

## Compare of Agriculture Character of Drought-Tolerant GM in Large GM Field

Hyun-Suk Lee, Kyung-Min Kim\*

Division of Plant Biosciences, School of Applied Biosciences, College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

### 대규모 GM 포장에서 내건성 GM 벼의 농업적 특성 비교

이현숙 · 김경민\*

경북대학교 농업생명과학대학 응용생명학부

#### Abstract

The significance of environment change and genetic safety has been recently recognized by many genetically modified (GM) plants. This study was to evaluate the safety of drought-tolerant rice and to identify the environment variance. The GM rice of drought-tolerant rice and four check cultivars were analyzed the data on agronomic characters and principal component in large-GM crop field. There was no significant difference in agronomic characters between the drought-tolerant rice and donor plant, 'Ilmi'. Grain yield showed the standard deviation of the difference, did not significant statistically. Related to grain characters, grain appearance were similar to the drought-tolerant rice and donor plant, 'Ilmi'. In Chemical characters, brown rice of the drought-tolerant rice and a donor plant, 'Ilmi' did difference in starch and protein, however, was similar as 'Ilpum'. These results indicated that drought-tolerant rice may perform to detect genetic safety in GM plants progeny.

**Keywords** : Agronomic character, Drought-tolerant, Genetic safety, Rice

#### 서 론

최근에 전 지구적인 이상 기후, 온난화에 따른 사막화, 건조지의 대규모 관개농업에 따른 토양과 지하수의 염류화 등으로 농업 생산 환경이 급속히 악화되고 있는 실정이다(Park et al. 2009; Long and Ort 2010). 가뭄, 냉해, 고염분 등의 환경스트레스는 작물의 생산성을 저하시키는 주요 요인 중의 하나로 환경스트레스에 대한 내성을 가지는 작물의 개발은 농업적으로 매우 중요하다(Barnabas et al. 2008). Pennisi (2008)에 의하면 개발도상국의 약 75%가 농산물 생산하는 데 있으며 농산물을 생산하는 많은 세계 국가에서 식량생산을 위한 물 부족으로 생산량 감소의 주원인이 되고 있다.

세계적으로 농경지의 약 22%가, 관개토양의 40% 이상이 과도한 염류축적에 영향을 받고 있으며 한발 조건에 노출되어 있고 이러한 면적은 더욱 더 확대될 것으로 전망된다(Rhoades & Loveday 1990). 다양한 환경스트레스에서는 식물 자체의 항산화기구만으로 산화스트레스를 극복하는 데는 한계가 있어 항산화효소 또는 저분자항산화물질이

조절될 수 있는 형질전환체 개발이 필요하다(Park et al. 2009).

최근 환경스트레스 형질전환체 개발현황으로는 식물 세포내 cytokinin (CK) 합성 과정에서 속도조절단계(rate limiting step)에 관여하는 효소유전자 isopentenyltransferase gene(IPT)를 *Agrobacterium tumefaciens*로부터 분리, 수분스트레스 신호전달 개시시점에서 유도될 수 있는 Psark::IPT 운반체를 작성하여 담배에 형질전환하여 잎의 노화가 억제되었으며, 정상조건 수분양의 30% 공급으로도 수량의 손실을 최소화하는 효과를 입증하였다(Peleg et al. 2011). 또한 이스트를 이용한 고온스트레스 내성 OsFKBP20 (Nigam et al. 2009), E. coli, S. cerevisiae를 이용한 환경스트레스 기능 OsCYP2(Kumari et al. 2009), 옥수수 cyclophilin 유전자군이 염, 저온, 금속, 고온 및 상처 등의 스트레스에 발현량 증가(Marivet et al. 1992), 엽록체 산화 스트레스에 기능하는 AtCYP20-3, 전자전달단백질 Rieske축적에 관여하는 AtFKBP13(Gupta et al. 2002), Histone 단백질과의 상호작용에 의한 식물 기관발달에 기능하는 AtCYP71(Li et al.

Received: May 16, 2013 / Revised: June 15, 2013 / Accept: June 30, 2013

\*Corresponding Author: Kyung-Min Kim, Tel. 82-53-950-5710, Fax. 82-53-958-6880, Email. kkm@knu.ac.kr

©2012 College of Agricultural and Life Science, Kyungpook National University

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, Provided the Original work is Properly cited.

2007)가 있다. Xanthophyll 계열의 화합물은 항산화성질이 강하고 화학적 안정성이 높아 활용가치가 매우 높으나 인위적 합성이 어려워 최근에는 유전공학적 대사공학방법으로 식물체 내에 발현시키고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다. 특히,  $\beta$ -carotene hydroxylase 유전자는 Xanthophyll 계열의 Antioxidant 화합물을 합성하는 효소로서 이 유전자를 식물에 형질전환하여 항산화기능이 강화된 토마토를 개발한 예가 있다(Dharmapuri et al. 2002). 국내에서는 애기장대의 AKT1 potassium channel 활성 조절 유전자 CIPK23의 Knock-out에 의한 내건성 증진(Cheong et al. 2007), 애기장대의 AKT1 potassium channel 활성 조절 메커니즘을 규명(Lee et al. 2007)하였다. 벼에서는 고구마 유래 산화스트레스 유도성 프로모터에 완두 유래의 항산화효소 유전자(*PsAPX*)를 염색체에 targeting한 형질전환 운반체를 벼에 도입함으로써 건조, 염, methyl viologen, 오존, 자외선 등 다양한 환경스트레스에 내성이 증진된 형질전환 계통을 선발하였다(Park et al. 2009). 벼 유래의 건조스트레스 유도성 프로모터에 배추 유래의 항산화효소유전자(*BrMdhA*)를 과발현시킨 형질전환 벼 식물체의 RT-PCR 분석으로 특허출원 되었다(Yoon et al. 2012). 사막 식물이

갖고 있는 ‘트레할로스’ 유전자를 벼에 형질전환하여 인위적으로 조성한 논 조건에서 건조처리 기간 중 비가림 재배에 의해 AP37 과발현 형질전환 벼의 20% 이상 많은 수량성 증대를 보고되었다(Oh et al. 2009). 형질전환 벼 증가와 더불어 농업환경에 방출되어 형질전환체가 가지고 있는 잠재적 위해성을 예측하고 통제하기 위해서는 형질전환 고정계통에 대한 재배기술표준의 기초자료가 선행되어야 한다(Lee et al. 2011). 형질전환체의 농생태계 방출실험의 경우, 해충저항성이나 제초제내성과 같은 특성을 가진 작물보다는 환경스트레스에 저항성을 갖거나 기능성 특성을 가진 작물을 대상으로 하는 실험이 뚜렷이 증가하는 추세이다. 안전한 농생태계 환경, 이상기후 변화에 대비하여 무엇보다 형질전환 벼의 수량성 증가를 수립하여야 한다. 따라서 본 실험은 내건성 *CaMsrB2* 형질전환체가 모품종간 관련된 작물의 농업적인 생육특성, 수량, 현미특성 및 미질을 분석으로 안전성 검정 체계에 대한 실용적인 육종 결과를 보고하고자 하였다.

재료 및 방법



(a)

(b)



(c)

(d)

Figure 1. GM large field, (a) design of field layout (b) seedling stage (c), (d) ripening period.

### 식물재료 및 재배방법

Genetically modified(GM) 포장조성과 내건성 벼의 농업적 형질, 2개지역 특성을 위해 2012년 국립농업과학원로부터 GM 작물인 내건성벼인 *Rab21-CaMsrB2-8-1-2-2-3-1-B-B* ( $T_7$ , *CaMsrB2-8*), *Rab21-CaMsrB2-23-1-2-2-3-1-B-B* ( $T_7$ , *CaMsrB2-23*) 모품종인 ‘일미’를 분양받아 자포니카형 품종인 ‘일품’, ‘주남’, ‘백진주’, ‘낙동’, ‘추청’을 비교품종으로 포장 배치 하였다(Figure 1). 포장시험은 2011년과 2012년에 경북대학교 군위 농업생명과학대학 부속실험실습장의 GM 대규모포장(4700m<sup>2</sup>)에서 실시하였다. 5월 4일 종자소독, 5월 10일 최아된 모를 기계파종하고, 5월 14일 온실에서 경화처리 한 후 0.3% 바스타 제초제로 분사 처리하였다. 주당 3~5본씩 6월 1일에 기계이앙 하였으며, 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=90-45-57kg ha<sup>-1</sup>로 재배하였고 기타 재배방법은 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하였다.

출수 후 50일 후에 작물학적인 특성조사로 간장, 수장, 수수를 조사하였다. 수량산출을 위해서 *CaMsrB2-8*, *CaMsrB2-23* 그리고 ‘일미’는 1반복에 30주씩 3반복으로 산출하였으며, 이외 시험구 시험재료는 1반복 30주로 수확하여 자연건조한 후 정조의 수분함량이 12~15% 일 때 무게를 측정하였다. 미립특성을 조사하기 위하여 현미의 길이, 폭, 두께는 각 계통 당 50립씩 5반복으로 Vernier

Caliper (MITUTOYO, CD-15CP)로 측정하였고, 장폭비는 현미의 길이와 폭의 비로 산출하였다. 현미의 천립중은 전자저울(ARD 120)을 이용하여 100립씩 3반복 조사한 후 그 평균치를 환산하였다. 미립의 화학적 특성을 조사하고자 아밀로스, 단백질 및 지질 함량을 근적외분광분석(NIRS, Foss 6500)으로 2반복 분석하여 평균치를 구하였다.

### 결과 및 고찰

Bennet(1993)은 벼의 형질전환 과정을 통해서 발생하는 유전적 구조변화로 작물학적 변이가 유발된다고 한 바, 내건성 벼 *CaMsrB2*의 2계통과 ‘일미’, 대조구 품종들에 대한 주요 형질을 후대 농업적 특성비교를 하여 주요 농업적 형질 비교하였다(Table 1). 2011년 1년차에는 *CaMsrB2*의 2계통과 ‘일미’의 출수기에서 *CaMsrB2*의 2계통은 8월 16일과 17일, ‘일미’는 8월 17일로 차이는 없었다. 2년차에는 *CaMsrB2*의 2 계통과모품종인 ‘일미’의 출수기는 동일하였으며, 지역간 출수기 조사에서는 모품종인 ‘일미’가 3일 정도 차이가 났다. Park et al.(2008)은 형질전환체와 모품종인 ‘낙동’과 유사한 경향이었고, Bashiret al.(2004)은 형질전환체 출수기는 모품종보다 10~22일 까지 늦은 출수 경향을 보고하였다. 재배학적인 면에서 출수분리는 계통간 출수기 차이를 7일 이내에서 판단한다면 *CaMsrB2*의 2계통

Table 1. Comparison of agronomic traits of GM Rice and control varieties in 2011-2012 and area.

year/area	Lines	Heading date (day/month)	Plant length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles	Yield	
						rough rice (kg/10a)	milled rice (kg/10a)
2011 Gunwi	<i>CaMsrB2-8</i>	16/8	76±2.1 <sup>a</sup>	21±1.6	12±2.6	679	502
	<i>CaMsrB2-23</i>	17/8	77±2.2	21±1.7	12±2.3	705	522
	Ilmi	17/8	73±2.2	21±1.9	10±1.5	683	505
	Baekjinju	13/8	63±0.8	22±0.8	13±1.2	668	494
	Ilpum	13/8	75±1.5	25±1.5	12±1.3	863	639
	Junam	15/8	79±2.6	21±1.3	14±2.1	807	597
2012 Gunwi	<i>CaMsrB2-8</i>	19/8	75±3.1	20±1.1	13±2.0	486	359
	<i>CaMsrB2-23</i>	19/8	78±2.8	19±0.8	14±2.4	727	538
	Ilmi	19/8	73±2.7	21±2.0	13±1.8	724	536
	Baekjinju	19/8	80±1.5	20±0.5	11±0.7	533	394
	Ilpum	10/8	75±2.3	18±0.8	17±1.2	598	442
	Junam	17/8	75±4.9	19±1.6	14±2.7	591	437
2012 Milyang	<i>CaMsrB2-8</i>	14/8	71±1.5	19±0.7	12±2.1	593	439
	<i>CaMsrB2-23</i>	14/8	73±1.3	19±0.7	13±2.5	680	503
	Ilmi	17/8	73±2.0	21±2.0	10±1.4	665	492

<sup>a</sup>mean±SD.

과모품종인 ‘일미’간의 출수기는 유사한 경향으로 출수기 형질은 고정된 것으로 판단할 수 있다. 계통간 생육조사에서 반복간 평균 간장을 조사한 결과, *CaMsrB2*의 2 계통에서 년차별, 시험 반복별로 모품종인 ‘일미’보다 다소 3~4 cm 편차가 나타났다. 수장에서는 *CaMsrB2*의 2 계통 길이는 20.5±1.69~20.9±1.59 cm에 비해 ‘일미’는 21.1±1.89 cm이고, 지역별 수장에서 모품종인 ‘일미’는 수장에서 *CaMsrB2-23*과 유사하며, *CaMsrB2-8*은 2 cm 차이로 나타났다. 수수는 *CaMsrB2*의 2계통 11.7±2.27~12.3±2.63개이고 ‘일미’는 10.2±1.47개로 수수에서 1.5개 차이가 났으며, 년도별, 지역별 수수비교에서도 0.2 cm 차이로 거의 유사하며 다만 모품종인 ‘일미’가 *CaMsrB2*의 2 계통 보다 1.3~2.5 cm 짧았다 (Table 1). 2011년 균위하계포장에서 *CaMsrB2*의 2계통과 ‘일미’의 수량조사에서 *CaMsrB2*의 2 계통 수량이 679~705 kg/10a 으로 표준편차 간에 반복당 차이가 났으며, ‘일미’는 683 kg/10a로 산출되었다. 모품종인 ‘일미’에 비해 *CaMsrB2-8*은 다소 낮게 *CaMsrB2-23*은 높게 나타났으며, 일반 품종 중에 ‘백진주’ 668 kg/10a과 유사하였다. 2012년 2 년차 수량에서 *CaMsrB2-8*은 486 kg/10a, *CaMsrB2-23*은 727kg/10a으로 모품종인 ‘일미’ (724kg/10a)에 비해 형질전환체 계통에 따라 차이가 보였으며, *CaMsrB2-23*의 수량은 연차간, 지역 간 유사하게 산출되었다. 2년차 균위포장에서 *CaMsrB2-8*의 수량이 1년차에 비해 급격히 감소한 이유는 출수기 전까지 잎에 반점이 나타난 것으로 수량감소로 추정되었으나 잎의 반점현상과 수량 관련성 여부에 대해서는 좀 더 연구가 필요하다. Matinand Kang (2003), Furukawa et

al. (2007)은 농업적인 특성에서 일반적인 벼의 농업형질보다 초형 및 입성율, 수량성 등이 감소하였다. 그러나 본 실험에서는 수량이 2년차 정조 평균에서 134 kg/10a 수량의 *CaMsrB2-23*은 *CaMsrB2-8*,모품종인 ‘일미’보다도 13 kg/10 a 증수되었다. 정 등(Jeonget al. 2003)은 형질전환 벼의 작물학적 형질은 소수주동유전자에 지배되는 질적 형질보다는 폴리진과 환경에 영향을 받는 양적 형질의 차이가 크다고 하였다. 지역간 차이에서도 *CaMsrB2-23* 계통은 모품종인 ‘일미’ 보다 15 kg/10a 로 증수되어 *CaMsrB2-23*은 내건성인 형질전환체 이면서 수량도 모품종인 ‘일미’보다 증수되어 내건성 환경저항성 실용품종으로 수립할 수 있을 것으로 간주된다. 중국에서는 ABA와 기공개폐에 관여하는 유전자인 *SNAC1*에 의한 형질전환 벼에서 22~34% 수량성 증가(Hu et al. 2006), *OsLEA3* 형질전환 벼의 내건성이 수량 증대에 효과(Xiao et al. 2007)가 있음이 확인되었다. 내건성 특성을 가지는 형질전환체 *CaMsrB2*의 2 계통의 2개 지역 2년차에서 *CaMsrB2-23*은 농업적 형질이 모품종인 ‘일미’와 유사한 경향으로 실용적으로 고정된 계통에 대하여 반복을 두어 수량성 및 모든 특성을 검정시험에 실시할 수 있을 것으로 사료된다. 2011년 미립 특성에서 *CaMsrB2*의 2 계통 GMO 포장에서 미립길이는 재배된 *CaMsrB2*의 4.87±0.20~5.02±0.13 mm로 ‘일미’의 미립길이 4.99±0.15 mm 다소 차이가 나타났다 (Table 2). 미립폭은 *CaMsrB2*의 2.68±0.16~2.78±0.08 mm, 모품종인 ‘일미’의 미립폭은 2.84±0.08 mm로 측정되었다. *CaMsrB2*의 미립두께는 1.83±0.24~1.87±0.27 mm, ‘일미’의 미립두께는 2.05±0.10 mm로 ‘일미’가 더 두꺼웠으며,

**Table 2. Grain properties of brown rice of GM riceand control varieties in 2011~2012.**

Year	Lines	Brown rice(mm)			length/ width	1000 seeds weight(g)
		length	width	thickness		
2011	<i>CaMsrB2-8</i>	4.87±0.20 <sup>a</sup>	2.68±0.16	1.83±0.24	1.82	21.5
	<i>CaMsrB2-23</i>	5.02±0.13	2.78±0.08	1.87±0.24	1.80	18.5
	Ilmi	4.99±0.15	2.84±0.08	2.05±0.10	1.76	20.1
	Baekjinju	4.85±0.16	2.95±0.08	2.09±0.07	1.48	22.2
	Ilpum	4.67±0.24	3.00±0.09	2.04±0.09	1.56	23.8
	Junam	4.86±0.22	2.93±0.16	2.05±0.11	1.66	22.2
2012	<i>CaMsrB2-8</i>	5.08±0.17	2.88±0.11	2.00±0.08	1.76	22.0
	<i>CaMsrB2-23</i>	5.23±0.10	2.89±0.09	2.06±0.05	1.81	24.0
	Ilmi	5.11±0.13	2.93±0.09	2.47±2.08	1.74	24.0
	Baekjinju	5.21±0.14	2.98±0.09	2.17±0.07	1.75	27.5
	Ilpum	5.25±0.14	2.81±0.10	1.94±0.06	1.87	22.5
	Junam	5.10±0.14	2.93±0.09	2.08±0.06	1.74	26.0

<sup>a</sup>mean±SD.

장폭비는 *CaMsrB2*의 2 계통 보다는 '일미'가 조금 둥근 형태로 나타났다. 천립중의 무게는 *CaMsrB2*의 2 계통 18.5~21.5 g이며 '일미'의 천립중의 무게는 20.1 g으로 *CaMsrB2-23*보다는 많게 *CaMsrB2-8*보다는 적게 나타났다. 2012년에는 GM 포장에서 재배된 *CaMsrB2*의 2 계통 미립 특성에서 미립길이는  $5.08 \pm 0.20 \sim 5.23 \pm 0.10$  mm로 '일미'의 미립길이  $5.11 \pm 0.13$  mm으로 다소 차이가 났다. *CaMsrB2*의 2 계통 미립폭은  $2.88 \pm 0.11 \sim 2.89 \pm 0.09$  mm, '일미'의 미립폭은  $2.93 \pm 0.09$  mm로 유사하였다. *CaMsrB2*의 미립두께는  $2.00 \pm 0.08 \sim 2.06 \pm 0.05$  mm, '일미'의 미립두께는  $2.47 \pm 0.10$  mm로 '일미'가 더 두꺼웠으며, 장폭비는 *CaMsrB2*보다는 '일미'가 조금 둥근 형태로 Jennings 등의 미립분류에서 단원립에 포함되었으며 연차간 차이는 나지 않았다. 천립중의 무게는 *CaMsrB2*가 22.0~24.0 g이며 '일미'의 천립중의 무게는 24.0 g으로 *CaMsrB2-8* 보다는 많게 *CaMsrB2-23* 과는 거의 같게 나타났다. 천립중의 연차간 차이는 나지만 2년간 평균무게는 *CaMsrB2-8*은 21.8 g, *CaMsrB2-23*은 21.3 g 인데 비해 모품종인 '일미'의 천립중은 22.1 g으로 통계적으로 유의차는 없으며 모품종과 유사

**Table 3. Chemical content of GM rice and control varieties in GM large-field**

Lines	Brown rice (%)			
	Amylose	Lipid	Protein	Starch
<i>CaMsrB2-8</i>	23.3±0.6	1.6±0.1	6.9±0.6	75.4±0.5
<i>CaMsrB2-23</i>	23.2±0.6	1.6±0.2	7.7±0.3	74.9±0.3
Ilmi	22.8±2.4	1.9±0.1	8.2±0.2	72.5±0.3
Baekjinju	19.4±1.4	1.8±0.1	7.5±1.4	68.1±0.2
Ilpum	24.3±0.1	2.0±0.1	7.1±0.4	75.8±0.4
Junam	24.7±0.1	2.0±0.3	7.5±0.7	76.4±0.5

<sup>a</sup>mean±SD.

한 미립 표현형으로 *CaMsrB2-23* 는 후대에 안정적인 형질 발현 특성으로 나타났다.

실내선발 육종목표에서 중요한 분석조사인 데 현미품질과 식미관련 이화학적 특성을 실시한다. 내건성형질전환체 계통인 *CaMsrB2-2* 계통을 모품종인 '일미', 대조구인 '백진주' 외 2 품종의 미질관련성 여부를 NIR 분석기로 현미의 화학적인 성분을 조사하였다 (Table 3). 형질전환체와 모품종인 쌀의 화학적인 특성인 아밀로스 함량 등 모품종과 비슷하여 유사한 경향이였다 (Bashir et al. 2004, Jeong et al. 2005). 내건성 형질전환체인 *CaMsrB2-2* 계통은 모품종인 '일미'에 비해 아밀로스 함량이 0.4~0.5%, 단백질은 0.5~1.3% 낮게 분석되었으며, 전분은 2.9~4.5% 높게 분석되었다. *CaMsrB2-8, 23* 계통은 '일미'의 전분함량과 단백질함량과 유사하였다.

현미품질은 입형, 색택, 투명도 및 심복배정도 등에 의하여 선발하는 데, *CaMsrB2-8, CaMsrB2-23* 현미색은 '일미'의 현미색과 유사하였고, 백미에서는 *CaMsrB2-8, CaMsrB2-23* 는 모품종인 '일미' 보다는 균일한 색으로 나타났으며, 모품종인 '일미'는 심복백이 다소 보였다 (Figure 2). 심복백은 등숙기때 전분축적으로 인한 환경저항성 표현형으로 형질전환체 *CaMsrB2-8, 23* 계통이 환경 저항성 표현형이 여부에 보다 세밀한 실험이 요구된다.

## 요 약

환경변화 중요성과 유전적 안전성은 최근에 증가추세의 형질전환 작물에 인식되고 있다. 본 실험은 건조저항성 형질전환체 작물의 유전적인 안전성과 환경변이에 따른 농업적인 특성을 분석하였다. 내건성 형질전환체인 *CaMsrB2-8, 23* 과 모품종인 '일미' 및 일반품종을 대조구로 GM필드에서 작물학적 생육특성을 조사하였다. 농업적인 생육 특성에서 *CaMsrB2-8, 23* 계통은 모품종인 '일미'와 연차간, 지역별 평균으로 표현형은 유사하였다. 수량에서



**Figure 2. Grain trait of drought-tolerant GM, a: *CaMsrB2-8*, b: *CaMsrB2-23*, c: 'Ilmi', d: 'Junam', e: 'Baekjinju', f: 'Ilpum'.**



년도별, 지역별 차이는 있지만 통계적인 유의성은 없었다. 현미의 미립특성에서 *CaMsrB2-8*, 23은 모품종인 ‘일미’와 차이를 보이지 않았다. 현미의 화학적 성분 분석에서 *CaMsrB2-2* 계통의 전분과 단백질함량은 모품종인 ‘일미’보다 일반품종인 ‘일품’ 화학적 성분함량이 유사하였다. 본 실험결과에서 내건성 형질전환체인 *CaMsrB2-8*, 23는 GM 작물의 후대에서도 유전적인 안전성과 함께 수행될 수 있을 것으로 사료된다.

주요 추가어: 농업적 특성, 내건성, 유전적 안전성, 벼

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 차세대 바이오그린21사업 (GM 실용화사업단: PJ009505032013)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌

- Barnabas BK, Jager K, Feher A (2008) The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ* 31:11-38.
- Bashir K, Husnain T, Fatima Z, Latif S, Mhdi A, Riazuddin S (2004) Field evaluation and risk assessment of transgenic indica basmati rice. *Molecular Breeding* 13:301-312.
- Bennet J (1993) Genetic engineering: Genes for crop improvement. In: Rice Genetics V, eds Setlow JK (Plenum Press, New York), pp. 165-189.
- Cheong, YH, Pandey GK, Grant JJ, Batistic O, Li L, Kim BG, Lee SC, Kudla J, Luan S (2007) Two calcineurin B-like calcium sensors, interacting with protein kinase CIPK23, regulate leaf transpiration and root potassium uptake in *Arabidopsis*. *The Plant Journal* 52:223-239.
- Dharmapuri SC, Rosati P, Pallara R, Aquilani F, Bouvier B, Giuliano CG (2002) Metabolic engineering of xanthophyll content in tomato fruits. *FEBS Letters* 519:30-34.
- Furnkawa T, Maekawa M, Oki T, Suda I, Iida S, Shimada H (2007) The Rc and Rd genes are involved in proanthocyanidin synthesis in rice pericarp. *Plant J* 49:91-102.
- Gupta R, Mould RM, He Z, Luan S (2002) A chloroplast FKBP interacts with and affects the accumulation of Rieske subunit of cytochrome b<sub>f</sub> complex. *PNAS* 99:15806-15811.
- Hu H, Dai M, Yao J, Xiao B, Li X, Zhang Q, Xiong L (2006) Overexpressing a NAM, ATAF, and CUC (NAC) transcription factor enhances drought resistance and salt tolerance in rice. *PNAS* 103(35):12987-12992.
- Jeong OY, Jeong Y, Jeong P, Cho YS, Ryu HY, Choi HC, Hwang HG (2003) Investigation of agronomic characters with herbicide resistance in rice. *Treat of Crop Res* 4:30-36.
- Kumari S, Singh P, Pareek S, Pareek A (2009) Heterologous expression of a salinity and developmentally regulated rice cyclophilin gene (*OsCyp2*) in *E. coli* and *S. cerevisiae* confers tolerance towards multiple abiotic stresses. *Mol Biotechnol* 43:95-96.
- Lee HS, Yi GH, Park JS, Seo SC, Sohn JK, Kim KM (2011) Analysis of the weediness potential in vitamin A enforced rice. *Kor J Weed Sci* 31:119-125.
- Lee SC, Lan WZ, Kim BG, Cheong YH, Pandey GK, Lu G (2007) A protein phosphorylation/dephosphorylation network regulates a plant potassium channel. *PNAS* 104(40):15959-15964.
- Lee SG, Im IB, Kim DS, Pyon JY (2006) Competition effects of *Echinochloa crus-galli* and *Monochoria vaginalis* on rice growth and yield. *Kor J Weed Sci* 26:262-269.
- Li H, He Z, Lu G, Lee SC, Alonso J, Ecker JR (2007) A WD40 domain cyclophilin interacts with histone H3 and functions in gene repression and organogenesis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 19:2403-2416.
- Long SP, Ort DR (2010) More than taking the heat: crops and global change. *Curr Opin Plant Biol* 13:241-248.
- Matin MN, Kang SG (2010) Morphological characteristics of the rice (*Oryza sativa* L.) with red pigmentation. *Journal of Life Science* 20(1):22-26.
- Marivet J, Frendo P, Burkard G (1992) Effects of abiotic stresses on cyclophilin gene expression in maize and bean and sequence analysis of bean cyclophilin cDNA. *Plant Science* 84(2):171-178.
- Mittler R, Blumwald E (2010) Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annu Rev Plant Biol* 61:443-462.
- Nigam N, Singh A, Sahi C, Chandramouli A, Grover A (2009) SUMO-conjugating enzyme (Sce) and FK506-binding protein (FKBP) encoding rice (*Oryza sativa* L.) genes: genome-wide analysis, expression studies and evidence for their involvement in abiotic stress response. *MGG* 279(4):371-383.
- Oh SJ, Kim YS, Kwon CW, Park HK, Jeong JS, Kim JK (2009) Overexpression of the transcription factor AP37 in rice improves grain yield under drought conditions. *Plant Physiol* 150:1368-1379.
- Park HM, Kim YH, Choi MS, Lee JE, Choi IS, Shin DB, Lee JY, Kwak SS, Kwon SY (2009) Chloroplast-targeted expression of PsAPX1 enhances tolerance to various environment stresses in transgenic rice. *Korean J Breed Sci* 41(3):261-270.

- Park JE, Lee IY, Kweon SJ, Ghimire SR, Shin DH (2008) Comparison of pollen characteristics of Nakdongbyeo and leaf folder (*Cnaphalocrocismedinalis*) resistant rice of its transgenic line. *Kor J Weed Sci* 28:420-426.
- Peleg Z, Reguera M, Walia H, Blumwald E (2011) Cytokinin mediated source-sink modifications improve drought tolerance and increases grain yield in rice under water stress. *Plant Biotech J* (in press).
- Pennisi E (2008) The blue revolution, drop by drop, gene by gene. *Science* 320: 171-173.
- Shinozaki K, Yamaguchi SK (2007) Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J Exp Bot* 58:221-227.
- Xiao B, Huang Y, Tang N, Xio L (2007) Over-expression of a *LEA* gene in rice improves drought resistance under the field conditions. *Theor Appl Genet* 115:35-46.
- Yang S, Vanderbeld B, Wang J, Huang Y (2010) Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. *Mol Plant* 3:469-490.
- Yoon HS, Kim IS, Kim YS (2012) Usage of plant-derived *dhar* or *mdhar* genes as controllers of plant crop yields and environmental stress. PCT/KR2012/000864