

## 벼 재조합 자식계통의 내냉성 관련 형질 분석

정응기\*† · 안상낙\*\* · 예종두\*\*\* · 백만기\*\*\* · 최해춘\*\*\* · 이기환\* · 남민희\* · 윤경민\*\*\*\*

\*작물과학원 영남농업연구소, \*\*충남대학교, \*\*\*작물과학원, \*\*\*\*강원대학교

### Evaluation of Cold Tolerance-Related Traits of Recombinant Inbred Lines in Rice

Eung Gi Jeong\*†, Sang Nag Ahn\*\*, Jong Doo Yea\*\*\*, Man Kee Baek\*\*\*, Hae Chune Choi\*\*\*, Gihwan Yi\*, Min-Hee Nam\*, and Kyung Min Yoon\*\*\*\*

\*Yeongnam Agricultural Research Institute, NICS, RDA, Milyang 627-803, Korea

\*\*Dept of Agronomy, Chungnam Nat'l Univ, Taejeon 305-764, Korea

\*\*\*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

\*\*\*\*College of Agriculture Kangwon Nat'l Univ Chunchon 200-701, Korea

**ABSTRACT :** This study was carried out to construct cold-tolerance characteristics. The RILs were developed from progenies of a cross between cold-susceptible Tongil-type rice variety, *Milyang23* and cold-tolerant Japonica rice variety, *Stejaree45* by single seed descent methods. The 175 RILs (F<sub>8</sub>) were evaluated for cold tolerance traits by field screening under cold-water irrigation. Frequency distribution of RILs in leaf discoloration, heading delay, culm length reduction and number of spikelets reduction displayed nearly normal distributions with transgressive segregations to either side of parents, while the spikelet fertility reduction and panicle exertion at low-temperature showed the more or less skewed continuous distribution toward the susceptible parent. Higher heritabilities over 60% were observed in leaf discoloration, spikelet fertility reduction, panicle exertion, while relatively lower heritabilities less than 40% were observed in culm length reduction, number of spikelets reduction and grain yield reduction. Some cold-tolerance RILs were selected effectively by cold water irrigation, which are expected to be good materials in breeding program for cold tolerance.

**Keywords:** rice, RIL(Recombinant Inbred Line), cold tolerance, leaf discoloration, spikelet sterility, heading delay

벼의 내냉성 관련 형질은 생육시기에 따라 저온에 대한 반응이 다르게 나타나며(Choi & Lee, 1976), 내냉성과 관련된 주요 형질들의 저온반응이 품종에 따라 다양하게 나타나기 때문에(Choi *et al.*, 1985), 종합적으로 내냉성이 강한 품종을 육성하는 일은 그리 간단하지 않다. 따라서 벼의 내냉성 관련

형질은 polygene으로 구성되어 있는 양적형질로 생육시기에 따라 표현형에 중점을 두고 유전양상이 조사되었다.

저온에 의한 잎의 적고현상은 뿌리의 호흡에 관여하는 효소의 활성화와 호흡기질 공급량의 감소와 더불어 수분과 양분흡수가 저해되면서 엽록소 형성이 장애를 받는 동시에 이미 형성된 엽록소가 분해되기 때문인 것으로 알려져 있다. 통일형과 인디카 품종에서 적고가 많이 발생하며, 13~17°C의 범위에서 품종간의 차이가 가장 크다고 하였다(Choi *et al.*, 1975). 적고현상의 유전연구에서 F<sub>1</sub>은 저항성 방향으로 유전되고, F<sub>2</sub> 집단에서 적고 발생이 적은 개체와 그렇지 않은 개체의 비율이 3:1로 분리되어 단순 우성 유전자에 의하여 지배된다고 보고되었다(Sohn *et al.*, 1979). 자포니카와 인디카 품종의 원연교잡에서 분얼기 적고는 일반조합능력효과와 특정조합능력효과에 대한 분산분석 결과 상가적 및 비상가적 유전자 작용이 모두 관여하고 있지만 상가적 유전자 작용이 더 크게 관여한다고 하였다(Han, 1999).

간장의 단축은 감수분열기에 온도가 낮을수록 통일형 품종에서 가장 심하게 나타나고 이삭의 추출은 출수기에 가장 억제 효과가 심하다 하였으며(Oh, 1981), 간장의 단축과 이삭의 추출 불량이 불임발생에 관계가 많다고 하였다(Choi *et al.*, 1991). 간장에 대한 F<sub>2</sub>분리에서 3.1, 1:1 또는 정규분포를 나타냈으며(Heu *et al.*, 1984), F<sub>1</sub>세대와 F<sub>2</sub>집단에서 간장과 수장은 긴 쪽이 우성이고 단축이 적게 되는 쪽으로 초우성 또는 불완전 우성이라고 보고하였다(Yea, 1995).

출수지연은 불임의 발생과 수량의 감소에 영향을 크게 미치고 통일형 품종에서 저온에 의한 출수의 지연정도가 크다고 하였으며(Choi *et al.*, 1991), 저온에 의한 출수지연은 분얼기, 감수분열기, 수잉기의 순으로 크고, 저온과 일장조건이 함께 영향을 미친다고 하였다(Oh, 1981). 또한 출수지연은 생육초

†Corresponding author (Phone) +82-55-350-1184 (E-mail) egjeong@rda.go.kr <Received September 22, 2004>

기에 수온의 영향이 크고, 분얼기부터 출수기까지는 기온과 수온의 영향이 같으며, 출수기 이후에는 기온의 영향이 크다고 하였다(Kuno & Shimizu, 1973). 냉수처리에 의한 출수지연일수의 유전에서 출수가 빠른 쪽으로 초우성이라고 보고하였다(Yea, 1995)

이삭당영화수에 대하여 생식생장 초기의 저온이 지경 및 영화의 퇴화로 수당 영화수를 감소시킨다고 하였다(Lee *et al.*, 1989, Hayase *et al.*, 1970), 수당 영화수의 감소에는 1개의 주동유전자와 Polygene이 관여하며, 유전력은 높고 불완전우성으로 작용한다고 보고하였다(Kim, 1987).

불임발생은 소포자 형성초기인 4분자기에서 제1 수축기까지가 저온으로 인한 불임발생에 가장 예민한 시기라고 하였고, 불임발생 주원인은 약의 발육불량, 화분의 불충실, 화사신장의 억제, 약의 열개불량, 주두에서 화분의 발아불량이라 하였다(Ito, 1971, Satake *et al.*, 1971). 불임비율이 가장 높은 시기는 출수전 11일 전후인 엽이간장이 -14~8 mm로, 생리적으로 약조직의 환원당과 전분의 함량이 증가하고, 단백질과 다당류 그리고 핵산 등이 감소하며, 호흡활성의 저하 및 pH의 이상 등으로 인하여 초래된다고 보고하였다(Nishiyama, 1979). 또한 F<sub>2</sub> 집단에서 불임발생은 연속변이를 나타내고, 내냉성은 Pr(II), Rc(IV), bc(VI) 및 Hg(VII)와 연관되어 있으며, 최소한 6개의 주동유전자가 관여한다고 추정하였다(Sawada, 1978).

내냉성에 대한 여러 가지 형질들의 상관관계에 대하여 저온에서 수장, 수당립수, 입실비율 등과 간장의 단축과는 상관성이 인정된다고 보고되었다(Kim *et al.*, 1982), 출수의 지연과 입실비율, 간장과 수장, 수장과 이삭추출도, 적고와 이삭추출도, 입실비율과 수장 상호간에 상관관계가 있다고 하였다(Choi *et al.*, 1987). 또한 적고와 분얼기 종합적내냉성(Phenotypic acceptability; PA), 출수지연일수와 간장단축율, 간장단축율과 성숙기 종합적내냉성(PA)과 상관성이 인정되었으나 일관성은 없었다고 보고하였다(Jeong *et al.*, 1998).

본 연구는 작물과학원 춘천출장소의 냉수처리 내냉성 검정 포장에서 내냉성이 약한 통일형 벼인 밀양23호를 모본으로 하고 내냉성이 강한 자포니카벼 품종인 Stejaree45호를 부분으로 교배하여 육성한 F<sub>8</sub> 재조합 자식계통(recombinant inbred lines)들에서 내냉성 관련 형질들의 변이분포 및 유전 통계량을 분석하여 내냉성이 강한 품종을 육성하기 위한 기초자료로 활용하고자 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 재조합 자식계통(RILs) 육성

벼 내냉성 관련 양적형질을 분석하고자 재조합 자식계통(recombinant inbred lines)을 육성하였다. 교배모본으로 전 생육기간 저온에 민감한 통일형 밀양23호를 모본으로 하고 내냉

성이 강한 자포니카벼의 Stejaree45를 부분으로 인공교배를 통하여 RILs를 육성하였다.

1994년 하계에 인공교배하여 20개의 교배립을 얻었으며, 1994/95년 동계에 세대축진 온실에서 F<sub>1</sub> 식물체를 양성하였다. 자식된 F<sub>1</sub> 종자를 1995년 하계 포장에서 한 개체군당 60 개체씩 20개체군을 이양하여 F<sub>2</sub> 1,200 개체를 육성하였다. F<sub>3</sub> 세대부터 세대단축온실과 작물과학원 포장에서 Single Seed Descent(SSD) 방법으로 F<sub>7</sub>세대까지 진전시켰다.

### 내냉성 처리 및 관련형질 조사

실험재료로 양친인 밀양23호와 Stejaree45호 그리고 F<sub>8</sub>세대 175 RILs를 작물과학원 춘천출장소 내냉성 검정포장에 공시하였다. 4월 25일에 파종하였으며, 이앙은 5월 25일에 주당 1본씩 조건과 주간을 25×15 cm 간격으로 이양하였다. 시비량(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)은 12-8-8 kg/10a 수준으로 사용하였으며, 인산과 가리질 비료는 전량 기비로 사용하였고, 질소질 비료는 기비를 70% 분얼비를 30%로 분시하였다. 냉수처리는 이앙 후 25일부터 등숙기까지 주야 계속 흘려대기로 실시하였으며, 수구의 수온은 17°C이고 수심은 5 cm로 하여 수온과 수심의 균일성을 유지하기 위하여 분산판을 수구와 배수구에 설치하였고 동일 포장에 대조구인 자연수온구를 별도로 설치하여 냉수처리구와 비교될 수 있도록 하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 농사시험연구 벼 표준 재배법에 준하여 실시하였다.

냉수처리 하에서 적고의 발생정도, 이삭의 추출도를 1~9까지 등급을 주어서 달관으로 조사하였으며, 1~3은 강, 4~6은 중, 7~9는 약으로 판정하였다. 간장 단축율은 냉수처리구와 자연구의 간장을 측정하여 자연구에 비하여 처리구의 간장이 단축된 정도를 백분율로 환산하였고, 출수지연일수는 냉수처리구와 자연구의 출수기를 조사하여 처리구와 자연구를 비교하여 그 지연된 일수를 계산하였다. 입실감소율은 자연구와 수구의 입실비율을 조사하여 자연구에 비하여 냉수처리구에서의 입실이 감소되는 정도를 백분율로 환산하였고, 수당 영화수 감소율도 자연구 대비 처리구의 벼알 감소정도를 백분율로 환산하였다. 기타 내냉성관련 형질의 조사는 농촌진흥청 시험연구 조사기준 및 춘천출장소의 내냉성검정 조사기준에 준하였다.

### 내냉성 관련 형질의 유전분석 및 상관분석

내냉성 관련 형질을 조사하여 각각 양친들과 비교하여 평균 및 표준편차, 범위 등을 구하였고, 각각 변이의 분포를 도수분포표로 작성하였다. 또한 내냉성 관련형질들간에 상관관계와 유전력을 SAS 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 유전력은 광의의 유전력으로 각 RILs의 내냉성 조사성적을 가지고 분산분석법에 의하여 유전분산( $\sigma_g^2$ )과 표현형분산( $\sigma_p^2$ )을 산출하고  $h_b^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2$ 식에 의하여 추정하였다.

표현형 상관은 공분산 분석법에 의하여 각 분산 및 공분

산을 산출하고 이들을 다음 식에 대입하여 상관계수를 산출하였다.

$$\text{표현형상관 } rPh = \text{Cov.} / \sqrt{\sigma^2X \sigma^2Y}$$

**결과 및 고찰**

**벼 RILs의 내냉성 관련 형질의 변이특성**

RILs의 분얼기적고 등 내냉성 관련 형질의 특성은 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

분얼기 적고의 내냉성 정도를 달관으로 조사한 결과 공시된 175개의 RILs 중 강한 것은 24계통, 중정도인 것은 102계통, 약한 것은 49계통이었다 적고에 대한 변이분포는 모본인 밀양23호가 81 부분인 Stejaree45가 2.5였으며 양친의 평균은 5.3이었다. RILs의 평균은 5.2±1.6으로 양친의 평균과 비슷하였으며, 연속변이를 보이는 양적형질임을 알 수 있었다. 이 결

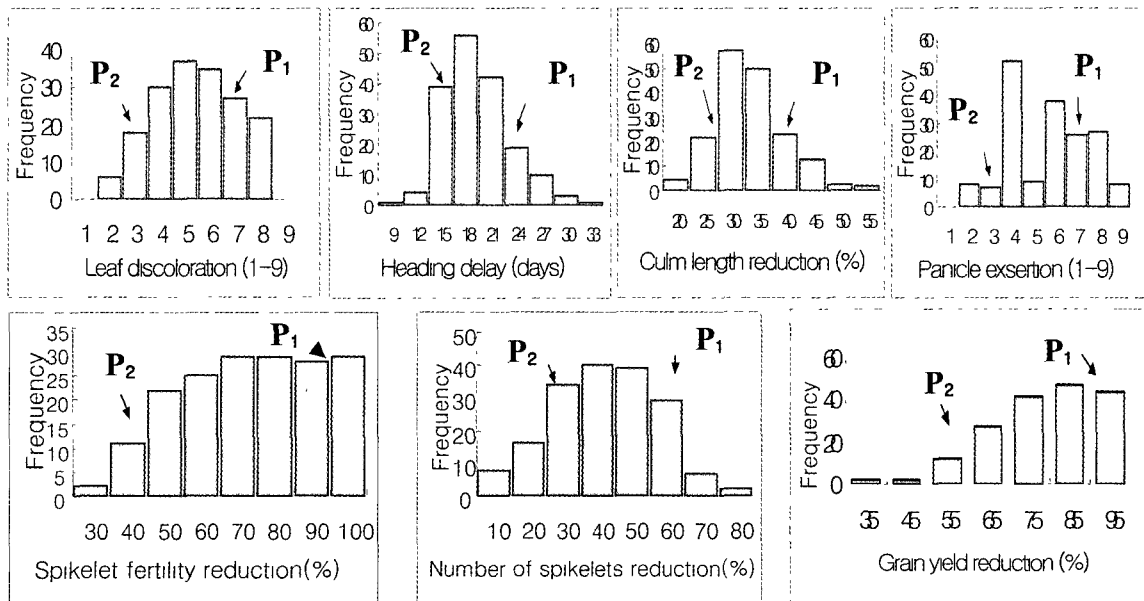
과는 Redona & Mckill(1996) 및 Han(1999) 등 연구자들이 보고한 바와 유사하였다.

출수지연일수에 대한 변이를 보면 모본인 밀양23호가 23.4일 부분인 Stejaree45가 15.1일로 평균 출수지연일수는 19.3일이었으며 RIL의 평균치는 19.0±4.0일을 보였다. 변이분포는 7~34일까지 넓게 분포하였고, 18일을 최빈수로 하여 정규분포에 가까운 연속변이 양상을 보였다. Yea(1995)는 냉수답과 자연답에서 F<sub>2</sub> 집단의 빈도분포는 출수지연이 적게되는 친쪽으로 정규분포하는 연속변이를 나타낸다고 보고하여 본 시험에서도 동일한 결과를 얻었다.

간장의 단축은 양친이 각각 42.6%와 28.7%를 보였으며 모본의 평균 간장단축율은 35.7%였다. RIL의 평균 간장단축율은 양친보다 약간 적은 31.4±6.7%였으며, 정점은 간장의 단축율이 적은 친쪽으로 치우친 정규분포에 가까운 연속변이 분포를 나타냈다. Yea(1995)는 냉수답에서 F<sub>2</sub>의 분포는 간장단축이 덜 되는 쪽으로 치우친 연속변이를 나타냈다고 보고하여

**Table 1.** Variation of cold tolerance characteristics in RILs population and their parents, *Milyang23* and *Stejaree45*

Characters	Parents		RILs	
	Milyang23 (M±SD)	Stejaree45 (M±SD)	M±SD	Range
Leaf discoloration(1-9)	8.1±1.2	2.5±0.5	5.2±1.6	1.5~8.0
Heading delay(days)	23.4±2.1	15.1±3.3	19.0±4.0	6.5~34.0
Culm length reduction(%)	42.7±9.0	28.7±6.9	31.4±6.7	17.2~53.1
Panicle exsertion(1-9)	7.9±0.8	2.3±1.0	5.4±1.5	5.4~1.5
Spikelet fertility reduction(%)	86.3±14.4	36.1±6.7	68.6±18.8	23.4~99.6
No of spikelet reduction(%)	59.8±15.1	23.9±11.6	38.4±10.2	8.0~66.5
Grain yield reduction(%)	90.5±5.1	46.1±15.2	79.7±13.2	31.5~98.6



**Fig. 1.** Frequency distribution of the leaf discoloration, heading delay, culm length reduction, panicle exsertion, spikelet fertility reduction, no. of spikelet reduction and grain yield reduction of 175 RILs and their parents, *Milyang23* (P<sub>1</sub>) and *Stejaree45* (P<sub>2</sub>).

본 시험과 동일한 결과였다.

이삭추출도는 양친이 각각 78과 23이었으며 양친의 평균은 5.1 이었다. RIL의 평균은 양친보다 약간 큰 5.4±1.5이었으며 이를 중심으로 분포가 이삭추출이 다소 양호한 계통군과 불량한 계통군으로 나누어지는 현상을 보였다. 그러나 이는 달관평가에 따른 결과이므로 불연속변이로 단정하기는 어려운 것으로 생각된다 Oh(1981)는 이삭추출이 출수기에 가장 억제되고 간장과 밀접한 관계가 있다고 하였으며, Choi *et al* (1991)은 이삭추출도의 불량이 불임발생과 밀접한 관계가 있으며, 통일형과 인디카 품종에서 심하다고 하였다. Yea(1995)은 냉수처리에 의한 이삭의 추출을 품종별로 보면 반 왜성 단간인 통일형에서 가장 나빴으며, 간장의 변이가 큰 인디카 품종과 자포니카 품종에서 모두 이삭의 추출이 1~9등급까지 다양한 변이 분포를 보였다고 하였는데, 본 시험에서도 이삭추출의 계급이 2부터 9까지 다양하게 나타났다.

저온에 의한 임실감소율은 양친이 각각 86.3%과 36.1%였고, 모본의 평균은 61.2%였으며, RIL의 평균은 양친보다 약간 큰 68.6±18.9%으로 임실감소율은 양친 중 임실감소율이 심한 밀양23호 쪽으로 치우치는 양상을 보였다. Futsuhara *et al* (1966)은 임실율의 F<sub>2</sub> 집단의 분리비가 낮은 친쪽으로 분포된다고 하여 본 결과와 일치하였다.

**Table 2.** Selection of RILs for multiple cold tolerance characters.

Characters	Corresponding lines
1 <sup>1</sup>	12, 14, 17, 31, 32, 36, 47, 50, 53, 54, 55, 63, 66, 71, 83, 88, 92, 94, 95, 99, 102, 103, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 118, 120, 126, 129, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 140, 141, 143, 146, 147, 148, 150, 153, 157, 159, 161, 163, 164, 169, 174, 175 = (56) 32%
2	11, 19, 33, 43, 45, 51, 57, 58, 59, 62, 64, 65, 76, 79, 90, 91, 119, 121, 122, 127, 139, 160, 162, 165, 173 = (25) 14.3%
3	10, 56, 108, 123 = (4) 2.3%
4	100 = (1) 0.6%

<sup>1</sup> 1, 2, 3, 4 : Number of cold tolerance characters

냉수처리에 의한 영화수의 감소율은 모본인 밀양23호가 59.8%이고 부분인 Stejaree45가 23.9%로 평균 감소율은 41.9%이었으나 RIL의 평균은 양친 중간치보다 적은 38.6±10.2%를 보였다. 변이분포는 양친 중간치를 중심으로 정규분포에 가까운 연속변이양상을 보였다. 그러나 Yea(1996) F<sub>2</sub> 세대에서 영화수가 적게 감소하는 친쪽으로 분포한다 보고하였고, Oh(1991)는 처리온도가 낮을수록 영화수는 급격히 감소하고 품종간 차이가 크다고 하였으며, Choi *et al* (1991)은 자포니카 품종과 인디카 품종간에는 영화수의 감소가 거의 비슷하게 나타나며 품종간 차이가 크다고 하였다.

냉해에 의한 수량감소율은 모본인 밀양23호가 90.5±5.1%이고 부분인 Stejaree45가 46.1±15.2%로 평균 감소율은 68.3%이었으나 RILs의 평균은 양친 중간치보다 높은 79.7±13.2%를 보였다 변이분포는 수량감소율이 심한 밀양23호 쪽으로 치우치는 양상으로 임실감소율과 비슷한 경향이였다. 따라서 저온에 따른 냉해로 영화수가 감소하고 임성이 저하되며 등숙비율이 낮아져 수량의 감소가 초래되는 것으로 판단된다 Ahn(1993)은 냉수처리에 의해 수량 및 수량구성요소의 감소가 품종에 따라 심하다고 보고하였는데 본 연구결과도 RILs의 수량감소가 계통에 따라 심한 차이를 보여 같은 경향을 보였다 따라서 수량감소에 결정적인 역할을 하는 것으로 불임율을 간접적으로 알 수 있고 본 연구 Table 3의 상관분석에서도 고도의 정의 상관관계가 인정되었다. 그러나 다른 한편으로 수량감소율이 낮은 쪽으로 치우치는 것은 장기냉수처리에 의한 출수까지의 일수가 지연되었을때 외기온의 저하로 정상적인 임성과 등숙장애를 받은 것으로 생각된다 따라서 차후 온도조절이 가능한 인공기상실에서 다양한 재료의 검토가 필요하다

**내냉성 관련 형질에 따른 RILs의 특성**

RILs의 내냉성 관련 형질 검정결과 분얼기 적고 정도와 이삭추출도를 강, 중, 약으로 판단할 때 1부터 3까지 강해 보였던 계통수는 각각 24계통(13.7%)과 16계통(9.1%) 이었다. 출수지연일수는 자연구에 대하여 처리구에서 출수가 지연되는

**Table 3.** Correlation coefficients among the cold tolerance characters in the RILs and their parents, *Milyang23* and *Stejaree45*.

Characters	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
LD(1)	-					
HD(2)	-0.122	-				
CLR(3)	0.069	0.233**	-			
PE(4)	-0.055	0.413**	0.29**	-		
SFR(5)	-0.135	0.328**	0.381**	0.462**	-	
NSF(6)	-0.02	0.019	-0.156*	0.05	0.057	-
GYR(7)	-0.035	0.421**	0.352**	0.458**	0.857**	0.081

\*, \*\* : Significant at 5%, 1% levels, respectively

LD : Leaf discoloration, HD : Heading delay, CLR : Culm length reduction, PE : Panicle exsertion, SFR : Spikelet fertility reduction, NSF : No. of spikelets reduction, GYR : Grain yield reduction

일수를 계산하였는데 지연일수가 15일 이하였던 것은 26계통 (14.9%) 이었다. 간장단축율이 25%이하로 내냉성이 강해 보였던 것은 27계통 15.4%이었으며, 수량감소에 직접적인 영향을 주는 입실감소율이 35%이하인 것은 8계통 4.6%로 내냉성 관련 조사 형질 중 가장 적은 계통이었고, 이삭당영화수 감소율이 25%이하인 계통은 13.1%인 23계통이었다.

내냉성 관련 형질에 대하여 내냉성정도가 부분인 Stejaree45와 비슷하거나 강해보이는 계통중 복합내냉성 정도는 Table 2와 같다. RILs에서 내냉성 관련 형질중 1가지의 내냉성을 가지고 있는 것은 56계통 32%였고, 2가지 내냉성 형질을 가지고 있는 것은 25계통 14.3%이었다. 3가지를 가지고 있는 것은 4계통 2.3%였고, 4가지를 가지고 있는 것은 1계통뿐이며, 6개 내냉성 관련 형질 중 Stejaree45 수준의 6개 이상을 가지는 계통은 하나도 선발할 수 없었다. 이는 RILs 계통을 SSD 방법으로 육성하다가 내냉성 검정을 위하여 임의의 선발하는 과정에서 빠졌을 가능성을 배제할 수 없다. Choi & Lee(1976)는 벼의 내냉성이 생육시기에 따라 다르게 나타난다고 하였으며, Jeong *et al* (1998)은 내냉성과 관련된 주요 형질들의 저온반응이 품종에 따라 다양하게 나타난다고 보고하였는데 본 시험의 RILs 에서도 유사한 결과였다.

**벼 RILs의 내냉성 회귀분석**

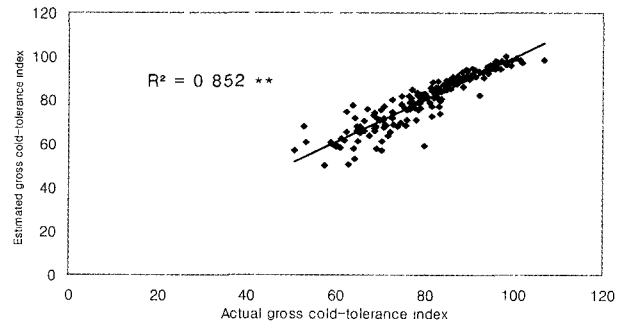
냉수를 처리한 포장에서 냉해로 인한 수량감소율은 모본인 밀양23호가 90.5%이고 부분인 Stejaree45가 46.1%로 평균 수량감소율은 68.3%이었으며, RILs의 평균치는 79.7±13.2%로 양친의 평균값보다 낮았다. 변이분포는 32~99%까지 다양하였으나 최빈수를 91%로 하여 모본인 밀양23호 쪽으로 치우친 연속변이었다. Ahn(1993)은 냉수처리에 의한 수량감소가 품종에 따라 차이가 있다고 보고하였는데 본 연구의 RILs 집단에서도 같은 경향이였다.

냉해에 의한 수량감소율은 내냉성 관련형질들을 독립변수로 한 최량 추정 중회귀식을 구하고, 이를 RILs 집단에 적용하여 실측치와 비교한 수량감소 추정 중회귀식에서 85%의 적중율로 냉해에 의한 수량감소 정도의 추정이 가능함을 알 수 있었다(Fig. 2).

$$Y = 23\ 804 - 0.265X_1 + 0.16X_2 + 0.105X_3 + 0.601X_4 + 0.264X_5 - 0.033X_6$$

X<sub>1</sub> : 분얼기 적고, X<sub>2</sub> : 출수지연일수, X<sub>3</sub> : 간장단축율, X<sub>4</sub> : 입실감소율, X<sub>5</sub> : 영화수감소율, X<sub>6</sub> : 이삭추출도

Choi *et al.*(1991)은 냉수처리에 의한 수도 품종간 내냉성 차이를 평가하기 위하여 수량감소추정 중회귀식과 제1주성분 추정 중회귀식을 이용하여 타 연도의 타 재료의 추정이 가능하다고 보고한 수량감소 중회귀식을 본 연구의 RILs에 적용해본 결과 75%의 적중율을 보였다. 따라서 벼 품종의 숙기나



**Fig. 2.** Fitness of estimated gross cold-tolerance indices obtained from 175 RILs, using the multiple liner regression (MLR) formular.

재배지역에 따라 수량감소추정 중회귀식을 활용한다면 냉해로 인한 수량감소추정이 가능할 것으로 추정된다.

**내냉성 관련 형질에 대한 상관분석 및 유전력**

냉수처리답에서 내냉성 관련 형질의 분얼기 적고, 간장단축율, 출수지연일수, 영화수감소율, 입실감소율, 이삭추출도, 수량감소율 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

분얼기 적고 상관관계는 다른 내냉성 관련 형질과 통계적인 유의성이 인정되지 않았다. 출수지연일수의 상관은 간장단축율, 이삭추출도 및 영화수감소율 및 수량감소율과 고도의 정의 상관관계가 인정되었으나 분얼기 적고와 영화수감소율에서 유의한 상관관계가 인정되지 않았다. 간장단축율의 상관에서 이삭추출도, 입실감소율 및 수량감소율은 고도의 정의 상관관계가 인정되었고, 영화수감소율과는 부의 상관관계가 인정되었다. 이삭추출도의 상관에서 입실감소율과 수량감소율은 고도의 정의 상관관계가 인정되었다. 입실감소율의 상관은 수량감소율과 r=0.857\*\*로서 고도의 정의 상관관계가 인정되어 입실감소율이 저온으로 인한 냉해에서 수량감소의 주요한 원인 중 하나로 생각되어진다. 영화수감소율은 간장단축율과의 상관에서 부의 상관관계가 인정되었고 그 외의 형질과는 유의한 상관관계가 인정되지 않았다.

내냉성 관련 형질의 상관에서 Choi *et al* (1991)과 Oh (1981)은 불입율, 출수지연, 간장단축, 이삭추출도 그리고 종합적인 내냉성 상호간에는 상관관계가 있다고 하였으며, Jeong *et al* (1998)은 냉수처리에 의한 내냉성 관련 형질의 상관에서 출수지연일은 간장단축율과 r=0.532\*\*로 고도의 정의 상관관계, 간장단축율과 수구의 입실율과는 r=-0.254\*로 부의 상관관계가 인정된다고 보고하였다. 이와 같이 내냉성 관련 형질의 상관관계는 어떤 일관성이 결여되고 각 생육시기에 따라 저온에 대한 반응이 다르게 나타난다는 것은 내냉성이 한·두개의 주동유전자(major gene)가 관여하는 특정유전자보다 polygene에 의한 영향이 큰 양적형질임을 알 수 있다.

내냉성 관련 형질 중 분얼기 적고, 간장단축율, 출수지연일

**Table 4.** Heritability estimates of cold tolerance characters in the RILs derived from a cross between *Milyang23* and *Stejaree45*

Characters	Heritability( $h^2B$ )
Leaf discoloration	69.3
Heading delay	52.4
Culm length reduction	6.1
Spikelet fertility reduction	65.2
No. of Spikelets reduction	34.2
Panicle exsertion	64.4
Grain yield reduction	26.7

수, 영화수감소율, 임실감소율, 이삭추출도, 수량감소율에 대하여 RIL계통의 유전력은 Table 4와 같다.

조사된 7개 형질 가운데 분얼기 적고, 임실감소율, 이삭추출도는 유전력이 60% 이상으로 높아 조사된 다른 형질에 비하여 환경의 영향을 적게 받는 형질임을 알 수 있었으며, 간장단축율, 영화수감소율 및 수량감소율은 유전력이 50% 이하로 다른 형질에 비하여 유전력이 낮은 경향을 보였다. 이 결과는 본 시험에서 유전력이 높았던 분얼기 적고, 임실감소율 및 이삭추출도 등과 같은 형질들이 내냉성 품종육성에서 선발 효과가 높을 것으로 추정된다

Yea(1995, 1996)는 교배조합에 따라 다소 차이는 있으나 냉수처리답에서 유전력이 높은 형질은 출수지연일수, 간장단축율, 이삭추출도, 임실감소율을 보고하여 본 연구결과 중 이삭추출도와 임실감소율이 일치하였으나, 간장단축율이나 영화수감소율은 상반된 결과이었다. 이런 결과는 내냉성 검정에 사용한 재료의 차이 때문이거나 조사 시기와 방법이 달라 생기는 오차로 차후 다양한 재료를 이용한 검토가 필요할 것으로 생각되어진다.

Van Berloo & Stam(1998)은 Marker assisted selection (MAS)를 위한 computer simulation 분석에서 MAS 후의 표현형선발 효과는 형질의 유전력이 100%에 도달할 때 더 효과적이었으며, 또한 MAS는 유전력이 10~30%일 때 표현형으로 선발하는 것보다 더 효율적이라고 하였다. 따라서 내냉성 계통을 육성하면서 여러가지 내냉성 관련 형질의 검정결과가 생육시기에 따라 다르고 특별한 검정시설이 필요하며 유전력이 낮은 형질의 선발에는 DNA marker를 이용한 MAS를 통한 계통의 선발이 기대된다.

## 적 요

본 연구는 저온에 민감한 밀양23호를 모본으로 내냉성이 강한 Stejaree45호를 부분으로 교잡하여 육성한 175 RILs를 이용하여 내냉성 관련 형질들의 변이분포, 유전 통계량 및 상관관계를 분석하였다.

조사된 형질 중 수당영화수, 적고, 출수지연일수, 간장단축

율 및 영화수감소율은 정규분포에 가까운 연속변이 분포곡선을 보였으며, 모든 형질에서 양친의 범위를 벗어나는 초월분리현상을 보였다. 임실감소율과 수량감소율은 모본인 밀양23호 쪽으로 일정하게 치우친 경향으로 저온에 민감한 쪽으로, 출수지연일수와 간장단축율은 부분인 Stejaree45 쪽으로 치우친 경향으로 내냉성이 증가되는 쪽으로 작용가가 큰 유전자가 관여하는 것으로 추정되었다.

내냉성 관련 형질들의 상관관계 중 수량감소율과 상관성이 인정되었던 형질은 출수지연일수, 간장단축율, 이삭추출도 및 임실감소율이었으며, 조사된 형질중 유전력이 60% 이상으로 나타난 형질은 분얼기 적고, 임실감소율, 이삭추출도였으며, 유전력이 40% 이하로 낮았던 형질은 간장단축율, 영화수감소율 및 수량감소율이었다.

175 RILs 중에서 내냉성 관련 형질의 내냉성 정도가 부분인 Stejaree45 수준이거나 그 이상의 내냉성 형질을 가진 것은 86계통으로, 1개의 내냉성 형질은 56계통 32.0%였고, 2개의 내냉성 형질은 25계통 14.3%, 3개의 내냉성 형질은 4계통 2.3%, 4개의 내냉성 형질은 1계통 밖에 없었으며, 그 이상의 내냉성 관련 형질을 가진 계통은 없었다

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린21사업 및 작물유전체기능연구사업단(#CG1510)의 연구 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

- Ahn, J. K. 1993. Effect of cold water irrigation on the growth, yield and grain quality in rice. *Korean J Crop Sci* 38(6) : 554-559.
- Choi, B. S., C K Park, and K R Ryu. 1985. Effect of cold water irrigation on the growth and yield characters of rice varieties. *Res. Rept RDA(C)* 27(1) : 101-108.
- Choi, B. S. 1987. Effect of low temperature on the growth and agronomic characters of rice plant. *Res. Rept. RDA(C)* 27(1) : 101-108.
- Choi, H. C., J. D. Yea, S. Y. Cho, and R. K. Park. 1991. Evaluation of varietal difference in cold tolerance of rice by cold-water irrigation system. *Res. Rept RDA(R)* 33(1) : 10-24.
- Choi, H. O., S. B. Aha, H. Heu, Y. J. Oh, and S. I. Han. 1975. Occurrence, Diagnosis of leaf discoloration of tongil rice variety. *Res. Rept RDA(C)* 17 : 99-108.
- Choi, H. O. and J. H. Lee. 1976. Studies on low temperature injury at each growth stage in rice plant. *Korean J Crop Sci* 21(2) : 203-210.
- Futsuhara, Y. and K. Toriyama. 1966. Genetic studies on cool tolerance in rice III Linkage relation between genes controlling cool tolerance and marker genes of Nagao and Tokahashi. *Japan J. Breed* 16(4) : 231-242.
- Han, L. Z. 1999. Genetic analysis of growth response to cold water and selection effect by cold tolerance at seedling stage in rice

- (*Oryza sativa* L.) Department of agri. Seoul Nat'l Univ. (PH thesis)
- Hayase, H, T. Satake, I. Nishiyama, and N. Ito. 1970 Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plant II. The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 34 : 706-711
- Heu, M. H. and Y. K. Kim. 1984. The segregation mode of plant height in the crosses of rice cultivars VII Segregation of recessive-tall culm length Korean J. Breed 16(1) 35-40.
- Ito, N, H. Hayase, T. Satake and, I. Nishiyama 1971. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice III Male abnormality at anthesis Proc. Crop Sci. Soc. Japan 39 : 60-64.
- Jeong, E. G., K. M. Yoon, M. G. Back, J. D. Yea, and H. P. Moon 1998. Screening of characters related cold tolerance of Korean leading rice varieties RDA. J. Crop Sci.. 40(2) 25-32
- Kim, H. Y., S. K. Lee, and K. Y. Chang. 1982 Genetic variations on days to heading and culm length of rice in different environments. Korean. J. Breed 14(3) : 256-264.
- Kim, Z. H 1987 Genetic analysis of six panicle character in rice Korean. J. Crop Sci 32(2) : 208-214.
- Kuno, K and M. Shimizu 1973 Relationships between the appearance of morphogenetically abnormal spikelets and the stages of panicle development when plants were treated with low temperature in paddy rice Japan Jour. Crop Sci. 42(4) : 527-538
- Lee, M. H., N. K. Park, and S. H. Park 1989. Mechanisms of cold injury and cultural practices for reducing damage of rice Korean J. Crop Sci. (Physiological injuries No.1) 33-44.
- Nishiyama, I and T. Satake. 1979. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants XIX. The difference in susceptibility to coolness among spikelets on a panicle Proc. Crop Sci. Japan 48(2) : 181-186
- Oh, Y. J. 1981. Physiological and ecological studies on the low temperature damage of rice (*Oryza sativa* L.) Korean J. Crop Sci. 26(1) 1-31.
- Redona, E. D. and D. J. Mackill. 1996 Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs Theor. Appl. Genet 92 : 395-402
- Satake, T. and H. Hayase. 1971. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants V Estimating of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. Proc. Crop Sci. Japan 39 : 468-473.
- Sawada, S. 1978. Res. Bull. Obihiro Univ. Ser. 1 10 : 837-883
- Sohn, J. K., G. S. Chung, and M. S. Lim 1979. Studies on the inheritance of several characters related to cold tolerance in rice. Korean. J. Breed 11(1) : 58-64.
- Van Berloo, R. and P. Stam 1998 Marker assisted selection in autogamous RIL population a simulation study Theor. Appl. Genet 96 : 147-154.
- Yea, J. D. 1995. Inheritance of some agronomic characters related to cold tolerance under cold water treatment in rice Korean J. Crop Sci 40(4) : 473-480.
- Yea, J. D. 1996. Inheritance of delay to heading, spikelet number and fertility under cold water treatment in rice Korean J. Crop Sci 41(1) 45-52.