

02 환경위해성



LMO가 생물다양성 보존에 미치는 부정적 영향에 대한 문제는 오랜 국제적 관심사였으며, 특히 해충과 잡초를 보다 효과적으로 처리하기 위해 개발되고 또 활발히 상업적으로 재배되어 온 유전자 변형작물(이하 ‘GM작물’)을 중심으로 이루어져왔다. 해충저항성 GM작물은 특정 곤충의 생리 현상에 영향을 주는 살충성 유전자를 작물에 도입하여 이를 섭취한 표적 해충을 제거하도록 한 것으로 바실러스 튠링지엔시스(*Bacillus thuringiensis*, Bt)의 유전자(Cry)가 주로 이용되어 왔다. 또한 제초제내성 GM작물의 대부분은 모든 식물을 고사시키는 작용을 하는 비선택성 제초제의 주 성분인 글리포세이트에 내성을 보이는 토양미생물(*Agrobacterium CP-4*)의 유전자를 삽입한 것으로 비선택성 제초제를 뿌렸을 경우 재배하고자 하는 작물(GM작물)은 살아남지만 다른 잡초들은 죽게 된다.

이러한 GM작물의 재배를 반대하는 측에서는 “동·식물 생태계의 균형을 파괴시켜 다양성을 감소시킬 가능성이 높다”며, 다음과 같은 우려를 제기하고 있다.

- ☑ 해충저항성 GM작물은 비표적 생물체에게까지 해를 미치고 있다. 또한 제초제에 내성을 갖는 GM작물로 인해 제초제를 더욱 많이 사용함에 따라 곤충과 조류의 먹이원이 되는 잡초까지 모두 사라지고 있다.
- ☑ 해충저항성 GM작물에 지속적으로 노출된 표적 해충이 살충성 유전자에 내성을 지니게 되었으며, 잡초의 경우에도 점점 제초제에 내성을 갖게 됨에 따라 점점 더 오랜 기간 그리고 더 많은 양의 제초제 살포를 필요로 하게 되었다.
- ☑ 도입유전자가 바람과 곤충 등을 통해 다른 작물이나 잡초 방제를 하기 어려운 특정 자연 환경에서 자생하는 야생종, 근연종 등으로 이동하여 생물다양성을 감소시킬 수 있다는 점에서 GM작물을 재배하는 것은 신중히 고려해야 한다.

또한 한편에서는 “과학적 사실을 바탕으로 위해를 정확하게 진단하고, 이를 최소화시킬 수 있는 연구와 제도를 강화시켜야 할 것이다”며, 다음과 같은 주장과 근거를 제시하고 있다.

- ☑ 해충저항성 GM작물에 주로 이용되는 Bt의 유전자(Cry)는 유기농업 분야에서 약 40년 이상 생물농약으로 사용되어 왔으며, 비표적 생물체에 대한 큰 문제점이 제기되지 않았다.
- ☑ 일반 작물과 함께 재배하도록 하여 살충성 유전자에 내성을 갖게 된 곤충 간의 교배를 최대한

한편, 에르마코바 박사의 연구는 글라이포세이트계 제초제인 라운드업(Roundup Ready)에 내성을 갖는 제초제내성 콩의 섭취가 인체에 미치는 영향에 대해 알아보고자 하는 실험을 하였다²³⁾. 본 연구는 국내 NGO와 언론을 통해 소개되면서 제초제내성 콩이 불임이나 기형아를 출산하도록 하는 가능성이 높다는 의혹이 확산되기도 하였다.

- ☑️ 섭이실험은 제초제내성 콩을 사료에 추가한 그룹과 일반 콩을 사료에 추가한 그룹, 아무것도 추가하지 않고 일반 사료를 준 그룹(대조군)으로 나뉘어졌으며, 각 그룹당 쥐 3마리를 대상으로 실험이 이루어졌다. 실험결과 에르마코바 박사는 제초제내성 콩이 추가된 사료를 섭취한 쥐의 사산율(55.6%)이 일반 콩이 추가된 사료나 일반 사료를 섭취한 쥐의 사산율(9.0%, 6.8%)에 비해 매우 높았고, 살아남은 새끼들의 36%가 심각한 저체중(20g 이하) 상태를 보였으며, 인간에게도 비슷한 결과를 적용해 볼 수 있다고 밝혔다.
- ☑️ 이에 대해 과학자들은 네이처지를 통해 다음 몇 가지의 의문 사항을 제기하였다²⁴⁾. 우선 대조군 자체에서 비정상적으로 높은 사산율을 보이고 있으며, 대조군의 53%가 비정상적인 크기(30g 이하)를 보였는데, 이는 전체적인 실험 환경의 문제를 나타낸다고 지적하였다.
- ☑️ 또한 너무 적은 수의 실험쥐를 대상으로 한 점(국제적 실험 기준에서 임신한 쥐의 경우 그룹당 20마리를 권고하고 있음)과 실험에 이용된 GM콩이나 일반 콩 등 원료에 대한 출처와 성분에 관한 정보가 부족하거나 모연하다는 점(RR콩 구입처로 밝힌 ADM에서는 100% RR콩을 판매하지 않았음) 등도 문제점으로 제기되었다.
- ☑️ 위 반박들에 대해 에르마코바 박사는 재반론 하였고, 후속 연구에 대한 의지와 네이처지의 편집 과정의 문제점을 제기하였다²⁵⁾. 한편, 제초제내성 콩을 이용하여 진행한 다세대 간 실시한 실험 쥐의 섭이실험²⁶⁾과 52주와 104주²⁷⁾ 동안 실시한 섭이실험에서는 에르마코바 박사의 실험결과와 달리 제초제내성 콩이 사망이나 성장에 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

생물체라는 복합체의 안전성평가가 잔류농약이나 오염물질, 식품첨가물 등의 화학물질 평가 등과 같은 단일 화합물을 평가하는 기존 방식과 다른 새로운 접근을 요한다는 점에서 LMO의 안전성에 대한 지속적인 논란은 안전성 평가방법의 발전을 위한 과정의 하나로 볼 수 있다.

인체위해성과 관련되어 제기된 논란 사례 대부분이 추가 연구결과를 제시하고 있으며, 또한 이와 다른 결과의 연구들도 발표되면서 많은 공방을 놓고 있다. 또한 이러한 혼란은 과학자 간 혹은 과학자와 대중을 연결하는 대중매체에 의해 상보보다는 대립 부분이 크게 나타나고 있는 경향을 보이고 있다. 이러한 과정에서 중요한 것은 한계를 최소화 하고 신뢰할 만한 데이터를 생산하는 것이 가장 일차적으로 중요한 것이며, 좀 더 해당 연구가 시사하는 바에 초점을 맞추어 관련 연구나 추가 연구가 원활히 진행될 수 있도록 환경을 조성하는 것이라 본다.

낮추고자 하고 있으며, 해충저항성 GM작물에는 여러 종류의 살충성 유전자가 이용되기 때문에 이 모든 유전자에 대해 저항성을 갖는 슈퍼 버그가 발생하기 어렵다. 한편, GM작물을 통해 제초제 사용량을 줄여왔으며, 잡초의 내성은 GM작물의 이용에 따른 문제만은 아니다.

- ☐ 이론적으로 GM작물과 다른 일반 작물과의 교잡은 가능하나 화분의 이동거리, 생존력 및 잡초화 가능성, 교잡율 등을 바탕으로 위해 정도를 판단해야한다,
- ☐ LMO의 위해성평가가 지속되어야 한다는 것에 전적으로 동의하며, 안전성 확보를 위한 기술(예: 융성불임, 모계유전 등)과 제도 마련에 더욱 노력하는 것이 중요하다. 하지만 한편으로는 GM작물이 제공하는 혜택과 지난 10여년 간의 재배 경험을 통해 확인해 온 GM작물의 환경위해성에 비해 이에 대한 규제는 강하게 작용하고 있다.

이러한 환경위해성 논란은 대부분 GM작물을 재배하거나 재배를 고려하는 국가들을 중심으로 제기되어왔다. 그동안 관련하여 다양한 연구결과들이 발표되었지만 GM작물의 환경위해성에 대한 각국의 정부들, 환경단체들, 생명공학산업들, 그리고 과학자 간의 의견 차이가 존재하고 있다. 하지만 GM작물의 재배가 확대되어 가고 있는 현 상황에서 GMO의 잠재적 환경위해성을 객관적으로 판단하고 최소화하는 노력이 필요하다는 점에는 모두 동의하고 있다.

이에 본 지에서는 그동안 제기된 대표적인 논란 사례를 통해 동·식물 등 비표적 생물체에 대한 LMO의 잠재적 위해성을 평가하고, 생물다양성에 미치는 부정적 영향을 최소화할 수 있는 과학적, 제도적, 사회적 과제를 생각해보고자 한다.

집중조명



해충저항성 옥수수는 다른 작물과 유충에해로운 영향을 미친다?

독일의 MON810의 재배 금지령

글_KBCH 신병철

MON810은 몬산토社에서 개발하여 상업화에 성공한 옥수수로서 박테리아인 *Bacillus thuringiensis*에서 유래된 독소 단백질인 *Cry1Ab* 유전자의 일부를 옥수수에 삽입하여, 옥수수의 주요 해충인 유럽조명나방(corn borer; *Ostrinia nubilalis*) 등과 같은 인시목 곤충류를 제어함으로써 주요 해충으로부터 피해를 거의 받지 않게 된 품종이다. MON810은 1998년, 유럽연합의 승인을 얻어 본격적인 상업화 재배 및 판매가 시작되었지만 일부 유럽 국가에서는 긴급수입제한조항(Safeguard clause)에 의거 MON810의 재배 및 유통을 금지시키고 있다. 현재 유럽에서 MON810의 재배 및 유통을 금지시키고 있는 국가들은 최근 2009년 4월 금지 조치를 단행한

독일을 포함하여 모두 7개 국가로서 프랑스, 오스트리아, 헝가리, 그리스, 룩셈부르크 등이 해당 국가들이다. 본 고에서는 MON810을 금지 시키고 있는 유럽 내 국가들의 상황과 최근 MON810 금지령을 선포한 독일의 논란 사례를 살펴보고자 한다.

유럽 내 국가들의 MON810 재배 금지 상황

1. 프랑스

프랑스의 사르코지 대통령은 2007년 10월, MON810의 일시적인 재배 금지령을 선포하였다. 이에 MON810의 과학적 검증을 위하여 과학자, 농부, 정치인, NGO 등으로 구성되는 위원회를 결성하여 조사결과 보고서를 환경부 장관에게 제출하였다. 이 보고서는 MON810의 환경, 건강, 경제에 미치는 영향에 대한 연구가 좀 더 필요하다는 결론이었지만 위원회 의장은 위원회의 결정과 달리 MON810의 안전성에 있어 ① 꽃가루의 먼거리 확산과 교차수분 가능성, ② 두 종의 나비에 대한 저항성 출현, ③ 지렁이, 쥐며느리, 선충류, 모나크나비 등의 비표적 생물체에 장기간의 독성 지속 가능성 등에 대해 ‘심각한 의심’이 있다고 보고하였다.

프랑스는 2008년 2월, 긴급수입제한 조항을 이용하여 유럽집행위원회(European Commission)에 MON810의 재배 금지를 통보하였다. 유럽집행위원회는 프랑스에서 제출된 MON810 재배 금지 관련 과학적 증거와 정당성에 대해 유럽식품안전청(European Food Safety Authority; 이하 ‘EFSA’)의 GMO 패널에 검증을 의뢰하였다. 2008년 10월 EFSA는 프랑스의 MON810 재배 금지 조치에 대한 결정문에서 기존의 위해성평가와 비교해 인간, 동물, 환경에 위험하다고 판단할 어떠한 새로운 과학적 증거도 없다는 의견을 제시하였으며, 2009년 2월 프랑스 당국의 식품안전청(AFSSA)도 MON810은 어떠한 위험도 없다는 조사 결과를 발표했지만 프랑스 정부는 여전히 MON810의 재배 금지 조치를 유지하고 있다.

2. 오스트리아

오스트리아는 유럽연합의 규정 외에도 자국내 유전자변형식품관련 법률 조항이 존재한다. 보건 여성부(BMGF)에서 GMO 관련 법률을 담당하며, 오스트리아 식품안전청(AGES)에서 시판되기 전의 식품 검사를 담당하고 있다. 오스트리아는 MON810에 도입된 Bt 독소 단백질이 비의도적으로 비표적 곤충에 영향을 미치고, 또 표적 곤충인 유럽조명나방이 Bt 독소 단백질에 대한 내성을 지니게 될 가능성이 있다는 이유로 1999년 6월, 지침 90/220/EEC²⁸⁾의 긴급수입제한 조항에 의거

28) 1990년 유럽의회 및 이사회(European Parliament and of the Council)에서 제정된 유전자변형생물체(GMO)의 환경으로의 의도된 방출에 관련된 지침. 2002년 10월 directive 90/220/EEC를 directive 2001/18/EC로 대체함.

하여 유럽집행위원회에 MON810의 재배 및 판매 금지령을 통보하였다. 2001년 7월, 유럽집행위원회는 오스트리아가 제출한 서류를 검토하여 비표적 곤충에 대한 비의도적 영향, 옥수수 꽃가루의 분산 및 생존도, 표적 곤충의 Bt 독소 내성 가능성에 대한 면밀한 검토를 거쳐 기존의 Bt 작물에 대한 위해성 평가와 비교하여 새로운 변화가 없다는 식물과학위원회(Scientific Committee on Plants: SCP)의 의견을 발표하였다.

2004년 오스트리아는 자국내 유전자변형식품의 규제 시스템과 MON810에 관련된 자국 내 추가적인 법률조항에 대한 정보를 유럽집행위원회에 제출하였고, 유럽집행위원회는 유럽식품안전청(EFSA)에 검토를 의뢰하여 오스트리아에서 제출된 정보는 기존의 MON810에 대한 위해성평가와 비교하여 새로운 과학적 증거가 없으며, MON810의 금지령은 정당화 될 수 없다는 결론을 내리고 긴급수입제한 조항을 철회할 것을 요구하는 제안문을 제출하였다.

2006년 3월, 유럽집행위원회는 EFSA의 MON810이 인간, 동물, 환경에 부정적 영향을 미치지 않는다는 재조사 결과를 근거로 긴급수입제한 조항의 철회를 요구하는 제안문을 다시 제출하였지만 이사회의 투표에서 과반 획득에 실패하여 제안문은 거부되었고, 이사회는 유럽연합 국가의 서로 다른 농업구조와 지역적 생태학적 특성 차이를 고려하여 좀 더 조직적인 방법으로 환경위해성 평가를 수행할 것을 권고하였다.

2008년 5월 유럽집행위원회는 오스트리아의 MON810의 수입 및 재배 금지령을 중단할 것을 요구하는 결정문(Decision 2008/495/EC)을 채택하였으며, 오스트리아는 이 결정문을 따르고 자국 내 법률을 수정하기로 결정하였다.

3. 헝가리

헝가리 정부는 2005년 1월 Bt 독소 단백질이 토양생태계와 비표적 생물체에 부정적인 영향을 미친다는 이유로 지침 2001/18/EEC의 긴급수입제한 조항에 의거하여 MON810의 사용과 판매 금지령을 유럽집행위원회에 통보하였다. 2006년 3월 EFSA는 헝가리의 자료를 검토하여 MON810이 인간, 동물, 환경에 부정적 영향을 미치지 않는다는 결론을 내렸으며, 유럽집행위원회는 헝가리의 MON810 금지령을 철회할 것을 요구하는 제안문을 제출하였지만 이사회 투표에서 과반수 획득에 실패하여 제안문은 거부되었다.

2007년 11월 헝가리는 MON810 재배와 관련된 추가적인 정보를 유럽집행위원회에 제출하였으며, 2008년 7월 EFSA는 헝가리의 추가 정보를 분석한 결과 어떠한 새로운 과학적 증거를 발견할 수 없었으며, 헝가리의 환경이 유럽연합 내 다른 국가들과 차이가 있다는 과학적 증거를 제출하지 않았다고 결론을 내렸다. 2009년 1월 유럽집행위원회는 MON810 금지령을 철회할 것을 요구하는 제안문을 다시 제출하였다.

4. 그리스

그리스 정부는 MON810 품종이 농촌 환경에 부정적 영향을 미칠 수 있다는 의견을 이유로 2005년 4월, 지침 2002/53/EC²⁹⁾에 의거하여 2005에서 2006년 동안 17개의 MON810 품종의 재배 금지령을 유럽집행위원회에 통보하였다. 유럽집행위원회는 그리스의 MON810 금지령을 철회할 것을 요구하였지만 그리스 정부는 2006년 2월 지침 2002/53/EC, 지침 2001/18/EC에 의거 31개의 MON810 품종의 판매를 18개월 동안 금지할 것이라고 유럽집행위원회에 다시 통보하였다. 이러한 판매 금지의 이유로는 ① MON810이 자국 내 동물상의 생물다양성에 혼란을 일으켜 환경과 인간의 건강에 위해를 줄 가능성 ② 그리스는 양봉산업이 발달되어 있는 국가로서 비표적 곤충인 벌에 부정적 영향을 미칠 가능성 ③ MON810 꽃가루에 의한 전통적 또는 유기농 재배 중인 옥수수의 오염 가능성 ④ 표적 곤충인 나방의 Bt 독소 단백질에 대한 내성 가능성 등의 우려를 제시하였다. 2006년 11월 유럽식품안전청(EFSA)은 그리스에서 제출한 서류를 검토한 결과 사람의 건강 및 환경에 위해를 끼친다는 어떠한 새로운 과학적 증거가 없으며, 그리스의 MON810 금지령은 정당성이 없다는 의견을 제출하였다.

2007년 9월 그리스는 유럽집행위원회에 MON810 금지령을 24개월 연장하며 18개의 다른 품종을 추가 한다고 통보하며 추가적인 과학적, 기술적 정보를 제출하였다. 2008년 7월 EFSA는 그리스에서 제출한 정보를 검토한 후 새로운 과학적 증거가 없으며 MON810 금지령은 정당성이 없다는 의견을 제시하며 MON810 금지령을 철회해야 한다고 요청하였다.

5. 룩셈부르크

룩셈부르크의 경우 국민 83%가 GMO에 대하여 반대하고 있으며 과학적, 환경적, 정치적 이유로 2009년 3월 지침 2001/18/EC에 의거하여 MON810 금지령을 선포하였다.

독일의 MON810 금지령에 따른 환경위해성 논란 사례

1. 독일의 MON810 금지령에 대한 현황

독일의 연방 식품, 농업 소비자보호부(Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection; BMELV) 장관인 일제 아이그너는 2009년 4월 14일, 몬산토社의 MON810의 재배 및 종자의 판매를 금지한다고 선포하였다. 독일 정부는 2007년, MON810에 대해 부분적인 재배 금지를 발표했다가 다시 허가를 한 사례가 있기 때문에 이번의 완전금지 조치는 새로운 과학적

29) 유럽의회 및 이사회에서 제정된 농업에 이용되는 식물종에 대한 품종의 일반 목록에 대한 지침



유전적 매커니즘에 의해 이동된 것이 아니라는 의견을 가진 다른 한편에서는 “언급된 두가지 오염 경로를 고려한다고 해도 캐놀라의 교잡율과 교잡 후대의 화분활력 등을 바탕으로 판단하였을 시 오염 정도가 60%에 이르렀다는 것에는 무리가 있으므로 의도적인 재배로 인한 결과라고 봐야 한다. 또한 위에서 ‘슈퍼 잡초’라 언급된 GM캐놀라는 글라이포세이트계와 다른 제초 방식을 갖는 2,4-D제초제에 의해서 제거되었다”고 주장하고 있다.

하지만 다른 측에서는 일반 작물과 GM작물 사이가 아닌 서로 다른 GM작물 간에 유전자 교환이 일어나게 된다면 복수의 우월한 형질들의 축적이 일어나 이론적으로 대단히 높은 경쟁력을 갖는 잡초화가 이루어질 수 있으며, 이러한 것은 GM작물이 더욱 대규모로 재배하면서 확인할 수 있게 될 것이라는 우려하고 있다.

또한 제초제내성 GM작물이 아닌 해충이나 가뭄 등 환경에 대한 적응성을 향상시키는 유전자를 자체적으로 가진 GM작물의 경우, 재배지가 아닌 일반 자연환경에서 확산되는 것을 막기 힘들 수도 있기 때문에 이에 대한 농장 규모의 연구가 필요하다는 의견도 제기되고 있다.

잡초 및 해충의 내성 증가

내성 증가에 관련된 GM작물의 문제는 크게 두 가지로 나누어진다. 제초제내성 GM작물의 재배 시 살포되는 제초제에 주변 잡초들이 내성을 가짐으로써 더 많은 종류의 제초제를 살포해야하는 결과를 초래한다는 우려가 그 첫 번째이고, 해충저항성 GM작물이 포함하고 있는 살충성 유전자에 내성을 가진 해충이 증가한다는 우려가 그 두 번째이다.

우선 제초제에 내성을 갖는 경우는 한 종류의 제초제를, 혹은 비슷한 작용 매커니즘을 가진 계통의 제초제군을 ‘지속적으로’ 사용함으로써 발생한다. 이는 작물이 제초제를 무독화 하는 유전자를 GM작물 등과 같이 외부로부터 얻게 되기보다는 제초제가 작용하는 부위를 식물 스스로가 변화 시킴으로써 내성을 갖게 되기 때문에 내성은 작물에 도입된 유전자로 인한 문제라기보다 제초제 사용의 문제와 직접적으로 관계가 있다. 즉, 생물농약이든 화학 농약이든 어떤 형태로든 농약을 사용하는 한 제초제내성에 대한 지속적인 대응이 필요한 것이다.

일단 GM작물과 함께 쓰이는 글라이포세이트계 제초제가 잡초의 내성에 미치는 영향에 대해서는 다음과 같은 상반된 연구결과들이 보고되고 있다.



Bradshaw 등⁴⁹⁾이 글라이포세이트계 제초제에 내성을 보이는 잡초가 자연에서 출현할 가능성은 거의 없다고 주장한데 비해 Gaines 등⁵⁰⁾의 연구에서는 16종의 식물에서 글라이포세이트에

정보가 추가되었다고 할 수 있다. 아이그너 장관은 MON810의 금지령은 MON810이 환경에 위협이 있을 것이라는 객관적인 과학적인 사실에 기인한 것이라고 밝혔다.

MON810 금지령에 영향을 준 추가적인 과학적인 정보는 ① Bt 옥수수 화분 및 작물 잔재물이 수중 생물에 미치는 영향(Rosi-Marshall et al., 2007), ② Bt 옥수수 가루가 물벼룩(water flea)에 미치는 영향(Bohn et al., 2008), ③ Bt 옥수수 식물 잔재물이 건강한 달팽이와 선충 감염 달팽이에 미치는 영향 (Karamrz et al., 2007), ④ 무당벌레 유충의 사육실험에서 Bt 단백질 Cry1Ab 및 Cry3Bb의 영향(Schmidt et al., 2009), ⑤ 옥수수 재배지에서 인근 생물서식공간(biotopes)으로의 화분 비산(Hofmann et al., 2009) 등 Bt 옥수수가 비표적 생물체에 미치는 영향에 대한 연구를 근거로 들 수 있으며, 이들 연구가 MON810의 재배 금지 명령을 내리는데 결정적인 요인으로써 부분적으로 기여하였다.

독일의 MON810 금지령에 대해 독일 국내외 단체들은 환영과 우려의 반응을 나타내었다. 독일 환경연합인 BUND와 환경단체인 그린피스도 즉각적인 환영의 뜻을 나타내었으며 GM옥수수의 유럽 내 승인은 제고되어야 한다고 밝혔다. 독일의 과학·연구단체에서는 이번 결정이 생명공학기술에 대해 비논리적으로 접근하는 경향을 부추기고 독일이 미래의 중요한 기술로 부상할 생명공학 기술 발전의 거점이 될 수 있는 가능성에 회복 불가능한 영향을 초래할 수 있을 것이라는 심각한 우려의 입장을 나타내었다. 독일 수상인 앙겔라 메르켈은 생명공학에 대한 위협과 걱정 등에 대한 정치적인 토론은 열려있어야 하지만 정치적인 수준에서 반대만 해서는 안 된다고, GM작물에 대하여 너무 적대적인 경향에 대해 우려를 표했다. 이외에도 대부분의 독일의회도 MON810의 금지령에 대해 현재 반대하고 있는 형편이다. 유럽집행위원회는 독일의 MON810 금지령에 대해 조사를 계획 중에 있지만 독일의 결정을 번복하기 위해 압력을 행사하지는 않을 것이라고 밝혔다. MON810을 개발한 다국적 기업 몬산토社は 2009년 5월, MON810 금지령에 대해 독일 법원에 행정소송을 제기했지만 독일 법원은 MON810 금지령을 중단해 달라는 몬산토社の 탄원을 기각하였다.

2. MON810 환경위해성 논란에 대한 과학적 고찰

독일의 생물안전성 중앙위원회(German Central Committee on Biological Safety; 이하 'ZKBS')는 MON810 금지령의 결정적 요인으로 작용한 여섯 개의 연구에 대해 면밀한 검토를 하였다. 그 연구결과를 과학적 측면으로 면밀히 검토한 결과, 어떤 연구도 재배환경조건에서 MON810이 비표적 생물체에 미치게 될 잠재적인 악영향 가능성을 확인하지 못했으며, 일부 연구는 과학적인 근거가 부족하다는 견해를 밝히며 MON810의 재배가 환경에 어떠한 부정적 영향도 미치지 않는다고 발표하였다.

이에 MON810 금지령에 결정적인 요인으로 작용한 몇 개의 연구들의 문제점으로 ZKBS가 제기한 몇 가지 사항들에 대해 살펴보았다.

① Bt 옥수수 화분 및 작물 잔재물이 수중 생물에 미치는 영향 (Rosi-Marshall et al., 2007)

Rosi-Marshall 등의 저자들은 상류 하천 생태계 근처의 Bt 및 non-Bt 옥수수 재배지에서 화분 및 옥수수 부산물의 비산 및 운송되는 정도를 측정하여 Bt 단백질이 수중 생태계에 영향을 미칠 수 있다고 주장하였다. 또한 실험실에서 날도래목(Trichopteran) 곤충의 유충에게 Bt 단백질을 발현하는 화분과 옥수수 부산물을 먹인 결과 날도래목 유충의 성장률은 낮아졌고, 사망률은 증가하였다고 결론지었다. 날도래목 곤충이 나방과 형태가 유사하게 생겼으며, 나비목과 매우 가까운 유연관계를 갖고 있어 날도래목 유충을 나비목(Lepidoptera)에 특이적으로 작용하는 Bt 단백질의 실험동물로 사용한 것은 이해할 수 있으나, Rosi-Marshall 등의 연구는 방법론상 여러 가지 결점을 가지고 있다. 첫째, Bt 옥수수과 non-Bt 옥수수 화분의 종류, 계열, 동질유전형(isogenic) 품종인지에 대한 언급이 없으며 Bt 단백질의 용량-효과 관계(dose-effect relation)에 대한 설명도 없다. 둘째, 옥수수 재배지 인근 표면수로의 비산에 대한 조사 과정에서 화분 및 옥수수 부산물 중의 Bt 단백질 함량을 측정하지 않았으며 Bt 및 non-Bt 옥수수 폐기물의 분해율 간의 명확한 차이도 관찰되지 않았다. 셋째, 자연 상태에서 Bt 단백질은 일반적으로 낮은 농도로 존재하고 노출 기간(옥수수 개화기)이 일시적이고 제한적이라는 점이 실험실에서 증명된 성장률 감소 역시 환경 영향과 무관하다고 볼 수도 있다.

결론적으로 이 연구의 저자들이 수행한 연구는 Bt 단백질 또는 유전적 변이와 날도래목 유충의 부정적 영향 사이의 상관관계가 충분히 증명되지 않았다. 또한 다른 과학자(Beachy et al., 2008; Parrott, 2008)들이 주장하듯이 실험에 사용된 Bt 옥수수와 non-Bt 옥수수가 동종계열의 옥수수가 아니어서 보여진 차이는 잎의 화학적 구성에 의한 차이일 수 있다. 이는 Rosi-Marshall 등의 저자들도 인정한 부분이다. 그리고 자연 상태에서의 Bt 단백질 노출을 고려할 때 실험실 내에서 얻은 결과로 수중 생태계에 영향을 준다는 결론은 일반화하기에는 무리가 있을 수 있다.

② Bt 옥수수 가루가 물벼룩(water flea)에 미치는 영향(Bohn et al., 2008)

Bohn 등은 2008년 연구 논문에서 Bt 옥수수 및 non-Bt 옥수수 가루를 물벼룩에게 먹임으로써 Bt 옥수수의 섭취가 물벼룩의 적응도(fitness)를 제한하는지 여부를 조사하였다. 이를 위해 생존율(survival rate), 성장(growth), 번식(reproduction) 등이 조사되었다. 물벼룩은 Bt 옥수수 가루 섭취 결과 생존율 감소, 조기 번식, 포란(eggdeposition) 감소 등의 반응을 일으켰다. 저자들은 이 결과를 적응도 감소 및 Bt 옥수수 가루 섭취로 인한 직접적 영향으로 해석하였다.

그러나 이 연구의 결점으로 다음과 같은 점이 제시되었다. 첫째, Bt 및 non-Bt 옥수수 가루의 영양 성분에 잠재적 차이를 보이는지에 대한 특성연구도 수행되지 않았다. 둘째, 물벼룩에게 가해진 독소의 수준이 명시되지 않아 포장실험시의 독소 수준과 비교할 수 없다. 셋째, 물벼룩의 독성시험에 대한 OECD directive 211에 따르면 28일 이후부터는 자연적 치사율이 증가하기 때문에 물벼룩의 성장 및 번식 연구는 21일 이상 지속하지 말 것을 권고하고 있지만 이 연구에서는 42일 동안 연구를 진행

하였다. 따라서 연구결과는 일반 옥수수(non-Bt 옥수수)를 섭취한 물벼룩의 경우도 극히 낮은 성숙기(17-18일째에 50%만 성숙)와 극히 높은 치사율(55-95%)을 나타내는데, 이는 생물학적으로 유의한 결과를 도출하기 위해 대조군인 일반 옥수수를 섭취한 물벼룩이 털 죽는 기간을 생존곡선으로 나타낸 것으로 보인다. 이 연구는 물벼룩 연구 실험에 대한 경제협력개발기구(OECD)의 지침 요건을 준수하지 않았다.

결론적으로 ZKBS는 Bohn 등에 의해 수행된 연구가 부적절한 실험 조건(OECD 지침 위반, 실험 동물의 부적절한 영향으로 인해 결과의 신뢰성 및 유의성이 없다고 결론지었다.

③ 무당벌레(two-spotted ladybird) 유충의 사육실험에서 Bt 단백질 Cry1Ab 및 Cry3Bb의 영향 (Schmidt et al., 2009)

Schmidt 등은 2009년 연구 논문에서 실험실 내 무당벌레 유충의 다양한 발달 단계(L1~L4)에 따른 독성 시험을 실시하였다. 유충에게 발현벡터 pBD10 뿐만 아니라 Bt 단백질인 Cry1Ab와 Cry3Bb의 농도를 변화시킨 용액을 분무한 밀가루 명나방 알을 먹이로 준 후, 치사율, 발달기간, 체중을 조사하였다. 대조군인 발현벡터를 먹은 유충은 영향이 없었으나 Cry1Ab와 Cry3Bb을 먹은 유충의 치사율은 크게 증가하였다.

그러나 이 연구의 결점은 다음과 같다. 첫째, 저자들은 *E. coli*에서 Bt 단백질의 전구물질을 생산한 후 트립신으로 절단하여 유충에게 먹였으나, 트립신으로 처리한 Bt 단백질의 전구물질에 대한 생리 활성에 대해서는 언급하지 않았다. 둘째, 무당벌레 유충의 먹이로 준 밀가루 명나방 알에 분무한 Bt 단백질의 농도의 수준과 균일성이 측정될 수 없다. 결국 포장재배 실험시의 독소 수준과 비교될 수 없으며 제3자에 의한 반복 실험이 곤란하다. 셋째, Bt 단백질(Cry1Ab 또는 Cry3Bb)에 대한 명확한 용량-효과(dose-effect)관계가 얻어지지 않았다. 예를 들어 중간 농도 단계에 비해 최고 농도 단계의 치사율이 감소되었다. 넷째, 유충의 발달기간과 체중은 통계학적으로 차이를 보이지 않았다.

ZKBS에서는 “논문 저자들이 트립신 처리한 Bt 단백질이 무당벌레 유충에게 독성을 주는지에 대한 신빙성 있는 결과를 제시하지 못했으며 명백한 용량-효과(dose-effect) 관계 없이 실험동물의 발달 및 체중 증가에 대한 동시적인 영향의 결여에서 Bt 단백질의 효과를 밝히고자 하였으나 독립적인 과학적 검증이 부족하여 신뢰성이 떨어진다. 따라서 MON810이 자연 포장조건에서 무당벌레에게 독성을 보인다는 결론은 무리가 있다”고 결론지었다.

ZKBS는 위에 언급한 연구 외에도 MON810 금지령에 영향을 준 다른 연구결과도 이용가능한 모든 과학적 정보를 고려하고 사전예방주의 원칙을 감안하여 면밀히 검토하였지만 MON810이 환경에 위해를 끼친다는 과학적 증거를 발견할 수 없었으며, MON810 재배가 환경에 위험을 주지 않는다고 결론지었다. 이러한 결론은 프랑스 연구팀의 연구결과(Ricroch et al., 2009)와 독일의 MON810 금지령은 과학적으로 정당하지 않다고 밝힌 유럽식품안전청(EFSA)의 견해(opinion, EFSA, 2009)와도 일치한다.



LMO는 생물다양성을 해치고 있다?

비표적 생물체에 대한 영향

현재 상업적 재배가 활발히 이루어지고 있는 해충 및 제초제내성 유전자변형작물(이하 'GM작물')에 관한 주요 논란 중 하나는 GM작물이 비표적 생물체의 사망률을 높여 생태계를 파괴할 가능성이 있다는 것에 대한 것이다.

먼저 해충저항성 작물이 비표적 곤충에게 나쁜 영향을 미칠 수도 있다는 것은 1999년, 코넬대학의 로지 박사와 2001년, 스위스 연방농업시험장의 비글러와 힐백 박사를 통해 제기되었으며, 이 두 사례는 그린피스와 국내의 언론에 의해 대대적으로 보도되었다.

로지 박사는 Bt 유전자가 삽입된 해충저항성 옥수수(이하 'Bt 옥수수')가 표적 곤충이 아닌 모나크 나비 유충의 성장과 생존률을 저하시킨다는 결과를 발표하였다. 물론 본 연구결과를 실제 자연 환경에 그대로 적용하는 데에는 무리가 있다는 것이 후속 연구를 통해 나타났지만 안전성평가 시 특정 곤충의 생육시기와 화분의 이동거리가 고려될 필요성이 있음을 발견하였다는데 의의가 있다.

☐ 섭식실험은 꽃가루를 묻히지 않은 밀크weed(A군)와 일반 꽃가루를 묻힌 밀크weed(B군), Bt 옥수수의 꽃가루를 묻힌 밀크weed(C군)를 모나크나비가 4일간 섭취하도록 이루어졌다. 로지 박사는 실험결과 C군에서 섭취율과 생존율이 낮았으며, Bt 옥수수가 모나크나비의 성장과 생존에 부정적인 영향을 미친다고 해석하였다³⁰⁾.

☐ 하지만 잎의 위치, 바람, 거리, 기후 등 자연 환경이 고려되지 않은 실험실 내의 결과였다는 것을 감안할 때, 제시된 위해 수준은 실제 영향력과 크게 다를 것이라는 점이 제기되었다³¹⁾.

☐ 한편 추가연구를 통해 Bt 단백질의 종류에 따라 모나크나비의 감수성³²⁾에 많은 차이가 나타났다는 것을 발견하였으며, 이러한 감수성을 감안하여 연구개발 단계에서 상업화할 GM작물을 선발할 때 이러한 점을 고려할 필요성이 있다는 점을 환기할 수 있었다.

☐ 이후 미국 환경보호국(EPA)은 Bt 옥수수가 군주나비에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 모니터링 하였으며, 현재까지 위해성이 나타난 결과는 보고되지 않았다고 밝혔다.

32) 특정 자극 등에 민감한 반응을 보이는 현상으로 넓은 의미로 감각의 예민성이라 함.

나아가 스위스 연방농업시험장인 비글러와 힐백 박사는 Bt 옥수수의 표적 해충을 섭취한 다른 유충도 부정적인 영향을 받는다는 연구결과를 발표하였다³³⁾. 물론 본 실험에 다른 요인이 영향을 미쳤을 수 있다는 가능성이 제기되었으나 먹이사슬 차원에서 Bt의 환경위해성에 대해 접근하였다는 점에는 의미가 있다.

- ☐ 1998년, 비글러와 힐백박사는 노바티스사에서 개발한 Bt 옥수수(Bt-176)와 일반 옥수수를 먹은 모나크나비를 천적인 풀잠자리 애벌레(lacewing)가 각각 섭취하도록 한 결과 Bt 옥수수를 섭취한 풀잠자리 애벌레에서 높은 사망률이 나타났다고 발표하였다.
- ☐ 하지만 풀잠자리 애벌레 사체에서 Bt 단백질을 찾을 수 없었다는 점으로 비추어봤을 때, Bt 단백질로 인한 사망이 아닐 가능성이 높다는 반론이 제기되었다. 즉, 온도 등 실험실 실내조건이 생존에 불리했거나 모나크나방 애벌레를 선호하지 않아서 굶어 죽은 것으로 판단된다는 것이다³⁴⁾. 또한 실제 자연 환경에서 모나크나비는 옥수수 줄기 속에 살기 때문에 풀잠자리가 이를 먹는 경우는 드물다는 점도 지적되었다.
- ☐ 한편 미네소타 대학 곤충학과의 윌리엄 허치슨 연구팀은 미네소타주의 Bt 옥수수 재배지와 일반 옥수수 재배지를 표본조사한 결과 유충의 수에 아무런 차이를 발견하지 못했다는 결과를 발표하기도 하였다.

해충저항성 GM작물이 포유류에까지 부정적 영향을 미친다는 사례로 '인도의 양떼 죽음 사건'이 많이 인용된다. 본 사례는 2007년, 국내 다큐 프로그램을 통해 방영되면서 많은 국민들의 우려를 불러일으켰다. 점점 논란이 커지자 관련하여 NGO, 과학자 등으로 구성된 국내 조사단이 인도를 직접 방문하여 본 사태를 알아보기도 하였다³⁵⁾. 일단 본 사건은 아래와 같은 이유로 Bt 작물이 양떼의 죽음과 직접적인 연관이 있다고 보기 어려운 상태이다.

먼저 사례를 살펴봄에 앞서 이론적으로 살충 효과를 가지는 단백질은 곤충 외 포유류에 작용할 수 없다. 알카리성 조건인 곤충의 장내에서는 Bt 단백질이 분해되지 않으며, 이것이 장내 수용체와 반응해 소화불량을 일으켜 해충을 굶어죽게 하지만 인간을 포함한 포유류의 위는 산성으로 모든 단백질이 소화·분해되어 Bt 단백질과 반응할 수 있는 수용체가 생성될 수 없기 때문이다.

34) 잠자리 사체에서 Bt단백질이 발견되지 않았다는 것은 이러한 성분이 제대로 분해, 소화되었다는 의미로 이는 잠자리는 Bt에 큰 영향을 받지 않는 것으로 해석할 수 있음.

- ☑ 2007년 3월 26일, 인도의 뉴스전문채널 NDTV는 인도의 남동부에 있는 안드라 프라데시(Andhra Pradesh)주의 와랑글(Warangal)에서 Bt 목화밭에 방목된 양들이 떼로 사망했다고 보도하면서 논란이 시작되었다.
- ☑ 부검결과 다량의 질산성분이 축적되어 있었는데, 이는 Bt 목화(상품명: 볼가드®)의 독성으로 인해 양의 내장에 있는 미생물들이 죽고 그에 따라 목화 잎들이 제대로 소화되지 못한 것에서 비롯된 것이라는 주장이 제기되었다.
- ☑ 하지만 동일한 Bt 목화를 재배하는 중국, 호주, 브라질, 아르헨티나, 미국 등의 국가에서는 지난 10년 동안 이와 유사한 사례가 발생한 보고가 없다는 점에서 인도 양떼 죽음에 대한 다른 원인으로 잔류농약, 면화에 있는 천연 독소 등이 거론되고 있는 상태이다³⁶⁾.
- ☑ 한편, 인도 러크나우 소재 산업독성물질연구센터(Industrial Toxicology Research Center)에서 90일간 실시한 동물실험과 판트나가(Pantnagar) 소재 G B Pant 농업대학에서 젖소를 대상으로 실시한 실험, 그리고 아이자트나가 소재 조류연구소(Avian Research Institute)에서 어류를 대상으로 실시한 연구결과에서는 모두 Bt로 인한 독성이 나타나지 않았다 (물론 미국의 사육 목적과 방식이 인도와 많은 차이가 있다는 점이 제기되기도 하였음).

제초제내성 GM작물이 생태계 균형을 파괴한다는 주장은 이를 직접 섭취한 곤충이나 조류의 사망률이 높아져서, 또는 야생동물의 먹이원이기도 한 잡초가 사라짐에 따라 특정 생물체의 개체수가 줄어들 것이라는 것에서부터 제기되었으며, 관련하여 와킨스 박사팀의 연구결과가 인용되고 있다.

- ☑ 2000년 와킨스 박사팀은 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제초제내성 사탕무 재배가 한해살이 풀인 명아주의 수를 감소시켜 이를 주 먹이원으로 하는 종달새의 개체수를 감소시킬 수 있다는 연구결과를 발표하였다³⁷⁾.

본 연구에 대해 컴퓨터 상의 단순한 모의 환경은 실제 환경과 큰 차이가 있다는 문제점이 제기되었으나 특히 제초제내성 GM작물과 함께 이용되는 비선택성 제초제의 효과적인 잡초 제거 능력이 잡초 의존하는 생물종의 다양성에 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 부분을 고려할 필요가 있음을 시사하고 있다³⁸⁾.

유전자 이동과 잡초화

도입된 새로운 유전자를 가진 GM작물의 화분이 바람이나 곤충 등을 통해 이동하여 근연종이나

야생종과 교잡(Hybridization)하거나 새들에 의해 종자가 이동해 발아되면서 GM작물이 확산되어 간다는 우려가 제기되고 있다.

결론적으로 GM작물도 일반 작물과 같이 교배나 종자 발아가 가능하다. 하지만 유전자 이동을 통해 나타나는 잠재적 위해성 여부는 작물 자체의 생식적 특징(형태, 개화시기, 수분법(자가수분, 타가수분), 교잡친화성 및 교잡율, 종자 발아력 등), 환경적 조건(매개체(풍매, 충매 등), 재배 이격거리, 온도 변화 등)에 따라 많은 차이가 있다.

GM작물의 화분이나 종자가 근연종 혹은 야생종으로 이동하여 생태계 균형을 파괴할 수 있다는 논의는 1998년, 시카고 대학의 베젤슨 박사와 2001년, 버클리 대학의 퀴스트 & 차펠라 연구팀에 의해 촉발되었다. 베젤슨 박사는 돌연변이 애기장대와 제초제내성 GM애기장대의 화분 이동성과 교잡율 등을 비교하고자 실험을 진행하였다. 본 연구는 미국 CNN 방송을 통해 유전자가 다른 식물체로 이동될 수 있고, ‘슈퍼 잡초’가 될 가능성이 높다고 보도되면서 이슈화 되었지만 이는 연구팀이 밝힌 해석과 다소 차이가 있다.

- ☐ 돌연변이 유도물질(EMS)를 처리하여 얻은 제초제(Cilorsulfuron) 저항성 돌연변이 애기장대(A군)와 유전자변형기술을 이용한 제초제(Cilorsulfuron) 저항성 GM애기장대(B군), 마지막으로 야생형 일반 애기장대(C군)를 무작위로 섞어 C군에서 A군과 B군이 얼마나 나타나는지 관찰하였다,
- ☐ 연구팀은 C군에서 제초제내성을 나타낸 개체 중 A군에서 유래한 것은 0.3%이고, B에서 유래한 개체는 5.98%로 돌연변이 작물보다 GM작물의 유전자 이동과 교잡이 더 높게 나타났다고 결론 지었다. 또한 “악성 잡초가 될 가능성은 희박하지만 A군과 B군의 차이가 존재함을 알 수 있다. 하지만 유전적 매커니즘을 모르는 상황에서 이를 일반화 할 수는 없다”고 덧붙였다³⁹⁾,
- ☐ 하지만 한편에서는 본 연구팀이 말하는 5.98%라는 수치가 2개의 실험결과치의 평균값(1.2%, 10.8%)으로 두 실험결과치의 차이가 9배나 나타난다는 점에서 실험 설계의 문제가 있다고 지적하였으며, 보다 정확한 해석을 위해서는 무엇보다 각 군의 평균 교잡율 등에 대한 설명 등이 필요하다는 의견이 제기되기도 하였다,

한편 2001년, 버클리 대학의 퀴스트& 차펠라 연구팀은 GM옥수수 재배지와 100Km 떨어진 멕시코 오아하카주 산간지방에서 채집한 야생 옥수수에서 Bt옥수수에 이용되는 프로모터 유전자가 유입(Introgression)된 것이 발견되었다고 밝혔다. 옥수수를 원료로 하는 ‘포르피야’는 멕시코인의 주식으로 특히 당시 멕시코 오아하카주는 1998년부터 GM작물 재배가 금지된 지역이었기에 본 발표는 큰 파장을 가져왔다.

- ☑️ 연구팀은 오아하카 산간지방에서 채집한 야생 옥수수(Criollo)에서 지역 식료품 가게에서 팔고 있는 몬산토사의 Bt 옥수수에 포함된 것과 동일한 유전자(꽃양배추 모자이크바이러스 프로모터 (CaMV 35S promoter)가 발견되었다고 발표하였다⁴⁰⁾,
- ☑️ 이러한 결과에 대해 연구팀은 "농부들이 계속해서 일반 옥수수와 Bt 옥수수를 섞어 심었거나 재배 금지 조치 전 꽃가루를 통해 야생종과 교잡한 GM작물이 퍼져나간 것으로 보인다"고 덧붙였다, 하지만 다른 한편의 과학자들에서는 옥수수 꽃가루는 무거워서 바람에 의해 먼거리를 날려갈 수 없다는 점을 근거로 들면서 후자를 통한 유입 방식에 대해서는 동의하지 않는 입장을 보였다,
- ☑️ 그 외에도 옥수수 가공 공장을 대상으로 국고 보조 옥수수를 공급하던 중 GM옥수수의 낱알이 떨어져 전파되었다는 주장이 제기되었지만(물론 수입품은 부족분이 있을 경우만 들어오며 이 경우 '검증된 옥수수'만을 취급한다는 반론도 있지만) 정확한 사유를 파악하기 위해서 좀 더 많은 연구가 요구되었다,
- ☑️ 한편 시료상의 오염이 일어났을 가능성과 퀴스트 & 차펠라 연구팀이 사용한 i-PCR의 기술적 문제 등을 통해 재래종으로 '유입(introgression)⁴¹⁾' 된 것으로 볼 수 없다는 점이 지적되었다⁴²⁾, 이에 대해 퀴스트 & 차펠라 연구팀은 새로운 실험결과(dot-blot)를 추가로 제시하면서 반론하였다⁴³⁾,
- ☑️ 이러한 공방이 지속되었으며, 네이처지의 편집자는 퀴스트 & 차펠라 연구팀의 연구결과와 이에 대한 다른 과학자들의 의견 및 재검증 실험결과 등을 토대로 퀴스트 & 차펠라 연구팀의 논문의 게재를 취소하기로 결정하였다,

연구팀이 주장한 대로 야생종에 새로운 유전자가 안정적으로 도입(Introgression)되어 교잡을 통해 확산되었다는 해석에는 한계점이 있다는 점이 지적되었으나 이 논란 사례는 실험실이 아닌 GM작물의 재배지나 실제 유통 제품을 토대로 위해성이 문제가 제기되면서 보다 현실에 가까운 환경 위해성 문제 발생의 모습을 제시하였다고 볼 수 있다. 그 후에도 멕시코에서 GM옥수수의 검출 등에 대한 연구가 지속적으로 보고되고 있다.

- ☑️ 2003년에서 2004년 동안 오아하카 지역에서 153,746개의 옥수수 시료를 조사하였지만, 외래 유전자(Transgene: 35S 또는 nos)가 검출되지 않았다⁴⁴⁾, 하지만 Piñeyro-Nelson 등은 멕시코 재래 옥수수에서 35S 유전자가 검출된 것이 보고되었다⁴⁵⁾,

41) 재래종에 GM작물이 외래 유전자가 유입(Introgression)된다는 것은 여러 번 교배(Hybridization)를 반복하여 외래 유전자가 재래종에 안정적으로 존재한다는 것을 뜻하므로 교잡이나 유전자 이동(Gene flow)와는 의미 차이가 있음.

☐ Dyer, G.A. 등은 멕시코 농민들이 보유한 옥수수 종자를 대상으로 외래 유전자(Transgene)의 존재 여부를 조사한 결과 시료에서 Bt 유전자와 관련 있는 Cry1Ab/Ac와 CP4/EPSPS 단백질이 검출되었다고 보고하였다⁴⁶⁾,

이러한 GM작물의 유전자 이동과 함께 GM작물의 잡초화에 관한 우려도 제기되고 있다. 일반적으로 잡초는 기본적으로 종을 떠나 특정 작물의 재배에 있어 의도와 상관없이 나타난 식물체를 일컬거나 비연속적 발아, 다량의 종자 생산, 우월한 생존 경쟁력 등의 특징을 갖춘 경우에 비로소 이를 '잡초'라 할 수 있다. 그러므로 GM작물의 잡초화 여부는 GM작물이 이러한 잡초의 특성을 보이는지에 대해 관찰하는 것을 통해 이루어지며, 나아가 도입된 형질이 유전되면서 점점 제거하기 힘든 교잡 후대를 생산하는지를 평가한다. 즉, 이러한 기준을 바탕으로 GM작물의 유전자 이동이 일어나더라도 잡초화가 나타나지 않는다면 통제 불가능으로 확산될 가능성이 없게 되므로 위해가 낮다고 판단하는 것이다.

이와 관련하여 제초제내성 GM작물 자체는 제초제가 살포되는 곳(경작지)이 아닌 곳에서는 다른 작물과 비교하여 생존력 등에 큰 강점을 갖지 못하고 있으며, 도입된 새로운 유용 형질은 후대에 갈수록 사라지는 양상을 보인다는 연구결과가 발표되었다.

☐ 2001년, 영국 임페리얼 대학의 크롤리 박사팀은 유채, 감자, 옥수수, 사탕수수를 비경작지(12지역)에서 10년간 재배하면서 제초제내성 GM작물이 환경에 더 잘 적응하여 생존하는 경우는 발견되지 않았으며, 4년 후에는 완전히 사라졌다고 보고하였다⁴⁷⁾,

☐ 2004년, 프랑스 국립농학연구소의 안 & 마리 연구팀은 제초제내성 유채가 흔히 발견되는 잡초인 야생무와 교배하여 번식력을 가진 후손을 손쉽게 만들어낸다는 것을 발견하였다. 이와 동시에 여러 세대가 지나면서 이러한 제초제내성 유전자가 희미해져 GM작물이 슈퍼 잡초가 될 가능성은 거의 없다는 점도 발견하였다⁴⁸⁾,

한편 제초제내성 GM작물이 유전자 이동 문제와 함께 슈퍼 잡초의 문제를 초래할 수 있다는 것이 제기된 것은 1998년, 몬산토社와 캐나다 농부인 필시 슈메이저의 소송 사례로부터였다. 본 사례는 유전자이동과 슈퍼 잡초라는 과학적 이슈 외에도 특허권이나 경제적 이익 등의 문제도 결부되어 있으나 여기에서는 과학적 내용에 대해서만 언급하도록 하겠다.

☐ GM캐놀라로 인해 일반 캐놀라가 오염되었다고 주장하는 측에서는 "제초제내성 GM캐놀라의 포장재배지에서 약 8km 떨어진 슈메이저의 일반 캐놀라 재배 농장에서 GM캐놀라가 발견된 것은 GM캐놀라 자체의 유전자 이동이나 곡물 수송 등의 과정에서 비의도적 낙곡하여 이동한 것이다. 또한 GM캐놀라는 '슈퍼 잡초'가 되어 어떤 제초제로도 제거하기 불가능하다"라는 근거를 제시하였다,

내성을 보이는 식물체가 관찰되었으며, 긴이삭비름(*Amaranthus palmeri*)에서는 내성을 갖는 기작이 밝혀졌다고 보고하였다.

- ☑ 농업생명공학 응용을 위한 국제서비스(ISAAA)의 2008년 보고서에서는 1996년부터 2007년까지의 농약 사용량이 9% 줄었으며, 이 감소율을 환경영향지수(The Environmental Impact Quotient, EIQ)를 기준으로 환산할시 17.2%의 감소를 보인 것과 같다고 밝혔다⁵¹⁾.
- ☑ 세계 최대 규모의 환경단체인 '지구의 벗'의 2008년 보고서(Who benefits from GM crops)에 따르면, 제초제내성 GM콩의 재배에 쓰이는 제초제의 사용량이 지난 10여년 사이 150%가량 늘어났으며, 이는 제초제내성 GM작물의 재배가 늘어나면서 주변의 잡초 역시 내성을 갖게 됐기 때문이라고 해석하였다(하지만 제초제 사용량을 단위면적당 환산했을 때 7.8%가 감소했음을 고려하지 않았다는 점이 제기되기도 하였음).

하지만 잡초의 내성에 대한 논의를 떠나 GM작물의 재배면적이 점차 증가하고, 다른 제초제에 비해 효과가 뛰어나면서도 독성이 적어 농업종사자가 이를 남용할 가능성이 높아짐에 따라 글라이포세이트 제초제에만 지속적으로 의존하는 경향에 대한 기술적 준비가 필요할 것이다(이러한 것에 대해 다른 한편에서는 기술적 미봉책이라는 비난을 하지만).

- ☑ '우려하는 과학자모임(Union of Concerned Scientist, UCS)'의 데이빗 홀츠만 박사는 "생명공학기업들 또한 주변 잡초의 내성 강화를 인정하고 있으며, 이를 해결하고자 새로운 제초제내성 유전자를 이용한 작물과 제초제를 개발하여 판매하고 있다⁵²⁾. 잡초의 내성은 늘어가는 제초제내성 GM작물과 해당 제초제를 이용하는 만큼 점점 증가할 것이다"라고 언급하였다.
- ☑ 한편 생명공학기업 측에서는 "한 가지 제초제에 의존하여 이를 지속적으로 사용함으로써 발생하는 내성에 대응할 수 있는 방법 중의 하나로 양한 계열의 제초제에 내성을 갖는 유전자들이 함께 도입된 복합형질의 제초제내성 GM작물을 개발하고 있다. 이것은 여러 제초제에 대한 저항성을 갖기 때문에 기존처럼 특정 제초제에만 의존하지 않아도 될 것이다"라고 밝히고 있다.

잡초의 내성 논란과 함께 곤충이나 해충 등이 내성을 가지는 문제도 또 하나의 문제로 제기되고 있다. 곤충이 농약 등에 살충성 물질에 내성을 보이는 것은 화학농약이나 생물농약을 지속적으로 이용하여 작물을 재배해왔을 때도 나타나왔던 오랜 고질병이었다.

다만 Bt 작물의 경우 Bt에 민감하지 않은 해충 간의 교배로 저항성을 지닌 개체들이 증가하는데, 이를 방지하고자 다양한 해충저항성 유전자를 이용하여 지속적인 노출을 방지하고자 하고 있으며, Bt 작물을 재배할 때 일정 비율(최소 5%) 이상 일반 작물을 함께 재배하도록 하여(이른바 피난처

(refuge)라 불리는) 내성을 가진 해충간의 교배를 자연적으로 최소화하는 등의 조치를 권고하고 있다(물론 Bt 작물로 인한 '슈퍼 버그'의 출현 가능성과 피난처에 대한 효과 등에 대해서는 많은 찬반 연구결과가 존재하지만).

이처럼 내성이나 저항성 증가로 인한 환경위해성 문제는 GM작물에만 국한된 문제가 아니며, 일반 작물의 재배와도 관계있는 농약의 문제라는 점에서, 또한 이는 살포하는 농업적 행태로부터 많은 영향을 받는다는 측면에서 이에 대한 교육 등을 포함한 농업 전반에 대한 전략과 대응책이 필요하다고 볼 수 있다.

한편, 환경위해성에 대한 다양한 논의와 이에 대한 근거 데이터들이 제기되는 가운데 복잡한 자연 환경이나 농장 조건 등을 최대한 가깝게 반영한 실험 형태가 이루어져야 함이 제기되었다. 이에 따라 다양한 펀드와 과학자로 구성된 프로젝트 연구들이 진행되기 시작하였다. 물론 이러한 연구들이 실제 자연 환경과 일치한다고 할 수는 없지만 보다 정확한 GM작물의 위해를 평가하는데 한 발짝 다가간 것으로 평가할 수 있다.

☑ 2003년, 영국에서 실시한 농장규모평가(Farm-Scale Evaluation, FSE) 결과 지난 3년간 GM사탕무와 GM캐놀라 재배지역의 잡초 종자가 20~30% 줄어들면서 일부 조류와 벌레들이 감소한데 비해 GM옥수수의 경우 주변에 좀 더 많은 잡초들이 자라고 있었고, 이와 함께 좀 더 많은 나비와 벌레들이 나타난 것으로 관찰되었다고 밝혔다(이는 GM작물이나 non-GM작물이나에 따른 차이점이 아니라 각 작물에 사용된 제초제의 영향 때문인 것으로 결론지어졌음)⁵³⁾.

☑ Bright(Botanical and Rotational Implications of Genetically Modified Herbicide Tolerance) 프로젝트에서는 관행농법과 유사한 조건 하에서 4년간 실험을 진행하였으며, 그 결과 잡초 종자 감소에 있어 제초제내성 GM사탕무와 GM유채가 일반 사탕무 및 유채와 비교하여 어떤 차이도 나타나지 않았다고 밝혔다⁵⁴⁾.