

재배한 무순의 향미성분

송 미 란

전주기전여자대학 식품영양과

Volatile Flavor Components of Cultivated Radish (*Raphanus sativus* L.) Sprout

Mi-Ran Song

School of Food and Nutrition, Chonju Kijeon Women's College

Abstract

The consumption of radish(*Raphanus sativus* L.) sprout, which is Cruciferae family, is increasing because of its pungent flavor and taste. Its volatile components were analyzed by SDE(simultaneous steam distillation & extraction) method and P&T(purge & cryogenic trapping) method. As a solvent, diethyl ether and diethyl ether : pentane mixture(2:1, v/v) were used in SDE method, and diethyl ether in P&T method. Analyzing by GC and GC-MS, the major component was sulfur compounds(19 species, peak area 76.6%) with diethyl ether, sulfur compounds(15, 44.0%) and hydrocarbons(23, 23.8%) with diethyl ether-pentane mixture in SDE method. Also, hydrocarbons(25, 84.1%) was major component in P&T method. The major volatile component of fresh radish sprout were n-heptane, methyl pentane and that of boiled radish sprout were 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate, methyl mercaptane, 2,3-dimethyl disulfide. Low molecular volatile components were detected more by P&T method, but types and relative quantities of volatile components were measured less comparing to SDE method.

Key words: volatile compounds, radish sprout, n-heptane, 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate.

서 론

무순 또는 싹기름무는 무의 씨앗을 뿌려 씨앗에서 처음 돋은 떡잎을 이용하는 나물로 무 특유의 향기와 특 쏘는 듯한 매운맛이 있으며 샐러드나 무침, 샌드위치, 김초밥 등에 많이 이용되므로 젊은이들도 좋아하는 채소이다. 또한 가열 조리를 해도 맛이 있으며 기름진 요리와 함께 먹으면 뒷맛이 깨끗하므로 육류요리, 전골 등에 이용되며, 생선의 비릿한 냄새를 제거하는 작용을 하므로 생선회에 필수적으로 이용되어 노년층에도 인기있는 채소이다.

무순을 식용으로 널리 이용하게 된 이유중의 하나는 신선 무공해 채소이기 때문이다. 특히, 오늘날과

같은 산업사회의 문제로 대두되고 있는 농약의 잔류 독성 같은 식품공해 문제를 해소할 수 있는 안전식품으로서 가치가 높다. 무순은 수분함량이 90% 이상으로 에너지원으로의 가치는 없으나 다량의 비타민 A와 C를 함유한다¹⁾. 또한 Ca, P, Fe, Mg과 같은 알칼리성 원소를 함유하고 있기 때문에 혈액의 산성화를 방지할 뿐만 아니라 섬유소를 지니고 있어 배변을 조절하는 역할도 한다. 또 다른 이유는 특유의 향과 특 쏘는 신미성분의 기호성 때문이라고 생각된다. 무우의 향미성분은 수종의 isothiocyanate류가 90% 이상을 차지하며, 부위별로는 뿌리 선단부가 머리부분의 3배에 가까운 양을 함유하고 있다²⁾.

무순의 향미성분도 일반 무와 대동소이하리라 생

* Corresponding author : Mi-Ran Song

각되지만 아직 분석된 바는 없고 가식부위에서만 신미가 감지되는 것으로 보아 뿌리에는 거의 향미성분이 없는 것으로 추측될 뿐이다. 또한 가식부위 중에서도 줄기보다는 잎에서 강하게 감지되고, 녹화 전에는 전혀 감지되지 않고 있어 녹화과정에서 생성되리라 추측한다. 물론 동일 품종간에서도 배양액의 조성, 온도, 빛 등의 재배환경에 따라 약간씩 달라지며, 품종에 따른 차이도 인정된다³⁾.

따라서 본 연구에서는 최근 사용빈도가 높아지면서 향미 식품으로서 가치가 주목되고 있으나 아직 분석된 바 없는 무순을 용매 및 분석방법을 달리하여 신선한 휘발성 향기성분과 가열에 의한 향기성분의 종류 및 조성을 확인하였으며, 이는 무순의 생리활성을 탐색하기 위한 기초자료가 될 것이다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용한 무는 가을무로 비교적 신미성분이 강한 것으로 보고된^{4,5)} 1999년산 청수 궁중무를 종묘상으로부터 구입하였다. 하룻밤 물에 침지한 후 찬물을 깔은 모판을 이용해 암소 및 명소에서 6일간 수경 재배하여, 잎과 줄기가 6~7cm가 되었을 때 뿌리는 잘라내고 채취하였다. 240g씩 소분하여 nylon(15 μ m) : polyethylene(15 μ m) : low density polyethylene(40 μ m) film에 포장하고 냉동보관(-70°C)하며 사용하였다.

2. P&T법에 의한 향기성분 추출^{6~8)}

신선한 무순의 향기성분을 주로 포집하기 위하여 선택하였으며, 무순 240g을 waring blender(31BL91, USA)로 마쇄한 후 등근바닥 플라스크(3L)에 넣고 증류수 480ml를 가하여 밀봉한 후 실온 암소에서 1시간 동안 방치하여 가수분해시켰다. 플라스크를 purge and cryogenic trapping apparatus에 연결하고 diethyl ether 50ml와 diethyl ether : pentane(2:1, v/v) 50ml를 추출용매로 사용하여 25°C에서 20시간 동안 내용물을 계속 교반하면서 질소가스를 50ml/min의 유속으로 불어넣어 headspace의 휘발성분을 -30°C의 ethyl alcohol에 담겨져 있는 diethyl ether로 포집하였다. 추출완료 후 무수황산나트륨으로 하룻밤 탈수시키고 질소기류 하에서 농축하여 1ml로 정용한 후 분석용 시료로 사용하였다.

3. SDE법에 의한 용매별 향기성분의 추출^{6,7,9,10)}

익은 무순의 향기성분을 포집하기 위하여 선택하였으며, 무순 240g을 마쇄한 후 purge and cryogenic trapping(P&T)법과 마찬가지로 처리하여 향기성분 추출에 가장 널리 이용되는 diethyl ether 50ml와 diethyl ether : pentane(2:1, v/v) 50ml를 추출용매로 사용하여 개량된 Likens & Niekerson type simultaneous steam & distillation extraction(SDE) apparatus에 연결하고 100°C에서 2시간 동안 추출하였으며, diethyl ether를 용매로 사용한 경우를 SDE A법, diethyl ether : pentane(2:1, v/v)를 용매로 사용한 경우를 SDE B법으로 명명하였다. 이때 냉각수의 온도는 0°C를 유지하였고, 추출이 완료된 후 탈수 및 용매를 제거하여 역시 1ml로 정용하였다.

Table 1. Operating conditions for GC / GC-MS analysis

	GC	GC-MS
Model	Shimadzu GC-17A	Shimadzu GCMS-QP5050
Column	Fused silica capillary column (CBP-1, 0.22mm \times 0.25m)	Fused silica capillary column (CBP-20, 0.22mm \times 25m)
Injector temp.	250°C	120°C
Detector temp.	260°C	-
Column temp.	25°C(5min) → 25~250°C(10°C/min) → 250°C(3.5min)	25~250°C(10°C/min) → 250°C(35min)
Carrier gas	He(1ml/min)	He(1.2ml/min)
Detector	FID	FID
Split ratio	1 : 60	1 : 38

4. 향기성분의 동정

무순의 향기성분은 GC(Hewlett-Packard 5890 II, Hewlett-Packard, USA)와 GC-MS(Hewlett-Packard 5890 II MSD, Hewlett-Packard, USA)를 사용하여 분석하였으며, 분리된 각각의 peak 성분분석은 mass spectrum library(Wiley NBS 138, USA)를 기초로 하여 GC/FID에서 분석된 retention index(peak area, %)와 비교하여 확인하였다. GC와 GC-MS의 작동조건은 Table 1과 같았다.

결과 및 고찰

신미성분이 강한 것으로 알려진 무순을 재배하고 그 신선한 향기성분과 익은 향기성분을 포집하기 위하여 SDE법과 P&T법으로 추출하였으며, 이를 GC와 GC-MS로 분리 및 동정하여 분석방법과 사용 용매별로 Table 2에 정리하였다. 이때 사용한 용매는 가장 널리 사용되는 diethyl ether와 diethyl ether-pentane의 2:1 혼합용매이나, P&T법으로 포집시 diethyl ether-pentane층에서 분리된 peak는 거의 없어 제외하였다. 총 117종의 향기성분이 확인되었으며 이를 기능기별로 분류하면 acid류가 1종, alcohol류가 14종, aldehyde류가 11종, ester류는 10종, hydrocarbon류는 35종, ketone류는 7종, miscellaneous compounds는 9종, sulfur compounds는 30종이며 기능기별로 각 성분의 peak 면적을 합하여 정리한 결과는 Table 3에, 사용용매별 GC chromatogram은 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3에 정리하였다.

기능기별 주성분과 분석방법을 살펴보면, acid류는 diethyl ether를 용매로 사용한 simultaneous steam & distillation extraction(SDE) A법에 의해 2-methylbutanoic acid만이 검출되었으며, alcohol류는 야채의 풋내성분인 청엽알콜 hexenol, heptenol 등 11종의 성분이 주로 SDE A법에 의해 검출되었으며, aldehyde류로는 acetaldehyde가 SDE B법, 풋내성분인 hexenal¹¹⁾은 SDE A법에 의해 주로 검출되었는데, acetaldehyde는 저비점의 휘발성이 강한 성분으로 hydrocarbon류를 제외하고 retention time 1~2분경 빠르게 검출된다는 Kim 등¹⁴⁾의 보고대로 일찍 검출되었다. ester류는 ethyl isopropyl ether가 SDE B법과 P&T법에 의해 비슷하게 검출되었으며, hydrocarbon류는 P&T법에 의하여 25종, SDE B법에 의해 23종이 검출되었고 주성분인 n-heptane, methyl pentane은 P&T법에 의해 잘 검출되었고 dimethyl butane은

SDE B법에 의해 잘 검출되었다. 특히, n-heptane은 P&T법으로 추출시 peak area가 32.9%로 전 향기성분중 단일성분으로 함량이 가장 높았다. ketone류는 3-methyl-2-butanone, 3-methoxy acetophenone 및 β -ionone이 소량이지만 SDE법에 의해 잘 검출되었으며, sulfur compound도 SDE법에 의해 잘 검출되었는데 주로 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate, methyl mercaptane, 2,3-dimethyl disulfide 등이 검출되었다.

저온에서 추출하는 P&T법으로는 비극성인 hydrocarbon류가 주로 검출되는데⁷⁾ 실제로도 hydrocarbon류가 P&T법에 의해 추출된 향기성분의 84.1%를 차지하므로 무순의 신선한 향기의 주성분으로 볼 수 있으며, SDE법으로 추출시에는 diethyl ether와 pentane의 혼합용매를 사용할 때 잘 분리(23.8%)되는 것으로 확인되었다.

반면, sulfur compound는 고온에서 추출한 SDE법에 의한 향기성분의 44~77%를 차지하므로 익은 향기의 주성분으로 볼 수 있으며 이는 Kim 등¹⁴⁾의 보고와 일치한다. 또한 sulfur compound는 SDE A법에 의해 잘 분리됨을 확인할 수 있었으며(76.6%), SDE B의 경우에도 주성분으로 분리되었으나(44.0%) 탄화수소류도 상당량 검출되었다(23.8%). 그 중에서도 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate(MTBIT)는 SDE법에 의해 추출된 단일 성분으로는 가장 다량 발견(29.8%)된 무순의 주 향기성분으로, 이는 십자화과 식물들에 주로 함유되어 있는 allyl isothiocyanate의 관련물질로서, 무우에 78~90% 정도 함유되어 매운 맛을 주는 향기성분으로 알려져 있다^{11~14)}. MTBIT는 수용성 용매중에서 60분안에 쉽게 분해되는 특성을 지니고^{13,15,16)}, 무뿌리 추출물이 황색을 띠게 만들며^{15,17)}, 그 수용성 분해산물은 세균에 대한 우수한 항균 효과를 가지는 것으로 알려져 있는데 allyl isothiocyanate가 gram(-) bacteria에 대해 효과적인 반면, MTBIT는 gram(+) bacteria에 더 효과적이라고 한다¹⁸⁾. 그러나 Kim 등¹⁴⁾은 익은 무의 주성분을 methylthiobutyl isothiocyanate(78%)라 하면서 이는 MTBIT가 변화되거나 분해되므로서 생성되는 것으로 보았으며, 이는 huang 등¹⁹⁾의 보고와도 일치한다. 또한 propyl-, butyl-, pentyl-, hexyl phenylethyl isothiocyanate 등도 검출되어 이들까지 합하면 단일 성분으로는 isothiocyanate류가 무순의 전 향기성분중 1/3이 넘는 양(37.8%)으로 주성분인 것으로 판단된다. 그러나 무순은 열채류로서 alcohol, hydrocarbon류가 상당히 함유되어 있으므로 근채류인 무의 iso-

Table 2. Volatile compounds of radish sprout extracted with two different solvent and method

Peak No.	Retention time(min)	Compounds	Peak area(%)		
			P&T ^{a)}	SDE A ^{b)}	SDE B ^{c)}
<u>Acid(1)</u>					
1	22.625	2-Methylbutanoic acid		0.3	
<u>Alcohols(14)</u>					
2	1.758	3-Pentanol	0.2		0.1
3	2.025	Isobutyl alcohol			0.1
4	2.650	1-Buten-3-ol			0.1
5	2.875	2-Ethyl-1-butanol	0.2		
6	2.917	3-Hydroxy-1-hexene		0.8	
7	3.550	1-Methoxy-2-propanol			0.6
8	4.667	2-Penten-1-ol		0.3	0.1
9	6.858	3-Hexen-1-ol		2.6	0.1
10	8.003	n-Hexanol		0.3	
11	13.383	2-Ethylhexanol		0.8	T ^{d)}
12	17.358	3-Ethyl-3-pentanol		0.6	T
13	22.825	3-Hepten-1-ol		1.4	
14	25.433	1-Nonanol			0.1
15	25.608	1-Chloro-2-butanol			0.1
<u>Aldehydes(11)</u>					
16	1.242	Acetaldehyde			11.7
17	1.592	Isobutanal			0.8
18	2.175	3-Methylbutanal			0.2
19	2.275	2-Methylbutanal			0.6
20	3.675	n-Heptanal			T
21	4.692	n-Hexanal		1.4	T
22	6.333	2-Hexenal		6.3	0.1
23	6.392	2,2-Dimethyl-4-pentenal			T
24	13.550	Hyacinthin		2.5	
25	25.758	Syringaldehyde			0.2
26	26.925	Stearaldehyde			0.1
<u>Esters(10)</u>					
27	1.642	Ethyl isopropyl ether	12.6		12.2
28	1.842	Ethyl propyl ether			0.9
29	2.217	Methyl acetoacetate		0.8	
30	21.042	Octyl-10-undecenoate		0.3	
31	22.033	Dimethyl pimelate		0.1	
32	22.042	5-Methoxy-2-pentyne			0.1
33	25.050	Ethyl phthalate			0.1
34	29.158	Pentyl benzoate		0.9	
35	29.683	Butyl phthalate			0.3
36	30.633	Isocetyl phthalate		0.4	
<u>Hydrocarbons(35)</u>					
37	1.050	Butene-1	0.9		
38	1.567	2,3-Dimethylbutane	9.2		15.9
39	1.675	3-Methylpentane	13.4		0.2
40	1.867	2-Methyl-2-pentene	7.2		

Table 2. Continued

Peak No.	Retention time(min)	Compounds	Peak area(%)		
			P&T ^{a)}	SDE A ^{b)}	SDE B ^{c)}
41	1.883	<i>n</i> -Hexane	1.3		2.7
42	1.892	3-Methyl-2-pentene	4.2		
43	2.050	Methylcyclopentane	0.7		
44	2.092	2,3-Dimethyl-2-butene	3.9		0.8
45	2.308	Benzol	3.0		1.0
46	2.400	Hexanaphthene	0.1		0.1
47	2.492	2-Methylhexane	1.9		0.6
48	2.600	3-Methylhexane	1.7		0.7
49	2.942	<i>n</i> -Heptane	32.9		0.7
50	3.192	2-Methyl-2,4-hexadiene		0.3	
51	3.275	Methylcyclohexane			0.2
52	3.508	<i>trans</i> -1,3-Dimethylcyclopentane	0.3		T
53	3.833	1,2,3-trimethylcyclopentane			T
54	3.992	Toluene	0.3		0.2
55	4.175	3,5-Dimethyloctane			0.1
56	4.225	2,3,3-Trimethyl-1-pentene	0.2		
57	4.325	2,5-Dimethylhexane	0.1		0.1
58	4.383	2,3-Dimethyl pentane	0.1		T
59	4.650	2,3-Dimethylhexane	0.5		
60	4.725	2,5-Dimethyl-2-hexene	0.1		
61	4.858	2-Methylheptane	0.2		
62	5.108	3-Methylheptane	0.3		T
63	5.367	2,4-Dimethylhexane	1.4		T
64	6.917	Ethylbenzene	0.2		
65	7.092	<i>o</i> -Xylene	0.5		
66	21.258	1-Methyl- <i>trans</i> -4-ethylcyclohexane		0.3	
67	25.667	7-Hexyltridecane			0.1
68	26.000	5-Phenyl-undecane			0.2
69	26.967	<i>n</i> -Hexadecane			0.1
70	27.100	2,6,10-Trimethyltetradecane			T
71	28.183	<i>n</i> -Octadecane			0.1
<u>Ketones(7)</u>					
72	2.517	3-Methyl -2-butanone			2.1
73	2.717	Acetoin			0.4
74	3.608	3-Methyl-2-pentanone			0.2
75	6.000	3-Methyl-3-penten-2-one			0.1
76	15.725	3,5-Octadien-2-one		0.2	
77	22.317	3-Methoxy acetophenone		2.0	0.3
78	25.892	β -Ionone		1.3	
<u>Miscellaneous compounds(9)</u>					
79	1.183	Isopropylamine			0.1
80	2.800	2-Ethylfuran			0.2
81	3.700	<i>sec</i> -Amyl nitrate			T
82	3.708	1,1-Diethoxyethane	0.2		
83	6.042	1-Nitroheptane			T
84	11.983	2-Amylfuran			T
85	20.117	Indole			0.1
86	28.933	1-Chlorooctadecane			0.1
87	29.333	Myristyl chloride			0.1

Table 2. Continued

Peak No.	Retention time(min)	Compounds	Peak area(%)		
			P&T ^{a)}	SDE A ^{b)}	SDE B ^{c)}
Sulfur compounds(30)					
88	1.283	methyl mercaptan		8.5	8.1
89	1.842	2-Methyl-1-pentanethiol	2.7		
90	2.358	Methyl n-hexyl disulfide			0.1
91	2.567	Methyl thiocyanate			0.2
92	3.383	2,3-Dimethyl disulfide		4.3	29.8
93	3.558	2-Mercaptoethanoic acid			0.5
94	3.583	2,4-Dimethylsulfolene			0.2
95	5.517	Propyl isothiocyanate		2.0	T
96	8.317	Methional		0.7	
97	9.042	sec-Butyl Isothiocyanate			T
98	9.567	3-Methylthiobutanol			T
99	10.433	2,3,4-Trithiapentane		3.2	3.1
100	11.567	2-Amino-4-methyl-1,3-thiazole			T
101	12.092	2-Acetylthiazole			T
102	14.150	Dithioglycol			T
103	15.175	2-Thiaoctane		0.1	
104	15.583	n-Pentyl isothiocyanate		0.3	
105	16.867	2-Thianonane		12.4	
106	17.825	Hexyl isothiocyanate		3.8	
107	18.408	5-(Methylthio) pentanenitrile		0.2	
108	19.017	2-Methyl-3-pentanethiol		0.8	
109	20.467	5,6-Dihydro-2,4,6-trimethyl-1,3,5-dithiazine			T
110	22.708	1,5-Bis(methylthio) pentane		0.2	
111	24.533	4-Methylthio-3-butenyl isothiocyanate		29.8	2.0
112	24.750	3-Methylthiononanal		0.3	
113	24.867	2-Methyl-2-thiapentane		0.5	
114	25.100	2-Phenylethyl isothiocyanate		1.8	
115	26.117	4-Ethyl-5-methylthiazole		0.2	
116	26.467	sec-Butylthio cyclopentane		7.2	
117	26.558	Decyl nonyl sulfide		0.2	

^{a)}P&T : extracted with diethyl ether by purge & cryogenic trapping method

^{b)}SDE A : extracted with diethyl ether by simultaneous steam distillation/extraction method

^{c)}SDE B : extracted with diethyl ether-pentane mixture(2:1, v/v) by simultaneous steam distillation/extraction method

^{d)}T : trace(peak area 0.01~0.04%)

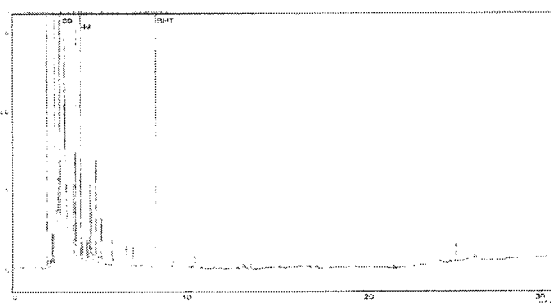


Fig. 1. GC chromatogram of volatile flavor components of radish sprout by P&T method.

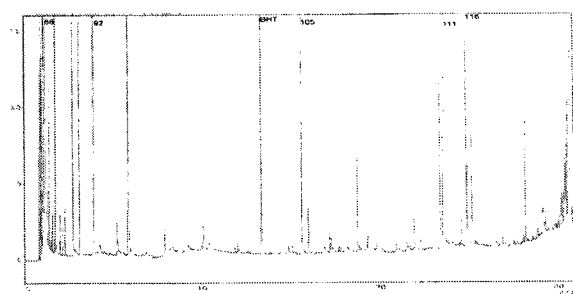


Fig. 2. GC chromatogram of volatile flavor components of radish sprout by SDE A method.

Table 3. Comparison of relative flavor concentration by functional groups in radish sprout

Functional group	P&T(%) ^{a)}	SDE ^{b)}	
		A ^{c)} (%)	B ^{d)} (%)
Acid	0	0.34	0
Alcohols	0.42	6.74	1.22
Aldehydes	0	10.19	13.73
Esters	12.58	2.40	13.53
Hydrocarbons	84.12	0.58	23.83
Ketones	0	3.44	3.05
Miscellaneous Compounds	0.19	0	0.59
Sulfur compounds	2.67	76.63	44.04
	99.98	100.32	99.99

a) Peak area of purge & cryogenic trapping method

b) Peak area of simultaneous steam distillation/extraction method

c) A : extracting solvent is diethyl ether

d) B : extracting solvent is diethyl ether-pentane mixture(2:1, v/v)

요 약

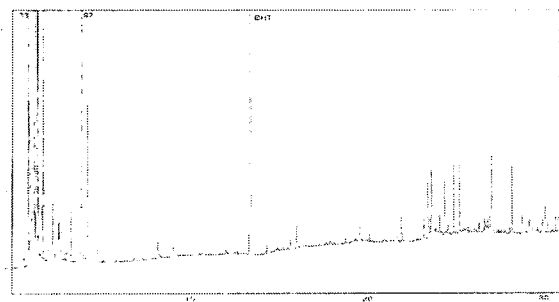


Fig. 3. GC chromatogram of volatile flavor components of radish sprout by SDE B method.

thiocyanate 함유량인 90% 수준에는 미치지 못한다.

한편, sulfur compound 중 methyl mercaptan은 SDE A법으로 추출시나 SDE B법으로 추출시 비슷하게 검출되었으며, dimethyl disulfide는 SDE A법으로 추출할 때 보다 SDE B법으로 추출할 때 훨씬 잘 추출되었으며, flask의 headspace에 포집된 무의 향기성분을 GC로 분석하는데 methyl mercaptan은 추출시간이 길어질수록 함량이 점점 증가되어 90분 후 최대로 생성되며, dimethyl disulfide는 methyl mercaptan의 소실과 함께 급격히 증가된다는 Esaki 등²⁰⁾의 보고에 따르면, 본 실험의 2시간이라는 추출시간은 적당하였으며, 분석방법은 다르지만 methyl mercaptan에 뒤이어 dimethyl disulfide가 검출된 점도 같았다.

십자화과 식물인 무(*Raphanus sativus* L.)의 어린 싹(무순)이 독특한 향과 맛으로 소비가 증가하고 있는바 그 향기성분을 SDE(simultaneous steam distillation/extraction)법과 P&T(purge and cryogenic trapping)법으로 추출하여 비교, 분석하였다. 향기성분 포집시 SDE법에서는 diethyl ether 및 diethyl ether-pentane mixture(2:1, v/v)를 용매로 사용하고 P&T법에서는 diethyl ether를 사용하였다. GC와 GC-MS를 사용하여 동정한 결과 diethyl ether로 추출한 SDE법에서는 함황화합물(19종, 76.6%)이 주성분이었고, diethyl ether-pentane mixture로 추출한 경우 함황화합물(15종, 44.0%)과 탄화수소류(23종, 23.8%)가 주성분이었으며, P&T법으로 추출할 경우는 탄화수소류(25종, 84.1%)가 주성분이었다. 또한 신선한 무순의 주 향기성분은 hydrocarbon류인 n-heptane, methyl pentane이었으며, 익은 무순의 주 향기성분은 sulfur compound에 속하며 무의 주성분이기도 한 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate, methyl mercaptane, 2,3-dimethyl disulfide 등이었다. SDE법보다 P&T법에 의해 추출할 경우 향기성분의 종류와 상대적 양은 적어 분리능은 떨어지는 편이나 저분자 휘발성 물질은 오히려 더 많이 검출되어 추출방법에 따라 포집되는 향기성분의 종류와 양에 차이가 있었다.

참고문헌

1. 한국영양학회 : 한국인의 영양권장량, 7 ed., 중앙문화사, 서울, p. 306~307 (2000).
2. 박상근, 김광용 : 수경재배(영농기술시리즈30), 오성출판사, 서울, p. 349~355 (1999).
3. 편집부 : 수경재배입문, 전원문화사, 서울, p.10~16 (1999).
4. Lee, J. M., Yoo, I. O. and Min, B. H. : Effect of cultivars and cultural conditions on the pungent principle contents in radish roots, *J. Kor. Hort. Sci.*, 37, 349~356 (1996).
5. 고현주 : 무품종 및 계통간 신미성분 함량 비교, 경희대학교 석사학위 논문 (1995).
6. Cynthia, J. M. and Michael, J. M. : Flavor analysis, American Chemical Society, Washington, p. 39 (1997).
7. Aug, Y. C. and Macleod, A. : A comparison of the efficiency of the Likens and Nickerson extractor for aqueous, lipid/aqueous and lipid samples, *J. Agric. Food Chem.*, 29, 502~505 (1981).
8. Manura, J. J. : Methodologies for the quantification of purge and trap thermal desorption and direct thermal desorption analysis, Short Path Thermal Desorption Note, 9 (1991).
9. Ray, M.(ed.) : Techniques for analyzing food aroma, Marcel Dekker, Inc., N. Y., 241 (1997).
10. Schultz, T. H., Flath, R. A., Richard, T. M., Eggling, S. B. and Teranishi, R. : Isolation of volatiles components from a model system, *J. Agric. Food Chem.*, 25, 446~449 (1977).
11. 권용주, 권중호, 박근형, 박양균, 양희천 : Food chemistry, 영지문화사, 서울, p. 341 (2000).
12. Melvin, E. D., Gayland, F. S., Diana, G. C., Gertrude, B. R., Anita, M. B. and Richard G. P. : Glucosinolate composition of seeds from 297 species of wild plants, *Phytochemistry*, 30, 2623~2638 (1991).
13. Maeda, Y., Madson, J. O., Ozawa, Y. and Uda, Y. : Precursor of yellow substance in fresh radish root and some factors affecting the yellowing thereof, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 29, 522~528 (1982).
14. Kim, K., Kobayashi, A. and Kubota, K. : Flavor formation of boiled radish, *J. Home Econ. Japan*, 42, 961~966 (1991).
15. Uda, Y., Ozawa, Y., Ohshima, T. and Kawakishi, S. : Identification of enolated 2-thioxo-3-pyrrolidinecarbaldehyde, a new degradation product of 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate, *Agric. Biol. Chem.*, 54, 613~617 (1990).
16. Uda, Y., Matsuoka, H. S., Kumagami, H. and Maeda, Y. : Antimicrobial activity of water-soluble products derived from radish mustard oil and identification of an active component therein, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 40, 801~806 (1993).
17. Ozawa, Y., Uda, Y., Ohshima, T., Saito, K. and Maeda, Y. : Formation of yellow pigment by the reaction of 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate with L-ascorbic acid and some dihydroxyphenolic compounds, *Agric. Biol. Chem.*, 54, 605~611 (1990).
18. Uda, Y., Matsuoka, H. S., Kumagami, H., Shima, H. and Maeda, Y. : Stability and antimicrobial property of 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate, the pungent principle in radish, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 40, 743~746 (1993).
19. Huang, S. W., Hopia, A., Schwarz, K., Frankel, E. N. and German, J. B. : Antioxidant activity of α -tocopherol and trolox in different lipid substrates: Bulk oil vs oil-in-water emulsions, *J. Agric. Food Chem.*, 44, 444~452 (1996).
20. Esaki, H. and Onozaki, H. : Formation and disappearance of pungent principles in grated radish, *J. Home Econ. Japan*, 33, 513~520 (1982).

(2001년 1월 9일 접수)