

벼 高糖米 變異系統 胚乳의 理化學的 特性

高 熙 宗* · 許 文 會*

Physicochemical Properties of Sugary-Endosperm Mutants in Rice

Hee Jong Koh* and Mun Hue Heu*

ABSTRACT : Some physicochemical properties of sugary rices were comparatively analyzed with the original cultivars, using Hwachung su-1, su-2, and Nampung su lines bred in Seoul Nat'l Univ., and EM 5 bred in Kyushu Univ.

Sugary rice grains were smaller in width and thickness, and the relative dry weight of 1000 grains of sugary rices ranged from 49% to 72%, compared to normal ones. No distinct starch granules were found in endosperm of sugary rices exposed by SEM, with structural variations between Hwachung su-1 and su-2 lines. Sugary rices showed the significant increases in sucrose, glucose and fructose content, especially much higher in sucrose content showing 5.84~8.79%, in comparison with the normal ones, 1.11~2.65%. However, sucrose and total sugar content varied within sugary lines carrying the same sugary gene, and were significantly lower in Hwachung su-2. Sugary rices, except Hwachung su-1, showed the same or lower ADV and harder gel characteristics, compared to normal ones.

Protein and lipid content were much higher in sugary rices, due to the increased relative proportion of aleurone layer in brown rice caused by thicker aleurone layer than in normal rices and the reduction of endosperm part. However, there were no remarkable changes in amino acid and fatty acid compositions.

Key Word : Rice, Sugary-endosperm, Mutant, Sucrose

緒 言

쌀의 品質研究는 主食用을 主對象으로 하여 食味 및 營業特性과 관련된 要素들이 집중적으로 검토되어져 왔다⁶⁾. 근래에는 쌀 用途의 多變化를 추구하

는 과정에서 加工에 비중을 두게 되었고 따라서 品質의 高級化와 多樣化가 동시에 요구되고 있다⁵⁾.

玄米의 炭水化合物含量은 品種에 따라 72.9~75.9%이고 澱粉의 理化學的 特性은 品種間에 變異가 있어서⁴⁾, 이를 제면, 제병, 양조, 미분용 등의 用途

* 서울大學校 農業生命科學大學(Coll. of Agric. & Life Sci., Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Korea)

에 적용코자 노력하고 있다. Satoh & Omura¹³⁾, Okuno & Yano¹¹⁾, 金等⁷⁾에 의해 amylose 함량, 貯藏澱粉組織, 糖含量 등에 대한 炭水化物的 變異體가 개발되면서 그들에 대한 검토가 일부 이루어지고 있는데⁹⁾, 他 品質要素와 組合하여 쌀의 用途를 擴大 내지는 創出할 수 있을 것으로 보인다.

쌀의 糖含量은 玄米의 0.7~1.3% 정도에 불과하여⁴⁾ 品質要素로서 주목을 받지 못하다가 高糖米가 개발되면서^{7,13)} 관심의 대상이 되고 있다. Omura & Satoh¹²⁾는 sugary 및 shrunken 變異體는 澱粉含量이 감소한 대신에 sucrose 함량이 1.6~5.1%로 原品種에 비해 월등히 높았고, 특히 sugary 變異體에서는 水溶性多糖類가 특이하게 증가한 것을 보고하였다. 옥수수에서는 糖含量에 직접 관련된 sugary-1, sugary-2, sugary enhancer, shrunken-1, shrunken-2, shrunken-4 등의 變異體가 있고 이들은 다른 澱粉變異體들과 組合함으로써 극도로 다양한 糖含量 및 貯藏炭水化物的 變異系統을 育成 利用하고²⁾ 있는데 비해 쌀에는 糖含量과 關係되어 보고된 變異體가 sugary, shrunken-1, shrunken-2 뿐으로 금후 집중연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 서울大 農生 및 九州大에서 育成한 高糖米系統에 대해 理化學的 胚乳特性을 검토한 것으로 高糖米系統 育成의 基礎資料로 供與코자 수행하였다.

材料 및 方法

供試한 高糖米系統은 서울大 農生大에서 화청벼에 MNU(N-methyl-N-nitrourea)를 처리하여 育成한 화청 su-1 및 화청 su-2와 九州大에서 育成한 EM 5, 그리고 EM 5에 남풍벼를 2회여 교배하여 育成한 系統인 남풍 su-1들이다. 이들은 原品種과 동시에 1992年 5月 1日에 播種하여 6月 1日에 30×15cm의 栽植距離로 1株1本植 移秧栽培하였다. 施肥는 N-P₂O₅-K₂O=10-8-8 kg/10a를 P₂O₅는 全量 基肥로, N과 P₂O₅는 基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3의 비율로 分施하였고, 其他 栽培管理는 慣行에 遵하

였다. 수확 후 米粒의 外形과 무게를 측정하고, 胚乳結晶組織, 遊離糖含量, 蛋白質含量 및 아미노산 組成, 脂肪含量 및 脂肪酸組成, 알칼리 崩壞度, 糊凝集性 등을 조사하였다.

胚乳結晶組織은 玄米의 中央部를 1mm 두께의 薄片으로 만들어 走査電子顯微鏡(SEM)으로 관찰하였다. 遊離糖含量은 玄米에서 胚芽를 제거하여 조제한 玄米가루(60mesh)를 80℃에서 24時間 乾燥한 後 1g을 평량하여 증류수 10배로 희석하고 잘 섞은 다음 여과하여 不純物을 제거하였다. 그 溶液을 室溫에서 15,000 rpm 15분간 遠心分離하고 상등액을 SEP-PAK 처리하여 蛋白質, 脂質 등을 제거한 후 membrane filter(Millex-HA, 0.45 μ m, Waters사)로 2회 여과하여 추출하였다. 여과액 10 μ l를 취해 HPLC로 定量하였으며 分析條件은 아래와 같다.

(遊離糖의 HPLC 分析條件)

Instrument :	Waters Model 510
Column :	Sugar PAK TM
Detector :	RI detector(Waters model 410) at 8X
Mobile phase :	H ₂ O(with 0.05M Ca-EDTA)
Column temperature :	90℃
Flow rate :	0.5ml /min.
Detector temp. :	40℃
Injection Volume :	10 μ l
Chart speed :	0.5cm /min.

胚芽를 除去한 玄米의 蛋白質含量은 Microkjeldahl法에 의해 全窒素 含量을 분석하고 蛋白係數를 6.25를 곱하여 乾物重에 대한 比率로 나타냈으며, 아미노산 組成은 自動分析機(Hitachi 835)를 이용하여 측정하였다. 脂肪含量은 Soxhlet 抽出器를 이용한 餾出法에 의해 측정하였으며, 脂肪酸 組成은 Gas chromatography에 의해 分離 定量하였다. 알칼리 崩壞度는 KOH 1.2% 溶液을 사용하였고, 糊凝集性은 標準方法⁹⁾에 遵하여 조사하였다.

結果 및 考察

高糖米系統의 米粒外形은 表1에서 볼 수 있듯이 粒長은 原品種과 비슷하나 粒幅이 減少하였고, 粒厚는 매우 얇아졌다. 따라서 1000粒種은 原品種의 49~72%로 월등히 작아졌는데 특히 화청su-1은 화청의 49%에 불과하였다. Omura & Satoh¹²⁾도 sugary 및 shrunken 變異體의 種實重이 현저히 減少됨을 보고하였는데 옥수수에서 Creech³⁾는 糖含量이 높은 genotype일수록 種實의 乾物蓄積量이 적음을 관찰한 바 있다.

화청과 화청su-1 및 화청 su-2의 胚乳結晶組織을 SEM으로 관찰한 것이 그림 1이다. 低倍率

(×66)로 斷面을 보면 화청에서는 澱粉貯藏細胞의 凹凸과 나출된 澱粉組織이 뚜렷이 나타나는데 비해 화청 su-1에서는 凹凸이 없이 細胞間의 區分 흔적만 보이고 화청 su-2는 中間程度의 特性을 나타내었다. 高倍率(×1500)로 나출된 澱粉組織을 보면 화청에서는 多角形의 뚜렷한 澱粉單粒과 複合澱粉粒을 관찰할 수 있었는데 비해 화청 su-1에서는 전혀 澱粉粒의 形態를 찾아볼 수 없었다. 화청su-2에서는 화청벼와 같은 뚜렷한 澱粉粒의 形態는 나타나지 않지만 澱粉粒들이 不定形의 物質에 둘러싸여진 듯하여 화청과 화청su-1의 中間的인 形狀을 보였다. 화청 su-1의 構造는 Satoh & omura¹³⁾가 벼에서, Boyer 등¹⁾이 옥수수에서 관찰한 것과 동일하지만 화청su-2는 그와 다른 構造를 가진것으로 나타났다.

Table 1. Grain dimension and weight of original cultivar and sugary lines

	Length (mm)	Width (mm)	Thick. (mm)	L/W ratio	1000-gr dry wt.(g)
Hwachung	4.96b*	2.91a	2.01a	1.70b	17.7(100)**a
Hwachung su-1	5.03b	2.70b	1.42c	1.86a	8.7(49) c
Hwachung su-2	5.15a	2.77b	1.52b	1.86a	12.8(72) b
Kinmaze	5.20a	2.81a	2.01a	1.85b	19.4(100)a
EM 5	5.16a	2.65b	1.45b	1.95a	12.6(65)b

* Different alphabets denote the significant difference.
** Relative dry weight(%)

Table 2. Sugar content of brown rice endosperm of original cultivars and sugary lines

Materials	Sucrose	Glucose	Fructose	Total ^{a)}
.....(%).....				
Hwachung	1.11	0.28	0.02	1.41
Hwachung su-1	8.23	1.59	0.33	10.15
Hwachung su-2	5.84	1.22	0.39	7.45
Difference	**	**	*	**
LSD.05	1.37	0.51	0.27	2.14
Kinmaze	2.09	0.37	0.12	2.58
EM 5	7.45	1.59	0.42	9.46
Difference	**	**	**	**
Nampung	2.65	0.70	0.11	3.46
Nampung su-1	8.79	2.39	0.54	11.72
Difference	**	**	**	**

a) Sucrose+Glucose+Fructose

高糖米系統의 糖含量을 조사한 것이 表2인데 sucrose, glucose, fructose 모두에서 原品種보다 높게 나타났고, 특히 sucrose含量이 월등히 증가되었다. 이것을 原品種과 高糖米系統 各各에 대해 정리하여 보면(表3) 原品種間에는 유의한 差異가 없었으나 高糖米系統間에는 sucrose 및 總糖含量에서 差異가 있었다. 즉 surcourse 및 總糖含量의 順序가 남풍 su-1 > 화청 su-1=EM 5 > 화청 su-2이었다. 남풍 su-1은 EM5에서 유래한 系統이고, 화청 su-1과 EM5는 同一한 遺傳子를 가지고 있음에도⁸⁾ 차이가 나타난 이유는 品種間의 서로 다른 遺傳背景이 糖含量에 多少의 影響을 미친 결과로

Table 3. Differences of sugar content among normal cultivars and among sugary lines

	Sucrose	Glucose	Fructose	Total
Among normal Cultivars				
Difference	ns	ns	ns	ns
Among sugary lines				
Difference	**	ns	ns	*
LSD.05(%)	1.29	-	-	1.88
Hwachung su-1	ab*	-	-	ab
Hwachung su-2	c	-	-	c
EM 5	b	-	-	b
Nampung su-1	a	-	-	a

* Different alphabets denote the significant difference

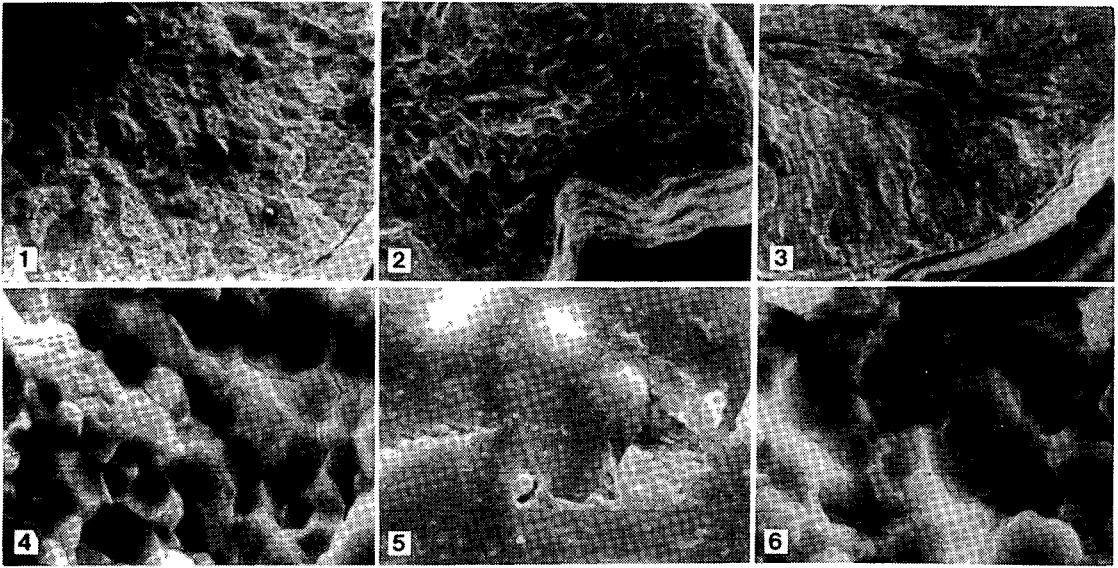


Fig. 1. Endosperm structure of normal and sugary grains exposed by SEM($\times 66:1, 2 \& 3, \times 1500:4, 5 \& 6$) (1 & 4:Hwachung, 2 & 5:Hwachung su-1, 3 & 6:Hwachung su-2).

생각된다. 반면 화청 su-2는 高糖米系統들 중 유의하게 낮은 sucrose 및 總糖含量을 보였는데(表3) 그림1의 결과와 동시에 고려해 볼 때 別個의 高糖米 關與遺傳子를 가진 것으로 판단된다. Omura & Satoh¹²⁾는 EM5 系統에는 sucrose가 4.0%, 水溶性多糖類가 19.5% 含有되어 있는 대신 澱粉含量은 현저히 減少함을 보고하였는데, 本實驗과의 sucrose含量 差異는 分析方法의 差異에 기인된 것으로 보여진다. 水溶性多糖類와 澱粉含量은 본 실험에서 검토되지 못했지만 EM5와 同一한 遺傳子를 保有하는 화청 su-1이나 남풍su 系統은 EM5와 類似的한 결과일 것으로 推論된다.

Matheson¹⁰⁾은 sugary 옥수수 水溶性多糖類는 phytyglycogen이라고 규정하였고, Boyer & Shannon²⁾은 옥수수 澱粉變異體들의 澱粉代謝過程을 정리하면서 su 遺傳子는 α -D-1, 4-glucans를 phytyglycogen으로 變換시키는 phytyglycogen branching enzyme과 관련이 있다고 하였는데 비에서도 금후 突然變異系統들을 이용하여 澱粉의 生合成經路를 밝힐 수 있을 것으로 기대된다.

表4는 原品種과 高糖米系統의 알칼리 崩壞度와 糊凝集性을 본 것이다. 알칼리崩壞度는 原品種에 비해 화청su-1을 제외하고는 모두 높거나 같게 나타났다고, 糊凝集性도 화청su-1을 제외한 高糖米系統이 모두 두드러지게 harder gel 특성을 보였다. 화청su-1는 전혀 糊化가 되지 않았는데 澱粉含量이 워낙 적기 때문에 나타난 결과인지¹²⁾는 추후 검토가 필요하다.

화청벼에서 유래된 高糖米系統들의 胚芽를 제거한 玄米의 蛋白質含量은 (表5) 原品種에 비해 월등히 증가하였는데, 이는 高糖米系統의 胚乳澱粉層이 쭉그러진 관계로 同一한 玄米 무게에 대해 상대적으로 蛋白質含量이 높은 糊粉層의 비율이 커졌기 때문인 것으로 생각된다. 糊粉層의 두께 자체도 도리어 高糖米系統이 두터운 것을 알 수 있었다(表6). 한편 아미노산組成에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 脂肪含量도 高糖米系統이 原品種에 비해 현저히 높았는데(表7) 이는 高糖米系統에서 蛋白質含量이 增加된 것과 同一한 理由 때문인 것으로 보인다.

Table 4. Alkali digestibility value(ADV) and gel consistency

	ADV (1~7)	Gel length(mm)
Hwachung	5.0	85
Hwachung su-1	3.8	-a)
Hwachung su-2	5.0	52
Kinmaze	5.5	88
EM 5	5.8	48
Nampung	3.8	68
Nampung su-1	4.3	44

a) not gelatinized

Table 5. Protein content and amino acid composition of brown rice endosperm

	Hwachung	Hwachung su-1	Hwachung su-2
Protein content(%)	6.99	10.25	8.69
(%).....		
Alanine	6.68	7.21	6.81
Arginine	6.60	5.67	6.02
Aspartic	10.25	10.53	10.78
Glutamic	20.83	19.61	20.21
Glycine	4.32	4.47	4.31
Histidine	1.79	1.59	1.77
Isoleucine	3.12	3.49	3.37
Leucine	8.47	8.64	8.57
Lysine	2.96	3.88	3.57
Methionine	1.99	2.08	2.00
Phenylalanine	5.07	5.16	5.16
Proline	3.01	3.20	3.06
Serine	4.27	4.05	4.51
Threonine	2.67	2.87	2.92
Tyrosine	4.17	3.99	3.60
Valine	6.14	6.55	6.33
Ammonia	7.66	7.01	7.02

Table 6. Thickness of aleurone layer(μ m)

	Ventral	Dorsal	Lateral
Hwachung	28.2	83.4	30.8
Hwachung su-1	40.5	118.8	38.1
Hwachung su-2	41.8	138.6	39.2
Difference	**	**	**
LSD.01	6.4	17.0	6.4

Table 7. Lipid content and fatty acid composition of brown rice endosperm

	Hwachung	Hwachung su-1	Hwachung su-2
(%).....		
Lipid content	2.9	6.2	3.8
Fatty acid composition			
Oleic			
Linoleic	40.0	43.6	37.4
Palmitic	39.8	35.1	41.2
Linolenic	13.7	14.4	16.4
Stearic	3.8	3.2	3.1
	2.6	3.7	1.9

摘要

突然變異로 유기된 高糖米 系統과 原品種을 대비하여 米粒의 外形, 胚乳結晶組織, 遊離糖含量, 蛋白質含量 및 아미노산 組成, 脂肪含量 및 脂肪酸 組成, 알칼리崩壞度, 糊凝集性을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 高糖米는 粒幅과 粒厚가 原品種에 비해 작았고, 玄米 1000粒重이 월등히 減少하였다.

2. 高糖米의 胚乳組織에서는 뚜렷한 澱粉粒자를 관찰할 수 없었는데, 高糖米의 種類別로 差異가 있었다.

3. 高糖米의 sucrose, glucose, fructose 含量은 原品種보다 有意하게 높았으며 특히 sucrose는 原品種이 1.11~2.65%인데 비해 高糖米는 5.84~8.79%로 월등히 增加하였다. 同一한 sugary 遺傳子를 가진 系統間에도 差異가 있었으며, 화청su-2는 有意하게 낮은 sucrose 및 總糖含量을 보였다.

4. 화청su-1을 제외한 高糖米系統들은 原品種과 같거나 높은 알칼리崩壞도를 보였고, 糊凝集性에서도 原品種에 비해 harder gel의 特性을 보였다.

5. 高糖米系統의 蛋白質 및 脂肪含量은 原品種에 비해 월등히 높았는데, 이는 高糖米系統에서 도리어 糊粉層이 두터워졌고 胚乳澱粉層의 縮小로 인해 玄米에서 糊粉層의 相對의 比率이 높기 때문이었다. 아미노산 및 脂肪酸 組成에는 두드러진 변화가 없었다.

引用文獻

1. Boyer, C.D., R. R. Daniels, and J. C. Shannon. 1977. Starch granule(amyloplast) development in endosperm of several *Zea mays* L. genotypes affecting kernel polysaccharides. Amer. J. Bot. 64(1):50-56.
2. Boyer, C. D. and J. C. Shannon. 1983. The use of endosperm genes for sweetcorn improvement. Plant Breed. Rev. 1:139-161.
3. Creech, R. G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. Genetics 52:1175-1186.
4. Juliano, B.O. 1985. Rice—Chemistry and Technology. AACC Monograph Series pp. 38, 59-98.
5. 許文會, 朴淳直. 1990. 쌀用途의多樣化育種戰略. 쌀品質의高級化 및多樣化開發심포지움, 농촌진흥청 작물시험장, pp.41-58.
6. 金光鎬, 蔡濟天, 林茂相, 趙守衍, 朴來敬. 1988. 쌀品質研究現況問題點 및方向. 韓國作物學會誌 33卷別號(品質研究):1-17.
7. 金光鎬, 許文會, 朴淳直, 高熙宗. 1991. 새로운米粒質突然變異創出. 韓國作物學會誌 36(3):197-203
8. 金光鎬, 金基駿, 成樂春, 高熙宗. 1993. 主要澱粉作物의遺傳分析及高品質變異體探索 및活用研究. 農試驗文集('92農業產學協同) 35:23-32
9. 金光鎬, 高熙宗, 李璋薰, 朴淳直, 許文會. 1993. 特殊加工用米質開發:粉狀質胚乳突然變異系統의理化學的特性及遺傳. 韓國作物學會誌 38(3):264-274.
10. Matheson, N. K. 1975. The $\alpha(1-4)(1-6)$ glucans from sweet and normal corns. Phytochemistry 14:2017-2021
11. Okuno, K. and M. Yano. 1984. New endosperm mutants modifying starch characteristics of rice, *Oryza sativa* L. JARQ 18(2):73-78
12. Omura, T. and H. Satoh. 1984. Mutation of grain properties in rice. in Biology of Rice, pp. 293-313
13. Satoh H. and T. Omura. 1981. New endosperm mutations induced by chemical mutagen in rice, *Oryza sativa* L. Japan J. Breed. 31(3):316-326