J. Fd Hyg. Safety 22(1), 37–44 (2007)

식육에서 피틴산염과 인산염의 *Escherichia coli* O157:H7균에 대한 항균효과

허진주 · 리란 · 이예은 · 이기남 · 남상윤 · 윤영원, 정재황[1] · 이상화[2] · 유한상[3] · 이범준

충북대학교 수의과대학 및 동물의학연구소, [1]서원대학교 바이오산업학과 및 [2]식품영양학과, [3]서울대학교 수의과대학, BK21 수의과학인력양성사업단 및 인수공통질병연구소

Antibacterial Activity of Sodium Phytate and Sodium Phosphates Against *Escherichia coli* O157:H7 in Meats

Jin-Joo Hue, Lan Li, Yea Eun Lee, Ki-Nam Lee, Sang Yoon Nam, Young Won Yun, Jae-Hwang Jeong[1], Sang-Hwa Lee[2], Han Sang Yoo[3], and Beom Jun Lee[†]

College of Veterinary Medicine and Research Institute of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

[1]Department of Bio-industry and [2]Department of Food and Nutrition, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea

[3]Department of Infectious Diseases, College of Veterinary Medicine, KRF Zoonotic Priority Research Institute and BK21 for Veterinary Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received January 10, 2007/Accepted March 6, 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. Although phosphates have never been classified as antimicrobial agents, a number of investigators have reported that phosphates have antimicrobial activities. 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 activities of sodium phytate (SPT), sodium pyrophosphate (SPP), sodium tripolyphosphate (STPP) on *Escherichia coli* O157:H7 on tryptic soy broth and in beef, pork and chicken. In tryptic soy broth, SPT, SPP and STPP at the concentrations of 0.05, 0.1, and 0.5% effectively inhibited the growth of *Escherichia coli* O157:H7 in a concentration-dependent manner. The bactericidal activity of SPT was the stronger than that of SPP or STPP at the same concentrations. In addition, the antibacterial effects of SPT, SPP and STPP at the concentrations of 0.05, 0.1, 0.3, and 0.5% on *Escherichia coli* O157:H7 were also investigated in raw or cooked meats including beef, pork and chicken. SPT, SPP and STPP significantly inhibited the bacterial growth in a dose-dependant manner ($p<0.05$). The bactericidal effect of SPT was stronger than that of SPP or STPP. The addition of SPT, SPP and STPP in meats increased meat pHs. SPP and STPP also increased the levels of soluble orthophosphate in meats but SPT did not. These results indicate that SPT is very effective for inhibition of bacterial growth and that can be used as a muscle food additive for increasing functions of meats.

Key words: antibacterial activity, antioxidant, food additives, sodium phytate, sodium phosphates

서 론

오늘날 산업문명이 고도로 발달함에 따라 생활환경도 날로 복잡해지고 식생활도 급격한 변화를 가져왔다. 최근 식품산업의 급격한 발전과 식품의 세계화 및 인스턴트식품의 대량화 등으로 식품의 저장기간을 연장하고 상품가치를 높이기 위한 수단으로 식품 보존료의 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 그러한 물질로서 식육 중에 유해세균의 증식을 막고, 풍미를 증가시키고 보존시간을 연장시키는데 사용되어지고 있다.[1)] 그러나 이러한 물질들은 식품 그 자체에는 유효할지라도 인체의 건강에 유해한 것으로 밝혀지고 있다. 따라서 식품업계에

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

서는 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 품질에 매우 뛰어난 효과가 있다는 것을 보고한 바 있다.[2-5] 피틴산(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]

한편, 피틴산은 소고기 마쇄 모델에서 철분으로 촉매된 지방과산화를 억제시켰으며 그 효과는 이미 알려진 ascorbic acid나 butylated hydroxy toluene(BHT)보다 강하게 나타났다.[8] 또한 피틴산은 여러 철분 혹은 구리 촉매된 모델에서 ascorbate, deoxyribose, linoleic acid의 산화를 효과적으로 억제시켰다.[2] 소고기 패티에 첨가시 육색을 보존하고, 산화를 방지하고, 더불어 보존기간을 연장하는 등의 효과를 보였으며,[3,9] 인산염들과의 비교 시험시에 보수성 증진, 육색 보존, 보존성 연장, 결찰성 증진 등에서 인산염에 비해 동등하거나 우수한 것으로 보고되었다.[4,5] 특히 보존성 증진 효과는 다른 식육인 돼지고기, 닭고기, 생선에도 적용이 가능하였다.[10]

한편 인산염은 식육에서 항균 효과에 대해서는 이미 여러 보고가 있으나 그 결과는 다양하다.[11] 일반적으로 생육에서 그 효능이 낮은데 이것은 생육에 존재하는 phosphatase의 작용에 의해 인산염들이 가수분해되기 때문으로 알려졌다.[4,5] 반면에 피틴산염은 열에 강하고 phosphatase에 의해 쉽게 분해되지 않으므로 생육이나 멸균 처리한 식육에서 공히 인산염들이 가지고 있는 항균효과를 기대할 수 있을 것이다.

본 실험은 선택된 배지에서 *E. coli* O157:H7에 대한 sodium phytate(SPT), sodium pyrophosphate(SPP) 및 sodium tripolyphosphate(STPP)의 항균효과를 비교하였으며, 더불어 축산식품인 소고기, 돼지고기 및 닭고기를 사용한 meat 배지에서 *E. coli* O157:H7의 성장에 대한 효과를 비교 평가하였다. 식육은 생육 및 가열 처리한 식육에서 각각 실시하였으며 각각의 시험물질 처리 후에 수소이온농도와 인산분해효소에 의한 가수분해산물인 orthophosphate의 형성을 비교하였다.

본 실험은 피틴산염이 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

SPT, SPP, 및 STPP는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였으며, SPT, SPP, 및 STPP의 stock 용액을 실험에 앞서 준비하여 22-Millipore membrane (Millipore Corp., Bedford, MA, USA)이나 0.22-μm syringe filter를 사용하여 여과시킨 여과액을 사용하였다.

시험균주 및 배양

E. coli O157:H7(ATCC43895)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.

선택배지에서 항균효과

선택배지에서의 항균효과는 15 ml의 멸균된 conical tube에 TSB 2.7 ml과 시험물질 0.3 ml(최종농도; 0.05, 0.1, 및 0.5%)을 넣고 *E. coli* O157:H7 균을 0.1 ml(1×10^8/ml) 분주하였다. 37°C에서 8시간 배양한 후 적정량으로 희석 후 0.1 ml을 TSA에 도말하여 37°C에서 16시간 배양한 후 세균수를 측정하였다.

식육에서 항균효과

신선한 식육인 닭고기, 돼지고기 및 소고기를 (주)한국냉장 중부공장(청원, 충북) 및 (주)체리부로(진천, 충북)에서 구입하여 사용하였다. 0.1% peptone water 0.5 ml과 0.1 ml의 각 농도가 다른 SPT, SPP 및 STPP(최종 농도; 0.0.5, 0.1, 0.3, 0.5%)에 마쇄된 고기 0.3 g를 넣고 homogenizer로 마쇄 후 *E. coli* O157:H7균 0.1 ml(1×10^8/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. 또한 식육을 water-bath속에서 90 ± 2°C에서 10분간 가열처리한 후에 생고기에서의 방법과 같이 시험물질로 처리하여 마쇄한 혼합물에 *E. coli* O157:H7을 분주하여 37°C에서 18시간 배양 후 세균수를 측정하였다.

Orthophosphate 측정

Soluble orthophosphate 측정은 Molins 등(1985)의 방법을 변형하여 사용하였다. 시험물질 0.5%(w/v)가 첨가된

식육을 18시간 동안 37°C에서 보관한 후, 10% (w/v) meat homogenate(D.W.)를 13,500 rpm으로 10초간 마쇄한 후 Whatman #1 여과지로 여과하여 1 ml의 여과액을 얻었다. TCA를 첨가하고 원심 분리하여 그 상층액에 대해 690 nm에서 흡광도를 측정하고 potassium phosphate의 표준선을 이용하여 농도를 계산하였다.

pH 측정

시험물질 0.5%가 첨가된 식육을 24시간 동안 4°C에서 보관한 후, 식육 검체 1 g을 9 ml의 증류수에 넣고 균질기를 사용하여 10초간 마쇄한 후 13,500 rpm에서 유리전극 pH 측정기로 pH를 측정하였다.

통계처리

SPSS 혹은 SAS 프로그램에서 이원배치법 분산분석을 이용하여 생육과 가열처리한 식육에 SPT, SPP 및 STPP의 농도 0.05, 0.1, 0.3 및 0.5%를 각각 첨가하였을 때의 농도 퍼센트와 균 colony수간의 유의성을 분석하였다.

결 과

선택배지에서 항균효과

SPT, SPP 및 STPP의 세가지 농도 0.05, 0.1, 0.5%에서 *E. coli* O157:H7에 대한 항균 효과는 농도에 의존적으로 유의성($p<0.05$)있게 세균의 성장을 억제시켰다(Fig. 1). 항균효과는 SPT의 경우, 0.5%에서 1.3 log 단위의 감소를 보였으며, SPP 및 STPP 또한 약 1.0 log 단위의 감소 효과를 보였다. 이러한 항균 효과는 피틴산염이 인산염들보다 좀더 강한 효과를 보였다.

SPT의 항균효과

신선한 생육인 소고기, 돼지고기 및 닭고기에 SPT를 여러 농도로 첨가했을 때 *E. coli* O157:H7에 대한 항균효과는 농도 의존적으로 나타났다(Fig. 2). 사용된 닭고기, 돼지고기, 소고기에서 SPT 0.05, 0.1, 0.3 및 0.5%의 농도에서 *E. coli* O157:H7의 증식이 유의성 있게 감소하였다($p<0.05$). 대체로 모든 식육에서 SPT 0.5%는 약 1.0 log 단위의 감소

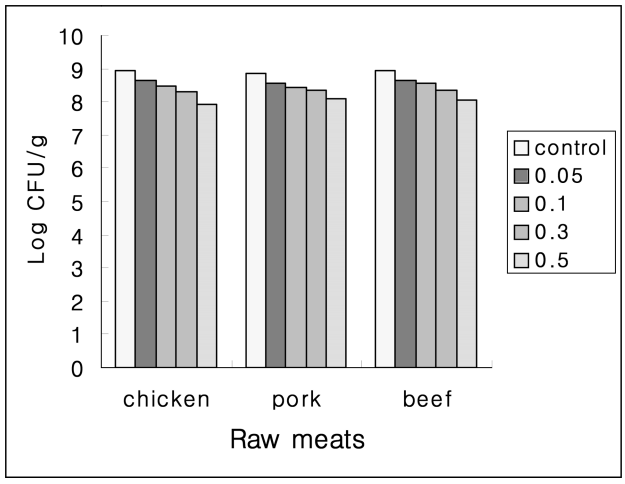

Fig. 2. Antibacterial effect of sodium phytate (SPT) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in fresh raw meats. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C.

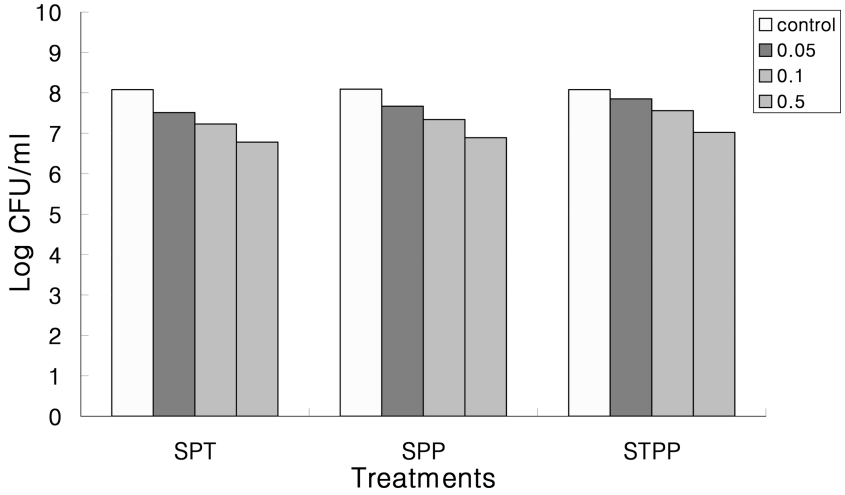

Fig. 1. Antibacterial effect of sodium phytate (SPT), sodium pyrophosphate (SPP) and sodium tripolyphosphate (STPP) at the final concentrations of 0.05, 0.1 and 0.5% on *E. coli* O157:H7. The bacteria were incubated in Tryptic soy broth for 8h at 37°C.

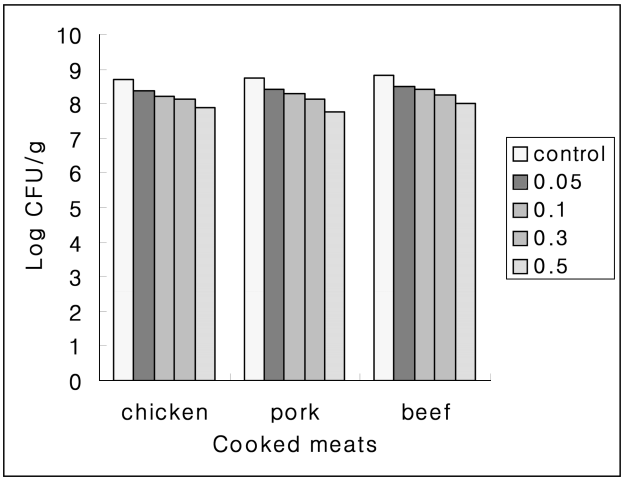

Fig. 3. Antibacterial effect of sodium phytate (SPT) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in cooked meats. The bacteria were incubated in cooked meat broth for 18 h at 37°C.

Fig. 4. Antibacterial effect of sodium pyrophosphate (SPP) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in fresh raw meats. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C.

효과를 보였는데, 그 항균효과는 닭고기에서 다른 돼지고기나 소고기에서보다 좀더 강한 효과를 보였다(Fig. 2).

가열 처리된 식육에서도 SPT의 0.05, 0.1, 0.3 및 0.5% 농도에서 농도에 의존적으로 유의성 있게 세균증식을 억제하였다(Fig. 3). 이러한 항균효과는 생육에서의 효과보다는 약간 미약하였으나 사용된 모든 멸균 처리된 식육에서 거의 유사한 효과를 보였으며, 특히 돼지고기에서 SPT의 0.5%가 가장 강한 항균효과를 보였다.

SPP의 항균효과

닭고기, 돼지고기 및 소고기에서 SPP 0.05, 0.1, 0.3, 및 0.5% 농도의 *E. coli* O157:H7에 대한 항균효과를 측정하였다(Fig. 4). 생육에 0.05, 0.1, 0.3 그리고 0.5%의 SPP의 농도별로 첨가했을 때 *E. coli* O157:H7의 증식을 농도에 의존적으로 유의성 있게 억제하였다($p<0.05$). 이러한 효과는 닭고기와 돼지고기에서 항균작용이 소고기보다 더 강하게 나타났다. 또한 Fig. 2에서의 SPT의 효과와 비교시, SPT가 더 강한 항균효과를 보였다.

가열 처리한 식육에서도 SPP의 사용농도에 따라 유의성 있게 세균증식을 억제하였다(Fig. 5). 이러한 효과는 닭고기, 돼지고기, 소고기 모두에서 0.5% SPP의 농도에서 약 0.7-0.8 log 단위 정도의 감소를 보였으며, 이러한 효과는 Fig. 4에서의 생고기에서의 효과보다 미약하였다. 또한 가열처리된 식육에서 SPT의 효과가 SPP의 효과보다 더 강하게 나타났다.

STPP의 항균효과

생육인 닭고기, 돼지고기 및 소고기에서 STPP의 여러 농

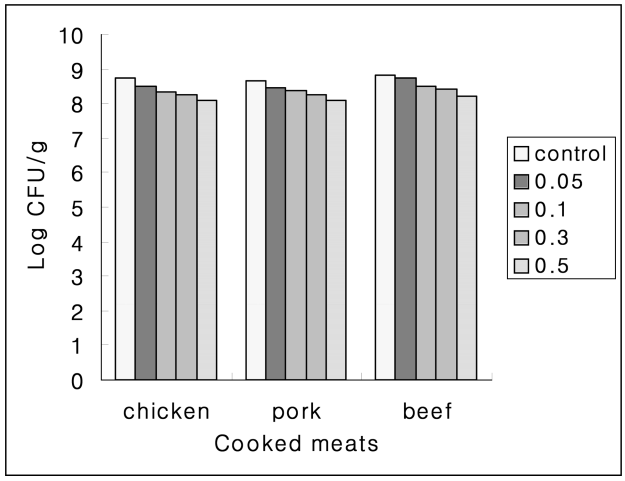

Fig. 5. Antibacterial effect of sodium pyrophosphate (SPP) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in cooked meats. The bacteria were incubated in cooked meat broth for 18 h at 37°C.

도를 첨가했을 때 *E. coli* O157:H7에 대한 항균효과를 측정하였다(Fig. 6). 신선한 식육에서 0.05, 0.1, 0.3 및 0.5%의 STPP의 농도로 첨가했을 때 *E. coli* O157:H7의 증식이 농도에 의존적으로 유의성 있게 감소하였다($p<0.05$). 이러한 항균 효과는 닭고기와 돼지고기에서 소고기보다 더 강하게 나타났다(Fig. 6). 그러나 생육에서 STPP의 항균효과는 SPT나 SPP의 효과보다 미약하게 나타났다.

가열 처리한 식육에서도 첨가된 STPP의 농도에 따라 유의성 있게 세균증식을 억제하였다(Fig. 7). 이러한 효과

Fig. 6. Antibacterial effect of sodium tripolyphosphate (STPP) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in fresh raw meats. The bacteria were incubated in raw meat broth for 18 h at 37°C.

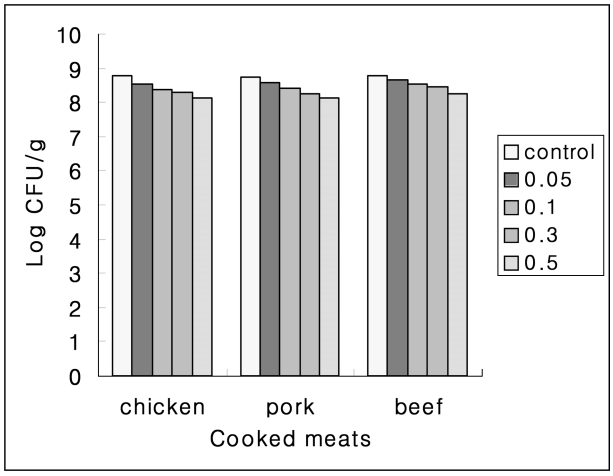

Fig. 7. Antibacterial effect of sodium tripolyphosphate (STPP) at the final concentrations of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5% on *E. coli* O157:H7 in cooked meats. The bacteria were incubated in cooked meat broth for 18 h at 37°C.

는 닭고기, 돼지고기, 소고기 모두에서 0.5% STPP의 농도에서 약 0.6-0.8 log 단위 정도의 유의성 있는 감소를 보였으며($p<0.05$), 생고기에서의 항균효과보다 조금 미약하였다.

Soluble orthophosphate 및 pH에 대한 효과

SPT의 첨가는 식육의 pH를 0.4-0.5 단위만큼 증가시켰다. 반면에 SPP와 STPP는 0.3-0.4 단위를 증가시켰다(Table 1). 여기서 사용된 SPT, SPP 및 STPP의 1% 용액의 pH는 각각 10.5, 10.2, 9.8 이었다. Orthophosphate의 농도는 소고기보다 돼지고기, 닭고기의 순으로 높게 나타났으며, SPT의 첨가는 식육에서 orthophosphate의 농도에 영향을 주지 않았으나, SPP 및 STPP의 첨가는 orthophosphate의 농도를 유의성 있게 증가시켰으며, 더욱이 소고기에서 STPP 첨가시 더욱 높은 orthophosphate 농도를 보였다(Table 1).

고 찰

식품에서 식품첨가제로서 인산염의 사용에 대한 허가는 그 인산염의 응용에 대한 많은 연구를 진행시켰다. 인산염의 사용은 식육에서 주요한 4가지의 기능을 향상시키는데, 1) 보수력의 증진, 2) 유화기능의 증진, 3) 식품의 변패 및 육색 변화 방지, 4) 훈제 식육의 육색 증진 등이다. 현재 식육첨가제로서 인산염은 최종 산물의 무게에 0.5%를 초과하지 못하도록 규정되어 있다.[12] 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 *E. coli* O157:H7에 대한 항균효과를 다른 인산염인 SPP 및 STPP와 비교 관찰하였다. 피틴산은 Fe(II)의 산화를 촉진할 수 있

Table. 1. Levels of orthophosphate and pH in raw meats

Treatment	Meats		
	Beef	Pork	Chicken
Control	1223.7± 57.8 (5.4)[a]	1462.8± 87.8 (5.5)[a]	1543.7± 77.9 (5.6)[a]
SPT	1145.6±103.5 (5.9)[a]	1326.7± 94.6 (6.0)[a]	1582.6±135.8 (6.0)[a]
SPP	1767.4±153.6 (5.8)[b]	2098.6±133.8 (5.8)[b]	2155.4±176.7 (6.0)[b]
STPP	2104.6±109.4 (5.8)[c]	2198.6±129.2 (5.8)[b]	2314.6±143.6 (6.0)[b]

Sodium phytate (SPT), sodium pyrophosphate (SPP) and sodium tripolyphosphate (STPP) were added to meat samples by the final concentration of 0.5% and allowed to stand for 18 h at 37°C.

Parentheses indicate the mean values of pH.

[a-c]Means within columns sharing the same superscript letter were not significantly different at $p<0.05$.

는 ferroxidase의 기능을 가지고 있으며, Lee 등은 피틴산이 Fe(II)와 쉽게 결합하며 중성 pH에서는 Fe(II)에서 Fe(II)로 산화를 촉진한다고 보고하였다.[3] 그러한 과정은 H_2O_2와 OH^- 등의 활성산소의 산생과 연관되어 세균들을 사멸할 수 있다고 보고하였다.[13] 더불어 EDTA 또한 세균에 대해 사멸효과를 가지는데 그 EDTA 및 Fe(II)의 결합 비율에 따라 다른 항균효과를 보일 수 있다고 하였다.[13]

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.[14] Steinhauer와 Banwart 그리고 Chen 등도 계육 도체를 인산염속에 담구면 미생물의 증식 억제 및 식육의 보존을 향상시켰다고 보고하였다.[15,16] 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 억제시켰다.[17] 그러나 그러한 항균효과에 대한 기전은 아직 밝혀지지 않았다.

실험실 증균 배지에서 0.5% tetrasodium pyrophosphate (TSPP)는 *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruinosa*, *Salmonella typhimurium* 및 유산균에 대해 항균효과를 나타내었다.[18] STPP 및 sodium polyphosphate glassy(SPG) 또한 이러한 세균들에 대해 항균효과를 보였다.[18] 그러나 가열처리는 이러한 항균효과를 감소시켰다. 본 연구에서도 가열처리된 식육에서의 효과는 생육에서의 효과보다 미흡한 항균효과를 보였다. Lee 등은 0.5% SAPP, STPP 및 TSPP가 배지에서 초기 *Staphylococcus aureus*의 증식 억제효과를 보였으며 그 효과는 아마도 세포파괴에 의한 것이라고 보고하였다.[19] 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.[20] 여러 가지 chelating agent들, 즉 EDTA, citrate, phosphates와 nisin 등의 복합사용은 시험관내에서 그람음성 세균의 증식을 억제하는데, 이것은 chelator들이 Mg(II)와 결합하여 lipopolysaccharide층의 투과도를 변형시켜 nisin이 효과를 발휘하도록 한다고 보고하였다. Molins 등은 1.0% sodium acid pyrophosphate(SAPP)가 5에서 보관되는 돼지고기에서 저온균의 발육을 억제시켰다고 보고하였으며, 더불어 0.5%-1.0% orthophosphate나 처치되지 않은 돼지고기보다 보존성을 50% 가량 증진시켰다.[21] 0.5% SAPP 또한 5°C에서 생 bratwurst에서 미생물의 증식을 억제시켰다.[22]

그러나 몇몇 연구자들은 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 0.5% STPP, TSPP 그리고 SPG가 처치되지 않은 bratwurst를 5에서 7일간 보관시 호기성 중온균과 저온균에 항균효과를 보이지 않았다고 보고하였다.[22] Molins 등은 0.4% STPP, TSPP와 인산염 혼합물질이 고온에서는 항균효과가 보였지만, 동결 소고기 patties에서 저온 및 중온균, *Staphylococcus aureus*, 유산균에 유의적 효과를 보이지 않았다고 보고하였다.[21] 이러한 비효과적 항균작용은 자연적으로 식육 내에 poly- 혹은 pyrophosphate의 형태로 많은 인산염이 존재하며 마쇄 및 혼합 등의 가공과정에서 근육세포의 파괴에 의한 phosphatase가 유리되어 인산염을 가수분해시키기 때문이다. 더불어 인산염과 근육 단백질의 결합 등이 SPP나 STPP가 SPT보다 미미한 효과를 설명할지 모른다. 본 실험에서 식육에서 SPP 및 STPP의 첨가는 soluble orthophosphate의 증가를 가져왔는데, 이러한 효과는 식육의 마쇄 및 혼합시 유리된 meat phosphatase의 효소의 작용에 기인되는 것으로 사료된다. 또한 STPP의 한 분자는 효소에 의해 분해되어 orthophosphate와 pyrophosphate로 된다고 알려졌다. 그러나 SPT는 그러한 효소에 의한 가수분해에 매우 저항성이 강하며, pH 및 열에 대해서도 잘 분해되지 않는다고 보고되었다. 따라서 SPT는 soluble orthophosphate를 유리시키지 않는다고 보고하였다.[5]

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.

감사의 글

이 논문은 2004 년도 한국학술진흥재단의 신진교수연구사업의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-003-F00035).

국문요약

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 선택배지에서 *E. coli* O157:H7에 대한 sodium phytate(STP), sodium pyrophosphate(SPP) 및 sodium tripolyphosphate(STPP)의 항균효과를 평가하였고, 더불어 생육 및 가열 처리된 식육모델에서 *E. coli* O157:H7의 접종 후에 항균 효과를 비교 평가하였다. 선택된 배지인 tryptic soy broth에서 *E. coli* O157:H7에 대한 항균 효과는 SPT, SPP 및 STPP의 0.05, 0.1, 0.5%의 세 가지 농도에서 농도에 의존적으로 유의성 있게 세균 증식을 억제시켰으며, 항균효과는 SPP에서 가장 강하게 나타났다. 생육인 닭고기, 돼지고기 및 소고기에 SPT, SPP 및 STPP를 각각 0.05, 0.1, 0.3 그리고 0.5%의 농도별로 첨가했을 때 *E. coli* O157:H7의 증식이 모두 유의성 있게 감소하였다 ($p<0.05$). 또한 가열 처리한 식육에서도 이러한 항균효과가 유의적으로 관찰되었으며($p<0.05$), SPT는 SPP나 STPP보다 더 강한 항균효과를 보였다. 이러한 항균효과들은 가열처리된 식육보다 생육에서 더욱 강하게 나타났다. SPT, SPP 및 STPP의 첨가는 식육에서 pH를 증가시켰으며, STP의 첨가는 식육에서 soluble orthophosphate 유리에 영향을 주지 않았으나, SPP 및 STPP의 첨가는 식육에서 soluble orthophosphate의 유리를 증가시켰다. 이러한 결과로부터 피틴산염은 이미 알려진 인산염들보다 미약하나마 항균효과가 뛰어나며 더불어 축산식품의 첨가제로서 사용시 식품의 기능성 향상과 더불어 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

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 acidsas 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).
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. Biotechnol*., **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. USDA. 1982. Meat and poultry products: phosphates and sodium hydroxide. *Fed. Register*, **47**, 10779.
13. Klebanoff, S.J. 1992. Bacreicidal effect of Fe^{2+}, ceruloplasmin, and phosphate. *Arch. Biochem. Biophys.,* **295**, 302-308 (1992).
14. Spencer, J.V. and Smith, L.E.: The effect of chilling chicken fryers in a solution of polyphoshates upon moisture uptake, microbial spoilage, tenderness, juiceness and flavor. *Poultry Sci.,* **41**, 1685-1688 (1962).
15. Steinhauer, J.E. and Banwart, G.J.: The effect of food grade polyphosphates on the microbial populatin of chicken meat. *Poultry Sci*., **43**, 618-620 (1963).
16. 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).
17. Giese, J.: Salmonella reduction process receives approval. *Food Technol.,* **41**, 505-510.(1993).
18. 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).
19. Lee, R.M., Hartman, P.A., Olson, D.S. and Williams, F.D.: Bactericidal and bacteriolytic effects of seleced food-grade phosphates, using Staphylococcu aureusas a model system. *J. Food Protect.,* **57,** 276-283 (1994).
20. Lee, R.M., Hartman, P.A., Olson, D.S. and Williams, F.D.: Metal ions reverse the inhibitory effects of seleced food-grade phosphates in Staphylococcu aureus. *J. Food Protect.*, **57,** 284-288 (1994).
21. 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).
22. Molins, R.A., Kraft, A.A. and Olson, D.G.:. Effect of phosphates on bacterial growth in refrigerated uncooked bratwurst. *J. Food Sci,.* **50,** 531-532 (1985).