생명공학적 기법을 이용한 작물의 육종 현황

- 내병성 육종을 중심으로-

서울대학교 농업생명과학대학　　박 효 근

1. 서　언

형질전환(transformation)을 중심으로한 생명공학적 육종 기법에 의한 품종 육성의 현황을 미국을 중심으로 살펴보고자 한다. 식물의 형질전환 실험은 실험실에서 이루어지나 농가에 보급하기 위해서는 환경영향평가, 포장적응실험, 지역연락시험 등을 거쳐야 한다. 미국을 포함한 대부분의 국가에서는 형질전환에 의한 새로운 품종들의 포장 실험을 위해서는 반드시 해당 정부 관서의 허가를 받아야 한다. 이 발표에서 인용되는 통계중에 미국에 관한 것(표 1 - 6)은 미 농무성에 직접 INTERNET으로 접근하여 검색한 자료를 재정리한 것이며, 표 7과 8은 전세계에 관한 통계인데 Cornell 대학의 James박사가 1996년 인도네시아 자카르타에서 개최된 제3회 아시아 종묘협회에서 발표한 것을 재정리한 것이다.

2. 미국에 있어서의 형질전환에 의해 육성된 품종들의 포장실험 현황

미국에서의 형질전환 품종의 포장 실험은 1987년에 8건을 시작으로 매년 급속히 증가하여 1996년 7월 31일 현재 총 3,583건의 포장 실험이 수행되었다 (표-1). 허가 절차상의 큰 변화가 1993년 4월부터 있었는데, 옥수수, 토마토, 콩, 감자, 목화, 담배, 당근 등 8개 작물에 관해서는 포장실험이 허가제에서 신고제로 바뀌었다.

표 1. 미국에서의 생명공학적 기법에 의해 육종된 계통에 대한 포장실험 현황:
I. 년도별 및 정부 등록 절차별 분류

년　도	허가제도	신고제도	합　계
1987	8		8
1988	17		17
1989	35		35
1990	54		54
1991	103		103
1992	156		156
1993	158	384	542
1994	81	837	918
1995	81	988	1,070
1996. 7	100	581	681
합 계	793	2,790	3,583

자료: USDA Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

표-2 에서는 작물별 육종 목적별로 분류하였는데, 전체 3,583건중에서 내제초제 품종 육성이 31%인 1,097건으로 가장 많고, 다음이 내충성(23%), 품질개선(22%), 내병성 (13%) 및 기타 (11%)이다. 그리고 작물별로서는 옥수수가 압도적으로 많이 전체의 40%인 1,442건이나 된다. 다음은 토마토, 콩, 감자, 목화, 담배 순이다. 형질전환에 성공한 작물수는 총 47종이나 된다.

표 2. 미국에서의 생명공학적 기법에 의해 육종된 계통에 대한 포장실험 현황: II. 작물별 및 목적별 분류. (1987 - 1996. 7) (단위: 계통수)

작물	내제초제	내충성	품질개선	내병성	기타	합계
옥수수	525	495	163	58	201	1,442
토마토	11	40	337	76	25	489
콩	293		108	2	32	435
감 자	17	147	97	109	16	386
목 화	168	109	16		11	304
담 배	19	17	13	60	80	189
메 론	1		4	57	3	65
유 채	13	4	37		6	60
양호박				39	1	40
비 트	17			5		22
오 이				14		14
상 추	2			6		8
페츄니아			1	5		6
사 과		2		3		5
해바라기		1	3	1		5
당 근			2	1	2	5
고 추			2	2		4
호 도		4				4
수 박				4		4
양배추		2			1	3
가 지		3				3
파파야				2		2
자 두				2		2
딸 기			1	1		2
국 화		1				1
그레지오러스				1		1
포 도	1					1
완 두			1			1
기타(19종)	30	12	6	15	17	80
합계(총47종)	1,097	837	791	463	395	3,583
백분율(%)	31	23	22	13	11	100

자료: USDA·Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

이를 다시 수행한 연구기관별로 분류해 보면 표-3과 같다. 전체의 24%인 861건이 Monsanto한 회사에서 수행한 것이다. 전체의 75%을 15개 기관에 의하여 수행되었다. 상기 15개 회사의 본래의 주 사업 분야는 종묘회사가 5개 회사로 가장 많고, 생명공학을 위한 venture business회사가 3개, 농약 및 정밀화학 회사가 각각 2개씩이다. 미 농무성의 ARS가 유일하게 공공기관이다. 즉 미국에서의 식물 생명공학은 민간 연구기관이 주도하고 있다 하겠다.

표 3. 미국에서의 생명공학적 기법에 의해 육종된 계통에 대한 포장실험 현황: III. 개발기관별 분류 (1987-1996.7)

순위	개 발 기 관		허가제도	신고제도	합 계
	기 관 명	주업종			
1	Monsato	농약	152	709	861
2	Pioneer	종묘회사	46	317	363
3	Du Pont	화학	14	257	271
4	DeKalb	종묘회사	11	157	158
5	Calgene	Venture	74	81	155
6	Northrup King	종묘회사	14	122	137
7	AgrEvo	Venture	7	118	125
8	Asgrow	종묘회사	30	74	104
9	Ciba-Geigy	농약	13	76	89
10	ARS	정부 연구기관	32	48	80
11	Upiojn	화학	74	16	80
12	Peto seed	종묘회사	11	60	71
13	Frito Lay	식품가공	20	47	67
14	DNA Plant Tech	Venture	13	41	54
15	Cargill	곡물회사	10	40	50
	15대 기관 합계 (전체에 대한 %)		535 (67%)	2,163 (78%)	2,688 (75%)
	기타 기관		258 (49기관)	627 (99기관)	895
	전체 합계		793	2,790	3,583

자료: USDA Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

3. 미국에서의 내병성 육종을 형질전환 연구의 현황

미국에서의 내병성 육종을 위한 형질전환 연구를 분석한 결과가 표-4, 5, 6과 같다. 표-4에서는 내병성 육종을 바이러스, 곰팡이 및 박테리아로 구분해본 결과 내병성 육종 전체 505건중에 70%인 351건이 바이러스 내병성 육종이었다. 내병성 육종에 대한 총건수가 505건으로 표-2의 463건보다 많은 이유는 내병성 육종이 1차적인 목적이 아

닌 것도 포함했기 때문이다. 바이러스 다음으로 많은 것은 곰팡이병에 대한 내병성육종이고, 박테리아병에 대한 것은 불과 32건에 불과하다. 이러한 이유는 바이러스의 경우 거의 대부분이 바이러스의 coat protein gene을 저항성 유전자로 활용한 것으로 이 기술이 오래전부터 개발되었고, 사용에도 훨씬 용이하였기 때문으로 생각된다. 곰팡이병와 박테리아병의 경우에는 식물이 갖고 있는 저항성 유전자를 이용하였는데, 이의 이용은 병원균 유래 유전자 이용보다 훨씬 힘들다.

표 4. 미국에서의 작물별 및 병원균별 내병성 형질전환 육종의 현황.

(단위: 계통수)

작 물	바이러스 내 병 성	곰팡이병 내 병 성	박테리아병 내 병 성	합 계
감 자	88	38	22	148
토 마 토	51	21	5	77
옥 수 수	18	41		59
담 배	46	6		52
메 론	49	1		50
호 박	39	1		40
오 이	13	1		14
알 팔 파	9	1		10
밀	2	5		7
상 추	5	1		6
페추니아	2		3	5
비 트	5			5
수 박	4			4
땅 콩	4			4
벼		2	1	3
사 과	2		1	3
파 파 야	2			2
고 추	2			2
자 두	2			2
콩	2			2
보 리	2			2
당 근		1		1
그래지오러스	1			1
딸 기		1		1
해바라기		1		1
기 타	3	1		4
합 계	351	122	32	505

참조: 내병성 계통수가 505건이 되는 것은 내병성이 2차 또는 3차적인 목적이거나 복합 내병성인것까지 별도로 계산로 계산하였기 때문임.

자료: USDA Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

표-5에서는 주요 작물병로 내병성 육종의 대상이 되는 병들을 나열하였다. 바이러스병이 44가지, 곰팡이 병이 18가지, 그리고 박테리아 병이 4가지이다. 이는 앞으로 계속 급격히 증가할 것으로 생각된다.

표 5. 미국에서 생명공학적 내병성육종의 대상이 되는 식물병.

작 물	바이러스 병원균	곰팡이병원균	박테리아 병원균
알 팔 파	AMV		
사 과			Fire blight
보 리	BYDV		
비 트	BNYVV		
당 근		Alternaria	
옥 수 수	CMV, MCDV, MCMV, MDMV	Ear mold, Frogeye leaf spot, Northern corn leaf blight	
오 이 메 론 호 박	CMV, PRV, SMV, WMV2, ZYMV	Phytopthora	
그래지오러스	BYMV		
상 추	TSWV	Downy mildew	
파 파 야	PRV		
땅 콩	TSWV		
고 추	CMV		
자 두	PRV, PPV		
감 자	BYDV, PLRV, PVX, PVY, TRV, TVMV,	Rhizoctonia, Phytopthora, Verticillium,	Erwinia Corynebacterium, Ring spot
벼		Rhizoctonia	unspecified
콩	SbMV		
담 배	AMV, BCTV, PVY, TEV, TGMV, TMV, TSWV, TVMV,	Phytopthora, Frogeye leaf spot Botrytis cinerea	
토 마 토	BCTV, CaMV, CMV, TMV, ToMV, TYLCV, TSWV,	Alternaria solani, Phthopthora, Soft rot, Crown rot, Powdery mildew	Bacterial speck
수 박	WMV2, ZYMV,		
밀	BYDV		

자료: USDA Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

현재 내병성 육종에서 강조되는 것은 한 품종이 여러 종류의 병원균에 저항성을 갖게하는 multiple resistance 품종의 육성이다. 한 예로서 오이와 호박의 경우에는 한 품종이 5종류의 바이러스 (CMV, PRV, SMV, WMV2 및 ZYMV)에 저항성을 갖인 것도 있었다.

표 6. 미국에서의 호로과 작물에 대한 복합내병성을 위한 형질전환 사례.

Crops	바이러스의 종류					개발기관
	CMV	PRV	SMV	WMV2	ZYMV	
Cucumber	◎	◎	◎	◎	◎	Asgrow, UpJohn
Melon	◎	◎	◎	◎	◎	Asgrow, UpJohn
Squash	◎	◎	◎	◎	◎	Asgrow,
Watermelon				◎	◎	Asgrow,

자료: USDA Emvironment Permit에 대한 INTERNET 검색을 재정리함 (박효근)

4. 전세계의 식물 형질전환 식물의 포장실험의 현황

미국을 포함하여 전세계의 식물 형질전환 식물의 포장 실험 현황을 표-7에 요약하였다. 앞에서 소개한 통계와 다소 불일치하는 것은 이 통계는 1995년 12월 31일 현재이고, 내가 요약한 통계는 1996년 7월 31일 현재이기 때문이라고 생각된다. 전세계에서 수행된 포장실험을 총 3,647건이며, 이중에 선진국에서 수행된 것이 전체의 67%가 된다. 개발도상국에서는 남미 국가들이 이들 연구에 활발한데, 이는 아마 선진국에서 육성된 형질전환 품종을 현지 포장에서 실험한 것이 아닌가 생각된다. 아세아에서는 중국이 60건으로 가장 활발하였다.

표 7. 형질전환 작물의 포장실험에 관한 전세계적 통계 (1986 - 1995)

		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	합계
선진국	북미국가	3	5	26	58	91	129	200	395	697	834	2,438
	서유럽	2	7	18	35	64	75	75	102	178	240	796
	일본, 호주			4	4	3	4	7	12	26	26	86
	소 계	5	12	48	97	158	208	282	509	901	1,100	3,320
개발도상국	아프리카					1	2	1	6	6	9	25
	중국(태국)				2	2	2	5	9	11	31	62
	남 미		1	2	1	1	9	28	36	41	85	204
	소 계		1	2	3	4	13	34	51	58	125	291
구쏘련 및 동구									2	12	22	36
합 계		5	13	50	100	162	221	316	562	971	1,247	3,647

자료: James, Clive. 1996. Asian Seed 3(5):18-19.

5. 형질전환 품종의 실제 농가 보급현황

표-8에서는 1996년 농가에서의 실제로 형질전환 품종의 재배 현황이다. 이 수치는 Cornell대학의 James박사에 의한 추정치이다. 가장 먼첨 형질전환 품종을 농가에 보급 재배한 것은 중국으로서 1992년부터 CMV와 TMV에 복합내병성이 있는 담배 품종이었는데, 1996년 약 80만 정보에 이 품종이 재배되고 있는 것으로 추정하였다. 2,000년 경에는 보급율이 100%가 될것으로 예상하였다. 다음은 미국으로서 1994년에 토마토의 'Flavr Savr' (96년 재배 면적 약 5,000정보), 1995년에 목화 내충성 품종(80만 정보), 옥수수 내충성 품종(60만 정보), 콩 내제초제 품종 (약 40만 정보) 등이고, 카나다에서는 내제초제 품종이 96년에 약 8만 정보, 알젠친에서는 내제초제콩이 약 15만 정보 재배되고 있는 것으로 생각된다.

표 8. 형질전환에 의해 육성된 품종들의 상업화 현황.
1996년도 농가 재배 면적 추정치 (단위: ha)

국 가	작 물	품 종 명	재배면적 (ha)	주요 특성	개발 회사 또는 기관	허가 년도
중 국	담 배	미 상	≒800,000	CMV와 TMV 저항성	국가연구기관	1992
미 국	토마토	*Flavr Savr*	≒ 5,000	성숙과 연화 지연	Calgene	1994
미 국	목 화	*Bollgard*	≒800,000	bollworm과 budworm 내충성(Bt cryIA 이용)	Monsanto	1995
미 국	옥수수	*YieldGard*	≒600,000	corn borer 내충성 (Bt cryIA 이용)	Monsanto	1995
미 국	콩	*Roundup Ready*	≒400,000	glyphosate 내제초성	Monsanto	1995
미 국	옥수수	*Maximizer*	≒200,000	European corn borer 내충성(Bt cryIA 이용)	Ciba-Geigy	1995
미 국	감 자	*NewLeaf*	≒ 20,000	Colorado potato beetle 내충성(Bt cryIIIA이용)	Monsanto	1995
카나다	유 채	미 상	≒ 80,000	glufosinate 내제초성	AgrEvo	1995
미 국	호 박	*Freedom II*	미 상	WMV2와 ZYMV 저항성	Asgrow	1995
미 국	유 채	*Laurical*	미 상	lauric acid 고함유	Calgene	1995
미 국	목 화	*BXN Cotton*	미 상	bromoxynil 내제초성	Calgene	1995
미 국	토마토	*Endless Summer*	미 상	성숙과 연화 지연	DNA Plant Technology	1995
미 국	옥수수	*Libery Link*	미 상	glufosinate 내제초성	AgrEvo	1995
미 국	목 화	*Roundup Ready*	≒ 10,000	glyphosate 내제초성	Monsanto	1996
알젠친	콩	미 상	≒150,000	glyphosate 내제초성	Monsanto	1996
카나다	옥수수	*NatureGard*	미 상	Bt cryIA 이용한 내충성	Mycogen	1996

자료: James, Clive. 1996. APSA(Asia and Pacific Seed Association)의 1996년도 년차회의 (Indonesia의 Jakarta에서 1996. 9. 25 -27 개최)에서 주제 발표를 재요약함.