

피트산염과 피타제의 식품에서의 역할

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 도무희
(mhd2001@reseat.re.kr)

1. 서론

- 식물 기원의 식품은 탄수화물, 단백질, 식물섬유, 비타민, 비영양성분 등의 중요한 자원이다. 비영양성분들 중에서 피트산(phytic acid)이 인간의 영양과 건강에 가장 중요한 관심사로 대두되고 있다.
- 피트산의 독특한 구조는 칼슘, 마그네슘, 아연, 구리, 철 등과 같은 양이온과 강하게 킬레이팅하여 불용화 하는 능력을 가진다. 그러므로 동물들이 이들 미네랄을 흡수, 소화하는 데에는 오히려 역효과를 미친다.
- 지금까지는 피트산염이 비영양요소라는 다수의 증거로 부정적인 영향이 보고되었으나 채식주의자들을 조사한 결과 낮은 암발생률, 혈당증가 속도의 억제, 콜레스테롤 및 중성지방의 감소, HIV의 복제저해 등 유익한 정보가 의외로 많은 것으로 알려져 있다.

2. 피트산염

- 피트산염은 이노시톨의 6인산염으로 5, 4, 3인산염도 피트산염으로 불리며 분자식은 $C_6H_{18}O_{24}P_6$, 분자량은 660.04g몰이다. 피트산염은 곡류 보다는 두류에 많고 볶은 참깨, 농축 대두단백, 현미밥 등에 피트산염의 함량이 높다.

3. 피트산염의 부정적 측면

- 미네랄 흡수에 대한 영향 : 음식물 중의 피트산염의 존재는 미네랄 섭취에 부정적 효과를 준다. 식품 중의 피트산염의 존재는 아연의 흡수와 평형유지를 저해하므로 왜소발육증 또는 생식샘 저하증 등을 초래한다.

- 단백질 및 탄수화물 소화에 대한 영향 : 피트산염은 몇몇 단백질과 강한 착염을 만들어 단백질의 분해에 저항한다. 단백질의 등전점보다 낮은 pH 범위에서는 착염을 만들어 불용성이나, pH 3.5이하에서는 녹는다. 피트산염이 탄수화물과 착염을 형성하여 이들의 용해도와 소화력과 포도당 흡수 등에 악영향을 주어 혈중 포도당 반응을 줄인다.
- 지방의 이용에 대한 영향 : 피트산염은 다른 영양소와 더불어 리포피틴(lipophytins)을 만든다. 지방과 피트산칼슘염은 가금류의 장관에서 불용성의 비누의 형성에 역할을 하므로 지방자원으로부터 유도된 에너지 이용에 가장 큰 저해요인이 된다.

4. 위장관에서의 피트산염의 화학적 상호작용

- 피트산염의 미네랄 및 다른 식사 영양소들과의 상호작용은 pH 의존적이다. 인체에서 음식물은 낮은 pH인 위에서 주로 중성 pH인 소장 상부를 지나간다. 소화운동 중 음식물의 피트산-미네랄 착염은 분해되어 위장관에서 다른 착염을 만들 수도 있다.

5. 피트산염의 분해

- 피트산염의 탈인산화는 영양가치를 증진시키기 위해서는 반드시 필요하다. 이것은 미네랄의 생체내 이용효율을 증가시킨다. 피타제는 식품 가공 중이나 위장관에서 피트산염을 분해하므로 인체의 영양에 중요한 실용성을 가진다.
- 피트산염의 효소적 분해 : 피타제는 피트산염으로부터 인산염을 순차적으로 방출하는 촉매효소이다. 식물 유래의 음식물에서 인을 방출하므로 뼈의 성장에 이용되고 인의 오염으로 인한 환경을 보호한다.
 - 피타제의 분류 : 피타제는 피트산염 분자의 가수분해가 시작되는 위치와 활성 pH 범위에 의해 2가지로 분류된다. 가수분해 위치에 의한 분류로 3-피타제와 6-피타제가 있다. 적정 pH에 의한 분류로는 히스티딘산포스파타제와 알카리포스파타제가 있다.

- 피타제의 공급원 : 식물 피타제, 미생물 피타제, 소장점막에서 발생된 피타제와 장내서식 균총 피타제의 4가지 공급원이 가능하다.
 - 식물성 피타제 : 많은 식물자원으로부터 분리되고 특성화된 피타제 효소로 대부분의 식물 피타제는 피트산염 링의 C6위치에서 피트산염의 가수분해를 시작하므로 타입6피타제로 분류된다.
 - 미생물 피타제 : 효모들 중에서 가장 광범위하게 사용된 것은 *Aspergillus niger*, *A. ficuum* 그리고 *A. fumigatus*가 상업적으로 생산되는 미생물들이다.
- 식품첨가물로서의 피타제 : 가공 중 식품 자체의 피타제는 실패되거나 피타제의 첨가는 피트산염의 함량을 줄이므로 영양가를 올리고 체내의 알파아밀라제의 활성도를 증진시킨다.
- 식품가공 중 피트산염의 분해 : 생물학적 가공기술은 가공 중의 피트산염에서 탈인산화를 가져왔다. 여러 종의 식물과 미생물이 피트산염의 탈인산 능력을 가졌으나 식물과 미생물 종의 능력은 동일하지 않다.
 - 침지 : 두류와 곡류의 침지 중, 피트산염은 수용성으로 물에서 상당량의 피트산염이 제거되며 가수분해는 온도와 pH에 영향을 받는다.
 - 발아와 맥아 : 발아하지 않은 두류와 곡물에서는 피트산염의 분해활동이 없으나 발아시켜 적정 조건으로 침지를 하면 완전히 분해된다.
 - 조리, 피타제 첨가 : 식물에 내재한 피트산염은 조리 중 쉽게 분해되지 않으므로 조리 중 탈인산화 향상을 위해서는 열안정성 피타제의 첨가가 권장된다.
 - 발효 : 젖산발효가 콩, 옥수수 등 두류곡류 발효를 위해 많이 이용된다. 미생물의 젖산과 초산발효의 산물로 pH가 낮아진다. 이것은 피타제 활동에 도움이 되며 결과적으로 피트산염의 함량을 낮춘다.

6. 식품의 항산화제로서의 피트산염

- 피트산염은 촉매에 의한 반응성이 낮은 유일한 철킬레이트를 만들므로

철에 기인한 Hydroxyl기(-OH) 형성을 억제하고 지방의 과산화를 억제한다. 철킬레이트 중 피트산염이 가장 효율적인 식품 항산화제이다.

- 철 킬레이팅 피트산염은 warmed-over flavor(WOF, 육류의 불포화지방산 산패취)를 억제해 준다. 닭, 육류, 생선 등의 조리 시 미오글로빈은 인지질(PE)과 결합한 유리된 철을 상당량 방출한다. 소량의 피트산염을 첨가하면 철킬레이트를 형성하므로 WOF의 진행을 억제한다.

7. 피트산염의 치료에의 이용

- 항암제로서 피트산염 : 피트산염이 광범위한 분야에 항종양제로 보고되었다. 대장암 HT-29세포, K-562같은 백혈병 조혈세포선, 정상 및 백혈병 조혈세포 등은 피트산염 요법으로 억제되었다.
- 최근 피트산염이 악성세포에 나쁜 영향을 주고 정상세포와 조직에는 영향이 없다는 것이 밝혀졌다. 또 골수로부터 뽑은 CD341세포는 피트산염의 투여량을 달리하므로 치명적인 효과를 발견했다.
 - 대장암 : 대장암은 식이섬유의 낮은 섭취와 관련된다. 대장암과 고농도 섬유식품의 흡수는 역의 관계를 가진다는 것이 파악되었다.
 - 유방암 : 많은 연구에서 피트산염의 유방암에 대한 억제효과가 증명되었다. 피트산염은 실험 유방암을 방지하는데 고섬유질 식사보다 더 효율적이라는 사실이 확인되었다.
 - 간암 : 시험관 시험에서 세포선에 피트산염을 처리했을 때, 간암세포의 성장억제는 피트산염의 투여량에 비례하였다. 피트산염은 악성세포에 접근하여 암세포를 덜 공격적인 형태로 분화시키는 경향이 있다.
 - 전립선암 : 미국에서는 남성 죽음에 이르는 두 번째 원인이다. 작고 잠재적 악성 종양으로부터 고급의 크고 전이가 되는 악성 종양에 이르는 진행을 포함하여 여러 과정에서 전립선암으로 발전이 가능하다. 음식물 중 피트산염이 전립선암 세포의 성장과 증식을 저해한다.

○ 암에 대응하는 활동 기작

- 항산화 특성 : 항산화 특성은 암세포에 대한 피트산염의 가장 큰 생물학적 이점 중 하나이다. Fe^{3+} 과의 착염형성이 철의 촉매역할을 저해하므로 지방의 과산화를 저해한다.
- pH저하 : 덜 소화된 전분, 섬유질 등은 단쇄 지방산으로 분해되어 장내의 pH저하를 초래하므로 대장내 균총들과 담즙산 대사활동에 영향을 미치고 암모니아의 발생과 흡수를 저해한다. 이 결과는 대장암의 발생을 저해한다.
- 유전자 변질 : 피트산염은 유전자의 수준에 영향을 미친다. 피트산염은 세포의 신호변환 경로, 세포주기 조절 유전자 및 종양억제 유전자 등에 영향을 미치므로 유전적 수준에 관여한다.
- 천연 살해 세포의 증가 : 탈인산화에 의해 생성된 낮은 형태의 피트산염은 세포의 신호변환과 세포내의 기능에서 필수적인 역할을 한다. 또한 천연 살해 세포(natural killer cells)의 세포독성을 증가시키는 세포내 인산염 풀을 유지시킨다.

○ 관상동맥 심장병에 대한 피트산염의 역할 : 관상동맥 심장병의 병인은 높아진 혈중 콜레스테롤과 연관되며 고지혈증이다. 개발도상국의 사람들이 심장병이 적은 이유는 두류와 곡류 등 피트산염 고함량 식사와 깊은 관련이 있다.

○ 피트산염의 항혈소판 활동 : 내피세포와 이들의 집합체에 혈소판의 유착은 혈전증과 동맥경화증의 병인으로 중요한 단계이다. 피트산염은 심장질환의 위험을 감소시키는 잠재성을 시사함과 아울러 인체의 혈소판 응집을 효과적으로 저해한다.

○ 당뇨병에 대한 피트산염 : 피트산염의 흡수와 혈당반응 사이에는 반대적인 상호관련으로 피트산염 고 함량 식사는 낮은 혈당반응을 보인다. 피트산염은 인슐린 분비를 조절하는 주요한 요소이다.

- 치아부식 대응 피트산염 : 피트산염의 치아부식 대응효과는 에나멜의 주요성분인 칼슘, 불소 등의 용해도를 낮게 하는 능력에 기인한다.
- 신장결석에 대한 피트산염 : 정상적인 오줌의 결정조건이 교란되면 결정핵 형성과 성장의 속도는 결정의 크기로 인해 제거하기가 쉽지 않게 된다. 신장결석은 주로 피트산염 고함량식을 하는 개발도상국에서보다 정제된 밀가루를 주식으로 하는 선진국에서 더욱 흔한 일이다.

출처 : Vicas Kumar, et al., "Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review", *Food Chemistry*, 120, 2010, pp.945~959



◁ 전문가 제언 ▷

- 피트산은 화학식 $C_6H_{18}O_{24}P_6$, 분자량은 660.03으로 이노시톨에 6개의 인산이 에스터결합을 한 형태를 가졌다. 피트산 자체로는 물에 잘 녹으나 금속과 결합하면 불용성의 착염이 되므로 소화흡수가 쉽지 않은 물질이다.
- 또한 단백질 탄수화물 지질과도 착염을 형성하여 불용성이 되어 소화흡수에 지장을 초래하므로 비영양적 대사로 알려져 식품에서 이를 줄이려는 시도가 있었다.
- 또한 성장기의 어린이들에게는 칼슘, 철, 아연 등 필수적인 미네랄의 흡수를 저해하므로 가공식품에 일부러 피타제(phytase)를 첨가하므로 피트산을 줄이거나 킬레이팅을 형성해도 부족하지 않을 만큼의 미네랄을 더 첨가하는 것이 일반적이다.
- 최근의 연구에서 피트산염의 형태인 자연 식이를 하므로 지방산 및 대장암 억제, 항산화, 항암작용 및 신장 담석증 등의 치료제로서의 효과에 대한 보고가 많다.
- 피타제는 식품 중의 피트산염의 양을 줄이기 위해 개발된 상품이었지만 피트산염의 평가가 달라지므로 조금은 시들한 면이 있다.
- 산업계에서는 제품의 수율과 흡수율 및 상품성을 향상시키는데 반드시 피타제를 이용할 필요가 있다고 하겠다. 예를 들면 Corn wet milling에서 피타제를 이용함으로써 수율을 올리고 피트산염으로 인해 각종 미네랄과 영양소가 블로킹됨을 방지하고 사료에 피타제를 사용함으로써 사료 효율을 올리는 등 유리한 점이 고려되어야 하겠다.
- 피트산염을 잘 이용하여 서구사회에서 고민하는 각종의 생활습관병과 영양과다에 의한 폐단의 전철을 피해나가는 방법을 찾고 한편으로는 영양을 강화하는 목적으로 피타제를 이용하여 식품을 개발하여 용도에 맞게 사용되었으면 한다.