

조리방법이 간장 내 에틸카바메이트 함량에 미치는 영향

류다연 · 장영빈 · 이하늘 · 고은미[†]

서울여자대학교 식품응용시스템학부 식품영양학전공

Effect of Different Cooking Methods on Ethyl Carbamate in Soy Sauce

Dayeon Ryu · Youngbin Jang · Ha Nul Lee · Eunmi Koh[†]

Major of Food & Nutrition, Division of Applied Food System, Seoul Women's University, Seoul 01797, Korea

Abstract

Purpose: This study measured the ethyl carbamate (EC) content in commercial and home-made soy sauce and examined the effects of cooking methods, such as boiling and pan-frying, on the EC content. **Methods:** A total of 20 soy sauce samples including 14 home-made and 6 commercial products were analyzed according to the AOAC official method with some modifications. To simulate conventional boiling, soy sauce containing EC (14.59 µg/kg) was heated to 100°C for four different times: 10, 20, 30, or 40 min. Pan-frying was conducted for 4 min at 170°C. **Results:** EC was not detected in any of the homemade samples, whereas it was found in the commercial samples, ranging from 2.51 to 14.59 µg/kg. The concentrations of EC increased gradually with increasing boiling from 14.59 to 26.54 µg/kg, whereas pan-frying did not affect the EC level in soy sauce. **Conclusion:** These results indicate that EC is formed by a reaction between the EC precursors during boiling, suggesting that the cooking method of each food should be considered when estimating the dietary exposure to EC.

Key words: ethyl carbamate, soy sauce, cooking, boiling, pan-frying

I. 서론

에틸카바메이트는 발효과정에서 자연적으로 생성되는 인체발암추정물질(group 2A)로서(International Agency for Research on Cancer 2007), 알코올음료 및 발효식품에 존재하는 것으로 보고되고 있다(Korea Food and Drug Administration 2010). 과일브랜드와 같은 알코올음료에서 고농도의 에틸카바메이트가 보고되었으며(Uthurry CA 등 2006, Hasnip S 등 2007, Schehl B 등 2007, Nóbrega ICC 등 2015, Ryu D 등 2015), 간장, 치즈, 요구르트 등의 발효식품에서 에틸카바메이트가 검출되었다(Alexander J 등 2007, Hasnip S 등 2007).

우리 국민이 섭취하는 대표적인 발효식품으로는 간장, 된장, 고추장, 김치류, 장아찌류, 젓갈류, 식초, 요구르트 등이 있다. 간장의 1일 평균 섭취량은 7.10 g이었으며, 다빈도 식품 6위로 우리 식생활에 자주 등장하는 발효식품

이다(Korea Health Industry Development Institute 2013). 간장에 존재하는 에틸카바메이트가 미량일지라도 음식물을 통해 일생 동안 섭취되기 때문에 간장 내 에틸카바메이트 함량에 영향을 미치는 인자에 대한 연구가 필요하다.

간장의 발효과정에서 아미노산인 아르기닌이 대사되어 생성된 N-카바밀(carbamyl) 화합물(시트룰린, 요소 등)과 당의 발효산물인 에탄올이 반응하여 에틸카바메이트가 생성된다고 알려져 있다(Matsudo T 등 1993, Koh E 2003). 제래간장은 콩으로 메주를 만들어 고초균(*Bacillus subtilis*)과 곰팡이에 의해 발효된 뒤 소금물을 부어 담그는 반면에, 개량간장은 탈지대두와 밀에 황곡균(*Aspergillus oryzae*)을 접종하여 발효시킨 뒤 소금물을 부어 숙성시킨다. 이는 간장의 종류에 따라 주재료와 발효에 관여하는 미생물이 달라서 에틸카바메이트 전구체인 N-카바밀 화합물과 에탄올의 생성에 영향을 주게 되어 간장 내 에틸

[†]Corresponding author: Eunmi Koh, Major of Food & Nutrition, Division of Applied Food System, Seoul Women's University, 621 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul 01797, Korea

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6457-6792>

Tel: +82-2-970-5649, Fax: +82-2-976-4049, E-mail: kohem7@swu.ac.kr



카바메이트 생성이 달라질 수 있음을 의미한다.

한국인의 식생활에서 간장은 양념장 등으로 조리과정을 거치지 않고 바로 섭취되기도 하지만, 국, 찌개, 조림, 굽기, 볶기 등에서 가열된 후 섭취되는 경우가 더 빈번하다. 식빵을 토스트로 조리하였을 때 에틸카바메이트 농도가 증가되었으며(Dennis MJ 등 1997), 간장을 가열하는 시간에 비례하여 에틸카바메이트 함량이 높아지는 경향을 보였다(Matsudo T 등 1993). 이러한 선행연구는 가열처리가 식품 내 에틸카바메이트 함량에 영향을 줄 수 있음을 보여준다. 그러나, 지금까지 한국인이 섭취하는 간장 내 에틸카바메이트 함량은 가열에 의한 조리과정을 거치지 않은 시료에서 보고되었다(Lee YK 등 2000, Ryu D 등 2015). 간장 섭취를 통한 에틸카바메이트 노출량을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 식생활에서 실제로 섭취되는 상태의 시료에 대한 에틸카바메이트 함량 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 한국인이 섭취하는 개량간장과 재래간장을 수집하여 에틸카바메이트를 분석하고, 간장의 주요 조리방법인 끓이기와 볶기를 시뮬레이션하여 조리방법이 에틸카바메이트 함량에 미치는 영향을 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

1. 시약 및 재료

에틸카바메이트와 에틸기의 수소가 중수소로 치환된 d_5 -에틸카바메이트는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)와 C/D/N Isotopes(Pointe-Claire, Quebec, Canada)에서 구입하였고, 디클로로메탄(dichloromethane)과 아세톤은 J. T. Baker(Center Valley, PA, USA)의 HPLC급을 이용하였다. 정제컬럼(Chem Elut, 50 mL)은 Agilent Technologies(New Castle, DE, USA) 제품을 구입하였다.

시중에서 판매되고 있는 개량간장은 대형 마트에서 산분해간장을 제외한 양조간장 6종이 구입되었으며, 각 가정에서 담근 재래간장은 2016년 1월부터 3월까지 2개월 동안 서울, 경기도, 강원도, 충청도, 경상도, 전라도에서 총 14개 시료가 수집되었다(Table 1).

2. 표준용액 제조

표준물질 에틸카바메이트와 내부표준물질인 d_5 -에틸카바메이트를 0.1 g씩 칭량한 후 아세톤에 용해하여 1,000 $\mu\text{g/mL}$ 의 표준용액이 되도록 하였다. 이 용액을 다시 희석하여 10 $\mu\text{g/mL}$ 가 되도록 조제하고 희석하여 검량선 작성에 사용하였다. 내부표준용액은 증류수를 첨가하여 25배 희석한 내부표준첨가용액(400 ng/mL)을 제조하여 에틸카바메이트 분석에 사용되었다(Korea Food and Drug

Table 1. Collection site and aging period of 14 home-made soy sauces

Region	Aging (yr)	
Seoul	1	2
	2	1
	3	25
Gyeonggi	1	2
	2	4
	3	8
Gangwon	1	2
Chungcheong	1	5
Gyeongsang	1	5
	2	3
	3	4
Jeolla	1	2
	2	3
	3	4

Administration 2008).

3. 시료 전처리

간장과 증류수 내의 에틸카바메이트 분석은 AOAC 방법(AOAC 2000)과 식품의약품안전처 공고 2008-35호(Korea Food and Drug Administration 2008)를 수정하여 적용되었다. 간장 10 g을 비커에 칭량한 후 내부표준물질 d_5 -에틸카바메이트 100 ng (250 μL of 400 ng/mL in distilled water)과 증류수 30 g을 넣고 섞은 후 고체상 칼럼인 Chem Elut에 얹고, 증류수 10 mL로 비커를 헹구어 Chem Elut에 얹어 극성 화합물들을 고체상 충전물에 4분간 흡착시켰다. 디클로로메탄 160 mL로 에틸카바메이트를 용출시켜 감압 농축시켰다. 농축액을 v-vial로 옮기고 질소농축기(MG-2200, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 37°C에서 1 mL로 다시 농축하였다. 에틸카바메이트 정성 및 정량분석에는 기체크로마토그래프/질량분석기(7820A GC-5977E MS, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)가 사용되었다. 모든 시료는 3회 반복하여 추출 분석되었다.

4. 검량선 작성

10 $\mu\text{g/mL}$ 농도의 내부표준용액과 표준용액에 디클로로메탄을 가해 내부표준물질(100 ng/mL)과 표준물질(7.5, 10, 25, 50, 100, 200, 400 ng/mL)을 제조하여 검량선을 작성하였다. 검량곡선의 X축은 첨가한 내부표준물질에 대한 표준물질의 농도비로 하고 Y축은 내부표준물질에 대한 표준물질의 피크의 면적비로 작성하여 에틸카바메

이트를 정량하였다.

5. 조리법 시물레이션

수집된 간장 중에서 에틸카바메이트가 가장 높은 농도 (14.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$)로 함유된 개량간장이 조리법 시물레이션에 이용되었다.

끓이기: 간장의 습식조리법을 시물레이션하기 위해 삼각플라스크에 간장 100 mL를 담고 뚜껑으로 밀봉하고 100°C로 예열된 진탕향온조(JSSB-30T, JS Research Inc., Gongju, Korea)에 넣고 0, 10, 20, 30, 40분간 가열하였다.

볶기: 간장의 건식조리법은 간장 12 mL를 시험관에 담은 후 밀봉하고 170°C로 예열된 heating block(Reacti-Therm 111 heating module, Pierce, Rockford, IL, USA)에 넣고 0, 2, 4분간 가열하여 시물레이션하였다.

에틸카바메이트의 열 안정성을 확인하기 위해 14.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 에틸카바메이트를 첨가한 증류수를 사용하여 위와 동일한 조리법을 시물레이션하여 에틸카바메이트 함량 변화를 비교하였다. 조리된 간장 및 증류수가 담긴 삼각플라스크와 시험관을 찬물에 식힌 후 위에 설명된 시료 전처리 방법으로 에틸카바메이트를 분석하였다.

6. GC/MSD의 분석

에틸카바메이트의 정성 및 정량분석을 위해 기체크로마토그래프/질량분석기(Agilent Technologies)를 사용하였다. DB-WAX(Agilent Technologies, Folsom, CA, USA; 30 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness) 컬럼을 사용하였고 99.9999%의 헬륨가스를 1 mL/min의 유속으로 흘려주었다. 주입구 온도는 210°C이었으며, 시료는 1 μL 를 비분할법(splitless) 모드로 주입되었다. 오븐은 60°C에서 분당 10°C로 90°C까지 승온하고, 분당 2°C로 130°C까지 승온 후 5분간 유지한 다음 분당 20°C로 220°C까지 승온하고 3분간 유지하여 에틸카바메이트를 다른 화합물과 분리시켰다. 시료는 전자 충격 이온화법(electron impact ionization)을 사용하여 70 eV의 이온화 에너지로 이온화를 유도하였으며, 이온의 분리에는 사중극자형(quadrupole) 질량분석관이 사용되었다. Transfer line과 ion source 온도는 각각 240°C와 230°C였다. Scan 모드에서 간장과 표준용액의 total ion 크로마토그램을 얻고 에틸카바메이트 피크를 질량분석 스펙트럼으로 확인하였다. 에틸카바메이트를 정량하기 위해 SIM(selected ion monitoring) 방법으로 에틸카바메이트 조각이온 m/z 62, 74, 89와 d_5 -에틸카바메이트 조각이온 m/z 64, 76, 94를 선택하여 측정하였다. 에틸카바메이트의 정성 분석은 선택성과 감도가 높은 토막이온(fragments)인 m/z 62와 m/z 74의 비율을 이용하였다.

7. 통계처리

통계분석은 SPSS Statistics(ver. 21.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 평균 \pm 표준편차로 결과 값을 제시하였다. 가열 시간에 따른 차이 검증을 위해 일원 배치 분산분석을 사용하였고 $p < 0.05$ 의 유의수준에서 사후 검정으로 Duncan's multiple test를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 에틸카바메이트의 정성 및 정량

간장시료와 표준물질의 크로마토그램은 Fig. 1과 같다. 표준 에틸카바메이트 피크는 15.7분에서 나타났으며(Fig. 1A), 개량간장에서도 동일한 시간에 피크가 관찰되었지만(Fig. 1B), 재래간장에서는 에틸카바메이트가 검출되지 않았다(Fig. 1C). 표준물질의 에틸카바메이트 피크와 간장의 에틸카바메이트 피크의 질량분석 스펙트럼을 비교한 결과(Fig. 2), 분자이온 m/z 89, 메틸기가 제거된 m/z 74, 메틸기가 추가로 제거되고 재배열된 m/z 62가 공통적으로 나타났다. 에틸카바메이트와 내부표준물질 d_5 -에틸카바메이트의 스펙트럼에서 감도가 높은 m/z 62와 m/z 64가 정량분석에 이용되었다. 에틸카바메이트(7.5-400

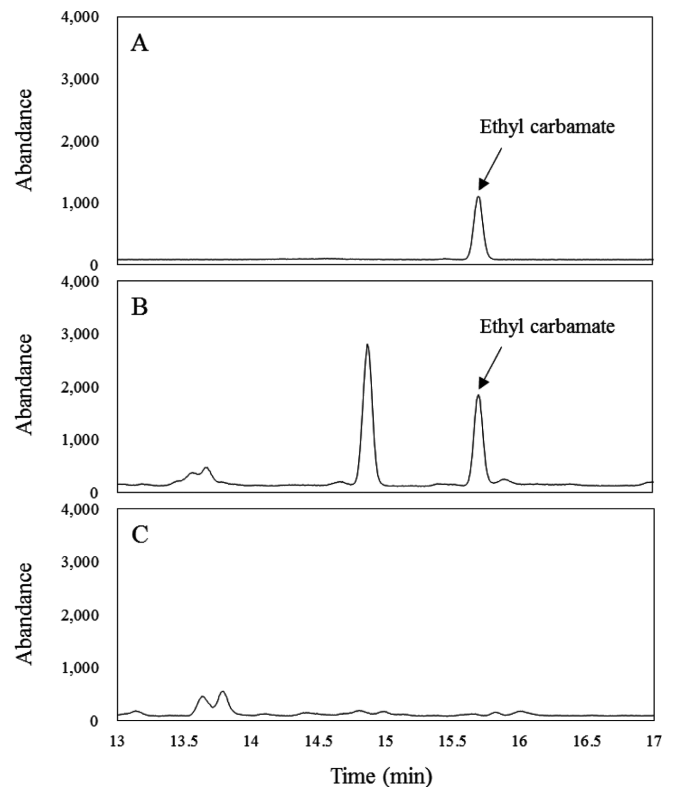


Fig. 1. Selected ion chromatograms of ethyl carbamate standard (A), commercial soy sauce (B), and home-made soy sauce (C) at m/z 62.

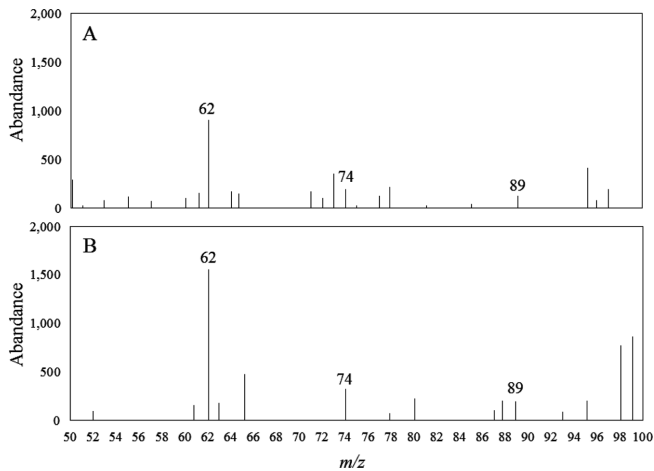


Fig. 2. Mass spectra of ethyl carbamate standard (A) and commercial soy sauce (B).

Table 2. Concentration of ethyl carbamate in commercial and home-made soy sauce samples

	No. of samples	Ethyl carbamate ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		Range	Medium	Mean
Commercial soy sauce	6	2.51-14.59	6.95	7.25
Home-made soy sauce	14	ND	-	-

ND: not detected.

ng/mL)와 d_5 -에틸카바메이트(100 ng/mL)의 농도비와 면적비를 이용한 검량선의 R^2 값이 0.9974로 직선성(linearity)을 나타내었다. 개량간장에서 검출된 에틸카바메이트의 시료 별 3회 반복의 상대표준편차는 6% 이하로 재현성이 높았다.

2. 간장의 에틸카바메이트 함량

개량간장 6개와 재래간장 14개의 에틸카바메이트 농도를 Table 2에 제시하였다. 개량간장의 에틸카바메이트 함량 범위는 2.51-14.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 재래간장에서는 에틸카바메이트가 검출되지 않았다. 에틸카바메이트의 전구체인 요소와 시트룰린은 아르기나제(arginase) 또는 아르기닌 디아미네이즈(arginine deiminase)의 촉매반응으로 생성된 아르기닌의 대사산물이다. 아르기나제 활성은 포도주 발효에 관여하는 *Saccharomyces cerevisiae*, *Oenococcus oeni*, *Lactobacillus hilgardii* X1B 등에서 보고되었다(de Orduña RM 등 2001, Arena ME & de Nadra MCM 2005, Uthurry CA 등 2006). 일본 간장의 경우에 호염성균인 *Pediococcus* 속이 아르기닌을 아르기닌 디아미네이즈로 대사시켜 시트룰린을 생성한다고 보고되었지만, 재래간장에서는 에틸카바메이트 전구체 생성에 영향을 미치는 아르기닌 대사와 관련된 연구가 전무하다.

본 연구에서 수집된 재래간장의 숙성기간을 보면, 25년

동안 숙성된 시료가 1개, 8년 숙성된 시료가 1개, 나머지 시료의 숙성기간은 5년 이하로 나타났다(Table 1). 간장의 숙성기간이 길어질수록 에틸카바메이트는 함량이 증가되었다는 보고(Chung HJ & Kwon HJ 1997)가 있었지만, 본 연구에서는 숙성기간과 에틸카바메이트 함량과는 연관성을 나타내지 않았다. 이는 가정마다 메주 발효와 간장 숙성에 관여하는 미생물의 종류가 다르기 때문에 숙성기간과 에틸카바메이트 함량이 유의적인 상관관계를 보이지 않은 것으로 사료된다.

Park SK 등(2007)은 7개의 개량간장을 분석하여 에틸카바메이트 함량이 최대 99.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 까지 검출되었다고 보고하였다. Lee YK 등(2000)은 개량간장 5개의 에틸카바메이트 함량이 최대 19.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다고 보고하였으며, Kim JH 등(2013)은 간장 27개의 에틸카바메이트 함량이 1.0-50.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이라고 하였다. 다른 나라에서 보고된 결과와 비교할 때, 중국에서 생산된 간장 22개의 에틸카바메이트 함량 범위는 8-108 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Wu P 등 2012)이었으며, 영국에서 수집된 간장 10개 중 1개 시료에서 에틸카바메이트 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 가 검출되었다(Hasnip S 등 2007).

3. 조리된 간장의 에틸카바메이트 함량

간장은 국, 조림, 탕 등의 습열 조리에 널리 사용되는 조미료이다. 간장의 에틸카바메이트 함량이 끓이기에 의해 변화되는지를 확인하기 위해 에틸카바메이트 함량이 가장 높은(14.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 개량간장 시료를 이용하여 끓이기와 볶기를 시뮬레이션하였다. 100°C에서 40분까지 10분 간격으로 끓이기 조리법을 시뮬레이션하여 에틸카바메이트의 함량 변화를 관찰한 결과, 가열시간이 길어짐에 따라 유의적으로 증가하는 결과를 보였다(Fig. 3). 40분간 가열된 간장의 에틸카바메이트 함량은 1.7배 증가되었다. 간장이 담긴 삼각플라스틱은 밀봉되어 가열되었기 때문에 가열 전후 간장 중량은 변화되지 않았다. 이는 수분증발에 의한 에틸카바메이트의 농축이 아님을 보여준다. 이러한 결과를 확인하기 위해 증류수에 간장 시료와 같은 농도의 에틸카바메이트 용액을 제조하여 동일한 방법으로 끓이기를 시뮬레이션하였다. 증류수의 에틸카바메이트 함량은 가열시간에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 3). 이러한 결과는 간장을 끓이는 과정에서 에틸카바메이트가 생성되었음을 의미한다. 에틸카바메이트 전구체로 알려진 시트룰린, 요소(urea), 에탄올이 간장에 존재하는 것으로 보고되었다(Matsudo T 등 1993, Zhang J 등 2014). 끓이기에 의한 에틸카바메이트 함량이 증가된 것은 가열에 의해 온도가 상승되면서 에틸카바메이트 전구체 간의 화학반응이 증가되었기 때문으로 생각된다.

또한, 간장은 생선 및 육류의 굽기 및 볶기 등의 건열 조리에서 양념장의 재료로 이용된다. 이러한 조리법

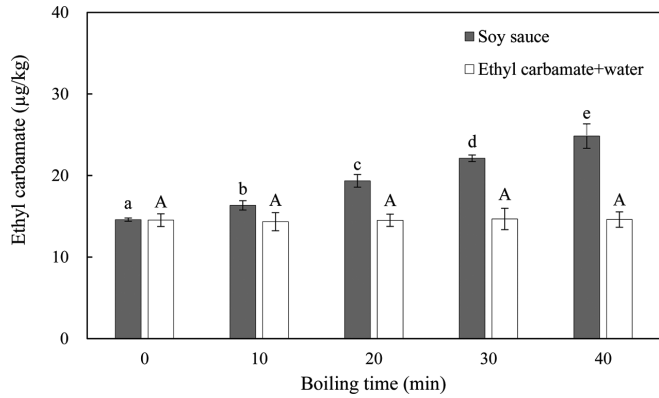


Fig. 3. Concentration of ethyl carbamate depending on the boiling time for 40 min at 100°C.

^{a-e} Means with different letters are significantly different at 0.05 by Duncan's multiple test.

^A Means with same letter are not significantly different at 0.05 by Duncan's multiple test.

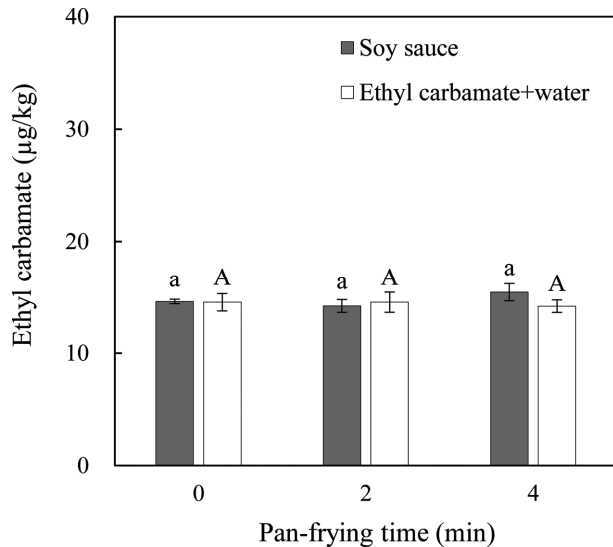


Fig. 4. Concentration of ethyl carbamate depending on the pan-frying time for 4 min at 170°C.

^a Means with same letter are not significantly different at 0.05 by Duncan's multiple test.

^A Means with same letter are not significantly different at 0.05 by Duncan's multiple test.

은 끓이기에 비해 170°C의 높은 온도에서 2-4분으로 단시간 가열된다는 차이점이 있다. 하지만, 볶기에서 에틸카바메이트의 함량 변화가 관찰되지 않았다(Fig. 4). 특정 조건에서 화합물의 함량이 일정한 것은 그 물질의 생성량과 분해량이 동일하거나 화합물의 함량에 변화가 없는 경우이다. 에틸카바메이트는 끓는점이 180°C로 열에 비교적 안정한 물질이다. 본 연구에서 증류수에 에틸카바메이트를 첨가하여 볶기 방법을 시

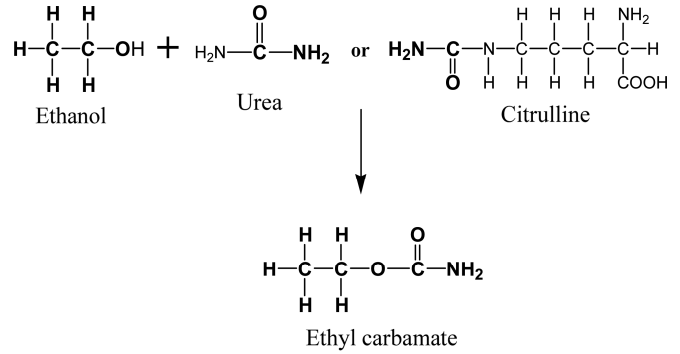


Fig. 5. Probable pathway of ethyl carbamate formation from ethanol and either urea or citrulline.

물레이션 한 경우에도 에틸카바메이트 함량에 유의적인 차이가 없었다(Fig. 4). 이는 볶기 조건에서 에틸카바메이트가 생성되거나 분해되지 않았음을 보여준다. 끓이기와 달리 볶기에서 간장 내 에틸카바메이트 함량이 유의적인 차이가 없는 이유는 가열시간이 짧아서 전구체 간의 화학반응을 할 수 있는 시간이 불충분했기 때문으로 사료된다. 또는 에틸카바메이트 생성에서 에탄올이 에틸기(-CH₂CH₃)를 제공하게 되는데(Fig. 5), 에탄올의 끓는점(78°C)에 비해 조리온도(170°C)가 훨씬 높았기 때문에 에탄올이 공기 중으로 증발되어 에틸카바메이트 전구체인 에탄올과 N-카바밀 화합물과의 화학반응이 일어나지 못한 것으로 추정할 수 있다.

앞으로 다양한 조리조건에서 가열 온도 및 시간이 에틸카바메이트 및 그 전구체의 열 안정성에 대한 후속연구가 필요하다. 또한 간장에서 에틸카바메이트 전구체를 생성하는 주요 미생물을 규명하고, 이러한 미생물의 생육이나 활성을 저해하여 에틸카바메이트 생성을 저감화 하는 방법이 고안되어야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

전국에서 수집된 재래간장 14종에서는 에틸카바메이트가 검출되지 않았으나 개량간장 6종에서는 최대 14.59 µg/kg의 에틸카바메이트가 검출되었다. 끓이기는 가열 시간이 길어질수록 에틸카바메이트의 함량이 증가된 반면에, 볶기는 간장 내 에틸카바메이트 함량에 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 이는 가열 온도 및 시간에 따라 에틸카바메이트 농도에 영향을 줄 수 있음을 보여준 것이다. 본 연구 결과는 우리 국민의 에틸카바메이트 섭취량을 보다 정확하게 추정하기 위해서는 원재료인 간장의 에틸카바메이트 함량뿐만 아니라 간장이 사용된 음식의 조리법도 고려되어야 함을 보여준다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This work was supported by a research grant from Seoul Women's University (2017).

References

- Alexander J, Auousson GA, Benford D, Cockburn A, Cravedi J-P, Dogliotti E, Domenico AD, Fernandez-Cruz ML, Furst P, Fink-Gremmels J, Galli CL, Grandjean P, Gzyl J, Heinemeyer G, Johansson N, Mutti A, Schlatter J, van Leeuwen R, Peteghem CV, Verger P. 2007. Ethyl carbamate and hydrocyanic acid in food and beverages. *EFSA J* 551:1-44.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17 ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA. pp 14-15.
- Arena ME, de Nadra MCM. 2005. Influence of ethanol and low pH on arginine and citrulline metabolism in lactic acid bacteria from wine. *Res Microbiol* 156(8):858-864.
- Chung HJ, Kwon HJ. 1997. Dependence of ethyl carbamate formation on the fermentation variables in Korean traditional soysauce. *Korean J Soc Food Sci* 13(2):92-98.
- De Orduña RM, Patchett ML, Liu SQ, Pilone GJ. 2001. Growth and arginine metabolism of the wine lactic acid bacteria *Lactobacillus buchneri* and *Oenococcus oeni* at different pH values and arginine concentrations. *Appl Environ Microbiol* 67(4):1657-1662.
- Dennis MJ, Massey RC, Ginn R, Parker I, Crews C, Zimmerli B, Zoller O, Rhyn P, Osborne B. 1997. The effect of azodicarbonamide concentrations on ethyl carbamate concentrations in bread and toast. *Food Addit Contam* 14(1):95-100.
- Hasnip S, Crews C, Potter N, Christy J, Chan D, Bondu T, Matthews W, Walters B, Pater K. 2007. Survey of ethyl carbamate in fermented foods sold in the United Kingdom in 2004. *J Agric Food Chem* 55(7):2755-2759.
- International Agency for Research on Cancer. 2007. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man. *Int Agency Res Cancer* 7:111-140.
- Kim JH, Park JM, Choi GH, Kim YW. 2013. Development of easy and efficient methods for quantitative analysis of ethyl carbamate using GC-MS in various fermented foods. *Food Sci Biotechnol* 22(3):599-603.
- Koh E. 2003. Climatic and chemical factors on ethyl carbamate formation in Korean soysauce. Doctorate dissertation. Seoul National University, Seoul, Korea. pp 126-132.
- Korea Food and Drug Administration. 2008. Official amendment notice no. 2008-25. KFDA, Chungbuk, Korea. pp 1-4.
- Korea Food and Drug Administration. 2010. Ethyl carbamate: Risk profile. KFDA, Chungbuk, Korea. pp 1-76.
- Korea Health Industry Development Institute. 2013. National food & nutrition statistics 2013: Based on 2011 Korea national health and nutrition examination survey. KHIDI, Osong, Korea. p 24, pp 55-61.
- Lee YK, Koh E, Chung HJ, Kwon H. 2000. Determination of ethyl carbamate in some fermented Korean foods and beverages. *Food Addit Contam* 17(6):469-475.
- Matsudo T, Aoki T, Abe K, Fukuta N, Higuchi T, Sasaki M, Uchida K. 1993. Determination of ethyl carbamate in soy sauce and its possible precursor. *J Agric Food Chem* 41(3):352-356.
- Nóbrega ICC, Pereira GE, Silva M, Pereira EVS, Medeiros MM, Telles DL, Jr ECA, Oliveira JB, Lachenmeier DW. 2015. Improved sample preparation for GC-MS-SIM analysis of ethyl carbamate in wine. *Food Chem* 177:23-28.
- Park SK, Kim CT, Lee JW, Jhee OH, Om AS, Kang JS, Moon TW. 2007. Analysis of ethyl carbamate in Korean soy sauce using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection or tandem mass spectrometry and gas chromatography with mass spectrometry. *Food Control* 18(8):975-982.
- Ryu D, Choi B, Kim E, Park S, Paeng H, Kim CI, Lee JY, Yoon HJ, Koh E. 2015. Determination of ethyl carbamate in alcoholic beverages and fermented foods sold in Korea. *Toxicol Res* 31(3):289-297.
- Schehl B, Senn T, Lachenmeier DW, Rodicio R, Heinisch JJ. 2007. Contribution of the fermenting yeast strain to ethyl carbamate generation in stone fruit spirits. *Appl Microbiol Biotechnol* 74(4):843-850.
- Uthurry CA, Lepe JAS, Lombardero J, Del Hierro JRG. 2006. Ethyl carbamate production by selected yeasts and lactic acid bacteria in red wine. *Food Chem* 94(2):262-270.
- Wu P, Pan X, Wang L, Shen X, Yang D. 2012. A survey of ethyl carbamate in fermented foods and beverages from Zhejiang, China. *Food Control* 23(1):286-288.
- Zhang J, Fang F, Chen J, Du G. 2014. The arginine deiminase pathway of koji bacteria is involved in ethyl carbamate precursor production in soy sauce. *FEMS Microbiol Lett* 358(1):91-97.

Received on Oct.28, 2016 / Revised on Dec.30, 2016 / Accepted on Jan.10, 2017