

마늘즙의 *Escherichia coli* O157:H7에 대한 항균작용

김명희* · 김소영 · 신원선 · 이준수¹
 한국식품개발연구원, ¹충북대학교 식품공학과

Antimicrobial Activity of Garlic Juice against *Escherichia coli* O157:H7

Myunghee Kim*, So-Young Kim, Weon-Sun Shin and Junsoo Lee¹
 Food Safety Lab, Korea Food Research Institute
¹Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University

The antimicrobial activity of fresh garlic juice against *Escherichia coli* O157:H7 was investigated. When *E. coli* O157:H7 was cultured for 18 hr in the trypticase soy broth containing 1%, 3%, and 5% garlic juice, viable cell number of *E. coli* O157:H7 was reduced to 2.3×10^2 CFU/mL at 5% from 7×10^8 CFU/mL at the non-treated culture, respectively. The inhibitory effects of the ground beef treated with 3%, 6%, and 10% garlic juice against *E. coli* O157:H7 was significantly enhanced with approximate 2 log-reduction compared to that of ground beef without garlic. There was no significant difference in the inhibition of *E. coli* O157:H7 among the groups with different amounts of garlic juice ($P < 0.05$). These results suggest that garlic juice may function well as a natural preservative in food system.

Key words: antimicrobial activity, *Escherichia coli* O157:H7, garlic, ground beef, natural food preservatives

서 론

향신 조미료로서 이용되는 마늘은 생체기능을 조절하는 유용한 성분을 함유하고 있어서 건강유지에 유익한 식품의 중간소재⁽¹⁾이며 자극적 향미 성분이 있고 항혈전 작용⁽²⁾, 항균·살균 작용⁽³⁾을 비롯하여 항암 작용⁽⁴⁾, 혈압강하 작용⁽⁵⁾, 콜레스테롤 저하 및 노화방지 작용⁽⁶⁾ 등의 많은 생리적 활성을 지니고 있어 향신료이외에 기능성 소재로 광범위하게 이용되고 있다.

Alliin(diallyl thiosulfinate)은 마늘의 주된 향미생물 작용물질로써 thiosulfinate 화합물의 주요 성분이다⁽⁷⁾. 불안정한 화합물인 Alliin은 생마늘에는 직접 존재하지 않으나 절단하거나 으깨는 등의 상처를 입히게 되면 마늘에 들어 있는 효소인 alliinase에 의해 alliin(S-allyl-L-cysteine sulfoxide)이라는 전구체로부터 만들어지고 이외의 저급 sulfides 화합물들인 diallyl mono-, di-, 그리고 oligosulfides, vinylthiols, ajoenes 등 30여종으로 분해되며 이 30여종 중에서 diallyl disulfide와 diallyl sulfide는 함량이 75% 이상이라고 보고된다^(8,9). 마늘에는 alliinase에 의해 미생물 생육 저해작용이 있는 methyl

methanethiosulfinate로 분해되는 S-allyl-L-cysteine sulfoxide 이외에 S-methyl-L-cysteine sulfoxide 등이 함유되어 있다^(7,10). 마늘에 함유되어 있는 alliin이나 이의 analog인 methyl methanethiosulfinate가 가지는 항미생물 작용은 thiosulfinate가 세포내 중요한 단백질의 SH기와 반응하여 단백질의 활성을 저해하기 때문이라고 하는데 thiosulfinate의 -S(O)S-가 항미생물 작용을 나타내는 부분이라고 보고된다^(7,11). 마늘의 항미생물 작용에 대한 보고 가운데 4%의 마늘 추출액이 *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus*의 성장을 저해하며 이 가운데 *S. aureus*는 *E. coli*보다 마늘즙에 덜 민감하다고 하였다^(12,13). 또한, *S. aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Lactobacillus plantarum*, *Candida utilis* 등이 마늘즙이나 마늘유에 의해 저해받는다라는 것이 보고되었는데 마늘즙의 함량이 1~2%일 때는 *S. aureus*⁽¹⁴⁾, *L. plantarum*⁽¹⁵⁾, yeast⁽¹⁶⁾ 등의 번식을 저해하고 농도가 그 이상 높아지면 *B. cereus*⁽¹⁷⁾, *Cl. botulinum*⁽¹⁸⁾, *Cl. perfringens*⁽¹⁹⁾, *C. utilis*⁽²⁰⁾ 등을 사멸시킨다고 하였다. 즉, Dababneh와 Al-Delaimy⁽¹⁴⁾는 1% 마늘즙에서 *S. aureus*의 번식이 저해되었다고 보고하였으며, Mantis 등⁽¹⁹⁾은 마늘즙 1% 이하에서는 *S. aureus*의 생육에 영향을 주지 않았으나 2% 이상에서는 *S. aureus*의 번식을 저해하였고 5% 이상에서는 사멸효과가 있다고 보고하였다. Karaioannoglou 등⁽¹⁵⁾은 1% 마늘즙은 *L. plantarum*의 번식을 저해하였고 2% 이상에서는 사멸효과가 있었다고 하였다. 한편, 8가지의 식물유인 allspice, cinnamon, clove, garlic, onion, oregano,

*Corresponding author : Myunghee Kim, Food Safety Lab, Korea Food Research Institute, San 46-1, Backhyun, Bundang, Sungnam, Kyunggi 463-746, Korea
 Tel: 82-31-780-9026
 Fax: 82-31-780-9234
 E-mail: mk82@kfri.re.kr

savory, thyme oil을 10% 처리시 garlic oil에 의한 성장억제 환의 직경이 29 mm로 가장 컸고 심지어 1%의 농도에서도 효모의 번식을 강력하게 저해한다고 보고되었다⁽¹⁶⁾. 이렇듯 마늘즙은 그람 양성과 그람 음성 미생물의 광범위한 종에 대해 항미생물 작용을 한다고 알려져 있다⁽²¹⁾.

1982년 이래 *E. coli* O157:H7은 인간에게 설사, 혈변, 신장기능저하를 일으키는 병원균으로 인식되고있다⁽²²⁾. *E. coli* O157:H7으로 인한 식중독 사고는 오염된 지하수로 만든 생산물 또는 물의 소비, 오염된 식품의 소비, 특히 오염된 육제품의 섭취에 기인한다⁽²²⁾. *E. coli* O157:H7에 오염된 다양한 식품의 섭취로 인한 식중독의 파급은 food chain을 통한 병원균의 철저한 제어가 필요하다는 것을 강조하기에 이르렀다⁽²³⁾. 본 연구는 *E. coli* O157:H7의 가장 주된 오염식품으로 알려지고 있는 햄버거 속용 분쇄 쇠고기(ground beef)를 이용하여 마늘즙의 *E. coli* O157:H7에 대한 제어효과 또는 성장저해작용 효과를 밝혀 마늘의 식품 보존제로써의 기능을 알아 보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 마늘은 경북 지역에서 수확된 신선한 통마늘로써 경기도 분당구내 슈퍼마켓에서 구입하였다. Tryptic Soy Broth(TSB), Brain Heart Infusion(BHI), Nutrient Broth(NB), Bacto™ Agar는 Difco(Detroit, MI, USA)에서 구입하였고 *E. coli* O157:H7의 선택배지로써 사용된 Sorbitol MacConkey agar(SMAC)는 Merck(Darmstadt, Germany)에서 구입하였다. 식육은 경기도 분당구내 식육매장에서 실험직전 구입하여 사용하였다.

균주

본 실험에 사용된 *E. coli* O157:H7(ATCC 43894), *Listeria monocytogenes*(ATCC 51414), *Salmonella enteritidis*(ATCC 4931)는 American Type Culture Collection(ATCC, Rockville, MD, USA)에서 분양받았다.

마늘즙의 준비

마늘 껍질을 제거한 후 수도물로 씻어 물기를 제거한 다음 마쇄하고 거즈로 걸러내어 4,000×g(S750-GB, 한일 원심분리기, 인천, 한국)에서 30분 동안 원심분리한 상정액을 0.45 μm의 nylon filter로 여과 제균한 것을 -20°C의 냉동고에 저장하면서 사용하였다.

균주배양

E. coli O157:H7를 Tryptic Soy Agar(TSA) 평판배지에 획선 배양하여 37°C에서 24시간 배양한 뒤 여기에서 자란 colony를 TSB에 접종하여 37°C에서 18시간 배양한 것을 종균으로 사용하였다. 유사한 방법으로 *L. monocytogenes*와 *S. enteritidis*는 각각 Brain Heart Infusion Agar(BHIA)와 Nutrient Agar(NA) 평판배지에서 획선 배양한 뒤 생성된 colony를 BHI와 NB에 접종하여 배양한 것을 종균으로 사용하였다.

마늘즙이 *E. coli* O157:H7 생육에 미치는 영향

5 mL의 TSB에 대해 마늘즙을 1%, 3%, 5%(v/v) 농도로 *E. coli* O157:H7 배양액에 처리한 뒤 37°C에서 18시간 동안 진탕배양(130 rpm) 하였다. 배양액 1 mL을 취하여 십진희석한 뒤 SMAC 평판배지에 도말하여 *E. coli* O157:H7 생균수를 측정하였다. *L. monocytogenes*와 *S. enteritidis*는 1%, 3%, 5%, 10%(v/v)로 마늘즙이 처리된 BHI와 NB를 37°C에서 18시간 동안 진탕배양(130 rpm) 하였다. 배양액 1 mL을 취하여 십진희석한 뒤 BHIA와 NA 평판배지에 도말하여 *L. monocytogenes*와 *S. enteritidis*의 생균수를 측정하였고 이를 colony-forming unit(CFU/mL)로 표시하였다.

식육에 접종한 *E. coli* O157:H7에 대한 마늘의 항균작용

식육 환경에서 *E. coli* O157:H7에 대한 마늘즙의 농도별 항균작용을 알아보기 위해서 다음과 같이 실험을 하였다. 멸균한 100 mL 용량의 삼각 플라스크에 분쇄 쇠고기 10 g을 넣고 *E. coli* O157:H7 종균 배양액 2.5 mL을 인위적으로 접종하였다. 대조군은 마늘즙 무처리 분쇄 쇠고기로서 실험군은 마늘즙 농도가 분쇄 쇠고기 10 g에 대해 3%, 6%, 10%(v/w)가 되도록 처리하였다. 대조군과 실험군에 0.1% peptone 수를 첨가하여 각 시료의 총량이 40 g이 되도록 조정하였고 멸균 호일로 밀봉하였다. 이 시료를 15일 동안 냉장실(8°C)에 저장하면서 3일 간격으로 시료를 꺼내어 시료액 1 mL을 십진희석한 뒤 0.1 mL을 SMAC 평판배지에 도말하여 *E. coli* O157:H7 생균수를 측정하고 이를 CFU/mL로 표시하였다.

결과분석

모든 실험은 삼반복으로 수행되었고 결과는 평균±표준편차로 처리하였다. 처리구간의 차이는 SAS system을 사용하여 분산분석을 수행하였으며, 평균값의 검정은 P<0.05 수준에서 Duncan의 다중검정을 사용하였다.

결과 및 고찰

마늘즙 농도별 *E. coli* O157:H7에 대한 항균작용 효과를 알아보기 위해 *E. coli* O157:H7 배양액에 마늘즙을 다양한 농도로 처리한 결과, 마늘즙을 첨가한 경우에서 모두 항균작용이 나타났다(Fig. 1). 즉, 마늘즙 함량이 1%일 때는 마늘즙을 첨가하지 않았을 때의 생균수인 7.0×10^8 CFU/mL에 비해서 생균수가 1.0×10^8 CFU/mL로써 약간 줄어들었는데 마늘즙 함량이 3%일 때는 생균수가 2.4×10^3 CFU/mL로써 초기균수에 대해 약 5 log 줄어들어 현저한 항균효과가 있음을 알 수 있었다. 마늘즙 함량이 5%일 때는 평균 생균수가 2.3×10^2 CFU/mL로 마늘즙의 농도가 증가할수록 항균효과가 증가함을 알 수 있었다. *E. coli* O157:H7 외에 주요 식중독 원인 세균인 *S. enteritidis*와 *L. monocytogenes*을 대상으로 마늘즙 농도 0~10% 범위에서 항균효과를 살펴본 결과, *L. monocytogenes*에 대해서는 마늘즙 농도에 따른 뚜렷한 항균효과가 나타나 마늘즙 농도 10%의 배양액에서는 균이 사멸되었다(Fig. 1). 그러나, *S. enteritidis*의 경우는 최대 약 1.6 log의 생균수 감소를 보여 마늘즙에 대한 감수성이 다른 두 균에

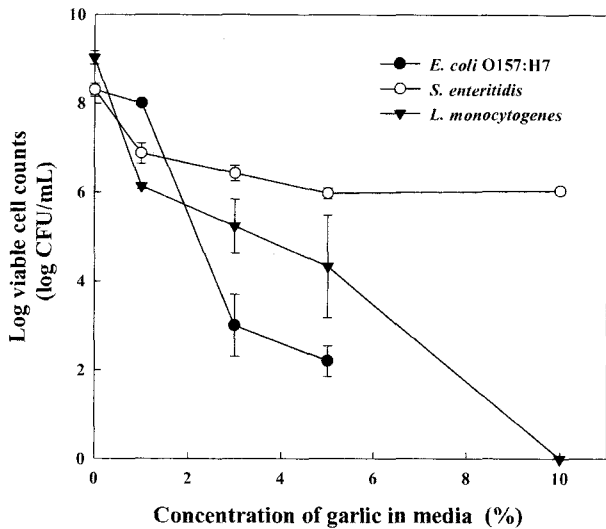


Fig. 1. Antimicrobial activity of garlic juice against some representative food-borne pathogens.

E. coli O157:H7 was cultured for 18 hr in TSB containing 1%, 3% and 5% garlic juice. In similar, *L. monocytogenes* and *S. enteritidis* were cultured in BHI and NB, respectively, containing 1%, 3%, 5% and 10% garlic juice.

비해 크지 않았다(Fig. 1). 마늘이 미생물 번식지해 또는 사멸작용에 미치는 영향은 마늘의 allicin을 포함하는 thiosulfinate가 미생물의 대사에 관계되는 중요한 단백질의 SH기와 반응하여 효소로서의 작용을 하지 못하게 하기 때문으로 보는데, 이는 cysteine을 첨가했을 때 thiosulfinate와 쉽게 반응하여 마늘의 항미생물 작용이 소실된다는 보고와 cysteine이나 glutathione과 같은 SH 화합물을 마늘즙에 첨가하면 여러 가지 미생물의 번식을 도와준다는 결과로부터 알 수 있다^(3,7,11,24).

인공 배지 조건에서의 마늘의 항균효과를 토대로 이 항균 효과가 실제로 식품에 적용시킬 때도 나타나는지 알아보기 위해서 *E. coli* O157:H7의 식중독 사고시 빈번한 원인식품인 햄버거용 분쇄 쇠고기를 대상으로 식품적용실험을 실시하였다. 이때 분쇄 쇠고기 자체에서는 *E. coli* O157:H7이 검출되지 않았고 따라서 저장 15일에 걸쳐 *E. coli* O157:H7의 생균수 증가는 나타나지 않았다. 마늘즙을 처리한 분쇄 쇠고기의 경우 저장 3일째의 *E. coli* O157:H7 생균수가 초기량인 1.9×10^6 CFU/mL에 비해 약간 증가한 경향을 보이다가 저장 6일에는 감소하는 경향을 나타냈다. 이때 마늘즙을 처리하지 않은 분쇄 쇠고기의 경우(Fig. 3의 B+E) *E. coli* O157:H7의 세균수는 저장 3일과 6일 모두 초기 생균수에 비해 증가하였다. 저장 9일에는 마늘즙을 처리한 식육 모두에 있어서 *E. coli* O157:H7에 대한 생육 저해 효과가 뚜렷이 관찰되어 시료 모두 10^4 CFU/mL 수준의 생균수를 나타냈다. 즉, 마늘즙이 처리된 분쇄 쇠고기에서는 *E. coli* O157:H7의 생균수가 초기 생균수에 대해 약 2log 감소해 마늘즙에 의한 뚜렷한 항균 효과를 확인할 수 있었다. 저장 12일에는 마늘즙을 처리한 시료 모두에 있어서 *E. coli* O157:H7 생균수가 다시 증가해 마늘즙 무처리 시료의 4.8×10^6 CFU/mL과 근접하는 수치를 보였다. 마늘즙을 처리한 시료에서 *E. coli*

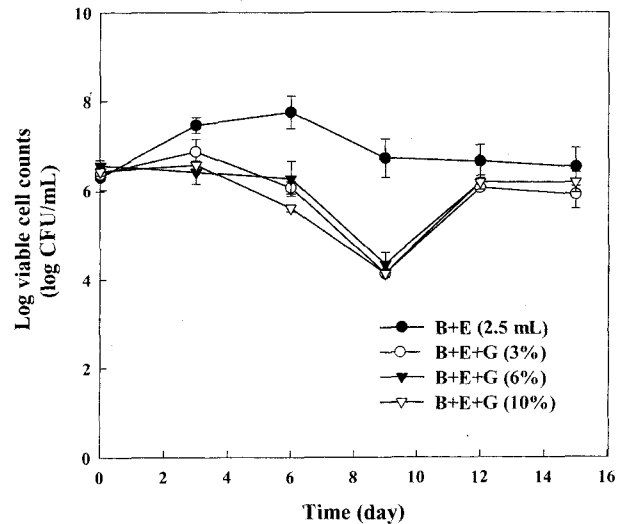


Fig. 2. Fate of *E. coli* O157:H7 in the ground beef treated with garlic juice at 8°C during 15 day storage.

B: Ground beef, E: *E. coli* O157:H7.

O157:H7의 생균수가 저장 9일에 비해 오히려 증가하는 것으로 보아 더 이상 마늘의 항균작용 물질이 그 효과를 발휘하지 못하는 것으로 추정된다. 즉, 마늘의 항균작용 물질인 allicin은 열안정성이 매우 낮고 불안정한 화합물로서⁽⁶⁾ 저장 기간이 길어짐에 따라 이 물질이 고갈되어 *E. coli* O157:H7에 대한 성장 억제 효과가 더 이상 나타나지 않은 것으로 보인다. 저장 15일에는 저장 12일과 유사한 수준으로 *E. coli* O157:H7의 생균수가 유지되었다. 유사한 연구의 예로써 유기산, chelators, bacteriocins, lactoperoxidase, 온도의 단독 처리 또는 이들의 복합 처리가 *E. coli* O157:H7 생장에 미치는 영향을 살펴본 연구들이 보고되고 있다⁽²⁵⁻²⁸⁾. 특히, 천연 방부제의 하나로 많은 연구의 대상이 되고있는 lactoperoxidase의 경우, 분쇄 쇠고기에 처리한 결과 저장 온도 6°C에서는 1log 미만의 생균수 감소가 저장 온도 12°C에서는 약 4log의 생균수 감소가 보고되었다⁽²⁶⁾. 본 실험의 결과, 마늘즙 농도가 3~10%의 범위 내에서는 마늘즙의 농도별 차이에 따른 항균효과는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 즉, 분쇄 쇠고기에서 3%, 6%, 10%의 마늘즙 농도별 *E. coli* O157:H7의 생장억제는 유의적 차이가 없었다($P < 0.05$).

결론적으로 본 연구를 통해 *E. coli* O157:H7이 분쇄 쇠고기에 오염된 경우, 마늘즙은 이 병원성 식중독 세균의 생육저해에 그 효과를 발휘함을 알 수 있었다. 마늘의 섭취가 크지 않았던 서구 여러 나라에서도 마늘의 건강기능성작용과 독특한 관능으로 최근 그 소비가 증가하고 있다. 본 연구는 마늘의 천연 방부제로서의 역할 가능성을 검토한 것으로 햄버거, 소시지 등 *E. coli* O157:H7의 오염가능성이 있는 식품 유통시 마늘즙을 적절히 첨가하면 조미료로서의 관능적 향상과 더불어 식중독 세균의 번식도 방지할 수 있다는 것을 제시한다. 추가적으로, 마늘의 천연 방부제로서의 잠재성을 평가하는데 있어서 다양한 식품을 대상으로 마늘의 천연 방부제로서의 잠재성을 평가하기 위한 보다 면밀한 추가 검토가 요구된다.

요 약

E. coli O157:H7에 대한 마늘즙액의 항균작용을 알아보기 위하여 마늘즙액의 처리량을 농도별 조건을 달리한 후 생균수 측정을 실시하였다. 마늘즙액 농도가 1%에서는 첨가하지 않았을 때에 비해 *E. coli* O157:H7의 생균수가 약간 줄어들었으나 마늘즙 처리량이 3%에서는 약 5 log, 마늘즙 처리량이 5%로 증가했을 때는 약 6 log의 생균수 감소를 보였다. 마늘즙의 식육내 항균작용 효과를 알아본 결과, 식육에서 3%, 6%, 10%의 마늘즙 농도별 차이에 따른 *E. coli* O157:H7에 대한 항균효과는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 마늘즙의 가장 뚜렷한 저해 효과는 저장 9일에 나타나 약 2 log의 생균수 감소가 관찰되었다. 저장 9일 이후에는 *E. coli* O157:H7의 생균수가 다시 증가하는 것으로 미루어 마늘즙의 항균 효과가 소실되는 것으로 추정된다. 본 실험의 결과, 마늘의 조미료로서의 기능과 더불어 천연 방부제로써의 항균 효과에 관한 기초 자료를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 보건과학기술연구개발사업 (HMP-99-F-06-0001)의 일부로 이루어졌으며 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Byun, P.H., Kim, W.J. and Yoon, S.K. Effects of extraction conditions on the functional properties of garlic extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 507-513 (2001)
2. Nishimura, H., Hanny, W. and Mizutani, J. Volatile flavor components and antithrombotic agents: Vinylthiols from *Allium victorialis* L. *J. Agric. Food Chem.* 36: 563-568 (1988)
3. Cavallito, C.J. and Bailey, J.H. Allicin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. I. Isolation, physical properties and antibacterial action. *J. Am. Chem. Soc.* 66: 1950-1956 (1944)
4. Kim, S.H., Park, K.Y., Suh, M.J. and Chung, H.Y. Effect of garlic (*Allium sativum*) on glutathione S-transferase activity and the level of glutathione in the mouse liver. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 23: 436-443 (1994)
5. Ruffin, J. and Hunter, S.A. An evaluation of the side effect of garlic as an antihypertensive agent. *Cytobios* 37: 85-89 (1983)
6. Kamanna, V.S. and Chandrasekhara, N. Biochemical and physiological effects of garlic (*Allium sativum* Linn.). *J. Sci. Ind. Res.* 42: 353-357 (1983)
7. Small, L.D., Bailely, J.H. and Cavallito, C.J. Alkyl thiosulfonates. *J. Am. Chem. Soc.* 69: 1710-1716 (1947)
8. Brodnitz, M.H., Pascale, J.V. and Van Derslice, L. Flavor components of garlic extract. *J. Agric. Food Chem.* 19: 273-275 (1971)
9. Yu, T.H., Wu, C.M. and Liou, Y.C. Volatile compounds from garlic. *J. Agric. Food Chem.* 37: 725-730 (1989)
10. Block, E., Naganathan, S., Putman, D. and Zhao, S. *Allium chemistry*: HPLC analysis of thiosulfonates from onion, garlic, wild garlic (Ramsoms), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. *J. Agric. Food Chem.* 40:

- 2418-2430 (1992)
11. Small, L.D., Bailey, J.H. and Cavallito, C.J. Comparison of some properties of thiosulfonates and thiosulfonates. *J. Am. Chem. Soc.* 71: 3565-3571 (1949)
12. Al-Delaimy, K.S. and Ali, S.H. Antibacterial action of vegetable extracts on the growth of pathogenic bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 21: 110-112 (1970)
13. Tynecka, Z. and Gos, Z. The inhibitory action of garlic (*Allium sativum*, L.) on growth and respiration of some microorganisms. *Acta Microbiol. Pol. Ser. B. Microbiol. Appl.* 5: 51-62 (1973)
14. Dababneh, B.F.A. and Al-Delaimy, K.S. Inhibition of *Staphylococcus aureus* by garlic extract. *Lebensm. Wiss. Technol.* 17: 29-31 (1984)
15. Karaioannoglou, P.G., Mantis, A.J. and Panetsos, A.G. The effect of garlic extract on lactic acid bacteria (*Lactobacillus plantarum*) in culture media. *Lebensm. Wiss. Technol.* 10: 148-150 (1977)
16. Conner, D.E. and Beuchat, L.R. Effects of essential oils from plants on growth of food spoilage yeasts. *J. Food Sci.* 49: 429-434 (1984)
17. Saleem, Z.M. and Al-Delaimy, K.S. Inhibition of *Bacillus cereus* by garlic extracts. *J. Food Prot.* 45: 1007-1009 (1982)
18. DeWit, J.C., Notermans, S., Gorin, N. and Kampelmacher, E.H. Effect of garlic oil or onion oil on toxin production by *Clostridium botulinum* in meat slurry. *J. Food Prot.* 42: 222-224 (1979)
19. Mantis, A.J., Koidis, P.A., Karaioannoglou, P.G. and Panetsos, A.G. Effect of garlic extract on food poisoning bacteria, *Cl. perfringens*. *Lebensm. Wiss. Technol.* 12: 330-332 (1979)
20. Barone, F.E. and Tansey, M.R. Isolation, purification, identification, synthesis, and kinetics of activity of the anticandidal component of *Allium sativum*, and a hypothesis for its mode of action. *Mycologia* 69: 793-825 (1977)
21. Nagourney, R.A. Garlic: medicinal food or nutritious medicine? *J. Med. Food* 1: 13-28 (1998)
22. Su, C. and Brandt, L.J. *Escherichia coli* 157:H7 infection in humans. *Ann. Intern. Med.* 123: 698-714 (1995)
23. Samelis, J., Sofos, J.N., Kendall, P.A. and Smith, G.C. Effect of acid adaptation on survival of *Escherichia coli* O157:H7 in meat decontamination washing fluids and potential effects of organic acid interventions on the microbial ecology of the meat plant environment. *J. Food Prot.* 65: 33-40 (2002)
24. Kyung, K.H., Park, K.S. and Kim, Y.S. Isolation and characterization of bacteria resistant to the antimicrobial activity of garlic. *J. Food Sci.* 61: 226-229 (1996)
25. Hathcox, A.K. and Beuchat, L.R. Inhibitory effects of sucrose fatty acid esters, alone and in combination with ethylenediamine-tetraacetic acid and other organic acids, on viability of *Escherichia coli* O157:H7. *Food Microbiol.* 13: 213-225 (1996)
26. Kennedy, M., O'Rourke, A.-L., McLay, J. and Simmonds, R. Use of a ground beef model to assess the effect of the lactoperoxidase system on the growth of *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in red meat. *Int. J. Food Microbiol.* 57: 147-158 (2000)
27. Moon, G.-S., Kim, W.J. and Kim, M. Synergistic effects of bacteriocin-producing *Pediococcus acidilactici* K10 and organic acids on inhibiting *Escherichia coli* O157:H7 and applications in ground beef. *J. Microbiol. Biotechnol.* 1: 936-942 (2002)
28. Fang, T.J. and Tsai, H.-C. Growth patterns of *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef treated with nisin, chelators, organic acids and their combinations immobilized in calcium alginate gels. *Food Microbiol.* 20: 243-253 (2003)