최 종
연구보고서

방사선 처리 농산물의 수입 관리를 위한 다중검지기술 개발

Development of Multiple Detection Techniques for Irradiated and Imported Agricultural Products

연 구 기 관
경 북 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 **"방사선 처리 농산물의 수입 관리를 위한 다중검지기술 개발"** 과제(세부과제 "수입농산물의 TL/ESR 분석 및 다중검지기술 개발", "DNA Comet Assay 및 PSL Screening 체계 개발"; 위탁과제 "방사선 조사식품의 실용화 현황 평가 및 전분질 농산물의 검지법 개발")의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 8월

주관연구기관명 : 경북대학교
총괄연구책임자 : 권 중 호
세부연구책임자 : 최 종 욱
연 구 원 : 조덕조, 이정은, 정재영
이은영, 노정은, 박난영
Tusneem K., 최유경, 김병근
김동술/정형욱(식품의약품안전청)
한태희(국립농산물품질관리원)
김수진 (그린피아기술 株)
위탁연구기관명 : 한국식품개발연구원
위탁연구책임자 : 김 현 구
연 구 원 : 홍석산, 최맑음, 최윤정

요 약 문

Ⅰ. 제 목

방사선 처리 농산물의 수입 관리를 위한 다중검지기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구 개발의 목적은 방사선 처리 농산물의 수입 관리에 필요한 다중검지기술을 개발하는데 있다. 식품의 방사선 조사는 52개국에서 230여 식품(군)에 대하여 허용되어 있으며, 이에 따라 국제 식량 교역에서 방사선 조사 식품의 수입이 예상되므로 이를 효과적으로 관리하고 국제 교역을 증진시키기 위해서는 효과적인 검지 기술 체계의 확보가 시급히 요구되고 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 수입농산물의 TL/ESR 분석 및 다중검지기술 개발

방사선 처리가 예상되는 주요 수입 농산물(곡류, 두류, 유지종실류, 과일류, 건조채소류, 마늘·양파)을 대상으로 열발광(TL) 및 전자스핀공명(ESR) 분석에 의한 검지 특성을 국산과 비교하고 다중검지조건을 확립하

기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

가. 수입농산물의 TL 및 ESR 검지특성 및 검지 품목 선정 시험
나. 선정된 농산물의 원산지별 검지 특성 비교 시험
다. 선정된 농산물의 TL threshold value 설정 시험
라. 모델농산물의 방사선 처리 후 검지 가능 기간 확인 시험
마. 미지 모델농산물에 대한 검증 시험
바. 품목별 농산물의 다중검지 체계화 시험

2. DNA Comet Assay 및 PSL Screening 체계 개발

주요 수입 농산물의 방사선 조사 검지에서 다수의 시료를 신속하게 확인하기 위해서는 screening 방법이 우선적으로 필요하다. 따라서 DNA comet assay 및 광자극 발광 분석(PSL)을 이용하여 적용 가능한 품목을 선정하고 다중검지에 필요한 screening 조건을 확립하고자 다음과 같은 실험을 수행하였다.

가. 주요 수입농산물의 DNA comet 특성 분석
나. 선정된 농산물의 원산지별 comet assay 특성 비교
다. Comet assay 검지조건 설정시험
라. 곡류, 두류 및 마늘에 대한 PSL 적용시험
마. 모델농산물의 흡수선량 의존성 분석 및 검지 가능기간 확인시험
바. 미지 모델농산물에 대한 검증시험 및 다중검지 체계화 시험

3. 방사선 조사식품의 실용화 현황 평가 및 전분질 농산물의 검지법 개발

방사선 조사 기술 및 조사 식품의 실용화 현황을 조사하고, 방사선 처리가 예상되는 주요 수입 농산물의 교역 동향과 수입·유통 안전 관리에 필요한 관리 방안을 검토하고자 하였다. 아울러 전분질 농산물에 대한 방사선 조사 검지법으로서 점도 측정 조건의 확립을 위한 실험을 수행하였다.

가. 방사선 조사 식품의 국내외 허가 및 실용화 현황 조사
나. 대상 농산물의 교역 동향 분석 및 수입·유통 안전 관리 방안 분석
다. 전분질 농산물의 점도 측정에 의한 검지 적용 품목 선정 시험
라. 선정 품목에 대한 점도 측정 조건 및 specific parameter 설정 시험
마. 시료의 총균수, TBA가 및 색도 변화의 조사 선량 의존성 분석
바. 모델농산물의 검지 가능 기간 확인 시험
사. 모델농산물의 방사선 재조사(再照射) 따른 품질 특성 평가 시험
아. 미지 모델농산물에 대한 검증시험 및 다중검지 체계화 시험

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 수입 농산물의 TL/ESR 분석 및 다중검지기술 개발

1) 열발광 (thermoluminescence, TL) 분석에 의한 수입농산물(18종)의 검지 특성 시험에서 비조사 시료는 300℃ 부근에서 매우 낮은 강도의 TL glow curve(TL_1)를 나타내었으나, 0.15 kGy 이상의 방사선 조사 시료는 200℃ 부근에서 높은 강도의 glow curve(TL_1)를 나타내었다. 결과의 신뢰도를 높이기 위하여, 측정된 시료를 재조사(re-irradiation) 후 다시 측정한 glow curve(TL_2)의 정상화(normalization)에 의해 산출된 TL ratio

(TL_1/TL_2, threshold value)는 비조사 시료 0.05 이하, 조사 시료 0.2 이상을 각각 나타내어 방사선 처리 시료와 무처리 시료를 분명하게 구별할 수 있었다.

2) 전자스핀공명(electron spin resonance, ESR) 분석에서 대두, 키위, 건고추, 건당근, 건양파 및 건파는 방사선 조사 시료에서 cellulose radical에 의한 signal을 나타내었고, 건바나나는 조사 시료에서 crystalline sugar radical에 의한 signal을 보여주었으며, 방사선 유래의 signal intensity는 선량 의존적이었다.

3) TL 및 ESR 분석에 의한 농산물의 원산지별 검지 특성 비교에서 signal의 intensity 차이를 제외하고는 서로 유의적인 상이점을 찾지 못하였다. TL 및 ESR 검지 조건 설정에서 TL은 5℃/s의 가온률 및 최고 15 ㎎ 이하의 시료 양이 적당한 것으로 나타났고, ESR은 microwave power 0.4 ㎽(cellulose radical), 5 ㎽(crystalline sugar radical)의 조건이 가장 적당하였으며, 20 ㎎ 이상의 분말시료(20 mesh 내외)가 필요한 것으로 나타났다.

4) 방사선 처리 후 저장 기간에 따른 TL 및 ESR signal의 안정성을 측정하여 본 결과, 건조농산물은 실온저장에서 4~12개월, 신선과일류는 저온에서 6주 동안 TL 측정이 각각 가능하였고, ESR 측정 시료는 건조농산물의 경우 최대 6개월까지도 조사 여부의 확인이 가능하였다.

5) TL 및 ESR 분석법을 이용하여 미지 농산물 시료(5종, n=150)를 대상으로 방사선 조사식품의 관리기관인 식품의약품안전청과 국립농산물품질관리원과 공동으로 검증시험(blind test)를 실시한 결과, 방사선 조사 여부의 확인은 100% 가능하였다.

6) 방사선 처리 농산물의 신속, 정확한 검지를 위하여 연구된 검지법을 검색(screening) 방법과 확증(verification) 방법으로 구분하였으며, 이들 방법을 시료의 특성에 따라 2가지 이상 적용하는 다중검지체계(multiple detection system)를 설정하였다.

7) 다중검지체계에서 검색방법(DNA comet assay, PSL, viscosity 등)과 확증방법(TL, ESR 등)을 이용하여 미지 농산물 시료(현미, 땅콩, 건양파, 키위, 전분, n=150)에 대한 공동검증시험 결과, 흡수선량의 예측은 실제 조사 선량과 상당한 오차를 보였으나, 방사선 조사 여부의 판별은 모두 100%의 정확도를 나타내었다.

나. DNA comet assay 및 PSL screening 체계 개발

1) DNA comet 측정에서 곡류(현미, 메밀), 두류(대두, 땅콩, 녹두), 유지종실류(참깨, 들깨), 과일류(키위, 포도)는 비조사 시료에서 대부분의 핵이 원형 또는 비교적 짧은 tail의 intact cell을 나타내었다. 그러나 0.5 kGy 이상의 방사선 조사 시료에서는 tailing 현상으로 대부분의 핵이 긴 tail을 가진 comet 모양으로 관찰되었으며, tail length 또한 조사선량에 의존적으로 증가하였다.

2) DNA comet 측정에서 들깨는 원산지에 따라, 키위는 시료의 부위에 따라 상이한 결과를 보였으며, 이는 시료 자체의 특징보다 시료의 저장 조건(온도, 기간)에 따른 차이로 사료되었다.

3) 저장 온도 및 저장 기간에 대한 DNA comet 안정성 측정 결과, 현미 및 땅콩의 경우 저온 저장 시 약 8개월까지, 참깨 및 들깨는 상온 저장

시 약 8개월까지, 키위 및 포도의 경우 저온 저장 6주까지 조사 여부의 확인이 가능하였다. Comet assay 검지 조건에서 과일의 경우 시료는 씨가 적합하였으며, 전기영동 조건은 2 V/cm가 최적으로 나타났다.

4) DNA comet assay에 의한 미지시료(현미, 땅콩, 키위, n=90)의 blind test 결과, 흡수 선량 예측의 경우 실제 조사 선량과의 상당한 오차를 보였으나, 방사선 조사 여부 확인은 대부분 가능하였다.

5) 광자극발광(photo-stimulated luminescence, PSL) 측정 결과 대두, 땅콩, 적두 및 마늘은 비조사 시료에서 PSL 700 photon counts 이하, 감마선 조사 시료에서 5,000 이상의 photon counts를 나타내어 조사 여부의 확인에 적용이 가능하였다.

6) 이상의 결과를 종합해 보면 농산물의 적용 품목에 따라 DNA comet assay와 PSL 방법은 다수의 미지 시료에 대한 방사선 조사 여부 판별에서 의심이 가는 개체의 검색(screening) 방법으로 적용가능성이 큰 것으로 나타났다.

다. 방사선 조사 식품의 실용화 현황 평가 및 전분질 농산물의 검지법 개발

1) 국제기구(FAO/IAEA/WHO), 보건기관(US FDA) 등에 의해 방사선 조사 식품의 안전성이 공식 인정됨에 따라 현재 52개국에서 대체로 230여 종의 식품에 대한 방사선 조사가 허가되어 있으며, 국내에서는 현재 13개 품목(군)의 감마선 조사가 허가되어 있었다. 그리고 Codex 국제식품 규격과 운영규정이 채택되어 활용이 권장됨에 따라 세계적으로 200여 기의 조사시설이 가동 중이며, 식품 및 농수축산물의 방사선 조사량은 연간 백만 톤 이상으로 추산되지만 유통 물량과 교역 현황은 정확하게

밝혀지지 않고 있었다.

2) 수입 농산물 중 방사선 처리의 필요성이 객관적으로 인정되고 있는 품목에 대하여 교역 동향을 조사·분석하였으며, 수입·유통 안전관리 방안으로써 조사식품을 수송할 경우에는 송장(送狀)에 조사내역의 기록과 포장식품의 경우 규정된 조사식품 마크(labeling, *radura*)가 부착 되도록 제도적, 기술적 노력이 요구되었다. 이를 뒷받침하기 위해서 정부 주도의 검지기술 개발과 검사체계의 확보가 요구되었으며, 이는 방사선 처리 농산물의 수입 안전관리와 국내 농산물 시장 및 관련 산업의 보호를 가능하게 할 것으로 분석되었다.

3) Haake Rotovisco RV-12와 coaxial cylinder type Rotor NV(Haake Mess Technik GmbH, Germany)를 사용하여 방사선 조사된 국산 및 중국산 기장, 수수, 표고버섯 그리고 감자, 옥수수 및 고구마 전분의 점도와 전분함량을 측정한 결과, 50 rpm에서 비조사 국산 기장과 수수의 점도는 각각 143.38±0.44와 35.92±1.90이었고 15 kGy 조사구는 각각 6.60±1.16과 3.86±0.32로 낮아졌다. 국산 감자, 옥수수 및 고구마 전분의 비조사구의 점도는 각각 35.00±0.34, 11.86±0.86 및 14.02±0.62 mPa·s이었으며 15 kGy 조사구는 11.38±0.92, 2.98±0.80 및 2.74±0.80 mPa·s로 낮아졌다. 국산 및 중국산 곡류(기장 및 수수)와 전분(감자, 옥수수, 고구마 전분)의 점도값과 조사선량(2.5 kGy 이상) 간의 상관성이 모두 0.80이상으로 나타나 표고버섯을 제외한 모든 시료는 점도 측정법에 의한 검지가능 시료로 선정되었다.

4) 국산 및 중국산 곡류(기장 및 수수)와 전분(감자, 옥수수 및 고구마)의 점도 값과 specific parameter (threshold value) 값은 조사 선량과의 유의적 상관성(R^2=0.80이상)을 나타내었으며, 조사구와 비조사구간에 차이

가 분명하게 나타나 이 값을 적용하였을 때 전분질 농산물인 곡류와 전분의 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다.

5) 방사선 처리 시료의 품질 인자로서 미생물 농도, TBA가 및 기계적 색도를 측정한 결과, 총세균수와 TBA가의 변화는 조사선량(2.5~15 kGy)과 유의적인 상관을 보여 미지시료의 검지에서 보조적 방법으로써 활용이 기대되었다.

6) 모델 농산물(기장 및 옥수수 전분)을 방사선 조사한 후 저장 기간에 따른 점도변화를 측정한 결과, 기장과 옥수수 전분은 점도 측정을 통한 비조사구와 조사구의 차이가 0℃ 및 20℃에서 9개월 간 유지되었다 (R^2=0.80~0.90).

7) 방사선 재조사(5 kGy x 2회)에 따른 모델시료의 품질안정성 확인시험에서, 옥수수 전분과 기장의 점도는 더욱 감소되었으며, TBA가는 조사선량에 의존적으로 증가하였다. 시료의 적색도 증가와 황색도 감소 현상이 일어났으며, 미생물의 살균 효과는 재확인되었다. 그러나 표고버섯 분말의 경우는 재조사 처리에 의해 품질특성의 변화가 거의 나타나지 않았다.

8) 미지 시료로서 국산 옥수수 전분(n=30)과 현미(n=30)를 대상으로 하여 공동 blind test를 실시한 결과, 전분은 점도 측정과 specific parameter의 활용에 의해, 현미는 점도측정, DNA comet assay 및 TL 방법의 다중검지체계에 의해 각각 감마선 조사 여부의 확인을 성공적으로 할 수 있었다.

2. 활용에 대한 건의

방사선 처리 농산물의 수입 관리에 필요한 다중검지기술 개발 연구에서 주요 수입농산물의 물리적 및 생물학적 검지조건을 확립하고 국산 및 수입산 농산물의 검지 특성을 비교하였으며, 미지 모델농산물에 대한 예비 검지방법의 우수한 검증시험 결과로써 다중검지기법의 체계화를 구체화하였다. 이를 바탕으로 방사선 처리 농산물의 열발광(TL) 분석, 전자스핀공명(ESR) 분석, DNA comet assay, 보조 검지법으로서 전분질 농산물의 점도측정법 등의 요소 기술들은 국내 검지 기술 실용화에 필요한 정부 주도(수입식품 관리기관 등)의 품목 확대(축산물, 수산물 및 관련 가공품 외) 적용 연구, 국제적으로 통용될 수 있는 기술의 확보를 위한 국내외 공동 실증연구 등을 위하여 중요한 기술기반 자료로 활용되어질 것이다.

SUMMARY

Ⅰ. Project Title

Development of Multiple Detection Techniques for Irradiated and Imported Agricultural Products

Ⅱ. Objectives and Importance of the Project

The objective of this project was to develop the multiple detection techniques for the import control of gamma-irradiated agricultural products. Food irradiation technology and techniques are approved in 52 different countries to be used for about 230 food items(groups). Considering much possibility of the trade of irradiated commodities, there is a need for the reliable detection systems for them to enforce legal controls and improve international trade in compliance with labeling regulations.

Ⅲ. Contents and Scope of the Project

Section 1. TL/ESR Analyses of Imported Agricultural Products and the Development of Their Multiple Detection Techniques

For the importing agricultural commodities, such as grains, legumes, oil seeds, fruits, dried vegetables, garlic and onion which are generally required for disinfestation or microbial decontamination, thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) analyses were undertaken to compare their detection characteristics with Korean origins, thereby establishing the multiple detection procedures for selected commodities based on the following associated experiments.

1. Experiments on detection characteristics of imported agricultural products by TL and ESR analyses and the selection of detectable items.
2. Comparison of detection characteristics of selected samples by origins and pre-establishment of detection conditions.
3. Standardization of detection conditions for selected samples and dose-dependent calibration.
4. Confirmation test for the detectable periods of model samples following irradiation.
5. Collaborative blind trials of TL and ESR analyses for the coded unknown samples.
6. Systematization of multiple detection procedures for the corresponding agricultural products.

Section 2. Development of Application Procedures for DNA Comet Assay and Photo-stimulated Luminescence Analysis

For the rapid detection of numerous unknown products, the screening

methods are recommendable. Therefore, DNA comet assay and photo-stimulated luminescence (PSL) analysis were applied to the experiments on the screening of suspected samples based on the following experiments.

1. Analysis of DNA comets for the imported agricultural products following irradiation.
2. Comparison of DNA comet characteristics of selected samples by origins.
3. Pre-establishment test for DNA comet assay conditions.
4. PSL analysis for irradiated grains, legumes and garlics.
5. Dose-dependent calibration for the model samples and the confirmation test for their detectable periods following irradiation.
6. Collaborative blind trials of DNA comet assay for coded unknown coded samples.
7. Systematization of screening methods for the corresponding agricultural products

Section 3. Evaluation of Commercialization Status on Food Irradiation and the Development of Detection Method for Starchy Products

The commercialization status on food irradiation technology and irradiated food was examined. And trade trends of agricultural products which are usually required for disinfestation or microbial decontamination were also examined in order to seek means for control the importation and distribution. In addition, viscometric conditions were

investigated along with the associated following experiments for the detection of starchy products.

1. Examination of the commercialization status on food irradiation technology and irradiated food.
2. Trade trends of agricultural products, which usually need for disinfestation or microbial decontamination, were examined in order to seek means for controlling the importation and distribution.
3. Selection study on detectable items with viscometric measurements.
4. Pre-establishment study on the viscosity measurement conditions for selected samples and their specific parameters as threshold values.
5. Dose-dependent calibration on the changes in total viable counts, thiobarbituric acid (TBA) value and Hunter's color values of the samples upon irradiation.
6. Confirmation test for the detectable periods of model samples following irradiation.
7. Evaluation of quality properties of re-irradiated model samples.
8. Collaborative blind trials of viscometric detection for unknown model samples and the multiple detections of starchy samples

Ⅳ. Results of the Project and Their Applications

1. Results of the Project

Section 1. TL/ESR Analyses of Imported Agricultural Products and the Development of Their Multiple Detection Techniques

1. In the detection test by thermoluminescence (TL) analysis for 18 kinds of (mostly) imported agricultural products, non-irradiated samples represented a lower glow curve (TL_1) at about 300℃, but irradiated samples at 0.15 kGy or more showed higher glow curve (TL_1) at around 200℃, which made a clear discrimination between both samples. Furthermore, TL ratio (TL_1/TL_2, threshold value) calculated by re-irradiation normalization step (TL_2) was below 0.05 in non-irradiated samples and more than 0.20 in irradiated samples, thereby enhancing the confidence of detection results.

2. Electron spin resonance (ESR) spectroscopy showed cellulose radicals induced by irradiation in soybeans, kiwi, dried carrot, dried onions, dried green onion, etc. and crystalline sugar radical in dried banana, whose intensity were all dose-dependent.

3. TL and ESR analyses showed negligible difference between Korean and other foreign (mostly Chinese) origins of raw test samples except for their signal intensities. The optimized conditions for TL analysis included 5℃/s heating rate of TL reader, ultra pure N_2 gas atmospheric conditions, and less than 15 ㎎ of sample amounts for test. Those for ESR spectroscopy were 30 second of sweep time, microwave power 0.4 ㎽ for cellulose radical, 5 ㎽ for crystalline sugar radical, 10 ㎽ for hydroxyapatite radical, and more than 20 ㎎ of meshed (≒20) sample amounts for test.

4. The signal intensity of TL and ESR for irradiated samples decreased

with the lapse of post-irradiation time, but was still distinguishable from that of the non-irradiated samples even after 1 year by TL and 6 months by ESR under the ambient storage conditions.

5. To verify the reliability of pre-established TL and ESR detection methods, five selected unknown coded-samples (n=120), including brown rice, peanuts, kiwi and dried onions(n=30), for each method were subjected to blind test in collaboration jointly with the Korea Food and Drug Administration and the National Agricultural Products Quality Management Service of Korea. As a result, detection results by TL and ESR measurements for coded unknown samples were successfully evaluated (100%) in the identification as irradiated or non-irradiated.

6. The pre-established detection methods were divided in two groups, screening methods or verification methods, in order to improve the accuracy and speed of test, by using more than two methods of which the multiple detection system was established.

7. Through the application of screening (DNA comet assay, PSL, viscosity, etc) and verification methods(TL, ESR, etc.), the above-mentioned collaborative blind test were undertaken for coded unknown samples like brown rice, peanuts, dried onions, kiwi and corn starch. As a result, the estimation of absorbed doses by using dose-signal effect curves plotted by signal intensities versus applied doses was possible, to some degree, in dose-range discrimination, while the identification of irradiated or non-irradiated samples from

the unknown samples (n=150) was evaluated as accuracy by 100%.

Section 2. Development of Application Procedures for DNA Comet Assay and Photo-stimulated Luminescence Analysis

1. In DNA comet assay, cells isolated from non-irradiated samples, such as brown rice, buckwheat, soybeans, peanuts, mungbean, sesame, perilla seed, kiwi and graphs were virtually intact or formed very short tails, while cells from the corresponding irradiated samples were migrated and their tail length significantly increased with an irradiation-dose increase.

2. DNA comets showed some difference in their pattern of perilla seed by origins and of kiwi by flesh parts. In addition comet aspects were some differently observed depending on storage conditions like temperature and periods.

3. The identification of stored samples by comet assay, irradiated or non-irradiated, is possible up to 8 months for brown rice and peanut and 6 weeks for kiwi and graphs at low temperature storage, while up to 8 months for sesame and perilla at ambient conditions. In case of fruit samples, seeds were suitable for test and electrophoresis at 2 V/cm was the optimal for the screening of irradiated samples.

4. To verify the reliability of pre-established comet assay conditions, three selected unknown coded-samples (n=90), brown rice, peanut and kiwi(n=30), were subjected to a collaborative blind test. As a

result, detection results by comet assay for coded unknown samples were successfully evaluated (almost 100%) in the identification as irradiated or non-irradiated, even if the estimation of absorbed doses was found erroneous to some degree.

5. In photo-stimulated luminescence (PSL) measurements, the non-irradiated samples of soybean, peanut, red bean and garlic showed PSL photon counts less than 700, while the corresponding irradiated samples revealed more than 5,000 photon counts, by which the discrimination between non-irradiated and irradiated samples was possible.

6. Based on the above results, DNA comet assay and PSL were proved relatively simple and rapid screening tools in the detection of numerous unknown samples.

Section 3. Evaluation of Commercialization Status on Food Irradiation and the Development of Detection Method for Starchy Products

1. According to the recognition on the wholesomeness of irradiated food by Food Agriculture Organization(FAO), International Atomic Energy Agency(IAEA), World Health Organization(WHO) and related health authorities including US FDA, 52 different countries approved food irradiation treatment for about 230 food items(groups), and domestically 13 food items(groups) were allowed to be irradiated with gamma energy. Based on the adoption and recommendation of Codex Standards on irradiated food and the Operation Code for irradiation facility, approximately 200 irradiation facilities are in

operation now, and the overall amounts of irradiated foods including agricultural and livestock products are estimated more than million tones, but practical statistics are not available on their production, distribution and international trade.

2. For the importing agricultural commodities, such as grains, legumes, oil seeds, fruits, dried vegetables, garlic and onion, which are generally required for disinfestation or microbial decontamination, their trade trends and clearance or commercialization of food irradiation were examined and analyzed for seeking means to control the importation and distribution. As a result, the records on irradiation specifications would be recommendable to be included in an invoice, and in case of packed items the international *radura* symbol should be labeled according to the Codex Standards, which will lead to enforce legal controls and improve international trade in compliance with labeling regulations. In order to support the above implementation, reliable detection systems are requested in terms of checking the compliance with labeling requirements in permitting countries and preventing import of irradiated foods in prohibiting countries.

3. Haake Rotovisco RV-12 and coaxial cylinder type Rotor NV(Haake Mess Technik GmbH, Germany) were used to determine viscosities for starchy agricultural products like *Panicum millaceum*, *Andropogon sorghum*, oak mushroom, and starches of potato, corn and sweet potato at 20℃ with 50, 150 and 300 rpms. The viscosities decreased in all samples by increasing irradiation dose. The viscosity of the *Panicum millaceum* (Korean) and *Andropogon sorghum* (Korean) paste dropped from 143.38±0.44 and 35.92±1.90 in the control to 6.60±1.16 and 3.86±0.32, respectively, in the

samples irradiated at 15 kGy. This trend was similar for all samples. Regression expressions and coefficients for viscosity of *Panicum millaceum* (Korean and Chinese) and *Andropogon sorghum* (Korean and Chinese) were 0.80 (y=-27.789x+150.17), 0.98 (y=-3.367x+88.93), 0.84 (y=-6.0466x+35.49) and 0.84 (y=-13.346x+101.67), respectively, at 50 rpm. The viscosity of the starches of potato, corn and sweet potato from Korea dropped from 35.00±0.34, 11.86±0.86 and 14.02±0.62 mPa・s in the control to 11.38±0.92, 2.98±0.80 and 2.74±0.80, respectively, in the samples irradiated at 15 kGy. These trends were similar in Chinese samples. Regression expression and coefficients for viscosity of potato, corn and sweet potato starches from Korea were 0.97 (y=-4.6197x+38.284), 0.88 (y=-1.5146x+12.023) and 0.88 (y=-1.5146x+ 12.023), respectively, while those of viscosity for Chinese starches were 0.69 (y=-28.849x+152.25), 0.81 (y=-3.38x+20.56) and 0.88 (y=-2.668x+18.505) at 50 rpm.

4. All samples resulted in decrease for specific parameter (threshold value) by increasing rpm after irradiation. Parameter values showed dose-dependent relationship (above R^2=0.80) between non-irradiated and irradiated samples and indicated that all the values of non-irradiated samples were higher than those of irradiated ones. These results suggest that the detection of irradiated potato, corn and sweet potato starches at various doses is possible by using viscometric method.

5. Total viable count (TVC), TBA value and Hunter color were determined as assistant indices for the samples viscosity measured. TVC and TBA values showed dose-dependent relationship(2.5~15 kGy).

6. The difference in viscosity along with TVC and TBA values between non-irradiated and irradiated samples little or some changed with the lapse of post-irradiation time, but was still distinguishable each other more than 6 months at 0℃ or 20℃ in model samples like corn starch and *Panicum milicaeum* (R^2=0.80～0.90).

7. The effect of re-irradiation at 5 kGy was evaluated on the quality of model samples, such as corn starch and *panicum milicaeum*re during storage at 0℃ for 6 month intervals. The re-irradiation resulted in more decrease in viscosity, microbial load and Hunter yellowness(b value), and increase in TBA value and redness(a value). However little changes were observed in the quality indices of mushroom.

8. The collaborative blind test on viscometry was conducted as above on both unknown coded-samples (n=60), such as corn starch and brown rice. The detection results by using viscometry and other assistant tests were found successful in the identification of as irradiated or non-irradiated when specific parameters were applied, but multiple detection along with TL and other methods are needed to enhance the confidence of detection results.

2. The Proposed Applications for Results

As the promising results from the project on the development of multiple detection techniques for import control of gamma-irradiated agricultural products, physical and biological detection/identification methods, such as thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) analyses, DNA comet assay and viscometry, were optimized in

their analyzing conditions based on experiments on detection characteristics' analysis of imported agricultural products by comparing with domestic samples, pre-establishment and standardization of detection conditions for selected samples and their dose-dependent calibration, confirmation test for the detectable periods of model samples following irradiation, collaborative blind trials of candidate detection methods for unknown samples, and systematization of multiple detection procedures for the corresponding agricultural products.

The above results will be applied for the extended research and development in terms of the enlargement of application items to livestock, fishery and their processed products, and the establishment of infrastructure for the implementation of detection technologies and techniques as commonly used in the international trade.

CONTENTS

Ⅰ. Outlines of the Project 37

1. Objectives of the Project 37
2. Necessities of the Project 37
3. Scopes of the Project 38

Ⅱ. R & D Status in Domestic and Overseas 40

1. Status and Problems in Related Technology 40
2. Levels of the Results and Prospects 41

Ⅲ. Contents of the Project and Its Results 43

Section 1. TL/ESR Analyses of Imported Agricultural Products and the Development of Their Multiple Detection Techniques 43

1. Introduction 43

2. Materials and Methods 45

1) Materials and irradiation 45
2) TL/ESR analyses 46
3) Collaborative blind test of coded unknown samples by TL and ESR analyses 48

4) Systematization study on multiple detections of agricultural products ····· 48
5) Blind trials of unknown samples by multiple detections ····· 49
6) Data analysis ····· 49

3. Results and Discussion ····· 50
1) Selection of detectable products by TL or ESR analysis ····· 50
2) Establishment of TL threshold value of selected samples ····· 79
3) Confirmation for TL or ESR detectable periods of model samples following irradiation ····· 87
4) Blind trials of TL and ESR for unknown samples ····· 100
5) Systematization study on multiple detections of by items ····· 107
6) Blind trials for unknown samples by multiple detections ····· 116

4. Conclusions ····· 125

Section 2. Development of Application Procedures for DNA Comet Assay and Photo-stimulated Luminescence Analysis ····· 126

1. Introduction ····· 126

2. Materials and Methods ····· 128
1) Materials and irradiation ····· 128
2) Pre-establishment of DNA comet assay condition ····· 129
3) Blind test for unknown samples by comet assay ····· 130
4) Photo-stimulated luminescence (PSL) analysis ····· 130
5) Data analysis ····· 131

3. Results and Discussion ····· 132
1) Dose-dependence of comets and their comparison by origins of selected samples ····· 132
2) Stability of comets during storage of model samples ····· 151
3) Blind trials of comet assay for unknown samples ····· 159
4) Detection characteristics of model samples by PSL ····· 163

4. Conclusions ····· 168

Section 3. Evaluation of Commercialization Status on Food Irradiation and the Development of Detection Method for Starchy Products 169

1. Introduction ····· 169

2. Materials and Methods ····· 170
1) Materials and irradiation ····· 170
2) Methods ····· 170
3) Confirmation test for the detectable periods of model samples following irradiation ····· 173
4) Evaluation of quality of re-irradiated model samples ····· 173
5) Blind test for unknown samples ····· 174

3. Results and Discussion ····· 175
1) Commercialization status on food irradiation technology and irradiated food ····· 175
2) Trade trends of the selected products and means to control

their importation and distribution ····· 184
3) Selection of detectable items with viscosity measurements ····· 200
4) Detectable periods of model samples following irradiation ····· 217
5) Quality evaluation of re-irradiated model samples ····· 249
6) Collaborative blind trials of viscometric detection for unknown samples ····· 263

4. Conclusions ····· 277

Ⅳ. Goal Accomplishment and Subsequent Contributions ····· 278

Ⅴ. Application Plan of the Results ····· 280

Ⅵ. Overseas Information on Science and Technology during the Project Years ····· 281

Ⅶ. References ····· 282

Ⅷ. Appendix ····· 289

목　　차

제출문 ····· 1

요약문 ····· 2

SUMMARY ····· 11

제 1 장　연구 개발 과제의 개요 ····· 37

제 1 절　연구 개발의 목적 ····· 37

제 2 절　연구 개발의 필요성 ····· 37

제 3 절　연구 개발의 범위 ····· 38

제 2 장　국내외 기술 개발 현황 ····· 40

제 1 절　국내외 관련 기술의 현황과 문제점 ····· 40

제 2 절　앞으로의 전망 ····· 41

제 3 장　연구개발 수행내용 및 결과 ····· 43

제 1 세부　수입농산물의 TL/ESR 분석 및 다중검지기술 개발 ····· 43

제 1 절　서론 ····· 43

제 2 절　재료 및 방법 ····· 45

1. 재료 및 방사선 조사 ····· 45

가. 재료 ····· 45
나. 방사선 조사 및 저장 ····· 45
2. TL/ESR 분석법 개발 시험 ····· 46
가. Thermoluminescence (TL) 분석 방법 ····· 46
나. Electron Spin Resonance (ESR) 분석 방법 ····· 47
3. TL 및 ESR 분석에 의한 미지 모델시료의 검증 시험 ····· 48
4. 품목별 농산물의 다중검지 체계화 시험 ····· 48
5. 다중검지체계에 의한 미지 모델시료의 검증 시험 ····· 49
6. 실험 결과 분석 ····· 49

제 3 절 결과 및 고찰 ····· 50
1. 주요 수입농산물에 대한 TL 및 ESR 검지 품목 선정 ····· 50
가. 선정 농산물의 TL 검지 특성 비교 ····· 50
1) 곡류 ····· 50
2) 두류 ····· 52
3) 유지종실류 ····· 55
4) 과일류 ····· 57
5) 건조채소류 ····· 61
6) 마늘・양파 ····· 63
나. 선정 농산물의 ESR 검지 특성 비교 ····· 64
1) 곡류 ····· 64
2) 두류 ····· 65
3) 유지종실류 ····· 68
4) 과일류 ····· 70
5) 건조채소류 ····· 76
6) 마늘・양파 ····· 78
2. 선정된 주요 농산물에 대한 TL threshold value 설정 ····· 79

가. 곡류 ····· 79
나. 두류 ····· 80
다. 유지종실류 ····· 82
라. 과일류 ····· 83
마. 건조채소류 ····· 85
바. 마늘・양파 ····· 86
3. 모델농산물의 TL 및 ESR 검지 가능 기간 확인 ····· 87
가. 저장 시료의 TL signal 안정성 ····· 87
1) 곡류 ····· 87
2) 두류 ····· 88
3) 유지종실류 ····· 89
4) 과일류 ····· 90
5) 건조채소류 ····· 93
6) 마늘 ····· 94
나. 저장 시료의 ESR signal 안정성 ····· 95
1) 대두 ····· 96
2) 과일류 ····· 96
3) 건조채소류 ····· 98
4. TL 및 ESR 분석에 의한 미지 시료의 검증 ····· 100
가. TL 분석에 의한 미지 시료의 조사 여부 및 흡수 선량 확인 ·· 100
1) 현미 ····· 100
2) 땅콩 ····· 101
3) 키위 ····· 102
4) 건양파 ····· 103
나. ESR 분석에 의한 미지 시료의 조사 여부 및 흡수 선량 확인 105
1) 키위 ····· 105
2) 건양파 ····· 106

5. 품목별 농산물의 다중검지 체계화 ····· 107
가. 곡류 ····· 108
나. 두류 ····· 108
다. 유지종실류 ····· 111
라. 과일류 ····· 112
마. 건조채소류 ····· 114
바. 마늘・양파 ····· 115
6. 다중검지체계에 의한 미지 모델시료의 검증 ····· 116
가. 현미 ····· 116
나. 땅콩 ····· 119
다. 키위 ····· 121
라. 건양파 ····· 123

제 4 절 결론 ····· 125

제 2 세부 DNA comet assay 및 PSL Screening 체계 개발 ····· 126

제 1 절 서론 ····· 126

제 2 절 재료 및 방법 ····· 128
1. 재료 및 방사선 조사 ····· 128
가. 재료 ····· 128
나. 방사선 조사 및 저장 ····· 128
2. DNA comet assay 조건 설정 시험 ····· 129
가. Cell suspension 준비 ····· 129
나. Pre-coated slide 준비 ····· 129
다. Gel casting, lysis 및 electrophoresis ····· 129

라. Comet analysis ····· 130
3. DNA comet assay에 의한 미지 시료의 검증 시험 ····· 130
4. 광자극 발광(PSL) 분석 시험 ····· 130
5. 실험 결과 분석 ····· 131

제 3 절 결과 및 고찰 ····· 132
1. 원산지별 시료 comet의 흡수 선량 의존성 분석 및 특성 비교 ··· 132
가. 곡류 ····· 132
나. 두류 ····· 135
다. 유지종실류 ····· 140
라. 과일류 ····· 143
마. 마늘・양파 ····· 149
2. Comet의 저장 안정성 확인 ····· 151
가. 곡류 ····· 151
나. 두류 ····· 153
다. 유지종실류 ····· 155
라. 과일류 ····· 156
마. 마늘・양파 ····· 158
3. DNA comet assay에 의한 미지 시료의 검증 ····· 159
가. 현미 ····· 159
나. 땅콩 ····· 160
다. 키위 ····· 162
4. 광자극 발광(PSL)에 의한 모델시료의 검지 특성 ····· 163
가. 곡류 ····· 163
나. 두류 ····· 165
다. 마늘 ····· 166

제 4 절 결론 ····· 168

위탁과제 방사선 조사 식품의 실용화 현황 평가 및 전분질 농산물의 검지법 개발 ····· 169

제 1 절 서론 ····· 169

제 2 절 재료 및 방법 ····· 170
1. 재료 및 방사선 조사 ····· 170
가. 재료 ····· 170
나. 방사선 조사 및 저장 ····· 170
2. 실험방법 ····· 170
가. 전분질 농산물의 viscosity 검지 특성 시험 ····· 170
1) 점도 측정 시험 및 선량 의존성 분석 ····· 170
2) 품목별 specific parameter 설정 시험 ····· 171
가) 전분 함량 ····· 171
나) Specific parameter 설정 ····· 171
3) 보조 검지 시험 및 상관 분석 ····· 172
가) 총균수 측정 ····· 172
나) TBA가 측정 ····· 172
다) 색도 측정 ····· 173
나. 모델 농산물에 대한 검지 가능 기간 확인 시험 ····· 173
다. 모델 농산물의 재조사에 따른 품질 특성 조사 ····· 173
라. Viscosity 분석에 의한 미지 시료의 검증 시험 ····· 174

제 3 절 결과 및 고찰 ····· 175
1. 방사선 조사 식품의 허가 및 실용화 현황 ····· 175

가. 식품 조사 기술의 실용화 확대 필요성 ····· 175
나. 방사선 조사 식품의 국내 현황 ····· 176
다. 식품 조사의 국제적 현황 ····· 178
라. 방사선 조사 식품의 안전성과 건전성 ····· 182
2. 방사선 조사 대상 농산물의 수입·유통 체계 및
안전관리방안 ····· 184
가. 주요 농산물의 수출입 동향 ····· 184
1) 수출 ····· 184
2) 수입 ····· 185
나. 방사선 조사 농산물의 수입·유통 시 안전관리 ····· 185
1) 방사선 조사 식품의 교역 배경 및 현황 ····· 185
2) 방사선 조사된 수출입 농산물 검역 현황 ····· 193
가) 검역의 필요성 ····· 193
나) 검역처리/품질보증기법으로서 食品照射 ····· 194
(1) 방사선 검역처리/품질보증의 필요성 ····· 194
(2) 국제교역에서 방사선 검역 처리의 이점과 한계 ····· 195
다) 방사선 처리 식품의 교역 관리를 위한 검지 기술 ····· 196
(1) 검지기술의 필요성 ····· 196
(2) 검지기술의 연구 개발 동향 ····· 196
라) 교역 관리의 전망과 과제 ····· 199
3. 농산물의 viscosity 검지 특성 및 적용 품목 선정 ····· 200
가. 점도 변화 및 선량 의존성 ····· 200
1) 기장(*Panicum miliaceum*)의 점도 변화 ····· 200
2) 수수(*Andropogon sorghum*)의 점도 변화 ····· 201
3) 감자 전분의 점도 변화 ····· 204
4) 고구마 전분의 점도 변화 ····· 206
5) 옥수수 전분의 점도 변화 ····· 208

나. 품목별 specific parameter 설정 ····· 210
1) 기장(*Panicum miliaceum*)의 specific parameter ····· 210
2) 수수(*Andropogon sorghum*)의 specific parameter ····· 210
3) 감자 전분의 specific parameter ····· 211
4) 옥수수 전분의 specific parameter ····· 211
5) 고구마 전분의 specific parameter ····· 212
다. 보조 검지 시험의 상관성 ····· 215
1) 곡류 및 전분류 ····· 215
4. 모델 농산물의 검지 가능 기간 확인 ····· 217
가. 저장 온도 및 기간에 따른 점도 변화 ····· 217
1) 국산 옥수수 전분 ····· 217
2) 중국산 옥수수 전분 ····· 218
3) 국산 기장(*Panicum miliaceum*) ····· 220
4) 중국산 기장(*Panicum miliaceum*) ····· 221
5) 국산 및 중국산 표고버섯 ····· 223
나. 점도 측정값과 조사 선량과의 상관성 분석 ····· 225
1) 국산 및 중국산 옥수수 전분 ····· 225
2) 국산 및 중국산 기장 ····· 226
3) 국산 및 중국산 표고버섯 ····· 227
다. 품목별 Specific parameter 설정 ····· 229
1) 옥수수 전분 ····· 229
2) 기장(*Panicum miliaceum*) ····· 233
3) 표고버섯 ····· 236
라. 보조 검지 시험의 상관성 ····· 239
1) TBA가 측정 ····· 239
가) 옥수수 전분 ····· 239
나) 기장(*Panicum miliaceum*) ····· 241

다) 표고버섯 ····· 243
2) 색도 측정 ····· 245
3) 총균수 측정 ····· 245
가) 옥수수 전분 ····· 245
나) 기장(*Panicum miliaceu*m) ····· 246
다) 표고버섯 ····· 247
5. 모델 농산물의 재조사에 따른 품질 특성 ····· 249
가. 점도 측정 ····· 249
1) 옥수수 전분 ····· 249
2) 기장(*Panicum miliaceu*m) ····· 250
3) 표고버섯 ····· 251
나. TBA가 ····· 253
1) 옥수수 전분 ····· 253
2) 기장(*Panicum miliaceu*m) ····· 253
3) 표고버섯 ····· 254
다. 표면색도 ····· 255
1) 옥수수 전분 ····· 255
2) 기장(*Panicum miliaceu*m) ····· 256
3) 표고버섯 ····· 258
라. 총균수 ····· 260
1) 옥수수 전분 ····· 260
2) 기장(*Panicum miliaceu*m) ····· 261
3) 표고버섯 ····· 261
6. Viscosity 분석에 의한 미지 모델시료의 검증 ····· 263
가. 옥수수 전분 ····· 263
1) 점도 및 Specific parameter 측정 ····· 263
2) TBA 가 ····· 266

3) 표면색도 ····· 267
4) Total plate counts ····· 269
나. 현미 ····· 270
1) Calibration 설정을 위한 점도 측정 ····· 270
2) 미지 시료 현미의 점도 측정 ····· 273

제 4 절 결론 ····· 277

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도 ····· 278

제 5 장 연구 개발 결과의 활용 계획 ····· 280

제 6 장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보 ····· 281

제 7 장 참고문헌 ····· 282

제 8 장 부록 ····· 289

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제 1 절 연구 개발의 목적

국내외 식품 산업에서 방사선 조사 기술(food irradiation technology)의 수요가 증가되고 조사 식품(irradiated food)의 생산이 점차 확대되어감에 따라 방사선 처리 농산물의 수입관리에 필요한 검지/확인방법(detection/identification methods)이 요구되고 있다. 본 연구에서는 주요 수입 농산물의 검지 조건을 확립하고자 원산지별 검지특성 비교, 농산물의 검지 가능 기간 설정, 관리 기관과의 공동 검증시험(blind test), 재조사 모델식품의 품질 확인, 검지의 정확성과 신속성을 고려한 다중검지기법 체계화를 도모하여 단일 검지법의 한계성을 보완하고, 나아가 적용 품목의 확대와 국내외 실증 연구에 필요한 기술 인프라를 구축하는데 목적이 있다.

제 2 절 연구 개발의 필요성

농산물 시장의 개방이 가속화됨에 따라 농산물의 교역이 증가되고 있다. WTO 체제의 자유 무역 제도하에서 식물 위생 검역 조치의 적용에 관한 일반협정(SPS)과 무역에 대한 기술적 장해협정(TBT)에 따라 식품의 안전 기준과 동식물 검역 기준을 극복하기 위한 연구 개발이 적극적으로 추진되고 있다. 지금까지 농산물의 국제교역에서 검역경계유기체의 사멸/방제를 위하여 화학 훈증법(methyl bromide, phosphine 등)이 주로 사용되어 왔으나 안전성, 처리 효과, 환경 공해 등의 측면에서 대체 기술이 국제적으로 시급히 요구되고 있어 물리적, 생물학적 방법들이 적극적으로 연구되고 있으며, 이 중 방사선 조사 기술의 활용이 권장되고 있다. 교역 식량의 위생

화 및 검역 처리 기술로서 식품 조사 기술은 40여 개국에서 실용화가 추진되고 있다. 그리고 Codex 국제식품규격과 운영규정이 채택되어 활용이 권장됨에 따라 세계적으로 가동 중인 조사 시설이 200여 기에 이르며, 식품 및 농수축산물의 방사선 조사 현황은 연간 백만 톤 이상으로 추산되지만 유통 물량과 교역 현황은 정확하게 밝혀지지 않고 있는 실정이다.

방사선 조사 식품에 대한 Codex 규격에 따르면 식품 조사 처리는 허가 식품에 한하여 허가 시설에서만 실시하고, 조사 식품을 수송할 경우에는 송장(送狀)에 조사 내역이 기록되어야 하며, 포장 식품의 경우에는 규정된 조사 식품 마크(labeling, *radura*)를 부착되도록 규정하고 있다.

(방사선 조사 식품의 국제적 마크, *radura*)

그러나 수입 농산물 중 방사선 처리의 필요성이 객관적으로 인정되고 있는 품목의 경우에도 表示(labeling) 등 관련 정보의 제공은 거의 없는 실정이므로 수입 식품의 안전 관리와 국내 농산물 시장 및 관련 산업의 보호 차원에서 정부 주도의 검지 기술 개발과 검사 체계의 확보가 요구되고 있다.

제 3 절 연구 개발의 범위

방사선 처리 수입 농산물의 다중검지기술 개발을 위하여 30여 종의 국산

및 수입산 농산물에 대해 물리적(TL, ESR, PSL, viscosity 분석), 생물학적(DNA comet assay, TVC 등) 분석법의 검지 특성을 비교하여 적용 품목을 선정하고, 검지 조건의 표준화, 미지 농산물에 대한 검증 시험, 검지 가능기간 설정, 조사 식품의 국내외 허가 및 실용화 현황 조사, 대상 농산물의 교역 동향 및 수입·유통 안전 관리 방안 분석 등을 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

제 1 절 국내외 관련 기술의 현황과 문제점

식품 조사 기술은 지난 반세기 이상 국제기구와 선진국의 주도로 과학적인 연구가 추진되어 기술적 타당성과 안전성이 FAO/WHO/IAEA 등 관련 국제기구와 주요 보건당국에 의해 공식 인정됨에 따라 Codex 일반 규격과 운영 규정이 채택되고 활용이 권장되고 있다. 이에 따라 2002년 현재 52개 국에서 230여 식품(군)에 대하여 방사선조사기술의 이용이 허가되었고, 국제기구 및 각 국에서는 품목별 허가보다는 식품군별(food class)로 허가를 권장하는 추세이다. 그리고 현재 식품 처리 및 의료용품 멸균용으로 가동중인 조사 시설은 200여기 이상으로 보고되고 식품 및 농수축산물의 방사선 조사 현황은 연간 백만 톤 이상으로 추산된다. 그러나 그 유통 물량과 교역 현황은 정확하게 밝혀지지 않고 있는 실정이므로 방사선 조사식품에 대한 Codex 규격에 따라 대부분 방사선 조사식품 마크(*radura*)를 부착하도록 의무화하고 있다. 국내 식품의 방사선 조사기준은 총 13개 품목(군)에 대하여 0.15~10 kGy 범위의 ^{60}Co 감마선을 이용할 수 있도록 허가하고 있으며 재(再)조사, 표시 등은 Codex 규격에 준하고 있다.

방사선 처리 식품의 검지/확인법의 확보는 불필요한 재조사(re-irradiation)의 방지와 표시규정의 준수를 유도함으로써 교역 및 유통관리의 수월성을 높이고, 소비자들에게도 조사식품의 품질(quality)과 정체성(identity)을 확인하여 안전하고 우수한 품질의 식품을 선택할 수 있는 제도의 정착을 뒷받침 할 수 있을 것이다.

따라서 검지에 관한 연구는 1980년대 중반 이후 식품 조사 기술의 산업화가 세계적으로 추진되고 방사선 조사 식품의 交易이 예상되면서 본격 시작되었다. 특히 검지 기술의 개발 연구는 세계소비자연맹(IOCU)의 요구와

더불어 독일, 미국, 영국 등 선진국에 의해서 먼저 시작되고 있으나 검지 방법의 기본 요건인 “i) 방사선 조사에만 특이적일 것, ii) 정확하고 재현성이 있을 것, iii) 다양한 식품에 적용이 가능하고 조작과 측정이 간편할 것, iv) 저렴하고 방사선 조사선량 측정이 가능할 것 등”의 조건들을 모두 충족시키는 방법은 개발되지 못하였다. 그러나 단일 분석법으로서의 개발 현황은 EU 연합에서 지방질 식품에 대한 hydrocarbon 및 2-alkyl-cyclobutanone류의 분석, 뼈나 각질을 포함 한 식품의 전자스핀공명(ESR) 분석, 미네랄을 포함한 식품의 열발광(TL) 및 광발광(PSL) 분석, 생체식품의 DNA comet 분석, 허브와 향신료에 대한 미생물상 측정 등이 표준방법으로 제안되어 있다. 또한 영국, 일본 등 일부 국가에서 단일 분석법에 대한 보고와 조건의 확립이 이루어지고 있으나 검지요건의 개선과 품목별 분석조건을 확립을 위해서는 구체적인 연구들이 각 국에서 진행되고 있다.

국내에서는 1980년대 이후에는 산업화를 위한 감마선 이용 연구가 활발히 이루어지면서 현재 13개 식품(군)에 대하여 감마선 조사가 허가되었고, 일부 품목의 상업적 조사가 이루어지고 있다. 방사선 조사 식품의 검지 기술에 관련된 국내의 연구는 90년대 중반 이후부터 신선 육류, 일부 두류, 곡류 등에 대하여 감마선 조사 여부 검지 연구가 GC/MS 분석, 열/광발광 분석, 유리기 측정, comet assay, 점도 측정 등의 방법에 의해 연구가 수행되고 있으며, 일부 품목에 대해서는 검지 가능성에 대한 연구 결과가 발표되고 있다. 그러나 이상의 연구들은 개개 연구실에서 단편적으로 수행되고 있으므로 실용화 시기를 앞당기기 위해서는 종합적인 공동연구의 수행으로 상호 검증과 조건의 표준화 연구가 요구되고 있다.

제 2 절 앞으로의 전망

주요 수입 농산물을 수입통계자료 등을 참고하여 곡류(현미, 메밀 등 4

종), 두류(대두, 땅콩 등 4종), 유지종실류(참깨, 들깨), 과일류(오렌지, 키위, 포도, 건바나나, 건포도), 건조채소류(건고추, 건당근, 건버섯, 건양파, 건파), 전분류(옥수수전분 등 3종), 근채류(마늘, 양파) 등을 대부분 국산과 수입산으로 확보하고, 이들 시료에 대하여 물리적 분석법(열발광 분석, 전자스핀 공명 분석, 광발광 분석, 점도 측정), 생물학적 분석(DNA comet assay) 및 보조시험(총균수, 지질산패도/TBA가, 기계적 색도)에 의해 검지 특성을 분석하고, 적용이 가능한 품목에 대하여 국산과 수입산에 대한 검지 조건을 비교하였다. 이로써 주요 수입 농산물의 방사선 처리 여부 판별에 필요한 선량 의존성 분석과 검지 조건의 최적화를 통하여 정확성과 신속성을 향상시킬 수 있는 다중검지조건을 체계화하였다.

이상과 같이 얻어진 예비 다중검지기법의 신뢰성을 검증하기 위하여 미지 모델농산물(현미, 땅콩, 키위, 건양파, 옥수수전분, 총 150건)에 대한 검증시험(조사 여부 판별 및 흡수 선량 범위 예측)을 국내 최초로 방사선 처리 식품의 수입관리기관인 식품의약품안전청 및 국립농산물품질관리원과 공동으로 시행하여 다중검지체계에 의한 조사 여부 판별의 신뢰성을 100% 인정받았다.

따라서 본 결과를 바탕으로 국내의 실용화 시기를 앞당기기 위해서는 국내의 연구진이 종합적인 공동연구 시스템을 구축하여 검지 적용품목의 확대와 국제적으로 통용될 수 있는 검지기술의 확보를 위해 연구결과의 상호 검증과 검지법의 표준화에 필요한 국내외 공동 실증연구가 필요하며, 특히 관련 기술분야의 인적, 기술적 인프라의 구축이 병행되어야 할 것이다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 세부 수입농산물의 TL/ESR 분석 및 다중검지기술 개발

제 1 절 서론

방사선 조사 식품의 검지 방법 개발을 위하여 다양한 분석 방법들이 다양한 종류의 식품들을 대상으로 실험되고 있으며, 새롭게 대두되고 있는 분석법들은 그 적합성을 검증 받고 있다. 조사 여부를 확인하는 정성적 검지는 흡수 선량을 측정하는 정량적 검지보다 더 중요하다. 이는 식품 조사의 self-control 특성 즉, 고선량 조사는 식품에 불쾌한 관능적 특성을 가져올 뿐 아니라 조사에 드는 높은 비용으로 인해 조사업자나 식품생산업자 입장에서는 최소한의 선량으로 바람직한 효과를 얻고자 하기 때문이다. 지금까지 연구되고 있는 검지 방법들은 물리적인 방법, 화학적인 방법 그리고 생물학적인 방법으로 분류할 수 있다.

본 세부 과제는 방사선 조사 식품에서 일어나는 물리적인 변화에 기초한 검지 방법에 대한 연구로서, 그 중 열발광(thermoluminescence, TL) 측정법은 향초류, 향신료 및 이들 혼합물에 대하여 현재 유럽 기준이 설정되어 있고 새우에 대해서는 측정 방법이 인정되고 있다. 식품의 TL 분석은 시료에 함유되거나 이물질 형태로 존재하는 mineral(silicate, feldspar, quartz, carbonate 등)의 발광 특성을 응용하는 방법이다. Mineral이 전리방사선에 노출되면 electron의 에너지 상태가 exited state로 변화되었다가 ground state로 떨어지게 되나, 일부 electron은 특정 위치에 갇히게 된다. 이들은 오랜 기간 동안 그대로 유지되는데, 이 때 mineral의 온도를 일정 조건에

서 상승시키면 갇혀 있던 electron의 에너지 상태가 다시 ground state로 되면서 흡수된 에너지 양만큼 light emission 현상이 발생된다. 따라서 mineral의 방사선 흡수 선량에 따라 일정 온도 범위에서 독특한 TL glow curve를 나타내게 된다. 즉, 비조사 시료의 경우 자연방사선과 우주선에 의해 300℃ 부근에서 glow curve를 나타내지만, 조사 시료의 경우 200℃ 부근에서 나타낸다[1-3].

또한 방사선 조사 식품의 확인 시험에서 이용되는 전자스핀공명(electron spin resonance, ESR) 측정법은 방사선 조사로 인해 발생된 free radical의 농도를 측정하는 방법으로[4], 비파괴적이고, 특이적이며, 간편하고, 신속한 방법이다. 식품 조사에 허용된 상한선인 10 kGy는 1 kg의 식품에서 5×10^{-3} mol의 free radical을 형성한다. 식품이 전리방사선에 노출되면 식품 중의 전자가 튀어나가게 되고 이러한 전자들은 대부분 단수명 전자라 하여 쉽게 사라지지만, 뼈, 껍질, 씨앗 등 상대적으로 건조하고 단단한 결정 구조 고체를 포함한 식품에 free radical이 갇히게 되면 그 식품의 수명과 거의 비슷하거나 더 오랜 기간 존재하게 된다. 이들 free radical의 spin은 임의의 방향을 향해서 존재하며, 여기에 microwave energy가 가해지면 두 에너지 상태에서 공명화가 일어나고 에너지를 흡수하게 된다. 이 에너지의 차이에 의해서 흡수된 에너지는 가해진 자장(magnetic field)에 대해서 ESR spectrum을 나타낸다[4,5]. 방사선 조사 여부 확인에 이용되는 식품의 종류는 radical의 종류에 따라 cellulose radical 함유 식품, crystalline sugar radical 함유 식품, 그리고 hydroxyapatite radical 함유 식품으로 나눌 수 있다[6].

따라서 본 연구에서는 방사선 처리가 예상되는 주요 수입 농산물(곡류, 두류, 유지종실류, 과일류, 건조채소류, 근채류)을 대상으로 열발광(TL) 및 전자스핀공명(ESR) 분석에 의한 검지 특성을 국산과 비교하고 다중검지 조건을 확립하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료 및 방사선 조사

가. 재료

본 실험에 사용된 재료는 농산물 수출입 자료와 방사선 조사 허가 자료를 바탕으로 하여 곡류(현미, 메밀), 두류(대두, 땅콩, 적두 및 녹두), 유지종실류(참깨, 들깨), 과일류(오렌지, 키위, 포도, 건바나나 및 건포도), 건조채소류(건고추, 건당근, 건버섯, 건양파 및 건파) 및 마늘·양파 등 총 20종을 선택하였다. 곡류, 두류, 유지종실류의 경우 각각 국산과 중국산으로 나누어 구입하였고, 과일류의 경우 오렌지는 미국산, 키위는 뉴질랜드산, 포도는 국산, 건바나나는 필리핀산, 건포도는 미국산으로 구입하였으며, 건조채소류 및 마늘, 양파는 국산으로 구입하여 실험에 사용하였다.

나. 방사선 조사 및 저장

검지 실험에 사용된 농산물은 국내에서 사용이 허가된 감마선 조사를 실시하였다. KAERI의 ^{60}Co 선원(100 kCi, Nordion, Ontario, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 선량률을 일정하게 하면서 최대 허용 선량을 기준으로 곡류, 두류 및 유지종실류는 0~4 kGy, 신선과일류는 0~2 kGy, 건조과일류는 0~4 kGy, 건조채소류는 0~10 kGy, 마늘 및 양파는 0~0.5 kGy 선량으로 조사하였다. 흡수 선량의 확인에는 ceric/cerous dosimeter를 사용하여 오차 범위를 ±5% 이내로 하였다. 한편 교역 농산물은 방사선 조사 후 상당 기간 저장·유통되므로 각 검지 방법에 대한 dose response stability test를 위해 모델농산물을 대상으로 low density polyethylene (LDPE) film으로 포장하여 일정 조건하에서 저장 실험을 수

행하였다.

2. TL/ESR 분석법 개발 시험

가. Thermoluminescence (TL) 분석 방법

1) Mineral 분리

TL 분석은 CEN 방법[3]에 준하여 whole sample로부터 분리된 mineral을 이용해 측정하였다. 시료 일정량에 증류수를 가하여 5분간 sonicator 처리하고 125 ㎛ sieve에 여과한 후 정치하였다. 침전물에 존재해 있는 유기물 제거를 위해 비중이 큰 sodium polytungstate(density, 2 g/mL) 5 mL를 가하고 증류수로 세척하였으며, carbonate 제거를 위해 1 N HCl 2 mL를 가한 후 1 N NH_4OH 2 mL를 가하여 중화시켰다. 중화된 mineral은 증류수로 세척 후 acetone 처리하여 건조하였다. Mineral 일정량을 aluminium disc(Φ 6 mm)에 옮겨 담고 50℃ dry oven에서 overnight 후 silicone으로 고정하여 측정하였다.

2) TL 측정

시료의 TL 분석은 linear heating system(℃/min)이 부착된 TLD system(TLD 4500, Harshaw, Germany)을 이용하여 고순도 N_2 gas(99.9999%)를 2 kg/㎠의 압력으로 흘려주면서 TL glow curve(TL_1)를 측정하였다. 이 때 측정 조건은 50℃에서 5 sec간 preheating한 후 5℃/sec로 400℃까지 승온하여 70초 동안 측정하였다.

3) Normalization

TL은 대조 시료 없이 조사 여부 확인 및 흡수 선량 예측을 가능하게 해주는 장점을 가지고 있다. 시료의 1st glow curve(TL_1) 측정시 최고 온도에 달하면 400℃에서 5초간 annealing 함으로써 시료 mineral 내 모든 TL 특성은 사라지게 되므로, 1 kGy로 re-irradiation하여 2nd glow curve(TL_2)를 측정하였다. 이 때 방사선 조사 특유의 peak가 나타나는 150~250℃ 범위의 값으로 TL ratio(1st glow/2nd glow)를 구하는데, 이 TL ratio를 threshold value로 삼아 조사 여부를 확인하며, 이러한 일련의 과정을 normalization이라 한다[3]. 본 연구에서는 TL ratio 값이 0.05 이하이면 방사선 조사되지 않은 것으로, 0.2 이상이면 조사된 것으로 판단하였다.

나. Electron Spin Resonance (ESR) 분석 방법

1) 시료의 전처리

ESR 측정을 위한 시료의 전처리 및 측정은 CEN 방법[6]에 준하였다. 과일은 시료 부위별 특성을 알아보기 위해 씨, 과육, 껍질로 분리하고, 나머지 시료는 일정 크기로 절단하여 50℃ dry oven에서 수분과 단수명 ESR center를 제거하여 수분 함량 5% 내로 건조된 시료를 20 mesh로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

2) ESR 측정

ESR 측정을 위해, 시료 일정량(0.1 g)을 ESR sample tube에 충진하고 ESR spectrometer(JES-TE300, Jeol Co., Japan)에 의하여 분석하였다. 즉, microwave frequency 9.4 GHz, microwave power 0.4 mW & 5.0 mW,

magnetic center field 348±5 mT, modulation 100 kHz, time constant 0.03 sec, sweep time 0.5 min 등의 조건으로 free radical 농도를 측정하고 방사선 조사 유래의 peak를 signal intensity(peak-to-peak height)로 나타내었다[7].

3. TL 및 ESR 분석에 의한 미지 모델시료의 검증 시험

가. TL 분석에 의한 조사 여부 확인 시험

본 실험에서 사용한 TL 검지법의 신뢰도를 확인하기 위하여 blind test를 실시하였다. 식품의약품안전청, 국립농산물품질관리원, 그린피아기술(주)로부터 무작위로 번호를 표기한 다수의 국산 현미(n=30), 중국산 땅콩(n=30), 뉴질랜드산 키위(n=30), 국산 건양파(n=30) 미지 시료(unknown coded sample)를 받아서 검지 시험을 실시하고, 그 결과를 대조 확인하여 조사 여부에 대한 정확도를 검토 받았다.

나. ESR 분석에 의한 조사 여부 확인 시험

본 실험에서 사용한 ESR 검지법의 신뢰도를 확인하기 위하여 식품의약품안전청, 국립농산물품질관리원, 그린피아기술(주)로부터 무작위로 번호를 표기한 뉴질랜드산 키위(n=30), 국산 건양파(n=30)의 미지 시료(unknown coded sample)를 받아서 검지 시험을 실시하고, 그 결과를 대조 확인하여 조사 여부에 대한 정확도를 검토 받았다.

4. 품목별 농산물의 다중검지 체계화 시험

방사선 조사 식품의 검지는 신속성과 정확성이 필수적이다. 본 연구에서는 미지 시료에 대한 정확한 검지를 위하여 2종 이상의 검지 방법을 적용할 수 있는 품목에 대해 다중검지체계를 확립하고자 한다. 즉, 각 농산물에 대해 검색방법(screening method ; DNA comet assay, PSL)과 확증방법(verification method ; TL, ESR, viscosity)으로 구분하여 실험 조건을 확립하고 신속성과 판정의 정확도를 고려하여 각 검지 방법의 장단점을 보완한 다중검지기술을 체계화하고자 하였다.

5. 다중검지체계에 의한 미지 모델시료의 검증 시험

설정된 다중검지체계의 신뢰도를 확인하기 위하여, 식품의약품안전청, 국립농산물품질관리원, 그린피아기술(주)로부터 무작위로 번호를 표기한 다수(n=30)의 국산 현미, 중국산 땅콩, 뉴질랜드산 키위, 국산 양파 미지 시료를 받아서 다중검지 시험을 실시하고, 그 결과를 대조 확인하여 조사 여부에 대한 정확도를 검토 받았다.

6. 실험 결과 분석

TL과 ESR은 3회 반복 실시하였고, 측정 결과는 Origin[8]에 의해 분석하였다. 검사 결과의 유의성은 SAS(Statistical Analysis System)[9]에 의한 분산분석(ANOVA)에 의해 검정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 주요 수입농산물에 대한 TL 및 ESR 검지 품목 선정

가. 선정 농산물의 TL 검지 특성 비교

1) 곡류

TL signal 측정을 위한 mineral 분리 과정에서 도정 과정이 있는 현미는 왕겨의 제거로 인한 적은 mineral 함량으로 약 1 kg의 시료를 사용한 반면, 수확 과정 중 다량의 mineral이 혼입된 메밀은 약 300 g의 시료를 사용하였다. 국산 및 중국산 현미와 메밀로부터 추출한 약 0.2 mg의 mineral을 이용하여 TL glow curve를 측정한 결과, 모든 비조사 시료의 경우 280℃ 전후에서 매우 낮은 peak를 나타냈다. 또한 본 연구의 최저 선량인 0.5 kGy 이상의 방사선 조사 시료에서 조사 시료 특유의 peak가 200℃ 전후에서 나타났고, 조사 선량의 증가에 따라 signal intensity가 급격히 증가하였다(Fig. 1). 조사 선량과 TL glow curve와의 상관관계에서 현미의 경우 국산 R^2=0.9952, 중국산 R^2=0.9977(Fig. 2), 메밀의 경우 국산 R^2=0.9589, 중국산 R^2=0.9364(Fig. 3)로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다. Glow curve의 형태는 국산과 중국산이 유사한데 비해 peak intensity는 국산 시료보다 중국산 시료가 더욱 높았는데, 이는 mineral 조성에 따른 차이인 것으로 사료된다. 이와 관련하여 Autio와 Pinnioja[10], Kwon 등[11]은 대부분 토양으로부터 유래된 mineral에서 quartz에 대한 feldspar의 조성비가 높을수록 더욱 높은 peak를 나타낸다 하였다.

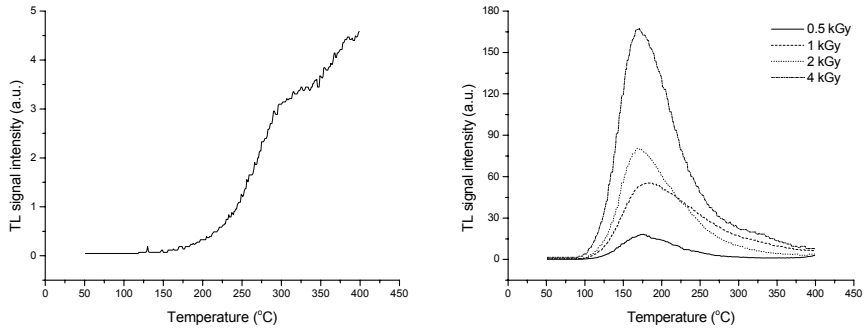

Fig. 1. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) brown rice produced in Korea.

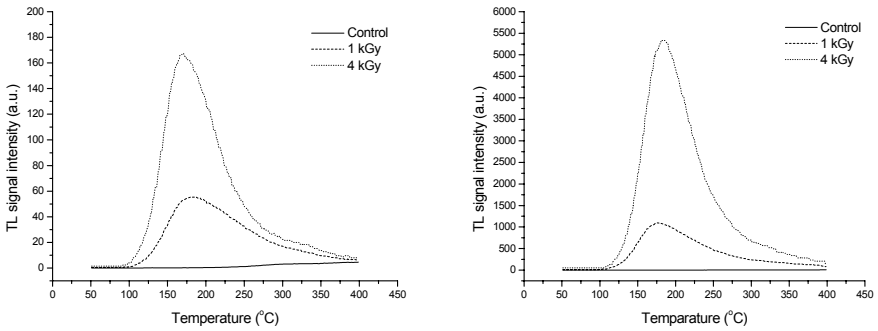

Fig. 2. TL glow curves of minerals from brown rice irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

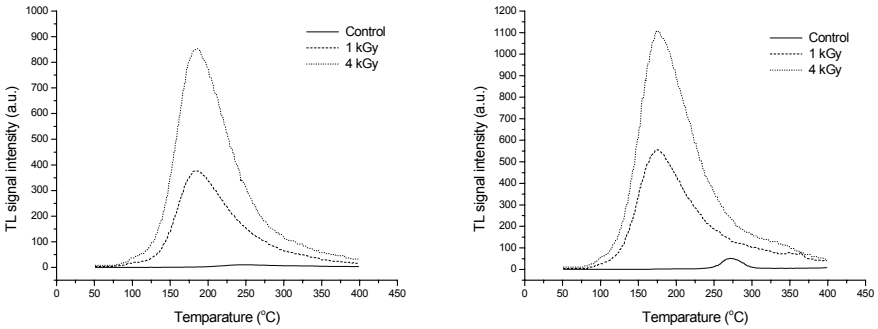

Fig. 3. TL glow curves of minerals from buckwheat irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

2) 두류

두류의 TL signal 측정을 위한 시료 전처리 과정에서 대두는 약 1.5 kg, 땅콩은 약 500 g, 적두 및 녹두는 약 1 kg의 시료를 water rinsing하여 0.2 mg의 mineral을 추출하였으며, 사용된 시료의 양은 원산지에 따른 차이가 거의 없었다. 추출된 mineral을 사용하여 TL을 측정한 결과, 모든 시료에서 조사 여부에 따른 peak의 온도 범위와 peak intensity의 차이는 분명하였다. 즉, Fig. 4의 결과와 같이 본 연구에서 설정한 최저 선량인 0.5 kGy 이상의 방사선 조사 시료에서 조사 시료 특유의 peak가 200℃ 전후에서 나타났고, 조사 선량의 증가에 따라서 signal intensity가 급격히 증가하였다. 그러나 비조사 시료의 경우에는 280℃ 전후에서 매우 낮은 peak가 나타났다. 또한 본 실험에서 설정한 최저 선량인 0.5 kGy 시료의 signal intensity가 비조사 시료에서 나타나는 signal intensity보다 최저 50배 이상을 나타내어 비조사 시료와 조사 시료의 구별이 명확하였다. 한편, 조사 선량과 TL glow curve intensity와의 상관관계(R^2)에서 대두의 경우 0.9177(국산), 0.9345(중국산), 땅콩의 경우 0.9620(국산), 0.8893(중국산), 적두의 경우

0.8286(국산), 0.9947(중국산), 녹두의 경우 0.9991(국산), 0.8586(중국산)으로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다. 한편 원산지에 따른 시료의 signal intensity 비교 결과, 대두를 제외한 모든 시료에서 국산에 비해 중국산이 더 높게 나타났다(Fig. 5~8).

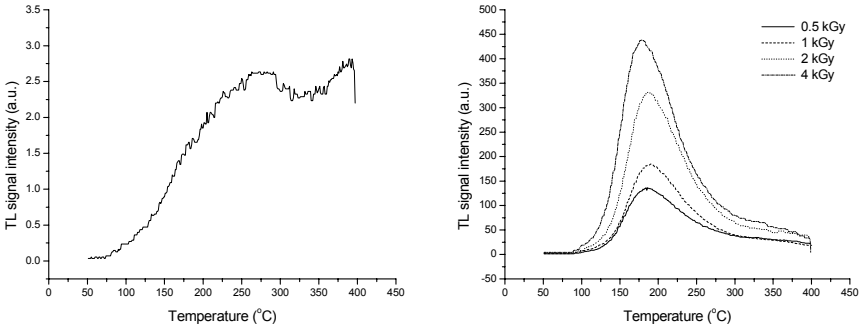

Fig. 4. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) soybean produced in Korea.

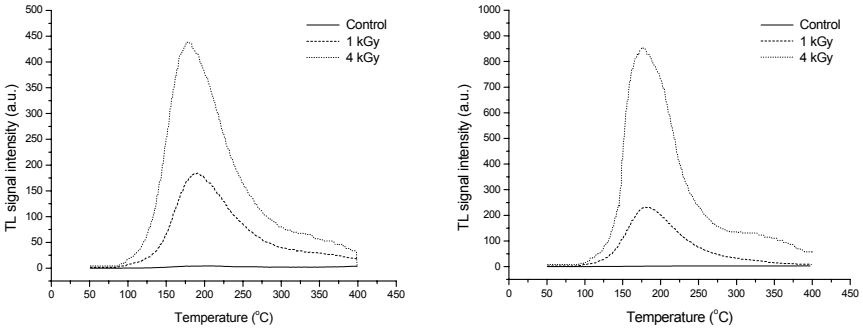

Fig. 5. TL glow curves of minerals from soybean irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

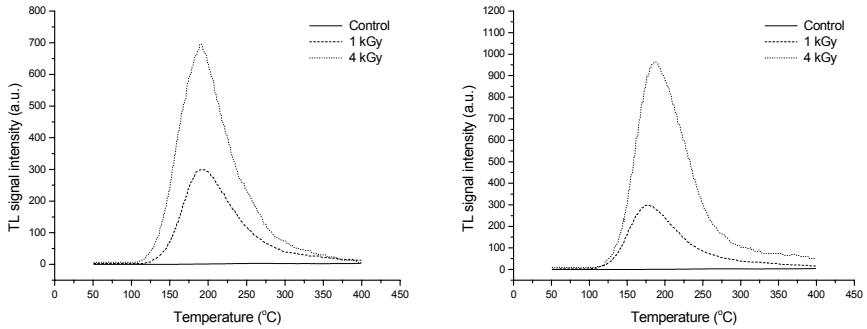

Fig. 6. TL glow curves of minerals from peanut irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

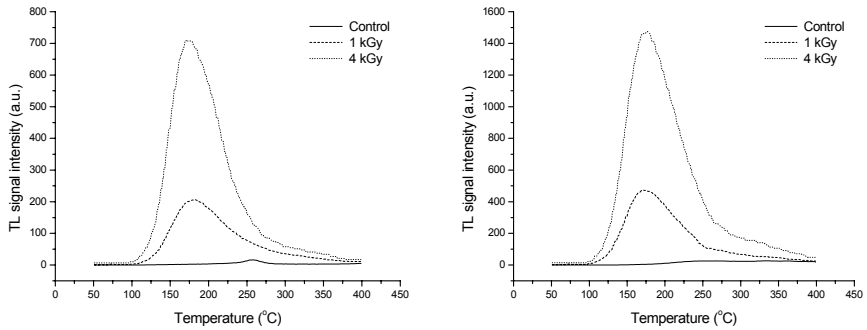

Fig. 7. TL glow curves of minerals from red bean irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

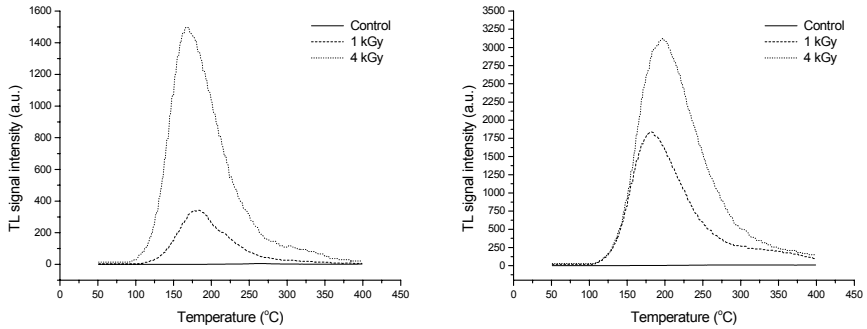

Fig. 8. TL glow curves of minerals from mung bean irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

3) 유지종실류

국내에서 방사선 조사가 허가된 품목은 아니지만 중국으로부터 대량 수입되고 있는 유지종실류의 TL signal을 측정하기 위해, 참깨(약 120 g)와 들깨(약 500 g)를 대상으로 약 0.2 mg의 mineral을 분리하여 TL 특성을 확인하고 방사선 조사 여부를 확인하였다. 참깨와 들깨 모두 비조사 시료의 경우 자연방사선에 의해 약 300℃ 부근에서 최고 peak를 가지는 glow curve를 나타내었다. 그러나, 0.5 kGy 이상의 조사 시료는 150℃부근에서 특유의 glow curve를 나타내었으며, signal의 강도는 비조사 시료보다 약 5배 이상의 증가를 보였다(Fig. 9). 한편, 조사 선량과 TL glow curve와의 상관관계에서 참깨의 경우 국산 R^2=0.9758, 중국산 R^2=0.9842(Fig. 10), 들깨는 국산 R^2=0.9577, 중국산 R^2=0.9756(Fig. 11)로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다.

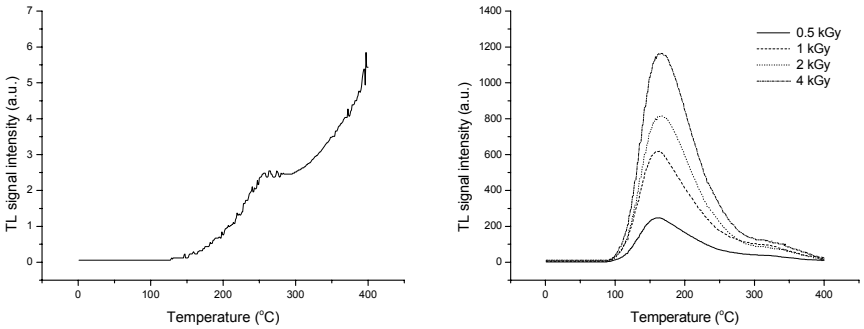

Fig. 9. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) sesame seed produced in Korea.

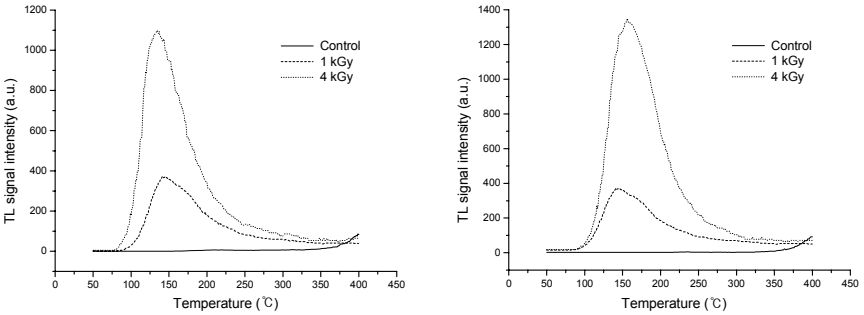

Fig. 10. TL glow curves of minerals from sesame seed irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

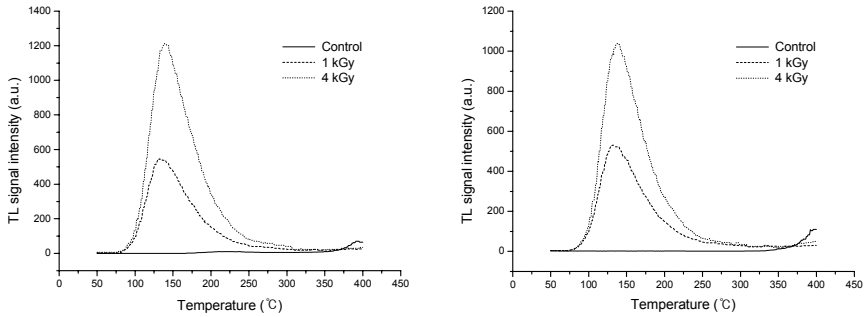

Fig. 11. TL glow curves of minerals from perilla seed irradiated at different doses (left : Korea, right : China).

4) 과일류

과일류(오렌지, 키위, 포도 및 건포도)의 비조사 시료에서 분리한 mineral(약 0.2 mg)의 TL glow curve는 약 250~350℃ 온도 범위에서 매우 낮은 intensity의 glow curve를 나타내었다(Fig. 12). 그러나 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 조사 시료 특유의 peak가 180℃ 부근에서 나타났다(Fig. 13~16). 또한 본 연구에서의 최저 선량인 0.5 kGy 조사 시료의 signal intensity는 비조사 시료의 10배 이상이었고, 조사 선량의 증가에 따라 intensity도 점차 증가하였다. TL glow curve와 조사 선량과의 상관관계에서 오렌지 R^2=0.9904, 키위 R^2=0.9998, 포도 R^2=0.9721, 건포도 R^2=0.9840으로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다. 이상의 결과, TL glow curve의 모양과 intensity에 의해 과일류의 방사선 조사 여부 확인이 가능하였다. 시료의 종류에 따른 signal intensity 차이는 일반 농지 표토와 풍호 먼지(wind-transported dust)에서 확인되는 열발광 mineral인 feldspar(장석), quartz(석영), limestone(석회암) 등의 조성비의 차이로 사료된다[1,12]. Oduko와 Spyrou[13]는 netmeg,

paprika, black pepper, cinnamon 등의 향신료를 이용한 TL 실험에서 시료별 glow curve의 모양은 비슷하였으나, TL response의 차이를 나타내어 본 실험과 유사한 결과를 보였다.

한편 건바나나와 건포도는 신선과일류와는 달리 가공 과정을 거친 건조과일류인데 건포도는 mineral을 분리하여 TL 측정이 가능했던 반면, 건바나나는 시료로부터의 mineral 분리가 어려워 TL 적용 가능성이 낮았다. 이는 건포도의 경우 제조 과정에서 시료 전체 부위를 사용하는데 비해 건바나나는 시료의 껍질을 벗기고 가식 부위만 가공하기 때문에 시료에 부착된 mineral의 함량이 없는 상태로 포장되어 유통되므로 건바나나에서 분리 가능한 mineral이 거의 없었기 때문으로 사료된다.

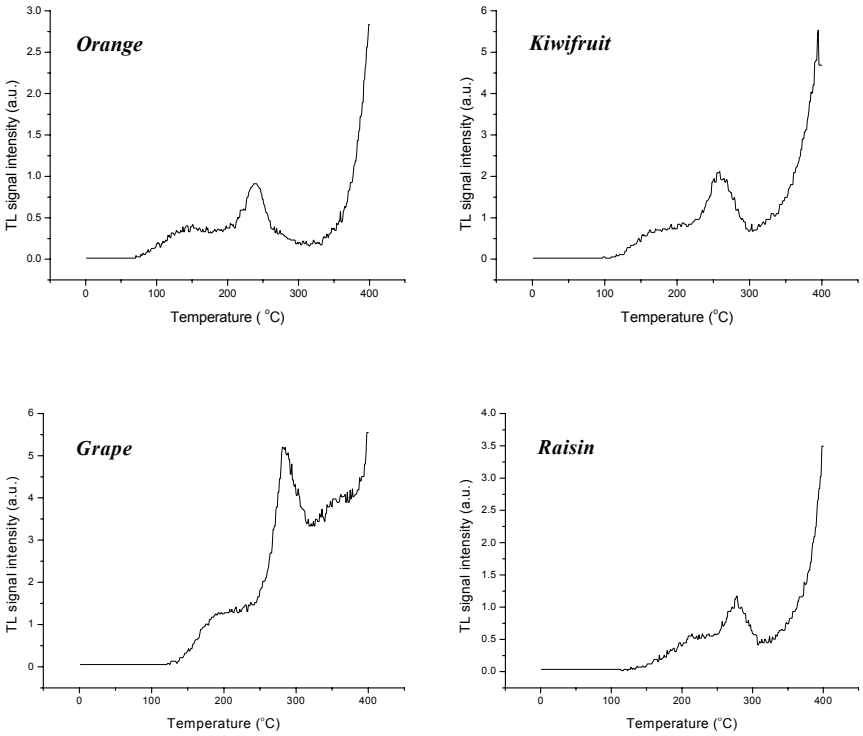

Fig. 12. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated fruits.

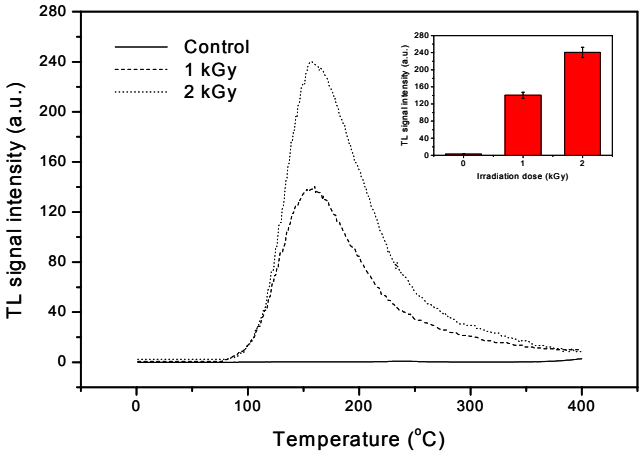

Fig. 13. TL glow curves of minerals from orange irradiated at different doses.

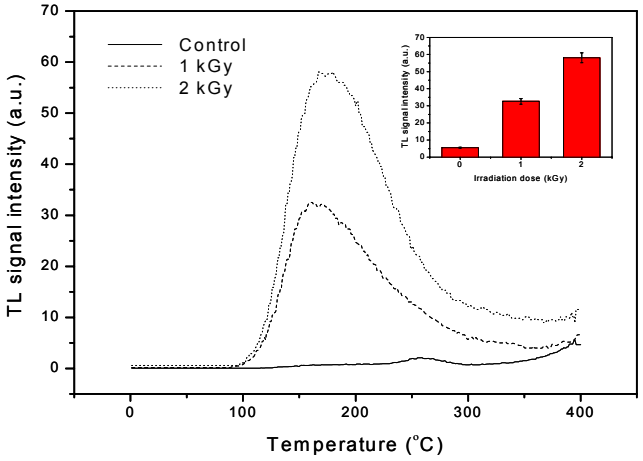

Fig. 14. TL glow curves of minerals from kiwifruit irradiated at different doses.

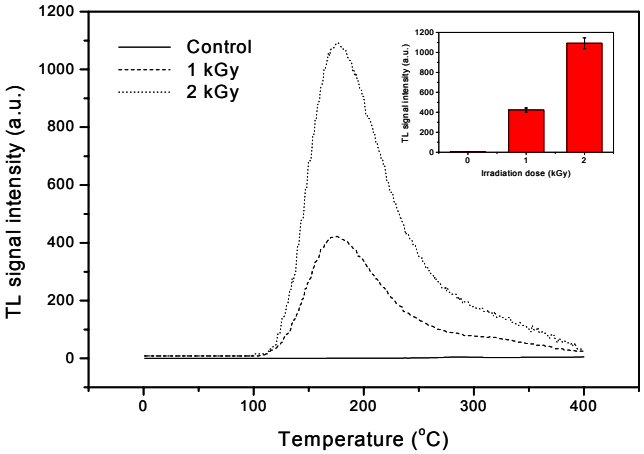

Fig. 15. TL glow curves of minerals from grape irradiated at different doses.

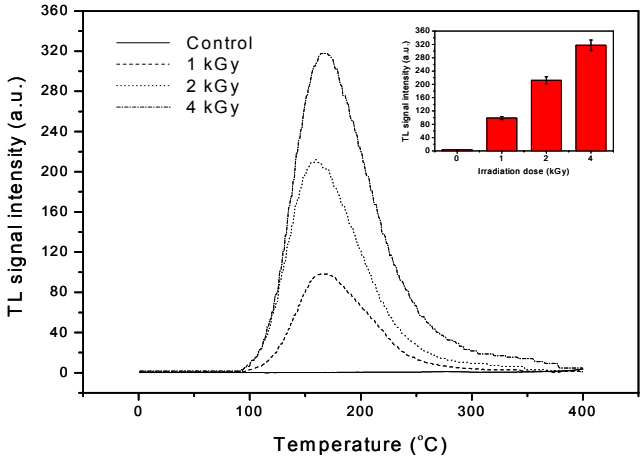

Fig. 16. TL glow curves of minerals from raisin irradiated at different doses.

5) 건조채소류

건조 채소류는 현재 국내에서 7 kGy의 조사 선량이 허가되어 있는 상황이지만, 일반적으로 미생물 사멸을 위하여 3 kGy 전후의 선량을 사용하므로 본 실험에서는 2.5 kGy를 상업적인 최저 선량으로 간주하였다. 따라서 0~10 kGy 선량으로 조사된 건조채소류를 이용하여 TL 적용 가능성과 검지 특성을 확인하였다. 200~500 g의 건조채소류(건고추, 건당근, 건버섯, 건양파, 건파)를 사용하여, 약 0.2 mg의 mineral을 분리하였다. 비조사 시료의 경우 약 260℃ 부근에서 낮은 intensity로 나타났던 peak가 조사 시료의 경우 약 180℃ 부근에서 나타났으며, intensity 또한 선량에 따라 증가하여 나타났다(Fig. 17). Signal intensity는 시료에 따른 차이를 크게 보이지 않았으나 건버섯이 가장 높게 나타났으며, TL glow curve와 조사 선량과의 상관관계에서 건고추 R^2=0.9573, 건당근 R^2=0.9994, 건버섯 R^2=0.9586, 건양파 R^2=0.9980, 건파 R^2=0.9936으로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다(Fig. 18).

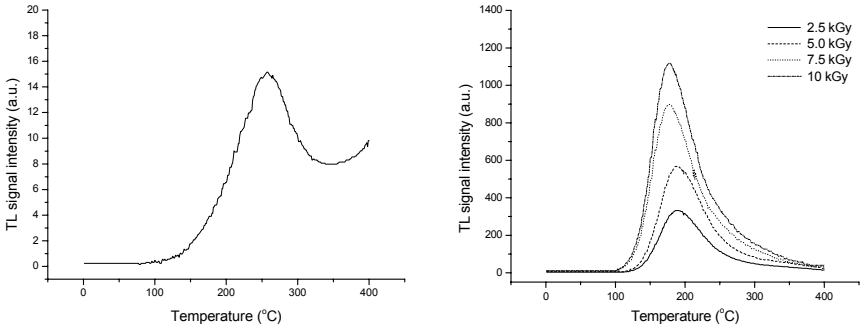

Fig. 17. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) dried onion produced in Korea.

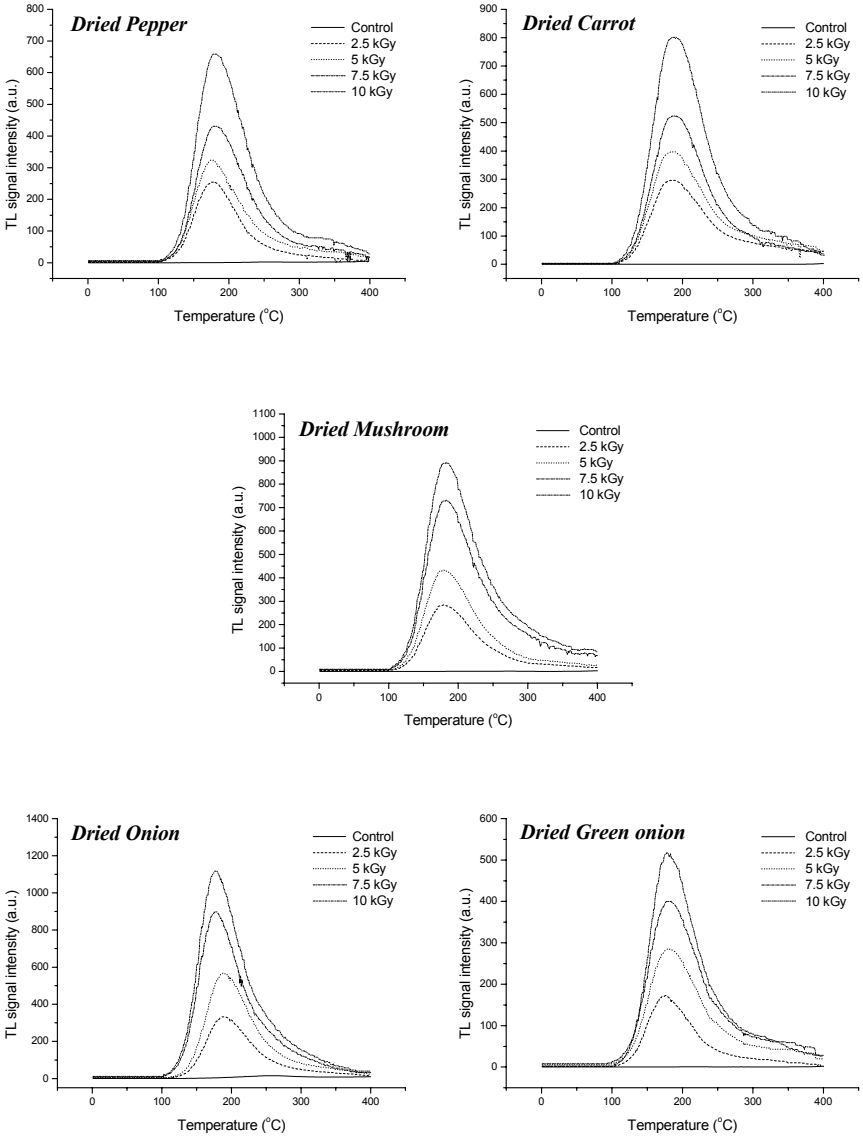

Fig. 18. TL glow curves of minerals from dried vegetables irradiated at different doses.

6) 마늘・양파

마늘과 양파는 시료에 부착된 mineral이 풍부하여 분리에 사용된 시료양이 약 300 g으로 비교적 적었다. TL 측정 결과, 마늘은 비조사 시료의 경우 280℃ 부근에서 8.2 nA의 낮은 peak intensity를 보였으나 최저 선량인 0.05 kGy 시료에서는 183℃에서 14.09 nA의 peak intensity를 나타내었으며(Fig. 19), 양파도 비조사 시료에서 10.5 nA, 0.05 kGy 시료에서 77.24 nA의 peak intensity를 나타내 유사한 경향을 보였다(Fig. 20). 한편, 마늘 및 양파의 TL 측정시 MDL(최소 검지 TL 값)은 1.572 nC이었고, 최소 선량인 0.05 kGy의 TL_1은 각각 247.2 nC, 1256.8 nC으로 나타나 검지 방법으로의 활용 가능성이 높았다. 따라서, 토양 mineral이 풍부한 마늘 및 양파는 매우 낮은 선량으로 조사되었더라도 충분히 검지가 가능함을 알 수 있었다. 조사 선량과 TL glow curve intensity와의 상관관계에서 마늘의 경우 R^2=0.9829, 양파의 경우 R^2=0.9873으로 나타나 조사 선량이 glow curve에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다

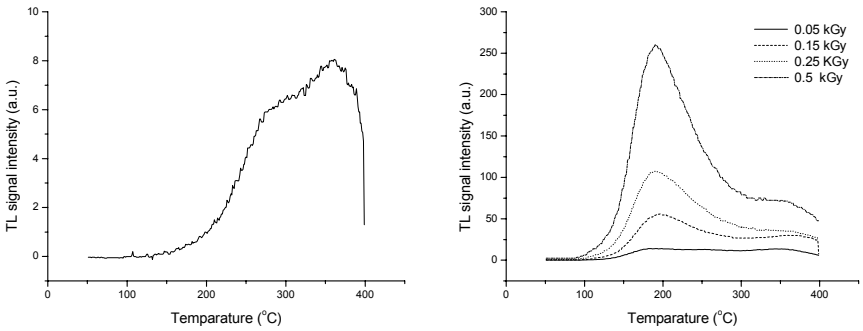

Fig. 19. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) garlic produced in Korea.

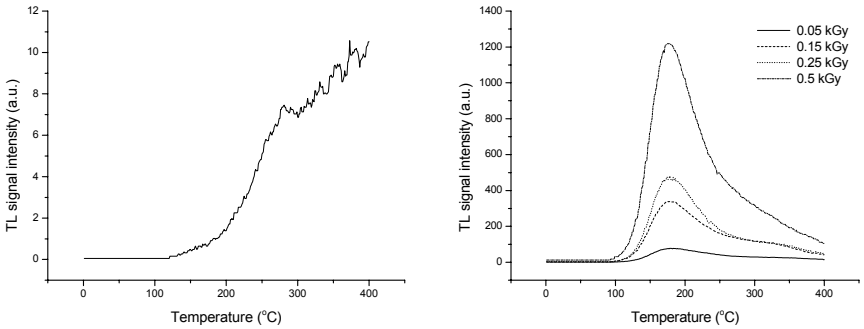

Fig. 20. Typical TL glow curves of minerals from non-irradiated (left) and irradiated (right) onion produced in Korea.

나. 선정 농산물의 ESR 검지 특성 비교

1) 곡류

곡류의 ESR 분석을 위해 현미는 whole sample을, 메밀은 껍질을 취해 20 mesh로 분쇄하여 시료로 사용하였으며, microwave power는 0.4 mW로 하였다. 현미와 메밀의 ESR spectra 측정 결과, 조사 선량에 관계없이 모든 시료에서 대칭적인 unspecific central signal만을 나타낼 뿐 cellulose 혹은 crystalline sugar 등의 특이적인 peak type이 나타나지 않았으며, signal intensity (peak-to-peak) 또한 선량과의 상관성이 낮았다. Signal의 g-value는 현미 2.0032, 메밀 2.0036으로 각각 나타났다(Fig. 21,22). 현미의 경우 각질 부분의 채취가 불가능하였으며, 분쇄 시 수분이 함유된 내부 부분이 포함되어 흡수 선량에 따른 상관성을 보이지 못한 것으로 판단되었다. 메밀은 선량에 대한 peak intensity가 비교적 증가하는 경향을 보여주었으나, 조사 여부의 판단은 불가능하였다. 이상의 결과, 곡류인 현미와 메밀 모두 ESR 측정으로 인한 방사선 조사 여부 확인은 불가능하였으며, 원

산지에 따른 차이는 크지 않았다.

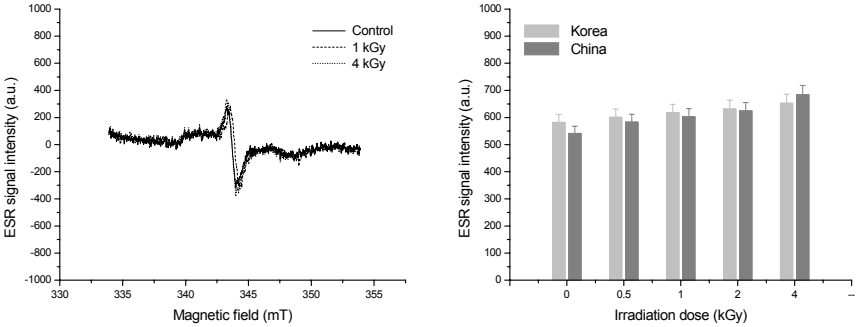

Fig. 21. ESR spectra of brown rice produced in Korea (left) and signal intensities depending on each origin (right).

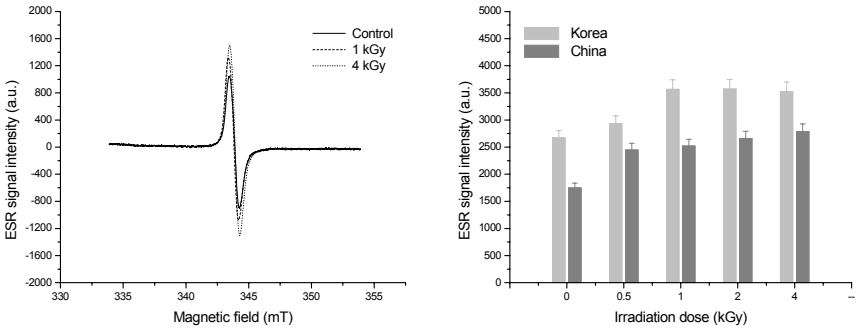

Fig. 22. ESR spectra of buckwheat produced in Korea (left) and signal intensities depending on each origin (right).

2) 두류

두류의 경우 껍질만을 시료로 사용하였으며, microwave power 0.4 mW

에서 측정하였다. 그 결과 대두만이 ESR에 대한 특이적인 cellulose radical signal 및 intensity 증가 현상을 나타내었으며, 땅콩, 적두 및 녹두는 선량의 증가에 따른 signal intensity 증가 현상만을 보였다. 즉, 대두의 경우 국산과 중국산 모두 비조사 시료에서 대칭적인 unspecific central signal을 보여주었으나, 0.5 kGy 이상 조사 시료에서는 대칭적인 unspecific central ESR signal과 함께 양쪽에 cellulose radical에 의해서 생성되는 한 쌍의 peak가 약 6.0 mT의 범위에서 나타났다. 이때 unspecific central ESR signal의 경우 peak의 g-value는 2.0033으로 나타났고, cellulose radical에 의해서 생성되는 peak의 경우 왼쪽(at lower field)과 오른쪽(at higher field)의 g-value는 각각 2.0237, 1.9872로 관찰되었다(Fig. 23). 이 한 쌍의 signal에 대한 intensity 또한 선량에 대해 정(+)의 관계를 나타내었으며, 이 때 회귀식 및 상관계수는 국산 Y=1189.3X-225.8, R^2=0.8652, 중국산 Y=1380.2X-231.8, R^2=0.8609로 나타났다(Fig. 24). 땅콩의 경우 모든 시료에서 phenol 성분으로 인해 나타나는 대칭적인 unspecific central ESR signal만을 보여주었으며 이 때 peak의 g-value는 2.0032로 나타났고, 조사 시료와 비조사 시료간의 특이적인 차이는 발견되지 않았다(Fig. 25). 적두와 녹두 역시 모든 시료에서 땅콩과 같은 대칭적인 unspecific central ESR signal을 보여주었고, peak의 g-value는 적두 2.0035와 녹두 2.0033으로 나타났다(그림 생략). 한편, 적두의 경우 2 kGy 이하의 조사 시료는 국산이 다소 높은 signal intensity를 보인 반면, 4 kGy 조사 시료는 중국산이 더 높게 나타났으며, 녹두는 2 kGy 이하의 조사 시료는 국산의 intensity가 더 높았으나, 4 kGy 조사 시료는 국산과 중국산이 비슷하였다(Fig. 26). 이상의 결과로 미루어 볼 때 unspecific central ESR signal의 intensity 측정만으로는 비조사 시료와 조사 시료간의 구별이 힘들 것으로 생각되었고, cellulose radical 유래의 signal이 나타난 국산 및 중국산 대두의 경우 조사 여부의 정확한 검지가 가능하다고 판단되었다.

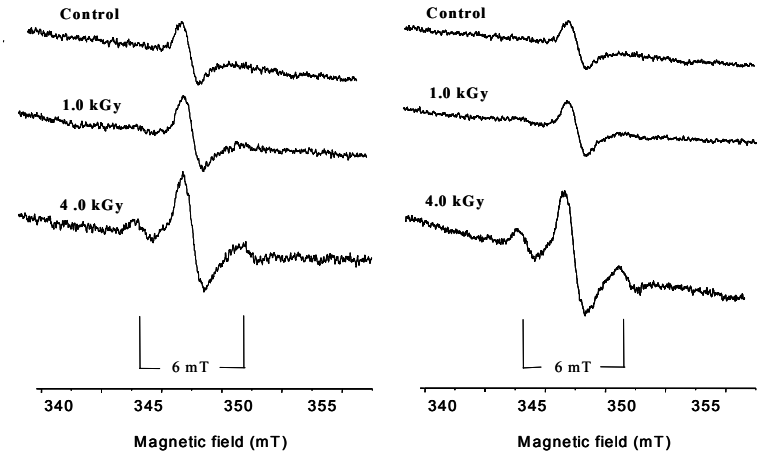

Fig. 23. Typical ESR spectra of irradiated soybean from Korea (left) and China (right).

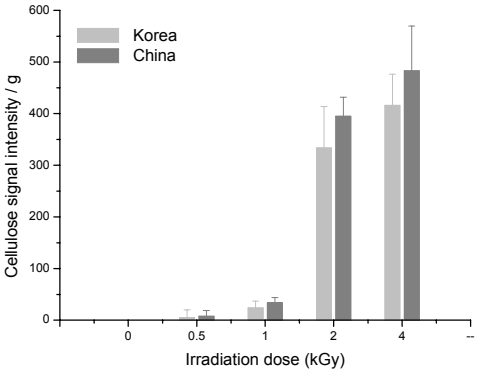

Fig. 24. ESR cellulose signal intensity of irradiated soybean at different doses (left : Korea, right : China).

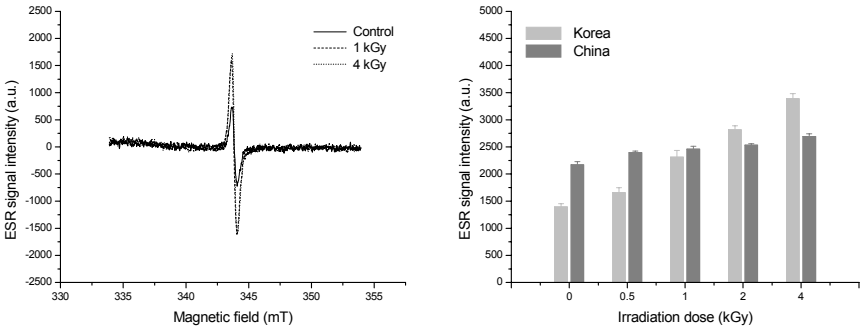

Fig. 25. ESR spectra of peanut produced in Korea (left) and signal intensities depending on each origin (right).

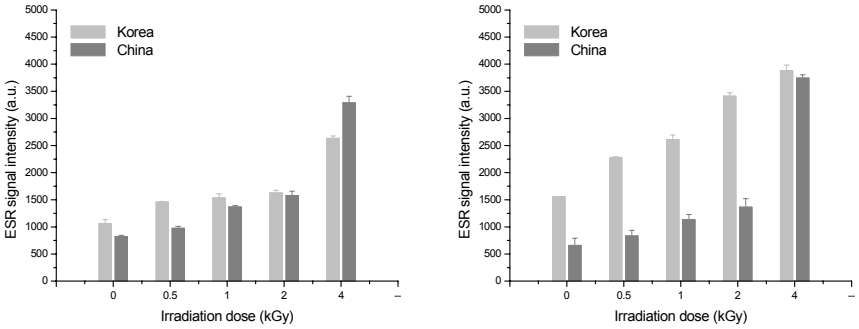

Fig. 26. ESR signal intensities depending on each origin (left : red bean, right : mung bean).

3) 유지종실류

참깨 및 들깨는 비조사 시료에서 phenol 성분으로 인한 single line의 ESR signal을 보여 주었으며, 0.5 kGy 이상의 조사 시료 또한 single line 만을 나타내었다. 즉, cellulose radical 혹은 sugar radical 등으로 인한 방사선 조사 특유의 signal이 확인되지 않아 조사 시료와 비조사 시료의 구

분이 불가능하였다. 이 때 g-value는 참깨의 경우 2.0085(국산), 2.0088(중국산), 들깨의 경우 2.0076(국산), 2.0080(중국산)으로 각각 나타났다. 조사선량의 증가에 따른 signal intensity 또한 유의적으로 나타나지 않아 참깨 및 들깨는 ESR 적용 가능성이 낮았다(Fig. 27,28).

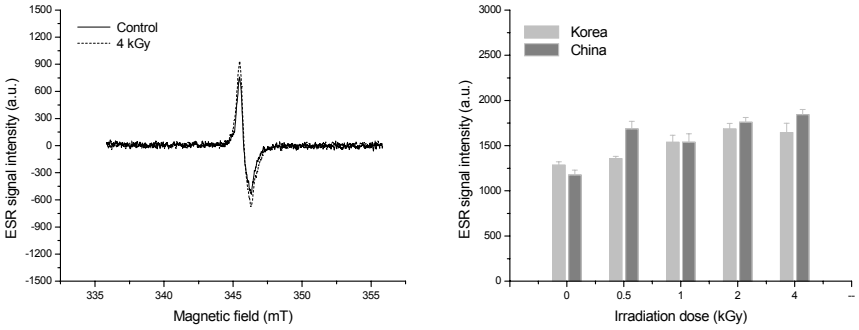

Fig. 27. ESR spectra of sesame produced in Korea (left) and signal intensities depending on each origin (right).

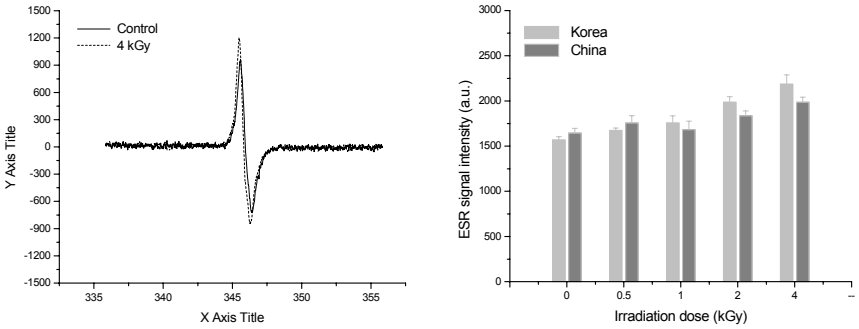

Fig. 28. ESR spectra of perilla produced in Korea (left) and signal intensities depending on each origin (right).

4) 과일류

오렌지, 키위, 포도의 경우 microwave power 0.4 mW에서 건바나나, 건포도의 경우 5.0 mW에서 ESR signal을 측정하였으며, 신선과일류의 경우 부위별 특징을 검토하였다.

오렌지의 ESR 측정 결과, 씨, 과육, 껍질 모두 비조사 시료는 phenol 성분으로 인한 single line의 ESR signal을 보여주었고, 조사 시료에서는 비조사 시료에서 나타난 signal 외 방사선 조사 유래의 특이적인 signal이 확인되지 않아 조사 시료와 비조사 시료간의 구분이 불가능하였으며, 이 때 signal의 g-value는 씨 2.0077, 과육 2.0088, 껍질 2.0084 이었다. 조사 선량의 증가에 따라 ESR signal intensity가 다소 증가하는 경향이었으나 큰 차이는 없었으며, 씨와 껍질이 과육에 비해 다소 높은 intensity를 나타내었다(Fig. 29). 이 같은 결과는 cherry, peach, apple, grape, pear 등의 씨를 이용한 ESR 분석에서 방사선 조사 유래의 특이적인 peak가 발견되지 않았다는 보고[14]와 유사한 것으로써, 오렌지에는 free radical을 trap할 수 있는 성분이 존재하지 않거나 시료 내 free radical의 scavenger가 함께 존재함을 보여주었다.

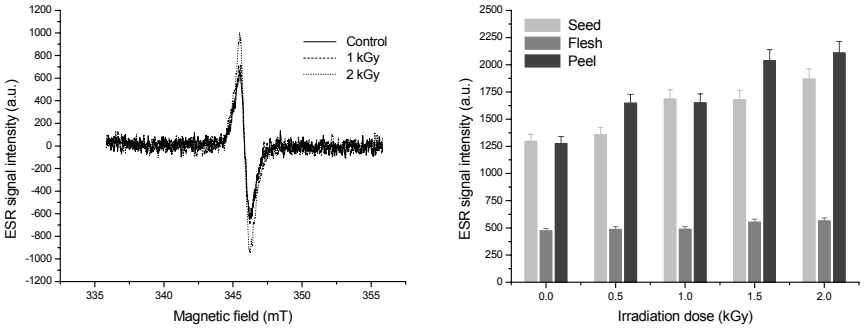

Fig. 29. ESR spectra of orange seed (left) and signal intensities depending on each part (right).

키위의 ESR spectra 측정에서 과일의 부위별로 다른 결과를 보여주었다. 씨와 껍질은 비조사 시료에서 g-value 각각 2.0076, 2.0073인 single line의 signal을 보여 주었으며, 조사 시료에서는 single line 외 조사 특유의 signal이 나타나지 않아 조사 여부의 확인이 불가능하였다. Intensity 또한 유의적으로 나타나지 않아 적용 가능성이 낮았다(Fig. 30). 한편 과핵과 과육의 경우 비조사 시료에서는 g-value 각각 2.0073(과핵)과 2.0075(과육)인 single line의 ESR signal을 보여주었으나, 0.5 kGy 이상 조사 시료에서는 비조사 시료에서 나타나는 ESR signal의 저자기장과 고자기장에 cellulose radical에 의해서 생성되는 한 쌍의 peak가 약 6 mT의 간격을 두고 나타나는 triplet signal을 확인할 수 있었다(Fig. 31). 이 때 과핵의 경우 peak의 g-value는 2.0073이었고, peak의 왼쪽(at lower field)과 오른쪽(at higher field)의 g-value는 각각 2.0242, 1.9870이었으며, 과육의 경우 2.0075(peak), 2.0249(왼쪽), 1.9874(오른쪽)의 g-value를 나타내었다. 이와 같은 cellulose radical 유래의 peak는 조사 선량이 증가할수록 선량 의존적으로 증가하여(Fig. 32), 키위 핵의 경우 회귀식은 Y=336.0X-434.2, 상관계수는 R^2=0.9071, 키위 과육의 경우 회귀식은 Y=276.8X-342.8, 상관계수는 R^2=0.9730이었다. 이상의 결과, ESR 측정을 이용한 방사선 조사 키위의 확인에는 과핵이나 과육 부위가 적합함을 알 수 있었으며, 이는 방사선 조사된 키위, 파파야, 토마토의 pulp에서 cellulose radical 유래의 signal이 나타났다는 결과[15]와 유사하였다.

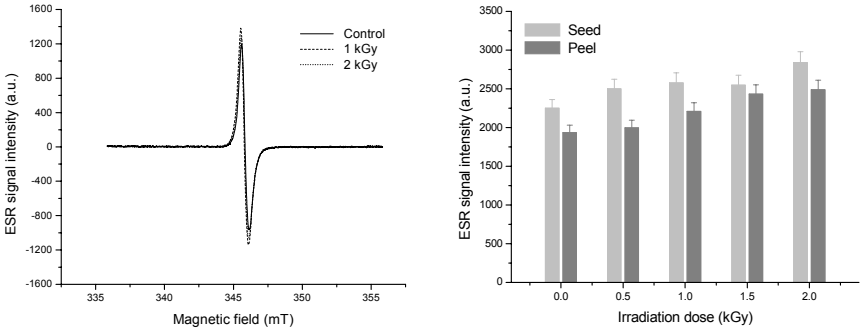

Fig. 30. ESR spectra of kiwifruit seed (left) and signal intensities of seed and peel (right).

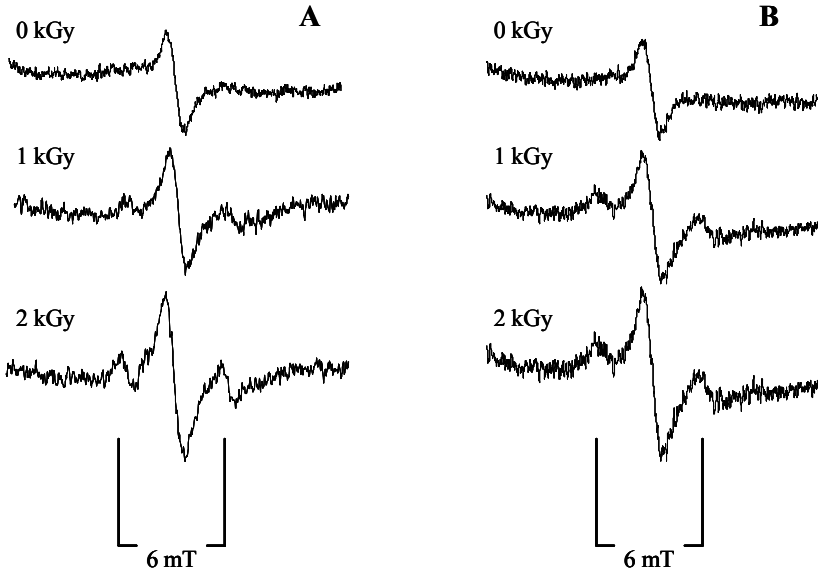

Fig. 31. Typical ESR spectra of irradiated kiwifruit at different doses (A : kiwifruit core, B : kiwifruit flesh).

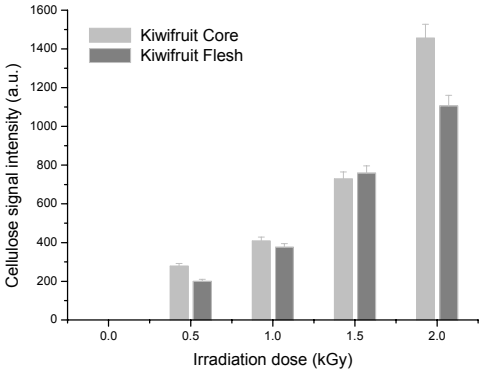

Fig. 32. ESR cellulose signal intensity of irradiated kiwifruit at different doses.

포도는 씨, 과육, 껍질을 분리하여 건조하였으나 과육과 껍질은 건조 과정의 어려움으로 측정이 불가능하여 씨만 이용하였다. 포도 씨의 경우 비조사 시료에서 g-value 2.0071인 single line의 ESR signal을 보여 주었으며, 조사 시료에서는 single line 외 방사선 조사 유래 특유의 signal을 발견하지 못하여 조사 여부의 확인이 불가능하였다. 조사 선량의 증가에 따른 signal intensity 또한 유의적으로 나타나지 않아 포도는 ESR 적용 가능성이 낮음을 알 수 있었다(Fig. 33).

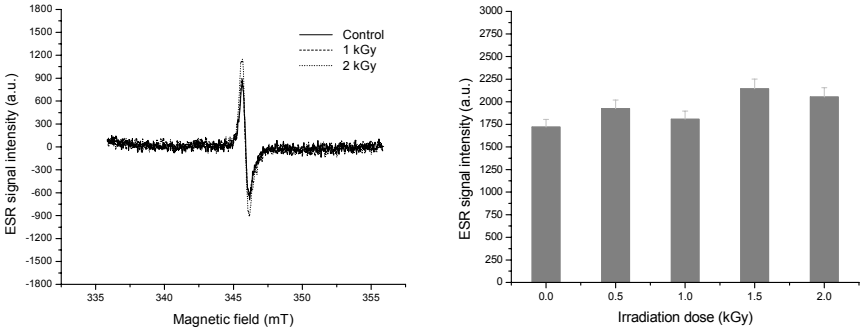

Fig. 33. ESR spectra (left) and signal intensities (right) of grape seed.

건바나나의 비조사 시료는 g-value 2.0090의 single line을 가진 ESR signal을 보여주었으나, 1 kGy 이상 조사 시료에서는 crystalline sugar radical 유래의 전형적인 multicomponent line을 가지는 ESR signal을 보여주었으며, g-value는 각각 g_1=2.0157, g_2=2.0093, g_3=2.0038, g_4=2.0008 이었다(Fig. 34). 조사 선량에 따른 signal intensity 측정에서 조사 선량이 증가할수록 intensity가 증가하였고, 이 때 회귀식은 Y=717.8X-430.5 이었고, 상관계수는 R^2=0.9673 이었다(Fig. 35). 건조 바나나는 crystalline 형태의 sugar radical을 함유하고 있으므로 이와 같은 signal을 확인할 수 있었고, Linke 등[16]은 방사선 조사된 건조망고와 건조무화과에서 crystalline sugar radical 유래의 ESR signal을 얻었으며, Nam 등[17]은 방사선 조사된 건조파인애플과 건바나나에서 같은 경향의 signal을 확인하여 본 실험의 결과를 잘 뒷받침 해주고 있다.

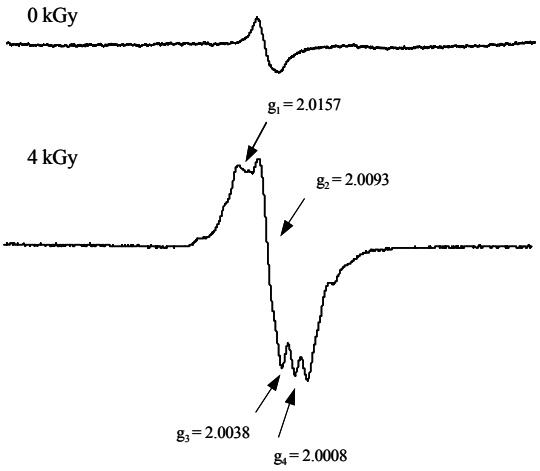

Fig. 34. Typical ESR spectra of irradiated dried banana.

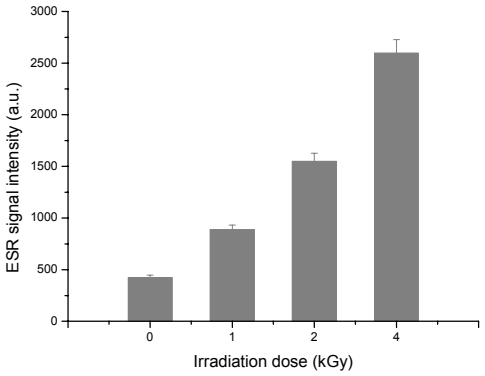

Fig. 35. ESR signal intensity of irradiated dried banana at different doses.

건포도는 비조사 시료에서 g-value 2.0085인 single line의 ESR signal을 보여 주었으며, 조사 시료에서는 방사선 조사로 인한 특이적인 signal 확인이 불가능하여 조사 시료와 비조사 시료의 구분이 불가능하였다. 조사 선량의 증가에 따른 signal intensity 또한 유의적으로 나타나지 않아 건포도

는 ESR 적용 가능성이 낮았다(Fig. 36).

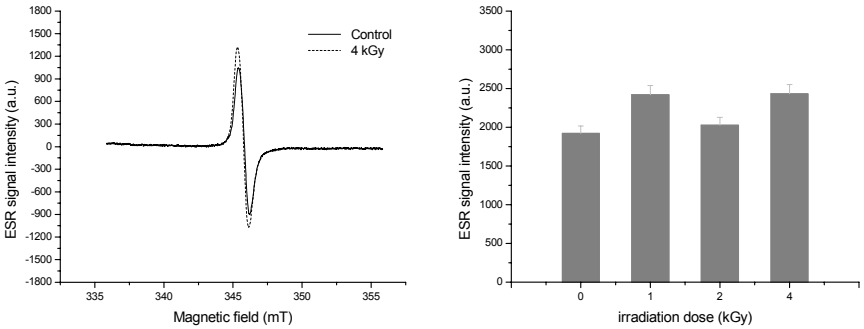

Fig. 36. ESR spectra (left) and signal intensities (right) of dried grape.

5) 건조채소류

건조채소류의 경우 microwave power 0.4 mW의 조건에서 측정하였으며, ESR signal은 Fig. 37과 같다. 건고추, 건당근, 건양파, 건파의 경우 비조사 시료는 single line의 ESR signal을 보여 주었으나, 조사 시료에서는 대두, 키위와 같은 cellulose radical 유래의 triplet line의 signal이 약 6 mT 간격으로 관찰되었다. 한편, 건버섯은 2.5 kGy 이상의 조사 시료에서 방사선 조사 유래 특유의 signal을 나타내지 않아 ESR을 이용한 조사 여부 확인이 불가능하였다. Cellulose signal이 확인되었던 시료에 대한 intensity 측정 결과, 선량의 증가에 따라 intensity도 증가하여 건고추 R^2=0.9175, 건당근 R^2=0.9909, 건양파 R^2=0.9385, 건파 R^2=0.8893의 상관관계를 각각 나타내었다(Fig. 38).

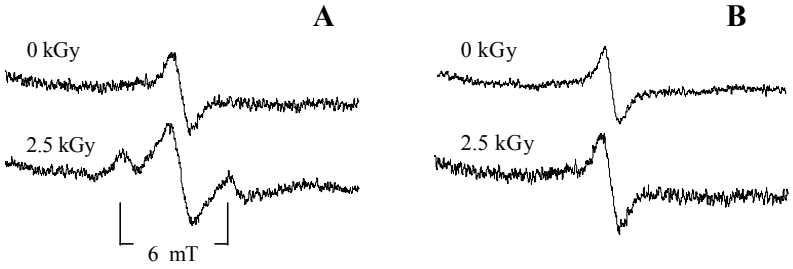

Fig. 37. Typical ESR spectra of irradiated dried vegetables at different doses (A : Dried pepper, Dried carrot, Dried onion, Dried green onion, B : Dried mushroom).

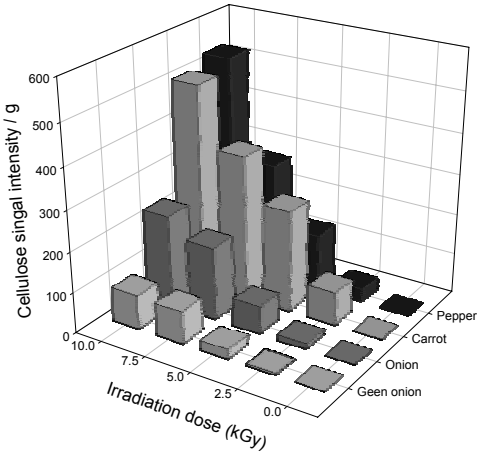

Fig. 38. ESR signal intensity of irradiated dried vegetables at different doses.

6) 마늘・양파

마늘 및 양파는 수분이 비교적 적을 것으로 예상되는 외피와 마른 뿌리 부분을 채취하여, microwave power 0.4 mW 조건에서 측정하였다. Signal 측정 결과, 선량의 증가에 따라 ESR signal intensity는 다소 증가하는 경향을 나타내었으나, 0.05 kGy 이상의 조사 시료에서 방사선 조사에 특이적인 signal이 나타나지 않아 시료의 조사 여부 확인이 불가능하였다. 이 때 g-value는 마늘 2.0058, 양파 2.0075로 각각 나타났다(Fig. 39).

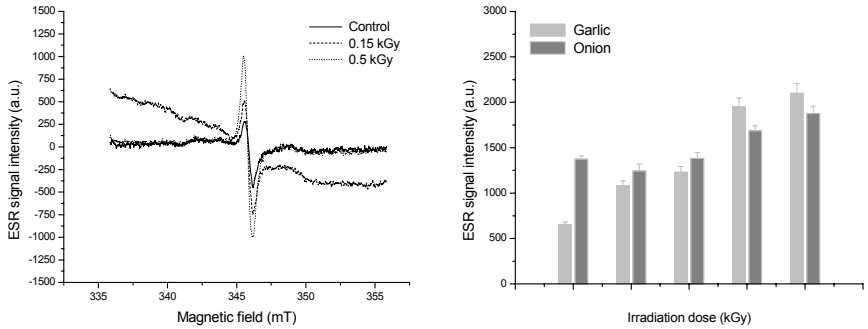

Fig. 39. ESR spectra of garlic produced in Korea (left) and signal intensities of garlic and onion (right).

이상의 결과, 대두, 키위, 건고추, 건당근, 건양파 및 건파만이 ESR을 이용한 시료의 조사 여부 확인이 가능하였으며, 조사 여부 확인이 불가능하였던 시료들은 미지 시료의 조사 여부 확인의 경우 대조 시료가 없기 때문에 측정 기종, modulation width, microwave power 등을 변경할 경우 intensity의 변화가 일어나므로 이를 이용한 판단 결과는 신뢰도가 낮을 것으로 사료된다.

2. 선정된 주요 농산물에 대한 TL threshold value 설정

각각의 시료로부터 추출된 mineral에 대한 정상화(normalization)를 위해 1차 glow curve(TL_1)를 측정한 후 다시 일정한 선량으로 재조사(re-irradiation)하여 2차 glow curve(TL_2)를 측정하였다. 이 결과를 이용하여 TL ratio(integrated TL_1 intensity / integrated TL_2 intensity)를 구하고 이 값이 0.05보다 작은 경우는 방사선 조사되지 않은 것으로, 0.2보다 큰 경우는 방사선 조사된 것으로 판단하였다.

가. 곡류

곡류에 대한 재조사 선량은 1 kGy였으며, TL ratio 산출 결과는 Table 1과 같다. 현미의 TL ratio 산출 결과 저장 초기 비조사 시료는 국산 0.003, 중국산 0.001로 모두 0.05 이하의 값을 나타내었으며, 0.5 kGy 조사 시료는 국산 0.261, 중국산 0.242로 모두 0.2 이상의 값을 나타내었다. 또한 조사 시료에서는 선량에 증가에 따른 TL ratio 값의 증가를 보여, 조사 선량이 TL ratio 값에 영향을 미침을 알 수 있었다. 저장 온도 및 기간에 따른 값의 변화는 크지 않아 저장 4개월까지 방사선 조사된 현미의 조사 여부 확인은 가능하였다. 메밀의 경우 저장 초기 비조사 시료는 국산 0.020, 중국산 0.006으로, 0.5 kGy 조사 시료는 국산 0.312, 중국산 0.363으로 나타났으며, 미리 설정한 비조사 시료(0.05)와 조사 시료(0.2)의 TL ratio 기준에 따라 조사 여부 확인이 가능하였다. 원산지 및 저장 온도와 기간에 따른 TL ratio 값의 변화는 크지 않았으며, 메밀의 경우 저장 4개월까지 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다.

Table 1. Thermoluminescence ratio of mineral separated from cereals

Sample	Origin	Temp.	Period (month)	Irradiation dose (kGy)				
				0	0.5	1	2	4
Brown rice	Korea	R.T.[1)]	0	0.003	0.261	0.552	0.614	0.513
			4	0.015	0.251	0.557	0.590	1.109
		L.T.	4	0.032	0.247	0.740	0.539	1.474
	China	R.T.	0	0.001	0.242	0.702	0.953	1.581
			4	0.029	0.458	0.972	1.530	2.088
		L.T.	4	0.004	0.589	1.378	1.947	3.026
Buckwheat	Korea	R.T.	0	0.020	0.312	0.681	1.241	1.621
			4	0.010	0.491	1.040	1.963	1.898
		L.T.	4	0.013	0.508	0.914	1.243	1.832
	China	R.T.	0	0.006	0.363	0.764	1.473	1.652
			4	0.002	0.425	0.865	1.037	1.312
		L.T.	4	0.003	0.370	1.119	1.584	2.179

[1)]R.T. : Room Temperature, L.T. : Low Temperature.

나. 두류

두류의 재조사 선량은 1 kGy였으며, 저장 조건 및 저장 기간에 따른 원산지별 시료의 TL ratio 결과는 Table 2와 같다. 대두는 저장 초기의 값이 비조사 시료의 경우 0.005(국산), 0.020(중국산)이었고, 최저 선량인 0.5 kGy 조사 시료의 경우 0.670(국산), 0.320(중국산)으로 나타나 시료의 조사 여부 기준인 비조사 시료 0.05 이하, 조사 시료 0.2 이상에 의한 판별이 가능하였다. 조사 선량의 증가에 따른 TL ratio 값 또한 증가하여, TL ratio 값이 조사 선량에 상당한 영향을 받는 것으로 나타났다. 국산 및 중국산 대두 모두 저장 조건 및 기간에 따른 차이는 나타내지 않았다. 한편, 중국산 대두의 경우 상온 저장 4개월 째 시료의 TL ratio 결과에서 0.5 kGy

조사 시료의 값이 0.180으로 나타나 비교적 낮은 값을 보였으나, TL glow curve의 모양과 peak의 온도 범위를 고려할 때 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다. 땅콩의 경우 저장 초기 TL ratio에서, 비조사 시료는 0.004(국산), 0.002(중국산), 0.5 kGy 조사 시료는 0.250(국산), 0.520(중국산)을 나타내었고, 조사 선량의 증가에 따라 TL ratio 값이 증가하여 조사 여부의 확인을 가능하게 하였다. 적두 또한 저장 초기 TL ratio에서, 비조사 시료는 0.010(국산), 0.004(중국산), 0.5 kGy 조사 시료는 0.360(국산), 0.400(중국산)을 나타내었으며, 조사 선량의 증가에 따라 TL ratio 값이 증가하여 조사 여부의 확인이 가능하였다. 땅콩과 적두 모두 원산지에 따른 차이는 크지 않았으며, 저장 4개월까지 상온 및 저온 저장 시료 모두 TL ratio에 의한 조사 여부 확인이 가능하였다. 녹두의 TL ratio 산출 결과, 국산과 중국산 모두 비조사 시료의 경우 0.05 이하, 조사 시료 0.5 이상의 값을 나타내어, 녹두 역시 TL ratio에 의한 조사 여부 확인이 가능하였다.

Table 2. Thermoluminescence ratio of mineral separated from legumes

Sample	Origin	Temp.	Period (month)	Irradiation dose (kGy)				
				0	0.5	1	2	4
Soybean	Korea	R.T.[1)]	0	0.005	0.670	0.750	1.390	2.170
			4	0.008	0.292	0.604	0.656	0.590
		L.T.	4	0.011	0.492	1.479	1.619	1.875
	China	R.T.	0	0.020	0.320	0.700	0.830	1.570
			4	0.024	0.180	0.609	0.626	0.966
		L.T.	4	0.020	0.405	0.949	0.582	1.693
Peanut	Korea	R.T.	0	0.004	0.250	0.610	0.850	1.570
			4	0.012	0.290	0.545	0.734	0.906
		L.T.	4	0.015	0.522	1.317	1.897	2.109
	China	R.T.	0	0.002	0.520	0.570	1.500	1.520
			4	0.002	0.298	0.586	0.954	1.134
		L.T.	4	0.015	0.377	1.489	2.226	2.350
Red bean	Korea	R.T.	0	0.010	0.360	0.630	1.020	1.820
			4	0.005	0.295	0.611	0.701	1.659
		L.T.	4	0.009	0.624	0.988	2.097	3.807
	China	R.T.	0	0.004	0.400	0.810	1.620	1.830
			4	0.021	0.244	0.968	1.598	2.212
		L.T.	4	0.012	0.724	1.041	1.990	2.563
Mung bean	Korea	R.T.	0	0.004	0.250	0.610	0.850	1.570
	China	R.T.	0	0.006	0.410	1.120	1.410	1.880

[1)]R.T. : Room Temperature, L.T. : Low Temperature.

다. 유지종실류

유지종실류의 재조사 선량은 1 kGy였으며, TL ratio 산출 결과는 Table 3과 같다. 참깨의 경우 저장 초기 TL ratio 값이 비조사 시료는 0.006(국산), 0.002(중국산), 0.5 kGy 조사 시료는 0.357(국산), 0.391(중국산)을 각각

나타내었다. 이와 같이 참깨의 비조사 시료는 0.05 이하의 값을, 조사 시료는 0.2 이상의 비교적 높은 TL ratio를 나타내어 조사 여부 확인이 가능하였으며, 이러한 경향은 상온 저장 4개월까지 유지되었다. 들깨의 경우도 저장 초기 비조사 시료의 TL ratio 값이 0.023(국산), 0.017(중국산), 0.5 kGy 조사 시료는 0.684(국산), 0.344를 나타내어 조사 시료와 비조사 시료의 구분을 가능하게 하였으며, 조사 선량의 증가에 따른 TL ratio 값의 증가를 나타내었다. 이러한 경향은 참깨에서와 같이 상온 저장 4개월까지 유지되어 원산지나 저장 기간에 관계없이 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다.

Table 3. Thermoluminescence ratio of mineral separated from oil plants

Sample	Origin	Period (month)	Irradiation dose (kGy)				
			0	0.5	1	2	4
Sesame	Korea	0	0.006	0.357	0.894	1.602	2.499
		4	0.016	0.352	0.547	1.087	1.804
	China	0	0.002	0.391	0.563	1.045	1.641
		4	0.003	0.376	0.801	1.242	1.538
Perilla	Korea	0	0.023	0.684	0.836	1.317	1.892
		4	0.010	0.326	0.748	1.105	1.149
	China	0	0.017	0.344	0.613	1.026	1.634
		4	0.014	0.426	0.829	1.271	1.724

라. 과일류

과일류에 대한 재조사 선량은 1 kGy였으며, 신선과일류에 대한 TL ratio 산출 결과 비조사 시료는 오렌지 0.065, 키위 0.021, 포도 0.013으로 키위와 포도만이 본 연구에서 설정한 비조사 시료의 TL threshold value인

0.05 이하의 낮은 값을 나타내었다. 오렌지의 경우 기준 값인 0.05보다 다소 높은 값을 나타냈으나, glow curve 모양 및 peak의 온도 범위를 고려할 때 비조사 시료로의 확인이 가능하였다. 한편, 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서 오렌지 0.627, 키위 0.520, 포도 0.564 이상으로, 설정된 threshold value 0.2 이상의 값을 나타내어 TL ratio 기준에 따라 조사 여부 확인이 가능하였으며, 저온 저장 6주까지 이러한 경향은 유지되었다(Table 4).

Table 4. Thermoluminescence ratio of mineral separated from fresh fruits

Sample	Period (week)	Irradiation dose (kGy)				
		0	0.5	1	1.5	2
Orange	0	0.051	0.627	1.044	1.113	1.425
	3	0.041	0.658	1.260	1.410	1.912
	6	0.065	1.215	1.386	2.159	2.594
Kiwifruit	0	0.019	0.520	0.635	0.754	0.918
	3	0.016	0.639	0.935	1.037	1.492
	6	0.021	0.541	0.786	0.826	0.955
Grape	0	0.013	0.564	0.867	1.063	1.671
	3	0.004	0.578	0.930	1.274	1.387
	6	0.007	0.691	1.026	1.745	1.971

건포도의 경우도 비조사 시료는 0.005 이하의 값을, 조사 시료는 0.516 이상의 값을 나타내어 저온 저장 6개월까지 TL ratio(비조사 시료 0.05 이하, 조사 시료 0.2 이상)에 의한 조사 여부 확인이 가능하였다(Table 5). 한편 Hammerton과 Banos도 glow curve ratio에 의해 조사 시료와 비조사 시료를 확인할 수 있었다고 보고하여 본 실험의 결과를 잘 뒷받침하고 있다[18].

Table 5. Thermoluminescence ratio of mineral separated from raisin

Period (month)	Irradiation dose (kGy)			
	0	1	2	4
0	0.002	0.516	1.080	2.245
2	0.001	0.789	1.186	2.337
4	0.005	0.898	1.531	2.772
6	0.004	0.814	1.458	2.279

마. 건조채소류

건조채소류의 재조사 선량은 1 kGy였다. 저장 초기 TL ratio 값을 살펴본 결과, 비조사 시료와 2.5 kGy 조사 시료의 값이 건고추 0.041, 1.801, 건당근 0.045, 0.871, 건버섯 0.024, 2.585, 건양파 0.041, 0.737 그리고, 건파 0.036, 1.720을 각각 나타내었다(Table 6). 즉, 비조사 시료는 0.045 이하의 낮은 값을, 조사 시료는 0.737 이상의 높은 TL ratio 값을 얻을 수 있어 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다. 또한 조사 시료에서는 선량의 증가에 따른 TL ratio 값의 증가를 나타내어, 조사 선량이 TL ratio에 영향을 미침을 알 수 있었다. 한편 상온 저장 동안 저장 기간에 따른 TL ratio 값의 변화에서, 저장 기간의 경과에 따라 특이하게 증가하거나 감소하는 추세는 보이지 않았으며, 저장 12개월까지 비조사 시료(0.05 이하)와 조사 시료(0.2 이상)의 특이성을 보여 조사 여부의 확인이 가능하였다.

Table 6. Thermoluminescence ratio of mineral separated from dried vegetables

Sample	Period (month)	Irradiation dose (kGy)				
		0	2.5	5	7.5	10
Dried pepper	0	0.041	1.801	2.241	2.703	2.638
	6	0.015	1.605	2.284	2.444	2.890
	12	0.003	0.989	1.147	1.694	1.900
Dried carrot	0	0.045	0.871	1.559	1.861	2.341
	6	0.015	0.754	1.114	2.307	2.477
	12	0.004	0.828	1.415	1.791	2.305
Dried mushroom	0	0.024	2.585	3.388	3.735	4.139
	6	0.014	1.480	2.211	3.374	4.500
	12	0.035	2.224	3.154	3.587	4.126
Dried onion	0	0.041	0.737	1.199	1.916	2.616
	6	0.005	3.471	4.335	5.299	5.641
	12	0.027	1.359	1.872	2.032	2.116
Dried green onion	0	0.036	1.720	2.531	3.133	4.258
	6	0.015	2.498	3.108	3.410	4.351
	12	0.043	1.038	1.618	2.583	3.479

바. 마늘・양파

마늘과 양파는 국내 허용 최대 선량인 0.15 kGy를 기준으로 0, 0.05, 0.15, 0.25 kGy 조사구는 0.25 kGy로 0.5 kGy는 1 kGy로 재조사하였다. 0.25 kGy로 재조사 선량을 설정한 이유는 예비 실험결과 0.15 kGy까지는 선량이 매우 낮아 uniformity가 다소 떨어져 정확한 결과를 얻을 수 없었기 때문이었다. TL ratio는 마늘과 양파 모두 비조사 시료에서 0.05 이하로 나타났으며, 0.05 kGy 선량의 조사 시료에서 0.2 이상으로 나타나 조사 여부 확인이 가능하였다. 마늘의 경우 저장 조건에 따른 TL ratio 값의 변화

를 관찰한 결과, 채광, 상온 암실 및 저온 암실 시료 모두 저장 조건에 따른 차이가 크지 않았으며, 저장 12개월까지 TL ratio 측정을 이용한 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다(Table 7).

Table 7. Thermoluminescence ratio of mineral separated from garlic and onion

Sample	Condition	Period (month)	Irradiation dose (kGy)				
			0	0.05	0.15	0.25	0.5
Garlic	Light	0	0.010	0.283	0.744	0.891	1.383
		6	0.003	0.241	0.303	0.742	1.011
		12	0.008	0.204	0.454	0.733	0.169
	R & D[1)]	6	0.003	0.217	0.403	0.683	1.130
		12	0.007	0.275	0.399	0.683	1.054
	L & D	6	0.003	0.205	0.323	0.490	0.900
		12	0.008	0.220	0.433	0.538	0.863
Onion		0	0.006	0.247	0.634	0.686	1.758

[1)]R & D : Room temp. & Darkroom, L & D : Low temp. & Darkroom.

3. 모델 농산물의 TL 및 ESR 검지 가능 기간 확인

가. 저장 시료의 TL signal 안정성

방사선 조사된 식품은 저장되거나 유통 과정이 길어질 수 있으므로, 농산물의 저장 기간에 따른 TL 측정 가능성을 알아보기 위하여 시료별 glow curve의 변화와 signal intensity 안정성을 관찰하였다.

1) 곡류

곡류 중 현미(국산)를 모델 농산물로 정하여 저장 기간 중 TL 측정 가능성을 알아보았다. TL signal의 저장 안정성 관찰을 위해 0.5 kGy 조사 시료에 대해 상온 및 저온에서 4개월 저장 후 TL glow curve를 측정하였다. 그 결과, Fig. 40과 같이 방사선 조사 직후의 TL intensity와 저장 4개월 후 상온 및 저온 저장 시료의 intensity 사이에는 약 20% 정도의 감소가 나타났고, 최고 peak가 나타나는 온도도 181℃에서 상온 시료 193℃, 저온 시료 190℃로 옮겨진 현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 비조사 시료와 비교 시 여전히 조사 여부의 확인이 가능한 것으로 나타났다.

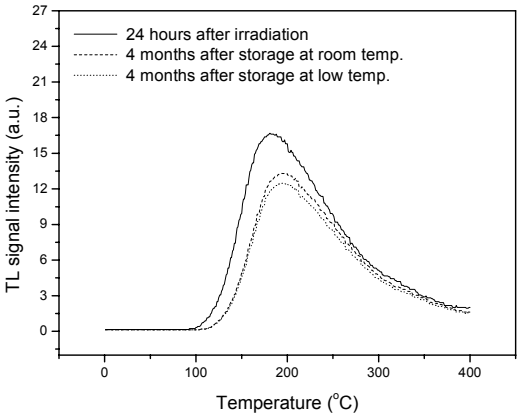

Fig. 40. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated brown rice during storage.

2) 두류

국산 대두를 모델 농산물로 정하여 저장 기간에 따른 TL signal의 저장 안정성을 관찰하였다. 최저 선량인 0.5 kGy 조사 시료에 대해 상온 및 저

온에서 4개월 저장 후 TL glow curve를 측정하였다(Fig. 41). 방사선 조사 직후의 TL intensity와 저장 4개월 후 상온 및 저온 저장 시료의 intensity 사이에는 약 18% 정도의 감소가 나타났고, 최고 peak가 나타나는 온도도 186℃에서 상온 시료 198℃, 저온 시료 194℃로 옮겨진 현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 비조사 시료와 비교 시 여전히 조사 여부의 확인이 가능한 것으로 나타났다.

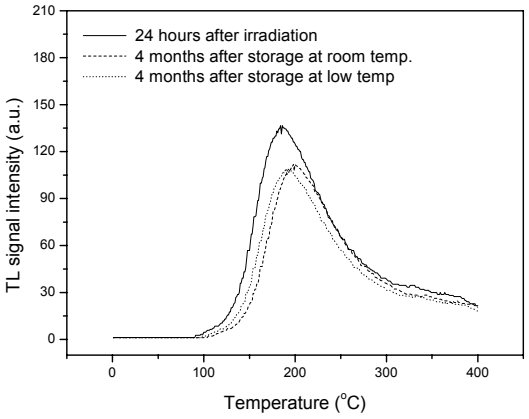

Fig. 41. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated soybeans during storage.

3) 유지종실류

유지종실류 중 참깨(국산)를 모델 농산물로 정하였으며, 0.5 kGy 조사 시료를 대상으로 저장 기간에 따른 TL signal의 저장 안정성을 관찰하였다. 방사선 조사 직후의 TL intensity와 저장 4개월 후 상온 저장 시료의 intensity 사이에는 거의 변화가 없었으며, 저장 기간이 증가함에 따라 glow curve가 다소 넓게 퍼지는 현상을 관찰할 수 있었다. 한편, 비조사

시료와 비교 시 여전히 조사 여부의 확인이 가능한 것으로 나타나, 현미 및 대두와 유사한 경향을 보여주었다(Fig. 42).

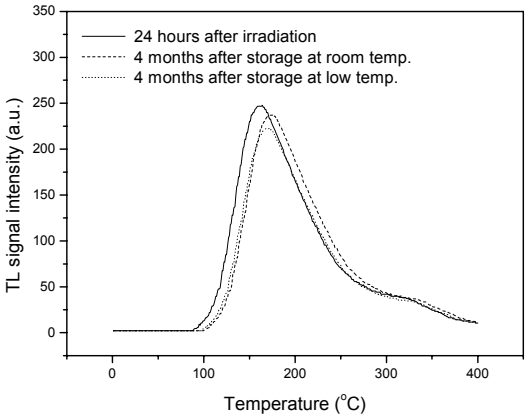

Fig. 42. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated sesame during storage.

4) 과일류

신선 과일류인 오렌지, 키위, 포도의 경우 0.5 kGy를 조사한 시료의 저장 0주 째 측정한 glow curve와 저온에서 6주 저장 후 측정한 glow curve와의 비교에서 peak의 온도 범위나 intensity의 변화가 크지 않아 조사 여부의 확인이 가능하였다(Fig. 43~45). 감마선 1 kGy를 조사한 건포도 또한 신선과일류보다 저장 기간이 길었음에도 불구하고 저장 0주 째 glow curve와 저온에서 6개월 저장 후 측정한 glow curve와의 비교에서 peak가 나타나는 온도 범위나 intensity의 변화가 크지 않았으며, 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 여전히 가능하였다(Fig. 46). 일반적으로 채광 조건이나 상온 조건에서 저장한 시료의 경우 TL 측정에서 저장 기간의 증가에

따른 signal intensity의 감소와 함께 glow curve의 온도대가 고온대로 이동하는 경향이 나타나지만[18], 본 실험에서는 빛을 차단한 저온의 조건에서 비교적 짧은 저장 기간의 실험이었으므로 저장 기간에 따른 glow curve의 signal intensity 감소와 shifting 현상이 크지 않았다고 사료된다. Mamoon 등[19]은 ginger, cumin, chili 등의 시료를 대상으로 한 TL 측정에서 조사 후 9개월까지도 방사선 조사 유무의 구별이 가능하였다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다. 이상의 결과 신선과일류는 저장 6주까지, 그리고 건조과일류는 저장 6개월까지 TL signal의 변화가 크지 않아 시료의 방사선 조사 여부 확인이 가능하였다.

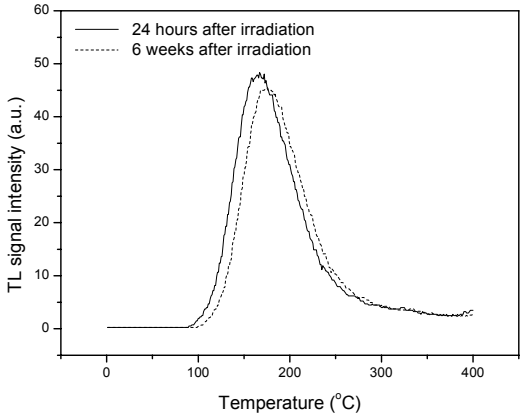

Fig. 43. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated orange during storage.

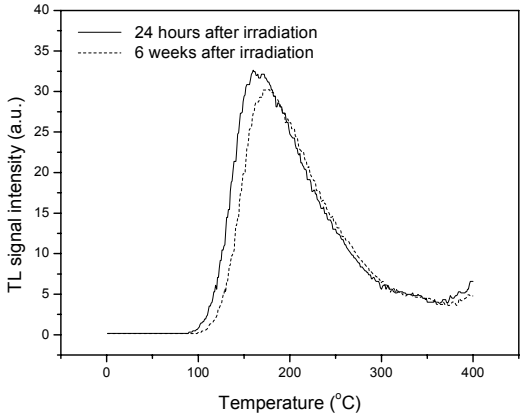

Fig. 44. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated kiwifruit during storage.

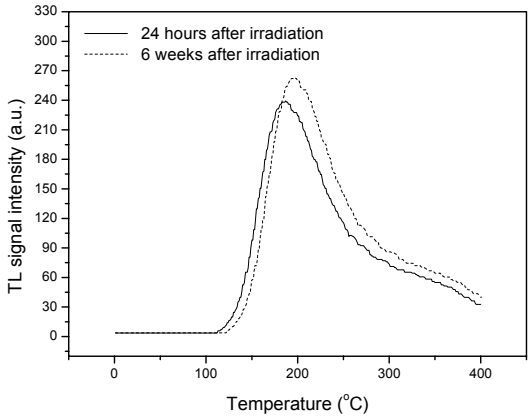

Fig. 45. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.5 kGy irradiated grape during storage.

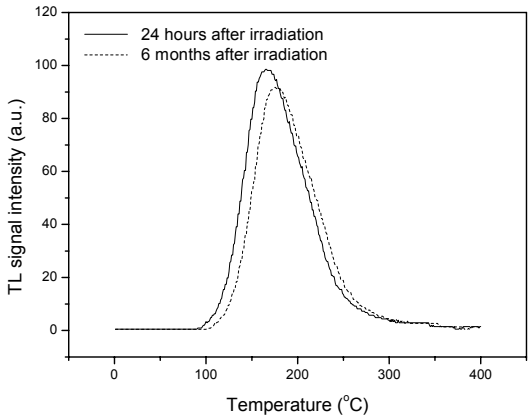

Fig. 46. Stability of TL glow curve of minerals separated from 1 kGy irradiated raisin during storage.

5) 건조채소류

건조채소류 중 건고추를 모델 농산물로 정하여 저장 기간에 따른 TL signal의 저장 안정성을 관찰하였다. 본 실험에서 건조채소류에 대한 최저 선량인 2.5 kGy 조사 건고추의 경우, 방사선 조사 직후 TL signal intensity와 저장 12개월 후 signal intensity 사이에는 약 35%의 감소를 나타내었고, 최고 peak가 나타내는 온도도 179℃에서 189℃로 옮겨짐을 알 수 있었다. 또한 저장 기간의 증가에 따라 glow curve의 모양이 다소 넓게 퍼지는 경향을 보여주었다. 또한, 비조사 시료와의 비교 시 조사 특유의 glow curve를 나타내어 저장 12개월까지 여전히 조사 여부의 확인이 가능하였다(Fig. 47).

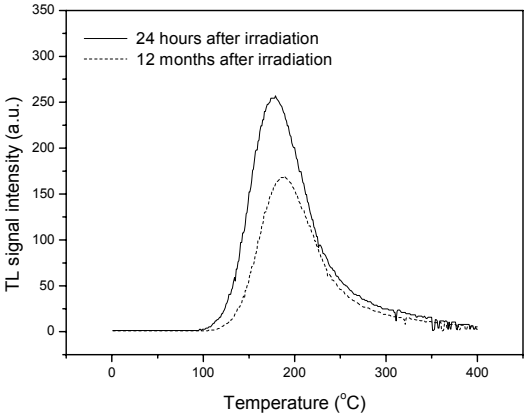

Fig. 47. Stability of TL glow curve of minerals separated from 2.5 kGy irradiated dried pepper during storage.

6) 마늘

마늘에 대한 저장 조건 및 기간에 따른 TL signal의 저장 안정성을 알아보기 위하여, 조사 선량 0.05 kGy 마늘에 대해 채광, 상온 암실, 저온 암실에서 12개월 저장 후 glow curve의 변화를 관찰하였다. 저장 12개월 후 채광 저장 마늘은 저장 초기에 비해 약 42%감소를 보였고, 상온 암실 및 저온 암실은 각각 34%, 30%의 감소를 보였다. 최고 peak가 나타나는 온도도 197℃에서 약 205℃로 옮겨짐을 알 수 있었다. 그러나 방사선 비조사 시료와의 비교 시 저장 12개월 후에도 여전히 조사 여부의 확인이 가능하였다(Fig. 48).

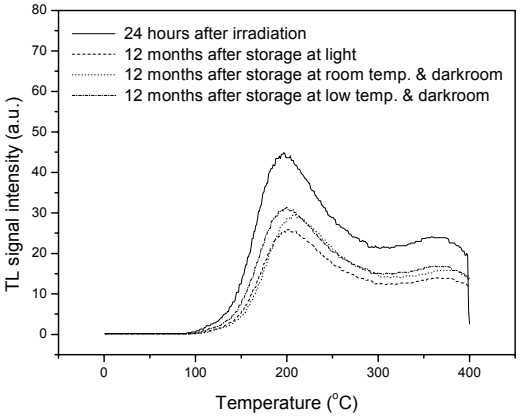

Fig. 48. Stability of TL glow curve of minerals separated from 0.05 kGy irradiated garlic during storage.

나. 저장 시료의 ESR signal 안정성

방사선 조사 후 저장 기간 중 radical의 안정성을 알아보기 위하여 ESR 측정으로 조사 여부의 확인이 가능하였던 대두, 키위, 건바나나 및 건조채소류(건고추, 건당근, 건양파, 건파)를 대상으로 일정 기간 후 radical의 변화를 관찰하였다.

1) 대두

국산 및 중국산 대두에 대해 상온 저장 중 저장 기간에 따른 ESR signal의 저장 안정성을 확인하였다. Fig. 49에서와 같이 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서 나타나는 cellulose signal의 intensity는 저장 기간의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 즉, 저장 2주만에 국산과 중국산 모두 68~85%의 감소를 나타내었고, 그 이후는 완만한 감소를 나타내었다. 한편,

intensity의 감소에도 불구하고 상온 저장 8주까지 비조사 시료와 조사 시료의 구분은 여전히 가능하였다.

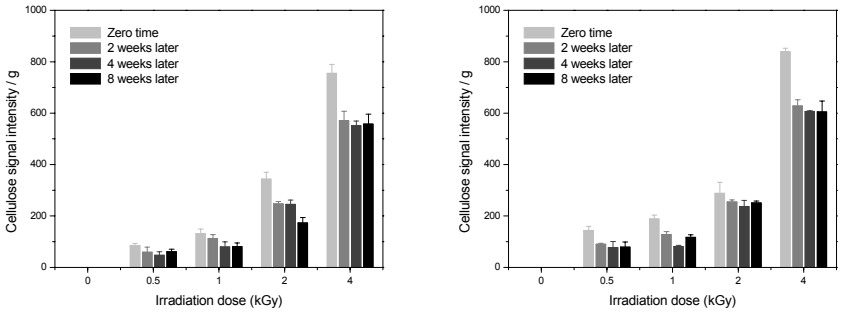

Fig. 49. Stability of ESR signal intensity of irradiated soybean during storage at 4℃ (left : Korea, right : China).

2) 과일류

과일의 경우 ESR에 반응을 나타냈던 키위와 건바나나를 대상으로 저장 실험을 하였다. 키위의 저장 기간에 따른 cellulose radical의 안전성을 Fig. 50에 나타내었다. 키위 핵은 저온에서 저장 3주 후의 intensity가 초기와 비슷하였으나, 저장 6주 후 signal intensity는 초기에 비해 약 40% 감소하였다. 키위 과육의 경우 저장 3주 후의 intensity가 초기에 비해 급격히 감소하였으나, 그 이후로는 감소가 완만하여 저장 6주 후 intensity는 초기에 비해 약 58% 정도 감소하였다. 이상의 결과 키위의 핵과 과육은 저장 기간의 증가에 따른 cellulose radical의 감소를 보였으나, 저장 6주까지 조사 시료와 비조사 시료의 구분이 가능하였다.

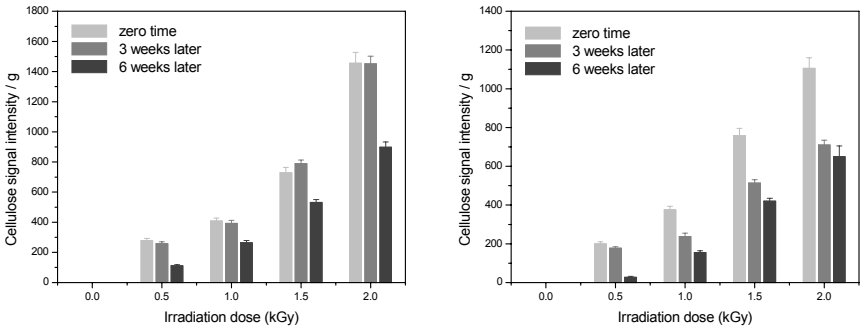

Fig. 50. Stability of ESR signal intensity of irradiated kiwifruit during storage at 4℃ (left : kiwifruit core, right : kiwifruit flesh).

건바나나의 저장 기간에 따른 crystalline sugar radical의 안전성을 Fig. 51에 나타내었다. 건바나나는 저온에서의 저장 기간동안 signal intensity의 감소가 매우 적어, 저장 초기에 비해 저장 6개월 후의 intensity가 약 20% 정도 감소하였으며 여전히 방사선 조사 여부의 확인이 가능하였다. 즉, 건바나나는 일정 기간 후에도 감마선 조사로 생성된 radical이 남아 있어 ESR spectroscopy를 이용하여 방사선 조사 여부를 확인할 수 있었다. Nam 등[17]도 방사선 조사한 건조과일류의 저장 중 radical 안정성을 확인한 결과 상온에서 40일 경과 후 바나나는 약 40% 정도의 감소를 보였으나 일정 기간 후에도 조사 여부의 확인이 가능하다고 하였다.

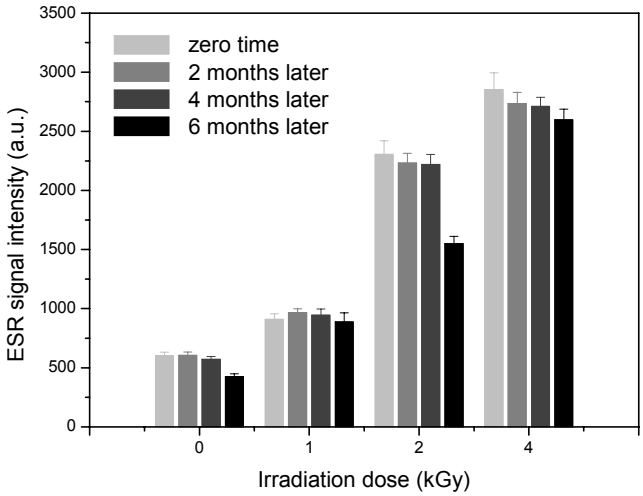

Fig. 51. Stability of ESR signal intensity of irradiated dried banana during storage at 4℃.

3) 건조채소류

방사선 조사 직후 실험에서 cellulose signal을 나타내었던 건고추, 건당근, 건양파, 건파를 대상으로 상온 저장 동안 signal stability를 측정하였다. 모든 시료에서 저장 기간의 증가에 따라 signal intensity가 감소하는 경향을 나타내었다. 건고추의 경우 저장 8주 후 signal intensity는 저장 초기에 비해 24~63%의 감소를 나타내었으나 비조사 시료와 비교시 여전히 조사 여부의 확인이 가능한 것으로 나타났다. 건당근은 2.5 kGy 조사 시료의 cellulose signal이 저장 4주만에 사라져 검지가 불가능하였고, 5 kGy 이상의 조사 시료들은 저장 8주 후 상당한 감소(47~85%)를 나타내었으나 조사 여부의 검지가 가능하였다. 건양파는 저장 4주까지 상당히 완만한 감소를 보였으나, 8주 후에는 저장 초기에 비해 46~96%의 감소를 나타내어

7.5 kGy 이상의 시료만이 검지가 가능하였다. 한편 저장 초기 signal intensity가 다른 건조채소류에 비해 상당히 낮았던 건파는 저장 4주만에 8~51%의 감소를 나타내었으나, 저장 8주에는 모든 선량에서 cellulose signal이 사라져 검지가 불가능하였다(Fig. 52).

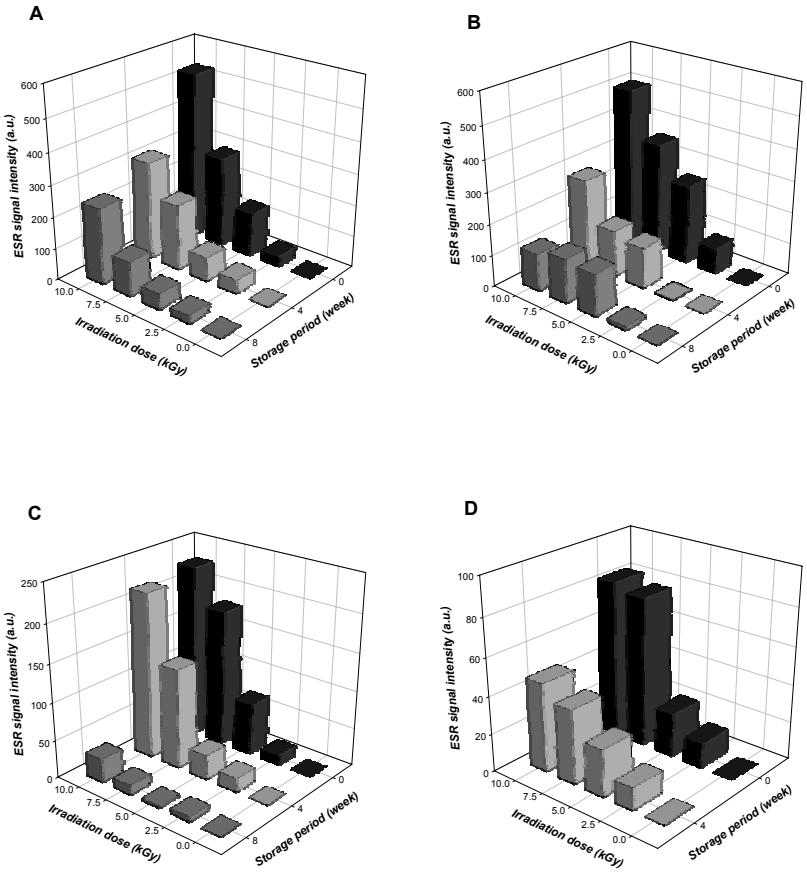

Fig. 52. Stability of ESR signal intensity of irradiated dried vegetable during storage at room temperature (A : Dried pepper, B : Dried carrot, C : Dried onion, D : Dried green onion).

4. TL 및 ESR 분석에 의한 미지 시료의 검증

가. TL 분석에 의한 미지 시료의 조사 여부 및 흡수 선량 확인

이상에서 설정된 TL 검지 조건의 신뢰도를 확인하기 위하여 공동 검증 시험 기관인 식품의약품안전청과 국립농산물품질관리원에서 제공받은 현미(n=30), 땅콩(n=30), 키위(n=30) 및 건양파(n=30) 미지 시료를 대상으로 조사 여부의 확인 시험을 실시하였다. 먼저 TL_1을 측정하여 glow curve 형태와 peak가 나타나는 온도 범위로서 방사선 조사 여부를 확인한 후 TL_2를 측정하여 TL ratio를 구하고, 미리 설정된 calibration curve에 대입하여 최종적으로 조사 여부 및 흡수 선량을 예측하였다.

1) 현미

현미 미지 시료의 TL glow curve 형태, peak의 온도 범위 및 TL ratio를 종합하여 판단한 결과는 Table 8과 같다. 3개 시료는 300℃ 부근에서 낮은 intensity를 가지는 TL glow curve를 나타내면서 0.05 이하의 TL ratio를 보여주어 방사선이 조사되지 않은 것으로, 27개 시료는 200℃ 부근에서 높은 intensity를 가진 glow curve를 나타내었고 0.2 이상의 비교적 높은 TL ratio를 나타내어 방사선이 조사된 것으로 판단하였다. 이상의 예측 결과를 실제 흡수 선량과 비교 결과, 조사 여부 판정의 정확도는 100%로 확인되었으나 예측 선량은 다소 차이를 보여주었다. 특히 흡수 선량 9.96 kGy의 미지 시료는 선량 예측 결과 3.0~5.9 kGy를 나타내어 고선량 조사 시료의 경우 정확도가 낮았으며, 이는 calibration curve 작성 시 조사 선량 0~4 kGy 시료의 사용으로 인해 그 이상의 조사 선량에 다소 부정확함을 보여준 것으로 사료된다.

Table. 8. Blind test of coded unknown brown rices by TL analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	2.93	2.9
2	0.00	0.0	17	2.93	3.4
3	0.00	0.0	18	1.02	2.4
4	9.96	3.1	19	2.93	2.9
5	1.02	2.1	20	1.02	1.6
6	2.93	1.8	21	9.96	5.6
7	9.96	3.0	22	2.93	4.1
8	9.96	4.6	23	2.93	3.4
9	1.02	1.1	24	9.96	5.0
10	2.93	2.2	25	9.96	5.9
11	9.96	3.5	26	1.02	1.4
12	1.02	1.3	27	2.93	2.6
13	2.93	2.3	28	9.96	5.4
14	1.02	1.5	29	1.02	1.2
15	9.96	3.1	30	1.02	1.8

2) 땅콩

땅콩의 경우 Table 9의 결과와 같이 30개의 미지 시료 중 3개의 시료가 방사선 조사되지 않은 것으로, 27개의 시료가 방사선 조사된 것으로 확인되었으며, 실제 흡수 선량과의 비교 결과 100% 정확도를 나타내었다. 한편, 선량 예측 결과 조사 선량 1.02 kGy 시료의 경우 예측 선량 0.6~2.0 kGy를, 2.93 kGy 시료의 경우 예측 선량 1.6~3.6 kGy를 나타내어 TL을 이용한 선량 예측이 어느 정도 가능하였다. 그러나, 9.96 kGy 감마선 조사

시료의 경우 예측 선량의 범위가 3.1~6.6 kGy로 나타나 현미와 같이 고선량 조사 시료에 대한 정확도가 낮게 나타났다.

Table. 9. Blind test of coded unknown peanuts by TL analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	2.93	1.9
2	0.00	0.0	17	1.02	2.0
3	0.00	0.0	18	9.96	2.5
4	2.93	1.7	19	9.96	6.6
5	9.96	4.8	20	2.93	1.4
6	1.02	1.7	21	1.02	1.7
7	1.02	1.7	22	9.96	2.7
8	2.93	1.9	23	2.93	3.6
9	9.96	5.4	24	1.02	0.6
10	2.93	1.6	25	9.96	4.6
11	9.96	4.7	26	1.02	0.6
12	9.96	3.1	27	2.93	2.8
13	1.02	2.3	28	1.02	0.3
14	2.93	2.2	29	2.93	2.6
15	1.02	2.7	30	9.96	3.7

3) 키위

키위의 경우 30개의 미지 시료 중 3개 시료가 방사선이 조사되지 않은 것으로, 27개 시료가 방사선 조사된 것으로 확인되었다(Table 10). 한편 조사 선량과 예측 선량과의 비교에서, 1.73 kGy 조사 시료는 1.7~2.7 kGy의 예측 선량을, 2.93 kGy 조사 시료는 3.1~5.6 kGy 예측 선량을, 5.22 kGy

조사 시료는 4.5~7.6 kGy 예측 선량을 나타내었다. 키위의 경우 calibration curve 작성에 사용되었던 시료의 조사 선량이 0~2 kGy 범위였으며, 미지 시료의 조사 선량이 이 범위를 크게 벗어나지 않아 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었던 것으로 사료된다. 이상의 결과, 키위의 경우 조사 여부 판정의 정확도는 100%로 확인되었으며, 선량 예측에서도 상당한 가능성을 보여주었다.

Table. 10. Blind test of coded unknown kiwifruits by TL analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	1.73	1.7
2	0.00	0.0	17	5.22	6.2
3	0.00	0.0	18	1.73	2.6
4	5.22	4.7	19	2.93	5.8
5	2.93	4.3	20	5.22	8.4
6	5.22	6.0	21	1.73	2.1
7	2.93	4.4	22	1.73	1.8
8	1.73	2.1	23	2.93	3.1
9	5.22	7.3	24	2.93	3.1
10	1.73	2.7	25	2.93	4.1
11	1.73	2.4	26	5.22	7.0
12	5.22	7.6	27	1.73	2.7
13	2.93	4.4	28	5.22	4.5
14	1.73	2.3	29	2.93	5.6
15	2.93	4.6	30	5.22	5.6

4) 건양파

TL glow curve 형태, peak 온도 범위, TL ratio를 종합하여 판단한 건양파 미지 시료의 TL 결과는 Table 11과 같다. 총 30개의 미지 시료 중 3개 시료가 방사선 조사되지 않은 것으로, 나머지 27개 시료가 조사된 것으로 확인되었으며, 판정 결과 100% 정확도를 나타내었다. 흡수 선량 예측 결과, 2.93 kGy, 9.96 kGy, 15.95 kGy 조사 시료는 각각 3.9~12.4 kGy, 7.0~12.9 kGy, 8.7~17.0 kGy의 예측 선량을 나타내어 실제 조사 선량에 비해 다소 넓은 범위의 결과를 보여주었다.

Table. 11. Blind test of coded unknown dried onions by TL analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	15.95	8.7
2	0.00	0.0	17	2.93	4.1
3	0.00	0.0	18	9.96	7.3
4	15.95	13.8	19	15.95	8.7
5	9.96	7.0	20	9.96	11.8
6	9.96	7.6	21	15.95	10.6
7	2.93	3.9	22	2.93	7.1
8	15.95	10.9	23	2.93	4.2
9	9.96	11.9	24	2.93	6.0
10	9.96	9.0	25	15.95	7.5
11	9.96	10.2	26	9.96	12.9
12	15.95	11.9	27	15.95	7.1
13	15.95	17.0	28	2.93	12.4
14	2.93	7.0	29	15.95	10.7
15	2.93	9.7	30	2.93	7.6

나. ESR 분석에 의한 미지 시료의 조사 여부 및 흡수 선량 확인

ESR 검지 조건의 신뢰도를 확인하기 위하여 상기와 같이 제공받은 미지 시료인 키위(n=30) 및 건양파(n=30)를 대상으로 조사 여부의 확인 시험을 실시하였다. 먼저 각각의 미지 시료에 대한 ESR spectra를 측정하여 cellulose signal의 유무를 확인한 후, cellulose signal intensity를 측정하고 미리 설정해 둔 calibration curve에 대입하여 조사 여부를 판정하였다.

1) 키위

키위의 과육을 이용하여 ESR spectra를 측정하고 각각의 cellulose signal intensity를 산출하였다. Table 12는 감마선 조사된 미지 시료의 ESR 측정 결과이다. 조사 여부 판정 결과, 30개의 미지 시료 중 3개가 비조사 시료인 것으로, 27개가 조사 시료인 것으로 확인되었다. 이 판정 결과는 실제 조사 선량과 비교하였을 때 100%의 정확도를 보여주었다. 한편 1.73 kGy 조사 시료의 경우 0.1~0.9 kGy 예측 선량을, 2.93 kGy 조사 시료의 경우 0.9~2.7 kGy 예측 선량을, 5.22 kGy 조사 시료의 경우 2.4~4.4 kGy 예측 선량을 나타내어 실제 조사 선량에 비해 다소 낮은 예측 결과를 나타내었다. 이는 calibration curve 작성 시의 문제점 및 calibration curve 작성에 사용된 시료와 blind test에 사용된 시료의 차이가 고려되며, 앞으로 이에 대한 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Table. 12. Blind test of coded unknown kiwifruits by ESR analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	1.73	0.5
2	0.00	0.0	17	5.22	3.1
3	0.00	0.0	18	1.73	0.1
4	5.22	4.3	19	2.93	1.9
5	2.93	1.5	20	5.22	3.8
6	5.22	3.7	21	1.73	0.6
7	2.93	2.3	22	1.73	0.7
8	1.73	0.9	23	2.93	1.6
9	5.22	3.0	24	2.93	2.2
10	1.73	0.5	25	2.93	2.7
11	1.73	0.5	26	5.22	4.4
12	5.22	2.4	27	1.73	0.5
13	2.93	1.4	28	5.22	3.2
14	1.73	0.6	29	2.93	1.7
15	2.93	0.9	30	5.22	3.7

2) 건양파

건양파 미지 시료(n=30)를 대상으로 ESR 측정을 실시하고, 미지 시료가 나타내는 ESR spectra를 이용하여 방사선 조사 여부를 판정하였다. 그 결과 3개 시료의 경우 비조사 시료에서 나타나는 singlet signal이 확인되었으며, 27개 시료의 경우 cellulose radical 유래의 triplet signal이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 판정 결과를 실제 조사 선량과 비교하였을 때 100% 정확도가 인정되었다. 또한 2.93 kGy, 9.96 kGy, 15.95 kGy 조사 시료에 대해 각각 0.1~2.5 kGy, 8.2~12.2 kGy, 11.9~17.4 kGy의 예

측 선량을 나타내어 TL에 비해 선량 예측의 범위가 좀 더 정확함을 알 수 있었다(Table 13).

Table. 13. Blind test of coded unknown dried onions by ESR analysis

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0.0	16	15.95	15.0
2	0.00	0.0	17	2.93	1.5
3	0.00	0.0	18	9.96	8.9
4	15.95	17.4	19	15.95	15.5
5	9.96	8.6	20	9.96	10.4
6	9.96	8.5	21	15.95	12.5
7	2.93	2.1	22	2.93	1.5
8	15.95	15.2	23	2.93	2.3
9	9.96	12.2	24	2.93	1.8
10	9.96	9.9	25	15.95	14.6
11	9.96	8.2	26	9.96	9.9
12	15.95	13.8	27	15.95	11.9
13	15.95	14.7	28	2.93	2.0
14	2.93	2.5	29	15.95	7.6
15	2.93	2.3	30	2.93	0.1

5. 품목별 농산물의 다중검지 체계화

가. 곡류

현미와 메밀의 실험 결과를 바탕으로 적용 가능한 검지 방법을 살펴본

결과, TL, DNA comet assay 및 viscosity로 확인되었으며, ESR의 경우 조사 시료에서 특이적인 signal을 나타내지 않아 조사 여부 확인 방법으로 적당하지 않았다. 즉, 현미와 메밀에 대한 다중검지체계로 screening 방법에는 간단하고 신속한 DNA comet assay를, 검증을 위한 verification 방법에는 viscosity 및 TL을 설정할 수 있었으며(Fig. 53), blind 시료의 조사 여부 확인 시 이러한 다중검지체계를 이용한다면 보다 신속하고, 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

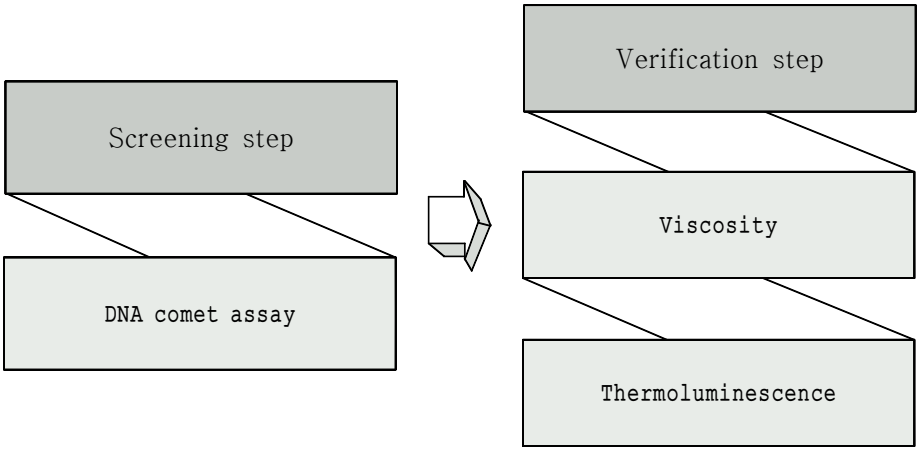

Fig. 53. Multiple detection procedure for irradiated brown rice and buckwheat.

나. 두류

각 시료의 방사선 조사 여부 확인에서 대두는 TL, ESR, DNA comet assay, PSL의 4가지 방법이, 땅콩은 TL 및 DNA comet assay, PSL의 3가지 방법이, 적두는 TL과 PSL이, 녹두는 TL과 DNA comet assay가 적

용 가능하였다. 이상의 결과를 바탕으로 다중검지체계 설정 결과, 대두의 경우 screening 방법으로 DNA comet assay 및 PSL을, 검증 방법으로 TL 및 ESR을 설정할 수 있었고(Fig. 54), 땅콩의 경우 screening 방법으로 DNA comet asasy 및 PSL을, 검증 방법으로 TL을 설정할 수 있었다(Fig. 55). 또한 적두의 경우 screening 방법으로 PSL을, 검증 방법으로 TL을 설정하였고(Fig. 56), 녹두는 screening 방법으로 DNA comet assay를, 검증 방법으로 TL을 설정하였다(Fig. 57). 이와 같은 다중검지체계는 다량의 미지 시료에 대한 조사 여부 확인 시 보다 신속하고 정확한 결과 도출에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

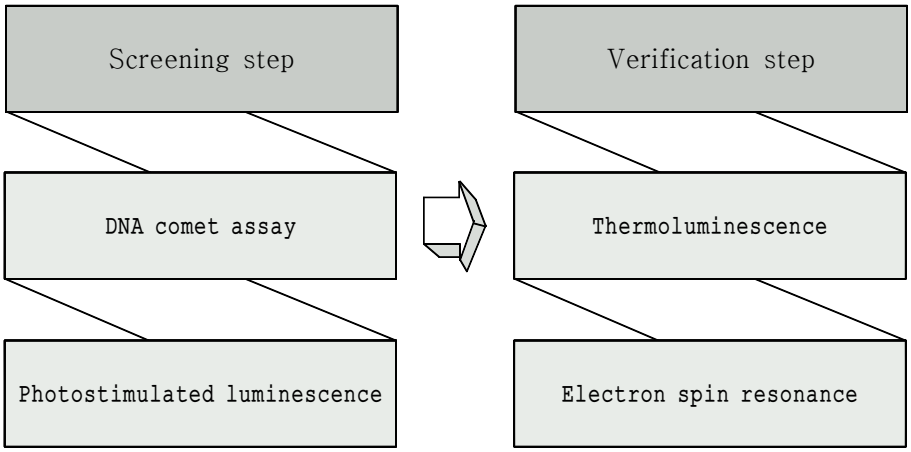

Fig. 54. Multiple detection procedure for irradiated soybean.

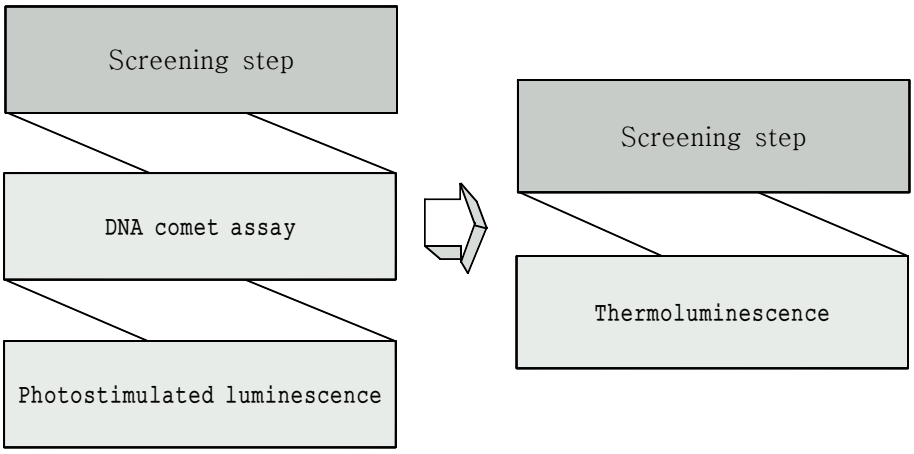

Fig. 55. Multiple detection procedure for irradiated peanut.

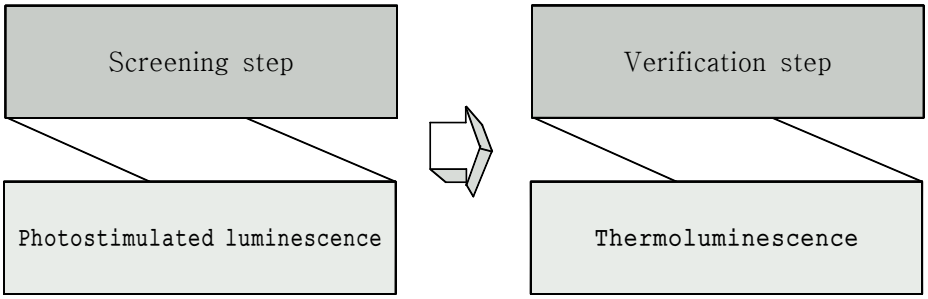

Fig. 56. Multiple detection procedure for irradiated red bean.

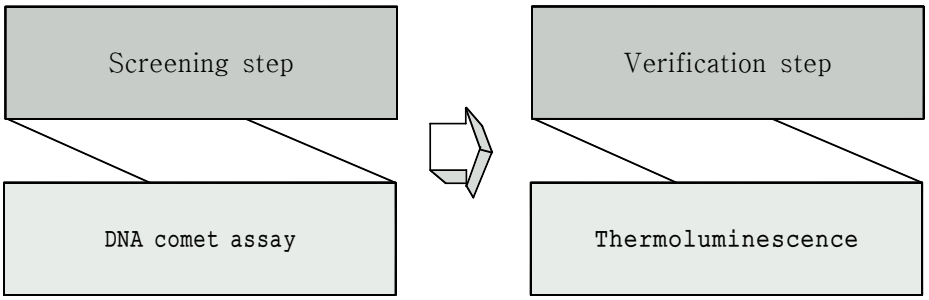

Fig. 57. Multiple detection procedure for irradiated mung bean.

다. 유지종실류

참깨 및 들깨에 대한 다중검지체계를 Fig. 58에 나타내었다. 방사선 조사된 시료의 검지 시험에서 TL 및 DNA comet assay가 적용 가능한 실험 방법으로 확인되었으며, PSL의 적용 가능성도 보고되고 있다[7,12]. 그러므로 이들의 미지 시료에 대한 조사 여부 확인 시 신속하고 간단한 DNA comet assay 또는 PSL을 screening 방법으로 이용하고, 판별이 불확실한 시료에 대해서는 TL을 검증 방법으로 이용하는 다중검지체계를 설정하였다.

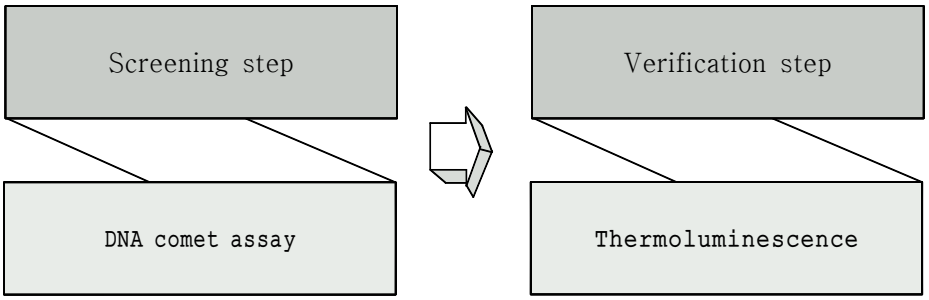

Fig. 58. Multiple detection procedure for irradiated sesame and perilla.

라. 과일류

각 시료의 부위별 적용 가능한 검지 방법을 살펴본 결과는 Table 14와 같다. 신선 과일류에서 오렌지의 경우 whole sample로 TL 적용이 가능하였고, 키위의 경우 씨는 DNA comet assay, 과핵과 과육은 ESR, whole sample로 TL 적용이 가능하였으며, 포도는 씨와 과육으로 DNA comet assay, whole sample로 TL 적용이 가능하였다. 건조 과일류에서는 건조 바나나의 경우 ESR 적용이, 건포도의 경우 TL 적용이 가능하였다. 이들 중 2가지 이상의 검지 방법이 적용 가능하였던 키위와 포도를 대상으로 다중검지체계를 설정하였다. 즉, 키위는 screening 방법으로 DNA comet assay를, 검증을 위한 방법으로 ESR과 TL을 설정하였으며(Fig. 59), 포도는 screening 방법으로 DNA comet assay를, 검증을 위한 방법으로 TL을 설정하였다(Fig. 60). 이상의 결과, 과일은 부위별로 적용 가능한 검지 방법이 다양하였으므로 한 가지 검지 방법보다 여러 가지의 검지 방법을 사용하는 다중검지체계를 이용한다면 각 검지 방법의 장단점을 이용하여 보다 신속하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Table 14. Feasible detection method using different parts of fruits

Sample	Part	Feasible detection method
Orange	Whole sample	TL
Kiwifruit	Seed	DNA comet assay
	Core	ESR
	Flesh	ESR
	Whole sample	TL
Grape	Seed	DNA comet assay
	Flesh	DNA comet assay
	Whole sample	TL
Dried banana	Whole sample	ESR
Raisin	Whole sample	TL

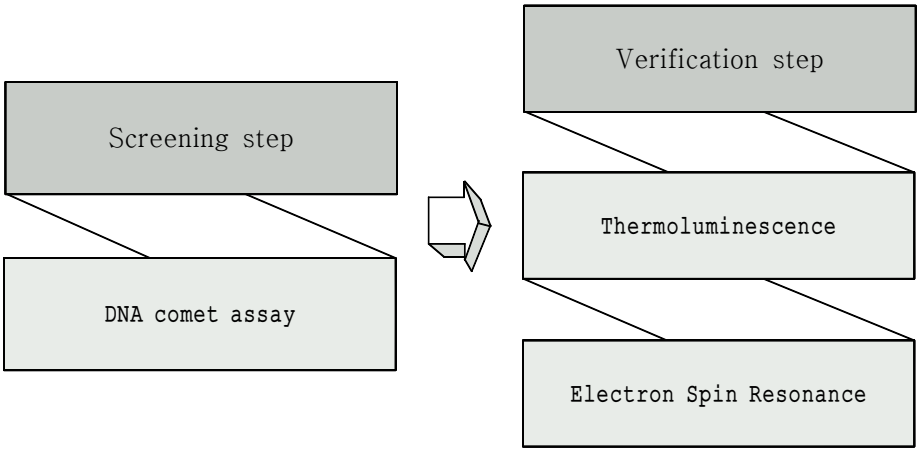

Fig. 59. Multiple detection procedure for irradiated kiwifruit.

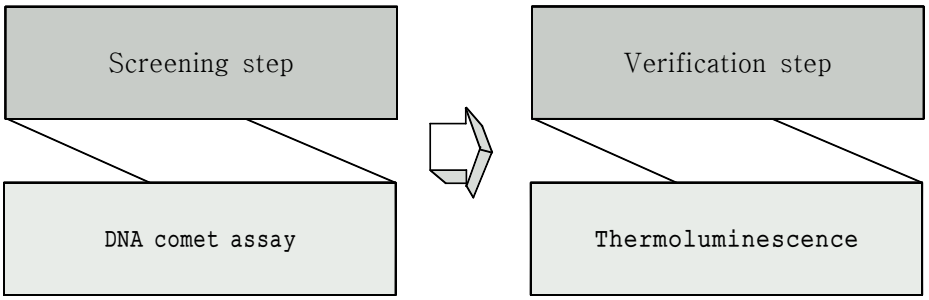

Fig. 60. Multiple detection procedure for irradiated grape.

마. 건조채소류

건조채소류의 방사선 조사 여부 확인에서 건고추, 건당근, 건양파, 건파는 TL 및 ESR 방법이 적용 가능하였으므로, 좀 더 신속한 검지 방법인 ESR을 screening 방법으로, TL을 verification 방법으로 이용하는 다중검지체계를 설정할 수 있었다(Fig. 61). 건버섯의 경우 TL만이 적용 가능하였으며, 가공 식품인 건조채소류는 생물학적 검지 방법의 하나인 DNA comet assay의 적용이 불가능하였다. 또한 TL 측정이 가능한 시료는 PSL 적용이 일반적으로 가능하므로[7,12], 건조채소류의 screening 방법으로는 PSL의 적용 연구도 요구된다.

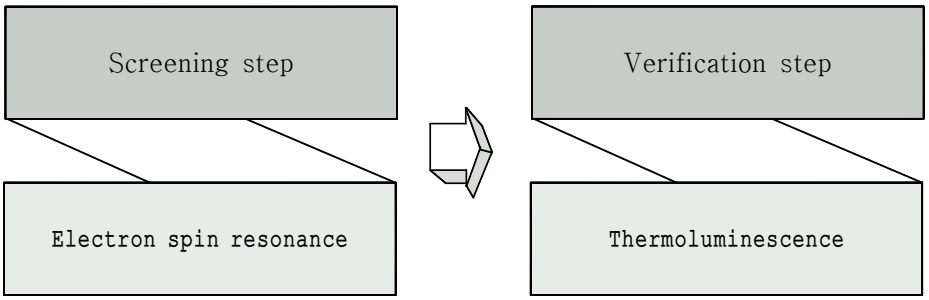

Fig. 61. Multiple detection procedure for irradiated dried pepper, dried carrot, dried onion and dried green onion.

바. 마늘・양파

마늘은 TL, DNA comet assay 및 PSL이 방사선 조사 시료의 검지에 적용 가능하였고, 양파는 TL과 DNA comet assay가 적용 가능하였다. 그러므로 미지 시료에 대한 방사선 조사 여부 확인 실험에서 마늘은 screening 방법으로 DNA comet assay 및 PSL을, 검증 방법으로 TL을 설정하는 다중검지체계의 적용이 가능하였고(Fig. 62), 양파는 screening 방법으로 DNA comet assay를, 검증 방법으로 TL을 설정하였다(Fig. 63). 이와 같은 방법의 이용은 보다 신속하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 마늘의 국내 유통 형태 중 하나인 깐 마늘은 외피와 뿌리의 제거로 인해 시료에 혼입된 mineral의 함량이 매우 낮을 것으로 예상되므로, 이 경우에는 DNA comet assay만이 적용 가능할 것으로 사료된다.

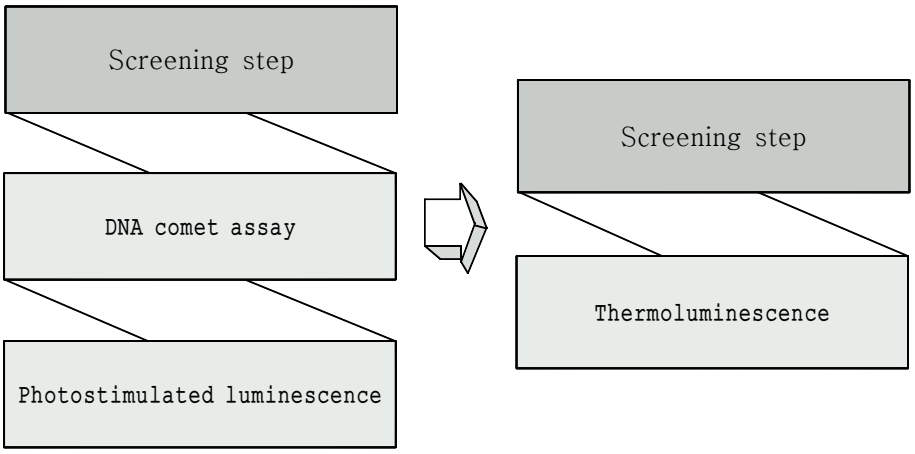

Fig. 62. Multiple detection procedure for irradiated garlic.

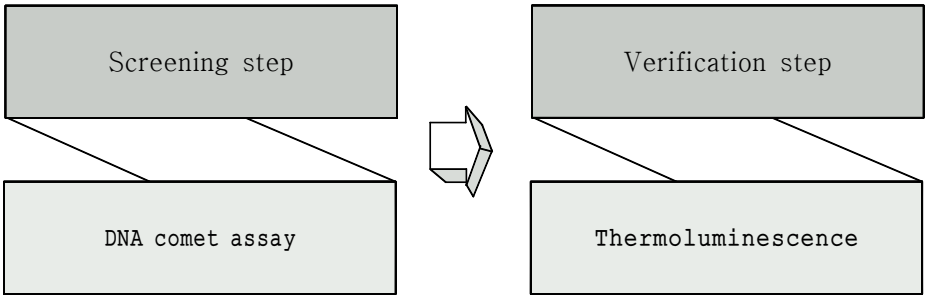

Fig. 63. Multiple detection procedure for irradiated onion.

6. 다중검지체계에 의한 미지 모델시료의 검증

가. 현미

현미의 경우 screening 방법인 DNA comet assay와, verification 방법인

viscosity 및 TL의 다중검지체계를 이용하여 미지 시료(n=30)에 대한 조사 여부 확인 시험을 실시하였다(Table 15). 먼저 조사 여부의 신속한 확인을 위하여 screening 방법인 DNA comet assay 결과, 조사 여부 판정에서 100% 정확도를 보였으나, 일정 선량 이상에서 tail length가 더 이상 증가하지 않는 특징으로 선량 예측 결과 고선량 시료에서 큰 효용성을 나타내지 못하였다. 한편, verification 방법인 viscosity 측정에서 1.02 kGy 시료의 경우 다소 부정확한 결과를 보여 조사 여부 판정에서 90%의 정확도를 나타내었다. TL 측정에서는 조사 여부 판정의 정확도가 100%로 확인되었으나, 선량 예측에서 비교적 높은 선량인 9.96 kGy 조사 시료의 경우 정확도가 떨어졌다. 이상의 결과 다중검지체계를 이용한 현미의 blind test에서, 방사선 조사 여부 판정은 100%의 정확도를, 선량 예측은 약 67%의 정확도를 보였다. 또한, 단일 방법에 의한 조사 여부 판정보다 정확성을 높여주는 다중검지 방법이 긍정적인 것으로 평가되며, 농산물품질관리원은 현재 연구 개발 단계인 방사선 다중검지기술의 실용화를 위해서는 지속적인 연구 개발이 필요하다고 언급하였다.

Table 15. Results on multiple detection procedure for coded brown rice

Coded No.	Absorbed Dose (kGy)	Estimated Result[1)] (○/×)	Estimated Dose[2)] (kGy)	DNA		Viscosity		TL		Judgment	
				Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose
1	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
2	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
3	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
4	9.96	○	2/4	○	over 2	○	1.4/ 2.1	○	3.1	Yes	No
5	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	9.8/11.5	○	2.1	Yes	Yes
6	2.93	○	2/4	○	over 2	○	7.9/11.0	○	1.8	Yes	Yes
7	9.96	○	2/4	○	over 2	○	10.2/11.9	○	3.0	Yes	No
8	9.96	○	over 4	○	over 2	○	7.8/ 9.9	○	4.6	Yes	Yes
9	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.0/ 3.7	○	1.1	Yes	Yes
10	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	2.1/ 3.6	○	2.2	Yes	No
11	9.96	○	2/4	○	over 2	○	2.3/ 3.1	○	3.5	Yes	No
12	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	△	-2.0/ 2.2	○	1.3	Yes	No
13	2.93	○	2/4	○	over 2	○	1.2/ 2.4	○	2.3	Yes	Yes
14	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	△	-0.4/ 0.6	○	1.5	Yes	No
15	9.96	○	2/4	○	over 2	○	0.7/ 1.4	○	3.1	Yes	No
16	2.93	○	2/4	○	over 2	○	9.4/ 9.8	○	2.9	Yes	Yes
17	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.2/ 2.4	○	3.4	Yes	No
18	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	10.6/12.1	○	2.4	Yes	Yes
19	2.93	○	2/4	○	over 2	○	8.2/11.2	○	2.9	Yes	Yes
20	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	3.7/ 4.2	○	1.6	Yes	Yes
21	9.96	○	over 4	○	over 2	○	8.5/11.4	○	5.6	Yes	Yes
22	2.93	○	2/4	○	over 2	○	3.7/ 5.1	○	4.1	Yes	Yes
23	2.93	○	2/4	○	over 2	○	6.7/10.3	○	3.4	Yes	Yes
24	9.96	○	over 4	○	over 2	○	0.9/ 4.2	○	5.0	Yes	Yes
25	9.96	○	over 4	○	over 2	○	2.3/ 2.7	○	5.9	Yes	Yes
26	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.3/ 3.3	○	1.4	Yes	Yes
27	2.93	○	2/4	○	over 2	○	1.6/ 3.2	○	2.6	Yes	Yes
28	9.96	○	2/4	○	over 2	○	1.0/ 1.4	○	5.4	Yes	No
29	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.5/ 3.1	○	1.2	Yes	Yes
30	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	△	-2.1/ 2.4	○	1.8	Yes	No

[1)] ○ : Irradiated, × : Non-irradiated, △ : Uncertainty

[2)] Minimum/Maximum

나. 땅콩

설정된 다중검지체계를 이용한 땅콩(n=30)의 blind test 결과는 Table 16과 같다. 땅콩은 screening 방법인 DNA comet assay를 우선 적용하였고, verification 방법으로 TL을 적용하여 조사 여부 및 예측 선량을 확인하였다. DNA comet assay 결과, 방사선 처리 여부의 결과는 100% 정확하였고, 정확한 선량 예측은 어려운 것으로 나타났다. TL 측정에서 역시 조사 여부 확인의 경우 100% 정확도를 보였으나, 고선량 조사 시료의 경우 선량 예측의 정확도가 다소 낮게 나타났다. 이상의 결과 총 30개의 미지 시료를 대상으로 실시한 blind test에서, 조사 여부와 선량 예측 각각 100%와 57%의 정확도를 나타내었다. 한편 verification 방법인 TL의 경우 현미와 땅콩 모두 9.96 kGy 조사 시료의 선량 예측 값이 실제 조사 선량보다 낮게 나타나, 좀 더 정확한 calibration curve 작성을 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Table 16. Results on multiple detection procedure for coded peanut

Coded No.	Absorbed Dose (kGy)	Estimated Result[1)] (○/×)	Estimated Dose[2)] (kGy)	DNA		TL		Judgment	
				Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose
1	-	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
2	-	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
3	-	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
4	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.7	Yes	No
5	9.96	○	over 4	○	over 2	○	4.8	Yes	Yes
6	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.7	Yes	Yes
7	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.7	Yes	Yes
8	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.9	Yes	No
9	9.96	○	over 4	○	over 2	○	5.4	Yes	Yes
10	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.6	Yes	No
11	9.96	○	over 4	○	over 2	○	4.7	Yes	Yes
12	9.96	○	2/4	○	over 2	○	3.1	Yes	No
13	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.3	Yes	Yes
14	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	2.2	Yes	No
15	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.7	Yes	Yes
16	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.9	Yes	No
17	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.0	Yes	Yes
18	9.96	○	2/4	○	over 2	○	2.5	Yes	No
19	9.96	○	over 4	○	over 2	○	6.6	Yes	Yes
20	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	1.4	Yes	No
21	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.7	Yes	Yes
22	9.96	○	2/4	○	over 2	○	2.7	Yes	No
23	2.93	○	over 4	○	0.5/1	○	3.6	Yes	No
24	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	0.6	Yes	No
25	9.96	○	over 4	○	over 2	○	4.6	Yes	Yes
26	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	0.6	Yes	No
27	2.93	○	2/4	○	0.5/1	○	2.8	Yes	Yes
28	1.02	○	below 0.5	○	below 0.5	○	0.3	Yes	No
29	2.93	○	2/4	○	0.5/1	○	2.6	Yes	Yes
30	9.96	○	over 4	○	over 2	○	3.7	Yes	Yes

[1)] ○ : Irradiated, × : Non-irradiated, △ : Uncertainty

[2)] Minimum/Maximum

다. 키위

키위의 다중검지체계를 이용하여 미지 시료(n=30)의 blind test를 실시하였다. Screening 방법인 DNA comet assay를 위해 키위의 씨를 추출하여 이용한 결과, intact cell과 comet cell의 구분이 뚜렷하여 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 100% 가능하였으나, 정확한 선량 예측에는 어려움이 있었다. 한편, TL 측정을 이용한 verification 과정에서 DNA comet assay에서와 같이 시료의 조사 여부 확인은 100%의 정확성을 나타내었고, 선량 예측에서도 실제 조사 선량의 범위를 크게 벗어나지 않아 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 키위 과육을 이용한 ESR 측정에서 조사 여부의 판별은 역시 100%의 정확도를 보였으나, 선량 예측에서 실제 조사 선량보다 다소 낮은 예측 값을 나타내었다. 이상의 검지 체계를 종합한 결과 조사 여부 확인에서 100%의 정확도를 나타내었으나, 예측 선량 확인에서 50%의 정확도를 나타내어 현미와 땅콩에 비해 다소 낮게 나타났으며, 이는 ESR의 예측 선량이 실제 조사 선량보다 모두 낮은 값으로 나타났기 때문으로 사료된다(Table 17). 한편, 식품의약품안전청은 방사선 조사 여부 판별 결과는 정확하였으나 정량적으로 정확한 선량을 도출하는데는 어려움이 있다고 언급하였으며, 국내 최초로 실시된 다중검지와 blind test에 대한 시도를 긍정적으로 평가하였다.

Table 17. Results on multiple detection procedure for coded kiwifruit

Coded No.	Absorbed Dose (kGy)	Estimated Result[1)] (○/×)	Estimated Dose[2)] (kGy)	DNA		TL		ESR		Judgment	
				Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose
1	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
2	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
3	0	×	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
4	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	4.7	○	4.3	Yes	Yes
5	2.93	○	1.5/2	○	over 1.5	○	4.3	○	1.5	Yes	No
6	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	6.0	○	3.7	Yes	Yes
7	2.93	○	over 2	○	over 1.5	○	4.4	○	2.3	Yes	Yes
8	1.73	○	0.5/1	○	0.5/1	○	2.1	○	0.9	Yes	No
9	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	7.3	○	3.0	Yes	Yes
10	1.73	○	0.5/1	○	0.5/1	○	2.7	○	0.5	Yes	No
11	1.73	○	0.5/1	○	0.5/1	○	2.4	○	0.5	Yes	No
12	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	7.6	○	2.4	Yes	Yes
13	2.93	○	1.5/2	○	over 1.5	○	4.4	○	1.4	Yes	No
14	1.73	○	0.5/1	○	0.5/1	○	2.3	○	0.6	Yes	No
15	2.93	○	1/1.5	○	over 1.5	○	4.6	○	0.9	Yes	No
16	1.73	○	below 0.5	○	below 0.5	○	1.7	○	0.5	Yes	No
17	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	6.2	○	3.1	Yes	Yes
18	1.73	○	below 0.5	○	below 0.5	○	2.6	○	0.1	Yes	No
19	2.93	○	1.5/2	○	over 1.5	○	5.8	○	1.9	Yes	No
20	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	8.4	○	3.8	Yes	Yes
21	1.73	○	0.5/1	○	below 0.5	○	2.1	○	0.6	Yes	No
22	1.73	○	0.5/1	○	below 0.5	○	1.8	○	0.7	Yes	No
23	2.93	○	1.5/2	○	over 1.5	○	3.1	○	1.6	Yes	No
24	2.93	○	over 2	○	over 1.5	○	3.1	○	2.2	Yes	Yes
25	2.93	○	over 2	○	over 1.5	○	4.1	○	2.7	Yes	Yes
26	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	7.0	○	4.4	Yes	Yes
27	1.73	○	below 0.5	○	below 0.5	○	2.7	○	0.5	Yes	No
28	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	4.5	○	3.2	Yes	Yes
29	2.93	○	1.5/2	○	over 1.5	○	5.6	○	1.7	Yes	No
30	5.22	○	over 2	○	over 1.5	○	5.6	○	3.7	Yes	Yes

[1)] ○ : Irradiated, × : Non-irradiated, △ : Uncertainty

[2)] Minimum/Maximum

라. 건양파

건양파 다중검지체계의 경우 Screening 방법으로 ESR이, verification 방법으로 TL이 설정되었으므로, 이를 이용한 건양파 미지 시료(n=30)의 blind test를 실시하였다. ESR 측정에서 singlet signal을 나타내는 시료와 cellulose radical 유래의 triplet signal을 나타내는 시료의 구분이 명확하여 방사선 처리 여부에 대한 결과가 100% 정확하였으며, 조사 선량 예측에서도 비교적 정확한 값을 나타내어 미지 시료에 대한 적용 가능성이 확인되었다. TL 실험 결과 조사 여부에 대한 정확도 역시 100%로 인정되었나, 선량 예측에서 실제 조사 선량보다 넓은 범위의 값을 나타내어 정확도가 다소 낮았다. 이상의 결과를 바탕으로 다중검지체계에 의한 미지 시료의 blind test에서 조사 여부는 100% 정확하였으며, 선량 예측은 67%의 정확도를 보여주었다(Table 18).

Table 18. Results on multiple detection procedure for coded dried onion

Coded No.	Absorbed Dose (kGy)	Estimated Result[1)] (○/×)	Estimated Dose[2)] (kGy)	ESR		TL		Judgment	
				Result	Dose	Result	Dose	Result	Dose
1	0	×	0	×	0	×[1)]	0	Yes	Yes
2	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
3	0	×	0	×	0	×	0	Yes	Yes
4	15.95	○	over 10	○	17.4	○	13.8	Yes	Yes
5	9.96	○	7.5/10	○	8.6	○	7.0	Yes	Yes
6	9.96	○	7.5/10	○	8.5	○	7.6	Yes	Yes
7	2.93	○	2.5/5	○	2.1	○	3.9	Yes	Yes
8	15.95	○	over 10	○	15.2	○	10.9	Yes	Yes
9	9.96	○	over 10	○	12.2	○	11.9	Yes	No
10	9.96	○	7.5/10	○	9.9	○	9.0	Yes	Yes
11	9.96	○	7.5/10	○	8.2	○	10.2	Yes	Yes
12	15.95	○	over 10	○	13.8	○	11.9	Yes	Yes
13	15.95	○	over 10	○	14.7	○	17.0	Yes	Yes
14	2.93	○	2.5/5	○	2.5	○	7.0	Yes	Yes
15	2.93	○	2.5/5	○	2.3	○	9.7	Yes	Yes
16	15.95	○	over 10	○	15.0	○	8.7	Yes	Yes
17	2.93	○	below 2.5	○	1.5	○	4.1	Yes	No
18	9.96	○	7.5/10	○	8.9	○	7.3	Yes	Yes
19	15.95	○	over 10	○	15.5	○	8.7	Yes	Yes
20	9.96	○	over 10	○	10.4	○	11.8	Yes	No
21	15.95	○	over 10	○	12.5	○	10.6	Yes	Yes
22	2.93	○	below 2.5	○	1.5	○	7.1	Yes	No
23	2.93	○	2.5/5	○	2.3	○	4.2	Yes	Yes
24	2.93	○	below 2.5	○	1.8	○	6.0	Yes	No
25	15.95	○	over 10	○	14.6	○	7.5	Yes	Yes
26	9.96	○	over 10	○	9.9	○	12.9	Yes	No
27	15.95	○	7.5/10	○	11.9	○	7.1	Yes	No
28	2.93	○	below 2.5	○	2.0	○	12.4	Yes	No
29	15.95	○	7.5/10	○	7.6	○	10.7	Yes	No
30	2.93	○	below 2.5	○	0.1	○	7.6	Yes	No

[1)] ○ : Irradiated, × : Non-irradiated, △ : Uncertainty

[2)] Minimum/Maximum

제 4 절 결론

방사선 처리 농산물의 수입 관리에 필요한 TL 및 ESR 분석 방법과 다중검지기술 개발을 위하여, 곡류, 두류, 유지종실류, 과일류, 건조채소류 및 마늘·양파에 대한 검지 특성을 연구하였다. TL 분석의 경우 비조사 시료는 300℃ 부근에서 매우 낮은 intensity를 가지는 TL glow curve를 나타냈으나, 조사 시료는 200℃ 부근에서 높은 intensity의 glow curve를 나타내었으며 intensity도 선량의 증가에 따라 증가하였다. Normalization 방법을 이용한 TL ratio 산출 결과 비조사 시료(0.05이하)와 조사 시료(0.2 이상)의 구분 또한 가능하였다. 한편, 건바나나의 경우 mineral 분리의 어려움으로 TL 측정이 불가능하였다. ESR 실험에서 대두, 키위 및 건조채소류(건고추, 건당근, 건양파, 건파)는 조사 시료에서 cellulose radical에 의한 signal을 나타내었고, 건바나나의 조사 시료는 crystalline sugar radical에 의한 signal을 보여주었으며, signal intensity는 선량 의존적이었다. 모든 실험에서 원산지별 차이는 크지 않았다. 방사선 조사 식품의 저장 및 유통 과정을 고려하여 조사 후 실온 및 저온에 저장된 시료에 대하여 TL 및 ESR signal 안정성을 측정하여 본 결과, TL 측정 시료는 1년, ESR 측정 시료는 각 시료에 따른 차이를 보였으나 6개월까지도 조사 여부 확인이 가능하였다. 본 실험에서 설정된 TL 및 ESR 조건의 신뢰도를 확인하기 위하여 현미, 땅콩, 키위, 건양파 등의 미지 시료(n=120)를 대상으로 blind test를 실시한 결과, 방사선 조사 여부 확인은 100% 가능하였다. 한편, 적용 가능한 검지 방법이 2가지 이상인 시료를 대상으로 보다 신속하고 정확한 결과를 얻기 위한 다중검지체계 설정이 가능하였으며, 설정된 다중검지체계를 이용한 현미, 땅콩, 키위, 건양파 미지 시료(n=120)에 대한 검증 시험 결과, 흡수 선량 예측의 경우 실제 조사 선량과의 오차를 보였으나 조사 여부에서 모두 100%의 정확도를 나타내었으며(부록참조), 검지 방법을 표준화하기 위한 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

제 2 세부 DNA Comet assay 및 PSL Screening 체계 개발

제 1 절 서론

DNA와 같은 거대 분자는 전리 방사선의 용이한 target이 되기 때문에 DNA의 변화가 검지 방법으로서의 가능성을 보여주고 있다. 방사선 조사는 식품 조직 내에 존재하는 유전 정보 물질인 DNA의 purine 염기와 pyrimidine 염기에 손상을 일으키고 DNA 나선의 절단을 일으킨다[20]. 생물학적 검지 방법의 하나인 DNA comet assay는 DNA를 변성 marker로 사용하여 방사선 조사에 의한 DNA strand의 fragmentation에 기초를 둔 방법이다[21]. 그 원리는 DNA nucleotide 사이 diester phosphate 결합이 끊어짐으로 인해 절편화된 phosphate 분자가 negative charge를 띄게 됨으로써 전기영동시 anode 방향으로 끌리는 현상을 응용한 것이다. 즉, 가닥 절편의 양이 많을수록 핵체로부터 anode 방향으로 끌리는 DNA fragment의 농도가 진하게 되고, 또 저분자량의 절편들은 멀리 끌리게 된다. 이를 염색하여 현미경상으로 관찰하였을 때 그 모습이 마치 혜성 모양과 유사하다 하여 comet assay라 명명되었으며, 그 comet의 길이와 tail의 폭, 그리고 head와의 분리 여부를 분석함으로써 방사선 조사 여부를 확인할 수 있다[22,23]. Comet 분석의 장점은 분석에 필요한 세포 현탁액의 세포수가 1×105~6×105/mL 정도로 시료의 양이 작다는 점, 그리고 분석 결과는 하루 안에 얻을 수 있다는 점에 있다[22-27]. 최근 최저 0.2 kGy 선량으로 조사된 식물 씨앗, 건조 과일 및 향신료를 대상으로 행해진 연구에서는 좋은 결과가 보고되었다. 그러나 이 방법은 DNA를 변화시킬 수 있는 열처리나 다른 가공 처리가 행하여지지 않은 식품에만 적용되는 단점이 있으므로 다수의 미지시료에 대한 검지에서 의심이 가는 시료의 선별을 위한 screening 방법으로 연구되어야 할 것이다.

또한 본 연구의 내용에 포함되지 않았지만 screening 방법으로 가능성이 알려지고 있는 광자극발광(photo-stimulated luminescence, PSL) 분석법의 적용 연구를 일부 곡류, 두류 및 마늘에 대하여 실시하였다. PSL은 적합한 측정 기기를 확보해야 하며 저장된 에너지를 방출하기 위하여 열보다는 빛(적외선 진동 자극장치)을 사용한다는 것이 TL과 상이하다. 대부분 농산물에는 silicate나 bioinorganic materials가 발견되는데 이러한 물질들이 전리방사선에 노출되었을 때 구조적인 trap에 갇히게 된다. 여기에 optical stimulation을 가하면 에너지가 여기 상태로 올라갔다가 기저 상태로 돌아오면서 에너지를 방출하게 되는데 이 에너지를 측정하여 검지방법에 응용하는 것이다[28,29]. PSL을 이용한 여러 연구에서 만족할 만한 결과가 보고되고 있으며, 이 기법은 무기물을 분리할 필요가 없이 일회용 용기 위에 아주 얇은 층의 농산물 분말을 사용하며 몇 분이면 측정이 가능하여 다수의 미지 시료에 대한 조사 여부를 screening 하는데 필요한 방법으로 연구되고 있다.

주요 수입 농산물의 방사선 조사 검지에서 다수의 시료를 신속하게 확인하기 위해서는 screening 방법이 우선적으로 필요하다. 따라서 본 연구에서는 DNA comet assay 및 PSL을 이용하여 적용 가능한 품목을 선정하고 다중검지에 필요한 screening 조건을 확립하고자 다음과 같은 실험을 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료 및 방사선 조사

가. 재료

본 실험에 사용된 재료는 농산물 수출입 자료와 방사선 조사 허가 자료를 바탕으로 하여 곡류(현미, 메밀), 두류(대두, 땅콩, 적두 및 녹두), 유지종실류(참깨, 들깨), 과일류(오렌지, 키위 및 포도) 및 마늘·양파 등 총 13종을 선택하였다. 곡류, 두류, 유지종실류의 경우 각각 국산과 중국산으로 나누어 구입하였고, 과일류의 경우 오렌지는 미국산, 키위는 뉴질랜드산, 포도는 국산으로 구입하였으며, 마늘 및 양파는 국산으로 구입하여 실험에 사용하였다.

나. 방사선 조사 및 저장

검지 실험에 사용된 농산물은 국내에서 사용이 허가된 감마선 조사를 실시하였다. KAERI의 ^{60}Co 선원(100 kCi, Nordion, Ontario, Canada)을 이용하였으며, 최대 허용 선량을 기준으로 곡류, 두류 및 유지종실류는 0~4 kGy, 신선과일류는 0~2 kGy, 마늘 및 양파는 0~0.5 kGy 선량으로 조사하였다. 흡수 선량의 확인에는 ceric/cerous dosimeter를 사용하여 오차 범위를 ±5% 이내로 하였다. 한편 각 검지 방법에 대한 dose response stability test를 위해 모델농산물을 대상으로 low density polyethylene (LDPE) film으로 포장하여 일정 조건하에서 저장 실험을 수행하였다.

2. DNA comet assay의 조건 설정 시험

가. Cell suspension 준비

시료 약 1~3 g을 사용하였으며 이 양은 slide glass 당 50개 이상의 핵체를 관찰하기 위해 예비 실험 결과 산출된 양이다. 모든 실험 과정은 Cerda 등[30]의 방법을 바탕으로 실시하였다. 먼저, 부드럽게 마쇄한 시료에 cold PBS(phosphate buffered saline, pH 7.4) 5 mL를 가하고 50 rpm의 속도로 5분 동안 균질화시킨 후 mess 200 ㎛, 125 ㎛ nylon sieve cloth를 차례로 통과시켜 잔사를 제거하였다. 여과된 세포 현탁액을 4℃ 냉장고에 20분간 방치 후 상등액을 취해 실험에 사용하였다.

나. Pre-coated slide 준비

시료와 slide의 부착성을 높이기 위한 pre-coating 작업으로 slide를 methanol에 하룻밤 침지 후 건조(air dry)시킨 다음 45℃의 0.5% NMA(normal melting point agarose) 50 μL를 균일하게 도포하여 실온에서 건조하였다.

다. Gel casting, lysis 및 electrophoresis

세포 현탁액 50 μL와 0.8% LMA(low melting point agarose) 100 μL를 혼합한 후, 그 중 100 μL를 pre-coated slide에 cover glass를 이용하여 균일하게 도포하고 ice bath 위에서 10분 동안 방치하여 gel을 형성시켰다. Casted slides는 lysis buffer(2.5% SDS in 45 mM tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 20분 침지 후 세척하였다. Lysis 된 slide를 SDS가 배제된 TBE buffer(Tris borate electrophoresis buffer, pH 8.4)에 5분 동안 침

지하고, 전기영동 수조 위에 agarose end가 anode 방향으로 향하도록 놓은 후 TBE buffer에서 2 V/cm로 2분 동안 전기영동 하고 세척, 건조하였다. 전기영동이 끝난 slide를 EtBr(Etidium Bromide) staining 및 fixing solution으로 고정 후 silver staining 하였다.

라. Comet analysis

EtBr로 염색된 slide는 595 nm emission filter가 장착된 Laser Scanning Confocal Imaging System (MRC 1000, Biorad, USA)을 이용하여 × 100 배율로 관찰 후 Laser Sharp software(Biorad, USA)로 tail length를 측정하였다. Silver로 염색된 slide의 comet 분석은 표준 투과 현미경(Eclipse E400, Nikon Co., Japan)을 이용하여 × 100 배율로 관찰 후 tail length를 측정하였다. DNA tail migration은 comet 중앙에서 tail 끝까지의 길이를 tail length로 측정하였으며, 이 때 모든 시료에 대해 2개의 slide를 준비하여 각 slide 당 50개씩 총 100개의 세포를 대상으로 측정하였다.

3. DNA comet assay에 의한 미지 시료의 검증 시험

본 실험에서 사용한 DNA comet assay 검지법의 신뢰도를 확인하기 위하여 식품의약품안전청, 국립농산물품질관리원, 그린피아기술(주)로부터 무작위로 번호를 표기한 다수(n=30)의 국산 현미, 중국산 땅콩, 뉴질랜드산 키위의 미지 시료(known coded sample)를 받아서 검지 시험을 실시하고, 그 결과를 대조 확인하여 조사 여부에 대한 정확도를 검토 받았다.

4. 광자극 발광(PSL) 분석 시험

PSL 측정에 사용된 모든 시료는 태양 빛에 의한 photon 손실과 cross contamination을 피하면서 측정되었다. 곡류와 두류는 특별히 외부에 부착된 미네랄을 취하는 방법은 사용치 않고 whole sample(5 g) 그대로를 측정용 dish(50 mmø, Bibby Sterilin type 122, Glasgow, UK)에 담아 측정하였고, 마늘은 미네랄이 비교적 많이 부착된 뿌리 부분을 0.2 g 취해 dish에 담은 후 각각 2회 반복 측정하였다. PSL 측정기기(SURRC, Pulsed PPSL Screening System, UK)의 조건은 cycle time 1초, cycle 횟수는 60, dark count 63, light count 66이었다. PPSL system을 이용한 측정 결과의 판정에는 lower threshold value는 T_1=700 counts/60 sec, upper threshold value는 T_2=5,000 counts/60 sec이었으며, T_1 이하의 값(negative)은 비조사 시료로, T_2 이상(positive)이면 방사선 조사된 시료로 판단하였다[31-33].

5. 실험 결과 분석

DNA comet assay는 100개 comet의 tail length를 측정하였고, PSL은 2회 반복 측정하였으며, 측정 결과는 Origin[8]에 의해 분석하였다. 검사 결과의 유의성은 SAS(Statistical Analysis System)[9]에 의한 분산분석(ANOVA)에 의해 검정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 원산지별 시료 comet의 흡수 선량 의존성 분석 및 특성 비교

가. 곡류

국산 및 중국산 곡류(현미, 메밀)에 대한 DNA comet assay 연구를 실시하였다. 곡류는 핵체가 비교적 작은 편이어서 조사 여부 판별이 어려울 것으로 예상되었으나, 현미경 관찰 결과 핵과 꼬리의 구분이 명확하였고 tail 길이 측정도 가능하였다. 현미와 메밀의 comet 관찰에서 비조사 시료는 DNA 손상이나 전기장에 의한 이동이 없었기 때문에 대부분이 원형 또는 비교적 짧은 tail을 가진 intact cell을 나타내었으나, 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 DNA 절단으로 인한 tailing 현상이 관찰되었다. 즉, 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 증가하였으며, tail 내 DNA 농도의 차이로 인해 head 부분보다 tail 부분의 색이 더 진하게 관찰되었다(Fig. 64,66). DNA migration 측정 결과, 1 kGy까지는 tail length가 뚜렷한 증가를 보이다가 그 이상의 선량에서는 완만한 증가 곡선을 나타내었으며, 조사 선량과 tail length 사이의 상관관계를 살펴본 결과 R^2 값이 현미의 경우 0.5494(국산), 0.6093(중국산), 메밀의 경우 0.5482(국산), 0.6867(중국산)로 각각 나타나 조사 선량이 tail length에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다(Fig. 65,67). 국산과 중국산의 비교에서 comet 양상과 DNA migration 정도 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. Kim 등[34]은 곡류의 방사선 조사 여부 확인에서 쌀의 경우 세포 수가 적어 관찰이 어려웠으나 0.3 kGy 이상 조사 시료에서는 긴 tail을 가진 세포들이 관찰되었다고 하여 본 실험의 결과를 뒷받침하여 주었다.

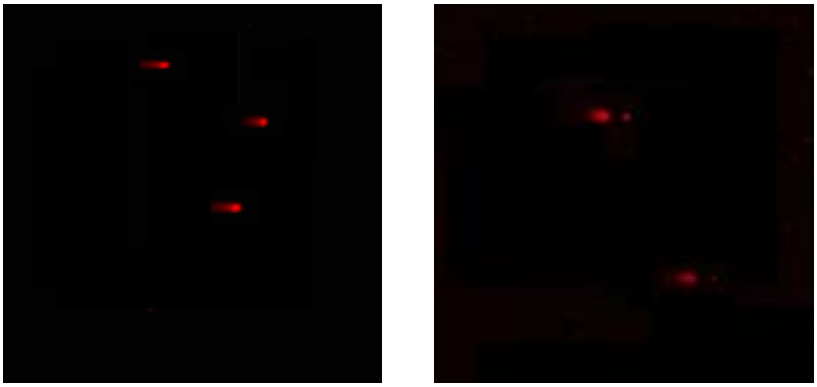

Fig. 64. DNA migration profile of Korean brown rice immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

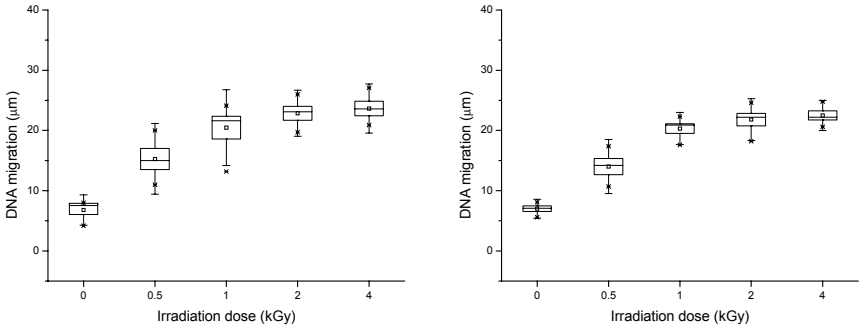

Fig. 65. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of brown rice irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

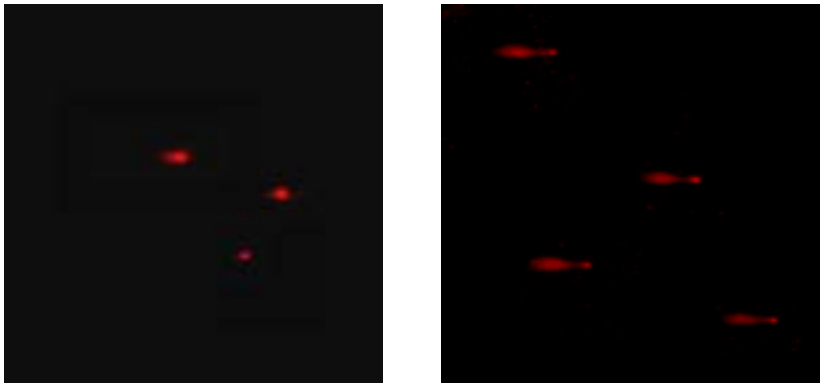

Fig. 66. DNA migration profile of Korean buckwheat immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

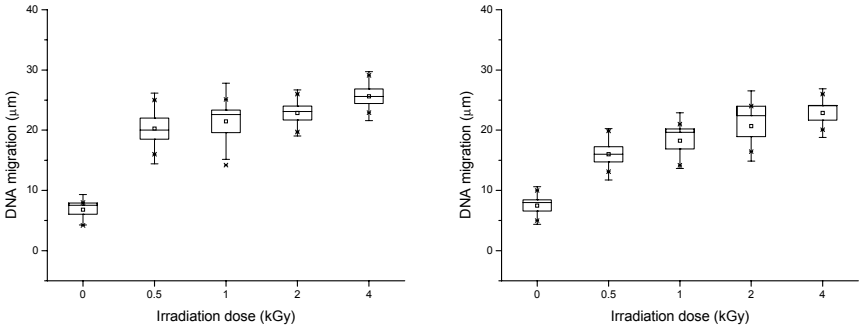

Fig. 67. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of buckwheat irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

나. 두류

국산 및 중국산 대두, 땅콩, 적두 및 녹두를 대상으로 DNA comet assay에 의한 검지 특성을 관찰하였다. 현미경을 통한 육안 관찰 결과, 적두를 제외한 비조사 시료에서 전형적인 intact cell이 관찰되어 현미경상으로도 조사 시료와 비조사 시료간의 구분이 확실하였다. 또한, 대두 및 땅콩의 경우 핵의 tail length가 최대 30 ㎛를 넘지 않았으나 적두 및 녹두의 경우 조사 시료에서 약 40 ㎛의 tail length를 보여 시료마다 핵체 크기에 차이를 보였다.

대두(Fig. 68) 및 땅콩(Fig. 70)은 비조사 시료에서 intact cell을, 조사 시료에서 comet cell을 나타내었다. 즉, 조사 선량이 증가함에 따라 tail length가 증가하는 경향을 보였으며, 2 kGy 이상 조사 시료에서는 tail의 끝이 comet의 head 보다 넓어지면서 tail이 head로부터 분리되어 가는 현상이 관찰되었다. 이 때 조사 선량에 대한 tail length의 상관관계 분석 결과, 대두의 경우 R^2 값이 국산 0.5403, 중국산 0.5574로, 땅콩의 경우 국산 0.5959, 중국산 0.5952로 나타나 원산지에 따른 차이는 없었다(Fig. 69,71). 한편, 적두는 국산과 중국산 모두 비조사 시료에서 온전한 세포 외 비교적 긴 tail을 가진 세포들이 관찰되었으며, 조사 시료에서도 comet cell이 관찰되어 조사 여부의 확인이 불가능하였다(Fig. 72,73). 녹두는 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 길어졌고, tail이 head로부터 분리되어 가는 현상을 관찰할 수 있었다(Fig 74). 이러한 경향은 국산의 경우가 더 심하여 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 더욱 길어졌으며, 조사 선량과 tail length의 상관관계(R^2) 분석에서 국산과 중국산이 각각 0.7253, 0.6486으로 정(+)의 상관관계를 나타내어 조사 선량이 tail length에 상당한 영향을 주는 것으로 나타났다(Fig. 75).

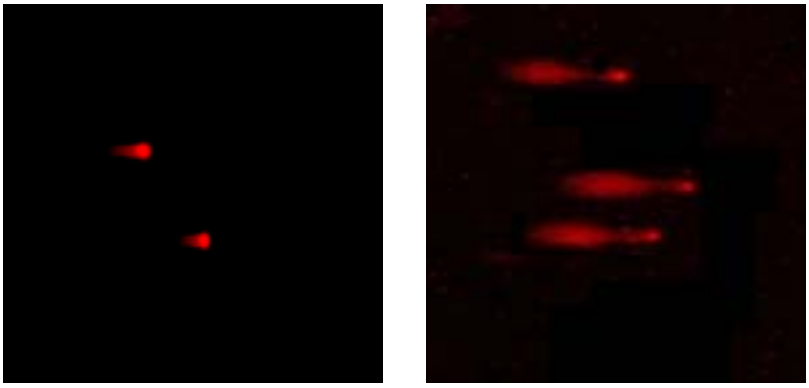

Fig. 68. DNA migration profile of Korean soybean immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

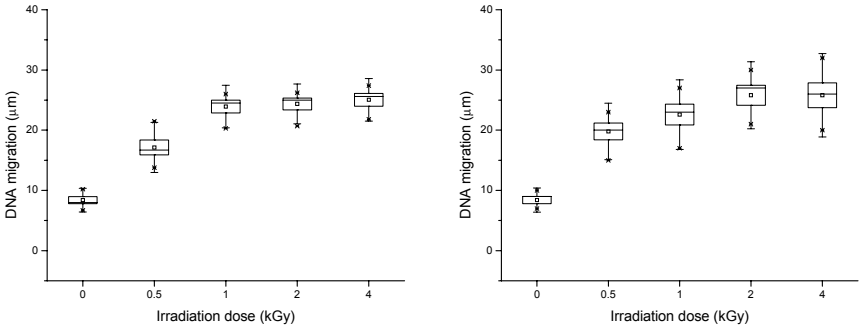

Fig. 69. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of soybean irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

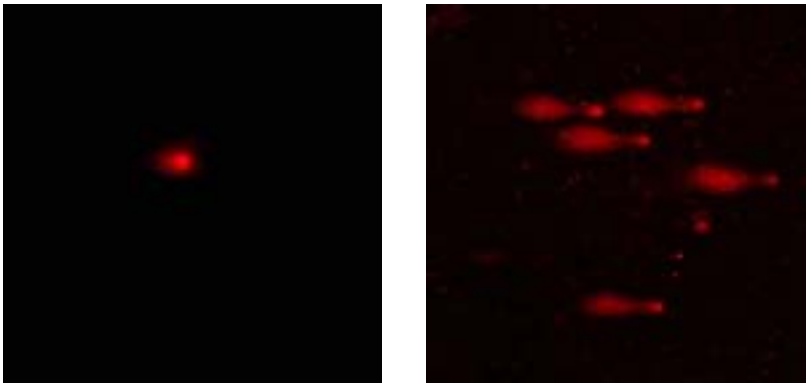

Fig. 70. DNA migration profile of Korean peanut immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

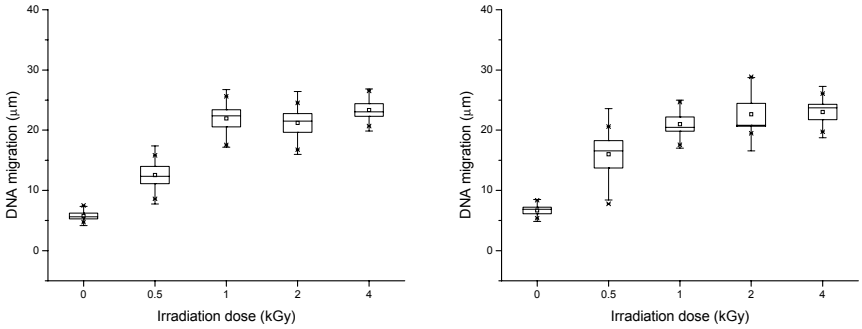

Fig. 71. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of peanut irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

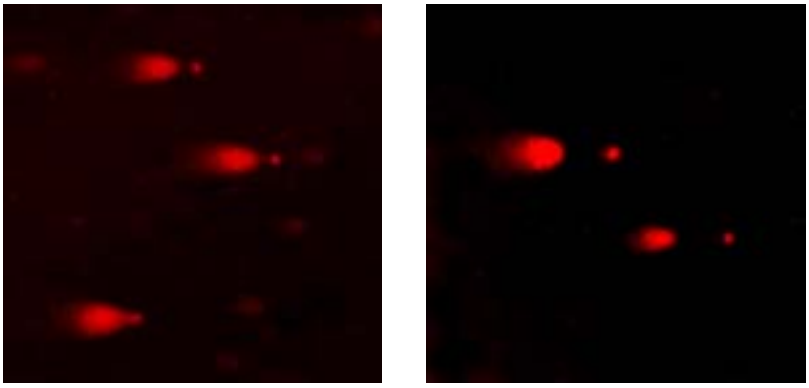

Fig. 72. DNA migration profile of Korean red bean immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

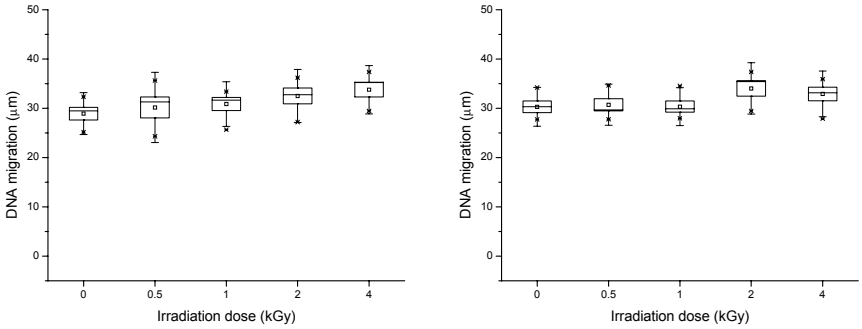

Fig. 73. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of red bean irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

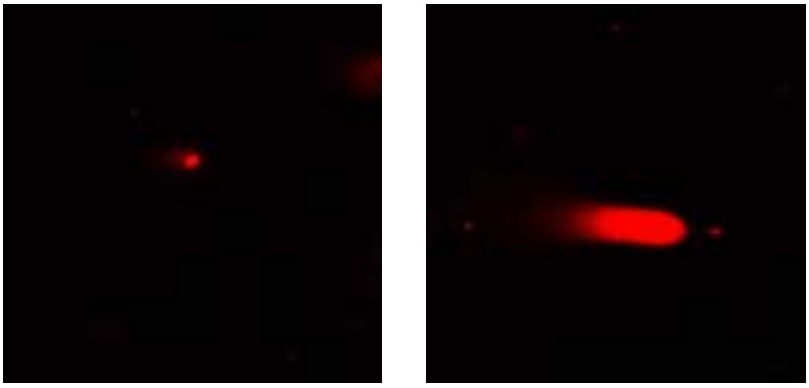

Fig. 74. DNA migration profile of Korean mung bean immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 1 kGy).

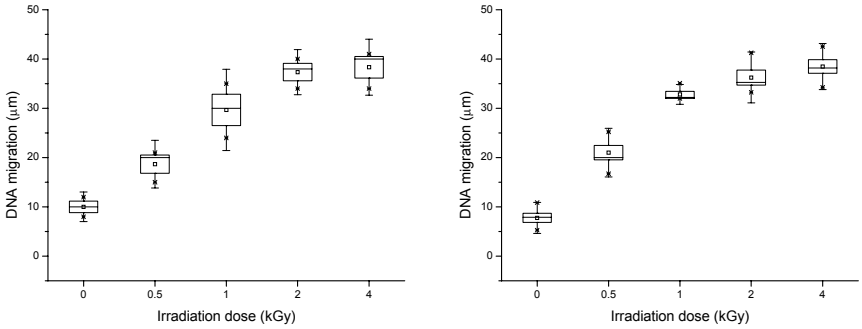

Fig. 75. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of mung bean irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

다. 유지종실류

유지종실류에 대한 DNA comet assay 결과, 참깨의 경우 국산과 중국산 모두 비조사 시료에서는 tail length 5 ㎛ 내외의 비교적 짧은 tail을 가진 intact cell을 나타내었으나, 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 대부분이 긴 tail을 가진 comet cell을 나타내어 비조사 시료와의 구분이 가능하였다(Fig. 76). 한편, 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 증가하는 경향을 나타내었으나 1 kGy 이상의 조사 시료에서는 길이의 증가 대신 tail의 넓이나 농도의 변화를 나타내어, 조사 선량과 tail length의 상관관계 분석에서 국산 0.5002, 중국산 0.6617의 R^2를 나타내었다(Fig. 77). 한편, 국산 들깨는 비조사 시료에서 10 ㎛ 이상의 비교적 긴 tail을 가진 comet cell이 관찰되었으며, 조사 시료에서도 이와 유사한 경향을 나타내어 시료의 조사 여부 구분이 어려웠다(Fig. 78). 그러나, 중국산 들깨는 비조사 시료에서 intact cell을, 0.5 kGy 조사 시료에서는 intact cell과 긴 tail을 가진 comet cell을 동시에 나타내었으며, 1 kGy 이상의 조사 시료에서는 comet cell을 나타내었다(Fig. 79). 이에 대한 tail length 측정 결과 0.5 kGy 조사 시료에서는 다소 넓은 범위의 표준편차를 나타내었으나 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 가능하였으며, 조사 선량에 대한 tail length의 상관관계에서 R^2=0.5691을 나타내었다.(Fig. 80). 같은 들깨임에도 불구하고 국산 비조사 시료에서 tail을 가진 comet cell이 나타난 것은 시료의 수확 시기 및 저장 조건에 따른 차이로 사료되며, 국산 들깨의 경우는 조사 여부의 확인을 위해 TL과 같은 다른 검지 방법의 보완이 필요한 것으로 고려되었다.

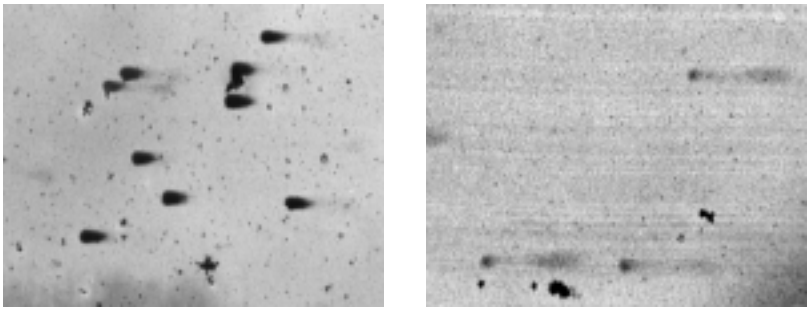

Fig. 76. DNA migration profile of Korean sesame seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 4 kGy).

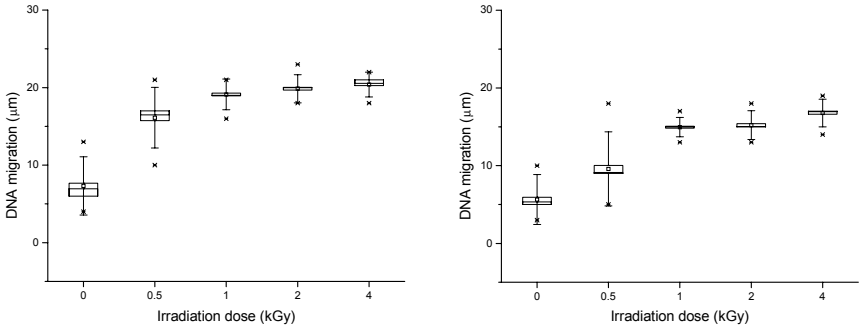

Fig. 77. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of sesame seed irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

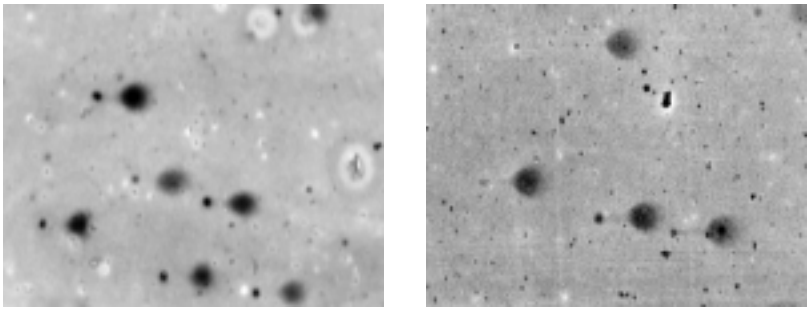

Fig. 78. DNA migration profile of Korean perilla seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 4 kGy).

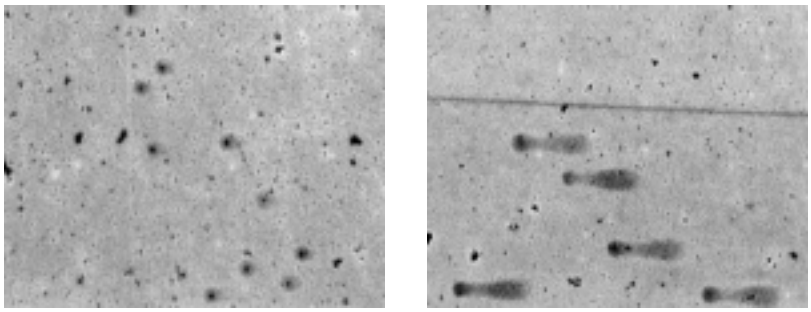

Fig. 79. DNA migration profile of Chinese perilla seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 4 kGy).

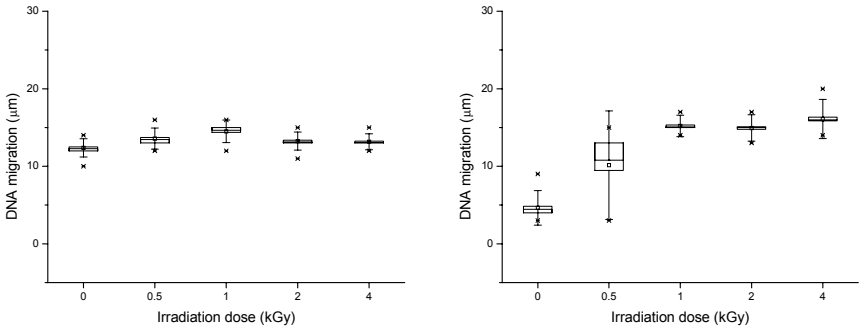

Fig. 80. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of perilla seed irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : Korea, right : China).

라. 과일류

DNA comet assay는 지금까지 여러 동물조직과 식물조직에 이용되었으며 일부 과일류에 대한 실험도 이루어졌으나 과일류의 comet assay는 일반적으로 씨를 추출하여 방사선 조사 여부를 확인하였으므로[35,36], 본 실험에서는 씨와 과육을 실험 재료로 사용하여 DNA comet assay에 적용 가능한 radiation induced marker를 검색하고자 하였다.

오렌지의 comet 양상을 현미경으로 관찰한 결과, 씨는 비조사 시료에서 intact cell이 관찰되기는 하였지만 그 비율이 매우 낮았고, 비조사 시료와 조사 시료 모두 comet 모양이 관찰되어 조사 선량에 따른 tail length 차이가 크지 않아 조사 여부의 확인이 어려웠다(Fig. 81). 오렌지 과육 또한 모든 선량에서 20~30 μm 정도의 tail을 가진 comet이 관찰되었다(Fig. 82). Cerda[37]는 신선 육류에서 저장 온도 및 기간에 따라 natural (enzymatic) degradation이 발생하여 DNA 손상을 일으킬 가능성이 있다고 하였는데,

오렌지의 경우도 수입 과정 중 저장 온도나 기간의 영향에 의해 시료의 조사 여부 확인이 불가능하였다고 사료된다. DNA migration 측정 결과, 씨에 비해 과육이 더 넓은 범위의 standard deviation과 standard error를 나타내었으나 씨와 과육 모두 조사 선량에 관계없이 일정한 tail length를 나타내었다(Fig. 83). 이상의 결과로 오렌지의 경우 씨와 과육 모두 DNA comet assay에서 marker로써의 적용 가능성이 낮음을 알 수 있었다.

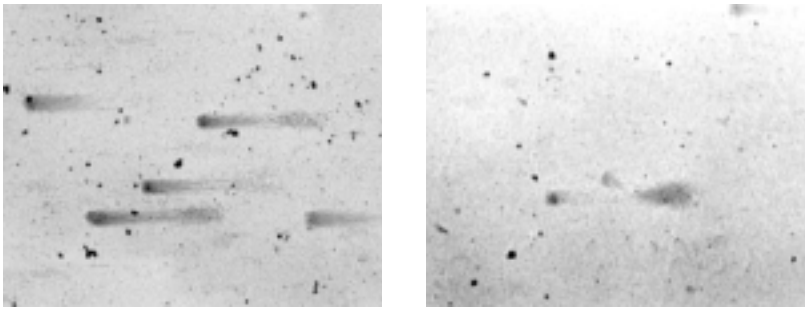

Fig. 81. DNA migration profile of orange seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

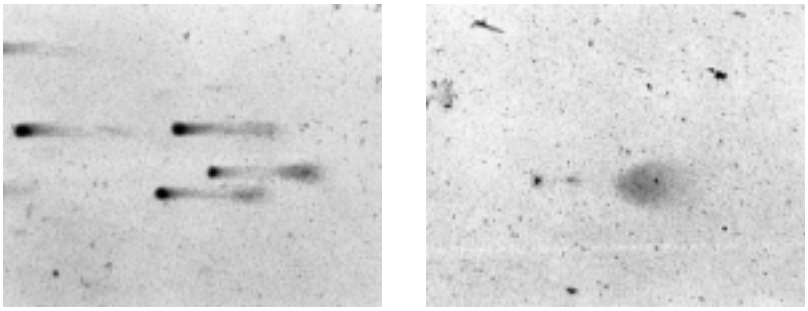

Fig. 82. DNA migration profile of orange flesh immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

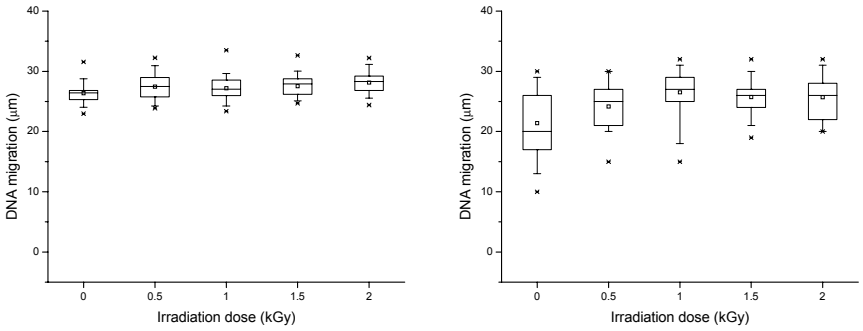

Fig. 83. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of orange irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : seed, right : flesh).

키위 comet의 현미경 관찰 결과는 Fig. 84 및 85와 같다. 씨의 경우 비조사 시료는 DNA 손상이나 전기장에 의한 이동이 없었기 때문에 대부분의 핵이 원형 또는 비교적 짧은 tail의 intact cell을 나타내었으나, 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 DNA 절단으로 인한 tailing 현상으로 comet 모양이 관찰되었다. 즉, 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 증가하였으며, tail end 부분이 head보다 좀 더 넓고 진하게 관찰되었다. 과육은 모든 선량에서 긴 tail을 가진 comet 모양을 나타내어 조사 여부의 판별이 어려웠다. Comet 양상 관찰 후 tail length 측정 및 유의성 검정 결과, 씨는 1 kGy까지 조사 선량에 대한 tail length가 유의적으로 증가하는 경향이었으나 그 이상의 선량에서는 뚜렷한 차이가 없었다($p<0.05$). 또한 조사 선량과 tail length의 상관 관계에서 R^2=0.83으로 정(+)의 상관 관계를 나타내어 조사 선량이 tail 길이에 영향을 미침을 알 수 있었다. 과육은 조사 선량에

대한 tail length간의 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과 방사선 조사 키위의 경우 DNA comet assay의 marker로 씨가 적합함을 알 수 있었다(Fig. 86).

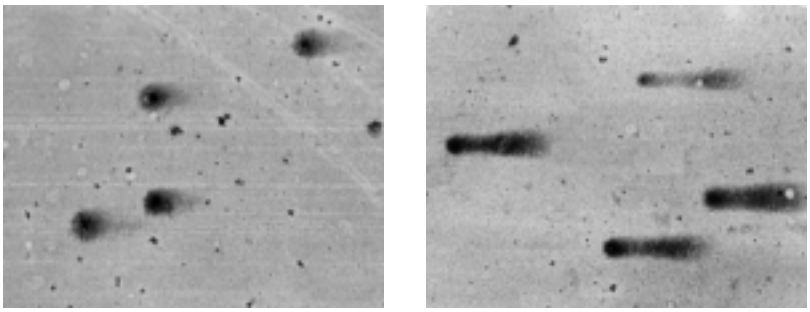

Fig. 84. DNA migration profile of kiwifruit seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

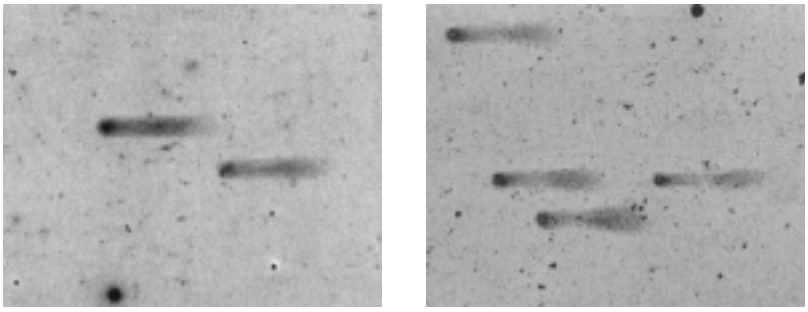

Fig. 85. DNA migration profile of kiwifruit flesh immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

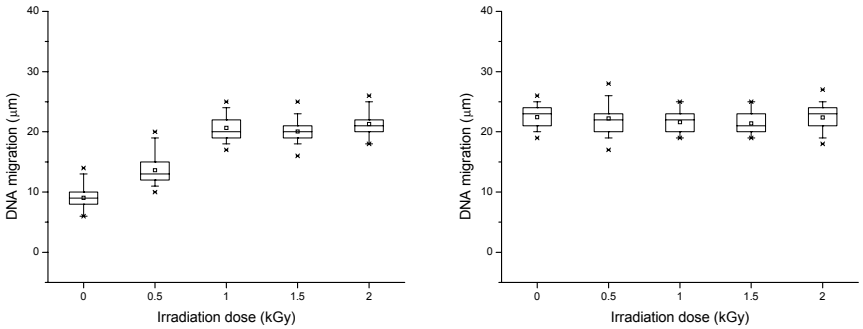

Fig. 86. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of kiwifruit irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : seed, right : flesh).

포도의 comet 관찰에서 씨와 과육 모두 비조사 시료에서는 10 ㎛ 내외의 tail length를 나타내는 전형적인 intact cell이 관찰되었으나, 조사 시료에서는 대부분의 핵이 긴 tail을 가지고 있었으며 조사 선량이 증가할수록 tail 내 DNA 농도의 차이로 인해 head 부분보다 tail 부분의 색이 진하게 관찰되었고 과육의 2 kGy에서는 tail이 head로부터 분리되는 현상도 관찰되었다(Fig. 87,88). DNA migration 측정 결과(Fig. 89), 씨의 tail length는 1 kGy까지 뚜렷한 증가를 보이다가 그 이상의 선량에서는 완만한 증가 곡선을 나타내었고($p<0.05$), 과육은 조사 선량이 증가할수록 tail length가 증가하는 경향으로 나타났다($p<0.05$). 조사 선량과 tail length의 상관 관계에서 포도 씨는 R^2=0.8162, 포도 과육은 R^2=0.9505로 정(+)의 상관 관계를 나타내어 조사 선량이 tail 길이에 영향을 미침을 알 수 있었다. Delincée[35]는 grapefruit의 씨를 이용한 DNA comet assay에서 본 실험과 유사한 결과를 나타내었고, Koppen과 Cerda[38]의 soya bean, lentil 등을 이용한 comet assay 실험도 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 가능하여 본 실험

의 결과를 잘 뒷받침해주고 있다. 이상의 결과로부터 DNA comet assay는 포도의 방사선 조사 여부를 판별하는 간단하고 신속한 screening 방법임을 확인하였다.

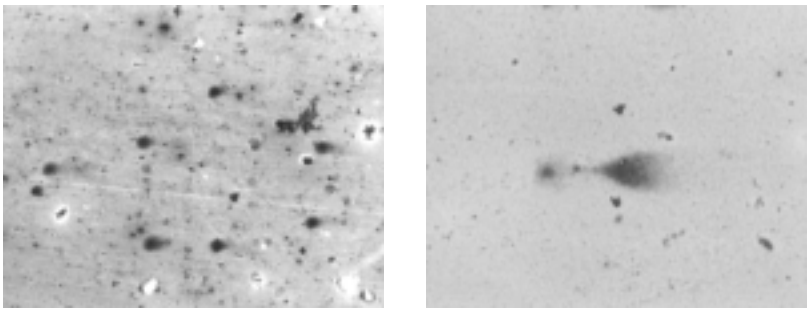

Fig. 87. DNA migration profile of grape seed immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

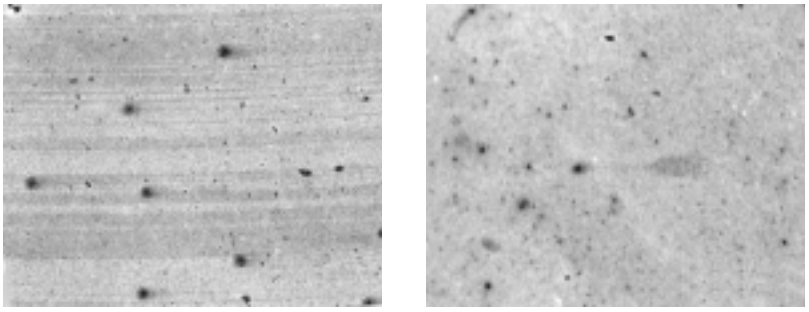

Fig. 88. DNA migration profile of grape flesh immediately after irradiation (left : non-irradiated, right : 2 kGy).

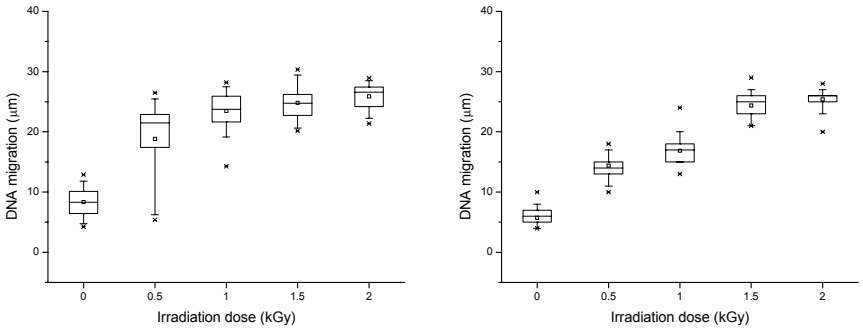

Fig. 89. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of grape irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left : seed, right : flesh).

마. 마늘・양파

마늘과 양파는 발아 억제 목적으로 허용된 0.15 kGy 선량을 기준으로 0.5 kGy 이하의 비교적 낮은 선량으로 조사하여, 조사 및 비조사 시료들 간의 차이가 적을 것으로 사료되었다. 그러나 comet의 tail을 분석한 결과 양파와 마늘 모두 비조사 시료의 경우 intact 하거나 10 ㎛ 내의 아주 짧은 tail을 나타낸 반면 0.05 kGy 조사 시료에서 모두 16 ㎛ 이상의 tail length를 나타내었고 0.25 kGy 이상에서는 꼬리가 핵으로부터 분리되어 나타났다(Fig. 90,91). 한편, 마늘과 양파의 조사 선량과 tail length 간의 상관관계에서 상관계수(R^2) 각각 0.68, 0.48을 나타내어 조사 선량이 tail length에 상당한 영향을 미치는 것을 나타났다(Fig. 92). 이상의 결과 DNA comet assay는 마늘 및 양파에 대한 screening 방법으로의 적용 가능성이 높음을 알 수 있었다.

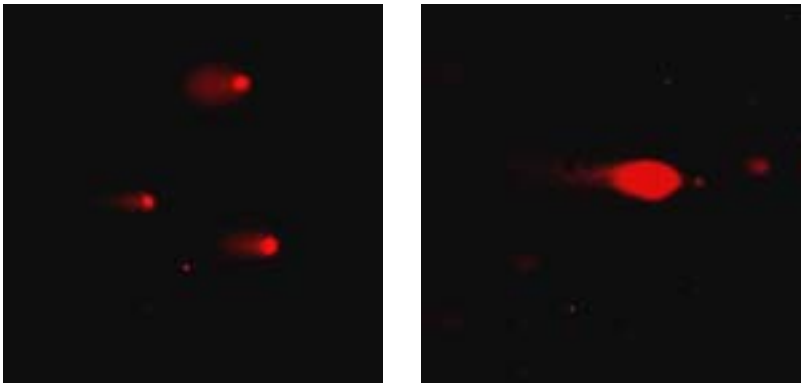

Fig. 90. DNA migration profile of garlic immediately after irradiation (left : non-irradiated, middle : 0.15 kGy, right : 0.5 kGy).

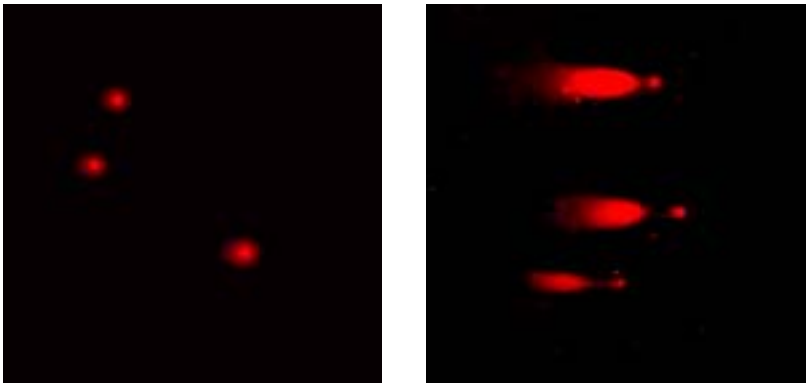

Fig. 91. DNA migration profile of onion immediately after irradiation (left : non-irradiated, middle : 0.15 kGy, right : 0.5 kGy).

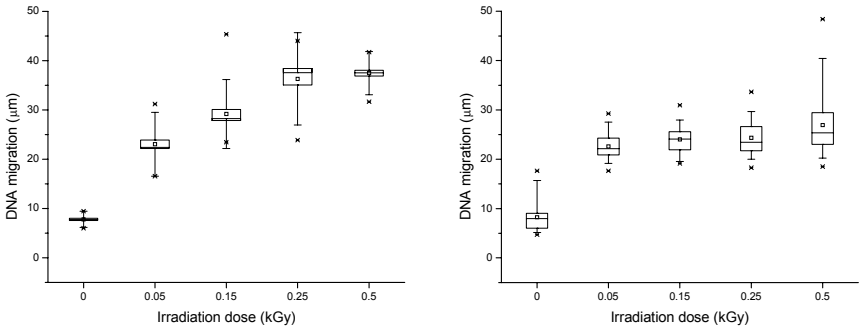

Fig. 92. Dose *vs.* tail length (㎛) of the comet from 100 nuclei of garlic (left) and onion (right) irradiated at different levels. Values shown are mean (▪), standard deviation (bars) and standard error (boxes).

2. Comet의 저장 안정성 확인

가. 곡류

곡류에 대한 DNA의 저장 안정성 확인을 위해 저장 온도 및 기간이 comet에 미치는 영향을 알아보았다(Table 19). 현미는 조사 직후 실험에서 비조사 시료(tail length 10 ㎛ 미만)와 0.5 kGy 조사 시료(tail length 15 ㎛ 이상)의 구분이 가능하였으며, 조사 선량의 증가에 따른 tail length의 증가를 보여주었다. 이와 같은 경향은 저장 4개월의 상온 및 저온 시료와 저장 8개월의 저온 시료에서도 지속되어, 현미의 DNA는 저장 온도 및 기간에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 원산지에 따른 차이 또한 크지 않았다. 한편, 국산 메밀의 경우 조사 직후 실험에서 tail length에 대한 비조사 시료와 조사 시료의 차이를 나타내어 조사 여부 확인이 가능하였으나, 저장 4개월부터 상온 및 저온 저장 시료 모두 비조사 시료에서 tail을 가진 comet cell이 확인되어 시료간의 구분이 불가능하였다. 중국산

메밀은 조사 직후 실험에서 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 가능하였고, 4개월 저장 후 상온 저장 시료는 비조사 시료에서 comet cell을 나타낸 반면, 저온 저장 시료는 비조사 시료에서 intact cell을 나타내어 조사 시료와의 구분이 가능하였다. 그러나 저온 저장 시료도 8개월 저장 후에는 비조사 시료에서 DNA migration을 나타내어 조사 여부의 구분이 불가능하였다. 상온 저장 시료는 8개월 째에 변질을 나타내어 실험에서 제외하였다.

Table 19. Mean length (㎛) of the comet from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated cereals by comet assay

Sample	Origin	Temp.	Period (month)	0 kGy		0.5 kGy		1 kGy		2 kGy		4 kGy	
				$\bar{x}$[1]	s_x[2]	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Brown rice	Korea	R.T.[3]	0	6.80	1.68	15.24	3.91	20.30	4.21	21.72	2.55	22.34	3.83
			4	7.22	1.09	19.89	1.23	23.70	2.21	25.70	2.21	25.48	1.65
		L.T.	4	6.68	1.14	18.96	1.35	22.17	1.44	21.45	1.98	24.86	1.99
			8	7.57	1.21	20.08	2.81	26.14	1.68	25.23	1.42	27.78	1.57
	China	R.T.	0	7.28	0.93	14.70	3.00	21.25	1.78	22.09	3.34	22.73	1.72
			4	6.23	0.95	20.32	1.88	22.09	2.08	22.21	1.37	24.52	2.04
		L.T.	4	5.07	1.04	17.43	1.16	21.11	1.22	22.03	1.46	23.32	1.95
			8	6.27	2.22	16.87	2.22	27.64	3.56	27.14	2.96	27.03	4.67
Buck-wheat	Korea	R.T.	0	6.80	1.68	20.22	3.91	21.55	4.21	22.73	2.55	24.20	3.83
			4	18.50	1.20	17.84	1.41	19.37	1.29	20.74	2.11	22.56	1.38
		L.T.	4	17.23	1.66	18.08	1.43	19.71	1.70	20.66	1.81	21.13	1.36
			8	25.17	1.84	24.32	1.63	24.43	3.16	22.55	1.42	24.54	1.57
	China	R.T.	0	7.62	2.39	16.87	1.30	17.82	1.94	19.12	2.11	20.93	2.27
			4	17.65	1.40	16.27	0.94	18.15	1.22	19.06	1.05	19.03	1.10
		L.T.	4	6.81	1.19	16.11	1.32	17.96	1.60	20.77	1.31	21.30	1.25
			8	23.06	6.24	28.57	1.56	28.56	2.15	28.48	1.54	29.73	1.39

[1] $\bar{x}$: mean.

[2] s_x : standard deviation.

[3] R.T. : Room temperature, L.T. : Low Temperature.

나. 두류

두류 중 대두, 땅콩 및 적두에 대해 저장 온도 및 저장 기간이 DNA 변화에 미치는 영향을 알아보았다(Table 20). 대두는 조사 직후 실험에서 시료의 조사 여부 확인이 가능하였으나, 4개월 저장 후 상온 저장 시료에서는 비조사 시료에서 comet cell을 나타내고 저온 저장 시료에서는 비조사 시료에서 intact cell을 나타내어 비조사 시료에 대한 저장 중 온도 변화의 영향을 보여주었다. 그러나 저온 저장 시료도 8개월 후에는 비조사 시료에서 tail length 28 ㎛ 이상의 comet cell을 나타내어 시료의 조사 여부 확인이 불가능하였다. 땅콩 또한 조사 직후 실험에서 조사 시료의 tail length가 비조사 시료의 2배 이상을 나타내어 시료의 조사 여부 구분이 가능하였다. 그러나 저장 4개월 후 실험의 경우 상온 저장 시료는 비조사 시료에서 comet cell을, 저온 저장 시료는 intact cell을 나타내어 DNA에 대한 저장 온도 및 기간의 영향을 보여주었다. 저온 저장 8개월에서 비조사 시료는 intact cell을, 조사 시료는 comet cell을 나타내어 조사 여부의 확인이 여전히 가능하였으나, comet cell의 tail length는 4개월 전에 비해 60% 정도의 증가 추세를 보여 주었다. 적두는 조사 직후부터 비조사 시료에서 tail length 30 ㎛ 이상의 comet cell을 나타내어 조사 여부에 따른 차이를 나타내지 않았으며, 이러한 경향은 저장 8개월 동안 저장 온도와 저장 기간에 관계없이 일정하였다. 한편, 적두의 저온 저장 8개월 째 시료에서 나타난 comet 중 일부는 head의 DNA가 거의 사라지고 tail 부분만이 구름처럼 보이는 현상도 보여주었으며, 이런 comet은 tail length 측정 대상에서 제외하였다. 모든 시료에서 원산지별 차이는 크게 나타나지 않았으며, 대두, 땅콩 및 적두의 상온 저장 시료는 8개월 째에 변질을 나타내어 실험에서 제외시켰다.

Table 20. Mean length (㎛) of the comet from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated legumes by comet assay

Sample	Origin	Temp.	Period (month)	0 kGy		0.5 kGy		1 kGy		2 kGy		4 kGy	
				$\bar{x}$[1]	s_x[2]	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Soy-bean	Korea	R.T.[3]	0	7.56	1.00	15.05	2.52	23.32	2.08	23.26	2.52	23.77	2.08
			4	27.65	1.65	26.81	1.30	28.13	1.56	28.43	1.82	29.66	2.27
		L.T.	4	9.97	1.16	24.25	1.74	29.13	2.06	29.69	1.72	29.34	2.64
			8	29.72	2.97	28.89	3.01	28.23	2.95	29.25	3.43	28.35	4.70
	China	R.T.	0	7.65	3.38	19.20	3.68	23.65	3.34	25.75	2.22	25.95	2.96
			4	27.60	1.59	27.78	1.92	28.05	2.06	29.54	2.22	29.48	2.01
		L.T.	4	8.19	1.02	23.55	1.27	28.78	1.27	28.18	1.34	29.50	1.77
			8	27.95	2.24	28.38	2.30	28.37	2.35	27.67	2.83	28.31	2.28
Pea-nut	Korea	R.T.	0	5.39	1.48	12.34	4.18	20.65	3.48	20.11	3.41	21.84	3.07
			4	16.49	1.43	19.64	1.95	19.96	2.15	21.79	1.34	23.32	2.29
		L.T.	4	5.87	0.73	10.59	1.87	16.98	1.88	17.64	1.55	18.04	1.63
			8	8.64	1.71	17.16	5.71	26.53	2.20	27.38	1.71	28.71	1.63
	China	R.T.	0	5.64	1.32	14.91	6.17	21.64	1.81	22.41	2.35	23.91	1.45
			4	20.63	1.88	20.03	1.37	22.45	2.04	22.68	2.15	23.11	2.12
		L.T.	4	6.15	1.01	12.20	3.28	19.76	1.38	19.53	1.96	20.52	1.95
			8	7.13	1.41	18.66	5.19	24.46	1.83	26.59	1.92	26.38	1.52
Red bean	Korea	R.T.	0	32.33	4.73	30.33	5.03	32.67	2.52	30.67	7.02	31.00	6.08
			4	30.05	3.74	32.87	3.15	31.25	4.56	31.52	3.32	32.54	5.32
		L.T.	4	29.26	2.25	28.27	2.76	29.54	3.07	28.18	3.98	31.10	4.99
			8	30.02	4.93	29.61	5.17	30.53	3.12	32.62	3.79	32.44	6.11
	China	R.T.	0	31.50	3.63	31.20	3.33	30.00	3.20	32.60	5.38	30.60	8.30
			4	30.42	1.91	29.75	1.51	29.46	1.46	30.58	1.93	30.32	1.72
		L.T.	4	27.66	1.21	29.34	1.90	30.66	2.59	30.48	1.95	30.87	1.42
			8	29.46	2.20	28.70	2.96	29.64	3.78	29.89	1.49	30.42	1.97

[1] $\bar{x}$: mean.

[2] s_x : standard deviation.

[3] R.T. : Room temperature, L.T. : Low Temperature.

다. 유지종실류

유지종실류의 상온 저장 중 comet 변화를 관찰하였다(Table 21). 국산 참깨의 경우 방사선 조사 직후에는 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 가능하였으나, 저장 4개월부터는 비조사 시료에서 약 15 ㎛ 이상의 tail length를 나타내는 comet cell이 관찰되어 시료의 조사 여부 확인이 불가능하였다. 이에 비해 중국산 참깨는 저장 8개월까지도 비조사 시료에서 intact cell이 관찰되어 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 가능하였다. 조사 시료의 tail length는 국산과 중국산 모두 저장 기간 동안 큰 변화를 나타내지 않았다. 한편, 국산 들깨는 방사선 조사 직후부터 비조사 시료와 조사 시료 모두가 comet cell을 나타내어 시료의 조사 여부 확인이 불가능하였으며, 저장 4개월에서 tail length가 2배정도 증가하는 경향을 나타내었고, 이는 저장 8개월까지 지속되었다. 반면 중국산 들깨는 저장 8개월 동안 모든 비조사 시료에서 약 5 ㎛ 내외의 intact cell을 조사 시료에서 10 ㎛ 이상의 comet cell을 나타내어 조사 여부의 확인이 가능하였으며, 저장 중 길이 변화는 크지 않았다.

Table 21. Mean length (㎛) of the comet from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated oil plants by comet assay

Sample	Origin	Period (month)	0 kGy		0.5 kGy		1 kGy		2 kGy		4 kGy	
			$\bar{x}$[1)]	s_x[2)]	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Sesame	Korea	0	7.32	2.50	16.12	2.61	19.12	1.32	19.86	1.21	20.40	1.07
		4	14.52	3.15	18.66	1.67	18.55	1.94	17.83	1.93	20.17	2.62
		8	19.67	2.15	20.82	1.57	19.53	2.04	19.63	1.49	20.83	2.34
	China	0	5.64	2.15	9.58	3.18	14.96	0.83	15.22	1.23	16.78	1.18
		4	9.64	1.55	15.77	4.56	17.74	1.27	17.95	1.32	18.13	1.27
		8	9.56	1.37	15.08	4.95	17.97	1.28	19.79	1.42	19.51	1.28
Perilla	Korea	0	12.38	0.78	13.58	0.91	14.52	0.97	13.26	0.78	13.16	0.68
		4	28.04	1.67	28.72	3.40	28.24	2.05	27.32	1.91	28.36	1.66
		8	27.15	1.51	28.42	2.54	27.42	1.95	28.63	2.37	28.23	1.57
	China	0	4.64	1.48	13.14	4.68	15.20	0.93	14.94	1.13	16.10	1.68
		4	5.98	2.22	19.78	2.41	21.00	1.41	22.28	3.79	22.80	1.25
		8	5.15	1.57	17.56	2.28	18.82	1.45	20.22	2.51	19.83	1.54

[1)] $\bar{x}$: mean.

[2)] s_x : standard deviation.

라. 과일류

신선 과일류의 저장 기간 중 comet의 변화 및 측정 가능성을 알아보기 위하여, 방사선 조사 후 4℃에서 6주의 저장 기간동안 DNA comet을 관찰하였다. 저장 초기부터 비조사 시료에서 tailing 현상을 보여 조사 시료와의 구분이 불가능하였던 오렌지는 저장 6주 동안 비슷한 경향을 유지하였으며, tail length에도 큰 변화를 나타내지 않았다. 키위 또한 씨와 과육 모두 저장 6주 동안 tail length 변화를 거의 나타내지 않았으며, 키위 씨는 6주 후에도 저장 초기의 경향이 유지되어 조사 여부의 확인이 여전히 가능하였다. 포도의 경우 씨와 과육의 비조사 시료는 저장 기간동안 comet의 변화

가 없었으나, 조사 시료는 저장 기간이 길어짐에 따라 comet 길이가 길어져 조사 직후에 비해 저장 6주 후의 tail length는 씨의 경우 평균 25.33%, 과육의 경우 평균 24.14% 정도의 증가를 나타내었으며 저장 6주 후에도 조사 여부의 확인이 가능한 것으로 나타났다(Table 22).

Table 22. Mean length (㎛) of the comet from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated fruits by comet assay

Sample	Part	Period	0 kGy		0.5 kGy		1 kGy		1.5 kGy		2 kGy	
		(week)	$\bar{x}$[1)]	s_x[2)]	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Orange	Seed	0	26.35	1.61	27.45	2.08	27.20	2.00	27.53	1.60	28.15	1.73
		3	26.49	2.02	28.07	2.11	27.13	2.07	27.55	1.36	28.34	1.95
		6	27.79	2.09	27.80	1.99	27.43	1.76	27.83	2.40	28.31	2.03
	Flesh	0	21.40	5.40	24.16	3.39	26.52	3.45	25.72	2.89	25.70	3.52
		3	21.36	5.88	24.56	3.30	27.00	2.95	26.16	3.15	26.40	3.37
		6	23.70	3.16	26.00	1.85	27.86	1.91	27.84	2.01	28.70	2.62
Kiwifruit	Seed	0	9.06	1.87	13.64	2.40	20.66	1.98	20.06	1.57	21.28	1.94
		3	8.14	1.43	13.24	2.50	19.42	1.37	20.02	1.48	19.98	1.19
		6	8.32	0.87	12.94	1.99	19.86	1.78	20.08	1.35	20.04	1.09
	Flesh	0	22.44	1.89	22.22	2.29	21.60	1.64	21.40	1.69	22.38	1.98
		3	17.98	1.82	19.08	2.00	20.18	1.67	19.96	1.52	21.30	1.22
		6	19.44	1.69	20.48	2.41	20.32	1.65	22.20	1.47	21.32	1.68
Grape	Seed	0	8.35	2.13	18.83	6.36	23.45	2.81	24.82	2.69	25.88	1.98
		3	8.10	1.53	25.53	1.71	25.22	6.32	29.92	1.55	30.14	2.23
		6	7.28	1.68	26.68	1.94	27.60	2.96	29.50	1.64	30.63	1.98
	Flesh	0	6.74	1.47	14.38	1.69	16.86	1.93	24.36	1.89	25.40	1.48
		3	6.85	1.42	18.12	1.25	20.64	1.47	27.12	1.13	29.82	1.43
		6	7.12	1.47	19.88	1.43	21.96	2.29	28.08	1.36	29.86	1.86

[1)] $\bar{x}$: mean.

[2)] s_x : standard deviation.

마. 마늘・양파

마늘에 대한 comet의 안전성 연구를 위해 저장 조건 및 기간에 따른 특성을 관찰하였다(Table 23). 조사 직후 비조사 시료에서 intact cell을 나타내어 조사 시료와의 차이를 나타내었던 마늘을 채광, 상온 암실 및 저온 암실에서 저장하였다. 4개월 후 채광 및 상온 암실에 저장되었던 마늘은 비조사 시료에서 30 ㎛ 이상의 tail length를 가진 comet cell을 나타내어 조사 시료와의 구분이 불가능하였으며, 저온 암실에 저장되었던 마늘 또한 비조사 시료에서 comet cell을 나타내어 조사 시료와 유사한 경향을 나타내었으나 채광 및 상온 암실 시료보다 비교적 짧은 tail length를 나타내었다. 8개월 저장 후 채광 및 상온 암실 시료는 상태 불량으로 실험에서 제외하였으며, 저온 암실 시료의 tail length 측정 결과 시료의 조사 여부의 확인은 불가능하였다. 이상의 실험에서 마늘의 경우 저장 조건에 따라 장기간 저장도 가능하였으나, 방사선 조사 및 저장 조건에 대한 DNA 손상을 정확하게 확인하기 위해 저장 기간의 조정이 필요한 것으로 사료된다.

Table 23. Mean length (㎛) of the comet from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated garlic by comet assay

Sample	Period (month)	Con-dition	0 kGy		0.05 kGy		0.15 kGy		0.25 kGy		0.5 kGy	
			$\bar{x}$[1]	s_x[2]	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Garlic	0		7.80	1.08	23.03	4.31	29.18	4.66	36.30	6.24	37.47	2.92
	4	L	36.01	2.18	37.58	1.70	36.01	1.96	37.57	1.85	37.55	2.18
		R & D[3]	35.47	2.06	36.93	2.35	36.80	2.69	35.93	2.45	36.51	2.92
		L & D	29.62	1.20	33.81	1.44	32.08	2.10	34.28	2.05	36.15	2.33
	8	L & D	37.76	2.88	38.75	1.99	37.06	2.53	36.18	2.34	38.46	2.03

[1] $\bar{x}$: mean.

[2] s_x : standard deviation.

[3] R & D : Room temp. & Darkroom, L & D : Low temp. & Darkroom.

3. DNA comet assay에 의한 미지 시료의 검증

이상에서 설정된 DNA comet assay 검지 조건의 신뢰도를 확인하기 위하여 공동검증시험기관인 식품의약품안전청과 국립농산물품질관리원으로부터 제공받은 현미(n=30), 땅콩(n=30) 및 키위(n=30) 미지 시료를 대상으로 조사 여부의 확인 시험을 실시하였다. 먼저 현미경을 통한 육안 관찰에 의해 tail의 생성 여부를 확인한 후, 각 시료에 대해 100개의 cell을 대상으로 tail length 측정하였다. 이를 분석하여 각각의 calibration curve에 대입한 후 조사 여부 확인 및 흡수 선량을 예측하였다. 이 결과를 미지 시료를 제공한 상기 기관에 첨부하여 방사선 조사 기록과 대조함으로써 comet assay의 신뢰성을 평가하였다.

가. 현미

DNA comet assay는 TL, ESR 등과는 달리 시료의 조사 여부를 신속하게 확인하기 위한 screening 방법이다. 본 실험에서는 시료의 tail 발생 여부, tail 길이 및 농도, head와 tail과의 분리 정도 등을 바탕으로 시료의 조사 여부를 분석하였으며, calibration curve 작성에 사용한 시료의 조사 선량에 근거하여 0 kGy, 0.5~1 kGy, 2 kGy 이상 등으로 조사 선량을 예측하였다. 현미의 blind test 결과, 총 30개의 시료 중 3개는 intact cell을 나타내어 방사선 조사되지 않은 것으로, 27개는 15 ㎛ 이상의 tail을 보이면서 head와의 분리도 나타내어 방사선 조사된 시료로 판정하였으며, 이 결과를 실제 조사 선량과의 비교 결과 100%의 정확도를 나타내었다(Table 24). 한편 1.02 kGy 조사 시료의 경우 모두 0.5~1 kGy 예측 선량을, 2.93 및 9.96 kGy 조사 시료의 경우 대부분 2 kGy 이상의 예측 선량을 나타내

어 TL 및 ESR 결과와의 비교 시 정확한 선량 예측에 큰 효용성을 나타내지는 못했으나, DNA comet assay는 신속하고 간단한 screening 방법으로 적당함을 확인할 수 있었다.

Table. 24. Blind test of coded brown rices by DNA comet assay

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0	16	2.93	over 2
2	0.00	0	17	2.93	0.5/1
3	0.00	0	18	1.02	0.5/1
4	9.96	over 2	19	2.93	over 2
5	1.02	0.5/1	20	1.02	0.5/1
6	2.93	over 2	21	9.96	over 2
7	9.96	over 2	22	2.93	over 2
8	9.96	over 2	23	2.93	over 2
9	1.02	0.5/1	24	9.96	over 2
10	2.93	0.5/1	25	9.96	over 2
11	9.96	over 2	26	1.02	0.5/1
12	1.02	0.5/1	27	2.93	over 2
13	2.93	over 2	28	9.96	over 2
14	1.02	0.5/1	29	1.02	0.5/1
15	9.96	over 2	30	1.02	0.5/1

나. 땅콩

DNA comet assay에 의한 땅콩의 blind test 결과는 Table 25와 같다. 총 30개의 시료 중 3개는 intact cell 혹은 10 ㎛ 내의 짧은 tail을 나타내어 비조사 시료인 것으로, 27개 시료는 comet cell을 나타내어 조사 시료인 것

으로 확인되었으며, 이와 같은 조사 여부 판정은 실제 조사 결과와 100% 일치하였다. 그러나 선량 예측에서는 1.02 및 2.93 kGy 조사 시료의 경우 대부분 0.5~1 kGy를, 9.96 kGy 조사 시료의 경우 2 kGy 이상의 결과를 나타내어, 조사 여부의 확인 혹은 저선량 및 고선량의 구분에는 유용하나 정확한 선량 예측은 어려운 것으로 나타났다. 따라서 땅콩의 방사선 조사 여부 검지에서 DNA comet assay는 intact cell 및 comet cell을 구분하는 간단하고 신속한 검지로의 활용이 기대된다.

Table. 25. Blind test of coded peanuts by DNA comet assay

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0	16	2.93	0.5/1
2	0.00	0	17	1.02	0.5/1
3	0.00	0	18	9.96	over 2
4	2.93	0.5/1	19	9.96	over 2
5	9.96	over 2	20	2.93	0.5/1
6	1.02	0.5/1	21	1.02	0.5/1
7	1.02	0.5/1	22	9.96	over 2
8	2.93	0.5/1	23	2.93	0.5/1
9	9.96	over 2	24	1.02	0.5/1
10	2.93	0.5/1	25	9.96	over 2
11	9.96	over 2	26	1.02	0.5/1
12	9.96	over 2	27	2.93	0.5/1
13	1.02	0.5/1	28	1.02	below 0.5
14	2.93	0.5/1	29	2.93	0.5/1
15	1.02	0.5/1	30	9.96	over 2

다. 키위

키위의 경우 씨가 DNA comet의 marker로 적합하였으므로, 씨를 이용한 blind 시료의 조사 여부 및 선량 예측 결과는 Table 26과 같다. 키위 씨의 calibration curve 결과에서 조사 선량의 증가에 따라 tail length가 증가하는 경향을 나타내었지만, 1 kGy 이상의 선량에서는 길이의 증가보다는 tail의 농도가 진해지는 경향을 나타내어 1.5 kGy 이상의 조사 시료는 선량 예측에 어려움이 있었다(Fig. 74). 선량 예측 결과 1.73 kGy 조사 시료는 0.5 kGy 이하 내지 0.5~1 kGy의 예측 선량을, 2.93 및 5.22 kGy 조사 시료는 모두 1.5 kGy 이상을 나타내어 조사 여부 확인에서는 100% 정확도를 보인 반면 선량 예측에는 큰 효용성을 나타내지 못하였다. 그러나, 현미 및 땅콩 등의 blind test 결과와 같이 DNA comet assay는 조사 여부의 확인을 위한 신속하고 정확한 screening 방법으로의 활용이 기대되었다.

Table. 26. Blind test of coded kiwifruits by DNA comet assay

Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)	Coded No.	Absorbed dose (kGy)	Estimated dose (kGy)
1	0.00	0	16	1.73	below 0.5
2	0.00	0	17	5.22	over 1.5
3	0.00	0	18	1.73	below 0.5
4	5.22	over 1.5	19	2.93	over 1.5
5	2.93	over 1.5	20	5.22	over 1.5
6	5.22	over 1.5	21	1.73	below 0.5
7	2.93	over 1.5	22	1.73	below 0.5
8	1.73	0.5/1	23	2.93	over 1.5
9	5.22	over 1.5	24	2.93	over 1.5
10	1.73	0.5/1	25	2.93	over 1.5
11	1.73	0.5/1	26	5.22	over 1.5
12	5.22	over 1.5	27	1.73	below 0.5
13	2.93	over 1.5	28	5.22	over 1.5
14	1.73	0.5/1	29	2.93	over 1.5
15	2.93	over 1.5	30	5.22	over 1.5

4. 광자극 발광(PSL)에 의한 모델시료의 검지 특성

가. 곡류

현미의 whole sample을 사용하여 감마선 조사 선량(0~4 kGy)에 따른 photon count를 측정해 본 결과, Table 27과 같이 국산 및 중국산 현미 모두 비조사 시료와 조사 시료 사이에 329~3812 범위의 photon count를 나타내면서 큰 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과는 PPSL system에 설정된

기준(negative : 700 photon count 이하, positive : 5,000 photon count 이상)과의 비교 시 조사 여부의 screening 방법으로써는 적용 가능성이 없는 것으로 나타났으며, 현미에 대한 보다 정확한 PPSL 적용 가능성을 확인하기 위해서는 광물질의 분리 후 측정 연구가 필요한 것으로 판단되었다[33]. 메밀은 비조사 시료의 경우 867 photon counts(국산), 1,165 counts(중국산)로, 두 시료 모두 negative 값(T_1) 보다 높은 수치를 보여 주었다. 이는 사용된 메밀에 함유되었거나 부착된 미네랄의 종류와 양에 영향을 받은 것으로 사료되며, PSL 측정시 시료의 양을 표준화하는 것이 필요할 것으로 생각된다[39]. 한편, 조사 시료(0~4 kGy)의 경우 국산은 144,000 counts 이상, 중국산은 88,000 counts 이상으로 비조사 시료와 뚜렷한 차이를 나타내었다. 즉, 메밀은 비조사 시료와 조사 시료 사이에 분명한 차이를 보였으나 본 PPSL system의 negative 값(700 photon count 이하)에 대한 적용이 되지 않았으므로 이에 대한 측정 조건의 검토가 요망되었다.

Table 27. Threshold value of irradiated cereals measured by PSL

(unit : photon count)

Sample	Origin	Irradiation dose (kGy)				
		0	0.5	1	2	4
Brown rice	Korea	329 (-)[1)]	748 (M)	2779 (M)	1174 (M)	2786 (M)
	China	410 (-)	2129 (M)	3812 (M)	892 (M)	823 (M)
Buckwheat	Korea	867 (M)	144395 (+)	398981 (+)	495800 (+)	474748 (+)
	China	1165 (M)	22560 (+)	88974 (+)	132029 (+)	102285 (+)

[1)]Threshold value : T_1=700(negative, non-irradiated), T_2=5000(positive, irradiated) [(-) : < T_1, (M) : T_1 ~ T_2, (+) : > T_2].

나. 두류

두류의 PSL 측정 결과 대두, 땅콩, 적두 및 녹두의 비조사 시료에서는 276~420 범위의 photon count를 나타내어 국산과 중국산 모두 lower threshold value 이하의 negative한 값을 보였다. 그리고 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 녹두를 제외한 3가지 두류에서 upper threshold value인 5000 이상의 photon count를 보여 radiation positive한 시료로 판단할 수 있었다(Table 28). 이상과 같이 대두, 땅콩, 적두에 대한 PSL 측정 결과에서 비조사 시료와 0.5 kGy 이상 조사 시료와의 판별은 가능하였고, 원산지에 따른 차이는 없었다. 한편, 조사 시료의 photon count는 조사 선량에 반드시 유의적으로 증가하는 것은 아니었으며, 이 같은 경향은 Sanderson 등[31]의 보고와 일치하였다. 이는 측정 시료의 미네랄 함량과 조성의 차이에서 비롯되었다고 볼 수 있으며[30-32], 이와 관련하여 이 등[33]은 시료 자체보다는 분리된 미네랄을 측정 시료로 사용할 때 시료의 함량과 조사 선량에 따른 photon count의 변화가 보다 높은 상관성을 보였다고 보고하였다.

Table 28. Threshold value of irradiated legumes measured by PSL

(unit : photon count)

Sample	Origin	Irradiation dose (kGy)				
		0	0.5	1	2	4
Soybean	Korea	332 (-)[1)]	7499 (+)	8535 (+)	7053 (+)	9746 (+)
	China	323 (-)	6116 (+)	24702 (+)	8240 (+)	8063 (+)
Peanut	Korea	420 (-)	7626 (+)	6362 (+)	12688 (+)	12082 (+)
	China	318 (-)	4488 (M)	8553 (+)	7752 (+)	15843 (+)
Red bean	Korea	390 (-)	6183 (+)	9708 (+)	8279 (+)	30611 (+)
	China	359 (-)	13378 (+)	25368 (+)	51756 (+)	39139 (+)
Mung bean	Korea	321 (-)	1045 (M)	1244 (M)	1017 (M)	1016 (M)
	China	276 (-)	900 (M)	3241 (M)	5237 (+)	10831 (+)

[1)]Threshold value : T_1=700(negative, non-irradiated), T_2=5000(positive, irradiated) [(-) : < T_1, (M) : T_1 ~ T_2, (+) : > T_2].

다. 마늘

마늘의 방사선 조사 여부 검지를 위한 PSL 방법의 적용 가능성을 검토하였다. 측정 결과 Table 29와 같이 비조사 시료에서 256 photon count를 나타내어 negative한 것으로 확인되었으며, 0.05 kGy 이상의 조사 시료에서는 모두 8000 이상의 photon count를 나타내면서 positive(> 5000 photon counts)한 결과로 나타났다. 마늘도 두류에서와 같이 조사 선량과 photon count의 변화는 완전히 의존적이지는 않았으며, 전체적으로 매우 낮은 선량임에도 불구하고 비조사 시료와 조사 시료의 판별은 PSL 측정에 의해 가능한 것으로 나타났다.

Table 29. Threshold value of irradiated garlic measured by PSL

(unit : photon count)

Sample	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1	2	4
Garlic	256 (-)[1)]	31244 (M)	42451 (M)	8129 (M)	146336 (M)

[1)]Threshold value : T_1=700(negative, non-irradiated), T_2=5000(positive, irradiated) [(-) : < T_1, (M) : T_1 ~ T_2, (+) : > T_2].

이상의 결과를 종합해 볼 때, 시료의 PSL 검지 특성은 원산지별로 거의 차이가 없었으며, 녹두를 제외한 두류와 마늘에서 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다. 특히 본 PSL 실험에서 사용된 일부 시료는 구입 및 전처리 시 빛에 일부 노출되었음에도 불구하고 조사 여부의 검지가 가능하였으므로 향후 국내에 대량으로 수입되는 농산물과 식품류의 방사선 조사 여부를 신속하게 screening할 수 있는 방법으로 그 가능성이 확인되었다. 그러나 PSL 측정의 신뢰도 향상과 적용 범위를 넓히기 위해서는 포획 여기 전자의 포화를 가져오는 한계 선량의 설정과 미네랄 양의 관계, 그리고 측정 시료의 채취 부위 등에 대한 보완 실험이 필요하며[39], 이는 다수의 미지 시료에 대한 보다 신속하고도 정확한 검지를 위한 다중검지 체계의 확립에도 중요한 기반이 될 것이다[33,40].

제 4 절 결론

방사선 처리 농산물의 수입 관리에 필요한 검지방법으로서 DNA comet assay 및 PSL의 screening 분석 체계 개발을 위하여, 곡류, 두류, 유지종실류, 과일류 및 마늘·양파에 대한 검지 특성을 연구하였다. DNA comet 측정에서 곡류(현미, 메밀), 두류(대두, 땅콩, 녹두), 유지종실류(참깨, 들깨), 과일류(키위, 포도)는 비조사 시료에서 대부분의 핵이 원형 또는 비교적 짧은 tail의 intact cell을 나타내었다. 그러나, 조사 시료에서는 tailing 현상으로 대부분의 핵이 긴 tail을 가진 comet 모양으로 관찰되었으며, tail length 또한 선량 의존적으로 증가하였다. 한편, 과일의 경우 시료의 부위(씨, 과육)마다 다른 결과를 보여주었다. 저장 조건 및 저장 기간에 대한 DNA comet 안정성을 측정하여 본 결과, 현미 및 땅콩의 경우 저온 저장 시 약 8개월까지, 참깨 및 들깨는 상온 저장 시 약 8개월까지, 키위 및 포도의 경우도 저온 저장 6주까지 조사 여부 확인이 가능하였다. 한편, 본 실험에서 설정된 DNA comet assay 조건의 신뢰도를 확인하기 위하여 현미, 땅콩, 키위 등의 미지 시료(n=90)를 대상으로 blind test를 실시한 결과, 흡수 선량 예측의 경우 실제 조사 선량과의 오차를 보였으나 방사선 조사 여부 확인은 100% 가능하여, 신속하고 정확한 screening 방법으로의 가능성을 보여주었다(부록참조). PSL 측정에서는 대두, 땅콩, 적두 및 마늘은 비조사 시료 700 counts 이하, 감마선 조사 시료 5,000 이상의 photon count를 나타내어 조사 여부의 screening에 PSL의 적용이 가능한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 PSL에 대한 연구가 구체적으로 계획되지 않았으나, 그 가능성이 검토됨으로서 전반적인 multiple detection에서 활용이 가능하였다.

위탁과제 방사선 조사 식품의 실용화 현황 평가 및 전분질 농산물의 검지법 개발

제 1 절 서론

식품 중에 다량 함유된 polysaccharides (starch, pectin, cellulose)는 고분자 화합물로서 방사선 조사에 의하여 ether 결합의 일부가 붕괴되어 저분자의 dextrin, maltose, glucose가 생성되며 더욱더 산화를 받아 glucose의 산화물이나 pentose로 변환되는 것으로 알려져 왔다. 이와 같이 전분류가 방사선의 조사를 받으면 전분이 붕괴되어 단당류로 변환됨과 동시에 물에 대한 용해도가 증가하고 팽윤력과 점도가 감소하므로 점도를 측정함으로서 건조 식품류에 대한 방사선 조사 여부와 조사 선량을 간접적으로 추정할 수 있다(1). 묽은 전분 용액은 Newton 유체이므로 점도 측정은 수직 유하형의 유리 모세관 점도계인 Ostwald 점도계와 Ubbelohde 점도계가 사용된다. 한편, 전분 농도가 높은 전분 풀은 비 Newton 유체이기 때문에 전분 풀의 점도측정에는 Couette형 점도계, MacMichael 점도계, Stormer형 점도계, Brookfield형 점도계, Visco Amylograph Rheometer 등이 사용된다. 현재까지 점도 측정은 방사선 조사된 후추가루(2), 양파(3), 감자, 고구마, 옥수수(4), 쌀, 보리(5) 등과 같은 식품의 방사선 조사 유무를 확인하는 검출 기술로서 연구가 진행되어 왔다. 따라서 본 연구는 방사선 조사 기술 및 조사 식품의 실용화 현황을 조사하고, 처리가 예상되는 주요 수입 농산물의 교역 동향과 수입·유통 안전 관리에 필요한 방안을 검토하고자 하였다. 아울러 전분질 농산물에 대한 방사선 조사 검지 방법으로서 점도 측정 조건의 확립을 위한 실험을 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료 및 방사선 조사

가. 재료

곡류와 건채류는 국산 및 중국산의 기장(*Panicum miliaceum*)과 수수(*Andropogon sorghum*) 및 표고버섯를 건조된 상태로 구입하여 약 500μm 크기로 분쇄하여 사용하였다. 전분류는 국산 및 중국산의 감자, 옥수수 및 고구마 전분을 구입하여 시료로 사용하였다.

나. 방사선 조사 및 저장

시료의 감마선 조사는 그린피아의 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 일정 선량률로 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 조사된 시료는 대조시료와 함께 각각 PE 필름으로 밀봉하여 실온, 암실조건에서 보관하면서 측정시료로 사용하였다.

2. 실험 방법

가. 전분질 농산물의 viscosity 검지 특성 시험

1) 점도 측정 시험 및 선량 의존성 분석

시료의 점도는 Hayashi 등의 방법(6)을 변형하여 측정하였다. 방사선 조사하지 않은 대조구와 각 선량으로 조사된 처리구에 대해서 예비실험을 한

결과 현탁액의 적합한 농도는 전분 3 %, 곡류 10 %, 건채류 5 %(w/v)이었다. 전처리 과정으로 pH를 13으로 맞추었는데 이는 알칼리성 조건하에서의 열처리는 대조구와 방사선 조사된 시료간의 뚜렷한 점도의 차이를 나타내는 팽윤과 젤화를 용이하게 하기 때문이다(3). 따라서 조사 직후 조제한 현탁액에 33% NaOH 용액을 첨가하여 pH를 13으로 조정하고 가열 호화시킨 다음 1시간 정도 실온에서 방치 한 후 9 mL씩 취해서 현탁액의 점도를 Haake Rotovisco RV-12와 coaxial cylinder type Rotor NV(Haake Mess Technik GmbH, Germany)로 측정하였다. 이때 20±1 ℃에서 50, 150 및 300 rpm별로 반복 측정하고 점도 측정값과 조사선량간의 상관성을 분석하였다.

2) 품목별 specific parameter 설정 시험

가) 전분 함량

시료의 전분 함량은 Somogyi 변법(7)을 이용하여 전당 함량을 3반복 측정한 후 전분 계수 0.9를 곱하여 구하고 평균값으로 나타내었다.

나) Specific parameter 설정

방사선 조사식품의 검지법은 비조사 대조구가 없는 상태에서도 미지 시료의 조사여부 확인이 가능한 방법이어야 한다(6). Hayashi 등은 전분과 같은 고분자는 gel화 특성에 크게 영향을 주므로 각 점도를 전분함량에 대해 표준화시켜준다면 더 정확한 점도값을 얻을 수 있으며 이는 조사여부를 판단할 때 대조시료(control)가 없이도 구별이 가능하여(6) 점도값 자체보다 조사여부를 검지 하는데 더 유의적이라고 보고하였다(3). 따라서 각 시료의 전분함량과 점도 측정값을 이용하여 방사선 조사 선량에 따라

specific parameter를 구하였다. 즉, 아래 식에 의하여 specific parameter를 설정하여 specific parameter가 일정한 값 이상을 나타내면 방사선 조사되지 않은 시료로 판단하고, 일정한 값 이하를 나타내면 방사선 조사된 것으로 판단하였다(8). 이 때 rpm을 50rpm, 150rpm, 300rpm으로 하여 rpm에 따른 조사·비조사구간의 조사 의존성을 확인하였다.

$$\text{Specific parameter} = \frac{\text{viscosity of 3 \% suspension (mPa}\cdot\text{s)}}{\text{starch content in 1g of sample(g)} \times \text{viscosity of 5 \% starch(mPa}\cdot\text{s)}}$$

3) 보조 검지 시험 및 상관 분석

가) 총균수 측정

총 균수는 각 시료에 멸균된 0.85% 생리식염수를 가한 시험액을 사용하여 반복 실시하였다. 즉, APHA 표준방법(9)에 따라 plate count agar (Difco, Lab.)를 사용하여 37±1℃에서 48시간 배양한 후 집락을 계수하였다.

나) TBA가 측정

방사선 조사선량에 따른 시료의 지질성분 산패 정도를 알아보기 위해 Turner 등의 방법(10)에 따라 TBA가를 측정하였다. 즉, 시료 0.2g을 칭량하고 2N phosphoric acid에 용해한 20% TCA (trichloroacetic acid) 용액 2.5ml과 0.01N TBA(2-thiobarbituric acid) 용액 5 ml를 가하여 열탕조에서 흔들어 30분간 가열하였다. 이 후 ice bath에서 10분간 냉각시키고 isoamyl alcohol=pridine (2:1, v/v) 용액을 7.5ml 가한 뒤 강하게 2분간 흔들어 emulsion을 파괴하였다. 상층액을 여지(Whatman No.2)로 여과한 여액을

UV-visible spectrophotometer(UV-160 PC SHIMADZU)를 사용하여 538nm에서 흡광도로 측정하였다.

다) 색도 측정

각 시료의 색도는 색차계(Color difference meter, Color QUESTII Sphere System, USA)를 이용하여 L(명도), a(적색도), b(황색도)값을 측정하였다. 이때 표준 백색판의 L, a, b값은 99.98, -0.01, -0.01 이었다.

(흑색)	0	<————	L (명 도)	————>	100	(백색)
(녹색)	-80	<————	a (적색도)	————>	100	(적색)
(청색)	-70	<————	b (황색도)	————>	70	(황색)

나. 모델 농산물에 대한 검지 가능 기간 확인 시험

0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 ^{60}Co 감마선 처리한 국산 및 중국산 옥수수 전분, 기장 그리고 건조 표고버섯에 대해 감마선 처리 직후 PE 필름으로 밀봉하여 0±1℃ 및 20±1℃ 암실에 9개월간 저장하였다. 이후 3개월마다 점도 및 총균수, TBA가, 색도 등을 측정하여 각 품질 특성에 의해 저장 중 검지가능 기간을 확인하였다.

다. 모델 농산물의 재조사에 따른 품질 특성 조사

국산 및 중국산의 옥수수 전분, 기장 및 표고버섯을 대상으로 곡류의 최대 허가 선량인 5 kGy로 조사 및 재조사하여 0 ℃ 에서 12개월 동안 저장하면서 6개월마다 점도, TBA가, 표면색도 및 미생물 농도 등의 품질 특성을 측정하였다. 각 특성과 조사선량과의 상관관계를 확인하여 모델 농산물

의 품질 안정성을 평가하고자 하였다.

라. Viscosity 분석에 의한 미지 시료의 검증 시험

방사선 조사 여부 검지를 위한 모델 농산물의 blind test는 전분질 농산물인 옥수수 전분(n=30)과 현미(n=30)를 대상으로 공동검증시험기관인 식품의약품안전청과 국립농산물품질관리원으로부터 제공받아, 점도 측정을 통해 조사 선량과 측정값간의 상관성 및 예측 선량을 구하여 모델 농산물의 방사선 조사 여부에 대한 검지 결과를 작성하였다. 이 결과는 시료를 제공한 상기 기관에 송부되어 방사선 조사 기록과 대조 평가함으로써 viscosity 측정법의 신뢰도를 확인하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 방사선 조사 식품의 허가 및 실용화 현황

가. 식품 조사 기술의 실용화 확대 필요성

최근 식품산업의 발전은 도시의 인구집중화와 서구식의 식생활 다변화로 급속하게 발전하면서 이들 식품을 생산하는 식품업체들은 대량생산체제와 고속 생산체제로 접어들어 미생물의 오염기회를 보다 가중시키게 되었으며, 국내 가공식품의 생산시설과 위생처리 기술은 대부분은 아직도 저급한 수준으로 유통과정 중 국민보건 위생 문제와 막대한 경제적 손실을 야기함은 물론 대외 수출 경쟁력에서도 크게 뒤쳐져 있는 실정이다. 우리 나라의 일부 영세업체들로 구성된 식품가공업소의 현황을 고려하면 식품 가공 원료 및 제품의 유통과정 중 보존성을 높이고 수출물량의 장기간 수송을 위해 화학 방부제 및 고독성 농약을 무분별하게 사용하여 수입국의 검역대상에서 불합격 판정을 받을 수도 있으며, 이들 화학약품들 중 대부분은 그 잔류독성이 문제시되어 보건상 심각한 수준으로 생각되고 있다. 또한 이런 화학약품 남용은 식품 위생관리인 선임이 폐지된 현행 법규체제에서 더욱 그 심각성을 나타내고, 무의식적으로 사용되며 당국의 감시를 피하여 유통과정을 연기시키고 보존성을 연장시키려는 목적으로 사용될 수도 있다. 게다가 이러한 문제들을 감시하고 단속할 관리인원이 턱없이 부족한 우리의 실정을 고려해 볼 때, 어느 누구나 안심하고 편리하게 이용할 수 있는 안전성이 확보된 식품 위생 기술이 절실히 요구된다고 하겠다.

선진국의 기술개발 실상과 새로운 기술 정보에 의하면 식품의 위생처리 기술분야에 있어서 방사선 조사기술은 미생물학적, 독성학적 및 유전학적, 영양학적 안전성과 그 효과가 인정되어 국민보건 및 경제적 파급효과가 대단히 크고 국제적으로 공인된 보건학적 안전성 및 품질의 안정성 때문에

어떤 위생 처리 기술보다도 부가가치가 크고, 공정이 간편한 첨단화된 분야로 평가되고 있다.

최근에는 WTO 국제 무역체제에 있어 위생 식품검역조치의 적용에 관한 협정(SPS)이 채택되고 무역의 기술적 장해에 관한 협정(TBT)에 따라 우리 나라에서도 방사선 기술과 같은 해충 및 미생물에 대한 위생화 처리기술이 국제 수준으로 발전할 필요성이 시급히 요구되고 있다. 또한 방사선 기술 이용 분야의 확대가 급진적으로 진행되어 가공식품의 위생화에 따른 국민보건 향상에 기여케 함은 물론 가공식품의 미생물 오염으로 인한 손실을 미연에 방지함으로써 식품산업의 일차적인 경제적 파급효과를 얻고 있는 실정이다.

따라서 기술 선진국으로 향하는 우리의 입장에서는 급속히 발전되어 가는 식품산업기술의 국제화 추세와 더불어 과거의 보수적인 사고와 모방적 개념을 조속히 탈피하여 국내 식품산업이 수입식품업체와 위생적 품질 면에서 대등한 경쟁력을 갖출 수 있도록 제도적 법규마련이 시급한 실정이다. 또한 각종 가공식품 섭취로 인한 국민들의 식중독사고를 사전 예방하고 국내 식품가공 산업의 신뢰를 확보하기 위해 방사선 조사기술과 같은 새로운 식품 위생화 및 저장·가공기술이 적극 활용될 수 있도록 신규 품목에 대한 허가확대가 절실히 요구되고 있다.

나. 방사선 조사 식품의 국내 현황

국내에서는 1960년대부터 식품의 방사선 조사에 관한 연구가 수행되어 약 50여년간 다양한 식품에 대한 방사선 조사연구가 진행되어 왔다.

1960년대에는 국내에서 생산되는 농·수·축산물의 방사선 조사효과를 확인한 후 기초시험이 수행되었고, 70년대 후반까지는 저선량의 방사선을 조사함으로써 장기 저장 식품에 대한 보존기술이 연구되었고 80년대에 접어들면서 식품의 부패 및 식중독 오염미생물 살균의 물리 화학적 품질특성

변화와 영양학적, 독성학적 안전성 평가가 기존의 살균방법과 비교되어 연구되었다. 초기의 조사대상 품목은 감자, 양파 등 일부 발아억제 저장식품이었고, 1991년에 이르러서는 살균을 위한 독성 화학 훈증제(ethylene oxide)의 인체에 대한 발암성과 환경적인 위해성이 확인되어 세계 주요 국가에서 화학약품의 식품에 대한 사용이 점차 규제됨에 따라 건조식육 및 어패류 분말과 일부 조미식품 분말에 대해서도 식품조사가 허용되었다.

현재 국내 식품조사기술은 농산물 보존 차원을 넘어 국민 보건위생 차원에서 적극 활용토록 연구개발에 주력하고 있으나, 식품산업에서 방사선 조사기술을 보다 효과적으로 활용할 수 있는 조사식품 대상품목이 제한되어 있다는 것이 현실이다.

세계보건기구(WHO). 세계식량농업기구(FAO). 미국식품의약국(FDA)등 국제적으로 신뢰가 높은 보건기관들뿐만 아니라 각 국의 식품관련 연구 및 정책기관에서도 어떠한 식품 저장·가공기술보다 보건학적으로 안전하고 주변 관련 식품산업의 경제적 파급효과가 지대하다는 것을 인정하고 있는 현황에서 국내의 방사선 조사 대상품목의 허가확대는 식품산업의 안정적 발전과 수출 경쟁력 제고에 따른 국가경제 발전은 물론 식생활 다변화에 따라 가공식품의 생산과 소비가 크게 증가하는 현황에서 야기되는 병원성 미생물에 의한 식중독 예방 등 국민 보건 향상 수단으로도 본 기술의 적극적인 활용을 위해서는 조사 대상품목의 허가확대가 절실히 요구되고 있다. Table 1은 국내 조사 식품 허가일시 및 조사량에 대해서 나타내었다. 국내에서는 18개 품목의 식품조사가 허가되어 현재 주로 수출품에 대한 식품조사처리 서비스가 이루어지고 있다.

Table 1. 국내 조사 식품의 허가 현황

일 시	품 목	조사량
1987. 10. 16.	감자, 양파, 마늘	0.15 kGy
	밤	0.25 kGy
	버섯(생 및 건조)	1.00 kGy
1998. 9. 13.	건조향신료	10.00 kGy
1991. 12. 14.	가공식품 제조 원료용 건조 식육 및 어패류 분말	7.00 kGy
	된장, 고추장, 간장분말	7.00 kGy
	조미식품제조원료용 전분	5.00 kGy
1995. 5. 19.	가공식품제조원료용 건조 채소류	7.00 kGy
	건조향신료 및 이들 조제품	10.00 kGy
	효모, 효소식품	7.00 kGy
	알로에 분말	7.00 kGy
	인삼(홍삼포함)제품류	7.00 kGy
	2차 살균이 필요한 환자식	10.00 kGy

다. 식품 조사의 국제적 현황

1980년에 들어서면서 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 보건기관(US FDA) 등에서 방사선 조사식품을 공식 인정함에 따라 각 국의 정부는 자국에 알맞은 조사식품 허가규정을 마련하게 되었다. 현재까지 방사선 조사식품의 세계적 허가 현황은 선진국을 중심으로 52개국에서 230여종의 식품에 대한 방사선 조사를 허가하고 있으며, 이 중 70% 이상이 1980년대 이후에 허가되었다. 허가국들의 지역별 분포는 유럽〉 아메리카〉 아시아・태평양〉 아프리카・중동의 순서로 식품조사의 무조건적 허가가 증가되고 있으며, 세계 주요 선진국을 중심으로 조사식품 대상품목과 허가국수는 점차 확대되고 있다.

1992년 9월 미국 FDA는 가금육의 병원균 살균을 위하여 3 kGy까지 방사선 조사할 수 있도록 그 동안의 조사품목에 추가하여 허가하였으며, 북

미 최초로 상업용 식품 조사 시설을 Florida 주에 설치하고 지난해부터 상업적 조사를 실시하였다. 또한 방사선 조사된 딸기에 조사마크 부착으로 인해 소비자 구매 선호도가 높게 나타나므로 미국내의 딸기 소비시장이 급속히 확대되고 있다. 또한 미국의 식품의약국(FDA)과 농무성(USDA)에서는 1999년 12월 냉동육류를 포함한 모든 육류(red meat)에 대한 방사선 조사를 허가하고 2000년 2월부터 시행에 들어갔다.

프랑스에서는 1990년에는 냉동·냉장 새우와 난백(액체, 분말, 냉동)의 방사선 조사 허가되었고, 1991년에는 카제인 및 카제인 가공식품과 건조과실의 조사가 추가로 허용되었다.

영국에서는 1991년 그 동안 훈증제로 사용되어 오던 ethylene oxide 가스가 전면 금지됨에 따라 그 동안의 방사선 조사에 대한 정책을 바꾸어 소비자들에게 안정한 식품을 공급할 수 있는 방법으로서 식품조사 기술이 허용되어다.

현재, 대다수의 국가들은 세계 각국의 방사선 조사 허용 품목이 달라 국제무역에 있어서 통상 마찰이 빚어질 수 있다는 우려와 조사식품에 대한 수요자 수용성이 낮은 국가에서 수입을 거부할 수 있다는 것에 기인하여 자국내 식품에 대한 방사선 조사시설 및 처리 품목 현황의 대외적인 공개를 꺼리고 있는 실정이다. 그러나, 국제 무역에 있어 식품에 대하여 조사를 허용하고 있는 국제식품규격 위원회(Codex)의 방사선 조사기준이 권고에 머무르지 않고 OECD 가입국에 대해 강제적으로 시행되고 있는 만큼 향후 세계 각국에서는 자국내 보건 위생환경의 향상과 수출주도품목의 경제적인 장점과 이익에 관련된 중요한 식품산업 기술로서 방사선 조사기술의 이용은 더욱 늘어날 전망이다.

Table 2에는 식품에 방사선 조사를 허용하는 국가와 그 허가 품목수를 나타내었다.

Table 2. 식품 조사 허가 국가 및 목적별 허가 품목*

허가국	허가 품목	허가국	허가 품목
WHO/FAO/IAEA, CODEX	모든 식품 허가	멕시코	102
아르헨티나	13	네덜란드	19
방글라데시	21	파키스탄	87
벨기에	11	필리핀	3
브라질	27	폴란드	5
이집트	4	남아프리카공화국	89
캐나다	7	스페인	2
칠 레	20	시리아	20
중 국	23	태국	25
쿠 바	18	터어키	92
체 코	2	영국	43
덴마크	2	우루과이	1
프랑스	41	미국	47
헝가리	13	베트남	8
인 도	23	유고	23
인도네시아	22	일본	1
이 란	1	한국	15
이스라엘	47	러시아연방	52
이탈리아	6	우크라이나	47

* 2000년 5월 발간 IAEA 제공 자료

Table 3에서는 WHO/FAO/IAEA/ICGFI/Codex 의 식품 방사선 조사에 대한 국제적 합의 규격을 나타내었다. 현재 방사선 조사 식품에 대한 허가는 국제기관 및 세계각국에서 품목별 허가보다는 식품군별(Food Class)로 허가되고 있는 추세이다.

Table 3. WHO/FAO/IAEA/ICGFI/Codex의 식품 방사선 조사 국제적 합의 규격

식품군		방사선 조사 목적	선량 범위	
			최소	최대
Class 1	구근류, 근채류, 괴경 식물	① 저장 중 발아억제	0.1	0.2
Class 2	생과일 및 신선 야채류	① 숙도지연	0.3	1.0
		② 해충구제	1.0	1.0
		③ 저장성 연장	0.1	2.5
		④ 검역 관리*	5.0	1.0
Class 3	곡류 및 그 분말류, 견과류,	① 해충구제	0.3	1.0
	유지 종자, 두류,	② 미생물 감균	1.5	5.0
	건조 과일	③ 발아억제(밤)	0.1	2.0
Class 4	어류, 해산물, 개구리 다리,	① 병원성 미생물 감균**	1.0	7.0
	민물 및 육생 무척주 생물	② 저장성 연장	1.0	3.0
	(신선 및 냉동)	③ 기생충 감염 관리**	0.1	2.0
Class 5	가금육과 적색율 및 그	① 병원성 미생물 감균**	1.0	7.0
	육제품 (신선 및 냉동)	② 저장성 연장	1.0	3.0
		③ 기생충 감염 관리**	0.5	2.0
Class 6	건조채소류, 향신료, 양념류,	① 병원성 미생물 감균**	2.0	10.0
	동물사료, 건약재 또는 약용차	② 해충 구제	0.3	1.0
Class 7	동물 기관의 건조 식품	① 해충 구제	0.3	1.0
		② 곰팡이 억제	1.0	3.0
		③ 병원성 미생물의 감소	2.0	7.0
Class 8	전통 식품과 기타 식품	① 미생물 감균		***
	건강식품, 환자식용, 전통식품,	② 멸균		***
	아라비아검 및 기타 증량제,	③ 검역 관리		***
	군 식량, 꿀, 우주식량, 특수			
	향신료, 액상란(卵)			

* : 최소선량은 특정 해충이나 병원균에 대해 정해짐

**: 최소선량은 식품의 위생적 품질을 보장하기 위해 처리목적을 고려하여 정함.

***: 특정 목적과 식품 원료에 대해 정해지는 최대선량

라. 방사선 조사 식품의 안전성과 건전성

방사선 조사식품의 안전성(safety)평가는 독성학적인 분야로서 발암성 등의 만성적 건강장해를 포함한 독성학적 안전성(toxicological safety)과 생명유지 및 건강 증진에 필요한 식품 본래의 영양학적 적합성(nutritional adequacy), 미생물학적 안전성(microbiological safety)등 주요한 범주에 대한 안전성이 지난 50여 년 간 지속적으로 연구되어 왔다. 방사선 조사식품에 대한 이용효과와 기술적 타당성이 국제적인 수준에서 종합적으로 축적됨에 따라 관련 국제기구인 세계보건기구(WHO), 세계식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA)에서는 1960년대부터 조사식품의 안정성(safety)과 건전성(wholesomeness)연구와 그 결과에 대한 평가를 공동으로 추진하여 왔다. 이에 대한 연구결과들이 종합적으로 평가된 결과, 1976년에는 방사선 조사기술을 물리적 처리방법으로 공식 인정되게 하였다. 특히, 1980년에는 총 평균 흡수선량 10kGy 이하로 조사된 모든 식품의 독성학적, 영양학적 및 미생물학적 안전성이 최종적으로 평가됨에 따라 10kGy 이하로 조사된 어떠한 식품도 독성시험이 더 이상 필요하지 않다는 결론이 WHO/IAEA/FAO의 방사선 조사식품 공동전문위원회에서 공표 되었다. 이와 같은 결론에 대해 국제식품미생물학회(1982년), 미국 식품 과학회 등 세계적인 학술단체에서도 미생물학적 및 영양학적 안전성을 뒷받침하였고, 1983년 Codex 식품위원회에서 방사선 조사기술의 적극적인 수용과 효과적인 기술활용을 위하여 “조사식품에 대한 Codex 일반 규격과 조사시설 운전에 필요한 국제기준”을 채택하여 모든 회원국들에게 적극적인 활용을 권장하였다.

그 뒤 1989년 세계보건기구(WHO)의 가공식품에 대한 황금률중 제 1조항에는 “방사선 조사된 가금육을 선택하여야 안전하다..”는 예가 명시되었다. 또한, 1992년 5월 세계보건기구(WHO)에서는 조사식품의 안전성 및 영양학적 적합성을 재확인하기 위하여 1980년 이후에 수행된 연구는 물론 그

이전에 발표된 안전성 관련 연구논문들과 최근에 발표된 200여편의 독성학적 연구결과들에 대해 종합적인 평가를 실시하였다. 이에 따르면 “규정대로 조사된 어떤 식품도 인체 건강상에 아무런 영향도 미치지 않고 어떠한 성분변화나 이물질이 생성되지 않으며, 소비자들에게 미생물학적 위험성을 증가시키지 않는다.”고 결론 내리고 이와 같이 재확인된 결론은 세계보건기구(WHO)에서 공식 발표되었다.

1997년에는 그 동안 명시하여 오던 선량의 한도 즉“ 10 kGy까지 안전하다..”라는 제한을 세계보건기구(WHO)에서 철폐하여야 한다고 공식적인 WHO press를 통해 각국에 통보하였다. 이는 그 동안 한계로 제시된 선량보다 수 십배 높게 조사 처리하는 식품들이 각 국에서 허용되었고 과거 50여 년간의 독성학적 데이터가 어떤 식품가공방법보다 안전하다는 것이 재입증되면서 이러한 조사선량 한계의 철폐가 이루어지게 되었다. 2000년 고선량 조사된(10~70 kGy) 식품의 안전성에 관한 WHO 보고서에서도 70 kGy의 고선량 조사된 식품의 건전성을 재확인하였다.

조사식품의 안전성은 지난 수 십 년 전부터 국제적으로 재차 공인되었을 뿐만 아니라 현재에는 국제소비자연맹(IOCU) 등의 각 국 소비자단체들에서 조차도 안전성에 대한 문제제기는 없는 것으로 평가되고 있으며 안전성에 관해서는 과학적인 논란의 여지가 이제는 남아있지 않는 상태이다.

2. 방사선 조사 대상 농산물의 수입·유통 체계 및 안전관리방안

가. 주요 농산물의 수출입 동향

1) 수 출 (2000년 12월 기준)

Table 4. 주요 품목별 수출 현황

(단위 : 백만불/%)

수출품	년도말		
	1998	1999	2000
농림수산물	3,047.1	3,231.3	3,060.1
농산물	1,005.6	1,003.4	1,133.5
곡류	7.5	8.6	10.9
서류	2.4	0.5	0.2
전분	11.0	14.9	13.3
두류	1.2	0.9	1.0
과실류	39.4	35.5	45.1
채소류	103.1	164.8	185.9
식물성유지	20.3	6.7	5.4
향신료	0.8	0.6	0.7
연초류	39.5	38.6	52.0
당류	118.6	84.4	80.8
빵류제조용	24.7	25.8	28.5
소오스류	47.0	31.9	37.6

2) 수 입 (2000년 12월 기준)

Table 5. 주요 품목별 수입 현황

(단위 : 백만불/%)

수출품	년도말		
	1998	1999	2000
농림수산물	7.021.2	8.620.4	9.927.6
농산물	4,696.6	4,681.2	5,104.5
곡류	1,637.9	1,527.6	1,532.1
서류	81.5	71.5	72.1
전분	25.5	23.5	24.1
두류	393.6	331.4	353.4
과실류	194.1	285.8	349.4
채소류	137.8	175.5	187.3
식물성유지	236.1	260.7	205.2
향신료	400.6	335.6	364.8
연초류	166.3	216.6	282.6
당류	441.7	327.5	348.6
빵류제조용	80.4	122.1	181.6
소오스류	32.2	46.2	56.3

나. 방사선 조사 농산물의 수입·유통 시 안전관리

1) 방사선 조사 식품의 교역 배경 및 현황

최근 지구촌 환경에서 각종 원료 농산물과 가공식품들의 교역이 활발해짐에 따라 가공식품들의 생산과 유통구조의 대형화 추세는 농촌의 산업화 및 도시화 현상과 더불어 국내 가공식품 산업에 구조적으로 커다란 변화를 가져왔다. 안전한 식품을 대량으로 공급하기 위한 위해 요소 중점관리기준(HACCP)이나 대규모 냉장공급체계(cold-chain system) 등이 도입되고 있

다. 식량의 50% 이상 수입하고 있는 우리 나라에서는 전 세계적으로 만연하는 모든 식품매개 전염병에 노출되어 있는 만큼 이를 통제할 수 있는 새로운 검역처리기술이 절실히 요구되는 상태이다. 이 중 세계보건기구(WHO)에서 공식적으로 인정하고 있고 가장 관심 있게 주목을 박고 있는 것이 식품에 대한 방사선 조사 이용기술, 즉 식품 조사기술인 것이다.

식품조사기술의 기술적 타당성이 과학적으로 입증됨에 따라 Codex 식품규격위원회에서는 방사선 조사식품 및 처리시설에 대한 Codex 일반규격 및 운영규정을 채택하고 각 국의 활용을 권장하고 있다. 현재(2001. 10) 방사선 식품조사와 관련된 이용현황은 52개국에서 230여 식품(군)에 대하여 방사선조사기술의 이용이 허가되었고, 연간 백만 톤 이상의 식품 및 농축수산물이 방사선 처리되어 국내외적으로 유통, 수출입 되고 있는 것으로 추측되나, 정확한 자료는 밝혀지지 않고 있다.

Table 6. 우리 나라의 방사선 조사 허가 품목(국제적 합의 규격 기준)

(2001년 10월 31일 현재)

품 목	목 적	허가 일자	최대선량(kGy)
밤	2	16.10.87	0.25
효소 조제품	3	19.05.95	7.00
어분	3	14.12.91	7.00
마늘	6	14.12.91	0.15
건조육	3	14.12.91	7.00
버섯	2	16.10.87	1.00
건조버섯	2	16.10.87	1.00
양파	6	16.10.87	0.15
감자	6	28.09.87	0.15
후추 파우더	3	14.12.91	7.00
새우 파우더	3	14.12.91	7.00
간장 파우더	3	14.12.91	7.00
된장 파우더	3	14.12.91	7.00
향신료	3	13.09.88	10.00
전분	3	14.12.91	5.00
무균식이	9	19.05.95	10.00
건조야채양념류	3	19.05.95	10.00
건조야채	3	19.05.95	7.00
효모파우더	3	19.05.95	7.00

(Explanations for Codes)

1. Delay ripening/physiological growth, 2. Disinfestation, 3. Microbial control, 4. Quarantine treatment, 5. Shelf-life extension, 6. Sprouting inhibition, 7. Trichina/parasite control, 8. Sterile meals for hospital patients, 9. Sterilization, 10. Unstated.

Table 7. 우리나라의 주요 수입 품목(농산물) 및 수입 국가 동향

(2001년 12월 현재)

품 목	종 류	주요 수입국가
곡물류	옥수수	중국, 미국, 아르헨티나
	밀	미국, 호주, 캐나다
두류	대두	미국, 브라질, 중국, 캐나다
채유종실	참깨	중국, 수단
	땅콩	중국
과실류	오렌지	미국, 브라질, 남아공
	바나나	필리핀, 에콰도르
	포도	미국, 칠레
	파인애플	스페인
채소류	마늘	중국
	양파	중국
	당근	
	채소종자	일본, 중국

Table 8. 우리나라의 주요 수입 품목에 대한 세계 방사선 조사 허가 현황

(2001년 10월 31일 현재)

품 목	국 가	목적	허가 일시	최대선량 (kGy)
바나나	브라질	1,4,5	30.01.01	**
	크로아티아	1,3	21.06.94	3.00
	가나	1,2,4	15.01.98	1.00
	가나	5	15.01.98	2.50
	이스라엘	2	17.02.87	1.00
	멕시코	1,4	07.04.95	1.00
	맥시코	5	07.04.95	2.50
	파키스탄	1,2,4	07.03.96	1.00
	러시아	5	11.07.64	4.00
	터키	,1,2,4	06.11.99	1.00
	우크라이나	5	11.07.64	4.00
	영국	2	01.01.91	2.00
	미국	1,2	18.04.86	1.00
곡류	브라질	2	30.01.01	**
	가나	2	15.01.98	5.00
	가나	3	15.01.98	10.00
	멕시코	2	07.04.95	10.00
	파키스탄	2	07.03.96	7.00

* Explanations for Codes

1. Delay ripening/physiological growth, 2. Disinfestation, 3. Microbial control, 4. Quarantine treatment, 5. Shelf-life extension, 6. Sprouting inhibition, 7. Trichina/parasite control, 8. Sterile meals for hospital patients, 9. Sterilization, 10. Unstated.

Table 9. 우리 나라의 주요 수입 품목에 대한 세계 방사선 조사 허가 현황

(2001년 10월 31일 현재)

품 목	국 가	목적	허가 일시	최대선량 (kGy)
버섯류	아르헨티나	1	02.08.90	3.00
	브라질	1,3,5	30.01.01	**
	중국	1	30.11.84	1.00
	헝가리	1	15.04.82	2.50
	이스라엘l	5	17.02.87	1.00
	멕시코	5	07.04.95	1.00
	멕시코	1,4	07.04.95	2.5
채소류	크로아티아	1,3	21.06.96	3.00
	가나	1,2	01.01.97	1.00
	가나	4	01.01.97	1.00
	가나	5	01.01.97	2.50
	이스라엘	2	17.02.87	1.00
	멕시코	5	07.04.95	2.50
	멕시코	1,4	07.04.95	1.00
	파키스탄	1,2,4	07.03.96	1.00
	파키스탄	5	07.03.96	2.00
	러시아	5	11.07.64	4.00
	터키	2,4	06.11.99	1.00
	터키	5	06.11.99	2.50
	우크라이나	5	11.07.64	4.00
	영국	2	01.01.91	1.00
	미국	2	18.04.86	1.00

(Explanations for Codes)

1. Delay ripening/physiological growth, 2. Disinfestation, 3. Microbial control, 4. Quarantine treatment, 5. Shelf-life extension, 6. Sprouting inhibition, 7. Trichina/parasite control, 8. Sterile meals for hospital patients, 9. Sterilization, 10. Unstated.

Table 10. 우리나라의 주요 수입 품목에 대한 세계 방사선 조사 허가 현황

(2001년 10월 31일 현재)

품 목	국 가	목적	허가 일시	최대선량 (kGy)
마늘	아르엔티나	6	02.08.90	0.15
	벨기에	6	30.01.01	0.15
	브라질	6	30.11.84	**
	차이나	6	15.04.82	0.10
	크로아티아	6	17.02.87	0.50
	쿠바	6	07.04.95	0.08
	프랑스	6	07.04.95	0.15
	가나	6	21.06.96	0.20
	인도	6	01.01.97	0.15
	인도네시아	6	01.01.97	0.15
	인도네시아	6	01.01.97	1.00
	이탈리아	6	17.02.87	0.15
	리비아	6	07.04.95	0.04
	멕시코	2,6	07.04.95	0.20
	파키스탄	6	07.03.96	0.20
	필리핀	6	07.03.96	0.10
	폴란드	6	11.07.64	0.15
	타이완	6	06.11.99	0.15
	터키	6	06.11.99	0.20
	베트남	6	11.07.64	0.10
	유고슬라비아	6	01.01.91	10.00

(Explanations for Codes)

1. Delay ripening/physiological growth, 2. Disinfestation, 3. Microbial control, 4. Quarantine treatment, 5. Shelf-life extension, 6. Sprouting inhibition, 7. Trichina/parasite control, 8. Sterile meals for hospital patients, 9. Sterilization, 10. Unstated.

Table 11. 우리나라의 주요 수입 품목에 대한 세계 방사선 조사 허가 현황

(2001년 10월 31일 현재)

품 목	국 가	목적	허가 일시	최대선량 (kGy)
옥수수	브라질l	2,3	30.01.01	**
	멕시코	2	07.04.95	1.00
	러시아	2	01.01.59	0.30
	터키	2	06.11.99	1.00
	터키	3,5	06.11.99	5.00
	우크라이나	2	01.01.59	0.30
	베트남	2	03.11.89	1.00
곡물	브라질	2,3,4	30.01.01	**
	러시아	2	01.01.59	0.30
	우크라이나	2	01.01.59	0.30
참깨	브라질	6	30.01.01	**
	쿠바	6	01.10.93	2.00
대두	브라질	6	30.01.01	**
	멕시코	2,6	07.04.95	1.00
밀가루	브라질	6	30.01.01	**
	멕시코	6	25.02.69	0.75
	인도	6	06.04.98	1.00
	미국	6	01.01.63	0.50

(Explanations for Codes)

1. Delay ripening/physiological growth, 2. Disinfestation, 3. Microbial control, 4. Quarantine treatment, 5. Shelf-life extension, 6. Sprouting inhibition, 7. Trichina/parasite control, 8. Sterile meals for hospital patients, 9. Sterilization, 10. Unstated.

방사선 조사식품에 대한 Codex 일반규격에 따르면 식품의 방사선 조사는 허가 식품에 대하여 허가된 조사시설에서만 실시하며, 조사식품을 수송할 경우에는 송장(送狀)에 방사선 조사시설 명, 조사 년 월 일, 품목 확인번호, 수량 등이 기록되어 있어야 하며, 포장식품의 경우 규정에 따라 표시

(labelling)를 의무화하고 있다. 국내의 경우도 식품에 대한 감마선 조사가 허가 고시되면서 조사된 식품에 대하여는 용기 또는 포장에 Fig. 1과 같은 도안을 직경 5 ㎝ 이상의 크기로 표시하도록 규정하고, 조사업자는 처리식품의 조사 날짜, 시간, 처리량, 조사선량, 선량보증, 조사목적 등의 기록을 2년 간 보존토록 하고 있다.

Fig. 1. International symbol for irradiated foods.

또한 개정 고시 안은 조사식품에 대한 감마선 재조사는 허용되지 않는다고 규정하고 조사식품은 용기에 넣거나 포장하여 판매되어야 한다고 규정하였다. 미국 FDA의 조사식품에 대한 표시규정을 보면 소매단계에서는 Fig. 1과 같은 마크와 "treated with radiation" 또는 "treated by irradiation"을 함께 기재하도록 하고, 도매단계에서는 "treated with radiation-do not irradiate again" 또는 "treated by irradiation-do not irradiate again"을 필수적으로 표시토록 규정하고 있다.

2) 방사선 조사된 수출입 농산물 검역 현황

가) 검역의 필요성

WTO 체제는 국내 산업의 국제화를 가속화시켜 농수산물의 교역도

크게 확대시킬 전망이므로 우리 농축수산물의 수출증대를 위한 첨단기술의 개발은 국제경쟁력 제고에 필수적인 과제가 되고 있다. 특히 수출용 농산물은 수입국의 품질기준과 검역규제장벽을 극복해야 하고, 검역대상 유기체의 경우 수입 전제조건으로 제시된 경계해충이나 위생지표미생물에 대하여 완전박멸 방제기술(quarantine treatment)이 요구된다. 따라서 선진국에서는 자국 농업 및 관련산업의 보호를 위하여 농산물의 수입을 규제하기 위한 수단으로 엄격한 검역관리체제를 구축해 가면서 외래병해충과 병원성 유기체의 반입을 적극 방지하고 있다. 이상의 결과를 종합하여 검역처리의 필요성을 요약해 보면,

1) 과일류, 곡류 및 일부 농산물들은 수확 및 유통과정에서 해충이 오염되므로, 이들 농산물들이 수출입될 경우에는 반드시 적절한 검역처리가 필요하다.

2) 농산물 수입국에서는 자국에 존재하지 않는 외래병해충이나 전염성 질병을 발생시키는 병원성 유기체의 유입을 금지하므로 검역처리가 필요하다.

3) 지금까지 살충 및 살균 목적으로 광범위하게 사용되어 오던 화학훈증제(EDB, EtOH, MeBr 등)가 작업자 및 소비자의 안전을 위해하고 환경공해을 야기시켜 점차 사용이 금지되고 있는 추세이므로, 이에 대한 효과적인 대체 방안이 요구되고 있다.

4) EDB의 사용이 금지된 이후 파파야와 같은 열대 및 아열대 과일의 검역처리로서 열처리가 사용되고 있으나 처리시간(1.5~6 hr)이 길고, 품질에 나쁜 영향을 미치며 처리비용이 고가인 점 등이 사용에 제한을 가져오고 있다.

나) 검역처리/품질보증기법으로서 食品照射

(1) 방사선 검역처리/품질보증의 필요성

방사선 살충기술은 우리나라를 포함한 세계 30여 개국에서 이미 사용이 허가되어 있다. 또한 US FDA 및 USDA에서도 1 kGy 이하의 방사선 조사를 해충 검역처리 및 숙도 지연방법으로 승인하였고, 현재 일부 농산물

(Hawaiian papaya)에 대하여 검역처리를 목적으로 방사선을 조사하고 미국 본토에 반입하여 Chicago 등지에서 성공리에 시판한 것으로 알려지고 있다. 또한 방사선 조사기법은 잔류성이 없으므로 효과적인 대체방안이 될 수 있다. 비교적 저선량의 방사선조사(0.2~2.0 kGy)에 의해 신선농산물의 검역해충 박멸은 물론 건조 농축수산물의 해충발생을 고려하여 방지할 수 있다. 또한 처리 공정이 간편하고 처리효과가 분명할 뿐 아니라 경제적이다. 또한 환경 친화적이며 무공해성인 장점이 있으므로 앞으로 농림산물의 검역처리기술로서 적극적 개발이 필요하다. 이상과 같은 국제적 상황을 감안하여 볼 때, 안전성과 경제적 타당성이 공인되고 우수한 살충, 살균 효과를 지닌 방사선 조사기법을 주요 수출입 농축수산물에 적용·개발한다면 국제교역에서 통용될 수 있는 새로운 검역처리 방안이 될 것으로 생각된다.

검역처리기법으로서 방사선 조사는 이상의 어떠한 문제점도 수반하지 않으면서, 처리시간이 짧고(<1 hr), 처리효과가 완전하며 잔류성이 없다. 또한 방사선 처리된 과실은 정상적으로 숙성하거나 다소 숙도가 지연될 수 있으며, 고유한 품질에 변화를 초래하지 않는다.

(2) 국제교역에서 방사선 검역 처리의 이점과 한계

국제식량교역에 있어서 방사선 검역처리의 실용화에는 다음과 같은 이점이 기대되는 반면 많은 과제를 안고 있다. 먼저 방사선 검역처리의 이점으로서는,

1) 농산물 수입국들은 검역관련 유기체의 유입을 막을 수 있다.
2) 수출국들은 안전한 검역처리로 수출시장을 확대해 나갈 수 있다.
3) 소비자들은 보다 안전하고 우수한 품질의 식품(상품)을 제공받을 수 있다.
4) 병원성 유기체의 유입을 막음으로써 공중보건의 향상과 이종 병해충 발생을 방지하여 농업생산성을 유지할 수 있다.

다) 방사선 처리 식품의 교역 관리를 위한 검지 기술

(1) 검지 기술의 필요성

방사선 조사기술의 산업화와 식품교역에서의 활용도를 높이기 위해서 특히 검역 및 품질 관리차원에서 수출입 품목의 조사여부 검지기술(identification/detection methods)의 확보는 수입식품의 기술적 통제를 가능하게 하여 국내 농업과 식품산업시장의 보호에도 이바지하게 될 것이다. 조사 식품의 안전 관리 기술 체계를 구축하는데 방사선 조사 공정과 방사선 처리 수입 및 유통 식품의 안전한 관리가 필요하다. 우리의 최대 농산물 수출국인 중국은 건조농산물, 채소류 등 25개 식품군에 대하여 최고 10 kGy까지의 방사선 처리를 허가하고 있으며, 현재 50기 이상의 가마선 조사시설이 가동 중인 점을 감안할 때 방사선 처리 식품의 수입 및 유통 관리를 위한 정부차원의 기술적 대책이 필요하다고 하겠다(11).

(2) 검지 기술의 연구 개발 동향

방사선 조사식품의 검지 또는 확인에 관한 연구는 식품조사 기술의 산업화가 세계적으로 추진되고 조사식품의 교역이 예상되면서 1980년대 중반 이후부터 본격적으로 시작되었다. 조사식품이 안전하다는 한 가지 이유는 대부분의 조사생성물(free radical, 조사 분해물 등)이 조사로서만 이어나는 것이 아니고 자연식품에서도 발견된다는 것과 가열과 같은 보통의 다른 처리를 한 식품에서도 생긴다는 점이다. 조사식품의 검지법은 식품조사에 관한 광범위한 지식의 축척과 연구결과 상당히 많이 제안되었고 국제 기구 즉 IUPAC, ISO, AOAC 그리고 Codex Alimentarius Commission 등의 공동협력 연구가 이어졌다. 검지법 연구에 대한 필수조건으로는 다음과 같다.

① 식품/상품 자체(*food itself*)를 사용한 분석이어야 한다.

② 방사선 조사에 대한 특이성 (unique response)이 있어야 한다.

③ 정확성(accuracy)과 재현성 (reproducibility)이 있어야 한다.

④ Individuality, variety, locality, pre- and post-harvest 등의 특성을 배제할 수 있어야 한다.

⑤ conditions의 비의존성이어야 한다.

⑥ 조작과 측정시 신속(rapidity)하고 간편(simplicity)해야 한다.

⑦ 적용범위(food & dose)의 보편적이어야 한다(universality).

부수적으로는 분석기기/시스템 비용의 타당성, 현장 적용성 (on the spot application), 검체량 (소량), 다중검지(multiple detections : screening & verification), 흡수선량 예측가능성 등을 들 수 있다.

모든 식품에 적용할 수 있는 일반적 검출방법은 아직 없다. 식품생물분자와 이온화 조사와의 상호작용으로 생기는 중간체 또는 최종산물의 검출이 식품 조사상태를 알 수 있는 가장 확실한 수단이지만 이것은 일상적 분석법으로 검출이 가능하여야 하며 방사선 조사로서만 생성되어야 하고 예상되는 식품의 저장기간동안 안정한 상태로 있어야한다. 따라서, 조사식품에서 일어나는 생물, 물리, 그리고 화학적 변화에 기초한 실험법을 개발하고 검출확률을 높이기 위해 서로 보완적으로 사용해야할 것이다.

범 세계적으로, 식품과 농산물의 원자력 기술에 관한 FAO/IAEA 공동위원회가 이 방면의 협동을 증진하고, 이중 가능성이 높은 몇가지 실험법을 자세히 조사하기 위하여 '조사식품에 관한 분석적 검출법 협동계획' (ADMIT)을 마련하여 1994년까지 5년간 수행하였다. 유럽에서도 유럽공동체 표준화위원회가 1990년부터 조사식품의 검출기술 개발을 위한 독자적인 BCR 프로젝트를 수행하였다(12,13).

현재까지 ADMINT 및 BCR 프로젝트에서 유망한 기술로 확인된 것은 ESR, TL, 휘발성 hydrocarbon, cyclobutanone 분석, 미생물상 관찰

(DEFT/APC)등이다. 이외 몇 가지 기술이 더 확립되었는데 각 품목에 대한 주요한 검출기술(14)은 다음과 같다(Table 12).

Table 12. 조사식품의 검출법과 이에 관련된 식품군

검출 방법	적용 식품군
화학적 방법	
Hydrocarbons*	닭고기, 돼지고기, 쇠고기, 계란류, 생선, 아보카도, 망고, 파파야
2-Alkycyclobutanones	닭고기, 돼지고기, 계란류, 패류, 망고
o-Tyrosine	패류, 닭고기
Peroxides	돼지고기, 닭고기
가스발생	냉동닭고기, 냉동새우, 후추열매
DNA 혜성분석*	닭고기, 돼지고기, 생선, 패류, 과채류
미토콘드리아 DNA*	닭고기, 쇠고기, 왕참새우, 송어류
SDS-PAGE	계란 난백
ELISA 방법	
2-Alkycyclobutanones	닭고기
Dihydrothymidine	곡류
물리적 방법	
열발광(TL)법*	향신료, 약초, 조미료, 패류, 과채류, 곡류
광여기발광(PSL)법	향신료, 약초, 패류
전자스핀공명(ERS)법*	뼈를 함유한 식품, 신선과일과 견과류, 갑각류, 건과류, 건채류, 파프리카, 후추가루, 달걀껍질
점도계	후추류, 계피, 올스파이스
전기저항(임피던스)법	감자
시차열량분석(DSC)	습윤식품
생물학적 방법	
반배야검사법	감귤류, 버찌류, 사과류, 곡류
DEFT/APC법	후추류, 약초류, 닭고기

* 표시는 현재 가장 많이 이용되고 있거나 중요하게 여기는 실험법 임.

라) 교역 관리의 전망과 과제

앞으로 농수축산물 및 식품의 교역은 크게 증가될 것이다. 식품의 방사선 조사기술은 기술적 타당성과 안전성이 국제기관에 의해 인정됨으로써 국내외적으로 본 기술의 수요가 매년 증가되고 있으며, 이에 따라 조사식품의 유통과 수출입은 크게 확대될 전망이다. 그러나 방사선 조사기술의 산업화는 관련 규정을 바탕으로 소비자의 이해 증진과 더불어 발전될 것이므로 이를 뒷받침하기 위한 기술적 인프라의 확보가 요구된다. 특히 방사선 처리식품의 조사여부를 확인할 수 있는 검지기술의 확보는 소비자에게 선택의 권리를 보장해주고, 나아가 조사식품의 건전한 유통과 수출입관리를 가능하게 할 것이므로 궁극적으로는 국내 식품산업과 농업의 경쟁력을 높여주는 방안이 될 것이다.

이상의 목표를 달성하기 위해서는 식품조사기술에 대한 정확한 정보의 확산과 소지자 교육, 교역 대상 국가와의 조사식품 교역 증진 연구, 정부기간, 산학연, 소비자단체 등이 공동으로 참여하는 조사식품 검지법의 국내외 실증 연구 등이 필요하며, 이는 국제적으로 통용될 수 있는 핵심 기술의 자립화 시기를 앞당길 수 있을 것이다.

3. 농산물의 viscosity 검지 특성 및 적용 품목 선정

가. 점도 변화 및 선량 의존성

1) 기장(*Panicum miliaceum*)의 점도 변화

방사선 조사 여부의 검지를 위한 검체 식품의 점도 측정은 피조사체 식품 내의 다당류 즉, starch, pectin, cellulose 등이 방사선 조사에 의해 분해되어 점도가 변화되는 원리를 이용하는 것이다(15). 방사선 조사되지 않은 기장(Control)과 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0kGy 수준으로 방사선 조사된 기장에 대해서 각각 현탁액을(10%, w/v) 만들어 50, 150 및 300 rpm에서 점도를 측정 비교하였다. 국산 기장에 대한 방사선 조사에 따른 결과는 Table 13과 같다. 즉, 국산 기장에 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0kGy의 방사선을 조사하였을 때 그 점도가 50 rpm에서 각각 143.38±0.44, 108.98±2.04, 23.64±1.90, 21.36±0.50, 13.50±0.80 및 6.60±1.16으로 방사선 조사된 시료와 조사 안 된 시료간의 차이가 뚜렷하였으며 방사선 조사량이 클수록 그 점도가 현저하게 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 300 rpm에서도 57.44±0.36, 46.89±3.57, 15.24±0.76, 9.57±1.73, 6.02±0.01 및 5.16±0.16으로 50 rpm에서와 마찬가지로 방사선 조사량이 커질수록 점도가 낮아졌으나 조사량간의 차이가 작으므로 50 rpm에서 점도를 측정하는 것이 조사량과 점도간의 관계를 비교하기에 적당하다. 2.5kGy로 방사선 조사한 국산 기장에 대해서 rpm을 50, 150 및 300 rpm으로 달리하여 점도를 측정하였을 때 각각 143.38±0.44, 105.98±2.60 및 57.44±0.36으로 rpm이 커질수록 점도가 작아짐을 알 수 있었다.

중국산 기장에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과는 Table 13과 같다. 즉, 50 rpm에서 측정된 중국산 기장의 점도가 control 일 때 85.34±1.94이고 2.5kGy로 조사했을 때 83.54±1.34로 그 점도의 차이는 작았으나

유의성이 있었으며 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0kGy의 조사 수준에서 각각 77.92±3.54, 75.00±1.90, 71.56±1.67 및 69.54±0.12로 조사량이 높아짐에 따라 그 점도가 작아짐을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 이 등(16)에 의해 amylograph로 Job's-tear, polished barley, polished rice 및 brown rice의 점도를 측정했을 때 조사량의 증가에 따라 점도가 감소하는 것과 유사한 결과였다. Sokhey와 Hanna는 시리얼의 점도 감소를 감마선에 의한 free radical의 생성에 의한 것이라고 설명하였다(17). 따라서 방사선에 의해 시리얼의 starch 분자의 물리적 및 물성적 변화의 영향으로 free radical이 증가하는 것과 같다고 보고하였다(17).

Table 13. Viscosity of irradiated *Panicum miliaceum* prepared with 10% concentration at various doses and rpms

(Unit: mPa・s)

rpm		Irradiation dose (kGy)					
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0
50	Korea	143.38±0.44[1)a2)]	108.98±2.04[b]	23.64±1.90[c]	21.36±0.50[c]	13.5±0.86[d]	6.60±1.16[d]
	China	85.34±1.94[a]	83.54±1.34[b]	77.92±3.54[c]	75.00±1.90[c]	71.56±1.67[c]	69.54±0.12[d]
150	Korea	105.98±2.60[a]	70.67±0.42[b]	22.49±0.95[c]	16.19±0.98[c]	9.27±0.48[d]	8.38±0.12[d]
	China	49.53±0.37[a]	48.43±0.15[b]	45.59±0.23[c]	44.05±0.17[c]	43.81±0.09[d]	42.97±0.13[d]
300	Korea	57.44±0.36[a]	46.89±3.57[b]	15.24±0.76[c]	9.57±1.73[d]	6.02±0.01[d]	5.16±0.16[d]
	China	28.80±0.22[a]	27.60±0.14[b]	26.06±0.07[c]	25.39±0.04[d]	24.82±0.03[d]	24.78±0.05[d]

[1)]Mean value ± standard deviation for 3 measurements

[2)]Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in on way ANOVA($p < 0.05$).

2) 수수(*Andropogon sorghum*)의 점도 변화

국산 수수에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과는 Table 14와 같다.

즉, 50rpm에서 측정된 국산 수수의 점도가 0, 2.5kGy의 조사 수준에서 각각 35.92±1.90, 21.96±1.02로 조사된 수수와 조사되지 않은 수수의 점도 차이는 볼 수 있었으나 5.0kGy이상에서는 각각 11.04±0.86, 7.06±1.16, 6.20±0.22 및 3.86±0.32로 유의적 차이를 나타내지 않았다. 150 및 300 rpm에서도 마찬가지로 방사선 조사된 수수와 조사되지 않은 수수간의 점도 차이는 볼 수 있었으나 5.0kGy 이상에서는 점도의 차이가 매우 적으므로 5.0kGy 이상에서는 국산 수수의 조사량과 점도의 상관관계를 보기가 어렵다. 또한 rpm 간의 차이를 비교해보면, 2.5kGy로 조사된 국산 수수의 50, 150 및 300 rpm에서의 각각의 점도는 35.92±1.90, 35.68±0.71 및 24.18±0.29로 rpm간의 점도의 차이가 크지 않음을 알 수 있었으며 15.0kGy로 조사량이 커질수록 그 차이는 더욱 작게 나타났다.

중국산 수수에 대한 방사선 조사량에 따른 점도 변화의 결과는 Table 14와 같다. 즉, 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0kGy의 방사선 조사한 중국산 수수의 점도가 50 rpm에서 각각 90.44±3.05, 79.34±1.5, 32.84±2.18, 13.76±0.74, 13.36±1.70, 13.02±0.94로 방사선 조사된 수수와 조사 안된 시료간의 점도의 차이가 현저하게 나타났으며 조사량이 커질수록 점도가 점점 낮아짐을 알 수 있었으며 국산 수수와는 달리 5.0 kGy이상에서도 조사량간의 점도의 차이는 유의적으로 나타났다. 이와 같은 결과와 마찬가지로 Komiya 등의 방사선 조사 증가에 따라 감자 및 옥수수 전분의 점도가 감소된다는 보고와 동일한 결과(18)였고 또한 Koksel 등(19)은 방사선 조사된 밀의 딱딱함 및 견고함이 대조구에 비해 강도가 낮음을 보고하였으며 MacArthur 등(20)은 방사선 조사에 의한 곡류의 강도 감소가 분자사이의 수소결합의 파괴뿐만 아니라 전분 입자의 파괴 때문이라고 보고하였다.

Table 14. Viscosity of irradiated *Andropogon sorghum* prepared with 10% concentration at various doses and rpms

(Unit: mPa · s)

rpm		Irradiation dose (kGy)					
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0
50	Korea	35.92±1.90[1)A2)]	21.96±1.02[b]	11.04±0.86[c]	7.06±1.16[c]	6.20±0.22[c]	3.86±0.32[d]
	China	90.44±3.05[a]	79.34±1.5[b]	32.84±2.18[c]	13.76±0.74[d]	13.36±1.70[d]	13.02±0.94[d]
150	Korea	35.68±0.71[a]	17.49±0.64[b]	6.69±0.40[c]	6.79±0.46[c]	5.08±0.17[d]	3.32±1.14[d]
	China	58.19±0.66[a]	50.29±0.60[b]	18.16±0.38[c]	14.29±0.17[c]	11.98±0.52 [c]	8.66±0.23[d]
300	Korea	24.18±0.29[a]	12.53±1.28[b]	5.08±0.67[c]	4.61±0.08[d]	3.41±0.24[d]	2.67±0.15[d]
	China	39.24±0.52[a]	34.65±0.65[b]	15.20±0.37[c]	11.73±0.33[d]	9.79±0.29[d]	6.68±0.28[d]

[1)]Mean value ± standard deviation for 3 measurements

[2)]Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in on way ANOVA($p < 0.05$).

방사선 조사된 기장 및 수수의 회귀식 및 회귀계수는 Table 15와 같다. 즉, 50 rpm에서 국산 및 중국산 기장의 회귀 계수가 각각 0.89(y=-27.789x+150.17) 및 0.98(y= -3.367x+88.93)로 국산 보다 중국산 기장이 점도와 조사량간의 높은 상관성을 나타내었다. 국산 및 중국산 수수의 회귀계수는 각각 0.84(y=-6.0466x+35.49) 및 0.84(y=-13.346x+ 101.67)로 기장보다는 낮은 상관성을 나타내었다.

Table 15. Regression expressions and coefficients of *Panicum miliaceum* and *Andropogon sorghum* between irradiation dose and viscosity at various rpms

Rpm	*Panicum miliaceum*	
	Korean	Chinese
50	y = -27.789x + 150.17 R^2 = 0.80	y = -3.367x + 88.93 R^2 = 0.98
150	y = -19.387x + 106.68 R^2 = 0.82	y = -1.3771x + 50.55 R^2 = 0.93
300	y = -11.34x + 62.35 R^2 = 0.83	y = 0.8317x + 29.153 R^2 = 0.91
Rpm	*Andropogon sorghum*	
	Korean	Chinese
50	y = -6.0466x + 35.49 R^2 = 0.84	y = -13.346x + 101.67 R^2 = 0.84
150	y = -5.6837x + 32.401 R^2 = 0.74	y = -10.47x + 63.573 R^2 = 0.83
300	y = -3.868x + 22.28 R^2 = 0.75	y = -6.8814x + 43.6 R^2 = 0.87

3) 감자 전분의 점도 변화

국산 감자전분에 대한 방사선 조사량에 따른 점도측정의 결과는 Table 16과 같다. 즉, 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy로 조사한 감자전분에 대한 50 rpm에서의 점도가 각각 35.00±0.34, 27.55±0.36, 25.55±0.09, 17.51±0.48, 15.70±1.02 및 11.38±0.92 mPa·s로 비조사된 전분과 조사된 전분간의 점도의 차이를 볼 수 있었으며 방사선 조사량이 증가할수록 점도가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 모든 rpm에서 유사하게 나타났고 50, 150 및 300 rpm에서 상관계수가 각각 0.97 (y=-4.6197x+38.284), 0.96 (y=-2.9206x+27.345) 및 0.93 (y=-1.7897x+15.414)으로 점도와 조사량간의

높은 상관성을 나타내었으며 300 rpm 보다 50 rpm에서 측정했을 때 점도와 조사량간의 상관성이 더 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Komiya 등에 의한 방사선 조사 증가에 따라 감자 및 옥수수 전분의 점도가 감소된다는 보고와 유사한 결과를 나타내었다(18). 중국산 감자전분에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과를 살펴보면, 대조구와 2.5 kGy로 조사된 전분의 점도가 각각 178.12±0.86 및 58.86±5.63으로 대조구 전분의 점도가 더 크게 나타남을 볼 수 있었으며 국산과 유사하게 조사량을 15.0 kGy로 증가했을 때 7.90±0.03으로 점도가 저하됨을 알 수 있었다. 이와 같은 경향은 모든 rpm에서 유사한 경향을 보였으며 각 rpm에 대한 상관계수는 0.69 (y=-28.849x+152.25), 0.74 (y=-12.638x+69.527) 및 0.78 (y=-6.9263x+38.892)로 국산과는 달리 300 rpm에서 측정했을 때 조사량과 점도간의 상관관계가 더 낮아짐을 알 수 있었다.

Table 16. Viscosity of irradiated potato starch prepared with 3% concentration at various irradiation doses and rpms

(unit: mPa · s)

Rpm	Origin	Irradiation dose (kGy)							
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	Regression expressions	Coefficients
50	Korea	35.00 ±0.34[1)a2)]	27.55 ±0.36[b]	25.55 ±0.09[c]	17.51 ±0.48[d]	15.70 ±1.02[d]	11.38 ±0.92[d]	y=-4.6197x +38.284[3)]	r^2 = 0.97
	China	178.12± 0.86[a]	58.86 ±5.63[b]	31.84 ±1.18[c]	21.50 ±2.82[d]	9.44 ±0.46[e]	7.90 ±0.03[e]	y=-28.849x +152.25	r^2 = 0.69
150	Korea	24.03 ±0.39[a]	21.32 ±0.82[b]	20.55 ±0.28[c]	14.37 ±0.53[d]	12.14 ±0.26[d]	10.33 ±0.05[d]	y=-2.9206x +27.345	r^2 = 0..96
	China	78.13 ±2.84[a]	31.41 ±1.75[b]	18.41 ±1.54[c]	10.65 ±0.34[d]	7.75 ±0.04[e]	5.41 ±0.34[e]	y=-12.638x +69.527	r^2 = 0.74
300	Korea	13.07 ±0.19[a]	12.31 ±0.14[b]	11.31 ±0.41[c]	6.95 ±0.26[d]	6.15 ±0.13[d]	5.11 ±0.02[e]	y=-1.7897x +15.414	r^2 = 0.93
	China	41.73 ±2.32[a]	21.20 ±0.26[b]	9.56 ±0.19[c]	6.96 ±0.12[d]	4.91 ±0.17[e]	3.54 ±0.16[e]	y=-6.9263x +38.892	r^2 = 0.78

1) Mean value ± standard deviation for 3 measurements

2) Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in on way ANOVA($p < 0.05$).

3) y : viscosity x : irradiation dose

4) 고구마 전분의 점도 변화

국산 고구마 전분에 대한 방사선 조사에 따른 결과는 Table 17과 같다. 즉, 국산 고구마 전분에 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 방사선을 조사하였을 때 그 점도가 50 rpm에서 각각 14.02±0.62, 8.20±0.38, 6.52±0.82, 4.32±0.04, 3.82±0.05 및 2.74±0.80이였다. 이와 같은 결과에서 볼 수 있듯이 비조사 고구마 전분과 조사된 전분간의 점도의 차이가 크게 나타났으며 방사선 조사량이 클수록 그 점도가 작게 나타났다. 이러한 경향은 모든 rpm에서 동일하였고 각 rpm에서 상관계수는 0.88 (y=-1.5146x+12.023),

0.91 (y=-1.44x+9.9267) 및 0.97 (y=-0.602x+5.222)이었다.

중국산 고구마 전분에 대한 방사선 조사량에 따른 점도 변화의 결과를 살펴보면 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy 방사선 조사한 중국산 고구마 전분의 점도가 50 rpm에서 각각 18.42±0.62, 11.97±0.38, 7.85±0.82, 7.80 ±0.04, 5.06±0.50 및 3.90±0.80으로 대조구와 방사선 조사된 고구마 전분 간의 점도의 차이를 볼 수 있었으며 조사량이 클수록 점도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이런 경향은 모든 rpm에서 옥수수, 감자 전분과 동일하게 나타났다. 각각의 rpm에서 중국산 고구마 전분의 점도와 조사선량간의 회귀식과 상관계수는 0.88 (y=-2.668x+18.505), 0.88 (y=-1.441x+10.254), 0.74 (y=-0.7909x+6.428)이었다.

식품 내의 다당류와 그 분해물은 texture와 rheology 특성에 크게 영향을 미치게 되는데 starch, pectin 그리고 hydrocolloid는 방사선 조사에 의해 물리적, 화학적으로 작은 변화가 일어나 그 특성이 강하게 변화한다(21). 특히 감마선 조사에 의해 생성된 free radical은 전분 분자내부의 수소결합을 분리하여 전분 chain의 변형과 절단을 일으켜 분자크기를 감소시키므로 점도는 감소하게 된다(16). 따라서 점도 측정법은 starch 함량이 많은 식품류의 방사선 검지법으로 제안되고 있다(2,4,16).

Table 17. Viscosity of irradiated sweet potato starch prepared with 3% concentration at various irradiation doses and rpms

(Unit: mPa · s)

Rpm	Origin	Irradiation dose (kGy)							
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	Regression expressions	Coefficients
50	Korea	14.02 ±0.62[1)a2)]	8.20 ±0.38[b]	6.52 ±0.82[c]	4.32 ±0.04[d]	3.82 ±0.05[de]	2.74 ±0.80[e]	y=-1.5146x +12.023[3)]	r^2= 0.88
	China	18.42 ±0.62[a]	11.97 ±0.38[b]	7.85 ±0.82[c]	7.80 ±0.04[c]	5.06 ±0.50[d]	3.90 ±0.80[d]	y=-2.668x +18.505	r^2= 0.88
150	Korea	7.04 ±0.53[a]	4.78 ±0.21[b]	4.12 ±0.47[bc]	3.6 ±0.23[c]	2.53 ±0.45[d]	1.85 ±0.56[d]	y=-1.44x +9.9267	r^2= 0.91
	China	10.13 ±0.53[a]	6.15 ±0.27[b]	5.55 ±0.46[c]	4.58 ±0.24[d]	2.31 ±0.45[f]	2.54 ±0.56[f]	y=-1.441x +10.254	r^2= 0.88
300	Korea	4.60 ±0.25[a]	3.10 ±0.12[b]	2.78 ±0.24[c]	2.49 ±0.03[cd]	2.21 ±0.10[d]	1.82 ±0.12[e]	y=-0.602x +5.222	r^2= 0.97
	China	6.97 ±0.34[a]	3.97 ±0.12[b]	3.08 ±0.02[bc]	3.06 ±0.03[bc]	2.65 ±0.11[bc]	2.23 ±0.13[c]	y=-0.7909x +6.428	r^2= 0.74

1) Mean value ± standard deviation for 3 measurements

2) Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in on way ANOVA($p < 0.05$).

3) y : viscosity x : irradiation dose

5) 옥수수 전분의 점도 변화

국산 옥수수 전분에 대한 방사선 조사에 따른 점도측정의 결과는 Table 18과 같다. 즉, 50 rpm에서 대조구 옥수수 전분 및 2.5 kGy로 조사된 전분의 점도가 각각 11.86±0.86 및 7.26±0.42로 조사 유무에 따라 점도의 차이가 있음을 볼 수 있었다. 그러나 2.5 kGy에서 7.5 kGy 까지의 조사선량에서는 조사량이 증가함에 따라 점도는 감소하였으나 유의성은 볼 수 없었으며 이때 상관계수는 0.88(y=−1.5146x+12.023)이었다. 그러나 300 rpm에서는 조사선량이 증가할수록 점도는 유의적으로 감소하였다. 중국산 옥수수 전

분에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과를 살펴보면 0, 2.5, 5.0, 7.5 10.0 및 15.0 kGy의 조사 수준에 대한 옥수수 전분의 점도는 각각 21.74±0.92, 11.28±0.42, 7.14±0.26, 5.68±0.20, 3.50±0.54 및 3.04±0.44 mPa・s로서 대조구 중국산 옥수수 전분과 조사된 전분간의 유의적인 점도의 차이를 볼 수 있었으며 조사량이 증가함에 따라 점도가 감소함을 볼 수 있었다. 이런 경향은 모든 rpm에서 동일하게 나타났다.

Table 18. Viscosity of irradiated corn starch prepared with 3% concentration at various irradiation doses and rpms

(Unit: mPa・s)

Rpm	Origin	Irradiation dose(kGy)							
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	Regression expressions	Coefficients
50	Korea	11.86 ±0.86[1)a2)]	7.26 ±0.42[b]	7.06± 0.74[b]	6.64± 0.54[b]	4.53± 0.20[c]	2.98± 0.80[d]	y=-1.5146x +12.023[3)]	r^2 = 0.88
	China	21.74 ±0.92[a]	11.28± 0.42[b]	7.14± 0.26[c]	5.68± 0.20[d]	3.50± 0.54[de]	3.04± 0.44[e]	y=-3.38x +20.56	r^2 = 0.81
150	Korea	9.72 ±0.39[a]	5.93± 0.12[b]	5.25± 0.21[b]	4.06± 0.71[b]	2.31± 0.12[c]	2.05± 0.12[c]	y=-1.44x +9.9267	r^2 =0.91
	China	8.46 ±0.06[a]	6.05± 0.09[b]	5.50± 0.10[bc]	3.89± 0.06[c]	2.94± 0.17[d]	2.32± 0.17[d]	y=-4.6197x +38.284	r^2 = 0.97
300	Korea	4.65 ±0.23[a]	4.29± 0.31[a]	3.09± 0.2[a]	2.70± 0.11[b]	2.18± 0.08[b]	1.78± 0.11[bc]	y=-0.602x +5.222	r^2 = 0.97
	China	5.71 ±0.22[a]	4.45± 0.01[b]	3.55± 0.09[c]	2.82± 0.03[cd]	2.22± 0.06[d]	1.41± 0.04[e]	y=-0.8263x +6.252	r^2 = 0.98

1) Mean value ± standard deviation for 3 measurements

2) Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in on way ANOVA($p < 0.05$).

3) y : viscosity x : irradiation dose

나. 품목별 specific parameter 설정

1) 기장(*Panicum miliaceum*)의 specific parameter

국산기장은 각각의 shear rate에서 specific parameter가 조사선량이 증가할수록 감소하였는데 비교적 높은 유의성을 나타내어 선량의존성이 있음을 알 수 있었다(Fig. 2). 또한 rpm이 증가할수록 specific parameter는 모든 선량에서 감소하였고 그 경향은 유사하였다. 특히 50 rpm에서 유의성이 가장 크게 나타나(R^2= 0.9117) 낮은 rpm일수록 조사·비조사구간의 조사여부 확인이 뚜렷하였다. 이러한 결과로 국산 기장의 경우 비조사구와 조사구간의 threshold value(specific parameter)를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다. 중국산 기장의 경우 모든 rpm에서 선량이 증가하면 specific parameter가 감소하였으나 조사선량 증가에 따른 그 변화가 국산에 비해 작게 나타나 조사여부 확인을 뚜렷이 알아볼 수가 없었다(Fig. 2). 이는 점도 측정시 조사선량에 따른 점도의 감소가 국산에 비해 작게 나타난 결과로 인한 것이다. 이러한 결과로 비조사구와 조사구간의 threshold value(specific parameter)를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 기대된다.

2) 수수(*Andropogon sorghum*)의 specific parameter

국산 수수의 specific parameter는 모든 rpm에서 조사선량이 증가할수록 급격히 감소하여 선량의존성이 크게 나타났다(Fig. 3). 또한 rpm이 증가할수록 specific parameter는 모든 조사선량에서 작게 나타났는데 50 rpm에서 유의성이 가장 크게 나타나 낮은 rpm에서 specific parameter의 선량의존성이 크다고 할 수 있다. 50 rpm에서 300 rpm으로 증가함에 따라 그 값은 모두 감소하였는데 이는 rpm이 증가하면서 점도가 감소하는 이유이다.

중국산 수수는 역시 모든 rpm에서 조사선량이 증가할수록 specific parameter는 거의 비례적으로 감소하는 경향을 보여 선량의존성이 크게 나타났다(Fig. 3).

Hayashi 등의 보고(21)에서와 같이 점도와 전분함량의 일관된 parameter는 방사선조사 처리된 spice류에 있어 점도값 자체보다 더 유용하며 이는 조사처리에 의한 점도변화에 전분이 크게 관여하고 전분함량과 관계 있는 재배지역의 영향을 배제할 수 있기 때문에 기장 및 수수와 같이 전분함량이 많은 곡류는 specific paramter를 설정하여 점도법에 의한 곡류의 방사선 조사여부 확인이 가능할 것으로 기대된다.

3) 감자 전분의 specific parameter

국산 감자전분의 경우 비조사구의 specific parameter는 조사구의 값보다 높게 나타났으며 각 rpm에서의 specific parameter값은 조사선량에 따라 감소하는 경향이었다(Fig. 4). 이들의 상관계수는 0.91에서 0.98로 비조사 및 조사 처리구간의 조사의존성이 있음을 알 수 있었다. 특히 50 rpm에서 specific parameter는 비조사처리구와 2.5 kGy 처리구에서 비례적인 감소경향을 나타내어 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다. 중국산의 경우 국산에 비해 specific parameter의 값은 다소 크게 나타나지만, 각 rpm에서 조사선량에 따라 감소하였고 50 rpm에서 조사선량에 따라 급격한 감소 경향을 보여주어 선량 의존성이 높게 나타났다. 이로써 감자전분은 비조사구와 조사구간의 specific parameter를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 판단되었다.

4) 옥수수 전분의 specific parameter

국산 옥수수전분의 경우 비조사구의 모든 specific parameter는 조사구의

값보다 높게 나타났으며 각 rpm에서의 값은 조사선량에 따라 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 5). 이때의 상관계수는 모두 0.9 이상으로 parameter value가 비조사 및 조사 처리구간의 조사 의존성이 있음을 확인하였다. rpm이 50 rpm에서 300 rpm으로 증가함에 따라 그 값은 모두 감소하였는데 이는 rpm이 증가하면 점도가 감소하는 이유에서 비롯되며 이러한 점도의 감소는 특히 50 rpm과 150 rpm에서 그 specific parameter는 각각 2.35, 1.55이며, 2.5 kGy 처리구는 각각 1.44, 0.95로서 거의 비례적인 감소경향을 나타내었다. 중국산의 경우, 비조사구의 specific parameter는 국산과 마찬가지로 조사구의 값보다 높게 나타났고 각각의 rpm에서 조사선량에 따라 감소하여(R^2= 0.84, 0.86, 0.92) 비조사·조사처리구간의 조사 의존성을 확인하였다(Fig. 5).

5) 고구마 전분의 specific parameter

국산 및 중국산 고구마전분은 감자전분과 마찬가지로 조사선량에 따라 specific parameter의 값은 감소하였고 rpm에 관계없이 모두 높은 상관성을 보여 주었다(Fig. 6). 50 rpm에서는 국산 및 중국산 모두 비조사구와 2.5 kGy 처리구간의 비례적인 감소를 보여 조사여부 확인이 가능할 것으로 생각된다. 특히 점도와 전분함량의 일관된 parameter는 방사선 조사 처리된 spice류에 있어 점도값 자체보다 더 유용한데 이는 조사처리에 의한 점도변화에 전분이 크게 관여하고 전분함량과 관계 있는 재배지역의 영향을 배제할 수 있기 때문이라는 Hayashi 등의 보고(21)처럼 국산 및 중국산 고구마전분의 specific paramter는 유사한 경향으로 나타나 고구마전분의 방사선 조사여부 확인에 있어서 재배지역에 따른 차이를 볼 수 없었다.

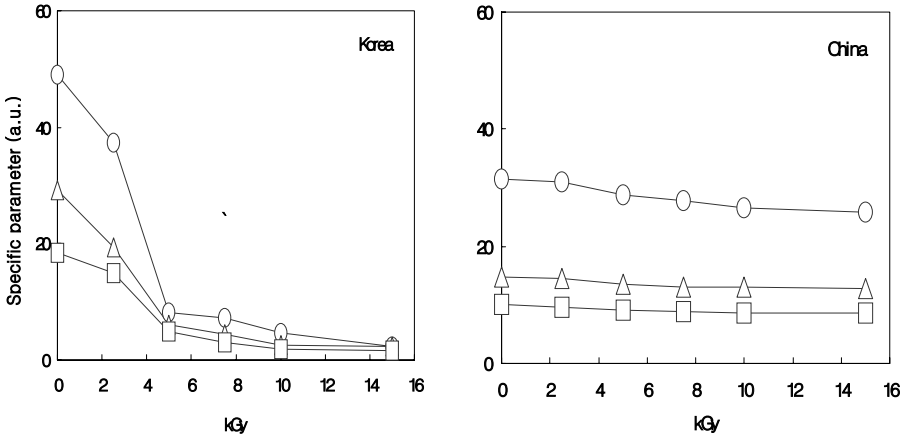

Fig. 2. Changes in specific parameters of irradiated *Panicum miliaceum* powder by measuring viscosity at various rpms (○-○; 50 rpm, △-△; 150 rpm, □-□; 300 rpm).

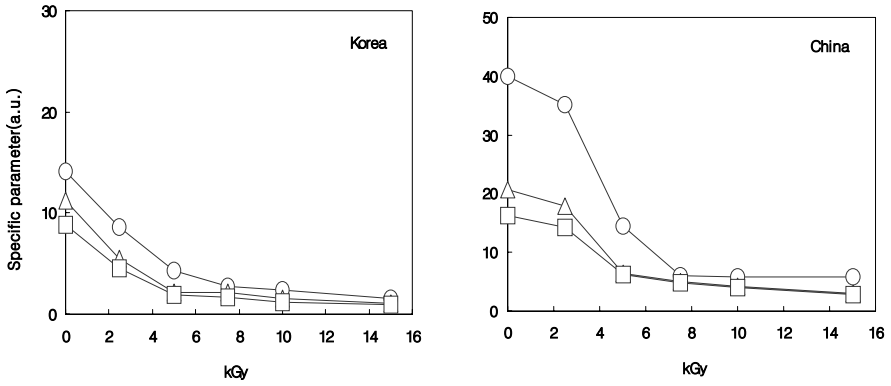

Fig. 3. Changes in specific parameters of irradiated *Andropogon sorghum* powder by measuring viscosity at various rpms (○-○; 50 rpm, △-△; 150 rpm, □-□; 300 rpm).

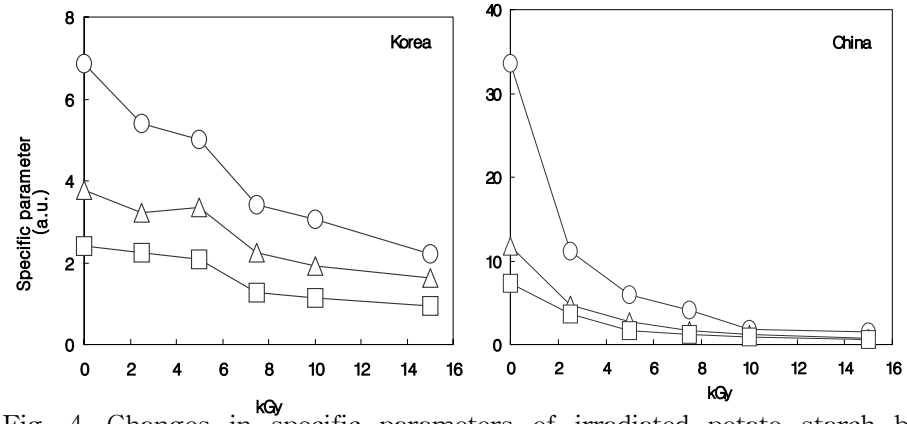

Fig. 4. Changes in specific parameters of irradiated potato starch by measuring viscosity at various rpms (○-○; 50 rpm, △-△; 150 rpm, □-□; 300 rpm).

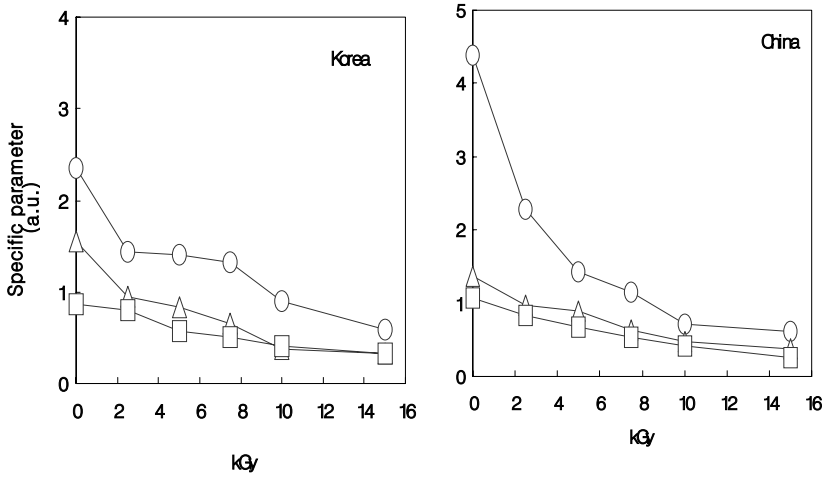

Fig. 5. Changes in specific parameters of irradiated corn starch by measuring viscosity at various rpms (○-○; 50 rpm, △-△; 150 rpm, □-□; 300 rpm).

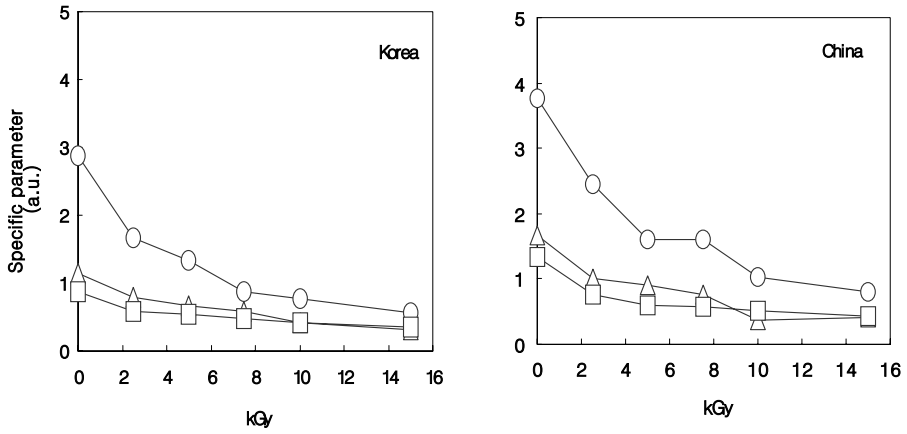

Fig. 6. Changes in specific parameters of irradiated sweet potato starch by measuring viscosity at various rpms (○-○; 50 rpm, △-△; 150 rpm, □-□; 300 rpm).

다. 보조 검지 시험의 상관성

1) 곡류 및 전분류

기장 및 수수의 방사선 조사에 따른 미생물농도의 변화를 Table 19에 나타내었다. 기장 및 수수의 비조사 처리구의 미생물농도는 각각 10^2 및 2.8×10^3 CFU/g로 측정되었다. 기장의 경우 조사처리 후 미생물은 측정되지 않아 방사선 조사처리에 의해 살균효과가 나타난 것으로 생각되었다. 수수의 경우, 2.5 kGy 처리 시 10^2CFU/g로 측정되었으며 고선량 처리 시 미생물이 측정되지 않아 수수 역시 방사선 조사에 의한 미생물 살균효과를 확인하였다.

각 전분의 방사선 조사에 따른 미생물농도의 변화를 Table 13에 나타내었다. 감자 전분 및 고구마 전분 그리고 옥수수 전분의 비조사 처리구의 미생물농도는 각각 1.5×10^3, 3×10^2 및 7.5×10^2CFU/g로 측정되었다.

모든 전분에서 조사처리 후 미생물은 측정되지 않아 방사선 조사처리에 의해 살균효과가 나타난 것으로 생각되었다.

Table 19. Changes of total viable counts of irradiated cereals and starches at various doses

(unit ; CFU/g)

Sample \ Doses	0	2.5	5	7.5	10	15
기장	10^2	-	-	-	-	-
수수	2.8×10^3	10^2	-	-	-	-
감자전분	1.5×10^3	-	-	-	-	-
고구마전분	3×10^2	-	-	-	-	-
옥수수전분	7.5×10^2	-	-	-	-	-

4. 모델 농산물의 검지 가능 기간 확인

가. 저장 온도 및 기간에 따른 점도 변화

1) 국산 옥수수 전분

각 저장 온도에서 국산 옥수수전분의 점도 변화는 Fig. 7과 같다. 0 ℃에서 각 선량별 점도는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 비조사구의 경우, 초기 226.99에서 189.13으로 조금씩 감소하였고 2.5 kGy 조사구 역시 초기 102.92에서 71.16으로 감소하였다. 5 kGy 조사구는 저장 기간 중 점도가 증감을 반복하였으나 저장 9개월째에 저장 초기보다 낮게 측정되었고 7.5 kGy 이상의 고선량 처리구 역시 저장 후기까지 점도가 감소하였다. 각 저장 시점에서 비조사구과 조사구간의 점도값은 큰 차이가 났으며 조사선량이 증가할수록 점도값은 낮아짐을 확인하였다. 즉, 저장 초기 비조사구의 점도는 226.99에서 조사선량이 증가할수록 각각 102.62, 24.25, 22.25, 12.00, 10.87로 낮아졌으며 저장 9개월 시점에서도 동일하였다.

20 ℃ 저장의 경우, 비조사구의 점도는 초기 226.99에서 저장 3개월에 267.89로 증가하였으나 이후 255.31, 264.75로 다시 감소하였다. 비조사구의 경우 저장 기간 전체로 볼 때 증감을 반복하다가 저장 초기보다 오히려 증가하여 0℃ 저장 처리구와 다른 경향을 나타내었다. 그러나 2.5 kGy 처리구는 저장기간 중 102.33, 97.64, 89.02로 조금씩 감소하였으며 5 kGy 이상 처리구들은 초기값에서 증감을 반복하여 저장기간에 따른 일정한 변화를 볼 수 없었다. 저장 3개월 시점에서 조사선량이 증가함에 따라 점도는 267.89, 102.33, 26.14, 20.62, 10.88, 8.30으로 점차 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 저장 9 개월까지도 동일하게 나타나 저장처리시 점도 측정값으로 방사선 조사여부를 확인할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 국산

옥수수전분을 0 ℃ 및 20 ℃에서 9개월까지 저장했을 때 점도 측정에 의해 비조사구 및 조사구간의 구분이 가능하였다.

2) 중국산 옥수수 전분

각 저장 온도에서 중국산 옥수수전분의 점도 변화는 Fig. 8과 같다. 0 ℃에서 각 선량별 점도는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 비조사구는 초기 202.62에서 181.62로 감소하였으며 2.5 kGy 조사구 역시 98.16, 55.42로 감소하는 경향을 보였다. 모든 처리구의 점도값은 유사한 경향으로 변화하였다. 이는 국산 옥수수전분의 점도변화와 동일하였다. 저장 기간 중 비조사구와 조사구간의 점도값은 큰 차이가 났으며 조사선량이 증가할수록 점도값은 낮아짐을 확인할 수 있었다. 즉, 저장 초기 비조사구의 점도는 202.62이며 조사선량이 증가하면서 98.16, 40.51, 25.64, 17.02, 12.55로 낮아졌다. 이러한 경향은 저장 3, 6 및 9개월 시점에서도 각각 나타났다. 20 ℃ 저장시 중국산 옥수수전분의 점도변화는 비조사구의 경우 0 ℃ 저장구와 달리 저장 기간 중 조금씩 증가하면서 저장 9개월에는 저장 초기보다 크게 측정되었다. 그러나 2.5 kGy 이상 처리구 모두 저장기간 중 점도가 감소하는 경향을 나타내었다. 각 저장 시점에서 비조사구와 조사처리구의 점도값은 그 차이가 크게 나타났다. 즉, 저장 3개월에 비조사처리구의 경우 219.58로 나타났으며 조사선량이 증가함에 따라 77.22, 39.32, 28.32, 15.32, 9.89로 측정되었다. 이와 같은 결과로 중국산 옥수수 전분 역시 0 ℃ 및 20 ℃ 저장 처리시 점도 측정을 통해 방사선 조사여부를 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

이상에서 국산 및 중국산 옥수수전분의 점도변화는 각 저장온도에 따라 조금 다른 양상을 보였으나 각 저장 시점에서 점도 측정값을 통해 조사구와 비조사구를 구분할 수 있었으며 저장 9개월까지도 그 구분이 가능하였다. 따라서 옥수수전분의 경우 방사선 조사 처리 후 일정기간 경과하여도

점도 측정을 통해 조사여부를 확인할 수 있어 점도 측정법은 방사선 조사 여부를 위한 하나의 검지법으로 기대된다.

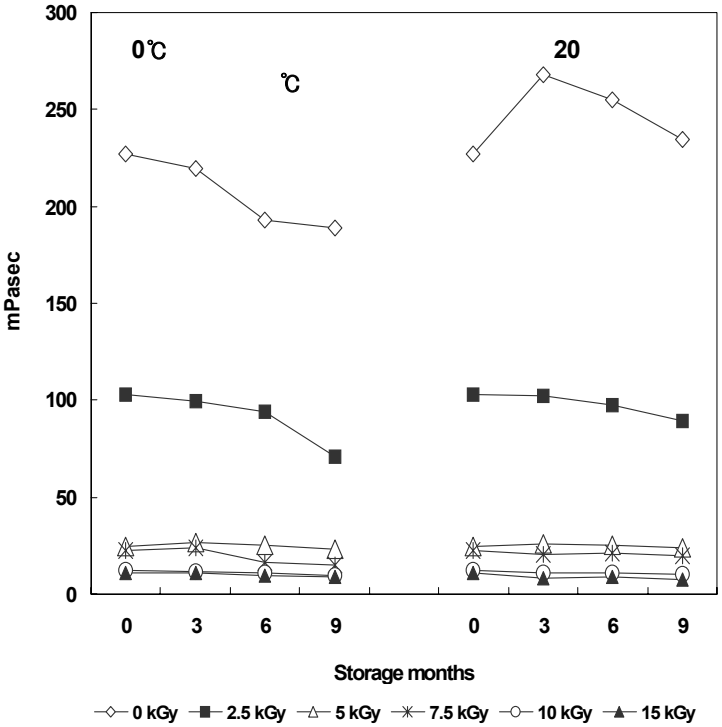

Fig. 7. Changes of viscosity for irradiated corn starch powders from Korea prepared with 3 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

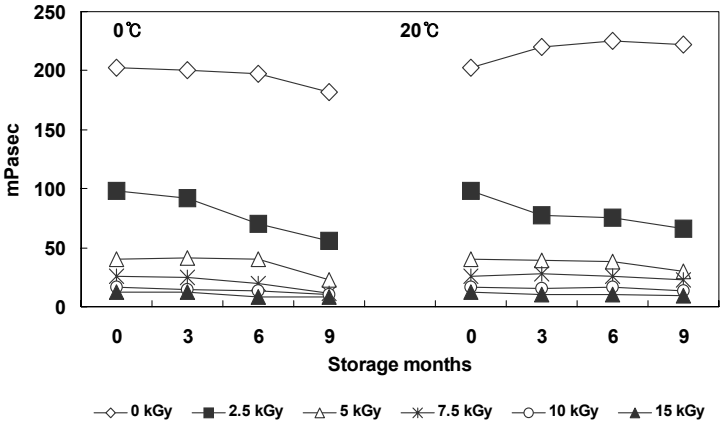

Fig. 8. Changes of viscosity for irradiated corn starch powders from China prepared with 3 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

3) 국산 기장(*Panicum miliaceum*)

각 저장 온도에서 국산 기장의 점도 변화는 Fig. 9와 같다. 0 ℃에서 각 선량별 점도는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 비조사구의 경우, 초기 1065.83에서 1053.94, 1068.99, 965.86으로 조금씩 감소하였고 2.5 kGy 조사구 역시 703.44에서 684.57, 584.59, 556.46으로 감소하였다. 5 kGy 이상의 고선량 처리구 역시 저장 후기까지 점도가 감소하여 0℃ 저장 기간동안 국산 기장의 점도는 감소하는 것으로 나타났다. 각 저장 시점에서 비조사구와 조사구간의 점도값은 큰 차이가 나 비조사구와 조사구간의 구별이 가능하였다. 즉, 저장 초기 비조사구가 226.99으로 측정되었으며 조사선량이 증가할수록 각각 703.44, 193.29, 192.02, 69.44, 64.25로 낮아짐을 알 수 있었다. 저장 9개월이 경과하여도 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 국산 기장을 0 ℃에서 9개월까지 저장했을 때 점도 측정에 의해 비조사구 및 조사구간의 구분이 가능하였다.

20 ℃ 저장의 경우, 비조사구의 점도는 초기 1065.83에서 저장 3개월에 1365.35로 증가하였으나 이후 1284.36, 1165.26으로 다시 감소하였다. 2.5 kGy 이상 처리구의 경우도 초기 점도값이 증감을 반복하여 저장기간에 따른 일정한 변화를 찾아 볼 수 없었다. 저장 3개월 시점에서 조사선량이 증가함에 따라 점도는 1365.35, 695.51, 165.62, 108.30, 80.30, 52.40으로 점차 낮아졌으며 이러한 경향은 저장 9 개월까지도 동일하게 나타났다. 따라서 방사선 조사처리 된 국산 기장의 경우 저장 온도조건에 상관없이 점도 측정값으로 방사선 조사여부를 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

4) 중국산 기장(*Panicum miliaceum*)

각 저장 온도에 따른 중국산 기장의 점도 변화는 Fig. 10와 같다. 0 ℃에서 각 선량별 점도는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 비조사구, 2.5 kGy 및 5 kGy 조사구는 초기값에서 감소하는 경향을 보여 모든 처리구의 점도값은 국산 기장의 점도변화와 동일하였다. 저장 기간 중 비조사구와 조사구간의 점도값은 큰 차이가 났으며 조사선량이 증가할수록 점도값은 낮아짐을 확인할 수 있었다. 즉, 저장 초기 비조사구의 점도는 1256.89이며 조사선량이 증가하면서 961.51, 327.58, 179.98, 113.74, 90.52로 낮아졌다. 이러한 경향은 저장 3, 6 및 9개월 시점에서도 각각 나타나 중국산 기장을 0 ℃에서 9개월까지 저장했을 때 점도 측정에 의해 비조사구 및 조사구간의 구분이 가능하였다. 20 ℃ 저장시 중국산 기장의 점도변화를 살펴보면 비조사구의 경우 저장 초기 1256.89에서 저장 3개월에 1383.45로 크게 증가하였으며 저장 6개월부터 1139.54, 1084.11로 다시 감소하였다. 그러나 2.5 kGy 이상 처리구의 경우 저장 기간 경과 및 조사선량에 따른 일정한 경향을 찾아볼 수 없었다. 저장 3개월에 비조사 처리구의 경우 1383.45로 나타났으며 조사선량이 증가함에 따라 832.18, 418.80, 175.58, 108.82, 60.87로 측정되었다. 저장기간 동안 조사선량이 증가

할수록 점도는 감소하고. 비조사구와 조사구간의 구분이 가능하여 중국산 기장 역시 어떠한 저장 조건에서도 조사선량과 점도값의 양상이 다르지 않아 점도 측정을 통해 방사선 조사여부를 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

이상에서 국산 및 중국산 기장의 저장 기간에 따른 점도변화는 저장온도별로 조금 다른 변화를 보였으나 각 저장 시점에서 조사선량에 따라 점도값이 감소하여 비조사구와 조사구를 구분할 수 있었다. 따라서 기장의 방사선 조사 처리 후 저장 중에 점도 측정으로 조사여부를 확인할 수 있어 곡류의 점도 측정법을 통해 조사 여부를 검지할 수 있을 것으로 기대된다.

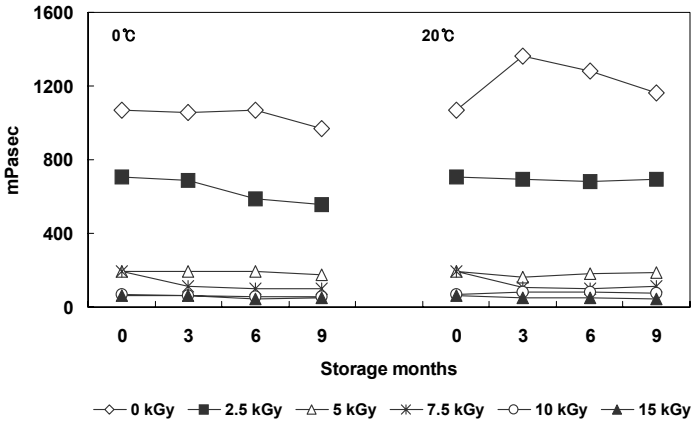

Fig. 9. Changes of viscosity for irradiated *Panicum miliaceum* powders from Korea prepared with 10 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

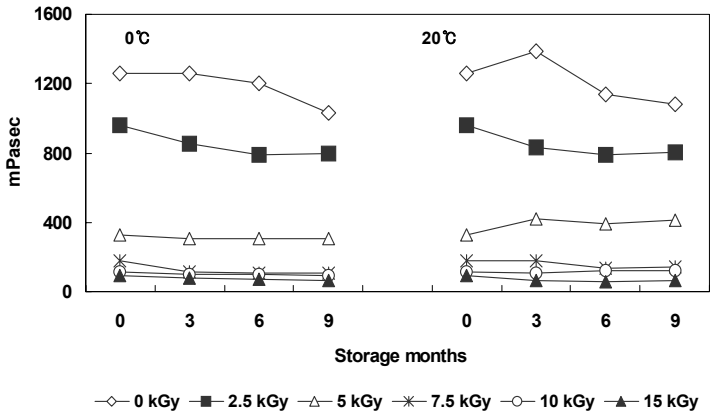

Fig. 10. Changes of viscosity for irradiated *Panicum miliaceum* powders from China prepared with 10 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

5) 국산 및 중국산 표고버섯

각 저장 온도에서 방사선 조사한 국산 및 중국산 표고버섯 분말의 점도 변화는 Fig. 11과 12에 나타내었다. 국산 표고버섯 분말의 0 ℃ 저장 처리 시 조사여부에 관계없이 점도는 저장기간동안 조금 감소하는 것으로 나타났으며 20 ℃ 저장에서도 동일하였다. 0 ℃ 저장 초기 조사선량에 대해 국산 표고버섯의 점도는 각각 281.80, 216.32, 117.47, 340.43, 261.46, 218.05로 측정되어 비조사구과 조사처리구간의 유의적인 차이를 볼 수 없었다. 20 ℃ 저장 시에도 조사선량과 점도값 간의 유의적인 차이를 확인 할 수 없었으며 조사선량의 증가에 따라 점도가 증가하는 경향도 나타났다. 이러한 경향은 중국산 표고버섯 역시 동일하였으므로 점도 측정법에 의한 건채류의 방사선 조사여부를 확인할 가능성이 없었다..

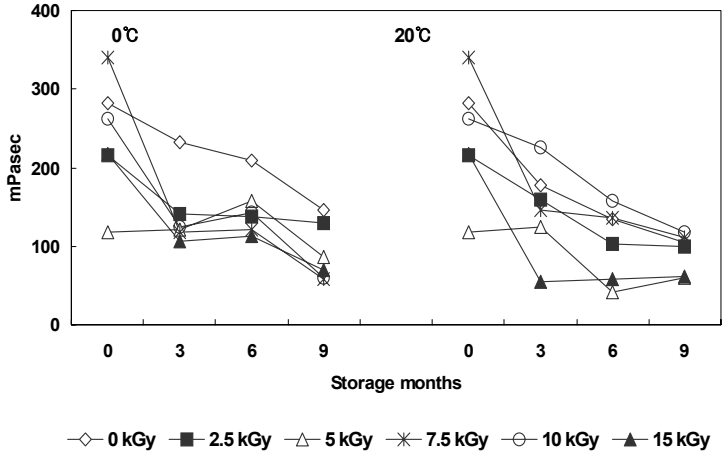

Fig. 11. Changes of viscosity for irradiated mushroom powders from Korea prepared with 5 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

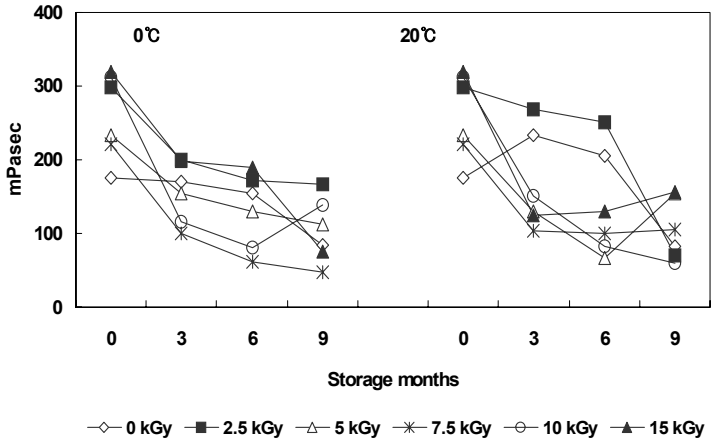

Fig. 12. Changes of viscosity for irradiated mushroom powders from China prepared with 5 % concentration at 50 rpm during storage at various temperatures.

나. 점도 측정값과 조사 선량과의 상관성 분석

모델 농산물의 저장 온도 및 저장 시점에 따른 조사선량과 점도 측정값 간의 회귀식 및 회귀계수를 구하여 조사선량과 점도간의 상관성을 분석하였다.

1) 국산 및 중국산 옥수수 전분

국산 및 중국산 옥수수 전분의 조사선량과 점도간의 회귀식 및 상관계수를 Table 20에 나타내었다. 국산 옥수수 전분의 경우, 0 ℃ 저장시 각 저장기간별로 조사선량과 점도간의 회귀식은 각각 $y = 301.32e^{-0.6205x}$ (r^2 = 0.8981), $y = 302.07e^{-0.6204x}$ (r^2 = 0.9167), $y = 268.26e^{-0.621x}$ (r^2 = 0.9112), $y = 237.36e^{-0.6211x}$ (r^2 = 0.9076)이었다. 20 ℃ 저장 처리구 역시 모든 저장 시점에서 조사선량과 점도 측정값간의 상관성이 0.90이상으로 높게 나타났다 (Table 14). 중국산 옥수수전분 역시 조사선량과 점도값 간의 상관성이 0.90이상으로 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 옥수수전분의 경우, 각 저장 온도에서 저장 기간 9개월까지 경과하여도 조사선량과 점도측정값간의 상관성은 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음으로 판단되어 방사선 조사여부 확인을 위한 검지법의 하나로 점도측정법의 적용 가능성을 재확인하였다.

Table 20. Regression expressions and coefficients of corn starch powders between irradiation dose and viscosity at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 301.32e^{-0.6205x}$ $r^2 = 0.8981$	0	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 302.07e^{-0.6204x}$ $r^2 = 0.9167$		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ $r^2 = 0.9655$
	6	$y = 268.26e^{-0.621x}$ $r^2 = 0.9112$		6	$y = 274.461e^{-0.6093x}$ $r^2 = 0.9719$
	9	$y = 237.36e^{-0.6211x}$ $r^2 = 0.9076$		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ $r^2 = 0.8989$
20	0	$y = 301.32e^{-0.6205x}$ $r^2 = 0.8981$	20	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 378.12e^{-0.6952x}$ $r^2 = 0.9318$		3	$y = 298.04e^{-0.5909x}$ $r^2 = 0.9693$
	6	$y = 344.63e^{-0.67x}$ $r^2 = 0.9202$		6	$y = 291.7e^{-0.5888x}$ $r^2 = 0.9603$
	9	$y = 331.43e^{-0.6865x}$ $r^2 = 0.9364$		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ $r^2 = 0.9366$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

2) 국산 및 중국산 기장

국산 및 중국산 기장의 조사선량과 점도간의 회귀식 및 상관계수를 Table 15에 나타내었다. 국산 기장의 경우, 0 ℃ 저장시 각 저장 기간별로 조사선량과 점도간의 회귀식은 각각 $y = 1823.4e^{-0.5999x}$ ($r^2 = 0.9373$), $y = 1788.1e^{-0.6269x}$ ($r^2 = 0.941$), $y = 1920.6e^{-0.6884x}$ ($r^2 = 0.9705$), $y = 1638.1e^{-0.6476x}$ ($r^2 = 0.9556$)이었다. 20 ℃ 저장 처리구 역시 모든 저장 시점

에서 조사선량과 점도 측정값간의 상관성이 0.90이상으로 높게 나타났다(Table 21). 중국산 기장 역시 조사선량과 점도값 간의 상관성이 0.90이상으로 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 기장의 경우, 각 저장 온도에서 저장 기간 9개월까지 경과하여도 조사선량과 점도측정값간의 상관성은 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음으로 판단되어 방사선 조사여부 확인을 위한 검지법의 하나로 점도측정법의 적용 가능성을 재확인하였다.

3) 국산 및 중국산 표고버섯

국산 및 중국산 표고버섯의 조사선량과 점도간의 회귀식 및 상관계수를 Table 22와 같이 나타내었다. 옥수수 전분 및 기장과 달리 모든 처리구에서 저장 온도 및 저장 기간에 상관없이 조사선량과 점도 측정값간의 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다(0.0026~0.5195). 이러한 결과로 조사선량과 점도 측정값간의 의존성을 확인할 수 없어 점도 측정법을 통해 표고버섯의 방사선 조사여부를 판단할 가능성을 찾을 수 없었다.

Table 21. Regression expressions and coefficients of *Panicum miliaceum* powders between irradiation dose and viscosity at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 1823.4e^{-0.5999x}$ $r^2 = 0.9373$	0	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 1788.1e^{-0.6269x}$ $r^2 = 0.941$		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ $r^2 = 0.9655$
	6	$y = 1920.6e^{-0.6884x}$ $r^2 = 0.9705$		6	$y = 2080.5e^{-0.6135x}$ $r^2 = 0.9329$
	9	$y = 1638.1e^{-0.6476x}$ $r^2 = 0.9556$		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ $r^2 = 0.8989$
20	0	$y = 1823.4e^{-0.5999x}$ $r^2 = 0.9373$	20	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 2074.5e^{-0.6629x}$ $r^2 = 0.9289$		3	$y = 298.04e^{-0.5909x}$ $r^2 = 0.9693$
	6	$y = 2051.6e^{-0.668x}$ $r^2 = 0.9416$		6	$y = 2252.7e^{-0.6136x}$ $r^2 = 0.9695$
	9	$y = 2087.1e^{-0.6775x}$ $r^2 = 0.9629$		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ $r^2 = 0.9366$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

Table 22. Regression expressions and coefficients of oak mushroom powders between irradiation dose and viscosity at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 219.76e^{0.01x}$ $r^2 = 0.0026$	0	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 208.55e^{-0.124x}$ $r^2 = 0.6871$		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ $r^2 = 0.9655$
	6	$y = 198.23e^{-0.0914x}$ $r^2 = 0.6255$		6	$y = 148.94e^{-0.0582x}$ $r^2 = 0.0579$
	9	$y = 162.06e^{-0.1826x}$ $r^2 = 0.7519$		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ $r^2 = 0.8989$
20	0	$y = 219.76e^{0.01x}$ $r^2 = 0.0026$	20	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 218e^{-0.1339x}$ $r^2 = 0.2626$		3	$y = 298.04e^{-0.5909x}$ $r^2 = 0.9693$
	6	$y = 112.77e^{-0.0499x}$ $r^2 = 0.0307$		6	$y = 210.34e^{-0.1504x}$ $r^2 = 0.2945$
	9	$y = 104.35e^{-0.0445x}$ $r^2 = 0.0748$		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ $r^2 = 0.9366$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

다. 품목별 Specific parameter 설정

1) 옥수수 전분

옥수수전분의 원산지 및 저장 조건에 따른 specific parameter와 조사선량과의 상관성을 분석한 결과 Table 23 및 24에 나타내었다. 국산 옥수수

전분의 경우, 0 ℃ 저장 시 비조사 처리구는 저장 기간 중 30.32~36.39 범위의 값을 보였으며 각 저장기간 마다 조사선량에 따라 그 값이 감소하는 일정한 경향이 나타났으며 상관성은 높게 나타났다(0.8238~0.8448). 20 ℃ 저장의 경우도 마찬가지로 각 저장기간별로 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 경향을 보여주어 선량의존성이 높게 나타났다(0.8238~0.8772). 중국산 옥수수 전분의 경우도 모든 저장기간 동안 방사선 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 것으로 나타났으며 조사선량 의존성이 높게 나타났다(0.8255~0.9272). 또한 방사선이 조사되었을 때 비조사 처리구의 경우 threshold value가 30.32~42.94 범위인데 비하여 2.5 kGy 조사구는 11.50~17.18로 급격한 감소를 보여 크게 차이가 나는 것으로 나타나 비조사구와 조사구간의 구별이 뚜렷하였다(Table 24). 따라서 비조사구와 조사구간의 specific parameter(threshold value)를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다.

Table 23. Regression expressions and coefficients of corn starch powders between threshold value and irradiation dose at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 21.718e^{-0.2059x}$ $r^2 = 0.8238$	0	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 21.846e^{-0.2063x}$ $r^2 = 0.8448$		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ $r^2 = 0.9655$
	6	$y = 19.273e^{-0.2056x}$ $r^2 = 0.8326$		6	$y = 22.553e^{-0.2054x}$ $r^2 = 0.921$
	9	$y = 16.989e^{-0.2051x}$ $r^2 = 0.8250$		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ $r^2 = 0.8989$
20	0	$y = 21.718e^{-0.2059x}$ $r^2 = 0.8238$	20	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 25.03e^{-0.2323x}$ $r^2 = 0.8671$		3	$y = 298.04e^{-0.5909x}$ $r^2 = 0.9693$
	6	$y = 23.465e^{-0.2233x}$ $r^2 = 0.8519$		6	$y = 24.524e^{-0.1991x}$ $r^2 = 0.9151$
	9	$y = 22.299e^{-0.2302x}$ $r^2 = 0.8772$		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ $r^2 = 0.9366$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

Table 24. Changes in specific parameters of irradiated corn starch powders at 50 rpm stored for 9 months

(unit ; arbitrary unit)

Origins	℃	kGy	Specific parameters			
			0	3	6	9
Korea	0	0	36.39	35.20	30.91	30.32
		2.5	16.45	15.97	15.04	11.41
		5.0	3.89	4.22	4.06	3.68
		7.5	3.57	3.78	2.61	2.38
		10	1.92	1.86	1.76	1.50
		15	1.74	1.70	1.58	1.45
	20	0	36.39	42.94	40.93	37.63
		2.5	16.45	16.40	15.65	14.27
		5.0	3.89	4.19	4.01	3.78
		7.5	3.57	3.31	3.37	3.18
		10	1.92	1.74	1.77	1.64
		15	1.74	1.33	1.44	1.17
China	0	0	35.47	35.16	34.42	31.79
		2.5	17.18	16.18	12.24	9.70
		5.0	7.09	7.31	6.99	4.02
		7.5	4.49	4.29	3.48	2.06
		10	2.98	2.45	2.27	1.85
		15	2.20	2.10	1.53	1.40
	20	0	35.47	38.44	39.44	38.88
		2.5	17.18	13.52	13.20	11.50
		5.0	7.09	6.88	6.65	5.20
		7.5	4.49	4.96	4.43	3.99
		10	2.98	2.68	2.81	2.38
		15	2.20	1.73	1.75	1.60

2) 기장(*Panicum miliaceum*)

기장의 원산지 및 저장 조건에 따른 specific parameter와 조사선량과의 상관성을 분석한 결과 Table 25 및 26에 나타내었다 국산 기장의 경우, 0 ℃ 저장 시 Table 25와 같이 비조사 처리구는 217.24~239.79 범위의 값을 보이면서 각 저장기간 마다 조사선량의 증가에 따라 그 값이 감소하였으며 상관성은 높게 나타났다(0.9373~0.9705). 20 ℃ 저장의 경우도 마찬가지로 각 저장기간별로 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 경향을 보여주어 선량의존성이 높게 나타났다(0.9289~0.9629). 중국산 기장의 경우도 모든 저장기간 동안 방사선 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 것으로 나타났으며 조사선량 의존성이 높게 나타났다(0.9251~0.9937). 또한 방사선이 조사되었을 때 국산 기장의 경우 비조사 처리구의 threshold value가 217.24~307.10 범위인데 비하여 2.5 kGy 조사구는 125.16~158.55로 비례적인 감소를 보여 주어 비조사구와 조사구간의 구별이 뚜렷하였다(Table 26). 이러한 경향은 중국산 기장에서도 유사하게 나타났다. 따라서 기장 역시 비조사구와 조사구간의 specific parameter의 설정을 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다

Table 25. Regression expressions and coefficients of *Panicum miliaceum* powders between threshold value and irradiation dose at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 410.11e^{-0.5999x}$ $r^2 = 0.9373$	0	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 402.19e^{-0.6269x}$ $r^2 = 0.941$		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ $r^2 = 0.9655$
	6	$y = 431.99e^{-0.6884x}$ $r^2 = 0.9705$		6	$y = 579.03e^{-0.6135x}$ $r^2 = 0.9329$
	9	$y = 368.44e^{-0.6476x}$ $r^2 = 0.9556$		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ $r^2 = 0.8989$
20	0	$y = 410.11e^{-0.5999x}$ $r^2 = 0.9373$	20	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ $r^2 = 0.9634$
	3	$y = 466.59e^{-0.6629x}$ $r^2 = 0.9289$		3	$y = 298.04e^{-0.5909x}$ $r^2 = 0.9693$
	6	$y = 461.45e^{-0.668x}$ $r^2 = 0.9416$		6	$y = 626.95e^{-0.6136x}$ $r^2 = 0.9695$
	9	$y = 469.41e^{-0.6775x}$ $r^2 = 0.9629$		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ $r^2 = 0.9366$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

Table 26. Changes in specific parameters of irradiated *Panicum miliaceum* powders at 50 rpm stored for 9 months

(unit ; arbitrary unit)

Origins	℃	kGy	Specific parameters			
			0	3	6	9
Korea	0	0	239.73	237.05	240.44	217.24
		2.5	158.22	153.97	131.49	125.16
		5.0	43.48	44.16	43.29	39.87
		7.5	43.19	25.42	22.42	22.28
		10	15.62	14.70	11.95	12.00
		15	14.45	13.46	9.34	10.71
	20	0	239.73	307.10	288.88	262.09
		2.5	158.22	156.43	152.86	156.66
		5.0	43.48	37.25	40.20	42.21
		7.5	43.19	24.36	22.58	24.63
		10	15.62	18.06	17.69	17.51
		15	14.45	11.79	11.02	9.47
China	0	0	349.81	350.21	335.36	286.96
		2.5	267.60	237.21	219.07	221.73
		5.0	91.17	85.16	84.19	85.53
		7.5	50.09	30.74	28.81	29.24
		10	31.66	28.21	26.94	25.49
		15	25.19	22.22	19.94	17.20
	20	0	349.81	385.03	317.15	301.72
		2.5	267.60	231.61	219.77	224.02
		5.0	91.17	116.56	108.21	115.46
		7.5	50.09	48.87	36.88	39.17
		10	31.66	30.29	33.22	32.87
		15	25.19	16.94	16.66	17.78

3) 표고버섯

표고버섯의 원산지 및 저장 조건에 따른 specific parameter와 조사선량과의 상관성을 분석한 결과 Table 27 및 28에 나타내었다. 국산 표고의 경우, 0 ℃ 저장 시 Table 28과 같이 비조사 처리구의 specific parameter의 값은 초기 252.60에서 저장 말기 130.63으로 감소하였다. 그러나 각 저장기간마다 그 값은 조사선량의 증가와 무관하게 증감을 반복하여 나타났으며 상관성은 낮게 나타났다(0.0026~0.7519). 20 ℃ 저장의 경우도 마찬가지로 각 저장기간별로 조사선량의 증가에 따라 threshold value는 일정한 경향이 없이 변화하여 선량의존성이 낮게 나타났다(0.0026~0.2626). 중국산 기장의 경우도 모든 저장기간 동안 방사선 조사선량과 threshold value간의 상관성이 낮은 경향을 보였다(0.0566～0.5195). 따라서 표고버섯의 경우, 점도측정법에 의한 비조사구와 조사구간의 specific parameter의 비교를 통해 방사선 조사여부의 확인은 불가능할 것으로 여겨진다

Table 27. Regression expressions and coefficients of mushroom powders between threshold value and irradiation dose at 50 rpm stored during 9 months at various temperatures

Korea			China		
℃	Storage month	Regression expressions and coefficients	℃	Storage month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 196.99e^{0.01x}$ $r^2 = 0.0026$	0	0	$y = 250.4e^{0.0878x}$ $r^2 = 0.4749$
	3	$y = 186.94e^{-0.124x}$ $r^2 = 0.6871$		3	$y = 231.31e^{-0.0372x}$ $r^2 = 0.0604$
	6	$y = 177.69e^{-0.0914x}$ $r^2 = 0.6255$		6	$y = 199.974e^{-0.0582x}$ $r^2 = 0.0579$
	9	$y = 145.27e^{-0.1826x}$ $r^2 = 0.7519$		9	$y = 32.729e^{-0.0587x}$ $r^2 = 0.0566$
20	0	$y = 196.99e^{0.01x}$ $r^2 = 0.0026$	20	0	$y = 250.4e^{0.0878x}$ $r^2 = 0.4749$
	3	$y = 195.41e^{-0.1339x}$ $r^2 = 0.2626$		3	$y = 353.93e^{-0.1455x}$ $r^2 = 0.5195$
	6	$y = 101.08e^{-0.0499x}$ $r^2 = 0.0307$		6	$y = 282.41e^{-0.1504x}$ $r^2 = 0.2945$
	9	$y = 93.534e^{-0.0445x}$ $r^2 = 0.0748$		9	$y = 104.79e^{0.0657x}$ $r^2 = 0.0928$

y : viscosity (mPa · sec), x : irradiation dose(kGy)

Table 28. Changes in specific parameters of irradiated mushroom powders at 50 rpm stored for 9 months

(unit ; arbitrary unit)

Origins	℃	kGy	Specific parameters			
			0	3	6	9
Korea	0	0	252.60	207.57	186.73	130.63
		2.5	193.90	126.65	123.47	115.65
		5.0	105.30	107.93	141.33	77.30
		7.5	305.15	105.95	108.87	52.12
		10	234.37	110.87	128.28	53.16
		15	195.45	94.74	101.38	62.76
	20	0	252.60	159.71	120.60	94.33
		2.5	193.90	143.48	91.74	89.85
		5.0	105.30	111.74	37.78	53.25
		7.5	305.15	130.89	121.88	100.07
		10	234.37	202.96	141.65	104.91
		15	195.45	49.24	51.85	55.48
China	0	0	235.28	227.63	207.75	23.58
		2.5	399.77	267.96	230.56	46.40
		5.0	312.85	207.10	175.48	31.43
		7.5	295.79	134.75	81.56	12.96
		10	418.46	155.23	108.38	38.54
		15	428.15	265.22	253.37	20.87
	20	0	235.28	314.14	276.37	111.67
		2.5	399.77	360.33	336.48	94.49
		5.0	312.85	174.22	90.32	208.08
		7.5	295.79	138.33	133.40	141.46
		10	418.46	201.80	110.51	80.52
		15	428.15	168.23	173.92	210.27

라. 보조 검지 시험의 상관성

1) TBA가 측정

식품 중에 함유된 지방질, 특히 불포화지방산은 산패가 진행됨에 따라 과산화물과 carbonyl 화합물을 생성하게 되는데, TBA value는 이 때 생성되는 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid(TBA)와의 적색복합체 생성을 촉진하는 방법으로 과산화물가와 더불어 지방질 산패도를 알아보는 방법이다(10). 따라서 TBA value 측정을 통해 방사선 조사 후 저장 기간 및 온도에 따른 모델 농산물의 지방질 산패에 관해 알아보았다.

가) 옥수수 전분

방사선 조사선량과 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 옥수수 전분의 TBA value 변화를 살펴본 결과, 감마선 조사 직후부터 조사 처리구는 비조사 처리구에 비해 조사선량이 증가함에 따라 TBA value가 증가하는 것으로 나타나 감마선 조사에 의한 옥수수 전분이 산화되었음을 보여주었다(Fig. 13, 14). 저장기간에 따른 TBA value의 변화를 보면, 저장 초기에 처리구간의 뚜렷한 차이를 보이다가 저장 9개월까지 그 일정한 차이를 유지하면서 증가하였다. 특히 5 kGy 이상의 고선량일수록 그 증가폭이 크게 나타났다. 따라서 비조사구와 조사구 모두 저장 3 개월부터 TBA value가 증가하는 경향으로 보아 저장 중 산패가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저장 온도에 따른 TBA value의 변화는 0 ℃ 저장 조건에 비해 20 ℃ 저장 조건에서 현저히 크게 나타났다. 이상에서 방사선 조사는 지방질의 산화를 촉진하고 조사선량에 의존함을 재확인하였다.

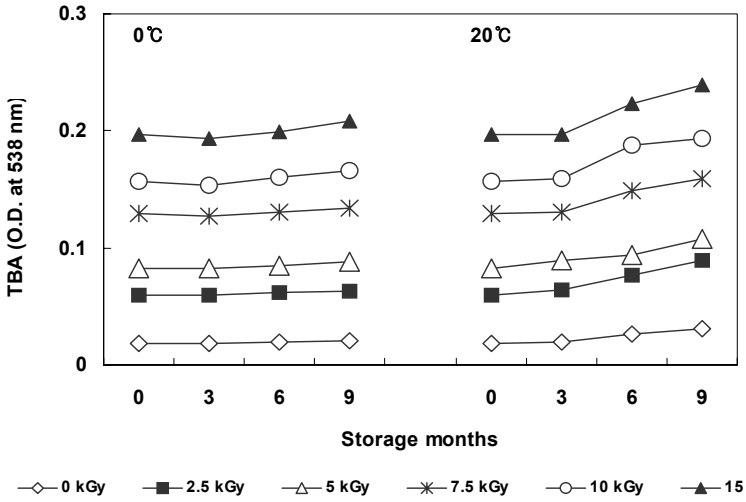

Fig. 13. Changes of the TBA value for irradiated corn starch powders from Korea during storage at various temperatures.

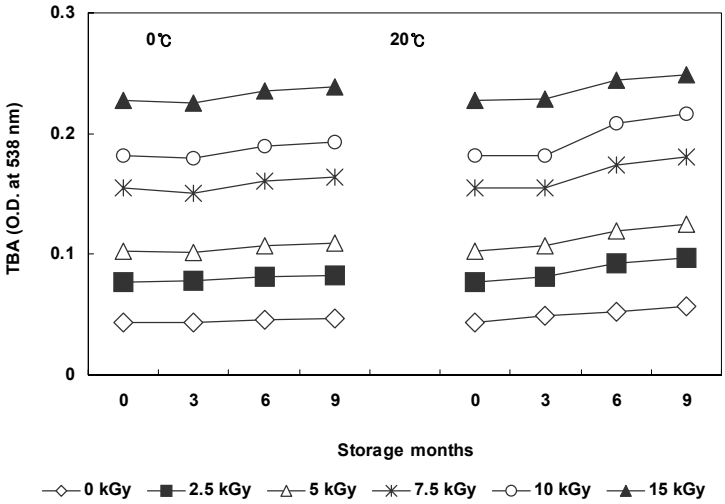

Fig. 14. Changes of the TBA value for irradiated corn starch powders from China during storage at various temperatures.

나) 기장(*Panicum miliaceum*)

방사선 조사선량과 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 기장의 TBA value 변화를 살펴본 결과, 감마선 조사 직후부터 조사 처리구는 비조사 처리구에 비해 조사선량이 증가함에 따라 TBA value가 증가하는 것으로 나타나 감마선 조사에 의한 기장이 산화되었음을 보여주었다(Fig. 15, 16). 저장기간에 따른 TBA value의 변화를 보면, 저장 초기에 처리구간의 뚜렷한 차이를 보이다가 저장 9개월까지 그 일정한 차이를 유지하면서 증가하였다. 특히 5 kGy 이상의 고선량일수록 그 증가폭이 크게 나타났다. 따라서 비조사구와 조사구 모두 저장 3 개월부터 TBA value가 증가하는 경향으로 보아 저장 중 산패가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저장 온도에 따른 TBA value의 변화는 각 온도에서 처리구 모두 증가하였는데 그 변화는 0 ℃ 저장 조건에 비해 20 ℃ 저장 조건에서 현저히 크게 나타났다. 일반적으로 감마선 조사에 의한 지질의 산패는 이온화된 유리기들에 의해 생성되며 조사선량에 의존한다고 보고되고 있는데(22), 본 실험 역시 조사선량이 증가함에 따라 그 값이 증가하여 선량의존성을 확인할 수 있었다. 감마선 조사는 지방질 성분에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되고 있는데, 감마선 조사에 의해 생성된 유리기는 유지의 자동산화에 관여하며 조사전후의 산소의 존재는 지방질의 산패를 촉진시키는 것으로 알려져 있다(23).

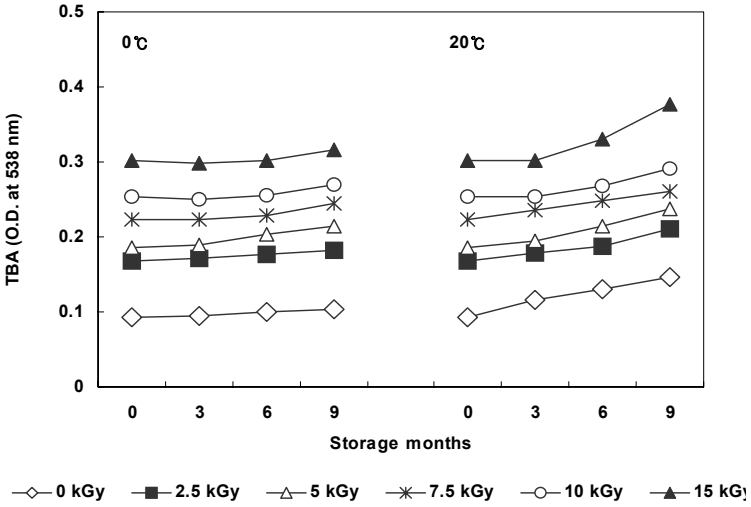

Fig. 15. Changes of the TBA value for irradiated *Panicum miliaceum* powders from Korea during storage at various temperatures.

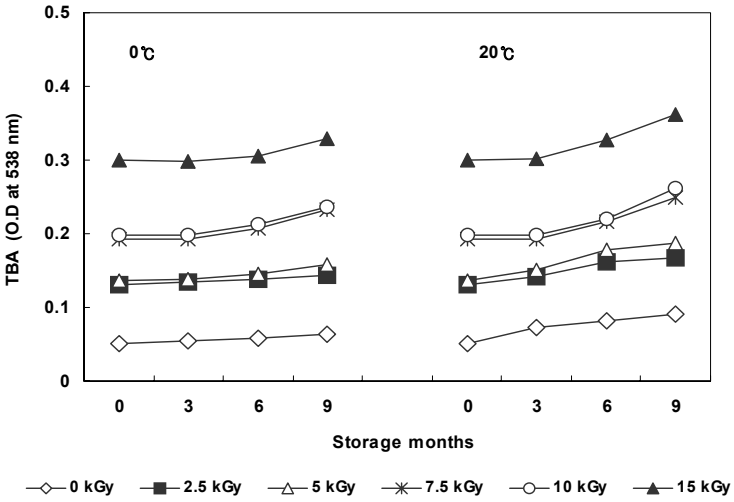

Fig. 16. Changes of the TBA value for irradiated *Panicum miliaceum* powders from China during storage at various temperatures.

다) 표고버섯

방사선 조사선량과 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 표고버섯의 TBA value 변화를 살펴본 결과, 감마선 조사 직후부터 조사 처리구는 비조사 처리구에 비해 조사선량이 증가함에 따라 TBA value가 증가하는 것으로 나타나 감마선 조사에 의한 표고버섯이 산화되었음을 보여주었다(Fig. 17, 18). 저장기간에 따른 TBA value의 변화를 보면, 저장 초기에 처리구간의 뚜렷한 차이를 보이다가 저장 9개월까지 그 일정한 차이를 유지하면서 증가하였다. 특히 5 kGy 이상의 고선량일수록 그 증가폭이 크게 나타났다. 따라서 비조사구와 조사구 모두 저장 3 개월부터 TBA value가 증가하는 경향으로 보아 저장 중 산패가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저장 온도에 따른 TBA value의 변화는 각 온도에서 처리구 모두 증가하였는데 그 변화는 0 ℃ 저장 조건에 비해 20 ℃ 저장 조건에서 현저히 크게 나타났다. 이러한 지방질 성분의 변화는 고온다습 등 열악한 조건이나 저장기간의 경과와 더불어 지방과 지방산의 가수분해에 의해 지방산의 산화 등 그 변화가 심하다고 보고되고 있다(24). 이상의 결과에서 방사선 조사는 지방질의 산화를 촉진하고 조사선량에 의존함을 재확인하였다.

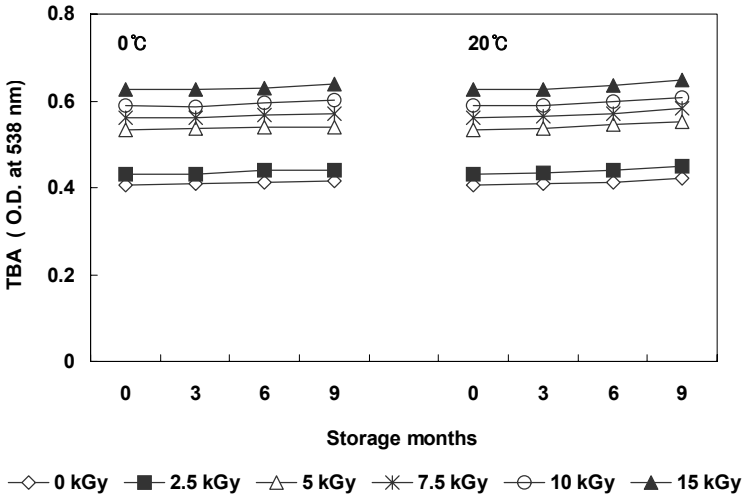

Fig. 17. Changes of the TBA value for irradiated mushroom powders from Korea during storage at various temperatures.

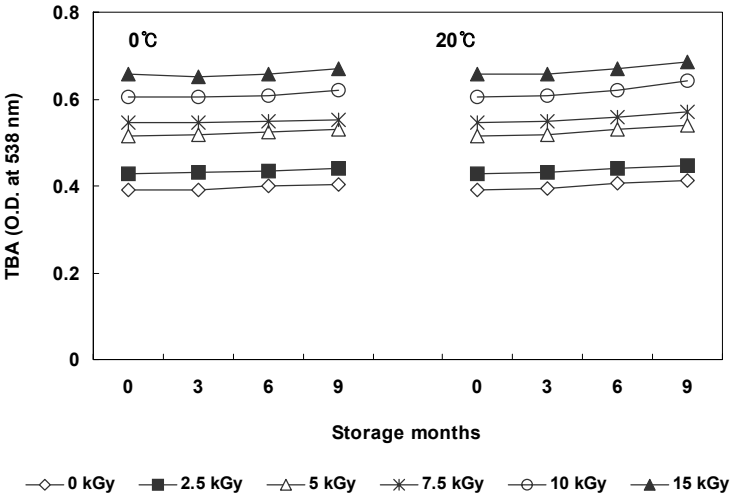

Fig. 18. Changes of the TBA value for irradiated mushroom powders from China during storage at various temperatures.

2) 색도 측정

방사선 조사 및 저장 조건에 따른 옥수수 전분, 기장 및 표고버섯의 색도 변화를 색차계를 이용하여 L, a, b, 및 Δ E 값을 측정하였다. 각 시료의 색 변화는 원산지에 관계없이 각 저장기간마다 일정한 경향으로 변화하여 비조사구와 조사구간의 구분이 불가능하였다. Δ E 값의 경우, 저장기간 및 온도 그리고 조사선량과의 일정한 경향을 볼 수 없었으며, 저장 20 ℃ 처리가 저장 0℃ 처리보다 색의 변화가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 저장 기간 경과 및 온도에 따라 색의 변화가 일정한 경향 없이 증감을 반복하여 저장 조건과 색의 변화는 무관한 것으로 판단되었다. 따라서 표면색의 측정은 모델 농산물의 방사선 조사여부를 판단하는데 보조적인 검지방법으로 부적절한 것으로 생각된다.

3) 총균수 측정

가) 옥수수 전분

방사선 조사 및 저장조건에 따른 옥수수 전분의 미생물 농도를 측정하였다(Table 29). 국산 및 중국산 옥수수 전분 모두 저장 초기에 비조사구에서 10^2~ 3.5×10^2CFU/g 정도로 측정되었으나 나머지 조사구의 경우 관찰되지 않았다. 국산 옥수수 전분의 2.5 kGy 처리구의 경우 6개월 시점부터 5 kGy 처리구의 경우 9개월 시점부터 미생물이 관찰되었다. 또한 7.5 kGy 이상의 고선량 처리구에 대해 저장기간 내내 미생물이 발견되지 않아 고선량 조사에서의 살균효과를 재확인하였다. 20 ℃ 저장 처리구의 경우 저장 9개월 시점에서 비조사구 및 2.5 kGy 처리구의 미생물농도가 급격히 증가한 것으로 관찰되었으며 0 ℃ 저장 처리구의 미생물 농도는 20 ℃ 저장 처리구보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서 방사선 조사 한 옥수수 전분

의 저장 조건을 고려할 때 미생물 생육의 억제를 위해서는 저온 저장이 더 적합할 것으로 생각된다

Table 29. Changes of total plate counts for irradiated corn starch powders during 9 months storage at various temperatures

(unit : CFU/g)

Origin	kGy	0 ℃				20 ℃			
		0	3	6	9	0	3	6	9
Korea	0	10^2	2.0×10^2	4.0×10^3	6.5×10^3	10^2	4.5×10^2	1.23×10^2	7.05×10^6
	2.5	-	-	10^2	10^4	-	-	10^2	10^4
	5	-	-	-	-	-	-	-	10^2
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
China	0	3.5×10^2	7.4×10^2	10^3	3.5×10^3	3.5×10^2	10^3	10^4	1.8×10^5
	2.5	-	-	-	-	-	-	-	10^4
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-

나) 기장(*Panicum miliaceum*)

방사선 조사 및 저장조건에 따른 기장의 미생물 농도를 측정한 결과 Table 30과 같다. 국산 및 중국산 기장 모두 저장 초기에 비조사구에서 10^2~ 10^3CFU/g 정도로 측정되었으나 나머지 조사구의 경우 관찰되지 않았다. 기장 2.5 kGy 처리구는 6개월 시점부터 5 및 7 kGy 처리구의 경우 9개월 시점부터 미생물이 관찰되었다. 중국산 기장의 7.5 kGy 처리구의 경우 20 ℃ 저장처리 시 저장 9개월에 10^2CFU/g 정도로 관찰되었다. 10 kGy 이상의 고선량 처리구에 대해 미생물이 발견되지 않아 고선량 조사에

서의 살균효과를 재확인하였다. 20 ℃ 저장 처리구에서 장 9개월 시점에서 비조사구 및 2.5 kGy 처리구의 미생물농도가 급격히 증가한 것으로 관찰되었으며 방사선 조사한 기장의 저장 조건을 고려할 때 미생물 생육의 억제를 위해서는 저온 저장이 더 적합할 것으로 생각된다.

Table 30. Changes of total plate counts for irradiated *Panicum miliaceum* powders during 9 months storage at various temperatures

(unit : CFU/g)

Origin	kGy	0 ℃				20 ℃			
		0	3	6	9	0	3	6	9
Korea	0	1.05×10^4	2.0×10^3	2.5×10^3	4.85×10^5	1.05×10^3	4.86×10^3	2.0×10^5	2.06×10^6
	2.5	-	-	2×10^2	3.5×10^2	-	-	10^1	8×10^2
	5	-	-	-	-	-	-	-	7.1×10^2
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
China	0	6.3×10^2	7.0×10^2	8.75×10^3	1.6×10^3	6.3×10^2	8.75×10^2	10^3	10^4
	2.5	-	-	-	5.5×10^2	-	-	-	1.5×10^2
	5	-	-	-	10^2	-	-	-	10^2
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	10^2
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-

다) 표고버섯

방사선 조사 및 저장조건에 따른 표고버섯의 미생물 농도를 측정한 결과 Table 31과 같다. 원산지별로 볼 때 국산과 중국산 표고버섯은 비슷한 미생물농도로 관찰되었다. 국산 및 중국산 표고버섯 모두 저장 초기에 비조사구에서 2.25~2.6×10^3CFU/g 정도로 측정되었으며 2.5 kGy 처리구는 저장 초기부터 10^2CFU/g 이상 관찰되었으며 저장 9개월 시점까지 증가하

였다. 5 kGy 이상의 고선량 처리구의 경우 저장기간 내내 미생물이 발견되지 않아 고선량 조사에서의 살균효과를 재확인하였다. 20 ℃ 저장 처리구의 경우 저장 9개월 시점에서 비조사구 및 2.5 kGy 처리구의 미생물농도가 급격히 증가한 것으로 관찰되었다. 따라서 방사선 조사한 기장의 저장 조건을 고려할 때 미생물 생육의 억제를 위해서는 저온 저장이 더 적합할 것으로 생각된다.

Table 31. Changes of total plate counts for irradiated mushroom powders during 9 months storage at various temperatures

(unit : CFU/g)

Origin	kGy	0 ℃				20 ℃			
		0	3	6	9	0	3	6	9
Korea	0	2.25×10^{3}	3.6×10^{6}	5.8×10^{3}	2.23×10^{6}	2.25×10^{3}	1.9×10^{3}	7.2×10^{5}	2.75×10^{6}
	2.5	1.5×10^{2}	2×10^{5}	2×10^{2}	2.8×10^{2}	1.5×10^{2}	6.8×10^{2}	10^{3}	3.8×10^{5}
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
China	0	2.6×10^{3}	4.0×10^{6}	4.73×10^{3}	6.55×10^{4}	2.6×10^{3}	2.18×10^{3}	5.25×10^{4}	1.78×10^{6}
	2.5	10^{2}	2×10^{2}	3.25×10^{2}	3.75×10^{2}	10^{2}	3×10^{2}	3.75×10^{3}	7.5×10^{5}
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-

5. 모델 농산물의 재조사에 따른 품질 특성

가. 점도 측정

1) 옥수수 전분

방사선 조사 및 재조사 처리한 옥수수 전분의 점도변화는 Table 32와 같이 나타내었다. 국산 옥수수 전분의 경우, 비조사구의 점도는 저장 기간에 따라 증감을 반복하여 12개월에는 초기값과 유사하여 큰 변화를 볼 수 없었다. 5 kGy 조사구의 점도는 24.57로 측정되어 비조사구 226.99에 비해 매우 낮아 방사선 조사에 의한 전분구조의 물리적인 변화와 고분자의 분해 현상을 확인 할 수 있었다. 또한 저장 중 증감을 반복하여 저장 처리에 의한 변화는 없는 것으로 판단되었다. 6개월 시점마다 5 kGy 로 재조사한 경우, 5 kGy조사구보다 낮은 16.55로 측정되었는데 재조사에 의해 전분구조가 더 파괴되었음을 알 수 있었다. 저장 12개월에는 16.34로 거의 비슷한 값을 유지하여 저장처리에 의한 변화는 없는 것으로 보였다. 이러한 경향은 150 및 300 rpm에서도 유사하게 나타나 rpm에 따른 조사 및 재조사 처리의 차이는 볼 수 없었다.

중국산 옥수수 전분은 조사선량이 증가하면서 점도값은 낮아지고 비조사구의 경우 저장 중 점도의 큰 변화가 없어 국산 옥수수 전분과 유사한 경향을 보였으나 5 kGy 조사구 및 5 kGy 재조사 처리구의 경우 저장기간이 경과하면서 점도가 약간 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 150 및 300 rpm에서도 마찬가지로 관찰되었으며 중국산 옥수수 전분 역시 방사선 조사 및 재조사에 의한 전분구조의 파괴와 고분자의 분해를 확인 할 수 있었다.

따라서 방사선의 조사 및 재조사 처리는 저장 중 옥수수 전분의 점도를 감소시키는 것으로 나타났다.

Table 32. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the viscosity of corn starch prepared with 3 % concentration at various rpms stored at 0 ℃ for 12 months

Origins	Rpm	Viscosity (mPa · sec)							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[1]0 kGy	[2]5 kGy	0 kGy	5 kGy	[3]Re.	0 kGy	5 kGy	Re.
Korea	50	226.99	24.57	192.85	25.31	16.55	239.96	23.06	16.34
	150	98.21	24.77	73.16	27.89	12.49	94.96	22.35	15.15
	300	74.74	20.39	54.63	23.90	14.35	80.38	20.51	13.38
China	50	202.62	40.51	196.94	39.93	16.51	204.72	37.01	12.78
	150	98.74	32.66	104.29	29.82	13.23	110.85	28.45	12.73
	300	72.06	22.00	79.81	20.89	13.84	85.59	24.89	12.61

[1]0 kGy. - not irradiated
[2]5 kGy - irradiated at 5 kGy
[3]Re. - reirradiated at 5 kGy

2) 기장(*Panicum miliaceu*m)

방사선 조사 및 재조사 처리한 기장의 점도변화는 Table 33과 같이 나타내었다. 국산 기장의 경우, 50rpm에서 비조사구의 점도는 저장 초기 및 6개월에 서로 비슷하게 측정되었으나 12개월에는 초기값보다 낮아서 저장기간동안 점도가 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 5 kGy 조사구의 점도는 193.29로 측정되어 비조사구 1065.83에 비해 매우 낮아 방사선 조사에 의한 전분구조의 물리적인 변화와 고분자의 분해 현상을 확인 할 수 있었다. 6개월 시점마다 5 kGy로 재조사한 경우, 5 kGy조사구보다 낮은 76.10으로 측정되었는데 재조사에 의한 전분구조의 파괴가 더 진행되었음을 알 수 있었다. 또한 비조사구와 마찬가지로 저장 12개월에는 72.33으로 조금 감소하는 것으로 보아 옥수수 전분과 달리 저장 처리에 의한 변화가 있을 것으로

판단되었다. 그러나 150 및 300 rpm에서의 점도 변화의 경우 조사 및 재조사 처리에 의해 점도의 감소현상을 볼 수 있었으나 저장 기간별로 증감을 반복하여 일정한 경향을 찾아 볼 수 없었다.

중국산 기장의 경우 조사 및 재조사에 따라 점도값은 낮아지고 각각 저장 중 점도의 감소현상이 나타나 국산 기장과 유사한 경향을 보였다. 이러한 현상은 150 및 300 rpm에서도 마찬가지로 관찰되었으며 중국산 기장 역시 방사선 조사 및 재조사에 의한 전분구조의 파괴와 고분자의 분해를 확인 할 수 있었다. 따라서 방사선의 조사 및 재조사 처리는 저장 중 기장의 점도를 감소시키는 것으로 나타났다.

3) 표고버섯

방사선 조사 및 재조사 처리한 표고버섯의 점도변화는 Table 34와 같이 나타내었다. 앞서 진행된 저장 9개월 동안의 표고버섯 점도 변화에서 점도값은 조사선량과의 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났으며 저장 기간에 따른 변화 역시 일정한 경향이 없는 것으로 확인되었다. 따라서 건채류의 경우, 점도 측정법으로 방사선 조사여부를 검지하고 검지 가능기간을 설정하기에는 적절하지 못한 것으로 판단되었다. 따라서 Table 25에 나타난 표고버섯의 점도 변화에서 조사 및 재조사 처리 및 선량 의존성을 확인할 수 없었다

Table 33. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the viscosity of *Panicum miliaceum* prepared with 10% concentration at various rpms stored at 0 ℃ for 12 months

Origins	Rpm	Viscosity (mPa · sec)							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[1]0 kGy	[2]5 kGy	0 kGy	5 kGy	[3]Re.	0 kGy	5 kGy	Re.
Korea	50	1065.83	193.29	1068.99	192.48	76.10	740.99	182.24	72.33
	150	428.03	74.29	422.57	100.19	40.02	319.39	98.90	57.82
	300	252.70	63.44	299.52	70.97	39.62	196.83	69.56	38.98
China	50	1256.89	327.58	1204.97	302.52	119.60	874.09	294.04	104.45
	150	515.39	152.65	498.65	139.59	59.75	425.82	120.49	87.93
	300	276.16	100.70	274.18	95.44	50.38	259.09	87.68	58.29

[1]0 kGy. - not irradiated

[2]5 kGy - irradiated at 5 kGy

[3]Re. - reirradiated at 5 kGy

Table 34. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the viscosity of oak mushroom prepared with 5 % concentration at various rpms storage at 0 ℃ for 12 months

Origins	Rpm	Viscosity (mPa · sec)							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[1]0 kGy	[2]5 kGy	0 kGy	5 kGy	[3]Re.	0 kGy	5 kGy	Re.
Korea	50	281.80	117.47	208.32	157.67	126.04	63.11	96.93	37.58
	150	75.96	64.82	84.81	66.28	48.21	43.85	43.98	29.29
	300	52.38	45.23	42.88	36.47	27.21	28.32	22.37	25.68
China	50	175.24	233.01	154.73	130.70	113.51	63.50	52.82	246.83
	150	70.04	127.05	58.04	53.48	49.49	75.97	41.16	58.63
	300	54.71	98.70	31.17	30.74	33.89	35.13	28.01	27.78

[1]0 kGy. - not irradiated

[2]5 kGy - irradiated at 5 kGy

[3]Re. - reirradiated at 5 kGy

나. TBA가

1) 옥수수 전분

방사선 조사 및 재조사에 의한 옥수수 전분의 TBA 가의 변화는 Table 35에 나타내었다. 국산 옥수수 전분의 경우 TBA 가는 조사 및 재조사 처리에 의해 크게 증가하였다. 즉 저장 초기 5 kGy 처리에 의해 0.018에서 0.083으로 증가하였으며 저장 6개월 시점에서 재조사 처리구의 TBA 가는 0.110으로 크게 증가하였다. 저장 12개월에는 모든 처리구에서 그 값이 증가하였으며 특히 재조사 처리구의 경우 0.141로 크게 증가하여 재조사에 의한 지방질의 산화가 더욱 촉진되는 것으로 판단되었다. 이러한 경향은 중국산 옥수수 전분에서도 관찰되어 옥수수 전분의 TBA 가는 조사선량에 의존성이 있음을 알 수 있었다.

2) 기장(*Panicum miliaceum*)

방사선 조사 및 재조사에 의한 기장의 TBA 가의 변화는 Table 35에 나타내었다. 국산 기장의 TBA 가는 조사 및 재조사 처리에 의해 크게 증가하였다. 저장 초기 5 kGy 처리에 의해 0.093에서 0.186으로 비례적으로 증가하였고 저장 6개월에는 재조사 처리구가 0.231로 크게 증가하였다. 저장 12개월에는 모든 처리구에서 그 값이 증가하였으며 재조사 처리구의 경우 0.257로 크게 증가하여 재조사에 의한 지방질의 산화가 더욱 촉진되는 것으로 판단되었다. 이러한 경향은 중국산 기장에서도 관찰되어 기장의 TBA 가는 조사선량에 의존성이 있음을 알 수 있었다.

3) 표고버섯

방사선 조사 및 재조사에 의한 표고버섯의 TBA 가의 변화는 Table 35에 나타내었다. 표고버섯의 경우 TBA 가는 조사 및 재조사 처리에 의해 크게 증가하였다. 즉 저장 초기 5 kGy 처리에 의해 0.406에서 0.532로 증가하였으며 저장 6개월 시점에서 재조사 처리구의 TBA 가는 0.628로 크게 증가하였다. 저장 12개월에는 비조사 및 5 kGy 처리구에서 그 값이 증가하였으나, 재조사 처리구의 경우 0.465로 크게 감소하여 다른 시료들과 달리 일정한 변화를 찾아볼 수 없어 재조사에 의한 지방질의 산화로 판단할 수 없었다. 이러한 경향은 중국산 표고버섯에서도 관찰되었다.

Table 35. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the TBA(thiobarbituric acid) value[1)] of corn starch, *Panicum miliaceum,* mushroom powder stored at 0 ℃ for 12 months

Item	Origins	Initial stage		6 months			12 months		
		[2)]0 kGy	[3)]5 kGy	0 kGy	5 kGy	[4)]Re.	0 kGy	5 kGy	Re.
corn starch	Korea	0.018	0.083	0.019	0.085	0.110	0.022	0.091	0.141
	China	0.044	0.103	0.046	0.107	0.139	0.049	0.113	0.167
Panicum miliaceum	Korea	0.093	0.186	0.100	0.204	0.231	0.109	0.217	0.257
	China	0.051	0.136	0.059	0.146	0.211	0.068	0.161	0.219
mushroom	Korea	0.406	0.532	0.411	0.539	0.628	0.419	0.544	0.465
	China	0.390	0.516	0.401	0.525	0.716	0.407	0.529	0.531

1) TBA(thiobarbituric acid) value - absorbance value at 538 nm

2) 0 kGy. - not irradiated

3) 5 kGy - irradiated at 5 kGy

4) Re. - reirradiated at 5 kGy

다. 표면색도

1) 옥수수 전분

옥수수 전분의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 표면색깔의 변화를 Table 36과 같이 나타내었다. 국산 옥수수 전분의 경우, 저장 초기 L 값은 조사 처리에 따라 99.20에서 98.48로 조금 감소하였고, a 값은 -1.40에서 -0.84로 증가하였으며 b 값은 +4.27에서 +3.63으로 감소하였다. 저장 6개월 시점에서 L 값은 조사 및 재조사 처리에 따라 비조사구보다 약간 감소하였으나, 조사 처리구와 재조사 처리구는 서로 비슷한 값을 나타내었다. a 값은 초기와 마찬가지로 조사 및 재조사 처리에 따라 -1.75에서 -1.13, -0.78로 증가하였으며, b 값 역시 조사 및 재조사 처리에 따라 +5.09, +4.09, +3.42로 감소하였다. 이러한 경향은 저장 12개월 시점에서도 동일한 경향으로 나타났다. 그러나 Δ E 의 경우 조사 및 재조사 처리에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 중국산 옥수수 전분의 경우 국산과 마찬가지로 각 저장 시점에서 조사 및 재조사 처리에 따라 a 값은 감소하고 b 값은 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서 옥수수 전분의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 색 변화는 적색도 증가 및 황색도의 감소 현상을 나타내어 색차에 의한 검지시험의 보완은 검지결과에 대한 보충자료로서만 활용이 가능함을 알 수 있었다.

Table 36. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the surface color of corn starch stored at 0 ℃ for 12 months

Origins	Hunter's value[1]	Surface color							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[2]0 kGy	[3]5kGy	0 kGy	5kGy	[4]Re.	0 kGy	5kGy	Re.
Korea	L	99.20	98.48	99.51	98.61	98.79	99.31	99.39	98.99
	a	-1.40	-0.84	-1.75	-1.13	-0.78	-1.63	-1.03	-0.84
	b	+4.27	+3.63	+5.09	+4.09	+3.42	+4.56	+3.51	+3.32
	Δ E	0.00	0.39	0.36	0.60	0.45	0.13	0.16	0.25
China	L	99.36	98.75	99.26	98.91	99.34	99.80	99.07	98.82
	a	-1.19	-0.74	-1.46	-0.93	-0.61	-1.28	-0.82	-0.67
	b	+3.73	+3.00	+4.30	+3.24	+2.53	+3.60	+2.80	+2.67
	Δ E	0.00	0.64	0.08	0.47	0.07	0.43	0.33	0.58

[1] Hunter's value

L : Degree of lightness(white +100 ↔ 0 black).

a : Degree of redness(red +100 ↔ -80 green).

b : Degree of yellowness(yellow +70 ↔ -80 blue).

Δ E : Overall color difference ($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)

[2] 0 kGy. - not irradiated

[3] 5 kGy - irradiated at 5 kGy

[4] Re. - reirradiated at 5 kGy

2) 기장(*Panicum miliceum*)

기장의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 표면색깔의 변화를 Table 37과 같이 나타내었다. 국산 기장의 경우, 저장 초기 L 값은 조사 처리에 따라 91.05에서 90.47로 조금 감소하였고, a 값은 -2.89에서 -2.43으로 증가하였으며 b 값은 +17.21에서 +15.64로 감소하였다. 저장 6개월 시점에서 L 값은 조사 및 재조사 처리에 따라 비조사구보다 약간 감소하였으나, 조사 처리

구와 재조사 처리구는 서로 비슷한 값을 나타내었다. a 값은 초기와 마찬가지로 조사 및 재조사 처리에 따라 -2.89에서 -2.36, -1.68로 증가하였으며, b 값 역시 조사 및 재조사 처리에 따라 +17.00, +15.12, +12.22로 감소하였다. 이러한 경향은 저장 12개월 시점에서도 동일한 경향으로 나타났다. 그러나 Δ E 의 경우 조사 및 재조사 처리에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 중국산 기정의 경우 국산과 마찬가지로 각 저장 시점에서 조사 및 재조사 처리에 따라 a 값은 감소하고 b 값은 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서 기정의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 색 변화는 옥수수 전분과 마찬가지로 적색도 증가 및 황색도의 감소 현상을 나타내어 색차에 의한 검지시험의 보완은 검지결과에 대한 보충자료로서만 활용이 가능함을 알 수 있었다.

Table 37. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the surface color of *Panicum miliaceum* stored at 0 ℃ for 12 months

Origins	Hunter's value[1]	Surface color							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[2]0 kGy	[3]5kGy	0 kGy	5kGy	[4]Re.	0 kGy	5kGy	Re.
Korea	L	91.05	90.47	90.88	90.32	90.98	91.86	90.89	90.20
	a	-2.89	-2.43	-2.89	-2.36	-1.68	-2.75	-2.17	-1.66
	b	+17.21	+15.64	+17.00	+15.12	+12.22	+15.50	+13.78	+12.58
	Δ E	0.00	0.82	0.21	1.10	0.90	0.49	0.76	1.62
China	L	92.46	92.91	92.47	93.05	93.15	93.64	93.50	92.11
	a	-2.86	-2.26	-2.98	-1.95	-1.20	-2.65	-1.62	-1.15
	b	+14.70	+12.63	+15.14	+11.80	+8.87	+13.14	+10.03	+8.82
	Δ E	0.00	0.12	0.08	0.15	0.09	0.92	0.38	1.13

[1] Hunter's value

L : Degree of lightness(white +100 ↔ 0 black).

a : Degree of redness(red +100 ↔ -80 green).

b : Degree of yellowness(yellow +70 ↔ -80 blue).

Δ E : Overall color difference ($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)

[2] 0 kGy. - not irradiated

[3] 5 kGy - irradiated at 5 kGy

[4] Re. - reirradiated at 5 kGy

3) 표고버섯

표고버섯의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 표면색깔의 변화를 Table 38과 같이 나타내었다. 국산 표고버섯의 경우, 저장 초기 L 값은 조사 처리에 따라 80.48에서 80.96으로 거의 비슷하게 측정되었으며, a 값 역시 +1.28에서 +1.31로 그리고 b 값은 +13.87에서 +13.47로 거의 비슷한 값을 나타내어 조사처리에 따른 색의 변화를 확인할 수 없었다. 저장 6개월 시점에서

L 값은 조사 및 재조사 처리에 따라 비조사구보다 약간 감소하였으나, a 값은 초기와 마찬가지로 조사 및 재조사 처리에 따라 +1.08에서 +1.07, +1.20으로 조금 증가하였다. b 값의 경우 조사 및 재조사 처리에 상관없이 서로 비슷한 값을 나타내었다. 이러한 경향은 저장 12개월 시점에서도 동일한 경향으로 나타났다. 그러나 Δ E 의 경우 조사 및 재조사 처리에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 중국산 표고버섯의 경우 국산과 마찬가지로 각 저장 시점에서 조사 및 재조사 처리에 따른 색의 변화는 거의 없는 것으로 판단되었다.

따라서 표고버섯의 5 kGy 조사 및 재조사에 의한 색 변화는 옥수수 전분 및 기장과 달리 일정한 변화를 보이지 않아 색차에 의한 검지시험의 보완하는데 적합하지 못하는 것으로 나타났다.

Table 38. Effect of re-irradiation at 5 kGy on the surface color of mushroom stored at 0 ℃ for 12 months

Origins	Hunter's value[1]	Surface color							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[2]0 kGy	[3]5kGy	0 kGy	5kGy	[4]Re.	0 kGy	5kGy	Re.
Korea	L	80.48	80.96	80.27	80.17	79.75	81.03	79.93	79.37
	a	+1.28	+1.31	+1.08	+1.07	+1.20	+1.21	+1.15	+1.37
	b	+13.87	+13.47	+14.45	+14.56	+14.30	+14.02	+14.17	+14.66
	Δ E	0.00	0.40	0.11	0.19	0.65	0.56	0.50	0.96
China	L	80.16	79.64	79.41	80.00	79.85	80.21	80.11	79.63
	a	+1.50	+1.54	+1.37	+1.22	+1.41	+1.41	+1.37	+1.53
	b	+15.01	+15.26	+16.22	+15.38	+15.61	+15.29	+15.65	+15.49
	Δ E	0.00	0.47	0.51	0.10	0.20	0.10	0.07	0.43

[1] Hunter's value

L : Degree of lightness(white +100 ↔ 0 black).

a : Degree of redness(red +100 ↔ -80 green).

b : Degree of yellowness(yellow +70 ↔ -80 blue).

Δ E : Overall color difference ($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)

[2] 0 kGy. - not irradiated

[3] 5 kGy - irradiated at 5 kGy

[4] Re. - reirradiated at 5 kGy

라. 총균수

1) 옥수수 전분

5 kGy 조사 및 재조사에 따른 옥수수 전분의 미생물 농도를 측정한 결과는 Table 39와 같았다. 국산 및 중국산 옥수수 전분 모두 저장 초기 비

조사구에서 10^2~ 3.5×10^2CFU/g 로 측정되었으나 5 kGy 조사구에서는 관찰되지 않아 방사선 조사의 미생물에 대한 살균효과를 확인하였다. 5 kGy 처리구의 경우 12개월 시점에서 미생물이 관찰되었으나 재조사 처리구는 저장기간 중 미생물이 발견되지 않아 재조사 처리 시 살균효과를 재확인하였다. 따라서 5 kGy 조사 및 재조사 처리는 저장 옥수수 전분에 대해 미생물 생육을 억제하여 살균 효과가 있는 것으로 판단되었다.

2) 기장(*Panicum miliceum*)

5 kGy 조사 및 재조사에 따른 기장의 미생물 농도를 측정한 결과는 Table 39와 같이 나타내었다. 국산 및 중국산 기장 모두 저장 초기 비조사구에서 6.3×10^2~ 1.05×10^3CFU/g 로 측정되었으나 5 kGy 조사구에서는 관찰되지 않아 방사선 조사의 미생물에 대한 살균효과를 확인하였다. 5 kGy 처리구의 경우 12개월 시점부터 미생물이 관찰되었으나 재조사 처리구는 저장기간 중 미생물이 발견되지 않아 재조사 처리 시 살균효과를 재확인하였다. 따라서 5 kGy 조사 및 재조사 처리는 옥수수 전분과 마찬가지로 기장에 대해서도 미생물 생육을 억제하여 살균 효과가 있는 것으로 판단되었다.

3) 표고버섯

5 kGy 조사 및 재조사에 따른 표고버섯의 미생물 농도를 측정한 결과는 Table 39와 같이 나타내었다. 옥수수 전분 및 기장과 마찬가지로 저장 초기 비조사구에서 6.2×10^2~ 2.25×10^3CFU/g 로 측정되었으며 5 kGy 조사구에서는 관찰되지 않아 표고버섯에 대해서도 방사선 조사의 미생물 살균효과를 확인하였다. 5 kGy 처리구의 경우 12개월 시점에 미생물이 관찰되었으나 재조사 처리구에서 미생물이 발견되지 않아 재조사 처리 시 살균

효과를 재확인하였다. 따라서 5 kGy 조사 및 재조사 처리는 표고버섯에 대해서도 미생물 생육을 억제하여 살균 효과가 있음을 알 수 있었다.

Table 39. Effects of re-irradiation at 5 kGy on the total plate counts of corn starch, *Panicum miliaceum,* mushroom stored at 0 ℃ for 12 months

(unit : CFU/g)

Item	Origin	Total plate counts							
		Initial stage		6 months			12 months		
		[1]0 kGy	[2]5kGy	0 kGy	5kGy	[3]Re.	0 kGy	5kGy	Re.
Corn starch	Korea	10^2	-	4.0×10^3	-	-	2.75×10^4	1.50×10^2	-
	China	3.5×10^2	-	10^3	-	-	1.37×10^4	10^2	-
Panicum miliaceum	Korea	1.05×10^3	-	2.5×10^3	-	-	1.05×10^6	10^2	-
	China	6.3×10^2	-	8.75×10^2	-	-	3.4×10^4	1.7×10^2	-
Mush-room	Korea	2.25×10^3	-	5.8×10^3	-	-	4.25×10^6	4×10^2	-
	China	2.6×10^2	-	4.73×10^3	-	-	1.33×10^5	10^2	-

[1] 0 kGy. - not irradiated

[2] 5 kGy - irradiated at 5 kGy

[3] Re. - reirradiated at 5 kGy

6. Viscosity 분석에 의한 미지 모델시료의 검증

가. 옥수수 전분

1) 점도 및 Specific parameter 측정

조사선량이 알려지지 않은 미지의 옥수수 전분에 대해 점도를 측정하였다(Table 40). 모든 처리구의 점도는 rpm이 증가함에 따라 점도는 감소하였으며 50 rpm에서의 점도 및 specific parameter를 선택하여 비교하였다. 즉, 1번, 2번 및 3번 처리구의 점도는 50 rpm에서 각각 203.59, 206.24 및 219.24 mPa·sec으로 측정되었으며 이들은 30 개의 처리구 중 가장 높은 수준으로 나타났다. 23번 및 16번 처리구의 점도는 80~90 ,Pa·sec의 범위를 보였으며, 5, 6, 25, 30, 7 및 13 번 처리구의 점도는 8~10 mPa·sec의 범위로 가장 낮게 측정되었다.

각 처리구의 specific parameter를 구한 결과는 Table 41에 나타내었다. 1번, 2번 및 3번의 specific parameter의 값은 50 rpm에서 각각 32.58, 33.06 및 35.15로 앞서 측정된 옥수수전분의 specific parameter(Table 14)를 기준으로 비교해볼 때 비조사구의 값인 36.39와 비슷한 수준이었으며 2.5 kGy 처리구의 16.45보다는 크게 나타나 비조사 혹은 1 kGy 이하의 저선량 처리구로 생각되었다. 또한 16번, 23번의 값은 각각 13.06, 14.50으로 2.5 kGy 처리구의 16.45보다 조금 낮았다.

따라서 Table 13에서 구한 조사선량과 국산 옥수수 전분의 specific parameter간의 회귀식을 이용하여 모든 처리구의 specific parameter 값에 따른 선량을 예측하였다(Table 42). 1번, 2번 및 3번의 경우 -1.97, -2.04 및 -2.34 로 음수의 값을 나타내어 비조사 처리구로 예측되었다. 또한 7번, 13번 및 30번의 경우는 각각 13.15, 13.35, 12.92으로 가장 높은 범위를 나타내어 10kGy 이상의 고선량으로 조사된 것으로 예측하였다.

Table 40. Viscosity of coded unknown corn starch powder prepared with an 3% concentration at various doses and 50 rpms.

(unit : mPa · sec)

Coded No.	mPa · sec	Coded No.	mPa · sec
1	203.59	16	81.47
2	206.24	17	18.07
3	219.2	18	11.20
4	15.8	19	14.95
5	7.22	20	49.29
6	9.72	21	63.50
7	9.07	22	10.85
8	17.57	23	90.46
9	61.38	24	17.79
10	15.78	25	9.70
11	10.13	26	58.02
12	15.87	27	17.29
13	8.69	28	56.18
14	57.22	29	57.72
15	10.35	30	9.46

Table 41. Specific parameters of coded unknown corn starch powders prepared with an 3% concentration at various doses

(unit : arbitrary unit)

Coded No.	Specific parameters	Coded No.	Specific parameters
1	32.58	16	13.06
2	33.06	17	2.90
3	35.15	18	1.79
4	2.54	19	2.40
5	1.60	20	7.90
6	1.56	21	10.18
7	1.45	22	1.74
8	2.82	23	14.50
9	9.84	24	9.25
10	2.53	25	1.56
11	1.62	26	9.30
12	2.54	27	2.77
13	1.39	28	9.01
14	9.25	29	9.17
15	1.66	30	1.52

Table 42. Estimated doses of coded unknown corn starch powders prepared with an 3% concentration by regression expressions between threshold value and dosage

(unit : kGy)

Coded No.	Dose	Coded No.	Dose
1	-1.97	16	2.47
2	-2.04	17	9.78
3	-2.34	18	12.12
4	10.42	19	10.70
5	12.67	20	4.91
6	12.79	21	3.68
7	13.15	22	12.26
8	9.91	23	1.96
9	3.85	24	4.15
10	10.44	25	12.79
11	12.61	26	4.12
12	10.42	27	10.00
13	13.35	28	4.27
14	4.15	29	4.19
15	12.49	30	12.92

2) TBA 가

미지 선량으로 조사된 옥수수 전분의 TBA 가를 측정한 결과는 Table 43과 같다. TBA 가는 방사선 조사처리에 따라 그 값이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 조사선량에 의존성이 있음을 이미 확인되었다. 1번, 2번 및 3번의 경우 0.012, 0.012 및 0.011로 측정되어 시료들 중 가장 낮아 비조사 처리구로 예상되었다. 앞서 점도 측정에서 고선량 조사구로 예측되었던 7

번, 13번 및 30번의 TBA 가는 0.234, 0.233 및 0.235로 가장 높은 수준으로 측정되어 고선량 처리구임을 확인할 수 있었다. 또한 다른 처리구의 경우도 점도 측정값의 경향과 유사하게 나타났다. 따라서 TBA 가는 방사선 조사 여부를 검지하기 위한 보조적인 수단으로 적절한 것으로 기대되었다.

Table 43. TBA (thiobarbituric acid) value of coded unknown corn starch powder

(unit : absorbance value at 538 nm)

Coded No.	TBA value	Coded No.	TBA value
1	0.012	16	0.068
2	0.012	17	0.141
3	0.011	18	0.153
4	0.142	19	0.159
5	0.220	20	0.077
6	0.229	21	0.069
7	0.234	22	0.217
8	0.149	23	0.064
9	0.068	24	0.153
10	0.145	25	0.230
11	0.222	26	0.069
12	0.151	27	0.140
13	0.233	28	0.067
14	0.073	29	0.075
15	0.226	30	0.235

3) 표면색도

미지 선량으로 조사된 옥수수 전분의 표면 색도를 측정하여 보조적인 검

지 시험의 적합 여부를 확인하였다(Table 44). L값은 98.42에서 99.35의 작은 범위를 나타내어 조사여부를 판별할 수 없었다. a 값의 경우 1, 2 및 3번 처리구가 -1.35에서 -1.40으로 가장 낮았고, b 값의 경우는 1, 2 및 3번 처리구가 4.19에서 4.24로 가장 높게 측정되었다. 그러나 처리구간의 차이가 작아 조사여부 및 예측선량을 판단하기에 미흡하였다. 따라서 표면 색의 측정은 옥수수 전분의 방사선 조사여부를 판단할 수 없었다.

Table 44. Hunter color of coded unknown corn starch powder

Coded No.	L[1)]	a[2)]	b[3)]	Coded No.	L[1)]	a[2)]	b[3)]
1	98.57	-1.35	4.19	16	99.35	-0.85	3.34
2	99.27	-1.39	4.20	17	99.00	-0.68	3.39
3	99.08	-1.40	4.24	18	98.86	-0.67	3.55
4	98.82	-0.73	3.41	19	98.81	-0.71	3.53
5	98.42	-0.72	3.75	20	98.75	-0.82	3.59
6	98.77	-0.69	3.57	21	98.99	-0.84	3.56
7	98.62	-0.70	3.74	22	98.80	-0.65	3.52
8	98.69	-0.72	3.45	23	98.95	-0.87	3.57
9	99.13	-0.62	3.49	24	98.87	-0.70	3.56
10	98.67	-0.72	3.42	25	98.46	-0.61	3.62
11	98.68	-0.62	3.41	26	98.76	-0.84	3.61
12	98.62	-0.70	3.54	27	98.93	-0.68	3.49
13	98.80	-0.64	3.53	28	98.83	-0.85	3.63
14	98.97	-0.88	3.49	29	98.84	-0.86	3.65
15	98.73	-0.66	3.60	30	98.86	-0.65	3.65

[1)]L : Degree of whiteness (white +100 ↔ 0 black).

[2)]a : Degree of redness (red +100 ↔ 0 ↔ -80 green).

[3)]b : Degree of yellowness (yellow +70 ↔ 0 ↔ -80 blue).

4) Total plate counts

미지선량으로 조사된 옥수수 전분의 미생물 농도를 측정한 결과는 Table 45와 같다. 즉, 1, 2 및 3번 처리구에서 미생물이 관찰되었으나 나머지 처리구에서는 측정되지 않아 방사선 조사 처리에 의한 미생물의 살균 효과를 확인할 수 있었다. 따라서 조사여부를 판단하는데 보조적인 수단으로 미생물 측정 시험이 적절할 것으로 기대되었다.

Table 45. Total plate count of coded unknown corn starch powder at various doses

Coded No.	CFU/g	Coded No.	CFU/g
1	3×10^2	16	-
2	4×10^2	17	-
3	5.5×10^2	18	-
4	-	19	-
5	-	20	-
6	-	21	-
7	-	22	-
8	-	23	-
9	-	24	-
10	-	25	-
11	-	26	-
12	-	27	-
13	-	28	-
14	-	29	-
15	-	30	-

나. 현미

1) Calibration 설정을 위한 점도 측정

Calibration을 위한 국산 및 중국산 현미의 점도를 측정한 결과는 Table 37 및 38에 나타내었다. Table 46에 나타난 바와 같이 조사선량과 점도값 간의 상관관계는 원산지 및 rpm에 상관없이 모두 높게 나타났다(0.9116~0.9567). Specific parameter를 설정한 결과는 Table 48과 같다. 조사선량과 specific parameter 간의 상관성은 원산지 및 rpm에 관계없이 0.9116~0.9567로 높게 나타났다(Table 49). 따라서 이러한 결과를 바탕으로 미지선량으로 조사한 국산현미의 조사여부 및 예측선량을 설정하고자 한다.

Table 46. Regression expressions and coefficients of Brown rice between irradiation dose and viscosity at various rpms

Rpm	Origins	
	Korean	Chinese
50	$y = 989.54e^{-0.1601x}$ $R^2 = 0.9482$	$y = 803.26e^{-0.1581x}$ $R^2 = 0.9387$
150	$y = 436.19e^{-0.1362x}$ $R^2 = 0.9423$	$y = 347.87e^{-0.1147x}$ $R^2 = 0.9156$
300	$y = 279.89e^{-0.1242x}$ $R^2 = 0.9567$	$y = 238.19e^{-0.1135x}$ $R^2 = 0.9119$

Table 47. Viscosity of irradiated brown rice prepared with an 10% concentration at various doses and rpms.

(unit : mPa · sec)

Doses (kGy)	RPM	Korea	China
0	50	1063.45	847.99
	150	470.72	373.52
	300	289.77	245.45
0.5	50	906.08	771.14
	150	381.53	366.16
	300	232.80	235.30
1	50	846.05	711.53
	150	389.92	270.66
	300	250.56	186.67
2	50	848.35	593.35
	150	388.76	288.29
	300	256.51	188.46
2.5	50	613.30	541.09
	150	318.58	250.94
	300	210.00	187.74
4	50	543.35	435.43
	150	242.94	235.90
	300	171.29	167.45
5	50	493.12	438.14
	150	239.36	224.75
	300	164.51	164.22
7.5	50	195.13	172.13
	150	116.56	123.33
	300	92.65	87.91
10	50	180.24	123.71
	150	90.78	80.55
	300	66.61	53.98
15	50	112.28	101.16
	150	72.27	79.34
	300	51.16	53.69

Table 48. Specific parameters of irradiated brown rice prepared with an 10% concentration at various doses and rpms.

(unit : a.u)

Doses (kGy)	RPM	Korea	China
0	50	223.53	191.32
	150	108.29	92.23
	300	66.88	60.80
0.5	50	190.47	173.98
	150	87.77	90.41
	300	53.73	58.29
1	50	177.85	160.53
	150	89.70	66.83
	300	57.83	46.24
2	50	178.33	133.87
	150	89.43	71.18
	300	59.20	46.68
2.5	50	128.92	122.08
	150	73.29	61.96
	300	48.47	46.50
4	50	114.22	98.24
	150	55.89	58.25
	300	39.53	41.48
5	50	103.66	98.85
	150	55.06	55.49
	300	37.97	40.68
7.5	50	41.02	38.83
	150	26.82	30.45
	300	21.38	21.78
10	50	37.89	27.91
	150	20.88	19.89
	300	15.37	13.37
15	50	23.60	22.82
	150	16.63	19.59
	300	11.81	13.30

Table 49. Regression expressions and coefficients of Brown rice between irradiation dose and specific parameter at various rpms

Rpm	Origins	
	Korean	Chinese
50	$y = 208.01e^{-0.1601x}$ $R^2 = 0.9482$	$y = 181.23e^{-0.1581x}$ $R^2 = 0.9387$
150	$y = 100.35e^{-0.1362x}$ $R^2 = 0.9423$	$y = 85.893e^{-0.1147x}$ $R^2 = 0.9156$
300	$y = 64.595e^{-0.1242x}$ $R^2 = 0.9567$	$y = 59e^{-0.1135x}$ $R^2 = 0.9119$

2) 미지 시료 현미의 점도 측정

미지시료 국산 현미의 점도를 측정하고 specific parameter를 설정한 결과는 Table 50 및 Table 51과 같다. 이의 결과를 이용하여 Table 40에 표현된 조사선량과 specific parameter 간의 상관 관계를 통해 선량을 예측하였다(Table 52).

Table 50. Viscosity of coded unknown brown rice prepared with 10% concentration at various rpms

Coded No.	RPM	mPa · sec	Coded No.	RPM	mPa · sec
1	50	923.46	16	50	221.17
	150	427.25		150	114.78
	300	268.01		300	83.03
2	50	857.63	17	50	677.04
	150	406.71		150	368.82
	300	255.13		300	242.41
3	50	965.32	18	50	140.90
	150	452.30		150	103.72
	300	280.35		300	75.40
4	50	707.55	19	50	267.34
	150	361.14		150	95.45
	300	227.29		300	75.92
5	50	156.69	20	50	548.32
	150	115.31		150	261.36
	300	78.03		300	165.54
6	50	279.36	21	50	254.56
	150	96.92		150	102.60
	300	77.58		300	67.79
7	50	148.34	22	50	548.51
	150	99.77		150	233.32
	300	79.14		300	148.88
8	50	283.96	23	50	340.74
	150	113.73		150	107.09
	300	88.88		300	88.44
9	50	548.62	24	50	501.77
	150	330.56		150	326.32
	300	212.21		300	250.86
10	50	483.08	25	50	639.89
	150	283.40		150	312.43
	300	179.04		300	209.29
11	50	598.14	26	50	806.73
	150	307.55		150	298.42
	300	211.56		300	185.15
12	50	886.93	27	50	761.42
	150	333.39		150	328.77
	300	212.45		300	188.71
13	50	726.97	28	50	793.58
	150	369.34		150	362.47
	300	206.87		300	246.37
14	50	898.19	29	50	605.40
	150	423.00		150	355.50
	300	395.10		300	200.16
15	50	814.42	30	50	1338.85
	150	395.20		150	604.98
	300	236.68		300	364.73

Table 51. Specific parameters of coded unknown brown rice prepared with 10% concentration at various rpms

Coded No.	RPM	A.U.	Coded No.	RPM	A.U.
	50	194.10		50	46.49
1	150	98.29	16	150	26.41
	300	61.85		300	19.16
	50	180.28		50	142.32
2	150	93.56	17	150	84.85
	300	58.88		300	55.95
	50	202.92		50	29.62
3	150	104.05	18	150	23.86
	300	64.70		300	17.40
	50	148.73		50	56.20
4	150	83.08	19	150	21.96
	300	52.46		300	17.52
	50	32.94		50	115.26
5	150	26.53	20	150	60.12
	300	18.01		300	38.20
	50	58.72		50	53.51
6	150	22.30	21	150	23.60
	300	17.90		300	15.64
	50	31.18		50	115.30
7	150	22.95	22	150	53.68
	300	17.40		300	34.36
	50	59.69		50	71.63
8	150	26.16	23	150	24.64
	300	17.52		300	20.41
	50	115.32		50	105.48
9	150	76.04	24	150	75.07
	300	48.98		300	15.64
	50	101.55		50	134.51
10	150	65.20	25	150	71.87
	300	41.32		300	48.30
	50	125.73		50	169.58
11	150	70.75	26	150	68.65
	300	48.83		300	42.73
	50	186.44		50	160.06
12	150	76.70	27	150	75.63
	300	49.03		300	43.55
	50	152.81		50	166.82
13	150	84.97	28	150	83.39
	300	47.74		300	56.86
	50	188.81		50	127.26
14	150	97.31	29	150	81.78
	300	68.11		300	46.19
	50	171.20		50	281.43
15	150	90.91	30	150	139.18
	300	54.62		300	84.17

Table 52. Estimated doses of coded unknown brown rice prepared with an 10 % concentration by regression expressions between threshold value and dosage

Coded No.	RPM	kGy	Coded No.	RPM	kGy
	50	0.43		50	9.36
1	150	-0.15	16	150	9.80
	300	0.35		300	9.78
	50	0.89		50	2.37
2	150	-0.51	17	150	1.23
	300	0.75		300	1.16
	50	0.15		50	12.17
3	150	0.27	18	150	10.55
	300	-0.01		300	10.56
	50	2.10		50	8.17
4	150	1.39	19	150	11.16
	300	1.68		300	10.50
	50	11.51		50	3.69
5	150	9.77	20	150	3.76
	300	10.28		300	4.23
	50	7.90		50	8.48
6	150	11.04	21	150	10.63
	300	10.33		300	11.42
	50	11.85		50	3.69
7	150	10.83	22	150	4.59
	300	10.17		300	5.08
	50	7.80		50	6.66
8	150	9.87	23	150	10.31
	300	9.24		300	9.28
	50	3.68		50	4.24
9	150	2.04	24	150	2.13
	300	2.23		300	0.88
	50	2.10		50	2.72
10	150	3.17	25	150	2.45
	300	3.60		300	2.34
	50	3.14		50	1.28
11	150	2.57	26	150	2.79
	300	2.25		300	3.33
	50	0.68		50	1.64
12	150	-1.97	27	150	2.08
	300	2.22		300	3.17
	50	1.93		50	1.38
13	150	1.22	28	150	1.36
	300	2.43		300	1.03
	50	0.60		50	3.07
14	150	-0.23	29	150	1.50
	300	-0.43		300	2.70
	50	1.22		50	-1.89
15	150	0.72	30	150	2.40
	300	1.35		300	-2.13

제 4 절 결론

곡류 및 전분과 같은 전분질 농산물의 검지 방법 개발을 위해 검지 특성을 관찰하고, 재조사 및 저장 기간에 따른 품질 인자의 특성 변화를 확인하였다. 기장, 수수, 표고버섯, 감자 전분, 옥수수 전분 및 고구마 전분의 점도 측정 결과, 표고버섯을 제외한 모든 시료는 점도 측정법에 의한 시료의 조사 여부 확인이 가능하였다. 국산 및 중국산 곡류(기장 및 수수)와 전분(감자, 옥수수 및 고구마)의 점도 값과 specific parameter 값은 조사 선량과의 유의성이 인정되어, 곡류 및 전분의 방사선 조사 여부 확인을 위한 방법으로 적용 가능함을 확인하였다. 한편, 방사선 검지에서 보조적인 인자로서 TBA가, 표면색도, 미생물 농도 등을 측정한 결과, TBA가 및 미생물 농도 측정을 통해 조사 여부의 구분이 가능하여 보조 검지 방법으로의 활용 가능성이 인정되었다. 모델 농산물에 대해 저장 기간에 따른 점도 측정 결과, 기장 및 옥수수 전분만이 점도 측정을 통한 검지가 가능하였고, 재조사에 따른 품질 안정성 확인 결과, 옥수수 전분 및 기장은 점도가 크게 감소하였으며, TBA는 조사 선량 의존적으로 증가하였다. 또한 적색도의 증가 및 황색도의 감소 현상이 일어났으며, 미생물의 살균 효과를 재확인 할 수 있었다. 그러나 표고버섯 분말의 경우 재조사처리에 의한 일정한 변화를 나타내지 않았다. 이상의 점도 측정법에 대한 신뢰도 확인을 위하여 국산 옥수수 전분 및 현미를 대상으로 blind test를 공동으로 실시한 결과, 점도 측정 및 specific parameter 이용과 다중검지로서의 검지 가능성이 확인되었다. 보조 검지 시험인 TBA 가 및 미생물 농도 측정도 조사 여부 확인에서 보조적인 screening 수단으로의 가능성을 보여주었다. 또한 방사선 조사 식품의 국제적 실용화 현황과 방사선 처리 대상 농산물의 교역 동향을 분석하였으며, 아울러 방사선 처리 농산물의 수입 관리 방안을 검토하였다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

구 분	연구개발 목표	달성도 및 기여도(☞)
1 세부 과제 (2000)	ㅇ주요 수입농산물에 대한 TL 분석 및 ESR 검지 품목 선정 ㅇ선정된 주요 농산물에 대한 TL 및 ESR 예비 검지 조건 확립 및 threshold value 설정	ㅇ 수입농산물 중 곡류 2종, 두류 3종, 과실류 4종, 채유종실 2종, 건채류 5종, 근채류 2종의 원산지별 검지 특성 비교 ㅇ 선정 농산물의 열발광(TL) 분석 조건 및 threshold value 설정 ㅇ 선정 농산물의 전자스핀공명(ESR) 분석 조건 설정 ㅇ TL 및 ESR 검지법의 예비조건 확립 ☞ TL 및 ESR 검지 연구 기술기반 구축
2 세부 과제 (2000)	ㅇ선정 수입농산물에 대한 DNA comet assay 적용 품목 선정 및 예비 조건 확립	ㅇ Comet assay 적용 품목으로 근채류 2종, 곡류 2종, 두류 3종, 과실류 3종, 채유종실 2종 선정 ㅇ DNA comet assay 예비조건 확립 및 선량 의존성 확인 ☞ Comet assay 검지연구 기반 구축
위탁 과제 (2000)	ㅇ방사선 조사 식품의 허가 및 실용화 현황 평가 ㅇ수입 건채류 및 전분질 농산물의 점도 검지 적용품목 선정 및 예비 조건 확립	ㅇ 방사선조사식품의 국내외 허가 및 실용화 현황을 조사함 ㅇ 곡류 2종, 전분류 3종을 점도 검지 적용 품목으로 선정하고 예비 조건 확립 - 점도 측정에 의한 조사 선량 의존성 분석 - 품목별 specific parameter 설정 - 미생물 농도 등의 선량 상관성 분석 ☞ 국제 식품조사기술 실용화 현황 평가 및 점도 측정법의 최적화에 기여

구 분	연구개발 목표	달성도 및 기여도(☞)
1 세부 과제 (2001)	ㅇ 수입농산물에 대한 TL 및 ESR 검지 조건 확립 및 표준화 ㅇ 모델 농산물에 대한 TL 및 ESR 검지 가능 기간 설정 및 미지 모델농산물에 대한 검지법 검증과 다중검지체계 확립	ㅇ 국내농산물과의 TL 및 ESR 검지특성 비교 ㅇ 주요 농산물의 TL, ESR 검지조건 표준화 ㅇ 흡수선량의 TL/ESR response calibration ㅇ 모델농산물의 TL 및 ESR 검지기간 설정 ㅇ 미지 농산물(5종 150건)의 blind test 실시 ㅇ 주요 농산물의 다중검지체계 확립 ☞ 수입농산물의 TL 및 ESR 검지조건 확립으로 국내 최초 검증시험 수행과 예비검지법의 신뢰성 인증(식품의약품청, 농산물품질관리원 공동 수행)
2 세부 과제 (2001)	ㅇ 주요 농산물에 대한 comet assay 조건확립 ㅇ 모델농산물에 대한 검지 가능 기간 설정 및 검증 ㅇ 다중검지법의 주요 품목별 체계화	ㅇ 선발된 농산물의 comet assay 조건 표준화 ㅇ 시료의 comet assay 검지가능기간 설정 ㅇ 미지 농산물(3종)에 대한 blind test 공동실시 ㅇ 두류, 마늘의 광발광분석(PSL) 가능성 확인 ㅇ Comet assay, PSL법의 screening 체계확립 ☞ 다수 미지 시료의 신속 검지를 comet assay 및 PSL 적용기반 확보에 기여
위탁 과제 (2001)	ㅇ 선정된 농산물의 대한 점도 검지 조건 확립 및 상관성 ㅇ 모델 농산물에 대한 검지 가능 기간 설정 ㅇ 모델 농산물의 방사선 재조사시 품질 안정성 평가 ㅇ 방사선 조사 대상 농산물의 수입· 유통 체계 검토 및 안전 관리 방안 구축	ㅇ 곡류(2종)과 전분3종의 점도측정조건 확립 ㅇ 보조검지시험(미생물농도 등)의 상관성평가 ㅇ 모델 농산물의 점도측정 검지가능기간 설정 ㅇ 미지농산물(전분, 현미)에 대한 blind test 공동 실시 및 다중검지체계 적용 ㅇ 재조사 모델농산물의 품질안정성 확인 ㅇ 방사선처리 대상 농산물의 수입·유통체계를 조사하고 안전관리를 위한 검지/검역 방안을 검토하였음. ☞ 전분질 농산물의 점도측정에 의한 검지 가능성을 제시하였고, 비원자력 기관에서 방사선 조사식품에 대한 관리방안을 객관적으로 검토함

제 5 장 연구 개발 결과의 활용 계획

연구결과에서 얻어진 핵심기술 및 체계화된 분석 조건

1. 방사선 처리 농산물의 열발광(TL) 및 광발광(PSL) 검지법
2. 방사선 처리 농산물의 전자스핀공명(ESR) 검지법
3. 방사선 처리 농산물의 DNA comet assay 검지법
4. 점도 측정에 의한 전분질 농산물의 보조적 검지법
5. 이상 여러 검지법의 품목별 다중검지기술

이상의 검지법들은 실험실적으로는 상당한 품목의 농산물에 대한 조사 여부의 판별을 가능하게 할 수 있는 수준이라고 판단된다. 그러나 수입 농산물의 방사선 조사 여부의 본격적인 대량/다수의 미지시료 검지/판별을 위해서는 교역국과의 검지방법에 대한 상호 검증절차가 필요하고, 적용 품목의 확대 연구와 관련 전문 인력 및 장비의 확보가 국가적인 차원에서 요구된다.

이를 단계적으로 추진하기 위해서는 방사선 조사식품 관리기관(식품의약품안전청, 국립농산물품질관리원 등)에서 국내의 연구수준과 그 동안의 성과를 종합하고, 실용화를 도모해 가기 위한 종합적인 연구팀의 구성과 전문 분야 별 연구결과의 검증연구가 정부 주도로 추진되어야 할 것이다. 이어서 검지기술 선진국 및 주요 교역 대상국과의 예비검지법에 대한 국제 실증연구가 수행되어짐으로써 국제교역에 통용될 수 있는 기술의 실용화 기반이 완전히 구축되어질 것이다. 이와 동시에 이 분야의 전문인력 확보와 분석시스템의 구축에도 관심과 투자가 필요하다고 사료된다.

제 6 장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

1. ICGFI : Safeguarding Our Harvests - Assessing the use of irradiation in facilitation the achievement of food security goals. International Consultative Group on Food Irradiation, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, India (1998)
2. UNEP : Montreal Protocol on Substances That Deplete The Ozone Layer. 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee (1995)
3. IAEA : New approval of irradiated food/food irradiation. Food and Environmental Newsletter, 3(2), 16-17 (2001)
4. IAEA : Recent developments on commercial application of food irradiation in the USA. Food and Environmental Newsletter, 3(1), 13-14 (2001)
5. McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J., eds : Detection methods for irradiated foods-Current status, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK (1996)
6. WHO. Wholesomeness of Irradiated Food, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 659, 7-34 (1981)
7. Codex Alimentarius Commission. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods, CAC/ VOL, XV, FAO, Rome (1984)
8. Delinčee, H. Analytical methods to identify irradiated food - a review. Radiat. Phys. Che., 63, 455-458 (2002)

제 7 장 참고문헌

1. Schreiber, G.A., Helle, N. and Bögl, K.W. : An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs and spice-herb mixtures by thermoluminescence analysis. J. AOAC International, 78, 88-93 (1995)
2. Schreiber, G.A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bogl, K.W. : Methods for routine control of irradiated food - Determination of the irradiation status of Shellfish by TL analysis. Radiat. Phys. Chem., 43, 533-544 (1994)
3. European Committee for standard : Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. Method by thermoluminescence. English version of DIN EN 1788 (1997)
4. Gray, R. : Electron spin resonance spectroscopy for detection of irradiated food. Dickinson, E. (ed.), In new physico-chemical techniques for the characterization of complex food system. Cambridge University Press, Cambridge, pp.86-108 (1995)
5. Ikeya, M. : New applications of electron spin resonance - dating, dosimetry and microscopy. River Edge, NJ, New World Scientific, Singapore, pp.23-66 (1993)
6. European Committee for standard : Detection of irradiated food containing cellulose. Method by ESR spectroscopy. English version of DIN EN 1787 (2000)
7. Chung, H.W., Delincee, H. and Kwon, J.H. : The application of different detection methods for irradiated dried anchovy and shrimp. Radiat. Phys. Chem. 63, 411-415 (2002)
8. Origin : Origin tutorial manual, version 6.0, Microcal Software Inc., pp.20-45, Northampton, MA (1999)
9. SAS : SAS Users guide, version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC (2001)

10. Autio, T. and Pinnioja, S. : Identification of irradiated foods by the thermoluminescence of mineral contamination. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 191, 177-180 (1990)
11. Kwon, J.H., Jeong, J., Chung, H.W. and Byun, M.W. : Thermoluminescence characteristics of minerals from irradiated potatoes with different producing districts. Paper presented at 11th International Meeting on Radiation Processing, pp.110, Avignon, France, 25-30 March (2001)
12. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N. and Bögl, K.W. : Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing radiation. Food Structure, 12, 385-396 (1993)
13. Oduko, J.M. and Spyrou, N.M. : Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. Radiat. Phys. Chem., 36, 603-607 (1990)
14. Desrosiers, M.F. and McLaughlin, W.L. : Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy. Radiat. Phys. Chem., 34(6), 895-898 (1989)
15. De Jesus, E.F.O., Rossi, A.M. and Lopes, R.T. : An ESR study on identification of gamma-irradiated kiwi, papaya and tomato using fruit pulp. International J. Food Sci. Technol., 34, 173-178 (1999)
16. Linke, B., Ammon, J., Ballin, U., Brockmann, R., Brunner, J., Delincee, H., Eisen, S., Erning, D., Eschelbach, H., Estendorfer-Rinner, S., Fienitz, B., Frohmut, G., Helle, N., Holstein, K., Jonas, K., Krolls, W., Kuhn, T., Kruspe, W., Marchioni, E., Meier, W., Pfordt, J., Schleich, C., Stewart, E., Trapp, C., Vreden, N., Wiezorek, C., Bogl, K.W. and Schreiber, G.A. : Elektronenspinresonanz spektroskopische Untersuchungen zur identifizierung bestrahlter getrockneter und frischer Fruchte - Durchfuhrung eines Fingversuches an getrockneten Feigen und Mangos sowie and Erdbeeren. Bundesinstitut fur gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinarmedizin.

Berlin 1996 (BgVV-Hefte 03/1996)

17. Nam, H.S., Ly, S.Y. and Yang, J.S. : Detection of gamma-irradiated dried fruits by measuring of free radicals. Korean J. Food. Sci. Technol., 33(4), 423-426 (2001)
18. Hammerton, K.M. and Banos, C : Detection of irradiated spices by thermoluminescence analysis. pp.168-171. In Detection Methods for Irradiated Foods. McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J. (eds.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK (1996)
19. Mamoon, A., Abdul-Fattah, A.A. and Abulfaraj, W.H. : Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. Radiat. Phys. Chem., 44, 203-206 (1994)
20. Deeble, D.J., Jabir, A.W., Prasons, B.J., Smith, C.J. and Wheatley, P.A. : Changes in DNA as a possible means of detecting irradiated food pp.57-79. In Food Irradiation and the Chemistry. Johnston, D.E. and Stevenson, M.H. (eds.). The Royal Society of Chemistry, London, UK (1990)
21. IAEA : Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, p.172 (1991)
22. Fairbairn, D.W., Olive, P.L. and ONeill, K.L. : The comet assay - A comprehensive review. Mutat. Res., 339, 37-59 (1995)
23. Kent, C.R.H., Eady, J.J., Ross, G.M. and Steel, G.G. : The comet moment as a measure of DNA damage in the comet assay. Int. Radiat. Biol., 67, 655-660 (1995)
24. Koppen, G. and Cerda, H. : Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. Food Sci. Technol., 30, 452-457 (1997)
25. Ahnstrom, G. : Techniques to measure DNA single strand breaks in cells. Int. J. Radiat. Biol., 54, 697-702 (1988)
26. Whitaker, S.J., Powell, S.N. and Mcmillan. T.J. : Molecular assay and radiation-induced DNA damage. Eur. J. Cancer, 27, 922-928 (1991)

27. Bocker, W., Bauch, T., Muller, W.U. and Streffer, C. : Technical report - Image analysis of comet assay measurements. Int. J. Radiat. Biol., 72, 449-460 (1997)
28. Sanderson, D.C.W. : Photostimulated luminescence (PSL): new approach to identifying irradiated foods. Raffi, J.J. and Belliardo, J.J. (eds.). p.159-167. In Potential New Methods of Detection of Irradiated Food, Commission of the European Communities, Brussels, Luxembourg (1991)
29. Sanderson, D.C.W., Carmichael, L.A., Ni Riain, S., Naylor, J.D. and Spencer, J.Q. : Luminescence studies to identify irradiated food. Food Science and Technology Today, 8, 93-96 (1994)
30. Cerda, H., Delincee, H., Haine, H. and Rupp, H. : The DNA "Comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. Mutation Research., 375, 167-181 (1997)
31. Sanderson D.C.W., Carmichael, L.A. and Fisk, S. : Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. Food Science and Technology Today, 12, 97-102 (1998)
32. Schreiber, G.A. : Thermoluminescence and photostimulated luminescence techniques to identify irradiated foods. In Detection Methods for Irradiated Foods, McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J.(eds.), The Royal Society of Chemistry, cambtidge, UK, p.121 (1996)
33. Yi, S.D., Woo, S.H. and Yang, J.S. : Pulsed photostimulated luminescence (PPSL) of irradiated importation sesame and perilla seeds. Korean J. Food Sci. Technol. 33(2), 173-177 (2001)
34. Kim, C.K., Yang, J.S., Lee, H.J. : Detection of irradiated grains using DNA 'comet assay'. Korean J. Food Sci. Technol. 31, 906-911 (1999)
35. Delincée, H. : Detection of irradiated food - DNA fragmentation in grapefruits. Radiat. Phys. Chem., 52, 135-139 (1998)

36. Oh, K.N., Park, J.Y., Kim, K.E. and Yang, J.S. : Detection of irradiated fruits using the DNA comet assay. Korean J. Food Sci. Technol., 32, 351-357 (2000)
37. Cerda, H. : Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay ; Interlaboratory test. J. Sci. Food Agric., 76, 435-442 (1998)
38. Koppen, G. and Cerda, H. : Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. Food Sci. Technol., 30, 452-457 (1997)
39. Yi, S.D., Woo, S.H. and Yang, J.S. : The use of photostimulated luminescence (PPSL) and thermoluminescence (TL) for the detection of irradiated perilla and sesame seeds. J. Food Sci. Nutr., 5(3), 142-147 (2000)
40. Chung, H.W., Kwon, J.H. and Delincee, H. : Photostimulated luminescence-thermoluminescence application to detection of irradiated white Ginseng powder. Korean J. Food Sci. Technol. 32(2), 265-270 (2000)

(위탁과제)

1. Handbook of experiments in food science and nutrition, pp. 709-712: the korean society of food science and nutrition (2000)
2. Yi, S. D., Chang, K. S. and Yang, J. S. Application of viscometric method for the detection of irradiated black and white pepper. J. Fd. Hyg. Safety, 15: 114-121, (2000)
3. Hayash, T., Todoriki, S. and Koyama, M. Application of viscosity measuring method to the detection of irradiated spices. *Nippon shokuhin Kogyo Gakkaishi,* 40: 456-460 (1993)
4. Yi. S. D., Chang, K. S. and Yang, J. S. Identification of irradiated potato, sweet potato and corn starches with viscometric method. Food Sci. Biotechnol. 9: 59-62 (2000)

5. Hayashi, T., Todoriki, S. and Kohyama, K. : Irradiation effects on pepper starch viscosity. *J. Food Sci.*, 59: 118-120 (1994)
6. Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Radiat. Phys. Chem.,* 45, 665-669 (1995)
7. Kobayashi, T., Tabuchi, T. A method employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantites of reducing sigars. *J. Agr. Chem. Soc. Japan,* 28, 171-174 (1954)
8. Chung, H. W., Jeong, J. and Kwon, J. H. Potential detection of irradiated dried agricultural products by viscosity measurement. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* 28, 1082-1086 (1999)
9. Speck. M.L. : Conpendium of methods for the microbiological examination of foods. 23rd ed. APHA, Washington, DC., 87-88 (1992)
10. Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C : Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *J. Agric. Food Chem.*, 8, 326-330 (1954)
11. 권중호 : 방사선 조사식품의 교역 전망과 점지관리. 식품산업에서의 방사선 이용Ⅱ. 월간 식품세계, 2, 34-38 (2000)
12. Henon, Y.M. : Food irradiation in perspective. *Radiat. Phys. Chem.,* 46, 648-651 (1995)
13. Belliardo, J.J. : Methods for the detection of foodstuffs treated by irradiation. *Radiat. Phys. Chem.,* 42, 377-382 (1993)
14. Yang, J.S : Methods for identification of irradiated foods. *J. Fd Hyg. Safety.*, 12, 160-174 (1997)
15. Hayashi, T. and Kawashima, K. : The effect of gamma-irradiation on the sucrose content in sweet potato roots and potato tubes, *Agric. Biol. Cehm.*, 46, 1475-1479 (1982)

16. Yi, S. D., Oh, M. J. and Yang, J. S. : Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. *Food Sci. Biotechnol.,* **9**, 73-76 (2000)

17. Sokhey, A. S. and Hanna, M. A. : Properties of irradiated starches. *Food Structure*. **12**, 397-140 (1993)

18. Komiya, T., Yamada, T., Kawakishi, S. and Nara, S. : Effect of linseed oil on the physico-chemical properties of potato and corn starches during gamma-irradiation. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **29**, 1-3 (1982)

19. Koksel, H., Celik, S. and Tuncer, T. : Effects of gamma irradiation on durum wheats and spaghetti quality. *Creal Chem.*, **73**, 506-508 (1996)

20. MacArthur, C. A. and DAppolonia, B. L. : Gamma radiation of wheat. Ⅱ. Effect of low-dosage radiations on starch properties. *Cereal Chem.*, **61**, 321-323 (1984)

21. Roushi, M., Harras, A., El-meligi, A. and Bassim, M. : Effect of high doses of gamma rays on corn grains. *Staerke.* **35**, 15-21 (1983)

22. Diehl, J.F., Adam, S., Delincee, H. and Jakubick, C. : Radiolysis of carbohydates and carbohydrate containing food stuffs. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 15-17 (1978)

23. Fernema, O.R. Food Chemistry., 3rd ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 276 (1988)

24. Chang, Y.S., Cho, K.Y. and Chang, H.G. : Changes of lipids in whole soybean and soy flour during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **19**, 305-307 (1987)

25. Farakas, J., Sharif, M.M. and Komcxz, A. : Detection of some irradiated spices on the basis of radiation induced damage of starch. *Radiat. Phys. Chem.,* **36**, 324-328 (1990)

26. SAS. User's guide version 6.11, SAS institute Inc., Cary, NC, U.S.A,, 209-243 (1994)

제 8 장 부록

공동 검증 시험 평가 회신 공문 (국립농산물품질관리원)

"월드컵 세계로! 미래로!"

국 립 농 산 물 품 질 관 리 원

정보통신망 자체심사

430-016 경기도 안양시 만안구 안양6동 433-2 전화 (031)446-0160 전송 (031)446-0903
품질관리과 과장 김상범 사무관 김익현 담당자 최남근 gun102@naqs.go.kr

문서번호 품질51160-440

시행일자 2002.05.29. (1년)

공개여부 공개

수신 경북대학교

참조 농업생명과학대학장

선람			지시		
접수	일자 시간		결재·공람		
	번호				
처리과					
담당자					
심사자			심사일		

제목 농산물 방사선처리 여부 판별·검지법 검토결과 제출

1. 관련 : 경북농대 81463-605(2002. 5. 14.)

2. 관련 호로 우리 원에 검토 의뢰한 농산물 방사선처리 여부 판별·검지법에 대한 검토결과를 붙임과 같이 제출합니다

붙임 : 1. 방사선처리 판별법 검토 1부.
2. 방사선처리 검증시험 결과 5부. 끝.

국립농산물품질관리원장

전결 품질관리과장 김상범

"월드컵 세계로! 미래로!"
http://www.naqs.go.kr

농산물 방사선 처리여부 판별검지법 검토

□ 시험 절차

○ 2001년 농림기획연구과제로 추진중인 농산물 방사선 처리여부 다중검지기술 (개발자 : 경북대 권중호 교수)의 신뢰도 여부를 판단하기 위해,

① 우리원, 식약청 입회하에 방사선 무처리 시료에 그린피아기술(주)이 방사선 처리

- 시료(150점) : 현미(국산) 30점, 땅콩(중국산) 30점, 키위(뉴질랜드산) 30점, 건양파(국산) 30점, 옥수수전분(국산) 30점

- 그린피아기술(주)의 방사선처리량은 우리원과 식약청이 협의하여 처리범위를 정함

※ 우리 원 입회자 : 경기지원 분석실 한태희

② 경북대에서 방사선 처리된 미지시료를 인수하여 개발한 판별검지법을 이용, 처리여부 및 예측선량을 산출하여 검토의뢰(농관원, 식약청)

③ 농관원, 식약청에서는 그린피아기술(주)의 실제 처리선량과 경북대의 예측선량 자료를 비교하여 신뢰도 여부 검토

□ 시험결과

구 분	시료(점) (A)	처리여부		예측선량		
		적합	부적합	적합	부적합(B)	%(B/A)
계(점)	150	150	-	86	64	42.7
현미(국산)	30	30	-	20	10	33.3
땅콩(중국산)	30	30	-	17	13	43.3
키위(뉴질랜드산)	30	30	-	15	15	50.0
건양파(국산)	30	30	-	20	10	33.3
옥수수전분(국산)	30	30	-	14	16	53.3

□ 시험결과 검토

○ 농산물에 방사선을 처리했는지 여부를 판정하는 처리여부시험은 대상시료 5종 150점 모두 정확하게 판정하여 적합하며,

○ 방사선 처리량을 측정하는 예측선량은 농산물별로 다소간의 차이가 있으나, 대상시료 150점 중 64점(42.7%)가 예측선량 범위를 벗어나 부적합하므로, 현재 연구개발 단계인 방사선 다중검지기술을 실용화하기 위해서는 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 사료됨

□ 붙임 : 농산물방사선 처리여부 판별법 검증시험결과 5부.

농산물 방사선 처리 여부 판별법 검증 시험 (Blind Test) 결과

1. 미지시료 : 현미 (국산) 30개
2. 판별분석 방법
   1) DNA comet assay : comet의 tail length 평균값으로 판정
   2) 열형광(thermoluminescence, TL) 분석 : TL ratio 평균값으로 판정
   3) 점도(viscosity) 측정 : 50, 150, 300 rpm의 spindle 회전 속도에서 점도 측정값으로 판정

번호	실제 처리 선량(kGy)	처리 여부 판 정	처리선량 예측(kGy)	DNA comet assay		TL		Viscosity		평가	
				여부	예측선량	여부	예측선량	여부	예측선량	처리여부	예측선량
1	Control	×	0	×[1]	0	×	0	×	0	적합	적합
2	Control	×	0	×	0	×	0	×	0	〃	적합
3	Control	×	0	×	0	×	0	×	0	〃	적합
4	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.1	○	1.39/2.10	〃	부적합
5	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.1	○	9.77/11.51	〃	적합
6	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	1.8	○	7.90/11.04	〃	적합
7	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.0	○	10.17/11.85	〃	부적합
8	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	4.6	○	7.80/9.87	〃	적합
9	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.1	○	2.04/3.68	〃	적합
10	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	2.2	○	2.10/3.60	〃	부적합
11	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.5	○	2.25/3.14	〃	부적합
12	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.3	△	-1.97/2.22	〃	부적합
13	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.3	○	1.22/2.43	〃	적합
14	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.5	△	-0.43/0.60	〃	부적합
15	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.1	○	0.72/1.35	〃	부적합
16	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.9	○	9.36/9.80	〃	적합
17	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	3.4	○	1.16/2.37	〃	부적합
18	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.4	○	10.55/12.17	〃	적합
19	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.9	○	8.17/11.16	〃	적합
20	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.6	○	3.69/4.23	〃	적합
21	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.6	○	8.48/11.42	〃	적합
22	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	4.1	○	3.69/5.08	〃	적합
23	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	3.4	○	6.66/10.31	〃	적합
24	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.0	○	0.88/4.24	〃	적합
25	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.9	○	2.34/2.72	〃	적합
26	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.4	○	1.28/3.33	〃	적합
27	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.6	○	1.64/3.17	〃	적합
28	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	5.4	○	1.03/1.38	〃	부적합
29	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.2	○	1.50/3.07	〃	적합
30	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.8	△	-2.13/2.40	〃	부적합
			min/max		min/max				min/max		

[1] ○ : 방사선처리, × : 무처리, △ : 불확실

공동 검증 시험 평가 회신 공문 (식품의약품안전청)

식 품 의 약 품 안 전 청

정보통신망

122-704 서울시 은평구 녹번동 5번지		전화: 380-1667	전송: 382-4892
식품규격과	과장 : 김명철	연구관 : 김동술	담당 : 정형욱

문서번호 식규65421-945

시행일자 2002. 05. 30. (1년)

공개여부 공개

경유

받음 경북대학교 대구시 북구 산격동 1370

참조 농업생명과학대학장

선람	05장	최종욱	지시		
접수	일자 시간	2002. 5. 27	결재·공람	교학부장	이사훈
	번호	852		행정실장	
처리과				주 부	이사훈
담당자	이희연			담 당	이희연
심사자			심사일		

제 목 농산물 방사선 처리 여부 검증시험 분석결과에 대한 평가

1. 경북농대 81463-605(2002. 5. 14)호와 관련입니다.
2. 위 호와 관련하여 검토한 결과를 아래와 같이 통보합니다.

-아 래-

가. 시료 건수 및 검사 방법

1) 시료 및 건수 : 현미, 땅콩, 건양파, 옥수수전분, 키위(각 30건), 총 150건

2) 시료에 대한 방사선 조사내용

비처리구:15건, 저선량:45건, 중선량:44건, 고선량:46건

3) 검지법 : 다중검지법 (DNA comet assay, 열발광(thermoluminescence, TL)분석, 점도측정)

나. 평가 결과

1) 농산물 5품목의 150건에 대한 방사선조사 진위여부 판별 결과는 100% 정확하였으나,

2) 방사선을 조사한 시료에 대한 조사선량을 검토한 결과, 정량적으로 정확한 결과를 도출한 것으로 판단하기에는 어려움이 있음.

다. 검토 의견

1) 제출된 연구결과를 검토한 바, 방사선 조사선량을 확인하는 것은 가능할 것으로 판단은 되나, 국내·외적으로 통용되기 위해서는 검증을 받아야 할 것으로 사료됨.

2) 이를 위해서는 농산물뿐만 아니라 가공식품에 대해서도 품목별로 조건을 체계화하고 검지방법을 표준화하는 국내 공동연구사업이 필요함.

3) 방사선조사 검지기법은 대부분 단일 방법에 대해 연구가 수행 중이나, 제출된 과제에서는 검지결과의 정확성을 높이기 위해 다중검지(multiple detection)를 실시하였고, 국내 최초로 방사선조사 농산물에 대한 Blind test 시도는 긍정적으로 평가됨.

첨부 : 농산물 방사선 처리 여부 판별법 검증 시험(Blind Test) 결과 1부. 끝.

경북대학교농업생명과학대학장
식 품 의 약 품 안 전 청 장

전결 식품평가부장 김창민

농산물 방사선 처리 여부 판별법 검증 시험 (Blind Test) 결과

1. 미지시료 : 현미 (국산) 30점
2. 판별분석 방법
   1) DNA comet assay : comet의 tail length 평균값으로 판정
   2) 열발광(thermoluminescence, TL) 분석 : TL ratio 평균값으로 판정
   3) 점도(viscosity) 측정 : 50, 150, 300 rpm의 spindle 회전 속도에서 점도 측정값으로 판정

번호	실제 처리 선량(kGy)	처리 여부 판 정	처리선량 예측(kGy)	DNA comet assay		TL		Viscosity		평 가
				여부	예측선량	여부	예측선량	여부	예측선량	
1	-	×	0	×[1]	0	×	0	×	0	맞음
2	-	×	0	×	0	×	0	×	0	맞음
3	-	×	0	×	0	×	0	×	0	맞음
4	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.1	○	1.39/2.10	맞음
5	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.1	○	9.77/11.51	맞음
6	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	1.8	○	7.90/11.04	맞음
7	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.0	○	10.17/11.85	맞음
8	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	4.6	○	7.80/9.87	맞음
9	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.1	○	2.04/3.68	맞음
10	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	2.2	○	2.10/3.60	맞음
11	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.5	○	2.25/3.14	맞음
12	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.3	△	-1.97/2.22	맞음
13	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.3	○	1.22/2.43	맞음
14	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.5	△	-0.43/0.60	맞음
15	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	3.1	○	0.72/1.35	맞음
16	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.9	○	9.36/9.80	맞음
17	2.93	○	1/2	○	0.5/1	○	3.4	○	1.16/2.37	맞음
18	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	2.4	○	10.55/12.17	맞음
19	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.9	○	8.17/11.16	맞음
20	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.6	○	3.69/4.23	맞음
21	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.6	○	8.48/11.42	맞음
22	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	4.1	○	3.69/5.08	맞음
23	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	3.4	○	6.66/10.31	맞음
24	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.0	○	0.88/4.24	맞음
25	9.96	○	4 이상	○	2 이상	○	5.9	○	2.34/2.72	맞음
26	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.4	○	1.28/3.33	맞음
27	2.93	○	2/4	○	2 이상	○	2.6	○	1.64/3.17	맞음
28	9.96	○	2/4	○	2 이상	○	5.4	○	1.03/1.38	맞음
29	1.02	○	1/2	○	0.5/1	○	1.2	○	1.50/3.67	맞음
30	1.02	○	0.5/1	○	0.5/1	○	1.8	△	-2.13/2.40	맞음
			min/max		min/max				min/max	

[1] ○ : 방사선처리, × : 무처리, △ : 불확실

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.