

PLANT & FOREST

The importation of genetically modified crops and its environmental impacts in Korea

Sung Min Han¹, Young Tae Kim¹, Ok Jae Won¹, Kyung Hwa Choi², Young Hee Rho², Kee Woong Park^{1*}

¹Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²National Research Safety Headquarters, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Cheongju 28116, Korea

*Corresponding author: parkkw@cnu.ac.kr

Abstract

The global cultivation area of genetically modified crops (GM crops) has been increasing every year. Cultivation of GM crops is not only beneficial to the economy but also has positive effects on the environment in decreasing the use of agrochemicals, chemical fertilizers, and agricultural machinery. However, there have been controversies about the admixture of GM crops and non-GM crops and the unintentional release of GM crops to the environment. Especially in Korea, where consumption of agricultural products is import-dependent, the economic importance of GM crops has been a significant issue. The Act on import and distribution of GM crops was established in 2001 to start the management of GM crops in Korea. Recently, the imported amount of GM crops to Korea has reached over 10 million tons and is increasing very rapidly; consequently, the potential environmental impact of GM crops is becoming a big issue in Korea. In Japan, the discovery of imported GM canola plants around ports in 2005 raised awareness of the unintentional release of GM crops. In Korea, GM maize plants were also found in port and feed factory surroundings from 2005 to 2007. It is now necessary to monitor imported GM crops by tracing distribution, transport process for practical environmental risk assessment. Possible gene transfer from GM crops to non-GM crops should also be investigated in the cultivation area and the surroundings as well.

Keywords: environmental risk assessment, genetically modified crops, monitoring, unintentional release

Introduction

유전자 변형(GM) 작물은 현재 아메리카 대륙을 비롯하여 아시아는 물론 유럽에 이르기까지 전 세계적으로 널리 재배되고 있다. 1994년에 유전자 변형 토마토가 최초로 상업화 된 이후 GM 작물의 재배 면적은 연속적으로 연간 8%의 주목할 만한 성장세를 보여 1996년 1,700만 헥타르에서 2014년 1억 8,150만 헥타르로 무려 약 107배나 증가하였다(James, 2014). 이중 주요 GM 작물인 GM 콩은 1996년 50만 헥타르에서 2014년 9,070만 헥타르로 증가해 전체 GM 작물 재배면적의 약 50%를 차지하였고 GM 옥수수는 같은 기간 동안 30만에서 5,520만 헥타르로 증가하여 전체 GM 작물 재배면적의 약 30%를 차지하였다(Table 1).



OPEN ACCESS

Citation: Han SM, Kim YT, Won OJ, Choi KH, Rho YH, Park KW. 2016. The importation of genetically modified crops and its environmental impacts in Korea. Korean Journal of Agricultural Science 43:215-220.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160024>

Editor: Chang-Gi Kim, KRIBB, Korea

Received: April 8, 2016

Revised: May 30, 2016

Accepted: May 31, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Global cultivation area of GM crops, 1996 to 2014 (James, 2014).

GM crops	Cultivation areas (Million Hectares)										
	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2013	2014
Total	1.7	27.8	44.2	58.7	81.0	102.0	125.0	148.0	170.3	175.2	181.5
Soybean	0.5	14.5	25.8	36.5	48.4	58.6	65.8	73.3	80.7	84.5	90.7
Maize	0.3	8.3	10.3	12.4	19.3	25.2	37.3	46.8	55.1	57.4	55.2
Cotton	0.8	2.5	5.3	6.8	9.0	13.4	15.5	21.0	24.3	23.9	25.1
Canola	0.0	2.4	2.8	3.0	4.3	4.8	5.9	7.0	9.2	8.2	9.0

그 동안 GM 기술의 발전된 생산성은 농가 수입을 증대시키고 경제적 이득을 창출해 2013년 GM 작물로 얻은 세계 농가의 수입은 약 205억 달러였다(Brookes and Barfoot, 2015). 또한 GM 작물 재배 지역에서 제초제와 살충제의 사용량은 이전에 비해 약 5억 5,000만 kg이 줄어 이에 따른 Environmental Impact 표지도 19%나 하락하였다(Brookes and Barfoot, 2015). 한편 GM 작물의 재배로 인해 토양 경작에 사용되는 에너지 및 연료 사용이 감소하여 이산화탄소의 저감 효과로도 이어졌다. 즉 2013년 GM 작물 재배로 자동차 93만대가 1년 동안 배출한 이산화탄소 양과 동일한 20억 9,600만 kg의 이산화탄소가 절감된 것으로 추정되었다(Brookes and Barfoot, 2015).

하지만 일찍이 이와 같은 GM 작물의 경제적 또는 환경적 장점에 대한 주장과 더불어 GM 작물의 상업화가 환경에 미치는 잠재적 위해성에 대한 경고도 함께 있었다(Snow and Palma, 1997). 그러나 한국의 경우 매년 상당한 양의 식품 가공용 또는 사료용 GM 작물을 수입하는 실정이지만 수입된 GM 작물이 국내 환경에 미치는 영향에 대한 구체적인 조사나 연구는 현재까지 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문은 GM 작물로부터 야기될 수 있는 혼입, 교차수분에 의한 유전자 이동 그리고 GM 작물의 유통과 수송 과정 중 일어날 수 있는 비의도적 방출 등에 관한 기존의 연구 사례들을 고찰하여 수입된 GM 작물이 국내 환경에 영향을 미칠 가능성을 살펴보고자 한다.

GM 작물의 잠재적 위험성

2000년 한국의 총 식량자급률은 55.6% 이었으나 2011년 45.2%로 감소하여 3년 연속 50% 미만으로 보고되었으며 2014년에도 49.8%로 여전히 50% 이상의 수준으로 회복되지 못하고 있는 실정이었다. 콩도 2014년 자급률이 35.9%에 머물렀고 옥수수는 그보다 훨씬 적은 4.2%에 불과하였다(Table 2). 그리하여 2015년 식품 가공용과 농업용 GM 작물이 전체 약 1,023만 7천톤이 수입되었고 그 비용은 약 23억 6천만 달러에 이르렀으며(Table 3) 이중 GM 콩과 옥수수의 수입도 꾸준히 증가하여 2015년 각각 약 102만 9천톤 그리고 약 111만 6천톤이 수입되었으며 그 비용은 각각 약 4억 3천만 달러와 약 2억 3천만 달러가 소요되었다(Table 4).

Table 2. Degree of food self-support in Korea (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016).

Year	Total	Soybean	Maize
2005	53.6	30.9	3.4
2006	52.7	40.4	3.5
2007	51.5	36.0	3.1
2008	51.8	29.5	4.9
2009	56.2	33.8	5.6
2010	54.1	32.4	3.8
2011	45.2	26.1	3.6
2012	45.7	30.8	3.4
2013	47.5	29.6	4.5
2014	49.8	35.9	4.2

Unit: %.

Table 3. GM crops imported to Korea 2009-2015 (Korea Biosafety Clearing House, 2015).

Year	Total		Food		Agriculture	
	GW ^z	Price	GW	Price	GW	Price
2009	7,280	1,774	1,372	500	5,908	1,274
2010	8,482	2,137	1,916	620	6,567	1,517
2011	7,809	2,687	1,831	803	5,978	1,899
2012	7,884	2,687	1,959	859	5,925	1,827
2013	8,876	2,862	1,680	734	7,196	2,128
2014	10,821	3,122	2,283	935	8,538	2,187
2015	10,237	2,364	2,145	662	8,092	1,702

Unit: 1,000 tons, million dollars.

^z GW: Gross weight.**Table 4.** GM soybean and maize imported to Korea 2009-2015 (Korea Biosafety Clearing House, 2015).

Year	Total		Soybean		Maize	
	GW ^z	Price	GW	Price	GW	Price
2009	1,372	500	901	418	471	82
2010	1,916	620	923	388	993	233
2011	1,831	803	806	461	1,025	343
2012	1,959	859	897	536	1,052	324
2013	1,680	734	729	430	918	280
2014	2,283	935	1,021	555	1,262	380
2015	2,145	662	1,029	433	1,116	229

Unit: 1,000 tons, million dollars.

^z GW: Gross weight.

아직 국내에는 GM 작물이 상업적으로 재배되고 있지는 않지만 수입과 유통 과정에 의해서 GM 작물이 기존 작물에 혼입되는 일이 발생할 수 있다. 이를 대비해 이미 유럽에서는 2003년부터 법적 규정을 통한 유전자 변형 생물체(GMO)의 표시와 그로부터 생산된 식품과 사료 제품의 추적으로 GM 작물의 혼입 가능성을 억제하고 있다(European Commission, 2003). 그러나 그 같은 법적인 규제에도 불구하고 재배지 인근에서 비 GM 작물과 GM 작물과의 교차수분 발생 등에 의한 원인으로 GM 유전자 자체의 비의도적인 이동이 일어날 가능성이 여전히 남아 있다. 예를 들어 옥수수 화분이 비록 크고 무겁지만 여러 실험들을 통해 특정 환경에서 매우 먼 거리까지 비산하는 것이 밝혀졌다(Brookes et al., 2004; Devos et al., 2005; Emberlin et al., 1999; Treu and Emberlin, 2000). 하지만 교차수분이 실질적으로 일어날 가능성은 화분의 비산 방향과 거리에 따라서 달라지고(Jones and Brooks, 1950) 그밖에 재배지의 크기, 품종과 개화시기, 기후와 습도 등에 따라서도 크게 좌우됨으로 유럽 연합에서는 교차수분에 의한 이종교배의 가능한 빈도를 0.9%로 낮게 보고한 바 있다(Messean et al., 2009; Squire et al., 2011). 따라서 GM 작물 재배지가 아닌 야생에서 GM 작물이 발생한다면 이것은 대부분 비의도적으로 방출된 GM 종자가 잠재적인 원인일 것이다. 비의도적인 GM 작물 종자의 유출은 대부분 항구나 사료 및 식품 공장 근처 지역에서 발생하는 것으로 파악되고 있다. 이렇게 유출된 GM 종자가 발아 후 생육하고 개화하여 또다시 새로운 GM 종자를 형성할 가능성이 있으나 그 유출 장소가 산업화 시설들이 밀집해 있는 곳이기 때문에 농업 지역의 기존 작물로 유전자 이동이 일어날 확률은 매우 낮다고 보여진다(EFSA, 2004). 하지만 매우 낮은 확률임에도 불구하고 유전자 이동의 가능성은 여전히 조금이라도 남아있기 때문에 GM 유전자의 형질이 기존 농업 지역으로 침투하여 비의도적으로 재배될 위험성은 항상 존재한다. 가장 우려되는 것은 유출된 GM 종자가 발아하여 GM 작물 개체들의 출현으로 이어지고 또다시 유전자 이동을 통해 GM 유전자 형질이 기존 재배 작물로 섞일 가능성이다. 또한 GM 작물 재배에 널리 사용되는 제초제 glyphosate의 경우 환

경독성 이하 수준이지만 재배지 인근 20-30%의 지표수 샘플에서도 검출되고 있는데(Cook et al., 2010) 이처럼 농경지 외 야생 생태계에 이르기까지 지속적으로 제초제가 유출된다면 제초제 저항성 개체들이 높은 생존율로 선택될 가능성이 있다.

GM 작물의 모니터링

1995년 제초제 내성 GM 유채가 캐나다에서 상업적 재배작물로 허용되었고 현재는 그 재배량이 서부 캐나다에서 자라고 있는 유채의 95%를 넘고 있어 여러 해 동안 캐나다의 넓은 지역을 대상으로 그 재배지 주변과 인근 도로변까지 조사한 결과 GM 유채의 유출은 인근 재배지의 규모 및 수확물의 수송량과도 밀접하다는 것이 밝혀졌다(Knispel and McLachlan, 2010). 미국에서도 도로변을 따라 재배지 밖에서 자라고 있는 GM 유채의 개체군을 조사하여 각각 전체 조사 개체수의 41%에 해당하는 glyphosate 저항성과 39%의 glufosinate 저항성 그리고 0.7%의 두 제초제에 대한 중복 저항성 개체들이 발견되었으며 이는 각기 다른 제초제 대한 저항성을 나타내는 GM 유전자형들의 결합 또는 유전자 이동의 증거로 의심되었다(Meredith et al., 2011). 일본의 경우 GM 유채의 수입과 유통 과정 중 GM 유채가 일본의 주요 항구 근처에서 자라는 것이 발견된 바 있다(Aki et al., 2011). 일본의 연구자들은 유출된 GM 유채가 자연 식물 생태계에 어떤 부정적인 영향을 미치는지 관찰하고자 2004년 7월부터 2005년 12월까지 카시마 항구 근처 19곳의 장소를 조사하였는데 그 중 4곳에서 GM 유채 집단이 발견되었으며 이 중 2곳은 조사 종료 시점까지 지속적으로 그 집단들이 유지되었다. 한국 역시 식품과 사료용 GM 작물의 수입이 계속해서 늘어나고 있어 비의도적인 GM 작물의 유출이 발생할 가능성이 매우 높다. 한국에서도 수입된 GM 작물의 수송 도중 일어날 수 있는 비의도적 환경 방출 여부가 조사된 바 있다. Kim et al. (2006)은 2005년 PCR을 이용한 GM 작물의 transgene 검출법을 이용해 대두와 옥수수 재배지와 주요 곡물 수입항 인근 도로가를 대상으로 조사한 결과 재배지로부터 GM 작물은 발견되지 않았으나 인천항 인근 도로가에서 한 개체의 GM 옥수수를 발견하여 비의도적 환경 방출에 대한 지속적인 모니터링의 필요성을 강조하였고 뒤이어 Lee et al. (2009)도 2006년 국내 인천의 주요 곡물 수입항 인근 도로가에서 4개체의 GM 옥수수를 발견하였다. 한편 Park et al. (2010)은 2007년 2 곳의 주요 수입항과 15 곳의 지방 사료 공장 그리고 14 곳의 축산농가를 대상으로 GM 옥수수의 유출 여부를 조사하였다. 그 결과 수입된 대부분의 사료용 옥수수 종자들은 모두 GM 작물로 판정되었고 이들 중 약 50%가 발아가 가능하였으며 곡물이 저장되는 항구의 주변과 사료 공장으로 수송되는 도로 근처에서 유출된 많은 옥수수 종자를 찾을 수 있었다. 유출된 종자로부터 발아된 것으로 의심되는 옥수수 식물체는 인천항 주변에서 발견되지 않았으나 군산항 주변에서 18 개체의 온전한 옥수수 식물체를 발견하였고 특정 이벤트 PCR 분석법으로 3개의 옥수수 이벤트(NK603, Mon810, TC1507) 유무를 확인한 결과 이중 15 개체가 GM 옥수수임을 확인하였다. 또한 8 개체의 GM 옥수수 식물체가 4 곳의 사료 공장 주변과 2 곳의 축산농가 근처에서 발견되었다. 하지만 연구자들은 대부분의 GM 옥수수 개체가 발견된 장소가 항구나 산업 공단 안에 위치하고 있어 옥수수가 재배되고 있는 지역과는 거리가 멀어 교잡이나 유전자 이동에 따른 환경적 영향은 매우 어려울 것이라고 주장하였다.

Conclusion

GM 작물은 상업적인 재배가 시작된 이래 세계적으로 널리 그 재배 면적과 유통량이 매년 증가하고 있는 추세이며 경제적으로 긍정적인 효과를 가져왔다고 여겨졌다. 또한 GM 작물 재배로 인한 농기계 및 화학 비료와 농약 사용량의 감소라는 환경에 대한 긍정적인 측면도 있었다. 하지만 GM 작물의 비 GM 작물로의 혼입이나 GM 작물의 비의도적인 방출과 이에 따른 유전자 이동 가능성에 관한 논란도 간과할 수 없는 문제이다. 특히 많은 농산물의 소비를 수입에 의존하는 한국은 GM 작물의 수입과 유통에 관한 LMO (Living Modified Organism)법을 2001년에 제정한 이래

로 국내 GM 작물의 수입이 지속적으로 가파르게 증가하여 2014년부터 연간 1,000만 톤을 넘어섰다. 따라서 앞으로 GM 작물에 대한 법률적인 관리뿐만 아니라 GM 작물의 잠재적 환경 위해성 평가도 매우 중요하게 되었다(Korea Biosafety Clearing-House, 2015). 특히 일본에서 2005년에 항구 인근에서 수입된 GM 유채가 자라고 있는 것이 발견된 바 있고 한국에서도 2005년부터 2007년까지 항구와 사료 공장 등의 인근에서 수입된 GM 옥수수가 자라고 있는 것이 발견된 사례들은 GM 작물의 비의도적인 방출의 결과에 대한 경각심을 불러 일으키기에 충분하다(Aki et al., 2011; Kim et al., 2006; Lee et al., 2009; Park et al., 2010). 그 동안 GM 작물의 방출에 대한 모니터링은 환경 위해성 평가 방법으로 많이 활용되지 않았지만 앞으로는 GM 작물의 실질적인 환경 위해성 여부를 정확하게 평가할 수 있는 중요한 잣대가 될 것이라 여겨진다. 또한 GM 작물이 유통되는 지역 특성과 수송 과정 그리고 그 소비 패턴까지 고려한 다양한 모니터링 방법이 적용되어야 할 것이다. 그 밖에도 미국에서 유전자 이동의 결과로 의심되는 제초제 중독 저항성 개체들이 발견된 사례처럼(Meredith et al., 2011) 그 가능성은 낮으나 환경에 매우 심각한 영향을 끼칠 수 있는 GM 작물과 보통 작물과의 교잡 또는 잡초와의 이종교배에 의한 GM 유전자의 이동 발생 여부 역시 작물 재배지를 비롯하여 그와 밀접한 인근 생태계를 대상으로 면밀히 지속적으로 모니터링 할 필요성이 있다.

Acknowledgements

본 연구는 미래창조과학부 한국연구재단(National Research Foundation of Korea)의 기초연구사업지원(NRF-2015M3B6A5022473)으로 수행되었습니다.

References

- Aki M, Yasuyuki Y, Hiroyuki S, Kazuhito M. 2011. Persistence of feral populations of *Brassica napus* originated from spilled seeds around the Kashima seaport in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* 45:181-185.
- Brookes G, Barfoot P, Mele E, Messeguer J, Benetrix F. 2004. Genetically modified maize: pollen movement and crop coexistence. pp. 3-20. PG Economics Ltd.
- Cook SK, Wynn SC, Clarke JH. 2010. How valuable is glyphosate to UK agriculture and the environment? *Outlooks Pest Management* 21:280-284.
- Devos Y, Reheul D, De Schrijver A. 2005. The co-existence between transgenic and non-transgenic maize in the European Union: A focus on pollen flow and cross-fertilization. *Environmental Biosafety Research* 4:71-87.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2004. Opinion of the scientific panel on genetically modified organisms on a request from the commission related to the notification (Reference C/NL/98/11) for the placing on the market of herbicide-tolerant oilseed rape GT73, for import and processing, under Part C of Directive 2001/18/EC from Monsanto. *EFSA Journal* 29:1-19.
- Emberlin J, Adams-Groom B, Tidmarsh J. 1999. A report on the dispersal of maize pollen. Soil Association: National Pollen Research Unit, University College Worcester, USA.
- European Commission. 2003. Regulation No 1830/2003 of the European parliament and of the council of 22 September 2003 concerning the traceability and labeling of genetically modified organisms and the traceability of food and feed products produced from genetically modified organisms and amending directive 2001/18/EC. *Official Journal of the European Union* 268:24-28.
- Brookes G, Barfoot P. 2015. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2013. PG Economics Ltd. Accessed in <http://www.pgeconomics.co.uk/pdf/2015globalimpactstudyfinalMay2015.pdf> on 31 Sep. 2015.
- James C. 2014. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) Briefs No. 49.

- Jones MD, Brooks JS. 1950. Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn. p. 18. Oklahoma Agricultural Experimental Station, Technical Bulletin T-38.
- Kim CG, Yi H, Park S, Yeon JE, Kim DY, Kim DI. 2006. Monitoring the occurrence of genetically modified soybean and maize around cultivated fields and at a grain receiving port in Korea. *Journal of Plant Biology* 49:218-223.
- Knispel AL, McLachlan SM. 2010. Landscape-scale distribution and persistence of genetically modified oilseed rape (*Brassica napus*) in Manitoba, Canada. *Environmental Science and Pollution Research* 17:13-25.
- Korea Biosafety Clearing-House. 2015. Current status of LMOs. Accessed in <http://www.biosafety.or.kr> on 20 Sep. 2015. [in Korean]
- Lee B, Kim CG, Park JY, Park KW, Kim HJ, Yi H. 2009. Monitoring the occurrence of genetically modified soybean and maize in cultivated fields and along the transportation routes of the Incheon Port in South Korea. *Food Control* 20: 250-254.
- Meredith GS, Andrew AR, Jason PL, Connie AB, Lee EH. 2011. The establishment of genetically engineered canola populations in the U.S. *PLOS ONE* 6:e25736.
- Messean A, Squire GR, Perry JN, Angevin F, Gomez-Barbero M. 2009. Sustainable introduction of GM crops into European agriculture: A summary report of the FP6 SIGMEA research project. *Journal francais des Oléagineux* 16:37-51.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2016. Degree of food self-support in Korea. Accessed in <http://www.mafra.go.kr/> on 14 Jan. 2016. [in Korean]
- Park KW, Lee B, Kim CG, Kim DY, Park JY. 2010. Monitoring the occurrence of genetically modified maize at a grain receiving port and along transportation routes in the Republic of Korea. *Food Control* 21:456-461.
- Snow AA, Palma PM. 1997. Commercialization of transgenic plants: Potential ecological risks. *BioScience* 47:86-96.
- Squire GR, Breckling B, Dietz-Pfeilstetter A, Jorgensen RB, Lecomte J. 2011. Status of feral oilseed rape in Europe: its minor role as a GM impurity and its potential as a reservoir of transgene persistence. *Environmental Science and Pollution Research* 18:111-115.
- Treu R, Emberlin J. 2000. Pollen dispersal in the crops maize (*Zea mays*), oilseed rape (*Brassica napus* sp. *oleifera*), potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beet (*Beta vulgaris* sp. *vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*). Soil Association: National Pollen Research Unit, University College Worcester, USA.