

고구마의貯藏 및 利用에 關한 研究

第三報 : 감마線照射와 고구마의貯藏

崔 彦 浩 · 朴 魯 豐

原子力廳 放射線農學研究所

李 瑞 來 · 金 浩 植

서울大學校 農科大學

(1968. 8. 30. 受理)

Studies on the Storage and Utilization of Sweetpotatoes (III) Gamma-Irradiation and Storage of Sweetpotatoes

Eon Ho Choi and Nou Pong Park

The Radiation Research Institute in Agriculture, Seoul

Su Rae Lee and Ho Sik Kim

College of Agriculture, Seoul National University, Suwon

SUMMARY

The effects of ^{60}Co - γ radiation on the change of composition and susceptibility to soft rot during the storage of sweetpotatoes and the radioresistance of spores of the soft rot fungus were investigated and the following results were obtained.

1) Gamma-irradiation of sweetpotatoes caused the increase in water-soluble sugar content and the decrease in ascorbic acid content during the storage.

2) The rate of oxygen uptake in sweetpotato slices becomes higher as the dose increases. But the oxygen uptake in slices irradiated with higher doses decreases along with the color change as the time passes.

3) Irradiation with high doses (above 2.5×10^5 rad) brought about the increased susceptibility to soft rot decay as the chilling injury did in the storage of sweetpotatoes.

4) Average lethal dose for the spores of *Rhizopus nigricans* was 3.0×10^5 rad and the complete death required the level of 1.25×10^6 rad.

I. 緒 論

고구마는 현재 우리나라에서 食用, 飼料用, 酒精

醱酵 및 澱粉製造의 原料로서 그의 需要가 큰 經濟作物으로 생각되고 있다. 그러나 고구마는 일시에 수확되므로 需要時까지 일정기간 저장하여야 한다. 고구마의 저장방법에 대해서는 오래전부터 많은 研究^(1,2)가 이루어졌다. 고구마의 저장중 가장 문제시되는 것은 冷害와 아울러 이에 따른 軟腐病과 黑斑病의 感染이라 할 수 있고 고구마 저장의 原理는 이들 病害를 방제하는 방법이 있다고 할 수 있다.

근래에는 放射線照射에 의한貯藏方法이 활발히 연구되고 있다^(3,5). 따라서 著者들은 고구마의貯藏 및 利用에 관한 研究^(6,7)의 一環으로서 ^{60}Co - γ 線의 照射가 고구마 저장중의 成分變化와 아울러 軟腐病菌의 感染度에 미치는 영향을 조사함으로써 고구마의貯藏性에 미치는 放射線의 效果를 究明하려고 하였다. 이에 그 결과를 보고한다.

II. 實驗方法 및 結果

A. 成分變化에 미치는 放射線의 영향

(1) 試料 및 照射線量

照射用 고구마는 1966년 10월초 京畿道 楊州에서 수확되어 翌年 2월까지 溫突貯藏되었던 水原 147號로서 모양이 균일하고 건전한 것을 선택, 시료로 사용하였다. 이들은 3월 10일부터 5일간 原子力研究所에서 ^{60}Co 선을 1.25×10^5 , 2.5×10^5 , 5.0×10^5 , 1.0×10^6 rad의 線量으로 照射하고 20°C

내외의 실내에 저장하였다.

(2) 水分

시료 5g을 精稱하여 60°C에서 비진조시킨 다음 常法대로 수분을 정량하였다.

Figure 1에서 보는 바와 같이 저장초기에는 照射有無에 관계없이 71~72%의 수분을 함유하였다.

無處理區와 1.25×10^5 , 2.5×10^6 rad 照射區에서는 저장말기까지도 불과 3%밖에 감소되지 않았으나 5×10^5 , 1×10^6 rad 照射區에서는 제 2주부터 서서히 감소하기 시작하고 저장말기에는 急減하여 저장 12주에는 각각 61%, 52%의 수분을 함유하고 있었다.

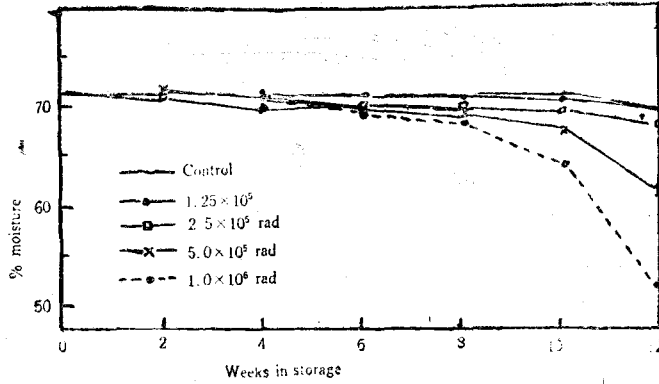


Figure 1. Changes in moisture content of gamma-irradiated sweetpotatoes during storage

(3) 水溶性糖

시료 5g을 100 ml의 증류수와 같이 Waring blender로 3분간 마쇄한 浸出濾液을 boiling water

bath 중에서 0.1 N HCl로 30분간 轉化시킨 후 中和定容하여 Somogyi 법⁽⁸⁾으로 정량하고 0.95 배 하여 試料乾物當 糖量으로 표시하였다.

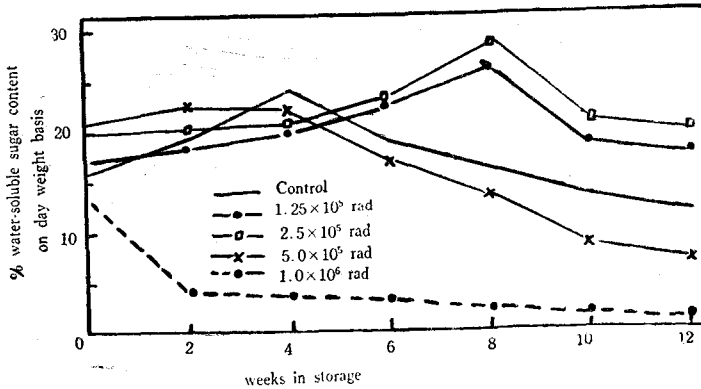


Figure 2. Changes in water-soluble sugar content during the storage of gamma-irradiated sweetpotatoes

1×10^6 rad 照射區를 제외한 다른 照射區는 照射直後 糖함량이 약간 증가하고 그 후부터는 線量에 따라 변화가 심하였다. 無處理區는 초기부터 점차 증가하여 저장 4주에는 25%로 최고치를 보였고 그후 계속 감소하여 저장말기에는 12.8%로 감소하였다. 1.25×10^5 rad와 2.5×10^5 rad 照射區는 저장 4주 이후부터 증가하여 8주에는 糖함량이 각각 27%, 30%로서 최고치를 보였고 저장말기에는 저

장초기와 비슷한 값을 보였으며 無處理區에 비하여 높은 값을 나타내었다. 5×10^5 rad 照射區는 저장 4주 이후에 고구마의 萎縮, 變色과 더불어 당분이 감소하여 계속 無處理區보다 낮았고 1×10^6 rad 照射區는 저장 2주에서 고구마의 變質과 더불어 당분이 急減하여 불과 5%미만의 당분을 함유하고 있었다.

(4) 還元型 Ascorbic acid

시료 10g을 5% 冷 meta-phosphoric acid 용액에 가하고 waring blender로 5분간 마쇄한 浸出濾液을 2,6-dichlorophenol indophenol 滴定法⁽⁹⁾에 의하여 정량하였다.

無處理區와 全照射區가 저장기간이 길어질수록

라 還元型 ascorbic acid의 감소를 보였는데 線量이 많을수록 심하여서 1×10^6 rad 照射區는 照射直後, 5×10^5 rad 照射區는 저장 4주이후 急減하여 각각 저장 4주, 8주부터는 흔적에 불과하였다.

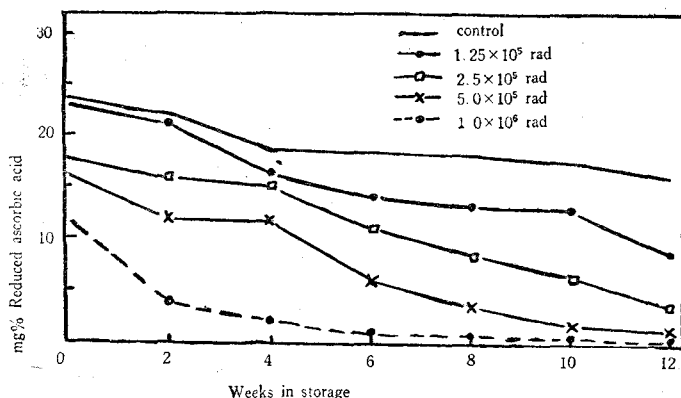


Figure 3. Changes in reduced ascorbic acid content of gamma-irradiated sweetpotatoes during storage

B. 呼吸率 및 感染度에 미치는 放射線의 영향

(1) 試料 및 照射線量

1967년 10월 초 放射線農學研究所 試驗圃場에서 수확한 고구마 水原 147호를 10월 6일에 5×10^3 , 1×10^4 , 5×10^4 , 1×10^5 , 2×10^5 , 5×10^5 rad의 線量으로 각각 20시간 照射시켰다. 그중 일부는 照射直後의 呼吸率 測定試料로 사용하고 나머지는 低溫區(3-5°C)와 常溫區(15-18°C)로 나누어 저장, 1주일간격으로 5주간 軟腐病菌의 感染度를 조사하는데 사용하였다.

(2) 呼吸率

Warburg 檢壓計에 의하여 既報⁽⁶⁾에서와 같이 측정하였다.

Table 1에서와 같이 처음 한시간은 고구마조직

Table 1. Oxygen uptake of sweetpotatoes after gamma-irradiation

Irradiation dose (rad)	Oxygen uptake (μ l/g fresh tissue)	
	During 1 hour	During 2 hours
0	54.9	120.2
5×10^3	55.1	121.5
1×10^4	64.3	161.1
5×10^4	64.8	162.0
1×10^5	67.4	154.9
2×10^5	72.8	142.0
5×10^5	74.4	130.2

의 산소흡수량이 線量이 높아짐에 따라 전반적으로 증가하였으나 그후 계속 측정된 두시간 동안의 呼吸率을 보면 高線量에서 오히려 감소됨을 알 수 있었다.

(3) 軟腐病菌에 의한 感染率

저장중 고구마의 軟腐病菌에 대한 感染率은 既報⁽⁶⁾에서와 같이 고구마切片에 *Rhizopus nigricans*의 孢子懸濁液을 人工接種시켜 일주일안에 감염되는 切片數를 計數하는 방법에 의하여었다.

常溫區 貯藏의 경우 1×10^5 rad 照射區까지는 線量에 따라 현저한 차이가 없었으나 2×10^5 , 5×10^5 rad 照射區에서는 全貯藏期間을 통하여 感染率이 현저히 증가하였다.

한편 低溫貯藏에서는 놀랄만큼 感染이 잘 되어

Table 2. Effect of gamma-irradiation on the susceptibility of sweetpotatoes to soft rot during storage at 15-18°C

Irradiation dose (rad)	Per cent susceptibility during storage (weeks)					
	0	1	2	3	4	5
0	0	10	20	10	20	20
5×10^3	0	10	20	10	20	20
1×10^4	0	0	20	10	10	20
5×10^4	0	0	20	10	20	30
1×10^5	0	10	10	30	20	40
2×10^5	40	60	60	60	80	90
5×10^5	60	90	90	100	100	100

Table 3. Effect of gamma-irradiation on the susceptibility of sweetpotatoes to soft rot during storage at 3-5°C

Irradiation dose (rad)	Per cent susceptibility during storage (weeks)					
	0	1	2	3	4	5
0	0	30	80	100	100	100
5×10 ³	0	20	90	100	100	100
1×10 ⁴	0	30	70	100	100	100
5×10 ⁴	0	60	70	100	100	100
1×10 ⁵	0	100	100	100	100	100
2×10 ⁵	40	100	100	100	100	100
5×10 ⁵	60	100	100	100	100	100

1×10⁵ rad 이상의 照射區에서 저장 1 주부터 100%의 感染率을 보였고 그 이하의 低線量區에서는 無處理區에서와 마찬가지로 저장 3 주부터 100%의 감염율을 나타내었다.

C. 放射線에 대한 腐軟病菌의 抵抗力

(1) 供試菌 및 照射線量

供試菌株는 軟腐病에 걸린 고구마에서 純粹分離하여 PDA (Potato dextrose agar) 培地에 25°C 에서 배양한 *Rhizopus nigricans* 이다.

먼저 加壓殺菌한 0.05% dioctyl sodium sulfosuccinate (濕潤劑) 용액에 상기한 菌株의 胞子를 懸탁시키고 이 胞子懸탁액 1 ml 를 9 ml 의 살균수 또는 고구마抽出液이 들어있는 1.4×16 cm 시험관에 넣어 잘 진탕한 다음 곧 ⁶⁰Co-γ 線을 1.0×10⁵, 1.5×10⁵, 2.0×10⁵, 2.5×10⁵, 3.0×10⁵, 4.0×10⁵, 5.0×10⁵, 7.5×10⁵, 1.0×10⁶, 1.25×10⁶, 1.5×10⁶, 1.75×10⁶ rad 의 線量으로 각각 照射하였다(照射率: 2.5×10⁵ rad/hr).

(2) 軟腐病菌의 胞子發芽率

照射가 끝난 胞子懸탁액 1 ml 를 PDA 平板培地에 균일하게 퍼지게 하여 定溫培養하고 24 시간후에 발아한 軟腐病菌의 colony 수를 colony counter 에 의하여 計數하였다.

그 결과 無處理區를 기준으로 한 胞子發芽率은 1×10⁵ rad 에서는 60%, 2×10⁵ rad 에서는 15% 이었으며 2.5×10⁵ rad 에서는 겨우 5%에 불과하였다. 3×10⁵ rad 이상에서는 반복실험이 이루어질때에 간혹 발견되었다. 그러나 1.25×10⁶ rad 이상에서는 발아된 균사가 전혀 발견되지 아니하였다. 살균수와 고구마抽出液을 사용하였을 때의 차이는 볼 수 없었다.

Ⅲ. 考 察

無處理區에서 수분은 저장중 별로 감소하지 않았

으나 還元型 ascorbic acid 는 점차 감소하여 貯藏末期에는 32%나 줄었으며 水溶性糖은 점차 증가하여 저장 4 주에 最高値를 나타냈다.

1.25×10⁵ rad 와 2.5×10⁵ rad 照射區에서 수분은 無處理區에서와 마찬가지로 저장중 그다지 감소되지 않았지만 水溶性糖은 照射直後 증가해서 貯藏 8 週에 最高値를 나타내었고 그후 감소하였지만 貯藏末期까지 無處理區에 비하여 높았다. 이것은 放射線照射에 의하여 水溶性糖이 증가함을 의미하는 것이다. 이와같은 비교적 낮은 線量의 放射線照射에 의한 糖分의 증가는 감자에 있어서 많이 알려져 있다^(10,13).

照射線量이 더욱 높아지면 樣相이 달라진다. 즉 5×10⁵ rad 照射區는 照射直後 어느 線量에서 보더라도 糖함량이 많기에 계속 증가하리라 기대하였으나 貯藏 4 週부터 감소하여 無處理區보다도 낮았으며 또 1×10⁶ rad 照射區는 照射直後부터 낮아져서 저장 2 주부터 急減하였고 全試驗區중 가장 낮은 값을 보였다. 高線量區에서 이와같이 糖함량이 낮아지는 것은 고구마 内部組織의 變色 및 斑點의 생성과 일치하며 黑變됨에 따라 더욱 낮아졌다. 이와 같은 현상은 감자^(14,15), 筍⁽¹⁶⁾에서도 관찰되었다.

高線量에서는 水溶性糖 뿐만 아니라 水分, 還元糖, Ascorbic acid 도 심하게 감소하였는데 이 원인은 高線量으로 인하여 組織이 손상되어 변질되고 ascorbic acid 가 분해되며 수분은 증발되기 때문인 것으로 본다. 高線量에 의한 ascorbic acid 의 감소는 시금치, 콩, asparagus⁽³⁾에서도 관찰되었다.

放射線照射는 呼吸에도 영향을 주어서 5×10⁵ rad 照射區는 無處理區와 비슷하나 대체로 線量이 높아짐에 따라 증가하고 있다. 이러한 현상은 감자^(10,13), 筍⁽¹⁶⁾에서도 볼 수 있었다. 본 실험에서 線量에 따라 높았던 呼吸率이 反應時間이 길어지면 高線量區에서는 낮아지는데 이것은 다음과 같이 설명할 수 있을 것이다.

薯類組織에서 terminal oxidase 에 인접해서 작용하는 H-carrier 는 o-diphenol 로서 그중 chlorogenic acid 가 고구마 切片組織의 呼吸에서 가장 반응이 활발하다^(17,19). chlorogenic acid 의 산화 및 이와 連合하여 일어나는 ascorbic acid 의 환원간의 平衡은 저장중의 外圍條件으로 인한 산화의 加速으로 또는 還元型 ascorbic acid 의 감소로 크게 영향을 받으며 또한 glucose, fructose, sucrose 및 quinic acid 는 chlorogenic acid 의 生合成을 촉진한다^(20,21). 高線量의 放射線을 照射하면 polyphenol oxidase 의 活性이 촉진되고 chlorogenic acid 의 生成因子인

glucose, sucrose 가 증가되는 한편 高線量에 약한 還元型 ascorbic acid 는 감소되어 酸化還元系 平衡이 깨져 결국 chlorogenic acid 와 같은 polyphenol 의 酸化물이 축적되므로서 組織의 變色이 일어나게 된다. 이것은 조직이 파괴됨을 의미하는 것으로 高線量區에서 처음에 증가하던 呼吸이 시간이 경과됨에 따라서 生活力이 약해져 呼吸率이 감소됨을 설명하여주고 있다.

植物病原菌의 感染은 寄主의 성질, 환경조건에 따라 다르다. 본 실험에서는 고구마를 常溫區와 低溫區로 나누고 照射線量を 달리하여 軟腐病菌의 감염을 관찰한 바 貯藏溫度 및 照射線量에 따라 현저한 차이가 드러났다. 3-5°C 에 저장한 고구마는 照射線量에 관계없이 저장 3 주부터 100% 감염되었으며 15~18°C 에 저장한 것도 2×10^5 , 5×10^5 rad 의 高線量を 照射받은 고구마는 低溫貯藏의 無處理區에 상당할만큼 感染率이 높았다. 그러나 1×10^5 rad 이하의 照射區에서는 全貯藏期間을 통하여 感染率이 불과 20% 이내로서 가능한 照射限界를 明示하여주고 있다.

放射線에 대한 저항성은 植物에 따라 다르다. 옥파에서는 1×10^4 rad 이상의 線量에서 耐病性이 저하되어 부패가 증가되었다⁽²²⁾. 한편 고구마에 있어서는⁽⁴⁾ 25°C(相對濕度 90%)에서 未照射區는 7-10 일간, 1.5×10^5 rad 이상의 照射區에서는 2 週間, 1×10^6 rad 照射區에서는 30 일간이나 저장되어 照射에 의하여 貯藏性이 우수하였다고 한다. 그러나 Duncan & Hooker⁽²³⁾는 1.5×10^4 rep 이상의 線量を 조사한 감자에서 쉽게 부패가 발생됨을 보았다. 또한 Hendel & Burr⁽¹²⁾도 1.1×10^4 rad 의 線量を 감자에 照射하였을 때 수확 직후 보다 저장후에 照射하는 것이 더 유리하다고 하였는데 그 이유는 어떤 의미에서 照射는 傷處의 治癒를 방해하기 때문이라고 하였으며 Brownell⁽¹⁰⁾은 $1.5 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^5$ rad 의 照射로서 감자중의 periderm 생성이 억제되고 suberization 은 지연되었다고 하였다. 본 실험에서는 수확후 照射하여 저장한 것을 切斷(人爲의 傷處)하여 接種한 것인데 대체로 軟腐病菌이 外部皮層에서 감염되어 内部로 侵犯하여 들어갔다. 그러나 1×10^5 rad 이하의 線量에서는 表皮에 국한되고 切斷面에서는 균사를 보기 어려워서 軟腐病菌이 内部(유관속, 수심부)보다 外部組織(抱皮, 皮部)에 잘 감염된다는 것과 아울러 放射線이 治癒效果를 갖지 않음을 알 수 있었다.

寺本等⁽⁴⁾은 고구마 軟腐病菌에 대한 감마線의 영향을 조사한 바 平均致死線量은 3×10^5 rad 였으며

完全死滅에는 2.4×10^6 rad 의 線量이 소요된다고 하였다. 본 실험에서도 이와 비슷한 결과를 얻었다. 軟腐病菌의 致死에는 이와 같은 高線量이 요구되므로 본 실험에서 고구마의 照射限界線量이라고 한 1×10^5 rad 이하에서는 表皮에 묻은 軟腐病菌의 부분적 살균은 가능하나 完全한 死滅은 곤란하다고 본다.

IV. 要 約

고구마 저장중의 成分變化, 軟腐病에 대한 感受性 및 軟腐病菌胞子の 致死에 미치는 放射線($^{60}\text{Co}-\gamma$)의 영향을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線照射에 의하여 고구마의 水溶性糖은 증가하고 還元型 ascorbic acid 는 현저히 감소하였다.

2) 照射線량이 높을수록 照射直後의 呼吸率은 증가하나 시간이 경과됨에 따라 高線量의 照射區에서는 組織의 褐變과 아울러 呼吸率이 감소하였다.

3) 高線量(2.0×10^5 rad 이상)의 照射는 고구마 貯藏중 冷害의 영향과 같이 軟腐病菌의 感染率을 증가시켰다.

4) 고구마軟腐病菌인 *Rhizopus nigricans* 胞子の 平均致死線量은 3×10^5 rad 이며 1.25×10^6 rad 에서 完全死滅되었다.

參 考 文 獻

- 1) 農村振興廳 試驗局: 1905~1960年 農事試驗研究結果要覽 1962, p. 275.
- 2) USDA: Storage of Sweet Potatoes, Farmers Bulletin No. 1442 (1958).
- 3) Nickerson, J. T. R., Procter, B. E., and Goldblith, S. A.: Food Technol. 10, 305 (1956).
- 4) 寺本四郎, 田口欠治, 橋田渡, 上田隆藏, 三崎旭, 吉川光一, 吉井宗平: 酸工誌 37, 107 (1959).
- 5) 岡上誠子, 福谷 matsue, 杉原瑞穂, 橋田勳: Radioisotopes 14, 103 (1965).
- 6) 李瑞來, 全在根, 金浩植: 서울大論文集(生農系) 18, 66 (1967).
- 7) 李瑞來, 梁益桓, 金浩植: 서울大論文集(生農系) 19, (1968) 投稿中.
- 8) Somogyi, M.: J. Biol. Chem. 195, 19 (1952).
- 9) 東京大學農藝化學教室: 實驗農藝化學 上卷, 朝倉書店, 東京, 1960, p. 151.

- 10) Brownell, L. E., Gustafson, F. G., Nehring, J. V., Islieb, D. R., and Hooker, W. J.: *Food Technol.* **11**, 306 (1957).
- 11) Cloutier, J. A. R., Cox, C. E., Manson, J. M., Clay, M. G., and Johnson, L. E.: *Food Research* **24**, 659 (1959).
- 12) Hendel, C. E., and Burr, H. K.: *Food Technol.* **15**, 218 (1961).
- 13) Pedersen, S.: *Food Technol.* **10**, 532 (1959).
- 14) Sussman, A. S.: *J. Cell Comp. Physiol.*: **42**, 293 (1953).
- 15) Roberts, E. A., and Proton, B. E.: *Food Research* **20**, 254 (1955).
- 16) 奈良省三：日農化誌 **35**, 415 (1961).
- 17) Robinson, Z. S., and Nelson, J. M.: *Arch. Biochem.* **4**, 111 (1944).
- 18) Rudkin, G. O., and Nelson, J.M.: *J. Am. Chem. Soc.* **69**, 1470 (1947).
- 19) Eiger, I. Z., and Dawson, C. R.: *Arch. Biochem.* **21**, 194 (1949).
- 20) Zucker, M., and Levy, C. C.: *Plant Physiol.* **34**, 108 (1959).
- 21) Hasegawa, S., Johnson, R. M., and Gould, W. A. *J. Agr. Food Chem.* **14**, 165 (1966).
- 22) 岩田隆, 緒方邦安：農業及園藝 **34**, 1879 (1959).
- 23) Duncan, D. T., Hooker, N. J., and Heiligman, F.: *Food Technol.* **13**, 159 (1959).