

비타민 A 강화 벼의 잡초화 가능성 분석

이현숙¹, 이기환², 박종석³, 서석철³, 손재근¹, 김경민^{1*}

Analysis of the Weediness Potential in Vitamin A Enforced Rice

Hyun-Suk Lee¹, Gi-hwan Yi², Jong-Sug Park³, Suk-Cheol Seo³
Jae-Keun Sohn¹ and Kyung-Min Kim^{1*}

ABSTRACT The purposes of this study were to analyze the weediness potential associated with ‘Vitamin A enforced rice’ and to evaluate the relationships between growth characteristics and environmental adaption related to survival ability in the natural environment. ‘Vitamin A enforced rice’, ‘Nagdong’, donor variety of ‘Vitamin A enforced rice’ and three other varieties were used for this study. The ‘Vitamin A enforced rice’ was experimented according to ratio of ripened grain, shattering of grain, germination traits, germination ratio of low temperature, emergence ratio after wintering, ratio of viviparity, and growth ratio after ratooning ability. ‘Vitamin A enforced rice’ was not significant between ‘Nagdong’ and other varieties in seven characters. Germination ratio was similar of Vitamin A enforced rice’ and ‘Nagdong’, but average germination ability of was different at low temperature. Also, shattering of grain and germination ratio of alternating temperature were significant between ‘Nagdong’ and other varieties. These results suggested that the relationships between growth characteristics and environmental adaption in ‘Vitamin A enforced rice’ could be applied to the stability of weediness potential and biosafety guide in GM rice.

Key words: rice; shattering; Vitamin A; viviparity; weediness potential.

¹ 경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부, 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370번지(Division of Plant Biosciences, School of Plant Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea).

² 농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, 627-803 경남 밀양시 점필재로 20번지(Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang 627-803, Korea).

³ 농촌진흥청 국립농업과학원 농업생명자원부, 441-707 경기도 수원시 권선구 수인로 150번지(Biosafety Division, Department of Agricultural Biotechnology, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea).

* 연락처자(Corresponding author) : Phone) +82-53-950-5710, Fax) +82-53-958-6880, E-mail) kkm@knu.ac.kr

(Received May 30, 2011; Examined June 7, 2011; Accepted June 15, 2011)

서 언

현재 우리나라의 곡물 자급율은 30%에도 달하지 못하는 형편이며 이런 사정은 앞으로는 더 나빠질 전망이다. 현재 세계의 식량은 겨우 자급자족하고 있는 형편이지만 서기 2030년 세계의 인구는 1990년도의 53억명에서 약 90억명으로 늘어나고 1인당 곡물생산량은 1993년도의 303g에서 236g으로 감소될 것으로 예측되어 국제시장에서 주 식량원인 곡물을 포함하여 우리가 필요한 식량을 충분히 구매할 수 있는지도 매우 불투명한 전망이다. 뿐만 아니라 늦어도 서기 2030년에는 현재 북한 인구까지 포함한 8천만이 넘게 될 남북한 인구의 식량수급은 그렇게 간단한 문제가 아닐 것이다. 이와 같은 식량문제 해결과 대두되고 있는 환경문제를 해결하기 위한 방안으로 형질전환 작물의 연구개발이 성행되고 있다(Biosafety White Paper 2007). 전 세계적으로 22개의 유전자 변형 작물에서 144개의 품목이 개발되어 각국의 상황에 따라 승인이 이루어졌고, 이들 중 옥수수가 53개로 가장 많으며, 다음으로 면화(21개), 유채(15개), 콩(11개) 등의 순으로 나타났다(Biosafety White Paper 2007). 형질전환작물을 상품화하기 위하여 Bayer 등 대규모 다국적 기업에서 개발한 바스타 저항성 event 들은 GMO 안정성 검사를 거쳐 상업화 단계에 있다 (<http://cera-gmc.org/>). 하지만 개발증가에 있는 형질전환 작물이 27개국에서 39건의 유전자변형작물 오염 사례가 있었고, 여기에는 옥수수나 쌀과 같은 주요 작물의 오염 외에도 콩, 목화, 캐놀라, 파파야, 그리고 물고기 등도 포함되어 있다고 밝혔다(<http://www.greenpeace.org/>).

2007년 기준 농촌진흥청에서는 형질전환 작물은 총 18작물 88종이 개발 중에 있으며 국내 전체로는 대학, 국공립연구소, 종묘회사를 포함하여 약 49작물 171종이 개발 중이다 (Biosafety White Paper 2007). 농촌진흥청에서는 해충저항성 Bt벼, 농우바이오의 바이러스 저항성 고추에 대한 안전성 심사를 추진하고 있다. 형질전환작물의 품종화, 상업화되기 이전에 실용화할 수 있는 형질전환 작물이 유전자변형작물 오염을 미연에 방지할 수 있게 자연 생태계 및 작물

재배 환경에 대한 검증된 기초 연구가 선행되어야 한다(Park 등 2007). 최근에 형질전환 되지 않은 벼와 제초제 저항성 GM벼의 종자생산, 탈립성, 종자 휴면성에 대한 연구에서 비슷한 결과를 나타낸다고 보고하고 있어서(Oard 등 2000), 형질전환 작물들이 원종을 바꾸거나 “유전적인 오염”을 일으킬 가능성과 다른 유기체에 해로운 생태계의 유연관계, 생물, 무생물과의 생태계 주변 구성 요소 변화, 생물다양성의 위협 등의 가능성에 재평가 되어야 한다. 특히 ‘원하지 않는 곳에 자라는 식물’인 잡초는 이듬해 ‘자생식물’로 형질전환 작물의 농업적인 잡초가 될 지 모르며 변형유전자들은 적응력을 증가시켜 원래 종들을 바꾸어 놓는 위협성으로 농업생태계의 교란 등 환경적 위해성 평가에 대한 도입이 필요한 시기이다(<http://www.rda.go.kr/>).

따라서 본 연구는 형질전환 작물의 ‘비타민 A 강화 벼’ 및 모품종 ‘낙동’, ‘일품’, ‘주남’, ‘백진주’를 이용하여 종자확산에 의한 잡초화 가능성을 분석하고자 작물의 생육특성인 번식양식, 자연환경에서의 생존능력을 위한 탈립성, 발아특성, 수발아, 라투닝 후의 발아속도, 특수환경에서 생존능력의 저온 발아성, 월동 후 출아율을 조사하여 작물과 환경과의 안정성 평가를 위한 기초 모델을 수립하고 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

형질전환 작물인 ‘비타민A 강화 벼’와 모품종인 ‘낙동’ 그리고 대조구로 자포니카형 품종인 ‘일품’, ‘주남’, ‘백진주’를 2010년 하계에 경북대학교 농업생명과학대학 부속실험실습장의 포장에서 재배하였다. 생육특성 조사를 위해 각 계통 및 모부분은 3열씩 2반복으로 하였고, ‘일품’ 외 2품종은 번외구에 배치하였다. 주당 3~5본, 재식밀도는 30×15cm, 시비량은 N- P₂O₅-K₂O=9.0-4.5-5.7kg 10a⁻¹로 하였다. 이앙 후 140일에 각 시험구별로 수확하고 자연 건조시켜 정조의 수분함량이 12~15%일 때 탈곡하여 본 시험에 이용하였다. 작물 생육특성에서 번식양식의 각구 주

당이삭을 산출하고자 탈립을 방지하기 위하여 출수 후 50일째 평균치가 되는 포기를 10포기씩 3반복으로 채취하여 각 시험구별로 조사하였다.

자연환경에서의 생존능력을 측정하고자 생산수량과 밀접한 탈립정도의 측정은 각 시험구별로 출수 45일 후 평균치가 되는 포기를 10포기씩 3반복으로 채취하여 Force gauge(Simpoo Ind, Co.)를 이용하여 벼 알과 소지경 사이의 인장강도(Simpoo Ind, Co. Ut, 1kg)와 항곡강도(Simpoo Ind, Co. Ut, 200g)를 측정하였다. 인장강도의 측정에는 이삭 선단부의 1차 지경 3개를 잘라 Force gauge의 하중 감지부에 잘라낸 이삭 선단부를 수직방향으로 부착시켜 고정된 후 이삭에 붙어있는 약 50개의 벼 알을 수직하방향으로 끌어당겨 벼 알이 소지경에서 탈락할 때까지의 최대 하중을 측정, 평균하여 각 계통별 인장강도로 하였다. 한편 항곡 강도의 측정에는 약 20개의 낱알을 소지경이 부착한 상태로 각각 잘라 내어 Force gauge 하중 감지부에 수평방향으로 부착시켜 고정된 후 벼 알을 직각방향으로 꺾어서 벼 알이 탈락할 때까지의 최대 하중을 측정 평균하였다.

종자휴면 및 발아특성은 각 시험구별로 출수 후 50일째에 수확하여, 여과지(Whatman No.2) 2매를 깔고 10ml 증류수를 넣은 페트리디시에 충실한 종자 100립씩 3반복으로 치상하여 향온기(Shacking Incubator DF-94F) 50℃, 5일 처리한 후에 28℃, 1일 간격으로 15일 동안 발아율을 조사하였고, 저온발아성은 13℃에서 수행하였다. 발아조사는 유근이 2mm 이상 신장된 것을 발아한 것으로 간주하고 치상 후 2일 간격으로 조사하여 발아율로 산정하였다. 월동 후 출아율 조사는 향온기에서 50℃, 5일 처리된 각각의 공시품종 100립을 GM 포장의 흙(향온기로 건조시킴)으로 채

운 포트(Φ20×25cm)에 파종하고, 0℃로 맞춘 향온기에서 최초 물을 10%(v/v) 첨가하여 30일 간격으로 물을 보충하여 30%(v/v)의 토양수분이 함유된 포트를 150일간 처리 후 출아율을 조사하였다. 수발아성은 온실에서 출수 후 45일 된 15이삭씩 10일 간격으로 5회 채취 후 조사하였으며, 25×25×8cm 용기 밑면에 키친타올을 깔고 이삭 위에 키친타올을 덮어 포화수분 상태로 25℃ 향온기(Shacking Incubator DF-94F)에 수발아율을 조사하였다. 라튜닝은 출수 후 45일된 식물체를 온실에 두고 포트 기준 10cm을 두고 자른 후 7일 간격으로 성장속도에 대한 초장을 조사하였다.

결과 및 고찰

‘비타민 A 강화 벼’와 모품종인 ‘낙동’, ‘일품’, ‘주남’, ‘백진주’를 비교 품종으로 이용하여 포장에서 생육특성과 종자확산에 의한 잡초화 가능성을 비교, 분석하기 위하여 주요 농업적인 특성을 조사하였다(표 1). ‘비타민 A 강화 벼’와 모본인 ‘낙동’의 등숙율은 각각 80.6±3.6%, 89.1±1.7%의 차이가 났으며, ‘일품’은 93.8±1.8%에 비해 13.2% 차이가 났으나 공시 품종간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 본 연구 결과는 제초제 저항성 형질전환 ‘익산 483호’와 ‘밀양 204호’를 비롯한 공시품종 모두 자가수분으로 결실이 가능하였고, 형질전환벼와 대조품종 모두 80% 이상의 결실율을 보여 공시품종간 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고한 Kang 등(2007)의 연구결과와 같은 경향을 보였다. 또한 Suh 등(2002)이 발표한 잡초성벼 등의 등숙율이 6~56%로 낮은 것으로 보아 향후

Table 1. Seed setting through self-pollination in ‘Vitamin A enforced rice’ and other varieties.

Entry	No. of total grains	No. of fertility	No. of sterility	Ripening (%)
Vitamin A enforced rice	105.3± 5.9 ¹⁾	85.0± 7.9	20.3±3.2	80.6±3.6
Nagdong	110.0± 9.5	98.0± 8.9	12.0±2.0	89.1±1.7
Ilpum	151.3±10.4	142.0±12.5	9.3±2.1	93.8±1.8

¹⁾(X±SD).

Table 2. The shattering degree of 'Vitamin A enforced rice' and other varieties.

Entry	Panicles	Shattering Scale	Breaking Tensile Strength	
			Pulling strength (gf)	Bending strength (gf)
Vitamin A enforced rice	30	2.67	213.5±38.1 ¹⁾	24.7±0.5
Nagdong	30	2.00	220.7±17.2	31.0±1.0
Junam	30	3.67	185.2±42.3	18.2±1.5
Ilpum	30	3.33	194.3±55.7	18.5±3.2
Backjinju	30	4.00	183.4±34.3	16.4±3.0

¹⁾(X±SD).

GM 작물의 안전성 평가 자료의 기준을 삼아야 할 것으로 생각된다.

종자확산에 의한 탈립성의 정도는 '비타민 A 강화 벼' 및 모품종인 '낙동벼', '주남', '일품', '칠보', '백진주'를 포함하여 출수 40일 후 인장강도와 항곡강도를 측정하였다(표 2). '비타민 A 강화 벼'와 모품종인 '낙동'의 탈립성이 동일한 분포대를 보였으며, '백진주' 및 '주남', '일품', '칠보'는 인장강도와 항곡강도에서 탈립의 수치가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 '비타민 A 강화 벼'와 공시된 모든 품종과는 유의하지는 않았다. Kwon과 Shin(1980)이 보고한 탈립성은 작물의 수확 조제작업에 있어서 예취 및 탈곡작업

이전까지의 결속, 건조, 운반과정에서 일어나는 손실과 탈곡작업의 난이도 및 탈곡기 작동의 적정화를 결정짓는 중요한 특성으로 보고하고 있어서, GM 작물을 개발할 경우 반드시 평가항목으로 포함되어야 할 것으로 사료된다.

'비타민 A 강화 벼'와 모품종인 '낙동', '주남' 및 '일품', '백진주'의 발아율 및 저온발아성을 조사한 결과는 표 3과 같다. '비타민 A 강화 벼', '일품'은 100% 발아율을 보였으며, '낙동', '주남', '백진주'의 발아율은 98~99%로 양호하였다. 저온발아율에서는 '비타민 A 강화 벼'가 90% 이상 발아하였다. 평균발아일수는 '비타민 A 강화 벼'가 5.28±4.59일로 가장

Table 3. Germination traits of 'Vitamin A enforced rice' and other varieties.

Entry	Temp. (°C)	GE (%)	DS (days)	MDG (days)	PG (%)
Vitamin A enforced rice	28	30.0±2.7 ¹⁾	2.90±0.0	3.33±0.0	100.0±0.0
	13	0	12.55±1.5	1.29±0.0	97.0±2.2
Nagdong	28	34.0±2.0	2.00±0.0	3.27±0.1	98.0±2.2
	13	0	9.53±2.0	1.32±0.0	99.0±2.2
Junam	28	32.0±2.0	2.57±0.3	3.27±0.1	98.0±2.2
	13	0	14.89±1.4	1.28±0.1	96.0±2.6
Ilpum	28	33.0±2.7	2.66±0.3	3.33±0.0	100.0±0.0
	13	0	14.94±1.4	1.32±0.0	99.0±0.5
Backjinju	28	33.0±2.2	2.70±0.3	3.30±0.1	99.0±2.2
	13	0	12.03±1.9	1.32±0.0	99.0±2.2

¹⁾(X±SD). Temp.; temperature, GE; germinative energy, DS; Date sprouting, MDG; mean daily germination, PG; percent germination.

Table 4. Frequency of emergence after overwintering including 'Vitamin A enforced rice' and other varieties.

Entry	Total of seeds	Emergence frequency (%)				
		30 ¹⁾	60	90	120	150
Vitamin A enforced rice	600	0	0	0	0	0
Nagdong	600	0	0	0	0	0
Junam	600	0	0	0	0	0
Ilpum	600	0	0	0	0	0
Baekjinju	600	0	0	0	0	0

¹⁾days.

높은 반면에 모품종인 '낙동'에서는 2.19 ± 0.28 일로 '주남' 및 '일품', '백진주'와 유사함을 보였다. 공시된 품종간의 발아속도와 발아율은 유의한 차이를 보이지 않았으나, 평균발아일수에서는 모품종인 '낙동' 9.53 ± 2.26 일에 비해 '비타민A 강화 벼'는 12.55 ± 1.72 일로 유의한 차이를 보였다. '비타민 A 강화 벼'는 모품종인 '낙동'보다 저온에서 종자의 발아력을 증가시켜 발아율뿐만 아니라 발아속도에 있어서도 종자 발아의 최적온도와 마찬가지로 발아력을 향상시키는 것으로 최저온도에서 발아율 향상을 도모할 수 있을 것으로 보이며 모품종인 '낙동'에 비해 입모 안정성이 높을 것으로 보인다.

월동 후 출아율은 '비타민 A 강화 벼'와 모품종인 '낙동'벼를 포함한 '주남', '일품', '백진주' 종자의 월동 후 출아율을 조사한 바(표 4), 월동처리된 공시품종들은 모두 출아되지 않았다. 벼 수확기에 자연탈립이나 수확 시 떨어진 이삭들의 월동성에서 Im 등 (2004)은 봄철의 토양습도와 미생물의 활동으로 종자

가 부패하여 종자활력을 잃어서 출아한 개체를 발견하지 못 것으로 논토양 표면에 떨어진 종자들은 다음 해 월동할 가능성이 없을 것으로 내린 결과와 동일한 양상을 보였다. 이는 우리나라와 같이 겨울 동안 발아능이 상실되어 이듬해 출아되는 종자는 거의 없다고 생각되나, 앞으로 온도와 수분 및 토성을 고려한 세밀한 연구가 수행되어 GM 작물의 안전성 평가 항목에 포함되어야 할 것으로 사료된다.

수발아성에서 '비타민 A 강화 벼'와 모품종인 '낙동'을 포함한 '주남', '일품', '백진주' 대상으로 수발아성을 조사한 바 유의하지 않았다(표 5). 수발아가 발생하는 조건은 품종과 재배조건에 따른 고온 등숙으로 보통 출수 30~45일경에 강우가 많고 고온 다습한 조건에서 발생하기 쉽다. 따라서 등숙 후기에 강우가 많고 온도가 높은 해에 수발아를 발생시킬 수 있는 잠재적 조건의 빈도를 추정해 보면 수량감소와 품질저하를 방지할 수 있는 가능성이 있다(Kang 등 2007). Park과 Kim(2009)은 수발아의 영향을 미치는

Table 5. Frequency of viviparity including 'Vitamin A enforced rice' and other varieties.

Entry	Total of seeds	Emergence frequency (%)				
		30 ¹⁾	60	90	120	150
Vitamin A enforced rice	96	0	0	0	0	0
Nagdong	64	0	0	0	0	0
Junam	65	0	0	0	0	0
Ilpum	54	0	0	0	0	0
Baekjinju	79	0	0	0	0	0

¹⁾days.

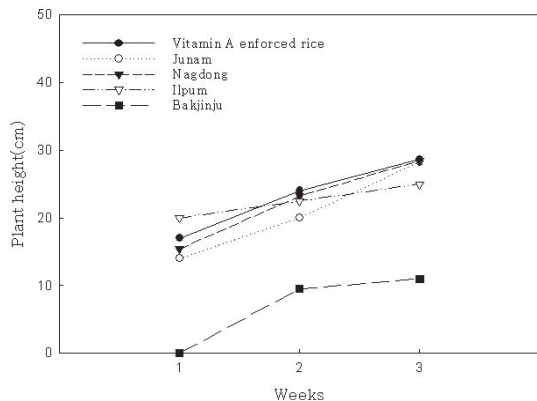


Fig. 1. Comparison of ratooning ability in 'Vitamin A enforced rice' and another varieties.

것은 품종 선택이 무엇보다도 중요하다고 설명하고 있어서, GM 벼의 수발아성에 대한 유전적인 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

라투닝 후의 식물체 성장율은 '비타민 A 강화 벼'와 모본인 '낙동' 및 '주남', '일품'은 모본인 '낙동'보다 성장율에서 각각 2.4cm차이를 보였다. 모본인 '낙동'과 '일품', '주남'은 각각 유사한 성장율을 보였으나 '비타민 A 강화 벼'에 비해 낮은 경향치를 보였으며 '백진주'는 라투닝 후의 성장 비율은 다소 천천히 진행되었다(그림 1). 라투닝 후의 성장비율은 뿌리 도복을 간접적으로 측정하는 방법이며 뿌리도복은 뿌리 지지력이 약하여 발생하는데, 이는 뿌리분포가 천근화되어 지상부에 대한 지하부의 지지력이 감소하는데 원인이 있다고 보고하였다(Kang 등 1994; Jones 1993). 또 라투닝 후의 성장비율은 인디카 품종 중에서 F₁과 F₂ 교배 집단에서 계통간 차이가 나타났다고 했으며, F₂ 빈도분포에서 나타난 유전분석에서 주동유전자와 몇 개의 미동유전자가 관여한다고 하였다(Chauhan 등 1989). 이상의 여러 학자가 보고된 것과 같이 GM 작물의 수발성은 재배학적 및 유전적인 요소에 영향을 미칠 가능성이 큼으로 GM 작물 안전성 평가 항목 작성에 필수 요소라고 생각된다.

요 약

본 연구에서는 형질전환 계통인 '비타민 A 강화

벼'와 모본인 '낙동' 외 3품종을 이용하여 '비타민 A 강화 벼'의 환경에서 생육특성과 잡초화 가능성의 연관관계를 분석하였다. 자연상태의 잡초화 가능성에서 생육특성의 환경안정성의 특성 중 등숙율, 탈립성, 발아율과 생육상태의 불량환경 적응성의 특성 중 저온 발아율, 월동 후 출아율, 수발아, 라투닝 후의 식물체 생을 상관관계를 검증하였다. '비타민 A 강화 벼'와 모본인 '낙동'에서 저온발아율, 월동처리후의 생존율, 수발아, 라투닝 후의 재생율, 임성율에서는 유의하지 않았다. '비타민 A 강화 벼'의 발아율은 모본인 '낙동'과 비슷한 수준이었으나, 평균 발아율은 저온발아율에서 차이가 났으며, 탈립성, 변온에서 발아율은 모본인 낙동과 4품종의 유의한 상관관계를 보였다. 형질전환 작물인 '비타민 A 강화 벼'와 모본인 '낙동' 외 3품종의 불량환경에 대한 저항성과 잡초화 가능성의 연관관계는 형질전환 작물이 상업화되기 전에 기반될 과학적인 기초자료로 적용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 Agenda 사업(과제번호 : PJ006865201006)의 지원에 의해 수행된 결과의 일부분임.

인용 문헌

- Biosafety White Paper. 2007. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology. I Will. pp. 206-216.
- Chauhan, J. S., F. S. S. Lopez and B. S. Vergara. 1989. Genetic analysis of rationing ability of rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 40:97-102.
<http://cera-gmc.org/>
<http://www.greenpeace.org/>
<http://www.rda.go.kr/>
- Im, Il Bin, Jong Gook Kang and Sun Kim. 2004.

- Physio-ecological characteristics and control of weedy rice in the rice paddy. *Kor. J. Weed Sci.* 24:56-63.
- Jones, D. B. 1993. Rice ratoon response to main crop harvest cutting height. *Agro. J.* 85:1139-1142.
- Kang, H. J., H. S. Kim, J. K. Nam, T. W. Noh, W. C. Shin, S. H. Baek, Y. T. Lee and C. K. Kim. 2007. Breeding of herbicide (Glufosinate) resistant GM elite line "Iksan483". *The Korean Society of International Agriculture* 19:53-57.
- Kang, S. Y., S. Morita and K. Yamazaki. 1994. Root growth and distribution in some Japonica-Indica hybrid and Japonica type rice cultivars under field conditions. *Jap. J. Crop Sci.* 63: 118-124.
- Kwon, Y. W., and J. C. Shin. 1980. A study on the changes in grain weight, moisture content, shattering force, milling ratio and apparent physical quality of rice with harvesting time. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 25:1-9.
- Oard, J., M. A. Cohn, S. Linscombe, D. Gealy and K. Gravois. 2000. Field evaluation of seed production, shattering, and dormancy in hybrid populations of transgenic rice (*Oryza sativa*) and the weed, red rice (*Oryza sativa*). *Plant Sci.* 157:13-22.
- Park, J. S., and H. D. Kim. 2009. Viviparous germination characteristics of rice varieties adaptable to central region of Korea. *Korea J. Crop Sci.* 54:241-248.
- Park, Kee Woong, Chang-Gi Kim, Dae In Kim, Hoonbok Yi, Bumkyu Lee and Hwan Mook Kim. 2007. Competitive ability and possibility of increased weediness of transgenic rice tolerant to abiotic stresses. *Kor. J. Weed Sci.* 27:359-365.
- Suh, H. S., J. H. Cho and J. P. Suh. 2002. Phylogenetic relationships among wild, weedy and cultivated rices based on F₁ fertility, isozyme and RAPD variation. *Korean J. Breed* 34:174-177.