J. Fd Hyg. Safety
Vol. 22, No. 4, pp. 382~387 (2007)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

식육에서 피틴산염의 *Salmonella typhimurium*균에 대한 항균효과

백동진 · 허진주 · 이예은 · 이기남 · 남상윤 · 윤영원 · 정재황[1] · 이상화[2] · 이범준*
충북대학교 수의과대학 및 동물의학연구소, [1]서원대학교 바이오산업학과, [2]서원대학교 식품영양학과

Antibacterial Activity of Sodium Phytate Against *Salmonella typhimurium* in Meats

Dong-Jin Baek, Jin-Joo Hue, Yea Eun Lee, Ki-Nam Lee, Sang Yoon Nam, Young Won Yun, Jae-Hwang Jeong[1], Sang-Hwa Lee[2], and Beom Jun Lee*
College of Veterinary Medicine and Research Institute of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763
[1]Department of Bio-industry, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea
[2]Department of Food and Nutrition, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea
(Received December 2, 2007/Accepted December 23, 2007)

ABSTRACT – The approval of use of certain food-grade phosphates as food additives in a wide variety of meat products greatly stimulated research on the applications of phosphates in foods. Phytic acid is a natural plant inositol hexaphosphate constituting 1-5% of most cereals, nuts, legumes, oil seeds, pollen, and spores. In this study, we investigated antibacterial activity of sodium phytate (SPT) against *Salmonella typhimurium* in tryptic soy broth with different pHs and in chicken, pork and beef. In tryptic soy broth, SPT at the concentrations of 0.1, 0.5, and 1.0% effectively inhibited the growth of *Salmonella typhymurium* in a concentration-dependent manner. At pH 5.5-7.0 similar to meat pHs, 1% SPT almost completely inhibited the bacterial growth. The inhibitory effect of SPT was stronger at pH 7.0 than pH 5.5. In chicken, pork, and beef, SPT at the concentrations of 0.1, 0.5, and 1% significantly inhibited the growth of *Salmonella typhimurium* in a dose-dependant manner ($p<0.01$). The addition of 1% SPT in the meats significantly increased the meat pHs. These results indicate that SPT is very effective for inhibition of bacterial growth as a muscle food additive for increasing food safety and functions.

Key words: antibacterial activity, antioxidant, food additives, sodium phytate, *Salmonella typhimurium*

서 론

최근 식생활 및 식품산업의 급격한 발전과 식품의 세계화 및 인스턴트식품의 대량화 등으로 식품의 저장기간을 연장하고, 식품의 상품가치를 높이기 위한 수단으로 식품보존료의 사용이 증가되고 있으나, 대부분의 식품 보존제는 화학물질로서 높은 농도로 사용할 경우 안전성에 심각한 영향을 나타낸다. 특히 식육산업은 식육 및 가공품에 대한 보존기간을 연장하는데 여러 가지 식품첨가제를 사용해 왔는데, 소금, 아질산염 등이 전형적인 물질로서 식육 중에 유해세균의 증식을 막고, 풍미를 증가시키고 보존시간을 연장시키는데 사용되어지고 있다.[1)] 그러나 이러한 물질들은 식품 그 자체에는 유효할지라도 인체의 건강에 유해한 것으로 밝혀져 그 사용이 제한되고 있다. 따라서 식품업계에서는 새로운 식육첨가물질을 찾고 있으며 이러한 대체물질로서 미국 USDA에서는 0.5% 농도의 인산염들의 사용을 허가하게 되었고, 그 인산염들의 주요 기능은 식육의 보수성을 증가시키고, 산패를 방지하며, 육색을 보존시키는 등 여러 가지 유익한 점이 있다.

한편 Lee 등은 자연 식물 중에 존재하는 피틴산염이 식육에서 산패를 방지하고, 육색을 보존시켰으며, 보수성을 증진시키는 등 식품의 품질향상에 매우 뛰어난 효과가 있다는 것을 보고한 바 있다.[2-5)] 피틴산(phytic acid, inositol hexaphosphate)은 자연 식물성 항산화제로서 곡류나 씨앗 등에 1~5%(w/w) 정도 함유되어 있고,[6)] 사람의 소화관내에서 쉽게 분해되지 않은 것으로 알려져 있다.[7,8)]

한편, 피틴산은 소고기에서 철분으로 촉매된 지방과산화

*Correspondence to: Beom Jun Lee, Department of Veterinary Public Health, College of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
Tel: 82-43-261-3357, Fax: 82-43-271-3246
E-mail: beomjun@cbu.ac.kr

를 억제시킬 수 있으며, 그 효과는 ascorbic acid나 butylated hydroxy toluene(BHT)보다 강하게 나타난다고 한다.[2] 또한 피틴산은 철분 혹은 구리로 촉매된 여러 시험관내 모델들에서 비타민 C, deoxyribose, linoleic acid의 산화를 효과적으로 억제시킬 수 있다.[3] 소고기 패티에 피틴산염을 첨가시에 육색을 보존하고, 산화를 방지하고, 더불어 보존기간을 연장하는 등의 효과를 보이며,[3,9] 인산염들과의 비교 시험시에 보수성 증진, 육색 보존, 보존성 연장, 결찰성 증진 등에서 인산염에 비해 동등하거나 우수한 것으로 알려졌다.[4,5] 특히 보존성 증진효과는 다른 식육인 돼지고기, 닭고기, 생선에도 나타나다.[10] 한편 인산염의 항균효과에 대한 여러 보고가 있는데 그 결과는 다양하며,[11] 특히 생육에서 그 효능이 낮은데 이것은 생육에 존재하는 phosphatase의 작용에 의해 인산염들이 가수분해되기 때문이다.[4,5] 인산염에 비해 피틴산염은 열에 강하고 phosphatase에 의해 쉽게 분해되지 않으므로 생육이나 멸균 처리한 식육에서 공히 인산염들이 가지고 있는 항균효과를 기대할 수 있을 것이다.[12,13] 최근 Lee 등은 피틴산염이 식육 및 일반배지에서 *E. coli* O157:H7에 대하여 항균효과를 보였으며, 생육에서 phosphatase에 의한 orthophosphate가 유리되지 않았다고 보고하였다.[13]

본 실험은 pH가 다른 선택된 배지에서 *Salmonella typhimurium*에 대한 피틴산염인 sodium phytate(SPT)의 항균효과를 조사하였으며, 더불어 축산식품인 닭고기, 돼지고기 및 소고기를 사용한 식육배지에서 *Salmonella typhimurium*의 성장억제에 대한 효과를 평가하였다. 본 연구의 결과는 피틴산염을 식육첨가제로서 식육가공품에 사용시 항산화 효과 및 식육품질 개선과 더불어 식중독 유해세균에 대한 항균 효과를 동시에 가져올 수 있는 지에 대한 정보를 제공하였다.

재료 및 방법

시험재료

SPT는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였으며, SPT의 stock용액을 실험에 앞서 준비하여 22-Millipore membrane(Millipore Corp., Bedford, MA, USA)이나 0.22-μm syringe filter를 사용하여 여과시킨 여과액을 사용하였다.

시험균주 및 배양

Salmonella typhimurium(ATCC14028)을 서울대학교 수의과대학 전염병학교실에서 분양받아 그 stock culture를 적절히 유지하여 사용하였다. 균의 생육 및 보존을 위해 tryptic soy broth(TSB, Difco)와 tryptic soy agar(TSA, Difco)를 사용하였다.

pH가 다른 선택배지에서 항균효과

선택배지에서의 항균효과는 15 ml의 멸균된 conical tube에 시험물질(최종농도; 0.1, 0.5 및 1%)을 넣어 최종 volume을 10 ml로 만들고, *Salmonella typhimurium*균을 0.1 ml (1×10^8 cells/ml) 분주한 후, shaking incubator안에서 37°C에서 1시간 동안 반응시킨 후, 37°C 배양기에서 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 180, 240분 동안 배양하여 spectrophotometer(Bio Spec-1601, Shimadzu, Japan)를 사용하여 600nm에서 흡광도를 측정하였다. 배지의 pH는 HCl을 사용하여 일반적인 식육의 pH 범위인 5.5, 6.0, 6.5, 7.0로 적정하여 pH가 다른 조건에서 시험물질의 항균효과를 관찰하였다.

식육에서 항균효과

신선한 식육인 닭고기, 돼지고기 및 소고기를 Home Plus (청주 가경점)에서 구입하여 사용하였다. 0.1% peptone water 0.5 ml과 0.1 ml의 SPT(최종 농도; 0.1, 0.5, 및 1.0%)에 마쇄된 고기 0.3 g를 넣고 homogenizer로 마쇄한 후 *Salmonella typhimurium* 0.1 ml(1×10^8 cells/ml)을 분주하고 37°C에서 18시간 배양한 후 검체 0.5 ml과 peptone water 0.5 ml을 잘 섞은 후 다시 각 sample의 상층액을 얻기 위해 14,000 rpm으로 30분간 원심 분리하였다. 상층액을 적정 배수로 희석하여 0.1 ml을 TSA배지에 도말하여 37°C에서 16시간 배양한 후 세균수를 측정하였다.

pH 측정

시험물질 1.0%가 첨가된 식육을 24시간 동안 4°C에서 보관 한 후, 식육 검체 1 g을 9 ml의 증류수에 넣고 균질기를 사용하여 10초간 마쇄한 후 13,500 rpm에서 원심분리 후에 유리전극 pH 측정기로 pH를 측정하였다.

통계처리

식육에 SPT의 농도 0.1, 0.5 및 1%를 첨가하였을 때의 흡광도 및 colony수간의 유의성을 student's t test로 분석하였다.

결 과

pH가 다른 선택배지에서 피틴산의 항균효과

증균 배지에서의 *Salmonella typhimurium*에 대한 효과를 알아 보기위해 TSB에 피틴산의 최종농도가 0.1, 0.5 및 1.0%가 되게 설정하여 식육의 일반적 pH 범위인 5.5-7.0에 맞춰 HCl을 사용하여 배지의 pH를 적정하였다. *Salmonella typhimurium*에 대한 항균 효과는 사용된 모든 pH에서 피틴산의 농도에 의존적으로 유의성($p<0.01$)있게 세균의 성장을 억제시켰다(Fig. 1). *Salmonella typhimurium* 균을 240분 동안 배양했을 때 1% 피틴산의 경우 모든 pH

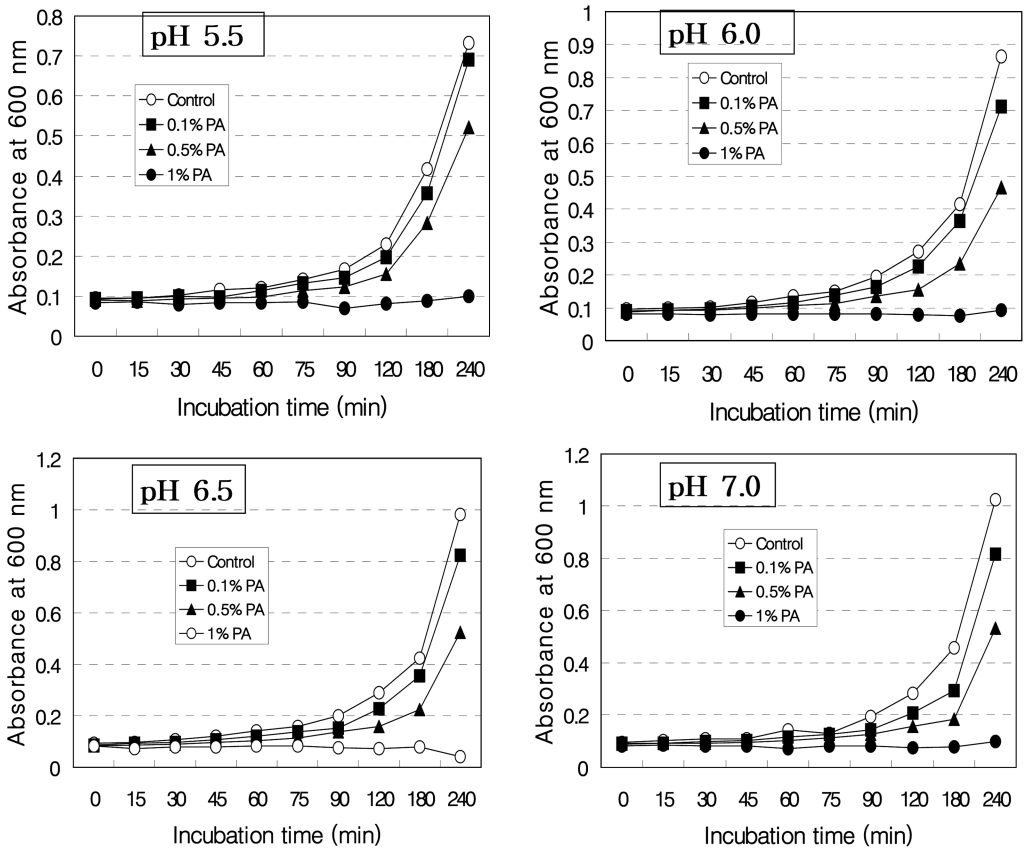

Fig. 1. Antibacterial effect of phytic acid (PA) at the final concentrations of 0.1, 0.5 and 1% against *Salmonella typhimurium* in Tryptic soy broth.

에서 살모넬라균에 대한 사멸효과가 매우 뛰어나 거의 증식이 이루어지지 않았다. Salmonella균은 산성보다는 중성에 가까운 쪽에서 잘 증식하였으며, 더불어 피틴산의 항균효과는 pH가 중성에 가까운 쪽에서 더욱 강하게 나타났다. 0.5% 피틴산은 pH 5.5, 6.0, 6.5 및 7.0에서 *Salmonella typhimurium*의 증식을 각각 약 30, 45, 48, 52% 정도를 억제시켰다(Fig. 1).

닭고기에서의 피틴산염의 항균효과

신선한 생육인 닭고기 가슴살에 SPT를 여러 농도로 첨가했을 때 *Salmonella typhimurium* 접종 후 항균효과가 SPT의 농도에 의존적으로 나타났다(Fig. 2). 사용된 닭고기에서 SPT 0.1, 0.5, 및 1%의 농도에서 *Salmonella typhimurium*의 증식이 유의성 있게 감소하였다($p<0.01$). SPT 0.5%는 약 1.2 log 단위의 감소 효과를 보였으며, 1% SPT는 2.2 log 단위의 항균효과를 보였다(Fig. 2).

돼지고기에서의 피틴산염의 항균효과

돼지고기에서의 SPT의 효과는 닭고기에서와 같이 0.1, 0.5 및 1%의 농도에 대하여 농도 의존적으로 *Salmonella typhimurium*의 증식을 억제시켰다(Fig. 3). 사용된 모든 농

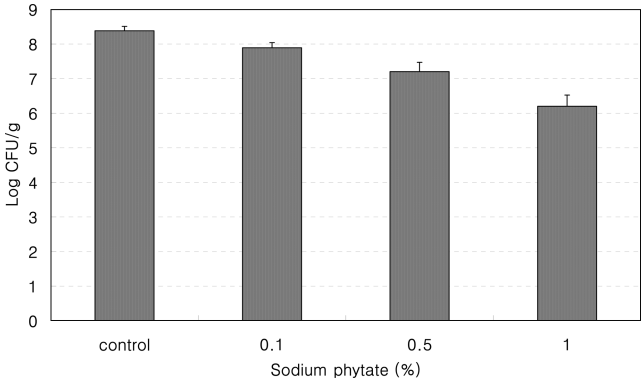

Fig. 2. Antibacterial effect of sodium phytate at the final concentrations of 0.1, 0.5 and 1% against *Salmonella typhimurium* in chicken breast. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C. Data represent mean ± SD of three determinations.

도에서 SPT는 *Salmonella typhimurium*에 대하여 유의성 있는 항균효과를 보였다($p<0.01$). SPT 0.5%는 약 1.0 log 단위의 항균 효과를 보였으며, 1% SPT는 1.9 log 단위의 항균효과를 보였다(Fig .3).

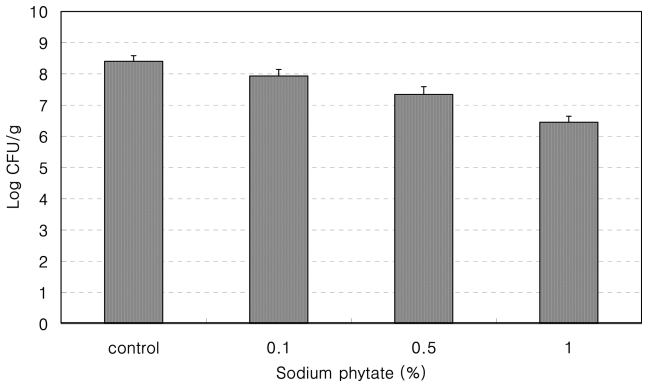

Fig. 3. Antibacterial effect of sodium phytate at the final concentrations of 0.1, 0.5 and 1% against *Salmonella typhimurium* in pork. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C. Data represent mean ± SD of three determinations.

소고기에서의 피틴산염의 항균효과

소고기에서의 SPT의 효과는 닭고기 및 돼지고기에서와 같이 사용된 SPT의 농도에 대하여 의존적 항균효과를 보였다(Fig. 4). SPT는 0.1, 0.5 및 1%의 농도에 대하여 유의적으로 *Salmonella typhimurium*의 증식을 억제시켰다 ($p<0.01$). SPT 0.5%는 약 1.0 log 단위의 감소 효과를 보였으며, 1% SPT는 2.2 log 단위의 항균효과를 보였다(Fig. 4). 이러한 항균효과는 사용된 식육 중에서 닭고기에서 가장 강하였고, 돼지고기에서 가장 약하게 나타났다(Fig. 2-4)

식육의 pH에 대한 sodium phytate의 영향

식육의 최종 pH는 가축의 영양상태, 도축과정 및 숙성과정 등에 따라 다를 수 있다. 닭고기, 돼지고기 및 소고기의 pH는 각각 5.69, 5.58, 5.61이었다. SPT 1%의 첨가는 식육의 pH를 약 0.5-0.6 단위만큼 증가시켰다(Table 1). 여기서 사용된 SPT 1% 용액의 pH는 약 10.5이었다.

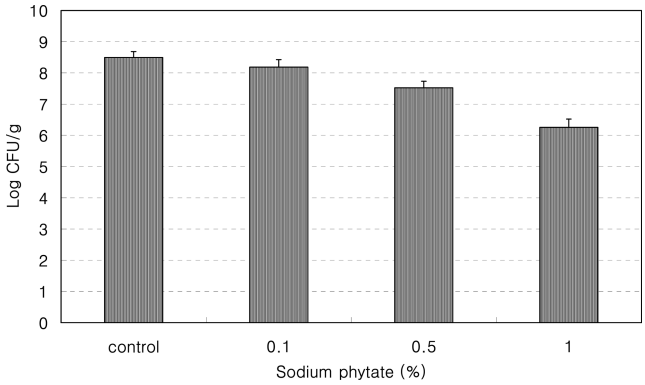

Fig. 4. Antibacterial effect of sodium phytate at the final concentrations of 0.1, 0.5 and 1% against *Salmonella typhimurium* in beef. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C. Data represent mean ± SD of three determinations.

Table 1. Levels of pH in meats

Treatments	Meats		
	Chicken	Pork	Beef
Control	5.69 ± 0.05	5.58 ±0.04	5.61 ± 0.02
Sodium phytate	6.26 ±0.02*	6.07 ± 0.03*	6.18 ± 0.03*

Data represent mean ± S.D.
*significantly different from the control at $p<0.01$.

고 찰

식육에서 식품첨가제로서 인산염의 사용에 대한 허가는 주요한 4가지의 기능, 즉 1) 보수력의 증진, 2) 유화기능의 증진, 3) 식품의 변패 및 육색변화 방지, 4) 훈제 식육의 육색 증진을 위해 사용되고 있다. 현재 식육첨가제로서 인산염은 최종 산물의 무게에 0.5%를 초과하지 못하도록 규정되어 있다.[14] 그 한계치는 식육의 기능을 항진시키는 것에 근거하며 미생물의 증식억제에 근거하는 것은 아니다. 비록 인산염이 항균제로서 분류되어 있지는 않지만 수많은 연구자들은 인산염이 항균효과를 지니고 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 축산식품에서 그 인산염을 대체하여 인산염의 식육에서의 기능과 유사한 피틴산염이 *Salmonella typhimurium*에 대하여 어떠한 항균효과를 보이는지를 연구하였다. 피틴산염은 증균배지 및 사용된 식육에서 효과적으로 *Salmonella typhimurium*의 증식억제 효과를 보였다.

이러한 피틴산의 항균효과 기전은 아직 밝혀지지 않았지만, Lee 등은 피틴산은 중성 pH에서 Fe(II)의 산화를 촉진할 수 있는 ferroxidase의 기능을 가지고 있으며, Fe(III)와 쉽게 결합한다고 보고하였다.[3] 이러한 성질은 H_2O_2와 OH등의 활성산소의 산생과 연관되어 세균들을 사멸할 수 있다고 보고하였다.[12,15] 또한 Lee 등은 *E. coli* O157:H7에 대하여 산성 buffer(pH 4.5-7.0)에서 항균효과를 관찰하였을 때, 피틴산염과 인산염들이 유효한 효과를 보였으며, 그러한 효과는 pH가 높으면 더욱 강력하다고 보고하였다.[12] 본 연구에서도 증균 배지상에서 피틴산의 *Salmonella typhimurium*에 대한 항균효과는 일반적인 식육 pH 범위인 5.5-7.0사이에서 모두 유의적으로 나타났는데, 그러한 효과가 pH 5.5보다는 pH 7.0에서 더욱 강하게 나타났다. 식육첨가제로 사용되는 인산염들은 pH가 알카리성이기 때문에 식육에 첨가시 식육의 pH를 증가시키는데[13], 피틴산염 역시 매우 강한 알카리성이기 때문에 본 연구에서도 식육에 첨가시 식육의 최종 pH를 증가시켰다.

초기 도계 및 계육 생산과정에 대한 적용에서 Spencer와 Smith는 인산염 용액 속에 계육을 6시간 동안 담아 두었을 때 보존기간을 연장시키고 미생물에 의한 부패를 감소시켰다고 보고 하였다.[16] Steinhauer와 Banwart 그리고

Chen 등도 계육 도체를 인산염속에 담구면 미생물의 증식 억제 및 식육의 보존을 향상시켰다고 보고하였다.[17,18] 이러한 연구들의 결과로 도계과정 중에 *Salmonella* spp를 감소시키는 tetrasodium phosphate(TSP)의 사용이 USDA에 의해 승인되었고, 그 TSP의 사용은 계육 중에 다른 병원성 세균인 *E. coli*, Camphylobacter, *Staphylococcus aureus*의 증식을 억제시켰다고 보고하였다.[19] 또한 실험실 증균 배지에서 0.5% tetrasodium pyrophosphate(TSPP) 및 0.5% sodium polyphosphate glassy(SPG)는 *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruinosa*, *Salmonella typhimurium* 및 유산균에 대해 항균효과를 나타내었다.[20] Lee 등은 0.5% 여러 인산염이 배지에서 초기 S*taphylococcus aureus*의 증식 억제효과를 보였는데, 그러한 효과는 아마도 세포파괴에 의한 것이라고 보고하였다.[21] 이러한 억제효과가 metal ion인 Ca(II) 및 Mg(II) 혹은 Fe(III)의 첨가에 의해 사라졌으며 이러한 결과로부터 인산염의 항균효과는 배지 중에 금속이온의 농도에 영향을 미치는 것에 의한 것이라고 결론지었다.[22] Molins 등은 1.0% sodium acid pyrophosphate (SAPP)가 5ºC에서 보관되는 돼지고기에서 저온균의 발육을 억제시켰으며, 더불어 0.5%-1.0% orthophosphate나 처치되지 않은 돼지고기보다 보존성을 50% 가량 증진시켰다고 보고하였다.[23]

이 처럼 인산염의 항균효과는 많은 연구자들에 의해 보고되고 있는데 반해, 피틴산의 항균 효과에 대해서는 아직 잘 알려지지 않았다. Lee 등은 이미 여러 실험관내 모델을 사용하여 피틴산염의 항산화 및 식육의 기능성을 증진시킨다고 보고하였다.[2-5,9,10] 최근 Hue 등은 닭고기, 돼지고기 및 소고기에서 *E. coli* 017:H7에 대한 피틴산염의 항균효과에 대해서 보고 하였으며, 이러한 항균효과는 본 연구의 *Salmonella typhimurium*에 대한 결과와 유사하게 나타났다.[13] 본 연구에서 사용된 피틴산염의 농도는 0.1, 0.5 및 1%로서 인산염의 USDA 승인 농도인 0.5%를 포함하였으며, 0.5% 피틴산염은 효과적으로 *Salmonella typhimurium*의 증식을 억제시켰다.

인산염의 항균효과에 대해서는 몇몇 연구자들이 인산염의 항균효과가 미미하다고 보고하여 아직도 논란의 여지가 있다. Flore 등은 생고기 혹은 가공 식육에서 0.5% 인산염이 *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* 및 *Salmonella typhimurium*에 대해 항균효과가 미미하다고 보고하였으며[11], Molins 등은 0.4% 인산염 혼합물질이 고온에서는 항균효과가 보였지만, 동결 소고기 patties에서 저온 및 중온균, *Staphylococcus aureus*, 유산균에 유의적 효과를 보이지 않았다고 보고하였다.[23] 이러한 비효과적 항균작용은 자연적으로 식육 내에 polyphosphate 혹은 pyrophosphate의 형태로 많은 인산염이 존재하며 마쇄 및 혼합 등의 가공과정에서 근육세포의 파괴에 의한 phosphatase가 유리되어 인산염을 가수분해시키기 때문이라고 설명하였다. 최근 Lee 등은 식육에서 sodium pyrophosphate 및 sodium tripolyphosphate의 첨가는 soluble orthophosphate의 증가를 가져왔는데[13], 이러한 효과는 식육의 마쇄 및 혼합시 유리된 meat phosphatase의 효소의 작용에 기인되는 것으로 추측하였다. 그러나 피틴산염은 그러한 효소에 의한 가수분해에 매우 저항성이 강하며, pH 및 열에 대해서도 잘 분해되지 않는다고 보고하였다[13].

본 실험에서는 식육산업에서 유용한 새로운 첨가물질인 피틴산염을 개발함으로서 식육의 보존성 및 유해세균의 증식성을 막아 경제적 이익을 가져올 수 있을 뿐 만아니라 식육첨가제로서 피틴산염의 사용은 기존 인산염 물질들의 대체효과를 볼 수 있을 것이다.

요 약

피틴산(phytic acid)은 inositol hexaphosphate로서 식물성 식품 및 씨 중에 1-5%가량 존재하는 자연 항산화 물질로서 소화효소에 의해 쉽게 분해되지 않는다. 한편 인산염은 식육에서 품질개량제로 식육에서의 항균 효과에 대해서는 이미 여러 보고가 있으나 그 결과는 다양하다. 일반적으로 생육에서는 그 효능이 낮은데 이것은 생육에 존재하는 phosphatase의 작용에 의해 인산염들이 가수분해되기 때문이다. 한편 피틴산염은 열에 강하고 쉽게 분해되지 않으므로 생육이나 멸균 처리된 식육에서 공히 인산염들이 가지고 있는 항균효과를 기대할 수 있다. 본 실험에서는 pH가 다른 선택배지에서 *Salmonella typhimurium*에 대한 피틴산의 항균효과를 평가하였고, 더불어 생육에서 *Salmonella typhimurium*의 접종 후에 항균 효과를 평가하였다. 선택된 배지인 tryptic soy broth에서 *Salmonella typhimurium*에 대한 항균 효과는 0.1, 0.5 및 1%의 세 가지 농도에서 농도에 의존적으로 유의성 있게 나타났다. 생육인 닭고기, 돼지고기 및 소고기에 피틴산염을 각각 0.1, 0.5, 그리고 1%의 농도별로 첨가했을 때 *Salmonella typhimurium*의 증식이 모두 유의성 있게 감소하였다($p<0.01$). 또한 피틴산염의 첨가는 모든 식육에서 pH를 0.5-0.6단위만큼 증가시켰다. 이러한 결과로부터 피틴산염은 배지 및 식육에서 항균효과가 뛰어나며 따라서 축산식품의 첨가제로서 사용시 식품의 기능성 향상과 더불어 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신센터(RIC) 프로그램의 일환으로 서원대학교 친환경 바이오 소재 및 식품센터의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Darmadji, P. and Izumimoto, M.: Effect of chitosan in meat preservation. *Meat Sci.*, **38**, 243-254 (1994).
2. Lee, B.J. and Hendricks, D.G.: Phytic acid protective effect against beef round muscle lipid peroxidation. *J. Food Sci.*, **60,** 241-244 (1995).
3. Lee, B.J. and Hendricks, D.G.: Metal-catalyzed oxidation of ascorbate, deoxyribose and linoleic acids as affected by phytic acid in a model system. *J. Food Sci.*, **62**, 935-938 (1997).
4. Lee, B.J., Hendricks, D.G. and Cornforth, D.P.: Antioxidant effects of carnosine and phytic acid in a model beef system. *J. Food Sci.*, **63,** 394-398 (1998).
5. Lee, B.J., Hendricks, D.G. and Cornforth, D.P.: Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripolyphosphate on physico-chemical characteristics of restructured beef. *Meat Sci*., **50,** 273-283 (1998).
6. Graf, E. and Eaton, J.W.: Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical. Biol. Med.*, **8**, 61-69 (1990).
7. Reddy, N.R. and Salunkhe, D.K.: Interactions between protein and minerals in whey fractions of black gram. *J. Food Sci.*, **46**, 564-568 (1981).
8. Johnson, L.F. and Tate, M.E. : Structure of phytic acids. *Can. J. Chem.*, **47**, 63-73 (1969).
9. Lee, B.J., Kim, Y.C. and Cho, M.H.: Effects of phytic acid content, storage time and temperature on lipid peroxidation in muscle foods. *J. Food Hyg. Safety,* **3**, 309-314 (1999).
10. Lee, B.J., Lee, Y.S. and Cho, M.H.: Effects of carnosine and phytate on water-holding capacity, color, and TBA values in a dilute beef model system. *Food Sci. Biotechno*l., **8**, 118-123 (1999).
11. Flores, L.M., Sumner, S.S., Peters, D.L. and Mandigo, R.: Evaluation of a phosphate to control pathogen growth in fresh and processed meat products. *J. Food Protect.*, **59**, 356-359 (1996).
12. Li L, Hue J.J., Lee Y.E., Nam S.Y., Yun Y.W., Jeong J.H., Lee S.H., Yoo H.S. and Lee B.J.: Antibacterial activity of sodium phytate and sodium phosphates against *Escherichia coli* O157:H7 in acidic pH. *Kor. J. Vet. Publ. Hlth.*, **30**, 19-25 (2006).
13. Hue J.J., Li L., Lee Y.E., Lee K.N., Nam S.Y., Yun Y.W., Jeong J.H., Lee S.H., Yoo H.S. and Lee B.J. : Antibacterial activity of sodium phytate and sodium phosphates against *Escherichia coli* O157:H7 in meats. *J. Fd. Hyg. Safety*, **22**, 37-44 (2007).
14. USDA. 1982. Meat and poultry products: phosphates and sodium hydroxide. *Fed. Register*, **47**, 10779.
15. Klebanoff, S.J. 1992. Bactericidal effect of Fe^{2+}, ceruloplasmin, and phosphate. *Arch. Biochem. Biophys.*, **295**, 302-308 (1992).
16. Spencer, J.V. and Smith, L.E.: The effect of chilling chicken fryers in a solution of polyphosphates upon moisture uptake, microbial spoilage, tenderness, juiceness and flavor. *Poultry Sci.*, **41**, 1685-1688 (1962).
17. Steinhauer, J.E. and Banwart, G.J.: The effect of food grade polyphosphates on the microbial population of chicken meat. *Poultry Sci*., **43**, 618-620 (1963).
18. Chen, T.V., Culotta, J.T. and Wang, W.S.: Effect of water and microwave energy precooking on microbiological quality of chicken parts. *J. Food Sci*., **38**, 155-157 (1973).
19. Giese, J.: Salmonella reduction process receives approval. *Food Technol.*, **41**, 505-510.(1993).
20. Molins, R.A., Kraft, A.A., Olson, D.G. and Hotchkiss, D.K.: Recovery of selected bacteria in media containing 0.5% food grade poly- and pyrophosphates. *J. Food Sci*,. **49**, 948-950 (1984).
21. Lee, R.M., Hartman, P.A., Olson, D.S. and Williams, F.D.: Bactericidal and bacteriolytic effects of selected food-grade phosphates, using *Staphylococcu aureus* as a model system. *J. Food Protect.*, **57**, 276-283 (1994).
22. Lee, R.M., Hartman, P.A., Olson, D.S. and Williams, F.D.: Metal ions reverse the inhibitory effects of selected food-grade phosphates in *Staphylococcus aureus*. *J. Food Protect.*, **57**, 284-288 (1994).
23. Molins, R.A., Kraft, A.A., Walker, H.W., Rust, R.E., Olson, D.G. and Merkenich, K.: Effect of inorganic polyphosphates on ground beef characteristics: Some chemical, physical, and sensory effects on frozen beef patties. *J. Food Sci.*, **52**, 50-52 (1987).