

감마선을 이용한 녹즙의 위생화

김미정* · 김재훈 · 육홍선 · 이경행 · 변명우†

한국원자력연구소 방사선식품공학연구실

*안양대학교 식품영양학과

Sanitizing Effect of γ -Irradiation on Fresh Vegetable-extract Juices

Mi-Jung Kim*, Jae-Hun Kim, Hong-Sun Yook, Kyong-Haeng Lee and Myung-Woo Byun†

Dept. of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Anyang University, Kyonggi-do 430-714, Korea

Abstract

The sanitizing effect of γ -irradiation on the fresh vegetable-extract juices was investigated. Total bacteria, coliform bacteria and total ascorbic acid were determined during the storage periods at 4°C. Chlorophyll, carotenoid, tannin, electron donating ability and peroxidase activity were determined immediately after γ -irradiation. Results showed that the viable cells were detected below the level of 10^5 CFU/ml during 12 days with doses of 3 and 5 kGy. Total ascorbic acid and tannin contents increased immediately after γ -irradiation. However, γ -irradiation didn't affect chlorophyll and carotenoid contents, electron donating ability, and peroxidase activity. It was considered that γ -irradiation was effective in sanitizing fresh vegetable-extract juices.

Key words: γ -irradiation, fresh vegetable-extract juices, sanitization

서론

과실 및 채소류를 착즙하여 가공한 녹즙(비가열천연과실·채소류즙)은 최근 건강식품으로서 소비가 늘어나고 있으나 저온에서도 매우 짧은 유통기간으로 대량생산, 유통에 많은 제한을 받고 있다. 녹즙은 비가열처리 식품으로 유통기간 연장을 위한 열처리는 불가능하여 다른 살균방법의 개발이 요구된다. 현재 식품의 비가열살균에는 전기장, 자기장, 초단파, 초고압(1,2) 및 오존 등을 이용하고 있으나, 녹즙의 경우 효과적인 위생화 방법이 거의 없는 실정이다.

최근 식품의 새로운 위생화 방법으로 대두되고 있는 감마선 조사는 투과력이 강하여 제품을 완포장한 상태로 연속처리가 가능하며, 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염의 방지와 에너지의 효율을 높일 수 있고, 제품의 품온상승에 따른 성분의 파괴를 최소화하고 외관의 변화를 막을 수 있는 냉온살균, 살충방법으로 화학 훈증제나 보존제와는 달리 유해성분의 생성이나 잔류성분이 남지 않는다는 장점과 처리시 환경조건의 영향을

거의 받지 않는 특징이 있다(3).

따라서, 본 연구는 비가열 살균방법인 감마선 조사 기법을 이용하여 여러가지 녹즙의 위생화와 저장·유통기간 연장을 목적으로 시도되었다.

재료 및 방법

재료 및 방사선 조사

감마선 조사를 위한 녹즙은 돌미나리(*Oenanthe stolonifera* DC.), 케일(*Brassica oleracea* var. *acephala*), 신선초(*Angelica keiskei*) 및 당근(*Daucus carota* L.)을 이용하여 A사에서 상법으로 가공하였다. 감마선 조사는 가공 직후 한국원자력연구소내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 분당 70 Gy의 선량율로 각각 0, 1, 3, 5 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter (USA)를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ± 0.2 kGy였다. 감마선을 조사한 시료는 $4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 에 저장하면서 실험에 사용하였다.

† To whom all correspondence should be addressed

미생물 검사

감마선 조사 및 저장기간에 따른 미생물의 변화를 알아보기 위해 생균수 및 대장균군수를 측정하였다. 생균수 측정은 plate count agar(Difco, Co., USA)를 사용하여 30°C에서 2일간 배양하였으며, 대장균군수 측정은 EMB agar(Difco, Co., USA)와 MacConkey agar(Difco, USA)를 사용하여 pour plate method로 37°C에서 2일간 배양후 집락을 계수하고 시료 1ml당 colony forming unit(CFU)의 수치로 나타냈다.

색소성분 정량

감마선 조사에 의한 색소성분의 변화를 측정하기 위해 Vernon(4)의 방법에 따라 chlorophyll과 carotenoid를 정량하였다. 각 시료에 methanol을 가하고 4°C에서 24시간 동안 색소성분을 추출하였다. Chlorophyll의 정량은 methanol 추출액에 ether와 증류수를 가하여 ether층을 분리한 후 sodium sulfate로 탈수시켜 662nm에서 흡광도를 측정하였고, carotenoid의 경우 methanol 추출액에 potassium hydroxide를 가하여 chlorophyll을 검회시킨 후 ether를 가하여 ether층을 분리한 뒤 증류수로 3회 세척하였다. 세척이 끝난 용액은 sodium sulfate를 이용하여 탈수시킨 뒤 ether를 휘발시키고 acetone을 가하여 450nm에서 흡광도를 측정하였다.

총 탄닌 정량

감마선 조사에 의한 녹즙의 탄닌함량은 Motoe와 Yamasita(5)의 방법에 따라 측정하였다. 여과한 시료 1ml에 0.5ml의 Follin-Denis 시약과 1ml의 포화 Na_2CO_3 용액, 7.5ml의 증류수를 차례로 혼합하여 30분 경과한 뒤 760nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 gallic acid(Sigma, USA)를 사용하였다.

Total ascorbic acid 정량

녹즙에 존재하는 total ascorbic acid의 정량에는 2,4-dinitrophenylhydrazine을 이용한 비색법(6)을 사용하였다. 즉, 각각 2ml의 blank test-용 시료와 총 비타민 C 측정용 시료에 0.03% 2,6-dichlorophenolindophenol(DCP) 1ml를 가하여 1분간 total ascorbic acid를 산화형인 dehydroascorbic acid로 전환하고, 2ml의 2% thiourea를 가하여 반응하고 남은 DCP를 환원한 후 1ml의 2% 2,4-dinitrophenylhydrazine을 가하여 37°C에서 5시간 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 용액은 85% H_2SO_4 5ml을 가한 후 실온에서 30분간 반응시켰으며, blank

test-용 시료에는 2% DNP 1ml를 가한 후 520nm에서 흡광도를 측정하였다.

효소활성 측정

감마선 조사에 의한 과실과 채소의 효소적 갈변에 관여하는 peroxidase의 영향을 알아보기 위해 Jee 등(7)의 방법에 따라 측정하였다. 50mM sodium phosphate buffer(pH5.5) 5ml에 0.1ml의 20mM guaiacol과 시료 0.1ml를 차례로 혼합한 후 0.02ml의 40mM H_2O_2 를 가하여 25°C에서 반응시킨 뒤 475nm에서 흡광도를 측정하였으며, 효소활성은 효소액 1ml가 25°C에서 1분간 흡광도를 1 변화시키는 것을 1 unit로 정의하였다.

전자공여능 측정

감마선 조사에 의한 녹즙의 항산화능을 측정하기 위해 Kang 등(8)의 방법에 따라 전자공여능을 측정하였다. 여과한 시료 0.2ml에 0.8ml의 0.4mM DPPH(α, α' -diphenyl- β -picryl-hydrazyl)를 가하여 혼합하고 10분간 반응시킨 후 525nm에서 흡광도를 측정하였으며, 항산화력은 다음과 같이 electron donating ability(EDA)로 나타냈다.

$$\text{EDA}(\%) = (1 - A/B) \times 100$$

A: 시료 첨가구의 흡광도

B: 시료 무첨가구의 흡광도(공시험)

결과 및 고찰

감마선 조사 후 저장기간에 따른 미생물 생육변화

감마선 조사 후 녹즙의 생균수 변화는 Fig. 1과 같다. 제조 직후 녹즙의 초기 생균수는 약 10^7 CFU/ml 정도로 매우 높음을 알 수 있었다. 이들 녹즙의 위생화 및 저장·유통기간 연장을 위해 감마선을 조사한 녹즙의 생균수는 조사선량이 증가함에 따라 미생물의 수가 감소하였다. 즉, 1 kGy 조사선량에서 비조사 녹즙에 비해 생균수가 약 1~2 log cycle 정도가 감소하였으며, 3 kGy와 5 kGy 조사구의 경우 각각 3과 4 log cycle 정도의 생균수 감소를 나타냈다. 한편, 감마선 조사후 4°C에서 저장하면서 생균수의 변화를 조사한 결과 비조사 녹즙은 12일 동안 약 $10^7 \sim 10^8$ CFU/ml을 유지하였으며, 1 kGy 저선량 조사구에서는 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/ml로 나타났다. 그러나, 3 kGy 또는 5 kGy의 조사로써 케일이 저장 8일과 12일째 10^5 CFU/ml 이상으로 나타난 것을 제외하고 다른 녹즙에서는 저장 12일까지 생균수가

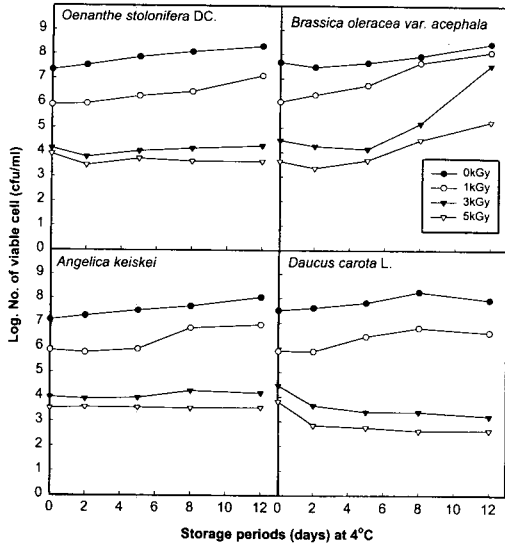


Fig. 1. Effect of gamma irradiation on the growth of total bacteria of four different fresh vegetable-extract juices.

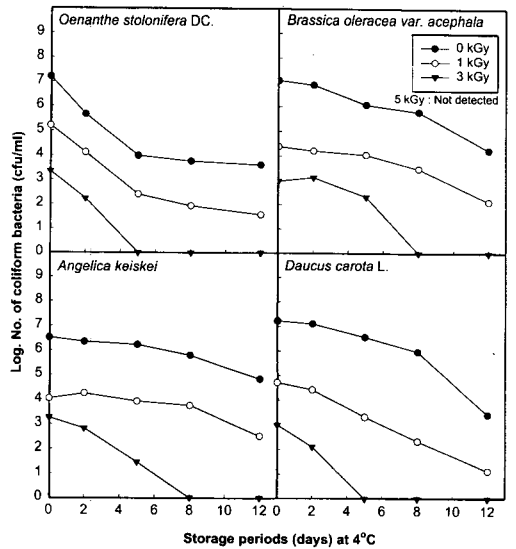


Fig. 2. Effect of gamma irradiation on the growth of coliform bacteria of four different fresh vegetable-extract juices.

10^5 CFU/ml 이하의 생균수를 유지하였다.

이상의 결과로 볼 때 국내 식품공정상 녹즙 품질의 기준 및 규격에는 생균수를 10^5 CFU/ml 이하 및 대장균은 음성으로 제한하고 있는데 비해 매우 높은 미생물 오염도를 보여 녹즙의 위생화 및 저장기간 연장을 위해서는 3~5 kGy의 감마선 조사 선량이 요구되었다.

감마선 조사 후 녹즙의 대장균군수 변화는 Fig. 2와 같다. 감마선 조사 직후 비조사 녹즙의 초기 대장균군수는 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/ml로 매우 높게 나타나 녹즙 제조공정상의 문제점과 적절한 위생처리가 요구되었다. 감마선 조사에 의한 대장균군의 살균효과를 보면 감마선 조사 직후 1 kGy와 3 kGy 저선량 조사구는 1~4 log cycle 정도의 감소를 보였고, 5 kGy 선량 조사구에서는 검출되지 않았다. 한편, 저장중 대장균군은 비조사구나 저선량 감마선 조사구 모두 저장 12일 동안 감소하는 경향이었고 3 kGy 조사구에서는 저장 5~6일부터 검출되지 않았다.

이러한 결과는 특히 대장균군의 경우 방사선 감수성이 높아 완전 치사되지 않고 손상된 생존균이 저장기간 동안 녹즙자체의 항균성이나 저온조건에서 회복되지 못했음이 그 원인으로 생각된다.

Total ascorbic acid 함량의 변화

감마선 조사에 의한 total ascorbic acid의 함량 변화는 Table 1과 같다. 감마선 조사 직후 조사된 녹즙의 total ascorbic acid 함량은 비조사 녹즙과 비교할 때 증

Table. 1. Effect of γ -irradiation on the total ascorbic acid concentrations of four different fresh vegetable-extract juices (unit: mg/100ml)

Sample	Irradiation does(kGy)	Storage period (day)		
		0	5	10
<i>Oenanthe stolonifera</i> DC	0	18.66	18.84	18.16
	1	18.99	19.34	18.85
	3	18.41	20.46	19.30
	5	19.45	20.55	19.24
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	0	38.52	44.71	43.51
	1	39.73	44.46	42.97
	3	39.08	45.84	43.94
	5	39.66	46.08	44.76
<i>Angelica keiskei</i>	0	25.51	23.33	21.11
	1	26.10	23.67	21.64
	3	28.15	24.85	22.82
	5	29.63	25.31	22.85
<i>Daucus carota</i> L.	0	6.19	7.41	6.97
	1	6.26	8.17	7.21
	3	6.20	6.90	7.36
	5	6.29	8.26	7.14

가하는 경향을 보였다. 감마선 조사 후 저장기간 동안의 변화는 저장 5일째 신선초 녹즙을 제외한 모든 처리구에서 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 저장 10일째의 경우 5일째의 함량을 기준으로 3 kGy 선량으로 조사한 당근 녹즙의 경우를 제외하고 모든 녹즙이 약 3~14% 정도 감소하였다.

Table 2. Effect of γ -irradiation on pigments, electron donating ability and peroxidase activity of four different fresh vegetable-extract juices¹⁾

Sample	Irradiation does(kGy)	Chlorophyll (%)	Carotenoid (%)	Tannin (μ g/ml)	EDA (%)	Peroxidase activity(unit)
<i>Oenanthe stolonifera</i> DC	0	100.0	100.0	527.03	5.2308	2.05
	1	98.7	101.0	563.84	6.3350	2.02
	3	99.3	101.7	557.66	4.6457	1.96
	5	96.5	99.5	683.47	5.1649	1.99
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	0	100.0	100.0	607.63	4.9763	2.19
	1	101.0	101.3	640.38	5.4945	2.10
	3	101.4	101.0	619.71	4.2528	2.14
	5	98.7	101.9	629.13	4.9875	2.20
<i>Angelica keiskei</i>	0	100.0	100.0	654.54	8.7266	2.69
	1	98.9	101.5	669.51	7.8429	2.75
	3	101.5	99.9	693.32	8.0500	2.70
	5	101.7	101.9	685.36	6.6931	2.76
<i>Daucus carota</i> L.	0	N.D. ²⁾	100.0	133.58	2.3575	0.47
	1	N.D.	101.3	157.67	1.9056	0.51
	3	N.D.	100.3	154.02	2.4452	0.49
	5	N.D.	99.2	149.15	1.9763	0.46

¹⁾Each sample was analyzed immediately after gamma irradiation ²⁾N.D: not detected

현재까지 방사선 조사에 의한 여러식품의 ascorbic acid 함량변화에 대해 많은 연구가 이루어져 왔으나 서로 상반된 결과(9-15)를 보고하였다. 그러나, 이들 결과는 ascorbic acid(AA)가 dehydroascorbic acid(DHAA)로 전환된다는 사실을 고려하지 않은 것으로 생각된다. Graham과 Stevenson(16)은 감마선 조사 딸기의 AA의 함량은 감소하였으나, DHAA는 증가하여 total ascorbic acid(TAA)의 함량에는 큰 변화가 없었으며, 저장 중 DHAA의 함량변화로 TAA 및 AA가 증가하여 섭취시 영양적인 문제는 없다고 보고하였다. 한편, Byun 등(17)은 천연물에 감마선을 조사할 경우 천연물 조직연화로 추출시 유효성분의 수율이 증가한다고 보고하였다. 따라서, 녹즙의 경우 비록 녹즙에 존재하는 TAA는 감마선 조사에 의해 감소되지만, 녹즙의 잔사조직이 감마선 조사에 의해 일부 분해되어 수용액 중으로 유출되므로 함량은 오히려 증가되었다고 생각된다.

탄닌 및 색소의 변화

감마선 조사에 의한 녹즙의 총 탄닌과 색소 변화는 Table 2와 같다. 감마선 조사된 녹즙의 경우 비조사 녹즙에 비해 감마선 조사 직후 약 2~30%까지 증가하였다. 이는 이미 앞서 언급된 total ascorbic acid의 함량 변화와 동일한 결과로서 고선량의 감마선 조사는 녹즙의 짙은 맛에 일부 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 감마선 조사에 의한 녹즙의 chlorophyll 및 carotenoid 색소 변화는 5 kGy까지의 감마선 조사로 큰 영향을

미치지 않았다.

효소활성 및 전자공여능의 변화

야채나 과일 가공시 효소적 갈변의 원인이 되는 갈변효소들은 열처리에 의해 효과적으로 억제할 수 있으나, 녹즙의 경우 가열살균이 불가능하여 압력(18-20) 또는 초고압(21)을 이용한 불활성화 연구가 진행되어 왔다. Lee 등(21)은 신선초 녹즙에 초고압을 사용하여 갈변효소의 불활성화를 시도하였으나, 이들 효소들이 초고압에 의해 쉽게 불활성화되지 않는다고 보고하였다. 따라서, 녹즙의 갈변원인이 되는 효소중 peroxidase의 감마선 조사에 대한 활성변화를 측정된 결과(Table 2) 감마선 조사가 녹즙에 존재하는 peroxidase의 활성에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 감마선 조사에 의한 녹즙의 항산화 작용의 변화를 알아보기 위해 전자공여능을 측정된 결과 감마선 조사는 녹즙의 항산화 능력에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

요 약

비가열 살균방법인 감마선 조사기술을 이용하여 녹즙의 위생화와 그에 따른 품질변화를 조사하기 위하여 4종류의 녹즙을 대상으로 감마선을 조사한 후 4°C에서 저장하는 동안 생균수, 대장균군수, total ascorbic acid, chlorophyll, carotenoid, tannin, 전자공여능 및 효소활성을 측정하였다. 감마선 조사선량이 3~5 kGy의 선량

으로 조사시킨 결과 4°C에서 12일까지 생균수를 10^5 CFU/ml 이하로 유지시킬 수 있었다. 감마선 조사로 녹즙의 total ascorbic acid와 탄닌의 함량은 증가하였다. 녹즙에서 chlorophyll, carotenoid의 함량 및 전자공여능, peroxidase의 활성은 감마선 조사에 의해 영향을 받지 않았다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이 지원에 감사드립니다.

문헌

- Martens, B. and Knorr, D. : Developments of non-thermal processes for food preservation. *Food Technol.*, **46**, 124-129(1992)
- Knorr, D. : Effects of high-hydrostatics pressure processes on food safety and quality. *Food Technol.*, **47**, 156-162(1993)
- WHO : Wholesomeness of irradiated food. Report of joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee, Technical Report Series-659, pp.34-68(1981)
- Vernon, L. P. : Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.*, **32**, 1144-1149(1960)
- Motoe, K. and Yamasita, Y. : Characteristics of astrigent Japanese persimmon(*Diospyros kaki* Linn. cv. Sanja) at various stage of development. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **33**, 176-181(1986)
- AOAC : *Official method of analysis*. 16th ed., AOAC International, Gaithersburg, USA, pp.1058-1059(1995)
- Jee, W. J., Cho, N. S., Kim, I. C., Park, K. H. and Choi, E. H. : Isolation and characterization of fuji apple peroxidase. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **23**, 442-447(1991)
- Kang, Y. H., Park, Y. K. and Lee, K. D. : The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **28**, 232-237(1996)
- Beyers, M., Thomas, A. C. and Van Tonder, J. : γ -Irradiation of subtropical fruits. 1. Compositional tables of mango, papaya, strawberry and litchi fruits at the edible-ripe stage. *J. Agric. Food Chem.*, **27**, 37-42(1979)
- Wells, C. E., Tichernor, D. A. and Martin, D. C. : Ascorbic acid retention and colour of strawberries as related to low-level irradiation and storage time. *Food Technol.*, **17**, 77-83(1963)
- Kurasaki, T. : Effect of gamma irradiation on the ascorbic acid content in strawberries and natsudaikai fruits. *CRC. Crit. Rev. Food Sci. Nut.*, **4**, 50-53(1970)
- Maltseva, A. P., Derid, T. F. and Shalinova, R. T. : Effect of ionizing radiation on the change in the content of ascorbic acid on potatoes. *Mater. Nauch. Prakt. Kont. Ispolz. Ioniz. Izuluch. Nat. Khoz.*, **15**, 137-140(1967)
- Salkova, E. G. : The influence of irradiation with radioactive cobalt 60 on vitamin C content in potatoes. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR.*, **114**, 757-762(1957)
- Thomas, P. : Radiation preservation of foods of plant origin. Part 1. Potatoes and other tuber crops. *CRC. Crit. Rev. Food Sci. Nut.*, **19**, 327-332(1984)
- Joshi, M. R., Srirangarajan, A. N. and Thomas, P. : Effects of gamma irradiation and temperature on sugar and vitamin C changes in five indians potato cultivars during storage. *Food Chem.*, **35**, 209-212(1990)
- Graham, W. D. and Stevenson, M. H. : Effect of irradiation on vitamin C content of strawberries and potatoes in combination with storage and with further cooking in potatoes. *J. Sci. Food Agric.*, **75**, 371-375(1997)
- Byun, M. W., Yook, H. S., Kim, K. S. and Chung, C. K. : Effects of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medicinal herbs. *Radiat. Phys. Chem.*, **54**, 291-296(1999)
- Horie, Y., Kimura, K., Ida, M., Yosida, Y. and Ohki, K. : Jam preparation by pressurization. *Nippon Nog-eikagaku Kaishi*, **65**, 975-979(1991)
- Sumitani, H., Suekane, S., Nakatani, A. and Tatsuka, K. : Changes on composition of volatile compounds in high pressure treated peach. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 785-788(1994)
- Eshtiaghi, M. N., Stute, R. and Knorr, D. : High pressure and freezing pretreatment effects on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *J. Food Sci.*, **59**, 1168-1171(1994)
- Lee, D. U., Park, J., Lee, Y. and Yeo, I. H. : Inactivation of microorganisms and browning enzymes in *Angelica keiskei* juice using high hydrostatic pressure. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **27**, 991-994(1995)