

국내·외 GM식물의 개발 및 산업화 현황

이신우

Current status on the development and commercialization of GM plants

Shin-Woo Lee

Received: 2 September 2010 / Accepted: 6 September 2010
© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract During a last decade, the introduced traits in commercialized GM crops have been diversified from a simple trait such as herbicide resistance gene or insect-resistance gene which are related to the crop production into more complicated traits such as modification of fatty acid or essential amino acid composition, modified coloring pattern of flower. In addition, it was investigated that several other GM crops bearing more refined traits expected to lead next generation are also awaiting for risk assessment (RA) or under field test for the preparation of RA in the near future. These GM crops include abiotic stress resistance including drought or cold, increased biomass, production of bioethanol or diesel, production of pharmaceuticals or functional materials for industrial. In particular, in 2008 and 2009, it was reported that the highest number of GM crops for molecular farming are under developed in laboratory or green house level in all the world. Likewise, in Korea, 171 events from 49 plant species are under developed to introduce several important traits. At present, about 10 events are under field test to select elite lines for RA application. For the first time, herbicide resistance turfgrass developed by Korean research team has been submitted for RA and currently under requested for additional data. Moreover, GM rice resistant to leaf roll (folder) disease is expected as a next event to be submitted for RA application.

서론

2003년 8월18일 국내에서는 처음으로 다국적 회사인 몬산토가 개발한 GST-40-3-2 GM대두를 식용 (Food), 사료용 (Feed) 및 가공용 (Processing) (FFP)용으로 수입승인을 요청하는 안정성 평가신청서를 제출하여 승인을 득하여 국내에서 처음으로 유통이 허가되었다. 이는 제초제 (glyphosate)에 저항성을 갖는 미생물에서 분리한 유전자를 도입한 것으로, 이미 1996년도부터 미국 등 주요 콩 수출 국가에서 재배가 시작되어 2002년도 말에 전 세계적으로 9,020 에이커에서 재배되어 전 세계 대두 경작지의 50%를 넘었으며 현재까지 지속적으로 재배면적이 증가하고 있다 (James 2003, 2009). 이후 2009년 11월 말 현재 농촌진흥청에 환경위해성 평가를 신청한 GM작물의 건수는 7개 작물 69건으로 이들 중 52건은 심사가 완료되어 국내에 FFP용으로 유통이 허가되었으며 7건은 심사가 취소되었고 나머지는 아직 심사가 진행 중에 있다. 최근 들어 GM작물의 수입 승인건수는 해마다 증가하고 있으며 도입된 유전자의 특성 또한 다양하여 2010년 7월말 현재까지만 하여도 벌써 약 7건이 추가로 식품의약품 안전청 또는 농촌진흥청에 접수된 것으로 조사되었다 ([www://nabic.naas.go.kr](http://www.nabic.naas.go.kr)).

현재까지는 제1세대 즉 농업생산성의 증대와 관련된 단일 유전자 즉 제초제 저항성, 또는 해충 저항성 유전자를 각각 도입하였거나 혹은 동시에 도입 또는 그 후대 교배중에 국한된 것으로 비교적 심사하는데 어려움이 적었다. 그러나 최근에는 특정 영양성분 즉 필수아미노산, 또는 지방산 등의 조성을 변경시켜 품질을 증진 시키거나 기후변화 등으로 인한 사막화 등의 불량환경에 잘 적응하도록 개선한 abiotic stress 내성 작물 등의 제 2세대 GM작물의 신청 건수가 서서히 증가되고 있다. 나아가서 미국 등의 선진국에서 향후 시장에 출시하기 위하여 포장

S.-W. Lee (✉)
진주산업대학교, 생명자원과학대학, 농학·한약자원학부
Department of Agronomy & Medicinal Plant Resources, College
of Life Science and Natural Resources, JinJu National
University, 660-758, Korea)
e-mail: shinwlee@jinju.ac.kr

시험을 허가한 GM작물들의 특성들을 조사하여 보면 인체 또는 동물의 질병 치료용 약리성 물질, 산업용 특수물질의 생산 등 그리고 생물환경정화용 GM 작물과 녹색성장과 관련된 생명자원의 재생을 위한 GM 작물 등 제3, 제4세대 작물들로 확인되었다 (<http://www.aphis.usda.gov/biotechnology/status.shtml>).

또한 본 총설에서는 실험실 또는 온실에서 개발이 일부 성공하여 전문학술지 또는 다양한 언론매체를 통하여 현재까지 공개된 GM 작물의 개발에 관한 자료들을 통하여 향후 이들 중에서 포장시험 및 안전성 평가를 거쳐 elite 계통을 육성하여 시장에 출시할 것들을 예측하고, 이들 GM 작물들에 도입시키고자 한 유전자의 특성별, 용도별로 분석하여 보고자 하였다 (<http://www.biosafety.or.kr>).

이와 함께, 국내의 개발현황을 조사하고자, 농촌진흥청 연구사업 성과보고서, 2000년대 초에 출범한 농촌진흥청의 바이오그린 21사업의 성과 보고서 그리고 교육과학기술부에서 추진한 작물유전체기능연구사업단에서 발간하는 소식지 등을 통하여 GM작물개발과 관련된 연구과제를 분석하여 도입하고자 하는 형질의 특성, 작물 등을 소개하고, 나아가 국내에서 현재 포장시험 중에 있는 GM 작물들의 현황을 파악하여 국내의 고유기술로 개발된 GM 작물 중 국내에서의 FFP용 또는 재배용으로 위해성 심사를 신청할 단계까지 진척된 것들에 관하여 고찰하였다.

GM식물의 산업화 현황

2009년 말 현재 미국, 캐나다, 유럽연합 (EU) 국가 등에서 현재까지 시장에 출시된 품목과 환경방출을 위하여 포장시험을 포함한 환경 또는 인체 위해성 평가가 진행 중에 있는 GM 식물 내에 도입된 traits (특성)들을 Table 1에 요약하였다. 이미 FFP용 또는 재배가 허용된 GM 식물들의 특성을 보면 제초제저항성, 해충저항성이 주를 이루고 있으며 이외에 바이러스저항성, 지방산 조성을 변경시켜 올레인산 등의 특정 지방산의 함량을 증가 시킨

작물, 화색을 변경 시킨 작물, 라이신 함량을 증가시킨 작물, 에틸렌 생합성을 감소 시켜 과일의 숙성을 지연시킨 것 등이다. 이들은 현재 자국의 사정에 따라 FFP용으로 승인되었거나 동시에 재배용으로도 승인된 것들도 있다.

한편 향후 시장에 출시하기 위하여 국가별로 심의 중에 있거나, 위해성평가 자료를 산출하기 위하여 제한된 포장에서의 시험용 재배허가를 득하여 수행 중에 있는 품목들을 요약하여 보면 (Table 1), abiotic stress에 내성을 갖도록 만든 것으로 기후변화에 따른 사막, 불모지 등의 불량환경에 적응할 수 있는 식물들로 현재 국가별로 심사가 진행 중에 있는 것으로 대표적인 것이 가뭄저항성으로 알려진 MON87460이다. 국내의 경우에도 농촌진흥청 및 국립수목연구소의 LMO심사위원회에서 심의를 진행 중에 있다. MON87460에 도입된 주된 유전자는 *cspB*로서 *Bacillus subtilis*에서 유래한 RNA chaperone 단백질을 생산하는 유전자로 식물체내에서의 작용기작은 동 유전자로부터 생산된 CSPB 단백질은 RNA 2차 구조를 전개 (unfolding)하여 RNA의 번역 (translation)을 촉진함으로써 abiotic stress에 내성을 갖도록 한다고 알려져 있다. 따라서 향후 내한성, 내냉성 등 각종 불량환경에 내성을 갖는 GM식물들의 상용화는 크게 증가될 것으로 전망되고 있다 ([www://nabic.naas.go.kr](http://www.nabic.naas.go.kr)).

한편, 각종 병해충에 저항성을 갖는 생물적 스트레스 내성 GM식물 또한 크게 증가할 것으로 전망된다. 현재는 Bt 저항성 작물이 주를 이루고 있고 몇 종의 바이러스 저항성 GM 작물이 상용화되어 있지만 향후에는 세균, 곰팡이, 선충 등 다양한 식물 병에 저항성을 갖도록 한 것뿐만 아니라 나아가 복합내병성을 갖도록 한 GM식물들이 시장에 등장할 것으로 전망된다. 하지만 식물과 병의 상호작용 기작이 너무 복잡하여 기존의 전통육종 기술로 개발한 품종보다 우수한 복합내병성 품종을 육성하기에는 다소 시간이 소요될 것으로 사료된다.

다음으로 농업적 특성 즉 Biomass, 영양학적 가치, 수확 후 저장 능력, 발아율 등이 획기적으로 개선된 다양한 GM 식물들이 차세대 GM식물로 시장에 출현될 전망이

Table 1 Summarized traits of GM plants approved or under investigation for the environmental release

Approved GM Plants	GM plants under risk assessment
Herbicide resistance	Abiotic stress tolerance (draught, cold, etc)
Insect resistance	Biotic stress tolerance (bacterial, fungal disease, nematodes, etc)
Virus resistance	Agronomic properties (yields, biomass, nutritional improvement, harvesting, seedlings, etc)
Modified fatty acid composition	Pharmaceutical protein (Plant Molecular Farming)
Altered flower color	Industrial products (oils, waxes, plastic films)
Increased lysine content	Bioremediation (air pollution, water contaminants)
Reduced ethylene synthesis	

다. 이들 역시 일부 이벤트는 이미 개발이 완료되어 포장 시험이 진행 중에 있는 것으로 조사되었으며 특히 최근에 이슈가 된 녹색성장 정책과 함께 이들 식물들이 크게 증가할 것으로 전망된다. 뿐만 아니라 현재 차세대 GM 작물로 크게 주목 받고 있는 분자농업 (Plant Molecular Farming)은 인체 또는 동물의 치료용 의약품 생산하거나 산업용으로 유용한 식품관련 효소, 오일, 왁스 물질 등의 생산을 목적으로 하는 GM 식물들인데 이들 차세대 GM식물들이 국제바이오시장에 미치는 영향은 이미 언급한 무생물적, 생물적 스트레스 GM식물들과는 비교가 되지 않을 만큼 파급효과가 클 것으로 전망된다. 의학, 나노기술, 농학, 공학 (정제과정) 등 다양한 분야의 학문이 융합되어야 실용화가 가능한 이들 식물 역시 이미 미국 등 일부 선진국에서는 제한된 구역에서의 포장시험과 인체 및 동물을 이용한 임상시험 등이 진행 중에 있는 것으로 조사되어 조만간에 시장에 진출할 것으로 전망된다. 이와 함께 각종 환경물질에 오염된 지구 환경의 정화에 이용이 가능한 생물환경정화용 GM 식물 즉 중금속에 오염된 토양의 정화, 수질 개선, 공기정화 등에 이용될 수 있는 GM식물들이 시장에 출시될 것으로 보이나 앞에서 언급한 다른 GM식물들보다는 상대적으로 더 많은 시간이 소요될 것으로 사료된다.

현재 미국 등에서 제한된 지역에서의 포장시험이 허가된 것으로 알려진 분자농업용 GM 식물들과 시험재배면적 등의 연도별 변화를 조사한 결과를 보면 국가별로 포장시험이 허가된 분자농 (의약품 생산이 목적)용 GM식물 건수는 Fig. 1에서 요약한 바와 같이 2004년도에 이미 미국이 15건, 캐나다가 7건이었으며 2005년도에는 미국과 캐나다에서 각각 21건과 10건으로 증가하였으며, EU에서도 2건을 허가 하였으며 이후 매년 포장시험이 수행되어 총 건수가 2009년 말까지 미국이 84건, 캐나다가 23건, EU가 8건에 이르렀다 (<http://www.aphis.usda.gov/biotechnology/status.shtml>; <http://www.inspection.gc.ca/>; http://gmoinfo.jrc.ec.europa.eu/gmp_browse.aspx). 미국의 동·식물 검역소

(APHIS)에서 발표한 자료에 의하면 이들이 실제 재배된 포장면적은 2004년도에는 45.35 에이커에서 해마다 증가하여 2005년도에는 82, 2006년도에는 181.64, 2007년도에는 176.08 에이커에서 재배되었다. 2008년도의 정확한 자료 확인이 불가능하였으나 2009년도에는 96.9 에이커로 다소 감소하였다. 따라서 지난 6년간 이들의 총 재배면적은 약 182 에이커로 집계되었다 (Fig. 2).

이러한 통계는 동일한 GM식물 이벤트에 대하여 지역별로 별도의 포장시험 허가를 받아야 하므로 포장시험건수는 많아도 실제 분자농용 GM식물의 종류는 아직은 많지 않은 것으로 조사되었다. Table 2에서 요약한 바와 같이 현재 실험실 및 온실 단계에서의 개발은 일정 수준까지 완료되어 포장시험의 허가를 받은 분자농용 GM식물의 종은 벼, 옥수수, 홍화, 담배, 보리, 콩 등으로 요약되었으며 이들을 이용하여 생산하고자하는 특정 의약품 또는 단백질은 lactoferrin, lysozyme, serum albumin, 성장호르몬, 인슐린, aprotinin 등 의약품과 trypsinogen, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) 등의 의료 및 식품산업용 효소, 치주염 혹은 부패 원인균에 대한 항체, 돼지의 장내세균병의 항체 그리고 내열성 장내세균 enterotoxin을 생산하는 것들로 조사되었다. 이들 중 일부는 동물 또는 인체를 대상으로 한 임상시험이 진행 중에 있는 것으로 조사되었다 (강 2004; 이 2008, 2009b).

연구실 또는 온실 단계에 있는 GM 식물의 개발현황

GM식물의 개발이 성공하여 시장에 출시하기에는 연구자의 아이디어를 확립하여 실험실 및 온실에서 목적하는 형질의 도입을 확인한 다음 포장시험과 함께 환경과 인체에 미칠 수 있는 잠재적인 위해성의 평가를 수행하여 국가별로 구성되어 있는 안전관리체계에 따라 안전성 평가과정을 거쳐야 한다. 특히 분자농용인 경우에는 동물 및 인체를 이용한 임상시험까지 승인을 얻어야 한

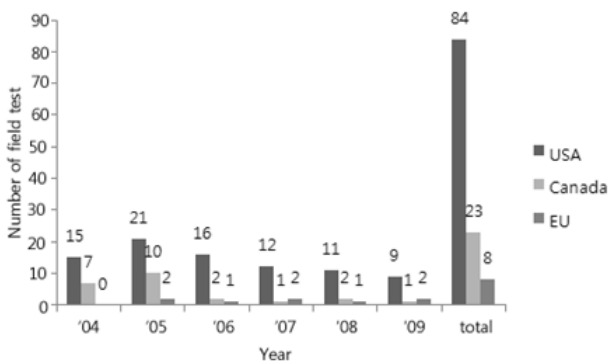


Fig. 1 Numbers of GM plants for molecular farming under field test in USA, Canada and EU

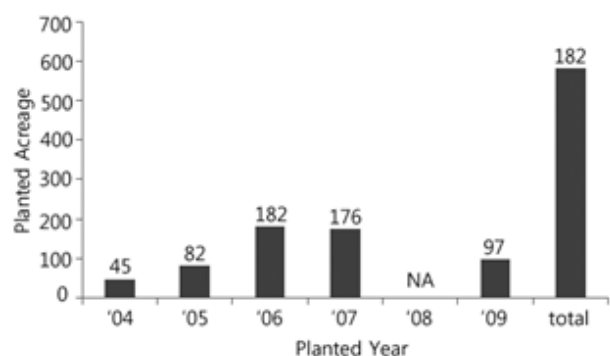
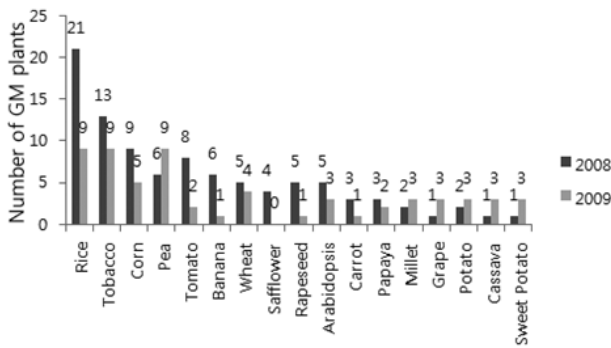


Fig. 2 Planted acreage of GM plants for molecular farming in USA by year

Table 2 Summary of GM plants for molecular farming under field trial in USA

Species	Products	Institute/Companies
Rice	lactoferrin lysozyme Serium albumin	Ventria Bioscience
Corn	Heat labile E. coli enterotoxin	Iowa State University
	Recombinant gelatin	Iowa State University
	Aprotinin(antiproteinase)	ProdiGene
	Trypsinogen	ProdiGene
Safflower	Carp growth hormone	SemiBiosys Genetics
	Insulin	SemiBiosys Genetics
	Protein A	SemiBiosys Genetics
Tobacco	CaroR _x TM (antibody to prevent tooth decay)	Planet Biotechnology
	Glucocerebrosidase	CropTech
	PAL enzyme	University of Kentucky
Barley	lactoferrin lysozyme	Washington State University
Pea	Antibody to protect pigs from bacterial gastrointestinal infections	Novoplant GmbH
	Antibody for Herpes Simplex Virus	Agracetus

**Fig. 3** Number of GM plant species under developing in laboratory and green house according to the collected information from news media or published journals in all the world (<http://www.biosafety.or.kr>)

다. 따라서 대부분의 경우에는 후자의 과정을 거치기 전에 전문학술지 또는 다양한 언론매체를 통하여 실험결과를 공개한 후 실용화를 위한 후자의 과정은 장기간의 준비과정이 필요하고 또한 너무 과다한 경비가 소요되기 때문에 계속 진행하기가 어려워 포기하거나 종료회사 또는 관련 벤처회사에 의존하게 된다.

따라서 본 총설에서는 2008년과 2009년도에 전문학술지 또는 언론에 공개된 자료들을 종합하여 향후 실용화가 가능한 GM식물들의 현황을 파악하여 보고자 하였으며 이들 식물들을 연구실 또는 온실 단계에 있는 GM식물들로 가정하고 자료를 정리하여 보았다. 기본 자료들은 한국바이오안전성정보센터에서 운영하는 바이오안전성포털사이트 (<http://www.biosafety.or.kr/>)에서 월별로 제

공하는 정보들을 기초로 분석하였다. 우선 이들을 식물의 종별로 분석하여 본 결과 2008년과 2009년까지 개발 중에 있다고 보도된 GM식물을 식물별로 분류한 결과이며, 2008년도에는 벼가 21건으로 가장 많았으며, 이어서 담배 (13), 옥수수 (9), 콩 (6), 토마토 (8), 바나나 (6), 밀, 유채, 애기장대가 각각 5건, 홍화 (4), 당근, 파파야가 각각 3건, 그리고 수수, 감자가 각각 2건으로 조사되었다. 이외에 포도, 민트, 브로콜리, 배추, 보리, 커피, 사과, 팥, 겨자 (Cowpea), 양파, 땅콩, 잔디, 사탕수수, 고추, 감초, 피망, 카사바, 상추 등 식량작물을 포함하여 원예작물, 약용작물 특용작물 등 거의 모든 작물에 걸쳐 형질전환 식물들이 각각 1건씩 보도된 것으로 조사되었다 (이 2009c). 한편, 2009년도에는 벼가 9건으로 2008년도의 21건에 비하여 현저하게 감소하였으며 이어서 담배 (9), 옥수수 (5), 콩 (9), 토마토 (2), 바나나 (1), 밀 (4), 유채 (1), 애기장대 (3), 당근 (1), 파파야 (2), 그리고 수수, 포도, 감자, 카사바, 고구마가 각각 3건으로 조사되었으며 이외에 2008년도에 비하여 팜오일, 멜론, 오이, 피마자, 아마, 가지, 대마, 민들레, 유칼립투스 수박, 해바라기, 산딸기, 이끼, 녹두 등 보다 다양한 새로운 식물들이 2건 이하로 보고되었다 (Fig. 3) (이 2009c).

이들을 도입된 유전자의 용도별 즉 각종 병·해충에 저항성을 갖는 생물적 스트레스 저항성 식물 (BS), 불량환경에 내성을 갖는 무생물적 내성식물 (AS), 분자농업용 식물 (PMF), 농업적 특성 (QI), 녹색성장용 (GG), 그리고 기초연구용 또는 복합적인 목적을 포함하여 구분이 어려운 기타 (OO)로 분류하여 본 결과를 Fig. 4에 요약하였다.

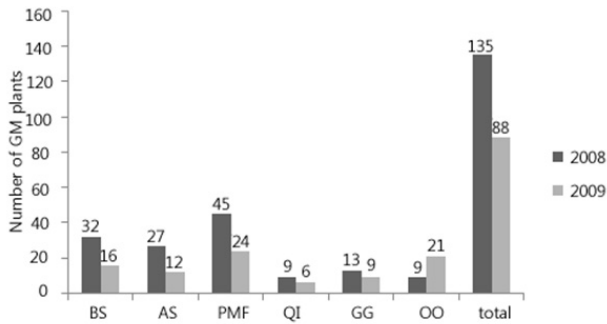


Fig. 4 Characteristics of introduced traits in GM plants under developed in laboratory and green house. BS, biotic stress resistance; AS, abiotic stress resistance; PMF, plant molecular farming; QI, quality improvement; GG, green growth; OO, others

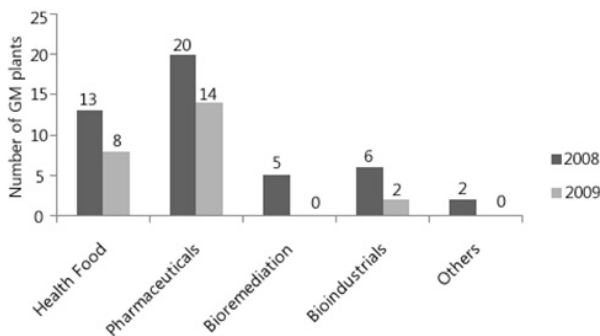


Fig. 5 Detailed analyses of their final usage of molecular farming GM plants under developed in laboratory and green house

총 건수는 2008와 2009년도에 각각 135건과 88건이었으며 이 중에서 분자농업용 식물이 각각 45건과 24건으로 33%와 27%를 차지하여 가장 많은 것으로 조사되었다. 이어서 생물적 스트레스 저항성 식물이 각각 24%와 18%를 차지하였으며 무생물적 스트레스 내성 작물 또한 20%와 14%를 차지하여 점차 증가하는 추세를 나타내었다. 농업적 특성을 개선하여 품질을 증진시키거나 최근 부각되는 저탄소 녹색성장에 해당되는 biomass의 증대, 생물연료 (oil)생산, 질소효율 증대 등에 관한 식물들의 증가 추세가 뚜렷하였다. 특히 2009년도의 경우에 기타로 분류된 건수가 21건으로 증가된 이유는 형질전환 기술을 이용하여 유전체를 분석하거나, 각종 유전자의 기능을 분석하는 기초연구용, 유전자지도 작성용, proteomics 등 post-genomics용이 크게 증가하였기 때문이다 (이 2009c).

Fig. 5는 2008년도와 2009년도에 가장 높은 비율을 차지한 분자농업용 식물들의 용도를 보다 세분화하여 조사한 결과로서 인체 또는 동물의 의료용 물질 (의약품)을 생산하는 분자약농 (Molecular Pharming)용 식물들이 44% (2008년도)에서 58% (2009년도)로 가장 높았으며 건강기능식품으로 이용이 가능한 특정 영양성분을 강화시킨 식물들이 29%와 33%로 분자약농 또는 건강기능식품용식

물들이 대부분을 차지하여 향후 이들 차세대의 GM식물들이 실용화를 위한 포장시험건수 또는 안전성 평가 신청 건수는 지속적으로 늘어날 것으로 전망되었다. 이러한 추세는 이미 오래전부터 예견된 것으로 실용화를 위한 다양한 유용유전자의 확보에 지속적으로 투자를 하여 온 결과이며, 식물이 생산하는 다양한 종류의 이차대사산물을 이용하기 위한 대사공학기술에 관한 수많은 기초연구결과가 집적된 성과인 것으로 사료된다 (Naqvi et al. 2009). 인체의 질병 치료용 항체를 생산하기 위한 연구 또한 이미 오래전부터 시도되었으며 특히 식용 백신용 바나나를 대상으로 많은 연구가 수행되었으나 아직까지도 실용화가 되기까지는 해결하여야 할 문제점들이 많은 것으로 알려져 있다 (Daniell et al. 2001; 김 2008). 뿐만 아니라 이들 식물들의 안전성 평가를 위한 포장시험 및 임상시험을 위한 가이드라인 또는 규제지침이 마련되어야 한다는 소비자의 목소리 또한 높은 실정이다 (Marie-France 2003; Einsiedel and Medlok 2005; 이 2006). 이 외에 환경정화용 GM 식물의 개발 건수는 2008년도의 5건에서 2009년도에는 한건도 보도 되지 않았으며, 산업용 물질 생산으로는 각각 6건과 2건씩 보도되었는데 이들은 민들레로부터 라텍스를 생산하거나 담배로부터 바이오 플라스틱을 생산하는 것 등이었다.

국내의 개발 현황

국내의 경우에는 1983년도에 농촌진흥청의 농업기술연구소 (현 국립농업과학원)의 생리유전과내에 생명공학 연구실을 신설하여 신기술을 도입하기 위하여 조직배양실을 비롯한 각종 식물형질전환 전문가를 양성하기 시작하여 현재까지 지속적으로 투자를 하여 왔으며, 이후 2001년부터 2010년까지 10년간 7,000억원 (실제로는 목표 대비 46%인 3,236억원 투자)을 투입하여 전국의 생명공학전문가의 역량을 결집하여 국제경쟁력을 증진시켜 세계 5위의 진입을 목표로 바이오그린 21사업단을 출범시켜 GM 작물의 개발을 위한 전문가 양성 및 기술의 확립에 초석을 다지는 역할을 하였다. 또한 1990년도 중반에 출범한 농림기술관리센터 (현 농림수산식품기술기획평가원)에서도 다양한 형질전환 동·식물체의 개발을 위한 예산을 투입 하였으며 특히 기초보다는 산업체의 참가를 우선시하는 과제를 선발하여 실용화를 최우선으로 하는 것을 목적으로 운영하므로 향후 보다 많은 산업화가 이루어질 것으로 전망된다. 또한 과학기술부 (현 교과부)에서 연간 100억원을 투자하여 10년간 천억원을 투자하는 작물유전체기능연구사업단의 출범으로 특정작물 즉 벼, 콩을 위시한 선택과 집중투자의 원칙을 고수하여 기초부터 형질전환체의 실용화까지 다양한 성과를 이루었다고

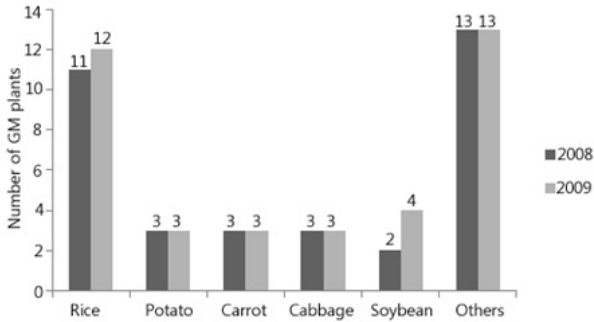


Fig. 6 Number of GM plant species under developed by BioGreen21 project (year 2008 and 2009), on going National Grand Project implemented by RDA in 2001, Korea

평가된다. 이러한 투자의 결과로 2009년 10월 현재 49작목 171종의 GM 작물이 국내에서 개발 중에 있는 것으로 보고된바 있으며 이들 중에는 이미 포장시험 중에 있는 것들이 상당수가 있는 것으로 조사되었다 (이 2009a).

따라서 본 총설에서는 먼저 바이오그린 21사업의 2008년도와 2009년도에 추진 중인 연구과제 (세부과제 포함) 들을 분석하여 국내의 GM식물의 개발 동향을 조사하여 보았다. 우선 새로운 형질전환을 시도한 식물의 종류를 조사 하여본 결과 벼가 2008년도와 2009년도에 각각 11건과 12건으로 가장 많았으며, 감자와 당근, 배추가 각각 3건씩 그리고 콩이 2008년도에 2건, 2009년도에 4건으로 조사되었다. 이외에 담배, 옥수수, 수박, 참외, 카네이션, 애기장대, 토마토, 국화, 고추, 잔디, 장미, 선인장, 백합, 인삼 등이 1건 또는 2건으로 조사되었다. 그리고 기타로 분류된 13건은 식물명이 분명하게 파악하기가 어렵거나 동시에 여러 가지 식물에 도입하는 것을 목적으로 한 과제들이었다 (Fig. 6).

이들을 다시 GM식물이 최종목표로 하는 형질별로 분류하여 본 결과 2008년도와 2009년도에 각각 47건과 48건으로 조사되었으며 이들 중 무생물적 스트레스 내성이 각각 12건으로 약 25%를 차지하였으며 생물적 스트레스 저항성 식물 개발이 목적인 것이 각각 약 21%를 차지하여 생물 또는 무생물적 스트레스 내성 식물개발 과제가 약 50%를 차지하였다. 반면에 분자농업용 식물을 개발하는 것이 목적인 과제는 각각 9건과 8건으로 약 16 - 17%를 차지하여 다소 낮은 것으로 조사되었다. 또한 분자약 농용으로 분류된 것들이 각각 9건과 8건으로 조사되었는데 이들 중에는 구강암 예방 백신, 돼지홍막페렴 치료용 물질, 녹차미 생산, 경구백신 당근, tPA, 항암, 라스베라톨, A형간염백신 등을 생산하는 GM 식물을 개발 중에 있는 것으로 조사되었다 (Fig. 7).

한편 포장시험 단계에 있는 과제가 2008년도에 6건에

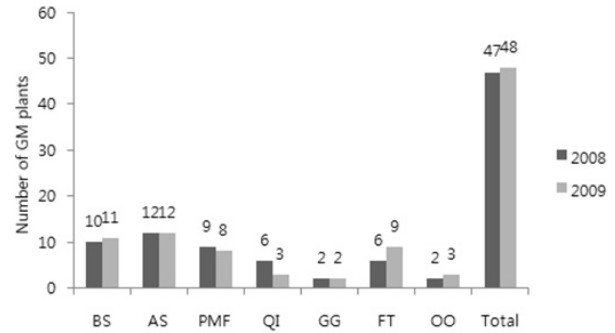


Fig. 7 Characteristics of introduced traits in GM plants under developed by BioGreen 21 Project (year 2008 and 2009). BS, biotic stress resistance; AS, abiotic stress resistance; PMF, plant molecular farming; QI, quality improvement; GG, green growth; FT, field test; OO, others

서 2009년도에는 9건으로 증가한 것은 주요한 성과로 이들의 평가가 제대로 수행된다면 국내에서 개발한 GM작물의 승인 및 시장의 출시가 임박하였다는 사실을 확인할 수 있었다. 포장시험단계에 있는 과제들이 추진하고 있는 GM식물들을 도입형질별로 분석하여 요약한 결과를 Table 3에 요약하였다. 가장 많은 형질전환식물이 제초제저항성 유전자를 도입한 것으로 벼 (Ryu and Kim 2006; Jeong et al. 2007), 배추 (Cho 2006), 감자 (Seo 2006), 잔디 (Lee and Bae 2005; Kim et al. 2010) 고추 (Jeong 2008; Hong et al. 2010), 유채 (RDA 2010), 콩 (RDA 2010), 옥수수 (RDA 2010) 등 이었으며, 무생물적 스트레스 내성 유전자를 도입한 벼, 해충저항성 유전자, 토크페롤함량이 증가된 배추, 바이러스저항성 감자, 품질 개선용 유전자가 도입된 잔디, 바이러스저항성 유전자가 도입된 고추, 유채, 콩, 옥수수, 그리고 비타민A 또는 E의 함량을 증가시킨 벼, 콩, 그리고 채소작물 등에 관한 것들로 조사되었다. 특히 이 중 잔디의 경우는 재배용으로 신청이 되어 1차 심사결과 보완 요청과 함께 재심 자료를 준비 중에 있는 것으로 조사되었다. 뿐만 아니라, 생물환경정화용 포플러 (Lee and Kim 2010) 등도 현재 포장시험이 수행되고 있는 것으로 조사되었다.

농촌진흥청에서 수행 중인 GM식물의 개발 현황

이미 언급한 바와 같이 농촌진흥청에서는 그동안 다양한 종류의 GM식물을 개발하기 위하여 노력한 결과 18작목 88종의 GM식물을 개발 하기위한 연구과제들이 수행 중인 것으로 보고되었으며 (이 2009a), 이들을 식물별로 정리한 결과 벼가 29종으로 가장 많았으며, 대표적인 도입된 형질은 biotic stress에 해당하는 흰잎마름병, 줄무늬마름병, 흑명나방 등의 병·해충 저항성 등 이었으며, abiotic

Table 3 Summary of GM plants under field trial in South Korea

Species	Traits	References
Rice	Herbicide resistance Abiotic stress resistance Fortified Vitamin A, E Flavonoid, OsPT, Resveratrol, Rice leaf roller (folder), tPA,	Ryu & Kim, 2006 Jeong et al. 2007 BioGreen 21 (2009) Kim (2010)
Chinese Cabbage	Herbicide resistance Insect resistance Tocopherol	Cho, 2006 BioGreen 21 (2009)
Potato	Virus resistance Herbicide resistance	Seo, 2006
Turf grass (<i>Zoysia japonica steud</i>)	Herbicide resistance, Quality control, etc	Lee & Bae, 2005 BioGreen 21(2009) Kim et al. (2010)
Hot pepper	Herbicide resistance Virus resistance, etc	Jeong, 2008, BioGreen21 (2009) Hong et al. (2010)
Canola	Herbicide resistance Virus resistance, etc Bioethanol	BioGreen21 (2009) RDA*
Corn	Herbicide resistance Virus resistance, etc	BioGreen21 (2009) RDA(2010)
Soybean,	Fortified Vitamin A, E	Biogreen 21 (2009) RDA(2010)
Apple	Flowering, etc	RDA(2010)
Chrysanthemum	Flowering	RDA(2010)
Sweetpotato	Abiotic stress resistance	RDA(2010)
Poplar	Bioremediation	Lee & Kim (2010)

* RDA, Rural Development Administration

stress에 해당하는 내염성, 내재해성, 차세대 분자농업용으로 혈전용해제 (tPA), 안토시아닌, 베타카로틴 등의 생산을 위한 것들이었다. 한편 배추가 9건으로 역시 biotic stress, abiotic stress, 분자농업용 특성을 도입하고자 하였으며, 특히 개화관련 유전자를 이용하여 품질을 개선하기 위한 연구도 진행 중에 있는 것으로 조사되었다. 이외에도 유채 (6건), 콩 (5), 감자 (4), 톨페스큐 (4), 사과 (3), 알팔파 (3) 그리고 2건 이하에 해당하는 작물로 고추, 토마토, 박, 마늘, 페추니아, 국화, 옥수수, 담배, 선인장, 벤트그라스 등이 개발 중에 있는 것으로 보고되었다 (Fig. 8) (이 2009a).

한편 한국농업생명공학안전성센터 (Korea Agricultural Biosafety Information Center, KABIC, www://nabic.naas.go.kr)에서 제공하는 정보에 따르면 농촌진흥청에서 개발 중에 있는 이들 GM 작목 중 일부는 포장시험의 승인을 득하여 환경 또는 인체의 위해성 평가를 동시에 진행 중에 있는 것으로 조사 되었으며 상세한 현황을 Table 3에 추가로 국내에서 추진 중인 모든 포장시험 단계의 GM작물로 요약하였다. 개화 조절이 가능한 사과, 국화, 각종 재해 저항성을 나타내는 고구마, 바이오연료생산용 유채, 특히, Flavonoid, 카로티노이드 Resveratrol, 혈전용해제 (tPA)를 생산하는 차세대 분자농업용 벼, 인산흡수율을 증진

시킨 벼, 흑명나방 저항성 벼 등으로 가장 많은 종류의 GM벼가 포장시험이 진행 중인 것으로 보고되었으며 이 중에서 흑명나방 저항성 GM벼가 안전성 평가연구의 진행속도가 가장 빨라 조만간에 환경위해성 평가를 위한 심사를 신청할 것으로 전망되었다 (RDA 2009, 2010).

적 요

지난 십년까지 상업화가 승인된 GM작물들의 특성을 보면 첫 단계에는 제초제저항성, 해충저항성, 바이러스 저항성 유전자가 도입된 작물 등으로 농업적 생산성을 증가시키기 위한 단일유전자가 도입된 것들이었으나 최근 들어 지방산 조성을 변경하거나, 특정 필수아미노산의 함량을 증가시키거나, 또는 화색을 변경 시킨 제 2세대 GM식물들의 승인건수가 점차 증가하는 추세에 있다. 뿐만 아니라, 현재 국가별로 심사 중에 있거나 환경위해성 평가용 자료를 생산하기 위하여 제한된 구역에서 포장시험을 수행하고 있는 것으로 알려진 GM 작물들을 보면 가뭄, 냉해 등에 내성이 강한 무생물적 스트레스 내성 작물, 녹색 성장의 주역이 될 biomass 증가, 또는 바이오디젤연료 생산 작물, 그리고 각종 의료용 및 산용 특수물질

을 생산하는 분자농업용 작물 등이 주를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 또한 아직은 실험실 또는 연구실 수준에서 성공하여 전문 학술지 또는 다양한 언론매체를 통하여 보도된 자료들을 분석한 결과에서도 이러한 차세대 GM 작물들의 개발건수가 현저하게 증가하고 있다. 특히 분자농업용 GM작물의 개발 건수가 가장 많은 것으로 조사되었다. 국내의 경우에도 비슷한 추세로 다양한 연구과제가 진행 중에 있는 것으로 조사되었으며, 국내에서 개발되어 최초로 환경위해성 평가를 신청한 GM 작물은 제초제 저항성잔디로서 현재까지 심사가 진행 중에 있으며, 이외에도 향후 신청을 위하여 포장시험이 진행 중에 있는 GM 작물들이 벼, 고추, 배추 등 약 10여종으로 이들 중 벼에 관한 건수가 가장 많았으며 그 중에서도 흑명나방 저항성 벼가 가장 많은 연구가 진행되어 곧 환경위해성 평가를 신청할 것으로 조사되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 (code 2009010106003000 10400) 및 바이오그린 21사업 (code 20070301034017), 그리고 진주산업대학교 2010년도 기성회연구비에 의하여 수행되었다.

인용문헌

- 강태진 (2004) 식물분자농업시스템과 생산품, *BioWave* 6:1-20
- 김성우 (2008) 세계 GM작물의 연구 개발 및 상업화 동향. *Biosafety* 9:78-91
- 이상재 (2009a) 농업용 LMO 개발 및 재배현황, GMO 안전성 커뮤니케이션 심포지엄 (농업연구용 GMO안전관리), 농촌진흥청 pp 37-65
- 이신우 (2006) 식물분자농업(Plant Molecular Farming)산물의 환경위해성 평가, *Biosafety* 7:60-80
- 이신우 (2008) 유전자변형생물체의 연구개발 및 산업화, 2008 *Biosafety White Paper*, pp 202-212
- 이신우 (2009b) 식물을 이용한 신약공장 시대의 도래, *Biosafety* 10:22-33
- 이신우 (2009c) LMO연구개발, 2009 *Biosafety White Paper*, pp 246-253
- Cho HS (2006) 유전자변형 배추의 개발과 환경위해성 평가 현황. *Biosafety* 7:4-19
- Daniell et al. (2001) Medical molecular farming: production of antibodies, biopharmaceuticals and edible vaccins in plants? *Trends in Plant Science* 6:219-226

- Einsiedel EF, Medlock J (2005) A public consumption on plant molecular farming. *AgBioForum* 8:26-32
- Hong JS, Choi JK, Park HS, Lee SN, Ryu KH (2010) Comparison of isolates of cucumber mosaic virus for risk assessment of CMV-resistant transgenic hot pepper. The commemorative international symposium for the 50th anniversary of KSABC. pp 275
- James C (2003) Global review of commercialized transgenic crop. ISAAA Brief 24
- James C (2009) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009. The first fourteen years, 1996 to 2009. ISAAA Brief 41
- Jeong SC, Park IS, Cho EY, Youk ES Park S, Yoon WK, Kim CG, 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
- Jeong SC (2008) Current status of development and event-dependent genetic analysis of genetically modified crops in Korea. *J Plant Biotechnol* 35:23-29
- James C. (2003) Global review of commercialized transgenic crop. ISAAA briefs No. 24
- Kim JK (2010) Making the drought tolerant GM rice plants. The commemorative international symposium for the 50th anniversary of KSABC. pp 205
- Kim JI, Lee HY, Song PS (2010) Development and application of genetically engineered turfgrass varieties with higher commercial values. The commemorative international symposium for the 50th anniversary of KSABC. pp273
- Lee HY, Bae TW (2005) 제초제 저항성 GM 들잔디의 개발 및 환경위해성 평가현황. *Biosafety* 6:4-13
- Lee YS, Kim SW (2010) Transgenic poplar plants for phytoremediation. The commemorative international symposium for the 50th anniversary of KSABC. pp 201
- Marie-France H(2003) Plant Molecular Farming : Issues and challenges for Canadian Regulators, Consumer Affairs Offices, Industry, Canada
- Naqvi S, Zhu C, Farre G, Ramessar K, Bassie L, Breitenbach J, Perez Conesa D, Ros G, Sandmann G, Capell T, Christou P (2009) Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways. *Proc Natl Acad Sci USA*.106:7762-7767
- RDA (농촌진흥청) (2009) 어젠다 중신 제5차 농업과학기술, 중장기 연구개발 계획(2009 -2017). ISBN : 978-89-480-0294-293520
- RDA (농촌진흥청) (2010) 2009 농업과학기술 개발 사업 주요연구성과. ISBN 978-89-480-0603-2
- Ryu TH, Kim DH (2006) 유전자변형 벼의 개발과 환경위해성 평가현황. *Biosafety* 7:20-32
- Seo HW (2006) 유전자변형 감자의 개발과 환경위해성 평가 현황. *Biosafety* 7:33-46