

# 작물 육종의 분자생물학적 연구동향

## Current Status on Molecular Researches for Plant Breeding

박 효 근

서울대학교 농업생명과학대학

### I. 서언

한국식물학회가 중심이 되어 식물생명공학 심포지움을 개최한 지도 벌써 9년이 되었다. 지난 8회의 심포지움을 통해 이 나라 식물생명공학 발전에 크게 이바지하였다. 이 번 제9회의 심포지움 주제인 “식물육종과 분자생물학의 만남”은 참으로 시의 절적인 것이다. 분자생물학은 인류의 복지 향상을 위해 실로 여러 분야 즉 의료, 보건, 환경, 에너지 자원, 공업 자원 및 농업 등에서 크게 기여하고 있다. 식물에 대한 분자생물학적 연구의 대부분은 작물의 육종과 관련된 분야라고 생각된다. 생명공학적 육종기법은 분자생물학에 그 기초를 두고 있으며, 그 연구 결과는 식물 육종가에 의해 최종 활용된다. 오늘 이 심포지움 개최의 참된 의미는 우선 식물육종분야 연구가와 분자생물학분야 연구가가 한 장소에서 서로의 관계를 재음미하면서 앞으로의 발전을 모색하는 자리라고 생각한다.

필자는 분자생물학을 전공하지 않은 식물육종의 한 연구가임을 분명히 하고자 한다. 식물의 생명공학적 육종기법에 관한 연구의 최종 이용자 즉 end-user는 식물 육종가이다. 오늘 나는 end-user의 한 사람인 육종가의 입장에서 국내외의 생명공학적 육종기법의 연구현황과 전망을 살펴 보고자 한다. 나는 아주 분명한 잣대로 생명공학적 육종기법의 연구 현황을 살펴보며 평가할 것이다. 즉 그 잣대란 기초 연구에 해당하는 생명공학적 육종기법이 end-user인 육종가에게 얼마나 유용한 것인가 하는 것이다. 그리고 그 기법들을 언제쯤 실제 육

종 현장에서 사용할 수 있으며, 실제 사용함에 있어 예상되는 문제점이 무엇인 지도 알아 보고자 한다. Vasil (1990)이 강조한 것과 같이 생명공학적 육종기법은 전통적 육종을 결코 대체할 수는 없는 것이고, 부분적으로 보완할 수 있을 뿐이다. 특히 현재 가장 강조되는 부분은 전통적 육종방법으로는 도저히 활용할 수 없는 유전자의 활용이다. 즉 유전자 재조합을 이용한 형질전환이다. 이를 중심으로 살펴보고자 한다.

## II. 한국의 재배작물군별 중요성과 육종 현황

작물의 생명공학적 육종기법을 구체적으로 논하기 앞서 현재 우리 농작물에 대한 작물군별로 그 중요성, 육종의 주체, 전통육종에서 사용되는 주된 육종 방법, 및 현재 재배되고 있는 품종의 국산화율을 표 1에 요약하였다.

1993년 통계치로 경종 작물의 총생산액은 약 15조원이다. 이 중 약 46%인 7조2000억원이 벼를 중심으로 한 식량작물에 의한 것이다. 벼 한 작물이 농가 조수익에 6조 이상 기여하고 있다. 벼를 포함하여 보리, 감자, 옥수수 등 약 30종의 작물군에 속한다. 이들의 대한 육종은 정부 연구기관인 진흥청 산하 작물 시험장 등에서 수행하여 왔고, 장려품종의 종자 생산과 대 농민 공급은 농촌진흥청 산하 종자공급소에서 담당하고 있다. 해방후 50년여간 약 335품종이 육성되었다. 국내 육성 품종의 대 농민 보급율은 상당히 높은 편이다. 아직도 “아끼바레” 등 일본 육성 품종들이 일부 재배되고 있다. 벼의 경우 장려품종의 대부분은 계통육종법 (pedigree method)에 의해 육성된 것이다. 이를 육성과 종자 보급에 관해서는 일종의 사업법이 주요농작물 종자법에 의해 규제된다. 채소의 경우 주요 작물은 14종 정도이고 연간 4조 5천억의 정도의 생산이 있다. 여러 작물들중 유일하게 민간종묘회사가 이들 채소 품종을 육성하고 있다. 상추를 제외하고는 거의 일대교잡종이 재배되고 있다. 극조생 양파, 토마토, 시금치 등 몇가지 채소를 제외하고는 국내품종 점유율이 거의 100%이다. 단 종자 생산은 약 50% 정도 중국, 미국, 호주등에서 생산하여 반입하고 있다. 연간 약 1,000만 불 상당의 종자를 수출하고 있다. 수입은 해외채종분을 제외하면 약 900만불 정

Table 1. Importance of cultivated crops in Korea, and their main breeding forces, methods and for breeding

Crops	Production value		Main breeding forces	Main methods of breeding	Kind of cultivars	No. domestic var.	% of local var.	Level of breeding
	Billion won	%						
Cereals, & tubers	7,203	45.9	Governmental	pedigree	pure lines	335	≈ 80%	med-high
Vegetables	4,555	29.1	Private	Heterotic breeding	F <sub>1</sub> 's	1,390	≈ 100	high
Fruit trees	1,708	10.9	Governmental	introduction	clonals	28	≈ 0	med.
Monopolized crops	805	5.1	Governmental	introduction	pure lines	?	≈ 30	med.
Ornamentals	390	2.5	Governmental	introduction	clonals & F <sub>1</sub> 's	?	≈ 30	low
Oil crops	252	1.6	Governmental	pedigree	pure lines	30	≈ 100	med-low
Medicinal herbs	239	1.5	Governmental	seperation	clonals	?	≈ 100	med-low
Mushroom	219	1.4	Governmental	Protoplast fusion	lines	32	≈ 100	high
Forages	?	?	?	Introducation	F <sub>1</sub> 's & clonals	?	≈ 0	low

Source: '94 Statistic book of Agricultural, Forest and fishery Department.  
Other evaluations are more or less fairly subjective.

도이다. 채소의 경우 일대교잡종의 종자 생산을 위해 옹성불임성과 자가불화합성을 이용하고 있는데, 우리 종묘회사들이 실용적인 측면에서는 손색없이 이들을 사용하고 있으나, 선진외국의 과수의 국내 육종은 복숭아를 제외하고는 아직 미미하여 농가재배품종의 거의 100%가 일본에서 도입육종된 것이다. 다만 포도의 경우는 구미 품종이 대부분이다. 복숭아의 경우 '유명'이라는 국내 품종이 총 복숭아 재배면적의 23% 정도를

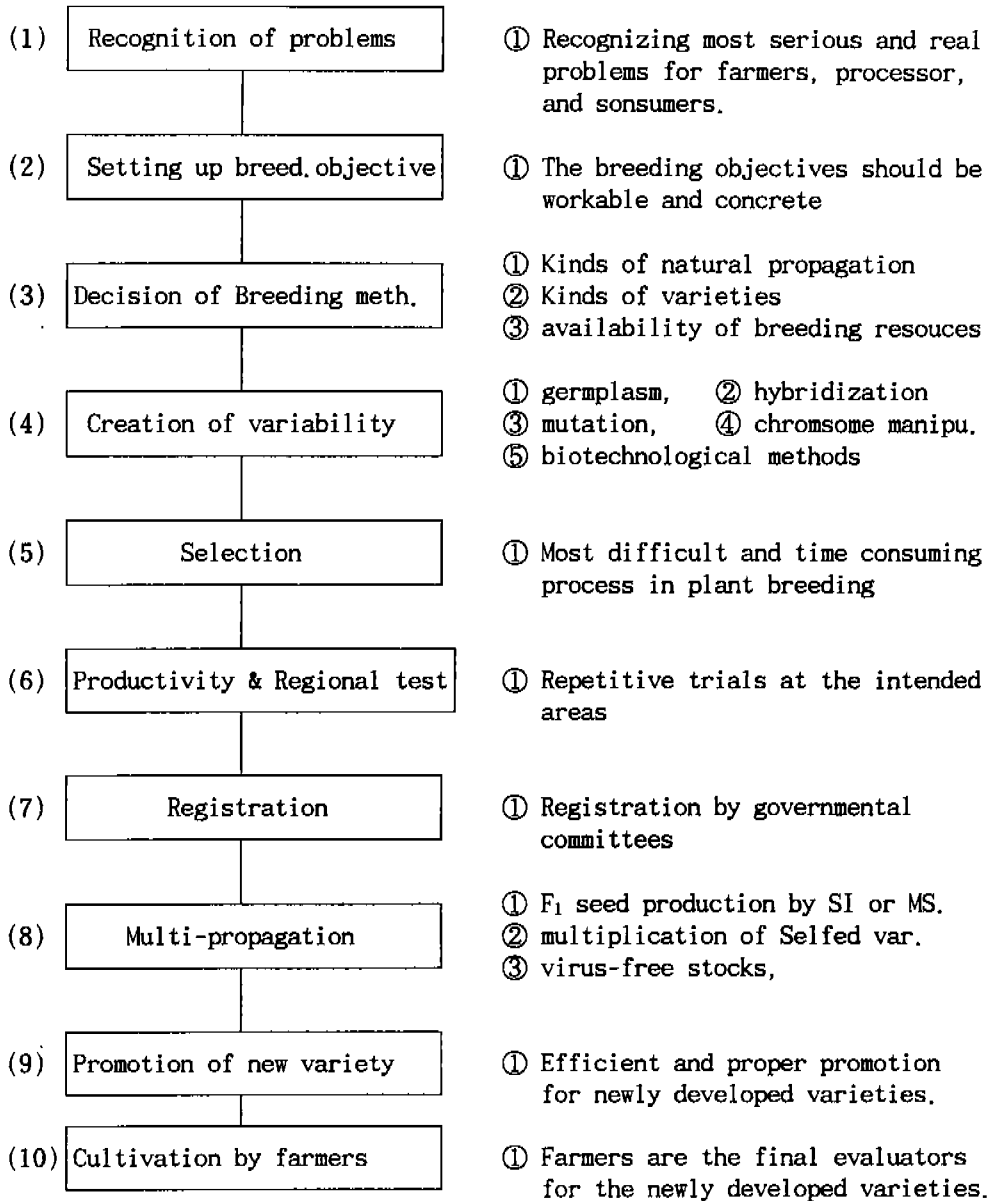
차지하고 있다. 그 외의 작물에 대한 국내의 육종 수준은 비교적 저조하나 벼 첫 단은 100% 국내 육성품종이다.

### III. 전통적 육종 과정의 개요

생명공학적 육종기법의 현황을 살펴보기 전에 재래적 육종의 효과와 그 과정의 개요를 개략적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 새로운 품종의 개발이 농업상에 갖는 의의는 ①增收, ②생산安定性 향상, ③品質의改善, ④재배한계의 확대(지역, 계절), ⑤省力化寄與(기계화 등), ⑥耐自然災害性, ⑦耐病蟲害性, ⑧收穫後の문제점改善 등이다. 한 예로서 내병성품종을 개발하게 된다면 一石五鳥가 될 것이다. 병들지 않아서 증수되고, 품질 좋아지고, 농약 적게 쓰고, 농약철 농임 절약되고, 끝으로 환경오염도 줄이게 된다.

육종이란 현재 재배되고 있는 품종보다 실용적인 특성이 더 나은 새로운 품종을 육성하는 일련의 농업 기술이며, 그 과정을 간단히 도식화하면 다음의 그림 1과 같다. 육종의 첫 단계는 문제점의 인식이다. 농민의 재배 현장에서만 아니라, 농작물의 수확후 유통과정이나, 가공과정이나, 최종소비자의 이용 과정에서 발생하는 모든 문제점이 육종의 대상이 된다. 육종의 둘째 단계는 수 많은 문제점중에서 현재 주요한 문제점을 선정하고 이를 육종적으로 극복하기 위한 구체적 육종 목표를 설정하는 것이다. 육종의 성패는 반이상 이 과정에서 결정된다. 다음은 구체적인 육종방법의 선정이다. 현재까지 수 많은 육종 방법들이 개발되고 이용되어져 왔는데 이 중에서 이번에 설정한 작물의 육종목표를 달성하기에 가장 적합한 방법 선정도 극히 중요하다. 이 단계에서 생명공학적 육종기법을 이용할 것인지 여부도 결정하게 될 것이다. 4번째 단계는 유전적 변이를 창조하거나 확대하는 일이다. 지금까지의 전통적 육종에서는 교잡이 가장 주요한 변이의 확대 방법이였다. 만약 교잡친으로 쓰여질 양친간에 약 20개의 유전자가 서로 다르며, 이들 유전자들이 독립적이라면 이 단 2개의 계통간의 교잡에서 새로 얻어질 변이는  $2^{20}$ 으로 약 100만종 이상의 새로운 계통이 생겨 날 개연성이 있다는 것이다. 물론 재래 육종의 한계의 하나로서 종내에서만 유전자원의

Figure 1. Schematic diagram for processes of the conventional breeding.



활용이 가능하나, 앞으로도 계속적으로 교잡이라는 변이 확대 수단인 계속 육종에서 활용될 것이다. 5번째 육종 단계는 선발이다. 육종 과정중 가장 오랜 시간이 소요되며, 많은 노력이 필요한 과정이다. 이 과정에서의 궁극적인 목표는 육종가가 원하는 allele들이 homozygous한 상태로 있는 단 하나의 개체를 찾아

내는 것이다. 말로서는 간단히 표현되지만 genotype를 전혀 알 수 없는 즉 phenotype만을 보면서 개체선발이나, 집단선발을 해야 하는 과정으로서, 육종가의 능력이나 자질이 판가름나는 과정이기도 하다. 사과 품종중에서 가장 인기있는 '후지'라는 품종은 29년간의 선발 과정이 있었다.

다음 6번째 육종 과정은 극히 한정적으로 선발과정에서 선발된 육종 계통들을 재배 대상 환경에서 생산성과 적응성 시험을 몇 년간 반복해서 검정하는 과정이다. 이 과정에서 우수성이 증명된 계통들을 국가가 정한 품종 등록 관련 법규에 따라 심사하고 등록하는 것이 7번째 과정이다. 현행 국내에서는 벼를 포함한 식량 작물은 '주요 농작물 종자법'으로, 채소, 과수 및 버섯은 '종묘관리법'의 규정에 의하여 심사 및 등록 과정을 거쳐야 한다.

다음 단계는 종자나 종묘를 증식하는 과정이다. 자가수정 작물의 경우에는 이 단계가 비교적 간단하나, 일대교잡종의 경우에는 농가에 공급할 종자를 경제적으로 대량 생산하는 것이 큰 과제이다. 이 단계의 최대 목표는 유전적으로 순수한 종자를 활력이 높은 상태로 생산하고, 정선하고, 가공하여, 농가에 공급하는 것이다. 이 분야만을 취급하는 학문분야가 종자학과 종자기술학이다. 선진 외국과 비교하여 우리 농학 분야에서 가장 낙후된 분야라고 생각한다. 아무리 우수한 품종이 육성되더라도 이 과정에서 종자의 부가가치적분을 획기적으로 높이지 못하면 국제경쟁력을 갖지 못하게 된다. 9번째 단계는 새로운 품조에 대한 적절한 홍보 활동이며, 특히 채소와 같은 민간 육종의 경우에는 극히 중요한 단계이다. 마지막 10번째 단계는 농민들이 실제로 새로운 품종을 재배하는 것이고, 그 재배로 부터 농민들이 만족할 만한 결과를 얻는 것이다. 육종은 보통 10년 이상 소요되는 장기적 사업이다. 이 모든 과정의 최종 평가는 이 열번째 마지막 단계에서 농민에 의해 판가름 나는 것이다.

이 10개의 단계중에서 현재 생명공학적 육종기법이 활용될 수 있는 단계는 4번째의 변이 창출이나 확대 과정과 5번째의 선발 과정이다. 생명공학적 육종기법의 개발 연구에 종사하는 많은 식물분자생물학 연구자들이 자기가 연구하고 있는 과제가 육종 전체 과정중에서 어느 부분에 어떻게 활용될 수 있을지를 명확히 이해하는 것은 대단히 중요한 과업이다. 농과대학을 포함해서 어느 대학 과정에서 식물의 생명공학적 육종기법과 관련되는 연구를 하는 학과에서는 필히

전통적 육종학 과목을 최소한 1이상 개설하여 필수적으로 모든 학생들이 이수하도록 하여야 할 것이다.

#### IV. 생명공학적 육종기법의 육종에서의 활용 평가

수 많은 생명공학적 육종기법들이 개발되어 있다. 이들을 실제적 식물 육종 측면에서의 활용을 기준으로 하여 분류하여 보았다 (표 2). 우선 위에서 설명하는 제4단계의 유전적 변이를 확대하는데 주로 활용되는 기법들, 그리고 육종의 5번째 단계인 '선발'의 효율성을 높여 주는 방법들, 그리고 육종의 8번째 단계인 종자의 증식 과정에서 활용될 수 있는 기법들, 그리고 최근에 문제가 되는 신품종 육성자의 법적 권익 보호를 위한 장치들로서 활용 될수 있는 것들로 분류하였다.

생명공학적 육종기법은 비교적 일천한 학문분야로서 1973년에 유전자 재조합 기술이 개발됨으로서 급속히 활성화 되고 있는 분야이다. 각 기법별로 발전 단계가 상이하여 어떤 기법은 아직 이론적 탐색 단계인가 하면, 어떤 기법들은 상당히 완속되어 육종가들이 조만간에 일상적으로 활용할 단계에 이를 것도 있다. 현재 육종에서의 실제 이용 정도를 표시하기 위하여 ●의 수로 표시하였다. ●표가 5개인 기법은 현재 일상적으로 활용되고 있는 것이며 (예: 바이러스 무균묘 생산, 조직배양 이용한 대량 급속 증식 방법 등), ●표가 4개인 것은 거의 최종 완속 단계에 도달하여 일부 실제 육종에 활용되고 있는 것으로 몇 가지 문제점만 보완하면 앞으로 급속히 이용될 기법들이다 (예: 유전자 재조합 기술). 그 외의 기술들은 정도의 차이는 있지만 상당한 기초 연구가 더 진행되어서 실제 육종에서 상용되는데 따른 문제점들이 극복되어야 할 기법들이다. 이 평가는 필자의 주관적 판단에 따른 것이며, 앞으로 계속 분자생물학자들과 상의하여 보완해 나아가야 할 것이다. 이번 심포지움의 주제가 육종가와 분자생물학자간의 만남인데, 이 평가 작업이 양자간의 공통 관심사가 되어서 토론의 중심과제가 되었으면 한다. 어떤 특정 생명공학적 육종기법이 무슨 문제가 있어서 육종에서의 활용에 지장이 있으며, 그 문제점을 여하히 극복할 수 있는가 등을

Table 2. Overall evaluation on the utilization of biotechnological techniques which have been used for plant breeding.

Methods of Biotechnological Techniques	Areas of utilization for plant breeding			
	Creation of Variation	Selection Efficiency	Propagation Efficiency	Breeder's Right
DNA recombination				
· Agrobacterium-mediated	●●●●● <sup>z</sup>	●●	●	●
· Direct Gene Transfer				
- Particle bombardment	●●●			
- Electroporation	●			
- pollen transformation	●			
Genomic recombination				
· Wide cross (Embryo Rescue)	●●●			
· Somatic Hybrids	●			
Cell and Tissue Culture				
· Anther culture	●	●●		
· Somaclonal Variation	●●	●●		
· in vitro Selection		●●		
· Virus-free Plant			●●●●●	
· Micro-propagation			●●●●●	
· Potato Seed tubers			●●●	
· Artificial Seed			●	
Molecular Marker				
· RFLP		●●		●
· PCR-based (RAPD)		●●●		●●
Molecular basic studies				
· Male Sterility			●●●	
· Self-Incompatibility			●●	
· Identification, Cloning, & Expression of Genes	●●●	●●●		●●
· Flower Development & Flowering system	●●●			

<sup>z</sup> Number of closed circle indicates the degree of utilization at present status. The more circles, the more utilized. Data from Park(1992)



심층적으로 토의하는 장이 된다면 육종가와 분자생물학자의 만남의 큰 보람과 결실이 될 것이라고 확신한다.

## V. 생명공학적 육종기법의 육종에서의 활용 현황

생명공학적 육종기법의 실제 육종에서의 활용 현황을 알아보기 위하여 이 기법들을 이용하여 개발된 품종의 개발 상황을 파악하였다. 우선 1993년에 Dale 등이 보고한 결과를 표 3에 요약하였다. 1991년 말 현재로 22개국에서 생명공

Table 3. Number of field releases approved in different countries up to 1991.

Country of release	Year of first release	Number of releases	Country of release	Year of first release	No. of releases
Argentina	1991	3	Australia	1991	1
Belgium	1987	42	Canada	1988	52
Chile	1987	4	China	1991	1 <sup>2</sup>
Costa Rica	1991	1	Demark	1990	3
Finland	1990	7	France	1986	83
Germany	1990	2	Israel	1991	1
Italy	1989	1	Japan	1991	1
Mexico	1991	1	New Zealand	1988	7
Spain	1988	7	Sweden	1989	4
Switzerland	1991	1	The Netherlands	1988	12
United Kingdom	1987	19	United States	1986	141
			Total		395

Source: reconstructed from Dale et al (1993)

학적 육종기법을 이용하여 최소한 한 품종 이상을 육성하여 관계 정부 부서에 포장 실험 허가를 신청한 사례들이다. 미국이 1991년 말 기준으로 141개의 포장 실험 허가를 받았다. 다음은 불란서 (83종), 캐나다 (52종), 그리고 벨지움(42종) 순이다. 표 3으로부터 여러 나라의 생명공학적인 육종기법에 관한 연구 현황을 간접적으로 짐작할 수 있을 것이다

이 분야에서 가장 앞서 가는 미국의 경우를 심층 분석하여 볼까 한다. 미국 농무성으로부터 1993년 7월말 현재의 포장 실험 허가 관련 자료를 직접 구하여 다음 표-4, 5, 6 및 7들을 작성하였다. 표 4에서는 미국에서 생명공학적 육종기법으로 육성된 계통들의 포장 허가를 연도별과 육종목적별로 분류한 것이다.

Table 4. Yearly number of releases in United States up to July, 1993.

Objective Year	Herbicides resistance	Viral resistance	Insect pest tolerace	Quality improvement	Others	Total
1987	5					5
1988	5	3	5	1	2	16
1989	12	5	9	1	4	31
1990	13	14	14	4	10	55
1991	19	15	21	9	27	91
1992	67	39	30	18	18	172
up to July, 1993	38	30	17	27	13	125
Total	159	106	96	60	74	495

Source: USDA, 1993. Environmental Release Permit.

Dale등(1993)에 의하면 미국에서 처음 포장 허가 받은 것이 1986년으로 기록되어 있으나, 미 농무성 자료에 의하면 1987년이 첫해로서 내제초제 계통 5개에 대한 포장 실험 허가가 발행되었다. 이 후 급속이 증가하여 1993년 7월말 현재 약 500품종이 허가되었다. 정태영(1995)에 의하면 1994년 단 1년에 무려

1,000건 이상의 허가가 발행되었다고 보고하였다. 이는 생명공학작 옥종기법이 바야흐로 실제 옥종에 엄청나게 이용되고 있음을 의미한다. 미국에서의 생명공학작 옥종기법의 이용현황(1993년 7월말 현재)을 작물별, 옥종목적별로 살펴 본 것이 표 5이다. 옥수수에서 총 96건의 포장 실험 허가가 났으며, 옥수수중에서는

Table 5. Number of field releases classified by crops and breeding purposes, which have been developed in only United States up to 1993.

Crops \ Breeding obj.	Viral resist.	Fungal resist.	Herbicide resist.	Insect resist.	Quality	Others	Total
1. Corn	11		44	25	3	13	96
2. Potato	27		5	18	4	19	73
3. Tomato	10	1	10	12	21	17	71
4. Soybean	1		47		1	3	52
5. Cotton			30	20			50
6. Tobacco	11	2	6	10		10	39
7. Melon	20	1					21
8. Rapeseed			4	1	14	1	20
9. Pumpkin	18	1					19
10. Alfalfa	8		3			1	12
11. Rice	1		1	3	3	3	11
12. Lettuce		1	5				6
13. Cucumber	4	1					5
14. Sunflower					3		3
15. Walnut			1	2			3
16. Apple	1			1		1	3
Others	7		3	3	6	7	24
Total	118	7	159	95	51	75	505

Source: USDA, 1993. Environmental Release Permits.

내제초제 계통 (44종)이 가장 활발하였다. 옥종목적별로는 내제초제 품종 육성이 159건으로 가장 많고, 다음이 바이러스 저항성 계통 (118종), 내충성 계통 (95종)

등의 순이다. 이를 육성한 주체별로 살펴 본 것이 표 6과 표 7이다. 표 6은 민간 회사에 의해 육성된 것이며, 표 7은 대학연구소나 정부연구소 등 공공 연구소에 의한 것이다. 민간 회사에 의해 육성된 것이 전체 약 500 계통의 86%인 425 계

Table 6. The number of releases developed by private companies in United States up to July of 1993.

Crops Company	corn	to- mato	pota- to	soy bean	cot- ton	toba cco	rape seed	al- falfa	me- lon	pump kin	oth ers	total
Monsanto	12	24	30	39	20							125
Calgene		16	3		25	4	12					60
Upjohn	6	2		5					14	15	3	46
Pioneer	22			5				7			3	37
DeKalb	12											12
Frito Lay			12									12
Holdens	12											12
Ciba Geigy	8					3						11
Hoechst Rousell	4										6	10
Northrup King	4			1	2			3				10
DNA Plant Tech		5				2					1	8
DuPont		3			3	1	1					8
Cargill	6						1					7
Crop Genetics	1										5	6
Petoseed		6										6
Others	9	10	1	2		13	4	1	5	3	7	55
Totals	96	66	46	52	50	23	18	11	19	19	25	425

Source: USDA. 1993. Environmental Release Permit.

통이다. 그 중에서도 압도적으로 많이 육성한 회사가 Monsanto로서 125종의 계통에 관한 포장 실험 허가를 받았다. 이 회사의 주 작물은 콩(39종), 감자(30종),

Table 7. The number of releases developed by public institutes in United States up to July of 1993.

Institute \ Crops	toma to	pota to	toba cco	alfal fa	rice	rape seed	me- lon	pea- nut	bac- teria	other	Total
U. of Arizona			1								1
Auburn Univ.									1	3	4
U. of California / Davis	3								1	3	7
Cornell U.										2	2
Florida Univ.			2					2			4
U. of Hawaii / Manoa										1	1
U. of Idaho		5				1					6
Iowa State U.			3								3
U of Kentucky			5								5
Louisiana State U.					11						11
Michigan State U.							2			1	3
Montana State U.		3									3
North Carolina State U.			6								6
Pennsylvania State U.					1						1
Purdue U.	2										2
Washington State U.		3									3
U. of Wisconsin				1					2	3	6
합계	5	11	17	1	12	1	2	2	4	13	68

Source: USDA, 1993. Environmental Release Permits.

토마토(24종), 목화(20종) 및 옥수수(12종)등이다. 다음 회사는 생명공학의 venture 기업이 Calgene으로서 60 계통이다. 회사별로 작물별 특성화가 다소 이

루져 있는 것으로 판단된다. 본래가 종자 회사로서는 Pioneer (옥수수 위주), DeKalb (옥수수만), Northrup King (옥수수,콩,목화, 및 알팔파) 및 Petoseed(토마토 6 계통)등이 있다.

표 7에서는 17개의 대학별 생명공학적 육종기법의 이용 현황을 작물별로 정리하였다. 1993년 7월말 현재로서는 대학에서의 실제 품종 육성은 미미한 정도이며, 하나의 특징은 대학별로 대상 작물이 대단히 특성화 되어 있다는 것이다. 거의 모든 대학에서 단 하나의 작물의 개량에 집중하고 있었다. 이 표 7은 앞으로 대학간 교류를 위해서 참고가 될 수 있을 것으로 생각한다.

미국에서의 생명공학적 육종기법의 작물 육종에서의 현황을 요약하면 다음과 같다. 작물로서는 거의 30개 작물에서 형질전환이 성공되었고, 주요한 형질전환 목적은 virus coat gene을 이용한 내바이러스성 품종, 내제초제성 품종, BT gene을 이용한 내충성 품종, 주로 antisense RNA 기법을 이용한 과실의 후속 지연시킨 품질 개선 등이다. 현재 미국의 FDA 심사까지 거쳐서 소비자의 식탁에 까지 오른 형질전환 품종은 토마토의 'flavr savr'이다. 과일의 완숙후에도 물러지지 않아 저장 기간이 대폭 연장되었다. 미국등 선진국에서의 생명공학적 육종기법에 의해 육성된 품종에 대한 환경보호차원의 안전장치가 제도화 되어 있는데 반하여 우리 나라에서는 일부 연구소에서 형질전환된 품종들이 육성되어 포장 실험중인 것으로 알고 있는데, 이에 대한 국가 차원의 등록이나 허가 절차가 전무한 실정이다. 관련기관이 조속이 필요한 절차와 안전 장치를 마련해야 할 것이다.

## VI. 형질전환 연구의 현황

유전자 조환으로 대표되는 협의의 생물공학은 지난 20여년간 눈부신 발전을 하였다. 인류의 보건 분야를 필두로 하여, 농업에도 심대한 영향을 끼치게 될 것으로 생각된다. 농업에서의 생물공학의 기여는 거의 절대적으로 식물의 육종분야에 치중되고 있다. 표 8에서는 현재 생명공학적 육종기법의 가장 핵심 기법인 형질전환 연구의 핵심 동향을 정리하였다. 실제 육종의 목적별로 구체적으

Table 8. Objectives of transformation and origin of transgenes using DNA recombination techniques for plant breeding.

Purpose of breeding	Problems or Targets in transformation	Transgene product	Origin of transgene	Crops transformed
Pest resistance	Various insect pests	Bt toxin	<i>Bacillus thuringiensis</i>	cotton, tomato, corn
	Various insect pests	Tripsin inhibitor	<i>Vigna unguiculata</i>	tobacco
Viral disease resistance	Papaya Ringspot Virus	Viral coat protein.	Papaya Ringspot V.	papaya
	Cucumber mosaic virus (CMV)	Viral coat protein.	CMV	cucumber
	Tomato mosaic V.	Viral coat protein.	TMV	tomato
	Potato leafroll luteovirus	Viral coat protein.	Potato leafroll luteovirus	potato
	Potato virus X and virus Y	Viral coat protein.	PVX and PVY	potato
Fungal disease resistance	<i>Akternaria longipes</i>	Chitinase	<i>Serratia marcescens</i>	tobacco
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Bean endo-chitinase	<i>Phaseolus vulgaris</i>	tobacco, rapeseed
		Ribosome inactivation protein	<i>Hordeum vulgare</i>	tobacco
Herbicide resistance or tolerance	Glyphosat	Analogue EPSP synthase	Various plant and microbial gene	soybean, cotton, flax
	Sulphonylurea	Acetolactate synthase	<i>Arabidopsis thaliana</i>	maize, flax, rapeseed
	Glufosinate	Phosphino-thricin acetyl-transferase	<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	sugarbeet, rapeseed, cabbage, tall fescue, tomato, alfalfa, potato, wheat
	Bromoxynil	Bromoxynil specific nitrilase	<i>Klebsiella ozaenae</i>	cotton
	2,4-dichlorophenoxyacetic acid	2,4-D monooxygenase	<i>Alcaligenes eutrophus</i>	cotton, tobacco

Table 8. Continued

Purpose of breeding	Problems or Targets for transformation	Transgene product	Origin of transgene	Crops transformed
Environmental stress tolerance	Cadmium tolerance	Metallothionein binding protein	mouse	tobacco
	Frost protection	Antifreeze protein	<i>Pseudopleuronectes americanus</i> (fish)	tomato, tobacco
	Cold tolerance	Glycerol-3-phosphate acyltransferase	<i>Arabidopsis thaliana</i>	tobacco
Food processing and quality	Improved storage	Antisense polygalacturonase	<i>Lycopersicon esculentum</i>	tomato
	Increased stearic acid	antisense stearyl-ACP desaturase	<i>Brassica rapa</i>	rapeseed
	Increased mannitol	Mannitol dehydrogenase	<i>Escherichia coli</i>	tobacco
	Increased methionine	Seed storage protein	<i>Bertholletia excelsa</i>	soybean, rapeseed
	Improve protein quality	Chicken ovalbumin	chicken	alfalfa
	Increased starch content	ADP-glucose pyrophosphorylase	<i>Escherichia coli</i>	potato
	Flavour enhancer	Synthesized monellin	Artificially synthesized	tomato
Specialty chemicals etc.	Increased lactic acid	Lauroyl-ACP thioesterase	<i>Umbellularia californica</i>	rapeseed
	Serum albumin	Human serum albumin	<i>Homo sapiens</i>	potato
	Enkephalins	Leu-enkephalin	chimeric gene, part from <i>Homo sapiens</i> and <i>A. thaliana</i>	rapeseed



Table 8. Continued

Purpose of breeding	Problems or Targets for transformation	Transgene product	Origin of transgene	Crops transformed
Specialty chemicals etc. (continued)	Cyclodextrins	Cyclodextrins glycosyltransferase	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	potato
	Male sterility system	Ribonuclease & ribonuclease inhibitor	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	rapeseed
	Biodegradable thermoplastic	Polyhydroxybutyrate(PHB)	<i>Alcaligenes eutrophus</i>	<i>Arabidopsis</i>
	Flower colour	Dihydroflavonol 4-reductase (DFR)	<i>Zea mays</i> and <i>Gerbera</i> ssp.	Petunia
Experimental studies	Gene expression	Chloramphenicol acetyl transferase	<i>Escherichia coli</i>	tobacco, rapeseed
		Neomycin phosphotransferase	<i>Escherichia coli</i>	tobacco, rapeseed
	Gene regulation	ADP glucose pyrophosphorylase	<i>Escherichia coli</i>	potato, tomato
		Sucrose phosphate synthase	<i>Zea mays</i>	tomato
	Pollen dispersal	Neomycin phosphotransferase	<i>Escherichia coli</i>	cotton
		Acetolactate synthase	<i>Arabidopsis thaliana</i>	potato
		Phosphinothricin acetyltransferase	<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	rapeseed
	Plant persistence	Phosphinothricin acetyltransferase and neomycin phosphotransferase	<i>Streptomyces hygroscopicus</i> <i>Escherichia coli</i>	rapeseed, potato, sugarbeet

Source: Reconstructed from Dale et al. (1993)

로 어떤 문제점을 해결하거나, 특정 목적을 달성하고자 하는가를 소개하고 이를

를 달성하기 위하여 필요한 유전자를 어떤 source에서 찾아 냈는지와 그 유전자의 기능을 소개 하였다. 그리고 어떤 작물에 실제 적용되었는지도 소개 하였다. 지면 관계로 각각의 경우에 관한 상세한 설명은 약한다. 참고 문헌이 필요한 분은 Dale등 (1993)을 참조하시기 바란다.

## VII. Molecular marker의 식물 육종에서의 활용 현황

관행 육종 과정에서 선발 과정은 매우 중요하면서도 가장 힘든 과정이다. 육종상 목표 형질과 가까이 연관된 질적 형질을 마커로 이용하여 선발 효과를 증진시키려는 노력들은 고전 육종 과정에서도 추진되어 왔으나, 실제로는 유용한 연관 형질을 많이 찾을 수 없었기 때문에 실제적으로는 별로 사용되지 않았다. 하지만 최근 isozyme 마커의 개발 뿐 아니라 RFLP 나 PCR을 이용한 RAPD 등의 DNA 마커는 이를 거의 무한정으로 개발할 수 있으므로, 이들을 이용하여 육종의 선발 및 여러 과정에 직, 간접적으로 활용할 수 있게 되었다.

이의 활용에 관한 최근의 연구 동향을 파악하기 위하여 CCOD (current contents on Diskette with abstracts)를 이용하여 최근 일년간 (1994년 6월부터 1995년 5월까지) 문헌 검색을 하였다. 놀랍게도 무려 268편의 논문이 불과 최근 1년간 발표되었다. 이 분야의 외국의 연구 활동을 충분히 짐작할 수 있겠다. 표 9에 molecular marker들이 어떻게 식물 육종에 활용되고 있는지 요약하였다. 우선 75편의 논문이 molecular marker를 선발의 효율성 제고에 활용하는데 관련 되는 기초연구이었다. 이중 특히 병저항성 유전자와 가까이 연관된 마커 등 유용한 형질을 간접 선발할 수 있는 DNA 마커가 많이 개발되었다고 보고되고 있으며, 실제 육종 과정에 효율적으로 사용될 수 있으리라는 전망들을 제시한다. 그리고 농업 형질 중 중요하면서도 실제 육종 과정에 선발 과정의 어려움을 겪고 있는 양적 형질의 경우에도 QTLs mapping 에 의해 유전형을 직접 선발하여 우량한 계통을 육성하거나 품종을 개발하는데 활용할 수 있으리라 기대된다. 그러나 이를 직접 육종에 활용한 연구는 아직 많지 않다.

77편의 논문은 품종간의 차이를 molecular marker의 polymorphism에서

Table 9. Utilization of RFLP and RAPD in plant breeding surveyed from 268 literatures published from June of 1994 to May of 1995.

Purpose of utilization in plant breeding	Methods of utilization	No. of crops	No. of papers
Improving selection efficiency (for particularly Backcross breeding)	Finding useful molecular markers linked with agronomic characteristic interested	15	75
Making better combinations for F <sub>1</sub> 's breeding. Protecting breeder's right.	Distinguishing inter-varietal differences	52	77
Genetic mapping	Establishing linkageship among genetic markers	27	39
Phylogenetic and evolutionary studies	Comparing genetic maps among different species	15	6
Testing purity of F <sub>1</sub> seeds	Measurement of off-types within a variety	3	3
Identification of causal pathogens for resistant breeding	Differentiating pathoges	(26)	33
Confirming transformation and somatic hybridization, Confirming paternal inheritance, Analyzing crossing-over, Estimating heterosis	with various methods		19
Total		83	268

\* The literatures were searched through the Current Contents on Diskette with Abstracts (CCOD) published by Institute for Scientific Information, USA.

찾아내 이를 일대교잡종 육성에서 양친 조합 작성에 이용하거나, 각 품종의 Fingerprinting 체계를 확립하므로써 품종가의 권리 보호를 도모하는데 유용하게 활용될 수 있는 연구들이 있다.

39편의 연구는 marker들 간의 연관관계를 구명하여 genetic map를 작성하는 것이고, 이것들을 이용하여 Tanksley등에 의해 제시된 Graphical genotype에 의해 육종 효율을 증진시킬 수 있으리라 예상된다. 벼나 토마토의 경우에는

1,000개 이상의 DNA, cDNA 또는 형태적 마커들이 염색체상에 매우 밀도 높게 작성되어 있는 상태이며, 실제 물리적 거리를 밝히는 노력들을 하고 있다. 그리고 작물마다 밀도는 다르지만 유전자 지도 작성이 많이 이루어지고 있으며, 또한 종간, 종내 혹은 품종간 분류를 위해 분자 수준의 마커를 활용하는 보고가 많은데, 이런 결과들을 이용하여 유전적 다양성을 추정하고 또한 육성하는 계통들간 유전적 거리를 짐작하여 heterosis가 가장 높은 조합을 작성하는데 응용할 수 있으리라 생각된다.

6편의 논문은 종들간의 차이를 측정하여 이를 계통분류학이나 진화학에 응용한 것이고, 3편의 연구는 품종내의 이형주를 찾아 내어 이를 일대교잡종의 종자 순도 검정에 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 현재 몇몇 국내 종묘 회사들이 수박 일대교잡종의 순도 검정에 molecular marker를 활용할 수 있게 되기를 갈망하고 있다. 16편의 논문은 식물분류에 관한 것이다. 병원균의 동정과 병의 진단에 이 molecular marker를 활용하고자 한 연구가 33편이나 되었다. 일부 작물에 감염된 병원균의 동정 및 분류에도 이 방법을 이용하여 병 진단 및 분류의 체계화를 도모하고자 하는 시도가 되고 있다. 마지막 19편의 논문은 형질전환이나 원형질체 융합 실험에서 목적유전자의 이전을 확인하거나, 부계 유전의 확인, 교차 현상에 관한 연구 및 잡종강세의 강도를 예비적으로 추정하는 것에 관한 연구이었다.

하지만, 현재 분자 수준 마커를 이용하여 직접 작물 육종에 활용된 예는 아직 보고되지 않고 있는것 같다. 이것은 분자 수준을 연구하는 그룹과 작물 육종을 실제로 하는 그룹과의 만남과 교류가 활발하지 않은 원인이 있지 않나 사려된다. 육종가의 요구와 분자 수준의 연구 결과가 상호 보완적인 결과가 되고, 또한 단순히 연구 위한 연구가 아니라 end-user(이 경우는 분명히 육종가이다)의 목적과 필요에 맞는 실제적인 연구가 더욱 많이 수행되어야 할 것이다. AVRDC에서 녹두의 바구미 내충성 육종에 Minnesota 대학의 Young과 공동연구한 것이 실제 육종에서 molecular marker를 유효 적절하게 활용한 예라고 생각된다. 거듭 강조하거니와 식물 육종에서 활용되기 위하여 분자생물학 기법을 개발 연구하는 모든 연구자들은 실제 육종에 관해 보다 구체적인 지식과 경험을 쌓아야 할 것이다.

## VIII. 결어

21세기의 식물육종은 틀림없이 분자생물학적 육종기법에 현재보다 더욱  
계 의존할 것이다. 현재 세계의 선진 각국은 생물학적 육종기법의 개발에 막대  
한 투자를 하고 있으며, 앞으로 더욱 가속하여 강화 할 가능성 마져도 있다. 우  
리 나라와 같이 이 분야에 대한 연구 인력, 자원, 실험실 여건 등 모든 여건이  
극히 열악한 나라에서는 이 분야의 연구 체계 수립, 연구비의 배분 및 연구의  
우선 순위 결정 등에서 대단히 현명한 결정을 해야 한다. 속된 말로 맵새가 황  
새 따라 가다가는 가랭이 찌져진다고 한다.

현재 수준에서의 전통적 육종 방법과 분자생물학적 육종기법간의 차이점  
과 문제점을 살펴보기 위하여 표 10를 작성하였다.

지면 관계상 모든 요소들에 관하여 양자간에 상세한 비교를 하지 않겠으  
나, 명확하게 이해되어야 할 것은 분자생물학적 육종기법은 결코 전통적 육종방  
법들 대체할 수 없다는 것이다. 오직 이를 보완 할 수 있을 뿐이다. 이를 분명  
히 이해한다면 우리가 앞으로 해야 할 일 중에 하나는 분자생물학적 육종기법에  
종사하는 모든 연구자들은 필히 전통적 육종방법에 관하여 상당한 수준의 학습  
을 하여야 한다. 최소한 자기가 현재 개발 및 연구하고 있는 생명공학적 육종기  
법이 최종적으로 육종에서 어떻게 활용될 것인지를 명확히 아는 것이 모든 여  
건이 열악한 우리 생명공학적 육종기법 연구자들의 국제경쟁력을 높이는 한 방  
법이다. 외국의 우수한 연구소들도 이를 극히 동한시 하여 생명공학적 육종기법  
에 관련된 유명한 기초 연구자들도 전통적 육종방법에는 전혀 실제적 경험이나  
이해가 없는 것으로 생각되었다. 생명공학적 육종기법을 연구하는 기초학문 연  
구자들에게 전통적 육종방법을 어느 정도 수준까지 이해하라는 것이 상당히 무  
리라는 것도 일용 인정한다. 대부분의 경우 그들의 academic training 과정에서  
단 한 과목의 육종학도 수강치 않은 경우가 대부분이라고 생각된다. 그러나 맵  
새가 황새 따라 잡는 유일한 방법은 시행착오를 최소화 하는 것이다. 제한된 인  
적 물적 재원을 전혀 낭비없이 최대의 효율로 이용해야 할 것이다. 식물에 관한  
분자생물학적 연구나 생명공학적 연구의 최대 및 최종 이용처는 식물육종이라  
는 데는 전혀 이의가 없을 것이다. end-user인 작물육종가의 한 사람으로서 식물

Table 10. Comparison between traditional breeding and biotechnological methods.

Factors compared	Traditional breeding	Biotechnological breeding
Achievement	Completely well proved, Numerous varieties have been developed by this method.	Still to be shown. Considered as being the 21st century's techniques
creating genetic variability	Mainly sexual hybridization, Mutation, Chromosomal manipulation,	Transformation using DNA recombination, Protoplast fusion, Synthesizing artificial genes
Easiness	Fairly straight forward for the most of cases.	Still fairly complicated, not yet routinized,
Stability	Introduced genes being very stable, Resistance once in a while being broken,	Transformed genes being very unstable so far, Resistance could be broken,
Time required	Very long,	Could be shorten, but not fully proven yet.
Economic of breeding	Compared with the biotech, very economical so far,	Extremely expensive yet,
Limitation	Limit in utilization of useful genes from other than own species	Only very limited characters can be improved so far,
Advantages	Very practical and well proven methods	Useful genes from totally different organisms can be used.
Consumer's acceptance	No negative response at all	Could be very serious matter,
Suggestion	Biotechnics can not substitute with the traditional plant breeding methods, but complement it. The scientists who are working on biotechnics for plant breeding should be well informed and trained about the traditional breeding.	

분자생물학적 연구진에 다음과 같은 연구의 필요성을 강조하고자 한다.

- ① 새로운 allele의 탄생 메카니즘과 이를 유발할 수 있는 방법들,
- ② crossing-over frequency를 높힐 수 있는 방법들,
- ③ 농업적으로 유용한 eukaryotic gene의 구조, 발현 및 조절에 관한 연구,
- ④ 형질전환동 생명공학적 기법들이 육종가 의해 상용화 될수 있게 하는 연구.

- ⑤ multigenic한 유용 형질의 형질 전환 방법,
- ⑥ 형질전환된 유전자를 재래 육종에 의하여 종내의 타 품종들로 이전,
- ⑦ heterosis의 실제 규명과 heterotic effect를 최대한 활용할 수 있는 새로운 육종 system의 개발,
- ⑧ 고등 식물에서 site-directed mutagenesis 방법들,
- ⑨ cell organelles에 관한 육종 방법 개발 (세포질 육종),
- ⑩ 딸기의 바이러스 무균묘와 같이 외국에서는 농민 수준에서 상용화된

기술들도 우리 나라에서는 원활히 활용되지 못하고 있다. 이의 개선책 결론적으로 무한 국제 경쟁의 21세기에 우리 농업이 계속하여 생존하고, 나아가 번영하기 위해서는 우수한 품종들이 계속적으로 육성되어야 한다. 육종 산업은 고부가가치적이며 고도의 기술집약적인 산업이다. 육종 및 종묘 산업이 우리 농업의 대외 경쟁력의 근간을 이룰수 있게 하기 위하여 정부, 육종가 및 생명공학적 육종기법 연구가들이 하나되어 장기발전계획을 수립하고, 효율적으로 집행할 수 있어야 한다. 이를 위해 이 번 심포지움의 주제 “식물육종과 분자생물학의 만남”은 참으로 시의 절적하였다. 오늘을 기점으로 양 분야간에 진정한 교류와 협조가 시작되기를 간절히 희망한다. 이를 위해서는 각자가 상대방 영역에 대한 깊은 이해가 있어야 할 것이다. 재삼 강조하거니와 생명공학적 육종기법의 최종 이용자는 육종가임을 명심해서, end-user oriented된 연구가 많이 수행되고 높이 평가 받는 학문 풍토가 되기를 바란다.

## 참 고 문 헌

- 김광호, 조수연, 문헌팔, 최해춘. 1994. “쌀의 品質 高級化와 多樣化 育種戰略”. 韓育誌 26(S):1-15. 한국육종학회
- 金寅煥 역. 1985. “한알의 종자가 세계를 바꾼다” 農振會叢書 2. 농진회.
- 김태산. 1993. 식물 유전공학. “유전공학 이론과 응용” pp182-245. 농촌진흥청 농업유전공학연구소 발행.
- 김현욱. 1995. 약육이 유전자 프로모터를 이용한 옹성불임 유기. 서울대학교 농과대학 박사학위 논문 (1995년 1학기 심사중)
- 김취천, 이돈균. 1994. “國際化 時代의 果樹品種의 高級化 및 多樣化 育種 戰略”. 韓育誌 26(S):99-124.
- 朴孝根. 1984. “園藝種苗產業의 現況과 發展方向. 1984 農業科學심포지움, p145-153. 韓國農業科學協會.
- 朴孝根 외 4인. 1992. “종묘 수출시장 확대를 위한 현황분석 및 첨단육종방법 개발 연구”. 농촌진흥청 특정과제 연구 2차년도 보고서.
- 朴孝根 외 4인. 1993. “종묘 수출시장 확대를 위한 현황분석 및 첨단육종방법 개발 연구”. 농촌진흥청 특정과제 연구 3차년도 보고서.
- 박효근, 송기환. 1994. 식물의 옹성불임성에 관한 외국문헌 자료집. pp181. 서울대학교 농업생명과학대학 원예작물육종학연구실.
- 박효근. 1994. 21세기를 향한 과학기술 발전 전략 -농림수산업 식품기술분야- 생물과학심포지움 15:60-69. 한국생물과학협회 주최.
- 박효근. 1995. 식물의 자가불화합성에 관한 외국문헌 자료집. pp205. 서울대학교 농업생명과학대학 원예작물육종학연구실 (인쇄중).
- 백경희. 1994. 바이러스 저항성 형질전환 식물체 개발 연구의 현황과 전망. 제8회 식물생명공학 심포지움. “형질전환 식물체 연구의 현황과 전망” pp75-92. 주관: 한국식물학회
- 안진홍. 1994. 형질전환에 의한 신품종 개발. 제8회 식물생명공학 심포지움. “형질전환 식물체 연구의 현황과 전망” pp177-184. 주관: 한국식물학회
- 유장렬. 1994. 국내원예작물의 형질전환 연구 현황. 제8회 식물생명공학 심포지



- 음. “형질전환 식물체 연구의 현황과 전망” pp1-26. 주관:한국식물학회
- 이수성. 1987. “2000년대 채소육종 방향설정”. 종묘협회보 1987. 12. 韓國種苗協會.
- 정태영. 1992. 작물개량에 이용되는 농업 유전공학기술의 연구 현황과 전망. “첨단 농업과학기술의 현황과 발전방향”. pp 28-36. 주최:한국농업과학협회
- 정태영. 1995. 유전공학의 이용과 농업생산성 향상. “농업생명자원의 신기술 응용” pp77-89. 주최: 성균관대학교 생명자원과학연구소.
- 정태영. 1995. 농작물에서 유전자 전환체의 안전성 확보. 생명공학동향 3:44-48. 생명공학연구소 발행.
- 최양도, 이인원, 박관화.1994. 첨단 과학 기술과 미래의 한국 농업 -농업 생물공학-. 제2회 전국농학계대학 교수 심포지움. “한국농업의 미래상과 대학교육의 혁신방안”. pp21-35. 주최:전국 농학계대학 학장협의회
- 최양도. 1992. 생명현상의 분자생물학적 메카니즘. “첨단 농업과학기술의 현황과 발전방향”. pp 13-27. 주최:한국농업과학협회
- 한문희. 1994. 21세기 생명공학 육성전략과 연구개발 계획. 생물과학심포지움 15:15-34. 한국생물과학협회 주최.
- Bennett, Alan B. and Sharman D. O’Neil (ed.). 1990. “Horticultural Biotechnology”, pp387. New York, A John Wiley & Sons, Inc.
- Caswell, M.F., K.O. Fuglie, and C.A. Klotz, 1994. “Agricultural Biotechnology, An Economic Perspective”. USDA, ERS, Agricultural Economic Report No. 687, pp52.
- Dale, P.J., J.A. Irwin, and J.A. Scheffler. 1993. The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plant. Plant Breeding 111(1):1-22.
- De Block, M. 1993. The cell biology of plant transformation: Current state, problems, prospects and the implications for the plant breeding. Euphytica 71:1-14.

- Finnegan, J. and D. McElroy. 1994. Transgene inactivation: Plant fight back. *Bio-Technology* 12(9):883-888.
- Gatehouse, A.M.R., V.A. Hilder and D. Boulter. (eds.). 1992. *Plant Genetic Manipulation for Crop Protection*. pp266. Wallingford. CAB International.
- Gould, F., A. Martinez-Ramirez, A. Anderson, J. Ferre, F.J. Silva, and W.J. Moar. 1992. Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in *Heliothis virescens*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 89:7986-7990.
- Hammerschlag, F.A. and R.E. Litz. (eds.) 1992. *Biotechnology of Perennial Fruit Crops*. pp550. Wallingford. CAB International.
- Harding, J., F. Singh and J.N.M. Mol. (eds.). 1991. *Genetics and Breeding of Ornamental Species*. pp429. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Hennecke, H. and D.P.S. Verma (eds.). 1991. *Advances in Molecular Genetics of Plant-Microbe Interactions*. Volume 1. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Kung, Shain-dow and Ray Wu. (eds.). 1993. *Transgenic Plants: Engineering and Utilization*. Volume 1. pp383, San Diego. Academic Press, Inc.
- Kung, Shain-dow and Ray Wu. (eds.). 1993. *Transgenic Plants: Present Status and Social and Economic impacts*. Volume 2. pp 265. San Diego. Academic Press, Inc.
- Lal, R. and Sukanya Lal. 1990. *Crop Improvement Utilizing Biotechnology*. pp353. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc.
- Levings, C.S. and J.N. Siedow. 1992. Molecular basis of disease susceptibility in the Texas cytoplasm of maize. *Plant Mol Biol* 19:135-147.
- Lloyd-Evans, L.P.M. 1994. Biotechnology-derived foods and the battleground of labelling. *Trends in Food Science & Technology* 5:363-367. (Copy 있음)

- Mariani, C., M.D. Beukeleer, J. Truettner, J. Leemans, and R.B. Goldberg. 1990. Induction of male sterility in plants by a chimeric ribonuclease gene. *Nature* 347:737-741.
- Mariani, C., V. Gossele, M.D. Beuckekeer, M.D. Clock, R.B. Goldberg, W.D. Greet, and J. Leemans. 1992. A chimaeric ribonuclease-inhibitor gene restores fertility to male sterile plants. *Nature* 357:384-387.
- Murray, D.R. (eds.) 1991. *Advanced Methods in Plant Breedings and Biotechnology*. pp365. CAB International, Wallingford.
- Persley, G.J. (eds.). 1990. *Beyond Mendel's Garden: Biotechnology in the Service of World Agriculture*. pp155, Wallingford. CAB International.
- Potrykus, J. 1991. Gene transfer to plants: Assesment of published approaches and results. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:205-225. (copy 있음)
- Raybould, A.F. and A.J. Gray. 1993. Genetically Modified Crops and Hybridization with Wild Relatives: A UK Perspective. *Journal of Applied Ecology* 30(2):199-219.
- Redenbaugh, K. (eds.). 1992. *Synseeds: Applications of Synthetic Seeds to Crop Improvement*. pp481, Boca Raton, CRC Press.
- Sangwan, R.S. and B.S. Sanwan-Norreel. (eds.). 1990. *The impact of Biotechnology in Agriculture. Proceedings of the International Conference 'The Meeting Point between Fundamental and Applied in vitro Culture research'*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Sawahel, W.A. 1994. Transgenic Plants - Performance, Release and Containment. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 10(2):139-144.
- Smith, R.H. and E. E. Hood. 1995. *Agrobacterium tumefaciens* Transformation of Monocotyledons. *Crop Science* 35:301-309.
- Smith, T.J. 1994. Commercial Exploitation of Transgenics. *Biotechnology Advances* 12(4):679-686.

- Vasil, I.K. 1990. The realities and challenges of plant biotechnology. *Bio/Technology* 8:296-301.
- Vasil, I.K. 1994. Molecular Improvement of Cereals. *Plant Molecular Biology* 25(6):925-937.
- 日本農林水産省農薬園芸局種苗課 編. 1988. 種苗産業の 将来ビジョン. -我が國の種苗産業の今後の 展開方向と課題-. pp120. 農林統計協會發行.