

방사선 조사 닭고기에서의 휘발성 조사물질의 구명

차용준[†] · 김 훈 · 박승영 · 조우진 · 윤성숙 · 유영재*

창원대학교 식품영양학과

*창원대학교 화학과

Identification of Irradiation-induced Volatile Flavor Compounds in Chicken

Yong-Jun Cha[†], Hun Kim, Sung-Young Park, Wo-Jin Cho,
Seong-Suk Yoon and Young-Jae You*

Dept. of Food and Nutrition, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

*Dept. of Chemistry, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

Abstract

To identify the irradiation-induced volatile flavor compounds, which were not detected in unirradiated sample and had positive correlation with the increment of irradiation dose, the volatile flavor compounds of irradiated (0, 1, 3, 5, 10 kGy) chicken were analyzed by liquid liquid continuous extraction (LLCE) and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) methods. One hundred twenty nine compounds were detected in irradiated chicken, and these compounds were composed mainly of hydrocarbons (62 compounds), aromatic compounds (44), aldehydes (9), ketones (5) and miscellaneous compounds (10). Among these, only 3 volatile compounds including 2-methylpentanal ($r=0.24$), 4-methylcyclohexene ($r=0.08$) and cyclotetradecene ($r=0.92$), were detected as irradiation-induced volatile flavor compounds in irradiated chicken. However, only cyclotetradecene was selected as a marker compound for detecting irradiation dosages with high correlation coefficient in irradiated chicken.

Key words: LLCE, irradiation-induced volatile flavor compounds, marker compound, chicken

서 론

식품에 대한 방사선 조사는 식품의 안전과 품질을 향상시키는 혁신적인 방법으로 특히 동물성 식품, 조미료와 건조 식품에 대한 위생적 품질을 보장하기 위한 것으로 대두되었다(1). 하지만 방사선 조사 식품의 안전성 문제는 과거 수십 년간 많은 논란이 되어왔으나 근래에 들어 WHO와 IAEA에서 적절한 지침을 따른 조사식품은 안전성 및 영양학적으로 문제가 없다고 결론내렸을 뿐만 아니라(2), 세계 주요 국가의 보건당국에 의해서도 안전성이 인정되고 있다(3). 이러한 추세에 의해 현재 39개국에서 40여 식품군에 대해 방사선 조사가 허용되고 있으며(4-6), 국내에서는 20여종의 식품 및 식품류에 대해 방사선 조사를 허가하고 있다(7). 한편 소비자에게 방사선 조사 식품에 대한 자유로운 선택권의 부여 및 방사선 조사표시 부착 등과 같은 국내외적 규제사항의 기술적 뒷받침 등에 의한 방사선 조사기술의 남용을 막기 위해 방사선 조사 식품의 검출법이 필요로 하게 되었다(8). 현재까지 방사선

조사식품의 검출법은 방사선 조사에 의해 식품중에서 발생하는 물리, 화학 및 생물학적 변화를 검출하여 조사유무를 판정하는 방법에 주력하고 있는데(8), 이러한 방사선 조사식품의 검출법에 대해서는 정 등(3) 및 양(9)에 의해 잘 정리되어 있으며, 최근에 국내에서는 ESR(electro spin resonance) spectroscopy법(10), Comet assay법(11), TL(thermoluminescence)(12) 및 PSL(photostimulated luminescence)-TL 다중검지법(13) 등을 이용한 검출법 등이 보고되고 있다. 하지만 한가지 검출법에 의해서는 모든 방사선 조사식품에 적용할 수 없다는 사실이 밝혀짐에 따라(14) 현재까지 개발된 검출방법들을 서로 보완적으로 사용함과(9) 동시에 새로운 검출방법도 계속적으로 개발되어야 할 것으로 판단되었다.

이에 본 저자들은 새로운 방사선 조사식품 검출법의 일환으로서 방사선 조사한 시료의 휘발성 향기성분을 추출·분석하여 구명한다면 방사선 조사 판별을 위한 표지 물질로서의 역할이 가능하다고 판단하였으며 현재 이러한 연구는 Ahn 등(15,16)에 의해 부분적으로 연구되었을

[†]To whom all correspondence should be addressed

뿐만 아직 체계적인 연구는 되어있지 않은 실정이다. 또한 방사선 조사식품의 휘발성 향기성분의 추출시 기존의 SDE (simultaneous steam distillation-solvent extraction)법이나 DHS(dynamic headspace)법 등에 의한 artificial flavor 형성 등으로 인한 오류(17,18)를 최소화시키기 위해 liquid liquid continuous extraction(LLCE)법을 이용하고자 하였다. LLCE법은 진공상태를 유지시켜 상온보다 낮은 온도에서 휘발성 성분을 추출함으로써 열에 불안정한 휘발성 성분 등의 추출에 적합한 것으로 알려져 있는 방법이다(19).

따라서 본 연구에서는 방사선 조사된 닭고기를 시료로 하여 LLCE법으로 휘발성 향기성분을 추출한 후 gas chromatography/mass spectrometry(GC/MS)법으로 분석·동정하여 방사선 조사 선량 증가에 대해 양(+)의 상관성을 가지는 휘발성 조사물질(irradiation-induced volatile flavor compound)을 구명함으로써 닭고기의 방사선 조사 판별을 위한 표지물질을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 닭고기(전부위)는 당일 도살된 신선한 전도체를 경남 창원시 소담시장에서 구입한 후 ice chest (4°C 이하)에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실 도착 직후 저온실(15°C)에서 뼈를 제거한뒤 칼로 잘 다져 균질화시킨 후 150 g 단위로 폴리에틸렌 포장필름(두께 0.08 mm)에 합기포장을 하여 심온냉동고(-68±2°C)에 하루밤 저장하였다. 그후 ice chest(4°C이하)에 담아 한국원자력연구소 방사선 가공실에서 ⁶⁰Co 감마선(10만 Ci, AECL, Canada)으로 각각 1, 3, 5 및 10 kGy 선량으로 조사하였다. 이때 정확한 흡수선량을 확인하기 위해 ceric cerous dosimeter(Cecil Instruments, UK)를 사용하였으며, 방사선 조사 직후 시료는 빠른 시간안에 실험실로 운반하여 냉동고(-26°C)에 저장하면서 분석에 사용하였다.

휘발성 향기성분의 추출 및 분석

전보(20)와 동일하게 LLCE장치를 준비한 후 각 선량별(0, 1, 3, 5 및 10 kGy)로 조사된 닭고기의 휘발성 향기성분을 추출하였다. 추출방법으로서는 균질화된 시료 100 g에 내부표준물질인 2,4,6-trimethylpyridine(TMP) 3 mL (136.2 µg)를 첨가한 후 재증류한 diethyl ether 450 mL로서 3회로 나누어 추출한 후 diethyl ether 층만을 분리하여 round flask(2 L용량)에 분리하여 넣고 냉동고(-68±2°C)에서 4시간 방치하였다. 그후 round flask를 LLCE장치에 설치하고 3개의 cooling trap내에는 추출용매로서 재증류한 methylenechloride를 각각 50 mL씩 넣고 외부 보온용기(dewar flask)에 액체질소를 부은 후 진공하(<4

×10⁻⁴ torr)에서 2시간 추출하였다. 기타 탈수 및 농축과정은 전보(20)와 동일하였으며 한 시료당 2번 추출하였다.

추출된 휘발성 성분은 HP 6890 GC/5973 mass selective detector(MSD, Hewlett-Packard Co., USA)에 의해 분석 및 동정하였으며 분석조건은 다음과 같았다. 시료 휘발성 성분 추출농축액은 질소가스로 0.2 mL까지 재농축한후 1.0 µL씩 주입하였고, 이때 column은 HP-Ultra 2 capillary column(50 mL×0.25 mm i.d.×0.25 µm film thickness, Hewlett-Packard Co., USA)을 사용하였으며 운반기체인 He의 선상속도는 1.0 cm/sec로 조정하였다. 기타 오븐조건 및 MSD 분석조건은 전보(20)와 동일하였으며 분석은 각 추출물에 대해 2번씩 반복 수행하였다.

휘발성 향기성분의 동정 및 통계분석

각 화합물의 잠정적인 동정은 standard MS library data(Wiley 275k, Hewlett-Packard Co., USA)에 의하였다. 그리고 정량분석을 위하여 각 화합물의 함량은 내부 표준물질을 이용하여 상대적 함량(factor=1, ng/g)으로 환산하였고, co-eluting된 화합물의 피크는 Hites와 Biemann의 방법(21)에 따라 오차를 최대한 줄였다. 또한 방사선 조사 선량에 대해 그 함량의 증가가 양의 상관성을 가지는 휘발성 향기성분을 구명하기 위해 SPSS(Statistical Package, SPSS Inc.)을 이용하여 방사선 조사선량과 각 휘발성 성분의 상대적 함량간의 회귀분석을 하였다.

결과 및 고찰

방사선 조사된 닭고기의 휘발성 향기성분

각 방사선 조사 선량별(0, 1, 3, 5 및 10 kGy)에 따라 조사된 닭고기의 휘발성 향기성분을 LLCE법에 의해 추출한 뒤 GC/MS법으로 분석한 결과 총 129종의 화합물이 검출되었다(Table 1). 위 화합물들은 주로 탄화수소류, 방향족화합물류, 알데히드류, 케톤류 및 기타화합물류로 구성되어 있었다. 이중 탄화수소류가 62종이 검출되어 방사선 조사된 닭고기에서 가장 많은 화합물류를 나타내었지만, 탄화수소류는 높은 냄새역치(odor threshold)를 가지고 있어 식품의 향기에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 추정되고 있다(22). 검출된 62종의 탄화수소류는 1-octene과 1-tetradecene 등 2종의 alkene류 외에 15종의 cycloalkane류 및 cycloalkene류, alkyl기를 함유한 branch형태의 alkane류(29종) 및 직쇄상의 alkane류(16종)로 구성되어 있었다. 일반적으로 탄화수소 검출을 대상으로 한 방사선조사 검출법은 주로 C₁₅-C₁₇에 이르는 직쇄상의 alkane 및 alkene류를 표지물질로 제시하고 있다. 이는 식품중에 함유된 지방산이 방사선 조사에 의해 carboxylic group이 끊어지면서 모지방산보다 탄소수가 한 개 적은 것(C_{n-1})과 crboxylic group과 이것에 인접한 탄소가 제

Table 1. Volatile flavor compounds in irradiated chicken by LLCE method

Compound name by class	RI ¹⁾	Irradiation dose (kGy) ²⁾				
		0	1	3	5	10
Hydrocarbons(62)						
4-Methylcyclohexene	<800	-	38±0	51±3	58±41	17±20
1-Octene	<800	159±99	77±41	64±17	81±37	108±39
Octane	800	132±85	216±152	235±76	274±128	301±120
Ethylcyclohexane	835	21±8	44±34	59±23	75±71	28±7
1,1,3-Trimethylcyclohexane	838	13±3	60±0	107±18	107±92	25±19
2-Methoxy-2-methylbutane	843	213±133	397±268	764±180	966±536	710±190
2,3-Dimethylheptane	856	13±7	35±28	55±28	60±21	56±40
C3-Alkylcyclohexane(isomer)	887	90±42	137±88	188±43	185±96	106±22
C3-Alkylcyclohexane(isomer)	889	41±4	292±227	174±53	187±89	57±5
Nonane	898	366±246	1,047±742	1,066±290	1,007±536	568±209
C3-Alkylcyclohexane(isomer)	906	29±5	73±48	78±19	74±38	44±13
2,5-Dimethyloctane	922	23±1	103±75	92±22	85±47	46±15
Propylcyclohexane	929	107±44	301±222	278±66	227±188	97±63
2,6-Dimethyloctane	932	146±79	163±31	444±213	375±228	175±26
3-Methyl-2-methylheptane	939	101±60	304±235	251±99	229±137	149±69
Trichloro-1-propene(isomer)	946	61±41	175±133	138±32	142±90	77±13
Tetramethylcyclohexane(isomer)	954	52±15	138±92	127±33	120±63	82±25
5-Methylnonane	956	34±9	171±195	85±23	85±47	51±13
4-Methylnonane	959	87±27	227±208	238±65	237±126	133±45
1-Methyl-2-propylcyclohexane	981	87±32	252±179	192±48	175±104	132±25
Decane	996	711±235	1,745±1,258	1,219±314	1,171±606	806±297
4-Methyldecane	1,019	97±44	337±252	248±63	228±127	170±64
5-Methyldecane	1,054	78±29	262±202	160±39	148±86	95±35
2-Methyldecane	1,060	106±45	322±248	184±37	164±94	110±42
C3-Alkylcyclohexane(isomer)	1,082	40±17	129±96	91±20	78±48	51±18
Undecane	1,095	621±211	1,388±1,043	719±184	594±476	487±191
5-Methylundecane	1,112	198±317	105±74	63±14	61±34	36±20
5-Methyl-5-propylnonane	1,122	37±14	65±57	46±10	47±26	32±10
Pentylcyclohexane	1,132	44±14	108±75	54±17	49±27	38±18
4-Methylundecane	1,154	72±30	143±107	89±16	89±49	51±19
2-Methylundecane	1,158	129±28	279±206	118±32	129±71	82±31
3-Methylundecane	1,165	154±51	176±180	141±32	142±76	102±40
Dodecane	1,194	697±200	1,171±887	469±112	456±226	338±125
2,6-Dimethylundecane	1,208	143±35	255±181	119±27	122±62	75±25
Hexylcyclohexane	1,236	89±28	144±98	69±16	72±39	45±21
2,4-Dimethylundecane	1,248	56±19	97±68	85±35	74±42	25±29
4-Methyldodecane	1,253	61±22	100±69	54±12	56±28	39±11
2-Methyldodecane	1,258	156±72	321±254	141±31	144±68	124±31
3-Methyldodecane	1,265	63±3	137±101	60±13	62±30	29±34
Tridecane	1,293	719±238	1,210±914	533±115	505±250	384±149
2,6-Dimethyldodecane	1,311	41±18	47±46	27±6	29±16	14±10
Heptylcyclohexane	1,341	57±19	101±75	47±11	54±30	33±11
4-Methyltridecane	1,352	51±17	29±1	40±8	46±24	33±10
2-Methyltridecane	1,358	64±19	120±75	71±19	83±40	63±19
3-Methyltridecane	1,364	55±14	82±62	43±7	47±26	33±11
2,6,10-Trimethyldodecane	1,371	71±21	137±103	79±16	92±41	82±21
1-Tetradecene	1,386	19±2	26±10	62±14	74±27	88±6
Tetradecane	1,394	461±157	830±621	312±194	430±218	339±132
4-Methyltetradecane	1,452	28±15	55±36	33±10	42±19	25±4
3-Methyltetradecane	1,464	29±14	62±46	33±8	38±23	29±10
Pentadecane	1,493	212±82	374±274	171±52	169±86	169±48
Nonylcyclohexane	1,551	17±5	43±30	23±10	35±33	25±3
Cyclotetradecene	1,570	-	-	25±10	30±16	41±1
Hexadecane	1,595	133±89	161±123	105±83	66±34	68±18
Heptadecane	1,693	165±92	224±169	101±83	67±27	85±19
5-Phenyldodecane	1,732	17±5	27±19	13±7	8±3	1±3

continued on next page

Table 1. Continued

Compound name by class	RI ¹⁾	Irradiation dose (kGy) ²⁾				
		0	1	3	5	10
Octadecane	1,793	123±70	164±113	86±21	37±18	39±16
Nonadecane	1,892	114±58	160±105	81±15	44±22	50±13
Eicosane	1,997	33±13	58±30	35±11	20±11	23±4
Docosane	2,188	137±85	118±84	41±47	20±11	103±64
Tricosane	2,291	64±51	57±53	21±14	17±9	55±21
Tetracosane	2,397	72±58	161±47	52±14	51±20	62±45
Aromatic compounds(44)						
Methylbenzene	<800	54,604±32,078	85,851±68,479	41,596±14,565	37,786±20,327	28,375±8,572
Ethylbenzene	861	417±161	737±624	481±160	496±367	346±126
Xylene(isomer)	871	1,452±167	2,180±1,680	1,339±383	1,389±383	869±333
Styrene	892	147±66	377±272	202±62	202±115	192±67
Xylene(isomer)	894	551±73	865±658	1,964±2,992	550±296	376±129
Cumene	925	38±14	106±77	98±26	88±49	45±13
Propylbenzene	954	95±27	283±208	245±62	243±139	137±44
C3-Alkylbenzene(isomer)	962	360±90	801±575	617±147	607±329	386±143
C3-Alkylbenzene(isomer)	963	239±82	497±360	353±105	324±155	225±118
Trimethylbenzene(isomer)	968	268±98	661±470	576±130	559±297	336±115
C3-Alkylbenzene(isomer)	980	94±24	240±157	190±43	194±98	131±53
Trimethylbenzene(isomer)	993	595±196	1,226±865	907±219	906±460	659±235
Butylbenzene	1,007	66±76	193±131	244±73	184±98	126±49
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,010	75±59	251±207	221±72	181±98	102±43
Cymene(isomer)	1,021	48±27	163±125	110±26	93±52	57±25
Trimethylbenzene	1,022	131±47	338±257	274±55	269±153	162±64
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,024	87±44	270±207	195±370	166±80	126±59
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,030	167±121	481±377	505±27	276±157	201±96
Diethylbenzene	1,048	45±20	161±128	123±27	97±60	71±38
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,050	98±39	314±245	211±52	185±107	113±48
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,057	108±53	279±214	170±42	156±89	106±44
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,066	167±63	475±358	276±63	261±148	177±61
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,076	69±23	211±163	125±26	112±61	81±26
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,078	110±62	236±183	378±425	139±81	94±34
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,084	168±69	316±238	179±39	254±143	122±45
Cymene(isomer)	1,105	63±27	161±122	97±22	94±55	61±19
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,108	25±11	61±46	78±33	32±19	27±6
Decahydro-2-methyl-naphthalene(isomer)	1,110	54±17	139±102	89±19	77±42	52±19
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,115	68±24	184±135	102±23	103±57	69±19
Tetramethylbenzene	1,119	66±17	155±117	83±19	87±44	58±23
Decahydro-2-methyl-naphthalene(isomer)	1,127	62±18	149±105	95±25	81±43	55±21
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,152	61±16	128±95	62±15	82±38	43±17
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene	1,163	57±17	128±97	75±16	73±38	47±18
C4-Alkylbenzene(isomer)	1,173	51±11	174±194	69±15	64±37	43±12
Naphthalene	1,186	173±51	381±283	190±37	172±82	140±50
1,2,3,4-Tetrahydro-2-methyl-naphthalene	1,217	55±17	106±78	49±11	52±27	33±11
1,2,3,4-Tetrahydro-5-methyl-naphthalene	1,296	69±33	116±82	56±10	59±29	38±11
Methylnaphthalene(isomer)	1,298	69±33	118±87	65±13	71±39	40±13
1,2,3,4-Tetrahydro-dimethyl-naphthalene(isomer)	1,321	113±38	205±150	100±22	104±50	70±21
1,2,3,4-Tetrahydro-dimethyl-naphthalene(isomer)	1,326	14±6	16±15	11±2	14±8	6±1
1,2,3,4-Tetrahydro-5,6-dimethyl-naphthalene	1,397	57±27	122±91	40±16	44±7	33±26

continued on next page

Table 1. Continued

Compound name by class	RI ¹⁾	Irradiation dose (kGy) ²⁾				
		0	1	3	5	10
Dimethylnaphthalene(isomer)	1,426	13±6	25±18	15±2	20±12	12±3
Dimethylnaphthalene(isomer)	1,429	43±24	92±84	51±16	47±24	35±14
2,4-bis(1,1-Dimethylethyl)phenol	1,510	40±13	62±14	49±32	63±34	70±21
Aldehydes(8)						
2-Methylpentanal	<800	-	-	12±5	7±4	3±2
2-Methyl-2-butenal	<800	12±6	28±21	32±11	46±37	-
Hexanal	802	451±247	1,619±1,691	768±194	856±463	1,106±559
Heptanal	901	307±145	429±297	273±114	281±141	322±117
Octanal	1,000	168±94	338±243	271±85	253±125	297±72
Nonanal	1,100	908±804	1,804±1,312	704±149	692±373	1,052±161
Decanal	1,201	195±24	425±284	257±58	205±108	181±55
Dodecanal	1,404	104±76	79±59	53±15	57±29	42±7
Ketones(5)						
4-Methyl-2-pentanone	<800	9±8	16±10	26±17	18±13	6±4
2,4-Dimethyl-3-pentanone	<800	51±35	135±102	59±14	64±25	57±26
2-Heptanone	858	49±41	135±108	81±23	69±36	49±8
6-Methyl-5-hepten-2-one	984	123±43	372±270	243±78	261±139	189±57
5-Methyl-5-phenyl-2-hexanone	1,827	23±9	57±12	61±37	32±6	12±4
Miscellaneous compounds(10)						
Butyl acetate	819	205±0	384±219	158±93	272±139	189±32
Cyclohexanol	885	23±0	81±77	49±12	151±50	3±7
α -Pinene	934	171±79	342±245	173±40	192±94	155±58
β -Pinene	977	177±99	329±243	177±46	173±107	139±49
2-Ethyl-1-hexanol	1,026	49±20	244±169	190±52	178±110	24±7
Limonene	1,028	210±107	1,217±924	361±91	654±328	50±4
Nonanoic acid	1,263	226±274	26±2	45±12	45±23	147±75
α -Cubebene	1,381	48±19	87±66	42±9	42±21	38±12
Junipene	1,416	132±60	209±147	107±29	111±58	125±66
Geranylacetone	1,450	31±11	52±12	33±13	33±20	23±3

¹⁾Retention index.

²⁾Mean concentration (ng/g) of duplicate GC/MS analysis to 2 LLCE extracts.

Concentration of each compound was calculated as a relative content to TMP concentration put in sample (136.2 µg/g) (factor=1).

거되면서 첫번째 탄소에 이중결합이 형성(C_{n-21})되는 탄화수소류가 특이적으로 생성된다(23). 따라서 일반적으로 육류의 지방에는 palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid 등이 많이 함유되어 있어(24) 방사선 조사에 의해 palmitic acid로부터 pentadecane(15:0)과 1-tetradecene(14:1)이, stearic acid로부터는 heptadecane(17:0)과 1-hexadecene(16:1)이, oleic acid로부터 8-heptadecene(17:1)과 1,7-hexadecadiene(16:2), linoleic acid로부터는 6,9-heptadecadiene(17:2)과 1,7,10-hexadecatriene(16:3) 등이 생성될 수 있어 주로 이러한 탄화수소류를 표지물질로 하기 때문이다(23). 본 실험의 결과에서는 palmitic acid로부터 생성가능한 1-tetradecene과 pentadecane뿐만 아니라 C_8 - C_{24} 에 이르는 넓은 범위의 직쇄상의 탄화수소류도 검출되었다. 이중 C_{10} - C_{15} 에 이르는 탄화수소류는 지방산의 alkyl side chain이 방사선 조사에 의해 끊어질 경우 생성될 수 있는 것으로 알려져 있다(25). 또한 지방

중 ester결합을 하고 있는 glyceryl side에 있어서 glycerol 분자의 acyl-oxygen 결합, acyloxy-methylene 결합 또는 C_1 과 C_2 탄소원자간이 끊어지면서 다양한 화합물이 생성될 수도 있다고 보고되었으며(26,27), Patterson과 Stevenson(25)은 이와 같은 메커니즘을 통해 다양한 alkane 및 alkene 등의 탄화수소류가 생성될 수 있는 것으로 추정하였다. 그리고 1-octene, octane 및 nonane은 방사선 조사된 닭고기 껍질에서도 검출되었다(28). 그러나 본 실험에서 검출된 탄화수소류는 4-methylcyclohexene 및 cyclotetradecene을 제외하고 모두 대조구(0 kGy)에서 검출됨으로서 방사선 조사뿐만 아니라 지방의 자동산화에 의해서도 생성될 수 있는 것으로 추정되었으며, 닭고기의 방사선 조사 판별을 위한 표지물질로서는 부적당하였다.

방향족화합물류는 총 44종이 검출되었는데 이중 32종이 alkylbenzene류였으며, 그 외 naphthalene류(16종) 및 phenol류(1종)가 검출되었다. Alkylbenzene류의 생성 메

카니즘에 대해서는 아직 확실하지 않으나 Watanabe와 Sato(29)는 쇠고기 지방을 가열하였을 때 여러 alkyl-benzene류가 생성되었다고 보고하였으며, toluene, xylene 및 benzene유도체들은 carotenoid로부터 생성된다고 알려져 있다(30,31). 또한 Jo와 Ahn(32)은 bovine serum albumin, gelatin 및 myofibrillar protein은 benzene계열 화합물의 전구체라고 보고하였다.

방사선 조사된 닭고기에서 알데히드류는 총 8종이 검출되었다. 알데히드류는 불포화지방산의 자동산화에 의해 형성된 주요 휘발성 성분으로서 식품 중에서 주로 green, painty, metallic, beany 및 rancid 등과 같은 냄새에 관여하는 것으로 알려져 있다(33). 본 실험에서 검출된 hexanal은 식품의 산화변패의 지표물질로서 linoleic acid의 13-hydroperoxide와 arachidonic acid의 15-hydroperoxide로부터 자동산화에 의해 생성될 수 있으며, nonanal과 decanal은 각각 oleic acid의 9-hydroperoxide와 8-hydroperoxide로부터 생성될 수 있다(33). 이들 직쇄상의 저분자 알데히드류(C_6-C_{10})는 방사선 조사된 닭고기에서 검출되었다(25), 그러나 본 실험에서는 2-methylpentanal을 제외한 알데히드류는 모두 비조사된 닭고기에서도 검출되었으므로 표지물질로서는 부적당한 것으로 판단하였다.

알데히드류와 같이 지방의 자동산화에 의해 생성될 수 있다고 알려진 케톤류(33)는 총 5종이 검출되었으며 그 외 기타화합물류는 10종이 검출되었으나, 위 화합물들은 모두 대조구에서도 검출되었다.

휘발성 조사물질의 선정

휘발성 향기성분중 방사선 조사판별을 위한 휘발성 조사물질(표지물질)을 구명하기 위해 전보(20)와 같이 각 방사선 조사선량별에 따라 조사된 닭고기에서 검출된 129종의 휘발성 화합물중 대조구에서도 검출된 휘발성 성분들은 모두 제외시켰으며, 또한 방사선 조사선량 증가에 대해 그 함량의 증가가 양(+)의 상관성을 가지는 화합물만을 선정하였다. 그 결과 4-methylcyclohexene과 cyclotetradecene 및 2-methylpentanal의 3종이 선정되었다. 이들 화합물은 모두 비조사된 시료(0 kGy)에서는 검출되지 않았으며 4-methylcyclohexene은 1 kGy로 조사된 닭고기에서부터 검출되기 시작하였고, cyclotetradecene과 2-methylpentanal은 3 kGy로 조사된 시료에서부터 검출되기 시작하여 닭고기의 방사선 조사판별을 위한 표지물질로 추정되었다. 한편 방사선 조사선량 증가에 대한 그 함량의 변화에 대한 회귀방정식 및 상관계수(r)는 Table 2에 나타내었다. 이 중 cyclotetradecene은 방사선 조사선량이 증가할수록 화합물의 함량도 증가하여 가장 높은 양의 상관성($r=0.92$)을 나타내었다. 반면에 2-methylpentanal과 4-methylcyclohexene은 매우 낮은 상

Table 2. Statistical data obtained from the linear regression equation $Y=a \times X+b$ as applied to the analysis of volatile flavor compounds in irradiated chicken

Compound	RI	$Y=a \times X+b$		
		a	b	r
2-Methylpentanal	<800	0.33	3.47	0.24
4-Methylcyclohexene	<800	0.50	31.30	0.08
Cyclotetradecene	1,570	4.34	3.10	0.92

관계수($r=0.24, 0.08$)를 나타내어 표지물질로서는 부적당한 것으로 판단되었다. 따라서 cyclotetradecene이 방사선 조사된 닭고기의 표지물질로 선정되었다.

앞으로는 저장실험을 통하여 대조구에서 산화에 의해 검출되는 화합물은 표지물질에서 제외시킴으로서 저장 중에 방사선 조사된 닭고기에서만 새로이 검출되는 휘발성 표지물질을 선정하는 연구가 계속되어야 할 것으로 판단되었다.

요 약

방사선 조사된 닭고기에서 방사선 조사선량에 대해 양의 상관성을 가지는 휘발성 조사물질을 구명함으로써 방사선 조사판별을 위한 표지물질을 선정하기 위해 각 선량별(0, 1, 3, 5, 10 kGy)로 조사된 닭고기를 시료로 하여 LLCE법으로 휘발성 향기성분을 추출한 후 GC/MS법으로 분석하였다. 그 결과 총 129종의 휘발성성분이 방사선 조사된 닭고기에서 검출되었으며 이는 주로 탄화수소류(62종), 방향족화합물류(44종), 알데히드류(9종), 케톤류(5종) 및 기타화합물류(10종)로 구성되어 있었다. 이 중 비조사된 시료에서는 검출되지 않으면서 방사선 조사선량의 증가에 대해 그 함량의 변화가 양의 상관성을 가지는 휘발성 조사물질로서 2-methylpentanal, 4-methylcyclohexene 및 cyclotetradecene 등 3종의 화합물이 선정되었으나 방사선 조사선량 증가와의 상관성을 고려한 결과 cyclotetradecene만이 닭고기의 방사선 조사판별을 위한 표지물질로 선정되었다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 1997년 농림기술개발사업(관리번호: 297040-3)에 의하여 수행된 연구결과와 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 그리고 방사선 조사에 많은 도움을 주신 한국원자력연구소 방사선식품생명공학연구팀의 변명우 박사님과 관계자 여러분께도 깊은 감사를 드립니다.

문 헌

1. Lee, C.H. : *Acceptance and Trading on Irradiated Foods*. Korea University Press, Seoul, p.44 (1998)

2. Yang, J.S., Kim, C.K. and Lee, H.J. : Detection of irradiated chicken, pork and beef by ESR spectroscopy. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 606-611 (1999)
3. 정형욱, 핸리멜린세, 권중호 : 방사선 조사식품의 검지방법 연구. *식품공업*, **148**, 55-71 (1999)
4. Olson, D.G. : Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**, 56-64 (1998)
5. Thayer, D.W. : Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, **48**, 132-136 (1994)
6. Kang, L.L., Kwak, H.J., Lee, B.H., Kim, K.H., Byun, M.W. and Yook, H.S. : Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 775-780 (1998)
7. 식품공전. 한국식품공업협회, 문영사, 서울 (1999)
8. Yang, J.S. : General survey of detection methods for irradiated foods. *J. Korean Nutr. Soc.*, **29**, 500-507 (1997)
9. 양재승 : 일반식품중 조사식품의 검출법. *식품과학과 산업*, **30**, 121-130 (1997)
10. Nam, H.S., Woo, S.H., Ly, S.Y. and Yang, J.S. : Identification of irradiated fishes by ESR spectroscopy. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **29**, 425-429 (2000)
11. Jeong, S.K., Park, J.H., Ji, S.T., Park, K.J., Kim, H.H., Hyun, C.K. and Shin, H.K. : Discrimination of irradiated beef using comet assay. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 747-754 (2000)
12. Woo, S.H., Yi, S.D. and Yang, J.S. : Detection of irradiated agricultural products by thermoluminescence (TL). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 525-530 (2000)
13. Chung, H.W., Delinc é e, H. and Kwon, J.H. : Photosimulated luminescence-thermoluminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 265-270 (2000)
14. Yang, J.S., Kim, C.K. and Lee, H.J. : Detection of irradiated chicken, pork and beef by ESR spectroscopy. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 606-611 (1999)
15. Ahn, D.U., Olson, D.G., Lee, J.I., Jo, C., Wu, C. and Chen, X. : Packaging and irradiation effects on lipid oxidation and volatiles in pork patties. *J. Food Sci.*, **63**, 15-19 (1998)
16. Ahn, D.U., Olson, D.G., Jo, C., Love, J. and Jin, S.K. : Volatiles production and lipid oxidation in irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. *J. Food Sci.*, **64**, 226-229 (1999)
17. Tanchotikul, U. and Hsieh, T.C.Y. : Analysis of volatile flavor components in steamed rangia calm by dynamic head space sampling and simultaneous distillation and extraction. *J. Food Sci.*, **56**, 327-331 (1991)
18. Ahn, D.U., Jo, C. and Olson, D.G. : Volatile profiles of raw and cooked turkey thigh as affected by purge temperature and holing time before purge. *J. Food Sci.*, **64**, 230-233 (1999)
19. Baek, H.H., Cadwallader, K.R., Marroquin, E. and Silva, J.L. : Identification of predominant aroma compounds in muscardine grape juice. *J. Food Sci.*, **62**, 249-252 (1997)
20. Cha, Y.J., Kim, H., Park, S.Y., Kim, S.J. and You, Y.J. : Identification of irradiation-induced volatile flavor compounds in irradiated beef. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **29**, 1042-1049 (2000)
21. Hites, R.A. and Biemann, K. : Computer evaluation of continuously scanned mass spectra of gas chromatographic effluents. *Anal. Chem.*, **42**, 855-860 (1970)
22. Cha, Y.J. and Cadwallader, K.R. : Volatile components in salt-fermented fish and shrimp pastes. *J. Food Sci.*, **60**, 19-24 (1995)
23. Hwang, K.T., Park, J.Y. and Kim, C.K. : Application of hydrocarbons as marker for detecting post irradiation of imported meat and fish. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **26**, 109-115 (1997)
24. Kim, K.S., Kim, E.A., Lee, H.J., Yang, J.S. and Byun, M.W. : Quantitative comparison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 301-307 (1999)
25. Patterson, R.L.S. and Stevenson, M.H. : Irradiation-induced off-odour in chicken and its possible control. *British Poultry Science*, **36**, 425-441 (1995)
26. LeTellier, P.R. and Nawar, W.W. : Primary radiolytic fragmentation in tricaproin. *J. Agric. Food Chem.*, **20**, 129-134 (1972)
27. Nawar, W.W. : Reaction mechanism in the radiolysis of fats: a review. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 21-25 (1978)
28. Hansen, T.J., Chen, G.-C. and Shieh, J.J. : Volatiles in skin of low dose irradiated fresh chicken. *J. Food Sci.*, **52**, 1180-1182 (1987)
29. Watanabe, K. and Sato, Y. : Some alkyl-substituted pyrazines and pyridines in the flavor components of shallow fried beef. *J. Agric. Food Chem.*, **19**, 1017-1019 (1971)
30. Borenstein, B. and Bunnell, R.H. : Carotenoids: properties, occurrence and utilization in foods. *Food Res.*, **15**, 195-276 (1966)
31. Phippen, E.L., Mecchi, E.P. and Nonaka, M. : Origin and nature of aroma in fat of cooked poultry. *J. Food Sci.*, **34**, 436-442 (1969)
32. Jo, C. and Ahn, D.U. : Production of volatile compounds from irradiated oil emulsion containing amino acids or proteins. *J. Food Sci.*, **65**, 612-616 (2000)
33. Ho, C.T. and Chen, Q. : Lipids in food flavors. In *Lipids in Food Flavors*, Ho, C.T. and Hartman, T.G. (eds.), American Chemical Society, Washington, DC, p.2-14 (1993)

(2000년 9월 30일 접수)