

## 중국의 방사선 및 방사성동위원소의 농업분야 이용

송성준, 박재우<sup>1</sup>

제주대학교 방사선응용과학연구소,  
<sup>1</sup>제주대학교공과대학 기계에너지시스템공학부  
에너지공학전공

### Radiation and Radioisotope Technology for Agriculture in China

Song Sung Jun and Park Jae Woo<sup>1</sup>

*Applied Radioisotope Research Institute,  
Cheju National University,  
Jeju 690-756 Korea*

<sup>1</sup>*Major of Energy Engineering, Faculty of  
Mechanical, Energy and System Engineering,  
Cheju National University,  
Jeju 690-756 Korea*

#### Abstract

In order to help make the technical cooperation in the agricultural use of radiation and radioisotope between Korea and China its state of the art, related organizations, and researchers in China were investigated. 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, the diverse subjects have been conducted and their results also have been actively applied in agricultural technology. In addition, China has recently taken a deep interest in the soil conservation and erosion of agricultural land in its use of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb. As to the use of isotope tracers in the pesticide field, China has been synthesizing and using radioisotope-labeled pesticide. Simulation studies on pesticide behaviors in agro-ecosystems and studies on the measurement of residual pesticides using RIA are made. There have been an increased number of irradiation facilities for the academic and industrial purposes of food irradiation. On the other hand, 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.

**Key words :** Radiation, Radioisotope, Agriculture, China

## 서론

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 개소됨과 동시에 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 원자력기구 등의 국제 기구에서 관련 분야의 위상 제고에 걸림돌이 되고 있다. 원자력의 농업적 이용에 관한 국제협력의 증진은 국제화·개방화시대에 부응하는 경쟁력 함양을 위해서 반드시 필요하다.

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, 여기에 농업분야를 포함하는 방사선 및 방사성동위원소 기술 이용 분야의 교류를 추가하였다.

따라서, 중국의 연구동향, 성과, 관련 기관 및 주요 과학자에 대한 정보를 조사하여 한·중 농업 분야의 방사선 및 동위원소 기술 교류 및 협력에 이바지하고자 하였다.

### 1. 중국 방사선 농학의 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 최

대과제이다. 이러한 의미에서 농업을 지속적으로 발전시키기 위한 품종개량과 농업기술개발 연구에 심혈을 기울이고 있다.

중국은 1956년부터 방사선 및 방사성동위원소를 농업연구에 활용하기 시작하였으며 이를 방사선농학(nuclear agriculture) 이란 용어로 학문을 체계화하였고<sup>1)</sup> 중국 농업과학과 기술 발전에 지대한 공헌을 했을 뿐만 아니라 국제적으로도 긍정적인 영향을 끼쳤다고 자평하고 있으며, 국제원자력기구(IAEA)에서도 이를 인정하고 있다. 중국의 방사선 농학은 다음과 같은 두 가지 시스템에 의해 성공적인 발전을 할 수 있었다(중국 절강 대학교 Xu Bu Jin교수와와의 personal communication).

- 첫째, 전국 26개 성·시·자치구에 모두 방사선 농업 전문 연구소를 설립하여 상호 업무상 긴밀한 연락을 취할 수 있도록 전국적인 방사선 농학 연구 시스템을 갖추었고
- 둘째, 전국 규모의 중국 방사선농학회를 만들고 전국 21개 성·시·자치구에 분회에 해당하는 성급 규모의 방사선농학회를 설립하여 지역과 전국 단위의 유기적인 학술 교류 시스템을 만들었다(현재 회원이 2,000여명이상이 된다고 함). 이 두 가지 시스템은 상호 보완적이면서도 효과적으로 중국 방사선 농학의 발전을 촉진하고 있다. 이러한 시스템은 국제적으로도 유일한 것으로 중국의 방사선 농학에 대한 특징과 큰 관심을 보여주고 있는 것이다.

특히, 중국의 방사선 농학의 발달은 다음과 같이 10년 단위로 나누어 볼 수 있다.

#### 1) 방사선 농학의 시작과 성장기

##### (50년대 중반~60년대 중반)

- 1956년 방사성 동위원소와 방사선 이용 기술에 대한 연구를 12년 발전계획에 포함시켜 추진하기 시작
- 1957년 중국농업과학원은 방사선이용연구실을 설립했고 이때부터 중국 방사선 농학의 연구와 이용이 정식으로 시작됨
- 방사선 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 농업 생물물리 혹은 농업물리 등의 전공학과 개설

2) 방사선 농학발전의 정체기(60년후반~70년중반)

- 문화대혁명으로 인한 중국경제의 타격으로 중국 방사선 농학 연구기관과 대학 전공과정 폐쇄
- 관련 연구의 대부분이 중지되고 명맥유지

3) 방사선 농학의 회복과 발전기(70년후반~80년중반)

- 문화대혁명이후 전면적인 회복기와 발전기에 접어들
- 전국 26개 성·시·자치구의 농업과학원·농업대학에서 잇달아 방사선이용연구소를 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 방사선이용연구소와 저장농업대학 방사선농업과학연구소 생물물리, 즉 방사선 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
- 방사선 농학의 응용연구는 국가발전계획에 중점 육성항목에 포함
- 1984년 국제원자력기구(IAEA)에 가입하여 외국의 학술 교류 협력 시작
- 방사선농학회와 중국농업과학원 방사선이용연구소는 공동으로 核農學報(방사선 농학 학보)와 核農學通報(방사선 농학 통보)라는 국가 핵심 정기 간행물을 창간

4) 방사선 농학의 조정 및 향상기(80년중반~현재)

- 분자생물학, 유전공학기술 그리고 첨단 정밀 분석장비의 발달로 방사선농학에 대한 상대적인 관심이 적어짐
- 관련 인력의 수도 점차 감소되나
- 아직도 회원수가 2,000여명이 넘는 방사선농학회가 운영되고 있는 등 연구 잠재력이 큼
- 최근 방사선 농학의 특징과 이점을 잘 살리고 새로운 연구 아이디어 발굴하고 연구 조직 체제를 재정비하려는 노력이 진행되고 있고, 새로운 전성기를 만들기 위한 노력이 경주됨

2. 중국 농업 발전에 있어서 방사선 농학의 위치와 역할

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

1) 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 2,276개의 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 촉진하는데 중요한 역할을 하는 등 중국의 농업발전에 대한 기여도 크다<sup>1)</sup>.

2) 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 연장

시키면 중국의 식량 수입량을 감소시키거나 수입을 하지 않을 수 있기 때문에 수십억 내지 수백억 달러의 외화를 절약할 수 있다는 의미로 식품조사의 중요성을 인식하고 있다<sup>1)</sup>.

### 3) 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  $3.33 \times 10^7 \text{hm}^2$ 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  $118 \text{hm}^2$ 의 감귤원에 160만 마리의 방사선 조사에 의해 유기된 불임해충을 방사하여 감귤 해충으로 인한 피해율을 5%에서 0.1% 이하로 급감시키는 효과를 거둔 사례가 있다<sup>1)</sup>.

### 4) 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 잘못 접근되어 얻어진 연구결과를 규명하는 데 뛰어난 공헌을 하였다고 한다.

동위원소 추적자 기술의 이용은 과학적인 시비 방법과 토양 개선, 농작물 증산 촉진 등에서 중요한 경제적 효과를 거두었다. 예를 들면,  $^{15}\text{N}$ 을 이용한 논벼 질소비료의 이용을 향상 실험을 피하였는데, 이 기술을 보급하여  $16.5 \times 10^5$  톤의 식량 증산 효과를 얻었다고 하였다. 동위원소 추적자 기술은 작물의 영양대사와 식물과 미생물의 공생 질소 고정 메카니즘 연구에도 활용되었고 방사선 생태학과 농약이 환경에 어떠한 영향을 끼치고 예방 효과에 대한 연구에 중요한 수단으로 사용

되어 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 방사선 농학은 중국의 농업생산에 중대한 역할을 하고 있으며 국민경제에서도 중요한 위치를 차지하고 있다고 할 수 있다<sup>1)</sup>.

## 3. 중국 방사선 농학의 성과와 전망

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

### 1) 식물 방사선 돌연변이육종

#### (1) 연구조직

방사선 돌연변이 육종은 방사선 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 방사선 이용 연구소(Institute for Application of Atomic Energy, IAAE)이며, 지방에는 20개 이상의 지방성 농업과학원(Academy of Agricultural Sciences, AAS) 소속의 방사선이용연구소(Institutes for Application of Atomic Energy)가 있어 며, 밀 등 주곡작물의 돌연변이육종 연구를 실시하고 있다. 특히, 북경에 있는 중국 농업과학원 방사선이용연구소는 돌연변이 육종에 대한 국가 연구사업을 주도하고 있으며 각 성에 있는 방사선이용연구소의 돌연변이 육종 연구사업을 관장하고 있을 뿐만 아니라 중국 방사선농학회와 함께 Acta Agriculture Nucleatae Sinica 학술잡지를 격월로 발간하고 있다(중국 절강 대학교 Xu Bu Jin교수와의 personal communication).

#### (2) 돌연변이 육종 연구 발달사

중국의 돌연변이 육종연구는 3단계로 나누어 발달되어 왔다<sup>12)</sup>.

- 1단계(1950-1960대)
  - 방사선 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 육종책자 번역보급으로 체계적인 학문지식 획득
  - 돌연변이 육종관련 시설 및 장비 설치 확대
  - 다양한 작물에서 돌연변이 육종(벼, 밀, 콩, 옥수수, 면화, 팥나무 등 10개 품종)과 선발된 품종의 재배면적 증가
  - 돌연변이 효율 향상 연구 시도(잡종 종자사용, 돌연변이원 탐색, 다른 돌연변이 방법과 혼용, 종자배의 사용)
- 3단계(1990년대 이후)
  - 지속적인 안정 성장단계
  - 돌연변이 육종과 조직배양기술의 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, 화훼류 등: 67품종)의 우량 돌연변이 품종을 육성해냈다.

국제원자력기구 통계에 따르면 전세계적으로 2001년까지 방사선 돌연변이기술에 의한 품종 육종수는 2,276개임을 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 방사선 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<sup>1,12,14</sup>).

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 들연변이 육종에 사용되는 식물재료

식물재료
종자
화분
전식물체
bud
cutting
캘러스

표 4. 중국에서 사용하는 들연변이원의 비율

들연변이원	들연변이 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 들연변이 품종의 형질특성

특성	들연변이 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 들연변이 품종의 형질특성

특성	들연변이 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

형질특성	들연변이 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, 숙기)	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
씨체거	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 분석기술 확립 연구 등에도 관심이 많다.

● 방사선돌연변이 기술에 의한 식물 유전자원 다양성  
방사선에 의한 형질이 우수한 품종을 직접 유기하는 방법 이외에도 교잡육종 또는 잡종강세 육종을 위한 식물유전자원을 확보하는 것도 매우 뜻이 있는 일로써 중국에는 24개 품종에서 약 2,000여개 특성이 다양한 유전자원을 확보하고 있다<sup>10, 12)</sup>. 그중 대표적인 것은 다음과 같다.  
◦ 녹화가능알비노 벼 변이주: W24, W27(마커유전자로 활용)

- 엽록소감소 유채 변이주: Cr3529
- 최상위 질간 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 쬐여 벼, 밀, 피망 등에서 작물의 생산성과 성분(비타민, 단백질함량 등)이 개선된 유용한 돌연변이주를 얻었다<sup>9, 11, 12)</sup>.

- 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 67x10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup> 인 경우)

품종명	육성기관	주요개량형질
벼		
왜복9호	절강성온주지구 농업과학연구소	왜간, 줄기배열성, 고결실율
원풍조	절강성 농과원 방사선이용연구소	조숙, 고수확, 적응성
만경257	호북성농업과학원	내비, 내도열병
남경	강소성농업과학원	초새강
동정3호	강소성우석동정향	왜간, 내도복성, 잎이끈음
절복 802	절강농업대학/절강성 여향현 농업과학연구소	조숙, 내병성, 고수확, 적응성
홍남 M112	광서장족자치구농업과학원 강서성농업과학원	중숙, 내한성, 큰 이삭 및 알갱이 내한, 내병해충(멸구)
상조나1호	호남성농업과학원 방사선이용연구소	내병성성(도열, 백엽고병), 고수확 안정생산, 적응성
계만복	광서농학원	내한성, 조생, 왜간, 내도복
상조도9호	호남성침주지구 농업과학연구소	속기촉진, 고생산, 고품질
상조도6호	호남성농업과학원 방사선이용연구소	내병, 고품질, 내도복성
절복852	절강성농업과학원작물연구소	조숙, 내도열병, 고수확
악형나6호	호북성형주지구 농업과학연구소	내병성, 활성, 미질, 강저항성
쌍과1호	절강농업대학 절강제기현농업과학연구소	중숙, 고수확, 내고온성

표 8. 계속

품종명	육성기관	주요개량형질
수수48	철강성가흥지구 농업과학연구소	내병성, 고수확
자금나	강소성농업과학원작물연구소	내도열병, 비교적 높은 수확
복조 383	호북성농업과학원 방사선이용연구소	고분얼, 줄기배열양호, 고생산성
<b>소맥</b>		
암맥6호	호북성농업과학원	내한성, 고수확
노동1호	산동성농업과학원 산동성등현사촌	반왜간, 내도복성, 내늑병, 고수확
신서광1호	흑룡강성농업과학원	강한줄기, 내도복성, 내병성, 내습성, 생육후기 내 저온성
영맥3호	강소성농업과학원	왜간, 줄기배열 및 수확성 양호, 내도복성
정육복	하남성 농업과학원	분얼력 강함, 내한성, 내한성, 굵은 포기
진풍1호	남개대학 생물학과	원품종보다 조숙, 상대적 왜간, 내도복성 수확성양호
원풍4호	산동성 농업과학원 방사선농업응용연구소	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, 내늑병
천복1호	사천성농업과학원 생물기술해기술연구소	조숙, 숙기에 열황화양호, 내습성, 내한발성, 내한성
예맥4호	하남성 낙양시 농업과학연구소	극조숙, 줄기와 엽의 배열양호
신춘2호	신강위구루자치구농업과학원 방사선이용연구소	조숙
신춘3호	신강위구루자치구농업과학원 방사선이용연구소	내병성, 내도복성, 고수확성
예춘12호	하남성 입현요촌진농업기술보급소	원품종보다 조숙, 단간, 백색날알
원동3호	중국농업과학원 방사선이용연구소	내늑병, 내흰가루병, 내저항성(알칼리성, 한발, 고온), 고수확안정생산, 적응성
연농685	산동성연대지구 농업과학연구소	내한성, 높은이삭형성을, 숙기에 열황화양호, 내도복성, 내늑병
악맥9호	호북성농업과학원	내흰가루병, 홍수에 강함, 후기 내고온성
진풍2호	천진시 계현 농업기술보급센터	직립엽, 줄기강함, 내도복성, 줄기배열양호
<b>보리</b>		
염복왜조3호	강소성연해지구 농업과학연구소	조숙, 왜간, 내도복성, 증산
<b>옥수수</b>		
길단 101	길림성농업과학원	내대반점병, 내청고병, 내감부기병, 줄기배열양호
노원단4호	산동성 농업과학원 방사선농업응용연구소	조숙, 양호한 수확량, 줄기배열양호
노원삼2호	산동성 농업과학원 방사선농업응용연구소	내병성, 양호한 수확량, 다모작성
노옥3호	산동성료성지구 농과소	내병성, 양호한 수확량
노옥5호	산동성 농업과학원 방사선농업응용연구소	조숙, 내한발성, 고수확성, 줄기배열양호
<b>수수</b>		
보잡1호	산서성농업과학원 경제작물연구소	줄기강함, 내도복성, 내저항성, 줄기배열양호, 양호한 수확량



표 8. 계속

품종명	육성기관	주요개량형질
용복량1호	흑룡강성농업과학원 방사선이용연구소	왜간, 조숙, 조밀재배
<b>대두</b>		
흑농16호	흑룡강성농업과학원	분얼성양호, 짧은 마디, 내한발성, 줄기배열양호
철풍18호	요녕성철령지구 농업과학연구소	경엽, 내비성, 내도복성, 고수확량, 줄기배열양호
흑농26호	흑룡강성농업과학원	포기양호, 내저항성, 품질양호, 줄기배열양호
요두3호	요녕성 농업과학원 방사선이용연구소	조숙, 줄기강함, 내도복성, 홍수에 강함, 바이러스저항성, 노균병저항성
철풍24호	요녕성철령지구 농업과학연구소	줄기강함, 내도복성
<b>유채</b>		
감유5호	중국농업과학원 유료작물연구소	내한성, 내병성, 고수확안정생산
절유7호	절강성농업과학원	조숙, 오일함량높음
<b>땅콩</b>		
약유22호	광둥성농업과학원 경제작물연구소	왜간, 분지많음, 결실많음
약유551	광둥성농업과학원 경제작물연구소	내병성, 양호한 수확량
<b>면화</b>		
노면1호	산둥성농업과학원 면화연구소	조숙, 결실양호, 수확량 증대, 줄기배열양호
<b>무우</b>		
첨연301	중국농업과학원 사탕무연구소	품질양, 고당도, 갈반병저항성
첨연302	중국농업과학원 사탕무작물연구소	근중, 고당도, 갈반병저항성, 근부병저항성
<b>사탕왕</b>		
조숙사탕왕	요녕성농업과학원 토양비료연구소	원품종보다 조숙

2) 추적자 이용 기술

중국의 농업과학과 생산에서 이용되는 추적자 이용 기술은 방사선 농학의 중요한 분야이며 방사선 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, 농약 흡수 및 분해대사, 잔류 등의 연구에 많이 사용되고 있다<sup>1,3,4,5,6,7,8)</sup>.

(1) 토양-식물 연구

1950년초 이후부터 토양-식물 연구에 동위원소 추적자를 사용하기 시작하였으며, <sup>3</sup>H, <sup>7</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>32</sup>P, <sup>35</sup>S, <sup>45</sup>Ca, <sup>59</sup>Fe, <sup>65</sup>Zn, <sup>75</sup>Se, <sup>60</sup>Co, <sup>86</sup>Rb,

<sup>90</sup>Sr, <sup>95</sup>Zr, <sup>109</sup>Cd, <sup>125</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th 등의 방사성동위원소와 <sup>10</sup>B, <sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N, <sup>18</sup>O 등의 안정동위원소가 사용되었다. 주로 사용되어 온 분야는 다음과 같다<sup>1,13)</sup>.

① 작물영양생리

- 작물의 광합성율, 동화작물 전류 및 분배특성(<sup>14</sup>C)
- 작물 양분흡수의 흡수, 수송 및 분포(<sup>35</sup>SO<sub>4</sub>, <sup>45</sup>Ca, <sup>59</sup>Fe, <sup>65</sup>Zn, <sup>75</sup>Se, <sup>10</sup>B, <sup>141</sup>Ce)
- 작물의 질소(<sup>15</sup>N), 탄소(<sup>14</sup>C), 황(<sup>35</sup>S) 및 핵산대사(<sup>32</sup>P)
- 다수화주곡작물(벼, 밀)의 광합성능(<sup>14</sup>C), 양분흡수(<sup>32</sup>P, <sup>15</sup>N) 및 분얼연구(<sup>14</sup>C),
- 다수화 공예작물(면화)의 동화물질전류특성(<sup>14</sup>C)

- 식물 뿌리분포, 근활력(<sup>32</sup>P)과 스트레스(수분등) 영양생리 [<sup>86</sup>Rb(K analog), <sup>32</sup>P]
- 식물호르몬 작용과 영양생리대사(<sup>14</sup>C, <sup>32</sup>P)

② 토양-식물

- 토양별의 δ<sup>15</sup>N 특성 연구
- 작물에서 질소비료의 이용률 및 잔류 질소 이용 (<sup>15</sup>N)
- 토양중 질소 변환 특성 및 질산화과정억제(<sup>15</sup>N)
- 인산질비료 비효, 이용률 및 토양중의 인산동태 (<sup>32</sup>P)
- 복합비료의 비효, 이용률(<sup>15</sup>N, <sup>32</sup>P)
- 유기질 비료의 비효, 이용률(<sup>15</sup>N, <sup>32</sup>P, <sup>14</sup>C)
- 공중질소 고정(<sup>15</sup>N)
- 토양 유기물 분해특성(<sup>14</sup>C)
- 토양 유효 양분측정(A, L, E value; <sup>32</sup>P)
- 토양수분측정(중성자 산란법, <sup>241</sup>Am/Be)
- 토양연대(<sup>14</sup>C, <sup>13</sup>C) 및 토양 침식(<sup>137</sup>Cs)

③ 최근 연구동향(1999년 이후)

- 혼합, 운작 작부체계에서 시비비료의 이용률(<sup>15</sup>N)
- 시비기술개선(<sup>15</sup>N, <sup>32</sup>P)
- 식물저항(한발)평가(<sup>3</sup>H, <sup>32</sup>P)
- 접목방법, 촉진제에 따른 양분흡수, 이행 및 분포(<sup>59</sup>Fe, <sup>32</sup>P, <sup>14</sup>C) 및 유전특성에 따른 양분흡수 (<sup>65</sup>Zn)
- 수분과 중금속 stress에 따른 동화산물이동 분포(<sup>14</sup>C)
- 토양보존(<sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb/<sup>137</sup>Cs)
- 토양조건(공기)에 따른 무기양분흡수와 동화산물의 뿌리이행분포(<sup>14</sup>C)
- 토양중 질소질 비료의 질산화과정과 식물체내 질소영양대사(<sup>15</sup>N)
- 방사성 핵종생태 거동 연구(<sup>137</sup>Cs, <sup>95</sup>Zr)
- 방사성 핵종의 bioremediation(<sup>137</sup>Cs제거)
- 광물비료(인산질비료, 인광석, Coal ash)와 시비된 토양중의 천연핵종측정(<sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>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 왔다<sup>14)</sup>. 방사성동위원소 표지화합물은 북경에 있는 농업과학원 방사선이용연구소에서 합성하여 전국에 공급되었다(표 9).

<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>36</sup>Cl, <sup>32</sup>P, <sup>35</sup>S, <sup>74</sup>As(<sup>76</sup>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(절강 농업대학)는 체계적인 농약연구의 개척자로 농약 안전사용을 위한 국가기준에 관한 대형과제를 수주받아 중국내 43개 연구소와 공동으로 연구를 실시하여 1985년 중국의 농약 안전사용 기준을 법으로 마련하는 토대를 만들었다<sup>3)</sup>. 특히, 중국의 방사성추적자를 이용한 농약연구는 1984년 IAEA에 가입된 이후 CRP 사업과 해외훈련을 통해 활발히 수행되었다.

표 9. 중국에서 합성된 대표적인 농약

표지농약	비방사능 (mCi/mmol)
<sup>14</sup> C-benzene hexachachloride	1-5
<sup>14</sup> C-2,2,2-trichlorethyl styrene	1-5
<sup>14</sup> C-chlordimeform	1-5
<sup>14</sup> C-N,N-methylene bis(2-amino-1,3,4-thiadiazole)	10-30
<sup>14</sup> C-2,4-D	5-10
<sup>14</sup> C-X-naphthalacetic acid	10-20
<sup>14</sup> C-indoleacetic acid	10-20
<sup>14</sup> C-amidino thiourea	10-20
<sup>14</sup> C-thiophanate methyl	1-10
<sup>14</sup> C-S-triazine	1-10
<sup>14</sup> C-trichlorfon	5-10
<sup>14</sup> C-cyclophosphamide	1-10
<sup>14</sup> C-DDT	1-5
<sup>14</sup> C-dimethachlon	1-5
<sup>14</sup> C-phoxim	10-30
<sup>14</sup> C-glyphosate	10-30
<sup>14</sup> C-difenzoqnat	5-10
<sup>14</sup> C-amino-1,3,4-thiadiazole	10-30
<sup>14</sup> C-dicyandiaonide	1-10
<sup>14</sup> C-bensulfuron	1-10

표 9. 계속

표지농약	비방사능 (mCi/mmol)
<sup>14</sup> C-triadimefon	1-10
<sup>14</sup> C-amitraz	1-10
<sup>14</sup> C-trifluralin	1-10
<sup>14</sup> C-chlortoluron	1-10
<sup>14</sup> C-propoxur	1-10
<sup>14</sup> C-methyl-ISP	1-10
<sup>14</sup> C-methoxy-tetrachlorvinphos	1-10
<sup>14</sup> C-amidino thiourea	1-10
<sup>14</sup> C-methoxy-monocrotophos	1-10
<sup>14</sup> C-chlorsulfuron	1-10
<sup>35</sup> S-thiram	1-10
<sup>35</sup> S-dimethoate	1-10
<sup>35</sup> S-parathion	1-5
<sup>35</sup> S-phorale	1-5
<sup>35</sup> S-phenthoate	0.2-2
<sup>35</sup> S-mancozeb	1-10
<sup>35</sup> S-phosfolan	1-10
<sup>35</sup> S-malathion	1-10
<sup>35</sup> S-cartap	1-5
<sup>35</sup> S-cyanox	
<sup>35</sup> S-C9140	
<sup>76</sup> As-zine methanearsonate	

중국의 농약분야에 대한 주된 연구관심과 동향은 다음과 같다<sup>1,3,4,5,6,7)</sup>.

- 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

3) 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<sup>1,14)</sup> 실제포장에서 성공율은 많지 않았다고 한다. 최근 유전자 공학 기술에 의한 병해충 저항성 식물 창출에 대한 연구가 진행되면서 해충 불임기술연구에 연구관심이 상대적으로 다소 저하된 상태이다.

4) 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 <sup>60</sup>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 승인했다<sup>2)</sup>.

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, 상업화의 방향으로 발전하고 있다<sup>2)</sup>.

표 10. 방사선 해충불임기술에 대한 연구사례

종	조사단계	불임선량(Gy)	연구기관
Peach fruit birer	말기번데기	450	농업과학원 방사선이용연구소
Mulberry wild silk worm	말기번데기	500	절강성농업과학원 방사선이용연구소
Chinese citrus fly	말기번데기	90	농업과학원 방사선이용연구소 절강성농업과학원 방사선이용연구소
Cotton bollworm	말기번데기	250	농업과학원 방사선이용연구소
Uzi fly	말기번데기	55	화남농업대학교
Asian corn borer	말기번데기	450	농업과학원 방사선이용연구소 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 농업과학원 방사선이용연구소 중국과학원상해곤충연구소
Masson pine caterpilla	말기번데기	350	강소성 삼림연구소
Cabbage diamondback moth	말기번데기	700	절강성농업과학원 방사선이용연구소
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

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	
산둥성청도의학원	땅콩	0.4	살충
사천성원자핵응용기술연구소	쌀	0.45	살충
	중국소새지	15	멸균
	돈육	5-8	멸균
	서간주	2-4	숙성
광주시의학공업연구소	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			
호남성방사선농업연구소	감귤	0.03-0.05	선도유지
절강성농업과학원 방사선연구소등			
호남성방사선농업응용연구소			
북건성화교대학/상해원자핵연구소	용안		선도유지
청화대학 핵에너지기술연구소	브랜드	0.888-1.331	숙성, 살균
산둥성농업과학원방사선연구소등			
상해원자핵연구소	여지,말기	1-2	선도유지
천진기술물리소	아기위	0.3-1	선도유지
산둥성농업과학원방사선연구소	배	0.6-0.8	선도유지
하북성 방사선연구소	식용젤라틴	1.8	살균

(1) 식품조사 연구동향 및 전망

식품조사에 대한 기초연구(적정조사선량, 조사 식품안전성, 포장물질평가, 대중수용성, 경제적 평가)는 1980년대 주로 실시하였으며, 최근에는 식품의 안전성개선과 검역처리를 위한 연구에 대한 관심이 매우 크다<sup>2)</sup>.

① 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 같다<sup>2)</sup>.

- 가공 야채의 안전 위생처리를 위한 식품조사연구
  - 절개 당근과 토마토에서 살모넬라, 대장균(O157:H7)에 대한 최소살균 조사 선량 결정
  - 헨터값, 고형물함량, 세포막투과성, 맛 변화등의 조사를 통한 최대허용조사 선량 결정
- 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

② 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 연구과제이다<sup>2)</sup>.

- 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 긴빨투구벌레 방제를 위한 방사선 조사(중요국가연구과제)

(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 흡수선량, 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)<sup>2)</sup>.

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

표 13. 계속

항목	번호
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 한다<sup>2)</sup>.

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 꾀 할려고 하고 있다<sup>2)</sup>.

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 <sup>60</sup>Co이며 대부분의 조사시설은 자국의 전문가에 의해 설계되고 시공되고 있다. 지난 40년 동안 24성과 36시에서 식품과 농산물에 대한 상

업적인 방사선조사가 실시되어 왔다. 2002년 까지 64개의 <sup>60</sup>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 한다<sup>2)</sup>.

(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 방사선 이용연구소에 설치하였다. 그 임무는 다음과 같다<sup>2)</sup>.

- 조사식품의 식품 위생 미생물학, 미각분석
- 조사선량교정, 조사시설안정성 및 방호장비검사
- 농업관련 조사식품의 품질 검사시험과 조사시설의 검사시험
- 식품조사 관련 산업표준화의 설정, 개정 및 검증
- 조사식품 품질 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 같다<sup>2)</sup>.

- 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

4. 중국의 방사선농학 핵심관련기관 및 과학자

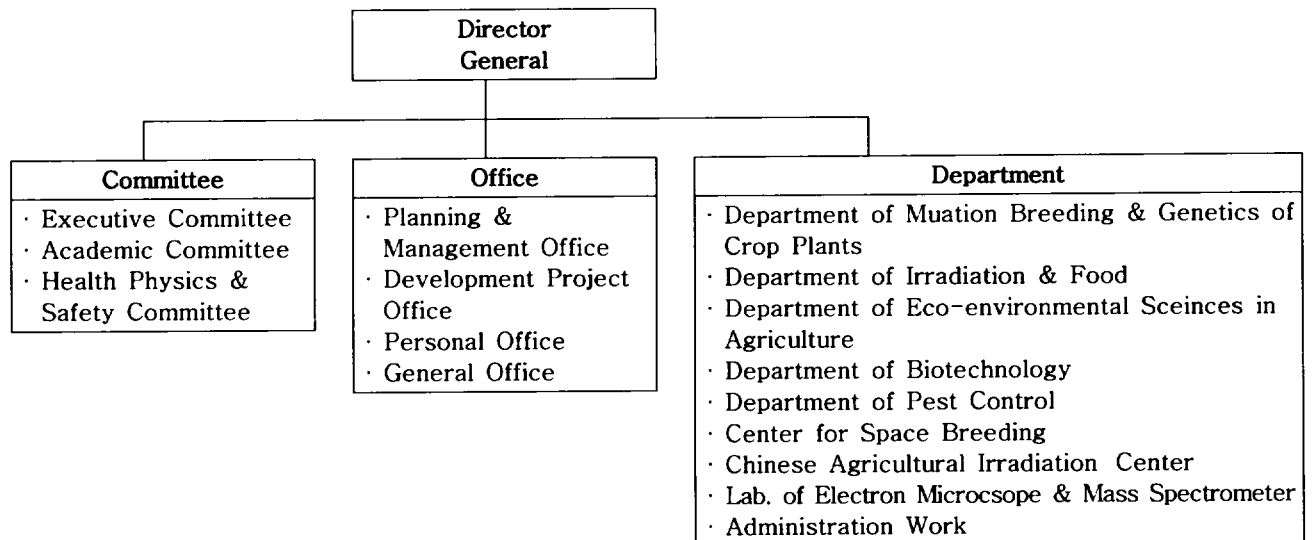
1) 중국 농업과학원 방사선이용연구소(IAAE, CAAS)  
(Institute for Application of Atomic Energy,  
Chinese Academy of Agricultural Sciences)

● 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 4명 등 총 194(고용원포함)

● 주요 시설 및 장비

<sup>60</sup>Co 조사시설, 중성자발생기, 전자현미경, 질량분석기, 감마선측정기, 액체섬광계수기, TLC scanner, 고압액체크로마토그래프, 초원심분리기, 자외선/가시광선분광광도계, 적외선/형광광도계, 컴퓨터, 방사성동위원소 표지실험실, 중국 농업식품조사 센터

● 기능

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

● 연구분야

- 작물의 돌연변이육종
- 농업 방사선 생태 연구
- 농업에 동위원소 추적자 이용
- 곤충의 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(이온빔 등) 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 이용률 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 적정 선량
  - 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
    - $^{60}\text{Co}$ (1,000,000 Ci) 조사시설 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
- 2) 중국절강성 절강대학교 방사선농업과학연구소 (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 방사선농학연구의 key 실험실(농림부와 절강성지정)
    - 농업생물물리(방사선농학)전공에 대한 인력양성(박사 및 석사과정)
    - 방사선농업기술 훈련센터(국제원자력기구 지원)
    - 방사선 농수축산 연구
  - ◎ 연구인력
    - 학술원 회원: 1명(Prof. Chen Ziyuan)
    - 교수: 8명
    - 외국객원교수: 2명
    - 부교수: 9명
    - 강사: 8명    총 27명
  - ◎ 연구시설 및 장비
    - $^{60}\text{Co}$  조사시설, 감마선측정기, 액체섬광계수기, TLC scanner, 액체크로마토그래프, 적외선/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 1986년 부터 1994년 까지 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

◦ 방사선농학분야

- 환경과학: 농약의 환경생태영향연구, 방사선 생태학
- 토양비옥도-식물영양: 유채 적정시비량, 벼 광합성 및 비료이용 효율개선, 식물의 생장조절 제작용기구
- 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, 방사선유기 돌연변이 메카니즘, 분자와 막생물리, 분자생물학기법에 의한 ecdysteroid 합성의 신경조절 등의 연구

3) 중국 방사선 농학회(Chinese Agricultural Association of Atomic Energy)

방사선 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

방사선 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:bjxu@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.zhidong@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

결 론

중국 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 이용연구는 그 대상이 다양하고 그 결과가 영농기술로 많이 활용되고 있다.

최근에는  $^{137}\text{Cs}$ 과  $^{210}\text{Pb}$ 를 이용한 농경지 토양 보존(토양침식)에 대한 연구의 관심이 큰 편이다. 중국은 방사성 표지 농약을 생산하고 있으며 농업생태계에서 농약 거동에 대한 simulation 연구와 RIA 기술에 의한 잔류농약 측정 연구가 수행되고 있을 뿐만 아니라 식품조사 시설에 투자를 많이 하여 산업화가 잘된 편이다. 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 방사선 이용 연구소와 1979년 창립된 방사선 농업학회의 힘이 크다. 특히, 북경 농업과학원의 방사선이용연구소와 절강성 절강대학교 방사선농업과학연구소는 중국의 방사선 농학 연구를 선도하는 대표 연구기관들이다.

감사의글: 이 논문은 2004년도 과학기술부 원자력 연구개발사업 연구비를 지원받아 수행한 연구임.

## 참 고 문 헌

1. Fang W. X. 2001. China nuclear agricultural sciences, Henan Scientific and Technological Publishing House
2. Gao M. 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)
3. Guo J. F. and B. J. 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)
4. Guo, J., J. Sun and X. Li, 1995. Studies on behavior characteristics of  $^{14}\text{C}$ -pirimicarb in a green/soil system, Acta Agriculturae Nucleatae Sinica 9(supple.): 100-106(in Chinese)
5. Guo, J., J. Sun and L. Zhai, 1996. Behavior of pirimicarb in aquatic ecosystem, Acta Agriculturae Nucleatae Sinica 10(3): 177-180 (in Chinese)
6. Guo, J. and J. Sun, 2002. Studies on bound  $^{14}\text{C}$ -chlorsulfuron residues in soil, J. of Agric. and Food Chem. 50(8): 2278-2282
7. Guo, J., G. Zhu, J. Shi, and J. Sun, 2003. Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils, Water, Air and Soil Pollution, 148 (1-4): 77-85
8. Yong L. I., J. Poesen, J. C. Yang, B. Fu and J. H. Zhang, 2003. Evaluating gully erosion using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  ratios in a reservoir catchment. Soil and Tillage Research. 69: 107~115
9. Liu L., L. Zhao and J. Wang, 2003. Biological effects of magnetic field-free space on wheat. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica 16(1): 2-7
10. Liu L. 2003. 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
11. Liu L. and Q. Zheng, 1997. Space-induced mutations for crop improvement. China Nucl. Sci. & Tech. Report, CNIC01139/CSNAS-0111. China Nucl. Information Centre, Atomic Energy Press, Beijing.

12. Liu L. 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)
13. Yang J. C., D. P. Wei, G. Li and J. F. 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)
14. 张素梅. 浅谈我国核农学的科技成果. 核农学通报, 1995(2): 86~89