벼 종자 배아함몰도의 품종간 변이

이길웅 · 박일화 · 고희종*

서울대학교 농업생명과학대학

Genotypic Variation of Embryo Dent of Rice Grains

Gileung Lee, Rihua Piao, and Hee-Jong Koh*

Department of Plant Science, Plant Genomics and Breeding Institute, and Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

Abstract : As the market demand on functionality rice has been increasing, embryo rice in which embryo residue remains even after milling has come to consumers' attention because rice embryo contains several functionality components. Consequently, development of rice varieties for higher rate of embryo adhesion to grains after milling has become one of the breeding objectives for quality improvement. In this study, we observed embryo dent of 49 commercial varieties and analyzed the relationship between embryo dent and grain size and shape. Embryo dent of rice grains varied 0.27 (Keunnun)~0.59 (Daerip 1) mm. Varieties Jinbu, Jinbo, Heugseol, Obong, Unkwang, and Cheongnam showed relatively deeper embryo dent, suggesting that they will be applicable in breeding for embryo rice. Embryo dent was correlated positively with grain width ($r=0.53^{**}$) and grain size ($r=0.34^{*}$), and negatively with grain width/length ratio ($r=-0.38^{**}$). Strategies for breeding embryo rice were discussed in relation to embryo dent, grain size and shape.

Keywords : Embryo rice, Embryo dent, Grain shape, Rice

서 언

배아는 쌀에서 차지하는 비중은 3% 정도이지만 단백질, 지방, 무기질이 풍부하고 또한 비타민 B₁, E를 많이 포함한 백미의 66%의 영양분을 함유하고 있다(Park et al. 2000). 배아가 붙어있는 현미는 일반 백미에 비해 식이섬유, 비타민, gamma aminobutyric acid (GABA) 등 다양한 영양물질들을 더 많이 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며, 거대배아미의 경우 영양성분의 양이 훨씬 증가한다는 사실이 확인되었다(Champagne et al. 2004, Koh et al. 1993, Zhang et al. 2005, Choi et al. 2006). 하지만 밥맛이나 쌀의 질감, 외형을 개선시키기 위해 도정을 하는 과정에서 배아는 대부분 손실되며 이로 인해 영양적 가치도 줄어들게 된다(Choe et al. 2002). 따라서 도정 시 배아잔존율을 높이기 위한 노력이 필요한 실정이다. 배

아잔존율에 영향을 미치는 요소로는 도정방식, 수분함량, 수확시기 등이 관여하는 것으로 알려져 있다. 도정방식은 배아잔존율에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소로 도정기의 종류나 도정 조건에 대해 많은 연구가 진행되어 있다(Chung & Yan 2002). 수분함량은 배아잔존율 뿐만 아니라 도정수율에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나로 수분함량이 적거나 너무 많으면 배아잔존율이 감소하는 것으로 알려져 있다. 수확시기는 쌀의 수분함량에 영향을 미쳐 배아잔존율에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 또한 품종간 배아잔존율 차이가 있다는 것이 알려지고 있는데(미발표: 식량과학원, CJ식품연구소), 그 원인은 현재까지 밝혀진 바가 없다. 그렇지만 그 차이는 유전적인 특성에 의해 정백 도정시 배아의 부착 정도가 결정된다는 것을 의미하는 것으로 배아의 현미내 함몰 정도, 부착 형태 또는 부착면의 조직 차이 등이 영향을 줄 것으로 생각되어진다. 본 연구는 배아잔존율이 높은 품종을 육성하기 위한 기초자료를 얻고자, 주요 품종들 현미에서 배아함몰도를 조사한 것이다. 배아함몰도와 종자의 크기 및 모양과의 관련성도 검토하였다.

*Corresponding author (E-mail: heejkoh@snu.ac.kr, Tel: +82-2-880-4541, Fax: +82-2-477-4550)

(Received on January 30, 2013. Revised on March 27, 2013.

Accepted on April 1, 2013.)

재료 및 방법

실험 재료 및 재배방법

실험에 사용된 벼 품종은 서울대학교 농업생명과학대학 유전자원센타에 보존되고 있는 다양한 종자 형태를 지닌 자포니카 품종 38개, 통일계 4개, 인디카 7개이다(Table 1). 이들은 실험포장의 관행재배법에 준하여 재배 수확된 후 사용되었다.

현미 및 배아 형태적 특성 측정

총 49개 품종의 현미에 대하여 폭, 길이, 장폭비, 단면면적, 배아길이, 배아함몰도 총 6개의 형태적 특성을 조사하였다. 배아의 길이와 함몰정도를 측정하기 위해 각 품종에서 5개의 종자를 선발하여 종자의 정 가운데를 수직으로 절단하였다. 현미경을 이용하여 40배의 배율로 각 항목을 측정하였다. 각 항목별 측정 방법은 Table 1과 같다. 현미단면면적은 $[\frac{1}{4}\pi \times \text{현미폭} \times \text{현미길이}]$ 로 측정하였다.

Table 1. Grain and embryo characters of 49 rice varieties.

Variety	Varietal type	GW ^z (mm)	GL (mm)	LWR (GL/GW)	GA (mm ²)	EL (mm)	ED		
							mm	Rank	Tukey- ^y grouping
Daerip 1	Japonica	3.34±0.16	6.24±0.17	1.87±0.09	16.37±0.96	2.27±0.08	0.59±0.10	1	A
Jinbu	Japonica	3.09±0.06	5.35±0.11	1.73±0.06	12.98±0.27	2.07±0.06	0.55±0.08	2	AB
Jinbo	Japonica	3.05±0.07	5.45±0.08	1.79±0.05	13.08±0.35	2.11±0.14	0.51±0.03	3	ABC
Heugseol	Japonica	2.70±0.15	5.41±0.12	2.00±0.15	11.46±0.53	1.93±0.12	0.49±0.07	4	ABCD
Obong	Japonica	2.90±0.03	4.89±0.19	1.69±0.06	11.13±0.48	2.02±0.08	0.48±0.04	5	ABCD
Unkwang	Japonica	2.98±0.03	5.01±0.11	1.68±0.05	11.73±0.23	2.10±0.13	0.48±0.09	5	ABCD
Cheongnam	Japonica	3.02±0.03	5.19±0.22	1.72±0.08	12.33±0.47	2.09±0.17	0.48±0.03	5	ABCD
Koshihikari	Japonica	2.83±0.08	5.09±0.15	1.80±0.04	11.30±0.62	1.88±0.10	0.47±0.04	8	ABCD
Cheonghaejinmi	Japonica	2.95±0.05	5.23±0.23	1.77±0.05	12.14±0.72	2.01±0.13	0.47±0.06	8	ABCD
Boramchan	Japonica	3.02±0.09	4.97±0.12	1.65±0.02	11.80±0.62	2.05±0.09	0.47±0.06	8	ABCD
Ilpum	Japonica	2.96±0.09	5.07±0.15	1.71±0.08	11.79±0.42	2.16±0.08	0.46±0.06	11	ABCD
Hangangchal 1	Tongil	2.73±0.09	4.97±0.17	1.82±0.06	10.69±0.64	1.63±0.07	0.46±0.03	11	ABCD
Boseogchal	Japonica	2.83±0.08	5.00±0.13	1.77±0.06	11.12±0.46	2.13±0.07	0.46±0.05	11	ABCD
Milkyqueen	Japonica	2.92±0.10	5.01±0.15	1.72±0.02	11.48±0.72	1.90±0.05	0.46±0.08	11	ABCD
Gopum	Japonica	2.88±0.09	4.88±0.10	1.69±0.06	11.04±0.39	2.03±0.09	0.45±0.05	15	ABCD
Hanmaeum	Japonica	3.13±0.04	5.90±0.11	1.88±0.05	14.53±0.23	2.12±0.13	0.45±0.07	15	ABCD
Nampyeong	Japonica	2.80±0.09	4.84±0.15	1.73±0.10	10.64±0.33	2.01±0.03	0.44±0.10	17	ABCD
Jinmi	Japonica	2.87±0.10	5.01±0.16	1.75±0.06	11.29±0.61	2.09±0.13	0.44±0.08	17	ABCDE
Baegjinju 1	Japonica	2.92±0.06	4.66±0.06	1.60±0.03	10.67±0.28	1.79±0.18	0.44±0.10	17	ABCDE
Younghojinmi	Japonica	3.04±0.05	4.88±0.14	1.61±0.05	11.67±0.44	2.01±0.10	0.43±0.06	20	ABCDE
Dongjin 1	Japonica	2.91±0.12	5.02±0.14	1.73±0.06	11.46±0.72	2.04±0.11	0.43±0.06	20	ABCDE
Junam	Japonica	2.88±0.09	4.94±0.16	1.72±0.07	11.18±0.55	2.08±0.15	0.42±0.02	22	ABCDE
Ilmi	Japonica	2.75±0.09	4.94±0.15	1.80±0.06	10.670.57	1.99±0.12	0.42±0.06	22	ABCDE
Youngan	Japonica	2.88±0.13	4.98±0.22	1.73±0.08	11.26±0.84	2.11±0.10	0.42±0.04	22	ABCDE
Odae	Japonica	2.91±0.06	4.94±0.02	1.70±0.04	11.31±0.22	2.08±0.10	0.42±0.06	22	BCDE
Sindonjin	Japonica	3.03±0.15	5.49±0.23	1.81±0.11	13.05±0.92	2.21±0.07	0.41±0.07	26	BCDE
Hwayoung	Japonica	2.91±0.08	5.01±0.31	1.72±0.10	11.46±0.89	2.02±0.12	0.41±0.04	26	BCDE
Nipponbare	Japonica	2.90±0.06	5.03±0.17	1.73±0.04	11.48±0.58	1.95±0.15	0.41±0.05	26	BCDE

Table 1. Continued

Variety	Varietal type	GW ^z (mm)	GL (mm)	LWR (GL/GW)	GA (mm ²)	EL (mm)	ED		
							mm	Rank	Tukey- ^y grouping
Hongjinju	Japonica	2.91±0.08	4.93±0.09	1.69±0.06	11.25±0.36	1.99±0.07	0.41±0.06	26	BCDE
Mihyang	Japonica	2.78±0.05	4.99±0.15	1.79±0.03	10.90±0.50	1.97±0.07	0.41±0.04	26	BCDE
Hitomebore	Japonica	2.89±0.13	5.10±0.14	1.76±0.10	11.58±0.60	2.02±0.07	0.40±0.05	31	BCDE
IR24	Indica	2.24±0.10	6.83±0.21	3.05±0.08	12.03±0.83	1.68±0.05	0.40±0.06	31	BCDE
Samkwang	Japonica	2.78±0.14	4.90±0.20	1.76±0.05	10.70±0.95	2.07±0.11	0.39±0.10	33	BCDE
Chilbo	Japonica	2.72±0.15	5.13±0.28	1.89±0.09	10.98±1.08	2.04±0.18	0.39±0.05	33	BCDE
Chucheong	Japonica	2.80±0.09	4.74±0.21	1.69±0.03	10.44±0.79	2.00±0.12	0.38±0.13	35	CDE
Hopum	Japonica	2.82±0.09	4.85±0.07	1.72±0.05	10.74±0.41	1.96±0.04	0.38±0.07	35	CDE
Hwacheong	Japonica	2.81±0.06	4.77±0.06	1.70±0.05	10.54±0.21	1.97±0.14	0.38±0.03	35	CDE
IR36	Indica	2.27±0.07	6.65±0.13	2.93±0.15	11.86±0.21	1.64±0.07	0.37±0.08	38	CDE
IR64	Indica	2.14±0.06	6.86±0.12	3.21±0.10	11.54±0.37	1.58±0.11	0.37±0.05	38	CDE
IR56	Indica	2.13±0.04	6.78±0.22	3.18±0.15	11.32±0.28	1.76±0.06	0.36±0.05	40	CDE
Milyang23	Tongil	2.52±0.05	6.01±0.13	2.38±0.04	11.90±0.44	1.85±0.09	0.36±0.04	40	CDE
Dasan 2	Tongil	2.74±0.09	6.05±0.14	2.21±0.08	13.02±0.55	1.87±0.08	0.36±0.05	40	CDE
IR8	Indica	2.66±0.09	6.70±0.23	2.52±0.15	13.98±0.49	2.01±0.09	0.35±0.09	43	CDE
IR72	Indica	2.13±0.06	5.57±0.25	2.62±0.17	9.32±0.37	1.64±0.10	0.35±0.06	43	CDE
Dasan	Tongil	2.73±0.13	5.96±0.11	2.18±0.13	12.77±0.59	1.81±0.09	0.35±0.03	43	CDE
Segyejinmi	Indica	2.64±0.09	5.87±0.38	2.22±0.13	12.17±1.04	1.79±0.08	0.35±0.04	43	CDE
Seonong 17	Japonica	2.82±0.09	4.68±0.11	1.66±0.02	10.38±0.55	2.32±0.07	0.35±0.10	43	DE
Seogeum	Japonica	2.87±0.07	5.08±0.07	1.77±0.03	11.45±0.41	2.03±0.12	0.32±0.07	48	DE
Keunnun	Japonica	3.03±0.08	5.00±0.17	1.65±0.05	11.89±0.64	2.53±0.10	0.27±0.08	49	E

^zGW=grain width, GL=grain length, LWR=grain length/width ratio, GA=grain area, EL=embryo length, ED=embryo dent

^yDifferent letter means the significant difference at the 5% level as verified by a Tukey test

통계분석

실험에서 얻어진 결과들은 모두 SAS프로그램(version 9.2)을 이용하여 품종에 따른 배아함몰정도에 대한 분산분석과 5% 유의수준에서 Tukey법으로 다중검정 통계분석을 실시하였고 6개의 형태적 형질간 상관분석을 진행하였다.

배아의 조직학적 구조관찰

충실히 등숙된 종자의 현미에 대해 파라핀 포매를 실시하였다. 표준 파라핀 포매 방법(Hong et al. 1996)을 변형하여 실험을 진행하였으며 포매된 종자를 6 um 두께의 절편으로 잘라 Safranin O로 염색 후 현미경으로 관찰하였다.

실험결과 및 고찰

현미 및 배아의 형태적 특성

사용한 49개 벼 품종은 현미 및 배아 형태적 형질들에서 다양한 변이를 보였다(Table 1). 현미의 길이는 4.66(백진주1)~6.86(IR64) mm, 폭은 2.13(IR56, IR72)~3.34(대립벼1) mm, 장폭비는 1.60(백진주1)과 3.21(IR64) 이었으며, 알려진 바와 같이 자포니카는 단원형, 인디카는 세장형의 종자 모양을 보였다. 현미 부착상태에서 배아의 길이는 1.58(IR64)~2.27(대립벼1) mm 이었고, 배아함몰도는 0.27(큰눈벼)~0.59(대립벼1) mm 이었는데, 한강찰1을 제외한 통일형의 품종들과 인디카 품종들은 자포니카 품종들에 비해 모두 낮은

배아함몰도를 보였다. 조사한 품종 중에서 대립벼1, 진부, 진보, 흑설, 오봉, 운광, 청남, 고시히카리, 청해진미, 보람찬 등이 배아함몰도가 높은 품종으로 나타났으며 거대배 품종인 서농17호와 큰눈벼의 경우 자포니카 품종이지만 매우 낮은 배아함몰도를 보였다.

배아함몰도가 큰 품종 오봉과 배아함몰도가 적은 품종 삼광벼 및 중거대배품종인 서농17호의 배아구조를 비교하기 위하여 현미를 파라핀 포매하고 배아 부위의 해부조직을 관찰하였다(Fig. 1. B-D). 그림 중 검은 색 선은 정백 도정시 절단되는 배아의 위치를 표시한 것이다. 세 품종에서 배아의 초엽, 근초의 크기 및 태반 부위 구조에서는 차이를 보이지 않았지만 정백 도정 시 절단될 수 있는 위치에 따른 잔존 배 부위는 확연한 차이를 보였다.

배아함몰도가 큰 품종들은 상대적으로 배아가 배유 깊숙이 매몰되어 있기 때문에(Fig. 1) 정백 도정시 배아가 백미에 잔

존할 가능성이 높다. 향후 육종을 위하여 배아함몰도에 대한 유전분석이 선행되어야 하겠지만 우선은 배아미 육종시 배아함몰도가 높은 품종들을 한쪽 친으로 사용하면 육종 효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 그렇지만 대립벼의 경우는 배아함몰도는 가장 크지만 양조용으로 육성되어 종실이 크고 심복백이 많아 배아미 육종을 위한 교배친으로 사용하기가 적절치 못할 것이다. 배아가 큰 서농17호나 큰눈벼의 경우 배아가 큼에도 불구하고 배아함몰도가 매우 적은 것은 특이할 만 하다. 이들 품종들에서는 배아가 배유의 반대방향으로만 팽창하여 커진 것이기 때문이다.

배아함몰도와 현미 형태적 형질들 간의 상관

현미와 배아의 형질들 간 상관분석을 수행하였다(Table 2). 분석결과 배아함몰도는 현미의 폭($r=0.53^{**}$)과 단면면적($r=0.34^{*}$)과 유의한 정적 상관관계를 나타냈고, 장폭비($r=-0.38^{**}$)

Fig. 1. Grain (A) and mature embryo of rice (B~D). (A) Measurement method of grain and embryo characters (a=Grain length, b=Grain width, c=Embryo length, d=Embryo dent). (B) Samkwang (low embryo-dent variety), (C) Obong (high embryo-dent variety), (D) Seonong 17 (large-embryo rice variety).

Table 2. Correlation matrix among grain and embryo characters.

	GW ^z	GL	GS	GA	EL	ED
GL	-0.58 ^{**}	-				
GS	-0.87 ^{**}	0.90 ^{**}	-			
GA	0.38 ^{**}	0.52 ^{**}	0.11 ^{ns}	-		
EL	0.76 ^{**}	-0.46 ^{**}	-0.65 ^{**}	0.26 ^{ns}	-	
ED	0.53 ^{**}	-0.18 ^{ns}	-0.38 ^{**}	0.34 [*]	0.17 ^{ns}	-

^{**}: significant at $P < 0.01$, ^{*}: significant at $P < 0.05$, ^{ns}: non-significant

^zRefer to Table 1 for abbreviations

와는 부의 상관관계를 나타냈다. 배아의 길이 역시 배아함몰도와 유사하게 현미의 폭과 정의 상관관계를 나타냈고, 현미의 길이와 장폭비와는 부의 상관관계를 보였다. 기타 다른 종자 형질간 상관관계 분석에서는 다른 연구에서와 유사한 양상을 나타냈다.

이 결과로 보면 배아함몰도는 종자의 폭이 두터울수록 커지는 경향이다. 인디카 품종들의 경우 자포니카 품종보다 일반적으로 배아함몰도가 적었는데 이 또한 인디카는 종자가 세장형으로서 폭이 좁기 때문인 것이다. 앞으로 배아함몰도가 큰 배아미 전용 품종을 육성할 때에는 수량이나 다른 품질요소에 지장이 없는 한도에서 종자의 폭을 가급적 두텁게 해야 할 것으로 보인다.

배아함몰도가 배아부착율에 영향할 수 있는지를 보기 위하여 배아함몰도에 차이가 있으면서 출수기가 비슷한 오봉벼와 오대벼를 같은 시기에 수확하여 수분함량 13.1%로 맞추고 실험용백미기(Kett사)로 7분도(현미 대비 무게 94.4%)로 도정하였을 때, 오봉벼는 64.9%, 오대벼는 40.1%의 배아잔존율을 보였다. 추후 여러 조건들을 맞추고 다양한 품종들을 가지고 실험해야 하겠지만 배아함몰도가 배아미 제작시 배아잔존율에 영향할 수 있다는 예비 증거라고 할 수 있겠다. 배아함몰도 이외에도 출수기의 조만성, 종자의 등숙 및 수분 상태나 기계적인 도정 방식 등이 같은 조건에서 품종간에 배아잔존율을 차이를 유발시킬 수 있는 중요한 원인으로 생각할 수 있다. 향후 각 요인에 대한 변이와 배아미 배아잔존율과의 관계를 정밀 분석하고, 각 형질에 대한 유전분석 및 선발효과 등을 검토하면 배아미 육종 효율을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

적 요

근래 쌀의 건강기능성에 대한 관심이 고조되면서 백미상태에서도 배아의 일부가 부착된 배아미의 이용을 위한 기술적 품종적 연구가 착수되고 있다. 본 연구는 다양한 종자형태를 보이는 49개의 품종에 대하여 현미 상태에서의 배아함몰도 및 종자형태와의 관련성에 대해 조사 분석한 것이다. 배아함몰도는 0.27(큰눈벼)~0.59(대립벼1) mm의 변이를 보였다. 49개의 품종 중 진부, 진보, 흑설, 오봉, 운광, 청남 등이 배아함몰도가 상대적으로 높은 품종이었다. 배아함몰도는 현미의 폭과는 정의 상관관계가 있었고 장폭비와는 부의 상관관계를 보여주었다. 배아함몰도가 높은 품종 육성을 위한 방향을 논의하였다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원 지원과제(609001-5)에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Champagne E, Wood D, Juliano B, Bechtel D. (2004) The rice grain and its gross composition. *Rice Chemistry and Technology*. 3: 77-100.
2. Choe JS, Ahn HH, Nam HJ. (2002) Comparison of nutritional composition in Korean rices. *Journal-Korean Society of Food Science and Nutrition*. 31: 885-892.
3. Choi I, Kim D, Son J, Yang C, Chun J, Kim K. (2006) Physico-chemical Properties of Giant Embryo Brown Rice-Keunnunbyeol. *Agricultural Chemistry and Biotechnology*. 49: 95.
4. Chung J, Yan T. (2002) Effects of Milling Conditions on the Adherence of Rice Germs. *Korea Society of Agriculture Machinery*. 289-296.
5. Hong SK, Kitano H, Satoh H, Nagato Y. (1996) How is embryo size genetically regulated in rice? *Development*. 122: 2051-2058.
6. Koh H, Won Y, Heu M, Park S. (1993) Nutritional and agronomic characteristics of super-giant embryo mutant in rice. *Korean Journal of Crop Science*. 38.
7. Park W, Park B, Park Y. (2000) *Korea food dictionary*. 368-369.
8. Zhang L, Hu P, Tang S, Zhao H, Wu D. (2005) Comparative studies on major nutritional components of rice with a giant embryo and a normal embryo. *Journal of food biochemistry*. 29: 653-661.