

다양한 가공 조건에서 curcuminoid의 화학안정성 및 항산화능 변화

이보현 · 김다람 · 강스미 · 김미리 · 홍정일*
서울여자대학교 자연과학대학 식품과학부

Changes in the Chemical Stability and Antioxidant Activities of Curcuminoids under Various Processing Conditions

Bo Hyun Lee, Daram Kim, Smeek Kang, Mi-Ri Kim, and Jungil Hong*

Division of Food Science, College of Natural Science, Seoul Women's University

Abstract Curcuminoids are polyphenolic compounds and include curcumin and its derivatives possessing a yellow color. In the present study, changes in the chemical stability and antioxidant activities of curcuminoids, including curcumin, demethoxycurcumin (DMC), and bisdemethoxycurcumin (BMC), were investigated under various processing conditions. The yellowness of a mixture of the curcuminoids (79.4% curcumin, 16.8% DMC, and 3.8% BMC) at 405 nm was proportional to their amounts analyzed by HPLC. The curcuminoids became less stable with increases of pH and temperature during storage. Exposing a solution of the curcuminoids to autoclave conditions (121°C, 1.2 atm for 15 min) decreased residual curcuminoid levels by 80-90%; however, as a powder under the same conditions the curcuminoids were much more stable with less than 10% loss. After autoclave treatment, scavenging activities of the curcuminoids for DPPH and ABTS radicals were reduced by 10.3 and 33.4%, respectively, whereas nitric oxide scavenging activity was slightly increased. The residual levels of curcumin, DMC, and BMC after autoclaving were 0.7, 1.4, and 0.9%, respectively, indicating that curcumin was the most sensitive to autoclave treatment. The results indicate that under processing conditions, pH and temperature markedly affect the stability of curcuminoids and major losses of curcuminoids occur after autoclaving. These conditions should be considered when processing foods containing curcuminoids.

Key words: curcuminoid, curcumin, demethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin, autoclave, antioxidant activity

서 론

강황(*Curcumin longa* Linn.)은 동인도산의 생강과에 속하는 식물로 황색 색소 성분인 curcuminoid를 다량 함유하고 있다. Curcuminoid는 노란색을 띠는 주요한 세 가지 성분인 curcumin, demethoxycurcumin(DMC), bisdemethoxycurcumin(BMC) 등을 포함하며(Fig. 1), 이들의 생리활성이 알려지면서 이와 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 중에 대표적인 성분은 카레의 노란색을 띠게 하는 curcumin으로서 다양한 생리활성 효과가 보고되었다(1,2). Curcumin은 항산화 효과뿐만 아니라(3-5) 산화 촉진 효과를 가지고 있다고 보고되었으며(6) 아라키돈산 대사 조절을 통한 항염증 기작(7)도 보고된 바 있다. 이 중 curcumin의 항암 작용이 가장 널리 연구되고 있으며(8,9), 암세포 내의 여러 세포 신호전달 조절에 관여한다는 결과가 다수 발표되었다(10,11). 최근 curcumin이 Alzheimer병 등의 치매 예방에 효과적이라는 역학 조사 및 이를 뒷받침하는 실험 결과들도 계속해서 보고되고 있다(12-14).

평균 수명이 증가하면서 현대인들의 건강과 이를 위한 식품 재료를 관심이 급증하고 있으며, 질병억제, 노화방지 등 건강 증진을 위한 식이 성분들이 다양한 식품에 응용되고 있다. Curcuminoid의 생리활성으로 인하여 기능성 식품의 주요 재료로서 사용량이 증가했으며(15), 강황 밥, 레토르트 파우치 등의 다양한 가공식품에 첨가되고 있다(16). 이와 같이 curcuminoid는 식품의 가공 및 조리 중에 다양한 방법으로 첨가되고 있으나, 이러한 과정에서 발생할 수 있는 화학안정성 및 생리활성의 변화에 대해서는 거의 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 가능한 가공 및 조리 조건, 특히 고압가열조건에서 curcuminoid mixture를 처리하여 curcumin, DMC 및 BMC 각각에 대한 화학안정성의 변화를 조사하였고, curcuminoid 처리 산물에 대한 항산화 효과를 처리 전과 비교 분석하였다.

재료 및 방법

실험 재료

Curcuminoid mixture는 Acros organics(Morris Plains, NJ, USA)사에서 구입하였다. HPLC 이동상으로 사용된 tetrahydrofuran(THF)은 J.T. Baker Co.(Phillipsburg, NJ, USA)에서 구입하였다. 이 외에 실험에 사용한 모든 시약 및 표준품은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다.

Curcuminoid의 처리조건

서로 다른 pH 조건에 따른 화학안정성 변화를 측정하기 위하

*Corresponding author: Jungil Hong, Division of Food Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea
Tel: 82-2-970-5639
Fax: 82-2-970-5977
E-mail: hjil@swu.ac.kr
Received September 9, 2009; revised October 7, 2009;
accepted October 9, 2009

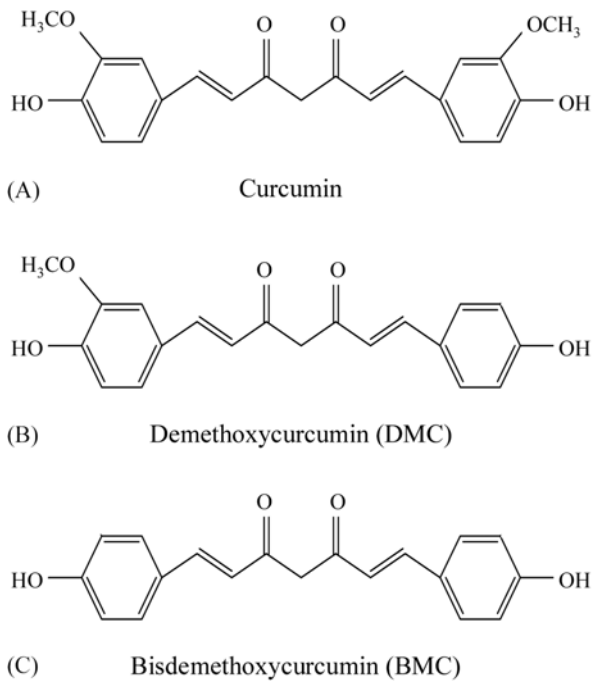


Fig. 1. Structures of curcumin (A), demethoxycurcumin (B), and bisdemethoxycurcumin (C) used in the current study.

여 pH 6, 7 또는 8로 조정된 1 M 인산 완충용액에 최종 농도가 40 μM 이 되도록 curcuminoid 용액을 제조하고 저장시간에 따른 시간별 흡광도의 변화를 405 nm에서 측정하였다. 한편 온도에 따른 화학안정성 변화는 증류수에 최종 농도가 40 μM 이 되도록 curcuminoid 용액을 제조하고 4°C 냉장고 및 25와 37°C 배양기 (VS-1203P3N, Vision Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 저장하면서 측정하였다. Curcuminoid의 고압가열처리는 고압멸균기 (KMC-1221, Vision Scientific Co., Ltd.)를 사용하여 통상적인 멸균처리조건에서 실시하였다. 증류수 또는 50 mM pH 6, 7 또는 8 인산 완충용액에 제조된 40 μM curcuminoid 용액을 고압멸균기를 이용하여 121°C, 1.2 기압에서 15분간 가열하였다. 고압멸균기 내에서의 처리 시간은 승온 및 냉각 시간을 포함하여 총 2시간으로 하였고, 이에 대한 대조구는 37°C 배양기에서 동일시간 (2시간) 동안 보관하여 비교하였다. 각 조건에서 처리된 curcuminoid 용액은 흡광도 및 항산화능 측정, HPLC 분석시료로 사용하였다. 분말상태에서의 고압가열처리에 대한 영향을 알아보기 위해, 5 mg의 curcuminoid 분말을 1.5 mL microtube에 분주하여 고압멸균기에서 위와 동일한 조건으로 처리하였으며, 대조구는 동일한 양의 분말을 상온의 압소에서 2시간 보관하였다. 처리한 분말은 각각 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 녹여 50 mM stock solution을 제조하였고, 이를 다시 40 μM 이 되도록 증류수에 희석하여 8시간까지 상온에 저장하면서 화학안정성의 변화를 측정하였다.

분광광도계를 이용한 화학안정성 측정

분광광도계를 이용한 curcuminoid의 화학안정성 측정을 위하여 저장 시간에 따른 흡광도 변화를 조사하였다. Phosphate-buffered saline(PBS)에 40 μM curcuminoid 용액을 제조한 후 37°C에서 보관하면서 저장시간 경과에 따른 200-600 nm 파장에서의 흡수스펙트럼 변화를 조사하였고(UV-3450, SHIMADZU, Kyoto, Japan), 405 nm의 흡광도에서 curcuminoid의 양이 정량적으로 변화됨을 HPLC 분석결과와 비교하여 확인하였다. 이 후의 실험에서 각 조

Table 1. Operating condition of HPLC for curcuminoid analysis

Instrument	L-6200 (Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan)
Column	packed column C18 (4.6 mm ID×150 mm×5 μm ; Shiseido, Tokyo, Japan)
Detector	UV detector (UV-975, Jasco, Tokyo, Japan)
Flow rate	1 mL/min
Injection volume	20 μL
Mobile phase	40% THF:60% water:1% citric acid (v/v/v, pH 3 adjusted by concentrated KOH)

건에 의해 처리된 curcuminoid mixture의 화학안정성은 microplate reader(Triad LT, Dynex Technologies Inc., Chantilly, VA, USA)를 이용하여 405 nm에서의 흡광도 변화로 분석하였다.

HPLC 분석

Curcumin, BMC 및 DMC의 각 curcuminoid에 대한 분석은 HPLC(L-6200, Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan)를 이용한 Pan 등(17)의 방법으로 분석하였다. Column은 HPLC packed column C18 (4.6 mm ID×150 mm×5 μm , Shiseido, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 20 μL 를 주입하여 분당 1 mL 유속으로 분석하였다. 이동상은 THF-water(40:60, v/v)에 1% citric acid를 첨가한 후 농축 KOH를 이용하여 pH 3으로 조정하였으며, 여과와 가스 제거 처리를 하였다. 각 조건에서 처리된 curcuminoid 시료는 처리 직후 이동상과 동량으로 혼합하여 화학 변화를 정지시킨 후, -20°C에서 분석 시까지 보관하였다. 각 curcuminoid 분석을 위한 HPLC의 기조건은 Table 1에 정리하였다.

항산화능 분석

각 조건에서 처리된 curcuminoid의 항산화 효과는 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl(DPPH) 라디칼, 2,2'-azobis-(3-ethyl-benz-thiazoline-6-sulfonic acid(ABTS) 라디칼 및 nitric oxide에 대한 소거능을 근거로 분석하였다. 항산화능 분석에 사용된 curcuminoid는 증류수에 40 μM 이 되도록 제조하여 고압가열처리 하거나 2시간 동안 37°C에서 보관하였고, 동일농도의 fresh curcuminoid와 비교하여 활성을 분석하였다. DPPH 라디칼 소거능은 DPPH 라디칼에 대한 시료의 환원력으로 측정하였으며(18), 제조한 curcuminoid 용액 100 μL 과 600 μM DPPH methanol 용액 100 μL 을 혼합하여 상온의 압소에서 30분간 반응시킨 후 microplate reader(Spectra Max 250, Molecular device, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거활성은 Dewanto 등(19)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉 10 mM ABTS와 10 mM potassium persulfate를 각각 7.4:2.6의 비율로 혼합한 후, 37°C의 압소에서 24시간 동안 반응시켜 ABTS 라디칼을 형성하도록 하였다. 이를 PBS로 5배 희석한 용액 150 μL 을 curcuminoid 시료 50 μL 과 혼합하여 상온의 압소에서 30분간 반응시키고 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. Nitric oxide 소거능 측정을 위하여 curcuminoid 용액 50 μL 에 100 μM NaNO_2 100 μL 을 가한 다음, 37°C 배양기 내에서 1시간 반응시켰다. 이후 5% H_3PO_4 로 희석한 1% sulfanilamide 50 μL 을 가하고 5분간 반응시킨 후 0.1% *N*-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride를 50 μL 를 가하여 10분간 더 반응시키고 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

Curcuminoid의 정량 분석

본 연구에 사용된 curcuminoid mixture를 현재의 HPLC 조건에서 분석하였을 때 curcumin, DMC, BMC의 순으로 피크가 검출되었고 각각 79.4±2.0, 16.8±0.9 및 3.8±0.7%(w/w)의 비율로 함유되어 있었다(Fig. 2A). Curcumin을 비롯한 curcuminoid의 정량 분석은 일반적으로 HPLC를 통하여 이루어져 왔으나(20), 본 연구에서는 이들이 공통적으로 황색을 띠고 있음에 착안하여 분광광도계를 이용한 신속한 정량 방법을 시도하였다. PBS에 제조된 curcuminoid 용액을 37°C 배양기에 저장하면서 시간에 따른 흡수 스펙트럼의 변화를 조사하였을 때, 이 조건에서 가시광선 파장 전 영역에서 흡광도가 감소하는 것으로 나타났으며 특히 황색과 관계된 400-450 nm 흡광 영역에서의 감소를 확인하였다(Fig. 2B). 대표적 황색 검출과장인 405 nm에서 측정된 황색도가 실제 curcuminoid의 양과 비례하는지 확인하기 위해 여러 농도의 curcuminoid 용액이 405 nm에서 나타내는 흡광도를 측정하고 동일한 시료 용액을 HPLC로 분석하여 얻은 curcuminoid 총량과의 상관관계를 분석하였다. Fig. 2C에서 나타난 바와 같이 HPLC로 분석한 세 가지 curcuminoid 양과 405 nm에서 측정된 흡광도는 밀접한 상관관계를 가지고 있었으며($R^2=0.992$), 405 nm에서의 흡광도 변화는 총 curcuminoid 양의 변화와 거의 일치함을 확인하였다.

저장 pH 및 온도에 의한 curcuminoid의 화학안정성 변화

PBS상에 제조된 curcuminoid를 37°C에 보관하였을 때 황색도 및 405 nm에서의 급격한 흡광도 감소를 보였으며, 이는 curcuminoid의 구조적 파괴에 의한 것으로 curcuminoid가 생리적 조건 및 다양한 가공, 저장 및 조리 조건에서도 쉽게 파괴될 수 있음을 시사하고 있다. Curcuminoid의 화학안정성에 영향을 미치는 조건들을 탐색하기 위하여 서로 다른 pH에서 curcuminoid 용액을 제조하고 37°C 배양기에 저장하면서 시간에 따라 405 nm에서 흡광도를 측정하여 안정성 변화를 조사하였다(Fig. 3). 인산완충용액(pH 6, 7, and 8, 1M)에 희석된 모든 curcuminoid 시료들은 저장 후 2시간 내에 급격히 황색도가 저하되어 파괴되었으며 이후 24 시간까지도 점차적으로 감소하였다. Curcuminoid의 화학안정성은 pH가 증가할수록 더욱 감소하였으며, 특히 pH 8에 저장된 curcuminoid는 2시간 이내에 80% 이상 파괴되었다. Curcumin이 산성의 환경에서 안정하다고 보고된 바 있으며(21), 본 연구에서는 curcumin과 DMC, BMC를 포함한 curcuminoid mixture의 화학안정성 또한 pH에 영향받는다는 것을 확인하였다.

증류수에 제조된 curcuminoid를 4, 25 및 37°C의 온도에서 저장하고 시간에 따른 흡광도를 405 nm에서 측정하였다(Fig. 3B). 증류수에 희석된 curcuminoid는 pH 6, 7 또는 8의 인산완충용액(1M)에 제조된 시료보다 황색도의 감소가 훨씬 지연되었으며(Fig. 3A vs. Fig. 3B results at 37°C), 통상적으로 pH 5.5-6.0인 증류수에서의 저장시료가 pH 6 인산 완충염에서의 저장 시료보다 안정한 것으로 보아 pH의 영향뿐만 아니라 인산염 자체도 curcuminoid의 안정성에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 한편 4°C에서 보관한 curcuminoid는 24시간까지 405 nm에서 흡광도의 변화가 거의 없이 안정하였으나, 25°C와 37°C에서 보관한 경우 저장 시간이 증가함에 따라 흡광도의 감소를 보였고 37°C에서 저장 시에 흡광도의 감소가 더욱 두드러졌다. 따라서 저장 온도의 증가는 curcuminoid의 화학안정성을 감소시키는 것으로 나타났다. 실제 식품 첨가물로는 정제된 curcumin이 아닌 강황 추출물이나 curcuminoid mixture가 널리 사용되고 있으며 이들의 서로 다른

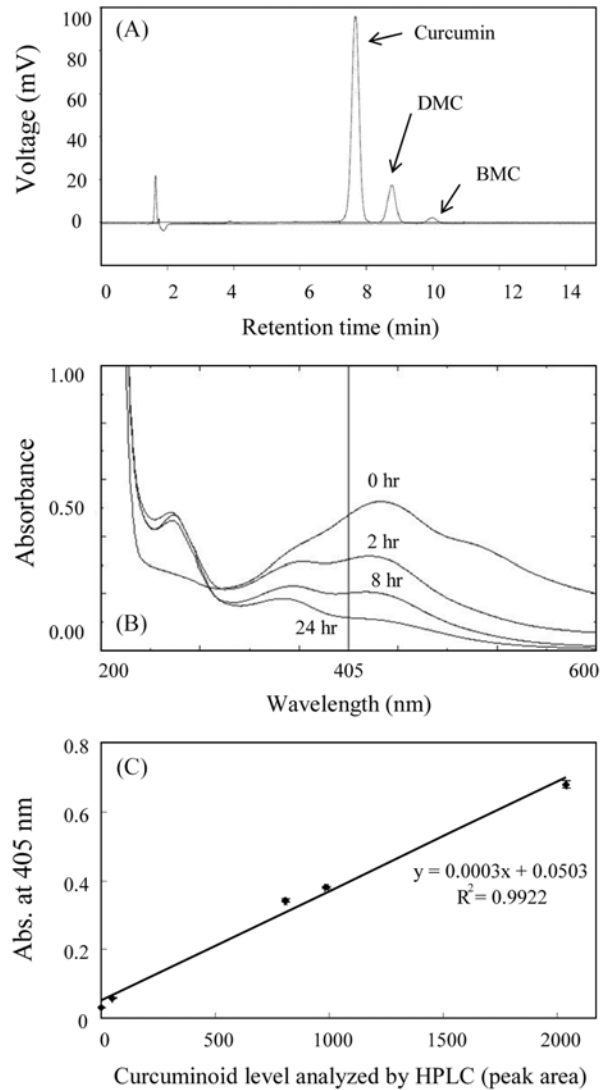


Fig. 2. HPLC chromatogram and absorbance spectrum of curcuminoid. Curcuminoid was applied to HPLC analysis using the present condition (A). Curcuminoid (40 μ M) in PBS was incubated at 37°C and absorbance spectrum (200-600 nm) was analyzed at different time points (B). Correlation between absorbance values at 405 nm and curcuminoid levels analyzed by HPLC of different curcuminoid solutions was also shown (C). Each result is a representative from at least triplicate experiments (A and B) or represents the mean±SD ($n=3$) (C).

pH 및 온도에서의 화학안정성을 본 연구에서 확인하였다.

고압가열처리 조건에서 curcuminoid의 화학안정성 변화

강황 추출물 또는 curcuminoid는 다양한 형태의 식품 가공, 조리 중에 첨가되고 있다. 단순 가열에 의한 curcuminoid 양의 변화가 보고된 바 있으나(22) 실생활에서 식품의 가공, 조리 시의 살균이나 steaming 과정을 고려하였을 때, autoclave를 이용한 고압가열조건도 빈번히 접할 수 있는 환경으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 증류수 및 각 pH별 인산완충용액(50 mM)에서 제조한 curcuminoid에 대하여 1.2기압, 121°C에서 15분간의 일반적인 멸균조건으로 고압멸균기에서 처리한 후 화학안정성 변화를 조사하였다. 고압가열처리는 가열과 냉각 시간을 포함하여 총 2 시간 동안 고압멸균기 내에 방치하였으며, 동일한 증류수 또는

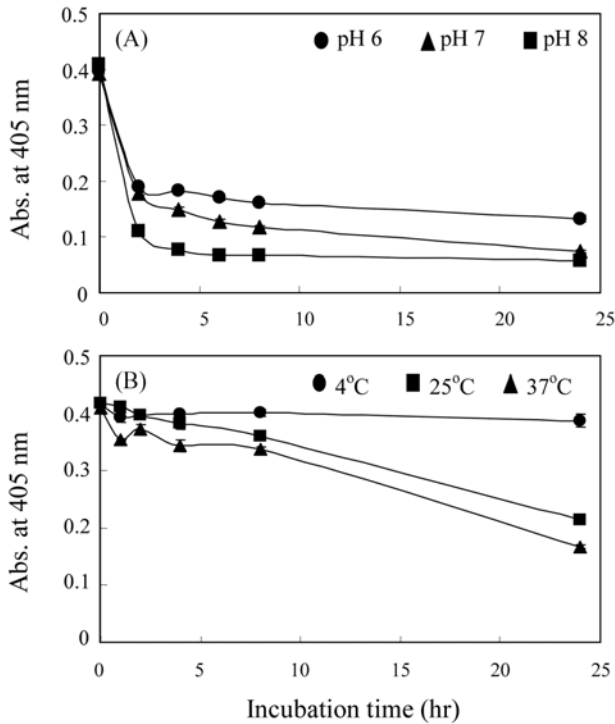


Fig. 3. Changes in curcuminoid stability during incubation at different pH (A) and temperature (B). Curcuminoid solution (40 μM) prepared in pH 6 (●), pH 7 (▲), or pH 8 (■) of 1M phosphate buffer was incubated at 37°C (A). Curcuminoid (40 μM) in distilled water was incubated at different temperature, 4°C (●), 25 °C (■), or 37°C (▲) (B). At each time point indicated, the absorbance at 405 nm was analyzed. Each value represents the mean±SD (n=3).

각 pH별 인산완충용액에서 2시간 동안 37°C 배양기에서 저장한 curcuminoid를 대조구로 사용하였다. Fresh curcuminoid와 비교하였을 때 37°C에 저장한 curcuminoid 용액은 pH 증가에 따라 더욱 불안정하여 40-80% 정도의 curcuminoid가 잔류하였으나, 고압가열처리를 하였을 경우 pH에 관계없이 80-90%의 curcuminoid가 파괴되었다(Fig. 4A). 하지만 curcuminoid를 분말상태로 고압가열처리 하였을 경우, 상온에 방치하였을 때에 비해 10% 이내의 황색도 감소를 보여 분말상태의 curcuminoid가 훨씬 처리에 안정한 것으로 나타났고(Fig. 4B, initial), 이후 8시간까지의 저장기간 동안에도 대조구에 비해 급속한 감소 현상을 나타내지 않았다(Fig. 4B). 따라서 분말상태 curcuminoid가 액상의 경우보다 고압가열 처리에 훨씬 안정한 것으로 나타났으며, 열처리를 거치는 가공식품 등에 첨가할 경우 분말상태의 첨가가 바람직할 것으로 사료된다.

고압가열처리된 curcuminoid의 항산화능 변화

다양한 온도 및 pH 조건에서 curcuminoid의 안정성이 크게 영향을 받음에 따라 이에 따른 활성의 변화도 수반되는지 알아보기 위해 각 조건에서 처리된 curcuminoid 산물의 DPPH와 ABTS 라디칼, nitric oxide에 대한 소거능을 처리 전과 비교하였다(Fig. 5). 처리 전 fresh curcuminoid(40 μM)는 36.8%의 DPPH 라디칼 소거능을 나타내었고, 이를 37°C 배양기에 저장하였을 때와 고압가열처리 하였을 때 약 10% 정도 활성이 유의적으로 감소하여 각각 33.6과 33.0%의 소거능을 보였다(Fig. 5A). ABTS 라디칼의 경우 처리 전의 curcuminoid(40 μM)가 38.9%의 소거능을 보인데 반해, 37°C에서 저장되었거나 고압가열처리 후에는 각각 33.1,

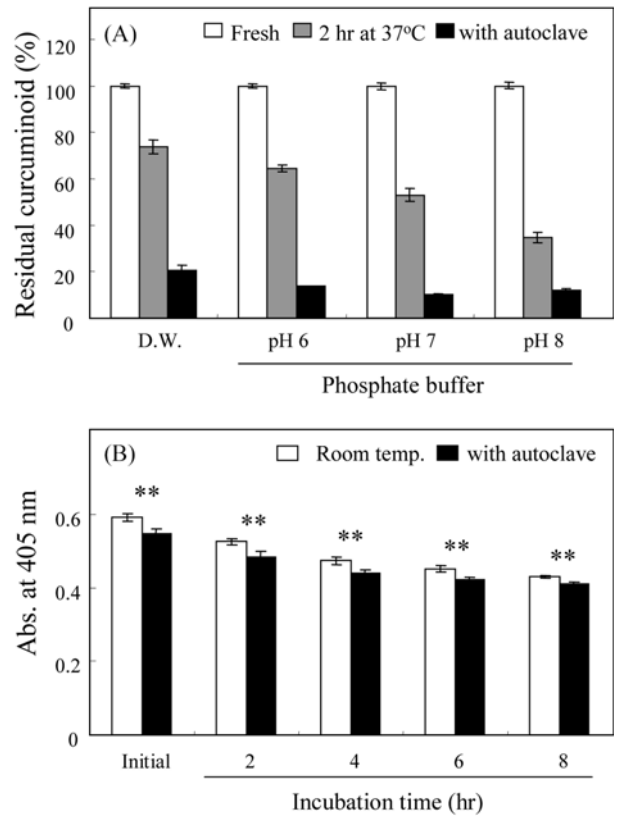


Fig. 4. Changes of curcuminoid stability under autoclave condition. Curcuminoid (40 μM) in distilled water (D.W.) or different pH buffer was incubated at 37°C for 2 hr or treated under autoclave condition (A). A distilled water solution (40 μM) was also prepared from curcuminoid powder after incubation at room temperature for 2 hr (hollow bar) or autoclave treatment (filled bar), and absorbance at 405 nm was analyzed at different time points (B). Each value represents the mean±SD (n=3). **Significantly different each other according to Student's t-test (**, p<0.01).

25.9%의 ABTS 라디칼 소거능을 나타내었다(Fig. 5B). 각 처리 후 curcuminoid의 DPPH와 ABTS 라디칼에 대한 소거능은 fresh curcuminoid에 비해 더 낮은 활성을 나타내었으며, ABTS 라디칼 소거능이 DPPH 라디칼에 비하여 더 큰 활성의 감소를 보였다. Curcuminoid의 nitric oxide 소거능은 DPPH와 ABTS와는 달리 열처리에 의해 활성이 약간 증가하는 경향을 보였으나 전체적으로 10% 이하의 매우 미미한 활성을 나타내었다(Fig. 5C). 제시된 결과는 고압가열처리 시 대부분의 curcuminoid 양이 감소하는데 반해, 항산화능은 크게 감소하지 않으며 열처리에 의한 curcuminoid 변환 산물들도 상당한 항산화능을 가지고 있음을 시사한다. 열에 의한 curcuminoid의 변환 산물의 종류와 활성에 대하여 차후 계속적인 관련 연구가 필요할 것으로 사료된다.

각 curcuminoid 양의 변화

고압가열처리 등에 의한 curcumin, DMC 및 BMC 각각의 화학안정성 변화를 HPLC를 사용하여 분석하였다. 고압가열처리와 37°C 배양기에서 2시간 동안 보관한 시료의 curcuminoid 양을 HPLC로 분석하였을 때 fresh 시료에 비해 전체적으로 각각 6.3%와 48.9%가 잔류하는 것으로 나타났고(Fig. 6A & B). 각 curcuminoid의 잔류량을 조사하였을 때, 37°C 배양기에서 2시간 보관한 시료에서 curcumin, DMC, BMC는 fresh 시료와 비교하여

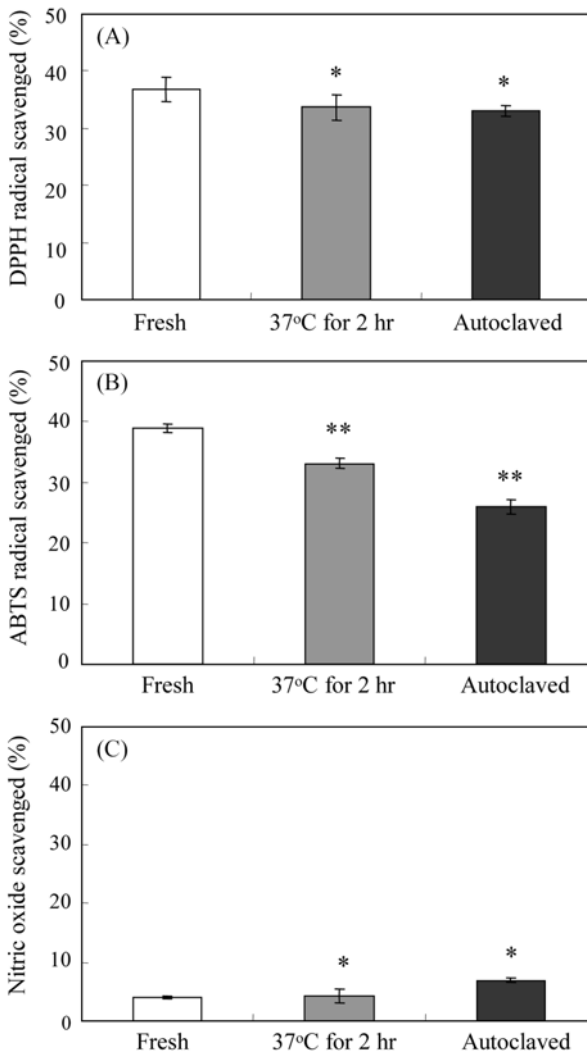


Fig. 5. Changes in antioxidant activities of curcuminoid by incubation at 37°C for 2 hr or autoclave treatment. Scavenging activities of DPPH (A), ABTS (B) radical and nitric oxide (C) by fresh curcuminoid (40 μ M), curcuminoid after incubation at 37°C for 2 hr or autoclave treatment were analyzed. Each value represents the mean \pm SD ($n=3$). *,**Significantly different from fresh control according to Student's t -test (* $p<0.05$, ** $p<0.01$).

각각 49.6, 48.8 및 31.7%가 잔류하는 것으로 나타났다(Fig. 6C). 고압가열처리 후 각 curcuminoid 잔류량을 HPLC로 분석한 결과, curcumin은 99% 이상 파괴되어 0.7%만이 검출되었고, 반면 DMC와 BMC는 각각 6.8%와 16.5%가 잔류하는 것으로 나타났다(Fig. 6C). 이상의 결과에서 DMC 및 BMC와 비교하였을 때 curcumin이 고압가열처리에 가장 민감한 것으로 나타났다.

요약

생리활성 물질로 알려진 curcuminoid의 다양한 가공조건에서의 화학안정성 및 항산화능의 변화를 조사하였다. Curcuminoid의 화학안정성은 pH와 온도에 의해 크게 영향 받았으며, 온도 및 pH의 증가는 curcuminoid의 황색도 및 화학안정성을 감소시켰다. 특히 일반적인 멸균조건(121°C, 1.2기압)에서 액상의 curcuminoid

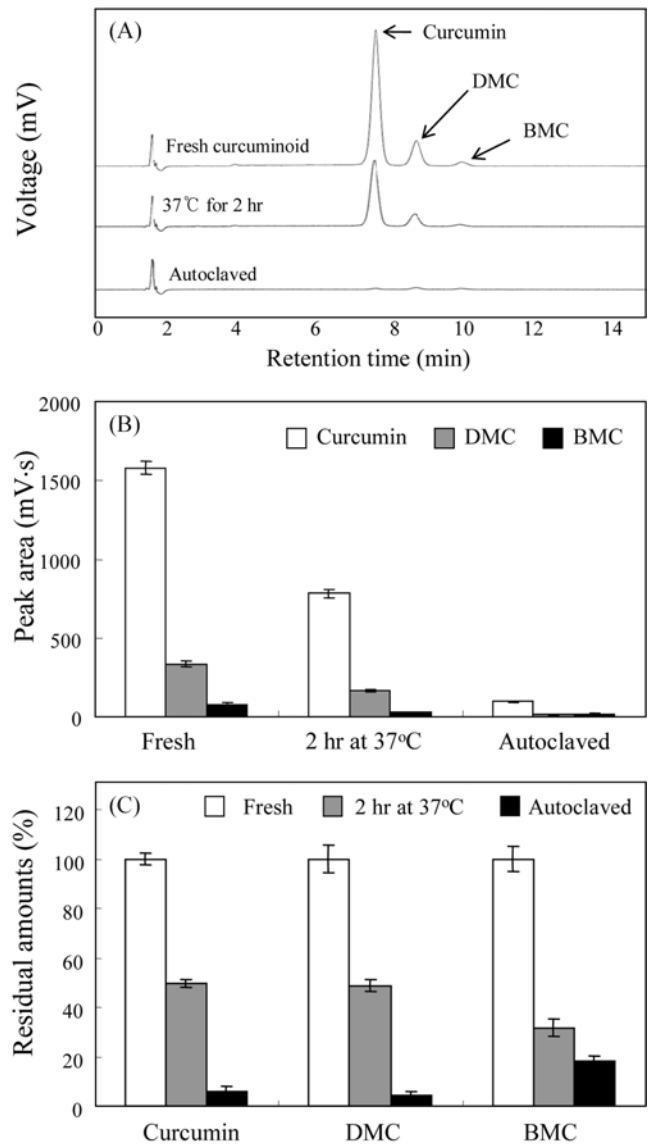


Fig. 6. Changes in individual curcuminoid levels after incubation at 37°C for 2 hr or autoclave treatment. Changes in chromatograms of curcuminoid (A) and peak area (B) of each curcuminoid after incubation at 37°C for 2 hr or autoclave treatment. Relative amount of residual curcuminoid levels was also shown (C). Each value represents the mean \pm SD ($n=3$).

를 고압가열처리 하였을 경우 80-90%의 황색도 감소 및 구조적 파괴를 초래하였다. 하지만 분말상태 curcuminoid 시료의 고압가열처리 시는 10% 미만의 감소가 있었다. 고압가열처리 후 curcuminoid의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 각각 10.3 및 33.4%의 활성 감소를 보였으며, nitric oxide 소거능은 약간 증가하였다. 고압가열처리 후 각 curcuminoid의 잔류량의 분석 결과, curcumin이 99% 이상 감소하여 고압가열처리에 가장 민감한 것으로 나타났다고 BMC는 16.5% 잔류하였다. 본 연구는 생리활성 증강의 목적으로 식품 중에 첨가된 curcuminoid가 다양한 가공, 조리 과정을 통해 화학적 변화 및 활성의 변화를 가져올 수 있음을 보여주며, 이와 같은 생리활성 물질의 안정화를 위한 적절한 가공, 조리 방법들이 신중하게 고려되어야 함을 제시하고 있다.

감사의 글

본 연구는 2009년 서울여자대학교 교내 학술특별연구비에 의해 지원되었으며 이에 감사 드립니다.

문 헌

- Sharma RA, Gescher AJ, Steward WP. Curcumin: The story so far. *Eur. J. Cancer* 41: 1955-1968 (2005)
- Kim KS, Choung MG, Park SH. Quantities determination and stability of curcuminoid pigments from tumeric (*Curcuma longa* L.) root. *Korean J. Crop Sci.* 50: 211-215 (2005)
- Fujisawa S, Atsumi T, Ishihara M, Kadoma Y. Cytotoxicity, ROS-generation activity and radical scavenging activity of curcumin and related compounds. *Anticancer Res.* 24: 563-569 (2004)
- Kunchandy E, Rao MN. Oxygen radical scavenging activity of curcumin. *Int. J. Pharm. Sci.* 48: 237-240 (1990)
- Reddy AC, Lokesh BR. Studies on anti-inflammatory activity of spice principle and dietary *n*-3 polyunsaturated fatty acids on carageenan-induced inflammation in rats. *Ann. Nutr. Metab.* 38: 349-358 (1994)
- Ahsan HS, Parveen NZ, Khan NU, Hadi SM. Pro-oxidant, anti-oxidant and cleavage activities on DNA of curcumin and its derivatives demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Chem.-Biol. Interact.* 121: 161-175 (1999)
- Hong J, Bose M, Ju J, Ryu JH, Chen X, Sang S, Lee MJ, Yang CS. Modulation of arachidonic acid metabolism by curcumin and related β -diketone derivatives: Effects on cytosolic phospholipase A₂, cyclooxygenase and 5-lipoxygenase. *Carcinogenesis* 16: 1671-1679 (2004)
- Li M, Zhang Z, Hill DL, Wang H, Zhang R. Curcumin, a dietary component, has anticancer, chemosensitization, and radiosensitization effects by down-regulating the MDM2 oncogene through the PI3K/mTOR/ETS2 pathway. *Cancer Res.* 67: 1988-1996 (2007)
- Chen H, Zhang ZS, Zhang YL, Zhou DY. Curcumin inhibits cell proliferation by interfering with the cell cycle and inducing apoptosis in colon carcinoma cells. *Anticancer Res.* 19: 3675-3680 (1999)
- Johnson JJ, Mukhtar H. Curcumin for chemoprevention of colon cancer. *Cancer Lett.* 255: 170-181 (2007)
- Mehta K, Pantazis P, McQueen T, Aggarwal BB. Antiproliferative effect of curcumin (diferuloylmethane) against human breast tumor cell lines. *Anti-Cancer Drugs* 8: 470-481 (1997)
- Lim GP, Chu T, Yang F, Beech W, Frautschy SA, Cole GM. The curry spice curcumin reduces oxidative damage and amyloid pathology in an Alzheimer transgenic mouse. *J. Neurosci.* 21: 8370-8377 (2001)
- Ono K, Hasegawa K, Naiki H, Yamada M. Curcumin has potent anti-amyloidogenic effects for alzheimer's β -amyloid fibrils *in vitro*. *J. Neurosci. Res.* 75: 742-750 (2004)
- Yang F, Lim GP, Begum AN, Ubeda OJ, Simmons MR, Ambegaokar SS, Chen PP, Kaye R, Glabe CG, Frautschy SA, Cole GM. Curcumin inhibits formation of amyloid β oligomers and fibrils, binds plaques, and reduces amyloid *in vivo*. *J. Biol. Chem.* 280: 5892-5901 (2005)
- Ferrari CK. Functional foods, herbs, and nutraceuticals: towards biochemical mechanisms of healthy aging. *Biogerontology* 5: 275-289 (2004)
- Koo BY, Park SJ, Byeon YR, Son SH. Heat penetration characteristics and keeping quality of retort pouched curry. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 63-68 (1993)
- Pan MH, Huang TM, Lin JK. Biotransformation of curcumin through reduction and glucuronidation in mice. *Drug Metab. Dispos.* 27: 486-494 (1998)
- Blios MS. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 26: 1199-1203 (1958)
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agr. Food Chem.* 50: 4959-4964 (2002)
- Jayaprakasha GK, Rao LJM, Sakariah KK. Improved HPLC method for the determination of curcumin, demethoxycurcumin, and bisdemethoxycurcumin. *J. Agr. Food Chem.* 50: 3668-3672 (2002)
- Wang YJ, Pan MH, Cheng AL, Lin LI, Ho YS, Hsieh CY, Lin JK. Stability of curcumin in buffer solutions and characterization of its degradation products. *J. Pharmaceut. Biomed.* 15: 1867-1876 (1997)
- Prathapan A, Likhman M, Arumughan C, Sundaresan A, Raghu KG. Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value, and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. *Int. J. Food Sci. Tech.* 44: 1438-1444 (2009)