

# Alumina Column Chromatography와 HPLC에 의한 토마토의 Dehydrotomatine 및 $\alpha$ -Tomatine 단리방법 연구

†최석현 · 김현룡\* · 이진식\*\*

서원대학교 외식산업학과, \*경주대학교 외식·조리학과, \*\*위덕대학교 외식산업학과

## Analytical Methods for the Isolation of Dehydrotomatine and $\alpha$ -Tomatine in Tomato Fruits by Use of Alumina Column Chromatography and High-Performance Liquid Chromatography

†Suk-Hyun Choi, Hyen-Ryung Kim\*, Jin-Shik Lee\*\*

Dept. of Food Service Industry, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea

\*Dept. of Foodservice Management & Cuisine, Gyeongju University, Gyeongju 780-712, Korea

\*\*Dept. of Food Service Industry, Uiduk University, Gyeongju 780-713, Korea

### Abstract

Tomato fruits(*Lycopersicon esculentum*) synthesize the glycoalkaloids dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine, possibly as defense against bacteria, fungi and insects. We developed a new effective method to prepare and purify dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine that exists in tomato fruits using alumina column chromatography and high performance liquid chromatography (HPLC). The tomato glycoalkaloids(TGA) in tomato was extracted with 2% acetic acid, and then precipitated with ammonium hydroxide(pH=10.5). The dry precipitate substance was applied on alumina column, and then fractionated with water saturated n-butylalcohol. The TGA(Fr. No. 26~36) were collected and dried under reduced pressure. The TGA was performed on a reverse phase HPLC(Inertsil ODS-2, 5  $\mu$ m), eluted with acetonitrile/20mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(24:76, v/v) at 208 nm. Two peaks were detected on HPLC, and individual peak was collected by repeating HPLC. Furthermore, to confirm the identity dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine, each peak isolated was hydrolyzed with 1N HCl into sugar and aglycone tomatidine. The sugars were converted to trimethylsilyl ester derivatives. The nature and molar ratios of sugars were identified by gas-liquid chromatography(GLC) and the aglycone by high-performance liquid chromatography(HPLC). The first peak (Rt=17.5 min) eluted from HPLC was identified as dehydrotomatine, and second peak(Rt=21.0 min) was as  $\alpha$ -tomatine. This technique has been used effectively to prepare and isolate dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine from tomato fruits.

Key words: tomato glycoalkaloids(TGA), antitumor activity, HPLC, dehydrotomatine,  $\alpha$ -tomatine, alumina column chromatography, microcolumn tetrazolium.

### 서론

토마토의 학명은 *Lycopersicon esculentum* Mill.이며, 영명은 Tomato로, *Lycopersicon*은 복숭아 persicon과 카로티노이드계 색소인 lycopene의 합성어이며, *esculentum*은 먹을 수 있다는 뜻을 가지고 있다(충청남도 농업기술원 2005). 토마토는

온대지방에서 주로 재배되는 가지과의 일년생 작물로서, 2002년 미국 시사주간지 Time지에 10대 건강식품으로 선정될 정도로 세계적인 건강식품이며, 세계 각국에서 해마다 생산량이 증가하고 있고 우리나라에서도 기후 풍토가 적합하여 전국에 걸쳐 재배되고 있는 대표적인 과채류이다(이영미 2004; 농촌진흥청 2007). 토마토의 원산지는 안데스 산맥의 고랭지

† Corresponding author: Suk-Hyun Choi, Dept. of Food Service Industry, Seowon University, 241, Musimseo-ro, Heungduk-gu, Cheongju-si, Chungbuk-do 361-742, Korea. Tel: +82-43-299-8462, Fax: +82-43-299-8460, E-mail: mosimosi21@seowon.ac.kr

대로 알려져 있으며, 보통 원산지에는 많은 종류의 야생종이 생육하는데, 페루, 에쿠아도르, 볼리비아 지방 등에서 수많은 야생종이 발견되며, 특히 안데스 산맥 중부지대에는 야생종과 재배종이 폭 넓게 분포한다(황재희·박정은 2005; 충청남도 농업기술원 2005).

토마토에는 steroid 골격을 가진 tomato glycoalkaloid(TGA)가 존재한다(Bushway 등 1994; Kozukue 등 1994; Friedman & Levin 1995; Kozukue 등 2004). TGA의 생물학적 특성에 관해서는 명확하지 않으나 미생물이나 곤충에게 독성으로 작용해 식물이 외부로부터 자신을 보호하는 역할을 한다고 알려져 있다(Sinden 등 1978; Van Gelder & De Ponti 1987; Barbour & Kennedy 1991). 또한 TGA는 미숙 토마토에 많이 존재하고, 일반적으로 일상생활에서 식용에 이용되고 있는 숙성 토마토에는 극히 미량만 존재한다고 알려져 있다(Friedman & Levin 1998; Kozukue 등 2004). 따라서 일상생활에서 섭취하는 섭취량으로는 인체에 전혀 문제가 되지 않는다. TGA는 배당체로서 aglycone인 tomatidine과 tomatidenol(Fig. 1)이 존재하고, 또한 xylose, glucose, galactose의 3종류의 당으로 구성되어 있으며, aglycone과 당의 결합 차이로 dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 구조가 결정이 된다. 일반적으로 토마토에는  $\alpha$ -tomatine의 함량이 높고, dehydrotomatine은 미량 함유되어 있다(Friedman 등 1997; Friedman & Levin 1998). 최근 TGA는 동물실험으로 세포간의 철이온 운반 증강 작용(Blankemeyer 1997), 콜레스테롤 저하 작용(Friedman 등 2000a; Friedman 등 2000b), 식물체 항균 작용(Osborn 등 1996; Sandrock 등 1996) 등의 각종 생리활성 작용을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 많은 생리활성 작용을 하는 토마토 연구를 하기 위해서는 다량의 TGA(dehydrotomatine,  $\alpha$ -tomatine)가 필요하다. 그러나 이

두 물질은 고가이며, 특히 dehydrotomatine은 시판되지 않아 이 물질이 필요한 연구자는 토마토로부터 직접 단리하여 사용하여야 한다. 이에 본 연구에서는 미숙 토마토를 사용하여 TGA를 추출한 후 alumina column chromatography법으로 tomatine을 분취하고 HPLC를 사용하여  $\alpha$ -tomatine과 dehydrotomatine을 단리하였으며, 본 논문에서 사용한  $\alpha$ -tomatine과 dehydrotomatine의 단리법은 지금까지 보고되지 않은 연구이기에 보고하고자 한다.

## 실험 재료 및 방법

### 1. 시료

본 실험에 사용된 토마토(품종: 도토리알월드; 도테랑)는 2009년 경주 소재의 하우스에서 재배하였으며, 개화 후 10일 전후의 미숙 토마토를 채취하여 깨끗이 수세한 후 과육을 제거하고 동결 건조하여 분말 시료를 만들어 실험 재료로 사용하였다.

### 2. 시약

표준품  $\alpha$ -tomatine, tomatidine 및 tomatidenol은 Sigma(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하였으며, 표준품의 xylose, glucose 및 galactose은 和光純藥(Osaka, Japan)의 특급 시약을 구입하여 사용하였다. 아세트산(acetic acid), 염산(hydrochloric acid), 암모니아(ammonia), potassium dihydrogen phosphate( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), chloroform, ethanol, methanol, alumina, n-butanol, acetonitrile은 HPLC용 특급시약(관동화학공업회사, Japan)을 구입하여 사용하였으며, 당의 TMS 유도체 시약은 TRI-SIL-Z (GL Science Inc, Japan)를 사용하였다. 염산(hydrochloric acid)과 암모니아(ammonia)는 각각 증류수로 1규정 용액으로 하였으며, ethanol은 80%로 희석한 용액을 사용하였다. 또한 TLC는 Silicagel G plate, 0.25 mm(Merck사 제품)를 사용하였다.

### 3. 실험 방법

#### 1) TGA의 추출법

토마토의 TGA의 추출은 Kozukue(1994)와 Friedman(2004)의 방법을 응용하여 추출하였으며, 추출 방법은 토마토를 재배하여 개화 후 10일 전후의 녹색 토마토를 진공 동결 건조한 후, 분말시료로 만들어 정확하게 14.9396 g으로 칭량하여 250 ml 삼각플라스크 용기에 넣고, 2%의 acetic acid를 200 ml 첨가하여 교반기(magnetic stirrer)에서 1시간 교반시켰다. 이러한 방법을 3회 실시하여 추출액을 Advantec No. 2를 2장 겹쳐 여과시켰다. 또한 잔사는 acetic acid 용매 100~150 ml로 충분히 alkaloids를 추출하였다. 다음으로 추출용액을 40°C 이하로 5~10 ml가 되도록 감압 농축한 후 0.2 N hydrochloric acid

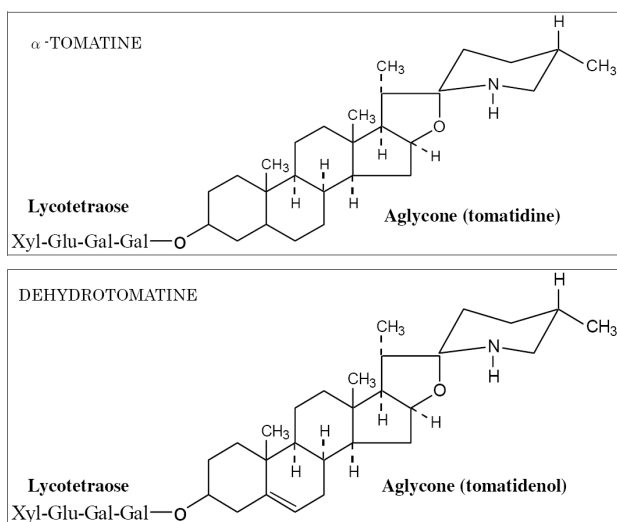


Fig. 1. Structure of  $\alpha$ -tomatine and dehydrotomatine.

(20 ml)에 잘 녹인 후 12,000 rpm로 3회 원심 분리하였다. 이렇게 얻은 상등액을 삼각 플라스크에 넣고 암모니아수 20 ml를 가해 70°C에서 30분, 냉장고에 하룻밤 방치시켜 생성된 침전물을 원심분리(12,000 rpm, 10 min)하여 분리하였다. 분리한 침전물을 1% 암모니아로 수회 세정해 40°C 이하에서 감압 건조하여 조TGA를 얻었다.

## 2) Alumina Column Chromatography에 의한 TGA 분획

건조활성 alumina 분말을 비이커에 담고 수포화 n-butanol 용액을 넣어 충분히 교반시킨 후 glass column(30 cm, 1.0 cm)에 주입하여 alumina column을 만들었다. 다음으로 토마토분말 일정량을 수포화 n-butanol 용액 3 ml로 용해시켜 column 상단에 부가시켰다. 이러한 작업을 3회 반복해 완전히 TGA를 column 상부에 부가시킨 후, 페리스타 펌프(ATTO, SJ-1211L)에 연결해 수포화 n-butanol으로 용출시켜 용출한 alkaloids를 fraction collector로 분획하였다. 또한 분획조건은 0.5 ml/min, 1 fraction(Fr)을 5 ml로 하였다.

## 3) Alumina Column Chromatography의 분획액의 Thin Layer Chromatography(TLC)

Alumina column chromatography로 분획한 용액의 일정량(10 µL)을 TLC에 떨어뜨려 4종류의 전개용매로 전개하였다. 전개 후, ethanol에 3% sulfuric acid를 TLC 전면에 스프레이한 후 140°C의 건조기에서 30분간 건조시켜 분획된 alkaloids를 검출하였다(Lehrfield and Goodwin, 1969).

- ① chloroform : methanol : 1% NH<sub>4</sub>OH(2:2:1, v/v/v)
- ② chloroform : methanol : 1% NH<sub>4</sub>OH(14:6:1, v/v/v)
- ③ chloroform : methanol : 1% NH<sub>4</sub>OH(65:35:5, v/v/v)
- ④ chloroform : methanol : 1% NH<sub>4</sub>OH(5:5:1, v/v/v)

## 4) TGA의 산가수분해

Alumina column chromatography로 분획한 TGA를 동정하기 위해서 alkaloids를 구성하고 있는 aglycone의 동정과 그 배당체의 조성을 산가수분해법으로 실행하였다. TGA라고 추정되는 fraction을 모아 감압건조(30°C)한 후, methanol 5 ml에 용해시켜 용기에 넣고, 1N 염산 1 ml를 가해 밀봉하고, 100°C에서 1시간 산가수분해를 시키고 aglycone과 배당체를 분리하였다. 또한 산가수분해를 한 후, 1N 암모니아수를 넣어 중화시켰다.

## 5) Aglycone의 추출

중화시킨 시료 용액을 10 ml용의 시험관에 넣고 chloroform 2 ml를 가해 잘 교반시켰으며, 잠시 방치한 후 하층의 chloroform층을 micro pipette으로 4~5회 분리하여 증류수로 chloro-

form층을 세정하고 감압 건조시킨 후, chloroform 1~2 ml를 가해 aglycone을 용해시켰다. 이렇게 용해시킨 용액 2~5 µl를 직접 HPLC에 주입하였다.

## 6) 탈염 처리

산가수분해 용액에서 aglycone을 제거한 수용액을 배당체 분석에 사용하였다. 먼저 시료 용액의 염을 제거하기 위해 이온교환수지를 사용하여 탈염 처리를 하였다.

탈염 처리 방법으로 시료 용액을 활성화한 양이온교환수지 column(IR-120, H<sup>+</sup>)에 통과시켰으며, 다음으로 음이온교환수지 column(CG-400, HCOO<sup>-</sup>)에 통과시켜 탈염 처리를 하였다. 이때 유속은 1 ml/min으로 설정했으며, 탈염 처리한 시료 용액은 30°C로 감압 건조하였다.

## 7) Trimethyl Silyl Ester에 의한 당의 Ester화

탈염 처리한 시료 용액은 80% ethanol(5 ml)에 용해시켰으며, 용해시킨 1 ml를 테프론 패키지가 부착된 유리 vial에 넣고 30°C로 감압 건조시킨 후 완전히 밀봉시켰다. 또한 실릴화 시약 TRI-SIL Z(500 µl)을 마이크로시린지로 직접 vial에 주입하고 충분히 교반시킨 후, 80°C에서 1시간 가열하여 구조당의 TMS화를 하였다. 한편, 각각의 당 조성은 GC로 분석하였다.

## 8) 배당체의 GC 분석

GC 장치는 HITACHI-063 모델을 사용하였으며, 검출기는 수소염검출기를 사용하였다. 또한 column은 glass column(3 mm × 2 m)을 이용하였다. 충전제는 3% silicone GE SE-30(Chromosorb W AW DMCS(80 mesh; GL Science, Tokyo)을 사용하였다. Column 온도는 120~205°C, 1분에 2°C씩 승온시켰다. 또한 injection 온도는 240°C, detector 온도는 270°C로 설정하였으며, carrier gas는 helium gas를 사용하였고, 유속은 40 ml/min의 조건으로 분석하였다.

## 9) TGA의 HPLC 분석

HPLC는 HITACHI L-5000 LC Controller가 부착된 655-II Liquid Chromatograph, 검출기는 HITACHI 655 Variable Wavelength UV Monitor를 사용하였으며, 검출파장은 208 nm로 설정하였다. Column은 Inertsil ODS-2(5 µl, GL Science, Tokyo)을 사용하였다. 용리액은 acetonitrile : 20 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(24:75, v/v), 유속은 1 ml/min, column 온도는 30°C로 설정하였다.

## 10) Tomatidine과 Tomatidenol의 HPLC 분석

TGA의 aglycone인 tomatidine과 tomatidenol의 동정은 HPLC로 동정하였으며, column은 Inertsil NH<sub>2</sub>(5 µl, 4.0×250 mm)를

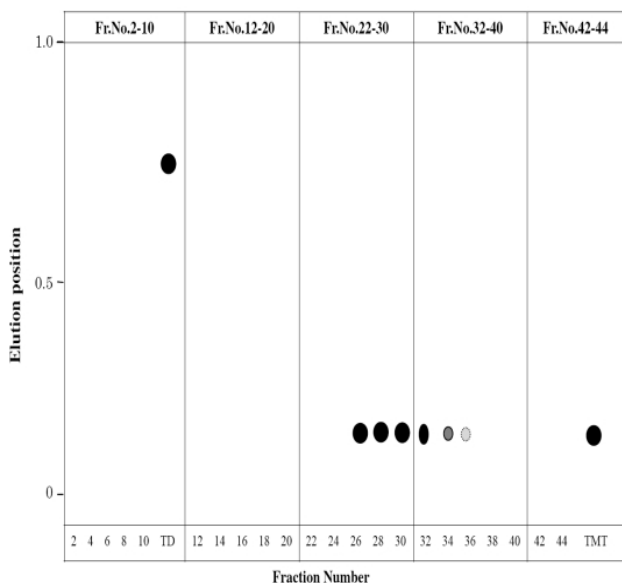
사용하였고, 분리용액은 acetonitrile : 1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 를 사용하였다. 그 밖의 HPLC의 조건은 TGA의 분석조건과 동일한 조건을 선택하였다.

## 실험 결과 및 고찰

### 1. 토마토 동결 건조 분말의 $\alpha$ -Tomatine 회수율

개화 후 10일이 지난 미숙 토마토를 동결 건조한 후 분말로 만들어 정확하게 14.9396 g으로 칭량하고, n-butanol에 용해시킨 다음, 염산 및  $\text{NH}_4\text{OH}$ 로 처리하여 조TGA를 분획하였다.

이때 분획한 조alkaloids의 양은 181.61 mg이었고, 이 분획에서의 회수율은  $0.18161 \text{ g}/14.9396 \text{ g} \times 100 = 1.216\%$ 이었다. 다음으로 조alkaloids를 수포화 n-butanol에 용해시키고 alumina column chromatography로 분획하여 각각의 Fr을 TLC로 분석한 것이 Fig. 2이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 Fr. No. 26~36의 Rf값이 표준품의  $\alpha$ -tomatine의 Rf값과 일치하였다. 또한 다른 전개용매를 이용한 3종류의 TLC 분석에서도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과로 보아 이 Fr 분획 물질은  $\alpha$ -tomatine라 추정되며, 한편 Fr. No. 26~36을 회수하여 감압건조한 후 건조제를 넣은 용기에 넣어 향량에 달한 시점을 칭량하였다. 토마토에서 얻은  $\alpha$ -tomatine의 회수율을 산출해 보니



**Fig. 2.** TLC of compounds in tomato glycoalkaloids eluted from the aluminum oxide column. TLC conditions: solvent, chloroform/methanol/1%  $\text{NH}_4\text{OH}$ (65:35:5, v/v/v, bottom layer); detection, anisaldehyde spray followed by heating at  $120^\circ\text{C}$  for 5 mins. Abbreviations: Fr, fraction; TD, tomatidine; T, tomatine.

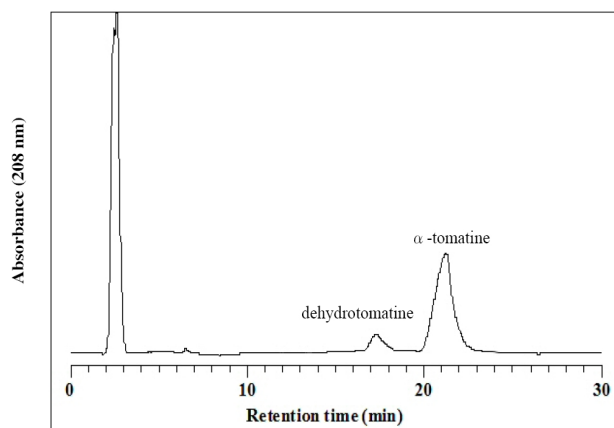
조 tomatine에서는  $61.8 \text{ mg}/181.61 \text{ mg} \times 100 = 34.03\%$ 이었고, 동결 건조한 토마토 시료에서는  $0.0618 \text{ g}/14.9396 \text{ g} \times 100 = 0.414\%$ 의 회수율을 보였다. 한편, 토마토 열매에는 유리 tomatine이 존재하고 있지 않음을 알 수 있었다.

### 2. 표준품 $\alpha$ -tomatine의 HPLC 분석

표준품  $\alpha$ -tomatine의 HPLC chromatogram을 Fig. 3에 나타내었으며, Fig. 3에서는 2점의 peak가 검출되었음을 알 수 있다. 첫번째 용출된 p.1(Rt=17.5 min)은 dehydrotomatine, 두 번째 용출된 p.2(Rt=21.0 min)는  $\alpha$ -tomatine이다(Friedman & Levin 1995; Kozukue 등 2004). 선행 연구에서는 표준품의  $\alpha$ -tomatine은 단일의 물질이라 알려져 있었으나(Kozukue 등 1994), 현재에는 컬럼 충전제의 개량, 분석법의 발달로 인해  $\alpha$ -tomatine 이외에도 소량의 dehydrotomatine이 함유되어 있음을 알 수 있었다.

### 3. Alumina Column Chromatography에서 분획된 $\alpha$ -tomatine의 HPLC Chromatogram

토마토 열매의 glycoalkaloid를 alumina column chromatography로 분획하여 얻어진  $\alpha$ -tomatine의 HPLC chromatogram을 나타낸 것이 Fig. 4이다. Fig. 4를 살펴보면 표준품  $\alpha$ -tomatine의 HPLC chromatogram과 동일하게 peak가 2점 검출되었다. 최초로 검출된 peak를 dehydrotomatine으로, 다음으로 검출된 peak를  $\alpha$ -tomatine로 추정하나, 정확한 동정을 위해서는 LC-MS로 확인할 필요가 있다. Alumina column chromatography에서 분획된  $\alpha$ -tomatine의 HPLC chromatogram은 표준품의  $\alpha$ -tomatine의 거동과 일치하였다.



**Fig. 3.** HPLC chromatogram of dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine present in commercial tomatine. Column; Inertsil ODS-3v( $5 \mu\text{m}$ ,  $4.0 \times 250 \text{ mm}$ ); Column temperature;  $30^\circ\text{C}$ , Flow rate;  $1 \text{ ml}/\text{min}$ , Solvent; acetonitrile/20 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (24/76,v/v), Detector; 208 nm.

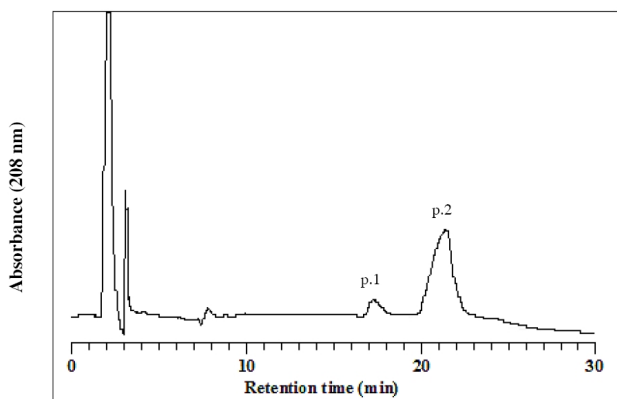


Fig. 4. HPLC chromatograms of tomatine fraction(Fr. No. 26~36) eluted from the aluminum oxide column. Analytical conditions are the same as Fig. 3.

#### 4. 표준품 Tomatidine, Tomatidenol과 $\alpha$ -Tomatine, Dehydrotomatine의 산가수분해에 의해 생성된 Aglycone 및 배당체의 HPLC Chromatogram

식물체에 함유되어 있는 alkaloid의 분석법은 여러 방법이 있으나, 식물체에서 alkaloid를 추출하여 TOF-MS나 LC-MS로 직접 분석하는 방법(Driedger & Sporns 2001; Jensen 등 2008)이 일반적인 방법으로 이용되고 있다. 그러나 이 분석법은 고가의 분석 장비를 사용하여야 하는 단점이 있다. 일반적인 HPLC나 GC 분석만으로는 정확하게 alkaloid를 동정할 수가 없으며, 산이나 알칼리처리를 한 후 alkaloid를 가수분해하여 HPLC나 GC 분석에 의해 생성된 분해물을 동정하여 alkaloid를 확인하여야 한다.

본 연구는 산가수분해법을 활용하여 TGA를 동정하였으며, 분석 방법을 살펴보면 토마토 열매를 alumina column chromatogram으로  $\alpha$ -tomatine을 분획하여 HPLC로 분석하였고, 그 결과 2점의 peak가 검출되었다. 또한 2점의 peak 즉 p.1과 p.2의 물질을 분취하기 위해서 HPLC 조작을 반복하였으며, 분취한 p.1과 p.2를 각각 산가수분해하여 생성된 aglycone을 HPLC로 다시 분석하였다. Fig. 5(A)는 표준품의 tomatidenol과 tomatidine의 HPLC chromatogram을 나타낸 것이며, 이 HPLC 분석 조건으로 분석하여 tomatidenol과 tomatidine이 완전히 분리되는 것을 알 수 있었다. 한편, dehydrotomatine의 산가수분해로 얻은 p.1(Fig. 5(B))은 표준품 tomatidenol의 Rt와 일치하는 것으로 보아 이 물질을 tomatidenol라 추정하였다. 또한 같은 방법으로  $\alpha$ -tomatine의 분획으로 얻은 p.2(Fig. 5(C))의 물질을 tomatidine이라 추정하였다. 이 두 물질의 동정을 확인하기 위해 두 물질의 구성 당조성을 GC로 측정하였다. Fig. 6는 p.1과 p.2의 배당체 당조성을 GC로 분석한 결과이며, Fig. 6에서 알 수 있듯이 두 peak의 당조성은 xylose, glucose, galactose

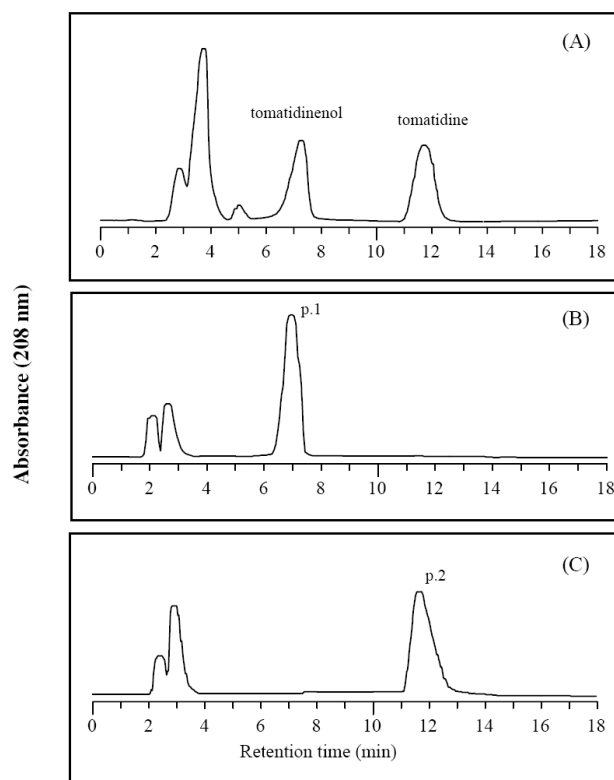


Fig. 5. HPLC chromatograms of pure tomatidenol and tomatidine(A), and aglycones of dehydrotomatine(B) and  $\alpha$ -tomatine(C) eluted from active the aluminum oxide column chromatography.

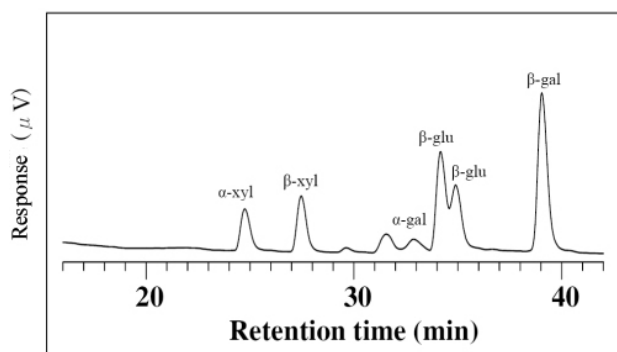


Fig. 6. Gas chromatogram of TMS carbohydrates derivatives of peak 1 and 2 on HPLC chromatogram of  $\alpha$ -tomatine fraction eluted from the aluminum oxide column chromatography. Flame ionization detector, Conditions, column temperature; 120°C; programming rate, programming to 205°C at 2°C/min.

의 3종류의 당이 검출되었고, 더욱이 이 mol비는 1:1:2로 나타났다. 따라서 p.1은 aglycone인 tomatidenol, 배당체인 xylose,

glucose, galactose(1:1:2)인 것으로 보아 이 peak는 dehydrotomatine라 동정하였다. 동일한 방법으로 p.2는 aglycone인 tomatidine, 배당체는 p.1과 같은 것으로 보아  $\alpha$ -tomatine이라 동정하였다. 이러한 결과로부터 토마토에 존재하는 주요 TGA는  $\alpha$ -tomatine이라는 것과 양적으로는 적게 함유되어 있으나, dehydrotomatine이 함께 함유되어 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- 농촌진흥청. 2007. 토마토 가공에 관한 실용화 연구 보고서. pp.7-39
- 이영미. 2004. 잘먹고 잘사는법: 토마토. 김영사, pp.12-19
- 충청남도 농업기술원. 2005. 토마토의 효능과 이용. 학예사, pp.8-15
- 황재희, 박정은. 2005. 식품재료학. 효일출판사, pp.140
- Barbour JD, Kennedy GG. 1991. Role of steroidal glycoalkaloid  $\alpha$ -tomatine in host-plant resistance of tomato to Colorado potato beetle. *J Chem Ecol* 17:1573-1561
- Blankemeyer JT, White JB, Stringer BK, Friedman M. 1997. Effect of  $\alpha$ -tomatine and tomatidine on active transport of frog embryo and frog skin cell membranes. *Food Chem Toxicol* 35:639-646
- Bushway RJ, Perkins L, paradis LR, Vanderpan S. 1994. High-performance liquid chromatographic determination of the tomato glycoalkaloid, tomatine, in green and red tomatoes. *J Agric Food Chem* 42:2824-2829
- Driedger DR, Sporns P. 2001. Immunoaffinity sample purification and MALDI-TOF MS analysis of alpha-solanine and alpha-chaconine in serum. *J Agric Food Chem* 49:543-548
- Friedman M, Fitch TE, Yokoyama WH. 2000b. Lowering of plasma LDL cholesterol in hamsters by the tomato glycoalkaloid tomatine. *Food Chem Toxicol* 38:549-553
- Friedman M, Levin CE. 1995.  $\alpha$ -tomatine content of tomato and tomato products determined by HPLC with pulsed amperometric detection. *J Agric Food Chem* 43:1507-1511
- Friedman M, Levin CE. 1995.  $\alpha$ -tomatine content of tomato and tomato products determined by HPLC with pulsed amperometric detection. *J Agric Food Chem* 43:1507-1511
- Friedman M, Levin CE. 1998. Dehydrotomatine content in tomatoes. *J Agric Food Chem* 46:4571-4576
- Friedman M, Kozukue N, Harden LA. 1997. Structure of the tomato glycoalkaloid tomatidenol-3- $\beta$ -lycotetraose(dehydrotomatine). *J Agric Food Chem* 45:1541-1547
- Friedman M, Titch TE, Levin CE, Yokoyam WH. 2000a. Feeding tomatoes to hamsters reduces their plasma low-density lipoprotein cholesterol and triglycerides. *J Food Sci* 65: 897-900
- Jwbawbm PH, Juhler RK, Nielsen NJ, Hansen TH, Strobel BW, Jacobsen OS, Nielsen J, Hansen HC. 2008. Potato glycoalkaloids in soil-optimising liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry for quantitative studies. *J Chromatogr A* 1182:65-71
- Kozukue N, Han JS, Lee KR, Friedman M. 2004. Dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine content in tomato fruits and vegetative plant tissues. *J Agric Food Chem* 52:2079-2083
- Kozukue N, Kozukue E, Yamashita H, Fuji S. 1994. Alpha-tomatine purification in tomatoes by HPLC. *J Food Sci* 59:1211-1212
- Osborn A, Bowyer P, Lunness P, Clark B, Daniels M. 1996. Fungal pathogens of oat roots and tomato leaves employ closely regulated enzymes to detoxify different host plant saponins. *Mol Plant-Microbe Interact* 9:971-978
- Sinden SL, Schalk JM, Stoner AK. 1978. Effects of daylength and maturity of tomato plant on tomatine content and resistance to the Colorado potato beetle. *J Amer Soc Hort Sci* 103:596-600
- Sndrock R, Della Penna D, VanEtten HD. 1996. Purification and characterization of  $\beta$ 2-tomatinase, an enzyme involved in the degradation of  $\alpha$ -tomatine and isolation and encoding of  $\beta$ 2-tomatinase from *Septoria lycopersici*. *Mol Plant-Microbe Interact* 8:960-970
- Van Gelder WM, Deponti OMB. 1987.  $\alpha$ -tomatine and other steroidal glycoalkaloids in fruits of tomato lines resistant to the glasshouse whitefly(*Trialeurodes vaporariorum* Westw). *Euphytica* 36:555-561

접 수 : 2010년 10월 21일  
 최종수정 : 2010년 11월 23일  
 채 택 : 2010년 12월 11일