

국내산 및 중국산 대두의 두유 제조 및 기능적 특성

전 기 숙 · 박 신 인[¶]
가천대학교 식품영양학과[¶]

Manufacturing and Functional Properties of Soymilk prepared with Korean and Chinese Soybeans

Ki-Suk Jeon · Shin-In Park[¶]

Dept. of Food and Nutrition, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea[¶]

Abstract

The purpose of this study is to provide preliminary information relating to the applicability of Chinese soybean as functional food material. This study compared the manufacturing characteristics, phenolic compounds contents, and antioxidative activities of soymilk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese Heinong 48) soybean. Antioxidative activities were measured by *in vitro* models such as 1,1-diphenyl-2-crylhydrazyl DPPH) radical scavenging activity, and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-ulfonic acid ABTS) radical scavenging activity. The physicochemical properties(solid contents, pH, and color) and suspension stability of soymilk were not significantly different between the types of raw soybean. Total phenolic and flavonoid contents of soymilk prepared with Chinese cultivar(20.71±0.34 GAE mg/g dw and 6.31±0.11 QE mg/g dw, respectively) were significantly higher than those of soymilk prepared with Korean cultivar (** $p<0.001$ and ** $p<0.01$, respectively). Total tannin content of soymilk prepared with Korean cultivar(2.29±.22 TAE mg/g dw) was significantly higher than that of soymilk prepared with Chinese cultivar(** $p<0.01$). The electron donating ability(EDA) of soymilk was significantly increased in a dose dependent manner($p<0.05$); the soymilk prepared with Chinese cultivar showed significantly higher EDA on the concentration of 2.5 mg/mL($p<0.01$) and 10.0 mg/mL($p<0.05$) than that of soymilk prepared with Korean cultivar. The antioxidative activities of soymilk were significantly increased in a dose dependent manner on ABTS radical scavenging($p<0.05$), and there was no significant difference between the types of raw soybean. These results suggest that Chinese soybean, which contains plenty of phenolic compounds and has superior antioxidant activity, may have great potential as a raw material for functional beverage preparation.

Key words: phenolic compounds, antioxidative activities, soymilk, Korean(Jinpumkong) soybean, Chinese (Heinong 48) soybean

I. 서론

대두(*Glycine max* (L.) Merrill)는 동양에서 가장 오래된 작물로, 우리나라에서는 삼국시대 초기

부터 재배되었으며, 주곡인 쌀, 보리, 밀 다음가는 주요 작물로서(Jang SY et al 2008), 대두에 함유된 페놀성 화합물이 산화적 손상으로부터 세포를 보호하여 심혈관계 질환과 암 등의 질병을 예방

¶ : 박신인, psin@gachon.ac.kr, 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342, 가천대학교 식품영양학과

할 수 있는 것으로 알려지면서 대두의 이용률은 더욱 증가하고 있다(Shin HC et al 2004). 대두는 품종별로 성분에 차이가 있어 그 가공 적성이 달라지므로 제품 용도별 품종의 선택이 중요하다. 즉, 간장, 된장 제조용은 단백질 함량이 높은 품종, 두유 및 두부 제조용은 수용성 단백질 함량이 높은 품종, 지방 함량이 높은 품종은 착유용으로 적합하며, 단백질과 지방 함량이 모두 높은 품종은 착유 후 대두박의 이용 가치가 높다(Na MO 2004).

7개국(한국, 일본, 미국, 영국, 스위스, 독일, 프랑스)의 연간 우유 및 유제품 소비량과 인구 10만 명 당 모든 종류의 악성 신생물질로 인한 사망률에 관한 자료를 각각 FAO(Food and Agricultural Organization of the United Nations)와 WHO(World Health Organization)의 생태학적 자료로부터 수집하여 그 상관관계를 분석한 연구 결과, 선천적 또는 후천적 유당 불내증(lactose intolerance)의 비율이 전체 인구의 75%를 상회하는 한국과 일본은 우유 섭취량과 암 사망 비율 간의 상관계수가 각각 0.903과 0.902로 매우 높았지만, 유당 불내증 분포가 낮은 미국, 영국, 스위스는 상관계수가 각각 0.526, 0.694, 0.599로 낮았고, 프랑스와 독일의 경우는 관련이 없는 것으로 나타났다. 또한, 인체 실험을 통해 유당 불내증이 있는 경우 장기간 유당을 포함하고 있는 유제품을 지속적으로 섭취하게 되면 인체 내에서 지질의 산화 정도가 증가하고, DNA의 변형이 생길 수 있으며, 유당 불내증과 암 사망률의 잠재적 상관성을 제시하였다(Chung CW et al 2001).

두유는 대두로부터 단백질 등의 수용성 물질을 주로 추출한 것으로, 대두의 단백질 이용률과 소화율을 높인 대표적인 대두 가공식품이다(Jang SY et al 2008). 두유에는 필수 아미노산 및 필수 지방산이 다량 함유되어 있고, 철분, 인, 칼륨 등의 무기질이 풍부하며(Kim SR et al 2002), 유당이 함유되어 있지 않아 고단백 우유 대체식품으로서 가치를 인정받고 있다(Shin HC et al 2004). 국내

에서 실시된 두유의 임상 연구 결과를 보면, 골질량이 감소된 저체중 여대생 33명을 대상으로 10주간 매일 두유 400 mL를 공급한 후 요추와 대퇴경부의 골밀도가 유의적으로 증가하였으며, 섭취 중단 12주 후에 유의적으로 감소하였고(Sung CJ et al 2003), 만 45~59세의 최종 월경이 3개월 이상 경과한 건강한 중년 여성을 대상으로 콩가루 44 g과 두유 200 mL를 매일 12주간 섭취하도록 한 후 폐경 증상이 유의적으로 감소하였으며, 특히 심리 증상 완화와 빈뇨 개선에 효과적이었다(Park HS 2003). 두유에는 이소플라본, 올리고당, 엽산, 사포닌, 펩타이드 등 다양한 생리활성 성분이 함유되어 있으며, 항산화, 항암, 혈압 강하, 비만 및 노화 억제, 골다공증, 고지혈증 및 담석증 등 각종 성인병 예방에 좋은 식물성 건강음료로서 인식이 확대되고 있다(Dwyer JT et al 1994; Kim KS et al 1994; Setchell KR & Cassidy A 1999).

식품공전에 따르면 두유류란 대두 및 대두 가공품의 추출물이거나 이에 다른 식품이나 식품 첨가물을 가하여 제조·가공한 것으로, 대두 고형분 함량에 따라 4가지(두유액, 두유, 분말 두유, 기타 두유)로 분류한다. 두유액은 대두로부터 추출한 유액(대두 고형분 7% 이상), 두유는 두유액이나 대두 가공품의 추출액에 식품 또는 식품 첨가물을 가한 것(대두 고형분 4% 이상), 분말 두유는 두유 또는 조제 두유를 건조하여 분말화한 제품(대두 고형분 50% 이상), 기타 두유는 두유에 과실·채소즙 또는 우유, 유가공품, 곡류 분말 등을 가한 액상, 호상, 겔상의 것(대두 고형분 1.4% 이상)을 말한다(식품의약품안전처 2015).

최근 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 '웰빙'이 국내 소비시장의 트렌드로 자리 잡으면서 과거 수분 섭취가 목적이었던 음료 시장에도 '건강'을 콘셉트로 한 제품들이 봇물을 이루고 있으며, 대두, 식이섬유 등을 함유한 음료 제품군이 확대되는가 하면(이광표 2015), 커피 전문점 등에서 우유를 대신하여 두유로 선택의 폭을 넓히면서

두유 소비량이 급격히 증가하고 있다(오주연 2011). 국내 음료시장 품목별 연간 판매동향을 살펴보면, 2012년 7월 기준 두유류가 과채주스(22.8%), 커피 음료(17.5%), 탄산음료(16.4%), 기능성 음료(11.0%), 생수(10.9%)의 뒤를 이어 전체 음료 시장의 7.7% 정도의 시장점유율을 차지하고 있다(한국농수산식품유통공사 2015). 또한, 2012년 식품 및 식품첨가물 생산실적 통계에 따르면, 국내 두유류의 연도별 생산 실적은 2000년부터 매년 10% 이상 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 2012년 기준 총 생산액은 약 4,625억원 규모이었고, 생산량은 두유액 22,137 톤, 두유 265,234 톤, 분말 두유 2 톤, 기타 두유 839 톤에 달하였다(식품의약품안전처 2013). 이러한 시장 상황을 고려해 볼 때 국내 두유류 시장은 지속적으로 확대될 것으로 생각된다.

두유의 전통적인 제조 방법은 물과 함께 마쇄한 대두를 여과 후 가열 처리하는 생추출법과 가열 처리 후 여과하는 가열추출법으로 대별되는데, 생추출법은 가열추출법에 비해 추출이 용이하고 수율과 유화 안정성이 개선되며, 단백질 소화율(protein digestibility)과 단백질과 탄수화물의 총 함량에 대한 단백질의 비율로 정의되는 단백질 계수(protein coefficient)(Omosaiye O & Cheryan M 1979)가 더 높은 장점이 있다(Kim YS 2014). 유화 안정성은 가열 처리로 인해 단백질의 소수성 작용기가 표면으로 노출되어 인지질과의 상호작용이 증가되고, 기름과 물의 계면으로 열변성된 단백질 분자의 확산 속도가 증가되어 계면을 형성하는 단백질과 단백질 간의 회합을 용이하게 해주어 유화력이 증대되어 개선된다(Quaglia GB & Orban E 1990; Kang YJ 1984). 단백질 소화율의 향상은 가열 처리로 인해 대사 중 위장과 대장에서 가스를 생성하는 대두에 함유된 영양장애 인자인 트립신 저해제(trypsin inhibitor)의 불활성화와 단백질의 열변성에 따른 단백질 분해의 향상에 의한 것이다(Ikeda et al 1995).

국내의 대두 생산 면적과 생산량은 각각 1970년 35만 8천 ha와 27만 1천 톤이었던 것이 2013년

9만 6천 ha와 12만 3천 톤으로 감소한 반면, 대두 및 그 가공식품의 소비량이 높아 2013년 총 수요량은 126만 9천 톤, 1인당 연간 소비량은 8.0 kg에 달하였으나, 생산기반이 빈약하여 자급도가 9.7%로 낮은 실정으로 국내 생산은 12만 3천 톤에 불과하고, 115만 3천 톤을 미국, 아르헨티나, 중국 등지의 수입에 의존하고 있다(농림축산식품부 2014). 국내 대두 가공식품 제조업체의 경우, 낮은 가격과 안정적인 물량 확보를 이유로 대부분 중국산 대두를 사용하고 있는데, 중국에서 재배하는 대두는 모두 비유전자 변형 대두이며(Lei T 2013), 주산지인 동북 3성 지역(흑룡강성, 길림성, 요령성)과 북부 평야 지역(산둥성, 하남성, 하북성)으로 중국 전체 생산량의 60%를 생산하고 있다. 그 중에서 산둥성, 흑룡강성, 하남성의 대두 생산량이 가장 많아서, 중국 총 생산량의 49.9%를 차지하고 있다(Wang L 2008). 대두의 주산지에서 일반적으로 재배되는 품종의 하나인 Heinong 48은 고단백 품종으로 두유 가공에 적합한 품종이다(Song ZY et al 2013).

국내산 대두와 그 가공 및 발효 식품에 관한 연구는 대두 및 콩나물의 항산화 활성(Kim JY et al 1995; Hong JY et al 2014; Park CH et al 2014), 대두의 항노화(Ryu SH & Moon GS 2003) 및 혈관신생 저해효과(Jeon KS 2002), 된장의 항암 활성(Lee KI et al 2011), 청국장 항염증 개선 효과(Kim HG et al 2012), 콩다식의 품질 특성(Choi US et al 2010; Choi YS & Um YH 2013) 등 다양하게 이루어졌다. 그러나 중국산 대두 관련 연구는 이소플라본 함량 분석(Kim EM et al 2004; Lee JK et al 2005; Zheng J et al 2005)과 두부 가공 적성(Na MO 2004) 등이 보고되었을 뿐, 두유 제조 및 기능적 특성에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 국내산 및 중국산 대두를 이용하여 두유를 제조하고, 총 페놀 및 총 플라보노이드, 총 탄닌 함량, 항산화 활성을 측정하여, 대두산지별 차이를 비교하고, 기능성 음료로서의 가능성을 검토하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료 및 시약

본 실험에 사용한 국내산 대두인 진품콩(Jinpumkong)은 생육이 왕성하며, 높은 수량성을 보이며(Kim YW & Cho JH 2005), 대두 가공식품을 위한 장려 품종으로(Kim KC 201) 2013년산을 수원에서 구입하였으며, 중국산 대두(Heinong 48)는 중국 동북지역에서 일반적으로 재배되는 고단백질 품종으로, 중국 산동성에서 2013년산을 구매하여 냉장보관하면서 실험에 사용하였다. 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성 측정에 사용된 시약인 Folin-Ciocalteu's reagent, gallic acid(97.5%), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS, 98.0%)는 Sigma(Sigma-Aldrich Co., Steinheim, Germany), quercetin(97.0%)은 HWI(HWI Analytik GmbH, Ruelzheim, Germany), tannic acid(95.0%)는 삼천화학(Samchun Pure Chemical Co., Pyeongtaek, Korea)으로부터 구입하여 사용하였다.

2. 두유 및 두유 분말 제조

대두 100 g을 3회 수세한 후 20배량의 증류수에 담가 상온에서 12시간 동안 수침한 후, 70℃ 증류수를 대두 중량의 10배량 가하여 분쇄기(36-BL23, Waring Products Division Dynamics Co., New Hartford, CT, USA)를 사용하여 5분간 마쇄하였다. 마쇄한 원액을 면포에 넣어 미니탈수기(W-100T, Hanil Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 두유와 비지로 분리하였고, 두유를 95~98℃에서 20분간 끓인 후 실온에서 냉각한 후, 4℃에서 저장하면서 실험에 사용하였다. 두유 분말은 두유를 동결건조(FD-1B-80, Boyikang, China) 시킨 후 60 mesh 표준체를 통과시켜 제조하였으며, -20℃에서 저장하면서 색도, 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성 측정에 사용하였다.

3. 두유의 이화학적 특성

1) 고형분 함량 측정

고형분 함량은 굴절당도계(Refractometer, WM-7, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다(Kim DK et al 2014).

2) 색도 측정

두유 분말의 색도를 색차계(JC801S, Daego Co., Korea)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(red-ness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 측정하였고, 이 때 표준 백색판의 L, a, b 값은 각각 88.80, 2.16, 1.82이었다. 종합적인 색차 값(total color difference, ΔE)은 $(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$ 의 공식을 이용하여 구하였다.

3) pH 측정

두유 5 g에 9배량의 증류수를 가하여 균질화한 후, 상등액을 취하여 pH meter(AR10, Fisher Scientific, Marietta, GA, USA)를 이용하여 pH를 측정하였다.

4) 현탁액 안정성 측정

두유 10 mL를 시험관에 취하여 높이를 측정하고, 4℃에서 저장하면서 3, 7, 10일 경과 후에 현탁액이 분리되어 내려온 높이를 측정하여, 0일째 높이에 대한 비율을 현탁액 안정도 지수로 계산하였다(Hwang IK et al 1992).

4. 두유의 페놀성 화합물 함량 측정

1) 메탄올 추출물 제조

두유 분말 시료 10 g에 5배량의 메탄올을 첨가하고, 25℃에서 16시간 동안 3회 반복 추출하여 여과(Whatman No.1 filter paper)한 후, 여액을 40℃에서 회전진공농축기(Eyela N-INW, Rikakikai, Tokyo, Japan)로 감압농축하여 dimethyl sulfoxide (DMSO)를 이용하여 회수한 후 -20℃ 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

2) 총 페놀 함량

두유 추출물의 총 페놀 함량은 Swain과 Hillis의 방법에 따라 측정하였다(Swain T & Hillis WE 1959). 일정 농도로 희석된 두유 추출물 50 μ L에 2% sodium carbonate 용액 1 mL를 첨가하여 3분간 방치시킨 후, 50% Folin-Ciocalteu's reagent 50 μ L를 첨가하여 30분 동안 반응시킨 후, 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid를 이용하여 작성한 표준 검량선으로 부터 구하여 건조 시료 g 중의 mg gallic acid equivalent (GAE)로 나타내었다.

3) 총 플라보노이드 함량

두유 추출물의 총 플라보노이드 함량은 Dewanto 등의 방법을 변형하여 측정하였다(Dewanto V et al 2002). 일정 농도로 희석된 두유 추출물 250 μ L에 증류수 1 mL, 5% sodium nitrite 용액 75 μ L를 첨가하여 5분간 방치시킨 후, 10% aluminum chloride 용액 150 μ L를 첨가하여 6분간 반응시켰다. 위 반응액에 1 N sodium hydroxide 500 μ L를 첨가하여 11분간 반응시킨 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 quercetin을 사용하여 작성한 표준 검량선으로 부터 구하여 건조 시료 g 중의 mg quercetin equivalent(QE)로 나타내었다.

4) 총 탄닌 함량

두유 추출물의 총 탄닌 함량은 Duval과 Shetty의 방법을 변형하여 측정하였다(Duval B & Shetty K 2001). 일정 농도로 희석된 두유 추출물 1 mL에 95% ethanol 1 mL와 증류수 1 mL를 첨가한 다음, 5% sodium carbonate 1 mL, 1 N Folin-Ciocalteu's reagent 5 mL를 첨가하여 60분 동안 반응시킨 후 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 탄닌 함량은 tannic acid를 사용하여 작성한 표준 검량선으로 부터 구하여 건조 시료 g 중의 mg tannic acid equivalent(TAE)로 나타내었다.

5. 두유의 항산화 활성 측정

1) 전자공여능(Electron Donating Ability)

DPPH 라디칼에 대한 전자공여능은 Blois의 방법을 변형하여 측정하였다(Blois MS 1958). 일정 농도로 희석된 두유 추출물 0.2 mL와 에탄올에 용해시킨 0.2 mM DPPH 용액 0.8 mL를 진탕하고 암소에서 30분간 방치한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 전자공여능은 시료 첨가구와 무첨가구의 흡광도 감소율을 백분율로 나타내었다.

2) ABTS 라디칼 소거능

ABTS 라디칼 소거능은 Roberta 등의 방법으로 측정하였다(Roberta R et al 1999). 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulphate를 혼합하고, 암소에서 하룻 동안 방치하여 양이온 라디칼 (ABTS^{•+})을 형성시킨 후, 735 nm에서 흡광도의 값이 1.5 이하가 되도록 희석하였다. 희석된 ABTS^{•+} 용액 1 mL에 일정 농도로 희석된 두유 추출물 50 μ L를 첨가한 뒤 30분 후 흡광도의 변화를 측정하였으며, ABTS 라디칼 소거능은 시료 첨가구와 무첨가구의 흡광도 감소율을 백분율로 나타내었다.

6. 통계분석

본 연구의 모든 실험은 3반복 실시하였으며, 결과는 SPSS 19.0 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하고, 실험군 간의 차이 유무는 독립표본 T-test나 one-way ANOVA(analysis of variance)로 분석한 뒤 신뢰구간 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan의 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)으로 유의성 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 특성

국내산 대두와 중국산 대두로 제조한 두유의 고형분 함량, pH, 색도는 <Table 1>에 나타내었다. 고형분 함량은 국내산 대두로 제조한 두유

〈Table 1〉 Physicochemical characteristics of soymilk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese(Heinong 48) soybean

Cultivar	Solid contents (°Brix)	pH	Color value			
			L	a	b	ΔE
Jinpumkong	10.61±0.52	6.80±0.15	82.94±0.82	2.43±0.17	26.77±0.41	25.64±0.52
Heinong 48	11.12±0.57	6.94±0.01	84.81±0.61	0.89±0.07	28.12±0.52	26.63±0.59
<i>t</i> -test	-1.166	-1.675	-3.163*	14.713***	-3.532*	-2.179

All values are mean±SD of triplicate determination.

p*<0.05, **p*<0.001.

(10.61±0.52 °Brix)가 중국산 대두로 제조한 두유 (11.12±0.57 °Brix)에 비해 낮았으나 유의적인 차이는 보이지 않았으며, 국내 시판 두유의 고형분 함량이 11.4±0.32 °Brix이었다는 보고(Kim DK et al 2014)와 일치하였으나, 국내산 14품종의 대두로 제조한 두유의 고형분 함량이 4.37~7.17 °Brix이었다는 보고(Kim KC 2010)에 비해 높은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 대두의 품종별로 수용성 단백질과 탄수화물 등의 가용성 고형분 함량이 다르기 때문인 것으로 생각된다(Chang IL et al 1990).

국내산과 중국산 대두로 제조한 두유의 pH는 각각 6.80±0.15와 6.94±0.01로 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 국내산 14품종의 대두로 제조한 두유의 pH가 6.43~6.86이었다는 보고(Kim KC 2010)와 유사하였으나, 국내 시판 두유의 pH가 7.3±0.06이었다는 보고(Kim DK et al 2014)에 비해 낮았으며, 두유 제조시 가열 온도가 증가할수록 pH가 감소하여 100℃에서 20분간 가열 처리하여 제조한 두유의 pH가 6.49이었다는 보고(Kang CS 2002)에 비해 높게 나타났다.

국내산 대두로 제조한 두유의 명도(L)와 황색도(b)는 중국산 대두로 제조한 두유에 비해서 유의적으로 낮았고(각각 *p*<0.05), 적색도(a)는 유의적으로 높았으며(*p*<0.001), 종합적인 색차 값(ΔE)은 국내산과 중국산 대두로 제조한 두유가 각각 25.64±0.52와 26.63±0.59로 나타나 육안으로 차이를 식별할 수 있는 차이(3 이상)를 볼 수 없었다(Kang CS 2002). 이런 결과는 시판 두유의 명도, 황색도, 적색도가 각각 65.70±0.60, 1.30±0.10, 12.80±0.26이었다는 보고(Kim DK et al 2014)와 국내산 대두로 제조한 두유의 명도, 황색도, 적색도가 각각 75.10±0.04, -1.03±0.03, 23.39±0.04이었다는 보고(Kim YS 2014)에 비해 높았으나, 국내산 대두로 제조한 두유의 명도, 황색도, 적색도가 각각 85.47±0.12, -0.23±0.06, 29.33±0.21이었다는 보고(Jang SY et al 2008)에 비해서 명도와 적색도는 낮았고, 황색도는 높은 것으로 나타났다.

국내산과 중국산 대두로 제조한 두유의 현탁액 안정도 지수는 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 저장 10일 경과 후에도 눈에 보이는 분리현상은 없었다(Table 2). 이는 국내산 대두로 제조한

〈Table 2〉 Suspension stability index of soymilk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese(Heinong 48) soybean after 3, 7, and 10 days of storage at 4℃

Days of storage	Suspension stability index		
	Jinpumkong	Heinong 48	<i>t</i> -test
3	0.988±0.003	0.985±0.004	-0.458
7	0.963±0.002	0.963±0.006	0.183
10	0.931±0.007	0.933±0.007	0.970

두유의 pH(2~10)에 따른 현탁액 안정도 지수를 비교한 결과, 대두 단백질의 등전점 근처인 pH 4에서 현탁액이 분명하게 분리되었으나, 그 이외의 pH에서는 8일이 경과해도 눈에 보이는 분리현상은 없는 것으로 보고한 선행연구(Hwang IK et al 1992)와 일치하는 것으로 나타났다.

2. 두유의 페놀성 화합물 함량

페놀성 화합물은 식물의 종류, 조직의 부위, 계절, 품종 및 성숙도 등에 따라서 함유 물질 및 함량에 차이를 보이며, 화학적 구조에 따라서 다양한 항산화성을 나타내며, 식품 및 생체 내에서 일차적으로 항산화 작용에 관여하고, 더 나아가 노화, 돌연변이 및 발암 과정 등에 관련이 있음이 알려지면서 그 자체가 갖는 기능성과 안전성 측면에서 주목받고 있다(Cheigh HS & Lee CY 1993). 탄닌류는 독특한 짠 맛 성분으로 항산화성, 항암 및 항히스타민 작용 등의 효과가 알려지면서 기능성 성분으로 주목받고 있어서 품종 개량시 맛에 영향을 주지 않는 범위에서 함량이 많은 것이 좋다(Lee MH et al 1992).

국내산 대두로 제조한 두유의 총 페놀과 총 플라보노이드 함량은 각각 19.13 ± 0.06 GAE mg/g dw와 5.88 ± 0.03 QE mg/g으로 중국산 대두로 제조한 두유에 비해 유의적으로 낮았다(각각 $***p < 0.001$, $**p < 0.01$) (Table 3). 이는 브라질에서 시판

되고 있는 두유 3종의 총 페놀과 총 플라보노이드 함량이 각각 $1.94 \sim 2.30$ GAE mg/g dw과 $0.56 \sim 0.71$ QE mg/g이었다는 보고(Bolanho BC & Beléia ADP 2011)에 비해 높았으나, 국내산 대두의 열수 추출물(85°C, 3시간)의 총 페놀 함량이 21.56 ± 0.92 mg/g이었다는 보고(Hong JY et al 2014)에 비해 낮게 나타났다.

총 탄닌 함량은 국내산 대두로 제조한 두유(2.29 ± 0.22 TAE mg/g dw)가 중국산 대두로 제조한 두유(1.34 ± 0.14 TAE mg/g dw)에 비해 유의적으로 높았다($***p < 0.01$) (Table 3). 이는 국내산 대두 중에는 탄닌이 0.93% 함유되어 있으며, 대두 분말에 10배량의 증류수를 가하여 100°C에서 50분 가열 처리 후 1.38%로 증가하였다는 보고(Kim YM & Kim YW 1998)에 비해 낮은 것으로 나타났다. 대두에 0.32~1.12%의 탄닌류가 함유되어 있으며(Bressani R et al 1983), 대두 가공식품 제조를 위한 가열 처리에도 초기 함량이 유지된다는 선행 연구 결과(Lim DK et al 1996)로부터 미루어 볼 때 본 연구에 사용된 대두 품종의 탄닌 함량이 낮았던 것에 기인한 결과로 생각된다.

3. 두유의 항산화 활성

국내산 대두로 제조한 두유의 전자공여능은 1.00, 2.50, 5.00, 10.00 mg/mL의 농도에서 각각 7.48 ± 1.01 , 13.67 ± 1.28 , 25.11 ± 1.00 , $34.71 \pm 1.29\%$

<Table 3> Total phenolic, flavonoid, and tannin contents of soymilk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese(Heinong 48) soybean

	Jinpumkong	Heinong 48	t-test
Total phenolic content(GAE ¹⁾ mg/g dw)	19.13 ± 0.06	20.71 ± 0.34	-8.012 ^{***}
Total flavonoid content(QE ²⁾ mg/g dw)	5.88 ± 0.03	6.32 ± 0.11	-6.721 ^{**}
Total tannin content(TAE ³⁾ mg/g dw)	2.29 ± 0.22	1.34 ± 0.14	6.306 ^{**}

All values are mean±S.D. of triplicate determination.

^{**} $p < 0.01$, ^{***} $p < 0.001$.

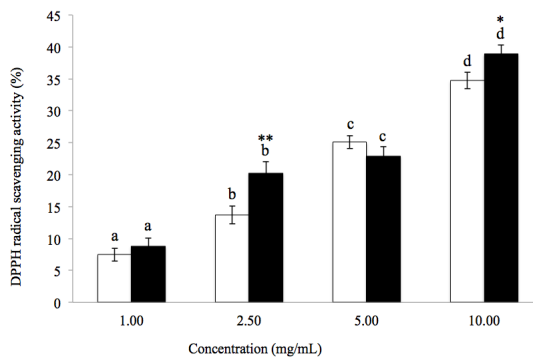
¹⁾ Total phenolic content was expressed as mg gallic acid equivalent/g dry weight.

²⁾ Total flavonoid content was expressed as mg quercetin equivalent/g dry weight.

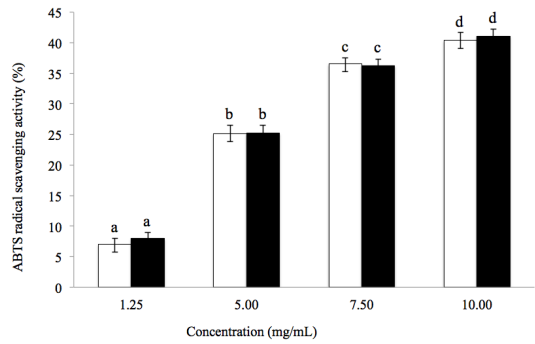
³⁾ Total tannin content was expressed as mg tannic acid equivalent/g dry weight.

이었고, 중국산 대두로 제조한 두유의 경우는 각각 8.78 ± 1.30 , 20.26 ± 1.76 , 22.92 ± 1.26 , 38.92 ± 1.37 %로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며 ($p < 0.05$), 2.5 mg/mL와 10.0 mg/mL의 농도의 경우 중국산 대두로 제조한 두유가 국내산 대두로 제조한 두유에 비해 높은 전자공여능을 나타내었다(각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$) (Fig. 1). 이는 국내산 대두를 이용하여 제조한 두유(100.00 mg/mL)의 전자공여능이 28.10%이었다는 보고(Hwang CE et al 2014)와 국내산 대두 추출물이 2 mg/mL 농도에서 전자공여능이 $0.44 \pm 0.27\%$ 이었다는 보고(Lee HK et al 2010)에 비해 높았으나, 국내산 대두 추출물이 2.00 mg/mL의 농도에서 전자공여능이 57.76%이었다는 보고(Jeon KS 2002)에 비해 낮은 것으로 나타났다.

국내산 대두로 제조한 두유의 ABTS 라디칼 소거능은 1.25, 5.00, 7.50, 10.00 mg/mL의 농도에서 각각 7.00 ± 1.52 , 25.09 ± 1.18 , 36.55 ± 1.75 , $40.36 \pm 1.65\%$ 이었고, 중국산 대두로 제조한 두유의 경우는 각각 7.96 ± 0.95 , 25.19 ± 1.28 , 36.28 ± 1.05 , $41.07 \pm 1.18\%$ 로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$) (Fig. 2). 이는 국내산 대두를 이용하여 제조한 두유(100.00 mg/mL)의 ABTS 라디칼 소거능이 40.59%이었다는 보고(Hwang CE et al 2014)에 비해 높은 것으로 나타났다.



<Fig. 1> DPPH radical scavenging activity of soy-milk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese(Heinong 48) soybean.
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.



<Fig. 2> ABTS radical scavenging activity of soy-milk prepared with Korean(Jinpumkong) and Chinese(Heinong 48) soybean.
* $p < 0.05$.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 낮은 가격과 안정적인 물량확보를 이유로 대두 가공식품의 원료로서 큰 비중을 차지하고 있는 중국산 대두의 기능성 소재로서의 활용 가능성에 대한 기초정보를 제공하고자, 중국의 대두 주산지에서 일반적으로 재배되고 있으며, 두유 가공적성이 우수한 고단백 품종(Heinong 48)과 국내산 대두(Jinpumkong)를 이용하여 우유 대체식품으로 가치를 인정받고 있는 두유를 제조하고, 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성의 대두 산지별 차이를 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 두유의 이화학적 특성으로 고형분 함량은 국내산 대두로 제조한 두유(10.61 ± 0.52 °Brix)가 중국산 대두로 제조한 두유(11.12 ± 0.57 °Brix)에 비해 낮았으며, pH는 국내산과 중국산 대두로 제조한 두유가 각각 6.80 ± 0.15 와 6.94 ± 0.01 로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 색도는 국내산 대두로 제조한 두유의 명도(L)와 황색도(b)는 중국산 대두로 제조한 두유에 비해서 유의적으로 낮았고(각각 $p < 0.05$), 적색도(a)는 유의적으로 높았으며($p < 0.001$), 종합적인 색차 값(ΔE)은 육안으로 차이를 판명할 수 없는 수준이었다. 두유의 현탁액 안정도 지수는 산지별로 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 저장 10일 경과 후에도 눈에 보이는 분리현상은 없었다. 국내산 대두로 제조한 두유의

총 페놀과 총 플라보노이드 함량은 각각 19.13 ± 0.06 GAE mg/g dw와 5.88 ± 0.03 QE mg/g으로 중국산 대두로 제조한 두유에 비해 유의적으로 낮았으나(각각 $***p < 0.001$, $**p < 0.01$), 총 탄닌 함량은 국내산 대두로 제조한 두유(2.29 ± 0.22 TAE mg/g dw)가 중국산 대두로 제조한 두유(1.34 ± 0.14 TAE mg/g dw)에 비해 유의적으로 높았다($***p < 0.01$). 국내산 대두로 제조한 두유의 전자공여능은 1.00, 2.50, 5.00, 10.00 mg/mL의 농도에서 각각 7.48 ± 1.01 , 13.67 ± 1.28 , 25.11 ± 1.00 , $34.71 \pm 1.29\%$ 이었고, 중국산 대두로 제조한 두유의 경우는 각각 8.78 ± 1.30 , 20.26 ± 1.76 , 22.92 ± 1.26 , $38.92 \pm 1.37\%$ 로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며($p < 0.05$), 2.5 mg/mL와 10.0 mg/mL의 농도의 경우, 중국산 대두로 제조한 두유가 국내산 대두로 제조한 두유에 비해 높은 전자공여능을 나타내었다(각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$). 국내산 대두로 제조한 두유의 ABTS 라디칼 소거능은 1.25, 5.00, 7.50, 10.00 mg/mL의 농도에서 각각 7.00 ± 1.52 , 25.09 ± 1.18 , 36.55 ± 1.75 , $40.36 \pm 1.65\%$ 이었고, 중국산 대두로 제조한 두유의 경우는 각각 7.96 ± 0.95 , 25.19 ± 1.28 , 36.28 ± 1.05 , $41.07 \pm 1.18\%$ 로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$).

이상의 결과로부터, 중국산 대두로 제조한 두유는 국내산 대두로 제조한 두유와 이화학적 특성이 유사하며, 페놀성 화합물 함량은 총 탄닌 함량을 제외하고 중국산 대두로 제조한 두유가 높았으며, 항산화 활성은 중국산 대두로 제조한 두유가 동등 이상으로 분석되어, 중국산 대두는 비유전자 변형 대두로 안전하고 기능성 음료 제조를 위한 기능성 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 생각된다. 본 연구의 제한점은 국내산과 중국산 각 한 품종의 대두를 대상으로 분석을 진행하여 산지별 대표성이 부족하며, 관능적 품질 특성 및 저장 기간에 따른 변화 등에 대한 검토가 이루어지지 못하였다. 향후 산지별 다양한 품종의 대두를 대상으로 가공식품 제조 적합성과 기능성 성분, 생리활성 등에 대한 연구가 수행되어야 할

것으로 생각된다.

한글 초록

본 연구에서는 중국산 대두의 기능성 소재로서의 활용 가능성에 대한 기초정보를 제공하고자, 국내산 대두(Jinpumkong)와 중국산 대두(Heinong 48)를 이용하여 두유를 제조하고, 페놀성 화합물 함량 및 *in vitro* 항산화 모델(DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능)을 통하여 항산화 활성을 비교하였다. 두유의 이화학적 특성(고형분 함량, pH, 색도)과 현탁액 안정도는 산지별로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 총 페놀과 총 플라보노이드 함량은 중국산 대두로 제조한 두유(각각 20.71 ± 0.34 GAE mg/g dw, 6.31 ± 0.11 QE mg/g dw)가 유의적으로 높았으나(각각 $***p < 0.001$, $**p < 0.01$), 총 탄닌 함량은 국내산 대두로 제조한 두유(2.29 ± 0.22 TAE mg/g dw)가 유의적으로 높았다($***p < 0.01$). 전자공여능은 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며($p < 0.05$), 2.5 mg/mL와 10.0 mg/mL의 농도에서 중국산 대두로 제조한 두유가 유의적으로 높은 활성을 나타내었다(각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$). ABTS 라디칼 소거능은 산지별 차이를 보이지 않았으며, 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 이상의 결과로부터, 중국산 대두는 페놀성 화합물이 풍부하며, 항산화 활성이 우수한 기능성 음료 제조 원료로서 활용 가능성이 기대된다.

참고문헌

- 농림축산식품부 (2014). 2014년도 농림축산식품 주요통계. 농림축산식품부, 251, 264, 277, 281, 세종특별자치시.
- 식품의약품안전처, 2012년 식품 및 식품첨가물 생산실적 통계집; 음료류 품목별 출하액 변동 현황. Assessed April 11, 2015. Available from: <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=690&seq>

- =15989
- 식품의약품안전처, 식품공전, 제5. 식품별 기준 및 규격, 18-3 두유류, Assessed April 11. 2015. Available from: http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=42
- 오주연, 카페라테, 우유 대신 두유, Assessed April 11. 2015. Available from: <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2011082309571381644>
- 이광표, 음료업체에 부는 '웰빙' 바람, '건강'을 마셔라, Assessed April 11. 2015. Available from: <http://www.ebn.co.kr/news/view/745424>
- 한국농수산식품유통공사, 음료류 생산 현황, Assessed April 9. 2015. Available from: <http://www.kati.net/view/view.do?menuCode=894&bbsid=1>
- Blois MS (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181 (4671):1199-1200.
- Bolanho BC, Beléia ADP (2011). Bioactive compounds and antioxidant potential of soy products. *Alim Nutr Araraquara* 22(4):539-546.
- Bressani R, Elias LG, Wolzak A, Hagerman AE, Butler LG (1983). Tannin in common beans: methods of analysis and effects on protein quality. *J Food Sci* 48(3):1000-1001.
- Chang IL, Lee JK, Ku KH, Kim WJ (1990). Comparison of soybean varieties for yield, chemical and sensory properties of soybean curds. *Korean J Food Sci Technol* 22(4):439-444.
- Cheigh HS, Lee CY (1993). Antioxidative characteristics of plant phenolic compounds. *Life Science* 3(1):9-17.
- Choi US, Jhee OH, Jegal SA (2010). Changes in the quality characteristics of soybean *dasik* by additions of bamboo(*Pseudosasa japonica* Makino) leaf powder. *The Korean J Culinary Res* 16(3):278-285.
- Choi YS, Um YH (2013). The quality characteristics of soybean *dasik* added with ramie leaf extract powder(*Boehmeria nivea*) powder. *The Korean J Culinary Res* 19(5):1-10.
- Chung CW, Lee YB, Kim HS, Lee IP, Sohn HS (2001). Potential correlation between lactose intolerance and cancer mortality and soymilk as an alternative of lactose and antioxidant capacity. *Korea Soybean Digest* 18(2):65-69.
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50(17):4959-4964.
- Duval B, Shetty K (2001). The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea(*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J Food Biochem* 25(5):361-377.
- Dwyer JT, Goldin BR, Saul N, Gualtieri L, Barakat S, Aldercreuta H (1994). Tofu and soy drinks contain phytoestrogens. *J Am Diet Assoc* 94(7):739-743.
- Hong JY, Shin SR, Kong HJ, Choi EM, Woo SC, Lee MH, Yang KM (2014). Antioxidant activity of extracts from soybean and small black bean. *Korean J Food Preserv* 21(3):404-411.
- Hwang CE, An MJ, Lee HY, Lee BW, Kim HT, Ko JM, Baek IY, Seo WT, Cho KM (2014). Potential probiotic *Lactobacillus plantarum* P1201 to produce soy-yoghurt with enhanced antioxidant activity. *Korean J Food Sci Technol* 46(5):556-565.
- Hwang IK, Kim SH, Choi YR (1992). Development of protein foods and their rheological and sensory properties. *J Korean Soc Food Sci* 8(2):53-58.
- Ikeda K, Matsuda Y, Katsumaru A, Teranishi M, Yamamoto T, Kishida M (1995). Factors affecting protein digestibility in soybean foods. *Cereal Chem* 72(4):401-405.

- Jang SY, Sin KA, Park NY, Bang KW, Kim JH, Jeong YJ (2008). Functional properties of hydrolysate soy milk and whole soy milk. *Korean J Food Preserv* 15(3):361-366.
- Jeon KS (2002). Isolation of isoflavones and screening of antioxidative and anti-angiogenic components from colored legumes. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 50-73, Seoul.
- Kang CS (2002). Changes in physicochemical properties of soymilk by heating conditions and study in effect of quality characteristics of tofu. MD Thesis, Yonsei University, 27-28, 33-34, Seoul.
- Kang YJ (1984). Enzymatic modification of soy proteins: Effects of functional properties of soy isolate upon proteolytic hydrolysis. *Korean J Food Sci Technol* 16(2):211-217.
- Kim DK, Choi EJ, Kim CH, Kim YB, Kim EM, Kum JS, Park JD (2014). Physicochemical properties of rice grain-added soymilk. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(8):1278-1282.
- Kim EM, Lee KJ, Ghee KM (2004). Comparison in isoflavone contents between soybean and soybean sprouts of various soybean cultivars. *Korean J Nutrition* 37(1):45-51.
- Kim HG, Lee MJ, Kim HJ, Kim KC, Bose S (2012). Effects of fermented soybean upon anti-inflammation and intestinal mucous membrane permeability. *J Soc Korean Med Obesity Res* 12(1):33-47.
- Kim JY, Maeng YS, Lee KY (1995). Antioxidative effects of soybean extracts by using various solvents. *Korean J Food Sci Technol* 27(5):635-639.
- Kim KC (2010). Quality characteristics and calcium, oxalate and phytate contents of soymilk and tofu manufactured with recommended soybean cultivars in Korea. MD Thesis, Chungbuk National University, 40-51, 67-70, Cheongju.
- Kim KS, Chung HK, Sohn HS (1994). Purification of oligosaccharides from soybean using activated charcoal. *Food Sci Biotechnol* 3(3):156-159.
- Kim MH, Rho JH, Lee CH (2009). The geographical discrimination of Korean and Chinese soybeans (*Glycine max*(L.) Merrill) using NMR relaxation methods. *Korean J Food Sci Technol* 41(3):292-295.
- Kim SR, Park YK, Seong HM, Oh SH (2002). Whole soybean milk produced by enzymatic solubilization of soymilk residue, and its nutritional properties. *Korea Soybean Digest* 19(1):8-18.
- Kim YM, Kim YW (1998). Changes of enzyme activity, trypsin inhibitor, tannin and phytic acid during heat treatment of soybean. *Korean J Food Sci Technol* 30(5):1012-1017.
- Kim YS (2014). Quality characteristics of freeze-dried soymilk powder. *Korean J Food & Nutr* 27(1):89-98.
- Kim YW, Cho JH (2005). Growth and yields of Korean soybean cultivars in drained-paddy field. *Korean J Crop Sci* 50(3):161-169.
- Lee HK, Hwang IK, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee JS, Jeong HS (2010). Physicochemical characteristics and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(9):1399-1404.
- Lee JK, Jin LM, Kim YS, Row KH (2005). Recovery of aglycone of daidzein and genistein in soybeans. *Korean Chem Eng Res* 43(5):641-645.
- Lee KI, Park KY, Ahn HK (2011). The anticancer effects of *doenjang* made with various kinds of salt. *The Korean J Culinary Res* 17(5):241-252.
- Lee MH, Jeong JH, Oh MJ (1992). Antioxidative

- activity of gallic acid in acorn extract. *Korean Sco Food Nutr* 1(6):693-700.
- Lei T (2013). A study on the factors affecting China's soybean industry. MS Thesis, Taegu University, 2, Taegu.
- Lim DK, Choi U, Shin DH (1996). Antioxidative activity of ethanol extract from Korean medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 28 (1):83-89.
- Na MO (2004). Studies on physicochemical characteristics and processing adaptability for soybean curd used by soybeans produced in different countries. MS Thesis, Hankyong National University, 30-31, Gyeonggi-do.
- Park CH, Kim KH, Yook HS (2014). Comparison of antioxidant activities in soybean sprout according to preparation and cooking process. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(3):397-403.
- Park HS (2003). Effects of soybean foods intake on menopausal symptoms, serum hormones, serum lipids, and bone metabolism in middle-aged women. PhD Thesis, Ewha Womans University, 53-54, Seoul.
- Quaglia GB, Orban E (1990). Influence of enzymatic hydrolysis on structure and emulsifying properties of sardine(*Sardine pilchardus*) protein hydrolysates. *J Food Sci* 55(6):1571-1573.
- Roberta R, Nicoletta P, Anna P, Anath P, Min Y, Catherine RE (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio Med* 26 (9-10):1231-1237.
- Ryu SH, Moon GS (2003). Antioxidative and anti-aging effects of dietary yellow and black soybean in rats. *J Korean Sco Food Sci Nutr* 32 (4):591-597.
- Setchell KDR, Cassidy A (1999). Dietary isoflavon: biological effects and relevance to human health. *J Nutr* 129(3):758-767.
- Shin HC, Seong HS, Sohn HS (2004). The industrial development and health benefits of the soymilk. *Korea Soybean Digest* 21(1):15-27.
- Song ZY, Tian JL, Fu WZ, Li L, Lu LH, Zhou L, Shan ZH, Tang GX, Shou HX (2013). Screening Chinese soybean genotypes for *Agrobacterium*-mediated genetic transformation suitability. *J Zhejiang Univ-Sci B(Biomed & Biotechnol)* 14(4):289-298.
- Sung CJ, Kim SY, Kim MH, Kim EY (2003). The effect of isoflavone supplementation by soymilk on bone mineral density in underweight college women. *Korean J Nutr* 36(5):470-475.
- Swain T, Hillis WE (1959). Phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J Sci Food Agric* 10(1):83-88.
- Wang L (2008). A study on Chinese soybean industry and its implications upon Korean soybean industry. MS Thesis, Chonnam National University, 16-18, Gwangju.
- Zheng J, Jin Y, Row KH (2005). Analysis of isoflavones from Korean and Chinese soybean and processed products by HPLC. *J Korean Chem Soc* 49(4):349-354.

2015년 04월 27일 접수

2015년 05월 11일 1차 논문수정

2015년 06월 01일 2차 논문수정

2015년 06월 14일 논문 게재확정