

우리나라의 유전변형작물 개발 현황 및 사상-종속 유전 분석

정순천

한국생명공학연구원 바이오평가센터

Current status of development and event-dependent genetic analysis of genetically modified crops in Korea

Soon-Chun Jeong

Bio-Evaluation Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 685-1 Ochang-up, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea

ABSTRACT Development of genetically modified crops using modern biotechnology is regarded as a promising way to combat with ever-increasing human population. Korea attempted to develop its own genetically modified crops essentially for the past 20 years, however no example of commercialization has been announced. Here, I briefly summarized current status of development and risk assessment of genetically modified crops in Korea. Then, I attempted to identify a death valley in the process of commercialization. Based on experience of risk assessment of 15 different genetically modified organisms, I suggested that lack of the screening of elite events may serve as a death valley.

서 론

상호 교배가 이루어지지 않는 생물체 간에 인위적으로 유전자를 전달하는 유전자 주입 기술은 1973년에 코헨이 대장균에서 최초로 성공한 이래로 지속적인 발전을 거듭하여 왔다. 유전자 재조합 기술, 유전공학기술, 유전자변형기술 등으로 불리는 현대생명공학기술이 식물에 최초로 성공적으로 적용된 예는 1983년 토양세균인 *Agrobacterium tumefaciens*을 이용하여 페튜니아에 형질전환한 것이다. 이후 유전적 변형 (genetic modification) 기술은 본 기술 자체의 발전뿐만 아니라 식물 유전자의 기능 해명에서 필수적인 도구의 하나로 자리 매김 하였다. 외래 유전자를 인위적으로 주입한 유전 변형작물 (genetically modified crop, 본 고에서는 유전변형작물로 번역)이 최초로 상업화된 경우는 1994년의 무르지 않

는 토마토를 미국 칼젠사가 상업화한 것이나, 현재까지 널리 재배되고 지속적인 사회·경제적 관심의 대상이 되는 작물이 최초로 상업화된 예는 1996년에 상업적 재배가 시작된 제초제 저항성 콩이다. Roundup Ready 콩으로 널리 알려진 비선택성 제초제인 글리포세이트 (glyphosate)에 저항성 콩인 GTS 40-3-2사상 (event; 형질전환에 의해 외래 DNA가 재조합에 의해 유전체의 특정 위치에 도입된 경우 및 그 재조합체를 뜻하며, 본 고에서는 사상으로 번역)은 *A. tumefaciens* CP4유래 EPSPS 유전자와 선발마커를 동시에 유전자총으로 형질전환한 콩들 중에서 EPSPS만 형질전환된 사상이다 (Padgett et al. 1995). GTS40-3-2사상과 거의 동시에 상업화 되어 현재까지 널리 재배되는 유전변형작물은 해충저항성 옥수수, 해충저항성 면화, 바이러스 저항성 파파야 등이다 (De Maagd et al. 1999, Gonsalves 1998).

사회·경제적 측면에서 생명공학기술을 이용한 유전변형 생물(LMO, Living Modified Organism; 국제협약인 바이오안 전성의정서에는 유전변형생물을 LMO로 지칭)의 창출은

*Corresponding author Tel 043-240-6542 Fax 043-240-6549

E-mail: scjeong@kribb.re.kr

1970년대의 녹색혁명에 비견하여 evergreen revolution으로 간주될 만큼 인류의 먹거리 문제를 해결할 산업혁신의 핵심 기술로 전망되고 있다. 1996년 본격적으로 유전변형작물이 상업적 목적으로 재배된 후 지난 2005년까지 10년 동안 재배 국가는 6개국에서 21개 국으로 증가하였으며, 최근에는 개발도상국의 유전변형작물의 채택이 급격히 증가함으로 인하여 2007년에는 한반도의 4배에 달하는 100만 km²의 농지에서 재배되었다 (www.checkbiotech.org/green_News_Genetics.aspx?infol=16006). 본 고에서는 이와 같이 유전변형작물의 상업화가 전세계적으로 활발히 이루어지는 시점에서 우리나라의 유전변형작물의 현황을 상업화의 입장에서 간략히 정리함과 더불어, 개발된 유전변형작물의 상업화를 위해 꼭 거쳐야 하는 위해성 평가과정의 죽음의 계곡 (death valley) 이 어디에 있는지를 제시하고자 하였다.

우리나라 유전변형작물 개발 동향

국내 유전변형작물의 개발의 시발점은 한국생명공학연구원의 전신인 유전공학센터와 농업생명공학연구소의 전신인 유전공학연구소의 설립 시점인 1980년대 중반으로 간주될 수 있으므로, 유전변형작물 개발의 선진국인 미국에 시간적으로 뒤쳐지지 않는다. 하지만 초기의 개발 역사는 식물 세포 또는 조직의 기내 배양의 조건을 확립하고, 형질전환 방법, *Agrobacterium*과의 식물 세포 또는 조직의 공동 배양에 따른 이차대사 산물의 변이나 유전자의 발현 변화를 연구하는 등의 기초 연구에 치중하였다 (예, Choi and Lee 1987, Kim et al. 1988, Cheong et al. 1991). 이러한 기초 연구는 특정 유전자의 기능이나 외래 유전자를 주입할 벡터의 제작 연구를 거치게 되었고 (예, Chung et al. 1989, Lee et al. 1993, Lee and Sung, 1992), 실질적으로 상업화의 함축성이 있는 유전변형작물의 개발이 가시화된 것은 1990년대 후반이다. 선도적인 유전변형작물의 개발 결과는 2000년 이후에 논문으로 보고되기 시작하였는데, 제초제 저항성 벼 (농촌진흥청 1998, cited in Chen et al. 2004, Jung et al. 2004), 환경스트레스 내성 벼 (Jang et al. 2003), 바이러스 저항성 수박 (Park et al. 2005) 등이 몇몇 예이다.

최근 우리나라의 유전변형작물의 개발은 연구 주체 별로는 농업생명공학연구원과 한국생명공학연구원을 포함한 국가출연연구소와 대학, 농우바이오, 마이크로프랜즈, 유진텍, 넥스젠 등 민간회사의 연구소가 주축을 이루고 있다 (Harn

2006). 하지만 개발 연구비의 대부분은 미국이나 캐나다와 같이 민간기업에서 부담하는 것이 아니라, 정부에서 대부분을 지원하는 성격이다. 즉, 농림부, 과학기술부 등이 주관하여 지원하는 농림기술개발사업 (www.arpc.re.kr), 바이오그린21사업 (biogreen21.rda.go.kr), 작물유전체기능연구사업 (cfcg.snu.ac.kr) 등과 같은 정부 프로그램을 통해 연구비가 지원되고 있다.

2007년도 바이오안전성백서에 따르면 국내개발 중인 유전변형작물의 현황은 20종 이상의 작물에서 최소 60 건 이상의 개발이 발표되었다 (2007 Biosafety white paper, 산업자원부, 한국생명공학연구원). 총 품목의 숫자는 유전변형작물 개발 분야의 선진국에 비하여 현저히 떨어지나, 특이한 점은 콩, 옥수수 등 곡물류에 치중하고 있는 외국 사례와 달리 우리나라는 식물 종별로는 벼가 11 건으로 가장 많은 반면, 국민의 위해성에 대한 우려를 반영하여 사람이 직접적으로 섭취하지는 않는 사료작물, 잔디, 화훼에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 점이다. 하지만 기존에 활발히 개발되고 있는 벼에 첨가하여 작물유전체기능연구사업에서 중점적으로 지원하는 콩과 고추의 유전변형작물 개발이 가시적인 성과를 거두고 있는 것이 최근의 논문을 통해 알려지고 있으므로 (Cho et al. 2004, Lee et al. 2004), 식량 작물의 유전변형작물 개발 산물이 조만간 다량으로 산출될 것으로 예상된다. 이들 중 20여 품목 정도는 농촌진흥청 주관 바이오그린 21 사업의 GMO 사업단, 한국생명공학연구원, 제주대학교의 주관하에 위해성 평가가 진행 중에 있다. 작목 별로는 곡류, 사료작물, 채소류, 화훼류, 과일류 등으로 나눌 수 있다. 하지만 위해성 평가를 거쳐 상업적 목적으로 환경방출이 된 경우는 아직까지 한 건도 없다.

유전변형작물의 위해성 평가의 필요성

외래유전자의 형질전환이나 이종간의 세포융합 기술을 포함하는 현대 생명공학기술을 이용한 유전변형생물의 창출은 위에서 언급한 바와 같이 인류의 미래 먹거리를 해결할 산업혁신의 핵심기술로 전망되고 있다. 하지만, 이종간의 인위적인 유전자의 유전적 전달은 과학자뿐만 아니라 일반 국민에게 태생적으로 잠재적인 환경 및 인체에 대한 위해성에 대한 우려를 불러일으키고 있다. 이러한 우려에 부응하여 국제적으로는 생물다양성 협약 당사국들이 유전변형생물체의 국가간 이동을 규제하는 바이오안전성의정서를 2000년 1월 제정하여 2003년 6월 11일 파라우가 50번째 국

가(EC포함 51번째)로 기준을 완료함 따라 2003년 9월 11일 본 의정서의 발효를 선언하였다. 바이오안전성의정서의 핵심은 유전변형생물의 법적인 정의를 명확히 하고, 국민의 유전변형생물에 대한 위해성 우려를 반영하여 유전변형생물의 국가간 이동 시에서는 반드시 목적에 따라 환경 및 인체 위해성이 없음에 대한 증명서를 첨부하도록 하는 것이다. 우리나라의 식량자급률은 25% 정도로 유전변형작물의 주요 개발·생산국인 미국, 아르헨티나, 브라질, 중국 등으로부터의 수입 농산물에 의존하고 있으므로, 유전변형작물 또는 유전변형작물-FFP (Food, Feed, Products; 식품, 사료, 생산품)의 수입을 피할 수 없다. 그러므로, 우리나라의 실정에 적합한 과학적이고 통용성이 확보된 유전변형작물 위해성 평가 및 관리기술의 개발은 피할 수 없는 현안문제이다.

2000년 1월 의정서가 생물다양성 특별당사국회의에서 채택됨에 따라 의정서에 대한 우리나라의 법체계를 수립하기 위하여 2001년 3월 28일에 “유전자 변형 생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률”을 제정하였다. 동법에 따르면 유전변형생물 관리의 총괄업무는 산업자원부에서 맡고, 유전변형생물을 용도별 나누어 과학기술부, 농림부, 보건복지부, 산업자원부, 해양수산부, 환경부에서 유전변형생물의 관리를 담당하게 되어 있다. 2005년 9월에 동법 시행령을, 2006년 3월에는 동법 시행규칙의 제정을 완료하였다. 시행령 및 시행규칙의 제정과 더불어 각 부처별로 “연구시설의 설치운영 허가 신고 및 실험의 승인” “유전자변형 농산물 표시요령” 과 같은 고시를 준비하였으나, 최근 이들 고시를 통합한 고시를 제정하였다. 이러한 노력에 기초하여 2007년 10월 2일에 우리나라가 바이오안전성의정서에 기준을 완료함에 따라, 우리나라에도 바이오안전성의정서에 따른 LMO의 국내의 이동을 규제하는 법률이 2008년 1월 1일부터 발표되었다.

위해성 평가의 개요

유전변형작물의 위해성 평가의 기본 개념은 친숙성, 실질적 동등성, case-by-case이다. 친숙성은 형질전환한 유전자의 공여 생물이 작물의 재배 역사나 식습관의 역사에서 인간에게 얼마나 친숙하였는지를 밝히고, 친숙성의 정도에 따라서 위해성 평가의 항목을 달리할 수 있다는 것이다. 실질적 동등성의 개념은 유전변형작물이 숙주와 농업형질, 화학적 구성 성분 등에서 목표 형질 이외에는 실질적으로 동등한지를 검증해야 한다는 개념이다. Case-by-case는 유전변형작물이

다양한 종에서 개발되고 있으므로 위해성 평가 항목이 종의 특성에 따라서 정해져야 한다는 것이다. 예를 들어, 콩은 미국의 경우에는 야생콩이 자라지 않으므로 수평적 유전자 이동은 평가 항목에서 제외되나 우리나라는 야생콩이 잘 자라고 재배콩의 기원지로 간주되고 있으므로 수평적 유전자 이동의 정도가 평가 항목에 포함되어야 한다. 위의 개념에 첨가하여 본 저자는 사상의 개념을 첨가하고자 하는데, 이는 실질적으로 위해성 평가 자료에 근거하여 심사를 받는 유전변형작물 계통은 하나의 유전변형시에 생산되는 다양한 사상 중 단지 하나의 사상이기 때문이다.

유전변형작물의 위해성 평가 영역은 기존의 학문 분야에 따라서 통상적으로 분자유전학적 분석, 환경위해성 평가, 인체위해성 평가 분야로 나뉜다. 분자유전학적 분석 분야는 유전적 실질적 동등성 평가, 도입유전자의 수, 위치, 발현, 세대별 안정성의 조사 등을 포함한다 (Fig. 1). 환경위해성 평가 분야는 유전자 이동과 잡초화 가능성, 농업형질의 실질적 동등성, 곤충, 토양미생물과 병원성 미생물 등의 비표적 생물체에 대한 영향 분석 등을 포함한다. 인체위해성 평가는 도입유전자의 산물인 단백질의 알레르기 유발 가능성 평가, 독성유발가능성 평가, 영양성분의 변화 평가 등을 포함한다. 하지만 이러한 연구 분야별 분류보다는 유전변형작물의 위해성 평가를 사상에 근거하여 사상 독립 또는 종속으로 분류할 수도 있다 (Fig. 2; Al-Babili and Beyer 2005). 즉, 사상 종속 평가는 분자유전학적 분석 항목과 환경위해성 평가의 대부분 항목을 포함한다. 사상 독립적 분석은 도입된 단백질의 기능, 특성, 작용 기작, 도입된 단백질의 알려

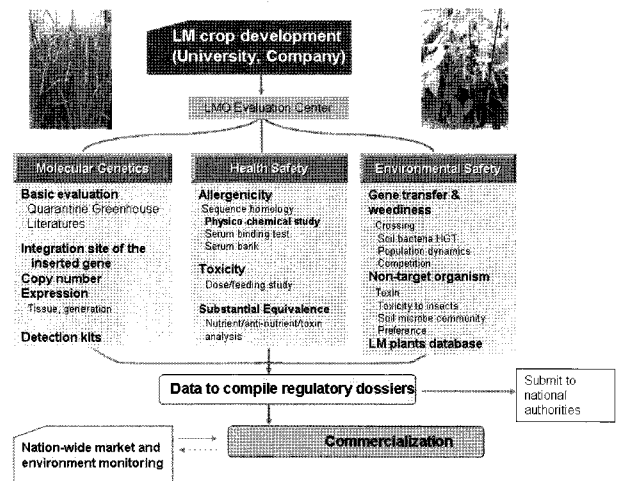


Figure 1. A scheme for risk assessment of living modified organisms divided into traditional research area categories.

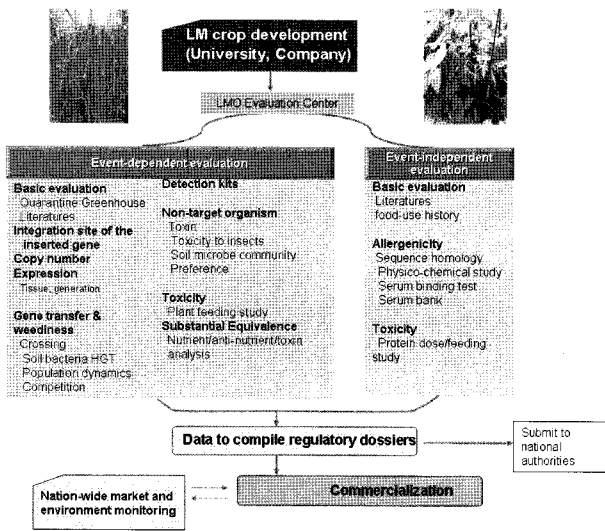


Figure 2. A scheme for risk assessment of living modified organisms divided into event-dependent and event-independent research area categories.

지 유발성 및 독성 잠재력, 도입된 단백질의 식품으로서의 섭취의 역사의 고찰 등이다.

우량 사상의 선발의 중요성은 2008년 1월에 발효된 “유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 통합고시” [산업자원부 (2007)]에서 유전자변형생물체의 위해성 심사시 평가 항목에서도 잘 반영되고 있다. 본 고시의 위해성 심사의 중분류 항목은 개발 목적 등을 포함하는 일반 자료, 숙주에 관한 자료, 공여생물체에 관한 자료, 운반체(vector)에 관한 자료, 도입유전자에 관한 자료, 유전변형생물의 개발에 관한 자료, 유전변형생물의 분자생물학적 특성에 관한 자료, 유전변형생물과 비변형생물의 비교자료, 세부 위해 영향 자료 (독성, 잡초화, 알레르기성 등), 유전변형생물의 환경방출에 관한 자료, 모니터링·폐기물관리·긴급 상황 등 계획에 대한 자료, 해외 인가 및 이용 상황, 표준품 제출 등이다. 이들 항목 중 숙주에 관한 자료와 같이 전반부에 언급한 자료들은 대부분 개발이 착수되는 시점에서 이미 검토가 이루어져야 하는 자료들이고, 유전변형생물의 분자생물학적 특성에 관한 자료, 독성, 잡초화 가능성 등은 우량 사상이 정해진 후 얻어질 수 있는 자료들이다. 이들 중 특히 사상 종속적인 자료를 가장 많이 요구하는 유전변형생물의 분자생물학적 특성에 관한 자료의 소분류 항목은 유전변형생물의 도입유전자 확인 결과, 유전자의 도입 위치 (염색체 또는 세포 미소기관) 및 주변염기서열, 도입 유전자의 복제수, 도입유전자의 검출 및 발현의 확인에 사용된 방법, 복수 세대 동안의

도입유전자의 위치 및 발현의 안정성에 대한 자료, 유전변형생물 계통에 도입된 유전자가 독소 또는 알레르겐을 암호화하지 않음을 증명하는 자료, 유전자산물에 관한 자료(유전자산물 특성, 변이여부, 발현 정도, 기전, 유전변형생물의 검출) 등이다.

우리나라 유전변형작물의 상업화 과정의 죽음의 계곡

현재까지, 한국생명공학연구원 바이오평가센터는 2002년도에 환경스트레스 내성 TPSP 유전변형벼의 위해성 평가 (Jeong et al. 2007)를 시작한 이래로 작물종 별로는 유전변형벼, 고추, 감자, 포플러, 수박을 포함하는 15 품목에 대한 위해성 평가를 수행해 오고 있다. 하지만 이들 유전변형작물의 평가 과정에서 현재까지 평가가 완료되어 위해성 심사의 의뢰를 제출한 경우는 없는데, 2품목 정도는 목표 형질이 온실이나 포장 재배에서 불확실하여 평가가 지연되었으나 대부분의 경우에는 개발단계에서 평가 대상이 되는 우량 사상을 선발하는 과정이 결여되어 평가의 중간에 평가 대상 우량 사상을 교체하거나 선발하는 과정이 수반되었기 때문이다. 즉, 연구 개발 산물의 상업화 과정에서 통상적으로 일컫는 병목 (bottle neck) 또는 죽음의 계곡 (death valley)의 개념에서 유전변형 작물의 죽음의 계곡은 사실상 우량 사상의 선발에 있음을 발견하였다. 그러므로 평가대상 사상의 선발 스크리닝 시스템을 개발하여 유전적으로 안정하고 위해성이 도입유전자 이외에는 예측할 수 없는 우량 사상을 선발하여 유전적으로 불안정하거나 도입유전자의 효능 이외에 추가적인 고려사항을 수반하는 사상을 인체 및 환경위해성 평가의 재료로 사용하는 것을 사전에 차단할 필요성이 대두되었다. 이러한 문제점에 대한 해결점을 찾고자 2005년부터 본 과제에서는 평가대상 형질전환 사상의 최적화된 선발 스크리닝 시스템의 개발을 해오고 있다. 현재까지 한국생명공학연구원에서 15종의 유전변형작물의 평가를 수행하면서 도출한 문제점은 다음과 같다 (Fig. 3). 유전변형작물 종자가 입수된 이후 실험결과 정보 분석 및 확인 과정에서 도출된 문제점은 개발자가 숙주를 제공하지 못하는 경우, 선발마커만 형질전환된 식물을 숙주로 제공한 경우, binary vector의 정보를 잊었거나 도입유전자 cassette의 일부 sequence를 모르는 경우 등이다. 도입유전자 cassette의 온전성 확인 단계에서는 도입유전자 cassette의 일부가 결실되었거나 vector backbone이 함께 삽입된 경우가 관찰되었다. 도입유전자의

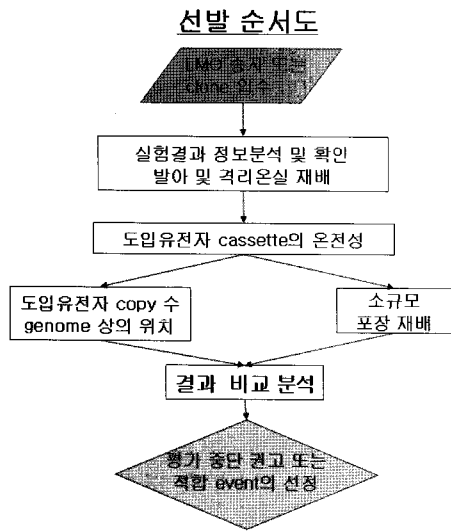


Figure 3. An optimized system for the screening of elite events.

copy 수, 유전체상의 위치 확인 과정에서는 두 copy 이상의 도입유전자가 도입된 경우, 도입유전자가 숙주 유전자를 knockout한 경우, 서로 다른 계통으로 제공하였으나 같은 계통으로 밝혀진 경우 등이 관찰되었다. 이러한 문제점이 발견되어 개발자에게 다른 사상을 요구할 시에 몇몇 경우 하나의 우량 사상만 남기고, 나머지는 이미 폐기 처분함으로써 인하여 평가가 중단되는 사례도 있었다.

이러한 문제점은 전통적으로 연구자들이 논문이나 특허를 최종 산물로 간주하고 논문 또는 특허의 출판 이후의 후속 연구는 소홀히 하는 경향 때문으로 분석되는데, 아래의 두 사례에서 개발된 유전변형작물이 논문으로 출판되는 시점에서 분자유전학적 분석이 얼마나 미비한지를 알 수 있다.

사례 1. Golden rice (Ye et al. 2000)

우리나라에서도 황금쌀로 잘 알려진 golden rice는 Swiss Federal Institute of Technology에서 개발한 것으로 비타민A를 과량 함유하고 있는 유전변형벼로서 Science에 2000년도에 발표되었다. 발표 이후 전세계적인 관심의 대상이 되어 대중 매체에서도 빈번히 회자되었다. Science에 발표된 논문에서 위해성 평가 관점에서 유전변형벼의 분자유전학적 분석 결과는 T0세대의 다수 사상에 대한 도입유전자의 copy 수를 측정한 Southern blot 분석 결과에 불과하고, 도입위치나 안정성에 관한 자료는 전무하였다.

사례 2. HARDY rice (Karaba et al. 2007)

애기장대에서 가뭄 및 염분 내성을 부여하는 HARDY 유

전자의 벼 orthologous gene을 과발현한 HARDY 벼는 더 적은 물을 사용하여 더 많은 식량 (less water, more food)을 확보할 수 있는 유전변형벼로 최근에 다수의 매체를 통하여 알려졌다 (예, www.physorg.com/news108664129.html). 하지만 2007년도에 미국과학아카데미에 발표된 연구 결과 중 위해성 평가의 관점에서 분자유전학적 분석 결과는 “The transformants were checked for expression of the gene (data not shown) and the selfed progeny of two independent lines (referred to as rice HRD lines) used for phenotypic and stress physiological assays”가 전부로서 앞으로 위해성 평가를 받기 위한 우량 사상의 선별은 상당한 연구를 필요로 할 것으로 사료된다.

위 두 사례들은 주연구자가 민간기업이 아니라 공공 연구 기관에 소속되어 있는 것이 공통점인데, 이는 우리나라와 같이 정부 주도하에서 유전변형작물이 개발되는 환경에서는 논문의 발표 이후에는 상업화를 위한 후속 연구를 계속하기 어려운 환경에서 충분히 일어날 수 있는 현상으로 간주된다. 유전변형작물의 상업화는 반드시 위해성 평가를 거쳐야 하므로 본 고에서 제시하는 우량 사상의 선별이라는 죽음의 계곡을 빠져나오기 위해서는, 논문의 발표 이후에 계속적으로 연구자들이 후속 연구를 할 수 있도록 정부에서 연구비를 계속적으로 투자하거나, 연구자들이 논문의 출판 후에 유전변형작물 사상을 기탁하여 우량 사상이 체계적으로 선별되도록 특정 기관에 우량 사상의 선별을 위한 연구 센터를 설립하는 것이 절실히 요구된다고 할 수 있다.

결 론

미국과 캐나다를 비롯한 선진국은 물론 전통적으로 과학기술의 후진성을 면치 못해왔던 중국과 인도에서 자체 개발한 유전변형작물의 상업화가 왕성하게 이루어지고 있는 시점에서, 미국에 비견할 만큼 오랫동안 유전변형작물의 개발 연구를 해온 우리나라의 유전변형작물이 개발 및 상업화의 지연 사유를 본 고에서는 무엇보다도 개발단계부터 상업화에 목적을 두고 체계적인 연구가 이루어지지 않았기 때문으로 본다. 우리나라는 국내 소비 콩과 옥수수의 상당량을 수입하고 있는데 대량 면적이 요구되는 콩과 옥수수 같은 유전변형작물을 재배할 수 있는 농지가 부족한 것이 현실이다. 그러므로 개발된 유전변형 작물이 재배될 대량 농지가 확보

되어 있는 국가와는 현실적으로 차이가 난다. 한편으로는 60 품목 이상의 유전변형작물을 개발하고 검정하고 또 위해성 평가를 실시하고 있으나, 가시적으로 상업화가 가능한 유전변형 작물이 거의 없는 이유는 우리나라와 같이 대학이나 국가연구소에서 유전변형 작물의 개발을 주도하는 경우에는 논문이나 특허를 최종 산물로 간주하고 상업화를 위해 지속적으로 개발산물의 분석을 수행하지 않기 때문으로 간주된다. 이러한 현실에서는 대학과 연구소의 개발 산물을 전달 받아서 계속적으로 분석하여 최적화된 우량 사상의 선발과 위해성 평가를 지원하여 최종적으로 위해성이 없다고 간주되는 유망 유전변형작물은 marketing 기능이 탁월한 기업으로 기술이전함으로써 상업화를 이루는 구조가 정립되어야 할 것으로 사료된다. 결론적으로 본 고에서 유전변형작물의 개발, 위해성 평가, 품종 등록 과정에서 최적화된 우량 사상의 선발이 우리나라 유전변형작물의 상업화의 병목 또는 죽음의 계곡임을 제안하였다. 끝으로 저자는 하나의 신규 유전변형작물의 개발 및 위해성 평가 연구가 국민의 유전변형작물의 위해성에 대한 우려의 엄청난 벽에 대한 도전은 아니며, 더욱이나 선인장같이 생존력이 뛰어나고 포플러같이 성장속도가 빠르므로 인하여 사막을 푸르게 하는 수퍼 작물의 개발도 아닌, 전통육종의 개념에서 하나의 우량 교배 모본을 만드는 노력이라는 견해를 밝히며, 본 고에서 기술한 국내에서 개발한 15여 종의 유전변형작물의 유전 분석 경험의 공유가 국내 개발 유전변형 작물의 상업화를 촉진하기 위한 토의의 출발점을 제공하기를 기대한다.

적 요

생명공학기술을 이용한 유전변형작물의 창출은 세계 인구의 증가와 식량 수요의 증가에 대응하는 주요한 기술로 인정받고 있다. 이미 유전변형작물의 상업화에 성공한 선진국의 선례에 바탕하여 우리나라도 지난 20년 동안 유전변형작물의 개발을 지속하여 20여 종의 작물에서 60여 건 이상의 유전변형작물을 개발하였다. 본 고에서는 우리나라의 유전변형작물 개발과 위해성 평가 현황을 간단히 살펴보면, 우리나라에서 개발된 유전변형작물의 상업화가 현재까지 이루어지지 못하는 죽음의 계곡이 어디에 있는지를 제시하고자 하였다. 저자는 지난 5년 동안 15건의 국내개발 유전변형작물의 위해성 평가를 수행한 경험에 바탕하여, 우량 사상의 선발의 부재가 상업화의 죽음의 계곡임을 제시하였다.

사 사

본 논문은 작물유전체기능연구사업단, 생명공학안전성평가사업, 바이오그린21사업, 및 한국생명공학연구원 기관과 유사업의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사 드립니다. 저자는 본 논문이 상업화 또는 상업화 과정에 있는 유전변형작물의 동향에 중점을 두었기 때문에, 문헌의 역사적 고찰이 통상적인 관행과는 다름을 밝히고, 이러한 관점과 지면관계로 인용되지 않은 저자들의 양해를 구합니다.

인용문헌

- Al-Babili S, Beyer P (2005) Golden rice - five years on the road - five years to go? Trends in Plant Science 10: 565-573
- Chen LJ, Lee DS, Song ZP, Suh HS, LU BR (2004) Gene flow from cultivated rice (*Oryza sativa*) to its weedy and wild relatives. Annals of Botany 93: 67-73
- Cheong HS, Kim YH, Pyo BS, Kim SJ, Kang YH (1991) Gene expression in transformed higher plants. II. Effect of Ca^{2+} on β -glucan synthetase II activity and changes of peroxidase pattern in transformed potato tuber. Korean J Bot 34: 261-266
- Cho MA, Choi DW, Liu JR, Clemente T, Choi PS (2004) Development of transgenic soybean using *Agrobacterium tumefaciens*. Korean J Plant Biotechnol 31: 255-259
- Choi SB, Lee K-W (1987) Regeneration of glyphosate-resistant plant from tobacco (*Nicotiana tabacum*) cell culture. Korean J Bot 30: 69-77
- Chung SH, Ko KW, Hong CB, Choi IS, Chung TW (1989) Development of a plant transformation vector, pKCHI. Korean J Bot 32: 23-32
- De Maagd RA, Bosch D, Stiekema W (1999) *Bacillus thuringiensis* toxin-mediated insect resistance in plants. Trends Plant Sci 4: 9-13
- Gonsalves D (1998) Control of papaya ringspot virus in papaya: A case study. Annu Rev Phytopathol 36: 415-437
- Harn CH (2006) Current status and perspective and future task in Korea of crop genetic transformation. J Plant Biotechnol 33: 171-184
- Jang IC, Oh SJ, Seo JS, Choi WB, Song SI, Kim CH, Kim YS, Seo HS, Choi YD, Nahm BH, Kim JK (2003) Expression of a bifunctional fusion of the Escherichia coli genes for trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase in transgenic rice plants increases trehalose accumulation and abiotic stress tolerance without stunting growth. Plant Physiology 131: 516-524

- Jeong SC, Paek IS, Cho EY, Youk ES, Park S, Yoon WK, Kim C-G, Choi YD, Kim JK, Kim HM (2007) Molecular analysis and quantitative detection of a transgenic rice line expressing a bifunctional fusion TPSP. *Food Control* 18: 1434-1442
- Jung S, Lee Y, Yang K, Lee SB, Jang SM, Ha SB, Back K (2004) Dual targeting of *Myxococcus xanthus* protoporphyrinogen oxidase into chloroplasts and mitochondria and high level oxyfluorfen resistance. *Plant, Cell and Environment* 27: 1436-1446
- Karaba A, Dixit S, Greco R, Aharoni A, Trijatmiko KR, Marsch-Martinez N, Krishnan A, Nataraja KN, Udayakumar M, Pereira A (2007) Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerance gene. *Proc Natl Acad Sci USA* 104: 15270-15275
- Kim S-G, Chang JR, Cha HC, Lee KW (1988) Callus growth and plant regeneration in diverse cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 12: 67-74
- Lee C-H, Ko Y, Chou H-K, Rhew TH, Lee CB (1993) Differential activation of *Arabidopsis Cab* promoters during greening of transgenic tobacco shoots. *Korean J Bot* 36: 267-273
- Lee K-W, Sung S-K (1992) Transformation of plant cells by gene transfer: Construction of a chimeric gene containing deleted maize alcohol dehydrogenase intron and β -glucuronidase gene and its expression in potato. *Korean J Bot* 35: 237-245
- Lee YH, Kim HS, Kim JY, Jung M, Park YS, Lee JS, Choi SH, Her NH, Lee JH, Hyung NI, Lee CH, Yang SG, Harn CH (2004) A new selection method for pepper transformation: callus-mediated shoot formation. *Plant Cell Rep* 23: 50-58
- Padgett SR, Kolacz KH, Delannay X, Re DB, Lavallee BJ, Tinus CN, Rhodes WK, Otero YI, Barry GF, Eichholtz DA, Peschke VM, Nida DL, Taylor NB, Kishore GM (1995) Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. *Crop Sci* 35: 1451-1461
- Park SM, Lee JS, Jegal S, Jeon BY, Jung M, Park YS, Han SL, Shin YS, Her NH, Lee JH, Lee MY, Ryu KH, Yang SG, Harn CH (2005) Transgenic watermelon rootstock resistant to CGMMV (cucumber green mottle mosaic virus) infection. *Plant Cell Rep* 24:350-356
- Ye X, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I (2000) Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 287: 303-305

(접수일자 2008년 2월 25일, 수리일자 2008년 3월 10일)