

특집 : 식품 향기성분의 연구동향

가열처리 식품의 향기성분

김 종 국

상주대학교 식품영양학과

Flavors of Processed Food on Heating

Jong-Kuk Kim

Department of Food Science and Nutrition, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

서 론

식품의 향기는 색, 맛, 조직감 등의 품질적 특성과 함께 중요한 요소라고 할 수 있다. 천연식품의 경우 그 식품 특유의 향기를 가지고 있으며 식품의 기호성에 밀접한 관련성을 가지고 있다. 식품의 향기성분은 상당히 불안정하여 열, 광선, 공기 등의 영향을 받아 쉽게 소실되거나 변형되기도 한다. 가공식품의 경우 가공조작에 따라 많은 영향을 받으며 특히 식품소재의 가열처리에 의해 식욕을 돋우는 여러 가지 향기성분들이 생성되기도 하며 이취(off-flavor)를 나타내는 성분이 생성되기도 한다. 식품성분 중에는 단백질(펩티드, 아미노산), 탄수화물(당질), 지질이 주요성분이며 가열처리에 의하여 이러한 성분들의 상호작용으로 향미성분이 생성된다. 식품에서의 향기성분은 여러가지 반응들 중 식품에 존재하는 탄수화물(당)과 단백질(아미노산)이 가열처리에 의하여 상호작용이 일어나 형성되어 지는 것으로 보고되고 있다(10,11,12). 향기성분의 포집 및 분석방법과 가열처리 식품에서 새로운 향기성분의 생성에 대한 연구 결과와 더불어 가열처리에 따른 식품에서의 주된 화학반응과 향기성분의 생성에 영향을 미치는 요소들에 대한 연구자료들을 소개하고자 한다.

향기성분의 연구방법

향기성분의 포집 및 농축

향기성분 자체의 복잡하고 극미량으로 존재하는 성분 구성을 확인하는 일은 매우 어려웠다. 최근 식품에서의 향기성분 추출 및 농축기술은 분석기술의 발전과 더불어 크게 발전하여 왔다. 향기성분의 추출, 농축 및 분석에서

적용되어질 수 있는 방법들은 다음 그림 1과 같다. 식품소재에서 향기성분을 채취하는 방법은 증류법(1,39,43,44), 추출법(49), Headspace법(38,52) 등의 방법들이 주로 이용되고 있다.

증류법

증류방법은 식품에서 향기성분을 채취하는 일반적인 방법이다. 수증기증류법(상압, 감압)은 종래부터 많은 식품에서 향기성분을 분석하기 위하여 이용되어 왔다. 지방을 많이 함유한 식품의 경우에는 유기용매추출법이나 이산화탄소증류법이 향기성분의 좋은 채취방법이 된다. 비교적 열에 안정한 시료인 경우에는 향기성분을 채취하기 위한 방법으로 Likens-Nickerson이 최초로 고안한 방법인 연속수증기증류추출법(Simutaneous Steam Distillation and Extraction)이 최근에 많이 이용되고 있다(그림 2). 열에 불안정한 시료인 경우 추출 및 용매성분의 농축과정 중에 비점이 낮은 향기성분들은 쉽게 소실될 수 있기 때문에 초임계이산화탄소추출법을 사용할 수 있다. 이 방법은 ① 비교적 저온하에서 처리할 수 있기 때문에 열에 의한 분해 또는 변질이 적어 추출 효율을 높일 수 있다. ② 천연물의 특정성분을 선택적으로 분리 회수가 가능하다. ③ 잔류용매의 분리가 필요 없는점 등의 장점이 있다.

용매추출법

용매추출방법에서 수증기증류 및 감압증류는 서로 병용하여 식품에서 향기성분을 분리하기 위하여 많이 사용되고 있다. 사용하는 추출용매의 종류는 다양하여 목적으로 하는 성분의 효율적인 추출을 위하여 최적의 용매의 선택이 필요하다. 최근, 초임계 유체추출법(SFE)을 이용

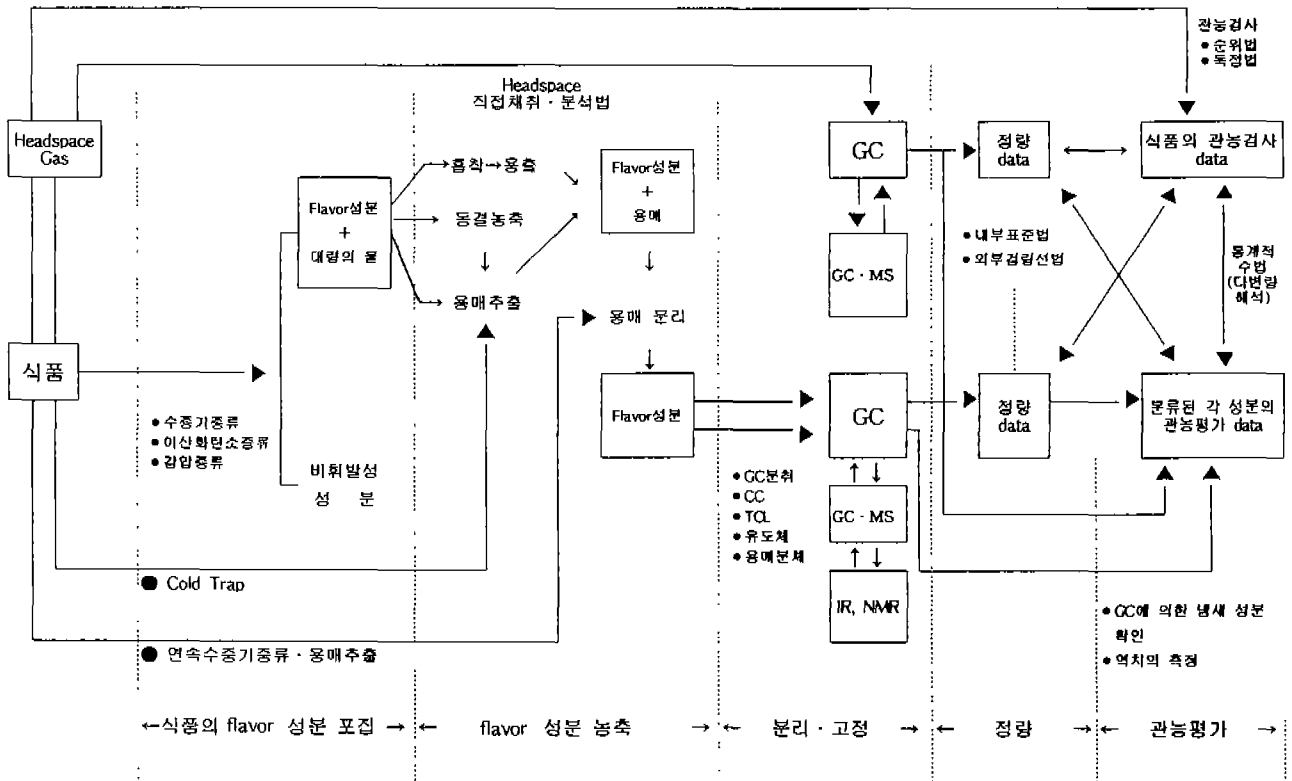


그림 1. Flavor 분석을 위한 단계별 조작방법.

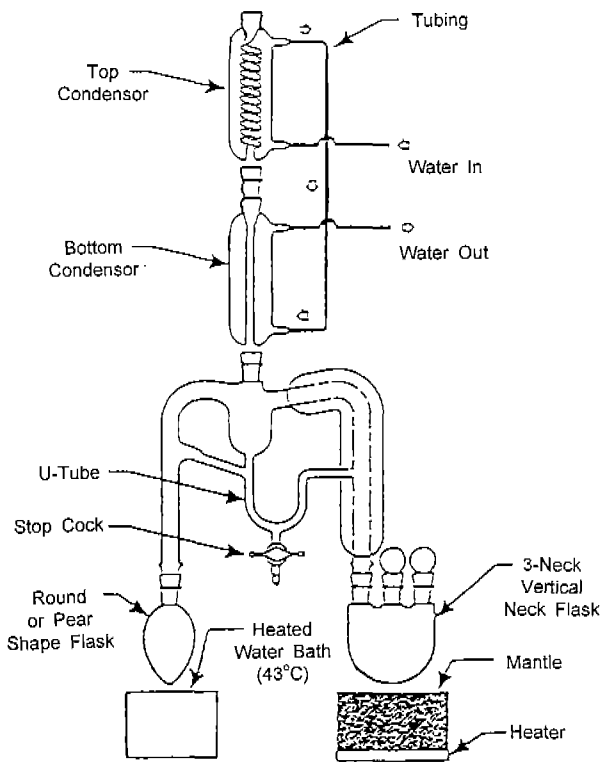


그림 2. Apparatus for simultaneous steam distillation and extraction of flavor compounds (Likens and Nickerson's Apparatus).

하여 향기성분의 추출이 검토되어 이루어지고 있다. 이 방법은 증류와 유기용매를 이용한 추출 및 침출의 원리를 동시에 이용하는 방법으로 증류의 추출 및 침출을 높은 압력하에서 하는 단위 조작인 동시에 증류의 증류보다 낮은 온도와 높은 압력에서 하는 단위조작으로 증류의 경우에는 온도구배가 유일한 구동력(driving force)이지만 유기용매의 경우에는 온도나 압력, 혹은 이들을 합한 것이 구동력이 될 수 있다. 이러한 조작은 상온 부근에서 조작하기 때문에 미량의 유용물질의 추출과 열에 불안정한 물질의 추출에 적당한 방법이며 용매의 임계온도와 압력을 초월하는 상태를 만들어 주어 용매가 기체적 특성과 액체적 특성을 동시에 나타내게 하여 용해도를 급격히 증가시키는 새로운 추출 방법이다.

Headspace법

Headspace 방법은 인간이 실제로 코로 느끼는 것과 동일한 조성의 향기성분을 분석하는데 적용되어지는 방법이다. 다른 방법과 비교해서 적은 시료가 필요하며 비교적 간편한 분석을 할 수 있는 잇점이 있다. 증류는 syringe 등을 사용하여 headspace 가스를 직접 채취하고 GC에 주입하여 향기성분을 분석하였다. 그러나 식품중의 향기성분 함량은 일반적으로 미량으로 존재하며 headspace 가스 중에는 많은 량의 물이 포함되어 있다. 그러한 headspace

가스중의 수분을 제거하고 향기성분을 농축할 필요가 있으며 여러 종류의 방법들이 고안되고 있다. 시료중에 불활성 가스를 불어 넣으며 추출되어 나오는 향기성분을 물냉각(water trap) 장치를 거치게 하여 채취하는 방법이 분석에 많이 사용되어진다. 불활성 가스를 이용한 치환방법은 그림 3과 같다. 실온하에서 headspace 가스 향기성분을 불활성가스로 치환하면서 연속적으로 향기성분을 추출하는 연속퍼지추출(SPE)법이 있다. 수분을 흡착하지 않으며 향기성분은 흡착하는 성질을 가진 흡착제를 이용하여 headspace 가스중에 포함되어 있는 향기성분을 채취하는 방법이 최근 향기성분 분석에 많이 이용되고 있다. 사용되는 흡착제는 alumina, 활성탄, silicagel, molecular sieve 등의 다공질의 polymer들이 있으며 최근에는 표면적이 작으면서 열안정성이 높은 Tenax(GC·TA)를 이용하여 많이 분석하고 있다. 흡착제에 포집된 성분은 소량의 용매에 녹여 가열하여 탈착시켜 GC등으로 분석한다. 이와같이 식품에서 향기성분의 포집방법은 매우 다양하며 분석의 목적과 시료의 특성인 열안정성, 점성 및 향기성분량 등에 의하여 적절히 선택되어야 한다.

향기성분의 분석방법

상기와 같이 식품 종류에 따라 적절한 포집방법으로 포집된 향기성분 시료는 GC, GC-MS, IR 및 NMR 등을 이용하여 분석하고 그의 화학분석용 시료로도 이용된다. Gas chromatography를 이용하여 표준물질의 크로마토그램 상의 retention time을 시료 peak와 비교하여 확인할 수 있으며 순수한 표준 물질을 얻지 못할 경우 또는 유사한 이성체나 유도체 또는 물질간의 peak가 근접되어 분리 확인이 불가능할 경우도 있다. 이러한 분석상의 문제점을 해결하기 위하여 분취조작에 의하여 각 성분을 분리시켜 그 물질의 구조를 질량분석(GC-MS), 적외선 스펙트럼

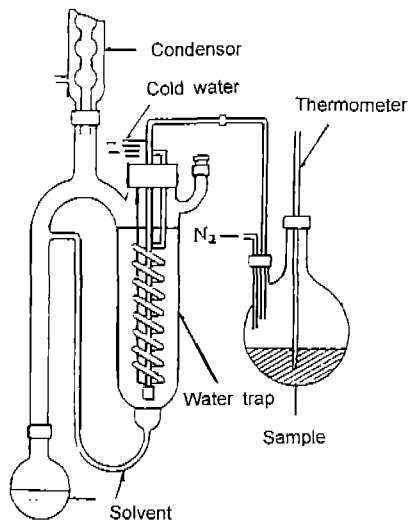


그림 3. Apparatus for purge extraction of flavor compounds.

(IR) 및 핵자기공명(NMR) 등의 분석 기법을 이용하여 해석하고 각각의 물질을 동정하게 된다. 일반적으로 GC의 검출기는 FID, FPD, FTD 등이 주로 이용되고 있으나 인간의 후각은 최고로 우수한 선택적 검출기이기 때문에 GC-sniffing에 의하여 gas chromatogram에서 각 peak에 해당하는 물질의 냄새를 판정하기도 한다. 최근에는 GC, GC-MS에 의한 향기성분들을 확인함과 동시에 gas chromatography olfactometry(GC/O)법을 통하여 확인된 화합물들과 인간이 느끼는 후각의 냄새 판정을 통하여 식품 특유의 냄새성분의 key compounds를 확인할 수 있다.

가열처리 식품의 향기성분 생성

가열처리에 따른 식품의 화학반응

식품은 고유한 향기성분을 가지고 있으며 가공시 박피, 절단, 파쇄, 착즙, 여과, 가열, 냉각, 발효, 농축, 살균 등 다양한 가공 공정을 거치게 되는데 이러한 공정중 향기성분은 영향을 받게 되며 그 중 가장 대표적인 영향 인자는 가열조작이라고 할 수 있다. 많은 연구자들에 의하여 150여종 이상 식품에서의 향기성분들이 밝혀졌으며 향기성분들이 생성되어질 수 있는 화학적 반응들은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫째는 Maillard 형 반응이고 둘째는 열적·산화적 반응을 들 수가 있다. 식품은 생화학적 조직들을 가지고 있어 두가지 형태 반응의 전구체가 생화학적으로 식품 자체에서 존재하고 있다. 최근 분석장치의 급속한 발전으로 각종 식품소재의 가공과정 중에 새로이 생성되는 향기성분들에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히 가열과정에 생성되는 주성분들은 Maillard 반응에 의하여 형성되는 것으로 밝혀지고 있다(46). 그 예로는 볶은 보리(2,6,7), 볶은 커피(37,42), 볶은 땅콩(8)들의 고소한 향기의 주성분의 하나가 피라진 유도체(Pyrazine derivatives)들이다. 이들 피라진 유도체는 볶는 과정에서 일어나는 갈색화 반응의 결과 형성되는 것으로 알려져 있다. 이외에도 빵류, 과자류, 각종 곡류제품, 분유 및 유제품, 각종 볶음차, 가열처리된 육류들 등의 향기성분의 주요성분의 일부는 Maillard 반응의 결과로 생성되는 것으로 밝혀지고 있다.

Maillard 반응을 통한 향기성분 생성

식품에 존재하는 여러 가지 성분 중 단백질(펩티드, 아미노산)과 탄수화물(당질)이 가공공정에서 가열처리로 Maillard 반응을 하게 되며 이때 여러 가지 향기성분들이 형성되게 된다. Maillard 반응이 일어남에 따른 효과와 영향은 그림 4와 같다.

가열식품에서 향기성분의 대부분은 Maillard 반응에 의하여 형성된다(12, 20, 46). 첫 번째 단계에서는 아미노화

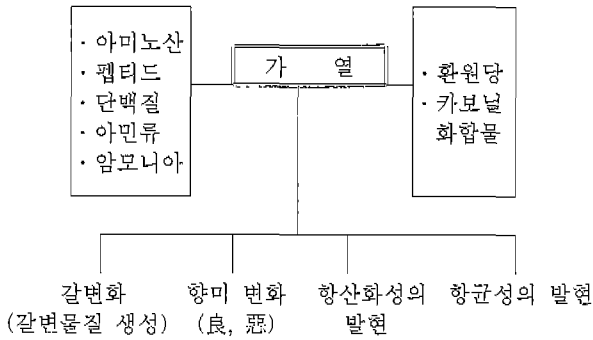


그림 4. Maillard 반응의 효과 및 영향.

합물과 환원당의 축합반응에 의하여 N-glycosides를 형성하게 된다. 이렇게 형성된 핵소오스류의 질소배당체, 즉 글라이코실아민은 곧 아마도리진위에 의해서 대응하는 케토오스아민이 된다. 이러한 화합물들은 열에 불안정하여 가열조작에 의하여 휘발성 향기성분으로 바뀌게 된다. Glucose를 가열처리시 furans와 furanoses를 형성하게 되는데 그 과정을 살펴보면 5-hydroxymethylfurfural과 5-methylfurfural은 3-deoxyhexosone의 탈수반응에 의하여 형성되며 2-acetylfuran과 furanone은 1-deoxyhexosone으로부터 형성되어 진다. 마찬가지로 pentoses는 furfural과 4-hydroxy-5-methyl-3-2H-furanone으로 변화한다. 이러한 반응기간 중에 furan 고리의 산소 원자는 질소 및 황 원소로 치환되면서 pyrroles과 thiophenes을 형성하게 된다. 중간단계에 들어서면 아마도리진위 생성물들의 분해와 함께 당의 산화반응이 일어나며 산화 생성물로부터 각종 환상물질(cyclic compounds)과 레덕톤류(reductones) 등이 형성되고 산화된 당류의 분해반응이 일어나게 된다. 이때 열분해에 의해 각종 caramel compounds들이 형성되어지며 이러한 화합물중 어떤것들은 flavor enhancers와 antioxidants로서 작용하게 된다. 최종단계에서는 중간단계에서 형성된 reductones, furfurals, furans, pyrroles 등의 유도체들과 각종 분해 생성물들의 축합 및 중합 반응들이 일어나게 된다. 또한 스트렉커형의 반응에 의하여 CO₂의 발생과 aldehydes의 형성이 일어나게 된다. 표 1은 각종 당을 아미노산 수용액중에서 100°C가 될 때

까지 가열하였을 때 생성되어지는 향기성분을 나타내고 있다.

Maillard 반응의 결과 생성되는 향기성분 화합물들은 당과 아미노산의 가열반응에서 생성되는데 생성 형태는 당, 아미노산의 종류 및 조성비, 가열온도 및 시간, pH, 반응계의 수분, 유지의 존재 유무 등에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 헤테로환상화합물은 냄새의 역치가 크고 적은 량에서도 독특한 향기성분을 나타내는 것들이 많으며 여러 가지 가열처리 식품의 향기성분에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. 가열처리 식품에서 생성되는 헤테로환상화합물들의 종류와 수는 그림 5와 같으며 당의 탈수 반응에 의해 생성되는 furan류의 수가 가장 많고 다음으로 pyrazine류, pyrrole류, thiophene류, thiazole류 등의 향기성분들이 많이 생성되어진다.

가열처리에 따른 새로운 향기성분 생성

식품의 가열처리 조건에 따른 결정자의 향기성분의 양적인 변화를 비교 분석하기 위하여 볶음처리전의 결정자와 볶음온도를 190°C, 210°C, 230°C에서 각각 20분간 볶음 처리한 결정자로부터 향기성분을 연속수증기증류추출법(SDE)으로 포집하여 GC 및 GC-MS로써 분석하였다.

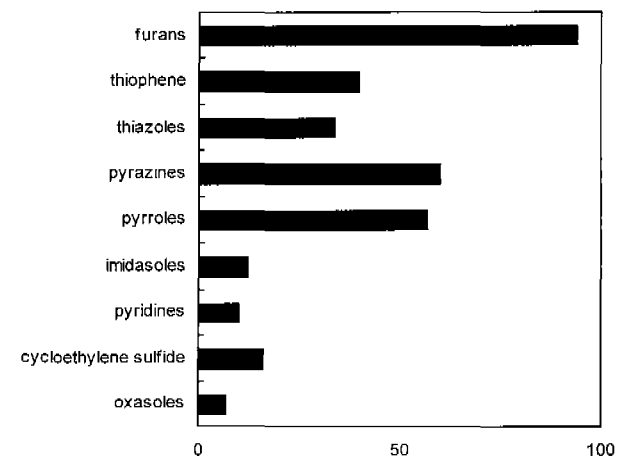


그림 5. Maillard reactions 중 확인되는 헤테로환상화합물의 수.

표 1. 아미노산과 당의 가열시 생성되는 향기성분 예

Amino acid	Glucose	Fructose	Maltose	Sucrose
Glycine	caramerized sugar faint beer	unpleasant caramel sweet	weak	objectionable weak NH ₃
Methionine	over cooked sweet potato	objectionable chopped cabbage	over cooked cabbage	unpleasant burn wood
Glumaine	old wood, pleasant	too weak	too weak	pleasant caramel
Lysine	baked sweet potato	objectionable fried butter	unpleasant wet wood	rotten wet potato
Phenylalanine	rancid caramel, unpleasant violets	stinging smell very objectionable	pleasant sweet caramel	unpleasant sweet caramel

각 가열처리 조건에 따른 향기성분의 크로마토그램은 그림 6, 7, 8, 9와 같다. 볶음처리하지 않은 결명자의 향기성분은 7개의 peak가 분리 확인되었고 볶음처리를 함에 따라 retention time이 12분 이후에서 새로이 많은 성분들이 생성되기 시작하였으며 190°C에서는 13종, 210°C에서는 22종, 230°C에서는 32종이 분리 확인되었다. 이와같이 가열온도의 증가에 따라 발견되는 향기성분의 수는 크게 증가하였으며 그 상대적 함량도 높게 나타남을 알 수 있었다.

휘발성 향기성분의 생성에 미치는 요소

가열온도 및 시간의 영향

Maillard 반응의 속도에 가장 큰 영향을 주는 가열온도와 시간에 따른 생성물의 종류, 량의 변화에 대한 보고들에 의하면 glucose와 leucine을 90~200°C에서 가열반응을 보았을 때 전체 휘발성 성분량은 온도상승에 따라 140°C까지는 감소하다가 그 이후에는 증가하였다. 동일계에서의 pyrazine류의 생성량은 140°C까지는 온도상승에 따라서 서서히 증가하다가 그 이후에는 증가율이 크게 높아진다고 하였다(46). 일반적으로 이러한 반응들의 속도는 반응물질들의 성질에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다.

가열반응계의 pH의 영향

식품의 가열처리 중 pH는 반응속도와 반응과정에 큰

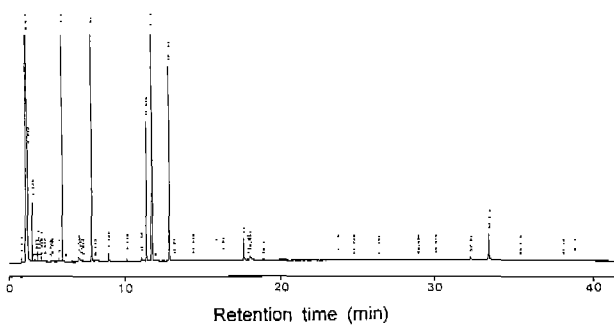


그림 6. GC chromatogram of flavor compounds in un-roasted Cassia tora seeds.

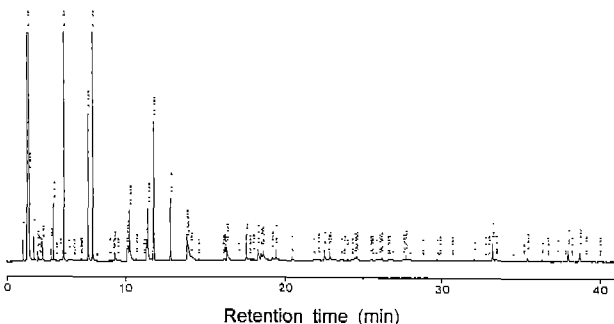


그림 7. GC chromatogram of flavor compounds in Cassia tora seeds roasted at 190°C for 20 minutes.

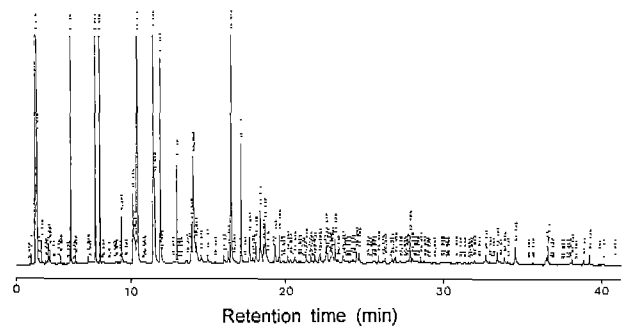


그림 8. GC chromatogram of flavor compounds in Cassia tora seeds roasted at 210°C for 20 minutes.

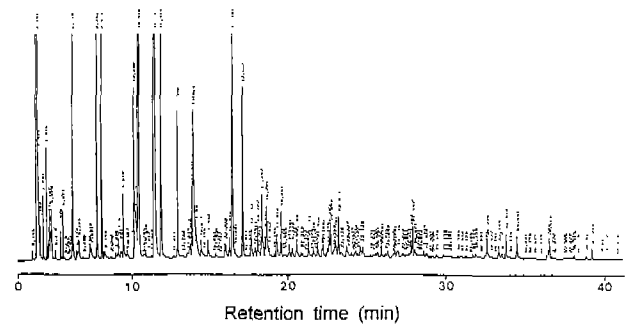


그림 9. GC chromatogram of flavor compounds in Cassia tora seeds roasted at 230°C for 20 minutes.

영향을 주게 된다. Furaneol과 cysteine의 수용액의 가열반응 생성물에서의 pH의 영향을 조사한 결과에서는 전휘발성성분의 생성량은 pH 5.1에서 최대를 나타내었다. 또한 각각의 생성물은 pH 2.2에서 3-methyl-2-(2-oxopropyl)thiophene, 1,2,3-trithia-5-cycloheptene의 생성량이 많았고 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane의 생성량은 적었으며 pyrazine류는 생성되지 않았다. pH 5.1에서는 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane의 생성량이 많았고 전향기성분의 25%를 차지하였다. pH 7.1에서는 thiazoles, thiazolines, furanones, pyrazines, oxazoles, dithiazines 등 많은 성분이 생성되었다고 보고하였다(46).

반응매체의 영향

Maillard 반응생성물은 반응계의 수분, 매체의 종류에 따라 생성되는 화합물이 다르게 나타난다. 가열온도 및 시간에 영향을 받는 것으로 알려진 furaneol과 cysteine의 가열반응생성물은 반응매체의 수분함량의 차이에 따라 2-ethylthiazole, 2-acetylthiazole 등의 thiazole류는 수분함량이 높을 때에 생성되어지며 2,4-dimethyl-4(or2)-hydroxy-3(2H)-thiophene 등은 thiophenol류, 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane은 수분함량이 75%에서 최대 생성량을 나타내었다고 보고되었다(46). 지방질은 식품에 반드시 존재하는데 식품의 가열에 따른 향기생성에 크게

관여하고 있다. 유지는 가열분해, 산화분해에 의하여 휘발성 향기성분을 생성하며 반응축매로서도 휘발성성분의 생성에 영향을 미친다. 실제 가열조리의 양식은 다양하며 가열형태의 차이는 수분의 존재, 탈수의 정도, 유지의 유무, 가열온도 및 시간 등에 따라서 결정된다. 최근 먹거리(食)에 대한 사람들의 관심이 증가하고 가공식품의 풍미에 대한 기대도 높아지고 있는 시점에서 가열조리식품의 보다 좋은 향미를 가진 가공식품을 제조하는 것은 상품의 가치를 결정하는 중요한 요소가 된다.

참고 문헌

1. 김중국 : 결명자 종실의 향미성분 및 이화학적 특성에 대한 볶음조건의 영향. 경북대학교 대학원 박사학위 논문 (1994)
2. 석호문 : Roasting 온도가 쌀보리팩아의 향기생성에 미치는 영향. 중앙대학교 대학원 박사학위 논문 (1987)
3. 하재호 : 참깨의 볶음조건에 따른 참기름의 향기성분의 변화. 고려대학교 대학원 박사학위 논문 (1991)
4. Kato, H., Doi, Y., Ysugita, T., Kosai, K., Kamiya, T. and Kurata, T. : Changes in volatile flavour components of soybeans during roasting. *Food Chem.*, **7**, 87 (1981)
5. Rohan, T.A. and Stewart, T. : The precursors of chocolate aroma, changes in the sugars during the roasting of cocoa beans. *J. Food Sci.*, **31**, 206 (1966)
6. Wang, P.S., Kato H. and Fujimaki M. : Studies on flavor components of roasted barley (IV) ; The volatile sulfur compounds, fatty acids and neutral non-carbonyl oxygenated compounds. *Agr. Biol. Chem.*, **34**, 561 (1970)
7. Wang, P.S., Kato H. and Fujimaki M. : Studies on flavor components of roasted barley (II) ; The major volatile carbonyl compounds. *Agr. Biol. Chem.*, **32**, 501 (1968)
8. Chiou, R.Y.Y., Chang, Y.S., Tsai, T.T. and Ho, S. : Variation of flavor-related characteristics of peanuts during roasting as affected by initial moisture contents. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 1155 (1991)
9. Kim, W.J., Chun, Y.H. and Sung, H.S. : Evaluation and prediction of color changes of sugar-glycine mixtures by Maillard reaction. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **18**, 306 (1986)
10. 加藤保子, 中村 良 : 糖-蛋白質의 Maillard 反應機構についての新しい展開-Amadori 轉移生成物の立體配座をもとにして. *日本農化學會雜誌*, **61**, 974 (1987)
11. Hayase, F. and Kato, H. : Chemical analysis of the compounds produced by amino-carbonyl reaction in foods and biological systems. *J. Oil Chem.*, **38**, 865 (1989)
12. Reyes, F.G.R., Poocharoen B. and Wrolstad, R.F. : Maillard browning reaction of sugar-glycine model systems, Changes in sugar concentration, color and appearance. *J. Food Sci.*, **47**, 1376 (1982)
13. Hodge, E. : Chemistry of browning in model systems. *J. Agric. Food Chem.*, **1**, 928 (1953)
14. Burton, H.S., Mcweeny, D.J. and Biltcliffe, D.O. : Non-enzymic browning development of chromophores in the glucose-glycine systems. *J. Food Sci.*, **28**, 631 (1963)
15. Elode, K.E., Dornseifer, O.P., Keith, E.S. and Powers J.J. : Effects of pH and temperature on the carbonyls and aromas produced in heated amino acid-sugar mixtures. *J. Food Sci.*, **31**, 351 (1966)
16. Benzing-Purdie, L.M., Ripmeester, J.A. and Ratcliffe C.I. : Effects of temperature on Maillard reaction products, *J. Agric. Food Chem.*, **33**, 31 (1985)
17. Shiamoto, T. and Bernhard, P.A. : Effect of time, temperature, and reactant ratio on pyrazine formation in model systems. *J. Agric. Food Chem.*, **24**, 847 (1976)
18. Ashoor, S.H. and Zent, J.B. : Maillard browning of common amino acids and sugars. *J. Food Sci.*, **49**, 1206 (1984)
19. Schultz, T.H., Flath, R.A., Mon, T.R., Eggling, S. and Teranishi, R. : Isolation of volatile components from a model system. *J. Agric. Food Chem.*, **25**, 446 (1977)
20. Yamaguchi, N. and Fujimaki, M. : Studies on browning reaction products from reducing sugar and amino acids. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **21**, 20 (1974)
21. Kirigaya, N., Kato, H. and Fujimaki, M. : Studies on anti-oxidant activity of nonenzymic browning reaction products (I) ; Relations of color intensity and reductones with antioxidant activity of browning reaction products. *Agr. Biol. Chem.*, **32**, 287 (1968)
22. Kirigaya, N., Kato, H. and Fujimaki, M. : Studies on antioxidant activity of nonenzymic browning reaction products part (II) ; Antioxidant activity of nondialyzable browning reaction products. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **43**, 484 (1969)
23. Kirigaya, N., Kato, H. and Fujimaki, M. : Studies on anti-oxidant activity of nonenzymic browning reaction products (III) ; Fractionation of browning reaction solution between ammonia and D-glucose and antioxidant activity of the resulting fractions. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **45**, 292 (1971)
24. Kawashima, K., Itoh, H. and Chibata, I. : Antioxidant activity of browning products prepared from low molecular carbonyl compounds and amino acids. *J. Agric. Food Chem.*, **25**, 202 (1977)
25. Soliman, M.A., El-Sawy, A.A., Fadel, H.M. and Osman, F. : Effect of antioxidants on the volatiles of roasted sesame seeds. *J. Agric. Food Chem.*, **33**, 523 (1985)
26. 이주원, 신효선 : 볶은 원두커피 갈색 추출물의 항산화 효과. *한국식품과학회지*, **25**, 220 (1993)
27. 李聖秀, 李 哲, 金東勳 : Maillard 型 褐色化 反應液에서 얻어진 absolute ethyl alcohol과 90% ethyl alcohol 抽出物の 抗酸化效果의 比較. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **7**, 37 (1975)
28. Takashi, Y., Yamamoto, M. and Tamura, A. : Studies on the formation of nitrosamines ; The effects of some polyphenols on nitrosation of diethylamine. *J. Food Hyg. Soc.*, **19**, 224 (1978)
29. Kato, H., Lee, I.E., Chuyen, N.V., Kim, S.B. and Hayase, F. : Inhibitory of nitrosamine of formation by nondialyzable melanoidins. *Agr. Biol. Chem.*, **51**, 1333 (1978)

30. 김선봉, 염동민, 도정룡, 윤형식, 변한석, 박영호 : Maillard 반응 유래 저분자 카르보닐화합물의 돌연변이원성과 그 억제기구. *한국식품과학회지*, **21**, 435 (1989)
31. Shibamoto, T. : Occurrence of mutagenic products in browning model systems. *Food Technol.*, **3**, 59 (1982)
32. Shibamoto, T., Nishimura, O. and Mihara, S. : Mutagenicity of products obtained from a maltol-ammonia browning model system. *J. Agric. Food Chem.*, **29**, 643 (1981)
33. Powrie, W.D., Wu, C.H., Rosin, M.P. and Stich, H.F. : Clastogenic and mutagenic activities of Maillard reaction model systems. *J. Food Sci.*, **46**, 1433 (1981)
34. Arroyo, P.T. and Lillard, D.A. : Identification of carbonyl and sulfur compounds from nonenzymatic browning reactions of glucose and sulfur-containing amino acids. *J. Food Sci.*, **35**, 769 (1970)
35. Tally, E.A. and Porter, W.L. : New quantitative approach to the study of nonenzymatic browning. *J. Agric. Food Chem.*, **16**, 262 (1968)
36. Reynolds, T.M. : Flavours from nonenzymatic browning reactions. *Australia Food Technol.*, Nov., 610 (1970)
37. Shimoda, M. and Shibamoto, T. : Isolation and identification of headspace volatiles from brewed coffee with an on-column GC/MS method. *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 802 (1990)
38. Lee, S. R., Macku, C. and Shibamoto, T. : Isolation and identification of headspace volatiles formed in heated butter. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 1972 (1991)
39. Au-Yeung, C.Y. and MacLeod, A.J. : A comparison of efficiency of the Likens and Nickerson extractor for aqueous, lipid/aqueous, and lipid samples. *J. Agric. Food Chem.*, **29**, 502 (1981)
40. MacLeod, G. and Coppock, B.M. : A comparison of chemical composition of boiled and roasted aromas of heated beef. *J. Agric. Food Chem.*, **25**, 113 (1977)
41. Derwal, B.V., Kettenes, D.K., Stoffelsma, J., Sipma, G. and Semper, A.T.J. : New volatile components of roasted cocoa. *J. Agric. Food Chem.*, **19**, 276 (1971)
42. Tressl, R. and Silwar, R. : Investigation of sulfur-containing components in roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.*, **29**, 1082 (1981)
43. Schultz, W.C. and Randall, J.M. : Liquid carbon dioxide for selective aroma extraction. *Food Technol.*, **24**, 94 (1970)
44. Uraiwan T. and Thomas C.Y.H. : Analysis of volatile flavor components in steamed Rangia Clam by dynamic headspace sampling and simultaneous distillation and extraction. *J. Food Sci.*, **56**, 327 (1991)
45. Raghavan, S.K., Reeder, S.K. and Khayat, A. : Rapid analysis of vegetable oil flavor quality by dynamic headspace capillary gas chromatography. *JAOCS*, **66**, 942 (1989)
46. 奥村 崇司 : メイラード反応によるフレバ成分の生成. *食品工業*, **1**, 41 (1992)
47. Wang, P.S. and Sakurai, Y. : Studies on flavor components of roasted barley (I) ; The production of flavor substance. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **15**, 514 (1968)
48. Ho, C.T., Lee, M.H. and Chang, S.S. : Isolation and identification of volatile compounds from roasted peanuts. *J. Food Sci.*, **47**, 127 (1981)
49. Nuss, Jeffrey S. and Guyer, D.E. : Concentration of onion juice volatiles by reverse osmosis and its effects on supercritical CO₂ extraction. *J. Food Processing Eng.*, **20**, 125-139 (1997)
50. MacLeod, G. and Coppock, B.M. : A comparison of the chemical composition of boiled and roasted aromas of heated beef. *J. Agric. Food Chem.*, **25**, 113 (1977)
51. Arnoldi, A., Arnoldi, C., Baldi, O. and Griffini, A. : Flavor components in the Maillard reaction of different amino acids with fructose in cocoa butter-water ; Qualitative and quantitative analysis of pyrazines. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 988 (1988)
52. Doi, Y., Tsugita, T., Kurata, T. and Kato, H. : Changes of headspace volatile components of soybeans during roasting. *Agr. Biol. Chem.*, **44**, 1043 (1980)
53. Coleman, E.C., Ho, C.T. and Chang, S.S. : Isolation and identification of volatile compounds from baked potatoes. *J. Agric. Food Chem.*, **29**, 42 (1981)