KJOAS

ISSN (Print) : 2466-2402
ISSN (Online) : 2466-2410

FOOD & CHEMISTRY

Antibacterial activity of supernatant obtained from *Weissella koreensis* and *Lactobacillus sakei* on the growth of pathogenic bacteria

Hana Im[1], Joon-Kwan Moon[2], Woan-Sub Kim[1]*

[1]Department of Animal Life and Environmental Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

[2]Department of Plant Life and Environmental Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

*Corresponding author: kimws@hknu.ac.kr

Abstract

This study was carried out to obtain basic data for the industrial use of *Weissella koreensis* and *Lactobacillus sakei*. The antibacterial activity of supernatants obtained from *W. koreensis* and *L. sakei* were tested against pathogenic bacteria such as *Escherichia coli* KCCM 11234, *Salmonella enteritidis* KCCM 3313, *Salmonella enteritidis* KCCM 12021, *Salmonella typhimurium* KCCM 40253, and *Salmonella typhimurium* KCCM 15. The supernatant of *L. sakei* showed antibacterial activity against *E. coli* KCCM 11234, *S. enteritidis* KCCM 12021, and *S. typhimurium* KCCM 15, while the supernatant of *W. koreensis* showed antibacterial activity against *E. coli* KCCM 11234 and *S. enteritidis* KCCM 12021. The effect of pH changes and heat treatment on antibacterial activity of the supernatants was examined using the sensitive pathogenic bacteria (*E. coli* KCCM 11234, *S. enteritidis* KCCM 12021 and *S. typhimurium* KCCM 15). Antibacterial activity against sensitive pathogenic bacteria was maintained under heat treatment at all temperatures, but there was no antibacterial activity associated with pH modification. Furthermore, it was confirmed that the antibacterial activity of the supernatants obtained from *W. koreensis* and *L. sakei* was a result of organic acids including, lactic, acetic, phosphoric, succinic, pyroglutamic, citric, malic, and formic acids. Therefore, the present study showed that the organic acids produced by *L. sakei* and *W. koreensis* exhibited a strong antibacterial activity against pathogenic bacteria. Moreover, in the food industry, these organic acids have the potential to inhibit the growth of pathogenic bacteria and improve the quality of stored food.

Keywords: antibacterial activity, *Lactobacillus sakei*, organic acid, *Weissella koreensis*

OPEN ACCESS

Citation: Im HN, Moon JK, Kim WS. 2016. Antibacterial activity of supernatant obtained from *Weissella koreensis* and *Lactobacillus sakei* on the growth of pathogenic bacteria. Korean Journal of Agricultural Science 43:415-423.

DOI: http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160044

Editor: Ki Teak Lee, Chungnam National University, Korea

Received: May 17, 2016

Revised: August 9, 2016

Accepted: August 12, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

오래전부터 인류는 유산균에 대한 존재를 모른 채, 그들의 독특한 성질 또는 발효 형태에 따라 다양한 제품들이 개발되어 왔다. 유산균은 낙농유제품에 있어서 발효유와 치즈제조에 이용되고 있으며, 육제품에 있어서는 발효소시지와 발효 햄 등에서 광범위하게 이용되고 있다.

유산균은 인간이나 동물의 장관에 상주하여 숙주의 건강유지에 큰 역할을 담당하는 것으로 알려져 있다(Mangiapane et al., 2015). 장내에서 유해미생물의 대사산물인 인돌, 스카톨, 페놀, 아

민, 암모니아 등은 소화기능에 더 큰 문제를 야기한다(Marteau et al., 2001). 이러한 결과에 의하여 장내에 불균형이 생기면 설사나 변비, 과민성 대장 증후군, 독소형의 감염 문제 등이 발생할 수 있다. 더욱이 유산균의 부족은 면역력을 떨어뜨려서 피부염, 알레르기와 천식의 발생을 유발시킬 가능성이 높은 것으로 알려져 있다(Majamaa et al., 1995). 따라서 유산균은 장내에서 유해미생물의 생장을 억제하여 그들로부터 분비되는 유해 물질들의 생성을 억제하고, 장의 이상 증상을 방지하는 특징을 가지고 있다(Bouhnik et al., 2004).

유산균은 발효 과정 중에 대사물질을 생성하게 되고 건강효과는 대사산물로부터 기인하고 있다. 이러한 대사물질들은 유산균마다 독특한 특성과 기능을 지니고 있다. 대표적인 유산균의 대사물질로는 유기산, 비타민, 항균물질인 박테리오신을 예로 들 수 있다(Klaenhammer, 1988; Lindgren and Dobrogosz, 1990; Corsetti et al., 1998; Ryan et al., 2008). 유산균에 의해 분비되는 유기산 중, 가장 많이 생성되는 유산은 유당이 유산균에 의해 발효되는 과정에서 생산된다(Hugenholtz, 1993; de Vos and Vaughan, 1994). 유산은 위장에서 위산분비를 조절하고, 소화액의 분비 촉진과 장내의 산도를 증가시켜 소장에서 장내 연동운동을 활발하게 하여 소화흡수를 촉진시키고, 대장에서는 장의 운동을 조절해 설사와 변비를 예방하게 한다(Femández et al., 2003). 또한, 식품산업분야에서는 유산발효에 의한 식품의 보존성 향상과 유산을 비롯한 대사 생산물에 의한 풍미 증진, 길항물질 등의 생성으로 인체 유해미생물의 억제에 의한 건강증진, 비타민과 같은 유용물질의 합성에 의한 영양 및 건강증진효과를 목적으로 이용되고 있다(Park and Chang, 2003).

Weissella 속 균은 Collins et al. (1993)이 16S rRNA 염기서열에 의해서 과거 *Leuconostoc*과 *Lactobacillus* 속으로부터 새롭게 분리하였다. *Weissella* 속 균들은 유산균에 포함되는 그람 양성의 무포자성 균이다. *Weissella* 속 균들은 김치와 같은 발효채소류에서 주로 발견된다. 따라서 *W. koreensis*는 Lee et al. (2002)으로부터 김치에서 처음 발견되어 보고하였으며, 그 후 다른 연구자들에 의해서 10℃이하의 김치에서 우점종을 나타낸다고 하였다(Cho et al., 2006; Lee et al., 2010). 한편 *Lactobacillus sakei*는 김치와 같은 저장 발효식품에서 주로 발견되는 그람 양성의 무포자 형성균이다(Chaillou et al., 2005). Kim et al. (2004)는 김치로부터 *L. sakei*를 분리하고, *Listeria monocytogenes*를 억제하는 활성을 보고하였다. 또한 Lee et al. (2008)은 땅속에 파 묻은 전통 김장김치 저장방법으로 저장한 김치에서 *L. sakei*가 우점균으로 있다고 보고하였다. *W. koreensis*와 *L. sakei*가 김치에서 가장 빈번히 검출되는 유산균임에도 불구하고 아직까지 이들 유산균의 병원성 미생물에 대한 항균활성 및 항균물질 특성에 관한 연구는 크게 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 병원성 미생물의 생장 억제에 대한 *L. sakei*와 *W. koreensis* 배양액의 항균활성에 대해서 연구하였다.

Materials and Methods

균주

유산균인 *Lactobacillus sakei* (*L. sakei*)는 (주)라이스텍 (Anseong, Korea)으로부터 공급받아 실험에 사용하였다. 그리고 *Weissella koreensis* (*W. koreensis*)는 (주)나라엔텍(Gongju, Korea)의 코리엔시스-H 제품을 구입하여 실험에 사용하였다. 병원성균인 *Escherichia coli* KCCM 11234, *Salmonella enteritidis* KCCM 3313, *Salmonella enteritidis* KCCM 12021, *Salmonella typhimurium* KCCM 40253, *Salmonella typhimurium* KCCM 15는 한국 미생물보존센터(KCCM)로부터 구입하여 사용하였다.

배지

*L. sakei*와 *W. koreensis*의 배양배지는 De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) broth (Difco, USA)를 사용하였다. 병원

성 균인 *E. coli* KCCM 11234는 Luria-Bertani (LB) broth (Difco, USA)를 사용하였고, *S. enteritidis* KCCM 3313, *S. enteritidis* KCCM 12021, *S. typhimurium* KCCM 40253, 그리고 *S. typhimurium* KCCM 15는 Brain Heart Infusion (BHI) broth (Difco, USA)를 사용하였다.

유산균 유래 분비물질

*W. koreensis*와 *L. sakei*는 MRS broth를 이용하여 30℃ 배양기(Vision, Korea)에서 48시간 배양하였다. 배양이 끝난 배양액을 얼음 위에서 20분간 정치 후, 원심분리기(Hanil, Korea)로 4℃에서 4,000 rpm으로 25분간 원심분리 하였다. 얻어진 상징액은 0.22 μm Syringe filter로 필터링하여 -20℃에 냉동 보관하면서 실험에 사용하였다.

Paper disc법에 의한 항균

*L. sakei*와 *W. koreensis*의 배양액에 병원성균에 대한 생육억제 능력 여부를 확인하기 위해서 paper disc 방법을 이용하였다. 멸균된 20 mL의 LB agar (0.7%)와 20 mL BHI agar (0.7%)를 50℃까지 온도를 낮춘 후, 각각 *E. coli* KCCM 11234와 *Salmonella* (*S. enteritidis* KCCM 3313, *S. enteritidis* KCCM 12021, *S. typhimurium* KCCM 40253, *S. typhimurium* KCCM 15)균을 50 μL 접종하여 골고루 혼합 시킨 뒤 petri dish에 부어 굳혔다. 그리고 난 후, 굳어진 LB agar와 BHI agar에 멸균된 paper disc를 올려놓고, *L. sakei*와 *W. koreensis*의 준비된 분비액을 각각 농도별로(100, 50, 25, 12.5%) 흡수시킨 후, 37℃ 배양기에 배양하면서 미생물의 생육을 확인하였다.

유산균 유래 분비물질의 pH 안정성

*L. sakei*와 *W. koreensis*가 분비하는 물질이 pH 변화에 따라 항균활성이 동일하게 나타내는지를 확인하기 위하여 1N NaOH를 이용하여 각각 상징액을 pH 7과 9로 조정하여 항균실험을 수행하였다. 96 well plate에 조정된 상징액 20 μL와 증식 억제된 각각의 병원성균을 1% 접종하여 37℃에서 24시간 배양하면서 96 well plate reader를 이용하여 655 nm의 흡광도로 미생물의 생육을 측정하였다.

유산균 유래 분비물질의 열 안정성

*L. sakei*와 *W. koreensis*가 분비하는 물질이 열처리에 따라 항균활성이 동일하게 나타내는지를 확인하기 위하여 각각의 상징액을 65℃/30 min, 75℃/15 min, 85℃/10 min, 120℃/20 min간 열처리 하였다. 96 well plate에 열처리하지 않은 상징액 20 μL와 각각 다르게 열처리한 상징액 20 μL를 주입 후 증식 억제된 각각의 병원성 균을 1%씩 접종하여 37℃에서 24시간 배양하면서 96 well plate reader를 이용하여 655 nm의 흡광도로 미생물의 생육을 측정하였다.

HPLC를 이용한 유기산 분석

유기산의 정량 분석은 Shodex RS pak KC-LG column (8.0 mm의 ID × 50 mm)과 KC-811 column (8.0 mm의 ID × 300 mm), 그리고 UV/VIS검출기가 장착된 Agilent 1100 model HPLC system을 사용하여 수행하였다. 이동상 A 용액(용출액)은 3 mM perchloric acid 그리고 이동상 B 용액(반응 시약)은 0.2 mM의 BTB, 15 mM의 Na_2HPO_4, 2 mM의 NaOH 혼합물을 사용하였다. 유속은 A 용액과 B 용액 모두 0.7 mL/min으로 조정하였다. Column의 온도는 80℃이었고, 유기산의 검출파장은 440 nm로 설정하였다. Sample의 주입량은 10 μL이다.

통계처리

분석된 결과에 대한 통계처리는 SAS (Statistical Analysis System, 2001)를 이용하여 평균과 표준편차를 나타내었다.

Results and Discussion

Paper disc법에 의한 항균 활성

병원성균 *E. coli* KCCM 11234, *S. enteritidis* KCCM 3313, *S. enteritidis* KCCM 12021, *S. typhimurium* KCCM 40253, *S. typhimurium* KCCM 15에 대한 *L. sakei* 상징액과 *W. koreensis* 상징액의 농도별 항균활성은 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 1-A는 *E. coli* KCCM 11234의 생육에 대한 *L. sakei* 상징액의 농도별 항균활성을 나타낸 결과이다. 상징액 100%에서 강한 항균활성을 나타내었고, 50%에서는 미약하게 항균활성을 나타내었다. 그리고 25%와 12.5%에서는 항균환을 나타내지 않았다. Fig. 1-B는 *S. enteritidis* KCCM 12021에 대한 *L. sakei* 상징액의 농도별 항균활성을 나타낸 결과로 100%와 50%에서 강한 항균활성을 나타내었다. Fig. 1-C는 *S. typhimurium* KCCM 15에 대한 *L. sakei* 상징액의 농도별 항균활성을 나타낸 결과로 *S. enteritidis* KCCM 12021와 같이 100%와 50%에서 강한 항균활성을 나타내었다. 따라서 *L. sakei* 상징액에는 *E. coli* KCCM 11234, *S. enteritidis* KCCM 12021, 그리고 *S. typhimurium* KCCM 15에 대해서 생육 억제 인자가 있으며, 농도가 높을수록 항균활성이 강하게 나타났다. 그러나 *S. enteritidis* KCCM 3313과 *S. typhimurium* KCCM 40253에 대해서는 Fig. 1-D와 1-E에서 보는 바와 같이 모든 농도에서 항균활성을 나타내지 않았다.

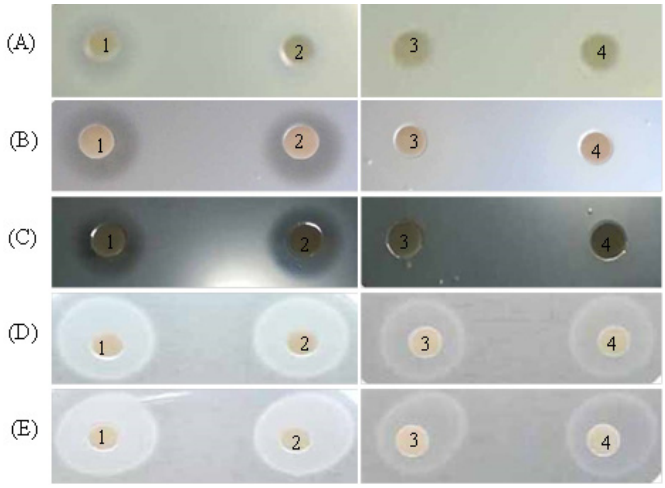

Fig. 1. Antibacterial activity against pathogenic bacteria using the supernatant cultured for 48 h of *Lactobacillus sakei*. A; *E. coli* KCCM 11234, B; *S. enteritidis* KCCM 12021, C; *S. typhimurium* KCCM 15, D; *S. enteritidis* KCCM 3313, E; *S. typhimurium* KCCM 40253. 1; 100% supernatant, 2; 50% supernatant, 3; 25% supernatant, 4; 12.5% supernatant.

W. koreensis 상징액을 paper disc에 흡수시킨 후 병원성균의 억제효과를 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2-A에서 보는 바와 같이 *E. coli* KCCM 11234에 대한 *W. koreensis* 상징액의 농도별 항균활성을 나타낸 결과이다. 상징액 100%에서 강한 항균활성을 나타내었고, 나머지 농도에서는 항균환을 나타내지 않았다. Fig. 2-B는 *S. enteritidis* KCCM 12021에 대한 *W. koreensis* 상징액의 농도별 항균활성을 나타낸 결과로 100%에서 약간의 항균활성을 나타내었다. 그러나 Fig. 1-C, D, E에서 보는바와 같이 *S. typhimurium* KCCM 15, *S. enteritidis* KCCM 3313, 그리고 *S. typhimurium* KCCM 40253에 대해서는 *W. koreensis* 상징액이 항균활성을 나타내지 않았다.

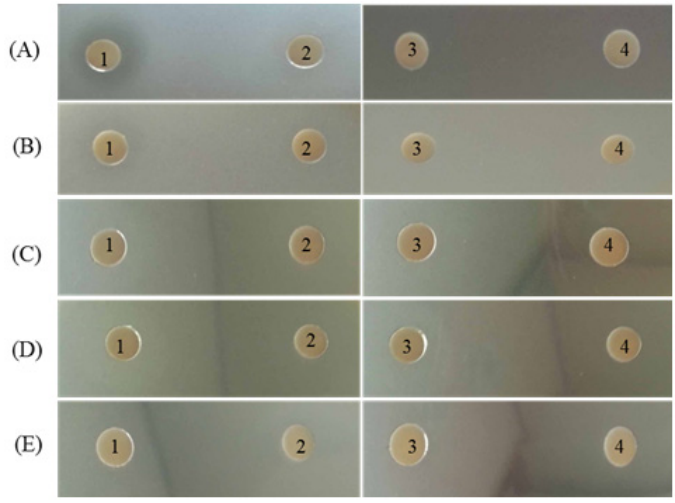

Fig. 2. Antibacterial activity against pathogenic bacteria using the supernatant cultured for 48 h of *Weissella koreensis* A; *E. coli* KCCM 11234, B; *S. enteritidis* KCCM 12021, C; *S. typhimurium* KCCM 15, D; *S. enteritidis* KCCM 3313, E; *S. typhimurium* KCCM 40253. 1; 100% supernatant, 2; 50% supernatant, 3; 25% supernatant, 4; 12.5% supernatant..

유산균 유래 분비물질의 pH 안정성 및 열안정성

*L. sakei*와 *W. koreensis* 유래 상징액의 항균활성이 pH 변화와 열에 대한 안정성 여부를 확인한 결과는 Fig. 3과 4와 같다. Fig. 3-A-1과 3-A-2는 각각 *L. sakei* 상징액의 *E. coli* KCCM 11234에 대한 항균물질의 pH 안정성과 열 안정성을 나타낸 결과이다. *L. sakei* 상징액의 *E. coli* KCCM 11234에 대한 항균활성은 대조구(pH 4.01)에서 생육억제를 보여주었지만, pH 7과 9로 조정된 상징액에서는 생육억제 활성이 나타나지 않았다. 그러나 상징액을 65℃/30 min, 75℃/15 min, 85℃/10 min, 그리고 120℃/20 min 열처리한 모든 처리구는 열처리하지 않은 대조구와 같은 항균활성을 나타내었다. 그리고 *L. sakei* 상징액의 *S. enteritidis* KCCM 12021와 *S. typhimurium* KCCM 15에 대한 항균물질의 pH 안정성(Fig. 3-B-1과 Fig. 3-C-1)과 열 안정성(Fig. 3-B-2와 Fig. 3-C-2)은 *E. coli* KCCM 11234의 결과와 같이, pH 변화에 대해서는 항균활성을 나타내지 않았으나, 다양한 온도에서 열처리한 시험구는 대조구(비열처리)와 같은 항균활성을 나타내었다.

한편, *W. koreensis* 상징액의 *E. coli* KCCM 11234과 *S. enteritidis* KCCM 12021에 대한 항균물질의 pH 안정성(Fig. 4-A-1과 Fig. 4-B-1)과 열 안정성(Fig. 4-A-2와 Fig. 4-B-2)은 *L. sakei* 상징액의 결과와 같이 두 균주 모두 pH 변화에 대해서는 항균활성을 나타내지 않았으나, 다양한 온도에서 열처리한 시험구는 대조구(비열처리)와 같이 항균활성을 나타내었다.

HPLC를 이용한 유기산 분석

병원성 미생물의 생장에 영향을 미치는 유산균 *L. sakei*와 *W. koreensis* 상징액의 유기산 분석을 수행한 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5-A는 *L. sakei* 상징액의 chromatogram을 나타낸 것이다. *L. sakei* 상징액으로부터 검출된 유기산은 각각 phosphoric acid (953.8 mg/L), citric acid (1371.8 mg/L), succinic acid (61.7 mg/L), lactic acid (14725.2 mg/L), formic acid (61.6 mg/L), acetic acid (3592.2 mg/L), pyroglutamic acid (319.2 mg/L)로 정량되었다. 한편 *W. koreensis* 상징액으로부터 검출된 유기산은 각각 phosphoric acid (926.7 mg/L), citric acid (1368.5 mg/L), succinic acid (47.8 mg/L), lactic acid (7790.7 mg/L), formic acid (56 mg/L), acetic acid (344.8 mg/L), pyroglutamic acid (238.9 mg/L)로 정량되었다(Fig. 5-B).

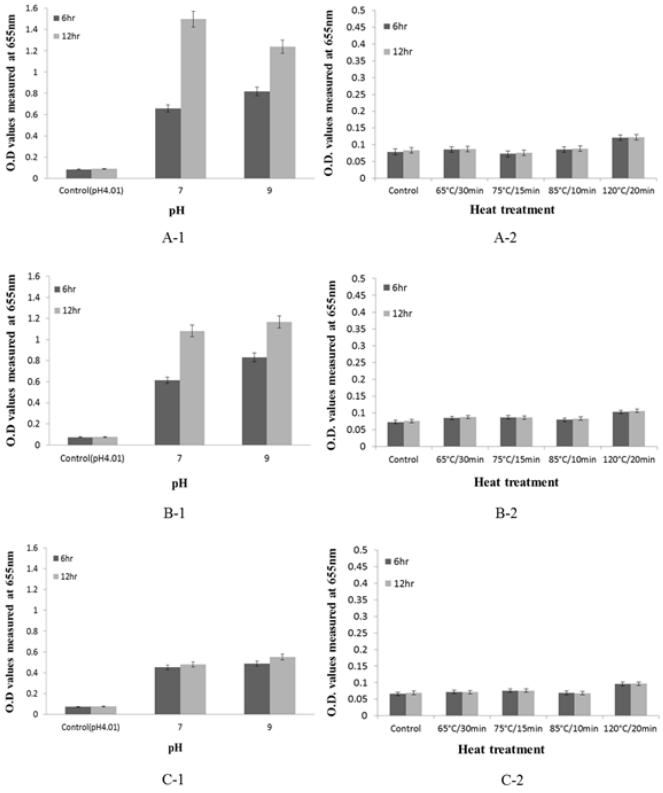

Fig. 3. Antibacterial activity against pathogenic bacteria for pH exchanges and heat treatment of the supernatant cultured for 48 h of *Lactobacillus sakei*. A (1, 2); *E. coli* KCCM 11234, B (1, 2); *S. enteritidis* KCCM 12021, C (1, 2); *S. typhimurium* KCCM 15. Control; pH 4.01 (A-1, B-1, C-1), unheated (A-2, B-2, C-2).

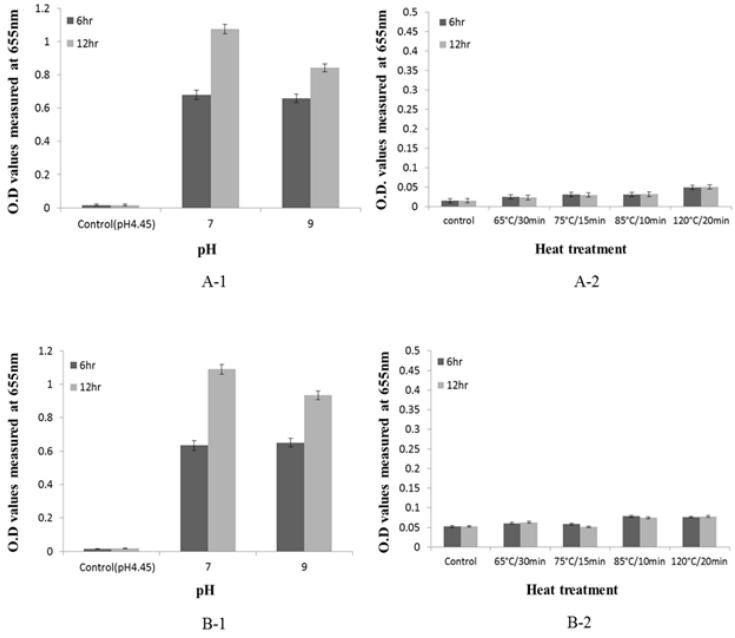

Fig. 4. Antibacterial activity against pathogenic bacteria for pH exchanges and heat treatment of the supernatant cultured for 48 h of *Weissella koreensis*. A (1, 2); *E. coli* KCCM 11234, B (1, 2); *S. enteritidis* KCCM 12021. Control; pH 4.45 (A-1, B-1), unheated (A-2, B-2).

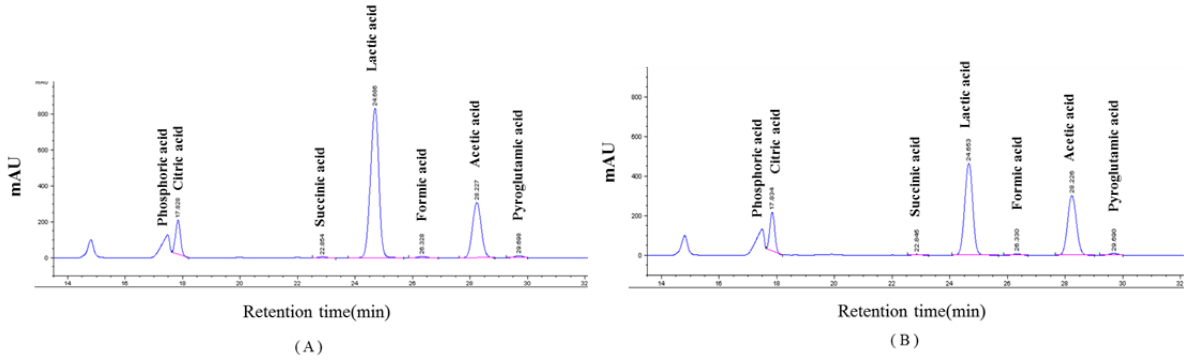

Fig. 5. Chromatogram of organic acids on the supernatant of *Lactobacillus sakei* (A) and *Weissella koreensis* (B) at 440 nm.

*Weissella*속 균들은 김치 발효소시지, 발효식품, 사람과 동물의 소화관 등 다양한 자연환경에서 검출된다. Lee et al. (2011)은 *Weissella*속 9종 균주의 PCR검출법을 이용하여 국산과 중국산 김치 판별에 대한 연구를 수행한 결과 *W. soli*가 유일하게 중국산 김치에서 발견되어 원산지 판별법으로의 가능성을 제시하였다. Park et al. (2001)은 *Weissella paramesenteroides*가 유산을 포함한 유기산, CO_2, 에탄올을 생산하기 때문에 김치의 관능을 좌우하는 중요한 역할을 한다고 보고하였다. Lee (2004)는 *Weissella confusa* strain PL9001이 *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, 그리고 vancomycin- resistant *Enterococcus faecium* (VRE)을 포함하는 비뇨생식기 감염균의 생장을 억제하였다고 보고하였다. Nam et al. (2002)은 *Weissella confusa* strain PL9001이 위에서 암을 유발하는 *Helicobacter pylori*의 생장을 억제하고, gastric epithelial cell에 부착하는 것을 방해한다고 보고하였다. 또한 Lee (2006)는 *Weissella kimchii* PL9001이 *Streptococcus mutans*의 생장을 억제하였다고 보고하였다.

한편 *L. sakei*의 병원성균에 대한 항균활성 효과는 여러 연구자에 의해서 보고되었다. Kim et al. (2004)은 김치로부터 *L. sakei* P3-1을 분리 동정하여 *Listeria monocytogenes*의 생육억제에 대해서 보고 하였는데, 억제물질은 박테리오신이라고 하였다. 또한 Ahn et al. (2012)도 김치로부터 *L. sakei* B16을 분리하여 이들로부터 박테리오신의 특성을 보고하였다. 그러나 박테리오신 이외에 유기산의 병원성 미생물에 대한 항균활성의 연구 보고도 있다. 유기산에 의한 생장억제 효과는 Huh and Hwang (2016)이 보고하였다. 이들은 *Penicillium brevicompactum* strain F102의 생장에 대하여 *L. sakei*의 분비물질이 강한 억제효과를 나타내었다고 하였는데 이러한 항균활성은 유기산이라고 하였다. 또한, 병원성균에 대한 유기산의 첨가에 따른 미생물의 생육저해 물질에 대한 연구가 많이 보고되어 왔다. Jang et al. (2009)은 장염 비브리오성 식중독을 일으키는 *Vibrio parahaemolyticus*에 대한 유기산의 증식억제 효과를 보고하였다. 그리고 Moon and Um (2014)은 흑액 유래 유기산(초산, 젖산, 포름산)이 *Escherichia coli* MG 1665의 성장이 강하게 억제하였다고 보고하였다. 더욱이, Lin et al. (2002)와 Jang et al. (2005)도 유기산의 병용처리가 식중독균에 대한 증식억제 효과가 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구를 통해 *L. sakei*와 *W. koreensis*에 의해 생산된 유기산은 병원성 미생물에 대한 강한 항균활성을 나타내었다. 더욱이 이들 유기산은 식품산업에 있어 병원성균의 생장을 억제시켜 식품의 저장성과 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Conclusion

본 연구는 병원성 미생물의 생육 억제에 대한 *L. sakei*와 *W. koreensis*의 배양 상징액으로부터 항균활성을 확인하였다. 그 결과, *L. sakei* 상징액의 경우 *E. coli* KCCM 11234, *S. enteritidis* KCCM 12021, 그리고 *S. typhimurium* KCCM 15의 생육에 대하여 항균활성이 확인되었다. *W. koreensis* 상징액의 경우, *E. coli* KCCM 11234와 *S.*

enteritidis KCCM 12021에 대해서 항균활성을 보여주었다. 이 병원성균에 대한 항균물질이 pH 변화와 열에 대하여 안정성을 나타내는지 확인하였다. 그 결과 *L. sakei*와 *W. koreensis* 상징액의 pH변화는 항균활성을 보인 병원성균에 대하여 항균활성을 나타내지 않았다. 그리고 *L. sakei* 상징액과 *W. koreensis* 상징액의 열에 대한 안정성 연구를 수행한 결과, 각각의 온도와 시간에서 열처리한 *L. sakei* 상징액과 *W. koreensis* 상징액은 항균활성이 비열처리구와 같은 항균활성을 나타내었다. 또한 *L. sakei*와 *W. koreensis* 상징액의 유기산분석결과 phosphoric acid, citric acid, succinic acid, lactic acid, formic acid, acetic acid, pyroglutamic acid로 분석되었다. 이상의 결과로부터 상징액의 병원성균에 대한 항균작용은 박테리오신 같은 단백질보다는 다양한 유기산의 작용에 의한 것으로 확인되었다.

References

Ahn JE, Kim JK, Lee HR, Eom HJ, Han NS. 2012. Isolation and characterization of a bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* B16 from kimchi. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 41:721-726. [in Korean]

Bouhnik Y, Attar A, Joly FA, Riottot M, Dyard F, Flourié B. 2004. Lactulose ingestion increases faecal bifidobacterial counts: a randomised double-blind study in healthy humans. European Journal of Clinical Nutrition 58:462-466.

Chaillou S, Champomier-Vergès MC, Cornet M, Crutz-Le Coq AM, Dudez AM, Martin V, Beaufils S, Darbon-Rongère E, Bossy R, Loux V, Zaqorec M. 2005. The complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. Nature Biotechnology 23:1527-1533.

Cho JH, Lee DY, Yang CN, Jeon JI, Kim JH, Han HU. 2006. Microbial population dynamics of kimchi, a fermented cabbage product. FEMS Microbiology Letters 257: 262-267.

Collins M, Samelis J, Metaxopoulos J, Wallbanks S. 1993. Taxonomic studies of some *Leuconostoc*-like organisms from fermented sausage: description of a new genus *Weissella* for the *Leuconostoc paramesenteroides* group of species. The Journal of Applied Bacteriology 75:595-603.

Corsetti A, Gobbetti M, Rossi J, Damiani P. 1998. Antimould activity of sourdough lactic acid bacteria: identification of a mixture of organic acids produced by *Lactobacillus Sanfrancisco* CB1. Applied Microbiology and Biotechnology 50:253-256.

de Vos WM, Vauqhan EE. 1994. Genetics of lactose utilization in lactic acid bacteria. FEMS Microbiology Reviews 15:217-237.

Femández MF, Boris S, Barbès C. 2003. Probiotic properties of human *Lactobacilli* strains to be used in the gastrointestinal tract. Journal of Applied Microbiology 94:449-455.

Hugenholtz J. 1993. Citrate metabolism in lactic acid bacteria. FEMS Microbiology Reviews 12:165-178.

Huh CK, Hwang TY. 2016. Identification of antifungal substances of *Lactobacillus sakei* subsp. ALI033 and antifungal activity against *Penicillium brevicompactum* strain FI02. Preventive Nutrition and Food Science. 21:52-56.

Jang JS, Go JM, Kim YH. 2005. Inhibitory effect of *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* by lactic acid and hydrogen peroxide. Journal of Environmental Health Sciences 31:115-119. [in Korean]

Jang JS, Kim YH, Yoon BJ. 2009. Antimicrobial effect of organic acid and distribution of *Vibrio parahaemolyticus* from the Incheon adjacent sea. Journal of Environmental Health Sciences 35: 209-213. [in Korean]

Kim HT, Park JY, Lee GG, Kim JH. 2004. Isolation of bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* strain from kimchi. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 33:560-565. [in Korean]

Klaenhammer TR. 1988. Bacteriocins of lactic acid bacteria. Biochimie 70:337-349.

Lee DY, Kim SJ, Cho JH, Kim JH. 2008. Microbial population dynamics and temperature changes during fermentation of kimjang kimchi. Journal of Microbiology 46:590-593.

Lee JS, Lee KC, Ahn JS, Mheen TI, Pyun YR, Park YH. 2002. *Weissella koreensis* sp. nov., isolated from kimchi. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 52:1257-1261.

Lee KW, Park JY, Chun JY, Nam NS, Kim JH. 2010. Importance of *Weissella* species during kimchi fermentation and future works. Korean Journal of Microbiology and Biotechnology 38:341-348. [in Korean]

Lee MJ, Cho KH, Han ES, Lee JH. 2011. Development and application of PCR-based *Weissella* species detection method with *recN* gene targeted species specific primers. Korean Journal of Microbiology and Biotechnology 39:70-76. [in Korean]

Lee YH. 2004. *Weissella confusa* strain PL9001 inhibits growth and adherence of genitourinary pathogens. Journal of Microbiology and Biotechnology 14:680-685.

Lee YH. 2006. Promotion of bone nodule formation and inhibition of growth and invasion of *Streptococcus mutans* by *Weissella kimchii* PL9001. Journal of Microbiology and Biotechnology 16:531-537.

Lin CM, Moon SS, Doyle MP, McWatters KH. 2002. Inactivation of *E. coli* O157:H7, *Salmonella enteritica serotype enteritidis, Listeria monocytogenes* on lettuce by hydrogen peroxide and lactic acid and hydrogen peroxide with mild heat. Journal of Food Protection 65:1215-1220.

Lindgren SE, Dobroqosz WJ. 1990. Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentations. FEMS Microbiology Reviews 7:149-163.

Majamaa H, Isolauri E, Saxelin M, Vesikari T. 1995. Lactic acid bacteria in the treatment of acute rotavirus gastroenteritis. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition 20:333-338.

Mangiapane E, Mazzoli R, Pessione A, Svensson B, Riedel K, Pessione E. 2015. Ten years of subproteome investigations in lactic acid bacteria: A key for food starter and probiotic typing. Journal of Proteomics 127:332-339.

Marteau PR, de Vrese M, Cellier CJ, Schrezenmeir J. 2001. Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics. The American Journal of Clinical Nutrition 73:430S-436S.

Moon JK, Um BH. 2014. Effects of organic acids derived from black liquor on growth of selected *Escherichia coli* MG 1655. Journal of Korean Wood Science Technology 42:758-767. [in Korean]

Nam HR, Ha MS, Bae O, Lee YH. 2002. Effect of *Weissella confusa* strain PL9001 on the adherence and growth of *Helicobacter pylori*. Applied and Environmental Microbiology 68:4642-4645.

Park HJ, Park YH, Kim YB. 2001. Characterization of growth and ethanol formation of *Weissella paramesenteroides* P_{30}. Food Science and Biotechnology 10:72-75.

Park YS, Chang HG. 2003. Lactic acid fermentation and biological activities of *Rubus coreanus*. Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry 46:367-375. [in Korean]

Ryan LA, Dal Bello F, Arendt EK. 2008. The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. International Journal of Food Microbiology 125:274-278.

SAS. SAS User`s Guide. 2001. Statistical Analysis System Institute. Cary, NC, USA.