

유전자 변형 식품의 안전성

경규향

세종대학교 식품공학과 교수

I. 서론

유전자재조합식품을 개발하는 사람들은 2025년이 되면 세계인구는 8.3 billion이 되며 (Omaye, 2001) 2050년이 되면 현재 식량생산량의 3배를 생산해야 인류가 굶주리지 않게 된다는 계산을 하며 (Avery, 2000) 유전자재조합식품만이 이를 해결할 수 있는 열쇠라고 주장한다.

유전자재조합식품을 반대하는 사람들 중에는 현재 생산되는 식량은 충분하니까 잘만 나누어 먹으면 충분한데, 분배에 문제가 있다고 주장한다 (Mellon, 2001; IFST, 1999). 배고픈 사람이 있는 것은 식량부족이 원인이 아니고 돈이 없어 사먹지 못하기 때문에 유전자재조합 방법에 의해 식량생산을 늘린다고 해도 이 세상에는 배고픈 사람이 있을 수 밖에 없다는 논리이다. 그런 논리를 배경으로 유전자재조합식품의 개발대신에 효율적인 배분방법을 연구하자는 의견을 제시하지만 현재와 같은 경제를 안에서는 한낱 의견에 지나지 않을 뿐이다.

유전자재조합식품의 출현은 미래의 식량난문제의 해결이라는 희망을 안겨준 동시에 안전성(safety)이란 새로운 과제를 제시하였다. 많은 과학자들은 현대과학을 동원하여 안전성을 확인하였으므로 걱정할 것 없다고 주장하지만, 시민단체 등은 유전자재조합식품의 안전성에 대해 회의적인 입장을 취하며 이의 사용이나 혼입을 폭로하여 사회문제화하고 있다 (Aerni, 2001).

필자는 좋은 기회가 있어 유전자재조합식품의 안전성 평가에 관한 많은 토의에 참여한 일이 있는데, 우리가 가지고 있는 현대 식품과학 및 생명과학 지식의 한도 내에서 안전성을 평가할 수 밖에 없다는 것이 한계를 인정한다. 그리고 시민단체 멤버들이 「문제점」이라고 주장하는 바와 같이 그 평가자료도 100% 허가를 신청한 회사에서 제출한 자료에 한정되는 것도 사실이다. 우리가 특허를 내거나 학술논문을 낼 때와 같이 제출자가 제출하는 자료를 평가하고, 불충분한 자료는 보강을 요청하며 확인이 필요한 것은 확인하고, 그 자료의 내용에 대하여는 제출자가 전적으로 책임지는 그런 시스템이며, 논리적으로 하자가 없고 현실적으로 대안도 없다고 생각된다. 미국 소비자 단체들도 같은 주장을 하는데 대해 Taylor 교수 (Brazil nut 유전자공의 알려지유발 가능성을 확인한 장본인)는 당연한 일이라고 반박한다. 분석경비나 자료수집경비는 당연히 해당 기업에서 부담해야 마땅하지 국민이 낸 세금을 거기에 써서는 안 된다는 입장이다 (Hopkin, 2001). 왜 유전자재조합식품만 유독 국민의 세금으로 제품의 안전성여부를 확인해야 하느냐는 질문이다.

여기서는 유전자재조합식품의 안전성문제로 제기된 것들과 안전성의 평가에 관한 사항을 다루되 식품과 관련되지 않은 문제에 대하여는 언급하지 않고 유전자재조합식품에 대한 소비자의 인식 (public perception)

과 일부 사회문제에 대해서는 참고를 목적으로 조금 다루도록 하겠다.

II. 유전자재조합식품의 안전성 이슈

유전자재조합식품의 새로운 concept에 대해서 그리고 그 기술이 인류에게 줄 수 있는 여러 가지 가능성에 대해서는 많은 사람들이 박수를 보내지만, 안전성면에서 불안감을 말하는 사람들이 꽤 많다. 일반인들은 주로 분명하지는 않지만 어딘지 불안하다는 말이고, 생물학에 견식이 있는 사람들은 유전자의 이동이나 알려지 유발 가능성에 대한 의문을 제기하는 것으로 분류된다.

이에 유전자재조합식품의 안전성 문제를 일반적인 이슈와 각론적으로 제기되는 이슈라고 이름을 붙여 두 가지로 나누어서 설명하고자 한다.

II-1. 일반론적 안전성 이슈

일반인들은 오랫동안 먹으면 어떤 일이 생길지 아느냐?며 애들에게는 먹이지 않겠다거나, 현대과학으로 검사해보니 안전하다고 하는 데 예상치 않은 부작용이 나타날지 어떻게 아느냐는 질문이다. 유전자재조합식품이 안전하다고 하는 데 유전자를 먹는 것도 불안하고 유전자나 DNA에 대해 좀 알았으면 좋겠는 데 그것에 대해 모르는 것도 불안하다는 얘기같이 해석된다. 보통 식품에 유전자 (또는 DNA)가 있는지 없는지를 아는 사람도 그리 많지 않은 것이 현실이고 (우리나라 평균 40%, 서구 여러 나라 평균 약 37%; 경규향, 2001) DNA나 유전자의 작용메커니즘은 신비할 정도로 과학적이지만 일반인들은 이를 과도하게 신비스럽게 생각하는 듯하다. 따라서 사람들에게 우리가 보통 먹는 식품에 DNA나 유전자가 많이 들어 있다는 사실을 알려 교육시키면 적어도 신비성과 어우러진 불안감은 해소시킬 수 있지 않을까 생각한다. 예를 들어 우리가 매일 먹는 음식 한 끼 분에 들어있는 DNA의 양을 길이로 나타냈을 때 15만 km가 된다고 하는 사실(이창용, 2000)은 좋은 도움이 될 것이다. 또 하나의 예로 식물의 세포 하나 하나에는 10,000~75,000개의 유전자가 있어 사과 하나만 먹더라도 수 억 개의 유전자를 먹는 셈인 것이다 (www.foodfuture.org.uk/ffoods2.htm). 유전자재조합한 식품에는 유전자가 있어 꺼려진다는 얘기는 생물학에 대해 잘 아는 사람들에게는 웃음꺼리지만 일반인들에게는 심각한 문제인 것 같다.

II-1-1. 장기 섭취에 따르는 부작용 (possible long-term health effect)

일반인들이 가장 많이 제기하는 안전성 문제이다. 지금까지 식품(whole food)자체의 장기섭취에 따른 부작용 등이 알려진 case나 연구결과가 없다. 이 연구가 어려운 것은 사람 개개인마다 유전적 소양이 다르고 식품을 섭취했을 때 그 식품으로 인해 받을 수 있는 영향이 다르기 때문이다. 그리고 기존의 재래식품은 오랫동안 먹어도 문제가 없는 데, 유전자재조합식품만이 장기간 섭취했을 때 부작용이 있으리라고 생각하기에는 논리가 부족하다.

II-1-2. 목적하지 않은 부작용 (unintended and unexpected adverse effect)

전문성이 있는 사람들이 지적하는 안전성 문제이다. 잘 알고 있는 DNA 조각을 숙주에 집어넣었을 때 나타

나는 현상을 유전자재조합식품의 목적했던 결과 (intended effect)라고 한다면, 위 작업의 결과 숙주가 어떤 기능을 잃어버리거나 어떤 다른 기능이 새로 나타날 수가 있는 데 이것을 목적하지 않은 결과 (unintended difference [UD])라고 정의내린다. 숙주의 유전체에 외래 DNA의 random insertion의 결과 숙주 유전자에 변화가 올 수 있고 이에 따라 단백질 발현의 변화가 나타나거나 새로운 대사물이 생겨날 수도 있는 데 이것이 모두 UD에 해당된다. 예를 들어 효소단백질의 발현량이 많아지면 대사물의 농도에 변화가 생길 수 있고 그로 말미암아 2차적인 생화학적 영향을 줘 대사패턴을 변화시킬 수 있다.

그러나 UD는 유전자재조합기술로 육종을 했을 때만 나타나는 것이 아니다. 재래의 방법으로 육종했을 때 예외 없이 늘 나오는 그런 현상이다.

새로운 작물을 개발할 때 intended effect는 당연히 얻을 수 있지만 여기에 UD가 수반된 경우가 많이 보고되기도 한다. 예를 들어 청주양조용으로 glutelin 단백질이 적은 쌀을 만들었을 때 prolamin 단백질의 함량이 높아지는 UD가 나타나게 된 일이 있었으며 lysine 함량이 높은 콩을 만들었을 때 지방질함량이 감소하는 UD가 나타났던 일 (FAO/WHO, 2000)이 있었다. 뛰어난 홍보효과를 가졌던 소위 golden rice도 β -carotene뿐만 아니라 xanthophyll 색소가 축적되는 UD가 나타났다 (Ye et al., 2000).

이들 프로젝트는 현재 연구가 지속되는 살아있는 프로젝트이지만 개발 과정중에 UD가 나타나서 중도에 프로젝트를 중단한 미국 Pioneer Hi-Bred 사의 고(高) methionine 단백질 콩은 많은 사람들이 예로 들기를 좋아하는 케이스이다. 콩은 원래 합황아미노산 함량이 적은 것이 단점인데 영양가를 향상시키기 위해 Brazil nut의 methionine 함량이 높은 단백질유전자를 콩에 도입시킨 것으로, 이 콩은 Brazil nut에 알러지성이 있는 사람들에게 알러지를 일으킬 가능성이 있는 것으로 확인되어 프로젝트가 중단된 에피소드이다(www.news.cientists.com/nplus/insight/gmworld/gmfood/fruit/html).

이상은 유전자재조합기술에 의해 나타났던 case를 예시한 것이지만 전통적인 육종법에 의해 개발했던 식물종에 UD가 생겼던 예를 몇 개 보겠다. 해충에 잘 견디게 만들었던 새 감자품종이 glucoalkaloid의 함량이 과도하여 (Harvey et al., 1985), squash나 zucchini같은 애호박종이 cucurbitacin E를 함유하여 (Coulston and Kolbye, 1990), 그리고 celery가 많은 양의 furanocoumarin을 함유하여 (Beier, 1990) 농업현장으로부터 제거되었던 일이 기록되어 있다.

II-2. 각론적 안전성 이슈

유전자재조합식품의 안전성과 관련하여 자주 물어오는 세 가지 각론적 질문이 있다. 생물학에 어느 정도 전문지식을 가지고 있는 사람들의 질문으로서 ① 유전자재조합 식품에 있는 외래 유전자가 다른 생물로 이동하지는 않는지?, ② 유전자재조합체 선발용으로 사용되어진 항생제내성마커유전자가 사람의 안전에 문제를 주지는 않는지?, 그리고 ③ 유전자재조합체로 새로 도입된 유전자의 산물인 [새로운 단백질]이 알러지를 유발하지 않는지와 같은 것들이다. ①과 ②는 결과적으로 유전자재조합 식품에서 다른 생물의 유전자 이동에 관한 사항이므로 같은 맥락에서 설명이 가능하고 다른 하나 ③는 알러지유발에 관한 사항이므로 유전

자 이동 (gene transfer)과 알러지 유발성 (allergenicity)의 두 가지로 압축하여 설명하고자 한다.

II-2-1. 유전자의 이동 (gene transfer)

앞에서도 언급하였지만 유전자재조합 식품에 들어있는 외래 유전자에 대한 우려를 가지는 사람이 있다. 우선 모든 식품에는 DNA가 있으며 우리가 먹는 것을 양으로 따지면 꽤 된다는 것을 아는 사람은 별로 많지 않다. 우리가 먹는 DNA나 RNA의 양은 그 변화의 폭이 크지만 대체로 하루에 0.1-1.0g 정도를 먹는다고 하며 (Doefler and Schubbert, 1997) 유전자재조합식품에 들어있는 외래유전자는 우리가 먹는 전체 DNA 양의 약 25만분의 1정도가 된다고 한다. 상대적인 양도 매우 적고 DNA는 매우 쉽게 분해되기 때문에 수평이동될 가능성은 매우 낮다는 것이 전문가들의 의견이지만 유전자의 수평이동 가능성과 그렇게 되었을 때의 결과를 한 번 가정해 볼 필요는 있다.

우선 식물의 DNA가 미생물 세포나 포유류 동물세포로 이동하려면 다음과 같은 조건을 모두 충족시켜야만 한다 (FAO/WHO, 2000).

- ㉠ 식물의 유전자가 linear fragment로 있어야 하며
- ㉡ 동물의 장관내에 있는 nuclease에 의해 분해되지 않아야 하며
- ㉢ 다른 많은 DNA 조각과 uptake 경쟁에서 이겨야 하며
- ㉣ 수용세포의 restriction endonuclease에 의해 분해되지 않음은 물론 수용세포가 transformation competent 한 것이라야 하며
- ㉤ recombination 반응에 의해 숙주세포의 genome에 insert되어야 한다.

위에 언급한 여러 가지 조건을 모두 충족시키기가 그야말로 어렵다고는 하나 유전자의 이동이 있을 가능성이 전연 없다고 장담할 수는 없다. 이 문제를 밝히기 위해 많은 연구가 있었으나 지금까지 식품 DNA에 있던 마커유전자가 동물이나 미생물세포로 이동했다는 보고는 없다. 쥐에게 많은 양의 세균 DNA를 경구투여했더니 이 DNA의 일부가 쥐의 세포와 쥐의 장내미생물로 이동되었다는 보고 (Schubbert et al., 1998)는 있었으나 이의 가능성을 부정하는 의견 (Beever and Kemp, 2000)도 있어서 DNA의 이동에 관한 논란은 그치지 않고 있다. 식물의 DNA가 포유동물의 세포로 이동되어서 안정되게 유지되지 않는다는 것이 지금까지의 결론이다.

항생물질내성 유전자 역시 다른 세포로의 수평이동이나 발현가능성은 매우 낮다고 하더라도 이 가능성을 생각해 볼 필요가 있다. 감염을 치료할 목적으로 사용한 항생물질에 대한 내성 세균이 생기게 되면 치료가 불가능해지기 때문이고 일부 전문가들이 이를 우려하는 것이다.

II-2-2. 알러지 유발성

알러지란 사람의 면역 시스템에 의해 특정 외부단백질에 대해 나타내는 비정상적인 반응인데 그 문제되는 반응을 빼면 그 외부단백질은 무해한 하나의 보통 단백질에 지나지 않는다. 알러지를 간단히 구분해보면 꽃가루, 곰팡이포자, 곤충의 독, 식품 (땅콩, 콩, 우유, 계란, 물고기, 갑각류, 밀, 견과류 등이 90%이상의 식품알

러지를 유발)과 같은 알러지 유발물질이 immunoglobulin E (IgE)와 특이하게 반응하는 것이 그 중 하나이며, 알러지 유발물질에 노출된 뒤 수분 내지 수 시간 내에 반응을 나타낸다. 선진국의 통계에 의하면 인구의 약 10-25%가 알러지환자인데 식품에 알러지가 있는 사람은 2.5%이하라고 한다. 단, 3세 이하는 더 많아서 5-8% 범위에 든다고 한다.

다른 하나는 식품 알러지 중에 celiac (gluten-sensitive enteropathy)은 인구 300-3000명당 1인 정도의 빈도를 가진다고 하는 데, 밀, 귀리, 보리 등에 흔히 들어있는 prolamind 단백질이 유발하는 알러지 (cell-mediated allergy)가 바로 그런 종류의 알러지이다.

III. 유전자재조합식품의 안전성 평가

우리나라 식품의약품안전청에서는 과거부터 오늘날까지 우리가 오랫동안 [전통적으로] 먹어온 식품에 대해서는 안전성 심사를 하지 않는다. 미국도 마찬가지이며 “Traditional foods are viewed by the FDA as safe based on a long history of use” 라는 생각이다 (IFT, 2000). OECD (1991)는 “정상적이고 상식적인 소비조건에서 어떤 식품을 소비했을 때 아무런 해가 나타나지 않는다는 확신이 서면 그 식품을 안전하다”고 본다고 하였다.

별탈없이 오랫동안 먹어온 안전한 식품도 실제로는 여러 가지 anti-nutrients나 natural toxins을 포함하고 있다는 것을 우리는 잘 안다. 예를 들어 Ames 박사(1983, 1990a,b)에 의하면 식물체는 여러 가지 천연살충제 (natural pesticides)를 함유하고 있다고 한다. 이 양은 식품을 생산하는 과정에서 살포되어 잔존하고 있는 인공살충제 (artificial pesticides)의 10,000배가 넘으며 식물체 건조중량의 5-10%에 달한다고 하며 식품에 들어 있는 잔존 농약에 대해서는 걱정할 필요가 없다고 단언한다. 절대적으로 안전 (absolute safety)하며 위험성이 전혀 없는 (no risk) 식품은 없는 셈이다.

현재 사용하고 있는 독성시험방법으로는 whole food의 안전성을 확인할 수 없다는 것이 당면하는 문제점이며 (IFT, 2000), 기존의 독성시험법으로 whole food의 안전성을 평가하려다가 한계에 부딪혔던 일이 과거에 한번 있었다 (Hammond et al., 1996). 방사선조사식품을 동물에게 먹여보고 안전성여부를 평가하려고 시도했으나 적절한 결과를 얻지 못하였던 것이다.

동물을 이용하는 독성시험은 동물에게 먹여보는 단기 또는 중장기 투여시험으로서 농약, 의약품, 식품첨가물처럼 그 물질의 화학적 성질이 잘 알려진 것으로 정상적인 환경에서 사람에게 노출량이 적은 화학물질에 관한 것이다. 이런 물질들은 고순도의 물질을 다량 구할 수 있기 때문에 사람이 노출되게 될 양보다 수십 내지 수천 배에 상당하는 양을 투여하여 사람에게 나타날지도 모르는 위해성을 찾아낼 수 있는 것이다.

그에 비해서 식품이란 여러 종류의 성분이 복합적으로 섞여있는 혼합물 상태이고 성분조성도 식품마다 매우 다르며, 기본적으로 섭취해야 하는 양 자체가 많아서 정상적으로 먹을 수 있는 양의 몇 배만 먹여도 실험동물은 배가 불러 수십 배 또는 수천 배까지 먹일 수가 없다. 식품의 안전성 평가를 할 때 염두에 두어야 하는 것 하나는 되도록 많이 먹여야 하다보니, 잘못하면 사료의 영양불균형으로 인한 부작용이 나타날 수가 있기 때문이다. 그러므로 식품의 안전성에 대한 동물실험결과 어떤 좋지 않은 영향이 나왔을 때 이 악영

향이 식품에 포함되어 있는 성분 때문이라고 단정짓기가 매우 어려운 것이다 (Hammond et al., 1996).

유전자재조합식품의 안전성평가를 위해 Substantial Equivalence [SE; 실질적 동등성] 개념이 도입되었다 (OECD 1993). SE 개념은 어떤 식품이 절대적으로 안전한가를 확인하고자 하는 것이 아니고, 유전자재조합 식품을 그와 매우 가까운 기존의 안전한 식품과 비교하는 방법이다. 비교해 봤을 때 의도했거나 의도하지 않았던 차이가 무엇인지를 확인하고 차이가 있다면 이 차이를 안전성 평가의 근간으로 삼는 것이다.

비교를 하기 위해서는 충분한 자료가 확보되어야 하며 충분한 자료가 확보되지 않았을 때는 유전자재조합 식품은 물론 비교로 사용할 식품에 대한 세밀한 분석이 이루어져야 한다. 비교 대상물이 없을 때는 SE 개념을 도입할 수가 없으므로 이럴 때는 하는 수 없이 유전자재조합식품 자체만의 안전성을 평가하는 수밖에 없다.

유전자재조합식품의 안전성 확보를 위해서는 ① GM foods를 장기적으로 섭취했을 때 나타날지도 모르는 부작용 (possible long-term health effect)이나 의도하지 않은 부작용 (unintended/expected and unexpected adverse effect)과 ② 알리지 유발성 및 ③ 항생제 내성 마커 유전자의 사용으로 인한 위험성 등을 평가해야 한다.

유전자재조합식품을 SE 개념에 따라 분류하였을 때 ① substantially equivalent, ② substantially equivalent except for the inserted trait와 ③ not equivalent로 나뉘게 될 것이며, 동등한지 아닌지는 중요 영양성분 및 antinutrients 나 natural toxins의 함량분석치를 비교함으로써 알 수 있다. OECD (2001)의 한 식품안전 task force팀이 유전자재조합식품의 분석자료를 비교할 수 있는 기존식품의 분석자료 (Consensus documents)를 제시한 바 있는데 이에 대한 기초적인 연구는 ILSI Europe (Jonas et al., 1996)팀이 작성하였다. 현재 우리 주변에 있는 많은 유전자재조합식품은 일부는 ①에, 그리고 대부분은 ②에 해당한다. 그러나 적용하는 나라별로 약간의 차이가 있어 ①에 해당하면 독성평가를 모두 유보받지만 ②에 해당되면 필요한 독성평가를 해야한다 (IFST, 1999). 그 예로 유전자재조합대두로부터 얻은 유화제 lecithin을 영국에서는 ②에 속하는 것으로 미국에서는 ①에 속하는 것으로 간주한다.

기존에 사용되어온 독성검사법이나 위해성 분석법을 그대로 식품(whole foods)의 독성검사에 사용할 수는 없으며 (IFT, 2000; Hopkin, 2001) 유전자재조합식품(일종의 whole foods)의 안전성평가를 위하여는 새로운 방법이 개발되어야 했는데, 이를 위해 궁여지책으로 생각해낸 것이 바로 SE 개념이라고 할 수 있다.

비교를 위해 분석하는 아이টেম은 단백질함량 및 아미노산 조성, 지방질함량 및 지방산 조성, 회분함량 및 개별 무기질의 함량, 섬유질, micronutrients와 antinutrients 등인데, 안전성 평가효율을 향상시키기 위하여 HPLC, SDS-PAGE 등의 방법을 추가해야 할 것이다. 전자와 같이 주요 영양성분이나 toxicants 등을 목표로 분석비교하는 것을 targeted approach라고 한다면 DNA insertion 위치분석 및 그로 인한 영향평가, gene expression (using microarray technology), proteomics (대표적으로 SDS-PAGE에 의한 단백질 분석), GC나 HPLC 및 NMR을 이용한 chemical finger-printing 등의 profiling technique를 사용하는 것을 non-targeted approach라고 할 수 있다.

유전자재조합식품의 안전성을 평가하는 데 있어 SE 개념이 만족스럽지 않다고 혹평하는 사람들도 있지만

(Millstone et al., 1999) 이보다 더 좋은 다른 평가방법, 즉 대안이 없다는 견해가 일반적이다.

III-1. 장기 섭취에 따르는 안전성의 평가

유전자재조합식품을 장기간에 걸쳐 섭취했을 때의 안전성을 평가하기 위해서는 90일간의 아만성(sub-chronic) 반복투여 시험을 한다. 이 기간이 어떤 식품이나 기타 물질을 장기적으로 반복해서 섭취했을 때 안전한지를 나타낼 수 있는 최소한의 기간이다. 아만성 반복투여 시험 전에 짧은 기간동안 pilot study를 해서 시험동물이 시료가 들어있는 사료를 잘 먹는지 또는 투여량이 적합한지를 검사하는 것이 보통이다. 동물시험을 할 때 최고 투여량은 영양상의 불균형을 초래하지 않는 최대량이어야 하며, 최소량은 사람이 보통 소비할 것으로 추정되는 양이 될 것이다. 90일간의 아만성 반복투여 시험결과에 따라 case-by-case로 더욱 긴 장기투여시험을 할 수도 있다 (Hammond et al., 1996). 예를 들어 세포의 비정상적인 분열 등이 관찰되면, [그런데도 계속하여 제품을 개발하려고 한다면,] 장기투여동물시험을 수행해야 한다 (FAO/WHO, 2000).

III-2. 예상치 못했던 부작용에 대한 평가

UD는 유전자재조합식품에서 나타날 수도 있지만 전통적인 육종을 했을 때에도 거의 100% 나타나는 매우 일반적인 현상이다. 유전자재조합식품에 UD가 있는지를 비교하는 대상은 원칙적으로 유전자재조합식품과 유전적으로 같거나 매우 유사해야 하며 재배조건도 같은 기존의 식품이어야 한다. UD가 있는지를 평가하기 위해서는 유전자재조합식품의 분석자료와 기존 식품이나 문헌상의 분석자료와 비교하여, 차이가 있다면 그 차이가 natural variation 범위내에 있는지를 알아보고 이 범위를 초과하면 UD가 있다고 판단하며, 광범위하고 철저한 동물투여시험 및 독성 평가를 진행해야 한다 (Swadling, 2000).

따라서 UD가 일어났는지 아닌지를 알려면 해당 물질에 대한 적절한 분석방법을 사용해야만 한다. 현재 유전자재조합식품의 안전성 평가를 하기 위해 제공되는 자료는 모두 일반분석자료 단백질함량과 아미노산 조성, 지방질함량 및 지방산조성, 회분 및 개별 무기질, 섬유질, 섬유질, 비타민 등의 micronutrients, anti-nutrients와 같은 전통적인 항목들이다. 안전성을 평가하는 심사자측에서도 UD가 있는지 또는 영양성분 등의 변화가 있었는지를 제대로 심사하기 위해서는 분석항목을 case-by-case로 추가 지정하던지 어떤 성분을 분석해서 자료를 제공하러던지 등을 적극적으로 요청할 수 있도록 나름대로의 많은 연구를 하며 전문성을 향상시켜야 할 것이다.

예를 들어 glutelin 함량이 적은 쌀에서 prolamin 단백질의 함량이 높게 나타난 것은 보통 분석방법 (targeted approach) 즉 단백질 함량이나 아미노산 조성을 분석해서는 찾아낼 도리가 없으나 SDS-gel electrophoresis (일종의 non-targeted approach)를 하면 찾아낼 수 있다. Xanthophyll도 마찬가지로 일반성분 분석만 해가지고는 생산되었는지 축적되었는지를 알 수 없으나 carotenoids 색소를 HPLC 분석하면 그 UD를 알아낼 수 있다.

III-3. 알러지유발성의 평가

모든 유전자재조합식품에 새로 도입된 유전자의 산물인 새 단백질에 대하여 알러지유발 가능성이 있는지

에 대해 조사해야 한다. 숙주에 원래 있던 어떤 단백질의 양을 많게 하는 기술을 걸었다고 한다면 이 단백질의 알러지유발성도 조사해봐야 한다. 알러지유발성 조사를 하려면 decision tree 법을 이용한다.

알러지 유발성의 평가용으로 ILSI Europe팀이 decision-tree approach를 고안해내었고 (Metcalf et al., 1996), 우리나라 식약청에서 유전자재조합식품의 안전성을 평가할 때도 이를 준용한다. 이 방법이 유전자재조합식품의 개발과정에 알러지 유무를 평가하는 데 많이 쓰이는 데 여기서 고려하는 내용은 ㉠ 도입 유전자원 (source of genes)의 알러지성 여부, ㉡ 기존의 알려진 알러지 유발물질과의 아미노산 서열의 상동성 (sequence homology of the protein to known allergens) 여부 ㉢ IgE와 새 단백질의 면역화학적 반응 (immunochemical binding of the protein with IgE) ㉣ 새 단백질의 물리화학적 성질 (Physicochemical properties; effect of pH and digestion in simulated gastrointestinal juice) ㉤ 가열이나 가공 중의 안정성 (Heat or processing) ㉥ 숙주단백질의 함량에 유의할 만한 변화가 있는지? 등이다.

㉠와 ㉡에서 yes 이면 ㉢를 반드시 확인한다. 그리고 추가로 skin test나 경구투여시험을 하는 것이 좋다. 그리고 ㉠가 no이면 ㉡와 ㉣를 체크한다. 이 두 번째의 경우 좀 부족한 것이 아니냐는 의견이 있는 데 이를 보충하기 위해 발현량 (expression level) 및 발현부위 (expression site)를 추가로 확인하는 것이 보통이다. 그 이유는 한 식품의 중요한 알러지 유발물질은 주로 그 식품의 주요 단백질이기 때문이며, 비가식 부분에 발현량이 많고 가식부분에 적다면 이는 문제가 되지 않기 때문이다. 그리고 현재까지는 아미노산 서열의 상동성을 비교할 때 연속된 아미노산 서열 8개 이상에 대한 비교인 데 이는 T cell이나 IgE와 결합할 수 있는 peptide (T cell- and IgE-binding epitope)의 최소길이가 연속된 아미노산 8개이기 때문으로 설명되는 근거가 있는데 혹자는 6개 또는 4개라야 알러지 유발물질을 놓치지 않는다고 주장하는 사람들도 있다.

Brazil nut, 호두, 해바라기씨 등에 들어있는 methionine 함량이 높은 2S albumin 단백질은 알러지를 일으키는 것으로 잘 알려져 있다. 도입유전자가 밀, 귀리, 보리, 호밀이나 그와 유사한 곡물로부터 온 것이라면 반드시 gluten-sensitive enteropathy를 체크해야 한다. 이런 곡물을 유전자 도입원이나 숙주로 삼아 유전자재조합식품을 만들었을 때도 역시 gluten 단백질양의 변화여부를 면밀히 체크해야 한다.

III-4. 항생물질 내성 유전자의 안전성 평가

유전자재조합식품의 개발에 항생물질 내성 유전자가 마커로 사용되었다면 다른 유전자와 마찬가지로 이에 대한 안전성 평가를 해야 한다. 유전자산물에 대한 독성 및 알러지유발성 평가를 해야 함은 물론, 항생물질 내성 마커 유전자가 장내미생물 등으로 이동할 수 있는 가능성과 이로 인해 야기될 수 있는 임상상의 문제점을 반드시 고려해야만 한다. 유전자재조합식품을 소비했을 때 거기에 들어있는 유전자가 사람의 장내세균이나 세포로 이동할 가능성은 매우 희박하지만 이 가능성을 가정하고 만일의 경우에 대비하는 자세를 견지해야 한다.

유전자의 수평이동과 관련하여 유전자가 이동되어 발현되었을 때 인축에 미칠 수 있는 영향에 대해 임상학적인 그리고 수의학적인 측면에서의 고려가 필요하다.

여기서 고려할 사항을 다음과 같다.

- ㉔ 해당 항생물질에 내성이 있는 세균이 이미 자연계에 많이 있는지?
- ㉕ 해당 항생물질이 치료용으로 중요한 항생물질인지?
- ㉖ 해당 항생물질을 사용하지 않고 다른 방법으로 치료가 가능한지?

항생물질내성마커 없이 유전자재조합식품을 만드는 방법이 없는 것은 아니다. 그 중 하나는 조작이 끝난 뒤 내성마커를 제거하는 것이며, 다른 하나는 항생물질내성 마커가 아닌 다른 마커를 쓰는 방법이 있기는 하지만 후자의 경우에도 역시 안전성을 평가해야 한다. 중요한 치료제로 쓰이는 항생물질의 내성 유전자를 마커로 사용하는 것은 피하는 것이 상책이다.

IV. 결론 및 제언

1. 유전자재조합식품의 안전성 평가로 SE 개념 이상의 더 좋은 방법이 아직 없다. SE 개념은 식품에 어떠한 위해가 있는지를 평가하는 것이 아니고 기존의 식품과 비교하여 무슨 차이가 있고 그것이 어떤 위해를 주는지를 알아보는 것이다.

2. 유전자재조합의 결과 새로운 성질이 나타나거나 원래 있었던 성질이 없어질 수 있다. 물론 이러한 현상은 무슨 육종법을 쓰더라도 나타나는 현상이다. 유전자재조합식품의 성분분석자료를 기존식품의 분석자료는 물론 문헌에 나타난 자료와 비교하고, 만일에 natural variation 이상의 차이가 발견되면 반드시 독성 및 영양평가를 해야 한다.

UD를 찾아내기 위해 성분의 분석치를 비교하는 데 앞으로 더욱 복잡한 multiple gene transfer의 경우 더 많은 UD가 나타날 수 있으니 이에 대비하여 효과적인 방법을 강구해야 한다.

3. 식품을 장기간 섭취했을 때의 위해도 분석 평가결과는 없다. 식품은 생산되는 계절마다 또는 해마다 그 성분이 차이가 있는 것은 물론 사람도 사람마다 식품성분에 의해 영향을 받는 정도가 다르기 때문에 그 평가가 대단히 어렵다.

4. 알려지 유발원으로부터 도입유전자를 가져왔다면 그 유전자산물이 알려지를 유발하지 않는다는 것을 개관적으로 밝혀야 한다. 알려지를 유발하는 것으로 알려진 숙주에 있는 유전자를 도입유전자로 쓰지 않는 것이 좋다.

5. 식물성식품으로부터 자연상태에서 장내미생물이나 동물세포로 유전자의 수평이동 가능성이 매우 낮다고는 하지만 그 가능성을 완전히 무시해서는 안된다. 특히 질병치료에 중요한 항생물질에 대한 내성이라고 한다면 이 마커를 사용하지 않는 것이 현명한 판단이다.

6. 유전자재조합식품의 안전성 평가에서 동물실험법이 큰 도움이 되지 않고 있는 데 이에 대한 연구가 진전되어야 한다. 특히 whole foods의 안전성 평가를 할 수 있는 효과적인 방법을 개발하여야 한다.

V. 참고문헌

- 경규향. 2000. 유전자재조합식품의 안전성과 표시제도에 대한 국민적 여론조사. 식품의약품안전청 연구보고서
- 김명희, 안정미, 박세원, 김연순, 경규향. 2001. 유전자재조합식품의 안전성과 표시에 대한 인식도 조사. 한국 식품위생안전성학회지 16(2):152-158
- 이창용. 2000. 유전자재조합 농산물과 식품이 당면한 국제적인 문제. 식품과학과 산업, 33(1):46-49
- Aerni, P. 2001. Public attitudes towards agricultural biotechnology in developing countries: A comparison between Mexico and the Philippines. Science, Technology and Innovation Discussion paper No. 10. Center for International Development, Cambridge. MA. USA.
- Ames, B.N. 1983. Dietary carcinogens and anticarcinogens. Science 221:1256
- Ames, B.N., Profet, M., and Gold, L.S. 1990a. Dietary pesticides (99.99% all natural)*. Proc. Natl. Acad. Sci. 87:7777-7781
- Ames, B.N., Profet, M., and Gold, L.S. 1990b. Nature's chemicals and synthetic chemicals: comparative toxicology. Proc. Natl. Acad. Sci. 87:7782-7786
- Arther, M.H. 2000. GMOs once again top the charts. Food Technol., 54(8):169
- Avery, D.T. Why we need food biotechnology. Food Technol., 54(9):132
- Beever, D.E and Kemp, C.F. 2000. Safety issues associated with the DNA in animal feed derived from genetically modified crops. A review of scientific and regulatory procedures. Nutrition Abstracts Reviews, Series B Livestock Feeds and Feeding 70(3):175-182
- Beier, R.C. 1990. Natural pesticides and bioactive components in food. Rev. Environ. Contamin. Tox. 113:47-137
- Coulston, F. and Kolbye, A.C. 1990. Biotechnologies and food: assuring the safety of foods produced by genetic modification. Reg. Toxicol. Pharmacol. 12:S1-S196
- Doefler, W. and Schubert, R. 1997. Fremede DNA in Saugersystem. Deutsches Arzteblatt 94:51-52 [from FAO/WHO, 2000)
- FAO/WHO. 2000. Safety aspects of genetically modified foods of plant origin. Report of a joint FAO/WHO expert consultation of foods derived from biotechnology, Geneva, Switzerland, 29 May-2 June 2000. Rome: FAO/UN
- Hammond, B., Rogers, S.G., and Fuchs, R.L. 1996. Limitations of whole food feeding studies in food safety assessment. In: Food Safety Evaluation (OECD, ed.) Paris: OECD, pp.85-97
- Harvey, M.H., McMillan, M., Morgan, M.R., and Chan, H.W. 1985. Solanidine is present in sera of healthy individuals and in amounts dependent on their dietary potato consumption. Human Toxicol. 4:187-194

- Hoban, T.J. 1999. Public perceptions and understanding of agricultural biotechnology. www.usia.gov/journals/ites/1099/ijee/bio-toc.htm
- Hopkin, K. 2001. The risks on the table. *Scient. Amer.* 46-47, Apr. 2001
- Hotchkiss, J. 2001. Pasteur and Biotechnology: Lessons from the past. *Food Technol.*, 55(9):146
- IFST. 1999. Genetic modification and food. IFST: Current Hot Topics. Institute of Food Science and Technology. (www.ifst.org/hotspot10.htm)
- IFT. 2000. Human food safety evaluation of rDNA biotechnology-derived foods. IFT Expert Report on Biotechnology and Foods. *Food Technol.*, 54(9):53-61
- Jonas, D.A., Antignac, E., Antoine, J.M. 1996. The safety assessment of novel foods. Guidelines prepared by ILSI Europe Novel Food Task Force. *Food Chem. Toxicol.* 34:931-940
- Mellon, M. 2001. Does the world need GM foods. *Sci. Amer.* April 2001.
- Metcalfe, D.D., Astwood, J.D, Townsend, R., Sampson, H.A., Taylor, S.L, and Fuchs, R.L. 1996. Assessment of the allergic potential of foods derived from genetically engineered crop plants. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 36, S165-186
- Millstone, E., Brunner, E., and Mayer, S. 1999. Beyond 'substantial equivalence'. *Nature.* 401:525-526
- Netherwood, T., Bowden, R., Harrison, P., O' Donell, A.G., Parker, D.S., and Gilbert, H.J. 1999. Gene transfer in the gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(11):5139-5141
- OECD. 1991. 제목불명 (from FAO/WHO, 2000)
- OECD. 1993. Safety evaluation of foods derived by modern biotechnology, concepts and principles. OECD, Paris (www.oecd.org/ehs/ehsmono/aussoidrEN.pdf)
- OECD. 2001. Consensus documents. paris: OECD. Inter-agency Network for Safety in Biotechnology (www.oecd.org/ehs/cd.htm)
- Omaye, S.T. 2001. Biotechnology and sustainable agriculture. *Food Technol.*, 55(2):23
- Schubbert, R., Hohlweg, U., Renz, D., and Doerfler, W. 1998. On the fate of orally ingested foreign DNA in mice: chromosomal association and placental transfer to the fetus. *Mol. Gen. Genet.*, 259(6):569-576
- Swadling, I. 2000. GM foods: too much, too soon for the consumer? International Food Information Service ([///cl/GM_consumer.html](http://cl/GM_consumer.html))
- Taylor, S.L. 1997. Food from genetically modified organisms and potential for food allergy. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 4: 121-126
- Ye, X., Al-Babili, S., Klott, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P., and Potrikus, I. 2000. Engineering the provitamin A(β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 287:303-305

VI. 결론

유전자재조합식품의 안전성/위험성 여부를 떠나 유전자재조합식품의 반대에 대한 정서를 아는 것이 필요하다고 생각되어 이를 따로 정리하여 추가하고자 한다.

유전자재조합식품의 개발자나 그 분야에 전문지식이 있는 많은 사람들은 일반 소비자들이 과학일반에 대해 더 잘 알게 되면 유전자재조합식품에 대한 반대 논란이 없어질 것이라고 말한다. 이 말이 맞다면 문제는 의외로 간단하며 교육 등의 방법으로 해결될 문제이지만 유전자재조합식품의 반대가 반드시 그 기술에 대한 과학적 이해부족 때문만은 아닌 것 같다. 미국의 거대기업이 유전자재조합식품을 포함하는 농업생명공학의 개발로 인해 챙기는 이득이 배가 아파서라는 시기론도 있고, 새로운 기술을 식품 등에 도입할 때 의례 나타나는 그런 저항이라는 설 등도 있다. 조사된 대로 나열하고자 한다.

정서 ① 안전성이 우려되어 (생략)

정서 ② 과학에 대한 이해가 부족하므로 교육이 필요하다 (Hoban, USIA 1999)

DNA, 염색체, 유전자; 이런 것을 먹어도 괜찮은가? 이러한 단어들은 요새 많이 입에 올리는 단어들이나, 실상 개념의 구별도 가지 않고 존엄성이 있어 범접할 수 있는 대상도 아닌 것 같이 생각하는 사람들이 많은 듯하다. 우리나라 일반국민들 중에 유전자재조합한 식품이나 보통 식품에 공히 DNA가 있다는 사실을 알고 있는 사람은 전체의 40%정도에 지나지 않았다. 미국, 영국, 일본 등 전 세계 선진국을 포함하여 10여개 나라의 조사결과도 평균 37%에 머무르는 것을 보면 어느 나라나 사정은 대동소이한 것으로 보인다 (김명희 등, 2001).

유전자재조합식품에 대한 전문성이 있는 사람들은 유전자재조합식품이나 재래식품이나 DNA를 갖고 있는 것은 마찬가지이며, 유전자재조합식품이 재래식품보다 위험하다는 증거가 아직 없다는 사실을 알고 있다. 그런데 일반인이나 유전자재조합식품이 위험하다고 반대하는 사람들은 이런 사실을 모르거나 믿지 않는다.

우리가 유전자재조합한 DNA를 먹으면 그것이 우리 몸 어디로 옮겨가서 우리가 생각하지 않았던 부작용을 일으키지 않을까 우려하는 소리가 그것이다. 인공적인 유전자재조합기술에 의한 유전자재조합은 자연에서 일어날 수 없는 그런 종류의 유전자재조합이다. 유전자재조합한 DNA건 그렇지 않은 DNA건 자연상태에서 어디로 옮겨가서 자연 다른 종류의 생물에 어떤 결과를 초래하지 않는다. 왜냐하면 자연에서는 자연에서 일어날 수 있는 유전자재조합만 일어나기 때문이다. 만일에 유전자재조합한 무엇을 우리가 먹었을 때 그 유전자가 우리 염색체 어느 곳에 가 달라붙어서 어떤 기능을 한다고 가정하고, 우리가 쌀을 먹어온 지가 우리 역사와 같이 5000년 역사라 치자. 이는 우리의 자녀가 자녀의 자녀를 갖게 되는 시간의 약 100배정도 되는 긴 시간이다. 우리가 먹는 쌀에는 DNA가 세포세포에 어김없이 들어있고 우리는 쌀을 포함한 많은 식물 등의 DNA를 끊임없이 먹으며 살아왔다. 위의 가정이 사실일 수 있다면, 쌀 DNA의 영향으로 우리의 몸에서 벼잎이 돌고 뿌리가 나야 하는 것 아닌가?

확실한 것은 음식에 들어있는 DNA는 사람에게 DNA로서의 영향을 미칠 수 없다는 것이고 그럴 수 있다면

벌써 우리는 사람이 아니다. 사람을 비롯한 모든 생물은 제 나름대로 특이한 방향으로 진화발전해가고 있다. 즉 서로 멀어져가고 있다는 얘기이다. 만일에 생물이 먹는 음식에 들어있는 DNA의 영향을 받는다면, 서로 먹고 먹히는 관계에 있는 모든 생물들은 한 곳으로 zoom in 되어 알 수 없는 하나의 형태로 변화해갈 것이기 때문이다.

DNA의 기능은 신비할 정도로 과학적이지만 생물학과 멀리 살고 있는 일반인들은 DNA나 유전자, 염색체 등을 과도하게 신비하게 생각하고 있으며 경외하고 있는 것 같다. DNA가 유전물질이라는 사실이나 그 구조가 밝혀진 것이 불과 5-60년 밖에 되지 않아 다른 많은 과학적 사실에 비해 덜 상식화되어 있으니까 그렇게 생각하는 것 같다.

정서 ③ 미국이 잘 되는 것이 배 아파서 반대한다 (Aerni, 2001)

유전자재조합식품을 포함하는 농업생명공학 (agricultural biotechnology)의 개발로 인해 생기는 이득은 미국의 거대 다국적 기업의 배만 불러준다는 논리가 바로 유전자재조합식품 또는 생명공학에 대한 반대운동 (anti-biotechnology)의 뿌리라고 보는 미국인들이 있음은 이해가 간다. 미국을 제외한 다른 여러 나라에서 유전자재조합식품을 반대하는 이유는 사람의 건강에 미칠 수 있는 위해나 환경에 미칠지도 모르는 악영향에 대한 우려 때문이 아니고 미국의 거대기업들이 챙기는 이익이 배아프기 때문이라고 주장하는 미국사람이 있다면 그 사람이 꼭 그르다고는 할 수 없다.

이에 대해 Cuba를 예로 들어 설명해보고자 한다. Cuba는 일찍부터 유전자재조합기술의 발전을 통한 식량자급계획을 세워 향후 자본주의 국가들에 의한 식량의 지배에서 벗어나려는 목표를 정하고 유전자재조합기술의 연구를 적극적으로 수행해왔다. 그 결과 Cuba의 유전자재조합기술은 미국을 필적할 만한 수준에 이르렀고 (2002년 5월 15일자 조선일보 참조), Cuba 시민들은 이러한 자국의 기술수준에 대해 자부심을 가지며, 유전자재조합기술을 자국의 자체기술로 인정하고 이에 대해 반대가 없다고 한다. 다른 말로 말하면 외국자본의 국내침투라는 생각이 들지 않기 때문에 우호적이라는 설명이다. 그런데 아직은 이 기술의 선진대열에 끼지 못한 필리핀이나 멕시코 국민들은 유전자재조합식품에 대한 반대가 심한데, 이는 서방의 거대자본이 자국에 진출하여 이익을 거두어가는 한가지 방법이라는 피해의식을 갖고 있기 때문이라고 해석한다. 우리나라 소비자들의 유전자재조합식품에 대한 반대가 많은 것은 아마도 앞의 두 나라에서의 경우와 비슷한 이유때문이지 않을까 생각한다.

겨우 몇몇 나라의 예를 가지고 세운 가설이지만 이 가설이 맞는다면, 생명공학기술면에서 세계선도기술 (global leadership)국은 아니더라도 세계적인 경쟁대열 (global competitiveness)국에 질 때까지는 반대가 많을 것 같다.

정서 ④ 새로운 기술에 대한 일반적인 거부현상이다 (Hotchkiss, Food Technol., 55(9):146, 2001)

미생물학의 선구자 파스퇴르(Pasteur)선생의 신기술 덕택에 1900년대 초 미국에 저온살균기가 시장에 나오게 되었다. 당시에 미국의 유아사망률은 20%를 넘었고 연간 16만명이나 되는 사람들이 결핵으로 사망하던

때이었는데, 오염된 우유의 소비가 이와 같은 높은 사망률과 무관하지 않았다. 그럼에도 불구하고 우유를 [저온]살균하는 것을 반대하는 사람들이 매우 많았다. (1)우유를 살균한다는 것은 속임수라는 것이다. 우유를 청결하게 생산하면 살균할 필요가 없으니 [살균을 한다는 것은] 곧 불결하게 만든 우유를 속여 팔기 위한 술책이라는 주장이었다. 살균이 합법화되면 누가 깨끗한 좋은 우유를 생산하려 하겠느냐는 얘기이다. 이 살균방법이 도입되면 소규모 낙농업자나 가공업자는 다 망하고 규모가 큰 업자들만 이득을 볼 것이라는 주장이었다. (2)우유를 살균하면 영양가가 손실되고 우유의 생명력이 사라진다고 주장하는 사람들도 있었다. (3) 또 우유를 살균하는 것은 자연을 거스르는 것이니 안 된다는 것이었다.

위의 우유살균법의 역사적인 도입과정을 보면 작금에 우리가 유전자재조합식품의 도입과정에 겪는 내용과 매우 유사하다. 누가 이득을 보느냐, 술책이다, 자연을 거스르는 것이다 등등. 방사선조사법으로 식품의 저장성을 향상시키는 신기술이 소개되고 응용되기 시작해서 지금까지도 실제 응용에 어려움을 겪는 것도 같은 맥락으로 본다.

정서 ⑤ 이득을 보는 사람들은 소수의 특정인들이지만 안전성에 문제가 있게되면 불특정다수의 사람들이 피해를 볼 수 있으므로 신중해야 마땅하다는 의견 (Ferrell, ASM News 66(8):445, 2000)