

최종연구보고서

한·중 방사선 및 방사성동위원소의 농업분야 이용 및 협력기반구축을 위한 연구

**Promotion of Cooperation on the Application of Radiation
and Radioisotope Technology in Agriculture
between Korea and China**

연구기관

제 주 대 학 교

과 학 기 술 부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “한·중 방사선 및 방사성동위원소의 농업분야 이용 및 협력기반 구축을 위한 연구”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

2004. 3.

연구 기관 명 : 제주대학교

연구 책임자 : 박 재 우

연구 원 : 송 성 준

연구 원 : 홍 경 애

요 약 문

I. 제 목

한·중 방사선 및 방사성동위원소의 농업분야 이용 및 협력기반구축을 위한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

농업분야에서 방사선 및 방사성동위원소 이용 연구는 그 동안 많은 이유로 국내에서 활성화되지 않았으며, 이로 인해 관련 기술개발과 인력양성은 크게 후퇴되었을 뿐 만 아니라 아시아 국가 중에서 상대적으로 연구 활동이 그리 활발하지 못한 실정이었다. 또한, 국제원자력기구 등의 사업 참여도 미미하여 국제적인 위상제고에도 걸림돌이 되어 왔다. 따라서 원자력의 농업적 이용에 대한 국제협력의 증진은 국제화·개방화시대에 부응하는 경쟁력 함량을 위해서 반드시 필요하다. 최근 들어 정부가 방사성동위원소 이용 진흥법을 마련되어 비발전 분야의 원자력 이용에 대한 연구비 지원을 적극적으로 확대하려는 계획은 매우 시기적절하다고 볼 수 있으며 학문의 균형적인 발전 그리고 원자력 이용에 대한 국민적 이해를 적극 홍보하기 위해서도 매우 필요한 것이다.

특히, 국내 방사선 및 동위원소의 농업적 이용 연구를 활성화시키기 위해서는 비슷한 농업환경을 갖고 있는 주변국가와의 상호 공동 연구 및 인적 교류가 절대적으로 필요한 실정이다. 중국은 국제적으로 원자력 농학 연구가 가장 활발하고 그 성과도 국제원자력기구가 인정할 만큼 대단하다고 알려져 있으며, 이미 우리나라와 중국 간에는 원자력 공동 위원회가 설치되어 양국간의 원자력발전 중심으로 기술 교류를 추진하여 왔으며, 산하에 실무협의체를 구성하여 운영되고 있는 바, 방사선 및 동위원소 이용 분야도 양국간에 실무그룹장을 두어 기술협력 의제를 도출하여 기본합의를 보았으나 실질적이고 체계적인 기술교류를 추진하기 위한 방안이 절실히 요청되고 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 한·중 농업분야의 방사선 및 동위원소 기술협력에 대한 세부 학술 교류 프로그램을 구체적으로 마련하기 위하여

가. 양국의 연구동향, 성과, 관련 기관 및 과학자를 조사하여 체계화하고
나. 연구협의회를 구성하는 한편, 심포지움 및 상호공동협력위원회를 개최하여
분야별 학술교류 방안에 대한 추진계획을 세우고자 하였다.

IV. 연구개발결과

중국의 농업분야의 방사선 및 동위원소 이용 연구는 방사선돌연변이 육종, 토양-식물 및 농약분야에서의 동위원소 추적자이용, 해충불임과 식품조사 등의 분야에서 활발히 수행되고 있다. 특히, 중국은 세계에서 최고 많은 629개 돌연변이 품종을 개발하였고, 벼 돌연변이 품종 육성은 국제적으로 인정받고 있다. 감마선, 속중성자, 레이저, X선, 이온빔, 열중성자 또는 우주선등 다양한 방사선원이 돌연변이 육종에 활용되고 있으며, 그 중 우주선의 이용은 매우 독창적인 아이디어이다. 토양-식물분야에서의 추적자 이용은 한·중간에 비슷한 분야에서 사용되고 있으며 중국의 경우 연구대상이 더욱 다양하고 그 결과가 영농기술로 많이 활용되고 있는 점이 우리나라와 대비되는 점이다. 최근에는 ^{137}Cs 과 ^{210}Pb 를 이용한 농경지 토양보존(토양침식)에 대한 연구 관심이 큰 편이다. 동위원소 추적자를 이용한 농약연구인 경우에 중국은 방사성 표지 농약을 생산하고 있으며 농업생태계에서 농약 거동에 대한 simulation 연구와 RIA 기술에 의한 잔류농약 측정 연구가 우리나라와 비교되고 있는 분야이다. 식품조사 분야인 경우에 중국에는 방사선 조사시설이 많고 산업화가 정책적으로 잘 이루어져 있으나 기초 및 기술개발 연구는 한국이 앞선 것으로 평가되며 조사식품의 검지기술, 유해물질 제거, 기능성소재, 방사선 방호식품 개발 등 다양한 분야에 대한 식품조사기술이 개발되거나 개발 중에 있다. 이처럼 중국이 방사선 및 동위원소 이용한 농업 연구를 활발히 할 수 있고 농업생산성 향상에 기여할 수 있었던 계기는 전국 26개 성, 시 또는 자치구에 50-60년부터 설치된 농업과학원 또는 농업대학 산하의 원자력 이용 연구소와 1979년 창립된 원자력 농업학회의 힘이 크다. 특히, 북경 농업과학원의 원자력이용연구소와 절강성 절강대학교 원자력농업과학연구소는 중국의 방사선 농학 연구를 선도하는 대표 연구기관들이다. 한편, 본 연구를 통해 방사선농업생명과학연구회를 창립함으로써 국내 관련 교수 및 연구원의 결집과 관련분야 활성화의 초석을 마련하는 한편, 중국 원자력농학회와 학술교류협정을 2003년 12월에 체결하여 한·중 원자력공동위원회 틀 속에서 한·중간의 원자력농학분야의 학술교류를 추진하기 위한 시스템을 구성하였다. 또한, 2003년 11월에 한·중 공동심포지움을 개최하여 양국의 원자력농학 연구 동향 및 성과를 이해하는 계기를 마련하였고 연구협의회를 개최하여 식물 돌연변이 육종, 토양-식물 및 농약분야에서 추적자 이용 그리고 식품조사 분야에 대한 상호 학술교류를 실시하기로 하였다. 특히, 양국의 학술연구를 통해 얻어진 연구결과는 2년 한번 양

국이 교대로 개최되는 심포지움을 통해 발표함으로써 원자력 농학분야의 학술교류를 지속적으로 할 수 있도록 하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통해서 농업에서의 한·중 원자력 농업 연구현황을 정확히 파악하는 계기가 되었고 양국의 실질적인 연구협력이 촉진되는 계기를 마련하였다. 또한, 국내 원자력 농업 분야 연구의 활성화와 많은 젊은 연구 인력의 양성을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 생각되며, 이를 통해 국제원자력기구의 공동연구프로그램 그리고 RCA사업에 대한 적극적인 참여가 증대되어 국제원자력기구 내에서 관련분야에 대한 국가위상이 제고에 도움이 될 것으로 기대된다. 또한, 본 연구의 결과물은 방사선 생명과학 연구회 회원들에게 배부하여 중국의 원자력 농학 연구 및 기술현황에 대한 이해를 돕게 하고 분야별 학술교류 증진하는 계기를 부여하는 데 활용하고자 한다.

SUMMARY

I. Research Title

Promotion of Cooperation on the Application of Radiation and Radioisotope Technology in Agriculture between Korea and China

II. Background and Objective of Research

The study of the agricultural use of radiation and the radioisotope has not been activated in Korea for a variety of reasons. As a result, The development of radiation technology for the agriculture and the training of personnel have not only been regressing but the research has also been relatively inactive in Asian countries. The participation in international projects such as the International Atomic Energy Agency has also been minimal. It has led to a hindrance to the advancement of Korea's status in international circles. In order for Korea to increase its global competitiveness, it is imperative to promote international cooperation in terms of the agricultural use of atomic energy. The recent formulation of the rule of the Korean government to promote the utilizations of radioisotopes in the fields of non-nuclear power and to actively increase grants in the study for the technology of radiation and radioisotope may be considered timely and essential for the balanced development of study and the public promotion of the peaceful use of atomic energy.

In order to activate the agricultural use of radiation, and the radioisotope in particular, Korea must pursue opportunities to exchange knowledge and personnel with the surrounding Asian countries that have similar agricultural environments. By international standards, China has been labeled as one of the leading countries in the study of the agricultural use of atomic energy. Between China and Korea, the Joint Committee on Atomic Energy (JCAE) has already been established and the exchange of technology focusing on the development of atomic energy has been made. As an affiliate of JCAE, the secretarial committee has been set up. With regards to the use of radiation and the radioisotope, the bilateral secretarial staff has been appointed and a basic agreement in selecting agendas for technological cooperation has been completed. At this time, more avenues of promoting bilaterally practical and systematic technology exchanges

need to be investigated.

III. The content and scope of Research

In order to set up a detailed and concrete study exchange program for the technology cooperation in the agricultural use of radiation and the radioisotope the study trends, achievements, related organizations, and researchers from both countries were investigated in this study. A research council was set up and symposiums and bilateral joint cooperation committees were held to develop an implementation plan of the methods for study exchanges for each field of study.

IV. Results of Research

The study of nuclear agriculture in China has been active in the areas of mutation breeding, the use of the isotope tracer in soil-plant and pesticide study, insect sterility, and food irradiation. In particular, China has developed 629 mutated seeds (the highest number in the world) and gained worldwide recognition for its rice mutation breeding. A variety of radiation sources such as gamma irradiation, fast neutron, laser, X-ray, ion beam, thermal neutron, and cosmic ray are used for mutation breeding. The use of cosmic ray is considered the best and most creative idea to date.

Regarding the use of tracers in soil plants, both countries have pursued research in similar fields. Korea is comparatively different from China in that the study subjects are diverse in China and the results of the studies have been actively implemented in agricultural technology. In addition, China has recently taken a deep interest in soil conservation and the erosion of agricultural land in its use of ^{137}Cs and ^{210}Pb .

As to the use of isotope tracers in the pesticide field, China has synthesized and used radioisotope-labeled pesticide. Simulation studies on pesticide behaviors in agro-ecosystems and studies on the measurement of residual pesticides using RIA in China are comparable to those in Korea.

In food irradiation, there are more radiation-used investigation facilities and the industrialization has been accomplished more systematically in China, while basic and advanced research is estimated to be better in Korea. Food

irradiation technology in a variety of fields such as detection methods of irradiated food, the elimination of harmful substances, functional materials, and radiation-proof food has been developed or is currently under way in Korea.

The reason why China has actively been able to do and contribute to the improvement of agricultural productivity may be mainly due to the Institute for Nuclear Agriculture that are affiliated with the agricultural science institutes or agricultural colleges founded in 26 provinces, cities, and autonomous districts all around China since 1950s to 1960s and the Chinese Agricultural Association of Atomic Energy that was founded in 1979. In particular, the Institute for Application of Atomic Energy attached to the Chinese Academy of Agricultural Sciences in Beijing and the Institute of Nuclear Agricultural Sciences at the Zhejiang University in Zhejiang are leaders in China's study of nuclear agriculture.

On the other hand, the Korea Association of Nuclear Life Science was founded through this study. The Association made an agreement on study exchanges with the Chinese Agricultural Association of Atomic Energy in December 2003, and decided to pursue practical study exchanges between both countries in nuclear agriculture. The agreement is designed to make a great contribution to the advancement of Korea's study on nuclear agriculture. In addition, the joint symposium held in November 2003 provided the opportunity to understand the trends and achievements of studies on bilateral nuclear agriculture. Through holding study councils, bilateral study exchanges may be made in fields such as the crop mutation breeding, the use of isotope tracers in soil-plant and pesticide study, and food irradiation. In particular, the study results that have been done in both countries may be released in the symposium held in both countries in turn every other year, which may make the continuous exchange of study on nuclear agriculture possible.

V. Further Applications of Outputs

This study has attempted to summarize the current situation of the study of nuclear agriculture in China and Korea and to promote practical bilateral research cooperation. Therefore, this study may be used as basic data for the promotion of study on nuclear agriculture and the increase in new research personnel in Korea. Thus, the study is hoped to increase active participation in

joint research programs with the International Atomic Energy Agency and in RCA's projects as well as promoting the national image with regards to related fields in the International Atomic Energy Agency. In addition, copies of the study will be distributed to the members of the Korea Association of Nuclear Life Science. The activities will enable them to understand China's nuclear agriculture and promote study exchanges for related fields with China.

여 백

Contents

SUMMARY(Korean)	i
SUMMARY(English)	iv
Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. State of the art	3
Chapter 3. Contents and results of research	5
Section 1. Achievements and current trends of nuclear agriculture in China	5
1. Brief history	5
2. Contributions of nuclear agriculture to the development of agriculture	7
3. Achievements and prospect of nuclear agriculture	8
a. Plant mutation breeding	9
b. Tracer technique in soil-plant relationships and agrochemical studies	19
c. Steril insect technique	22
d. Food irradiation	23
Section 2. Achievements and current trends of nuclear agriculture in Korea	30
1. Brief history	30
2. Plant mutation breeding	30
3. Tracer technique in soil-plant relationships	33
4. Tracer technique in agrochemical studies	35
5. Food irradiation	37
Section 3. Comparisons of nuclear agriculture between Korea and China	42
Section 4. Key research institutes and scientists for nuclear agriculture in China	46
Section 5. Formation of research groups, joint symposium and research agreement between China and Korea	52
Section 6. Establishment of research cooperation and academic exchange in nuclear agriculture in China and Korea	57
Chapter 4. Achievements and contributions	58
Chapter 5. Proposals for the application	59
Chapter 6. References	60
Annex I. Data related with the foundation of Korea Association of Nuclear Life Science.....	67
Annex II. Copy of agreement for a cooperative exchange program and data related with holding Korea-China joint symposium on nuclear agriculture and life science	153

목 차

요약문	i
SUMMARY	iv
제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 2 장 국내외 기술개발현황	3
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	5
제 1 절 중국 원자력 농학 연구 성과 및 동향	5
1. 발달과정	5
2. 중국 농업 발전에 있어서 원자력 농학의 위치와 역할	7
3. 중국 원자력 농학의 성과와 전망	8
가. 식물 방사선 돌연변이육종	9
나. 추적자 이용 기술	19
다. 방사선해충불임기술	22
라. 식품조사	23
제 2 절 한국 원자력 농학 연구 성과 및 동향	30
1. 발달과정	30
2. 방사선돌연변이 육종	30
3. 토양-식물분야 추적자 이용	33
4. 농약분야의 추적자 이용	35
5. 식품조사	37
제 3 절 한·중 원자력 농학 연구 성과 또는 기술력 비교	42
제 4 절 한·중 핵심관련기관 및 과학자	46
제 5 절 한·중 연구협의체 구성, 심포지움 및 협정체결	52
1. 방사선 농업생명과학 연구회 창립	52
2. 심포지움, 교류협의회 개최 및 학술협정 체결	54
제 6 절 한·중 원자력 농학분야 교류 및 협력기반 구축방안	57
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	58
제 5 장 연구개발결과 활용방안	59
제 6 장 참고문헌	60
부 록 1. 방사선농업생명과학연구회 창립 관련자료	67
부 록 2. 한·중 협력협정 체결 및 공동심포지움	153

제 1 장 연구개발과제의 개요

농업에 있어서의 방사선 및 동위원소 기술이용은 국제 원자력기구를 중심으로 매우 비중 있게 추진되어온 사업의 하나로써 원자력의 평화적 이용의 확대와 함께 농업 발전과 식량 증산에 큰 기여하여 왔음은 자명한 사실이다. 우리나라의 원자력의 농업적 이용 연구는 원자력 연구소의 전신인 방사선 농학 연구소가 60년대에 개소됨을 계기로 국제원자력기구와의 긴밀한 국제교류로 70년대 초까지 전성기를 맞이한 바 있었으나, 70년대 중반이후 점차 원자력 발전에 치중하는 정책에 밀려 점차 퇴보하기 시작하여 오늘에 이르게 되었다. 이러한 30여년 이상의 침체기는 방사선 및 동위원소의 농업적 이용 연구에 대한 관심과 인력양성을 크게 후퇴시켰을 뿐만 아니라 우리나라의 인근 국가인 중국 등에 비해서도 연구가 활발하지 못한 실정이 되었으며 국제 원자력 기구 등의 국제 기구에서 관련 분야의 위상 제고에 걸림돌이 되고 있다. 원자력의 농업적 이용에 관한 국제협력의 증진은 국제화·개방화시대에 부응하는 경쟁력 함양을 위해서 반드시 필요하다.

한편, 농산물의 시장개방은 경쟁력이 취약한 국내 농업의 경쟁력에 대한 위기감 고조시키고 그 존재 위협을 더욱 가중되고 있는 실정이다. 농업은 농업인의 삶의 터전인 그 자체인 동시에 식량 안보뿐 만 아니라 환경보존차원에서 유지되어야 할 국가 중요 산업으로써 현금으로 환산할 수 없는 무한의 가치를 지니고 있음을 감안할 때, 방사선 및 동위원소 추적자 이용 기술도 농업기술 개발의 중심적인 위치에서 농업 연구를 첨단화하는 수단으로 활용 되어야 하며 지속적인 활용 기술 개발로 21세기의 농업의 고부가가치화와 과학화에 이바지 하여야 할 것이다.

최근 들어 정부가 방사성동위원소이용진흥법을 마련하여 비발전 분야의 원자력 이용에 대한 연구비 지원을 적극적으로 확대하려는 계획은 매우 시기적절하다고 볼 수 있으며 학문의 균형적인 발전 그리고 원자력 이용에 대한 국민적 이해를 적극 홍보하기 위해서도 매우 필요한 것이다.

특히, 국내 방사선 및 동위원소의 농업적 이용 연구를 활성화시키기 위해서는 비슷한 농업환경을 갖고 있는 주변국가와의 상호 연구 및 인적 교류가 절대적으로 필요한 실정이다. 이미 우리나라와 중국 간에는 원자력 공동 위원회가 설치되어 양국간의 원자력발전 등의 분야를 중심으로 기술 교류를 추진하여 왔으며, 2000년 11월 한·중 원자력 공동 위원회가 서울에서 개최되어 농업분야를 포함하는 방사선 및 방사성동위원소 기술 이용 분야의 교류도 추가하여 추진하기로 상호 합의하였고 본 위원회 산하에 5개 분야의 실무협의체를 구성하였다. 또한, 양국에 실무 그룹장을 두어 한

중간의 관련분야의 기술협력 의제를 도출하여 추진하기로 기본합의를 보았다. 따라서, 제2차 원자력 공동위원회(중국 북경, 2001년 10월 24일 -25일)에서는 아래 농업분야에 대한 연구협력을 추진하기로 한·중간에 합의를 하였다. 2002년 5월 14-16일 서울에서 개최된 실무그룹회의에서는 방사선 및 동위원소 이용 연구 분야에 대한 구체적인 공동 연구프로그램을 개발하여 수행하고 연차적으로 공동 연구 분야를 확대시키는 한편, 세미나 또는 심포지움을 공동 개최하기로 하였다. 이는 양국의 연구 동향 및 성과를 파악하여 농업분야의 방사선 및 동위원소 이용 연구 교류를 실질적이고 체계적으로 추진하기 위한 방안을 마련하기 위해 한·중간에 절실히 요청되는 사안이다.

● 상호 원칙적으로 합의된 원자력 농업 교류 분야

- Mutation Breeding and Crop Improvement
 - Use of Nuclear Technique and Biotechnology for new Germplasm
 - Breeding Crop New varieties
 - Breeding technique for ornamental plants and new variety

- The Application of Isotopic Tracers
 - Study on the application of ^{15}N and ^{14}C in plant nutrition and integrated soil fertility management
 - Behavior and fate of agrochemicals in soil

그러므로, 본 연구에서는 앞에서 언급한 이미 원칙적으로 합의된 한·중 농업분야의 방사선 및 동위원소 기술협력에 대한 세부 학술 교류 프로그램을 마련하기 위하여 양국간의 연구동향, 성과, 관련 기관 및 과학자를 조사하여 체계화하고 연구협의회를 구성하는 한편, 공동 협력위원회를 개최하여 양국의 전문가들의 분야별 학술교류 방안에 대한 추진계획을 세우려고 하고 있다. 이는 국내 농업분야의 방사선 및 동위원소 이용을 활성화하고 농업분야의 원자력 이용 기술을 단기간 내에 국제적인 수준에 도약시켜 아시아권에서의 주도적인 역할과 함께 국내 농업생산성 향상에 기여하고 원자력의 평화적인 이용확대에 이바지 할 것으로 믿어 의심치 않는다.

제 2 장 국내외 기술개발현황

방사선 및 동위원소의 농업적 이용에 관한 연구의 시작은 60년대부터 시작되었으며 80년대 중반까지 한국원자력연구소 등이 중심이 되어 국제원자력기구와의 긴밀한 협력을 통해 돌연변이 육종, 농약잔류, 작물의 영양생리, 비료효율측정, 동물영양생리 및 번식분야의 방사선 및 동위원소 이용연구를 활발히 수행한 바 있다^{15, 23, 27,36}). 그 후 중심 연구기관의 연구부서 축소 그리고 대학 등의 기관에 RI 이용시설의 미비로 국내의 전문 연구 인력 양성은 부진하게 되었다.

다행히도 1982년 제주대학교 방사능이용연구소가 국제 원자력기구와 과학기술부의 지원에 힘입어 각종 방사선 및 동위원소 이용 연구를 위한 기자재 및 시설을 갖춘 것은 그 명맥을 유지할 수 있는 다행한 일이었으며 농업 및 환경 기술개선, 식물영양대사, 동위원소 추적자 기술 등의 개발 연구를 중점적으로 수행하여 왔으며^{13,14,28,30,31,32,34,35}), 최근에는 자생화 및 화훼류의 돌연변이 육종에 대한 연구를 추가적으로 수행하고 있다.

국내 방사선 및 동위원소의 농업적 이용 연구가 크게 활성화되지 못한 관계로 국제원자력기구의 농업분야 RCA 사업 참여가 미진하여 관련 분야에 대한 국제협력도 점차 감소하는 결과를 초래하였다. 90년대에 들어 분자생물학 또는 유전공학분야에서 효소의 활성 그리고 DNA, RNA 분석 등을 위해서 ^{14}C , ^3H , ^{35}S 또는 ^{32}P 표지 화합물의 사용이 활발해지면서 방사성 동위원소의 사용이 다시 급증한 것은 매우 고무적인 일이나 이와 관련된 기술이 국내에서 확립된 것이 아니고 거의 전부가 외국에서 확립된 기술이며 대부분이 kit화·상용화되어 있어 전량 외국에서 수입하는 실정으로 이에 대한 기술개발도 필요한 실정이다. 그러나 이러한 분야의 방사성 동위원소의 사용은 대학 및 연구기관에서 RI사용과 시설설치를 촉진시키는 계기가 된 것으로 원자력 이용기술의 확대와 이해증진 측면에서 매우 뜻이 있는 일이다.

한편, 유럽이나 구미국가를 제외한 아시아 지역의 개도국인 중국, 태국, 필리핀, 말레이시아, 인도, 파키스탄, 인도네시아 등의 국가들은 국제 원자력 기구의 원자력의 농업적 이용 연구에 대한 공동 연구프로그램 등에 지속적인 참여를 하여 왔으며, 이로 인해 국제원자력기구의 진출도 활발하여 각종 CRP, RCA 프로그램의 결정에 중요한 역할을 하고 있다.

특히, 중국은 RCA사업에 있어서 농업에 대한 주도적인 역할을 하는 있는 바, 곡류, 채소, 과일 및 기타 관상식물과 목초 등에서 많은 돌연변이 품종을 만들어 내는 등 돌연변이 육종분야에서는 세계적으로 가장 활발하고 성공적인 연구 성과를 거두고

있는 국가로 알려져 있고. 그 외 농약잔류, 농업생산성 증대를 위한 방사선 및 동위원소 추적자 이용에 대한 연구도 꾸준히 추진하고 있고 농약표지화합물을 자체생산하여 사용한다고 알려져 있다^{5,38)}.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 중국 원자력 농학 연구 성과 및 동향

1. 발달과정

중국은 거대한 인구가 집중되어 있는 나라이다. 중국의 전체인구는 약 125,000만 명에 달하며 날로 증가 일로에 있으나 경작지의 면적은 약 13,000만 ha로 일인당 평균 0.1 ha에 불과하므로 식량의 안정적 확보는 중국이 해결하여야 최대과제이다. 이러한 의미에서 농업을 지속적으로 발전시키기 위한 품종개량과 농업기술개발 연구에 심혈을 기울이고 있다.

중국은 1956년부터 방사선 및 방사성동위원소를 농업연구에 활용하기 시작하였으며 이를 원자력 농학(nuclear agriculture) 이란 용어로 학문을 체계화하였고⁵⁾ 중국 농업과학과 기술 발전에 지대한 공헌을 했을 뿐만 아니라 국제적으로도 긍정적인 영향을 끼쳤다고 자평하고 있으며, 국제원자력기구(IAEA)에서도 이를 인정하고 있다. 중국의 원자력 농학은 다음과 같은 두 가지 시스템에 의해 성공적인 발전을 할 수 있었다(중국 절강 대학교 Xu Bu Jin교수와의 personal communication).

○ 첫째, 전국 26개 성·시·자치구에 모두 원자력 농업 전문 연구소를 설립하여 상호 업무상 긴밀한 연락을 취할 수 있도록 전국적인 방사선 농학 연구 시스템을 갖추었고

○ 둘째, 전국 규모의 중국 원자력농학회를 만들고 전국 21개 성·시·자치구에 분회에 해당하는 성급 규모의 원자력농학회를 설립하여 지역과 전국 단위의 유기적인 학술 교류 시스템을 만들었다(현재 회원이 2,000여명이상이 된다고 함). 이 두 가지 시스템은 상호 보완적이면서도 효과적으로 중국 원자력 농학의 발전을 촉진하고 있다. 이러한 시스템은 국제적으로도 유일한 것으로 중국의 원자력 농학에 대한 특징과 큰 관심을 보여주고 있는 것이다.

특히, 중국의 원자력 농학의 발달은 다음과 같이 10년 단위로 나누어 볼 수 있다(중국 절강 대학교 Xu Bu Jin교수와의 personal communication).

● 원자력 농학의 시작과 성장기(50년대 중반 -60년대 중반)

○ 1956년 방사성 동위원소와 방사선 이용 기술에 대한 연구를 12년 발전계획에 포함시켜 추진하기 시작

○ 1957년 중국농업과학원은 원자력이용연구실을 설립했고 이때부터 중국 원자력 농학의 연구와 이용이 정식으로 시작됨.

○ 원자력 농학과 관련된 기구 설립과 인재양성

- 선양(沈陽), 장춘(長春), 항저우(杭州), 난징(南京), 광저우(光州) 등지에 방사선 및 방사성 동위원소 이용 농업연구실이 설립

- 중국농업대학, 심양농업대학, 지린농업대학, 저장농업대학, 화난농업대학 등의 대학에 농업생물물리 혹은 농업물리 등의 전공학과 개설

● 원자력 농학발전의 정체기(60년 후반~70년 중반)

○ 문화대혁명으로 인한 중국경제의 타격으로 중국 원자력 농학 연구기관과 대학 전공과정 폐쇄.

○ 관련 연구의 대부분이 중지되고 명맥유지

● 원자력 농학의 회복과 발전기(70년 후반~80년 중반)

○ 문화대혁명이후 전면적인 회복기와 발전기에 접어들

○ 전국 26개 성·시·자치구의 농업과학원·농업대학에서 잇달아 원자력이용연구소를 부활

○ 베이징(北京), 저장(浙江), 지린(吉林), 장쑤(江蘇), 쓰촨(四川) 등 농업대학에서 농업생물물리 혹은 농업물리 전공 학부생과 석사과정 모집

○ 중국농업과학원 원자력이용연구소와 저장농업대학 원자력농업과학연구소 생물물리, 즉 원자력 농학 박사학위과정 신설

○ 식물 방사선 돌연변이 유도 유전육종학, '핵기술 농업응용, 동위원소 추적학, 핵종 추적학, 핵기술 생물학 응용, 농업의 동위원소 추적기술 및 방사선 가공 등의 교과과정이 중국대학의 60% 이상에서 개설

○ 원자력 농학의 응용연구는 국가발전계획에 중점 육성항목에 포함

○ 1984년 국제원자력기구(IAEA)에 가입하여 외국과의 학술 교류 협력 시작

○ 원자력농학회와 중국농업과학원 원자력이용연구소는 공동으로 『核農學報(원자력 농학 학보)』와 『核農學通報(원자력 농학 통보)』라는 국가 핵심 정기 간행물을 창간

● 원자력 농학의 조정 및 향상기(80년 중반~현재)

○ 분자생물학, 유전공학기술 그리고 첨단 정밀 분석장비의 발달로 원자력농학에 대한 상대적인 관심이 적어 짐

○ 관련 인력의 수도 점차 감소되나

○ 아직도 회원수가 2,000여명이 넘는 원자력농학회가 운영되고 있는 등 연구 잠재력이 큼

○ 최근 원자력 농학의 특징과 이점을 잘 살리고 새로운 연구 아이디어 발굴하고 연구조직 체제를 재정비하려는 노력이 진행되고 있고, 새로운 전성기를 만들기 위한 노력

이 경주됨.

2. 중국 농업 발전에 있어서 원자력 농학의 위치와 역할

원자력 농학은 중국의 '녹색 혁명'을 심화시키고 전통농업을 개선하고 농업의 현대화를 촉진하는 중요한 과학기술로 인식하여 왔다. 특히, 방사선을 이용한 농작물의 품종개량과 살충멸균, 시비기술개선, 농산물과 부산물의 가공과 식품 저장 등에서도 매우 큰 경제적·사회적·생태적 효과를 창출하여 왔다.

가. 돌연변이 육종

중국은 돌연변이 육종 기술을 농작물 교잡육종, 생명공학기술 등과 서로 잘 접목시켜 45여 종의 식물에서 629개의 형질이 우수한 돌연변이 신품종을 선발·보급하는 성과 거두었다. 이는 세계 50여개 국가에서 158종의 식물에서 방사선을 이용하여 2276개의 돌연변이 품종을 선발 보급한 것과 비교해볼 때 전세계의 돌연변이 육종 비율의 1/4을 차지하는 수치이다. 돌연변이 품종의 재배면적은 전체 농작물의 재배면적의 1/10를 차지하고 있으며, 이를 인해 매년 $3 \times 10^9 \sim 4 \times 10^9$ kg의 식량 증산 효과를 얻고 있고 전국 연평균 식량증산의 15%를 점유하고 있다. 사회경제적 효과가 매년 33.2억 위안(4,316억원)에 달하고 있다. 이처럼 방사선 유전육종 기술은 농작물 육종의 효율적인 기술로써 중국의 농업생산성을 촉진하는 데 중요한 역할을 하는 등 중국의 농업발전에 대한 기여도 크다⁵⁾.

나. 방사선 식품조사

방사선 조사를 이용한 식품의 저장과 신선도 유지, 제품의 가공은 안전하고 위생적이면서 편리하고 경제효과가 뛰어난 기술이다. 중국은 12억 인구를 가진 국가로 식량 생산량이 세계 1위를 차지하고 있으며 농산물 품종이 다양하고 생산량도 막대하다. 그러나, 매년 저장과 운송과정에서 병충해와 곰팡이로 인한 손실이 상당히 심각하다고 하는 데, 그 양을 추정하면 식량 손실이 10%에 이르며, 유료(油料) 등의 손실이 20%, 채소 등의 손실이 30%, 과일 손실이 40%에 달한다고 한다. 따라서, 방사선 조사를 이용하여 식량과 채소, 농업부산물의 신선도 또는 저장기간을 크게 연장시키면 중국의 식량 수입량을 감소시키거나 수입을 하지 않을 수 있기 때문에 수십억 내지 수백억 달러의 외화를 절약할 수 있다는 의미로 식품조사의 중요성을 인식하고 있다⁵⁾.

다. 곤충불임기술

중국의 논벼 해충은 250여종이 있고 밀의 해충은 100여종, 옥수수 해충은 50여종, 면화 해충은 300여종이 있으며 해충의 위해는 식량과 면화 작물에 심각한 경제적 손실을 가져왔다. 식량작물은 병충해로 인해 매년 5~10%가 감소되고 면화는 15~20%가 감소된다고 한다. 특히, 1992년에는 담배벌레가 만연하여 40%의 면화가 감소되었다고 한다. 피해면적은 $3.33 \times 10^7 \text{m}^2$ 에 달했고 예방퇴치에 소요된 비용과 피해 손실액이 100억 위안(1,300억원)에 달해 면화생산에 심각한 타격을 주었다. 이러한 해충에 대한 효과적인 예방퇴치 방법과 기술이 필요함을 느끼고 국가 사회적인 관심과 함께 방사선 해충불임기술이 많이 연구되었으며, 구이저우성(貴州省) 후이수이현(惠水縣)에 총면적 118hm^2 의 감귤원에 160만 마리의 방사선 조사에 의해 유기된 불임해충을 방사하여 감귤 해충으로 인한 피해율을 5%에서 0.1% 이하로 급감시키는 효과를 거둔 사례가 있다⁵⁾.

라. 동위원소 추적자기술

중국의 동위원소 추적자 기술은 농업 분야에서도 광범위하게 응용되고 있으며 이미 농·임·어업 및 목축업 등의 영역으로까지 파급되어 농업생물 과학연구에서 해결되지 않았거나 확실한 해답을 찾지 못하거나 혹은 심지어 잘못된 접근되어 얻어진 연구결과를 규명하는 데 뛰어난 공헌을 하였다고 한다.

동위원소 추적자 기술의 이용은 과학적인 시비방법과 토양 개선, 농작물 증산 촉진 등에서 중요한 경제적 효과를 거두었다. 예를 들면, ^{15}N 을 이용한 논벼 질소비료의 이용을 향상 실험을 꾀하였는데, 이 기술을 보급하여 16.5×10^5 톤의 식량 증산 효과를 얻었다고 하였다. 동위원소 추적자 기술은 작물의 영양대사와 식물과 미생물의 공중질소 고정 메카니즘 연구에도 활용되었고 방사선생태학과 농약이 환경에 어떠한 영향을 끼치고 예방 효과에 대한 연구에 중요한 수단으로 사용되어 왔다. 특히, 농약 등을 합리적으로 사용할 수 있도록 이론적 근거를 제공하였을 뿐만 아니라 농업 환경의 보호와 농업생산의 발전, 사람과 가축의 안전을 위해 큰 기여를 하고 있다. 최근 들어 농업 유용 유전자 탐색 분석 그리고 형질전환 유전체의 유전자 분석에도 활용되고 있다.

이처럼 원자력 농학은 중국의 농업생산에 중대한 역할을 하고 있으며 국민경제에서도 중요한 위치를 차지하고 있다고 할 수 있다⁵⁾.

3. 중국 원자력 농학의 성과와 전망

최근 중국 원자력 농학은 이미 농업발전을 촉진하고 생산성을 증대시키는 중요한 수단이 되었고 여러 방면에서 현저한 성과를 거두고 있다.

가. 식물 방사선 돌연변이육종

1) 연구조직

방사선 돌연변이 육종은 원자력 농학 연구에서 차지하는 비중이 약 37.4%라고 할 만큼 이 분야에 대한 관심과 지원이 크다고 할 수 있다. 중국의 돌연변이 육종 연구에 대한 중심기관은 북경에는 중국농업과학원(Chinese Academy of Agricultural Sciences, CAAS)에 있는 원자력 이용 연구소(Institute for Application of Atomic Energy, IAAE)이며, 지방에는 20개 이상의 지방성 농업과학원(Academy of Agricultural Sciences, AAS)소속의 원자력이용연구소(Institutes for Application of Atomic Energy)가 있어 벼, 밀 등 주곡작물의 돌연변이육종 연구를 실시하고 있다. 특히, 북경에 있는 중국 농업과학원 원자력이용연구소는 돌연변이 육종에 대한 국가 연구사업을 주도하고 있으며 각 성에 있는 원자력이용연구소의 돌연변이 육종 연구를 관장하고 있을 뿐만 아니라 중국 원자력농학회와 함께 Acta Agriculture Nucleatae Sinica 학술잡지를 격월로 발간하고 있다(중국 절강 대학교 Xu Bu Jin교수와와의 personal communication).

2) 돌연변이 육종 연구 발달사

중국의 돌연변이 육종연구는 3단계로 나누어 발달되어 왔다²¹⁾.

● 1단계(1950-1960대)

- 원자력 이용 연구소 또는 실험실 설립(북경 중국농업과학원과 성 농업과학원내)
- 돌연변이 육종에 대한 훈련실시(300여명)
- 벼, 밀, 콩에서 돌연변이 결과가 처음으로 나옴

● 2단계(1970-1980대)

- 국제원자력기구(IAEA) 가입
- IAEA/FAO에서 발간한 돌연변이 육종 책자 번역 보급으로 체계적인 학문지식 획득
- 돌연변이 육종관련 시설 및 장비 설치 확대
- 다양한 작물에서 돌연변이 육종(벼, 밀, 콩, 옥수수, 면화, 뽕나무등 10개 품종)과 선발된 품종의 재배면적 증가

○ 돌연변이 효율 향상 연구 시도(잡종종자사용, 돌연변이원 탐색, 다른 돌연변이 방법과 혼용, 종자배의 사용)

○ 3단계(1990년대 이후)

- 지속적인 안정 성장단계
- 돌연변이 육종과 조직배양기술을 접목 사용
- 교잡육종, 돌연변이육종 및 세포공학기술(반수체 배가기술)을 결합하는 새로운 육종기술 확립
- 38개 돌연변이품종 선발되어 1996년이후에 보급(벼:14, 밀:14, 유채:3, 감자:3, 보리:2, 콩:1, 옥수수: 1)되었고 2000년까지 6.7백만 ha에서 재배됨.
- 돌연변이 선발을 위한 분자 마커 활용, 방사선을 이용한 형질전환, 이온빔, 우주선 등 새로운 돌연변이원 활용에 대한 연구시도

3) 방사선 돌연변이 육종성과

중국의 방사선 돌연변이육종연구는 비록 유럽의 선진국보다 시작은 30년 정도 늦었지만 45년의 역사를 가지고 있으며 비약적인 발전을 거듭해 좋은 성과를 거두고 있다. 1960년대 중기에 첫번째 육성한 밀과 보리의 신품종이 선발된 후 2002년까지 중국은 45개 작물과 관상식물에서 629개(일반작물: 562품종, 화훼류등: 67품종)의 우량 돌연변이 품종을 육성해냈다.

국제원자력기구 통계에 따르면 전세계적으로 2001년까지 방사선 돌연변이기술에 의한 품종 육종수는 2276개임을 감안할 때 중국이 차지하는 비율은 1/4 정도로써 중국의 식물 방사선 육종의 성과가 세계최고임을 알 수 있다(표 1,2, 3). 돌연변이 품종의 재배면적은 9백만 ha로써 전체 작물재배 면적에 10%에 해당되는 양이다. 또한, 중국의 원자력 농학 연구 종사자 수는 농업 과학 관련 연구종사자의 1/60 밖에 차지하지 않으나 이들이 육성한 농작물(화훼는 제외) 신품종 수는 중국 전체 육성한 품종의 약 1/10을 차지하고 있다. 이처럼 중국에서 식물 돌연변이 육종기술은 큰 사회경제적 효과를 창출했으며 식량증산에 기여하였다고 한다. 한편, 여러 가지 물리 화학적인 돌연변이원 중에서 감마선이 가장 많이 사용하고 있으며 최근에 이온빔과 우주선 등을 이용하고 있다(표 4). 표 5, 6, 7, 8은 중국의 돌연변이 육종 성과를 요약한 결과이다. 특히, 표 8은 중국의 주요 농업관련 연구기관에서 얻은 돌연변이 육종 성과를 정리한 것이다(5,21,38)

표 1. 세계 정상 6개 국가의 식물돌연변이 육종현황

국가	돌연변이 품종수	비율(%)
중국	629	27.6
인도	259	11.4
구소련 + 러시아	210	9.2
네델란드	176	7.7
미국	128	5.6
일본	120	5.3
합계	2276	100

**IAEA Mutant Varieties Database, 2001

표 2. 아시아국가의 식물돌연변이 육종현황

국가	돌연변이 품종수	국가	돌연변이 품종수
중국	629	한국	11
인도	259	태국	9
일본	210	북한	5
파키스탄	32	미얀마	4
베트남	29	필리핀	4
방글라데쉬	23	몽고	3
이라크	23	스리랑카	3
인도네시아	11	말레이시아	1

**IAEA Mutant Varieties Database, 2001

표 3. 중국에서 돌연변이 육종에 사용되는 식물재료

식물재료
종자
화분
전식물체
bud
cutting
캘러스

표 4. 중국에서 사용하는 돌연변이원의 비율

돌연변이원	돌연변이 품종수	비율(%)
방사선	479	99.2
감마선	393	81.4
속중성자	26	5.4
레이저	23	4.8
X 선	14	2.9
이온빔	7	1.4
열중성자	4	0.8
우주선	4	0.8
감마선(Chronic)	3	0.6
기타*	5	1.0
화학물질	4	0.8
합계	483	100

방사선 + 화학물질

표 5. 선발된 벼 돌연변이 품종의 형질특성

특성	돌연변이 품종수
조숙성	85
곡물	37
도복성	36
Tillering	19
내한성	19
세미왜간	18
적응성	12
점질성	10
염저항성	2
만숙	1

표 6. 선발된 밀 돌연변이 품종의 형질특성

특성	돌연변이 품종수
조숙성	49
녹병저항성	32
반왜성	22
곡물성분	20
내한발성	20
적응성	19
내동성	14
포기별기	9
염저항성	5
흰가루병저항성	4

표 7. 작물의 형질 특성 향상

형질 특성	돌연변이 품종수	작물
밥맛	2	벼
섬유생산	8	면화,아마,흰모시
꽃(색,수,기간)	67	부겐빌리아,칸나, 백합, 국화, 다알리아, 땅콩,연꽃,장미
과일(색,맛,형태,숙 기)	4	사과, 감귤,배
곡물(색, 크기, 형태, 성분, 무게)	103	보리, 강낭콩,땅콩,옥수수, 기장,벼,shadawang, 수수, 콩, 밀,
쥬스질	1	사탕수수
엽(색,질)	12	땅콩, 뽕나무,벼, 장미
오일함량	5	유채,콩
오일성분	1	콩
단백질함량	17	콩,기장,옥수수,밀
성분	12	마늘, 옥수수,기장,배,벼,사탕수수,차,수박
종자(색,성분, 크기,수)	14	기장, 황마,shadawang,, 땅콩, 유채,참깨, 콩
씨제거	4	감귤
전분함량	2	고구마
합계	252	

4) 방사선돌연변이 연구동향

●방사선돌연변이 육종기술과 생명공학기술과의 접목

지속적인 방사선돌연변이 육종 연구를 수행하고 있으며 다양한 형질(고수확, 고품질, 내병 및 내충성, 환경스트레스저항성, 기능성)의 신품종 육성에 주력하고 있으며 돌연변이 품종등의 유전적 특성과 조기선발을 위한 maker 개발을 위한 유전자 분석 기술 확립 연구 등에 관심이 많다.

●방사선돌연변이 기술에 의한 식물 유전자원 다양성

방사선에 의한 형질이 우수한 품종을 직접 유기하는 방법이외에도 교잡육종 또는 잡종강세 육종을 위한 식물유전자원을 확보하는 것도 매우 뜻이 있는 일로써 중국

에는 24개 품종에서 약 2000여개 특성이 다양한 유전자원을 확보하고 있다^{19,21)}. 그중 대표적인 것은 다음과 같다.

- 녹화가능알비노 벼 변이주: W24, W27(마커유전자로 활용)
- 엽록소감소 유채 변이주: Cr3529
- 최상위 절간 신장 벼 변이주:eui gene
- 화분 수정회복 벼 변이주: Fuhui 838, Chuanfu 802, Zuhui 371

● 우주선에 의한 돌연변이육종

1987년 이후 8개의 회수가능 인공위성과 5개의 고공풍선을 사용하여 70품종(주곡, 섬유, 오일, 채소, 멜론, 과수작물등)이상의 종자에 우주선을 쏘여 벼, 밀, 피망 등에서 작물의 생산성과 성분(비타민, 단백질함량등)이 개선된 유용한 돌연 변이주를 얻었다^{18,20,21)}.

- 토마토: YF1
- 피망:YJ1
- 벼: HY1, YH2, HH1, GZX47, GWX43, TYH1
- 밀: Taikong 5, Taikong 6
- 참깨: Zhongzhi 11

표 8. 중국의 주요 작물 돌연변이 육성기관 및 품종(재면면적이 67x10⁴ hm² 인 경우)

품종명	육성기관	주요개량형질
벼		
왜복9호	절강성온주지구 농업과학연구소	왜간, 줄기배열성, 고결실율
원풍조	절강성 농과원 원자력이용연구소	조숙, 고수확, 적응성
만경257	호북성농업과학원	내비, 내도열병
남경	강소성농업과학원	초세강
동정3호	강소성우석동정향	왜간, 내도복성, 잎이곧음
절복 802	절강농업대학/절강성 여향현 농업과학연구소	조숙,내병성, 고수확,적응성
홍남	광서장족자치구농업과학원	중숙, 내한성, 큰 이삭 및 알갱이
M112	강서성농업과학원	내한, 내병해충(멸구)
상조나1호	호남성농업과학원 원자력이용연구소	내병성성(도열, 백엽고병), 고수확 안정생산, 적응성
계만복	광서농학원	내한성, 조생,왜간,내도복
상조도9호	호남성침주지구 농업과학연구소	숙기촉진, 고생산, 고품질
상조도6호	호남성농업과학원 원자능이용연구소	내병, 고품질, 내도복성
절복852	절강성농업과학원작물연구소	조숙, 내도열병, 고수확
악형나6호	호북성형주지구 농업과학연구소	내병성,찰성, 미질, 강저항성
쌍과1호	절강농업대학 절강제기현농업과학연구소	중숙, 고수확, 내고온성
수수48	절강성가흥지구 농업과학연구소	내병성, 고수확
자금나	강소성농업과학원작물연구소 호북성농업과학원	내도열병, 비교적 높은 수확
복조 383	원자력이용연구소	고분얼, 줄기배열양호, 고생산성
소맥		
암맥6호	호북성농업과학원	내한성, 고수확
노등1호	산둥성농업과학원 산둥성등현사촌	반왜간, 내도복성, 내녹병, 고수확
신서광1호	흑룡강성농업과학원	강한줄기, 내도복성, 내병성, 내습성, 생육후기 내 저온성
영맥3호	강소성농업과학원	왜간, 줄기배열 및 수확성 양호, 내도복성

품종명	육성기관	주요개량형질
정육복	하남성 농업과학원	분얼력 강함, 내한성, 내한성, 굵은 포기
진풍1호	남개대학 생물학과	원품종보다 조숙, 상대적 왜간, 내도복성 수확성양호
원풍4호	산동성 농업과학원 원자력농업응용연구소	왜간, 줄기배열양호, 내도복성 수확성양호
예원1호	하남성과학원 동위원소연구소	조숙, 왜간, 내도복성, 내저항성, 적응성
완원75-6	하남성 남양시 농업과학연구소	조숙, 반왜간, 내도복성, 내한발 및 고온성
산농복63	산동농업대학	조숙, 포기양호, 높은 이삭형성을 수확성양호, 줄기배열양호, 내녹병
천복1호	사천성농업과학원 생물기술핵기술연구소	조숙, 숙기에 연합화양호, 내습성, 내한발성, 내한성
예맥4호	하남성 낙양시 농업과학연구소	극조숙, 줄기와 엽의 배열양호
신춘2호	신강위구루자치구농업과학원 원자력이용연구소	조숙
신춘3호	신강위구루자치구농업과학원 원자력이용연구소	내병성, 내도복성, 고수확성
예춘12호	하남성 입현요촌진농업기술보급소	원품종보다 조숙, 단간, 백색날알
원동3호	중국농업과학원 원자력이용연구소	내녹병, 내흰가루병, 내저항성(알칼리성, 한발, 고온), 고수확안정생산, 적응성
연농685	산동성연대지구 농업과학연구소	내한성, 높은이삭형성을, 숙기에 연합화양호, 내도복성, 내녹병
악맥9호	호북성농업과학원	내흰가루병, 홍수에 강함, 후기 내고온성
진풍2호	천진시 계현 농업기술보급센터	직립엽, 줄기강함, 내도복성, 줄기배열양호
보리		
엽복왜조3호	강소성연해지구 농업과학연구소	조숙, 왜간, 내도복성, 증산
옥수수		
길단 101	길림성농업과학원	내대반집병, 내청고병, 내감부기병, 줄기배열양호
노원단4호	산동성 농업과학원 원자력농업응용연구소	조숙, 양호한 수확량, 줄기배열양호
노원삼2호	산동성 농업과학원 원자력농업응용연구소	내병성, 양호한 수확량, 다모작성
노옥3호	산동성료성지구 농과소	내병성, 양호한 수확량
노옥5호	산동성 농업과학원 원자력농업응용연구소	조숙, 내한발성, 고수확성, 줄기배열양호

품종명	육성기관	주요개량형질
수수		
보잡1호	산서성농업과학원 경제작물연구소	줄기강함, 내도복성, 내저항성, 줄기배열양호, 양호한수확량
용복량1호	흑룡강성농업과학원 원자력이용연구소	왜간, 조숙, 조밀재배
대두		
흑농16호	흑룡강성농업과학원	분얼성양호, 짧은 마디, 내한발성, 줄기배열양호
철풍18호	요녕성철령지구 농업과학연구소	경엽, 내비성, 내도복성, 고수확량, 줄기배열양호
흑농26호	흑룡강성농업과학원	포기양호, 내저항성, 품질양호, 줄기배열양호
요두3호	요녕성 농업과학원 원자력이용연구소	조숙, 줄기강함, 내도복성, 홍수에 강함, 바이러스저항성, 노균병저항성
철풍24호	요녕성철령지구 농업과학연구소	줄기강함, 내도복성
유채		
감유5호	중국농업과학원 유료작물연구소	내한성, 내병성, 고수확안정생산
절유7호	절강성농업과학원	조숙, 오일함량높음
땅콩		
약유22호	광둥성농업과학원 경제작물연구소	왜간, 분지많음, 결실많음
약유551	광둥성농업과학원 경제작물연구소	내병성, 양호한 수확량
면화		
노면1호	산둥성농업과학원 면화연구소	조숙, 결실양호, 양호한수확량, 줄기배열양호
무우		
침연301	중국농업과학원 사탕무연구소	품질양, 고당도, 갈반병저항성
침연302	중국농업과학원 사탕무작물연구소	근중, 고당도, 갈반병저항성, 근부병저항성
사탕왕		
조숙사탕왕	요녕성농업과학원 토양비료연구소	원품종보다 조숙

나. 추적자 이용 기술

중국의 농업과학과 생산에서 이용되는 추적자 이용 기술은 원자력 농학의 중요한 분야이며 원자력 농학에서 약 19.5%의 비중을 차지하고 있다. 동위원소 추적자 기술은 농업의 여러 분야에 파급되어 이용되고 있다. 특히, 토양-식물 관계, 대사생리의 메카니즘, 비료 효율, 농업환경, 농약흡수 및 분해대사, 잔류 등의 연구에 많이 사용되고 있다^{5,8,9,10,11,12,17,}

1) 토양-식물 연구

1950년초 이후부터 토양-식물 연구에 동위원소 추적자를 사용하기 시작하였으며, ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{75}Se , ^{60}Co , ^{86}Rb , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{109}Cd , ^{125}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th 등의 방사성동위원소와 ^{10}B , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O 등의 안정동위원소가 사용되었다. 주로 사용되어온 분야는 다음과 같다^{5,37}.

● 작물영양생리

- 작물의 광합성을, 동화작용 전류 및 분배특성(^{14}C)
- 작물 양분흡수의 흡수, 수송 및 분포($^{35}\text{SO}_4$, ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{75}Se , ^{10}B , ^{141}Ce)
- 작물의 질소(^{15}N), 탄소(^{14}C), 황(^{35}S) 및 핵산대사(^{32}P)
- 다수확주곡작물(벼, 밀)의 광합성능(^{14}C), 양분흡수(^{32}P , ^{15}N) 및 분얼연구(^{14}C),
- 다수확 공예작물(면화)의 동화물질전류특성(^{14}C)
- 식물 뿌리분포, 근활력(^{32}P)과 스트레스(수분등) 영양생리 [^{86}Rb (K analog), ^{32}P]
- 식물호르몬 작용과 영양생리대사(^{14}C , ^{32}P)

● 토양-식물

- 토양별의 $\delta^{15}\text{N}$ 특성 연구
- 작물에서 질소비료의 이용률 및 잔류 질소 이용(^{15}N)
- 토양중 질소 변환 특성 및 질산화과정억제(^{15}N)
- 인산질비료 비효, 이용률 및 토양중의 인산동태(^{32}P)
- 복합비료의 비효, 이용률(^{15}N , ^{32}P)
- 유기질 비료의 비효, 이용률(^{15}N , ^{32}P , ^{14}C)
- 공중질소 고정(^{15}N)
- 토양 유기물 분해특성(^{14}C)

- 토양 유효 양분측정(A, L, E value; ^{32}P)
- 토양수분측정(중성자 산란법, $^{241}\text{Am}/\text{Be}$)
- 토양연대(^{14}C , ^{13}C) 및 토양 침식(^{137}Cs)

● 최근 연구동향(1999년 이후)

- 혼합, 윤작 작부체계에서 시비비료의 이용율(^{15}N)
- 시비기술개선(^{15}N , ^{32}P)
- 식물저항(한발)평가(^3H , ^{32}P)
- 접목방법, 촉진제에 따른 양분흡수, 이행 및 분포(^{59}Fe , ^{32}P , ^{14}C) 및 유전특성에 따른 양분흡수(^{65}Zn)
- 수분과 중금속 stress에 따른 동화산물이동 분포(^{14}C)
- 토양보존(^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$)
- 토양조건(공기)이 무기양분흡수, 동화산물의 뿌리이행분포(^{14}C)
- 토양중 질소질 비료의 질산화과정과 식물체내 질소영양대사(^{15}N)
- 방사성 핵종생태 거동 연구(^{137}Cs , ^{95}Zr)
- 방사성 핵종의 bioremediation(^{137}Cs 제거)
- 광물비료(인산질비료, 인광석, Coal ash)와 시비된 토양중의 천연핵종측정(^{226}Ra , ^{228}Ra)

2) 농약연구

중국은 1960년대 이후부터 방사성동위원소 표지 농약을 농약연구에 사용하여 왔다고 하며, 특히, 1984년 국제원자력기구에 가입하기 이전까지는 국제시장에서 표지 농약을 구입하거나 지원을 받을 수 없었기 때문에 살충제, 살균제, 제초제, 박테리아사이드, 농약 중간 대사물을 포함하여 약 80종류의 농약을 직접 표지하여 사용하여 왔다³⁸⁾. 방사성동위원소 표지화합물은 북경에 있는 농업과학원 원자력이용연구소에서 합성하여 전국에 공급되었다(표 9).

^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{32}P , ^{35}S , ^{74}As (^{76}As)등의 방사성 핵종이 농약연구에 많이 사용되어 왔으며 방사성 추적자 기술은 주로 농약의 적절한 사용을 위한 잔류분석과 환경중에서 농약의 행동에 대한 연구에 사용되어 왔다. 특히, Ziyuan Chen교수(절강농업대학)는 체계적인 농약연구의 개척자로 농약안전사용을 위한 국가기준에 관한 대형과제를 수주받아 중국내 43개 연구소와 공동으로 연구를 실시하여 1985년 중국의 농약 안전사용 기준을 법으로 마련하는 토대를 만들었다⁸⁾. 특히, 중국의 방사성추적자를 이용한 농약 연구는 1984년 IAEA에 가입된 이후 CRP 사업과 해외훈련을 통해 활발히 수행되었

다.

표 9. 중국에서 합성된 대표적인 농약

표지농약	비방사능 (mCi/mmol)	표지농약	비방사능 (mCi/mmol)
¹⁴ C-benzene hexachachloride	1-5	¹⁴ C-triadimefon	1-10
¹⁴ C-2,2,2-trichlorethyl styrene	1-5	¹⁴ C-amitraz	1-10
¹⁴ C-chlordimeform	1-5	¹⁴ C-trifluralin	1-10
¹⁴ C-N,N-methylene bis(2-amino-1,3,4-thiadiazole)	10-30	¹⁴ C-chlortoluron	1-10
¹⁴ C-2,4-D	5-10	¹⁴ C-propoxur	1-10
¹⁴ C-X-naphthalacetic acid	10-20	¹⁴ C-methyl-ISP	1-10
¹⁴ C-indoleacetic acid	10-20	¹⁴ C-methoxy-tetrachlorvinphos	1-10
¹⁴ C-amidino thiourea	10-20	¹⁴ C-amidino thiourea	1-10
¹⁴ C-thiophanate methyl	1-10	¹⁴ C-methoxy-monocrotophos	1-10
¹⁴ C-S-triazine	1-10	¹⁴ C-chlorsulfuron	1-10
¹⁴ C-trichlorfon	5-10	³⁵ S-thiram	1-10
¹⁴ C-cyclophosphamide	1-10	³⁵ S-dimethoate	1-10
¹⁴ C-DDT	1-5	³⁵ S-parathion	1-5
¹⁴ C-dimethachlon	1-5	³⁵ S-phorale	1-5
¹⁴ C-phoxim	10-30	³⁵ S-phenthoate	0.2-2
¹⁴ C-glyphosate	10-30	³⁵ S-mancozeb	1-10
¹⁴ C-difenzoqnat	5-10	³⁵ S-phosfolan	1-10
¹⁴ C-amino-1,3,4-thiadiazole	10-30	³⁵ S-malathion	1-10
¹⁴ C-dicyandiaonide	1-10	³⁵ S-cartap	1-5
¹⁴ C-bensulfuron	1-10	³⁵ S-cyanox	
		³⁵ S-C9140	
		⁷⁶ As-zine methanearsonate	

중국의 농약분야에 대한 주된 연구관심과 동향은 다음과 같다^{5,8,9,10,11,12)}.

- 토양과 작물에서 농약잔류
- 식물에 의한 농약의 흡수, 이행, 분포

- 동물에 의한 농약의 흡수, 이행, 분포
- 환경중에서 농약의 흡탈착, 용탈, 분해
- 육상 토양-식물 생태시스템에서 농약의 숙명
- 수생생태계에서의 농약의 숙명
- 모델 생태계에서의 농약의 숙명에 대한 시뮬레이션
- 토양중에 결합된 잔류 농약
- 농약 genotoxicity
- 완 유리성 농약 연구
- 방사성면역법을 이용한 잔류농약측정

다. 방사선해충불임기술

방사선해충 불임기술(SIT)는 해충을 효과적으로 박멸시킬 수 있는 생물학적 방법이며, 농약 살포와 같은 환경오염을 발생시키지 않는 환경친화형 기술이다. 중국은 1960년대 초기에 조명충나방, 채소 해충, 감귤 해충 등 10여종의 해충에 대해 방사선 불임 연구를 진행했고 자생지에 산포하는 실험을 한 결과 소기의 예상했던 효과를 거둘 수 있었다. 특히 감귤 해충에 대한 산포 실험을 실시한 결과 해충으로 인한 피해율이 예년의 5~8%에서 0.1% 이하로 급감해 높은 효과를 거두었다고 한다. 표 10. 에서와 같이 많은 중국의 많은 연구소에 다양한 종류의 해충에 대한 연구가 수행되었으나^{5,38)} 실제포장에서 성공율은 많지 않았다고 한다. 최근 유전자 공학 기술에 의한 병해충 저항성 식물 창출에 대한 연구가 진행되면서 해충 불임기술연구에 연구관심이 상대적으로 다소 저하된 상태이다.

표 10. 방사선 해충불임기술에 대한 연구사례

종	조사단계	불임선량 (Gy)	연구기관
Peach fruit birer	말기번데기	450	농업과학원 원자력이용연구소
Mulberry wild silk worm	말기번데기	500	절강성농업과학원 원자력이용연구소
Chinese citrus fly	말기번데기	90	농업과학원 원자력이용연구소 절강성농업과학원 원자력이용연구소
Cotton bollworm	말기번데기	250	농업과학원 원자력이용연구소
Uzi fly	말기번데기	55	화남농업대학교
Asian corn borer	말기번데기	450	농업과학원 원자력이용연구소 산둥성농업과학원
Long horn beetle	성충	97	녕하국립자치지역 삼림연구소

Adzuki bean weevil	성충	600	화중농업대학
Grain weevil	성충	140	농림부 식물검역연구소
Pink bollworm	말기번데기	400	강소성 농업과학원원자력이용연구소 중국과학원상해곤충연구소
Masson pine caterpillar	말기번데기	350	강소성 삼림연구소
Cabbage diamondback moth	말기번데기	700	절강성농업과학원 원자력이용연구소
Rice stem borer	말기번데기	400	화남농업대학교
White sugarcane moth borer	말기번데기	350	화남농업대학교
Indian meal moth	말기번데기	600	화중농업대학교
Sobean podborer	말기번데기	120	흑룡강성농업과학원 식물보호연구소
Bark feeding cutworm	말기번데기	450	신강성농업과학원농업물리연구소
Oriental fruit fly	말기번데기	130	대만신주산업연구소 감귤연구소

라. 식품조사

중국은 세계적인 농업대국으로 농산물과 부산물이 매년 해충과 곰팡이에 의한 변질 등으로 40여억 위안(5,200억원)에 이르는 경제적 손실을 입고 있다. 과일만 하더라도 매년 3억 위안(390억원)의 손실을 보고 있다. 따라서 방사선 조사를 이용한 보관과 저장 기술은 중국 농업 발전에 아주 중요한 의미를 가지고 있다.

중국의 농산물에 대한 식품 조사 연구는 1958년에 시작되어 30여년의 역사를 가지고 있다. 이론적 연구, 조사 설비, 위생 표준과 상업화의 과정 등에서 놀랄만한 발전을 거두었고 좋은 성과를 얻고 있다고 자평하고 있다.

최근 중국에는 방사선 조사 장비(100,000 Ci 이상 ^{60}Co)에 60여개 이상 있으며, 전국적으로 24개성과 36개시에 있는 100여개 기관이 200여종의 식품에 대해 방사선 조사를 통한 신선도 유지 연구를 진행하고 있다(표 11). 1984년 부터 보건부에서는 일련의 방사선 조사 식품 위생 표준 및 해당 행정법규를 공표했으며, 18종(감자, 양파, 마늘, 벼, 땅콩, 버섯, 소세지, 사과, 포장치킨, 화분, 살구커널, 토마토, 돈육, 여주, 오렌지, 감자주, 조리육)의 방사선 조사 식품 및 농산물의 판매를 승인했다⁶⁾.

중국의 식품 또는 농산물 조사량은 매년 급속한 성장을 하여 왔으며, 1999년 80,000 톤에 이르고 있다. 이처럼, 중국의 농산물과 부산물, 식품의 방사선 조사 산업은 이미 집단화, 산업화의 방향으로 발전하고 있다⁶⁾.

1) 식품조사 연구동향 및 전망

식품조사에 대한 기초연구(적정조사선량, 조사식품안전성, 포장물질평가, 대중수용성, 경제적 평가)는 1980년대 주로 실시하였으며, 최근에는 식품의 안전성개선과 검역처리를 위한 연구에 대한 관심이 매우 크다⁶⁾.

● 식품의 안전성개선을 위한 식품조사

대부분 연구는 기존 식품 관련기술을 접목하여 최적의 식품조사 공정을 확립시키는 데 초점을 맞추고 있는 바, 최근 수행중 또는 계획중인 연구의 사례는 다음과 같다⁶⁾.

○가공 야채의 안전 위생처리를 위한 식품조사연구

- 절개 당근과 토마토에서 살모넬라, 대장균(O157:H7)에 대한 최소살균 조사 선량결정
- 헌터값, 고형물함량, 세포막투과성, 맛 변화등의 조사를 통한 최대허용조사 선량결정

○가공된 고기의 안전성과 육질 개선을 위한 식품조사 연구

-Beijing roasted duck과 Wu Xi Chop의 저장성과 미생물학적인 안정성 확보를 위한 방사선 조사

- 최소가공식품의 안전성을 위한 핵심 기술 연구(2003-2005)
- 식량확보, 안전성 및 무역을 위한 식품 조사 기술활용(2003-2004, RAS/05/42)
- 기타 냉장저장 육류의 안전성 확보를 위한 식품조사

● 검역처리를 위한 방사선 조사

식품의 안정성 연구에 비해 국가에서 지원되는 연구비는 많지 않으며 IAEA 등의 외국기관의 연구비 지원을 받아 연구를 수행하고 있다. 그러나, 식품은 아니지만 통나무중의 해충방제를 위한 방사선 조사 연구는 국책과제로 지정받을 만큼 중국정부의 관심이 큰 연구과제이다⁶⁾.

- 절화류의 과일파리 및 응애류 방제
- 식품과 농산물의 식물검역처리(Trogoderma granarium Everts, Callosobruchus chinensis)을 위한 식품조사
- 곡물(밀)중의 TCK 포자 박멸
- 통나무 꾸러미 중에 긴뿔투구벌레 방제를 위한 방사선 조사(중요국가연구과제)

표 11. 중국의 식품조사관련 연구기관과 조사대상

연구기관	조사대상	조사선량(kGy)	목적
하남성동위원소연구소	감자	0.11-0.2	발아억제
	양파	0.04-0.15	발아억제
	마늘	0.04-0.1	발아억제
화남농업대학	버섯	1	
산동성청도의학원	땅콩	0.4	살충
사천성원자핵응용기술연구소	쌀	0.45	살충
	중국소세지	15	멸균
	돈육	5-8	멸균
광주시의학공업연구소	서간주	2-4	숙성
	중초약	1-8	살충멸균
서북수토보호유지연구소	왕밤	1	살충
청화대학 핵에너지기술연구소	간장	5	멸균, 품질개선
남경방사선조사센터			
하남성동위원소연구소	누에고치	1	고치사멸
상해원자핵연구소	사과	0.3-0.5	선도유지
천진방사선조사센터			
호남성원자농업연구소	감귤	0.03-0.05	선도유지
절강성농업과학원 원자농연구소등			
호남성원자농업응용연구소	오향간장	1.5-3	
복건성화교대학/상해원자핵연구소	용안		선도유지
청화대학 핵에너지기술연구소	브랜드	0.888-1.331	숙성, 살균
산동성농업과학원원자농연구소등			
상해원자핵연구소	여지, 딸기	1-2	선도유지
천진기술물리소	아기위	0.3-1	선도유지
산동성농업과학원원자농연구소	배	0.6-0.8	선도유지
하북성 방사성연구소	식용젤라틴	1.8	살균

2) 조사식품에 대한 법제도

식품조사와 공정과 관련된 모든 표준화와 법규는 농림부와 보건부에 의해서 점진적으로 만들어져 품질검사검역소에서 공포되고 있다.

조사 식품에 대한 법적규정은 1986년 처음으로 보건부에서 만들어 졌고 1996년 조사 식품의 위생방제를 위한 규정(보건장관 명령 47호, 시설, 인력, 조사된 식품의 흡수선

량, 조사표지, 처벌에 관한 내용)으로 개정되어 현재까지 유지까지 되고 있다.

식품조사에 대한 연구결과를 토대로 1984년-1996년 사이에 18개 조사식품에 대한 위생표준화 법제도를 마련하였다(표 12). 해산물 조사식품에 대한 위생표준화는 진행중에 있다. 특히, 중국은 1990년대 부터 식품조사에 관한 규정과 표준화 확립에 많은 관심을 가져왔고 “식품조사에 대한 표준화 기술 연구”를 과학기술부의 국책연구사업으로 지정받아 1996년부터 2000년까지 중국내 15개 연구소와 대학교가 공동으로 30개의 식품항목에 대한 식품 조사 표준화 공정 사업을 연구했다. 2002년도에 그중 17항목에 대해 국가 식품조사 표준화 공정을 마련했다(표 13)⁶⁾.

표 12. 중국의 승인된 조사식품 위생 표준화

조사 식품 항목	승인 번호
화분	GB 14891.2-1994
신선돈육	GB 14891.6-1994
고구마와인	GB 14891.9-1994
건조견과류 및 과일통조림	GB 14891.3-1997
건조향료	GB 14891.4-1997
신선과일 및 야채	GB 14891.5-1997
동결포장육 및 가금육	GB 14891.7-1997
콩, 곡류 및 가공품	GB 14891.8-1997
조리된 동결포장육 및 가금육	GB 14891.10-1997

표 13. 중국의 식품조사 표준화 공정

항목	번호
조사 식품과 농산물의 표준화	GB/T18524-2001
콩류 해충박멸	GB/T18525.1-2001
건조대추 해충박멸	GB/T18525.2-2001
곡물 해충박멸	GB/T18525.3-2001
건조용안 해충박멸	GB/T18525.4-2001
건조연꽃씨 해충박멸	GB/T18525.5-2001
인스턴트차 microflora 방제	GB/T18525.6-2001
화분 microflora 방제	GB/T18525.7-2001
건조야채microflora 방제	GB/T18526.1-2001
향료microflora 방제	GB/T18526.2-2001
가공육 병원미생물살균, microflora 방제	GB/T18526.3-2001
냉장돈육 병원미생물 살균	GB/T18526.4-2001
발효육가공품 microflora 방제	GB/T18526.5-2001
마늘발아억제	GB/T18526.6-2001
사과저장성증진	GB/T18526.7-2001
건조중국 wolfberry,포도 해충박멸	GB/T18527.1-2001
향기버섯 해충박멸	GB/T18527.2-2001

3) 조사시설과 선량 표준화

조사시설의 안전한 운전 식품 조사를 행하기 위하여 1990년도에 방사선방호, 선량측정, 감마선조사기 설계 및 조사시설 운영 등에 대한 표준화 규정을 만들었다(표 14). 그러나 아직까지도 관계되는 정부기관에서 만든 표준안이 기관끼리 차이가 있어 이에 대한 조정이 필요하다고 하며, 식품조사의 인증과 조사식품의 검증 부분에 대한 규정이 포함되어 있지 않다고 한다. 해산물의 식품조사에 대한 인증과 조사된 식품의 검증에 대한 표준화가 아직 마련되지 않았다고 한다⁶⁾.

특히, 중국 정부는 2001년부터 2007년까지 매년 30,000,000 RMB을 지원하여 방사선 조사 농산물의 품질보증을 위한 평가기준사업을 수행하고 있으며 이를 통해 식품조사에 대한 보다 많은 표준화 작업을 꽤 할려고 하고 있다⁶⁾.

표 14. 조사시설과 선량표준화

표준화 항목	번호
방사선 방호, 조사시설안전성	GB 10252-1996
X, γ선, 전자빔에 의한 조사식품흡수선량환산	GB/T15447-1995
식품조사선량	GB 16334-1996
습식저장 조사선원 안전설계기준	GB 17279-1998
감마조사시설 설계, 시공, 사용에 대한 규정	GB17568-1998

4) 식품조사의 상업적인 이용

중국에서 상업적인 식품조사에 이용되는 방사선원은 ^{60}Co 이며 대부분의 조사시설은 자국의 전문가에 의해 설계되고 시공되고 있다. 지난 40년 동안 24성과 36시에서 식품과 농산물에 대한 상업적인 방사선조사가 실시되어 왔다. 2002년 까지 64개의 ^{60}Co 조사시설(300,000Ci 설계용량, 실제 탑재 170,000Ci)가 설치되어 있으며 총 37.3 백만 Ci 설계용량을 가지고 있다. 이 중 50개의 조사시설이 식품조사에 관여하고 그 중 20%가 개인소유이다. 그 일부는 국제인증기관 또는 수입된 국가로부터 인증을 얻었다.

중국의 조사식품의 양은 날로 증가하고 있으며 정확치는 않지만 2002년에는 마늘이 70,000 톤, 건조야채와 향료가 22,000 톤, 건강식품이 6,000톤, 곡물류가 2,000 톤으로 총 100,000톤이었다고 한다⁶⁾.

5) 조사식품의 품질검사와 시험센터 운영

중국의 식품조사 센터 또는 기관의 능력을 국제적으로 권고된 표준규정에 부응하도록 강화하기 위하여 조사식품 품질검사 시험 센터(Quality Inspection and Test Center of Irradiated Products)를 2002년에 농업과학원 산하의 원자력이용연구소에 설치하였다. 그 임무는 다음과 같다⁶⁾.

- 조사식품의 식품 위생 미생물학, 미각분석
- 조사선량교정, 조사시설안정성 및 방호장비검사
- 농업관련 조사식품의 품질 검사·시험과 조사시설의 검사·시험
- 식품조사관련 산업표준화의 설정, 개정 및 검증
- 조사식품품질 검사기관에 대한 기술제공, 자문 및 개인훈련
- 국가 식품조사 연구사업과 국제협력사업 참여

6) 식품조사 자문과 조정을 위한 전문가그룹(EGCCFI)

식품조사의 이용을 조정하기 위해서 전문가그룹(Expert Group of Consultation and Coordination on Food Irradiation)이 2001년 8월에 결성되었다. 이 전문가그룹은 중국 정부의 7개 관련기관에 있는 조사시설, 조사식품위생처리, 식품안정성, 검사 및 무역분야에 종사하는 전문가와 공무원으로 구성되었다. 그들의 임무는 다음과 같다⁶⁾.

- 식품조사의 세계 발전 동향 파악
- 국제 식품조사 관련 업무에 대한 제안과 의견제시
- 식품조사 규정과 표준화 설정에 대한 제안
- 조사식품의 국제무역에서의 문제점에 대한 해결 방안 제시
- 조사식품의 무역 기회 증진과 검사에 대한 의견 제안

제 2 절 한국 원자력 농업 연구 성과 및 동향

1. 발달과정

우리나라 농업분야에서 방사선 및 동위원소의 사용 연구는 1963년 한국원자력 연구소에 방사선생물학 연구실이 설치되면서 시작되었고 1966년 원자력청 방사선농학 연구소가 설립됨으로써 좀더 체계적인 방사선 연구팀이 탄생하게 되었다. 방사선 농학 연구소에는 식물영양생리, 식물육종, 식물 및 동물보호, 식품가공 연구부가 조직되어 있었으며 그 당시 최첨단 학문이라는 자부심으로 연구진 모두가 헌신적인 연구를 수행하였다. 그러나 1973년 방사선 농학연구소가 다시 한국원자력연구소에 통폐합되고 그 조직이 날로 축소되면서 농업분야의 방사선 및 동위원소의 이용 연구가 부진하게 되었다. 그러한 가운데에서도 1975년에 농촌진흥청내에 방사성동위원소 실험실이 생기고 정부와 국제원자력기구의 지원에 의해 1982년에 제주대학교에 방사능이용연구소가 신설되면서 한국원자력연구소의 관련 조직과 함께 3대축으로 방사선 및 동위원소 이용을 이용한 농업연구를 실시하여 오늘에 이르렀다. 최근 방사선 및 방사성동위원소 이용 진흥법이 제정되고 2003년 5월 전북 정읍에 첨단방사선기술연구센터가 기공식을 갖게 된 것은 원자력 이용 학문의 균형발전과 농업기술의 발전과 생산성향상에 크게 기여할 것으로 전망된다.

2. 방사선돌연변이 육종

1965년 방사선 농학 연구소가 설립된 후 1970년대 초반까지 우리나라에도 한때 돌연변이 육종 붐이 일어났으나 1973년 연구소 통폐합 그리고 작물품종 개발업무가 농촌진흥청에 집중됨으로써 돌연변이육종 연구는 주변국가보다 발전이 부진하게 되었다. 현재까지 나온 돌연변이 품종은 한국원자력연구소와 농촌진흥청에 국한되고 있다.

가. 돌연변이 육종 연구 동향 및 전망

최근 식물분야에서도 지적재산권 문제가 대두대면서 품종 육성 및 유전자원 확보에 대한 필요성이 커짐에 따라 국내 국공립 연구소 및 임업시험장, 대학, 시군 농업 기술센터 및 종묘회사 등에서 돌연변이 품종개발 및 돌연변이체 창출에 대한 관심이 점점 높아지는 경향이다. 현재 국내에는 돌연변이 육종을 위한 ^{60}Co (300 Ci)조사기가 한국원자력연구소에 설치되어 있고, 제주대학교 방사능이용연구소에 2004년 5월 완공

목표로 ^{60}Co (10,000 Ci)조사기 설치 중에 있다. 또한, 건설 중인 첨단방사선이용기술센터에 돌연변이 육종을 위한 새로운 조사시설(조사기, 조사온실등)이 추후에 설치된다면 돌연변이육종 연구는 더욱 활성화될 것으로 전망된다.

최근 돌연변이 육종 연구 동향을 보면 다음과 같다^{7,23,24,25,26,27}.

- 조직배양기술을 통한 간척지용 내염성 벼 선발
- 조직배양기술을 통한 고아미노산 벼 품종개발
- 내도복, 조숙, 내병성 벼, 콩 및 들깨 품종개발
- 기능성 유색미 품종개발
- 피틴산 및 비린냄새 저감 콩 돌연변이 품종개발
- 무궁화 및 자생식물의 우량변이 품종개발
- RT-BT를 이용한 육종기술개발을 위한 식물조직배양, analog를 이용한 기내선발, DNA marker, DNA 분석 기술에 관한 연구
- 제초제 저항성 벼/밀 세포주 선발 돌연변이체 육성
- 화훼류와 야생화 돌연변이 품종개발
- 고추내병성 돌연변이 유전자원 개발

한편, 국내 돌연변이 육종 연구를 수행하고 있는 기관도 과거보다는 점점 증가 추세에 있으며 현재 한국원자력연구소, 농촌진흥청(호남농업시험장,작물연구소, 화훼연구소), 전남농업기술연구소, 제주대학교, 순천대학교, 고려대학교, 농우바이오등이 있다.

표 15. 한국의 방사선 돌연변이 육종성과

품종명	육성기관	비고
벼		
밀양10호	한국원자력연구소	단간, 조숙, 내병성
IRI307	한국원자력연구소, 호남작물시험장	
원평벼	한국원자력연구소	2000년 release 조숙, 내도복성, 다중내병성
원광벼	한국원자력연구소	//
원미벼	한국원자력연구소	//
흑선찰벼	한국원자력연구소	//
원청벼	한국원자력연구소	단간, 높은 내도복성, 조숙
원품벼	한국원자력연구소	2001년 등록
원추벼	한국원자력연구소	2001년 등록
흑광찰벼	한국원자력연구소	2001년 등록
녹원찰벼	한국원자력연구소	2001년 등록
보리		
방사6호	한국원자력연구소	
콩		
KEX2	한국원자력연구소	1973년 release, 조숙
방사콩		1983년 콩나물콩
참깨		
안산깨	농촌진흥청	1970년대말 release, 흰종자껍질, 내병성, 내재해성, 고수확성
들깨		
다실	농촌진흥청	2003년 release 조숙, 단간
무궁화		
백설	한국원자력연구소	1990년 등록, 화색
꼬마	한국원자력연구소	2001년 등록, 화색
선녀	한국원자력연구소	2001년 등록, 화색
대광	한국원자력연구소	2001년 등록, 난장이
구기자		
유성1호	한국원자력연구소	
합계	21	

3. 토양-식물분야 추적자 이용

토양-식물 관련 추적자 이용 연구는 1966년 방사선 농학 연구소가 설립됨으로써 시작되었다, 이만큼 방사선 농학연구소가 우리나라의 방사선 및 동위원소 이용기술을 도입에 중요한 역할을 하였다. 그러나, 1970년대 한국원자력연구소에 통합됨으로써 그 기능은 다른 분야보다 제일 많이 약화되었다. 1980년대에 접어들어 제주대학교 방사능이용연구가 설립됨으로써 동위원소 추적자 실험에 대한 명백을 이을 수 있었다. 1990년대 들어오면서 분자생물학과 유전공학분야의 연구가 시작되면서 전국의 대학 뿐만 아니라 연구소에 방사성 동위원소 사용 실험실이 설치되었고 서울대학교 농업과학기술기공동센터와 기초과학지원 연구센터에서 안정동위원소(^{15}N , ^{13}C 등) 분석 서비스가 실시됨에 따라 과거와는 달리 현재 전국 어디에서나 동위원소 추적자 실험을 할 수 있는 여건은 어느 정도 조성된 셈이다. 그러나, 동위원소 추적자를 이용한 실험방법에 대한 관심과 이해 부족으로 활성화가 많이 된 편은 아니지만 과거보다는 추적자 사용 연구가 증가하는 편이다.

가. 연구성과

1970년대까지는 수도에서의 질소, 인산비료의 질소 이용율, 토양 양분유효도와 양분흡수에 초점을 맞추어 연구가 수행되었으며 1980년대에 접어들어 좀더 다양한 방사성동위원소 핵종이 벼를 포함한 다양한 작물의 연구에 사용되었다. 1990년대에 이후에는 원예화훼식물에 방사성동위원소/안정동위원소를 확대하여 사용한 것이 특징이다. 토양-식물과의 연구에서 사용한 안정동위원소 또는 방사성동위원소에는 ^{15}N , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{40}K , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{65}Zn , ^{86}Rb , ^{85}Sr , ^{137}Cs 등이 있다. 이중 ^{15}N 과 ^{32}P 가 가장 많이 사용하여온 핵종이며 ^{45}Ca 는 최근 원예작물의 Ca 영양생리연구에 사용되고 있다.^{13,14,26,29,30,31,32,33,34,35,36)}

○ 시비기술연구

- 수도(^{15}N 와 ^{32}P)의 비료이용율
- 감귤(^{15}N)의 비료 이용율 및 시비기술 개선

○ 이온흡수, 이행 분포

- 양분 stress 또는 성장조절제(벼), SO_2 하에서의 무기양분흡수(옥수수, 보리)(^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{65}Zn)
- 과수에서 저장 인산 양분의 이동(^{32}P)

- ³²P, ⁸⁶Rb 흡수력에 의한 감귤의 인산, 가리영양진단
- 원예작물(참외, 토마토)의 ⁴⁵Ca 흡수와 이행

○동화산물의 이행

- 벼에서 ¹⁴C 표지 동화산물의 이행 양상
- 감귤에서 ¹⁴C 표지 동화산물의 과일 축적

○엽면흡수

- ¹⁴C 표지요소의 감귤엽면 흡수
- ⁴⁵Ca의 토마토 엽면흡수

○오토레디오그래피

- ³²P를 이용한 난의 양분흡수 및 이행분포
- 원예작물에서 ⁴⁵Ca 흡수 및 이행분포

○토양비옥도와 방사선 생태계에서의 행동

- 토양 유효 인산 양분 및 흡착형태(³²P)
- 시비질소의 변환(¹⁵N)
- 방사성 핵종의 추적 및 농축계수(⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr), 용탈(⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs), 흡탈착(⁴⁵Ca)
- 가리의 천연 공급력(⁴⁰K)
- 토양침식(¹³⁷Cs)

○농업활동에 의한 수자원 및 환경 오염 연구(¹⁵N)

나. 연구동향 및 전망

- 저투입 영농기술개발(유기물 분해 및 무기화 작용)
- 신소재 비료의 흡수 이용율
- 원예화훼류 영양생리 연구(환경-양분흡수 및 이행)
- 식물영양생리의 분자생물학적 연구
- 토양중 낙진핵종(Cs-137, Pb-210, Be-7)의 행동
- 식물 stress 영양생리분야
- 친환경농산물의 구별

4. 농약분야의 추적자 이용

농약분야의 추적자 이용 연구는 1970년 대부터 시작 되었으며 1990년대 피크를 이루고 2000년대 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 관련 국내 연구자의 관심이 유전공학 분야의 연구(농약 및 병해충 저항성, 생물농약 개발등)으로 많이 전환된 현상과 무관치 않다. 그러나, 국내에는 아직도 농약사용량이 25,000여톤(11.5 kg/ha)으로 OECD 국가중 높은 수준에 속하고 있고 또한, 신규 농약이 계속하여 개발되고 있음을 감안할 때 농약에 대한 추적자 이용 연구도 꾸준히 추진하여야 할 것으로 사료된다. 농약분야에서 방사성동위원소 추적자는 농약의 흡수, 이행, 분포, 축적, 잔류, 분해대사, 독성, 흡착, 안정성, 합성 등의 연구에 이용되고 있으며 현재까지는 ^{14}C 방사성 동위원소로 표지된 농약에 대한 실험이 주종이었다¹⁵⁾.

농약 중에 제일 많이 연구된 농약은 살충제에서는 Carbofuran이며 제초제에서는 Bentazon이었다. 특히, 살균제의 경우 Propiconazole에 대한 연구가 고작이다(표 16). 중국과는 달리 방사성표지 시약을 Amersham과 같은 외국회사로부터 구입하거나 또는 IAEA나 외국회사로부터 지원받아 연구를 수행하여 왔기 때문에 연구를 하고 싶어도 공급의 제한때문에 연구수행이 어려웠다(표 17). 이로 인해 관심인력의 연구의욕을 점점 포기하게 만드는 결과를 초래하였다. 방사성 동위원소추적자를 이용한 연구 중에 가장 관심 있는 분야는 농약잔류 문제이고 그 다음이 분해 및 동식물체에서의 대사에 관한 연구이다¹⁵⁾(표 18).

한국의 방사성 동위원소추적자를 이용한 주된 연구분야는 다음과 같다¹⁵⁾.

○ 농약 선택작용 모드

제조체(^{14}C -bensulfon, ^{14}C -Dithiopyr, ^{14}C -oxyfluorfen)의 벼와 잡초에서 흡수, 이행 등 선택 작용 기작 연구

○ 농약 분해

^{14}C 표지 농약(^{14}C -3,4 DCA, ^{14}C -TCAB, ^{14}C -bentazon, ^{14}C -carbofuran, ^{14}C -acrinathrin, ^{14}C -imidacloprid)의 온도 또는 경과일에 따른 분해($^{14}\text{CO}_2$ 으로의 무기화 작용과 살포 표지 농약의 방사능 변화)

○ 잔류

^{14}C -TCAB, ^{14}C -bentazon, ^{14}C -quinclorac, ^{14}C -cinosulfon, ^{14}C -acrinathrin, ^{14}C -propiconazole의 토양 잔류특성에 대한 연구

○ 대사작용

¹⁴C- t-cypermethrin, ¹⁴C-endosulfan, ¹⁴C-carbofuran, ¹⁴C-acrinathrin, ¹⁴C-propachlor, ¹⁴C-bentazon, ¹⁴C-bifenox 등과 같은 농약의 식물, 동물, 미생물에 의한 대사작용에 대한 연구

한편, 농업생태계나 식품에서의 농약 잔류 문제는 나날이 증가되고 있으며 안전농산물에 대한 욕구가 점점 증대 되고 있는 바 농약사용의 위험성이 좀더 명확하게 구명되길 희망하고 있다. 그러므로 환경이나 식품안전성 측면에서 농약분야의 방사성추적자 기술의 개발이 요구되고 있을 뿐만 아니라 전통적인 농약 연구분야인 작용모드, 잔류, 대사, 분해, 독성분야에 대한 연구도 새로운 농약개발과 함께 그 수요가 계속하여 증가할 것으로 사료된다.

표 16. 방사성 동위원소 추적자 분야 이용 연구 대상 농약과 그 빈도

살충제	빈도	살균제	빈도	제초제	빈도
Acrinathrin	2	Propiconazole	3	Bensulfuron	2
BHC	1			Bentazon	8
Carbofuran	7			Bifenox	1
Cypermethrin	3			Butachlor	2
Endosulfan	2			Cinosulfuron	2
Imidacloprid	1			3,4-DCA	2
Phosphamidon	2			Dithiopyr	1
(DB1-3204)	(1)			Imazapyr	1
				Oxyfluorfen	1
				Pirimisulfuron	1
				Quinclorac	1
				TCAB	6
				(K11451)	(1)
합계	18 (1)		3		28 (1)

표 17. 방사성동위원소 표지 농약 공급처.

구매		지원				합성
		회사		단체		
Amersham	6	American-	1	IAEA	8	1
IIM (International	7	cynamide				
Isotopes München)		Roussel uclaf	2			
Radiochemical	1	FMC	1			
center Ltd.		Monsanto	2			
		Dupont	3			
		Novartis	1			
		Ciba-Geigy	2			
		BASF	8			
		Shell	3			
합계	14		23		8	1

표 18. 한국의 농약분야에서 방사성 동위원소 추적자 이용 연구분야

연구분야	살충제	살균제	제초제	합계
작용모드	2	-	5	7
분해	4	2	11	17
잔류	6	3	17	26
대사	11	1	2	14
독성	3	-	-	3
특성	-	-	1	1
합성	1	-	1	2
합계	27	6	37	70

5. 식품조사

1996년 방사선농학연구소가 설치되어 주로 농산물의 중심의 선도와 저장성증진에 관한 연구가 실험실 규모로 추진되면서 식품조사에 관한 연구가 시작되었다고 볼

수 있다. 1975년 pilot plant 규모의 $^{60}\text{Co}(100,000\text{Ci})$ 조사기가 한국원자력연구소에 설치되면서 식품조사에 관한 본격적인 기초 및 응용연구가 한국원자력연구소가 중심이 되어 관련 대학과 연구소들과 함께 수행되었다. 특히, 1980년대에는 농수축산물에 대한 식품 조사의 국내 산업화에 초점을 맞추어 발아억제 또는 육류 위생살균 등의 연구를 주로 수행하였다. 이러한 결과로 1987년 처음으로 농산물 5개 품목(감자, 양파, 마늘, 밤, 버섯)에 대한 식품조사 승인을 보건복지부로부터 받았다. 특히, 1987년에는 국내 최초의 상업용 $^{60}\text{Co}(500,000\text{Ci})$ 조사기시설이 (주)그린피아에 설치됨으로써 본격적인 식품조사의 산업화가 계기가 마련되었다. 1991년과 1995년에 각각 6개 품목에 대한 식품조사 승인을 추가로 받았고 2002년에는 (주)소야에서 상업용 조사시설을 설치하여 시험 중에 있다²²⁾. 이는 식품조사 품목에 대한 소비자의 이해와 수요를 반영하는 것으로 향후 식품조사 기술은 국민의 보건향상을 위한 핵심기술로써 자리매김할 것으로 전망한다.

가. 식품조사 법제도

식품조사 관련법규는 식품관련 대통령(11,717호)과 보건복지부령(767호)에 근거하고 있다. 1987년에 식품조사에 대한 일반적인 기준과 규정이 마련되었고 1997년 5월에 수정되었다. 그 기준과 법규는 식품조사 공정과 규정의 단일화에 관한 FAO/IAEA(RCA)/ICGFI 워킹그룹에서 제시된 권고안에 근거하고 있다.

현재, 국내 식품에서 방사선 조사허가를 받은 품목은 12개로서 표 15와 같으며 입법예고중인 품목은 표 19와 같다²²⁾.

표 19. 국내식품의 방사선 조사 허가 품목

품목	조사목적	허가선량(kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘	발아, 발근억제	0.15이하	1987.10.16 (고시 제87-71호)
밤	발아, 발근억제	0.25이하	
버섯(생 및 건조)	살충, 속도조정	1.00이하	
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991.12.14 (고시 제91-25호)
된장, 고추장, 간장분말	살균, 살충(위생화)	7이하	
조미식품용 전분	살균, 살충(위생화)	7이하	
가공식품제조원료용 건조채소류 건조향신료 및 이들 조제품	살균, 살충(위생화)	7이하	1995. 5.19 (고시 제95-34호)
효모, 효소식품	살균, 살충(위생화)	7이하	
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7이하	
인삼(홍삼포함)제품류	살균, 살충(위생화)	7이하	
2차살균이 필요한 환자식	살균	10이하	

표 20. 현재 입안예고중인 방사선 조사 허가 품목(2003년 12월 현재 입법 예고중)

허가선량(kGy)	품목	조사목적
0.15이하	감자, 양파, 마늘	발아억제
0.25이하	밤	발아억제
1 이하	생버섯	속도조정
3 이하	분쇄가공 육제품	살균, 살충(위생화)
4.5 이하	가공식품 제조 원료용 식육(냉장)	살균, 살충(위생화)
5 이하	건조버섯, 진란분, 난황분, 난백분, 가공식품제조용, 곡류, 두류 및 그 분말, 가공식품 제조용 전분	살균, 살충(위생화)
7 이하	가공식품제조용 건조수산물 및 건조식육품 가공식품제조용 식육(냉동) 가공식품제조용 분말 장류 및 메주 가공식품제조용 건조과채류 효모, 효소식품, 키토산 가공식품, 화분가공식품 조류식품, 알로에 분말, 인삼(홍삼포함)제품류	살균, 살충(위생화)
10 이하	건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차 살균이 필요한 환자식	살균, 살충(위생화)

나. 국내연구동향과 전망^{1,2,3,4,16,22)}

○ 수산·냉동·발효 식품의 위생화, 안전저장유통 및 새로운 가공품 생산기술 개발

- 수산·냉동·발효 식품관련 병원성 미생물의 살균·안전저장 기술개발
- 젓갈·장류 발효미생물의 방사선 감수성·특성 시험
- 저염 젓갈·장류제품 생산기술 개발
- 반건조식품의 위생화 관련 병원성 미생물의 살균기술 개발
- 새로운 반건조 육·수산제품 생산기술 개발
- 제약, 의약품, 한방약제의 위생화
- 화장품, 화장용품의 위생화

○ 수산·냉동·발효 식품의 안전성 평가

- 독성학적, 영양학적, 유전학적, 화학적 안전성 평가

○ 식품의 유해물질 제거 및 저감화 기술개발

- 알러지 저감화 식품 개발
- 발암성 N-nitrosamines/ biogenic amines 등의 식품 유해 화학물질 제거 기술 개발

○ 감마선 이용 고부가가치 기능성 신소재/ 신제품 개발

- 방사선(RT)/생명공학(BT)/나노(NT)/다중캡슐화(MCT) 융합기술이용 공중보건용 고부가가치 천연신소재/제품개발
- RT/BT를 이용한 생체방호 기능성식품개발
- 수산폐자원으로부터 올리고머·단당·식이섬유 생산조건 확립 및 가공제품 생산기술 개발 산업화

○ 방사선 조사식품의 교역증진을 위한 검역관리 인프라 구축

- 건조 어육류 검역유기체의 감마선 감수성 확인, 유통·검역시 품질 평가 및 검지법 설정
- 수출전략 전통 허브/향신료의 검역유기체 사멸방법 확립, 검역시 품질평가 및 검역 검지조건 설정
- 교역대상 모델 농수산물에 검역유기체 관리방안 구축과 검역관리 품질,검지조건 확립의 검역처리 조건의 최적화

○ 방사선 조사식품의 안전성에 관한 국민이해 사업연구

- 방사선 조사식품 국민이해 조사 연구
- 청소년대상 이해 조사 및 영상매체 활용방안 개발과 제시

- 국민의견수렴대회, 홍보·교육매체 제작
- 청소년층을 대상으로 한 교육 실시 및 교육효과 비교를 통한 새로운 홍보 방안 마련

○방사선 대응 기능성 식품 및 방어효능 증대기술 개발

- 면역/조혈증진 및 방사선 방호식품 개발을 위한 유효성분 탐색/기작 해석
- 발암/노화억제 식품개발을 위한 유효성분 탐색/기작 해석
- 생약/제약 및 보건관련 산물의 위생화

○방사선 조사식품의 검지기술 개발

- 방사선 조사식품의 물리적/생물/화학적 검지기술 개발
- 식품종류별 최적 검지방법 확립 및 국내 검지기술 표준화

○감마선 조사기술 이용 녹즙·비가열처리 식품의 위생화 및 저장 유통 안정성 확보 기술개발

- 녹즙·비가열처리 식품의 생산 체계, 가공공정 및 수출입시 검역관리 기술개발

제 3 절 한·중 원자력 농학 연구 성과 또는 기술력 비교

한·중 원자력 농학 연구 성과 또는 기술력은 표 21에서 비교하였다. 앞서 중국의 원자력 농학 연구성과에서 언급했듯이 중국이 원자력 농학 연구를 활발히 수행할 수 있었고 성과를 얻을 수 있던 점은 일찍이 전국 26개 성 또는 시, 차지구 등에 있는 농업과학원과 농업대학에 원자력이용연구소를 설립하였고 농업대학에 원자력 농업관련 강좌개설, 석사와 박사과정을 설치하여 꾸준히 인력을 양성하는 한편, 1979년 원자력 농학회를 창립하여 방사선 및 동위원소 이용한 농업 연구에 종사하는 자들이 결집할 수 있었다. 중국도 70년대 초의 문화혁명기에는 원자력 농학이 다소 쇠퇴한 적도 있었으나, 그 후 원자력 농학의 중요성을 인식하여 이를 부활시키고 더욱 강화시켰다. 이러한 점은 우리나라와 비교되는 점이다. 우리나라의 경우도 60 - 70년대는 방사선 및 동위원소이용 기술의 도입기였는데, 1970년대 초 우리나라의 원자력 정책의 전환은 원자력 농학 연구의 오랜 정체기를 가져오게 만들었다. 따라서, 인력 인프라를 신속히 구축하기 위해서는 중국과 같은 규모는 아니라도 몇 개의 대학에 방사선 농학 분야의 강좌 개설함과 동시에 원자력 농학 연구를 수행하는 대학원생에서 연구비를 지원 하는 제도의 도입도 바람직하다.

중국의 돌연변이 육종성과가 세계 1위가 된 것은 많은 인력이 꾸준히 연구를 수행하여 덕택이다. 중국은 감마선, 속중성자, 레이저, X선, 이온빔, 열중성자, 우주선 등 다양한 방사선원을 돌연변이 육종에 활용하고 있으며 그중 우주선의 이용은 매우 독특한 아이디어라고 사료된다. 이는 RT와 우주기술을 접목하는 사례로써 우리나라에서도 돌연변이 유효효율을 높이기 위해 BT기술과 접목하는 많은 기술이 개발되어 돌연변이체를 신속히 선발한다면 국내의 방사선 돌연변이에 대한 관심은 더욱 증폭될 것으로 사료된다. 또한, 중국은 세계에서 최고 많은 629개 돌연변이 품종을 개발하였을 뿐만 아니라 세계 제일의 벼 돌연변이 품종을 육성하는 등 국제원자력기구에서도 그 돌연변이 육종성과를 인정받고 있는 바, 다양한 특성의 형질선발에 대한 know-how를 많이 갖고 있을 것으로 사료된다.

추적자 이용 기술은 양국간에 유사한 토양/식물 연구 분야에서 사용되고 있으나, 중국의 경우 연구대상이 더욱이 다양하고 그 결과가 영농기술로 많이 활용되고 있는 점이 우리나라와 대비되는 점이다. 또한, 최근 중국에서는 ^{137}Cs 과 ^{210}Pb 를 이용한 농경지 토양보존(토양침식)에 대한 연구 관심이 매우 크며 국제원자력기구에서도 중요하게 생각하는 연구 분야이다. 또한, 중국에서는 선발된 우량형질 품종과 한발저항성 품종에 대한 생리적인 특성을 조사하기 위해 방사성 동위원소 추적자기술을 이용하고 있고 국내의 경우에는 작물의 내염성 평가에서 안정동위원소(^{13}C)를 이용한 사례가 있다. 추적자 이용 기술에 대한 기술력의 우위 비교는 시설 장비 구축 및 분석능력에 좌우되는 데, 양국 모두 비슷한 연구 여건은 모두 갖추었다고 판단된다.

동위원소 추적자를 이용한 농약연구인 경우에 중국은 방사성 표지 농약을 합성하여 사용하고 있으며 토양-식물 환경에서 농약의 거동에 대한 simulation 연구와 RIA 기술에 의한 잔류농약 측정에 대한 연구가 우리나라와 비교되고 있는 분야이다.

한편, 식품조사 분야에 대해서 양국을 비교하여 보면 표 21에서 보는 바와 같이 조사 시설은 중국이 많고 산업화 등이 잘 이루어진 것으로 판단되나 기초 및 기술 개발연구는 한국이 앞선 것으로 평가되며, 조사식품의 검지기술, 유해물질 제거, 기능성소재, 방사선 방호식품 등 다양한 분야에 대한 식품조사기술이 개발되거나 개발 중에 있다.

표 21. 한·중 원자력 농업 연구 성과 또는 기술력 비교

분야	중국	한국	비고
돌연변이 육종	<ul style="list-style-type: none"> · 돌연변이품종선발 (세계 1위, 아시아 1위) 일반작물: 562품종 관상식물등: 67품종 · 다양한 돌연변이 대상식물 (벼,보리,밀, 옥수수, 콩, 면화, 무우, 수수 등 150종 이상) · 돌연변이원: 감마선,X선, 레이저, 이온빔, 우주선, 중성자 · 작물 germplasm 확보를 위한 돌연변이 육종(24개품종 2000 이상 germplasm 확보) · 우주선돌연변이 육종 · 농업과학원 원자력이용연구소, 절강농업대학등 20개 이상 기관에서 돌연변이 품종 육성 	<ul style="list-style-type: none"> · 돌연변이품종선발 (아시아 11위) 일반작물:14품종 관상식물등: 4품종 · 소수의 돌연변이 대상식물 (벼,보리, 콩, 참깨,구기자 6개) · 돌연변이원: X선, 감마선 · 한국원자력연구소, 농촌진흥청에서만 돌연변이 품종 육성 	
토양- 식물분야 추적자 이용	<ul style="list-style-type: none"> · 다양한 핵종 사용 · 시비효율, 토양중 양분 변환, 용탈 및 고정 · 양분동화 및 전류, 질소고정 · 방사선 생태 및 bioremedation · 벼, 밀, 면화, 과수 등 다양한 작물에 적용 · 토양침식 	<ul style="list-style-type: none"> · 다양한 핵종 사용 · 시비효율, 토양중 양분 변환, 용탈 및 고정 · 양분동화 및 전류, 질소고정 · 방사선 생태 · 벼와 감귤 등 소수의 작물에 적용 	

분야	중국	한국	비고
<p>농약분야 추적자 이용</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 80종이상의 농약 RI labelling · 작용모드, 분해, 잔류, 대사, 독성 등에 대한 연구 · 농약거동 simluation · RIA 농약잔류측정 	<ul style="list-style-type: none"> · 외국 수입 또는 국제기구 지원 · 작용모드, 분해, 잔류, 대사, 독성 등에 대한 연구 	
<p>식품조사</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 50개 이상 조사 시설(170,000Ci 급), 이중 20%가 개인소유 · 농산물등 식품조사 100,000톤/년 · 9개 품목분류에 대한 조사식품 승인 · 식품안전성과 검역처리 연구 · 조사식품 품질검사 및 시험센터 운영 · 식품조사 전문가 그룹 	<ul style="list-style-type: none"> · 3개소의 조사시설 한국원자력연구소,(주)그린피아, (주)소야 · 12개 품목 분류에 대한 조사식품 승인 · 식품안전성, 검역처리, 유해물질 제거, 기능성소재, 방사선방호, 조사식품검지기술등 다양한 기술개발 연구 	

제 4 절 한·중 핵심관련기관 및 과학자

1. 중국 핵심관련기관

가. 중국 농업과학원 원자력이용연구소(IAAE, CAAS)

(Institute for Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

●주소: P.O.Box 5109, Beijing 100094, People's Republic of China

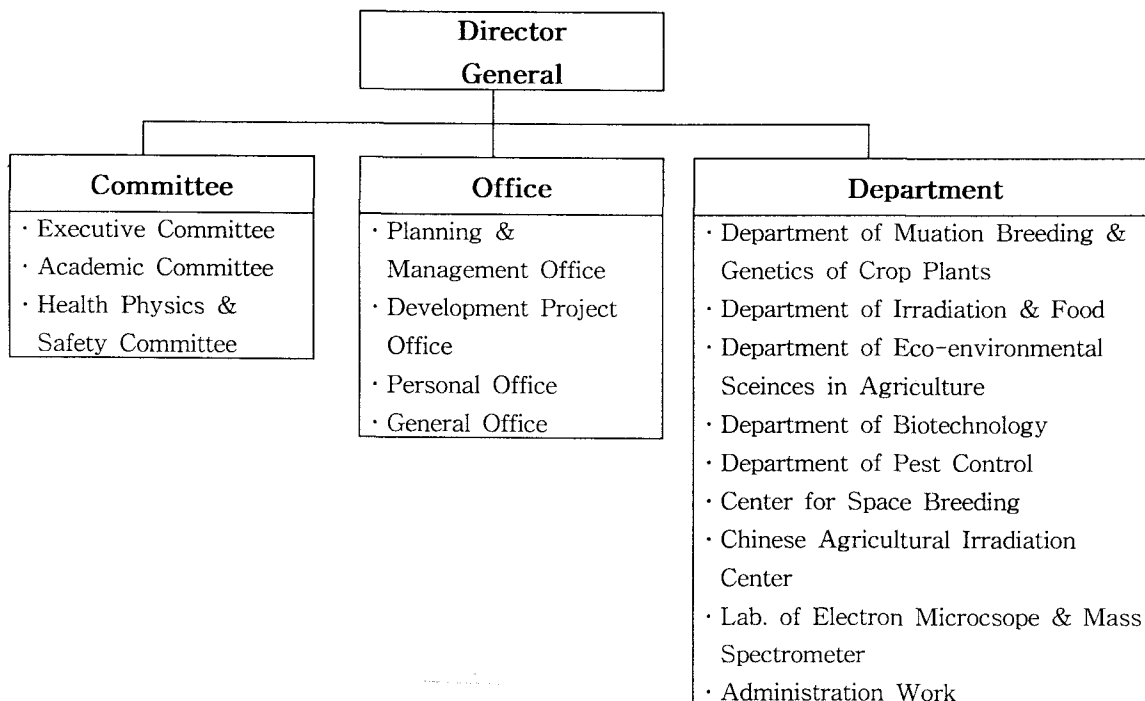
Tel:0086-10-62895356, Fax:0086-10-62896314,

Email:W371007@publicbat.net.cn

●설립: 1960년

●연구소장: Dr. Wei Yimin

●조직:



●인력:

중국 학술원 회원 1명
박사 지도 교수 3명
연구원(교수) 9명
부연구원(부교수) 40명
연구조원 및 기술원: 70명
행정원:4명등 총 194(고용원포함)

●주요 시설 및 장비

^{60}Co 조사기, 중성자발생기, 전자현미경, 질량분석기, 감마선측정기, 액체섬광계수기
TLC scanner, 고압액체크로마토그래프, 초원심분리기, 자외선/가시광선분광광도계, 적외선/형광광도계, 컴퓨터, 방사성동위원소 표지실험실, 중국 농업식품조사 센터

●기능

- 중국의 원자력 농업분야의 중심연구소
- 원자력 농업에 대한 기초 및 응용연구
- 원자력 농업에 대한 연구인력 양성(박사, 석사과정)
- 농업기술연구결과의 현장적용
- 농업 식품 조사 센터의 역할

● 연구분야

- 작물의 돌연변이육종
- 농업 방사선 생태 연구
- 농업에 동위원소 추적자 이용
- 근층의 방사선 불임기술
- 표지화합물의 조제
- 질량분석 및 전자현미경 서비스 운영
- 외국과의 학술협력(IAEA, FAO, EC, 대학과 연구소)

● 연구실별 주요업적

○작물 돌연변이 유전육종 연구실(Department of Mutation Breeding and Genetics of Crop Plants)

- 주곡작물(밀, 옥수수, 수수, 콩, 완두등)의 우수형질획득을 위한 돌연변이육종
- 겨울밀(Yuandong No. 3, No. 6), 옥수수(Zhongyuandan No. 4, No. 32), 수수등 20여품종에 대한 돌연변이 육종 성과
- 돌연변이 germplasm 은행 운영
- 새로운 방사선 돌연변이원(이온빔등) 개발 연구

○ 식품조사 연구실(Department of Irradiation & Food)

- 농산물 및 부산물에 대한 식품조사(선도, 저장성) 기술 개발
- 식품조사 기술의 상업화 연구
- 곡류, 콩, 양파, 담배, 수산물의 보존을 위한 식품조사기술

○ 생물공학연구실(Department of Biotechnology)

- 농업분자생물학, 식물세균의 다양성 및 작물근권에서 미생물과의 상호작용 연구
- 질소고정 효소의 구조, 질소 고정균 유전자 클로닝
- 식물 성장촉진세균, 생물비료개발 연구등

○ 농업생태환경연구실(Department of Eco-environmental Sciences in Agriculture)

- 토양, 식물생리, 질소고정, 농약의 잔류, 분해 및 축적, 비료의 이용율 연구
- 방사선 생태학 연구
- 방사성 표지 화합물의 합성

○ 해충방제연구실(Department of Pest Control)

- 방사선 해충 불임 기술 개발
- Aisa corn borer, peach fruit borer, cotton bollworm에 대한 인공배양 및 적정선량

○ 우주선 육종 센터(Center for Space Breeding)

- 1997년 설립
- 인공위성과 고공풍선을 사용하여 식물종자와 미생물에 대한 육종
- 알이 큰 완두콩 육종

○ 중국 농업식품조사센터(Chinese Agricultural Irradiation Center)

- 1995년 설립
- 중국정부와 IAEA지원에 의해 설립

- ^{60}Co (1,000,000 Ci) 조사기 설치
- 농산물, 식품의 조사공정, 방사선 검역처리, 위생품목의 멸균, 조사산물의 상업적인 응용
- 전자현미경 및 질량분석실(Lab. of Electron Microscope & Mass Spectrometer)
- 농업과학원 소속의 연구소 및 기타 연구소에 대한 분석지원

나. 중국절강성 절강대학교 원자력농업과학연구소(INAS ZJU)

(Institute of Nuclear Agricultural Sciences, Zhejiang University)

●주소: Hangzhou, Zhejiang 310029 P. R. China
 Tel:0086-571-8697 1200, Fax:0085-571-8697 1421
 E-mail: bjxu@zju.edu.cn,

●설립: 1958년

●연구소장: Dr. Xu Bu-Jin

●기능:

- 중국의 원자력농학연구의 key 실험실(농림부와 절강성지정)
- 농업생물물리(원자력농학)전공에 대한 인력양성(박사 및 석사과정)
- 원자력농업기술 훈련센터(국제원자력기구 지원)
- 원자력 농·수·축산 연구

●연구인력

학술원 회원; 1명(Prof. Chen Ziyuan)
 교수:8명
 외국객원교수: 2명
 부교수: 9명
 강사: 8명 총 27명

●연구시설 및 장비

^{60}Co 조사기, 감마선측정기, 액체섬광계수기, TLC scanner, 액체크로마토그래프, 적

외선/가시광선분광광도계등

●연구성과 등

- 16명 박사와 31명의 석사학위자 배출
- 농약의 안전사용을 위한 국가기준연구사업
- 방사선 돌연변이 육종 연구(벼와 밀 등 16개 품종 release)- 특히, Zhefu 802은 1986년부터 1994년까지 중국에서 가장 많이 재배되었던 품종이고 IAEA에 의해서 1998년 가장 우수한 돌연변이 품종으로 인정
- 우유시료의 RIA를 통한 젖소의 조기임신진단
- 세계최초의 기내변이기술에 의한 벼(Hezu 8) 품종 선발
- 국제원자력기구 CRP 및 TC사업 수행
- 식물의 방사선 돌연변이 육종기술에 대한 IAEA/FAO 지역훈련과정 개최(1986)

●연구분야

○원자력농학분야

- 환경과학: 농약의 환경생태영향연구, 방사선 생태학
- 토양비옥도-식물영양: 유채 적정시비량, 벼 광합성 및 비료이용 효율개선, 식물의 성장조절제작용기구
- 가축생산: 방사선면역법을 이용한 가축의 성호르몬 측정 및 임신효율증진

○식물돌연유전육종 및 식품조사

- 벼, 밀과 잔디의 돌연변이 육종, 농산물과 식품의 저장성 증진
- 응용생물리학: 방사선 상해기구, 생체분자의 수리, 방사선 유기 돌연변이 메카니즘, 분자와 막생물리, 분자생물학기법에 의한 ecdysteroid 합성의 신경조절 등의 연구

다. 중국 원자력 농학회(Chinese Agricultural Association of Atomic Energy)

원자력 농업학문에 대한 회원간의 학술교류, 학술발표, 교육과 훈련, 과학기술보급 정기간행물 및 책자 발간 등의 활동하기 위해서 설립됨.

○창립: 1979년

○회원수: 약 2000여명

Acta Agriculturae Nucleatae Sinica

원자력 농학보(ISSN 1000-8551) 격월간 발간: 17권 2호(2003. 4)

○ 학회조직:

회장: Wen Xian Fang(Institute of Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

이메일: Xianfang Wen@sina.com, 전화: 86-10-62896713,

Fax: 86-10-62812535

부회장: Xu Bu Jin(Zhejiang University)

이메일: hjxu@zju.edu.com 전화: 86-571-86971200, 팩스:86-571-86971421

Yang Jin Bo(An Hui Academy of Agricultural Sciences)

총무: Wang Zhidong(Institute of Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

이메일:w.zhiodong@sina.com 전화:86-10-62815838 팩스:86-10-62895356

○ 학회본부:

Institute of Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences

P. O. Box 5109, Beijing 100094, P. R. of China

전화: 86-10-62896713, Fax: 86-10-62812535

제 5 절 한·중 연구협의회 구성, 심포지움 및 협정체결

한·중간에 방사선 및 동위원소를 이용한 농업분야의 공동연구 등의 학술교류를 추진하기 위해서는 양국 간에 연구협의회를 구성할 필요가 있다. 당초에는 현재 관련분야에서 활발히 활동하고 중국과의 공동 연구 등의 학술교류를 원하는 교수 또는 연구원을 중심으로 소수의 그룹 협의회를 구성하고 중국과 교류하려는 것이 본 연구의 목표였으나 우리나라의 원자력농학 분야의 활성화를 위해서는 원자력 농업관련 연구회를 만드는 것이 좋다는 의견이 제시되어 방사선 농업생명과학 연구회를 창립하여 중국의 원자력농학회와 학술협정을 체결하였다.

1. 방사선 농업생명과학 연구회 창립

가. 연구회 결성회의

방사선농업생명과학연구회 결성을 위한 회의 및 세미나(붙임 안내장 참조)를 2003년 5월 9일에 한국원자력연구소에서 개최하였고 이 회의에 참석한 모든 분(31명)이 방사선 농업생명과학분야의 연구 및 산업 활성화를 위한 가칭 '방사선 농업생명과학 연구회'를 창립이 필요하다고 모두 인정하였다. 따라서, 연구회의 활동분야와 창립 추진 위원장과 분야별 발기위원 선출하였고 이어서 한국의 농업분야의 방사선 및 동위원소 추적자 이용 연구 현황을 파악하기 위한 세미나를 개최하였다(부록 1 참조).

○ 창립추진위원

창립 추진 위원장 : 유 장 곁(제주대)

○ 추진위원

자원개발: 은종선(전북대), 안상락(충남대), 배창휴(순천대), 서용원(고려대), 박재우(제주대) 송희섭(한국원자력연구소), 구대회(농진청 원예연구소), 양승균(농우바이오)

생물자원활용: 황한준(고려대), 이종욱(전남대), 권중호(경북대), 강일준(한림대), 변명우(한국원자력연구소)

생물환경: 유장곁(제주대), 이규승(충남대), 노희명(서울대), 한강완(전북대), 김진규(한국원자력연구소), 장병춘(호남작물시험장), 정봉진(한농)

○ 세미나발표주제

-식품 생명공학기술에서의 방사선 이용 현황 및 전망(한국원자력연구소 변명우 박사)

- 방사선 돌연변이 육종의 현황과 전망(한국원자력연구소 송희섭박사)
- 토양 비료 연구에서의 방사성동위원소 이용 현황과 전망(제주대학교 유장걸 교수)
- 농약분야 연구에서의 방사성 동위원소 이용에 관한 국내 현황 및 전망
(충남대학교 이규승교수)
- 안정성 동위원소의 농업 및 환경 이용(서울대학교 노희명교수)
- 첨단 방사선 연구센터 추진 상황(한국원자력연구소 국일환박사)

나. 연구회 창립 총회

2003년 10월 29일 한국원자력연구소에서 방사선 및 동위원소를 이용한 농업 생명과학분야의 연구 및 기술 개발을 활성화시키고 그 이용을 확대시키기 위한 공동의 노력을 하고 회원 상호간에 정보를 교환함으로써 관련 분야의 발전에 기여함을 목적으로 방사선농업생명과학연구회를 창립하였다(부록 1 참조). 초대 연구회 회장에 제주대학교 유장걸교수를 선출하였고 연구회의 사업목표는 다음과 같다.

- 방사선 및 동위원소 이용 기술 개발
- 학술발표 및 정보교환
- 회원 상호간의 공동연구
- 연구의 활성화 및 신진인력양성
- 연구시설 및 기기의 상호 이용 공유
- 외국 유관기관과의 학술교류 및 연구 협력 추진
- 기타 본 회의 목적달성에 필요한 각종사업

현재 가입된 회원수는 45명이 앞으로 신규회원을 많이 확보하여 학회로 발전시킬 계획 하에 있다.

연구회에 참여한 회원의 소속기관을 보면 다음과 같다.

○대학: 경북대학교, 고려대학교, 단국대학교, 서울대학교, 서울시립대학교, 순천대학교, 원광대학교, 전남대학교, 전북대학교, 제주대학교, 충남대학교
 연구소: 농촌진흥청 농업과학기술원, 고령지 농업시험장, 원예연구소, 제주농업시험장, 호남농업시험장, 한국원자력연구소

○기업체: 동부한농, 농우바이오, 그린피아
 이처럼 다양한 대학교, 연구소, 회사에서 참여하고 있어 원자력 농업분야의 활성화는

급속히 진행될 것으로 사료된다.

2. 심포지움, 교류협의회 개최 및 학술협정 체결

가. 한·중 원자력농업생명과학 심포지움

●추진과정

한·중간의 농업분야의 방사선 및 동위원소 기술 이용 현황을 상호 파악하고 우선 교류가능한 분야를 협의하기 위해 한·중 공동 심포지움을 2003년 11월 24일 제주대학교에서 개최하기로 하였다. 발표 주제분야는 2003년 7월 중국을 방문하여 중국측 원자력공동위원회 방사선 및 방사성동위원소 이용 실무그룹장(절강대학교 원자력 농업과학연구소)인 Xu Bu-Jin, 교수 그리고 북경의 중국 농업과학원 원자력이용연구소 Wang Zhidong(부소장), Liu Luxiang(돌연변이육종), Pan Jiarong(농약), Wang Xunging(RCA coordinator), Gao Meixu(식품조사), Wei Dong(기획)과의 협의를 통해 토양-식물, 농약, 작물돌연변이육종 및 식품조사로 정하였다.

●심포개최일시 및 장소: 2003년 11월 24일 제주대학교 교수회관

●심포지움시 발표자와 주제

-Use of isotope tracer in soil-plant relation study in Korea

Dr. U. Zang-Kual(Cheju National University, Korea)

-Current studies of radioisotopes in soil-plant systems in China

Dr. Yang Juncheng(Institute of Soil and Fertilizer/IAAE, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)

-Utilization of radioisotope techniques for pesticide research in Korea

Dr. Lee Kyu-Seung (Chungnam National University, Korea)

-Applications of radiotracer technique in pesticide studies

Dr. Guo Jiangfeng(Zhejiang University, China)

-Main achievements and current trends of plant mutation breeding in Korea

Dr. Song Hi-Sup (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

-Induced mutations for crop improvement in China

Dr. Liu Luxiang(Institute of Crop Science/IAAE, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)

-Current status of food irradiation in Korea

Dr. Lee Ju-Woon (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

-Status of food irradiation in China

Dr. Gao Meixu(Institute for Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)

● 심포지움 개최성과

중국의 토양-식물, 농약, 작물돌연변이육종 및 식품조사에 대한 연구동향과 성과를 파악하고 우리나라의 경우와 비교하는 좋은 계기가 되었다.

나. 연구협의회 개최 및 협정체결

한·중간의 원자력농학의 실질적인 교류를 위한 연구협의회를 개최하였고 한국의 방사선농업생명과학연구회-중국 원자력농학회간에 학술협정을 체결하였다(협정서등 부록 2 참조).

●일시: 2003년 11월 25일

●장소: 제주대학교 교수회관

●대표단:

한국측

유장걸(방사선농업생명과학연구회 회장)

송희섭(방사선농업생명과학연구회 부회장)

이규승(방사선농업생명과학연구회 감사)

박재우(제주대학교 방사능이용연구소장, 연구회 이사)

송성준(방사선농업생명과학연구회 간사)

강시용(방사선농업생명과학연구회 간사)

이주운(방사선농업생명과학연구회 간사)

한현수(한·중원자력공동위원회 방사선 및 방사성동위원소 이용 실무그룹장)

중국측

Xu Bu Jin(중국 원자력농학회 부회장,한·중원자력공동위원회 방사선 및 방사성동위원소 이용 중국측 실무그룹장)

Guo Jiangfeng(중국 중국 원자력농학회 간사)

●회의성과

○한국 방사선 농업생명 연구회와 중국원자력농학회간에 한·중 원자력공동위원회 틀 속에서 원자력농학에 관한 과학, 기술, 전문지식의 상호 교환을 촉진하고 확대시키기 위한 학술협정을 체결하였고 다음과 같은 활동하기로 하기로 합의함.

- 상호발간된 학술지 및 정보교환
- 상호공동연구추진
- 과학기술이전 협력
- 학술활동(학술회의, 공동심포지움,세미나 및 강의)의 교환

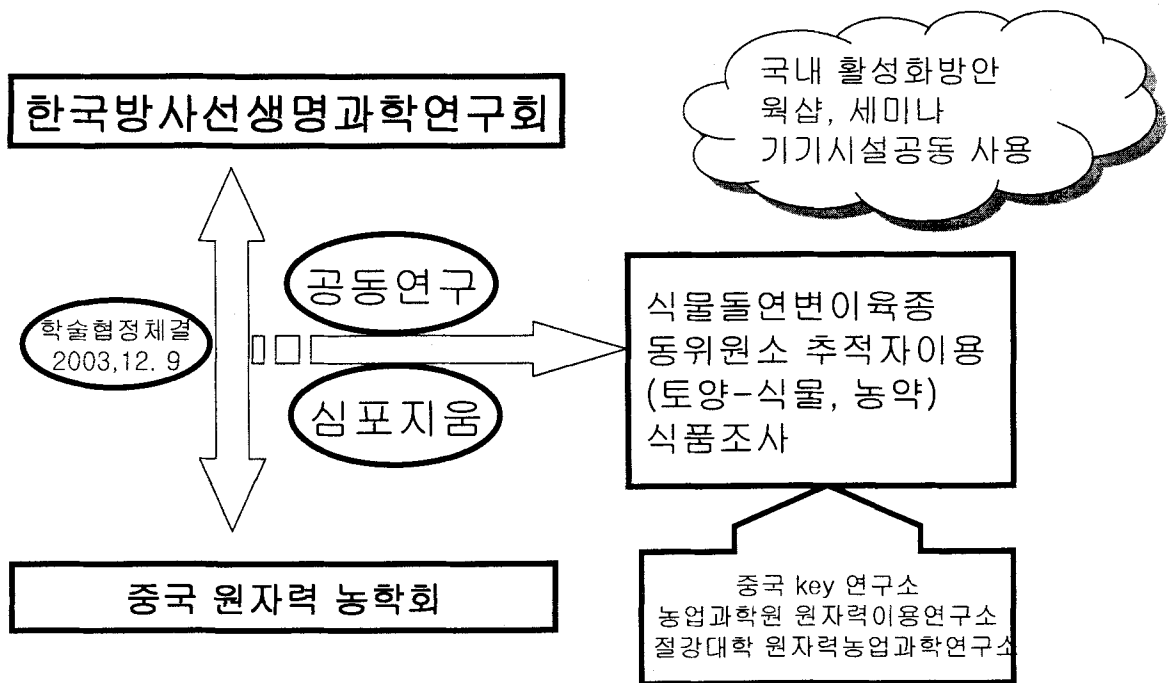
○특히, 2년마다 공동심포지움을 한·중 교대로 개최하기로 하였고 심포지움 주제는 토양-식물관계, 농약, 식품조사, 들연변이 육종분야중 한 분야를 개최된 협의하여 선정하기로 함.

○심포지움에서 발표한 4개주제 분야에 대한 한·중공동연구를 추진하기로 함

○학술협정 절차는 먼저 한국측 방사선생명과학연구회 회장 유장걸교수가 11월 25일에 협의회 개최 직후에 서명을 하였고 이를 중국 대표단 Xu Bu Jin교수가 휴대하여 귀국후 중국측 원자력농학회 회장 Wen Xian Fang교수에게 전달되어 12월 9일에 서명하였다.

제 6 절 한·중 원자력 농학분야 교류 및 협력기반 구축방안

한국의 방사선농업생명과학연구회와 중국의 원자력농학회간에 학술협정을 체결하였고 한·중원자력공동위원회 틀속에서 다음과 같은 한·중 원자력 농업분야의 교류 및 협력기반을 구축하였다.



중국에는 농업관련 원자력 이용 연구소가 많이 있으나 국가에서 가장 인정받는 연구소는 북경에 있는 중국 농업과학원 원자력이용연구소와 절강성에 있는 절강대학 원자력농업과학연구소이다. 따라서, 본 연구를 통해서 이미 중국과 합의된 4개분야인 식물돌연변이 육종, 토양-식물과 농약에서의 동위원소 추적자 이용, 식품 조사 분야에 대한 실질적인 공동 연구를 상기 두 기관 중심으로 추진할 수 있도록 계기를 마련하였다. 이것은 현재 우리나라의 원자력 농업분야의 현실을 감안하여 실질적인 연구에 종사하는 사람을 중심으로 기획된 것이다. 협력연구 분야는 양국의 학회채널을 통해 확대할 수 있도록 협의하였다.

한편, 양국의 공동연구를 통해 얻어진 연구결과는 2년에 한번 공동으로 번갈아 개최되는 심포지움을 통해 발표함으로써 양국의 원자력 농업분야의 학술교류를 공고히 하기로 하였다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

연구개발목표		연구개발목표달성도(%)	대외기여도
한중원자력공동위원회의 틀속에서 방사선 및 동위원소의 농업적 이용을 촉진하기 위한 연구	협업체구성을 위한 기초자료 조사	관련기관, 인력, 연구동향, 수준, 성과 (100%)	중국의 원자력 농학 연구성과, 동향 및 관련 핵심 연구기관과 관련 연구자에 대한 자료를 수집·정리함으로써 중국과의 원자력 농학분야의 원활한 교류를 위한 자료제공의 계기 마련
	연구협업체구성 및 협력위원회 개최	한국 방사선 농업생명과학연구회 창립 중국 원자력농학회와의 학술협정체결 한·중 원자력농업심포지움 및 학술교류회의 개최(100%)	국내 방사선 농학관련 연구자를 결집시키고 관련 연구를 활성화키는 계기의 마련과 함께 심포지움과 학술협정체결로 중국과의 학술교류를 구체화시키는 데 기여 하였음.
	구협업체구성과 연구교류방안	토양-식물영양, 농약, 돌연변이, 식품조사 분야에 공동연구를 연차적으로 추진하고 2년마다 분야별 심포지움 개최 정례화 (100%)	상호 교류 연구분야를 선정하고 심포지움을 정례화시킴으로써 지속적인 학술교류의 토대를 마련함.

제 5 장 연구개발결과 활용방안

본 연구를 통해서 농업에서의 한·중 원자력 농업 연구현황을 정확히 파악하는 계기가 되었고 양국의 실질적인 연구협력이 촉진되는 계기를 마련하였다. 또한, 국내 원자력 농업 분야 연구의 활성화와 많은 젊은 연구 인력의 양성을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 생각되며, 이를 통해 국제원자력기구의 공동연구프로그램 그리고 RCA사업에 대한 적극적인 참여가 증대되어 국제원자력기구 내에서 관련분야에 대한 국가위상이 제고에 도움이 될 것으로 기대된다. 또한, 본 연구의 결과물은 방사선 생명과학 연구회 회원들에게 배부하여 중국의 원자력 농업 연구 및 기술현황에 대한 이해를 돕게 하고 분야별 학술교류 증진하는 계기를 부여하는 데 활용하고자 한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보

1. Byun M. W., Lee J. W., Yook H. S., Lee K. H., Kim K. P., Lee C. H. 1999. Harmonized regulations for international trade of irradiated food in Asia and Pacific regions. *Food Sci Ind* 32:82-87.
2. Byun M. W. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.* 30:89-100.
3. Byun M. W. 1994. Application of irradiation techniques to food industry. *Radioisotope News* 9:32-37.
4. Byun M. W., Kim D. H., Yook H. S., Kim J. O., Cha B. S. 2001. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Doenjang*(fermented soybean paste). *Food Sci. and Biotechnol.* 10:7-11.
5. Fang Wen Xian, China Nuclear Agricultural Sciences, Henan Scientific and Technological Publishing House. 2001
6. Gao Meixu(2003) Status of food irradiation in China. Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
7. Goo DH (2000) γ -ray induced mutation of flower color in Chrysanthemum. Proc. Asia-Pacific Symp. on Nuclear Biothech. 85-94.
8. Guo Jiangfeng and Bujin Xu(2003) Applications of radiotracer technique in pesticide studies. Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
9. Guo, J Sun, J; Li, X: Studies on behavior characteristics of ^{14}C -pirimicarb in a green/soil system, *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 1995, 9(supple.): 100-106(in Chinese);
10. Guo, J., Sun, J; Zhai, L: Behavior of pirimicarb in aquatic ecosystem, *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 1996, 10(3): 177-180 (in Chinese);

11. Guo, J Sun, J: Studies on bound ^{14}C -chlorsulfuron residues in soil, *J. of Agric. and Food Chem.*, 2002, 50(8): 2278-2282;
12. Guo, J; Zhu, G; Shi, J Sun, J: Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils, *Water, Air and Soil Pollution*, 2003, 148 (1-4): 77-85;
13. Kang, Y. K., Z. K. U and B. K. Kang(1998) Nitrogen recovery and application method in a Satsuma Mandarin orchard. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert* 31(2):143-150.
14. Kang, Y. K., Z. K. U. and Y. C. Kim(2000) Distribution of fall-applied N in various parts of Satsuma Mandarins. *Korean J. Soil Sci. & Fert* 33(5):325-332.
15. Lee K. S.(2003) Utilization of radioisotope techniques for pesticide research in Korea. *Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University*(Nov. 24, 2003)
16. Lee, J. W., Yook H. S., Lee K. H., Kim J. H., Kim W. J., Byun M. W. 2000. Conformational changes of myosin by gamma irradiation. *Radiat Phys Chem* 58:271-277.
17. LI Yong, J. Poesen, YANG J.C., FU B., ZHANG J.H. Evaluating gully erosion using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ ration in a reservoir catchment. *Soil and Tillage Research*. 69 (2003) 107~115
18. Liu Luxiang, Zhao Linshu, Wang Jing et al. Biological effects of magnetic field-free space on wheat. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 16 (1) : 2-7, 2002
19. Liu Luxiang et al. Progress of mutational enhancement of genetic diversity in wheat, *IAEA/RCA Regional Workshop on Reviewing Results of Regional Mutants Multilocation*, Manila, Philippines, 27 - 31 October 2003
20. Liu Luxiang. and Qicheng Zheng, 1997. Space-induced mutations for crop improvement. *China Nucl. Sci. & Tech. Report*, CNIC01139/CSNAS-0111. China Nucl. Information Centre, Atomic Energy Press, Beijing.
21. Liu Luxiang(2003) Induced mutations for crop improvement in China. *Proceedings of Korea-Chin Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University*(Nov. 24, 2003)

22. Lee J. W. and M. W. Byun(2003) Current status of food irradiation in Korea. *In* Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
23. Song, H. S. and S. Y. Kang, I. S. Lee and D. S. Kim(2003) Main achievements and current trends of plant mutation breeding in Korea. Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
24. Song, H. S., J. K. Kim and Y. T. Lim (1999) A new variety of *Hibiscus syriacus* (Rose of Sharon) "Baekseol" selected from a gamma ray irradiated population. Korean J. Breed. 31(4):50-51.
25. Song, H. S., J. K. Kim and Y. T. Lim (2002a) A new variety of *Hibiscus syriacus* (Rose of Sharon) "Ggoma" selected from a gamma ray irradiated population. Korean J. Breed. 34(Extra 1): 85.
26. Song, H. S., J. K. Kim and Y. T. Lim (2002b) A new variety of *Hibiscus* "Daegoang" selected from a gamma ray irradiated population. Korean J. Breed. 34(2):
27. Song, H. S. and S. Y. Kang(2003) Current status and future of plant mutation breeding. Proceedings of the 2003 Fall Conference of the Korean Breeding Society and International Symposium.-Application of natural variation and induced mutation in breeding and functional genomics. p.24-34.
28. Song, S. J., C. H. Boo nd Z. K. U.(1999) Mineral absorption by *Cymbidium* Jungfrau in the solution culture. Koren. J. Environ. Agriculture 18(1):35-40.
29. Song, S. J., T. W. Kang, S. M. Sohn and Z. K. U.(2002) Transformation of ¹⁵N-urea and N utilization and nitrate accumulations of Chinese cabbage in two soils. World Congress of Soil Science Symposia 59 Abstract(Vol. V). p. 1827.
30. Song, S. J. and Z. K. U.(2003) Application of a ³²P bioassay for P-fertilization of citrus. J. Plant Nutrition (In preparation)

31. Song, S. J. and Z. K. U.(2000) Measurement of foliar absorption in *Citrus unshiu* Marc. using ^{14}C -labeled urea. Xth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition "Plant Nutrition for the Next Millennium Nutrients, Yield, Quality and the Environment" p. 235(Abstract)
32. Song, S. J. and Z. K. U.(1996) Development of the phosphorus diagnosis method for P-fertilization of citrus tree using P bioassay. J. Korean Soc. Hort. Sci.37(5):691-695.
33. U. Z. K., H. O. Kim, S.S. Kang, K. J. Yoo(1985) Studies on the sugar and organic acid in fruits of *Citrus unshiu* Marc. by ^{14}C tracer method. Ann. Rep. of App. Rad. Res. Inst. of Cheju National University 1:51-57.
34. U. Z. K. and S. U. Lim(1985) Effects of sulfur dioxide on carbon and sulfur assimilation and ion uptake by Barley(*Hordeum vulgare*) and Corn(*Zea mays*). Ann. Rep. of App. Rad. Res. Inst. of Cheju National University 1:109-159.
35. U., Z. K. and S. C. Shim(1968) The effects of electropotential differences on the inorganic ion uptake by rice plants. Korea Atomic Energy Research Institute Journal 8(1):27-35.
36. U. Z. K. and S. J. Song(2003) Use of isotope tracer in soil-plant relation study in Korea. Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
37. Yang Juncheng, Dongpu Wei, Guihua Li and Jianfen Zhang(2003) Current studies on the use of radioisotopes in soil-plant system in China. Proceedings of Korea-China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science, Applied Radioisotope Research Institute of Cheju National University(Nov. 24, 2003)
38. 張素梅. 淺談我國核農學的科技成果. 核農學通報, 1995(2): 86~89

여 백

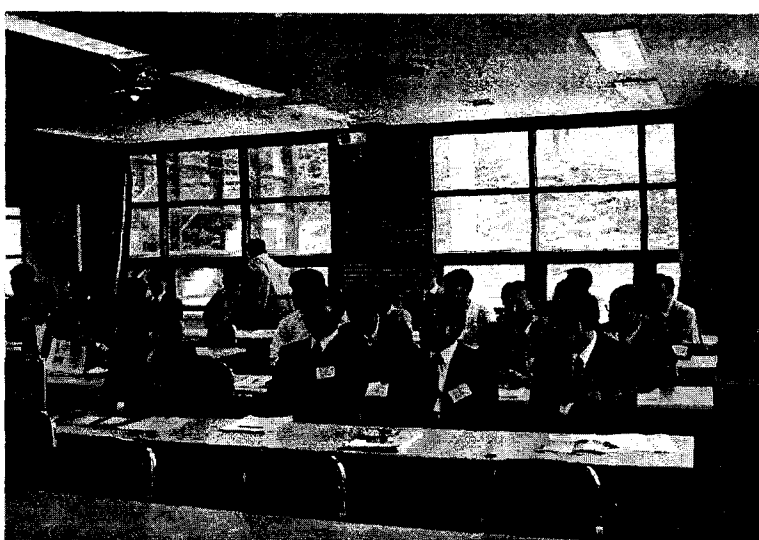
부 록

[부 록 1] 방사선농업생명과학연구회 창립 관련 자료

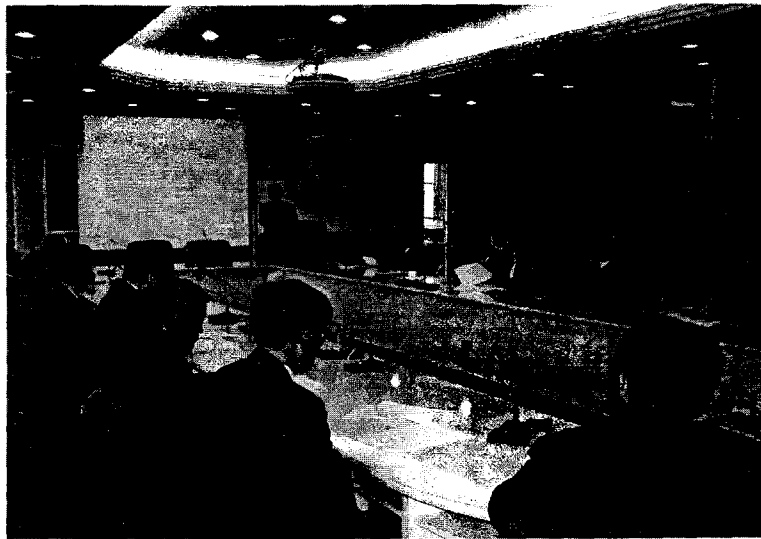
[부 록 2] 한·중 협력 협정 체결 및 공동 심포지움

여 백

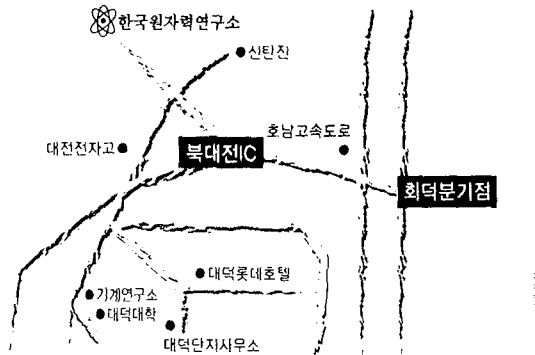
[부 록 1] 방사선농업생명과학연구회 창립 관련자료



방사선농업생명과학연구회 결성회의 및 세미나
2003년 5월 9일(금)
한국원자력연구소 INTEC 아토피아관



방사선농업생명과학연구회 창립총회
2003년 10월 29일(수)
한국원자력연구소 INTEC 아토피아관



참 조 : 북대전(대덕밸리) I.C로 나온 후 첫번째 신호에서 직진하여 약 500m정도 오시면, 한국원자력연구소 정문입니다.

연락처 : 제주대학교 방사능이용연구소
 제주도 제주시 아라 1동 1번지
 Tel. (064)754-2313 / Fax. (064)755-6186
 E-mail: jwpark@cheju.ac.kr

원자력 환경과학 연구회 정기회의 및 제1차



WHEN/WHERE

한국원자력연구소 연수원 INTEC아토피아관 2층
 (한국원자력 연구소 정문 앞 원편)
 2003년 5월 9일 (금) 13:30

초대의 글

방사선 및 동위원소이용 기술은 농업생명과학분야의 연구에 없어서 없어서는 안될 유용한 연구수단으로 전세계적으로 많이 활용되어 왔으나 우리나라의 경우에는 그리 활발하게 하지 못한것이 사실입니다.

이에 과학기술부는 2002년을 RT(Radiation Technology)의 원년으로 삼는 한편, 방사선 및 방사선 동위원소 이용 진흥법을 제정하여 향후 비발전 분야의 RT 기술개발을 위한 연구비 지원을 확대할 계획을 밝힌 바 있으므로 농업 생명과학 분야의 적극적인 참여가 요망되는 시점입니다.

그러므로, 방사선 및 동위원소를 이용한 농업 생명과학 분야의 연구 및 기술 개발을 활성화시키고 그 이용을 확대시키기 위해서 관련 분야에 일하는 분들이 결집하여 함께 연구하고 토의할 수 있는 연구회를 만들려고 합니다. 본 취지에 찬성하시는 분들은 부디 참석하셔서 연구회가 결성될 수 있도록 협조하여 주시고 향후 연구회의 발전 방향에 대한 많은 의견을 개진하여 주시기 바랍니다.

2003. 5.

제주대학교 방사능이용 연구소장
박재우 드림

- 13:30 ~ 14:00 등록
- 14:00 ~ 14:50 결성 회의
- 14:50 ~ 15:00 휴 식
- 15:00 ~ 16:45 세미나
- 15:00 ~ 15:15 첨단 방사선 이용 연구센터 추진 상황
(한국원자력연구소 첨단방사선 이용 연구 개발 단장 국일현 박사)
- 15:15 ~ 15:30 방사선 돌연변이 육종의 현황과 전망
(한국원자력연구소 송희섭 박사)
- 15:30 ~ 15:45 식품 생명공학기술에서의 방사선 이용 현황 및 전망 (한국원자력연구소 변명우 박사)
- 15:45 ~ 16:00 휴 식
- 16:00 ~ 16:15 토양 비료 연구에서의 방사성동위원소 이용 현황과 전망 (제주대학교 유장걸 교수)
- 16:15 ~ 16:30 농약분야 연구에서의 방사성 동위원소 이용에 관한 국내 현황 및 전망
(충남대학교 이규승 교수)
- 16:30 ~ 16:45 안정성 동위원소의 농업 및 환경 이용
(서울대학교 노희명 교수)
- 18:00 ~ 간담회



첨단방사선센터추진현황

한국원자력연구소
국일환

1. 사업 개요

- 방사선 특성을 연구하고 우리 삶에 이용하는 기술을 개발하는 국가중점연구기관인 원자력연구소 소속 첨단방사선이용연구센터를 2005년까지 설립하고, 의료, 공업, 환경, 자원, 농수산, 식품, 우주항공, 원자력발전 등 각종분야에서 방사선 이용산업을 육성하고, 이를 통하여 국민 삶의 질을 향상시키고 국가경제에 기여하고자 함.

- 규모 및 사업비 : 13.8만평, 사업비 : 477억원

- 사업기간 : 5년(2001 ~ 2005년)

- 설립위치 : 전북 정읍시 신정동 1266번지 일원

- 급증하는 세계 시장과 기술개발을 따라잡고 범국가적인 노력을 집중하기 위하여, 정부는 제 251 차 원자력위원회(2001.7.12, 국무총리 주재, 산자부, 과기부, 기획예산처 장관 참석)에서
 - 첨단방사선이용연구센터를 설립하고 이를 중심으로 방사선 이용기술을 개발하며, 원자력연구개발기금 중 이 분야의 투자 비율을 과거 10%이하에서 30%이상으로 상향조정한다라는 내용을 포함한 제2차 원자력진흥종합계획(2002~2006)을 의결
- 제2차 원자력진흥종합계획에 의거하여, 정부는 이미 2001, 2002년 방사선이용 분야 연구예산을 확대집중 투자하고 육성 중
- 정부는 최초 경기도 미금사 시험농장 이전을 목적으로 총예산 247억 원을 투자할 계획을 2002.7월에 변경하여
 - 사업목적은 첨단방사선이용연구센터 설립하여 방사선이용기술을 개발 육성하는 국가중점시설을 갖추도록 하고, 건설에 소요되는 예산을 477억원 수준으로 승인하고, 제2차 원자력진흥종합계획을 수행할 수 있도록 설립할 것을 요구함

2. 사업개요

- 총사업비 : 477억원(정부지원 : 417억원, 자체재원 : 60억원)
- 사업기간 : 2001년 ~ 2005년(5년)
- 대상설립지역 : 전북 정읍시 신정동 1266번지 일원
- 설립부지 규모 : 약 13.8만평
- 주요시설 :
 - 본관 및 방사선연구시설 : 2,000평
 - 감마선조사시설
 - 연구용 2기(고준위 100만Ci, 저준위 1만Ci)
 - 상업용 1기(고준위 100만 Ci - 민자유치)
 - 시험농장 및 감마 온실
 - 전자선 가속기(10Mev)
 - 이온빔 조사시설(300Kev)
 - 싸이클로트론(30Mev)
 - 실험동물 사육실 등

소요인원

구 분	현원	추가 소요인원	비 고
지원부	9명	30명	2002-2005 년 단계적 총원
사업부	0명	20명	2002-2005 년 단계적 총원
연구개발팀	25명	150명	2002-2005 년 단계적 총원
계	34명	200명	2005년까지 230 명으 로 증원

II. 인력 및 연구개발 투자계획

1. 인력운영 계획

□ 인력총원 원칙

- 연구센터의 소요인력은 2002년부터 단계적으로 총원함
- 연구센터의 인력총원은 대덕본소의 T/O와는 별도로 산정함
- 연구부서의 전문인력 총원은 원자력개발기금의 연구예산/
중점추진과제 등을 기준으로 배분함을 원칙으로 함

2. 년차별 총원계획

(단위 : M/Y)

부서별		년도별	2001 현원	2002	2003	2004	2005	합계
지 원 부			5	12(7)*	19*7)	26(7)	35(9)	35(90)
사 업 부			0	5(5)	10(5)	15(5)	20(5)	20(20)
연구 개발	동위원소생산 의료기술개발팀		1	9(8)	17(8)	25(8)	34(9)	34(33)
	식품,생명공학 기술개발팀		6	12(6)	18(6)	24(6)	31(7)	31(25)
	농생물자원개발/ 시험농장		7	13(6)	19(6)	25(6)	32(7)	32(25)
	공업기술개발팀		5	11(6)	17(6)	23(6)	30(7)	30(25)
	환경기술개발팀		3	8(5)	13(5)	18(5)	24(6)	24(21)
	방사선신제품 개발팀		3	8(5)	13(5)	18(5)	24(6)	24(21)
합 계			30	78(48)	126(48)	174(48)	230(56)	230(200)

* () : 당해년도 총원인원

세계 7위의 원자력 발전기술 보유국

- 1959년 원자력청 신설과 연구로 설치
- 1978년 고리1호기 가동
- 현재 17기의 원자력발전소 가동
- 과거, 방사선 의학연구소 소멸
- 방사선 농학연구소 소멸
- 전력생산 위주의 원자력 기술 성장
- 국민의 삶의 질, 조화로운 산업조성

21^o의 key word:

에너지 

환경

식량자원

국제시장과 국내 관련산업 규모

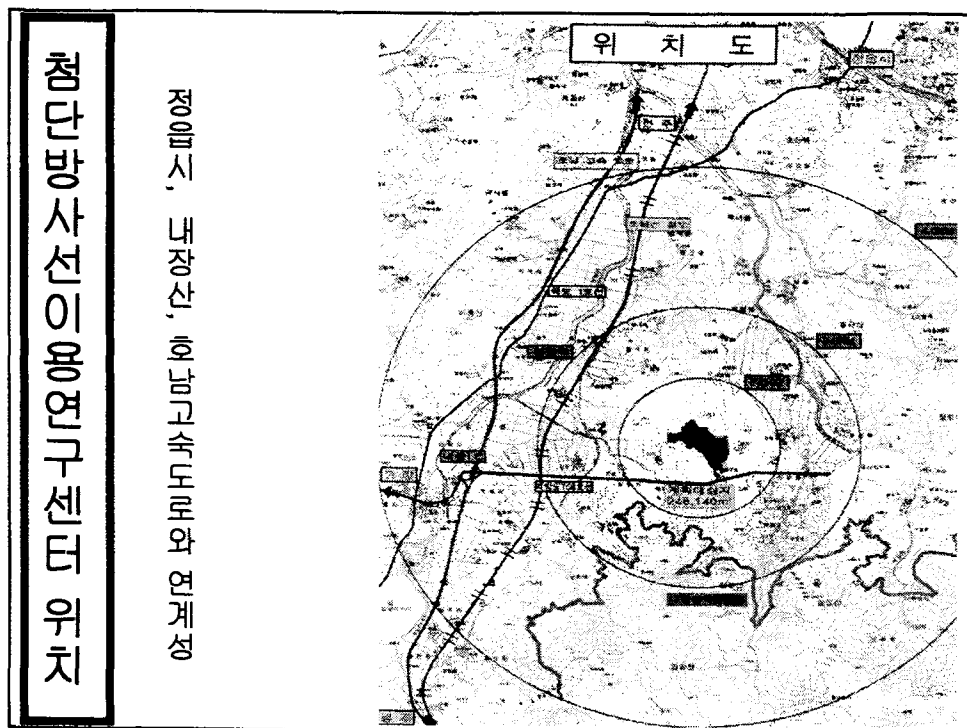
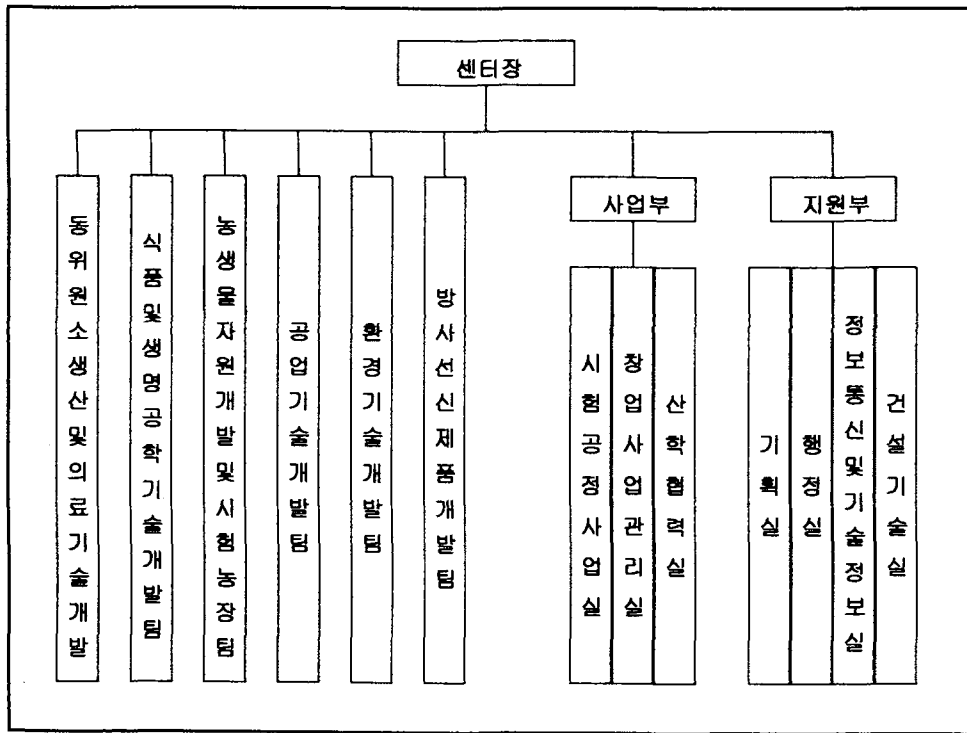
구분	기술	제품 및 산업	국제	국내
공업	고분자	전선, 튜브, 의료기기, 고분자 제품, 산업재, 자동차 부품, 건축재 등 신제품	360억불	9천만불
공업 및 환경	방사성 추적자	대형 플랜트 운용관리, 공해 및 하천 오염 추적, 광물 자원 탐사, 해사 이동	60억불	1,500만불
공업 / 안전	비파괴 기술	가스관, 노후 및 산업시설 안전진단, 박막 등 제품	60억불	3,000만불
환경	이온화 기술	대기 및 오폐수 정화	-	-

국제시장과 국내 관련산업 규모

구분	기술	제품 및 산업	국제	국내
공업	고분자	전선, 튜브, 의료기기, 고분자 제품, 산업재, 자동차 부품, 건축재 등 신제품	360억불	9천만불
공업 및 환경	방사성 추적자	대형 플랜트 운용관리, 공해 및 하천 오염 추적, 광물 자원 탐사, 해사 이동	60억불	1,500만불
공업 /안전	비파괴 기술	가스관, 노후 및 산업시설 안전진단, 박막 등 제품	60억불	3,000만불
환경	이온화 기술	대기 및 오폐수 정화	-	-

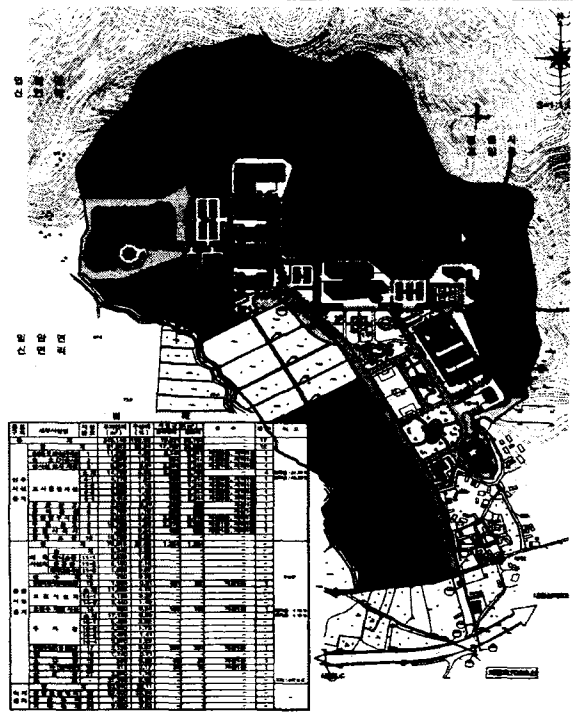
제2차 원자력 진흥종합 5개년 계획 251차 원자력위원회(2001.7.12) 결정

- 첨단 방사선이용연구센터를 설립
- 센터를 중심으로 농학, 생명과학, 공업, 식품, 의료, 환경 분야에서 방사선 이용기술을 개발
- 방사선 이용기술 개발분야의 원자력개발기금 투자비를 과거 10%에서 30%로 상향조정
- 원자력연구소는 전국 72곳, 전북 23곳 탐사, 정읍시 신정동 금구마을 일원 13.8만평을 연구센터 후보부지로 선정 설립 추진



첨단방사선이용연구센터

시설 배치도

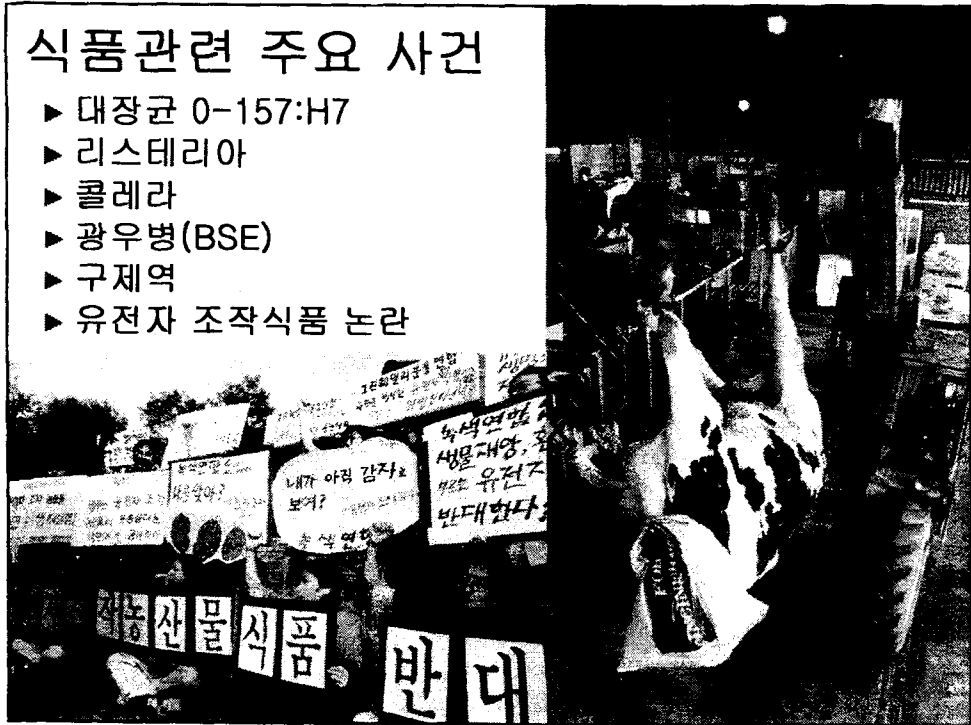


식중독 전염병

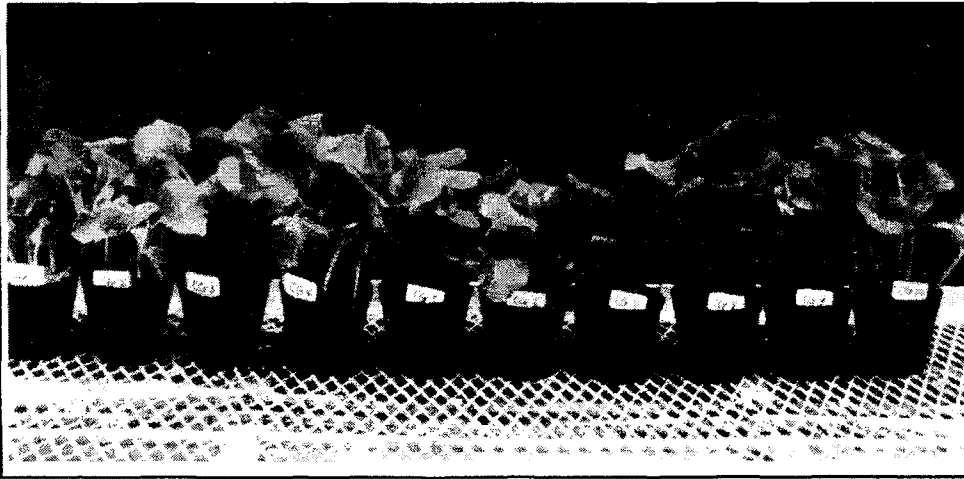


식품관련 주요 사건

- ▶ 대장균 0-157:H7
- ▶ 리스테리아
- ▶ 콜레라
- ▶ 광우병(BSE)
- ▶ 구제역
- ▶ 유전자 조작식품 논란



방사선은 적당히 쪼이면
생물을 건강하게
생육 증가, 수명증가, 활성화



농사도 이제는 국제경쟁에 이겨야 산다



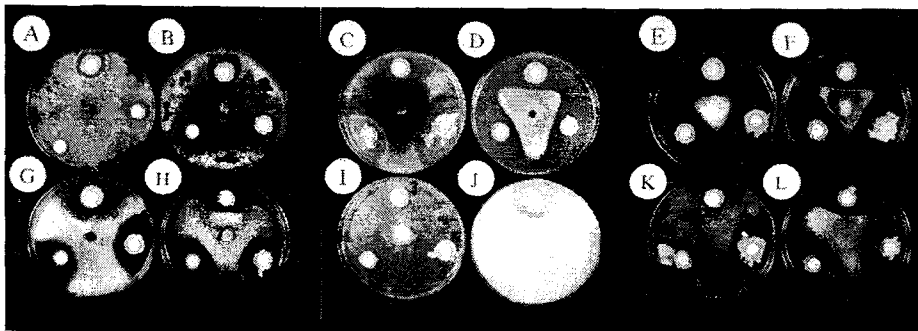
화훼, 종묘 사업 등은

자손에게 물려줄 귀중한 유산

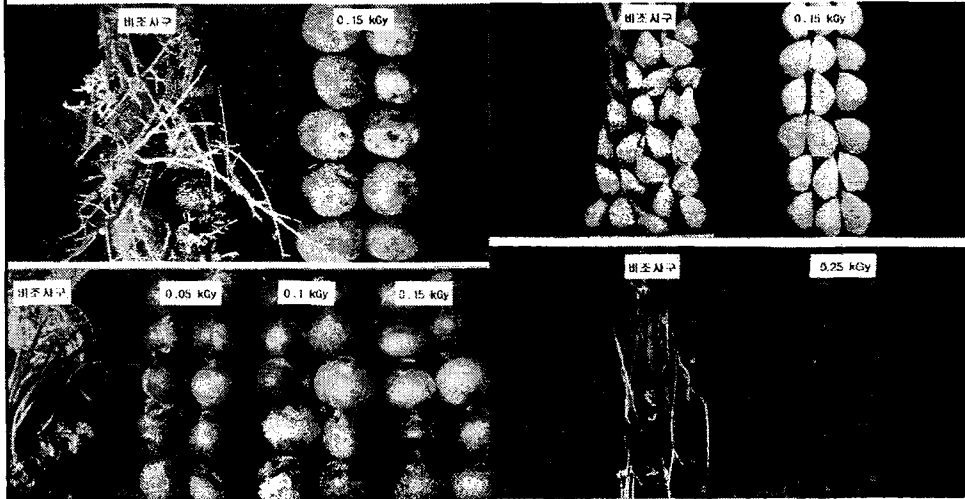


농토, 토양은 보존되어야

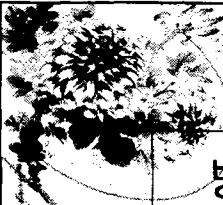
농약 없이 미생물 제재, 생산성 증대



감자, 양파에 방사선을 쬐어 발아 및 생리작용을 억제시켜
자연저온(음 저장)에서도 1년간 안전 저장



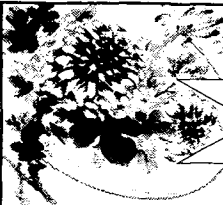
마늘, 밤에 방사선을 쬐어,
발아, 발근 및 생리작용을 억제시켜
자연저온(음 저장)에서도 1년간 안전 저장



방사선 돌연변이 육종의 현황과 전망

2003. 5. 9.

한국원자력연구소
방사선이용육종연구실
송희섭



내 용

1. 방사선 돌연변이 육종이란?
2. 국외 연구개발 현황
3. 국내 연구개발 현황
 - 한국원자력연구소 방사선육종연구실
연구개발 현황
4. 앞으로의 전망

1. 방사선 돌연변이 육종이란

Mutation Breeding ?

돌연변이원(Mutagen)을 식물체에 처리하여 염색체나 유전자의 변이를 일으켜서 유용한 변이체를 후대에 걸쳐 선발 육성하는 육종기술

Mutagen ?

- Physical: 방사선(X, gamma, 중성자, 이온빔, 우주방사선), 자외선
- Chemical: EMS, MNU, EI, DES
- Biological: tissue culture, transposon

육종기술?

염색체/유전자의 가감승제...

+,- : 교잡육종

+ : 형질전환(유전자도입) 육종

-, (+) : 돌연변이 육종


× : 배수체 육종 ($2n \rightarrow 4n \rightarrow 8n$)

÷ : 반수체 육종 ($2n \rightarrow n$)



돌연변이 육종의 장점

- 1-2개 유전자 (형질)의 개량에 유리 → 기존 유망품종의 단점 개량
- 일년생, 영년생, 종자번식, 영양번식 등 다양한 식물에 적용 가능
- 유전변이 및 육종소재 확대에 기여 → 유전자원이 빈약한 자생식물, 외국도입 작물 등의 품종 육성 및 한계에 직면한 기존 작물의 육종 소재 확충에 적용 가능
- 형질전환, 교잡육종에 비교하여 소요경비 및 시간이 짧음 편임
- 방사선 돌연변이 품종의 안전성 확보 (GMO의 식품/환경 위해성 논란)



2. 국외 연구 개발 현황

- 1927 Muller X선을 이용 초파리 돌연변이 유발 증명
- 1928 : Stadler X선 조사 보리의 돌연변이 유발 확인
- 세계 2차대전 이후 원자력의 평화적이용의 일환으로 방사선 및 방사성동위원소의 농학적 이용연구 활발
- 1960년대 FAO-IAEA Division of Nuclear Tech. In Food & Agri., Vienna와 FAO-IAEA Agri. & Biotech. Lab., Seibersdorf 설립에 따른 방사선 육종의 활성화
- FAO-IAEA Mutant Variety Database : 63개국, 172식물, 2265 품종 (2002년도)

국별 돌연변이 육성 품종수 (FAO-IAEA database, 2002)

순위	국명	품종수	순위	국명	품종수
1	중국	605	15	불가리아	30
2	인도	259	15	폴란드	30
3	러시아	210	17	베트남	29
4	네덜란드	176	18	스웨덴	26
5	독일	139	18	기아나	26
6	미국	128	18	아이보리코스트	26
7	일본	120	21	대한민국	25
8	프랑스	42	22	방글라데시	24
9	이탈리아	36	23	벨지움	23
10	브라질	35	23	이라크	23
10	캐나다	35	25	덴마크	22
12	영국	34	-	-	-
13	파키스탄	33			
14	슬로바키아	31		합계	2265

작물 유형별 돌연변이 육성 품종수 (FAO-IAEA database, 2002)

식량·공예작물	품종수 (%)	원예·기타 작물	품종수 (%)
주곡류	995 (43.9)	화훼류	438 (19.3)
두류	312 (13.8)	과수류	55 (2.4)
잡곡류	78 (3.4)	채소류	66 (2.9)
공예작물	81 (3.6)	사료작물	42 (1.9)
유료작물	59 (2.6)	잔디	5 (0.2)
		기타	134 (5.9)
		총합계	2265

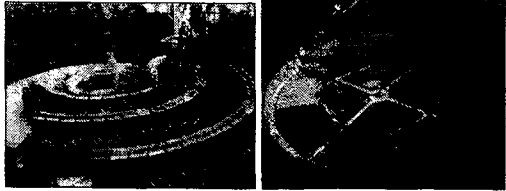
개발도상국일수록 식량작물의 비중이 선진국일수록 원예작물의 비중이 높음.

돌연변이 유기기술별 육성품종 비율


- ▶ 감마선 조사 : 46%
- ▶ X선 조사: 14%
- ▶ 화학 변이약제 처리 : 8%
- ▶ 기타 - 대부분 복합처리

일본의 연구개발 동향

감마 필드/온실 활용한 품종 개발 - 과수, 영년생 식물 등



花に重イオンビームを照射する



중이온빔 조사 품종개발 - 화훼류

중국의 연구개발 동향

- 식량작물 중심 품종개발 연구 활발 - 벼 품종 육종수 세계 최대 (600 여 품종)
 - 대부분의 성(省) 단위에 방사선 육종 연구조직 존재
 - 대학 및 Institute for Application of Atomic Energy 연구 활발
 - 최근 우주방사선(宇宙船/氣球) 노출에 의한 품종개발 성과는 특기할 만함.
- 벼(Hangyu 1, Yuhang 2, Hangtian 2), 단고추, 버섯, 팥 등에서 유망 계통 선발 육성중.
- 우주방사선에 노출된 식물 배양체의 생장이 매우 빠른 것 확인

3. 국내 연구개발 현황

우리나라 돌연변이 품종육성 실적

작물명	품종명	품종수
벼	밀양10호, 원평벼, 원광벼, 원미벼, 흑선찰벼, 원청벼, 원품벼, 원추벼, 흑광찰벼, 녹원찰벼, IRI 307	11
보리	방사6호	1
콩	KEX-2, 방사콩	2
참깨	안산깨, 수원깨, 양백깨, 풍산깨, 서둔깨, 수원155	6
무궁화	백설, 꼬마, 선녀, 대광	4
구기자	유성1호	1

경쟁국에 비해 육성 품종수 적고, 일부 작물에 편중됨.

방사선이용 육종연구실의 연혁

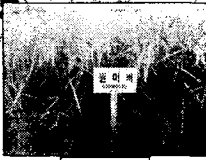
- 1963 : 원자력연구소 생물학연구실 (방사선농학연구시작)
- 1965.4 : 방사선 농업연구실 발족
- 1966.11 : 방사선농학연구소 발족 (4개연구실: 유전육종, 생리 영양학, 작물가축보호학, 식품공학 및 시험농장)
- 1968.2 : 시험농장 구입 (200Ci 감마필드)
- 1973 : 원자력연구소와 통합(유전육종연, 영양생화학연)
- 1977.4 : 방사선농학연구실, 환경화학연구실
- 1985.2 : 방사선유전공학연구실, 방사선식품공학연구실
- 1993.6 : 기초과학실 (방사선유전자원팀, 원자력시험농장운영팀)
- 1997.10: 하나로이용연구단 (동위원소·방사선응용연구팀, 원자력시험농장)
- 2002. 11: 첨단방사선이용연구개발단 (방사선이용연구실, 원자력시험농장)

방사선이용 육종연구실의 최근 연구개발 동향


- 고품질 돌연변이 벼 품종 육성 및 보급
- 생활친화형 신행질 돌연변이 무궁화 품종 및 관상수목 개발
- 대두 유망 돌연변이 품종육성 및 유전자원 확보
- 들깨/고구마 유망변이체 선발 육성
- 기내 세포주 선발에 의한 방사선 돌연변이 내염성 벼 품종 개발
- 기내 세포주 선발에 의한 방사선 돌연변이 고 아미노산 벼 품종 개발
- 제초제저항성 돌연변이 세포주 선발 벼/밀 육성 (공동연구)
- 자원식물의 돌연변이 품종화

고품질 돌연변이 벼 품종 개발

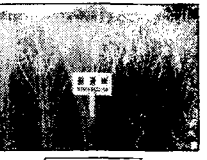
벼 신품종 특허 5건



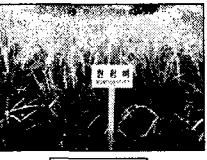
원미벼



흑선찰벼

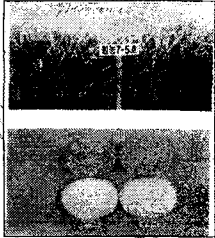


원광벼

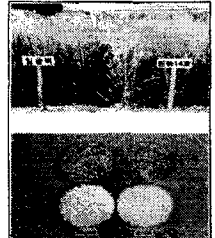


원명벼

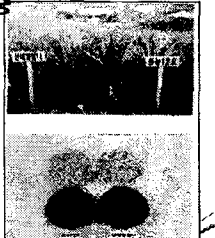
벼 신품종 특허 4건 신청: 심사



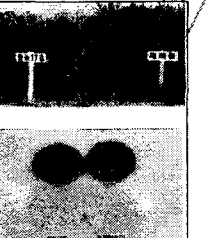
원추벼 (원농 7-5호)



원풍벼 (원농 14호)




흑광찰벼 (원농12호)

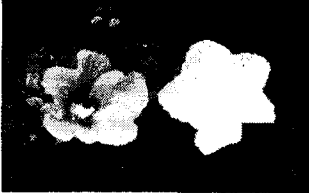


흑원찰벼 (원농 17호)

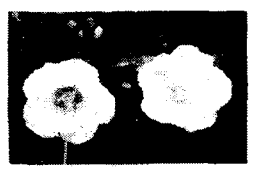
무궁화 신 품종 육성



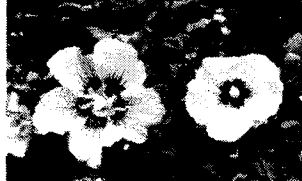
신품종 꼬마(분재용)




(좌) 개월향, (우) 신품종 선녀



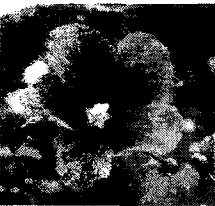
화왕과 백실




(좌) 신품종 대광, (우) 영광




파랑새에서 선발한 변이종



원농9호



원농20호



검꽃 변이체 (원농21호)

관상식물 유망 돌연변이체 선발 육성



(좌) 자주담개비, (우) 흰꽃 변이체



(좌) 자귀나무, (우) 자귀나무 변이체



항나무 아조 변이체



항나무 수형 변이체

콩 유용변이 품종육성 및 유전자원 관

유해성분 저감 대두 변이체 선발/육성

- 환경 오염원인 **phytic acid** 저항량 콩 개발 : 황금콩 유래 유망 9계통 최종 선정
- 검정콩 유래 비린내 제거 **Lipoxygenase (Lx-1, Lx-2, Lx-3)** 저항량 품종 개발

조숙, 내병성 변이 계통 선발 육성

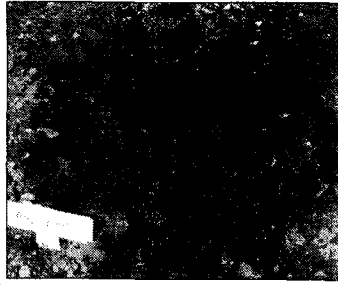
- 재래종 유래 내병성 돌연변이 계통 선발 육성
- 소립종 및 중소립종 돌연변이 계통 후대검정
- 검정콩 조숙변이 계통 후대검정
- 밤밀콩용 서리태 조숙/다수성 변이 선발 계통 후대검정



콩 유전자원 유지관리

- 한국 재래종 및 유망 계통 유전자원의 확보, 평가 및 유지 - 약 4000계통

들깨, 고구마 신형질 돌연변이 계통육성



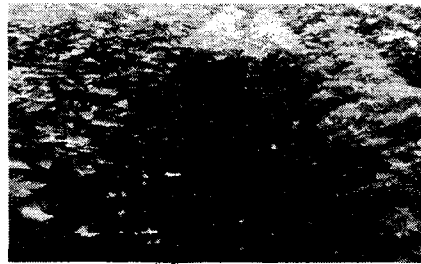
고구마 지상부 변이체



조속 외성 변이체 (우)

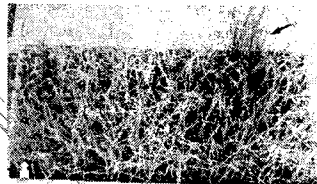
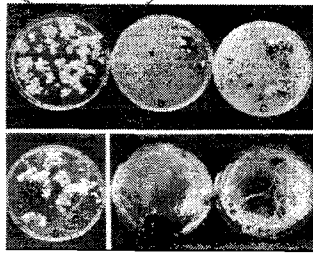


잎 모양 변이체(좌)

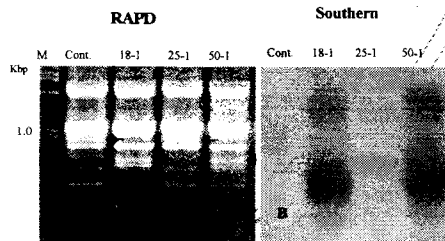


죽엽자소 변이 계통

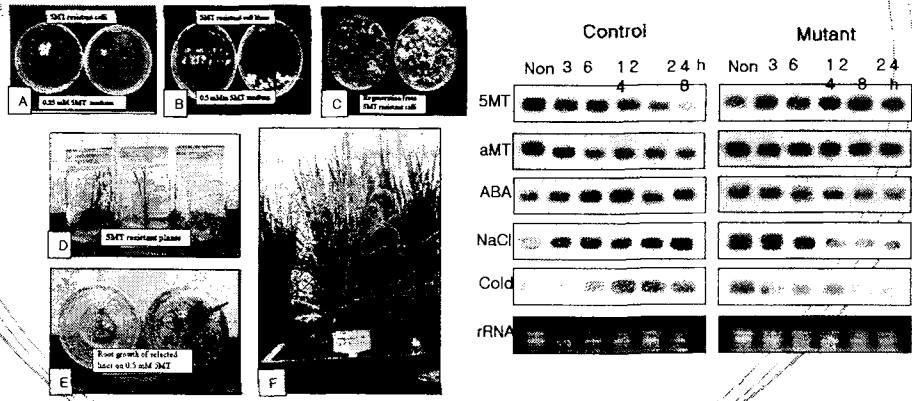
방사선 돌연변이 기내 세포주 선발에 의한 내염성 벼 품종개발 및 분자 마커 개발



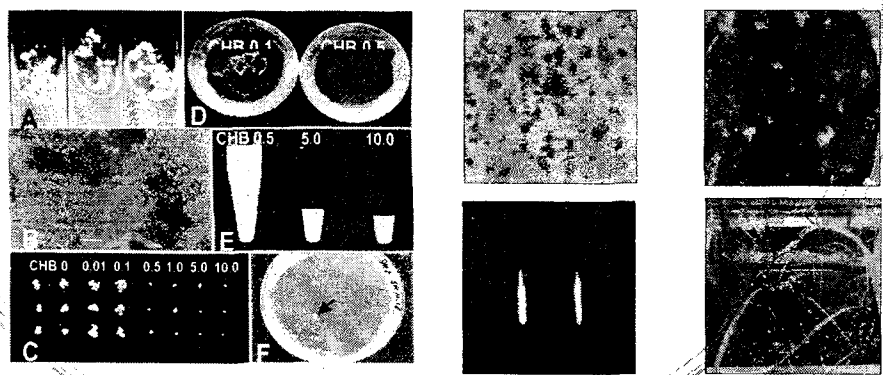
간척지 포장 내염성 평가 (계화도, 도비도)

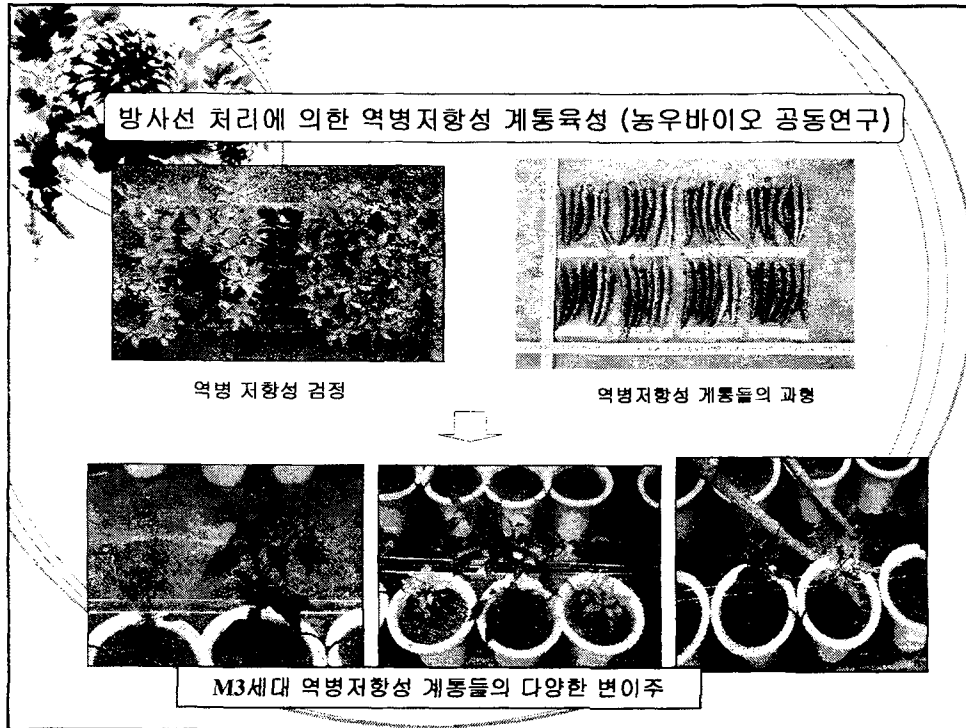


방사선 돌연변이 기내 세포주 선발에
고아미노산 버 품종 개발 및 유전분석



방사선을 이용한 제초제 저항성 세포주 육성 및
분자 마커 개발 (순천대, 고려대 공동연구)



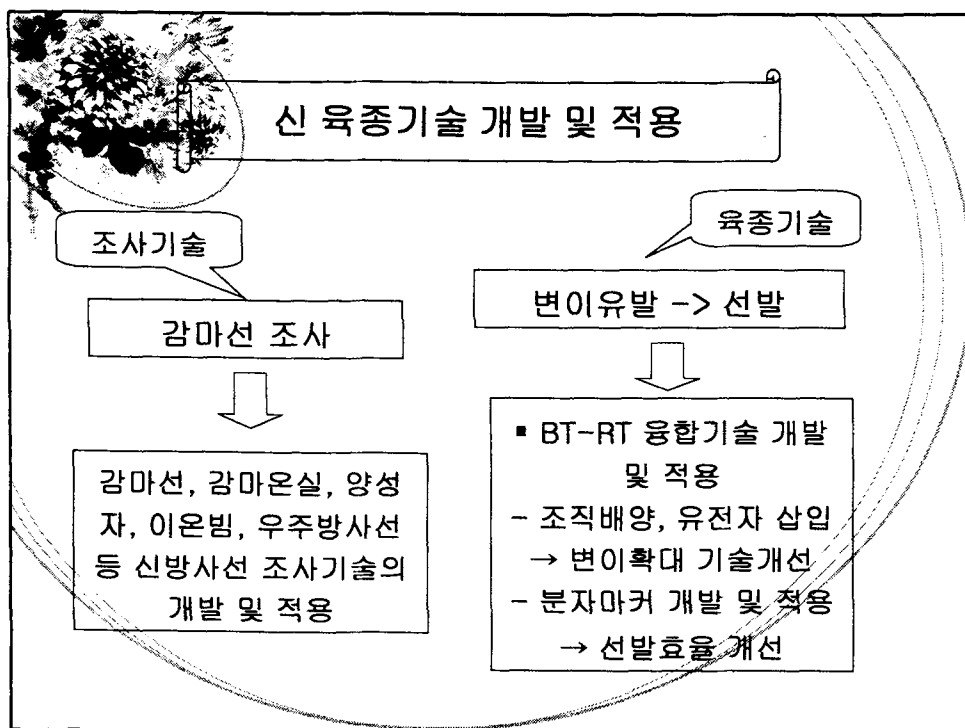
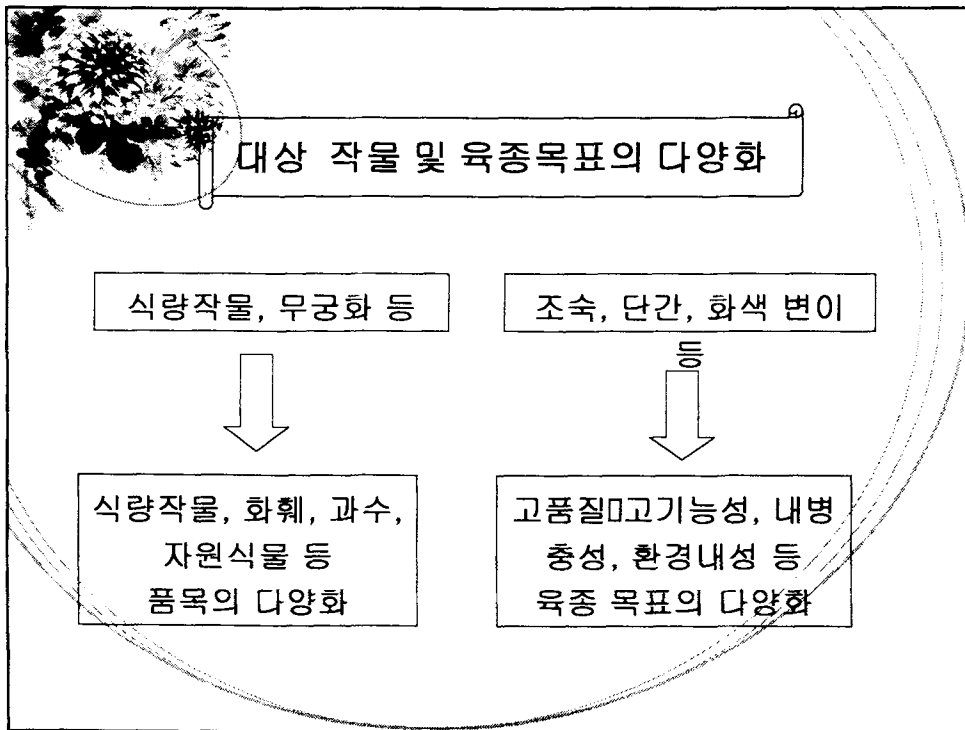


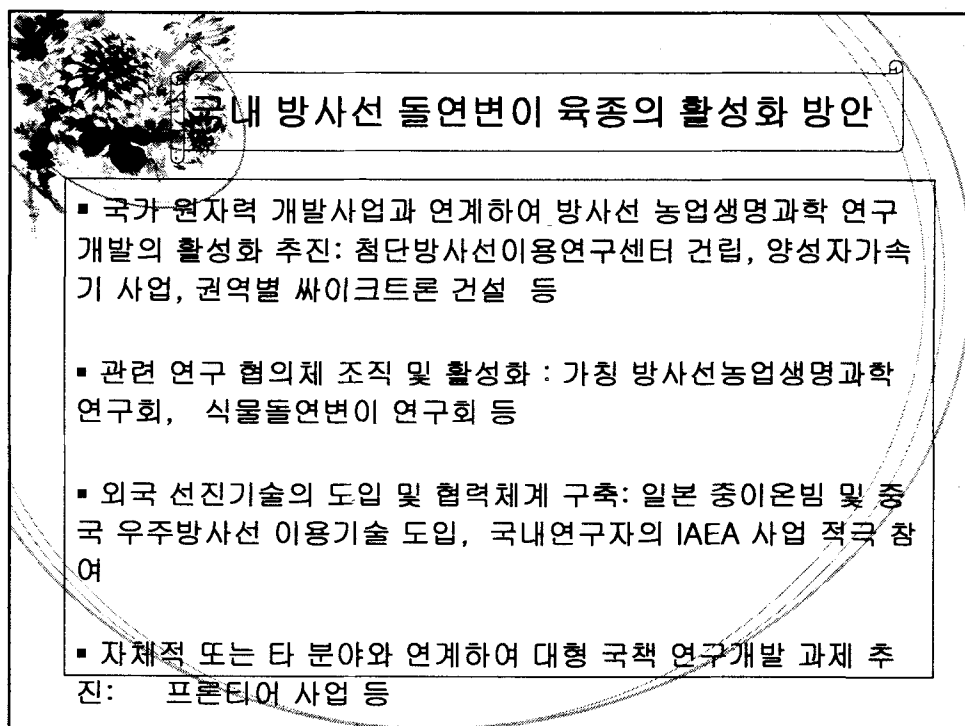
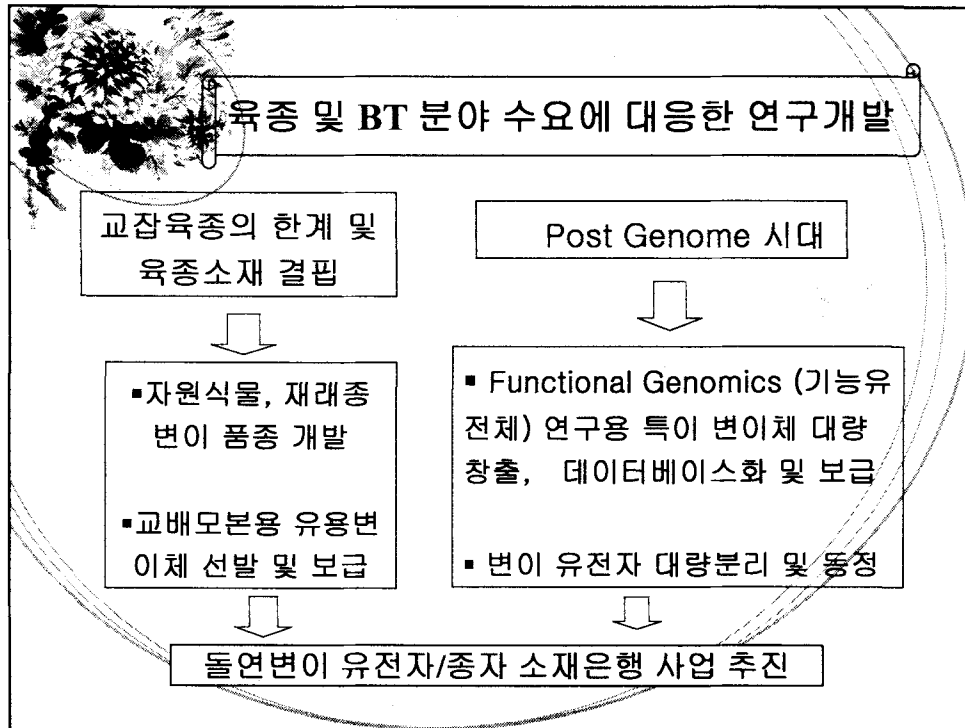
4. 앞으로의 전망

-연구개발 추진계획-

국내 방사선 돌연변이 육종에 대한 SWOT 분석

<p>S(강점):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 육종 기간 및 비용면에서 효율적 • 환경 및 식품위생적인 측면에서 안전 • 유전변이 확대 창출에 유효- 교배 모본용 및 기능유전체 연구용 	<p>W(약점):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 연구인력 및 연구지원 미비 • 방사선 품종개발 일부 작물에 편중 • 국내 중요시장의 영세성 및 중요업체의 해외자본 침투
<p>O(기회):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Post-Genome 시대의 기능유전체 연구용 돌연변이체 수요 급증 • 첨단방사선이용연구센터 설립 (2005년 예정) 	<p>T(위협):</p> <ul style="list-style-type: none"> • BT 분야의 급속한 발달 및 농업경쟁력 상실에 따른 방사선 품종개발 연구에 대한 관심 저하 우려



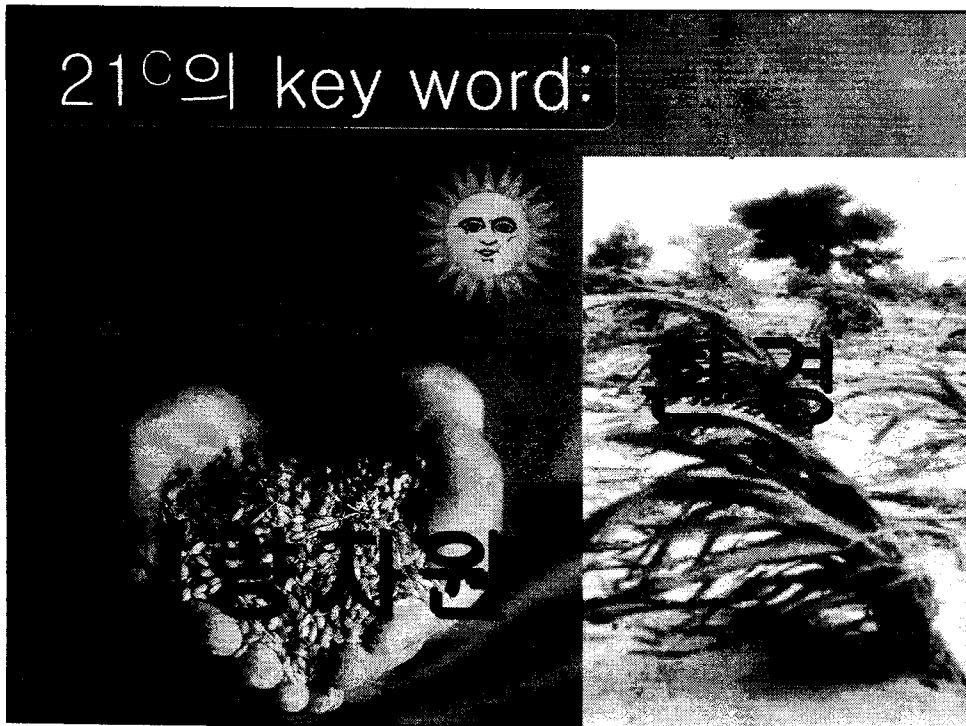


식품생명공학기술 분야의 방사선 이용 현황과 전망

변 명 우
한국원자력연구소
방사선이용연구부



21st의 key word:





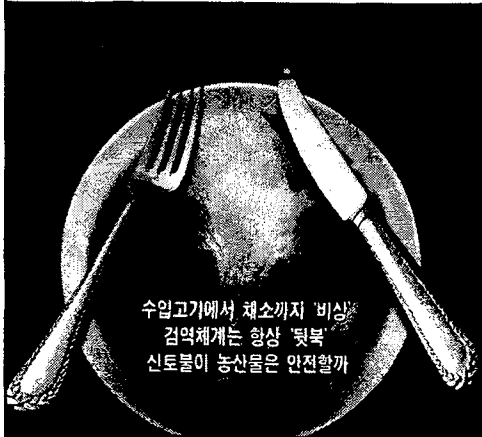
21세기 식량 위기

- ▶ 식량 생산이 인구 증가에 미치지 못하는 맬더스적 위기
- ▶ 전쟁과 자연재해에 의한 우발적 위기
- ▶ 기후의 순환적 변동과 지구환경/생태계 파괴에 의한 식량 생산량 감소/불능
- ▶ 식량생산국의 정치적 전략
- ▶ 국제적 식량재고 수준의 저하경향
- ▶ 도시집중화 인구분포 및 식습관의 다양화
- ▶ 국제기관의 딜레마
- ▶ 기존방법의 식량 증산의 한계
- ▶ 식량의 증산
 - 직접 수단에 의한 증산
 - 간접 수단에 의한 증산



먹거리의 안전성

- ▶ 집단적/대형 식중독 발생
- ▶ 내수/수입 식품류의 유해성 문제
- ▶ 수확 후 방부제/보존제 처리
- ▶ 구멍 뚫린 검역체계 논란



식품관련 주요 사건

- 대장균 0-157:H7
- 리스테리아, 콜레라
- 광우병(BSE), 구제역
- 단체급식/즉석식품류를 통한 식중독('03년 1/4분기 10여건 보도)

식품 유래 병원성 미생물에 의한 피해 (미국)

- 식중독 질환자 및 사망자 :
650만 - 3,300만 명/년
9,000여명 사망
- 질병관련 직접비용 :
29억 - 67억 달러/년
- 부가적인 경제손실 :
197억 - 349억 달러/년
- *E. coli* O157:H7에 의한 발병 및 사망 :
7,000 ~ 20,000명/년
경제적 손실 :
1억7천만 ~ 4억7천만 달러/년

(미국질병통제센터, 1999)

식중독 피해를 예방하기 위한 미국의 조치

미국질병통제 센터(CDC, 2001):

- ◆ 식육에 대한 방사선 조사로 식중독 발생건수 절감 기대
 - 식중독 질환자 : 650만 - 3,300만 명/년 → 88만 명
(86.5 - 97.3% 발생률 감소)
 - 식중독 사망자 : 9,000여명 → 350여 명
(96.1% 감소)

미농무성(USDA):

- ◆ 병원성 미생물로부터 발생하는 식중독을 예방하기 위해 미국 내 학교급식에 사용되는 모든 식육 및 그 가공품에 대한 방사선 조사 승인(2002. 10.25)

방사선 조사기술의 이해

FOOD IRRADIATION

식품조사 공정

- 바람직한 이익을 목적으로 이온화 에너지를 식품산물에 처리

식품 및 공중보건산업에서 이용될 수 있는 방사선의 종류

방사선	선원	반감기	이용에너지 (MeV)
감마선	Co-60	5.3년	1.17, 1.33
	Ce-137	30년	0.66
전자선	전자가속기에서 발생 (10 MeV 이하)		
X선	기계적으로 발생 (5 MeV 이하)		

방사선 조사선량의 단위

◆ 방사선 흡수선량 단위

- 1 Gy = 100 rad(래드) = 1 J/kg
- 1 rad : 피조사체의 종류에 관계없이 물질 1g당 100erg의 방사선 에너지를 흡수 (1 rad = 100 erg/g)

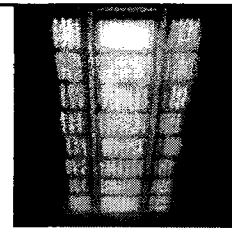
- ◆ 식품 및 의료제품의 방사선 조사에서는 조사선량으로서 rad가 사용되어 왔으나 최근에는 Gy로 대체되었다.

살균방법별 특성과 영향인자 비교

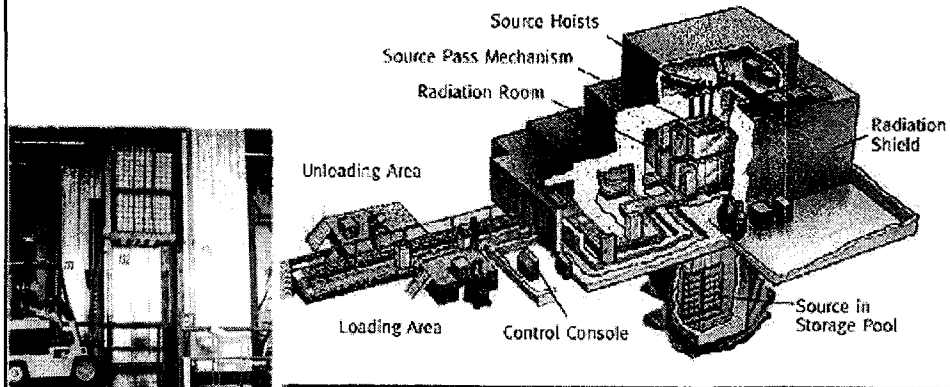
항목	건열살균	습열살균	가스살균	방사선살균
온도	+	+	+	-
시간	+	+	+	+
압력	-	+	+	-
습도	-	NA	+	-
건조/탈기	NA	+	+	NA
물질과 작용	산화적분해	가스분해	히드록시에틸화	방사선분해
잔류 독성	NIL	NIL	YES	NIL
환경 공해	NIL	NIL	YES	NIL
물질 밀도	+	+	+	+
포장 방법	NARROW	NARROW	NARROW	WIDE
완포장	NA	NA	NA	A
처리 형태	BATCH	BATCH	BATCH	연속

(+) 영향을 줌, (-) 영향을 주지 않음, (NA) 적용되지 않음, (A) 적용됨, (nil) 없음
 자료 : Brynjofossn, A., Food-energy-developing countries-food irradiation. IAEA-SM-250/26, 421 (1981)

감마선 조사시설

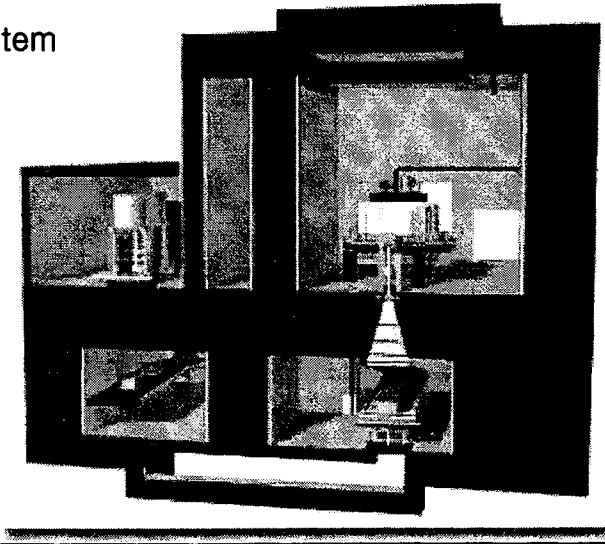


Cobalt-60



베타(β)선 조사시설 (전자가속기)

- ▶ 연속식 운전
- ▶ 간편한 on/off system
- ▶ 신속처리
- ▶ 저투과성
- ▶ 고에너지 효율성
- ▶ 공정관리의 용이



방사선 조사식품과 방사능 오염식품의 차이점

- 방사선 조사식품이란 발아의 억제, 식중독균의 살균과 같은 유익한 현상을 일으키기 위해 어떤 종류의 방사선 에너지를 처리한 식품
- 방사능 오염식품이란 핵반응기 누출사고 또는 핵실험에서 발생한 방사능 오염물질이 우발적으로 오염된 식품
- 식품조사에서 식품에 쏘인 방사선은 열로 변하거나, 식품을 통과하여 빠져나가므로 식품에 잔류되어 방사선을 내보내거나 식품 내 물질이 방사능을 띠게 하지 않음

식품 위생화에서의 방사선 조사기술의 이용

식품의 방사선 조사기술 이용 목적

1. 식품의 안전성 확보 및 품질향상
2. 식량 이용률 증대 및 가격 안정화
3. 식품 가공 및 공정 개선
4. 국제 식량교역 및 경제적 이익

방사선의 생물학적 영향

- 방사선에 의한 직접적인 영향
 - 세포/유기물 성분의 직접 파괴(고선량 요구)
- 방사선에 의한 간접적인 영향
 - 물의 이온화
 - 활성 이온과 구성성분과의 화학반응
 - 세포 DNA/효소 등의 불활성화

방사선 조사선량에 따른 살균법의 종류

- 방사선 완전살균
(Radappertization)
- 방사선 병원성미생물 살균
(Radicidation)
- 방사선 부분살균
(Radurization)

식품 위해미생물의 방사선 감수성

감수성	해충>대장균군>무포자 형성균>포자 형성균>포자>바이러스				
종	화랑곡나방 권련벌레 가루진드기 바퀴벌레 딱정벌레	대장균 살모넬라 장티푸스균 리스테리아 이질균	비브리오균 녹농균 탄저균 고초균 포도상구균 연쇄상구균	세균포자 Endotoxin Exotoxin 곰팡이독 (Mycotoxin, Aflatoxin) 보툴리눔독	구제역 에볼라 각종 바이러스
류	바구미 등 저곡해충류	폐렴균 (레지오넬라)	각종곰팡이		
사멸선량	0.5 - 3 kGy	1 - 5 kGy	5 - 10 kGy	10 - 20 kGy	30 kGy 이상

주요 식품위생 관련 미생물의 방사선 감수성(I)

미생물	배양기	온도 (°C)	방사선 감수성 (kGy)
<i>Aeromonas hydrophila</i>	마쇄 어육/쇠고기	2	1.3
<i>Campylobacter jejuni</i>	마쇄 닭고기	-15	1.9
<i>Escherichia coli</i>	최적 생육배지	-	0.4
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	최적 생육배지	4	1.5~2.0
<i>Pseudomonas</i> spp.	최적 생육배지	-	0.6
<i>Salmonella typhimurium</i>	송아지 고기	10	3.4
<i>Salmonella paratyphi</i>	소 간	5	1.8
<i>Shigella dysenteria</i>	굴/새우	-	2.4/1.5
<i>Shigella flexneri</i>	새우	10	2.5

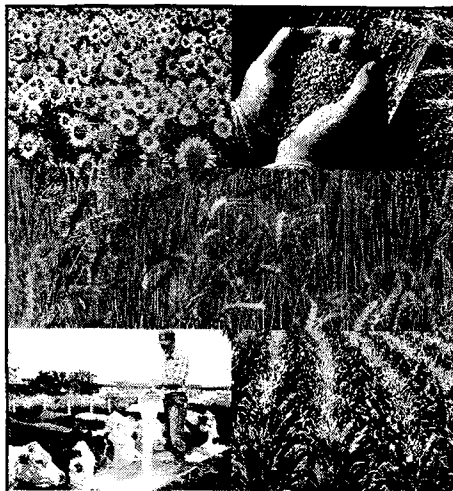
주요 식품위생 관련 미생물의 방사선 감수성(II)

미생물	배양기	온도 (℃)	방사선 감수성 (kGy)
<i>Shigella sonnei</i>	계살	-	1.6
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	계살	-	0.5~1.0
<i>Yersinia enterocolitica</i>	쇠고기/새우	0	1.2
<i>Staphylococcus aureus</i>	쇠고기	-	1.9 ~ 3.4
<i>Streptococcus faecalis</i>	최적 생육배지	-	5.5
<i>Micrococcus radiodurans</i>	최적 생육배지	-	60
<i>Clostridium botulinum</i> 62A (spores)	햄	15	15.5
Food-and-mouth disease virus	송아지 신장	-	36
Poliomyelitis virus	송아지 신장	-	84

방사선 조사에 의한 식품매개 기생충 사멸선량

기생충	사멸선량 (kGy)
<i>Toxoplasma gondii</i>	0.25
<i>Trichinella spiralis</i>	0.30
<i>Cysticercus bovis</i>	0.4 ~ 0.6
<i>Cysticercus</i>	0.4 ~ 0.6

식품 및 공중보건산업 에서 방사선 조사기술 의 이용

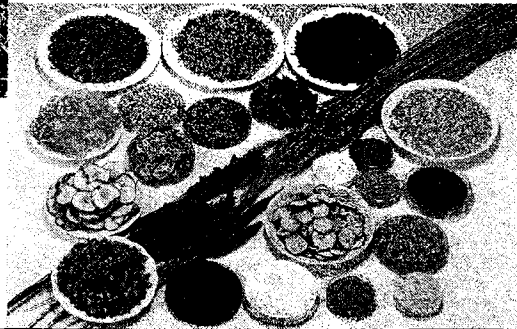


농산물 자원의 안전관리

- ▶ 속도 지연
- ▶ 발아, 발근 억제
- ▶ 해충 구제
- ▶ 유해세균 사멸
- ▶ 곰팡이 사멸/독소생산 억제



방사선 조사로
안전 유통 확보!



식육에 오염된 병원균 및 부패균의 사멸로 안전저장·유통 보장

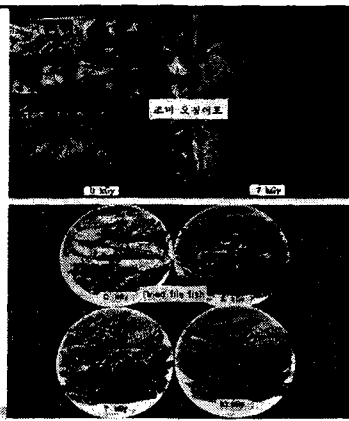


식육에 약 3~5 kGy 선량의 放射線 照射는 병원성 및 부패미생물 살균으로 低溫에서 1개월 이상 위생적 안전 저장 및 유통

수산식품의 안전한 저장·유통 보장

- ▶ 병원균 사멸로 식중독 예방
- ▶ 확실한 품질관리
- ▶ 유통안정성 보장

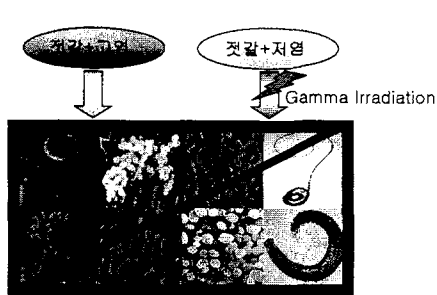
★ 비브리오균과 콜레라는 방사선에 매우 약하다!



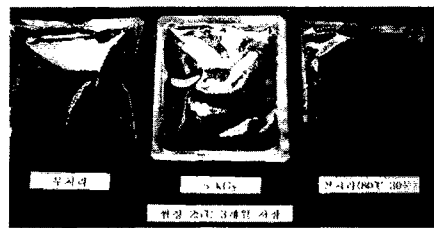
↑ 방습(防濕)포장한 調味오징어포 및 말취취포에 약 5~7 kGy 선량의 放射線 照射로 실온에서 1년 이상 안전저장

← 신선/냉동 어류의 1-3 kGy 조사로 병원성 미생물 완전 사멸

감마선 조사기술 이용 전통발효식품의 저염화 기술개발



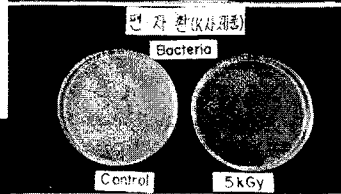
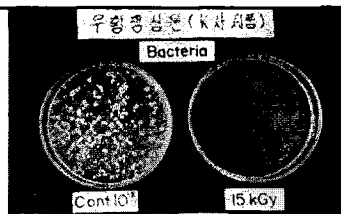
감마선 이용 저염/위생화 젓갈 가제품 생산



감마선 이용 고품질 저염장류 제품 생산기술

제약, 의약품 한방약재의 위생화

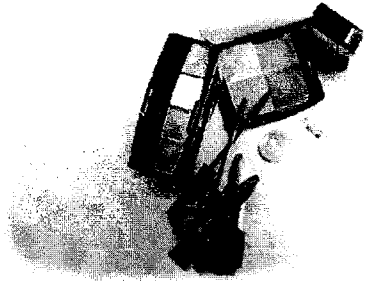
- ▶ 무방부제 제품생산
- ▶ 제품의 품질 보장
- ▶ 검역기준 충족



한방약재(韓方藥材)에 약 5~15 kGy 선량의 放射線 照射로 해충, 병원성 및 부패 미생물 살멸(殺滅)로 1년 이상 위생적 안전저장, 유통과 유효 성분(엑스분)의 추출 수율 증대

화장품·화장용품의 위생화

- ▶ 선진국형 생산 공정
- ▶ 편리한 검역 절차

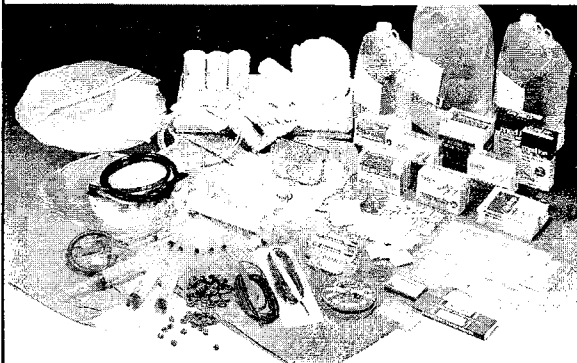


아름답고 깨끗한 피부

-완벽한 제품의 생산으로
가능합니다.

의료용품·위생용품의 위생화

- ▶ 병원성 미생물의 완전 사멸
- ▶ 유해 미생물의 완전 멸균
- ▶ 잔류 화학약품 대체
- ▶ GMP 규정 충족

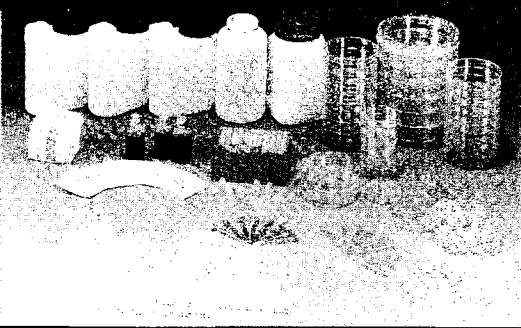


효과적이고 확실한
공중보건 산물의
위생화

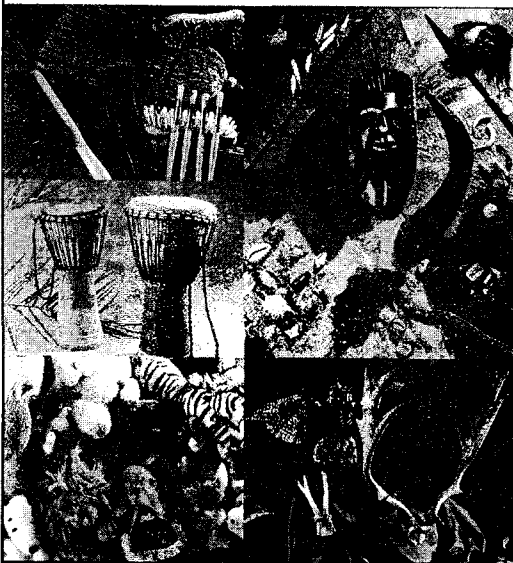


실험실용품 공중보건산물의 제염

- ▶ 화학 훈증제 사용 대체
- ▶ 정확한 실험결과 확보
- ▶ 간편한 검역처리



수출입 상품의 검역관리

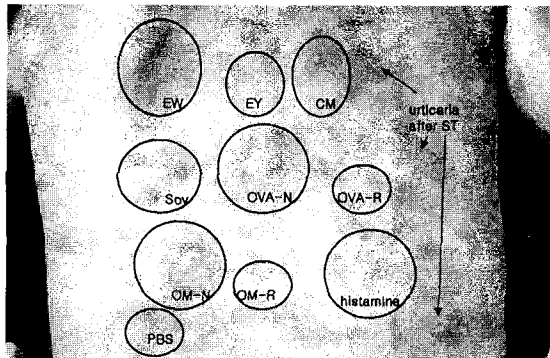


- ▶ 수출입 제품의 미생물
오염 방지
- ▶ 간편한 검역절차 및
비용 절감
- ▶ 독성 화학 훈증제의
대체
- ▶ 물리적 손상 없는 제품
관리

식품의 유해물질 제거 및 저감화에 방사선의 이용

알러지 저감화 식품 개발

감마선(10 kGy) 조사한 계란 단백질(Ovalbumin, OVA과
Ovomucoid, OM)의 알러지성 감소확인 임상시험 결과

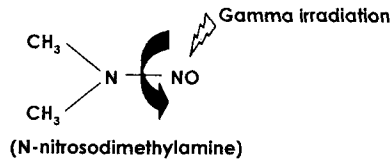


최MH(남아, 1세)
RAST: EW >100, CM 2.7, EY: 53.5, Soy: 1.13, Wheat 21.80; Total IgE: 689
CM, casein in milk; EW, egg white, EY: egg yolk; PBS, - control, histamine, + control.



감마선 이용 계란알러지가 감소된 빵,
Cake 및 cookie 의 제조

발암성 N-Nitrosamines/
biogenic amines 등
식품 유해 화학물질
제거기술 개발

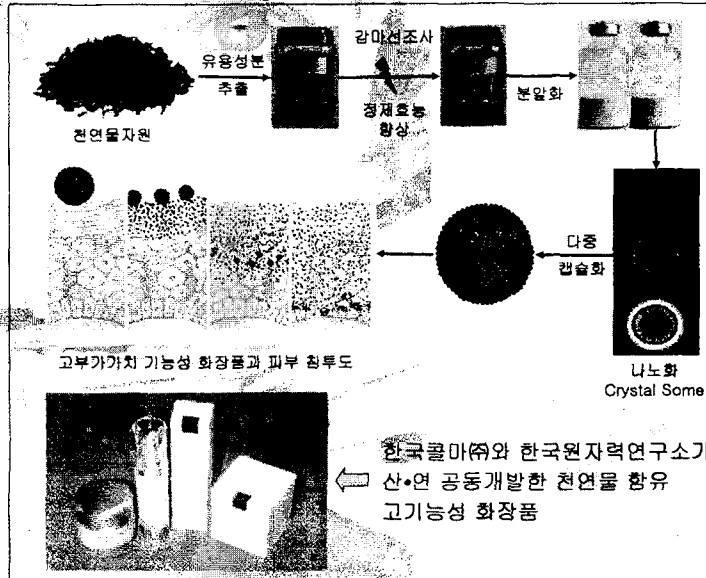


- | | | |
|--|-----------------------------------|---|
| ↓ | ↓ | ↓ |
| 1. $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$
Ethyl acetate
by GC/MS | 2. NO
Nitric oxide
by GC/MS | 3. $\text{NO}\cdot$
Nitric oxide
(radical) by ESR |

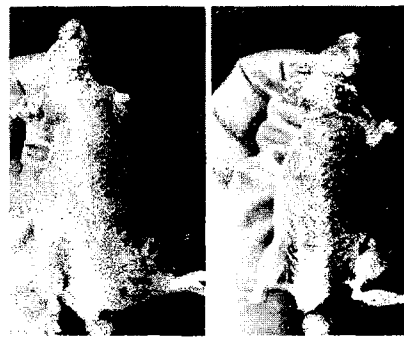


고부가가치 기능성 신소재,
신제품 생산에 이용

세계최초 방사선(RT)/생명공학(BT)/나노(NT)/다중캡슐화(MCT) 융합기술 이용
공중보건용 고부가가치 천연 신소재/제품 개발



RT/BT를 이용하여 개발한 생체방호 기능성식품



- ◆ 당귀 등 생약재의 복합조성물로 개발한 헤모힘 (HemoHIM)
- 산화적 생체손상 방지, 방사선 방호 식품
 - 면역조절기능 및 재생조직 회복 촉진
 - 암세포 성장억제 (암치료보조제로 활용)

암세포 이식 후 시제품의 암세포 성장억제 및 재생조직 회복 시험

국제식량교역에서 검역처리기술로서의 방사선 조사

식량 국제교역 환경의 변화

- ◆ GATT-UR 협정 후 국가간 식량거래의 자유화
- ◆ WTO 체제에서 교역물품의 국가간 처리기준 강화 및 SPS/TBT를 만족시킬 수 있는 새로운 검역처리 방법의 필요
- ◆ 자국 내 유입되는 유해유기물에 대한 검역강화
- ◆ MeBr, EO 등 화학 훈증제의 사용 금지

화학훈증제 대체방법으로서의 방사선 조사

- Methyl Bromide (MeBr)의 대체 방법
생/건조과일, 견과류, 곡류, 콩류, 기타 건조 식품 및 일반 농산물
- Ethylene Oxide (EO)의 대체 방법
향신료 및 천연조미료

표. Methyl Bromide의 사용 규제/금지 사항

국 가	규제량	적용년도
선진국	25%	1999
	50%	2001
	70%	2003
	전면금지	2005
개발도상국	20%	2005
	전면금지	2015

(Montreal Protocol, UNEP, 1986)

조사식품의 검지기술

- ◆ 필요성
 - 방사선 조사식품의 국제교역 기본규정(CODEX 규정 포함) 준수/이행 감독 필요
 - 방사선 조사식품에 대한 소비자들의 신뢰도 제고 및 선택의 자유를 보장
- ◆ 검지방법의 기본요건
 - 방사선 조사에만 특이적일 것
 - 정확하고 재연성이 있을 것
 - 다양한 식품에 적용이 가능하고 조작과 측정이 간편할 것
 - 저렴하고 방사선 조사선량의 측정이 가능할 것
- ◆ 검지기술
 - 물리적 방법 : ESR, PSL, TL 등
 - 화학적 방법 : GC-MS
 - 생물학적 방법 : DNA comet assay, Bioassay

식품 방사선 조사기술의 국내·외 이용 현황

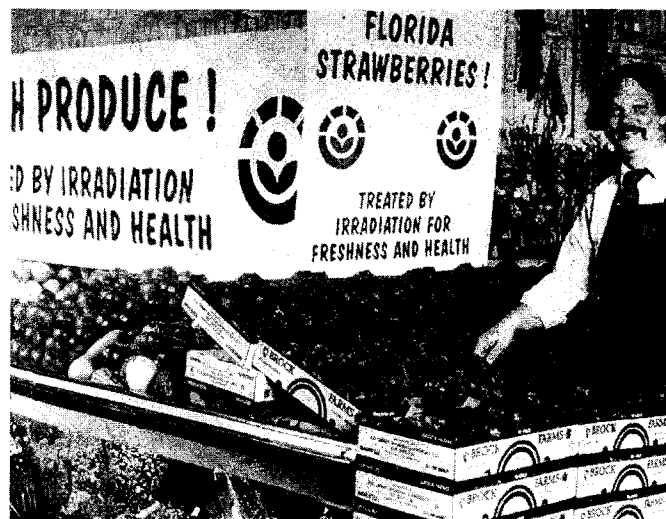
식품 방사선 조사의 상업적 이용

- 1973년 일본 - 감자의 발아를 억제하기 위해
상업적으로 방사선 조사 성공
 - 1982년 미국 - 상업적 식품방사선 조사기의 도입
 - 1990년 미국 - 시카고의 한 소매점에서 방사선 조사
딸기 판매 성공
 - 1993년 미국 - 방사선 조사된 닭고기의 판매 성공
 - 1995년 미국 - 하와이에서 열대과일의 방사선 조사/미전역 판매
 - 1997년 미국 - 적색육에 대한 방사선 조사 허가(FDA)
 - 1999년 미국 - 방사선 조사된 적색육의 판매 승인(USDA)
 - 2002년 호주, 뉴질랜드 - 동식물 검역관리를 위해 방사선 조사
승인
 - 2002년 미국 - 학교급식에 방사선 조사 식육 사용 전면 승인
- 현 재 - 37개국에서 상업적 조사시설 운영

식품조사 실용화 국가 및 품목수

국가	품목수	국가	품목수	국가	품목수
벨기에	10	이스라엘	42	영국	51
브라질	16	이태리	2	미국	55
캐나다	7	멕시코	8	유고	23
칠레	18	네덜란드	20	일본	1
중국	22	남아공	80	베트남	5
덴마크	2	폴란드	6	불가리아	18
프랑스	38	시리아	16	스페인	2
헝가리	13	태국	26	필리핀	3
인디아	4	대만	14	한국	13

* 2002년 호주 및 뉴질랜드 방사선 조사 승인 및 이용



미국 플로리다에서 상업적으로 방사선이 조사되어 판매되고 있는 딸기

Introducing Irradiated Ground Beef
 THE SAFEST GROUND BEEF YOU CAN BUY

The **SUREBLAM** process uses electrical energy to virtually destroy all harmful bacteria including E. Coli.

Enhances ground beef quality without changing taste, texture or nutrition.

Available in 80% Lean and 93% Lean varieties in 2 lb and 3 lb packages.

IT'S SUREBLAM SAFE.

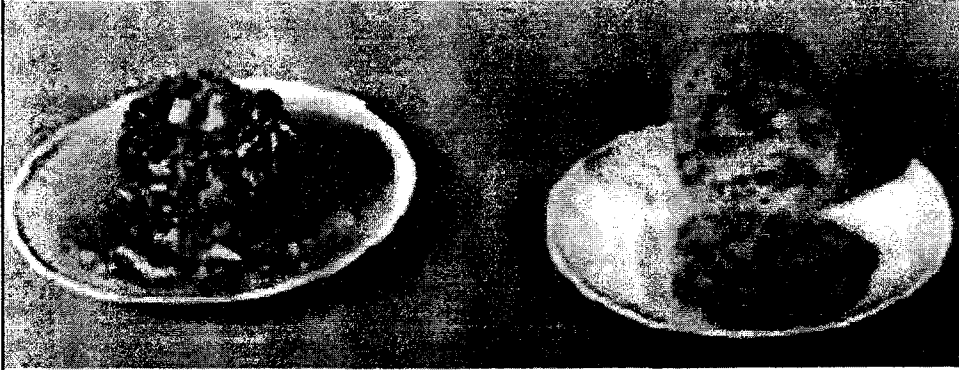
미국 슈퍼마켓에서 상업적으로 방사선이 조사되어 판매되고 있는 식육, 가금육 및 육제품

SHELF-STABLE FOODS

Irradiated with High-Energy for Long Shelf Life
 Without Refrigeration

- ◆ Irradiated Shelf-Stable Foods
- ◆ Consumer Acceptance of High-Energy Irradiated Foods
 - Astronauts
 - Experiences in the various needs
 - Immuno-compromised hospital patients
- ◆ Process for Shelf-Stable Foods
- ◆ Safety and Nutritional Quality of Shelf-Stable Foods
- ◆ It is Time for Consumers to Enjoy These Novel Convenience Foods

우주인(astronaut) 및 특수 스포츠용 식품의
 위해 안전성 확보를 위한 고선량 조사



Heat treated

Irradiated

방사선 조사된 사료 및
 새먹이용 씨앗
 (GF, SPF 사료 제조에 이용)

Horse Feed Bags

국내 식품의 방사선 조사 허가품목

품 목	조사목적	허가선량 (kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘 밤 버섯(생 및 건조)	발아, 발근 억제 발아, 발근 억제 살충, 숙도 조정	0.15 이하 0.25 이하 1.00 이하	1987.10.16 (고시 제 87-71호)
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류 분말 된장, 고추장, 간장 분말 조미식품용 전분	살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화)	7 이하 7 이하 5 이하	1991.12.14 (고시 제 91-25호)
가공식품제조원료용 건조 채소류 건조향신료 및 이들 조제품 효모, 효소식품 알로에 분말 인삼(홍삼포함) 제품류 2차살균이 필요한 환자식	살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화) 살균, 살충(위생화) 살균	7 이하 10 이하 7 이하 7 이하 7 이하 10 이하	1995.5.19 (고시 제 95-34호)

현재 입안예고 중인 방사선 조사 허가품목(안)

허가선량 (kGy)	품 목	조사목적
0.15 이하	감자, 마늘, 양파	발아억제
0.25 이하	밤	발아억제
1 이하	생버섯	숙도지연
3 이하	분쇄가공 육제품	살균, 살충(위생화)
4.5 이하	가공식품 제조 원료용 식육(냉장)	살균, 살충(위생화)
5 이하	건조버섯, 전란분, 난황분, 난백분, 가공식품 제조용 곡류, 두류 및 그 분말, 가공식품 제조용 전분	살균, 살충(위생화)
7 이하	가공식품 제조용 건조수산물 및 건조식육품, 가공식품 제조용 식육(냉동), 가공식품 제조용 분말 장류 및 메주, 가공식품 제조용 건조과·채류 효모·효소식품, 키토산 가공식품, 화분가공식품, 조류식품, 알로에 분말, 인삼(홍삼포함) 제품류	살균, 살충(위생화)
10 이하	건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차 살균이 필요한 환자식	살균, 살충(위생화)

* 2000. 10. 상경, 2003. 4월 현재 입법 예고 중

국내 방사선 조사 관련 표시 기준

식품 등의 표시기준(국내 유입되는 수입 조사식품에도 적용한다.)

[별지1] 식품 등의 세부표시기준(제7조관련)

1. 식품 등의 일반기준

가. 식품(수입식품을 포함한다)

11) 기타 표시사항

나) 조사처리식품의 경우에는 조사처리업소명, 전화번호, 조사년월일, 조사선량과 조사 처리된 식품임을 나타내는 표시를 하여야 하고 다음과 같은 직경 5센티미터 이상의 조사도안을 표시하여야 한다.



식품공전(국내로 유입되는 수입 조사식품에도 적용한다.)

6) 식품 등의 방사선 조사기준

(5) 조사도안

조사 처리된 식품에는 다음과 같은 도안을 제품포장 또는 용기에 직경 5cm 이상의 크기로 표시하여야 한다.

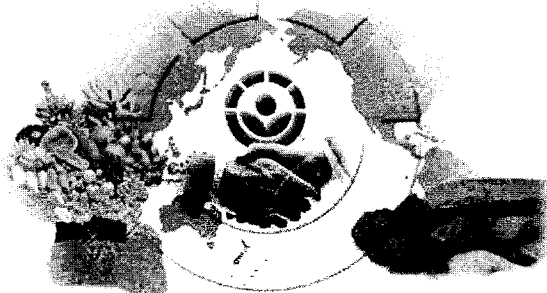


방사선 조사식품의 안전성(건전성) 평가

- 영양학적 안전성
- 미생물학적 안전성
- 유전, 독성학적 안전성

조사식품의 안전성/건전성을 평가한 국제기구

Challenge to Food Safety and Trade



WORLD TRADE ORGANIZATION



WORLD FOOD PROGRAMME



INTERNATIONAL GROUP OF

UNITED NATIONS OF ENVIRONMENT PROTECTION



세계 식품, 보건관련 전문기관 및 학술단체에서
평가하는 식품조사 기술



미국 과학보건 협의회
(ACSH)



미국질병통제센터
(CDC)



미국 식품안전성센터
(CFS in FDA)



미 국립 식품가공협회
(NFPA)



영국식품과학기술원
(IFST)



기타 국제 학술 단체 : ADA, CMAJ, JAMA, BMJ, CAST
AMA, AVMA, AMI, IFT, KAL, HHL, MCHL, USPHS 등

HACCP을 효과적으로 달성할 수 있는 중요한 기술로 평가

맺 음 말

식품의 방사선 조사기술 이용확대 전망

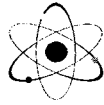
- ◆ 식품의 위생화, 안전성 확보 및 품질 경쟁력 향상
- ◆ 식량자원의 장기 안전저장을 통한 식량간접증산/가격 안정화
- ◆ 화학 훈증제/화학 첨가제 사용금지에 추세에 따른 대체기술로 이용
- ◆ 이용 다양성 및 완전밀봉 상태로 살균, 살충할 수 있는 편리성
- ◆ 국제교역에 있어서 경제적 측면

방사선 조사기술의 확대 방안

- 소비자의 이해가 선행
- 정부 관계당국의 법적 근거 마련
- 수요자의 자유로운 기술선택의 기회 부여
 - 공동 참여연구 필요
 - 방사선 조사제품의 관리 및 홍보 협력 필요
- ◆ 소비자와 생산자 모두에게 이익 보장
- ◆ 국민보건 향상

21^o 우리의 후손에게 물려줄
식량에너지 자원의 확보는
방사선 조사기술로
보다 효율적으로
얻을 수 있습니다.

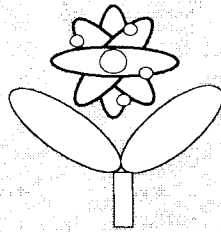
- 감사합니다 -



21C 인간과 환경, 에너지를 생각하는
한국원자력연구소 방사선식품생명공학 기술개발팀



토양 비료연구에서의 RI 이용 현황과 전망



제주대학교 유장걸

토양비료 RI 이용 연구

- 동위원소 추적자
- 오토래디오그래피
- 토양수분밀도 측정
- 중성자 방사화분석
- 토양 양분 이동 및 유효도
- 식물 뿌리 분포
- 토양침식

많이 사용되는 방사성 동위원소 추적자

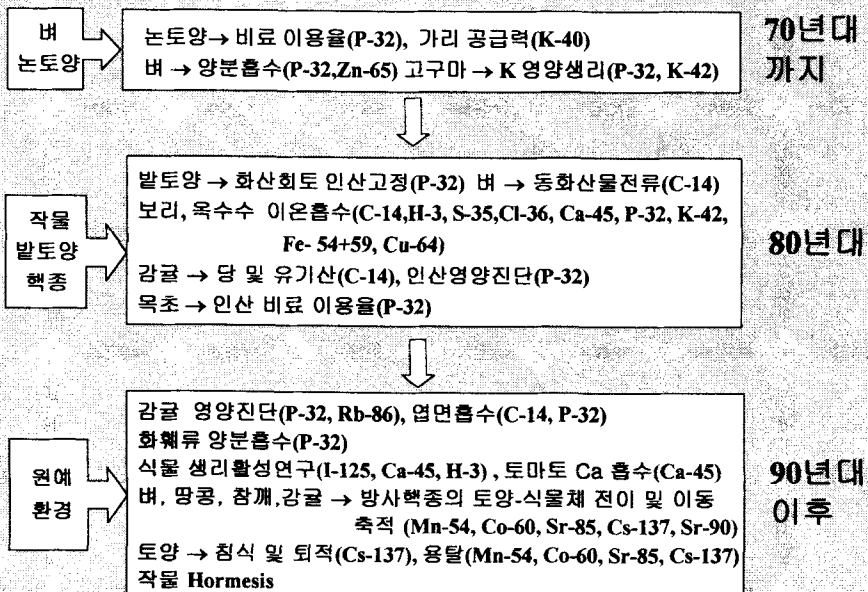
핵종	반감기(붕괴양식)	이용
N-13	10 min (β^+, γ)	질소고정, 탈질작용
Mg-28	21.2 h (β, γ)	양분이동
P-32	14.3 d (β^-)	흡수, 유효도, 뿌리분포
P-33	24.4d (β^-)	확산, 이종표지, 오토라디오그래피
S-35	87.9 d (β^-)	유효도, 초지에서 순환
Cl-36	3.08×10^5 y (β^-, β^+)	용질 이동
K-40	1.26×10^9 y (β^-)	치환성 칼륨, 이온흡수
K-42	12.36 h (β, γ)	치환성 칼륨
K-43	22.4 h (β, γ)	치환성 칼륨
Ca-45	165 d (β^-)	치환성 칼슘, 흡수 및 이동
Mn-54	303 d (γ)	오토라디오그래피 유효도, 엽면흡수, 토양 용액중 킬레이션

핵종	반감기(붕괴양식)	이용
Fe-59	45.6 d (β, γ)	유효도, 확산, 식물영양, 토양침식
Cu-64	12.8 h (β, γ)	토양 용액중 킬레이션
Cu-67	58.5 h (β, γ)	토양 용액중 킬레이션
Zn-65	245 d (β, γ)	유효도, 비료 효율 토양 용액 중 킬레이션
Rb-86	18.66 d (β, γ)	이온흡수, K analog
Sr-85	64.0 d (γ)	양이온 치환용량, 이온흡수
Sr-89	52.7 d (β^-)	Ca analog
Mo-99	66.7 h (β, γ)	식물영양
Cs-134	2.046 y (β, γ)	토양침식
Cs-137	30.0 y (β, γ)	토양침식

RI 연구시설

- 방사선 농학연구소(1966) 생리 영양학실
- 한국원자력연구소에 흡수
영양생화학연구실(1973)→환경화학연구실(1977)
→방사선농학연구실(1981)
→방사선유전공학연구실, 식품조사연구실로 분리(1985)
- 농촌진흥청 식물생리과 (1975) → 유전공학과(1986)
- 제주대학교 방사능 이용 연구소(1982)
- 전국 대학내 RI 실험실 설치(1990년대 이후)
→ 유전공학 분자생물학실험
→ 대학 실험 여건 조성되었으나 manpower부족

국내 연구 변화 추이(국내 토양비료관련학회지)



비교적 최근 국내 연구자 현황

- 제주대학교(유장걸, 송성준, 강태우)
감귤, 오이: 양분 엽면 흡수율(C-14 urea, P-32)
서양난: 양분흡수특성(P-32)
Cs-137 화산회토-감귤나무 흡수 추적
- 한국원자력연구소(김재성, 최용호)
식물 hormesis
방사핵종의 토양-식물체 전이 및 이동
- 농촌진흥청(장병춘)
토마토 Ca 흡수
벼 Sr-86 흡수추적

국내 이용 전망

- 저투입 영농기술개발(유기물 분해 및 무기화 작용)
- 신소재 비료의 흡수 이용율
- 방사성 동위원소 추적자 개발
- 원예 화훼류 영양 생리 연구(환경-양분흡수 및 이행)
- 식물영양생리의 분자생물학적 연구
- 토양중 낙진 핵종(Cs-137, Pb-210, Be-7)의 행동

농약분야 연구에서의 방사성 동위원소 이용에 관한 국내 현황 및 전망

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물환경·식품학부
이 규 승

Use of Radiotracer techniques for pesticide study

1. Mode of action

Absorption, Translocation, Distribution, Accumulation,
Chemical transformation (metabolites)

2. Residue & Metabolism

Bound residue, Degradation

Metabolism in plants

Metabolism in soil

3. Toxicological study

Distribution and accumulation in organs

Excretion rate & route, Metabolism

4. Formulation study

Adsorption, Stability, Patten, Persistence, Release,

Metabolism

5. Synthesis

1. 시기별 연구 논문 발표 현황

년 대	1970	1980	1990	2000	계
발표 수	2	9	22	2	35
학위논문		1	3	2	6
문		1	1		2
총					
설 학술			(1)	(1)	(2)
발표					

(): Proceeding 에서만 발표

2. 농약별 연구 논문 발표 현황

농약	살충제		살균제		제초제		계
발표 횟수	13 (1)	Carbofuran Acrinathrin BHC Bentazon TCAB Endosulfan phosphamidon	3	Propiconazole	19 (1)	Imazapyr 3-4-DCA TCAB Dithiopyr Bensulfuran Primisulfuron Oxyfluorfen Butachlor Bifenox Propachlor bentazon	35 (2)

() : Proceeding 에서만 발표

3. 방사선 농약의 입수처

구 입		제 공			
		회 사		공공기관	
8	Amersham IIM	20	American- cynamide Roussel uclaf FMC, Monsanto DuPont, Novartis Ciba-Geigy BASF	6	IAEA

4. 연구분야별 연구 논문 발표 현황

방사선 동위원소의 이용	Mode of action	Residue & Metabolism	Toxicological study	Formulation study	Synthesis	계
Insecticide	3	8	4			15
Fungicide	2	1				3
Herbicide	10	11		2	2 (2)	25 (2)

() : Proceeding 에서만 발표

5. 대상별 연구 논문 발표 현황

Plants	Soils	Animal
--------	-------	--------

13	20	4
Rice (9)		Rat (3)
Barnyard grass (1)		Carp (1)
Paddy weeds (1)		
Corn (1)		
Pine tree (1)		

Stable Isotope Signatures in Agro-Environmental Ecosystems

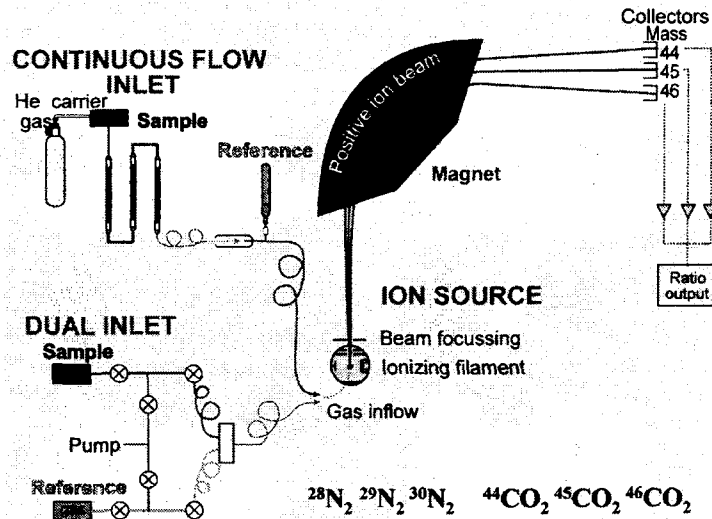
Hee-Myong Ro

Soil and Environmental Sciences
 Dept. of Applied Biological and Environmental Chemistry
 Graduate School of Agricultural Biotechnology
 Seoul National University

Stable Isotopes

Element	Low mass	High mass	
Hydrogen	¹ H 99.984	² H 0.016	} Geological Application
Lithium	⁶ Li 7.52	⁷ Li 92.48	
Boron	¹⁰ B 18.98	¹¹ B 81.02	
Carbon	¹² C 98.89	¹³ C 1.11	} Agricultural, Ecological and Environmental Applications
Nitrogen	¹⁴ N 99.64	¹⁵ N 0.36	
Oxygen	¹⁶ O 99.76	¹⁸ O 0.2	} Geological Application
Silicon	²⁸ Si 92.27	³⁰ Si 3.05	
Sulfur	³² S 95.02	³⁴ S 4.21	
Chlorine	³⁵ Cl 75.53	³⁷ Cl 24.47	

Stable Isotope Ratio Mass Spectrometry



Stable Isotopes Abundances

1. Stable isotope ratio

$$^{15}\text{N} \text{ or } ^{13}\text{C} \text{ Atom\%} = \frac{\text{heavy isotope}}{\text{light isotope} + \text{heavy isotope}} \times 100$$

2. $\delta^{15}\text{N}$ or $\delta^{13}\text{C}$ (‰): heavy isotope enrichment relative to standard

$$\frac{\text{Atom\%}_{\text{SAMPLE}} - \text{Atom\%}_{\text{STANDARD}}}{\text{Atom\%}_{\text{STANDARD}}} \times 1000$$

Standards

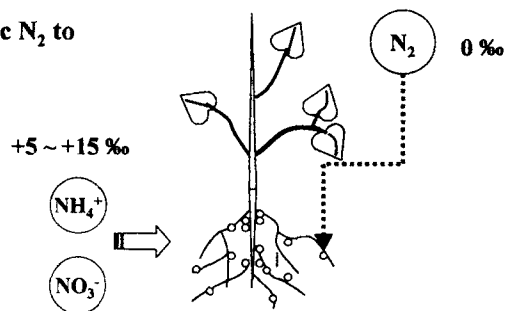
- Atmospheric N_2 for $\delta^{15}\text{N}$
- Pee Dee Belemnite (PDB, A marine limestone fossil) for $\delta^{13}\text{C}$

Applications: a brief introduction

- Agronomy
- Plant Physiology
- Food Quality
- Water-Air-Soil Pollution
- Ecology

Agronomy

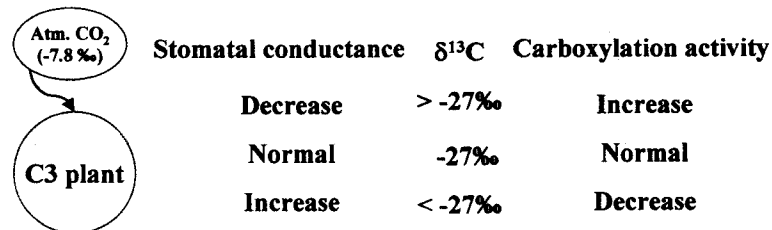
- Use efficiency of nitrogen fertilizer: ^{15}N -tracer
- Partitioning and remobilization of nitrogen fertilizer: ^{15}N -tracer
- Loss of nitrogen fertilizer: ^{15}N -tracer
- Transformations of fertilizer N in soil: ^{15}N -tracer
- Contribution of atmospheric N_2 to N_2 -fixing plants: $\delta^{15}\text{N}$



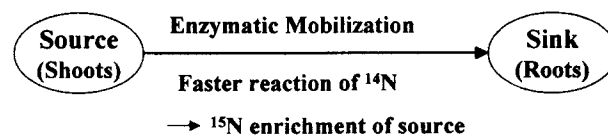
- Choi WJ, Jin SA, Lee SM, Ro HM, Yoo SH (2001) Corn uptake and microbial immobilization of ^{15}N -labeled urea-N in soil as affected by composted pig manure. *Plant Soil* 235: 1-9.
- Yoo SH, Jung KH, Ro HM, Choi WJ (2001) Distribution of inorganic N from fertigated and broadcast-applied ^{15}N -urea along drip irrigation domain. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 34(4): 284-291.
- Ro HM, Choi WJ, Lee SM, Yoo SH (2001) Nitrogen uptake and partitioning in pot-lysimeter-grown apple trees from one-year fertilization of ^{15}N -urea by drip-irrigation at three N rates. *Fall Conference of the Korean Soc. Soil Sci. Fert.*
- Lee SM, Choi WJ, Yun SI, Choi YD, Ro HM, Park JW (2002) Evaluation of fate of NH_4^+ of condensed molasses solubles (CMS) in soil using ^{15}N -tracer method. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 35(2): 69-76.

Plant Physiology

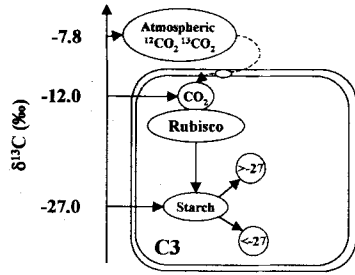
▪ Carbon Isotope Fractionation



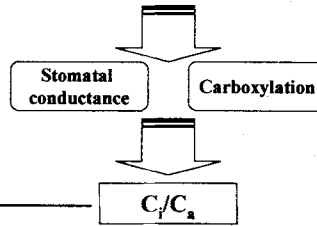
▪ Nitrogen Isotope Fractionation



Indicators of environmental stresses: $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ (?)



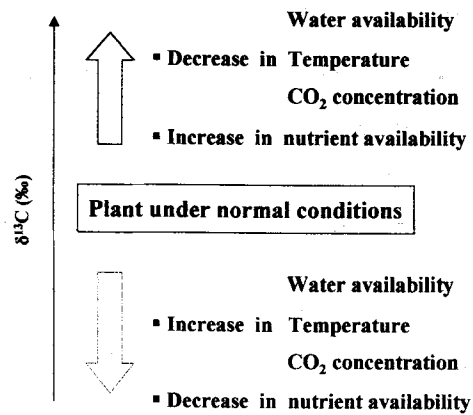
- Water stress
- Salinity stress
- Nutrient deficiency
- Elevated CO_2
- Elevated Temperature



Carbon isotope discrimination
 $= 4.4 + 22.6 (C_i/C_a)$

$C_i/C_a = \frac{\text{intercellular } [\text{CO}_2]}{\text{atmospheric } [\text{CO}_2]}$

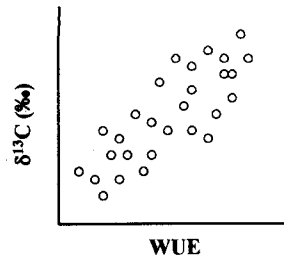
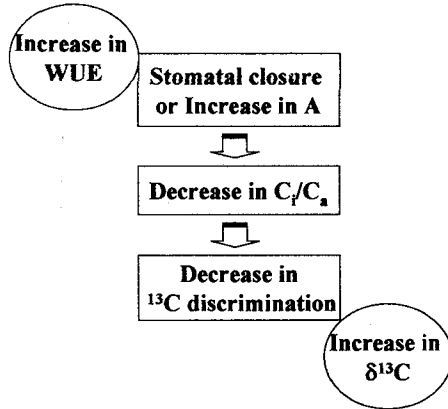
Summary diagram of $\delta^{13}\text{C}$ variation as affected by each stress



■ $\delta^{13}\text{C}$ as a tool to screen for improved drought tolerance

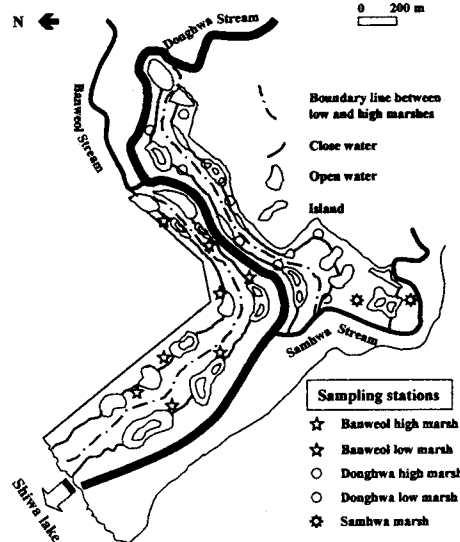
Water Use Efficiency (WUE)

$$\frac{\text{Dry weight accumulation}}{\text{Amount of water transpired}} = \frac{\text{Carbon assimilation (A)}}{\text{Stomatal conductance (g)}}$$

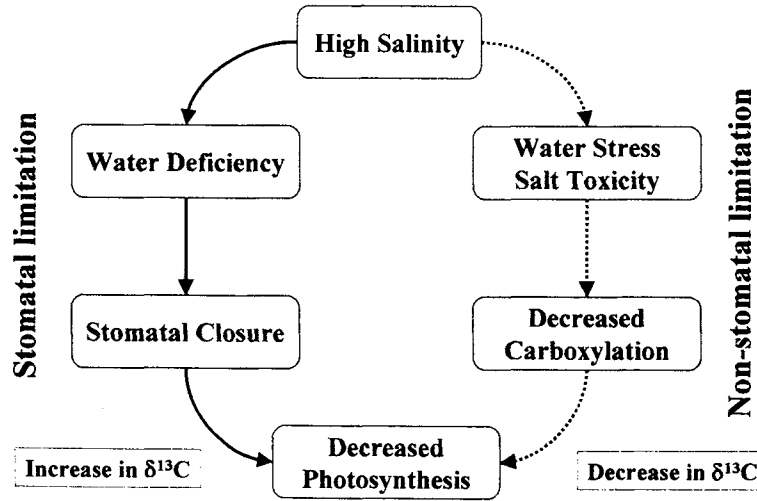


Study site

Shihwa freshwater tidal marsh (750,000 m²)

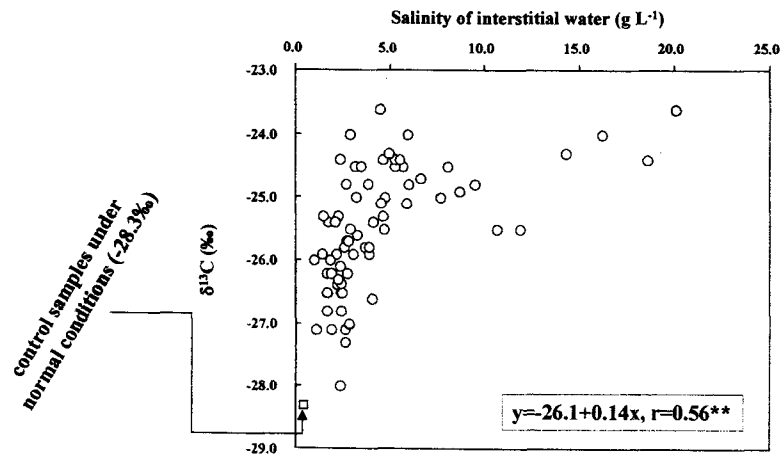


▪ Effect of salinity: $\delta^{13}\text{C}$ Indication

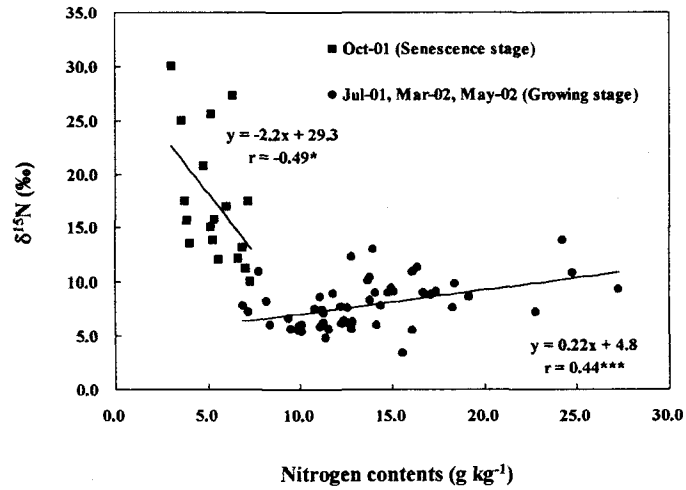


▪ An example of $\delta^{13}\text{C}$ increase by salinity stress

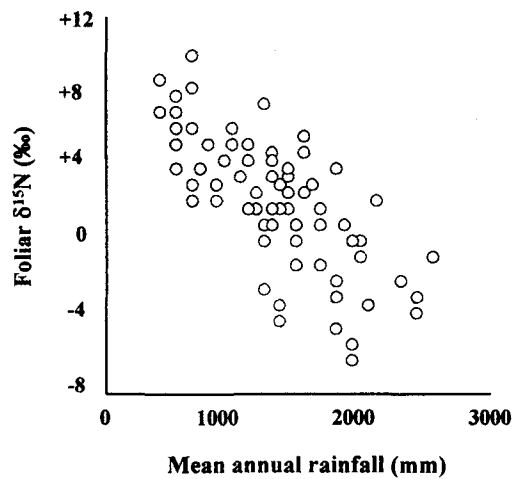
▪ Reeds in freshwater tidal marsh



▪ An indication of N translocation: $\delta^{15}\text{N}$ vs. N content



▪ $\delta^{15}\text{N}$ of ecosystem samples may reflect water availability



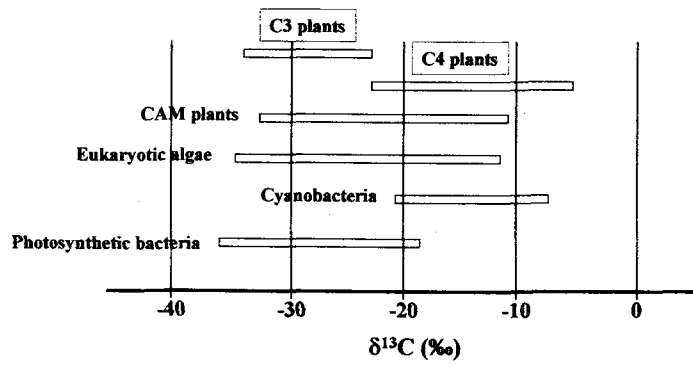
Food Quality

▪ Genuineness of honey: $\delta^{13}\text{C}$

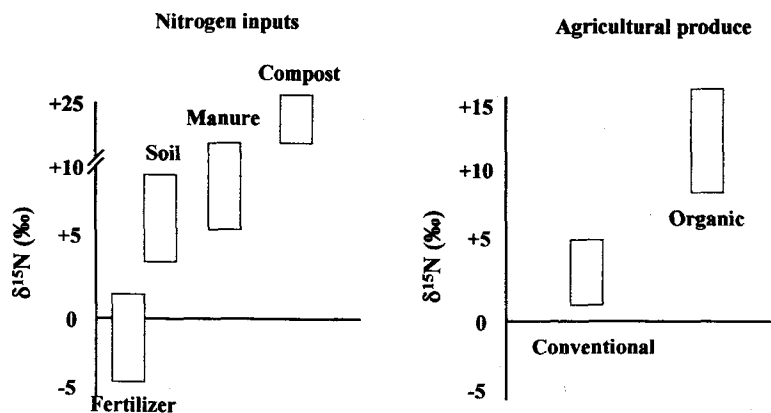
$\delta^{13}\text{C}$ range

Honey from C3 plants: -20 ~ -30 ‰

Sucrose from C4 plants: -10 ~ -20 ‰



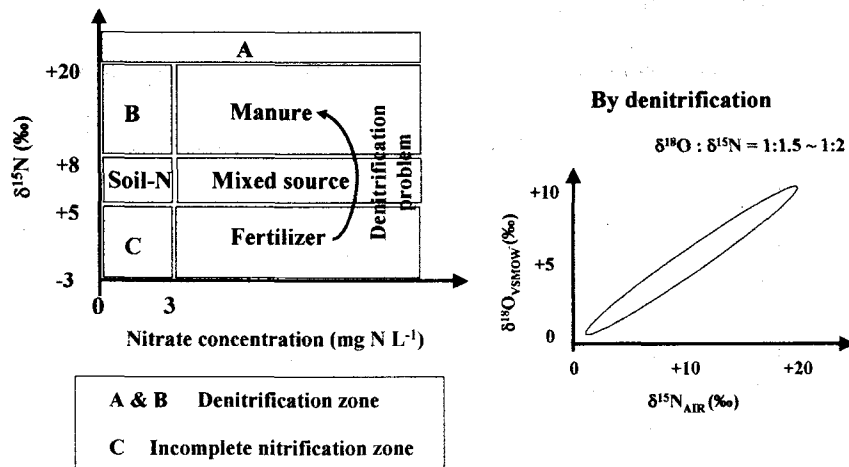
▪ Genuineness of organic produce: $\delta^{15}\text{N}$



- Choi WJ, Ro HM (2003) Differences in isotopic fractionation of nitrogen in water-saturated and unsaturated soils. *Soil Biol. Biochem.* 35: 483-486.
- Choi WJ, Lee SM, Kim KC, Ro HM, Yoo, SH (2002) Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant Soil* 245: 223-232.
- Choi WJ, Lee SM, Yoo SH (2001) Increase in $\delta^{15}\text{N}$ of nitrate through kinetic isotope fractionation associated with denitrification in soil. *Agric. Chem. Biotechnol.* 44: 135-139.
- Choi WJ, Ro HM, Hobbie EA, Lee SM (2003) Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. *Soil Biol. Biochem.* (revision submitted for final decision)
- Choi WJ, Ro HM, Lee SM (2003) Natural ^{15}N abundances of inorganic nitrogen in soil treated with fertilizer and compost under changing soil moisture regimes. *Soil Bio. Biochem.* (revision submitted for final decision)
- More papers are currently being reviewed.

Water Pollution

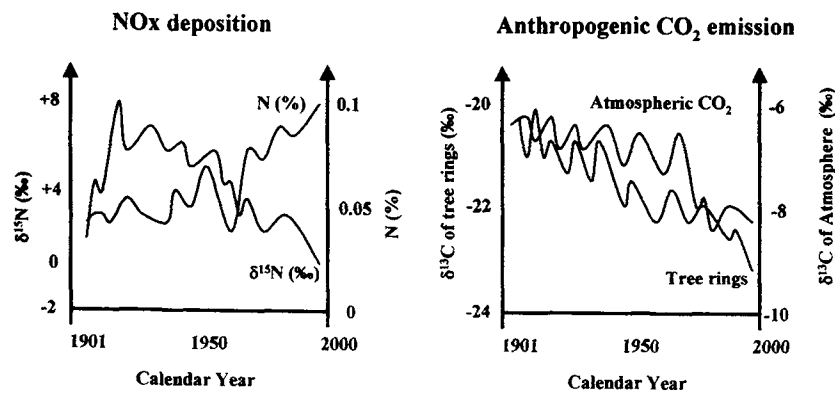
- Nitrate contamination source: $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$



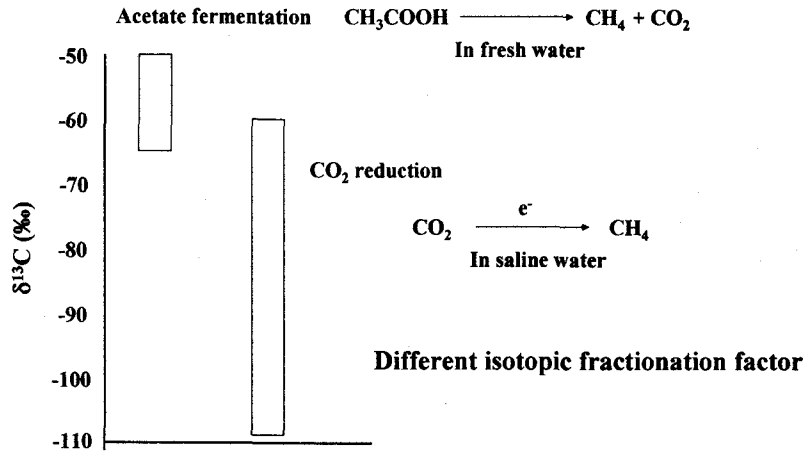
- Choi WJ, Lee SM, Ro HM (2003) Evaluation of contamination sources of groundwater NO_3^- using nitrogen isotope data: a review. *Geosciences J.* 7: 81-87.
- Choi WJ, Han GH, Ro HM, Yoo SH, Lee SM (2002) Evaluation of nitrate contamination sources of unconfined groundwater in the North Han River basin of Korea using nitrogen isotope ratios. *Geosciences J.* 6: 47-55.

Air Pollution

- Tree rings record as a potential indicator of environmental change: $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$

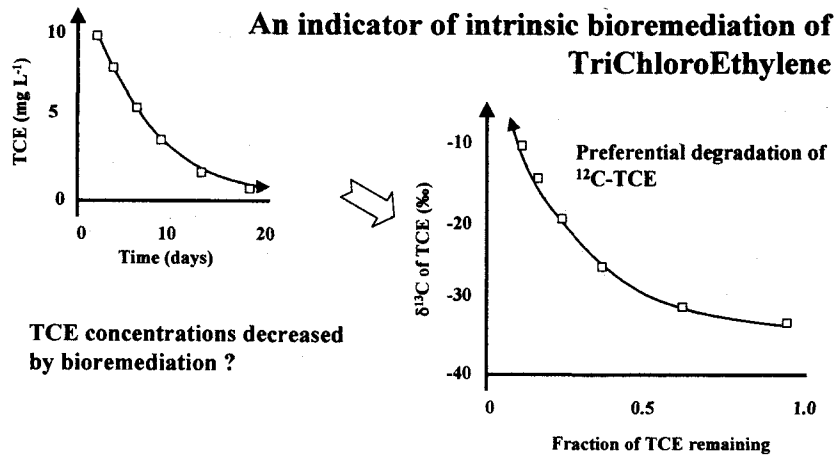


Pathways of methane production: $\delta^{13}\text{C}$



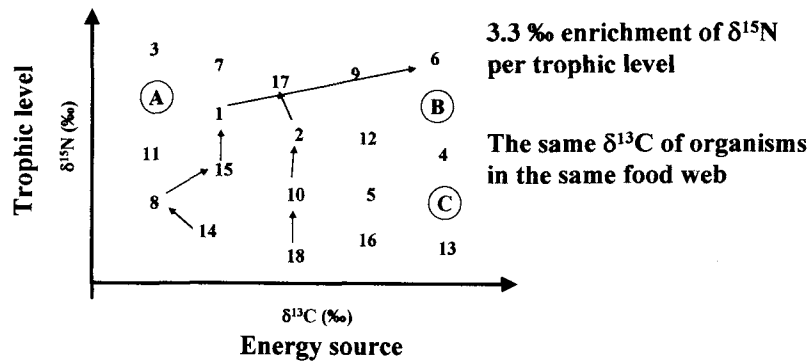
Soil Pollution

Biodegradation of organic pollutants: $\delta^{13}\text{C}$



Ecology

Food web: $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$



Stable C and N isotopes can be:

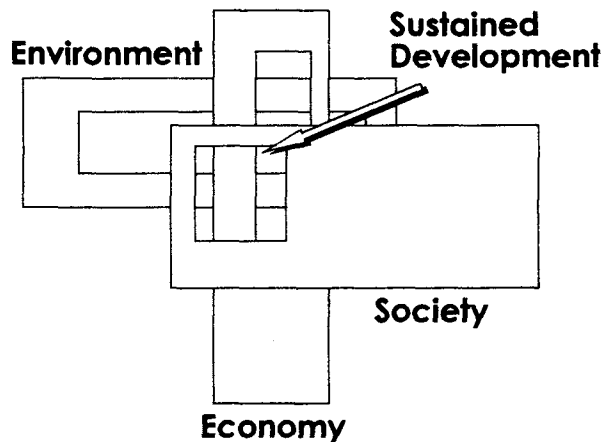
- An indicator of N and C source
 - Isotopic fractionation should be considered

- A signature of environmental conditions in ecosystems
 - Correlation between environmental conditions-physiological changes-isotopic fractionation should be investigated more extensively

References

- Choi W.J., Ro H.M. 2003. Differences in isotopic fractionation of nitrogen in water-saturated and unsaturated soils. *Soil Biol. Biochem.* 35: 483-486.
- Choi W.J., Lee S.M., Ro H.M. 2003. Evaluation of contamination sources of groundwater NO_3^- using nitrogen isotope data: A review. *Geosciences J.* 7: 81-87.
- Choi W.J., Lee S.M., Kim K.C., Ro H.M., Yoo, S.H. 2002. Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant Soil* 245: 223-232.
- Choi W.J., Han G.H., Ro H.M., Yoo S.H., Lee S.M. 2002. Evaluation of nitrate contamination sources of unconfined groundwater in the North Han River basin of Korea using nitrogen isotope ratios. *Geosciences J.* 6: 47-55.
- Choi W.J., Jin S.A., Lee S.M., Ro H.M., Yoo S.H. 2001. Corn uptake and microbial immobilization of ^{15}N -labeled urea-N in soil as affected by composted pig manure. *Plant Soil* 235: 1-9.
- Choi W.J., Lee S.M., Yoo S.H. 2001. Increase in $\delta^{15}\text{N}$ of nitrate through kinetic isotope fractionation associated with denitrification in soil. *Agric. Chem. Biotechnol.* 44: 135-139.
- Farquhar G.D., Ehleringer J.R., Hubick K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 40: 503-537.
- February E.C. 1999. Declining trend in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide from tree rings of south African *Widdringtonia cedarbergensis*. *Quat. Resear.* 52: 229-236.
- Handley L.L. et al. 1999. The ^{15}N natural abundance ($\delta^{15}\text{N}$) of ecosystem samples reflects measures of water availability. *Aust. J. Plant Physiol.* 26: 185-199.
- Hornbrook E.R., Longstaffe F.J., Fyfe W.S. 2000. Evolution of stable carbon isotope compositions for methane and carbon dioxide in freshwater wetlands and other anaerobic environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64: 1013-1027.
- Lollar B.S. et al. 1999. Contrasting carbon isotope fractionation during biodegradation of trichloroethylene and toluene: Implications for intrinsic bioremediation. *Organic Geochem.* 30: 813-820.
- Poulson S.R., Chamberlain C.P., Friedland A.J. 1995. Nitrogen isotope variation of tree rings as a potential indicator of environmental change. *Chem. Geol.* 125: 307-315.
- West A.G., Midgley J.J., Bond W.J. 2001. The evaluation of $\delta^{13}\text{C}$ isotopes of trees to determine past regeneration environments. *For. Ecol. Manage.* 147: 139-149.

서울대학교



Three important windows

여 백

[부 록 2] 한·중 협력 협정 체결 및 공동 심포지움

**AGREEMENT
FOR
A COOPERATIVE EXCHANGE PROGRAM**

I. Purpose

The Association of Nuclear Life Science in Republic of Korea(ROK), and the Agricultural Association of Atomic Energy in People's Republic of China(PRC) agree on the following activities to promote and enlarge the exchange of scientific, technical and professional knowledge on application of nuclear techniques in agriculture under the framework of PRC-ROK Joint Committee on Nuclear Energy.

II. Activities

The following activities are included in the agreement, and other activities may be added by mutual agreement.

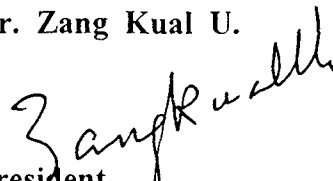
1. Exchange of scientific materials, publications and information,
2. Development of collaborative research projects,
3. Collaboration in science and technology transfer,
4. Exchange of academic and scientific activities, such as conferences, joint symposia, seminars, and lectures.

III. Duration of Agreement and Modification

This agreement shall remain in force for a period of five years from the date of each representative signing by on the agreement. The agreement shall be automatically extended for a successive period of five years at end of the period unless either party notifies the other in writing six months prior to the expiration of each period of its intention to terminate the agreement.

Amendments to this agreement may be made at any time by mutual agreement.

Dr. Zang Kual U.



President,

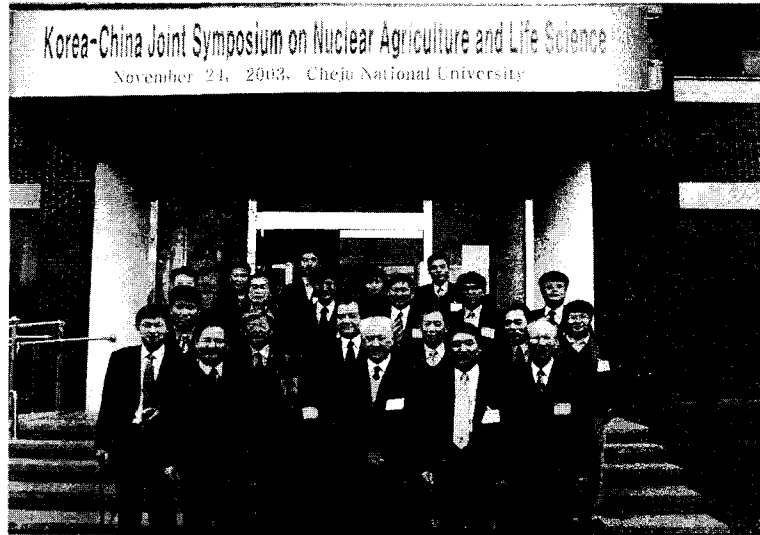
**Korea Association of
Nuclear Life Science
Republic of Korea**

Dr. Wen Xina Fang

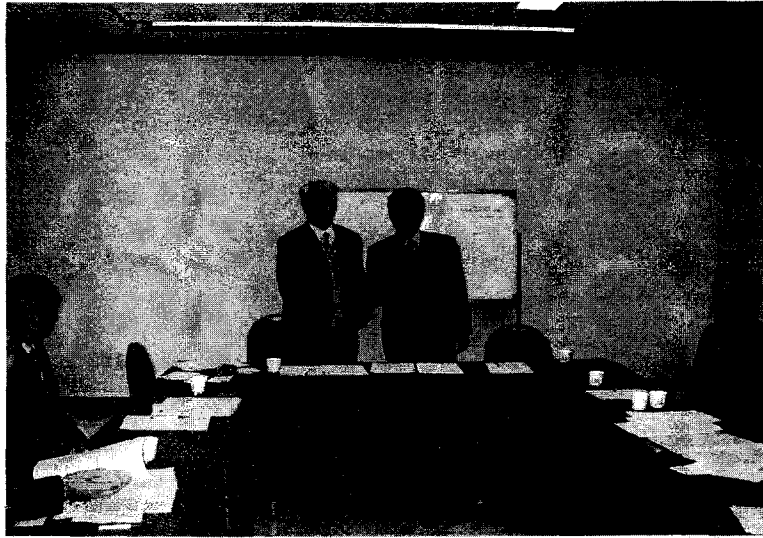


President,

**Chinese Agricultural Association
of Atomic Energy
People's Republic of China**

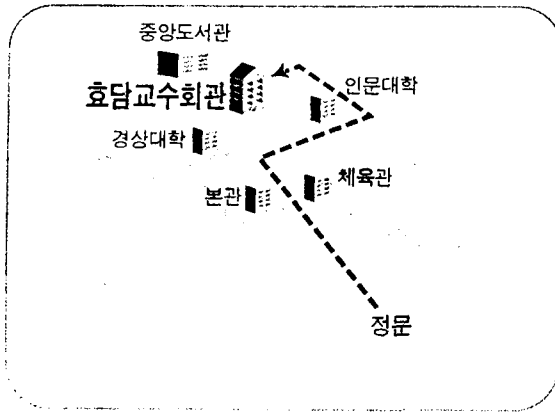


한·중 원자력농업심포지움개최
2003년 11월 24일(월)
제주대학교 교수회관



한·중 학술교류협의회개최 및 협정체결
2003년 11월 25일(화)
제주대학교 교수회관

● 찾아오시는 길



연락처 : 제주대학교 방사능이용연구소
 제주도 제주시 아라1동 1번지
 Tel : 064)754-2313
 Fax : 064)755-6186

한·중 원자력 농업생명과학 심포지움

(Korea-China Joint Symposium on
 Nuclear Agriculture and Life Science)

WHEN/WHERE

- 일시 : 2003년 11월 24일 13:00 ~
- 장소 : 제주대학교 교수회관
- 주최 : 제주대학교 방사능이용연구소

초대의 글

농업 및 생명과학분야에 있어서 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술은 없어서는 안될 연구수단으로 전 세계적으로 많이 활용되고 있으나 국내의 경우에는 그리 활발하지 않은 게 사실입니다. 근래에 들어 정부에서 방사선 및 방사성 동위원소 이용 진흥법을 제정하여 원자력 발전이 아닌 분야에서의 원자력 기술의 이용을 증진시키고 있는 것은 매우 고무적인 일입니다.

이에 발 맞추어 제주대학교 방사능이용연구소에서는 국내의 농업 및 생명과학분야의 방사선 및 방사성 동위원소 이용을 활성화하고 중국과의 관련 분야에 대한 상호이해와 교류를 촉진하기 위하여 과학기술부의 원자력국제협력기반사업 지원을 받아 한·중 원자력 농업생명과학 심포지움을 개최하고자 합니다. 부디 많이 참석하시어 자리를 빛내 주시면 감사하겠습니다.

2003. 11.

제주대학교 방사능이용연구소장

박재우 드림

Invitation

- 12:00 ~ 13:00 등록(Registration)
- 13:00 ~ 13:20 개회식(Opening session)
 개회사(연구소장 박재우)
 Opening remark by Dr. Park Jae-Woo(Director of Applied Radioisotope Research Institute, Cheju National University)
 환영사(제주대학교 농업생명과학대학장 김문철)
 Welcome address by Dr. Kim Moon-Chul(Dean of College of Agriculture & Life Sciences, Cheju National University)
- 13:20 ~ 13:30 휴식(Coffee Break)
- 13:30 ~ 15:30 Session I (Chairperson: Dr. Xu Bu-Jin Zhejiang University, China)
- 13:30 ~ 14:00 Dr. U, Zang-Kual (Cheju National University, Korea)
 "Use of isotope tracer in soil-plant relation study in Korea"
- 14:00 ~ 14:30 Dr. Yang Juncheng(Institute of Soil and Fertilizer/IAAE, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)
 "Current studies of radioisotopes in soil-plant systems in China"
- 14:30 ~ 15:00 Dr. Lee Kyu-Seung (Chungnam National University, Korea)
 "Utilization of radioisotope techniques for pesticide research in Korea"
- 15:00 ~ 15:30 Dr. Guo Jiangfeng(Zhejiang University, China)
 "Applications of radiotracer technique in pesticide studies"
- 15:30 ~ 15:50 휴식(Coffee Break)
- 15:50 ~ 17:50 Session II (Chairperson: Dr. Kim Soo-Hyun Cheju National University, Korea)
- 15:50 ~ 16:20 Dr. Song Hi-Sup (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)
 "Main achievements and current trends of plant mutation breeding in Korea"
- 16:20 ~ 16:50 Dr. Liu Luxiang(Institute of Crop Science/IAAE, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)
 "Induced mutations for crop improvement in China"
- 16:50 ~ 17:20 Dr. Lee Ju-Woon (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)
 "Current status of food irradiation in Korea"
- 17:20 ~ 17:50 Dr. Gao Meixu(Institute for Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)
 "Status of food irradiation in China"
- 18:30 ~ 20:30 만찬(Reception)





Korea–China Joint Symposium on Nuclear Agriculture and Life Science

Cheju National University, Jeju, Korea
November 24, 2003

Organized by
Applied Radioisotope Research Institute
Cheju National University

Program

- **Registration** **12:00 - 13:00**
- **Opening session** **13:00 - 13:20**
- Opening remarks
 - Dr. Park Jae-Woo(Director of Applied Radioisotope Research Institute, Cheju National University)
 - Welcome address
 - Dr. Kim Moon-Chul(Dean of College of Agriculture & Life Sciences, Cheju National University)
- **Coffee Break** **13:20 - 13:30**
- **Session I : Use of Isotope Tracer** **13:30 - 15:30**

Chairperson: Dr. Xu Bu-Jin (Zhejiang University, China)

13:30 - 14:00

Use of isotope tracer in soil-plant relation study in Korea

Dr. U. Zang-Kual(Cheju National University, Korea)

14:00 - 14:30

Current studies of radioisotopes in soil-plant systems in China

Dr. Yang Juncheng(Institute of Soil and Fertilizer/IAAE, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China)

14:30 - 15:00

Utilization of radioisotope techniques for pesticide research in Korea

Dr. Lee Kyu-Seung (Chungnam National University, Korea)

15:00 - 15:30

Applications of radiotracer technique in pesticide studies

Dr. Guo Jiangfeng(Zhejiang University, China)

15:30 - 15:50 Coffee Break

■ **Session II : Radiation Application**

15:50 - 17:50

Chairperson: Dr. Kim Soo-Hyun(Cheju National University, Korea)

15:50 - 16:20

Main achievements and current trends of plant mutation breeding in Korea

Dr. Song Hi-Sup (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

16:20 - 16:50

Induced mutations for crop improvement in China

Dr. Liu Luxiang(Institute of Crop Science/IAAE, Chinese Academy of
Agricultural Sciences, China)

16:50 - 17:20

Current status of food irradiation in Korea

Dr. Lee Ju-Woon (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

17:20 - 17:50

Current status of food irradiation in Korea

Dr. Gao Meixu(Institute for Application of Atomic Energy, Chinese Academy of
Agricultural Sciences, China)

■ **Reception**

18:30 - 20:30

Use of Isotope Tracer in Soil-Plant Relation Study in Korea

Zang-Kual U.
zkyu@cheju.ac.kr
Cheju National University
Cheju Korea 690-756

Contents

- ✓ **Brief History**
- ✓ **Isotope Tracers in the Soil-Plant Relations Study**
- ✓ **Fertilization Studies**
- ✓ **Ion Uptake and Translocation Studies**
- ✓ **Assimilation Studies**
- ✓ **Foliar Absorption Studies**
- ✓ **Autoradiography**
- ✓ **Neutron Activation Analysis**
- ✓ **Studies related with soil fertility and radioecology**
- ✓ **Case study**
- ✓ **Current/prospective concerns**

Brief History

1963 : Radiation Biology Lab. in Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI), Office of Atomic Energy (OAE)→ MOST

1966 : Radiation Research Institute in Agriculture(RRIA)

1973 : RRIA incorporated in KAERI

1975 : Radioisotope Lab. in National Institute of Agriculture Science and Technology (NIAST) in Rural Development Administration(RDA)

1982 : Applied Radioisotope Research Institute (ARRI) in Cheju National University(CNU)

***Since 1990s radioisotope lab in the university began to be established for the study on genetic engineering and molecular biology**

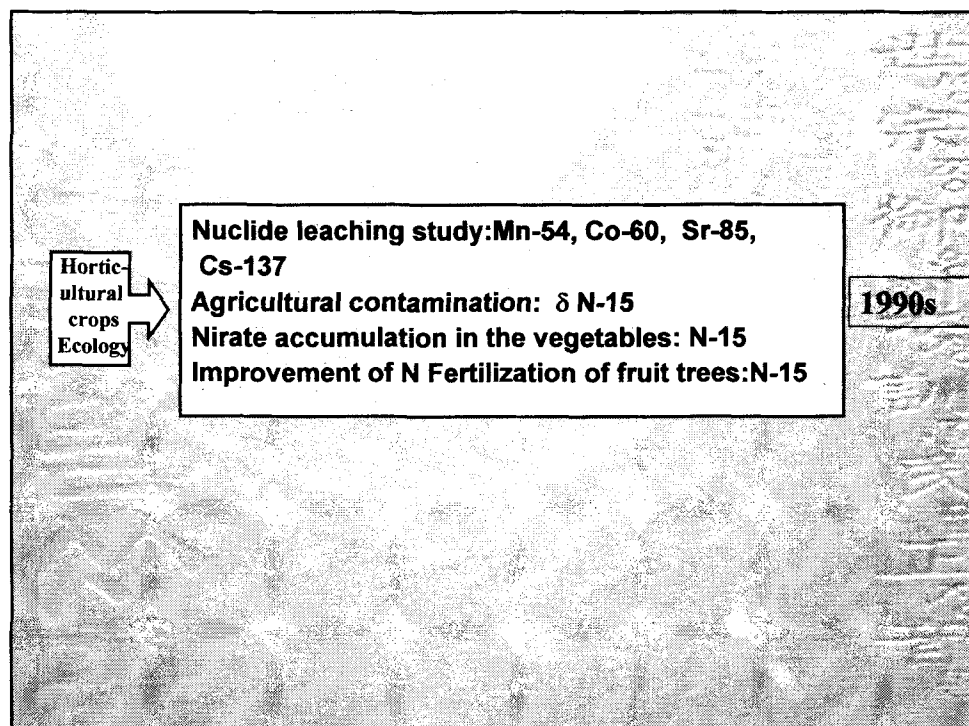
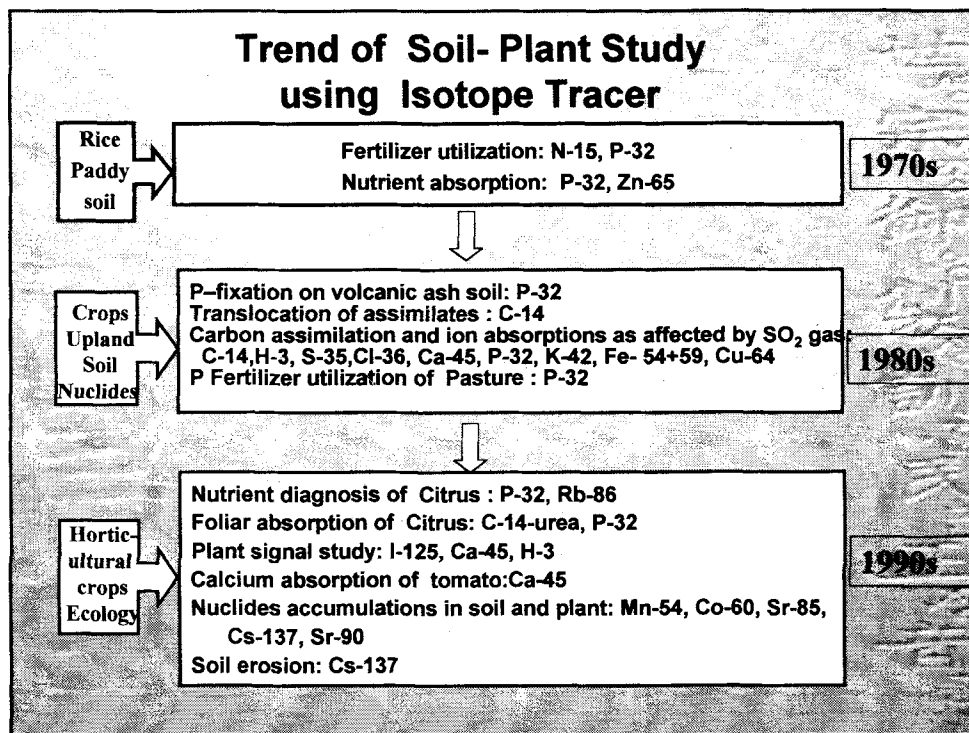
1986 : Radioisotope Lab of NIAST was transferred to National Institute of Agriculture Biotechnology(NIAB) in RDA

1991 : National Instrument Center for Environmental Management in Seoul National University(Service of stable isotope Analysis)

1992 : Korea Basic Science Institute(Service of stable isotope Analysis)

2003 : The groundbreaking of Korea Radiation Applications Research Center as a extension of KAERI

Trend of Soil- Plant Study using Isotope Tracer



Isotope Tracers used commonly in Korea

Stable Isotope	Natural abundance	Typical Applications
N-15	0.366(%)	Fertilizer balance, N-fixation N uptake and distribution Ground water contamination

Radioisotope	Half life(decay type)	Typical Applications
P-32	14.3 d (β^-)	Fertilizer Availability Exchangeable P in soil P uptake and distribution
Cl-36	3.08×10^5 y (β^- , β^+)	Cl uptake
K-40	1.26×10^9 y (β^-)	K availability
K-42	12.36 h (β^- , γ)	K uptake
Ca-45	165 d (β^-)	Ca uptake, distribution Autoradiography

Radioisotope	Half life(decay type)	Typical Applications
Fe-59	45.6 d (β^- , γ)	Fe uptake
Cu-64	12.8 h (β^- , γ)	Cu uptake
Zn-65	245 d (β^+ , γ)	Zn uptake
Rb-86	18.66 d (β^- , γ)	K analog
Sr-85	64.0 d (γ)	Sr accumulation Leaching
Cs-137	30.0 y (β^- , γ)	Soil erosion, Leaching Radioecology
Co-60	5.27 y (β^- , γ)	Environment
Mn-54	310 d (γ)	Mn uptake

Fertilization Studies

✓ Fertilizer utilization in paddy rice

N-15 labeled fertilizer

Ammonium sulfate

Urea

Ammonium nitrate

Sodium nitrate

P-32 labeled fertilizer

Double superphosphate

✓ Fertilizer utilization in barley

P-32 labeled fertilizer

Double superphosphate

$$\%Ndf = \frac{\text{atom \% N-15 excess}_{\text{plant}}}{\text{atom \% N-15 excess}_{\text{fertilizer}}} \times 100$$

Fertilization Studies

✓ Fertilizer utilization in citrus tree

N-15 labeled urea

Application method : liquid , solid

Application rate & time

Difficulties in obtaining fertilizer utilization in citrus
Tree trunk as a nutrients reservoir
Nutrient from fertilizer can not be discriminated.
Conventional method is not applicable.

Ion Uptake and Translocation Studies

- ✓ **Paddy rice**
Under nutritional stress , electric potential or
as effected by growth regulators(anti-GA etc.)
P-32 uptake by roots and distribution in plant
- ✓ **Apple tree**
Spring mobilization of P-32 stored
- ✓ **Barley and Corn**
Ion uptake as affected by sulfur dioxide
P-32, Cl-36, K-42, Ca-45, Fe-55+59, Cu-64, Zn-65

Ion Uptake and Translocation Studies

- ✓ **Citrus tree**
P-32 Uptake by excised citrus root under P stress
P-32 bioassay for P diagnosis of citrus
- ✓ **Orchids**
P-32 uptake and distribution
N-15 uptake and distribution
Understanding of nutritional physiology
- ✓ **Melon and tomato**
As affected by temperature and growth regulators
Ca-45 absorption and translocation
Blossom-end rot

CO₂ Assimilation Studies

- ✓ **Paddy rice**
Translocation pattern of C-14 photosynthate
- ✓ **Barley and Corn**
As effected by sulfur dioxide
CO₂ fixation and translocation to root using C-14
- ✓ **Citrus tree**
- ✓ **Accumulation of C-14 sugar and organic acid in fruits**

Foliar Absorption Studies

- ✓ **Citrus tree**
Foliar absorption rate using C-14 labeled Urea
- ✓ **Tomato**
Ca-45 foliar absorption and translocation



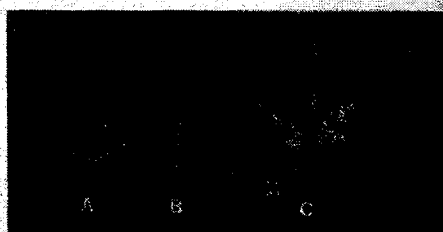
Autoradiography

- ✓ **Orchid**

Distribution of P-32 in leaves, bulb and roots

- ✓ **Tomato**

**Tanslocation of Ca-absorbed through leaves
to fruit or other leaves**



Neutron Activation Analysis

- ✓ **Mn concentration in citrus leaves**

- ✓ **Atomic absorption or emission spectrometry**

ICP

Studies Related with Soil Fertility & Radioecolgy

- ✓ **Soil P availability(E and L-value) using P-32**
- ✓ **Soil P fractionation using P-32**
- ✓ **N transformation in soil as applied with N-15 labelled urea**
- ✓ **Nuclides leaching (Mn-54, Sr-85, Cs-137, Co-60....)**
- ✓ **Cs-137 accumulation**
- ✓ **Soil moisture measurement using neutron scattering**

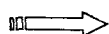
Case Studies of Soil-Plant Relations in Citrus Orchard using Isotope Tracers

- ✓ **N-fertilizer Utilization**
- ✓ **Foliar Absorption**
- ✓ **P-32 Bioassay**

N-fertilizer Utilization

✓ Optimal N-fertilization

Fertilizer loss



Groundwater
contamination

Over-fertilization

Degradation of fruit quality

✓ Conventional method is not applicable.

✓ N-15 labeled urea

Table . Effects of application method and rate of urea on the recovery of fertilizer N in *Citrus unshiu* Marc.(cv. Okitsu Wase)

Application method	N rate (kg/ha)	Roots	Stems	Leaves	Fruits	Total or Average
Dry matter (kg/tree)						
Liquid	90	4.62	8.15	2.31	2.86	17.94
	180	4.12	7.72	2.10	2.92	16.86
Solid	180	3.21	6.32	1.63	2.87	14.03
	270	3.62	6.92	1.79	3.51	15.83
LSD (5%)		NS	NS	NS	NS	NS
N concentration (%)						
Liquid	90	0.39	0.33	2.79	0.75	0.73
	180	0.38	0.32	2.66	0.80	0.71
Solid	180	0.35	0.31	2.80	0.71	0.69
	270	0.53	0.46	2.30	0.63	0.72
LSD (5%)		NS	NS	NS	NS	NS
N uptake (g/tree)						
Liquid	90	18.0	26.5	64.4	21.4	130.3
	180	15.8	24.8	55.8	23.4	119.9
Solid	180	11.1	19.7	45.6	20.4	96.8
	270	19.0	32.1	41.2	22.1	114.4
LSD (5%)		NS	NS	NS	NS	NS

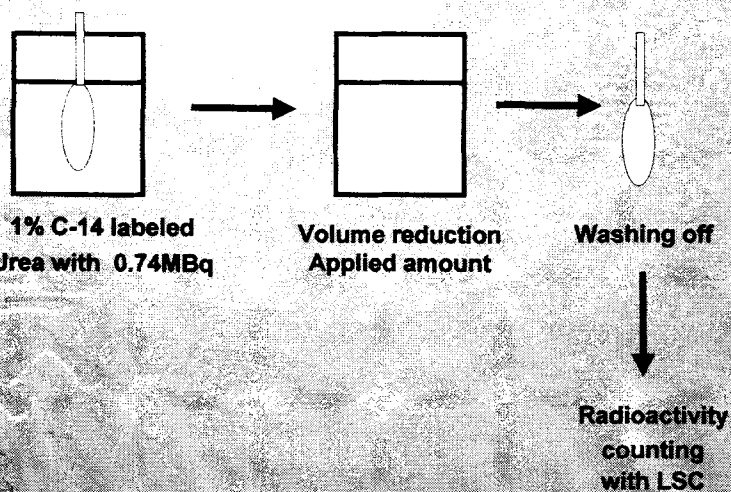
		NDFF (%)				
Liquid	90	3.44	2.49	5.70	6.17	4.81
	180	4.94	2.50	7.51	8.85	6.40
Solid	180	4.86	3.81	8.27	8.53	7.02
	270	7.74	3.18	11.4	12.81	8.76
LSD (5%)		2.80	NS	NS	3.80	NS
		Fertilizer N (g/tree)				
Liquid	90	0.62	0.66	3.67	1.32	6.27
	180	0.78	0.62	4.19	2.07	7.67
Solid	180	0.54	0.75	3.77	1.74	6.80
	270	1.47	1.02	4.70	2.83	10.02
LSD (5%)		0.30	NS	NS	0.74	1.83
		Recovery of fertilizer N (%)				
Liquid	90	2.19	2.35	13.03	4.71	22.27
	180	1.40	1.11	7.45	3.69	13.64
Solid	180	0.96	1.34	6.70	3.09	12.09
	270	1.74	1.21	5.65	3.36	11.87
LSD (5%)		NS	0.76	4.82	NS	6.75

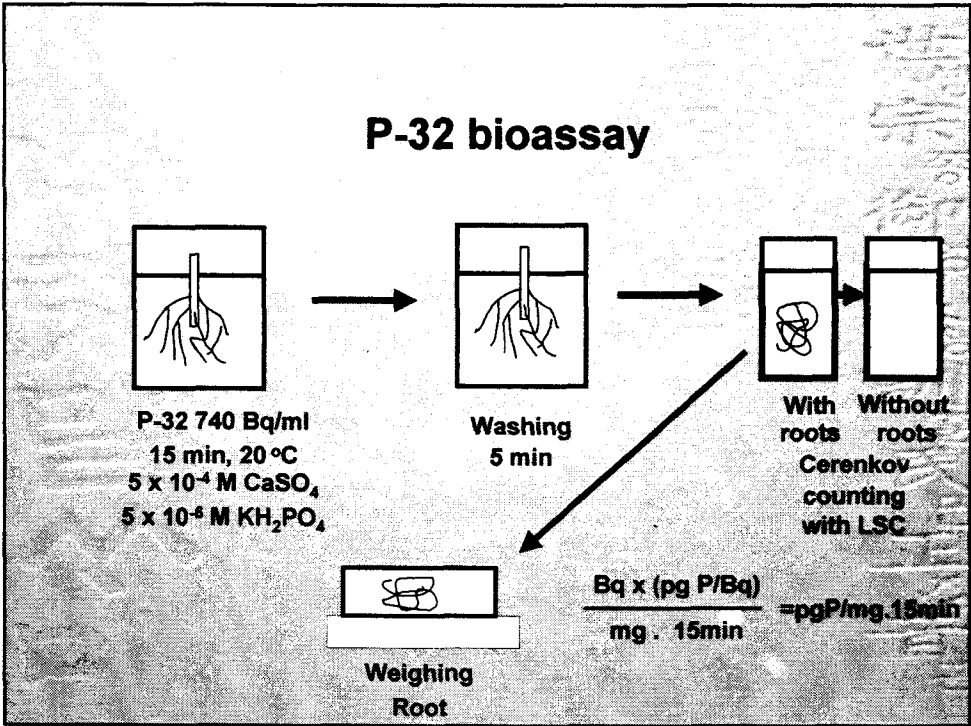
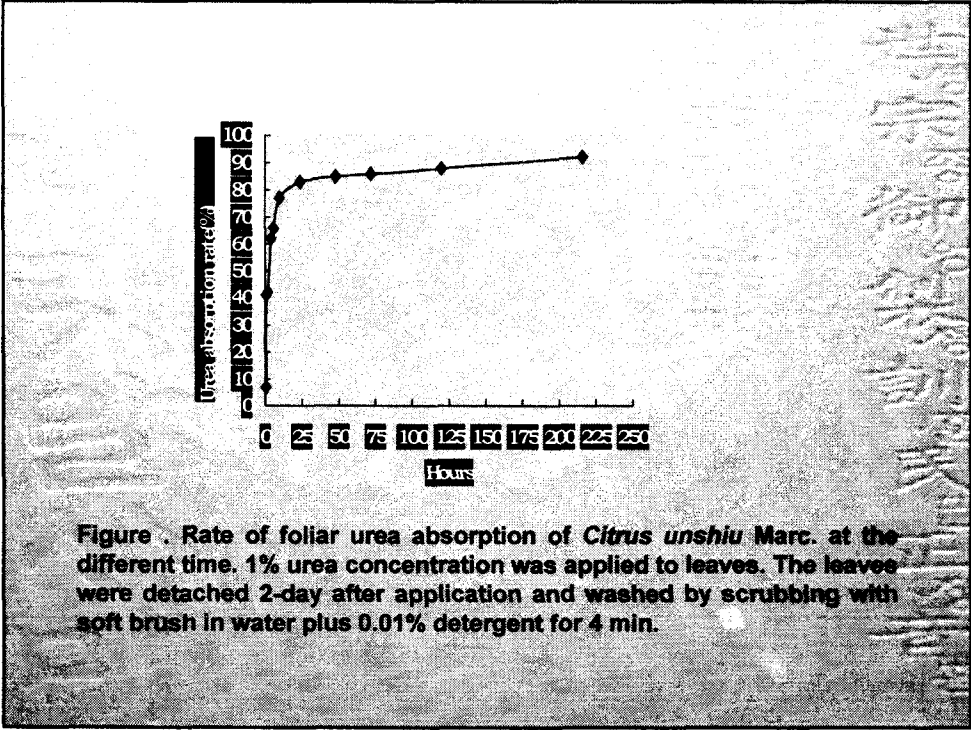
- ✓ Efficiency of Urea-N fertilizer
about 12- 22 % (30 – 50 % in the text book)
- ✓ Application method: liquid > Solid
Fertigation is recommended
- ✓ Optimal fertilization
137 – 365 kg N/ ha

Foliar Absorption

- ✓ Supplement of nutrients
- ✓ Alternative to soil fertilization to reduce nitrate losses into the aquifers
- ✓ Quick effect of urea foliar spray
- ✓ Urea absorption rate determination
- ✓ C-14 labeled urea

Foliar absorption rate





P-32 bioassay

- ✓ No response of Citrus for P-fertilizer over several years
- ✓ Very high P accumulation (up to 1000 mg/kg or more)
- ✓ No proper guidance of P-fertilization
- ✓ P-32 bioassay

*reliable measure for the physiological demand of citrus tree

*exponential relation between P-32 uptake by roots and P-nutritional status in plants

Table . P-uptake by the excised root and leaf-P content of citrus trees received the different application rates of P-fertilizer and available P in soil after field experiment.

Field	P Application (kg P ₂ O ₅ /ha)	1st year		2nd year		3rd year			
		P uptake (µgP / mg root)	Avail. P (mg/kg)	P uptake (µgP / mg root)	Avail. P (mg/kg)	P uptake (µgP / mg root)	Avail. P (mg/kg)	New	Old
A (5.5 mg P / kg)	0	1326 ^{ab}	5.00 ^c	1078 ^a	4.20 ^c	1177 ^a	3.80 ^b	0.14 ^{ab}	0.06 ^c
	140	1054 ^{ab}	6.93 ^{bc}	1046 ^a	4.81 ^c	954 ^b	6.74 ^b	0.18 ^a	0.08 ^{bc}
	280	1178 ^{ab}	5.45 ^{bc}	966 ^a	5.60 ^c	930 ^b	6.33 ^b	0.12 ^a	0.09 ^{bc}
	420	1042 ^{ab}	11.2 ^{ab}	809 ^b	9.8 ^{bc}	755 ^c	13.6 ^a	0.16 ^{ab}	0.09 ^{bc}
	700	1180 ^{ab}	7.73 ^{bc}	789 ^b	14.0 ^b	743 ^c	21.4 ^a	0.15 ^{ab}	0.10 ^{bc}
	1400	973 ^a	13.9 ^a	776 ^b	21.4 ^a	628 ^c	41.4 ^a	0.16 ^{ab}	0.10 ^{bc}
B (26.1 mg / kg)	0	719 ^a	30.6 ^a	688 ^b	26.8 ^b	636 ^c	20.8 ^c	0.14 ^a	0.09 ^{bc}
	70	573 ^b	30.1 ^a	646 ^{ab}	31.5 ^a	547 ^{ab}	37.8 ^b	0.15 ^a	0.08 ^{bc}
	140	621 ^{ab}	31.6 ^a	613 ^{ab}	55.9 ^a	461 ^{bc}	68.4 ^b	0.14 ^a	0.08 ^{bc}
	210	667 ^{ab}	40.3 ^{ab}	573 ^{ab}	75.3 ^b	491 ^{bc}	80.7 ^b	0.13 ^a	0.08 ^{bc}
	350	596 ^{ab}	43.0 ^{ab}	516 ^{bc}	88.4 ^b	395 ^{cd}	113 ^{ab}	0.14 ^a	0.10 ^{bc}
	700	603 ^{ab}	54.7 ^a	458 ^c	132 ^a	383 ^c	156 ^a	0.15 ^a	0.08 ^{bc}
D (89.0 mg / kg)	0	480 ^a	94.5 ^a	339 ^{ab}	112 ^c	489 ^a	95.5 ^a	0.12 ^a	0.09 ^{bc}
	140	481 ^a	98.0 ^a	298 ^{ab}	125 ^c	423 ^a	125 ^a	0.12 ^a	0.09 ^{bc}
	280	487 ^a	116 ^a	296 ^{ab}	130 ^c	416 ^a	140 ^a	0.12 ^a	0.09 ^{bc}
	420	520 ^a	120 ^{ab}	257 ^b	129 ^c	517 ^a	289 ^{ab}	0.14 ^a	0.09 ^{bc}
	700	458 ^a	125 ^a	414 ^a	156 ^{bc}	474 ^a	256 ^{ab}	0.14 ^a	0.07 ^{bc}
	1400	479 ^a	130 ^a	310 ^{ab}	171 ^a	523 ^a	336 ^a	0.12 ^a	0.07 ^{bc}
F (162 mg / kg)	0	426 ^a	150 ^a	333 ^a	157 ^b	489 ^a	146 ^a	0.13 ^{ab}	0.08 ^{bc}
	140	418 ^a	157 ^a	273 ^a	168 ^b	284 ^b	165 ^a	0.11 ^a	0.06 ^{cd}
	280	457 ^a	167 ^a	318 ^a	183 ^{ab}	398 ^{ab}	202 ^a	0.13 ^{ab}	0.08 ^{bc}
	420	392 ^a	170 ^a	295 ^a	205 ^{ab}	463 ^{ab}	230 ^{ab}	0.11 ^a	0.08 ^{bc}
	700	428 ^a	181 ^a	247 ^a	251 ^a	374 ^{ab}	240 ^{ab}	0.14 ^a	0.07 ^{bc}
	1400	453 ^a	196 ^a	309 ^a	285 ^a	378 ^{ab}	340 ^a	0.12 ^{ab}	0.07 ^{bc}

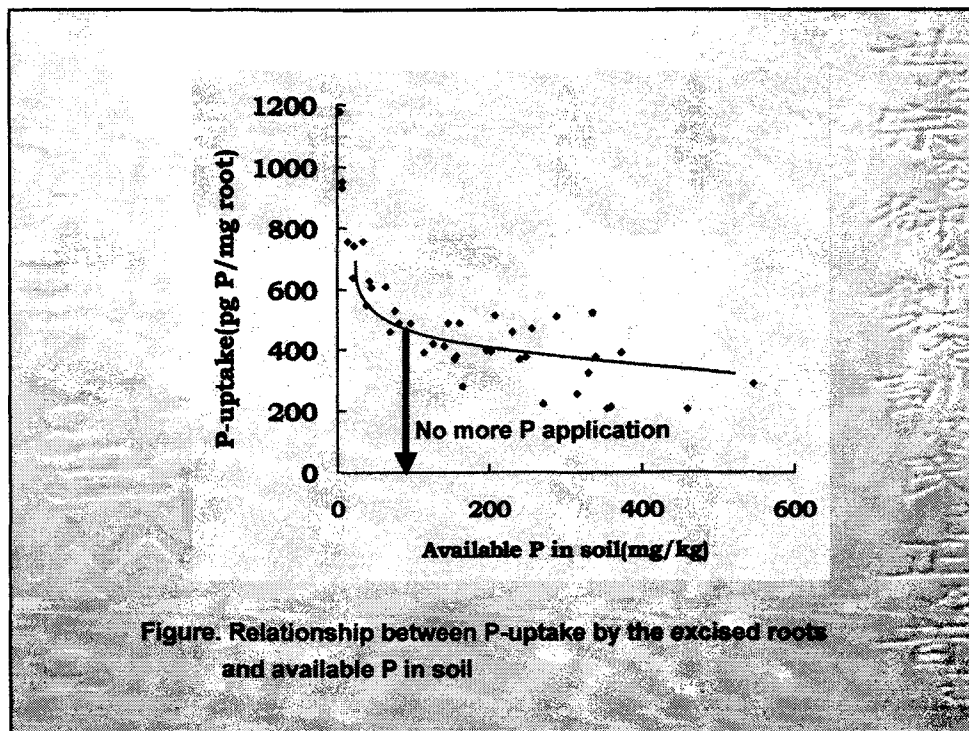


Figure. Relationship between P-uptake by the excised roots and available P in soil

Current /Prospective Concerns

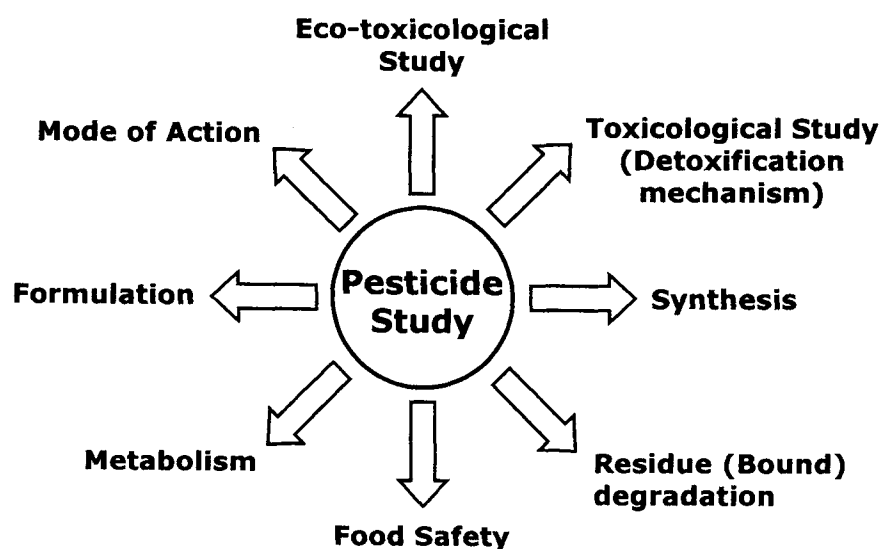
- ✓ Decomposition of plant organic matter / its N-mineralization
- ✓ New fertilizer evaluation
- ✓ Fertigation effectiveness
- ✓ Absorption and translocation of nutrients by the horticultural crops in the soilless culture
- ✓ Foliar absorption of the horticultural crops
- ✓ Environmental(salt or CO₂ elevation) stresses of crops
- ✓ Molecular biology on plant nutrition
- ✓ Behaviors of fallout nuclides(Cs-137, Sr-90, Pb-210, Be-7)

Utilization of radioisotope techniques for pesticide research in Korea

Kyu-Seung Lee

**Dept. of Agricultural Chemistry,
Chungnam National University**

Use of Radio-labeled Pesticides



Merits of Radio-labeled compounds

**1. Significant low level detection
(High sensitivity)**

2. Distinguished easily

3. Identification of Metabolites

Table 1. Status of Pesticide Researches with radio-tracer technique in Korea.

Form		Years				Total
		1970	1980	1990	2000	
Research Paper	Domestic	2	10	22	2	36
	Abroad	-	2	9	1	12
PhD. Dissertation		-	1	4	2	7
Review paper		-	1	1	-	2
Proceeding*		-	-	1	1	2

* : Only presented in proceeding

Table 2. Pesticides used in radio-tracer research.

Insecticide	Frequency	Fungicide	Frequency	Herbicide	Frequency
Acrinathrin	2	Propiconazole	3	Bensulfuron	2
BHC	1			Bentazon	8
Carbofuran	7			Bifenox	1
Cypermethrin	3			Butachlor	2
Endosulfan	2			Cinosulfuron	2
Imidacloprid	1			3,4-DCA	2
Phosphamidon	2			Dithiopyr	1
(DB1-3204)	(1)			Imazapyr	1
				Oxyfluorfen	1
				Pirimisulfuron	1
		Quinclorac	1		
		TCAB	6		
		(K11451)	(1)		
Sum	18 (1)	3		28(1)	

Table 3. Supplying source of radio-labeled pesticides.

Purchase	Donation				Synthesis	
	Company		Institution			
Amersham IIM(International Isotopes München) Radiochemical center Ltd.	6 7	American-cynamide	1	IAEA	8	1
		Roussel uclaf	2			
		FMC	1			
		Monsanto	2			
		Dupont	3			
		Novartis	1			
	1	Ciba-Geigy	2			
		BASF	8			
		Shell	3			
		Sum	14			

Table 4. Research areas with radio-labeled pesticides in Korea.

	Insecticide	Fungicide	Herbicide	Sum
Mode of action	2	-	5	7
Degradation	4	2	11	17
Residue	6	3	17	26
Metabolism	11	1	2	14
Toxicology	3	-	-	3
Formulation	-	-	1	1
Synthesis	1	-	1	2
Sum	27	6	37	70

Table 5. Research objectives with radio-labeled pesticide in Korea.

Objectives	Plants	Soils	Animal	
Frequency	24	29	7	<ul style="list-style-type: none"> - Rat : 3 - Carp : 1 - Insect : 3

Table 6. Studies for mode of action

Pesticide	Mode of action	References
Bensulfuron	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rice → high metabolic ability ■ <i>Cyperus serotinus</i> → slow metabolic ability 	Kwon and Pyon (1993)
Bensulfuron	<ul style="list-style-type: none"> ■ Absorption rate: <i>Cyperus serotinus</i> <i>Sagittaria pygmaea</i> » <i>Echinochloa crusgalli</i> Beauv. ■ high temp. → acceleration of uptake 	Kang and Pyon (1995)
Dithiopyr	<ul style="list-style-type: none"> ■ barnyard grass (<i>Echinochloa crusgalli</i> Beauv.) → high uptake and translocation rate 	Pyon et al. (1994)
Oxyfluorfen	<ul style="list-style-type: none"> ■ barnyard grass ■ high absorption rate than rice cultivars 	Lee (1995)

Table 7. ¹⁴CO₂ evolution of some herbicides

Herbicides	¹⁴ CO ₂ evolution rate	References
Bentazon	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0.6%/week → 5.5 mg/kg dose ■ 0.2%/week → 25.1 mg/kg dose 	Lee et al. (1987)
Bentazon	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5.1%/2 months ■ 13.8%/6 months 	Lee et al. (1989)
3,4-DCA	<ul style="list-style-type: none"> ■ 6.5%/1.5 mg/kg dose (alkaline soil) ■ 1.9%/94 mg/kg dose ■ 4.9%/1.5 mg/kg dose (organic acid soil) ■ 4.2%/94mg/kg dose 	Lee and Fournier (1978)
Quinclorac	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0.7%/14th week (lysimeter surface) 	Kyung et al. (1997)
TCAB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0.04%/3 months (paddy field) ■ 0.13%/6 months 	Lee and Kyung (1995)

Table 8. Degradation rate of some insecticides

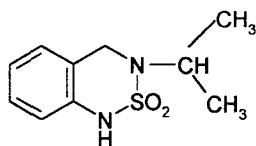
Insecticide	¹⁴ CO ₂ evolution rate	References
Acrinathrin	<ul style="list-style-type: none"> ■ half life → 13-20 day ■ 62-81% of ¹⁴CO₂/24 weeks 	Lee et al. (1995)
Carbofuran	<ul style="list-style-type: none"> ■ recovery rate: - 87.0%/1 day - 60.0%/5 day (paddy field) - 36.3%/24 day 	Park and Oh (1986)
Carbofuran	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1.8% ¹⁴CO₂/20days 	Lee et al. (1987)
Imidacloprid	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3.7-4.4% of ¹⁴CO₂/12 weeks (rice growing lysimeter) ■ 13.0-13.5% of ¹⁴CO₂/9 weeks 	Lee et al. (2003)

Table 9. Bound Residues of some pesticides in soil

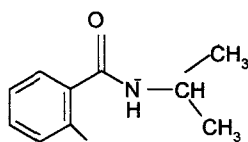
Pesticides	Rate of bound residue formation	References
Acrinathrin	<ul style="list-style-type: none"> ■ 70%/1 month 	Lee et al. (1995 b)
Bentazon	<ul style="list-style-type: none"> ■ 46.6-56.6%/5.5 mg/kg dose ■ 25.9-44.0%/25.0 mg/kg dose 	Lee et al. (1987)
Bentazon	<ul style="list-style-type: none"> ■ 32.2-79.3%/2 years (lysimeter condition) 	Lee et al. (1996)
Carbofuran	<ul style="list-style-type: none"> ■ 42.6%/5-20 days 	Lee et al. (1987)
Carbofuran	<ul style="list-style-type: none"> ■ 24-39%/60 days 	Lee and Park (1995)
Cinosulfuron	<ul style="list-style-type: none"> ■ 88%/4 years 	Lee et al. (2002)
3,4-DCA	<ul style="list-style-type: none"> ■ 47.7% in organic acid soil ■ 29.5% in alkaline soil 	Lee and Fournier (1978)
Propiconazole	<ul style="list-style-type: none"> ■ 11.2-22.1%/sterilized soil ■ 22.2-41.9%/non-sterilized soil 	An et al. (1999)
TCAB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 7.8%/3 months ■ 19.3%/15 months 	Lee and Kyung (1991)

Metabolic pathway of bentazon

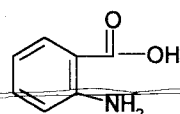
❖ Lee et al. (1993)



Bentazon



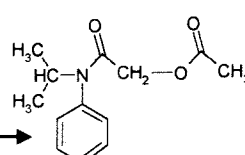
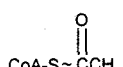
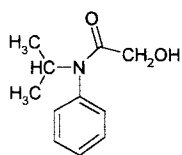
Anthranilic acid isopropylamide



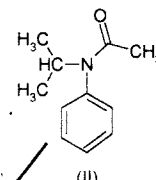
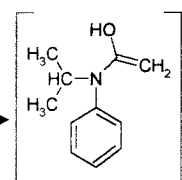
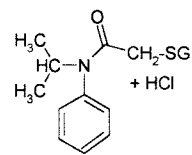
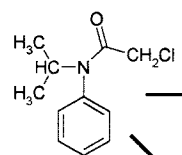
Anthranilic acid

Metabolic pathway of propachlor

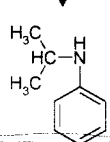
❖ Lee et al. (1982)



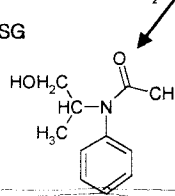
by OH⁻ ↑
Nucleophilic displacement



Acylamidase ↓

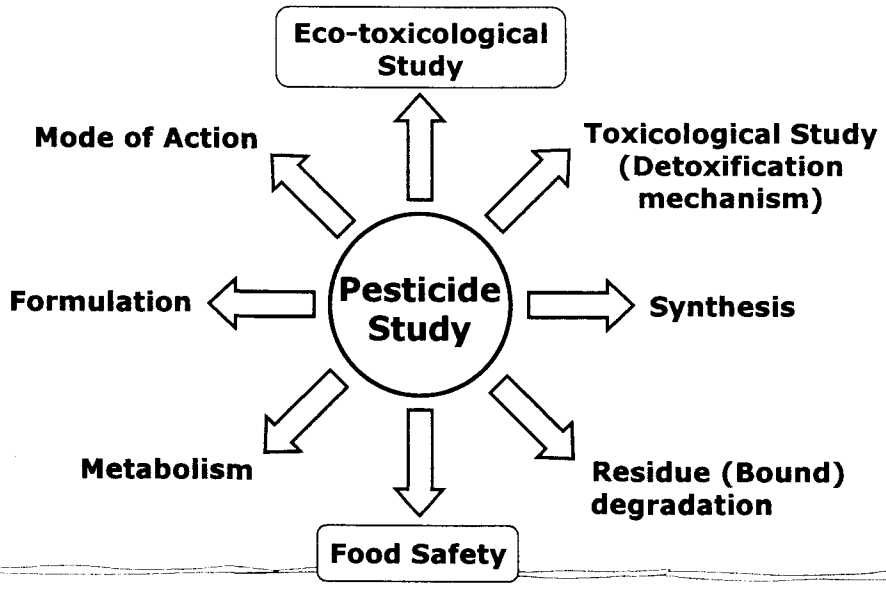


Cysteine and
Mercapturic acid
Conjugates

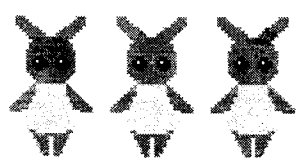


NADPH, O₂
Mixed-function
oxidase

Use of Radio-labeled Pesticides



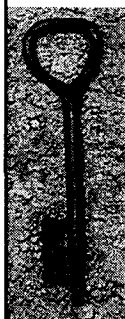
Thank you~





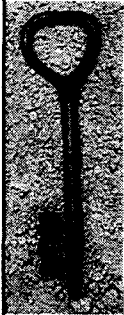
APPLICATION OF RADIOTRACER TECHNIQUE IN PESTICIDE STUDIES

Jiangfeng Guo Bujin Xu
Institute of Nuclear Agricultural Sciences
Zhejiang University
Hangzhou, Zhejiang 310029
P.R.China



1. Introduction

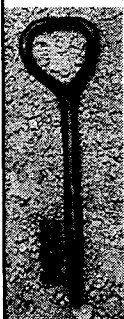
- ◆ China has become the largest consumer of chemical fertilizers with an annual consumption of 27.5% of worldwide production;
- ◆ Consumption of pesticides also increased dramatically from 0.76×10^6 t in 1991 to 1.20×10^6 t in 1997.



- ◆ Misuse or over-use of agrochemicals has resulted in a severe eutrophication and contamination of soil environment and water bodies.
- ◆ About 70% of applied chemical fertilizer and 80% of applied pesticides has entered soil environment and water bodies directly.

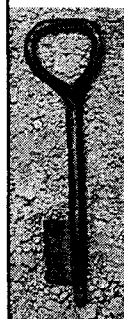


- ◆ The fate and behavior of pesticides have to be evaluated according to guidelines that are defined by the registration authorities. In obtaining such data, the application of radiotracer technique has contributed more than any other single factor to the ability of the pesticide scientist to accurately assess the metabolic and environmental behavior of pesticides.



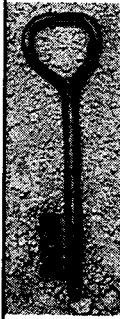
2. Radiotracer Technique in Pesticide Studies

- ◆ The application of radiotracer technique has led to a more complete understanding of the properties, effects and fate of pesticides;
- ◆ Radiotracer studies now form an important part of the multi-disciplinary approach to the study of new pesticides prior to their release to market.



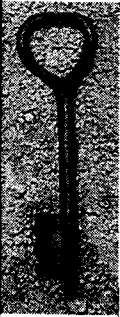
Advantages of Radiotracer Technique

- ⊗ Rapid measurement of total pesticide residues and bio-concentration factors without time-consuming sample preparation procedures;
- ⊗ Identification of pollution pathway of a pesticide;
- ⊗ Validation of extraction and clean-up procedures;
- ⊗ Very sensitive detection of pesticide residues;
- ⊗ Clear picture of uptake, penetration sites, distribution and accumulation by utilizing macro- or micro-autoradiographic methods;
- ⊗ Unique way to quantify the bound residues and to obtain information on the bioavailability of bound residues.



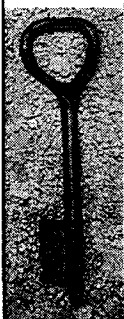
Disadvantages of Radiotracer Technique

- Costs and lack of availability of suitably labeled compounds can be a handicap for pesticide scientists;
- Most of nuclear instruments are too expensive to be afforded by users of developing countries, and scientists must be well trained to perform radiochemical operations in a licensed laboratory;
- Pesticide studies with radiolabeled compound are generally performed in a simulated ecosystem under a controlled condition due to radioactive contamination



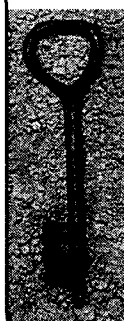
2.1 Qualitative Identification & Quantitative Estimation of Residues

- ◆ The qualitative identification and quantitative estimation of parent compounds and their metabolites or degradation products, including extractable and bound residues, can be performed easily by utilizing radiotracer technique;
- ◆ Radiotracer technique has also been found to be especially useful in basic studies of this kind and in the preparation of “balance sheet” to account for the overall fate of the original substance.



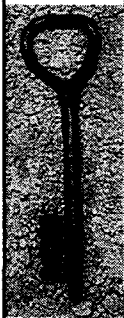
2.2 Metabolism Studies

- ◆ The most convenient method to get a clear picture of the mode of action of the compound, metabolic pathway, its possible effect on livestock and wild life, and the importance of application patterns and techniques.



2.3 Persistence Studies

- ◆ The use of radiolabeled compounds permits such persistence studies to be conducted quickly, accurately and economically and with every chance of determining the effects of chemical, physical and meteorological variables on the rate of degradation/disappearance.



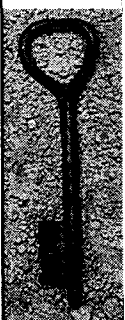
2.4 Uptake & Translocation Studies

- ◆ Where chemicals have a capacity to be translocated in plants or animals, radiolabeled compounds can be used to determine the rate, degree and site of translocation without the necessity of developing complex, cumbersome and costly analytical techniques. And the translocation and distribution of chemicals in plants or animals even can be visualized with autoradiographic method.



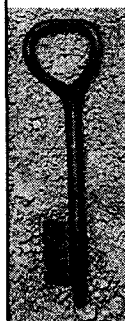
2.5 Behavior & Fate of Pesticide in the Environment

- ◆ The radiotracer technique has contributed to the elucidation of the fate, including adsorption, desorption, leaching, degradation, and uptake, of pesticides for over 40 years and has become the predominant experimental technique.
- ◆ Generally these kinds of radiotracer studies with pesticides have been conducted under laboratory conditions or in a simulated micro-ecosystem located in a controlled area.

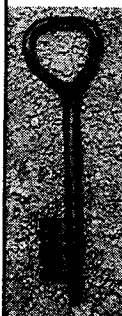


3. Application of Radiotracer Technique in Pesticide Studies in China

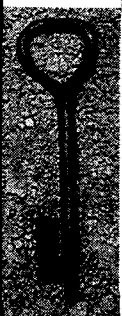
- ◆ Radiolabeled chemicals have been used in pesticide studies by Chinese scientists since 1960s;
- ◆ More than 80 kinds of agrochemicals, including insecticide, fungicide, bactericide, herbicide, and metabolic intermediate, have been synthesized by Chinese scientists and distributed to relevant research institutions;



- ◆ The labeled compounds with ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{32}P , ^{35}S , and other radionuclides have provided sensitive and rapid methods in pesticide studies;
- ◆ Radiotracer technique was applied mainly to pesticide residues analysis for guiding proper use of pesticides and evaluating environmental behavior of pesticides in China.

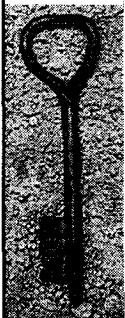


◆ Professor Ziyuan Chen, the pioneer in the field of pesticide studies with radiotracer technique in China, was in charge of a key project of the Ministry of Agriculture entitled as *National Criteria for Pesticide Safe Use*, and conducted collaboratively by 43 institutions throughout China.




The researches fall into the following categories:

- ⊗ Residue of pesticide in soil and crops;
- ⊗ Up-take, translocation and distribution of pesticide in plants;
- ⊗ Up-take, distribution of pesticide in animals;
- ⊗ Behavior of pesticide in environment, including adsorption-desorption, leaching, degradation etc;
- ⊗ Fate of pesticide in terrestrial soil-plant ecosystem;
- ⊗ Fate of pesticide in aquatic ecosystem;
- ⊗ Modeling the environmental fate of pesticide by using model ecosystem and computer techniques;
- ⊗ Bound pesticide residues;
- ⊗ Genotoxicity of pesticide;
- ⊗ Controlled release formulation of pesticide.

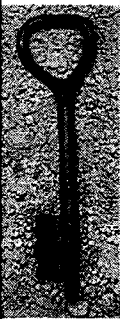


- ◆ Chinese scientists actively involved many activities related to pesticide studies by utilizing radiotracer technique sponsored by the IAEA, such as coordinated research projects, training courses (as trainee or trainer);
- ◆ China was elected as leading country of nuclear agriculture in Asian-Pacific regional cooperation agreement (RCA) activities. The mutual understanding and communication with our international counterparts has been promoted by the participation of these activities.

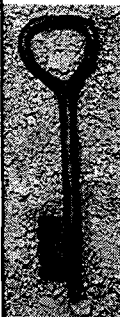


4. Isotope Selection & Label Position

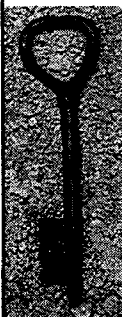
- ◆ The structure of the pesticide;
- ◆ Synthesis considerations—the ability to successfully and at acceptable cost incorporate the desired radiotracer into the pesticide molecule—are certainly significant and sometimes limiting considerations;
- ◆ Safety, facility, and instrumentation limitations, and personal preferences are also major factors in isotope selection.



- ◆ Several kinds of radioisotopes, including ^{14}C , ^3H , ^{36}Cl , ^{32}P , ^{35}S , are used for labeling pesticide molecule;
- ◆ ^{14}C is the best choice for most radiolabeled compounds:
 - Longer half-life;
 - Soft beta emitter
 - A variety of ^{14}C precursors are available.
- ◆ Tritium is a very acceptable radioisotope for use in pesticide studies for many of the same reasons mentioned above for ^{14}C .

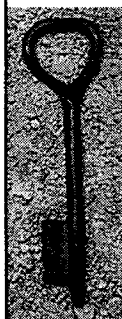


- ◆ Other beta-emitting radioisotopes, particularly ^{35}S and ^{32}P , are appropriate for certain pesticides;
- ◆ Gamma-emitting isotopes are rarely used in pesticide metabolism studies for a number of reasons, including safety, facility, and instrumentation considerations.

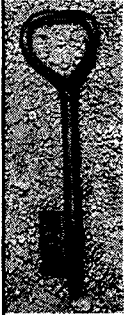


5. Purity & Specific Activity of Radiolabeled Chemicals

- ◆ to verify the radiochemical purity of the sample;
- ◆ Appropriate techniques, usually chromatography, should be used to verify the radiochemical purity of any labeled pesticide, and a radiochemical purity of 95% or greater is acceptable for most studies.



- ◆ The specific activity of a radiolabeled pesticide is an important consideration in many studies, particularly when the researcher wants to quantitate residues at low levels;
- ◆ Labeled preparations having very high specific activity are often similarly inappropriate;
- ◆ The use of high specific activity samples can be wasteful of radiochemical and can result in a level of sensitivity far above that which is reasonably required.



6. A Case Study

----Studies on Bound ^{14}C -chlorsulfuron Residues in Soil



Studies on Bound ^{14}C - Chlorsulfuron Residues in Soil

JIANGFENG GUO AND JINHE SUN
Institute of Nuclear Agricultural Sciences,
Zhejiang University,
Hangzhou 310029, People's Republic of China

Background

- Very effective when used at very low application rates, usually in the range of 10 to 40 g/ha for wheat, oats, and barley;
- The half-life of chlorsulfuron in soil is 1-2 months under field conditions;
- Although the residues of chlorsulfuron in soil are expected to be very low, damage to sugar beet crops has been reported two years after chlorsulfuron application;

- Chlorsulfuron could still cause injury to rice seedling and pea when in the bound state, which indicated that bound chlorsulfuron residues were bioavailable to these plants;
- Mechanisms for the bioavailability and phytotoxicity of chlorsulfuron-derived bound residues (BRs) have not been properly elucidated.

Objectives

- to evaluate the dynamics of formation of extractable residues (ERs) and BRs of chlorsulfuron in soil;
- to determine the distribution of chlorsulfuron BRs in different organic matter fractions;
- to establish the identity of BRs that were released by autoclaving.

Chemicals

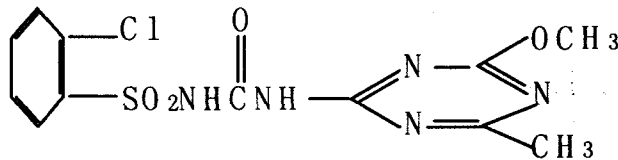
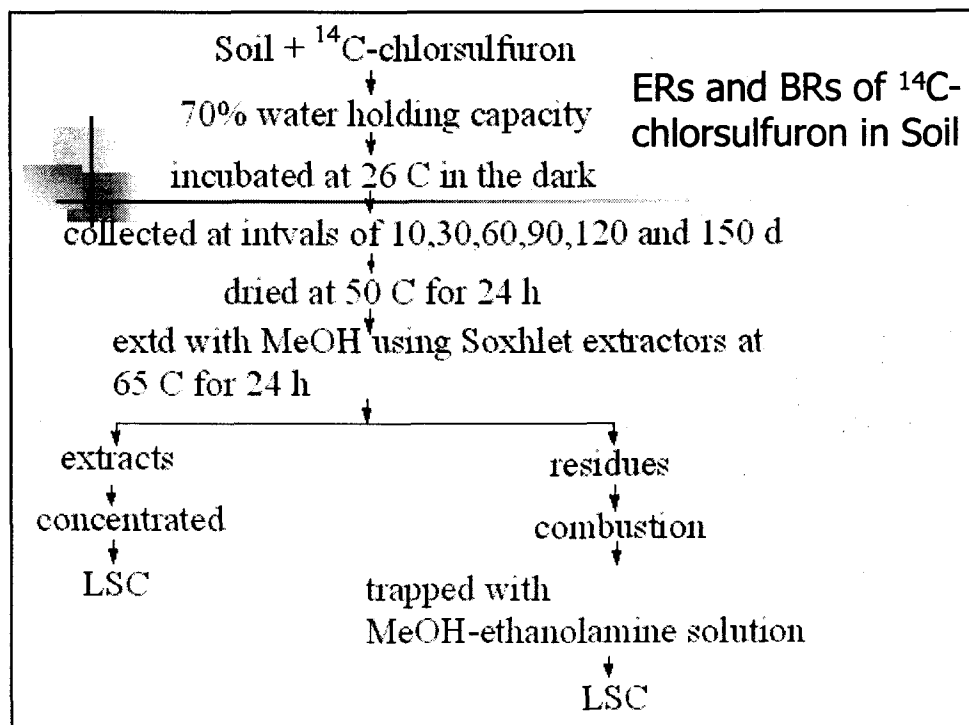
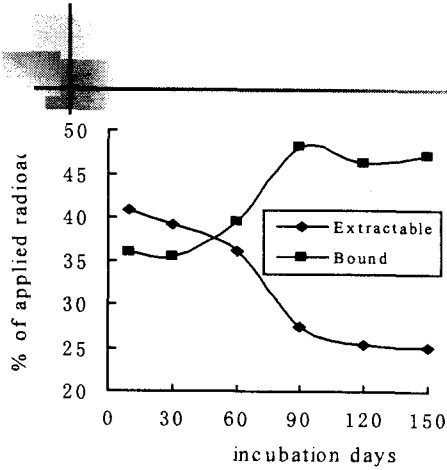


Figure 1. Chemical structure of chlorsulfuron.



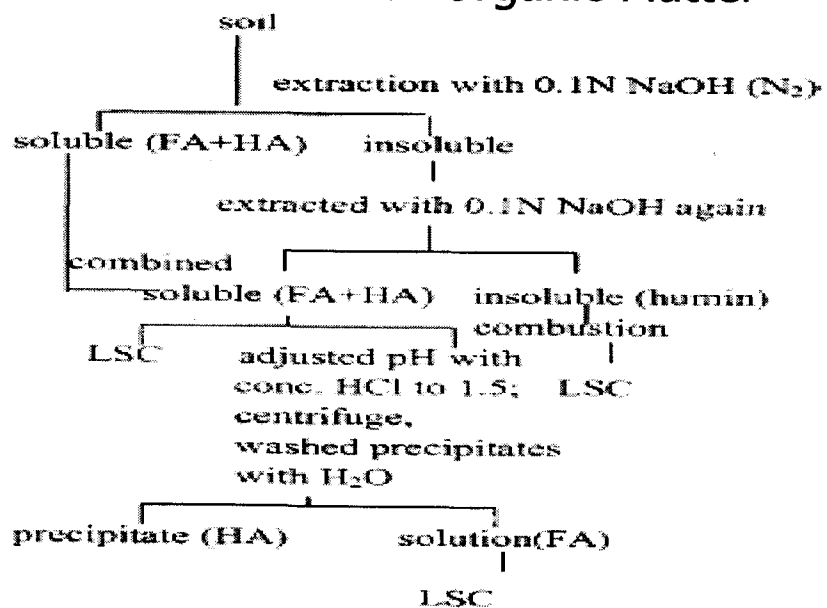
ERs and BRs of ^{14}C -Chlorsulfuron in Soil



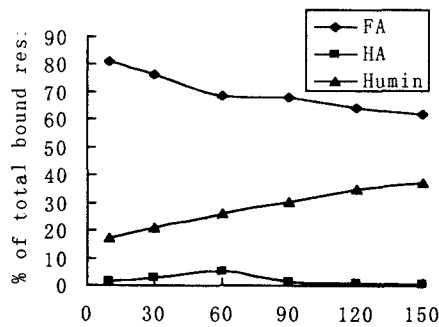
>Decreases in ERs accompanied by concurrent increases in BRs;
 >A rapid decrease in BRs in initial 90 d, after which the change in relative proportion was relatively slow.

>A rapid increase in the fraction of BRs prior to day 90, then increased at a slow rate.

Fractionation of Soil Organic Matter

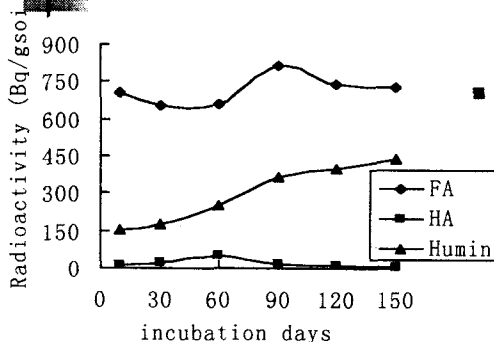


Distribution of ¹⁴C-chlorsulfuron BRs in Soil



- Distribution of ¹⁴C-BRs in soil OM fractions follows the order of FA > humin > HA;
- ¹⁴C-residues which are bound to FA can move and migrate easily or can be degraded by microorganisms in soil solution;

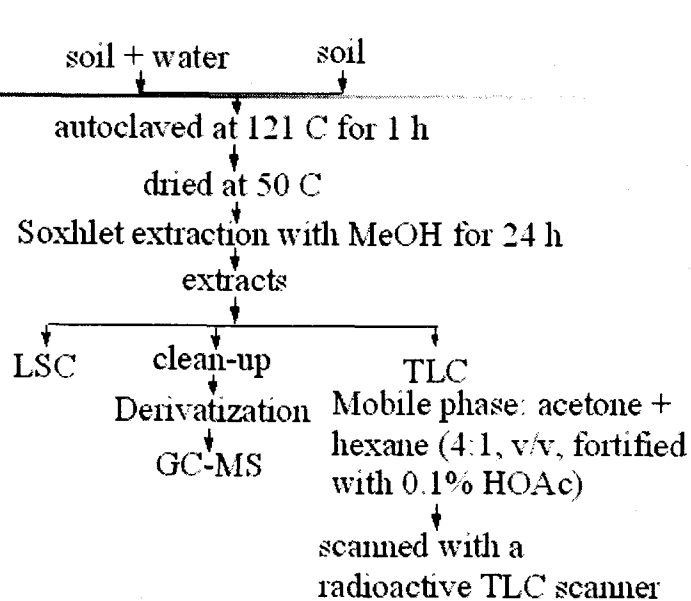
- Association of a significant amount of BRs with FA may contribute directly or indirectly to the observed injuries to certain crops from bound and aged chlorsulfuron residues.



- Specific activity associated with the FA and HA fractions changed slightly over time; however, that in humin fraction increased continuously with incubation time;
- Residues of chlorsulfuron preferentially reacted with the oxygen-rich FA fraction, and as time increased, the FA-bound ¹⁴C-residues were further incorporated into humin and clay mineral fractions, resulting in gradual increases in humin

- Calderbank suggests that aging of BRs is most likely a result of covalent bond formation, i.e., by chemical incorporation of pesticide residues into the humin fraction of soil.

Release of BRs by Autoclaving



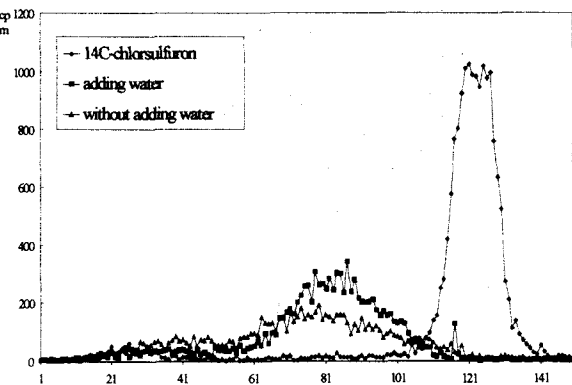
Released Activity from BRs after Autoclaving

	Day 20	Day 120
Without water	33.6 ± 2.7	29.1 ± 2.0
With water	53.0 ± 3.9	39.0 ± 3.0

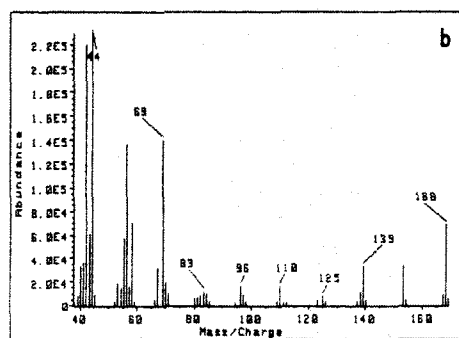
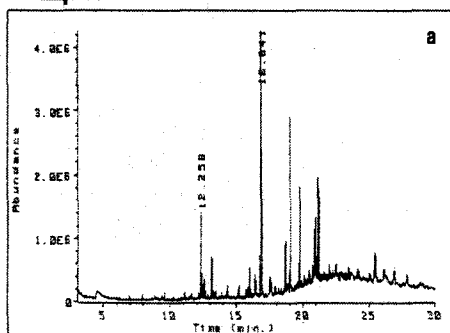
- BRs became extractable again after autoclaving;
- The release was greatly enhanced by addition of water prior to the autoclave treatment;
- The shorter the incubation time, the more readily the ¹⁴C-residue could be released in the treatment with water.

Results of TLC

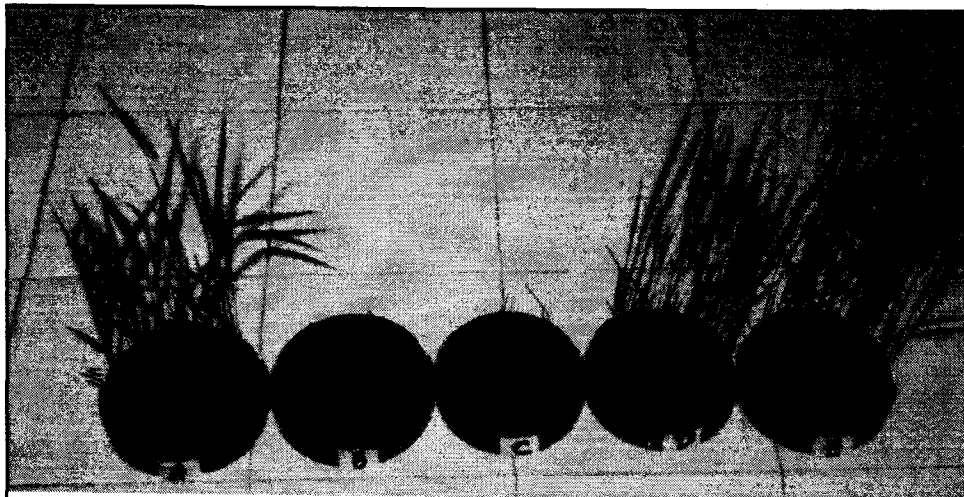
• The R_f value of ^{14}C -chlorsulfuron was 0.68. Extracts from autoclaved samples invariably displayed a single broad peak with a R_f value of 0.36-0.38, while no chlorsulfuron peak was present.



GC-MS analysis



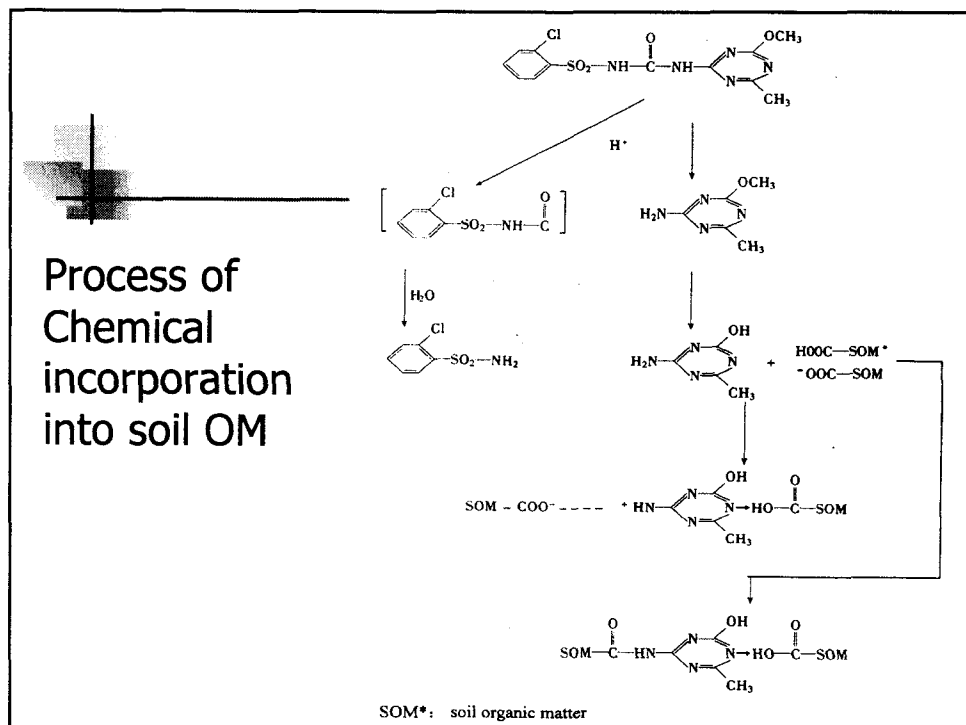
- ^{14}C -chlorsulfuron (in silica sand) decomposed after autoclaving treatment. One product was identified as 2-methylamino-4-hydroxyl-6-methyl-1,3,5-triazine;
- The samples showed peaks with the same retention times and mass spectra as those observed for the decomposed products of ^{14}C -chlorsulfuron freshly spiked in sand.



Impact of released chlorsulfuron bound residues, chlorsulfuron and its major degradation products on rice growth, A: CK; B: Chlorsulfuron; C: released bound residues, D: chlorobenzenesulfonamide, E: triazine amine

Proposed formation mechanism of chlorsulfuron BRs in soil

- Becoming BRs via adsorption process in the form of parent molecules;
- Redistribution from weaker to stronger adsorption sites;
- Slow chemical incorporation into the humin fraction.



Conclusions

- a considerable portion of radioactivity applied as ^{14}C -chlorsulfuron became bound to soil organic matter after application;
- These residues are distributed predominantly in the fulvic acid and humin fractions, and less predominantly in the humic acid fraction;

- The released residues was tentatively identified as the intact chlorsulfuron molecule;
- The fact that chlorsulfuron was associated with the water-soluble fulvic acid fraction implies that this portion of bound residues is easier to move in the soil-water-plant system and can become available to plants long after herbicide treatment. This may be the reason for the observed phytotoxicity caused by aged chlorsulfuron residues to subsequently planted crops.


Acknowledgement

- The financial support for the participation of the symposium from Korea Ministry of Science and Technology and Cheju National University are greatly acknowledged.
- Special thanks to Korean colleagues in Cheju National University for their excellent organization and arrangements of the symposium.

Main Achievements and Current Trends of Plant Mutation Breeding in Korea


Hi Sup Song

**Radiation Plant Breeding & Genetics Laboratory
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)**

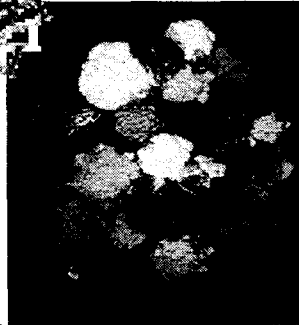
 *Korea Atomic Energy Research Institute*

Outline

- I. Mutation Breeding?**
- II. Main Achievements of Mutation Breeding
in Korea**
- III. Current Research Trends on Mutation
Breeding at the KAERI**
- IV. Prospects and Suggestions**

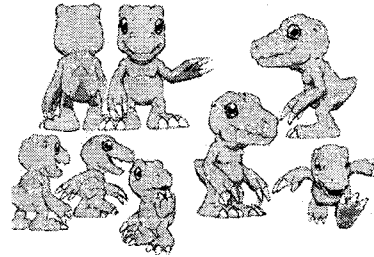
 **KAERI**

I. Mutation ?



...a causing factor of genetic diversity and evolution on the organisms

...is a heritable change in the DNA structure not caused by the genetic recombination.



Breeding techniques

Gene / Chromosome + - × ÷

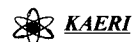
+ , - : Crossing breeding

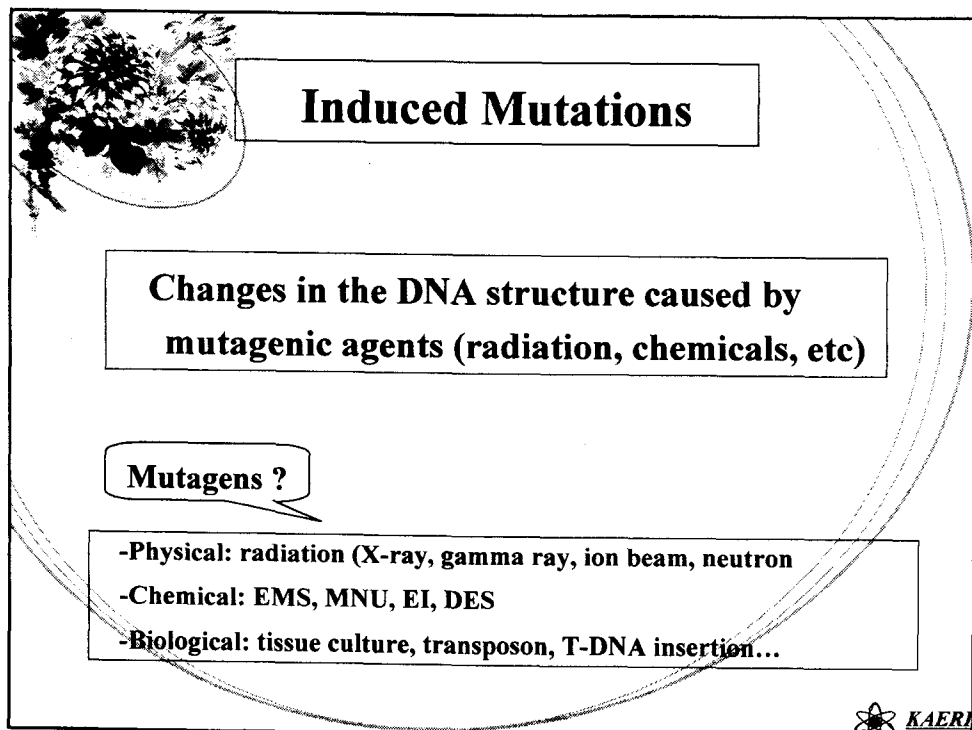
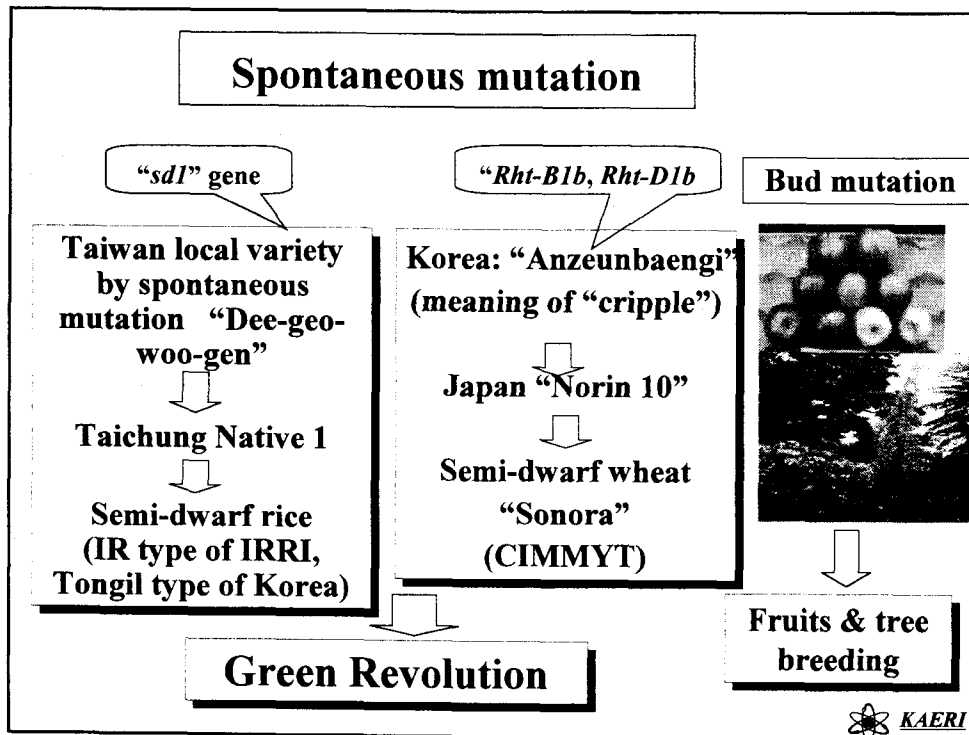
+ : Transgenic breeding

- , (+) : Mutation breeding

× : Polyploids breeding ($2n \rightarrow 4n \rightarrow 8n$)

÷ : Haploid production by anther culture
($2n \rightarrow n$)





Genetic effect of mutagenic treatment

Heritable change in the DNA structure

- Point (gene) mutation : mutations on single base or a few base pairs of DNA
- Insertions, deletions or rearrangements of DNA sequence

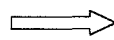
Chromosome mutations

- Structure chromosome mutations : DNA double strand breaks → deletion, inversion, duplication, translocation
- Numerical chromosome mutation : euploidy(3x, 4x, 5x), aneuploidy (2x+1, 4x+1, 2x-1,...)



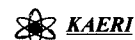
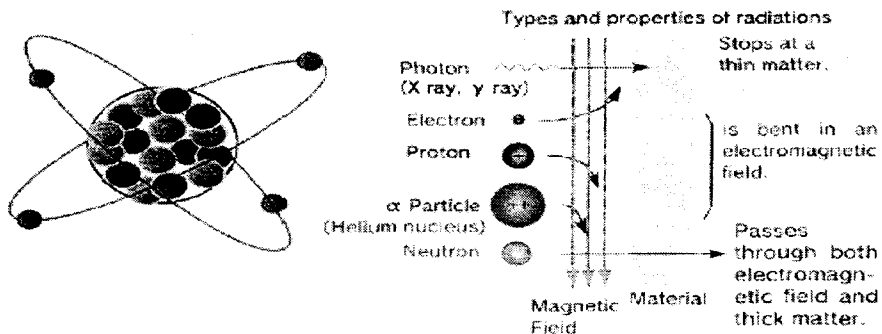
Radiations

X-ray, γ -ray

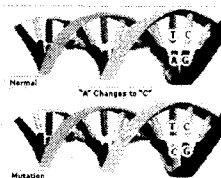


Neutron, Proton, Heavy-ion beam, Space radiation...

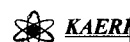
Photon, Electron, Proton, Ion...



Chemical mutagens*

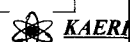


Abbreviation	Name	Range of doses for rice	Main point mutation types
EMS	Ethyl methanesulphonate	(0.2–0.5%) x (8–20h)	Transition (C–G→T–A)
MNU	N-methyl-N-nitrosourea	(0.7–1.5mM) x (3–5h)	Transition (G–C→A–T)
ENU	N-ethyl-N-nitrosourea	(1.7–2.5mM) x (3–5h)	Transitions (G–C→A–T, A–T→G–C), Transversions (G–C→C–G, A–T→C–G)
SA	Sodium azide (NaN ₃)	(0.5–2mM) x (3–5h)	Transition (A–T→G–C)

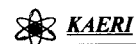


Advantages of Mutation Breeding

- ease to improve one or two traits of crops → same effects with transgenic breeding
- can apply to various plant materials; annuals/perennials, seeds, plants, cuttings, in vitro culture, propagule
- enhance the genetic resources for crossing breeding and functional genomics
- less cost and time to develop the cultivars
- safe and sound to mankind and environments



II. MAIN ACHIEVEMENTS OF MUTATION BREEDING IN KOREA



Brief history of mutation breeding in Korea (Radiation Plant Breeding & Genetics Lab. of KAERI)

1963 : Biological Research Lab. in KAERI

Apr. 1965 : Radiation Agriculture Research Lab. in KAERI

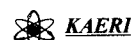
Nov. 1966 : Established the Radiation Agriculture Research Institute(RARI)

(four Divisions; Plant Breeding, Physiology & Nutrients, Protection of
Plant & Animal, Food Processing) ⇒ Boom in mutation breeding

Feb. 1968 : Constructed the Experimental Farm (200Ci Gamma field) in
the RARI

1973 : RARI merged to the KAERI ⇒ Declined the radiation
agriculture research

June 2003: Groundbreaking ceremony of Advanced Radiation Technology R
& D Center



Mutation Derived Cultivars

(FAO-IAEA database, 2002)

	Country	Cultivars		Country	Cultivars
1	China	605	15	Bulgaria	30
2	India	259	15	Poland	30
3	Russia+USSR	210	17	Vietnam	29
4	Netherland	176	18	Sweden	26
5	Germany	139	18	Guyana	26
6	USA	128	18	Cote d'Ivoire	26
7	Japan	120	21	Rep. of Korea	25
8	France	42	22	Bangladesh	24
9	Italy	36	23	Belgium	23
10	Brazil	35	23	Iraq	23
10	Canada	35	25	Denmark	22
12	UK	34	-	-	-
13	Pakistan	33			
14	Slovakia	31			
				Total	2265



Plant cultivars bred by the mutation techniques in Korea



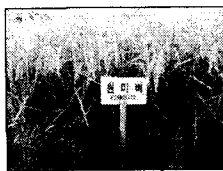
Plant species	Radiation	Chemical	No.
Rice	Milyang-10, IRI-307, Wonpyong, Wongwang, Wonmi, Heugseonchal, Woncheong, Wonmpum, Wonchu, Heuggwangchal, Nogwonchal	Senong-1, Senong-2, Senong-3, Seolgaeng, Baekjinju	14
Barely	Bangsa-6		1
Soybean	KEX-2, Bangsakong		2
Sesame	Ahansankkae, Pungsankkae, Suwonkkae(cross), Suwon-131(cross)	Suwon128, Yangbaekkae, Seodunkkae	6
Perilla	Dasil	Gwangim	2
Hibiscus	Baekseol, Ggoma, Seonyo, Daegwang		4
Boxtron	Yuseong-1, Cheongyang		2



III. CURRENT RESEARCH TRENDS ON MUTATION BREEDING AT THE KAERI



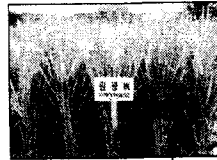
1. Rice mutation breeding



Wonmi



Heugsenchal



Wonkwang

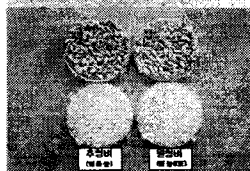


Wonpyong



수정배

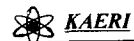
명정배



수정배 (대수종)

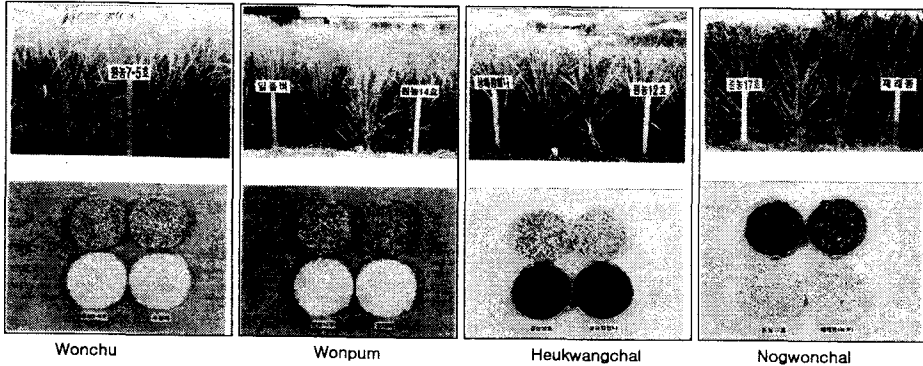
명정배 (대수종)

5 cultivars released during 2000–2003 with early maturing, lodging resistance and high yielding



1. Rice mutation breeding

4 cultivars applied for the official registration in 2002 and will be released in early 2004

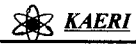


Wonchu

Wonpum

Heukwangchal

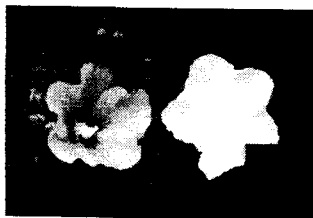
Nogwonchal



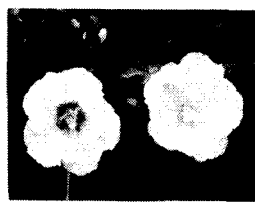
2. Hibiscus (*Hibiscus syriacus* L.) Breeding



MC Ggoma (Pot culture)



(L) Gyewolhyang, (R) MC Seonyo



(L) Hwarang, (R) MC Baekseoi

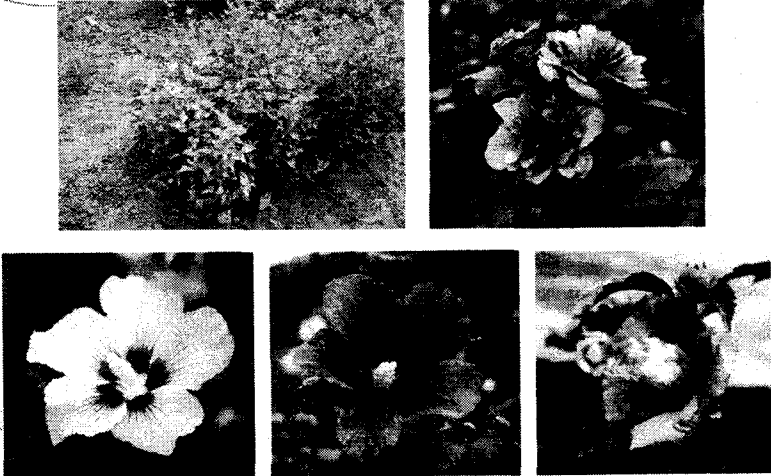


(L) MC"Daegwang", (R) Yeonggwang

4 cultivars released during 2000-03



Selection of new promising hibiscus lines
- color and shape on leaf and flower, tree type...

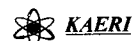



3. Breeding and Germplasm Conserve in Soybean

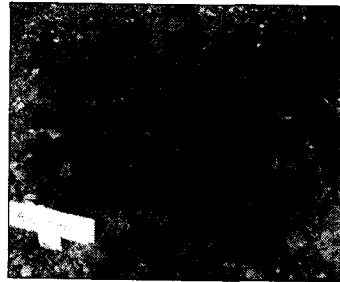
Mutation breeding

- Mutated soybean lines with low contents of phytic acid and Lipoxygenase (Lx-1, Lx-2, Lx-3) cultivar
→ selection of 16 promising lines in M6-M8
- Pod and stem blight diseases resistance, small grain, and sprouting and cooking adaptable soybeans
→ selection of 30 promising lines in M6-M8

Sustain and evaluation of about 4000 Korea native lines of legume germplasm



4. Mutation Breeding on Perilla & Sweet potato



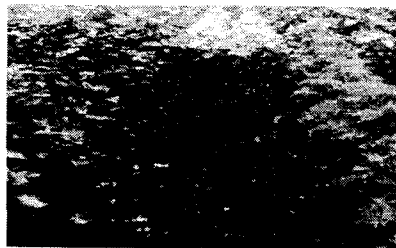
Mutated shoot on sweet potato



Early maturing mutant (R)



Leaf shape mutant(L)



Various Purple variants



5. Mutation Breeding on Native Flowers and Landscape Plants



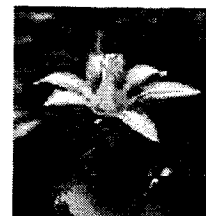
(L) Spiderwort

(R) White mutant



(L) Silk tree

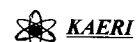
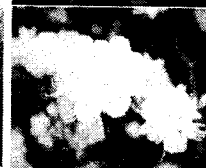
(R) Mutant



Branch mutation on a Chinese juniper tree

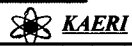
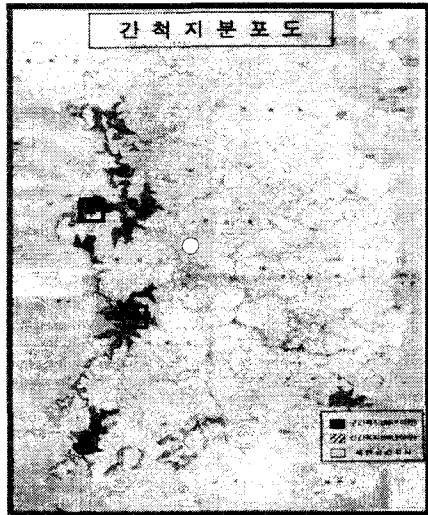


Dwarf mutant of Goldenrain tree



6. Development of Salt Tolerance Rice by Gamma Ray and *In Vitro* Culture

- Saline field area in Korea :
about 80,000ha
- Potential saline filed area by reclamation works:
about 250,000ha
- Breeding goal in yield of salt tolerance rice in saline field : 4 t/ ha → 5.25 t/ha



Strategy of rice breeding with salt tolerance

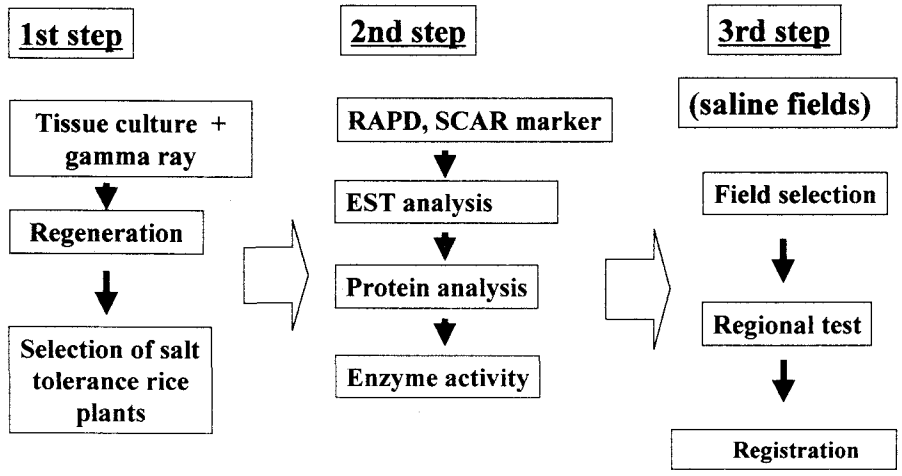
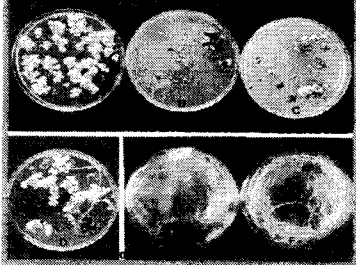
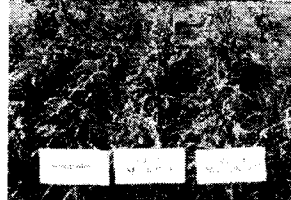


Photo illustration of developing procedures of salt tolerance rice by gamma ray and *in vitro* culture

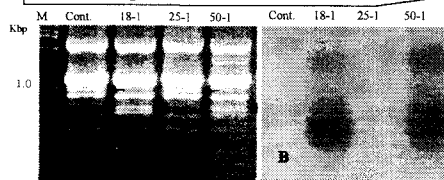
Selection of salt tolerance cell lines



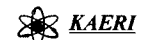
Field selection and trial



Development of molecular marker



6 promising mutant lines(M6-M7) with high salt tolerance and over than 5.3ton/ha yield.



7. Characterization of 5-Methyltryptophan(5-MT) Resistant Rice Mutants with Increased Tryptophan and Protein

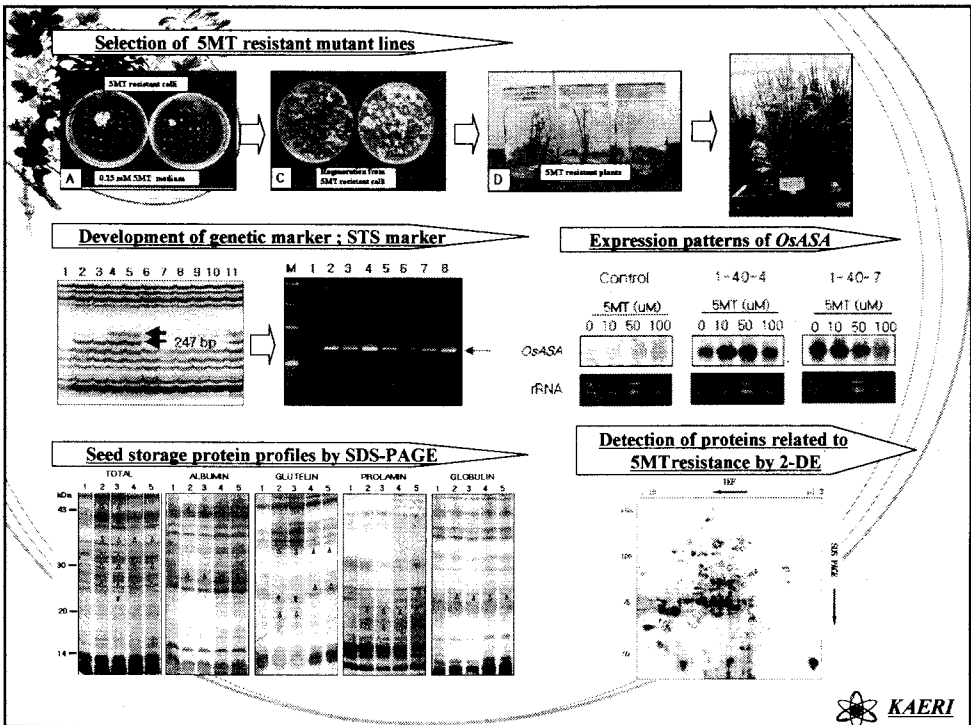
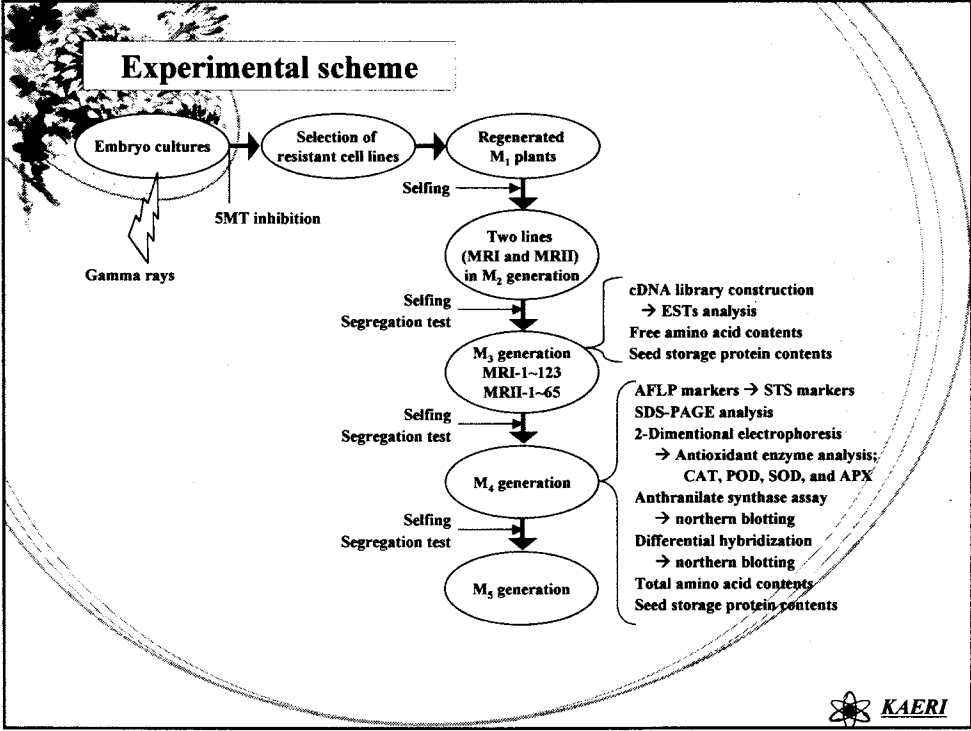
Background

- Rice proteins are deficient in some essential amino acids such as tryptophan and lysine.
- Easiness in combination with radiation technology and amino acid analogs for selection of mutants with high-essential amino acids.

Purpose

- To breed rice cultivars which have increased some essential amino acids such as tryptophan and lysine in seed.





Main Results

Selection of radiation induced 5-MT resistant rice mutants

- Protein contents : 17.0~27.3% (MRI) and 18.4~28.5% (MRII) increased
- Amino acid contents : 1.8~2.6 and 2.4~3.45 times increased in MRI and in MRII, respectively, when compared to original cultivar.

✓ The development of a STS marker linked to a 5MT resistance;

- OSMR1, OSMR2, OSMR4, and OSMR5

✓ Biochemical characterization through SDS-PAGE, 2-dimentional electrophoresis, and antioxidation enzyme analyses

✓ Expressed sequence tags (ESTs) analysis and characterization of differentially expressed genes

- cDNA library construction from 5MT resistant plants

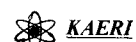
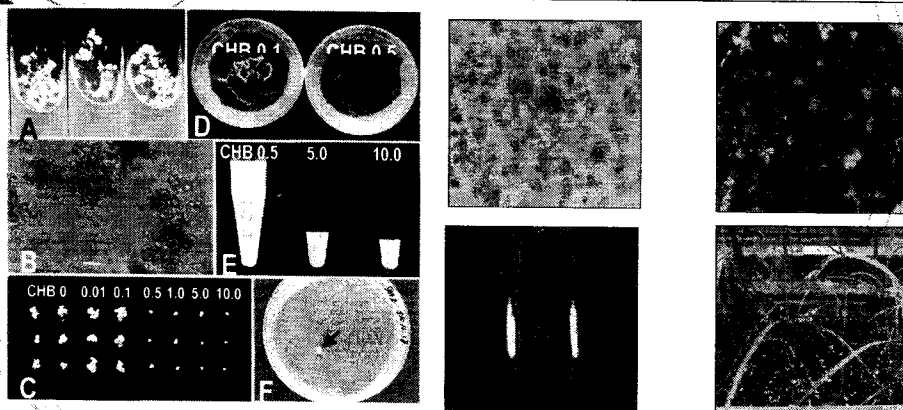
- Accession No.; CD670586 ~ CD671070 dbEST of NCBI

- Differential hybridization between 5MT resistant and sensitive plants

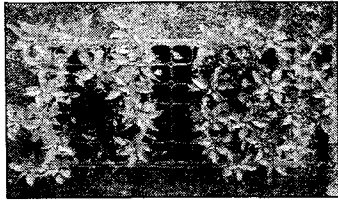


8. Development of herbicide-resistant cell lines of rice and wheat using by irradiation of gamma ray

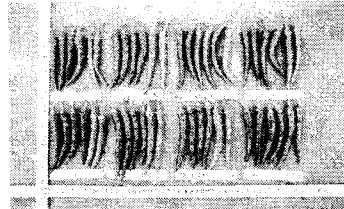
(Joint research with Suncheon Univ. & Korea Univ.)



**9. Disease tolerant lines of hot pepper (*Capsicum annuum* L.)
using by radiation and interspecies hybridization
(Nongwoo Bio Co. Ltd – KAERI Joint Projects)**



Phytophthora capsici tolerant test



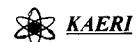
Fruits of disease tolerant lines

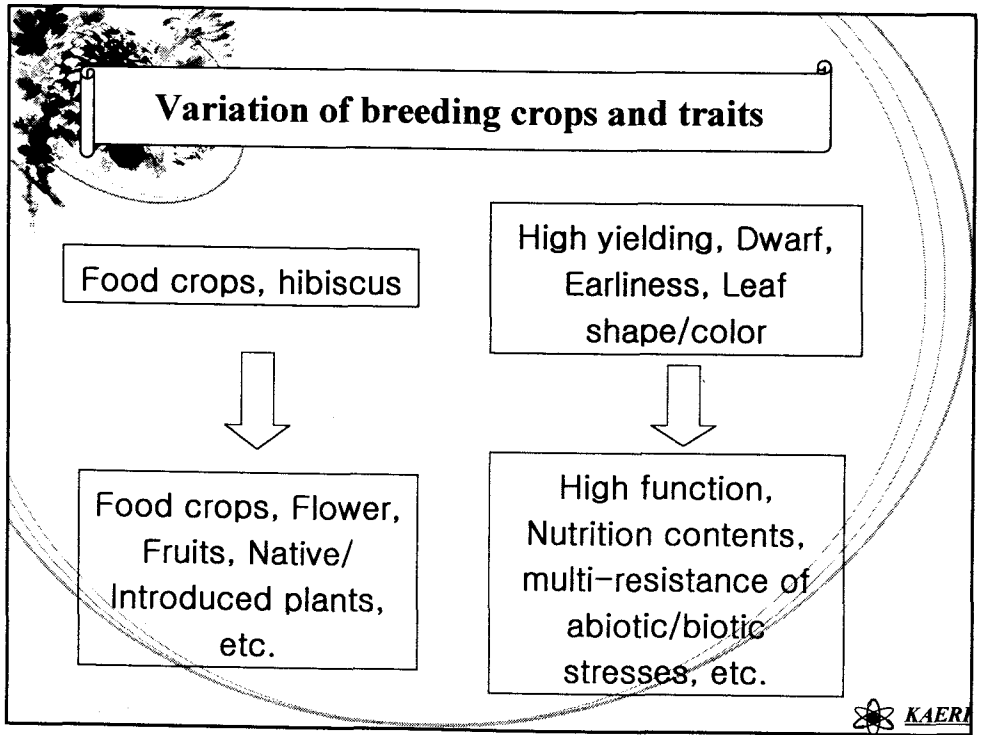
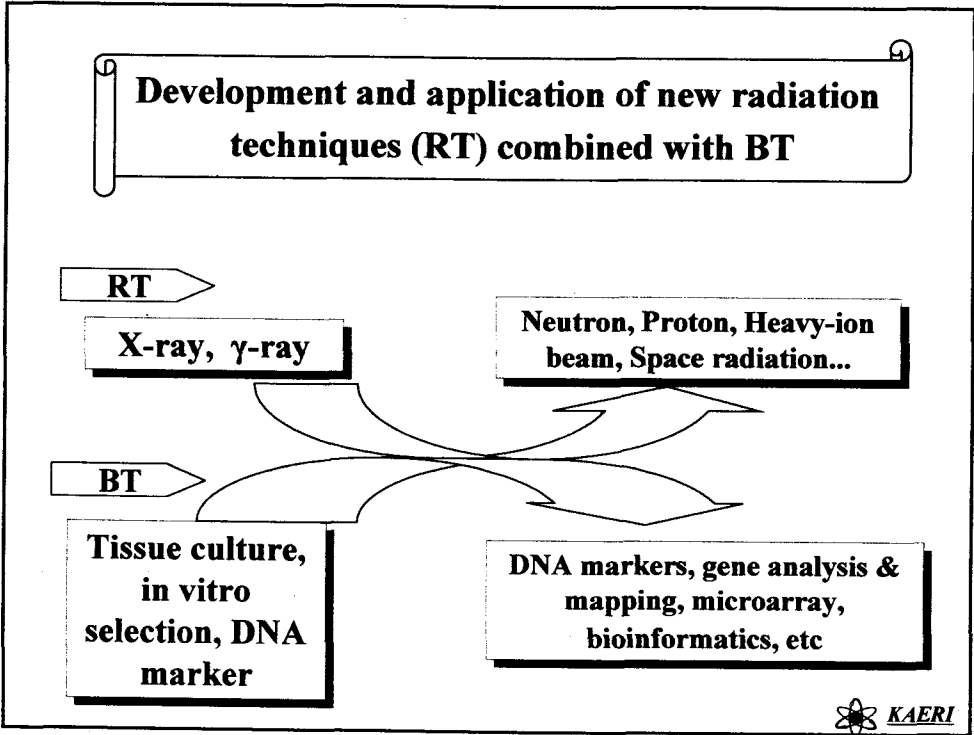


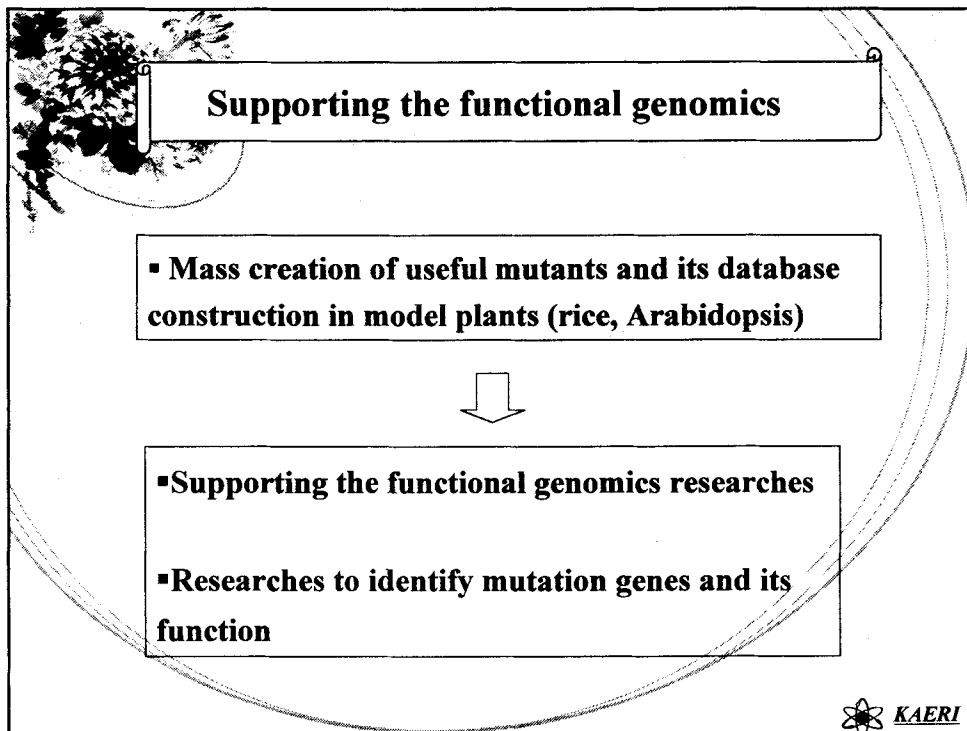
Various variants of hot pepper with *P. capsici* tolerance in M3-M4 generation



**IV. PROSPECTS AND
SUGGESTIONS**







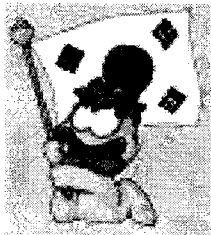
Establishment of “Advanced Radiation Application Research Center” of the KAERI and promoting of R & D for the radiation application research

- Research fields: Agro-biology, Food, Industry, Environment, Medicine, etc.
- Irradiators (gamma, electron beam, ion beam, cyclotron), gamma greenhouse, greenhouse, seed storage facility, experimental farm, native plant garden, etc.

KAERI

Suggestions to Improve the Collaborations in Mutation Breeding Between Korea and China

- **Set up the joint research projects through IAEA or each government supporting programs**
- **Bilaterally exchange, i.e., developed techniques, information, scientists, and genetic resources, etc.**
- **For above projects, mutual joint committee and symposia have periodically.**



Thanks for your attention...



Current Status & Perspective Outlook of Induced Mutations for Crop Improvement in China

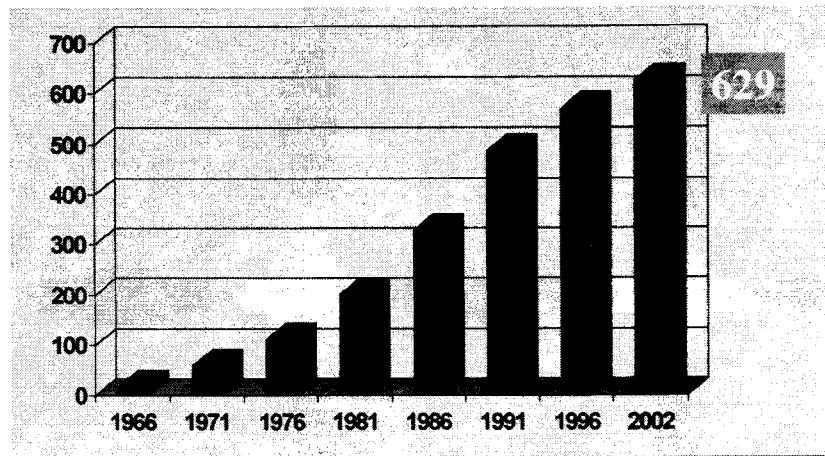
LIU Luxiang

**Department of Plant Mutation Breeding &
Genetics**

Institute of Crop Science, CAAS

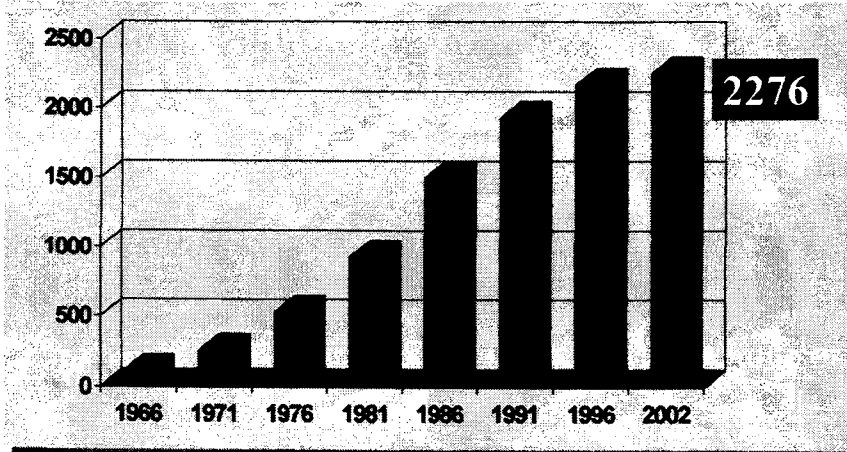
Email: luxiang@263.net.cn

MUTANT VARIETIES IN CHINA



FAO/IAEA Mutant Varieties Database

TOTAL MUTANT VARIETIES



FAO/IAEA Mutant Varieties Database

MUTANT VARIETIES

TOTAL - 2276 accessions (2001)

Top six countries

from Mutant Varieties Database

Country	Number of released mutant cultivars	% of total
China P.R.	629	27.6
India	259	11.4
USSR + Russia	210	9.2
Netherlands	176	7.7
USA	128	5.6
Japan	120	5.3

MUTANT VARIETIES

TOTAL - 2276 accessions (2001)

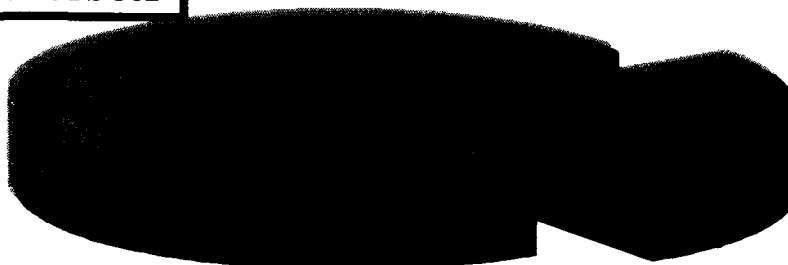
Mutant varieties released in Asia (1166)

Country	Number	Country	Number
China P.R.	629	Korea	11
India	259	Thailand	9
Japan	120	North Korea	5
Pakistan	32	Myanmar	4
Vietnam	29	Philippines	4
Bangladesh	23	Mongolia	3
Iraq	23	Sri Lanka	3
Indonesia	11	Malaysia	1

MUTANT VARIETIES IN CHINA

TOTAL - 629 accessions (2001)

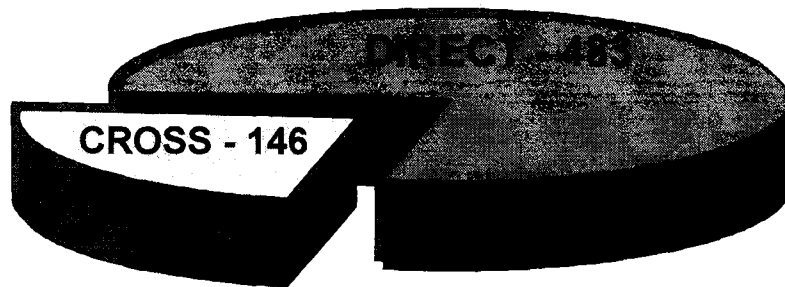
CROPS 562



ORNAMENTAL & DECORATIVE PLANTS

MUTANT VARIETIES IN CHINA

TOTAL - 629 accessions (2001)



Plant Material Used for Mutation Breeding

- Seeds - most common**
- Pollen**
- Whole Plants**
- Buds**
- Cuttings**
- Callus tissue from culture**

MUTANT VARIETIES IN CHINA

TOTAL - 483 direct mutant varieties (2001)

Mutagens

Type of mutagen	Number of released mutant cultivars	Percent of direct mutant varieties
Radiation*	479	99.2
Chemical	4	0.8

**including combination "radiation + chemical mutagen"*

MUTANT VARIETIES IN CHINA

TOTAL - 483 direct mutant varieties (2001)

Mutagens - Radiation

Type of mutagen	Number of released mutant cultivars	Percent of total
Radiation	479	100.0
• gamma rays*	393	82.1
• fast neutrons	26	5.4
• laser	23	4.8
• x-rays	14	2.9
• ion beams	7	1.5
• thermal neutrons	4	0.8
• aerospace	4	0.8
• gamma chronic	3	0.6
• other	5	1.1

**including various combined treatments*

MUTANT VARIETIES IN CHINA

RICE - 202 out of 562 crop accessions (2001)

Characters induced by mutations

Character	No. of mutant varieties
earliness	85
grain quality	37
blast tolerance	36
tillering	19
cold tolerance	19
semidwarfness	18
adaptability	12
glutinous endosperm	10
salinity tolerance	2
lateness	1

**also dwarfness, shortness, stiffness and lodging resistance*

MUTANT VARIETIES IN CHINA

WHEAT - 129 out of 562 crop accessions (2001)

Characters induced by mutations

Character	No. of mutant varieties
earliness	49
rust resistance	32
semidwarfness *	22
grain quality	20
drought tolerance	20
adaptability	19
winterhardiness	14
tillering	9
salinity tolerance	5
mildew resistance	4

**also dwarfness, shortness, stiffness and lodging resistance*

MUTANT VARIETIES IN CHINA

Improved quality characters (June 2001)

Quality character	Mutant cultivars	Crop
cooking quality	2	rice
fiber yield	8	cotton, flax, white ramie
flower (colour, number, duration)	67	bougainvillea, canna lilies, chrysanthemum, dahlia, groundnut, lotus, rose
fruit (colour, quality, morphology, ripening)	4	apple, orange/mandarin, pear
grain (colour, filling, size, morphology, quality, weight)	103	barley, common bean, groundnut, maize, millet, rice, shadawang, sorghum, soybean, wheat
juice quality	1	sugarcane
leaf (colour, quality)	12	groundnut, mulberry, rice, rose



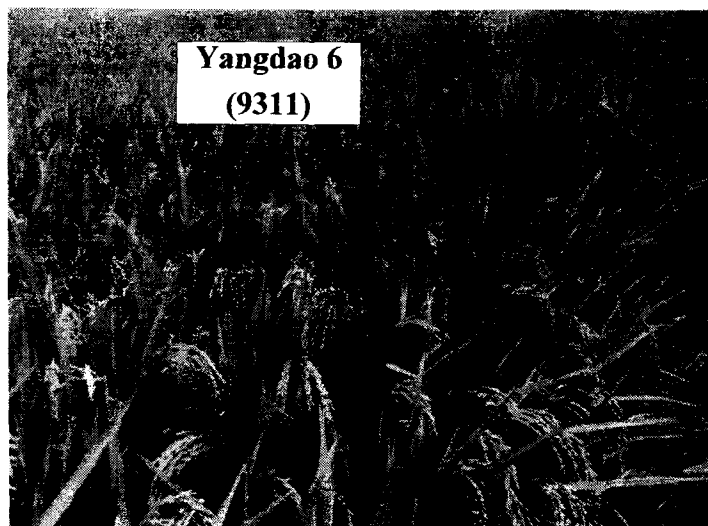
MUTANT VARIETIES IN CHINA

Improved quality characters (June 2001)

Quality character	Mutant cultivars	Crop
oil content	5	rapeseed, soybean
oil quality	1	soybean
protein content	17	soybean, millet, maize, wheat
quality	12	chinese garlic, maize, millet, pear, rice, sugacane, tea, watermelon,
seed (colour, quality, size, number)	14	millet, jute, shadawang, groundnut, rapeseed, sesame, soybean
seedless	4	orange/mandarin
starch content	2	sweet potato
TOTAL	252	



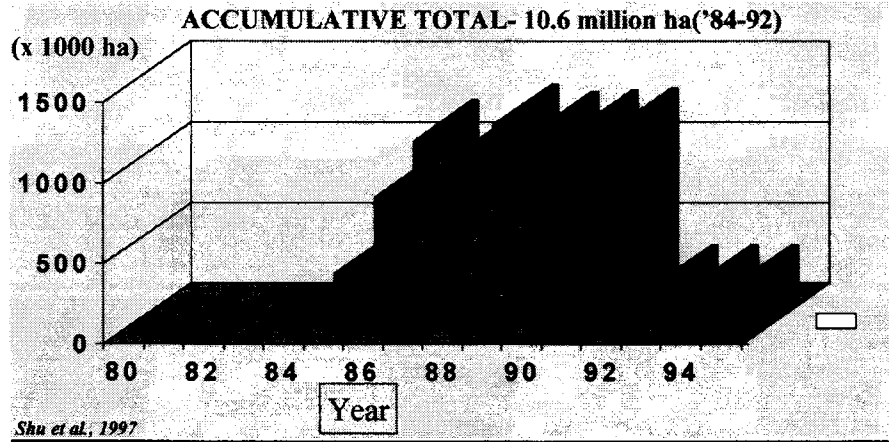
Zhongyuandan 32—*A high productive hybrid maize with good quality for both grain and forage use*



Yangdao 6 — *one of the core parent for super rice breeding*

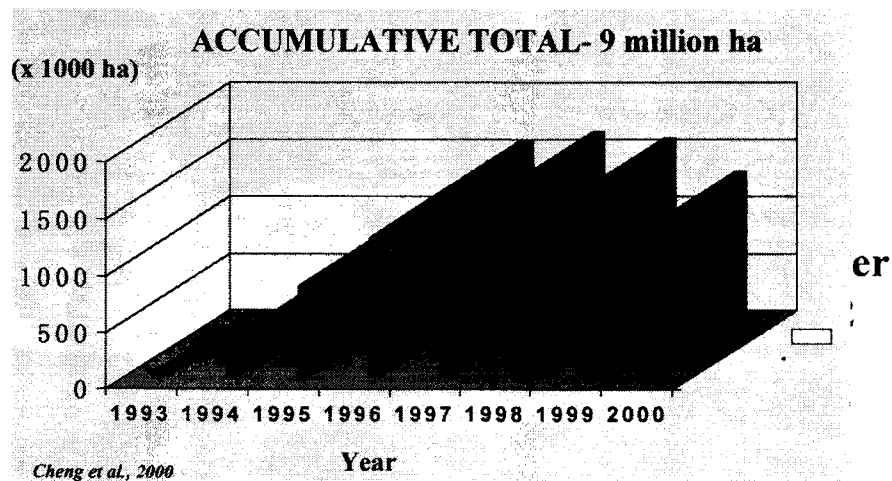
Radiation induced - MUTANT VARIETIES IN CHINA

Cultivation area of rice mutant variety *Zhefu 802*



Radiation induced - MUTANT VARIETIES IN CHINA

Cultivation area of wheat mutant variety Yangmai 158

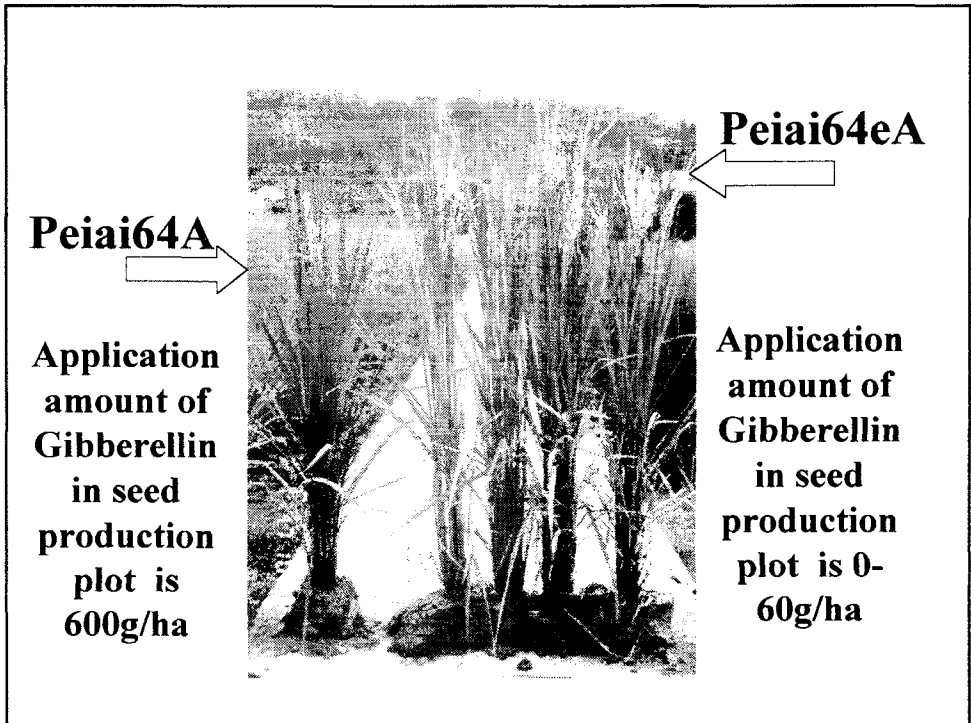


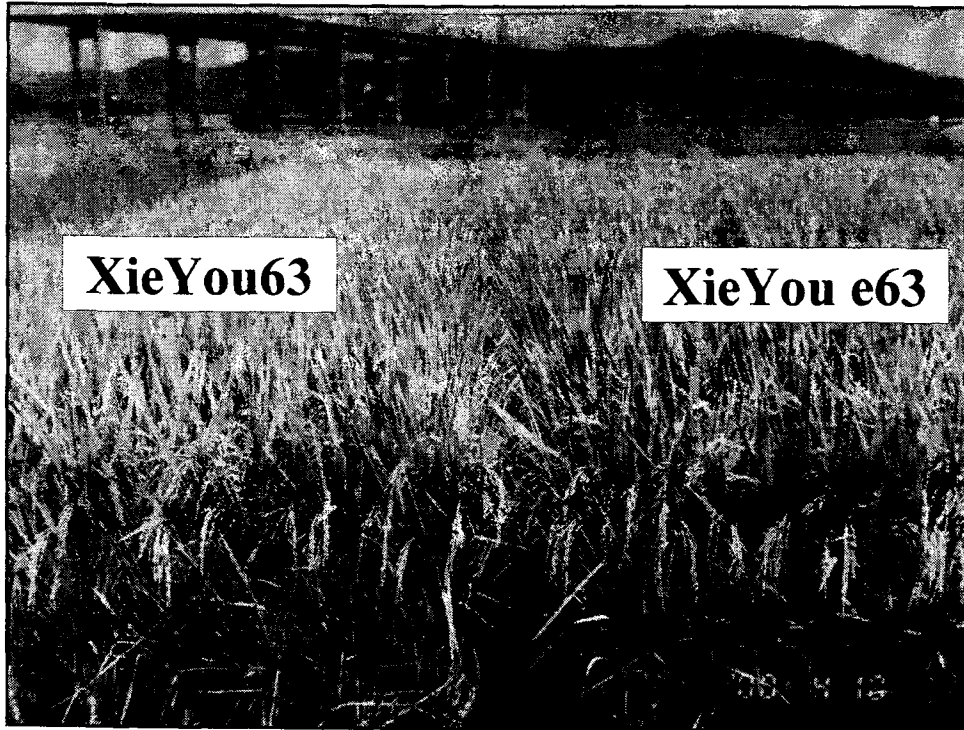
MUTANT GERMPLASM IN CHINA

2000 accessions of mutant germplasm of 24 plant species with various characters have been collected, listed, identified and become the precious materials in cross breeding and heterosis breeding.

A Case of Peanut Mutant Fushi

- ① **Using mutant Fushi as the parent in cross breeding, 13 varieties of Yueyou series have been developed which made the accumulated growing areas more than four million hectares.**
- ② **At present most of the fine peanut varieties planted in Guangdong Province and the south China have a certain affinity relationship with the mutant Fushi.**



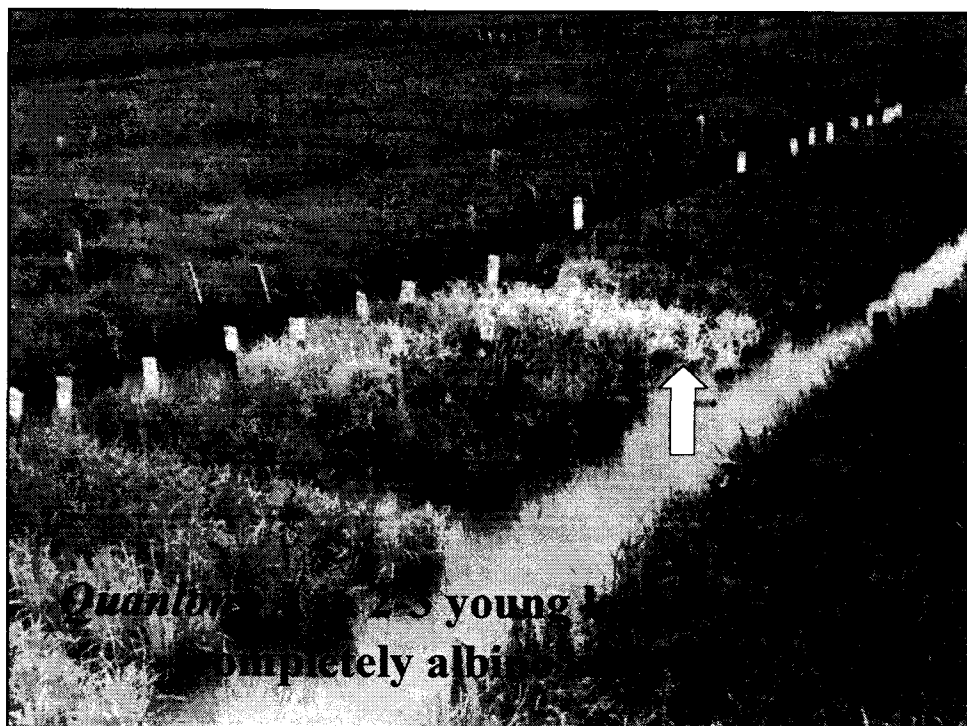


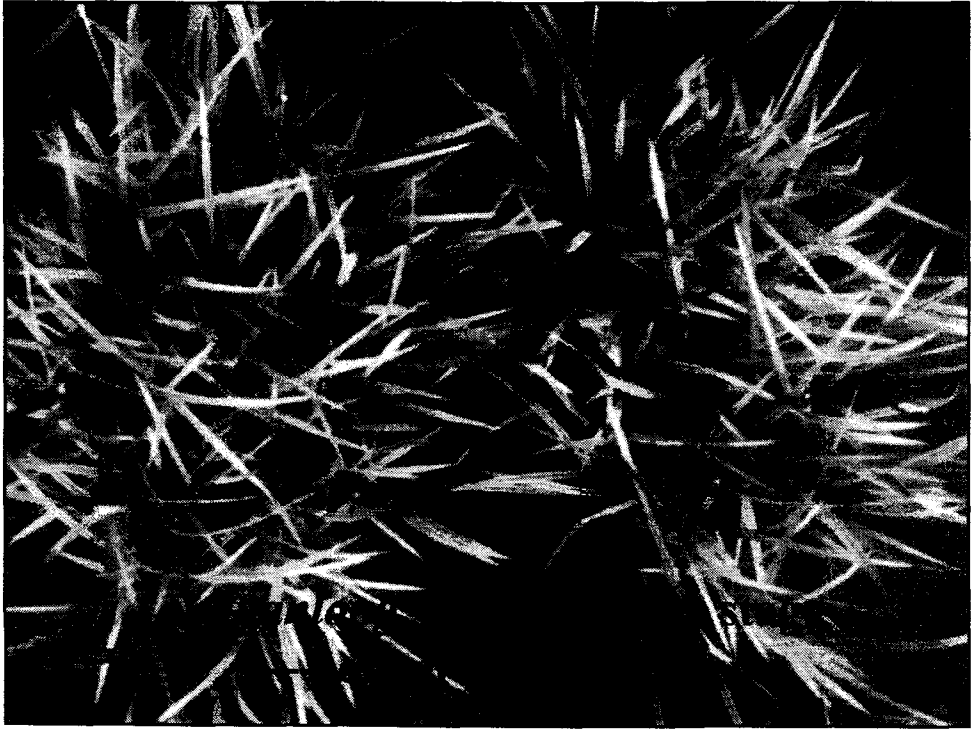
Characteristics of Greenable Albino Leaf Color Mutant Gene

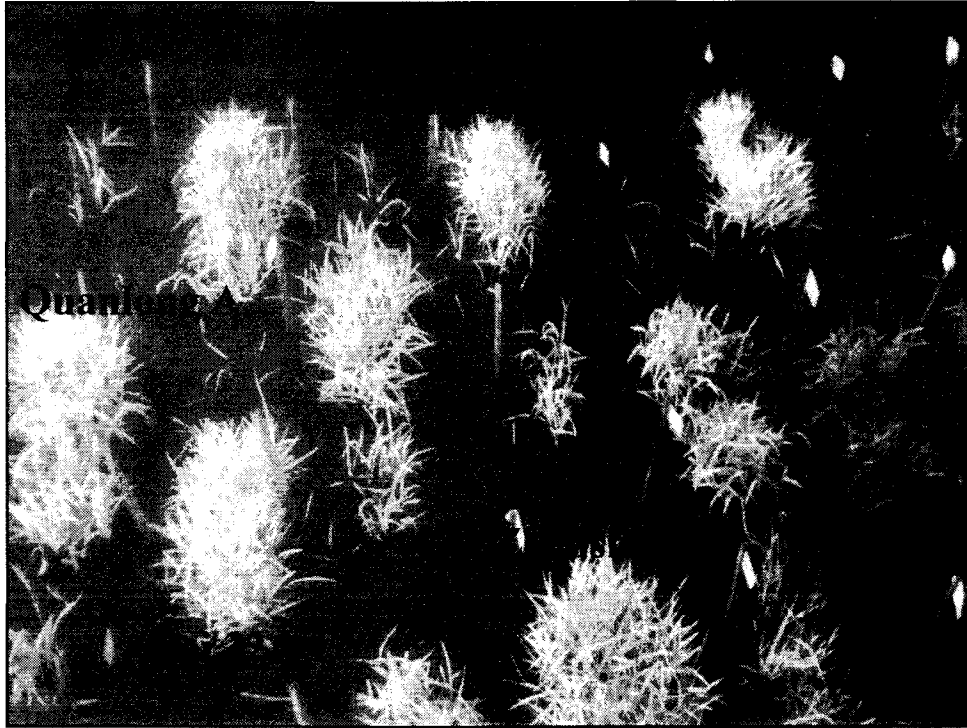
- *galc* marker gene expressed at the special seedling stage: young *leaves 1-3* albinotic, *leaf 4* began changing into green from leaf base to apex at extending, and converted to normal green after *leaf 6* extended thoroughly
- *galc* marker was controlled by a single recessive nuclear gene

Advantages of A-line with *galc* Marker Gene

- ☉ With *galc*-marker-assisted roguing at seedling stage, sib or self-pollination problem could be solved thoroughly in hybrid seed production
- ☉ Even if some purity problems in hybrid or sterile lines, economic loss could be minimized by artificial roguing or natural elimination
- ☉ *galc* marker was easy to recognize, only expressed at the seedling stage and won't affect the agronomic characters and heterosis







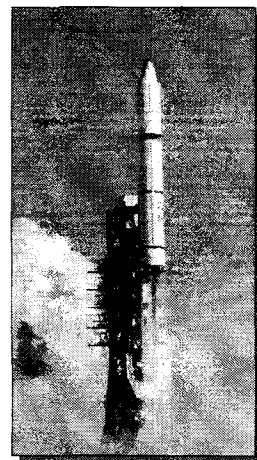
Space Induced- mutation Breeding

Space Environment Conditions

- Strong cosmic radiation
- Microgravity
- Weak geomagnetic field
- Supervacuum
- Superclean

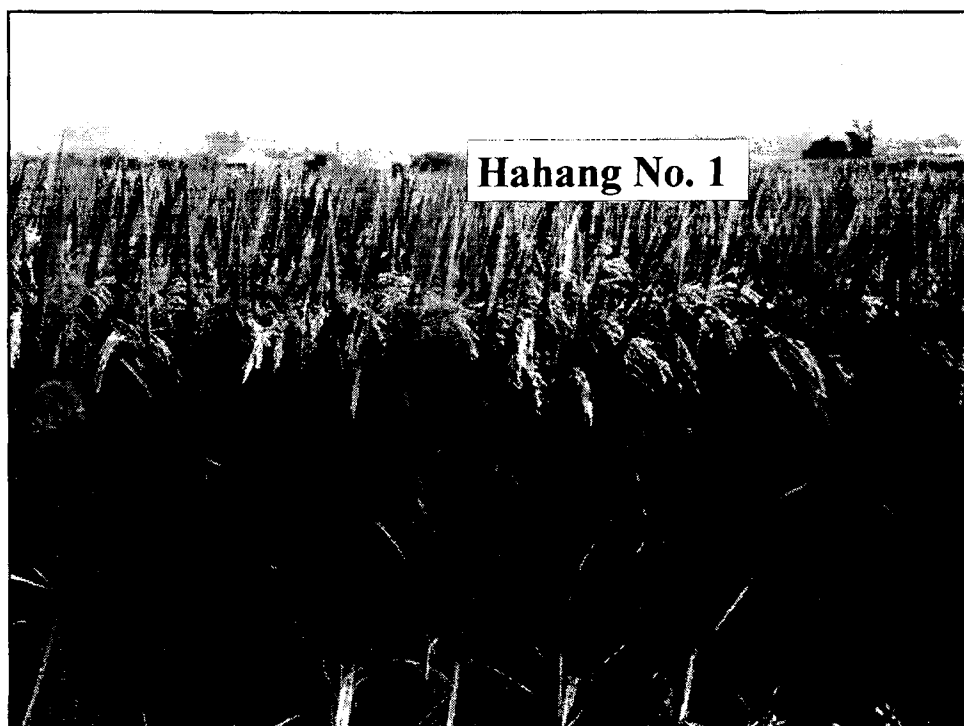
Space-induced Mutation Technique

☉ To use the good variations of plants (seeds) induced in the space environment that can be reached by the recoverable spacecraft and high altitude balloon to choose new germplasms and new materials on the ground, then to develop new crop varieties.



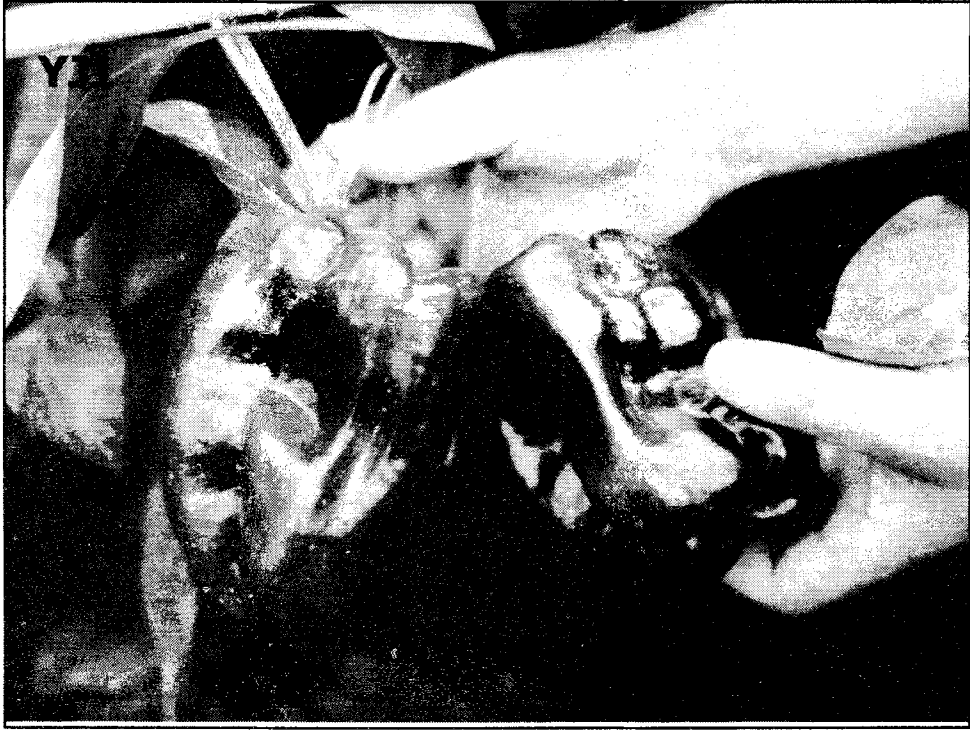
***Developed New Crop Mutant
Varieties with Prominent Features***

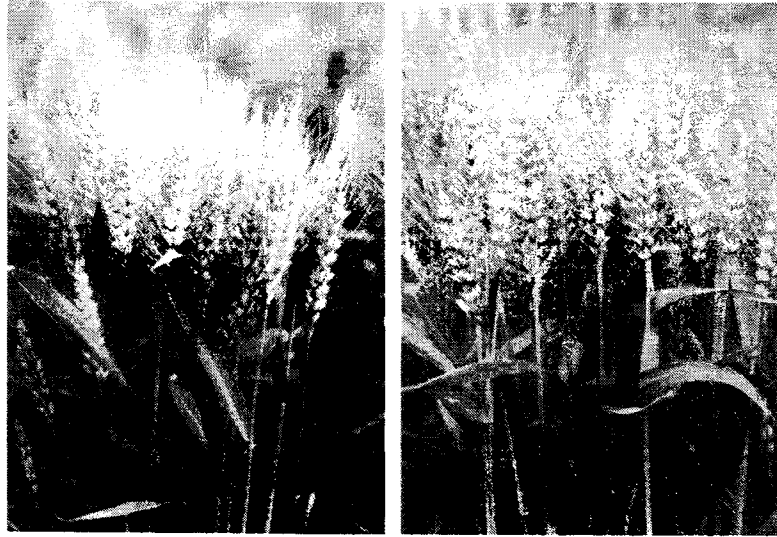
- **Tomato** : YF1
- **Sweet Pepper**: YJ1
- **Rice**: HY1, YH2, HH1, GZX47,
GWX43 and TYH 1
- **Wheat**: Taikong 5 and Taikong 6
- **Sesame**: Zhongzhi 11



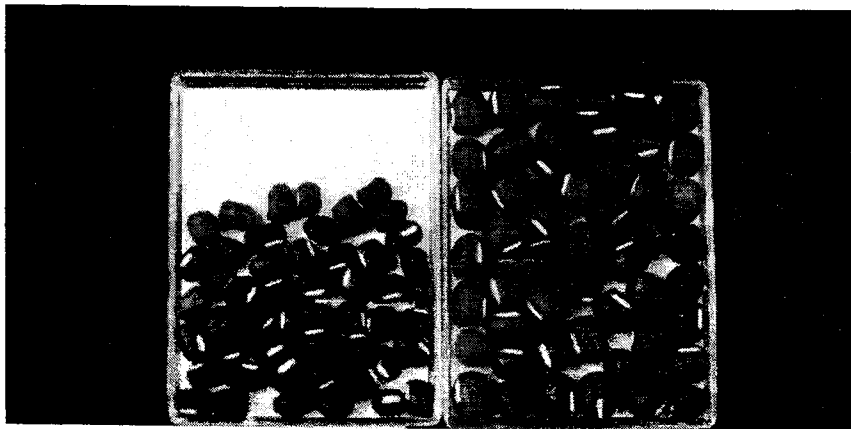
Taikong 5





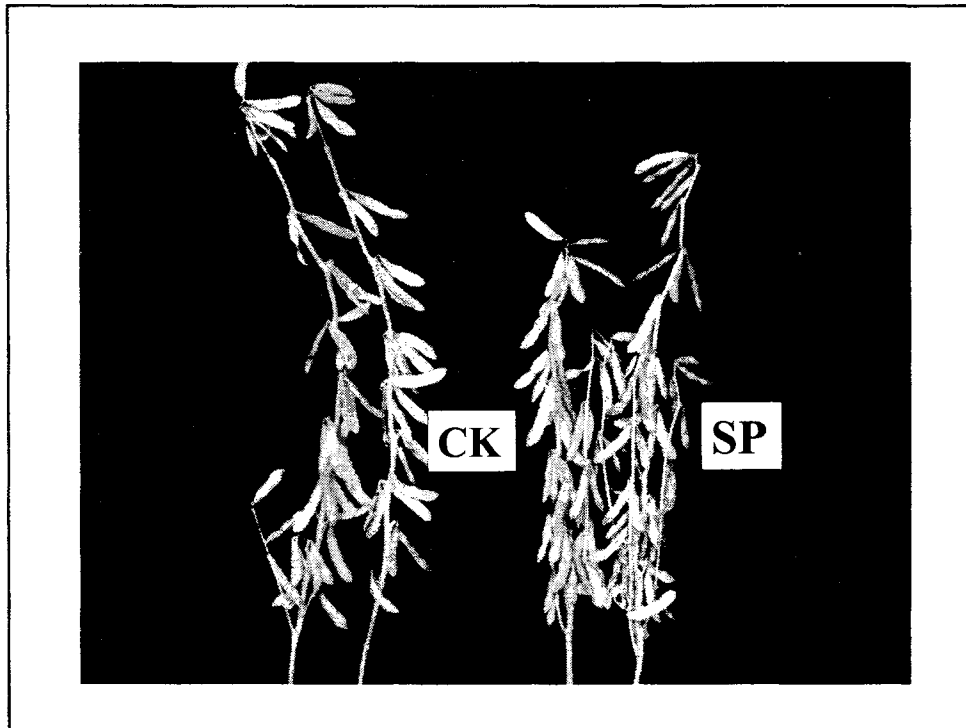


SP8581 :Hard Wheat Mutant with Very Earlier Maturity



CK

SP



International Cooperation

- **National coordination authorities: CAEA, MOST, MOA**
- **Cooperation with International Organization: FAO/IAEA, RCA, INT, FNCA**
- **Bilateral Cooperation: academic exchanges with more than 40 countries, China-Korea, China-Vietnam**

Focal Points of MB in the Future

By use of nuclear technology and biotechnology, create mutant materials with great impact on yield and quality. Enhance plant resistance/tolerance to diseases, insects and environment stresses.

Develop new mutant germplasm and new varieties with high yield and good quality in main crops and vegetatively propagated plants as well as special plants with high economic values.

Focal Points of MB in the Future

Study and exploit the genetic manipulation technology of induced mutations in order to upgrade mutation efficiency. Emphatically study the in vitro induced technology to induce the disease resistant mutants efficiently, efficient gene transformation technology through the medium of nuclear radiation and the distinctive characters of new mutagens and their exploitation and application

Focal Points of MB in the Future

Carry out the research on molecular marking technology related to mutant identification and selection.

Conduct systematic genetic evaluation and gene mapping, segregation and cloning on the excellent mutants. Establish and improve the germplasm pool of mutant genes.

Conclusions

Achievements and successful examples of mutation breeding in China have proved that it is an effective approach to crop improvement as well as an important supplement to conventional breeding

Mutation techniques have been playing more and more important roles in not only the direct development of new varieties, but also the solvement of some special problems in crop breeding

Conclusions

New development of mutation breeding will be heavily on and associated with not only effective use of mutagens, but also advanced plant biotechnology, particular plant molecular biology. Therefore, international cooperation will be very important for the sustainable progress of the research related to the field



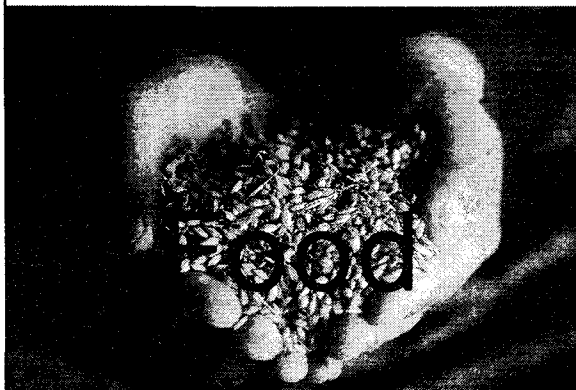
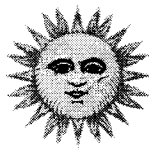
Current Status of Food Irradiation in Korea

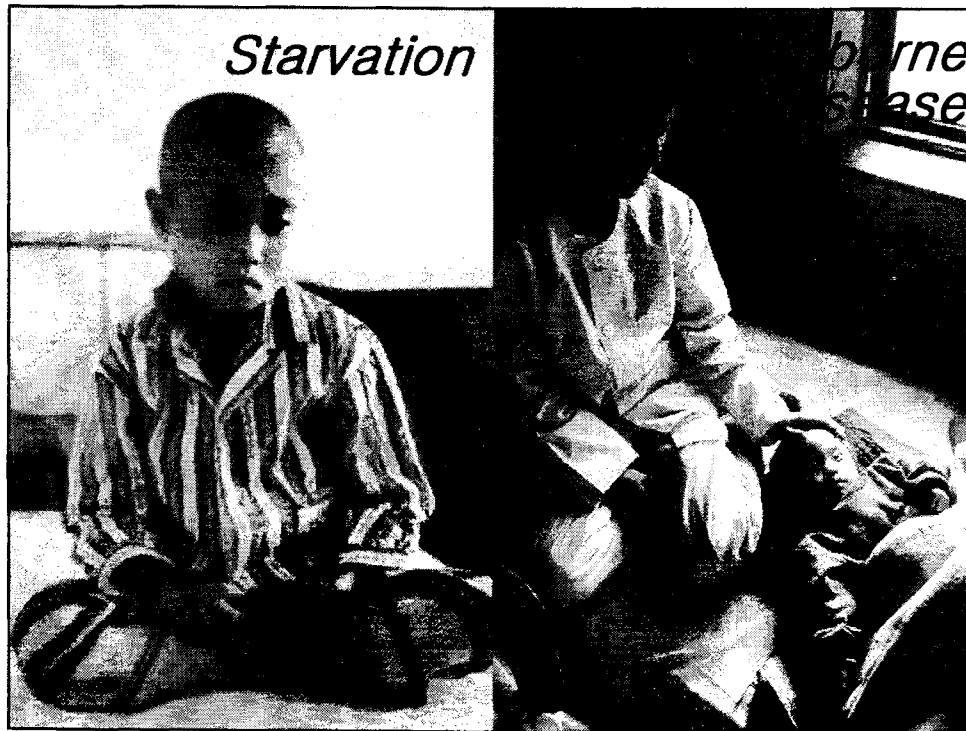
Nov. 24, 2003

Ju-Woon Lee & Myung-Woo Byun
Radiation Application Research Division
Korea Atomic Energy Research Institute

key word in 21^C :

Energy

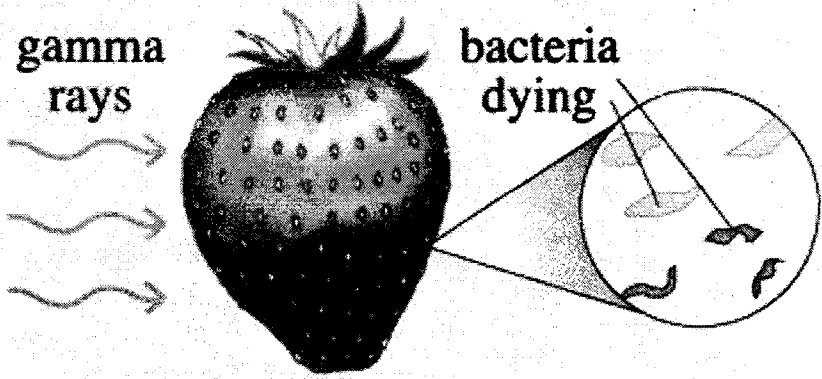




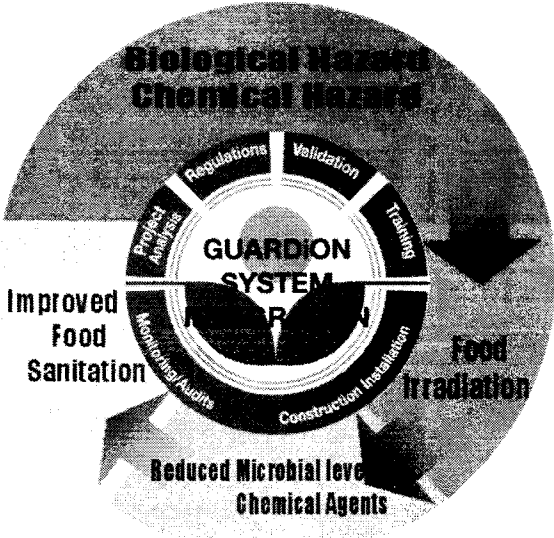
International Trade of Food

- Free Trade Agreement among the countries in the system of WTO
- Requirement of the new methods for satisfying quarantine measure in SPS and TBT in international trade of food
- Reinforcement of quarantine on the harmful organisms incoming in importing country
- Prohibition of the use of chemical fumigants such as MeBr, EO, etc.

Food Irradiation



Ensuring Food Safety and Quality



Endorsement by International Organization

Challenge to Food Safety and Trade



FAO



IAFA



WHO



WORLD TRADE ORGANIZATION

WORLD FOOD PROGRAMME



International Consultative Group of Food Irradiation

UNITED NATIONS OF ENVIRONMENT PROTECTION



Objectives of Irradiation Technology for Food

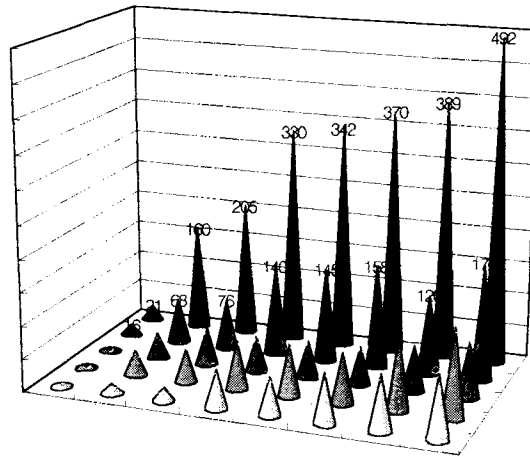
1. Ensuring safety and improving quality of food
2. Enhancing usability and stabilizing cost of food
3. Improving food processing and property
4. Obtaining economical benefits in international food trade



Food Irradiation in Korea

A Brief History of Food Irradiation in Korea

- ◆ **1975: Establishment of Pilot plant scale (Co-60, 100,000 Ci) irradiator by KAERI.**
- ◆ **1980: Beginning of food irradiation application studies for local industrialization by KAERI.**
- ◆ **1987: Construction of Korea's first commercial irradiator (Co-60 500KCi) by Greenpia Technology, Inc.**
- ◆ **1987: 1st Authorization of food irradiation (5 food groups) for human consumption by the Korea Ministry of Health and Welfare.**
- ◆ **1991: 2nd Authorization of food irradiation (6 food groups) for human consumption.**
- ◆ **1995: 3rd Authorization of food irradiation (6 food groups) for human consumption.**
- ◆ **2002: 2nd commercial irradiation facility had been constructed by Soya Inc. and in now the facility is test-running.**
- ◆ **2003: Authorization of the irradiation treatment on some food items will be accepted in next year.**



The number of companies commercially using gamma irradiation facility in Korea

National Organizations Related to Food Irradiation

- ◆ ***Korea Ministry of Science and Technology***
 - Korea Atomic Energy Research Institute
 - Korea Institute of Nuclear Safety
- ◆ ***Korea Ministry of Health and Welfare***
 - Korea FDA
- ◆ ***Korea Ministry of Agriculture and Forestry***
 - National Veterinary Research and Quarantine Service
 - National Plant Quarantine Service
- ◆ ***Consumer Unions***

Regulations of Food Irradiation

Related Decrees & Amends

- ◆ The Presidential Decree: No. 11,717 of 29 June 1985
- ◆ MOHW Decree: No. 767 of 1 July 1985
- ◆ Enforcement of the General Standards and Regulations in Sep. 1987
- ◆ First amendment of the Regulation in 19 May 1995
- ◆ Current regulation will be amended on the basis of the Harmonized Regulation Workshop in Seoul in 1998.
- ◆ Amendment of existing regulation on food irradiation was petitioned and in processing. The revised regulation is expected to be approved in 2004.

Draft of the Amendment for Food Irradiation Standard in the Republic of Korea

Existed		Revised	
Food items	Approved absorbed dose	Approved absorbed dose	Food items
Potato, Onion, Garlic	≤ 0.15 kGy	≤ 0.15 kGy	Potato, Onion, Garlic
Chestnut	≤ 0.25 kGy	≤ 0.25 kGy	Chestnut
Fresh mushroom	≤ 1 kGy	≤ 1 kGy	Fresh mushroom
Dried mushroom	≤ 1 kGy	≤ 3 kGy	Ground meat products
Dried spices and their products	≤ 10 kGy	≤ 4.5 kGy	Raw meats for processed food (Refrigerated)
Dried meat or powdered seafoods for processed food	≤ 7 kGy	≤ 5 kGy	Dried mushroom, whole egg powder, egg yolk powder, egg white powder, grains or beans or their powder for processed food, starch for processed food
Powdered Doenjang, Kochujang, Kanjang	≤ 7 kGy		
Starch for processing seasoning food	≤ 5 kGy	≤ 7 kGy	Dried seafood products or dried meat products for processed food, meat products for processed food (frozen), powdered soybean pastes or Meju, dried fruits and vegetables for processed food, yeast, enzyme food, chitosan processed food, pollen processed food, algae food, aloe powder, Ginseng foods
Dried vegetables for processed food	≤ 7 kGy		
Yeast or enzyme food	≤ 7 kGy		
Ginseng products	≤ 7 kGy	≤ 10 kGy	Dried spices or its products, complex seasoning foods, sauces, tea (extracted or powdered), patient food for 2nd pasteurization
Patient food for 2nd pasteurization	≤ 10 kGy		

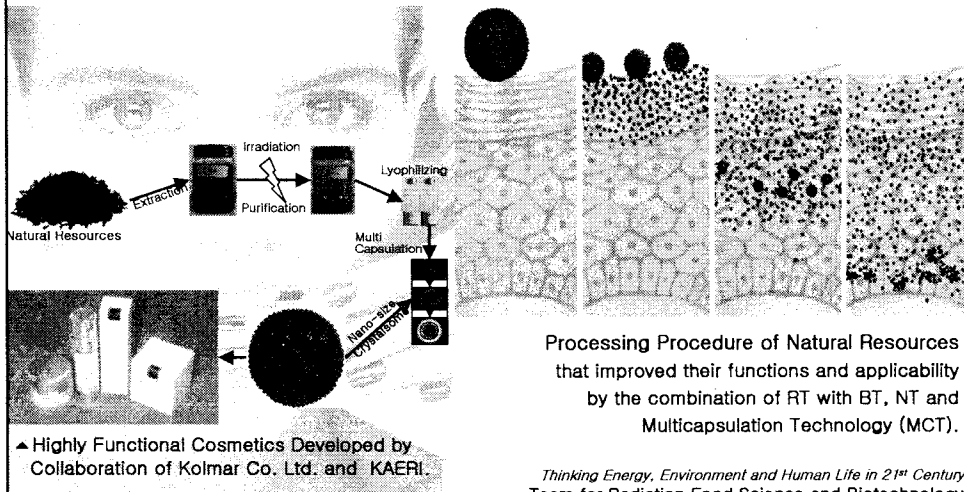
Experimental Study

- ◆ **General studies for food hygiene, especially for the traditional fermented food products.**
- ◆ **Additional enhancement of food processing procedures and development of functional food ingredients.**
- ◆ **Application and combination of irradiation technology with biotechnology and nanotechnology to develop the novel resources for food, medical, and cosmetic industry.**
- ◆ **Application of irradiation in reducing the toxic or undesirable materials such as food allergens, carcinogenic volatile N-nitrosamines, or salt content reduction of traditional Korean fermented foods have been also conducted.**

Development of novel high value-added materials for foods, pharmaceuticals, cosmetics and other public health-related products



DEVELOPMENT OF NATURAL RESOURCES
FOR FOOD, PHARMACEUTICAL AND COSMETIC INDUSTRY
 KAERI USING RADIATION (RT), BIOTECHNOLOGY (BT) AND NANOTECHNOLOGY



Processing Procedure of Natural Resources that improved their functions and applicability by the combination of RT with BT, NT and Multicapsulation Technology (MCT).

▲ Highly Functional Cosmetics Developed by Collaboration of Kolmar Co. Ltd. and KAERI

**The Best Choice for the Future,
 It is Nuclear Energy.**

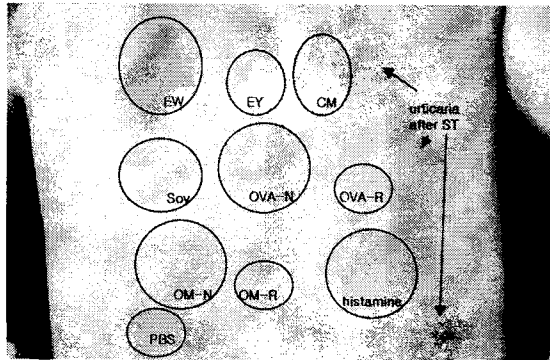
Thinking Energy, Environment and Human Life in 21st Century
 Team for Radiation Food Science and Biotechnology
 KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE

<http://www.mfb.co.kr>

**Elimination or Reduction of Harmful
 Chemicals and Materials in Foods**

Development of allergy-reduced food

Clinical results on allergenicities of 10 kGy gamma-irradiated egg ovalbumin and ovomucoid by skin prick test

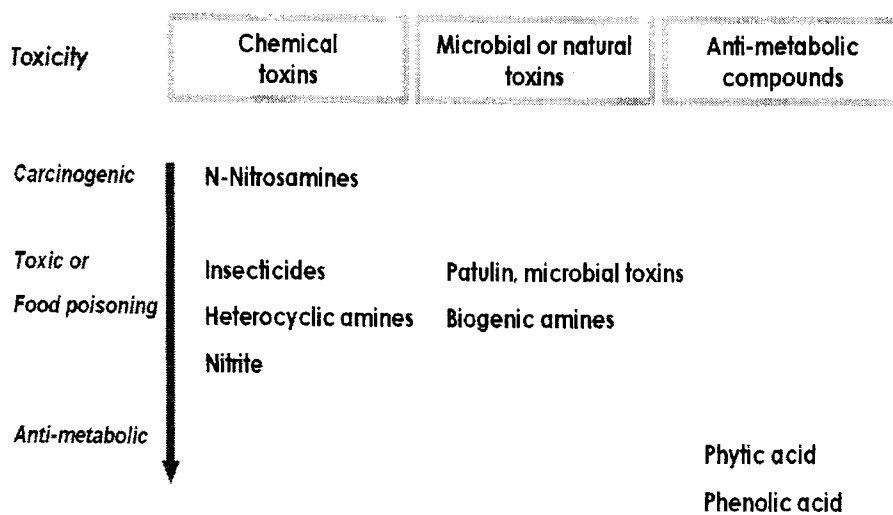


(Choi, M.H., boy, 1 year)
 RAST: EW >100, CM 2.7, EY: 53.5, Soy: 1.13, Wheat 21.80: Total IgE: 689
 CM, casein in milk; EW, egg white, EY: egg yolk; PBS, - control, histamine, + control.



Production of egg allergy-reduced cakes, bread and cookies

REDUCTION OF TOXIC COMPOUNDS BY IRRADIATION

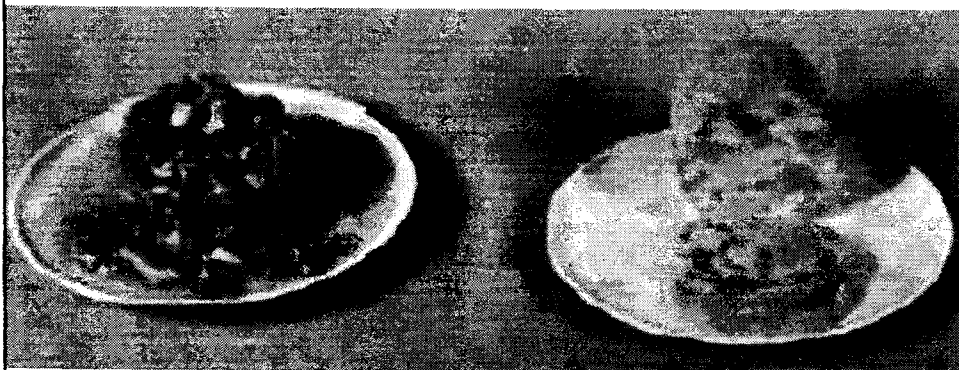


SHELF-STABLE FOODS

Irradiated with High-Energy for Long Shelf Life
Without Refrigeration

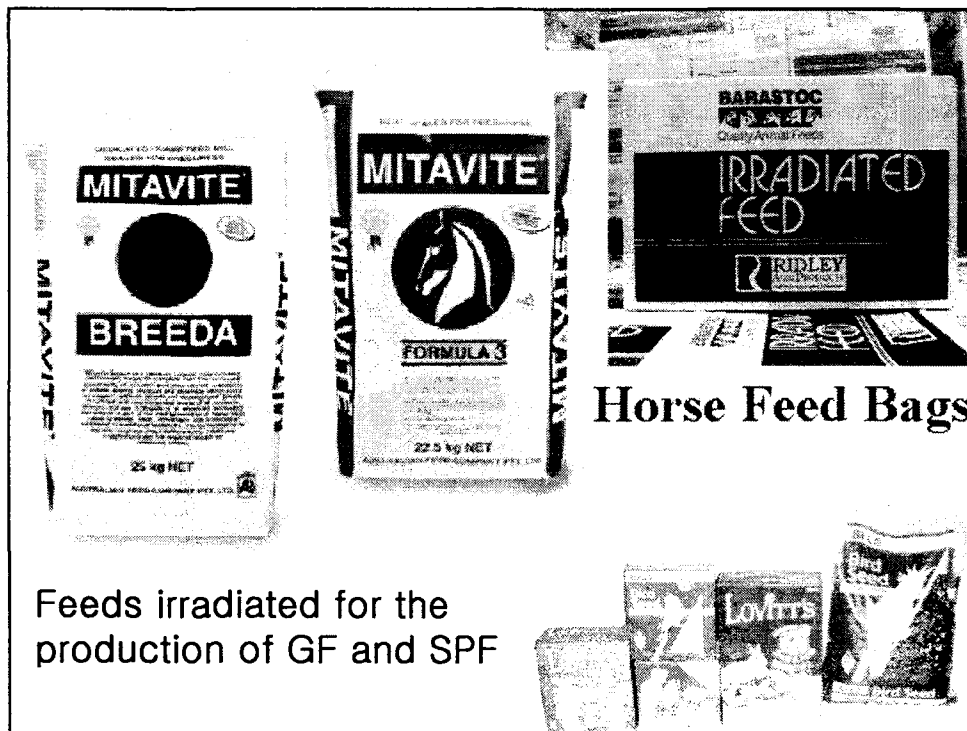
- ◆ **Process for Shelf-Stable Foods**
- ◆ **Consumer Acceptance of High-Energy Irradiated Foods**
 - *Astronauts*
 - *Experiences in various needs*
 - *Immuno-compromised patients*
- ◆ **Safety and Nutritional Quality of Shelf-Stable Foods**
- ◆ **Time for Consumers to Enjoy These Novel Convenience Foods**
- ◆ **Adoption of high dose irradiation for inactivation of bacterial spore and *C. botulinum* by Codex**
(Press Release WHO/57, 7 July 2003)

Field Tested Ration Developed for
Astronaut in NASA



Heat treated

Irradiated



Market Trials



- ◆ Any importing goods with “Radura” having not reported.
- ◆ The quantity of imported irradiated agricultural products cannot be estimated.
- ◆ Importance to set up the labeling requirement in trade.
- ◆ Quality evaluation of sliced dried-pollack (28 kg) and seasoned file fish (36 kg) was tested for model international trade shipped between India and Korea.
- ◆ Dried agricultural products (spices and vegetables) about 2,400 tons/year for ingredients of processed foods are treated by irradiation.

Future Plan

- **Obtaining the approval of amendment of food irradiation near future.**
- **Because domestic standard is superior to international, it is very important to get the approval of amendment for the international trade.**
- **To overcome consumers' psychological resistance**
- **Transportation matters of the products to be irradiated**

Establishment of New Institute for Radiation Technology

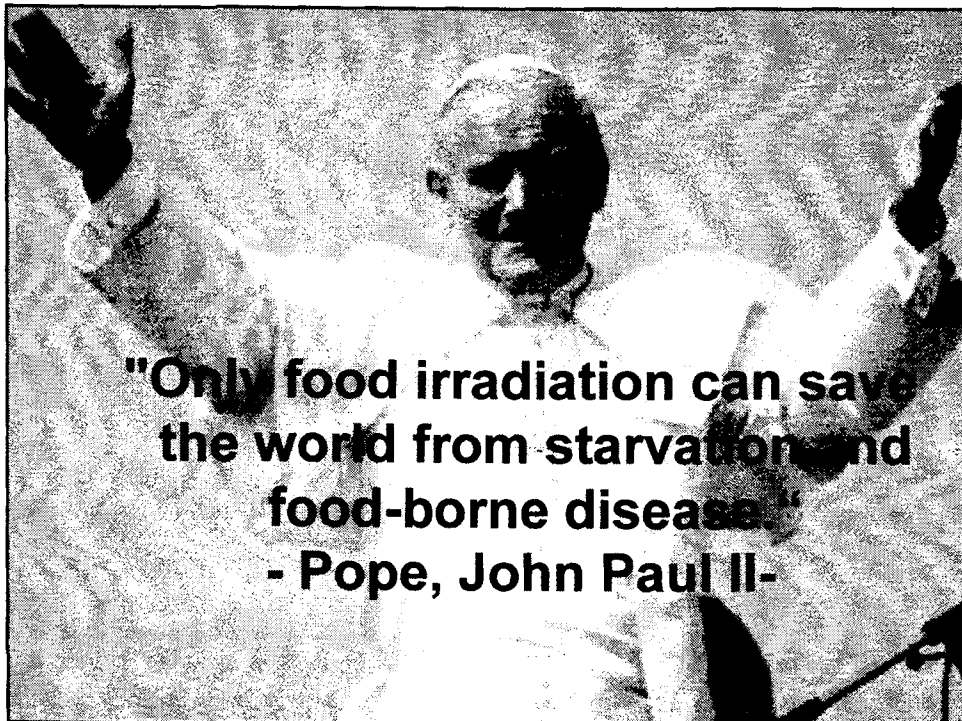
- **KAERI started to construct the new institute; "The advanced Institute of Radiation Research and Application" in Jeong-Eup city, Chonbuk Province, Korea with the budget of 50 million US dollars.**
- **Radiation application researches in the fields of food science and biotechnology, agricultural bioscience, industrial application and environment engineering, etc, will be carried out in the new institute from 2006.**
- **KAERI plans to conduct "International Training Center of Radiation Food Science and Biotechnology" in the new institute.**



Conclusion

Prospect of the Expansion of Food Irradiation

- Ensuring the safety and security of food
- Increase of indirect productivity and cost efficiency
- Alternative technology for chemical fumigants and additives
- Convenience in Use
- Economical benefits in international trade



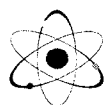
**"Only food irradiation can save
the world from starvation and
food-borne disease."
- Pope, John Paul II-**

Plan for Extension of Food Irradiation

- Harmonization of related regulations
- Extended choice option of demander on advanced technology
- Improvement of public acceptance of consumer
- Assurance of benefits to producers and consumers
- Improvement of public health

We can guarantee the safety and security of food resources and hand over it to our lovely descendants by Radiation Technology.

– Thank You –



Thinking about Environment, Energy and Human Life in 21st C
Dept. Radiation Food Science & Biotechnology, KAERI



The Status of Food Irradiation in China

**Institute for Application of Atomic Energy
Chinese Academy of Agricultural Sciences**

GAO Meixu

Contents

- 1. RESEARCH ON FOOD
IRRADIATION**
- 2. REGULATIONS AND STANDARDS**
- 3. COMMERCIAL APPLICATION OF
FOOD IRRADIATION**
- 4. COOPERATION AND
MANAGEMENT OF FOOD
IRRADIATION**

1. Research on food irradiation

✱ the basic researches: in 1980s

dosage effectiveness

quality judgment of irradiated food

package material evaluation

human consumption test

public acceptance trial

economic assessment of irradiated foods

1. Research on food irradiation

Compared with the basic research before, the recent investigation aim at the application of irradiation technique to ensure food safety.

processing parameters

combination with ordinary food

techniques.

1. Research on food irradiation

A, Irradiation to improve food safety

Project titled 'Use of irradiation to Ensure Hygienic Quality of pre-cut vegetable'.

- * Research material: tomato and Carrot
- * the effective minimum dose: control pathogens like *Salmonella* and the *E. coli*. O157:H7
- * the endurance maximum dose: the carrot and tomato by analysis Hunter Values, Soluble Solids Content (SSC), Cell Membrane Permeability and Sensorial Qualities of the samples
- * Irradiation and stored at refrigerated temperature

1. Research on food irradiation

- * Project '**Use of Irradiation to Improve the Safety and Quality of Prepared Meals**' is to evaluate the role of irradiation to ensure microbiological safety and shelf life extension of two kind of prepared meals, Beijing Roasted Duck and Wu Xi Chop to meet Chinese local market requirements.

1. Research on food irradiation

- ※ To promote the food safety, the Ministry of Science and Technology supports a project titled '**The critical technique study of food safety**' during 2003–2005. Irradiation is planned to be one of method to assure the safety of food.

1. Research on food irradiation

- ※ RCA Project titled 'Irradiation application for food security, safety and trade' (RAS/05/42) is under implementing from 2003 to 2004.

1. Research on food irradiation

- * Projects about food irradiation financial supported by Chinese government, IAEA and private companies.
- * Governmental institutes and universities, private companies

1. Research on food irradiation

B, Irradiation as a quarantine treatment

Compared with the research on irradiation to improve food safety, the research on irradiation as a quarantine treatment has't got much fund from the Chinese government.

1. Research on food irradiation

supported by IAEA or other international organizations,

- ✦ various fruit flies and Mites in cut flowers;
- ✦ *Trogoderma granarium* Everts and *Callosobruchus chinensis* in food and agricultural products;
- ✦ the spore of TCK in infested wheat

1. Research on food irradiation

- ✦ a key national project 'irradiation to control long-horned beetles in package log' in 2001

2. Regulations and standards

- ✘ Management method
- ✘ Hygienic standards of irradiated food
- ✘ Standards of good irradiation practice
- ✘ Standards of irradiation facility and dosimetry

Hygienic Management Method of Irradiated Food

Cleared Ministry of Public Health in 1986,
Revised in 1996, including the management of:
facility
personnel
irradiated food: absorbed dose, labeling
punishment

Hygienic standards of irradiated foods

GB 14891.2-1994

Hygienic standards of irradiated pollen

GB 14891.6-1994

Hygienic standards of irradiated hog carcass

GB 14891.9-1994

Hygienic standards of irradiated sweet potato wine

Hygienic standards of irradiated food

GB 14891.3-1997 dried nuts and preserved fruits

GB 14891.4-1997 dried spice

GB 14891.5-1997 fresh fruits and vegetables

GB 14891.7-1997 frozen packaged meat of
livestock and poultry

GB 14891.8-1997 beans, grains and their products

GB 14891.10-1997 cooked meat food of livestock
and poultry

Hygienic standards of irradiated food

Under establishment

Hygienic standards of irradiated seafood
and their products, hopefully be cleared in
2003

Standards of good irradiation practice

* 17 standards of good irradiation practices
cleared in Dec. 2001

17 food items of the National standards in 2001

No.	Name of the standards
GB/T 18524-2001	Codex general standards for irradiated food and agricultural products
GB/T 18525.1-2001	For insect disinfestation of beans
GB/T 18525.2-2001	For insect disinfestation of grains
GB/T 18525.3-2001	For insect disinfestation of dried red jujubes
GB/T 18525.4-2001	For insect disinfestation of dried the Chinese wolfberry and grapes
GB/T 18525.5-2001	For insect disinfestation of fragrant mushroom
GB/T 18525.6-2001	Insect disinfestation of dried longan
GB/T 18525.7-2001	Insect disinfestation of dried lotus seed
GB/T 18526.1-2001	For control micro flora of instant tea
GB/T 18526.2-2001	For control micro flora of pollen
GB/T 18526.3-2001	For control micro flora of dehydrated vegetables
GB/T 18526.4-2001	For control micro flora of seasonings
GB/T 18526.5-2001	For control pathogen and micro flora of cooked meats
GB/T 18526.6-2001	For control micro flora of fermented meat products
GB/T 18526.7-2001	For control pathogen of pork at cold temperature
GB/T 18527.1-2001	For shelf-life extension of apple
GB/T 18527.2-2001	For sprout inhabitation of garlic

Standards for facility and dosimetry

GB 10252-1996 Standards for radiation protection and safety of Co-60 irradiation facility

GB/T 15447-1995 Conversion method of absorbed doses in different materials irradiated by X, γ rays and electron beams

GB 16334-1996 Practical guide of dosimetry in a gamma irradiation facility for food processing

Standards for facility and dosimetry

✱ GB 17279-1998

Criteria for safe design of wet source storage gamma irradiators

✱ GB 17568-1998

Regulations for design construction and use of gamma irradiation facilities

2. Regulations and standards

✱ Due to lack of experiences on standards establishment, different ministries drafted standards and the consistency between standards need to be strengthened. The contents of some standards are overlapped or disagreed. Some important area such as certification of food irradiation and verification of irradiated food are not covered by existed standards.

2. Regulations and standards

The Ministry of Finance allocates 30 000 000 RMB per year for the project of national standards on agriculture during 2001-2007. One standard under this project titled 'Evaluation criteria of quality assurance on food irradiation' is on going. More standards on food irradiation will be revised or established under this project according to international standards and recommended standards.

3. COMMERCIAL APPLICATION

✱ Irradiated food

total amount of irradiated food about

100,000 tons in 2002

80,000 tons in 2001

Main irradiated products: garlic, spice, dehydrated vegetables and grain beans

3. COMMERCIAL APPLICATION

✱ Radiation source

- ✱ Co-60
- ✱ Electron beam
- ✱ X-ray

3. COMMERCIAL APPLICATION

- ✱ established 64 Co-60 irradiators, which designed capacity is more than 300 thousand Ci at the end of 2002.
- ✱ total designed capacity of Co-60 irradiators in China is about 37.3 million Ci
- ✱ actual loading capacity about 17 thousand Ci

3. COMMERCIAL APPLICATION

- ✦ about 50 irradiation facilities involved in food irradiation;
- ✦ about 20% of the facilities are private ownership.
- ✦ Some irradiation facilities got the certificate by international certification organizations or imported countries.

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Quality Inspection and Test Center of Irradiated Products, Ministry of Agriculture

- ✦ to strengthen the capacity of various centers/organizations
- ✦ to control and apply this technology according to international/national standards/agreements
- ✦ To be established by the MOA in 2002 in the Institute for Application of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Science

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Quality Inspection and Test Center of Irradiated Products, Ministry of Agriculture

- ✱ Authorized by national measure agency and Ministry of Agriculture
- ✱ the only legal specific inspection agency for irradiated products in China

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

The duties of the Center:

- ✱ microbiology, sensory analysis
- ✱ identification of irradiated food
- ✱ calibration of radiation dose
- ✱ safety of irradiation facilities
- ✱ inspection of protection dosimeter

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

The duties of the Center:

- ✦ To carry out national scientific projects and projects of international cooperation
- ✦ To take part in the establishment, revision and validation of relevant national, industry standards
- ✦ To provide technique guiding for inspection agency on quality of irradiated food, consultation of information and personnel training

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Expert Group of Consultation and Coordination on Food Irradiation

- ✦ Established in Aug, 2001
- ✦ Consistant of experts and officials on irradiation facility, irradiated food hygienic, food safety, inspection and trade from seven relevant Ministries of Chinese Government.

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

The objective of the EGCCFI:

- to trace the development status of food irradiation in the world
- to provide suggestions and opinions in international relevant affairs for the Chinese Government
- to provide suggestions on establishing relevant national regulations and standards of food irradiation

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

The objective of the EGCCFI:

- to develop methods for resolving the problem in international trade of irradiated food
- to provide suggestions for expanding the trade opportunity of irradiated food, and for inspection of irradiated food

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Recent Activities

- ✧ A Workshop titled ‘Opportunity and countermeasure of Chinese Irradiation Industry after joining WTO’ was held in May, 2001.
- ✧ A workshop titled ‘Process control of irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment for food’ was held in Beijing, China, Aug, 2001.

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Recent Activities

Meetings in China

- ✧ workshop on “Food irradiation”
Jiujiang, in June, 2002
- ✧ Study “Standards of 17 Good irradiation practices”, Fujian, Dec. 2003

4. COOPERATION AND MANAGEMENT

Recent Activities

- ✖ Newspapers
- ✖ TV program

Conclusion

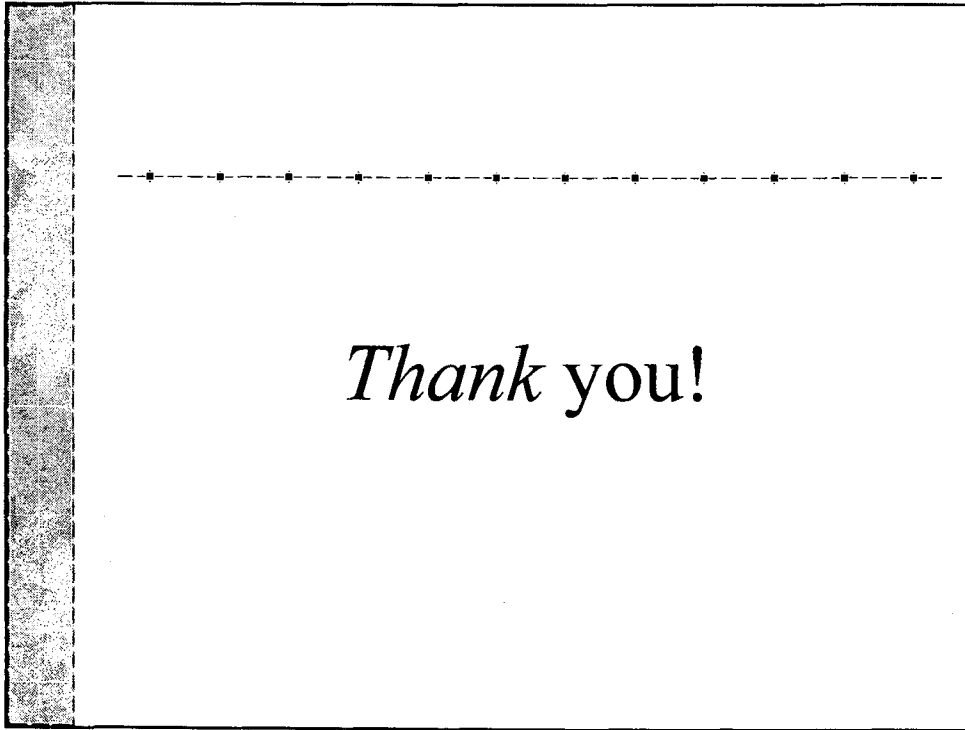
- ✖ The irradiation facilities are located in most of provinces of China
- ✖ The amount of irradiated food increased rapidly

Conclusion

- * regulations and standards
- * management of irradiation facilities and irradiated food in market
- * information on irradiation application exchange
- * more researches to enlarge the application area

Conclusion

The increasing demand for food safety and security from farm to fork and the globalization of trade in food and agricultural commodities represent new challenges to the food industry, and food irradiation will play an important role in the future



Thank you!