한작지(Korean J. Crop Sci.), 60(2): 146~152(2015)

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)
DOI : http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2015.60.2.146

국내 육성 조생종 벼 품종들에 대한 등숙기 고온내성 평가

조성우 · 정지웅† · 강경호 · 김현순 · 김보경

국립식량과학원 작물육종과

Evaluation on Early-maturing Korean Japonica Cultivars for High-temperature Tolerance during Grain Filling Stage

Seong-Woo Cho, Ji-Ung Jeung†, Kyung-Ho Kang, Hyun-Soon Kim, and Bo-Kyeong Kim

Crop Breeding Division, NICS, RDA, Wanju-gun565-851, Republic of Korea

ABSTRACT Early-maturing Korean Japonica cultivars and Jungmo1024 were used as plant materials to evaluate high-temperature tolerance during grain filling stage. National Institute of Crop Science (NICS) in Korea developed Jungmo1024, a mutant line from Namil (wild type) treated by using sodium azide (SA) as mutagen. To evaluate high-temperature tolerance, all cultivars were exposed to high-temperature (day 31.5±2.5℃/ night 27.5±1.3℃) and ordinary temperature (day 27.5±1.8℃/ night 24.7±1.6℃) during grain filling stage. In these conditions, we performed compared evaluation of grain shape such as length and width and grain quality by using a 1625 Cervitec grain inspector. High-temperature during grain filling stage caused decrease of grain shape. In grain shape such as length and width, the decrease rate of width (average 6.3%) was higher than the decrease rate of length (average 1.3%). Hence, high-temperature affected width of grain than length of grain. In addition, high-temperature showed a decided difference in rate of head rice between ordinary temperature (average 76.3%) and high-temperature (average 13.3%).As a result, Taebong, Ungwang, Manan, and Jungmo1024 seemed relatively a decent high-temperature tolerance than other cultivars. Especially, Jungmo1024 seemed remarkable rate of head rice (average 34.4±6.2%) than other cultivars under high-temperature. It is considered that a genetic trait of Jungmo1024 can be useful to improve breeding for high-temperature tolerance.

Keywords : high-temperature tolerance, early-maturing, mutant, sodium azide, rice

지구온난화로 인한 기후 변화는 전세계적인 문제로 인식되고 있다. 기후변화에 대응하기 위한 정부간 협의체인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에 따르면 최근 100년간(1906-2005) 세계의 평균기온은 0.74℃ 상승하였다고 한다. 또한 온실가스 배출량의 증가로 인한 기온상승은 앞으로도 심화될 것이라고 예상하였다. 지구온난화에 따른 기후의 변화는 식물의 생리학적, 생화학적, 그리고 물질대사에 장애를 일으켜 생장과 생산능력에 제한을 주는 주된 환경스트레스로 알려져 있다(Shimono and Ishii, 2012; Hasanuzzaman *et al*., 2013). 따라서 최근 기후 변화에 대응하여 작물의 특성 변화와 생장 한계선 이동 및 이산화탄소 증가로 인한 생리 변화 등에 대한 연구들이 수행되고 있다 (Kim *et al*., 2009; Shin *et al*., 2012; Lee *et al*., 2011).

한반도를 비롯하여 벼를 주곡 작물로 하는 동아시아에서 기후변화에 따른 고온은 벼의 종실중 감소(Yonemaru and Morita, 2012)와 등숙기간 동안 종실의 전분합성에 문제(Kobayashi *et al*., 2007; Yamakawa *et al*., 2007; Phan *et al*., 2013)를 야기시켜 쌀의 수량과 외관품위를 저하하는 원인이 되고 있다. 따라서, 쌀 품위와 관련된 고온에서의 등숙기 고온내성에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있으며(Chen *et al*., 2012; Hakata *et al*., 2012; Tabkhkar *et al*., 2012), 고온에서도 안정적 수량성과 좋은 쌀 외관품위를 유지할 수 있는 등숙기 고온내성을 가진 벼 품종 개발의 필요성이 인식되고 있다.

본 연구에서는 등숙기간 동안 고온에 영향을 많이 받는 조생종 벼에 대한 등숙기 고온내성 연구를 위하여 국내에서 개발된 조생종 벼 품종들과 돌연변이 육종으로 확보된 남일 돌연변이 중모1024를 온도 조건에 따라 각각 고온과 적온

†Corresponding author: (Phone) +82-63-238-5236 (E-mail) jrnj@korea.kr
<Received 10 November, 2014; Revised 5 January, 2015; Accepted 26 April, 2015>

조건으로 나누어 공시하였다. 공시된 품종들의 출수기 및 현미 입형과 외관품위를 조사하여 온도 조건에 대한 차이를 비교함으로써 등숙기 고온 내성을 평가하고자 수행하였다.

재료및방법

돌연변이 집단육성 및 중모1024 선발

자포니카(*Oryza sativa* L. ssp. Japonica) 벼로서 숙기가 빠르고(8월 4일 출수: 수원기준) 다수성(662kg/10a: 백미기준)인 남일(Kim *et al*., 2003)에 대해 돌연변이원으로 인산가리완충용액에 희석한 아지드화나트륨(Sodium azide; NaN_3)이 처리된 돌연변이 후대계통들이 확보되었다(Shin *et al*., 2009). 간략하게는, M_1 식물체들로부터 1개 이삭씩을 수확하였으며(M_2 종자), 이후부터는 M_7세대까지 계통육종법에 의거하여 세대를 진전시키면서 고정계통을 확립하였다. 매 세대마다 각 계통 당 임성이 높은 1개 식물체를 무작위로 선발하고 1수-1열법에 의거하여 후대계통을 전개하였다. M_7 식물체 세대에서 각 계통내의 개체들이 균일한 표현형을 보여 유전적으로 고정되었다고 판단하고 총 5,135개의 계통을 확정하였다. 원품종인 남일에 비해 고온내성을 가진 돌연변이 계통을 확보하기 위한 고온검정을 통해 고온에서 양호한 등숙성을 보이는 중모1024(품종보호: 제5103호, 등록일자: 2014. 7. 31)를 확보하였다.

등숙기 고온내성 평가를 위한 공시품종

고온에 대한 등숙기 고온내성을 평가하기 위하여 국내 조생종 벼 품종인 고운, 진부, 태봉, 만추, 조안, 태성, 운광, 문장, 만안, 오대, 새상주, 만호, 중화, 그리고 상주와 돌연변이 집단육성을 통하여 확보된 남일 돌연변이 계통 중모1024를 함께 2011년 국립식량과학원 답작과(수원소재)의 적온구인 포장과 고온구인 온실에 각각 보통기 재배(4월 7일 파종, 포장: 5월 12일 이앙, 온실: 6월 3일 이앙)에 준하여 공시하였다.

등숙기 고온 내성 평가를 위한 온도 조건

등숙기 고온 내성을 평가하기 위하여 적온구와 고온구의 온도 차이를 비교해 보면, 적온구인 포장에서는 등숙기간(7월 30일~9월 4일)동안 일평균온도가 26.1±1.5℃로 측정되었으며, 고온구인 온실에서는 일평균온도가29.4±1.6℃로 측정되었다(Fig. 1). 주간(12h; 07:00-19:00)과 야간(12h;19:00-07:00)의 포장과 온실에서 평균 온도를 측정한 결과, 포장에서는 주간 평균온도가 27.5±1.8℃이었으며 온실에서는 주간평균온도가 31.5±2.5℃로 측정되었으며, 야간의 포장평균온도는 24.7±1.6℃이었으며 온실 평균온도는 27.5±1.3℃로 측정되었다.

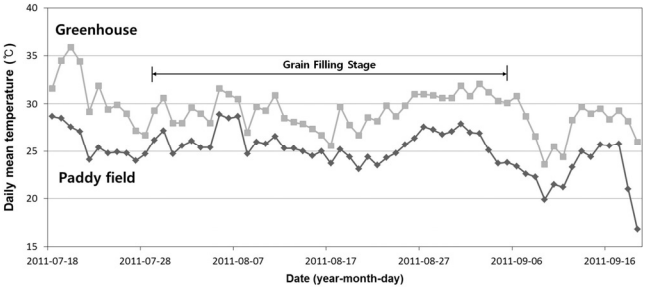

Fig. 1. Difference of daily mean temperature between paddy field and greenhouse. Early-maturing Korean Japonica cultivars and Junmo1024, a mutant line were cultivated in paddy field as ordinary temperature and greenhouse as high temperature condition. During grain filling stage (between 30th July and 4th September), mean of difference of daily mean temperature between paddy field and greenhouse was 3.3 degree. Mean of difference of night mean temperature between paddy field and greenhouse was 2.8 degree during grain filling stage.

출수 조사 및 현미입형과 외관품위 판별

고온에 대한 출수 양상을 비교 평가하기 위하여 포장과 온실에 공시된 품종들의 출수기를 조사하였다. 출수기는 전 식물체의 총 경수를 가름하여 40~50%가 출수한 날로 하였으며, 각 반복구에 대한 조사일수의 평균값을 취하여 각 품종들의 출수기로 하였다. 각 품종들의 등숙기 평균온도는 각 품종의 출수기로부터 30일 동안의 일평균온도를 산출하여 사용하였다(Table 1). 쌀 외관품위 평가는 완숙기에 수확된 시료를 사용하여 평가하였다. 쌀 외관품질을 지배하는 심복백의 정도를 객관적으로 평가하기 위하여 각 품종당 5~10g의 현미를 쌀품위분석기(FOSS Cervitec 1625 Grain Inspector)에 통과시켜 얻은 각 반복구의 평균값을 취하여 입형 및 현미완전미율과 미숙립율을 산출하였다.

통계분석

각 온도조건에 따른 현미의 입형 및 완전미율과 미숙립율의 결과값에 대한 통계분석은 SAS 프로그램(Statistical Analysis System Institute, 2000)의 PROC GLM을 이용하여 Duncan의 다중범위검정방법(Duncan's multiple range test)를 통해 5% 유의수준에서 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

고온에 대한 품종들간 출수기 비교

포장과 온실에 공시된 품종들의 온도 변화에 따른 출수 양상을 비교 평가하였다. 출수기 전 10일 동안 포장의 일평

Table 1. Heading date of plant materials and mean daily temperature duringgrain filling stage in paddy field as ordinary temperature and greenhouse as high-temperature condition.

Line	Heading date (month.day±SD)		Mean temperature duringgrain filling stage (℃±SD)[a]	
	Paddy field	Greenhouse	Paddy field	Greenhouse
Goun	7.30±1	7.30±2	25.7±0.1	28.9±0.1
Jinbu	7.31±1	7.30±2	25.6±0.1	28.9±0.1
Taebong	7.31±0	7.30±2	25.7±0.1	29.0±0.2
Manchu	8.01±0	8.06±2	25.8±0.1	29.4±0.1
Joan	7.31±1	7.29±1	25.7±0.1	29.0±0.1
Taeseong	8.01±1	8.05±3	25.8±0.0	29.3±0.1
Ungwang	8.02±1	8.02±1	25.8±0.1	29.3±0.1
Munjang	8.03±1	8,03±1	25.8±0.1	29.3±0.1
Manan	7.31±1	8.01±0	25.7±0.1	29.2±0.0
Odae	7.31±1	7.28±1	25.7±0.1	29.0±0.1
Saesangju	8.02±1	8.02±1	25.8±0.0	29.2±0.1
Manho	7.30±1	8.04±2	25.6±0.1	29.3±0.1
Junghwa	8.01±1	8.01±1	25.8±0.1	29.2±0.0
Sangju	8.02±0	7.30±1	25.8±0.0	29.0±0.1
Jungmo1024	8.03±1	8.04±1	25.9±0.1	29.4±0.1

[a]The mean temperature of grain filling stage was average of daily mean temperature for 30 days from heading date of each plant material. SD indicates standard deviation (n=3).

균온도는 25.3±0.1℃이었고 온실에서는 29.2±0.5℃로 측정되었다. 각 조건에서 품종들간의 출수기 차이를 보면(Table 1), 포장에서 출수기는 고운과 만호가 7월 30일로 가장 빠른 출수기를 보였으며 상대적으로 문장과 중모1024는 8월 3일로 늦은 출수기를 보였다. 출수기가 빠른 품종과 늦은 품종간의 출수기 차이는 포장에서 평균 3일의 차이를 보였다. 온실에서의 출수기 양상은 오대가 7월28일로 가장 빠른 출수기를 보였으며 만추가 8월 6일로 상대적으로 늦은 출수기를 보였다. 온실에서의 오대와 만추간의 출수기는 평균 8일의 차이를 보였다. 포장과 온실의 출수기를비교해 보면(Table 1), 고운, 운광, 문장, 새상주 및 중화는포장과 온실에서출수기의 차이를 보이지 않았다. 진부, 태봉, 조안, 오대 및 상주의 출수기는 포장에 비해 온실에서 빨라진 반면 에만추, 태성, 만안, 만호 및 중모1024는 오히려 포장에서 보다 온실에서 다소 늦은 출수기를 보였다.

등숙기 고온에 대한 품종들간 현미 입형 비교

등숙기간 동안 고온에 대한 고온내성을 평가하기 위하여 현미의 입형과 외관품위를 조사하여 결과값을 고온 내성을 평가하는 척도로 하였다. 적온구인 포장과 고온구인 온실의 온도를 비교해 보면, 포장과 온실의 일평균 온도 차이는 평균 3.3℃이었다. 또한 주야간 평균온도 차이는 주간에는 평균 4.0℃이었으며. 야간에는 평균 2.8℃의 차이를 보였다. 등숙기간 동안 온실에 공시된 벼 품종들은 포장에 비해 평균 3.3℃가 높은 고온에 노출되었다. Morita *et al*. (2005)의 연구에 따르면 주야간 고온에 따른 벼종실의 건물중은 주간의 고온(주간 34℃/야간 22℃) 조건에서는 종실의 건물중이 대조구(주간 22℃/ 야간 22℃)와 큰 차이를 보이지 않았으나 야간의 고온(주간 22℃/ 야간 34℃)은 주간의 고온과 대조구에서보다 벼 종실의 건물중이 유의하게 9~10%정도 감소되었으며 종실의 건물중에 대하여 주간의 고온보다는 야간의 고온에 있어서 더 많은 영향을 받은 것으로 보고되었다.

고온에 대한 공시품종들의 현미외관품위를 비교 평가하기 위하여 쌀 품위 분석기를 사용하여 적온구와 고온구의 입형 및 완전미율과 미숙립율을 산출하여 비교 평가하였다(Table 2).온도 상승에 따른 포장과 온실의 공시 품종들의 현미 입형을 비교하기 위하여 현미의 길이와 너비를 조사하였다. 포장과 온실에 공시된 품종들의 현미 길이를 비교한 결과는 포장에서 공시된 품종들 중 중모1024의 현미 길이가 평균 5.25±0.01 mm로 가장 길었으며, 만호는 평균

Table 2. Comparison on grain shape and quality (mean±standard deviation) of rice between paddy field as ordinary temperature and greenhouse as high-temperature[a].

Line	Length (mm)			Width (mm)			Length/width ratio		Head rice (%)		Immature grain (%)	
	Paddy field	Green house	Δ(%)	Paddy field	Green house	Δ(%)	Paddy field	Green house	Paddy field	Green house	Paddy field	Green house
Goun	5.03±0.01^{c}	4.92±0.06^{de}	-2.05	2.86±0.03^{a}	2.63±0.01^{bc}	-8.04	1.76	1.87	81.5±0.9^{cd}	9.2±4.5^{bcd}	15.1±0.8^{cd}	81.7±4.0^{ab}
Jinbu	4.98±0.02^{d}	4.90±0.05^{ef}	-1.54	2.85±0.02^{a}	2.61±0.03^{bcd}	-8.40	1.75	1.88	75.0±0.6^{def}	12.0±2.5^{bcd}	22.9±1.5^{ab}	76.7±1.0^{abc}
Taebong	4.83±0.02^{h}	4.72±0.02^{i}	-2.14	2.70±0.01^{f}	2.49±0.01^{g}	-7.78	1.79	1.90	67.5±2.3^{g}	16.6±6.0^{b}	29.4±2.8^{a}	70.8±4.7^{cde}
Manchu	4.90±0.02^{fg}	4.78±0.04^{ghi}	-2.38	2.76±0.02^{cd}	2.62±0.02^{bcd}	-5.19	1.78	1.82	92.6±0.4^{a}	11.4±9.7^{bcd}	5.3±1.0^{e}	71.5±7.5^{cde}
Joan	4.93±0.04^{ef}	4.85±0.05^{fg}	-1.55	2.74±0.01^{de}	2.54±0.03^{f}	-7.19	1.80	1.91	72.1±3.3^{efg}	10.0±4.4^{bcd}	25.5±3.6^{a}	74.0±7.4^{bcde}
Taeseong	4.89±0.01^{g}	4.81±0.02^{gh}	-1.50	2.87±0.02^{a}	2.70±0.00^{a}	-5.92	1.70	1.78	82.5±2.8^{bc}	2.7±1.2^{d}	14.7±1.9^{cd}	85.5±0.8^{a}
Ungwang	4.97±0.03^{de}	4.95±0.05^{cde}	-0.33	2.75±0.01^{cd}	2.60±0.01^{cde}	-5.57	1.81	1.90	75.2±0.4^{def}	16.0±9.2^{b}	22.6±0.7^{ab}	64.8±7.7^{e}
Munjang	5.15±0.01^{b}	5.09±0.03^{b}	-1.1	2.71±0.01^{ef}	2.54±0.00^{f}	-6.39	1.90	2.00	80.6±2.9^{cd}	11.5±5.7^{bcd}	15.1±0.6^{cd}	64.3±3.0^{e}
Manan	4.93±0.03^{ef}	4.84±0.02^{fg}	-1.89	2.65±0.01^{g}	2.46±0.01^{gh}	-7.17	1.86	1.97	68.4±2.4^{fg}	18.2±4.1^{b}	29.7±2.9^{a}	64.4±4.2^{e}
Odae	4.88±0.02^{g}	4.74±0.01^{hi}	-2.73	2.81±0.01^{b}	2.59±0.00^{de}	-7.72	1.74	1.83	79.1±6.5^{cde}	12.2±4.5^{bcd}	17.8±6.6^{bc}	66.6±4.3^{de}
Saesangju	4.99±0.03^{d}	5.00±0.05^{c}	0.14	2.69±0.02^{f}	2.54±0.01^{f}	-5.82	1.86	1.97	67.9±2.6^{fg}	4.9±1.4^{cd}	27.8±4.7^{a}	72.0±2.0^{cde}
Manho	4.77±0.04^{i}	4.84±0.04^{fg}	1.40	2.77±0.01^{c}	2.70±0.01^{a}	-2.53	1.72	1.79	71.0±10.6^{fg}	13.0±3.4^{bc}	23.7±10.8^{ab}	70.0±4.7^{cde}
Junghwa	5.06±0.01^{c}	4.99±0.03^{cd}	-1.32	2.74±0.01^{de}	2.57±0.02^{ef}	-6.21	1.85	1.94	73.0±1.8^{efg}	11.7±3.2^{bcd}	23.8±2.6^{ab}	75.1±1.3^{bcd}
Sangju	4.88±0.02^{g}	4.78±0.05^{ghi}	-2.05	2.64±0.01^{g}	2.45±0.02^{h}	-7.31	1.85	1.95	68.9±4.4^{fg}	12.8±3.0^{bcd}	28.7±4.6^{a}	68.9±4.7^{cde}
Jung-mo1024	5.25±0.01^{a}	5.23±0.06^{a}	-0.38	2.74±0.01^{de}	2.64±0.05^{b}	-3.53	1.92	1.98	88.8±0.9^{ab}	34.4±6.2^{a}	9.3±0.4^{de}	55.1±9.6^{f}

'Δ' indicates ratio of increase and decrease variation between paddy field and greenhouse.
[a]Means with the same letter in the columns are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% probability.

4.77±0.04 mm로 가장 짧은 것으로 조사되었다. 고온구인 온실에서는 포장에서 가장 긴 중모1024가 평균 5.23±0.06 mm로 온실에서도 가장 긴 현미 길이를 보였으며, 상대적으로 태봉이 평균 4.72±0.02 mm로 가장 짧은 현미 길이를 보였다. 고온에 의한 현미 길이의 감소율을 비교한 결과, 중모1024의 현미 길이가 평균 5.25±0.01 mm에서 5.23±0.06 mm로 고온에 의해 감소되었으며 감소율은 평균 0.38%로 공시 품종들 중 가장 낮은 감소율을 보였다. 반면에 오대는 평균 4.88±0.02 mm에서 4.78±0.01 mm로 현미의 길이가 감소되었으며 감소율은 평균 2.73%로 가장 높은 감소율을 보였다. 포장에서 가장 짧은 현미 길이를 보인 만호는 고온에서 현미의 길이가 평균 4.77±0.04 mm에서 4.84±0.04 mm로 현미 길이의 변화가 평균 1.40% 증가되었으며, 새상주의 경우는 고온에 의해 현미 길이가 감소된 다른 공시 품종들과는 다르게 현미의 길이가 고온에 영향을 받지 않았다.

현미 너비의 경우에는 고온에 의해 공시된 모든 품종들에서 현미의 너비가 감소하였다(Table 2). 포장에서는 태성의 현미 너비는 평균 2.87±0.02 mm로 가장 길었으며, 상주가 평균 2.64±0.01 mm로 가장 짧은 현미 너비를 보였다. 고온구인 온실에서는 태성과 만호의 현미 너비가 평균 2.70±0.00 mm로 가장 길었으며, 포장에서 가장 짧은 현미 너비를 보인 상주가 평균 2.45±0.02 mm로 온실에서도 가장 짧은 현미 너비를 보였다. 고온에 의한 현미 너비의 감소율을 비교해 본 결과, 공시된 품종들 중 중모1024의 현미 너비가 평균 2.74±0.01 mm에서 2.64±0.05 mm로 감소되었으며 감소율이 평균 3.53%로 가장 낮은 감소율을 보였다. 반면에 진부의 현미 너비는 평균 2.85±0.02 mm에서 2.61±0.03 mm로 감소되었으며 감소율이 평균 8.40%로 가장 높은 감소율을 보였다. 고온에 의한 현미 너비의 평균 감소율은 6.3%이었으며 길이의 평균 감소율은 1.3%로 현미 너비의 감소폭이 길이의 감소폭에 비하여 평균 4배 이상 높았다. 이런 결과로 보아, 고온에서 현미의 입형은 길이보다는 너비가 더 많은 영향을 받는 것으로 사료된다. 고온에서 벼(*Oryza sativa* L. 'Kinuhikari')의 종실 크기는 주간(주간 34℃/야간22℃) 또는 야간(주간 22℃/야간34℃) 고온에 상관없이 적온(주간 22℃/야간22℃)에 비해 차이를 보였으며, 고온에서 종실의

길이보다는 너비의 감소가 크다고 보고된 바 있다(Morita *et al*. 2005).

등숙기 고온에 대한 품종들간 외관품위 판별

등숙기간 동안 고온내성을 비교 평가하였다. 등숙기간 동안 고온에 의해 심복백이 발생하여 현미외관품위가 저하되는 것을 적온과 고온의 현미외관품위 비교를 통해 확인하였다(Fig. 2). 포장에 공시된 품종들의 현미외관품위는 심복백이 거의 없으며 맑고 투명한 갈색이었다(At the top in Fig. 2). 반면에 온실에 공시된 품종들의 현미외관품위는 포장에서 비해 심복백이 고온에 의해 확연히 증가한 것을 알 수 있었다(At the bottom in Fig 2). 공시품종들 중 중모1024는 고온에 의해 심복백이 발생하였으나 발생 정도가 상대적으로 고운, 진부, 만추, 운광 및 새상주에 비하여 낮았다(At the bottom in 2F). 등숙기 고온내성을 좀 더 세밀히 평가하기 위하여 쌀 품위분석기를 이용하여 포장과 온실에서의현미완전미율과 미숙립율을 조사하였다(Table 2). 포장에서 공시된 품종들의 현미완전미율은 평균 76.3%이었다. 반면, 포장에 비하여 온실에서는 현미완전미율이 평균 13.3%으로 고온에 의하여 평균 63%의 현미완전미율이 감소하였다. 공시품종들 중 고온에서 다른 품종들에 비하여 태봉, 운광, 만안, 및 중모1024가 각각 평균 16.6±6.0%, 16.0±9.2%, 18.2±4.1%, 및 34.4±6.2%로 상대적으로 높은 현미완전미율을 보였다. 하지만 고온에서는 중모1024를 제외한 모든 공시품종들의 현미완전미율이 평균 20%를 넘지 못하였다. 고온은 현미완전미율의 현저한 감소를 야기시켰다. 또한, 등숙기간 동안 고온은 심복백 증가의 원인으로 쌀 외관품위를 저하하는 주된 원인이 된다(Yamakawa *et al*. 2007). 그럼에도 불구하고 원품종인 남일에 비하여 좋은 현미외관품위(Fig. 3)를 가지고 있는 돌연변이 계통인 중모1024는 평균 34.4±6.2%로 다른 공시품종들에 비하여 상대적으로 현저히 높은 현미완전미율을 보였다. 고온내성 벼 품종으로 알려진 Nikomaru (Sakai *et al*. 2007; Morita and Nakano 2011)의 경우, 고온(주간 33℃/야간28℃)에서 완전미율은 38.1%로 She *et al.* (2012)에 의해 보고된 바 있다.

포장에서공시품종들 중 평균 70% 미만의 상대적으로 낮은 현미완전미율을 보인 태봉, 만안, 및 상주는 온실에서 각각 평균 16.6±6.0%, 18.2±4.1%, 및 12.8±3.0%로서 평균 감소율이 52.5%이었으며, 포장에서 평균 80%이상의 높은 현

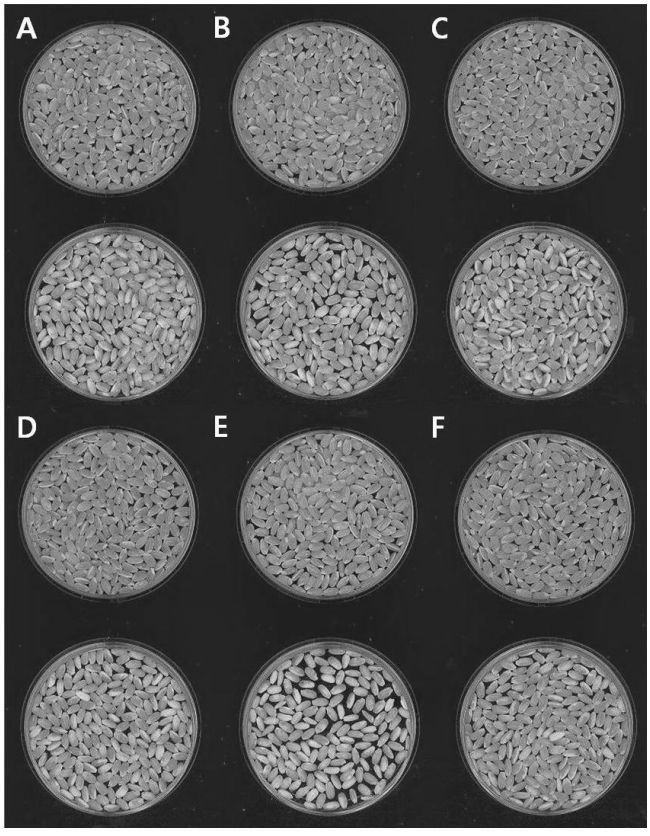

Fig. 2. Effect of high-temperature on quality of rice grain. Comparison on quality of brown rice grain of Goun (A), Jinbu (B), Manchu (C), Ungwang (D), Saesangju (E), and Jungmo1024 (F) in field as ordinary temperature (top) and greenhouse as high temperature condition (bottom) during grain filling stage. The daily average temperatures were 26.1±1.5℃ in field and 29.4±1.6℃ in greenhouse.

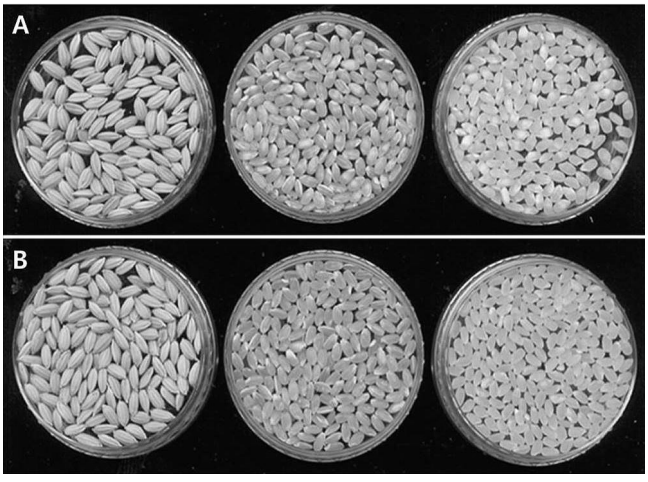

Fig. 3. Comparison on quality of rice grain of Namil, wild type (A) and Junmo1024, a mutant line (B). There are rice seed, brown rice, and milled rice, sequentially. The quality of rice grain of Jungmo1024, a mutant line was better than Namil, wild type in brown rice.

미완전미율을 보인 고운, 만추, 태성, 및 문장은 온실에서 각각 평균 9.2±4.5%, 11.4±9.7%, 2.7±1.2%, 및 11.5±5.7%로 평균 감소율이 75.7%로 높았다. 포장에서 높은 현미완전미율을 보인 공시품종들은 상대적으로 낮은 현미완전미율을 보인 공시품종들에 비하여 온실에서의 현미완전미율이 포장에 비해 더 큰 폭으로 감소하였다. 공시된 다른 품종들에 비하여 상대적으로 높은 현미완전미율을 보인 중모1024의 경우, 포장에서 현미완전미율이 평균 88.8±0.9%로 높았음에도 온실에서 현미완전미율이 평균 34.4±6.2%로 감소율이 평균 54.3%였다. 고온에 의한 현미완전미율의 감소 폭이 포장에서 상대적으로 낮은 현미완전미율을 보인 태봉, 만안, 및 상주와 유사한 감소율을 보였다.

고온에 의한 공시품종들간의 미숙립율을 비교한 결과(Table 2), 포장에서는 평균 20.8%의 미숙립이 발생하였으며, 온실에서는 평균 70.8%의 미숙립이 발생하였다. 따라서 고온에 의하여 평균 50%의 미숙립율이 증가되었다. 고온에서 고운, 진부, 태성, 및 중화는 각각 평균 81.7±4.0%, 76.7±1.0%, 85.5±0.8%, 및 75.1±1.3%로 상대적으로 높은 미숙립율을 보였으며, 운광, 문장, 만안, 및 중모1024는 각각 평균 64.8±7.7%, 64.3±3.0%, 64.4±4.2%, 및 55.1±9.6%로 상대적으로 낮은 미숙립율을 보였다. 특히, 평균 64% 이상의 미숙립율을 보인 다른 공시품종들에 비하여 중모1024는 상대적으로 다른 공시품종들에 비해 현저히 낮은 미숙립율을 보였다. 등숙기 고온내성 평가에서 중모1024는 국내 조생종 벼 품종들에 비하여 고온에서 입형의 감소율이 낮았으며 현미완전미율 또한 평균 10%이상의 차이를 보이며 높았다. 남일 돌연변이 계통인 중모1024는 국내 조생종 벼 품종들에 비해 고온에서 매우 양호한 고온내성을 가진 것으로 판단된다.

최근 고온에서 α-아밀라아제의 활성이 높아지며, α-아밀라아제의 촉진은 심복백을 유발하는 결정적인 요인으로 작용한다고 Hakata *et al*. (2012)에 의해보고 되었다. 또한, 벼 종실중은 고온과 적온에서 큰 차이를 보이지 않았으며 천립중 또한 큰 차이를 보이지 않았으나, 고온은 미성숙립율의 급격한 증가와 착색미의 원인이 된다고 보고되었다(Yamakawa *et al*. 2007). 고온은 벼 수량감소와 임실율의 저하에 다소 영향을 주지만 현미외관품위저하하는 더 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

쌀의 외관품위와 관련하여 추정되는 유전좌위는 염색체 4번과 6번에 위치하고 있으며(Kobayashi *et al*. 2007), 염색체 1, 2, 및 8번에서도 추정되는 유전자좌가 있다고 보고되었다(Tabata *et al*. 2007). 추후 양호한 고온내성을 보인 중모1024를 이용하여 분자마커를 통한 유전분석과 등숙기 고온내성에 대한 표현형 분석을 통한 연관분석을 수행하여 고온내성에 관여하는 유전자의 유전좌위를 탐색하여 중모1024의 양호한 고온내성이 기존의 유전좌위와 동일한 유전좌위인지 또는 다른 유전좌위의 주동유전자인지를 탐색할 필요성이 있다고 사료된다.

적 요

본 연구는 국내 조생종 벼 품종들과 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육성된 자포니카(*Oryza sativa* L. ssp. Japonica)의 조생 다수성 품종인 남일 돌연변이 계통인 중모1024의 등숙기 고온내성을 비교 평가하여 등숙기 고온내성의 기초자료를 얻고자 수행하였다. 본 연구를 통하여 국내 조생종 벼 품종들 중 대봉, 운광, 및 만안과 돌연변이 계통인 중모1024가 고온에서 상대적으로 양호한 고온내성을 가지고 있는 것으로 평가되었으며. 특히 중모1024는 다른 공시품종들에 비하여 상당히 양호한 고온내성을 가진 것으로 평가되었다. 본 연구의 주요 결과는 등숙기간 동안 고온에 의하여 현미의 길이와 너비가 감소하였으며, 현미 너비의 감소율이 현미 길이의 감소율에 비하여 평균 4배 이상 높았다. 이러한 결과로 보아, 등숙기간 동안 고온에 의하여 현미의 길이보다는 너비가 더 많은 영향을 받는다고 사료된다. 등숙기간 동안 고온에 의해 가장 문제가 되는 완전미율과 미숙립율을 공시품종들간 비교 평가한 결과, 상대적으로 중모1024, 태봉, 운광 및 만안이 고온에서 높은 현미완전미율을 보였으며, 상대적으로 적온에서 낮은 현미완전미율을 보인 품종들이 상대적으로 고온에 의한 현미완전미율 감소율이 적온에서 높은 현미완전미율을 보인 품종들에 비해 낮았다. 또한, 다른 공시품종들에 비하여 고온내성이 양호한 중모1024는 고온에서도 좋은 쌀 외관품위와 안정적 수확성 향상을 위한 육종모재로서 유용형질을 교배를 통해 고품질 벼의 보완을 위해 이전할 수 있는 것이 용이할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린21사업(과제번호 PJ00816)의 지원으로 수행된 결과이며, 이에 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

Chen, Y., M. Wang, and P. B. F. Ouwerkerk. 2012. Molecular and environmental factors determining grain quality in rice. Food and Energy Security. 1 : 111-132.

Endo, M., T. Tsuchiya, K. Hamada, S. Kawamura, K. Yano, M.

Ohshima, A. Higashitani, M. Watanabe, and M. Kawagishi-Kobayashi. 2009. High temperatures cause male sterility in rice plants with transcriptional alterations during pollen development. Plant Cell Physiol. 50 : 1911-1922.

Hakata, M., M. Kuroda, T. Miyashita, T. Yamaguchi, M. Kojima, H. Sakakibara, T. Mitsui, and H. Yanakawa. 2012. Suppression of α-amylase genes improves quality of rice grain ripened under high temperature. Plant Biotechnol. J. 10 : 1110-1117.

Hasanuzzaman, M., K. Nahar, M. M. Alam, R. Roychowdhury, and M. Fujita. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. Int. J. Mol. Sci. 14 : 9643-9684.

ICPP. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. NY, USA, 996 pp.

Jagadish, S. V. K., P. Q. Craufurd, and T. R. Wheeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). J. Exp. Bot. 58 : 1627-1635.

Kim, H. Y., K. H. Kang, H. G. Hwang, H. P. Moon, and I. S. Choi. 2003. A semi-early maturing, high yielding and processing japonica rice cultivar "Namilbyeo". Treat. of Crop Res. 4 : 141-148.

Kim, S. O., U. Chung, S. H. Kim, I. M. Choi, and J. I. Yun. 2009. The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. Korean J. of Agric. and For. Meteorol. 11 : 162-173.

Kobayashi, A., B. Genliang, Y. Shenghai, and K. Tomira. 2007. Detection of Quantitative Trait Loci for white-back and basal-white kernels under high temperature stress in japonica rice varieties. Breed. Sci. 57 : 107-116.

Lee, C. K., K. S. Kwak, J. H. Kim, J. Y. Son, and W. H. Yang. 2011. Impact of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. Korean J. Crop Sci. 56 : 233-243.

Morita, S., J. I. Yonemaru, and J. I. Takanashi. 2005. Grain growth and endosperm cell size under high night temperature in rice (*Oryza sativa* L.). Ann. of Bot. 95 : 695-701.

Morita, S. and H. Nakano. 2011. Nonstructural carbohydrate content in the stem at full heading contributes to high performance of ripening in heat tolerant rice cultivar Nikomaru. Crop Sci. 51 : 818-828.

Phan, T. T. T., Y. Ishibashi, M. Miyazaki, H. T. Tran, K. Okamura, S. Tanaka, J. Nakamura, T. Yuasa, and M. Iwaya-Inoue. 2013. High temperature-induced repression of the rice sucrose transporter (OsSUT1) and starch synthesis-related genes in sink and source organs at milky ripening stage causes chalky grains. J. of Agron. and Crop Sci. 199 : 178-188.

Sakai, M., M. Okamoto, K. Tamura, R. Kaji, R. Mizobuchi, H. Hirabayashi, S. Fukaura, M. Nishimura, and T. Yagi. 2007. "Nikomaru", a new rice variety with excellent palatability and grain appearance developed for warm region of Japan. Breed. Res. 9 : 67-73.

She, K. C., M. Yaeshima, T. Koumoto, M. Ohnuma, T. Hiromasa, M. Hirai, T. Matsunaga, R. Tashiro, T. Sasaki, H. Kusano, and H. Shimada. 2012. High-temperature stress susceptibility of representative japonica rice cultivars derived from Norin-22: Inadequate ATP supply during seed development may lead to severe damage. Plant Biotechnol. 29 : 465-471.

Shimono, H. and A. Ishii. 2012. Poor grain growth in rice under high temperatures affected by water temperature during vegetative stage. J. Agric. Meteorol. 68 : 205-214.

Shin, D. H., H. R. Kim, and Y. H. You. 2012. Effects of elevated CO_2 concentration and increased temperature on the change of the phonological and reproductive characteristics of *Phytolocca insularis*, a Korea endemic plant. J. of Wetlands Res. 14 : 1-9.

Shin, Y. S., C. S. Park, Y. W. Seo, and J. U. Jeung. 2009. Characteristics of endosperm starch of the rice mutant lines induced by sodium azide. Korean J. Breed. Sci. 41 : 84-91.

Shirato, Y., A. Fukushima, N. Ogata, T. Ohara, K. Kawashima, H. Harada, T. Yamada, H. Furuita, and O. Toshio. 2007. Impact of global warming on agriculture, forestry and fisheries and possible countermeasures in Japan. in: *Research and Development in Agriculture*, Forestry and Fisheries No. 23, ed. Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council, MAFF Japan. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), Japan, pp. 3-8.

Tabata, M., H. Hirabayashi, Y. Takeuchi, I. Ando, Y. Iida, and R. Ohsawa. 2007. Mapping of quantitative trait loci for the occurrence of white-back kernels associated with high temperatures during the ripening period of rice (*Oryza sativa* L.). Breed. Sci. 57 : 47-52.

Tabkhkar, N., B. Rabiei, and A. Sabouri. 2012. Genetic diversity of rice cultivars by microsatellite markers tightly linked to cooking and eating quality. Australian J. Crop Sci. 6 : 980-985.

Yamakawa, H., T. Hirose, M. Kuroda, and T. Yamaguchi. 2007. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. Plant Physiol. 144 : 258-277.

Yonemaru, J. I. and S. Morita. 2012. Image analysis of grain shape to evaluate the effects of high temperatures on grain filling of rice, *Oryza Sativa* L. Field Crops Res. 137 : 268-271.