

감마선 조사가 비트(*Beta vulgaris* L.)의 물리화학적 특성 및 Betalain 색소 안정성에 미치는 영향

김경희 · 이성아 · 육홍선[†]
충남대학교 식품영양학과

Effects of Gamma Irradiation on Physicochemical Properties of Red Beet and Stability of Betalain in the Red Beet (*Beta vulgaris* L.)

Kyoung-Hee Kim, Sung-A Lee and Hong-Sun Yook[†]

Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

The physicochemical properties of red beets and the stability of betalain pigments irradiated at 2.5, 5, 10 and 30 kGy were evaluated. Betalain extraction yield of irradiated red beets was not significantly different from non-irradiated red beet. The red beet irradiated at 5 kGy showed high optical density value in betacyanin and betaxanthin. In Hunter's color value, lightness (L), redness (a) and yellowness (b) decreased with increment of irradiation dose. All red beets showed no difference in pH. The red beets irradiated above 10 kGy had poor textural property quality but antioxidant activity of betalain was not significantly changed by gamma irradiation. Considering natural colorant and textural quality, the gamma irradiation above 10 kGy was an undesirable technique for red beets.

Key words: red beet, betalain, gamma irradiation, physicochemical change, antioxidant activity

서 론

비트(*Beta vulgaris* L.)는 명아주과(Chenopodiaceae)에 속하며 식용부위는 배축으로(1) 무와는 달리 땅 위에서 비대되는데 구형 또는 긴 원추형으로 비대된 뿌리이며, 비교적 재배가 쉽고 식물체 전체를 식용할 수 있어 외국에서는 집에서 손쉽게 재배하는 인기작물이다(1,2). 비트의 뿌리는 환상 비대형으로 발육된 것으로 독특한 자주색을 나타내며 당분 함량이 많고 비타민 A, B군, C와 엽산, 카로티노이드, 안토시아닌, 유기산, 단백질 및 아미노산, 옥살산, Fe, K, Mn, Ca, Co 등의 종합성분이 사람의 생명활동에 필요한 물질들이고, 특히 엽산 및 비타민 B12는 적혈구 생성에 관여, 조혈 및 감염과 콩팥의 질병, 빈혈, 비만증, 고혈압, 저혈압, 혈액정화, 변비 등에 효과가 있다(3).

특히 비트의 뿌리에서 추출되는 betalain은 중요한 천연색소의 하나로 수용성이며 DOPA(dihydroxyphenylphenyl-anine)로부터 생성되는 betalain acid와 cyclo-DOPA가 축합되어 합성되며, 빨간색의 betacyanin과 노란색의 betaxanthin의 두 범주로 크게 구분된다. Betalain은 건강에 대한 안전성과 경제성 이점 때문에 미국의 FD&C(1960 Color Additive Amendment, Food Drug and Cosmetic Act

of 1938)에서 승인하였으며 현재 소시지, 요구르트, 아이스크림, 냉음료, 젤라틴디저트 등의 비교적 열처리가 약한 식품과 음료의 색소원으로서 사용되고 있다(4-8). 또한 betacyanin은 FDA에서 승인한 색소첨가제로서 식품공업에서 중요하게 쓰이고 있고 간암의 전위나 발현은 하지 않아 소시지, 요거트, 아이스크림, 셔벗, 케이크믹스, 고기내용물, 케이크 설탕장식, 그리고 많은 다른 제품들의 천연색소로 추진되고 있다(9-11). Betalain은 천연색소로서 식품산업에서 광범위하게 사용되는 것 외에 항산화활성과 라디칼활성을 가지고 있어 betacyanin의 일종인 betanin은 매우 적은 농도로도 지질과산화와 heme decomposition을 저해하고 이러한 능력은 catechin보다 높으며 레드비트 생성물은 산화적 스트레스와 연관된 질환에 사용되고 있다(12-15).

그러나 이러한 비트는 뿌리생체의 가식부 100 g당 함유하고 있는 수분함량이 약 86 g으로 매우 높아 유통 중에 쉽게 변질되므로 오랫동안 보존하기 위한 방법이 필요하다. 식품산업 및 공중 보건에서 최종 산물의 안전한 저장 및 유통을 보장하기 위한 방법으로 식품에 대한 방사선 조사기술의 이용이 국제적으로 증가하고 있다. 식품의 대한 방사선 살균법은 감마선의 특징인 강력한 투과력에 의해 제품의 완전 포장 후 살균이 가능하고 잔류성이 전혀 없으며 식품고유의 풍미

[†]Corresponding author. E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6840, Fax: 82-42-821-8887

와 생화학적 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 살균효과를 나타내는 특성을 가지고 있다(16). 이미 방사선 조사기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 현재 39개국에서 40여 식품군(230여 품목)이 각국 보건당국에 의해 허가되어 실용화되고 있으며 국제기구와 국제학술단체에서 식품의 보존 및 위생화 수단으로 그 건전성을 공인한 바 있다(17,18).

따라서 본 연구에서는 방사선 조사가 비트의 여러 이화학적 특성에 미치는 변화를 알아보고자 비트에 감마선 조사를 실시한 후 여러 가지 이화학적 특성 및 주요 색소인 betalain에 미치는 영향을 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용한 비트는 2006년 4월 대전 노은동 농수산시장에서 구입하여 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Gyunggi, Korea)를 이용, 5개씩 합기 포장하고 감마선 조사를 실시한 후 실험에 사용하였다.

감마선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구소(Daejeon, Korea) 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설(point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ontario, Canada)을 이용하여 실온에서 0, 2.5, 5, 10 및 30 kGy를 조사하였고, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였으며 흡수선량의 오차는 ± 0.2 kGy이었다.

색소의 추출 및 분석

감마선 조사된 비트를 껍질을 벗긴 뒤 세절한 시료 1 kg을 5 L의 50% ethanol에 24시간 동안 침지시켜 betalain을 추출한 후(19,20) 3,000 rpm에서 10분간 원심분리(Union 5KR, Hanil Science Industrial Co. Ltd., Incheon, Korea)하여 상층액을 분리하고 이 상층액을 Whatman No. 4 여과지로 여과한 다음 실험에 사용하였다. Betacyanin과 betaxanthin의 함량은 Nilsson(8,21)의 방법에 따라 UV-visible spectrophotometer(Ultraspec 4300 pro, Biochrom LTD, Cambridge, England)를 이용하여 betacyanin과 betaxanthin의 검출과장인 535 nm 및 476 nm에서의 각각 흡광도를 측정하였다.

항산화효과 측정에 사용할 시료는 색소 추출액을 rotary vacuum evaporator에서 농축한 후 동결건조(model SFDSM12-60 Hz, Samwon Freezing Engineering Co., Korea)기에서 동결건조하여 4°C에서 보관하면서 분석에 사용하였다.

색도 측정

비트 내부의 색은 비트의 껍질을 벗기고 1 cm 두께로 절

단하여 표면을 색차계(model ND-300A, Nippon Denshoku, Japan)로 CIE system에 따라 명도(L^* , lightness), 적색도(a^* , redness), 황색도(b^* , yellowness)를 측정하였다(22-24). 표준배색판은 $L^*=90.45$, $a^*=0.13$, $b^*=3.37$ 인 calibration plate를 표준으로 사용하였으며 시료는 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

pH 측정

비트 5 g을 10배의 50% ethanol에 넣어 24시간 동안 색소를 추출한 뒤 상온에서 pH meter(pH/ISE meter model 750P, Istech, Inc., Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였다.

물성 측정

비트의 물성은 비트의 껍질을 벗기고 1 cm 두께로 잘라 texture analyser(model TA-XT2, SMS, England)로 springiness, cohesiveness, chewiness, gumminess, hardness를 측정하였다. Probe type은 P/5(ϕ 5 mm) plunger를 이용하여 5 kg의 힘으로 시료의 70%까지 2번 찌르도록 하였으며 3회 반복 측정하였다.

항산화효과 측정

Betalain의 전자공여능은 Yizhong의 방법을 이용하여 측정하였다(12,25). 증류수에 녹인 betalain 용액(1 mg/mL) 0.1 mL에 60 μ M DPPH 용액(in 80% methanol) 3.9 mL을 넣고 교반한 후 30분 동안 실온에 정치한 다음 반응용액을 spectrophotometer를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 전자공여능은 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$EDA (\%) = (1 - A \div B) \times 100$$

A: 시료의 흡광도 값

B: 공시험구(blank)의 흡광도 값

통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software에서 프로그램된 general linear model procedure, least square 평균값을 Duncan의 다중 검정법의 $p < 0.05$ 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

색소의 추출 및 분석

감마선 조사된 비트의 중량당 betalain의 추출량은 비조사구에서 9.65%, 조사구에서는 조사선량별로 각각 9.21%, 10.15%, 8.69% 및 8.63%를 나타내어 조사구 및 비조사구간의 차이를 나타내지 않았고, 5 kGy 조사구에서 가장 많은 betalain을 얻었다. Betalain 중 적색색소를 나타내는 betacyanin과 황색색소를 나타내는 betaxanthin의 생성량에 대한 비교는 이 색소의 검출과장인 535, 476 nm에서 흡광도를 측정하여 Table 1에 나타내었다. Betacyanin과 betaxanthin

Table 1. Changes in optical density of betalain pigment from red beet by gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Optical density	
	535 nm ¹⁾	476 nm ²⁾
0	2.84 ± 0.01 ^{b4)}	2.97 ± 0.01 ^b
2.5	2.80 ± 0.01 ^c	2.94 ± 0.01 ^c
5	2.85 ± 0.01 ^a	2.98 ± 0.01 ^a
10	2.80 ± 0.01 ^d	2.93 ± 0.01 ^c
30	2.78 ± 0.00 ^e	2.91 ± 0.01 ^d
SEM ³⁾	0.00	0.00

¹⁾Betacyanin's max optical density.
²⁾Betaxanthin's max optical density.
³⁾Standard errors of the mean (n=4).
⁴⁾Means with the same letter in a column are not significantly different (p<0.05).

Table 2. Changes in Hunter's color value of red beet by gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	L ²⁾	a ³⁾	b ⁴⁾	ΔE ⁵⁾
0	23.89 ± 0.10 ^{ab6)}	26.06 ± 0.33 ^a	8.12 ± 0.15 ^a	71.59 ± 0.11 ^d
2.5	20.91 ± 0.06 ^b	24.80 ± 0.36 ^b	7.35 ± 0.08 ^b	73.93 ± 0.18 ^b
5	20.25 ± 0.12 ^c	20.80 ± 0.12 ^c	7.11 ± 0.05 ^c	73.23 ± 0.13 ^c
10	18.63 ± 0.13 ^d	18.44 ± 0.20 ^d	6.64 ± 0.05 ^d	74.19 ± 0.11 ^a
30	17.38 ± 0.07 ^e	13.37 ± 0.26 ^e	5.48 ± 0.08 ^e	74.29 ± 0.07 ^a
SEM ¹⁾	0.07	0.19	0.06	0.09

¹⁾Standard errors of the mean (n=4).
²⁾L: Degree of lightness.
³⁾a: Degree of redness.
⁴⁾b: Degree of yellowness.
⁵⁾ΔE = $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$
⁶⁾Means with the same letter in a column are not significantly different (p<0.05).

모두 조사에 따른 차이는 나타나지 않았으며 betacyanin과 betaxanthin 모두 5 kGy 조사에서 높은 optical density 값을 나타내어 betalain의 추출량과 일치하는 결과를 나타내었으며, 5 kGy 이상의 조사에서 optical density값은 다시 감소하였다.

색도변화

비트의 색도변화는 Table 2에 나타내었다. 명도를 나타내는 L값의 경우 비조사구의 23.89에 비해 조사구는 20.91, 20.25, 18.63, 17.38로 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소하였다. 적색도(a값)와 황색도(b값) 역시 비조사구에 비해 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소하였으며 이러한 결과는 비트 색소인 betalain 중 적색색소를 나타내는 betacyanin과 황색색소를 나타내는 betaxanthin의 검출과장인 535, 476 nm에서 흡광도를 측정한 결과 조사선량이 증가할수록 betacyanin과 betaxanthin의 검출량이 감소한 결과와는 차이를 나타내었다. 감마선 조사에 의한 색상의 변화는 Son 등(26)이 녹차추출물에 감마선 조사를 실시한 결과 명도는 증가하였고 적색도 및 황색도가 감소하였다고 하였으며, Song 등(27)은 간장에서, Kim 등(28)은 멸치액젓에서 갈색도가 엷어졌다고 보고한 바 있다. 본 실험의 결과와 비

Table 3. Changes in pH of betalain from red beet by gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	pH
0	6.69 ^{b2)}
2.5	6.46 ^d
5	6.87 ^a
10	6.72 ^b
30	6.55 ^c
SEM ¹⁾	0.00

¹⁾Standard errors of the mean (n=4).
²⁾Means with the same letter are not significantly different (p<0.05).

교해 볼 때 감마선 조사한 비트의 적색도와 황색도가 감소하였다는 결과와는 유사하나 명도의 경우 조사선량이 증가할수록 감소하였다는 결과와는 차이가 있었다. 이러한 차이는 녹차의 경우 색소성분으로 다량 존재하는 chlorophyll과 flavonoid계 색소의 파괴에 의해 a값과 b값이 감소되면서 이와 더불어 명도가 높아진 반면, 비트에서는 색소성분인 betalain이 적색과 황색이 섞여 있기 때문에 적색도와 황색도가 감소함에 따라 명도가 감소한 것으로 여겨진다.

pH 변화

비트의 pH 변화는 Table 3에 나타내었다. pH는 5 kGy 조사구에서 가장 높은 값을 나타내었으며 조사유무 및 조사선량에 따른 차이는 나타나지 않아 비트의 경우 감마선 조사에 따른 pH 변화는 일정하지 않은 것으로 생각된다.

물성변화

감마선 조사에 따른 비트의 물성변화를 Table 4에 나타내었다. 탄력성은 비조사구 및 2.5 kGy 조사구에 비해 5 kGy 이상 조사구에서 높은 값을 나타내었고 응집성의 경우 조사에 따른 차이는 없었으나 30 kGy 조사에서 급격히 감소하였다. 씹힘성, 검성 및 경도는 비조사구에 비해 조사구에서 값이 감소하였으며 조사선량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 물성측면에서 비트에 대한 감마선 조사는 5 kGy까지는 물성변화가 적으나, 5 kGy 이상 조사할 경우 물성에 대해 좋지 않은 영향을 미치므로 비트에 대한 고선량 방사선 조사는 적합하지 않을 것으로 판단된다.

항산화효과

비트 색소의 주성분인 betalain은 항산화력이 뛰어나 여기에 대한 연구가 많이 이루어져 있으며(13-15), Yizhong 등(12)은 betalain의 주요 성분인 betanin(betacyanin의 일종)의 전자공여능이 red beet powder에서 추출한 betanin의 경우 EC₅₀ 값이 4.88 μM로 강한 항산화력을 나타내었다고 보고하고 있어 감마선 조사가 betalain의 전자공여능에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다(Fig. 1).

Betalain을 메탄올에 녹여 1 mg/mL 농도로 만든 후 전자공여능을 측정된 결과 비조사구는 78.51%, 조사구는 선량별

Table 4. Changes in textural quality of red beet by gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Texture				
	Springiness	Cohesiveness	Chewiness	Gumminess	Hardness
0	0.69 ^{b2)}	0.69 ^a	2222.47 ^{ab}	3230.15 ^a	4580.97 ^a
2.5	0.69 ^b	0.51 ^b	2418.44 ^a	2820.14 ^{ab}	4040.27 ^{ab}
5	0.83 ^a	0.64 ^a	1930.35 ^{ab}	2331.96 ^{bc}	3636.57 ^{ab}
10	0.82 ^a	0.64 ^a	1421.56 ^{bc}	1732.37 ^{cd}	2775.93 ^c
30	0.84 ^a	0.32 ^c	747.05 ^c	883.76 ^d	2777.20 ^c
SEM ¹⁾	0.05	0.04	369.72	450.44	655.48

¹⁾Standard errors of the mean (n=3).

²⁾Means with the same letter in a column are not significantly different (p<0.05).

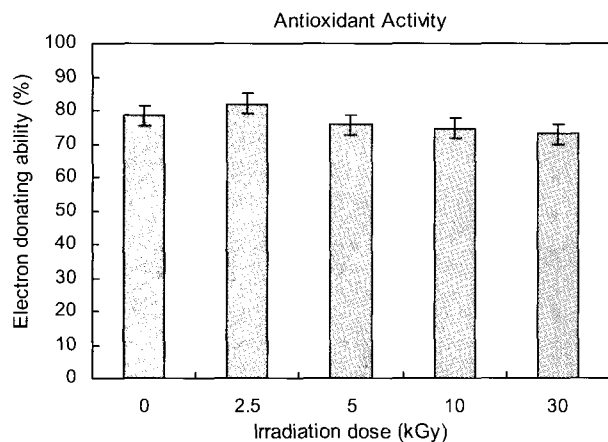


Fig. 1. Electron donating ability of betalain from red beet (p<0.05) by gamma irradiation.

The concentration of test samples was 0.1 mg/mL (in 80% methanol).

로 82.02%, 75.68%, 74.60% 그리고 72.97% 등의 높은 전자공여능을 보였으며 조사구와 비조사구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다(p<0.05). Son 등(26)은 녹차에 감마선을 조사한 결과 높은 전자공여능을 보였으나 방사선 조사에 의한 영향은 전혀 나타나지 않았다고 보고하였다. 그리고 Byun 등(29)은 한약재에 대하여 10 kGy까지의 감마선을 조사한 결과 과산화물, 전자공여능 등 항산화효과에는 영향을 끼치지 않았다고 보고하여 본 실험의 결과와 마찬가지로의 결과를 나타내어 감마선 조사가 free radical 소거능에 유의적인 영향은 미치지 않는 것으로 판단된다.

요 약

감마선 조사가 비트의 품질특성 및 비트의 주요 색소인 betalain에 미치는 영향을 알아보기 위해 비트에 2.5 kGy, 5 kGy, 10 kGy 및 30 kGy로 감마선 조사를 실시하였다. 조사에 따른 betalain 추출량에는 차이가 없었으며 betacyanin과 betaxanthin은 5 kGy의 조사선량에서 높은 optical density 값을 나타내었다. 조사선량이 증가할수록 비트의 명도, 적색도 그리고 황색도는 감소하였으며 pH는 조사에 따른 차이를 나타내지 않았다. 10 kGy 이상의 감마선 조사는 물성에 나쁜

품질을 나타내었으며 항산화효과는 감마선 조사에 의한 유의적인 변화(p<0.05)를 보이지 않았다. 따라서 천연색소 및 물성 측면에서 볼 때 비트에 대한 10 kGy 이상의 감마선 조사는 바람직하지 않은 것으로 생각한다.

문 헌

- Park YG, Park KW. 1997. Effects of NO₃-N level and substrates on red beet growth. *Korean J Hort Sci Tech* 15: 124-125.
- Kim SH, Sang WA, Dong KB, Kwang SK, Baik H, Lee HY. 1999. Continuous production of natural colorant, betacyanin, by *Beta vulgaris* L. hairy root. *J Microbiol Biotechnol* 9: 716-721.
- Hong SS. 2000. The drying characteristics of food stuff (beet) by freeze drying. *J Ind Sci Tech Institute* 14: 49-58.
- Kang YD, Oh HL. 1993. Effect of plant growth regulators on the callus induction from cotyledons of *Beta vulgaris* L. and accumulation of betacyanins. *Korean J Plant Tissue Culture* 20: 181-186.
- Yang DC, Kim YH, Yun KY. 1998. Effects of media and elicitor on betalain phytoalexins production in hairy root cultures of *Phytolacca esculenta* van Houtte. *Korean J Plant Tissue Culture* 25: 507-514.
- Yang DC, Kim YH, Chol HY, Chol CH, Yang DC. 1995. Effects of antioxidants on growth and betalain production in hairy root cultures of *Phytolacca esculenta* van hotte. *Korean J Plant Tissue Culture* 22: 65-70.
- Yang DC, Lee SJ, Yun KY, Kang YH. 1993. Suspension culture of betalain producing cell line and characteristics of hairy root of *Phytolacca esculenta* V. Houtte. *Korean J Biotechnol Bioeng* 8: 85-94.
- Paek YW, Ahn JC, Jung BG, Kim SU, Hwang B. 1993. Betalain production by hairy root cultures of red beet. *Korean J Plant Tissue Culture* 20: 159-165.
- Dieter S, Thomas V, Willibald S. 2003. Recent advances in betalain research. *Phytochem* 62: 247-269.
- Choi KS, In JK, Lee YB. 1994. Effects of light on production of anthocyanin and betacyanin through cell suspension culture systems in *Vitis vinifera* L. and *Phytolacca americana* L. *Korean J Plant Tissue Culture* 21: 47-53.
- Lee TA, Jang YM, Hong KH, Park SK, Park SK, Kwon YK, Park JS, Chang SY, Hwang HS, Kim SJ, Han YJ, Kim BS, Won HJ, Kim MC. 2005. Survey of beet red contents in foods using TLC, HPLC. *J Food Hyg Safety* 20: 244-252.
- Yizhong C, Mei S, Harold C. 2003. Antioxidant activity of betalains from plants of the amaranthaceae. *J Agric Food Chem* 51: 2288-2294.

13. Francis FJ. 1999. Anthocyanins and betalains. In *Colorants*. Francis FJ, ed. Eagan Press, St. Paul, MN. p 55-66.
14. Escribano J, Pedreño MA, Garcia CF, Munoz R. 1998. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. root. *Phytochem Anal* 9: 124-127.
15. Kanner K, Harel S, Granit R. 2001. Betalains-A new class of dietary cationized antioxidants. *J Agric Food Chem* 49: 5178-5185.
16. Kim HJ, Jo CH, Lee NY, Shon JH, Ahn BJ, Yook HS, Byun MW. 2005. Effect of gamma irradiation on physiological activity of citrus essential oil. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 797-804.
17. FAO/WHO. 1984. *Codex general standard for irradiated foods*. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.
18. Amed M. 1991. *Food Irradiation*. Up-to-date status, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. IAEA 6626F, Vienna, 27 Nov.
19. Atanas P, Vasil G, Mladenka I. 2005. Betalain biosynthesis by red beet hairy root culture. *Process Biochem* 40: 1531-1533.
20. Hermann S, Richar E. 1996. Application of capillary zone electrophoresis to the analysis of betalains from *Beta vulgaris*. *J Chromatograp A* 735: 409-413.
21. Nilsson T. 1970. Studies into the pigments in beet root. *Lantbrukshogskolans Annaler* 36: 179.
22. Kang JO, Lee GH. 2003. Effects of pigment of red beet and chitosan on reduced nitrite sausages. *Korean J Food Sci Ani Resour* 23: 215-220.
23. Kim KI, Hong SD. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. *Korean J Soil Sci Fert* 35: 77-86.
24. Lim SD, Kim KS, Kim HS, Chung SH, Kang TS. 1994. Studies on rapid microbiological testing method of raw milk by applied resazurin reduction test (RRT). *Korean J Dairy Sci* 16: 92-98.
25. Mahinda W, Bradley B, Leslte P, Hang X, Kirk P. 2002. Phase II enzyme-inducing and antioxidant activities of beetroot extracts from phenotypes of different pigmentation. *J Agric Food Chem* 50: 6704-6709.
26. Son JH, Jo CH, Kim MR, Kim JO, Byun MW. 2001. Effect of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1305-1308.
27. Song TH, Kim DH, Park BJ, Shin MG, Byun MW. 2001. Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated Kanjang and Shoyu. *Korean J Food Sci Technol* 33: 338-344.
28. Kim JH, Ahn HJ, Kim JO, Ryu KH, Yook HS, Lee YN, Byun MW. 2000. Sanitation and quality improvement of salted and fermented anchovy sauce by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 1035-1041.
29. Byun MW, Yook HS, Kim KS, Chung CK. 1999. Effects of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medical herbs. *Radiat Phys Chem* 54: 291-300.

(2007년 1월 23일 접수; 2007년 3월 23일 채택)