

유전자변형식물의 국내 연구 현황

이신우*

진주산업대학교 농학부 작물생명과학과

Current Research Status on the Development of Genetically Modified Plants in Korea

Shin-Woo Lee*

Department of Crops Biotechnology, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

ABSTRACT In an attempt to evaluate the current research status of genetically modified (GM) plants, the scientific research publications in Korea as well as in international SCI journals were screened. About 190 research articles related to the development of GM plants were searched from 10 different domestic journals in the last 12 years (Jan. 1990 to Sept. 2002). The researches in 65 articles were carried out with tobacco plant, 20 with rice, 19 with potatoes, and less than 9 articles from each other plant species, respectively. In total, 38 different plant species were being subjected for the development of GM plants. In particular, there was only one article for each major staple grains such as wheat, barley, soybean, and maize. In more than 47% of total published articles, scientists mainly focused on the basic research such as developing transformation system (46 articles), gene expression study in transgenic plants (34), and vector constructions (10). In addition, 28 articles which main authors are Korean scientists were searched from 11 different international SCI journals. Again, major plants for GM research were tobacco (10) and rice (7). More than 50% of published articles were focused on the basic research, gene expression study with transgenic plants (16). The publications on the research of disease-resistant plants were 7 articles, 3 for the development of stress-resistant and 2 for the herbicide-resistant plants, respectively. It is believed that the last 10 year's investment through government organizations has just strengthen the capacity for the next big stride on agricultural biotechnology in Korea.

Key words: GM plants, research publications, domestic journals, SCI journals

서 론

최근, International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application (ISAAA)의 보고서에 따르면 2002년 전 세계 유전자 변형 (Genetically Modified: GM) 작물의 재배 면적은 14,500만 에이커에 달했고, 이는 2001년 대비 12% 증가한 수치이다. 이 중 GM면적이 1,680만 에이커, 옥수수수는 27% 증가

한 3,060에이커, 대두는 10% 증가한 9,020에이커였다. 이로 인하여 GM대두의 경작지는 최초로 전 세계 대두경작지의 50%를 넘어서게 되었다 (James 2003).

GM작물의 재배 면적이 증가하면서 작물의 종류 및 도입된 유전자의 특성도 다양하게 됨에 따라 UN국제기구의 생물 다양성협약 당사국 회의 (Convention on Biodiversity)에서 바이오 안전성 의정서 (Biosafety Protocol)를 채택하게 되었다. 이는 국가간 이동되는 GM Organism (GMO)에 대한 사전통보 승인제도 (Advanced Informed Agreement: AIA)를 수립하여 모든 회원국은 수출하고자 하는 유전자 변형 생물체에 대하여 사전에 관련 정보를 수입국에 제공하여 수입국의 승인 통

*Corresponding author Tel 055-751-3227 Fax 055-751-3229
E-mail shinwlee@cjcc.jinju.ac.kr

보를 얻어야 수출이 가능케 되는 제도적 장치를 마련 하고자 한 것이다.

선진국들은 이미 자국에서 개발한 GM 농산물의 data base (DB)화는 물론 안전 관리에 관한 규제 법령 혹은 지침을 마련하여 수출하기 위한 관리 절차를 준비 중에 있으며, 관련 정부 행정 담당 기관은 사전에 새로이 개발되어 상품화가 될 것으로 예상하고 있는 GM 농산물에 대한 안전성 평가 절차에 관한 지침 및 법령을 마련하여 개발이 완료됨과 동시에 상품화 허가를 하여 외국으로 수출이 가능하도록 제도적으로 철저한 뒷받침을 하고 있다. 예로써 캐나다, 미국 등은 현재 인체 건강에 중요한 약리성 물질을 생산하도록 변형시킨 유전자 변형 작물의 상품화가 임박하였다는 사실을 확인하고 이에 대한 안전관리 및 안전성 평가 절차, 심사 기준 등에 관한 초안을 마련하였으며 부처별로 검토 작업을 하고 있다.

반면에, 우리나라의 경우는 GM 농산물의 개발만이 우리 농업의 살길을 개척할 수 있다는 의지와 함께 새로운 제품의 개발에는 비교적 많은 투자를 하고 있으나 안전관리 및 안전성 평가에 관한 투자는 아직까지 선진국에 비하여 부족하다. 최근에 산업자원부 주관으로 「바이오 안전성 의정서」의 이행을 위한 모범으로 「유전자 변형 생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률」을 제정하였으며 현재 각 부처별로 시행령을 제정하고 있다. 또한 농림부는 농촌진흥청과 함께 「농업 연구 관련 유전자 재조합체 실험 및 취급 규정」(농진청 훈령 제 548호)을 마련하여 운용하고 있으며, 임의 규정으로 2002년 1월 「유전자 변형 농산물 환경 위해성 평가 지침」을 마련하여 심사 기관을 농촌진흥청으로 지정하여 유전자 변형 농산물의 안전성 평가를 위한 법적, 제도적 기틀을 마련하고 있다.

그러나 아직 국내에서 개발 중에 있는 GM 식물에 대한 정확한 통계가 없는 실정이며 따라서 앞으로의 추세에 관한 정확한 정보가 부족한 것이 현실이다. 다만, 지난 해에 농촌진흥청에서 개발 중에 있는 18작물 45종에 대한 정보와 이중 제초제 저항성 벼와 바이러스 저항성 감자는 안전성검증절차를 추진 중에 있다는 정보만 알려져 있다.

따라서 본 조사 연구에서는 국내·외 학술지에 게재된 논문을 검색하여 GM 식물의 연구방향, 진척도, 상품화 가능성 등에 대한 분석을 통하여 우리나라의 국가 경쟁력 및 현주소를 확인하고, 앞으로의 추세분석을 통한 향후 투자 방향 등을 설정하기 위한 기초 자료로 활용하고, 특히 국내의 GMO 안전 관리 체계 구축에 이용하고자 하였다.

국내 관련 학술지의 조사를 통한 GM식물의 개발현황 분석

조사된 학회지는 한국농화학회지, 한국원예학회지, 한국생화학회지, 한국식물생명공학회지 (전 한국식물조직배양학회지), 한국식물병리학회지, 한국분자·세포생물학회지, 한국육종학

회지, 한국식물학회지, 한국생물공학회지, 한국유전학회지의 10개 학술잡지로서 1990년 1월부터 2002년 9월 현재까지의 GM 식물 개발 관련 논문을 발췌하여 분석하였다. 총 204편의 관련 논문이 검색되었으며 이 중 총설 등에 해당하는 논문을 제외한 190편에 대하여 분석을 수행하였다.

Figure 1은 연구대상 식물을 조사한 것으로서, 담배를 대상으로 한 논문이 65편으로 가장 많았으며, 벼(20), 감자(19), 토마토(9), 인삼(8), 상추(7), 애기장대(6), 양배추(5) 등의 순으로 발표되었고, 당근, 더덕, 오이가 각각 4편씩 발표되었고, 유채와 고추냉이가 각각 3편씩 발표된 것으로 조사되었다. 이 외에도 고구마, 구기자, 구절초, 감국, 국화, 난초, 독말풀, 돈란, 무, 미나리, 밀, 배추, 병풀, 사과, 세티드제라늄, 연꽃, 오차드그라스, 옥수수, 보리, 유자나무, 은사시나무, 카네이션, 콩, 포플러, 현삼, 후추나무, 등이 각각 2편 미만으로 발표되어 식량작물과 근채류, 화훼류, 과수 등 원예작물뿐만 아니라 일부 산림에 해당하는 식물까지 다양한 GM 식물 개발 관련 연구논문이 발표되었다. 한편 주곡작물은 벼를 대상으로 연구한 논문이 20편으로 가장 많았으나, 그 외의 주곡작물인 콩, 옥수수, 밀, 보리 등은 각각 1편씩의 논문만이 발표되어 벼에 대한 연구가 가장 활발함을 보였다.

한편, 연구 논문의 주요특성을 형질전환기술, 프로모터 및 유용유전자의 개발을 위한 기초연구 (유전자발현) 등 16개 항목으로 구분 조사한 결과를 Figure 2에 요약하였다. 본 자료는 이미 언급한 바와 같이 1990년 1월부터 2002년 9월까지 발표된 논문으로 범위를 제한하여 조사한 것이다. 따라서 생명공학 기술을 이용한 유전자 변형 식물의 개발에 관한 기초연구인 작물별 형질전환 기술 확립에 관한 연구 논문이 46편으로 가장 많았던 것으로 조사되었다. 이들은 거의 대부분이 카나마이신 저항성 유전자 혹은 GUS reporter 유전자를 사용한 형질전환 연구로 조사되었다. 또한 유용유전자의 발현도 조사, 프로모터 개발을 위한 유전자분석, 형질전환된 유전자의

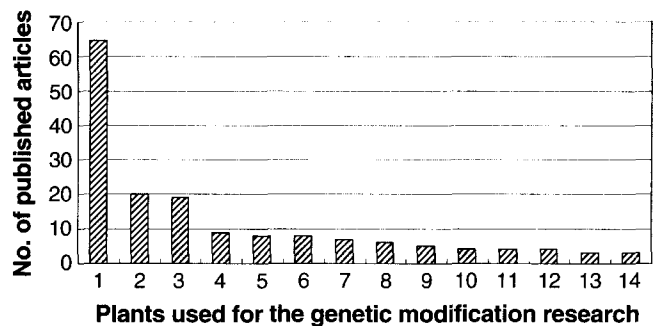


Figure 1. Plants under the genetic modification research (published in domestic journals). In number of X axis, 1, Tobacco; 2, Rice; 3, Potato; 4, Tomato; 5, Ginseng; 6, Others; 7, Lettuce; 8 Arabidopsis; 9, Cabbage; 10, Cucumber; 11, Carrot; 12, *Codonopsis lanceolata*; 13, Rape seed; 14, *Amoracia rusticana*; and the plants less than 2 articles were not indicated.

조직 특이적 발현, 단백질 발현 수준 등을 조사한 기초 분석 연구 논문이 34편, 운반체 개발 10편, 선발마커의 개발 9편 등 기초연구에 해당하는 논문이 약 50%를 차지한 것으로 조사되었다.

실제 GM 식물을 개발하기 위한 연구 논문으로 내병성 작물(25편), 불량 환경을 극복시키기 위한 재해 저항성 작물(16편), 내충성(11), 제초제 저항성(6), 유용단백질생산(5) 등으로 밝혀졌으나, 이들 GM 식물 역시 아직 초기 단계의 연구결과를 발표한 것으로 실용화 수준까지는 많은 연구가 필요한 것으로 조사되었다. 그러나 최근 몇 년 동안에 보다 정교한 유용유전자의 개발과 함께 다양한 종류의 형질 전환체의 개발에 관한 연구, 즉 유용물질과 단백질생산, 영양성분강화, 각종 재해 저항성 작물의 개발 등이 활발하게 발표되고 있는 것으로 조사되어 그 동안 정부차원의 지속적인 R&D투자의 결과로 기반 조성을 하였던 것으로 분석된다.

한편, Figure 3은 년도별 논문 게재 건수를 조사한 것으로 1996년도에 29편으로 가장 많은 GM 식물 개발 관련 논문이 발표되었으며, 1998년도에 24편, 2001년도에 20편, 1991, 1992, 2000년도에 각각 16, 15, 15편 등의 순으로 발표되었다.

2002년도에는 9월 현재까지의 결과를 조사하여 다소 낮은 11편이 발표되었다. 이 결과는 각 식물별로 형질전환기술의 확립에 관한 연구가 가장 왕성하게 수행되었던 시기인 1996년을 정점으로 하여 점차 증가하였다가 감소된 추세로서, 후반부에는 아마도 독창적이고, 국내 고유의 GM 식물을 개발하기 위한 유용유전자의 발굴, 고유 프로모터의 개발 등에 관한 기초 연구에 몰두하고 있었던 시기라고 사료된다.

Figure 4는 국내에서 발행되는 학술지별로 GM 식물 개발 관련 논문게재 현황을 조사한 것으로서, 2002년부터 식물생명공학회지로 명칭을 변경한 식물조직배양학회가 100편의 논문을 수록하여 GM 식물 개발 관련 연구의 학술활동을 대표하는 학술지로 조사되었으며, 한국분자세포·생물학회(전 분자생물학회)가 33편, 한국식물학회지(19), 한국원예학회지(11), 한국농화학회지(10) 등의 순으로 조사되었다.

한편 이들 연구 논문들을 실험실, 온실, 포장 시험 단계 등 3단계로 구분하여 개발 단계별 현황을 분석한 결과, 단지 6건(3.2%)에 해당하는 연구 논문이 실험실 수준에서 형질 도입이 확인된 GM 식물에 대하여 온실 및 포장에서 연구를 수행하였다는 보고가 있었다 (Kim and Hong, 1992; Lee et al. 1994; Park 1996; Choi et al. 1996; Chung et al. 1998; Lee et al. 1998).

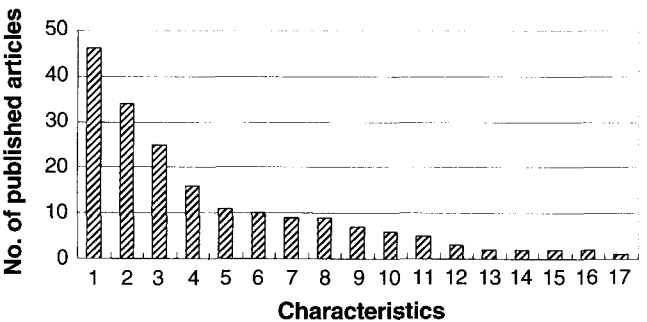


Figure 2. Characteristics of GM plants under development published in domestic journals. In number of X axis, 1, transformation technology; 2, gene expression; 3, disease-resistance; 4, stress-resistance; 5, insect-resistance; 6, vector development; 7, hairy root culture; 8, selective marker; 9, others; 10, herbicide-resistance; 11, useful protein; 12, flower color modification; 13, delayed ripening; 14, nutrient modification; 15, male sterile plants; 16, modified fatty acid composition; 17, useful compounds.

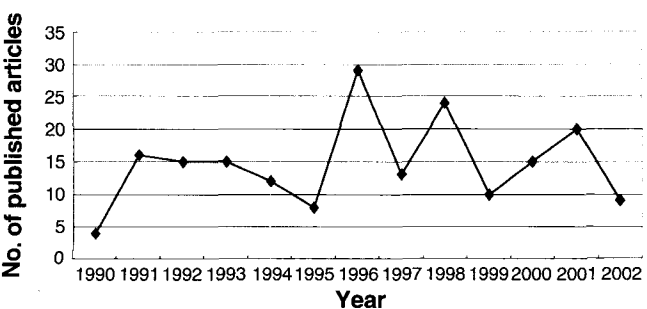


Figure 3. Published article numbers of research results on the development of GM plants by year in domestic journals.

SCI 학술잡지의 조사를 통한 국내의 GM식물 개발 현황 분석

국내 학자들의 GM 식물 개발 관련 연구 결과가 SCI학술지에 수록된 건수를 조사하기 위하여 미국의 국립보건원(National Institute of Health: NIH)의 도서관(National Library of Medicine)에서 운영하는 PubMed program ([Http://www.nih](http://www.nih)).

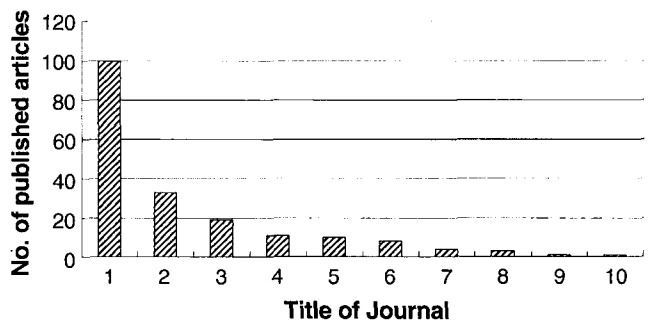


Figure 4. Published article numbers related to developing GM plants by the title of domestic journals. In number of X axis, 1, Korean J. of Plant Biotechnology (formerly Korean J. of Plant Tissue Culture) 2, Molecules & Cells; 3, J. of Plant Biology; 4, J. of Korean Society in Horticultural Science; 5, Agricultural Chemistry and Biotechnology; 6, Korean J. of Biotechnology & Bioengineering; 7, J. of Biochemistry and Molecular Biology; 8, Korean J. of Breeding; 9, Korean J. of Genetics; 10, Korean J. of Plant Pathology.

gov/science/library.html)을 이용하고 국내 연구자들의 영명 및 initial은 한국 분자세포·생물학회의 인명록을 참조하여 1995년 1월부터 2002년 9월 현재 기준으로 조사한 결과 총 28건의 논문이 검색되었다.

Figure 5는 연구 대상 식물별로 분류한 것으로 역시 담배를 이용한 연구 논문이 10편으로 가장 많았으며 벼가 7편, 애기장대 5편, 고추와 무 (radish)가 각 2편, 감자가 1편이었고, 담배와 애기장대를 동시에 연구한 논문이 1편으로 조사되었다. 벼 이외의 주요작물에 해당하는 옥수수, 밀, 보리, 콩 등에 관한 연구는 없는 것으로 조사되었다.

조사된 연구 논문의 내용을 분석하여 GM 식물별 특성을 조사한 결과, 16편에 해당하는 논문이 프로모터, 유용유전자 등의 개발 및 유전자 발현 등을 조사한 기초 연구 논문에 해당하였으며 7편이 내병성, 3편이 재해저항성, 2편이 제초제 저항성 GM 식물을 개발하기 위한 연구로 분석되었다 (Figure 6).

SCI 학술지에 수록된 GM 식물 개발 관련 연구 논문을 분석한 결과, 3건의 연구 논문만이 온실 수준에서 연구가 수행된 것으로 보고되었으며 (Kim et al. 1997; Suh et al. 1998; Lee et al. 2000), 포장 단계까지는 아직 1건도 발표가 되지 않아서 대부분이 실험실 수준의 연구 결과를 발표한 것(25건)으로 분석되었다 (Figure 7).

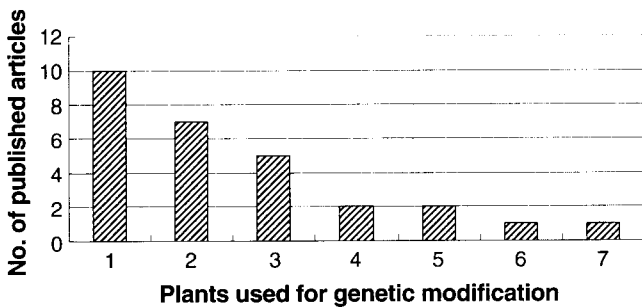


Figure 5. Plants under genetic modification research (published in international SCI journals). In number of X axis, 1, Tobacco; 2, Rice; 3, Arabidopsis; 4, Pepper; 5, Radish; 6, Tobacco/Arabidopsis; 7, Potato.

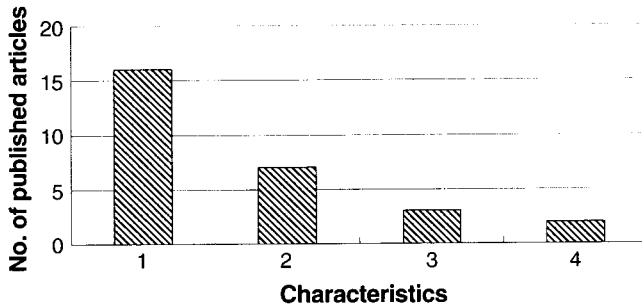


Figure 6. Characteristics of GM plants under development published in international SCI journals. In number of X axis, 1, gene expression study with transgenic plants; 2, disease-resistance; 3, stress-resistance; 4, herbicide-resistance.

이러한 결과는 GM 작물의 기초 연구 결과가 실용화 혹은 상품화가 되기 위하여서는 농가 실증 시험, 지역 포장시험 등의 체계를 갖춘 농촌진흥청 혹은 품종 보급 시스템이 확보된 종묘회사 등의 적극적인 투자가 뒷받침되어야 한다는 사실을 지적하여 준다. 즉, 연구는 대학 및 기초 연구 기관, 실용화와 산업화는 농촌진흥청, 종묘회사 등으로 역할구분을 하는 것이 효과적인 것으로 보인다.

Figure 8은 연도별로 SCI 학술지에 게재된 GM 식물 개발 관련 연구 논문 건수를 조사한 것으로, 국제적 수준의 연구결과를 발표한 연구논문의 건수가 해마다 증가하고 있는 것으로 조사되었다.

이들 GM 식물 개발 관련 연구 논문을 각 학회지별로 게재 현황을 분석한 결과를 Figure 9에 요약하였다. 9편의 논문이 게재된 Mol. & Cells 저널은 한국분자세포·생물학회지로서 국내에서 발간되는 학술지이다. 이는 국내 학술지의 조사, 분석에도 포함된 수치이며 33편의 논문 건수와 차이가 나타나는 원인은 국내학술지는 1990년도부터 조사된 것으로서 동 학술지가 SCI 학술지로 등재되기 전에 게재된 논문을 포함하였기 때문이다.

한편 국외에서 발행되는 SCI 학술지로서 Plant Cell Physiology와 Plant Molecular Biology에 각각 3편씩이 게재되었으며 Gene, Plant Cell, Plant Journal, Plant Physiology, Transgenic Research에 각각 2편, FEBS Letter, Proceedings of

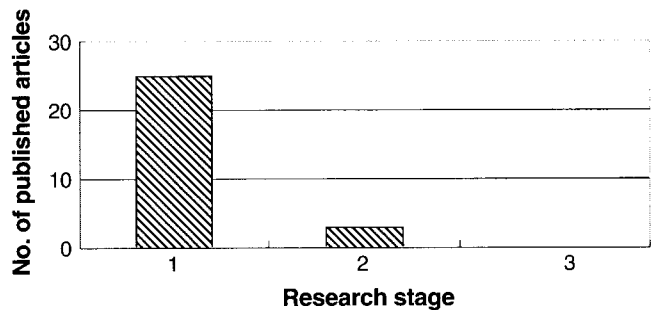


Figure 7. Research stage on the development of GM plants (published in international SCI journals) In number of X axis, 1, laboratory; 2, green house; 3, field test.

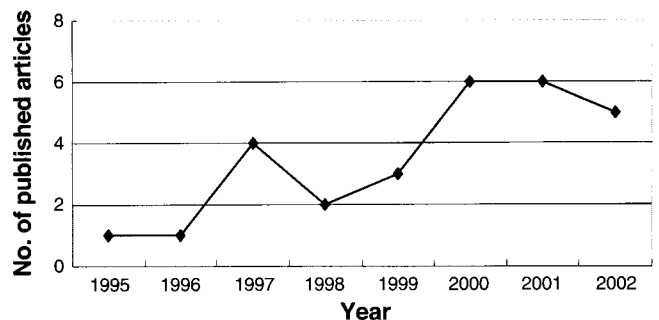


Figure 8. Article numbers related to the development of GM plants by year published in the international SCI journals.

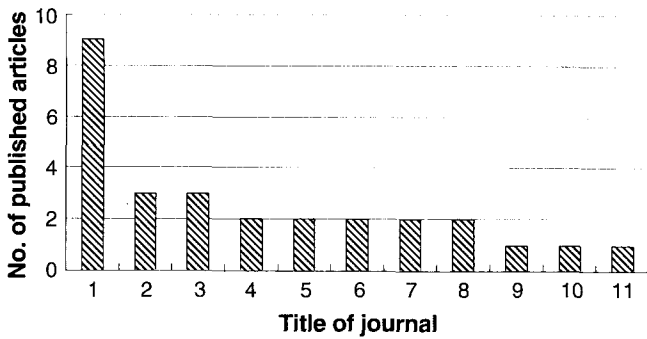


Figure 9. Article numbers related to the development of GM plants by the title of journals published in the international SCI journals. In number of X axis, 1, Mol. and Cells; 2, Plant Cell Physiol.; 3, Plant Mol. Biol.; 4, Gene; 5, Plant Cell; 6, Plant J.; 7, Plant Physiol.; 8, Transgenic Res.; 9, FEBS Lett.; 10, Plant Cell Reporters; 11, Proc. Natl. Acad. Sci.

the National Academy of Science of the United States of America와 Plant Cell Reporters지에 각각 1편씩이 발표된 것으로 조사되었다. 특히 최근에 들어와서 우수한 국제 학술지에 국내 학자들의 논문 게재 건수가 지속적으로 증가되고 있어 그간에 정부 투자기관 등에서의 R&D 투자 결과가 연구 역량을 배가시키고 있다는 사실을 증명하여 준다.

적 요

본 연구에서는 10종의 국내 학술지와 11종의 SCI 학술지에 국내 학자들이 게재한 GM 식물 개발 관련 논문을 분석하여 국내의 GM 식물 개발 현황을 조사하였다. 국내 학술지의 경우 지난 1990년부터 2002년 9월까지 발표된 총 204편중에서 총설 등에 해당하는 논문을 제외한 190편에 대하여 분석한 결과, 담배를 대상으로 한 연구 논문이 65편으로 가장 많았으며, 벼가 20편으로 2위를 차지하였으나 다른 주요 곡류 작물인 옥수수, 밀, 콩, 보리 등은 각각 단 1편씩의 연구결과가 발표 되었다. 대부분의 연구가 기초 연구인 형질 전환 기술의 확립(46편), 유전자 발현기술(34), 유전자 운반체 개발(10) 등에 해당하는 논문들이었으나 최근 들어 유용물질 및 단백질 생산 작물 및 영양성분이 강화된 작물 등 품질을 개량하기 위한 연구가 점차 많이 발표되는 것으로 조사되었다. 연도별 논문의 발표건수는 1990년도부터 점차 증가하여 1996년도에 최고치(39편)를 기록한 후 다시 감소하는 경향을 보였으며 식물생명공학회가 100여 편의 GM 식물 개발 관련 논문을 게재함으로써 이 분야에서는 주된 학술지인 것으로 조사되었다. SCI 학술지의 경우에도 담배를 대상으로 한 연구가 10편으로 가장 많았으며 벼가 7편, 애기장대가 5편 등으로 발표되었으나, 주곡작물인 옥수수, 밀 보리, 콩 등은 단 1편의 논문도 발표 되지 않았으며, 유전자 발현 기술 등에 해당하는 기초연구 논문이 16편으로 50%를 차지하였으며 내병성이 7편, 재해저

항성이 3편, 제초제 내성이 2편 등으로 조사되었다. 한편, SCI 학술지의 논문 게재 건수는 해마다 꾸준히 증가하는 추세에 있으며 impact factor가 높은 우수한 국제 학술지에도 점차 게재 건수가 많아지고 있는 사실을 확인할 수 있었으나 실험실, 온실 등에서 유전자의 도입이 확인된 GM 식물에 관한 안전성 평가 연구의 일화인 포장 시험 연구 결과에 관한 논문은 거의 없는 것으로 조사되었다.

사사 - 본 연구는 한국생명공학연구원 바이오안전성센터 연구비로 수행된 연구의 일부이며, 본 연구의 자료수집 및 분석에 도움을 준 경상대학교 윤한대 교수 연구실 및 경북대학교 농업기술연구소 원성혜 박사에게 감사드립니다.

인용문헌

Choi KH, Jeon JH, Kim HS, Joung YH, Lim YP, Joung H (1997) Genetic transformation of intact potato microtuber by particle bombardment. *Kor J Plant Tiss Cult* 24: 87-91

Chung JD, Kim CK, Jo JK (1998) Expression of chinese cabbage glutathione reductase gene in lettuce (*Lactuca sativa L.*). *Kor J Plant Tiss Cult* 25: 267-271

Crop Functional Genomics Center (2001 ~ 2002) Annual report, Crop Functional Genomics Center, 21C Frontier Program of the Ministry of Science and Technology

James C. (2003) Global review of commercialized transgenic crop. ISAAA briefs No 24.

Kim SJ, Lee SJ, Kim BD, Paek KH (1997) Satellite RNA mediated resistance to cucumber mosaic virus in transgenic plants of hot pepper (*Capsicum annuum cv. golden tower*). *Plant Cell Reporters* 16: 825-830

Kim YK, Hong CB (1992) Inheritance of kanamycin -resistance gene in transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum L.*) plants. *Kor J Plant Tiss Cult* 19:151-157

Lee HY, Lee CH, Kim HI, Han WD, Choi JE, Kim JH, Lim YP (1998) Development of Bialaphos-resistant transgenic rice using *Agrobacterium tumefaciens*. *Kor J Plant Tiss Cult* 25: 283-288

Lee HJ, Lee SB, Chung JS, Han SU, Han O, Guh JO, Jeon JS, An G, Back K (2000) Transgenic rice plants expressing a *Bacillus subtilis* protoporphyrinogen oxidase gene are resistant to diphenyl ether herbicide oxyfluorfen. *Plant Cell Physiol* 41: 743-749

Lee HY, Nou IS, Kim JH, Liu JR, Lee JS, Kim HJ, Kameya T (1994) Development of Bialaphos resistance transgenic tobacco plants by pollination and utilization of fertilization cycle. *Kor J Plant Tiss Cult* 21: 99-103

Park SW (1996) Selection of TMV resistant cell lines in progeny of transformed tobacco plants with TMV coat protein cDNA. *Kor J*

Plant Tiss Cult 23: 293-297
Suh MC, Choi D, Liu JR (1998) Cadmium resistance in transgenic

tobacco plants expressing the *Nicotiana glutinosa* L. metallothionein-like gene. Mol Cells 8: 678-684

(접수일자 2003년 2월 10일, 수리일자 2003년 3월 3일)