

전자선 조사가 신고배의 향기성분에 미치는 영향

김 원¹ · 심성례¹ · 유근영¹ · 전삼녀¹ · 정찬희² · 서혜영³ · 송현파⁴ · 김경수^{1*}

¹조선대학교 식품영양학과, ²조선대학교 응용과학과
³한국식품연구원, ⁴충남대학교 동물자원생명공학 전공

Effect of Electron-Beam Irradiation on Flavor Components in Pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka)

Won Kim¹, Sung-Lye Shim¹, Keun-Young Ryu¹, Sam-Nyeo Jun¹, Chan-Hee Jung²,
Hye-Young Seo³, Hyun-Pa Song⁴, and Kyong-Su Kim^{1*}

¹Dept. of Food and Nutrition, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

²Dept. of Applied Science, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

³Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea

⁴Dept. of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

This study was performed to examine the effects of electron beam irradiation on volatile flavor components of Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) and on their changes according to storing period following irradiation. Volatile flavor components in pear were extracted using simultaneous steam distillation and extraction (SDE) apparatus and analyzed by GC/MS. 46 components were identified in control whereas 45, 44, 48 and 51 components were identified in irradiated samples by electron beam at 0.25, 0.5, 1, and 3 kGy, respectively. Hexanal, n-hexanol, and (*E*)-2-hexenal were identified as the major volatile flavor components of all samples. The characteristic volatile flavor components of irradiated pear by electron beam were similar to those of control, and their effects depending on irradiation source were not different. In addition, there was no noticeable change in volatile flavor components of pear with storage at 4°C for 30 days or with irradiation. Sensory evaluation indicated that the consumer receptiveness tended to be higher at a low level of radiation dose under 1 kGy than control, albeit not significant. Therefore, electron beam irradiation at low level of radiation dose under 1 kGy could be considered as an effective method to exterminate vermin and thus to improve the shelf-stability of pear without deterioration.

Key words: *Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka, electron beam, volatile flavor components, GC/MS

서 론

신고배는 우리나라 수출유망 농산물 중의 하나로서 국내 외적으로 그 품질의 우수성이 인정되고 있으며 1986년부터 배의 수출 후 2006년 전체 수출량의 76%를 신고배의 품종이 차지하였다. 그러나 수출된 신고배의 약 23%가 병해충과일로 불합격 처리됨으로써 국제화와 시장개방 등 국가 간의 교역이 증가됨에 따라 체계적인 품질관리의 중요성은 크게 대두되고 있으며, 검역대상 해충이 존재할 경우 통관이 불허되거나 적절한 방제처리가 요구되어 유통·저장간의 문제해결과제로 남아 있다(1,2).

신선한 과일 및 채소류와 같은 농산물의 경우에는 해충구제를 위해 화학훈증제(ethylene dibromide, methyl bromide, ethylene oxide, phosphine)나 발아억제제(maleic hy-

drazide, propham, chloroprotham) 등의 처리가 주로 사용되어 왔으나(3,4) 안전성, 처리 효과, 환경 공해 등의 측면에서 문제시 되어 대체소독방법이 국제적으로 요구되고 있는 실정이다(5-7). 소독방법으로 저온처리, 열처리, 저농도 산소 및 고농도 이산화탄소 처리 등의 물리적 방법과 생물학적 방법이 부분적으로 활용되고 있으나 처리시간이 길거나 효과가 불완전하고 피처리물의 품질저하와 생리적 장애를 유발시키는 등 여러 가지 문제점이 지적되고 있어(2), 처리 후 잔류독성이 없는 비약제 처리, 영양성분 파괴나 관능적 품질의 변화를 최소화할 수 있는 비열처리 특징을 지닌 방사선 조사방법이 선호되고 있다. 위생화 방법 HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point) system에서 인증할 수 있는 무공해 위생화 기술로 식품조사에 이용되는 방사선은 크게 방사성동위원소(⁶⁰Co과 ¹³⁷Cs)를 이용한 감마선과 전자선

*Corresponding author. E-mail: kskim@chosun.ac.kr
Phone: 82-62-230-7727, Fax: 82-62-224-8880

가속기에서 발생하는 10 MeV이하의 전자(베타)선으로 나눌 수 있다. 이외에도 방사성 동위원소로부터 방출되는 알파선, 베타선, 원자로에서 만들 수 있는 중성자선, 기계적으로 발생하는 X선 등이 있으나 감마선과 전자선을 주 선원으로 사용하고 있다.

전자선은 감마선보다 노출시간이 적고 조사선량의 조절이 용이한 장점을 지니고 있으며, 감마선 조사에 대한 소비자의 민감한 반응 때문에 방사선 동위원소를 사용하지 않는 전자선 가속기에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다.

과거 전자선은 주로 비식품 분야에서 공업 목적으로 많이 사용되어 왔으나 살균, 살충 등의 효과가 확인되면서 식품의 조사에 필요한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전자선 조사의 특징으로는 빠른 처리속도와 conveyor 시스템 및 cold treatment 시스템으로 효율적이기 때문에 햄버거 패티, 부분육(계육 포함), 농산물, 해산물, 곡류, 분말식품 등 냉장/냉동이 필요한 식품에 효과적이다(8). 이러한 전자선 조사기술은 신선한 과일류의 색, 맛, 향 등 관능적 특징을 유지할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 외국의 경우 생과일에 대한 전자선 조사는 살충의 목적으로 1.0 kGy 이하, 숙도지연을 목적으로 1.0~3.0 kGy로 조사가 허용(9)되어 있다. 그러나 국내 식품법(식품공전)에는 식품조사에 이용되는 방사선 종류를 감마선으로 제한하고 있어 국내에서도 식품 특성 및 목적에 따라 전자선 조사를 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 신선과실의 품질저하(10)가 적은 전자선 조사를 신고배에 적용함으로써 관능적 특징에 중요한 영향을 미치는 flavor의 변화에 대해 살펴보고 효율적인 전자선 조사 기술 적용을 위한 기초자료를 수립하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

신고배(*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka)는 2007년 나주시 봉황면 재배단지에서 수확 시기에 맞추어 현장 구매하여 과피의 흑변과 흠집이 없는 대과만을 선별 사용하였다. 전자선 조사는 Electron-beam Accelerator(model ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech., Ltd., Korea)를 이용하여 Beam Current 0.47 mA(0.25 kGy), 1.3 mA(0.5 kGy), 2.96 mA(1 kGy) 및 3.7 mA(3 kGy), Velocity 20 m/min(0.25, 0.5, 1 kGy) 및 10 m/min(3, 5 kGy) 선량률로 조사하였고 흡수선량이 0.25, 0.5, 1 및 3 kGy가 되도록 양면 조사하였다. 이때의 흡수선량은 Cellulose triacetate(CTA) dosimeter로 확인하였다. 전자선 조사 후 4°C, 85% 상대습도가 유지되는 저온 저장고에 보관하며 매 실험 시 사용하였다.

휘발성 향기성분의 추출 분리

시료 500 g을 Milli Q water 1 L와 혼합하여 Waring blender(Braun, MR 550 CA, Spain)로 1분간 분쇄한 후 산 가수분

해물의 생성을 최소화하기 위하여 0.1 N NaOH 수용액을 첨가하여 pH meter(Pinnacle 530P, Nova Analytics Corporation, USA)로 측정하면서 pH가 약 6.5가 되도록 조절하였으며, 이를 휘발성 향기성분의 추출용 시료로 사용하였다.

휘발성 향기성분의 추출은 Schultz 등(11)의 방법에 따라 개량된 연속수증기증류추출장치(Likens & Nikerson type simultaneous steam distillation and extraction apparatus, SDE, Normschliff, Wertheim, Germany)(12)로 상압에서 2 시간 동안 추출하였다. 이때 휘발성 향기성분의 추출용매는 HPLC grade로 구입(Fisher Scientific, USA)하여 재증류한 n-pentane과 diethylether 혼합용매(1:1, v/v) 200 mL를 사용하였으며 정량분석을 위해 n-butylbenzene 0.2 mg을 내부표준물질로서 준비된 시료에 직접 첨가하였다. SDE 방법으로 추출된 추출용매에 무수 Na₂SO₄를 첨가하여 하룻밤 동안 방치하여 수분을 제거하였고, 추출된 휘발성 향기성분의 유기용매 분획분은 Vigreux column(250 mL, Normschliff Geratebau, Germany)을 사용하여 약 2 mL까지 농축하고 GC용 vial에 옮긴 후 질소가스 기류 하에서 약 0.5 mL까지 농축하여 GC/MS의 분석시료로 하였다.

휘발성 향기성분의 분석

SDE 방법으로 추출, 농축된 휘발성 향기성분은 Shimadzu GC/MS QP-5000(Shimadzu Co., Kyoto, Japan)을 이용하여 정량 분석하였고, 시료의 ion화는 electron impact ionization(EI)방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source temperature는 230°C로 하였으며, 온도 프로그램은 40°C에서 3분간 유지한 다음 2°C/min의 속도로 150°C까지 다시 4°C/min의 속도로 200°C까지 상승시킨 후 20분간 유지한 다음 다시 5°C/min의 속도로 230°C까지 상승시킨 후 5분간 유지하도록 설정하였다. 또한 분석할 분자량의 범위는 40~350(m/z)으로 설정하였다. Column은 DB-Wax(60 m×0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness, J&W, CA, USA)을 사용하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250°C, 230°C이며, carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하고 시료는 1 µL를 주입하였고 splitless로 하였다.

휘발성 향기성분의 확인 및 정량

GC/MS에 의해 total ionization chromatogram(TIC)에 분리된 각 peak의 성분분석은 mass spectrum library(WILEY 139, NIST 62와 NIST 12)와 mass spectral data book의 spectrum(13)과의 일치 및 GC-FID 분석에 의한 retention index와 문헌상의 retention index(14,15)와의 일치 그리고 표준물질의 분석 data를 비교하여 확인하였다.

정량을 위하여 향기성분 추출 시 내부 표준물질로 첨가된 n-butylbenzene과 동정된 향기성분의 peak area을 이용하여 시료 1 kg에 함유된 휘발성 향기성분을 상대적으로 정량하였다.

관능평가

관능검사는 검사요원 15명을 선발하여, 시료의 검사방법, 평가할 특성과 항목 등에 대하여 충분히 인지하도록 훈련시킨 후 검사에 참여하도록 하였다. 신고배의 색, 향, 조직감, 산도, 단맛 및 종합적 기호도 등 5가지 특성에 대하여 9점 척도법으로 조사하였다. 기호도는 “가장 좋다(like extremely)”를 9점으로, “가장 싫다(dislike extremely)”를 1점으로 평가하였다(16). 결과는 SPSS 통계 프로그램의 analysis of variance(ANOVA)와 Duncan's multiple range test (DMRT)를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

신고배의 휘발성 향기성분

n-Pentane과 diethylether 혼합용액(1:1, v/v)을 추출용매로 사용하여 SDE방법으로 신고배의 향기성분을 추출하여 농축하였다. 비조사 신고배와 전자선 조사된 신고배를 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 1에 나타내었고, 확인된 휘발성 향기성분의 조성과 함량을 Table 1과 2에 나타내었다.

신고배로부터 총 1,109.49 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 휘발성 향기성분을 회수하였으며, 동정된 성분은 총 46종으로 aldehyde류와 alcohol류가 각각 11종, ketone류 5종, 황화합물 4종, ester류와 furan류가 각각 3종, 질소화합물 2종, 그리고 기타화합물 7종의 순으로 확인되었다. 신고배의 향기성분에 기여하는 관능기별 성분들의 총 peak area는 aldehyde류가 46.49%, alcohol류 34.94%, 질소화합물이 5.03%, ester류가 3.8%, ketone류가 2.35%, furan류가 1.92%, 황화합물이 0.81%, 기타화합

물이 4.66% 순으로 나타났다.

신고배에서 분리 동정된 향기성분 중 hexanal, n-hexanol과 (E)-2-hexenal이 각각 전체의 34.18, 24.68 및 9.22%로 대부분을 차지하였다. Hexanal, n-hexanol, (E)-2-hexenal, (Z)-3-hexenol, (Z)-3-hexenal과 같은 C_6 화합물은 풀냄새(green note)로 특징지어지는 향기성분으로 시료를 분쇄하는 과정 중 세포벽의 파괴로 유리되어 분해, 생성된 화합물이다(13,14). 이 성분들은 여러 종류의 식물의 잎이나 과일 등 정유성분에 주로 함유되어 있으며 바나나(17), 사과(18), 포도(18), 복숭아(19), 자두(20) 및 녹차(21), 토마토(22), 셀러리(23) 등 거의 모든 과일과 채소의 향기성분으로 확인된 바 있다. 또한 pyridine, (Z)-3-hexenol, ethyl acetate가 각각 4.91, 4.74, 3.61%로 상당량 확인되었으며, 이외에도 2-acetylthiazole, ethanol, furfural, acetic acid, 1-phenyl-1-butanol, 2-pentyl furan, hexanoic acid가 확인되었다.

배의 독특한 향기성분으로 특징지어 pear oil(pear ester)로 불리며(24), 재래품종의 배와 서양배의 독특한 향기성분(25)인 ester류는 개량종인 신고배에서 소량 검출되어 배의 향기 특징 면에서 차이점을 보였다. 또한, bartlett 배 향기성분에 관한 Suwanagul과 Richardson(26)의 보고에서는 hexanal과 2-hexenal만이 확인되었으나 본 실험에서는 더 많은 종류의 aldehyde류가 확인되었다. 이는 시료의 종별, 추출방법, 추출용매의 상이성에 기인한 것으로 판단되었다. Aldehyde류는 Suwanagul과 Richardson(26)이 사용한 dynamic headspace trapping 방법보다 가열처리 또는 solvent 추출방법에서 추출 효율이 더 좋은 것으로 보고된 바 있다.

기타 휘발성 향기성분으로는 furfural이 16.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 동정되었으며, furfural은 코코넛 향(coconut-like)(27), 살구류레

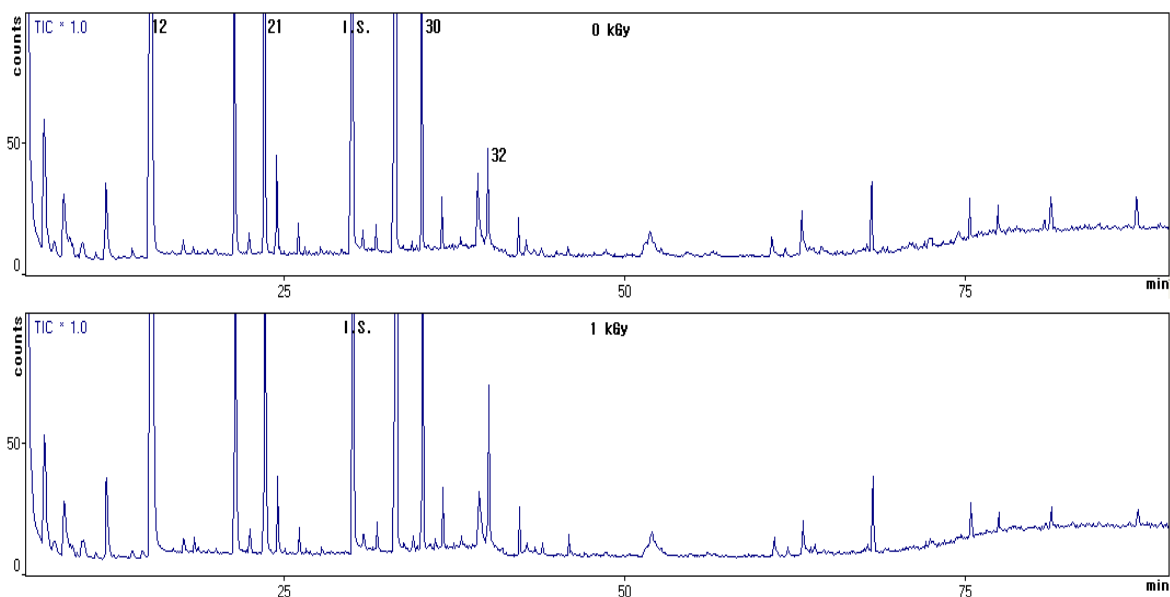


Fig. 1. GC/MS total ion chromatograms of the volatile flavor components in non- and irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam at 1 kGy.

Table 1. Changes of volatile flavor components identified in control and irradiated Singo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam after storage at 4°C for 30 days (unit: µg/kg)

Peak No.	R.T. ¹⁾	R.I. ²⁾	Compound name	Irradiation dose (kGy)									
				0		0.25		0.5		1		3	
				0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days
1	7.388	862	Ethyl acetate	40.08	33.22	41.16	222.61	65.91	833.95	39.70	126.22	120.06	40.75
2	8.058	891	2-Methyl butanal	1.37	3.07	1.00	1.54	1.66	t	1.75	3.44	1.41	0.97
3	8.162	895	3-Methyl butanal	2.51	4.67	3.02	4.47	1.91	0.62	3.14	9.35	0.86	5.28
4	8.852	921	Ethanol	18.59	4.02	5.49	3.99	37.72	2.99	19.50	7.63	29.12	6.68
5	9.279	937	2-Ethyl furan	4.79	2.53	1.38	t	2.27	0.85	2.52	0.79	1.49	1.38
6	9.493	944	2,3-Dimethyl octane	2.20	t	2.39	t	1.49	1.74	1.64	t	3.80	t
7	10.229	968	2-Pentanone	7.17	24.08	9.51	259.00	9.08	13.71	7.28	41.13	9.34	16.84
8	11.178	997	Decane	0.98	-	-	-	-	-	1.17	-	1.34	-
9	12.754	1035	Ethyl butanoate	-	0.71	0.87	3.21	8.69	6.69	1.05	t	5.77	t
10	13.873	1055	2,3-Pentanedione	2.00	4.05	2.55	4.67	3.89	1.92	2.38	6.61	0.56	1.78
11	14.629	1069	Dimethyl disulfide	0.82	1.66	-	3.00	0.92	1.34	3.08	5.98	1.84	3.35
12	15.244	1080	Hexanal	379.24	412.90	552.58	177.97	621.83	228.28	810.23	386.74	660.09	454.62
13	16.571	1103	3-Pentanol	t ⁴⁾	3.54	-	4.49	-	1.16	1.72	8.49	2.35	2.60
14	17.626	1122	2-Pentanol	3.12	14.93	3.66	16.34	2.48	6.13	2.26	27.78	3.09	13.48
15	18.34	1134	(Z)-3-Hexenal	1.00	2.62	1.50	1.75	0.77	1.88	3.76	0.98	2.31	3.68
16	18.608	1138	2-Methyl-2-pentenal	0.66	4.10	0.61	0.56	-	1.24	1.58	0.61	1.31	2.08
17	18.795	1141	Butanol	t	t	-	2.03	-	0.75	-	t	0.97	0.93
18	19.981	1160	Ethyl 2-butenate	0.97	t	0.36	2.26	2.51	3.13	0.84	2.50	2.30	1.42
19	21.359	1181	Pyridine	54.43	97.39	85.39	82.80	65.95	49.98	86.76	156.73	53.89	100.63
20	22.452	1196	(Z)-2-Hexenal	3.67	5.83	4.21	4.84	3.81	3.20	4.51	10.16	5.36	11.30
21	23.572	1213	(E)-2-Hexenal	102.33	163.60	105.37	115.31	107.95	88.29	132.14	246.89	138.66	314.34
22	24.479	1228	2-Pentyl furan	13.85	15.12	21.02	10.85	32.92	8.41	12.24	18.79	25.85	15.93
23	24.681	1231	Ethyl hexanoate	1.06	1.03	1.02	-	4.15	2.18	0.57	2.31	3.56	1.49
24	26.04	1252	Pentanol	5.23	5.06	6.30	4.39	7.38	2.21	6.03	6.24	7.63	4.98
25	26.571	1260	Dihydro-2-methyl-3-furanone	1.09	2.04	1.58	2.45	1.84	0.78	1.53	3.87	1.18	1.97
26	26.742	1262	Methyl pyrazine	1.40	1.37	0.61	1.68	0.98	0.54	1.65	-	t	1.96
27	27.256	1272	Hexyl acetate	-	1.18	0.56	t	0.87	0.63	t	0.95	0.81	0.85
I.S ³⁾	30.037	1308	Butyl benzene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	30.806	1320	(E)-2-Heptenal	4.86	4.68	6.75	3.64	8.68	2.12	5.80	5.20	7.12	3.72
29	31.763	1335	6-Methyl-5-heptene-2-one	3.86	2.11	3.93	3.46	4.35	1.31	4.78	10.00	4.36	6.46
30	33.201	1356	Hexanol	273.86	87.26	178.08	39.47	239.16	28.38	367.20	79.82	298.39	104.32
31	34.413	1373	Dimethyl trisulfide	1.18	1.07	1.47	1.81	1.54	0.94	3.24	3.44	0.99	1.76
32	35.145	1383	(Z)-3-Hexen-1-ol	52.64	19.66	13.26	6.59	8.44	3.05	59.08	9.56	13.62	8.37
33	36.625	1404	(E)-2-Hexen-1-ol	7.75	7.29	4.40	5.53	8.54	2.65	8.47	11.72	14.11	20.98
34	37.996	1427	(E)-2-Octenal	1.96	1.60	2.18	0.79	3.85	1.42	2.05	1.99	3.64	2.52
35	39.252	1447	Acetic acid	15.02	4.60	17.22	4.71	14.15	4.48	11.78	16.12	17.13	6.96
36	39.443	1450	3-Methyl thiopropanal	5.21	8.17	6.06	5.72	6.08	4.97	6.59	11.60	5.55	8.69
37	39.987	1458	Furfural	16.82	22.78	18.54	22.74	16.89	12.45	28.89	43.41	27.28	34.70
38	42.246	1492	2-Ethyl hexanol	5.83	6.03	6.97	5.64	8.76	4.81	7.63	13.16	9.04	5.29
39	42.818	1500	2-Acetyl furan	2.66	2.82	0.83	2.27	1.24	1.38	1.29	4.80	3.68	2.65
40	43.929	1518	Benzaldehyde	1.37	2.86	0.88	2.91	1.55	5.33	1.73	2.89	4.55	1.27
41	44.817	1536	(Z)-2-Decenal	-	t	-	t	-	t	-	-	1.44	-
42	45.882	1548	Linalool	t	1.48	0.87	2.08	2.59	1.42	3.73	1.96	1.77	2.05
43	46.838	1566	3-Methylpyrrole	-	0.67	-	-	-	0.51	-	1.94	1.01	1.25
44	51.367	1633	2-Acetyl thiazole	20.82	18.60	24.87	8.77	34.71	3.55	19.27	17.75	20.73	15.52
45	56.497	1718	3-Methylthiophene-2-aldehyde	1.81	7.14	-	t	-	2.63	-	3.36	-	-
46	60.856	1796	1-Phenyl-1-butanone	4.69	12.51	8.69	13.55	6.26	6.60	3.93	20.62	6.11	11.20
47	61.8	1811	(E,E)-2,4-Decadienal	-	1.93	0.63	t	-	t	2.18	-	10.37	1.97
48	63.068	1845	Hexanoic acid	10.33	0.63	9.11	0.89	4.50	0.96	8.80	t	11.69	3.62
49	64.354	1874	4,7-Dimethyl-4-octanol	-	t	-	t	-	t	-	-	1.86	-
50	67.775	1959	Benzothiazole	2.20	1.59	1.79	2.57	2.64	0.89	2.08	3.57	1.47	1.69
51	68.193	1971	1-Phenyl-1-butanol	14.04	19.48	15.34	16.31	17.78	7.41	16.62	33.75	13.05	18.64
52	75.423	2197	2-tert-Butylphenol	6.27	6.80	2.99	11.21	7.42	3.88	6.67	11.21	6.27	10.36
53	81.368	2385	γ-Dodecalactone	7.25	7.32	1.07	8.97	1.54	2.44	5.01	23.42	4.01	10.76
Total				1109.49	1058.99	1178.05	1101.62	1387.64	1366.58	1726.33	1406.40	1574.39	1294.39

¹⁾Retention time. ²⁾Retention index. ³⁾Internal standard. ⁴⁾Trace.

Table 2. Relative content of functional groups in volatile flavor components identified in unirradiated and irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam after 30 days of storage (Relative area %)

Functional groups	Irradiation dose (kGy)									
	0		0.25		0.5		1		3	
	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days
Aldehydes	46.49	59.56	59.19	30.58	55.41	25.25	57.80	50.60	54.90	64.62
Alcohols	34.94	16.49	20.07	10.55	24.34	4.65	28.68	14.92	25.37	15.19
Esters	3.80	3.45	3.73	20.74	5.92	61.95	2.47	9.41	8.42	3.47
furans	1.92	1.93	1.97	1.23	2.63	0.78	0.93	1.73	1.97	1.54
Ketones	2.35	4.92	2.32	26.52	1.94	1.96	1.44	7.51	1.62	3.79
N-Compounds	5.03	9.39	7.30	7.67	4.82	3.73	5.12	11.28	3.50	8.02
S-Compounds	0.81	1.70	0.64	0.97	0.62	0.72	0.75	1.73	0.53	1.07
Miscellaneous	4.66	2.55	4.77	1.74	4.33	0.96	2.81	2.82	3.68	2.32
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

로 만든 잼과 같은 열처리 과일에서도 확인되고 있는 성분으로 참기름의 휘발성 향기조성에도 기여하는 화합물이다(28). 또 다른 성분으로 대부분 카라멜화 반응으로 생성되는 furan 화합물(29)은 향료에 주로 쓰이는 발사믹 향의 2-acetyl furan을 비롯하여 2-ethyl furan, 2-pentyl furan이 확인되었으며 그 함량은 2.66 µg/kg, 4.79 µg/kg, 13.85 µg/kg으로 동정되었다. 이는 시료의 연속수증기증류추출법에 기인하는 것으로 사료된다. Aldehyde류 중 benzaldehyde는 1.37 µg/kg으로 동정되었고 이는 체리, 살구 및 복숭아 등에서 달콤한 향기(30)를 나타내는 물질로 알려져 있으며, 아몬드향(almond-like)(27)을 나타내는 성분으로도 알려져 있다.

신고배의 저장 중 향기성분 변화

저장기간 30일 동안 신고배로부터 총 1,058.99 µg/kg의 휘발성 향기성분을 회수하였으며, 동정된 성분은 총 52종으로 aldehyde류 13종(59.56%), alcohol류 12종(16.49%), ketone류 6종(4.92%), ester류 5종(3.45%), 황화합물 4종(1.7%), furan류(1.93%) 및 질소화합물(9.39%) 각각 3종, 그리고 기타화합물 6종(2.55%)으로 확인되었다(Table 2).

저장 전과 저장 후 신고배의 총 휘발성 향기성분의 함량은 각각 1,109.49, 1,058.99 µg/kg으로 약간 감소하였으나 비슷한 수준이었다. 관능기별로는 aldehyde류의 함량이 46.49%에서 59.56%으로 약간 증가한 것으로 나타났으며, Nanos 등(31)도 배의 성숙과 연화가 진행되는 과정 중에 aldehyde가 증가함을 보고하여 본 연구결과와 일치하였다.

C₆ lipid peroxidation product인 hexanal, n-hexanol, (E)-2-hexenal의 함량이 각각 379.24, 273.86, 102.33 µg/kg으로 확인되었고, 저장기간 동안 hexanal 및 (E)-2-hexenal은 미량 증가하였다. Alcohol류인 n-hexanol의 함량은 27.86 µg/kg이었으나 저장 후 87.26 µg/kg으로 약간 감소하였다.

전자선 조사된 신고배의 휘발성 향기성분

본 연구에서 5 kGy 선량으로 전자선 조사한 신고배에서 품질열화현상이 나타난 것이 확인되어(Fig. 2), 외관적 이상을 나타나지 않은 0.25, 0.5, 1 및 3 kGy로 조사한 신고배의 휘발성 향기성분 분석을 실시하였다. 전자선 조사된 신고배

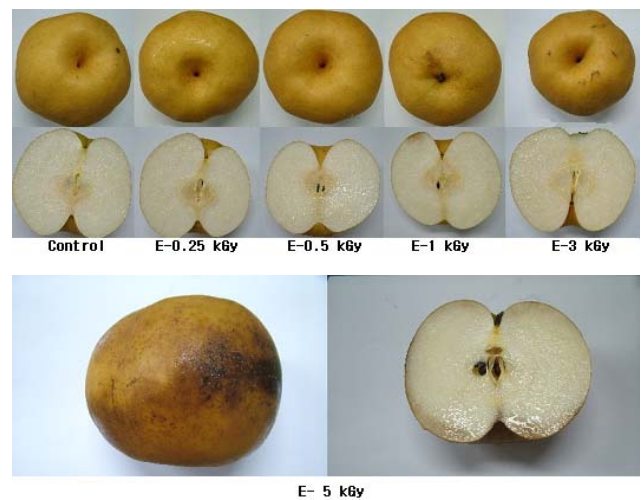


Fig. 2. Photographs of irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam.

를 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram 1 kGy은 Fig. 1에 나타내었고, 확인된 휘발성 향기성분의 조성과 함량을 Table 1과 2에 나타내었다. 전자선 0.25, 0.5, 1 및 3 kGy의 선량으로 조사한 신고배의 총 휘발성 향기성분은 1,178.05, 1,387.64, 1,726.33 및 1,574.39 µg/kg이었고, 각각 48, 53, 52 및 48종으로 확인되었다. 관능기별 주요 향기성분으로는 aldehyde류가 가장 많았으며 그 함량은 59.19, 55.41, 57.8 및 54.9%(0.25, 0.5, 1 및 3 kGy)로 비조사 신고배보다 전자선 조사한 신고배에서 aldehyde류의 함량이 높은 것을 확인하였으며, hexanal은 전자선 조사(0.25, 0.5, 1, 3 kGy)에 의하여 552.58, 621.83, 810.23, 660.09 µg/kg으로 1 kGy까지는 선량이 증가할수록 함량이 증가하다가 3 kGy에서 다소 감소하는 경향을 보였으나, 비조사 신고배의 휘발성 향기성분의 조성 과 유의적인 차이가 없음을 확인하였다(Fig. 3).

전자선 조사된 신고배의 저장 중 휘발성 향기성분 변화

전자선 조사한 신고배를 30일 간 4°C에 저장하여 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 4에 나타내었다. 전자선 0.25, 0.5, 1 및 3 kGy의 선량으로 조사하여 각 선량별 신고배의 휘발성 향기성분은 1,178.05, 1,387.64, 1,726.33 및

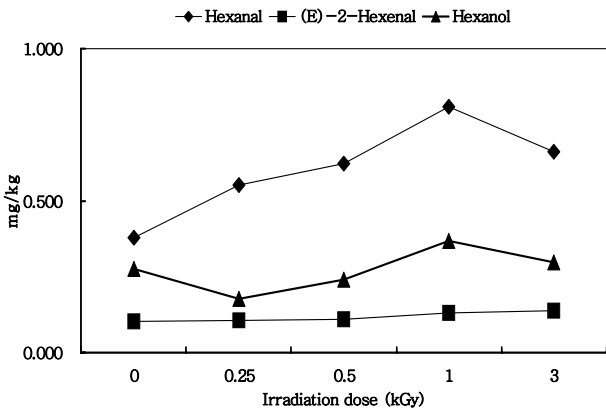


Fig. 3. Changes of C₆ lipid peroxidation products in irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam.

1,574.39 µg/kg으로 확인되었으며, 동정된 성분은 각각 48, 53, 52 및 48종으로 확인되었다. 선량별 전자선을 조사(0.25, 0.5, 1, 3 kGy) 후 4°C에서 30일간의 저장기간 동안 신고배의 휘발성 향기성분은 감소하였으며, 그 함량은 1,101.62, 1,366.58, 1,406.40, 1,294.39 µg/kg으로 확인되었다.

저장 30일 이후의 휘발성 향기성분 변화는 비조사 신고배의 경우 aldehyde류 함량이 다소 증가하여 59.56%로 확인되었으며, 전자선 조사 0.25, 0.5 및 1 kGy로 전자선 조사된 신고배의 함량은 각각 30.58, 25.25, 50.6%로 감소하다가 증가하는 경향을 보였고, 3 kGy로 전자선 조사된 신고배의 aldehyde류 함량은 64.62%로 일부 증가하였다. 전자선 조사를 하여 30일 저장한 후 aldehyde류의 증가는 휘발성 향기성분 중 alcohol류의 감소에 기인한 것으로 판단되었다. n-Hexanol의 함량은 전자선의 조사선량(0.25, 0.5, 1, 3 kGy)이 높아짐

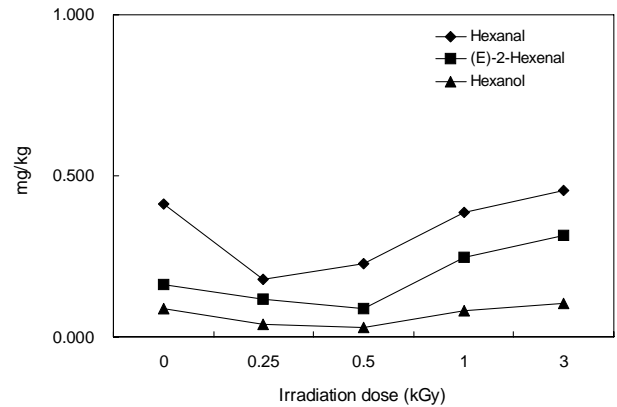


Fig. 5. Changes of C₆ lipid peroxidation products of irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam after storage at 4°C for 30 days.

에 따라 소량씩 증가하는 경향(178.08, 239.16, 367.2, 298.39 µg/kg)을 보였으며 3 kGy 조사 시 감소하였고(Fig. 5), 저장기간 동안 n-hexanol의 함량은 39, 28, 80 및 104.32 µg/kg으로 감소하였다.

비조사 신고배와 전자선 조사된 신고배에서의 휘발성 향기성분 비교

SDE 추출법과 GC/MS 분석방법으로 비조사 신고배와 전자선 조사한 신고배의 휘발성 향기성분을 비교하여 총 53종의 휘발성 향기성분을 확인하였다. 전자선 조사에 따른 휘발성 향기성분의 함량은 미량 차이가 있었으나 동정된 주요 화합물 및 기타 화합물의 조성에 유의적인 변화가 없었다.

신고배의 주요 향기성분이며 전자선 조사된 신고배에서도 동일한 주요 휘발성 향기성분으로 C₆ lipid peroxidation product류인 hexanal, n-hexanol, (E)-2-hexenal이 주요 향

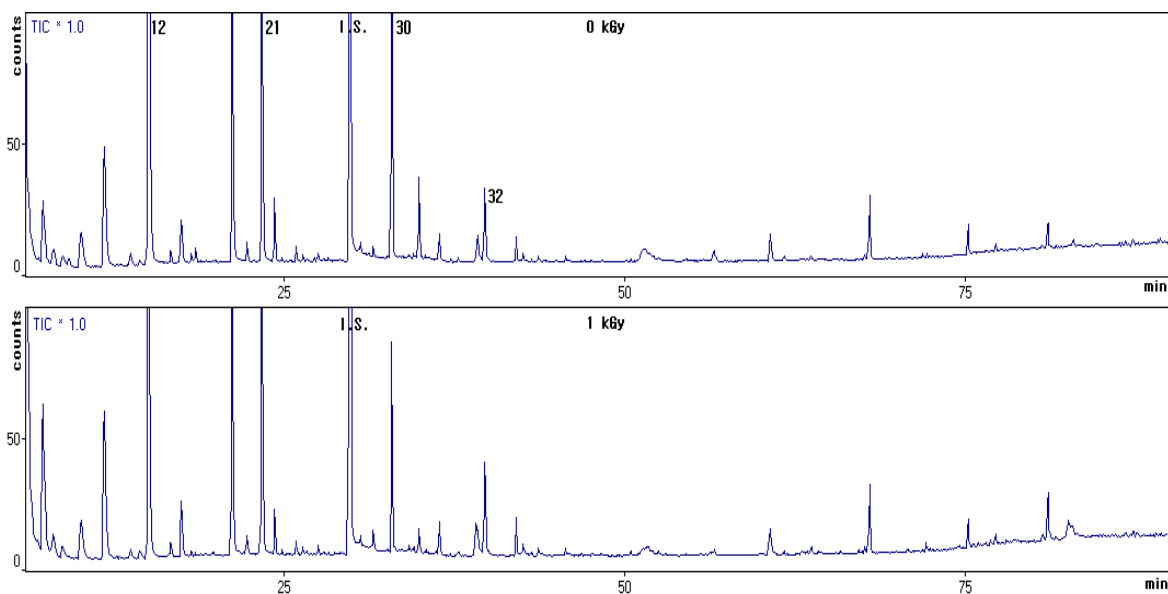


Fig. 4. GC/MS total ion chromatograms of the volatile flavor components in non- and irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam at 1 kGy after storage at 4°C for 30 days.

Table 3. Sensory evaluation of non- and irradiated Shingo pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) by electron beam after storage at 4°C for 30 days

Irradiation dose (kGy)	Sensory score											
	Color		Flavor		Texture		Sour		Sweet		Overall acceptance	
	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days	0 days	30 days
0	5.07 ^{a1)}	5.47 ^a	4.33 ^a	5.60 ^a	6.20 ^a	6.27 ^a	5.20 ^a	5.00 ^a	5.13 ^a	6.00 ^{ab}	5.20 ^a	5.93 ^a
0.25	6.13 ^a	5.47 ^a	5.67 ^a	5.13 ^a	6.53 ^a	6.40 ^a	5.60 ^a	4.60 ^a	6.27 ^{ab}	5.33 ^{bc}	6.33 ^a	5.27 ^{ac}
0.5	5.27 ^a	5.60 ^a	5.47 ^a	4.47 ^a	6.13 ^a	5.07 ^a	5.20 ^a	4.60 ^a	6.87 ^b	4.20 ^c	6.60 ^{ab}	4.33 ^{bc}
1	5.60 ^a	4.93 ^a	5.07 ^a	4.73 ^a	5.60 ^a	6.20 ^a	4.60 ^a	4.00 ^a	5.33 ^a	5.73 ^{abd}	5.20 ^a	5.60 ^{ac}
3	5.67 ^a	5.33 ^a	4.80 ^a	5.47 ^a	5.27 ^a	5.67 ^a	4.60 ^a	3.67 ^a	4.73 ^{ac}	6.87 ^{ad}	4.07 ^{ac}	6.73 ^a

¹⁾Values with different letters within a column differ significantly (p<0.05).

기성분으로 확인되었다. 비조사 신고배와 1 kGy로 전자선 조사된 신고배의 휘발성 향기성분의 총 함량은 1,109.49, 1,726.33 µg/kg이었으며, 저장기간 30일 동안 변화는 1,058.99, 1,406.4 µg/kg으로 확인되었다. 비조사 신고배보다 전자선 조사된 신고배에서 휘발성 향기성분이 증가를 보였으며, 전자선 조사가 휘발성 향기성분의 양적 변화에 일부 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 비조사 신고배는 저장기간 동안 aldehyde류의 화합물인 hexanal의 함량이 379.24 µg/kg에서 412.9 µg/kg으로 증가하였다. 그러나 1 kGy의 선량으로 전자선 조사한 경우 저장 전 810.23 µg/kg이었으나 저장 30일 동안 386.74 µg/kg으로 감소하였다. 전자선 조사한 신고배의 주요 향기성분으로 동정된 hexanal은 저장기간 동안 감소하였으며, 이는 전자선 조사에 의한 생육의 지연 또는 정지로 인한 것으로 사료된다. Fan 등(32)은 방사선 조사에 따른 과일의 휘발성 화합물의 생성 저해는 선량에 따라 증가하였다고 보고하였으며, alcohol류의 생성이 억제되었다고 하였다. 비조사 신고배와 전자선 조사한 신고배의 저장에서 alcohol류의 특징적인 변화를 확인하였으며, alcohol류 중 신고배의 주요 향기성분으로 동정된 n-hexanol의 함량은 전자선 조사 후 감소를 보인 주된 화합물이었다. 비조사 신고배는 저장 전 273.86 µg/kg에서 저장 후 87.26 µg/kg으로 전자선 조사에서와 동일한 감소의 경향을 확인하였다.

이상의 결과를 통하여 비조사 신고배와 전자선 조사된 신고배의 향기성분을 비교해 본 결과, 전자선 조사한 신고배에서 휘발성 향기성분은 미량 증가하였으나, 전체적인 신고배의 휘발성 향기성분의 조성에는 유의적 차이가 없음을 확인하였으며, 1 kGy이하의 저선량으로 조사하였을 경우 적정선량으로 사료된다.

관능평가

비조사 신고배와 전자선 조사한 신고배의 관능검사 결과는 Table 3과 같다. 패널 요원 15명이 각 평가 항목에 대하여 “가장 좋다(like extremely)”를 9점으로, “가장 싫다(dislike extremely)”를 1점으로 평가하였다. 전자선 조사의 결과 색(color)과 향(flavor), 조직감(texture), 산도(sour) 및 전체기호도(overall acceptance)는 유의적인 차이가 없었으나, 단맛(sweet)에서 약간 유의적인 차이가 있었다. 저장 전 비조

사 신고배와 전자선 3 kGy 조사 신고배를 제외한 0.25 kGy 이상 1 kGy 이하의 선량에서 선호도가 높은 경향을 볼 수 있었다. 전자선 조사 후 저장 30일 이후의 관능평가의 결과 색, 향, 조직감, 산도에서는 유의적인 차이가 없었으나, 단맛과 전체 기호도에서 유의적인 차이가 있었다. 5 kGy의 조사 선량에서 외관적 열화현상을 확인하였으며, 3 kGy의 관능평가를 통하여 조직감은 유의적인 차이가 없었으나, 3 kGy 이하의 저선량보다 낮은 선호도 경향을 나타낸 것으로 확인되어 이는 내적인 품질열화현상이 있는 것으로 사료된다.

요 약

신고배(*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka)의 휘발성 향기성분에 전자선 조사의 영향과 전자선 조사 후 저장기간에 따른 휘발성 향기성분의 변화를 확인하기 위하여 본 연구를 수행하였다. SDE 추출방법과 GC/MS 분석에 의하여 선량에 따른 신고배의 휘발성 향기성분을 분석하였다. 비조사 신고배와 전자선 0.25, 0.5, 1 그리고 3 kGy로 조사된 신고배에서 각각 46, 45, 44, 48 그리고 51종의 화합물을 동정하였다. 신고배의 주요 휘발성 향기성분으로는 C₆ 화합물인 hexanal, n-hexanol, (E)-2-hexenal이 분리 동정되었다. 4°C에서 30일 저장 후 신고배의 휘발성 향기성분의 조성은 유사하였으며, 저장기간 동안 크게 변화가 없었다. 소비자 수용성에 기여하는 휘발성 향기성분에 대하여 전자선 조사는 휘발성 향기성분의 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 관능평가 실시 결과, 1 kGy 이하의 저선량으로 전자선 조사된 배의 기호도가 대조군보다 오히려 약간 높은 것으로 나타났으며 유의적인 차이는 없었다. 위의 결과를 토대로 신고배의 전자선 조사기술을 적용하기 위해서는 다양한 실험방법을 통한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 원자력연구기반확충사업(M2-0709-00-5443)의 지원으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문헌

1. Rural Development Administration. 2007. The technical development strategy of a main item for enhance their competitiveness of agricultural and stockbreeding products against FTA. Seoul. Korea. p 588-603.
2. Kwon JH, Chung HW, Kwon YJ. 2000. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest at Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of Food and Public Health Industries and Quality Assurance. Daejeon, Korea. p 209-254.
3. Kwon YJ, Huh EY, Kwon JH, Byun MW. 1999. The present quarantine situation of imports & exports agricultural products and the prospect of irradiation technology use. *Food Science and Industry* 32: 80-90.
4. ICGFI. 1999. *Facts about food irradiation*. A series of fact sheets from the international consultative group on food irradiation, Vienna.
5. UNEP. 1995. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. p 1-294.
6. Seo ST, Akamine EK, Goo TTS, Harris EJ, Lee CYL. 1979. Oriental and mediterranean fruit flies: fumigation of papaya, avocado, tomato, bell pepper, eggplant and banana with phosphine. *J Econ Entomol* 72: 354-359.
7. Hatton TT, 1982. Cubbedge RH, Windeguth DL, Spalding DH. 1982. Phosphine as a fumigant for grapefruit infested by caribbean fruit fly larvae. *Proc Fla State Hort Soc* 95: 221-224.
8. Johnson J, Marcotte M. 1999. Irradiation control of insect pests of dried fruits and walnuts. *Food Technol* 53: 46-51.
9. Delincee H. 1998. Detection of irradiated food: DNA fragmentation in grapefruits. *Radiat Phys Chem* 52: 135-139.
10. Kader AA. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technol* 40: 117-121.
11. Schultz TH, Flath RA, Mon TR, Enggling SB, Teranishi R. 1977. Isolation of volatile components from a model system. *J Agric Food Chem* 25: 446-449.
12. Nickerson GB, Likens ST. 1966. Gas chromatography evidence for the occurrence of hop oil components in beer. *J Chromatogr* 21: 1-5.
13. Robert PA. 1995. *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy*. Allured Publishing Corporation, Illinois, USA.
14. Davies NW. 1990. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and carbowax 20M phases. *J Chromatogr* 503: 1-24.
15. Sadtler Research Laboratories. 1986. The sadtler standard gas chromatography retention index library. Sadtler, USA.
16. Association of Korean Standardization. 1992. General Method of Organoleptic Test. KS A7001.
17. Hultin HO, Proctor BE. 1961. Changes in some volatile constituents of the banana during ripening, storage and processing. *Food Technol* 15: 440-444.
18. Drawert F, Heima W, Emberger R, Tressl R. 1966. Biogenesis of aroma compounds in plant and fruit. II. Enzymatic formation of 2-hexen-1-al, hexanal and their precursors. *Liebigs Ann Chem* 694: 200-208.
19. Horvat RJ, Chapman GW. 1990. Comparison of volatile compounds from peach fruit and leaves (cv. Monroe) during maturation. *J Agric Food Chem* 38: 1442-1444.
20. Ismail HM, Williams AA, Tucknott OG. 1981. The flavor of plums (*Prunus domestica* L.). An examination of the aroma components of plum juice from the cultivar victoria. *J Sci Food Agric* 32: 613-619.
21. Hatanaka TK, Sekiya J, Inouje S. 1982. Solubilization and properties of the enzyme cleaving 13-L-hydroperoxylinoleic acid in tea leaves. *Phytochem* 21: 13-17.
22. Kazenica ST, Hall RM. 1970. Flavor chemistry of tomato volatiles. *J Food Sci* 35: 519-530.
23. Tang J, Zhang Y, Hartman T, Rosen RT, Ho CT. 1990. Free and glycosidically bound volatile compounds in fresh celery (*Apium graveolens* L.). *J Agric Food Chem* 38: 1937-1940.
24. George AB. 1995. *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, USA.
25. Lee HJ, Park ER, Kim SM, Kim KY, Kim KS. 1998. Volatile flavor components in various varieties of pear (*Pyrus pyrifolia* N.). *Korean J Food Sci Technol* 30: 1006-1011.
26. Suwanagul A, Richardson DG. 1998. Identification of headspace volatile compounds from different pear (*Pyrus communis* L.) varieties. *Acta Horticulturace* 475: 605-623.
27. Norton ID, Macleod AJ. 1990. Food flavors part C. In *The Flavor of Fruits*. Elsevier, N.Y.
28. Da Cruz Francisco J, Jarvenpaa EP, Huopalahti R, Sivik B. 2001. Comparison of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. oils from Mozambique as obtained by hydrodistillation and supercritical carbon dioxide extraction. *J Agric Food Chem* 49: 2339-2342.
29. Kim YS, Oh HI. 1993. Volatile flavor components of traditional and commercial kochujang. *Korean J Food Sci Technol* 25: 494-501.
30. Chung MS, Lee MS. 2003. Analysis of volatile compounds in elsholtzia splendens by solid phase microextraction. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 79-82.
31. Nanos GD, Romani RJ, Kader AA. 1992. Metabolic and other responses of 'Bartlett' pear fruit and suspension-cultured 'Passe-Crassane' pear fruit cells held in 0.25% O₂. *J Amer Soc Hort Sci* 177: 934-940.
32. Fan X, Argenta L, Matheis J. 2001. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening gala apple fruit. *J Agric Food Chem* 49: 254-262.

(2008년 1월 21일 접수; 2008년 2월 13일 채택)