

우유 알레르기와 저항원성 유단백 제조 기술

Milk Allergy and Manufacturing Technology of Hypoallergenic Milk Protein

신현수 (Hyun-Soo Shin)

일동후디스(주)

lldong Foodis Co., Ltd.

1. 서론

알레르기(Allergy)는 특정 항원에 대한 특이 항체에 의해 야기되는 비정상적 반응의 일종으로 우리 주변에 있는 평범한 물질에 대해 일어나는 면역계 과민반응에 의해서 나타나는 여러 가지 증상을 말한다. 면역반응은 병원성 미생물뿐 아니라, 이종 동물의 구성성분, 세포, 동식물에서 유래하는 단백질과 다당류, 페니실린 등의 화학물질 등 ‘자기’ 이외의 모든 것에 대해 일어날 수 있다. 알레르기란 용어는 1906년 오스트리아 소아과 의사인 Clemens von priquet가 처음으로 정의를 내렸는데, 항원에 2번째 노출되었을 때 첫 노출때와는 다른 반응이 일어난다는 뜻(Altered reaction)으로 처음 사용되었으며, 현재는 과민반응(Hypersensitive)을 의미하는 말로 사용되고 있다.

알레르기는 선천성 알레르기와 후천성 알레르기가 있으며, 알레르기를 유발하는 3대 요소로는 알러젠 접촉, 생체 내의 알레르기 반응, 표적기관의 과민반응으로서 이들과 관련하여 여러 알레르기의 증상들이 발현된다. 1963년 Coombs와 Gell은 알레르기 반응 유형에 따라 4가지로 분류하였으며, 자세한 내용은 다음과 같다.

① 제 I형 알레르기는 IgE 매개반응으로 즉시형 알레르기라 한다. 알러젠이 IgE의 감각 비만세포를 특이하게 자극하여 비만세포에서 히스타민, 세로토닌, 헤파린 등의 화학전달 물질이 유리되는데, 그 작용으로 염증을 비롯한 알레르기 증상이 나타나게 되며 호흡곤란, 아나필락시스 등 증상이 다양하다.

② 제 II형 알레르기는 항체 의존성, 세포 독성 과민반응(아르투스형)으로서 생체 내에서 생성된 항원-항체 복합체가 신속하게 제거되지 않고 조직에 침착하여 보체계 등을 활성화시킴으로써 일어나게 된다. 혈액형이 다른 혈액을 수혈할 경우 이러한 유형의 알레르기를 볼 수 있다.

③ 제 III형 알레르기는 면역 복합체 매개 과민반응으로, 혈액 속 항원과 감마글로불린이 결합한 항원-항체 복합체가 많은 경우, 이 면역복합체가 다른 조직에 독성을 나타내게 되어 생기는 유형이다.

④ 제 IV형 알레르기는 지연형 과민반응으로, 알러젠에 의해 감작된 T-림프구가 다시 알러젠과 반응하여 여러 물질

*Corresponding author: Hyun-Soo Shin
lldong Foodis Co., Ltd., Seoul 05047, Korea
Tel: +82-2-2049-2000
Fax: +82-2-2049-2190
Email: lacto@foodis.com

을 방출해 염증을 일으킨다.

알레르기를 일으키는 항원을 알러젠(Allergen)이라고 하는데, 알러젠이 되는 물질은 흡입 알러젠(먼지, 꽃가루, 곰팡이 등), 접촉성 알러젠(화장품, 염료, 도료, 의류, 식물 등), 약물 알러젠(항생물질, 진통제, 호르몬제) 등이 있으며, 식품 중의 성분 또는 음식물의 소화산물이 알러젠이 되는 경우를 식품 알레르기라고 부른다. IgE 항체와 반응하는 자연상태의 알러젠은 지금까지 단백질로 밝혀졌으며, 이 중 많은 수가 당단백질이다.

식품알레르기 환자는 0~2세 유아에게 가장 많이 나타난다. 그 이유로는 태어나서 제일 먼저 접하는 알러젠이 식품이기 때문이며, 유아기의 장관이 아직 충분히 발달되지 않았기 때문에, 장관에서 알러젠 침입을 방지하는 IgA가 충분하지 않아 알러젠이 혈중으로 들어가기 쉬워 알레르기를 일으키는 면역계와 접촉하기 쉽기 때문이다. 한 예로, 33주, 37주만에 태어난 두 신생아에게 우유를 먹였을 때 우유 알레르기를 일으키는 β -Lactoglobulin 혈중량이 33주만에 태어난 신생아가 37주만에 태어난 신생아의 100배 정도인 것을 확인할 수 있다. 소화관이 잘 발달되지 않은 영아는 고분자의 단백질을 그대로 흡수할 가능성이 높으며, 매일 다량의 우유 단백질을 섭취하는 인공 영양아는 우유 알레르기가 일어날 가능성이 높다. 유아기에 생기는 알레르기 반응의 약 85%가 식품과 관련이 있으며, 우유 단백질에 대한 감수성은 유아의 1%에서 볼 수 있다고 한다.

식품에서 비롯되는 알레르기 증상을 피하기 위해서는 알러젠이 되는 식품을 식사에서 완전히 제거하는 것이 가장 좋은 방법이다. 하지만, 영양학적으로 우수한 우유, 유제품 및 두유 등을 단순히 제거하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 본 제언에서는 우수한 단백질 급원인 유제품을 알레르기로부터 안전하게 섭취할 수 있도록 하는 저항원성 유단백 처리 방안에 대하여 기술적으로 검토하고, 산업적 활성화 방안에 대하여 생각해 보고자 한다.

2. 본론

2.1. 우유와 모유의 단백질 조성

우유와 모유의 단백질 조성은 구성 단백질 종류에서부터 차이를 나타낸다(표 1).

카제인과 유청단백의 비율 차이뿐 아니라, 카제인의 경우 모유는 대부분 β -카제인으로 이루어져 있으나, 우유는 α -, β -, κ -카제인으로 구성되어 있다.

유청단백은 모유의 경우 β -Lactoglobulin이 거의 존재하지 않으나, 우유의 경우 유청단백의 50% 이상을 차지하며, Lactoferrin과 Lysozyme은 미량 존재한다.

2.2. 우유 알레르기

(1) 우유 알레르기 증상

우유 알레르기 증상은 아주 다양하며, 발생 빈도는 연령의 경과와 함께 점차 감소하는 경향을 보인다. 유아기 성장해감에 따라 소화 효소의 분비가 증가하면서 항원성 거대 분자를 분해하기 때문이다.

표 1. 우유와 모유의 단백질 조성

단백질	우유(%)	모유(%)
카제인	80.3	29.0
α -	43.5	-
β -	24.2	15.0
κ -	10.7	6.0
λ -	2.0	-
유청단백	19.7	71.0
α -LA	3.7	29.0
β -LG	9.6	-
Immunoglobulin	11.2	12.9
Serum albumin	6.6	3.5
Lactoferrin	0.6	23.5
Lysozyme	-	1.8

우유 알레르기는 크게 소화계, 호흡계, 피부 그리고 신경계의 증상으로 나타난다. 영유아기에는 주로 습진(45%), 설사(40%), 구토(22%), 기관지염(20%), 천식(12%), 그리고 복부팽만, 복통, 혈변 순으로 발생한다. 어린이에게서는 우유 알레르기 발생이 적지만 과민성 대장 증후군이 가장 흔한 증상이며 두드러기, 혈관성 두통의 원인이 되기도 한다. 우유 알레르기에 의해서 일어나는 증상은 표 2와 같다.

(2) 우유 알레르기 발생 빈도

우유 알레르기의 발생 빈도는 연구자와 연구 집단에 따라서 0.3~7.5% 정도로 보고되고 있으며, 미국의 경우 1~3%, 일본에서는 1% 그리고 유럽에서는 약 2%의 유아가 우유 알레르기를 나타낸다고 보고되었다.

우유 알레르기의 발생은 유아의 장투과성과 유전적 요인 그리고 환경적 요인에 의해서 좌우된다. 또한 유아에게 식품을 제공한 시기와 종류 그리고 항원분자의 특성 또한 우유 알레르기의 발생 빈도에 영향을 미친다(표 3).

표 2. 우유 알레르기 증상

신체기관	증상
소화계	구토, 설사, 복통, 소화흡수 불량, 지방설사, 위장염, 장출혈, 변비, 우유 거부
호흡계	비염, 만성기침, 장액성 중이염
피부	과민성 피부염 또는 습진, 혈관부종, 접촉성 피부염
기타	혈관성 두통, 빈혈, 전신 과민반응, 성장불량, 단백질

표 3. 우유 알레르기의 유전적 발생 빈도

가족력	빈도(%)
부모 모두 과민반응	40 ~ 60
부모 중 한 명만 과민반응	20 ~ 40
형제 중 한 명만 과민반응	25 ~ 35
부모 중 과민반응 없음	5 ~ 15

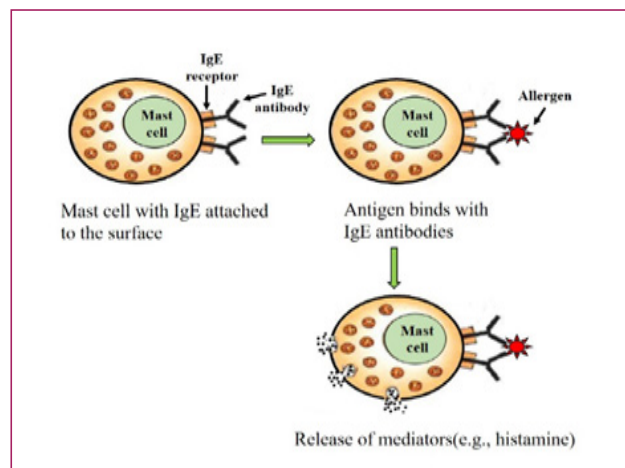
(3) 우유 알레르기의 발생 기작

우유 또는 식품 알레르기에는 매우 복잡한 면역 기작이 관여하는데, Gell과 Coombs(1968)가 분류한 4가지 유형 중 우유 알레르기는 적어도 I형, III형 그리고 IV형의 알레르기가 단독 혹은 2가지 이상 복합적으로 작용하여 일어난다.

I형은 즉시형의 과민반응으로서 IgE 타입의 항체가 관여하는 반응으로 원인물질에 노출된 후 수 분 또는 수 시간 이내에 반응이 일어난다. 이 반응은 비만세포 표면의 수용기에 결합되어 있는 히스타민, 세로토닌과 같은 화학 매개물의 작용으로 일어난다. 과민한 경우에는 아주 소량의 알러젠에 의해서도 발생하며, 우유에 의해 유도되는 과민반응, 두드러기, 혈관부종, 구토, 설사 등이 이에 속한다(그림 1).

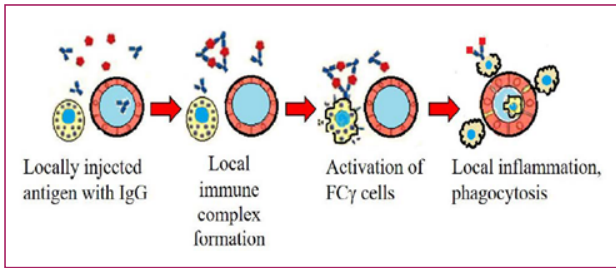
III형은 면역 복합 반응으로 일반적으로 다량의 항원을 필요로 하며, 항체는 IgG와 IgM이 관여한다. 유입된 항원은 항체와 결합하여 보체를 활성화 또는 염증을 일으키는 반응을 개시하는 다형체에 영향을 주는 가용성 복합체를 형성한다. 임상적 증상은 보통 항원이 유입된 후 수 시간 후에 나타나며, 수일 또는 수 주일 동안 계속된다. III형에 의해서 발생하는 임상 증상은 폐질환, 장출혈 그리고 알레르기성 장염 등이다(그림 2).

그림 1. 제 I형 알레르기 매카니즘



출처: Basu, S., & Banik, B. K., 2018.

그림 2. 제 III형 알레르기 메카니즘



출처: Basu, S., & Banik, B. K., 2018.

IV형은 지연성 과민반응으로서 항원 투여 후 24~72 시간 후 T-cell에 의하여 일어나며, 수일동안 계속된다. 이러한 IV형은 소화장관에서 우유 알레르기로 가끔씩 나타난다.

(4) 우유 알레르기의 진단

알레르기를 진단하는 것은 매우 어려운 일이며, 식품 알레르기를 진단하고 정확한 원인 물질을 찾기란 대단히 어렵다.

우유 알레르거나 식품 알레르기의 진단에 주로 이용되는 방법은 표 4와 같다. 또한 보통 식품 알레르기의 진단에는 특정 한 가지 방법으로 진단하여 결론지을 수 없다.

2.3. 유단백의 면역학적 특성

우유에는 사람에게 알레르기를 일으키는 특이 항체를 생산할 수 있는 단백질이 18~25 종류가 존재하며, 이 달 단백질 중에 α_s -casein, β -lactoglobulin, bovine serum albumin 그리고 immunoglobulin은 가장 강력한 알러젠으로 알려져 있다.

표 4. 식품 알레르기 진단 방법

History and physicochemical tests
Screening tests for food allergen
Skin testing
RAST & ELISA

우유 단백질 중에서 카제인은 우유 단백질 중에서 카제인은 수용액 중에서 특정한 고차 구조를 가지고 있지 않는 random coil 단백질이다. 따라서 항원 결정기는 일차구조 의존형으로, 개수는 α_s -, β -, κ -casein 등 3 개 정도이며, 생체 내에서의 단백질 분해 효소에 의해서 쉽게 분해되기 때문에 카제인은 우유 단백질 중에서 약 80% 정도를 차지함에도 불구하고, 항원성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 알려지고 있다.

그리고 우유 단백질 중에서 항원성이 가장 큰 β -lactoglobulin은 분자 중에 5개의 cystine 잔기를 통한 2개의 s-s 결합으로 구성되어 있으며 열변성에 의해서 3차 구조를 파괴하거나 trypsin으로 가수분해시켜도 항원성이 존재한다. 특히 β -lactoglobulin은 모유 중에 존재하지 않는 단백질로서 소에게 급여시 반추위에서 분해되지 않고 소장까지 이동하여 비타민 A를 공급해주는 기능을 가지고 있다.

이와 같이 우유 중에 함유되어 있는 단백질로서 특이적인 생리학적 기능을 수행하는 α -lactalbumin과 lysozyme 그리고 immunoglobulin의 기능과 비슷하게 β -lactoglobulin도 이러한 기능 때문에 생체 내에서 단백질 가수분해에 저항성이 크다고 한다. 단백질 항원성은 일반적으로 두 가지가 있는데, 이 중에 하나는 casein과 같은 일차 구조 의존형으로서 unfold된 단백질 구조를 말하며, 다른 하나는 3차 구조 이상의 구조로 형성된 단백질에 해당되는 우유 단백질과 같은 고차구조 의존형으로 특이한 구조를 가질 때만 상동성인 항체와 결합하며, 우유 단백질의 항원성은 표 5와 같다.

표 5. 우유 단백질의 항원성

단백질	항원성
β -Lactoglobulin	82%
Casein	43%
α -Lactalbumin	41%
Secretary IgA	18%

출처: Lebenthal, 1975.

2.4. 항원성 저하 방법

(1) 열처리

카제인은 열에 대하여 안정하지만 유청단백질은 열처리에 의하여 단백질 구조가 변화되기 때문에 열처리에 의해서 항원성이 낮아질 수 있다. 그러나 항원성이 낮아질 수 있는지에 대해서는 확실하지 않은 것으로 보고되고 있다.

1) 유단백질에 대한 열처리의 효과

우유 중 카제인은 응고되지 않고 130℃에서 1시간 견딜 수 있다. 그러나 결국 카제인은 응고하게 되는데, 이러한 응고는 단백질의 열변성에 의해서 일어나는 것이 아니라, 열처리에 의한 유당의 분해에 의해서 pH가 낮아져 일어나는 결과이다.

유청단백질은 카제인보다 열에 매우 민감하다. 주요 유청단백질인 β-lactoglobulin은 보통 dimer로 존재하며, 각각 monomer의 분자량은 18,400 dalton이다.

β-Lactoglobulin의 열변성 온도는 78℃이고, α-Lactalbumin은 62℃ 그리고 IgG의 열변성 온도가 72℃이며, bovine serum albumin의 열변성 온도는 64℃이다.

2) 유단백질의 열처리에 대한 항원성의 효과

카제인은 열에 안정하기 때문에 카제인의 항원성은 121℃에서 15분간 열처리한 후에도 변하지 않는 반면, 유청 단백질은 30분간 끓이면 항원성과 면역성이 상당히 낮춰진다. 그러나 유아는 해당 수준으로 열처리된 유청 단백질에 대해서도 알레르기를 일으킬 수 있다.

(2) 효소처리

효소에 의한 단백질의 가수분해는 단백질의 항원성을 효과적으로 저하시킬 수 있다. Endopeptidase는 효소의 특이성 요구에 맞는 아미노산을 무작위로 peptide

chain을 따라 peptide bond를 분해한다. Exopeptidase는 peptide chain 끝에서부터 peptide bond를 분해한다. 따라서 저항원성 식품이나 조제분유의 생산에 있어서 효소의 선택은 효소의 특성에 따라서 서로 다른 기질의 특이성이 있는 효소를 조합하여 가수분해하는 것이 바람직하다(표 6).

1) 유단백질에 대한 가수분해 효과

만약 단백질의 polypeptide 결합이 효소에 의해서 가수분해된다면 항원성은 낮아지게 된다. 이러한 현상은 단백질의 항원성이 가수분해에 의해서 고차구조 의존성 항원결정기가 파괴되면 점차 가수분해 시간이 지속됨에 따라서 일차구조 의존형 항원 결정기가 파괴될 수 있다.

단백질 가수분해에 의한 항원성 변화에 대해서 가수분해된 단백질의 분자량이 5,000 dalton 이하로 유지시키는 것이 중요하다.

최근까지도 peptide의 면역성에 대하여 정확한 분자량이 규정되지는 않았지만, 5,000 dalton 이하의 polypeptide는 아주 약하게 면역원성을 나타내거나 거의 나타내지 않는 것으로 간주되고 있다.

단백질 가수분해에 의한 항원성 저하 정도로서 저알레르기성을 표시하는 방법에는 두 가지가 있다.

첫 번째는 “hypoallergenic”으로서 기준 단백질의 항원성에 대해서 1/1,000 정도 항원성이 저하된 것으로서 보통 부분적인 가수분해에 의해서 이 정도로 항원성을

표 6. 단백질 가수분해 효소

효소	Sources
Bromelin	Pineapples(<i>Ananacis comsus</i> , <i>Ananas bracteatus</i>)
Ficin	Figs : <i>Ficus</i>
Papain	Papaya : <i>Carica papaya</i>
Fungal protease	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i>
Bacterial protease	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>
Pepsin	Porcine, other animal stomachs
Trypsin	Animal pancreas
Pancreatin	Porcine, bovine pancreatin

낮출 수 있다.

두 번째는 미국 소아과학회(American Academy of Pediatrics)에서 1989년에 규정한 것으로서 기준단백질에 대해서 1/1,000,000정도 항원성을 낮춘 것으로서 "nonallergenic" 혹은 "nonantigenic"이라고 칭하기도 하는데, 보통 광범위한 가수분해(extensive hydrolysis)에 의해서 제조된 가수분해물이 해당된다.

2) 가수분해 단백질에 미치는 영향

① 효소가수분해 : bitter peptide를 생성

Bitterness는 사용된 효소, protein substrate 그리고 가수분해 정도에 따라서 다르다. 효소 가수분해에 의한 peptide의 bitterness는 숙성된 cheese에서 microbial enzyme에 의한 bitterness의 예와 비슷하다. Bitter taste는 효소의 신중한 선택이나 solvent extraction 혹은 active carbon filtration에 의해서 조절될 수 있다.

② 단백질의 물리적, 기능적 특성

단백질의 유화능력, whipping 그리고 gelling capacity는 가수분해 정도를 조절함으로써 증진시킬 수 있다. 그러나 광범위한 가수분해에 의해서는 모든 단백질의 기능이 사실상 파괴된다.

③ 산가수분해와는 달리 효소가수분해는 아미노산을 파괴시키지 않고 기질 단백질의 영양학적 가치를 보존할 수 있다. 그러나 고열처리에 의해서는 아미노산의 화학반응이 일어날 수 있어 아미노산의 생물학적인 역할을 저하시킬 수 있다.

3) 효소법과 발효법에 의한 가수분해 단백질의 개발

효소법과 발효법을 조합시킴으로써 쓴맛을 비롯한 풍미를 크게 개선하는 방법을 적용시켜 가수분해 발효유물을 개발할 수 있다.

항원성을 감소시키는 효과적인 2종류 또는 이상의 효소를 선정하여 가수분해한 후, 가수분해유단백을 유산 발효시킴으로써 더 한층 정미성이 개선된 풍미가 좋은

유단백가수분해물을 제조할 수 있다. 일본에서는 음유업(주)에서 가수분해발효유물을 개발하여 저알레르기유제품군 <펩티드시리즈>를 제조 판매하고 있다. 이 분해 발효유의 단백질 성분은 대부분이 분자량이 1,000 이하의 분해물로 이루어지며, 항원성 저감율도 ELISA에 의해 10^{-4} 이하로 저감화되었다. 현재 펩티드시리즈에는 요쿠르트디저트, 화이트소스, 밀크쿠키, 사워드링크 등이 있다.

2.5. 저항원성 유단백의 분석방법

저항원성 유단백의 개발은 항원성 결정기를 파괴하여 알러젠 유발 물질을 감소시키는 것이 주요한 목적이다. 이와 같은 항원성 저하를 나타내는 물리학적 방법이나 면역학적 방법이 신제품의 개발이나 제품의 품질관리의 일부분으로서 반드시 적용되어야 한다.

(1) 물리학적 분석 방법

1) 가수분해 정도

가수분해 정도는 formal titration이나 trinitrobenzenesulfonic acid(TNBS)를 이용하여 측정될 수 있다. 이 방법은 궁극적으로 가수분해 과정동안 분해된 peptide 결합의 퍼센테이지를 평가하지만, 항원 결정기의 파괴 등에 대한 정보를 제공해 주지는 못한다.

2) Gel permeation chromatography

GPC는 주어진 단백질 가수분해물의 전반적인 분자량 분포에 대한 측정에 이용된다. 이 방법은 가수분해 정도와 같이 항원성의 파괴 등에 대해서는 확인할 수 없으나, 분자량이 낮을수록 항원성이 낮다는 일반론을 적용하여 항원성을 일부 추정할 수는 있다.

3) 전기영동(SDS-PAGE)

SDS-PAGE는 GPC를 보완하여 이용될 수 있는 또 다른 이화학적 분석 방법이다. 예를 들어 광범위하게 가수

분해가 된 경우에는 125 µg의 protein nitrogen을 주입한 후에도 식별할 수 있는 분리대가 나타나지 않는 경우도 있다.

(2) 면역학적 분석 방법(*in-vitro*)

항체와 항원의 상호작용의 *in-vitro* 분석은 정량적인 잔류항원성을 측정하는 데 이용될 수 있다. *In-vitro* 방법은 enzymed-linked immunosorbent assay(ELISA)나 radioimmunoassay(RIA)와 같은 방법이 주로 이용되고 있으며, 이들 방법은 분석 결과가 peptide 중 항원 결정기 밀도에 영향을 미치지 않기 때문에 가장 적절하다.

또한 ELISA나 RIA는 측정시 결과에 영향을 줄 수 있는 외부요인들을 배제할 수 있기 때문에 매우 민감하게 설계될 수 있다.

이들 방법의 주요 결정인자는 antiserum이며, 가장 이상적인 antiserum은 human antibody이다. 그러나 antibody의 경우, 특이항체 생산에 사용한 항원의 순도에 의해서 결정되는데, human antibody가 이용될 수 없을 경우 실험동물에 standard antigen을 면역하여 얻은 antiserum을 이용하기도 한다.

3. 결론

식품 알레르기의 발생 빈도는 성장기를 거치며 현저히 줄어들지만, 식품 알레르기 환자는 여전히 존재한다. 그 중 우유 알레르기 환자는 영양학적으로 우수한 우유를 섭취하지 못하는 안타까운 상황이다. 특히 모유를 섭취하지 못하는 우유 알레르기 환이는 항원성이 저하된 특수 조제분유를 섭취하여야 한다. 이와 같은 이유로 저항원성 유단백 식품의 개발은 꾸준히 요구되는 상황이다.

알레르기를 물리적으로 제거한 경우 영양학적인 면에

서 불충분하며 맛, 식감 외관 등에 있어서 만족하기 어렵지만 효소분해를 할 경우 영양성분은 그대로 유지되며, 단백질의 소화력을 기대할 수 있고 가수분해 정도를 조절하면서 원하는 점도를 구현할 수도 있다. 하지만 분해 시 발생하는 쓴맛과 펩톤냄새는 풍미를 저해하고, 단백질 고유의 물리적 기능 손실은 식감을 저해할 수 있는 단점이 있다. 지속적인 연구로 많이 개선되었지만, 아직 완전히 개선되지 않은 관능적 단점(쓴맛)과 추가 공정으로 비롯되는 높은 가격은 여전히 아쉬운 점이다.

최근 단백질 제품에 대한 관심이 높아지면서 저항원성 단백질 원료(가수분해단백질)를 사용한 조제분유 외에도 성인 제품들이 출시되고 있다. 하지만 고유의 쓴맛과 높은 가격으로 제품에 높은 함량 비율로 사용하지 못하는 실정이다. 우유 알레르기 환자는 소수이지만 이들을 위한 제품을 개발한다면 그들에게 식품 선택의 폭을 넓혀줄 수 있고, 양질의 단백질 급원인 우유를 안전하게 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 유단백 유래의 peptide는 다양한 생리 활성을 지닌 점이 최근의 연구 보고에 의해 알려지고 있다. 특히 opioid peptide(인슐린 방출 촉진 등), angiotensin 변환 효소 저해 peptide(혈압 강하 효과) 그리고 casein-phosphopeptide(칼슘 흡수 촉진) 등 수많은 생리 활성 peptide가 확인되고 있다. 이러한 기능성은 건강 보조 식품 등의 기능성 식품으로서 제품화되고 있다. 그러나 단백질 분해에 의해 항원성을 매우 감소시키는 것은 생리활성 peptide의 기능적 손실을 초래할 수도 있다.

따라서 항원성 저하와 생리활성 peptide의 기능성 유지는 상반된 것은 아니지만, 앞으로 저항원성 유단백 개발 시에 생리적 기능성도 확인이 이루어진다면 저항원성 유단백 식품과 더불어 부가적인 기능성 펩타이드 식품 시장도 더욱더 확대될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 강두희. 1998. 생리학. 신광출판사.
2. 박재갑. 1993. 인간 생명과학. 서울대학교 출판부.
3. 이기영. 1992. 알레르기의 진료. 한국의학사.
4. 이부웅. 1999. 식품알레르기와 불내증. 선진문화사.
5. 이연태 역. 1989. 최신 면역학. 집문당.
6. 채범석. 1989. 병원 영양학. 아카데미서적.
7. Businco L, Cantani A. 1991. Adv. Exp. Biomed. V 310:437-443.
8. Gerrard JW, MacKenzie JWA, Goluboff N, Carson JZ, Maningas CS. 1973. Cow's milk allergy: Prevalence and manifestations in an unselected series of newborns. Acta. Pediatr Scand Suppl. 234:1-21.
9. Gerrard JW, Lubos MC, Hardy LW, Holmlund BA, Webster D. 1967. Milk allergy: Clinicak picture and familial incidence. Canad. Med. Ass. 23(97):780-785.
10. 大谷 元. 1987. 牛乳蛋白質の 抗原決定部位. 日畜會報, 58(11):907-918.
11. Baldo BA. 1984. Milk allergies. Aust. J. Dairy Tech. 120-128.
12. Creamer LK, Macgibbon AKH. 1996. Some recent advances in the basic chemistry of milk proteins and lipids. Int. Dairy J. 6:539-568.
13. Gell PGH, Coombs RRA. 1968. Clinical aspects of immunology(2nd Ed.). F. A. Davis Company. Philadelphia.
14. Lebenthal E. 1975. Cow's milk protein allergy. Pediatr. Clin. North Am. 22:827.
15. Willi EH, Peter DK, Peter JR. 1991. The importance of α -Lactalbumin in infant nutrition. The Journal of Nutrition 121(3):277-283.
16. 권창선. 1981. 소아 식품알레르기. 알레르기. 29-34.
17. 하월규. 1993. 유청단백질의 면역증강 효과. 유가공연구 12(2):17-21.
18. Basu S, Banik BK. 2018. Hypersensitivity: An overview. Immunology: Current Research 2(1):1000105.