

Original Research Article

색채선별기 이용한 남부평야지 조기재배 해당쌀의 품질향상

이중희^{1,†} · 이지윤¹ · 이소명¹ · 신동진¹ · 차진경¹ · 조준현¹ · 권영호¹ · 조수민¹ · 박동수¹

Improvement of Rice Quality Using Grain Color Sorter During Early Transplanting Cultivation in the Southern Plain of Korea

Jong-Hee Lee^{1,†}, Ji-Yoon Lee¹, Somyeong Lee¹, Dongjin Shin¹, Jinkyong Cha¹, Jun-Hyeon Cho¹, Young-Ho Kwon¹, Su-min Jo¹, and Dong-Soo Park¹

ABSTRACT A photoelectric grain color sorter is commonly used in postharvest technology to detect and separate grains considered to be of good quality from those of poor quality based on color. In this study, the milled rice of Haedamssal cultivated under early transplanting conditions was evaluated using the color sorting device. Rice was classified according to standard grades of 64% for grade A, 18% for grade B, and 17.2% for grade C. By head rice ratio analysis, the milled rice of Haedamssal was recorded a grade A of 72.9%, representing a 24.5% improvement compared to the 48.4% of original grains. However, the grades B and C of Haedamssal rice were lower than those of original rice. In addition, grade A whiteness of Haedamssal rice was 45.3, which was lower than that of original grains. The color affinity redness was significantly lower in Haedamssal rice than in the screening control. No significant difference was found in the amylose and protein contents of rice before and after selection by the grain color sorter. In contrast, grain viscosity analysis revealed an increase in peak and final viscosities, while the consistence viscosity increased in low grade levels. Our results suggest that the photoelectric grain color sorter could improve the head rice ratio and palatability of early transplanted Hadamssal rice.

Keywords : color sorter, early transplanting, good grain quality, Haedamssal, rice

평야지 조기재배는 4월말에서 5월상순에 이양하여 8월 중하순부터 9월상순에 수확하는 재배작형이다. 이는 햅쌀 조기 출하를 통한 가격경쟁력을 확보하고자 남부지역 평야지를 중심으로 재배면적이 지속적으로 증가되고 있다. 그러나 조기재배에 조생종 품종들은 고온 조건에서 외관품질 저하, 식미저하 및 수발아 등의 문제가 지속적으로 발생하고 있다(An *et al.*, 2017; Seong *et al.*, 2017; Won *et al.*, 2005). 이는 벼 등숙기 온도가 30~35°C 범위에서 재배되기 때문이며, 고온불임 또는 완전미율 저하 등 품질과 수량에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Izumi *et al.*, 2007; Zakaria *et al.*, 2002). 쌀의 등숙단계에서 고온에 노출되어 효소활성이 변화되고, 전분 과립의 불규칙적인 축적 등으로 인해 분상질립의 발생이 증가하고(Zakaria *et al.*,

2002), 이 결과는 쌀알이 불투명하게 되어 외관품질, 식미 등 품질에 부정적인 영향을 미치고 있고 있다. 특히, 완전미율의 저하는 소비자 및 곡물 가공업자 부정적인 이미지 제공 및 쌀값하락의 직접적인 원인이 될 수 있기 때문에 전 세계적으로 고온 조건에서 쌀의 품질향상은 중요한 연구분야 중의 하나이다(Bao *et al.*, 2002; Nagata *et al.*, 2004). 쌀의 외관 품질은 크게 완전미와 불완전미로 구분되어진다. 완전미는 심복백이 없고 맑고 투명한 쌀을 말하여, 불완전미는 심백미, 복백미, 기백미 등으로 쌀알의 일부 또는 전체가 불투명한 형태를 가진 쌀로 분류되어진다(Khush *et al.*, 1979). 쌀의 품질은 수확 전 단계에 품종, 기상, 재배법 등에 영향을 받으며, 수확 후에는 건조, 저장 및 도정과정의 관리방법에 의해서도 영향을 받는다(Son *et al.*, 2002).

¹⁾국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과 농업연구관 (Senior Researcher, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

[†]Corresponding author: Jong-Hee Lee; (Phone) +82-55-350-1168; (E-mail) ccriljh@korea.kr

<Received 25 February, 2020; Revised 19 March, 2020; Accepted 13 April, 2020>

미국 종합처리장에서 곡물 색채선별기를 보유하고 있으며 이는 고속 CCD카메라를 이용하여 명암에 따라 변색된 곡물을 선별하고 양품의 쌀만을 골라내는 기계장치이다. 곡물선별기에서 상부로 투입된 곡물이 피더의 강제 운동에 의해 슈트를 통하여 하강하다가 이물질이나 변색된 곡물만을 공기층의 압축공기로 분리하여 양질의 곡물을 선별함으로써 쌀의 상품성을 향상시킬 수 있다(Lee *et al.*, 2008a). 최근 남부지역 평야지 조기재배 적합한 고품질 품종으로 ‘해담쌀’이 육성되었다(Lee *et al.*, 2019). 해담쌀은 밥맛이 우수하다는 평가를 받고 있으나, 조기재배 고온에 의해 쌀의 외관품질이 낮다는 지적을 받고 있는 실정이다. 평야지 조기재배에서 수확한 해담쌀의 완전미 향상을 통한 외관품질 개선으로 상품성가치를 높이고자 수확 후 색채선별기를 이용하여 분류 및 품질을 평가하였다.

재료 및 방법

시험재료는 농촌진흥청 남부작물부 5월 10일 이양한 벼 조기재배 생산력 검정시험 포장에서 대비품종으로 공시된 해담쌀을 분석 시료로 활용하였다. 재식거리 30 × 15 cm로 주당 3본으로 이양하고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 9.0-4.5-5.7 kg/10a로 남부작물부 벼 표준재배법에 준하여 재배되었다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 반복당 100주를 수확하여 수량성을 분석하였고, 그 중 현미 1 kg을 도정하여 색채선별기(Narita 3000G, Daewon SGI Co. Korea)을 이용하여 선별하였으며, 선별감도는 유백립 선별 모드인(Dark 192, Light 255 size 8)로 설정하였다. 선별방법은 그림1과 같이 색채선별기를 2회 통과하여 등급을 분류하였다. 등급 A는 1차 색채선별기를 통과하여 정상이며, 2차선별에서도 정상으로 분류하였다. 등급 B는 1차에서 정상이고, 2차에서 불량인 시료와 1차에서 불량이나 2차에서 정상으로 분류된 2개의 시료를 혼합하였다. 등급 C는 1차 선별에서 불량이고, 2차선별에서도 불량인 시료를 사용하였다.

백미의 품위는 미립판별기(RN-600, Kett Co., Japan)을 이용하여 완전미, 분상질미, 쇠미, 피해립 및 기타로 조사하였다. 쌀의 외형특성인 립장, 립폭 및 장폭비는 버어니얼켈리퍼스를 이용하여 처리당 72립씩 조사하였다. 쌀의 백도는 백도계(C-300, Kett co, Japan)로 측정하였으며, 색도는 헌터체계(hunter system)에 따른 색차계(chromometer CR200, Minolta Co, Japan)를 사용하여 명도(L값), 적색도(a값), 및 황색도(b값)를 3반복으로 측정하였다.

아밀로스 함량은 Juliano의 비색검정법(Juliano 1971)에 따라 분석시료를 전처리 한 후 UV-VIS spectrophotometer

(UV-2700, Shimadzu Co, Japan)를 이용하여 측정하였다. 쌀가루 0.1 g을 1 mL 에탄올과 9 mL 1N NaOH를 가한 후 10분간 항온조건에서 호화시킨 후 증류수로 100 mL 채웠다. 그 중 5 mL을 취하여 1 mL의 acetic acid, 2 mL 2% I-KI (iodine solution)을 가한 후 증류수로 100 mL로 맞춘 다음 20분후에 620 nm에서 흡광도값을 측정하였다. 단백질함량은 Carbon/Nitrogen analyzer (CN928/F92B RECO Co. Netherlands)를 이용하여 쌀가루 0.5 g을 평량하여 총 질소 함량을 분석하였으며, 총 질소 함량에 보정상수 5.95를 곱하여 단백질 함량을 구하였다. 식미치는 밥의 윤기치를 간이측정 할 수 있는 palatability 분석으로 Toyo meter (MA-90B, Toyo Engineering Crop., Tokyo, Japan)을 이용하였다. 분석은 백미 33.0 g을 정량하여 80°C의 더운물에서 10분간 취반 후 상온에서 3분간 뜸을 들인 후 윤기치를 측정하였다. 쌀의 호화 특성을 분석하고자 신속점도측정계 (Rapid Visco Analyzer, Model RVA-3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 백미시료를 분쇄한 후 3 g을 평량하여 분석전용 용기에 투입하고 25 mL의 증류수에 분산시켜 50°C에서 1분간 유지시킨 후 1분간 유지시킨 후 50°C에서 95°C까지 4.7분간 상승시키고, 95°C에서 2.5분간 유지시켰다. 그 후 다시 3.7분간 50°C로 냉각시키면서 점도 특성을 조사하였다. 총 실험시간은 약 13분 정도로 시험후 초기호화온도, 최고점도, 최저점도, 최종점도, 강하점도, 치반점도를 계산하여 특성을 비교하였다. 통계분석은 SAS프로그램(Enterprise Guide 7.1)을 이용하였으며, Duncan 다중검정을 통해 0.05% 유의 수준에서 처리간 통계적 유의성을 비교 검토하였다.

결과 및 고찰

색채선별기 이용 해담쌀 분류 및 백미 품위 분석

곡물 색채선별기는 영상이미지를 이용하여 곡물의 상태 및 불량을 감지하여 양품과 분리해내는 시스템이다. 영남 지역 평야지 조기재배에서 생산된 해담쌀의 수확후 품질을 향상시키고자 색채선별기를 2회 통과하여 3개의 등급으로 분류하였다. 실험에 사용한 원곡의 완전미율이 48.4%이며, 심복백미 등의 불완전미율이 49.3%를 차지하고 있다. 해담쌀 백미를 색채선별기에 2회 통과하여 등급별로 분류한 결과, A급은 64.8%, B급 18.0%, C급 17.2%이었다(Fig. 1). 분류등급별 쌀을 백미완전미율을 분석한 결과, A급은 72.9%로 색채선별전 쌀 48.4%보다 약 25.4%정도 향상되었다. B등급과 C등급은 원료곡보다 완전미율이 낮았다. 분상질 비율은 A등급은 26.7%로 원곡 49.3%보다 약 12.6% 감소하였

다 반면, B등급과 C등급은 분상질율이 각각 74.4%와 90.0%로 유의하게 증가하였다. 또한, 쉼미, 피해립 및 기타 이종곡물에서는 분류 등급간 차이가 있었으나, 전체적으로 차지하는 비중은 낮았다. 따라서, 색채선별기의 유백립 모드에서 분상질미의 구분이 잘되었다(Table 1, Fig. 2).

영남 평야지 조기재배에서 완전미율이 낮고 분상질미 발

생이 높다고 알려져 있으며(Lee *et al.*, 2008b), 출수기 전후 30일간의 평균기온이 증가하면 배유로 전이되는 동화산물의 공급이 부족하여 분상질립의 발생이 증가한다고 알려져 있다(Tusitsui *et al.*, 2012).

색채선별기 분류 등급별로 쌀의 백도 분석한 결과 A등급의 백도는 45.3으로 색채선별전의 원곡보다 1.7정도 낮아졌다. 색상색차계를 사용하여 명도(L값), 적색도(a값), 및 황색도(b값)을 측정된 결과, A등급의 적색도 a값은 색채선별전 대비구에 비해 유의하게 낮았으며, B와 C는 대조구보다 약간 증가하는 경향이였다. 반면, 명도(L값)과 황색도(b값)은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 쌀의 유백립 발생은 전분 입자가 조밀하게 축적되지 않고 느슨하게 되어 빛의 산란에 의한 것으로 알려져 있다. 이는 전분의 구성하는 아밀로펙틴의 전분사슬 중에서 장쇄비율이 증가되었기 때문인 것으로 알려져 있다.

색채선별기 등급별 쌀의 형태적 특성을 살펴본 결과 립장은 A등급으로 분류된 것이 4.49 mm로 선별전보다 0.04

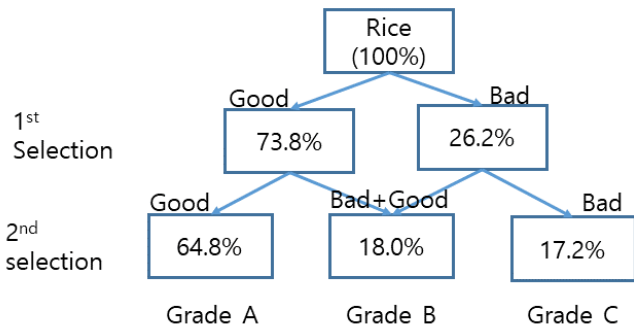


Fig. 1. Classification of rice quality using the grain color sorter.

Table 1. Differences in grain appearance of milled rice classified using the grain color sorter.

Degree	Head rice (%)	Opaque (%)	Broken (%)	Damaged (%)	Other (%)
Control	48.4b	49.3c	0.0ns	1.8c	0.4b
Grade A	72.9a	26.7d	0.0	0.4d	0.0b
Grade B	22.0c	74.4b	0.1	3.2b	0.3b
Grade C	2.5d	90.0a	0.0	5.1a	2.4a

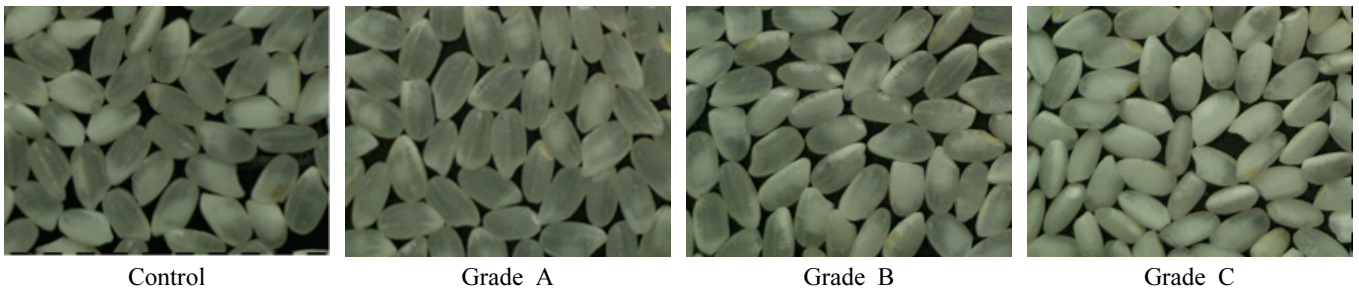


Fig. 2. Comparison of grain appearance of milled rice classified using the grain color sorter.

Table 2. Whiteness and index of color chart of milled rice classified using the grain color sorter.

Degree	Whiteness	Color index		
		L	a	b
Control	47.0b	77.3b	0.0b	16.4a
Grade A	45.3c	76.8b	-0.2c	16.6a
Grade B	47.7b	77.2b	0.2ab	16.4a
Grade C	49.9a	79.2a	0.2a	15.5b

Table 3. Grain characteristics of milled rice classified using the grain color sorter.

Treatment	Grain length (mm)	Grain width (mm)	GL/GW ratio	1000 grain weight (g)
Control	4.45b	2.56ab	1.74ns	19.0b
Grade A	4.49a	2.62a	1.72	19.2a
Grade B	4.57bc	2.64bc	1.74	18.4bc
Grade C	4.44c	2.58c	1.73	17.7c

Table 4. Differences in physico-chemical properties of milled rice classified using the grain color sorter.

Grade	Amylose content (%)	Protein content (%)	Amylogram (RVU ^{a)})				Palatability ^{b)}	
			Peak viscosity	Through 1	Break down	Final viscosity		Setback
Control	19.1ns	6.9ns	260.8a	141.4a	119.4ns	209.6a	-51.2ns	65.2b
Grade A	19.5	6.9	266.1a	145.2a	120.9	215.9a	-50.2	68.8a
Grade B	19.9	6.8	246.3ab	127.9ab	118.4	192.1b	-54.3	64.0bc
Grade C	19.0	6.8	239.6b	121.7b	117.9	185.2b	-54.4	62.1c

^{a)}RVU: Rapid Visco-analyzer units.

^{b)}Palatability: Toyo meter units.

mm 증가하였으며, 립폭은 약간 0.6 mm 증가하였다. 또한 장폭비는 대조구에 비해서 유의성이 없었고, 천립중도 0.2 g 증가하였다. 반면, C등급으로 분류된 쌀은 천립중이 17.7 g으로 분류된 19.0 g보다 유의하게 감소하였다(Table 3). 이는 C등급으로 분류된 쌀의 완전미율 비율이 낮고, 분상질 비율이 높기 때문인 것으로 판단되어진다. 최근에 Shi *et al.* (2016)은 야간 고온에서 쌀의 립형특성에도 영향을 미치고, 립장과 립폭이 줄어든다는 보고가 있었다. 본 연구에서도 립장과 립폭에서 유의한 차이가 나타났으며, 천립중은 불량 비율이 높은 B 등급과 C등급에서 작아지는 경향을 보였다.

색채선별기 통과 후 쌀 시료의 이화학적 특성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 아밀로스 함량은 처리전이 19.1%로 정상립으로 분류된 A 등급은 19.5%로 약간 증가하였으나, 유의한 차이는 없었고, 분류 등급간에도 특이적인 경향은 나타나지 않았다. 단백질 함량은 전체적으로 6.8~6.9% 사이로 처리간 유의한 차이가 없었다. 쌀의 호화특성인 RVA 특성을 분석한 결과 정상립으로 분류된 A등급은 최고점도와 최종점도가 각각 266.1RVU와 215.9 RVU로 색채선별전보다 높았다. Fahad *et al.* (2016) 야간의 고온스트레스 조건에서 쌀의 호화특성은 최고점도와 최종점도가 감소한다고 하였고, 강하점도 및 치반점도는 증가한다고 하였다. 이는 본 연구에서 정상립으로 분류된 A등급의 쌀에서 처리전과

불량으로 분류된 C등급보다 최고점도 및 최종점도 높았으며, 고온스트레스 조건에서 쌀의 호화특성 변화와 유사한 경향을 보였다. 밥의 윤기치에서도 68.8로 색채선별전보다 증가하였고, 불량으로 분류된 C등급의 식미치 62.1보다 유의하게 높았다(Table 4). 유백미와 심복백미가 증가하면, 밥의 식미치가 감소하는 것으로 알려져 수확 후 품질관리에도 만전을 기해야 할 것으로 판단된다. 이 결과로 볼 때 평야지 조기재배에서 생산된 쌀을 색채선별기를 이용하여 등급을 분류함으로써 완전미율이 증가되고 시장 상품성 향상으로 이어질 것으로 기대된다. 반면에 색채선별기에서 불량으로 분류된 쌀 비율이 증가됨에 따라 농가, 미곡종합처리장 등의 수익 감소로 이어질수도 있다. 따라서, 불량으로 분류된 쌀은 가공적성 분석을 통하여 가공품 개발 및 부가가치 향상을 위한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서 남부 평야지 조기재배 조건에서 생산된 쌀을 색채선별기를 이용한 쌀의 외관특성 향상과 밥맛의 향상을 위해 품질관련 특성을 분석하였다. 해당쌀 백미를 색채선별기에 2회 통과하여 등급별로 분류한 결과, A급은 64.8%, B급 18.0%, C급 17.2%이었다. 분류등급별 쌀을 백

미완전미율을 분석한 결과, A급은 72.9%로 색채선별전 쌀 48.4%보다 약 25.4%정도 향상되었다. B등급과 C등급은 원료곡보다 완전미율이 낮았다. 쌀의 백도는 A등급이 45.3으로 색채선별전의 원곡보다 1.7정도 낮아졌다. 색상색차계 적색도 a값은 색채선별전 대비구에 비해 유의하게 낮았다. 아밀로스 함량과 단백질 함량은 색채선별 전후 유의한 차이가 없었으나, 쌀의 호화특성은 정상립으로 분류된 A등급은 최고점도와 최종점도가 각각 266.1RVU와 215.9 RVU로 색채선별전보다 높았고, 밥의 윤기치에서도 68.8로 색채선별전보다 증가하였다. 이 결과로 볼 때 평야지 조기재배 조건에서 생산된 쌀을 색채선별기를 이용한 쌀의 외관특성을 분류함으로써 완전미율과 밥맛이 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01428201)이 농이용 다양화를 위한 단기성 벼 품종 개발)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- An, K. N., I. Lee, S. H. Shi, H. K. Min, O. D. Kwon, H. G. Park, H. R. Shin, and H. Y. Kim. 2017. Characterization of seasonal and annual variations in quality of rice brands distributed in jeonnam province. *Korean J. Crop Sci.* 62 : 79-86.
- Bao, J. S., M. Sun, and H. Corke. 2016. Analysis of genetic behavior of some starch properties in Indica rice (*Oryza sativa* L.): thermal properties, gel texture, swelling volume. *Theoretical and Applied Genetics.* 104 : 408-413.
- Fahad, S., S. Hussain, S. Saud, S. Hassan, B. S. Chauhan, F. Khan, M. Z. Ihsan, A. Ullah, C. Wu, A. A. Bajwa, H. Alharby, Amanullah, W. Nasim, B. Shahzad, M. Tanveer, and J. Huang. 2016. Responses of rapid viscoanalyzer profile and other rice grain qualities to exogenously applied plant growth regulators under high day and high night temperatures. *PLoS One.* 29 ; 11(7) : e0159590. doi: 10.1371/journal.pone.0159590.
- Izumi, O., K. Saito, and T. Kuroda. 2007. Effects of high temperature on growth yield and dry matter production of rice grown in the paddy field. *Plant Prod. Sci.* 10 : 412-422.
- Juilino, B. O. 1985. Criteria and ests for quality. In rice chemistry and technology. AACC. pp. 443-524.
- Khush, G. S., C. M. Paule, and N. M. de la Cruz. 1979. Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI. In. *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality.* pp. 21-31. (International Rice Research Institute: Los Baños, Philippines.)
- Lee, C. Y., L. Yan, S. R. Lee, and C. W. Park. 2008a. Investigation on grain image visualization and color sorting technique. *Journal of the Korean Society of Visualization* 6 : 20-27.
- Lee, J. H., D. S. Park, D. Y. Kwak, U. S. Yeo, C. S. Kim, M. G. Jeon, B. G. Oh, M. S. Shin, and J. K. Kim. 2008b. Yield and grain quality of early maturing rice cultivars as affected by early transplanting in Yeongnam plain area. *Korean J. Crop. Sci.* 53 : 326-332.
- Lee, J. H., J. H. Chho, J. Y. Lee, S. H. Oh, C. S. Kim, N. B. Park, U. H. Hwang, Y. C. Song, Y. C. Park, and U. S. Yeo. 2019. Development of Early Maturing Rice Stripe Virus Disease-Resistant 'Haedamssal' through Marker-Assisted Selection. *Korean J Breed. Sci.* 51 : 448-453.
- Nagata, K., T. Takita, S. Yoshinaga, K. Terashima, and A. Fukuda. 2004. Effect of air temperature during the early grain-filling stage on grain filling in rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 73 : 336-342.
- Seong, D. G., Y. G. Kim, Y. C. Cho, M. C. Kim, C. S. Kim, D. K. Kim, and J. S. Chung. 2017. The yield and quality of rice for early transplanting cultivation by cultural practices in gyeongnam plain area. *Journal of Agriculture & Life Science* 51: 19-27.
- Shi, W., X. Yin, P. C. Struik, F. Xie, R. C. Schmidt, and K. S. Jagadish. 2016. Grain yield and quality responses of tropical hybrid rice to high night-time temperature. *Field Crops Research* 190 : 18-25.
- Son, J. R., J. H. Kim, J. I. Lee, Y. H. Youn, J. K. Kim, H. G. Hwang, and H. P. Moon. 2002. Trend and future research of rice quality evaluation. *Korean J. Crop Sci.* 47(S) : 33-54.
- Tsutsui, K., K. Kaneko, I. Hanashiro, Nishinari, and T. Mitsu. 2013. Characteristics of opaque and translucent part of high temperature stress grains of rice. *The J. Appl. Glycosci.* 60 : 61-67.
- Won, J. G., S. H. Lee, J. S. Choi, S. G. Park, D. J. Ahn, S. D. Park, and J. K. Sohn. 2005. Yearly variation of rice quality in gyeongbuk province. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 69-75.
- Zakaria, S., T. Matsuda, S. Tajima, and Y. Nitta. 2002. Effect of high temperature at ripening stage on the reserve accumulation in seed in some rice cultivars. *Plant Prod. Science* 5 : 160-168.