

<표지>

(옆면)

(앞면)

317073-2

농업생명산업기술개발 사업 제2차 연도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-002903-01

잔류 생물체의 조기 사멸 기술 개발  
LMO 유채 발견지 식생 분포 · 유전자 이동성 조사 및

LMO 유채 발견지 식생 분포 · 유전자 이동성  
조사 및 잔류 생물체의 조기 사멸 기술 개발  
최종보고서

(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)

2019

2019.11.18.

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

주관연구기관 / 국립농업과학원  
협동연구기관 / 경북대학교  
충남대학교  
서울여자대학교

농림축산식품부  
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “LMO유채 발원지 식생 분포·유전자 이동성 조사 및 잔류 생물체의 조기 제거 기술 개발”(개발기간 : 2017.11. ~ 2019.8.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019.8.30.

주관연구기관명 : 국립농업과학원 (대표자) (인)  
협동연구기관명 : 경북대학교 (대표자) (인)  
충남대학교 (대표자) (인)  
서울여자대학교 (대표자) (인)

주관연구책임자 : 손 수 인  
협동연구책임자 : 박 순 기  
협동연구책임자 : 조 진 용  
협동연구책임자 : 이 훈 복

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	317073-2	해 당 단 계 연 구 기 간	1	단 계 구 분	1(해당단계)/ 1(총 단 계 )
연구 사업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농업생명산업기술개발			
연구 과제 명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	LMO유채 발견지 식생 분포·유전자이동성 조사 및 잔류생물체의 조기 사멸 기술 개발			
연구 책임자	손수인	해당단계 참여연구원 수	총: 28명 내부: 28명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 300,000천원 민간: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 28명 내부: 28명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 300,000천원 민간: 천원 계: 천원
연구기관명 및 소속부서명	국립농업과학원 생물안전성과			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및	보안 필요 (내부검토중인 사항)				

사유	
----	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

본 연구과제는 2017년 5월 11일 태백 문곡소도동 유채꽃 축제지에서 미  
 승인 LM유채가 발견된 이후로 LMO의 비의도적 환경방출에 따른 환경  
 영향조사를 위해 추진된 과제로서, 2년간 발견지/주변 환경영향조사 및  
 LM유채 조기제거를 위한 연구결과를 도출해 내었음. 2년간 **6회의 유관기  
 관 자체 환경영향조사**(국립농업과학원 주관, 농식품부, 농림축산 검역본  
 부, 국립중자원 참여)와 **4회의 민관합동 환경영향조사**(국립농업과학원 주  
 관, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여)가 추진되었고 그 결과 미승인 LM  
 유채 발견지 **총 98개소** 중 전남 신안을 제외한 **97개소가 일반관리 지역**  
 으로 전환되었음. 본 과제를 통해 미승인 LM작물 환경영향조사 매뉴얼과  
 LM유채 제거를 위한 물리·화학·생물학적 방제 매뉴얼이 확립되었고, LM  
 유채 조기제거를 위한 후속작물 재배법이 개발됨

보고서 면수  
72

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>1. 연구개발목표 ○LM 유채 GT73의 비의도적 환경방출에 대한 주변 환경 식생조사 및 유전자 이동성 연구를 통한 환경영향 최소화</p> <p>2. 연구내용 ○LM 유채(이벤트명:GT73) 발견지 주변 환경 식생 분포 조사 분석(전국 단위, 4개 권역별) - 4개 권역 : 경기·강원, 충남·북, 전남·북·제주, 경남·북 - 발견지 주변 지리적 특성(지형, 지물) 및 위치(GPS 등) 조사 - 주변 환경 동종/근연종 작물 재배현황, 식생 환경 및 근연종 분포 조사 - 유채 발견지별 재 발생 현황 조사 및 LMO 검정 분석 ○LM 유채(이벤트명:GT73) 발견지 내 및 주변 환경 유전자 이동성 연구(전국단위, 4개 권역별) - 4개 권역 : 경기·강원, 충남·북, 전남·북·제주, 경남·북 - LM 유채 발생 밀도, 빈도, 분포 및 주변 식물상 조사 - 재발생 LM 유채의 생육특성 및 월동성 조사 - 주변 식물(재배종/근연종 포함)로의 유전자 이동성 조사 - 유채 교잡종 후대의 생존, 생육특성 및 유전자 이동성 조사 - 조사·분석결과를 종합한 환경 영향 분석 ○재발생 LM 유채 처리 및 효율적 관리 방안 연구 - LM 유채 재배 폐기 후 관리 유형에 따른 재발생 빈도 조사 비교 분석 · 후속 재배작물 및 재배 유형에 따른 LM 유채 생존가능 기간 및 빈도 조사 · 제초제 처리 등 적극적 관리조치에 따른 LM 유채 생존가능 기간 및 빈도 조사 - LM 유채가 후속 재배작물 생육에 미치는 영향 조사 - 후속작물 재배에 따른 LM유채 발생억제 또는 폐기처리 효과 조사</p>				
<p>연구개발성과</p>	<p>○ (정책적지표) - LM 유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합보고서 1건 - LM 유채의 유전자 이동성 평가 및 효율적 안전관리 매뉴얼 1건</p> <p>○ (연구기반지표) 비SCI급 1편</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>○ 본 연구를 통해 LM 유채 발견지의 유전자이동성 예측이 가능할 것으로 기대</p> <p>○ 본 연구에서 제시할 매뉴얼은 LM 유채로부터 근연종으로의 유전자이동 및 잡초화 등의 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대</p>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	유채	환경방출	근연종	유전자이동성	월동성
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	canola	environmental release	relative species	gene flow	over wintering

<본문목차>

< 목 차 >

1장. 연구개발과제의 개요 ..... 6  
1절. 연구개발 목적, 필요성 및 연구범위 ..... 6  
1-1. 연구개발 목적 ..... 6  
1-2. 연구개발의 필요성 ..... 6  
1-3. 연구개발 범위 ..... 6  
2장. 연구수행 내용 및 결과 ..... 8  
1절. 연구수행 내용 ..... 8  
1-1. 1차년도 연구내용 ..... 8  
1-2. 2차년도 연구내용 ..... 8  
2절. 연구결과 ..... 9  
3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... 57  
1절. 목표 ..... 57  
2절. 목표달성여부 ..... 57  
4장. 연구결과의 활용 계획 등 ..... 59  
붙임. 참고 문헌 ..... 60

- <별첨> 연구개발보고서 초록
- <별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서
- <별첨> 연구성과 활용계획서

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농업생명산업기술 개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

# 1장. 연구개발과제의 개요

## 1절. 연구개발 목적, 필요성 및 연구범위

### 1-1. 연구개발 목적

- 미승인 LM유채 발견지 주변 환경 식생 분포조사 및 유전자 이동성 연구
- 우리나라 환경에서 LM유채로부터 생태계로의 유전자 이동성 평가에 대한 기초자료 확보
- 후속작물 재배에 따른 LM유채 재발생에 대한 영향 분석 자료 확보
- 물리적·화학적 방법에 의한 LM유채 조기제거 연구를 통해 가장 효과적인 LM유채 안전관리 방안 구축

### 1-2. 연구개발의 필요성

- 우리나라는 배추종자 수출국으로서 십자화과 작물은 경제적으로 매우 중요함
- LM 유채는 전 세계적으로 그 재배면적이 증가하고 있는 LM 작물 중 하나이고 LM 유채의 비의도적 환경방출에 의한 잡초화 가능성에 대한 안전관리 대책을 수립해야 함
- 유전자변형 유채의 경우 효과적인 잡초방제, 관리의 편의성, 수확량 증가, 관리비용 절감 등의 목적으로 glufosinate-ammonium과 glyphosate등의 제초제 저항성 작물들이 가장 많이 개발되어 재배되고 있음
- 우리나라는 유전자변형 유채의 재배를 승인하지 않고 있으며 LMO법에 의해 철저히 관리하고 있음
- 우리나라의 식량자급률은 25% 정도로서, 외국농산물에 대한 수입의존도가 높고, LMO-FFP (Food, Feed, Products: 식품, 사료, 생산품)로 수입되는 곡물들은 많은 부분이 LMO일 가능성이 높으며, 운송 과정 중에 국내환경에 비의도적으로 노출될 가능성이 높음에 따라 이를 대비한 안전대책 마련이 시급한 상황임
- 해외에서는 LM유채가 이미 개발되어 재배 유통되고 있으며 일부 비의도적/의도적인 LM작물의 환경유출로 잡초화 및 유전자이동 등의 문제가 되고 있음
- 국내에서도 LM곡물의 환경방출 사례가 지속적으로 나타나고 있으므로 이러한 환경방출 시 유전자이동 등의 환경위해성이 우려되고 LM작물 집단 생육지 발견 시 체계적인 대응방안 마련이 요구됨
- 유채는 국내에서 잡초화가능성이 크고, 타가수분률이 높아 화분에 의한 유전자이동이 가능하며 갓, 무, 배추 등의 십자화과 근연종과의 교잡이 가능하여 철저한 관리가 요구되는 작물임
- LM 유채의 비의도적 환경방출에 대한 발생지 및 주변 환경영향조사, 유전자이동성 연구를 통해 LM 유채의 생태지속성 분석 및 효율적인 관리 방안을 구축하고자 함

### 1-3. 연구개발 범위

- 본 연구과제 연구개발범위는 1) 미승인 LM유체에 대한 전국환경영향조사 2) LM유체 유전자 이동 가능성 분석 3) 물리 화학적 방법을 이용한 LM유체 종자 및 재발생 식물체의 조기 제거 기술 개발 4) 후속 작물 재배에 따른 LM유체 발생 억제 효과 조사이다.
- 미승인 LM유체 발견지 전국 98개소 대상지 및 주변 환경 식생 분포조사 및 유전자 이동성 연구
- LM유체 전국환경영향조사 결과 분석을 통한 LM 유체 발견지 효율적 관리체계 구축
- 후속작물 재배에 따른 LM 유체 발생억제 효과 조사
- LM 유체 종자 및 재발생 식물체의 조기 제거 기술 개발
- LM유체 발견지별 환경영향 종합 분석 및 조기 제거를 위한 현장 적용 매뉴얼 개발
- 후속작물 재배에 따른 LM유체 발생억제 또는 폐기처리 효과 조사
- 물리 화학적 처리방법에 따른 LM 유체의 재발생 양상에 미치는 영향 분석

표 2-1. 권역별 LM유체 환경위해성

권역	근연종 분포 <sup>a</sup>	유체 월하 가능성	유체 월동 가능성 <sup>b</sup>
북부: 경기·강원	적음	높음	낮음
중부: 충북·충남·경북	보통	높음	보통
남부: 전북·전남·경남	많음	높음	높음

<sup>a</sup>무, 갓 등

<sup>b</sup>유체 재배 한계: 1월 최저 평균 기온  $-5^{\circ}\text{C}$ 로 북방 한계는 대전

표 2-2. 종자용 미승인 LM유체 환경방출지 98개소 현황

시도	시군구
특별·광역시	서울1, 인천3, 대전1, 세종1, 광주2, 대구2, 부산3, 울산2
강원	춘천1, 태백1, 평창1, 인제2, 원주1
경기	수원2, 부천1, 과천1, 광주1, 이천1, 화성1, 용인2, 안성6, 연천1, 파주2
충북	괴산1, 영동1, 음성1, 진천2, 청주3, 충주1
충남	예산1, 서천2, 당진1, 홍성2, 공주1, 보령1
전북	고창2, 임실1, 무주1, 군산2, 부안1, 완주1, 익산2
전남	순천1, 화순1, 나주1, 무안1, 영암2, 강진1, 신안3, 진도4
경북	군위1, 영청1, 의성1, 칠곡1, 구미1
경남	거제2, 김해1, 남해2, 사천1, 통영4, 함양1, 합천1
제주	제주1

## 2장. 연구수행 내용 및 결과

### 1절 연구수행 내용

#### 1-1. 1차년도 연구내용

##### 가. 주관연구기관 (국립농업과학원)

- 전라·제주 지역 LM유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
- 일반 유채를 대상으로 자연환경에서 십자화과로의 유전자이동성 분석 포장 조성
- 유채와 타 십자화과 작물의 월동성 및 월하성 분석 포장조성

##### 나. 제1협동연구기관 (경북대학교)

- 경상지역 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
- GM개체의 DNA를 추출, 도입유전자 유전자형 분석: 유전자이동성 검정
- 후속작물 재배에 따른 LM유채 발생억제 효과를 조사하기 위해 경관보존식물 중 코스모스, 메밀, 헤어리베치를 대상으로 LM유채와 혼파하여 후속작물 재배에 따른 LM 유채 발생양상 구명

##### 다. 제2협동연구기관 (충남대학교)

- 충청지역 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
- 비선택성 경엽처리 제초제인 glufosinate 처리시기 및 약량 조사
- 재발생지역의 재배 작물의 종류를 고려한 선택성 경엽처리 제초제 선발

##### 라. 제3협동연구기관 (서울여자 대학교)

- 경기·강원권 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리

#### 1-2. 2차년도 연구내용

##### 가. 주관연구기관(국립농업과학원)

- 전라·제주 지역 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
- LM유채 전국환경영향조사 결과 분석을 통해 종합보고서 작성 및 LM 유채 효율적 안전관리 매뉴얼 작성
- 1차년도 일반 유채를 대상으로 자연환경에서 십자화과로의 유전자이동성 여부 결과 조사 분석
- 1차년도 유채와 타 십자화과 작물의 월동성 및 월하성 결과 조사분석

##### 나. 제1협동연구기관(경북대학교)

- 경상지역 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사

- LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
- GM개체의 DNA를 추출, 도입유전자 유전자형 분석: 유전자이동성 검증
- 후속작물 재배에 따른 LM유채 발생억제 효과를 조사하기 위해 중경관보존식물로서 보리와 호밀을 대상으로 LM유채와 혼파하여 후속작물 재배에 따른 LM 유채 발생양상 구명다. 제2협동연구기관(충남대학교)
  - 충청지역 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
  - LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
  - 토양깊이에 따른 유채종자의 휴면, 발아율, 출아율 조사
  - 경운에 따른 유채종자의 토양내 잔존률 및 종자수명 조사
  - 유채종자의 생육억제를 위한 발아전처리 제조제 선발
  - 조사지역의 생태적 특성을 고려한 제거기술 현장적용 매뉴얼 개발
- 라. 제3협동연구기관(서울여자대학교)
  - 경기·강원권 LM 유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사
  - LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리
  - 유채 발견지 LM 유채 GPS/GIS 자료 입력 및 통계분석을 통한 장기 변화 예측



## 2절. 연구결과

<제1세부:국립농업과학원> LMO유채 발견지 식생 분포·유전자이동성 조사 및 잔류생물체의 조기사멸 기술개발

# 1. 미승인 LM유채 발견에 따른 사후관리 및 전국 환경영향조사

## 가. LM유채 발견

LM유채는 2017년 5월 11일 태백 문곡소도동 체험공원에서 국립종자원 조사결과 최초로 발견되었다. 발견된 LM유채는 다국적 기업인 몬산토사가 개발한 'GT73'이고, 제초제인 글라이포세이트에 저항성을 가지는 제초제저항성 유채이다. 우리나라에서는 식품의약품안전처와 농촌진흥청으로부터 각각 식품용·사료용으로 승인된 바 있지만 종자용으로는 승인된 바 없다. 태백 문곡소도동 체험 공원은 2017년 6월 2일부터 6일까지 개최될 유채꽃 축제를 위해 그 해 3월 25일 유채 종자를 파종하였다. LM유채로 판명될 당시 유채의 생육단계는 대부분 유식물 단계에 있었고 소수 개체가 개화기로 접어들고 있었다. 현장의 유채 폐기를 위해 국립종자원 주관·농촌진흥청 입회하에 현장 격리 후 3회 경운을 실시하였고 경운이 어려운 부분은 손제초를 통해 유채를 제거하였다. 경운 후에는 글라이포세이트, 글루포시네이트 성분이 포함된 제초제를 살포하여 혹시 경운에서 살아남을 유채까지 완전히 제거할 수 있도록 조치하였다. 그 이후로 국립농업과학원, 국립종자원의 자체조사와 시민단체가 함께하는 민관합동조사에서 이 지역은 유채가 발견되지 않고 있다. 이와 같이 유채가 성공적으로 제거될 수 있었던 것은 발견 당시 유채의 생육단계가 개화 전이었고, 즉각적으로 경운과 제초제 살포 등을 통해 유채를 폐기함으로써 유채가 더 이상 확산되지 않도록 하였기 때문이다.



Figure 1. 최초 LM유채 발견지 및 주변 환경영향조사

a. LM유채 발견당시 태백시 체험공원, b. 유식물 단계의 유채, c. 이벤트명 GT73으로 판명된 유채, d. 혼재하는 유채와 근연종인 갯, e. 발견지인 태백시 체험공원 주변 천변, f. 천변 및 도로가에서 발견된 유채의 야생근연종인 나도유렵냉이

## 나. 후속조치

### (1) 사후관리를 위한 안전관리 대책팀 구성 및 운영

태백에서 최초 발견 이후 5월 17일부터 현재까지 미승인 LM유채 사후관리를 위해 농식

품부 주관의 안전관리대책팀이 구성·운영되고 있다. 분야별로 종합대책반인 농식품부는 LMO 안전관리에 대한 개선대책 마련·추진, 검역과정 및 수출국 경위 조사 등 LM유채 유출 원인을 조사하였고, 현장대응반인 종자원과 농관원은 유채종자 수입업체 추적조사, 불법종자 법적조치, 현장조사 및 폐기처리를, 환경영향조사반인 농촌진흥청은 종자원의 유채 발견지 폐기 기술지원과 환경영향조사를, 국경검역반인 검역본부는 시료채취, 조사방법 개선 및 중국산 유채 종자에 대한 non-GMO 증명서 요구 등 농림축산업용 LMO 관련 농산물 수입검사 강화를 담당하고 있다.

(2) LM유채 전수 조사 및 폐기 추진

안전관리대책팀이 '16.1월 이후 수입된 유채종자, 유채축제지, 재배농가에 대한 전수조사, 현장 확인 및 폐기를 추진하였다. 중국산 수입업체 10개사(79.6톤)를 조사한 결과 4개사(32.5톤)에서 LM유채 혼입사례를 발견하였고 혼입의심된 32.5톤 중 16톤은 이미 종자를 폐기하였거나 음성으로 확인되었고, 나머지 16.5톤은 재식된 것으로 파악되어 사후관리를 추진하였다. 최종적으로 16.5톤에 해당하는 유채 방출 지역은 전국 70개 시군구, 총 98개소로 파악되었으며, 전체 면적은 721.73ha에 달하였다. 총 98개소 중 농촌에 위치한 지역이 74개소, 도시 인근 12개소, 도시내 택지나 공원 등이 12개소이다. 유채가 발견된 지역은 국립종자원이 주관하고 국립농업과학원 입회하에 현장 상황에 따라 경운, 제초제 살포, 손제초, 매몰, 소각 등의 방법으로 폐기 처리 하였다.

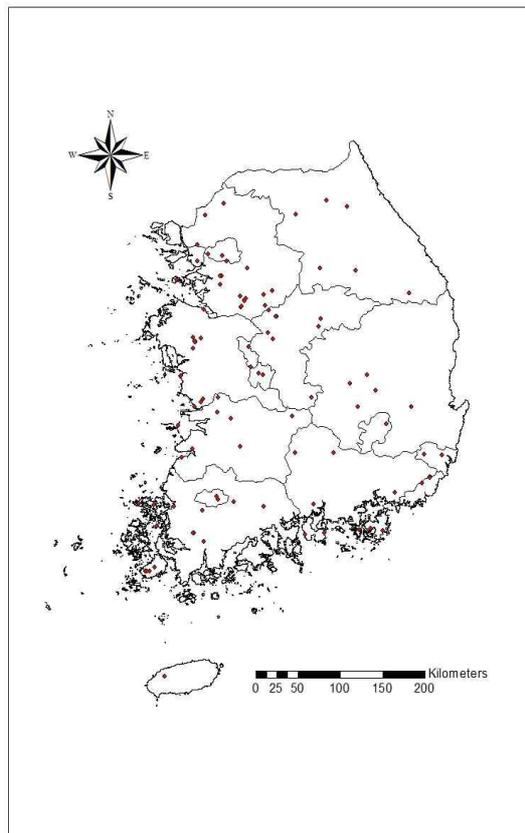


Figure 2. LM유채가 발견된 전국 98개 대상지 권역별 위치

## 다. LM유채 발견지 전국 환경영향조사

### (1) 제1차 민관합동조사

LM유채 발견지에 대한 폐기 처리 후 사후관리 추진에 대하여 유관기관 및 시민단체와의 정보 공유 및 향후 개선방안 모색을 위한 국립종자원 주관 제1차 민관합동 환경영향조사가 실시되었다. 조사기간은 2017년 7월 3일부터 7월30일까지였고, 시민단체, 농식품부, 농촌진흥청, 검역본부, LMO 소관부처(산업부, 미래부, 복지부, 환경부), 지자체 등 관계자 135명이 도별 8개 반을 편성하여 조사에 참여하였다. 조사결과 조사대상 95개소 중 81개소(85%)는 관리가 양호하였고, 14개소는 간헐적으로 발아하는 개체가 발견되어 지속적인 모니터링 및 관리가 필요하였다. 시민단체와의 의견을 종합해 볼 때 사후관리 활동은 대체로 긍정적이었으나, 미발아 종자의 발아가능성 대비 지속적 확인 및 제거, 하천변 등 재배양상에 따른 광범위한 모니터링, 제거활동 과정에서 보상체계 미비점 보완 및 관할 지자체 역할수행, 그리고 향후 사후관리 및 개선방향에 대한 시민단체 참여 등의 필요성이 제기되었다.

### (2) 제2차 민관합동 환경영향조사

제1차 민관합동조사 후 발견·혼입 의심지 중 식재지(3개소)가 추가로 확인되어 사후관리가 완료된 98개소에 대하여 국립종자원에서부터 관리대상 지역별 관리카드가 농촌진흥청으로 이관되었고, 2017년 9월부터 농촌진흥청 국립농업과학원 주관의 환경영향조사가 시작되었다. 우선 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 LM유채 재발생 현황 조사 및 주변 환경모니터링을 통해 LM유채를 체계적이고 안전하게 관리해 환경영향을 최소화하기 위한 목적으로 「미승인 LM유채 재배지 환경영향조사 요령」을 작성하여 유관기관 및 시민단체에 배포하였다. 환경영향조사 및 관리방안은 LM유채 발견지 유채 재발생 현황조사를 실시하여 생육단계별 재발생 LM유채의 효과적 제거 및 안전관리 방안을 제시하고 LM유채의 개화기 전 안전관리를 통해 근연종으로의 유전자 이동을 조기에 방지한다는 것이다. 환경영향조사는 2년간 조사하고 연 4회이상(민관합동조사 2회, 자체·추가 조사 2회이상) 정기적 현장 방문 조사를 하도록 하였다. 국립농업과학원에서 마련한 환경영향조사 요령을 토대로 2017년 10월23일부터 11월 22일까지 4주간에 걸친 제2차 민관합동 환경영향조사가 실시되었다. 도별 8개 권역별 조사반이 편성되었고, 국립농업과학원 주관, 국립종자원 협조하에 시민단체(친환경농업인연합회, 반GMO전국행동, 한살림 등 14단체) 30명, 관계기관(농진청, 농식품부 검역본부, 종자원 환경부, 지자체) 94명이 조사에 참여하였다. 조사결과는 조사대상 98개소 중 86개소는 관리가 양호하였고 10개소(신안, 진도 2개소, 나주, 통영, 부산, 수안보, 서천, 예산 흥성)는 간헐적으로 발아하는 개체가 발견되고 있어 지속적인 모니터링 및 관리강화가 필요하였다.

Table 1. 조사대상지역 관리현황

대상	조사완료	일반관리 <sup>1)</sup>		중점관리 <sup>2)</sup>	
		1차	2차	1차	2차
98개소	96*	81	86(5↑)	14	10(4↓)

\* 2개소(제주, 흥성)는 11.14., 11.22. 조사예정 1) 유채가 발견되지 않았거나 발아개체가 간

혈적으로 소량 발견되어 현장제거 완료한 지역, 2) 재발생 유체가 다수 발견되어 현장제거 완료하였으나 추후 재발생이 예상되는 지역

- \* 모든 LM유체 발견지 및 주변에 야생갯이 간헐적으로 분포(일부 지역은 무, 배추 재배지 포함)
- \* 주변 근연종에 대한 유전자이동성 분석결과 현재까지 양성 개체 없음

LM유체의 생육특성상 단기가 내 제거가 어렵고 추가발생이 예상되므로 지속적 사후관리가 요구되었고, 특히 유체 재발생이 예상되는 지역(10개소)에 대한 집중관리가 필요한 것으로 사료되었다.



Figure 3. 2017년 제2차 미승인 LM유체 민관합동 환경영향조사. LM유체 재발생 현황 및 단백질 면역 a. 강원도 평창군 평창읍 중부리, b. 경남 통영시 발개로 c. 경남 울산시 울주군 삼남면 교동리, d. 부산시 기장군 일광면 택지 개발 공사 현장

### (3) 2018년 제2차 자체 환경영향조사

미승인 종자용 LM유체 발견지 사후 안전관리를 통한 주변확산 방지를 위한 제2차 자체 환경영향조사가 실시되었다. 조사기간은 2018년 2월 26일부터 3월 13일까지 전국 98개소를 대상으로 하였다. 조사결과 98개소 중 12개소에서 재발생 유체가 발견되었고 그 중 6개소가 양성 유체를 포함하는 것으로 판명되었다. 이 중 3개소(나주, 신안, 진도)는 유체 다발생으로 손제초

가 어려워 종자원 및 지자체에 협조 요청을 통해 폐기처리하였다(4월 완료). 미발생지(충청, 경기, 강원 등)에 대해서는 원인으로 겨울 기온('17.12.~'18.2.)이 평년대비 1.3~2.4℃ 낮아 유채밭아 및 생육지연이 된 것으로 추정되었다. 광범위 재배지 2개소(신안, 진도)는 대규모 파종지역으로서 파종 당시 주변 종자 비산 가능성이 높은 지역으로 추정되어 주변지역에 대한 조사 강화가 필요할 것으로 사료되었다.

Table 2. 대상지 조사현황 (단위: 개소)

조사대상	조사완료	재발생지	시료채취(10)	
			음성	양성
98	96	10*	5	5

\* 재발생지(10개소) : 나주, 광주, 강진, 신안(2개소), 진도, 영암, 통영, 남해, 부산

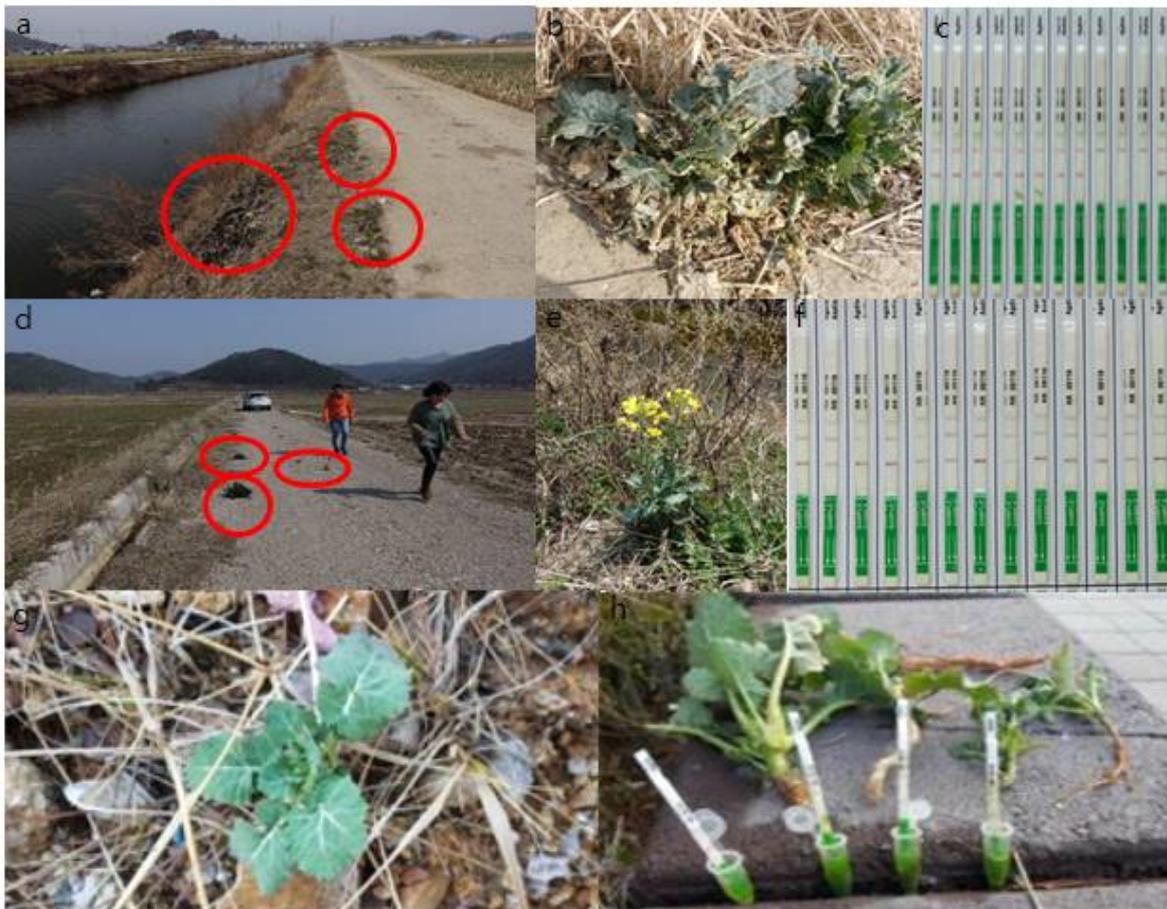


Figure 4. 2018년 제2차 미승인 LM유채 자체 환경영향조사. LM유채 발생현황 및 단백질면역 테스트 결과. a-c, 전남 신안군 임자면 대기리, d-f, 전남 신안군 지산면 삼당리, g-h, 경남 통영시 발개로

(4) 2018년 제3차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사

2018년 제3차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사는 2018년 4월 24일부터 5월 15일까지 전국 98개소를 대상으로 하였고 조사반은 권역별로 8개반을 편성하여 농과원, 농식품부 등

4개 유관기관, 28개 지자체 및 12개 시민단체가 참여하였다. 총 98개소 중 21개소에서 양성개체가 발견되었고 그 중 7개소는 다수 개체가 발견되었다. 관리상태가 양호한 91개소는 일반관리 지역으로 지정하였고 다수개체가 발견된 7개소는 중점관리 대상지역으로 지정하였다. 발견지 주변 근연종(야생갯, 배추)에 대해 단백질면역테스트를 통해 분석한 결과 유전자 이동 개체는 없었다.

Table 3. 조사대상 지역 관리현황 (단위: 개소)

대상	조사완료	일반관리 <sup>1)</sup>			중점관리 <sup>2)</sup>		
		1차 조사 ('17.7.)	2차 조사 ('17.11.)	3차조사 ('18.5.)	1차 조사	2차 조사	3차조사
98개소	98	84	88(4↑)	91(3↑)	14	10(4↓)	7(3↓)

1) 유채가 발견되지 않았거나 간헐적으로 소량 발견되어 현장 제거한 지역

2) 유채(양성개체 포함)가 다수 발견되어 현장제거 하였으나 추후 재발생이 예상되는 지역

\* 양성(21개소) : 안성, 진천(2), 음성, 서천(2), 홍성(내포신도시), 예산, 광주(북구), 나주, 신안(임자면), 진도(3), 대구(동구), 거제(2), 남해(삼동면), 통영(발개로1), 김해, 부산(일광면)

유채 다발생지 7개소에 대한 자체 모니터링 강화 등 지속관리가 필요하고 중·남부 일부 지역에서 월동개체가 발견됨에 따라 제거 작업 시 완전한 뿌리 제거 조치에 대한 지도가 필요할 것으로 사료되었다.



Figure 5. 2018년 미승인 LM유채 제3차 민관합동 환경영향조사 및 단백질면역테스트 결과

Table 4. 제3차 민관합동 환경영향조사 결과 요약

권역 (개소)	일정	조사결과		
		미발견	음성	양성
계(98)	98(100%)	49(50%)	28(28.6%)	21(21.4%)
강원 (6)	5.14 ~ 5.15.	6 춘천, 태백, 평창 인제군 기리면 인제군 남면, 원주	-	-

경기 (22)	4.30.~ 5.4.	15 서울, 인천시 용진군, 인천시 서구, 수원시 입북동, 수원시 당수동, 부천, 광주, 이천, 화성, 용인시 옥산로, 용인시 남사면, 안성시 대덕면, 안성시 죽산면, 연천, 파주 적성면	6 (인천시 연수구, 과천, 안성시 양성면 구장리, 안성시 공도읍 장수길, 안성시 공도읍 송두3길, 파주시 문산읍)	1 (안성시 보개면)
충북 (9)	5.9.~ 5.10.	3 괴산, 영동, 청주시 오창읍	3 (청주 주성동1, 청주 주성동2, 충주)	3 (진천군 교연로, 진천군 교학로, 음성)
충남 (10)	5.9.~ 5.11.	-	6 (보령, 홍성군 충서로, 대전 공주, 세종, 당진)	4 (서천군 기산면, 서천군 장항읍, 홍성 내포신도시, 예산 덕산면)
전북 (10)	5.1.~ 5.3.	5 임실, 무주, 부안, 완주, 익산시 성당면	5 (군산시 옥도면 신시도리, 군산시 옥도면 아미도리, 익산시 오산면 오산로, 고창군 두어리(1), 고창군 두어리(2))	-
전남 (16)	4.24.~ 4.27. 5.2.~ 5.4.	5 순천, 화순, 무안, 신안 지도읍, 광주시 남구	5 (영암군 군서면 월곡리, 영암군 군서면 마산리, 강진 산남군압해읍 대천리 진도군 진도항길)	6 (광주시 동구, 나주, 신안군 임자면, 진도군 지산면 삼당리, 진도군 지산면 상봉암길 진도군 지산면 일대)
경북 (7)	4.25.~ 4.26.	6 군위, 영천, 의선, 칠곡, 대구시 수성구, 구미	-	1 (대구시 동구)
경남 (17)	5.2.~ 5.4.	8 남해군 남면, 부산 모전1길, 부산 모전교, 통영2, 통영3, 통영4, 울산시 울주군, 함양	3 (합천, 사천, 울산시 중구)	6 (남해군 삼동면, 통영1, 거제시 거제면, 거제시 일운면, 김해, 부산 기장군 일광면)
제주 (1)	4.25.	1 제주시	-	-

\* 중점관리지역 7개소: 홍성 내포신도시, 예산 덕산면, 나주, 신안군 임자면, 진도군 지산면 일대, 남해군 삼동면, 통영1

(5) 2018년 제3차 미승인 LM유채 자체 환경영향조사

2018년 제3차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사는 2018년 9월 3일부터 9월 17일까지 전국 98개소를 대상으로 권역별 8개반을 편성하였다. 조사결과는 98개소 중 3개소(충주, 당진, 신안)에서 재발생 유채 발견되었고 1개소(신안)은 양성으로 판명되었다. 조사후 종합토론으로 다발생지인 신안에 대해서는 제거작업과 주변조사를 강화하고 종자원 및 지자체 협력을 통해 수시 조사, 제거 및 지속적 관리 추진이 제시되었다.



Figure 6. 제3차 자체 환경영향조사 및 단백질면역테스트 결과. a-c, 충북 청주시 청원구 주성동(음성), d-f, 전북 군산시 옥도면 신시도리(음성), g-i, 전북 완주군 삼례읍(음성)

(6) 2018년 제4차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사

제4차 민관합동조사는 2018년 10월 22일부터 11월 2일까지 총 12일간 이루어졌다. 조사결과 총 90개소 중 10개소에서 유채가 발견되었고 단백질 면역 검사 결과 6개소의 유채는 음성, 4개소는 양성으로 판명되었다. 4개소 중 유채가 다수 발견된 1개소를 중점관리 대상지역으로 지정하였다. 시민단체와의 환경영향조사 결과 협의회를 통해 유채가 다수 발견된 1개소에 대해서는 추가 점검이 요구되었고, 제1차부터 4차까지 환경영향조사 및 관리를 통해 유채 재발생 지역 및 중점관리 지역의 수가 많이 감소되었으므로 4차에 걸친 조사동안 미발견되었거나 제거 완료 등 재발생 가능성이 낮은 대상지는 조사에서 제외(농촌진흥청 자체조사는 계속 실시)하고 집중적·효율적으로 대상지를 관리할 필요성이 제기되었다.

Table 5. 조사대상 지역 관리현황

(단위: 개소)

대상	일반관리 <sup>1)</sup>				중점관리 <sup>2)</sup>			
	1차 (17.7)	2차 (17.11)	3차 (18.5)	4차 (18.11)	1차	2차	3차	4차
98개소	84	88(4↑)	91(3↑)	97(6↑)	14	10(4↓)	7(3↓)	1(6↓)

- 1) 유채가 발견되지 않았거나 간헐적으로 소량 발견되어 현장 제거한 지역
- 2) 유채(양성개체 포함)가 다수 발견되어 현장제거 하였으나 추후 재발생이 예상되는 지역



Figure 7. 제4차 민관합동 환경영향조사 및 단백질면역테스트 결과. a-d, 충북 충주시 수안보면 중산리(음성), e-g, 충남 홍성 내포신도시(음성), g-i, 전남 신안군 임자면(양성)

Table 6. 2018년 LM유채 제4차 민관합동조사 결과 요약

권역 (개소)	일정	조사결과		
		미발견	음성	양성
강원 (6)	10.30. ~ 10.31.	6 춘천 태백, 평창, 인제 기린면, 인제 남면, 원주	0	0
경기 (17)	10.29. ~ 11.2.	16 부천, 인천 서구, 인천 옹진군, 화성, 수원 임북동, 수원 당수동, 과천, 서울, 파주 적성면, 파주 문산읍, 용인 남사면, 안성 대덕면, 안성 구장리, 안성 조일리, 안성 승두리, 용인 백암면	0	1 연천
충북 (8)	10.24. ~ 10.25.	7 청주 오창, 청주 주성동(1), 청주 주성동(2), 영동, 진천 교학로 진천 교연로	0	1 수안보

충남 (8)	10.23. ~ 10.25.	7 서천군 장항읍(해양생물), 서천군 기산면 보령, 당진, 세종, 대전, 홍성 내포신도시	0	1 예산 덕산면
전북 (10)	10.25. ~ 10.26.	9 익산시 성당면, 익산시 오산면, 군산시 신시도리, 부안, 고창(1), 고창(2), 임실, 무주, 완주	1 군산시 옥도면 야미도리	0
전남 (16)	10.22. ~ 10.26.	11 강진, 신안 지도읍, 무안, 지산면 가치리, 지산면 삼당리, 지산면 진도향길, 나주, 순천, 화순, 광주 동구, 광주 북구	4 영암군 군서면 월곡리 영암군 군서면 마산리 진도군 지산면 일대 신안 압해	1 신안군 입자면 대기리*
경북 (7)	10.23.	7 군위, 영천, 의성, 칠곡, 대구 수성구, 대구 동구, 구미	0	0
경남 (17)	10.25. 10.31. ~11.1.	16 거제 거제면, 거제 일운면, 김해, 남해 삼동면, 부산 모전길, 부산 모전교, 부산 금정구, 사천, 통영4개소, 울산 중구, 울산 삼남면, 함양, 합천	1 남해군 남면	0
제주 (1)	10.30.	1 제주시 애월읍	0	0
계(90)		80(88.9%)	6(6.7%)	4(4.4%)

(7) 2019년 제4차 미승인 LM유채 자체 환경영향조사

2019년 제4차 미승인 LM유채 자체 환경영향조사는 2019년 2월 27일부터 3월 22일 까지 전국 98개소를 대상으로 권역별 8개반을 편성하여 조사를 실시하였다. 조사결과 총 98개소 중 12개소에서 유채가 발견되었고 그중 3개소(신안 입자, 남해 삼동면, 거제 거제면)에서 양성개체 발견(9개소는 음성판명-충주, 군산, 부안, 나주, 영암2(월곡리, 마산리), 신안 진도2(삼당리, 지산면 일대)되었다. 관리상태가 양호한 97개소는 일반관리 대상으로 지정, 다수 개체가 발견된 1개소(신안)는 중점관리 대상지역으로 지정하였다. 발견지 주변 근연종에 대해 단백질면역테스트를 통해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다. 제4차 민관협의회의(2019.11.27.)에서 총 98개소 중 34개소를 제5차 민관합동 조사대상에서 제외키로 하였다.



Figure 8. 제4차 자체 환경영향조사 및 단백질면역테스트 결과. a-d, 경남 남해군 동부대로(양성), e-h, 경남 거제시 거제면 소랑리, i-k, 전남 신안군 임자면, l-o, 충북 충주시 수안보면 중산리

(8) 2019년 제5차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사

제5차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사는 2019년 4월 29일부터 5월 24일 까지 전국 64개소를 대상으로 하여 권역별 8개반을 편성하여 농과원 주관, 농식품부 등 5개 유관기관, 12개 지자체, 3개 대학교 및 11개 시민단체 참여 총 154명이 조사에 참여하였다. 조사결과 총 64개소 중 17개소에서 재발생 유채가 발견되었고 그중 3개소(신안, 예산, 함양)에서 양성 개체가 발견되었고 14개소는 음성으로 판명되었다. 관리상태가 양호한 63개소는 일반관리 지역으로 지정, 다수 개체가 발견된 1개소(신안)는 중점관리 대상지역으로 지정하였다. 유채 발견지 주변 근연종(야생갯, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.

Table 7. 조사대상 지역 관리현황

(단위: 개소)

대상	일반관리 <sup>1)</sup>					중점관리 <sup>2)</sup>				
	1차 (17.7)	2차 (17.11)	3차 (18.5)	4차 (18.11)	5차 (19.5)	1차	2차	3차	4차	5차
98개소	84	88(4↑)	91(3↑)	97(6↑)	97	14	10(4↓)	7(3↓)	1(6↓)	1

- 1) 유채가 발견되지 않았거나 간헐적으로 소량 발견되어 현장 제거한 지역
- 2) 유채(양성개체 포함)가 다수 발견되어 현장제거 하였으나 추후 재발생이 예상되는 지역



Figure 9. 2019년 미승인 LM유채 제5차 민관합동 환경영향조사 및 단백질면역테스트결과 a-d, 충북 충주시 수안보면 중산리(음성), e-h, 충남 당진시 송악읍 한진1길(음성), i-k, 전남 신안군 임자면(양성)

Table 8. 2019년 미승인 LM유채 제5차 민관합동 환경영향조사 결과 요약

권역 (개소)	일정	조사결과		
		미발견	음성	양성
강원 (4)	5.21. ~ 22	4 춘천, 태백, 평창, 인제 기린면	0	0
경기 (13)	5.14. ~ 17.	11 인천 수원부천 화성 용인시 옥산로 용인시 남사면 안성시 양성면 안성시 보개면, 연천 파주시 적성면, 파주시 문산읍	2 과천(20점) 안성시 대덕면(1점)	0

충북 (8)	5.15. ~ 16.	5 영동, 음성, 진천 교연로, 진천 교학로, 청주 오창읍	3 청주 주성동(1)(다수), 청주 주성동(2)(다수), 충주(다수)	0
충남 (7)	5.15. ~ 17.	4 대전, 홍성, 보령, 서천	2 새중 당진 (100점)	1 예산 덕산면 총6점(양성 83.3, 음성 16.7%) • 예산 덕산면(6점) - 양성5/음성1
전북 (6)	4.30. ~ 5.2.	5 임실, 무주, 군산 신시도리, 군산 아미도리, 완주	1 부안 (2점)	0
전남 (10)	4.29. ~ 5.2.	6 광주, 나주, 영암 군서면 마산리, 신안 압해, 진도 진도항길, 진도 상봉암길	3 영암 군서면 월곡리 일대(3점), 진도 삼당리(17점), 진도 지산면 일대(6점)	1 신안군 임자면 총150점(양성 26.7%, 음성 73.3%) • 신안군 임자면 (150점) - 양성40/음성110
경북 (2)	5.13.	1 대구시 동구	1 대구시 수성구(20점)	0
경남 (13)	5.15. ~ 17.	10 거제 일운면, 김해, 남해군 삼동면, 부산 통영1, 통영2, 통영3, 통영4, 울산시 중구, 울산시 울주군	2 거제 거제면(3점), 남해 남면(20점)	1 함양 총1점(양성 100%) • 함양 (1점) - 양성1점
제주 (1)	5.13.	1 제주시 애월읍	0	0
계(64)		47(73.4%)	14(21.9%)	3(4.7%) 총157점 (양성 46: 15.7%, 음성 111: 84.3%)

\* 중점관리지역 1개소: 신안 임자면 대기리

#### 다. 관계기관 및 시민단체 참여 공동 사후관리 방안 소통체계 강화

미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사시 유관기관과 시민단체가 참여한 사전 및 결과협의회를 개최하였다(사전협의회 3회, 결과협의회 3회). 사전협의회를 통해서 LMO 주변확산 방지를 위한 환경영향조사 방향 및 관리방안 등에 대해 협의하였고, 민관합동조사 후 결과협의회를 통해서 LMO 발견지 합동조사 결과 공유 및 향후 안전관리를 위한 의견수렴이 이루어졌다. 제1차 사전협의회(2018.4.13.) 내용은 2018년 미승인 LM유채 발견지 환경영향조사 결과를 시민단체에 공개, 협조적인 관리방안을 수립할 계획이며(농식품부), 기존 LM유채 발견지의 유채 축제지에 대해 전수 조사중이나 추가 발견된 바 없다는 것(종자원), 유관기관과 14개 시민단체와 함께 LM유채 발견지 98개소에 대해 제3차 민관합동조사를 추진할 계획이라는 것(농과원), 외국사례(일본, 스위스)에서 변종 발생에 대한 우려가 있으므로 지속적인 안전관리가 필요하다는 것(시민단체) 등이었다. 제3차 민관합동 환경영향조사 후 제1차 결과협의회(2018.5.30.) 내용은 시민단체와 유관기관에 민관합동조사결과를 설명하고 자료를 공유하였으며(농과원), 다

발생지(7개소)는 추가 자체조사를 실시하고 유채 재발견 지역은 종자원 주관으로 제거한다는 것과, 조사대상 98개소 중 3차에 걸친 조사동안 미발견되었거나, 건축 신축지 등 재발생 가능성이 낮은 8개소(광주, 인천, 안성(2), 이천, 괴산, 홍성(군부대), 공주)는 향후 4차 민관합동조사부터 대상에서 제외(단, 농진청 자체조사는 계속 실시, 유관기관 및 시민단체 합의사항)한다는 것이었다. 제2차 사전협의회(2018.9.19.) 내용은 소통강화를 위해 기관에서 정보공개를 위해 노력 중이며 시민단체에서 의견을 개진해 주면 적극 반영하겠다는 것(농식품부), 제4차 LM유채 민관합동조사 계획수립 및 공유 계획 (농과원) 등에 관한 것이었다. 제2차 결과협의회(2018.11.27.) 내용은 다발생지인 신안(임자면)은 추가 자체조사를 실시한다는 것(농과원), 조사대상 90개소 중 4차에 걸친 조사동안 미발견되었거나, 제거 완료 등 재발생 가능성이 낮은 26개소는 향후 5차 합동조사부터 대상에서 제외하는 것(유관기관 및 시민단체 합의사항)과 민관합동 제외 대상지에 대한 자체 조사결과 공유 요청(시민단체) 등이었다. 제3차 사전협의회(2019.4.9.) 내용은 환경영향조사 시 기관별 역할 당부 및 시민단체의 협조를 요청한다는 것(농식품부), 향후 조사지 축소 검토 및 다발생지에 대한 집중관리를 제안(시민단체)한다는 것, 그리고 제5차 민관합동조사 결과를 바탕으로 대상지를 축소하고 신안 등 다발생지에 대한 안전관리 노력을 집중키로 한다는 것(농과원) 등이었다. 제3차 결과협의회(2019.7.23.) 안건은 미승인 LM유채 발견지 환경영향조사 결과 정보공유와 미승인 LM유채 발견지 향후 안전관리로, 제5차 민관합동조사 결과를 보고하였고(농과원), LM유채 발견지 환경영향조사(2년) 후 외부전문가 연계 후속 사후 안전관리 사업을 추진하겠다는 것(농식품부)과 유채 재발생 방지 안전관리 대책의 필요성을 강조(시민단체)하는 등의 내용이 다루어졌다.



제2차 사전협의회(2018.9.19.)



제3차 사전협의회(2019.4.9.)

Figure 10. 민관합동조사전 협의회 개최. 제2,3차 민관합동조사 사전 협의회

라. 미승인 LM유채 민관합동조사 관련 보도 및 홍보

제3차 미승인 LM유채 민관합동조사 결과에 대해 '농진청, 미승인 LMO유채 발견지 민관협력으로 '안전관리'라는 보도건명으로 지상파 TV 1건(MBC 강원영동), 경향신문 등 중앙일간지 및 농업전문지 16건, 인터넷 신문 4건등 총 21건의 홍보를 달성하였다.



한국농어촌경제신문  
(미승인'LMO유채'민관협동조사 결과 보도, '18.5.23.)

Figure 11. 제3차 미승인 LM유채 민관협동조사 결과 보도(한국농업촌경제신문)

## 2. 자연환경에서 십자화과로의 유전자이동성 분석 포장 조성

유채로부터 갓으로의 유전자이동성 연구를 위해 영산 유채를 화분 공여체로 사용하였으며, 화분 수용체로 갓을 사용하였다. 유채와 갓은 목포 바이오에너지 작물연구소로부터 분양받았다. 화분공급원인 유채와 화분수용체인 갓은 2019년 1월 22일에 파종하였으며, 2월 12일부터 3월 26일까지 개화를 위해 춘화처리를 거친 후 3월 26일에 유전자이동성 포장으로 이식하였다. 화분공급원인 영산유채는 한면의 길이가 8 m인 정사각형 모양으로 배치하였다. 식물간 이식거리는 10 cm로 하였다. 화분수용체인 갓은 유채를 중심으로 동,서,남,북등 4방향으로 배치하였으며 고풍간격은 160 cm, 식물간 이식거리는 50 cm, 동서로는 20 m거리까지, 남북으로는 40 m거리까지 갓을 배치하였다. 유채와 화분 수용체 식물들의 꽃이 핀 개체가 40-50% 정도에 달한 날을 기준으로 개화기를 산정하였다. 영산 유채는 개화시가 4월 29일, 개화기가 5월 1일이었으며, 갓은 개화시가 4월 22일, 개화기가 4월 24일로 조사되었다. 영산유채와 갓의 개화기가 일치하는 기간은 27일간이었다. 화분 수용체 식물에서 교잡종자의 수집은 결실기에 맞춰 수행했으며 6월 16일에 수행되었다. 수확된 식물체는 비닐백에 담아 건조를 위해 온실로 운송하였고 온실에서 약 3주간 건조과정을 진행시켰으며 이후 손 타작과 종자 정선을 수행하였다. 유전자이동성 조사는 일차적으로 표현형 조사를 통해 수행되었고, 표현형적인 특징은 온실에서 갓과 F1 교잡종(갓♀XGM유채♂)을 재배하여 생육단계별로 관찰하고 그 차이점을 확보하였다(Figure 9). 떡잎 단계에서 갓과 F1 교잡종간에 차이는 없었으며, 본엽은 F1 교잡종이 부분인 유채를 따르는 것으로 관찰되었다. 꽃봉우리도 갓과 F1 교잡종 간에 차이가 있으며 F1 교잡종의 꽃봉우리의 질감이 GM유채를 따르는 것으로 나타났다. 꽃은 갓, F1 교잡종과 GM유채의 꽃이 차이가 있으며 F1 교잡종이 갓과 GM유채의 중간형태를 나타내는 것으로 관찰되었다. 꼬투리는 F1교잡종은 염색체 분석결과 이수체이므로 임성을 보이지 않았다(Figure 9& Figure 10)



Figure 10. 갓과 F1 교잡종의 형태학적 비교분석. 갓, a,c,e,g,i,k; F1 hybrid, b,d,f,h,j,l; a,b, 떡잎; c,d, 본엽출현; e,f, 꽃봉오리; g,h, 꽃; i,j, 총상화서; k,l. 꼬투리 형성



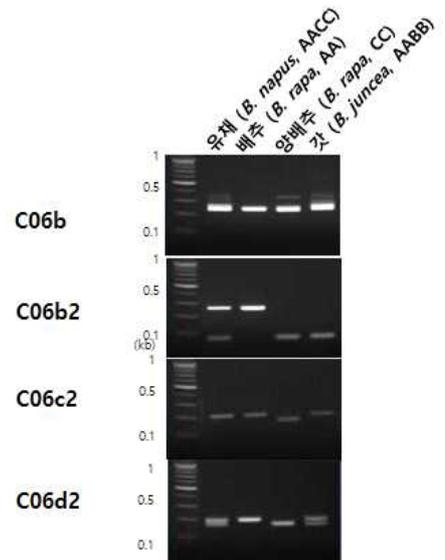
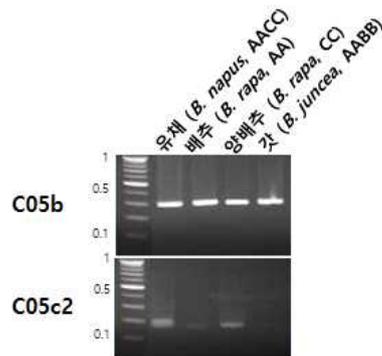
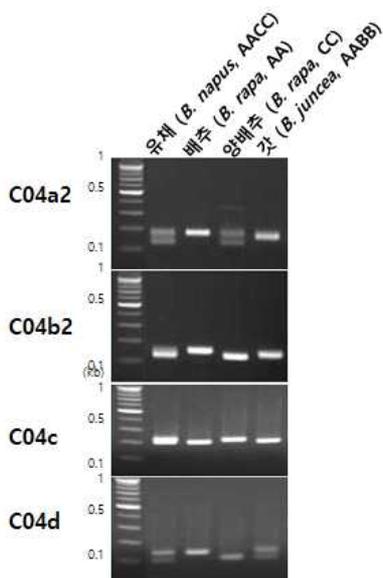
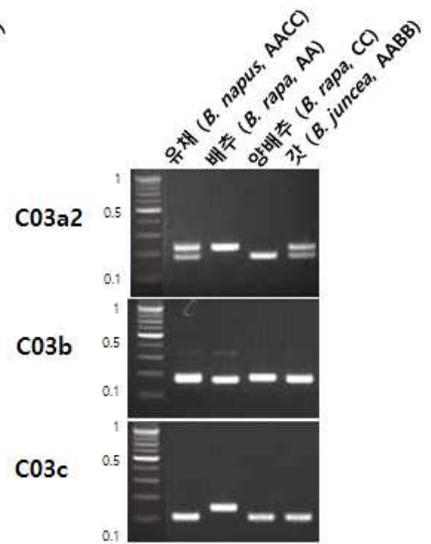
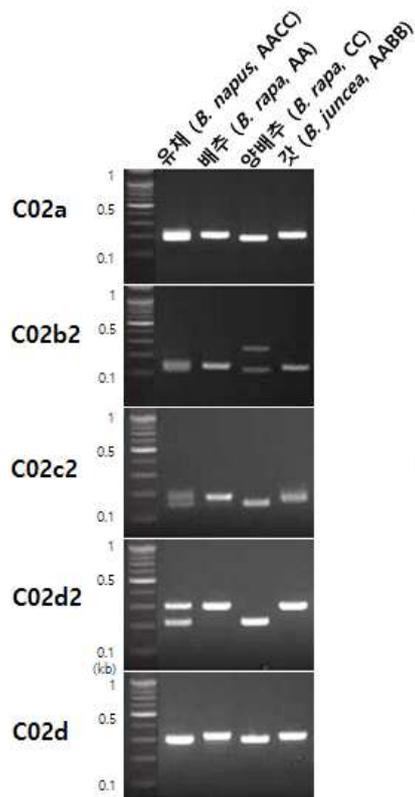
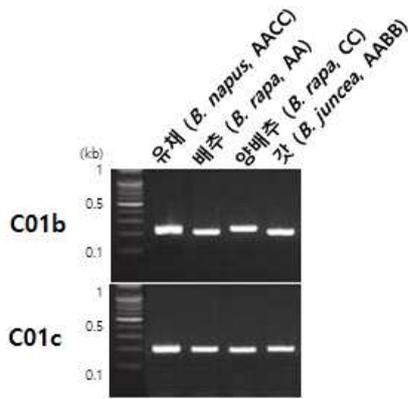
Figure 9. 갓과 F1 hybrid의 꼬투리

표현형으로 선발된 개체를 분자생물학적으로 확인하기 위해 PCR 검정을 수행하였다.

Table 9. Characteristics of 30 analyzed simple sequence repeat(SSR) markers

SSR	primer-F	primer-R	Band in A genome (bp)	Band in C genome (bp)	Locus on A genome	Locus in C genome
C01b	GCAACACTTGCTGTTTTGGA	GCTGAGGTAGGAAGGGAAGG	207	233	A01_1591700	C01_20708918
C01c	ATCAACGAGGATGTTGGAGA	TGACCCAATCAGGTCAAGAA	189	183	A01_2099240	C01_31003906
C02a2	GATCGACCTTCCATCACGTC	CCTTGTGCAAGAAGGTGTTG	199	176	A01_4660427	C01_6784924
C02b2	ATATACACATGGCCGGTGCT	TTGGTGGAGTTTCCGAGTTT	114	100	A01_11831311	C01_16112719
C02c2	TTGGCTTCAACGTGCTGAG	CCACTTAGGCGATGGTGTTC	179	146	A01_15538343	C01_24870903
C02d2	TGGGTTTCAATAAGTCGGAT	CTTGGCCCATCATCAAACT	278	193	A01_21212404	C01_37480057
C02d	GTCAGGGCCGGTTGGTAT	CCAAAACCGAACTAAACGGA	278	266	A01_26805121	C01_42253466
C03a2	GGACTAGGCCAGAAAGGTC	ATGAGAATCACACGCGTCAC	181	141	A01_506072	C01_5782559
C03b	CCGGACCATAAATTATCGCA	GCTCCTCCTCCTCATCTTC	165	174	A01_9810560	C01_11586692
C03c	AGCCGTTGAATCATAATGGC	AATGACAAAACGCCGGTCTAC	142	100	A01_16840545	C01_29211252
C04a2	AAAGTCAGGCGTCTTCTGC	TTGTTGTTGTATAGACCAGACA	269	137	A01_3393634	C01_6311603
C04b2	CATCACACCATCTACACGC	ATACAAAATGCCGAGACGCT	153	130	A01_7742417	C01_17130510
C04c	GCAAAGACCTTTTTCGAAGC	ACCGACAAAAGGTGAACAC	213	253	A01_9337281	C01_28880301
C04d	CGAAGAAATGGGCAATGAGT	CCATGGTCGGACAATCTCTT	123	93	A01_18399294	C01_40018307
C05b	CTCGCATTGAAGGAGTGTC	ATCTCCAGCCTTTTCCAGGT	263	255	A01_6660520	C01_1374611
C05c2	AAAAGCAACCAAAGCGCTAA	TCGTTTCCTTGATTGCTTCC	139	114	A01_8543638	C01_21988996
C06b	CGTTGTTTGTCTGCTGCATC	GCCGAATCAGAACCCTTAGA	246	238	A01_1811353	C01_13619390
C06b2	TGGAATCACITTCAGCGTTCA	ACGAGTTTTCTCGGCTTCA	265	72	A01_14493481	C01_17947219
C06c2	TCAGTATTCTCATCGCCCAA	AGGTCGACCAAAGACGAAAA	188	146	A01_15806647	C01_28866205
C06d2	GCTTCATTGGATCCCACATC	GGGTTTCGTGATTGATGGTAAA	143	117	A01_19400829	C01_35244684
C07a	ATCCGACCAGTAACGTCCAG	GGGGGATTACCTTCATCTTTT	217	208	A01_24653900	C01_463379
C07b	CCCGTAGTTAGAACCCTCGA	GCCGAGACCTAGCCTTATTG	248	265	A01_8821086	C01_16930026
C07c2	TGATGGTAAAATGCTCCAA	CTCGTCTTTTCTCCAGTIG	160	125	A01_23763438	C01_27826196
C07d2	CCCGTAGAAGTAGTTCAGTIG	TCATCAAACGTTGGAGTCAA	167	131	A01_23672505	C01_41422404
C08a2	TGTTTTTACGACCTTTTCAAGA	CAAGCAGTGAACCACAAAAG	241	129	A01_5763859	C01_5398895
C08b2	TGCTGTAAGTCTAGTCCAAA	CCTCAAGATCCACAATGCTT	248	178	A01_19250863	C01_18384496
C08c2	ACTCTCAACAATGGCAAGGG	GCTGTTTTCCATATTCGGCT	215	159	A01_31431992	C01_32596668
C08d	CATCGCCGTAACAAAGAAT	CAGAAACGGGATTCGATCAT	253	231	A01_38876771	C01_41482344
C09c2	TAGCCAACCTAACATGGCACG	GCCCCCCACATCTTTCAAAACAAA	177	143	A01_9735500	C01_28720170
C09d2	AAGCTACTTGCCCTACTATCTT	TGATTTACATAAAGTCCCCA	250	159	A01_12909906	C01_35598537

교잡을 분석을 위한 PCR 검정은 식물 샘플의 잎 100 mg을 액체질소와 유발을 이용하여 곱게 갈은 후 QIAGEN사의 DNeasy Power Plant Pro Kit를 이용하여 매뉴얼에 따라 DNA를 추출하였다. PCR에 사용된 마커는 유체 부분 탐색을 위한 염색체 C genome primer를 이용하였으며, primer 정보는 Table 9와 같다. PCR반응의 조성은 1.5  $\mu$ L의 유체 분석시료 genomic DNA(50ng), 30 mM KCl, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 10 mM Tris-HCl, 250  $\mu$ M dNTPs, Taq polymerase 1U, 각 1  $\mu$ L의 primer를 포함하여 총량은 20  $\mu$ L이었다. PCR 반응조건은 95 $^{\circ}$ C 5분후, 95 $^{\circ}$ C 30초 및 55 $^{\circ}$ C 30초, 72 $^{\circ}$ C 1분의 조건에서 35반복으로 증폭한 뒤 72 $^{\circ}$ C에서 5분간 처리하여 완료하였다. 증폭된 PCR산물은 1.5% agarose gel에서 전기영동 후 확인하였다. 전기영동결과 유체 (AACC)에서 A genome과 C genome 상의 위치를 동시에 명확하게 detection 할 수 있고 유체, 배추(AA)와 갓(AABB)를 판별할 수 있는 SSR maker는 C02c2, C02d2, C07c2, C07d2 인 것으로 분석되었다. 갓에서 DNA를 추출한 후 위의 SSR marker를 사용하여 PCR을 수행하여 유전자 이동에 의해 유체로부터 갓으로의 유전자 이동성 여부를 조사할 계획이다.



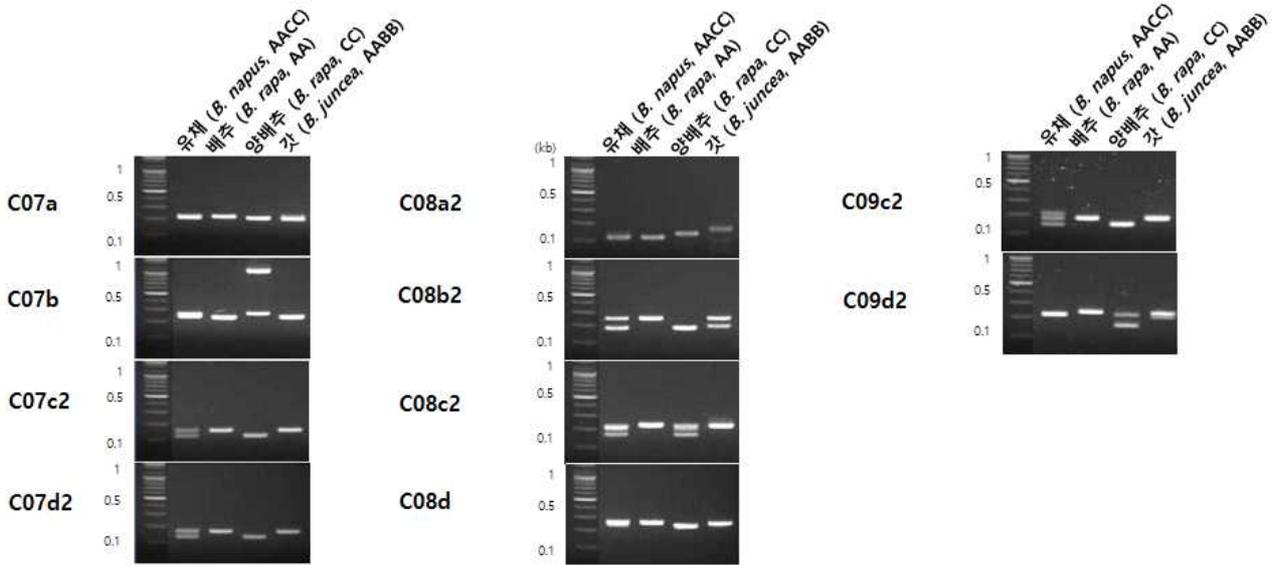


Figure 11. A genome과 C genome 특이 SSR marker PCR 분석 결과

유채는 바람 및 벌과 같은 매개충에 의해 화분확산이 가능하며 특히 벌에 의해 먼 거리까지 유전자가 이동되는 것으로 보고되어 있다(OECD, 2012). 국내에서 향후 GM 유채 상용화에 대비하여 유전자 이동성에 대한 안전관리 체계 확립이 요구되는 실정이나 기존 국내에서 수행된 십자화과 작물의 유전자 이동성 연구는 온실 면적 수준에서만 수행되었으며(Kim et al., 2014; Lee et al., 2009), 이는 실험포장 면적에 대한 국내 인프라 부족 및 GM작물의 유전자 확산에 따른 유전자 오염에 대한 제약 때문일 것으로 판단된다. 본 연구에서는 포장재배 면적 단위에서 유채로부터 다른 십자화과 작물로의 유전자 이동성을 조사하기 위해 가로 90 m, 세로 50 m의 대규모 포장 면적에서 실험을 수행하였다. 화분 공여체로는 영산 유채를 사용하였다. 화분공급원으로 유채를 64m<sup>2</sup>의 면적으로 사각형 모양으로 배치하였으며, 화분 수용체인 갓을 유채를 중심으로 동,서,남,북 등 4방향으로 배치하였다. 화분을 통한 유전자이동성에서 가장 중요한 사항은 작물 간 개화기의 일치이다. 이를 위해 시험 작물들의 생육과 개화기를 조사한 결과 작물 간 개화기는 27일 일치되었다. 교잡 분석을 위한 종자 시료는 화분 수용체 식물(배추, 갓)의 4개 방향에서 모두 수집되었으며 갓의 경우 거리 별로 남북으로는 50 cm간격으로 70개체를 수집하였고, 동서로는 40 개체를 수집하였다. 갓의 거리별 (50cm 간격) 지점당 100립씩의 종자에 대해 표현형 선별과 PCR 분석을 수행할 계획이다.

야외포장에서 유채 간의 타식율(outcrossing rate)은 10-50%로 알려져 있으며(OGTR, 2002), 30-60m 거리에서의 유채 간의 교잡율은 0-0.0003%(Scheffler et al.), 0.022%(Manasse and Kareiva., 1991), 0.02%(Stniland et al., 2000), 0.33%(Ramsay et al., 2003) 등 다양한 연구 결과가 보고되어 있다. 유채로부터 *B. rapa* 등 교잡가능한 십자화과 작물로의 유전자 이동성에 대해서는 유채-유채간 이동에 비해 많은 연구가 수행되진 않았다. Jenkins et al.(2001)은 유채로부터 *B.rapa*종인 순무(turnip)로 유전자 이동이 hand pollination 으로는 100% 교잡율을 보였지만, 야외 포장에서는 1.5 m 이내 거리 실험에서 유채와 순무의 비율을 1:400으로 하였을 때 0.06%(1998년) 및 2.13%(1999년)의 교잡율을 나타냈다고 보고하였다. 갓은 중국, 러시아, 캐나다 등 국가에서는 기름과 조미료를 위한 작물로 재배되지만 유럽과 호주 등 국가에서는 잡초로

간주된다. 갓은 AABB계놈을 가지고 있어 AACC계놈을 가진 유채와 공통의 유전자를 가지고 있어 이종교배확률이 높다(OECD, 2012). 유채로부터 갓으로의 유전자이동에 관한 연구에서 Warwick(2007)는 유채 포장으로부터 갓 포장으로 유채 유전자의 교잡율이 인접하였을 때 0.245%이었으며, 50m 거리에서는 0.030%, 100m 거리에서는 0.021% 이었다고 보고하여 화분 공여체와 수용체의 거리에 따라 교잡율이 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이러한 교잡율은 화분수용체의 개체수가 증가함에 따라 감소된다. Jørgensen et al.(1998)은 유채로부터 갓으로의 유전자이동 연구에서 유채, 갓의 비율이 1:3에서 1:15로 증가됨에 따라 교잡율이 2.3%에서 0.3%로 감소했다고 보고했다.

국내에서 취약한 십자화과 GM작물의 대규모 유전자 이동성 평가 경험의 축적과 이를 통한 국가 안전관리 및 안전성 평가를 위한 기술 개발이 필요하며, 국내 GM유채의 환경생태계 방출에 대한 모니터링 및 위해성 분석 기술 개발이 요구되는 실정이다. 국내의 주요 채소 작물인 배추에 대해 야외포장 조건에서 유채로부터의 유전자 이동성 조사는 국내외 적으로 거의 수행되지 않아 본 연구가 유일한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 국내에서 유전자변형 유채의 시험연구 및 상업적 재배시 유채로부터 교잡 가능한 이종으로의 교잡 거리 및 빈도를 조사함으로써 향후 안전관리 수립의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

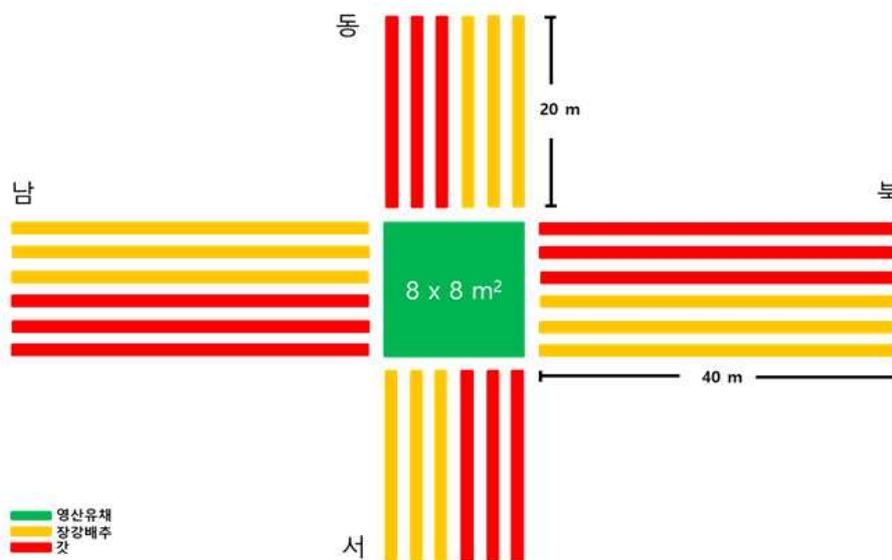
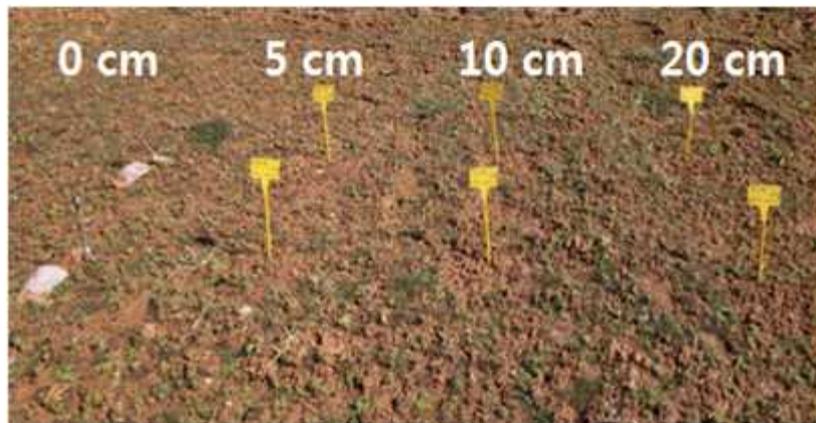


Figure 12. 유전자이동성 포장 모식도 및 드론 촬영 사진

### 3. 유채와 타 십자화과 작물의 월동성 및 월하성 분석 포장 조성

영산 유채(*B. napus*), 장강배추(*B. rapa*), 형질전환 유채(TG *B. napus*), 장강배추와 형질전환 유채간 교잡종(F1 hybrid, *B. rapa*♀ x TG *B. napus*♂)의 월동성을 알아보기 위해 국립농업과학원 농업생명자원부 격리포장에서 매립과 표면 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 seed-bag은 가로 세로 길이가 5 cm x 5 cm의 크기로 제작하였으며, 샘플당 매립구의 사이즈는 가로 세로 길이가 1 m x 50 cm의 크기로 3반복 또는 4반복으로 수행되었다. 매립 실험에 사용된 seed-bag은 4 타입의 십자화과 종자 100개와 철근 라벨을 담았으며, 2017년 12월 8일에 전주 격리포장에서 매립하였다. 표면 실험은 각 식물의 종자를 100립씩 토양 표면에 치상하였다. 매립 실험은 지상부를 기준으로 0, 5, 10, 20 cm의 깊이대로 매립하였고, 종자는 2018년 5월에 채취하였으며, 채취된 종자의 생존력을 파악하고, 영산유채, 장강배추, 형질전환 유채, F1 hybrid의 차이를 비교하였다. 종자의 생존력은 seed-bag의 종자를 filter paper (advantec 1, 90 mm) 2장을 깔아놓은 petri dish (87×15 mm)에 담아 3주 동안 발아율을 확인하였다. 그 결과 5개월 후 월동성은 표면에서는 대다수의 십자화과 종자가 발아하는 것으로 관찰되었고, 영산 유채와 형질전환 유채의 경우 모든 토심에서 종자가 발아하는 것으로 나타났다. 배추와 F1 hybrid의 경우는 5, 10, 20 m에서는 발아하지 않는 것으로 나타났다.



Burial Depth (cm)			
0	5	10	20
			

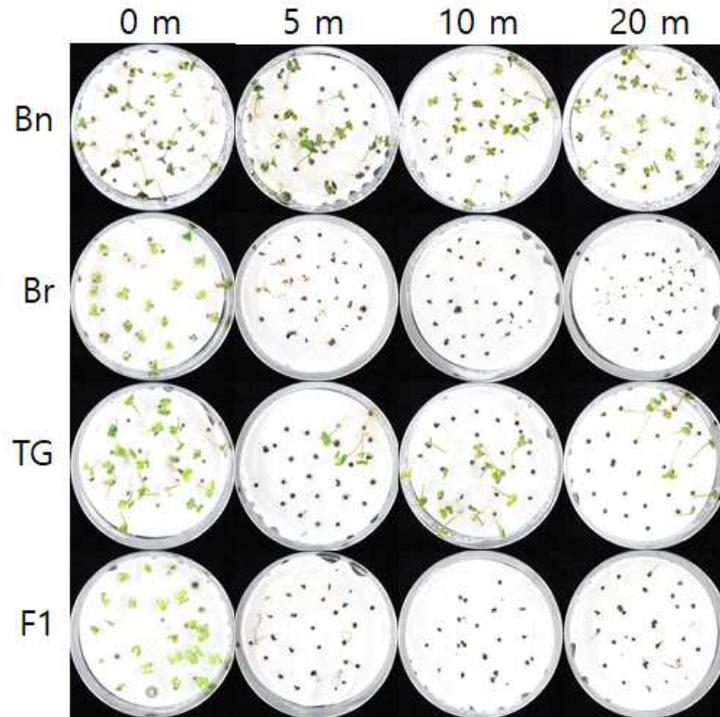


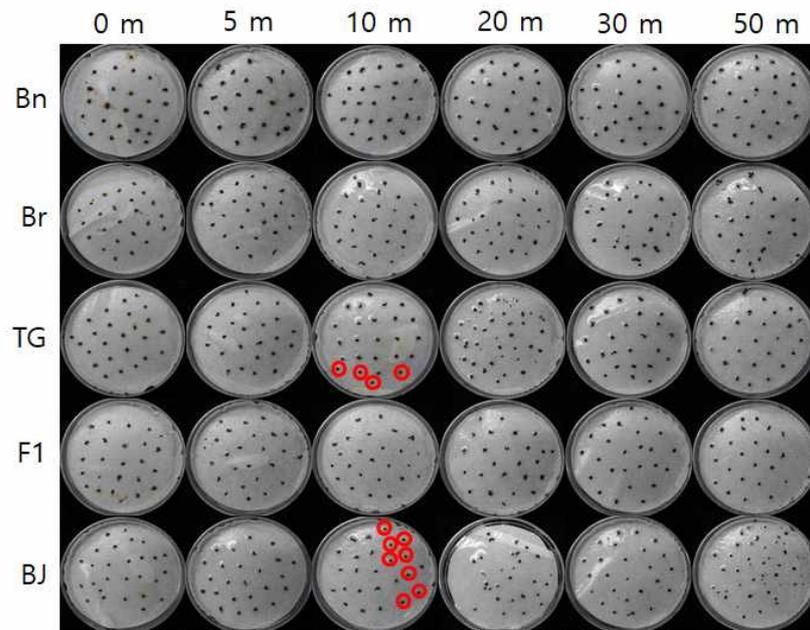
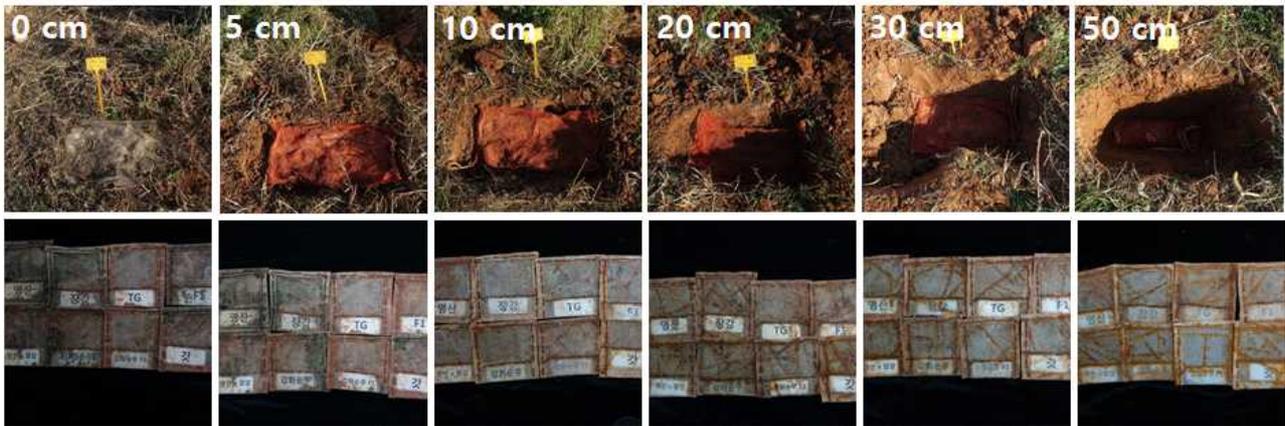
Figure 13. 월동성 분석결과. Bn, *Brassica napus*; Br, *Brassica rapa*; TG, 형질전환 유채; F1, 배추와 유채간 교잡종

Table 10. 월동성 분석 결과

Plant	No. of seeds tested				No. of pregerminated seeds				No. of corrupted seeds in soil				No. of seeds with normal leaf			
	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm
YS	*25	25	25	25	1	14.3	13.3	5.3	0	7	3.3	0.3	12.5	17.3	17.8	19
JK	25	25	25	25	0.5	25	25	25	0	25	25	25	17.5	0	0	0
TG	25	25	25	25	0	23.8	3.3	10.8	0	6	2	1.5	16.3	15.8	20.3	19.3
F1	25	25	25	25	0	25	25	25	0	25	25	25	21.3	0	0	0

영산 유채(*B. napus*), 장강배추(*B. rapa*), 형질전환 유채(TG *B. napus*), 장강배추와 형질전환 유채간 교잡종(F1 hybrid, *B. rapa* ♀ x TG *B. napus* ♂), 갖의 월동성을 알아보기 위해 국립농업과학원 농업생명자원부 격리포장에서 매립과 표면 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 seed-bag은 가로 세로 길이가 5 cm x 5 cm의 크기로 제작하였으며, 샘플당 매립구의 사이즈는 가로 세로 길이가 1 m x 50 cm의 크기로 3반복 또는 4반복으로 수행되었다. 매립 실험에 사용된 seed-bag은 4 타입의 십자화과 종자 100개와 철근 라벨을 담았으며, 2018년 8월 5일에 전주 격리포장에서 매립하였다. 표면 실험은 각 식물의 종자를 100립씩 토양 표면에 치상하였다. 매립 실험은 지상부를 기준으로 5, 10, 20, 30, 50 cm의 깊이대로 매립하였고, 종자는 2018년 12월에 채취하였으며, 채취된 종자의 생존력을 파악하고, 영산유채, 장강배추, 형질전환 유채, F1 hybrid, 그리고 갖의 차이를 비교하였다. 종자의 생존력은 seed-bag의 종자를 filter paper (advantec 1, 90 mm) 2장을 깔아놓은 petri dish (87x15 mm)에 담아 3주 동안 발아율을 확인하였다. 그 결과 5개월 후 월동성은 대다수의 십자화과 종자가 낮은 것으로 나타났으나, 갖, 영산, 형질전환 유채 종자의 경우 토심 5 m와 10 m에서 일부

종자가 발아하는 것이 관찰되었다. 나머지 토심, 즉, 표면, 20, 30, 50 m에서는 영산, 장강, 형질전환 유채, F1 hybrid, 갯 모두 종자가 발아하지 않는 것으로 나타났다.



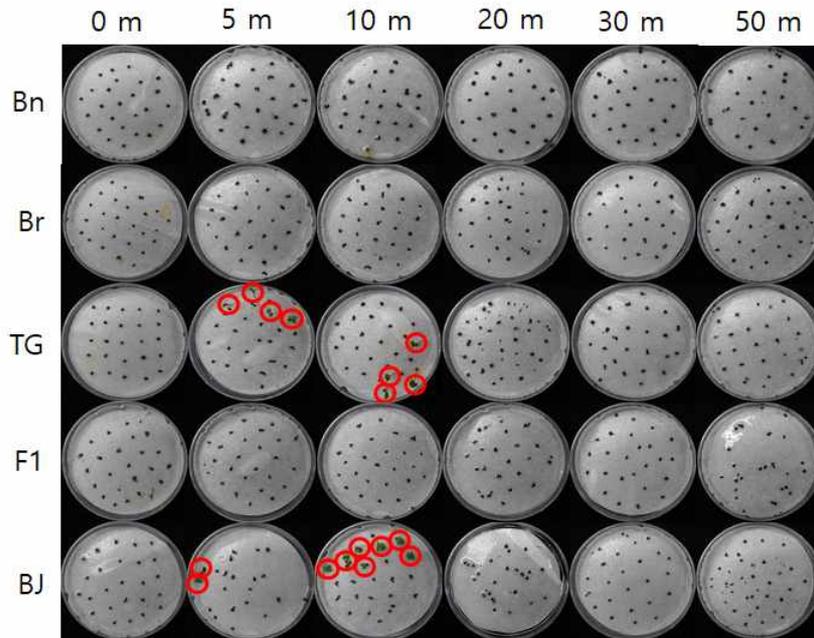


Figure 14. 월하성 분석 결과. Bn, *Brassica napus*; Br, *Brassica rapa*; TG, 형질전환 유채; F1, 배추와 유채간 교잡종; Bj, *Brassica juncea*. (위) 종자채취 후 페트리디쉬에 치상한 후 (아래) 페트리디쉬 치상후 2주경과 사진

#### <제1협동: 경북대학교> 경상지역 LM유채 발견지 주변환경 조사 및 유전자 이동성 연구

##### 1. 당해연도 연구개발 목표

- 가. 경상지역 LM 유채 발견지 주변 환경 식생 분포조사 및 유전자 이동성 연구
- 나. 후숙작물 재배에 따른 LM 유채 발생억제 효과 조사

##### 2. 연구결과

###### 가. 2018년 제1차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

- (1) 조사기간 및 대상지: 경북 6개소: '18.2.27.~2.28. 경남 14개소: '18.3.6.~3.7. ('18.3.16 2개소 추가조사)
- (2) 조사결과: 경북: 유채발견 안 됨, 경남: 1개소(통영)에서 LM유채 발견

###### 나. 2018년 제2차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

- (1) 조사기간 및 대상지: 경북 6개소: '18.4.25.~4.26. 경남 14개소: '18.5.2.~5.4
- (2) 조사결과: 경북: 1개소(대구) 및, 경남: 6개소[부산, 김해, 거제(2), 남해, 통영]에서 LM유채 발견

###### 다. 이벤트 검정결과

- (1) 유채 재배지에서 단백질 면역테스트를 통해 양성, 음성을 판단한 후 양성으로 나온 유채 식물체를 수거해 단백질을 분석한 후 PCR 검정을 통해 단백질 면역테스트를 통해 얻어진 결과값의 신뢰도를 높이기 위한 실험을 진행했다.
- (2) 실험에 이용한 Taq polymerase 종류는 Solgent사의 e-Taq DNA polymerase를 사용했고, 분석에 이용한 프라이머 정보는 아래와 같다.

Primer information	
Forward	5' - CGA CGG ATC GTA ATT TGT CG - 3' (Tm : 55.4°C)
Reverse	5' - CTA GCC GTC GAT TTC CAC ATG TGG - 3' (Tm : 62.2°C)

- (3) PCR조건은 95°C → 30초, 95°C → 15초, 56°C → 15초, 72°C → 30초 12°C → ∞ 로 X40 cycles 함.
- (4) 경상지역(대구 둔산동)에서 발견된 유채식물체를 수거 후 PCR 분석한 결과 단백질 면역테스트 결과와 동일하게 양성2개체, 음성2개체로 조사됐다.

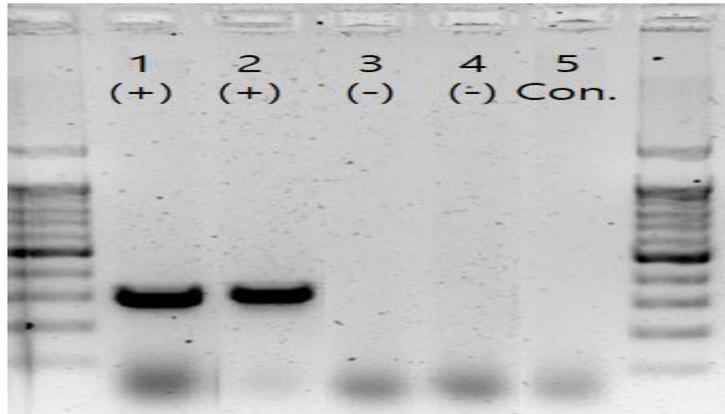


그림 1. 대구 둔산동 PCR 검정결과. 그림에서 (+)와 (-)는 현장에서 실시한 단백질 면역테스트 결과이고, Con.는 대조구로 정상적인 유채 식물체를 의미함.

- (5) 경남지역에서는 다수의 LM유채가 발견됐다. 이들 샘플 중에서 남해군 상동면(1~8), 김해시 대청로(9~12), 부산시 금정구 청룡로(13~14), 대조구(15)에서 추출한 DNA를 이용해 이벤트 검사를 실시했고, 결과는 단백질 면역테스트 결과와 동일하고 모든 LM유채 식물체에서 GT73 밴드가 검출됐다.

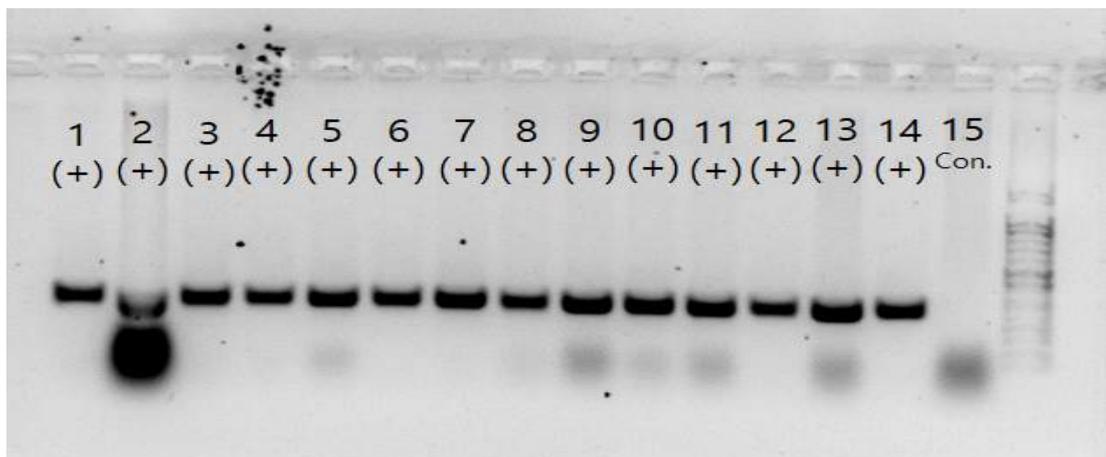


그림 2. 경남지역(남해, 김해, 부산 금정구) PCR 검정결과. 그림에서 1~8번은 남해군 상동면, 9~12번은 김해시 대청로, 13~14번은 부산시 금정구 청룡로, 15번은 대조구를 의미함.

라. 2018년 제3차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

- (1) 조사기간 및 대상지: 경북 4개소: '18.9.6.(대구, 구미, 칠곡) 경남 7개소: '18.9.3.~9.4(남해,

통영, 거제, 김해, 부산, 울산)

(2) 조사결과: 경북4개소 및 경남7개소 모두 LM유채 미발견

마. 2018년 제4차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

(1) 조사기간 및 대상지: 경북 4개소: '18.10.23.(대구, 구미, 칠곡) 경남 3개소: '18.10.31(사천, 함양, 합천)

(2) 조사결과: 경북4개소 및 경남7개소 모두 LM유채 미발견

바. 2019년 제5차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

(1) 조사기간 및 대상지: 경남 13개소: '19.3.6.~3.8(사천, 남해, 통영, 거제, 김해, 부산, 울산, 함양)

(2) 조사결과: 거제, 남해에서 각각 1개체의 LM유채 발견(후거후 소각처리)

사. 유채 후숙작물 재배에 따른 유채 발생량 평가

(1) 유채 후숙작물 재배 시 후숙작물의 종류에 따라 유채(미발아 종자) 발아율이 어떻게 달라지는지 점검하기 위한 연구임

(2) 올 연구계획은 유채를 봄 파종(3월 상순, 중순)하고 난 후 여름(7월 상순, 중순)에 경관식물(코스모스, 메밀)을 재배했을 때 재배하는 식물의 종류에 따라 유채의 발아율이 어떻게 달라지는지를 구명하기 위함임(그림 3)

(3) 본 실험을 위해 경상북도 군위군 효령면에 위치한 경북대학교 부속실험 실습장에 유채(탐라)를 3kg/10a의 파종량으로 파종했음. 실험구는 8개의 plot으로 나누어 유채를 재배했음(그림 3)



그림 3. 유채후숙작물 코스모스 및 메밀파종 실험

(4) 2018년 봄(3월)에 잦은 강우로 인해 경작지의 표층이 딱딱해져 파종 후 유채가 발아하는데 어려움이 있었음. 4월 2일 발아된 유채를 확인할 수 있었음. 이후 5월 31일 경 유채가 개화하기 시작했으며, 2018년 7월 17일 거의 대부분의 유채식물체는 종자를 맺고 있었고, 이들 중 대다수가 종실이 터져 종자가 포장에 떨어진 상황이었음. 그래서 7월 17일 로터

리를 시행하고 후속작물인 메밀과 유채를 파종했음(로터리 당시 1m×1m내 유채 식물체는 150 ~ 230개체 정도의 분포를 나타냈으며 평균 190여개체의 유채가 생육하고 있었음)(그림 3).

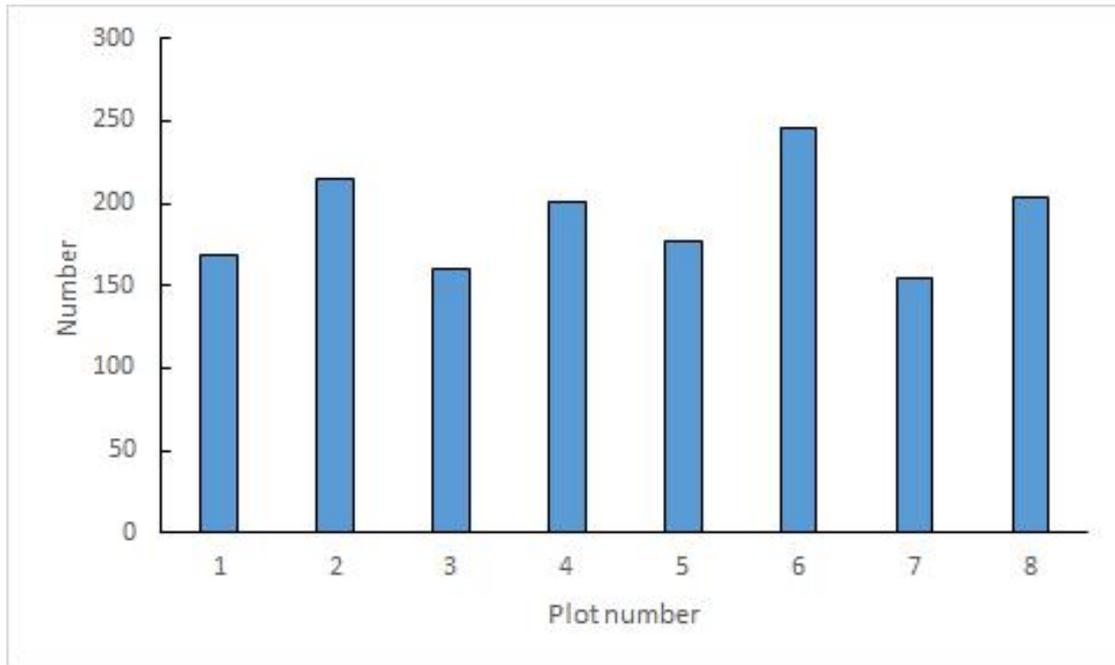


그림 3. Plot당 조사된 유채 개체수

- (5) 로터리 후 메밀 및 코스모스를 유채를 재배했던 동일한 plot에 후속작물로 파종했고, 2018년 8월 30일 메밀 유식물체와 발아한 유채 유식물체를 확인할 수 있었다. 2018년 10월 12일 후속작물로 파종했던 메밀 및 코스모스가 발아한 뒤 포장에 발아된 메밀 및 코스모스 개체수와 유채의 개체수를 각각 조사한 결과는 표 1과 같다. 발아된 메밀 개체수는 21~78개였고, 동일한 포장내에서 발견된 유채의 개체수는 3곳에서 모두 3개체씩 조사됐고, 나머지 한 곳에서는 유채가 발견되지 않았다(표 1). Plot당 1m<sup>2</sup>코스모스 개체수는 메밀보다 높은 59~173개체수를 나타냈다. 동일포장에서 발견된 유채 개체수는 두 곳에서 각각 1개가 발견됐고, 나머지 두 곳에서는 유채가 발견되지 않았다. 위 결과만으로 봤을 때 유채의 발생은 코스모스를 후속작물로 했을 때 더 낮아지는 것으로 조사됐으나, 그림 3에서 조사된 결과로 볼 때 발생된 개체수에서 떨어진 종자수를 추정했을 때 발아된 유채 개체수는 아주 낮음을 확인할 수 있었다.

표 1. 유채 후속작물로 메밀 및 코스모스 파종 시 메밀, 코스모스 및 유채 개체수 결과

Plot number	메밀 개체수	코스모스 개체수	유채 개체수
1	53	-	3
2	78	-	0
3	35	-	3
4	21	-	3
5	-	59	1

6	-	98	0
7	-	88	1
8	-	173	0

- (6) 위 결과는 1)유채 파종 후 미발아 종자가 뒤늦게 발아되는 상황 2)유채가 발아 후 개화하여 종자가 토양에 비산하였을 때 유채가 파종 혹은 발아되어 종자를 맺은 지역을 잘 관리하기 위해서 후속작물로 어떤 것이 좋을지 판단하기 위해 진행된 연구로 좀 더 구체적인 결과값을 얻기 위해 2019년 3월부터 경북대학교 대구 캠퍼스에 위치한 농장에서 유채와 4종의 경관식물[메밀 (Buckwheat, Fagopyrum esculentum), 청보리(Green barley, Hordeum vulgare), 호밀 (Rye, Secale cereale) 및 헤어리베치(Hairy vetch, Vicia villosa)]을 각각 혼파했을 때 유채의 발아율 및 개체수 변화를 조사했다.
- (7) 종자별 파종량은 농촌진흥청 농사로 농업기술포털에 명시된 작물별 파종량(유채: 3 kg/10a, 메밀: 8 kg/10a, 청보리: 20 kg/10a, 호밀: 20 kg/10a, 헤어리베치: 6 kg/10a)에 따라 파종했다(www.nongsaro.go.kr). 면적이 0.27 m<sup>2</sup>인 플라스틱 포트(60 cm x 45 cm)에 동일한 양의 발흙(식양토)을 넣은 후 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 4.6-8.0-7.8/10a를 전량 기비로 처리한 뒤 실험에 이용할 작물을 파종했다.
- (8) 본 실험의 구성은 i) 유채단독, ii) 유채 + 메밀, iii) 유채 + 청보리, iv) 유채 + 호밀, v) 유채 + 헤어리베치 혼합 파종으로 구성했다. 파종 후 14일과 28일 및 56일 뒤 작물별 개체수를 측정했다(표 2).

표 2. 유채와 경관식물 파종 후 생육상황. 표에서 DAP는 days after planting의 약자임.

Periods	Rapeseed	Rapeseed + rye	Rapeseed + Green barley	Rapeseed + Hairy vetch	Rapeseed + Buckwheat
14DAP					
28DAP					
56DAP					

- (9) 유채 단독 혹은 유채와 경관식물인 호밀, 청보리, 헤어리베치 및 메밀을 각각 혼합하여 파종한 뒤 유채 및 각각의 경관식물 개체수를 시기별로 조사한 결과에 대한 통계분석 결과는 표 2와 같다. ANOVA 분석결과 파종 후 14일(14DAP; days after propagation) 뒤

유채단독 처리 및 유채와 경관식물 혼합처리 간 발생된 유채 식물체의 통계적 유의성을 나타내지 않았으나 이와는 반대로 28일과 56일 뒤 조사에서는 P-value가 각각  $P = 0.0135$ 와  $P = 0.0362$ 로 조사되어 통계적 유의성이 있는 것으로 조사됐다(표 3).

표 3. Analysis of variance (ANOVA) 분석결과

Periods	Source of variation	df	Mean Square	F-value	P-value
14DAP	Var <sup>Z</sup>	4	63.12	2.34	0.1142
	Rep <sup>Y</sup>	3	107.53	3.98	0.035
28DAP	Var	4	542.58	4.97	0.0135
	Rep	3	45.38	0.42	0.7449
56DAP	Var	4	577.9	7.75	0.0362
	Rep	1	57.6	0.77	0.4292

<sup>Z</sup>Variety

<sup>Y</sup>Replication

- (10) 위 결과를 토대로 파종 후 일정 기간 경과 뒤 유채 개체수와 혼파한 경관식물의 개체수를 각각 조사한 결과는 그림 4와 같다. 파종 후 14일 뒤 조사결과 면적이 0.27 m<sup>2</sup>인 플라스틱 포트에 유채를 단독으로 파종했을 때 발아된 유채 식물체 수는 약 99개로 조사됐고, 유채 + 호밀, 유채 + 청보리, 유채 + 헤어리베치 및 유채 + 메밀 혼합처리에서 발아된 유채 식물체 수는 각각 99.5개, 98개, 96.3개 및 87.8개로 조사되어 유채단독으로 파종했을 때 유채 개체수보다 소폭 감소하는 것으로 조사됐다(그림 4).
- (11) 파종 후 28일 뒤 조사에서는 유채단독 파종 시 발아된 유채 개체수가 93.8개로 조사된 것에 반해 유채와 경관식물을 혼파 했을 때 발아된 유채 개체수가 유채 + 호밀에서 62.5개로 약 33.3% 감소, 유채 + 청보리에서 72.5개로 22.7% 감소, 유채 + 헤어리베치에서 81.3개로 13.3% 감소, 유채 + 메밀에서 73.3개로 21.9% 감소된 것으로 조사되어 호밀과 청보리 혼파 시 유채 개체수가 크게 감소한 것으로 조사됐다(그림 4).
- (12) 파종 후 56일 뒤 조사에서도 파종 후 28일과 유사한 결과를 보였다. 유채단독 파종에서 유채개체수는 108.5개로 조사됐고, 유채 + 호밀에서 62.5개, 유채 + 청보리에서 83.5개, 유채 + 헤어리베치에서 95.5개, 유채 + 메밀에서 91개로 조사되어 각각 42.4%, 23.0%, 12.0%, 16.1% 감소된 것으로 조사됐다(그림 4). 유채와 함께 파종한 경관식물의 개체수를 살펴보면, 호밀과 청보리의 경우 전체 조사기간 동안 94.5~108개(호밀)와 95~124개(청보리)로 조사되어 함께 파종한 유채의 개체수보다 많은 것으로 조사됐다(그림 4). 반면 헤어리베치와 메밀의 경우 각각 25~32개(헤어리베치), 20.5~42개(메밀)로 조사되어 함께 파종한 유채의 개체수보다 확연하게 감소했음을 확인할 수 있었다(그림 4).

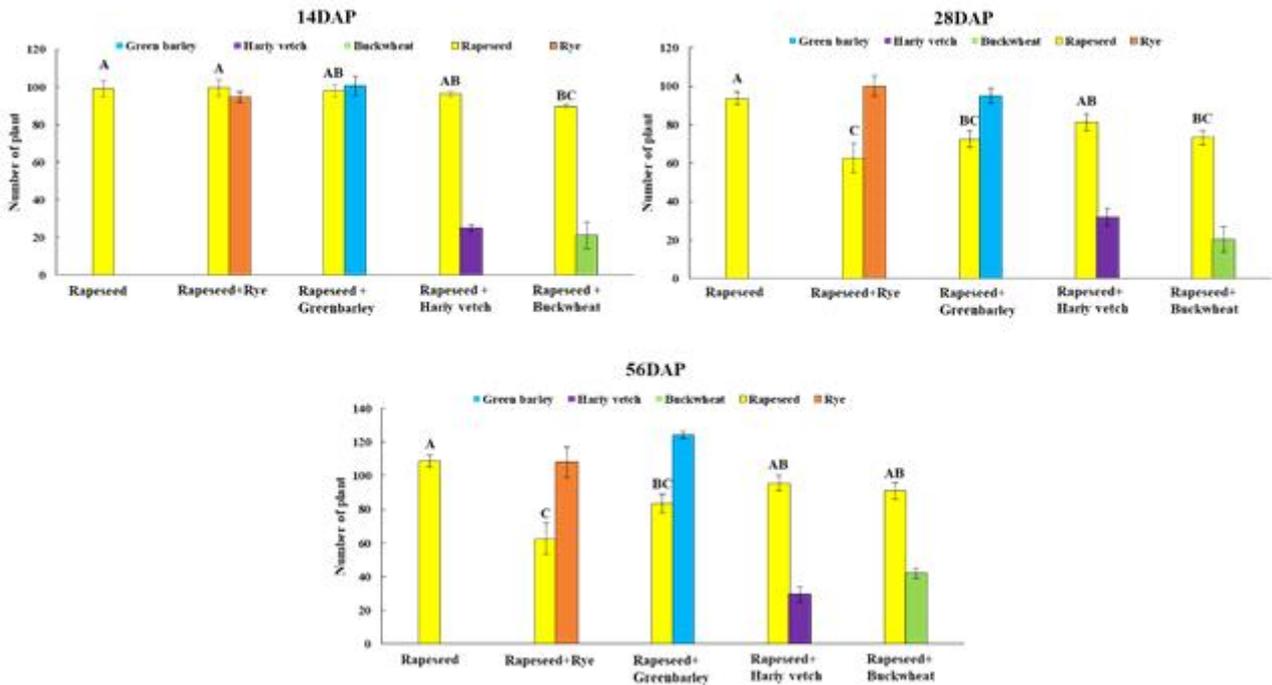


그림 4. 유채와 경관식물 호밀, 청보리, 헤어리베치 및 메밀 혼파에 따른 유채의 초기생장 효과. 그림에서 DAP는 days after propagation의 약자임. 표에서 알파벳의 차이는 던컨의 다중검정을 통해 5%수준에서 유의한 차이를 나타냄을 뜻함.

- (13) 본 연구결과에 따르면 유채를 호밀 혹은 같은 화분과 작물인 청보리와 혼파했을 경우 유채의 개체수가 크게 감소한 결과를 얻을 수 있었고, 유채와 함께 혼파한 호밀과 청보리는 공통적으로 저온에서 생육이 상대적으로 우수한 특징을 보이고 있다. 표 2에 파종 후 14일과 28일 생육상황을 볼 때 호밀과 청보리는 봄에 파종했을 때 일반적으로 발아 후 초기 생육이 유채보다 월등히 빨라 생육초기 호밀과 청보리가 수관(canopy)을 형성했기 때문에 상대적으로 발아시와 초기 생육이 느린 유채 개체수가 감소한 것으로 사료된다.
- (14) Lee 등 (2009)의 보고에 따르면 헤어리베치는 콩과 작물로 대기중 질소고정 능력이 뛰어나다. 또한 헤어리베치는 생태적 특징으로 인해 월동 후 이른 봄에 잡초들이 발생하기 전 토양을 피복하는 효과가 있어 잡초의 발생과 생육을 억제하는데 효과적인 것으로 보고했다. 그러나 본 실험에서는 유채와 헤어리베치를 동시에 파종한 후 유채의 개체수를 확인했기 때문에 유채에 비해 상대적으로 헤어리베치의 발아율이 낮았을 뿐만 아니라 발아된 개체의 생육도 빠른 편이 아니어서 유채의 발아 혹은 개체수를 줄일 수 있을 정도의 수관을 형성하기 못했기 때문에 유채 발생 억제 효과가 가장 낮았던 것으로 추정된다. 유채와 메밀을 혼파했을 때 유채의 개체수가 크게 줄지 않은 것도 유채와 헤어리베치 혼파에서 얻어진 결과와 동일한 맥락에서 메밀의 경우 자체적인 발아율이 낮고 발아까지 요구되는 시간이 상대적으로 유채보다 길 뿐만 아니라 초기 생육이 유채보다 빠르지 못하기 때문에 유채 개체수를 초기에 줄이기 못한 것으로 사료된다.

## <제2협동:충남대학교> 충청권 환경영향조사 및 LM유채 종자 및 식물체 조기 제거 기술개발

### 1. 충청남북도에서 비의도적으로 확산된 LM유채 환경영향조사

#### 가. 연구목적

본 연구의 목적은 수입된 제초제 저항성 LM유채와 이들이 국내 생태계에서 어떻게 확산되고 비형질 전환 또는 유연관계가 있는 다른 종으로의 확산을 모니터링 함으로서 국내 자연생태계에 미칠 환경영향을 조사하는데 있다.

#### 나. 재료 및 방법

제초제 저항성 LM유채는 2017년 봄에 충청남북도 24개 지점에 유입된 것으로 파악되고 있다. 재배가 이루어진 곳과 도로주변 등을 년 3회 이상 조사하였으며 수집된 유채의 개체수와 위치를 파악하여 GPS 좌표를 기록하였다(그림 1). 현장에서 Roundup Ready 검출키트를 이용하여 CP4EPSPS 단백질의 존재 유무를 확인하였다(그림 2).

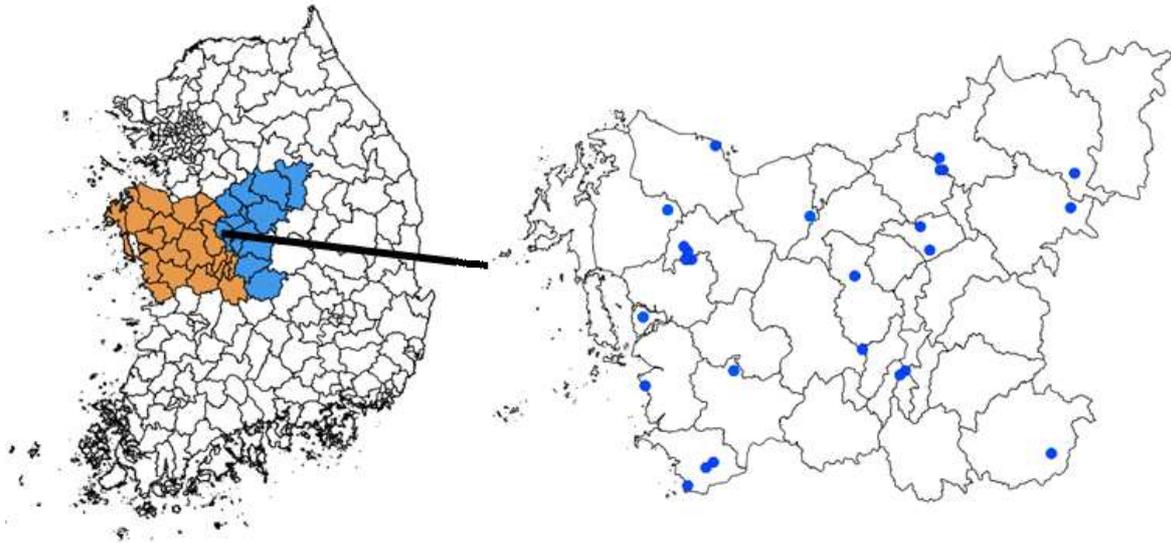


Figure 1. LM canola monitoring sites in Chungnam and Chungbuk provinces.

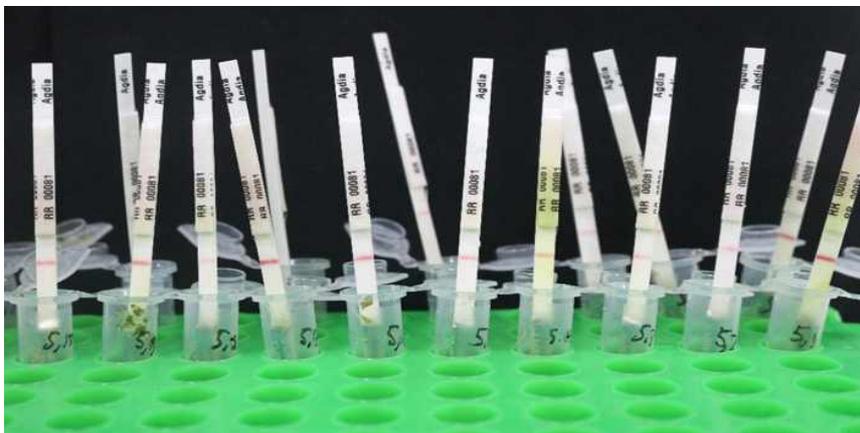


Figure 2. Roundup Ready (CP4EPSPS) ImmunoStrip kit was used to identify CP4 EPSPS protein.

다. 결과 및 고찰

- (1) 2018년에 모니터링을 수행하는 동안 24개 지역에서 3월에는 0, 5월에는 36, 9월과 10월에는 각각 17, 15개로 총 68개의 식물체 샘플을 수집하였다(그림 3). 5월에 수행한 조사에서 덕산면과 흥북읍에서 발견한 2개체의 유체가 LM유체로 확인되었다(그림 4).
- (2) 모니터링 지점에서 9월과 10월에도 유체가 발견되었지만 LM유체는 발견되지 않았다. 특히 수안보에서는 이 시기에 43개의 유체가 발견되었지만 LM유체는 아닌 것으로 확인되었다.



Figure 3. Canola plants found in and near survey sites in Chungnam and Chungbuk provinces.

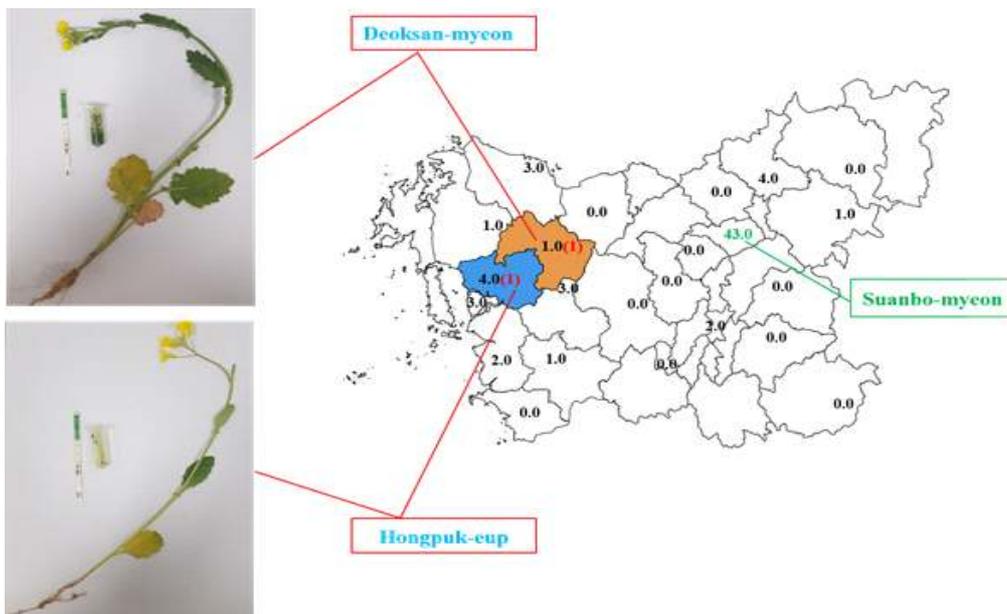


Figure 4. LM canola plants were found in Deoksan-myeon and Hongbuk-eup in Chungnam and Chungbuk provinces in 2018.



Figure 5. The number of collected canola plants in Chungnam and Chungbuk provinces in 2018.

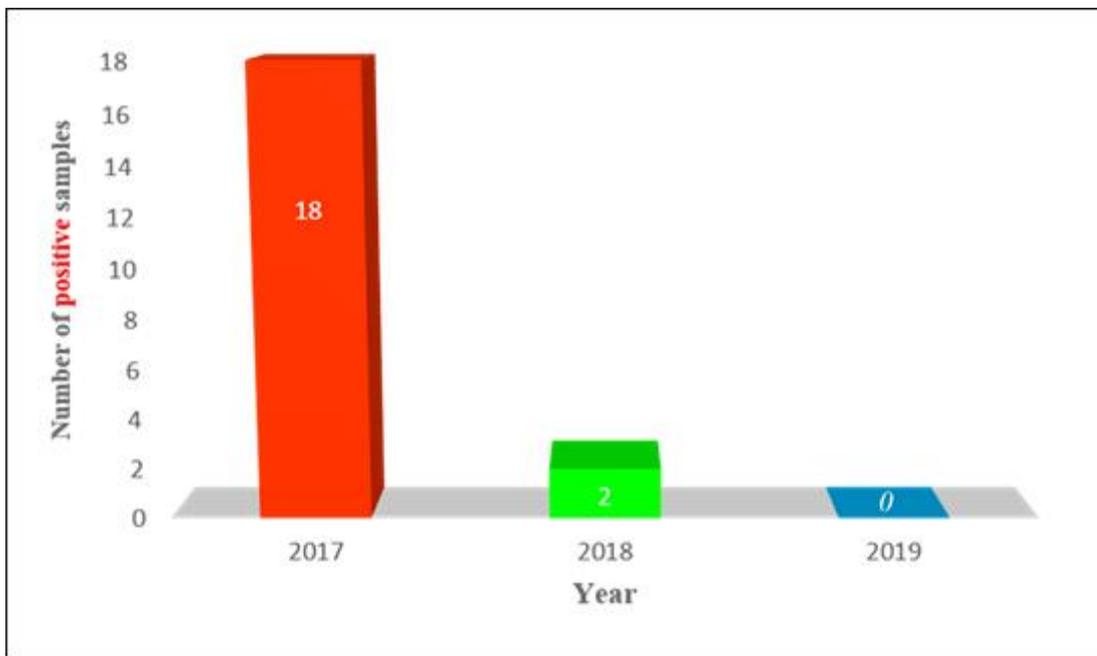


Figure 6. The number of LM canola plants in Chungnam and Chungbuk provinces.

- (3) 충청남도과 충청북도에서는 3월에 종자가 발아하여 새로운 개체로 성장하는 유채나 월동을 하여 성장하는 개체를 발견하기 어려우며 적어도 5월은 되어야 모니터링이 가능한 것으로 나타났다(그림 5). 5월에는 발견된 유채 개체가 충남과 충북 모두 비슷한 수준이었으나 9월과 10월에는 충북에서 훨씬 많은 수의 유채 개체수가 발견되었다. 이는 5월 이후 충남지역에서 발견되는 유채를 적절히 제거한 것으로 보이며 충북지역에서는 5월과 비슷한 수준이어서 제거작업이 적절히 이루어지지 않은 것으로 파악된다. 하지만 2018년도에 LM유채로 확인된 개체는 충남지역이었다.

- (4) 충청남북도에서 2017년 유출 후 조사에서 LM유채로 확인된 개체수를 보면 18개체로 나타났다(그림 6). 그 후 합동조사 및 제거작업을 통하여 2018년에는 2개체만이 LM으로 확인되었으며 2019년에는 LM유채가 발견되지 않았다.
- (5) 종합적으로 볼 때 적극적으로 LM유채를 모니터링하고 제거함으로써 그 발생 수를 줄일 수 있을 것으로 판단되며 앞으로 2-3년간의 추가적인 모니터링을 통하여 LM 유채의 발견 유무를 확고할 필요가 있다.

## 2. 유채종자의 토양 내 지속성 검정

### 가. 연구목적

본 연구는 LM유채 종자가 토양에 유입되어 얼마나 오래 종자수명을 유지할 수 있는지를 알아봄으로서 LM유채로 오염된 지역의 모니터링 최소 기간을 설정하고 제거작업을 지속해야 할지를 판단하는데 중요한 근거로 제시될 것이다.

### 나. 재료 및 방법

본 실험은 충남대학교 부속농장에서 수행되었으며, 100개의 유채종자를 그림 1에서 보는바와 같이 5, 25, 30 cm 깊이로 매립하였다. 2018년 4월 매립 후 2, 3, 4, 5, 6, 12, 15개월 후에 매립된 종자를 꺼내어 정상적인 종자의 개수와 발아력을 확인하였다. 발아력 검정은 27°C에서 10일간 incubator에서 수행 되었으며 발아하지 않은 정상적인 종자는 tetrazolium test를 통하여 휴면인지를 확인하였다. 2018년 7월에도 위 실험과 마찬가지로 100개의 유채종자를 매립하는 실험을 수행하였다.



Figure 1. Method of canola seed burial experiment in the field before (A) and after (B) seed burial.

다. 결과 및 고찰

- (1) 국내 환경에서는 월동 후 토양 내에서의 미생물에 의한 종자의 부패나 발아력 상실 등의 현상이 발생하므로, 2018년 4월에 종자를 매립한 후 2개월부터 매립된 종자의 상태와 발아력을 확인하였다. 매립 후 유채종자는 급격히 발아력을 잃어 매립 후 2개월에는 25% 이하의 발아력을 6개월에는 5% 이하의 발아력을 갖는 것으로 확인되었다(그림 2A). 매립 깊이별로 종자의 발아력에 유의한 차이를 보여 30 cm에 매립되어 있는 종자의 발아력이 5, 25 cm에 매립되어 있는 종자보다 더 높은 것으로 나타났다.
- (2) 자연환경에서 유채가 개화하고 종자를 형성하여 토양으로 떨어지는 시기를 감안하여 2차 토양매립실험은 7월에 수행되었다. 여름철은 고온과 다습조건 등으로 토양 내 미생물의 활동 및 물리적 영향으로 종자의 발아력은 4월에 매립한 실험보다 급격히 떨어졌으며 토양 깊이별 차이가 크지 않았다(그림 2B).
- (3) 매립 후 종자는 토양에서 급격히 정상적인 형태를 잃고 부패하여 없어지나 일부 종자들은 발아력을 유지하여 매립 후 12개월이 지나도 정상적으로 발아하는 것으로 나타났다(그림 3).

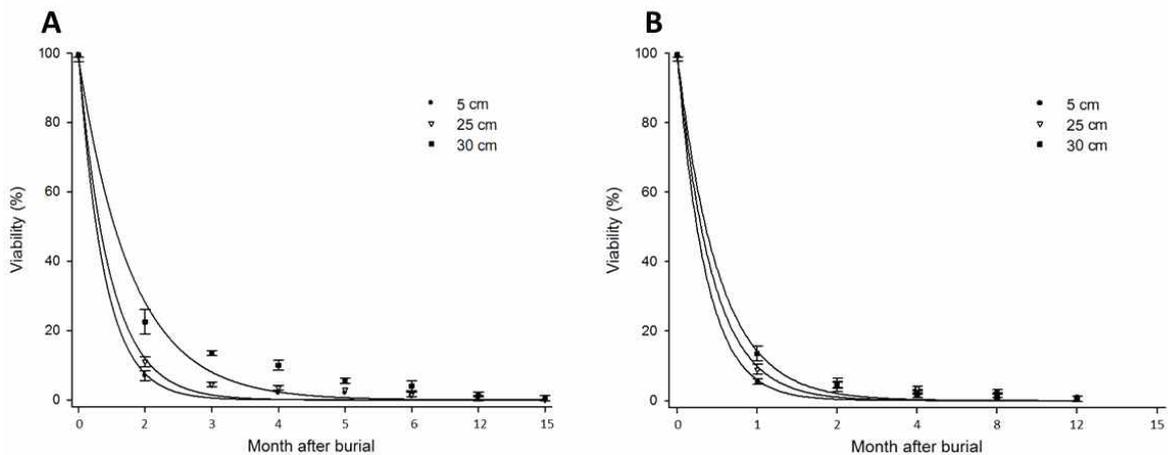


Figure 2. Exponential decay curves of viability of canola seeds buried in April (A) and July (B) 2018.

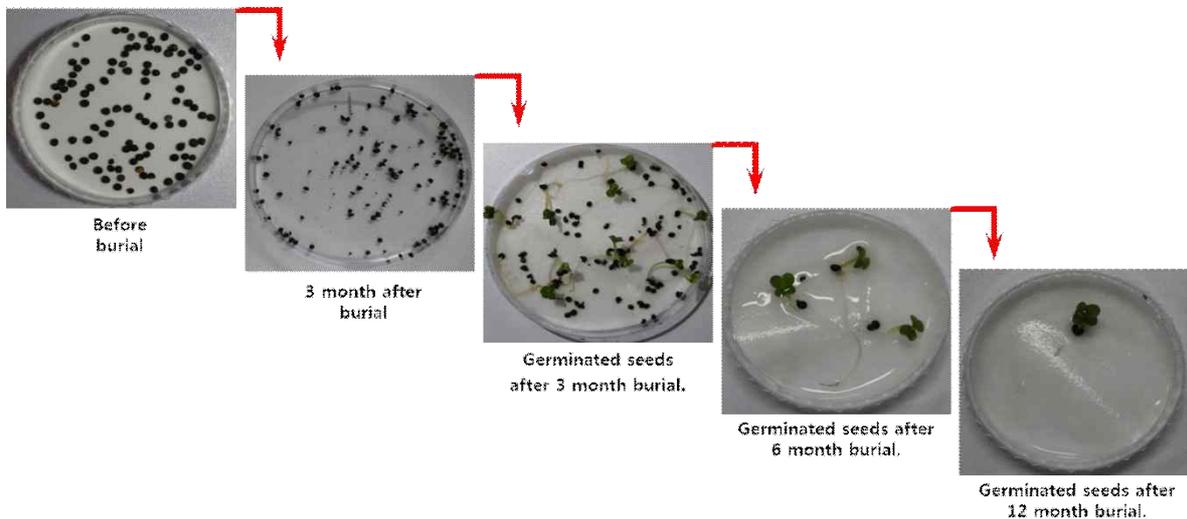


Figure 3. Germination of canola seeds after burial on time interval.

### 3. 물리적 방법을 통한 LM유채 관리방법

#### 가. 연구목적

본 연구는 LM유채가 재배되거나 오염된 경작지에서 멀칭이나 경운 등 물리적인 방법으로 LM유채를 효과적으로 제거할 수 있는 방법을 제시하고자 수행되었다.

#### 나. 재료 및 방법

본 실험은 충남대학교 온실 및 부속농장에서 2019년에 수행되었다.

- 온실 내에서 유채종자를 토양표면에서 15 cm 까지 깊이별로 종자를 파종한 후 21에 유채의 출아율을 측정하였다. 부속농장에서는 15 cm 까지 깊이별로 종자를 파종한 후 28일에 출아율을 측정하였다.
- 토양경운에 의한 유채종자의 제거율을 측정하기 위하여 토양 표면에 유채종자를 파종한 후 깊이별로 토양을 경운한 후 28일에 유채의 출현율, 초장, 생체중, 건물중을 측정하였다.
- 검정멀칭필름에 의한 유채의 생육을 억제하기 위하여 유채종자를 토양표면에 파종한 후 방입한 대조구와 비교하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

- (1) 온실 및 필드에서의 실험결과 유채종자는 토양표면에 있을 때 출아율이 낮은 것으로 나타났으며 1 cm의 복토에 의해 출아율이 25-30%로 증가하다 토양깊이에 따라 감소하는 것으로 나타났다(그림 1). 온실 조건에서는 13 cm, 필드조건에서는 11 cm에서는 출아가 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

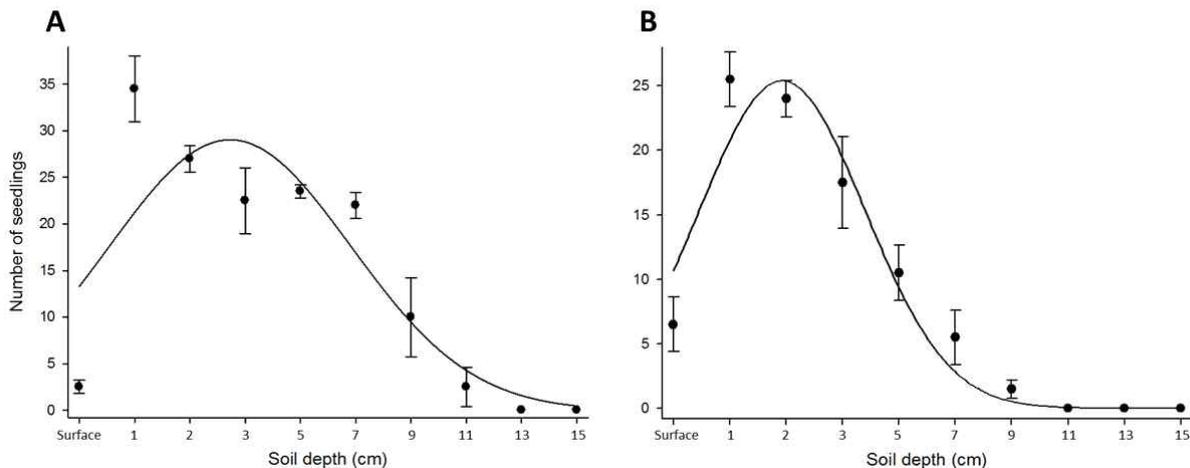


Figure 1. Emergence of Brassica napus by soil depth under greenhouse (A) and field (B) condition, 21 and 28 days after seeding respectively.

- (2) 토양을 5-10 cm로 경운 했을 때 유채종자의 출아 및 생육이 가장 왕성하였으며 15, 20 cm로 경운 깊이가 클수록 유채종자의 출아 및 생육이 감소하는 것으로 나타났다(그림 2, 표 1). 따라서 물리적인 수단으로 유채의 출아율을 낮추고 생육을 억제하기 위해서는 경운을 생략하거나 20 cm이상의 심경을 해야할 것으로 판단된다.



Figure 2. The effect of ploughing the land after seeding the canola seeds, pictures were taken 28 days after sowing.

Table 1. The effect of land ploughing on the growth parameters of canola under field condition 28 days after seeding.

Depth (cm)	Number of plants/m <sup>2</sup>	Plant height (cm)	Fresh weight (g/m <sup>2</sup> )	Dry weight (g/m <sup>2</sup> )
Surface	19.0±0.0c	23.2±0.0bc	260.0±0.0c	56.0±0.0c
5	82.0±3.6ab	31.8±2.6a	505.0±0.0b	201.0±2.0b
10	98.0±0.0a	30.2±0.0ab	675.0±1.6a	305.5±0.0a
15	53.0±1.0b	20.0±1.3b	620.0±2.1ab	212.0±0.25ab
20	26.0±2.1bc	16.8±6.5c	450.0±2.0bc	97.0±2.0bc

a-c: Same letters with in a column were not significantly different by Turkey's HSD test (P<0.05).

(3) LM유체의 밀도가 상당히 높고 국부적인 경우는 검정비닐멀칭을 사용하여 적극적으로 제거할 필요가 있다. 그림 3과 4는 유체종자를 파종한 후 검정비닐멀칭을 한 경우 효과적으로 유체종자의 출아 및 생육을 억제할 수 있는지를 보여주고 있다.

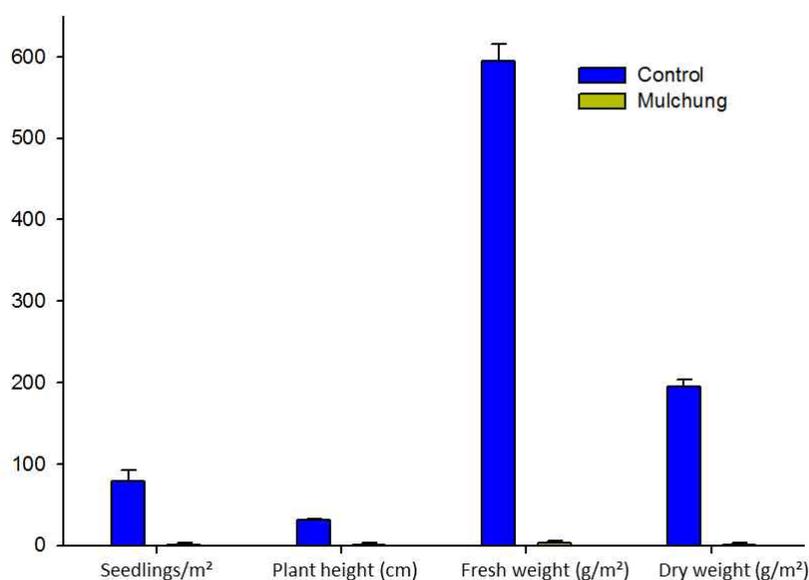


Figure 3. The effect of mulching on the growth parameters of canola under field condition, 28 days after seeding.



Figure 4. The effect of mulching on the elimination of weed population including canola.

#### 4. 화학적 방법을 통한 LM유채 관리방법

##### 가. 연구목적

본 연구는 LM유채(glyphosate 저항성)가 재배되거나 오염된 경작지에서 국내에 등록된 제초제를 이용하여 LM유채를 효과적으로 방제할 수 있는 방법을 제시하고자 수행되었다.

##### 나. 재료 및 방법

- (1) 본 실험은 2018년과 2019년 2년간 충남대학교 온실과 부속농장에서 수행되었다. 국내에 등록되어 있는 토양처리 4종과 경엽처리 5종의 제초제를 선발하였으며 처리량은 등록되어 있는 권장량과 권장량의 배량으로 하였다. 본 실험에서 사용한 제초제의 특성은 표 1과 같다.
- (2) 온실실험에서는 50개의 유채종자를 1 cm 깊이로 플라스틱 포트에 파종하여 실험을 수행하였다. 필드에서는 1 m X 1 m 크기의 처리구에 유채종자 5 kg/ha 수준으로 파종한 후 제초제를 처리하였다.
- (3) 제초제 처리 후 유채의 방제효과를 조사하였으며 토양처리 제초제는 처리 후 21일, 경엽처리 제초제는 처리 후 14일에 유채 출아율, 초장, 생체중, 건물중 및 방제가를 측정하였다.
- (4) 또한 농도별 유채의 반응 실험을 통하여 80% 방제를 위한 제초제 농도를 계산하였다.

Table 1. List of herbicides used in the experiments.

Herbicides	Modes of action	Formulation <sup>z</sup>	Application	Rate
			timing	(g a.i. ha <sup>-1</sup> )
Oxyfluorfen	PPO inhibitors	EC	PRE	1,175
s-metolachlor	Inhibition of cell division	GR	PRE	750

Dichlobenil	Inhibition of cell division	GR	PRE	6,700
Linuron	Photosynthesis at photosystem II	EC	PRE	500
Bentazone	Photosynthesis at photosystem II	EC	POST	1,600
Fluthiacet-methyl	PPO (protoporphyrinogen oxidase)	EC	POST	610
MCPA	Action like indole acetic acid	EC	POST	1,680
Glufosinate-ammonium	Glutamine synthesis	EC	POST	900
Bentazone sodium	Photosynthesis at photosystem II	EC	POST	1,000

zEC: emulsifiable concentration, GR: granule.



Figure 1. General looking of the experiments on canola, picture was taken 28 DAS(T).

#### 다. 결과 및 고찰

- (1) 유전자변형작물에 대한 주요 이슈 중 하나는 꽃가루에 의한 유전자 이동으로 원하지 않는 유전자 또는 유전자의 의도하지 않은 방출이다. 2009년 이래로 제초제 내성 유전자를 포함한 형질 전환 유채(*Brassica napus*)가 비의도적으로 한국 생태계에 방출되었으며 이를 제거하기 위하여 2018년과 2019년에 온실 및 필드 조건에서 유전자 변형 유채를 제거하기 위한 화학적 방제법을 확립하기 위해 본 연구가 수행 되었다.
- (2) 글루포시네이트-암모늄을 제외하고, bentazone, fluthiacet-methyl, MCPA 및 bentazone sodium을 포함한 모든 경엽처리 제초제는 권장량 및 배량에서 거의 100 % 유채의 생장을 억제하였으며, 토양처리 제초제의 경우 dichlobenil과 oxyfluorfen은 권장량과 배량에서 모두 완벽하게 유채의 생장을 억제하였다(표 2). Linuron의 경우 적은 수의 유채종자가 발아하였지만 점차 시들어 고사하였다. 하지만 s-metolachlor는 유채의 생장을 억제하

는데 효과가 크지 않았다(표 3).

- (3) 이러한 경향은 필드조건에서도 마찬가지로였으며 경엽처리 제초제에서 glufosinate ammonium과 토양처리 제초제에서 s-metolachlor를 제외하고는 모두 95% 이상의 유채 방제효과를 보였다. 그림 2를 보면 이들 두 제초제의 방제효과는 나머지 제초제들과 비교했을 때 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.
- (4) 따라서 유채가 발아하기 전에는 oxyfluorfen, dichlobenil, linuron을 권장량 토양에 처리 하여 유채의 종자발아 및 생장을 억제할 수 있으며, 유채가 출아하여 성장하고 있을 때는 bentazone, MCPA, fluthiacet을 권장량 경엽처리 함으로서 유채의 생장을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2. The effect of post-emergence herbicides on the growth parameters of canola under greenhouse condition, 14 days after herbicide treatment.

Herbicides	Rate (g a.i. ha <sup>-1</sup> )	Number of plants/pot	Plant height (cm)	Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)	Control efficacy (%)
Bentazone	1,600	3.3±0.8e	12.0±1.6d	7.1±0.7e	1.1±0.2d	95.0±0.0
	3,200	1.1±0.2f	9.9±0.7e	4.4±0.9f	0.7±0.0e	98.0±0.0
MCPA	610	1.7±0.9f	7.0±0.6f	3.8±0.8f	0.55±0.0bc	98.0±0.0
	1,220	0.0±0.0h	0.0±0.0h	0.0±0.0h	0.0±0.0f	100.0±0.0
Glufosinate-ammonium	1,680	15.9±2.1b	26.3±4.2ab	35.4±2.0b	12.6±1.1b	35.0±0.0
	3,360	8.1±1.0c	19.2±0.8c	18.8±1.4c	6.2±0.7c	65.0±0.0
Bentazone-sodium	900	3.0±0.2e	10.7±2.0e	9.3±0.1cd	0.95±0.1d	95.0±0.0
	1,800	0.0±0.0h	0.0±0.0h	0.0±0.0h	0.0±0.0f	100.0±0.0
Fluthiacet-methyl	1,000	4.6±0.4d	13.6±1.1d	12.6±0.8c	1.5±0.1d	90.0±0.0
	2,000	2.0±0.1f	10.8±0.4e	6.1±1.1e	0.6±0.0d	98.0±0.0
Control	0	26.2±2.1a	31.0±0.0a	48.4±2.2a	18.1±1.3a	-

a-h: Same letters with in a column were not significantly different by Turkey's HSD test (P<0.05)

Table 3. The effect of pre-emergence herbicides on the growth parameters of canola under

Herbicides	Rate (g a.i. ha <sup>-1</sup> )	Number of plants/pot	Plant height (cm)	Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)	Control efficacy (%)
Oxyfluorfen	1,175	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
	2,350	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
s-metolachlor	750	22.5±3.6ab	19.4±2.6ab	24.1±2.0b	7.85±2.0b	15.0±0.0
	1,500	17.1±3.0b	14.8±3.0b	14.7±1.0c	3.2±1.0c	35.0±0.0
Dichlobenil	6,700	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
	13,400	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
Linuron	500	7.8±1.0c	5.9±1.3c	4.2±1.6d	0.8±0.25d	90.0±0.0
	1,000	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
Control	0	26.0±2.1a	24.2±6.5a	35.0±2.1a	12.5±2.0a	-

greenhouse condition, 21 days after herbicide treatment.a-e: Same letters with in a column were not significantly different by Turkey's HSD test (P<0.05).

Table 4. The effect of post-emergence herbicides on the growth parameters of canola under field condition, 14 days after herbicide treatment.

Herbicides	Rate (g a.i. ha <sup>-1</sup> )	Number of plants/plot	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plot)	Dry weight (g/plot)	Control efficacy (%)
Bentazone	1,600	5.2±0.8e	12.3±2.3c	60.7±4.1c	17.7±1.1c	95.0±0.0
	3,200	0.0±0.0f	0.0±0.0d	0.0±0.0f	0.0±0.0f	100.0±0.0
MCPA	610	4.2±1.2bc	14.6±1.7b	63.7±8.9c	14.5±1.7d	95.0±0.0
	1,220	0.0±0.0f	0.0±0.0d	0.0±0.0f	0.0±0.0f	100.0±0.0
Glufosinate- ammonium	1,680	80.0±2.0b	21.6±0.2b	181.0±13.4b	57.9±5.4b	55.0±0.0
	3,360	22.6±2.8c	14.2±1.0c	58.4±2.6b	17.6±2.0c	85.0±0.0
Bentazone-sodium	900	10.0±1.7de	13.6±0.8c	36.4±2.1d	13.8±0.7d	95.0±0.0
	1,800	0.0±0.0f	0.0±0.0d	0.0±0.0f	0.0±0.0f	100.0±0.0
Fluthiacet-methyl	1,000	13.5±2.6d	11.5±1.4c	57.4±10.0c	16.6±2.3c	90.0±0.0
	2,000	4.9±0.1e	12.5±1.3c	17.5±2.4e	6.8±2.1e	98.0±0.0
Control	0	120.0±7.1a	32.4±2.8a	612.0±36.2a	288.7±11.4a	-

a-f: Same letters with in a column were not significantly different by Turkey's HSD test (P<0.05).

Table 5. The effect of pre-emergence herbicides on the growth parameters of canola under field condition, 28 days after herbicide treatment.

Herbicides	Rate (g a.i. ha <sup>-1</sup> )	Number of plants/plot	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plot)	Dry weight (g/plot)	Control efficacy (%)
Oxyfluorfen	1,175	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
	2,350	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
s-metolachlor	750	98.9±0.8b	31.2±2.8a	516.9±22.1b	196.8±10.5b	12.0±0.0
	1,500	66.0±4.4c	23.2±2.1b	312.4±16.6c	84.5±8.8c	35.0±0.0
Dichlobenil	6,700	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
	13,400	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
Linuron	500	7.7±1.6c	8.6±2.2c	52.5±2.9d	8.2±1.4d	95.0±0.0
	1,000	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0e	100.0±0.0
Control	0	120.0±7.1a	32.4±2.8a	612.0±36.2a	288.7±11.4a	-

a-e: Same letters with in a column were not significantly different by Turkey's HSD test (P<0.05).

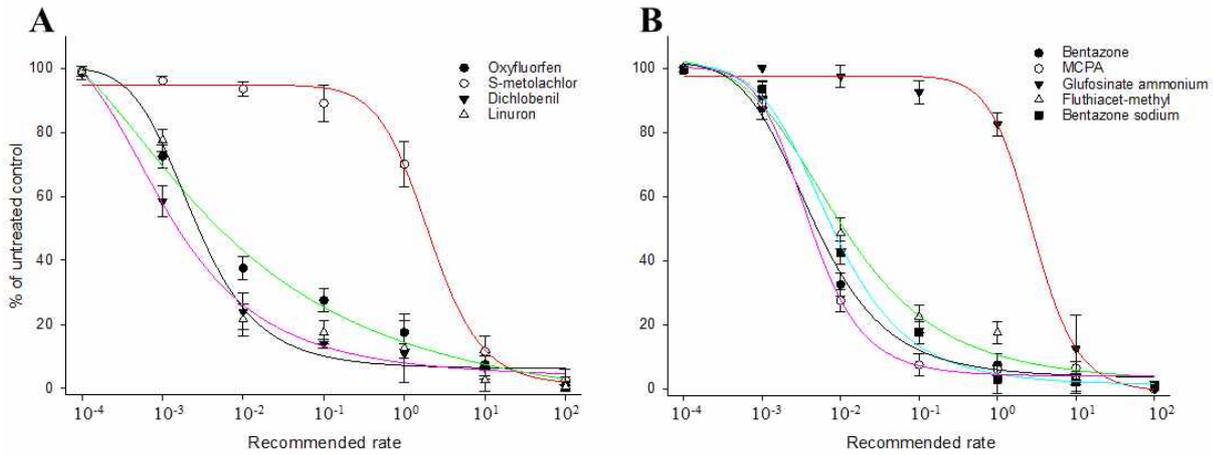


Figure 2. Dose-response curves of pre-emergence (A) and post-emergence (B) herbicides on Brassica napus, % of untreated control (28 and 14 DAT respectively). 1x (100) recommended rate (g a.i. ha-1): oxyfluorfen-1,175; s-metolachlor-750; dichlobenil-6,700; linuron-500; bentazone-1,600; MCPA-1,680; glufosinate ammonium-900; fluthiacet-methyl-610; bentazone-sodium.

<제3협동:서울여자대학교> 경기·강원권 LM유채 재발생 현황 조사 및 유전자 이동성 연구

1. 1차년도 연구 결과

가. 2018년 제1차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

- 조사기간 및 대상지: '18.2.26.~3.28. 전국 98개소
- 조사반: 권역별 8개반 편성(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남·제주, 경북, 경남)
- 조사결과: 98개소 중 12개소에서 재발생 유채 발견, 6개소 양성 판명(표 1, 별첨)

나. 2018년 제2차 미승인 LM유채 전국 환경영향조사

- 조사기간 및 대상지: '18.4.24.~5.15. 전국 98개소
- 조사반: 권역별 8개반 편성(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남·제주, 경북, 경남)
- 조사결과: 98개소 중 21개소에서 양성개체 발견, 6개소는 다수 개체가 발견되었음(표 2, 별첨)

다. LMO 유채 자체 및 민관 합동 모니터링 지점

- 2018년도 유채 모니터링 지점은 총 98개소이며 자체 모니터링 조사와 민관 합동 모니터링 조사를 병행하여 진행하였음. 자체 모니터링 조사와 민관 합동 모니터링 조사는 각각 2회씩 총 4회에 걸쳐 진행 되었으며, 조사 일정과 지점 수는 아래 표와 같음.

표1. 2018년 LMO 유채 자체 및 민관 합동 모니터링 일정 및 지점

조사 명	모니터링 일정	지점 수
1차 자체 조사	2018년 2월 27일 ~ 2018년 3월 26일	97

3차 민관 합동조사	2018년 4월 24일 ~ 2018년 5월 15일	95
2차 자체 조사	2018년 4월 19일 ~ 2018년 9월 17일	53
4차 민관 합동조사	2018년 5월 4일 ~ 2018년 11월 2일	84

라. 유채 발견지 및 양성 LMO 유채 GPS 자료 입력 및 분석

· 모니터링 전 지점 및 LMO 유채 양성 지소 데이터 입력 및 분석을 실시하였음. 2018년도 LMO 유채 모니터링 지점은 아래 그림과 같음.

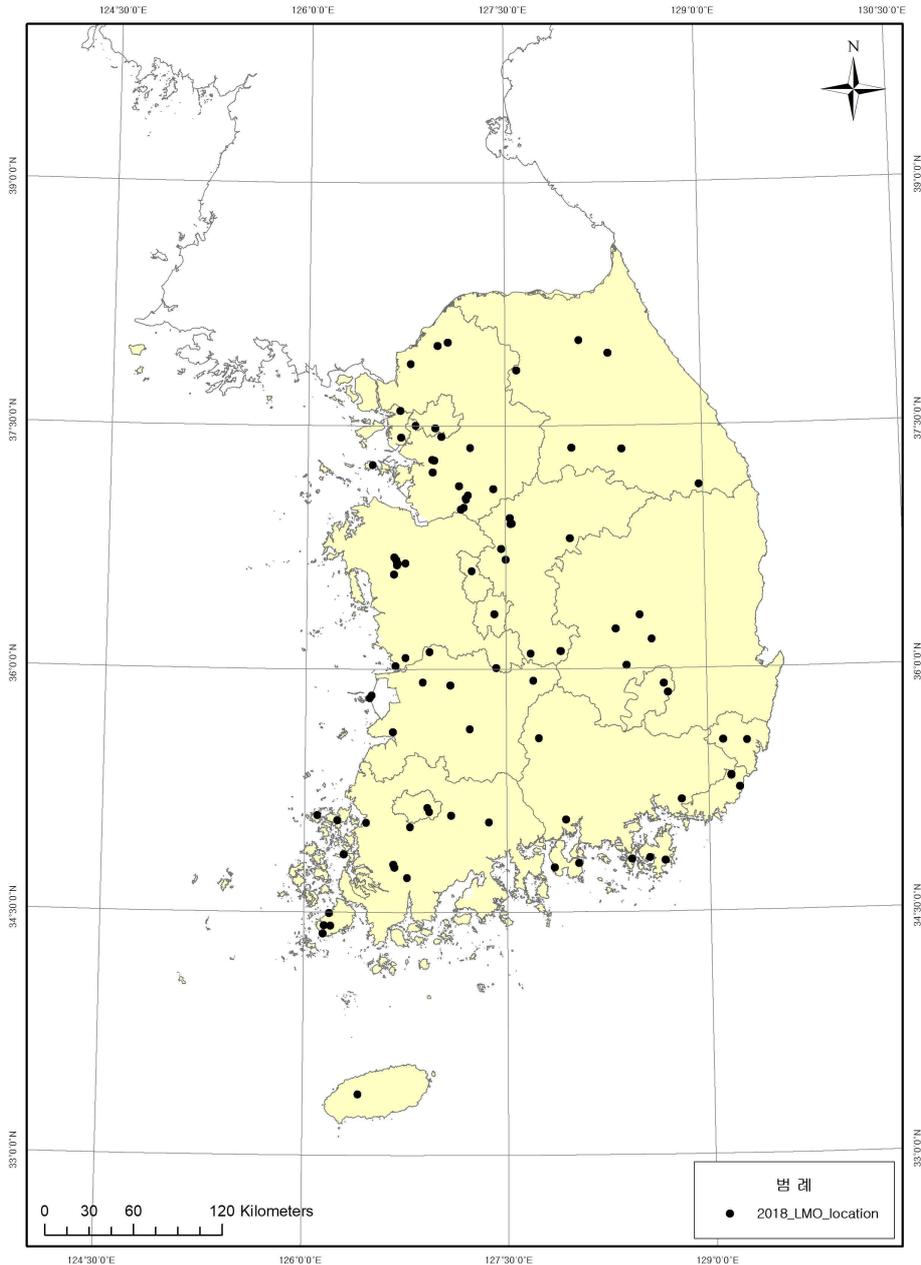


그림 1. 2018년 LMO 유채 모니터링 지역

· 조사결과: 98개소 중 20개소에서 양성 LMO 유체가 발견되었음. 세부 지점 정보는 아래 표와 같음.

표 2. 2018년 LMO 유체 발견 지점 명 및 양성개체 수

양성 유체 발견 지점 명	양성 개체
경기도 안성시 양성면 조일리	2
경기도 연천군 전곡읍 양연로	1
경상남도 거제시 거제면 소랑리	3
경상남도 거제시 일운면 망양1길	5
경상남도 김해시 대청로 상동면 여차리	5
경상남도 남해군 삼동면 동부대로	9
경상남도 통영시 발개로	4
광주광역시 동구 용산동	3
부산광역시 기장군 일광면 일광택지개발지구	4
전라남도 나주시 빛가람로	6
전라남도 신안군 임자면 대기리	320
전라남도 진도군 지산면 가치리	36
전라남도 진도군 지산면 삼당리	18
충청남도 서천군 기산면 막동리, 두북리	1
충청남도 예산군 덕산면 사동리 관광온천 앞 4개 필지	1
충청남도 홍성군 내포 신도시 (삼교읍 언덕)	1
충청남도 홍성군 내포 신도시 (한울초등학교 앞 경관지)	12
충청북도 음성군 맹동면 용촌길	1
충청북도 진천군 덕산면 교학로	20
충청북도 충주시 수안보면 중산리	1

\* 양성 개체수는 조사 기간 중 발견된 최대 양성 개체수를 기록하였음.

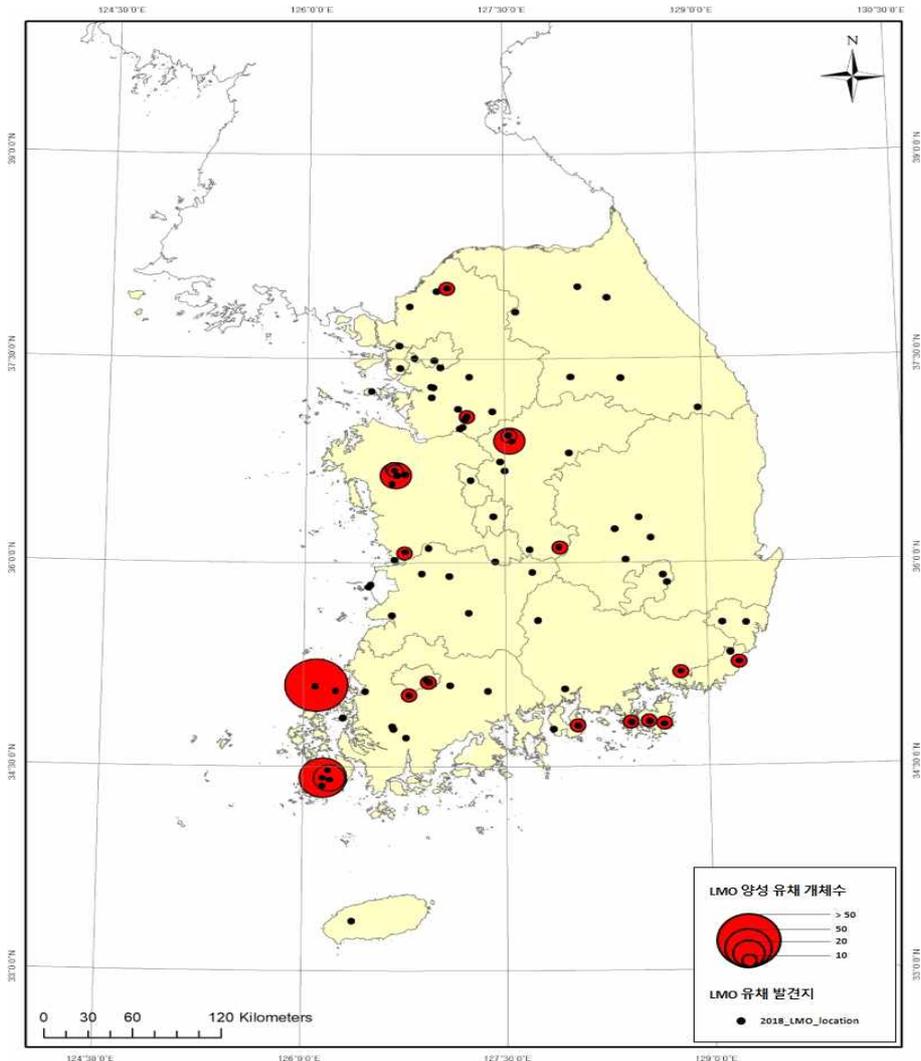


그림 2. 2018년 LMO 유채 양성 발견 지역

## 2. 2차년도 연구결과

### 가. LMO 유채 자체 및 민관 합동 모니터링 지점

(1) 2019년도 유채 모니터링 지점은 총 75개소이며 자체 모니터링 조사와 민관 합동 모니터링 조사를 병행하여 진행하였음. 자체 모니터링 조사와 민관 합동 모니터링 조사는 각각 1회씩 총 2회에 걸쳐 진행 되었으며, 조사 일정과 지점 수는 아래 표와 같음.

표 3. 2019년 LMO 유채 자체 및 민관 합동 모니터링 일정 및 지점

조사 명	모니터링 일정	지점 수
1차 자체 조사	2019년 3월 18일 ~ 2019년 3월 22일	28
3차 민관 합동조사	2019년 4월 29일 ~ 2019년 5월 24일	64

나. 유채 발견지 및 양성 LMO 유채 GPS 자료 입력 및 분석

(1) 모니터링 전 지점 및 LMO 유채 양성 지소 데이터 입력 및 분석을 실시하였음. 2019년도 LMO 유채 모니터링 지점은 아래 그림과 같음.

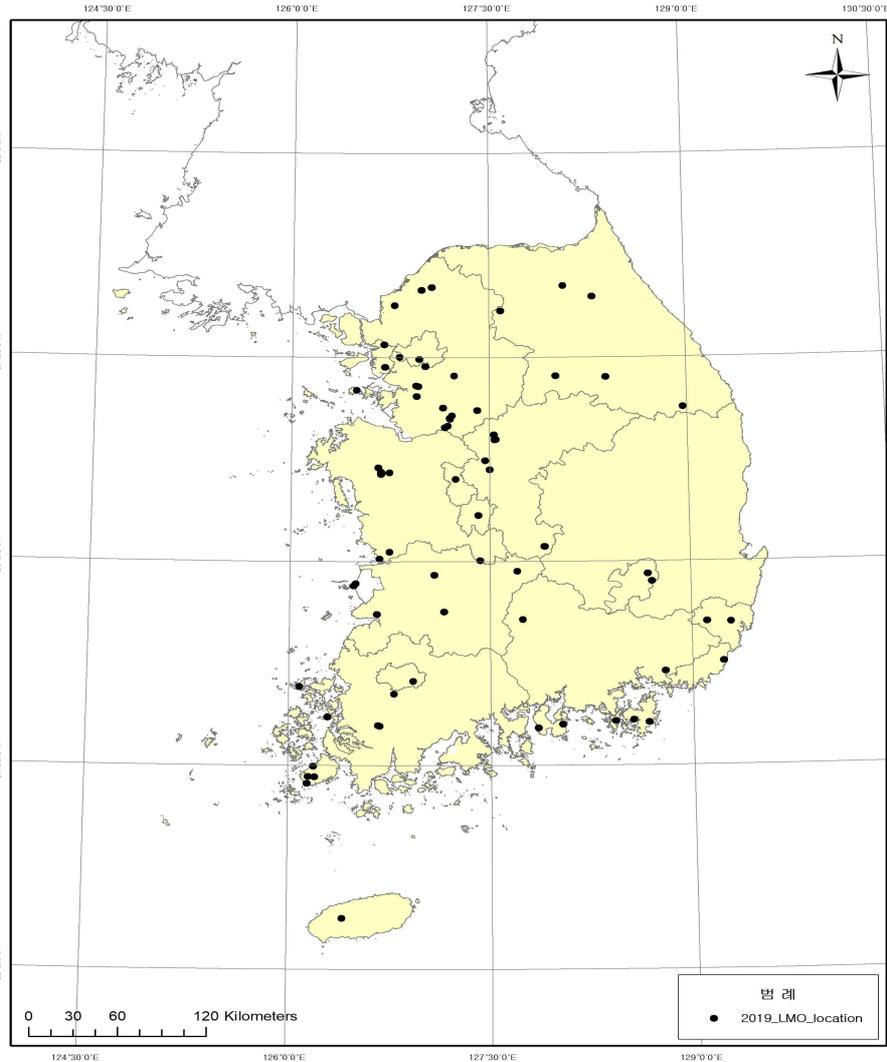


그림 3. 2019년 LMO 유채 모니터링 지역

(2) 조사결과: 75개소 중 3개소에서 양성 LMO 유채가 발견되었음. 세부 지점 정보는 아래 표와 같음.

표 4. 2018년 LMO 유채 발견 지점 명 및 양성개체 수

양성 유채 발견 지점 명	양성 개체
경상남도 함양군 지곡면 병곡지곡로	1
전라남도 신안군 임자면 대기리	40
충청남도 예산군 덕산면 사동리 관광온천 앞 4개 필지	5

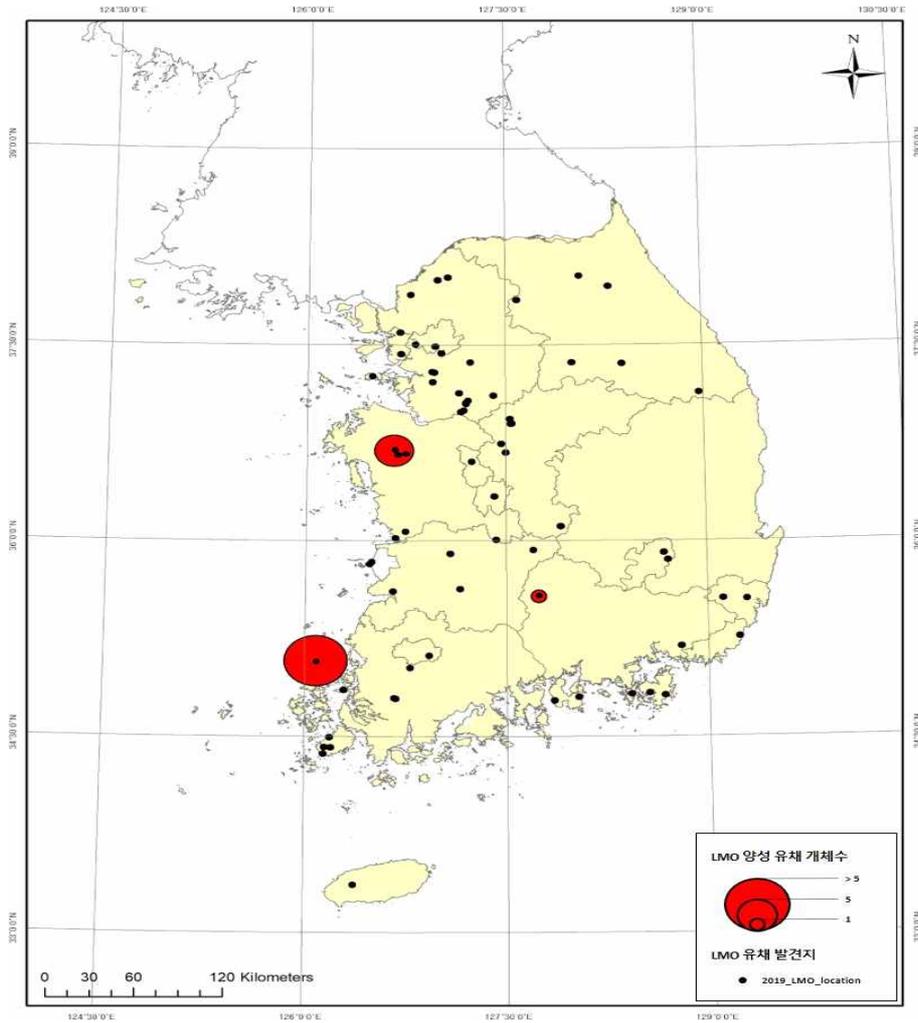


그림 4. 2019년 LMO 유채 양성 발견 지역

다. 최종 결론 및 고찰

- (1) 2018년도 양성 LMO 유채 발견 지점(20개소)에 비하여 2019년도 양성 LMO 유채 발견 지점(3개소)이 현저히 감소하였음을 확인 함.
- (2) 전라남도 신안군 임자면 대기리, 충청남도 예산군 덕산면 사동리 관광온천 앞 4개 필지의 경우 2018년도에도 양성 LMO 유채 발견 지점이었으나, 전라남도 신안군 임자면 대기리의 경우 양성 LMO 유채의 발견 개체수가 줄어들어 유채 재발생 억제 유지관리를 비교적 잘 실시하고 있는 것으로 보임.
- (3) 그러나 경상남도 함양군 지곡면 병곡지곡로 655-1 (양지농원)의 경우 2018년도 조사에는 발견되지 않았으나 2019년도 모니터링에서 처음으로 양성 개체가 발견되어 기존에 LMO 유채가 발견되지 않은 지점일지라도 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료됨.
- (4) 충청남도 예산군 덕산면 사동리 관광온천 앞 4개 필지의 경우 2018년도 보다 2019년도 모니터링시 양성인 개체가 더욱 많이 발견되어 기 발견된 양성 LMO 유채 서식지역의 LMO 유채 폐기 관리 또는 토지이용계획의 변경을 제안해야 할 것으로 보임.
- (5) 현재 기 발견된 양성 LMO 유채 서식지는 자연환경 상태에서의 LMO 종자가 월동 및 재생하여 재발생할 수 있음을 증언하는 곳 이므로 더욱 철저한 모니터링과 관리 기술이 필요 할 것으로 보이며 본 과제가 종료된 이후에도 지속적으로 관리가 필요할 것으로 보임.

### 3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 1절. 목표

- 비SCI 2건, 학술발표 2건, 종합보고서 1건, 매뉴얼 2건

#### 2절. 목표 달성여부

	당초목표		개발내용	달성도(%)
정성	○미승인 LM유채 전국환경영향조사		○미승인 LM유채 자체 환경영향조사 6건, 민관합동 환경영향조사 4건 추진	100
	○유채의 재발생 억제를 위한 후속재배작물 선정을 통한 효율적 관리방안 연구		○호밀(33.3%)과 청보리(22.7%) 혼파시 유채 개체수가 크게 감소한 것으로 분석됨	100
	○물리 화학적 처리를 통한 토양내 잔류 종자 조기 제거 기술개발 연구		○유채 발아전 : Oxyfluorfen, dichlobenil, linuron을 권장량 토양에 처리하여 유채의 종자발아 및 생장을 억제 ○유채 발아후 : Bentazone, MCPA, fluthiacet을 권장량 경엽처리 함으로서 유채의 생장을 억제	100
정량	학술발표	2	1. 제목 : Fitness of F1 hybrids between early flowering transgenic <i>Brassica napus</i> and <i>B. rapa</i> (한국육종학회) 2. 제목 : Distribution of unintentionally spreading out of herbicide resistant transgenic canola ( <i>Brassica napus</i> L.) in Chungcheong-do area (한국잡초학회)	100
	비SCI	2	1. 제목 : Alternative herbicides to manage unintentionally released transgenic canola. Weed Turf. Sci. 8(2) : 123-130. 2. 제목 : Effects of mixed planting between rape and landscape plants on the initial growth of rapes ( <i>Brassica napus</i> L.) Weed Turf. Wci.	100

			8(3) : 221-226.	
	종합보고서	1	1. 전국 미승인 LM유채 환경영향 조사 보고서 작성	100
	매뉴얼	2	1. 미승인 LM유채 환경영향조사 요령 2. LM유채 물리·화학·생물학적 방 제 요령	100

### 3절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당사항 없음

## 4장. 연구결과의 활용 계획 등

### ○ 연구결과 활용방안

- 본 연구에서 LM 유채 발생지 및 주변환경 유전자 이동성 평가를 통해 국내 유일 타가 수분 LM작물로부터 근연종으로의 유전자이동에 대한 안전관리 방안을 매뉴얼화 하겠음
- 본 연구수행으로 LM 유채 발생지에 대한 물리·화학적 처리 및 후속작물 이용, 효율적 LM 유채 처리 등 결과는 향후 논문 투고 및 매뉴얼화 하겠음
- LM유채 종자 및 재발생 식물체의 조기 제거기술개발 및 현장 적용 매뉴얼 개발로 토양 내 잔류 종자의 조기 사멸 및 재발생 식물체 제거에 활용

### ○ 기술적 측면

- LM유채 발견지 및 주변 환경의 지속적인 식생 분포조사를 통하여 미승인 LM유채를 효율적으로 관리할 수 있는 기술 축적
- LM유채 및 이로부터 유전자이동을 통해 발생한 교잡개체의 월동 및 휴면 특성 확인으로 추후 LM유채의 장기적인 잡초화 및 생태계 교란 가능성을 연구하기 위한 기초정보를 확보할 수 있음

### ○ 경제적·산업적 측면

- LM 유채 발생지의 재발생 개체에 대한 안전 사후처리 방안 구축을 통해 농업 생태계 보존 및 수입 작물 소비자 신뢰 증진
- 최적의 제초제 선발 및 물리적 제거방법의 개발로 LM유채 제거비용 절감

## 붙임. 참고문헌

1. Jenkins, T.E., Conner, A.J. and Frampton, C.M. 2001. Investigating gene introgression from rape to wild turnip. *N. Z. Plant Prot.* 54:101-104.
2. Jørgensen, R.B., Andersen, B., Hauser, T.P., Landbo, L., Mikkelsen, T.R., et al. 1998. Introgression of crop genes from oilseed rape (*Brassica napus*) to related wild species. An avenue for the escape of engineered genes. *Acta Hort.* 459:211-217.
3. Kim, Y.J., Nam, K.H., Pack, I.S., Park, J.H., Jeong, S.C., et al. 2014. Gene flow from GM cabbage to non-GM control. *CNU. J. Agri. Sci.* 41(3):157-161. (In Korean)
4. Lee, Y.H., Kim, K.S., Jang, Y.S., Cho, H.J., Bang, J.K., et al. 2009. Pollen-mediated gene flow from glufosinate resistant transgenic oilseed rape (*Brassica napus* L.) into its wild relatives. *Kor. J. Intl. Agri.* 21(3):193-198. (In Korean)
5. Manasse, R. and Kareiva, P. 1991. Quantifying the spread of recombinant genes and organisms, in: Ginzburgh, L. (ed.). *Assessing Ecological Risks of Biotechnology*. Butterworth-Heinemann, Boston, USA.
6. OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2012. Consensus document on the biology of the brassica crops (*Brassica* spp.). OECD Environment Directorate.
7. OGTR (Office of the Gene Technology Regulator). 2002. The biology and ecology of canola (*Brassica napus*). OGTR, Australia.
8. Ramsay, G., Thompson, C. and Squire, G. 2003. Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. DEFRA Project RG0216. Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK, London.
9. Scheffler, J.A., Parkinson, R. and Dale, P.J. 1993. Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). *Transgenic Res.* 2(6):356-364.
10. Staniland, B.K., McVetty, P.B.E., Friesen, L.F., Yarrow, S., Freyssinet, G., et al. 2000. Effectiveness of border areas in confining the spread of transgenic *Brassica napus* pollen. *Can. J. Plant Sci.* 80(3):521-526.
11. Warwick, S.I. 2007. Gene flow between GM crops and related species in Canada, in: Swanton, C. and R. Gulden (eds.). *The First Decade of Herbicide Resistant Crops in*

Canada, Vol. 4 of Topics in Canadian Weed Science. Canadian Weed Science Society.  
Saint-Anne-de, Bellevue, Quebec, Canada.

[별첨 1]

## 연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) LMO유채 발견지 식생 분포·유전자 이동성 조사 및 잔류 생물체의 조기 제거 기술 개발				
	(영문) Survey on gene flow of GM <i>B. napus</i> and development of early removal technology of residual GM <i>B. napus</i>				
주 관 연구 기관	국립농업과학원		주 관 연 구	(소속) 국립농업과학원	
참 여 기 업			책 임 자	(성명) 손수인	
총연구개발비  (300,000 천원)	계	300,000	총 연구 기간	2017.11.15.~2019.8.14.(1년 9개월)	
	정부출연 연구개발비	300,000	총 참 여 연 구 원 수	총 인원	28
	기업부담금			내부인원	28
	연구기관부담금			외부인원	

○ 연구개발 목표 및 성과

- 목표 : LM유채 GT73의 비의도적 환경방출에 대한 주변 환경 식생조사 및 유전자 이동성 연구를 통한 환경영향 최소화
- 성과 : 비SCI 논문(2건), 학술발표(2건), 종합보고서(1건), LM유채 안전관리 매뉴얼(2건)

○ 연구내용 및 결과

- LM유채(이벤트명:GT73) 발견지 내 주변 환경 유전자 이동성 연구
  - 미승인 LM유채 발견지에 대해 자체 6회, 민관합동 조사 4회 추진 완료
  - 자연조건에서 유채로부터 배추로의 유전자 이동성 연구를 위한 마커 선발 완료
- 후속작물 재배에 따른 LM유채 발생양상, 재발생 LM유채 제거 및 효율적 관리 방안 연구
  - 호밀과 청보리 혼파시 유채 개체수 크게 감소(단독재배 대비 호밀: 33.3%감소, 청보리:22.7%감소)
  - 유채 종자 발아전후 최적의 제초제 선발로 식물체 제거 가능 매뉴얼 개발

○ 연구성과 활용실적 및 계획

<활용실적>

- 학술발표(국내, 2건)
  - 제목 : Morphological comparative analysis of Brassica napus L. and relative species for environmental assessment (한국잡초학회)
  - 제목 : Distribution of unintentionally spreading out of herbicide resistant transgenic canola (*Brassica napus* L.) in Chungcheong-do area (한국잡초학회)
- 논문게재(비SCI, 2건)
  - 제목 : Alternative herbicides to manage unintentionally released transgenic canola. Weed Turf. Sci. 8(2):123-130
  - 제목 : Effects of mixed planting between rape and landscape plants on the initial growth of rapes (*Brassica napus* L.). Weed Turf. Sci. 8(3):221-226
- 종합보고서(6건) : 전국 미승인 LM유채 환경영향조사 보고서(자체조사 3건, 민관합동조사 3건)
- 매뉴얼(2건)
  - 미승인 LM유채 환경영향조사 요령
  - LM유채 물리·화학·생물학적 방제 요령

<향후계획>

- 본 연구과제 수행으로 확립된 「미승인 LM유채 환경영향조사 요령」은 미승인 LM목화 환경영향조사에도 활용된 바 있고, 향후 LMO 비의도적 환경방출 대비 LMO 안전관리를 위한 매뉴얼로 활용가능

## 자체평가의견서

### 1. 과제 현황

		과제번호	317073-2		
사업구분	농업생명산업기술개발사업				
연구분야	원예작물 생명공학		과제구분	단위	
사업명	농업생명산업기술개발사업			주관	
총괄과제			총괄책임자		
과제명	LMO유채 발견지 식생 분포·유전자 이동성 조사 및 잔류 생물체의 조기 제거 기술 개발		과제유형	기초	
연구기관	국립농업과학원		연구책임자	손수인	
	경북대학교		연구책임자	박순기	
	충남대학교		연구책임자	조진웅	
	서울여자대학교		연구책임자	이훈복	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2017.11.15.~ 2018.8.14.	100,000		100,000
	2차연도	2018.8.15.~ 2019.8.14.	200,000		200,000
	계		300,000		300,000
참여기업					
상대국	상대국연구기관				

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2019.8.28.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
국립농업과학원	농업연구사	손수인

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

## I. 연구개발실적

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

○본 연구과제는 미승인 LM유채 환경방출로 인한 환경영향조사를 목적으로 하였으며 본 과제를 통해서 국내 최초로 비의도적 환경방출 대비 LM유채 환경영향조사 매뉴얼이 확립되었습니다. 이를 토대로 LM유채 재발생 현황 조사와 제거 등 2년간의 환경영향조사가 성공적으로 추진되어 LM유채 발견지 총 98개소 중 전남 신안을 제외한 97개소가 일반관리 지역으로 전환되었습니다. 또한 자연상태에서 유채의 유전자이동성, 월동성 및 월하성에 대한 연구 수행으로 LM유채의 환경방출시 생태계내에서의 지속성에 대한 분석결과를 얻었고, 기존에 연구된 바 없는 후속작물 재배나 물리 화학적 처리 방법에 따른 유채 종자 조기제거 방안에 대한 연구로 후속작물로는 호밀, 청보리의 재배가 효과적이었다는 것과 유채종자 받아전·후 적절한 제조제 처리로 유채 발생억제에 효과적이었다는 결과를 얻었습니다.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

○본 연구과제를 통해 기술적 측면에서는 LM유채 발견지 및 주변 환경의 지속적인 식생 분포조사를 통하여 미승인 LM유채를 효율적으로 관리할 수 있는 기술을 축적하였고, LM유채 및 이로부터의 유전자이동을 통해 발생한 교잡개체의 월동 및 월하 특성 확인으로 추후 LM유채의 장기적인 잡초화 및 생태계 교란 가능성을 연구하기 위한 기초정보를 확보하였음. 경제적·산업적 측면에서는 LM유채 발생지의 재발생 개체에 대한 안전 사후처리 방안 구축을 통해 농업 생태계 보존 및 수입작물 소비자 신뢰증진에 기여하였고 후속작물 재배, 최적의 제조제 선별 및 물리적 제거방법의 개발로 LM유채 제거비용을 절감할 수 있는 파급효과가 있음

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

○본 연구과제를 통해 LM유채 발견지 및 주변환경 유전자 이동성 평가를 통해 국내 유일 타 가수분 LM작물로부터 근연종으로의 유전자이동에 대한 안전관리 방안을 매뉴얼화하였음  
○본 연구수행으로 LM유채 발견지에 대한 물리 화학적 처리 및 후속작물 이용, 효율적 LM유채 처리 등 결과를 논문투고하였으며 매뉴얼화 하였음  
○LM유채 종자 및 재발생 식물체의 조기 제거기술 개발 및 현장 적용 매뉴얼 개발로 토양 내 잔류 종자의 조기 사멸 및 재발생 식물체 제거에 활용가능

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수)

- 2년간 6회의 자체 환경영향조사(국립농업과학원 주관, 농식품부, 농림축산 검역본부, 국립종자원 참여)와 4회의 민관합동조사(국립농업과학원 주관, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여) 추진
- 본 과제를 통해 초기 대처방안, 환경영향조사 요령 및 사후관리 조치가 포함된 매뉴얼 확립
- 민관합동 환경영향조사 시 사전 및 결과협의회 개최로 국민의 이해와 불안감을 해소시키는데 크게 기여함

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수)

1. 논문발표(2건)
  - 가. 제목 : Morphological comparative analysis of *Brassica napus* L. and relative species for environmental impact assessment (한국잡초학회)
  - 나. 제목 : Distribution of unintentionally spreading out of herbicide resistant transgenic canola (*Brassica napus* L.) in Chungcheong-do area (한국잡초학회)
2. 논문게재(비SCI 2건)
  - 가. 제목 : Alternative herbicides to manage unintentionally released transgenic canola. Weed Turf. Sci. 8(2):123-130.
  - 나. 제목 : Effects of mixed planting between rape and landscape plants on the initial growth of rapeseeds (*Brassica napus* L.) Weed Turf. Sci. 8(3):221-226.
3. 종합보고서(6건)
  - 가. 제목 : 미승인 LM유채 환경영향조사표(자체 및 민관합동 환경영향조사표 총 6건)
4. 매뉴얼(2건)
  - 가. 제목 : 미승인 LM유채 환경영향조사 요령
  - 나. 제목 : LM유채 물리·화학·생물학적 방제 요령

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
○ 전라·제주 지역 LM유채 발견지 주변 환경 식생분포조사 및 유전자 이동성 연구	20	100	○ 미승인 LM유채 발견지 사후계획(농림부)에 따라 전라·제주 지역 미승인 LM유채 발견지 및 주변 환경영향조사(자체 6회, 민관합동조사 4회 추진)완료

			○자연조건에서 유채로부터 배추로의 유전자 이동성 연구를 위한 마커 선발 완료로 목표 달성
○LM유채 발견지별 환경영향 종합 분석 및 조기 제거를 위한 현장 적용 매뉴얼 개발	5	100	○미승인 LM유채 환경영향조사를 위한 현장 적용 매뉴얼 개발로 목표 달성
○경상지역 LM 유채 재배지 동종/근연종/ 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사	10	100	○경상지역 LM유채 발견지 및 주변 환경영향조사 완료(자체 6회, 민관합동조사 4회 추진)로 목표 달성
○LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM 양성반응 여부 분석 및 폐기처리	10	100	○경상지역 LM유채 발견지 의심 개체의 단백질면역테스트를 통한 양성반응 여부 분석완료로 목표 달성
○GM개체의 DNA를 추출, 도입유전자 유전자형 분석: 유전자이동성 검정	5	100	○LM유채로부터 도입유전자 분석법 및 유전자 이동성 검정법 확립으로 목표 달성
○후속작물 재배에 따른 LM유채 발생억제 효과를 조사하기 위해 중경관보존식물로서 보리와 호밀을 대상으로 LM유채와 혼파하여 후속작물 재배에 따른 LM 유채 발생양상 구명	10	100	○호밀(33.3%)과 청보리(22.7%) 혼파시 유채 개체수가 크게 감소하는 분석결과를 얻어 목표 달성
○충청권의 LM유채 재발생 및 환경영향조사	10	100	○충청권의 LM유채 발생지 조사 완료(자체 6회, 민관합동조사 4회 추진)로 목표 달성
○화학·물리적 처리를 통한 토양내 잔류 종자 조기 제거 기술 개발 및 재발생 식물체를 제거할 수 있는 최적의 제초제 선발과 현장적용 매뉴얼 개발	10	100	○유채 종자 발아전후 최적의 제초제 선발로 식물체를 제거할 수 있는 매뉴얼 개발로 목표 달성
○경기, 강원권 LM유채 재배지 동종/근연종 발생밀도 및 주변 동종/근연종 식물종 조사	10	100	○경기·강원권 LM유채 발생지 조사 완료(자체 6회, 민관합동조사 4회 추진)로 목표 달성
○LM유채 의심 개체 정보 수집(발견지, 식물생육단계 등), LM양성반응 여부 분석 및 폐기처리	5	100	○충청지역 LM유채 발견지 의심 개체의 단백질면역테스트를 통한 양성반응 여부 분석완료로 목표 달성
○유채 발견지 LM유채 GPS 자료 입력 및 분석	5	100	○유채 발견지 LM 유채 GPS 자료 입력 및 분석완료로 목표 달성
합계	100점		

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구과제는 2017년 5월 11일 태백 문곡소도동 유채꽃 축제지에서 미승인 LM유채가 발견된 이후로 LMO의 비의도적 환경방출에 따른 환경영향조사를 위해 추진된 과제로서, 2년간 발견지/주변 환경영향조사 및 LM유채 조기제거를 위한 연구결과를 도출해 내었습니다
- 2년간 **6회의 유관기관 자체 환경영향조사**(국립농업과학원 주관, 농식품부, 농림축산 검역본부, 국립종자원 참여)와 **4회의 민관합동 환경영향조사**(국립농업과학원 주관, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여)가 추진되었고 그 결과 미승인 LM유채 발견지 **총 98개소** 중 전남 신안을 제외한 **97개소가 일반관리 지역**으로 전환되었습니다.
- 국내에서 비의도적으로 방출된 LM유채와 목화의 환경방출 사고를 계기로 LMO 환경방출 시 국가 차원의 체계적 대응을 위한 **‘긴급대응 매뉴얼’**에 대한 구비 필요성이 인식되었고 **본 연구과제를 통해서 초기 대처방안, 환경영향조사 요령 및 사후관리 조치가 포함된 매뉴얼이 확립되었습니다.**
- 또한 민관합동 환경영향조사 시 **사전 및 결과협의회 개최**로 지자체 및 지역 환경단체와의 **공조 및 정보공유**를 통해 **국민의 이해와 불안감을 해소**시키는데 크게 기여하였습니다.
- 본 과제수행을 통해서 국립농업과학원 주관, 유관기관, 시민단체, 지자체, 대학교 등 협조하여 전국의 미승인 LM유채 발견지가 안전하게 관리되었습니다. 정부와 시민단체의 정보공유 및 민관협의회를 통한 안전관리 방안 모색으로 대부분의 발견지가 일반관리지역으로 전환되었고, 다만 유채의 생육 특성상 지속적으로 발생하는 1개소(전남 신안)에 대해서는 향후 철저한 모니터링으로 관리해야 할 필요성이 있습니다.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 미승인 LM유채의 비의도적 환경방출이라는 사상 초유의 사건 이전 우리나라는 LMO환경방출에 대한 긴급 매뉴얼이 확립되어 있지 않았고, 환경영향조사법에 관한 매뉴얼 역시 부재로 본 사건에 대한 초동대응에 있어서 미진한 부분이 없었다고 할 수 없습니다. 본 사건을 계기로 LMO 비의도적 환경방출에 대한 경각심을 갖게 되었고, 국가적 차원의 긴급 대응 매뉴얼의 필요성을 절실히 인지하게 되었습니다.
- 따라서 본 연구과제를 수행하는 초기단계에 매뉴얼 확립이 시급하였으며, 환경영향조사 매뉴얼을 작성하여 유관기관 및 시민단체에 배포하였고, 그 이후로 LM유채 발견지 자체 및 민관합동 환경영향조사 추진, 사전 및 사후 민관합동조사 협의회 개최, 사후 안전관리 계획 수립, 시민단체 대상 LMO 바로알기 교육 실시, LM유채 생태계내 지속가능성 및 효율적 제거 방법 연구 등 지난 21개월동안 LM유채의 제거와 연구를 위해 끊임없이 밤낮으로 사업을 추진하여 왔습니다. 본 연구과제를 통해 얻은 성과는 연구개발실적을 참고하여 주시기 바랍니다.
- 이에 평가위원님께서서는 과제의 성과뿐만 아니라 진행과정에 대해서도 관심을 가져주시고 과제수행자가 고충이 많았다는 점을 헤아려주셨으면 합니다. 또한 기회가 되신다면 실질적 주 담당자에 대한 적절한 정부포상 추천 부탁드립니다.

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

○본 연구과제 수행으로 확립된 「미승인 LM유체 환경영향조사 요령」은 미승인 LM목화 환경영향조사에도 활용된 바 있고, 향후 LMO 비의도적 환경방출 대비 LMO 안전관리를 위한 매뉴얼로 활용가능

## IV. 보안성 검토

○ 본 연구과제는 보안성이 요구됨

### 1. 연구책임자의 의견

○본 연구과제 수행내용은 현재에도 조사 중인 사안으로서 보안성이 요구됨

### 2. 연구기관 자체의 검토결과

○본 연구과제 수행내용은 현재에도 조사 중인 사안으로서 보안성이 요구됨

[별첨 3]

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농업생명산업기술개발사업	
연구과제명	LMO유채 발견지 식생 분포·유전자 이동성 조사 및 잔류 생물체의 조기 제거 기술 개발			
주관연구기관	국립농업과학원		주관연구책임자	손 수 인
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	300,000			300,000
연구개발기간	2017.11.15.~2019.8.14.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(논문, 학술발표, 종합보고서, 매뉴얼) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① LM유채 발견지 주변 환경 식생분포 조사 및 유전자 이동성 연구	○미승인 LM유채 발견지 사후계획(농림부)에 따라 전라·제주 지역 미승인 LM유채 발견지 및 주변 환경영향조사(자체 6회, 민관합동조사 4회 추진)완료 ○자연조건에서 유채로부터 배추로의 유전자 이동성 연구를 위한 마커 선발 완료로 목표 달성
② LM유채 발견지별 환경영향 종합분석 및 조기 제거를 위한 현장 적용 매뉴얼 개발	○미승인 LM유채 환경영향조사를 위한 현장 적용 매뉴얼 개발로 목표 달성
③ 후숙작물 재배에 따른 LM유채 발생억제 효과를 조사하기 위해 중경관보존식물로서 보리와 호밀을 대상으로 LM유채와 혼파하여 후숙작물 재배에 따른 LM 유채 발생양상 구명	○호밀(33.3%)과 청보리(22.7%) 혼파시 단독발아 대비 유채 개체수가 크게 감소하는 분석 결과를 얻어 목표 달성
④ 화학·물리적 처리를 통한 토양내 잔류 종자 조기 제거 기술 개발 및 재발생 식물체를 제거할 수 있는 최적의 제초제 선발과 현장적용 매뉴얼 개발	○유채 종자 발아전후 최적의 제초제 선발로 식물체를 제거할수 있는 매뉴얼 개발로 목표 달성
⑤ 유채 발견지 LM유채 GPS 자료 입력 및 분석	○유채 발견지 LM 유채 GPS 자료 입력 및 분석 완료로 목표 달성

### 3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용 홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문		논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용		홍보 전시
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백 만원	백 만원	백 만원	백 만원	명	백 만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치																				
최종목표												2	2				3			
연구기간내 달성실적												2	2				3			
달성율(%)												100	100				100			

### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	LM유채 환경영향조사법
②	후숙작물재배에 따른 유채 발아 억제법
③	물리·화학적 방법에 따른 유채 종자 조기 제거법

### 5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술	v									
②의 기술	v									
③의 기술	v									

### 6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	미승인 GMO의 비의도적 환경방출 대비 안전관리를 위한 매뉴얼로 활용
②의 기술	후숙작물 재배를 통해 LMO 억제를 하기 위한 현장적용에 활용
③의 기술	물리·화학적 방법을 통한 LM유채 종자 발아 억제를 하기 위한 현장적용 매뉴얼로 활용

7. 연구종료 후 성과창출 계획

- 해당사항 없음

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

- 해당사항 없음