

산 · 학 · 연 논문

맞춤식품의 현재와 미래; 식품개발에서의 영양유전체학 및 개인별 맞춤영양학의 적용

홍 경 희

(주) 농심 R&BD 센터 연구개발실 건강기능기술팀

The Present and the Future of Personalized Nutrigenomic Foods; Applications of Nutrigenomics and Personal Nutrition in Food Development

Kyung-Hee Hong

NongShim R&BD Center, Health Food Technology Team

서 론

2세 유아와 17세 청소년이 섭취해야 하는 영양과 식품이 같다고 생각하는 사람은 없을 것이다. 마찬가지로, 임산부에게 필요한 영양이 다르고, 노인, 축구선수, 당뇨병 환자에게 필요한 영양과 식품은 각기 다 다르다. 그렇다면 나이와 성별, 직업, 활동량, 키, 체중이 같으며 특별한 질환이 없는 등 신체적 조건과 생활환경이 동일한 두 사람이 있다면, 이들에게 필요한 식생활은 똑같은가? 결론부터 이야기하면 그렇지 않다. 그 이유는 이 두 사람의 외부 환경은 동일할지라도 유전자는 동일하지 않기 때문이다. 다른 말로 이야기하면 우리는 유전자형에 따라 필요한 영양이 다르고 건강을 위해 먹어야 하는 식품이 다르다. 극단적으로 단순화시켜 표현하면 우리는 유전자가 원하는 것을 먹을 때 더욱 건강해질 수 있다.

오늘날의 영양학은 식품 중에 생리 활성이 있는 기능성 물질을 찾아내고 생리 활성을 과학적으로 규명하여 특정 질병의 예방에 식품을 이용하는데 관심이 모아지고 있다. 미래의 영양학에서는 개개인의 유전자에 적합한 영양을 섭취함으로써 식품을 통하여 질환을 예방하여 건강하게 장수할 수 있도록 하는 개인별 맞춤식품의 필요성이 증대될 것으로 예상된다.

영양유전체학 (Nutrigenomics)

개인별 맞춤식품의 중심에는 영양유전체학 (nutrigenomics)이 자리 잡고 있다. 우리가 섭취한 영양소는 유전자와 상호작용하여 유전자의 작용을 조절하고 그 결과 다양

한 만성 질환들의 발병 위험을 변화시킬 수 있다. 영양유전체학은 이러한 영양소와 유전자 및 건강 간의 전반적인 상호작용에 대하여 연구하는 분야라고 할 수 있다. 다시 말해서 영양유전체학은 섭취하는 영양소가 우리 몸의 유전체에 어떤 영향을 미치는지 조사하고 이 영양소와 우리 몸의 항상성과의 관계를 규명하는 학문이라 볼 수 있다.

현재 영양유전체학이 연구되고 있는 방향은 2가지로 분류하여 생각할 수 있다. 첫 번째로 영양소, 혹은 식품 중의 생리 활성 성분이 유전자의 발현을 조절하는 기전을 연구하는 nutrigenomics(영양 → 유전자) 분야가 있다. 이 분야에는 마이크로어레이 기술(microarray technology), 단백질체학(proteomics), 대사체학(metabolomics) 등의 분자생물학적 분석 기술이 사용된다. 두 번째로, 유전자의 다형성(polymorphism)에 따라 영양소 대사가 어떠한 차이를 보이는지를 연구하는 nutrigenetics(유전자 → 영양) 분야가 있다.

2002년부터 유럽에서는 이러한 연구를 위해 연구소들이 설립되고 있으며, 이러한 연구소들로는 프랑스의 'Network for Nutritional Genomics', 네덜란드의 'The Center for Nutritional Genomics', 독일의 'Nutrigenomics Network Potsdam', 영국의 'Liverpool Center for Nutritional Genomics' 등이 있다. 또한 2003년 미국 시카고에 'Center of Excellence for nutritional Genomics' 연구소가 생겨 영양유전체학에 대한 연구가 가속화되고 있다.

맞춤영양학 (Personalized Nutrition)

1953년 Watson과 Crick에 의해 DNA의 3차원 구조가

밝혀진 후로, 2003년 인간유전체 해독사업(human genome projec)의 완성으로 인간의 유전자 염기 서열이 밝혀졌다. 인간 유전체에 대한 정보로 인체의 신비를 밝힐 수 있는 실마리가 주어졌고, 이를 이용한 질병의 예방 및 치료에 대한 분야에 기대가 고조되고 있다. 이에 따라 개인의 유전자를 검사하여 개인에게 적합한 영양과 식품을 제시해 줄 수 있는 가능성이 열리게 되었다.

그동안 동일한 음식을 섭취하는 경우에도 인체에서 반응하는 현상이 개인별로 큰 차이가 나기 때문에, 특정 식품의 섭취와 건강 간의 상관관계를 해석하기가 어려웠다. 이것은 개인별 유전적 차이에 따라 대사과정에 차이가 생기고, 그 결과 인체에서의 반응이 다르게 나타나기 때문이다. 영양소 대사에 영향을 미치는 유전자의 다형성은 암, 당뇨병, 류마티스성 관절염, 골다공증, 심혈관계 질환 등과 같이 식이와 관련된 만성 질환들의 역학 연구 결과가 일관되지 않게 나타나는 것을 설명해 줄 수 있다. 유전적 차이가 어떻게 영양소의 소화, 흡수, 운반, 이동과 제거에 영향을 주는지에 대해 이해하게 되면 섭취한 식품의 생리활성 성분이 체내에서 얼마나 작용할 수 있는지도 더욱 정밀하게 평가할 수 있게 될 것이다.

최근에는 특정 질환의 발병율과 상관관계가 높은 유전자 다형성을 규명하여 개인의 유전자 다형성과 질환 유병율과의 상관관계를 밝히고자 하는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 부모님 중 당뇨병이나 고혈압 등의 질환이 있을 경우, 동일한 질환이 나타날 가능성이 높기 때문에 미리 생활 패턴을 조절하여 질병을 예방하려는 노력을 하게 된다. 그 이유는 이러한 질환들이 유전적 요인이 강하게 작용하여 나타나기 때문이다. 이러한 유전적 요인을 앞으로는 유전자 검사를 통하여 과학적으로 검증해낼 수 있고, 심증이 아닌 물증을 통해 자신의 질병에 대한 위험도를 미리 예측해 볼 수 있게 될 것이다.

이와 같은 맥락에서 특정 질환유병율과 상관성이 높은 유전자 다형성을 가진 사람에게 그 질환 예방에 필요한 영양소 혹은 식품, 음식, 식단을 제안하여 개별화된 영양섭취를 제안하는 것이 최근 대두되고 있는 맞춤영양학이다.

단일 염기 다형성

(SNP; Single Nucleotide Polymorphism)

1996년 Risch와 Merikangas에 의해 유전자 내에 유전자 다형성이 존재한다고 소개된 이후로 유전자 다형성은 지금까지 주목받고 있다. Human genome project에 의해 인류의 DNA 염기 서열은 각 개인간 서로 99.9% 일치함이 밝혀졌다. 실제로 각 개인의 유전자를 비교해보면 약 0.1%의 차이를 가지고 있는데 이러한 작은 차이가 키, 머리카

락, 피부색 그리고 질병에 대한 감수성 등의 여러 가지 차이를 가져온다. 이러한 유전자 다형성에 대한 정보가 맞춤영양학의 영역에 활용되고 있다.

가장 많이 존재하는 유전자 다형성 형태는 단일 염기 다형성(SNP; Single Nucleotide Polymorphism)으로 인구의 1% 이상으로 나타나는 형태이다. 단일 염기 다형성이란 개인 간의 DNA에 존재하는 한 염기쌍의 차이로 유전자 염기서열 다형성 중에서 1000 bp(base pair) 당 1개꼴로 나타나며, 결과적으로 인간 유전자 중에서 약 3,000,000개의 SNP가 나타날 수 있다. 영양유전체학에서 의미가 있는 SNP는 대사의 속도를 변화시키고 조절하는 데 관여하는 유전자 중 높은 빈도로 나타나는 유전자 다형성이다. SNP에 따라 식품 섭취에 대한 대사 과정 반응이 다르게 나타날 수 있으며 또한 질환에 대한 감수성 역시 다를 것이다.

유전자와 영양의 상호작용은 당뇨병, 비만, 심혈관계 질환과 같은 질환으로 나타날 수 있다. 이러한 질병들은 하나의 SNP에 의해 발생할 수도 있지만 그런 경우는 매우 드물고 질병에 직접적으로 관련이 있는지 없든지 여러 유전자의 SNP가 복합적으로 작용하여 발생하는 경우가 많다. 이러한 복잡한 질병에 대한 감수성은 개인의 유전체에 있는 SNP의 복잡성에 기초를 두고 있고, 많은 경우 이러한 질병에 대한 감수성을 식이 조절에 의해 개선할 수 있다.

영양유전체학에서 많이 연구되어온 SNP들을 살펴보면 다음과 같다. 영양과 관련된 유전자 중 가장 연구가 많이 된 것은 엽산과 메티오닌 대사에서 중요한 역할을 하는 MTHFR(Methylenetetrahydrofolate Reductase)이다. MTHFR은 methylenetetrahydrofolate를 형성함으로써 homocysteine에 단일탄소기를 공급하여 methionine을 합성하는데 필요한 효소이다. 유전자 변이로 인해 MTHFR이 부족할 경우 혈중 homocysteine이 증가하여 신경 이상 및 동맥경화와 같은 혈관계 질환의 위험이 증가하게 된다. MTHFR의 SNP 중 가장 많이 연구된 것은 677C→T 유전자 변이이다. 677C→T로 염기가 바뀌게 되면 alanine 대신 valine이 합성되며 그 결과 MTHFR은 활성에 필수적인 조효소인 flavin을 잃게 되어 효소 활성이 감소한다. 결과적으로 677C→T 유전자 변이에서는 혈중 homocysteine이 증가하고 체내 folate(엽산) 영양상태가 부족한 상태가 되며 심혈관계 위험이 증가하게 된다. 따라서 MTHFT 677C→T 유전자형을 가진 사람은 다른 사람들보다 folate가 풍부한 식사를 하여 감소된 효소활성을 보충해야만 이러한 위험을 예방할 수 있다. 실제로 MTHFT 677C→T 유전자형을 가진 여성에게 권장량의 2배에 달하는 folate(1일 800 µg)를 섭취시켰을 때, 677CT형과 677TT형 간 체내 folate 수준의 차이를 극복할 수 있었다는 결과가 보고되었다.

두 번째로, 비타민 D 수용체(VDR; Vitamin D receptor) 유전자에 대한 연구도 많이 진행되고 있다. 비타민 D 수용체 유전자의 돌연변이는 구루병 및 제 1형 당뇨병과 관련이 있고 이러한 질병과 관련된 여러 개의 다형성이 존재한다고 알려져 있으며, 이러한 질병들은 비타민 D 섭취로 개선될 수가 있다는 결과들이 있다.

세 번째로, apolipoprotein C-III(Apo C-III) 유전자에 대한 연구를 들 수 있는데, Apo C-III가 증가하면 혈중에서 중성지방이 많은 지단백질(lipoprotein)의 제거를 방해하여 심혈관계질환의 위험이 증가한다. S2 allele 유전자형을 가진 사람은 Apo C-III와 혈중 중성지방이 증가하여 심혈관계 질환의 위험이 증가하는데, 이런 경우 단일불포화지방산과 EPA, DHA와 같은 오메가-3 지방산의 섭취가 혈중 지질을 개선하는데 도움을 줄 수 있다.

비만과 관련된 SNP들도 연구되고 있다. 다른 질병들과 마찬가지로 비만도 유전적 결함이나 SNP의 영향을 받는다. 렙틴 수용체, β 3-adrenergic receptor에서 Gln27Glu 다형성, UCP(uncoupling protein) 유전자 등이 비만과 연관이 있음이 보고되고 있다. 또한 심혈관계 질환과 관련된 SNP들로는 apolipoprotein E, β 2-adrenergic receptor, β 3-adrenergic receptor, cholesterol ester transfer protein (CETP), lipoprotein lipase(LPL), hepatic lipase, peroxisome proliferator-activated receptors gamma(PPAR- γ) 등이 연구되고 있다.

맞춤영양학의 산업화

현재 우리나라의 영양섭취기준을 보면 20~29세 여성의 경우 2000 kcal의 열량, 16~19세 남성의 경우 900 mg 칼슘이 권장되고 있다. 그러나 모든 한국의 성인 여성들이 하루에 2000 kcal가 필요한 것은 아니며, 모든 청소년들이 칼슘을 하루에 900 mg 먹어야 하는 것은 아니다. 지금까지 영양소 섭취의 권장량은 성별과 나이, 임신여부만을 고려하여 그 외의 요인들에 대해서는 획일화시켜 적용하는 'one-size-fit all' 방식에 의해 정해질 수밖에 없었고, 개인의 유전적 차이는 고려되지 않은 시스템이었다.

그러나 22세기에는 'one-size fits all'에서 'one-size fits most'로 영양 권장 기준이 변화할 것이고, 건강 증진을 위한 방안으로 영양유전체학이 부각되어 개인맞춤형 영양이 소비자에게 다가오게 될 것이다. 최근 맞춤영양학에 대한 기반연구 결과가 상당량 축적됨에 따라 현재 상업화 초기 단계에 진입하였고, 향후 새로운 거대 산업 분야로의 성장이 전망되고 있다.

초기 단계이기는 하나 실제로 국외 업체들에서 영양유전체학 사업을 진행하고 있으며 맞춤영양 서비스 시장은

성장하는 추세이다. Sciona 社나 Genelex 社 등과 같은 회사로부터 많은 진단 도구가 개발되어 개인별 맞춤영양권장이 가능하게 되었다. 미국의 한 업체의 경우 2003년 이후로 35,000개 이상의 영양유전 테스트가 판매되었다고 보고되었다. 개인의 유전정보를 저렴한 가격에 분석할 수 있게 되면 개별 맞춤영양 시장이 더욱 활성화 될 것으로 예상되고 있다.

미국 IFTF(Institute for the Future)의 NCNG(New Consumer, New Genetics) 프로그램의 보고서에서는 개인맞춤형 영양권장이 과학적으로 입증되고 정부와 전문기관이 이를 받아들여 주면, 정부와 대기업은 당뇨병이나 고혈압과 같이 식생활과 관련된 질병 관리에 소요되는 경제적 부담이 의료비 예산보다 커짐에 따라 경제적으로 더욱 효과적인 개인맞춤형 제품과 서비스를 확대해 나갈 것이라고 보고 있다.

산업적인 관점에서 바라볼 때 맞춤영양학의 사업영역은 유전자 검사와 그 결과에 따른 적합한 식품 및 건강보조제 추천, 적합한 식습관을 위한 프로그램 제공, 그리고 적합한 맞춤형 식품과 건강보조제의 제조와 판매까지 아우른다.

맞춤영양 서비스의 내용은 (1) 유전자 검사와 그에 대한 해석, (2) 유전자 검사 결과에 근거한 질병에 대한 감수성 평가, (3) 식이 지침 제공의 3가지로 구성된다. Castle 등은 맞춤영양 서비스가 대중들에게 제공될 수 있는 형태에 대해 DTC(direct-to-consumer) 형태, 개업의(開業醫)를 통한 서비스, 여러 분야를 통합한 건강관리팀에 의한 서비스 등 3가지 모델로 설명하였는데, 현재는 DTC 서비스가 가장 일반화된 형태로 자리 잡고 있다. DTC 서비스는 인터넷을 통한 홍보와 판매를 기본으로 하고 있다. 소비자는 온라인을 통하여 진단 kit를 구매하여 입 속에 면봉을 넣어 타액을 추출한 뒤 자신의 식생활을 포함한 생활습관에 대한 정보와 함께 서비스 업체에 보낸다. 업체는 타액 샘플로부터 영양소 대사와 관련된 유전자 다형성을 검사하여 개인 생활습관 정보와 비교한다. 업체는 분석 결과 유전자 다형성과 의뢰자의 식생활 등 생활 지침들에 대해 정리한 보고서를 소비자에게 제공한다. 영양적인 지침들은 식품들에 대한 내용도 있으나 보충제에 대한 조언들이 많고, 때로는 그 업체에서 판매하는 제품에 대한 내용도 포함되어 있다.

국외 개별 맞춤식품 사업화 동향

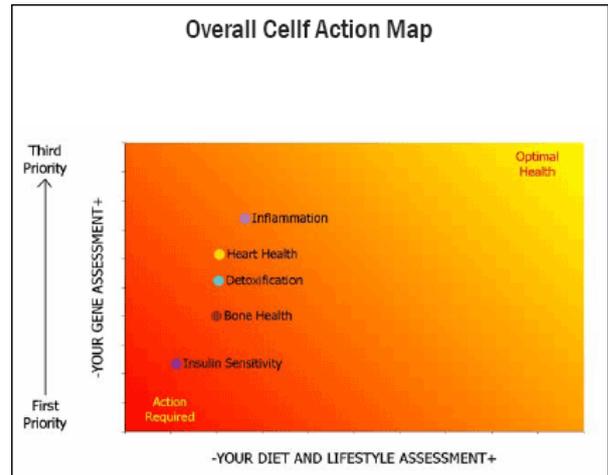
Nestlé 社의 경우 제품 개발의 기본 방향에 있어서 개인 고유의 영양 요구를 충족시킬 수 있도록 비만, 당뇨병, 심혈관질환 등 개별 개체의 건강 상태의 위험 요인들 고려하는 'personalized nutrition'의 실현을 추구하고 있다. Nestlé

Research Center에서는 어떠한 소비자도 동일한 식품을 먹었을 때 동일한 반응과 동일한 건강 결과를 나타내는 경우는 없다는 기본 개념을 가지고, 개인의 특정한 유전자가 식품 선택에 어떻게 영향을 미치는지, 개인 수준에서 식품 혹은 식품 원료가 유전자와 어떻게 상호작용하는지에 대한 연구 테마에 많은 인력과 비용이 투자되고 있다.

생명과학기업 Sciona 社는 2004년 DNA 분석을 통해 개인에 따라 먹어야 할 음식과 먹지 말아야 할 음식을 구별할 수 있는 프로그램을 개발했다고 발표했다. Sciona는 160파운드(약 32만원)에 영양유전체 진단을 해주고 있으며 보급이 확대되면 가격을 추가로 인하할 방침을 가지고 있다. 침에서 추출한 DNA에서 19개의 유전자 다형성 분석을 실시하여 얻은 정보를 입력하고 전산 프로그램을 활용하여 유전자와 음식의 상관관계를 분석하게 된다. 이 프로그램을 다이어트에 활용하면 수십억 파운드의 의료비를 절감할 수 있고, 임신부의 태아에게도 유전자에 적합한 영양분을 공급함으로써 건강한 아이를 탄생시킬 수 있다고 말한다. 실제로 Sciona의 임상 연구 결과에 의하면 유전적 구성에 맞게 짜여진 식사로 다이어트를 했을 경우 전통적인 식사로 다이어트를 한 사람들에 비해 1년 후 체중이 더 많이 감소했으며, 2년 후 감소된 체중을 유지할 가능성이 약 5배가량 높은 것으로 나타났다. 이 결과로 Sciona 연구팀은 유전자형에 따라 개인의 영양 섭취와 생활습관을 조절할 때 다이어트를 성공으로 이끌 수 있다고 보고했다.

이 외에도 1987년 설립돼 유전학 비즈니스에서 가장 고참적인 Genelex 社도 DNA 분석을 통한 개인의 영양 섭취 성형과 이에 맞는 개인 식단을 제공하는 비용으로 595달러를 받고 있다. 제네링크 社도 스트레스, 심장, 뼈 질환과 관련된 12개 유전자를 바탕으로 한 개인 식단 서비스를 제공하고 있다.

위의 업체들 중 Sciona는 맞춤영양시장을 사업화하여 가장 성공한 업체로 이들의 사업화 전략을 주목해 볼 필요가 있다. Sciona는 온라인상에서 'mycellf'라는 자체 영양 유전체 프로그램을 실시하여 맞춤영양 DTC 서비스의 표본이 되고 있다(www.mycelf.com). Mycelf 프로그램에서는 비타민 D 수용체, 인터루킨-6, TNF- α 등 19개 유전자에 대해 다형성 분석을 실시한 결과를 바탕으로 심장 건강, 뼈 건강, 인슐린 민감성, 항산화/해독작용, 염증반응의 5개 건강 영역에 대한 정보를 제공하고 있다. 개인의 유전자 분석 결과 이들에 대하여 유전자 지도를 작성하고 이 중 가장 주의를 기울이고 건강 목표를 달성하기 위해 노력해야 할 영역부터 순차적으로 보여준다. 예를 들어 다음 그림에서 보면 본 의뢰인의 경우 가장 신경을 써야 할 영역은 인슐린 민감성 부분이고 가장 건강 목표에 가까운



영역은 염증반응이다.

따라서 이 의뢰인에게는 다음과 같은 가이드라인이 제공될 수 있다.

First Priority

당신이 가장 우선적으로 확보해야 할 영역은 인슐린 민감성입니다. 당신의 유전자와 생활습관 평가를 통해 다음을 권장합니다.

- Glycemic load가 높은 탄수화물 식품의 섭취를 줄이십시오.
- 포화지방 섭취를 줄이십시오.
- 오메가-3 지방산 섭취를 늘리십시오.
- BMI를 19~25 사이로 줄이십시오.
- 운동 수준을 증가시키십시오.

Second Priority

두 번째 우선순위 영역은 항산화/해독 기능을 확보하는 것입니다. 당신의 유전자와 생활습관 평가를 통해 다음을 권장합니다.

- 칼슘 섭취를 늘리십시오.
- 비타민 D 섭취를 늘리십시오.
- 카페인 섭취를 줄이십시오.
- 브로콜리, 컬리플라워 같은 십자과 채소 섭취를 늘리십시오.
- 마늘, 양파의 섭취를 늘리십시오.
- 비타민 A, C, E 등 항산화제 함량이 높은 식품 섭취를 늘리십시오.

Third Priority

세 번째 우선순위 영역은 심장 건강과 염증반응입니다. 당신의 유전자와 생활습관 평가를 통해 다음을 권장합니다.

- Folate, 비타민 B₆, B₁₂가 많은 식품의 섭취를 늘리십시오.
- 콜레스테롤 섭취를 줄이십시오.

유전자 분석과 생활습관을 평가한 결과를 종합하여 위와 같이 가이드라인을 제공하고, 좀 더 구체적인 식사, 영양, 생활습관에 관해서는 개별적인 action plan을 제공하고 있다. 예를 들어 현재 의뢰인의 칼슘 섭취는 하루 400mg이며 건강을 위한 목표는 하루 1000mg으로 할 것, 현재 비타민 D 섭취량은 400IU인데 800IU 섭취를 목표로

할 것, 현재 카페인 섭취량은 하루 56 mg이며 하루 300 mg을 초과하지 않는 것을 목표로 할 것, 그리고 현재 BMI는 36이며 19~25를 목표로 할 것 등이다.

소비자의 반응

IFTF의 조사에서는 소비자가 유전자 검사로부터 얻은 정보에 따라 관련 제품을 구매할지의 여부를 예측하는 도구로 'CNI(Consumer nutrition index)'라는 지표를 만들어 사용하였는데, 조사 결과 소비자의 1/3이 개인 맞춤 영양 제품을 구매할 것으로 나타났다. 2005년 IFIC 조사의 응답자 중 64%가 영양유전체학에 대해 들어봤다고 대답했고, 영양유전체학(19%)이라는 용어보다 맞춤영양(70%)이라는 용어를 훨씬 더 선호하는 것으로 나타났다. 흥미로운 것은 응답자의 71%가 자신이 유전적으로 취약한 질병의 위험을 줄일 수 있고, 건강을 증진시킬 수 있다면 유전 정보를 이용하여 맞춤 영양을 제공받는 것에 동의하겠다고 답했다는 것이다.

또한, 2004년 실시된 Cogent Research의 조사에 따르면, 미국 소비자의 79%는 유전 정보를 사용하여 건강을 증진시킬 수 있다고 알고 있다고 답했고, 50~75%가 자신이 어떤 질병에 걸리기 쉬운가를 알고 싶다고 했으며, 그에 대응하기 위해 무슨 영양소를 섭취해야 하는지 궁금하다고 답했다.

2004년 미국 성인을 대상으로 실시한 American Lifestyle Survey에 따르면 75%의 응답자가 개인 영양정보 진단에 다소 혹은 매우 관심이 있으며 자신의 유전정보에 맞는 식품을 섭취하고 싶다고 답했고, 그 중 40%는 건강관리를 위해 그 정보를 기꺼이 제품 제조 혹은 서비스 제공 회사에 공개하겠다고 답했다.

2002년 실시된 HarrisIntensive 社の 결과에 따르면 만약 치유가 가능하거나 증상을 완화시킬 수 있는 심각한 질병에 대해 유전자 진단이 있다면 받을 의향이 있는가 하는 질문에 81%의 응답자가 진단을 받겠다고 답했고, 그 비용으로 평균 300불 정도를 낼 의향이 있다고 답했다. 이러한 조사 결과들을 볼 때 개인 맞춤 영양 제공에 대한 소비자의 요구 증대와 개별맞춤 식품 시장의 실현 가능성을 짐작해 볼 수 있다.

국내 연구 동향

국내에서는 질병관리본부 국립보건연구원 유전체센터에서 2001년부터 '한국인 유전체역학조사사업(KoGES; Korean Genome Epidemiology Study)'을 진행중이다. '한국인 유전체역학조사사업'은 총 20만명의 코호트를 구축

하여, 질병의 발생에 환경요인 및 유전체가 미치는 영향을 파악하고, 만성질환에 대한 건강 증진과 질병의 예방을 위한 정책수립의 자료를 마련하고자 수행되고 있다.

본 사업에서는 5대 만성질환(당뇨병, 고혈압, 골다공증, 비만, 대사증후군)에 대한 유전체 역학연구를 위하여 40세 이상 성인으로부터 생활습관, 환경요인 및 유전자원등을 수집하고 있다. 코호트 전체 유전체 시료들에 대해 SNP chip을 이용한 전장 유전체 분석을 수행하고, SNP chip 실험 결과 생산된 전장 유전체 유전형질 정보를 데이터베이스화 하여 국내외 일반 연구자들에게 공개함으로써 질환의 유전적 요인 이해에 대한 연구를 촉진시킬 계획이다. 또한 유전정보와 임상정보를 비교분석하여 질병지표를 발굴하고 더 나아가 질병발생 예측 프로그램을 개발하여 정확한 질병 위험군 예측을 가능하게 하는 것을 목표로 하고 있다. 궁극적으로 한국인이 갖는 질병 관련 유전정보를 이용하여 질병 발생률을 낮추고 개인별 유전정보를 이용한 맞춤 및 예측의학을 실현하는 것을 목적으로 하고 있다.

또한, 한국과학기술단체총연합회에서 주최하는 Korea Conference on Innovative Science and Technology에서 융합학문 성격을 띠고 있는 영양유전체학이 2006년 선정되고 'Nutrigenomic Approach in the Functional Products R&D'라는 주제로 개최된 바 있다. 또한 최근 한국식품영양과학회, 한국영양학회 및 한국식품과학회 등의 학회 학술대회의 주제로 영양유전체학이 선정되어 국내 환경에서 식품과 유전자간의 상호작용에 대한 연구 결과들이 발표되고 있다.

최근 국립보건원 생명과학부와 생명공학 회사인 (주)디엔에이링크 연구팀은 단일염기 다형성 연구협의체인 'The SNP Consortium (TSC)' 연구팀과 함께 '고밀도 인간 유전체의 단일염기 다형성 지도(High-density single-nucleotide polymorphism maps of the human genome)'을 발표해 주목을 받았다. (주)디엔에이링크 연구진은 Scion사와 2005년 국내총판계약을 체결하고 국내 영양유전자 검사 서비스를 제공하고 있다.

해결 과제들

개별맞춤식품의 산업화에 있어서 영양유전체학을 대중에게 적용하여 소비자가 영양유전 검사와 그 결과 상응하는 식품을 접하게 되는 방법의 관점에서 생각할 때, 과학적, 기술적, 법적, 사회적, 윤리적 이슈들이 발생한다. 개별 맞춤식품 사업이 활성화되기 위해서는 산업계는 물론 정부의 규제 변화도 수반되어야 하며, 소비자들의 관심과 신뢰를 얻어낼 수 있도록 각계의 활발한 정보 공유 및 흥

보가 선행되어야 한다.

과학적 이슈

현재 영양유전체학 서비스는 의료 전문가를 거치지 않고 인터넷을 통하여 광범위하게 제공되고 있다. 서비스 업체는 일반적으로 질환의 위험률과 관계가 있으며 식이에 의해 영향을 받는다고 알려진 제한된 몇몇 SNP들을 분석한다. 그리고 업체는 의뢰한 소비자의 유전자 프로파일에 근거하여 식이 지침을 제공하게 된다. 그러나 데이터의 분석은 상당히 복잡하다. 유전자형이 질환 유병률에 미치는 영향에 대한 데이터는 논란의 여지가 남아 있는 경우가 많고, 또한 현재 알려진 SNP와 식이 요인이 질환 발병에 미치는 영향에 대한 과학적 타당성이 부족한 것이 현실이다. 한 개체의 총체적인 건강을 제한된 몇 가지 SNP로 설명하려는 시도에는 분명히 한계가 존재한다. 특히 영양유전체학 연구가 갖는 가장 큰 애로점은 인종 간, 개인 간의 유전적 차이로 인해 연구 결과가 대중적으로 보편적이지 않다는 것이다.

앞으로 영양에 의해 발현이 조절되는 유전자들의 기전을 보다 많이 이해하고, 이런 유전자들의 SNP들을 보다 많이 발굴하며, 이 SNP들과 질병간의 상관성을 보다 과학적으로 규명하여 건강과 질병예방을 위해 적절하게 응용될 수 있게 하는 노력들이 필요할 것이다.

기술적 이슈

개별 맞춤영양 시장이 활성화되기 위해 필수적인 두 가지 요소는 유전자 진단 도구와 유전자형에 맞춘 식품이다. 연구자들은 유전체 연구 분야의 미래에서 가장 가치 있는 것은 SNP 당 분석 비용 절감이라고 입을 모으고 있다. 분석 결과가 정확하고 민감하며 신뢰할만하며, 가격적인 측면에서도 저렴한 진단 도구 개발이 필요할 것이다.

현재 시장은 기초 연구에 치우쳐 있어 진단 도구 시장에 머무르고 있으나 맞춤영양 시장이 본격화되기 위해서는 소비자가 선택할 수 있는 다양한 식품 개발이 요구된다. 이상적인 맞춤영양 식품이 갖추어야 할 요건들로는 활성 성분의 생체이용율을 높이는 것, 식품 성분간 상호작용이 없을 것, 다양한 식품 형태가 가능할 것, 영양 균형을 이룰 것, 영양소가 가공 중 변하지 않을 것, 관능적 특성이 좋을 것, 유통기한이 확보될 것 등이 있으며 이를 해결하기 위한 기술 개발들이 필요하다.

또한 개별 맞춤영양을 가공식품에 적용하여 제품화할 경우 제품의 세분화 수준을 어느 정도로 할 것인가에 대한 고민에 봉착하게 될 것이다. 유전자형에 맞춘 제품들은 과거의 대량 생산 시스템과는 다르겠지만, 실제로 단 한 사람만을 위한 가공식품을 만들게 되지는 않을 것이다.

따라서 비슷한 유전자형을 가진 사람들끼리 유형화하여 그룹핑하고 각 그룹에 적합한 제품을 만들게 될 가능성이 높다. 이 그룹에 맞는 제품의 세분화 수준은 시장의 크기와 종류, 마진율, 과학적 타당성 등에 의해 결정될 것이다.

법적, 사회적 이슈

현재 규제에 대한 논쟁은 영양유전 검사의 DTC 마케팅의 유해성과, 신뢰성이 떨어지는 검사법, 잘못된 health claim, 적절하지 않은 건강기능 식품 제공 등의 유해성으로부터 소비자를 보호해야 할 필요성에 대해 초점이 맞추어져 있다.

현재 미국에서 진단 제품의 상업화를 위해서는 정부의 승인이 필요하다. 진단의 실시에도 있어서도 미국 임상종양 학협회에서는 암의 진단은 반드시 전문 의료 기관에서 행해져야 하며 지금과 같이 인터넷 상에서 진단 도구를 구입하여 진단을 실시하는 것은 인정할 수 없다는 입장을 표명하고 있다. 규제의 한 방안으로 DTC 유전자 검사 및 서비스 제공을 전문 의료진을 통해서만 가능하게 할 가능성도 있다. 그러나 현재 유전자와 영양에 대해 적절하게 교육받은 의료진이 부족한 것이 영양유전체 서비스를 소비자에게 제공하는데 있어서 주요한 장애 요인으로 인식되고 있다. 유전적인 정보를 적절하게 해석하고 의학 맞춤형 영양 치료를 할 수 있는 능력을 갖춘 임상영양사 등의 건강관리 전문가들을 육성하여 인적 자원을 준비하는 것이 필요할 것이다.

맞춤식품은 일반식품이나 건강기능성식품의 카테고리에 들지 않는 완전히 새로운 유형의 식품이 될 것이기 때문에 이에 맞는 적절한 health claim 수준을 찾는 노력과 이 식품들이 유통되는 채널과 시장 유형에 대한 개발이 있어야 할 것이다. 또 하나 해결해야 할 과제로 지적재산권의 보호 문제가 있다. 유전자와 식품의 상호작용에 대해 밝혀진 것을 특허로 보호할 수 있는지에 대한 논의가 필요하다.

윤리적 이슈

비록 현재 미국인의 다수가 본인의 유전정보를 기꺼이 공개할 것이라고 대답하고 있지만, 다른 민족성을 가진 나라에서도 본인의 개인적인 유전 정보 공개에 대해 거부감을 가지지 않을 수 있을지가 미지수로 남는다.

결 론

미래의 식품시장에서 세분화(segmentation)의 필요성에 대해서는 모두 공감하고 있다. 문제는 시장을 어떤 기준을 사용하여 어떠한 방법으로 세분화 할 것인가이다.

맛에 의한 세분화, 포장 단위에 의한 세분화도 있어야 하겠고, 연령별, 질환별로 세분화하여 고령소비자를 위한 맞춤식품, 유아 발달단계에 따른 맞춤식품, 당뇨환자용 맞춤식품 등 집단 맞춤식품도 생각해 볼 수 있겠다. 여기에 덧붙여 유전자형을 기준으로 세분화하는 개별 맞춤식품 시장의 가능성에 대해서 고찰해 보았다.

구두는 230 mm, 235 mm 등 5 mm의 간격을 가지고 사이즈별로 생산되어 소비자는 각자 자신의 발에 맞는 사이즈의 신발을 선택하여 구매하고 있다. 그러나 이렇게 내 사이즈의 구두를 골라서 신는 것보다 더 내 발을 편하게 하는 방법은 내 발의 크기와 모양에 맞추어서 만들어 주는 맞춤구두를 신는 것이다. 내 발은 다른 사람들보다 앞볼이 넓은 편이고 오른발의 길이는 237 mm이기 때문이다.

소비자들이 대량 생산되는 규격이 정해진 제품보다 나만을 위한, 내 몸에 꼭 맞는 맞춤구두, 맞춤정장에 더 고가격을 지불할 용의가 있다면, 나에게 꼭 맞는 맞춤식품은 미래 식품산업의 새로운 돌파구가 될 것이라 생각한다.

참고문헌

1. 김양하. 2006. 영양유전체학의 이해 및 연구동향. 한국보건산업진흥원 보건산업기술동향 27호.
2. 최봉혁, 김종배, 도명술. 2005. 영양유전체학(Nutrigenomics) 의 최근 경향. 한국식품영양과학회지 34: 1642-1654.
3. 메디컬투데이/뉴시스. 2007.11.8
4. US GAO. 2006. United States Government Accountability Office Nutrigenetic Testing: Tests Purchased from Four Web Sites Mislead Consumers. Washington.
5. Castle D, Cline C, Daar AS, Tsamis C, Singer PA. 2006. *Science, Society, and the Supermarket: The Opportunities and Challenges of Nutrigenomics*. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
6. Institute for the Future (IFTF). 2005. New Consumer, New Genetics (NCNG) 3'rd Report.
7. Sutton KH, Nutrigenomics New Zealand. 2007. Considerations for the successful development and launch of personalised nutrigenomic foods. *Mutat Res* 622: 117-121.
8. Ordovas JM, Mooser V. 2004. Nutrigenomics and nutrigenetics. *Curr Opin Lipidol* 15: 101-108.
9. Chadwick R. 2004. Nutrigenomics, individualism and public health. *Proc Nutr Soc* 63: 161-166.
10. Vakili S, Caudill MA. 2007. Personalized nutrition: nutritional genomics as a potential tool for targeted medical nutrition therapy. *Nutr Rev* 65: 301-315.
11. Castle D, Ries NM. 2007. Ethical, legal and social issues in nutrigenomics: the challenges of regulating service delivery and building health professional capacity. *Mutat Res* 622: 138-143.
12. El-Sohemy A. 2007. Nutrigenetics. *Forum Nutr* 60: 25-30.
13. <http://www.mycellf.com>
14. <http://www.research.nestle.com>