

벼 밀양 23호 × 기호벼의 재조합 자식계통에서 수발아성, 건열 저항성 및 종자수명간 상관관계

이승엽^{1*} · 안정호¹ · 김효진¹ · 배종향¹ · 은무영²

¹원광대학교 식물자원과학부, ²농업생명공학연구소

Relationships among Viviparous Germination, Dry-heat Tolerance and Seed Longevity in Milyang 23/Gihobyeyo RILs

Seung Yeob Lee^{1*}, Jeong Ho Ahn¹, Hyo Jin Kim¹, and Moo Young Eun²

¹Division of Plant Resources Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

²Rice Functional Genomics Team, National Institute of Agricultural Biotechnology, Suwon 441-707, Korea

Abstract. To investigate the relationships among the traits related seed dormancy in rice, viviparous germination, dry-heat tolerance and seed longevity were tested using 164 M/G RILs (F_{17}) derived from the cross between Milyang 23 (Indica/Japonica) and Gihobyeyo (Japonica). At 40 days after heading, the viviparous germination rates of Milyang 23 and Gihobyeyo were 0.0 and 7.0%, respectively. The averaged viviparous germination rate of 164 M/G RILs was 3.2%, and their range was from 0.0 to 50.9%. In dry-heat treatment at 90°C for 24 h followed by the pre-drying at 40°C for 2 days, Milyang 23 showed higher germinability (98.6%, 2.7 days to T_{50}) than Gihobyeyo (37.6%, 12.9 days to T_{50}), and the mean germination rate of 164 M/G RILs was 72.4%. In 54 months after harvest, the germinability in Milyang 23 and Gihobyeyo were 90% and 0%, and 71 lines among 164 M/G RILs showed the germinability over 90%. The relationship between seed longevity and dry-heat tolerance was linearly correlated with high positive correlation coefficient. The relationships between seed longevity and viviparous germination, and viviparous germination and dry-heat tolerance were linearly correlated with high negative correlation coefficient. Milyang 23 had higher tolerance against high dry-heat, viviparous germination and long-term storage than Gihobyeyo, and 164 M/G RILs showed the medium values of parents.

Key words : correlation, dry-heat tolerance, rice, seed longevity, viviparous germination

*Corresponding author

서 언

식물의 종자는 적당한 온도, 수분, 산소, 광 등의 조건이 갖추어지면 발아하게 되는데, 발아에 적합한 환경조건하에서도 일정기간 발아하지 않는 상태를 휴면이라고 한다. 식물의 종자는 휴면상태에서 저온, 고온, 건조 등에 대한 저항성이 극히 강해지는데, 이는 불리한 환경조건에서 자신의 생명을 보존하기 위한 수단이 된다. 야생식물의 경우 휴면성이 약하여 종자가 모체에 달린 채로 성숙중에 발아하거나 성숙직후 탈립과 동시에 발아할 경우 저온이나 건조한 환경에 처하게 되면 자칫 멸종위기에 처하게 되므로, 재배식물보다 강한 휴

면성을 갖는다. 그러나 재배식물의 경우 휴면성이 너무 강하면 출하시기 조절을 위한 조기재배 및 시설재배 등에서 발아가 고르지 않고, 휴면을 인위적으로 타파해야 하므로 농작업상 번거롭다. 반면, 휴면성이 약하면 수확전 수발아의 위험성이 있고, 낙립에 의한 발아종자는 후작물에서 잡초로 자라게 되므로 작부체계상 바람직하지 않다. 따라서 재배작물의 경우, 적당한 휴면성은 중요한 육종목표들 중의 하나이다.

식물종자의 휴면은 배의 미숙, 종피의 물리적 제약, 또는 발아억제물질 등에 의해 유발되는데, 벼 종자의 휴면은 품종에 따른 유전적 요인뿐만 아니라, 등숙기간 중의 온도, 습도, 일조량 등과 같은 환경적 요인의 영향

을 크게 받는다(Chang과 Yen, 1969; Kalita 등, 1994; Nair 등, 1965; Rao, 1994; Suh와 Kim, 1994). 재배 품종들은 야생벼나 잡초성 벼보다 휴면성이 약하며 (Suh 등, 1997; Takahashi, 1963; Tang과 Morishima, 1997), 자포니카 품종들은 인디카 품종들보다 휴면성이 약하다(Guo 등, 2005; Kim, 1995; Seshu와 Sorrells, 1986).

종자의 휴면성이 약하여 수확전에 모체에서 발아하는 현상을 수발아라고 하는데, 우리나라와 같은 온대지역에서는 등숙기의 늦은 태풍이나 잦은 비로 인하여 휴면성이 약한 품종들에서 수발아를 유발하게 된다. 수발아는 수량감소와 품질저하를 일으키며(Oh 등, 1987), 종자저장중 곰팡이와 같은 미생물이 잘 번식하게 되어 종자의 수명도 단축된다(Castor과 Frederiken, 1977). 벼의 수발아성은 품종이 갖고 있는 종자의 휴면도와 밀접한 관련이 있기 때문에 품종간 차이가 크며, 자포니카 품종들은 대부분 인디카 품종들보다 수발아 저항성이 약하다(Gubler 등, 2005; Guo 등, 2005; Kim, 1995; Seshu와 Sorrells, 1986). 따라서 벼의 수발아 저항성은 중요한 육종목표의 하나로서, 최근 종자휴면과 관련된 수발아 저항성의 QTL 분석에 의한 유전자의 염색체상 위치와 연관 DNA 마커들이 연구되고 있다(Dong, 2003).

또한 휴면중인 종자는 고온이나 건조 등에 대한 저항성이 극히 강해지는데, 이러한 특성을 이용하여 종자의 휴면타파와 종자감염 병원균 및 선충 방제에 50~75°C 범위의 건열처리가 이용되기도 한다(Dadlani와 Seshu, 1990; Nakagawa와 Yamaguchi, 1989; Tenente 등, 1999). 벼의 경우 65°C에서 7일동안 건열처리하는 종자감염 병원균의 밀도를 크게 감소시키며, 저장 전후의 종자발아 및 유효활력에서 대조구와 전혀 차이가 없다(Detry, 1993). 수분함량이 낮은 통일형 벼 종자는 90°C에서 24시간 건열처리 후에도 발아율과 출아율에서 무처리와 큰 차이를 보이지 않는다(Lee 등, 2002). 또한 벼 종자의 휴면타파에도 건열처리가 HNO₃ 처리보다 효과적이므로 세대단축에 따른 육종 프로그램상 대규모 이용이 가능하다(Zhang 등, 1990).

한편, 종자의 휴면은 종자 수명과도 밀접한 관계가 있는데, 강한 휴면성을 가진 잡초성 벼의 종자중에는 10년 이상 생존이 가능한 경우도 있다(Diarra 등, 1985; Goss와 Brown, 1939). 이와 같이 벼에서 종자 휴면

성은 수발아 및 건열 저항성, 종자수명 등과 밀접한 관계를 갖고 있으나, 지금까지 종자 휴면성에 관련된 몇 가지 형질들 간의 상호관계에 대한 연구는 많지 않다.

따라서 본 연구는 벼 종자의 휴면성에 관련된 형질들 간의 상관관계를 구명하기 위하여, 밀양23호/기호벼의 재조합 자식계통들을 이용하여 수발아성, 종자수명 및 건열저항성 등을 조사한 다음, 이들 형질간 상관관계를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 식물체 양성

원광대학교 포장에 재식한 밀양 23호/기호벼 유래 164 RILs(F₁₇, M/G RILs)을 채종하여 2002~2006년까지 사용하였다. 채종한 종자는 2002년 4월 25일 파종하여 주간거리 30×15cm, 재식개체수 1본으로 5월 25일 손이앙하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 11-9-7kg/10a로 조절하여 인산은 전량기비로 질소는 50-30-20%, 칼리는 70-30%로 분시하였다. 기타 재배관리는 호남농업연구소 벼 표준재배법에 준하였다.

2. 수발아성 검정

M/G RILs(F₁₇) 164 계통들에 대한 출수후 40일째의 이삭을 포기당 3개씩 5반복 채취하여 플라스틱 트레이에 페이퍼 타올 2매를 깔고 증류수로 포화흡수시킨 다음, 채취한 이삭을 놓고 다시 2매의 페이퍼 타올을 덮어 증류수로 충분히 흡수시킨 후, 플라스틱 트레이를 랩으로 싸서 25°C 항온기에서 6일간 발아시켜 7일째에 수발아율을 조사하였다.

3. 건열 저항성 검정

M/G RILs(F₁₇) 164 계통을 수확하여 실온에 저장하였다가 Lee 등(2002)의 방법에 따라 휴면이 타파된 6개월 후에 계통당 100립씩 5반복으로 종이봉투(5×7cm)에 넣어 40°C 건조기에 2일간 예건시켜 종자의 수분함량을 8.1±2%까지 감소시킨 후 90°C 건조기에서 24시간 동안 건열처리를 하였다. 처리가 끝난 종자는 실온에서 10일간 방치하였다가 직경 9cm 사레에 여지(Whatman No. 2) 2매를 깔고 건열처리한 종자를 계통당 100립씩 5반복 파종하고 10mL 증류수를 넣어 25°C, 5일간 발아시켜 발아율을 조사하였다. 대조구는

40°C 건조기에 2일간 예건한 종자를 같은 방법으로 발아시켜 조사하였다. 양친의 건열처리에 의한 발아 지연 정도는 최종발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수(T_{50} ; Choi 등, 2006)로 비교하였다.

4. 종자수명 검정

M/G RILs(F_{17}) 164 계통을 수확하여 실온에 저장하면서 6개월 후부터 1년 주기로 2006년까지 발아율을 조사하여 종자활력을 측정하였다. 발아실험은 직경 9cm 사레를 이용하여 건열저항성 검정과 같은 방법으로 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 수발아성

수확후 40일째에 164 M/G RILs에 대한 수발아율을 검정한 결과(Fig. 1), 모본인 밀양23호는 전혀 발아되지 않았으며, 부분인 기호벼는 7%의 수발아율을 보였다. M/G RILs의 수발아율은 0~50.9%의 범위를 보였으며, 평균 3.2%로 양친의 중간값을 보였다. 이와 같이 M/G RILs에서 낮은 수발아율을 보인 것은 모본인 밀양23호가 통일형으로서 강한 수발아 저항성을 갖고 있고, 자포니카인 부분 기호벼도 10% 이하의 비교적 강한 수발아 저항성을 갖고 있기 때문인 것으로 보인다. 이와 같이 수발아성은 품종에 따라 차이가 크며(Gubler 등, 2005; Guo 등, 2004; Kim, 1995; Suh와 Kim, 1994; Seshu와 Sorrells, 1986), 수발아 저항성의 유전은 소수의 우성유전자에 의해 지배되는 양

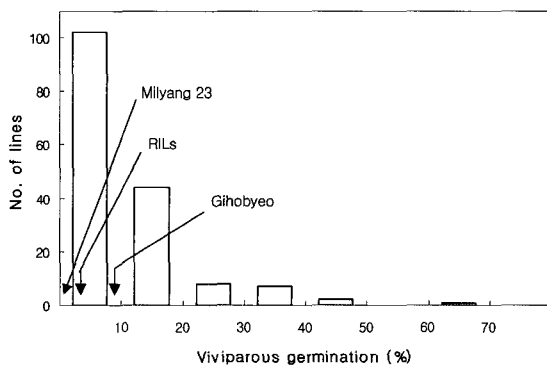


Fig. 1. Frequency distribution of viviparous germination at 40 days after harvesting in 164 Milyang 23/Gihobyeo RILs. Data were collected at 7 days in a 25 incubator.

적형질이다(Bailey 등, 1999; Oh 등, 1987; Seshu와 Sorrells, 1986). Kim(1995)은 수발아성이 높은 자포니카 품종들이 수발아 저항성인 통일형이나 인디카 품종들보다 휴면물질인 ABA 함량이 현저히 낮은 관계로 종자의 휴면성과 깊은 관련이 있다고 하였다. 최근, Dong 등(2003)은 Asominory/IR 24 RILs을 이용한 수발아 저항성에 대한 QTL 분석결과, 휴면성(Lin 등, 1998) 및 저온발아성(Miura 등, 2002) QTL과도 밀접한 연관이 있다고 하였다. 최근 우리나라에도 늦태품이나 등숙기의 잦은 강우로 인하여 수발아 피해가 자주 발생하고 있는데, 이러한 일련의 연구결과들이 수발아 저항성 품종 육성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 건열 저항성

164 M/G RILs의 종자를 수확후 자연적으로 휴면이 타파되는 6개월째에 40°C 건조기에 2일간 예건시킨 후 90°C 건조기에서 24시간 동안 건열처리를 한 다음, 종자 발아율을 검정하였다(Fig. 2). 대조구에서 통일형인 밀양23호와 자포니카인 기호벼의 종자는 치상후 2일째부터 발아하기 시작하여 100%, 99.2%의 최종 발아율을 보였고, 최종 발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수(T_{50})도 2.7일로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 90°C 건열 처리구에서 밀양23호는 3일째부터 발아하여 99.2%의 최종 발아율을 보였고, T_{50} 에 소요되는 일수도 3.6일로 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나, 기호벼는 37.6%의 최종 발아율을 보여 통일형인 밀양23호보다 현저한 감소를 보였고, T_{50} 에 소요되

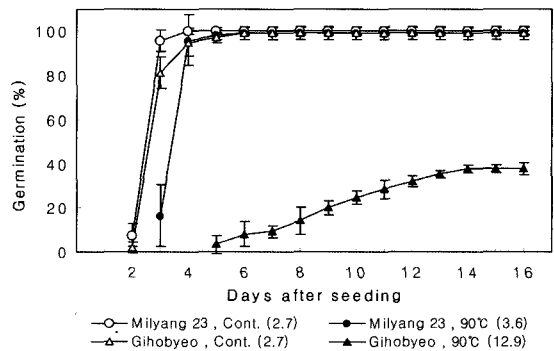


Fig. 2. Variation of seed germination followed by dry-heat treatment (90°C, 24 hours) in Milyang 23 (Tongil type) and Gihobyeo (Japonica type). (○); T_{50} , days to 50% germination.

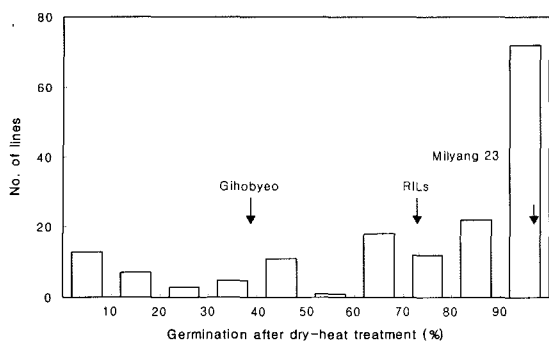


Fig. 3. Frequency distribution of seed germination followed by dry-heat treatment (90°C, 24 hours) in 164 Milyang 23/Gihobyeo RILs.

는 일수도 12.9일로 뚜렷한 발아지연을 보였다. 164 M/G RILs에서는 90°C, 24시간 건열처리후 발아율은 0~100%의 범위를 보였으며, 평균 발아율은 72.4%로 두 양친의 중간값을 보였다(Fig. 3). 건열처리후 두 계통만이 전혀 발아하지 않았고, 80% 이상의 발아율을 보인 계통이 93계통으로 대부분 건열 저항성이 높았으며, 그중 71계통은 90% 이상의 높은 발아율을 보였다. 따라서 휴면이 타파된 통일형인 밀양23호와 자포니카인 기호벼간에 90°C, 24시간 건열처리에 대하여 발아율 및 발아속도에 뚜렷한 차이를 보였으며, 164 M/G RILs에서는 통일형인 밀양23호의 특성이 뚜렷하게 나타났다. Lee 등(2002)은 몇가지 통일형 벼 종자의 건열처리 후(90°C, 24시간)에도 발아율과 출아율에 무처리와 큰 차이를 보이지 않았다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 보고하였다. 따라서 건열처리는 많은 계통을 다루는 육종에서 세대축진을 위한 종자의 휴면타파나 종자감염 병원균 및 선충 방제 등에 효과적일 뿐만 아니라, 대규모 처리가 가능하고, 처리가 간편하기 때문에 다양한 목적으로 활용가능하다(Dadlani와 Seshu, 1990; Tenente 등, 1999; Zhang 등, 1990).

3. 종자 수명

164 M/G RILs의 종자를 수확후 실온에 저장하였다가 자연적으로 휴면이 타파되는 6개월째부터 발아율을 조사한 결과(Fig. 4), 양친중 통일형인 밀양23호는 수확후 3년 6개월까지도 80% 이상의 종자 발아율을 보였으나, 자포니카인 기호벼는 12개월까지는 80% 이상의 종자 발아율을 보이다가 18개월 후에는 30%, 42개월 후에는 발아력을 완전히 상실하였다. 164 M/G

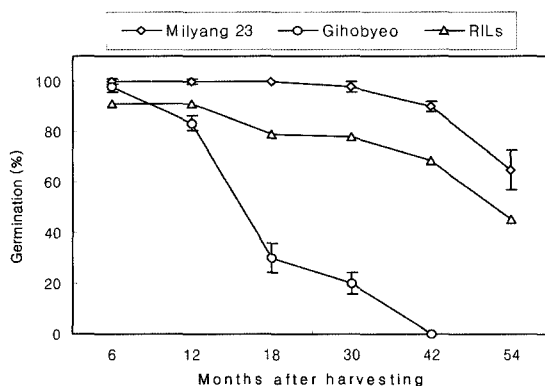


Fig. 4. Variation of seed viability according to months after harvest in 164 Milyang 23/Gihobyeo RILs.

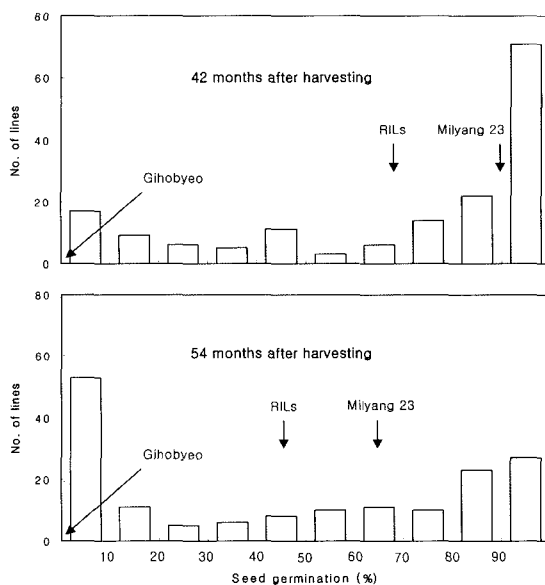


Fig. 5. Frequency distribution of seed germination at 42 and 54 months after harvesting in 164 Milyang 23/Gihobyeo RILs.

RILs의 종자활력은 양친의 중간값에서 밀양23호에 가까운 평균값을 보였다. 종자활력에 따른 164 M/G RILs의 빈도분포는 자포니카 부분 기호벼의 종자활력이 완전히 사라진 42개월 후에도 71계통이 90% 이상의 발아율을 보였으나, 그 후 54개월째에는 53계통이 완전히 발아력을 상실하여 종자활력이 급격히 상실되는 것을 알 수 있었다(Fig. 5). 이와 같이 많은 M/G RILs이 자포니카 부분인 기호벼와 달리 42개월 이상 종자 수명을 유지할 수 있는 것은 통일형인 밀양23호가 갖는 종자 휴면성이 크기 때문인데, 벼에서 종자의

휴면성은 1-2개의 주동유전자와 다수의 미동유전자에 의해 지배되는 양적형질로서(Chang과 Yen, 1969; Das, 1985; 1995; Das와 Bhaduri, 1985; Seshu와 Sorrells, 1986), 최근 종자 휴면과 관련된 QTL 분석을 통하여 유전자의 염색체상 위치와 DNA 마커들이 밝혀지고 있다(Cai와 Morishima, 2000; Lin 등, 1998; Wan 등, 2005). 또한 강한 휴면성을 가진 잡초성 벼 종자도 수확후 상온저장 2년차까지 90% 이상의 발아율을 보이며, 7년 후까지도 약 20% 가까이 발아하는데(Diarra 등, 1985; Goss와 Brown, 1939), 이러한 결과는 밀양 23호의 종자수명과 비슷하였다.

4. 수발아 저항성, 건열 저항성 및 종자수명간 상관

종자의 휴면과 관련이 있는 수발아 저항성, 건열저항성 및 종자수명간 상관관계를 조사한 결과(Table 1), 수발아 저항성과 건열 저항성 간에는 고도의 유의한 부의 상관관계가 인정되었다. 세 형질중에서 수발아 저항성은 종자 휴면과 가장 밀접한 관계를 가지는데, 휴면이 타파된 후의 건열 저항성은 ABA와 같은 잔류 휴면물질 및 종피의 구조에 영향을 받는 것으로 생각된다. Lee 등(2002)은 이러한 벼 종자의 건열저항성이 영의 유무 및 휴면성과 관련이 있다고 하였는데, 벼의 휴면물질은 ABA(Bewley, 1997; Kim, 1995), nonanoic acid(Mikkelsen, 1967) 등이 관계하며, 이들은 종피 및 영에 주로 함유되어 있다. 벼 종자의 휴면은 야생벼와 같이 배 자체의 휴면에 의한 경우(Nair 등, 1965;

Takahashi, 1963)도 있으나, 재배벼의 경우에는 영을 제거하였을 때에는 쉽게 발아하므로 대부분 영에 의해 유발되는 것으로 알려져 있다(Das, 1985; Seshu와 Dadlani, 1991; Seshu와 Sorrells, 1986;). 또한 건열 저항성은 6~54개월 후의 종자수명과 고도의 유의한 정적 상관관계를 보였는데, 그 중 18개월째의 종자수명과 가장 높은 상관계수를 보였다. 따라서 건열저항성은 화곡류의 종자수명을 측정하는 간접지표로 활용할 수 있을 것으로 기대되었다. 그리고 출수후 40일째의 수발아 저항성과 종자수명 간에는 발아율에 변이를 보이는 18개월째부터 종자활력과 유의한 부의 상관관계를 보였고, 30개월 후부터는 고도로 유의한 부의 상관관계를 보였다. 이는 수발아 저항성이 높을수록 종자의 휴면성이 강하고, 강한 휴면성을 가진 종자일수록 종자의 활력이 오랫동안 유지될 수 있기 때문으로 보였다. 그러나 종자의 휴면성에 미치는 요인은 품종간 차이뿐만 아니라, 등숙기의 강우, 온도 및 일조시간 등의 환경적 영향이 커서 복잡한 양상을 보이므로 관련형질들의 검정에 세밀한 주의가 필요하다(Chang과 Yen, 1969; Kalita 등, 1994; Nair 등, 1965; Rao, 1994).

이상에서와 같이 수발아 저항성, 건열 저항성 및 종자수명 간에는 상호 고도로 유의한 상관관계가 성립하였으며, 이들 형질들은 모두 종자휴면 정도와 밀접한 관계를 갖고 있었다. 특히 종자수명을 단기간에 건열 저항성을 이용하여 간접측정 할 수 있다는 점은 유전자원 보존시에 대량검정이 가능하고, 종자전염성 병해충 방제 수단으로서도 이용가능하며, 급후 야생벼, 잡초성 벼 및 재배벼간 이러한 형질들에 대한 상호비교 연구도 흥미있을 것으로 보인다.

Table 1. Correlation coefficients among viviparous germination, dry-heat tolerance, seed longevity in 164 Milyang 23/Gihobyeo RILs.

Parameter ^a		VGT	DHT
Viviparous germination tolerance		-	-
Dry-heat tolerance		-0.248**	-
Seed longevity	6 MAH	-0.070 ^{NS}	0.537**
	12 MAH	-0.075 ^{NS}	0.709**
	18 MAH	-0.200**	0.729**
	30 MAH	-0.247**	0.678**
	42 MAH	-0.304**	0.570**
	54 MAH	-0.361**	0.562**

^aMAH, months after harvesting. ***significant at $p < 0.05$ and 0.01, ^{NS}not significant, $df = 162$.

적 요

밀양 23호/기호벼 유래 164 RILs(F₁₇)을 이용하여, 종자의 휴면과 관련이 있는 수발아 저항성, 건열 저항성 및 종자수명을 검정하고, 이들 상호간 상관관계를 조사하였다. 출수 40일째에 밀양23호와 기호벼의 수발아율은 0%, 7%이었고, M/G RILs은 0~50.9%의 범위를 보였으며, 평균 3.2%였다. 90°C, 24시간 건열처리후 밀양23호와 기호벼는 99.2%, 37.6%의 발아율을 보였고, T₅₀은 2.7일, 12.9일로 유의한 차이를 보였으며, M/G RILs의 평균 발아율은 72.4%였다. 상온저장

한 종자수명은 밀양23호는 수확후 3.5년까지도 80% 이상의 종자 발아율을 유지하였으나, 기호벼는 18개월 후부터 급격히 발아력이 감소하여(30%이하), 42개월 후 발아력을 완전히 상실하였다. M/G RILs의 종자활력은 수확후 42개월까지 71계통이 90% 이상의 발아율을 보였다. 수발아 저항성, 건열 저항성 및 종자수명은 밀양 23호와 기호벼 간에 뚜렷한 품종간 차이를 보였으며, M/G RILs은 양친의 중간값에 가까운 평균값을 보였다. 건열저항성과 종자수명 간에는 고도로 유의한 정적 상관관계를 보였고, 수발아와 종자수명, 수발아와 건열저항성 간에는 부의 상관관계가 성립하였다.

주제어 : 건열저항성, 벼, 상관관계, 수발아, 종자수명

사 사

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린21사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Bailey, P.C., R.S. McKibbin, J.R. Lenton, M.J. Holdsworth, J.E. Flintham, and M.D. Gale. 1999. Genetic map locations for orthologous *Vp1* genes in wheat and rice. *Theor. Appl. Genet.* 98:281-284.
- Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055-1066.
- Cai, H.W. and H. Morishima. 2000. Genomic regions affecting seed shattering and seed dormancy in rice, *Theor. Appl. Genet.* 100:840-846.
- Castor, L. and F. Frederiken. 1977. Seed moulding of grain sorghums caused by *Fusarium* and *Curvularia*. *Proc. Annu. Phytopathol. Soc.* 4:151.
- Chang, T.T. and S.T. Yen. 1969. Inheritance of grain dormancy in four rice crosses. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 10:1-9.
- Choi, K.G., Y.S. Lee, and K.H. Cha. 2006. Selection and technical development for seed pelleting material of *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Kor. J. Medicinal Crop Sci.* 14(3):130-133.
- Dadlani, M. and D.V. Seshu. 1990. Effect of wet and dry heat treatment on rice seed germination and seedling vigor. *Int. Rice Res. Newsl.* 15(2):21-22.
- Das, R.C. 1985. Roll of hull in the inheritance of seed dormancy in rice. *Exp. Genet.* 1:119-125.
- Das, R.C. and P.N. Bhaduri. 1985. Inheritance of seed dormancy in rice. *Exp. Genet.* 1:45-51.
- Das, T. 1995. Genetic relation between dormancy and aroma in rice. *Rice Genet. Newsl.* 12:209-210.
- Detry, J.F. 1993. Seed dry-heat treatment against transmission of *Pseudomonas fuscovagivae*, causal agent of bacterial sheath brown rot of rice (BSR). *Int. Rice Res. Notes.* 18(2):27-28.
- Diarra, A.R.J., R.J. Smith, and R.E. Talbert. 1985. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. *Weed Sci.* 33:310-314.
- Dong Y., E. Tsuzuki, H. Kamiunten, H. Terao, D. Lin, M. Matsuo, and Y. Zheng. 2003. Identification of quantitative trait loci associated with pre-harvest sprouting resistance in rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Res.* 81:133-139.
- Goss, W.L. and E. Brown. 1939. Buried red rice. *J. Amer. Soc. Agron.* 31:633-637.
- Gubler, F., A.A. Millar, and J.V. Jacobsen. 2005. Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. *Cur. Opin. in Plant Biol.* 8:183-187.
- Guo, L., L. Zhu, Y. Xu, D. Zeng, P. Wu, and Q. Qian. 2004. QTL analysis of seed dormancy in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 140:155-162.
- Kalita, U.C., D.K. Baruah, and L.P. Upadhaya. 1994. Seed dormancy on germplasm collection of rice (*Oryza sativa* L.) insensitive to photoperiod. *Indian J. Agric. Sci.* 63:160-164.
- Kim, Y.W. 1995. Chemical components related with seed dormancy and viviparous germination in rice. *Kor. J. Crop Sci.* 40:113-119.
- Lee S.Y., J.H. Lee, and T.O. Kwon. 2002. Varietal differences in seed germination and seedling vigor of Korean rice varieties following dry heat treatment. *Seed Sci. & Technol.* 30:311-321.
- Lin, S.Y., T. Sasaki, and M. Yano. 1998. Mapping quantitative trait loci controlling seed dormancy and heading date in rice, *Oryza sativa* L. using backcross inbred lines, *Theor. Appl. Genet.* 96:997-1003.
- Mikkelsen, D.S. 1967. Germination inhibitors as possible factor in rice dormancy. *Int. Rice Comm. Newsl. Sp. Issue:*132-145.
- Miura, K., S.Y. Lin, M. Yano, and T. Nagamine. 2002. Mapping quantitative trait loci controlling seed longevity in rice (*Oryza sativa* L.), *Theor. Appl. Genet.* 104:981-986.
- Nair, G.V., B.W. X. Ponnaiya, and V.S. Raman. 1965. Studies on seed dormancy in certain short-duration rice varieties. *Indian J. Agric. Sci.* 35:234-246.
- Nakagawa, A. and T. Yamaguchi. 1989. Seed treatment for control of seed-borne *Fusarium roseum* on wheat. *Jpn. Agric. Res. Q.* 23:94-99.
- Oh, S.H., C.Y. Kim, C.H. Kim, S.Y. Kim, and J.Y. Lee. 1987. Influence of viviparous germination on quality and yield potential of rice. *Res. Rep. RDA (Crops).* 29(1):68-73.

26. Rao, S.P. 1994. Studies on seed dormancy in traditional rice varieties as affected by seasons. *Indian J. Physiol.* 37:113-115.
27. Seshu, D.V. and M. Dadlani. 1991. Mechanism of seed dormancy in rice. *Seed Sci. Res.* 1:187-194.
28. Seshu, D.V. and M.E. Sorrells. 1986. Genetics studies on seed dormancy in rice. In: *Rice Genetics*. IRRI, Los Banos, Philippines, p. 369-382.
29. Suh, K.H. and Y.W. Kim. 1994. Varietal difference in viviparous germination at different days after heading and temperature conditions in rice. *Kor. J. Crop Sci.* 39:187-192.
30. Suh, S.H., Y.I. Sato, and H. Morishima. 1997. Genetic characterization of weedy rice (*Oryza sativa* L.) based on morpho-physiology isozymes and RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 94:316-321.
31. Takahashi, N. 1963. Studies on the dormancy of wild rice seeds: Part 2. Roles of seed coat, embryo and endosperm in dormant seeds. *Tohoku Univ. Inst. Agric. Res.* 14:75-85.
32. Tang, L.H. and H. Morishima. 1997. Genetic characterization of weedy rices and the inference on their origins. *Breed. Sci.* 47:153-160.
33. Tenente, R.C.V., V. Gonzaga, F.P. Pinheiro, P. Tarchetti, and V. Rodrigues. 1999. Techniques to eradicate plant parasitic nematodes from infested in maize, oat, and rice seeds. *Nematropica* 29:17-24.
34. Wan, J.M., C.M. Wang, and H. Ikehashi. 2005. Quantitative trait loci associated with seed dormancy in rice. *Crop Sci.* 45:712-716.
35. Zhang, X.G. 1990. Physiochemical treatments to break dormancy in rice. *Int. Rice Res. Newsl.* 15(1):2.