

밀쌀의 貯藏性과 品質에 미치는 伽馬線 照射의 영향

李 瑞 來 · 金 成 器 · 李 寬 寧

放射線農學研究所 食品工學研究室

(1973년 2월 7일 수리)

Effect of Gamma-Irradiation on the Storage Stability and Quality of Polished Wheat

by

Su Rae Lee, Sung-Kih Kim and Kwanyoung Lee

Food Technology Division, Radiation Research Institute in Agriculture, Seoul

(Received February 7, 1973)

Abstract

In order to study the effect of gamma-ray on the storage stability and quality of polished wheat, the grain was irradiated at 50~1000 krad levels and quality assessment was made for three-month storage period. The results are summarized as follows:

- 1) Growth of molds was apparent at equilibrium moisture content above 14.8% of the grain, but their growth was retarded at 250 krad level.
- 2) Irradiation at 250 krad level had no adverse effect on fat acidity, reducing sugar content and color of the grain.
- 3) Irradiation of the grain caused the increase of degree of gelatinization and the decrease of viscosity.
- 4) Irradiation at 250 krad level brought about higher digestibility of the grain but had no effect on the rate of retrogradation.

序 論

최근 우리나라에서 쌀의 절대적인 부족은 粉食과 混食의 필요성을 절실히 요구하고 있는 실정이다. 연이나 우리의 오랜 食習慣때문에 급격한 粉食으로의 전환에는 큰 난관이 있고 아직도 粒食에 의존하는 바 크다. 따라서 混食法에 의한 食糧의 節約과 점진적인 粉食으로의 食生活變遷이 바람직한 일이라 생각된다. 이러한 관점에서 볼때 經濟의이며, 營養價가 높은 밀쌀의 출현⁽¹⁾은 현시점에서 큰 기대를 주고 있으며 1972년도에는 50만 톤의 生産이 豫想되고 있다.

밀쌀은 특수하게 搗精된 제품이므로 그 貯藏性이나 食品의特性이 다른 곡류와 다르리라 豫想되나 아직 이에 대한 국내의 연구는 調理科學的⁽²⁾ 및 營養學的研究⁽³⁾에 그치고 있다.

따라서 本報에서는 밀쌀의 貯藏性과 品質에 미치는 放射線照射의 影響을 관찰 하였기에 그 結果를 이에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

1. 供試材料 및 放射線照射

본실험에 사용한 밀쌀은 1972년 5월 신한제분 주식회사에서 분양받은 搗精지후의 제품으로서 水分 11.5%, 粗蛋白質 9.7%, 粗脂肪 0.94% 이었다. 밀쌀의 放射線照射은 1.5 kg의 원포장(polyethylene 袋) 상대로 본연구소에 설치된 BNL's shipboard irradiator (20,000 Ci ⁶⁰Co)에 의하여 線量率 150 krad/sec에서 실시하였다. 밀쌀분말은 pulverizer와 mortar로 마쇄한 후 100 mesh 체를 모두 통과 시켰다.

2. 平衡水分의 測定法

밀쌀의 평형수분은 Houston의 방법(4)을 사용하여 측정하였다. 즉 상대습도 11.1%~92.5%의 범위에 있는 각종 鹽類용액을 Fig. 1과 같은 300 ml 광구시약병에 넣

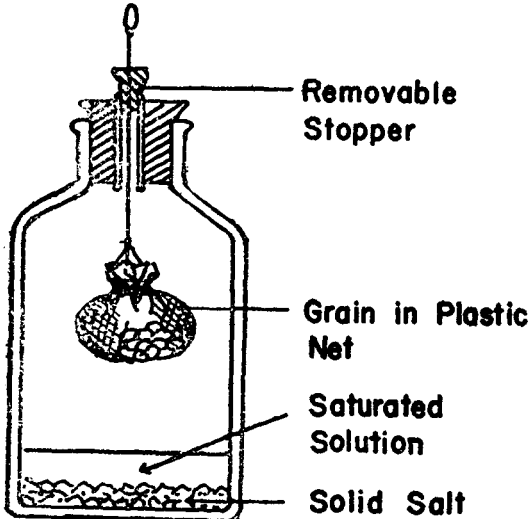


Fig. 1. Apparatus used in determination of moisture equilibrium of grains

고 25°C에서 완전히 포화시킨후 약 5g의 쌀알을 나일론 망에 넣어 가운데 철사에 고정시킨 다음 병마개 부분은 paraffin으로 밀폐시켜 25°C의 항온기에 보존하면서 주기적으로 重量의 變化를 자동천평으로 측정하였다. 平衡水分은 최초의 수분함량과 무게의 변화로부터 구하였다.

3. 곰팡이의 汚染度 측정

가) 外部汚染: 밀쌀 10g을 무균적으로 취하여 50ml 殺菌水에 현탁시킨후 한시간 방치하여 試料外部에 汚染되어 있는 미생물을 현탁시켰다. 현탁액 1ml를 맥아즙 한천培養基가 든 petri dish에 무균적으로 접종하고 30°C 항온기에서 5일간 培養시키면서 발생하는 colony의 수를 계수하였다. 이때 사용한 培養基는 7.5% NaCl을 첨가하여 세균의 번식을 억제하였고, 한 실험구에 대하여 10개의 petri dish를 사용하였다.

나) 内部汚染: 外部에 汚染된 미생물을 위와 같이 제거시킨 試料를 다시 무균수로 15회 세척하여 試料의 표면 미생물을 모두 세척한후, 밀쌀 10개씩을 무균적으로 맥아즙 한천培養基가 든 petri dish에 심어 8일간 20°C에서 培養시킨후 균수가 발생하는 粒子數를 계수하였다. 그리고 한 실험구당 10개의 시틀 사용하였다.

4. 脂肪酸度的 측정

AACC法(5)을 사용하였으며 試料 100g중에 함유되어 있는 遊離脂肪酸을 중화 시키는데 필요한 KOH의 mg수로 표시하였다.

5. 還元糖의 정량

供試液의 조제는 AOAC방법(6)에 준하였으며 還元糖의 정량은 Somogyi法(7)을 사용하여 glucose로 표시하였다.

6. α化度の 측정

요오드분색法(8)을 사용하였다. 이때 boiling water bath 상에서 20분간 加熱한 1% 밀쌀수용액을 完全 α化區로 하여 標準曲線을 구하였다. 즉 完全 α化시킨 1% 밀쌀糊化液을 적당히 희석한 용액 50ml를 40°C의 shaking water bath에서 120분간 진탕시켜 可溶性澱粉을 추출한 후 9,000 rpm에서 5분간 원심분리하여 상등액을 얻는다. 상등액 2ml를 100ml mess flask에 취한후 0.1N I₂용액 0.5ml를 가하고 증류수로 100ml로 채운후 잘 섞어 5분후 Beckman DU-2 spectrophotometer로 635 mμ에서의 흡광도를 측정하였다. 이와같이 얻은 溶出澱粉의 상대적 농도와 흡광도와와의 관계를 보면 Fig. 2와 같다.

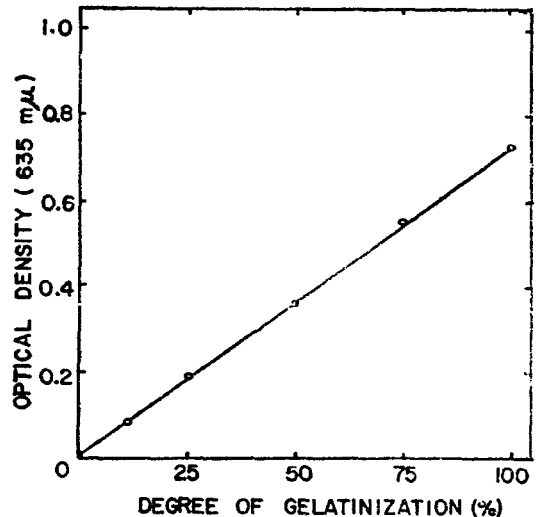


Fig. 2. A calibration curve for gelatinized paste of polished wheat

試料의 α化도는 다음과 같이 계산하였다.

α化度(%) = (p/q) × 100

(p: 시료의 용출전분량, q: 완전 α화된 시료의 용출전분량)

7. 粘度的 측정

밀쌀의 점도측정은 Brabender's amylograph를 사용하여 既報(9)에서와 같이 실시하였다.

8. 消化率

0.05M acetate buffer (pH 4.8)에 분산시킨 1% 밀쌀糊化液 16ml를 100ml 삼각후라스크에 취한후 0.5% β-amylase 용액(藥典 β-amylase, 4萬單位) 5ml를 가하고 37°C의 항온수조에서 반응시켰다. 濃鹽산 3滴으로 반응을 정지시킨후 여과해서 여액 5ml를 Fehling-Lehman-Schoorl變法(10)으로 환원당을 정량하여 glucose

로서 표시하였다.

9. 老化速度的 측정

밀쌀을 일정한 량의 물로 세척한 후 100 g의 試料에 대하여 130 ml의 비율로 물을 가하고 증기실에서 30분간 밥을 지었다. 그후 5°C의 냉장고에 저장하면서 다음의 방법으로 老化速도를 측정하였다.

즉 밥 2g을 완전히 갈아서 40 ml 현탁액을 만든후 5 ml를 취하여 市販 10% diastase 용액 2 ml, 0.05 M acetate buffer 3 ml (pH 4.8)를 가하여 50°C에서 60분간 전탕시켰다. 이때 생성된 환원당은 Fehling-Lehman-Schoorl 變法⁽¹⁰⁾에 의하여 정량하고 glucose로서 표시하였다.

10. 밀쌀밥의 색깔측정

앞에서와 동일한 방법으로 炊飯한 밀쌀밥의 색깔을 Hunterlab D 25 color difference meter를 사용해서 white standard No. 6304 (L=91.6, a=-0.9, b=-0.8)을 표준으로 하여 L, a, b 값을 측정하고 이로부터 total color difference (ΔE)를 계산하였다.⁽¹¹⁾

結果 및 考察

1. 밀쌀의 平衡水分

일반적으로 貯藏중인 穀物의 품질은 그의 水分含量에 의하여 큰 영향을 받고 있다. 따라서 대기중의 濕度變化에 따른 영향을 보기 위하여, 일정한 상대습도하에 저장한 밀쌀의 平衡水分을 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 이에서 볼 수 있듯이 미생물의 생장은 상대습도 83.3%에서 13일만에 관찰되었으며 92.5%와 100%의 상대습도에서는 각각 5일과 4일만에 나타났다. 그리고 그때

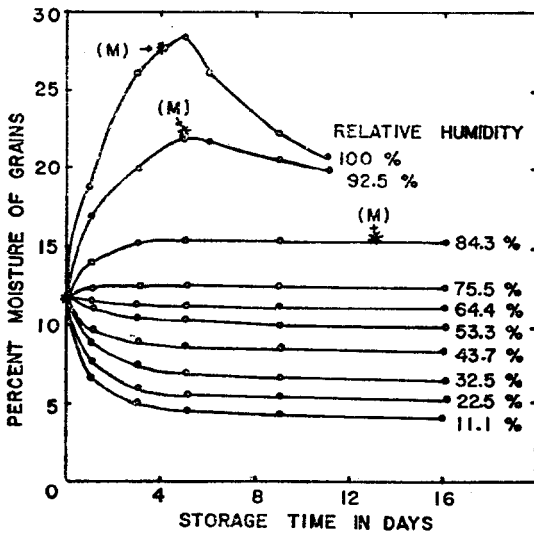


Fig. 3. Rate of approach to equilibrium moisture in polished wheat stored at 25°C under various relative humidity conditions

*Original moisture content of the grain was 11.5%.

** (M) indicates the time when the grain was visibly moldy.

의 밀쌀의 平衡水分은 각각 14.8%, 24% 및 26.5%였다. 92.5%와 100%의 상대습도에 있어서는 곰팡이의 발육에 따라 증량의 감소를 가져오고 있는데 이것은 곰팡이 생장에 의한 소비에 기인한다고 생각된다.

Fig. 4는 쌀과 밀쌀에 있어서 平衡水分과 상대습도의 관계를 보여준 것이다. 밀쌀은 쌀보다 낮은 平衡水分을 유지하는 경향을 보여주고 있으며 그 貯藏性에 있어서 쌀보다 유리하다고 생각된다. 그리하여 84.3%의 상대습도하에서는 어느것이나 곰팡이의 번식이 가능하였으나 밀쌀은 13일째 부터, 쌀은 4일후 부터 菌絲의 발육을 관찰할 수 있었다.

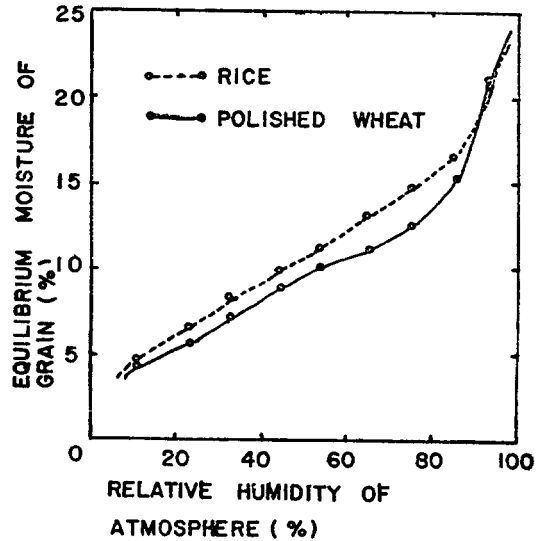


Fig. 4. Moisture sorption isotherm of polished wheat and rice grains at 25°C

*Original moisture contents of polished wheat and rice were 11.5% and 14.5%, respectively.

2. 미생물의 汚染度

밀쌀에 汚染된 곰팡이의 감마線에 대한 저항성을 보면 Table 1과 같다. 밀쌀에 汚染된 곰팡이는 250 krad에서 약 1/10로 감소되었고 500 krad 이상에서는 완전히 제거되고 있음을 알 수 있었다.

Table 1. Mold contamination and gamma-irradiation of polished wheat

Radiation dose (krad)	Immediately after irradiation		3 months after irradiation	
	Surface (counts/100 g)	Internal (% grain infected)	Surface (counts/100 g)	Internal (% grain infected)
Control	30,000	30	43,500	32
100	11,000	7	15,000	8
250	3,500	2	4,500	2
500	—	—	—	—
750	—	—	—	—
1000	—	—	—	—

3. 脂肪酸度의 變化

일반적으로 穀物에 있어서 변질의 指標로서 사용되는 脂肪酸度를 照射직후와 照射후 3개월 貯藏하여 측정한 결과는 Table 2와 같다. 감마線을 照射하여 저장해도 酸度는 크게 증가하며, 照射線量의 증가에 따라 역시 酸度도 증가함을 보여주고 있다. 따라서 감마線에 의한 酸度의 억제 는 기대 할 수 없다고 생각된다.

Table 2. Fat acidity and gamma-irradiation of polished wheat

Radiation dose (krad)	Immediately after irradiation	3 months after irradiation
Control	12.6	33.9
250	15.7	32.8
500	19.9	36.0
750	22.0	38.5
1000	22.5	39.5

*Fat acidity was expressed as mg KOH required to neutralize free fatty acid in 100 g of sample.

4. 환원당의 변화

감마線 照射에 의한 밀쌀의 환원당의 변화를 보면 Table 3과 같다. 이 Table에서 볼 수 있듯이 照射후는 線量의 증가에 의한 환원당의 증가가 완만하나 貯藏후에는 큰 증가율을 보이고 있다. 두 실험구가 모두 250 krad까지는 환원당의 증가가 별로 없으며, 그 이상의 線量에서는 약간씩 증가함을 보여주고 있다.

Table 3. Reducing sugar and gamma-irradiation of polished wheat

Radiation dose (krad)	Immediately after irradiation (mg % glucose eq.)	3 months after irradiation (mg % glucose eq.)
Control	158	188
50	161	187
100	161	187
250	165	186
500	182	217
750	184	225
1000	187	239

5. α化도와 粘性的 變化

감마線 照射에 의한 밀쌀의 α化도의 變化는 Table 4와 같다. 밀쌀은 그 제조과정에서 熱처리 가 수반되므로 밀가루에 비하여 α化도는 상당히 높음을 알 수 있다. 그러나 照射線量이 증가함에 따라 α化도가 커진다는 것은 澱粉의 溶解性이 커진다는 것을 의미 하므로 앞으로 放射線照射에 의한 食品加工面에 있어서 유의할 점이라 생각된다.

Table 4. Degree of gelatinization and gamma-irradiation of polished wheat

Radiation dose (krad)	Degree of gelatinization (%)
Control	6.5
50	7.0
100	7.0
250	9.0
500	12.5
1000	14.0
Wheat flour control	1.5

또 線量별로 照射시킨 밀쌀의 粘度變化를 Brabender amylograph으로 측정한 결과는 Table 5 및 Fig. 5와 같다. 밀쌀을 감마線으로 照射시킨 경우, 照射직후 보다 3개월 貯藏하므로써 粘度는 크게 떨어지고 糊化開始溫度가 높아짐을 알 수 있다. 또한 照射線量이 증가하므로써 冷却時의 粘度는 모두 이에 비례하여 감소함을 보여주고 있다. 대조구와 50, 100 krad에 있어서는

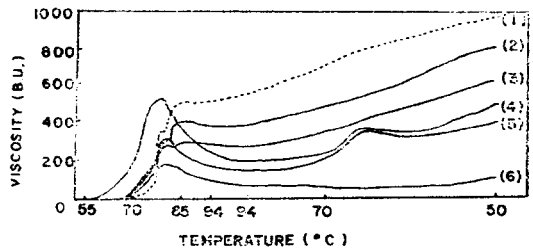


Fig. 5. Amylograms of polished wheat immediately after gamma-irradiation

(1) control (2) 50 krad (3) 100 krad
(4) 250 krad (5) 500 krad (6) 1000 krad

最高粘度에 도달하기 전에 특이한 變曲點을 갖고 있으며 250, 500 krad로 照射線量이 증가 할수록 그 변곡점이 70°C의 冷却溫度로 이동하고 있으며, 250 krad에 있어서 最高粘度는 대조구의 거의 비슷하며 糊化開始溫度가 아주 빠르게 나타나는 특성을 보이고 있었다. 그러나 3개월 貯藏후에는 이러한 특이성을 관찰 할 수 없었다. 이러한 특성은 밀쌀의 炊飯特性和 관련시켜 追試해볼 과제라 생각된다.

6. 밀쌀糊化液의 消化率

照射線量과 밀쌀糊化液의 β-amylase에 의한 消化率과의 관계를 보면 Fig. 6, Fig. 7과 같다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 감마線照射에 의한 消化率의 변화는 照射직후 보다는 貯藏하므로써 線量별로 차이를 더 잘 보여주고 있다. 특히 30분, 1시간, 2시간에 있어서 급격한 증가를 보여주고 있으며, 그 이상의 시간에 있어서는 완만한 증가를 보여주고 있다. 두 실험구는 모두 250°C

Table 5. Amylogram characteristics and gamma-irradiation of polished wheat (10% solids basis)

Radiation dose (krad)	Gelatinization point (°C)	Maximum viscosity (BU)	Temp. at max. viscosity (°C)	Viscosity at 94°C (BU)	Viscosity in cooling to 70°C (BU)	Viscosity in cooling to 50°C (BU)
Immediately after irradiation						
Control	77.5	505	91.0	500	700	1000
50	76.0	400	90.5	380	500	830
100	76.0	310	89.5	290	370	650
250	70.0	530	85.0	260	300	560
500	74.5	320	86.0	200	220	440
1000	73.0	180	84.0	80	80	190
3 months after irradiation						
Control	82.0	300	92.0	310	570	800
250	79.0	240	88.0	240	390	580
500	79.0	140	83.0	60	90	160
1000	81.0	50	85.0	20	20	20

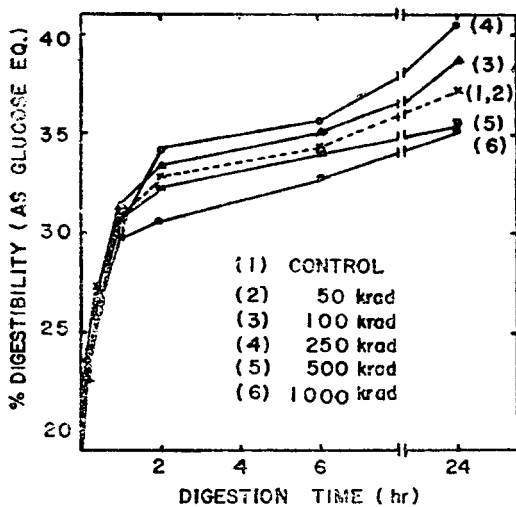


Fig. 6. Digestibility of polished wheat by β -amylase immediately after gamma-irradiation

krad에서 가장 큰 消化率의 증가를 보이고 있었다. 그리고 1000 krad에서는 오히려 대조구보다 낮은 消化率을 보이고 있었다.

7. 밀쌀밥의 老化速度

Table 6은 밀쌀밥의 老化性を 조사하기 위하여 酵素에 의한 消化力을 측정 한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 線量의 증가와 냉장고에 貯藏한 시간이 길어질수록 消化率은 떨어지고 있으며, 伽馬線照射에 의한 老化의 방지 효과는 전혀 기대 할 수 없다고 생각된다.

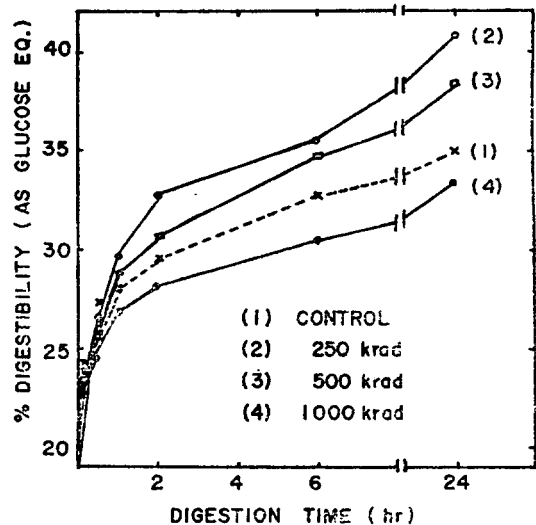


Fig. 7. Digestibility of polished wheat by β -amylase, three months after gamma-irradiation

Table 6. Retrogradation and gamma-irradiation of cooked polished wheat

Radiation dose (krad)	Relative digestibility (as mg % glucose on dry basis) in storage at 5°C				
	4 hr	18 hr	24 hr	48 hr	72 hr
Control	14.2	12.3	11.4	10.9	10.1
250	13.9	12.3	12.6	11.0	10.9
500	14.5	12.3	11.4	11.3	10.9
1000	13.9	13.9	13.1	11.5	10.6

8. 밀쌀밥의 색깔

감마線 照射에 의해서 穀類가 黃褐色으로 변색됨은 많이 알려져 있으며, 밀쌀을 線量별로 照射시킨후 만 든밥을 Hunterlab D25 color difference meter 를 사용하여 그 색깔을 측정 한 결과는 Table 7 과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 밀쌀밥의 yellowness 는 상당히 강한 수치를 보여주고 있으며, 대조구와 照射시킨 밀쌀밥의 ΔE 를 비교해 볼때 線量의 증가에 따라 total color difference 가 증가함을 보여주고 있다. 특히 500 krad 이상에서는 육안으로 보아서도 착색되어 있음을 알 수 있었다.

Table 7. Color of gamma-irradiated, cooked polished wheat

Radiation dose (krad)	Hunterlab color readings			Total color difference (ΔE)*
	L*	a*	b*	
Control	56.9	0.4	11.5	36.7
250	54.8	1.3	11.6	38.3
500	51.6	2.6	11.7	41.5
750	47.3	3.5	12.3	45.3
1000	44.1	4.4	12.0	48.9

- *L: measures lightness and varies from 100 for perfect white to zero for black.
- *a: measures redness when plus, gray when zero and greenness when minus.
- *b: measures yellowness when plus, gray when zero and blueness when minus.
- *ΔE = $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$

要 約

市販 밀쌀을 원포장대로 Co-60 감마線을 50~1000 krad 照射하고 室溫에서 3개월 貯藏하여 밀쌀의 貯藏성과 品

質에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 밀쌀은 平衡水分 14.8% 이상에서 곰팡이 번식이 관찰 되었으며 250 krad에서 곰팡이의 발육을 거의 완전하게 억제 할 수 있었다.
- 2) 250 krad의 線量에서는 밀쌀의 脂肪酸度, 還元糖, 색깔에 나쁜 영향을 미치지 아니하였다.
- 3) 밀쌀의 α化度는 밀가루에 비하여 상당히 높고 照射線量이 커짐에 따라 증가하며 粘度는 일반적으로 감소하는 경향을 보여 주었다.
- 4) 250 krad의 線量에서 밀쌀糊化液의 消化率은 증가하는 경향을 보였으나 밀쌀밥의 老化방지에는 아무런 효과를 보여주지 못하였다.

參 考 文 獻

- 1) 商工部: 發明特許 第3426號, 특허공보 제209호 p.23 (1969).
- 2) 이해숙: 韓國營養學會誌, 5, 19 (1972).
- 3) 김숙희, 김경자: 韓國營養學會誌, 5, 177 (1972).
- 4) Houston, D. F.: *Cereal Chem.*, 29, 71 (1952).
- 5) American Association of Cereal Chemists: *Cereal Laboratory Methods*, 7th Ed., p.19 (1962).
- 6) AOAC: *Official Methods of Analysis*, 10th Ed., p.334 (1965).
- 7) Somogyi, M.: *J. Biol. Chem.*, 195, 19 (1952).
- 8) 川上謙, 飯島淑子: 澱粉工業學會誌 (日本), 12, 28 (1964).
- 9) 金煥洙, 李寬寧, 金成器, 李瑞來: 한국식품과학회지, 5, 6 (1973).
- 10) 東京大學 農學部 農藝化學教室: 實驗農藝化學, 朝倉書店, 東京, 下卷, p.587 (1959).
- 11) Hunter Associates Laboratory: *Instruction Manual for Hunterlab D25 Color and Color Difference Meter* (1971).