

遺傳子操作 農産物의 開發現況과 그 安全性 評價

신 동 범

자연과학대학 식품영양학과

Current Trends in the Development of Genetically Modified Plants and Assessing the Safety of Foods derived from the New Plant Varieties.

Dong-Bum Shin

*Department of Food Science and Nutrition, Cheju National University,
Cheju, Chejudo, 690-756, Korea*

In recent years, the safety of foods and food ingredients from genetically modified plant varieties has been widely discussed. Genetical modification technique to transfer genetic information from one species to another has been possible for about two decades. The ability to transform, or insert new DNA into the plant cell, exists now for most crops, including maize, wheat, soybean, cotton, and rice. Early products of this technology include plants with enhanced insect and disease resistance, and improved herbicide tolerance. Future goals are to increase higher yield, improve nutritional and processing characteristics, and produce specialty oils, carbohydrates, and proteins. Some examples of genetically modified products that have been commercialized are FLAVR SAVR™ tomato, Bollgard® cotton, Round-Up Ready® soybean, Maximizer™ and NatureGard™ corn, Laurical® Canola oil, and Freedom II™ squash. The international agencies, OECD and WHO, and USDA, FDA and EPA in United States issued a policy statement on foods derived from new plants varieties each other. The document from FDA discussed criteria that should be considered by plant breeders and food manufacturers in assessing the safety of foods derived from new plant varieties before they enter the marketplace. Even though genetically modified plants and their foods are now evaluated safe enough by

scientific experiments, the present scientific knowledges won't the truth forever. The ultimate judges of new products of biotechnology will be consumers. They will be more confident in the safety of foods derived from plants developed by new technology if scientist and developers share information on safety testing.

1. 서 론

농수산물 유통공사는 지난 1998년 12월 4일 인천항을 통하여 'Round-up Ready'라는 콩을 수입했다. 이 콩은 다국적 화학회사인 美國의 Monsanto社가 자사제품인 'Round-Up'이라는 除草劑에 저항성을 갖도록 유전자를 조작해 재배한 제품이다. 이 콩의 수입에 따라 환경·시민단체로 구성된 '생명안전윤리연대모임'은 유전자조작 콩의 안전성 문제를 제기하면서 국내 수입을 반대하는 운동을 벌였다. 이들은 성명에서 "최소한의 안전규제와 표시제가 마련되지 않은 상태에서 미국산 유전자조작 농산물과 식품이 국내에 대량 유입돼 생태계와 시민의 건강을 위협하고 있다"며 "정부는 유전자조작 농산물 수입 실태를 조속히 파악하여 규제대책을 마련해야 한다"고 밝혔다. 농산물 유통공사 관계자는 이번 수입 콩의 30% 정도가 유전자조작이 이루어진 것이라 추정된다고 하여 유전자조작 수입 콩을 둘러싸고 국내 여론들도 우려의 목소리를 높이고 있는 실정이다.

유전자조작은 실험이 성공하여 20년 이상 경과하면서⁽¹⁻²⁾ 농작물의 품종개량을 중심으로 하여 농업분야에서의 이용이 급속히 진전되고 있다. 1994년에 미국에서 유전자조작에 의

해 개발된 잘 무르지 않는(보존성이 좋은) 토마토(FLAVR SAVR™)⁽³⁾의 판매가 세계에서 처음으로 개시되어 호평을 받기도 했다. 이 토마토 이외에도 많은 유전자 조작 농산물들이 미국, 캐나다 등에서 상품화되고 있다⁽⁴⁻⁷⁾. 이들 유전자조작 농산물을 상품화하는 데는 개발자가 엄밀한 안정성 평가를 실시하여 상품화하는 나라에서 허가를 받게 되어 있다⁽⁸⁾. 식품으로서 유전자조작 농산물을 이용하게 됨으로서 유전자조작 식품에 대한 소비자의 관심이 높아지고, 많은 소비자가 유전자조작 기술의 실용화에 대한 막연한 불안감을 느끼고 있는 것도 사실이다. 그 이유는 얻을 수 있는 정보의 부족에 따른 것으로, 이제까지 품종개량에 사용되어져 온 육종기술과는 전혀 다르다고 생각하고 있다는 점과, 이 기술을 이용하여 생산된 것은 안전성평가가 필요하다고 하기 때문에 위험하다고 느끼고 있는 것이다. 유전자조작 농수산물은 알레르기를 유발할 수가 있고 예기치 않는 독성을 드러내 인체에도 해를 끼칠 수 있다는 주장이 제기되고 있기도 하다⁽⁹⁻¹⁰⁾. 이에 따라 우리 나라에서는 1998년 11월 12일 정부가 소비자에게 올바른 구매정보를 제공하기 위하여 농수산물품질관리법을 개정해 '유전자변형 농수산물 표시제'를 도입하기로 하였다. 오스트리아, 룩셈부르크

등은 1996년 12월부터 유전자조작 농산물의 수입을 이미 금지하였고, 유럽연합은 1998년 11월 1일부터 미국산 유전자조작 농산물에 대한 의무 표시제를 적용하기 시작했다. 프랑스와 이탈리아는 실험용에 한해 개별적으로 수입을 허용하고 있는 실정이다. 스위스는 유전자조작 생물체가 함유된 식품에는 표시의 무제를 실시하고 있지만, 제조과정에서 유전자 물질이 제거된 식품에는 표시의무가 없다⁽¹¹⁾.

이와 같이 유전자조작 농산물에 대한 논란은 계속 이어질 것으로 여겨지는 현 상황에서 유전자조작 농산물의 실태를 파악해 보고, 안전성 평가에 대한 국제기구 및 미국에서의 동향에 대하여 알아본다.

2. 遺傳子操作 農産物의 開發 現況

遺傳子操作 技術이란 품종을 개량할 목적으로 교배에 의한 육종방법을 한 단계 넘어, 유용한 유전자를 직접 동물이나 식물에 도입시켜 유전자를 변형시킴으로서, 단기간에 확실하게 품종개량을 가능케 하는 기술이다. 이런 유전자조작 기술에 의해 개발된 농산물을 유전자조작 농산물이라 한다.

유전자조작 기술이 종래의 육종기술과 다른 점의 하나는 종래 기술에서는 육종소재가 동일 생물종이거나 近緣種 간에 한정되어 있지만, 유전자조작에서는 생물의 종에 관계없이 육종소재가 된다는 것이다^(1,12). 이것은 세균, 곰팡이, 식물, 동물에 이르

기까지 생명의 설계도를 갖고 있는 유전자가 DNA라고 하는 공통물질이기 때문에 가능한 것이다. 종래의 육종기술과 또 하나의 다른 점은 종래 기술로 만들어진 품종은 그 표현형 - 예를 들어 어떤 주어진 환경 하에서 추위에 강하게 나타나는 생물의 형질 - 이 알려져 있다는 것뿐이고, 어떤 유전자가 바뀌었는지는 거의 알 수가 없었지만, 유전자조작에서는 도입한 유전자의 기능과 표현형과의 관계가 명확하게 되며, 보다 정확하게 폭넓은 품종개량을 획기적으로 이루어 나갈 수 있다.

유전자를 농작물에 도입하는 방법으로는 크게 세 가지 방법이 많이 이용되고 있다. 식물에 종양을 일으키는 세균인 *Agrobacterium tumefaciens*를 이용하여 이 세균의 plasmid를 분리하고 목적하는 유전자를 넣어 얻어진 plasmid를 세균에 다시 되돌려서, 목적하는 식물세포에 감염시켜 그 식물의 염색체 중에 목적유전자를 변형시키는 방법이 있으며⁽¹³⁻¹⁴⁾, 유전자 총이라 불리는 공기총의 원리를 이용하여 목적하는 유전자를 식물세포에 집어넣는 방법과⁽¹⁵⁻¹⁶⁾, 식물세포의 세포벽을 제거한 protoplast와 유용 유전자를 혼합하여 그 용액을 단시간 고전압을 걸어주면 protoplast의 세포막에 미세한 구멍이 열려 식물세포 중에 목적유전자를 도입하는 방법⁽¹⁷⁻¹⁸⁾ 등이 있다.

현재 전세계에서 유전자조작 농산물을 개발하여 상품화시킨 나라는 주로 미국으로서 그 외 캐나다, 일본, 유럽국가 몇몇에 한정되어 있다. <표1>에 현재까지 개발 상품화 된 유전자조작 농산물들의 현황을 나타

내었다⁽¹⁸⁾. 몇 가지 유전자조작 농산물들의 개발배경을 소개하면 다음과 같다.

(1) 제초제내성 농산물

하나의 특정 제초제에 내성을 가진 농산물을 말한다. 대상이 되는 제초제는 비선택성 제초제로서 glyphosate라는 Monsanto社의 제품과 glufosinate(AgrEvo社)가 대표적이다. 이것들은 포유류가 가지고 있지 않고 또, 중요하지도 않은 아미노산 합성계의 반응하나를 저해하여 식물을 고사시키며, 사람에게는 안전성이 높고, 토양 중에서 분해도 빠르다. 사용되는 유전자는 토양세균으로부터 분리한 3가지 종류로서, glyphosate가 저해하는 방향족 아미노산 합성계의 초기반응을 촉매하는 효소와 같은 기능을 가지면서 glyphosate내성의 효소유전자, glyphosate를 분해하는 효소유전자, glufosinate를 불활성화시키는 효소유전자들이다. 이들 유전자를 이용하여 개발한 제품이 Round-Up Ready soybean(Monsanto社)과 제초제내성 유채(glufosinate tolerance rape, AgrEvo社)이다. 종래의 제초 방법은 파종에서부터 수확까지 수차례 특정잡초에 선택성이 있는 제초제를 뿌려 왔으나, 이 제초제내성 농산물을 이용하면 가장 최적기에 효율적인 비 선택성 제초제를 사용할 수 있게 된다. 이 방법으로 대두의 경우에는 제초제 사용이 평균 20% 감소하였고, 유채는 이제까지 제초가 곤란했던 근연종의 제초도 가능하게 되었다⁽¹⁸⁾.

(2) 해충저항성 농산물

Bacillus thuringiensis(Bt)라는 토양세균이 생산하는 특정 해충만을 죽이는 단백질(Bt 단백질)의 유전자를 도입한 농산물이 있다. 이 Bt단백질은 많은 종류가 있지만 한 종류의 Bt단백질은 특정의 해충 몇 종류만에 독성을 나타내고, 동물은 물론 그 외의 해충에 대해서는 독성이 없다는 것이 밝혀져 있다⁽¹⁹⁻²⁰⁾. 또, 이 Bt 균은 환경오염이 적은 미생물 농약으로서 폭넓게 이용되고 있다. 미국은 세계에서 최대의 옥수수 생산국인데, 옥수수 해충(European corn borer)에 의한 피해는 재배면적(3,200만ha)의 약 40%에 이르며, 그 피해총액은 연간 12억 달러에 달하고 있다. 더욱이 해충방제를 위해 연간 10억 달러 가까이 살충제가 사용되고 있어, 해충저항성 농작물의 재배가 보급된다면 살충제의 사용량이 대폭 줄어들고, 재배비용이 저감되며, 농산물의 안정공급이 가능하게 된다. 그 외에 다른 살충제에 효과가 있는 Bt유전자를 가진 감자와 목화가 개발되어 있다<표1>. 이 Bt 유전자가 생산하는 단백질은 주로 녹색조직에서 발현되어 우리가 섭취하는 곡립부분에서는 수십ng~수백μg/g의 극히 미량밖에 생산되지 않으므로 농산물로서는 성분조성을 포함 종래의 품종과 실질적으로 차이가 없다고 할 수 있다. 이것들이 외에도 바이러스 외각 단백질유전자를 식물에 도입함으로써 바이러스 저항성 농작물의 개발이 폭넓게 행해지고 있고⁽⁵⁾, squash나, papaya가 미국에서 개발에 성공하고 있다.

〈표 1〉 현재 개발되어져 있는 유전자조작 농산물의 현황

상품화된 농산물(종자판매도 포함)	개발국	개발회사	상품화년도
무르지 않는 토마토	미국	Calgene	1994
고 펙틴 함유 토마토	미국	Zeneca	1995
Round-Up Ready soybean	미국	Monsanto	1995
제초제 내성 대두)			
제초제 내성 옥수수	미국	DeKalb	1996
제초제 내성 옥수수	미국	AgrEvo	1996
해충 내성 옥수수	미국	Northrup King	1996
해충 내성 옥수수	미국	Ciba Seeds	1996
해충 및 제초제 내성 옥수수	미국	Monsanto	1996
Lauric acid 고생산 rape	미국	Calgene	1995
Oleic acid 고생산 대두	미국	Dupont	1995
해충에 강한 potato	미국	Monsanto	1995
Virus병에 강한 squash	미국	Asgrow	1995
제초제 내성 rape	캐나다	Monsanto	1995
제초제 내성 rape(2)	캐나다	AgrEvo	1995
제초제 내성 rape	캐나다	PGS	1995
제초제 내성 cotton	미국	Calgene	1996
해충에 강한 cotton	미국	Monsanto	1996
변색 carnation	오스트레리아	Florigene	
안전성 평가를 끝낸 농산물			
무르지 않는 토마토	미국	DNAP	
무르지 않는 토마토	미국	Monsanto	
무르지 않는 미니토마토	미국	Agritope	
제초제 내성 cotton	미국	Monsanto	
제초제 내성 cotton	미국	Dupont	
해충에 강한 옥수수	미국	Monsanto	
해충에 강한 옥수수	미국	DeKalb	
제초제 내성 옥수수	미국	PGS	
제초제 내성 담배	프랑스	Rhone-Poulene	
오래가는 carnation	오스트레리아	Florigene	

日本 農林水産省 先端産業技術研究課題調査(1997. 12 現在)⁽¹⁸⁾

(3) 유통이나 가공의 장점을 가진 농산물

수확 후 보존기간이 보통의 토마토보다 2배 이상 길고, 3주정도 보존 가능한 토마토가 개발됐다. 이 토마토 개발에는 antisense기술이 사용되었다⁽²¹⁻²³⁾. 유전자는 자기복제를 위해 염기배열이 상보적인 두 가닥 DNA가 2중 나선구조를 이루고 있다. 유전정보는 그중 한 가닥(sense 쪽)에 쓰여져 있고 다른 한 가닥(antisense쪽)에는 쓰여있지 않아서 RNA에 전사되지도 않고 단백질을 만들지도 않는다. 이 antisense가닥을 전사되도록 변화시키면 전사된 antisense RNA는 sense가닥으로부터 본래의 전사RNA와 복합체를 형성하여 번역을 저해한다. 토마토의 과육과 과피의 pectin을 분해하는 polygalacturonase의 antisense가닥을 전사되도록 변화시킨 유전자를 도입하여 그 효소의 생산을 억제시킨 것이 오래 보존되는 토마토이다. 또한 이 기술을 이용하여 가공용 pectin을 다량 함유한 토마토도 개발되어 <표1>, 고농도 토마토 퓨레로서 판매되고 있다⁽²⁴⁾.

가공의 장점을 지닌 것으로서는 C₁₂의 lauric acid함량을 36% 정도까지 높인 canola(rape, 유채)가 있다. Lauric acid는 야자유와 팜유에 많이 함유되어 있고, 식용유, 세제·화장품·의약품 등의 원료로 이용되고 있다. 그러나 그 공급원이 동남아시아 등에 한정되어 있어서 공급과 가격이 불안정하고 육종도 어렵다. 이 canola의 개발에 의해 이제까지는 없었던 새로운 특징을 가진 식용유

를 생산하는 식물의 육종이 쉬워지고, 공급의 안정화에도 기대하고 있다⁽²⁵⁾.

이와 같은 기술을 이용하여 <표2>에 나타낸 것과 같이, stearic acid⁽²⁶⁾를 비롯한 많은 식용유지와 공업용 유지의 개발이나, 더욱이 생분해성 플라스틱, 탄성 polymer 등의 신소재의 원료를 생산하는 식물의 개발 또는 백신공급을 안정화시킬 수 있는 식물들이 개발되고 있다.

3. 遺傳子操作 農産物의 食品으로서의 安全性

유전자조작 기술의 개발 당시에는 이 기술에 의해 예기치 않은 성질을 가진 생물이나 병원체가 생겨날 지도 모르며, 또 유전자조작 생물체가 환경 속에서 제어되지 않고 증식하여 유해한 영향을 끼치지 않을까 하는 우려가 있었다. 그 당시에는 이에 대한 식견이 많지 않았기 때문에 유전자조작 기술에 대한 안전성을 충분히 증명할 수가 없었기 때문에, 전세계 과학자들은 그들 나름대로 유전자조작 기술에 대해 규제하기 시작했다⁽²⁶⁻²⁷⁾(Berg 1973, 4). 처음에는 실험단계의 규제로부터 시작하여, 유전자조작 기술의 산업적 이용에 있어서의 안전성 평가 시스템의 구축으로 발전하였다⁽²⁸⁾. 현재까지의 연구성과의 축적으로 유전자조작 생물체의 성질은 기본적으로 숙주, vector, 도입유전자의 성질로부터 이해될 수 있지만, 소비자는 유전자조작 생물체의 실용화에 막연한 불안감을 가지고 있어서, 과학자로부터 정확한 정보제

공과 식품의 안전성에 대한 지식의 보급 등을 필요로 하고 있다.

유전자조작 생물체가 위험한 것이라고 단정할 만한 과학적 근거가 현재는 없다. 유전자조작 농산물은 현재 제조회사에서 안전성을 증명할 만한 실험근거를 명확히 제시할 수 있어야 한다고 미국의 FDA에서는 지침을 발표하였다⁽²⁹⁾. 따라서 유전자조작 농산물은 화학약품 등의 유해물질과 달리 위험하기 때문에 안전성 평가를 해야되는 것이 아니고,

종래의 육종기술로 개발된 농작물과 동등하게 재배하고 가공하여 섭취해도 문제가 없음을 나타내기 위하여 안전성 평가를 실시하고 있는 것이다. 현재 개발되어 시판되는 몇 종류의 농산물은 안전성 평가를 끝낸 것으로서, 시험재배에서 야외 재배시험까지 끝낸 것들이다. 야외시험을 하는 이유는 다른 생물종들과 같이 재배를 했을 때 환경적으로 문제가 없는지를 시험하는 것이다.

이렇게 안전성이 평가되어 현재 시

〈표 2〉 분자농업적 유전자조작식물의 연구·개발현황

숙 주	목적 생산물	연구·개발국
rape(유채)*	lauric acid(식물성cream, 비누 등의 원료)	미국
soybean(대두)*	oleic acid(식용유, 화장품 등의 원료)	미국
rape(유채)	stearic acid(식물성cream 등의 원료)	미국
rape(유채)	고래기름의 대체유	미국
rape(유채)	enkephalin(진통제성분)	벨기에
potato(감자)	사람의 혈청 albumin(의약품원료)	네덜란드
potato(감자)	B형 간염 백신	미국
potato(감자)	대장균증 백신	미국
tobacco(담배)	influenza 백신	일본
tobacco(담배)	AIDS 백신	일본
tobacco(담배)	malaria 백신	미국
tobacco(담배)	B형 간염 백신	미국
tobacco(담배)	단백질 탄성 polymer(고무 대체품)	미국
cowpea(광저기)	구제역 백신	미국, 영국
cowpea(광저기)	AIDS 백신	미국, 스웨덴
cotton(목화)	polyester수지(단열성이 우수한 섬유)	미국
cotton(목화)	polyhydroxybutylene(생분해 플라스틱)	미국
rape(유채)	상 동	미국
soybean(대두)	상 동	미국
corn(옥수수)	항종양성 monoclonal항체	미국
soybean(대두)	상 동	미국

* 미국에서는 상품화. 다른 것들은 실험단계 또는 야외 시험중

日本 農林水産省 先端産業技術研究課題調査(1997. 12 現在)⁽¹⁸⁾

판되는 Round-Up Ready® soybean 을 예를 든다면, 이 유전자조작 농작물은 비선택성 제초제인 Round-Up에 대하여 영향을 받지 않는 대두로서, 종래의 대두와 비교하여 다른 점은 유전자가 한 개 도입되어 한 개의 단백질을 만든다는 것이다. 여기에 도입된 유전자는 이제까지 인류가 계속하여 섭취하는 식품 속에 함유된 유전자와 동등하며, 안전성 역시 동등하다. 따라서 외래의 유전자를 도입한 농작물의 안전성 평가에 중요한 점은 이제까지 작용하던 유전자가 작용하지 않거나, 작용하지 않던 유전자가 새로 작용하지나 않을까 하는 것이다. 만일 이러한 작용이 일어나면, 어떤 단백질이 만들어지지 않거나, 어떤 새로운 단백질이 만들어지거나 하게 된다. 단백질은 일반적으로 효소활성을 가지고 있어, 만약 이런 일이 일어난다면 식물에서는 지금까지와는 다른

대사가 일어나서 식물의 모양, 구성 성분, 또는 영양성분의 변화가 초래된다. 결국, 실질적인 동등성인 대두는 대두로서 어떤 변화도 없다는 것을 증명 필요가 있다. Round-Up Ready® soybean은 그 모양, 영양성분 뿐만 아니라 사람에게 악영향을 줄 수 있는 것까지 조사하여, 종래의 대두와 어떤 것도 다르지 않다는 것을 증명하고 있다⁽³⁰⁾.

한편, 유전자조작 농산물을 식품으로 섭취하거나 가공할 경우에는 이 유전자가 만들어 내는 단백질에 대한 안전성을 평가 해야한다. 미국의 FDA는 새로운 변형된 단백질의 안정성을 평가하는데 고려해야할 지침을 내놓고 있다<표3>. 이 평가지침에 따라 유전자조작 농산물의 단백질이 우리가 현재 섭취하고 있는 단백질과 동등하다면 안전하다고 결론을 내릴 수 있다. 그러나, 현재 우리가 섭취하고 있는 단백질들 중에

<표 3> Safety criteria for proteins

-
1. The source of the gene coding for the protein
 2. The functional and structural similarity(or identity) of the protein to proteins normally consumed in food
 3. The structural similarity of the protein to known or suspected toxins and antinutrients
 4. The biological function(s) of the protein in the source and the host organs
 5. Host-specific modifications, e.g., proteolytic cleavage or glycosylation
 6. known or potential allergenicity
 7. Digestibility (if protein is a nutritionally important food ingredients)
 8. Effect of processing, e.g., daily intake of the protein

from FDA(1992)⁽²⁹⁾

는 개인차에 따라 알레르기를 유발할 수 있다⁽³¹⁻³²⁾. 따라서 FDA는 유전자조작 농산물중의 단백질이 알레르기 유발인자라면 민감성 소비자를 위한 표시를 할 필요가 있다고 하고 있다⁽²⁹⁾. 단백질뿐만이 아니고 식품 성분인 유지, 탄수화물의 경우에도 마찬가지이다⁽³³⁾.

4. 遺傳子操作 農産物의 安全性 評價에 對한 國際的 動向

최근 유전자조작 식물이나 미생물로부터 얻어지는 식품과 식품성분들에 대한 안전성이 폭넓게 논의되고 있다. 1988년 미국에서는 약 30여개의 회사가 모여 International Food Biotechnology Council(IFBC)를 조직하고 1990년에 연구보고서를 발표하였다⁽³⁴⁾. 그 뒤를 이어 World Health Organization(WHO)⁽³⁵⁾와 Economic Cooperation and Development(OECD)⁽³⁶⁾에서도 보고서를 발표하였다. 1992년 Food and Drug Administration(FDA)는 새로운 식물체로부터 얻어진 식품에 대한 지침을 발표하였다^(28, 37). 이 지침에는 새로운 식물체로부터 얻어진 식품은 판매되기 전에 육종업자나 제조업자가 안전성을 평가하는데 고려되어야 하는 사항들을 열거하고 있다.

이와 같이 새로운 식물체 및 그 생산물인 식품에 관한 안전성 확인은 필수적인 것이며, 이 영역을 생물적 안전성(Biosafety)이라 총칭하여 국제적인 수준에서 검토·협의되고 있다. Biosafety에 관한 문제를 환경안전성과 식품안전성으로 나누어 안전

성 평가에 대한 역사적 발전과정과 국제적인 동향을 과학적 원칙에 근거하여 검토해 본다⁽³⁸⁾.

(1) 환경안전성

유전자조작 기술 연구의 초기에는 이 기술에 의해 예기치 않았던 성질을 갖는 생물이 만들어 질지도 모르고, 또 새로운 생물체가 환경에 대하여 바람직하지 못한 영향을 줄지도 모른다는 등의 잠재적 위험성이 지적되었었다⁽²⁶⁾. 이에 따라 1975년 미국에서 국제회의가 열려 유전자조작에 따른 규제문제가 협의되었다. 이 회의결과 각국은 유전자조작 실험을 실시함에 있어서 실험지침을 정하여 자주적으로 규제하여 안전성을 확보하도록 합의했다⁽²⁷⁾. 1983년에는 OECD의 산하단체인 과학정책위원회(CSTP)가 주체가 되어 각국의 전문가 모임을 만들어 활동이 시작되어, 1992년에 식물 및 미생물의 소규모적 예비 야외시험을 실시하기 위한 과학적 원칙(Good Developmental Principles, GDP)이 작성되었다. 이 GDP는 유전자조작 식물체의 Field Test(야외시험)에 관한 기본적인 원칙을 정해 놓은 것으로 biosafety의 초기발전에 커다란 공헌을 하였다. 그러나 이 GDP를 적용하는 단계는 모든 경우에 필수적인 것은 아니고, 개별적으로는 반드시 거치지 않아도 되는 경우가 있다고 되어있다.

1990년대에 들어서면서 유전자조작 식물의 개발은 점점 증가되면서 GDP 수준보다 대규모적인 야외시험 또는 실제적인 재배로 이어졌다. 최근의 집계에 따르면⁽³⁹⁾, 1986년 5

건, 1993년 562건, 1995년에는 247건 등 누계 3,647건에 이르고 있다. 나라별로는 미국 1,952, 캐나다 486, 프랑스 253, 영국 133, 네덜란드 253, 일본 25건 등이다. 이런 상황에서 OECD 전문가 그룹은 GDP에 대한 후속조치로서 유전자조작 식물의 대규모 야외시험의 안전성에 관한 작업을 개시하여, 1993년에 최종 보고서가 발표되었다. 여기서 대규모란 말의 정의가 곤란하므로 Scale-Up이라는 새로운 용어를 사용하게 되었다. Scale-Up이란 예비적인 야외 시험 이후 종자증식에 이르기까지의 연속된 단계를 포함하여 품종개발 과정의 어느 단계에도 적용할 수 있는 개념이라고 할 수 있다. 다른 개념으로서는 Familiarity 개념으로서 이미 축적되고 습득된 지식과 경험을 최대한으로 활용한다는 것이다. 마지막으로 risk/safety analysis를 행하고 나서 risk management를 행한다고 하는 문제점과 대책으로 나누어서 생각하는 것이다. 이 Scale-Up 보고서에서 관심이 모아지는 것은 두 가지로서 유전자 전파성과 잠재성의 우려이다.

이상의 OECD지침이나 개념은 국제적으로 통용하는 과학적 원칙에 근거한 것이지만, 각국을 구속하는 것은 아니다. 각국은 나름대로 사정이나 상황에 의해 독자적인 biosafety 대응을 하고 있고 그 실정은 알 수 없었다. 이를 위해 광범위한 국제적 조사가 OECD의 환경국과 농업국과의 합동 프로젝트로 실시되어 그 결과를 1995년에 발표하였다⁽⁴⁰⁾. 그 내용은 ① 규제적감독 시스템의 개요 ② 환경안전성 및 식품안전성에 관한

요구 data ③ 책임관청 ④ 국내위원회 ⑤ 관계법령 또는 규정 ⑥ 야외시험 및 안전성 평가에 관한 정보 ⑦ 국내활동의 조정 등이다.

(2) 食品安全性

유전자조작 식품의 안전성에 관해서는 1990년이래 OECD 전문가 모임에서 검토되어, 1993년에 최종보고서가 발표되어져 있다⁽³⁶⁾. 이 보고서의 key word는 '실질적 동등성 (sustantial Equivalence)'이다. 이 실질적 동등성이란 "새롭게 도입된 형질에 대해서 그 특징이 충분히 파악되고, 또 도입에 의한 2차적인 영향 등을 포함하여 원래의 식품과 비교하여 무해하다는 충분한 근거가 있으면, 원래의 식품에 대해서 실질적인 동등성을 갖는다"는 개념이다. 즉, 종래 경험적으로 안전한 것으로서 오랫동안 사용되어져온 식품과 비교하여 유전자 조작을 통하여 크게 변화되지 않는다는 증거가 충분한 경우에는 실질적 동등성을 갖는다고 판단되는 것이다. 실질적 동등성을 나타내기 위한 요소로서는 다음과 같은 것들이 열거되어 있다. 전통적이거나 원래의 제품이거나 생물의 조성 및 특성에 관한 지식, 새로운 유전자조작 생물체 또는 제품에 관한 지식, 새로운 성분 또는 형질에 관한 지식, marker유전자에 관한 지식 등이다. 이 보고서의 case study로서 8종류의 실질적 동등성의 적용 사례가 있는데, 작물로서는 유채(캐나다), 토마토(덴마크), 감자(네덜란드), 벼(일본)가 있고, 그 외에는 미생물 및 동물이다. 사실 이 실질적 동등

성은 미국의 FDA가 식품안전성의 캐치프레이즈로서 오래 전부터 이용하고 있었던 것이다. 미국은 이 실질적 동등성을 OECD에서의 토의 및 보고서 발표를 통해 국제적으로 인지시켜, 이것을 역이용하여 신품종 유래 식품의 규제해제를 신법령에 포함시켰다. 미국의 국내법은 OECD와 같은 국제기관과 동일어를 사용할 수 없으므로 실질적 동등성 대신에 Substantially Similar라는 낱말을 사용하고 있지만, 이 두 낱말은 완전한 동의어이다. 이처럼 미국은 국제기관을 자국에 유리하게 이용하고 있는 것이다. 식품의 안전성에 관해서는 그 외에 marker유전자, 영양성분, 알레르기성, 독성 등에 관한 평가도 포함되어 있다.

5. 결 론

인간은 오래 전부터 식량을 효율적으로 확보하기 위해 동·식물, 미생물을 인공적으로 교배시키는 육종기술을 개발하여왔다. 이러한 생물개량의 행위는 우리의 생명을 유지시켜나가는데 필수적인 식량을 안정적으로 확보하기 위해, 또는 장래 예상되는 지구규모의 환경문제를 극복하기 위한 불가피한 선택이었다. 1950년에 25억이었던 세계인구는 1997년 현재는 58억이 되었고, 그동안 세계 곡물의 생산량은 6억 톤에서 18억 톤(95년)으로 증가하였으나, 이 증가가 언제까지 계속될지는 의문이다. 2050년에는 지구상의 인구가 100억에 도달할 것이라고 예측하고 있는 가운데 현재 가용경지면적인 32억ha로부터 단순히 계산한

다면 최대 80억 인구에만 식량공급이 가능하다는 결론이 나온다. 인구증가에 따른 식량증산은 필수적인 것이며, 지구의 환경을 유지시키면서 적극적인 식량생산 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

유전자조작 기술은 다른 생물이 가지고 있는 병충해 내성 등의 성질을 이용하여 농작물을 개발함으로써 수확량의 증가, 농경지면적의 확대 등 생산성의 비약적인 향상을 기대할 수 있다. 가장 많이 사용되고 있는 교배육종에 있어서도 여러 형태의 유전자 변환이 일어나고 있으며, 유채 등의 일부 작물에서는 종간교잡에 의해 새로운 생물종도 만들어지고 있다. 또, 화학물질, 자외선, 방사선 등에 의해 인위적으로 일어난 유전자의 돌연변이도 이용하고 있다. 이들 육종에 의해서 생긴 새로운 품종은 새롭게 조합된 유전자를 가지게 되며, 그 유전자의 산물인 단백질도 새로운 형태로 조합이 일어난다. 유전자조작기술은 종래의 육종기술과는 달리 생물종 간의 차이를 넘을 수 있다는 것이며, 사용될 수 있는 생물의 유전자는 세균에서부터 식물, 동물에까지 가능하다. 약 35억년 전부터 계속되어온 진화과정에서 세균과 인간은 동일 생명체로부터 나누어진 것에 불과하다. 생물체가 갖고있는 유전자의 변환과 그 변환된 유전자의 사용은 농경생활이 시작되면서 이미 시작되었다고 할 수 있다.

현재 개발·시판되는 유전자조작 농산물의 안전성은 위에서 거론했듯이 현재의 과학적 지식으로는 안전하다고 할 수 있다. 과학적 지식이

란 단지 그 시대의 산물일 뿐, 시대가 변천되면서 그 과학적 지식도 바뀌어 질 수 있다. 현재의 시점에서 안전하다고 한다는 것이 미래에도 반드시 안전하다고 할 수는 없다. 식량증산과 품질개량 등의 목적으로 시작된 유전자조작 기술은 현재 괄목할 만한 수준에 이르고 있다. 유전자조작 기술은 미래의 식량증산에도움을 줄 수 있는 유일한 대안이라고도 할 수 있다. 그러나 아직도 충분한 검증이 이루어지지 못한 현 상황에서 이 기술에 의해 개발된 농작물들이 지구의 환경을 어떻게 변화시킬지는 누구도 예측할 수 없다. 유전자조작 식물체의 유전자가 나타낼 수 있는 전파성이나 제초제내성 유전자의 전파에 따른 슈퍼 잡초의 탄생 등의 우려는 현 상태에서는 거의 가능성이 없다고 하지만 꾸준한 감시가 필요할 것이다.

이번 수입된 유전자조작 콩은 생산국인 미국에서는 안전한 것이라고 확인되고 있지만, 소비자 입장에서는 불안감을 나타낼 수밖에 없다. 유전자조작 기술에 대한 정보의 부족으로 막연한 불안감을 나타낸다고 볼 수 있는데, 수입에 따라 우리나라에서도 유전자조작 농산물에 대한 정부차원의 홍보 및 연구가 이루어져야 하겠다. 우리 나라도 EU연합의 몇 국가들처럼 유전자조작 농산물에 대한 표시제를 실시함으로써 소비자들에게 선택권을 부여한 것은 바람직하다고 여겨진다.

6. 요 약

최근 유전자조작 농작물로부터 얻

어진 식품이나 식품성분들의 안전성이 폭넓게 논의되고 있다. 약 20년 동안 유전자조작 기술은 하나의 생물종에서 다른 종으로의 유전정보의 전달을 가능하게 하였다. 식물세포에 새로운 DNA를 변환 또는 삽입시키는 기술은 옥수수, 밀, 콩, 목화, 쌀 등의 대부분의 농작물에 이용이 가능하였다. 이 기술에 의해 초기에 개발된 것은 병충해에 대한 저항성을 증가시키거나, 제초제에 대한 내성을 향상시킨 식물체들이었으나, 장래의 목표는 수확량을 증가시키거나, 영양적 가공적 특성을 향상시키거나, 특정 유지, 탄수화물, 단백질 등의 생산이다. 현재 시판되는 유전자조작 농산물은 다음과 같다. FLAVR SAVR™ tomato, Bollgard® cotton, Round-Up Ready® soybean, Maximizer™ and NatureGard™ corn, Laurical® Canola oil, and Freedom II™ squash 등이다. OECD와 WHO 등 국제기관과 미국내의 USDA, GDA, EPA 등은 각각 새로운 식물 변종들로부터 얻어진 식품에 대한 지침을 발표하였다. FDA 지침에 따르면 식물 육종업자들과 식품제조업자들은 새로운 식물 변종에서 얻어진 식품들은 판매 전에 그 안전성을 평가해야 한다고 하고 있다. 비록 현재 유전자조작 식품들이 과학적인 실험에 의해 안전하다고 평가되었지만, 현재의 과학적 지식이 영원히 진리라고 할 수는 없다. 유전자조작에 의한 새로운 생산품의 최종 판단은 소비자에게 달려 있다. 과학자들과 개발자들이 안전성 시험에 대한 정보를 제공해 줄 수 있을 때, 소비자는 새로운 기술에 의해

개발된 농작물로부터 얻어진 식품에 대한 안전성을 확신할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Fraley, R.T., Rogers, S.G., Horsch, R.B., Sanders, P.R., Flick, J.S., Adams, S.P., Bittner, M.L., Brand, L.A., Fink, C.L., Fry, J.S., Galluppi, G.R., Goldberg, S.B., Hoffman, N.L., and Woo, S.C.: Expression of bacterial genes in plant cells, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 80, 4803-4807, 1983.
- (2) Zambryski, P., Joos, H., Genetello, C., Leemans, J. Van Motagu, M., and Schell, J.: Ti plasmid vector for the introduction of DNA into plant cells without alteration of their normal regeneration capacity, Embo J., 2, 2143-2150, 1983.
- (3) Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B., and Emaly, D.: Regulatory assessment of the FLAVR SAVR tomato. Trends in Food Science & Technology, April 1994, Vol. 5, No. 4 pp.105-110.
- (4) Voelker, T.A., Worrell, A.C., Anderson, L., Bleibaum, J., Fan, C., Hawkins, D.J., Radke, S.E., and Davies, H.M.: Fatty acid biosynthesis redirected to medium chains in transgenic oilseed plants, Science, 257, 72-74, 1992.
- (5) Meeusen, R.L.: Commercialization of transgenic seed products: Two case studies. Chapt. 20 in Collins and Shepherd, pp.172-176, 1996.
- (6) Kramer, M.G., Sanders, R., Bolkan, H., Waters, C., Sheehy, R.E., and Hiatt, W.R.: Postharvest evaluation of transgenic tomatoes with reduced levels of polygalacturonase: processing, firmness and disease resistance. Postharvest Biology and Technology, 1, 241-255., 1992.
- (7) Koziel, M.G., Carozzi, N.B., Desai, N., Warren, G.W., Dawson, J., Dunder, E., Launis, K., and Evola, S.V.: Transgenic maize for the control of European corn borer and other maize insect pests. Chpt. 19 in Collins and Shepherd, pp.164-171, 1996.
- (8) OECD: Safety Evaluation of Foods derived by modern Biotechnology: concepts and principles. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1992.
- (9) Anonymous: Transcripts from the Conferenve on Scientific Issues Related to Potential Allergenicity in Transgenic Food Crops. Dockey 94N-0053, Food and Drug Admin., Washinton, D.C. 1994.
- (10) Fuchs, R.L. and Astwood J.D.: Allergenicity Assesment of foods derived from genetically

- modified, *Plants, Food Technology*, 50(2), 83-88, 1996.
- (11) 渡部武久: 遺傳子組換え食品の表示をめぐる動向, *食品工業*, 41(4), 41-47, 1998.
- (12) Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Van Montagu, M., and Schell, J.: Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector, *Nature*, 303, 209-213, 1983.
- (13) Gasser, C.S., and Fraley, R.T.: Genetically engineered plants for crop improvement, *Science*, 244, 1293-1299, 1989.
- (14) Fraley, R.T.: Sustaining the food supply, *Bio/Technology*, 10, 40-43, 1992.
- (15) Sanford, J.C., Klein, T.M., Wolf, E.D., and Ellan, N.: Delivery of substances into cells and tissues using a particle bombardment process, *Particulate Sci. Tech.*, 5, 27-37, 1987.
- (16) Sautter, C., Waldner, H., Neuhaus-Url, G., Galli, A., Neuhaus, G., and Potrykus, I.: Micro-targeting: High efficiency gene transfer using a novel approach for the acceleration of Micro-projectiles *Bio/Technology*, 9, 1080-1085, 1991.
- (17) Potrykus, I.: Gene transfer to plants: assesment of published approaches and results, *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42, 205-225, 1991.
- (18) 日野明寛: 遺傳子組換え農作物の開發をめぐる諸情勢, *食品工業*, 41(4), 16-26, 1998.
- (19) Perlak, F.J., Deaton, R.W., Armstrong, T.A., Fuchs, R.L., Sims, S.R., Greenplate, T.J., and Fischhoff, D.A.: Insect resistant cotton plants, *Bio/Technology*, 8, 939-943, 1990.
- (20) Perlak, F.J., Fuchs, R.L., Dean D.A., MaPherson, S.L., and Fischhoff, D.A.: Modification coding sequence enhances plant expression of insect control protein gene, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88, 3324-3328, 1991.
- (21) Pear, J.R., Sanders, R.A., Summerfelt, K.R., Martineau, B., and Hiatt, W.: Simultaneous inhibition of two tomato fruit cell wall hydrolases pectin-methylesterase and polygalacturonase, with antisense gene constructs. *Antisense Research and Development*, 3, 181-190, 1993.
- (22) Kramer, MG, Redenbaugh, K.: Commercialization of a tomato with an antisense polygalacturonase gene: The FLAVR SAVR tomato story. *Euphytica* 79:293-297, 1994.
- (23) Knutzon, D.S., Thompson, G. A., Radke S. E., Johnson, W. B., Knauf, V. C. and Kridl, J. C.: Modification of Brassica Seed Oil by Antisense Expression of a Stearoyl-acyl

- Carrier Protein Desaturase Gene. Proc. Nat'l Acad. Science USA 89, 2624-2628, 1992.
- (24) Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B., Kramer, M., Sheehy, R., Sanders, R., Houck, C., and Emaly, D.: " Safety assessment of genetically engineered fruits and vegetables. A case study of the Flvr Savr™ omato" CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1992.
- (25) Hildebrand, D.F.: Altering of fatty acid metabolism in plants, Food Technol., 46(4), 71-74, 1992.
- (26) Berg, P., Baltimore, D., Boyer, H.W., Cohem, S.N., Davis, R.W., Hogness, D.S., Nathans, D., Roblin, R., Watson, J.D., Weissman, S., and Zinder, N.D.: Potential biohazards of recombinant DNA molecules, Science, 185, 303, 1974.
- (27) Berg, P., Baltimore, D., Brenner, S., Roblin III, R.O., and Singer, M.F.: Asilomer conference on recombinant DNA molecules, Science, 188, 991-994, 1975.
- (28) 日野明寛: 組換え生物の安全性評価, 日本農藝化学會誌, 70(8), 55-58, 1996.
- (29) FDA: Statement of policy: Foods derived from new plant varieties, Food and Drug Admin., Fed. Reg. 57, 22984-23005, 1992.
- (30) Padgett, S.R., Taylor, N.B., Nida, D.L., Baily M.R., Macdonald J., Hoden, L.R., and Fuchs R.L.: The Composition of Glyphosate-Tolerant Soybean Seed is Equivalent to That of Conventional Soybeans. J. Nutr. 126, 702-716, 1996.
- (31) Taylor, S.L., Lemanske, R.F.Jr., Bush, R.K., and Busse, W.W.: Food allergens: Structure and immunologic properties. Ann. Allergy 59, 93-99, 1987.
- (32) Taylor, S.L.: Chemistry and detection of food allergens. Food Technol. 46(5), 146-152, 1992.
- (33) Oakes, J.V., Shewmaker, C.K., and Stalker, D.M.: Production of cyclodextrins, a novel carbohydrate, in the tubers of transgenic potato plants. Bio/Technology 9, 982-986, 1991.
- (34) IFBC: Biotechnologies and Food: Assuring the safety of Foods Produced by Genetic Modification. Intl. Food Biotechnology Council Regul. Toxicol. Phaemacol. 12: Part 2 of 2, 1990.
- (35) WHO: Strategies for assessing the safety of foods produced by bitechnology. World Organization of Health, Geneva, 1991.
- (36) OECD: Safety Considerations

- for biotechnology: Scale-Up of Crop Plants. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1993.
- (37) Kessler, D.A., Taylor M.R., Maryanski, J.H., Flamm, E.L., and Kahl, L.S.: The safety of foods developed by biotechnology, *Science* 256, 1747-1749, 1832, 1992.
- (38) 林 健一: 安全性評価に関する国際的概念の展開. *食品工業*, 41(4), 27-32, 1998
- (39) ISAAA: Global Review of field Testing and commercialization of Transgenic Plants: 1986 to 1995. ISAAA Briefs, 1-31, 1996.
- (40) OECD: Commercialization of Agricultural Products Derived through Modern Biotechnology : survey results, Environment Monograph No. 99, 1-173. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1995.