J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.
31(1), 21~25(2002)

당-단백질 가열반응 시에 생성되는 향기성분에 미치는 지질의 영향

주 광 지
계명대학교 식품영양학과

Effect of Lipid Mediated Glucose-Protein Reaction on Thermal Flavor Generation

Kwang-Jee Joo

Dept. of Food Science and Nutrition, Keimyung University, Daegu 705-701, Korea

Abstract

The contribution of lipid to thermal flavor generation from glucose-protein reaction was accomplished by isolating flavor compounds from casein-glucose (CG) and casein-glucose-corn oil (CGL) which were stored for 2 and 4 weeks at 60°C and then reacted at 160°C for 1 hr. The volatiles from the reactant mixtures were isolated by a solvent extraction method with methylene chloride and analyzed by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. Pyrazine, methylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2-ethyl-5-methylpyrazine and 2-acetylpyrrole originated from interaction of thermal degradation of casein and lipid oxidation were identified in the CGL samples. It was also found that 3-methyl-1-butanol, 2-cyclopene-1,4-dione, heptanal, nonanal, and 2-heptanone were derived from lipid source. Two additional fatty acids, heptanoic acid and octanoic acid were also identified in the CGL samples. 5-Hydroxymethyl-2-furfural, the most abundant volatile, was responsible for the formation of sugar degradation product. The results suggested that the presence of lipid in the samples had more effect on the contribution of volatile formation of glucose-protein thermal reaction than the absence of lipid in the samples.

Key words: protein, lipid, glucose, flavor generation

서 론

식품을 가공하거나 저장할 때 단백질이나 펩타이드 그리고 아미노산 등의 아미노기가 환원당의 carbonyl기와 반응하여 Maillard 반응을 일으키며, 조리된 식품에서도 역시 자연발생적으로 광범위하게 생성되어 식품의 색과 맛을 증진시켜줄 뿐만 아니라 향미성분 생성에 중요한 역할을 한다. 식품의 맛과 냄새에 관한 관능적인 평가에 중요한 요소로 작용하는 지질도 바람직한 냄새를 생성하여 식품의 품질을 향상시킨다. 지질은 식품성분으로 탄수화물, 단백질과 더불어 공존하므로 가공 조리 시 Maillard 반응에서 피할 수 없는 요소가 된다. 지질이 산화되면 aldehyde나 ketone 등의 carbonyl 화합물이 생성되고 역시 아미노산이나 펩타이드와 반응하여 고분자의 갈색물질을 형성한다(1).

지질의 산화 유도체인 aldehyde는 Maillard 반응의 중간생성물과 반응하여 alkyl기를 가진 pyrazine을 생성하기도 하며, 펩타이드나 아미노산의 유리 아미노기와 더불어 직접으로 Schiff-base를 형성하게 하여 Maillard 반응의 진전을 유도하기도 한다(2). 특히 지방족 aldehyde인 pentanal, butanal, acetaldehyde 등은 cysteine이나 glutathione 등과 반응하여 함황 헤테로고리 화합물인 thiazole, thiophene 등을 생성한다(3,4). Zhang과 Ho(5)는 펩타이드인 glutathione과 지방산화 생성물인 2,4-decadienal을 반응시킨 model 실험을 통하여 Schiff-base를 형성하게 하여 많은 양의 2-pentylpyridine 형성을 유도하였다. 이 2-pentylpyridine은 가열반응 model system에서 뿐만 아니라 튀김식품인 닭튀김과 프렌치 프라이 등에서도 발견되어서 튀김식품의 중요한 향기성분이라고 알려져 있다. 식품의 가열, 조리, 가공과정에서 환원당과 단백질이 반응하여 역치가 낮은 독특한 방향성분을 형성하며, 이와 유사한 반응이 지질의 유도체인 aldehyde와 아미노산의 상호 작용에서도 발생하여 역시 독특한 향기성분의 지방족 화합물을 생성한다.

본 연구에서는 영양적으로 우수하고 다양한 아미노산을 함유한 우유 단백질인 casein에 glucose와 옥수수기름을 첨가하여 향기성분을 생성하게 하고 당-단백질이 가열반응될 때 생성되는 향기성분에 지질이 어떤 영향을 미치는가를 알아보고자 하였다.

E-mail: kjj246@kmu.ac.kr
Phone: 82-53-580-5872. Fax: 82-53-580-5885

재료 및 방법

재료

우유 단백질인 casein과 D-glucose는 Sigma(St. Louis, MO, USA)제품이며, 첨가 지질로 사용한 옥수수 기름은 Mazola (Best Food, NJ, USA)를 사용하였다. 추출용매인 methylene chloride는(J. T. Baker Inc., NJ, USA) chromatograpy용이며, 내부 표준물질로 사용한 pentadecane은 Aldrich 제품(Aldrich Chemical Inc., St. Louis, USA)이었다. 그 외의 모든 시약은 특급을 사용하였다.

시료조제

탈지 casein을 만들기 위하여 casein 50 g을 삼각플라스크에 넣고 ethyl ether 300 mL를 가하여 실온에서 shaker를 사용하여 18시간 교반한 후에 용매를 여과하고 hood안에서 건조하였다. 옥수수 기름은 전기 팬을 사용하여 온도를 180±2 ℃로 조절하여 24시간 가열하였다. Casein 5 g과 glucose 5 g 그리고 가열한 옥수수 기름 10 g(CGL)을 잘 섞어서 투명한 삼각플라스크에 넣어서 뚜껑을 약간 열어 공기가 유통할 수 있는 상태로 60℃의 incubator에서 각각 2주, 4주 동안 저장하였다. 한편 위와 같은 방법으로 casein 5 g과 glucose 5 g(CG)도 60℃의 incubator에서 각각 2주, 4주 동안 저장하였다. 옥수수 기름을 첨가하지 않은 시료(CG)와 첨가한 시료(CGL)의 2주, 4주 동안 저장한 4개의 각 시료에 증류수 100 mL를 가하여 잘 혼합하고 1 N NaOH 용액으로 pH를 8.0으로 조정한 후 pressure reactor(PARR 4842, PARR Instrument CO., USA)의 stainless steel 실린더에 넣었다. 반응물의 반응온도가 15분 이내에 160℃에 이르도록 하고 실린더의 회전 속도를 150±5 rpm으로 하여 60분 반응시켜 향기성분 생성을 유도하였다. 반응이 끝난 후 7~8분 이내로 반응생성물의 온도가 30℃가 되도록 냉각수를 흐르게 한 후 reactor의 뚜껑을 열었다. 대조구로 casein과 glucose를 각 5 g씩 위와 같은 방법으로 반응생성물을 제조하였다. 가열한 옥수수 기름의 과산화물가는 AOCS법(6)에 의하여 측정하였다.

향기성분의 추출 및 분석

160℃의 reactor에서 60분간 가열한 시료의 반응생성물을 분액여두에 넣고 methylene chloride 100 mL를 가하고 내부 표준 물질로 pentadecane($C_{15}H_{32}$)을 시료에 대하여 10 ppm이 되도록 첨가하여 liquid/liquid extraction으로 향기성분을 추출하였다. 향기성분 추출과정은 두 번 더 반복하였으며 각각의 향기성분 추출용매를 한 곳에 모아서 무수 황산나트륨을 넣어 하룻밤 냉장고에 저장한 후에 무수 황산나토륨을 담은 깔대기를 통과시켜 잔존하는 수분을 제거시켰다. 향기성분을 함유한 용매를 synder column이 부착된 Kuderna-Danish 농축장치로 45℃에서 2 mL로 농축시켰으며, 눈금이 새겨진 적은 병에 옮겨 질소가스를 흘려보내서 최종 농축액을 0.3 mL로 만들었다. 향기성분은 FID가 장착된 Verian 3400 GC로 분석하였다. Column은 DB-1(60 m×0.32 mm (i.d.) 0.25 μm film thickness; J&W Scientific, CA., USA)이였으며 주입구의 온도는 270℃, 검출기의 온도는 300℃, carrier gas로 He을 분당 1 mL로 흘려 보냈으며, 시료 농축액은 1.0 μL를 주입하였고 spilt ratio는 50 : 1로 하였다. GC의 오븐 온도의 설정은 40℃에서 분당 2℃ 상승시켜 280℃에서 15분간 유지시켰다.

향기 성분의 동정 및 정량

검출된 각 향기성분은 GC-MS(Varian 3400-Finnigan MAT 8320 MS CA., USA)로 개별 향기성분의 mass spectrum을 얻었다. 이온화에 사용한 전자 에너지는 70 eV이였고, Ion source temp.는 250℃, 그 외의 모든 조건은 GC의 것과 동일하였다. 향기성분의 확인은 GC-MS의 결과와 hydrocarbon(C_5~C_{22} : Aldrich Chemical Inc., St. Louis, USA)의 혼합 표준품을 시료와 동일한 조건으로 GC에서 분석하여 얻은 retention time과 각 향기성분의 retention time을 Majlat 등(7)의 방법으로 산출한 retention index에 의하였다. 각 성분의 구조확인은 온라인 computer library(NIST)에 의하여 동정하였으며, 또한 이미 보고된 논문(8,9)의 mass spectra 결과와 비교하여 다시 확인하였다. 동정된 개별 향기성분의 함량 계산은 전보(10)에 의하여 각 성분 peak의 면적과 내부 표준 물질인 pentadecane의 peak 면적비(factor=1)의 상대적인 양으로 계산하였다.

결과 및 고찰

당과 단백질이 가열반응할 때 생성되어지는 향기성분에 지질의 산화생성물이 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 시료에 첨가한 옥수수 기름을 180℃에서 24시간 가열하였다. 신선한 옥수수 기름의 과산화물가는 0.248 meq/kg이었으며 24시간 가열 후 옥수수 기름의 과산화물가는 1.098 meq/kg이었다. 그리고 가열한 옥수수 기름을 60℃의 항온기에서 4주간 저장한 후의 과산화물가는 2.267 meq/kg로 증가하였다. 그러나 이러한 낮은 수치의 과산화물가는 다만 지질 산화의 초기단계를 나타내는 것에 불과하다고 할 수 있다. Casein과 glucose(CG), 그리고 casein, glucose와 가열한 옥수수 기름(CGL)을 가한 시료를 60℃의 항온기에서 2주간 또는 4주간 각각 저장한 후 160℃의 reactor에서 60분간 가열하였을 때 모든 시료는 점도가 높은 갈색의 물질이 되었다. 이 물질에서 추출한 향기성분 중 확인된 성분들은 화학 구조적인 면에서 aldehyde, ketone, N-containing compound 그리고 furan 등 몇 개의 분류로 나눌 수 있었으며, 지질을 첨가한 시료(CGL)에서 총 30개의 향기성분이 확인 동정되었으며, 지질을 첨가하지 않은 시료(CG)에서 20개의 개별성분이 확인되었다. 각 시료의 GC chromatogram을 Fig. 1에 나타내었으며 개별 향기성분을 정량적으로 분석한 결과와 이에 따른 retention index를 Table 1에 나타내었다.

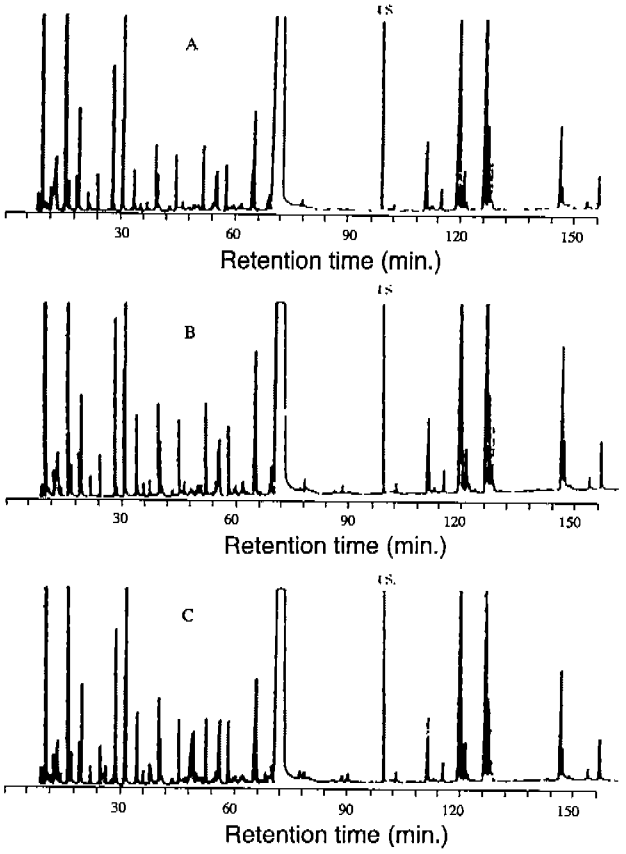

Fig. 1. Gas chromatogram of thermal flavor compounds isolated from casein (C), gluscose (G) and corn oil (L) stored for 4 weeks (4) at 60°C.
A: CG-0, B: CG-4, C: CGL-4.

단백질과 지질의 반응에서 유도된 향기성분

Casein과 glucose에 지질을 첨가한 시료(CGL)에서 함질소 헤테로 고리화합물인 pyrazine, methylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2-ethyl-5-methylpyrazine이 확인되었으며, methylpyrazine과 2,5-dimethylpyrazine의 함량은 pyrazine과 2-ethyl-5-methylpyrazine의 함량보다 현저하게 많았다(Table 1). 지질을 첨가하지 않은 시료(CG)에서도 methylpyrazine과 2,5-dimethylpyrazine이 확인되었다. Pyrazine 형성기전에 대하여서는 이미 많은 연구결과가 보고되어 있으나, 지질이 산화될 때 생성되는 carbonyl 화합물 중에서 특히 aldehyde가 Maillard 반응생성물이나 또는 그 중간 생성물과 직접으로 결합하여 헤테로 고리화합물을 형성한다(2). 최근에 Yaylayan과 Keyhani(11)는 2,5-dimethylpyrazine의 형성과정을 glucose의 C_3의 분해산물인 acetol, pyruvaldehyde, glyceraldehyde가 α-amino carbonyl 화합물과 결합하여 형성되어진다고 보고하였다. Chiu 등(12)은 amino ketone이 Strecker 분해과정을 통하여 가수분해하여 생성되는 1-hydroxy-2-propanone(acetol)이 약산성의 수용액에서 암모니아가 존재할 때 지방족 aldehyde인 pentanal과 반응하여 2,5-dimethylpyrazine을 생성하며, 또한 2,3-butanedione이나 acetaldehyde, 그리고 2-hydroxypropanal 등과 반응하여서는 ethyl-, allyl-, propyl-의 치환기를 가지는 pyrazine이 유도되어지는 생성경로를 보고하였다. 그러므로 본 실험에서 사용한 casein, glucose, 지질 시료에서도 Table 1에 나타난 heptanal, nonanal과 2,3-butanedione, 2,3-pentanedione 등이 이미 언급한 4개의 pyrazine을 생성하는데 기여한 것이라고 할 수 있다.

한편 다른 형태의 함질소 헤테로 고리화합물인 2-acetylpyrrole이 지질을 첨가한 시료(CGL)에서만 확인되었다. 2-acetylpyrrole은 alkylpyrazine과 같이 볶은 땅콩에서 처음으로 검출되어 보고되었으며, 아미노산이 환원당과 반응한 후 지질의 가열산화 분해성분에 의하여 생성된다는 보고(13)가 있으므로 2-acetylpyrrole은 시료에 첨가된 지질에 의하여 생성된 성분이라 사료된다. 또 다른 성분으로 2-actylfuran이 검출되었다. Furan은 가열식품의 달콤한 방향을 나타내어 식품의 맛을 돋우어 주는 역할을 하며 당의 분자가 활성화되어서 Amadori 전환의 과정을 통하여 amine 화합물과 반응함으로 고리화되어진다. 또한 glutamine과 같은 아미노산이 탈아미드화 반응을 함으로써 암모니아를 방출하게 되고 이것이 glucose분자의 절단 및 탈수반응을 촉진시켜서 furan형성을 유도하게 된다(14). Furan환의 산소원자는 sulfur나 nitrogen 원자로 치환될 수 있으므로 furan 화합물이 thiophene이나 pyrrole 화합물로 전환될 가능성이 크다. 특히 H_2S가 존재할 때 많은 양의 thiophene의 생성이 유도되어진다(15). 본 실험에서 확인된 2-acethylfuran의 상대적인 함량은 풍부하였으나, 2-acethylpyrrole의 함량은 미량이었으며 thiophene은 전혀 검출되지 않았다. 이것은 우유 casein에 존재하는 아미노산의 80%가 peptide 형태로 결합되어 있으며 함황 아미노산은 아주 낮은 함량을 나타내기 때문이라고 생각되어진다(16). 또한 시료로 사용한 casein에 존재하고 있는 함황 아미노산인 methionine에서 유도된 것으로 간주되는 methanethiol과 dimethyl disulfide의 함량은 다른 성분에 비하여 상대적으로 낮았다(11).

짧은 사슬의 2,3-butanedione, 2,3-pentanedione이 지질의 첨가 여부와 관계없이 모든 시료에서 관찰되어졌으며 이 성분들은 glucose에서 파생된 pyruvaldehyde와 L-alanine에 의하여 생성되어질 수도 있다고 사료되어진다(17). Maillard 반응 생성물로 간주되는 5-hydroxy-2-methylfurfural(5-HMF)은 모든 시료에서 가장 큰 peak로 총 생성 향기성분 함량의 62~78%를 차지하였다. 그 함량은 대조구의 것이 가장 많았으며 지질을 첨가하여 2주간 저장한 시료에서는 가장 낮은 수치를 나타내었다. 그 외 2-furfural, furfuryl alcohol, 5-methylfurfural 등도 모든 시료에서 확인되었으며 이 향기성분들은 glucose의 반응생성물이라고 생각된다.

지질에서 유도된 향기성분

Casein과 glucose에 지질을 가한 시료(CGL)를 60°C 항온기에서 2 또는 4주간 저장한 2개의 시료에서만 지질에서 유

Table 1. Volatile flavor compounds generated by thermal reaction of casein-glucose (CG) and casein-glucose-corn oil (CGL) at 160°C for 1 hr during storage 4 weeks

Compounds	Amount (ppm)					
	RI[1]	CG-0[2]	CG-2[2]	CGL-2[2]	CG-4[2]	CGL-4[2]
Alcohols						
Methanethiol	500-600	0.57	0.50	0.50	0.33	0.48
3-Methyl-1-butanol	785	-[3]	-	0.54	-	0.90
Furfuryl alcohol	834	3.00	3.96	3.03	4.13	4.35
Ketones						
2,3-Butanedione	500-600	0.27	0.21	0.17	0.17	0.22
2,3-Pentanedione	650	0.98	1.02	1.26	1.21	1.31
1-(Acetyloxy)-2-propanone	832	0.58	1.02	0.85	1.02	1.01
2-Cyclopentene-1,4-dione	841	-	-	-	-	0.10
2-Heptanone	874	-	-	0.31	-	0.46
2-Hydroxycyclohexanone	938	0.61	0.45	0.54	0.50	0.81
5-Hydroxy-2-(hydroxymethyl)-4H-pyran-4-one	1167	1.57	0.47	1.41	0.43	2.04
2-Methyl-3-(1-methylethyl)-cyclopentanone	1250	0.12	0.15	0.23	0.12	1.67
Aldehydes						
2-Furfural	806	14.04	13.95	12.50	14.90	16.23
Heptanal	882	-	-	0.15	-	0.19
Benzaldehyde	920	0.11	0.04	0.22	0.27	0.32
5-Methylfurfural	929	3.18	3.21	3.26	3.45	3.50
Nonanal	1071	-	-	-	-	0.37
Pyrazines						
Pyrazine	702	-	-	0.32	-	0.94
Methylpyrazine	800	4.40	4.41	3.84	4.40	4.75
2,5-Dimethylpyrazine	891	2.15	2.00	1.94	2.08	2.29
2-Ethyl-5-methylpyrazine	978	-	-	-	-	0.48
Acids						
Hexanoic acid	988	1.08	0.49	0.92	0.69	1.13
Heptanoic acid	1076	-	-	0.53	-	0.72
Octanoic acid	1155	-	-	0.45	-	1.23
Hydrocarbons						
2-Ethoxypropane	663	5.17	3.82	2.88	3.51	3.57
2,2-Dimethylpropane	739	1.74	1.67	1.26	1.59	1.63
3-Ethyl-1-octene	949	0.61	0.14	0.20	0.20	0.60
Pyrrole						
2-Acetylpyrrole	1013	-	-	0.73	-	0.82
Furan						
2-Acetylfuran	886	3.82	4.17	3.57	4.20	4.30
Sulfur compound						
Dimethyl disulfide	710	0.86	0.84	0.57	0.81	0.36
5-MF-2-F						
5-Hydroxymethyl-2-furfural	1193	377.75	327.95	217.54	317.96	353.51

[1]Retention indices. [2]Storage week. [3]-: Not detected.

도된 성분이라 생각되어지는 3-methyl-1-butanol이 동정되었다. 그리고 지질의 가열산화 성분으로 알려진 aldehyde로는 heptanal과 nonanal이 확인되었다. Ketone은 2-cyclopentene-1,4-dione과 2-heptanone이, 짧은 사슬 지방산으로는 heptanoic acid와 octanoic acid가 역시 지질을 첨가한 시료에서만 검출되었다. 특히 nonanal과 2-cyclopentene-1,4-dione은 다만 60°C에서 4주간 저장한 시료에서만 상대적으로 미량이 검출되었다. 이러한 모든 성분들은 지질의 가열산화에서 생성되어지는 성분이므로(18,19) 첨가된 지질에 의하여 생성된 것이라고 추정할 수 있다. 지질을 첨가한 시료에서 검출된 각 향기 성분의 함량은 60°C의 항온기에 저장한 기간이 2주에서 4주로 연장되면서 미량이나마 그 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 지질을 첨가하지 않은 casein과 glucose 반응 생성물(CG)에서도 지질에서 유도된 성분이라고 간주되어지는 1-(acetyloxy)-2-propanone과 2-ethoxypropane, 2,2-dimethylpropane, 그리고 hexanoic acid와 benzaldehyde, 3-ethyl-1-octane 등이 확인되었다. 이것은 casein에 존재하는 지질을 제거하기 위하여 탈지과정을 거쳤으나 지질이 완전히 제거되지 못하였기 때문이라 생각된다.

요 약

당-단백질의 가열반응 시에 생성되는 향기성분의 형성에 지질의 산화생성물이 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 casein과 glucose(CG) 그리고 지질을 첨가한 시료(CGL)를 60°C에서 각각 2, 4주씩 저장한 후에 pressure reactor에 넣어

160°C에서 60분 가열 반응시킨 시료에서 향기성분을 추출하였다. Casein, glucose, 지질(CGL) 시료에서 단백질과 환원당의 반응물이 지질의 산화생성물과 반응하여 생성된 함질소 헤테로 고리화합물인 pyrazine, methylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2 -ethyl-5-methylpyrazine과 2-acetylpyrrole이 확인되었다. 또한 지질의 가열산화 분해성분인 3-methyl-1-butanol, heptanal, nonanal, 2-heptanone과 짧은 사슬의 지방산인 heptanoic acid, octanoic acid가 검출되었다. 또 다른 화합물로 2-acetylfuran이 검출되었으며 glucose의 분해산물인 5-hydroxymethyl-2-furfural은 모든 시료에서 가장 큰 peak로 그 함량이 현저하게 많았다. 이상의 결과로 보아 시료에 첨가된 지질은 당-단백질 가열반응 시 생성되는 향기성분의 수와 그 함량을 증대시키는 작용을 하였다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 계명대학교 비사 연구비(1999년도)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사합니다.

문 헌

1. Pocorny, J. : Browning from lipid-protein interaction. *Proc. Food Nutr. Sci.*, **5**, 421-428 (1981)
2. Ho, C-T. and Carlin, J.T. : Formation and aroma characteristics of heterocyclic compounds in foods. In *Flavor chemistry: Trend and development*, Teranish, R., Buttery, R.G. and Shahidi, F. (eds.), ACS Symposium Series 388, Amer. Chem. Soc., Washington DC., p.92-104 (1989)
3. Hwang, S-S., Carlin, J.T., Bao, Y., Hartman, T.G. and Ho, C-T. : Characterization of volatile compounds generated from the reactions of aldehydes with ammonium sulfide. *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 538-542 (1986)
4. Rizzi, G.P., Steimle, A.R. and Patton, D.R. : Formation of dialkylthiophens in Maillard reactions involving cysteine. In *Food Science and Human Nutrition*, Charalambous, G. (ed.), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, p.731-741 (1992)
5. Zhang, Y. and Ho, C-T. : Volatile compounds formed from thermal interaction of 2,4-decadienal with cysteine and glutathione. *J. Agric, Food Chem.*, **37**, 1016-1020 (1989)
6. AOCS : AOCS Official Method Cd 8-53. In *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, 4th ed., AOCS, Champaign (1990)
7. Majlat, P., Erdos, Z. and Takacs, J. : Calculation and application of retention indices in programmed temperature gas chromatography. *J. Chromatogr.*, **91**, 89-103 (1974)
8. Huang, T-C., Brucchert, L.J. and Ho, C-T. : Kinetic of pyrazine formation in amino acid-glucose systems. *J. Food Sci.*, **54**, 1611-1614 (1990)
9. Hwang, H-I., Hartman, T.G., Rosen, R.T. and Ho, C-T. : Formation of pyrazines from the Maillard reaction of glucose and glutamine-amide-^{15}N. *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 2112-2115 (1993)
10. Lee, S-H. and Joo, K-J. : Analysis of volatile flavor compounds in sesame oil extracted by purge-and-trap method. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 260-265 (1998)
11. Yaylayan, V.A. and Keyhani, A. : Carbohydrate and amino acid degradation pathways in L-Methionine/D-[^{13}-C] Glucose model system. *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 800-803 (2001)
12. Chiu, E.-M., Kuo, M.-C., Bruechert, L.J. and Ho, C-T. : Substitution of pyrazines by aldehydes in model system. *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 58-61 (1990)
13. Ho, C-T., Lee, M-H. and Chang, S.S. : Isolation and identification of volatile compounds from roasted peanuts. *J. Food Sci.*, **47**, 127-133 (1981)
14. Izzo, H. and Ho, C-T. : Effect of residual amide content on aroma generation and browning in heated gluten-glucose model system. *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 2364-3267 (1993)
15. Shibamoto, T. : Volatile flavor chemicals formed by the Maillard reaction. In *Thermal Generation of Aromas*, Parliment, T.H., McGorrin, R.J. and Ho, C-T. (eds.), ACS Symposium Series 409, Amer. Chem. Soc., Washington DC., p.135-141 (1989)
16. Zhang, Y., Dorjpalam, B. and Ho, C-T. : Contribution of peptides to volatile formation in the Maillrad reaction of casein hydrolysate with glucose. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 2467-2471 (1992)
17. Yaylayan, V.A. and Keyhani, A. : Origin of 2,3-pentanedione and 2,3-butanedione in D-Glucdse/L-Alanine Maillard model system. *J. Agric. Food Chem.*, **47** 3280-3284 (1999)
18. Huang, T-C., Bruechert, L.J., Hartman, T.G., Rosen, R.T. and Ho, C-T. : Effect of lipids and carbohyderates on thermal generation of volatiles from commercial zein. *J. Agric. Food Chem.*, **35**, 985-990 (1987)
19. Selke, E., Rohwedder, W.K. and Dutton, H.J. : Volatile components from tristearin heated in air. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **52**, 232-235 (1975)

(2001년 8월 29일 접수; 2002년 1월 22일 채택)