Korean Journal Of Agricultural Science

pISSN : 2466-2402
eISSN : 2466-2410

PLANT&FOREST

Assessment of environmental impact of vitamin A-enhanced soybeans and hybrid soybeans

Sung-Dug Oh†, Ji Eun Choi†, Ye-Jin Jang, Seong-Kon Lee, Gang-Seob Lee, Ancheol Chang, Doh-Won Yun*

Department of Agricultural Biotechnology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju 54874, Korea

† These authors equally contributed to this study as first author.
* Corresponding author: dwyun@korea.kr

Abstract

An understanding of safety problems pursuant to environmental release of GM (Genetically Modified) crops is considered important. Among the recognized safety problems, the possibilities of weediness and ecosystem invasion are constantly being validated. We herein compared the growth characteristics and germination rate of soybeans formed by hybridization with vitamin A-enhanced soybeans carrying an introduced gene that increases β-carotene content. We also examined overwintering, survival, and weed competitiveness to evaluate hybrid ecological impact on long-term unmanaged cultivatable land. These studies revealed that the hybrid soybeans exhibited intermediate growth characteristics and germination rate compared with the vitamin A-enhanced soybeans and wild soybeans, or exhibited traits similar to those of the maternal strain. Overwintering experiments were conducted by planting seeds at depths of 0, 5, 10, and 20 cm and recovering them after three or five months. After five months, all seeds at depths more than 5 cm lost viability. Among seeds recovered after three months, only wild soybeans retained viability at depths of more than 5 cm. Survival and weed competitiveness were assessed by sowing each type of seed and performing no irrigation, or pest or weed control. Quantitative assessment of numbers of individual soybean plants that appeared in the experimental plot revealed that all plants germinated after sowing, but only wild type plants survived overwintering. These studies suggest that both GM soybeans and hybrid soybeans cannot survive in uncultivated land even if they are released into the environment, which indicates less possibility of ecosystem invasion and weediness.

Keywords: ecosystem invasion, GM (genetically modified) soybean, hybrid soybean, weediness

Check for updates

OPEN ACCESS

Citation: Oh SD, Choi JE, Jang YJ, Lee SK, Lee GS, Chang A, Yun DW. Assessment of environmental impact of vitamin A-enhanced soybeans and hybrid soybeans. Korean Journal of Agricultural Science 50:749-758. https://doi.org/10.7744/kjoas.500413

Received: October 06, 2023
Revised: October 28, 2023
Accepted: November 01, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

생명공학기술의 발달을 바탕으로 인공적으로 원하는 유용 유전자를 작물의 유전체 내에 삽입시켜 의도적으로 특성을 가지게 되는 GM (genetically modified) 작물은 1994년 미국에서 개발된 GM 토마토를 시작으로 GM 면화, 콩, 옥수수 등이 개발되었다(Bawa and Anilakumar, 2013). 1996년부터는 본격적인 GM 작물의 상업화가 시작되었으며, 재배 면적은 170만 ha에서 시작되어 2018년에는 1,914 백만 ha에 도달했다(Cho et al., 2020). 그중 콩은 전체 GM 작물의 재배 면적 중 48%를 차지하고 있다(KBCH, 2021). 최근 총 24개국에서 재배용으로 GM 작물을 승인했으며 43개국에서 식용, 사료용 및 가공용으로 수입하였다. 현재 많은 나라에서 GM 작물을 재배하여 상업화하고 있지만, 전 세계적으로 건강 및 환경에 대한 문제는 논쟁이 지속되고 있다(Kim, 2003; Park et al., 2018; KBCH, 2021).

국내에서는 GM 잔디, 벼, 콩, 토마토, 배추, 사과, 유채 등 다양한 작물의 연구가 활발히 진행되며, 제초제 및 병해충 저항성이나 농업 생산성을 높이기 위해 유해 성분을 감소시킨 작물 등의 연구 결과를 내었지만 아직까지 상업적 재배 목적으로는 승인 받지 못했다. 그럼에도 불구하고 기존 작물에 GM 작물이 혼입 되거나 수입된 GM 작물을 운송하던 중 낟알이 떨어져 비의도적으로 환경 방출될 수 있다(Han et al., 2016; Dong et al., 2017; Yook and Kim, 2022). 실제 국내에서 2017년에 승인되지 않은 GM 유채와 GM 면화의 환경 방출이 되어 GM 작물에 대한 환경 영향과 안전관리에 대한 우려가 제기되고 있다(Choi and Kim, 2022). 이러한 상황들은 GM 작물이 환경에 미치는 위험성, 유전자 이동 가능성, 잡초화, 생태계 교란 등에 대한 안전성 문제로 끊임없이 대두되고 있는 실정이다(Lim et al., 2014).

GM 작물을 이용하기 위해서는 2008년부터 시행된 “유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률(Living Modified Organism, LMO법)”에 따라 환경에 대한 위해성 평가가 실시되어야 한다. 항목으로 유전자 이동 및 잡초화 가능성, 침입성, 우점화, 병 발생 및 곤충상 발생 조사 등이 있지만, 그 중 특히 중요하게 고려하는 사항 중 하나가 GM 작물의 환경 방출 시 자연 생태계를 침입하여 생물 다양성 감소와 생태계 교란을 일으킬 가능성이다(Lim et al., 2014; Kim et al., 2020).

GM 작물의 침입 또는 잡초화 가능성 평가에 대한 기존의 해외 연구는 유채를 이용해서 토양에 매몰한 후 종자의 수명(Hails et al., 1997) 과 파종 후 관리하지 않고 자연 환경에서의 침임성과 지속성(Crawley et al., 2001) 의 연구가 있으며, 국내 연구에서는 제초제 저항성이 있는 벼를 이용하여 일반 품종의 벼와 생장 특성을 비교하며 토양 상태의 차이로 인한 종자의 월동 후 발아율(Lee et al., 2006)등을 연구하였다.

현재 GM 옥수수와 면화는 비의도적인 환경 방출 시 전국적으로 근연 야생종과 잡초종이 자생하지 않아 자연 교잡 가능성이 낮지만, GM 유채와 벼, 콩에 대해서 전국적으로 근연종과 야생종이 자생하여 자연 교잡 가능성이 높은 작물이기 때문에 생태계에 더 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다(Yook and Kim, 2022).

콩은 대표적인 자가수분 식물이나, 일반적인 자연환경 조건에서의 타가수분율(outcrossing rate)은 0.5% 미만이며, 50 cm 이내의 밀식 재배와 같은 최적 교잡 조건에서는 2% 이상으로 보고되었다(Lee et al., 2018). GM 콩과 야생콩 간의 교잡에 대한 다양한 연구가 있었지만, 야생콩과 GM 콩간의 교잡종에서 전이된 도입 유전자의 안정성, 세대간 유전 및 교잡종의 활성 평가에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다(Guan et al., 2015). 국내에서는 GM콩(부본)에서 야생콩(모본)으로 유전자 이동된 개체 선발과 교잡개체에 대한 종자 발아 특성과 생육 특성을 조사 및 보고하였다(Oh et al., 2020).

따라서 본 연구는 비타민 A 전구체인 베타카로틴 증진과 제초제 내성의 특성을 지닌 비타민 A 강화콩과 교잡된 야생콩이 주변 생태계에 미치는 영향에 대해 조사하고자 수행하였다. 이를 위해 개발된 교잡종의 월동성, 휴면성 등을 조사하여 잡초화 가능성을 예측하고 관리하지 않는 환경에 방출되었을 때의 생존력 및 주변 식물들과의 경합성을 분석하기 위한 장기 환경 영향 평가를 실시하였다.

Materials and Methods

실험재료

실험에 공시재료로 사용된 GM 콩의 경우 광안콩(*Glycine max*)을 모본으로 카로티노이드 합성 유전자인 *Psy*와 *Crt*I 유전자를 도입하여 베타카로틴 함량이 증진되도록 개발된 비타민 A 강화콩(β-PAC, SP7-3-1)을 이용하였다(Oh et al., 2020). 또한, *bar* 유전자를 선발마커로 사용해서 글루포시네이트(Glufosinate) 제초제 선발이 가능하다. 야생콩(*Glycine soja*)은 경북대학교에서 분양 받은 PI483463을 사용하였다. 비타민 A 강화콩과 야생콩의 교잡종 개발을 위해 비타민 A 강화콩과 야생콩을 LMO격리온실에서 50공 포트에 파종 후, 2주간 재배 후, 12각 포트에 정식하였다. 개화기를 일치시키기 위해 비타민 A 강화콩을 5월 31일 기준으로 7일 간격으로 5회로 나뉘어서 파종시기를 다르게 파종하였으며, 야생콩 (PI483463)은 5월 31일에 파종하여 6월 14일에 정식하였다. 개화일은 야생콩은 개화기가 8월 12일로 관측되어 5차 파종된 비타민 A 강화콩의 개화일(8월 10일)과 유사하여 교잡을 유도하기 위해 비타민 A 강화콩과 야생콩을 교차 배열하여 재배하였다. 교잡 유도된 야생콩의 종자는 3,769개를 수확하였으며, 수확된 종자들을 파종 및 육성한 후, 제초제(glufosinate ammonium, Basta) 처리하여 총 8개의 교잡 개체를 선별하였다. 제초제 저항성 개체들에 대해서는 PAT (phosphinothricin acetyltransferase) 단백질을 검정할 수 있는 진단막대(LL Immunostrip Test Kit, Strategic Diagnostic Inc., USA)를 사용하여 검정을 수행하였다. F1종자 8개체에서 F2 종자 3,786립을 수확하였으며, 이 교잡 개체들의 후속세대를 육성하여 본 실험의 교잡콩의 연구 재료로 사용하였다. 교잡콩은 GM 콩을 부본으로 야생콩을 모본으로 하였으며, 실험에 대한 대조구로 모품종인 광안콩을 사용하였다(Oh et al., 2020).

GM 콩과 야생콩 및 교잡콩의 잡초화 가능성

GM 콩과 교잡콩이 방출할 시 환경에 대한 위해 요소를 평가하고자 생육 특성 및 월동성 등의 잡초화 가능성을 조사하였다. 모든 실험은 전라북도 전주시 국립농업과학원 LMO 격리포장(RDA-가AB-2013-041)에서 수행하였다.

GM 콩과 광안콩, 야생콩, 교잡콩에 대한 생육 특성 및 발아율 조사의 실험은 국립농업과학원 LMO 격리포장에서 2017년부터 2019년까지 100 - 500립씩 3년간 조사하였다. LMO 격리 포장 내 비닐온실에서 50공 포트에 파종 후 LMO 격리 포장에 60 × 30 cm간격으로 식재하였다. 실험 재배는 관행 재배에 따라 수행하였다. 콩의 생육 특성 평가는 농촌진흥청에서 발간 된 「농업과학기술 연구 조사분석 기준」에 의해 조사를 실시하였다(RDA, 2012). 경장, 도복, 분지수, 절수, 협수에 대해 조사 분석하였다. 도복 정도는 성숙기에 45° 이상 기울어진 개체의 비율로 등급화하였다. 등급은 '0' 없음, '1' 5% 이하, '3' 6 - 10%, '5' 11 - 50%, '7' 51 - 75%, '9' 76% 이상을 기준으로 조사되었다.

GM 콩과 야생콩 및 교잡콩의 종자 수명

토양에 매립 후 품종별 종자의 수명 조사를 위해 각 수확한 종자를 품종별로 100립씩 무작위로 선별한 후 적색 다용도망(12 cm × 18 cm)에 넣어 0, 5, 10, 20 cm의 깊이로 토양에 매립하였다. 월동 기간은 3개월과 5개월로 처리하였으며, 실험구는 매립 깊이별로 실시하였다(Fig. 1).

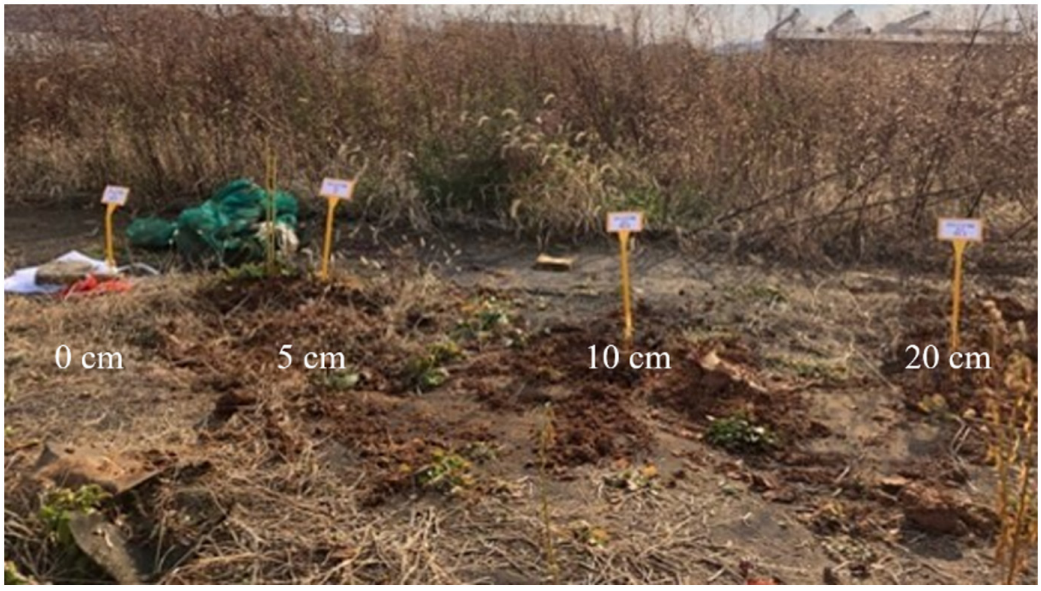

Fig. 1. Photo of field composition for germination rate test after wintering of 4 types of soybeans.

매립하기 전 초기 종자 활력은 국립종자원에서 고시하는 종자검사요령(KSVS, 2017)과 ISTA (2010)를 참고하여 조사하였다. 각 품종별로 100립씩 4반복하였다. 증류수를 이용해 종자를 25°C에서 24시간 담근 후 여과지를 깔고 페트리디쉬 안에 넣어 파종 및 배양하였다. 10일 동안 발아율을 조사하였으며, 발아하지 않은 종자는 종피에 배가 상처받지 않게 약간의 상처를 낸 후 다시 10일 동안 발아율을 조사하였다.

매립 후 각각 3개월과 5개월이 되는 때에 종자가 담긴 망을 수거하여 종자 발아율의 비교 분석을 수행하였다. 증류수로 종자를 세척 후 초기 활력을 검정할 때처럼 페트리디쉬 안에 넣어 파종 및 배양 후 10일간 발아율을 조사하여 활력을 판단하였다.

자연환경에서 GM 콩과 야생콩 및 교잡콩의 생존 지속성

장기 환경 영향 평가는 GM 콩과 교잡콩이 자연환경에서 생존했을 때 발생할 수 있는 경합력 및 침입성 등의 항목을 조사하기 위해 실시되었다. GM 콩과 교잡콩의 대조구로 모본인 야생콩과 모품종인 광안콩이 사용되었으며, 국립농업과학원 LMO 격리포장에서 수행하였다.

각 실험구의 크기는 3 m × 3 m이며, 실험구 사이에 0.6 m의 간격을 두고 주위 둘레를 잡초 방지용 부직포로 덮었다(Fig. 2). 실험구에는 품종별마다 종자를 100립씩 파종하였으며 3반복 난괴법으로 실시하였다. 실험 기간 동안 배수 및 병해충, 시비 관리는 하지 않았으며 출현한 콩과 식물들이 서로 경합할 수 있도록 방치하였다.

실험구 내에 출현한 콩의 개체 수는 2017년에는 파종 후 10일 이후부터 매주 1회, 2019년에는 매월 1회씩 실험구 발생된 콩 개체 수를 조사하였다. 또한, 2017년 7월부터 2019년 11월까지 매월 1회 실험구에서 발생하는 식물체에 대한 동정과 종별 발생 개체 수를 조사하였다.

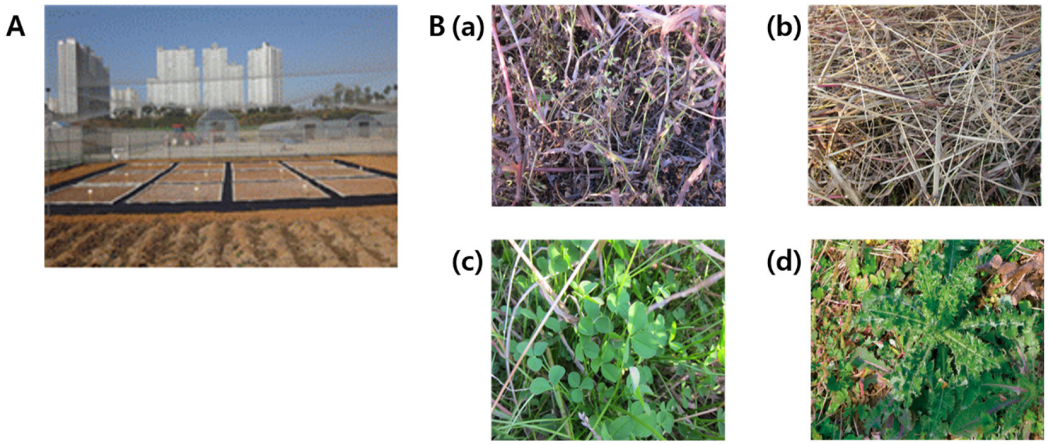

Fig. 2. A, field photo over 3 years. B, photos of weeds that were dominant among all plants that appeared in the experimental plot (a) *Centipeda minima* (b) *Digitaria ciliaris* (c) *Trifolium repens* (d) *Sonchus asper*.

Results and Discussion

품종별 생육 특성 및 발아율 평가

각 품종별 생육 특성 및 발아율 실험은 1차년도부터 3차년도까지 3반복으로, 종자 파종 수는 2017년도 100립, 2018년도 400립, 2019년도 500립으로 진행하였다.

품종별 생육 특성은 2017년부터 2019년도까지의 3년간 데이터의 평균값 분석 결과, GM 콩과 교잡콩 및 야생콩 간의 유의한 차이가 확인되었다. 각 품종별마다 경장, 도복, 분지수, 절수, 협수를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 조사한 결과 교잡콩의 경장 길이와 분지수 및 절수는 GM 콩과 야생콩에 비해 증가하였고, 협수는 중간 형질을 나타내는 것을 알 수 있다. 재배종인 광안콩의 경우 GM 콩과 비슷한 생육 특성을 보였다. 도복 특성의 경우는 야생콩에서 제일 높게 나타났으며 광안콩과 GM 콩에서 제일 낮게 나타났고, 교잡콩은 모본과 비슷한 특성을 가짐으로써 야생콩보다는 낮지만 GM 콩보다는 높은 것을 알 수 있었다(Table 1).

Table 1. Growth characteristics of four varieties of soybeans in stem length, lodging, number of branches, number of nodes and number of pods.

Varieties	Year	Stem length (cm)	Lodging (0 - 9)	No. of branches	No. of nodes	No. of pods
GM	2017	46.6 ± 2.1	3	2.4 ± 0.5	4.8 ± 1.1	305.0 ± 87.0
	2018	73.4 ± 3.5	3	3.5 ± 0.7	6.1 ± 1.5	222.8 ± 76.5
	2019	68.2 ± 6.8	3	5.4 ± 1.2	5.0 ± 1.7	181.1 ± 34.0
WT	2017	118.0 ± 16.4	9	2.8 ± 0.8	3.6 ± 0.9	1558.6 ± 292.0
	2018	130.9 ± 13.1	9	3.2 ± 0.9	6.1 ± 1.9	889.5 ± 241.3
	2019	141.3 ± 13.4	9	1.0 ± 0.0	7.7 ± 1.6	1,041.1 ± 339.7
GW	2017	73.6 ± 20.9	9	1.0 ± 0.0	5.6 ± 0.9	54.4 ± 8.3
	2018	78.6 ± 21.6	9	4.1 ± 1.2	6.3 ± 1.1	111.2 ± 177.3
	2019	192.3 ± 47.6	7	7.0 ± 2.0	8.6 ± 3.0	480.8 ± 306.1
Kwangan	2017	66.2 ± 7.4	3	2.0 ± 0.7	5.0 ± 1.0	295.7 ± 79.0
	2018	67.3 ± 8.7	3	3.6 ± 0.7	6.1 ± 1.6	167.1 ± 54.4
	2019	63.8 ± 4.8	3	5.0 ± 1.1	4.5 ± 1.5	166.2 ± 43.8

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

품종별 발아율의 조사 결과는 3년 평균 광안콩이 95.15%의 제일 높은 발아율을 보였으며, GM 콩과 야생콩은 각각 87.18, 81.45%의 발아율, 교잡콩이 가장 낮은 69.98%의 발아율을 보였다(Table 2).

Table 2. Comparison of germination rate of four varieties of soybeans.

Varieties	Year	Germination rate (%)
GM	2017	95.00
	2018	83.75
	2019	82.80
WT	2017	80.00
	2018	92.75
	2019	71.60
GW	2017	78.70
	2018	63.75
	2019	67.50
Kwangan	2017	96.00
	2018	92.25
	2019	97.20

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

Kim 등(2015)과 Zhao 등(2008)의 보고에 의하면 유채의 교잡종의 특성은 양친의 중간형이거나 모본 쪽에 더 가까운 형태를 보인다고 한다. 또한 Oh 등(2020)의 실험 결과 또한 교잡 유도된 야생콩이 모본과 유사한 생육 및 발아 특성을 나타냈다. 이러한 결과들과 본 실험의 결과와 같은 것으로 보아 교잡콩의 생육 특성은 유전자 및 작물에 영향을 받지 않고 모본과 비슷한 특성인 것으로 사료되었다.

GM 콩 및 교잡콩의 월동성 평가

GM 콩과 교잡콩의 월동성 평가를 위해 대조군으로 모본인 야생콩과 모품종인 광안콩을 사용하여 실험을 수행하였다. 종자 100립씩 0, 5, 10, 20 cm 매립 후 각 3개월, 5개월 간 처리했을 때 품종별 월동 후 발아율을 분석 한 결과, 3개월 처리 후 매립 10 cm 이상에서는 야생콩을 제외한 모든 품종이, 5개월 처리 후 매립 깊이가 5 cm 이상에서는 야생콩을 포함한 모든 품종들이 발아되지 못하였다. 3개월 처리 후 매립 깊이 0 cm에서는 GM 콩을 제외한 품종들의 발아율은 약 50% 전후로 나타났다(Table 3). 이를 통해 교잡콩의 활력 유지 기간은 부본인 GM 콩에 비해 길고 야생콩보다 짧은 것을 알 수 있었다.

Table 3. Germination rate after overwintering four varieties of soybeans at various landfill depths for 3 and 5 months.

Landfill depth (cm)	Landfill period (month)	Germination rate (%)			
		GM	WT	GW	Kwangan
0	3	2	57	58	47
	5	4	63	23	10
5	3	0	33	11	0
	5	0	0	0	0
10	3	0	40	0	0
	5	0	0	0	0
20	3	0	59	0	0
	5	0	0	0	0

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

자연환경에서 GM 콩과 교잡콩의 생존 지속성

비경작 환경에서의 GM 콩과 교잡콩의 생식 지속 능력을 평가하고자 수행하였다. 1차년도에 파종된 후 발아되어 자라난 개체들의 생태 및 개체 수 변화를 3차년도까지 비교 조사하였다. 그 결과 2017년도에 100립씩 3반복으로 파종한 300립 중 발아된 교잡콩의 개체 수는 1개체로 0.3%의 발아율을 보였다. 부본인 GM 콩과 광안콩은 0개체로 0%의 발아율을 보였으며, 모본인 야생콩은 13개체로 4.3%의 발아율을 보였다. 이후 2차년도의 발아된 콩 개체수는 야생콩을 제외한 모든 품종에서 발견되지 않았으며 야생콩에서는 73개체로 증가되고, 교잡콩은 1개체가 감소하는 것을 확인하였다. 처음 파종한 콩 종자 수와 비교했을 때 약 0.04%만 생존한 것이다(Table 4). 이와 같은 결과는 GM 콩과 교잡콩의 종자가 방출되더라도 자연환경에서는 발아될 수 있으나 월동 후에는 정상적으로 생육이 어렵다는 것을 보여주고 있다.

Table 4. Viability of four varieties of soybeans for three years.

Varieties	Repeat	Investigation period		
		1st year (10/30.) No. of sows	2nd year (10/30.) No. of individuals	3rd year (5/12.) No. of individuals
GM	I	100	0	0
	II	100	0	0
	III	100	0	0
WT	I	100	3	27
	II	100	8	29
	III	100	2	17
GW	I	100	1	0
	II	100	0	0
	III	100	0	0
Kwangan	I	100	0	0
	II	100	0	0
	III	100	0	0

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

그러나 방출되는 시기에 따라 종자 생산 여부가 달라질 수 있음에 주의하여야 한다. 본 실험과 Ko 등(2016)의 실험 결과는 9월에서 10월에 파종하여 모든 품종은 초엽기까지만 생장하고 겨울에 고사하여 야생콩을 제외한 모든 품종은 다음 해에 식물체 출현이 관찰되지 않았으나 Kim 등(2020)의 보고에 의하면 6월에 파종했을 경우는 파종한 해에 종자 생산까지 가증하며 2개월 정도 활력을 유지하고 월동이 가능한 것을 확인했다고 한다. 이와 같이 GM 콩 종자가 비의도적으로 환경 방출되는 경우 정착하기 어렵고 생태계를 침입하는 가능성은 거의 없지만 조심하여야 함을 나타내고 있다.

GM 콩과 교잡콩의 잡초 경합력

장기 영향 평가용 생태포에서 품종별 콩의 개체 수 뿐만 아니라 발생하는 식물의 식생의 변화 또한 조사하였다. 전체 포장에서 콩을 제외하고 13종의 식물 출현을 확인하였으며(Table 5), 중대가리풀, 바랭이, 토끼풀, 큰방가지똥 순으로 잡초가 우점되었다(Fig. 2). 73개체가 생존하는 야생콩은 잡초들과 경합되는 상태였으며, 그 외에 실험구에서는 잡초들이 우점된 상태였다.

Table 5. Overall plant composition and frequency over 3 years.

Species	GM	WT	GW	Kwangan
Aster subulatus var. *sandwicensis*	55	48	51	48
Canadian horseweed	31	31	33	40
Erigeron annuus	4	14	8	16
Centipeda minima	0	1,190	623	976
Setaria faberi	500	207	231	277
Echinochloa crus-galli	40	56	22	37
Persicaria nodosa	1	0	0	1
Trifolium repens	1,200	0	765	350
Digitaria ciliaris	567	889	568	358
Taraxacum officinale	0	1	0	10
Artemisia indica Wild.	0	0	0	1
Vicia dasycarpa Ten.	1	16	0	0
Potentilla kleiniana	0	0	1	0
Sonchus asper	0	240	287	0
Total	2,399	2,692	2,589	2,114

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

2차년도 장기 생태포의 실험구별 조사된 잡초에 대해 우점도 지수(dominance index) 및 풍부도 지수(richness index), 다양도 지수(diversity index), 균등도 지수(evenness index)를 분석하였다. 우점도 지수는 최소 0.725에서 최대 0.899로 매우 높았으며 그에 반해 균등도 지수는 0.467에서 0.681로 낮게 나타났다. 이는 실험구에서 중대가리풀, 바랭이, 토끼풀의 개체수가 다른 종에 비해 상대적으로 많이 분포하고 있기 때문이었다. 풍부도 지수는 야생콩과 교잡콩 실험구에서 각각 0.801, 0.841를 보여 GM 콩과 광안콩 실험구의 0.621, 0.691보다 높게 나타났다. 이는 포장 내 실험구의 배치에 의한 영향으로 추정된다. 다양도 지수는 각 실험구에서 0.751에서 1.326으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Community analyses of weeds investigated by experimental zone of long-term ecology.

Indices	GM	WT	GW	Kwangan
Dominance (DI)	0.881	0.801	0.725	0.899
Diversity (H')	0.751	1.105	1.326	0.936
Evenness (EI)	0.467	0.568	0.681	0.522
Richness (RI)	0.621	0.801	0.841	0.691

GM, genetically modified; WT, wild type (*Glycine soja*); GW, vitamin A enhanced transgenic soybean × wild type soybean hybrid F2; Kwangan, *Glycine max*.

Conclusion

GM 작물의 환경 방출로 인해 발생하는 안전성 문제는 중요하게 생각되고 있다. 그 중 잡초화 및 생태계 침입 가능성은 끊임없이 대두되고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구는 베타카로틴 함량이 증가하는 유전자를 도입한 비타민 A 강화콩과 교잡으로 형성된 교잡콩의 생육 특성 및 발아율을 비교하고, 장기적으로 관리되지 않는 재배지에서 생태에 미치는 영향을 평가하기 위해 월동성과 생존력 및 잡초경합력을 조사하였다. 교잡콩의 생육 특성과 발아율은 부본인 비타민 A 강화콩과 모본인 야생콩의 중간 형질을 나타내거나 모본의 형질과 유사하게 나타난 것을 확인하였다. 월동성 실험은 종자를 0, 5, 10, 20 cm 깊이로 3, 5개월 매립하여 수행하였다. 그 결과 5개월 후 깊이가 5 cm 이상일 때는 모든 종자가 활력을 잃었으며, 3개월 후 5 cm 이상은 야생콩을 제외한 종자가 활력을 잃은 것을 확인했다. 생존력과 잡초경합력은 100립씩 3반복으로 진행하였으며, 관수와 병해충 및 잡초 관리를 하지 않았다. 실

험구에 출현한 콩 개체 수를 조사했을 때 파종 후 모두 발아했지만 야생콩을 제외한 식물체들은 월동하지 못했다. 이를 통해 GM 콩과 교잡콩 모두 환경 방출이 되어도 비경작지에서는 정착하지 못하여 생태계 침입과 잡초화 가능성은 거의 없을 것이라고 사료된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ016726, PJ0136803)의 지원으로 수행되었습니다.

Authors Information

Sung-Dug Oh, https://orcid.org/0000-0001-8574-6773
Ji Eun Choi, https://orcid.org/0009-0003-5308-5255
Ye-Jin Jang, https://orcid.org/0009-0001-0539-4198
Seong-Kon Lee, https://orcid.org/0000-0002-0939-9391
Gang-Seob Lee, https://orcid.org/0000-0001-7470-798X
Ancheol Chang, https://orcid.org/0009-0008-8890-7761
Doh-Won Yun, https://orcid.org/0000-0002-6633-5685

References

Bawa AS, Anilakumar KR. 2013. Genetically modified foods: Safety, risks and public concerns-a review. Journal of Food Science and Technology 50:1035-1046.

Cho JI, Park SH, Lee GS, Kim SM, Lim SM, Kim YS, Park SC. 2020. Current status of GM crop development and commercialization. Korean Journal of Breeding Science 52:40-48. [in Korean]

Choi Y, Kim BS. 2022. Domestic environmental release of genetically modified crops: Focusing on the government-NGOs joint environmental assessment. Civil Society and NGO 20:409-443. [in Korean]

Crawley MJ, Brown SL, Hails RS, Kohn DD, Ress M. 2001. Transgenic crops in natural habitats. Nature 409:682-683.

Dong CM, Kim JW, Kang JH, Park JY, Kim GD, Kong HJ. 2017. Development status and safety management trends of genetically modified crops. The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 29:1872-1881. [in Korean]

Guan ZJ, Zhang PF, Wei W, Mi XC, Kang DM, Liu B. 2015. Performance of hybrid progeny formed between genetically modified herbicide-tolerant soybean and its wild ancestor. AoB Plants 7:plv121.

Hails RS, Ress M, Kohn DD, Crawley MJ. 1997. Burial and seed survival in *Brassica napus* subsp. *oleifera* and *Sinapis arvensis* including a comparison of transgenic and non-transgenic lines of the crop. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 264:1-7.

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. [in Korean]

ISTA (International Seed Testing Association). 2010. International rules for seed testing, edition 2010. ISTA, Bassersdorf, Switzerland.

KBCH (Korea Biosafety Clearing House). 2021. Major statistics on genetically modified organism in 2019. KBCH Report No. 2021-01. KBCH, Daejeon, Korea. [in Korean]

Kim DY, Eom MS, Kim HJ, Pack IS, Park JH, Park KW, Nam KH, Oh SD, Kim JK, Seo JS, et al. 2020. Assessing invasiveness of genetically modified soybean expressing human epidermal growth factor gene. Weed & Turfgrass Science 9:119-128. [in Korean]

Kim KS, Lee YH, Jang YS, Choi IH. 2015. The cross ability and the phenotypic characteristics of F1 hybrid in the interspecific crosses between *Brassica napus* and *B. campestris*, *B. rapa*. Korean Journal of Plant Resources 28:119-125. [in Korean]

Kim T. 2003. The regulatory framework for genetically modified agricultural products in Korea. Extension Bulletin Food and Fertilizer Technology Center 527:1-8.

Ko EM, Kim DY, Kim HJ, Chung YS, Kim CG. 2016. Assessing weediness of herbicide tolerant genetically modified soybean. Korean Journal of Agricultural Science 43:560-566. [in Korean]

KSVS (Korea Seed & Variety Service). 2017. Rules for seed testing. KSVS, Gimcheon, Korea. [in Korean]

Lee B, Oh SD, Chang A. 2018. Influence of gene flow from GM to non-GM soybeans by the size of the pollen donor. Korean Journal of Agricultural Science 45:591-600. [in Korean]

Lee SY, Kim HJ, Kim MS, Han SS. 2006. Evaluation of crossability, seed dormancy and overwintering ability in glufosinate ammonium-resistant GM rice and their hybrids with non-GM and weedy rice. Korean Journal of Crop Science 51:53-58.

Lim JH, Shim MS, Oh KH, Seo JY, Lee SY, Park SK, Shin HK, Cho MR. 2014. Assessment of substantial equivalence and environmental risk for event selection of genetically modified Chrysanthemum. Horticultural Science and Technology 32:517-524. [in Korean]

Oh SD, Jang YJ, Park SY, Suh SJ, Lee B. 2020. Characterization of hybrid soybean seeds between β-carotene enhanced transgenic soybean and wild Soybean. Weed & Turfgrass Science 9:129-139. [in Korean]

Park SH, Cho JI, Kim YS, Kim SM, Lim SM, Lee GS, Park SC. 2018. National program for developing biotech crops in Korea. Plant Breeding and Biotechnology 6:171-176.

RDA (Rural Development Administration). 2012. Agricultural science technology research analysis standard 5th ed. pp. 414-430. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]

Yook MJ, Kim DS. 2022. Natural hybridization between GM crops and relative species in the Korean ecosystem. Weed & Turfgrass Science 11:337-351. [in Korean]

Zhao ZG, Hu TT, Ge XH, Du XZ, Ding L, Li ZY. 2008. Production and characterization of intergeneric somatic hybrids between *Brassica napus* and *Orychophragmus violaceus* and their backcrossing progenies. Plant Cell Reports 27:1611-1621.