables distributed in markets. *J. Fd Hyg., Safety*, 20(1), 43-47 (2005)
2. Frias, J., Miranda, M. L., Doblado, R., & Vidal-Valverde, C. Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var. Multolupa. *Food Chemistry*, 92, 211-220 (2005).
3. Lopez-Amoros, M. L., Hernandez, T., & Estrella, I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 277-283 (2006)
4. 김태형, 조대현, 김형근, 김석중, 장기창. 새싹채소 재배 상자 개발 및 기능성 상품개발. 농촌진흥청 농업인개발과제 최종보고서 (2004)
5. Fu, T., Stewart, D., Reineke, K., Ulaszek J., Schlessner, J. and Tortorello, M. Use of spent irrigation water for microbiological analysis of alfalfa sprouts. *J. Food Prot.*, 64, 802-806 (2001)
6. U.S. Consumers advised of risks associated with raw sprouts. Department of Health and Human Services, Washington, D.C., 9, 99-113 (2000)
7. Montville R, Schaffner D. Monte carlo simulation of pathogen behavior during the sprout production process. *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 746-753 (2005)
8. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods. Microbiological safety evaluations and recommendations on fresh produce. *Food Control.* 10: 117-143 (1999)
9. Taormina PJ, Beuchat LR, Slutsker L. Infections associated with eating seed sprouts: an international concern. *Emerging Infect. Dis.* 5: 626-634 (1999)
10. Lang, M. M., Ingham, B.H. and Ingham, S. C. Efficacy of novel organic acid and hypochlorite treatment for eliminating *Escherichia coli* O157:H7 form alfalfa seeds prior to sprouting. *Int. J. Food Microbiol.*, 58, 73-82 (2000)

11. Delaquis, P.J., Schoeller, P.L. and Stanich K. Disinfection of mung bean seed with gaseous acetic acid. *J. Food Prot.*, 62, 964-957 (1999)
12. IAEA homepage (<http://nucleus.iaea.org>)
13. US FDA & USDA (<http://www.fda.gov>, <http://www.usda.gov>)
14. KFDA. Korea Food Standard Code. Korea Food & Drug Administration, Seoul (2008)
15. Weissinger W.R., Chantarapanont W. and Beuchat L.R. Survival and growth of *Salmonella bairdii* in shredded lettuce and diced tomatoes and effectiveness of chlorinated water as a sanitizer. *Int. J. Food Microbiol.*, 62, 123-131 (2002)
16. Kim, H. J., Feng, H., Kushad, M. M., & Fan, X. Effects of ultrasound, irradiation, and acidic electrolyzed water on germination of alfalfa and broccoli seeds and *Escherichia coli* O157:H7. *J. Food Sci.*, 71, 168-173 (2006)
17. Solberg M, Buckalew JJ, Dhen CM, Schaffner DW, O'Neil K, Mcdowell J, Post LS, Boderck M. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *J. Food Technol.* 44: 68-73 (1990)
18. Fan, X. and Thayer, D.W. Quality of irradiated alfalfa sprouts. *J. Food Prot.*, 64, 1574-1578 (2001)
19. Rajkowski, K.T. and Thayer, D.W. Alfalfa seed germination and yield ratio and alfalfa sprout microbial keeping quality following irradiation of seeds and sprouts. *J. Food Prot.*, 64, 1988-1995 (2001)
20. Waje, C., Kwon, J.H. Improving the food safety of seed sprouts through irradiation treatment. *Food Sci. Biotechnol.*, 16(2): 171-176 (2007)
21. WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a of a joint FAO/WHO expert committee. Technical Report series-659, 7-34 (1981)
22. Kwon, J.H. Current status of food irradiation in Korea. *Food Irradiation*, 42(1), 35-42 (2007)
23. Harrigan, W.F. and Mccane, M.E. Laboratory Method in Food and Dairy Microbiology, Academic, London, 25-146 (1976)
24. Osaili, T.M., Shaker, R.R., Abu Al-hasan, A.S., Ayyash, M.M. and Martin, E.M. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* in infant milk formula by gamma irradiation: determination of D₁₀-value. *J. Food Sci.* 72, 85-88 (2007)

25. Oh, K.N., Kang, E.K., Park, C.R. and Yang, J.S. Identification of germination properties for the screening of gamma irradiated beans. Korean J. Food Sci. Technol., 34(6), 1002-1006 (2002)
26. Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official Methods of Analysis. United States, AOAC, Inc.
27. Fan, X. and Thayer, D.W. Quality of irradiated alfalfa sprouts. J. Food Prot., 64, 1574-1578 (2001)
28. Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochem. Soc. Transac., 11, 591-592 (1985)
29. Schanderl, S.H. Methods in Food Analysis (2nd ed.). New York, Academic Press (1970)
30. Liang, H., Yuan, Q.P., Dong, H.R. and Liu, Y.M. Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. J. Food Compos. Anal., 19, 473-476 (2006)
31. O'Hare, T.J., Wong, L.S., Force, L.E. and Irving, D.E. Glucosinolate composition and anti-cancer potential of seed-sprouts from horticultural members of Brassicaceae. ISHS Acta Hort., 744, 181-187 (2007)
32. Larmond, E. Method for sensory evaluation of food. Canada Department of Agriculture, Publication 1284, 5-30 (1970)

(제 2 세부)

1. Taormina, P.J., Beuchat, L.R. and Slutskert, L. Infections associated with eating seed sprouts: an international concern. J. Emerg. Infect. Dis. 5(5), 626-634 (1999)
2. Thayer, D.W. and Rajkowski, K.T. Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. J. Food Technol. 53(11), 62-65 (1999)
3. Watanabe, Y., Ozasa, K., Mermin, J.H., Griffin, P.M., Masuda, K., Imashuku, S. and Sawada, T. Factory outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection in Japan. J. Emerg. Infect. Dis. 5, 424-428 (1999)
4. Portnoy, B.L., Goepfert, J.M. and Harmon, S.M. An outbreak of *Bacillus cereus*

- food poisoning resulting from contaminated vegetable sprouts. *Am J. Epidemiol.* 103, 589-594 (1976)
5. NACMCF. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for foods. (1999)
 6. US FDA. Guidance for industry: reducing microbial food safety hazards for sprouted seeds and guidance for industry: sampling and microbial testing of spent irrigation water during sprout reduction. *Federal Register*. 64, 57893-57902 (1999)
 7. US FDA. Irradiation in the production, processing and handling of food. *Federal Register*. 65, 64605-64607 (2000)
 8. Rajkowski, K.T., and Thayer, D.W. Alfalfa seed germination and yield ratio and alfalfa sprout microbial keeping quality following irradiation of seeds and sprouts. *J. Food Prot.* 64, 1988-1995 (2001)
 9. Delaquis, P.J., Sholbegr, P.L. and Stanich, K. Disinfection of mung bean seed with gaseous acetic acid. *J. Food Prot.* 62, 964-957 (1999)
 10. Lang, M.M., Ingham, B.H. and Ingham, S.C. Efficacy of novel organic acid and hypochlorite treatments for eliminating *Escherichia coli* O157:H7 from alfalfa seeds prior to sprouting. *Int. j. Food Microbiol.* 58, 73-82 (2000)
 11. NACMCF. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for foods. (2000)
 12. NAQS. The status analysis of fresh-cut vegetables preprocessing facilities. 12:7 (2005)
 13. Solberg, M., Buckalew, J.J., Dhen, C.M., Schaffner, D.W., O'Neil, K., Mcdowell, J., Post, L.S. and Boderck, M. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *J. Food Technol.* 44, 68-73 (1990)
 14. Donnelly, C.W. and Briggs, E.H. Psychrotropic growth and thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* as a function of milk composition. *J. Food Prot.* 49, 994-998 (1986)
 15. Choi, J.W., Park, S.Y., Yeon, J.H., Lee, M.J., Chung, D.H., Lee, K.H., Kim, M.G., Lee, D.H., Kim, K.S. and Ha, S.D. Microbial Contamination Levels of Fresh Vegetables Distributed in Markets. *Korean Society of Food Hygiene and Safety.* 20(1), 43-47 (2005)

16. Roberto, L.B., Sanchez, R.A., Forcella, F., Kruk, B.C. and Ghera, C.M. Environmental control of dormancy in wood seed banks in soil. *Field Crop. Res.* 67, 105-122 (2000)
17. Park, H.K. and Kim, S.B. Microbial Reduction of Fresh Vegetables by Treatment of Sanitizing Reagents. *Korean Society of Food and Nutrition.* 17(4), 436-441 (2004)
18. Adams, M.R., Hartley, A.D. and Cox, L.J. Factors affecting the efficacy of washing procedures used in the production of prepared salads. *Food Microbiol.* 6, 69 (1989)
19. Garg, N. Churey, J.J. and Splittstoesser, D.F. Effect of procesing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. *J. Food Prot.* 53, 701 (1990)
20. KHIDI. Study on the development of manual for GMP general manufacturing guideline and magnification plan for GMP application manufacturing insdustry. p 1-657 (2004)

(제 3 세부 과제)

1. Robertson, L.J., Johannessen, G.S., Gjerde, B.K., and Loncarevic, S. Microbiological analysis of seed sprouts in Norway. *International Journal of Food Microbiology.* 75, 119-126 (2002)
2. Youshiyuki, W., Kotaro, O., Jonathan, H.M., Patricia, M.G., Kazushige, M., Shinasaku, I. and Tadashi, S. Factory outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection in Japan. *Emerg. Infect. Dis.*, 5, 424-428 (1999)
3. Hong, S.I., Son, S.M., Chung, M.S., and Kim, D.M. Storage quality of minimally processed onions as affected by seal-packaging methods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35(6), 1110-1116 (2003)
4. Cho, S.D., Youn, S.J., Kim, D.M. and Kim, G.H. Quality evaluation of fresh-cut lettuce during storage. *Korean J. Food and Nutr.*, 21(1), 28-34 (2008)
5. Lee, J.S., Chung, D.S., Choi, J.W., Jo, M.A., Lee, Y.S. and Chun, C.H. Effects of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. *Korean F. Food Preserv.* 13(1), 8-12 (2006)
6. Rizzo, V. and Muratore, G. Effects of packaging on shelf life of fresh celery. *J. of Food engineering.* 10, 1016 (2008)

7. Choi, M.H. and Kim, G.H. Quality changes in oyster mushrooms during modified atmosphere storage as affected by temperatures and packaging materials. Korean J. Food Sci. Technol. 35(6), 1079-1085 (2003)
8. Cho, S.H., Lee, S.D. and Choi, Y.J. Effects of packaging and storage temperature on quality during storage of mung bean sprouts. Korean J. Food Preserv. 12(6), 522-528 (2005)
9. Park, H.W., Park, J.D. and Kim, D.M. Freshness extension of tomatoes by packaging methods. Korean J. Postharvest Sci. Technol. 6(3), 255-259 (1999)
10. Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidants substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocateu reagents. Oxidants and Antioxidants. Part A, 299, 152-178 (1999)
11. Ferrara L, Montensano O, Senatore A. The distribution of mineral and flavonoids in the tea plant(*Camellia sinensis*). Il Farmaco. 56, 397-401 (2001)
12. Blois MS. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature. 4617, 1198-1199 (1958)
13. 채수규, 강갑석, 마상조, 방광웅, 오문현, 오성훈. 표준식품분석학. 효일문화사. p. 545-551 (2002)
14. Handbook of experiments in food science and nutrition. Nutrition. The Korea Society of Food Sci. and Nur. p. 349-350 (2000)
15. Schanderl, S.H. Methods in Food Analysis (2nd ed.). New York, Academic Press (1970)
16. Fan, X. and Thayer, D.W. Quality of irradiated alfalfa sprouts. J. Food Prot., 64, 1574-1578 (2001)
17. Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochem. Soc. Transac., 11, 591-592 (1985)

(협동과제)

1. Roberts, P. Harmonization of regulations in food irradiation in accordance with the SPS and TBT agreement, in irradiation for Food Safety and Quality. Technomic

- Publishing Co., (2001)
2. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Food, Codex Alimentarius, FAO/WHO, Rome, 15 (1984)
 3. ANON., Present status and guidelines for preparing harmonized legislation on food irradiation in the Near East, paper presented at Joint AAEA/FAO/IAEA Regional Workshop, Tunis (1998)
 4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Manual of Food Irradiation Dosimetry, Technical Reports Series, IAEA, Vienna, 178 (1977)
 5. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Wholesomeness of Irradiated Food, Technical Reports Series, WHO, Geneva. 659 (1981)
 6. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Food Safety - Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation, Weekly Epidemiological Record 73, WHO, Geneva, 3, 9-11 (1998)
 7. WORLD HEALTH ORGANIZATION, High-dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses above 10 kGy, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, Technical Reports Series, WHO, Geneva, 890 (1999)
 8. Ravindran, V., Ravindran, G. Nutritional and antinutritional characteristics of Mucuna (Mucuna utilis) bean seeds. J. Sci. Food Agric. 46, 71-79 (1988)
 9. Iyayi, E.A., Egharevba, J.I. Biochemical evaluation of seeds of an underutilized legume (Mucuna utilis). Nigeria J. Ani. Prod. 25, 40-45 (1998)
 10. Ahenkora, K., Dadzie, M., Osei-Bonsu, P. Composition and functional properties of raw and heat processed velvet bean (Mucuna pruriens (L.) DC. var. utilis) flours. Int. J. Food Sci. Technol. 34, 31-135 (1999)
 11. Siddhuraju, P., Becker, K., Makkar, H.P.S. Studies on the nutritional composition and antinutritional factors of three different germplasm seed materials of an underutilized tropical legume, Mucuna Pruriens var. utilis, J. Agric. Food Chem. 48, 6048-6060 (2000)
 12. Hallman, G.J. Irradiation as quarantine treatment, in Food Irradiation: Principle and Application Molins R.A. Ed.; John Wiley and Sons Publishers, New York, USA, pp

113-127 (2001)

13. Farkas, J. Irradiation as method for decontaminating food - A review. *Int. J. Food. Microbiol.* 44, 189-204 (1998)
14. Mondelaers, W. Low energy electron accelerators in industry and applied research. *Nuclear Instrumentation Methods, B*, 139, 43-50 (1998)
15. Hayashi, T., Takahashi, Y., Todoriki, S. Low energy electron effects on the sterility and viscosity of grains. *J. Food Sci.* 62, 858-860 (1997)
16. Hayashi, T., Takahashi, Y., Todoriki, S. Sterilization of food with low energy electrons ("soft electrons"). *Radiat. Phys. Chem.* 52, 73-76 (1998)
17. Hayashi, T. Decontamination of dry food ingredients and seeds with soft electrons (low energy electrons). *Food Sci. Technol. Int. Tokyo.* 4, 114-120 (1998)
18. Todoriki, S, Hayashi, T. Disinfection of seeds and sprout inhibition of potatoes with low energy electrons. *Radiat. Phys. Chem.* 57, 253-255 (2000)
19. Nemtanu, M.R.; Brasoveanu, M.; Grecu, M.N.; Minea, R. Green coffee decontamination by electron beam irradiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. B-240*, 83-86 (2005)
20. Hitoshi-Ito, Islam, M.S.S. Effect of dose rate on inactivation of microorganisms in species by electron-beams and gamma-rays irradiation. *Radiat. Phy. Chem.* 43, 545-550 (1994)
21. Refai, M.K., Aziz, N.H., El-Far, F.M., Hassan, A.A. Detection of ochratoxin produced by *A. ochraceus* in feed stuffs and its control by gamma irradiation. *App. Radiat. Isot.* 7, 617-621 (1996)
22. <http://www.atomic.or.kr/atomica/read.html>, 원자력지식정보관문국, 한국원자력연구원, Accessed on April 30, 2009.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.