

## 위해성평가와 관리를 고려한 유전자변형작물 개발의 필요성

김창기 · 정순천 · 윤원기 · 박기웅 · 최경화 · 김환묵

### Development of genetically modified crops based on considerations of risk assessment and management

Chang-Gi Kim · Soon-Chun Jeong · Won Kee Yoon · Kee Woong Park · Kyung Hwa Choi · Hwan Mook Kim

Received: 19 October 2009 / Accepted: 4 December 2009

© Korean Society for Plant Biotechnology

**Abstract** Over the last five years, we have conducted research on risk assessment of domestically developed genetically modified (GM) crops and found a number of factors which could delay risk assessment process. In this review, we described such cases and discussed the problem of transgene cassette integration, the lack of information on vectors, the poor quality control in seed production and absence of bioinformatic analysis on amino acid sequence homology before GM crop development. To solve these problems, we have suggested the introduction of the screening system of elite event before risk assessment process and quality control strategies for GM seed production. In addition, we suggested that the developers of GM crops should understand the importance of risk assessment and management for the commercialization of those crops and consider the biological and ecological characteristics of host plants. Consistent communications may need to be established between GM crop developers, risk assessors and risk managers at the initial stages of GM crop development to reduce trial-and-errors.

#### 서론

우리나라에서 유전자변형 (genetically modified, GM) 작물의 개발은 지난 2001년부터 시작된 작물유전체기능연

구사업과 바이오그린21 사업과 같은 대형 연구 사업을 바탕으로 괄목할 만한 성장을 하였다. 특히 작물유전체 기능연구사업단에서는 제2대과제인 형질전환기술개발에서, 바이오그린21 사업단에서는 분자육종연구단을 중심으로 형질전환 기술의 개발 뿐 아니라 GM 작물의 개발을 주도하고 있다. 이미 이 연구 사업들을 통해 개발된 GM 작물 중 일부에 대한 위해성평가가 진행 중이며, 이 중 제초제내성 벼, 해충저항성 벼, 병저항성 고추 등 일부 품목에 대해서는 수 년 안에 위해성심사 청구도 예상된다.

한국생명공학연구원 바이오평가센터는 작물유전체기능연구사업단의 연구비 지원을 받아 지난 2005년부터 사업단에서 개발한 GM 작물 중 벼 8종류, 감자 3종류 및 고추 3종류의 위해성평가를 진행하고 있다. 이 과정에서 일부 GM 작물의 위해성평가가 중단되거나 지연되는 등, 여러 장애요인이 발견되었다. 이와 같은 문제점들을 GM 작물의 개발자 및 다른 위해성 평가자들과 공유하였을 때 GM 작물의 개발과 위해성평가 과정에서의 시행착오가 줄어들 것으로 사료된다. 실제 GM 작물이 위해성평가 및 심사를 통해 규제를 벗어나려면 많은 인력, 비용과 시간이 요구되므로 (이근표 등 2008) 이에 대한 충분한 대비가 필요하다. 본 총설에서는 국내 개발 GM 작물의 위해성평가에서 발견된 문제점들을 사례별로 제시하고, 그 해결 방안에 대해 논의하며 식용작물과 비식용작물의 형질전환시 위해성평가의 관점에서 고려해야 할 점을 제안하고, GM 작물 개발자, 위해성 평가자 및 위해성 관리자의 교류의 필요성에 대해 논의하고자 하였다.

C.-G. Kim, S.-C. Jeong, W.-K. Yoon, K.-W. Park, K.-H. Choi, H.-M. Kim (✉)  
한국생명공학연구원 바이오평가센터  
(Bio-Evaluation Center, KRIBB, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea)  
e-mail: hwanmook@kribb.re.kr

## 위해성평가의 장애요인

### 도입유전자의 copy 수, 도입 위치 및 온전성의 문제

위해성평가라는 측면에서 본다면, 유전자가 단일 copy로 도입되어 있고, 다른 유전자의 기능에 영향을 주지 않도록 intergenic region에 도입되어 있으며, 고안한 transgene cassette이 온전하게 (intact) 도입되어 있는 형질전환 계통이 가장 이상적이다. 본 연구진이 GM 작물의 위해성평가를 시작하던 초기에, 개발자들은 형질이 우수한 한 두 계통만을 선발하여 제공하였다. 그런데, 유전 분석 과정에서 도입유전자의 copy 수가 두 개 이상인 경우, transgene cassette의 border 부위가 결실된 경우와 border 바깥 부위의 vector backbone이 함께 삽입된 경우도 있었다. 또한 intergenic region에 도입되지 않고 기존의 유전자 위치에 도입되어 유전자가 knockout 된 경우도 있었는데, 이러한 경우 표현형의 차이로도 관찰되었다. 이와 같은 문제가 지속적으로 발견됨에 따라, 개발자들에게 다수의 형질전환 계통을 제공해 줄 것을 요청하고, 유전분석을 통하여 인체 및 환경 위해성 평가에 적합한 계통을 선발하기 위한 시스템을 운영하고 있다 (정순천 2008).

### 운반체 (vector)에 관한 정보 부재

위해성평가 과정에서 개발자가 형질전환에 사용한 운반체에 대해 알지 못하여, 운반체에 관한 정보를 제공받지 못한 사례가 1건 있었다. 운반체에 대한 정보 없이 GM 작물의 유전분석을 수행하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 담당 행정기관인 농촌진흥청으로부터 GM 작물의 환경방출실험승인을 받으려면 “농업용 유전자변형생물체의 환경방출심사자료 (통합고시 별표 4-3)”를 제출해야 한다. 이때 운반체 (vector)에 관한 정보를 필수적으로 기입하도록 되어 있으므로 이 정보가 없다면 환경방출실험을 승인받을 수 없으므로, 위해성평가 역시 진행할 수 없게 된다. 최종적으로 인체위해성심사 및 환경위해성심사를 청구할 때에도 농촌진흥청과 식약청 등 6개 검토기관에서 “유전자변형생물체의 위해성평가자료 (통합고시 별표 10-1)”를 통해 운반체에 관한 자료의 제출을 요구하고 있으므로 운반체에 대한 정보와 같은 기초자료의 확보는 필수적이다.

### 식물 재료의 품질 관리 미흡

위해성평가의 장애요인 중 하나는 식물 재료, 즉 위해성평가의 대상인 숙주와 형질전환 계통 식물의 품질 관리에 있었다. 예를 들어 개발자가 선발 표지 유전자를 혼동한 경우가 1건 있었다. 개발자는 형질전환계통의 선발

표지 유전자로 *bar* 유전자를 도입하였다는 정보를 제공하였지만, 분석 결과 실제 제공받은 형질전환계통 식물에는 *bar* 유전자가 아니라 *hpt* 유전자가 발견되었었다. 또한 개발자로부터 제공받은 숙주 계통에서 *hpt* 등 선발 마커 유전자가 발견된 사례가 2건 있었으며, 반면 제공받은 형질전환 계통에서는 도입유전자가 확인되지 않은 사례도 1건 있었다. 이와 같은 선발 표지 유전자의 혼동, 숙주 식물에서 도입유전자의 검출, 형질전환 계통에서 도입유전자의 미 검출 등의 사례는 연구자들의 실험기록 미비 또는 종자관리 시 부주의가 원인이라고 판단된다.

이 밖에도 위해성평가를 위해서는 형질전환 계통 식물이 동형접합체 (homozygote)로 이루어져야 함에도 불구하고, 제공받은 식물 재료가 동형접합체 뿐 아니라 이형접합체 (heterozygote) 및 야생형 (wild-type)으로 유전적 분리가 진행 중인 경우가 두 건 있었다. 형질전환 계통에 이형접합체 및 야생형이 발견되거나, 숙주 계통에서 형질전환 계통이 혼입되어 발견되는 이유는 여러 가지가 있겠지만, 무엇보다 포장에서 여러 계통의 작물을 충분한 격리거리 없이 재배하면서 증식을 하는 것이 그 이유가 될 수 있다. 예를 들어 벼는 자가수분을 기본적으로 하는 식물이지만 타가수분을 역시 5%에 달할 수 있다 (OECD 1999). 국내에서 Glufosinate-ammonium 제초제내성 GM 벼로부터 4.5 m 떨어진 거리까지 (Lee et al. 2007), 그리고 흑명나방저항성 GM 벼로부터 2.7 m 떨어진 거리까지 (이인용 등 2009), 유전자 이동이 가능함이 보고된 바 있다. 또한 교배율은 매우 낮지만, GM 벼로부터 7 m 떨어진 거리까지 교배가 가능함이 관찰된 바도 있다 (김창기 2008). 고추 역시 기본적으로 자가수분을 한다고 알려져 있지만, 타가수분율은 미국에서 91%까지 보고된 바 있으며 (Tanksley 1984), 국내에서는 바이러스 저항성 GM 고추에서 17.9% (Kim et al. 2009a), 탄저병 저항성 GM 고추에서 6.2% (Kim et al. 2009b)까지 보고된 바 있다.

따라서 포장에서 충분한 격리거리 없이 숙주 계통과 형질전환 계통을 동시에 증식할 때 계통간의 교배를 통해 이형접합체가 만들어지고, 이후에 유전형이 분리되는 현상이 나타나는 것은 그리 놀라운 일이 아니다. 이 밖에도 수확 과정에서 종자 또는 괴경 등이 섞임으로써 혼입될 수도 있으며, 포장 내 동일한 장소에 연속적으로 계통이 다른 동종의 작물을 재배한다면 자생식물 (volunteer)의 발생에 의해 서로 다른 계통의 작물이 함께 수확될 가능성도 있다 (Fig. 1).

포장에서 숙주 계통 뿐 아니라 형질전환 계통을 증식하는 경우에 계통의 순도를 유지하기 위해서는 종자관리요강 (농림수산식품부고시 제2008-100호)에 나와 있는 각 작물별 격리거리를 준수하는 것이 바람직하다. 또한 어떤 계통을 유지하고자 할 때 매 세대별로 PCR 검정 등의 방법으로 순도를 확인하는 것이 필요하다. 이때 개발자



**Fig. 1** A volunteer potato plant found in a field test plot of GM potato three months after harvesting in June 2009. The photo was taken on 14 September 2009

가 의도한 목표형질이 분명히 발현되는지 확인하는 것 또한 필수적이다. 위해성평가에 필요한 종자는 개발자들이 증식을 하여 제공하는 것이 타당하며, 이때 각 계통의 순도를 확인한 뒤 위해성 평가자에게 전달하는 것을 권장한다. 포장실험시기에 맞추어 정식을 하였다가 뒤늦게 계통의 혼입 문제가 발견되어 실험을 중지하고 작물들을 제거해야만 했던 사례도 2건 있었다. 실험 재료에 대한 신뢰가 사라지게 된다면 위해성평가자는 개발자로부터 제공받은 식물 재료 전체를 대상으로 PCR 검정으로 재확인을 하여야 하는 번거로움에 처하게 된다.

현재 한국생명공학연구원에서는 매년 필요한 수량만큼의 종자를 개발자에게 요청하여 제공받는 경우도 있지만, 이것은 특별한 경우이고, 대부분의 경우 아주 소량의 종자만을 제공받으며 이것을 증식해서 사용하고 있다. 그러나 개발자가 사전에 위해성 평가자와 협의를 통해 필요한 수량을 결정하고, 이에 맞춰 직접 증식을 한 뒤 위해성 평가자에게 제공하는 것이 바람직하다.

미 승인된 연구단계의 GM 작물이 식품공급사슬에 혼입되어 파장을 일으킨 사례가 계속 보고되고 있다. 바이엘 크롭사이언스의 제초제저항성 벼 LLRICE 601 (Ledford 2007), 신젠타의 해충저항성 옥수수 Bt10 (Macilwain 2005), 중국의 해충저항성 벼 Shanyou63 (Akiyama et al. 2007) 등의 식품 내 혼입이 보고되었으며, 이와 같은 경우 국가간 통상마찰로까지 이어질 수 있다. GM 작물의 환경방출실험이 진행되고 있는 우리나라에서도 각별한 주의가 요구된다. 각 개발자들은 GM 작물 종자 생산을 위한 품질 관리 전략 (Mumm and Walters 2001)을 수립할 필요가 있다.

#### Bioinformatics를 이용한 스크리닝 부재

GM 작물의 알레르기 유발성은 일반적으로 국제식품규격위원회의 가이드라인 (Codex Alimentarius Commission

2003)에 따라 평가하게 된다. 이 때 가장 먼저 조사하는 것은 DNA 공여 생물체의 알레르기 유발성 여부이다. 그 다음은 신규 발현 단백질과 이미 알려진 알레르겐 구조의 유사성을 평가하기 위하여 아미노산 서열의 상동성을 분석하는 일이다. 이때 80개 이상의 아미노산 절편에서 35% 이상의 상동성이 나타나거나 연속된 8개의 아미노산에서 상동성이 있다면 알레르기 유발성이 있는 것으로 간주된다.

미국 네브라스카 대학에서 제공하고 있는 “AllergenOnline” (<http://www.allergenonline.com>)과 같은 웹사이트에서 알레르겐 단백질의 데이터베이스를 제공하고 있으며, 아미노산 서열 검색이 가능하다 (Goodman et al. 2005). 실제로 이 웹사이트에서는 Golden Rice 2의 알레르기 유발성에 대해 bioinformatics를 이용한 분석 사례를 제공하고 있다. 그러나 유전자 염기서열과 검색결과에 대한 보안 문제 때문에 본 연구진은 웹에서 접근 가능한 데이터베이스를 이용하지 않고, 자체적으로 구축한 데이터베이스를 이용하고 있다. 아미노산 서열 상동성은 FASTA나 Pattern match와 같은 알고리즘 (algorithm)을 이용하여 검색을 하는데, 본 연구진이 위해성평가를 수행한 대부분의 작물에서 상동성이 발견되지 않았다. 그러나 도입유전자의 염기서열이 세 종류의 알레르겐 (고무나무 라텍스 알레르겐, 올리브나무 열매 알레르겐, 삼나무 꽃가루 알레르겐)과 동시에 35% 이상의 상동성을 나타낸 경우가 1건 있었다. 따라서 사업단에 동일한 유전자를 이용한 GM 작물의 개발을 중지할 것을 권고하였고, 위해성평가는 더 이상 진행되지 않았다.

앞서 언급한 국제식품규격위원회의 가이드라인에 따르면 아미노산 서열의 상동성이 높게 나타나는 경우에 환자 혈청반응 검사 등 추가 실험을 진행하여 실제 알레르기 유발성이 있는지 검사해 볼 수 있다. 또한 알레르기 유발성만으로 GM 식품을 포기하는 것은 옳지 않다는 주장 (Bachas-Daunert and Deo 2008)도 제기되고 있다. 그러나 기존에 알레르겐으로 알려진 물질과 서열 상동성이 높게 나왔다면 혈청반응 검사에서도 유사한 결과를 가져올 가능성이 많으며, 많은 시간과 비용의 손실이 예측된다. 게다가 해당 GM 작물의 유용성과 상업적 가치가 매우 뛰어나다고 하여도 알레르기 유발성이 잠재되어 있다면 소비자는 선택하지 않을 가능성이 높다. 따라서 알레르겐과의 아미노산 서열 상동성이 높게 나왔다면, 위해성평가 및 개발을 중지하는 것이 타당할 것이다. 이 사례에서 볼 수 있듯이 형질전환에 앞서 bioinformatics를 이용하여 신규 단백질의 아미노산 서열 상동성을 조사하였다면 사전에 GM 작물의 개발과 위해성평가를 위한 많은 노력을 줄일 수 있었을 것이다.

알레르기 유발성이 있는 것으로 판명되는 경우 식용으로는 사용하지 않고 사료용만으로 사용하는 방안도 고려

해 볼 수 있다. 그렇지만, Cry9C 단백질의 알레르기 유발성 문제 때문에 사료용으로만 승인되었던 스타링크 (Star Link) 옥수수가 식용 옥수수 종자에 혼입되어 유통됨에 따라되어 문제가 된 사례에서 볼 수 있듯이 (Bucchini and Goldman 2002, Lin et al. 2003), 식용과 사료용으로 모두 사용해 왔던 작물을 GM 작물로 개발하였을 때 식용과 사료용으로 구분하여 유통하는 것은 상당히 어려운 일이다. 따라서 알레르기 유발성이 의심된다면 사료용으로라도 사용하지 않는 것이 바람직하다.

위해성평가를 고려한 GM 작물의 개발

GM 작물의 본격적인 개발을 위해 가장 핵심적인 부분은 도입형질의 상업적 가치일 것이다. 이를 위해 GM 작물 개발을 위한 아이디어 창출단계에서 형질전환 전공자 뿐 아니라 육종 전문가의 협력이 필수적이다 (한지화 2007). 그런데, 상업화에 성공하기 위해서는 시장에서의 가치 뿐 아니라 위해성심사를 순조롭게 통과할 수 있는 가능성 또한 염두에 둘 필요가 있다. 즉, GM 작물의 유용성과 위해성이라는 두 가지 측면이 모두 고려되어야 하며, 이때 숙주 식물을 선정하는 단계부터 숙주 식물의 생물학적, 생태학적 특성을 파악하고 위해성 평가자의 시각에서 GM 작물의 개발 방향을 바라볼 필요가 있다.

도입유전자의 종류와 목표형질에 따라 달라지겠지만, 크게 본다면 식용작물을 형질전환하는 경우 인체위해성 평가 및 심사의 강도가 커지게 된다. 반면 환경위해성평가 및 심사는 보다 용이하게 된다. 그 이유는 많은 식용

작물의 경우 오랜 기간 재배와 육종을 통하여 잡초로서의 특징을 상실했으며, 작물에 대한 여러 연구를 통하여 이미 많은 정보를 확보하고 있기 때문이다. 식용작물은 야생식물로부터 유용한 유전자를 육종소재로 삼고자 많은 연구가 진행되었으며, 그 과정에서 교배가 가능한 야생식물, 교배율 등등의 정보를 많이 축적하고 있다. 또한 옥수수와 콩, 감자 등과 같은 주요 식용 작물에 대해서는 이미 GM 작물의 개발, 환경방출실험 및 위해성평가의 경험이 풍부한 외국에서 여러가지 이벤트가 위해성심사를 마쳤으므로, 위해성평가 및 심사를 하는데 좋은 판단 기준이 될 수 있다. 2009년 9월 기준으로 미국 농무부로부터 규제제의 승인을 받은 GM 작물은 모두 77개 품목인데, 이 중 옥수수, 면화, 토마토, 콩, 유채 순으로 승인된 이벤트의 수가 많으며, 대부분 제초제내성 또는 해충저항성 작물이다 (Table 1).

특히 우리나라는 콩을 제외하고는 주요 작물의 유전적 다양성의 중심지가 아니다. 예를 들어 고추와 수박은 각각 중남미와 남아프리카가 기원지이다 (Perry et al. 2007, Wehner et al. 2001). 따라서 우리나라에는 교배가 가능한 야생근연종이 존재하지 않는다. 이것만으로도 환경위해성평가에서 중요하게 고려되는 항목 중의 하나인 야생근연종으로의 유전자이동을 고려하지 않아도 된다. 또한 타가수분보다는 자가수분이 우세한 작물을 선택하는 것도 바람직하다.

식용작물과 달리 비식용작물을 형질전환한다면 인체위해성평가 및 심사는 위·장관을 통한 섭취가 이루어지지 않기 때문에 피부, 점막 접촉 및 비강 등의 호흡기를

**Table 1** Phenotypic categories and the number of GM crops no longer regulated by USDA (ISB 2009, USDA 2009). AP: Agronomic properties; HT: Herbicide tolerance; IR: Insect resistance; VR: Virus resistance; PQ: Product quality

Crop	AP	HT	HT & AP	HT & IR	IR	IR & VR	PQ	VR	Total
Chicory	1								1
Cotton		6		1	5				12
Flax	1								1
Maize	2	4	1	5	9		1		22
Papaya								2	2
Plum								1	1
Potato					2	3			5
Rapeseed		4	2				1		7
Rice		2							2
Soybean		6					1		7
Squash								2	2
Sugar beet		3							3
Tobacco							1		1
Tomato					1		10		11
Total	4	25	3	6	17	3	14	5	77

통한 독성과 알레르기 유발성을 주로 고려하게 되며 (질병관리본부 2008), 식용작물에 비해 심사 강도는 줄어들 가능성이 많다. 반면 환경위해성 평가 및 심사는 까다롭게 된다. 가장 큰 이유는 식용작물에 비해 비식용작물에 대해 우리가 가지고 있는 정보의 양은 매우 적기 때문이다. 또한 비식용작물은 아직까지 야생성을 잃지 않고 잡초와 작물의 경계에 놓여 있는 것이 많아서 자연환경에서도 인간의 도움 없이 성공적으로 정착할 수 있다. 현재 국내에서도 다양한 식물 분류군을 대상으로 형질전환 연구가 이루어지고 있으며, 이 중에는 잡초로 분류되고 있는 식물 종도 포함하고 있다. 기초연구 목적이 아니라 상업화를 염두에 둔 연구라면, 현재 어떤 품목이 미국 농무부로부터 규제제의 승인을 받지 못하고 있는지 참고할 필요가 있다. 2005년에 미국 농무부로부터 규제제의 승인을 받았지만, 법원의 판결에 의해 2007년에 다시 규제 상태로 돌아간 Roundup Ready 알팔파 (Fox 2007, USDA 2007)와 유전자이동을 통한 도입유전자의 확산을 우려하여 규제제의 승인을 아직도 받지 못하고, 계속 추가 자료를 요구받고 있는 Roundup Ready 벤투그라스 (Pollack 2004, USDA 2005)가 있다.

고려해야 할 또 하나의 측면은 GM 작물의 인체위해성 평가 기법은 상당히 국제적인 조화가 이루어진 반면, 환경위해성평가 기법은 아직까지 상당한 다양성을 보이고 있다는 점이다. 그만큼 다양한 생물체와 환경을 대상으로 다양한 실험 방법이 적용되고 있기 때문이다. 환경위해성심사에는 3개 부처 (농림수산식품부, 환경부, 국토해양부)가 관여되어 있는 만큼 이 또한 환경위해성 심사 단계에서 많은 논란이 있을 수 있음을 의미한다.

## 결론

GM 작물의 개발이 곧 GM 작물의 상업화로 연결되는 것은 아니다. 성공적인 상업화를 위해서는 개발된 GM 작물의 상업적 가치를 입증하는 문제, 지적재산권의 문제, 위해성 평가 및 심사의 문제를 모두 해결해야만 하며, 상업화가 된다고 하더라도, non-GM 작물과의 공존 (coexistence)의 문제 (이신우 2008)가 남아 있어 실제 국내 환경에서 GM 작물이 재배되기까지 많은 난관이 기다리고 있다. 이 중에서 특히 많은 시간과 비용이 소요되는 위해성 평가 및 심사를 거치려면 개발 초기부터 신중히 접근해야만 한다. 이미 2009년 9월 기준으로 77개 품목이 규제제의 승인을 받은 미국에서조차 GM 작물이 위해성평가 및 심사를 통해 규제를 벗어나기 위해 드는 비용은 막대하며 예를 들어 제초제내성 옥수수수와 해충저항성 옥수수의 경우 약 6백만 달러~1천 5백만 달러의 비용이 들어간다 (Kalaitzandonakes et al. 2007).

GM 작물의 개발자, 위해성평가자와 정부 관련행정기관의 위해성 관리자가 GM 작물의 잠재적인 위해성에 대해 바라보는 시각은 다를 수 있다. 대부분의 개발자들은 GM 작물의 잠재적인 위해성이 없다고 볼 것이다. 반면 위해성 평가자의 입장에서는 관련 부처 위해성 관리자와 위해성심사를 하게 될 전문가심사위원회가 수궁할 만한 과학적인 데이터를 만들어내는 일이 가장 중요하므로, 여러 가지 잠재적 위해성에 대해 다각적인 검토를 하게 된다. 위해성 관리자는 GM 작물의 위해성에 대해 가장 엄격한 시각을 갖게 될 것이다. 국내로의 GM 작물의 수입 또는 GM 작물의 재배승인이란 것은 단순히 위해성평가 자료에 대한 과학적인 검토로만 이루어지는 일이 아니기 때문이다. 국내 소비자를 포함한 다양한 이해관계자의 목소리에 귀를 기울여야 할 뿐 아니라, 국제적인 통상 무역의 문제 또한 고려해야 한다. GM 작물 상업화의 장벽 중 하나인 위해성평가와 심사를 통과하는데 시행착오를 최소화하려면 작물 개발과 위해성평가 단계에서부터 개발자, 위해성 평가자 및 위해성 관리자 사이의 지속적인 교류를 통하여 서로 다른 시각을 공유하고 이해할 필요가 있다.

## 적요

지난 5년간 국내에서 개발된 GM 작물의 위해성평가를 수행하는 과정에서 위해성평가를 지연시키는 여러 가지 장애요인들이 발견되었다. 본 총설에서는 이러한 장애요인들을 사례를 들어 설명하고, 특히 도입유전자 cassette 삽입과 관련된 문제점, 운반체 정보의 부재, 종자 생산 시 품질 관리의 문제, GM 작물 개발에 앞서 알레르기 유발성 평가를 위한 bioinformatics 분석의 부재가 가져온 문제점들을 논의하였다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 위해성평가 이전에 우량 이벤트의 스크리닝 시스템의 도입과 GM 종자 생산의 품질 관리 전략 수립을 제안하였다. 또한 개발자들이 GM 작물의 상업화를 위해 위해성 평가 및 관리의 중요성을 이해하고, GM 작물 개발 시 숙주 식물의 생물학적, 생태학적 특성을 고려할 것을 제안하였다. GM 작물 개발의 시행착오를 줄이기 위해 작물 개발 초기부터 개발자, 위해성 평가자 및 위해성 관리자 사이의 지속적인 교류가 필요하다고 판단된다.

## 사사

본 연구는 작물유전체기능연구사업단의 연구비 지원 (과제번호: CG3211)에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다. 또한 본 논문의 원고를 검토해주시고 조언을 주

신 서울대학교 최양도 교수님과 본 연구진이 위해성평가를 수행할 수 있도록 식물 재료를 제공해 주신 여러 연구자들과도 깊이 감사드립니다.

## 인용문헌

- 김창기 (2008) 제초제저항성 GM 벼의 인체 및 환경 위해성 평가 사례. 한국잡초학회 심포지엄 및 학술연구 발표요지 28:20-22
- 이근표, 김동현, 권순중, 백형진, 류태훈 (2008) 형질전환작물의 위해성평가와 품종등록. 식물생명공학회지 35:13-21
- 이신우 (2008) GM과 non-GM, 친환경작물의 공존을 위한 제도 보완의 필요성. 식물생명공학회지 35:245-256
- 이인용, 박재읍, 문병철, 서석철, 신공식, 우미옥, 권순동 (2009) 흑명나방저항성벼의 잡초화 및 유전자 이동 가능성. 한잡초지 29:46-55
- 정순천 (2008) 우리나라의 유전변형작물 개발 현황 및 사상-중속 유전 분석. 식물생명공학회지 35:23-29
- 질병관리본부 (2008) 유전자변형생물체 인체위해성 평가 심사 가이드. 질병관리본부, 서울
- 한지학 (2007) 형질전환채 육종과 품종화를 위한 로드맵. 식물형질전환, 한지학 외 76인 공저, 정문각, 서울, pp 455-462
- Akiyama H, Sasaki N, Sakata K, Ohmori K, Toyota A, Kikuchi Y, Watanabe T, Furui S, Kitta K, Mainani T (2007) Indicated detection of two unapproved transgenic rice lines contaminating vermicelli products. J Agric Food Chem 55:5942-5947
- Bachas-Daunert S, Deo SK (2008) Should genetically modified foods be abandoned on the basis of allergenicity? Anal Bioanal Chem 392:341-346
- Buchini L, Goldman LR (2002) Starlink corn: A risk analysis. Environmental Health Perspectives 110:5-13
- Codex Alimentarius Commission (2003) Alinorm 03/34: Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, Twenty-Fifth Session, Rome, 30 June-5 July, 2003, Appendix III, Guideline for the conduct of food safety assessment of foods derived from recombinant-DNA plants.
- Fox JL (2007) US courts thwart GM alfalfa and turf grass. Nature Biotechnol 25:367-368
- Goodman RE, Hefle SL, Taylor SL, van Ree R (2005) Assessing genetically modified crops to minimize the risk of increased food allergy: A review. Int Arch Allergy Immunol 137:153-166
- ISB (Information Systems for Biotechnology) (2009) Crops no longer regulated by USDA (<http://www.nbiap.vt.edu/cfdocs/biopenitions1.cfm>), accessed on 7 October 2009
- Kalaitzandonakes N, Alston JM, Bradford KJ (2007) Compliance costs for regulatory approval of new biotech crops. Nature Biotechnol 25:509-511
- Kim C-G, Park KW, Lee B, Kim DI, Park J-Y, Kim H-J, Park JE, An JH, Cho K-H, Jeong S-C, Choi KH, Harn CH, Kim HM (2009a) Gene flow from genetically modified to conventional chili pepper (*Capsicum annuum* L.). Plant Sci 176:406-412
- Kim C-G, Kim DI, Kim H-J, Park JE, Lee B, Park KW, Jeong S-C, Choi KH, An JH, Cho K-H, Kim YS, Kim HM (2009b) Assessment of gene flow from genetically modified anthracnose-resistant chili pepper (*Capsicum annuum* L.) to a conventional crop. J Plant Biol 52:251-258
- Ledford H (2007) Out of bounds. Nature 445:132-133
- Lee SY, Kim MS, Kim HJ, Ahn JH, Baek SH, Shin WC, Kim HS (2007) Pollen-mediated gene flow between glufosinate ammonium-tolerant GM and non-GM rice. J Plant Biotechnol 34:47-53
- Lin W, Price GK, Allen EW (2003) StarLink: Impacts on the U.S. corn market and world trade. Agribusiness 19:473-488
- Macilwain C (2005) US launches probe into sales of unapproved transgenic corn. Nature 434:423
- Mumm RH, Walters DS (2001) Quality control in the development of transgenic crop seed products. Crop Sci 41:1381-1389
- OECD (1999) Consensus Document on the Biology of *Oryza sativa* (Rice). OECD, Paris
- Perry L, Dickau R, Zarrillo S, Holst I, Pearsall DM, Piperno DR, Berman MJ, Cooke RG, Rademaker K, Ranere AJ, Raymond JS, Sandweiss DH, Scaramelli F, Tarble K, Zeidler JA (2007) Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. Science 315:986-988
- Pollack A (2004) Genes from engineered grass spread for miles, study finds. The New York Times, 21 September 2004
- Tanksley SD (1984) High rates of cross-pollination in chile pepper. HortScience 19:580-582
- USDA (2005) Environmental impact statement; Petition for deregulation of genetically engineered glyphosate-tolerant creeping bentgrass; Request for additional information. Docket No. 03-101-5. Federal Register 70:59312-59313
- USDA (2007) Return to regulated status of alfalfa genetically engineered for tolerance to the herbicide glyphosate. Docket No. 04-085-4. Federal Register 72:13735-13736
- USDA (2009) Petitions of Nonregulated Status Granted or Pending by APHIS as of September 17, 2009 ([http://www.aphis.usda.gov/brs/not\\_reg.html](http://www.aphis.usda.gov/brs/not_reg.html)), accessed on 7 October 2009
- Wehner TC, Shetty NV, Elmstrom GW (2001) Breeding and seed production. In: DN Maynard (ed), Watermelons: Characteristics, Production, and Marketing. ASHS Press, Alexandria, pp 27-73