

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea found in 1981 and 1987, respectively.

## 제초제저항성 유전자변형 들잔디의 시험 격리포장 주변 환경방출 모니터링

이범규<sup>1†</sup> · 박기웅<sup>2†</sup> · 김창기<sup>3</sup> · 강홍규<sup>4</sup> · 선현진<sup>4</sup> · 권용익<sup>4</sup> · 송인자<sup>4</sup> · 류태훈<sup>1</sup> · 이효연<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>국립농업과학원 생물안전성과, <sup>2</sup>충남대학교 식물자원학과, <sup>3</sup>한국생명공학연구원 바이오평가센터

<sup>4</sup>제주대학교 아열대원예산업연구소

## Environmental Monitoring of Herbicide Tolerant Genetically Modified Zoysiagrass (*Zoysia japonica*) around Confined Field Trials

Bumkyu Lee<sup>1†</sup>, Kee Woong Park<sup>2†</sup>, Chang-Gi Kim<sup>3</sup>, Hong-Gyu Kang<sup>4</sup>, Hyeon-Jin Sun<sup>4</sup>,

Yong-Ik Kwon<sup>4</sup>, In-Ja Song<sup>4</sup>, Tae-Hun Ryu<sup>1</sup>, and Hyo-Yeon Lee<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Biosafety Division, National Academy of Agricultural Science, Jeonju 560-500, Korea

<sup>2</sup>Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3</sup>Bio-Evaluation Center, KRIBB, Cheongwon-gun 363-883, Korea

<sup>4</sup>Subtropical Horticulture Research Institute, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

**ABSTRACT.** The cultivation area and use of genetically modified (GM) crops have been increased continuously over the world. Seed distribution and transgenes to environmental ecosystem is one of the most important factors in risk assessment and risk management of GM crop. Safe management for the development and commercialization of GM crops is required according to The Act on Transboundary Movements of Living Modified Organisms, etc (LMO Act) in Korea. This study was conducted to setup the environmental monitoring system of GM zoysiagrass (event JG21 and JG21-MS). The monitoring was performed in 4 GMO confined fields, Sungwhan, Ochang, Jeju University and Jeju Namwon. In the result of monitoring, we could not find any gene flow and distribution of GM zoysiagrass in the 3 fields, but one spill of JG21 was found in the Namwon field in 2012. These results suggest that continuous monitoring is necessary to detect the occurrence of GM zoysiagrass for preventing genetic contamination in natural environment.

**Key words:** Environmental monitoring, Genetically modified, Risk assessment, Seed distribution, Zoysiagrass

**Received** on November 13, 2014; **Revised** on November 24, 2014; **Accepted** on December 5, 2014

\*Corresponding author: Phone) +82-64-754-3347, Fax) +82-64-725-0989; E-mail) hyoyeon@jejunu.ac.kr

†These two authors contributed equally to this work.

© 2014 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License & #160; (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, & #160; and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

전 세계적으로 유전자변형(Genetically Modified, GM) 작물의 재배 및 이용이 지속적으로 증가하고 있으며, 2013년에만 27개국에서 1,800만 농민에 의해 1억 7,520만 헥타르에 걸쳐 GM 작물이 재배되었다(James, 2014). GM 작물의 재배는 생산량 증가, 농가 소득 증대, 농업 환경 피해 감소,

온실가스 감소 등 다양한 이점이 있는 것으로 알려져 있으나(PG Economics, 2011), 이와 함께 GM 작물의 잠재적 위해성에 대한 우려도 제기되고 있는 실정이다. GM 작물에 대한 우려 중 특히 자연 환경에 대해서 GM 작물의 잡초화 가능성과 도입유전자의 근연종으로의 이동(gene flow), 꽃가루 및 종자를 통한 생태계 확산 등의 부정적 영향을 나타낼 수 있는데, 이러한 경우 새롭게 도입된 형질이 생

태계에 교란을 일으킬 수 있으며, 방제가 어려워지는 등의 문제점을 야기할 수 있기 때문이다(Snow and Palma, 1997).

유전자변형생물체의 안전한 이용을 위해 UN은 2001년 1월 국제협약인 바이오안전성의정서(Cartagena Protocol on Biosafety)를 채택하였으며, 우리나라는 이 의정서의 국내 이행을 위해 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률(LMO법)’을 제정하여 2008년 1월부터 시행하였다(Biosafety white paper, 2013). LMO법에 따라 GM 작물의 개발 및 생산 등에 대해 안전한 관리가 요구되고 있다. 특히 LMO법 통합고시(2014년 7월 30일 개정)에서는 GM 작물의 환경방출 실험에 있어 ‘환경방출실험 심사자료(별표 3-3)’, ‘격리포장 구비요건(별표 3-4)’, ‘관리방법과 조치사항(별표 3-5)’ 등에서 GM 작물의 도입 유전자의 격리포장 외부 식물체로의 이동을 최소한으로 제한하도록 규정하고 있다. 또한 GM 작물의 상업화(환경방출) 승인을 위한 위해성평가 자료에서도 환경모니터링에 대한 방법, 기간, 빈도 등에 대한 계획을 요구하고 있다(LMO법 통합고시 별표 10-1).

국내에는 아직 GM 작물의 재배가 허용되고 있지 않지만 옥수수, 콩, 면화 등의 GM 작물이 식품 및 사료용으로 수입되고 있으며, 대학, 연구소, 기업 등에서 개발 중인 벼, 유채, 잔디 등 다양한 작물들이 격리포장에서 실험 중에 있다(KBCH, 2014). 국내 GM 작물의 환경모니터링에 대한 연구는 수입된 GM 작물의 환경 방출에 대해 주로 수행되어 왔으며(Kim et al., 2006; Lee et al., 2007; Park et al., 2007; Lee et al., 2009; Park et al., 2010), 개발 중인 GM 작물의 환경방출 실험에 대한 격리포장 주변에서의 모니터링에 대한 연구 보고는 Bae et al. (2008)과 Kim et al. (2012) 외에는 보고되지 않은 실정이다.

잔디는 경사면 등의 토양침식 방지, 정원 및 공원의 미적 가치 증진, 축구장, 골프장 등 스포츠 경기 기능 향상 등 다양한 용도로 이용되고 있으며, 최근 잔디의 이용 요구 증가와 더불어 잔디관련 사업규모도 확대되고 있는 추세이다(Kim, 2006; Sun et al., 2010). 이에 따라 다양한 형질의 품종 육성이 요구되어 최근에는 기존의 전통육종 기술에서 벗어나 생명공학 기술을 이용한 신품종 개발이 시도되고 있으며, 유전자변형 기술을 이용한 제초제저항성 및 해충저항성 잔디의 개발이 보고되었다(Toyama et al., 2003; Ge et al., 2006; Li et al., 2006; Zhang et al., 2007).

Toyama et al. (2003)은 들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)에 *Agrobacterium*법을 이용하여 완속종자로부터 배발생 캘러스를 유도하여 글루포시네이트 암모늄 제초제 저항성 들잔디(이벤트명 Jeju Green 21, 이하 JG21)를 개발하였으며, 이후 Bae et al. (2009)은 JG21 들잔디에 감마선( $^{60}\text{Co}$ ) 처리를 통해 기존 제초제 저항성 형질에 추가적으로 웅성불임

및 왜성형질을 유도한 들잔디(이벤트명 JG21-MS)를 개발하였다. 이들 JG21과 JG21-MS는 현재 상업화 승인을 위한 안전성평가 연구가 진행 중에 있다(Bae et al., 2007, 2008, 2010, 2011).

본 연구는 JG21과 JG21-MS 들잔디의 안전성평가 연구의 한 일환으로 GM 잔디의 환경방출 모니터링 방법 구축 및 안전관리 체계구축을 목적으로 3년간에 걸쳐 4개 지역의 GM 들잔디 격리시험포장 주변을 중심으로 유전자변형 들잔디의 도입유전자 이동성 및 산포에 대한 조사를 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 포장조성

GM 들잔디의 환경방출 실험을 위해 2011년에 4개 지역 LMO 격리포장에 2종의 GM 들잔디(JG21, JG21-MS)를 재식하였다. 재식 지역 및 재식일은 다음과 같다; 한국생명공학연구원 오창 분원(충북 오창읍, 7월 26일), 국립축산과학원 축산자원개발부(충남 성환읍, 7월 27일), 제주대학교 아라캠퍼스(제주도 제주시, 7월 26일), 제주대학교 남원읍 격리포장(제주도 남원읍, 7월 26일). 실험 포장은 재식 전 완숙퇴비( $4\text{ kg m}^{-2}$ )를 시비하고 잔디가 적당히 생육할 수 있도록 토양을 평탄하게 경운하였다. 오창 및 성환 포장의 경우 plot은  $1 \times 1\text{ m}^2$ 가 되도록 로프를 이용하여 조성하였으며 plot 간 거리는 0.5 m가 되도록 하였다. 실험구 배치는 4반복 완전임의배치법을 사용하였다. 들잔디는 제주대로부터 지름 10 cm 코어 상태로 분양을 받았으며 plot 정 중앙에 이식하였다. 제주대 포장과 제주 남원읍 격리포장에서는  $1 \times 1\text{ m}^2$ 가 되도록 plot을 조성하였으며 plot 간은 건축용 블록을 이용하여 분리 시켰고, 남원 포장에는 지름 90 cm 홍관을 이용하였다. 실험구는 3반복 라틴방각법을 사용하였다. 잔디의 초기 생장을 동일하게 하기 위해 이식 후 10일에 높이 5 cm만 남기고 잘라낸 후 관행방법으로 잔디를 관리하였다.

### GM 들잔디 조사방법

GM 들잔디의 환경방출 조사는 크게 종자 및 영양번식체에 의한 산포 조사와 화분에 의한 유전자이동 조사로 나누어 수행하였다. JG21 들잔디 종자의 1000립중은 약 0.6 g으로 가벼워 바람에 의한 확산 가능성이 있으며, 종자의 자연발아율은 약 4%로 보고되어 있다(Bae et al., 2011). 또한 들잔디는 종자외에도 영양번식체인 포복경(creeping stem)에 의한 확산이 가능한 특징이 있다. 따라서 산포 조사 수행을 위해 재배포장을 중심으로 반경 10-100 m에 대해 자

생중인 들잔디를 집중 조사하였으며, 만약 GM 들잔디가 발견될 경우 반경 범위를 넓혀 조사를 진행하도록 계획되었다. 특히 빗물에 의한 종자 및 영양변식체의 이동 가능성이 높을 것으로 사료되어 경사면 및 배수로 주변에 대해서는 모니터링 거리를 연장하여 조사하였다. 화분에 의한 유전자이동 조사는 재배지 주변에 생육 중인 들잔디 군락을 대상으로 1m 반경에서 생육중인 개체수에 따라 1-10개의 샘플을 채취하여 GM 들잔디 여부를 조사하였다. 조사가 수행된 지점은 모니터링 수행지역 파악과 향후 재방문을 통한 사후 모니터링 수행을 위해 정밀 GPS (Magellan, Triton 2000)를 이용하여 위치를 기록하였으며 GPS 소프트웨어(VatagePoint)를 이용하여 위치를 분석하였다.

**GM 들잔디 검정**

JG21 및 JG21-MS 들잔디는 모두 *bar* 유전자 도입에 의한 PAT 단백질을 생성한다(Bae et al., 2010). 현장에서 쉽고 빠르게 GM 들잔디 여부를 검정하기 위해 PAT 단백질을 검사할 수 있는 SDI (Strategic Diagnostic Inc.)사의 진단막대(LL ImmunoStrip Test Kit)를 사용하였다. 실험방법은 1cm 크기의 잔디 샘플을 채취하여 1.5 ml micro-tube에 넣고 증류수 1 ml을 첨가한 후 플라스틱 봉을 이용하여 샘플이 균일하게 으개질 수 있도록 분쇄한 후 검정용 진단막대를 넣어 두었다. 5분 뒤 진단막대를 관찰하여 대조용 검정선(control line)과 측정용 검정선(test line)에서 모두 적색선이 나타날 경우 양성(GM 들잔디)으로 판정하였다. GM 들잔디에 대한 진단막대의 검출여부 및 민감도를 파악하기 위해 비변형 들잔디에 포함된 GM 들잔디 포함 비율을 1/1, 1/5, 1/10의 조건에서 실험한 결과 진단막대는 9개의 비변형 들잔디 중 1개의 GM 잔디가 포함된 경우까지 판별이 가능하여 이후 환경모니터링 실험에 적용하여 사용하였다(Fig. 1).

**결과 및 고찰**

**오창 LMO 격리포장 GM 들잔디 환경모니터링**

오창 LMO 격리포장 주변 GM 들잔디의 산포 조사는 2012년 6월에 수행되었다. 격리포장 내 GM 들잔디 재배 시험포장을 중심으로 반경 10m 이내에서 자생 중인 잔디를 조사하였으며, 특히 배수로를 따라 빗물 등에 의한 종자 및 영양변식체의 이동을 면밀히 조사하였다. 조사결과 자생 중인 GM 잔디가 발견되지 않아 종자 및 영양변식체에 의한 이동 및 확산은 없는 것으로 사료되었다(data not shown). 오창 포장의 경우 GM 들잔디 재배포장 주변에 경사면 피복용 들잔디가 20-100 m 거리에 존재하여 화분에

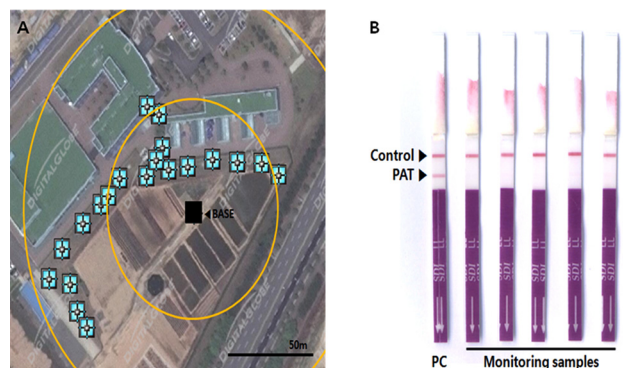


**Fig. 1.** ImmunoStrip test to detect PAT protein in GM zoysia grass leaf samples. The test was performed with samples of only GM: 1 GM and 4 WT; 1 GM and 9 WT; only WT.

의한 유전자이동 가능성이 존재하였다. 화분에 의한 GM 들잔디 도입유전자의 이동을 조사하기 위해 주변의 피복용 잔디를 1지점 당 10개체씩 20지점, 총 200개체에 대해 진단막대를 이용하여 GM 들잔디의 존재 여부를 조사한 결과 GM 들잔디는 발견되지 않았다(Fig. 2).

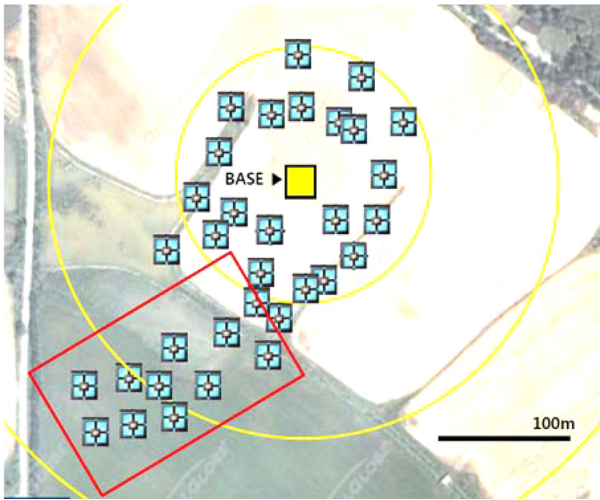
**성환 LMO 격리포장 GM 들잔디 환경모니터링**

성환 LMO 격리포장의 GM 들잔디 환경모니터링은 GM



**Fig. 2. A:** Monitoring site for gene transfer of GM zoysia grass in Ochang confined field. The base means GM zoysia grass planted site; **B:** A part of ImmunoStrip test results. PC means positive control.





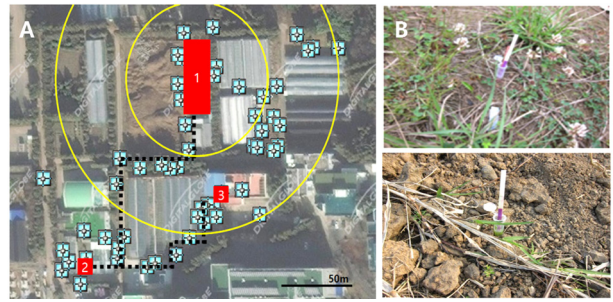
**Fig. 3.** Survey site for distribution of GM zoysiagrass in Sunghwan confined field trials performed in 2013. The box means a downward slope, and the base means GM zoysiagrass planted site.

들잔디 재배 후 약 2년 간인 2012년 6월과 2013년 5월 두 차례에 걸쳐 수행되었다. 성환 포장 GM 들잔디 재배지의 반경 100 m 이내 지점에 대해 자생 중인 GM 잔디를 조사한 결과 자생 중인 잔디가 발견되지 않았다(Fig. 3). 또한 빗물 등에 의한 종자 및 영양번식체의 이동 가능성이 높은 경사면 부위에 대해서는 조사거리를 300 m 까지 연장하여 조사하였지만 GM 잔디가 발견되지 않아 종자 및 영양번식체에 의한 이동 및 확산은 없는 것으로 사료되었다(Fig. 3). 성환 포장의 경우 GM 잔디 재배지 주변에 들잔디가 분포하지 않아 일반 들잔디로의 유전자이동성 조사는 수행하지 않았다.

**제주대학교 GMO 포장 및 온실 주변 환경모니터링**

제주대학교 GMO 포장에 대한 환경모니터링 조사는 2013년과 2014년에 수행되었다. GM 들잔디의 종자 및 영양번식체에 의한 산포 조사는 GM 들잔디가 재배 중이거나 재배되었던 격리포장과 격리온실을 대상으로 반경 10 m 이내의 존재하는 들잔디에 대해 GMO 여부를 확인하였다. 조사된 샘플은 각 지점당 1개체씩이었으며, 2013년의 경우 격리포장 주변 18개 지점과 2곳의 GMO 격리온실 주변 7개 지점 등 총 25개체 이었고, 2014년에는 격리포장 주변 10개 지점과 격리온실 주변 13개 지점 등 총 23개체 이었다(Fig. 4). 진단막대를 이용하여 GMO 여부를 검사한 결과 GM 들잔디는 발견되지 않았다.

GM 들잔디로부터 일반 들잔디로의 유전자이동성 조사를 위해 GM 들잔디 재배포장 주변으로부터 약 100 m 거리의 들잔디 군락을 대상으로 샘플을 수집하여 조사하였



**Fig. 4.** A: Monitoring site for distribution and gene transfer of GM zoysiagrass in confined field of Jeju university. The box numbered means confined fields and greenhouse of GM zoysiagrass planted. The dotted line means transportation routes from greenhouse to confined field; B: A part of results of GM zoysiagrass test using ImmunoStrip.

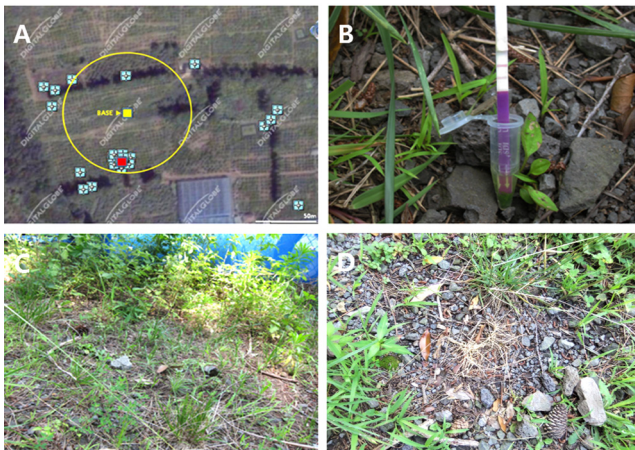
다. 샘플 수집은 들잔디 군락 1개 지점 당 1 m 반경에 존재하는 들잔디 개체 수에 따라 1개체에서 10개체까지 수집하였다. 수집된 33개 지점의 183개체(2013년)와 15개 지점의 138개체(2014년)에 대해 진단막대를 이용하여 GMO 여부를 검정한 결과 GM 들잔디는 발견되지 않았다.

또한 GM 들잔디 운송 중 도로변으로의 유출 가능성을 조사하기 위해 격리온실과 격리포장 간의 이동로 주변에 자생하는 들잔디를 대상으로 2013년 9개 지점 9개체와 2014년 16개 지점 16개체를 채집하여 GM 들잔디 여부를 조사한 결과 모두 음성으로 판명되었다(Fig. 4).

**제주 남원읍 GMO 포장 환경모니터링**

제주대학교의 남원읍 GMO 포장(제주특별자치도 서귀포시 소재)에 대한 환경모니터링은 2012년 6월과 2013년 5월, 2014년 4월 등 3년에 걸쳐 수행되었다. 제주 남원읍 GMO 포장은 JG21-MS 들잔디 환경평가 시험을 위해 2011년에 조성된 실험구 외에도 JG21 들잔디가 2009년부터 13,000 m<sup>2</sup>의 넓은 면적에서 재배되고 있었다.

GM 들잔디의 종자 및 영양번식체에 의한 확산 조사를 위해 격리포장 주변 10 m 거리내에 존재하는 들잔디를 대상으로 진단막대를 이용하여 GMO 여부를 확인하였다. 2012년 조사에서 20개 지점에서 자생 중인 들잔디를 발견할 수 있었으며, 그 중 격리포장에서 약 2 m 떨어진 지점의 한 개체에서 진단막대에 양성을 나타내는 GM 들잔디가 발견되었다(Fig. 5). GM 들잔디가 발견된 지점은 격리포장으로부터 경사면 하부에 위치하여 빗물 등에 의해 종자나 영양번식체의 이동 가능성이 높을 것으로 사료되었다. 발견된 개체는 형태상 키가 작고 자색을 띠는 웅성불임 이벤트(JG21-MS)가 아닌 일반적인 들잔디 외형을 나타내어 제초제저항성 이벤트인 JG21일 것으로 사료되었다. 발

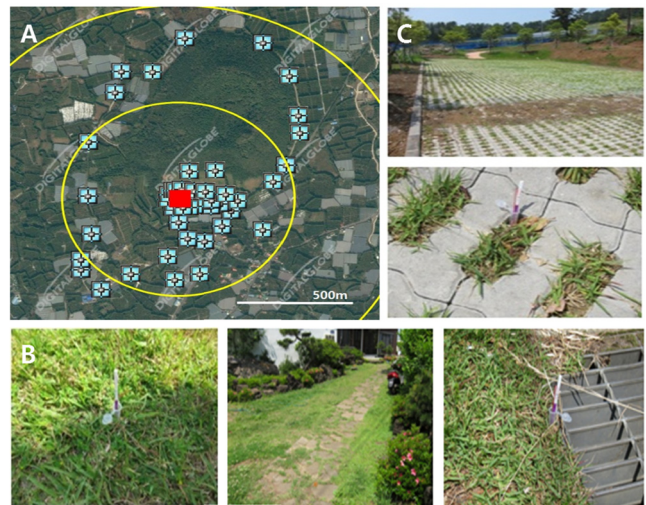


**Fig. 5.** Environmental monitoring for distribution of GM zoysiagrass in confined field in Namwon. A: Monitoring site for distribution and gene transfer of GM zoysiagrass in confined field trials. The red box means the site detected GM zoysiagrass and base means GM zoysiagrass planted site; B: Positive reaction by ImmunoStrip test; C: The place detected GM zoysiagrass. The blue net in upper side is a boundary of GMO confined field; D: Extinction of detected GM zoysiagrass by herbicide.

견된 개체에 대한 향후 조사를 위해 발견 위치를 GPS 시스템을 이용해 기록한 후 글라이포세이트계 제조제 처리를 통해 완전히 제거하였다(Fig. 5D).

이후 2013년과 2014년에 사후 모니터링을 위해 GM 들잔디가 발견된 지점에 대한 집중적인 조사와 격리포장 주변 10 m 반경에 대한 지속적 환경방출 모니터링이 수행되었으며, 2013년 조사의 경우 12개 지점, 2014년의 경우 21개 지점에서 발견된 자생 중인 잔디를 검정한 결과 GM 잔디는 발견되지 않았다(data not shown).

제주 남원읍 격리포장의 경우 GM 들잔디의 유출 발견 뿐 아니라 GM 들잔디의 시험재배가 다른 격리포장에 비해 더 넓은 면적에서 더 오랜 기간 수행되어 GM 들잔디 화분에 의한 일반 들잔디로의 유전자이동 가능성이 높을 것으로 사료되었다. 따라서 유전자이동 모니터링을 위해 조사지역을 GMO 격리포장 1 km 반경으로 확대하여 수행하였다. 샘플 수집은 격리포장 주변을 중심으로 도보 또는 자동차로 이동하여 자생 중인 들잔디를 발견하면 1지점 당 1개에서 10개체씩 채집하여 GMO 여부를 검정하였다. 수집된 샘플은 2012년 조사의 경우 47개 지점 362개체 이었으며, 2013년 35개 지점 219개체, 2014년 47개 지점 265개체 등 총 129개 지점 846개체 이었다. 채집된 샘플에 대해 진단막대를 이용하여 GMO 여부를 조사한 결과 GM 들잔디는 발견되지 않았다(Fig. 6). 비록 2013년 이후 제주 남원읍 GMO 포장 주변 모니터링에서 GM 들잔디의 산포 및



**Fig. 6.** A: Investigation sites for gene transfer of GM zoysiagrass in confined field in Namwon. The red box means the GM zoysiagrass planted site; B: A part of investigation places for detecting GM zoysiagrass using ImmunoStrip; C: Parking place covered zoysiagrass near confined field.

유전자이동은 발견되지 않았으나 넓은 면적에서의 GM 들잔디 재배와 2012년 조사에서 GM 잔디의 이동 발견 등 GM 잔디의 유출에 대한 가능성이 상대적으로 높기 때문에 지속적인 환경 방출 모니터링이 필요할 것으로 사료되었다. 또한 2013년부터 GMO 격리포장 주변 약 10 m 지점에 일반 들잔디가 다수 포함된 공영 주차장이 만들어져 안전관리에 대한 더 많은 노력이 요구될 것으로 사료되었다(Fig. 6C).

GM 들잔디의 환경모니터링에 대해 전체적으로 고찰해 볼 때 비록 2012년 조사에서 제주 남원읍 포장에서 1개체의 GM 들잔디 유출이 발견되었지만 다른 지역과 다른 시기에서는 GM 들잔디의 산포 및 확산은 발견되지 않았으며, 모든 격리포장에서 화분에 의한 GM 들잔디의 유전자 이동 역시 발견되지 않아 GM 들잔디의 환경생태계로의 확산 능력은 크지 않은 것으로 사료되었다. 이는 JG21 들잔디 화분의 짧은 생존능력(일광조건 아래에서 약 30분 이내)과 6 m 이내의 교잡거리, 그리고 약 4%의 낮은 종자 자연발아율 등이 원인으로 작용한 것으로 생각되었다(Kang et al., 2009; Bae et al., 2011). 그러나 Bae et al. (2011)은 재배 면적이 넓어질수록 교잡율과 교잡거리가 증가하여 유전자 이동성이 높아질 것으로 예상하였으며, 종자와 영양번식체에 의한 유출 역시 증가될 수 있을 것이다. 따라서 GM 들잔디 상업화에 따른 대규모 면적의 재배에 따른 격리거리 설정과 안전관리 체계 확립에 대한 지속적인 연구가 요구된다.



본 연구에서 사용된 GM 들잔디의 검출 방법과 환경모니터링 기법들은 GM 들잔디 개발을 위한 포장시험 연구와 상업화 후 환경모니터링을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 요 약

유전자변형(genetically modified, GM)작물의 종자 및 꽃가루를 통한 환경 생태계로의 확산은 안전성평가와 안전 관리에 있어 매우 중요한 요소이며, 국내에서는 LMO법에 따라 GM 작물의 개발 및 생산 등에 대한 안전관리와 GM 작물의 상업화를 위한 환경모니터링에 대한 방법, 기간, 빈도 등에 대한 계획을 요구하고 있다. 본 연구는 제초제 저항성 들잔디(zoysiagrass)의 야외환경모니터링을 수행을 통한 환경모니터링 시스템 기반 구축을 위해 수행되었다. 연구에 사용된 GM 들잔디는 제초제 저항 형질의 JG21과 JG21에 방사능치리로 응성불임을 유도한 JG21-MS 등 2개의 이벤트를 이용하였다. 환경모니터링은 충남 성환, 충북 오창, 제주대 및 제주 남원읍 등 4개 격리포장 주변에서 2011년부터 2013년까지 종자 및 영양번식체에 의한 산포 조사와 화분에 의한 유전자이동에 대해 수행되었다. 모니터링 수행 결과 3개 지역에서 유전자이동 및 산포가 발견되지 않았으나, 2012년 제주 남원읍 지역 조사에서 격리포장 주변 2 m 부근에서 JG21 들잔디 1개체의 유출이 발견되어 보고 및 안전관리 조치를 수행하였다. 본 연구에서 사용된 GM 들잔디의 검출 방법과 환경모니터링 기법들은 GM 들잔디 개발을 위한 포장시험 연구와 상업화 후 환경모니터링을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

**주요어:** 유전자변형, 들잔디, 환경모니터링, 종자 산포, 안전성평가

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009609)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Bae, T.W., Lee, H.Y., Ryu, K.H., Lee, T.H., Lim, P.O., et al. 2007. Evaluation of horizontal gene transfer from genetically modified zoysiagrass to the indigenous microorganisms in isolated GMO field. *Kor. J. Plant Biotechnol.* 34:75-80. (In Korean)
- Bae, T.W., Vanjildorj, E., Song, S.Y., Nishiguchi, S., Yang, S.S., et al. 2008. Environmental risk assessment of genetically engineered herbicide tolerant *Zoysia japonica*. *J. Environ. Qual.* 37:207-18.
- Bae, T.W., Kim, J., Song, I.J., Song, S.Y., Lim, P.O., et al. 2009. Production of unbolting lines through gamma-ray irradiation mutagenesis in genetically modified herbicide-tolerant *Zoysia japonica*. *Breeding Sci.* 59:103-105.
- Bae, T.W., Song, I.J., Kang, H.G., Jeong, O.C., Sun, H.J., et al. 2010. Selection of male-sterile and dwarfism genetically modified *Zoysia japonica* through gamma irradiation. *J. Radiation Indust.* 4(3):239-246.
- Bae, T.W., Kang, H.G., Song, I.J., Sun, H.J., Ko, S.M., et al. 2011. Environmental risk assessment of genetically modified Herbicide-Tolerant zoysiagrass (Event: Jeju Green21). *J. Plant Biotechnol.* 38:105-116.
- Biosafety white paper. 2013. LMO perception and communication. <http://www.biosafety.or.kr> (Accessed on Nov. 1, 2014).
- Ge, Y., Norton, T. and Wang, Z.Y. 2006. Transgenic *Zoysia (Zoysia japonica)* plants obtained by *Agrobacterium*-mediated transformation. *Plant Cell Rep.* 25:792-98.
- James, C. 2014. Global status of commercialized biotech / GM crops: 2013, BRIEF 46. <http://www.isaaa.org> (Accessed on Nov. 1, 2014).
- Kang, H.G., Bae, T.W., Jeong, O.C., Sun, H.J., Lim, P.O., et al. 2009. Evaluation of viability, shedding pattern, and longevity of pollen from genetically modified (GM) herbicide-tolerant and wild-type zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.). *J. plant Biol.* 52:630-634.
- KBCH. 2014. Stats of GM crops in Korea. <http://www.biosafety.or.kr> (Accessed on Nov. 1, 2014).
- Kim, K.N. 2006. Introductory turfgrass science. Sahmyook Univ. Nowongu, Seoul. Korea pp. 23-28
- Kim, C.G., Yi, H., Park, S., Yeon, J.E., Kim, D.Y., et al. 2006. Monitoring the occurrence of genetically modified soybean and maize around cultivated fields and at a grain receiving port in Korea. *J. Plant Biol.* 49:218-223.
- Kim, D.Y., Nam, K.J., Moon, Y.S., Kim, D.I., Kim, Y.J., et al. 2012. Monitoring of the escape of introduced genes of transgenic oilseed rapes outside the trial site in a confined field trial. *Kor. J. Int. Agri.* 24:241-246. (In Korean)
- Lee, B., Kim, C., Park, J., Yi, H., Park, K.W., et al. 2007. Survey of herbicide resistant oilseed rapes the basin of rivers in Incheon harbor area. *Kor. J. Weed Sci.* 27:29-35. (In Korean)
- Lee, B., Kim, C.G., Park, J.Y., Park, K.W., Kim, H.J., et al. 2009. Monitoring the occurrence of genetically modified soybean and maize in cultivated fields and along the transportation routes of

- the Incheon Port in South Korea. Food Control 20:250-254.
- Li, R.F., Wei, J.H., Wang, H.G., He, J. and Sun, Z.Y. 2006. Development of highly regenerable callus lines and *Agrobacterium*-mediated transformation of Chinese lawngrass (*Zoysia sinica* Hance) with a cold inducible transcription factor, CBF1. Plant Cell Tissue Organ Cult. 85:297-305.
- Park, K.W., Kim, C., Kim, D.I., Yi, H., Lee, B., et al. 2007. Competitive ability and possibility of increased weediness of transgenic rice tolerant to abiotic stresses. Kor. J. Weed Sci. 27:359-365. (In Korean)
- Park, K.W., Lee, B., Kim, C.G., Kim, D.Y., Park, J.Y., et al. 2010. Monitoring the occurrence of genetically modified maize at a grain receiving port and along transportation routes in the Republic of Korea. Food Control 2:456-461.
- PG Economics. 2011. Biotech crops: evidence of global outcomes and impacts 1996–2009. <http://www.pgeconomics.co.uk> (Accessed on Nov. 1, 2014).
- Snow, A.A. and Palma, P.M. 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. BioScien. 47:86-96.
- Sun, H.J., Song, I.J., Bae, T.W. and Lee, H.Y. 2010. Recent developments in biotechnological improvement of *Zoysia japonica* Steud. J. Plant Biotechnol. 37:400-407. (In Korean)
- Toyama, K., Bae, C.H., Kang, J.G., Lim, Y.P., Adachi, T., et al. 2003. Production of herbicide-tolerant zoysiagrass by *Agrobacterium*-mediated transformation. Mol. Cells 16:19-27.
- Zhang, L., Wu, D., Zhang, L. and Yang, C. 2007. *Agrobacterium*-mediated transformation of Japanese lawngrass (*Zoysia japonica* Steud.) containing a synthetic *cryIA (b)* gene from *Bacillus thuringiensis*. plant Breeding 126:428-432.