

방사선 조사된 건조고추의 휘발성 유기화합물 변화

심성례 · 서혜영 · 김준형 · 노기미 · 양수형 ·
Rajendra Gyawali · 박은령¹ · 이강봉¹ · 이윤동¹ · 명동호² · 김경수[†]
조선대학교 식품영양학과, ¹식품의약품안전청, ²대인물산

Change of the Volatile Organic Compounds from Irradiated Dried-Red Pepper

Sung-Lye Shim, Hye-Young Seo, Jun-Hyeong Kim, Ki-Mi No, Su-Hyeong Yang,
Rajendra Gyawali, Eun-Ryong Park¹, Kang-Bong Lee¹, Yun-Dong Lee¹
Dong-Ho Myoung² and Kyong-Su Kim[†]
Department of Food and Nutrition, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea
¹Korea Food & Drug Administration, Seoul 122-704, Korea
²Dain foods Co., Ltd, Kwangju 506-258, Korea

Abstract

Compare with volatile organic compounds from unirradiated and irradiated dried-red pepper that is representative spice of Korea. Volatile compounds from unirradiated and irradiated dried-red pepper were extracted using simultaneous distillation-extraction(SDE) apparatus and analyzed by Gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS). A total of 61 and 62 compounds were identified from unirradiated and irradiated dried red pepper at dose of 10 kGy. These compounds included alcohols, aldehydes, furans, hydrocarbons, ketones, N-containing compounds, terpenes and miscellaneous compounds. Furfural, benzaldehyde, linalool, nerolidol, α -curcumene, α -zingibirene were detected as the major volatile compounds from dried-red pepper. Specially, 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene was confirmed as a marker of irradiated dried-red pepper because is not detected in unirradiated dried-red pepper.

Key words : red pepper, irradiation, 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene

서 론

한국 사람의 식단에서 빠지지 않는 향신료 중의 하나인 고추는 김치, 고추장 등 여러 음식에 기본 재료로써 많이 소비되고 있다. 학명으로는 *Capsicum annuum*으로 가지과에 속하는 작물로서 열대지방에서는 다년생, 온대지방에서는 1년생이고(1) 우리나라는 세계 제 7위의 주요 생산국이다(2). 고추는 고기나 물고기의 냄새를 중화시키고 그 보존에도 효과가 있을 뿐만 아니라(3) 비타민 A, B1, B2 및 C 등이 함유되어 있으며 특히 다른 향신료에 비해 비타민 C가 많이 함유되어 있는데 이는 항암 효과와 활성산소를

제거하는 항산화 작용, 임파조직 강화, 혈관 강화, 전염병 예방 등의 기능이 있다(4). 또한, 고추의 색소는 면역반응을 증강하고, 항산화, 항암작용을 하며, 매운맛 성분인 capsaicin은 식욕증진 외에 혈행을 좋게 해서 몸을 덥게 하는 효과가 있다.

일반적으로 고추는 착과된 열매 모두가 판매되며 연속 수확되므로 단위 면적당 생산성이 높은 작물이다(3) 생고추로도 소비되고 건조해서 고춧가루로 사용하여 여러 요리에 부수적으로 많이 사용되며 엄 등(5)은 고추를 쓰고 남은 잔재인 고추대를 이용하여 제지용 보조 섬유로 사용할 수 있음을 발표하였다. 고추의 수확 시기는 8월초에서 10월초에 집중되며 기상조건이 고온 다습하기 때문에 생고추 상태로 장기저장을 할 수 없고 설령 생고추를 저장할 수 있는 우수한 저장시설을 갖추고 있다하더라도 부패하기 쉬운

[†]Corresponding author. E-mail : kskim@chosun.ac.kr,
Phone : 82-62-230-7724, Fax : 82-62-224-8880

연한 조직을 가지고 있어 장기간 저장을 기대하기 어렵다(6). 장기간 저장을 위한 방법으로 건조하여 사용하나 이때 문제가 되는 것이 각종 유해 세균의 침입이다. 이 전까지는 향신료를 포함한 건조식품의 위생화방법으로 ethylene oxide 훈증법이 가장 대표적이었지만 안전성 문제로 인해 국내외적으로 사용이 금지되었고 검역 및 저장 해충의 살충에 사용되는 methyl bromide 역시 오존층 파괴물질로 판명되어 점차 국제적으로 사용이 억제된다(7-9). 이에 효과적으로 대처할 수 있는 방사선 조사법은 살균, 살충, 발아억제, 숙도 조절의 목적으로 1921년 처음 미국에서 처음으로 제안되어 1950년부터 많은 식품에 이용되고 있다(10).

오늘날 국제 무역에 있어 모든 식품에 대해 조사를 허용하고 있는 국제식품규격위원회(Codex)에서는 식품의 감마선 조사 기준이 권고에 머무르지 않고 OECD 가입국에 대해 강제적으로 시행되고 있는 만큼 조만간 우리나라에서도 식품의 감마선 조사 기술은 필수 불가결한 식품 위생 기술로 이용될 전망이다. 그러나 아직도 방사선 조사식품의 산업적 활용도 확산과 소비자의 수용성 제고를 위해서는 많은 노력과 시간이 필요한 실정이다(11-13).

식품의 방사선 조사는 WHO(World Health Organization), IAEA(International Atomic Energy Agency), FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)와 같은 국제기구에서 인정받아 52개국에서 향신료, 곡류, 과채류, 육류, 그리고 해산물 등 250여 개의 식품에 허가되어 있다(14,15). 식품위생법상에는 건조 향신료 및 조제품들은 10 kGy 이하로 허용하고 있으며, IAEA 자료에 의하면, 우리나라는 건고추와 관련이 있는 red pepper paste powder가 7 kGy의 허용선량을 나타낼 수 있다(14).

건고추는 연간 소비량이 3.5 kg에 달하고 김치 등에서 맛과 색을 내는 부재료로써 국내 향신료 중 식품가공 부원료 및 가정에서 가장 많이 사용되기 때문에 방사선 조사된 건고추의 성분을 분석함으로써 방사선 조사에 의한 성분 분석의 변화에 대해 연구할 필요성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 방사선 조사된 건고추의 유기화합물 변화를 SDE 방법으로 추출하고 GC-MS로 분석하여 방사선 조사검지를 위한 marker로서 이용 가능성을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에서 사용한 건고추(*Capsicum annum* L.)는 2004년 산을 산지에서 구입하여 포장한 다음, 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci의 ⁶⁰Co 감마선 조사시설에서 시간당 2.5 kGy 선량율로 20 kGy의 흡수선량을 얻도록 조사하였으며 흡수선량의 오차는 ±0.02 kGy이었다. 이를 비조사 시료와 함께 -18℃에 보관하면서 사용하였다.

휘발성 유기화합물의 추출

건고추 50 g을 blender (Braun, MR 550 CA)로 분쇄하고 증류수 1 L를 혼합하여 휘발성 유기화합물 추출용 시료로 사용하였다.

휘발성 유기화합물의 추출은 Schultz 등(16)의 방법에 따라 개량된 연속수증기증류추출장치(Likens and Nickerson type simultaneous steam distillation and extraction apparatus, SDE)(17)을 이용하여 상압 하에서 2시간 동안 추출하였다. 이때 휘발성 유기화합물의 추출용매는 재증류한 n-pentane과 diethylether 혼합용매 (1.1, v/v) 200 mL를 사용하였으며 추출 후 추출 용매층에 무수 Na₂SO₄를 가해 하루 동안 방치하여 수분을 제거하였다. 정량분석을 위해 0.1 mL의 n-butylbenzene을 내부표준물질로서 시료에 첨가하였다. 유기화합물의 유기용매 분획분은 Vigreux column (Normschliff Geratebau, Germany)을 사용하여 약 2 mL까지 농축하고 GC/MS의 분석시료로 하였다.

휘발성 유기화합물의 분석

SDE 방법으로 추출하여 농축된 시료를 GC/MS에 의하여 분석하였다. GC/MS는 Shimadzu GC/MS QP 5000을 이용하였고, 시료의 ion화는 electron impact ionization(EI)방법으로 행하였다. Column은 DB-Wax capillary column (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, J&W, USA)을 사용하였고, temperature program은 40℃에서 3분간 유지한 후, 150℃까지 2℃/min 속도로, 200℃까지 4℃/min 속도로 승온 시켜 10분간 유지하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250℃와 300℃였고, carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하였으며, 시료주입은 1 μL를 split ratio 1:20으로 하였다. Ion source temperature는 250℃, ionization voltage는 70 eV, 그리고 분석할 분자량의 범위 (m/z)는 40 ~ 350으로 하여 분석하였다.

휘발성 유기화합물의 확인

GC/MS의 분석에 의해 total ion chromatogram(TIC)에 분리된 각 peak의 성분분석은 mass spectrum library(WILEY 139, NIST 62, NIST 12)와 mass spectral data book의 spectrum(18,19)과의 일치, 문헌상의 retention index(20,21)와의 일치 및 본 실험실에서 구축된 RI data와의 일치 그리고 표준물질의 분석 data를 비교하여 확인하였다. RI(retention index)는 다음과 같은 식에 의하여 구하였다.

$$RI = \left[n + \frac{(\log X - \log Y)}{(\log Z - \log Y)} \right] \times 100$$

여기서 n은 n-alkane의 탄소수이고 X는 구하고자 하는 peak retention time, Y는 C_n peak의 retention time, Z는 C_{n+1} peak의 retention time이다.

결과 및 고찰

건고추에서 확인된 휘발성 유기화합물

n-Pentane과 diethylether 혼합용액 (1:1, v/v)을 추출용매로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기화합물을 추출하여 농축하였다. 건고추와 방사선 조사된 건고추를 GC-MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 1에, 이들 성분과 상대적 농도는 Table 1에 나타내었다.

건고추에서 추출 분리된 휘발성 유기화합물 중에서 관능기별로 확인된 총 peak area는 terpene류가 43.26%를 차지하여 가장 높은 면적비를 보였고 이어서 aldehyde류 28.94%, ketone류 7.78%, 기타 5.53%, hydrocarbon류 4.72%, N-containing compound류 3.65%, alcohol류 3.4%, furan류 2.72% 순으로 나타났다(Table 2). 건고추에서 확인된 주요 휘발성 유기화합물은 furfural(7.73%), benzaldehyde (6.10%), nerolidol(5.44%), α -curcumene(5.09%), 3-methylbutanal (4.22%)

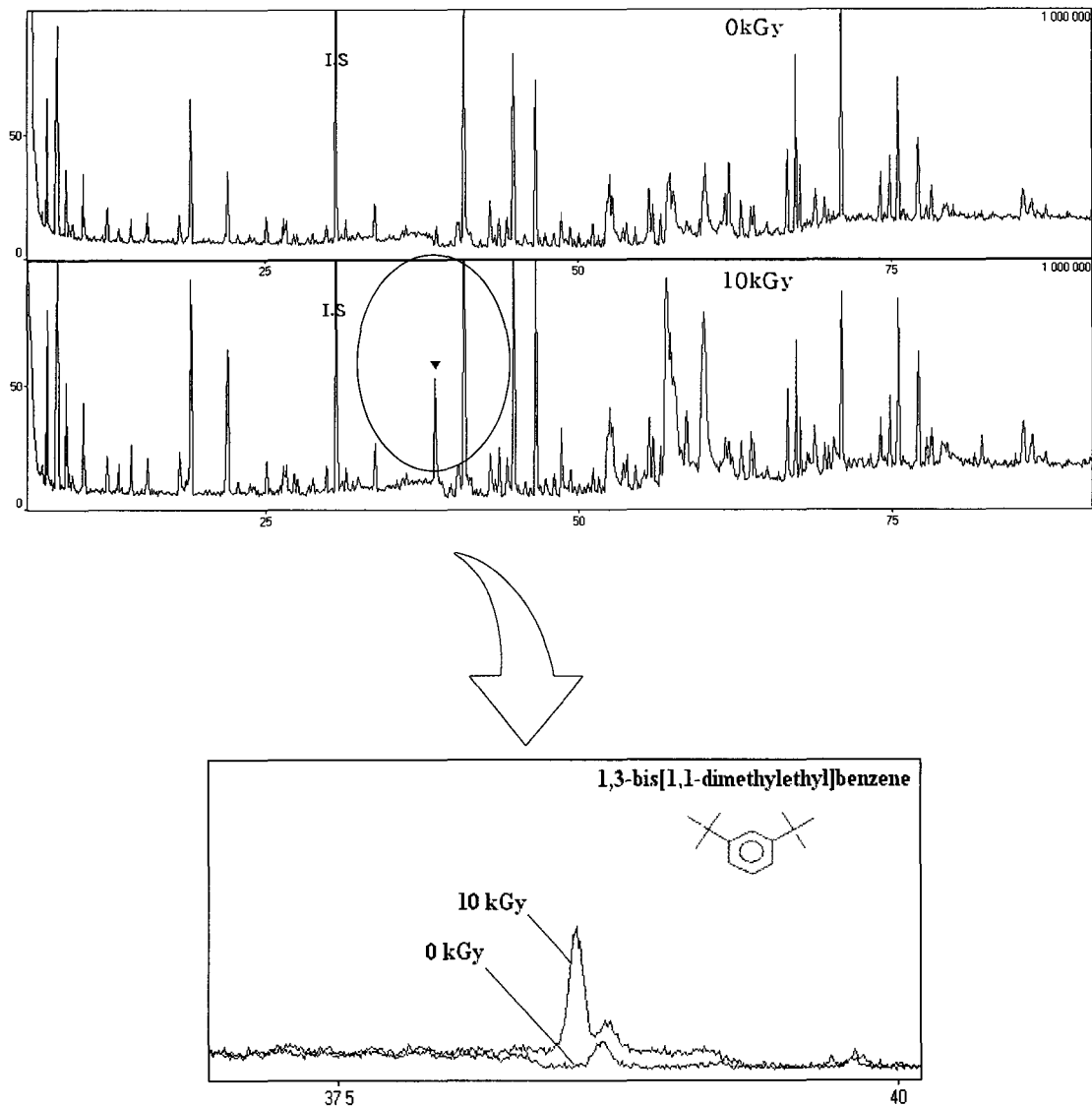


Fig. 1. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from unirradiated and irradiated dried-red pepper.

비조사된 건고추에서 분리 동정된 성분은 총 61종으로, alcohol류가 6종, aldehyde류가 13종, furan류가 5종, hydrocarbon류가 3종, ketone류가 8종, N-containing compound류가 4종, terpene류가 19종, 기타 3종으로 동정되었다 (Table 2).

및 longibirneol(4.02%) 등이었다.

Aldehyde류 중 benzaldehyde는 체리, 살구 및 복숭아 등에서 달콤한 향기를 내는 물질(22)로서 furfural 다음으로 높은 면적비를 나타내었고, 2-methylbutanal과 3-methylbutanal의 함량도 상당하였다. 시료의 분쇄과정 중 효소 불활성화 처

Table 1. Identified compounds from unirradiated and irradiated dried-red pepper

No.	RT ¹⁾	RI ²⁾	Compound name	MF ³⁾	MW ⁴⁾	Dried-red pepper ⁵⁾		Dried-red pepper ⁶⁾	
						0 kGy	10 kGy	0 kGy	10 kGy
1	7.648	873	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	2.81	3.04	0.446	0.709
2	8.337	902	2-Methylbutanal	C ₅ H ₁₀ O	86	2.03	2.21	0.322	0.515
3	8.467	906	3-Methylbutanal	C ₅ H ₁₀ O	86	4.22	4.63	0.670	1.079
4	9.160	930	Ethanol	C ₂ H ₆ O	46	1.42	1.65	0.225	0.386
5	9.402	938	3-Buten-2-one	C ₄ H ₆ O	70	0.24	0.33	0.038	0.078
6	9.661	946	2-Ethyl furan	C ₆ H ₈ O	96	0.40	0.39	0.063	0.091
7	10.521	971	2,3-Butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	86	1.38	1.57	0.219	0.366
8	13.348	1038	Toluene	C ₇ H ₈	92	0.25	0.31	0.040	0.073
9	14.338	1057	2,3-Pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	100	0.69	0.78	0.110	0.181
10	15.639	1080	Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	0.67	0.70	0.106	0.164
11	18.173	1123	3-Penten-2-one	C ₅ H ₈ O	84	0.59	0.77	0.093	0.180
12	18.975	1137	1-Methyl pyrrole	C ₅ H ₇ N	81	0.42	0.54	0.067	0.126
13	19.074	1138	o-Xylene	C ₈ H ₁₀	106	3.71	3.79	0.588	0.884
14	22.015	1183	Pyridine	C ₅ H ₅ N	79	2.06	2.75	0.326	0.642
15	24.170	1215	(E)-2-Hexenal	C ₆ H ₁₀ O	98	0.27	0.28	0.043	0.066
16	25.114	1230	2-Pentyl furan	C ₆ H ₁₄ O	138	0.65	0.65	0.103	0.152
17	26.485	1251	(E)-β-Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.48	0.46	0.076	0.107
18	26.695	1254	Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	88	0.59	0.54	0.094	0.125
19	27.307	1262	Dihydro-2-methyl-3[2H]-furanone	C ₅ H ₈ O ₂	100	0.33	0.48	0.052	0.113
20	27.568	1266	Methyl pyrazine	C ₅ H ₆ N ₂	94	0.27	0.29	0.043	0.067
21	29.904	1298	3-Hepten-2-one	C ₇ H ₁₂ O	112	0.68	0.55	0.108	0.128
IS	30.680	1309	Butylbenzene	C ₁₀ H ₁₄	134	-	-	-	-
22	31.117	1316	4-Methyl pentanol	C ₆ H ₁₄ O	102	0.09	0.20	0.014	0.047
23	31.442	1321	(E)-2-Heptenal	C ₇ H ₁₂ O	112	0.67	0.49	0.106	0.115
24	33.749	1356	4-Ethyl undecane	C ₁₃ H ₂₈	184	0.76	0.69	0.121	0.160
25	35.993	1387	3,4-Epoxy-2-pentanone	C ₆ H ₁₀ O ₂	114	0.33	0.14	0.052	0.032
26	38.576	1427	1,3-Bis[1,1-dimethylethyl]-benzene	C ₁₄ H ₂₂	190	-	2.00	-	0.466
27	40.343	1454	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60	0.50	0.42	0.079	0.097
28	40.86	1462	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	7.73	8.47	1.225	1.976
29	42.921	1492	(E,E)-2,4-Heptadienal	C ₇ H ₁₀ O	110	1.12	0.30	0.178	0.070
30	43.653	1503	2-Acetyl furan	C ₆ H ₈ O ₂	110	0.86	1.11	0.136	0.258
31	44.802	1522	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	6.10	6.01	0.968	1.403
32	46.567	1550	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	4.46	4.60	0.707	1.072
33	47.354	1562	Octanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.30	0.32	0.047	0.076
34	48.012	1571	5-Methylfurfural	C ₆ H ₈ O ₂	110	0.35	0.38	0.057	0.089
35	49.389	1592	5-Methyl-2-acetylfuran	C ₇ H ₈ O ₂	124	0.50	0.63	0.079	0.147
36	51.166	1621	4-Methylbenzaldehyde	C ₈ H ₈ O	120	0.60	0.54	0.096	0.126
37	52.304	1640	Phenylethanal	C ₈ H ₈ O	120	2.55	2.12	0.388	0.494
38	52.725	1647	Safranal	C ₁₀ H ₁₄ O	150	1.67	1.43	0.264	0.333
39	53.596	1661	Furfuryl alcohol	C ₅ H ₆ O ₂	98	0.54	1.17	0.085	0.273
40	53.881	1666	Isoborneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.40	0.67	0.064	0.156
41	54.533	1676	2-Butanoylfuran	C ₈ H ₁₀ O ₂	138	0.31	0.10	0.049	0.022
42	55.648	1694	β-Himachalene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.72	1.90	0.273	0.443
43	55.940	1698	Terpinyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.73	0.42	0.116	0.099
44	57.141	1721	α-Zingibrene	C ₁₅ H ₂₄	204	2.96	4.53	0.470	1.057
45	57.595	1729	2-Formyl-5-methylthiophene	C ₆ H ₆ O _S	126	2.22	1.33	0.352	0.310
46	59.686	1767	(E,Z)-2,4-Decadienal	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.22	0.44	0.035	0.103
47	59.944	1772	α-Ylangene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.67	2.88	0.265	0.671
48	60.102	1774	α-Curcumene	C ₁₅ H ₂₂	202	5.09	8.93	0.808	2.082
49	61.737	1804	α-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	192	2.17	0.76	0.344	0.178
50	62.011	1811	(E,E)-2,4-decadienal	C ₁₀ H ₁₆ O	152	2.41	0.72	0.382	0.167

¹⁾Retention Time, ²⁾Retention Index, ³⁾Molecular Formula, ⁴⁾Molecular weight, ⁵⁾Peak Area(%), ⁶⁾Relative Content(mg/kg)

Table 1. Continued

No.	RT ¹⁾	RI ²⁾	Compound name	M.F ³⁾	MW ⁴⁾	Dried red pepper ⁵⁾		Dried red pepper ⁶⁾	
						0 kGy	10 kGy	0 kGy	10 kGy
51	63.770	1851	Geranyl propionate	C ₁₃ H ₂₂ O ₂	210	0.92	0.86	0.146	0.200
52	64.017	1857	Geranyl acetone	C ₁₃ H ₂₂ O	194	1.04	0.61	0.166	0.142
53	66.508	1915	Phenethyl alcohol	C ₈ H ₁₀ O	122	0.46	0.03	0.073	0.008
54	67.332	1938	Longiborneol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	4.02	2.45	0.638	0.571
55	67.677	1947	β-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	192	1.26	1.17	0.200	0.273
56	68.831	1979	2-Acetyl pyrrole	C ₆ H ₇ NO	109	0.90	0.88	0.142	0.206
57	69.639	2000	β-Ionone epoxide	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	208	1.04	0.56	0.165	0.131
58	70.977	2040	Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	5.43	2.67	0.862	0.618
59	74.078	2138	Hexahydrofarnesyl acetone	C ₁₈ H ₃₆ O	268	1.37	1.37	0.217	0.318
61	74.821	2165	Pentadecyl acetate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	1.84	1.70	0.292	0.397
61	75.485	2190	4-Hydroxy-β-ionone	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	208	5.08	4.06	0.806	0.948
62	77.119	2245	4-Hydroxy-3-methylacetophenone	C ₉ H ₁₀ O ₂	150	3.54	3.23	0.561	0.754
						100.00	100.00	15.320	23.320

¹⁾Retention Time, ²⁾Retention Index, ³⁾Molecular Formula, ⁴⁾Molecular weight, ⁵⁾Peak Area(%), ⁶⁾Relative Content(mg/kg)

리를 하지 않았기 때문에 풀냄새(green note)로 특정 지어지는 고농도 C₆ lipid peroxidation product류 즉, hexanal도 확인되었다(23). Mateo 등은(24) sweet pepper라고 불리는 파프리카의 휘발성 향기성분에 관한 연구로 가지 친 methyl기가 aldehyde의 산화에 의한 산과 효소 분해 작용이나 축합반응을 통해 기인한 것으로 보고하였다.

대부분 카라멜화 반응으로 생성되는(25) furan 화합물은 2-acetyl furan을 비롯하여 5종이 확인되었다. Hydrocarbon류는 비조사된 건고추에서 o-xylene, toluene, 4-ethyl undecane을 포함하여 총 3종이 검출되었다.

Ketone류는 4-hydroxy-3-methylacetophenone, 2,3-butanedione, 2,3-pentanedione 등 8종이 검출되었으며 terpene류는 모두 19종으로, 이 중 (E)-β-ocimene, β-himachalene, α-ylangene, α-zingibirene을 제외한 나머지는 mono-, sesquiterpene의 유도체로서 동정되었다. Terpene 화합물들은 다른 화합물에 비해 많은 함량을 나타내었고 대표적인 화합물은 linalool, flower oil로 알려진 α-curcumene, nerolidol, 4-hydroxy-β-ionone 등이었다. N-containing compound류는 pyridine을 비롯하여 4종이 검출되었다.

방사선 조사한 건고추에서 확인된 휘발성 유기화합물

방사선 조사한 건고추에서의 분리 동정된 성분은 총 62종으로, alcohol류가 6종, aldehyde류가 13종, furan류가 5종, hydrocarbon류가 4종, ketone류가 8종, N-containing compound류가 4종, terpene류가 19종, 기타 3종으로 동정되었다(Table 2).

방사선 조사한 건고추에서 추출 분리된 휘발성 유기화합물 중에서 관능기별로 확인된 총 peak area는 terpene류가 42.03%, aldehyde류 27.29%, ketone류 7.85%, hydrocarbon류 6.79%, 기타 4.79%, N-containing compound류 4.46%, alcohol류 3.91%, furan류 2.88% 순으로 나타났다(Table 2).

이 중 terpene류와 aldehyde류가 상당한 면적비를 기록하는 것으로 보아 건고추의 휘발성 유기화합물 특성에 기여함을 알 수 있었다. 방사선 조사한 건고추에서 확인된 주요 휘발성 유기화합물은 비조사된 건고추와 유사함을 보였고 조사한 건고추에서만 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene의 생성을 확인 할 수 있었다.

Table 2. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from unirradiated and irradiated dried-red pepper at 10kGy

Functional group	Unirradiated dried-red pepper		Irradiated dried-red pepper	
	Area %	No	Area %	No
Alcohols	3.4	6	3.91	6
Aldehydes	28.94	13	27.29	13
Furans	2.72	5	2.88	5
Hydrocarbons	4.72	3	6.79	4
Ketones	7.78	8	7.85	8
N-containing Compounds	3.65	4	4.46	4
Terpenes	43.26	19	42.03	19
Miscellaneous	5.53	3	4.79	3
	100	61	100	62

건고추와 방사선 조사한 건고추에서의 휘발성 유기화합물 비교

전체적으로 방사선을 조사함으로써 aldehyde류와 terpene류가 미량으로 감소하는 경향을 보였고, hydrocarbon류와 N-containing compound류가 소량 증가하는 경향을 보였다.

Alcohol류 중 linalool이 비조사된 시료에서 0.707 mg/kg, 조사된 시료에서 1.072 mg/kg를 차지하여 비교적 높은 면적비를 나타내었고, 장미향으로 대표되는 phenethyl alcohol은

비조사된 시료에서 0.073 mg/kg에서 조사한 후에는 0.008 mg/kg을 나타내어 감소한 것을 확인할 수 있었다. N-containing compound 류는 두 시료 모두 4종이 검출되었으나 대조군과 비슷한 양상을 보였다. 건고추에서 가장 많은 함량을 기록한 furfural은 1.225 mg/kg에서 조사후에 1.976 mg/kg으로 증가하였고, benzaldehyde는 0.968 mg/kg에서 조사후에 1.403 mg/kg으로 소량 증가함을 보였다.

Furan 화합물 중 2-acetyl furan은 향료에 주로 쓰이는 발사믹향(26)으로 묘사되며 0.136 mg/kg에서 조사 후에 0.258 mg/kg으로 증가하였다. Hydrocarbon류는 비조사된 건고추에서 o-xylene, toluene, 4-ethyl undecane을 포함하여 총 3종이 동정되었고 조사된 시료에서는 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene을 추가하여 검출되었다. 특히 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene은 비조사된 시료에서는 발견되지 않고 조사된 시료에서만 0.466 mg/kg를 기록하여 조사 후 생성된 화합물임을 알 수 있었다. 이러한 xylene, benzene 유도체들은 carotenoid로부터 생성된다고 알려져 있으며(27), ionone을 포함한 toluene, xylene, 1,1,6-trimethyl-2-dihydronaphthalene 및 dimethyl naphthalene 등은 β -carotene의 열분해 생성물로서 이미 확인된 바 있다(28). 김 등(29)은 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene을 닭고기의 방사선 조사 판별을 위한 표지물질로 선정하기도 하였다.

Ketone류는 비조사된 시료와 조사된 시료에서 동일하게 8종이 검출되었고 이들은 방사선 조사후에도 함량에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

건고추에서 확인된 terpene 화합물은 비조사된 시료와 조사된 시료에서 동일하게 19종으로 나타났고, 이 중 (E)- β -ocimene, β -himachalene, α -ylangene, α -zingibirene을 제외한 나머지는 mono-, sesquiterpene의 유도체로서 동정되었다. 특히 flower oil로 알려진 α -curcumene은 0.808 mg/kg에서 조사 후에 2.082 mg/kg로 크게 증가한 것을 확인할 수 있었다. 대부분의 휘발성분들은 terpene 뿐만 아니라 carotenoids와 지질의 분해로부터 유도되어 동정되기도 하는데 carotenoid의 분해산물로 알려진 α -ionone, β -ionone, β -ionone epoxide 및 4-hydroxy- β -ionone 등도 검출되었으며, sesquiterpene인 zingibirene은 mexico 산 고추의 휘발성분에서도 확인할 수 있었다(28).

조사된 시료와 비조사된 시료를 비교해 본 결과, 건고추의 대표적인 휘발성 유기화합물로는 furfural, linalool, benzaldehyde, nerolidol, α -curcumene 및 α -zingibirene 임을 알 수 있었다. 동정된 성분들 중에서 benzaldehyde와 nerolidol은 방사선 조사한 후에 감소하였고, furfural과 linalool, α -zingibirene, α -curcumene은 방사선 조사한 후에 증가하였다. 또한, 조사 전과 비교하여 선량별 조사 후에 휘발성 유기화합물의 함량은 비조사 시료에서는 15.320 mg/kg이었고, 10 kGy에서는 23.320 mg/kg으로 증가한 것으로 나타났다.

특히 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene은 비조사된 시료에서는 발견되지 않아 건고추의 방사선 조사여부를 확인하는데 중요한 성분으로 이용가능성이 높을 것으로 생각된다. 따라서 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene을 방사선 조사 marker로 선정하기 위해서는 다양한 실험방법을 통한 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 우리 나라의 대표적인 향신료 중의 하나인 건고추의 휘발성 유기성분을 n-pentane과 diethylether 혼합용매를 추출용매로 사용하여 연속증류추출장치로 휘발성 유기화합물을 추출하고 이를 GC/MS로 사용하여 분석·확인하였다. 건고추와 조사된 건고추에서 확인된 성분은 각각 61종과 62종으로, 관능기별 상대 면적비는 대체적으로 terpene류, aldehyde류가 두드러지는 경향을 보여 건고추의 주요 휘발성 유기화합물에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 건고추의 대표적인 휘발성 유기화합물로는 furfural, benzaldehyde, linalool, nerolidol, α -curcumene 및 α -zingibirene 등이었으며, benzaldehyde와 nerolidol, phenethyl alcohol은 방사선 조사한 후에 감소하였고, furfural과 linalool, α -zingibirene, α -curcumene은 방사선 조사한 후에 증가하였다. 특히 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene은 대조군에서는 발견되지 않아 건고추의 방사선 조사여부를 확인하는데 중요한 성분으로 이용가능성이 높을 것으로 판단되었다. 따라서 1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene을 방사선 지시물질로 확실하게 판별하기 위해서는 다양한 실험방법을 통한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 전통식품 첨단화 인력양성 사업단 산학협력연구비(NURI)의 지원을 받아 연구되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, B.K. and Kwon, J.H (2004) Effects of irradiation and fumigation on physicochemical properties of red pepper during storage. Korean J. Food Culture., 19, 491-498
2. Park, S.H., Koo, H.J., Lim, H.S., Yoo, J.H., Hwang, S.Y., Shin, E.H., Park, Y.H., Lee, J.H. and Cho, J.S. (2003)

- The physicochemical changes during storage of red pepper powder dried in hot-air by various processing methods. Korean J. Nutr., 21, 876-881
3. Seong, K.Y., Choi, G.I., Jeong, M.H., Heo, J.H., Kim, J.G. and Lee, G.S. (2004) Residues and half-lives of bitertanol and tebuconazole in greenhouse-grown peppers. J. Korean Soc. Appl Bio Chem., 47, 113-119
 4. Choi, S.M., Jeon, Y.S. and Park, K.Y. (2000) Comparison of quality of red pepper powders produced in Korea. Korean J. Food Sci. Technol., 32, 16-22
 5. Kim, C.H., Kim, Y.Y., Park, S.B. and Eom, T.J. (2004) Chemical composition and alkaline pulping of a stem of red pepper (*Capsicum annuum* L.). Mokchae Konghak., 32, 26-32
 6. Kim, J.H., Ryu, S.H., Lee, M.J., Baek, J.W., Hwang, H.C. and Moon, G.S. (2004) Characteristics of red pepper (*Capsicum Annuum* L.) powder using N₂-circulated low temperature drying method. Korean J. Food Sci. Technol., 36, 25-31
 7. Vajdi M and Pereire RR. (1973) Comparative effects of ethylene oxide, γ -irradiation and microwave treatments on selected spices. J Food Sci., 38, 893-895
 8. UNEP. (1995) Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methylbromide technical options committee. pp294
 9. Marcotte M. (1998) Irradiation as a disinfestation method update on methyl bromide phase out, regulatory action and emerging opportunities. Radiat. Phys. Chem., 52, 85-90.
 10. Oh, K.N. and Lee, S.Y. (2004) Effects of gamma irradiation on the functional and structural characteristics of soy protein isolates. Korean J. Soc. Food Cookery Sci., 20, 256-264
 11. Kwon, J.H. (2003) Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. Food Sci. Indu., 36, 50-55
 12. Byun, M.W. and Lee, J.W. (2003) Application of irradiation technology for food safety and security. Food Sci. Indu., 36, 25-41
 13. Kim, B.K., Lee, J.E., Tusneem Kausar, Kim, D.H., Yang, J.G., Byun, M.W. and Kwon, J.H. (2004) Identification Characteristics of Irradiated Dried Red Pepper during Storage by the Analysis of Electron Spin Resonance and Hydrocarbons. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 33, 1522-1528
 14. IAEA. (2004) www.iaea.org/igcfi.
 15. Lee, W.M. and Cho, Y.S. (2004) Inheritance of mature fruit color and breeding of carotenoid-rich lines in *capsicum* pepper. The Korean Breeding Society., 36, 154-162
 16. Schultz, T.H., Flath, R A, Mon, T.R., Enggling, S.B. and Teranishi, R (1977) Isolation of volatile components from a model system J Agric. Food Chem, 25, 446-449
 17. Nikerson, G.B. and Likens, S.T. (1966) Gas chromatography evidence for the Occurrence of Hop Oil components in Beer. J. Chromatography., 21, 1-5
 18. Robert, P.A. (1995) Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation, USA
 19. Stehagen, E., Abrahamsson, S. and Malafferty, F.W. (1974) The wiley / NBS registry of mass spectral data, John Wiley and Sons, N.Y.
 20. Davies, N.W. (1990) Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and carbowax 20M phases. J. Chromatography., 503, 1-24
 21. Sadtler Research Laboratories. (1986) The sadtler standard gas chromatography retention Index Library. Sadtler, USA
 22. Chung, M.S. and Lee, M.S. (2003) Analysis of volatile compounds in *elsholtzia splendens* by solid phase microextraction. Korean J. Soc. Food Cookery Sci., 19, 79-82
 23. Kim, Y.S., Park, E.R. and Kim, K.S. (2003) Volatile components of chestnut flower. J Korean. Soc. Food Sci Nutr., 32, 801-805
 24. Javier Mateo, Mercedes Aguirrezábal, Concepción Domínguez and José María Zumalacárregui. (1997) Volatile compounds in spanish paprika. J. Food Composition and Analysis., 10, 225-232
 25. Kim, Y.S. and Oh, H.I. (1993) Volatile flavor components of traditional and commercial kochujang. Korean J. Food Sci. Technol., 25, 494-501
 26. Jun, H.R. and Kim, Y.S (2002) Comparison of volatile compounds in red pepper (*Capsicum annuum* L.) powders from different origins. Food Sci. Biotechnol., 11, 293-302
 27. Pipen, E.L., Mecchi, E.P. and Nonaka, M. (1969) Origin and nature of aroma in fat of cooked poultry. J. Food Sci., 34, 436-442
 28. Park, J.Y., Kim, O.C and Kim, Y.H. (1986) Formation volatile compounds by the thermal degradation of β -carotene J Agric. Chem., 29, 260-265.
 29. Kim, H, Cho, W.J., Jung, Y.J., Lee, Y.M., Jeong, E.J., Yoo, Y.J., Byun, M.W. and Cha, Y.J. (2002) Irradiation-induced volatile compounds in irradiated chicken by P&T method. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 31, 958-964