

Research Note

양파로부터 분리한 *Pediococcus pentosaceus* KC-007이 생산하는 박테리오신의 특성

박귀근¹ · 강종백² · 박영서^{1*}

¹가천대학교 식품생물공학과

²가천대학교 나노화학과

Characterization of Bacteriocin Produced from *Pediococcus pentosaceus* KC-007 Isolated from Onion

Gwi-Gun Park¹, Jongback Gang², and Young-Seo Park^{1*}

¹Department of Food Science & Biotechnology, Gachon University

²Department of Nano Chemistry, Gachon University

Abstract

Bacteriocin was maximally produced by *Pediococcus pentosaceus* KC-007 in the late exponential phase in MRS broth. The activity of bacteriocin was completely inactivated by proteinase K, trypsin, chymotrypsin, pepsin, and subtilisin A, but not by catalase, lysozyme, lipase, ribonuclease A, and alpha-amylase. Furthermore, its activity was not affected by pH changes ranging from 2 to 8 and heat treatment at 100°C for 60 min or autoclaving. The activity of bacteriocin remained after treatment of organic solvents or detergent such as acetone, chloroform, ethanol, hexane, isopropanol, methanol, SDS, or Tween 20. Therefore, the bacteriocin isolated in this study could be used for a food preservative due to its growth inhibition against *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* O157-H7, and *Listeria monocytogenes*.

Key words: bacteriocin, *Pediococcus pentosaceus*, antimicrobial activity

서 론

유산균은 대표적인 probiotics로서 장내 균총의 균형을 조절하는 기능을 가지고 있으며, 발효유 제조, 육류와 야채의 발효 등에 광범위하게 사용되고 있는데, 이러한 특징은 다양한 식품 변태 미생물에 대한 항균활성을 지니고 있기 때문이다(Bhunia et al., 1988; Pucci et al., 1988; Spelhaug & Harlander, 1989; Mattila-Sandholm et al., 1999). 많은 종류의 Gram 양성 세균은 박테리오신(bacteriocin)으로 알려진 항균 polypeptide를 생산하고 있는데 대부분은 유산균에 의해 생산되고 있다(Klaenhammer, 1993; Nes et al., 1996; Nissen-Meyer & Nes, 1997; Ennahar et al., 2000; Garneau et al., 2002). 유산균이 생산하는 박테리오신은 식품산업에서 천연 식품보존제나 항균제로서의 사용 가능성

때문에 많은 관심이 되고 있다(Helander et al., 1997; Galvez et al., 2007). 박테리오신은 항균활성의 범위, 최적 활성 조건, 분자량, 생화학적 특성 등이 매우 다양한데, 그 중에서 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*가 생산하는 박테리오신인 nisin은 1988년 FDA에 의하여 GRAS(generally recognized as safe) 식품첨가물로 승인되어 40 여개국에서 사용되고 있다(Food and Drug Administration, 1988). 한편, 주로 식육과 야채발효에 사용되고 있는 균주인 *Pediococcus* 속 균주 중 일부는 박테리오신으로서 pediocin을 생산한다(Nes et al., 1996). Pediocin은 분자량이 작고, 내열성이며 막에 존재하는 peptide로서 lanthionine을 지니지 않는 대신 consensus motif로서 YGNGVxC를 지닌다. 일반적으로 pediocin은 *Listeria* 속에 높은 항균활성을 지니고 있다(Nes et al., 1996). *Pediococcus* 속 균주가 생산하는 박테리오신인 Pediocin AcH와 pediocin PA-1 등이 정제된 바 있는데(Bhunia et al., 1988; Henderson et al., 1992), pediocin은 식품 중에 존재하는 *Listeria monocytogenes*의 생육을 저해하는데 효과적으로 사용되고 있다(Pucci et al., 1988; Yousef et al., 1991). 식중독 미생물인 *L. monocytogenes*는 저온과 넓은 pH 범위에서 생존할 수 있기 때문에 유가공

*Corresponding author: Young-Seo Park, Department of Food Science & Biotechnology, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea
Tel: +82-31-750-5378; Fax: +82-31-750-4273

E-mail: ypark@gachon.ac.kr

Received November 10, 2013; revised November 12, 2013; accepted November 12, 2013

이나 신선 육제품의 저장 중 오염의 문제가 되는 세균으로 관심의 대상이 되고 있다(Farber & Peterkin, 1991; Klaenhammer, 1993; Nissen-Meyer & Nes, 1997). *L. monocytogenes*는 특히 신생아나 면역력이 저하된 사람에게 listeriosis라는 질병을 유발시키는데, 우유, 코울슬로와 치즈 섭취 시 listeriosis 발생이 보고되기도 하였다(McLaughlin, 1987; Centers for Disease Control, 1987). 육제품에서 분리된 *P. acidilactici*, *P. pentosaceus*와 *P. parvulus*는 여러 박테리오신을 생산한다고 보고되었는데, 이 중에서 *P. acidilactici*가 생산하는 pediocin AcH (PA-1)은 처음으로 특성이 완전히 밝혀진 Class IIa 박테리오신이다(Bhunja et al., 1991; Cintas et al., 1995). 한편 *Pediococcus acidilactici*가 생산하는 박테리오신을 함유하는 제품인 Alta 2341이 최근에 출시되어 시판되고 있다(Papagianni & Anastasiadou, 2009).

본 연구팀에서는 양파로부터 항산화능이 우수한 유산균을 분리하여 *P. pentosaceus* KC-007로 동정하였으며, 이 균주의 유산발효특성을 조사한 바 있다(Choi et al., 2009). 본 연구에서는 *P. pentosaceus* KC-007가 생산하는 박테리오신의 *L. monocytogenes*와 그 외의 식중독 미생물에 대한 항균활성을 조사하여 식품보존제로서의 사용가능성을 검토하였다.

실험 재료 및 방법

박테리오신 시료의 제조

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신 시료를 제조하기 위하여 MRS 액체배지에서 배양한 종배양액을 최종 1%(v/v)가 되도록 1 L의 MRS 액체배지에 접종한 후 37°C에서 24 시간 배양하였다. 배양액을 10,000 g에서 10분간 원심분리하여 세포를 제거한 상등액을 회수하였다. 4°C로 냉각된 배양 상등액에 -20°C로 냉각된 100% ethanol을 첨가하여 ethanol의 최종 농도가 80%가 되도록 한 후 4°C에서 16 시간 방치한 다음 원심분리하여 침전물을 회수한 후 이를 감압 농축하였다. 농축된 시료를 동결 건조한 후 적당량의 증류수에 용해하여 실험 시료로 사용하였다.

박테리오신 활성 측정

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 활성은 *P. pentosaceus* KC-007의 배양 상등액으로부터 상기 과정을 통해 제조한 시료를 사용하여 측정하였다. Nutrient agar 배지 위에 지시균주를 1×10^7 CFU/mL이 되도록 첨가한 nutrient soft agar를 overlay하여 굳힌 후 직경 5 mm의 paper disk를 놓고 *P. pentosaceus* KC-007가 생산하는 박테리오신 시료를 10 μ L loading하였다. 이를 지시균주의 최적 생육온도에서 일정 시간 배양한 후 저해환의 생성여부를 확인하였다. 박테리오신의 역가는 박테리오신 시료를 2진

희석하여 지시균주의 생육 저해환을 생성시키는 최대 희석 배수로 하였고 단위 부피(mL) 당 최대 희석배수를 AU (arbitrary unit)/mL로 나타내었다.

항균 spectrum 측정

P. pentosaceus KC-007가 생산하는 박테리오신의 항균 spectrum을 조사하기 위하여 *Lactobacillus acidophilus* KCCM 32820, *Lactobacillus brevis* KCCM 35464, *Lactobacillus casei* KCCM 12452, *Lactobacillus plantarum* KCCM 11322, *Lactobacillus thermophilus* KCCM 40430, *Lactococcus lactis* KCCM 40104, *Enterococcus faecium* KCCM 12118, *Streptococcus thermophilus* KCCM 40430 등의 유산균주와 *Bacillus cereus* KCCM 40935, *Escherichia coli* O157-H7, *Listeria monocytogenes* KCCM 40307, *Pseudomonas aeruginosa* KCCM 11803, *Salmonella Typhimurium* KCCM 11862, *Serratia marcescens* KCCM 11809, *Vibrio parahaemolyticus* KCCM 11965 등의 식중독 균주에 대한 항균활성을 측정하였다.

*Listeria monocytogenes*에 대한 박테리오신의 항균활성

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 *L. monocytogenes*에 대한 항균활성을 측정하기 위하여 하룻밤 배양한 *L. monocytogenes*의 종배양액을 100 mL의 nutrient broth에 1%(v/v) 접종한 후 37°C에서 배양하였다. 배양 중 대수증식기가 개시되기 직전인 배양 4 시간째에 박테리오신 시료를 1 mL 첨가한 후 2 시간마다 배양액의 흡광도를 600 nm에서 측정하여 생육곡선을 작성하였다.

P. pentosaceus KC-007가 생산하는 박테리오신의 안정성

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 pH, 온도, 유기용매, 가수분해효소, 계면활성제에 대한 안정성을 측정하였다. pH에 대한 박테리오신의 안정성은 박테리오신 시료 용액의 pH를 1 N NaOH 또는 1 N HCl을 이용하여 pH 2-12로 조정된 후 37°C에서 3시간 방치한 다음 pH를 7.0으로 다시 복원한 후 잔존하는 박테리오신의 역가를 확인하였다. 온도에 대한 안정성을 조사하기 위하여 박테리오신 용액의 pH를 7.0으로 조정된 후 40, 60, 80, 100°C에서 각각 60분간, 그리고 121°C에서 15분간 처리한 후 잔존하는 박테리오신의 역가를 측정하였다. 가수분해효소에 대한 안정성은 α -amylase, catalase, lipase, lysozyme, ribonuclease A, proteinase K, trypsin, chymotrypsin, pepsin, subtilisin A를 최종 농도가 1 mg/mL가 되도록 박테리오신 시료에 첨가한 다음 37°C에서 3 시간 반응시킨 후 박테리오신의 역가를 측정하여 확인하였다. 유기용매에 대한 안정성은 acetone, chloroform, ethanol, hexane, isopropanol, methanol을 박테리오신 용액과 동량 혼합하여 37°C에서 1 시간 방치한 후 잔존하는 박테리오신의 역가를 측정하여 확인하였

다. 계면활성제에 대한 안정성은 EDTA, SDS, Tween X-100, Tween 20, urea를 최종 농도가 1%가 되도록 첨가한 후 37°C에서 3시간 반응시킨 후 박테리오신의 역가를 측정하여 확인하였다. 상기 실험에서 박테리오신의 역가 측정을 위한 지시균주로는 *Listeria monocytogenes* KCCM 40307를 사용하였다.

결과 및 고찰

생육에 따른 박테리오신의 생산

P. pentosaceus KC-007의 생장에 따른 박테리오신의 생산 양상을 조사하기 위하여 MRS 배지에 하룻밤 배양한 *P. pentosaceus* KC-007의 종배양액을 1%(v/v) 접종한 후 37°C에서 배양하면서 배양시간에 따른 생육도와 박테리오신 활성을 측정하였다. 그 결과 Fig. 1과 같이 *P. pentosaceus* KC-007은 배양 6 시간에 대수증식기가 개시되었으며 28 시간에 정지기에 도달하였다. 박테리오신은 대수증식기가 개시됨과 동시에 생산되기 시작하여 대수증식기 중반인 배양 20 시간에 최대생산(600 AU/mL)을 나타내었으며 그 이후에는 일정한 생산량을 보여주었다. *P. pentosaceus* KC-007로부터 박테리오신의 생산은 세포의 성장도와 일치함으로 알 수 있었으며 본 결과로부터 본 연구에 사용된 박테리오신 시료를 제조하기 위해서는 24 시간 배양한 배양액을 이

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 항균 spectrum

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 항균 spectrum을 조사하기 위해 유산균 및 식중독 미생물 등 총 15주의 표준균주를 이용하여 항균 활성을 확인한 결과, Table 1과 같이 *P. aeruginosa* KCCM 11803, *S. Typhimurium* KCCM

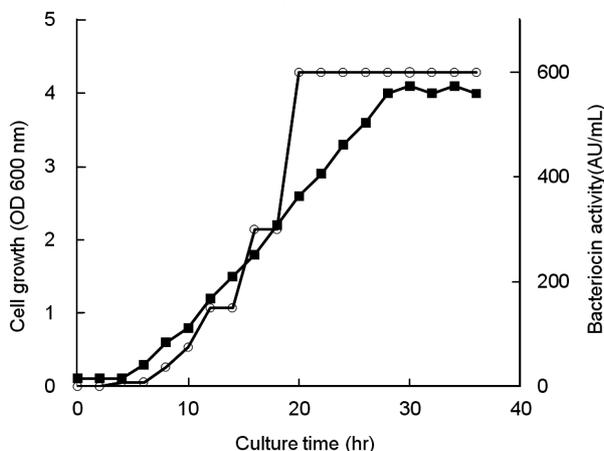


Fig. 1. Growth curve of *P. pentosaceus* KC-007 and its bacteriocin activity against *Listeria monocytogenes* KCCM 40307.

Table 1. Antimicrobial spectrum of bacteriocin produced by *P. pentosaceus* KC-007.

Strain	Antimicrobial activity
<i>Lactobacillus acidophilus</i> KCCM 32820	+
<i>Lactobacillus brevis</i> KCCM 35464	+
<i>Lactobacillus casei</i> KCCM 12452	+
<i>Lactobacillus plantarum</i> KCCM 11322	+
<i>Lactobacillus thermophilus</i> KCCM 40430	+
<i>Lactococcus lactis</i> KCCM 40104	+
<i>Enterococcus faecium</i> KCCM 12118	+
<i>Streptococcus thermophilus</i> KCCM 40430	+
<i>Bacillus cereus</i> KCCM 40935	+
<i>Escherichia coli</i> O157-H7	+
<i>Listeria monocytogenes</i> KCCM 40307	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> KCCM 11803	-
<i>Salmonella</i> Typhimurium KCCM 11862	-
<i>Serratia marcescens</i> KCCM 11809	-
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> KCCM 11965	-

11862, *S. marcescens* KCCM 11809, *V. parahaemolyticus* KCCM 11965를 제외한 미생물에 대하여 항균활성을 나타내었다. 조사한 모든 유산균에 대하여 항균활성을 나타내었으며 특히 *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* O157-H7, *Listeria monocytogenes* 등의 식중독 균주에 대하여 강한 항균활성을 지니고 있어 향후 식품산업에서 천연 식품보존제로서 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

*Listeria monocytogenes*에 대한 박테리오신의 항균 효과

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 *L. monocytogenes*에 대한 항균효과를 조사하기 위하여 *L. monocytogenes* KCCM 40307를 배양하면서 대수증식기가 개시되기 직전인 배양 4 시간째에 박테리오신 시료를 1% 첨가한 후 생육도를 관찰하였다. 그 결과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 박테리오신을 첨가하지 않은 시료의 경우에는 배양 6 시간부터 대수 증식기가 시작된 후 지속적으로 생육이 진행되어 배양 12 시간에서 2.64의 흡광도를 나타내었다. 반면에 박테리오신을 첨가한 시료에서는 생육이 전혀 진행되지 않아 박테리오신이 효과적으로 *L. monocytogenes*의 생육을 억제하는 것을 확인하였다.

박테리오신의 안정성

P. pentosaceus KC-007이 생산하는 박테리오신의 pH, 온도, 유기용매, 가수분해효소, 계면활성제에 대한 안정성을 측정 한 결과를 Table 2에 나타내었다. pH 2-8에서는 bacteriocin 활성이 소실되지 않고 100% 유지하였으나 pH 10에서는 66%, pH 12에서는 37%로 감소하였다. Liu and Hansen(1990)는 박테리오신 용액의 pH가 높을 경우 hydroxides ions, deprotonated amines 및 deprotonated

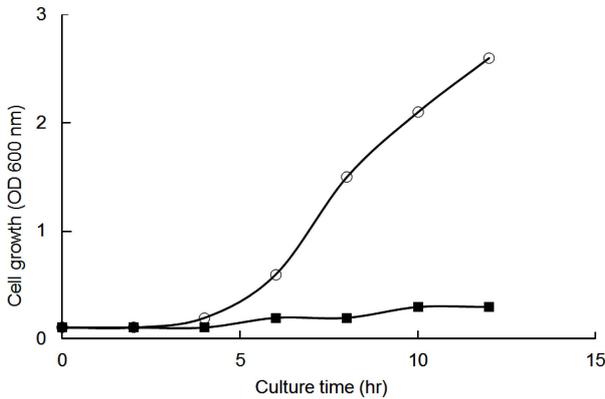


Fig. 2. Effect of bacteriocin produced from *P. pentosaceus* KC-007 on the *Listeria monocytogenes* KCCM 40307. Control (empty triangles) and treated cells (black squares) with crude bacteriocin.

hydroxy group들이 박테리오신과 반응하여 박테리오신의 3차 구조를 변화시킴으로써 활성을 저하시킨다고 보고하였다. Choi et al.(2004)이 보고한 *L. Lactis* YH-10가 생산하는 박테리오신의 경우 pH 2.0-11.0까지 넓은 범위에서도 안정하다고 보고하였다. 반면 *L. lactis* WNC 20가 생산하는 박테리오신의 경우 pH 2.0-7.0까지는 안정하였으나 pH 8.0-10.0에서는 박테리오신 활성이 불안정하고 보고된 바 있다(Noonpakdee et al., 2003). 본 연구에서 사용된 박테리오신은 다른 박테리오신들에 비해 pH 안정성이 우수한 것으로 확인되었다.

열처리에 따른 박테리오신의 안정성을 조사한 결과 40, 60, 80, 100°C에서 각각 60분간 처리하였을 경우 모든 조건에서 박테리오신의 활성이 소실되지 않고 안정하게 유지되었으며 121°C에서 15분간 autoclave 처리에 의해서도 활성이 감소되지 않고 안정하게 유지되어 열안정성이 매우 높은 것으로 확인되었다. 일반적으로 분자량이 작은 peptide 계통의 bacteriocin들은 열처리에 대해서 높은 안정성을 보이는 것으로 알려져 있고, 121°C에서 15분간 처리에도 안정하다는 보고들이 있다(Kawai et al., 1994). Noonpakdee 등이 보고한 *L. lactis* WNC 20 균주가 생산하는 박테리오신의 경우, 121°C, 15분 열 처리시에도 그 항균활성이 안정하였다고 보고되었으나(Noonpakdee et al., 2003), *L. Lactis* YH-10가 생산하는 박테리오신의 경우 100°C, 60분간 열 처리시 약 50%의 항균활성을 나타낸다고 보고하였다(Choi et al., 2004).

효소 처리에 따른 박테리오신의 안정성을 측정된 결과, 전분가수분해효소인 α -amylase와 catalase, lipase, 세균 세포벽의 N-acetylglucosamine과 N-acetylnuramic acid의 N-glycosidic 결합을 분해하는 효소인 lysozyme, RNA 가수분해효소인 Ribonuclease A에 의해서는 박테리오신 활성이 소실되지 않고 안정하게 유지되었으나 단백질 가수분해효

Table 2. Antimicrobial activity of bacteriocin produced by *P. pentosaceus* KC-007 after incubation in different conditions.

Treatment	Bacteriocin activity (%)	
pH (at 37°C, 3 hr)	2	100
	4	100
	6	100
	8	100
	10	66
	12	37
Temperature	40°C, 60 min	100
	60°C, 60 min	100
	80°C, 60 min	100
	100°C, 60 min	100
	121°C, 15 min	100
Enzyme (1 mg/mL)	α -Amylase	100
	Catalase	100
	Lipase	100
	Lysozyme	100
	Ribonuclease A	100
	Proteinase K	0
	Trypsin	0
	Chymotrypsin	0
	Pepsin	0
	Subtilisin A	0
Organic solvent (50%, v/v)	Acetone	100
	Chloroform	100
	Ethanol	100
	Hexane	100
	Isopropanol	100
	Methanol	100
Detergent (1%)	EDTA	100
	SDS	100
	Tween X-100	100
	Tween 20	100
	Urea	100

Activity was expressed in percentage values (%) compared with control.

소인 proteinase K, trypsin, chymotrypsin, pepsin, subtilisin A에 의해서는 박테리오신 활성이 완전히 소실되었으며, 이 결과로서 본 박테리오신은 단백질임을 확인할 수 있었다.

본 연구에 사용된 박테리오신의 열 안정성과 단백질 가수분해효소에 대한 감수성은 class II bacteriocin의 전형적인 특성이다(Klaenhammer, 1993). Elegado et al.(1997)은 HPLC에 의해 정제된 *P. acidilactici* M으로부터 정제된 pediocin은 pH 2-12, 121°C에서 15분과 같은 강력한 열처리에 대해서도 안정하다고 보고한 바 있다. *Lactococcus* sp. J-105가 생산하는 박테리오신의 경우에는 단백질 가수분해효소 중에서 pepsin에 의해서만 항균활성이 소실된다고 하였으며(Kwark et al., 1999), *L. lactis* WNC 20이 생산하는 박테리오신은 papain, pepsin, trypsin, lipase, α -amylase에

의해서는 항균활성이 영향을 받지 않지만 proteinase K, α -chymotrypsin에 의해서 항균활성이 소실된다고 보고하였다 (Noonpakdee et al., 2003). 한편, 본 박테리옌은 α -amylase 처리에 의해 활성이 감소하지 않는 것으로 보아 탄수화물 부분이 박테리옌 분자 내에는 없거나 활성과는 무관한 것으로 판단된다.

박테리옌에 최종 농도가 50%(v/v)가 되도록 유기용매를 처리하였을 경우에는 acetone, chloroform, ethanol, hexane, isopropanol, methanol 등 사용된 모든 유기용매에 대하여 항균 활성을 유지함으로써 유기용매에 대하여 높은 안정성을 가지고 있음을 확인하였다. 박테리옌에 여러 가지 계면활성제를 1% 처리하였을 경우에도 박테리옌 활성이 안정하게 유지됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 관찰한 바와 같이 *P. pentosaceus* KC-007이 생산하는 박테리옌은 단백질로 구성되었으며, 광범위한 pH 안정성과 높은 열 안정성, 유기용매와 계면활성제에 대한 우수한 안정성을 지니고 있기 때문에 식품 가공 적성이 높아 식품의 가공과정 및 보존 중에 식품 보존제로서의 이용 가치가 높을 것으로 판단된다.

요 약

Pediococcus pentosaceus KC-007가 생산하는 박테리옌은 MRS 배지에서 대수 증식기 말기에 최대로 생산되어 세포 외로 분비되었다. 박테리옌 활성은 proteinase K, trypsin, chymotrypsin, pepsin, subtilisin A 등의 단백질 가수분해효소에 의해 완전히 저해되었으나, catalase, lysozyme, lipase, ribonuclease A, α -amylase에 의해서는 저해되지 않고 안정하게 유지되었다. 박테리옌은 pH 2부터 8까지 범위에서 활성이 완전하게 유지되었으며, 100°C에서 60분간 또는 autoclave 처리에 의해서도 활성이 유지되었다. 박테리옌 활성은 acetone, chloroform, ethanol, hexane, isopropanol, methanol 등의 유기용매나 SDS, Tween 20 등의 계면활성제의 작용에 영향을 받지 않았다. 본 연구에서 사용한 박테리옌은 *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* O157-H7, *Listeria monocytogenes*과 같은 식중독 세균에 대한 높은 항균활성을 지니고 있으므로 식품 보존제로서의 이용성이 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임.

참고문헌

Bhunia AK, Johnson MC, Ray B. 1988. Purification, characteriza-

- tion and antimicrobial spectrum of a bacteriocin produced by *Pediococcus acidilactici*. J. Appl. Bacteriol. 65: 261-268.
- Bhunia AK, Johnson MC, Ray B, Kalchayanand N. 1991. Mode of action of pediocin AcH from *Pediococcus acidilactici* H on sensitive bacterial strains. J. Appl. Bacteriol. 70: 25-30.
- Centers for Disease Control. 1985. Listeriosis outbreak associated with Mexican-style cheese-California. Morbid. Mortal. Weekly Rep. 34: 357-359.
- Cintas LM, Rodriguez JM, Fernandez MF, Sletten K, Nes IF, Hernandez PE, Hole H. 1995. Isolation and characterization of pediocin L50, a new bacteriocin from *Pediococcus acidilactici* with a broad inhibitory spectrum. Appl. Environ. Microbiol. 61: 2643-2648.
- Choi EM, Kim YH, Park SJ, Kim YI, Ha YM, 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 YJ, Cheigh CI, Kim SW, Jang JK, Choi YJ, Park YS, Park H, Shim KS, Chung MS. 2009. Selection of starter cultures and optimum conditions for lactic acid fermentation of onion. Food Sci. Biotechnol. 18: 1100-1108.
- Elegado FB, Kim JW, Kwon DY. 1997. Rapid purification, partial characterization and antimicrobial spectrum of the bacteriocin, pediocin AcM, from *Pediococcus acidilactici* M. Int. J. Food Microbiol. 37: 1-11.
- Ennahar S, Sashihara T, Sonomoto K, Ishizaki A. 2000. Class IIa bacteriocins: biosynthesis, structure and activity. FEMS Microbiol. Rev. 24: 85-106.
- Farber JM, Peterkin PI. 1991. *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. Microbiol. Rev. 55: 476-511.
- Food and Drug Administration. 1988. Nisin preparation: affirmation of GRAS status as a direct human food ingredient. Fed. Reg. 53: 11247-11250.
- Galvez A, Abriouel H, Lopez RL, Omar NB. 2007. Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. Int. J. Food Microbiol. 120: 51-70.
- Gameau S, Martin NI, Vederas JC. 2002. Two-peptide bacteriocins produced by lactic acid bacteria. Biochimie 84: 577-592.
- Helander IM, von Wright A, Mattila-Sandholm TM. 1997. Potential of lactic acid bacteria and novel antimicrobials against Gram-negative bacteria. Trends Food Sci. Technol. 8: 146-150.
- Henderson JT, Chopko AL, van Wassenar PD. 1992. Purification and primary structure of pediocin PA-1 produced by *Pediococcus pentosaceus* PAC 1.0. Arch. Biochem. Biophys. 295: 5-12.
- Kawai Y, Sato T, Toba T, Samant SK, Itoh T. 1994. Isolation and characterization of a highly hydrophobic new bacteriocin (gasserin A) from *Lactobacillus gasseri* LA39. Biosci. Biotech. Biochem. 58: 1218-1221.
- Klaenhammer TR. 1993. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. FEMS Microbiol. Rev. 12: 39-86.
- Kwark KS, Cu JG, Bae KM, Jun HK. 1999. Characterization of bacteriocin production by *Lactococcus* sp. J-105 isolated from *Kimchi*. Kor. J. Life Sci. 9: 111-120.
- Liu W, Hansen JN. 1990. Some chemical and physical properties of nisin, a small-protein antibiotic produced by *Lactococcus lactis*. Appl. Environ. Microbiol. 56: 2551-2558.
- Mattila-Sandholm T, Mattö J, Saarela M, 1999. Lactic acid bacteria with health claims-interactions and interference with gas-

- trointestinal flora. Int. Dairy J. 9: 25-35.
- McLaughlin, J. 1987. *Listeria monocytogenes*, recent advances in the taxonomy and epidemiology of listeriosis in humans. J. Appl. Bacteriol. 63: 1-11.
- Nes IF, Diep DB, Havarstein LS, Brurberg MB, Eijsink V, Holo H. 1996. Biosynthesis of bacteriocins in lactic acid bacteria. Anton. Leeuw. Int. J. G. 70: 113-128.
- Nissen-Meyer J, Nes IF. 1997. Ribosomally synthesized antimicrobial peptides: their function, biogenesis and mechanism of action. Arch. Microbiol. 167: 67-77.
- Noonpakdee W, Santivarangkna C, Jumriangrit P, Sonomoto K, Panyim S. 2003. Isolation of nisin-producing *Lactococcus lactis* WNC 20 strain from nham, a traditional Thai fermented sausage. Int. J. Food Microbiol. 81: 137-145.
- Papagianni M, Anastasiadou S. 2009. Pediocins: the bacteriocins of *Pediococci*. sources, production, properties and applications. Microb. Cell Fact. 8: 3-19.
- Pucci MJ, Vedarnuthu ER, Kunka BS, Vandenberg PA. 1988. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by using bacteriocin PA-1 produced by *Pediococcus acidilactici* PAC 1.0. Appl. Environ. Microbiol. 54: 2349-2353.
- Spelhaug SR, Harlander SK. 1989. Inhibition of foodborne bacterial pathogens by bacteriocins from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. J. Food Prot. 52: 856-862.
- Yousef AE, Luchansky JB, Degnan AJ, Doyle MP. 1991. Behavior of *Listeria monocytogenes* in weiner exudates in the presence of *Pediococcus acidilactici* H or pediocin AcH during storage at 4 or 25°C. Appl. Environ. Microbiol. 57: 1461-1467.