

## 유산균 발효에 의한 GABA 함유 토마토 페이스트의 생산

조석철 · 김동현\* · 박장서\* · 고종호\*\* · 변유량\*\*\* · †국무창\*\*\*\*

서원대학교 식품영양학과, \*동국대학교 화학생물공학과, \*\*한국폴리텍바이오대학 바이오식품분석과,  
\*\*\* (주) 바이오벤, \*\*\*\*안양대학교 해양생명공학과

### Production of GABA-rich Tomato Paste by *Lactobacillus* sp. Fermentation

Seok-Cheol Cho, Dong-Hyun Kim\*, Chang-Seo Park\*, Jong-Ho Koh\*\*,  
Yu-Ryang Pyun\*\*\* and †Moo-Chang Kook\*\*\*\*

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

\*Dept. of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

\*\*Dept. of Bio-Food Analysis, Korea Bio-Polytechnic College, Chungnam 320-905, Korea

\*\*\*Biovan Co., Chuncheon 200-160, Korea

\*\*\*\*Dept. of Marin Biotechnology, Anyang University, Incheon 417-833, Korea

### Abstract

For the purpose of production of GABA-rich tomato paste, this study was carried out to investigate GABA producing lactic acid bacteria from Korean traditional fermented food, Kimchi and optimize the culture conditions. As a result of fermentation, *Lactobacillus brevis* B3-20 among lactic acid bacteria isolated at the pre-experiments was the best producer of GABA at the tomato paste medium with 50%(wet-base) levels of dionized water. At the result of fermentation on the tomato paste medium with 0.5%(w/w) yeast extract, as a source of nitrogen, 3%(w/w) MSG(monosodium glutamate) and dionized water(the ratio of tomato paste and water was 2:8), *Lb. brevis* B3-20 produced the maximum GABA concentration, 143.38 mM. GABA-rich tomato paste showed the activity of free radical scavenging. Because GABA-rich tomato paste have functional ingredients such as ascorbic acid, lycopene, carotenoid, as well as GABA by lactic acid bacteria fermentation, GABA-rich tomato paste can be considered high functional materials.

Key words: GABA, tomato paste, *Lactobacillus* sp., free radical scavenging

### 서 론

현대인들의 불규칙하고 부적절한 식습관과 환경 오염, 스트레스 증가 및 생활수준이 급속하게 발전하여 다양한 기능성 성분에 대한 관심이 증가하고 있으며, 다양한 건강 보조 식품이 활발하게 소비되고 있다.

$\gamma$ -Aminobutyric acid(GABA)는 자연계에 널리 분포하는 비단백질 구성 아미노산으로서, 사람에게 있어서는 신경계, 혈액에 함유되어 있으나, 대부분은 뇌의 골수에 존재하여 aetyl

choline이라 불리는 신경전달 물질을 증가시키고, 뇌기능을 촉진시키는 등의 생리작용뿐 아니라, 혈압 저하 작용, 이노작용, 항산화 작용, 성장 호르몬의 분비 조절에도 관여하며, 통증 완화에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Chang 등 1992; Krogsgaard-Larsen P 1989; Leventhal 등 2003; Park 등 2002; Shelp 등 1999).

GABA는 glutamic acid decarboxylase(GAD)에 의해 glutamate가 비가역적으로 탈탄산화되어 생성되는데, GAD와 GABA는 미생물에서부터 고등생물까지 널리 발견되고 있다. 고등생물

† Corresponding author: Moo-Chang Kook, Dept. of Marin Biotechnology, Anyang University, Incheon 417-833, Korea. Tel: +82-32-930-6037, Fax: +82-32-930-6215, E-mail: moochang@hanmail.net

의 중추신경계에서 GABA는 억제성 neurotransmitter로 잘 알려져 있는데, GAD에 의해 흥분성 neurotransmitter인 glutamate와 GABA의 농도가 조절되고 있다(Ueno H 2000).

GABA는 각종 야채, 과일, 쌀, 콩 등에 널리 분포되어 있는 것으로 알려져 있으나, 그 함량이 낮아 생리작용을 나타내지 못한다. 그러나 최근 연구에 의하면 GABA가 다량 함유된 차를 고혈압환자에게 음용시킨 임상실험 결과, 혈압을 낮출 수 있을 뿐 아니라, 체내에 축적되지 않고 분해되기 때문에 부작용이 전혀 없는 자연 건강음료로서 사용할 수 있다는 사실이 입증되었다. 또한 GABA함량을 높인 쌀 배아, 발아 현미 제품의 생리기능 및 응용실험 결과에 의하면 뇌혈류를 증가시켜 산소 공급량을 많게 하며, 뇌세포 대사 기능을 활발하게 함으로써 자율신경 실조증, 중풍 및 치매를 예방하고, 기억력 증진 및 불면 등에 효과가 있으며, 혈압 저하 작용이 있어 순환기 질환 개선효과가 우수하고, 간 기능 활성화 및 알코올 대사 촉진 기능이 있어 숙취 제거 기능도 있는 것으로 밝혀졌다(Hao & Schmit 1993; Kono & Himeno 2000; Maras 등 1992; Sailusa 등 1994; Tsushida 등 1987). 따라서 GABA는 생리 활성기능이 매우 우수한 소재로서 각광을 받고 있으며, 그 응용 여부에 따라 무한한 시장성을 확보할 수 있는 기능성 소재이다.

최근에는 쌀 및 콩 발효 식품, 김치 및 젓갈 등에서 분리한 다양한 유산균들이 GABA를 고농도로 생산하는 것으로 보고되었다(Cross ML 2004; Han & Kim 2006; Jeun 등 2004; Ueno 등 1997). 일본에서는 김치에서 분리한 유산균을 이용하여 생산된 GABA가 식품에 실제로 응용되고 있을 뿐 아니라, 소주에서 분리한 *Lactobacillus brevis* IFO 12005를 이용하여 2 mM의 GABA를 생산하였으며(Yokoyama 등 2002), 일본 전통 발효 식품인 funa-sushi로부터 *Lb. paracasei* NFRI 7415를 분리하여 302 mM의 GABA를 생산하였다(Komastuzaki 등 2005). 중국에서도 *Streptococcus salivarius*를 이용하여 78 mM의 GABA 생산하였으며(Yang 등 2008), 국내 연구진들도 GABA와 관련된 활발한 연구를 진행하여, *Lb. brevis* OPK 3, *Lb. buchneri* 등의 GABA 생산 균주를 김치 등의 전통 발효 식품으로부터 분리하여 각각 19 mM, 251 mM의 GABA를 생산한다고 보고하였다(Cho 등 2007; Park & Oh 2006).

일반적으로 토마토는 쌍떡잎식물 통화식물목 가지과의 한해살이풀로 열매의 90% 정도가 수분이며, 비타민 A, B, C, E, K 등과 칼륨, 칼슘, 미네랄, 카로틴 및 리코펜 등이 많이 들어 있다(Lee 등 1972; Pratta 등 2004). 토마토 성분 중의 베타카로틴과 리코펜은 암 예방 기능을 하는 것으로 알려져 있으며, 특히 토마토의 비타민 C 함유량은 다른 야채보다 월등히 높고 노화를 막으며, 골다공증 및 노인성 치매를 예방하는데 특효가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 여러 종류의 아미노산을

함유하고 있으며, 그 중에서도 글루탐산의 함유량은 토마토 원물 100 g 중에 0.4~0.5 g 정도로 총 고형분의 5~10% 내외를 차지할 정도로 매우 높다.

따라서 천연적으로 많은 양의 글루탐산을 함유한 토마토를 주원료로 하여 GABA를 생산할 수 있는 식물성 유산균을 배양할 경우, 토마토의 영양성분은 물론 유산균이 글루탐산을 전환시켜 생산하는 GABA와 함께 유기산이 함유되어 각종 생리활성이 보강된 토마토 발효물을 개발할 수 있을 것으로 기대하며, 자체로 음료화 및 토마토를 주원료로 하는 토마토 주스, 퓨레, 케첩 등에 용이하게 적용할 수 있다.

본 연구를 통하여 선행 연구를 통해 확보된 한국 전통식품 유래 균등인 식물성 유산균 중에서 토마토 발효에 적합한 GABA 생산 유산균을 선별하고, 이를 활용하여 GABA 함유 토마토 발효물의 최적 조건을 확립하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. Tomato 발효 식물성 유산균 및 배양

선행되어진 실험을 통하여 확보된 9주의 김치 유래 GABA (gamma-aminobutyric acid) 생산 유산균을 이용하여 본 실험에 GABA 생산 후보 유산균으로 사용하였다. 사용된 균주는 -70°C에서 보관하여 사용하였으며, 사용된 유산균은 *Lactobacilli* MRS broth(Difco, Spark, MD, USA)에서 2~3회 계대배양한 후 발효 균주로 사용하였다. 종균 배양 후 GABA 생산 유산균을 시판 중인 토마토 페이스트에 접종하여, 30°C에서 72시간 배양한 후 생산된 GABA를 TLC 및 HPLC를 이용하여 정성 및 정량 분석하였다.

### 2. 균의 생육 측정

균체 농도는 채취된 시료를 순차적 희석법을 이용하여 생균수를 측정하였다. 또, 발효물의 pH는 MP 220 pH meter(Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

### 3. Glutamic acid 및 GABA의 분석

첨가된 glutamic acid 및 생산된 GABA를 정량 분석하기 위하여 RP-HPLC(Waters 2487 Dual  $\lambda$  Absorbance detector, Waters 1525 Binary HPLC pump, Waters 717 plus Autosampler, Milford Massachusetts, USA)를 이용하였다. RP-HPLC를 이용한 분석 조건은 Ibolya & Vasanits(1999), Tcherkas 등(2001)이 보고한 것을 참조로 확립하였다. 우선 시료를 8,000 rpm에서 10분간 원심 분리한 후 상등액을 0.45  $\mu$ m cellulose acetate membrane filter(Advantec. MFS. Inc., Dublin, CA USA)로 여과하여 적정 농도로 희석하였다. 이렇게 준비된 시료는 o-phthalaldehyde(OPA)를 이용한 유도체화 과정 후 RP-HPLC

**Table 1. GABA production of different *Lactobacillus* sp. on commercial tomato paste medium supplemented with 50%(v/w, wet-base) of deionized water**

Strain	GABA content(mM)			GABA conversion yield(%)		
	B1-14	B3-20	B3-39	B1-14	B3-20	B3-39
Adding 1% MSG*	23.77	31.85	28.61	43.21	57.91	52.02
No addition	16.81	16.42	15.57	-	-	-

\*MSG: mono sodium glutamate, Data are means of triplicates. Standard errors were less than 5.0% of the means.

에 적용하였다. HPLC column으로는 XTerra column(Waters: RP18 5 m×4.6 mm×150 mm, Milford Massachusetts, USA)을 사용하였으며, 이동상으로는 0.05 M sodium acetate(pH 7.2)를 용매 A로, 그리고 0.1M sodium acetate, acetonitrile(HPLC grade), methanol(HPLC grade)이 각각 46:44:10(v/v)으로 섞인 것(pH 7.2)을 용매 B로 사용하였다. 이동상의 농도 구배는 용매 A를 100%로 하여 분석을 시작해서 30분 경과 후에는 용매 B가 100%가 되고, 40분 경과 후까지 용매 B가 100%, 45분 경과 후까지는 다시 용매 A가 100%가 되게 하였으며, 60분 후까지 용매 A가 100%가 되도록 조절하였다. 이동상의 유속은 1 ml/min로 고정하였고, 358 nm의 U.V. detector로 GABA를 검출하였다.

#### 4. 항산화력 측정

유해산소 또는 활성산소(free radical)는 성인병과 인체 노화, 특히 피부 노화의 원인 물질이다. 활성 산소를 제거해 주는 항산화 실험은 Takashi 등(2000)의 방법에 의해 측정하였다. 에탄올에 용해시킨 0.25 mM DPPH solution 0.5 ml에 여러 농도의 발효물 0.5 ml를 첨가하여 섞어주고, 암실에서 20분 반응시킨 후 UV-spectrophotometer로 517 nm에서 흡광도를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. Tomato 발효 식물성 유산균의 선별

본 연구에서 사용된 GABA 생산 식물성 유산균은 선행된 연구를 통해 확보된 유산균으로 전통 발효 식품인 김치에서부터 분리하여(data 보이지 않음) 사용하였다.

8주의 *Lactobacillus brevis*와 1주의 *Lb. sakei*를 이용하여 토마토 페이스트에서 생육 및 GABA 생산량을 검토하였다. 사용된 토마토 페이스트는 시중에서 구입하여 사용하였으며, 초기 pH 4.5±0.1, 고형분량은 40%±1이었으며, 소량의 glutamic acid가 검출되었다. 토마토 페이스트에 50%(wet-base) 수준으로 가수를 한 후, GABA 생산 유산균을 각각 1.5×10<sup>7</sup> CFU/g으로 조정하여 배양한 결과, *Lb. brevis* B1-31, *Lb. brevis* B3-20, *Lb. brevis* B3-39 등 3종의 유산균이 우수한 생육을 보였으며,

최종 1.5×10<sup>9</sup> CFU/g~3.0×10<sup>9</sup> CFU/g의 생균수를 보였다(data 보이지 않음).

### 2. 토마토 페이스트를 이용한 GABA 생산

사용된 토마토 페이스트를 이용하여 glutamic acid와 GABA의 함유량을 검토한 결과, 매우 적은 양의 glutamic acid와 GABA가 검출되었다. 따라서 본 연구에서는 현저한 GABA 전환을 확인하기 위하여 1%(w/w) 수준의 MSG(mono sodium glutamate)를 첨가한 균과 미첨가 균을 나누어 선별된 *Lb. brevis* B1-31, *Lb. brevis* B3-20, *Lb. brevis* B3-39 등 3종의 유산균을 각각 1.5×10<sup>7</sup> CFU/ml 수준으로 접종하여, 30℃에서 72시간 동안 정치 배양하여 그 결과를 살펴보았다. 1%(w/w) 수준의 MSG를 첨가한 배양에서 최대 31.85 mM 이상의 GABA가 생산되었다. MSG를 미첨가한 배양에서는 발효 균주에 상관없이 15 mM 수준의 GABA가 생산되었으며, 1%(w/w) 수준의 MSG를 첨가한 경우, *Lb. brevis* B3-20을 이용하여 배양한 균에서 최대의 GABA 생산을 보였으며, 다른 두 균에서도 GABA 생산량이 증가한 결과를 얻을 수 있었다(Table 1). 하지만 최대 GABA 전환율을 보인 균에서도 첨가된 1%(w/w) MSG는 GABA로 100% 전환되지 않았다.

선행된 실험에서 최대 GABA 전환율을 보인 균에서도 첨가된 1%(w/w) MSG는 GABA로 100% 전환되지 않았으며, 이러한 원인으로 높은 고형분량이라고 판단하여 가수량을 조절하여 발효를 수행하였다. 토마토 페이스트에 각각 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9(wet-base) 비율로 물을 첨가하여, MSG를 1%(w/w) 수준으로 첨가한 후, *Lb. brevis* B3-20을 1.5×10<sup>7</sup> CFU/ml 수준으로 접종하여, 30℃에서 72시간 동안 정치 배양하였다. 가수량을 조절하여 배양한 결과, 토마토 페이스트와 물의 비율이 2:8(wet-base) 수준으로 하여 배양한 경우, 최대 54.7 mM 수준의 GABA가 생산되었으며, 이러한 결과는 첨가된 MSG가 99% 이상 GABA로 전환된 결과이다(Table 2).

첨가된 MSG를 GABA로 100% 전환시키기 위하여 당과 질소원을 첨가하여 GABA 생산을 위한 조건을 검토하였다. 당원의 첨가에 따른 GABA 생산량의 변화는 보이지 않았으나(data 보이지 않음), 질소원으로 yeast extract를 0.5%(w/w) 수준으로 첨가한 경우, GABA 생산량이 현저히 증가하여 첨가

**Table 2.** Effect of various water content on GABA production of *Lb. brevis* B3-20 on commercial tomato paste medium supplemented with 1%(w/w) of MSG

	Ratio of tomato paste and deionized water				
	5:5	4:6	3:7	2:8	1:9
GABA concentration (mM)	33.0	34.0	36.9	54.7	51.1
GABA conversion yield (%)	60.00	61.81	67.09	99.45	92.91

Data are means of triplicates. Standard errors were less than 5.0% of the means.

**Table 3.** Effect of different MSG concentration on GABA production of *Lb. brevis* B3-20 on commercial tomato paste medium(ratio of tomato paste and deionized water=2:8) supplemented with 0.5%(w/w) of yeast extract

	Concentration of yeast extract(%)			
	1	3	5	10
GABA concentration (mM)	55.70	143.38	147.56	79.84
GABA conversion yield (%)	100.00	86.90	53.66	14.52

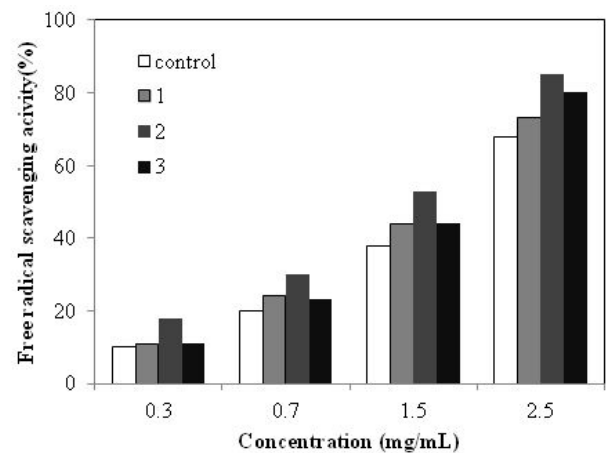
Data are means of triplicates. Standard errors were less than 5.0% of the means.

된 MSG가 GABA로 100% 전환되는 것을 확인하였다(data 보이지 않음).

이러한 결과로 미루어 볼 때, MSG의 농도를 1% 수준에서 10%(w/w) 수준으로 증가시켜 *Lb. brevis* B3-20을 30°C에서 72 시간 동안 정지 배양하였다(Table 3). *Lb. brevis* B3-20에 의한 발효에서 MSG를 3%(w/w) 농도에서 143.38 mM, 5%(w/w) 5%(w/w)에서 147.65 mM의 GABA가 생산되어, 각각 86.90%, 53.66% 전환율을 보였다. 하지만 5%(w/w) 이상의 MSG 첨가는 발효물에 다량의 MSG가 잔존하게 되므로, 이에 따른 진미 등의 이취가 발생할 수 있으므로, 본 연구에서 GABA 생산을 위한 최대 MSG 첨가량은 3%(w/w) 수준으로 확정하였다.

### 3. GABA 함유 토마토 페이스트를 이용한 항산화력 측정

유해 산소 또는 활성산소는 성인병과 인체 노화, 특히 피부 노화 등의 원인으로 알려져 있다. 본 연구는 최적화된 GABA 함유 토마토 페이스트를 이용하여 활성산소 제거능을 검토한 결과, 원물 토마토 페이스트에 비하여 GABA 함유 발효 토마토 페이스트에 의한 활성 산소 제거능이 증가한 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 1). 50% 활성 산소를 제거할 수 있는 각 발효물의 농도를 살펴본 결과, 3%(w/w) 수준의 MSG를 첨가하여 발효한 토마토 페이스트가 가장 낮은 농도에서 50% 수준의 활성산소를 제거할 수 있었다(Table 4). 따라서, GABA 함유 토마토 페이스트 발효물은 원물 토마토의 ascorbic acid, lycopene, carotenoid 등과 같은 기능성 성분뿐만 아니라, 유산균 발효에 의한 GABA 등을 함유하고 있기 때문에 우수한 기능성 소재로 그 가능성이 있다고 판단되며, 토마토 음료, 토마토 케첩 등과 같은 다양한 가공식품의 소재로서 사용될 수 있다고 판단된다.

**Fig. 1.** Activity of free radical scavenging of GABA-rich tomato paste by *Lb. brevis* B3-20.

Control : not fermented tomato paste,

1: fermented tomato paste supplemented with 1% MSG,

2: fermented tomato paste supplemented with 3% MSG,

3: fermented tomato paste supplemented with 5% MSG,

Data are means of triplicates. Standard errors were less than 5.0% of the means.

## 요 약

$\gamma$ -Aminobutyric acid(GABA)는 자연계에 널리 분포하는 비단백질 구성 아미노산으로서, 신경전달물질, 뇌기능 촉진뿐 아니라, 혈압 저하 작용, 이뇨 작용, 항우울증 작용, 항산화 작용 등의 효과뿐만 아니라, 성장 호르몬의 분비 조절에도 관여하며, 통증 완화에도 효과가 있는 것으로 알려져 있으며,

**Table 4. 50% free radical scavenging activity of GABA-rich tomato paste by *Lb. brevis* B3-20**

Concentration (mg/ml)	Scavenging activity(FSC50*)			
	Control**	1***	2****	3*****
	1.74	1.51	1.17	1.46

\*FSC50 is the mean 50% free radical scavenging activity,

\*\*Control : not fermented tomato paste,

\*\*\*1: fermented tomato paste supplemented with 1% MSG,

\*\*\*\*2: fermented tomato paste supplemented with 3% MSG,

\*\*\*\*\*3: fermented tomato paste supplemented with 5% MSG,

Data are means of triplicates. Standard errors were less than 5.0% of the means.

토마토의 베타카로틴과 리코펜은 암 예방 기능을 하는 것으로 알려져 있으며, 비타민 C 함유량은 다른 야채보다 월등히 높고 노화를 막으며, 골다공증 및 노인성 치매를 예방하는데 특효가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 여러 종류의 아미노산을 함유하고 있으며, 그 중에서도 글루탐산의 함유량은 매우 높다.

한국 전통식품 유래 균들인 식물성 유산균 중에서 토마토 발효에 적합한 GABA 생산 유산균을 선별하고, 이를 활용하여 GABA 함유 토마토 발효물의 최적 조건을 확립하였다. 토마토 페이스트에 50%(wet-base) 수준으로 가수를 한 후, GABA 생산 유산균을 각각  $1.5 \times 10^7$  CFU/ml 수준으로 조정하여 접종하여, 배양한 결과, *Lb. brevis* B1-31, *Lb. brevis* B3-20, *Lb. brevis* B3-39 등 3종의 유산균이 우수한 생육을 보였다. 이들 3주를 이용하여 GABA 생산량을 검토한 결과, *Lb. brevis* B3-20을 이용하여 배양한 균에서 최대의 GABA 생산을 보였다. 토마토 페이스와 물의 비율을 2:8(wet-base)로 하여 배양한 경우, 최대 54.7 mM 수준의 GABA가 생산되었으며, 질소 원으로 yeast extract를 0.5%(w/w) 수준으로 첨가한 후, MSG를 3%(w/w) 수준으로 첨가한 배양에서 143.38 mM의 GABA가 생산되었다. GABA 함유 토마토 페이스트의 활성산소 제거능력을 검토한 결과, 활성 산소 제거능이 증가한 결과를 얻을 수 있었으며, 3%(w/w) MSG를 첨가하여 발효한 토마토 페이스가 가장 낮은 농도에서 50% 수준의 활성산소를 제거할 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, GABA 함유 토마토 페이스트 발효물은 원물 토마토의 ascorbic acid, lycopene, carotenoid 등과 같은 기능성 성분뿐만 아니라, 유산균 발효에 의한 GABA 등을 함유하고 있기 때문에, 우수한 기능성 소재로 그 가능성이 있다고 판단되며, 토마토 음료, 토마토 케첩 등과 같은 다양한 가공식품의 소재로서 사용될 수 있다고 판단된다.

## 참고문헌

- Chang JS, Lee BS, Kim YG. 1992. Changes in  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) and the main constituents by a treatment conditions and of anaerobically treated green tea leaves. *Korean J Food Sci Technol* 24:315-319
- Cho YR, Ji YC, Hae CC. 2007. Production of  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) by *Lactobacillus buchneri* isolated from *Kimchi* and its neuroprotective effect on neuronal cells. *J Microbiol Biotechnol* 17:104-109
- Cross ML. 2004. Immune-signaling by orally-delivered probiotic bacteria: Effects on common mucosal immunoresponses and protection at distal mucosal sites. *Int J Immunopathol Pharmacol* 17:127-134
- Han SB, Kim YH. 2006. Production method of  $\gamma$ -aminobutyric acid-enforced fermentative products by lactic acid bacteria,  $\gamma$ -aminobutyric acid-enforced fermentative products produced by the method and their utilization. Korea Patent 10-0547018
- Hao R, Schmit JC. 1993. Cloning of the gene for glutamate decarboxylase and its expression during conidiation in *Neurospora crassa*. *Biochem J* 15:887-890
- Ibolya MP, Vasanits A. 1999. Stability and characteristics of the o-phthaldialdehyde/3-mercaptopropionic acid and o-phthaldialdehyde/N-acetyl-L-cysteine reagents and their amino acid derivatives measured by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr A* 835:73-91
- Jeun JH, Kim HD, Lee HS, Ryu BH. 2004. Isolation and identification of *Lactobacillus* sp. produced  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) form traditional slat fermented anchovy. *Korean J Food Nutr* 1:72-79
- Komatsuzaki N, Shima, J, Kawamoto S, Momose H, Timura T. 2005. Production of  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods. *Food Microbiol* 22:497-504
- Kono I, Himeno K. 2000. Changes in  $\gamma$ -aminobutyric acid content during beni-koji making. *Biosci Biotechnol Biochem* 64: 617-619
- Krogsgaard-Larsen P. 1989. GABA receptors. In Receptor pharmacology function. Williams M, Glennon RA, Timmermans PMWM, eds. Dekker, Inc., New York, pp. 349-383.
- Lee HB, Yang CB, YU TJ. 1972. Studies on the chemical composition of some fruit vegetables and fruits in Korea(I). *Korean J Food Sci Technol* 4:36-43
- Leventhal AG, Wang YC, Pu ML, Zhou YF, Ma Y. 2003.

- GABA and its agonists improved visual cortical function in senescent monkeys. *Science* 300:812-815
- Maras B, Sweeney G, Barra D, Bossa F, Jhon RA. 1992. The amino acid sequence of glutamate decarboxylase from *Escherichia coli*. *Eur J Biochem* 206:93-98
- Park JH, Han SH, Shin MK, Park KH, Lim KC. 2002. Effect of hypertension falling of functional GABA green tea. *Korean J Medicinal Crop Sci* 10:37-40
- Park KB, Oh SH. 2006. Cloning, sequencing and expression of a novel glutamate decarboxylase gene from a newly isolated lactic acid bacterium, *Lactobacillus brevis* OPK-3. *Bioresour Tech* (available online) 98:312-319
- Park KB, Oh SH. 2006. Isolation and characterization of *Lactobacillus buchneri* Strains with high  $\gamma$ -aminobutyric acid producing capacity from naturally aged cheese. *Food Sci Biotechnol* 15:86-90
- Pratta G, Zorzoli R, Boggio SB, Picardi LA, Valle EM. 2004. Glutamine and glutamate levels and related metabolizing enzymes in tomato fruits with different shelf-life. *Scientia Horticulturae* 100:341-347
- Saikusa T, Horino T, Moki Y. 1994. Accumulation of  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) in the germ during water soaking. *Biosci Biotech Biochem* 58:2291-2292
- Shelp BJ, Bown AW, McLean MD. 1999. Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends Plant Sci* 4: 446-452
- Takashi H, Mikiya T, Masaki O, Teppei T, Morihiko S. 2000. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. *Farmaco* 56:497-500
- Tcherkas YV, Kartsova LA, Krasnova IN. 2001. Analysis of amino acids in human serum by isocratic reversed phase high-performance liquid chromatography with electrochemical detection. *J Chromatogr A* 913:303-308
- Tsushida T, Murai T. 1987. Conversion of glutamic acid to  $\gamma$ -aminobutyric acid in tea reaves under anaerobic conditions. *Agric Biol Chem* 51:2856-2871
- Ueno H. 2000. Enzymatic and structural aspects on glutamate decarboxylase. *J Mol Catal B Enzym* 10:67-69
- Ueno Y, Hayakawa K, Takahashi S, Oda K. 1997. Purification and characterization of glutamate decarboxylase from *Lactobacillus brevis* IFO 12005. *Biosci Biotech Biochem* 61: 1168-1171
- Yang SY, Lu FX, Lu ZX, Bie XM, Jiao Y, Sun LJ, Yu B. 2008. Product of  $\gamma$ -aminobutyric acid by *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* Y2 under submerged fermentation. *Amino Acids* 34:473-478
- Yokoyama S, Hiramatsu J, Hayakawa, K. 2002. Production of  $\gamma$ -amminobutyric acid from alcohol distillery lees by *Lactobacillus brevis* IFO 12005. *J Biosci Bioeng* 93:95-97

---

접 수 : 2011년 12월 7일  
 최종수정 : 2012년 2월 7일  
 채 택 : 2012년 2월 9일