

밀리미터파 처리가 청국장의 이화학적 특성에 미치는 영향

서동호 · 김미선 · 김준석*

한국식품연구원

Effect of Millimeter Waves on Quality Characteristics of *Cheonggukjang*

Dong-Ho Seo, Mi-Seon Kim, and Jun-Seok Kum*

Korea Food Research Institute

Abstract

Millimeter waves are electromagnetic waves with frequencies of 30–300 GHz (wavelength 1–10 mm), and millimeter wave stimulation affects microorganism growth. The present study stimulated *Bacillus subtilis* with 60 and 70 GHz millimeter waves during *cheonggukjang* fermentation and characterized the effects on *cheonggukjang* quality. *Cheonggukjang* treated with millimeter wave irradiation showed no significant difference in total bacterial count but generated only 5.52–5.92% viscous substance. Irradiation with 60 GHz millimeter waves yielded bright and intense color values relative to 70 GHz millimeter waves. Examination of the amylase activity and reducing sugar content of finished *cheonggukjang* revealed that irradiation at 70 GHz inhibited amylase activity in *cheonggukjang*. Furthermore, irradiation at 70 GHz increased protease activity, whereas irradiation at 60 GHz inhibited the activity. Moreover, the amino acid content changed with millimeter wave irradiation.

Key words: *cheonggukjang*, millimeter waves, *Bacillus subtilis*, fermentation, soybean

서 론

밀리미터파(millimeter wave)는 30-300 GHz (파장 1-10 mm)의 주파수 사이인 전파들을 총칭하며 마이크로파(microwave)와 다르게 열이 발생하지 않으며, 전파 및 레이다 분야, 의료분야 등에서 널리 사용되고 있다(Richards, 1994). 이러한 밀리미터파는 미생물 성장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. *Candida albicans*를 72 GHz로 밀리미터파 노출하였을 때, colony의 형성이 약 15% 수준으로 크게 감소하였다(Dardanoni et al., 1985), *Escherichia coli* K-12에 70.6 GHz와 73 GHz의 밀리미터파를 1시간 이상 자극을 주었을 때, specific growth rate와 colony 수가 감소하는 것이 관찰되었다(Torgomyan et al., 2011). 이와 반대로, *Saccharomyces cerevisiae*와 *S. carlsbergensis*에 밀리미터파 자극을 주면 cell growth와 biomass가 증가되었다(Furia et al., 1986, Usatii et al., 2010). 흥미롭게도, 밀리미터파를 41.8-42.0 GHz 범위로 조사할 때, 외부 환경에

따라서 *S. cerevisiae*의 growth rate가 15% 증가되거나 29% 감소됨이 관찰되었다(Gos et al., 1997). 비록 밀리미터파가 미생물 성장에 영향을 주는 현상들은 발표 되었지만(Pakhomov et al., 1998), 밀리미터파 자극이 미생물 성장인자에 어떻게 영향을 주는지는 아직 구체적이고 명확하게 밝혀지지 않았다. 최근 밀리미터파가 막걸리 발효 중전분 분해 효소에 영향을 주어 알코올 발효가 활발하게 일어나며, 막걸리 품질 인자에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다(Seo et al., 2016b).

청국장은 물에 불리고 찐 콩에 *Bacillus subtilis*를 접종하여 2-3일 발효시킨 단백질 발효식품으로 *B. subtilis*가 생산하는 효소에 의해 단백질과 당질이 분해되어 끈끈한 점질물인 polyglutamic acid가 형성되며 다양한 필수아미노산 및 유기산 등을 함유하고 있다(Lee et al., 2013). 기존 청국장 발효에 관한 연구는 다양한 발효 균주에 따른 영향(Youn et al., 2002, Ju & Oh, 2009, Lee et al., 2013), 미나리분말(Lee & Kim, 2013), 미역(Kang et al., 2013), 녹차(Kim et al., 2006) 등과 같은 부재료 첨가에 의한 영향, 고혈압 예방(Yang et al., 2003), 항암 및 항산화 효과(Min et al., 2008, Hwang et al., 2009) 등의 기능성에 관한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 하지만 청국장 발효와 같은 콩 발효 중 물리적 자극에 의한 연구는 극소수이다. 이중 감마선 조사(γ -irradiation) 기술은 청국장과 같은 장류에

*Corresponding author: Jun-Seok Kum, Mailing address: Korea Food Research Institute, 1201-62, Anyangpangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 13539, Korea
Tel: +82-780-9385, Fax: +82-780-9036
E-mail: jskum@kfri.re.kr
Received January 31, 2017; revised March 13, 2017; accepted April 1, 2017

활발히 연구가 되어 있다. 장류제품에 존재하는 가수분해 효소 활성이 감마선 조사에 의하여 영향을 받음을 보고 하였으며(Kim et al., 2001), 감마선 조사된 청국장의 미생물 및 일반 품질 특성 변화를 확인하였다(Kim et al., 2000). 초음파(ultrasonication)나 초고압(hydrostatic pressure)이 콩의 발효 시간을 줄여주고 발효물의 품질과 기능성을 향상시켜주었다(McClements & Gunasekaran, 1997). 최근 *Aspergillus oryzae*를 이용하여 soybean koji를 발효할 때, 초음파를 20-35 kHz 조사하여 품질의 변화가 나타남이 보고되었다(Byeon et al., 2015).

본 연구는 *B. subtilis*를 이용하여 청국장을 발효하였으며, 이 때 밀리미터파를 60 GHz와 70 GHz로 자극을 주었다. 연구에 사용된 60 GHz 대역의 파장은 용도미지정대역으로 허용된 주파수로 식품 발효의 용도를 확인하기 위하여 선정하였으며, 70 GHz 대역은 미생물에 영향을 줄 수 있는 파장이므로 이를 선정하였다. 발효가 완료된 청국장의 품질에 영향을 주는 인자를 측정하여 비교하여, 밀리미터파가 청국장 발효에 어떠한 영향을 주는지 확인하였다.

재료 및 방법

재료 및 장비

본 연구에서 청국장 제조에 사용된 재료는 청국장(Traditional cheonggukjang, Sunchang Moonokrae Food, Sunchang, Korea)과 대두를 사용하였다. 주파수 조사는 control system, oscillator, transit generator, single frequency로 구성되어 있는 millimeter wave (PORT-ELM, ELM Ltd., Nizhniy Novgorod, Russia)를 이용하였다(Seo et al., 2016a,b)

청국장 제조

접종 균주는 시판 청국장을 멸균 증류수에 현탁시킨 후, Nutrient broth (Difco, Detroit, MI, USA)에 도말하고 37°C에서 24시간 배양 후 나타난 독립된 colony를 Nutrient broth에 접종하여 37°C에서 2시간 배양하여 접종균주로 사용하였다. 대두 1 kg을 5-6회 수세하여 물에 4°C에서 24시간 동안 침지한 후, 1시간 동안 수분을 제거하고, 121°C에서 50분 동안 가압 증자하고 50°C 내외로 냉각하였다. 냉각된 대두에 균을 2% v/w로 접종하여 골고루 혼합한 다음 37°C에서 72시간 동안 발효시켜 control로 실험에 사용하였다. 밀리미터파(millimeter wave) 조사균은 발효기간 동안 주파수 60 GHz와 70 GHz로 각각 조사하여 청국장 실험에 사용하였다. 청국장 시료는 동결건조하여 -20°C에 저장하였다.

미생물 측정

청국장 시료는 10진 희석법에 따라 희석하고 희석된 시료 1 mL를 건조필름배지(PAC, 3M, Fairmont, MN, USA)

에 균일하게 잘 혼합한 후 37°C에서 24-48시간 동안 배양한 후 총균수를 시료 1 mL당 log colony forming unit (log CFU/mL)로 나타내었다.

물리화학적 특성

pH측정은 pH meter (Star A211, Thermo Orion, Beverly, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 청국장의 점질물 측정은 청국장 10 g에 증류수 20 mL을 가하여 140 rpm, 25°C에서 30분 진탕 후 원심분리(3,000 rpm, 15분)하여 얻은 상등액 5 mL을 105°C에서 증발 건조시켜 그 무게를 측정하였으며, 시료에 대한 건물량(%)으로 나타내었다. 청국장의 색도는 Hunter 색도계(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)로 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 아미노태 질소 함량은 Formol 적정법(Jung et al., 2012)에 준하여 측정하였다. 즉 상등액 10 mL에 0.1% phenolphthalein 지시약을 2-3방울 첨가한 후 0.1 N NaOH로 연분홍색이 될 때까지 적정하고, 포르말린용액(35-40%) 5.4 mL를 첨가하여 연분홍색이 될 때까지 적정하여 소요된 0.1 N NaOH의 양으로 아미노태 질소 함량을 계산하였다. 시료 5 g을 증류수 100 mL과 함께 250 mL 비이커에 넣고 30분동안 균일하게 섞는다. 상등액을 0.1 N 수산화나트륨 용액으로 pH 8.4가 될때까지 적정한다. 그 후 포르말린용액(35-40%) 20 mL을 첨가한 후 0.1 N 수산화나트륨 수용액으로 pH 8.4가 될때까지 적정하고 소요된 0.1 N NaOH의 양으로 아미노태 질소 함량을 계산하였다. 청국장의 환원당은 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) 방법에 의해 측정하였다. 청국장의 아미노산 분석을 위해, 산분해(6 M HCl at 110°C under nitrogen for 24 h) 산물을 Waters AccQ-Tag Amino Acid Analysis Method™ (Boegers et al., 2008)을 통하여 분석하였다. 유도체화된 아미노산은 Waters high-performance liquid chromatography system (Waters Alliance e2695, Milford, MA, USA)을 이용하여 정량 분석하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS 12.0 (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software를 이용하여 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 Duncan의 다중검정법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

밀리미터파에 의한 총균수, pH, 점질물 생성량 및 색도의 영향

청국장 발효에는 *B. subtilis* 단일 균종을 이용하였으며, 발효 온도 및 습도도 일정하게 유지하였다. Table 1은 48시간 발효 후, 총 균수를 나타낸 결과이다. 밀리미터파 비

Table 1. Comparison of physiochemical properties in *cheonggukjang* fermented with millimeter wave irradiation

	Viable cell counts (Log CFU/g)	Viscous substance content (%)	pH
Control	10.35±0.01 ^{1)a2)}	6.25±0.41 ^a	7.85±0.04 ^a
60 GHz	10.27±0.01 ^b	5.92±0.09 ^{ab}	7.60±0.01 ^b
70 GHz	10.12±0.01 ^c	5.52±0.22 ^c	7.51±0.02 ^c

¹⁾Mean±S.D.^{2)a-c}Means with different superscripts in each column indicate significant differences ($p < 0.05$).

처리군은 log 10.35 CFU/g, 60 GHz 조사군은 log 10.27 CFU/g, 70 GHz 조사군은 log 10.12 CFU/g로 밀리미터파 조사에 따른 최종 총균수의 유의적 차이가 나타나지 않았으며, 총균수는 밀리미터파에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 발효 종료 후 청국장의 총균수는 발효 조건에 따라 log 8-10 CFU/g로 나타났으며(Oh & Eom, 2008, Lee et al., 2013), 이는 본 연구결과와 유사하다.

청국장의 점질물은 발효과정으로 생성된 생성물로 콩의 당질인 fructan에서 분해된 levan과 단백질에서 유래된 polyglutamate 중합체로 구성되어 있다(Lee et al., 2005). 밀리미터파 비조사 청국장의 점질물양은 6.25%로 밀리미터파를 70 GHz 조사한 청국장의 점질물 함량(5.52%)보다 유의적으로 높게 나타났으며, 밀리미터파 60 GHz 조사 청국장의 점질물의 함량은 5.92% 함유되었다. 일반적으로 청국장의 점질물의 함량은 발효조건과 균에 따라 2.15-17.44%로 함유되어 있다(Choi et al., 2007, Jung et al., 2012). *B. subtilis*가 분해하는 단백질 활성 효소에 의하여 콩 단백질이 peptide 분해 후, 아미노산으로 분해되게 되며 이 과정에서 polyglutamate가 형성되게 된다(Lee et al., 2013). 또한 청국장의 발효가 진행 될수록 pH가 상승하는 것은 콩 단백질이 아미노산으로 분해되고 탈아미노화 반응이 생성되어 pH가 높게 나타나게 된다(Eom et al., 2009). Table 1과 같이 밀리미터파 비조사 청국장의 최종 pH는 7.85로 밀리미터파 조사 청국장의 최종 pH에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다. 밀리미터파를 70 GHz로 조사한 청국장의 최종 pH가 7.51로 가장 낮게 나타났으며, 이는 밀리미터파가 청국장 발효 과정 중에 단백질 활성 효소들에 영향을 주는 것으로 추론할 수 있다. 일반적인 청국장의 pH는 발효조건 및 콩의 종류와 상태에 따라 pH 7.2-7.8 정도로 나타나며 본 연구의 결과와 비슷하다.

밀리미터파를 주파수 60 GHz와 70 GHz로 조사하여 발효한 청국장의 color value를 측정된 결과 L (lightness) 값은 60 GHz로 밀리미터파를 조사한 청국장이 60.79로 높게 나타났으며 밀리미터파 비조사 청국장은 58.05로 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(Table 2). a (redness) 값은 4.13-4.93 범위로 나타났으며 60 GHz 밀리미터파 조사 청국장이 높은 값을 나타내었다. b (yellowness) 값은 60 GHz 밀

Table 2. Color values of *cheonggukjang* fermented with millimeter wave irradiation

Sample	L	a	b
Control	58.05±0.35 ^{1)a2)}	4.41±0.08 ^b	16.55±0.10 ^c
60 GHz	60.79±0.14 ^a	4.93±0.03 ^a	17.23±0.07 ^a
70 GHz	59.15±0.28 ^b	4.13±0.05 ^c	16.78±0.05 ^b

¹⁾Mean±S.D.^{2)a-c}Means with different superscripts in each column indicate significant differences ($p < 0.05$).**Table 3. Reducing sugar contents and amylase activities of *cheonggukjang* fermented with millimeter wave irradiation**

Sample	Reducing sugar contents (%)	Amylase activity (U/g)
Control	1.34±0.04 ^{1)a2)}	0.93±0.02 ^a
60 GHz	1.32±0.03 ^a	0.95±0.02 ^a
70 GHz	1.13±0.04 ^b	0.87±0.08 ^b

¹⁾Mean±S.D.^{2)a,b}Means with different superscripts in each column indicate significant differences ($p < 0.05$).

리미터파 조사 청국장이 17.23으로 가장 높게 나타났으며, 70 GHz 밀리미터파 조사 청국장이 16.78, 밀리미터파 비조사 청국장이 16.55의 순서로 나타났다. 발효 균주를 달리 하였을 때, 청국장의 색도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Baek et al., 2008). 또한 발효시간에 따라서 청국장의 색이 어둡게 변하는 것으로 보고되었다(Eom et al., 2009). 같은 시간 동안 동일한 균주로 청국장 발효시 밀리미터파를 60 GHz 조사하면 청국장의 색이 대조구에 비하여 명도가 높고 진한 황색을 나타내며, 이는 밀리미터파가 청국장의 색도 개선에 효과가 있을 것으로 판단되었다.

밀리미터파 조사에 따른 청국장의 환원당 함량과 amylase 활성

청국장의 amylase 활성은 원료 콩의 탄수화물을 가수분해하여 맛을 형성하는데 중요한 역할을 한다. 밀리미터파 조사를 통한 청국장의 환원당 함량과 amylase 활성은 Table 3와 같다. 밀리미터파 비조사 청국장과 60 GHz로 조사한 청국장의 환원당 함량은 유의적 차이가 나타나지 않았지만, 70 GHz 조사 청국장의 환원당 함량은 1.13%로 다른 청국장에 비하여 낮게 나타났다. 환원당류들(glucose, fructose, maltose 등)은 단맛을 부여하는 물질로 미생물의 대사에 따른 효소 활성과 밀접한 관계가 있다. 이에 각 청국장에 존재하는 amylase 활성을 확인하였다. 밀리미터파 비조사 청국장이 0.93 U/g, 60 GHz 조사 청국장이 0.95 U/g으로 유의적 차이가 없었으며, 70 GHz 조사 청국장은 0.87 U/g으로 가장 활성이 낮게 나타났다. 청국장의 amylase 활성 결과는 청국장의 환원당 함량 결과와 유사하며, 이는 밀리미터파를 70 GHz로 조사하면 청국장 발효 중 미생물의

amylase 활성을 저해하는 것을 의미한다. 다양한 한국 전통 장류(된장, 고추장, 간장, 청국, 메주)에 감마선을 0-20 kGy 조사하였을 때, 장류 내의 amylase 활성의 변화는 유의적 차이가 나타나지 않았다(Kim et al., 2001). Soybean koji 발효 기간 동안 20-35 kHz 초음파(ultrasonication) 자극을 주었을 때, 35 kHz 자극에서 amylase 활성이 크게 감소하였다. 하지만, 자극 세기에 따른 amylase 활성과는 상관 관계가 나타나지 않았다(Byeon et al., 2015).

밀리미터파 조사에 따른 청국장의 아미노태 질소 함량과 protease 활성

아미노태 질소 함량은 미생물이 발효 과정 중 protease의 작용에 의하여 단백질이 아미노산의 형태로 분해되는 정도를 나타낸 것으로 청국장의 발효도 평가 및 장류 발효식품의 품질과 구수한 맛의 지표로 사용되고 있다. 현재 우리나라 식품공전의 규격에는 청국장의 아미노태 질소 함량을 280 mg% 이상으로 규정하고 있다. 본 실험에서 제조한 청국장의 아미노태 질소함량과 protease 활성은 Table 4와 같다. 밀리미터파를 주파수 70 GHz로 조사하여 발효한 청국장에서 779.33 mg%로 가장 높게 나타났으나 주파수 60 GHz로 조사한 청국장은 527.33 mg%로 유의적으로 낮게 나타났다. 밀리미터파 비조사 청국장의 아미노태 질소 함량은 597.33 mg%로 관찰되었다. 시판 청국장의 아미노태 질소 함량이 제품의 발효 정도에 따라 다양하게 분포되어 있으며 500.00-799.99 mg%인 제품이 많은 것으로 나타났다는

보고와 비슷한 수준의 함량을 나타내었다(Ko et al., 2012). 제조된 청국장의 protease 활성 측정 결과, 밀리미터파 비조사 청국장이 0.075 U/g, 밀리미터파 60 GHz 조사한 청국장이 0.069 U/g, 밀리미터파 70 GHz 조사한 청국장이 0.093 U/g으로 나타났다. 아미노태 질소 함량이 가장 높은 밀리미터파 70 GHz 조사 청국장에서 protease 활성이 가장 높게 나타났으며, 아미노태 질소 함량이 가장 낮은 밀리미터파 60 GHz 조사 청국장의 protease 활성이 가장 낮게 나타났다. 아미노태 질소 함량은 청국장 발효 중의 protease 활성과 관련이 있으며 밀리미터파 70 GHz는 protease 활성을 증가시키고, 60 GHz는 활성을 저해하는 것으로 보여진다. Soybean koji 발효에 초음파 자극을 주었을 때, 30 kHz 자극에서 다른 주파수에 비하여 높은 protease 활성을 나타냈다. 하지만 다른 주파수에서는 대조구와 유의적 차이가 나타나지 않았다(Byeon et al., 2015). 청국장에 감마선을 20 kGy 조사하였을 때, 대조구에 비하여 25% protease 활성

Table 4. Amino nitrogen contents and protease activities of cheonggukjang fermented with millimeter wave irradiation

Sample	Amino-type nitrogen contents (mg %)	Protease activity (U/g)
Control	597.33±21.39 ^{1) b2)}	0.075±0.016 ^b
60 GHz	527.33±32.33 ^c	0.069±0.006 ^c
70 GHz	779.33±16.17 ^a	0.093±0.011 ^a

¹⁾Mean±S.D.

^{2) a-c}Means with different superscripts in each column indicate significant differences ($p < 0.05$).

Table 5. Comparison of amino acid compositions in cheonggukjang fermented with millimeter wave irradiation

Amino acid	Millimeter wave irradiation		
	Control	60 GHz	70 GHz
Aspartic acid	4,645.70±0.30 ^{1) a2)}	4,314.97±58.44 ^b	4,653.93±61.21 ^a
Threonine	1,463.19±3.31 ^a	1,411.57±18.60 ^b	1,412.12±5.83 ^b
Serine	1,758.84±8.16 ^a	1,694.42±25.77 ^b	1,581.24±1.79 ^c
Glutamic	9,397.30±73.36 ^b	8,509.57±47.43 ^c	9,710.68±58.02 ^a
Proline	1,780.40±33.96 ^b	1,764.87±7.86 ^b	1,909.37±6.23 ^a
Glycine	1,596.85±5.44 ^a	1,499.10±24.87 ^b	1,597.71±15.05 ^a
Alanine	1,628.34±2.38 ^a	1,556.97±25.07 ^b	1,677.81±14.62 ^a
Valine	1,585.62±13.59 ^b	1,497.07±53.64 ^b	1,844.72±25.71 ^a
Methionine	474.66±26.04 ^b	342.01±18.82 ^c	574.93±34.70 ^a
Isoleucine	1,514.03±27.22 ^b	1,502.94±10.22 ^b	1,766.77±48.47 ^a
Leucine	3,042.17±1.48 ^b	2,899.01±41.98 ^c	3,223.79±33.06 ^a
Tyrosine	1,559.44±21.01 ^b	1,372.14±3.84 ^c	1,656.65±7.25 ^a
Phenylalanine	2,257.30±14.81 ^b	2,053.19±17.35 ^c	2,395.34±40.27 ^a
Lysine	2,491.63±8.56 ^b	2,236.87±33.74 ^c	2,624.44±12.33 ^a
Histidine	1,067.71±0.97 ^b	968.84±18.12 ^c	1,157.93±0.35 ^a
Arginine	2,260.15±9.05 ^a	2,209.48±13.34 ^b	2,213.92±21.33 ^{ab}
Total	38,523.28±182.66 ^b	35,832.99±392.42 ^c	40,001.31±243.22 ^a

¹⁾Mean±S.D.

^{2) a-c}Means with different superscripts in each row indicate significant differences ($p < 0.05$).

Asp = aspartic acid, Thr = threonine, Ser = serine, Glu = glutamic acid, Pro = proline, Gly = glycine, Ala = alanine, Val = valine, Met = methionine, Ile = isoleucine, Leu = leucine, Tyr = tyrosine, Phe = phenylalanine, Lys = lysine, His = histidine, Arg = arginine.

이 감소됨이 보고되었다(Kim et al., 2001).

밀리미터파 조사에 따른 청국장장의 아미노산 함량

청국장장은 발효숙성 중 *B. subtilis*의 작용으로 원료 콩 단백질 분해를 통해 생성한 구수한 맛을 내는 glutamic acid, aspartic acid, 쓴맛을 지닌 valine, isoleucine, leucine, methionine, phenylalanine 및 단맛을 내는 alanine, glycine, lysine 등의 17종의 아미노산이 어우러져 복합적인 청국장 특유의 맛이 형성되며, glutamic acid와 aspartic acid의 함량이 높으면 구수한 맛이 강해지며, alanine, glycine 및 lysine의 함량이 높으면 단맛이 강해진다(Kim et al., 2007). 밀리미터파를 60 GHz와 70 GHz 주파수로 조사하여 발효한 청국장장의 아미노산을 분석한 결과는 Table 5과 같다. Aspartic acid는 밀리미터파 비조사 청국장장과 70 GHz 조사한 청국장장이 유의적으로 높은 함량을 나타내었으며, glutamic acid는 70 GHz 조사한 청국장장에서 9,710.68 mg/100g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. Glycine과 alanine은 밀리미터파 비조사 청국장장과 70 GHz 조사한 청국장장이 유의적으로 유사한 값을 나타내었으며 lysine은 70 GHz 조사한 청국장장이 높은 값을 나타내었다. 쓴맛을 내는 아미노산의 경우 70 GHz 조사한 청국장장이 밀리미터파 비조사 청국장장과 60 GHz 조사한 청국장장에 비해 높은 함량을 나타내었다. 밀리미터파를 주파수 70 GHz로 조사한 청국장장의 총 아미노산 함량이 주파수 60 GHz로 조사한 청국장장보다 유의적으로 높게 나타났다. 이는 밀리미터파가 발효 중에 protease 활성에 영향을 주어 분해된 총 아미노산의 함량의 다른 것으로 판단된다. 또한 밀리미터파가 발효 중 대사과정에 영향을 주어 조건에 따라 생성되는 아미노산이 다른 것으로 판단된다. 밀리미터파에 의하여 청국장 발효 중 아미노산 질소 함량과 총 아미노산 함량의 차이가 나타나는 결과는 새로운 풍미를 가지는 청국장 제조에 밀리미터파가 적용될 수 있는 신기술이라 할 수 있다. 앞으로 다양한 주파수조사에 따른 청국장장의 관능검사 및 향기 성분 변화 등의 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

요 약

결론적으로 밀리미터파를 청국장 발효시 60 GHz와 70 GHz로 조사하였을 때, 청국장 총균수에는 대조구와 차이가 나타나지 않았지만, 청국장 점질물의 함량과 pH는 대조구에 비하여 낮게 나타났다. 밀리미터파는 청국장장의 색도에 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 청국장장에 존재하는 가수분해효소들에 영향을 주어 생성되는 주파수에 따라 가수분해 산물에 차이가 나타남을 확인하였다. 특히 70 GHz에서는 청국장 발효에 중요한 단백질 분해효소의 활성이 크게 증가하였으며, 이를 통하여 70 GHz 밀리미터파 조사 청국장장은 아미노산 질소 함량과 총 아미노산 함량이 증가

하였다. 청국장 발효 중 70 GHz의 밀리미터파 조사하면 기존과 다른 청국장의 풍미를 기대할 수 있다. 밀리미터파는 청국장 발효시 균의 성장에는 영향을 미치지 않으나, 최종 청국장의 품질특성에는 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 밀리미터파가 발효식품에 새로운 품질을 부여할 수 있는 신기술이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가식품기술개발사업(과제 번호: 112082-3)에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Baek LM, Park LY, Park KS, Lee SH. 2008. Effect of starter cultures on the fermentative characteristics of cheonggukjang. Korean J. Food Sci. Technol. 40: 400-405.
- Boogers I, Plugge W, Stokkermans YQ, Duchateau ALL. 2008. Ultra-performance liquid chromatographic analysis of amino acids in protein hydrolysates using an automated pre-column derivatisation method. J. Chromatogr. A 1189: 406-409.
- Byeon JY, Choi EJ, Kim WJ. 2015. Effect of low frequency (20–35 kHz) airborne ultrasonication on microbiological and physicochemical properties of soybean *Koji*. Food Sci. Biotechnol. 24: 1035-1040.
- Choi UK, Kim MH, Lee NH, Jeong YS, Kwon OJ, Kim YC, Hwang YH. 2007. The characteristics of *Cheonggukjang*, a fermented soybean product, by the degree of germination of raw soybeans. Food Sci. Biotechnol. 16: 734-739.
- Dardanoni L, Torregrossa M, Zanforlin L. 1985. Millimeter-wave effects on *Candida albicans* cells. J. Bioelectricity 4: 171-176.
- Eom SM, Jung BY, Oh HI. 2009. Changes in chemical components of *Cheonggukjang* prepared with germinated soybeans during fermentation. J. Appl. Biol. Chem. 52: 133-141.
- Furia L, Hill DW, Gandhi O. 1986. Effect of millimeter-wave irradiation on growth of *Saccharomyces cerevisiae*. IEEE Trans. Biomed. Eng. BME-33: 993-999.
- Gos P, Eicher B, Kohli J, Heyer WD. 1997. Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells. Bioelectromagnetics 18: 142-155.
- Hwang JS, Kim SJ, Kim HB. 2009. Antioxidant and blood-pressure reduction effects of fermented soybean, *Chungkookjang*. Korean J. Microbiol. 45: 54-57.
- Ju KE, Oh NS. 2009. Effect of the mixed culture of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum* on the quality of *Cheonggukjang*. Korean J. Food Sci. Technol. 41: 399-404.
- Jung JB, Choi SK, Jeong DY, Kim YS, Kim YS. 2012. Effects of germination time of soybeans on quality characteristics of *Cheonggukjang* fermented with an isolated bacterial strain. Korean J. Food Sci. Technol. 44: 69-75.
- Kang HM, Lee SH, Park LY. 2013. Fermentation and quality characteristics of *Cheonggukjang* prepared with sea mustard. J. East Asian Soc. Diet. Life 23: 810-817.

- Kim DH, Son JH, Yook HS, Kim MR, Cha BS, Byun MW. 2001. Effects of gamma irradiation on the hydrolytic enzyme activities of Korean soybean-based fermented food. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 839-843.
- Kim DH, Yook HS, Youm KC, Cha BS, Kim JO, Byun MW. 2000. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *chungkukjang*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 896-901.
- Kim JH, Kim SI, Kim JG, Im DK, Park JG, Lee JW, Byun MW. 2006. Effect of green tea powder on the improvement of sensorial quality of *chungkookjang*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 482-486.
- Kim MH, Kang WW, Lee NH, Kwon DJ, Kwon OJ, Chung YS, Hwang YH, Choi UK. 2007. Changes in quality characteristics of *cheonggukjang* made with germinated soybean. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 676-680.
- Ko YJ, Son YH, Kim EJ, Seol HG, Lee GR, Kim DH, Ryu CH. 2012. Quality properties of commercial *chungkukjang* in Korea. *J. Agric. Life Sci.* 46: 11.
- Lee MY, Park SY, Jung KO, Park KY, Kim SD. 2005. Quality and functional characteristics of *chungkukjang* prepared with various *Bacillus* sp. isolated from traditional *chungkukjang*. *J. Food Sci.* 70: M191-M196.
- Lee NR, Go TH, Lee SM, Hong CO, Park KM, Park GT, Hwang DY, Son HJ. 2013. Characteristics of *chungkookjang* prepared by *Bacillus amyloliquefaciens* with different soybeans and fermentation temperatures. *Korean J. Microbiol.* 49: 71-77.
- Lee SH, Kim JH. 2013. Fermentation and quality characteristics of *cheonggukjang* with addition of dropwort (*Oenanthe javanica* D.C.) powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 1133-1138.
- McClements D, Gunasekaran S. 1997. Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 37: 1-46.
- Min HK, Kim HJ, Chang HC. 2008. Growth-inhibitory effect of the extract of porphyran-*chungkookjang* on cancer cell. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 826-833.
- Oh HI, Eom SM. 2008. Changes in microflora and enzyme activities of *Cheonggukjang* prepared with germinated soybeans during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 56-62.
- Pakhomov AG, Akyel Y, Pakhomova ON, Stuck BE, Murphy MR. 1998. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves. *Bioelectromagnetics* 19: 393-413.
- Richards P. 1994. Bolometers for infrared and millimeter waves. *Appl. Phys. Rev.* 76: 1-24.
- Seo DH, Kim MS, Choi HW, Sung JM, Park JD, Kum JS. 2016a. Effects of millimeter wave treatment on the germination rate and antioxidant potentials and γ -aminobutyric acid of the germinated brown rice. *Food Sci. Biotechnol.* 25: 111-114.
- Seo DH, Kim MS, Park CS, Choi HW, Sung JM, Park JD, Kum JS. 2016b. Effect of millimeter waves on the microbiological and physicochemical properties of Korean rice wine *Makgeolli*. *Food Sci. Biotechnol.* 25: 497-502.
- Torgomyan H, Kalantaryan V, Trchounian A. 2011. Low intensity electromagnetic irradiation with 70.6 and 73 GHz frequencies affects *Escherichia coli* growth and changes water properties. *Cell. Biochem. Biophys.* 60: 275-281.
- Usatii A, Molodoi E, Rotaru A, Moldoveanu T. 2010. The influence of low intensity millimeter waves on the multiplication and biosynthetic activity of *Saccharomyces carlsbergensis* CNMN-Y-15 yeast. *Annals of the University of Oradea-Faculty of Biology (Romania)* 17: 208-212.
- Yang JL, Lee SH, Song YS. 2003. Improving effect of powders of cooked soybean and *Chongkukjang* on blood pressure and lipid metabolism in spontaneously hypertensive rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 899-905.
- Youn KC, Kim DH, Kim JO, Park BJ, Yook HS, Cho JM, Byun MW. 2002. Quality characteristics of the *Chungkookjang* fermented by the mixed culture of *Bacillus natto* and *B. licheniformis*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 204-210.