



김치로부터 분리된 유산균이 생산하는 박테리오신의 특성

이현진¹ · 최학종² · 서명지^{1,3*}

¹인천대학교 대학원 생명과학과, ²세계김치연구소 대사기능성연구단, ³인천대학교 생명공학부

Characteristics of Bacteriocins by Lactic Acid Bacteria Isolated from Kimchi

Hyunjin Lee¹, Hak-Jong Choi², and Myung-Ji Seo^{1,3*}

¹Department of Life Sciences, Graduate School of Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

²Metabolism and Functionality Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 503-360, Korea

³Division of Bioengineering, Incheon National University, Incheon 406-722, Korea

Abstract: Kimchi is a traditional Korean fermented vegetable product, which is fermented by various lactic acid bacteria (LAB) including the genera *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, and *Pediococcus*. Until now several bacteriocins produced by LAB from kimchi have been isolated and described. Most of these bacteriocins were screened using *Lactobacillus plantarum* as an indicator strain probably due to the application of bacteriocin to control acid-producing bacteria during kimchi fermentation. They were active against Gram-positive bacteria including LAB and foodborne pathogens, such as *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. Interestingly, however, some bacteriocins exhibited the antimicrobial activity against *E. coli* and *Salmonella* Typhimurium. On the basis of their biochemical properties and low molecular weight, majority of the bacteriocins could be classified into the class II bacteriocin. In this review, we summarize the present knowledge on the classification of bacteriocins and discuss the characteristics of bacteriocins produced by LAB from kimchi.

Keywords: Kimchi, lactic acid bacteria, bacteriocins, antimicrobial peptides, biopreservatives

서 론

우리나라의 대표적인 전통발효식품인 김치는 여러 종류의 유산균이 토양 또는 김치의 원·부재료로부터 유입되어 발효된다. 김치 발효에는 *Leuconostoc*, *Weissella*, *Lactobacillus* 및 *Pediococcus* 속 등 100여 종 이상의 유산균들이 관여한다고 알려져 있으며, 근래에도 새로운 유산균종이 국내학자에 의하여 발견되고 있다(Lee *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013). 이들 유산균은 탄수화물을 혐기적으로 이용하여 젖산을 식품의 저장성을 향상시키며, 식품의 향미와 조직을 개선한다. 발효식품을 통하여 섭취된 유산균은 장내로 유입된 후 장내 상피세포에 착생하게 되어 병원성 미생물의 저해 및 길항작용, 면역활성의 증진, 암 발생률의 감소, 그리고 발암 원인성 효소의 감소 등 숙주동물에 많은 도움을 준다. 따라서 유산균은 동서양을 막론하고 유제품, 육제

품, 침채류 및 각종 젓갈류의 가공에 유용한 보존 수단뿐만 아니라 프로바이오틱스로도 이용되고 있다(Schillinger and Lücke, 1989; Lindgen and Dobrogosz, 1990). 유산균이 여러 부패성 미생물 및 병원성 미생물에 대하여 생육억제 작용을 갖는 것은 몇 가지 유산균이 갖는 대사적인 특성 때문이다. 첫째, 유산균이 생산하는 젖산 및 초산과 같은 유기산은 중성 및 알칼리성에서 잘 생육하는 미생물에 대하여 bactericidal 작용을 가지며 강한 항균활성을 나타낸다. 둘째, 유산균이 호기적 조건에서 생육할 경우에 flavo-protein oxidase나 NADH peroxidase의 활성에 따른 과산화수소의 생성은 catalase 음성인 여러 균종들에 대하여 항균활성을 갖는다. 셋째, 유산균 발효제품의 대표적인 향미 성분 중의 하나인 diacetyl은 pH와 상호작용하여 그람 음성균과 효모에 대하여 강한 생육저해를 나타낸다(Dahiya and Speck, 1968; Daeschel, 1989). 넷째, 유산균 종들 사이에 널리 분포되어 생산되고 있는 박테리오신 역시 미생물의 생육을 저해한다(Klaenhammer, 1988).

박테리오신은 세균이 생산하는 단백질 또는 단백질계의 물질로 일반적으로 생산하는 세균과 형태·계통학적으로 유사한 균종에 대하여 bactericidal 활성을 갖는 물질을 말한다(Tagg *et al.*, 1976) 그러나 위와 같은 정의에 예외적인

*Corresponding author: Myung-ji Seo, Division of Bioengineering, Incheon National University, Incheon 406-722, Korea.
Tel: 82-32-835-8267, Fax: 82-32-835-0804
E-mail: mjseo@incheon.ac.kr

Received December 2, 2013; Revised January 3, 2014;

Accepted January 7, 2014

박테리오신이 많이 분리, 보고되고 있으므로 Konisky(1982)는 박테리오신이란 단백질계 물질이며, 생산하는 모균주가 면역에 관계되는 단백질을 합성하여 그것에 의해 사멸되지 않는 물질로 다시 결론지었다. 일반적인 항생제와 박테리오신의 차이점은 첫째, 항생제가 2차 대사산물인데 반하여 박테리오신은 자신의 유전자로부터 직접 생합성되는 것이다(Jack *et al.*, 1995). 따라서 박테리오신의 경우 유전자 분석 및 조작을 통하여 분자적 수준에서의 생산량을 최대화하는데 용이할 뿐만 아니라 분자적 변이를 통하여 특성이 더욱 우수한 박테리오신을 합성할 수 있다. 둘째, 항생제의 경우 사람에게 투여 시 부작용이 있다는 단점이 있으나 박테리오신의 경우 천연 항균단백질로서 사람의 소화기관에 존재하는 단백질 가수분해 효소에 의하여 분해, 흡수된다는 것이다. 이러한 측면에서 볼 때 박테리오신은 식품의 새로운 생물보존제(biopreservative) 내지는 발효식품의 생물제어제(bioregulator)로 그 효용이 크게 기대되고 있다. 박테리오신이 살균 작용을 갖는 것은 세포막에 pore를 형성하여 proton motive force를 붕괴, 아미노산 transport를 저해, 그리고 세포 내에 축적된 아미노산을 세포 밖으로 방출시킴으로써 미생물의 생육을 저해하는 것이다(Abee, 1995). 지금까지 유산균이 생산하는 박테리오신에 대한 연구는 cheese starter 균주인 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*가 생산하는 nisin이 Mattick과 Hirsch(1947)에 의하여 보고되면서부터 유산균 속으로 알려진 *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Carnobacterium* 및 *Weissella* 속에서 다양한 종류의 박테리오신이 분리, 보고되었다(De Vuyst and Leroy, 2007; Srionnual *et al.*, 2007; Papagianni and Anastasiadou, 2009). 본 총설에서는 박테리오신의 분류, 김치에서 분리된 유산균이 생산하는 박테리오신의 종류 및 이들의 생화학적, 유전학적 특성을 기술하고자 한다.

박테리오신의 분류

유산균이 생산하는 박테리오신은 정제 기술과 분자생물학적 기법의 급속한 발전에 따라 분자적 해명이 이루어졌다. 이를 토대로 하여 Klaenhammer(1993)는 유산균이 생산하는 박테리오신을 분자적 특성에 따라 다음과 같이 4가지로 분류했다. Class I은 lantibiotics로 serine 및 threonine이 cysteine과 함께 번역 후 변이(post-translational modification)에 의하여 생성되는 독특한 아미노산인 lanthionine과 β -methyllanthionine을 함유하는 박테리오신을 말하며, 대표적 박테리오신인 nisin이 여기에 속한다(Jack and Jung, 2000; Gunder *et al.*, 2000). Class II는 lanthionine을 함유하지 않는 분자량이 10 kDa 미만인 것으로 지금까지 보고된 많은 박테리오신들이 여기에 속한다. 이들은 비교적 열에 안정한 특성을 가졌으며, 다시 4가지 작은 class로 나뉜다(Nes and Holo, 2000). Class IIa로는 *Pediococcus acidilactici*가

생산하는 pediocin과 유사한 박테리오신으로 *Listeria*에 대하여 강한 항균활성을 나타내며, N-말단 아미노산 서열에 -Tyr-Gly-Asn-Gly-Xaa-Cys-와 같은 상동부위를 가진다(Ennahar *et al.*, 2000). Class IIb는 항균작용이 두 가지의 peptide가 서로 상보적인 작용을 통해 나타나는 박테리오신을 의미하며(Jimenez-Diaz *et al.*, 1993), Class IIc는 비교적 근래에 분리된 박테리오신으로 단백질 구조가 환형(circular)을 갖는 박테리오신이 여기에 속한다(Masuda *et al.*, 2012). 최근까지 class II 박테리오신의 경우 N-말단 아미노산 앞쪽의 서열(leader sequence)에 Gly-Gly의 motif를 가진 것으로 알려졌으며, 이는 박테리오신의 세포 외 분비 시 ABC transport system가 관여하는 것으로 보고되었다. 그러나 divergicin A(Worobo *et al.*, 1995)와 acidocin B(Leer *et al.*, 1995)의 경우 Gly-Gly motif를 갖지 않으며, *E. coli*의 단백질 분비 시스템인 sec-의존성 분비와 유사한 sec-의존성 신호 서열(sec-dependent signal sequence)을 갖는 것이 보고됨에 따라, 이 두 박테리오신을 네 번째 subclass인 class IId로 분류하였다. 그러나 현재까지 많은 class II 박테리오신이 분리, 보고되면서 위의 특징에도 속하지 않는 저분자량의 박테리오신들이 분리됨에 따라 class IId는 class IIa, class IIb 및 class IIc에도 속하지 않는 박테리오신들 통틀어서 class IId로 분류하게 되었다(Nes and Holo, 2000). Class III는 분자량이 30 kDa 이상인 열에 불안정한(heat-labile) 박테리오신이며, class IV는 박테리오신의 활성 부위가 단백질에 탄수화물 또는 지방이 결합된 박테리오신으로 plantaricin S(Jimenez-Diaz *et al.*, 1993)가 여기에 속한다. 그러나 지금까지 여기에 속하는 박테리오신의 분자적 해명은 불충분한 상태이며, plantaricin S의 경우 정제를 통하여 오로지 peptide로만 구성된 박테리오신임을 확인함에 따라 Nes 등(1996)은 class IV 박테리오신의 경우 분류하는데 있어서 재검토가 있어야 한다고 지적하였다. 하지만 비교적 최근에 *Bacillus subtilis*가 생산하는 sublancin의 경우 박테리오신 분자의 cysteine 잔기가 포도당과 S-결합된 것으로 나타났다(Man *et al.*, 2011).

김치 유산균이 생산하는 박테리오신

우리나라의 경우 김치, 장류 및 젓갈류 등 전통적으로 자연의 미생물을 이용한 발효식품이 전세계 어떤 나라보다도 더 풍부할 뿐만 아니라 이들 식품이 국민건강을 좌우하는 주요 기초식품을 이루고 있다. 특히, 김치의 경우 앞에서 기술한 바와 같이 다양한 유산균에 의하여 발효가 진행되므로 1990년대 이후로 국내 연구자들에 의하여 박테리오신을 생산하는 유산균이 분리·보고되기 시작하였다.

Lactococcus 속 박테리오신

Lee 등(1999)는 김치에서 박테리오신을 생산하는 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* H-559를 분리하였으며, 박테리오신이 *Listeria monocytogenes* 및 *Staphylococcus aureus*에 대하여 항균활성을 나타내고, 비교적 넓은 pH(2~11) 및 고온(100°C)에서도 활성을 유지한다고 보고하였다. 또한 본 박테리오신을 황산암모늄 침전법과 이온교환수지 크로마토그래피 및 HPLC로 정제한 후 분자량을 MALDI-mass spectrometry로 측정한 결과 3343.7 Da으로 나타났다. 하지만 박테리오신의 N-말단 아미노산 서열을 Edman degradation 방법으로는 결정하였으나 첫 번째 아미노산이 isoleucine으로 검출되었을 뿐 잔여 아미노산의 서열은 Edman degradation 방법으로는 결정할 수 없다고 결론지었다. 이는 nisin의 성질과 유사한 결과로 nisin은 첫 번째 아미노산인 isoleucine이 후 상이한 아미노산인 dehydrobutyrine이 뒤따르고 있어 보통 Edman degradation 방법으로는 아미노산 서열을 결정할 수 없다. 따라서 김치에서 분리한 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* H-559 균주가 생산하는 박테리오신은 nisin과 매우 유사함을 시사한다. 이와 유사하게 김치 분리 균주인 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* A164가 생산하는 박테리오신의 구조유전자를 PCR 법으로 분석한 결과 nisin Z 생산 균주로 나타났다(Choi et al., 2000; Cheigh et al., 2002). 이러한 연구들로 미루어 봤을 때, 김치에는 nisin을 생산하는 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 균주가 존재하며(Park et al., 2003), 이들이 김치의 발효에 직간접적으로 관여한다고 생각된다. Choi 등(2004)은 김치로부터 박테리오신을 생산하는 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* YH-10 균주를 분리하였는데 이는 유산균들뿐만 아니라 그람음성균인 *Pseudomonas syringae* 및 *Acetobacter aceti*의 생육을 저해하는 것으로 나타났다. 본 박테리오신의 분자량을 SDS-PAGE로 결정한 결과 약 14 kDa이었으며, 박테리오신의 활성이 amylase에 의하여 소실됨으로 미루어 보아 nisin과는 다른 특성을 나타내어 신규 박테리오신 lacticin YH-10으로 명명하였다. 하지만 이를 확인하기 위하여는 박테리오신의 생화학적, 유전학적 해명이 필요하다 판단된다. Park 등(2004)은 김치에서 분리한 *Lactococcus* sp. CU216 균주가 생산하는 박테리오신이 열과 산에 저항성이 높으며 포자를 형성하는 *Alicyclobacillus* 균주를 포함한 그람양성균에 대하여 높은 항균 활성을 나타낸다고 보고하였으며, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* KC24 균주가 생산하는 박테리오신의 경우 *Listeria monocytogenes*에 대하여 nisin보다 훨씬 높은 항균활성을 나타내므로 bacteriocin KC24라 명명하기도 하였다(Han et al., 2013). 이외에도 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* BH5가 생산하는 박테리오신인 lacticin BH5가 보고되기도 하였으나(Hur et al., 2000), 박테리오신의 아미노산 서열 및 유전학적 해명은 이루어지지 않았다.

Lactobacillus 속 박테리오신

일반적으로 김치 발효는 초기에 *Leuconostoc mesenteroides*가 우점을 하면서 이산화탄소를 생산하여 혐기적 조건을 만들게 되고, 발효 중기에 접어들면서 *Weissella cibaria* 또는 *Weissella koreensis*가 주를 이루면서 서서히 pH를 낮춘다. *Lactobacillus* 속 균들은 발효 말기에 pH가 4.0 이하로 접어들면서부터 관여하는데, 김치에 높은 빈도로 존재하는 *Lactobacillus* 속 유산균 종류는 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei* 및 *Lactobacillus brevis*가 있으며, 지금까지 이들이 생산하는 박테리오신이 보고되었다. Kim 등(2004)은 *Lactobacillus plantarum* 및 *Listeria monocytogenes*에 대하여 항균활성을 갖는 *Lactobacillus sakei* P3-1 균주를 분리하였으며, 이들의 배양상등액에 proteinase K를 처리하였을 시 항균활성이 사라지는 것으로 보아 항균활성물질이 박테리오신이라 하였다. 이를 양이온수지교환 크로마토그래피를 이용하여 부분 정제하여 SDS-PAGE로 분자량을 검토한 결과 대략 4 kDa임을 알 수 있었으며, 이를 토대로 본 박테리오신은 class IIa에 속한다고 추정하였다. Moon 등(2011)은 치아우식증 원인균인 *Streptococcus mutans*에 대한 항균활성을 갖는 *Lactobacillus sakei* K7를 분리하였으며, 단백질분해효소 처리 시 항균활성이 소실되는 특성을 나타내어 항균물질이 박테리오신임을 규명하였다. 본 박테리오신은 60-100°C까지 활성을 유지하였으며, pH와 유기 용매에 대해서도 비교적 안정한 성질을 나타내었다. 이외에도 김치 분리 유산균인 *Lactobacillus sakei* B16 균주는 여러 그람양성균에 대하여 항균활성을 나타내는 박테리오신을 생산하며, 특이하게도 *Salmonella* Typhimurium 및 *E. coli* KCTC 1467와 같은 그람음성균에 대하여도 항균활성을 나타내었다. 본 박테리오신과 sakacin P와의 유사성을 알아보기 위하여 PCR로 박테리오신 유전자cluster를 증폭한 결과 sakacin P와 동일함을 알 수 있었다(Ahn et al., 2012). Lee 등(2007)은 김치로부터 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* 및 *Enterococcus faecalis*에 대하여 항균활성을 나타내는 박테리오신 생산 균주인 *Lactobacillus paraplantarum* C7을 분리하였고, 이들이 생산하는 박테리오신을 DEAE-Sephacel 컬럼 크로마토그래피 및 C18 reverse-phase HPLC로 정제하여 28개의 아미노산 서열을 결정하였다. 아미노산 서열을 기초로 degenerate PCR primer를 제작하여 박테리오신 구조유전자를 분석한 결과 Gly-Gly motif를 갖는 class II의 신규 박테리오신임을 알 수 있으며, 박테리오신 생산에 관여하는 유전자 cluster가 plasmid가 아닌 chromosome DNA에 존재한다고 보고하였다. 이는 김치에서 분리한 유산균이 생산하는 신규 박테리오신에 대한 첫 연구논문으로 그 의미가 크다 할 수 있다. 김치에서 분리한 *Lactobacillus brevis* 925A 균주는 *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*

ccus, *Bacillus* 및 *Listeria* 속 균주에 대하여 항균활성을 나타내며, 박테리오신 유전자의 위치를 novobiocin을 이용한 plasmid curing 방법으로 결정한 결과 65 kb 크기의 plasmid에 존재하는 것을 알 수 있었다. 더 나아가서 정제 박테리오신의 부분 아미노산 서열과 박테리오신 구조유전자의 염기서열을 BLAST search로 비교한 결과 특이하게도 *Lactobacillus plantarum* TMW1.25 균주가 생산하는 박테리오신과 일치함을 알 수 있었다(Ehrmann *et al.*, 2000; Wada *et al.*, 2009). Chung 등(2010)은 고추잎김치로부터 *Bacillus cereus*를 포함한 그람양성균에 대하여 항균활성을 나타내는 박테리오신 생산균주인 *Lactobacillus plantarum* KK3을 분리하였다. 본 박테리오신은 열에 안정하였으며 pH 3.5-8.5의 범위까지 활성을 나타내는 성질을 나타내었다. 배추즙을 본 균주의 생육배지로 이용하여 박테리오신 생산을 검토한 결과 MRS 배지와 비슷한 수준의 박테리오신을 생산할 수 있었다. 하지만 *Lactobacillus plantarum* KK3이 생산하는 박테리오신이 기존에 보고된 *Lactobacillus plantarum*가 생산하는 박테리오신과 상동성을 검토하는 연구는 진행되지 않았다. 이외에도 동치미에서 분리한 *Lactobacillus plantarum* K11 균주가 생산하는 박테리오신의 경우 *E. coli* O157:H7를 포함한 장내세균에 대하여 bactericidal 활성을 나타내는 것으로 보고되기도 하였다(Lim and Im, 2007).

Leuconostoc 속 및 기타 박테리오신

Choi 등(1999)은 김치로부터 *Staphylococcus aureus*에 항균활성을 갖는 *Leuconostoc* sp. J2 균주를 분리하였으며, Tricine-SDS-PAGE로 박테리오신의 분자량을 측정한 결과 약 2.5-3.5 kDa임을 알 수 있었다. 또한 *Leuconostoc* sp. J2 균주가 보유하는 플라스미드의 2.5 kb-EcoRI 절편을 클로닝하여 *E. coli*에 형질전환 시킨 결과 *Staphylococcus aureus*에 항균활성을 갖는 재조합 *E. coli*를 얻을 수 있었다. Yang 등(2002)은 *Lactobacillus plantarum*에 대하여 항균활성을 나타내는 *Leuconostoc mesenteroides* B7를 분리하였으며, 본 박테리오신은 pH 및 열안정이 뛰어나 pH 2.5-9.5 그리고 4-120°C의 열처리에도 항균활성이 유지되는 특성을 나타내었다. 박테리오신의 분자량은 약 3.5 kDa이었으며, 특이하게도 박테리오신의 지시균으로 사용한 *Lactobacillus plantarum* KFRI 464 균주와 혼합배양 시 박테리오신 생산이 증가되는 현상이 나타나 박테리오신 생산 유도 물질이 감수성균주 내에 존재한다고 보고하였다. 이와 유사하게 김치에서 분리한 *Leuconostoc citreum* GJ7이 생산하는 박테리오신인 kimchicin GJ7 역시 *Lactobacillus plantarum* KFRI 464 균주에 의하여 생산이 촉진되기도 하였다(Chang *et al.*, 2007). Shin 등(2008)은 *Listeria monocytogenes* 및 *Staphylococcus aureus*에 대하여 항균활성을 나타내는 *Pediococcus*

pentosaceus K23-2를 김치로부터 분리하였으며, 본 박테리오신(pediocin K23-2)의 특성을 검토한 결과 박테리오신 활성은 pH, 열 및 유기용매 처리에도 소실되지 않았고, 정제된 박테리오신은 분자량이 약 5 kDa로 나타나 class IIa에 속한다고 보고하였다. 하지만 박테리오신의 아미노산 서열 결정을 이루어지지 않아 본 박테리오신과 다른 pediocin과의 상동성 여부는 조사되지 않았다. 김치에서 분리한 *Weissella* 속 유산균이 생산하는 박테리오신에 대한 연구는 비교적 많이 진행되지 않은 것으로 나타났는데, 김치에 높은 빈도로 *Weissella* 속 유산균이 존재하는 것을 볼 때 앞으로 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 현재까지 김치 유래 박테리오신의 생화학적 특성은 비교적 잘 파악되었으나, 박테리오신 생산에 관여하는 유전학적 연구는 많이 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 지금까지 분리된 박테리오신 중에 *Lactobacillus paraplantarum* C7가 생산하는 paraplantaricin C7만이 신규 박테리오신으로 보고되었으며, 대부분 nisin, pediocin 및 sakacin과 유사하거나 동일한 박테리오신으로 나타났다. 이는 김치에는 다양한 박테리오신 생산균주가 존재하며, 아직도 새로운 박테리오신을 생산하는 유산균이 존재한다는 것을 시사한다. 따라서 다양한 김치시료를 이용한 신규 박테리오신 생산균주의 탐색과 더불어 metagenome 정보를 통한 신규 박테리오신 유전자 mining 연구 역시 병행되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

김치는 한국을 대표하는 젓산발효식품으로 현재까지 김치에서 분리한 다양한 유산균종들이 생산하는 박테리오신에 대한 연구가 진행되어왔다. *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* 및 *Pediococcus* 속 균주들이 여기에 속하며, 특이한 점은 이들 김치 유래 박테리오신은 김치 산패균으로 알려진 *Lactobacillus plantarum*을 지시균으로 사용하여 대부분 탐색되었다. 이들 박테리오신은 유산균과 *Listeria monocytogenes*를 포함한 그람양성균에 대하여 항균활성을 나타냈으며, 이들 중 몇몇은 *E. coli* 및 *Salmonella* Typhimurium과 같은 그람음성균에 대하여도 항균활성을 나타냈다. 또한 이들이 생산하는 박테리오신은 대부분 class II에 속하는 저분자량의 박테리오신으로 pH 및 열에 매우 안정한 특성을 나타내었다. 하지만 이들 중 *Lactobacillus paraplantarum* C7가 생산하는 paraplantaricin C7만이 신규 박테리오신으로 이들 박테리오신의 아미노산 서열 분석 및 박테리오신 생산 유전자의 유전학적 해명은 비교적 잘 알려지지 않았다. 앞으로 다양한 종류의 김치 시료로부터 신규 박테리오신 생산 균주의 탐색 및 김치의 metagenome 정보를 기초로 한 신규 박테리오신 유전자 확보 등의 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- Abee T (1995) Pore-forming bacteriocins of gram-positive bacteria and self-protection mechanisms of producer organisms. *FEMS Microbiol. Lett.* **129**, 1-10.
- Ahn JE, Kim JK, Lee HR, Eom HJ, and Han NS (2012) Isolation and characterization of a bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* B16 from kimchi. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **41**, 721-726.
- Chang JY, Lee HJ, and Chang HC (2007) Identification of the agent from *Lactobacillus plantarum* KFRI464 that enhances bacteriocin production by *Leuconostoc citreum* GJ7. *J. Appl. Microbiol.* **103**, 2504-2515.
- Cheigh CI, Choi HJ, Park H, Kim SB, Kook MC, Kim TS, Hwang JW, and Pyun YR (2002) Influence of growth conditions on the production of a nisin-like bacteriocin by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* A164 isolated from kimchi. *J. Biotechnol.* **95**, 225-235.
- Choi EM, Kim YH, Park SJ, Kim YI, Ha YM, and Kim SK (2004) Characterization of bacteriocin, lacticin YH-10, produced by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* YH-10 isolated from kimchi. *J. Life Sci.* **14**, 683-688.
- Choi HJ, Cheigh CI, Kim SB, and Pyun YR (2000) Production of a nisin-like bacteriocin by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* A164 isolated from kimchi. *J. Appl. Microbiol.* **88**, 563-571.
- Choi HJ, Lee HS, Her S, Oh DH, and Yoon SS (1999) Partial characterization and cloning of leuconocin J, a bacteriocin produced by *Leuconostoc* sp. J2 isolated from the Korean fermented vegetable Kimchi. *J. Appl. Microbiol.* **86**, 175-181.
- Chung JH, Bae Y, Kim Y, and Lee JH (2010) Characteristics of bacteriocin produced by a *Lactobacillus plantarum* strain isolated from Kimchi. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **38**, 481-485.
- Daeschel MA (1989) Antimicrobial substances from lactic acid bacteria for use as preservatives. *Food Technol.* **43**, 164-167.
- Dahiya RS and Speck ML (1968) Hydrogen peroxide formation by lactobacilli and its effect on *Staphylococcus aureus*. *J. Dairy. Sci.* **51**, 1568-1572.
- De Vuyst L and Leroy F (2007) Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **13**, 194-199.
- Ehrmann MA, Remiger A, Eijssink VGH, and Vogel RF (2000) A gene cluster encoding plantaricin 1.25b and other bacteriocin-like peptides in *Lactobacillus plantarum* TMW1.25. *Biochim. Biophys. Acta.* **1490**, 355-361.
- Ennahar S, Sashihara T, Sonomoto K, and Ishizaki A (2000) Class IIa bacteriocins: biosynthesis, structure and activity. *FEMS Microbiol. Rev.* **24**, 85-106.
- Guder A, Wiedemann I, and Sahl HG (2000) Posttranslationally modified bacteriocins-the lantibiotics. *Biopol.* **55**, 62-73.
- Han EJ, Lee NK, Choi SY, and Paik HD (2013) Short communication: Bacteriocin KC24 produced by *Lactococcus lactis* KC24 from kimchi and its antilisterial effect in UHT milk. *J. Dairy Sci.* **96**, 101-104.
- Hur JW, Hyun TH, Pyun YR, Kim TS, Yeo IH, and Paik HD (2000) Identification and partial characterization of lacticin BH5, a bacteriocin produced by *Lactococcus lactis* BH5 isolated from kimchi. *J. Food Prot.* **63**, 1707-1712.
- Jack RW and Jung G (2000) Lantibiotics and microcins: Polypeptides with unusual chemical diversity. *Curr. Opin. Chem. Biol.* **4**, 310-317.
- Jack RW, Tagg JR, and Ray B (1995) Bacteriocins of gram-positive bacteria. *Microbiol. Rev.* **59**, 171-200.
- Jimenez-Diaz R, Rios-Sanchez RM, Desmazeaud M, Ruiz-Barba JL, and Piard JC (1993) Plantaricins S and T, two new bacteriocins produced by *Lactobacillus plantarum* LPCO10 isolated from a green olive fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* **59**, 1416-1424.
- Kim HT, Park JY, Lee GG, and Kim JH (2004) Isolation of a bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* strain from kimchi. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**, 560-565.
- Kim J, Kim JY, Kim MS, Roh SW, and Bae JW (2013) *Lactobacillus kimchiensis* sp. nov., isolated from a fermented food. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **63**, 1355-1359.
- Klaenhammer TR (1988) Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie.* **70**, 337-349.
- Klaenhammer TR (1993) Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* **12**, 39-85.
- Konisky H (1982) Colicins and other bacteriocins with established modes of action. *Ann. Rev. Microbiol.* **36**, 125-144.
- Lee HJ, Joo YJ, Park CS, Kim SH, Hwang IK, Ahn JS, and Mheen TI (1999) Purification and characterization of a bacteriocin produced by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* H-559 isolated from kimchi. *J. Biosci. Bioeng.* **88**, 153-159.
- Lee KH, Park JY, Jeong SJ, Kwon GH, Lee HY, Chang HC, Chung DK, Lee JH, and Kim JH (2007) Characterization of paraplantaricin C7, a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus paraplantarum* C7 isolated from Kimchi. *J. Microbiol. Biotechnol.* **17**, 287-296.
- Lee SH, Park MS, Jung JY, and Jeon CO (2012) *Leuconostoc miyukkimchii* sp. nov., isolated from brown algae (*Undaria pinnatifida*) kimchi. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **62**, 1098-1103.
- Leer RJ, van der Vossen JM, van Giezen M, van Noort JM, and Pouwels PH (1995) Genetic analysis of acidocin B, a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus*. *Microbiology* **141**, 1629-1635.
- Lim SM and Im DS (2007) Bactericidal effect of bacteriocin of *Lactobacillus plantarum* K11 isolated from Dongchimi on *Escherichia coli* O157. *J. Fd Hyg. Safety* **22**, 151-158.
- Lindgen SE and Dobrogosz WJ (1990) Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentations. *FEMS Microbiol. Rev.* **87**, 149-173.
- Masuda Y, Zendo T, and Sonomoto K (2012) New type non-lantibiotic bacteriocins: circular and leaderless bacteriocins. *Benef. Microbes* **3**, 3-12.
- Mattick ATR and Hirsh A (1947) Further observation on an inhibitory substance (nisin) from lactic streptococci. *Lancet* **253**, 5-9.
- Moon JS, Ahn JE, Han AR, Heo JS, Eom HJ, Shin CS, Choi HS, and Han NS (2011) Anticariogenic activities of *Lactobacil-*

- lus sakei* K-7 isolated from kimchi. *KSBB J.* **26**, 513-516.
- Nes IF, Diep DB, Havarstein LS, Brurberg MB, Eijsink V, and Holo H (1996) Biosynthesis of bacteriocins in lactic acid bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek* **70**, 113-28.
- Nes IF and Holo H (2000) Class II antimicrobial peptides from lactic acid bacteria. *Biopol.* **55**, 50-61.
- Oman TJ, Boettcher JM, Wang H, Okalibe XN, and van der Donk WA (2011) Sublancin is not a lantibiotic but an S-linked glycopeptide. *Nat. Chem. Biol.* **7**, 78-80.
- Papagianni M and Anastasiadou S (2009) Pediocins: The bacteriocins of *Pediococci*. Sources, production, properties and applications. *Microb. Cell Fact.* **8**, 3.
- Park SH, Itoh K, Kikuchi E, Niwa H, and Fujisawa T (2003) Identification and characteristics of nisin Z-producing *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* isolated from kimchi. *Curr. Microbiol.* **46**, 385-388.
- Park SS, Kim MH, Han KS, and Oh S (2004) Use of bacteriocin produced by *Lactococcus* sp. CU216 with pH sensitive liposome entrapment. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **24**, 97-102.
- Schillinger U and Lücke FK (1989) Antibacterial activity of *Lactobacillus sake* isolated from meat. *Appl. Environ. Microbiol.* **55**, 1901-1906.
- Shin MS, Han SK, Kim KS, and Lee WK (2008) Isolation and partial characterization of a bacteriocin produced by *Pedioroccus pentosaceus* K23-2 isolated from Kimchi. *J. Appl. Microbiol.* **105**, 331-339.
- Srionnual S, Yanagida F, Lin LH, Hsiao KN, and Chen YS (2007) Weissellicin 110, a newly discovered bacteriocin from *Weissella cibaria* 110, isolated from plaa-som, a fermented fish product from Thailand. *Appl. Environ. Microbiol.* **73**, 2247-2250.
- Tagg JR, Dajani AS, and Wannamaker LW (1976) Bacteriocins of gram-positive bacteria. *Bacteriol. Rev.* **40**, 722-756.
- Wada T, Noda M, Kashiwabara F, Jeon HJ, Shirakawa A, Yabu H, Matoba Y, Kumagai T, and Sugiyama M (2009) Characterization of four plasmids harboured in a *Lactobacillus brevis* strain encoding a novel bacteriocin, brevicin 925A, and construction of a shuttle vector for lactic acid bacteria and *Escherichia coli*. *Microbiology* **155**, 1726-1737.
- Worobo RW, van Belkum MJ, Sailer M, Roy KL, Vederas JC, and Stiles ME (1995) A signal peptide secretion-dependent bacteriocin from *Carnobacterium divergens*. *J. Bacteriol.* **177**, 3143-3149.
- Yang EJ, Chang JY, Lee HJ, Kim JH, Chung DK, Lee JH, and Chang HC (2002) Characterization of the antagonistic activity against *Lactobacillus plantarum* and induction of bacteriocin production. *Korean J. Food Sci. Technol.* **34**, 311-318.